



JAEA-Data/Code

2016-019

DOI:10.11484/jaea-data-code-2016-019

**MVP/GMVP 第 3 版 : 連続エネルギー法及び多群法に
基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード
(翻訳資料)**

MVP/GMVP Version 3 : General Purpose Monte Carlo Codes
for Neutron and Photon Transport Calculations
Based on Continuous Energy and Multigroup Methods
(Translated Document)

長家 康展 奥村 啓介 櫻井 健 森 貴正

Yasunobu NAGAYA, Keisuke OKUMURA, Takeshi SAKURAI and Takamasa MORI

原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター
Nuclear Science and Engineering Center
Sector of Nuclear Science Research

March 2017

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2017

MVP/GMVP 第3版：連続エネルギー法及び多群法に基づく
汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード
(翻訳資料)

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力基礎工学研究センター
長家 康展・奥村 啓介・櫻井 健・森 貴正

(2016 年 12 月 19 日 受理)

高速かつ高精度な中性子・光子輸送モンテカルロ計算を実現するため、日本原子力研究開発機構において、2つのモンテカルロコード MVP(連続エネルギー法)と GMVP(多群法)が開発されてきた。これらのコードはベクトル型アルゴリズムを採用し、ベクトル計算機用に開発されてきたが、標準並列化ライブラリー MPI を用いた並列計算にも対応しており、一般の計算機環境でもモンテカルロ計算の高速化が可能である。両コードは正確な物理モデル、詳細な幾何形状表現法、分散低減法等、実用コードとして十分な機能を有している。

これらコードの第1版は1994年、第2版は2005年に公開され、それ以降も様々な改良と機能拡張が行われてきた。第2版公開以降の主な改良点と新機能は(1)実効増倍率に対する摂動計算手法、(2)厳密共鳴弾性散乱モデル、(3)動特性パラメータ計算機能、(4)光核反応モデル、(5)遅発中性子のシミュレーション、(6)多群定数生成機能である。

本報告書では2つのコードで用いられている物理モデル、幾何形状表現法、新たな機能及びそれらの使用法が記載されている。

MVP/GMVP Version 3 : General Purpose Monte Carlo Codes
for Neutron and Photon Transport Calculations
Based on Continuous Energy and Multigroup Methods
(Translated Document)

Yasunobu NAGAYA, Keisuke OKUMURA, Takeshi SAKURAI and Takamasa MORI

Nuclear Science and Engineering Center
Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 19, 2016)

In order to realize fast and accurate Monte Carlo simulation of neutron and photon transport problems, two Monte Carlo codes MVP (continuous-energy method) and GMVP (multigroup method) have been developed at Japan Atomic Energy Agency. The codes have adopted a vectorized algorithm and have been developed for vector-type supercomputers. They also support parallel processing with a standard parallelization library MPI and thus a speed-up of Monte Carlo calculations can be achieved on general computing platforms.

The first and second versions of the codes were released in 1994 and 2005, respectively. They have been extensively improved and new capabilities have been implemented. The major improvements and new capabilities are as follows: (1) perturbation calculation for effective multiplication factor, (2) exact resonant elastic scattering model, (3) calculation of reactor kinetics parameters, (4) photo-nuclear model, (5) simulation of delayed neutrons, (6) generation of group constants.

This report describes the physical model, geometry description method used in the codes, new capabilities and input instructions.

Keywords: Monte Carlo Method, Transport Calculation, Neutron, Photon, Continuous Energy, Multigroup, Nuclear Data Library, Vectorization, Parallel Computation, User's Manual

目次

1	はじめに	1
2	モンテカルロ法の基礎	4
2.1	粒子輸送計算の手法	4
2.2	モンテカルロ法による粒子輸送計算の手順	7
2.3	空間の表現	8
2.3.1	基本形状の組合せによる三次元形状表現	8
2.3.2	繰り返しのある形状の表現 (格子形状機能)	10
2.4	境界条件	11
2.5	核反応の取り扱い	12
2.6	物理量の評価法	13
2.6.1	衝突による評価法 (collision estimator)	13
2.6.2	粒子の飛行距離による評価法 (track length estimator)	14
2.6.3	点検出器評価法 (point detector estimator)	15
2.6.4	面検出器評価法 (surface crossing estimator)	16
2.7	統計誤差	16
2.8	ヒストリーとバッチ	17
2.9	分散低減法	18
2.9.1	ロシアン・ルーレット	20
2.9.2	スプリッティング (粒子分割)	21
2.9.3	パス・ストレッチング (指数変換)	22
2.9.4	分散低減オプション	23
2.10	固定粒子源問題と固有値問題	24
3	コードの概要	26
3.1	機能	26
3.2	ベクトル計算	27
3.3	並列計算	29
4	物理モデル	31
4.1	断面積の表現	31
4.1.1	中性子断面積	31
4.1.2	光原子反応断面積	32
4.1.3	光核反応断面積	33
4.1.4	任意温度における中性子断面積の準備	34
4.2	中性子衝突反応の解析	35
4.2.1	衝突核種の決定	35
4.2.2	核分裂中性子の発生	36
4.2.3	吸収反応	36

4.2.4	散乱反応	37
4.2.5	熱中性子散乱反応	38
4.2.6	共鳴弾性散乱	39
4.2.7	中性子の速さ	41
4.3	固有値の評価法	41
4.4	固有値問題での真の分散の評価	42
4.5	炉雑音解析	44
4.6	光子の反応	46
4.6.1	詳細モデルと簡易モデル	47
4.6.2	光電効果	47
4.6.3	電子対生成	47
4.6.4	非干渉性(コンプトン)散乱	47
4.6.5	干渉性(トムソン)散乱	48
4.6.6	制動輻射光子	49
4.6.7	光核反応解析	49
4.6.8	光子の速さ	50
5	幾何形状の表現	51
5.1	組合せ形状表現	51
5.2	BODY	52
5.3	ZONE の定義	53
5.3.1	BODY の組合せ演算	53
5.3.2	サポートされない BODY 演算	53
5.3.3	BODY 演算の先頭におかれる OR	54
5.3.4	INPUT-ZONE と ZONE	54
5.3.5	空間上で重なって定義された ZONE	54
5.3.6	粒子トラッキングにおける ZONE の同定と未定義空間	56
5.3.7	ZONE の有限性	56
5.4	物質の指定と境界条件	57
5.5	繰り返しのある形状の表現	58
5.5.1	格子形状表現の概念	58
5.5.2	多重格子形状の階層構造	59
5.5.3	セルの定義	61
5.5.4	格子の定義と座標変換	61
5.5.5	SUBFRAME に配置されるセルの指定	65
5.5.6	格子形状の FRAME ZONE への配置	68
5.5.7	FRAME ZONE の形状	68
5.6	確率論的幾何形状モデル	71
5.6.1	確率論的幾何形状モデルの入力方法	72
5.7	REGION 名の階層的表現	73
5.8	TALLY REGION	74
5.9	REGION 名と REGION 番号	75

6	入力データの概要	76
6.1	MVP/GMVP 入力データの特徴	76
6.2	入力データの構成	76
6.3	有効な文字数とコメント	77
6.4	オプション部	78
6.5	入力データの記述形式	78
6.5.1	データ名付き自由形式入力	79
6.5.2	ブロックによるデータ入力	80
6.5.3	名前付き数値データ及び演算機能	80
6.5.4	データ列の繰り返しと等間隔データの作成	83
6.5.5	データ列に適用できる演算と関数	84
6.5.6	コード内変数値のシンボリックパラメータとしての参照	85
6.6	REGION 毎に入力するデータ	85
6.6.1	REGION に依存したデータ	85
6.6.2	入力形式 - 1	87
6.6.3	入力形式 - 2	87
6.6.4	ワイルドカード文字*と?を用いた REGION の指定	88
7	タイトルとオプション	89
7.1	入力データのタイトル	89
7.2	オプション入力の規則	89
7.3	指定可能なオプションの一覧	89
7.4	オプションの相互関係	95
7.5	各オプションの詳細	96
8	計算のコントロール	121
8.1	MVP/GMVP 共通のコントロールデータ	121
8.2	MVP のみのコントロールデータ	130
8.3	PICTURE オプションに対する入力データ	133
9	断面積と物質組成の入力	135
9.1	MVP に対する入力データ	135
9.1.1	CROSS SECTION または XSEC データブロック	135
9.1.2	物質組成の指定 (IDMAT および原子数密度)	136
9.1.3	光子問題での核種 ID の指定	137
9.1.4	光核反応断面積の利用	137
9.1.5	任意温度中性子断面積の利用	138
9.2	MVP 断面積データに対するオプション	139
9.3	GMVP に対する入力	143
9.3.1	断面積形式	143
9.3.2	CROSS SECTION データブロック	144
9.3.3	多群断面積の入力パラメータ	145
9.3.4	物質組成の指定 (IDMAT、原子数密度及び FKAI)	154

9.4	GMVP コードでの断面積と物質組成の指定 (旧形式)	155
10	幾何形状の入力	159
10.1	幾何形状データの構造	159
10.2	BODY の定義	159
10.2.1	BODY RPP (座標軸に垂直な面からなる直方体)	162
10.2.2	BODY CYL (z 軸に平行な中心軸を持つ直円柱)	162
10.2.3	BODY RCC (直円柱)	163
10.2.4	BODY SPH (球)	164
10.2.5	BODY BOX (任意の方向を向いた平行六面体)	165
10.2.6	BODY WED または RAW (三角柱)	166
10.2.7	BODY ARB (任意の四、五または六面体)	167
10.2.8	BODY HAF (平面によって区切られた半空間)	167
10.2.9	BODY RHP (中心軸が z 軸に平行で 1 つの側面が x 軸に垂直な正六角柱)	168
10.2.10	BODY HEX (任意の方向を向いた正六角柱)	170
10.2.11	BODY RCL (底面に方向性を持った直円柱)	170
10.2.12	BODY TRC (円錐台)	171
10.2.13	BODY TEC (楕円錐台)	172
10.2.14	BODY ELL (回転楕円体)	173
10.2.15	BODY GEL (三軸不等楕円体)	174
10.2.16	BODY ELT (断面が楕円のトーラス)	174
10.2.17	BODY GQS (任意の二次曲面)	175
10.2.18	BODY BBC (ボディの組み合わせ)	176
10.3	ZONE の入力	177
10.3.1	ZONE 名	177
10.3.2	REGION 名	177
10.3.3	物質 ID	177
10.3.4	BODY の組み合わせ	178
10.3.5	「入力 ZONE」と「ZONE」	179
10.3.6	ZONE 指定の方法と計算時間について	179
10.3.7	周期境界条件	180
10.4	格子形状の入力データ	180
10.4.1	格子の構造の指定	180
10.4.2	格子形状の入力データ例	185
10.4.3	格子の空間内への配置	189
10.5	セルの定義	191
10.5.1	セルに含まれる ZONE の定義	192
10.6	格子形状の入力例	192
10.7	同一の格子セルの ZONE を区別したタリーの取り方	199
10.7.1	FRAME ZONE の名前付け	199
10.7.2	SUBFRAME の名前付け	199
10.8	確率論的幾何形状モデルの入力データ	201

10.8.1	STGM 領域の定義	201
10.8.2	STGM 領域の空間内への配置	203
10.8.3	STG 粒子セルの定義	204
10.8.4	STG 領域媒質 (マトリックス) のためのダミーセル	204
10.8.5	複数の STG 粒子の入力例	205
10.9	TALLY REGION の定義	207
11	線源データの入力	210
11.1	線源入力データの一般的規則	210
11.1.1	SOURCE データブロック	210
11.1.2	線源セット	210
11.2	サンプリング情報の表現	212
11.3	値または式	213
11.4	関数を用いたサンプリング	213
11.5	サンプリング関数	216
11.6	データ加工指示関数	228
11.7	サンプリングされた値の選別	231
11.7.1	ACCEPT と END-ACCEPT	231
11.7.2	論理関数	232
11.7.3	特定の空間部分による受入れ/棄却	233
11.8	重みの調節によるバイアスサンプリング	234
11.9	サンプリング関数の使用例	234
11.9.1	#TABLE 関数における補間法の比較	234
11.9.2	1 変数のサンプリング関数 (#TABLE, #COSINE, #GAUSS) と結果の選別	235
11.9.3	2 変数のサンプリング関数: #TABLEXY	237
11.9.4	#TABLEXY、作業変数と結果の選別	238
11.10	線源データ (旧形式)	239
12	タリーの指定	244
12.1	TALLY データブロック	244
12.2	すべてのタリーに共通な指定	244
12.3	個別タリーの入力	251
12.3.1	タリー ID の指定	251
12.3.2	ラベルの指定	252
12.3.3	エスティメータの指定	252
12.3.4	タリー粒子の指定	253
12.3.5	タリー次元の指定	253
12.3.6	タリービンの指定	255
12.3.7	反応率計算の指定	265
12.3.8	炉雑音解析に対する指定	269
12.4	TALLY データブロックの例	270
12.5	空間領域の体積	271
12.5.1	VOL	272

12.5.2	RVOL	272
12.5.3	TRVOL	273
13	分散低減法データの入力	274
13.1	利用できる分散低減法	274
13.2	分散低減法パラメータ	274
14	二次粒子発生を制御するデータ	281
14.1	二次粒子の発生方法	281
14.2	核分裂中性子、二次光子に関するデータ	281
15	摂動計算の入力データ	287
15.1	摂動計算入力データの一般的規則	287
15.1.1	PERTURBATION データブロック	287
15.2	各摂動パラメータに対する入力	287
15.2.1	ID	287
15.2.2	LABEL	288
15.2.3	評価法の指定	288
15.2.4	タリー粒子の指定	288
15.2.5	タリーパラメータの指定	288
15.2.6	摂動パラメータの指定	289
15.2.7	摂動計算手法の指定	289
15.2.8	核分裂源分布変化を考慮するための世代数	290
15.2.9	摂動量の指定	290
15.2.10	摂動領域の指定	290
15.2.11	摂動核種の指定	290
15.2.12	摂動計算データ入力例	291
16	入出力ファイル	294
16.1	FORTRAN I/O ユニット	294
16.2	コマンド行での入出力ファイル等の指定	294
16.3	MVP コードの断面積インデックスファイル	296
16.4	GMVP コードの断面積ファイル	298
16.5	標準出力の内容	299
16.5.1	入力データ処理に関する出力	300
16.5.2	ランダムウォークに関する出力	300
16.5.3	計算結果	302
16.5.4	事象モニター	307
16.6	計算結果のバイナリ出力	307
16.7	リスタートファイル	325
16.8	核分裂中性子源ファイル	325
17	MVP/GMVP の実行方法	328
17.1	利用環境の設定	328

17.1.1	環境変数の設定	329
17.1.2	コマンドサーチパス	329
17.1.3	シェル初期化スクリプトへの記述例	329
17.2	MVP コードの実行方法	330
17.2.1	MVP コードに関連するファイル	330
17.2.2	runmvp コマンドによる MVP コードの実行	331
17.3	GMVP の実行方法	334
17.3.1	GMVP コードに関連するファイル	334
17.3.2	rungmvp コマンドによる GMVP コードの実行	335
17.4	メモリサイズの指定	337
17.4.1	動的メモリ確保	337
17.4.2	静的メモリ確保	338
謝辞		338
参考文献		339
付録		
A	MVP/GMVP のインストール	344
A.1	UNIX または Linux 環境への MVP/GMVP コードのインストール	344
A.1.1	ファイルの展開	345
A.1.2	プログラム実行環境の設定	346
A.1.3	プログラムのコンパイル/リンク	349
A.2	断面積データの準備	352
A.2.1	MVP 断面積データの処理	352
A.2.2	GMVP 断面積データの処理	353
A.3	サンプル入力データによるテスト計算	354
A.3.1	MVP コードのテスト計算	354
A.3.2	GMVP コードのテスト計算	356
A.4	プログラムソースファイルについて	357
A.5	各機種/OS に固有の情報	358
A.5.1	Linux	358
A.5.2	FreeBSD	359
A.5.3	CYGWIN	359
A.5.4	MS Windows	359
B	CGVIEW	360
B.1	CGVIEW の出力画面	360
B.2	CGVIEW コードの入力データ	361
B.3	CGVIEW コマンド	365
B.4	CGVIEW を実行するためのスクリプト	382
B.5	CGVIEW を使用する上での問題点と対処方法	383

C	MVP-ART	385
C.1	MVP-ART の入力データ	385
C.2	サンプル入力データ	386
D	バイナリ出力ファイルを読むためのサンプルプログラム	389
D.1	例 1	389
D.2	例 2	391
E	断面積ライブラリの形式変換コード	398
E.1	MVP ライブラリのテキスト形式からバイナリ形式への変換	398
E.2	MVP ライブラリのバイナリ形式からテキスト形式への変換	399
E.3	GMVP ライブラリのファイル形式変換	401
F	FORTRAN ソースを使用環境に適合させるツール	402
F.1	MVPFAT の機能	402
F.2	MVPFAT への入力と出力	406
F.3	MVPFAT によるプログラムソースの処理例	406
F.4	MVPFAT の実行コマンド	407
F.5	MVP で使用する SET,UNSET コマンドのパラメータ	408
G	MVP 断面積ライブラリ	410
G.1	中性子ライブラリ	410
G.1.1	JENDL-4.0	410
G.1.2	JENDL-4.0u1	418
G.1.3	JENDL-4.0TZ	418
G.2	光原子反応ライブラリ	419
G.2.1	MCPLIB	419
G.2.2	ENDF/B-VI.8	421
G.3	光核反応ライブラリ	423
G.4	電子ライブラリ	427
G.5	ドジメトリ・ライブラリ	429
H	MVP ライブラリで定義されている核反応	431
H.1	中性子反応	431
H.2	光原子反応	432
H.3	光核反応	432
	索引	434

Contents

1	Introduction	1
2	Basics of Monte Carlo Methods	4
2.1	Particle Transport Calculation	4
2.2	Particle Transport with Monte Carlo Methods	7
2.3	Spatial Description	8
2.3.1	Spatial Description by Combinatorial Geometry	8
2.3.2	Repeated Geometry (LATTICE Geometry)	10
2.4	Boundary Conditions	11
2.5	Treatment of Nuclear Reactions	12
2.6	Estimation of Physical Quantities	13
2.6.1	Collision Estimator	13
2.6.2	Track Length Estimator	14
2.6.3	Point Detector Estimator	15
2.6.4	Surface Crossing Estimator	16
2.7	Statistical Uncertainty	16
2.8	History and Batch	17
2.9	Variance Reduction Techniques	18
2.9.1	Russian Roulette	20
2.9.2	Splitting	21
2.9.3	Path Stretching (Exponential Transform)	22
2.9.4	Options for variance reduction	23
2.10	Fixed-source and Eigenvalue Problems	24
3	Outline of Codes	26
3.1	Functions	26
3.2	Vector Calculation	27
3.3	Parallel Calculation	29
4	Physics Model	31
4.1	Representation of Cross Sections	31
4.1.1	Neutron Cross Sections	31
4.1.2	Photoatomic Reaction Cross Sections	32
4.1.3	Photonuclear Reaction Cross Sections	33
4.1.4	Preparation of Neutron Cross Sections at Arbitrary Temperatures	34
4.2	Analysis of Neutron Collision	35
4.2.1	Selection of Collision Nuclide	35
4.2.2	Generation of Fission Neutrons	36
4.2.3	Absorption	36

4.2.4	Scattering	37
4.2.5	Thermal Neutron Scattering	38
4.2.6	Resonance Elastic Scattering	39
4.2.7	Speed of Neutrons	41
4.3	Estimation of Eigenvalue	41
4.4	Estimation of Real Variance in Eigenvalue Problems	42
4.5	Reactor Noise Analysis	44
4.6	Photon Reaction	46
4.6.1	Detailed and Simple Models	47
4.6.2	Photoelectric Effect	47
4.6.3	Electron Pair Production	47
4.6.4	Incoherent (Compton) Scattering	47
4.6.5	Coherent (Thomson) Scattering	48
4.6.6	Bremsstrahlung Photon	49
4.6.7	Analysis of Photonuclear Reactions	49
4.6.8	Speed of Photons	50
5	MVP/GMVP Geometry	51
5.1	Combinatorial Geometry	51
5.2	BODY	52
5.3	Definition of ZONES	53
5.3.1	Operation of BODY Combination	53
5.3.2	Unsupported BODY Operation	53
5.3.3	OR at the Top of BODY Operations	54
5.3.4	INPUT-ZONE and ZONE	54
5.3.5	Multiply Defined ZONE	54
5.3.6	Identification of ZONES and Undefined Regions	56
5.3.7	Finiteness of ZONES	56
5.4	Specification of Materials and Boundary Conditions	57
5.5	Repeated Geometry	58
5.5.1	Concept of LATTICE Geometry	58
5.5.2	Hierarchical Structure of Nested LATTICE Geometry	59
5.5.3	Definition of CELLS	61
5.5.4	Definition of LATTICES and Coordinate Transformation	61
5.5.5	Specification of CELLS Placed at SUBFRAMEs	65
5.5.6	Allocation of LATTICE at FRAME ZONE	68
5.5.7	Shape of FRAME ZONE	68
5.6	Statistical Geometry Model	71
5.6.1	How to Input the Statistical Geometry Model	72
5.7	Hierarchical Expression of REGION Names	73
5.8	TALLY REGION	74
5.9	REGION Name and REGION Number	75

6	Input Instructions	76
6.1	Features of MVP/GMVP Input Data	76
6.2	Structure of Input Data	76
6.3	Effective Columns and Comments in a Line	77
6.4	Option Block	78
6.5	Format of Input Data Description	78
6.5.1	Labeled Free Format Input	79
6.5.2	Data Block	80
6.5.3	Labeled Data and Arithmetic Operation	80
6.5.4	Repeated Values and Equally Spaced Values	83
6.5.5	Operations and Functions Applicable to Data Series	84
6.5.6	Reference of Variables Defined in the Codes as Symbolic Parameters	85
6.6	Data Input by REGION	85
6.6.1	REGION-dependent Data	85
6.6.2	Input Format - 1	87
6.6.3	Input Format - 2	87
6.6.4	Specification of REGIONs by Wild Card Characters * and ?	88
7	Title and Options	89
7.1	Title for Input Data	89
7.2	Rule for Option Block	89
7.3	List of Available Options	89
7.4	Conflict between Options	95
7.5	Detailed Information for Each Option	96
8	Calculation Control	121
8.1	Control Data for Both MVP and GMVP	121
8.2	Control Data for MVP Only	130
8.3	Input Data for PICTURE Option	133
9	Cross Section and Material Data	135
9.1	Input Data for MVP	135
9.1.1	CROSS SECTION or XSEC Data Block	135
9.1.2	Specification of Compositions (IDMAT and Number Density)	136
9.1.3	Specification of Nuclide ID in Photon Problems	137
9.1.4	Usage of Photonuclear Reaction Cross Sections	137
9.1.5	Usage of Arbitrary-temperature Neutron Cross Sections	138
9.2	Options for MVP Cross Section Data	139
9.3	Input Data for GMVP	143
9.3.1	Cross Section Form	143
9.3.2	CROSS SECTION Data Block	144
9.3.3	Input Parameters of Multigroup Cross Sections	145
9.3.4	Specification of Material Compositions	154

9.4	Old Input Form of GMVP Cross Sections and Material Compositions	155
10	Geometry Data	159
10.1	Structure of Geometry Data	159
10.2	Definition of BODIes	159
10.2.1	BODY RPP (Right Parallelepiped)	162
10.2.2	BODY CYL (Cylinder in z -direction)	162
10.2.3	BODY RCC (Right Circular Cylinder)	163
10.2.4	BODY SPH (Sphere)	164
10.2.5	BODY BOX (Parallelepiped)	165
10.2.6	BODY WED or RAW (Wedge)	166
10.2.7	BODY ARB (Arbitrary Polyhedron with 4, 5 or 6 Faces)	167
10.2.8	BODY HAF (Half Space with a Planer Surface)	167
10.2.9	BODY RHP (Right Hexagonal Prism)	168
10.2.10	BODY HEX (Hexagonal Prism)	170
10.2.11	BODY RCL (Right Cylinder with Specified Radial Direction)	170
10.2.12	BODY TRC (Truncated Right Cone)	171
10.2.13	BODY TEC (Truncated Elliptic Cone)	172
10.2.14	BODY ELL (Ellipsoid by Rotation)	173
10.2.15	BODY GEL (General Ellipsoid)	174
10.2.16	BODY ELT (Elliptical Torus)	174
10.2.17	BODY GQS (General Quadratic Surface)	175
10.2.18	BODY BBC (Body-by-Body Combination)	176
10.3	Input Data for ZONES	177
10.3.1	ZONE Name	177
10.3.2	REGION Name	177
10.3.3	Material ID	177
10.3.4	Combinatorial Geometry	178
10.3.5	'INPUT-ZONE' and 'ZONE'	179
10.3.6	ZONE Specification and Calculation Time	179
10.3.7	Periodic Boundary Condition	180
10.4	Input Data for LATTICE Geometry	180
10.4.1	Specification of LATTICE Structure	180
10.4.2	Examples of Input Data for LATTICE Geometry	185
10.4.3	Arrangement of LATTICES	189
10.5	Definition of CELLS	191
10.5.1	Definition of ZONES in a CELL	192
10.6	Examples for LATTICE Geometry	192
10.7	Tallying in the Same CELLS	199
10.7.1	Labeling FRAME ZONES	199
10.7.2	Labeling SUBFRAMES	199
10.8	Input Data for Statistical Geometry Model	201

10.8.1	Definition of the STGM Region	201
10.8.2	Allocation of STGM Regions	203
10.8.3	Definition of STG Particles	204
10.8.4	Dummy CELL for MATRIX	204
10.8.5	Example for Multiple Kinds of STG Particles	205
10.9	Definition of TALLY REGIONS	207
11	Source Data	210
11.1	General Rules for Source Input Data	210
11.1.1	SOURCE Data Block	210
11.1.2	Source Information Set	210
11.2	Representation of Sampling Information	212
11.3	Values and Mathematical Expression	213
11.4	Sampling with Functions	213
11.5	Sampling Functions	216
11.6	Data-transform Functions	228
11.7	Selection of Sampled Values	231
11.7.1	ACCEPT and END-ACCEPT	231
11.7.2	Logical and Relational Functions	232
11.7.3	Acceptance/Rejection by Specified Space	233
11.8	Biased Sampling	234
11.9	Examples for Using Sampling Functions	234
11.9.1	Comparison of Interpolation Methods for #TABLE Function	234
11.9.2	Sampling Functions with One Variable (#TABLE, #COSINE, #GAUSS) and Selection of Sampled Values	235
11.9.3	Sampling Function with Two Variables: #TABLEXY	237
11.9.4	#TABLEXY, Work Variable and Selection of Sampled Values	238
11.10	Old Form of Source Data	239
12	Tally Data	244
12.1	TALLY Data Block	244
12.2	Common Specification to All Tallies	244
12.3	Input Data for Each Tally	251
12.3.1	Specification of Tally ID	251
12.3.2	Specification of Tally Label	252
12.3.3	Specification of Estimator	252
12.3.4	Specification of Tally Particle	253
12.3.5	Specification of Tally Dimensions	253
12.3.6	Specification of Tally Bins	255
12.3.7	Specification of Reaction Rate Calculation	265
12.3.8	Specification for Reactor Noise Analysis	269
12.4	Example of the TALLY Data Block	270
12.5	Volume of Spatial Regions	271

12.5.1	VOL	272
12.5.2	RVOL	272
12.5.3	TRVOL	273
13	Variance Reduction Data	274
13.1	Available Variance Reduction Techniques	274
13.2	Variance Reduction Parameters	274
14	Secondary Particle Data	281
14.1	Generation of Secondary Particles	281
14.2	Data for Fission Neutrons and Secondary Photons	281
15	Data for Perturbation Calculations	287
15.1	General Rules of Input Data for Perturbation Calculations	287
15.1.1	PERTURBATION Data Block	287
15.2	Input Data for Each Perturbation	287
15.2.1	ID	287
15.2.2	LABEL	288
15.2.3	Estimator	288
15.2.4	Tally Particle	288
15.2.5	Tally Parameter	288
15.2.6	Perturbation Parameter	289
15.2.7	Perturbation Calculation Method	289
15.2.8	Number of Generations for Perturbed Source Effect	290
15.2.9	Perturbed Quantity	290
15.2.10	Perturbed Region	290
15.2.11	Perturbed Nuclide	290
15.2.12	Example of PERTURBATION Data Block	291
16	I/O Files	294
16.1	FORTRAN I/O Unit	294
16.2	Specification of I/O Files in a Command Line	294
16.3	Index File for MVP Cross Sections	296
16.4	Cross Section Files for GMVP	298
16.5	Printing Output	299
16.5.1	Output on Input Data Processing	300
16.5.2	Output on Random Walk	300
16.5.3	Calculation Results	302
16.5.4	Event Monitor	307
16.6	Binary Output of Calculation Results	307
16.7	Restart File	325
16.8	Fission Source File	325

17	How to Execute MVP/GMVP	328
17.1	Setting User's Environment	328
17.1.1	Setting Environment Variables	329
17.1.2	Command Search Path	329
17.1.3	Example of Shell Startup Files	329
17.2	How to Execute MVP	330
17.2.1	Files Related to MVP	330
17.2.2	Execution of MVP with the runmvp Command	331
17.3	How to Execute GMVP	334
17.3.1	Files Related to GMVP	334
17.3.2	Execution of GMVP with the rungmvp Command	335
17.4	Specification of Memory Size	337
17.4.1	Dynamic Memory Allocation	337
17.4.2	Static Memory Allocation	338
	Acknowledgments	338
	References	339
	Appendixes	
A	Installation of MVP/GMVP	344
A.1	How to Install the MVP/GMVP Code on UNIX or Linux Platforms	344
A.1.1	Extracting Files	345
A.1.2	Setting Up the Environment to Execute Programs	346
A.1.3	Compilation and Linkage	349
A.2	Preparation of Cross Section Data	352
A.2.1	Processing of MVP Cross Section Data	352
A.2.2	Processing of GMVP Cross Section Data	353
A.3	Test Calculation with Samples	354
A.3.1	Test Calculation for MVP	354
A.3.2	Test Calculation for GMVP	356
A.4	Program Source Files	357
A.5	Platform Dependence	358
A.5.1	Linux	358
A.5.2	FreeBSD	359
A.5.3	CYGWIN	359
A.5.4	MS Windows	359
B	CGVIEW	360
B.1	Output of CGVIEW Code	360
B.2	Input Data for CGVIEW Code	361
B.3	CGVIEW Commands	365
B.4	Script to execute CGVIEW	382

B.5	Problems in Using CGVIEW and Solutions	383
C	MVP-ART	385
C.1	Input Data for MVP-ART	385
C.2	Sample Input Data	386
D	Sample Programs to Read Binary Output File	389
D.1	Sample 1	389
D.2	Sample 2	391
E	Codes to Convert the Form of Cross Section Libraries	398
E.1	Conversion of MVP Libraries from Text to Binary Form	398
E.2	Conversion of MVP Libraries from Binary to Text Form	399
E.3	Conversion of File Form for GMVP Libraries	401
F	FORTTRAN-source Assimilation Tool	402
F.1	Function of MVPFAT	402
F.2	Input and Output of MVPFAT	406
F.3	Example of the Process with MVPFAT	406
F.4	Execution Command for MVPFAT	407
F.5	Parameters of SET and UNSET Commands	408
G	MVP Cross Section Libraries	410
G.1	Neutron Libraries	410
G.1.1	JENDL-4.0	410
G.1.2	JENDL-4.0u1	418
G.1.3	JENDL-4.0TZ	418
G.2	Photoatomic Data Library	419
G.2.1	MCPLIB	419
G.2.2	ENDF/B-VI.8	421
G.3	Photonuclear Data Library	423
G.4	Electron Library	427
G.5	Dosimetry Library	429
H	Nuclear Reactions in MVP libraries	431
H.1	Neutron Reactions	431
H.2	Photoatomic Reactions	432
H.3	Photonuclear Reactions	432
Index	434

図 リ ス ト

図 2.1	粒子のランダムウォーク	7
図 2.2	ボディの組み合わせによるゾーンの定義	9
図 2.3	繰り返しのある形状の格子形状による表現	10
図 2.4	FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しないときの六方格子形状	11
図 2.5	最小の独立なサンプル単位としての「ヒストリー」	19
図 2.6	ヒストリーの集まりである「バッチ」を統計の単位とする場合	19
図 2.7	ロシアン・ルーレット	21
図 2.8	パス・ストレッチング	22
図 3.1	ヒストリー駆動型アルゴリズムと事象駆動型アルゴリズムの比較	28
図 3.2	MVP/GMVP コードにおける計算タスク	29
図 3.3	並列処理の流れ	30
図 3.4	固有値計算における並列処理	30
図 4.1	500 eV 付近の U-235 捕獲断面積の確率テーブル	34
図 4.2	MVP で取扱う中性子の衝突反応	35
図 4.3	MVP での中性子の衝突反応解析	36
図 4.4	異なるゲート幅に対する時間スペクトル	46
図 5.1	BODY の組合せによる ZONE の表現	53
図 5.2	許されない括弧つき OR 表現の展開の必要性	54
図 5.3	等価な 2 通りの OR の用法	55
図 5.4	ZONE の二重定義	55
図 5.5	格子形状の作成と空間内への配置	59
図 5.6	階層化された格子形状の概念	60
図 5.7	格子セルの形と大きさを定義する BODY RPP(直方体) と RHP(六角柱)	62
図 5.8	格子セルの構造 (物質 -999 の ZONE で取り囲む)	62
図 5.9	格子配列とセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a)	63
図 5.10	六方格子の外枠と格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ)	66
図 5.11	六方格子の格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ) とセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a)	67
図 5.12	ピッチの異なる 2 つの格子の例	67
図 5.13	任意形状格子枠と従来の格子枠	69
図 5.14	多重格子において格子枠とセルが交差するケース	70
図 5.15	MVP/GMVP に組み込まれた確率論的形状のイメージ (STGM 領域、STG 粒子)	72
図 10.1	BODY RPP	163
図 10.2	BODY CYL	164
図 10.3	BODY RCC	164
図 10.4	BODY SPH	165

図 10.5	BODY BOX	166
図 10.6	BODY WED(または RAW)	166
図 10.7	BODY ARB	168
図 10.8	BODY HAF	169
図 10.9	BODY RHP	169
図 10.10	BODY HEX	170
図 10.11	BODY RCL	171
図 10.12	BODY TRC	172
図 10.13	BODY TEC	173
図 10.14	BODY ELL	173
図 10.15	BODY GEL	174
図 10.16	BODY ELT	175
図 10.17	計算体系の分割	180
図 10.18	周期境界条件の指定と粒子の飛行	181
図 10.19	六角格子へのセル配置の基準とする SUBFRAME を指定する変数 RCELL	183
図 10.20	格子 ID 10 に対するセルの配置	187
図 10.21	六角形の枠を持つ六角格子形状の構成の例	190
図 10.22	四方格子の中に異なるピッチの別の四方格子が含まれている入力例	194
図 10.23	FREE-LATTICE-FRAME を用いた四方格子の入力例	196
図 10.24	六方格子の中に異なるピッチの別の六方格子が含まれている入力例	198
図 10.25	複数種類の STG 粒子を含んだ例	206
図 11.1	#TABLE 関数の補間法の比較 (1)	236
図 11.2	#TABLE 関数の補間法の比較 (2): LINEAR と STEP	236
図 11.3	1 変数のサンプリング関数 (#TABLE, #COSINE, #GAUSS と結果の選別)	237
図 11.4	#TABLEXY の結果	238
図 11.5	X の分布	238
図 11.6	各 X に対する Y の分布	238
図 11.7	サンプリング値を選別した場合の結果	239
図 11.8	X の分布:サンプリング値を選別した場合	240
図 11.9	各 X に対する Y の分布:サンプリング値を選別した場合	240
図 16.1	計算結果ファイルにおける Special tally の出力	321
図 B.1	CGVIEW の出力画面の構成	361
図 B.2	ランダムな粒子線による形状チェック - FLOOD	367
図 B.3	描画の際の格子階層深さの指定 - LEVEL	370
図 B.4	CGVIEW での描画位置の指定 - PAPER, SIZE	373
図 B.5	表示画面の回転: 画面に垂直な回転軸の場合 - ROT	376
図 B.6	表示画面の回転: 画面に平行な回転軸の場合 - ROTX, ROTY	377
図 B.7	CGVIEW での描画線方向の指定 - SCAN(sx sy)	378
図 B.8	表示画面のズーム - ZOOM	381

表 リ ス ト

表 5.1	物質 ID とその分類	57
表 5.2	格子内座標系の座標軸の方向	68
表 6.1	入力データで利用できる数学関数及び論理演算関数	81
表 6.2	シンボリックパラメータとして参照することのできる変数	86
表 7.1	オプションデータの省略時の解釈と相互関係	95
表 9.1	ANISN/DTF 型多群断面積データの一つのエネルギー群内のデータ配置	149
表 10.1	MVP/GMVP で使用できる BODY	160
表 10.2	物質 ID と物質の種類	178
表 10.3	格子セルの形状等を定義するデータ SZLAT	186
表 10.4	六角格子の外枠の大きさ及びセル並び座標系と格子内座標系の関係を 定義するデータ SZHEX	186
表 11.1	線源サンプリングパラメータ	212
表 11.2	サンプリングを指定されなかったパラメータのデフォルト値	212
表 11.3	線源サンプリングを行うための関数	215
表 11.4	線源パラメータの加工を行うための関数	215
表 11.5	条件サンプリングのための論理関数	233
表 13.1	ユーザーが指定しなければならない分散低減パラメータ	274
表 15.1	摂動計算入力パラメーター一覧	291
表 16.1	MVP/GMVP 共通の入出力ファイル	294
表 16.2	MVP の入出力ファイル	295
表 16.3	GMVP の入出力ファイル	295
表 16.4	MVP の断面積インデックスファイルと I/O ユニット	297
表 A.1	MVP/GMVP コード関連ファイルのディレクトリの内容	346
表 A.2	機種あるいは OS に対する環境変数 MVPHOST の設定	348
表 A.3	MVP ライブラリを準備するためのシェルスクリプト	352
表 A.4	MVP コードのサンプル問題の入力データ	354
表 A.5	GMVP コードのサンプル問題の入力データ	356
表 A.6	プログラムソースファイルの格納ディレクトリ	358
表 B.1	CGVIEW コマンド	363
表 G.1	MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model	411
表 G.2	MVP library based on JENDL-4.0 with ENDF/B-VI.8 thermal scattering data . . .	417
表 G.3	MVP library based on JENDL-4.0u1 with the free gas model	418

表 G.4	MVP library based on JENDL-4.0TZ with the free gas model	419
表 G.5	MVP photon library converted from MCNP MCPLIB library	419
表 G.6	MVP photon library based on ENDF/B-VI.8	421
表 G.7	MVP photonuclear library	423
表 G.8	MVP electron library	427
表 G.9	MVP dosimetry library	429
表 H.1	Neutron reactions in MVP neutron libraries	431
表 H.2	Photoatomic reactions in MVP photon libraries	432
表 H.3	Photonuclear reactions in MVP photonuclear libraries	433

1. はじめに

三次元の複雑な体系における中性子や光子等の粒子輸送計算には、モンテカルロ法が用いられることが多い。本法は特に幾何形状表現の自由度が大きく且つ正確なモデルが作れる点に特徴がある。更に、連続エネルギーモンテカルロ法では、多群近似を用いることなく、すべての核データをエネルギー点毎に与えることと、粒子と物質の衝突過程を可能な限り厳密に取り扱うことに特徴がある。このような利点から、モンテカルロ法は、炉心核特性計算を初め遮蔽、臨界安全、核融合炉中性子工学等の分野では、高精度の参照解を得る方法として用いられると共に、実験解析や詳細な設計を行う手段として用いられている。

一方、この手法は統計的手法であるため、信頼度の高い解を得るためには長時間の計算を必要とする。これは、モンテカルロ法の最大の課題であったが、近年目覚ましい発展を遂げている計算機能力の進歩とともに徐々に大きな障害ではなくなりつつあり、モンテカルロ法の適用分野と適用範囲はますます拡大しつつある。日本原子力研究開発機構では、20年以上前から、ベクトル型及び並列型スーパーコンピュータの能力を十分引き出す事のできる計算アルゴリズム等の研究を行い、その成果に基づいて高速・高精度モンテカルロコード MVP（連続エネルギー法）及び GMVP（多群法）の開発を進めてきた（以降、両コードを合わせて MVP/GMVP コードと呼ぶ）。現在、スーパーコンピュータの主流はベクトル型ではなく、スカラー型であり、一般の計算機環境において、MVP/GMVP コードの最大の特徴であるベクトル型スーパーコンピュータに適した事象駆動型アルゴリズム [1] を活かすことはできないが、MVP/GMVP コードは、標準並列化ライブラリ MPI[2] を用いたプロセス並列計算にも対応しており、それによるモンテカルロ計算の高速化が可能である。

MVP/GMVP コードは、1994 年に第 1 版 [3] が日本国内で公開され、多くの原子力研究機関、大学、産業界で使用されてきた。この公開版は主に原子炉の炉心解析を対象として開発されたため、幾何形状表現能力や我が国の当時の評価済み核データ JENDL-3.1[4] や JENDL-3.2[5] への対応等は十分であったが、固定線源からの粒子発生機能や各種タリー機能等には不満足な点もあり、遮蔽計算等の分野からの要望も多かった。また、ENDF/B-VI[6] 等の最新の評価済み核データでは、散乱モデルの精度向上のために二重微分断面積（ファイル 6）による表現を採用している場合も多く、MVP コードの対応が望まれていた。これらの要求に対応するために、第 1 版公開以降、MVP/GMVP コードに対して以下の改良を行った。

- ENDF-6 形式 [7] のファイル 6(MF=6) を用いて表現された散乱モデルへの対応
- 時間依存タリー
- ポイントワイズ応答関数 (pointwise response function) に対する反応率計算
- 汎用的に使用できる線源粒子発生ルーチンの開発
- MVP による任意温度における計算機能 (MVP-ART)
- 固有値問題における分散のバイアス評価法
- 点検出器評価法 (point detector estimator)、面検出器評価法 (surface crossing estimator)

- 確率論的幾何形状モデルの導入
- 炉雑音解析 (ファインマン- α 実験のシミュレーション) 機能
- 任意形状の格子枠
- 周期境界条件
- 標準ライブラリーを用いた並列化
- 対応プラットフォームの拡充

これら機能拡張により、遮蔽計算や原子炉の実機に対応した計算が可能となった。これらの成果は、MVP/GMVP 第2版 [8] としてまとめられ、2005年に公開された。

第2版公開以降も、モンテカルロ法の適用範囲をさらに拡張するために、新たな計算手法が開発されてきた。特に炉心解析分野では、実効増倍率、中性子束、反応率以外の炉物理パラメータについてモンテカルロ法で参照解を計算したいという要求があり、これに対応するために以下の計算手法を開発するとともに、それらの手法を MVP コードへ実装した。

- 実効増倍率に対する摂動計算手法
- 厳密共鳴弾性散乱モデル
- 動特性パラメータ計算機能
- 光核反応モデル
- 遅発中性子のシミュレーション
- 多群定数生成機能

実効増倍率に対する摂動計算手法は、微小反応度価値を計算するための機能である。反応度価値は実効増倍率の逆数の差から計算されるものであるが、反応度価値が小さい場合、摂動系と非摂動系で独立に計算すると、相対的な統計誤差が大きくなり、莫大な計算時間が必要となる。この問題を避けるため、相関サンプリング法と微分演算子サンプリング法と呼ばれるモンテカルロ摂動計算手法を MVP に実装した。さらに、固有値計算の摂動計算で重要となる、源摂動効果も考慮できるようにした。

厳密共鳴弾性散乱モデルは、熱炉体系におけるドップラー反応度価値の計算精度を改善するために開発された [9]。従来、一般的に用いられている散乱モデルは、約 4 eV までは標的核の熱運動による中性子の上方散乱を考慮し、それ以上では中性子の減速のみを考える漸近モデルであったが、厳密共鳴弾性散乱モデルは、全エネルギー領域で標的核の熱運動を考慮し、その際に共鳴弾性散乱確率のエネルギー依存性も考慮する近似を全く含まない散乱モデルである [10]。従来モデルに比べて、厳密モデルは軽水炉の燃料ピンセルに対するドップラー反応度価値を約 10% ほど負の方向へ大きく評価する。

動特性パラメータ計算機能は、原子炉動特性で重要となる実効遅発中性子割合と中性子生成時間を計算する機能である。これらのパラメータは、随伴中性子束で重みづけられた反応率であり、これまでモンテカルロ法で正確に計算することは困難であった。最近、随伴中性子束を反復核分裂確率 (iterated fission probability) と解釈し、随伴中性子束で重みづけられた反応率を計算する手

法やモンテカルロ摂動計算手法に基づいてそれを計算する手法が開発され、これらの動特性パラメータの参照解をモンテカルロ法で計算することが可能となった。MVP では、動特性パラメータの計算に後者の方法を採用している。

光核反応モデルと遅発中性子シミュレーション機能は、光核反応を用いた廃棄体中のウラン濃度検認法を開発するために追加された機能である。手法の詳細については、参考文献 [11] を参照されたい。

多群定数生成機能は、MOSRA-SRAC コードの PIJ モジュール [12] や SLAROM-UF コード [13] といったセル計算コードを利用せずに連続エネルギー形式の核データから多群断面積を計算する機能である。モンテカルロ法の利点である幾何形状表現の自由度を活かし、新型炉等で考慮される複雑形状の集合体に対して、近似のない正確な多群定数を計算することができる。現在、本機能によって原子炉の計算に必要なすべての多群定数を生成できるわけではなく、ベクトル形式の多群断面積とマトリックス形式の多群散乱断面積、散乱角余弦の平均値から計算される拡散係数、高次のルジャンドル展開散乱断面積のみが計算できる。

MVP に対する計算機能拡充の要求とともに、大規模モンテカルロ計算に対するニーズも高まっており [14]、このような計算に対するベンチマーク問題が提案されている [15, 16]。この問題は原子炉炉心を詳細にモデル化し、ピンレベルで詳細な出力分布を計算するものであり、膨大な数のタリー領域で反応率を計算することになる。即ち、モンテカルロコードで膨大なメモリが必要になる。これまでの MVP/GMVP コードでは、2 GB がメモリ上の制限であったが、大規模計算に対応するために 2 GB を超えるメモリを使えるようにした。改良版 (64 ビット版) の MVP コードを用いて、大規模モンテカルロ計算による原子炉の詳細解析が可能となっている [17]。

本報告書は上記機能が追加された MVP/GMVP コード第 3 版のユーザーマニュアルである。コードの入出力形式を中心にコードの使用法について詳細に説明されており、更に主要な物理モデル及び新しく付加された機能の概要についても述べられている。また、複雑な幾何形状を持つ体系の計算の場合には入力誤りと作成したモデルの妥当性を確認する労力が小さくないのでこれを支援するために、モデルを任意の平面で切った時の断面図を作図する CGVIEW コードの使用法も付録 B で併せて述べる。

今後も本コードのメンテナンスを継続し、汎用的で使いやすく且つ、高機能なコードとなるよう、ユーザーからの使用経験をフィードバックしつつ開発を進めていく予定である。

2. モンテカルロ法の基礎

粒子輸送モンテカルロ法は中性子やガンマ線などの放射線の挙動を詳しく計算するための計算手法であり、決定論的輸送計算法や拡散計算法などの同様の計算を行う他の手法に比べて原理的には正確な計算が行える点に特徴がある。粒子輸送モンテカルロ法にはこのような特長があるため、従来からいくつかのコードが開発されており、有名なものとして MORSE[18], KENO[19], MCNP[20], VIM[21] などがある。この章では、MVP/GMVP コードなどが対象とする粒子輸送計算及びそれへのモンテカルロ法の適用に関する一般的な事項と MVP/GMVP での適用についての概要を解説する。

2.1 粒子輸送計算の手法

一般的に、中性子や光子 (ガンマ線、X 線) の粒子の挙動は、時刻 t に空間内の位置 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ にあり、速度 $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ を持つ粒子の個数密度を表わす量 $n_k(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ で記述される。ここで、 k は中性子、光子の粒子の種類を表わすが、以下の記述では誤解の恐れがある場合を除いて省略する。また粒子の速度の代わりに、粒子の運動エネルギー E と、粒子の飛行方向を表わす単位方向ベクトル $\boldsymbol{\Omega}$ を変数とする粒子角度密度 $n_k(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)$ (particle angular density) を用いることが多い。 $\boldsymbol{\Omega}$ の自由度は 2 である。

粒子の挙動は次のような微分型輸送方程式 (ボルツマン方程式) [22] で表わされる。

$$\frac{\partial n(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla n(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) + \Sigma_t(\mathbf{r}, E) v n(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = \int d\mathbf{v}' \Sigma_t(\mathbf{r}, E') f(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}) v n(\mathbf{r}, E', \boldsymbol{\Omega}', t) + S(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \quad (2.1)$$

ここで、 Σ_t は全断面積、 $f(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega})$ は全断面積に対する遷移確率、 $v (= |\mathbf{v}|)$ は粒子の速さ、 $S(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)$ は粒子源である。また、全断面積に対する遷移確率は各反応タイプ x の遷移確率 f_x を用いて次のように表される。

$$\Sigma_t(\mathbf{r}, E') f(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}) = \sum_x \Sigma_x(\mathbf{r}, E') f_x(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}) \quad (2.2)$$

実際の計算は角度粒子束

$$\Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = v n(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \quad (2.3)$$

を用いた次の式を基本式として行われる。

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)}{\partial t} + \boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla \Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) + \Sigma_t(\mathbf{r}, E) \Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = \int dE' \int d\boldsymbol{\Omega}' \Sigma_t(\mathbf{r}, E') f(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}) \Phi(\mathbf{r}, E', \boldsymbol{\Omega}', t) + S(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \quad (2.4)$$

ここでは粒子と原子核の反応だけを考慮して、粒子同士の相互作用は無視しているが、中性子や光子などの電氣的に中性な粒子に対してはこのような仮定は有効であると考えられる。

モンテカルロ法以外の決定論的輸送計算手法では、一般的に (2.4) 式に現れる変数や断面積等の量を空間、時間、角度そしてエネルギーに対して離散化して解くことが多い。一方、モンテカルロ法輸送計算では、一般的に空間及び時間については離散化することなく計算できるという特徴がある。連続エネルギーモンテカルロ法では更に角度とエネルギーの離散化なしで計算を行うことができる。というのも、モンテカルロ法では粒子の振る舞いを忠実に模擬することによって確率的に輸送方程式を解いているからである。これを数学的に示すために (2.4) 式から衝突密度に関する方程式を導く。まず、(2.4) 式を積分型輸送方程式に変形すると

$$\Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = \int_0^\infty ds e^{-\eta(s)} Q(\mathbf{r} - s\boldsymbol{\Omega}, E, \boldsymbol{\Omega}, t - s/v) \quad (2.5)$$

$$\eta(s) = \int_0^s ds' \Sigma_t(\mathbf{r} - s'\boldsymbol{\Omega}, E) \quad (2.6)$$

$$Q(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = \int dE' \int d\boldsymbol{\Omega}' \Sigma_t(\mathbf{r}, E) f(\mathbf{r}; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}) \Phi(\mathbf{r}, E', \boldsymbol{\Omega}', t) + S(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \quad (2.7)$$

となる。 $\eta(s)$ は、粒子飛行方向に沿って反応断面積を積分したもので、光学的距離 (optical path length) もしくは光学的厚み (optical thickness) などと呼ばれる量である。 $Q(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)$ は、散乱によるものも含めた特定の位置、方向とエネルギーへの粒子源である。

(2.5) 式より衝突密度 $\Psi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)$ は

$$\begin{aligned} \Psi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) &= \Sigma_t(\mathbf{r}, E) \Phi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \\ &= \Sigma_t(\mathbf{r}, E) \int_0^\infty ds e^{-\eta(s)} Q(\mathbf{r} - s\boldsymbol{\Omega}, E, \boldsymbol{\Omega}, t - s/v) \end{aligned} \quad (2.8)$$

となる。更にカーネル形式で表すために、(2.8) 式を 3 次元形式に変形すると

$$\begin{aligned} \Psi(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t) &= \int d\mathbf{r}' \Sigma_t(\mathbf{r}, E) \exp \left[- \int_0^{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \Sigma_t(\mathbf{r} - s'' \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}) ds'' \right] \\ &\quad \times \frac{\delta(\boldsymbol{\Omega} \cdot \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - 1)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} Q(\mathbf{r}', E, \boldsymbol{\Omega}, t') \\ &= \int d\mathbf{r}' \Sigma_t(\mathbf{r}, E) e^{-\eta(|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|)} \frac{\delta(\boldsymbol{\Omega} \cdot \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - 1)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} Q(\mathbf{r}', E, \boldsymbol{\Omega}, t') \end{aligned} \quad (2.9)$$

となる。ここで、

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - s\boldsymbol{\Omega} \quad (2.10)$$

$$t' = t - \frac{s}{v} \quad (2.11)$$

であり、 $\delta(x)$ はディラックのデルタ関数である。

輸送カーネル (transport kernel) T と衝突カーネル (collision kernel) C を次のように定義する。

$$T(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; \mathbf{r}') = \Sigma_t(\mathbf{r}, E) e^{-\eta(|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|)} \frac{\delta(\mathbf{\Omega} \cdot \frac{\mathbf{r}-\mathbf{r}'}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} - 1)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^2} \quad (2.12)$$

$$C(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; E', \mathbf{\Omega}') = \sum_x C_x(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; E', \mathbf{\Omega}') \quad (2.13)$$

$$C_x(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; E', \mathbf{\Omega}') = \frac{\Sigma_x(\mathbf{r}, E') f_x(\mathbf{r}; E', \mathbf{\Omega}' \rightarrow E, \mathbf{\Omega})}{\Sigma_t(\mathbf{r}, E')} \quad (2.14)$$

更に遷移カーネル (transition kernel) を

$$\hat{K}(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; \mathbf{r}', E', \mathbf{\Omega}') = T(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; \mathbf{r}') C(\mathbf{r}', E, \mathbf{\Omega}; E', \mathbf{\Omega}') \quad (2.15)$$

とすると、(2.8) 式は次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \Psi(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t) &= \hat{S}(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t) \\ &+ \int d\mathbf{r}' \int d\mathbf{\Omega}' \int_0^\infty dE' \hat{K}(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; \mathbf{r}', E', \mathbf{\Omega}') \Psi(\mathbf{r}', E', \mathbf{\Omega}', t') \end{aligned} \quad (2.16)$$

ここで、 $\hat{S}(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t)$ は粒子が位相空間 $(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t)$ で初めて衝突する源 (first-collision source, first-flight collision density) と呼ばれるもので、次式で定義される。

$$\hat{S}(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t) = \int d\mathbf{r}' T(\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}; \mathbf{r}') S(\mathbf{r}', E, \mathbf{\Omega}, t) \quad (2.17)$$

簡単のために位相空間を $\Gamma = (\mathbf{r}, E, \mathbf{\Omega}, t)$ で表すと、(2.16) 式は次のようになる。

$$\Psi(\Gamma) = \hat{S}(\Gamma) + \int d\Gamma' \hat{K}(\Gamma; \Gamma') \Psi(\Gamma') \quad (2.18)$$

さて、(2.18) 式は衝突密度についての式であり、この解をノイマン級数 (Neumann series) で表すと

$$\Psi(\Gamma) = \sum_{m=0}^{\infty} \int d\Gamma' \hat{K}_m(\Gamma; \Gamma') \hat{S}(\Gamma') \quad (2.19)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} \hat{K}_0(\Gamma; \Gamma') &= \delta(\Gamma - \Gamma') \\ \hat{K}_1(\Gamma; \Gamma') &= \hat{K}(\Gamma; \Gamma') \\ \hat{K}_2(\Gamma; \Gamma') &= \int d\Gamma_1 \hat{K}(\Gamma; \Gamma_1) \hat{K}(\Gamma_1; \Gamma') \\ &\vdots \\ \hat{K}_i(\Gamma; \Gamma') &= \int d\Gamma_1 \cdots \int d\Gamma_{i-1} \hat{K}(\Gamma; \Gamma_{i-1}) \hat{K}(\Gamma_{i-1}; \Gamma_{i-2}) \cdots \hat{K}(\Gamma_1; \Gamma') \end{aligned} \quad (2.20)$$

である。(2.18) 式と (2.20) 式から分かるように、位相空間 Γ における衝突密度は、初めて Γ で衝突する粒子及び複数回飛行及び衝突を繰り返してきて Γ で衝突するものから求められる。モンテカルロ法は (2.18) 式に基づいており、源を 1 に規格化すると (2.18) 式は位相空間 Γ における衝突回数の確率密度となる。

2.2 モンテカルロ法による粒子輸送計算の手順

前節では粒子輸送を記述する輸送方程式について触れたが、実際にモンテカルロコードが輸送計算を行う手法は、輸送方程式を解くというよりも、粒子が時空間を運動する物理的イメージをそのまま模擬すると考えた方が分かりやすい。

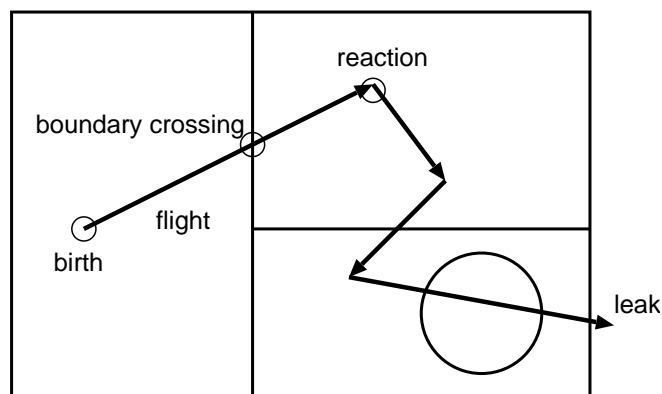


図 2.1 粒子のランダムウォーク

図 2.1 に示すように、計算機内に作られた仮想的な三次元空間内を仮想的な粒子が粒子/原子核散乱の法則を模擬するように動き回り、その粒子の挙動を記録していくことによって様々な物理量の計算を行うことができる。粒子の挙動は乱数¹を利用してランダムに(ただし、統計的には物理法則を満足するように)決められる。これがランダムウォークと呼ばれるものである。その過程で発生する事象(イベント)とそれに伴う処理は以下のようなものがある。

● **粒子の生成** 決められた空間、エネルギー、時間、粒子種類などの確率分布に従って粒子を発生し、ランダムウォークを開始する。粒子生成の情報はモンテカルロコードでは粒子源あるいは線源と呼ばれる。

● **粒子の飛行** 空間内に存在する原子核との反応(衝突)を起こすまでは、粒子は一定の方向に、エネルギーを保存したまま飛行する。衝突までの距離は粒子が通過する物質と粒子の反応断面積に従って統計的にサンプリングされる。ある点で散乱または発生した粒子が原子核と次の衝突を起こす位置までの確率密度関数は(2.12)式で表される輸送カーネルである。

全断面積が粒子飛行線上で一定のとき、衝突までの距離を x とすると確率分布関数 $p(x)$ は

$$p(x)dx = \Sigma_t e^{-\Sigma_t x} dx \quad (2.21)$$

となる。MVP/GMVP では、全断面積が空間の各部分では一定の値を持つような体系のみを扱うため、衝突までの距離のサンプリングは(2.21)式の分布から行っている。一般的に、空間は構成する物質などが異なるいくつかの領域に分けられるので、衝突を起こすまでに複数の空間領域(MVP/GMVP の用語では「ゾーン」)を通過することもあり、この場合には衝突を起こすまで指数分布によるサンプリングを2回以上行うことになる。

¹粒子輸送モンテカルロでは、いつも一様乱数が用いられる。本レポートにおいて、特に断りのない限り、「乱数」は「一様乱数」を指す。

計算する空間は有限の範囲を想定していることが多く、その範囲を出てしまった粒子のランダムウォークは終了させる。

プログラム上では、粒子の現在位置から粒子が現在存在する領域の境界までの距離の計算を何度も行う必要があり、これが計算時間の大きな部分を占めることも多い。

● **領域探索** 粒子の飛行は一般には複数の空間領域にまたがる場合が多い。そのような場合、ある空間内を飛行していた粒子が別の領域に入る必要が生じたとき「次にどの領域に入るべきか」を決定する処理が必要になる。入るべき領域は空間内での配置から機械的に決定できる場合もあるが、一般にはそうではない場合も多い。プログラム処理上はある領域から次に入るべき領域を記録(学習)しておいて探索効率を上げるといった技法が使われる。

このことから分かるように、ある領域から出ていく粒子に対して次に入る可能性がある領域の数が多くなれば領域探索にかかる処理時間は大きくなる。ユーザーは1つのゾーンに接するゾーン数を減らすようにゾーン分割に配慮する必要がある。

● **原子核との反応** 物質の原子核と衝突した粒子は、粒子・原子核反応のいくつかのチャンネルの反応断面積に従った確率分布でエネルギー、飛行方向などが変わる。吸収反応では粒子のランダムウォークを打ち切ることもある。

2.3 空間の表現

数値計算を行う場合、差分法、有限要素法、境界要素法などのように一般には空間を多数の「メッシュ」に分割し、曲面形状などは多面体で近似して表現することが多い。モンテカルロ法による粒子輸送計算の場合、粒子が動き回る空間はとくにメッシュ状に分割されている必要がなく、円柱、球といった曲面を組み合わせて直接的に三次元の空間形状を表現することができる。この章では MVP/GMVP が採用している組合せ形状表現 (Combinatorial Geometry, CG) の概念について述べる。詳細は第5章で述べられている。

2.3.1 基本形状の組合せによる三次元形状表現

MVP/GMVP では幾何形状を指定するために、円柱、直方体、楕円体、トーラスといった基本形状が用意されていて、それらを「ボディ」と呼んでいる。

空間領域(その中が一種類の物質で均一に満たされている「ゾーン」)を、それら基本形状であるボディの組み合わせで定義することができる(図2.2)。

ひとつの物質で均一に満たされている空間をひとつの「ゾーン」として定義すれば、粒子が動きまわる空間の情報は完全に表現されたことになり、そのゾーンの中に細かい「メッシュ」を作成する必要は一般的に言えない。とはいえ、ある空間領域内でどのように物理量が分布しているかを見るためにゾーンを人為的にさらに分割して複数のゾーンを定義する必要があることもある。ただ、粒子から見ればそのような分割は物理的には意味を持たず、全体として見た計算値(例えば総反応率、中性子増倍係数など)には、統計的ばらつきなどを除けば何の影響も与えない。プログラムの利用者は、細かく見たい部分に細かい空間分割を行い、特に細かい情報を必要としない部分は最低限必要な分割を行えばよい。これはメッシュ分割が計算値に本質的な影響を与える可能性がある他の手法との大きな違いである。

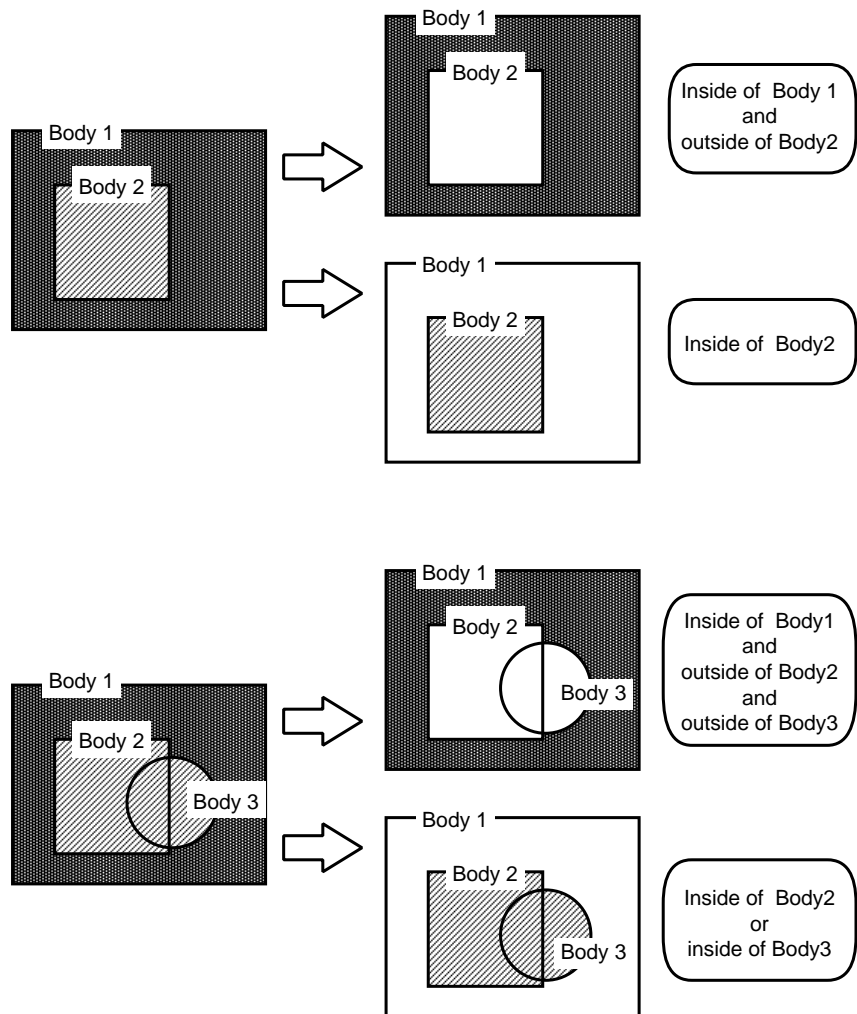


図 2.2 ボディの組み合わせによるゾーンの定義

2.3.2 繰り返しのある形状の表現 (格子形状機能)

輸送計算が対象とする問題には、原子炉炉心の燃料集合体/燃料棒の並びといった同一の形状がいくつも並んで現れることがよくある。このような形状の繰り返し単位すべてに前項のような曲面(ボディ)とその組合せを定義しなければならないとなると入力データの量が膨大なものになってしまう。そこで、このような繰り返しのある形状を簡単にモデル化するための手法が開発されてきた。この手法では、図 2.3 に示されるように、繰り返される形状の単位について一回だけ形状データを定義しておき、あとはそれを空間内に配置する規則を指定する。

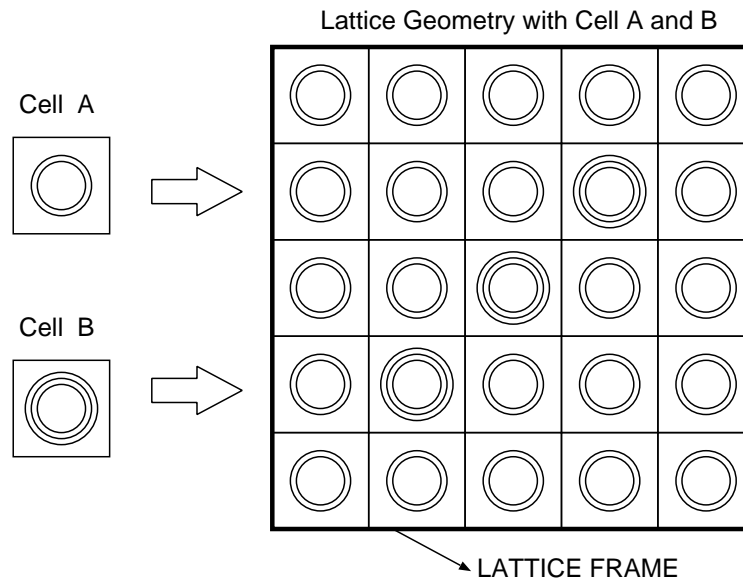


図 2.3 繰り返しのある形状の格子形状による表現

MVP/GMVP では繰り返される形状の単位を「格子セル」または単に「セル」と呼び、「格子形状」はセルとセルが並べられる空間の境界を定める「格子枠」(LATTICE FRAME) から構成される。格子形状部分自体は空間内の任意の位置と方向に配置することができ、また格子形状でない空間領域と組み合わせて使用することが可能である。

MVP/GMVP の格子形状には以下のようなタイプがある。

- 四方格子:

直方体の格子セルを密着させて縦/横/高さ方向の三次元格子に並べる。

- 六方格子:

正六角柱の格子セルを六方格子上に並べたものである。

- 確率論的幾何形状モデル:

これは「規則的繰り返しのある形状」ではないが、ある決まった球形の部分形状が一定の「充填率」を満たすように格子枠空間内に確率的に配置される特殊な形状である。MVP/GMVP では格子形状の一種として入力する。

FREE-LATTICE-FRAME オプションが指定されると格子枠の形状についてはどのような形でもよい。ただし、確率論的幾何形状では自動的にこのオプションが有効となる。FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しない場合は以下のような制限が適用される。

- 四方格子の格子枠の形状:

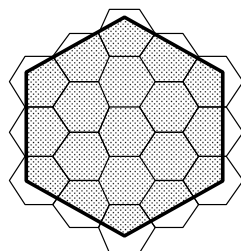
格子枠は直方体で、格子セルの並びの全体がきちんとすき間なく格子枠に収まっていなければならない。

- 六方格子の格子枠の形状:

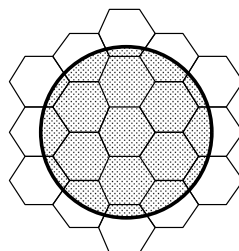
六方格子の場合、有限な数のセルをそのまま並べたのでは外側の形が「ぎざぎざ」になってしまい、格子の外側の空間部分を定義するのが面倒になる。そこで、六方格子については格子形状部分の外側に枠になる面を設け、その内側になる部分だけを格子形状部となるようにする。この場合、格子枠で切り落とされ、一部しか格子形状に属さなくなる格子セルもできることになるが、FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定していなくてもそれらを適切に扱うことができる。ただし、六角柱セルの軸方向についてはセル並びとのすき間のない形状でなければならない。

六方格子形状には「枠」の形状によって以下の3通りの格子形状がある。(図 2.4 参照。)

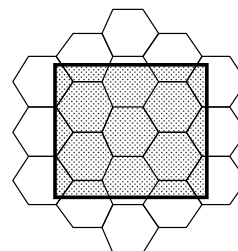
- (1) 枠が正六角柱の六方格子形状
- (2) 枠が円柱の六方格子形状
- (3) 枠が直方体の六方格子形状



**Hexagonal prism
FRAME**



**Cylindrical
FRAME**



**Rectangular
Parallelepiped
FRAME**

図 2.4 FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しないときの六方格子形状

2.4 境界条件

粒子輸送モンテカルロ法における境界条件は「仮想物質」を用いて表現されるのが一般的である。例えば、以下のような物質を考えることができる。

- (1) 完全反射物質 (perfect reflective or mirror reflective material)

その物質が配置された空間領域に入ろうとする粒子は、境界面で鏡に当たった光線のように反射される。「反射境界条件」を適用したことになる。

(2) 等方反射物質 (isotropic reflective or white reflective material)

その物質が配置された空間領域に入ろうとする粒子は物質の外側に向けてランダムに反射される。外側に向かう反射方向に対する反射確率はすべて同じである。「等方反射境界条件」を適用したことになる。

(3) 真空境界条件のための仮想物質

この物質が配置された空間領域に入った粒子のランダムウォークは直ちに終了する。「真空境界条件」を指定したことになる。

(4) 周期境界条件のための仮想物質

MVP/GMVP では周期境界条件を表現するために仮想物質を用いる。現状では、並行面の対を持つボディに対してのみ周期条件を指定することができる。60° 回転周期条件などは指定できない。

これらの仮想物質はすべて MVP/GMVP で使用することができる。MVP/GMVP では、周期境界を除いてどのような形状の空間領域にでもこれらの仮想物質を配置することができるが、物理的に意味のある使用方法になるように注意する必要がある。

2.5 核反応の取り扱い

電氣的に中性な中性子、ガンマ線等を扱う場合、粒子相互の反応は無視し、物質を構成する原子核や原子との反応だけを一般的には考慮する。中性子/ガンマ線等と原子核・原子の反応がどのように起こるかは、評価済核データファイルからの情報を基に決定されるが、その方法によって

- 連続エネルギー法
- 多群法

の2通りに分類できる。連続エネルギー法の場合、評価済核データファイルの情報を任意のエネルギー値に対して利用できる形式に断面積データを処理した「連続エネルギー形式断面積」を使用する。一方、多群法の場合、評価済核データは反応エネルギーをいくつかに分けた範囲(「エネルギー群」)毎に平均化された「多群形式断面積」を基に計算する。連続エネルギー法による計算の方が精度の高い計算ができるが、その代わり計算時間をより多く必要とすることが多い。

- 連続エネルギー法によるコード: MVP、MCNP、VIM など
- 多群法によるコード: GMVP、MORSE、KENO など

連続エネルギー法では、粒子が行う核反応は以下のように決定される。中性子と原子核との全断面積は以下のように起こりうる反応毎に決まる部分断面積の和として表わされる。

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_{el} + \sigma_{inel} + \dots, \quad (2.22)$$

$$\sigma_a = \sigma_\gamma + \sigma_f + \dots \quad (2.23)$$

ここで、 σ_a は吸収 (捕獲 σ_γ +核分裂 σ_f +...) 反応断面積、 σ_{el} は弾性散乱断面積、 σ_{inel} は非弾性散乱断面積などである。また、光子の全断面積は以下のように部分断面積の和として表わされる。

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_{coh} + \sigma_{inc} + \sigma_{pp}, \quad (2.24)$$

$$\sigma_a = \sigma_{pe} \quad (2.25)$$

ここで、 $\sigma_a, \sigma_{coh}, \sigma_{inc}, \sigma_{pp}$ はそれぞれ、吸収 (光電効果 σ_{pe})、干渉性散乱、非干渉性散乱、電子対生成断面積である。このように部分反応の総和として表現された場合、反応 x が起こる確率 p_x は

$$p_x = \frac{\sigma_x}{\sigma_t} \quad (2.26)$$

で表わされる。各反応の確率から起こるべき反応を乱数を使って決定し、あとは選択された反応に従った処理を行う。

散乱反応の処理は、通常は反応後のエネルギーと散乱される方向を決定することであるが、吸収反応の場合、次のような2通りの処理が可能である。

- アナログ吸収

吸収反応が選択された場合、粒子は消滅するものとしてランダムウォークを打ち切る (analog absorption)。

- 非アナログ吸収

粒子がすべて吸収されたのではなく、部分的に吸収されたものとして、吸収反応以外を選択する (non-analog absorption)。非アナログ吸収では「粒子の重み」という概念を導入する。これは仮想粒子が実質的に何個分の粒子として振る舞うかを示す量であり、粒子源から発生したときは通常1などにする。部分的に吸収された後の重みは、元の重みの $(\sigma_t - \sigma_a)/\sigma_t$ 倍とし、吸収以外の反応の確率は $p_x = \sigma_x/(\sigma_t - \sigma_a)$ とすればよい。

MVP コードではアナログ吸収と非アナログ吸収を中性子のエネルギーによって切り替えることが可能である。GMVP コードでは非アナログ吸収のみが使用されている。

2.6 物理量の評価法

仮想粒子をプログラム内でただランダムウォークさせているだけでは何の情報も得られない。粒子の動きをどのように物理量、直接的には粒子束に反映させるかが問題となる。ここでは、MVP/GMVP で利用できる評価法 (estimator) についてその方法と原理を示す。なお、MVP/GMVP ではランダムウォークによる統計的な物理量評価のことを「タリー」(Tally) と呼んでいる。

2.6.1 衝突による評価法 (collision estimator)

粒子輸送モンテカルロ法で評価する物理量は、衝突密度 Ψ を用いて一般的に以下のように表わすことができる。

$$I = \int_{\Gamma \in V_T} d\Gamma h(\Gamma) \Psi(\Gamma) \quad (2.27)$$

ここで、 $\Gamma = (\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}, t)$ は位相空間での「座標」(時間、位置、エネルギー、角度)、 V_T は位相空間内におけるある着目領域を表す。 $h(\Gamma)$ は Γ における衝突によるある着目反応への寄与を表す関数である。例えば、巨視的捕獲反応率を求めるときは

$$h(\Gamma) = \frac{\Sigma_c(\Gamma)}{\Sigma_t(\Gamma)} \quad (2.28)$$

であり、粒子束を求めるときは

$$h(\Gamma) = \frac{1}{\Sigma_t(\Gamma)} \quad (2.29)$$

である。一般的に $\sigma(\Gamma)$ を反応断面積、レスポンス関数等とすると

$$h(\Gamma) = \frac{\sigma(\Gamma)}{\Sigma_t(\Gamma)} \quad (2.30)$$

である。

ランダムウォークの過程で通常粒子は何度も原子核と衝突を繰り返すが、その衝突の際に着目物理量の寄与をカウントすることにより、その物理量 I を評価することができる。この評価法は衝突による評価法 (collision estimator) と呼ばれる。

衝突による評価法では一般的に

$$C_i = h(\Gamma_i) W_i \delta_{V_T}(\Gamma_i) \quad (2.31)$$

により物理量进行评估することができる。ここで、 C_i はスコアリングされた i 番目の事象からの寄与、 Γ_i はあるヒストリーにおける i 番目の衝突位置、 W_i は衝突時の粒子の重み、 $\delta_{V_T}(\Gamma_i)$ は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} \delta_{V_T}(\Gamma_i) &= 1 \text{ for } \Gamma_i \in V_T \\ &= 0 \text{ for } \Gamma_i \notin V_T \end{aligned}$$

2.6.2 粒子の飛行距離による評価法 (track length estimator)

衝突による評価法では物質がない真空領域の物理量の評価ができず、また衝突反応数が少ない領域では精度のよい評価ができない等の問題がある。このような場合、粒子がある領域を通過しただけでも物理量进行评估する方法として粒子の飛行距離による評価法 (track length estimator) がある。この評価法では、スコアリングされた i 番目の事象からの寄与は以下ようになる。

$$C_i = \sigma(L_i) W_i L_i \delta_{V_T}(\Gamma_i) \quad (2.32)$$

ここで、 L_i はランダムウォークにおける粒子の衝突間の飛行経路が領域 V_T 内を通るとき、その経路の領域 V_T 内における空間的長さである。 W_i は飛行している粒子の重みである。 $\sigma(L_i)$ と書くのは、経路 L_i 上で反応断面積などが少なくとも空間的、時間的には一定であると仮定していることを意味する。(MVP/GMVP におけるそれぞれの「ゾーン」はこの仮定に従う。) 真空領域での物理量が評価できるため、この方法はよく使用される。

この評価法は、衝突による評価法において、仮想的な衝突断面積を考えて衝突点の密度を無限大にすることにより導入された [23]。

2.6.3 点検出器評価法 (point detector estimator)

衝突による評価法 (collision estimator) あるいは粒子飛行距離による評価法 (track length estimator) では、ある有限の体積をもつ領域での積分値あるいは平均値を評価することができる。しかし、空間内のある一点における物理量の評価が必要な場合にはこれらの評価法は使えない。なぜなら、空間内の特定の点にちょうどランダムウォークの粒子が到達する確率は極めて低いからである。

そこで、特定の点における物理量は衝突点及び線源から粒子がその点まで飛んできたと仮定したときの寄与を計算することにより評価する。ある物理量を評価したい点を検出器点 \mathbf{r}_d とすると、 \mathbf{r}_d における衝突密度は (2.9) 式より

$$\Psi(\mathbf{r}_d, E, \boldsymbol{\Omega}, t) = \int d\mathbf{r}' \Sigma_t(\mathbf{r}_d, E) e^{-\eta(|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|)} \frac{\delta(\boldsymbol{\Omega} \cdot \frac{\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|} - 1)}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|^2} Q(\mathbf{r}', E, \boldsymbol{\Omega}, t') \quad (2.33)$$

である。角度粒子束はこの式に基づいて評価されるが、点検出器評価法では通常、角度積分量を評価する。この式を角度 $\boldsymbol{\Omega}$ について積分すると

$$\begin{aligned} \psi(\mathbf{r}_d, E, t) &= \frac{1}{\Sigma_t(\mathbf{r}_d, E)} \int d\boldsymbol{\Omega} \Psi(\mathbf{r}_d, E, \boldsymbol{\Omega}, t) \\ &= \int d\mathbf{r}' \frac{e^{-\eta(|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|)}}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|^2} Q(\mathbf{r}', E, \frac{\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}'|}, t') \end{aligned} \quad (2.34)$$

となる。 Q は (2.7) 式で定義されるように、線源と散乱源を含んでいるので、この式より \mathbf{r}_d における粒子束は線源から直接到達した粒子と、原子核と衝突してから散乱されてきた粒子の寄与で求められることが分かる。

実際の物理量の評価では (2.34) 式により、

$$\begin{aligned} \psi(\mathbf{r}_d, E, t) &= \sum_i W_i f(\mathbf{r}_i; E, \boldsymbol{\Omega}_i) \frac{e^{-\eta(|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_i|)}}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_i|^2} \\ &\quad + \sum_j W_j f(\mathbf{r}_j; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}_j) \frac{\Sigma_s(\mathbf{r}_j, E')}{\Sigma_t(\mathbf{r}_j, E')} \frac{e^{-\eta(|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_j|)}}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_j|^2} \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$\boldsymbol{\Omega}_i = \frac{\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_i}{|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_i|} \quad (2.36)$$

で評価する。ここで、 W_i は線源粒子の重み、 W_j は j 番目の衝突前の粒子の重み、 $f(\mathbf{r}_i; E, \boldsymbol{\Omega}_i)$ は \mathbf{r}_i においてエネルギー E の線源粒子が $\boldsymbol{\Omega}_i$ に向かう確率、 $f(\mathbf{r}_j; E', \boldsymbol{\Omega}' \rightarrow E, \boldsymbol{\Omega}_j)$ は \mathbf{r}_j においてエネルギー E' 、飛行方向 $\boldsymbol{\Omega}'$ の粒子が散乱後のエネルギー E で $\boldsymbol{\Omega}_j$ に向かう確率である。

点検出器を用いると衝突点または粒子発生点と検出点の距離及びそのパスに沿った全断面積の線積分 $\eta(r)$ を計算する必要がある。これらは衝突点または粒子発生点から検出点に向かって (あるいはその逆に) 直進する仮想的な粒子を追跡することにより求められる。従って、衝突反応のたびに仮想粒子を追跡する必要があるため、検出器が多くなると急激に計算時間がかかることになる。

また、 $1/|\mathbf{r}_d - \mathbf{r}_i|^2$ の特異点は点検出器の分散を非有界 (unbounded) とするので、検出器近くの線源または衝突からの寄与については特別な取り扱いが必要となる。加えて、点検出器の標本平均 (sample mean) の確率密度関数は中心極限定理に従わず、それゆえ、収束の速さは $1/\sqrt{N}$ (N は総ヒストリー数) よりも遅い [24]。この困難を克服するために多くの手法が提案されている。MVP/GMVP では bounded sphere approach [25] を採用している。この手法ではある有界な球 (bounded sphere) の中において粒子が発生または衝突した場合、 $\exp(-\Sigma_t r)/4\pi r^2$ の代わりに $\exp(-\Sigma_t r)/4\pi c^2$ をスコ

アリングする。定数 c は、有界な球の中で中性子束分布が一定で散乱が等方であると仮定することにより、線源または衝突から検出器への寄与が保存されるようにして決定される。

点検出器のように衝突が起こったときにある点に向かって粒子が「飛んでいったものとして」評価を行う方法は一般には next event estimator と呼ばれている。

2.6.4 面検出器評価法 (surface crossing estimator)

空間内に置かれた面を粒子が通過する事象を基に物理量を評価するのが面検出器評価法である。この方法では粒子束 (flux) よりも粒子流 (current) を考える方が自然である。

粒子束が「空間内のある点においてある方向に垂直な面を単位面積あたり通過する粒子数」として定義される量であるのに対し、粒子流は「空間内のある面上を単位面積あたりに通過する粒子の数」であり、個々の粒子の飛行方向を考慮しているかどうかの違いがある。

ある面上の位置 \mathbf{r} 、方向 Ω での粒子流 $J(\mathbf{r}, E, \Omega)$ と粒子束 $\Phi(\mathbf{r}, E, \Omega)$ の関係は粒子が面を横切る方向と面の法線方向のなす角度を θ とするとき

$$J(\mathbf{r}, E, \Omega) = |\cos \theta| \Phi(\mathbf{r}, E, \Omega) \quad (2.37)$$

となる。

面検出器評価法では、粒子流は検出器とする面を粒子が通過したときの粒子の重みをカウントすることで自然に評価できる。粒子束については、上記の式から

$$\Phi(\mathbf{r}, E, \Omega) = \frac{J(\mathbf{r}, E, \Omega)}{|\cos \theta|} \quad (2.38)$$

の関係により評価することができるが、右辺の分母に $\cos \theta$ が現れることから分かるように、面に平行に近い角度で通過した粒子があった場合、非常に大きな数値を統計値として加えることになり、統計誤差が大きくなる可能性がある。MVP/GMVP では面通過イベントの $\cos \theta$ の絶対値が 0.01 より小さい場合にはそれを 0.005 で置き換えた式で粒子束を評価するようにしている。

2.7 統計誤差

ランダムウォークによって物理量を評価する場合には計算される量には統計的な不確かさあるいはばらつきがある。そこで計算された量がどの程度信頼できるかということも同時に評価する必要がある。

モンテカルロ法で計算される計算値は正確に言えば「確率変数の平均値 (期待値) の推定値」である。確率変数 X の平均値 $\mu(X)$ は、変数値 X の出現確率を $p(X)$ とするとき

$$\mu(X) = \int X p(X) dX \quad (2.39)$$

で与えられる。これを計算で求めるときには確率 $p(X)$ に従って、独立に発生させたサンプル群

$$X_1, X_2, \dots, X_N$$

に対して、以下のような値を $\mu(X)$ の推定値とする。

$$\mu_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1, N} X_i \quad (2.40)$$

この推定値は $N \rightarrow \infty$ のとき真の期待値に収束する。このような特性をもつ推定値は統計的な偏り (バイアス) がない推定量という意味で「不偏推定量」と呼ばれる。不注意な評価法を採用すると真の期待値に収束しない「バイアスのかかった」計算値が得られるので注意しなければならない。

さて、モンテカルロ計算における「誤差」とはこのような「推定値」が「どの程度真の期待値に近い」を示す量でなければならない。このような意味での誤差を評価するには確率変数の分散 $V(X)$ を用いる。

$$V(X) = \int (X - \mu(X))^2 p(X) dX \quad (2.41)$$

$V(X)$ の推定値は

$$V_N = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1,N} (X_i - \mu_N)^2 \quad (2.42)$$

である。分母が N ではなく $N-1$ であるのは、この推定値の平均値が真の分散になること、即ち「分散の不偏推定値」にするためのものである。真の平均値ではなく推定された平均値により分散を計算することからこのようになる。

この分散の推定値は、 X がサンプリングされた母集団の分散の推定値であって、そのまま「誤差」の評価に使えるわけではない。これを「誤差」の評価に結び付けるのは、次の「中心極限定理」である。

平均 μ 、分散 σ^2 を持つ確率変数 X (確率密度関数 $f(X)$) から独立に取られた確率変数列

$$X_1, X_2, \dots, X_N$$

に対して

$$\mu_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1,N} X_i$$

の分布は $N \rightarrow \infty$ の極限で平均 μ 、分散 σ^2/N の正規分布に近づく。

この意味で計算された μ_N の分散の平方根 (標準偏差) を「誤差」と解釈することにすればよい。 σ^2 の値が前もって分かっているわけではないので、平均値と同様にこれもサンプリングした値から上記の V_N のように推定することになる。

μ_N の分散が σ^2/N に近づくことから「独立にサンプリングした確率変数の平均値の誤差 (標準偏差) はサンプル数の平方根に反比例して減少する」と考えればよいことが分かる。サンプル数 N が大きければより正確な平均値の推定ができるが、2 倍の統計精度を得るためにはサンプル数は 4 倍にする必要があるということになる。独立でないサンプルを考えればより精度を上げられるかも知れないが、統計的に正しい推定になっているのかどうかの証明が難しい等の理由で、独立なサンプルの平均値を考えるのが普通である。

2.8 ヒストリーとバッチ

MVP/GMVP のような粒子輸送モンテカルロコードで統計処理における「サンプル」や「サンプル数」はどのようにとればよいのかということを考える。モンテカルロコードの物理量の評価は

空間/時間/エネルギー等のある範囲にランダムウォークを行う粒子がやってきて特定のイベントが発生したときに行われる。そこで、物理量への寄与を計算するイベント (事象) 毎の値 – 例えば、衝突評価法なら各衝突反応が起こった時の重み – をひとつのサンプルと考え、起こったイベントの数をサンプル数にすればよさそうに思われる。しかし、これは誤りである。ひとつの粒子のランダムウォークの過程で同じ物理量に寄与するイベントが2回以上あった場合、それらのイベントで計算される寄与は統計的に独立なものとは言えないからである。サンプルとして採用できる統計的独立性を持ったものは「物理量への寄与のうち、ひとつの粒子源からのランダムウォーク過程 (ヒストリー) によって求められたものの総和」である。従って、図 2.5 に示されるように平均値と分散は以下の式で計算される。

平均値:

$$\bar{I} = \frac{1}{N_h} \sum_{k=1}^{N_h} \sum_{i \in E_k} C_i$$

分散:

$$\bar{V} = \frac{1}{N_h - 1} \sum_{k=1}^{N_h} \left(\sum_{i \in E_k} C_i - \bar{I} \right)^2$$

ここで、 N_h はヒストリー (ひとつの粒子源からのランダムウォーク経路) の総数、 E_k は k 番目のヒストリーによるイベントの集合、 C_i はスコアリングされた i 番目のイベントの数である。

「ランダムウォークを行う粒子数」ではなく「ヒストリーの数」という概念が導入されているのは、増倍反応や分散低減法によって、粒子をランダムウォークの途中で2個以上に分割することがあるためである。ひとつの粒子から分裂した粒子間には統計的相関があるので、これらの粒子による寄与をまとめてひとつのサンプルとして扱う必要がある。

MVP/GMVP や他のいくつかのモンテカルロコードでは実際には「ヒストリー」をサンプルの単位とせず、いくつかのヒストリーをまとめたもの (「バッチ」) を統計的サンプルの単位とすることが行われている (図 2.6 参照)。これは後述の固有値計算の場合に、バッチを「核分裂中性子世代」として固有値の統計的推定のサンプルに用いるからである。MVP/GMVP の場合には「ベクトル処理」を行っているために、固有値計算でない場合でも「バッチ」単位の統計を導入する必然性がある。MVP/GMVP では、多数の粒子 (正確にはヒストリー) を同時に処理することでベクトル処理を可能にしているため、各ヒストリーをサンプルにするとヒストリー毎に統計値を別のデータ領域に蓄積していく必要があり、多数の物理量を評価する際に膨大な記憶容量を必要としてしまう。そこで同一「バッチ」のヒストリーの統計情報をひとつの記憶領域にまとめて蓄積することで記憶容量が大きくなり過ぎないようにしている。

2.9 分散低減法

分散低減法 (Variance Reduction Technique) とは計算値の統計精度を上げる、即ち、計算値の統計的分散を小さくするためのテクニックである。ここで言う「分散を小さくする」とは、一定の計算時間内で目的の計算量の統計精度をどれだけ上げられるかということであって、一定時間内にランダムウォークさせる粒子数を増やすことは必ずしも同義ではない。

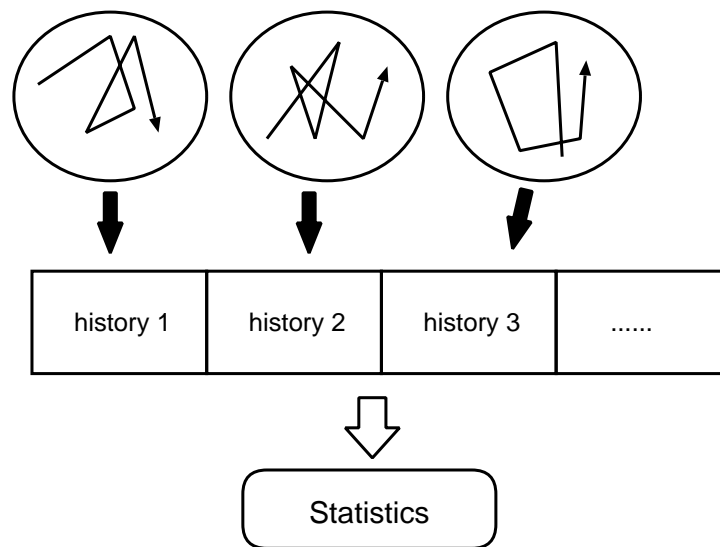


図 2.5 最小の独立なサンプル単位としての「ヒストリー」

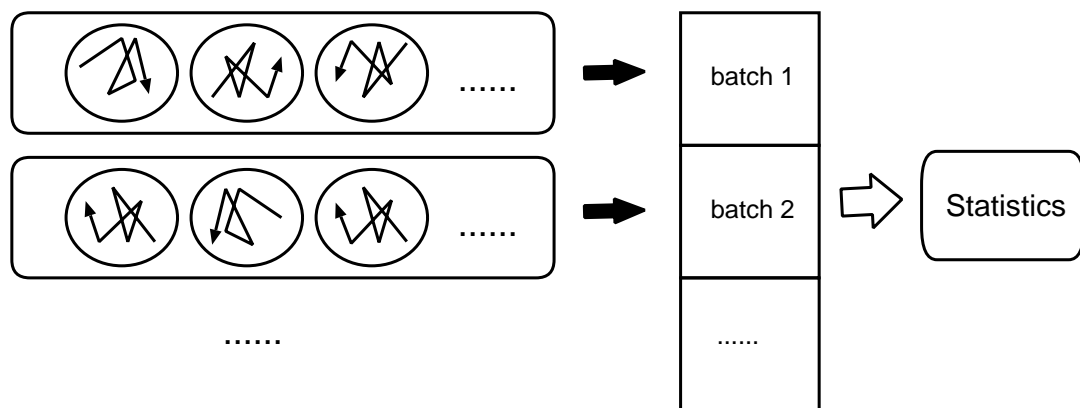


図 2.6 ヒストリーの集まりである「バッチ」を統計の単位とする場合

統計精度を上げるうえで障害になるのはたいていの場合以下のようなことである²。

- 重要度の低いところで粒子飛行や衝突が多数起こる。
- 高い統計精度を得たいところに粒子が来にくい。

統計値を注目している空間/エネルギー領域にはなかなか粒子がやって来ないのに、とくに詳しい計算値を必要としないところで粒子がいっぱい飛び回ってしまうという状態は起こり得る。例えば、炉心計算で減速材領域で中性子が多数の衝突を繰り返して、燃料部分や検出器部分になかなかやってこない、固定粒子源問題で粒子源から出た粒子が注目していない領域の方にはばかり行ってしまう、といった場合である。

そこで、計算効率を上げるには上記と逆に

²その他に形状入力などで処理効率の悪い作り方が行われているため不要な計算時間を消費するといったケースがあるが、これらはここで述べる分散低減法では解決できない。

- 重要度の低いところでは粒子飛行や衝突の回数があまり増えないようにする。
- 高い統計精度を得たいところに粒子イベントが多数起こる。

という状況をつくり出す必要がある。

しかし、単純に粒子のランダムウォークを打ち切ったり、粒子数を増やしたりするのでは、統計的に「偏り」が生じて全体として正しい計算結果が得られない。そこで GMVP/MVP などのモンテカルロコードでは原子核との衝突時の吸収反応の扱いで述べたように「粒子の重み」という概念を導入する。粒子重みは、ランダムウォーク開始時には通常 1.0 などに設定される。粒子が原子核と衝突するときに、吸収される確率の分だけ重みを減らして吸収反応を表わすのに使用される ((n,2n) 反応などでこの逆を行う場合もある)。粒子の重みが 0.5 であれば「1/2 個分の粒子」、重みが 2.0 であれば「2 個分の粒子」と考えて統計処理に反映させればよい。

分散低減法では、この「重み」を利用して統計的に正しいランダムウォークを行うようにする。つまり、

- (1) 粒子数を増やすときには、数が増えた粒子の重みの総和が保存されるように各粒子の重みは減らす。
- (2) 粒子数を減らしたら、無くなった粒子の重みは残っている粒子に与える。

前者は、特定の空間/エネルギー領域に入った粒子を重みの総和を保存して 2 個以上の粒子に分割し、以後別々にランダムウォークさせることで実現する。これをスプリッティング (splitting) と呼ぶ。それに対し、後者の方は単純には実装できない。なぜなら、ランダムウォークを行っているいくつかの粒子は、それぞれ別々の独立な時間で動いているのが原則なので、まとめて処理して「固める」べき粒子群がプログラム処理上の同一時刻に対象領域に集まっている保証はないからである (MVP/GMVP では処理の都合上複数の粒子を同時に処理しているが事情は同じ)。そこでモンテカルロコードでは、重要でない領域に来た各粒子に対してある確率で生き残る権利を与え、生き残った粒子の重みを増やす処理によってこれを行うのが一般的である。これをロシアン・ルーレットと呼ぶ。

2.9.1 ロシアン・ルーレット

ロシアン・ルーレットでは、処理後の粒子の重みの期待値が処理前と同じになるようにする。図 2.7 はロシアン・ルーレットの説明図である。処理前の粒子の重みを W_0 としたとき、次のような操作を行う。

- (A) 確率 p で粒子は「生き残る」。逆に確率 $1 - p$ で粒子は「死ぬ」。
- (B) 生き残った場合粒子に重み W_0/p を与える。殺された場合、粒子のランダムウォークは打ち切る。

「死んだ」粒子の重みは 0 と考えればよいので、ロシアン・ルーレット後の粒子重みの期待値は

$$p \cdot \frac{W_0}{p} + (1 - p) \cdot 0 = W_0$$

となり、ロシアン・ルーレット前の粒子重みの期待値と同じであることが分かる。

MVP/GMVP では確率 p のとり方に二通りの方法がある。

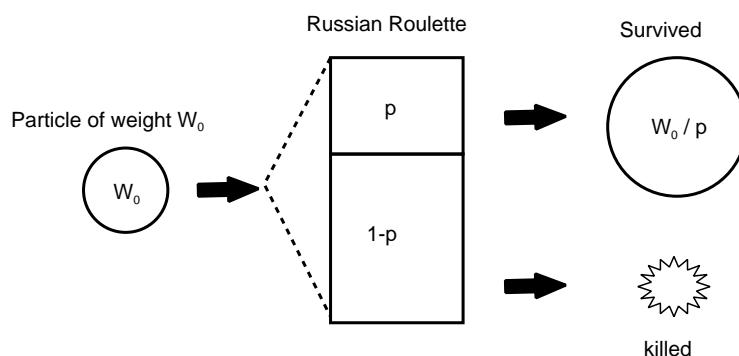


図 2.7 ロシアン・ルーレット

- W_0 より大きい決められた値 W_s に対して $p = W_0/W_s$ とする。
- 粒子がある空間/エネルギー領域から他の空間/エネルギー領域に入ろうとすると、それぞれの領域に与えられたインポートランス (importance) の値 I_0 及び I_1 が $I_0 > I_1$ であるとき、確率 $p = I_1/I_0$ のロシアン・ルーレットを行う。

前者の方法は重みによるロシアン・ルーレット、後者の方法はインポートランスによるロシアン・ルーレットと呼ばれる。MVP/GMVP の入力データ WSRV は W_s に、XIMP は I_0 や I_1 にそれぞれ対応していて、領域 (REGION) 及びエネルギー依存で与えることができる。重みによるロシアン・ルーレットの場合、実際にはある重み W_k 以下の重みの粒子に対して処理が行われるようになっている。WKIL はこの W_k に対応していて、これも空間領域及びエネルギー依存で与えることができる。

ロシアン・ルーレットで注意すべきことは「やり過ぎない」ということである。生き残り確率が極端に低いロシアン・ルーレットを行ったら、いかに注目していない領域とはいえ通過する粒子が極端に減ってしまい統計的な意味が無くなってしまいかもかもしれないからである。

2.9.2 スプリッティング (粒子分割)

スプリッティングにも、重みとインポートランスによる 2 通りの方法があり、MVP/GMVP では次の方法で行っている。

- 粒子重み W_0 が W_s の 2 倍より大きいとき、それぞれ W_s の重みを持つ W_0/W_s 個の粒子に分割する。 W_s は入力変数 WSRV で与えられる。
- 粒子がある空間/エネルギー領域から他の空間/エネルギー領域に入ろうとすると、それぞれの領域に与えられたインポートランス値 I_0 及び I_1 が $I_0 < I_1$ であるとき I_1/I_0 個の粒子に分割する。各粒子の重みは $W_0 \cdot (I_0/I_1)$ とする。

分割個数 W_0/W_s 、 I_1/I_0 が整数でないときも統計的に分割個数の期待値がこれらの値になるような処理が行われる。

2.9.3 パス・ストレッチング (指数変換)

パス・ストレッチング、はある指定された方向で衝突の間の飛行距離を伸ばし、その反対の方向では飛行距離を縮める分散低減法である。この手法は指数変換とも呼ばれ、深層透過問題でよく用いられる。

散乱反応後に粒子の飛行方向が決定したとき、次の衝突点までの距離 x は以下のように指数分布からサンプリングされる。

$$p(x)dx = \Sigma_t e^{-\Sigma_t x} dx$$

ここで、 Σ_t は全断面積、 ξ は乱数であり、この確率分布よりサンプリングされる距離 s は

$$s = -\frac{\ln \xi}{\Sigma_t},$$

で与えられる。全断面積が大きい時にはサンプリングされる飛行距離は小さくなり、全断面積が小さい時には飛行距離は大きくなる。

これに対し、以下のようなバイアスのかけられた分布からサンプリングすることを考える。

$$\begin{aligned} \tilde{p}(x)dx &= \tilde{\Sigma}_t e^{-\tilde{\Sigma}_t x} dx, \\ \tilde{\Sigma}_t &= (1 - \beta)\Sigma_t \end{aligned}$$

この時、サンプリングされた距離 \tilde{s} は

$$\tilde{s} = -\frac{\ln \xi}{\tilde{\Sigma}_t} = \frac{1}{1 - \beta} s.$$

で与えられる。 β を 0 と 1 の間に選べば、全断面積を小さくしたことになり、サンプリングされる飛行距離は「大きめ」になる。負の値にすればその逆になる。図 2.8 はパス・ストレッチングを表している。点線で記された円は等方的な飛行距離 s を表しており、実線で記された楕円はバイアスのかけられた距離 \tilde{s} の分布を示している。 β の値が 0 と 1 の場合は飛行距離は伸ばされ、負の場合は縮められる。

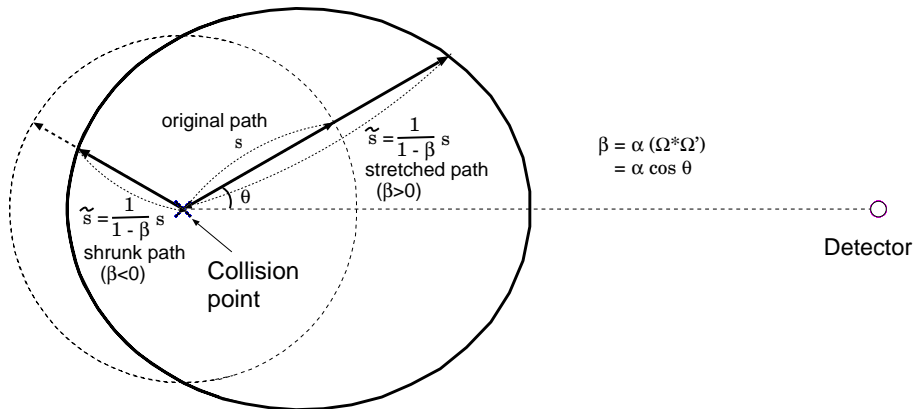


図 2.8 パス・ストレッチング

MVP/GMVPでは β を、粒子の現在位置 \mathbf{r} から空間内の指定した点 \mathbf{c} (入力データ PSXYZ)に向かう方向と散乱後の飛行方向 Ω の間の角の余弦を用いて、

$$\beta = \alpha \Omega \cdot \Omega',$$

$$\Omega' = \frac{\mathbf{c} - \mathbf{r}}{|\mathbf{c} - \mathbf{r}|},$$

のように決定する。ここで、 α はMVP/GMVPの入力データ PSALPで各空間領域(REGION)ごとに与える量である。

このままでは実際の飛行距離分布と異なる分布からのサンプリングになるため、散乱後の粒子の重みを以下のように補正する。

$$W' = \frac{p(x)}{\tilde{p}(x)} W = \frac{e^{-\beta \Sigma_t x}}{1 - \beta} W$$

ただし、MVP/GMVPでは飛行距離のサンプリングは「空間ゾーン」(ZONE)毎に行われており、そのため1つの粒子飛行パスが複数のゾーンにまたがるケースを考慮しなければならない。つまり、サンプリングされた距離 x がゾーン境界までの距離 D より大きい場合には粒子は別のゾーンに進入することになり、その進入点から新しいゾーンの全断面積を使用した衝突距離サンプリングを行うようになっている。このため、サンプリングされた距離が D より大きくなり粒子が別のゾーンに移動することになる場合には、重みの補正はサンプリング距離が D より大きくなる確率 $\int_D^\infty p(x)dx$ を用いて、

$$W' = \left(\int_D^\infty p(x)dx / \int_D^\infty \tilde{p}(x)dx \right) W = \frac{e^{-\Sigma_t D}}{e^{-(1-\beta)\Sigma_t D}} W = e^{-\beta \Sigma_t D} W \quad (\text{if } x > D)$$

とする。

2.9.4 分散低減オプション

MVP/GMVPでは、4通りの分散低減オプションが指定できる。

- RUSSIAN-ROULETTE: 重みによるロシアン・ルーレットのみ行う。
- IMPORTANCE: インポートランスによるロシアン・ルーレットとスプリットティングを両方行う。
- WEIGHT-WINDOW: 重みによるロシアン・ルーレットとスプリットティングを両方行う。
- PATH-STRETCH: パス・ストレッチング(指数変換)を行う。

3番目のオプションが“ウェイト・ウィンドウ(weight window)”と呼ばれるのは、粒子の重みが $W_k < W < 2W_s$ の範囲(重みの窓)に入っている粒子だけが無条件に「通過」できるからである。窓に入らない粒子はロシアンルーレットまたはスプリットティングの後に、ウェイト・ウィンドウに入っている粒子として通過する。

MVP/GMVPにおける分散低減の方法の基本は以下の通りである。

- インポートランスを使用する場合には、注目する領域のインポートランスを相対的に大きくする。
- ウェイト・ウィンドウの場合には、注目する領域の窓を「低く」、注目しない領域の窓を「高く」する。

2.10 固定粒子源問題と固有値問題

MVP/GMVP での計算には、「固定粒子源問題」と「固有値問題」の2つのモードがある。

- 固定粒子源問題

ランダムウォークの開始時の粒子発生位置、エネルギー等の分布関数がユーザ入力で与えられる。遮蔽解析などに用いるモード。

- 固有値問題

核分裂性の物質を含む体系の中性子増倍率を固有値問題として計算する。原子炉炉心解析、臨界解析等がこれに含まれる。

固定粒子源問題については、与えられた粒子源分布からサンプリングを行い、それら粒子のランダムウォークを繰り返すという比較的単純な処理となるが、固有値問題の場合、粒子源である核分裂中性子の発生分布(固有モード)は計算開始時には分からないという問題がある。そこで、固有値問題の場合には以下のような処理が行われる。

- (1) 核分裂中性子の発生分布については適当な分布を初期分布として与え、最初の「バッチ」(世代)の中性子はこの初期分布から発生させる。
- (2) ランダムウォーク中に衝突反応が起こった場合、核分裂反応によって発生する中性子の個数を評価し、それらのうち一定の個数を「核分裂中性子」として発生場所を登録する。MVPでは核分裂を起こした核種と衝突中性子エネルギーも登録される。このとき、空間領域毎に入力されるデータWGTFを「核分裂中性子」として登録するときの重みとする(282ページ参照)。核分裂中性子はこのバッチでは追跡されない。つまり、核分裂事象は固有値問題においては吸収として扱われる。
- (3) そのバッチの粒子源粒子の総重みに対する、核分裂反応によって発生する中性子数の計算値の比を計算し、それをこのバッチにおける増倍率の計算値とする³。
- (4) 2番目以降のバッチの中性子源は1つ前のバッチで登録された「核分裂中性子」から統計的な偏りがないように適当に選ばれたものを使用する。

このような手順でバッチを計算していきながら、各バッチで得られた増倍率の平均値を固有値として計算する。この手順はモンテカルロ法以外の決定論的計算手法で用いられる「外部反復」と類似性がある。

ただし、上記の手順には以下のような問題点がある。

- 中性子源を1つ前のバッチで発生したものから得ているため、各バッチの増倍率の計算値は厳密に言えば統計的に独立ではない。
- 計算初期のバッチでは核分裂中性子の発生分布が固有モードとは違う可能性があるため、これらのバッチでの増倍率の計算値は信用できない。しかし、どの程度の回数のバッチで固有モードに近い分布が得られるかを評価する良い方法がない。

³MVP/GMVPの増倍率評価法は実際にはここに記述した方法以外に数通り用意されている。詳細は後述の章で解説される。

これらの問題点を認識した上で、MVP/GMVPでの固有値計算においては以下のような注意を払う必要がある。

- (a) 1つのバッチ当たりのヒストリー数(入力データ“NHIST”)はむやみに小さくしないこと⁴。
経験的に言えば、バッチ当たり数千個以上のヒストリーを割り当てるのが望ましく、大きく複雑な体系においてはさらにこの数を大きくする。
- (b) 初期のバッチは統計処理に含めないようにする。これをMVP/GMVPでは「捨てバッチ」と呼んでいる。MVP/GMVPには、これを入力時に指定することができる(データ“NSKIP”)。大きく複雑な体系については、除くバッチの数をより大きくするのが望ましい。
- (c) 核分裂中性子として登録される中性子の重みWGTFが実際の固有値に比べて大きいかまたは同程度の場合、十分な数の核分裂中性子が登録されない場合がある。計算上は次の世代の中性子源生成時に同一の空間位置から2個以上の中性子を発生することで対処しているが、このような状態になると世代間の統計的相関が大きくなり望ましくない。WGTFを想定される固有値より小さい値に設定すべきである。
- (d) 可能であれば、初期の中性子源には他の類似の体系で得られた核分裂中性子分布を利用する。MVP/GMVPの第2版以降にはこの機能が備わっている(中性子源に“#FISSIONFILE”機能を使用 → 223 ページ)。

MVP/GMVPには、バッチ毎の中性子増倍率計算値の間の統計的相関を考慮するにより、固有値の計算値の統計誤差をより信頼性の高い方法で評価する機能が組み込まれている。これを「真の分散の評価」と呼んでいる。詳細については4.4節で解説される。

⁴ベクトル処理型計算機を用いる場合、この数が大きいと計算が速くなる効果もある。

3. コードの概要

連続エネルギー法コード MVP 及び多群法コード GMVP の概略の機能、これらのコードの特徴であるベクトル処理の方法、及び並列化について述べる。

3.1 機能

MVP 及び GMVP コードの機能の概略を以下に示す。機能の詳細については次章以下または入出力説明部に記述されている。

(1) 対象とする問題

固有値問題及び固定粒子源問題を解くことができる。多群コード GMVP は中性子、光子、及びその結合問題について forward 及び adjoint 粒子束等を求めることができる。連続エネルギーコード MVP ではこれらの問題について forward 粒子束を求めることができる。時間依存計算を行うこともできる。

(2) 幾何形状

形状表現は三次元形状オブジェクトの組合せ演算によって空間を表現する組み合わせ形状 (Combinatorial Geometry) に基づいている。現在使用可能な形状は以下のものである。

- 平面で構成されるボディ: 半空間、平行六面体、直方体、三角柱、正六角柱
- 二次曲面と平面で構成されるボディ: 円筒、球、円錐台、楕円錐台、回転楕円体、三軸不等長楕円体
- 任意の二次曲面及びトーラス

また、繰り返しのある形状を表現するための多重四方格子、六方格子形状機能がある。更に、確率論的幾何形状モデル [26, 27] も用いることができる。

(3) 線源の種類

さまざまな形式のエネルギー、角度、空間、時間依存の分布関数を指定する機能を持っている。

(4) 断面積

多群コード GMVP では ANISN 型ルジャンドル展開形式群定数または二重微分型断面積 [28] が使用できる。連続エネルギーコード MVP では専用の核データライブラリーを使う。このライブラリーは評価済核データファイル (JENDL、ENDF/B 等) からライブラリー作成コード LICEM[29] を用いて中性子、光子用のデータファイルが作成されている。非分離共鳴領域の断面積は確率テーブル法を用いて表している。MVP では入力において温度を指定するだけで任意温度の中性子断面積を用いることができる。

(5) 境界条件

真空、完全反射、等方反射条件、周期境界条件 (平行移動) のいずれか又はその組み合わせが可能である。

(6) 分散低減法

ロシアン・ルーレットとスプリッティング、及びそれらを用いたインポートランス・サンプリング、ウェイト・ウインドウが使用可能である。また、パス・ストレッチング及び線源バイアスも行うことができる。

(7) 評価法

粒子束の評価法は、飛程長評価法 (track length estimator)、衝突評価法 (collision estimator)、点検出器評価法 (point detector estimator)、面検出器評価法 (surface crossing estimator) が現在使用可能である。また固有値は、飛程長評価法、衝突評価法、アナログ評価法 (MVP のみ) を用いた中性子増倍法及び中性子バランス法でそれぞれ計算され、最尤法によりこれらを組み合わせで最確値と分散が出力される。

(8) タリー (統計)

基本的な統計量として多群コード GMVP では、空間領域 (REGION)、エネルギー群毎、時間ビン毎の粒子束、反応率そして固有値とそれらの分散が計算される。連続エネルギーコード MVP では上記に加え指定した領域の平均実効微視及び巨視断面積と反応率が計算される。これらは特に指定しなければ空間領域単位に計算されるが、それらの任意の組み合わせに対して別にタリーを取る事も可能である。更に格子形状を用いた時は、任意の格子、セル、領域毎、またはそれらの任意の組み合わせに対してもタリーを取る事が可能である。また、これらの結果はファイルに出力され、作図プログラムの入力データ、燃焼計算コードの反応率などに用いることができる。

(9) 幾何形状表示

MVP/GMVP コード自身がテキスト出力として形状断面を出力する機能を持っている。また MVP/GMVP の入力データから形状を表示する CGVIEW コードにより、任意の平面で切った時の断面図の描画等による形状チェックや、イメージファイルやポストスクリプト (Postscript) ファイルに画像を出力することができる。

(10) 燃焼計算

MVP/GMVP コードシステムに組み込まれているコード MVP-BURN を用いて燃焼計算が可能である [30]。

3.2 ベクトル計算

従来のスカラー計算機を対象としたコードでは「ヒストリー駆動型アルゴリズム」を用いている。これは、一つの粒子の起こす事象を逐次追跡し、そのヒストリーが終わった時、次の新しい粒子の追跡を始めるという方式である。(図 3.1 参照。) これに対し、ベクトル化コードは全く異なる「事象駆動型アルゴリズム」を用いており、ベクトル型計算機による高速処理に適している。

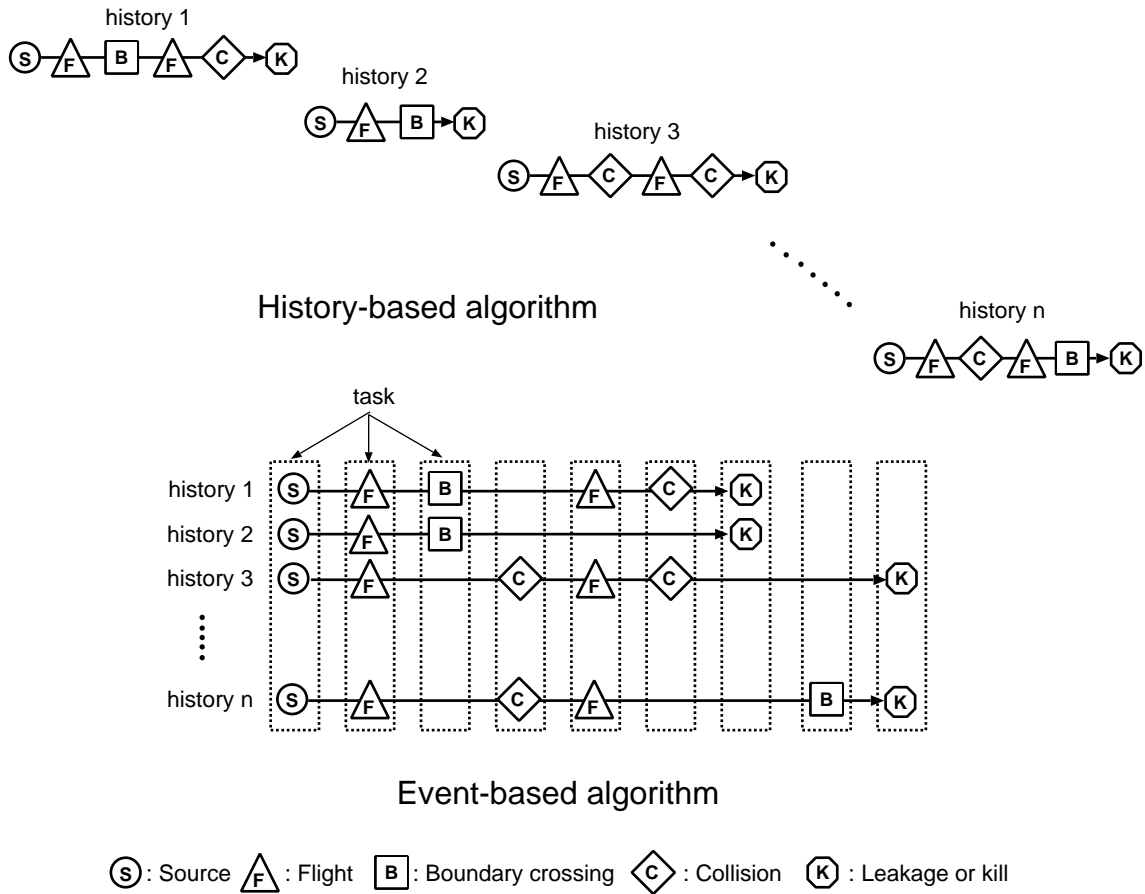


図 3.1 ヒストリー駆動型アルゴリズムと事象駆動型アルゴリズムの比較

その方法はいくつか考えられるが、MVP/GMVP はスタック駆動領域選択型アルゴリズム [31] を用いている。

この方法では多数の粒子(一つの「バッチ」の全ての粒子。「バッチ」の意味については 2.8 を参照。)を同時に追跡の対象としている。そして、ベクトル化率を上げるために演算のベクトル長が最も長い事象及び領域から処理を行う。(図 3.1 参照。)従って演算は各粒子の時間経過とは独立に行われる。この事象単位の処理を MVP/GMVP では「タスク」と呼び、それらの流れを図 3.2 に示す。全ての計算は Source(線源)の計算に始まり、Flight(粒子の自由飛行の追跡)に移る。その後はどのタスクが選択されるかはそのタスクを待つ各領域の粒子数によって決まるので前もっては予測できない。各タスクの処理を待つ粒子のプログラム内での粒子番号等を格納した配列は「事象スタック」と呼ばれる。また、一つのバッチで処理される粒子全体の属性(位置、エネルギー等)を格納した配列群が存在し、これらは「粒子バンク」と呼ばれる。

MVP/GMVP は可能な限りベクトル化が出来るように工夫されており、そのベクトル化率((スカラー計算での全 CPU 時間)−(ベクトル計算でのスカラー演算に対する CPU 時間)/(スカラー計算での全 CPU 時間))は多くの場合 95%以上である。ベクトル化計算では高速化率はベクトル長に大きく依存する。MVP/GMVP の場合、ベクトル長はほぼ 1 バッチ当たりの粒子数に比例するので、ベクトル計算機ではバッチサイズ(粒子バンクのサイズ)を大きく取ることにより高速な計算が可能となる。しかし、必要な記憶容量もバッチサイズに比例して大きくなるので利用可能資源と統計

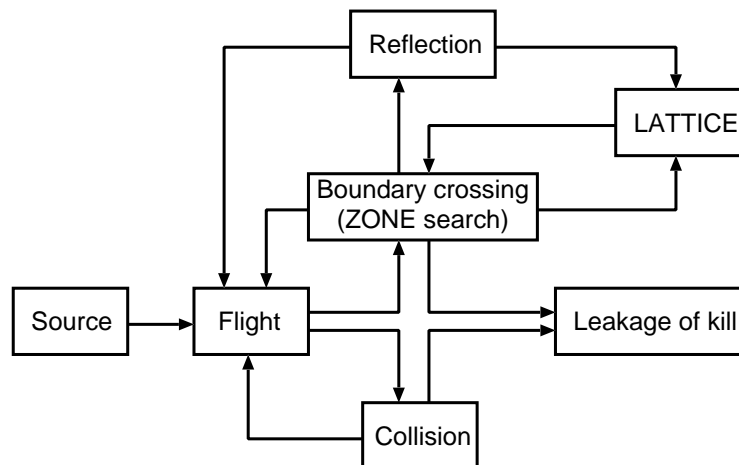


図 3.2 MVP/GMVP コードにおける計算タスク

処理に必要なバッチ数を勘案してバッチサイズを決めるべきである。もし可能であるなら、バッチサイズ 10,000 以上にすることが望ましい。

3.3 並列計算

MVP/GMVP は複数 CPU を利用した並列計算にも対応している。現在のところ、共有メモリ型並列ベクトル計算機、及び分散メモリ型並列計算機及びネットワーク結合された複数マシンのクラスタ環境に対応している。

並列処理方法は計算機や環境依存性が強く、プラットフォームに応じて多少異なる部分もあるが、基本的には図 3.3 に示すようになる。まず処理要素数 (Processing Element 数、以下では PE 数と呼ぶ。) を設定し、入力データを読み込む。その後、固定源問題では 1PE 当りに処理するバッチ数、固有値問題では 1PE 当りに処理するバッチサイズ (1 バッチ当たりのヒストリー数) を決定する。それから、乱数の種を発生、各 PE を起動し、データを送信したのち、ランダムウォークを各 PE において行う。全 PE でランダムウォークが終了すると、各 PE の計算結果を受信し、統計処理を行う。

固定源問題の並列計算では複数 PE によってバッチ単位で分割処理することができ、各タスクにおいて N_b/n バッチ (N_b はバッチ数、 n は PE 数) づつ処理を行う。しかし、固有値問題ではバッチ (中性子世代) 間に依存性があるため、バッチ毎に独立に処理することができない。そのため、図 3.4 に示すようにバッチサイズ (NHIST) を PE 数分に分割した固有値問題を独立に計算して、それらを最終的に積算して統計処理を行う。この場合、バッチサイズがあまりに小さい (例えば 100 以下) と固有値とその分散にバイアスがかかる可能性があるため、注意する必要がある。また、ベクトル並列機で処理する場合には、バッチサイズが小さいとベクトル長が短くなり、計算効率が悪くなるので、なるべく小さくならないような配慮が必要になる。

計算機クラスタあるいは分散メモリ並列計算機上での並列計算には、標準規格として広く普及している MPI(Message Passing Interface)[2] を用いている。

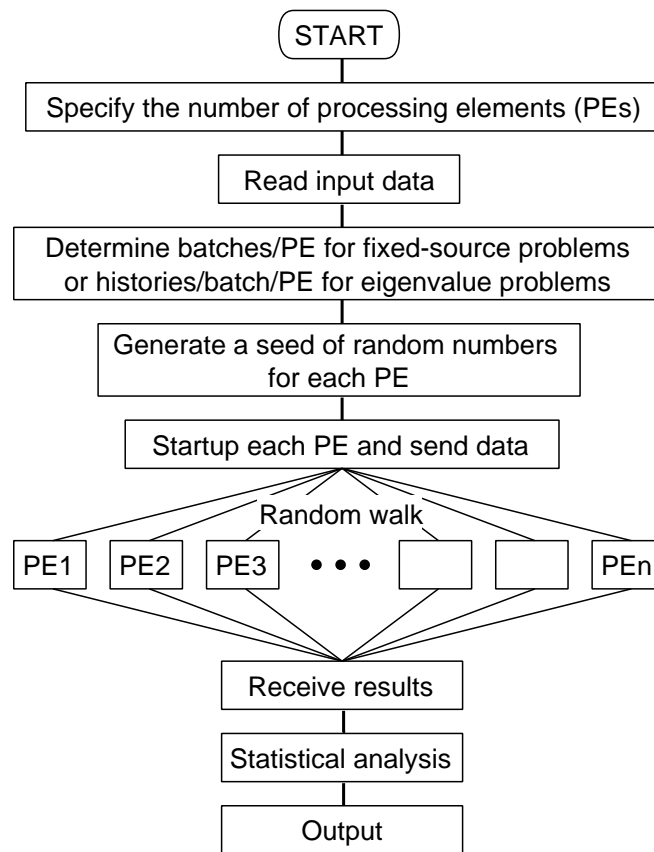


図 3.3 並列処理の流れ

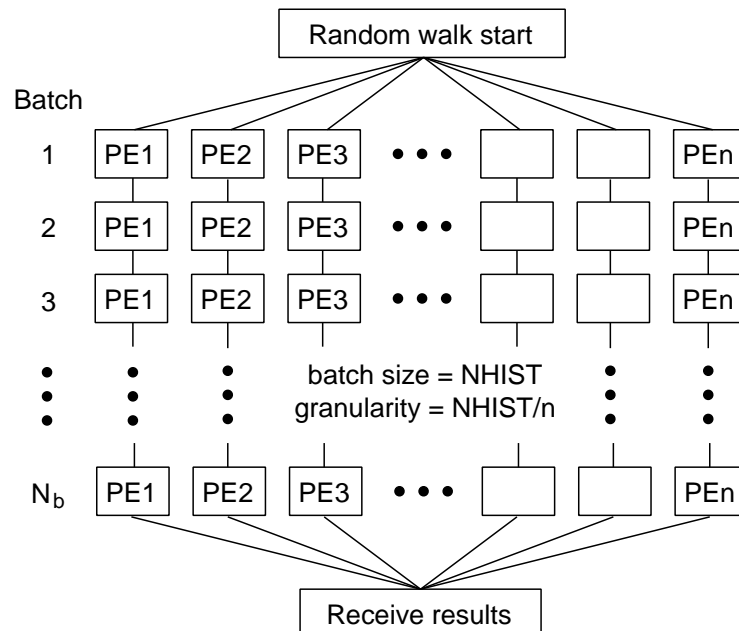


図 3.4 固有値計算における並列処理

4. 物理モデル

4.1 断面積の表現

MVP コードでは中性子及び光子の反応を扱うことができ、それぞれ任意の粒子エネルギーに対して反応断面積及び反応形式が決定できるようになっている。

4.1.1 中性子断面積

中性子の核反応及び輸送計算の対象となるエネルギー範囲は 10^{-5} eV から 20 MeV である。この範囲内において評価済み核データファイルに与えられている全ての反応は陽に扱われる。MVP で必要とする断面積データファイルはライブラリ作成コード LICEM[29, 32] で評価済み核データから核種毎に作成される。このデータファイルには温度内挿のためのデータも含まれており、任意の温度における断面積を生成することが可能である。

作成されたライブラリでは、微視反応断面積は詳細なエネルギー点毎に与えられている。このエネルギー点は線形化された断面積の要求精度 (通常は 0.1%) を満たすように選ばれている。分離共鳴領域は、共鳴パラメータから各点の断面積がファイルに指示されている共鳴公式に従って生成される。与えられたエネルギー点間では直線-直線内挿によって任意のエネルギーに対する断面積が決定される。非分離共鳴領域では確率テーブル法に基づいて、そのつど断面積を決める。即ち、捕獲、弾性散乱、核分裂断面積 ($\sigma_\gamma, \sigma_{el}, \sigma_f$) の値のセットとそれをとる確率 p が与えられており、乱数を用いて決定する。

衝突後の二次中性子が持つエネルギーと角度も評価済みファイルに基づいて分布関数または確率テーブルとして各エネルギー点で与えられる。角度分布は等確率余弦ビンテーブルで表現され、カイネマティックスの利用できる反応 (弾性散乱と離散レベル非弾性散乱) に対しては重心系、その他の反応は実験室系で与えられる。エネルギー分布が分布関数で表現されている場合は、関数の各パラメータが直線-直線内挿できるように決められた入射エネルギーに対して与えられている。

一方、テーブル形式のエネルギー分布では、直線-直線内挿ができるように散乱後のエネルギー点が決められている。あるエネルギー E を持つ入射中性子に対して用いる確率テーブルは $E_{i+1} \leq E \leq E_i$ となる直近の二つのエネルギー点 E_{i+1}, E_i におけるいずれかが確率的に選択される。即ち、評価済み核データの内挿法の指定に応じて、確率

$$p_i = \frac{E - E_{i+1}}{E_i - E_{i+1}} \quad (4.1)$$

あるいは、

$$p_i = \frac{\ln(E/E_{i+1})}{\ln(E_i/E_{i+1})} \quad (4.2)$$

で i 番目が、確率 $1 - p_i$ で $i + 1$ 番目の確率分布が用いられる。前者を線形補間 (linear-linear interpolation)、後者を対数線形補間 (log-linear interpolation) と呼ぶ。これは、確率分布

$$P(E'; E) = p_i P(E'; E_i) + (1 - p_i) P(E'; E_{i+1}) \quad (4.3)$$

からのサンプリングに対応している。

最近の評価済み核データでは、新しい方法 (the method of corresponding points と the unit-base interpolation) が二次粒子のエネルギー分布に対して用いられている。両方の内挿法に対して、二次粒子のエネルギーは以下のような近似法でサンプリングされる。まず、1つの確率テーブルが上記で述べられたように選択され、二次粒子のエネルギーはそのテーブルからサンプリングされる。両方の確率テーブルはそれぞれ以下のような範囲

$$\begin{aligned} P(E'; E_i) & \text{ for } E'_{i,\min} \leq E' \leq E'_{i,\max}, \\ P(E'; E_{i+1}) & \text{ for } E'_{i+1,\min} \leq E' \leq E'_{i+1,\max}, \end{aligned}$$

で定義されているとすると、入射エネルギー E に対する最大及び最小エネルギーは

$$E'_{\max} = p_i E'_{i,\max} + (1 - p_i) E'_{i+1,\max}, \quad (4.4)$$

$$E'_{\min} = p_i E'_{i,\min} + (1 - p_i) E'_{i+1,\min} \quad (4.5)$$

で計算される。このとき、二次粒子のエネルギー E' は以下のようにして決定される。 E_i の確率テーブルが選択され、サンプリングされたエネルギーが E'_i であるとき、

$$E' = E'_{\min} + \frac{E'_i - E'_{i,\min}}{E'_{i,\max} - E'_{i,\min}} (E'_{\max} - E'_{\min}) \quad (4.6)$$

で計算される。 E_{i+1} の確率テーブルが選択され、サンプリングされたエネルギーが E'_{i+1} であるとき、

$$E' = E'_{\min} + \frac{E'_{i+1} - E'_{i+1,\min}}{E'_{i+1,\max} - E'_{i+1,\min}} (E'_{\max} - E'_{\min}) \quad (4.7)$$

で計算される。

エネルギー角度分布が ENDF-6 形式 [6] のファイル 6 の二重微分断面積で与えられている場合は MVP は以下のように表現された分布を取り扱うことができる。

- (1) Kalbach システムティックスに基づく連続エネルギー角度分布 (ENDF-6 のファイル 6, LAW=1 LANG=2)
- (2) N 体位相空間分布 (ENDF-6 のファイル 6, LAW=6)
- (3) 実験室系でのテーブル形式角度エネルギー分布 (ENDF-6 のファイル 6, LAW=7)

4.1.2 光原子反応断面積

光原子反応 (光子と原子の反応) 断面積ライブラリは、ENDF-6 形式の評価済み核データファイルのファイル 23 (smooth cross sections) とファイル 27 (atomic form factors and scattering functions) に与えられている全ての反応を陽に取扱うことができる。光子輸送計算の対象となるエネルギー範囲は 1 keV ~ 100 MeV であり、任意のエネルギーにおける断面積は、エネルギー点毎に与えられたデータから、log-log 内挿によって求められる。従って、全断面積に関しては、ライブラリに与えられてはいるが、実際の計算では任意のエネルギーに対して計算された部分反応断面積の和が用いられる。

現在、MVP用の光原子断面積ライブラリとして2種類のものが利用可能である。1つは、評価済み核データファイルを直接処理する代わりに、MCNP用光原子断面積データファイルMCPLIB[33, 34]を変換することによって作成したものである。もう1つは、ENDF/B-VI.8を処理して作成した光原子断面積ライブラリである。ENDF/B-VI ファイル中には蛍光放出データ (fluorescence data) が与えられていないため、MCPLIB ライブラリと同様、参考文献 [35] のデータを採用した。ただし、原子番号が94より大きい元素については、蛍光放出データが与えられていないので、暫定的に原子番号が94のデータを採用するようにしている。

また、thick target 近似を用いたコンプトン反跳電子や対生成電子・陽電子等による制動 X 線の発生のためのデータは、MVP 電子ライブラリに含まれている。MVP 電子ライブラリは、元素毎に MCNP4 用電子断面積データファイル EL1[34] のデータから作成されている。

4.1.3 光核反応断面積

MVP用の光核反応(光子と原子核との反応)断面積は、IAEA 光核データライブラリ (IAEA Photonuclear Data Library)[36]を処理して作成されている。このライブラリは、いくつかの研究機関が評価した光核データをまとめたものであり、JENDL(日本)、KAERI(韓国)、CNDC(中国)、LANL(米国)、BOFOD(ロシア)によって評価されたものが含まれている。これらの評価済みデータは、ENDF-6形式で記述されており、光核データに改良した LICEM システムで MVP 用断面積ライブラリを作成している。エネルギーの下限値は核種によって異なり、低いもので 1 MeV から評価されている。上限値は評価した研究機関によって異なり、JENDL、KAERI、CNDC、LANL、BOFOD でそれぞれ、140 MeV、140 MeV、30 MeV、150 MeV、20 MeV となっている。

MVP の光核反応で取り扱う反応は、表 H.3 に示す通りである。ENDF-6形式を元に 135 の反応番号を用意している。このうち、実際に番号を割り当てているのは 85 反応である。光核反応の全反応断面積は MT=3 で定義される。ENDF-6形式では、MT=3 は弾性外反応 (non-elastic reaction) として割り当てられており、弾性散乱以外の反応の和として定義されているので、光核反応では実質上、これが全断面積となる。MVP では、全反応断面積 (MT=3) を MT=5-97 と MT=102-111 の和として計算している。

エネルギー角度分布が ENDF-6 形式 [6] のファイル 6(エネルギー角度分布)で与えられている場合、MVP は以下の形式で表現された分布を取り扱うことができる。

- 未知の分布 (LAW=0)
- 連続エネルギー角度分布 (LAW=1)
- 二体散乱に対する分布 (LAW=2)
- 二体反応の反跳核に関する分布 (LAW=4)
- N 体位相空間分布 (LAW=6)
- 実験室系でのテーブル形式角度エネルギー分布 (LAW=7)

ファイル 6 が LAW=0 と 4 の形式で与えられているときは、二次粒子を生成しない。

4.1.4 任意温度における中性子断面積の準備

分離及び非分離共鳴領域と熱領域における中性子断面積の温度依存性は核特性を正確に予測する上で重要であるが、高エネルギー領域ではその断面積は温度に依存しない。任意温度における分離共鳴領域の断面積は LICEM システムの SIGMA1 コード [37] の方法を使うことによって簡単に得ることができる。従って、任意温度における断面積を計算する上で重要となるのは非分離共鳴領域の断面積と熱中性子散乱データである。

MVP コードは非分離共鳴領域において確率テーブル法を用いており、この方法では断面積はエネルギーと温度毎に適当な数の確率ビンで表現されている。そこで、いくつかの固定温度においてテーブル化された値を内挿することによって任意温度における非分離共鳴領域の断面積を得る。内挿のために確率テーブルを前もって、入射エネルギー毎に 11 の温度 (293, 300, 393, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2500, 3000 K) に対して用意しておき、これら温度点において共通の確率ビンを持つように確率テーブルを再構成する。(図 4.1(a) 参照。) 任意温度における確率テーブルは図 4.1(b) に示すようにそれぞれの確率ビンの断面積を内挿することによって得られる。内挿関数は断面積が温度の対数であるとし、内挿については Akima の方法 [38] が用いられる。

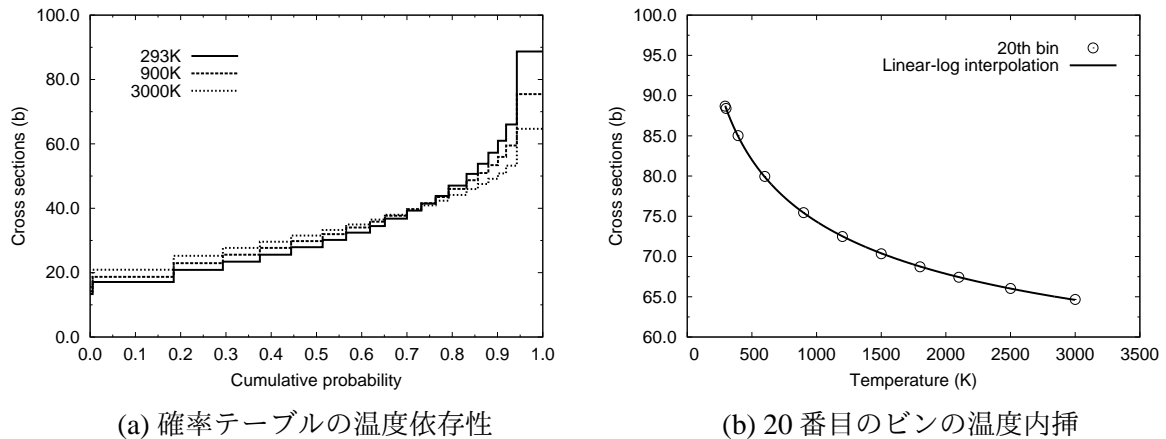


図 4.1 500 eV 付近の U-235 捕獲断面積の確率テーブル

MVP における熱中性子散乱の取り扱いには弾性散乱、非弾性散乱、自由ガスモデルに分けられる。任意温度における熱中性子弹性散乱データは評価済み核データに与えられている内挿法により得ることができる。また、自由ガスモデルは直接指定された温度で正確に取り扱うことができる。最も重要となるのは任意温度における熱中性子非弾性散乱データを準備することである。MVP では、熱中性子非弾性散乱は断面積とエネルギー遷移 ($E_i \rightarrow E_j$) 毎の二次エネルギー分布、角度分布で表現され、エネルギー分布に対して共通のエネルギー点が用いられる。角度分布は前方等方散乱、後方等方散乱と 3 つの方向 ($\mu = 1, 0, -1$) への散乱という 5 つの独立な事象に対する確率で与えられ、この確率は散乱カーネルの半区間モーメント (half-range moments) によって計算される [39]。内挿のためにこれらのデータは前もって評価済み核データに与えられているいくつかの温度において準備される。任意温度における二次エネルギー分布と角度分布はそれぞれ、二次エネルギーと角度分布のモーメントに対して積算確率を内挿することによって得る。

4.2 中性子衝突反応の解析

中性子が高速及び熱エネルギー領域で起こす反応を図 4.2 に示す。また衝突解析の計算の流れを図 4.3 に示す。

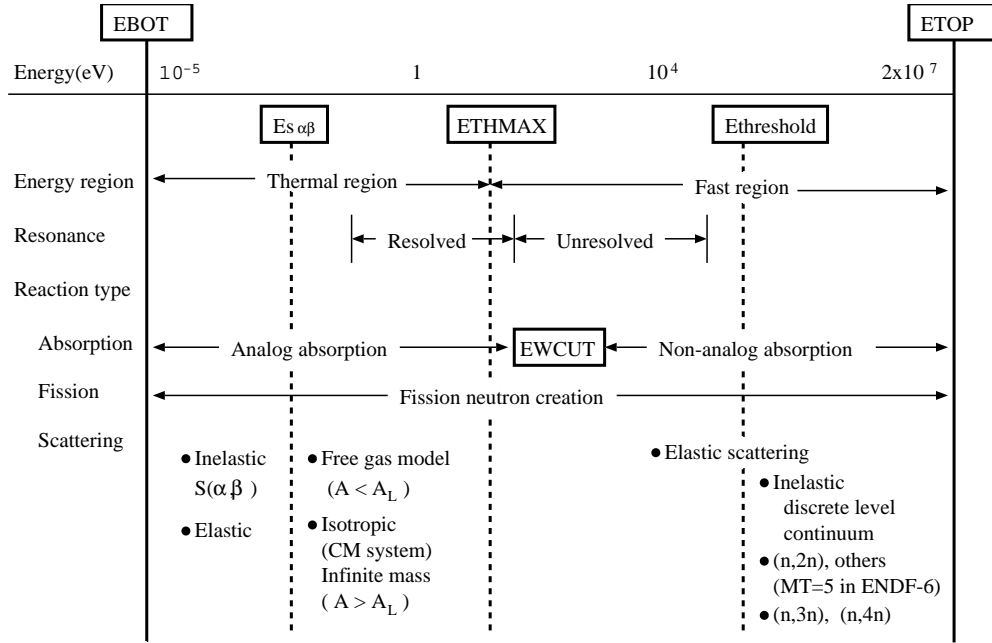


図 4.2 MVP で取扱う中性子の衝突反応

4.2.1 衝突核種の決定

連続エネルギーモンテカルロ法では粒子と物質の反応は物質を構成するどれか一つの核種との反応として取り扱われる。今、 K 個の核種からなる媒質中において中性子が核種 k と確率 p_k で衝突するとすれば

$$p_k = \frac{\rho^k \sigma_t^k}{\sum_{j=1}^K \rho^j \sigma_t^j} = \frac{\rho^k \sigma_t^k}{\Sigma_t} \quad (4.8)$$

ここで、 $\rho^k, \sigma_t^k, \Sigma_t$ は原子数密度、微視断面積、巨視断面積である。核種に対する積算確率分布 (上記の式の核種 1 から k までの和) と一個の乱数を用いて衝突核種を決定するコードもあるが、複数粒子に対して同時にこの処理を行おうとする MVP/GMVP では複数粒子に対する積算確率を記憶することになり記憶容量とベクトル処理の点で不都合であった。そこで、効率的に衝突核種を決定するために新しい手法が開発された。この手法では、あるエネルギー点でのマクロ全断面積を計算していく過程 (これはいずれにせよ必要である) の部分 $\Sigma^{(k)} \equiv \sum_{j=1}^k \rho^j \sigma_t^j$ が求まった時点でそれぞれの粒子に 1 個ずつ一様乱数 ξ_k を発生し、 $\Sigma^{(k)} > \xi_k \rho^k \sigma_t^k$ を満足する場合、核種 k を衝突核種の候補として保存していく。この処理を K 回繰り返し、最後に条件を満足する核種 k を衝突

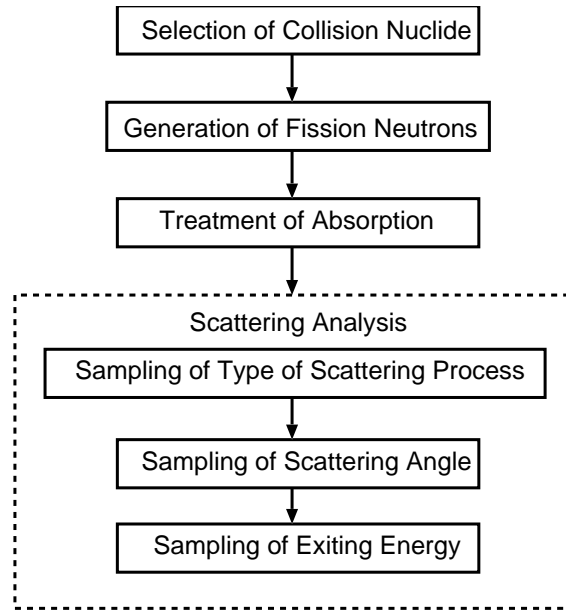


図 4.3 MVP での中性子の衝突反応解析

核種とする。この方法では乱数を多数使用することになる代わりに、中間の部分積 $\Sigma^{(k)}$ を記憶する必要がなく、すべての計算がベクトル処理できる利点がある。

4.2.2 核分裂中性子の発生

核分裂性核種を含む物質中では各衝突時における全核分裂中性子の総重みの期待値は $W\nu\sigma_f/\sigma_t$ である。 W は衝突前中性子の重みである。核分裂で生成する中性子には全て同じ重み W_f が与えられる (入力データ **WGTF**)。その時、生成される中性子数 n はその期待値 $E[n]$ が保存されるように確率的に決定される。

$$E[n] = \frac{W\nu\sigma_f}{\sigma_t} \frac{1}{W_f} \quad (4.9)$$

ここで、 $E[n]$ を超えない最大の整数を n_1 とすれば、 $n = n_1 + 1$ が確率 $p = E[n] - n_1$ で選ばれ、 $n = n_1$ が確率 $1 - p$ で選ばれる。

放出される中性子のエネルギー分布はテーブルまたは確率分布関数で与えられる核分裂スペクトルよりサンプリングする。後者の場合は複数の乱数を用いて一意的にエネルギーを決める方法を用いる。例えばマックスウエル分布の場合は三つの乱数 ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 を用いて次式で直接決めることが出来る。なお、角度分布は全て等方として扱う。

$$E = -R(E') \left[\ln \xi_1 + \ln \xi_2 \cdot \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \xi_3 \right) \right] \quad (4.10)$$

ここで、 $R(E')$ は入射エネルギー E' に依存する定数である。

4.2.3 吸収反応

MVP では「アナログ吸収」 (analog absorption) と「非アナログ吸収」 (non-analog absorption) の2つの扱い方があり、これらはモンテカルロコードで一般的に用いられる方法である。

アナログ吸収は主に低エネルギー領域で用いられ、吸収確率 σ_a/σ_t でそのヒストリーを終える。

一方、非アナログ吸収は多群法や高エネルギー領域で用いられる方法で、ヒストリーを終える代わりに吸収確率分だけ粒子重みを減少させてランダムウォークを継続する。このエネルギー境界値は MVP の入力データ EWCUT で与えられる。現在の MVP では 275 eV が EWCUT のデフォルト値 (VIM コードと同じ) として設定されているが、ユーザが計算効率を増すために問題に応じて変えることが望ましい。例えば、低エネルギー領域で強い吸収確率を持ちその領域での情報が重要な場合は、より低エネルギー側に設定する。一方、高エネルギー領域で主として散乱が重要な媒質に対しては、高エネルギーにこれを設定することにより計算効率を上げる事が出来る。

4.2.4 散乱反応

散乱反応のタイプを決めるためには、反応 x の起こる確率 $p_x = \sigma_x/(\sigma_t - \sigma_a)$ を用いる。このサンプリング法としては積算確率テーブルを用いて

$$\sum_{j=1}^{x-1} p_j < \xi \leq \sum_{j=1}^x p_j \quad (4.11)$$

となる x を求める。ここで、 ξ は乱数である。もし (n,mn) 反応 ($m > 1$) が選ばれた時には、 $m-1$ 個の中性子を新しく発生させる。

弾性散乱の場合、散乱後のエネルギー E と角度 Ω は散乱時のエネルギーと運動量の保存関係(運動学)から決定できる。まず、重心系での散乱角の余弦 μ_{cm} を決める。これには、評価済み核データファイルに与えられた各エネルギー点での分布を等確率余弦ビン形式の確率テーブルとしてライブラリが持っているものを用いる。一般に、任意の入射エネルギー E' に対する確率テーブルを必要とするので、 E' を挟む 2 点のエネルギーに対して用意されているテーブルから 4.1.1 節に述べた方法によって使用するテーブルを決める。1 つの角度ビンの中では平坦分布を仮定している。 μ_{cm} が決まるとエネルギーと運動量の保存則から

$$E = \frac{E'(A^2 + 2A\mu_{cm} + 1)}{(A + 1)^2} \quad (4.12)$$

で散乱後のエネルギーが決まる。ここで、 A は原子核質量の中性子質量に対する比である。また、 μ_{cm} を実験室系での散乱角 μ_{lab} へ変換するため次式を用いる。

$$\mu_{lab} = \frac{A\mu_{cm} + 1}{\sqrt{A^2 + 2A\mu_{cm} + 1}} \quad (4.13)$$

方位角 ω については等方であるから、乱数 ξ を使って

$$\omega = 2\pi\xi \quad (4.14)$$

から決定する。

このようにして求めた μ_{lab} は粒子の飛行方向に対する相対角度であるから、更に (x, y, z) 座標系に変換する。

離散レベル非弾性散乱の場合は弾性散乱と同様な方法で μ_{cm} の確率テーブルよりサンプリングする。散乱後のエネルギー E は次式で求める。

$$E = \frac{E'}{(A + 1)^2} [\gamma^2(E') + 2\gamma(E')\mu_{cm} + 1] \quad (4.15)$$

ここで、

$$\gamma(E') = A \sqrt{1 + \frac{A+1}{A} \frac{Q_i}{E'}} \quad (4.16)$$

Q_i は反応による発熱量 (Q-value) で この場合負の値を取る。また実験室系での散乱角 μ_{lab} は次式で求められる。

$$\mu_{\text{lab}} = \frac{1 + \gamma(E')\mu_{\text{cm}}}{\sqrt{\gamma^2(E') + 2\gamma(E')\mu_{\text{cm}} + 1}} \quad (4.17)$$

連続レベル非弾性散乱の場合、エネルギー分布はテーブル形式か「蒸発モデル」で与えられる事が多い。前者の場合は与えられた確率テーブルから E を乱数により決める。蒸発モデルの場合の分布は入射エネルギー E' の時

$$f(E; E') = C \cdot E e^{-E/T(E')} \quad (4.18)$$

で与えられるので ($T(E')$ は核温度)、

$$E = -T(E') \ln(\xi_1 \cdot \xi_2), \quad 0 \leq E \leq E' - U \quad (4.19)$$

から、2つの乱数 ξ_1, ξ_2 を用いて決める。ここで、 U は評価済み核データの与える定数である。もし、 $E > E' - U$ のときは再びサンプリングを行う。散乱角は、実験室系の等確率余弦ビンテーブルで表現された確率分布からサンプリングする。

(n,mn) 反応の場合は、通常、エネルギー分布、角度分布とも連続レベル非弾性散乱と同様にしてサンプリングする。また、放出される粒子の重みは互いに相関を持たせず衝突前と同じ重みを持たせて、 m 個の中性子を放出する。

4.2.5 熱中性子散乱反応

熱中性子の原子核による散乱は、MVP においては特別な形態の散乱反応として取り扱われる。熱中性子散乱は図 4.2 に示すように

- 自由ガスモデル (自由単原子ガスモデル)
- 無限質量モデル
- 弾性散乱
- $S(\alpha, \beta)$ を用いる非弾性散乱

といったモデルで取り扱われ、これらを入力パラメータと核データに応じて選択できる。熱中性子非弾性散乱則データ $S(\alpha, \beta)$ が特に与えられていない核種では、 $E_{S\alpha\beta} = 0$ となっており、熱中性子散乱は自由ガスモデルまたは無限質量モデルで取扱われる。

「自由ガスモデル」ではまず標的核の速度 (速さと方向) を確率分布を用いて決め、その後二体弾性衝突のカイネマテックス (エネルギー/運動量保存則) を用いて中性子の散乱後のエネルギーと方向が決まる。

「無限質量モデル」は標的核の原子量がセットされた値より大きい場合に用いられ、この場合散乱は重心系等方で、中性子エネルギーは 0.625 eV^5 以上では弾性散乱によって減速し、それ以下のエネルギーでは変化しない。

熱領域の弾性散乱には ENDF-6 形式の熱中性子データで用いられている干渉性弾性散乱と非干渉性弾性散乱がある。MVP ではどちらの散乱も取り扱うことができる。この散乱前後において中性子のエネルギーは変化することはない。非干渉性散乱では実験室系で与えられる角度分布から散乱角を決定し、干渉性散乱ではブラッグエッジと構造因子 (structure factor) が用いられる。

分子や結晶格子に束縛された原子から散乱を考慮するため、いくつかの核種には熱中性子散乱則データ $S(\alpha, \beta)$ が与えられている。これは MVP ライブラリではエネルギー遷移確率と対応する角度分布テーブル [23] で表現している。散乱後のエネルギービンは discrete conditional sampling 法 [40] で決定され、対応した角度分布から散乱角が決められる。

4.2.6 共鳴弾性散乱

4.2.4 項で既に述べたように、弾性散乱後のエネルギーと飛行方向は、(4.12) 式、(4.13) 式、(4.14) から決められる。この弾性散乱モデルは、漸近減速散乱モデル (漸近モデル) と呼ばれ、標的核の熱運動を考慮しないという仮定が含まれている。このモデルはこれまで、共鳴領域における弾性散乱モデルとしてよく用いられてきたが、最近の研究では、ドップラー反応度価値を始めとする核特性パラメータの計算に非常に大きな影響を与えることが明らかになっている [41, 42, 43, 44]。この問題を解消するために、厳密な共鳴散乱モデルが MVP コードに導入されている [9]。このモデルの理論的背景を以下に述べる。

標的核の熱運動を考慮すると、速度 \mathbf{v} の中性子が速度 \mathbf{V} の標的核と散乱する確率は以下のように表される。

$$P(V, \mu) dV d\mu = \frac{v_r \sigma_s(v_r)}{2v \sigma_s^{\text{eff}}(v)} M(V) dV d\mu, \quad (4.20)$$

ここで、

$$v = |\mathbf{v}|, V = |\mathbf{V}|, \mu = \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{V}}{|\mathbf{v}| |\mathbf{V}|}.$$

σ_s と σ_s^{eff} はそれぞれ、0 K における散乱断面積とドップラー拡がりを考慮した散乱断面積である。 $v_r = |\mathbf{v} - \mathbf{V}|$ は、標的核に対する中性子の相対的な速さである。 $M(V)$ は、標的核速さのマクスウェル分布である。

中性子の散乱後の速度 \mathbf{v}' は、以下のように書き表すことができる。

$$\mathbf{v}' = \frac{1}{A+1} (\mathbf{v} + A\mathbf{V}) + \frac{A}{A+1} |\mathbf{v} - \mathbf{V}| \boldsymbol{\Omega}'_{\text{cm}}, \quad (4.21)$$

ここで、 \mathbf{v} と \mathbf{V} はそれぞれ、実験室系における散乱前の中性子と標的核の速度、 $\boldsymbol{\Omega}'_{\text{cm}}$ は重心系における散乱後の中性子の飛行方向、 A は中性子に対する標的核の質量比である。(4.20) 式と (4.21) 式を用いて散乱後の中性子のエネルギー角度分布を計算することができる。

もし、(4.20) 式の確率密度関数から V と μ をサンプリングすることができれば、近似は必要ない。しかし一般的に、 σ_s は、解析的な形式で表すことはできないし、 σ_s^{eff} に対する積分も解析的

⁵この値はコード内で定義されている。

に行うことはできない。そこで、これまでよく用いられてきた近似は、0 K における散乱断面積 (σ_{s0}) を一定と仮定することである。そうすると、ドップラー拡がりを考慮した散乱断面積は、以下のように書き表すことができる。

$$\sigma_s^{\text{eff}}(v) = \frac{\sigma_{s0}}{\beta^2} \left[\left(\beta^2 + \frac{1}{2} \right) \text{erf} \beta + \sqrt{\frac{1}{\pi}} \beta \exp(-\beta^2) \right], \quad (4.22)$$

ここで、

$$\beta^2 = \frac{AM_n v^2}{2kT}. \quad (4.23)$$

erf は誤差関数、 M_n, E, k, T はそれぞれ、中性子質量、中性子エネルギー、ボルツマン定数、標的核の平衡温度である。(4.22) 式を用いると、(4.20) は以下ようになる。

$$P_{\text{const}}(V, \mu) dV d\mu = \frac{v_r}{\frac{2v}{\beta} \left[\left(\beta^2 + \frac{1}{2} \right) \text{erf} \beta + \sqrt{\frac{1}{\pi}} \beta \exp(-\beta^2) \right]} M(V) dV d\mu. \quad (4.24)$$

この確率密度関数は、4.2.5 項で述べられた自由ガスモデルで用いられているものである。この散乱モデルは、多くのモンテカルロコードで熱中性子散乱に対して用いられており、熱中性子散乱に対する自由ガスモデルでは、(4.21) 式の Ω'_{cm} について等方散乱を仮定している。MVP コードでは、等方散乱を仮定せずに $P_{\text{const}}(V, \mu) dV d\mu$ を使うモデルを断面積一定近似を用いた自由ガスモデル(断面積一定モデル)と呼ぶ。

断面積一定モデルの近似は、軽核に対しては妥当であるが、1 eV 辺りの低いエネルギー領域まで共鳴のある重核に対しては妥当ではない。(4.20) 式の厳密な確率密度関数を取り扱うために、MVP コードでは、重み補正法 [43] を用いている。この方法は、標的核の熱運動 \mathbf{V} を (4.24) 式からサンプリングし、中性子の重みを以下の因子 f で補正するものである。

$$f = \frac{P(V, \mu)}{P_{\text{const}}(V, \mu)} = \frac{\sigma_s(v_r)}{\sigma_s^{\text{eff}}(v)} g(\beta), \quad (4.25)$$

ここで、

$$g(\beta) = \frac{\left(\beta^2 + \frac{1}{2} \right) \text{erf} \beta + \sqrt{\frac{1}{\pi}} \beta \exp(-\beta^2)}{\beta^2} \quad (4.26)$$

である。 $g(\beta)$ は、実際上ほとんど 1 に等しく、MVP コードでは、以下の補正因子で計算を行っている。

$$f = \frac{\sigma_s(v_r)}{\sigma_s^{\text{eff}}(v)} \quad (4.27)$$

(4.25) 式と (4.27) 式の最大差は、1,000 K における U-238 の共鳴弾性散乱に対して 0.005% よりも小さい。MVP コードでは、このモデルを共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル(厳密モデル)と呼んでいる。

補正因子で中性子の重みを補正すると、1 から大きくずれることがある。従って、ウェイト・ウィンドウのような分散低減法を併用する必要がある。MVP コードでは、2.9.4 項及び第7章のオプション指定とは独立に共鳴弾性散乱の結果にウェイト・ウィンドウを適用することによって重みのばらつきを抑制している。ここで用いるウェイト・ウィンドウパラメータは、散乱後の中性子の重みが散乱前の重みの 1/2 以上、2 倍以下 (重みの上限は 2.0) となるように、コード内でセットされている。なお、事象モニターに出力されるウェイト・ウィンドウの結果は、通常の WEIGHT-WINDOW オプションを用いた分散低減法の結果と区別されていないので注意が必要である。(事象モニターについては、16.5.4 項を参照。)

4.2.7 中性子の速さ

時間依存タリーの計算では中性子の速さが必要である。MVP の場合、中性子の速さは特殊相対性理論に基づいて次式で計算される。

$$V_n(E_n) = \frac{c\sqrt{E_n(E_n + m_0c^2)}}{E_n + m_0c^2} \quad (4.28)$$

ここで、

$V_n(E_n)$: エネルギー E_n (eV) の中性子の速さ (cm/s)

$$m_0c^2 = \frac{m_0(\text{g})[c(\text{cm/s})]^2}{e(\text{erg/eV})}$$

$c = 2.99792458 \times 10^{10}$: 光速 (cm/s)

$m_0 = 1.6749286 \times 10^{-24}$: 中性子の静止質量 (g)

$e = 1.60217733 \times 10^{-12}$ (erg/eV)

である。

GMVP の場合、中性子の速さは以下のように計算される。

$$V_{n,g} = \frac{\int_{\Delta E_g} \frac{1}{E} dE}{\int_{\Delta E_g} \frac{1}{V_n(E)E} dE} \quad (4.29)$$

$$= c \left| \ln \frac{E_u}{E_\ell} / \left[\ln \left(E_u + m_0c^2 + \sqrt{E_u(E_u + 2m_0c^2)} \right) - \frac{\sqrt{E_u(E_u + 2m_0c^2)}}{E_u} \right. \right. \\ \left. \left. - \ln \left(E_\ell + m_0c^2 + \sqrt{E_\ell(E_\ell + 2m_0c^2)} \right) + \frac{\sqrt{E_\ell(E_\ell + 2m_0c^2)}}{E_\ell} \right] \right| \quad (4.30)$$

ここで、 $V_{n,g}$ は g 群の中性子の速さ、 E_u と E_ℓ はそれぞれ g 群の上限、下限のエネルギーである。

4.3 固有値の評価法

固有値計算モードでは、中性子増倍率は2つの異なった原理で評価され、最終的にこれらを組合せた結果の評価値と分散が出力される。一つは増倍率の定義通りに中性子の増倍 (production) か

ら計算されるもので

$$\begin{aligned}
 k_{\text{eff}} &= \frac{\sum \langle \text{Weight of neutrons created by fission reaction} \rangle}{\sum \langle \text{Weight of source neutrons} \rangle} \\
 &= \frac{\int \nu \Sigma_f \phi dE dr}{\sum \langle \text{Weight of source neutrons} \rangle}
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

となる。他の方法は中性子バランスの式に基づくもので

$$\begin{aligned}
 k_{\text{eff}} &= \frac{\sum \langle \text{Weight of neutrons created by fission reaction} \rangle}{\sum \langle \text{Leakage} \rangle + \sum \langle \text{net absorption} \rangle} \\
 &= \frac{\int \nu \Sigma_f \phi dE dr}{\sum \langle \text{Leakage} \rangle + \int \Sigma_{\text{loss}} \phi dE dr}
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

のように評価する。ここで、

$$\Sigma_{\text{loss}} = \Sigma_a - \Sigma_{n,2n} - 2\Sigma_{n,3n} - 3\Sigma_{n,4n} \tag{4.33}$$

である。

MVP では上式で断面積を含む項は、飛程長評価法、衝突評価法、アナログ評価法の三種の独立した評価法で計算される。アナログ評価法は基本的に衝突評価法と同じであるが、マクロ反応率の評価において衝突反応を起こした核種のミクロ断面積とその核種の個数密度の積のみを利用する点が異なる。他の2つの評価法は反応を起こした物質の全核種のミクロ断面積から計算されたマクロ断面積を用いる。GMVP では、アナログ評価法による評価は行わず、飛程長評価法と衝突評価法の2通りの評価法を適用する。この結果、MVP は6つの、GMVP は4つの異なる評価法によって固有値を計算できる。MVP/GMVP ではこれらを更に組み合わせて分散が最小となる重みづけによる評価 (最尤法) により最も信頼度の高い固有値を求める。この時これらの6つの結果は相関を持つので次式で計算する。

$$k_{\text{eff}} = \frac{\sum_i \sum_j T_{ij} X_j}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \tag{4.34}$$

$$\sigma = \frac{1}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \tag{4.35}$$

ここで、 X_i は各評価法による結果、 T_{ij} は各バッチの結果から評価される共分散の逆行列の要素である。MVP/GMVP 各評価法による推定値と相関係数及び最尤法を用いた時の各評価法毎 (中性子増倍法、中性子バランス法) の結果及び全ての評価法に対して最尤法により求めた固有値と分散が出力される。

固有値問題を解くと増倍率の他にオプションで各種の物理量も計算できる。中性子束は飛程長評価法及び衝突評価法で評価される。反応率、実効微視的断面積、巨視的断面積はどちらか一方の評価法で評価される。

4.4 固有値問題での真の分散の評価

MVP/GMVP を始めとする多くのモンテカルロコードによる固有値計算では、統計的相関のある各バッチの計算値を無相関として処理するため、固有値等の分散が理論上過小評価となることが知られている。この過小評価を定量的に評価するために、中性子世代間の相関を考慮した分散を

評価する手法が植木らによって提案された [45]。MVP コード及び GMVP コードはこの手法に従って「真の分散」 (real variance) つまり「真の統計誤差」の評価を行い、従来の評価法による統計誤差の計算値が適切なものであるかどうかを判定するための情報を提供する。

MVP/GMVP の物理量の評価は粒子ヒストリーのバッチ (固有値問題では中性子世代に対応) ごとに得られた統計値の平均として定義される。例えば、固有値の場合、

$$k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \quad (4.36)$$

ここで、 k_i は統計処理の対象となる各バッチでの中性子増倍率で、 N はバッチ数である。

独立な複数回の固有値計算で得られる上記の固有値を統計的母集団とする場合の分散値 σ_R^2 を k の「真の分散」と定義する。

$$\sigma_R^2 = E[(k - E(k))^2] = E[k^2] - E[k]^2 \quad (4.37)$$

ここで、 $E[X]$ は統計量 X の期待値を表わす。

これに対し、MVP を始めとする多くのモンテカルロコードでは、1 回の計算において以下のよう
に標本分散 (sample variance) σ_S^2 が評価される。

$$\sigma_S^2 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (k_i - k)^2 = \frac{1}{N(N-1)} \left(\sum_{i=1}^N k_i^2 - Nk^2 \right) \quad (4.38)$$

ここで「見かけの分散」 σ_A^2 をサンプル分散の期待値として定義する。

$$\sigma_A^2 = E[\sigma_S^2] \quad (4.39)$$

サンプル分散 σ_S^2 がバイアスのない評価であれば見かけの分散 σ_A^2 は真の分散 σ_R^2 に一致する。しかし、標本分散の評価において各バッチの間の相関を無視しているため、一般にはこのようにならない。

真の分散と見かけの分散の差は、 $E[k_i]$ と $E[k_i^2]$ の値がバッチ i に依存しないという仮定のもとに以下のようになる。

$$\sigma_A^2 - \sigma_R^2 = -\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{cov}[k_i, k_j] \quad (4.40)$$

ここで、 $\text{cov}[k_i, k_j]$ は k_i と k_j の共分散である。

計算が平衡状態にあるものとするバッチ間共分散の値はバッチの間隔のみに依存すると仮定できる。そこで以下のようなバッチ間隔 i の「真の共分散」 $C_R[i]$ を定義する。

$$C_R[i] = \text{cov}[k_m, k_{m+i}], \quad m = 1, \dots, N-i \quad (4.41)$$

この量で表現した真の分散と見かけの分散の差は以下のようになる。

$$\sigma_A^2 - \sigma_R^2 = -\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (N-i) C_R[i] \quad (4.42)$$

分散の場合と同様に 1 回の計算で評価できる以下のような「サンプル共分散」 $C_S[i]$ 、

$$C_S[i] = \frac{1}{N-i-1} \sum_{j=1}^{N-i} (k_j - k)(k_{j+i} - k) \quad (4.43)$$

及びその母集団平均値としての「見かけの共分散」 $C_A[i]$ を定義する。

$$C_A[i] = E[C_S[i]] \quad (4.44)$$

これらの 3 種類の共分散には以下のような関係があることが導かれる。

$$\begin{aligned} C_R[i] = & \frac{N-i-1}{N-i} C_A[i] + \sigma_R^2 \\ & - \frac{2}{N(N-i)} \sum_{j=1}^i \left(\sum_{m=1}^{j-1} + \sum_{m=1}^{N-j} \right) C_R[m] + \frac{2i(N-1)}{N(N-i)} (\sigma_R^2 - \sigma_A^2) \end{aligned} \quad (4.45)$$

この式でバッチ間隔と全バッチ数が $i \ll N$ の関係にあるとき、

$$C_A[i] - C_R[i] \approx -\sigma_R^2 \quad (4.46)$$

となる。

これらの関係式をもとにバッチ間相関を考慮した真の分散の推定を以下のような手順で行なう。まずバッチ間隔 N_0 を指定し、これより大きなバッチ間隔に対する共分散を無視出来るものとする。

$$C_A[i] = C_S[i] = C_R[i] \approx 0, \quad i > N_0 \quad (4.47)$$

この仮定の元に見かけの分散と真の分散の関係式 (4.42) 及び見かけの共分散と真の共分散の関係の近似式 (4.46) を満たす σ_R^2 を「真の分散」の推定値として計算する。

ここまでの議論で明らかのように、この手法の有効性は固有値計算のためのバッチ (世代) 数が十分に多く、また中性子源の分布が基本モードに十分に到達した後のバッチを対象とした統計になっていることを前提としている。このような条件が満たされない計算についてはこの「真の分散」の推定値は信頼できないことに注意すべきである。

4.5 炉雑音解析

炉雑音解析法は原子炉などの未臨界度を測定するためにしばしば用いられる。MVP/GMVP コードは時間領域炉雑音解析法の一つである Feynman- α 法 [46] の機能を備えている。この方法ではゲート幅に対する中性子計数分布の分散対平均比 (Feynman の Y 値) が計算される。この方法は中性子の相関に基づいているので、モンテカルロ法でこの手法を用いるにはアナログモンテカルロシミュレーション (中性子の重みが常に 1 のシミュレーション) を行わなければならない。アナログモンテカルロを実現するために MVP/GMVP コードに以下の機能を追加した。

- Terrell[47] によって与えられる分布からの核分裂中性子数のサンプリング。
- 散乱、捕獲、核分裂、吸収が起こったときの中性子の重みをカウントする機能。

- 時間周期境界条件。
- 自発核分裂源からの複数の中性子の発生時刻のサンプリング。

Terrell の分布からの核分裂中性子数は以下のようにしてサンプリングされる。核分裂当たりの発生中性子数の確率分布 (積算確率) は、Terrell によると次式で近次することができる。

$$\begin{aligned}\sum_{n=0}^{\nu} P(n) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(\nu-\bar{\nu}+1/2+b)/\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{(\nu+1/2)} \exp\left(-\frac{(x-\bar{\nu}+b)^2}{2\sigma^2}\right) dx\end{aligned}\quad (4.48)$$

ここで、 n は核分裂中性子数、 $\bar{\nu}$ は平均核分裂中性子数、 σ は初期全励起エネルギー分布の二乗平均平方根 (root-mean-square) 幅である。 b は n の平均値が $\bar{\nu}$ となるようにする補正因子であり、以下のようにして決められる。

$$\sum_{n=0}^{\infty} nP(n) = \bar{\nu} \quad (4.49)$$

このとき、 b は次のように近似することができる。

$$b = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(\bar{\nu}+1/2)/\sigma}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt. \quad (4.50)$$

Eq.(4.48) は平均値 $\bar{\nu} - b$ 、標準偏差 σ の正規分布であるので、核分裂中性子数は次の式で決定することができる。

$$n = \left\lfloor \nu + \frac{1}{2} \right\rfloor \quad (4.51)$$

ここで、 $[x]$ はガウス記号を表し、 x を超えない最大の整数である。

Feynman の Y 値を計算するために、MVP/GMVP コードではまず最小ゲート幅に対応した時間ビンで各検出器タリーに対する時間スペクトルを計算する。得られた時間スペクトルをバンチングすることによって異なるゲート幅に対する時間スペクトルを計算し、それぞれについて平均計数と二乗平均計数を求める (図 4.4 参照)。

ゲート幅 τ_n の平均値計数は

$$\overline{C(\tau_n)} = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} C_i^{\tau_n} \quad (4.52)$$

で求め、二乗平均計数は

$$\overline{C^2(\tau_n)} = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} (C_i^{\tau_n})^2, \quad (4.53)$$

で求める。ここで、 N_n はゲート幅 τ_n のバンチングされたスペクトルに対する時間ビンの数で、 $C_i^{\tau_n}$ はゲート幅 τ_n の i 番目の計数値である。これらの計数値を用いて、Y 値は次のように計算することができる。

$$Y(\tau_n) = \frac{\sigma^2(\tau_n)}{\overline{C(\tau_n)}} - 1 \quad (4.54)$$

$$\sigma^2(\tau_n) = \frac{N_n}{N_n - 1} \left[\overline{C^2(\tau_n)} - \overline{C(\tau_n)}^2 \right]. \quad (4.55)$$

Y 値の統計誤差はバッチ法によって評価される。

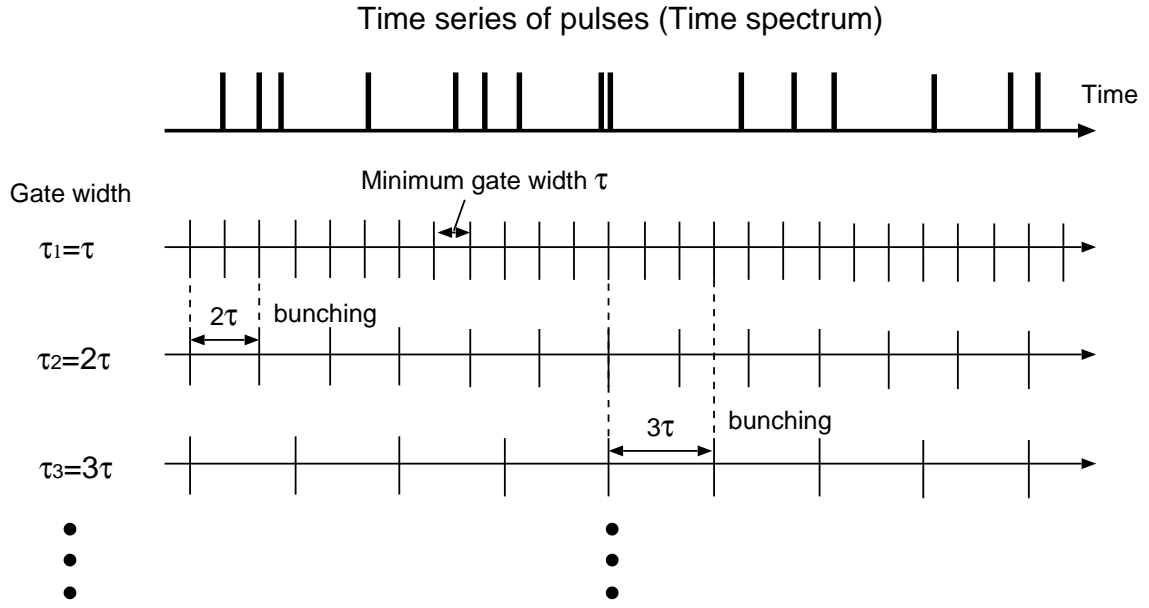


図 4.4 異なるゲート幅に対する時間スペクトル

4.6 光子の反応

MVP における光子の発生は固定源として与えられる場合と中性子の核反応によって生成される場合に分けられる。後者に対しては、中性子断面積ライブラリに中性子反応毎に中性子の各入射エネルギー点に対し生成量、エネルギー分布、角度分布が与えられている。

光子の輸送では、光子と物質の相互作用を考慮するが、光子と原子との相互作用 (光原子反応) と光子と原子核との相互作用 (光核反応) がある。光核反応が起こりやすいエネルギー範囲は 10 MeV から 20 MeV であり、光原子反応に比べて断面積が小さいので、通常、炉心解析で光核反応を考慮する必要はないが、 (γ, n) 反応を用いた非破壊検認シミュレーション等で考慮したい場合がある。MVP のデフォルトでは光核反応を考慮しないが、PHOTO-NUCLEAR オプションが指定され、光核反応断面積ライブラリが読み込まれたときに考慮することが可能である。

光子の物質中の飛行距離を決める際に、巨視的全断面積が必要であるが、これは光原子反応断面積と光核反応断面積の和として計算する。

$$\Sigma_t(E) = \Sigma_t^{pa}(E) + \Sigma_t^{pn}(E) \quad (4.56)$$

ここで、 $\Sigma_t^{pa}(E)$ は光原子反応に対する巨視的全断面積、 $\Sigma_t^{pn}(E)$ は光核反応に対する巨視的全断面積である。光子が物質と衝突し、物質中の衝突核種を乱数を用いて決定した後、光原子反応か光核反応のどちらが起こるかを決定する。確率 $p = \sigma_t^{pa} / (\sigma_t^{pa} + \sigma_t^{pn})$ で光原子反応、確率 $1 - p$ で光核反応を選択する。 σ_t^{pa} 、 σ_t^{pn} はそれぞれ、光原子反応と光核反応に対する微視的全断面積である。

光原子反応断面積は中性子と同様に各反応、エネルギー点毎に与えられている。エネルギー範囲は 1 keV から 100 MeV である。任意のエネルギーにおける断面積は log-log 内挿することによって得られる。光原子反応は光電効果、干渉性 (トムソン) 散乱、非干渉性 (コンプトン) 散乱、電子対生成に大別される。従って、光原子反応の全断面積はそれぞれの反応断面積の和として次式で

与えられる。

$$\sigma_t^{\text{pa}}(E) = \sigma_{\text{pe}}(E) + \sigma_{\text{coh}}(E) + \sigma_{\text{inc}}(E) + \sigma_{\text{pp}}(E) \quad (4.57)$$

光核反応断面積も中性子と同様に各反応、エネルギー点毎に与えられている。エネルギー範囲は核種、評価機関によってまちまちである。詳細については、G.3 を参照。光核反応の全断面積 σ_t^{pn} は、弾性散乱以外の全反応 (MT=3) として定義されたものが用いられる。

4.6.1 詳細モデルと簡易モデル

MVP では、光原子反応の取扱いに「詳細モデル」と「簡易モデル」が選択できる。後者は高エネルギー光子を対象としたモデルで、光電効果に伴う蛍光 X 線の発生、干渉性散乱及び非干渉性散乱の Klein-Nishina の微分断面積に対する補正因子は無視する。従って、これらの取扱いが重要となる低エネルギー光子、高 Z 核種あるいは深層透過問題に対して精度の高い計算を必要とする場合には、前者を選択することが望ましい。また、両モデルともオプションを指定することによって、電子対生成により発生した陽電子と陰電子、コンプトン反跳電子、光電子等の減速に伴う制動輻射光子 (Bremsstrahlung photon) を考慮することができる。

4.6.2 光電効果

簡易モデルでは非アナログ吸収として扱われる。従ってこの反応は、衝突毎に光子の重みを $(1 - \sigma_{\text{pe}}/\sigma_t)$ 倍に減少することによって考慮される。詳細モデルでは、この反応が選ばれるとそのヒストリーは終了し、代わりに入射光子エネルギーに応じて蛍光 X 線が最大 1 つ実験室系で等方に放出される。

4.6.3 電子対生成

これはしきい値 1.022 MeV の反応であり光子は消滅し、新たにその位置で 2 倍の重みと 0.511 MeV のエネルギーを持つ 1 つの光子を実験室系で等方に放出する。

4.6.4 非干渉性 (コンプトン) 散乱

エネルギー E' の光子に対する非干渉性 (コンプトン) 散乱の微分断面積は次式で与えられる。光子エネルギーの単位は電子質量 ($m_0c^2 = 0.511 \text{ MeV}$) である。

$$\frac{d\sigma_{\text{inc}}(\mu, E; E')}{d\mu} = \frac{d\sigma_{\text{c}}(\mu, E; E')}{d\mu} \times S(q, Z) \quad (4.58)$$

$$q = E' \sqrt{1 + \left(\frac{E}{E'}\right)^2 - 2\mu \left(\frac{E}{E'}\right)} \quad (4.59)$$

ここで、

μ, E : 実験室系での散乱角余弦と散乱後のエネルギー
 $d\sigma_c/d\mu$: Klein-Nishina の微分断面積
 $S(q, Z)$: incoherent scattering function ($0 \leq S \leq Z$)
 q : 反跳電子の運動量
 Z : 原子番号

上式からの散乱角余弦と散乱後エネルギー E の決定は、まず Klein-Nishina の微分断面積からのサンプリングを行い、その結果に scattering function S を用いた rejection 法を適用することによって行う。簡易モデルでは scattering function による補正は考慮しないので、rejection 法は適用されず、前者の結果がそのまま採用される。

Klein-Nishina の公式の与える散乱光子の角度分布は次式により与えられる。

$$p(\mu; E') d\mu = \frac{\pi r_0^2}{\sigma_c(E')} \frac{1}{\{1 + E'(1 - \mu)\}^2} \left[E'(1 - \mu) + \mu^2 + \frac{1}{1 + E'(1 - \mu)} \right] d\mu, \quad (4.60)$$

ここで、 r_0 は電子の古典半径 (2.817938×10^{-13} cm) である。

方位角については一様分布であり、散乱後の光子のエネルギー E はエネルギーと運動量の保存則から

$$E = \frac{E'}{1 + E'(1 - \mu)} \quad (4.61)$$

となる。この関係を用いて、上述の角度分布を散乱後のエネルギーで書き直すと

$$p(E; E') d\mu = \frac{\pi r_0^2}{\sigma_c(E')} \frac{1}{E'^2} \left[\frac{E}{E'} + \left(\frac{2}{E'} + \frac{1}{E'^2} \right) + \left(E' - \frac{2}{E'} - 2 \right) \frac{1}{E} + \frac{1}{E^2} \right] dE, \quad (4.62)$$

$$\frac{E'}{1 + 2E'} \leq E \leq E'$$

となり、散乱角余弦は E を用いて次のようになる。

$$\mu = 1 + \frac{1}{E'} - \frac{1}{E} \quad (4.63)$$

MVP では上式のサンプリング法として $E' \geq 1.5$ MeV の領域では Koblinger の直接サンプリング法 [48] を、それ以下では Horowitz 等による非均一リジェクション法 [49] を用いている。

4.6.5 干渉性(トムソン) 散乱

この散乱では、光子はエネルギーを失うことなく飛行方向のみが変化する。方位角は一様分布から、散乱角は次の角度分布から決められる。

$$\frac{d\sigma_{\text{coh}}(\mu; E')}{d\mu} = \pi r_0^2 (1 + \mu)^2 [C(q, E', Z)]^2 \quad (4.64)$$

$$[C(q, E', Z)]^2 = [F(q, Z) + F_1(E')]^2 + F_2(E')^2 \quad (4.65)$$

ここで、 $C(q, E', Z)$ はエネルギーに依存しない微分断面積の補正因子で、 $F(q, Z)$, $F_1(E')$, $F_2(E')$ はそれぞれ form factor ($0 \leq F \leq Z$)、real anomalous scattering factor、imaginary anomalous scattering factor と呼ばれる量である。また、 $q = E' \sqrt{2(1 - \mu)}$ は反跳原子の運動量である。

この散乱は簡易モデルでは考慮されない。

4.6.6 制動輻射光子

光原子反応の結果、電子・陽電子対、コンプトン反跳電子、光電子(オージェ電子)が発生する。これらの電子が原子核の電場中を飛行する時の減速によって生じる制動輻射光子(Bremsstrahlung photon)は電子及び陽電子の輸送計算を行わなければ正確には発生位置、エネルギー等を決めることができない。MVPでは、いわゆる thick target 近似を導入して電子等の輸送を考慮しないで電子、陽電子が発生した位置で光子も発生すると仮定している。ここで用いたデータ及びモデルはMCNPコード[34]などで用いているものと同じである。

4.6.7 光核反応解析

光核反応が選択されると、個別の断面積と乱数を用いて光核反応のタイプ(MT番号)を決定する。決定したMT番号に基づいてサブセクション毎に生成粒子の種類と数が計算され、エネルギー角度分布データに基づいて生成粒子のエネルギーと角度が決定される。この時、生成数は生成収率に依存し、エネルギー角度分布は分布則(パラメータLF=1, 5, 7, 9, 11, 61, 62, 66, 67の場合)に依存する。サンプリング法は中性子の場合と同じである。なお、未知の分布(LF=60)と二体反応の反跳核に関する分布(LF=64)が用いられている場合は、二次粒子を生成しない。核分裂反応(MT=18)は、中性子の固有値計算で用いられている方法ではなく、他の非弾性散乱等と同様に中性子生成過程として扱う。

離散レベル非弾性散乱(MT=50-90)による中性子生成では、角度分布データから散乱角をサンプリングし、二体運動学からエネルギーを決定する。光中性子エネルギー E_n は重心系で次式により求められる[50]。

$$E_n = \frac{A-1}{A} \left[E_\gamma - Q - \frac{E_\gamma^2}{2m_n c^2 (A-1)} + \frac{E_\gamma}{A} \sqrt{\frac{2(A-1)}{m_n c^2 A (E_\gamma - Q)}} \cos \theta \right] \quad (4.66)$$

ここで、各パラメータの意味は以下の通りである。

A : 標的核の質量

E_γ : 光子のエネルギー

Q : 閾エネルギー

m_n : 中性子質量

c : 光速

θ : 光子と生成中性子の飛行方向間の角度

離散レベル非弾性散乱(MT=50-90)を用いて(γ, n')反応を表現しているのは、CNDCCで評価された核データのみであり、角度分布も等方として表現されている。なお、上式は生成粒子が中性子の場合にしか適用できないことに注意されたい。

LANLのO-16に対する評価などで、MF=6/MT=5に対するLAW=1の形式でエネルギー角度分布が与えられ、0.01 mbのような小さな断面積を閾エネルギーから20 MeV程度まで与え、それらの分布が0.0 eVから 1.0×10^{-5} eVの範囲となっているものがある。この場合、重心系でサンプリングすると中性子のエネルギーは 6.0×10^{-6} eVなどのような値となり、実験室系に変換するとkeVオーダーのエネルギーとなるが、現在はこれを許容している。

MVP で現在生成可能な粒子は、中性子と光子のみである。これら以外の陽子、 α 線等の荷電粒子の生成データが与えられている場合には、粒子の生成数の計算まで行ってから計算を打ち切り、生成しないようにしている。MVP の光核反応に対する処理は、MT 番号が 117 以下 ($MT \leq 117$) の反応を取り扱い、それより大きい番号の反応 ($MT > 117$) は無視する。中性子と光子の生成数の総数と輸送計算中の粒子数の合計が、バンクサイズ (NBANK) を越える場合、超過分を取り扱えないため計算を強制終了することに注意されたい。

4.6.8 光子の速さ

時間依存タリーの計算では光子の速さが必要である。光子の速さ V_p はそのエネルギーまたはエネルギー群に依らず、MVP、GMVP 共に次式で与えられる。

$$V_p = c \tag{4.67}$$

5. 幾何形状の表現

MVP/GMVP コードで採用している幾何形状モデルの表現法の特徴は以下の通りである。

- (1) MORSE-CG コード、VIM コードなどで用いられてきた CG(Combinatorial Geometry) 表現 [18] を拡張した「組合せ形状表現法」を採用しており、複雑な三次元形状を容易に作ることができる。
- (2) 原子炉の炉心等でよく見られる階層構造を持った繰り返し形状を容易に表現するために、四方格子および六方格子による「多重格子表現の機能」を有している。
- (3) 格子表現において、繰り返しの単位が配置される異なる部分空間を、「部分空間毎に付けられる名前 (SUBSPACE 名)」によって識別することができる。
- (4) 粒子束等の空間平均のタリーを、細かく分割された部分空間毎に取ると同時に、これらの部分空間の任意の組合せに対しても取ることができる (「TALLY REGION の指定機能」)。
- (5) 被覆粒子燃料、ペブルベッド燃料、プルトニウムスポット等のランダムな形状をシミュレーションするための確率論的幾何形状モデルを利用できる。

ここではそれぞれについて、その基本的な考え方を述べる。

5.1 組合せ形状表現

組合せ形状表現では、幾何形状モデルを空間内の領域を “BODY(ボディ)”、“ZONE(ゾーン)” 及び “REGION(リージョン)” の概念を用いて表現する。

(1) BODY

BODY は幾何形状を表現するために用意されている直方体・球等の単位形状オブジェクトである。これらはひとつまたは複数の曲面で区切られた形状であり、その内部と外部を区別することができるものである。

(2) ZONE

ZONE は MVP/GMVP における幾何形状モデルの最小単位となる空間部分であり、BODY の組合せ (和、交わり等の集合演算) で定義される。ZONE は組成と密度の均一な単一物質からなり、ただひとつの REGION に属する。

(3) REGION

REGION は粒子束等のタリーをとる空間領域の単位であり、幾つかの ZONE の和集合で定義される。異なる物質を持つ複数の ZONE を 1 つの REGION に帰属させることもできる。タリーの分散低減のためのパラメータは REGION 単位で設定される。

5.2 BODY

BODY はその組合せ (集合演算) によって ZONE を定義するものであり、内側と外側が一意的に決まっている。現状の MVP/GMVP には次の 17 種類の BODY が用意されている。

- RPP (rectangular parallelepiped, 座標軸に垂直な面からなる直方体)
- SPH (sphere, 球)
- RCC (right circular cylinder, 直円柱)
- CYL (cylinder in Z-direction, Z 軸に平行な中心軸を持つ直円柱)
- TRC (truncated right cone, 円錐台)
- TEC (truncated elliptic cone, 楕円錐台)
- WED or RAW (wedge, 三角柱)
- BOX (parallelepiped, 任意の方向を向いた平行六面体)
- RHP (right hexagonal prism, 中心軸が Z 軸に平行で 1 つの側面が X 軸に垂直な正六角柱)
- HEX (hexagonal prism, 任意の方向を向いた正六角柱)
- ARB (arbitrary polyhedron with 4, 5 or 6 faces, 任意の四、五または六面体)
- ELL (ellipsoid by rotation, 回転楕円体)
- GEL (general ellipsoid, 三軸不等楕円体)
- ELT (elliptical torus, 断面が楕円のトーラス)
- HAF (half space with planer surface, 平面によって区切られた半空間)
- RCL (right cylinder with specified radial direction, 底面に方向性を持った直円柱)
- GQS (general quadratic surface, 一般二次曲面)

これらの BODY の種類は上述の 3 文字のアルファベットからなる文字列で識別され、それぞれの BODY は、10.2 節で示すデータによって大きさおよび位置が決められる。また、実際の入力では各 BODY に BODY 識別番号を付け、これによって ZONE の定義において各 BODY を指定する。

これらの BODY を更に組み合わせたものを 1 つの BODY として扱うこともできる。これは、仮想的な BODY タイプ BBC(BODY-by-BODY combination) を用いて指定する。これによって BODY の組み合わせの記述が容易になる場合がある。

5.3 ZONE の定義

5.3.1 BODY の組合せ演算

ZONE は幾何形状モデルの最小単位であり、BODY の組合せ (集合演算) で定義される。そのために使用できる集合演算は

- 共通部分 (intersection, AND): 演算子は必要ない。
- 和集合 (union, OR): 演算子は “OR”。

の 2 種類と、BODY 識別番号に付けられた符号である。その符号はそれぞれ、

- “+”: BODY の内側 (省略可)
- “-”: BODY の外側

を意味する。ひとつの ZONE の定義に使用できる BODY の数に制限はないが、あまりにも多数の BODY をひとつの ZONE の定義に用いると計算速度に影響する場合があるので注意する必要がある。

例:

- ”+1 +2”: ”body 1 の中” かつ ”body 2 の中”
- ”+1 -2”: ”body 1 の中” かつ ”body 2 の外”
- ”-1 +2”: ”body 1 の外” かつ ”body 2 の中”
- ”+1 OR +2”: ”body 1 の中” または ”body 2 の中”
- ”-1 -2 +3”: ”body 1 の外” かつ ”body 2 の外” かつ ”body 3 の中”

これらの組合せ演算による ZONE が構成される様子を図 5.1 に示す。

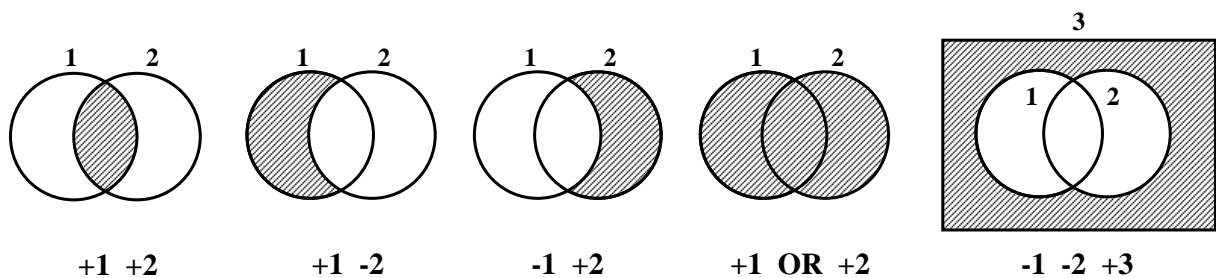


図 5.1 BODY の組合せによる ZONE の表現

5.3.2 サポートされない BODY 演算

現在の MVP/GMVP の組合せ形状表現では BODY の結合のための “AND” と “OR” の演算順序として “AND” を優先しているが、“OR” 演算を優先させたい等の状況があっても通常の論理演算における “()” に相当する演算子を使用することができない。図 5.2 の斜線で示された部分を定義するのに、

+1 (+2 OR +3) “1 の中” かつ “2 の中または 3 の中”

という表現は許されていない。この場合は

+1 +2 OR +1 +3 “1 の中かつ 2 の中” または “1 の中かつ 3 の中”

と表現しなければならない。

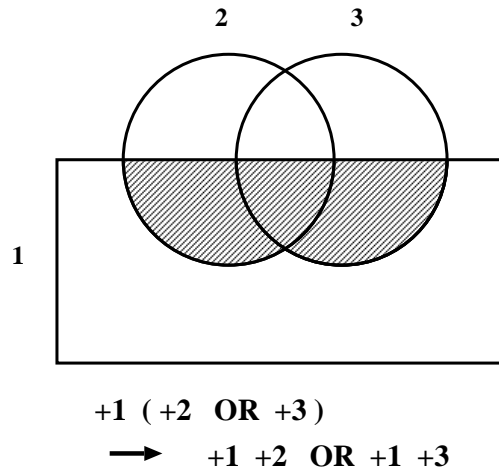


図 5.2 許されない括弧つき OR 表現の展開の必要性

5.3.3 BODY 演算の先頭におかれる OR

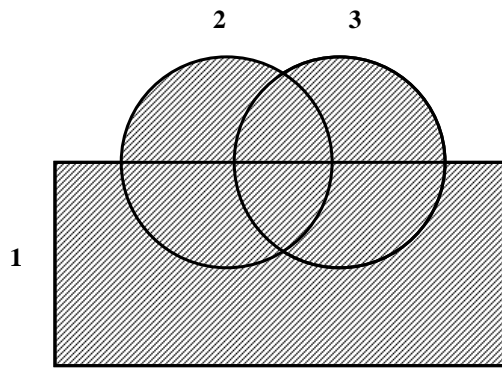
“OR” 演算子を利用する場合、“OR” が先頭に書かれた形式 “OR +1 OR +2 OR +3” も記述可能で “+1 OR +2 OR +3” と同義である。二通りの記述はともに、図 5.3 の斜線で示された領域: “1 の中” または “2 の中” または “3 の中” を意味する。“+1 OR +2 OR +3” の方が自然であると思われるが MORSE コード 等の CG 表現では “OR +1 OR +2 OR +3” のような記法を採用しているため、入力データの互換性を考慮して MVP/GMVP では両方の表現を許している。

5.3.4 INPUT-ZONE と ZONE

ひとまとまりの BODY 組合せ演算で定義された部分空間 (ZONE) は MVP/GMVP 内部では正確に言えば “INPUT-ZONE(入力 ZONE)” と呼ばれるもので、入力データ中で物質 ID 番号・REGION 名を指定する単位として存在するものである。もし、INPUT-ZONE の定義に “OR” が含まれる場合には、プログラム内では “OR” 記号で区切られた INPUT-ZONE の各部分がそれぞれ別々の ZONE として定義される。“OR” を含まなければ INPUT-ZONE 自体がひとつの ZONE となる。コード内の各種計算は一般に ZONE 単位で行われるため、計算中のエラーメッセージ等で出力される ZONE 番号が “INPUT-ZONE” 番号ではなく、“ZONE” である場合があることに注意する必要がある。

5.3.5 空間上で重なって定義された ZONE

ある部分空間が 2 つ以上の ZONE(ここでは INPUT-ZONE ではない) に含まれているとき、「ZONE が多重に定義されている」という。多重定義されている部分空間に存在する粒子は、どのような



$$+1 \text{ OR } +2 \text{ OR } +3 \\ = \text{OR } +1 \text{ OR } +2 \text{ OR } +3$$

図 5.3 等価な 2 通りの OR の用法

経路を経てその部分空間に達したかによって異なった ZONE(その部分空間を含む ZONE のなかの 1 つ) に存在すると判断される。例えば、図 5.4 のように、2 つの ZONE がそれぞれ、BODY #1、#2 の内部と定義され、斜線部分が二重に定義されている。A と B の間のパスを考えてみると、図中太線で示された部分は、

- 1) A → B のとき : ZONE #1 に属する
- 2) B → A のとき : ZONE #2 に属する

と判断され、経路によって属する ZONE が異なることになる。2 つの ZONE 以外の領域から、直接二重定義領域に入射した場合は、更に複雑で、どちらの ZONE と判断されるかは、ZONE を定義した順序や、ランダムウォークのそれまでの経過 (注目している粒子のみではない) に依存する。

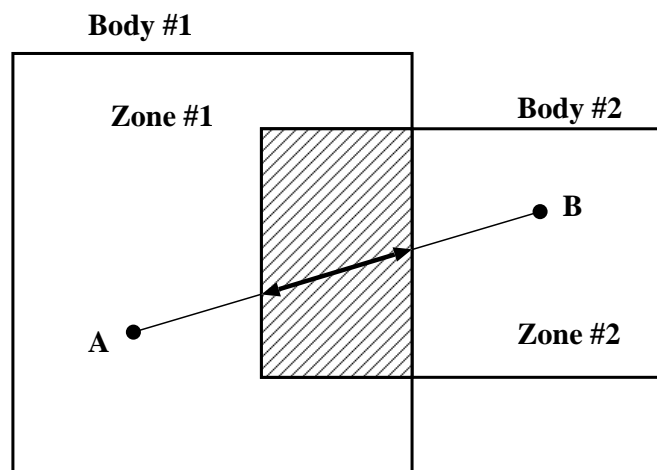


図 5.4 ZONE の二重定義

しかし、多重定義された ZONE の重なっている部分が

- 同じ物質からなり、かつ
- 同じ REGION に属している

という条件が満たされるならば、その部分空間の物質と REGION は一意的に定まるので、計算上問題は生じない。図 5.4 を例として考えると、重なりのある 2 つの BODY #1 と #2 を用いて定義された INPUT-ZONE “+1 OR +2” は、2 つの異なる ZONE (BODY #1 の中と BODY #2 の中) に分けられ、2 つの body の共通部分は両方の ZONE に属する。この時、物質と REGION は INPUT-ZONE に対して与えられるので、2 つの ZONE は上記 2 つの条件を満たしている。

一方、上記の条件を満たしていない場合に、二重定義されている部分空間が物理的に有意な大きさを持っていると、幾何形状モデルは一意的に定まらず、物理的に意味のないものとなる。この場合でも、MVP/GMVP コードは二重定義のチェックを行わないので注意を要する。ただし、断面図のプリントオプションあるいは形状表示ツール CGVIEW を使用した場合には、その断面上で ZONE が二重に定義されている点に対しては、上記 2 つの条件を満足しているかどうかは確認できる。

5.3.6 粒子トラッキングにおける ZONE の同定と未定義空間

粒子の存在する可能性のある部分空間はすべて ZONE として定義されていなければならない。定義されていない部分空間に入射した粒子に対しては、その粒子の属する ZONE を決めることができないので、追跡を続行することができず、“lost particle”(迷子粒子) としてヒストリを終了する。

MVP/GMVP では、空間領域の境界に到達した粒子 (空間座標 \mathbf{X} 、飛行方向 $\mathbf{\Omega}$) が次に入るべき ZONE を決定するときには、空間位置

$$\mathbf{X}' = \mathbf{X} + \epsilon \mathbf{\Omega}$$

に対して、条件を満たす ZONE を見つけようとする。ここで、 ϵ は、コードが区別する距離の最小値 (入力データ DEPS: 省略値 = 10^{-5} cm)、 $\mathbf{\Omega}$ は粒子の飛行方向の方向余弦ベクトルである。

各 ZONE に対する条件のチェックは、以下のように行う。

- 既に学習により可能性のある ZONE と判断されたものを確率の高い順序で。
- 上記以外の ZONE を入力データで定義された順序で。

隣り合う 2 つの ZONE の境界面が、それぞれの ZONE で異なる BODY を用いて表現されている場合に、数値データの表現精度のために完全には同一の面とならず、2 つの面の間に未定義空間 (ZONE として定義されていない空間) が生じる場合がある。また、数値計算の誤差のために見掛け上、未定義空間があるかのように粒子の追跡に失敗する場合もある。これらの粒子はヒストリを終了し、“lost particle” として処理される。これらの問題は、物理的には有意でない範囲で境界面附近の空間を二重に定義することによって避けることができる。

5.3.7 ZONE の有限性

粒子の存在する空間 ZONE は有限の大きさをもっていなければならない、無限に広がってはならない。即ち、無限体系中の粒子のエネルギー変化のみを計算する場合でも、有限な ZONE を

定義し、完全反射境界条件を用いて計算しなければならない。これは、粒子の追跡において、今いる ZONE の境界までの距離が計算できなかった場合は粒子の追跡を終了するためである。

一方、粒子が入ることのできない ZONE(後述の境界条件を表すための仮想物質を含む ZONE) は無限に広がっていて構わない。このような ZONE はある単一の BODY の外側と定義することもできる。

5.4 物質の指定と境界条件

各 ZONE 毎の物質の指定は断面積データで定義される物質 ID 番号で行う。MVP/GMVP においては「境界条件」の設定は境界面等を定義する代わりに、境界の外側の空間部分に各種境界条件に対応した仮想物質からなる「仮想的な ZONE」を定義することによって行う。境界条件等に対応した物質を含めての物質 ID 番号は表 5.1 ように分類されている。

表 5.1 物質 ID とその分類

物質 ID	対応する「物質」
> 0	物質組成入力データで組成が与えられる通常の物質
0	内部ボイド (粒子はこの領域を通過するだけで衝突反応は行わない。)
-1 ~ -998	この ZONE には別途定義された小宇宙 (セルあるいはその規則的な並びからなる格子) が入ることを示す (このような ZONE を“FRAME ZONE”と呼ぶ)。絶対値が小宇宙 (通常は格子) の識別番号。
-999	セル (繰り返し形状の単位) の外部境界を定める仮想的な ZONE であることを示す。
-1000	外部ボイド (真空境界に相当し、この ZONE に入った粒子は体系から漏れたとみなされ、そのランダムウォークを終了させる。)
-1001 ~ -1999	アルベド反射物質 (現在のところ実装されていない。)
-2000	完全反射物質 (mirror reflection 境界条件に相当。)
-3000	等方反射物質 (white reflection 境界条件に相当。)
-4000	周期境界条件を指定する物質

仮想物質を使用する際にいくつかの制限がある。ユーザーは以下のことに注意しなければならない。

- (1) 点検出器を使用する場合、仮想物質 ($ID \leq -1001$) を使うことはできない。ボイド (真空) 領域は指定することができる。現在、計算体系中に仮想物質がある場合、MVP/GMVP では擬似粒子の飛行パスを正確に計算することはできない。
- (2) 粒子が無限ループに入る可能性がある場合、仮想物質を使うことはできない。例えば、ある領域の外側が完全反射物質で満たされており、その内側が真空であるとき。この場合、反射した粒子の向きによっては永久に散乱されずに粒子が飛行を続ける可能性がある。

周期境界条件を使うときは更に制限がある。周期境界条件を指定するには、“-4000”という仮想的な物質 ID の物質を含む空間 ZONE を定義するが、その ZONE は以下の条件を満たしていなければならない。

- (1) 物質 ID -4000 で満たされた ZONE は、RPP、BOX、RHP 等のように一对の平行面を持った BODY の外側に配置されなければならない。その平行面が周期境界となる。
- (2) 物質 ID -4000 の ZONE は、単一の ZONE で定義されていなければならない。周期境界となる平行面の外側は別々の ZONE で定義してはならない。

計算処理上は、物質 -4000 を含む ZONE の境界にランダムウォーク粒子が到達すると、その粒子は飛行方向を保存したまま、空間位置を対応する向かい合う面上に平行移動することになる。

5.5 繰り返しのある形状の表現

5.5.1 格子形状表現の概念

MVP/GMVP は繰り返しのある形状を簡単に表現する機能を有している。これは MVP/GMVP の用語で格子形状と呼ばれる。格子形状表現法の考え方を図 5.5 に示す。格子形状表現では、次の用語が用いられる。(これらの用語は大文字のアルファベットで示される。)

- CELL(セル):繰り返しの単位となるもので、その内部の形状はセル固有の座標系で定義される。
- LATTICE(格子):セルの規則的な三次元並びと格子の外部境界を定める外枠で定義される。
- FRAME ZONE(フレームゾーン):幾何形状モデルにおいて格子が配置される ZONE。
- SUBFRAME(サブフレーム):格子において各セルが配置される部分空間。

「格子」と「フレームゾーン」、「セル」と「サブフレーム」の区別が分かりにくいかもしれないが、「格子」と「セル」は繰り返される空間形状や配置を与える「雛型」であり、「フレームゾーン」「サブフレーム」はそれらの雛型が実際に空間に配置される位置を表わすものと考えれば良い。

MVP/GMVP の格子形状表現法は次の機能を有している。この機能は“LATTICE”オプションを指定することによって使用できる。(なお「確率論的幾何形状」についても、プログラム上は格子形状の一種としての扱いになるが、これについては次節で説明する。)

- (1) 格子形状として、直方体セルの並びである四方格子、正六角柱セルからなる六方格子が利用できる。
- (2) 任意の個数の格子を定義でき、空間の任意の位置、任意の方向に配置できる。同一の格子を空間の異なる位置に配置することもできる。
- (3) 格子には格子の外部境界を定義する「外枠」がある。入力データでの「FREE-LATTICE-FRAME オプション」の指定により、外枠の形状を任意のものにすることが可能である。この「オプション」を用いない場合は使用できる外枠は限定される。四方格子の外枠はセルの並びの最外部を取り囲む直方体に、六方格子の場合は、正六角柱、円柱、直方体の3種類の外枠にそれぞれ限定される。

- (4) 格子は任意の数の SUBFRAME で構成することができる。また、いくつかの SUBFRAME は格子には含ませず、FRAME の定義されている世界で別途定義することもできる。
- (5) セルは組合せ形状表現法で定義される。
- (6) セル自身が、別の格子を含むことができる (これを多重格子表現機能と呼ぶ)。
- (7) セルを格子内の SUBFRAME に配置するとき、反転、回転等を行うことができる。

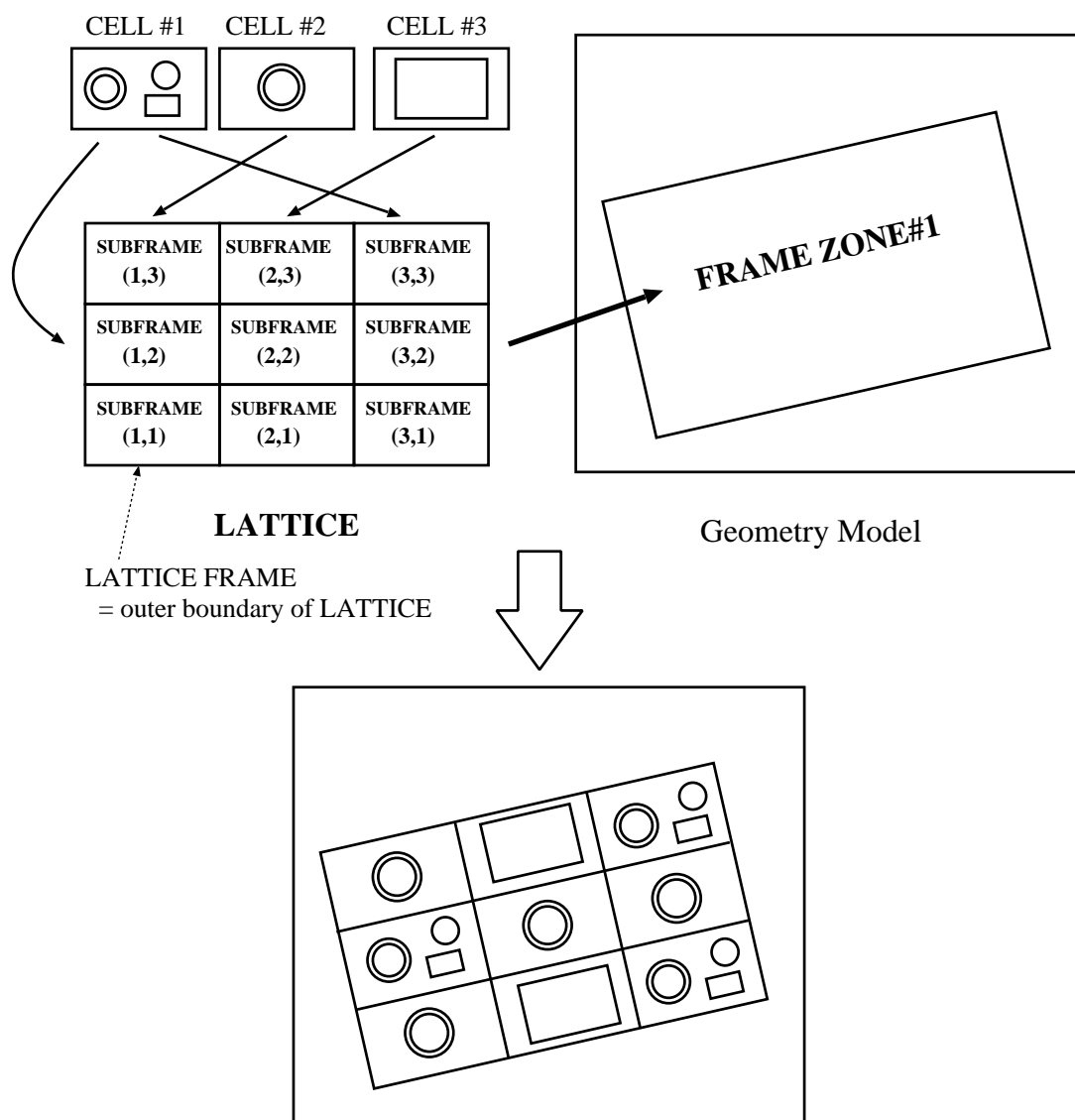


図 5.5 格子形状の作成と空間内への配置

5.5.2 多重格子形状の階層構造

MVP/GMVP の格子形状モデルでは、格子セルの中に更に格子を含むことができる。このような場合の幾何形状モデルを図 5.6 に示す。MVP/GMVP では階層の深さを「レベル」と呼んでいる。

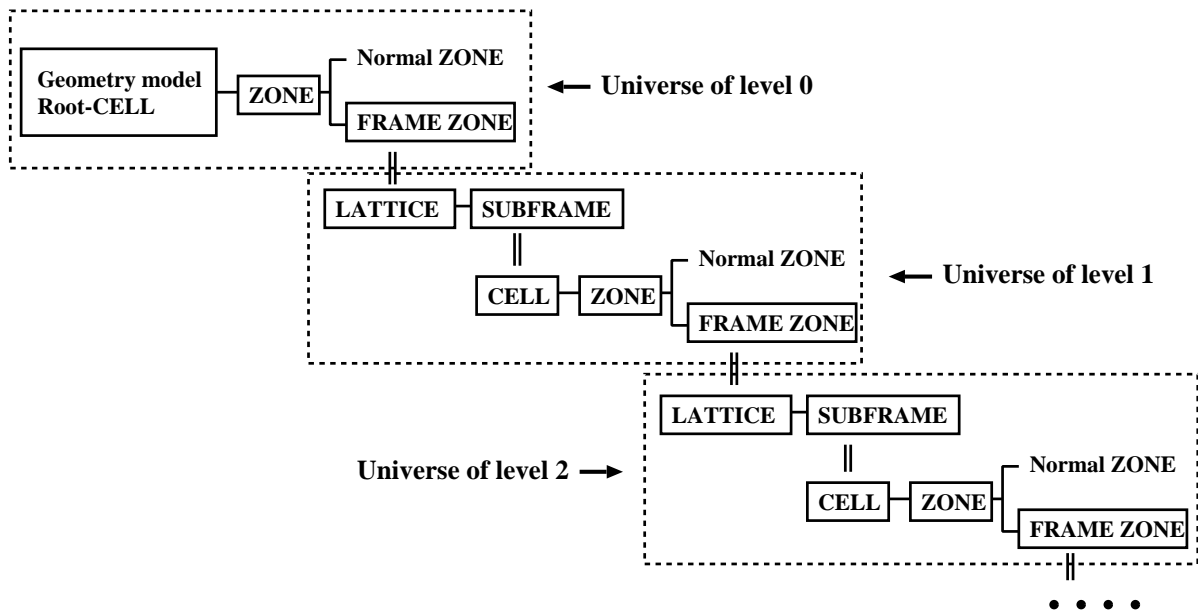


図 5.6 階層化された格子形状の概念

図 5.6 において各オブジェクトの関係は以下のように表現されている。

— : 左側が右側のものに分割される、あるいは右側の組合せで左側が表現されることを示す。

|| : 上側の空間に下側の世界が入ることを示す。

{ : 左側が右側のように分類されることを示す。

以下に用語の意味を示す。

- Normal ZONE :

通常の物質 (物質 ID 番号 ≥ 0)、または境界条件あるいは格子セルの外側形状を決めるための仮想的な物質 (物質 ID 番号 ≤ -999) の入る ZONE である。これらの ZONE の中に格子が定義されることはない。

- FRAME ZONE :

格子の配置される位置や方向を示すための ZONE。

$-998 \leq \text{物質 ID 番号} \leq -1$ (物質 ID 番号の絶対値が格子の識別番号) または物質 ID 番号のかわりに “LAT= 格子 ID” の形式のデータを含む。

- LATTICE :

格子表現を用いて定義された世界である。以下の SUBFRAME に分割される。

- SUBFRAME :

格子 (LATTICE) の各格子セル位置に対応した部分空間である。

- CELL :

固有の座標系で別途定義された世界

このように、多重格子表現は **CELL**-**ZONE** を単位としており、CELL は FRAME ZONE に配置される LATTICE を介して他の CELL を含むことができる。論理的には無限に深い階層構造を表現することができるが、現状ではレベル 4 の世界までしか取扱わないようになっている。

【注:ROOT-CELL】

このようにして表現された幾何形状モデル自身も、境界条件を設定しなおすことによって他の SUBFRAME に配置することができる。従って、現在のモデルにおける最も上位の階層における CELL とみなすことができるので、これを ROOT-CELL と呼ぶ。そして、この ROOT-CELL の配置されている空間は ROOT-SUBFRAME(=ROOT-FRAME) とみなすことができる。ただし、これは階層構造上であって、実際には、現在の MVP/GMVP コードは直方体セルと正六角柱セルしか扱うことができないという制限がある。

5.5.3 セルの定義

直方体セル及び六角柱セルは、それぞれ図 5.7 に示したような BODY RPP 及び RHP の内部に通常の ZONE と同じように定義される。RPP は直方体で各面は座標軸に垂直である。BODY RHP は Z 軸と平行な軸をもち、1 つの側面が X 軸に対して垂直な正六角柱である。これらのセルの外部境界を定める BODY は、任意の位置に配置できるが、セル内の ZONE はすべてこの BODY の中に収まるように定義しなければならない。また、この BODY の内部に ZONE として定義されていない空間部分を含んではならない。セルの外枠を決める BODY の外側には、セルの外側であることを示す仮想的な物質 (物質 ID が -999) を含む ZONE を定義しなければならない (図 5.8)。このようにして定義されたセルは、セル毎に付けられるセル ID 番号によって識別される。

セル内の粒子の追跡は、図 5.7 に示したセルの中心を原点としたセル内座標系 (X_c, Y_c, Z_c) と 5.5.4 節で説明するセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a) を介して、セルが定義された座標系 (X, Y, Z) で行われる。

5.5.4 格子の定義と座標変換

格子は次のように定義される (この節の記述は四方格子と六方格子に関するものである。確率論的幾何形状については別項)。

(1) 格子の種類の指定

以下の 4 つの格子形状が用意されている。格子タイプ番号は入力データ LTYP で指定する。

- 格子タイプ番号 1 : 四方格子 (外枠は直方体)
- 格子タイプ番号 2 : 外枠が正六角柱の六方格子
- 格子タイプ番号 3 : 外枠が円柱の六方格子
- 格子タイプ番号 4 : 外枠が直方体の六方格子

(2) 格子配列の大きさとセル並び座標系

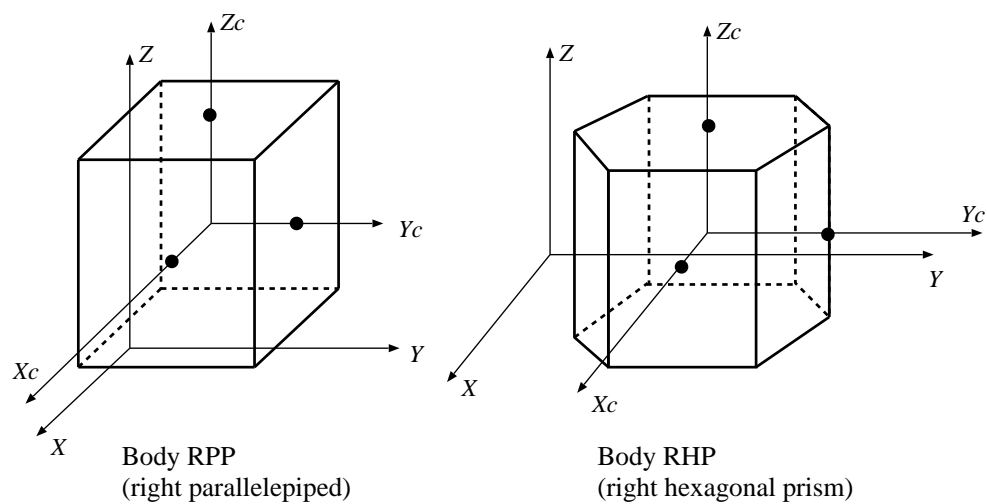


図 5.7 格子セルの形と大きさを定義する BODY RPP(直方体) と RHP(六角柱)

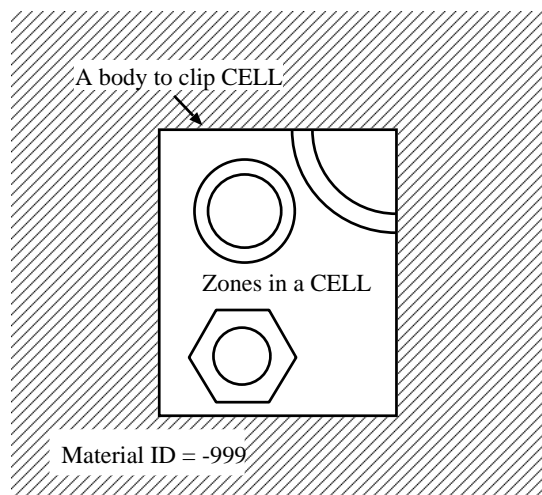
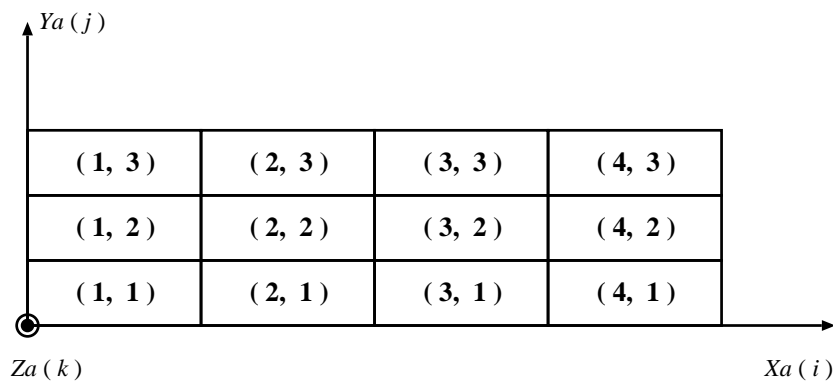
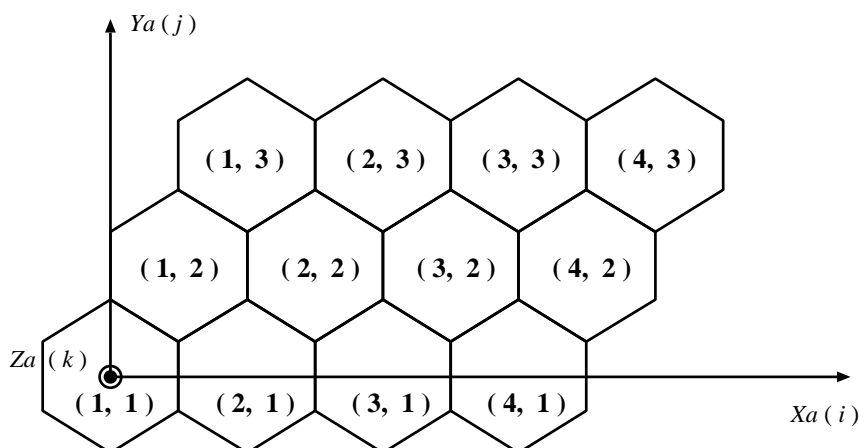


図 5.8 格子セルの構造 (物質 -999 の ZONE で取り囲む)

四方格子、六方格子における格子配列の例 (水平断面図) を図 5.9 に示す。この格子配列に対して、図 5.9 のようにセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a) が定義される。なお、 Z_a 方向は同図で紙面に垂直、下から上に、その原点は $k = 1$ の SUBFRAME の下端に取られる。格子配列中の各 SUBFRAME は 3 つのインデックス (i, j, k) で指示される。そして、各方向に並ぶ SUBFRAME の数によって格子配列の大きさが決まる (変数 NVLAT)。図 5.9 の例では、2 つの配列とも、 X_a 方向に 4、 Y_a 方向に 3 である。



(a) Rectangular lattice



(b) Hexagonal lattice

図 5.9 格子配列とセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a)

(3) SUBFRAME の大きさ (変数 SZLAT)

1 つの格子を構成する SUBFRAME の大きさは一定であり、それは次のように定義される。

- 四方格子 : X_a, Y_a, Z_a 方向のピッチ。
- 六方格子 : X_a 方向の幅 (ピッチ) と Z_a 方向の幅 (ピッチ)。

(4) セル並び座標系とセル内座標系の変換式

この座標変換には SUBFRAME の大きさが用いられる。各座標軸の方向は標準的には

$$X_a \parallel X_c, Y_a \parallel Y_c, Z_a \parallel Z_c.$$

と取られるが、各方向でそれぞれ反転等を行うことができる。セル並び座標系及びセル内座標系における座標 X_a と X_c は、四方格子の場合、次のように関係付けられる。

$$i = \text{INT}(X_a/P_x) + 1 \quad (5.1)$$

$$X_c = \{X_a - P_x \times (i - 1/2)\} \times f \quad (5.2)$$

$$X_a = f \times X_c + P_x \times (i - 1/2), \quad (5.3)$$

ここで、

P_x : X_a 方向のピッチ

$\text{INT}(x)$: x を越えない最大の整数

f : セルを SUBFRAME に配置する時の反転等を表す。

1: 反転しない。

-1: 反転する。

他の2つの方向も同様に関係付けられる。また、六方格子でも幾分複雑であるが同様である。

(5) SUBFRAME とセルの大きさ

SUBFRAME の大きさはそこに配置されるセルと同じ大きさでなければならない。前者の方が大きいときには未定義空間が、後者が大きいときは二重定義空間が存在することになる。

(6) 格子の外枠及び格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ)

- 四方格子: 格子配列サイズと及び SUBFRAME のサイズから決まる、すべての SUBFRAME をちょうど取り囲む直方体が格子の外枠として一意的に定められ、格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ) はセル並び座標系と同じになるように取られる。

- 六方格子: 格子の外枠として、3種類の形状(正六角柱、円柱、直方体)を使用でき、それぞれの枠に対して図 5.10 に示したように格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ) が取られる。外枠の大きさは変数 SZHEX で決められる。外枠はセルの並びとは独立に設定することができ、セルの並び(セル並び座標系)と外枠(格子内座標系)の位置関係が次のように決められる。

- 1) Z_a 軸は Z_ℓ 軸と同じ方向にとられ、 $Z_a = 0$ と $Z_\ell = 0$ の面が一致するように原点が取られる。 (X_a, Y_a) と (X_ℓ, Y_ℓ) の関係は図 5.11 に示すように、次項 2) と 3) から決められる。

- 2) 外枠の中心と基準 SUBFRAME の中心の位置のずれ:

外枠の中心(図 5.11 中■)から基準 SUBFRAME の中心(図 5.11 中□)に向かうベクトル (X_ℓ, Y_ℓ) 座標系での成分: 変数 SZHEX)。ここで、

外枠の中心: 枠の底面(六角形、円、長方形)の中心

基準 SUBFRAME: インデックス (i, j) で指定される。

(変数 RCELL、図 5.11 の例では RCELL(5 4))

基準 SUBFRAME の中心: SUBFRAME の底面の六角形の中心

3) $\theta : (X_a, Y_a)$ の (X_ℓ, Y_ℓ) に対する回転角の指定

(反時計回り方向に測る)。

高速炉の燃料集合体等でよく見られる本図の例では $\theta = -30$ 度であるが、実際のデータ入力 (変数 SZLAT(2)) ではこの配置が標準 (ゼロ) となるように $\theta + 30$ を入力する。

【注 1】格子配列の中で、格子枠の内部のみが格子として定義されたことになる。すなわち、枠から外に出た粒子は格子から出たと判断される。また、格子配列 (SUBFRAME の並び) は完全に格子枠の内部を覆っていないといけない。そうでないと、枠の内部に定義されていない空間が存在することになる。

【注 2】格子内座標系を介して格子内の世界 (セル並び座標) が格子の外部の世界と関係付けられる (5.5.6 項「格子形状の FRAME ZONE への配置」参照)。

5.5.5 SUBFRAME に配置されるセルの指定

SUBFRAME 毎にそこに配置されるセルを ID 番号で指定し (変数 KLATT)、配置されるセルの向きを指定する (変数 KSLAT)。KLATT=0 の SUBFRAME は格子には含まれず、その SUBFRAME の占める部分空間は、格子が配置される FRAME が定義されているレベルで別途定義されている。これを利用すると図 5.12 のようなピッチの異なる 2 つの格子で構成される体系を表現できる。簡単のために、2 次元配列で考える。

格子 #1 : 5×4 の四方格子 (内部の 3×2 の SUBFRAME は格子に含まれない。)

```
KLATT(  1  1  1  1  1
        1  0  0  0  1
        1  0  0  0  1
        1  1  1  1  1 )
```

格子 #2 : 4×3 の四方格子

格子 #1 の配置される FRAME ZONE = +1 -2

格子 #2 の配置される FRAME ZONE = +2

セルを SUBFRAME に配置する方向はデフォルトで

$$X_a \parallel X_c, Y_a \parallel Y_c, Z_a \parallel Z_c$$

として配置されるが、更に以下の方向の変換が可能である。

四方格子 : X_a, Y_a, Z_a 方向の反転

六方格子 :

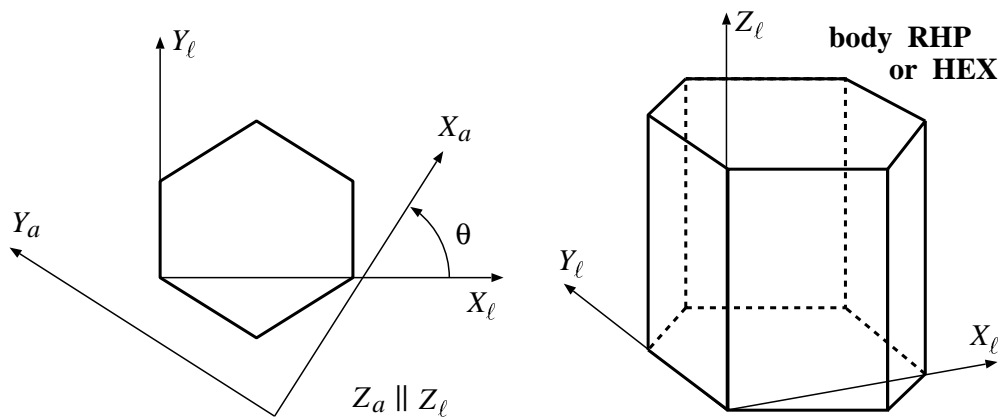
(x) X_a 方向の反転

(z) Z_a 軸 (六角形セルの中心軸) の回りの 60 度単位回転

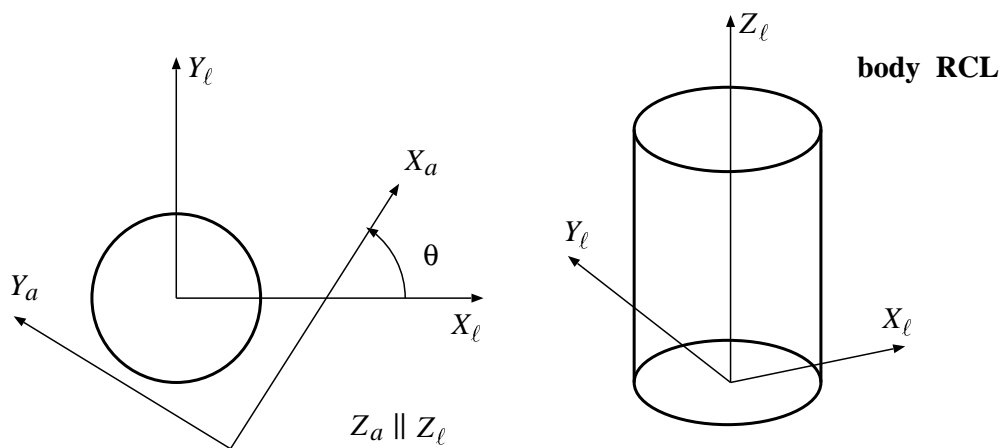
(t) Z_a 方向の反転

(変換の順序は (x) → (z) → (t))

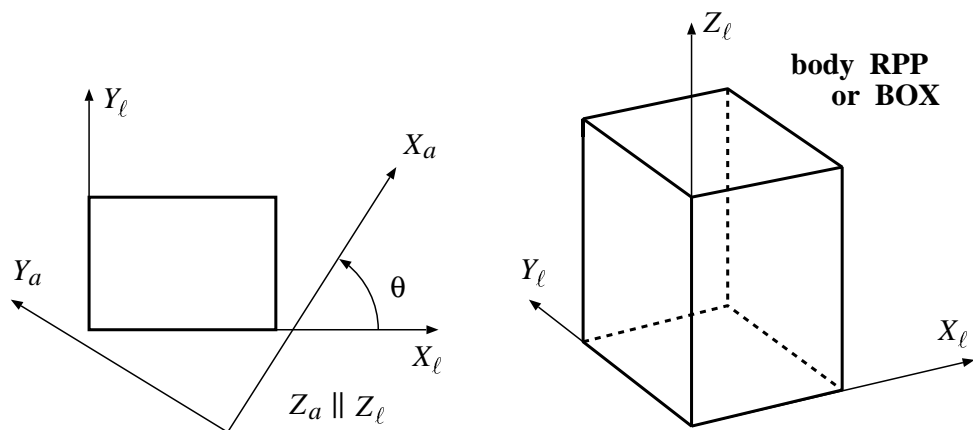
このように定義された格子は格子毎に付けられた格子 ID 番号で指定される。



(a) Frame is a hexagonal prism (LTYP=2)



(b) Frame is a right cylinder (LTYP=3)



(c) Frame is a right parallelepiped (LTYP=4)

図 5.10 六方格子の外枠と格子内座標系 (X_l, Y_l, Z_l)

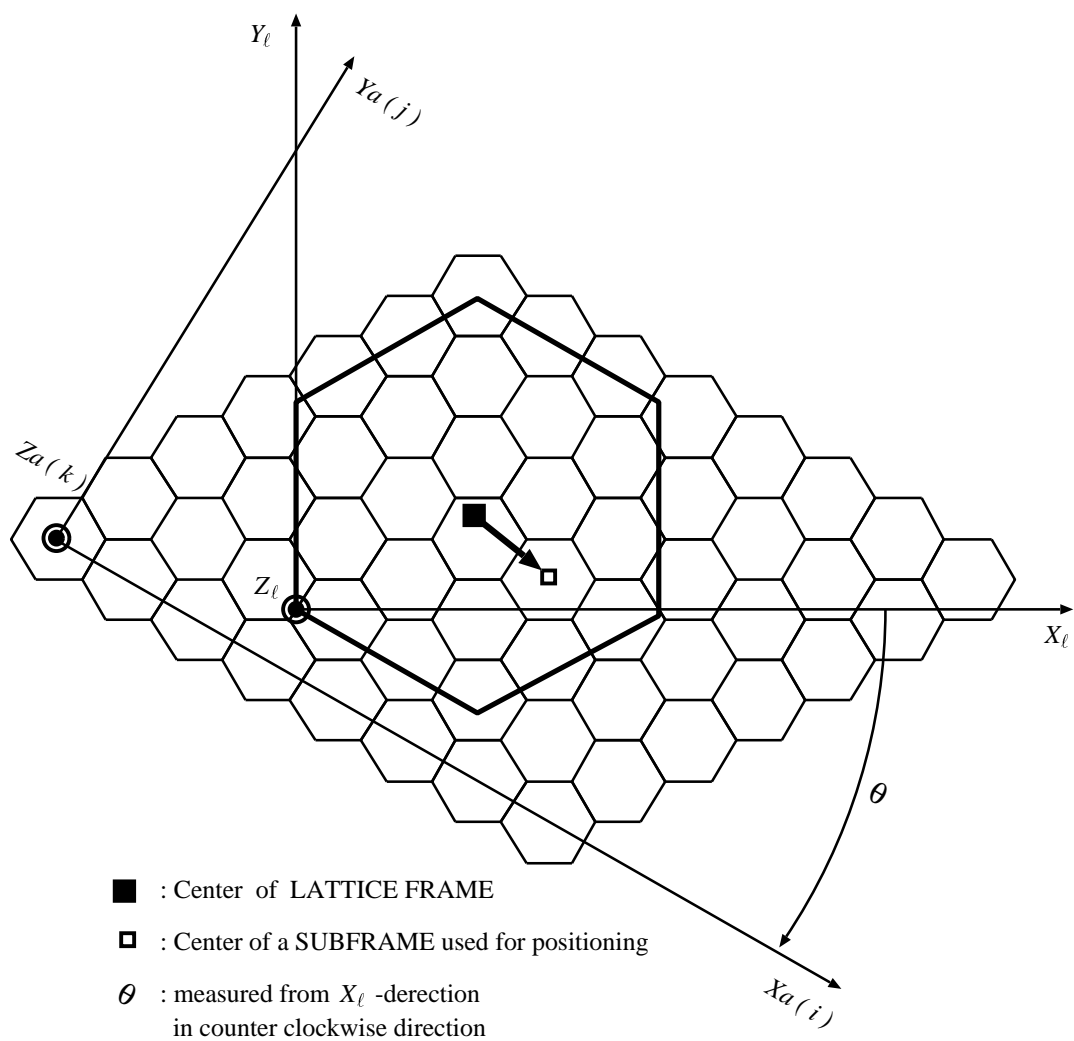


図 5.11 六方格子の格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ) とセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a)

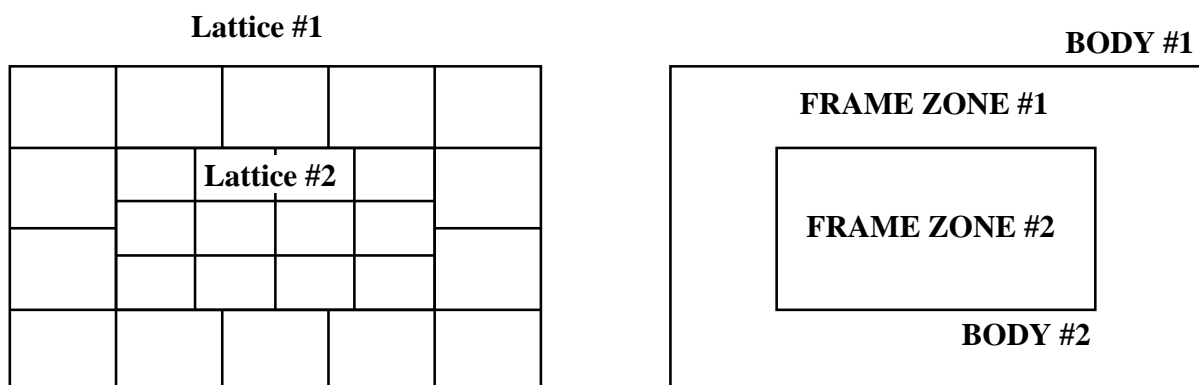


図 5.12 ピッチの異なる 2 つの格子の例

5.5.6 格子形状の FRAME ZONE への配置

幾何形状モデルにおいて格子の配置される ZONE は FRAME ZONE と呼ばれ、負の物質 ID 番号 ($-998 \leq \text{KMAT} \leq -1$ 、この物質 ID 番号の絶対値が配置される格子の ID 番号) または物質 ID 番号の代わりの “LAT= 格子 ID” または “L= 格子 ID” によって FRAME ZONE であることが指定される。

FRAME ZONE 内に配置される格子形状の位置と方向は、FRAME ZONE の定義に現れる最初の BODY もしくは “FRAME=BODYID” のように指定された BODY によって決められる (FRAME BODY)。即ち、格子内座標系 (X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ) における各座標軸の方向が FRAME ZONE に含まれる「位置決めのための BODY」に対して、表 5.2 のように取られる。

表 5.2 格子内座標系の座標軸の方向

BODY	X_ℓ 軸	Y_ℓ 軸	Z_ℓ 軸	備考
RPP	X 方向	Y 方向	Z 方向	
BOX	第 1 辺ベクトル \mathbf{A}_1 の方向	第 2 辺ベクトル \mathbf{A}_2 の方向	第 3 辺ベクトル \mathbf{A}_3 の方向	$\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3$ の定義は図 10.5 参照。
RHP	X 方向	Y 方向	Z 方向	
HEX	ベクトル \mathbf{A} の方向	$\mathbf{H} \times \mathbf{A}$ の方向	中心軸ベクトル \mathbf{H} の方向	\mathbf{A}, \mathbf{H} の定義は図 10.10 参照。
RCL	ベクトル \mathbf{A} の方向	$\mathbf{H} \times \mathbf{A}$ の方向	中心軸ベクトル \mathbf{H} の方向	\mathbf{A}, \mathbf{H} の定義は図 10.11 参照。

なお原点は、図 5.10 の右側の図において、格子の外枠を FRAME ZONE を定義する BODY とみなしたように取られる。また、FRAME ZONE の定義において、“FRAME=BODY ID” で指定された FRAME BODY は、格子形状の配置を決定するだけで、FRAME ZONE の形状には関係しない。

絶対座標 (FRAME ZONE の定義されている空間での座標) $\mathbf{X}^t = (X, Y, Z)$ から格子内座標 $\mathbf{X}_\ell^t = (X_\ell, Y_\ell, Z_\ell)$ への座標変換は次のように行われる。

$$\mathbf{X}_\ell = \begin{bmatrix} X_\ell \\ Y_\ell \\ Z_\ell \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_{x_\ell}^t \\ \mathbf{e}_{y_\ell}^t \\ \mathbf{e}_{z_\ell}^t \end{bmatrix} (\mathbf{X} - \mathbf{V}_0)$$

ここで、 \mathbf{V}_0 は格子内座標系の原点を表す位置ベクトル、 $\mathbf{e}_{x_\ell}, \mathbf{e}_{y_\ell}, \mathbf{e}_{z_\ell}$ はそれぞれ、 X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 軸方向の単位ベクトル、上付き文字 t は転置を表す。

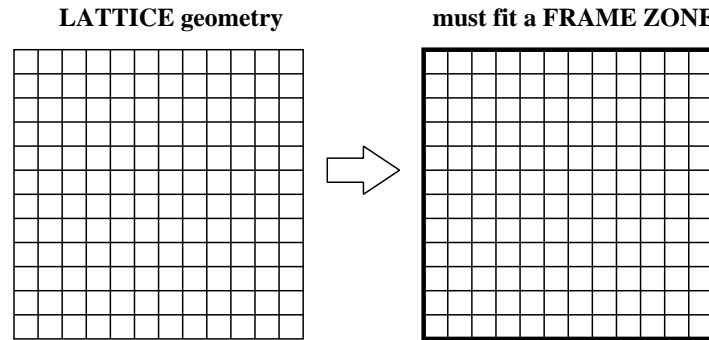
5.5.7 FRAME ZONE の形状

格子形状を配置する FRAME ZONE の形状に関しては、入力データでオプション FREE-LATTICE-FRAME を指定するかどうかによって異なる。

(1) オプション FREE-LATTICE-FRAME を指定しない場合:

MVP/GMVP 第 1 版と互換性のあるモード。FRAME ZONE の形状はそこに配置される格子の外枠 (LATTICE FRAME) の大きさに一致してはいくならない。FRAME ZONE の方が大きい場合は未定義空間、格子の外枠の方が大きいときは二重定義空間が生じてしまう。

(a) LATTICE geometry mapping of non-FREE-LATTICE-FRAME



(b) LATTICE geometry mapping of FREE-LATTICE-FRAME

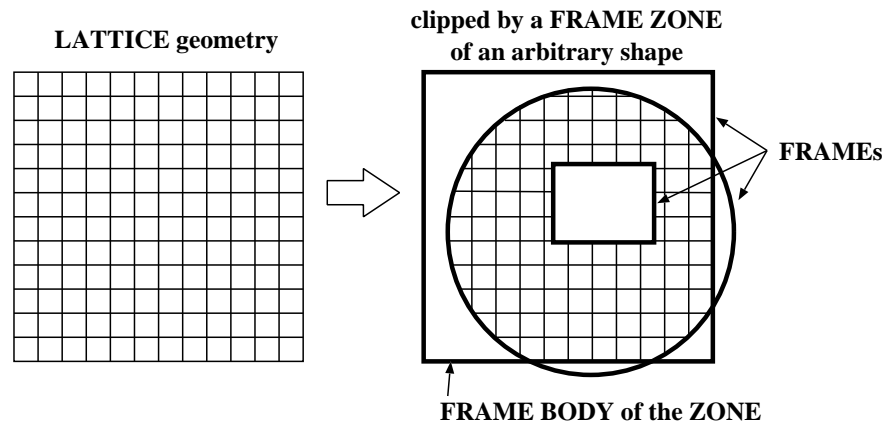


図 5.13 任意形状格子枠と従来の格子枠

(2) オプション FREE-LATTICE-FRAME を指定した場合:

FRAME ZONE の形状は任意である。四方格子/六方格子ともに FRAME ZONE の境界線で格子セルが切断されることが許される。ただし、FRAME ZONE に格子形状を配置するために、格子形状のタイプに応じた形状と大きさを持つ「位置決め」のための BODY(FRAME BODY) が、ZONE の定義において指定されなければならない。この BODY の指定方法については、5.5.6 項「格子形状の FRAME ZONE への配置」に記述されている。

図 5.13 に従来の格子形状オプション (第 1 版) と FREE-LATTICE-FRAME オプションが指定された場合の格子形状の扱いの違いを示す。また、従来の六方格子形状では、図 5.14 のように二重の格子形状になっていて、レベル 1 の格子枠がレベル 2 の格子形状内のセルと交差して格子セルが部分的に切り取られるような場合 (図の線 A-B) に、レベル 2 の形状の取り扱いにおいて上位レベルの格子枠を無視した取り扱いが行われていたため形状が正しく取り扱われないケースがあった。FREE-LATTICE-FRAME オプションが指定された場合、図のような形状でもレベル 2 のセルにおいてレベル 1 の格子枠が正しく認識される。

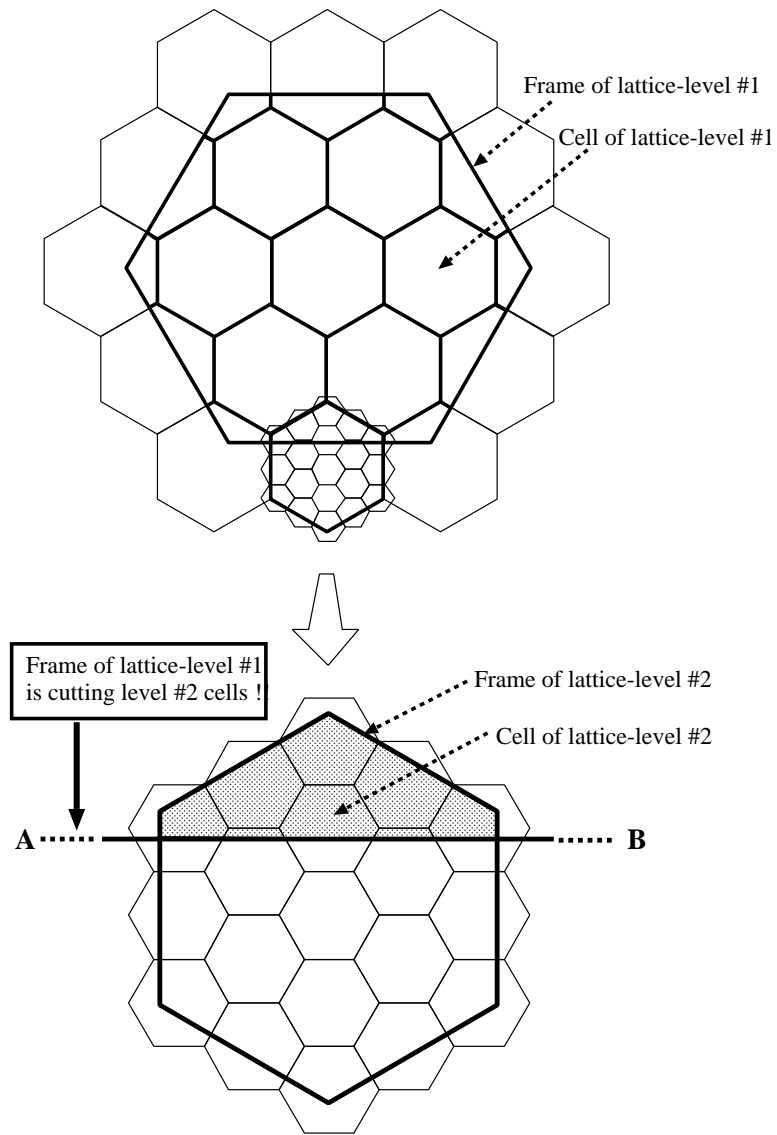


図 5.14 多重格子において格子枠とセルが交差するケース

5.6 確率論的幾何形状モデル

高温工学試験研究炉 (HTTR) などで使用される被覆粒子燃料の不規則配列球状燃料の非均質効果を正確に解析することを目的として、MVP/GMVP 第 2 版には確率論的幾何形状モデル (Statistical Geometry Model) が導入された。モンテカルロ粒子輸送計算コードへの確率論的幾何形状モデルが適用された例として、村田らによる MCNP-CFP コードおよび MCNP-BALL コード [51][52] がある。これは被覆粒子燃料を含む領域に対して、燃料粒子の体積充填比率で決定される最近接粒子までの距離分布 (Nearest Neighbor Distribution, NND) を与え、中性子のランダムウォークの過程で確率的に球状燃料粒子位置を決定していくものである。MVP/GMVP コードに MCNP-CFP と同様な原理による確率論的幾何形状モデルが組み込まれている。図 5.15 に MVP/GMVP の確率論的幾何形状モデルのイメージを示す。

確率論的幾何形状モデルの仕様は以下のようにになっている。

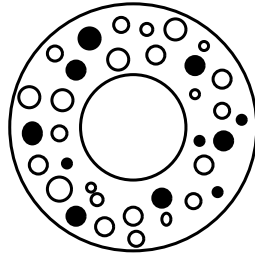
- (1) 被覆粒子燃料を確率的に配置するための空間領域 (以下「STGM 領域」と呼ぶ) を、任意の形状で任意の個数定義できる。
- (2) 任意の個数の被覆粒子燃料領域 (以下「STG 粒子」と呼ぶ) を、球形の空間領域として定義することが出来る。STG 粒子内には任意の空間構造を定義することができ、その中に STGM 領域を更に定義することが可能である。
- (3) 径が同じで物質や空間構造が異なる複数種類の STG 粒子を、同じ STGM 領域に含むことができる。STG 粒子は必ずしも燃料でなくてもよい。
- (4) STGM 領域は MVP/GMVP の格子形状と併せて使用することができ、任意の階層に配置することができる。
- (5) 最近接粒子分布 (NND) としては、MCNP-CFP 用に開発された MCRDF コード [53] によって計算されたもの、もしくは統計的一様分布に基づく解析的分布関数を使用できる。各 STGM 領域毎に、異なる充填率に対応する NND を与えることが出来る。
- (6) MCNP-CFP コードでは STGM 領域内での STG 粒子の配置は STGM 領域の境界と干渉しないように行われていたが、MVP/GMVP の確率論的幾何形状モデルでは STG 粒子が STGM 領域の境界と干渉することを許すようにした。
- (7) STGM 領域が現れる MVP/GMVP 入力データでは LATTICE オプションを指定する必要があるが、格子形状の取扱いについては自動的に FREE-LATTICE-FRAME モード (任意形状格子枠) になる。

STGM 領域を使用した計算は、固有値計算、固定粒子源計算、中性子・光子結合計算等のすべてのモードで行うことができ、リスタート計算も可能である。しかしながら、現状では以下のような制限がある。

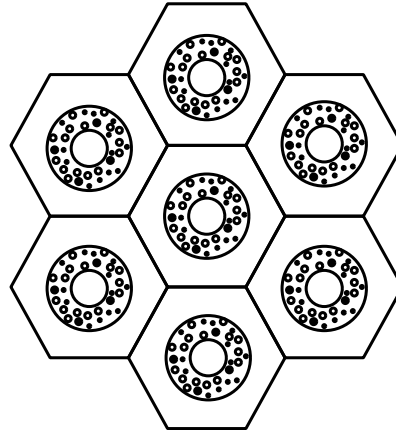
- 1 つの STGM 領域には 8 種類の STG 粒子を配置することができる。
- STG 粒子内には球対称な形状だけでなく、任意の方向性をもった内容を定義できるが、STG 粒子配置に際して方向をランダムに決定することは行わず、STGM 領域の座標系と配置する STG 粒子の定義された座標系は同一の向きとなる。

- STGM 領域および STG 粒子の形状の定義にトーラス形状を使用することができない。
- 固有値問題において核分裂粒子源をファイルに保存してそれを別の計算で初期粒子源として使用する機能があるが、ファイルに格納される情報には中性子が核分裂を起こした STG 粒子の配置に関する情報は含まれない。

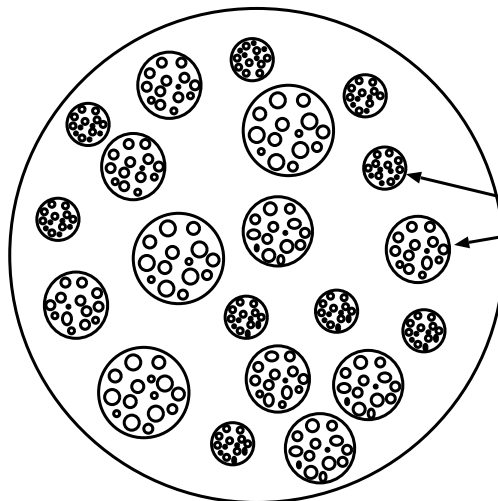
STGM region of arbitrary shape



STGM region in CELLS



STG particles in STG particle



The radius of particles are the same.

図 5.15 MVP/GMVP に組み込まれた確率論的形状のイメージ (STGM 領域、STG 粒子)

5.6.1 確率論的幾何形状モデルの入力方法

確率論的幾何形状機能を使用するには、入力データで以下のような指定を行う。

- たとえ体系に繰り返し構造がなくても、格子形状を使用する (LATTICE オプション)。
- STGM 領域は格子形状のタイプ 10 として指定する。この「格子形状」は中に含む「セル」として STG 粒子と STGM 領域の媒質 (STGM 領域中の STG 粒子以外の部分) となる物質 (マトリックス) を含むかのように扱われる。

- STG 粒子は新しい格子セルのタイプ(タイプ“STGP”)として定義する。このタイプのセルを STG 粒子セルと呼ぶ。
- STGM 領域の媒質の物質とタリー領域を指定するために、仮想的な格子セル(タイプ“MBASE”)を定義する。このタイプのセルを MBASE セルと呼ぶ。

詳細は入力データの説明の章(10.8 節)で解説される。

5.7 REGION 名の階層的表現

組合せ形状表現では、ZONE 毎に REGION 名が付けられ、同じ REGION 名を持つ ZONE は同一の REGION に属した。従って、幾つかの SUBFRAME に配置された同一の CELL 内の ZONE はそれぞれ絶対空間の異なる部分空間を占めているにもかかわらず、異なる REGION として識別することはできない。これを識別するための機能として“TALLY-LATTICE”と呼ぶオプションが用意されている。(オプション“FRAME-DEPENDENT-TALLY”も同じ機能を表す)。

このオプションを指定すると、FRAME ZONE に対して付けられた REGION 名が FRAME 名として意味を持つようになり、これによって同一の格子の入る異なる部分空間が識別される。格子配列の各 SUBFRAME は SUBFRAME 毎に付けられた SUBFRAME 名によって識別される。その結果、レベル 1 の世界の各 SUBFRAME が絶対空間で占める部分空間 (SUBSPACE) は、

FRAME 名 + SUBFRAME 名

によって識別される。これを SUBSPACE 名と呼び、MVP/GMVP では、次のように表記する。

!FRAME 名:SUBFRAME 名

従って、この SUBSPACE 名で指定される部分空間に配置される CELL 内の ZONE は、階層構造を考慮して、次の REGION 名を持つことになる。

!FRAME 名 : SUBFRAME 名 !ZONE 毎の REGION 名
(Level 0) (Level 1)

ここで、「ZONE 毎の REGION 名」とは ZONE の定義において与えられた「REGION 名」であり、記号“!”は各レベルにおける ZONE または FRAME ZONE に対する REGION 名の開始を示す。レベル 2 の世界では、

!FRAME 名 : SUBFRAME 名 !FRAME 名 : SUBFRAME 名 !ZONE 毎の REGION 名
(Level 0) (Level 1) (Level 2)

となり、以下レベルが上がっても同様に表現できる。上記表現で階層構造に対応して繰り返し現れる

!FRAME 名:SUBFRAME 名

を「各レベルの SUBSPACE 名」と呼び、これによって、そのレベルの SUBFRAME を階層構造で 1 つ浅いレベルからみて識別する。従って、任意のレベルの SUBFRAME は次の SUBSPACE 名を持つ部分空間に属する。(UNIX における階層構造ディレクトリと類似している。)

SUBSPACE 名 = 上位の SUBSPACE 名!FRAME 名:SUBFRAME 名

ここで「上位の SUBSPACE」とは、現レベルの SUBFRAME の属する FRAME が定義されている空間である。この形式から分かるように、同一の“!FRAME 名:SUBFRAME 名”を持った SUBFRAME でも、上位の SUBSPACE が異なると別の SUBSPACE に属することになる。

レベル 0 の世界 (階層構造では ROOT-CELL の入る ROOT-FRAME = ROOT-SUBFRAME とみなすことができる) には SUBSPACE 名はないものとする。最終的に任意の階層レベルの任意の ZONE の REGION 名は次のようになる。

REGION 名 = SUBSPACE 名!ZONE 毎の REGION 名

5.8 TALLY REGION

TALLY REGION とは、飛程長評価法 (track length estimator) あるいは衝突評価法 (collision estimator) による粒子束等のタリーの結果を出力する空間的な領域であり、複数の REGION の組合せとして指定することができる。これらのタリーはコード内では、REGION(TALLY-LATTICE オプション使用時は SUBSPACE 名!ZONE 毎の REGION 名、そうでない時は ZONE 毎の REGION 名で識別される空間の領域) 毎に計算されており、特に指定のない場合にはすべての REGION それ自身が TALLY REGION となる。

MVP/GMVP では TALLY REGION の指定法として、2つのモードが用意されている。いずれのモードでも、REGION の和として TALLY REGION が定義できるが、次の違いがある。

- (1) ADD モード :新たな TALLY REGION を追加する。

この場合には、TALLY REGION を構成する個々の REGION のタリーも出力される。

- (2) DEFINE モード :新たに TALLY REGION を設定し、その構成要素である個々の REGION のタリーは出力しない。

TALLY REGION を指定することによって、次のことが可能となる。

- 詳細な REGION 毎のタリーとともにそれら全体を平均したタリー (例えば、燃料集合体中のピン単位の出力と集合体平均の出力) を同時に計算する (指定モード:ADD の利用)。
- TALLY LATTICE オプションを使用した時にレベルの異なる SUBSPACE に属する ZONE を合せたタリーを取る。例えば、燃料集合体 (全炉心計算ではレベル 1 の世界) が周辺のラッパー管と冷却材の ZONE (レベル 1 の世界で定義される) と燃料ピンセル (レベル 2 の世界) の格子で定義されている場合に、FRAME-SUBFRAME の指定では異なるレベルに属する ZONE を同じ REGION とすることはできないが、同じ TALLY REGION に属するように定義することはできる。なお、TALLY LATTICE のオプションを使用しない場合は、同一の REGION 名を付けることによって計算できる。
- REGION 毎に必要なデータ (例えば分散低減のためのパラメータ) の入力でも、REGION を TALLY REGION 名を用いて指定できる。この場合には、その TALLY REGION を構成するすべての REGION を指定したことになる。

- 分散低減のパラメータ等の入力のために異なる REGION として区別して定義する必要があったが、それぞれの REGION 毎のタリーの計算は必要ない場合には、同一の TALLY REGION とすることによって出力量や必要なメモリーを少なくすることができる (指定モード:DEFINE の利用)。
- プリントアウト等の出力において、特に指定した TALLY REGION の結果は通常の REGION の前に定義した順序で出力されるので、出力が分りやすくなる。

5.9 REGION 名と REGION 番号

REGION 名に応じた REGION 番号の割り当て方は、TALLY LATTICE オプションの使用時・不使用時で異なる。

TALLY LATTICE オプションを使用しないときには、まず、ZONE 毎に付けられた REGION 名が次の様に順序付けられ、それに応じて REGION 番号が決められる。

(1) 文字数の大小によって順序付ける。→ 短い方が順序が先。

(2) 次に文字順序を以下のように決める (“<” は左側が順序が先であることを示す)。

特殊文字 < 小文字アルファベット ($a < b < \dots < z$) < 大文字アルファベット ($A < B < \dots < Z$) < 数字 ($0 < 1 < \dots < 9$)

REGION 名では大文字と小文字は区別される。

(3) 上記手順で順序付けられた REGION 名のうち、順序が先の REGION 名を持つ REGION から順に REGION 番号が付けられる。ただし、FRAME 及び境界条件を表すための仮想的な物質からなる ZONE には REGION 番号は割り当てられない。そのような ZONE に対して REGION 名が与えられていても、その REGION 名は無視される。

例:

- 正の整数のみの場合、数字の小さい順
- A < 1
- A2 < A3
- B2 < A10
- aAA < AAA
- A_CD < ABCD

一方、TALLY-LATTICE オプションを使用した場合には、ZONE データ (REGION 名、FRAME 名、SUBFRAME 名の入力を含む) から決定される順に REGION 番号が付けられる。この時には、入力データから各 ZONE に割り当てられる REGION 番号を知ることが困難である場合も多い。MVP/GMVP が幾何形状データを読み込み、処理を行った後に、REGION 番号と REGION 名の対応表がプリントされる。

【注】 REGION 毎の出力は REGION 番号の順序で行われる。

6. 入力データの概要

MVP/GMVPで行う計算の内容は、テキスト形式のデータとして標準入力から与える。以下断わりがなければ、このデータをただ単に「入力データ」と呼ぶことにする。プログラムに入力として与えるデータには、他に、核反応断面積データファイル、リスタートファイルなどがある。

6.1 MVP/GMVP 入力データの特徴

MVP/GMVP の入力データには以下のような特徴がある。

- データ名を伴った入力：
データはデータ項目の名前とともに入力するようになっていて、どの項目に対する入力であるかが分かりやすい。
- 自由形式入力：
ひとつの入力行内でのデータ記述位置はあまり気にする必要がない。
- コメントの記述：
計算に直接関係するデータ以外に、データ作成者の覚え書きなどとして自由にコメントを記述することができる。
- 数式あるいはシンボルによる数値データ記述：
数値データ間の四則演算、数学関数などを適用して得られる結果を入力データとして利用でき、また“名前付き数値データ”(シンボリックパラメータと呼ぶ)を使用することができる。これによって数値データを直接記述する場合に失われてしまう数値の意味に関する情報を記述したり、繰り返し現われる数値を一括して修正したりすることなどが可能になる。
- データ実体の番号付けあるいは名前付け：
入力データ内に現われる実体（空間領域、幾何形状オブジェクト、物質組成など）には、原則として文字による名前、または任意の識別番号を付けることができる。

上記の特徴を活用すれば、理解しやすく、また保守や再利用が容易な入力データを作成することができる。

6.2 入力データの構成

入力データの構成は次の通りである。

Title 1 <最初の 2 行は入力データの内容などを記述するのに使用されるタイトル行>
Title 2

```
options .... <どのような計算を行うかを指示するための文字列（オプション）>
options ...
...
options
```

<ひとつ以上のブランク行がオプション記述を終了させる>

```
data ...
data ... <以下、計算の内容を詳しく記述するためのデータ>
data ...
.....
data
...
/ <文字“/”だけがある行で入力データの終了を示す。>
```

6.3 有効な文字数とコメント

MVP/GMVPの入力データ中には、計算にとって有効なデータと、データ作成者の利便のために任意に付け加えることのできるコメント部分を、以下のルールに従って記述することができる。

- 各入力行は1～72文字目まで有効で、73文字目以降は無視される。
- データファイルの先頭から3行目以降の行で、先頭が“*”の行は無視される(コメント行)。
- データファイルの先頭から3行目以降の行で、“/*”以降の文字列は無視される(これもコメントに使える)。
- タイトル行とオプション部以外では、空白の行は無視される。

例:

枠囲み部分が有効なデータである。

```
MVP test problem
This data is only for data/comment part explanation
FISSION PICTURE
* .... '*' on the first column means comment line
NEUTRON /* neutron problem is solved

* .... option section ended with the blank line above
$GEOMETRY
RPP( 1 0 1 0 10 -1 100 )
END

VOID : : -1000: -1
```

HAKO : 1 : 1 : 1
\$END GEOMETRY
/

6.4 オプション部

オプション部には以下のような文字列を指定する。行内の文字列の記述位置は 1～72 文字目までのどこでもよい。空白文字が各オプションの区切りとなる。

[NO-] <i>option-string</i> (<i>parameter</i> ...)]
--

ここで [] は必要であれば記述すべきものを示している。*option-string* はオプションの種類を示す文字列であり、*parameter* ... は、そのオプションにさらに指定項目があるときに括弧で囲んで指定すべきパラメータを示す。オプション文字列の先頭に “NO-” を付けるとそのオプションの機能を使用しないことを指示したことになる。

例:

```

NEUTRON      /* NEUTRON CALCULATION
NO-RESTART  LATTICE                      /* NECESSARY FOR LATTICE GEOMETRY
DYNAMIC-MEMORY( 3000000 )
*
* --- VARIANCE REDUCTION CONTROL ---
*
NO-RUSSIAN-ROULETTE  WEIGHT-WINDOW  NO-IMPORTANCE
*
* --- TALLY ----
*
NO-UNIVERSE-DEPENDENT-TALLY      /* UNIVERSE-DEPENDENT-TALLY
RESPONSE                        /* REACTION RATE USING RESPONSE FUNCTION.
EDIT-BY-TRACK-LENGTH           /* ESTIMATOR FOR TALLY OTHER THAN FLUX & KEFF
**EDIT-BY-COLLISION            /* ESTIMATOR FOR TALLY OTHER THAN FLUX & KEFF
FLUX-PRINT                     /* PRINTOUT OF FLUX

```

例中の DYNAMIC-MEMORY は、引き続き括弧内にパラメータ (この場合は数値データ) を指定するオプションの例である。

オプション部における “/*” 形式のコメント記述には注意が必要である。“/*” の前に空白しかないか、行の先頭が “/*” である場合、その行は「空白行」と解釈され、そこでオプション部が終了したことになる。

6.5 入力データの記述形式

オプション部の終了を示す空白行以後に、次のようなデータを入力する。

(1) ランダムウォークの制御に関するデータ

- (2) 断面積および物質組成に関するデータ
- (3) 幾何形状に関するデータ
- (4) 線源に関するデータ
- (5) 分散低減に係わるデータ
- (6) 二次粒子発生に関するデータ
- (7) 統計(タリー)に係わるデータ
- (8) 形状のプリント出力のためのデータ

データ部の入力の手注意点は以下の通りである。

- 入力すべきデータ項目のデータ数がそのデータ項目の入力前に決定されているような順序で入力するのが原則である。UNIX 版では `template` ディレクトリで入力データのひな形がいくつか提供されているので、それに修正を加えてデータを作成れば、データ順序の問題はほぼ気にする必要はないと思われる。
- 特定の「データ入力ブロック」(`$CROSS SECTION`, `$END CROSS SECTION` といった文字列で始まる行に挟まれた行)に置くことが指定されているデータがある。逆にデータ入力ブロックが特に指定されていないデータは、データ入力ブロックの外であればどこに指定してもよい。
- オプションの選択等によって不必要であるはずのデータが含まれていても構わない。これらのデータは、読みとばされるか、または読み込まれても計算には使用されない。逆に、選択したオプションによって必要となるデータが入力されず、省略値がきめられていない場合にはエラーとなる。
- 1 回入力すればよいデータ項目を 2 回以上指定した場合、後から読み込まれたものが有効になる。

6.5.1 データ名付き自由形式入力

データを入力する部分では、一般的には以下のような形式でデータを指定する。行内での位置は 1~72 文字目までのどこでもよい。

data-name (*data data ...*)

data-name はデータの名前である。*data data ...* はデータの並びであり、1 個または複数個の数値または文字データである。各データの間は一つ以上の空白で区切る必要がある。またデータの並びが複数の入力行にまたがっていても構わない。ただし、データの名前とそれに続く“(”が別の行にあってはならない。

6.5.2 ブロックによるデータ入力

データの種類によっては以下のような「データブロック」を指定して入力する必要のあるものがある。

```
$data-block    (“$” は 1 文字目)
...
$END [data-block]    (“$” は 1 文字目)
```

あるいは、

```
#data-block    (“#” は 1 文字目)
...
#END [data-block]    (“#” は 1 文字目)
```

一般的には、“#”で始まるブロックは、“\$”のブロックの中に更にブロックが必要なときに利用される。

6.5.3 名前付き数値データ及び演算機能

data-name (*data data ...*) の形式のデータ入力では、*data* は一般的に数値データまたは文字列データである。更に、以下に述べるように、数値データとして通常の数字以外に計算式や変数 (名前付き数値: シンボリックパラメータ) を使用できる。

● 数値データの直接指定

```
NGROUP( 26 )
ENGYB(          /* ENERGY BIN (UPPER BOUNDARIES + LOWEST BOUNDARY)
1.6487E+7 4.7236E+6 1.0540E+6 1.8315E+5 5.2475E+4 1.5034E+4 5.5307E+3
5.8293E+2 1.3007E+2 2.9022E+1 6.4758E+0 1.8554E+0 1.2752E+0 8.7643E-1
6.8256E-1 4.1399E-1 3.4206E-1 2.7699E-1 2.1878E-1 1.6742E-1 1.2293E-1
8.5295E-2 5.4519E-2 3.0601E-2 1.3542E-2 3.3419E-3 1.0E-5 )
```

- 10 の指数つきデータは、“3.0601E-2” または “3.0601e-2” のように E または e (倍精度の時は D または d) をつけて指定する。
- ひとつの数値データはブランクを含んではならず、他のデータとはひとつ以上のブランクまたは改行で区切られる。

<正しくないデータの記述例>

- 1.2345 E-6 (ブランクを含んでいる)
- 1.2345-10 (指数形式にしたいときには E または D を使用すること)
- 1.2345E-10-2.354 (データ間の区切りにはブランクが必要)

● 数値を演算の結果として表現する MVP/GMVP では、直接数値を入力する代わりに次のような入力法も可能である。

C000000J40(< 0.9226 / (12.011 + 2*1.00794) * 6.022137E23 * 1.0E-24 >)

“<>” で囲まれた部分に演算式 を書き込むとその演算の結果がデータとして入力されたことになる。括弧付き加減乗除計算および関数 (指数、対数、三角関数、逆三角関数 etc.) が使用できる。

- 可能な計算:

括弧つき加減乗除計算: +, -, * (掛け算), / (割り算), ** (べき乗)

- 関数:

表 6.1 で示す数学関数と、独自の論理演算関数を使用できる。

表 6.1 入力データで使用する数学関数及び論理演算関数

関数	意味
SQRT(x)	平方根
SIN(x), COS(x), TAN(x)	三角関数 (引数はラディアン)
ASIN(x), ACOS(x), ATAN(x)	逆三角関数
SIND(x), COSD(x), TAND(x)	三角関数 (引数は度)
EXP(x)	指数関数
LOG(x)	自然対数
LOG10(x)	常用対数
ATAN2(x, y)	$\arctan(x/y)$
SINH(x), COSH(x), TANH(x)	双曲線関数
INT(x)	実数値の整数部
NINT(x)	最も近い整数値
ABS(x)	絶対値
MOD(x, y)	剰余 (x を y で割った余り)
MAX(x, y, z, \dots)	最大値 (引数の個数は任意)
MIN(x, y, z, \dots)	最小値 (引数の個数は任意)
IF(x, y, z)	x が 0 でないとき y 、0 の時 z
AND(x, y)	0 を偽、それ以外を真とするときの論理積
OR(x, y)	0 を偽、それ以外を真とするときの論理和
NOT(x)	0 を偽、それ以外を真とするときの論理否定
EQ(x, y)	$x = y$ なら 1, そうでなければ 0
NE(x, y)	x と y が等しくないなら 1, $x = y$ なら 0
GT(x, y)	$x > y$ なら 1, そうでなければ 0
GE(x, y)	$x \geq y$ なら 1, そうでなければ 0
LT(x, y)	$x < y$ なら 1, そうでなければ 0
LE(x, y)	$x \leq y$ なら 1, そうでなければ 0

● 数値データを名前付きで定義し引用すること 数値データに名前(任意の文字列)を付けて、これの入力データで引用することができる。この名前付き数値データを「シンボリックパラメータ」と呼ぶ。例えば、次の入力データ

```
% NG = 64, NGN = 5
NGROUP( <NG> )
NGROUP.N( <NGN> ) NGROUP.P( <NG-NGN> )
```

は、次の入力データと同等である。

```
NGROUP( 64 ) NGROUP.N( 5 ) NGROUP.P( 59 )
```

シンボリックパラメータを用いた入力データの作成については、以下の規則に従わなければならない。

1. シンボリックパラメータはブランクを含まない8文字以内の英数字(ピリオド“.”は使用可)からなる文字列で、最初の文字は英字でなければならない。シンボリックパラメータは大文字と小文字を区別する。例えば、“NG”と“ng”は異なるシンボリックパラメータである。使用できるパラメータの最大数は4,096であり、この値はコード内で定義されている。
2. シンボリックパラメータは次の2通りの方法で定義することができる。

- パラメータ行(1桁目が“%”で始まる行)

```
%name1 = value1 [ , name2 = value2 ...]
```

パラメータ行は何行あってもよく、入力データ中のタイトル部を除く任意の位置に挿入することができる。また、一行のパラメータ行で複数のパラメータを定義することができる。この場合は、各パラメータの定義を“;”(カンマ)で区切らなければならない。パラメータ行においてはブランクは意味を持たない。また、1つのパラメータの定義を2行以上にわたって行うことはできない。

- データ名付き自由形式データ入力の括弧“< >”の中

```
data-name( <name1 = value1> )
```

この場合、シンボリックパラメータ *name1* に *value1* が与えられると同時に、変数 *data-name* にその値が読み込まれる。“< >”の記述の規則はパラメータ行と同様である。1つの“< >”で2つ以上のパラメータが定義された時は、最後のパラメータの値が変数の値として読み込まれる。

3. シンボリックパラメータは、“< >”の中または“%”行内で、演算の変数としてのみ引用することができる⁶。ただし、入力データ中での引用に先だって、値が定義されていなければならない。

計算体系を特徴付ける数値パラメータをいくつか入力データのはじめの方で定義しておけば、他のパラメータはこれらのパラメータから演算で決定できるようにしておくことができる。このように作られた入力データはパラメータサーベイなどを容易にすると共に、直接入力された数値では失われる情報(その数値はどのような意味をもつのか)を記述しておくことができる。また、シンボリックパラメータは入力ミスを軽減するのにも役立つ。

⁶線源入力指定では例外的に“< >”なしで引用できる場合がある。

注意事項:

- “< >”の対は現バージョンでは1行内に収まっている必要がある。

6.5.4 データ列の繰り返しと等間隔データの作成

複数の数値を入力しなければならない名前付きデータ項目に対して、パターンを任意の回数繰り返して指定したり、一定の間隔の数値データを生成したりすることができる。

● データ列の繰り返し 名前付きデータの‘()’の中で以下のように、回数を指定したデータ列の繰り返しが可能である。

$$n(\text{data data } \dots) \text{ or } R(\text{data data } \dots)$$

ここで、 n は繰り返し回数。“data data ...”は、繰り返しの対象となる一つまたは複数の数値データである。

- n は正の整数または0でなければならない。繰り返し回数が指定されないときは1と解釈される⁷。 $n=0$ のときは、data data ...は無視される。
- 繰り返し回数は、シンボリックパラメータを使った式(<>で囲んだ式)でもよい。
- 繰り返し回数と“(”の間に空白があってはならない。
- 括弧内にさらに繰り返し指定を含んでもよい。(15重までの入れ子が可能)
- 繰り返し回数 n の代わりに文字“R”が指定された場合、入力処理の対象となるデータ配列の最後の要素まで指定されデータ群を繰り返す。この場合、入力すべきデータの個数はそれ以前の入力により既に確定している必要がある。

例: 次の3通りのデータは同じ意味である(データ名が“M”であるとする)。

```
M( 2( 1 3( -1 8) ) )
M( 1 3(-1 8) 1 3(-1 8) )
M( 1 -1 8 -1 8 -1 8
  1 -1 8 -1 8 -1 8 )

--> M(1)=1, M(2)=-1, M(3)=8, M(4)=-1, M(5)=8, M(6)=-1, M(7)=8,
      M(8)=1, M(9)=-1, M(10)=8, M(11)=-1, M(12)=8, M(13)=-1, M(14)=8
```

例: “R”によるデータ項目の最終要素までの繰り返しの使用例(データ名は“L”で、必要なデータ個数が11であるとする。)

```
L( 3(1) R( 4 3 2) )
```

⁷MVP/GMVPの第1版では、繰り返し回数が0の場合でもそれが繰り返し回数1に解釈されるようになっていた。また、「繰り返し回数が指定されないときは0と解釈され、括弧の中のデータは無視される」となっていた。

```
-->      L(1)=L(2)=L(3)=1,
          L(4)=4, L(5)=3, L(6)=2,
          L(7)=4, L(8)=3, L(9)=2,
          L(10)=4,L(11)=3
```

● 等間隔データ生成 直前のデータ値に数値を加算していき、指定した個数のデータを生成することができる。

$n:data$

ここで、 n は生成されるデータの個数であり、 $data$ は加算されていく一つの数値データである。

- n は正の整数でなければならない。 n が指定されないか 0 のときは、“ $n:data$ ” が無視される。
- n はシンボリックパラメータを使った式 (< > で囲んだ式) でもよい。
- n と “:” の間に空白があってはならない⁸。
- 自由形式入力データの入力において、最初の入力データが “ $n:data$ ” であってはならない。

例: 次の 2 つの入力は同じである。

```
IA( 1 9:2 )
IA( 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 )
```

6.5.5 データ列に適用できる演算と関数

連続する複数の自由形式入力データ (データ列) に対して、式による演算や関数を適用することができる。

例:

```
DATA( 10 20 30 {X; X - SIN(X/3.14159265)}(1 2 3 2(3 4 5) 8:2)
      R(0) )
```

この例では、データのリスト “(1 2 3 2(3 4 5) 8:2)” の値を一旦入力し、それぞれの数値を変数 X として、式 “ $X - \sin(X/3.14159265)$ ” で計算した数値を最終的な入力値としている。

一般的な形式は以下のようになる。

$\{ \text{var ; expression} \} (\text{data data} \dots)$

ここで、 var は後続の () で囲まれたデータのリストの値を示す変数であり、 $expression$ はその変数を含む式である。変数と式の間は “;” (セミコロン) で区切り、変数と式全体を “{ }” で囲む。

⁸“:” と $data$ の間に空白があってもよいが、入力ミスを防ぐために空白を入れない方がよい。

“{ }”内では、「名前付き数値データ及び演算機能 (p. 80)」で説明した式、関数表現及びシンボリックパラメータを使用することができる。“{ }”内では、“< >”内と同様にブランクは意味を持たない。“{ }”とそれに続く“(”の間にブランクはあってもなくてもよいが、1行に含まれていなければならない。

例: 等レサジー間隔でエネルギー境界を指定。エネルギービンの数は NG である。

```
% EMAX=2.0E7, EMIN=1.0E-5, NG=4
ENGYB( { X ; <EMAX>*( <EMAX/EMIN> )**(-X/<NG>)} ( 0 <NG>:1 ) )
```

この入力データは以下のものと同じである。

```
ENGYB( 2.0E7 1.68179E4 1.41421E1 1.18921E-2 1.0E-5 )
```

6.5.6 コード内変数値のシンボリックパラメータとしての参照

コード内で計算される変数の値をシンボリックパラメータとして参照できる。この場合は、その変数名の先頭に“%”を付ける。現在入力データ中で参照できる変数は表 6.2 の通りである。ただし、変数の値が計算される前に参照した場合は、その値は保障されないので注意を要する。

例: パラメータ行での使用例

```
% NR = %NREG
% NG = %NGROUP
WKIL( <NR*NG>(0.1) )
```

例: シンボリック定数としての直接引用

```
WKIL( <%NREG*%NGROUP>(0.1) )
```

6.6 REGION 毎に入力するデータ

REGION 番号は利用者が直接入力するのではなく、コードによって REGION 名に対応した順序で設定されるので、REGION 依存のデータを REGION 番号順に入力するのが困難な場合がある。また、TALLY-LATTICE オプションを使用した場合には、幾何形状モデルがいくつの REGION を含むのかすら入力データから判定するのが困難な場合もある。そこで、MVP/GMVP では REGION 毎に必要なデータの入力形式として、通常の名付き自由形式に加えて、REGION 名 (または TALLY-REGION 名) を指定した入力を行うことができる。

6.6.1 REGION に依存したデータ

REGION または TALLY-REGION ごとに入力するデータは以下の通りである。

- XIMP(%NGROUP, %NREG): エネルギー群、REGION 毎のインポートランス

表 6.2 シンボリックパラメータとして参照することのできる変数

変数名	意味	変数値が設定される時
NGP1	中性子タリーの群数 (=NGROUP.N)	入力時
NGP2	光子タリーの群数 (=NGROUP.P)	入力時
NGROUP	全タリー群数	NGP1、NGP2 入力後
NTIME	時間ビン数	タリーデータ入力時
NHIST	バッチ当りの線源粒子数	入力時
NINPZ	入力ゾーン (input-zone) 数	入力時
NMAT	巨視的断面積を用意する物質数	断面積データ入力時
NZONE	ゾーン (ZONE) 数	幾何形状データ入力時
NREG	領域 (REGION) 数	幾何形状データ入力時
NTREG	タリー領域 tally-region 数	幾何形状データ入力時
NPKIND	計算する粒子の種類数	オプションデータ入力時
DEPS	コード内で判別する最短の距離	入力時
DINF	コード内で「無限大」と見なす距離	開始時に省略値がある
NUC	問題に含まれる核種数 (MVP のみ)	断面積データ入力後
NPATOM	問題に含まれる元素数 (MVP のみ)	光子断面積データ入力後
ETOP	計算する中性子エネルギーの上限 (MVP のみ)	入力時
EBOT	計算する中性子エネルギーの下限 (MVP のみ)	入力時
ETOPP	計算する光子エネルギーの上限 (MVP のみ)	入力時
EBOTP	計算する光子エネルギーの下限 (MVP のみ)	入力時
NGPX	断面積の 1 次粒子の群数 (GMVP のみ)	断面積データ入力時
NGGX	断面積の 2 次粒子の群数 (GMVP のみ)	断面積データ入力時
NTGX	多群断面積の群数 (GMVP のみ)	断面積データ入力時

- WKIL(%NGROUP, %NREG): エネルギー群、REGION 毎のロシアン・ルーレットのパラメータ
- WSRV(%NGROUP, %NREG): エネルギー群、REGION 毎のスプリッティングのパラメータ
- WGTF(%NREG): REGION 毎の核分裂中性子に与える重み
- WGTP(%NREG): REGION 毎の二次光子に与える重み
- WGTPNR(%NREG): REGION 毎の光核反応の二次中性子に与える重み
- PASLP(%NREG): パス・ストレッチング因子
- TRVOL(%NTREG): TALLY-REGION の体積
- RVOL(%NREG): REGION の体積

6.6.2 入力形式 - 1

`data-name(!region-name(data data ...) ...)`

XIMP の入力を例にとると

```
XIMP( !region1( data ... ) !region2( data ... ) ... )
```

この形式では、以下の規則に従い、入力配列名毎に REGION を指定しながら入力を行う。

- REGION の指定には、REGION 名または TALLY-REGION 名(@で始まる名前。10.9 節参照。)を用いることができる。TALLY-REGION 名を指定した場合には、その TALLY-REGION に含まれるすべての REGION に対してデータが設定される。
- REGION 名による REGION の指定では、ワイルドカード文字“*”と“?”(6.6.4 項参照。)を用いることができる。
- 同じ REGION に 2 回以上データが入力された場合には、最後に入力されたデータが採用される。
- 同じ配列に対する入力を一度に行ってもよいし、複数回に分けて行ってもよい。次の二通りの入力は同じである。

```
XIMP( !region1( データ ) !region2( データ ) )  
XIMP( !region1( データ ) ) XIMP( !region2( データ ) )
```

- 最初の REGION 名の指定に相当する部分の先頭が“!”または“@”でない場合は、すべての REGION に対するデータを REGION 番号の順に入力する(通常 of データ名付き自由形式入力)。

例: 領域名を使用しない入力 (非推奨)

```
XIMP( <NG>(2.0) <NG>(0.5) R(1.0) ) /* NGROUP*NREG 個のデータ入力
```

REGION 番号はコードが REGION 名の順序に従って付けるので、REGION 名として 1 から連続した整数を指定した時等 REGION 番号が明らかな場合、あるいはすべての REGION に同じデータを与える場合以外にはこの方式は避けた方がよい。

6.6.3 入力形式 - 2

`!region-name(data-name(data data ...) ...)`

XIMP の入力を例にとると ;

```
!region1( XIMP( data ... ) )  
!region2( XIMP( data ... ) )
```

6.6.4 ワイルドカード文字*と?を用いた REGION の指定

REGION 名の指定に UNIX や MS-DOS で使用されるワイルドカード文字(メタキャラクター)に類似した入力方法が利用できる。

- “?” : 任意の 1 文字
- “*” : 0 文字以上の任意の文字数の任意の文字列
(ZONE 毎の REGION 名、FRAME 名、SUBFRAME 名の範囲内のみで置き換える)

例:

!* あるいは *	→	ROOT-CELL(レベル 0 の世界) に属するすべての REGION(他のレベルは含まない)
!*:*!*:*!* *	→	レベル 2 の世界のセル内のすべての REGION(他のレベルは含まない)
!LAT1:SPEC1!*A	→	!LAT1:SPEC1 で決まる部分空間のセルに属する ZONE の中で、ZONE 毎の REGION 名の最後の文字が“A”である REGION すべて

ワイルドカードによる領域指定で、同じデータの同一 REGION の値が 2 回以上入力された場合、後から入力されたものが有効になる。これを利用して、まず全 REGION に同じ値を設定し、それから特定の REGION の値を修正するという入力が可能になる。

```
!( WKIL(<%NGROUP>(0.001)) WSRV(<%NGROUP>(1.0)) )  
!REGION8( WKIL(<%NGROUP>(0.1)) WSRV(<%NGROUP>(0.2)) )
```

あるいは

```
WKIL( !( <%NGROUP>(0.001)) !REGION8(<%NGROUP>(0.1)) )  
WSRV( !( <%NGROUP>(1.0)) !REGION8(<%NGROUP>(0.2)) )
```


7. タイトルとオプション

7.1 入力データのタイトル

最初の 2 行に計算の内容等を示す任意の文字列を入力する。このデータは標準出力 (I/O ユニット 6)、計算結果のバイナリファイル (I/O ユニット 30)、リスタートファイル (I/O ユニット 20) などのファイルに出力される。

7.2 オプション入力の規則

入力データの最初の 2 行におかれたタイトルに続いて、計算動作モードの指定などを行うための「オプション」を入力する部分が続く。オプションは次のような文字列データである。

`[NO-]word1 [-word2- ... -wordn] [(parameter ...)]`

ここで、*word1*, *word2*, ... は一つのオプションを記述するための (部分) 文字列であり、複数の文字列が必要な場合それぞれの間を“-” (ハイフン、マイナス) で結ぶ⁹。[...] は必要であれば記述すべきことを示す。もし、最初に“NO-”を付ければ、そのオプションを選択しないことを意味する。オプションの選択の入力の終了は空白行によって示される。オプション文字列の入力位置は 1~72 桁の間で任意であるが、一つのオプション文字列の入力を 2 行にまたがって記述することはできない。

7.3 指定可能なオプションの一覧

以下に指定可能なオプションを示す。それぞれのオプションの詳細については、7.5 節で述べる。デフォルトで有効なオプションは●、デフォルトで有効になっていないものは○が付いている。(表 7.1 参照。)

○ ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION

MVP のランダムウォーク処理で核種毎のマイクロ断面積計算をエネルギー変化時に一度に行わず、必要になった時点で行う。

○ ADJOINT

GMVP で随伴問題を解く。

○ ANALOG-FISSION

MVP の固定線源問題において核分裂中性子発生時の発生核分裂中性子数を Terrell による式で決定する。(4.5 節参照。)

⁹オプション文字列の各部分文字列は一般に先頭の 4 文字まで入力すればよいようになっているが、混乱をさけるため全て記述することが望ましい。

○ AUTO-RESTART

I/O ユニット 10 上に読み込み可能なリスタートファイルが存在する場合、それから必要な情報を読み込んで計算を再開する。読み込み可能なリスタートファイルが I/O ユニット 10 上に存在しなければ「リスタート」でない通常の計算を行う。リスタートファイルは以前の計算で I/O ユニット 20 上に書出されたものである。

○ BETA-EFFECTIVE

随伴中性子束を次世代核分裂確率 (next fission probability) で近似した実効遅発中性子割合 (β_{eff}) を計算する。

○ BREMSSTRAHLUNG

MVP の光子計算モードで光子と原子核の反応から生じる電子の制動 X 線を取り扱う。

○ COLLISION-LESS

線源より発生した粒子に対して衝突反応を行わずに減衰のみを考慮してそのまま飛行させる。これにより非衝突線束を評価できる。

● DELAYED-NEUTRON

核分裂反応で遅発中性子を発生する。

○ DOPPLER-SCATTERING(*mode*)

共鳴領域の弾性散乱モデルを選択する。詳細については、4.2.6 項を参照。

- *mode* = NONE : 漸近減速散乱モデル (漸近モデル)
- *mode* = NORES : 断面積一定近似を用いた自由単原子ガスモデル (断面積一定モデル)
- *mode* = EXACT : 0 K の弾性散乱断面積データがある核種については、共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル (厳密モデル) を用い、それ以外の核種については漸近モデルを用いる。
- *mode* = EXACT+ : 0 K の弾性散乱断面積データがある核種については、共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル (厳密モデル) を用い、それ以外の核種については断面積一定モデルを用いる。

○ DYNAMIC-MEMORY(*size*)

計算に必要なメモリが実行時に確保できるように MVP/GMVP がインストールされたときのメモリサイズ。使用している計算機での「ワード数」単位で指定する。「ワード」は FORTRAN 言語における 1 個の整数型データを表現するために必要なメモリ単位である (通常 4 バイト)。

○ EDIT-BY-COLLISION

断面積と反応率の計算に collision estimator を用いる。

● EDIT-BY-TRACK-LENGTH

MVP 断面積と反応率の計算に飛程長評価法 (track length estimator) を用いる。

○ EDIT-MACROSCOPIC-DATA(*flag*)

MVP で巨視的断面積及び反応率を計算しファイルあるいはプリント出力を行うためのオプション。エネルギー群構造は入力データ ENGYB(p. 244) で指定される。*flag* は 8 桁の整数で、各桁は反応の種類、その入力値は反応毎の処理を示す。

$$\begin{aligned} flag = & 10^7 \cdot N_1 + 10^6 \cdot N_2 + 10^5 \cdot N_3 + 10^4 \cdot N_4 + 10^3 \cdot N_5 + 10^2 \cdot N_6 \\ & + 10 \cdot N_7 + N_8 \end{aligned}$$

反応の種類 (*flag* の桁)

- N_1 : total
- N_2 : nu-fission
- N_3 : fission
- N_4 : elastic scattering
- N_5 : capture (absorption-fission)
- N_6 : inelastic scattering
- N_7 : (n,2n)
- N_8 : absorption-(n,2n)-2(n,3n)-3(n,4n)

処理タイプ (N_i の値)

- 0: 計算しない。
- 1: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、プリント出力は行わない。
- 2: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、断面積のみプリント出力する。
- 3: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、反応率のみプリント出力する。
- 4: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、断面積と反応率を両方プリント出力する。

“*flag*” が省略された場合は、このオプションは選択されないものと解釈される。

○ EDIT-MICROSCOPIC-DATA(*flag*)

MVP で微視的断面積及び反応率を計算しファイルあるいはプリント出力する。エネルギー群構造は入力データ ENGYB(p. 244) で指定される。入力形式及び入力データの意味は上記巨視的断面積の場合と同様である。

○ EIGEN-VALUE

固有値問題（中性子増倍率を求める問題）を解く。

○ FISSION

核分裂反応による二次中性子を発生する。EIGEN-VALUE オプションが選択されると自動的にこのオプションも選ばれる。核分裂性物質を含む固定源問題で核分裂中性子を発生させる必要がある場合はこのオプションを指定しなければならない。

○ FISSION-MULTIPLICITY(*mode*)

核分裂反応で発生する中性子の数を ν_t か ν_p に基づいて決定する。

- FISSION-MULTIPLICITY(TOTAL): ν_t (省略値)
- FISSION-MULTIPLICITY(PROMPT): ν_p

● FIXED-SOURCE

固定源問題を解く。

○ FLUX-PRINT

各 REGION、各エネルギー群の粒子束の計算値（レサジー当り）をプリント出力。

○ FREE-LATTICE-FRAME

格子形状（繰り返し形状）表現を用いる際に、格子形状部分を格納する「枠」となる空間部分の形状を任意の形状にすることができる。

○ IMAGINARY-PARTICLE

発生点から直進するだけで、いかなる物質とも反応しない仮想的な粒子のみの計算を行う（この場合、すべての領域の媒質を真空として扱う）。ただし、境界条件、漏洩等の扱いは入力通りである。幾何形状が正しく入力されているかどうかのチェックに用いることができる。また、TALLY-REGION の体積を 1.0 とすると同時に平行ビーム線源等の適当な線源を用いることによって、領域体積の計算にも利用できる。

○ IMPORTANCE

分散低減のためのロシアン・ルーレット・キル (Russian roulette kill) とスプリットティング (splitting) を、REGION、エネルギー群毎に定めたインポートランスによって行う。(2.9.1 項から 2.9.4 項を参照。)

○ LATTICE あるいは REPEATED-GEOMETRY

格子形状（繰り返し形状）表現を用いる。

○ MONITOR

特定の反応や事象に対して、REGION、エネルギー群ごとに、回数、平均の重みをモニター。分散低減のためのパラメータを設定する目的で行うテスト計算に用いる。

○ MULTI-TASK(*n*)

マルチタスク処理（並列処理）時のタスク数。(3.3 節参照。) 通常はコマンド行オプションで指定すべきである。

● NEUTRON

中性子輸送問題を解く。

○ PATH-STRETCH

粒子の飛行する向きによって衝突点までの距離が通常より大きく、または小さくサンプリングされるようにバイアスすることができるようにする。(2.9.3 項を参照。)

○ PERIODIC-TIME

時間依存計算において粒子飛行の時間が一定時間を越えると時間を 0 に戻す「周期的時間」を適用する。

○ PERTURBATION

摂動計算機能を用いる。現在、摂動機能で計算できるのは、実効増倍率 (k_{eff}) と動特性パラメータ (実効遅発中性子割合 β_{eff} と中性子生成時間 Λ) のみである。

○ PHOTON[(*mode*)]

光子輸送問題を解く。MVP では、文字列 *mode* によって光子反応モデルを選択する。

- PHOTON(PHOTON): 詳細モデル (省略値)
- PHOTON(GAMMA): 高エネルギー光子用の簡易モデル

“(mode)” を省略した場合は詳細モデルが選ばれる。

○ PHOTO-NUCLEAR

MVP の中性子・光子結合問題で、光核反応による二次粒子を発生する。

○ PICTURE

幾何形状モデルの断面図を文字パターンによって出力する。

○ PRINT-SUPPRESS(I_1 I_2 I_3 ...)

出力項目ごとのプリント出力抑制オプション。 I_j の項目の出力を行わない。出力を抑制したい項目のみカッコ内に指定する。

出力項目 (I_j)

- 1: グループごとの粒子束
- 2: 角度粒子束
- 3: 時間依存粒子束
- 4: レスポンス
- 5: 時間依存レスポンス
- 6: 粒子源の情報#1
- 7: 粒子源の情報#2
- 8-16 : (未定義)
- 17: 微視的反応率
- 18: 微視的断面積
- 19: 巨視的反応率
- 20: 巨視的断面積

○ RELATIVE-WEIGHT

ロシアン・ルーレット、ウェイト・ウィンドウ処理および二次粒子発生処理のための粒子重みパラメータを粒子生成時の重みに対する相対値と解釈する。

○ RESPONSE

多群レスポンス関数を用いた反応率の評価を行う。

○ RESTART

リスタート計算。I/O ユニット 10 上にあるリスタートファイルから必要な情報を読み込んで計算を再開する。リスタートファイルは以前の計算で I/O ユニット 20 上に書出されたものである。

● RESTART-FILE

リスタートファイルの出力を行う。デフォルトでは有効になっているので “NO-RESTART-FILE” でリスタートファイル出力を抑止するために用いる。

○ RUN-MODE[(*mode*)]

特別な動作モードを指定する。現在のところ以下のモードが有効；

- *mode*=1：入力データの入力処理のみでランダムウォーク以降の処理は行わない。

● RUSSIAN-ROULETTE

ロシアン・ルーレットによって重みの小さくなった粒子のランダムウォークを早く終了させる。(2.9.1 節を参照。)

○ SCATTERING-MATRIX[(*order*)]

群から群への散乱反応率及び散乱行列モーメントを計算する。

- *order*：散乱行列モーメントの次数。この次数までの散乱行列モーメントが計算される。

○ SCATTERING-MUBAR

実験室系における平均の散乱角余弦を計算する。

○ SOURCE-OUTPUT

固有値問題のとき計算の最後のバッチの核分裂中性子の発生位置等のデータを別の計算で線源として入力可能なファイルに出力する。ファイルは I/O ユニット 9 番にバイナリ形式で出力される。

○ TALLY-LATTICE または FRAME-DEPENDENT-TALLY

格子形状（繰り返し形状）を用いる場合に、FRAME-SUBFRAME によって定義された部分空間毎のタリー、すなわち異なる空間位置にある同一格子セル内の空間ゾーンを区別してタリーを取ることを可能にする。(5.5 節を参照。)

○ TIME-DEPENDENT

時間依存計算を行う。

○ WEIGHT-WINDOW

ウェイト・ウインドウによる分散低減を行う。(2.9.1 項から 2.9.4 項を参照。)

7.4 オプションの相互関係

オプションの間には相互に矛盾する意味をもつために同時に指定することができない組合せがある。それらの相容れないオプションおよびオプション指定データを入力しなかった場合の解釈(省略値)を表 7.1 に示す。

もし相互に両立不可能なオプションが指定されたり、同じオプションに対して“NO-”の付いているデータと付かないデータが入力されたりした場合には後から入力されたデータが有効となる。

表 7.1 オプションデータの省略時の解釈と相互関係 (1/2)

オプション	省略	両立しないオプション	コメント
ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION	off	EIGEN-VALUE	MVP のみ。 p. 97 参照。
ADJOINT	off		GMVP のみ。 p. 97 参照。
ANALOG-FISSION	off		MVP のみ。 p. 97 参照。
AUTO-RESTART	off		p. 98 参照。
BETA-EFFECTIVE	off		MVP のみ。 p. 98 参照。
BREMSSTRAHLUNG	off		MVP のみ (PHOTON オプションと一緒に用いる)。 p. 99 参照。
COLLISION-LESS	off	EDIT-BY-TRACK-LENGTH	p. 99 参照。
DELAYED-NEUTRON	on		MVP のみ。 p. 99 参照。
DOPPLER-SCATTERING	NONE		MVP のみ。 p. 100 参照。
DYNAMIC-MEMORY	-		コンパイル時のオプション。 p. 101 参照。
EDIT-BY-COLLISION	off	EDIT-BY-TRACK-LENGTH	MVP のみ。 p. 102 参照。
EDIT-BY-TRACK-LENGTH	on	EDIT-BY-COLLISION	MVP のみ。 p. 103 参照。
EDIT-MACROSCOPIC-DATA	off	FIXED-SOURCE	MVP のみ。 p. 103 参照。
EDIT-MICROSCOPIC-DATA	off		MVP のみ。 p. 104 参照。
EIGEN-VALUE	off		p. 104 参照。
FISSION	off	EIGEN-VALUE	固有値問題では自動的に on。 p. 105 参照。
FISSION-MULTIPLICITY	TOTAL		MVP のみ。 p. 105 参照。
FIXED-SOURCE	on		p. 106 参照。
FLUX-PRINT	off		p. 106 参照。
FREE-LATTICE-FRAME	off		STGM 領域で自動的に on。 p. 107 参照。

(Cont'd)

表 7.1 オプションデータの省略時の解釈と相互関係 (2/2)

オプション	省略	両立しないオプション	コメント
IMAGINARY-PARTICLE	off	WEIGHT-WINDOW	p. 107 参照。
IMPORTANCE	off		p. 107 参照。
LATTICE	off		p. 108 参照。
(REPEATED-GEOMETRY)			
MONITOR	off		p. 109 参照。
MULTI-TASK	off		p. 109 参照。
NEUTRON	on		p. 109 参照。
PATH-STRETCH	off		p. 110 参照。
PERIODIC-TIME	off		p. 110 参照。
PERTURBATION	off		MVP のみ。 p. 111 参照。
PHOTON	off		'(...)' 省略時は詳細モデル。 p. 111 参照。
PHOTO-NUCLEAR	off		MVP のみ。 p. 112 参照。
PICTURE	off		p. 113 参照。
PRINT-SUPPRESS	off		p. 113 参照。
RELATIVE-WEIGHT	off		p. 114 参照。
RESPONSE	off		p. 115 参照。
RESTART	off		p. 115 参照。
RESTART-FILE	on		p. 116 参照。
RUN-MODE	off	WEIGHT-WINDOW	p. 116 参照。
RUSSIAN-ROULETTE	on		p. 117 参照。
SCATTERING-MATRIX	off		MVP のみ。 p. 117 参照。
SCATTERING-MUBAR	off		MVP のみ。 p. 118 参照。
SOURCE-OUTPUT	off		p. 118 参照。
TALLY-LATTICE	off		p. 118 参照。
(FRAME-DEPENDENT-TALLY)			
TIME-DEPENDENT	off	RUSSIAN-ROULETTE, IMPORTANCE	p. 119 参照。
WEIGHT-WINDOW	off		p. 119 参照。

7.5 各オプションの詳細

MVP 及び GMVP で指定可能な各オプションについてその詳細を述べる。特に“MVP で”、“GMVP で”などと記されていない事項は MVP、GMVP 両コードいずれにも通用する。

ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION

■ このオプションの機能 ■

MVP のランダムウォーク処理で核種毎のマイクロ断面積計算をエネルギー変化時に一度に行わず、必要になった時点で行う。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

MVP コードでのみ有効な機能である。MVP コードでは粒子のエネルギー値に対して各核種のマイクロ断面積をエネルギー内挿等によって求める。この処理は新しい粒子の発生時や反応によって粒子のエネルギーが変化するたびに行う必要がある。ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION を指定しない場合には、粒子の発生時や粒子反応直後に計算体系に存在する「全ての」核種に対してマイクロ断面積を計算する。

それに対し、ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION 指定時には各核種のマイクロ断面積は「必要になった時点で」計算される。計算体系に多種類の核種が存在し、なおかつ粒子の発生／衝突から次の衝突反応までに通過する物質が必ずしも一度に多数の核種を含むとは限らない、といった計算を行う場合に計算時間を短縮する効果がある。しかし、すべての場合に対して計算時間を短縮できるとは限らないということに注意すべきである。例えば、ベクトル計算に対してこのオプションを使うことは推奨されない。

ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION 指定時でも、TALLY ブロックでマイクロ反応率のタリー (MICRO) が指定された核種に対しては粒子の発生時や粒子反応直後に必ずそのマイクロ断面積が計算される。

ADJOINT

■ このオプションの機能 ■

GMVP で随伴問題を解くことを示す。MVP では随伴問題を計算することはできない。

■ デフォルト ■

無効。

■ 注意すべきこと ■

このオプションで計算した場合計算結果のエネルギー群順序が逆順で出力される。\$SOURCE ブロックで G(エネルギー群) を定義するときは逆順で入力しなければならない。核分裂源のサンプリングは χ から行っており、 $\nu\Sigma_f$ からは行っていない。

ANALOG-FISSION

■ このオプションの機能 ■

MVP の固定線源問題において核分裂中性子発生時の発生核分裂中性子数を Terrell[47] による式で決定する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

Feynman- α 実験シミュレーションのための機能である。4.5 節を参照。

■ 他のオプションとの関連 ■

FIXED-SOURCE (p. 106), FISSION (p. 105)

AUTO-RESTART

■ このオプションの機能 ■

自動リスタート計算モード。I/O ユニット 10 上に読み込み可能なリスタートファイルが存在する場合、それから必要な情報を読み込んで計算を再開する。読み込み可能なリスタートファイルが I/O ユニット 10 上に存在しなければ、「リスタート」でない通常の計算を行う。リスタートファイルは以前の計算で I/O ユニット 20 上に書出されたものである。

■ 注意すべきこと ■

RESTART オプションの説明はそのままこのオプションにも適用される。AUTO-RESTART オプションを指定し、NPART < 0 とした入力データを作成しておけば、同一の入力データで一定の数のヒストリーを処理する一連の初期/リスタート計算を行うことができる。

■ 他のオプションとの関連 ■

RESTART-FILE (p. 116), RESTART (p. 115)

■ 関連する他の入力 ■

NPART (p. 121), NRSINT (p. 124)

BETA-EFFECTIVE

■ このオプションの機能 ■

随伴中性子束を次世代核分裂確率 (next fission probability) で近似した実効遅発中性子割合 (β_{eff}) を計算する。3 つの近似方法 (随伴中性子束で重み付けられていない遅発中性子割合、Meulekamp の方法 [54] を、名内の方法 [55]) で実効遅発中性子割合が計算される。近似の理論的な定式化と近似の精度については、参考文献 [56] を参照されたい。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

理論的に近似のない手法で実効遅発中性子割合を計算するには、PERTURBATION データブロックのタリーパラメータの指定において BEFF を指定する。15.2.5 項参照。

BREMSSTRAHLUNG

■ このオプションの機能 ■

MVP コードで光子と原子の反応によって生じる電子による制動 X 線の発生を行う。このオプションは MVP でのみ有効である。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTON (p. 111) が有効なときに意味がある

■ 注意すべきこと ■

電子反応断面積データライブラリを入力するためのインデックスファイルが FORTRAN 入力 I/O ユニット 27 番に指定されている必要がある。

COLLISION-LESS

■ このオプションの機能 ■

線源より発生した粒子に対して衝突反応を行わずにそのまま直進飛行させる。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

IMAGINARY-PARTICLE オプションと類似しているが、体系を構成する物質は真空中に置き換えずに粒子の散乱、吸収にともなう減衰を評価できる点が異なる。粒子飛行線が通過する空間領域について線源から発生した粒子が直接到達することによる粒子束あるいは任意の反応率への寄与を評価できる。物理量評価は、飛程長評価法 (track length estimator) に修正を加えたものが使用される (標準出力結果には、“track length estimator” として出力される)。

■ 他のオプションとの関連 ■

EDIT-BY-TRACK-LENGTH (p. 103)

■ 注意すべきこと ■

- 反射境界条件がある場合 (反射物質を含む体系)、反射物質表面での反射は指定通りに行われるので、不注意に用いると無限ループ状態となる可能性がある。(周期境界条件についても同様である。) 粒子の飛行して行く先に必ず完全吸収物質 (物質 ID= -1000) を置いて確実に粒子飛行を終了することができるようにする必要がある。
- このオプション指定時の Collision estimator の出力は意味をもたない。

DELAYED-NEUTRON

■ このオプションの機能 ■

MVP コードで中性子入射核分裂反応と光核分裂反応において遅発中性子を発生する。核分裂反応で生成される中性子は、即発中性子と遅発中性子に分けて取り扱われる。このオプションは MVP でのみ有効である。

■ デフォルト ■

有効。

■ 他のオプションとの関連 ■

中性子入射核分裂反応から遅発中性子を発生する場合には、オプション FISSION (p. 105) が有効である必要がある。オプション TIME-DEPENDENT (p. 119) が有効な場合は、遅発中性子発生時の時間遅れが考慮される。

■ 関連する他の入力 ■

WGTF (p. 282)、WGTPN (p. 284)、PRODUCE-REACTION (p. 264)

DOPPLER-SCATTERING(mode)

■ このオプションの機能 ■

共鳴領域における弾性散乱モデルを選択する。

■ 形式 ■

MVP に対して以下の計算モードを指定することができる。

DOPPLER-SCATTERING(*mode*)

文字列 *mode* でモデルを選択する。

DOPPLER-SCATTERING(NONE): 漸近減速散乱モデル (漸近モデル)

DOPPLER-SCATTERING(NORES): 断面積一定近似を用いた自由単原子ガスモデル (断面積一定モデル)

DOPPLER-SCATTERING(EXACT): 共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル (厳密モデル)。0 K の弾性散乱断面積データがある核種については、共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル (厳密モデル) を用い、それ以外の核種については漸近モデルを用いる。このモードは、0 K における弾性散乱断面積を含む特別な MVP ライブラリを必要とする。特別なライブラリは、U-235, -238, Pu-238 から Pu-242, Am-241 の重核についてのみ用意されている。もし特別なライブラリが核種 ID として指定されなければ、漸近モデルが使用される。

DOPPLER-SCATTERING(EXACT+): 共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル (厳密モデル)。上記モードと同じであるが、特別なライブラリが核種 ID として指定されないときは、断面積一定モデルが使用される。

もし、“(mode)” が指定されないときは、漸近モデルが選択される。

■ デフォルト ■

漸近モデル (DOPPLER-SCATTERING(NONE))。

■ 解説 ■

共鳴弾性散乱モデルとして4つのモードが利用できる。モデルの詳細については、4.2.6 節に記述されている。

DYNAMIC-MEMORY(size)

■ このオプションの機能 ■

計算に必要なデータ用メモリ領域が実行時に確保できるように MVP/GMVP がコンパイルされているときのメモリサイズを指定する。

■ 形式 ■

DYNAMIC-MEMORY (*size*)

メモリサイズは使用している計算機での「ワード数」単位で指定する。「ワード」は FORTRAN 言語における1個の整数型データを表現するために必要なメモリ単位である。

■ デフォルト ■

デフォルトのサイズは MVP/GMVP とともにコンパイル時の設定で決まる。また実行時のコマンド行パラメータ “MEMORY=size” によりデフォルトサイズを変えることができる。

■ 注意すべきこと ■

- これから行う計算がどの程度のデータ用メモリを必要とするかを事前に正確に知る方法は提供されていない。以下のような情報が計算リストに出力されるので、これから真に必要なサイズを知ることができる。

USED DYNAMIC MEMORY SIZE (TASK SHARED) = 4820405 (WORD)

```
*****
*      MEMORY UTILIZATION SUMMARY      *
*****
```

Item	Task shared (word)	Task local (word)
X-SEC DATA	4360587 (90.5%)	4360587 (90.5%)
GEOMETRY DATA	1996 (0.0%)	1996 (0.0%)
TALLY	14161 (0.3%)	14161 (0.3%)
EVENT STACK	24304 (0.5%)	24304 (0.5%)
PARTICLE BANK	311400 (6.5%)	311400 (6.5%)
WORKING AREA	92418 (1.9%)	92418 (1.9%)
Others	15539 (0.3%)	15539 (0.3%)
Total	4820405	4820405
Available	6600000	6600000

< Character Memory (4bytes/unit)>

Total	585
Available	60000

- 1ワードのバイト数は現状では4バイトのマシンやOSが多いが、CRAY-MP シリーズのように1ワードが8バイトの環境もある。MVP/GMVP 内部では1データのサイズについて以下のいずれかを仮定している；

- INTEGER=4byte, REAL=4byte, DOUBLEPRECISION(REAL*8)=8byte
- INTEGER,REAL,REAL*8 がいずれも 8 バイト

前者の環境で適切だったワードサイズが後者では大きすぎる場合もある。

- このオプションが意味を持つのはプログラム実行時にメモリ確保ができるようにコンパイルされた場合だけである。
- 確保されたメモリサイズの情報は計算リストに以下のように出力される；

```
**** MEMORY FOR VARIABLE-SIZED DATA :      ???????? WORDS ( 4 BYTES/WORD )
(      ????.?? MEGA-BYTES )
```

使用するマシンの環境によっては指定したサイズのメモリを確保できるとは限らない。うまく行かない場合には次のようなメッセージが出力される。

```
!!! FAILED TO ALLOCATE MEMORY DYNAMICALLY WITH SPECIFIED SIZE
(memory ?????? WORDS)
```

うまくメモリを確保できない原因には次のようなことが考えられる。

- 使用マシン上で動いているプロセス数が多すぎる。
大きなメモリを必要とするプログラムがたくさん同時に動いていればメモリの確保に失敗する可能性が高いといえる。余分なプロセスを終了して再実行してみる。
- 仮想記憶のサイズの上限が小さい。
通常 UNIX マシンには仮想記憶機能があり実メモリサイズ以上のメモリを使用するプログラムを動かすことができる。ただ、この機能に関連したパラメータ（スワップディスクの容量、プロセスあたりの仮想記憶上限等）の設定によっては大きなメモリを必要とするプログラムが動作しない可能性がある。システム管理者に相談する必要がある。

EDIT-BY-COLLISION

■ このオプションの機能 ■

MVP での巨視的または微視的断面積と反応率の計算に collision estimator を用いる。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

EDIT-MACROSCOPIC-DATA (p. 103)、EDIT-MACROSCOPIC-DATA (p. 103) で指定した項目に適用される。EDIT-BY-TRACK-LENGTH (p. 103) と同時に有効にすることはできない。

EDIT-BY-TRACK-LENGTH

■ このオプションの機能 ■

MVPでの巨視的または微視的断面積と反応率の計算に飛程長評価法 (track length estimator) を用いる。

■ デフォルト ■

有効になっている。

■ 他のオプションとの関連 ■

EDIT-MICROSCOPIC-DATA (p. 104)、EDIT-MACROSCOPIC-DATA (p. 103) で指定した項目に適用される。EDIT-BY-COLLISION (p. 102) と同時に有効にすることはできない。

EDIT-MACROSCOPIC-DATA(flag)

■ このオプションの機能 ■

MVPで巨視的断面積及び反応率を計算しファイルあるいはプリント出力を行う。

■ デフォルト ■

無効。

■ 形式 ■

EDIT-MACROSCOPIC-DATA (*flag*)

■ 解説 ■

flag は8桁の整数である。

$$flag = 10^7 \cdot N_1 + 10^6 \cdot N_2 + 10^5 \cdot N_3 + 10^4 \cdot N_4 + 10^3 \cdot N_5 + 10^2 \cdot N_6 + 10 \cdot N_7 + N_8$$

flag の十進表示の各桁が反応の種類を表す。

- N_1 : total
- N_2 : nu-fission
- N_3 : fission
- N_4 : elastic scattering
- N_5 : capture (absorption-fission)
- N_6 : inelastic scattering
- N_7 : (n,2n)
- N_8 : absorption-(n,2n)-2(n,3n)-3(n,4n)

各桁の値がどのような処理を行うかを示す。

- 0: 計算しない。
- 1: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、プリント出力は行わない。
- 2: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、断面積のみプリント出力する。
- 3: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、反応率のみプリント出力する。
- 4: 計算する。ファイル (I/O ユニット 30) に出力し、プリント出力する。

'(flag)' が省略された場合は、このオプションは選択されないものと解釈される。

■ 他のオプションとの関連 ■

評価法を飛程長評価法 (track length estimator) にするか、衝突評価法 (collision estimator) にするかを EDIT-BY-TRACK-LENGTH (p. 103) または EDIT-BY-COLLISION (p. 102) で指定できる。

EDIT-MICROSCOPIC-DATA(flag)

■ このオプションの機能 ■

MVP で微視的断面積及び反応率を計算しファイルあるいはプリント出力するためのオプション。計算を行う場合は断面積と反応率の両者が計算される。

■ デフォルト ■

無効。

■ 形式 ■

EDIT-MICROSCOPIC-DATA(*flag*)

■ 解説 ■

flag の入力形式及び入力データは EDIT-MACROSCOPIC-DATA オプションの場合と同様である。

■ 他のオプションとの関連 ■

評価法を飛程長評価法 (track length estimator) にするか、衝突評価法 (collision estimator) にするかを EDIT-BY-TRACK-LENGTH (p. 103) または EDIT-BY-COLLISION (p. 102) で指定できる。

EIGEN-VALUE

■ このオプションの機能 ■

固有値問題（中性子増倍率を求める問題）を解くことを示す。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

強制的にオプション FISSION (p. 105) が有効になる。オプション FIXED-SOURCE (p. 106) とこれを両方有効にすることはできない。

デフォルトでは固定粒子源問題 (FIXED-SOURCE) の方が有効になっていることに注意する必要がある。

■ 関連する他の入力 ■

WGTF (p. 282), NHIST (p. 121)

FISSION

■ このオプションの機能 ■

核分裂反応による二次中性子を発生する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション EIGEN-VALUE (p. 104) が選択されると強制的にこのオプションも有効になる。

■ 解説 ■

中性子と核分裂性核種との衝突反応時に核分裂反応時率と、空間領域ごとに指定された基準の粒子重み WGTF とを比較して発生個数が決められる。

核分裂反応によって発生する中性子の扱いかたは固定線源問題と固有値問題で異なる。

- 固定線源問題

発生した中性子をそのまま元の粒子と同じバッチ内でランダムウォークさせる。

- 固有値問題

発生した中性子は元の粒子と同じバッチ内では処理されず、一旦「核分裂中性子バンク」に登録される。次のバッチの中性子源としてこれらの登録された粒子が採用される。

固有値問題の場合次のバッチの中性子源として十分な数の中性子 (少なくともバッチあたりヒストリー数 NHIST 以上) が登録されない場合には、各バッチ (世代) 間の統計的相関が大きくなり固有値の評価の信頼性が低下する恐れがある。これを防ぐためには核分裂中性子の重み WGTF (空間領域、エネルギー区分ごとに与える) の値を大きくしすぎてはならない。一般には WGTF の値を推定される固有値より小さくしておくのが望ましい。

■ 関連する他の入力 ■

WGTF (p. 282), NHIST (p. 121)

FISSION-MULTIPLICITY

■ このオプションの機能 ■

核分裂反応で発生する中性子を全中性子もしくは即発中性子のみとする。

■ 形式 ■

FISSION-MULTIPLICITY(TOTAL): 全中性子を発生。

FISSION-MULTIPLICITY(PROMPT): 即発中性子のみを発生。

■ デフォルト ■

全中性子を発生させる。

■ 解説 ■

核分裂反応が起きた時に発生する中性子は即発中性子と遅発中性子がある。通常の臨界計算ではこれらを足し合わせた全中性子を発生させなければならないが、炉雑音実験の解析では即発中性子減衰定数 α を求めるために即発中性子のみ発生させたい場合がある。このようなときにこのオプションを指定する。このオプションで即発中性子のみ発生させるようにすると ν_t の代わりに ν_p に基づいて核分裂中性子を発生させることになる。

■ 関連する他の入力 ■

FISSION (p. 105)。

FIXED-SOURCE

■ このオプションの機能 ■

固定源問題を解くことを示す。

■ デフォルト ■

有効になっている。

■ 関連する他の入力 ■

固定源の発生法を\$SOURCE ブロックで与える。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション EIGEN-VALUE (p. 104) と同時に有効にすることはできない。

FLUX-PRINT

■ このオプションの機能 ■

各 REGION、各エネルギー群ごとの粒子束の計算値（レサジー当り）をプリント出力する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PRINT-SUPPRESS (p. 113) でのフラックスの出力抑止よりこちらが優先される。

FREE-LATTICE-FRAME

■ このオプションの機能 ■

格子形状（繰り返し形状）表現を用いる際に、格子形状部分を格納する「枠」となる空間部分の形状を任意の形状にすることができる。

■ 解説 ■

LATTICE オプションと併用する。LATTICE オプションのみを使用した場合格子形状部分 (格子セル並び) を空間内に配置するための「枠」となる空間部分 (FRAME ZONE) の形状は限定されたものとなる (四方格子では格子並び全体と同じ大きさの矩形のゾーン、六方格子では円柱、直方体または正六角柱のみ)。FREE-LATTICE-FRAME オプションを使用することで任意の形状の格子形状枠 (FRAME ZONE) を指定することが可能になる。

確率的幾何形状 (STGM region) を使用した場合、このオプションは自動的に内部で有効となる。

■ 関連する他の入力 ■

GEOMETRY ブロックでのゾーン形状入力。

IMAGINARY-PARTICLE

■ このオプションの機能 ■

すべて発生点から直進するだけで、いかなる物質とも反応しない仮想的な粒子のみの計算を行う。この場合、すべての領域の媒質を真空として扱う。ただし、境界条件、漏洩等の扱いは入力の通りである。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

適当な粒子源を用いることで幾何形状が正しく入力されているかどうか (定義し忘れた空間領域がないか) をチェックすることができる。また、TALLY-REGION の体積を 1.0 とすると同時に平行ビーム線源等の適当な線源を用いることによって、タリー領域の体積計算にも利用できる。

■ 注意すべきこと ■

- 幾何形状チェックは現在では補助コードの CGVIEW を用いるほうが簡単である。このオプションは古い入力データとの互換性確保のために存在する。(CGVIEW については付録 B を参照。)
- 反射境界条件がある場合 (反射物質を含む体系)、反射物質表面での反射は指定通りに行われるので、不注意に用いると無限ループ状態となる可能性がある。

IMPORTANCE

■ このオプションの機能 ■

分散低減のためのロシアン・ルーレット・キル (Russian roulette kill) とスプリッティング (splitting) を、REGION、エネルギー群毎に定めたインポートランスによって行う。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

プログラム内で行われるランダムウォークの過程では粒子が空間位置／エネルギーの位相空間内の別の領域に移動するとき以下のように「インポートランス」が設定されているとする。

- Iold: もとの REGION、エネルギーでのインポートランス
- Inew: 新しい REGION、エネルギーでのインポートランス

このときインポートランスの比 $\xi = \text{Inew}/\text{Iold}$ に対して、

- $\xi < 1$ のとき：

生き残り確率 ξ でロシアン・ルーレットを行う。

生き残った粒子の重みは $W' = W/\xi$ とする。

- $\xi \geq 1$ のとき：

$[\xi]$ を ξ の整数部分とすると、粒子を N 個に分割する。

$$N = [\xi] + k$$

$$k = 1: \text{確率 } \xi - [\xi]$$

$$k = 0: \text{確率 } 1 - (\xi - [\xi])$$

分割後の各粒子の重みは、 $W' = W/\xi$ とする。

RUSSIAN-ROULETTE オプションと同時に用いた場合、インポートランスによる処理の後、更に WKIL、WSRV を用いたロシアン・ルーレット が適用される。

■ 他のオプションとの関連 ■

WEIGHT-WINDOW (p. 119) と同時に有効にすることはできない。RUSSIAN-ROULETTE (p. 117) と併用できる。

■ 関連する他の入力 ■

XIMP (p. 274)

LATTICE あるいは REPEATED-GEOMETRY

■ このオプションの機能 ■

格子形状（繰り返し形状）表現を用いる。

■ デフォルト ■

無効。

■ 関連する他の入力 ■

\$GEOMETRY ブロックの IDLAT、NVLAT、KLATT 等および空間ゾーン指定での #CELL ブロック。

MONITOR

■ このオプションの機能 ■

特定の反応や事象に対して、空間領域 (REGION)、エネルギー群ごとに、回数、平均の重みをモニターする。モニターされるのは衝突反応およびエネルギーの下限以下への散乱である。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

分散低減のためのパラメータを設定する目的で行うテスト計算等に用いると有用である。このオプションを使用すると計算時間が増加する場合がある (特にベクトル計算機環境)。

■ 他のオプションとの関連 ■

WEIGHT-WINDOW (p. 119), IMPORTANCE (p. 107), RUSSIAN-ROULETTE (p. 117)。

■ 関連する他の入力 ■

PSALP (p. 276), PSXYZ (p. 277), WKIL (p. 275), WSRV (p. 275)。

MULTI-TASK(n)

■ このオプションの機能 ■

マルチタスク処理 (並列処理) 時の処理要素数 (PE 数)。

■ 形式 ■

MULTI-TASK (n)

■ 解説 ■

n が PE 数。通常はコマンド行オプション NTASK=... で指定すべきである。

NEUTRON

■ このオプションの機能 ■

中性子輸送問題を解く。

■ デフォルト ■

デフォルトで有効になっている。

■ 注意すべきこと ■

MVPでは中性子反応断面積データライブラリを入力するためにインデックスファイルを指定する。核種温度を任意のものに Doppler broadening する機能を利用する場合、それに対応したライブラリデータのインデックスファイルが FORTRAN 入力 I/O ユニット 24 番に指定されている必要がある。核種温度が固定された断面積ライブラリを使用する場合はライブラリインデックスを FORTRAN 入力 I/O ユニット 25 番に指定する。インデックスファイルについては 16.3 節を参照。

■ 他のオプションとの関連 ■

中性子/光子を両方同時に解く計算では オプション PHOTON (p. 111) も指定する。また光子の計算のみを行う場合には NO-NEUTRON により中性子の計算を行わないことを明示する必要がある。固有値計算モード (オプション EIGEN-VALUE (p. 104)) では必ず NEUTRON が有効になっている必要がある。

PATH-STRETCH

■ このオプションの機能 ■

粒子の飛行する向きによって衝突点までの距離が通常より大きく、または小さくサンプリングされるようにバイアスすることができるようになる。希望する空間位置付近に粒子が「集まる」ようにするか、あるいは指定した点から遠ざかる方向に粒子が行きやすいようにして計算値の統計精度を向上させる分散低減機能である。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

詳細は 2.9.3 節で記述されている。この分散低減法において全断面積は次のように修正される。

$$\begin{aligned}\tilde{\Sigma}_t &= (1 - \beta)\Sigma_t, \\ \beta &= \alpha \Omega \cdot \Omega', \\ \Omega' &= \frac{\mathbf{c} - \mathbf{r}}{|\mathbf{c} - \mathbf{r}|}.\end{aligned}$$

ユーザーは PSALP と PSXYZ で指定されるそれぞれのパラメータ α と \mathbf{c} を指定しなければならない。

■ 他のオプションとの関連 ■

WEIGHT-WINDOW (p. 119), IMPORTANCE (p. 107), RUSSIAN-ROULETTE (p. 117)

■ 関連する他の入力 ■

PSALP (p. 276), PSXYZ (p. 277), WKIL (p. 275), WSRV (p. 275)

PERIODIC-TIME

■ このオプションの機能 ■

時間依存計算において、粒子飛行の時間が一定時間を越えると時間を 0 に戻す「周期的時間」を適用する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

時間依存問題 (オプション TIME-DEPENDENT) において粒子の時間 t が打ち切り時間 (TCUT) を越えた場合、時間打ち切り処理を適用しないで、 $t - \text{TCUT}$ を新しい粒子時間としてランダムウォークを続行する。

粒子のアナログ吸収や計算体系外への漏出、粒子重み打ち切り (ロシアン・ルーレット) 等の、時間打ち切り以外の事象によってランダムウォークが終了することが保証されていなければならない。

■ 他のオプションとの関連 ■

TIME-DEPENDENT (p. 119), RUSSIAN-ROULETTE (p. 117), WEIGHT-WINDOW (p. 119)

■ 関連する他の入力 ■

TCUT (p. 128), WLLIM (p. 129)

PERTURBATION

■ このオプションの機能 ■

摂動計算機能を用いる。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

現在、摂動機能で計算できるのは、実効増倍率 (k_{eff}) と動特性パラメータ (実効遅発中性子割合 β_{eff} と中性子生成時間 Λ) のみである。摂動計算を行うには、PERTURBATION オプションの他に PERTURBATION データブロックの入力が必要である。入力の詳細については、第 15 章を参照。

PHOTON または PHOTON(mode)

■ このオプションの機能 ■

光子輸送問題を解く。

■ 形式 ■

MVP では以下のように計算モードをしめすパラメータを指定できる。

PHOTON (*mode*)

文字列 *mode* によって光子反応モデルを選択する。以下の 2 通りの指定が可能である。

- PHOTON(PHOTON) : 詳細モデル
- PHOTON(GAMMA) : 高エネルギー光子用の簡易モデル

“(mode)”を省略した場合は詳細モデルが選ばれる。

■ デフォルト ■

デフォルトでは光子計算は行われない。

■ 解説 ■

光子の発生は線源入力で指定される線源粒子として発生する場合と中性子と原子核の反応で発生する場合の2通りのケースがある。中性子と原子核の反応で発生する場合には空間領域ごとに指定される基準粒子重み WGTP と衝突時の光子生成量とを比較して発生個数が決められる。

■ 他のオプションとの関連 ■

中性子/光子を両方同時に解く計算ではオプション NEUTRON (p. 109) も有効にする。光子のみの計算を行う場合には NEUTRON オプションは無効にする必要がある。MVP では光子と原子の反応によって生じる電子による制動 X 線を扱うためのオプション BREMSSTRAHLUNG (p. 99) がある。

■ 関連する他の入力 ■

WGTP (p. 283)

■ 注意すべきこと ■

- MVP では光子反応断面積データライブラリを入力ためのインデックスファイルが FORTRAN 入力 I/O ユニット 26 番に指定されている必要がある。
- 中性子の処理を行わず光子の処理のみを行う場合、MVP において物質組成を指定する時の「核種 ID」には光子ライブラリのものを用いても、中性子ライブラリでの核種 ID の形式でもどちらでもよい。中性子の処理と光子の処理を同時に行う場合は、中性子ライブラリでの核種 ID を用いる (光子の断面積ライブラリは中性子ライブラリの核種 (元素) から自動的に決定される)。
- 中性子/光子結合問題として指定されても、粒子源として光子だけ与えた場合には、中性子の計算は行われず、中性子断面積の入力が無駄になるので注意する必要がある。

PHOTO-NUCLEAR

■ このオプションの機能 ■

MVP コードで光子の光核反応による二次粒子の発生を行う。このオプションは MVP でのみ有効である。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

光核反応を陽に取り扱い、光核反応で生成される中性子、光子を追跡する。光核反応を取り扱うためには、MVP 用の光核反応ライブラリが必要である。光核反応ライブラリを指定するためには、MVP 実行時、ユニット 28 番にこのライブラリのインデックスファイルを指定する。更に、MVP

の入力データで、核種を指定する際、どの研究機関または評価済核データライブラリによって評価された光核反応断面積を利用するかを指定する必要がある (9.1.4 項を参照)。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション NEUTRON (p. 109) と PHOTON (p. 111) が有効なときに意味がある。

■ 関連する他の入力 ■

9.1.4 節 光核反応断面積の利用、PNPRODUCE (p. 251)、DIMENSION (p. 253)、PRODUCE-REGION (p. 262)、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262)、PRODUCE-REACTION (p. 264)。

PICTURE

■ このオプションの機能 ■

幾何形状モデルの断面図を文字パターンによって出力する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

MVP/GMVP コードの入力形状の表示とチェックのためには CGVIEW コードが用意されているが、このオプションを使用するとグラフィック表示環境が無い場合でもある程度の形状のチェックが行える。

■ 関連する他の入力 ■

NPICT (p. 133), PAPER (p. 133)。

PRINT-SUPPRESS

■ このオプションの機能 ■

出力項目ごとのプリント出力抑制オプション。

■ 形式 ■

PRINT-SUPPRESS (*flag1 flag2 ...*)

■ 解説 ■

項目番号 (I_j) を指定すると、その項目のプリント出力を行わない。
プリント出力を抑制できる項目は以下の通りである。

- 1: グループごとの粒子束
- 2: 現在、定義されていない
- 3: 時間依存粒子束
- 4: レスポンス

- 5: 時間依存レスポンス
- 6: ランダムウォーク処理中のバッチごとの粒子源位置等の平均値の出力。
- 7: ランダムウォーク処理中のバッチごとの中性子増倍率の情報。
- 8-16: 現在、定義されていない
- 17: 微視的反応率 (MVP)
- 18: 微視的断面積 (MVP)
- 19: 巨視的反応率 (MVP)
- 20: 巨視的断面積 (MVP)

RELATIVE-WEIGHT

■ このオプションの機能 ■

ロシアン・ルーレット、ウェイト・ウインドウ処理および二次粒子発生処理のための粒子重みパラメータを粒子生成時の重みに対する相対値と解釈する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

分散低減オプション RUSSIAN-ROULETTE、WEIGHT-WINDOW に対応して入力する粒子重みパラメータ WSRV、WKIL は通常は粒子の重みに対してそのまま適用される。また、固定中性子源問題での核分裂中性子や光子 (二次粒子) 発生処理で使用される重み WGTF、WGTP についても同様である。

RELATIVE-WEIGHT オプションを有効にすると、WKIL、WSRV、WGTF および WGTP を適用する処理においてこれらの値を線源または反応からの二次粒子として粒子が生成されたときの重みに対する相対値として使用する。

このような処理は特に二次粒子以降世代の挙動が重要であるが、それらの発生重みを小さくしなければならぬような場合に二次粒子が直ちにロシアン・ルーレットで終了させられたり、三次以降の粒子の発生頻度が非常に小さくなったりするのを避ける効果がある。

ただし、このオプションを適用した場合には二次粒子以降の世代の粒子が大量に発生して計算が終了しなくなる可能性もあるので、粒子時間打ち切り (TCUT) または粒子世代数制限 (MXPGEN) を適用すべきである。

■ 他のオプションとの関連 ■

FIXED-SOURCE (p. 106), WEIGHT-WINDOW (p. 119), RUSSIAN-ROULETTE (p. 117)

■ 関連する他の入力 ■

WKIL (p. 275), WSRV (p. 275), WGTF (p. 282), WGTP (p. 283), TCUT (p. 128), MXPGEN (p. 128)

RESPONSE

■ このオプションの機能 ■

「エネルギー群」依存のレスポンス関数を用いた反応率の評価を行う。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

利用者が RESP データで指定した多群形式のレスポンス関数と中性子束の計算値から反応率を評価することができる。MVP コードでは連続エネルギー断面積による反応率の評価が行えるためあまり利用価値が無いが、GMVP コードでは現状では任意の反応率の評価にはこのオプションを用いる。

■ 関連する他の入力 ■

NRESP (p. 249), RESP (p. 249)

RESTART

■ このオプションの機能 ■

リスタート計算であることを示す。

I/O ユニット 10 上にあるリスタートファイルから必要な情報を読み込んで計算を再開する。リスタートファイルは以前の計算で I/O ユニット 20 上に書出されたものを仮定している。

■ デフォルト ■

無効。

■ 注意すべきこと ■

バージョンの異なる MVP、GMVP から出力されたリスタートデータは一般に使用できない。また、バージョンが同じ MVP、GMVP からの出力でも機種や OS の違う環境で出力されたものであればやはり相互に使える保証はない。ただし、FORTRAN プログラムが出力するバイナリーデータの形式が同じで、かつデータの内部表現が同じ環境からの出力リスタートファイルであれば相互に使用できることもある (Sparc CPU の SunOS と PA-RISC の HP-UX など)。

RESTART モードで計算を行うヒストリーの数は入力データ NPART の符号によって以下のようになる。

- NPART が正の数の場合：リスタートファイルが出力された時点で計算済のヒストリー数を NPART から差し引いた数のヒストリーを計算。
- NPART が負の数の場合：NPART の絶対値を取ったものがこのリスタート計算で行うヒストリー数となる。

例えば、リスタートファイルに 100,000 ヒストリーの計算の情報が格納されているときには

- NPART = 250,000 : 100,001 番目のヒストリーから 250,000 番目のヒストリーまでの計算を行う。計算するヒストリー数は $\text{NPART} - 100000 = 150000$ となる。

- $\text{NPART} = -50,000 : 100,001$ 番目のヒストリーから 150,000 ヒストリーの計算を行う。計算終了後の通算ヒストリー数は 150,000 となる。
- $\text{NPART} = 50,000 : 0 < \text{NPART} \leq 100,000$ なので計算するヒストリーの数は 0 である。このような場合ランダムウォークを行わずに 100,000 ヒストリー計算結果の統計処理と出力のみが行われる。

MVP/GMVP の実行のためのスクリプト `runmvp`、`rungmvp` を使用した場合にはリスタートファイルの指定は以下のように行う。

```
runmvp ri=input-restart-file ro=output-restart-file
```

`ro=...` オプションを使用しない場合には、MVP/GMVP のリスタートファイルはスクラッチファイルに出力され、計算終了後には失われてしまうので、リスタート計算が必要な場合には、必ず `ro` オプションでファイル名を指定しておく必要がある。また、`ri=...` で指定するファイルと `ro=...` で指定するファイルに同じものを指定した場合の動作は保証されない。

■ 他のオプションとの関連 ■

RESTART-FILE (p. 116), AUTO-RESTART (p. 98)

■ 関連する他の入力 ■

NPART (p. 121), NRSINT (p. 124)

RESTART-FILE

■ このオプションの機能 ■

リスタートファイルの出力を行うことを指示する。リスタートファイルは I/O ユニット 20 上に書出されたものを仮定している。

■ デフォルト ■

有効になっている。

■ 注意すべきこと ■

リスタートファイルの出力が必要ない場合に “NO-RESTART-FILE” のように使用する。

■ 他のオプションとの関連 ■

RESTART (p. 115), AUTO-RESTART (p. 98)

RUN-MODE[(mode)]

■ このオプションの機能 ■

特別な動作モードを指定する。

■ 解説 ■

現在のところ以下のモードが有効；

- `mode=1`: 入力データの入力処理のみでランダムウォーク以降の処理は行わない。

RUSSIAN-ROULETTE

■ このオプションの機能 ■

ロシアン・ルーレットによって重みの小さく従って重要度の小さくなった粒子のランダムウォークを早く終了させる (weight cutoff)。

■ デフォルト ■

有効。

■ 解説 ■

粒子がある位相空間 (REGION とエネルギー) に入った時、その REGION とエネルギーに対して定義されている次の2つの量 WKIL、WSRV を用いてロシアン・ルーレットを行う。

WKIL : ロシアン・ルーレットを行う基準となる重み。

WSRV : ロシアン・ルーレットで生き残った粒子に与える重み。 ($WSRV > WKIL$)

粒子の重みを W とすると

- $W \geq WKIL$ ならロシアン・ルーレットは行わない。
- $W < WKIL$ のとき、一様乱数 $\xi (0 \leq \xi < 1)$ に対し、
 - $\xi < W/WSRV$ のとき、粒子は生き残り重み WSRV を与えてランダムウォークを続行する。
 - $\xi \geq W/WSRV$ のとき、粒子のランダムウォークは終了させる。

■ 他のオプションとの関連 ■

WEIGHT-WINDOW (p. 119) と同時に有効にすることはできない。IMPORTANCE (p. 107) と併用することができる。RELATIVE-WEIGHT (p. 114) も参照のこと。

■ 関連する他の入力 ■

WKIL (p. 275)、WSRV (p. 275)

SCATTERING-MATRIX[(order)]

■ このオプションの機能 ■

散乱行列 (群から群への散乱反応率) 及び散乱行列モーメントを計算する (散乱行列タリー)。order は、計算される散乱行列モーメントの次数であり、この次数までの散乱行列モーメントが計算される。次数 order を指定しない場合は、群から群への散乱反応率のみが計算される (order=0)。現在、指定可能な次数の最大値は7である。

■ デフォルト ■

無効。

■ 関連する他の入力 ■

散乱行列タリーは、オプション EDIT-MICROSCOPIC-DATA (p. 104)(微視的断面積及び反応率を計算) または EDIT-MACROSCOPIC-DATA (p. 103)(巨視的断面積及び反応率を計算) の指定に従い、弾性散乱 (4 番目のフラッグ位置データの N4) が指定されていない場合 (N4=0) には、弾性散乱に関して無効となる。非弾性散乱 (N6) と (n,2n) 反応 (N7) についても同様である。散乱行列タリーの出力タイプ (バイナリファイル出力と標準出力) も EDIT-MICROSCOPIC-DATA と EDIT-MACROSCOPIC-DATA の N4, N6 と N7 の指定値に準拠する。

群から群への散乱反応率のエスティメータとして、飛程長エスティメータと衝突エスティメータを選択することができる。飛程長エスティメータを選択する場合は、オプション EDIT-BY-TRACK-LENGTH (p. 103) を、衝突エスティメータを選択する場合はオプション EDIT-BY-COLLISION (p. 102) を指定する。デフォルトは飛程長エスティメータである。

散乱行列を計算するタリー領域は、オプション EDIT-MICROSCOPIC-DATA、EDIT-MACROSCOPIC-DATA と同様のタリー領域で、GEOMETRY ブロックの最後のタリー領域の定義 (#TALLY REGION) で指定される。

SCATTERING-MUBAR

■ このオプションの機能 ■

実験室系における平均の散乱角余弦を計算する (散乱角余弦タリー)。

■ デフォルト ■

無効。

■ 関連する他の入力 ■

散乱角余弦タリーに関連する他の入力は、散乱行列タリーと同様である。SCATTERING-MATRIX (p. 117) オプションの項目を参照のこと。

SOURCE-OUTPUT

■ このオプションの機能 ■

固有値問題のとき計算の最後のバッチの核分裂中性子の発生位置等のデータを別の計算で線源として入力可能なファイルに出力する。

■ デフォルト ■

無効。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション EIGEN-VALUE (p. 104) 指定時にのみ有効。

■ 関連する他の入力 ■

SOURCE ブロック (p. 210) 及び出力ファイル内容の説明の章を参照のこと。

TALLY-LATTICE あるいは FRAME-DEPENDENT-TALLY

■ このオプションの機能 ■

格子形状（繰り返し形状）を用いる場合に、FRAME ZONE、SUBFRAME によって定義された部分空間毎のタリーを取る。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

格子形状オプションを用いると同じ形状／内容の複数の空間部分 (格子セル) より構成される体系を簡単に表現できるが、タリーをとる際にはそれらの空間部分は同一の区分となってしまう平均化された計算値しか得られない。格子形状指定時には同一の種類のセルで定義するがタリーは区別して計算したい場合にこのオプションを指定する。

■ 関連する他の入力 ■

GEOMETRY ブロックの SUBFRAME サブブロック、TALLY REGION サブブロック。

TIME-DEPENDENT

■ このオプションの機能 ■

時間依存の問題を解く。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

粒子に「時間」という属性をもたせ、発生したの時間およびランダムウォークの各イベントの時刻が計算される。この時間に基づいて物理量を時間軸上で評価したり、ランダムウォークを打ちきったりすることができる。

■ 関連する他の入力 ■

NTIME (p. 245), TCUT (p. 128), TALLY ブロック

WEIGHT-WINDOW

■ このオプションの機能 ■

ウェイト・ウインドウによる分散低減を行う。

■ デフォルト ■

無効。

■ 解説 ■

粒子が新しく入った位相空間 (REGION、エネルギー) に対して次の 2 つの値が定義されているものとする。

- WKIL: ロシアン・ルーレットを行う基準となる重み。
- WSRV: ロシアン・ルーレットで生き残った粒子に与える重み ($WSRV > WKIL$)

粒子の重みを W とすると,

- $W > 2 * WSRV$ のとき:

$\xi = W/WSRV$ 個の粒子に分割する。その小数部分に対してはインポートランスの場合と同様にロシアン・ルーレットを行う。新しい重みは $WSRV$ とする。

- $W < WKIL$ のとき:

生き残り確率 $W/WSRV$ のロシアン・ルーレットを行う。生き残った粒子に対しては重み $WSRV$ を与える。

この方法によって粒子の重みは $WKIL < W < 2*WSRV$ の範囲に揃えられる。

■ 注意すべきこと ■

すべての空間領域、エネルギー群について必ず $WSRV > WKIL$ でなければならない。

■ 他のオプションとの関連 ■

RUSSIAN-ROULETTE (p. 117) および IMPORTANCE (p. 107) と同時に有効にすることはできない。

RELATIVE-WEIGHT (p. 114) も参照のこと。

■ 関連する他の入力 ■

$WKIL$ (p. 275), $WSRV$ (p. 275)

8. 計算のコントロール

8.1 MVP/GMVP 共通のコントロールデータ

MVP/GMVP のランダムウォークを制御するヒストリー、計算時間、物理モデル等に係るデータである。以下のデータはすべてデータ名付き自由形式で入力する。

NPART

■ 意味 ■

処理する総ヒストリー数。

■ 解説 ■

「ヒストリー」とは、粒子源から発生した1個の粒子がランダムウォークを行って、消滅または計算体系外に漏れるまでの過程のことである。粒子がランダムウォーク途中で2個以上の粒子に分裂することがあるが(スプリッティング)、分裂してできた粒子のランダムウォークも分裂元の粒子のヒストリーの一部である。2.8 節参照。これは粒子源から発生させる粒子の総数でもある。

● 正の値の場合:

これから行う計算の終了時のヒストリー総数である。リスタート計算の場合、以前の計算の粒子数も含む通算のヒストリー数である。固有値問題では、反応率等の統計をとり始める前にスキップするバッチにおける粒子数も含む。

● 負の値の場合:

リスタート計算モードであれば、NPART の絶対値をこれから行う計算のヒストリー数とする。ここまでの計算のヒストリー数は含まれない。リスタート計算でなければNPART の絶対値がヒストリー総数となる。

■ デフォルト ■

省略値なし。

■ 関連する他の入力 ■

バッチ当たりのヒストリー数 (NHIST)。

NHIST

■ 意味 ■

バッチ当たりのヒストリー数。

■ デフォルト ■

省略値なし。

■ 注意すべきこと ■

- リスタート計算の時には、リスタートファイルを出力した計算と同じ値を指定しなければならない。
- $\text{NPART} \geq \text{NHIST}$ でなければならないが、NPART が NHIST の整数倍である必要はない。このような場合、計算の一番最後のバッチのヒストリー数が NHIST より小さくなるが、統計上は問題なく処理されるようになっている。

■ 関連する他の入力 ■

総ヒストリー数 NPART、粒子バンクサイズ NBANK。

NBANK

■ 意味 ■

粒子バンクの長さ。

■ 解説 ■

MVP/GMVP はランダムウォーク処理時には複数の粒子のデータをメモリ上に置いて一括して処理する (ベクトル計算機であればベクトル計算)。その複数の粒子属性データを格納するデータ配列を「粒子バンク」と呼んでいる。

各バッチ開始時に NHIST 個の粒子が生成されるが、以下のような場合ランダムウォークの過程で粒子数は NHIST より大きくなる可能性がある。

- 固定中性子源問題で中性子反応から核分裂中性子が生成。
- 中性子・光子結合計算での中性子反応からの光子生成と光核反応からの中性子生成。
- WEIGHT-WINDOW、IMPORTANCE オプション使用時の粒子スプリッティング処理。

このようなケースでは NBANK は NHIST より大きくする必要がある。

■ デフォルト ■

NHIST と同じ。ただし、固定源核分裂問題 (FIXED-SOURCE オプション + FISSION オプション) または WEIGHT-WINDOW、IMPORTANCE オプションを使用するときは $2 * \text{NHIST}$ となる。更に、MVP による中性子・光子結合計算 (NEUTRON オプション + PHOTON オプション) の場合には、これらの値を $1/(1-\text{BANKP})$ 倍にした値となる。

■ 関連する他の入力 ■

総ヒストリー数 NPART、バッチ当たりのヒストリー数 NHIST。

NGROUP

■ 意味 ■

エネルギー群数。

■ 解説 ■

中性子のエネルギー群数と光子のエネルギー群数の合計である。

● GMVP の場合

多群断面積データのうち、ランダム・ウォークを行うエネルギー群数。1 群 (最大エネルギー群) から NGROUP 分を使用する。断面積データの群数とは一致しなくてよいがそれより少ないか等しいこと。断面積データの群数より小さい場合には NGROUP 以上の群へ散乱された粒子はヒストリーを終了する (エネルギーカットオフ)。

● MVP の場合

粒子束等のタリーを取るためのエネルギー区分の数である。分散低減法のためのデータやレスポンス関数をエネルギー別に与えるときのエネルギー区分も兼用している。エネルギー区分はユーザーが好きなように指定できる。

中性子・光子結合問題では、中性子と光子それぞれに対するエネルギー群数 NGROUP.N、NGROUP.P を入力する必要があるが、NGROUP はコードが計算するので、入力の必要はない。

$$\text{NGROUP} = \text{NGROUP.N} + \text{NGROUP.P}$$

また、中性子、光子いずれかの単独問題では、

- NGROUP 入力時に NGROUP.N (or P) = NGROUP、
- NGROUP.N (or P) 入力時に NGROUP = NGROUP.N (or P)

と設定されるので、NGROUP あるいは NGROUP.N (or P) の一方の入力でよい。

NGROUP.N[EUTRON] または NGP1

■ 意味 ■

中性子のエネルギー群数。[] の中は省略してもよい。また、この変数名の代わりに NGP1 を用いることもできる。

■ 関連する他の入力 ■

NGROUP の解説を参照のこと。

NGROUP.P[HOTON] または NGP2

■ 意味 ■

光子のエネルギー群数。[] の中は省略してもよい。また、この変数名の代わりに NGP2 を用いることもできる。

■ 関連する他の入力 ■

NGROUP の解説を参照のこと。

NTIME

■ 意味 ■

時間依存タリーの時間ビンの数。TIME-DEPENDENT オプション指定時に意味をもつ。

■ デフォルト ■

省略値は 1 である。

■ 注意すべきこと ■

TALLY 入力ブロック内で指定することもできる。

NRSINT

■ 意味 ■

リスタートファイル出力の間隔。

■ 解説 ■

第 1 版では、指定したヒストリーをすべて終了してからリスタートファイルを出力していたが、CPU 時間などの資源超過による打ち切りがあるシステムや、何らかのシステム、入力あるいはプログラムの障害で計算が指定したヒストリー数の計算を行わないうちに終了してしまうとリスタートファイルを出力できず、そこまでの計算が無駄になることがある。

0 でない NRSINT を与えることにより、一定のバッチまたはヒストリー間隔で、そこまでの処理の情報をリスタートファイルに出力することができる。全ヒストリー終了時のリスタートファイル出力は必ず行われる。

- 正の値の場合: NRSINT バッチ終了するごとにリスタートファイルを出力。
- 負の値の場合: NRSINT の整数倍のヒストリーを終了したバッチの後でリスタートファイルを出力
- 0 の場合: 全ヒストリー終了時のリスタートファイル出力のみ。

■ デフォルト ■

省略値は 0 である。つまり、全ヒストリー終了時のリスタートファイル出力のみ。

NBPINT

■ 意味 ■

バッチのモニタープリント出力の間隔。

■ 解説 ■

各バッチごとに開始した時点の CPU 時間、粒子源パラメータの平均値、固有値計算の途中結果 (固有値問題の場合) などがプリント出力されるが、NBPINT に 1 より大きい値を与えるとこの出力が NBPINT バッチ毎に行われる。バッチ数が多い計算でプリント出力量を減らす目的で使用する。

■ デフォルト ■

省略値は 1。全バッチに対してモニタープリント出力を行う。

NTMINT

■ 意味 ■

固有値計算の途中バッチでのモニタープリント出力の間隔。

■ 解説 ■

固有値計算モードでは、いくつかの評価法を組み合わせた評価結果が計算終了後に出力されるが、その中間結果が NTMINT バッチ毎に出力される。

■ デフォルト ■

省略値は 10 である。

TCPU

■ 意味 ■

使用する CPU 時間の上限 (単位:分)。

■ 解説 ■

各バッチ終了時の使用 CPU 時間が TCPU を超過すると、既に終了したバッチに対して出力処理を行い、計算を終了する。TCPU=0 とすると、このチェックは行わない。並列計算の場合は、TCPU は各プロセッシングエレメントに対する CPU 時間の上限となる。即ち、あるプロセッシングエレメントの CPU 時間が TCPU を超えると計算は打ち切られる。また、CPU 時間をモニターするように MVP/GMVP がコンパイルされていない場合には、この指定は意味を持たない。

「ジョブクラス」等で CPU 時間による打ち切り制御が行われているシステムでは、打ち切り時間を TCPU に指定した場合、バッチの途中で計算が強制的に終了してしまう可能性があるため、1 バッチ当たりの CPU 時間分程度、システムの打ち切り時間より小さい値を指定の方が安全である。

■ デフォルト ■

省略値は 0 である。つまり、CPU 時間のチェックは行わない。

IRAND

■ 意味 ■

乱数列の初期値を与える整数 (0 から $2^{31} - 1$)。リスタート計算では、リスタートファイルから読み込んだ乱数値を利用して計算を始めるので、この入力があっても使用されない。

■ デフォルト ■

省略値は 0 である。

NFBANK

■ 意味 ■

固有値計算時の核分裂中性子バンクに格納できる粒子数。

■ 解説 ■

固有値計算で発生した核分裂中性子は次のバッチの中性子源として利用するために登録されるが、そのデータを格納する配列群を「核分裂中性子バンク」と呼ぶ。NFBANK \geq NHIST であること。

■ デフォルト ■

NHIST と同じ。

■ 関連する他の入力 ■

WGTF の解説を参照のこと。

NSKIP

■ 意味 ■

固有値問題において、粒子束等のタリーを取り始める前に統計処理の対象から除くバッチ数。核分裂中性子源分布が十分収束した後となるように指定するのが望ましいが、これは核分裂中性子源分布の初期値や解析体系の特性 (ドミナンス比) に依存する。

■ デフォルト ■

省略値は 0 であるが、多くの固有値問題では、少なくとも最初の数バッチ分は統計から除く必要がある。

■ 注意すべきこと ■

リスタート計算で入力値を変更してはならない。固定源問題では、NSKIP はコード内で 0 にセットされる。

NMEMO

■ 意味 ■

粒子が次に入る ZONE の候補を記憶しておく配列の大きさ (ZONE 当たり)。

■ 解説 ■

NMEMO は、ある空間 ZONE から領域探索処理において、次に入った ZONE を記憶しておく配列の ZONE 当たりの容量である。記憶された ZONE から探して行くことで、処理時間を短縮する。入っていく可能性のある ZONE の数の最大値、あるいはそれ以上とすることが望ましい。

■ デフォルト ■

省略値は 5 である。

NMEMOP

■ 意味 ■

領域探索処理で次に入る ZONE の候補を記憶しておく配列に対して、頻度の多い ZONE から並べ直す処理をバッチ数が NMEMOP 以下である間を行う。

■ デフォルト ■

省略値は 2 である。

NMEMS

■ 意味 ■

各粒子源毎に記憶する粒子発生 ZONE の数。

■ 解説 ■

粒子源からの粒子の発生位置は “\$SOURCE” ブロックで与えた分布によりサンプリングされるが、ランダムウォークを開始するためには、発生位置がどの ZONE にあるかを調べる必要がある。各線源セット毎に発生 ZONE を記憶しておき、記憶された ZONE から探して行くことで処理時間を短縮する。

■ デフォルト ■

省略値は 5 である。

NRSKIP

■ 意味 ■

計算の開始前または各バッチの前に「捨てる」乱数の数。

■ 解説 ■

$\text{NRSKIP} > 0$ の場合は、NRSKIP 個の乱数を計算開始前に一度だけ捨てる。 $\text{NRSKIP} < 0$ の場合は、 $|\text{NRSKIP}|$ 個の乱数を各バッチの前に捨てる。

■ デフォルト ■

省略値は 0 である。

DEPS

■ 意味 ■

コード内で判別される最短の距離 (cm)。

■ 解説 ■

粒子が ZONE の境界を越えるとき、境界上の位置からこの距離だけ「進んだ」地点に対して次の ZONE を探すことで、境界を確実に越えられようになっている。これは形状データの精度の限界が DEPS であることも意味する。

■ デフォルト ■

省略値は 10^{-5} cm である。

DINF

■ 意味 ■

コード内で「無限大」として扱われる距離 (cm)。

■ 解説 ■

ランダムウォークの過程で粒子の現在位置から ZONE の境界までの距離を計算するとき、ある BODY と粒子飛行線が交わらないことを判定するために DINF を用いる。境界までの距離が DINF より大きい場合に無限大とし、交わらないと判定する。

■ デフォルト ■

省略値は 10^{30} cm である。

TCUT

■ 意味 ■

粒子がランダム・ウォークを行う時の経過時間の上限 (秒)。この時間を越えた粒子のランダム・ウォークは終了する。TIME-DEPENDENT オプション 指定時に有効。

■ デフォルト ■

TIMEB データの最後の値にセットされる。

MXPGEN

■ 意味 ■

固定源問題で二次粒子以降の世代の粒子が発生する場合、MXPGEN 世代より先の世代については粒子を発生しないようにする。ただし、MXPGEN=0 を指定すると世代数制限を行わない。

■ 解説 ■

核分裂物質を含む固定源問題で超臨界または臨界に近い体系では、無限に核分裂中性子が発生する恐れがあり、計算が止まらないことがある。これを避けるために MXPGEN を使用する。

■ デフォルト ■

世代数制限を行わない (MXPGEN=0)。

WLLIM

■ 意味 ■

分散低減処理や二次粒子発生処理において、粒子分割もしくは粒子生成処理で WLLIM 以下の重みの粒子を作らないようにする。RELATIVE-WEIGHT オプション 適用時などに粒子を必要以上に生成しないようにするために使用する。

■ デフォルト ■

省略値は 10^{-10} である。

ELOOP

■ 意味 ■

ランダムウォークが「無限ループ」になった粒子の計算の打ち切りを制御するパラメータ。

■ 解説 ■

ELOOP が正の値の場合、各バッチのランダムウォーク処理において以下のように「無限ループ」発生を検知し、その時点でバッチの残り粒子のランダムウォーク処理を強制的に終了する。

- 各バッチにおいて、生き残り粒子数が線源粒子数の 1% 以下あるいは 2 個以下になったとき「無限ループ」検出モードに入る。
- 検出モードに入ってから各計算イベント処理の総数のそれまでのバッチ内の全イベント処理総数に対する割合が ELOOP 以上となった時点で、無限ループの可能性があると判断し、次のメッセージを出した後、さらに 29 回分のイベント処理の記録を出力して、残り粒子のランダムウォーク処理を強制的に終了する。

```
XXX      n  PARTICLES ARE PROBABLY IN ENDLESS LOOP.  
(MONITOR 30 EVENTS)
```

しかし、この処理で無限ループとなったランダムウォークを正しく検出できるとは限らない。バッチのほとんど全ての粒子が同時に無限ループに入ってしまうような場合の検出はできない。また、バッチ中の小数の粒子がランダムウォークを長時間続けていて、その粒子の挙動が重要な場合には、この処理により重要な情報を失ってしまう可能性もある。後者のような場合には、ELOOP の値を大きくするか、または ELOOP を 0 にしてこの処理を行わないようにする必要がある。

■ デフォルト ■

省略値は 0.2 である。

8.2 MVP のみのコントロールデータ

ETOP[.N]

■ 意味 ■

MVP で計算する中性子のエネルギーの上限 (eV)。

■ 解説 ■

核分裂等で発生した中性子のエネルギーが ETOP.N 以上となったときエネルギーはこの値にセットされる。ETOP.N > ETOPL (MVP ライブラリーのエネルギーの上限：通常、20 MeV) を入力すると ETOPL にセットされる。“N” を省略した “ETOP” の形で指定することもできる。

■ デフォルト ■

省略値は 2×10^7 eV (20 MeV) である。

EBOT[.N]

■ 意味 ■

MVP で計算の対象とする中性子のエネルギーの下限 (eV)。

■ 解説 ■

EBOT.N < EBOTL (MVP ライブラリーのエネルギーの下限： 10^{-5} eV) を入力すると EBOTL にセットされる。“N” を省略した “EBOT” の形で指定することもできる。また、固有値問題及び熱中性子散乱を考慮する問題 (ETHMAX≠0) では、入力データの値に関係なく EBOTL にセットされる。これらの問題では、中性子のエネルギーが EBOT.N より小さくなった場合、EBOT.N にセットされる。

■ デフォルト ■

省略値は 10^{-5} eV である。

ETOP.P

■ 意味 ■

MVP で計算する光子のエネルギーの上限 (eV)。

■ 解説 ■

光子生成時にエネルギーが ETOP.P 以上となったとき、エネルギーはこの値にセットされる。ETOP.P > ETOPLP (MVP 光子ライブラリーのエネルギーの上限：100 MeV) を入力すると、ETOPLP にセットされる。

■ デフォルト ■

省略値は 1×10^8 eV (100 MeV) である。

EBOT.P

■ 意味 ■

MVP で計算の対象とする光子のエネルギーの下限 (eV)。

■ 解説 ■

EBOT.P < EBOTLP (MVP 光子ライブラリーのエネルギーの下限: 1 keV) を入力すると EBOTLP にセットされる。

■ デフォルト ■

省略値は 1×10^3 eV (1 keV) である。

ETHMAX

■ 意味 ■

MVP で熱中性子散乱を考慮するエネルギーの上限 (eV)。

■ 解説 ■

ETHMAX $\neq 0$ ならば熱中性子散乱を考慮する。ただし、ETHMAX \leq EBOT.N の場合は、ETHMAX = ESABL (使用する核種毎に MVP ライブラリーに与えられている熱中性子非弾性散乱データのエネルギー領域の上限値 ($E_{S\alpha\beta}$) の最大値) に自動的にセットされる。 $E_{S\alpha\beta} < E \leq$ ETHMAX にある中性子の熱中性子散乱に対しては、short-collision time 近似あるいは自由ガスモデルが用いられる。

■ デフォルト ■

省略値は 4.5 eV である。

AMLIM

■ 意味 ■

MVP の中性子散乱に対し、自由ガスモデル (free gas model) を適用する核種の質量 (中性子を 1.0 とした時) の上限。

■ 解説 ■

AMLIM より大きい質量を持つ核との熱中性子散乱は、0.625 eV までは重心系等方の弾性散乱によって減速し、それ以下ではエネルギーは変化せず、方向のみ重心系等方散乱で変化する。

■ デフォルト ■

省略値は 1000.0 である。すべての核種に自由ガスモデルを適用する。

EWCUT

■ 意味 ■

MVP での中性子吸収反応の二つの取扱法 (アナログ吸収と非アナログ吸収) の適用エネルギー領域の境界 (eV)。

■ 解説 ■

EWCUT 以下のエネルギー領域では、アナログ吸収 (analog absorption) (吸収される確率でヒストリーを終了) を行い、それ以上では吸収確率だけ粒子の重みを減らす (non-analog absorption)。

■ デフォルト ■

省略値は 275 eV である。

BANKP

■ 意味 ■

MVP の中性子・光子結合計算において、中性子反応からの光子発生時に粒子バンク溢れが生じた場合に、二次粒子の光子を発生させ、一次粒子の中性子を消滅させる確率。

■ 解説 ■

中性子反応で光子を生成しようとしたが粒子バンクに空きがない場合に、生成しようとした光子と親中性子のいずれか一方を粒子バンクに残し、他方のランダムウォークを終了させるロシアンルーレット処理が行われる。BANKP は、光子が生き残る確率である。

■ デフォルト ■

省略値は 0.5 である。

MB

■ 意味 ■

MVP で各粒子ごとに巨視的断面積を記憶しておく物質の最大値。

■ 解説 ■

MVP コードでは与えられた粒子エネルギー値に対し、巨視的断面積は物質を構成する各核種毎の断面積から計算する。各核種毎の断面積は全核種に対してエネルギーが変わるたびに計算しなおされるが、巨視的断面積はその物質が含まれる領域に粒子がいるときにだけ必要なので必ずしも全物質について計算する必要がない。粒子は次の衝突反応または漏洩までにいくつもの物質を通過する可能性があり、その中には同じ物質の領域に繰り返し到達する可能性もあるので、巨視的断面積を MB 種類の物質まで記憶しておくための配列群 (「巨視的断面積バンク」) が用意される。

多数の物質を含む体系ではあるが、1 回の飛行でそのすべての物質を通過するわけではない場合、MB を物質総数 NMAT より小さい値にすることでメモリを節約できる。

■ デフォルト ■

組成データの与えられた物質数 (NMAT)。

8.3 PICTURE オプションに対する入力データ

NPICIT

■ 意味 ■

文字パターンによって出力する幾何形状モデルの断面図の数。PICTURE オプション指定時に有効。

■ デフォルト ■

省略値は 0 である。

■ 関連する他の入力 ■

PAPER データを併せて指定する。

PAPER

■ 形式 ■

$$\begin{aligned} & \text{PAPER}(V_{x1} V_{y1} V_{z1} A_{x1} A_{y1} A_{z1} B_{x1} B_{y1} B_{z1} N_{x1} N_{y1} \text{CELL-ID}_1 \\ & \quad V_{x2} V_{y2} V_{z2} A_{x2} A_{y2} A_{z2} B_{x2} B_{y2} B_{z2} N_{x2} N_{y2} \text{CELL-ID}_2 \\ & \quad \dots \\ & \quad V_{xN} V_{yN} V_{zN} A_{xN} A_{yN} A_{zN} B_{xN} B_{yN} B_{zN} N_{xN} N_{yN} \text{CELL-ID}_N) \end{aligned}$$

ここで、 $N = \text{NPICIT}$ である。

■ 意味 ■

断面図の位置、範囲を指定するデータ。

- $V_{xi} V_{yi} V_{zi}$
 i 番目の断面図の左下隅の座標。
- $A_{xi} A_{yi} A_{zi}$
 i 番目の断面図の下辺 (x 軸) を示すベクトル。
- $B_{xi} B_{yi} B_{zi}$
 i 番目の断面図の左辺 (y 軸) を示すベクトル。
- N_{xi}
 x 方向のメッシュ数。
- N_{yi}
 y 方向のメッシュ数。
- CELL-ID_i
内部構造をチェックするセル ID。不要な時は、 $\text{CELL-ID}_i=0$ とする。

ベクトル $\mathbf{V}_i = (V_{xi}, V_{yi}, V_{zi})$, $\mathbf{A}_i = (A_{xi}, A_{yi}, A_{zi})$, $\mathbf{B}_i = (B_{xi}, B_{yi}, B_{zi})$ を定義したとき、位置 \mathbf{X}_i

$$\mathbf{X}_i = \mathbf{V}_i + \frac{j - \frac{1}{2}}{N_{xi}} \mathbf{A}_i + \frac{k - \frac{1}{2}}{N_{yi}} \mathbf{B}_i \quad (8.1)$$

における物質番号及び REGION 番号が出力される。この時、各位置に対して、次の項目のチェックを行う。

- 同一の ZONE に異なる 2 つ以上の REGION 番号や物質番号が指定されていないか？
- ZONE として定義されていない部分空間はないか？

幾何形状データに矛盾や不備を発見するとコードは詳細なメッセージを書き出した後に実行を中止する。精度の良い断面図の作図には CGVIEW コードを用いたほうがよい。(付録 B を参照。)

■ 関連する他の入力 ■

NPICT と共に指定する。

9. 断面積と物質組成の入力

9.1 MVP に対する入力データ

MVP の物質指定においては基本的に物質を構成する核種とそれらの数密度を指定すればよい。MVP コードはライブラリから連続エネルギー断面積データを用いるので、マクロ形式の断面積を用意する必要はない。

ユーザーはまたそれぞれの物質の温度を指定することができる。断面積は温度に依存するので、必要とする温度ごとに断面積データを用意しておかなければならないが、MVP は中性子反応断面積に対して「任意温度対応中性子断面積ライブラリ」から自動的に任意温度における断面積データを生成する。

更に、ユーザーは MVP-ART コードを用いてユーザー自身の固定温度ライブラリを作成することができる。同じ断面積データを用いて複数の計算をするとき、あらかじめ必要な温度の断面積を用意しておけば、断面積作成に要する計算時間を節約することができる。(付録 C を参照。)

9.1.1 CROSS SECTION または XSEC データブロック

MVP における物質組成を記述するデータは“\$CROSS SECTION”または“\$XSEC”という文字列で始まるデータから“\$END CROSS SECTION”または“\$END XSEC”で始まる行までのデータブロック形式入力である。

```
$CROSS SECTION
  [ TPRES( temperature-precision ) ]
  [ JVPOP( doppler-broadening-in-vector-mode ) ]
  [ JXPOOL( read-write-doppler-broadened-data-in-pool ) ]
& IDMAT( material-ID )
  [ TEMPMT( material-temperature ) ]
  nuclide-ID( number-density [ temperature ] )
  nuclide-ID( number-density [ temperature ] )
  ....
& IDMAT( material-ID )
  [ TEMPMT( material-temperature ) ]
  nuclide-ID( number-density [ temperature ] )
  nuclide-ID( number-density [ temperature ] )
  ....
&
...
$END CROSS SECTION
```

9.1.2 物質組成の指定 (IDMAT および原子数密度)

次の規則に従って各物質の組成データを入力する。

- (1) 1 桁目が“&”であるデータで各物質の組成データの開始を示す。

2 桁目はブランクでなければならない。

最初に物質の ID 番号 IDMAT をデータ名付き自由形式で入力する。

& IDMAT (*material-ID*)

ここで、“*material-ID*”は任意の正の整数。連続する数字になっている必要はないが物質毎に異なったものを使用する必要がある。幾何形状データの ZONE 指定入力では、この番号で ZONE の物質を指定する。

- (2) 物質を構成する核種の ID とその原子数密度

核種 ID をデータ名とするデータ名付き自由形式で次のように入力する。

nuclide-ID (*number-density*)

この項目を組成核種の数だけ繰り返す。順序は任意である。

- *nuclide-ID* :

核種 ID である。光子の計算のみの場合「核種」ではなく「元素」ID である。16 文字まで指定できるが、現状では典型的な中性子ライブラリの核種 ID パターンは以下のようなものである。

zzmmmcxxx[...],

zz : “PU”、“HE”等の元素名 (1 文字の元素名は“0”を補って、“H0”、“P0”など)。

mmm : 3 桁で表示された質量数。天然核種組成の元素は“000”を用いる。

c : 核異性体や分子を指定するインデックス (G.1 節参照。)

xxx : 評価済み核データライブラリ (J40 は JENDL-4.0、B70 は ENDF/B-VII.0、F31 は JEFF-3.1 等を表す。)

[...] : 特別ライブラリの識別子。(ORT と PAR は水素に対するスピンアイソマーを表し、U1 は JENDL-4.0 update 1 を表し、TZ は 0 K の弾性散乱断面積を含んだデータであることを表す。)

ここで参照される「核種 ID」(または元素 ID) は断面積ファイル内に含まれる核種 ID ではなく、断面積ライブラリのインデックスファイルで個々の断面積ファイルに関係付けられたものである。(それぞれの核種 ID と断面積ファイルの関連については 16.3 節で述べられる。)それゆえ、インデックスファイルの核種 ID の与え方で上記以外の ID のパターンとすることも可能である。ただ、中性子光子結合問題では光子の断面積データを入力するために核種 ID の最初の 2 文字から元素名を判断するので、そのような計算を想定している場合にはインデックスファイルの核種 ID の最初の 2 文字は上記の規則を適用すべきである。

- *number-density*: 原子数密度 (10^{24} atom/cm³)

(3) 次の“&” データ (次の物質の組成データの開始) が入力されるか、“\$END CROSS SECTION” または“\$END XSEC” で始まる行 (すべての物質組成データの入力終了) の入力によって各物質の組成データの終わりを示す。

例:

```
$CROSS SECTION
& IDMAT(100)
    U02350J40(6.189E-4)  U02380J40(2.383E-2)
    O00160J40( <2*(6.189E-4+2.383E-2)> )
& IDMAT(110)
    H0001HJ40(6.6856E-2)  O00160J40( <0.5*6.6856E-2> )
$END CROSS SECTION
```

9.1.3 光子問題での核種 ID の指定

中性子・光子結合問題で光核反応を取り扱わないとき (デフォルト) は、物質組成データで中性子ライブラリの核種 ID を指定するだけでよい。光子の光原子反応断面積は、光原子反応ライブラリから核種 ID 名の最初の 2 文字 (元素記号に対応) で決まる元素のデータが読み込まれる。また、BREMSSTRAHLUNG オプション指定時の電子反応断面積の読み込みも光原子反応ライブラリと同様に行われる。

光子のみの問題で光核反応を取り扱わないときは、元素の指定に対して、中性子ライブラリにおける核種 ID 名と光子ライブラリにおける元素 ID 名のどちらを使用してもよい。この場合、中性子ライブラリの核種 ID を指定しても中性子ライブラリからデータは読み込まれない。

光核反応を取り扱うときの核種 ID の指定については、次項を参照。

9.1.4 光核反応断面積の利用

PHOTO-NUCLEAR オプションを指定し、光核反応を考慮する計算を実行する場合、どの光核反応断面積を利用するかを指定する必要がある。光核反応断面積は、9.1.2 項で説明した核種 ID に続けて以下のような形式で入力する。

zzmmmcxxx-zzmmmeeee (*number-density*)

zzmmmcxxx は核種 ID、zzmmmeeee は光核反応核種 ID、*number-density* は原子数密度 (10^{24} atom/cm³) である。zzmmmeeee は以下のように指定する。

- zz : 2 文字の元素名 (1 文字の元素名は“0”を補う)。
- mmm : 3 桁で表示された質量数。天然核種組成の元素は“000”を用いる。
- eeee : 評価済み核データライブラリの識別子。現在、以下の 5 つの識別子が指定可能である。JEPN: JENDL (Japan) による評価, KAPN: KAERI (Korea) による評価, CNPN: CNDC (China) による評価, LAPN: LANL (USA) による評価, BOPN: BOFOD (Russia) による評価

この光核反応核種 ID は、核種 ID と同様に断面積ライブラリのインデックスファイルで個々の断面積ファイルに関連付けられたものである。天然元素が指定された場合には、MVP 内部で同位体

存在比により同位体に分割されて取り扱われる。もし光核反応断面積ライブラリに含まれない核種が指定された場合には、その核種は無視される(言い換えると、その核種による光核反応は起こらない)。PHOTO-NUCLEAR オプションが有効な場合に光核反応断面積 ID が省略された時には、核種 ID の最初の 5 文字を用いてインデックスファイルを検索し、最初に合致した核種のデータが使用される。

例:

```
& IDMAT(5)
PB2060J40-PB206JEPN(7.94293E-03)
PB2070J40-PB207JEPN(7.28376E-03)
PB2080J40-PB208JEPN(1.72701E-02)
```

9.1.5 任意温度中性子断面積の利用

任意温度に Doppler broadening 可能な中性子断面積ライブラリのインデックスファイルは I/O ユニット 24 番に与える。MVP コードはこのインデックスファイルの情報から基準断面積を読み込み、Doppler broadening と内挿により任意温度における断面積を作成する [57]。MVP-ART コードによって生成された固定温度断面積ライブラリは任意温度対応断面積ライブラリと一緒に用いることができるが、固定温度断面積ライブラリのインデックスファイルは I/O ユニット 25 番から入力しなければならない。物質の温度または核種温度を指定しない限り、固定温度断面積用のインデックスファイルで指定される断面積が使用される。任意温度対応断面積ライブラリを用いる場合、以下のオプションを指定することができる。

- (1) 温度指定の精度 (TPRECS (p. 139)) 及び Doppler broadening 処理をベクトル処理するかどうか (JVPOP (p. 140))。

“\$CROSSS ECIOTN” 行と最初の “&” 行の間に指定する。

- (2) 物質または核種ごとの温度指定

TEMPMT (p. 142) で明示的に物質温度が指定、または各核種に対して温度が指定された場合 (9.2 節)、任意温度中性子断面積ライブラリ用のインデックスファイルを参照して断面積データを読み込み、それらに Doppler broadening 処理を適用する。

- (3) Doppler broadening 処理済のデータをファイルとして保存もしくは参照 (JXPOOL (p. 140))。

ライブラリに与えられたエネルギー点数が多い核種の場合 Doppler broadening 処理にかなりの時間がかかる。そのため MVP で Doppler broadening 処理したデータをファイルとして保存しておき、別の計算で同じ核種が同じ温度で必要とされた場合、保存された処理済データを読み込むことができるようになっている。

以下に任意温度断面積データを指定した例を示す。どちらの例においても同じ断面積が生成される。

例 1:

```

$CROSS SECTION
& IDMAT( 1 )
  U02350J40( 5.070E-5 1500.0 )
  U02380J40( 1.685E-2 1500.0 )
  O00160J40( 4.150E-2 1500.0 )
& IDMAT( 2 )
  NA0230J40( 2.180E-2 800.0 )
$END CROSS SECTION

```

例 2:

```

$CROSS SECTION
& IDMAT( 1 )
  TEMPMT( 1500.0 )
  U02350J40( 5.070E-5 )
  U02380J40( 1.685E-2 )
  O00160J40( 4.150E-2 )
& IDMAT( 2 )
  TEMPMT( 800.0 )
  NA0230J40( 2.180E-2 )
$END CROSS SECTION

```

9.2 MVP 断面積データに対するオプション

TPRECS

MVP で任意温度中性子断面積を使用するときに温度の精度を指定する。

■ 形式 ■

```

$CROSS SECTION or $XSEC
...
TPRECS( precision )
...
& IDMAT( material-ID )

```

■ 解説 ■

MVP の\$CROSS SECTION 行と最初の“&”の間に指定する。単位は度 (degree)。任意温度中性子断面積の Doppler broadening 処理をおこなうときに、物質や核種ごとに異なる温度がいくつか与えられているとき、どこまでの温度の差異を「別の温度」として取り扱うかを指定する。

一つの核種に対し温度が多数指定された場合、それらが Doppler broadening 処理されると計算上はすべて「別の核種」としての扱いになり、処理時間や使用メモリの増大につながる。そこでこの入力で TPRECS 以下の温度の差異を無視することができる。例えば、TPRECS で指定した値

が 1.0 であれば温度 560.0 K と 560.3 K の指定があってもそれらは同一の温度 560 K として扱われる。温度の丸め処理は以下のように行われる。

$$T = \text{int} \left(\frac{T_0}{\Delta T} + \frac{1}{2} \right) \times \Delta T$$

ここで、 T_0 は入力された温度、 ΔT は TPRECS で指定した温度精度、 $\text{int}(x)$ は x を越えない最大の整数。

■ デフォルト ■

1.0 K

JVPOP

MVP で任意温度中性子断面積を Doppler broadening するときにベクトル化された処理ルーチンを使用するかどうかを指定する。

■ 形式 ■

```
$CROSS SECTION または $XSEC
...
JVPOP( flag )
...
&
```

■ 解説 ■

JVPOP が 0 でない値に指定されたときにベクトル化された処理ルーチンを使用する。一般にベクトル型計算機で使用する場合にはベクトル化された処理ルーチンを使用する方が Doppler broadening 処理は高速であるが、ベクトル機以外ではそうではないことが多いようである。

■ デフォルト ■

各機種に対して設定されたコンパイル時の設定によって決まる (付録の MVPFAT ツールとそのコントロールデータの記述を参照のこと)。ベクトル型計算機 (CRAY MP, FACOM VPP, NEC SX, HITACHI S series) に対してはベクトル化された処理ルーチンを使用するようにあらかじめ設定されている。

JXPOOL

MVP で任意温度中性子断面積を Doppler broadening 処理したデータをファイルとして保存もしくは参照するかどうかを指定する。

■ 形式 ■

```
$CROSS SECTION または $XSEC
...
JXPOOL( flag )
```

...
&

■ 解説 ■

MVP の任意温度中性子ライブラリに与えられたエネルギー点数が多い核種の場合、Doppler broadening 処理にかなりの時間がかかる。そのため、MVP で Doppler broadening 処理したデータをファイルとして保存しておき、別の計算で同じ核種が同じ温度で必要とされた場合、保存された処理済データを読み込むことができるようになっている。この機能を有効にするには、以下の条件が必要である。

- 環境変数 MVP_ARTPOOL に保存、参照されるファイルを保管するディレクトリパスが指定されている。パスはスラッシュ(/)で終わらなければならない。
- 入力データ“JXPOOL”に 0 でない値が与えられている (デフォルト)。

環境変数 MVP_ARTPOOL が定義されていても、JXPOOL=0 の場合にはファイルの保存/参照機能は働かない。

Doppler broadening 処理された断面積は MVP_ARTPOOL で指定されたディレクトリに核種毎にファイルとして保存される。ファイル名は核種 ID に温度が付け加えられたものとなる。(例えば、JENDL-4.0 の U-235 断面積で 1,500 K の場合は U02350J401500。) 保存された断面積を用いる場合は、MVP_ARTPOOL と JXPOOL≠0 を指定するだけでよい。MVP コードは自動的にファイルを検索して読み込むので、ユーザーは保存した断面積に対するインデックスファイルを作成する必要はない。

■ デフォルト ■

1

JPNLCP

MVP で光核反応が指定された場合に、読み込まれる光核反応断面積データから荷電粒子生成断面積データ部分を削除するかどうかを指定する。

■ 形式 ■

```
$CROSS SECTION または $XSEC  
...  
JPNLCP ( flag )  
...  
&
```

■ 解説 ■

JPNLCP が 0 の場合には削除は行われない。1 の場合には、荷電粒子生成断面積データが存在すればそれを削除する。光核反応計算を行う場合には、中性子断面積データと共存するため、多数の物質が存在すると非常に大きな配列サイズを必要とする。光核反応断面積データ中に荷電粒子

生成断面積データが含まれる場合、その荷電粒子データ分は全体の半分以上の割合を占めているため、それらを削除することにより光核反応断面積のサイズを半減以上にすることができる。但し、この削減は光核反応の生成粒子を中性子と光子に限定できる場合以外は使用しない。

■ デフォルト ■

JPNLCP = 0。光核反応断面積データから荷電粒子生成断面積データ部分を削除しない。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。

TEMPMT

MVP で任意温度中性子断面積を Doppler broadening するときに物質に与えられる温度。

■ 形式 ■

```
$CROSS SECTION または $XSEC
...
& IDMAT( material-ID )
    TEMPMT( material-temperature )
    nuclide-ID( density [temperature] )    ...
```

■ 解説 ■

TEMPMT が与えられた物質についてはその組成データ入力に現れる核種のライブラリに対して TEMPMT で指定された温度 (Kelvin) での Doppler broadening 処理を行うことを示す。

正でない値が与えられている場合には Doppler broadening 処理を行わず、固定温度断面積データを使用することを意味する。

■ デフォルト ■

0 である。即ち、固定温度中性子断面積を使用する。

■ 注意すべきこと ■

固定温度断面積と対応するインデックスファイルはユーザーが作成する必要がある。任意温度対応断面積用のインデックスファイルをそのまま固定温度断面積用のインデックスファイルとして使用することもできる。この場合、ライブラリの基準温度 (たいていの核種において 293.15 K) の断面積が使用される。

核種ごとの温度の指定

物質組成データで核種毎に任意温度中性子断面積の使用を指定することができる。

■ 形式 ■

```
nuclide-ID( density [temperature] )
```

■ 解説 ■

原子数密度データに続いて数値が与えられたとき、それがその核種に対する温度となる。正の値が与えられたとき (単位 Kelvin)、その核種の任意温度中性子断面積を読み込み Doppler broadening 処理を行う。物質に対して TEMPMT で温度が指定されていてもこちらで与えた温度が優先する。

正でない「温度」値を与えたときには Doppler broadening 処理を行わず、固定温度断面積データをそのまま使用することを意味する。これは TEMPMT データで物質内の核種に任意温度中性子断面積の利用が指定されていても特定の核種については固定温度断面積データをそのまま使用した場合に用いる。

■ デフォルト ■

物質に対して TEMPMT で与えられた温度。TEMPMT の指定がないか、TEMPMT が正でない場合には 0、すなわち任意温度中性子断面積は使用しない。

9.3 GMVP に対する入力

GMVP コードの旧版では物質組成データは“\$XSEC”という文字列を含む行から始めることになっていたが、MVP-GMVP コードの他の入力データと異なって厳密な意味でのデータブロック構造ではなく、また名前付きデータ機能や演算機能などが使えない形式になっていた。

新しい GMVP では MVP と同様な形式のデータブロック構造入力が可能になり、また MVP/GMVP の他のデータと同様となった。旧式の入力も互換性を維持するために可能としたので、新旧を区別するために以下のような規則を設けられている。

- “\$CROSS SECTION” ... “\$END CROSS SECTION” : 新形式の入力である。
- “\$XSEC” 以下 : 旧形式の入力である。

9.3.1 断面積形式

GMVP コードが扱える多群形式断面積は一般に以下のようなものである。

- ANISN コード [58] の形式で散乱の角度依存性がルジャンドル展開で表現されるもの、またはそれに類似の形式。
- 二重微分断面積 (DDX) 形式。MORSE-DDX コード [28] で使用される形式である。

ルジャンドル展開形式断面積では、以下の 4 つのフォーマットが使用可能である。最初の 2 つはバイナリフォーマットで断面積データは適切な I/O ユニットから入力する。残りの 2 つはテキストイメージのフォーマットで入力データに直接記述する。

(1) ANISN バイナリフォーマット

ANISN コードの標準的な断面積形式である。バイナリデータとして入力する。

(2) ANISN 群別バイナリフォーマット

ANISN コードの標準形式と内容は同じであるがエネルギー群ごとに別のレコードに書き出された形式。JACS システムの MAIL コード [59] が出力する形式である。

(3) ANISN 自由形式 FIDO フォーマット [60] (テキスト形式)

データ内容そのものは標準 ANISN 形式であるが、入力データに埋め込まれたテキストイメージとして ANISN コードの “FIDO” フォーマットに類似した形式で入力する。

(4) DTF-IV 形式 [61] (テキスト形式)

ℓ 次のルジャンドル展開係数が ANISN 形式のものの $1/(2\ell + 1)$ 倍で与えられている。これは入力データに埋め込まれたテキストイメージとしてのみ入力可能である。

9.3.2 CROSS SECTION データブロック

GMVP コードで物質組成と使用する断面積を指定するのが CROSS SECTION データブロックである。

```
$CROSS SECTION
[ TITLE( ``title-string'' ) ][ TYPE( PL or DDX ) ]
[ PLFORM( ANISN or ANISN-MAIL or DTF or FIDO ) ]
[ NGP1( ngp1 [nds1] ) ][ NGP2( ngp2 [nds2] ) ]
[ ITBL( itbl ) ][ IHT( iht ) ][ ISGG( isgg ) ]
[ INGP( ingp ) ]
[ NPL( npl ) ][ NSCT( nsct ) ]
[ INCELM( incelm ) ]
[ PRFLAG( irdsg istr ifmu imom iprin ipun ) ]
[ INPUT( ixtape ) ][ OUTPUT( jxtape ) ]
[ MUS( mus ) ]
[ XLAST( id sigt sigpr siga sigf nu-sigf
         id2 sigt2 .....  ) ]
& IDMAT( material-ID )
    COMPOSITION( element-ID density element-ID density ... )
    [ FKAI( fission-spectrum-data ) ]
    ....
#
any-input-data
$END CROSS SECTION
```

“\$CROSS SECTION” 行と最初の “&” 行との間に指定されるデータは入力断面積ライブラリの属性等、各物質に共通の事項に関する指定である。各物質の組成は “&” を一文字目に持つ行から指定する。

また、各物質の組成の入力の後に “#” で始まる行が置かれた場合、これと “\$END CROSS SECTION” との間にはファイルから入力しないときの断面積データ等を指定する。この部分については名前付きデータ機能や演算機能などは使えない。GMVP に今後新しい機能等が加わる場合には新しい形式の入力の使用が前提となる可能性があるので、今後は新形式による入力データ作成が望ましい¹⁰。

¹⁰例えば、PVM、MPI 等を使用する並列処理の場合、断面積部分の指定は新形式を使用しなければならない。

9.3.3 多群断面積の入力パラメータ

GMVP の CROSS SECTION データブロックの入力のうち、“\$CROSS SECTION” 行と最初の物質に関する指定が始まる “&” の間に指定されるデータは以降の各物質に共通な情報であり、主として入力される断面積データの形式等に関する指定である。

(1) 断面積入力のタイトル

GMVP の断面積入力データにはタイトルを与えることができる。省略するとブランク文字列が与えられる。

■ 形式 ■

```
TITLE( ``title-string`` )
```

(2) TYPE – 断面積データのタイプ

GMVP 断面積データの形式がルジャンドル展開形のものか DDX かを指定する。

■ 形式 ■

```
TYPE( PL )  
または TYPE( DDX )
```

■ デフォルト ■

ルジャンドル展開形式。

(3) PLFORM – 断面積データのファイル形式

GMVP でのルジャンドル展開形式の断面積のファイル形式 (またはデータ入力形式)。

■ 形式 ■

```
PLFORM( ANISN ) または  
PLFORM( ANISN-MAIL ) または  
PLFORM( FIDO ) または  
PLFORM( DTF )
```

■ 解説 ■

● PLFORM(ANISN):

ANISN コードの標準断面積形式と同じものをバイナリデータとして入力する。データ INPUT で I/O ユニットが指定されればそのユニットから、INPUT が指定されない場合は I/O ユニット 1 から入力する (推奨)。

- PLFORM(ANISN-MAIL):

JACS システムの“MAIL”コード [59] の出力する“ANISN 型”断面積として入力する。断面積データはバイナリ形式でなければならない。散乱マトリックスのレコードがエネルギー群毎に別レコードになっている点が ANISN コードの標準断面積形式と異なる。

- PLFORM(FIDO):

標準 ANISN 形式であるが、物質組成データの入力終了したあとに置かれた“#”以降に ANISN コードの“FIDO”フォーマットに類似したテキスト形式で入力する¹¹。以下のデータを物質/核種 (element) とそれぞれのルジャンドル展開次数 (0~NPL) 毎に与える。

- (1) 行の先頭から 2 から 3 文字目に文字列“**”を置く。
- (2) 全エネルギー群について各エネルギー群毎に ITBL 個の断面積数値データを記述する。ここで ANISN コードの FIDO フォーマットに準ずる形式で同一データ繰り返し等を指定できるが、一般には一つ以上の空白で区切られた数値データを行の先頭から 72 文字目までの間に指定すればよい。
- (3) この入力形式においては先頭が“ ’ ”(一重引用符)である行は無視されるので「コメント」として使用できる。

この入力では記述されたデータの順に「element 番号」が付けられる (同一 element の異なるルジャンドル展開次数のデータには同じ element 番号が付けられる)。明示的にデータに対応する element 番号を指定することはできない。

例: エネルギー群数 2、ITBL=5、NPL=1 の断面積データを 2 element 分入力。

```
$CROSS SECTION
  TYPE(PL) NPL(1) PLFORM(FIDO)
& IDMAT(1) /***** FUEL
  COMPOSITION( 1 1.0 ) FKAI( 1.0 0.0 )
& IDMAT(2) /***** CLAD SUS
  COMPOSITION( 2 1.0 )
/**** Text image cross section data follows after ``#``
#
'===== Element 1 =====
' === PL order 0 =====
  **
' --- energy group 1
  0.7 0.1 0.5 0.1 0.0
' --- energy group 2
  1.0 0.3 0.6 0.05 0.2
' === PL order 1 =====
  **
' --- energy group 1
  0.0 0.0 0.0 -0.1 0.0
' --- energy group 2
  0.0 0.0 0.0 -0.05 1.0E-1
'
```

¹¹GMVP94 年版ではこの形式の入力処理にバグがあって使用できなかった。古い版で使用するには GMVP の FFREAD ルーチンの末尾に近い位置にある “read(NY(77),’(A4’) IN(37))” を “read(NY(77),’(I4’) IN(37))” に修正すればよい。

```

'===== Element 2 =====
' === PL order 0 =====
**
' --- energy group 1
  0.5 0.0 0.4 5.0E-2 0.0
' --- energy group 2
  1.5 0.0 0.1 0.9 0.2
' === PL order 1 =====
**
' --- energy group 1
  0.0 0.0 0.0 -0.01 0.0
' --- energy group 2
  0.0 0.0 0.0 -0.1 0.3
$END CROSS SECTION

```

- PLFORM(DTF):

DTF-IV 形式。ANISN コードの標準断面積形式と類似しているが、ルジャンドル展開係数に因子 $2\ell + 1$ が乗じられていない点が異なる。物質組成データの入力終了したあとに置かれた “#” 行以降にテキスト形式で入力することができる。以下のデータを物質/核種 (element) とそれぞれのルジャンドル展開次数 (0~NPL) 毎に与える。

- (1) 48 文字までの文字列。断面積データの説明などとする。
- (2) 12 桁の数値を一行あたり 6 個まで、全エネルギー群について各々 ITBL 個まで繰り返す。FORTRAN の READ 文のフォーマットで言えば “(6E12.0)” である。

■ デフォルト ■

ANISN バイナリ形式 (PLFORM(ANISN))。

(4) NGP1

GMVP の「一次粒子」のエネルギー群数。

■ 形式 ■

NGP1 (*NGP1*) または
NGP1 (*NGP1 NDS1*)

■ 解説 ■

「一次粒子」 (primary particle) とは本来は二種類以上の粒子に対する断面積が組み合わせされた形式の多群断面積において、エネルギー群番号の小さい方にデータが指定されている粒子のことである。通常は 1~NGP1 群が「一次粒子」としての中性子、NGP1+1~NGP1+NGP2 群までが γ 線 (n, γ) 反応で中性子から生成されるという意味での「二次粒子」) のようになる。NGP2 は「二次粒子」のエネルギー群数である。

中性子のみ、 γ 線のみ断面積の場合にもこのデータは使用され、その場合は単に中性子、 γ 線等のエネルギー群数である。データ NDS1 が指定されている場合、計算に使用する下方散乱の

エネルギー群数をライブラリに含まれるものより少なくすることができる。NDS1には自群散乱も含めた下方散乱のエネルギー群数を指定する。

■ デフォルト ■

NGP1 はコントロールデータで定義された NGROUP.N (NGP1) (p. 123) にセットされる。もし、CROSS SECTION データブロックの NGP1 とコントロールデータの NGROUP.N が両方指定されている場合は両者の値は同じでなければならない。もし、どちらの値も指定されていない場合は、致命的エラーとなり、計算は中止される。もし、コントロールデータで NGROUP.N が指定されていない場合は、CROSS SECTION データブロックで NGP1 が指定されていない場合ではない。

(5) NGP2

GMVP の「二次粒子」のエネルギー群数。

■ 形式 ■

NGP2 (NGP2) または
NGP2 (NGP2 NDS2)

■ 解説 ■

「二次粒子」(secondary particle) とは本来は二種類以上の粒子に対する断面積が組み合わされた形式の多群断面積において、エネルギー群番号の大きい方にデータが指定されている粒子のことである。通常は 1~NGP1 群が「一次粒子」としての中性子、NGP1+1~NGP1+NGP2 群までが γ 線 (n, γ) 反応で中性子から生成されるという意味での「二次粒子」) のようになる。NGP1 は「一次粒子」のエネルギー群数である。

中性子のみ、 γ 線のみ断面積の場合には「一次粒子」のみしか存在しないのでこのデータを指定しないかまたは NGP2=0 とする。データ NDS2 が指定されている場合、計算に使用する下方散乱のエネルギー群数をライブラリに含まれるものより少なくすることができる。NDS2 には自群散乱も含めた下方散乱のエネルギー群数を指定する。

■ デフォルト ■

- 単一粒子問題の場合

NGP2=0。

- 中性子光子結合問題の場合

NGP2 はコントロールデータで定義された NGROUP.P (NGP2) (p. 123) にセットされる。もし、CROSS SECTION データブロックの NGP2 とコントロールデータの NGROUP.P が両方指定されている場合は両者の値は同じでなければならない。もし、どちらの値も指定されていない場合は、致命的エラーとなり、計算は中止される。もし、コントロールデータで NGROUP.P が指定されていない場合は、CROSS SECTION データブロックで NGP2 が指定されていない場合ではない。

表 9.1 ANISN/DTF 型多群断面積データの一つのエネルギー群内のデータ配置

Position	Cross sections for energy group g
1 ... IHT-3	Activation cross section (optional)
IHT-2	σ_a (Absorption cross section)
IHT-1	$\nu\sigma_f$ (Production cross section)
IHT	σ_t (Total cross section)
IHT+1 ... ISGG-1	$\sigma^{g+i \rightarrow g} (i > 0)$ (Upscattering cross section)
ISGG	$\sigma^{g \rightarrow g}$ (Self-scattering cross section)
ISGG+1 ... ITBL	$\sigma^{g-i \rightarrow g} (i > 0)$ (Downscattering cross section)

(6) ITBL

GMVP の ANISN/DTF 型断面積における一つのエネルギー群あたりのデータ長。

■ 形式 ■

ITBL (*ITBL*)

■ 解説 ■

ANISN/DTF 型多群断面積はひとつのエネルギー群については表 9.1 のようなデータ配列となっている。この表における ITBL がこの入力である。入力する断面積のそれに一致する値を与える。

■ デフォルト ■

ANISN/DTF 型ルジャンドル展開断面積の場合 (TYPE(PL)) デフォルト値はないので必ず入力断面積に合う値を指定する。DDX 型の場合はエネルギー群数から自動的に決定されるので入力の必要はない。

(7) IHT

ANISN/DTF 型断面積における一つのエネルギー群あたりのデータにおける全断面積データの位置。

■ 形式 ■

IHT (*IHT*)

■ 解説 ■

ANISN/DTF 型多群断面積はひとつのエネルギー群については表 9.1 のようなデータ配列となっている。この表における IHT がこの入力である。放射化断面積の無いデータでは IHT=3 である。

■ デフォルト ■

IHT=3。(放射化断面積なし。)

(8) ISGG

ANISN/DTF 型断面積における一つのエネルギー群あたりのデータにおける自群散乱断面積データの位置。

■ 形式 ■

ISGG (*ISGG*)

■ 解説 ■

ANISN/DTF 型多群断面積はひとつのエネルギー群については表 9.1 のようなデータ配列となっている。この表における ISGG がこの入力である。上方散乱のない断面積ライブラリでは $ISGG = IHT + 1$ である。

■ デフォルト ■

$ISGG = ITBL - NDS1 + 1$ 。ここで、NDS1 は (自群散乱を含む) 下方散乱エネルギー群数である。NDS1 が指定されないとき、ISGG は NGP1 と同じとなる。

(9) INGP

多群断面積における入力断面積のエネルギー群数。

■ 形式 ■

INGP (*INGP*)

■ 注意すべきこと ■

GMVP の計算において、多群ライブラリに格納されているすべてのエネルギー群の断面積データを必要としない場合、INGP を用いてライブラリから読み込む断面積のエネルギー群数を指定することができる。

■ デフォルト ■

$INGP = NGP1 + NGP2$ 。

(10) NPL

GMVP のルジャンドル展開多群断面積における展開次数。

■ 形式 ■

NPL (*NPL*)

■ 解説 ■

GMVP コードで計算に使用する次数を指定する。入力ライブラリがここで指定する次数より大きい次数のデータを含んでいても構わない。

■ デフォルト ■

$NPL = 0$ 。

(11) NSCT

GMVP の散乱反応での散乱角度数。

■ 形式 ■

NSCT(*NSCT*)

■ 解説 ■

DDX 形式の断面積の場合、散乱角の余弦の値を分割した「角度メッシュ(ビン)」に対して散乱確率が与えられているのでそれを指定する。

ルジャンドル展開型の場合、展開次数 1 以上の場合ランダムウォークでの散乱反応の処理時には特定の角度余弦方向へ散乱する。その散乱方向と確率は入力されたルジャンドル係数からガウス積分の積分点と重みの組として決定される。通常 $(NPL+1)/2$ にすべきである。

展開次数 0 の場合は等方散乱となるのでこのデータは入力しても無視される。

■ デフォルト ■

DDX 型の場合、省略値は 20。ルジャンドル展開形式の場合、省略値は $[(NPL+1)/2]$ 。ここで、 $[x]$ は x を超えない最大の整数を表す。

(12) INCELM

GMVP のルジャンドル展開形式断面積入力データにおいて核種または物質に与えられている ID 番号が展開次数によって異なる場合、0 次のデータの ID にこの数を順次加算していった高次のデータの ID とする。

■ 形式 ■

INCELM(*INCELM*)

■ 解説 ■

GMVP コードでは MVP と異なり、特に専用の断面積ライブラリを指定している訳ではなく、一般の断面積処理系が提供する ANISN 型ルジャンドル展開形式断面積を利用できるようになっている。入力に際してはそのデータに埋め込まれた物質/核種などに対応する識別番号を利用する。GMVP が仮定する ANISN 形式断面積は以下のようなレコード構成である；

< 物質について繰り返す >

< ルジャンドル展開係数について繰り返す >

レコード 0 : N1, N2, N3, N4, タイトル

レコード X : 断面積データ本体

< 繰り返しおわり >

< 繰り返しおわり >

GMVP は上記の N4 を識別コードとして読み込み、0 次の展開係数のものを後述の物質組成入力における物質/核種 ID(element ID) として使用する。問題は処理系によっては 1 次以上の係数の N4 を 0 次のものと異なる値にする場合があるということである。そのような断面積データに対しては、

$$<0 \text{ 次のデータの N4} > + \text{INCELM} \times <\text{展開次数}>$$

を識別番号として入力を行う。識別番号が展開次数に関して線形で無いような断面積データには対応できないが、現状ではそのような場合には“\$XSEC”で始まる旧形式の入力方法で対処することができる。

■ デフォルト ■

INCELM=0。

(13) PRFLAG

入力した多群断面積のチェックのためのプリント出力の指定。

■ 形式 ■

PRFLAG(*irdsg istr ifmu imom iprin ipun*)

■ 解説 ■

以下のデータを 0 より大きい値にすることで指定した項目が出力される。

- 1) IRDSG : 断面積を読み込んだ通りにプリントする。
- 2) ISTR : 処理されて記憶領域の保存されている断面積データをプリントする。
- 3) IFMU : ルジャンドル展開型断面積から散乱角度を計算する途中経過をプリントする。
- 4) IMOM : ジャンドル展開型断面積から計算したモーメントをプリント出力する。
- 5) IPRIN : 散乱角度と散乱確率をプリントする。
- 6) IPUN : 不適当な散乱角度を与えたルジャンドル係数をプリントする。

■ デフォルト ■

すべて 0。チェック情報は何もプリントしない。

(14) INPUT

GMVP の多群断面積を入力する I/O ユニット番号。

■ 形式 ■

INPUT(*INPUT*)

■ 解説 ■

DDX 断面積あるいはモード PLTYPE(ANISN)、PLTYPE(ANISN-MAIL) 等バイナリ断面積ファイルを読み込むときの FORTRAN I/O ユニットの指定できるが、様々な I/O ユニットの GMVP の中で使用されるので利用者が任意の I/O ユニットの指定するのは望ましくない。特に理由がなければ、この入力を使用せずデフォルト値を使用すること。

なお、負の値を与えると後述の OUTPUT 入力パラメータで、別の計算から出力された GMVP 内部形式が出力されたファイルをその I/O ユニットの読み込むことになる。

■ デフォルト ■

ルジャンドル展開形式の場合は I/O ユニットの 1。DDX の場合は 99。

(15) OUTPUT

入力されて計算処理に使用する内部形式に変換された GMVP の多群断面積をファイルに出力するときの I/O ユニットの番号。

■ 形式 ■

OUTPUT(*OUTPUT*)

■ 解説 ■

同じ断面積データを使用した計算を何度も行うときに、処理時間を節約する目的で用意されていたオプションであるが、現在の計算機の能力を考えればそのようなことをする意味はほとんどないと思われる。

■ デフォルト ■

なし。

(16) MUS

DDX 断面積の散乱角度余弦メッシュ(ビン)。

■ 形式 ■

MUS(*mu_1 mu_2 mu_3 ... mu_NSCT+1*)

■ 解説 ■

DDX 形式の断面積の場合、散乱角の余弦の値を分割した「角度メッシュ(ビン)」に対して散乱確率が与えられているが、メッシュの境界値はライブラリに与えられていない。境界値を -1.0 から 1.0 まで昇順に NSCT+1 個入力する。

■ デフォルト ■

-1 から 1 までを NSCT 個に等分割した値。

(17) XLAST

DDX 断面積でエネルギーの一番低いエネルギー群の断面積を置き換える。

■ 形式 ■

```
XLAST( id sigt sigpr siga sigf nu-sigf  
       id2 sigt2 .....  )
```

断面積データの ID に続けて、total、production、absorption、fission、nu-fission を入力する。

■ デフォルト ■

なし。

9.3.4 物質組成の指定 (IDMAT、原子数密度及び FKAI)

GMVP の新形式組成指定入力は MVP のものに類似している。次の規則に従って各物質の組成データを入力する。

(1) 1 桁目が“&”であるデータで各物質の組成データの開始を示す。

2 桁目はブランクでなければならない。

このセクションにまず、物質の ID 番号 IDMAT をデータ名付き自由形式で入力する。

```
IDMAT( material-ID )
```

ここで、*material-ID* は任意の正の整数。連続する数字になっている必要はないが物質毎に異なったものを使用する必要がある。幾何形状データの ZONE 指定入力では、この番号で ZONE の物質を指定する。

(2) COMPOSITION: 物質を構成する核種の ID とその原子数密度

多群断面積データに含まれる核種または物質 ID とその原子数密度を対にしたデータ名とするデータ名付き自由形式で次のように入力する。

```
COMPOSITION( element-ID number-density  
             element-ID number-density  
             ....  
            )
```

element-ID はデータ INCELM(9.3.3 節 (12) 参照) の入力で説明した断面積データに含まれる核種または物質の識別番号 (ルジャンドル展開形式の場合 0 次のもの) である。

number-density は 10^{24} atom/cm³ 単位の原子数密度である。

(3) FKAI: 核分裂スペクトルデータ

この物質の核分裂スペクトルデータを指定することができる。次の規則に従ってデータを入力する。

$$FKAI (\chi_1 \chi_2 \dots \chi_{NPG1})$$

χ_i は第 i 群の中性子が核分裂から放出される確率である。

データ FKAI については旧版と同様に CROSS SECTION データブロックの外で全ての物質に対するデータをまとめて入力することも可能であるが、この位置に入力することでどの物質に対する核分裂スペクトルであるかが明確になる。FKAI が指定されなかった物質は核分裂スペクトルの値がすべて 0 となる。

- (4) 次の “&” データ (次の物質の組成データの開始) が入力されるか、“\$END XSEC” または “\$END CROSS SECTION” で始まる行 (すべての物質組成データの入力終了) の入力によって各物質の組成データの終わりを示す。

9.4 GMVP コードでの断面積と物質組成の指定 (旧形式)

旧版の入力データとの互換性を考慮して古い形式もサポートされている。GMVP の旧版の物質組成データは 1~5 桁に “\$XSEC” という文字列をもつデータで始まる。これに続けて以下のデータを入力する。入力法は多群法と連続エネルギー法では次のように異なる。

このセクションのデータは MORSE-DD [28] コードと同じものが多く、入力形式も MORSE-DD コードに準じており、データ名付き自由形式とはなっていない。したがって、このセクションの入力にはシンボリックパラメータは使用できず、“%” 行による定義を行うこともできない。また、使用する断面積ライブラリの形式も MORSE-DD と同じものを仮定している (ルジャンドル展開の場合は ANISN タイプである)。データ番号の後の括弧内に入力書式を示す。“(*)” は FORTRAN77 の標準自由書式を示す。

- DATA X-0 (A72)

断面積データに与えるタイトル

- DATA X-1 (*)

- 1) NGP : 一次粒子 (n- γ 結合問題では中性子) の断面積のエネルギー群数。
- 2) NDS : 一次粒子に対して考慮する下方散乱 (自群散乱を含む) の群数。
(NDS \leq ライブラリの下方散乱の群数) でなければならない。
- 3) NGG : 二次粒子 (n- γ 結合問題では γ 線) の断面積のエネルギー群数。
- 4) NDGS : 二次粒子に対して考慮する下方散乱 (自群散乱を含む) の群数。
- 5) INGP : 断面積ライブラリのエネルギー群数 (\geq NGP+NGG)。
IDDX (後述) = 1 のときは自動的に INGP = NGP + NGG にセットされる。
- 6) ITBL : 断面積テーブルの長さ (下方散乱群数+上方散乱群数+3 が普通)。
IDDX (後述) = 1 のときは ITBL = NGP + NGG + 3 とすること。
- 7) ISGG : 断面積テーブルでの自群散乱断面積の位置 (通常は上方散乱の群数 + 4)。
- 8) NMED : 記憶領域上に断面積データが作成される物質の数。

- 9) NELEM : 断面積ライブラリから読み込まれる断面積要素
(核種あるいは合成済の物質) の数。
- 10) NMIX : 断面積合成演算 (DATA X-5) の回数。
全ての物質に対して巨視的断面積を入力した場合にも各物質毎に原子数密度 = 1.0 として最低 1 回の演算操作が必要である。
- 11) NCOEF : IDDX (後述) = 0 のとき、コード内で使用するルジャンドル展開の
次数 + 1。IDDX = 1 のときは 1 とする。
- 12) NSCT : IDDX = 0 のときはコード内で使用する離散的な散乱角度の数。
(NCOEF/2 が望ましい)。
IDDX = 1 のときは DDX ライブラリの散乱角余弦の分割数。
- 13) ISTAT : >0 なら点検出器のために必要な散乱の角度分布の情報を記憶領域上に
保存する。
- 14) IDDX :
=0 : ルジャンドル展開型断面積ライブラリを用いる。
=1 : 二重微分型断面積 (DDX) ライブラリを用いる。

● DATA X-2 (*)

- 1) IRDSG : >0 なら断面積を読み込んだ通りにプリントする。
- 2) ISTR : >0 なら処理されて記憶領域の保存されている断面積データをプリントする。
DDX モードのときは ISTR < 0 とすると断面積のプリントは一切行わない。
- 3) IFMU : >0 ならルジャンドル展開型断面積から散乱角度を計算する途中経過をプリントする。
- 4) IMON : >0 ならジャンドル展開型断面積から計算したモーメントをプリント出力する。
- 5) IPRIN : >0 なら散乱角度と散乱確率をプリントする。
- 6) IPUN : >0 なら不適当な散乱角度を与えたルジャンドル係数をプリントする。
- 7) IDTF : >0 なら入力されるルジャンドル展開型断面積が DTF-IV 型
($2l+1$ の因子を展開係数は含まない) である。
それ以外の場合は ANISN 型 ($2l+1$ を含む) とする。
標準入力からカードイメージの断面積データを読み込む (IXTAPE (後述) = 0) ときは、この値によって読み込み形式を指定する (DATA X-3' 参照)。
- 8) IXTAPE :
>0 の場合
 - ルジャンドル展開型 (IDDX=0) のとき
ANISN 型断面積ライブラリの入出力機番、またはそれに 1000 を加えた値。1000 を加えるかどうかによって、2 種類のライブラリ形式を指定することができる。処理後の断面積データは入出力機番 JXTAPE に出力される。

- 二重微分型断面積 (IDDX=1) のとき

DDX ライブラリは入出力機番 99 から読み込まれ、処理後のデータは入出力機番 JXTAPE に出力される。この入出力機番は作業用ファイルとして使用される。

<0 の場合

処理済み（以前の計算で JXTAPE に出力された）の断面積データを入出力機番 |IXTAPE| から読み込む。

【注】この場合、必要なデータは X-1、X-2 のみであり、他のデータはあってはならない。

= 0 の場合 (IDDX=0 でなければならない)

ルジャンドル展開型断面積データを DATA X-6 として読み込む。

9) JXTAPE : 処理後の断面積データが出力される入出力機番（前項 IXTAPE 参照）。

以下のデータは IXTAPE \geq 0 の時のみ入力する。

- DATA X-22 (*) (IXTAPE > 0 かつ IDDX=1 の時必要)

DDX ライブラリを使用する時の DDX の角度（余弦）の境界値。NSCT + 1 個の値を大きい方から順に入力する。初めが 1.0 で終りが -1.0 となる。

- DATA X-3 (*) (IXTAPE > 0 の時必要)

断面積ライブラリから読み込む断面積の核種または物質の ID 番号 (NELEM * NCOEF 個)。IDDX = 1 で ID < 0 とした場合は、その絶対値が核種 ID を示し、中性子の最後の群の断面積データを入力で与えることを意味する。これは、熱エネルギー群の断面積を別個に与えたい時に使用すると便利である。

- DATA X-4 (*) (X-3 の ID < 0 の核種に対して与える)

- 1) MAT : 核種の ID 番号
- 2) SIGT0 : NGP 群の σ_t (全断面積)
- 3) SIGPR : NGP 群の σ_{pr} (生成断面積)
- 4) SIGA : NGP 群の σ_a (吸収断面積)
- 5) SIGF : NGP 群の σ_f (核分裂断面積)
- 6) SIGFE : NGP 群の $\nu \sigma_f$

- DATA X-5 (*)

以下のデータを NMIX 回繰り返す。

- 1) KM : 物質番号 ($1 \leq KM \leq NMED$)。
ゾーンの入力データではこの番号で物質を指定する。
- 2) KE : 核種番号 (ID そのものではなく、読み込まれた順に番号付けられたもの)。
この値が負の時物質 KM に対する断面積合成演算データの終了を意味する。
- 3) RHO : 原子数密度 (10^{24} atom/cm³ 単位)

- DATA X-6 テキストイメージの断面積データ (IXTAPE=0 の時必要)¹²
 - IDTF=0: FIDO フォーマット (ANISN 形式)
各核種 (物質) 毎、各ルジャンドル展開の次数毎に ANISN コードの “FIDO” フォーマットで指定する。
 - IDTF=1: DTF-IV 形式の場合。
各核種 (物質) 毎、各ルジャンドル展開の次数毎に以下の入力を繰り返す。
 - 1) タイトル (A8)
 - 2) ITBL * INGP 個の断面積データ (6E12.5)

¹²MVP/GMVP94.1 のマニュアル (JAERI-Data/Code 94-007) ではこのデータは “DATA X-3” として DATA X-3 に続けて入力するように書かれていたがこれは誤り。

10. 幾何形状の入力

10.1 幾何形状データの構造

幾何形状データは、\$GEOMETRY 行と\$END GEOMETRY で囲まれた GEOMETRY データブロックに入力する。入力形式は以下のようになっている。

```
$GEOMETRY
格子形状の指定 (格子形状を利用する場合)
END (格子形状を利用する場合)

BODY(領域境界面を指定する形状オブジェクト) 入力

END

ZONE 及びそれらの REGION 名、物質番号の指定

#CELL
格子形状の単位セルに属する ZONE の定義 (格子形状を利用する場合)
#END CELL

#TALLY REGION
統計を取るための REGION 組み合わせの定義
$END GEOMETRY
```

「格子形状の指定」と「格子形状の単位セルに属する ZONE の定義」は格子形状オプション (LATTICE オプション) を指定した場合のみ必要である。格子セルの定義は “#CELL” と “#END CELL” に囲まれたブロックで指定する。

「統計を取るための REGION 組み合わせの定義」 (“#TALLY REGION” 以下) は、特にオプション指定を必要とせず、必要に応じて指定することができる。

10.2 BODY の定義

BODY の指定は以下のように、「データ名付き自由形式」で行う。

```
BODY-type ( BODY-ID data data ... )
```

ここで、*BODY-type* は BODY の形状を表わす文字列 (“RPP”, “CYL” など)、*BODY-ID* は ZONE の

指定で BODY を参照するための BODY ID 番号、*data data ...* は BODY の形状を指定するためのデータである。長さの次元をもつ形状データの単位は原則として cm である。

表 10.1 に MVP/GMVP で使用できる BODY と指定するデータを示す。例えば、

RPP(20000 <-W/2> <W/2> <-W/2> <W/2> <D1> <D1+H>)

という BODY データは、BODY ID が 20000 で、座標軸に垂直な面をもつ直方体(right parallelepiped)を表わしている。 x 座標、 y 座標、 z 座標の範囲がそれぞれ、<-W/2> から <W/2>、<-W/2> から <W/2> 及び <D1> から <D1+H> である。また、

CYL(1202 < A> 0 <D1> <HD> <R>)

という BODY データは、という BODY データは、BODY ID が 1202 で、 z 座標軸に平行な軸をもつ円柱を表わしている。円柱の底面の中心座標が $x = <A>$ 、 $y = 0$ 、 $z = <D1>$ で、高さが <HD>、半径が <R> である。

表 10.1 MVP/GMVP で使用できる BODY (1/3)

BODY	形状	データ (BODY ID 以外)
RPP	座標軸に平行な直方体	X_{\min}, X_{\max} : x 座標値の範囲 Y_{\min}, Y_{\max} : y 座標値の範囲 Z_{\min}, Z_{\max} : z 座標値の範囲
CYL	z 軸方向の円柱	V_x, V_y, V_z : 円柱底面の中心位置 h : 高さ (負の値も可) R : 半径
RCC	任意方向の円柱	V_x, V_y, V_z : 円柱底面の中心の位置 H_x, H_y, H_z : 軸ベクトル R : 半径
SPH	球面	V_x, V_y, V_z : 球の中心の位置 R : 半径
BOX	平行六面体	V_x, V_y, V_z : 1 つの頂点の位置 $A1_x, A1_y, A1_z$: 辺ベクトル 1 $A2_x, A2_y, A2_z$: 辺ベクトル 2 $A3_x, A3_y, A3_z$: 辺ベクトル 3
WED or RAW	三角柱	V_x, V_y, V_z : 1 つの頂点の位置 $A1_x, A1_y, A1_z$: 辺ベクトル 1 $A2_x, A2_y, A2_z$: 辺ベクトル 2 $A3_x, A3_y, A3_z$: 辺ベクトル 3(軸ベクトル)
ARB	任意の 4、5、 及び 6 面体	$V1_x, V1_y, V1_z$: 頂点の位置 (1) $V2_x, V2_y, V2_z$: 頂点の位置 (2) $V3_x, V3_y, V3_z$: 頂点の位置 (3) $V4_x, V4_y, V4_z$: 頂点の位置 (4) $V5_x, V5_y, V5_z$: 頂点の位置 (5) $V6_x, V6_y, V6_z$: 頂点の位置 (6)

(Cont'd)

表 10.1 MVP/GMVP で使用できる BODY (2/3)

BODY	形状	データ (BODY ID 以外)
		$V7_x, V7_y, V7_z$: 頂点の位置 (7) $V8_x, V8_y, V8_z$: 頂点の位置 (8) $S1, S2, S3, S4, S5, S6$: 各面の頂点番号 (4 桁の整数)
HAF	半空間	N_x, N_y, N_z : 境界平面の外向き法線ベクトル A : 境界面と原点の距離 ($A < 0$: 原点を含む)
RHP	z 軸方向の六角柱	V_x, V_y, V_z : 底面の中心位置 h : 高さ W : x 軸方向の幅
HEX	任意方向の六角柱	V_x, V_y, V_z : 底面の中心位置 H_x, H_y, H_z : 軸ベクトル W : 底面の幅 A_x, A_y, A_z : 1 つの側面の法線ベクトル
RCL	底面に方向性のある円柱	V_x, V_y, V_z : 円柱底面の中心の位置 H_x, H_y, H_z : 軸ベクトル R : 半径 A_x, A_y, A_z : 軸回り回転方向ベクトル
TRC	円錐台	V_x, V_y, V_z : 底面の中心位置 H_x, H_y, H_z : 軸ベクトル $R1, R2$: 底面及び上部面の半径
TEC	楕円錐台	V_x, V_y, V_z : 底面の中心位置 H_x, H_y, H_z : 軸ベクトル A_x, A_y, A_z : 底面の楕円の軸 (1) B_x, B_y, B_z : 底面の楕円の軸 (2) r : 上部面の大きさの底面に対する比
ELL	回転楕円体	$V1_x, V1_y, V1_z$: 焦点の座標 (1) $V2_x, V2_y, V2_z$: 焦点の座標 (2) D : 長軸の長さ
GEL	三軸不等楕円体	V_x, V_y, V_z : 中心位置 $A1_x, A1_y, A1_z$: 軸ベクトル (1) $A2_x, A2_y, A2_z$: 軸ベクトル (2) $R1, R2, R3$: 三軸の半径
ELT	楕円環	V_x, V_y, V_z : 中心位置 N_x, N_y, N_z : 回転軸方向ベクトル R_m : 回転半径 $R1, R2$: 楕円断面の 2 軸の半径 τ : 軸 2 と回転面の角度 (degree)
GQS	任意二次曲面	S_{xx}, S_{yy}, S_{zz} : 2 次の項の係数 S_{xy}, S_{yz}, S_{zx} : 2 次の項の係数 ($x * y, y * z, z * x$)

(Cont'd)

表 10.1 MVP/GMVP で使用できる BODY (3/3)

BODY	形状	データ (BODY ID 以外)
		S_x, S_y, S_z : 1 次の項の係数 C : 定数項
BBC	BODY の組み合わせ	body1 : 組み合わせる BODY 1 の ID body2 : 組み合わせる BODY 2 の ID body3 : 組み合わせる BODY 3 の ID ⋮

10.2.1 BODY RPP (座標軸に垂直な面からなる直方体)

座標軸に垂直な面からなる直方体。BODY RPP の定義については、図 10.1 を参照。

■ 形式 ■

RPP (ID d1 d2 d3 d4 d5 d6)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2 : $\min(d1, d2) = X_{\min} \leq x \leq X_{\max} = \max(d1, d2)$

d3, d4 : $\min(d3, d4) = Y_{\min} \leq y \leq Y_{\max} = \max(d3, d4)$

d5, d6 : $\min(d5, d6) = Z_{\min} \leq z \leq Z_{\max} = \max(d5, d6)$

■ 解説 ■

$d1=d2$ 、あるいは $|d1-d2| \geq \text{DINF}$ (入力データで指定される「無限大」とされる距離) ならば、 x 軸方向に無限の長さを持つ四角柱と見なされる。 y 軸及び z 軸方向についても同様となる。2 つの方向とも無限の長さを持つ場合は 1 組の平行面の内側を表す。

FRAME ZONE(格子形状の配置される ZONE) の定義に使用した場合は、格子内座標系の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 軸はそれぞれ x, y, z 軸に平行となる。

10.2.2 BODY CYL (z 軸に平行な中心軸を持つ直円柱)

z 軸に平行な中心軸を持つ直円柱。BODY CYL の定義については、図 10.2 を参照。

■ 形式 ■

CYL (ID d1 d2 d3 d4 d5)

■ パラメータ ■

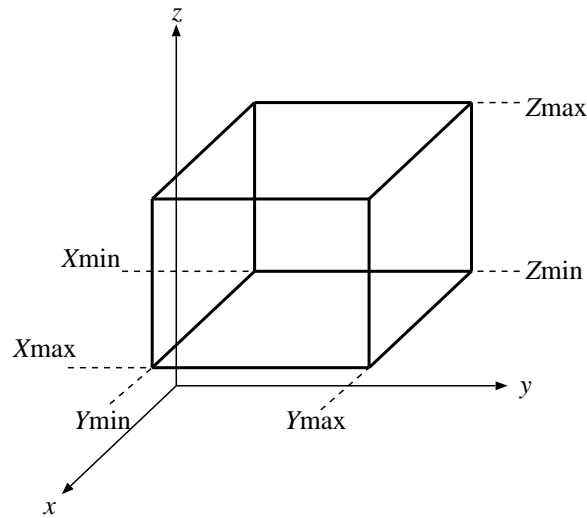


図 10.1 BODY RPP

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4 : 高さ h

d5 : 半径 R

■ 解説 ■

高さ $d4$ が $d4 \geq \text{DINF}$ (入力データで指定される「無限大」とされる距離) あるいは $d4=0.0$ の場合には、無限に長い円柱と解釈される。

■ 注意すべきこと ■

1次元無限円柱体系の計算をする場合、上記のように $d4 \geq \text{DINF}$ 又は $d4=0.0$ の BODY RCC を指定するだけではエラーとなる。この場合、必ず上下面を境界条件を表現する仮想物質で定義しなければならない。

10.2.3 BODY RCC (直円柱)

任意の軸方向をもつ直円柱。BODY RCC の定義については、図 10.3 を参照。

■ 形式 ■

RCC (*ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

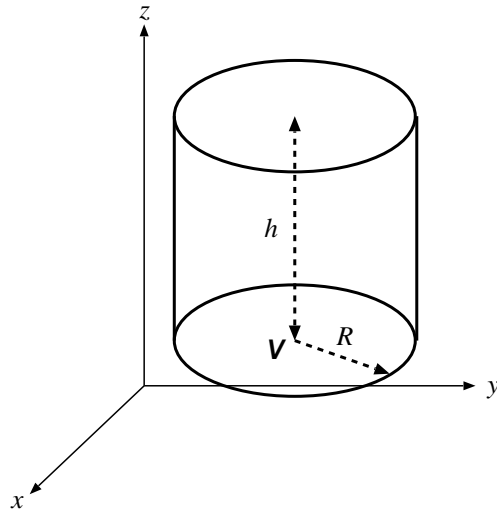


図 10.2 BODY CYL

$d4, d5, d6$: 中心軸の方向及び長さを表すベクトル $\mathbf{H}(H_x, H_y, H_z)$

$d7$: 半径 R

■ 解説 ■

座標 $(d1+d4, d2+d5, d3+d6)$ が上面の中心となる。もし、ベクトル \mathbf{H} の長さ $(\sqrt{d4^2 + d5^2 + d6^2})$ が DINF (入力データで指定される「無限大」とされる距離) より大きい場合には、底面/上面を持たない無限に長い円柱と解釈される (「底面から無限に延びる円柱」ではないことに注意)。

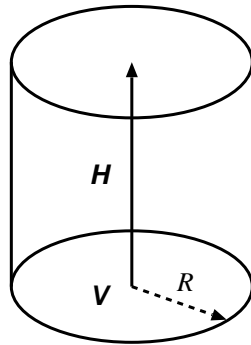


図 10.3 BODY RCC

10.2.4 BODY SPH (球)

球面。BODY SPH の定義については、図 10.4 を参照。

■ 形式 ■

SPH(*ID d1 d2 d3 d4*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 球の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4 : 半径 R

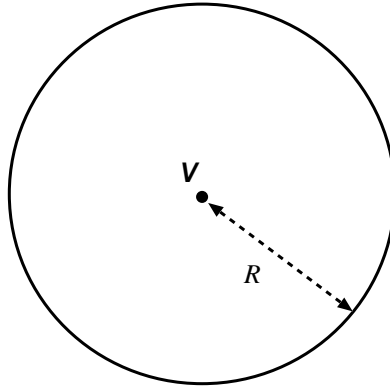


図 10.4 BODY SPH

10.2.5 BODY BOX (任意の方向を向いた平行六面体)

任意の方向を向いた平行六面体。

■ 形式 ■

BOX(*ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 1つの頂点の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 上記頂点から延ばした第1辺ベクトル $\mathbf{A1}(A1_x, A1_y, A1_z)$

d7, d8, d9 : 上記頂点から延ばした第2辺ベクトル $\mathbf{A2}(A2_x, A2_y, A2_z)$

d10, d11, d12 : 上記頂点から延ばした第3辺ベクトル $\mathbf{A3}(A3_x, A3_y, A3_z)$

■ 解説 ■

3本の辺ベクトルは互いに直交している必要はない¹³。但し、格子形状を使用する問題においてこのタイプのBODYを格子領域の配置されるZONE(“FRAME ZONE”)の定義に使用するときは、これら3本のベクトルは直交していなければならない、更に $\mathbf{A3}$ の方向は $\mathbf{A1} \times \mathbf{A2}$ の方向となっていなければならない($\mathbf{A1}$, $\mathbf{A2}$, $\mathbf{A3}$ がいわゆる「右手系」を作るようにするということ)。格子内座標系の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 軸はそれぞれ、 $\mathbf{A1}$, $\mathbf{A2}$, $\mathbf{A3}$ の方向に取られることになる。

¹³MORSE-CGコードなどではBOXは直方体である。

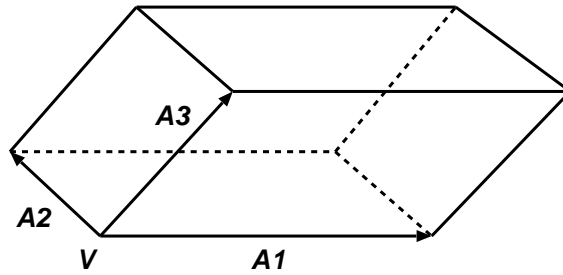


図 10.5 BODY BOX

10.2.6 BODY WED または RAW (三角柱)

三角柱。BODY WED の定義については、図 10.6 を参照。

■ 形式 ■

WED(*ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12*)
 RAW(*ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 1 つの頂点の座標 $V(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 上記頂点から延ばした第 1 辺ベクトル $A1(A1_x, A1_y, A1_z)$

d7, d8, d9 : 上記頂点から延ばした第 2 辺ベクトル $A2(A2_x, A2_y, A2_z)$

d10, d11, d12 : 上記頂点から延ばした第 3 辺ベクトル $A3(A3_x, A3_y, A3_z)$

■ 解説 ■

点 V からベクトル $A1$ と $A2$ を二辺とする三角形を作り、これをベクトル $A3$ に沿って移動した跡にできる三角柱。3 つの辺ベクトルは互いに垂直である必要はない。

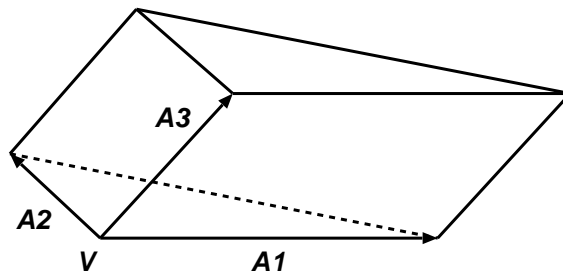


図 10.6 BODY WED(または RAW)

10.2.7 BODY ARB (任意の四、五または六面体)

任意の四、五または六面体。BODY ARB の定義については、図 10.7 を参照。

■ 形式 ■

```
ARB( ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12
      d13 d14 d15 d16 d17 d18 d19 d20 d21 d22 d23 d24
      d25 d26 d27 d28 d29 d30 )
```

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 頂点 1 の座標 **V1**(V_{1x}, V_{1y}, V_{1z})

d4, d5, d6 : 頂点 2 の座標 **V2**(V_{2x}, V_{2y}, V_{2z})

d7, d8, d9 : 頂点 3 の座標 **V3**(V_{3x}, V_{3y}, V_{3z})

d10, d11, d12 : 頂点 4 の座標 **V4**(V_{4x}, V_{4y}, V_{4z})

d13, d14, d15 : 頂点 5 の座標 **V5**(V_{5x}, V_{5y}, V_{5z})

d16, d17, d18 : 頂点 6 の座標 **V6**(V_{6x}, V_{6y}, V_{6z})

d19, d20, d21 : 頂点 7 の座標 **V7**(V_{7x}, V_{7y}, V_{7z})

d22, d23, d24 : 頂点 8 の座標 **V8**(V_{8x}, V_{8y}, V_{8z})

d25, d26, d27, d28, d29, d30 : 6 つの面を記述する各 4 桁の整数

■ 解説 ■

d25, d26, d27, d28, d29, d30 は十進数で表した 4 桁の数で、各桁が面の頂点番号を示している。各面における頂点番号の順序は任意でよい。各平面はそのうちの 3 点で決定され、4 点目はその面上にあるかどうかチェックされる。もし、4 点より少ない頂点で定義される面を指定したい時は、どれかの桁の数字を他の桁の数字と同じにするか、またはゼロにすればよい。また、四面体あるいは五面体の場合には、余分な面に対してはゼロを入力する。使用しない頂点に対しては、何を入力してもよい。

以下の入力は BODY ARB の例である。頂点 **V1, V2, ... , V8** の座標はそれぞれ、(2, 2, -1), (-2, 2, -1), ... , (1, -1, 1) である。その頂点で構成される平面は 4 桁の整数 1234, 5678, ... , 4158 で指定されている。整数 1234 は頂点 **V1, V2, V3, V4** で構成される平面を表しており、その他の整数も同様である。

```
ARB( 1    2    2 -1    -2    2 -1    -2 -2 -1    2 -2 -1
      1    1    1    -1    1    1    -1 -1  1    1 -1  1
      1234 5678 1265 2376 3487 4158 )
```

10.2.8 BODY HAF (平面によって区切られた半空間)

平面によって区切られた半空間。BODY HAF の定義については、図 10.8 を参照。

■ 形式 ■

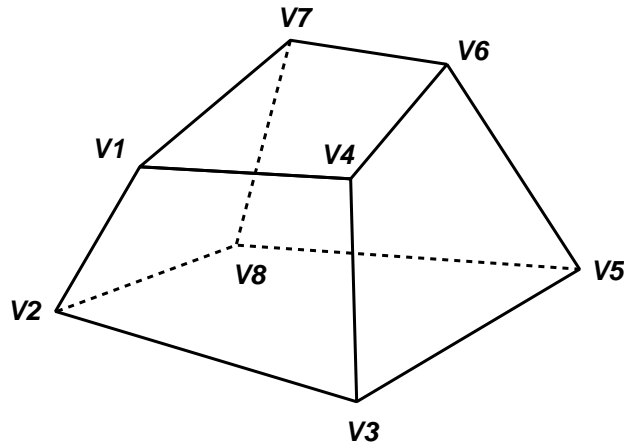


図 10.7 BODY ARB

HAF (ID d1 d2 d3 d4)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 半空間の境界面の外向き法線ベクトル $N(N_x, N_y, N_z)$ (長さは任意)

d4 : N の方向に測った平面から原点への距離 A

■ 解説 ■

半空間の内部は次式を満たす点の集合である。

$$\frac{d1 \cdot x + d2 \cdot y + d3 \cdot z}{\sqrt{d1^2 + d2^2 + d3^2}} + d4 < 0$$

この式から分かるように、原点が半空間内にある場合には $d4 < 0$ 、そうでない場合には $d4 > 0$ である。

10.2.9 BODY RHP (中心軸が z 軸に平行で 1 つの側面が x 軸に垂直な正六角柱)

中心軸が z 軸に平行で 1 つの側面が x 軸に垂直な正六角柱。BODY RHP の定義については、図 10.9 を参照。

■ 形式 ■

RHP (ID d1 d2 d3 d4 d5)

■ パラメータ ■

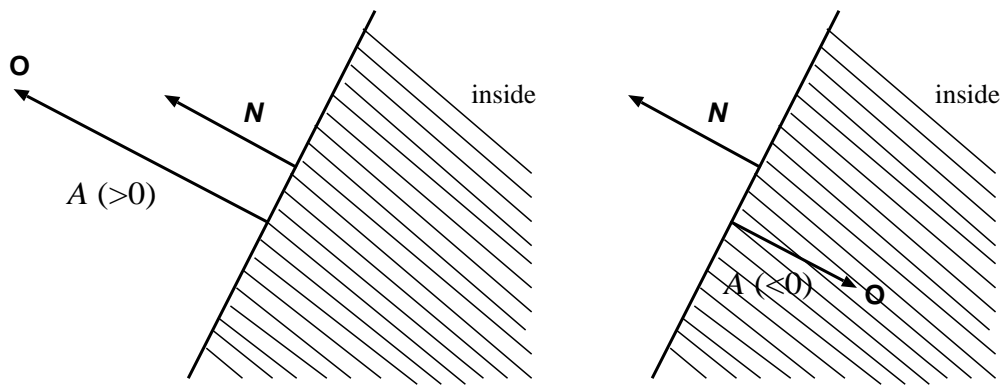


図 10.8 BODY HAF

ID : BODY ID

$d1, d2, d3$: 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

$d4$: 中心軸の長さ h

$d5$: x 軸方向の幅 W

■ 解説 ■

中心軸の長さ $d4$ が $d4 \geq \text{DINF}$ あるいは $d4 = 0.0$ の場合には、無限に長い六角柱と解釈される。ここで、DINF は入力データで指定される「無限大」とされる距離。中心軸が z 軸に平行であっても、 x 軸に垂直な側面がない場合は BODY HEX を使用しなければならない。格子形状を使用する問題において六方格子の配置される FRAME ZONE の定義に使用した場合は、格子内座標系の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 軸はそれぞれ x, y, z 軸に平行となる。

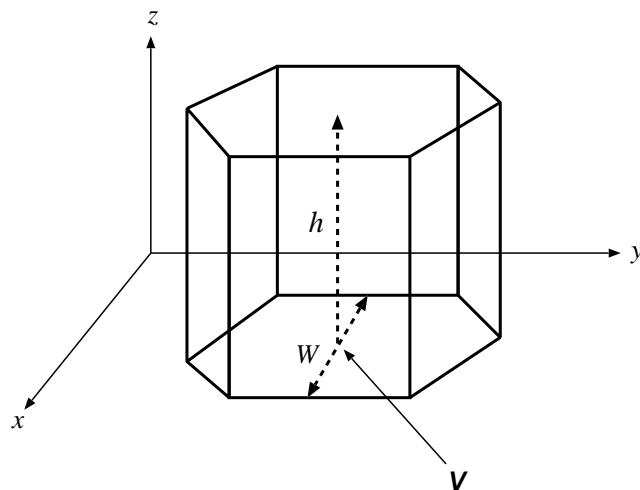


図 10.9 BODY RHP

10.2.10 BODY HEX (任意の方向を向いた正六角柱)

任意の方向を向いた正六角柱。BODY HEX の定義については、図 10.10 を参照。

■ 形式 ■

HEX(ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 中心軸の方向と長さを示すベクトル $\mathbf{H}(H_x, H_y, H_z)$

d7 : 底面の六角形の幅 W

d8, d9, d10 : 側面の 1 つに垂直なベクトル $\mathbf{A}(A_x, A_y, A_z)$ (長さは任意)

■ 解説 ■

座標 $(d1+d4, d2+d5, d3+d6)$ が上面の中心となる。もし、ベクトル \mathbf{H} の長さ $(\sqrt{d4^2 + d5^2 + d6^2})$ が DINF (入力データで指定される「無限大」とされる距離) より大きい場合には、底面/上面を持たない無限に長い六角柱と解釈される(「底面から無限に延びる六角柱」ではないことに注意)。

2つのベクトル \mathbf{A} と \mathbf{H} は直交していなければならない。格子形状を使用する問題において六方格子の配置される FRAME ZONE の定義に使用された場合、格子内座標系における X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 軸はそれぞれ、 $\mathbf{A}, \mathbf{H} \times \mathbf{A}, \mathbf{H}$ の方向に取られる。

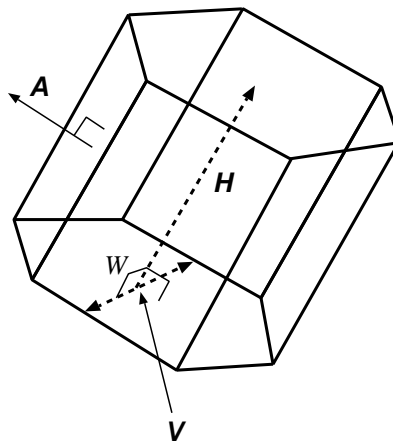


図 10.10 BODY HEX

10.2.11 BODY RCL (底面に方向性を持った直円柱)

底面に方向性を持った直円柱。BODY RCL の定義については、図 10.11 を参照。

■ 形式 ■

RCL(ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 中心軸の方向と長さを示すベクトル $\mathbf{H}(H_x, H_y, H_z)$

d7 : 半径 R

d8, d9, d10 : 底面を方向付けるベクトル $\mathbf{A}(A_x, A_y, A_z)$ (長さは任意)

■ 解説 ■

この BODY は RCC(直円柱) と形状は同一であるが、格子形状を使用する問題において六方格子の入る FRMAE ZONE の定義に使用する。 \mathbf{A} は六方格子の格子内座標系における X_ℓ 軸の方向を表すベクトルであり、長さは任意である。このとき、格子内座標系における X_ℓ , Y_ℓ , Z_ℓ 軸はそれぞれ、 \mathbf{A} , $\mathbf{H} \times \mathbf{A}$, \mathbf{H} の方向に取られる。

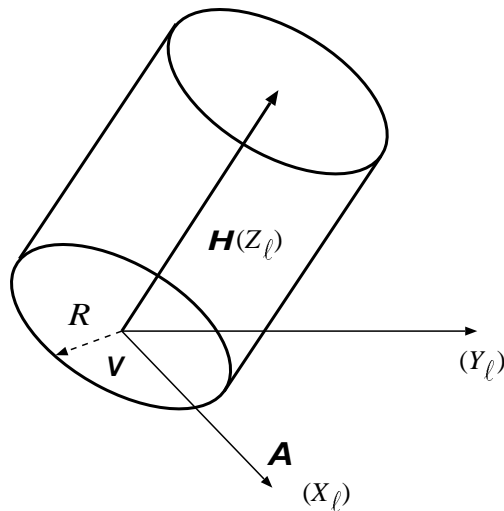


図 10.11 BODY RCL

10.2.12 BODY TRC (円錐台)

円錐台。BODY TRC の定義については、図 10.12 を参照。

■ 形式 ■

TRC(ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

$d1, d2, d3$: 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

$d4, d5, d6$: 中心軸の方向と長さを表すベクトル $\mathbf{H}(H_x, H_y, H_z)$

$d7$: 底面の半径 $R1$

$d8$: 上面の半径 $R2$

■ 解説 ■

底面と上面は中心軸に垂直である¹⁴。

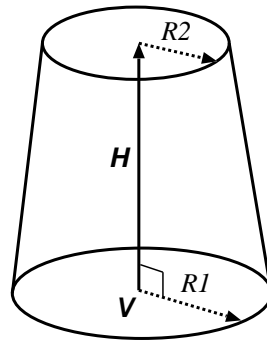


図 10.12 BODY TRC

10.2.13 BODY TEC (楕円錐台)

楕円錐台。BODY TEC の定義については、図 10.13 を参照。

■ 形式 ■

TEC (ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12 d13)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

$d1, d2, d3$: 底面の中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

$d4, d5, d6$: 中心軸の方向と長さを示すベクトル $\mathbf{H}(H_x, H_y, H_z)$

$d7, d8, d9$: 底面の楕円の一方の軸を表すベクトル $\mathbf{A}(A_x, A_y, A_z)$

$d10, d11, d12$: 底面の楕円のもう一方の軸を表すベクトル $\mathbf{B}(B_x, B_y, B_z)$

$d13$: 底面ともう一方の面の大きさ (長さ) の比 r

■ 解説 ■

2つのベクトル \mathbf{A} と \mathbf{B} は直交していなければならない。底面に平行な面による断面は底面と相似な楕円であり、その軸の方向は底面のものと平行である。

¹⁴JAERI-Data/Code 94-007 の 18 ページの $d4, d5, d6$ の記述は誤りであり、本マニュアルの方が正しい。

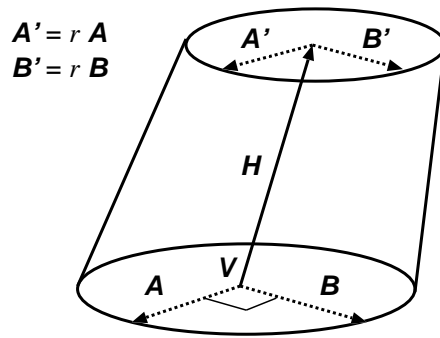


図 10.13 BODY TEC

10.2.14 BODY ELL (回転楕円体)

回転楕円体。BODY ELL の定義については、図 10.14 を参照。

■ 形式 ■

ELL (ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 焦点の座標 $V1(V1_x, V1_y, V1_z)$

d4, d5, d6 : もう一方の焦点の座標 $V2(V2_x, V2_y, V2_z)$

d7 : 長軸の長さ D (長半径ではない)

■ 解説 ■

回転軸は 2 つの焦点を結ぶ直線である。短軸の長さは次のように表わせる。

$$r = \sqrt{d7^2 - \{(d1 - d4)^2 + (d2 - d5)^2 + (d3 - d6)^2\}}$$

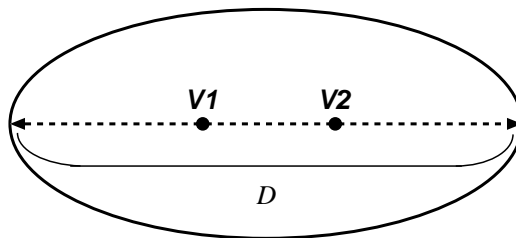


図 10.14 BODY ELL

10.2.15 BODY GEL (三軸不等楕円体)

三軸不等楕円体。BODY GEL の定義については、図 10.15 を参照。

■ 形式 ■

GEL(ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 中心の座標 $V(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 第 1 の軸ベクトル $A1(A1_x, A1_y, A1_z)$ (長さは任意)

d7, d8, d9 : 第 2 の軸ベクトル $A2(A2_x, A2_y, A2_z)$ (長さは任意)

d10, d11, d12 : 第 1、第 2、第 3 の軸の長さ $R1, R2, R3$ (半径)

■ 解説 ■

2つの軸ベクトル $A1$ と $A2$ は任意の長さでよいが、直交していなければならない。第 3 の軸ベクトルはコード内で計算されるので入力する必要はない。

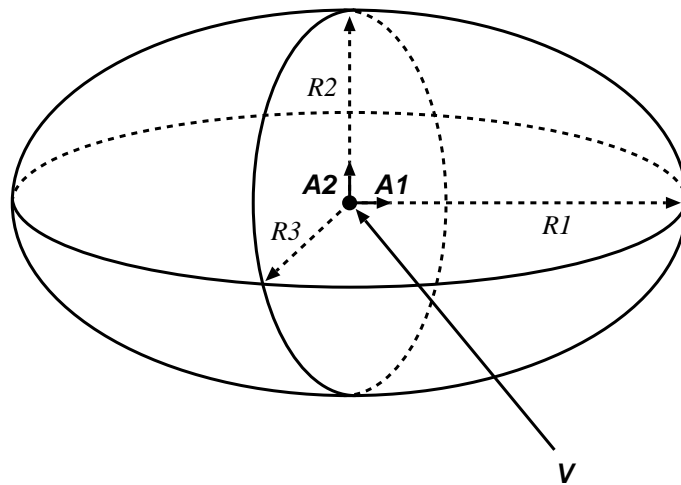


図 10.15 BODY GEL

10.2.16 BODY ELT (断面が楕円のトーラス)

断面が楕円のトーラス。BODY ELT の定義については、図 10.16 を参照。

■ 形式 ■

ELT(ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : 中心の座標 $\mathbf{V}(V_x, V_y, V_z)$

d4, d5, d6 : 回転軸の方向ベクトル $\mathbf{N}(N_x, N_y, N_z)$ (長さは任意)

d7 : 回転半径 R_m

d8 : 断面の楕円の半径 1 $R1$

d9 : 断面の楕円の半径 2 $R2$

d10 : 断面の楕円の回転角 τ (degree)

■ 解説 ■

τ は回転軸に垂直な平面と断面半径 2 の方向の成す角である¹⁵。

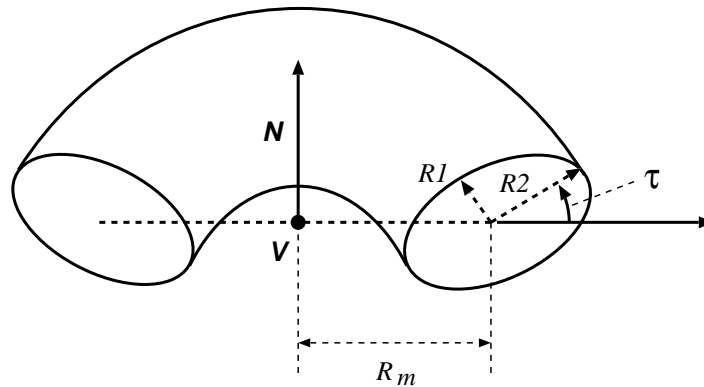


図 10.16 BODY ELT

10.2.17 BODY GQS (任意の二次曲面)

任意の二次曲面。

SPH, RCC, TRC, TEC, GEL などの BODY で表現できない二次曲面を方程式の係数で入力できる。

■ 形式 ■

GQS (*ID d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

d1, d2, d3 : x, y, z の二次の係数 S_{xx}, S_{yy}, S_{zz}

d4, d5, d6 : xy, yz, zx の係数 S_{xy}, S_{yz}, S_{zx}

d7, d8, d9 : x, y, z の一次の係数 S_x, S_y, S_z

d10 : 定数項 C

¹⁵JAERI-Data/Code 94-007 で「断面半径 1 の方向」となっていたのは誤りである。

■ 解説 ■

BODY の「内部」は以下の不等式で表される三次元空間である。

$$S_{xx}x^2 + S_{yy}y^2 + S_{zz}z^2 + S_{xy}xy + S_{yz}yz + S_{zx}zx + S_x x + S_y y + S_z z + C \leq 0$$

10.2.18 BODY BBC (ボディの組み合わせ)

任意の BODY の組合せによって作られる BODY。

■ 形式 ■

BBC(*ID body1 body2 body3 ...*)

■ パラメータ ■

ID : BODY ID

body1 : 組み合わせる BODY 1 の ID

body2 : 組み合わせる BODY 2 の ID

body3 : 組み合わせる BODY 3 の ID

...

■ 解説 ■

指定された BODY の「内部」の積集合で定義される空間を、新たに 1 つの BODY として定義する。構成要素となる BODY の定義が入力データ内でこの BODY の定義に先行している必要はない。但し、組み合わせる BODY に BBC タイプの BODY 及び ELT (トーラス) を使用することはできない。また、HAF(平面で区切られた半空間)を(構成要素として)使用する場合に限り、その BODY ID に負の符号を付けることでその BODY の補集合(境界面の反対側の空間)を組合せに用いることができる。

例えば、以下のように、楕円体 (GEL) と平板形状 (RPP) の組合せで「樽型」の BODY を定義することができる。

GEL(100 0 0 0 10 0 0 0 5 0 10 5 5)

RPP(200 -5 5 0 0 0 0)

BBC(300 100 200)

組合せ BODY を用いることで ZONE 形状定義が容易になることがある (ZONE の入力については後続の項を参照のこと)。例えば、上記の「樽型」とそれを取り囲む矩形 BODY にはさまれた空間を ZONE として定義する場合、BODY BBC を用いない場合には

RPP(1000 -20 20 -10 10 -10 10)

...

ZONEX: <MAT1> : REG1 : 1000 -200 OR 1000 -100

のように入力する必要があるが、BODY BBC を用いた場合以下のように定義できる。

ZONEX: <MAT1> : REG1 : 1000 -300

10.3 ZONE の入力

ZONE は一種類の均一な物質を含む空間領域である。ZONE の入力は、ZONE 名、REGION 名、物質番号の指定及び BODY の組み合わせによる形状指定からなる。

ZONE-name : *REGION-name* : *material-ID* : [OR] *body* [OR] *body* ...
[OR] *body* [OR] *body*

以下、各入力項目について説明する。

10.3.1 ZONE 名

ZONE-name は ZONE に与える 12 文字までの名前 (ZONE 名) である。

ZONE-name の先頭の文字は、行の最初から 5 文字目までになければならない。最初の “:” までの間の空白でない文字列が ZONE 名となる。文字列に空白が含まれる場合、空白以降の文字列は無視される。別の ZONE に同じ ZONE 名を付けることが可能である。線源粒子サンプリングにおいて、空間 ZONE による棄却を行う際の ZONE の指定に使用される。

10.3.2 REGION 名

REGION-name は ZONE に与えられる「領域」の名前 (REGION 名) である。REGION 名はアルファベット、数字、アンダースコア () からなる 12 文字以内の文字列であり、大文字と小文字は区別される。

物理量の統計を取る際に同じ REGION 名の ZONE がまとめて扱われる。また、分散低減法データ等を指定する空間区分として使用される。ZONE を構成する物質が何であるか等には無関係に指定することができる。複数の ZONE を同じ REGION にすることができるが、1 つの ZONE が属することのできる REGION は 1 つだけである。*REGION-name* を省略すると、その ZONE は REGION 名のない REGION に属することになる。また、統計を取る意味がない仮想的な物質を持つ ZONE の場合、REGION 名を指定しても意味を持たない。(通常の ZONE の REGION 名と同じ REGION 名を付けると、コードの与える REGION 番号は、その ZONE と同じ番号になるが、仮想物質の ZONE には粒子が存在することがないので、タリーの結果などに影響を与えることはない。)

10.3.3 物質 ID

material-ID は ZONE がこの「物質 ID」を持つ物質で満たされていることを示す整数データである。値の範囲によって、表 10.2 に示す意味を持つ。境界条件などを取り扱うための仮想物質に対する物質 ID が存在する。

一般に負の物質 ID は特殊な物質に割り当てられており、これらを用いて境界条件、あるいは階層的な幾何形状の表現 (後述の「格子形状」) を行うために使用される。

通常の計算では、粒子が動き回る空間の全体が完全吸収体 (その物質が指定された空間に到達した粒子のランダムウォークを強制的に終了)、あるいは反射体物質または周期境界条件を表現するための仮想物質で囲まれていなければならない。1 次元無限円筒体系や 1 次元無限平板体系の計算をする場合においても、粒子が動き回る空間は境界条件を表す仮想物質で囲まれていなければな

表 10.2 物質 ID と物質の種類

物質 ID	種類
1 以上	通常の物質
0	真空 (“inner void”)
−1 ~ −998	格子形状をその中に含む
−999	格子セルの外側に指定する仮想物質
−1000	完全吸収体 (black absorber, “outer void”)
−2000	完全反射体 (mirror reflector)
−3000	等方反射体 (white reflector)
−4000	周期境界条件を示す仮想物質

らない。ユーザはある方向に無限の長さを持つ BODY を定義することができるが、この BODY だけで上記のような無限体系を表現することはできない。

また、物質 ID(整数値) の代わりに以下のような記述を行うことで、その ZONE が「格子形状」を含むことを指定することもできる。

LAT=*lattice-ID*

または

L=*lattice-ID*

“LAT=” または “L=” に続けて記述できるのは正の整数であり、これは格子形状を識別するための ID である。表 10.2 に示すように、物質 ID が −1 ~ −998 の ZONE は格子形状を含むようにできるが、この数字は「格子形状 ID」に負の符号をつけたもので、この方式で指定できる格子形状 ID の範囲は 1 ~ 998 までに限定される。それに対し、“LAT=” または “L=” で指定する形式では、任意の正の整数を「格子形状 ID」として指定できる。

10.3.4 BODY の組み合わせ

BODY の組み合わせによる形状指定データの構成要素は次のいずれかである。

- (1) + {BODY ID 番号} または − {BODY ID 番号}

符号が正の場合 BODY の内部を、負の場合 BODY の外側を示す。“+” 記号は省略してもよい。

- (2) “OR”

BODY あるいは BODY の組み合わせどうしの和集合を示す。一方、“OR” を使わずに並べた BODY 番号は、それらの共通集合を意味する。

多数の BODY の組み合わせが必要で 1 行に収まらない場合、次のコメントでない行に継続してデータを記述できるが、ZONE の指定の 2 行目以降は 1~5 桁目をブランクにしなければならない。

10.3.5 「入力 ZONE」と「ZONE」

プログラム内では、入力データで指定した ZONE は「入力 ZONE」(INPUT-ZONE) として扱われる。“OR” 演算子を利用した場合には 1 つの「入力 ZONE」は 2 つ以上の ZONE からできているものとみなされる。実際には OR を用いた ZONE 指定は OR を用いない ZONE 指定を何回か行ったものと同等である。例えば、次のような「入力 ZONE」の指定があった場合、

```
ZONE1 : REGION1 : <MAT1>: 1 -2 OR 10 11 -20 OR 12000 -90000
```

これは以下の 3 つの ZONE 指定とプログラム内では同等である。

```
ZONE1 : REGION1 : <MAT1> : 1 -2
ZONE1 : REGION1 : <MAT1> : 10 11 -20
ZONE1 : REGION1 : <MAT1> : 12000 -90000
```

複数の ZONE が空間的に重なっている部分が存在しているとしても、それらの ZONE の REGION 名及び構成物質が同一であれば問題はない。

10.3.6 ZONE 指定の方法と計算時間について

ランダムウォークを行う粒子はその過程でいくつかの ZONE にまたがって動くことになる。その場合、以下の処理が行われる。

- (a) 粒子の現在位置から飛行方向に、ZONE 境界までの距離を計算する。
- (b) ZONE の境界に到達した場合、次にどの ZONE に入るかを決定する (領域探索)。

最初の処理では ZONE を構成するすべての BODY の表面までの距離を計算する必要があり、2 番目の処理では今までいた ZONE に隣接している可能性のある ZONE すべてに対してチェックを行う必要がある。このような理由で、つぎのような幾何形状データを作成すると計算時間が多くかかる場合がある。

- (1) 構成する BODY の数が非常に多い ZONE がある。
- (2) 隣接している ZONE の数が非常に多い ZONE がある。

MVP/GMVP は、各 ZONE に隣接する ZONE の情報をランダムウォークの過程で記憶し、領域探索においてはまず記憶されている ZONE に対してそこに入るかどうかのチェックを行う。計算の初期にはすべての ZONE をチェックするしかない。各 ZONE に対して記憶される ZONE の数は無限には増やすことはできず、入力データ NMEMO で指定された値になる。最大 NMEMO 個記憶されていた ZONE をすべてチェックしても入るべき ZONE が見つからない場合、プログラムはそれ以外の ZONE に対してすべてチェックを行う。そこで上記 (2) のような状況では、NMEMO の値を十分に大きくしておく必要がある。デフォルトは 5 であるが、もっと大きな値を指定すべきケースが多いように思われる。

ただし、上記 (1) や (2) の問題が NMEMO を大きくするだけで常に解決するわけではない。根本的に解決するには、以下のような方法を取るべきである。

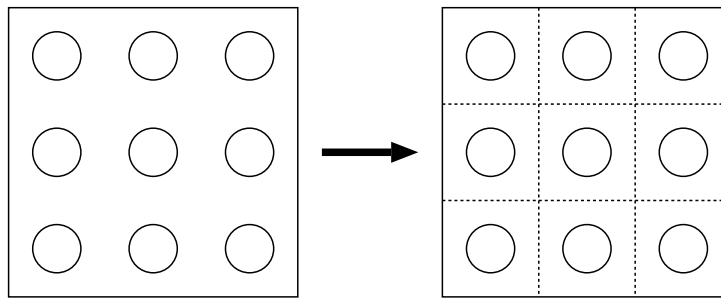


図 10.17 計算体系の分割

- (a) 図 10.17 に示されるように同一の物質、REGION の空間部分でも複数の ZONE に分割する。
別の見方をすれば、空間をいくつかの部分に分けておいて、各部分毎に幾何形状を作成するようにしていけば、できあがったデータが分かりやすいものになるという利点もある。
- (b) 繰り返しが多い場合には、「格子形状」機能を利用する。

10.3.7 周期境界条件

MVP/GMVP の周期境界条件は、平行移動に関する対称性を持つ形状を表現するために使用することができる。60° 回転対称性を持つ形状等には現状では対応していない。

周期境界条件は、物質 ID が“-4000”である物質を含む ZONE を使用して定義する。図 10.18 に周期境界条件の指定方法の概念図を示す。周期境界を構成する 2 つの平面の組は、1 つの BODY に含まれる平行な平面の組である。平行な 2 つの面であっても、異なる BODY に属する面である場合には、周期境界にすることはできない。

周期境界として使用できるのは以下の BODY の表面である。

- 矩形: RPP または BOX の対応する平行な面。
- 六角柱: RHP または HEX の対応する平行な面。
- 円柱: CYL または RCC の軸方向境界面 (円柱面は周期境界面には使用できない)。

10.4 格子形状の入力データ

この節では格子形状の入力データについて説明する。格子形状の概念と MVP/GMVP で使われる特有の用語の定義については 5.5 節に詳しく書かれているので、これらについてなじみのないユーザは最初に 5.5 節を参照されたい。

10.4.1 格子の構造の指定

格子形状を含む体系を入力するためには、オプション部で LATTICE オプションを指定する必要がある。LATTICE オプションが指定された場合、四方格子及び六方格子については、GEOMETRY データブロックの最初に、以下のように格子の構造 (サイズ、セル数、セル配置など) を指定する。

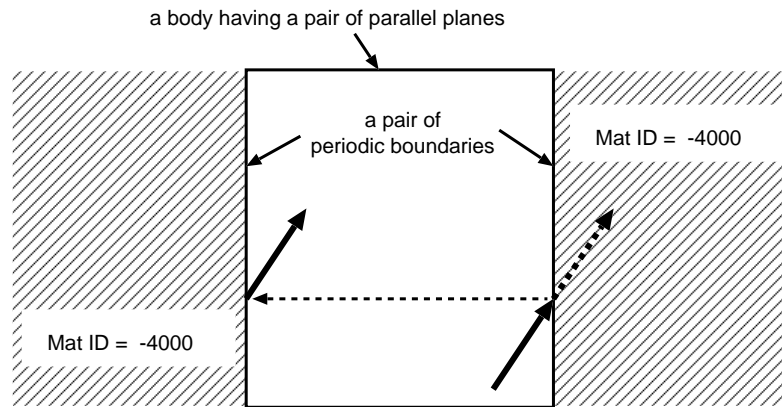


図 10.18 周期境界条件の指定と粒子の飛行

「確率論的幾何形状」については、入力位置は同様であるがデータ項目名と指定内容が異なる。これについては、10.8 節で記述する。

```
$GEOMETRY
  IDLAT( lattice-ID-1 )
  LTYP( lattice-type )
  NVLAT( nx ny nz )
  SZLAT( s1 s2 s3 )
  SZHEX( h1 h2 h3 h4 h5 ) /* (六角格子のみ)
  RCELL( ix iy ) /* (六角格子のみ)
  KLATT( cell cell cell ... )
  KSLAT( dir1 dir2 dir3 ... )

  IDLAT( lattice-ID-2 )
  ....
  ....
END
... BODY のデータ
.....
```

上記のデータのうち、KLATT と KSLAT については以下の形式もある。

```
CELLIDS( cell cell cell ... )
CELLSYMS( cell-symbol cell-symbol ... )
CKLATT( cell-pattern-string ... )
CELLDIRS( dir1 dir2 ... )
DIRSYMS( direction-symbol ... )
CKSLAT( direction-pattern-string ... )
```

以下のデータを各格子形状に対して指定する。すべての格子データの入力終了したら、文字列“END”のみを含む行を置く。

(1) IDLAT

格子形状の ID 番号 (通常、 $1 < \text{IDLAT} \leq 998$)。これは各格子のデータの最初になければならない。ZONE 内の物質としてこの ID 番号に負号をつけたものを指定すると、その ZONE がこの格子が入る FRAME ZONE になる。物質 ID の指定で $\text{LAT}=\text{lattice-ID}$ ($\text{L}=\text{lattice-ID}$) を使用する場合は、999 以上の格子 ID 番号を IDLAT に使用することができる。

(2) LTYPE

格子のタイプ

- LTYPE=1 : 四方格子 (同じ大きさの直方体の「格子セル」から成る格子)
- LTYPE=2 : 外枠が六角柱の六方格子 (同じ大きさの六角柱の「格子セル」から成る格子)
- LTYPE=3 : 外枠が円柱の六方格子 (同じ大きさの六角柱の「格子セル」から成る格子)
- LTYPE=4 : 外枠が四角柱の六方格子 (同じ大きさの六角柱の「格子セル」から成る格子)
- LTYPE=10 : 確率論的幾何形状 (格子形状の一種として扱う)。ある決まった球形の部分形状が、一定の「充填率」を満たすように格子枠空間内に確率的に配置される特殊な形状。

(3) NVLAT(n_x n_y n_z)

格子内座標系各軸方向の SUBFRAME 配列数。

(4) SZLAT(s_1 s_2 s_3)

格子の構成単位である SUBFRAME の寸法と六方格子におけるセル並び座標系と格子内座標系の方向を関係付けるデータ。3 個の数値の意味は表 10.3 に示す。六方格子の s_2 に対しては、図 5.9 に示された「セル並び座標系」の X_a 軸が図 5.10 の「格子内座標系」の X_ℓ 軸となす角度 θ に 30 度を加えた値 を入力する。

(5) SZHEX(h_1 h_2 h_3 h_4 h_5)

六方格子でのみ指定する。六方格子の外枠の大きさ及びセル並び座標系と格子内座標系の方向を関係付けるデータ。各数値の意味は表 10.4 に示す。

h_1 , h_2 は格子セルの並びと格子枠の位置関係を示すためのデータであり、格子内座標系の X_ℓ - Y_ℓ 平面における格子外枠の中心から基準に選んだ SUBFRAME の中心に向うベクトルの X_ℓ -成分と Y_ℓ -成分である。

基準とする SUBFRAME は後述の RCELL(i j) で指定する。その中心は SUBFRAME の枠となる六角形の中心である。

h_3 以降については LTYPE=2,3,4 で解釈が異なる。

(6) RCELL(i j)

六方格子に対してセル並びを配置するときの基準とする SUBFRAME の指定。図 10.19 の場合、基準とする SUBFRAME のセル並びでの I , J インデックスが $I=3$, $J=4$ であるので、RCELL(3 4) と入力する。(図 5.9 参照。)

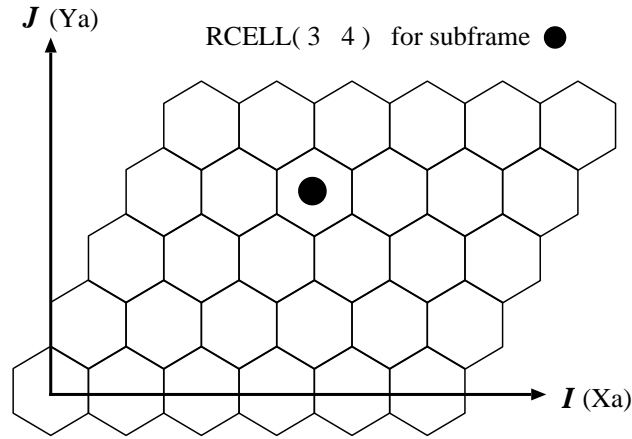


図 10.19 六角格子へのセル配置の基準とする SUBFRAME を指定する変数 RCELL

(7) $KLATT(i, j, k)$ ($i=1, NVLAT(1), j=1, NVLAT(2), k=1, NVLAT(3)$)

セル並びの (i, j, k) で示される位置の SUBFRAME に入る「セル」の ID 番号。ここで、 i, j, k はそれぞれ図 5.9 でのセル並び座標系の X_a 軸、 Y_a 軸及び Z_a 軸方向のインデックスである。図 5.9 の場合、セル ID 番号は (1,3), (2,3), (3,3), (4,3), (1,2), (2,2), (3,2), (4,2), (1,1), (2,1), (3,1), (4,1) の順序で入力する。

入力データでの各 (i, j, k) の入力順序は FORTRAN プログラムの 3 次元配列がメモリ内に配置される順序と同様に入力する。ただし、インデックス i については 1 から $NVLAT(1)$ の順序で入力するが、 j と k についてはそれぞれ $NVLAT(2)$ から 1、 $NVLAT(3)$ から 1 のように「逆向き」に入力する。この入力順序は、 z 軸の正の方向から格子を見たときに、 (i, j) の並びを「見える通りの状態で」入力することを意味する。

$KLATT(i, j, k)=0$ の場合、その SUBFRAME は格子には含まれず、その SUBFRAME に対応する空間領域は別途定義されていることを示す。この場合、格子を配置する FRAME ZONE の定義において、その SUBFRAME に対応した部分空間がその ZONE から除外されているか、あるいは六方格子ではその部分空間が格子枠の外部になければならない。

(8) $KSLAT(i, j, k)$ ($i=1, NVLAT(1), j=1, NVLAT(2), k=1, NVLAT(3)$)

$KLATT$ で指定した「セル」を各 SUBFRAME に配置する時の向きの指定。 $KSLAT=0$ の時は、セルの形状をセル内 ZONE として定義したときの通りの向きに置かれる。即ち、セルを定義したときの座標系 (図 5.7 の (X, Y, Z)) の向きが格子のセル並び座標系 (X_a, Y_a, Z_a) の向きと同じになるようにする。 $KSLAT$ が 0 でない場合、以下の方向の変換が行われる。

- 四方格子 (LTYP=1) の場合:

$$KSLAT = ix \times 100 + iy \times 10 + iz$$

- $ix = 1/0 = X_a$ 軸方向に反転する/反転しない
- $iy = 1/0 = Y_a$ 軸方向に反転する/反転しない
- $iz = 1/0 = Z_a$ 軸方向に反転する/反転しない

- $$\text{KSLAT} = IX \times 100 + Irot \times 10 + IZ$$

- 変換の順序は、 $IX \rightarrow Irot \rightarrow IZ$ である。

これはセル並びを指定するデータ **KLATT** の入力の方法である。格子のセル数が多くなると、**KLATT** のようなセル ID(整数データ) のリストの指定では、実際のセル配置が分かりづらくなったり、入力が面倒になったりする場合がある。**CELLIDS**、**CELLSYMS** 及び **CKLATT** によって、以下のように「1 つのセル位置を一個の非空白文字で表す」という入力が可能になる。

CELLIDS、CELLSYMS 及び CKLATT はこの順序で以下のように入力する。

- 格子に配置する格子セル ID のリスト。重複したセル ID があってもよい。

- CELLSYMS

1 つ以上の空白で区切られた文字のリスト。重複があってはならない。CELLIDS で指定したセル ID のリストと同数の文字を指定する。それぞれの文字が CELLIDS で指定したセル ID と一対一に対応する。(複数の文字が同じセル ID に対応することは許されるが、複数のセル ID が 1 つの文字に対応することは許されない。) 使用可能な文字はアルファベットの大文字/小文字、数字、各種記号 (ただし、括弧、引用符記号、“/” 及び “*” を除く) である。

- CKLATT

CELLSYMS で指定した一文字シンボルを利用したセルの配置の指定。セルの入力順序の規則は KLATT と同じである。空白、改行文字及びコメント行/コメント文字列を除いたものが有効なセルの指定文字である。

(10) CELLDIRS、DIRSYMS 及び CKSLAT

これは SUBFRAME にセルがはめ込まれる時の向きを指定するデータ KSLAT の入力の別方式である。以下の例のように使用する。

```
CELLDIRS( 0 0 100 010 110 )
DIRSYMS( 0 A X Y M )
CKSLAT( XXXXX0AAAAA
        XXXXX0AAAAA
        XXXXX0AAAAA
        00000000000
        MMMMM0YYYYY
        MMMMM0YYYYY
        MMMMM0YYYYY )
```

CELLDIRS、DIRSYMS 及び CKSLAT はこの順序で以下のように入力する。

- CELLDIRS

格子に配置する格子セルの向きを指定する数値のリスト。重複した数値があってもよい。指定される数値の意味は KSLAT に説明されている。

- DIRSYMS

1 つ以上の空白で区切られた文字のリスト。重複があってはならない。CELLDIRS で指定したセルの向きのリストと同数の文字を指定する。それぞれの文字が CELLDIRS で指定したセルの向きと一対一に対応する。使用可能な文字はアルファベットの大文字/小文字、数字、各種記号 (但し、括弧、引用符記号、“/” 及び “*” を除く) である。

- CKSLAT

DIRSYMS で指定した一文字シンボルを利用したセル配置方向の指定。セルの入力順序の規則は KSLAT と同じである。空白、改行文字及びコメント行/コメント文字列を除いたものが有効なセル方向の指定文字である。

10.4.2 格子形状の入力データ例

以下の入力例では、格子 ID が 10、100 の 2 つの四方格子形状 (格子タイプ 1) が定義されている。

例 1:

表 10.3 格子セルの形状等を定義するデータ SZLAT

SZLAT	四方格子 LTYP=1	六方格子 LTYP=2,3,4
1	格子セルの X_a 方向の幅	格子セルのピッチ
2	格子セルの Y_a 方向の幅	セル並び座標系が外枠 (格子内座標系) に対してなす角度 (degree) + 30°
3	格子セルの Z_a 方向の幅	格子セルの高さ

表 10.4 六角格子の外枠の大きさ及びセル並び座標系と格子内座標系の関係を定義するデータ SZHEX

SZHEX	LTYP=2 枠:六角柱	LTYP=3 枠:円柱	LTYP=4 枠:四角柱
1	格子外枠の中心から基準 SUBFRAME の中心に向うベクトルの X_ℓ 成分		
2	格子外枠の中心から基準 SUBFRAME の中心に向うベクトルの Y_ℓ 成分		
3	六角形の幅	半径	X_ℓ 方向の幅
4	高さ	高さ	Y_ℓ 方向の幅
5	(ダミーデータ)	(ダミーデータ)	Z_ℓ 方向の幅

```

$GEOMETRY
% PA = 4.0, HT = 366.0, P = 1.26
***** DATA FOR LATTICE ID = 10 *****
IDLAT( 10 )
  LTYP( 1 ) NVLAT( 2 2 1 ) SZLAT( <PA> <PA> <HT> )
  KLATT( 1 2
        2 1 )
  KSLAT( 0 0
        110 110 )
***** DATA FOR LATTICE ID = 100 *****
IDLAT( 100 )
  LTYP( 1 ) NVLAT( 3 3 1 ) SZLAT( <P> <P> <HT> )
  KLATT( 10 10 10
        10 20 10
        10 10 10 )
  KSLAT( < 3*3 >(0) )
END

```

- 格子 ID 10:

“LTYP(1)”より四方格子である。“NVLAT(2 2 1)”により、セル並びの X_a, Y_a 方向に 2 セル、 Z_a 方向に 1 セル並べることが分かる。格子 ID 10 のセル並びについては、図 10.20 を参照。SZLAT に与えられた 3 つのデータは、格子セルの X_a, Y_a, Z_a 方向のサイズを示している。これは「格子全体の大きさ」ではなく、各「格子セル」の大きさであることに注意すべきである。

KLATT は格子内の各格子セル位置 (“SUBFRAME”) にどの格子セルが配置されるかを示していて、ここではセル ID が 1 及び 2 のセルが配置され、「左上」と「右下」がセル 1、「右上」と「左下」がセル 2 となる。

KSLAT は各 SUBFRAME に対して、KLATT で指定したセルをどのように置くかを示している。「左上」のセル 1 と「右上」のセル 2 については KSLAT は 0 であり、セル内座標系の X_c, Y_c, Z_c 座標の向きとセル並び座標系の X_a, Y_a, Z_a 軸の向きが一致するように配置する。それに対して、「左下」のセル 2 と「右下」のセル 1 については、KSLAT は “110” である。KSLAT の 100 の位の 1 は X_a 方向に「反転」(鏡写し)されて配置されることを、KSLAT の 10 の位の 1 は、 Y_a 方向に同様に反転した形状として配置されることを示している。

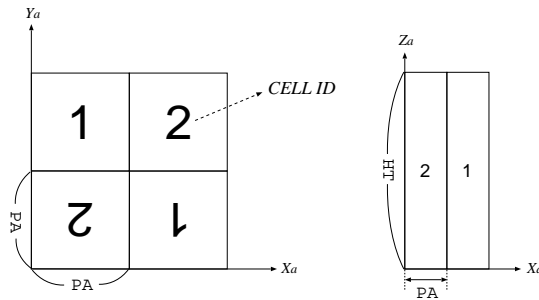


図 10.20 格子 ID 10 に対するセルの配置

- 格子 ID 100

格子 10 と同様に “LTP(1)” の四方格子であるが、格子セルの並び数が X_a, Y_a 方向に 3 セル、 Z_a 方向に 1 セルになっている。KLATT で示される SUBFRAME へのセル配置では、セル 10 とセル 20 が使用されている。セル ID の “10” は格子 ID にも使われている “10” と同じであるが、一方がセル ID で他方が格子 ID であり、このような場合両者を混同しないように注意しなければならない。KSLAT はすべて 0 なので、セルの配置に際して方向変換は行われない。

六方格子を使用した場合は以下のようなになる。これは高速炉燃料集合体などに現れる典型的な例である。

例 2:

```
$GEOMETRY
% P = 0.787, HT = 93.0 /** Cell pitch and height.
% A = P/SQRT(3) /** Length of a side of cell hexagon.
% NL=4, DH = 11.0*A /** Number of pin layers and frame width.
IDLAT(100)
  LTP(2) NVLAT( 9 9 1 )
  SZLAT( <P> 0.0 <HT> )
  RCELL( 5 5 )
  SZHEX( 0.0 0.0
        <DH> <HT> 0.0 )
  KLATT(
        2 2 2 2 2 0 0 0 0
```

```

      2 1 1 1 1 2 0 0 0
      2 1 1 1 1 1 2 0 0
      2 1 1 1 1 1 1 2 0
      2 1 1 1 1 1 1 1 2
      0 2 1 1 1 1 1 1 2
      0 0 2 1 1 1 1 1 2
      0 0 0 2 1 1 1 1 2
      0 0 0 0 2 2 2 2 2
    )
    KSLAT( <9*9>(0) )

```

この例では、図 10.21 に示すように 9×9 個の六角格子セルの並びから、六角の格子枠によって「切り出された」六角形の格子が作られている。

- “LTP(2)” より六方格子であり、外枠の形状が正六角柱である。
- “NVLAT(9 9 1)” により格子セル並びの X_a , Y_a 方向に 9 セルずつ、 Z_a 方向に 1 セル並べることが分かる。
- SZLAT の 3 つのデータのうち最初のデータは格子セルのピッチであり、これは隣り合う同じ形のセルの中心間の距離である。
- SZLAT の 2 番目は、セル並び座標系(図 10.21 の X_a , Y_a , Z_a)の X_a 軸が格子内座標系(図 10.21 の X_ℓ , Y_ℓ , Z_ℓ)の X_ℓ 軸から、 Z_ℓ 軸正の方向から見て反時計回りにどれだけ回転されているかを示す(Z_a 軸と Z_ℓ 軸の方向は一致していなければならない。)。図では、この角度は -30° であるが、入力データではこの値に 30° を加えたものを入力する(即ち、この図の状態が基準)のでちょうど 0 となる。
- SZLAT の 3 番目は格子セルの Z_a 軸方向の長さである。このデータでは NVLAT(3) が 1 なので、格子全体の Z_ℓ 軸の長さ NVLAT(3)×SZLAT(3) と等しくなっている。
- 六方格子では、格子セル並びと格子枠の位置関係を指定する必要がある。セル並びと格子枠の座標系の向きについては SZLAT(2) で指定されたが、それに加えて格子枠とセル並びの位置関係を入力する必要がある。そのために、基準 SUBFRAME と格子枠の中心の相対位置を指定する。RCELL は、その格子セル位置の X_a , Y_a 軸方向のインデックスである。この入力では RCELL(5 5) となっていて、格子セル並びの中心のセルである。
- SZHEX の最初の 2 つのデータはセル並びと格子枠の位置関係を示す。これは、RCELL で指定した SUBFRAME の中心位置が、格子枠の中心からどれだけ離れているかを示す二次元ベクトルの X_ℓ , Y_ℓ 座標系での成分である。この入力例では、基準 SUBFRAME の中心と格子枠の中心が重なるので、SZHEX(1)、SZHEX(2) はどちらも 0 である。どのようなケースでも両方の中心を一致させることができるとは限らない。図 10.21 の形状を、基準 SUBFRAME の例 2 のものから変更して表現した例を示す。(入力例中のシンボリックパラメータを使用。) これらは等価な入力である。

- RCELL(4 4): SZHEX(1)= <-3*A> , SZHEX(2)= 0
- RCELL(1 1): SZHEX(1)= <-12*A> , SZHEX(2)= 0
- RCELL(5 6): SZHEX(1)= <1.5*A> , SZHEX(2)= <P/2>

- RCELL(6 7): SZHEX(1)= <4.5*A> , SZHEX(2)= <P/2>
- RCELL(9 1): SZHEX(1)= 0 , SZHEX(2)= <-4*P>
- SZHEX の 3 番目以降は六角格子の外枠の大きさを定義するデータであり、格子枠タイプに依存して、表 10.4 に示すように定義されている。このデータではタイプ 2 なので、3 つのデータは六角柱格子枠の幅、高さ、そしてダミーデータ (タイプ 4 で意味がある) である。格子枠の高さを示すデータはこの例では格子セルの高さと一致している。
- KLATT ではセル ID が 1 及び 2 のセルが使用されることを示している。0 が指定されている部分があるが、これらは図 10.21 から分かるように完全に格子枠の外側に位置するところで、サイズの合うどれかの六角格子セルを入れておくか、あるいはセル ID を 0 にしておけば良い。この例では、セル ID が 2 の SUBFRAME は格子枠で部分的に「切り取られて」、格子形状に取り込まれていることが分かる。
- KSLAT はすべて 0 なので、SUBFRAME にセルを配置する際に回転などは行っていない。

10.4.3 格子の空間内への配置

格子形状を空間内に配置するには、以下の 2 通りの方法で FRAME ZONE を定義する。

- 「物質 ID」が $-1 \times \text{IDLAT}$ の ZONE。ここで、IDLAT は 10.4.1 節で説明した格子 ID である。この場合、格子 ID は 1~998 に限定される。
- ZONE 入力の「物質 ID」の位置に “LAT= 格子 ID” または “L= 格子 ID” が指定された ZONE。この場合、格子 ID は任意の正の整数である。

同じ格子を 2 ケ所以上の場所 (FRAME ZONE) に使うことができる。

オプション部で FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しているかどうかによって、FRAME ZONE の形状に関する制限が異なる。FREE-LATTICE-FRAME オプションは、入力データ中に現れるすべての格子に適用されることに注意する必要がある。

■ FREE-LATTICE-FRAME オプションを使用しない場合:

- FRAME ZONE を構成する BODY の組み合わせに、OR 演算子を使用することができない。
- FRAME ZONE を構成する最初の BODY は、格子枠と同じ大きさと形でなければならない。具体的には、次のようにならなければならない。
 - 格子タイプ 1 の場合: RPP または BOX (BOX の場合、直方体でなければならない。)
 - 格子タイプ 2 の場合: RHP または HEX
 - 格子タイプ 3 の場合: RCL (CYL, RCC は不可)
 - 格子タイプ 4 の場合: RPP または BOX (BOX の場合、直方体でなければならない。)

FRAME ZONE に格子を配置する場合、その方向は以下ようになる。

- ZONE を構成する最初の BODY が RPP の場合: 格子の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 方向がそのまま RPP の x, y, z 方向に対応する。

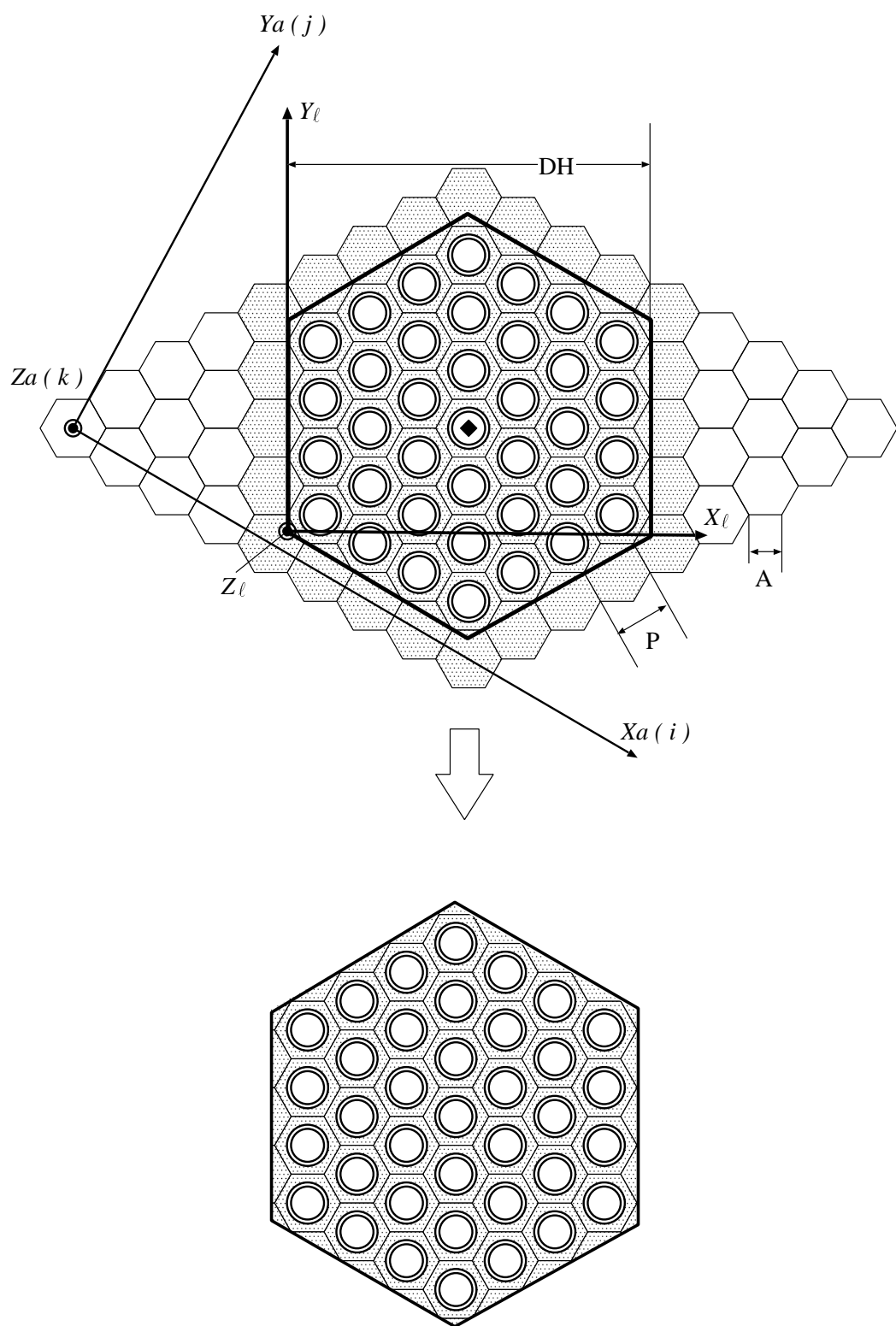


図 10.21 六角形の棒を持つ六角格子形状の構成の例

- ZONE を構成する最初の BODY が BOX の場合: 格子の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 方向が BOX の 3 つの辺ベクトルの 1、2、3 番目にそれぞれ対応する。BOX の 3 つの辺ベクトルが必ず右手系を作るようにしなければならない。
- ZONE を構成する最初の BODY が RHP の場合: 格子の X_ℓ, Y_ℓ, Z_ℓ 方向が RHP の x, y, z 方向に対応する。
- ZONE を構成する最初の BODY が HEX の場合: 六角柱の軸ベクトル (BODY 形状データ 4~6 番目) が格子の Z_ℓ 方向に対応し、側面の 1 つの法線ベクトル (BODY 形状データ 8~10 番目) が格子の X_ℓ 方向に対応する。
- 棒が RCL の場合: 円柱の軸ベクトル (BODY 形状データ 4~6 番目) が格子の Z_ℓ 方向に対応し、軸回り回転方向ベクトル (BODY 形状データ 8~10 番目) が格子の X_ℓ 方向に対応する。

■ FREE-LATTICE-FRAME オプションを使用した場合:

確率論的幾何形状 (格子タイプ 10) を使用すると、自動的にこのオプションが有効になっている。

- FRAME ZONE の形状は任意である。ただし、BODY の組み合わせに、OR 演算子を使用することはできない。
- 格子タイプ 1 から 4 (四方/六方格子) では、FRAME ZONE 内にいずれの格子セルも存在しない部分が出てはならない。
- 格子タイプ 1 から 4 (四方/六方格子) では、FRAME ZONE を定義する BODY の中には「FREE-LATTICE-FRAME オプションを使用しない場合」で説明した格子棒 (LATTICE FRAME) と同じ大きさの形の BODY を含んでいなければならない。その BODY は、格子の配置のための「位置決め」に使われ、BODY タイプの他に、以下のいずれかの条件を満たしていなければならない。

(1) FRAME ZONE を定義する BODY のリストの最初に現れる。

(2) BODY ID の前に、文字列 “FRAME=” もしくは “F=” を伴っている。

(1) は FREE-LATTICE-FRAME オプションを使用しない場合と同様である。(2) の場合は、「その BODY が BODY のリストの先頭に現れなくてもよい」ということと「その BODY は位置決めのみ使用され、ZONE 形状の定義自体には使用されない」という 2 つの意味を持っている。後者の性質は、FRAME ZONE を任意のものにした場合に有効で、位置決めを使う BODY がその FRAME ZONE の境界の構成に一切関与しなくなってしまう場合があり、その場合には ZONE の定義からその BODY を除くことでランダムウォークでの幾何形状処理を効率よく行える可能性がある。

10.5 セルの定義

格子形状に入れるセルの定義は、ZONE データの部分で、セルに含まれない ZONE のデータをすべて指定した後に、セル毎に #CELL と #END CELL で囲まれた行に入力する。“#END CELL” は省略可能である。

```
#CELL ID(cell-ID) TYPE(cell-type)  
セルに含まれる ZONE の定義  
#END CELL
```

- *cell-ID*: セルの ID 番号。格子データの KLATT で指定するのはこの番号である。
- *cell-type*: セルのタイプを表す文字列
 - BOX: タイプ 1 (直方体セル)
 - HEXA: タイプ 2 (六角柱セル)
 - STGP: タイプ 3 (確率論的幾何形状モデルに使用する球形セル)
 - MBASE: タイプ 5 (確率論的幾何形状モデルに使用する媒質用仮想セル)

10.5.1 セルに含まれる ZONE の定義

セルに含まれる ZONE の定義は、通常の ZONE の定義と同様に行われる。但し、以下の規則に従わねばならない。

- (1) セルに含まれる最初の入力 ZONE は、セル内部全体を取り囲むように定義する。(セルの外側境界を定義するための仮想的 ZONE)。この ZONE を構成する最初の BODY は以下のものでなければならない。
 - 直方体セル (セルタイプ BOX): RPP (BOX は不可)
 - 六角柱セル (セルタイプ HEXA): RHP (HEX は不可)
 - 球形セル (セルタイプ STGP): SPH
 - 仮想セル (セルタイプ MBASE): 任意

セルに属する他の ZONE はすべてこの BODY の内部に定義しなければならない。確率論的幾何形状モデルの定義に使用する MBASE タイプのセルについては、実際には「形状」データは意味がなく無視される。

- (2) セルを囲む仮想的入力 ZONE の物質番号は“-999”とする。

10.6 格子形状の入力例

この節では、格子形状に対するいくつかの複雑な入力例を示す。以下の例では、入力データを理解しやすくするために余計な形状の入力は省かれており、現実的な体系にはなっていない。これらの幾何形状データを入力する前に CROSS SECTION データブロックでいくつかの物質データを定義しなければならない。

例 1 は図 10.22 に示すように、格子の中にピッチの異なる別の格子を含む体系に対する入力例である。

例 1:


```

$GEOMETRY
* ----- GEOMETRY PARAMETERS -----
*   P1 : LATTICE PITICH, HT : ASSEMBLY HEIGHT,
*   P2 : LATTICE PITICH,
*   K1 : CELL (PIN) NUMBER IN X & Y DIRECTIONS
*   K2 : CELL (PIN) NUMBER IN X & Y DIRECTIONS
*   C1,D1 : INNER & OUTER RADIUS OF CLADS FOR FUEL PINS.
*   C2,D2 : INNER & OUTER RADIUS OF CLADS FOR FUEL PINS.
*
% K1 = 11, P1 = 1.829, WH1 = K1*P1
% L1 = 5,          WL1 = L1*P1
% K2 = 7, P2 = 1.220, WH2 = K2*P2
% HT = 44.46
% C1 = 0.625 , C2 = 0.48 , D1 = 0.7085, D2 = 0.5865
% WB = WH1/2+10.0
* ----- LATTICE DEFINITION -----
IDLAT(100)
  LTYPE(1) NVLAT(<K1> <K1> 1) SZLAT( <P1> <P1> <HT> )
  KLATT( 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1
         1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1
         1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1
         1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1
         1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1
         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 )
  KSLAT( <K1*K1>(000) )
IDLAT(200)
  LTYPE(1) NVLAT(<K2> <K2> 1) SZLAT( <P2> <P2> <HT> )
  KLATT( 2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2
         2 2 2 2 2 2 2 )
  KSLAT( <K2*K2>(000) )
END
* ----- BODY DEFINITION -----
RPP( 10000 <-WH1/2> <WH1/2> <-WH1/2> <WH1/2> 0.0 <HT> )
RPP( 20000 <-WL1/2> <WL1/2> <-WL1/2> <WL1/2> 0.0 <HT> )
RPP( 30000 <-WH2/2> <WH2/2> <-WH2/2> <WH2/2> 0.0 <HT> )
RPP( 40000 <-WB> <WB> <-WB> <WB> 0.0 <HT> )
RPP( 1111 <-P1/2> <P1/2> <-P1/2> <P1/2> 0.0 <HT> )
RPP( 2222 <-P2/2> <P2/2> <-P2/2> <P2/2> 0.0 <HT> )
RCC( 1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <C1> )
RCC( 11 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <D1> )
RCC( 2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <C2> )
RCC( 22 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <D2> )
END
* ----- ZONE DEFINITION -----

```

```

ETV : : -1000 : -40000
REF : REFLECTOR : 6 : 40000 -10000
LAT1 : LATTICE1 : -100 : 10000 -20000
WG : WATERGAP : 3 : 20000 -30000
LAT2 : LATTICE2 : -200 : 30000
* ----- CELL DEFINITION -----
#CELL ID(1) TYPE(BOX) /* CELL
C11 : : -999 : -1111
C12 : MODERATOR : 6 : 1111 -11
C13 : CLAD1 : 5 : 11 -1
C14 : FUEL1 : 4 : 1
#END CELL
#CELL ID(2) TYPE(BOX) /* CELL
C21 : : -999 : -2222
C22 : MODERATOR : 3 : 2222 -22
C23 : CLAD2 : 2 : 22 -2
C24 : FUEL2 : 1 : 2
#END CELL
$END GEOMETRY

```

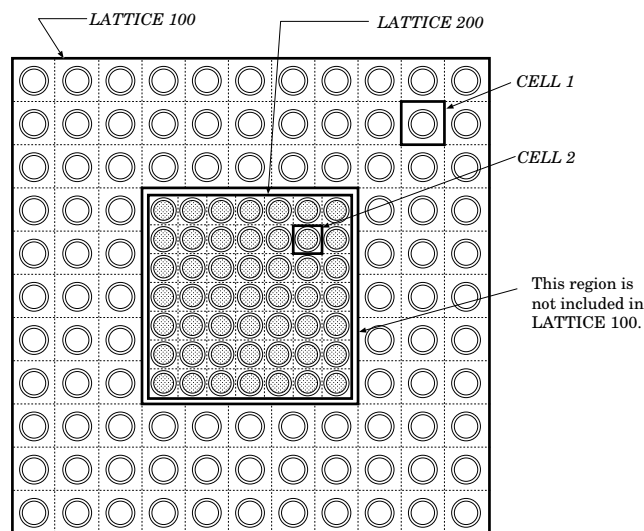


図 10.22 四方格子の中に異なるピッチの別の四方格子が含まれている入力例

- この例では FREE-LATTICE-FRAME オプションは必要ないが、LATTICE オプションを指定しておく必要がある。
- LATTICE 100 は、IDLAT(100) の行から KSLAT(<K1*K1>(000)) の行で定義されている。LATTICE 100 は四方格子であるが、KLATT データで 25 個の 0 が指定されているので、中央の 5×5 個の SUBFRAME はこの格子には含まれない。
- LATTICE 100 は次の行
LAT1 : LATTICE1 : -100 : 10000 -20000

で指定されるように BODY 10000 に配置される。しかし、BODY 20000 によって中央の 5×5 の SUBFRAME の領域は、格子から除外されている。

- 除外された領域 (LATTICE 100 の中央 5 × 5 個の SUBFRAME) は以下の行によって定義される。

```
WG : WATERGAP : 3 : 20000 -30000
LAT2 : LATTICE2 : -200 : 30000
```

この領域では別の格子 (LATTICE 200) は BODY 30000 に配置され、LATTICE 200 の外の領域は物質 3 で満たされる。

例 2 は、図 10.23 に示すように、FREE-LATTICE-FRAME オプションを用いた四方格子の入力例である。この例では、大きな棒 (ウォーターロッド) が燃料ピンの規則配列の中心に位置している。もし、この体系を FREE-LATTICE-FRAME オプションを用いずに例 1 と同様に定義すると、入力データは複雑になるが、FREE-LATTICE-FRAME オプションを用いれば以下のように簡単に入力することができる。

例 2:

```
$GEOMETRY
* ----- LATTICE DEFINITION -----
% NC = 4
% PCH = 1.26206 /* PCH : PITCH OF UNIT PIN CELL
% HT = 1000 /* HT: HEIGHT OF FUEL ASSEMBLY
IDLAT(100)
  LTYP(1) NVLAT(<NC> <NC> 1) SZLAT( <PCH> <PCH> <HT> )
  KLATT( 1 1 1 1
        1 1 1 1
        1 1 1 1
        1 1 1 1 )
  KSLAT( <NC*NC>(000) )
END
* ----- BODY DEFINITION -----
% RF0 = 0.39306 /* RF0 : OUTER RADIUS OF FUEL PELLET
% RF1 = 0.45802 /* RF1 : OUTER RADIUS OF Zr clad
% WAH = PCH*NC/2
RPP( 1000 <-WAH> <WAH> <-WAH> <WAH> 0.0 <HT> )
RPP( 100 <-PCH/2> <PCH/2> <-PCH/2> <PCH/2> 0.0 <HT> )
RCC( 200 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <RF0> )
RCC( 300 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <RF1> )
RCC( 10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> 1.30 )
RCC( 20 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> 1.45 )
END
* ----- ZONE DEFINITION -----
OUTW : : -2000 : -1000
LAT : ASSEMBLY : -100 : 1000 -20
WRODC : WRODCCLAD : 11 : 20 -10
WROD : WROD : 12 : 10
* ----- CELL DEFINITION -----
#CELL ID(1) TYPE(BOX)
C10 : : -999 : -100
C11 : MODERATOR : 12 : 100 -300
```

```

C12   : CLADDING   :      11 :   300 -200
C13   : FUEL       :       3 :    200
#END CELL
$END GEOMETRY

```

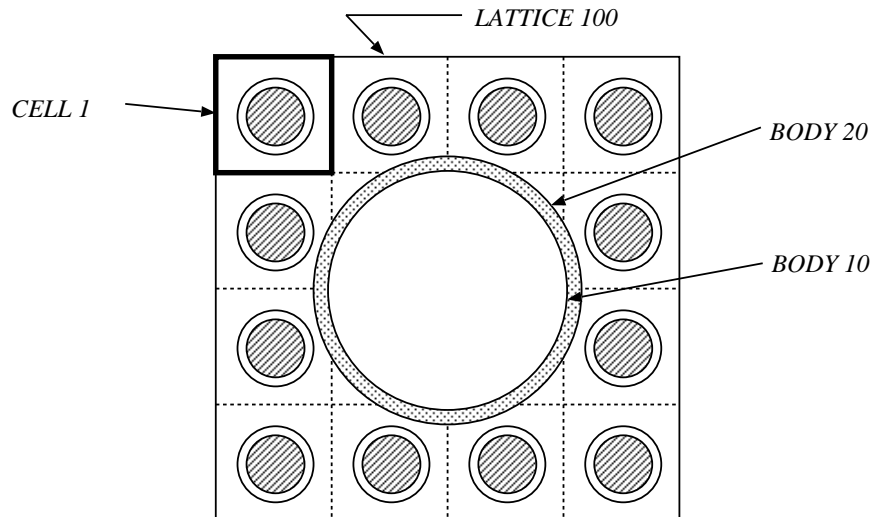


図 10.23 FREE-LATTICE-FRAME を用いた四方格子の入力例

- FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しなければならない。
- LATTICE 100 は IDLAT(100) の行から KSLAT(<NC*NC>(000)) の行で定義されている。LATTICE 100 は 4 個の SUBFRAME で構成され、それらはすべて CELL 1 で満たされている。
- LATTICE 100 は以下の行

```
LAT : ASSEMBLY : -100 : 1000 -20
```

により、BODY 1000 に配置されるが、中央の大きな棒の領域は BODY 20 によって除外されている。

- 中央の棒の領域は以下の行によって定義されている。

```
WRODC : WRODC LAD : 11 : 20 -10
```

```
WROD : WROD : 12 : 10
```

例 3 は、図 10.24 に示すように、六方格子の中に異なるピッチの別の六方格子が含まれている入力例である。もし、この体系を例 1 のように FREE-LATTICE-FRAME オプションを使わずに定義すると、入力データは非常に複雑になるが、FREE-LATTICE-FRAME オプションを使えば以下のように簡単に入力することができる。

例 3:

```

$GEOMETRY
% HT = 100.0
% P1 = 0.787, DH1 = 17.0*P1/SQRT(3)
% C1 = 0.27, D1 = 0.33124
% P2 = 0.4, DH2 = 4*P1
% C2 = 0.14, D2 = 0.18
* ----- LATTICE DEFINITION -----
IDLAT(100)
  LTYP(2) NVLAT( 13 13 1 )
  SZLAT( <P1> 0.0 <HT> )
  SZHEX( 0.0 0.0 <DH1> <HT> 0.0 )
  RCELL( 7 7 )
  KLATT(
    2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0
    2 1 1 1 1 1 1 2 0 0 0 0 0
    2 1 1 1 1 1 1 1 2 0 0 0 0
    2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 0 0 0
    2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 0 0
    2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 0
    2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2
    0 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2
    0 0 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2
    0 0 0 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2
    0 0 0 0 2 1 1 1 1 1 1 1 2
    0 0 0 0 0 2 1 1 1 1 1 1 2
    0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 )
  KSLAT( <13*13>(0) )
IDLAT(200)
  LTYP(2) NVLAT( 11 11 1 )
  SZLAT( <P2> 0.0 <HT> )
  SZHEX( 0.0 0.0 <DH2> <HT> 0.0 )
  RCELL( 6 6 )
  KLATT(
    4 4 4 4 4 4 0 0 0 0 0
    4 3 3 3 3 3 4 0 0 0 0
    4 3 3 3 3 3 3 4 0 0 0
    4 3 3 3 3 3 3 3 4 0 0
    4 3 3 3 3 3 3 3 3 4 0
    4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4
    0 4 3 3 3 3 3 3 3 3 4
    0 0 4 3 3 3 3 3 3 3 4
    0 0 0 4 3 3 3 3 3 3 4
    0 0 0 0 4 3 3 3 3 3 4
    0 0 0 0 0 4 4 4 4 4 4 )
  KSLAT( <11*11>(0) )
END
* ----- BODY DEFINITION -----
* ... OUTER LATTICE FRAME
RHP( 10000 0.0 0.0 0.0 <HT> <DH1> )
* ... INNER LATTICE FRAME
RHP( 5000 0.0 0.0 0.0 <HT> <DH2> )
* ... PINS FOR LATTICE 100
RHP( 100 0.0 0.0 0.0 <HT> <P1> )
RCC( 110 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <C1> )

```

```

RCC( 120 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <D1> )
* ... PINS FOR LATTICE 200
RHP( 200 0.0 0.0 0.0 <HT> <P2> )
RCC( 210 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <C2> )
RCC( 220 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <D2> )
END
* ----- ZONE DEFINITION -----
REF : : -2000 : -10000
LAT1 : LATTICE1 : -100 : 10000 -5000
LAT2 : LATTICE2 : -200 : 5000
* ----- CELL DEFINITION -----
#CELL ID(1) TYPE(HEXA) /* FUEL
C11 : : -999 : -100
C12 : COOLANT : 3 : 100 -120
C13 : SUS : 2 : 120 -110
C14 : FUEL : 1 : 110
#END CELL
#CELL ID(2) TYPE(HEXA) /* SODIUM
C21 : : -999 : -100
C22 : COOLANT : 3 : 100
#END CELL
#CELL ID(3) TYPE(HEXA) /* FUEL
C31 : : -999 : -200
C32 : COOLANT : 3 : 200 -220
C33 : SUS : 2 : 220 -210
C34 : FUEL : 1 : 210
#END CELL
#CELL ID(4) TYPE(HEXA) /* SODIUM
C41 : : -999 : -200
C42 : COOLANT : 3 : 200
#END CELL
$END GEOMETRY

```

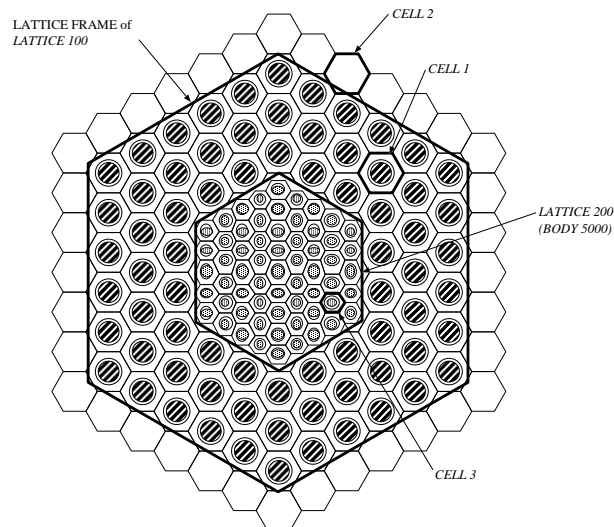


図 10.24 六方格子の中に異なるピッチの別の六方格子が含まれている入力例

- FREE-LATTICE-FRAME オプションを指定しなければならない。
- LATTICE 100 は IDLAT(100) の行から KSLAT(<13*13>(000)) の行で定義されている。格子は 13×13 の SUBFRAME で構成され、中心から 3 層と一番外側の第 7 層は CELL 1 で満たされており、その間の SUBFRAME は CELL 2 で満たされている。その他の SUBFRAME は、この格子には属していない。格子枠は SZHEX で定義されており、格子の幅と高さはそれぞれ、DH1(=0.33124) と HT(=100.0) である。
- LATTICE 100 は以下の行

```
LAT1 : LATTICE1 : -100 : 10000 -5000
```

により BODY 10000 に配置されるが、中心の六角柱の領域は BODY 5000 によって除外される。格子枠と BODY 10000 の形と大きさは一致していることに注意。
- 中心の六角柱の領域は以下の行により定義される。

```
LAT2 : LATTICE2 : -200 : 5000
```

LATTICE 200 は BODY 5000 に配置される。
- LATTICE 200 は IDLAT(200) の行から KSLAT(<11*11>(000)) の行で定義される。格子は 6 層の SUBFRAME(11×11 の SUBFRAME の中心部分) を含み、中心から 5 層と一番外側の層はそれぞれ CELL 3 と CELL 4 で満たされる。一番外側の層は LATTICE 200 の内側の周辺部を埋め尽くすために使われている。

10.7 同一の格子セルの ZONE を区別したタリーの取り方

格子形状を用いると繰り返しのある形状を少量の形状入力データで簡単に表現できるが、異なる SUBFRAME に配置された同一のセルの ZONE は同じ REGION 名を持つため、タリーは全て一括して取られることになる。TALLY-LATTICE または FRAME-DEPENDENT-TALLY オプションを用いれば、同一セルで表現される領域に対して別々にタリーを取ることができる。このオプションは、例えば、同じ燃料ピンセルからなる燃料集合体の中のピン出力分布を計算するのに役に立つ。

10.7.1 FRAME ZONE の名前付け

FRAME ZONE の“REGION 名”は TALLY-LATTICE オプション(または FRAME-DEPENDENT-TALLY オプション、以下省略)を指定しないときには意味を持たないが、TALLY-LATTICE オプションを用いたときには「“FRAME ZONE”の名前」となる。

10.7.2 SUBFRAME の名前付け

TALLY-LATTICE オプションに用いるときは、各 FRAME ZONE の後に SUBFRAME に、名前を付けるためのデータを、以下の例のように入力する。

```
#SUBFRAME
  NAMES( S1 S2 S3 M4 )
  SPACE( 1 1 1 1 4 2 2 2 2
         1 1 1 1 4 2 3 3 2
         1 1 1 1 4 2 3 3 2
```

```

1 1 1 1 4 2 2 2 2
4 4 4 4 4 4 4 4 4
2 2 2 2 4 1 1 1 1
2 3 3 2 4 1 1 1 1
2 3 3 2 4 1 1 1 1
2 2 2 2 4 1 1 1 1 )
#END SUBFRAME

```

“#SUBFRAME” と “#END SUBFRAME” で挟まれた次の 2 種類のデータを入力する。

- NAMES(...)

SUBFRAME 名のリスト。実際の SUBFRAME 名の入力は、このリストに現れる順序番号で行う。各 SUBFRAME 名は 12 文字以内の英数字からなる任意の文字列。この入力が省略された場合は、次の SPACE データの数字がそのまま SUBFRAME 名となる。

- SPACE(...)

各格子セル位置毎の SUBFRAME 名を NAMES リスト内での順序番号で指定する。入力順序は格子データ中の KLATT の順序と同じである。格子に含まれない SUBFRAME(KLATT=0) に対しては、SPACE=0 としなければならない。

この機能を使った場合、特定の空間領域の REGION 名は、以下のように FRAME ZONE 名と、SUBFRAME 名に ZONE 入力で指定した REGION 名を付加したものとなる。

!FRAME ZONE 名:SUBFRAME 名[!FRAME ZONE 名:SUBFRAME 名!...]!ZONE 入力
での REGION 名

[] 内は格子セルの中に格子形状があるような二重以上の入れ子になった格子形状の場合に使われる。

SUBFRAME 名の入力には、格子データにおける CELLIDS, CELLSYMS, CKLATT と類似した、以下の形式も使用することができる。

```

#SUBFRAME
  NAMES( S1 S2 S3 M4 )
  CNAMES ( A B C M )
  CSPACE( AAAA M BBBB
           AAAA M BCCB
           AAAA M BCCB
           AAAA M BBBB

           MMMM M MMMM

           BBBB M AAAA
           BCCB M AAAA
           BCCB M AAAA
           BBBB M AAAA )
#END SUBFRAME

```

- CNAMES

1 つ以上のブランクで区切られた文字のリスト。重複があってはならない。NAMES で指定した SUBFRAME 名のリストと同数の文字を指定する。それぞれの文字が NAMES で指定した SUBFRAME 名を表すシンボルとして一対一に対応する。使用可能な文字はアルファベットの大文字/小文字、数字、各種記号 (但し、括弧、引用符記号、“/” 及び “*” を除く) である。

- CSPACE

CNAMES で指定した一文字シンボルを利用した SUBFRAME 名の指定。入力順序の規則は SPACE と同じである。ブランク、改行文字及びコメント行/コメント文字列は意味を持たず無視される。

10.8 確率論的幾何形状モデルの入力データ

確率論的幾何形状モデルで表現される空間領域を「STGM 領域」、その領域に確率的に配置される球状の粒子を「STG 粒子」と呼ぶ。確率論的幾何形状モデルを使用するためには、入力データで以下の指定を行う。

- 格子形状を使用する (LATTICE オプション)。
- STGM 領域は格子形状のタイプ 10(LTYPE = 10) として指定する。この格子は、STG 粒子を表すセルと STGM 領域の媒質 (STGM 領域中の STG 粒子以外の部分 = マトリックス) を表すセルの 2 種類のセルで構成する。
- STG 粒子は、セルタイプ “STGP” として定義する。
- STGM 領域の媒質は、セルタイプ “MBASE” として定義する。このセルは、マトリックスの媒質と REGION を指定するための仮想的なセルである。

10.8.1 STGM 領域の定義

幾何形状データブロックの格子形状入力は、BODY データ入力の前に、格子 ID、格子タイプ、サイズや内容を指定することで行われる。STGM 領域も同様に行うが、他の格子形状と共通する入力は格子 ID(IDLAT) と格子タイプ (LTYP) だけで、これら以外は STGM 領域固有のデータを入力する。格子としての STGM 領域は任意個数定義可能である。また、1 つの STGM 領域に、1 つのマトリックス物質と最大 8 種類の同一サイズの STG 粒子セルを配置することができる。

```
IDLAT( lattice-ID )          /* 格子 ID
LTYP( 10 )                    /* 格子領域タイプ = 10
PF( packing-fraction )      /* 体積充填率
MBASE( cell-ID-of-matrix )  /* マトリック領域のセル ID
CELL( CELL-ID-of-STG-particle-1 CELL-ID-of-STG-particle-2 ... )
                                /* STG 粒子の格子セル ID
PCELL( fraction-of-STG-particle-1 CELL-ID-of-STG-particle-2 ... )
                                /* STG 粒子の割合
[ WNND1( NND1-mesh-relative-to-STG-diameter )
                                /* NND1 を定義する距離メッシュ幅 (STG 直径相対値)
FNND1( NND1 ... )
                                /* NND1 の累積分布関数値
WNND2( NND2-mesh-relative-to-STG-diameter )
                                /* NND2 を定義する距離メッシュ幅 (STG 直径相対値)
```

FNND2 (*NND2 ...*)
 /* NND2 の累積分布関数値
 WNND3 (*NND3-mesh-relative-to-STG-diameter*)
 /* NND3 を定義する距離メッシュ幅 (STG 直径相対値)
 FNND3 (*NND3 ...*)
 /* NND3 の累積分布関数値]
 [COPYNND (*STGM-region-ID-whose-NND-is-copied*)
 /* 他の STGM 領域の NND をコピーして使用する]

(1) IDLAT

格子形状としての STGM 領域の ID 番号。任意の正の整数。

(2) LTYP

STGM 領域の格子形状タイプであり、10 を指定する。

(3) PF

STGM 領域での STG 粒子の体積充填率。 $0 < PF < 1$ 。

(4) MBASE

STG 粒子が分散される媒質部分を指定するセル ID。このタイプのセルは TYPE(MBASE) で指定し、2 つの ZONE を含む。セル内の最初に定義される ZONE の物質 ID は通常のセルと同様に -999 で、2 番目の ZONE の物質が媒質部分の物質となる。このタイプのセルに含まれる ZONE の形状は任意であり、粒子トラッキングでは形状情報は無視される。

(5) CELL

配置される STG 粒子のセル ID。最大 8 個までの CELL ID を指定することができるが、STG 粒子の大きさ (半径) は同じでなければならない。

(6) PCELL

複数種類の STG 粒子の相対割合 (相対充填率)。総和はコード内で 1 に規格化される。STG 粒子が 1 種類の場合は PCELL を入力する必要はない。

(7) WNND1、FNND1、WNND2、FNND2、WNND3、FNND3

最近接粒子分布 (Nearest Neighbor Distribution, NND) は、MCRDF コード [53] が出力する以下の 3 種類の分布を利用することが出来る。

- NND1: STG 粒子からマトリックス領域に出た粒子に対する NND。
- NND2: マトリックス内で散乱した粒子に対する NND。
- NND3: STGM 領域に境界から入った粒子に対する NND。

NND は STG 粒子の直径の相対値で測った距離で等間隔に与えられる。WNND1、WNND2、WNND3 は各 NND の定義される距離間隔である。FNND1、FNND2、FNND3 は各 NND の分布関数値で、距離 0 のメッシュからの積算確率分布として与える。

各 NND のデータのいずれかもしくはすべてを指定しない場合には、その NND に対しては統計的一様分布に基づく解析的最近接分布関数 $F(r)$ (積算確率) が適用される。この分布関数は次のように表される。

$$\frac{dF(r)}{dr} = \frac{3}{2} \cdot \frac{f_p}{1-f_p} \exp\left(-\frac{3}{2} \cdot \frac{f_p}{1-f_p} r\right)$$

ここで、 r は STG 粒子直径に対する相対距離、 f_p は STG 粒子の体積充填率である。

(8) COPYNND

FNND1、FNND2 及び FNND3 の値はこのデータで指定した格子 ID の STGM 領域のものをコピーする。データがコピーされる格子 (STGM 領域) は、COPYNND を指定する STGM 領域より入力データ内では前に定義されていなければならない。

10.8.2 STGM 領域の空間内への配置

四方格子、六方格子では格子を実空間内に配置する場合、配置する ZONE の物質 ID に対して、格子 ID を示すものとして、 $-1 \times$ 格子 ID、“LAT= 格子 ID”、または“L= 格子 ID”を指定した。STGM 領域を配置する場合も同様に、配置する ZONE の物質 ID として、STGM 領域の「格子 ID」を負にしたもの、“LAT= 格子 ID”、または“L= 格子 ID”を指定する。STGM 領域が他の格子形状と異なる点は、以下の通りである。

- (1) STGM 領域を配置する ZONE(FRAME ZONE) の形状は (常に) 任意である。
- (2) 同じ格子 ID をもつ STGM 領域を、複数の異なる形状を持つ ZONE に配置することができる。
- (3) TALLY-LATTICE オプション時には、通常の格子形状を配置する ZONE と同様に、#SUBFRAME ブロックのデータを与える。ただし、SUBFRAME の数は STG 粒子セルの数 (N)+1 であり、1~N 番目が CELL で指定した順に STG 粒子セルに対応する SUBFRAME 名、(N+1) 番目がマトリックス領域の SUBFRAME 名となる。

STGM 領域の ZONE 定義の例:

```

/** Lattice definition section
  *** STG region as lattice 200
  IDLAT(200) LTYP(10) PF(0.3) MBASE(1027) CELL(123)

  ....

  /** Zone definition section
  STG1: STG1 : -200 : 1 -2 -3 4 /* FRMAE ZONE(1) for
                                /* STG region with -200

  #SUBFRAME
  /** Specify subframe names in TALLY-LATTICE mode

```

```

      NAMES( STG MATRIX )    SPACE( 1 2 )
#END SUBFRAME

STG2: STG2 : -200 : 1234 -345 -678 /* FRAME ZONE(2) for
                                     /* STG region with -200

#SUBFRAME
      NAMES( STG MATRIX )    SPACE( 1 2 )
#END SUBFRAME

```

10.8.3 STG 粒子セルの定義

STG 粒子は格子セルの一種 (STGP セル) として、他のセルと同様に ZONE 入力セクションの #CELL、#END CELL で囲まれたブロックで指定する。STG 粒子セルは、セルタイプ “STGP” を指定し (TYPE(STGP))、セルの最初の ZONE(セルの外部境界を定め、物質 ID が -999) の形状定義に BODY SPH(球) を使用する。

STG 粒子セルの例:

```

      SPH( 111  0 0 0 <R> ) /*** a spherical body
      ....

#CELL ID(123) TYPE( STGP )
      :      : -999 : -111
LAYER1: L1 : <MAT1> : 111 -112
LAYER2: L2 : <MAT2> : 112 -113
LAYER3: L3 : <MAT3> : 113
#END CELL

```

10.8.4 STG 領域媒質 (マトリックス) のためのダミーセル

STG 粒子が分散される媒質部分の物質と REGION 名を指定するために、ダミーのセルを指定する。セルタイプ TYPE は “MBASE” で指定され、2つの ZONE を含む。セル内の最初に定義される ZONE の物質 ID は通常のセルと同様に -999 で、2 番目の ZONE の物質 ID で媒質部分の物質を指定する。2 番目の ZONE の REGION 名が媒質部分の REGION 名となる。

このタイプのセルに含まれる ZONE の形状は任意であり、粒子トラッキングでは形状情報は無視される。

STG 媒質を定義するセルの例:

```

      RPP( 1000  0 1 0 1 0 1 ) /*** arbitrary body for dummy CELL
      ....

#CELL ID(1027) TYPE( MBASE )
      :      :      : -999 : -1000

```

```

MATRIX : MTX : <MATRIX> : 1000
#END CELL

```

10.8.5 複数のSTG粒子の入力例

この節では、確率論的幾何形状モデルを用いた複数のSTG粒子に対する入力例を示す。この例は図 10.25 に示されるようなペブルベッド炉を想定している。炉心は2種類のペブル(燃料ペブルと減速材ペブル)で構成されており、燃料ペブルはたくさんの被覆粒子燃料を含んでいる。

ペブルベッド炉の例:

```

$GEOMETRY
% HT = 1000.0
% RRR = 90.0
***** LATTICE DATA *****
IDLAT(1) /* CFP region in a pebble bed
  LTYP(10) PF( 0.05 ) MBASE( 1 ) CELL( 2 )
IDLAT(10) /* mixture (fuel & dummy pebble) region
  LTYP(10) PF( 0.61 ) MBASE( 10 ) CELL( 11 12 ) PCELL( 0.57 0.43 )
END
***** BODY DATA *****
CYL( 100 0. 0. 0. <HT> <RRR> )
SPH( 102 0. 0. 0. 2.5 ) /* pebble bed (fuel zone)
SPH( 101 0. 0. 0. 3.0 ) /* pebble bed
SPH( 15 0. 0. 0. 0.0455 )
SPH( 14 0. 0. 0. 0.0415 )
SPH( 13 0. 0. 0. 0.038 )
SPH( 12 0. 0. 0. 0.034 )
SPH( 11 0. 0. 0. 0.025 )
END
***** ZONE definition *****
OUTV : : -3000 : -100
CORE : MIXTURE : -10 : 100
#SUBFRAME
NAMES( FUEL DUMMY MATRIX ) SPACE( 1 2 3 )
#END SUBFRAME
#CELL ID(1) TYPE(MBASE) /* matrix
C11 : : -999 : -102
MATRIX : MATRIX : 306 : 102
#END CELL
#CELL ID(2) TYPE(STGP) /* CFP
C11 : : -999 : -15
C12 : OPYC : 305 : 15 -14
C13 : SIC : 304 : 14 -13
C14 : IPYC : 303 : 13 -12
C15 : BUFFER : 302 : 12 -11
C16 : FUEL : 301 : 11
#END CELL
#CELL ID(10) TYPE(MBASE) /* helium
C11 : : -999 : -100
MATRIX : HELIUM : 203 : 100
#END CELL
#CELL ID(11) TYPE(STGP) /* fuel pebble bed

```

```

C11      :           :    -999 : -101
SHELL    : SHELL     :      306 : 101 -102
CFP      : CFP       :       -1 : 102
#SUBFRAME
  NAMES( FUEL MATRIX ) SPACE( 1 2 )
#END SUBFRAME
#END CELL
#CELL ID(12) TYPE(STGP) /* dummy pebble bed
  C11      :           :    -999 : -101
  C12      : DUMMY     :      202 : 101
#END CELL
$END GEOMETRY

```

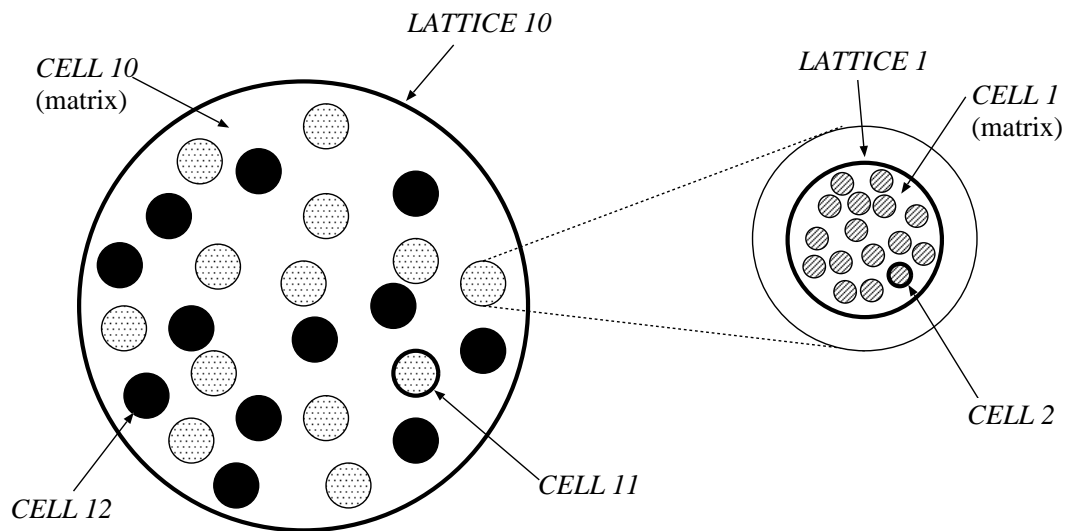


図 10.25 複数種類の STG 粒子を含んだ例

- LATTICE 1 は被覆粒子燃料 (CFP) を含んでいる燃料ペブルを定義している。LTYP が 10 であるので、LATTICE 1 については確率論的幾何形状モデルが用いられる。STG 粒子 (CFP) は CELL 2 で定義され、マトリックス領域は CELL 1 で定義される。STG 粒子の充填率は 5% である。NND1 ~ NND3 に対しては解析的最近接粒子分布が用いられる。
- LATTICE 10 は 2 種類のペブル (燃料ペブルと減速材ペブル) を含んだ炉心を定義している。これも確率論的幾何形状モデルの格子であり、CELL 11 で表現される STG 粒子と CELL 12 で表現される STG 粒子が 57% と 47% の割合で、CELL 10 で表現されるマトリックス中にランダムに分布している。STG 粒子の充填率 (CELL 11 と CELL 12 の混合粒子) は 61% である。NND1 ~ NND3 に対しては解析的最近接粒子分布が用いられる。
- 炉心に対する ZONE は以下の行で定義される。

```
CORE : MIXTURE : -10 : 100
```

LATTICE 10 が BODY 100 に配置される。SUBFRAME 名がこの格子に対して定義されており、CELL 11, CELL 12, CELL 10 に対する SUBFRAME 名はそれぞれ、FUEL, DUMMY, MATRIX である。

- CELL 1 と CELL 2 はそれぞれ、燃料ペブル中のマトリックスと CFP を定義している。
- CELL 10 は炉心のマトリックスを定義している。CELL 11 と CELL 12 はそれぞれ、燃料ペブルと減速材ペブルを定義している。CELL 11 は確率論的幾何形状モデルで表現された LATTICE 1 を含んでいる。

10.9 TALLY REGION の定義

TALLY REGION は、タリー (統計) を取るための空間的な領域であり、1 つまたは複数の REGION の組合せとして指定することができる。この機能により、REGION ごとの統計値と他の REGION と組み合わせたタリーを同時に得ることができる。このセクションのデータが与えられない場合には、すべての REGION がそれ自身で TALLY-REGION となる。入力形式は次のように、GEOMETRY データブロックの最後に “#TALLY REGION” で始まる行以下に指定する。

```
#TALLY REGION
definition-mode @Tally-Region-Name ( list-of-regions )
...
...
(必要なだけ繰り返し)
$END GEOMETRY
```

- (1) 幾何形状データブロックの最後に “#TALLY REGION” で始まる TALLY-REGION 指定データを置く。
- (2) 指定モードは次の 2 通りである。
 - ADD
次に続く REGION 名リストで指定された REGION を合わせた領域を新たに TALLY-REGION として追加する。この場合には REGION 名リストに載っている個々の REGION のタリーも計算される。
 - DEFINE
TALLY-REGION を新たに、REGION 名リストで指定された REGION の和として定義する。この場合はリスト内の各 REGION 自身は TALLY-REGION にはならない。このモードは必要最小限の TALLY REGION を再定義する場合に有用である。
- (3) 指定モードが省略された場合は直前の TALLY-REGION 入力の指定モードと見なされる。1 つもモード指定がなされていない時は ADD モードと解釈される。
- (4) ここで定義される TALLY-REGION 名は先頭が “@” で始まる 12 文字以内の文字列で、“!”、“:” 等の特殊文字を含んではならない。
- (5) このブロックで指定された TALLY-REGION は、REGION 名の先頭に “@” を持つ REGION として通常の REGION と区別され、プリントアウト等において通常の REGION の前に定義した順序で出力される。

- (6) 1つの REGION を複数の異なる TALLY-REGION に属させることができる。
- (7) REGION 名リストは REGION 名の階層的表現 (p. 73) によって定義されていなければならない。

Example:

```
$GEOMETRY
* ----- LATTICE DEFINITION -----
% NC = 3
% PCH = 1.26206 /* PCH : PITCH OF UNIT PIN CELL
% HT = 1000 /* HT: HEIGHT OF FUEL ASSEMBLY
IDLAT(100)
  LTYP(1) NVLAT(<NC> <NC> 1) SZLAT( <PCH> <PCH> <HT> )
  KLATT( 1 1 1
        1 1 1
        1 1 1 )
  KSLAT( <NC*NC>(000) )
END
* ----- BODY DEFINITION -----
% RF0 = 0.39306 /* RF0 : OUTER RADIUS OF FUEL PELLET
% RF1 = 0.45802 /* RF1 : OUTER RADIUS OF Zr clad
% WAH = PCH*NC/2
RPP( 1000 <-WAH> <WAH> <-WAH> <WAH> 0.0 <HT> )
RPP( 100 <-PCH/2> <PCH/2> <-PCH/2> <PCH/2> 0.0 <HT> )
RCC( 200 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <RF0> )
RCC( 300 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 <HT> <RF1> )
END
* ----- ZONE DEFINITION -----
OUTW : : -2000 : -1000
LAT : ASSEMBLY : -100 : 1000
#SUBFRAME
NAMES( PIN01 PIN02 PIN03
       PIN04 PIN05 PIN06
       PIN07 PIN08 PIN09 )
SPACE( 1 2 3
       4 5 6
       7 8 9 )
#END SUBFRAME
* ----- CELL DEFINITION -----
#CELL ID(1) TYPE(BOX)
C10 : : -999 : -100
C11 : MODERATOR : 12 : 100 -300
C12 : CLADDING : 11 : 300 -200
C13 : FUEL : 3 : 200
#END CELL
#TALLY REGION
DEFINE @PIN01( !ASSEMBLY:PIN01!FUEL ) /* fuel region in PIN01
DEFINE @PIN02( !ASSEMBLY:PIN02!FUEL ) /* fuel region in PIN02
DEFINE @PIN03( !ASSEMBLY:PIN03!FUEL ) /* fuel region in PIN03
DEFINE @PIN04( !ASSEMBLY:PIN04!FUEL ) /* fuel region in PIN04
DEFINE @PIN05( !ASSEMBLY:PIN05!FUEL ) /* fuel region in PIN05
DEFINE @PIN06( !ASSEMBLY:PIN06!FUEL ) /* fuel region in PIN06
DEFINE @PIN07( !ASSEMBLY:PIN07!FUEL ) /* fuel region in PIN07
```



```
DEFINE @PIN08( !ASSEMBLY:PIN08!FUEL ) /* fuel region in PIN08
DEFINE @PIN09( !ASSEMBLY:PIN09!FUEL ) /* fuel region in PIN09
DEFINE @ALLCELL( !ASSEMBLY:*!* )
$END GEOMETRY
```

11. 線源データの入力

11.1 線源入力データの一般的規則

11.1.1 SOURCE データブロック

入力データ中での以下のような形式のデータブロックで線源情報を入力する。

```
$SOURCE
全線源に共通のオプションまたはデータ
&
第 1 の線源の情報
&
第 2 の線源の情報
&
...
$END SOURCE
```

- ここで、“\$” および “&” は入力行の 1 桁目に置くものとし、“&” から次の “&” または “\$END” が現れるまでをひとまとまりの線源情報とし、「線源セット」と呼ぶことにする。
- このブロックを置く位置は幾何形状データブロック及び断面積/物質組成データブロックの後が望ましい。これらのデータブロックで定義されたシンボリックパラメータを SOURCE データブロックで用いることができる。
- 従来の形式の線源指定データを含む入力データも利用できる（コード内で旧形式の入力データを新形式に変換して処理される）。但し、新しい形式の線源データと従来の形式の線源が混在することはできない。
- 全線源に共通のデータとしては次の 2 つのみであるが、これらのデータは通常、省略値でよい。

NWORK(n): 各線源セットの入力処理に必要な作業領域の大きさを n ワードとする。NWORK の入力を省略した場合は NWORK = 4,096 となる。

MXREJ(n): ACCEPT、END-ACCEPT による棄却回数の最大値を n 回とする。MXREJ の入力を省略した場合は MXREJ = 300 となる。

11.1.2 線源セット

各線源セットに対しては以下のようなデータを入力する。

```

& [NEUTRON or PHOTON]
[ID( 線源情報 ID )]
RATIO( 線源強度比 )

@パラメータ名 = サンプルング情報;

@(パラメータ名 [パラメータ名 ... ] )= サンプルング情報;

ACCEPT [;]
    @パラメータ名 = サンプルング情報;
    WHEN サンプルング結果の受け入れ条件 ;
END-ACCEPT [;]

```

ここで、

(1) NEUTRON または PHOTON:

発生する粒子の種類 (単一種類粒子問題では省略可能)。

(2) ID:

線源セットに ID 番号 (正の整数) を付加する場合に指定する。指定しない場合には SOURCE データブロックに現れた順番の数字が使用される。複数の線源セットに同一の ID 番号がつけられても構わない。粒子が発生した線源セットによってタリーを区別するように指定する際の線源セット ID として使用される。

(3) RATIO:

複数の線源セットがある場合のそれぞれの発生割合。全粒子セットの合計が 1 になるように規格化された値を入力する必要は無い。

(4) @parameter-name = sampling-information ;

この行は、線源粒子のパラメータ (位置、エネルギー等) のサンプルング方法を指定する。これ以降、この行を“サンプルング指定行”と呼ぶことにする。

サンプルングする線源パラメータを表 11.1 に示す。サンプルングする線源パラメータの単位は空間変数 (X,Y,Z) が cm、エネルギーが eV、時間が秒で、そのほかは無次元である。いくつかのパラメータについてはサンプルング情報の指定を省略することができる。その場合の解釈については表 11.2 に示す。

これらの変数以外に作業変数として英字ではじまる 8 文字以内の変数名を用いることができる。但し先頭の 4 文字が WHEN または SAVE の変数名はコードが内部的に使用するので指定してはならない。

一つの「サンプルング情報」から一つのパラメータをサンプルするとき

```
@パラメータ名 = サンプルング情報;
```

表 11.1 線源サンプリングパラメータ

パラメータ名	コメント	単位
X	x 方向の線源位置	cm
Y	y 方向の線源位置	cm
Z	z 方向の線源位置	cm
A	線源方向 (x 方向の方向余弦)	
B	線源方向 (y 方向の方向余弦)	
C	線源方向 (z 方向の方向余弦)	
E または G	エネルギー またはエネルギー群	eV
T	時刻	s
W	重み	

表 11.2 サンプリングを指定されなかったパラメータのデフォルト値

パラメータ	デフォルト
X,Y および Z	デフォルト値はない。必ずサンプリングを指定する。
A,B および C	等方的とする。ただし A,B,C いずれかのうち 1 または 2 パラメータしかサンプリングしていない場合は エラーとして実行を停止する。
E または G	デフォルト値はない。必ずサンプリングを指定する。
T	0 秒
W	1.0

のように指定し、複数のパラメータを組み合わせでサンプルする時は

@(パラメータ名 [パラメータ名 ...]) = サンプリング情報;

のように指定する。パラメータはどのように組み合わせてもよい。

11.2 サンプリング情報の表現

各パラメータに対する「サンプリング情報」は以下のような指示から成立つ。

- パラメータサンプリングの方法

値;
式;
サンプリングまたはデータ加工指示関数;

- サンプリングしたデータの加工

データ加工指示関数；

- サンプルングされたパラメータ値の取捨選択 (棄却法サンプルング)

11.3 値または式

「値」は数値定数であり、式では MVP/GMVP のシンボリックパラメータ及び“@”を先頭に付加した線源パラメータ名または作業変数名を利用でき、また MVP/GMVP の自由形式入力が許す数値関数、演算子を全て利用できる。シンボリックパラメータを引用する場合、入力データの他の部分と異なり、< > で囲んでも囲まなくてもよい。線源パラメータまたは変数を参照する場合参照されるものに対するサンプルング情報はすでに与えられている必要がある。

例：

```
@E = 1.4E+7 ;  
  
% X0 = 10.0  
  
@X = X0 ;  
@Y = <X0/2> ;  
@Z = SQRT(3*X0 - @X**2 - @Y**2) ;
```

11.4 関数を用いたサンプルング

一つまたは複数のパラメータに対する特定のサンプルング、または式では表現が難しい特殊なデータの加工を指示する。形式は

#関数名 (データ) ;

または

#関数名 データ名 (データ) [データ名 (データ) ...] ;

関数名の先頭には必ず“#”が必要である。これがない場合、通常の式または数値関数と見なされ、入力エラーになる可能性がある。

サンプルング関数の応用例として円筒状の線源を与える場合を考えてみる。 z 座標に垂直な円筒状の線源であれば

- (x, y) 座標を円（または円環）上に発生させる指定
- z 座標を円筒の高さ範囲内に分布させて発生

の2つを独立に行えばよい。例えば、円筒の中心軸が $(0,0)$ を通り、半径が $R1 < r < R2$ で高さの範囲が $Z1 < z < Z2$ である場合の線源指定は次のようになる。

```

$SOURCE
& NEUTRON      RATIO(1.0)
  @( X Y ) = #DISC( <R1> <R2> );
  @Z = #UNIFORM( <Z1> <Z2> );
  @E = #MAXWELL(1.4727E6);
$END SOURCE

```

線源粒子の x 及び y 座標を円盤上にサンプリングするために “#DISC” 関数を使用している。

#DISC: 円盤内一様分布

<入力形式>

```
@( parameter1 parameter2 ) = #DISC( r1 r2 [angle1 angle2] );
```

この関数は二次元空間内の円盤 (半径 $r1 < r < r2$) 上に一様に分布する点をサンプリングする。 $angle1, angle2$ を指定した場合、($parameter1, parameter2$ を (x, y) 空間内のベクトルとしたときのベクトルと x 軸の成す角度 θ は $angle1 < \theta < angle2$ に限定される (角度の単位は度 (degree) であり、反時計回りに定義する)。

#UNIFORM 関数は 2 つの数値の間の数値を一様な確率でサンプリングする関数である。

#UNIFORM: 2 つの値の間の一様分布

<入力形式>

```
@parameter = #UNIFORM( bound1 bound2 );
```

2 つの値 $bound1, bound2$ の間の値を一様な確率でサンプリングする。 $bound1, bound2$ の大小順序は規定しない。

エネルギーのサンプリングは #MAXWELL 関数を使用している。

#MAXWELL: マクスウェル分布

<入力形式>

```
@parameter = #MAXWELL( T );
```

マクスウェル分布を持つ速度の大きさの二乗あるいは運動エネルギーをサンプリングする ($T > 0$)。

$$P\{x|0 < x < \infty\} \propto \sqrt{x}e^{-\frac{x}{T}}$$

角度方向余弦 (A,B,C) は指定されていないのでデフォルトの分布である等方向分布になる。

半径の範囲を厚み 0 ($R1=R2$) にしたい場合でもこのデータでよいが、この場合

```
@( X Y ) = #CIRCLE( <R1> );
```

としても構わない。

線源の軸が (0,0) 上ではなく (X0,Y0) を通る軸上にあるようにしたい場合は、一旦サンプリングした座標を動かすような指示をすればよい。

```

$SOURCE
& NEUTRON      RATIO(1.0)

```

```

@ ( X Y ) = #DISC ( <R1> <R2> );
@X = @X + <X0>;
@Y = @Y + <Y0>;
@Z = #UNIFORM ( <Z1> <Z2> );
@E = #MAXWELL ( 1.4727E6 );
$END SOURCE

```

現在使用できる関数の一覧を表 11.3 及び表 11.4 に示す。

表 11.3 線源サンプリングを行うための関数

関数名	機能	左辺パラメータ数
#TABLE	データ点と関数値の組合せでサンプリング	1
#TABLEXY	依存関係のある 2 パラメータの確率分布	2
#UNIFORM	2 つの値の間の一様分布	1
#COSINE	余弦分布	1
#WATT	ワット型核分裂中性子スペクトル	1
#GAUSS	ガウス分布	1
#MAXWELL	マクスウェル分布	1
#EVAPORATION	蒸発スペクトル	1
#POWER	冪乗分布	1
#FISSION	核分裂スペクトル	2
#DISC	円盤内一様分布	2
#CIRCLE	円周上の一様分布	2
#SPHERE	球内の一様分布	3
#ISOTROPIC	等方的三次元ベクトル	3
#FISSIONFILE	他の計算で出力した中性子源ファイル	7 or 8
#FEYNMAN	自発核分裂源に対する時刻のサンプリング	4
#TYPE _n	旧版の線源機能	6 or 7
#USER _n	使用者が定義するサンプリング関数	任意

表 11.4 線源パラメータの加工を行うための関数

関数名	機能	左辺パラメータ数
#SWAP	2 パラメータの値入れ替え	2
#ROTATE2D	二次元ベクトルの回転	2
#ROTATE3D	三次元ベクトルの回転	3
#RESIZE	三次元ベクトルの長さを調節	3
#NEWAXIS	三次元ベクトルの座標変換	3
#NORMALIZE	サンプルパラメータの総和の規格化	1

11.5 サンプル関数

#TABLE

■ 機能 ■

テーブル形式で表現された 1 パラメータの確率分布からのサンプリング。

■ 形式 ■

```
@parameter = #TABLE X( data-points ) PDX or PX( probabilities ) [ INT( interpolation-  
method ) ] ;
```

■ 解説 ■

- PDX(あるいはPX) は X に対する確率を与えるデータである。PDX(あるいはPX) が規格化されている必要はない。PDX は、補間法が STEP あるいは LINEAR の場合は単位 X 当りの確率密度、LOG-LINEAR あるいは LOG-STEP の場合は $\log X$ (X の自然対数) 当りの確率密度を与える。補間法が DISCRETE の場合には、PDX と PX に差異はない。PX は確率そのものであるが、補間法が LINEAR あるいは LOG-LINEAR の場合には曖昧さがあるので、一般的には PDX の使用が推奨される。 X については、昇順あるいは降順の何れか (等号は許される) でなければならない。また、 X , PDX(あるいはPX) および INT の出現順序は任意である。
- 「確率補間法」は、PDX(あるいはPX) が X の各データ点に関してどのような確率を意味するかを示す文字列データ (ブランクを含まない) で以下の 5 種類のいずれか一つを指定できる。

STEP DISCRETE LINEAR LOG-STEP LOG-LINEAR

(a) STEP:

サンプリングされる値を x とするとき、 $X(i) < x < X(i+1)$ になる相対的な確率が各 i に対して $PDX(i) \times |X(i+1) - X(i)|$ (あるいは $PX(i)$) であり、 $X(i)$ から $X(i+1)$ までの x の取りうる値の分布は一様である。

$< PDX(\text{あるいは } PX) \text{ の個数 } > = < X \text{ の個数 } - 1 >$ でなければならない。

INT(...) が指定されず、かつ $< PDX(\text{あるいは } PX) \text{ の個数 } > = < X \text{ の個数 } - 1 >$ であるとき補間法は STEP になる。

(b) DISCRETE:

$x = X(i)$ となる相対確率が $PDX(i)$ (あるいは $PX(i)$) である。

$< PDX(\text{あるいは } PX) \text{ の個数 } > = < X \text{ の個数 } >$ でなければならない。

INT(...) が指定されず、かつ $< PDX(\text{あるいは } PX) \text{ の個数 } > = < X \text{ の個数 } >$ であるとき補間法は DISCRETE になる。

(c) LINEAR:

サンプリングされる値を x とするとき $X(i) < x < X(i+1)$ になる相対的な確率が各 i に対して $(PDX(i) + PDX(i+1)) \times |X(i+1) - X(i)|$ (あるいは $PX(i) + PX(i+1)$) であり、 $X(i)$ から $X(i+1)$ までの x の取りうる値の分布は、 $PDX(i)$ と $PDX(i+1)$ (あるいは $PX(i)$ と $PX(i+1)$) を直線的 (linear-linear) に補間したものに比例する。すなわち、 $X(i) < x < X(i+1)$ のサンプリングでは PX は確率密度として扱われるが、 $X(i)$ が等間隔に取られている場合を除いて、 $PX(i)$ は確率密度ではないことに注意を要する。一般的には、 PDX の使用が推奨される。

$$P\{x|X(i) < x < X(i+1)\} \propto PDX(i) + \frac{x - X(i)}{X(i+1) - X(i)} (PDX(i+1) - PDX(i))$$

(PX の場合には、上式の PDX を PX に置き換える。)

$< PDX$ (あるいは PX) の個数 $> = < X$ の個数 $>$ でなければならない。

(d) LOG-STEP:

$\log(x)$ を STEP と同様な方法でサンプリングし、 $e^{\log(x)}$ で x を求める。ただし、 $X(i) < x < X(i+1)$ になる相対的な確率は、各 i に対して $PDX(i) \times |\log(X(i+1)) - \log(X(i))|$ (あるいは $PX(i)$) である。

$< PDX$ (あるいは PX) の個数 $> = < X$ の個数 $- 1 >$ でなければならない。

(e) LOG-LINEAR:

$\log(x)$ を LINEAR と同様な方法でサンプリングし、 $e^{\log(x)}$ で x を求める。ただし、 $X(i) < x < X(i+1)$ になる相対的な確率は、各 i に対して $(PDX(i) + PDX(i+1)) \times |\log(X(i+1)) - \log(X(i))|$ (あるいは $PX(i) + PX(i+1)$) である。

$< PDX$ (あるいは PX) の個数 $> = < X$ の個数 $>$ でなければならない。

例:

```
@X = #TABLE  X(0.0 1.0)  PDX(1.0);
@T = #TABLE  INT(DISCRETE) X(0.0 1.0E-3)  PDX(2 1);
@E = #TABLE  X(1.0E-5 10.0)  PDX(1.0 0.0)  INT(LOG-LINEAR);
```

#TABLEXY

■ 機能 ■

依存関係のある 2 パラメータの分布関数。二次元のサンプリングデータ点と確率を離散的に与えて 2 変数を同時にサンプリングする。

$$P(x, y) = P(x)P(y|x)$$

まず、 $P(x) \rightarrow x$ で x (第 1 パラメータ) をサンプリングし、次に $P(y|x) \rightarrow y$ で y (第 2 パラメータ) をサンプリングする。

■ 形式 ■

```
@(parameter1 parameter2 ) = #TABLEXY
    [INTX( x-interpolation-method )]
    X( x-data-points ) PDX( x-probabilities )
    [ INTY( y-interpolation-method ) ]
    Y( y-data-points ) PDY( y-probabilities )
    [ INTY( y-interpolation-method ) ]
    Y( y-data-points ) PDY( y-probabilities )
    ...
;
```

まず、 x に対するデータを#TABLE関数の場合と同様に指定する。確率補間法の指定はINTではなくINTXとする。次に y のサンプリング情報Y、PDY(あるいはPY。PDYとPYを同時に与えると入力エラーとなる。異なる x に対してはこの限りではない。)および(必要ならば)INTYの組を各 x に対して(INTX(DISCRETE)の場合)あるいは引き続く2つの x の対に対して(INTX(DISCRETE)以外の場合)与える。各 x または y に対する確率補間法の指定は、#TABLEの場合と同様である。また、 y に関する確率補間法INTYの指定は一旦与えると、次のINTYが現れるまで有効である。

■ 使用例 ■

軸に対する方向余弦と回転角を与えた分布からの方向ベクトルサンプリング。

```
@(A PHAI)= #TABLEXY  INTX(LINEAR)
    X(-1 -0.5 0.0 0.6 1.0)
    PDX(0.1 0.2 0.1 0.8 0.5)
    Y(0.0 1.0)          PY(1.0)
    Y(0.0 0.5 1.0) PDY(0.2 0.8)
    Y(0.0 1.0)          PDY(1.0)
    Y(0.0 0.6 1.0) PY(1.0 2.0);

% PAI2=2*ACOS(-1)
@C = SQRT(1.0-@A**2);
@B = @C*COS(PAI2*@PHAI);
@C = @C*SIN(PAI2*@PHAI);
```

ここで、@PHAIは作業変数である。また、Yの内挿法は指定されていないので、この場合には、すべての x の区間に対して、PDYあるはPYのデータ数がYのデータ数-1となっているので、すべてSTEPと解される。

#UNIFORM

■ 機能 ■

2つの値の間の一様分布

■ 形式 ■

@parameter = #UNIFORM(bound1 bound2) ;

二つの値 *bound1*, *bound2* の間の値を一様な確率でサンプリングする。*bound1*, *bound2* の大小順序は規定しない。

#COSINE

■ 機能 ■

余弦分布からのサンプリング。

■ 形式 ■

@parameter = #COSINE(bound1 bound2) ;

二つの値 *bound1*, *bound2* の間の値を次の式で表わされる余弦分布でサンプリング。*bound1*, *bound2* の大小順序は規定しない。

■ 確率分布 ■

$$P\{x|a < x < b\} \propto \cos\left(\pi \frac{x-a}{b-a} - \frac{\pi}{2}\right)$$

ただし、 $a = \min(\text{bound1}, \text{bound2})$, $b = \max(\text{bound1}, \text{bound2})$ である。

#WATT

■ 機能 ■

ワット型核分裂中性子スペクトル (Watt's fission spectrum) からのサンプリング。

■ 形式 ■

@parameter = #WATT(a b) ;

2つの正の値 a, b をパラメータとするワット型核分裂中性子スペクトル形式の分布からサンプリング。

■ 確率分布 ■

$$P\{x|0 < x < \infty\} \propto \exp(-x/a) \sinh(\sqrt{bx})$$

#GAUSS

■ 機能 ■

ガウス分布 (正規分布) からのサンプリング。

■ 形式 ■

@parameter = #GAUSS(x0 sigma);

平均値 $\mu = x0$ 、標準偏差 $\sigma = sigma$ のガウス分布 (正規分布) からサンプリング。

■ 確率分布 ■

$$P\{x | -\infty < x < +\infty\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

#MAXWELL

■ 機能 ■

マクスウェル分布を持つ速度の大きさの二乗あるいは運動エネルギーをサンプリング ($T > 0$)。

■ 形式 ■

@parameter = #MAXWELL(T);

■ 確率分布 ■

$$P\{x | 0 < x < +\infty\} \propto \sqrt{x} \exp\left(-\frac{x}{T}\right)$$

■ 使用例 ■

Cf-252 を使用した中性子源。

@E = #MAXWELL(1.4727E6);

#EVAPORATION

■ 機能 ■

蒸発スペクトル形式の分布からサンプリング ($T > 0$)。

■ 形式 ■

@parameter = #EVAPORATION(T);

■ 確率分布 ■

$$P\{x | 0 < x < +\infty\} \propto x \cdot \exp\left(-\frac{x}{T}\right)$$

#POWER

■ 機能 ■

冪乗分布からサンプリング。

■ 形式 ■

@parameter = #POWER(*p bound1 bound2*) ;

指数が p の形式の冪乗分布から $bound1, bound2$ の間の値をサンプリング ($bound1 > 0, bound2 > 0$)。 $bound1, bound2$ の大小順序は規定しない。

■ 確率分布 ■

$$P\{x|a < x < b\} = \frac{(p+1)x^p}{b^{p+1} - a^{p+1}} \quad (p \neq -1)$$
$$P\{x|a < x < b\} = \frac{1}{\log(b/a)} \frac{1}{x} \quad (p = -1)$$

ただし、 $a = \min(bound1, bound2)$, $b = \max(bound1, bound2)$ である。

#FISSION

■ 機能 ■

指定された核種 (MVP) あるいは物質 (GMVP) の核分裂スペクトルを分布関数としてサンプリング。 MVP の場合、エネルギー値が、 GMVP の場合、中性子のエネルギー群番号がサンプリングされる。 固有値問題の開始バッチの中性子源を得るために使用することもできる。

■ 形式 ■

MVP の場合: @parameter = #FISSION(*nuclide-ID-pattern* [*E_{in}*]) ;

GMVP の場合: @parameter = #FISSION(*material-ID*) ;

MVP の場合 *nuclide-ID-pattern* は CROSS SECTION データブロックに現れた核分裂性核種の中性子断面積ライブラリの核種 ID にマッチするパターンである。 ワイルドカード文字 “*” 及び “?” を含むことができ、 CROSS SECTION データブロック に現れた順に照合していった最初マッチしたものが採用される。

任意温度中性子断面積ライブラリを使用した場合 (任意温度中性子断面積の利用 (p. 138)), MVP 内部での「核種 ID」は任意温度中性子断面積ライブラリに現れる核種 ID 文字列に温度を付加したものになる。 #FISSION に指定する「核種 ID」はこの意味での核種 ID である。 例えば、核種 ID が “U02350J40” のデータが温度 625 K で使用された場合、 MVP 内部での核種コードは “U02350J40625” のようになっているので、厳密にこの温度の核種による核分裂スペクトルを使用するならば “#FISSION(U02350J40625 0.0253)” のように使用しなければならない。 ただし、温度の違いによる核分裂スペクトルの差が問題にならないような場合であれば、核種 ID の「パターン」を使用して “#FISSION(U02350J40* 0.0253)” あるいは “#FISSION(U02350*

0.0253) ”のように指定して、最初にマッチした「核種」の核分裂スペクトルを使用するようにするだけで十分である。

E_{in} は核分裂を引き起こす中性子のエネルギー (eV) で省略可能である。

■ デフォルト ■

$E_{in} = 0.0253 \text{ eV}$

#DISC

■ 機能 ■

円盤内一様分布。二次元空間内の円盤 (半径 $r1 < r < r2$) 上に一様に分布する点をサンプリングする。

■ 形式 ■

@(*parameter1 parameter2*) = #DISC(*r1 r2 [angle1 angle2]*) ;

angle1, angle2 を指定した場合、(*parameter1, parameter2*) を (*x, y*) 空間内のベクトルとしたときのベクトルと *x* 軸の成す角度 θ は $angle1 < \theta < angle2$ に限定される (角度の単位は度 (degree) であり、反時計回りに定義する)。

■ 使用例 ■

```
/* 半径 10cm 高さ 100cm の円柱内一様分布
@Z = #TABLE X(0.0 100.0) PX(1) ;
@(X Y)= #DISC( 0 10.0 ) ;
```

#CIRCLE

■ 機能 ■

円周上の一様分布

■ 形式 ■

@(*parameter1 parameter2*) = #CIRCLE(*r [angle1 angle2]*) ;

二次元空間内の半径 r の円周上に一様に分布する点をサンプリングする。*angle1, angle2* を指定した場合、(*parameter1, parameter2*) を (*x, y*) 空間内のベクトルとしたときのベクトルと *x* 軸の成す角度 θ は $angle1 < \theta < angle2$ に限定される (角度の単位は度 (degree) であり、反時計回りに定義する)。

■ 使用例 ■

```
/* 二次元等方角度分布
@(A B)= CIRCLE(1) ;
```

#SPHERE

■ 機能 ■

球内の一様分布。

■ 形式 ■

```
@( parameter1 parameter2 parameter3 ) = #SPHERE( r1 r2 [ mu1 mu2 ] ) ;
```

三次元空間内の球 (半径 $r1 < r < r2$) 内に一様に分布する点もしくはベクトルをサンプリングする。 $mu1, mu2$ を指定した場合、 $(parameter1, parameter2, parameter3)$ を (x, y, z) 空間内のベクトルとしたときのベクトルと x 軸の成す角度 θ の余弦は $mu1 < \cos \theta < mu2$ に限定される。

■ 使用例 ■

```
/*   z 方向の  $0.8 > \cos \theta > 0.5$  の円錐内への等方角度分布
@(C A B)= #SPHERE( 1 1 0.5 0.8 ) ;
```

以下で述べられる#ISOTROPIC 関数は $r1 = r2 = 1$ の#SPHERE 関数と同じことをするものなので、次の例も同じサンプリングである。

```
@(C A B)= #ISOTROPIC( 0.5 0.8 ) ;
```

#ISOTROPIC

■ 機能 ■

等方的三次元単位ベクトルのサンプリング。

■ 形式 ■

```
@( parameter1 parameter2 parameter3 ) = #ISOTROPIC( [ mu1 mu2 ] ) ;
```

三次元空間内の等方的な単位ベクトルをサンプリングする (#SPHERE で $r1 = r2 = 1.0$ の場合と同等)。 $mu1, mu2$ を指定した場合、 $(parameter1, parameter2, parameter3)$ を (x, y, z) 空間内の単位ベクトルとしたときのベクトルと x 軸の成す角度 θ の余弦は $mu1 < \cos \theta < mu2$ に限定される。 $mu1, mu2$ を省略した場合でも括弧“()”は必要である。

■ 使用例 ■

```
@(C A B)= #ISOTROPIC( ) ;
```

#FISSIONFILE

■ 機能 ■

核分裂中性子源ファイルからのサンプリング。

核分裂中性子源ファイルは別の計算で SOURCE-OUTPUT オプション で出力されたものかあるいはその形式に作られたファイルである。ファイルの形式と内容については 16.8 節を参照。

■ 形式 ■

```
@( X Y Z A B C W [ E ] ) = #FISSIONFILE (
    [ FILE( "filename" ) ]
    [ IOUNIT( iounit ) ]
    [ NUSE( nuse ) ]
) ;
```

■ 解説 ■

- FILE(“filename”):

核分裂中性子ファイルはデフォルトでは I/O ユニット 8 上に指定されたファイルとなるがそれ以外のファイルを指定したいときにファイル名を指定する。

- IOUNIT(iounit):

核分裂中性子ファイルのデフォルトでは I/O ユニット 8 以外のファイルを使用する。ユニット 8 以外の I/O ユニットは MVP/GMVP が使用するかもしれないので、IOUNIT を使うことは推奨しない。

- NUSE(nuse):

核分裂中性子ファイルに含まれる粒子の情報のうち何個分までを使用するかを指定する。デフォルトではファイルに含まれるすべて粒子の情報を使用する。

このサンプリング形式には以下のような特徴および注意すべき点がある。

- サンプリングに際してはファイルに含まれる粒子がランダムに選ばれるのでファイルを出力した計算とそれを利用する計算のバッチサイズ (NHIST) 等が一致している必要はない。また GMVP が出力したファイルを MVP で利用すること、あるいはその逆も可能である（ただし、以下に記述する制限がある）。
- “@(X Y Z A B C W E) = #FISSIONFILE(...);” の形でのエネルギーのサンプリングは GMVP コードでは行えず、エネルギーサンプリングを行わない “@(X Y Z A B C W) = #FISSIONFILE(...);” の形で使用する。また、MVP コードでもこの関数でエネルギーのサンプリングが可能であるためには、ファイルが MVP によって出力されたものである必要があり、さらにファイルを出力した MVP の計算で使用された核分裂性核種が、このファイルを入力する計算で使用されていない場合エラーとなる可能性がある。
- 粒子の位置は格子形状であっても絶対座標で保存され、またサンプリングされるので形状が厳密に同一ではない体系の出力も利用できる。
- 粒子の発生方向は等方的にサンプリングされる。

- 粒子重み W をサンプリングされる変数に入れる必要があるのは入力データ $WGTF$ が全領域／エネルギー群で同一でない計算を行なった場合、位置のサンプリングだけでは偏った分布になる可能性があるためである。粒子重みは平均が 1 になるように規格化される。
- サンプリングに最低限必要な情報は空間位置のみであるので MVP ／ $GMVP$ に限らず他のプログラムによるデータも形式を変換すれば利用可能である。

#FEYNMAN

■ 機能 ■

自発核分裂源から複数の中性子が発生したときの時刻をサンプリングする。

■ 形式 ■

```
@T = #FEYNMAN ( t1 t2  $\bar{\nu}$   $\sigma$  ) ;
```

1 自発核分裂当たりの発生数を平均値 $\bar{\nu}$ 、標準偏差 σ の Terrell の分布 (Eq.(4.48)) から決定する。核分裂中性子の発生時刻はすべて同じであり、 $t_1 \leq t \leq t_2$ の一様分布からサンプリングした t とする。

■ 使用例 ■

Cf-252 自発核分裂源に対して時刻 0.0 秒と 0.01 秒の間の発生時刻をサンプリングする。

```
@T = #FEYNMAN ( 0.0 0.01 3.86 1.21 ) ;
```

#TYPEn

■ 機能 ■

旧版の線源タイプ ($n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9$)[3] を模擬する。旧版では 7 つの線源タイプがあり、それぞれの空間分布、エネルギー分布等を別々の入力データとして入力するようになっていた（データ名：KSOUR（線源タイプ）、PSPAC（空間、角度分布等）、PENRG（エネルギー分布））。このサンプリング関数はこれらのうち PSPAC であたえられる空間、角度分布を表現するためのものである。

旧版用に作られた入力データの線源関係の入力は MVP/GMVP コード内で新しい形式に変換されるが、そのためにこのサンプリング関数が用意されている。旧形式の入力は互換性を保つために残されているもので、今後、旧形式での入力は勧めない。

■ 形式 ■

```
/* **** 点線源、等方角度分布
@ ( X Y Z A B C ) = #TYPE1 ( x0 y0 z0 ) ;
/* **** 点線源、単一方向角度分布
@ ( X Y Z A B C ) = #TYPE2 ( x0 y0 z0 mu eta xi ) ;
/* **** 矩形内一様分布、等方角度分布
@ ( X Y Z A B C ) = #TYPE3 ( xmin xmax ymin ymax zmin zmax ) ;
/* **** 球内一様分布、等方角度分布
```

```
@(X Y Z A B C) = #TYPE4( x0 y0 z0 r ) ;
/***** 円盤内一様分布、円盤に垂直な単一方向角度分布
@(X Y Z A B C) = #TYPE5( x0 y0 z0 r mu eta xi ) ;
/***** 長方形内一様分布、長方形に垂直な単一方向角度分布
@(X Y Z A B C) = #TYPE6( x0 y0 z0 ax ay az b mu eta xi ) ;
/***** (d,t) 中性子線源
@(X Y Z A B C E) =
#TYPE9( x0 y0 z0 xr xdirec th1 fa1 pu1 ) ;
```

サンプリング指定において左辺のパラメータ名は原則として上記のとおりとする。つまり最初の3つの左辺パラメータが空間座標を、次の3つの左辺パラメータが方向余弦を、そして#TYPE9における7番目の左辺パラメータがエネルギーを表わす(GMVPでもエネルギーをサンプリングする)。但し、このサンプリングの後にさらにデータを加工する等の目的で一時的作業変数を使用する、あるいは空間パラメータの順序を通常と異なったものにする等の使用法も可能である。

また、#TYPE1, #TYPE2, #TYPE3, #TYPE4, #TYPE5 および #TYPE6 ではエネルギーまたはエネルギー群のサンプリングの指定はできない。但し、旧形式の線源入力データ(NSOUR、SOUR、KSOUR...)をMVP/GMVPが自動的に新形式に変換する場合にはエネルギーサンプリングはPENRG、IFISM等より自動的に追加される。

#USERn

■ 機能 ■

ユーザーが定義するサンプリング関数。ここまでに述べたサンプリング機能あるいは後述のデータ加工機能で表現できないようなサンプリングを行いたい場合に使用する。実際にサンプリングを行うサブルーチンをコードが規定する形に利用者が独自に作成し組み込むことで利用できるようになる。入力データの左辺のパラメータの指定法や右辺の入力データの解釈等はユーザーに任されており、入力においてコードは#USERnの括弧内のデータを任意の個数の倍精度浮動小数点データに変換するだけである。

■ 形式 ■

```
@( parameter1 parameter2 ... ) = #USERn( ... ) ;
```

#USERnのnは、ユーザー定義サンプリング関数の何番を使用するかを表わす($n > 0$)。ユーザーが作成すべきサブルーチンは以下のような形式である。

```
subroutine usrsrc( type, ns, irand,
& data, ndata, rwk, iwk,
& x, y, z, a, b, c, e, t, w,
& ierr )
c==<MVP/GMVP>=====
c purpose: generation of source particle from user supplied source.
c
c << this is a skeleton of user supplied source routine >>
c
c Users can add sampling statements to this routine.
c Examples are shown in subroutine SYSSRC.
```

```

c
c-----
c
c << arguments >>
c
c   (usage symbol: i=input, o=output, io=input & output, w=work )
c
c   i   type   : user supplied source type (character string as 'USER1')
c   i   ns     : source particles to be generated
c   io  irand  : seed of random number (INTEGER)
c   i   data   : input data to specify users source property (REAL*8)
c   i   ndata  : number of effective data elements stored in 'data' array
c   w   rwk    : working array of type REAL dimensioned as rwk(ns,4)
c   w   iwk    : working array of type INTEGER dimensioned as iwk(ns,4)
c                 Rwk and iwk occupies identical memory area , so users
c                 should take care in using them.
c
c Users must give values for all or part of the following parameters.
c
c   Beware that users cannot specify kind of generated particles as
c   neutron, photon etc., and cannot give energy group #'s directly in
c   multigroup calculation.
c
c   o   x,y,z   : source position (unit: cm)
c   o   a,b,c   : direction cosines  (a**2 + b**2 + c**2 = 1.0)
c   o   e       : energy (unit: eV)
c   o   t       : time (unit: second)
c   o   w       : particle weight (ordinary = 1.0 without biasing)
c
c Users must set and return an error code as follows;
c
c   o   ierr    : .eq. 0   if sampling succeeded.
c                 .ne. 0   if any sampling errors occurred.
c
c << Random number generation >>
c
c   Use of 'RANU2' routine is recommended to keep consistency with
c   other parts of the code.
c
c       call ranu2( irand, r, n, icode )
c
c           irand : seed of random number (renewed after each call)
c           r      : array of type REAL to save random number(s)
c           n      : number of random numbers generated
c           icode  : error code
c
c=====
c
c       character*(*) type
c
c       ... user supplied data as input ....
c
c           real*8  data(ndata)
c
c       ... parameters to be sampled ....
c
c           real*8  x(ns), y(ns), z(ns), a(ns), b(ns), c(ns)
c           real*8  e(ns), t(ns), w(ns)
c
c       ... working area  ( length 4*nr ) ...
c
c           Rwk and iwk starts from the same address!!
c
c           real      rwk(ns,4)

```


(parameter1, parameter2) を (x, y) 空間内のベクトルとしたときこれを反時計方向に theta 度回転する。

■ 変換式 ■

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta$$

#ROTATE3D

■ 機能 ■

三次元ベクトルの回転。

■ 形式 ■

@(parameter1 parameter2 parameter3) = #ROTATE3D(theta ax ay az) ;

$\mathbf{X} = (\text{parameter1}, \text{parameter2}, \text{parameter3})$ 及び $\mathbf{A} = (ax, ay, az)$ を (x, y, z) 空間内のベクトルとしたとき、 \mathbf{A} を軸として反時計方向に $\theta = \text{theta}$ 度回転する。

■ 変換式 ■

$$\mathbf{P} = \mathbf{X} - (\mathbf{AX})\mathbf{A}$$

$$\mathbf{P}' = \mathbf{P} \cos \theta + \mathbf{A} \times \mathbf{P} \sin \theta$$

$$\mathbf{X}' = (\mathbf{AX})\mathbf{A} + \mathbf{P}'$$

(\times はベクトル積)

但し、ベクトル \mathbf{A} はコード内で単位ベクトルに規格化される。

#RESIZE

■ 機能 ■

三次元ベクトルの長さを変える。

■ 形式 ■

@(parameter1 parameter2 parameter3) = #RESIZE(a) ;

三次元ベクトル $(x, y, z) = (\text{parameter1}, \text{parameter2}, \text{parameter3})$ の長さ (ユークリッド・ノルム) が a になるようにする。

■ 変換式 ■

$$\begin{aligned}x' &= ax/\sqrt{x^2+y^2+z^2} \\y' &= ay/\sqrt{x^2+y^2+z^2} \\z' &= az/\sqrt{x^2+y^2+z^2}\end{aligned}$$

#NEWAXIS

■ 機能 ■

三次元ベクトルの座標変換

■ 形式 ■

@(*parameter1 parameter2 parameter3*) = #NEWAXIS(*ax ay az bx by bz*);

三次元ベクトル $(x, y, z) = (\text{parameter1}, \text{parameter2}, \text{parameter3})$ がベクトル $\mathbf{A} = (ax, ay, az)$ 、ベクトル $\mathbf{B} = (bx, by, bz)$ 、ベクトル $\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B} / |\mathbf{A} \times \mathbf{B}|$ で構成される座標系で定義されているとする。このベクトルを以下の変換式に従って、通常直交座標系に変換する。

■ 変換式 ■

$$(x', y', z') = x\mathbf{A} + y\mathbf{B} + z\mathbf{C}$$

ここで、 \mathbf{C} は \mathbf{A}, \mathbf{B} に垂直な単位ベクトルで

$$\mathbf{C} = \frac{\mathbf{A} \times \mathbf{B}}{|\mathbf{A} \times \mathbf{B}|}$$

で計算される。

\mathbf{A}, \mathbf{B} が単位ベクトルでなく、また互いに垂直でない場合も警告は出力されるが、計算は上記の通りに行う。

■ 使用例 ■

```
/* 方向余弦 (1/2, -1/2, sqrt(1/2)) を中心とする角度 45° の円錐内の
/* 一様角度分布
@(A B C) = #ISOTROPIC(<COSD(45)> 1.0);
@(A B C) = #NEWAXIS(0.5 -0.5 <SQRT(0.5)>
                    <SQRT(0.5)> <SQRT(0.5)> 0);
```

$(\sqrt{1/2}, \sqrt{1/2}, 0)$ は、 $(1/2, -1/2, \sqrt{1/2})$ に垂直な単位ベクトルである。

#NORMALIZE

■ 機能 ■

サンプルパラメータの総和の規格化。

■ 形式 ■

```
@parameter = #NORMALIZE( [ a ] );
```

サンプリングされた値の総和が a になるように規格化を行う。ただし、 $a = 0$ あるいは a が省略された場合サンプリングされた粒子数の合計に総和が等しくなるように規格化する。これは線源重み W を 1 でないようにサンプリングしたものに対して全体の重みを調節する場合等に使用できる。

■ 使用例 ■

```
/* ** バイアスしたサンプリングを重みで補正する。
@X = #TABLE INT(LINEAR) X(<X0=0.0> <X1=1.0>)
    PDX(<P0=1.0> <P1=0.1>);

/* ** 重みを 1/P (@X) にすることで @X は一様分布をバイアスしたものとなる。
@W = 1/(P0 + (@X-X0)/(X1-X0)*(P1-P0));

/* ** 重みの総和がサンプルされた粒子数に等しくなるように規格化する。
@W = #NORMALIZE();
```

11.7 サンプリングされた値の選別

一旦サンプリングされた 1 つまたは複数のパラメータ（サンプル）に対して、それまたはそれらが特定の条件を満足する場合だけ線源粒子パラメータとして採用する操作を行うことができる。この操作を採用されたサンプルの数の総和が特定の数（通常はその線源セットからサンプリングしようとする粒子の総数）になるまで繰り返す。

11.7.1 ACCEPT と END-ACCEPT

このような操作は以下のように入力する。

```
ACCEPT [ ; ]
    サンプリング指定行-1;
    サンプリング指定行-2;
    ...
    WHEN 採用条件-1;
    WHEN 採用条件-2;
    ...
END-ACCEPT [ ; ]
```

サンプリング指定行-1、サンプリング指定行-2、... は条件を満たしたサンプルの総和が規定の数になるまで繰り返されるサンプリング操作であり、前項までに述べた全てのサンプリングまたはデータ加工操作を指定することができる。WHEN 採用条件-1、WHEN 採用条件-2、... はサンプルされたパラメータがこれらの条件を「全て」満たした時に採用する為の条件である。

「採用条件」はサンプリングされたパラメータで構成される式または特定の空間部分による受入れ/棄却の条件式である。また ACCEPT ... END-ACCEPT のブロック構造は2重以上の入れ子にすることもできる（最高4重まで）。

```
ACCEPT
  サンプリング指定行-1;
  サンプリング指定行-2;
  ...
ACCEPT
  サンプリング指定行-2.1;
  サンプリング指定行-2.2;
  ...
  WHEN 採用条件-2.1;
  WHEN 採用条件-2.2;
  ...
END-ACCEPT
  WHEN 採用条件-1;
  WHEN 採用条件-2;
  ...
END-ACCEPT
```

11.7.2 論理関数

式では、式を評価した結果が0でない場合に条件が成立し、0であった場合には条件がみたされなかったものとする。論理判断を行う表 11.5 のような論理関数を用いることができる。

例:

```
/* MVP ライブラリのエネルギー範囲内の線源のみ受入れ
ACCEPT
  @E = #WATT( 0.965E6 <1/2.29E6> );
  WHEN LT(@E, <%ETOP>);
END-ACCEPT
```

IF, AND 及び OR では、() 内の式は全て一旦評価されるので、0 による割り算等の評価不能な結果が得られる可能性のある式は指定するとエラーを起こす可能性がある。即ち、

```
IF(EQ(@X,@Y),@Z, @Z/(@Y-@X))
```

のような論理関数の使い方は危険である。

表 11.5 条件サンプリングのための論理関数

論理関数	返す値 (式 1... 等は式評価後の値)
AND(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1、式 2 ... が全て 0 でないとき 1、 それ以外では 0
OR(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1、式 2 ... のいずれかが 0 でないとき 1、 それ以外では 0
NOT(式)	式が 0 のとき 1 を、式が 0 でないときに 0
EQ(式 1, 式 2)	式 1 = 式 2 のとき 1、それ以外では 0
NE(式 1, 式 2)	式 1 ≠ 式 2 のとき 1、それ以外では 0
GT(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1 > 式 2 > 式 3 > ... のとき 1、 それ以外では 0
GE(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1 ≥ 式 2 ≥ 式 3 ≥ ... のとき 1、 それ以外では 0
LT(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1 < 式 2 < 式 3 < ... のとき 1、 それ以外では 0
LE(式 1, 式 2 [, 式 3...])	式 1 ≤ 式 2 ≤ 式 3 ≤ ... のとき 1、 それ以外では 0
IF(式 1, 式 2, 式 3)	式 1 が 0 でないとき式 2、 式 1 が 0 のとき式 3

11.7.3 特定の空間部分による受入れ/棄却

- 特定のボディに含まれる（含まれない）かどうか

WHEN [NOT-]IN-BODY(*body-ID*) ;

- 特定のゾーンに含まれる（含まれない）かどうか

WHEN [NOT-]IN-ZONE(*input-zone-name1 input-zone-name2 ...*) ;

複数の入力ゾーンが指定されている場合、サンプリングされた粒子がそれらの入力ゾーン全てに入っている場合に条件が成立する。

例:

/* 直方体領域にサンプルするがボディ1000に入るときだけ受入れ。

```
ACCEPT
  @X = #UNIFORM(0.0 10.0);
  @Y = #UNIFORM(0.0 20.0);
  @Z = #UNIFORM(0.0 50.0);
  WHEN IN-BODY(1000);
END-ACCEPT
```

11.8 重みの調節によるバイアスサンプリング

線源粒子の重みは特に指定しない限り 1.0 になる。しかしパラメータ **W** をサンプル（あるいは単一の値を設定）することにより複数の線源セットがある場合の線源セット単位でのバイアスサンプリングが行える。

例えば、次のような線源データがあったとする。

```
$SOURCE
&    /***   線源セット 1
%  RATIO=2
    RATIO(<RATIO>)
    @W = <1/RATIO> ;
    ...
&    /***   線源セット 2
    RATIO(1)
    ...
    @W = 1.0    /**   デフォルトの重み
$END SOURCE
```

この場合、セット 1 の発生粒子数の割合 **RATIO(2)** は線源セット 2 の割合 **RATIO(1)** の 2 倍であるが“@W = <1/RATIO>”により線源粒子の重みは 1/2 として発生されている。従って、確率的に見ると両方の線源セットからの線源全体への寄与は同じになる。このような方法により「バイアスされたサンプリング」が行われていることになる。

また、次のような使い方も考えられる。あるサンプルしにくい確率分布からサンプリングする必要が生じた場合、適当な分布（近似的に真の分布を表わす分布）によりサンプリングを行い、更にサンプリングされた値の関数として重みを与えることでバイアスされてはいるが確率的には正確なサンプリングを行うことができる。例えば、

```
&
    @X = #TABLE X(0.0 1.0) PDX(1.0); /** 適当な分布で X をサンプリング
    @W = < X に対する真の確率を与える式 >;
    @W = NORMALIZE(0)    /** 重みの平均が 1 になるように規格化
```

とすると <X に対する確率> が式で表現できれば $0 < X < 1$ のどのような分布でも表わせる（極端なバイアスがかからなければ）。一般には以下のように重みを設定する。

@W= <真の確率分布を与える式> / <サンプリングに使用した確率分布を与える式>;

すべての線源からのサンプリングが終了した後で重み全体がバッチ当たりのヒストリー数と同じになるように規格化されるのでサンプル時の重みの相対的な値のみが意味を持つ。

11.9 サンプリング関数の使用例

11.9.1 #TABLE 関数における補間法の比較

#TABLE 関数で用いることのできる 4 つの補間法 (LINEAR、STEP、LOG-LINEAR、LOG-STEP) を比較する。入力データは以下の通り。

$1.0 \text{ eV} < E < 10 \text{ eV}$ の範囲で LINEAR、 $10 \text{ eV} < E < 100 \text{ eV}$ の範囲で LOG-LINEAR を指定した場合の SOURCE データブロック。

```
$SOURCE
&
...
@E = #TABLE INT(LINEAR) X(1 3 7 10) PDX(1. 4. 2. 0.);
&
...
@E = #TABLE INT(LOG-LINEAR) X(10 30 70 100) PDX(1. 4. 2. 0.);
$END SOURCE
```

$1.0 \text{ eV} < E < 10 \text{ eV}$ の範囲で STEP、 $10 \text{ eV} < E < 100 \text{ eV}$ の範囲で LOG-STEP を指定した場合の SOURCE データブロック。

```
$SOURCE
&
...
@E = #TABLE INT(STEP) X(1 3 7 10) PDX(1. 4. 2.);
&
...
@E = #TABLE INT(LOG-STEP) X(10 30 70 100) PDX(1. 4. 2.);
$END SOURCE
```

サンプリング結果を図 11.1 に示す。この図のように横軸が対数で縦軸が線形の図では、単位レサジー当たりの値で見た場合に、LOG-LINEAR および LOG-STEP の結果は、 $(X(i), X(i+1))$ の間で直線となる。一方、LINEAR および STEP では、図 11.2 に示す通り、単位エネルギー当たりの結果が、両軸が線形の図で直線となる。

11.9.2 1 変数のサンプリング関数 (#TABLE, #COSINE, #GAUSS) と結果の選別

#TABLE、#COSINE、#GAUSS と結果の選別 (ACCEPT、END-ACCEPT) の使用例を以下に示す。サンプリングの結果を図 11.3 に示す。

■ 入力データの例 ■

(1) #TABLE : $1 < X < 10$ におけるテーブルからのサンプリング

```
@X = #TABLE INT(LINEAR) X(1 3 7 10) PDX(1. 4. 2. 0.);
```

(2) #COSINE : $10 < X < 20$ における余弦分布

```
@X = #COSINE(10. 20.);
```

(3) #COSINE : $20 < X < 30$ における余弦分布の内、 $22 < X < 27$ を満足する X

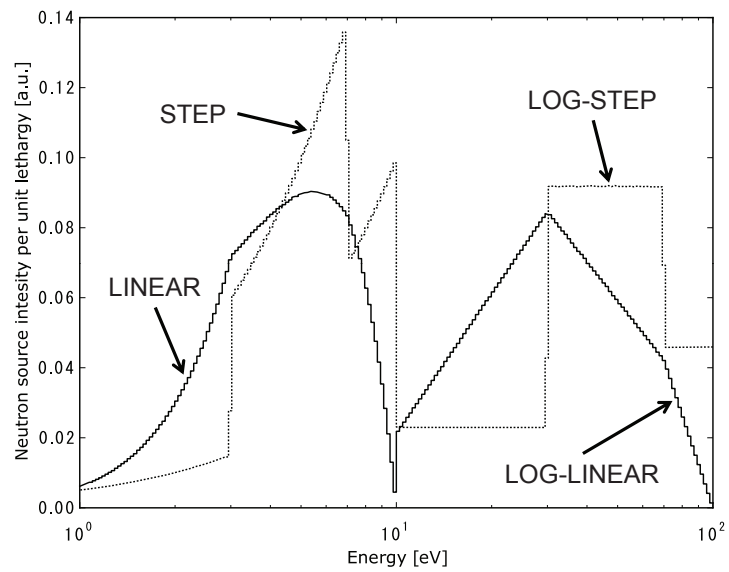


図 11.1 #TABLE 関数の補間法の比較 (1)

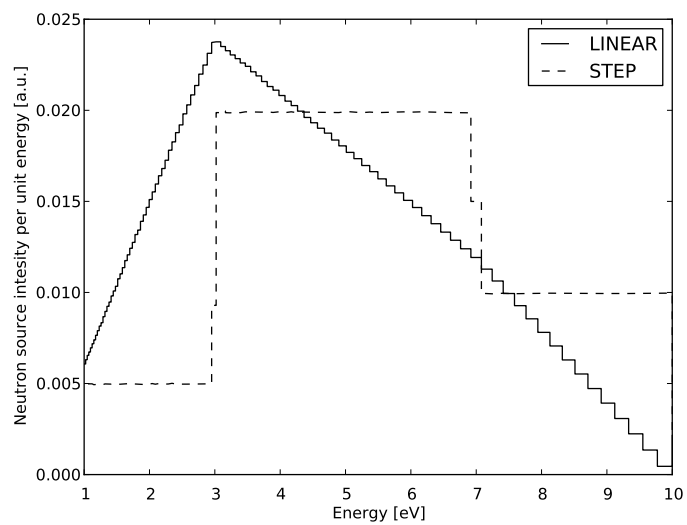


図 11.2 #TABLE 関数の補間法の比較 (2): LINEAR と STEP

```
ACCEPT
  @X = #COSINE(20. 30.);
  WHEN GT(@X, 22.);
  WHEN LT(@X, 27.);
END-ACCEPT
```

(4) #COSINE: 同上、ただし、 $30 < X < 40$ (AND と式の使用例)

```
ACCEPT
```

```

@X = #COSINE(30. 40.);
WHEN AND(GT(@X, 32.), LT(@X, 37.));
END-ACCEPT
@X = @X-2.;

```

(5) #COSINE: $40 < x < 50$ における余弦分布の内、 $x < 42$ または $x > 57$ を満足する x

```

ACCEPT
@X = #COSINE(40. 50.);
WHEN OR(LT(@X, 42.), GT(@X, 47.));
END-ACCEPT

```

(6) #GAUSS: 平均 55 標準偏差 5 の正規分布の内、 $50 < x < 60$ を満足する x

```

ACCEPT
@X = #GAUSS(55. 5.);
WHEN AND(GT(@X, 50.), LT(@X, 60.));
END-ACCEPT

```

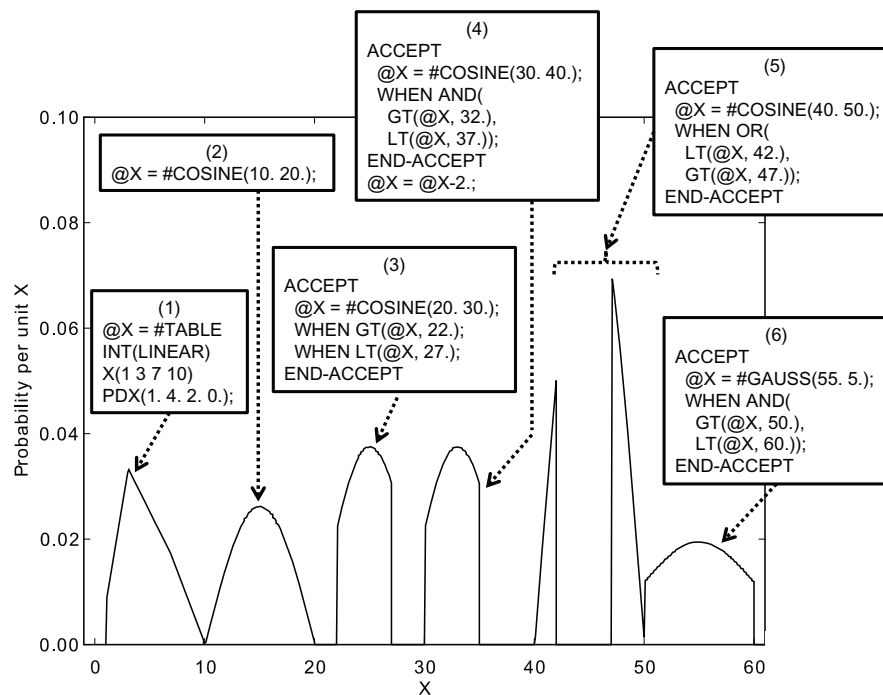


図 11.3.1 変数のサンプリング関数 (#TABLE, #COSINE, #GAUSS と結果の選別)

11.9.3 2変数のサンプリング関数: #TABLEXY

入力データの例を以下に示す。サンプリング結果を図 11.4, 11.5, 11.6 に示す。

■ 入力データの例 ■

```
@(X Y) = #TABLEXY
```

```
INTX(LINEAR)  X(0 3 8 10)  PDX(0 1 4 2)
INTY(LINEAR)  Y(0 3 8 10)  PDY(0 1 4 2)
               Y(0 3 8 10)  PDY(1 1 1 1)
               Y(0 3 8 10)  PDY(2 4 1 0);
```

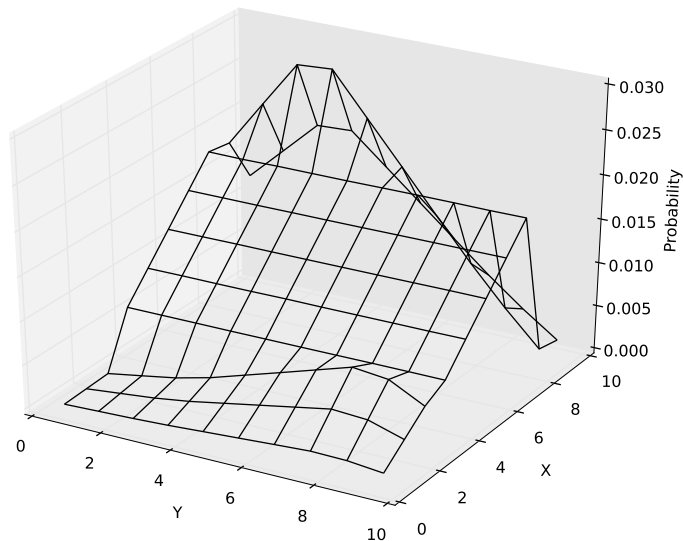


図 11.4 #TABLEXY の結果

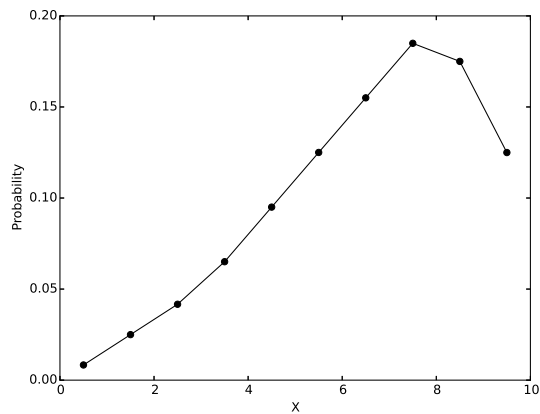


図 11.5 X の分布

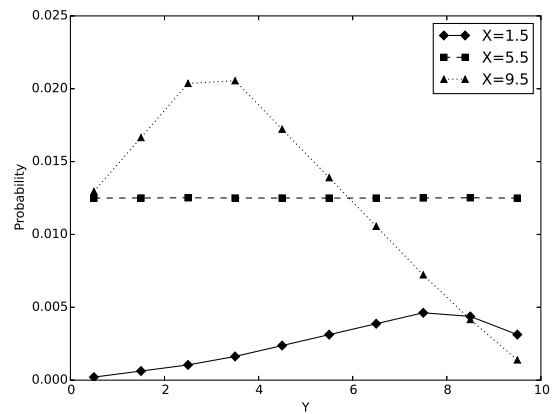


図 11.6 各 X に対する Y の分布

11.9.4 #TABLEXY、作業変数と結果の選別

前節における (X,Y) のサンプリング結果から作業変数と結果の選別機能を用いて、(5, 5) (#TABLEXY による X および Y のサンプリング範囲の中点) からの距離が 4.5 未満である点 (X,Y) をサンプリング

グする。入力データは以下の通り。サンプリング結果を、図 11.7, 11.8, 11.9 に示す。

■ 入力データの例 ■

```
ACCEPT
  @(X Y) = #TABLEXY
  INTX(LINEAR)  X(0 3 8 10)  PDX(0 1 4 2)
  INTY(LINEAR)  Y(0 3 8 10)  PDY(0 1 4 2)
                  Y(0 3 8 10)  PDY(1 1 1 1)
                  Y(0 3 8 10)  PDY(2 4 1 0);
  @TEMP = SQRT((@X-5)**2 + (@Y-5)**2);
  WHEN LT(@TEMP, 4.5);
END-ACCEPT
```

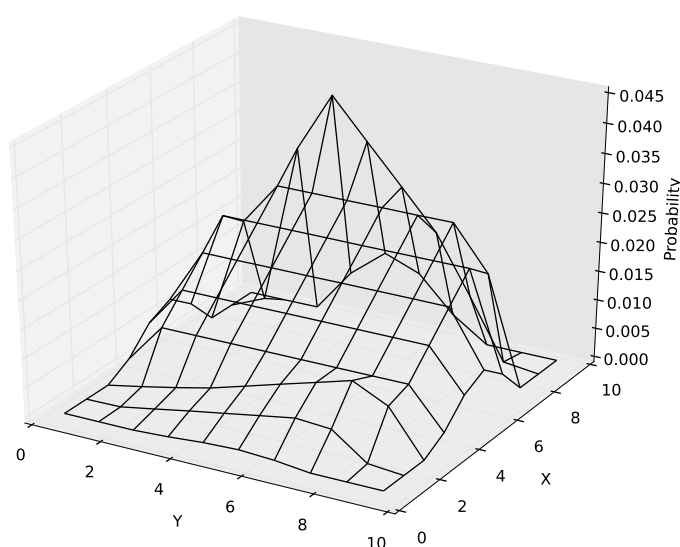


図 11.7 サンプリング値を選別した場合の結果

11.10 線源データ (旧形式)

MVP/GMVP94.1 でサポートされていた線源データの入力方法も互換性を保つために残されている。この入力形式では新形式のようなデータブロック構造とはなっていない。以下に旧形式の線源入力データを示す。

- (1) NSOUR : 固定粒子源の数
- (2) KSOUR(NSOUR) : 粒子源のタイプ (空間分布と角度分布)
 - 1: 等方点線源
 - 2: 単一方向点線源

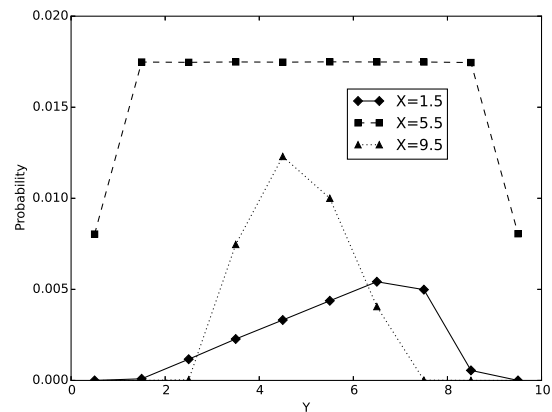
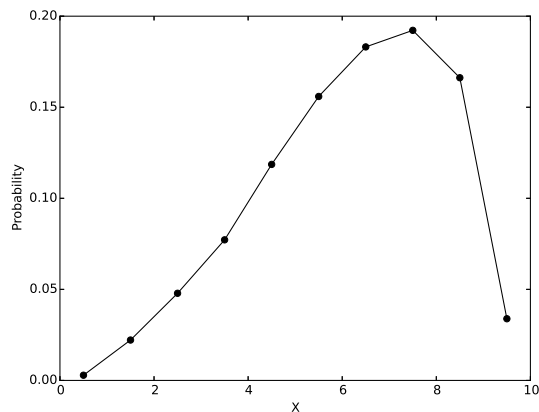


図 11.8 X の分布: サンプル値を選別した場合 図 11.9 各 X に対する Y の分布: サンプル値を選別した場合

- 3: 直方体内の一様等方線源
- 4: 球内一様等方線源
- 5: 単一方向円盤状一様面線源（方向は面に垂直）
- 6: 単一方向長方形一様面線源（方向は面に垂直）
- 7: 任意方向（ μ 方向依存、極は任意の方向）点線源
- 9: (d,t) 中性子源 [28]（エネルギー分布の入力は不要）

(3) ISZON(2,NSOUR) : 粒子を発生する ZONE を指定するためのデータ。

粒子の発生 ZONE がすべて同じ ZONE であることがあらかじめ分っている場合にこのデータを指定すると計算時間を節約できる、という目的で用意された。しかし現状では粒子の発生するゾーンはコードが自動的に決定させるほうが望ましいので、この入力を使用すべきでない。格子を構成するセル内の ZONE をこのデータで指定することはできない。

- ISZON(1,n): 線源 n の粒子を発生する ZONE を含む入力ゾーンの番号
（幾何形状データの説明を参照）
- ISZON(2,n): 線源 n の粒子を発生する ZONE が入力ゾーン
ISZON(1,n) に含まれる何番目の ZONE であるかを示す。入力ゾーン ISZON(1,n) の定義に "OR" が用いられていない場合は ISZON(2,n)=1 とする。

(4) SOUR(NSOUR) : 各線源の相対強度。和が 1.0 に規格化されている必要はない。

(5) PSPAC(10,NSOUR) : 線源の空間分布を表すパラメータ。

必要なデータ数と意味は線源タイプ毎に異なる。意味を持たないデータも入力する必要がある（値は何でもよい）。長さの次元を持つ量の単位はすべて cm である。

- KSOUR(n)=1（等方点線源）の時：

- PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 粒子を発生する点の (X,Y,Z) 座標
- PSPAC(9,n),PSPAC(10,n) :
Z 軸に対する方向余弦 μ が
 $\text{PSPAC}(9,n) \leq \mu \leq \text{PSPAC}(10,n)$
を満たす範囲に等方的に放出する。
- KSOUR(n)=2 (単一方向点線源) の時
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 粒子を発生する点の (X,Y,Z) 座標
 - PSPAC(4,n),PSPAC(5,n),PSPAC(6,n) : 粒子の発生方向 (X,Y,Z 軸に対する余弦)
- KSOUR(n)=3 (等方直方体線源) の時
線源となる領域を X,Y,Z の区間で定義する。
 $\text{PSPAC}(1,n) \leq X \leq \text{PSPAC}(2,n)$
 $\text{PSPAC}(3,n) \leq Y \leq \text{PSPAC}(4,n)$
 $\text{PSPAC}(5,n) \leq Z \leq \text{PSPAC}(6,n)$
- KSOUR(n)=4 (等方球線源) の時
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 球の中心座標
 - PSPAC(4,n) : 球の半径
- KSOUR(n)=5 (単一方向円盤内一様面線源、方向は面に垂直) の時
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 円盤の中心座標
 - PSPAC(4,n) : 円盤の半径
 - PSPAC(8,n),PSPAC(9,n),PSPAC(10,n) : 粒子の発生方向 (X,Y,Z 軸に対する余弦)
- KSOUR(n)=6 (単一方向長方形内一様面線源、方向は面に垂直)
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 長方形の 1 頂点の (X,Y,Z) 座標
 - PSPAC(4,n),PSPAC(5,n),PSPAC(6,n) : 長方形の 1 辺を表すベクトル A
 - PSPAC(7,n) : 長方形の他の辺の長さ (方向は $A \times \Omega$)
 - PSPAC(8,n),PSPAC(9,n),PSPAC(10,n) : 粒子の発生方向 (X,Y,Z 軸に対する余弦)
- KSOUR(n)=7 (任意方向点線源) の時 :
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 粒子を発生する点の (X,Y,Z) 座標
- KSOUR(n)=9 (FNS (d,t) 中性子源)
 - PSPAC(1,n),PSPAC(2,n),PSPAC(3,n) : 線源の中心 (X,Y,Z) 座標
 - PSPAC(4,n) : d ビームの広がり (半径 (cm))
 - PSPAC(5,n) : d ビーム方向の回転
回転しない時は Z 軸の方向
 - * 1:回転しない
 - * 2: $X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z, Z \rightarrow X$
 - * 3: $X \rightarrow Z, Y \rightarrow X, Z \rightarrow Y$
 - * 4:使用してはならない。
 - * 5:6~8 のデータによる任意の回転

– PSPAC(6,n),PSPAC(7,n),PSPAC(8,n) : 回転を表す (θ, ϕ, ψ : degree)

(6) PENRG(NGROUP, NSOUR)

あるいは PENRG.N(NGROUP.N, NSOUR) と PENRG.P(NGROUP.P, NSOUR):

各線源のエネルギー分布。このデータは固定源問題では使用するしないに係わらず必要である。GMVP では前者の形式のみ使用可。

(7) NSANG(NSOUR) : 極角の分割 (ビン) 数 (KSOUR=7 に対して有効)

(8) SANG(NSANG(j)+1,NSOUR) : 各角度ビンの境界 (KSOUR=7 に対して有効)

極軸 (6-10) に対する方向余弦を +1 から降順に入力する。

【注】 NSANG=0 の線源に対してもダミーの入力 (1 個) が必要である。

(9) PSANG(NSANG(j),NSOUR) : 各角度ビン内に放出される確率 (KSOUR=7 に対して有効)

(10) SAXIS(3,NSOUR) : 極軸の方向余弦 (KSOUR=7 に対して有効)

(11) IFISM(NSOUR) : 固有値問題の最初のバッチの中性子を発生させるときに各中性子源に対して核分裂スペクトルを使用する物質を示すデータ。

多群法 (GMVP) と連続エネルギー法 (MVP) では指定法が異なる。

- GMVP : 巨視的断面積を定義した順に付けられた物質番号。

例えば "IFISM(2)" など。

- MVP (連続エネルギー法) : 核種の ID 名。

例えば、"IFISM(U05003J3)"

【注】 \$CROSS SECTION ブロックで使用された核種の中で核分裂性核種を指定すること。

(12) EINCD : MVP を用いた固有値問題の最初のバッチの核分裂源の中性子エネルギーを決めるのに用いられる核分裂を起こす中性子のエネルギー (eV)。

MVP ではこの入射中性子エネルギーに対する核分裂スペクトルからサンプリングされる。

GMVP ではこの入力の意味を持たない。(省略値 =0.0253 eV)

旧形式の線源入力データでは、エネルギー分布を「エネルギー群」毎に階段状に与えることしかできず、Cf-252 線源のような連続的なエネルギースペクトルは正確には表現できない、指定できる空間分布や角度分布の種類が少ない等の問題点がある。

例: MVP94.1 の標準線源入力形式による Cf-252 線源の表現

```
NSOUR(1) /* NUMBER OF PARTICLE SOURCES (FIXED OR INITIAL)
SOUR(1) /* RELATIVE INTENSITY OF PARTICLE SOURCES

KSOUR( 1 ) /* SOURCE TYPE FOR EACH SOURCE
PSPAC( 0 0 <HT/2> R(0) )
/* SOURCE DATA (SPATIAL) FOR EACH SOURCE (SEE MANUAL)
PENRG( /* ENERGY DISTRIBUTION OF EACH SOURCE (SEE MANUAL)
```

```

1.1643E+0 7.5741E+0 3.3941E+0 3.2149E-1 5.2340E-2 7.4899E-3 2.0876E-3
6.6219E-5 6.9432E-6 7.1423E-7 6.4070E-8 3.8694E-9 1.7229E-9 4.7369E-10
1.5417E-10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 )

```

この場合、Cf-252 線源のエネルギー分布は 26 に分けたエネルギー区間（エネルギー群）に対して定義されているので、分布を正確には表現していない。

新しい線源入力形式では連続的なエネルギー分布を表現する方法が使用できるようになり、上記の例は以下のように記述できる。

例：MVP の新しい入力形式による Cf-252 線源の表現

```

$SOURCE
& RATIO(1) NEUTRON
  @X = 0.0 ;
  @Y = 0.0 ;
  @Z = HT/2 ;
  @E = #MAXWELL( 1.4727E6 ) ;
$END SOURCE

```

この形式の入力は粒子の発生位置、飛行方向、エネルギーなどをどのようにサンプリングするかを簡易プログラムとして指定する。上記の入力データ例の ” @X = 0.0 ; ” 、 ” @E = #MAXWELL ” 等はそれぞれ X 座標のサンプリング方法、エネルギーのサンプリング方法を示している。

ユーザーは今後この新しい形式で線源データを入力することが望ましい。

12. タリーの指定

12.1 TALLY データブロック

TALLY データブロックの一般的な形式とデータは以下のとおりである。

```
$TALLY  
  
データブロックの全てのタリーに共通な指定  
  
&  
タリー項目 1 の指定  
  
&  
タリー項目 2 の指定  
  
....  
$END TALLY
```

形式としては物質組成や線源情報の指定と類似している。

12.2 すべてのタリーに共通な指定

\$TALLY 行と最初のタリー項目の間に記述するデータは以降の各タリーに共通に参照するデータである。

NGROUP.N 及び NGROUP.P

■ 形式 ■

```
NGROUP.N ( number-of-neutron-energy-bins/groups )  
NGROUP.P ( number-of-photon-energy-bins/groups )
```

■ 意味 ■

中性子または光子のタリーを取るためのエネルギービンの数 (エネルギー群数)。従来データブロックの外で与えていたが、このデータブロックでも入力可能である。このデータブロックで入力しない場合には、すでに入力されている必要がある。

ENGYB.N 及び ENGYB.P

■ 形式 ■

ENGYB.N(*neutron-energy-boundaries*)

ENGYB.P(*photon-energy-boundaries*)

■ 意味 ■

中性子または光子のエネルギー群境界。従来、TALLY データブロックの外で与えていたが、このデータブロックでも入力可能である。エネルギー群数 NGROUP.N/P の入力の後に入力する。単位は eV で「伝統に従って」大きい値から小さい値に向かって入力する。TALLY データブロックで指定する個々のタリーのエネルギー依存性(エネルギービン) はここで指定したエネルギー区分を単位として任意に再構成したものになる。

NTIME

■ 形式 ■

NTIME(*number-of-time-bins*)

■ 意味 ■

時間依存タリーに対する共通な時間ビンの数。時間ビンデータ TIMEB のみが指定されている場合には TIMEB に与えられたデータの数から NTIME が決定される。

TIMEB

■ 形式 ■

TIMEB(*time boundaries*)

■ 意味 ■

時間依存タリーに対する共通な時間ビン。現状ではタリーごとに別の時間ビンデータを設定することはできない(時間ビンの「まとめかた」は各タリーで独自に指定できる)。単位は秒で小さい値から大きい値に向かって入力する。

WTIME

■ 形式 ■

WTIME(*w_1 w_2 ... w_NTIME*)

■ 意味 ■

時間依存計算において共通時間ビンの各ビンに設定する重み。以下のように適用される。

- 分散低減パラメータを時間依存で調節する:

分散低減オプション **WEIGHT-WINDOW**、**RUSSIAN-ROULETTE** で使用する重みパラメータ **WSRV**、**WKIL** に粒子の時間が属する時間ビンの **WTIME** を乗じたものをそれぞれの分散低減手続きに使用する。

- 二次粒子発生重みを時間依存で調節する:

固定線源問題で二次粒子が発生する計算 (中性子/光子結合計算、核分裂をともなう中性子計算) において、核分裂中性子発生重み **WGTF**、二次光子発生重み **WGTP** に粒子の時間が属する時間ビンの **WTIME** を乗じたものを使用する。

TALLY-SURFACE

■ 形式 ■

TALLY-SURFACE (*surface-ID* *body1* [*body2* *body3* ...])

■ 意味 ■

面検出器 (surface crossing estimator) のための検出面の指定。TALLY データブロックの共通データ部分に任意個数の検出面を繰り返して指定できる。

- *surface-ID*: 検出面の ID。他の検出面の ID と重複しない正の整数。
- *body1*: この検出面を指定するボディの ID。このボディは GEOMETRY データブロックで指定されたもの。どれかのゾーンを構成するボディでなくてもよい。*body1* の符号によって検出面の法線の向きが決定される。正の場合は *body1* の内部から外部に向かう方向で、負の場合は反対に外部から内部に向かう方向となる。
- *body2* 以降: 検出面を *body1* の一部としたい場合、*body2* 以下の組み合わせをあたかも幾何形状データで指定される「ゾーン」のように解釈し、*body1* のうちこの仮想的ゾーンに含まれる部分のみを実際の surface crossing estimator を適用する面とすることができる (tally-surface の clipping)。

検出面の設定には以下の制限、もしくは注意すべき点がある。

- 格子形状を含む問題でも TALLY-SURFACE を使用することができるが、TALLY-SURFACE を指定するボディは常に絶対座標系で指定する。
- TALLY-SURFACE で指定するボディ (*body1*) として ELT(トーラス) を使用する事はできない。
- 検出面の一部またはすべてが反射境界面と重なっている場合には、正しいタリーを取ることができない可能性がある。
- 検出面の一部またはすべてがゾーン境界と重なっていてもよいが、タリーの次元 (DIMENSION(...)) に空間領域 (REGION) が指定され、かつ検出面の両側のゾーンの REGION 名が異なる場合、タリーがどちらの REGION に対して取られるかは確定できない。

ANGLE

■ 形式 ■

ANGLE (*angle_1 angle_2 ...*)

■ 意味 ■

角度に依存するタリーを取る場合の角度ビン。現状では面検出器にのみ適用され、検出面を粒子が通過したときの飛行方向と検出面の法線の間を角度を指定する。法線の方法は、TALLY-SURFACEで指定された *body1* の符号で決定され、正の場合はボディの内側から外側に出る方向、負の場合は反対方向となる。

角度の単位は度 (degree) で、0 から 180 の間の値を小さい値から大きい値に向かって入力する。角度ビンの入力には余弦値で与える COSINE もあり、ANGLE/COSINE のいずれか一方で指定することができる。

COSINE

■ 形式 ■

COSINE (*cosine_1 cosine_2 ...*)

■ 意味 ■

角度に依存するタリーを取る場合の角度ビンを余弦で与える。現状では面検出器にのみ適用され、検出面を粒子が通過したときの飛行方向と検出面の法線の間を角度の余弦を指定する。

角度は 0 度から 180 度の値を持ち、余弦値としては 1 から -1 の間の値を大きな値から小さな値に向かって入力する。角度の入力には角度の値で与える ANGLE もあり、ANGLE/COSINE のいずれか一方で指定することができる。

NPDET

■ 形式 ■

NPDET (*number-of-detector-points*)

■ 意味 ■

点検出器 (point detector) のための検出点の総数。後述の XPDET、SPDET を NPDET で指定した検出点の個数に合わせて入力する。

XPDET

■ 形式 ■

```
XPDET ( X1 Y1 Z1 Rreject,1 Rsing,1
        X2 Y2 Z2 Rreject,2 Rsing,2
        ...
        XNPDET YNPDET ZNPDET Rreject,NPDET Rsing,NPDET
)
```

■ 意味 ■

点検出器 (point detector) の位置座標とサンプリングの制御のためのパラメータ。

- X_i, Y_i, Z_i

各点検出器の位置座標。絶対座標空間で指定する必要がある。格子座標系やセル内座標系で指定することはできない。

- R_{reject}

点検出器では粒子が物質内で衝突反応を起こしたとき、その点から検出点まで飛行する「仮想粒子」を発生することで統計量を評価する。従って、計算体系の空間サイズが大きい場合には多数の仮想粒子を発生することになり、計算時間が非常に大きくなる可能性がある。一般に検出点から遠い位置での衝突の寄与は小さいと考えられるので、MVP/GMVP では検出点から距離 R_{reject} 以上での衝突については、全ての仮想粒子を発生するのではなく、「選別」を行って仮想粒子数を減らすようにする。統計的に正しい評価となるように、仮想粒子の重みには選別確率の逆数を乗ずる。選別される確率は衝突点と検出点の距離を D とするとき

$$p(D) = \frac{R_{\text{reject}}^2}{D^2}$$

である。

- R_{sing}

検出点の近傍で衝突密度がゼロでない場合、理論上は点検出器の統計的分散は無有限大となり、統計精度が非常に悪くなることが知られている。この欠点をいくらかでも補うために、検出点の近傍での衝突に対しては特別な処理を行って、有限の分散が得られる処理を行うのが一般的である。MVP/GMVP では検出点までの距離が R_{sing} より小さい衝突については、半径 R_{sing} の球内で、衝突密度一定の仮定に基づいて平均化した寄与で置き換えることによって分散の発散を抑える方法をとっている。このような方法は厳密に言えば、統計平均値に真の値からの偏りをもたらす可能性があることに注意する必要がある。

SPDET

■ 形式 ■

SPDET (*flag*₁ *flag*₂ ... *flag*_{NPDET})

■ 意味 ■

点検出器に対する線源からの寄与 (uncollided contribution) の計算方法に関する指定を示す整数値。XPDET の解説では点検出器への寄与を粒子の衝突点からのものについて説明したが、粒子の生成時にも「発生した粒子が途中で物質との衝突を一度も行わずに検出点に到達する場合」を評価するための仮想粒子の発生が行われるが、その際に仮想粒子の重みを決定するために粒子発生 の角度分布を知る必要がある。衝突からの仮想粒子発生については (可能な限り) 正確な角度分布に基づく評価が行われるが、線源からの寄与の評価については不完全である。

- $flag_i = 0$

線源の角度分布が等方的であるとして評価する。

- $flag_i > 0$

線源の角度分布が非等方的であるとして評価する。実際にはこのケースに対する MVP/GMVP の現状の計算方法は不完全である。

- $flag_i < 0$

線源からの寄与を計算しない。

現状で線源からの点検出器への寄与が正確に計算できるのは、等方的な線源の場合のみである。

NRESP

■ 形式 ■

NRESP (*number-of-energy-group-dependent-responses*)

■ 意味 ■

エネルギー群依存で与える反応率評価のためのレスポンス関数の数。従来データブロックの外で与えていたが、このデータブロックでも入力可能である。このデータブロックで入力しない場合には、すでに入力されている必要がある。

RESP.N 及び RESP.P

■ 形式 ■

RESP.N (*r*₁₁ *r*₂₁ ... *r*_{NGROUP,N,1}
 *r*₁₂ *r*₂₂ ... *r*_{NGROUP,N,2}
 ...
 *r*_{1,NRESP,N} *r*_{2,NRESP,N} ... *r*_{NGROUP,N,NRESP,N})
RESP.P (*r*₁₁ *r*₂₁ ... *r*_{NGROUP,P,1}

$$r_{12} \ r_{22} \ \dots \ r_{\text{NGROUP.P},2}$$

$$\dots$$

$$r_{1, \text{NRESP.P}} \ r_{2, \text{NRESP.P}} \ \dots \ r_{\text{NGROUP.P}, \text{NRESP.P}} \)$$

■ 意味 ■

エネルギー群依存で与える反応率評価のためのレスポンス関数。“N”は中性子に対する、“P”は光子に対するデータである。“N”または“P”がない場合には、中性子、光子の順に結合したエネルギー群構造 (群数 NGROUP.N + NGROUP.P) に対してデータが与えられているものとする。

NSTAL

■ 形式 ■

NSTAL(*nstal*)

■ 意味 ■

連続エネルギー形式で与えるレスポンス関数の数 (MVP でのみ有効)。このレスポンス関数は、STAL または CRESP で指定され、連続エネルギーレスポンスライブラリ (ドジメトリライブラリ) から読み込まれる。

STAL または CRESP

■ 形式 ■

STAL(*nuclide-id*(MTreaction-ID) [*nuclide-id*(MTreaction-ID) ...])

または

CRESP(*nuclide-id*(MTreaction-ID) [*nuclide-id*(MTreaction-ID) ...])

■ 意味 ■

連続エネルギー形式で与えるレスポンス関数の指定 (MVP でのみ有効)。NSTAL 組の *nuclide-id*(核種 ID) と MTreaction-ID (反応タイプを示す MT 番号) が入力される。利用できるレスポンスデータ、核種 ID、MT 番号については G.5 節を参照のこと。

例:

```
NSTAL( 2 )
STAL( 3006.03Y( MT105 ) 3007.03Y( MT205 ) )
```

PNPRODUCE

■ 形式 ■

PNPRODUCE

■ 意味 ■

タリーが生成領域、生成核種または生成反応の次元 (PRODUCE-REGION, PRODUCE-NUCLIDE, PRODUCE-REACTION) を持つとき、生成粒子が光核反応に起因するものだけをタリーすることを指定する。光核反応により生成された粒子の二次以降の粒子生成も全て対象となる。生成領域、生成核種または生成反応の次元が指定されていない場合には無視される。これが指定されない場合には、タリーに寄与する直前の衝突反応によってタリーが区別される (但し、線源から直接タリーに寄与することはない)。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。

NWORK

■ 形式 ■

NWORK (*working-area-size-for-tally-block-processing*)

■ 意味 ■

TALLY データブロックを処理するために使用する作業メモリの大きさ (ワード)。デフォルトはデータブロック入力前に入力されていた NGROUP(=NGROUP.N+NGROUP.P), NTIME, NREG (region 総数), NTREG (Tally-region 総数) の最大値または 4,096 である。

12.3 個別タリーの入力

12.3.1 タリー ID の指定

■ 形式 ■

ID (*tally-id-number*)

■ 意味 ■

タリーに付けることのできる ID 番号。省略してもよい。

12.3.2 ラベルの指定

■ 形式 ■

`LABEL("label string")`

■ 意味 ■

タリー出力時などに出力するラベル。必ずしも指定する必要はない。ラベル文字列が空白文字を含む場合は引用符の対 `"..."` または `'...'` で囲む必要がある。ラベル文字列に一重引用符が含まれる場合には `"..."` を、二重引用符が含まれる場合は `'...'` を使用する。

12.3.3 エスティメータの指定

■ 形式 ■

`EVENT(event)`

■ 意味 ■

タリーを取るイベントあるいはエスティメータ (estimator) のタイプを表す文字列。以下のうち、どれか1つを指定できる。

- `TRACK` : 指定された空間 `REGION` における飛程長エスティメータ (track length estimator)
- `COLLISION` : 指定された空間 `REGION` における衝突エスティメータ (collision estimator)
- `SURFACE:CURERNT(surface-ID)` あるいは `SURFACE(surface-ID)` : 面検出器 (surface crossing estimator) による粒子流 (カレント、particle current) の計算
- `SURFACE:FLUX(surface-ID)` : 面検出器 (surface crossing estimator) による粒子束 (フラックス、particle flux) の計算
- `POINT` : 点検出器 (point detector)
- `LEAKAGE` : 体系から漏れたときにタリーを取る。現在、`MICRO`、`MACRO`、`IRESP/PRESP` のようなタリーの種類の指定は意味を持たず、粒子の重みをそのままカウントする (カレントとなる)。
- `ANALOG` : 粒子が原子核と衝突したときタリーを取る。`ANALOG-FISSON` のオプションを指定する必要がある。この場合は、タリーの種類としては、後述の `ANALOG` のみが有効。

面検出器を指定する `surface-ID` に対しては、`TALLY-SURFACE` で与えた面検出器のいずれか1つを指定する。

■ デフォルト ■

`TRACK`。飛程長エスティメータ。

12.3.4 タリー粒子の指定

PHOTON または NEUTRON

■ 形式 ■

NEUTRON

または

PHOTON

■ 意味 ■

タリーを取る粒子のタイプ。中性子/光子結合問題 (NEUTRON オプションと PHOTON オプションを両方指定) では必ず指定する必要がある。PARTICLE(*particle-type*) という形式も指定可能である。

PARTICLE

■ 形式 ■

PARTICLE(NEUTRON)

または

PARTICLE(PHOTON)

■ 意味 ■

タリーを取る粒子のタイプ。将来、中性子/光子以外の粒子の輸送計算が可能になったとき、それらの粒子の指定にはこの形式を使用する。

12.3.5 タリー次元の指定

■ 形式 ■

DIMENSION(*dim1 dim2 dim3 ...*)

■ 意味 ■

タリーをどの「次元」に対して取るかを指定する。*dim** は次元を表わす文字列である。

- REGION: 空間領域 (タリー領域)
- POINT: 点検出器の検出点 (point detector)

- ENERGY : エネルギー
- TIME : 時間
- ANGLE : 角度。面検出器において検出面法線と粒子飛行方向の間の角度もしくはその余弦。
- GENERATION : 固定線源問題における粒子世代
- SOURCE : 粒子が発生した線源セット ID
- SOURCE-REGION : 粒子が線源から発生したときの空間 REGION
- MARKER-REGION : “マーカー REGION”。粒子が指定した REGION を通過したかどうか。
- PRODUCE-REGION : 弾性外衝突過程により粒子が生成された時の空間領域
- PRODUCE-NUCLIDE : 弾性外衝突過程により粒子を生成した標的核種
- PRODUCE-REACTION : 弾性外衝突過程により粒子を生成した反応 (MT 番号)

タリーはここで指定された各次元で分割された区分 (ビン) に対する多次元マトリックスとして評価される。このマトリックスはプログラム内では FORTRAN の多次元配列と逆で $M(\dots, dim3, dim2, dim1)$ のようなデータ順序となる。計算結果のプリント出力もこのような順序で行われる。

1 つのタリーに対し次元は 5 種類まで指定できる。

各次元に対応する「ビン」(区分) の入力との対応は以下のようにになっている。各ビンの意味についてはそれぞれの次元のビンの入力データの説明を参照のこと。

- REGION : REGION (p. 255)
- POINT : POINT (p. 256)
- ENERGY : IENERGY (p. 256), IENERGY2 (p. 257)
- TIME : ITIME (p. 257), ITIME2 (p. 258)
- ANGLE : IANGLE (p. 259), IANGLE2 (p. 259)
- GENERATION : GENERATION (p. 260), IGENE2 (p. 260)
- SOURCE : SOURCE (p. 261)
- SOURCE-REGION : SOURCE-REGION (p. 261)
- MARKER-REGION : MARKER-REGION (p. 261)
- PRODUCE-REGION : PRODUCE-REGION (p. 262)
- PRODUCE-NUCLIDE : PRODUCE-NUCLIDE (p. 262)
- PRODUCE-REACTION : PRODUCE-REACTION (p. 264)

■ 使用例 ■

DIMENSION(REGION TIME ENERGY)

のような(領域、時間、エネルギー)という3つの次元の組合せが指定された場合、データの順序は以下のようになる。

(エネルギー 1、時間 1、領域 1)、(エネルギー 2、時間 1、領域 1) ...
(エネルギー 1、時間 2、領域 1)、(エネルギー 2、時間 2、領域 1) ...
...
(エネルギー 1、時間 1、領域 2)、(エネルギー 2、時間 1、領域 2) ...
(エネルギー 1、時間 2、領域 2)、(エネルギー 2、時間 2、領域 2) ...
...
(エネルギー 1、時間 1、領域 3)、(エネルギー 2、時間 1、領域 3) ...
(エネルギー 1、時間 2、領域 3)、(エネルギー 2、時間 2、領域 3) ...
...

12.3.6 タリービンの指定

REGION

■ 形式 ■

REGION(*region-name-pattern_1 region-name-pattern_2 ...*)

■ 意味 ■

タリーが空間領域の次元を持つときの空間領域名のリストを指定する。ここで指定する「空間領域」は MVP/GMVP の入力で指定する REGION 及び TALLY REGION (p. 207) のいずれでもよい。

指定される領域のリストは1つ以上の空白または改行で区切られた領域指定のパターンであり、以下のような REGION または TALLY REGION の形式が可能でそれらひとつひとつがタリーを取る領域の区分となる。

- REGION 名

単一の REGION の名前

- ワイルドカード文字を含む REGION 名

ワイルドカード文字で表された複数の REGION 名。ワイルドカード文字 “*” (0 文字以上の任意の文字列)、“?” (任意の 1 文字) を含むことができる。

- TALLY REGION 名

GEOMETRY データブロックの末尾の #TALLY REGION 行以下で指定される REGION の組合せ。“@” で始まる文字列である。

- さらに上記の形式の領域名を “+” で連結した形 (空白を含まない)。

■ 使用例 ■

入力データ中に REG1, REG2, REG3, REG4, A1, A2 および A01 という名前の REGION が定義されていて、さらに TALLY REGION として @TREG1(REG1 REG2 REG3) および @TREG2(REG2 REG4) が定義されているとする。このとき;

```
REGION( REG1 REG* A? @TREG1 A*+REG1+@TREG2 @TREG1+@TREG2 )
```

のような指定は以下のような領域の区分にしたがってタリーを取ることを示している。

- REG1 : REGION “REG1” のみのタリー。
- REG* : REGION “REG1”, “REG2”, “REG3” および “REG4” のタリーの合計。
- A? : REGION “A1” および “A2” のタリーの合計。A01 は含まれない。
- @TREG1 : TALLY REGION “@TREG1”、つまり REG1 REG2 REG3 のタリーの合計。
- A*+REG1+@TREG2 : A1, A2, A01, REG1, REG2 および REG4 の各 REGION のタリーの合計。
- @TREG1+@TREG2 : REG1, REG2, REG3 および REG4 のタリーの合計。REG2 は@TREG1, @TREG2 両方に含まれているが 1 回しか数えない。つまり “+” は各領域名パターンで示される領域群の和集合を取ることを意味していることに注意。

■ 注意すべきこと ■

“+” で連結された領域パターンは 2 行以上にまたがって定義することができない。

POINT

■ 形式 ■

```
POINT( detector-point-ID_1 detector-point-ID_2 ... )
```

■ 意味 ■

共通データで設定された点検出器のなかで、このタリーを取る検出器番号を指定 (複数個可)。

IENERGY

■ 形式 ■

```
IENERGY( ie_1 ie_2 ... ie_NGROUP[.N/P] )
```

■ 意味 ■

タリーがエネルギーの次元を持つときのエネルギービンを指定する (形式 1)。全タリー共通のエネルギー分割 (中性子では ENGYB.N(1) から ENGYB.N(NGROUP.N+1)、光子では ENGYB.P(1) か

ら ENGYB.P(NGROUP,P+1)。12.2 節参照。) に対して、その各区分がこのタリーの何番目のエネルギービンに対応するかを指定する負でない整数で、連続した整数でなければならない。i 番目の入力があるときは共通エネルギー区分の i 番目のエネルギー範囲はこのタリーでは取り入れられないことを示す。

■ 使用例 ■

中性子タリーで共通エネルギー分割数 NGROUP.N が 10 のとき、

```
IENERGY( 0 1 1 1 2 2 2 3 3 4 )
```

はこのタリーが 4 個のエネルギービンを持ち、共通エネルギー分割の 2~4、5~7、8 と 9 そして 10 が対応することを示す。共通エネルギー分割の 1 番目はタリーの対象外。

■ 注意すべきこと ■

ひとつのタリーに対し IENERGY(...) と IENERGY2(...) はいずれか一方しか指定できない。

IENERGY2

■ 形式 ■

```
IENERGY2( ies_1 iee_1 ies_2 iee_2 ... )
```

■ 意味 ■

タリーがエネルギーの次元を持つときのエネルギービンを指定する (形式 2)。このタリーのビンが共通エネルギービンのどのビン番号範囲に対応しているかを示すデータの組として指定する。

■ 使用例 ■

中性子のタリーで共通エネルギー分割数 NGROUP.N が 10 のとき、

```
IENERGY2( 2 4
           5 7
           8 9
          10 10
           1 10 )
```

はこのタリーが 5 個のエネルギービンを持ち、共通エネルギー分割の 2~4、5~7、8 と 9、10 そして 1~10(全エネルギー範囲) が対応することを示す。5 番目のビンのように他のビンと「重なり」があっても構わない。

■ 注意すべきこと ■

ひとつのタリーに対し IENERGY(...) と IENERGY2(...) はいずれか一方しか指定できない。

ITIME

■ 形式 ■

ITIME(*it_1 it_2 ... it_NTIME*)

■ 意味 ■

タリーが時間の次元を持つときの時間ビンを指定する (形式 1)。TIMEB(1)から TIMEB(NTIME+1)で指定される全タリー共通の時間分割に対して、その分割がこのタリーの何番目の時間ビンに対応するかを指定する負でない整数で、連続していなければならない。i 番目の入力値が 0 であったとすると共通時間ビンの i 番目の時間範囲はこのタリーでは取り入れられないことを示す。

■ 使用例 ■

共通時間分割数 NTIME が 10 のとき；

ITIME(0 1 1 1 2 2 2 3 3 4)

はこのタリーが 4 個の時間ビンをもち、共通時間分割の 2～4、5～7、8 と 9 そして 10 が対応することを示す。共通角度分割の 1 番目はこのタリーの対象外とされている。

■ 注意すべきこと ■

ITIME(...) と ITIME2(...) は 1 つのタリーに対しいずれか一方しか指定できない。

ITIME2

■ 形式 ■

ITIME2(*its_1 ite_1 its_2 ite_2 ...*)

■ 意味 ■

タリーが時間の次元を持つときの時間ビンを指定する (形式 2)。このタリーのビンが TIMEB(1)から TIMEB(NTIME+1)で指定される全タリー共通の時間分割に対して、どの区分の番号範囲に対応しているかを示すデータの組として指定する。バンチングされた時間ビンの数は任意である。

■ 使用例 ■

共通時間分割数 NTIME が 10 のとき；

```
ITIME2( 2   4
        5   7
        8   9
        10  10
        1   10 )
```

はこのタリーが 5 個の時間ビンをもち、共通時間分割の 2～4、5～7、8 と 9、10 そして 1～10(全時間範囲) が対応することを示す。5 番目のビンのように他のビンと「重なり」があっても構わない。

■ 注意すべきこと ■

ひとつのタリーに対し ITIME(...) と ITIME2(...) はいずれか一方しか指定できない。

IANGLE

■ 形式 ■

IANGLE(*ia_1 ia_2 ... ia_NANGLE*)

■ 意味 ■

EVENT が SURFACE であるタリーが角度の次元を持つときの角度ビンを指定する (形式 1)。検出面を粒子が通過するときの検出面法線となす角度 ANGLE(1) から ANGLE(NANGLE+1) またはその余弦 COSINE(1) から COSINE(NANGLE+1) で指定される全タリー共通の角度分割に対して、その分割がこのタリーの何番目の角度ビンに対応するかを指定する負でない整数で、連続した整数でなければならない。i 番目の入力 が 0 であったとすると共通角度ビンの i 番目の時間範囲はこのタリーでは取り入れられないことを示す。

■ 使用例 ■

共通角度分割数 NANGLE が 10 のとき

IANGLE(0 1 1 1 2 2 2 3 3 4)

はこのタリーが 4 個の角度ビンをもち、共通角度分割の 2~4、5~7、8 と 9 そして 10 が対応することを示す。共通角度分割の 1 番目はタリーの対象外とされている。

■ 注意すべきこと ■

IANGLE(...) と IANGLE2(...) は 1 つのタリーに対し、いずれか一方しか指定できない。

IANGLE2

■ 形式 ■

IANGLE2(*ias_1 iae_1 ias_2 iae_2 ...*)

■ 意味 ■

EVENT が SURFACE であるタリーが角度の次元を持つときの角度ビンを指定する (形式 2)。このタリーのビンが検出面を粒子が通過するときの検出面法線となす角度 ANGLE(1) から ANGLE(NANGLE+1) またはその余弦 COSINE(1) から COSINE(NANGLE+1) で指定される全タリー共通の角度分割に対して、どの区分の番号範囲に対応しているかを示すデータの組として指定する。

■ 使用例 ■

共通角度分割数 NANGLE が 10 のとき

```
IANGLE2( 2 4
          5 7
          8 9
          10 10
          1 10 )
```

はこのタリーが5個の角度ビンをもち、共通角度分割の2~4、5~7、8と9、10そして1~10(全角度範囲)が対応することを示す。5番目のビンのように他のビンと「重なり」があっても構わない。

■ 注意すべきこと ■

1つのタリーに対し IANGLE(...) と IANGLE2(...) はいずれか一方しか指定できない。

GENERATION

■ 形式 ■

GENERATION(*igen_1 igen_2 ...*)

■ 意味 ■

固定線源問題で二次粒子が発生する計算(中性子/光子結合計算、核分裂をともなう中性子計算)において粒子の世代(一次粒子、二次粒子、三次粒子、...)によってタリーを区分するときの指定(形式1)。

第一世代(一次粒子)から始まって引き続く世代がこのタリーの何番目のビンに対応するかを指定する負でない整数。*i*番目の入力があるときは*i*番目の世代はこのタリーでは取り入れられないことを示す。

第何世代まで指定するかは任意である。粒子世代数の制限値 MXPGEN (p. 128) が指定された場合でも、これより大きい世代数まで指定しても構わない。この場合 MXPGEN より大きい世代の統計がゼロになる。

■ 使用例 ■

GENEARTION(0 1 2 2 2 3 3)

世代2(二次粒子)が1番目のビン、世代3から5が2番目のビン、世代6と7が3番目のビン。世代1(一次粒子)はタリーの対象外とされている。

■ 注意すべきこと ■

GENERATION(...) と IGENE2(...) は1つのタリーに対していずれか一方しか指定できない。

IGENE2

■ 形式 ■

IGENE2(*igs_1 ige_1 igs_2 ige_2 ...*)

■ 意味 ■

固定線源問題で二次粒子が発生する計算(中性子/光子結合計算、核分裂をともなう中性子計算)において粒子の世代(一次粒子、二次粒子、三次粒子、...)によってタリーを区分するときの指定(形式2)。粒子世代数に対して、どの区分の番号範囲に対応しているかを示す下限と上限のデータの組として指定する。

■ 使用例 ■

```
IGENE2( 2 4
        5 7
        3 -1
        1 -1 )
```

このタリーは4個の世代ビンをもち、世代2~4、世代5~7が1,2番目の世代ビンである。3番目と4番目の世代ビンは上限が負の数になっているが、これは下限の世代より上の世代全てを含むことを意味する特殊な指定である(3世代目とそれより以降、1世代目から全ての世代)。

■ 注意すべきこと ■

ひとつのタリーに対し GENERATION(...) と IGENE2(...) はいずれか一方しか指定できない。

SOURCE

■ 形式 ■

```
SOURCE( source-set-ID_1 source-set-ID_2 .... )
```

■ 意味 ■

粒子がSOURCEデータブロックのどの線源セット (p. 210) から生成したものか、によってタリーを区別する場合に指定する。入力するのは各線源セットに対応して入力 (ID(...)) または MVP/GMVP で線源セット入力順序で自動的に割り当てられる ID の数字である。

■ 注意すべきこと ■

複数の線源セットが同一の ID をもっている場合、タリーはそれらの線源セットに対する合計になる。

SOURCE-REGION

■ 形式 ■

```
SOURCE-REGION( region-name-pattern_1 region-name-pattern_2 ... )
```

■ 意味 ■

粒子が線源 (固定線源または固有値問題の核分裂粒子) から生成した時点でどの空間領域に属していたかによってタリーを区別する場合に指定する。

入力するのは領域名のパターンのリストであり、規則は REGION (p. 255) で説明したものと同じである。

MARKER-REGION

■ 形式 ■

MARKER-REGION(*region-name-pattern_1 region-name-pattern_2 ...*)

■ 意味 ■

粒子が指定された空間領域 (“MARKER-REGION”) を通過したものかによってタリーを区別する場合に指定する。

■ 解説 ■

入力するのは領域名のパターンのリストであり、規則は REGION (p. 255) で説明したものと同じである。

但し、MARKER-REGION の場合には各領域名のパターンで指定されたそれぞれの領域群が別個のタリーのビンになるわけではなく、指定された領域群の更に集合和を取った領域群をひとつの MARKER-REGION になる。つまり、1 つのタリーに対して 1 つだけの MARKER-REGION を指定していることになる。

タリーの出力においては以下の 3 つの区分のビンがあるものとして出力される。

- (1) MARKER-REGION を通過した時点以降のタリー
- (2) MARKER-REGION を通過する前の粒子によるタリー
- (3) 上記の合計

MARKER-REGION で粒子が生成、そこに進入した時点、その中で飛行を行っただけでは「通過」したとはみなされず、MARKER-REGION に存在した粒子が指定した MARKER-REGION 以外の空間領域に入った時点で「通過した」とマークされる。

PRODUCE-REGION

■ 形式 ■

PRODUCE-REGION(*region-name-pattern_1 region-name-pattern_2 ...*)

■ 意味 ■

タリーが生成領域の次元を持つとき、粒子が弾性外衝突過程により生成された時点でどの空間領域に属していたかによってタリーを区別するために指定する。MVP でのみ指定できる。入力するのは領域名のパターンのリストであり、規則は REGION (p. 255) で説明したものと同じである。

PRODUCE-NUCLIDE

■ 形式 ■

PRODUCE-NUCLIDE(*nuclide-name-pattern_1 nuclide-name-pattern_2 ...*)

■ 意味 ■

タリーが生成核種の次元を持つとき、粒子が弾性外衝突過程により生成される時にどの標的核種との衝突に起因するかによってタリーを区別するために指定する。MVPでのみ指定できる。指定される核種のリストは1つ以上の空白または改行で区切られた核種指定のパターンであり以下のような形式が可能である。

- 単独の核種名 (*nuclide-name*)。核種名は5文字 zzaaa で構成され、zz は元素名 (1文字の元素名は“0”を補う)、aaa は3桁の質量数 (天然元素の場合には“000”を使用) である。また、aaa にワイルドカード文字“*”を適用した場合には、その元素の全ての同位体が対象となる (実質的には“000”と同じ)。aaa を省略し、元素名のみを記述した場合も天然元素を指定したものと見なされる。
- さらに、上記の形式の核種名を“+”または“-”で連結した形 (空白を含まない)。“+”はその核種を加えることを意味し、“-”は取り除くことを意味する。“+”または“-”で連結できる核種数に制限はない。
- ALL。断面積入力データで与えられた全核種が指定されたことを意味する。ALL を指定する場合は、必ず ALL から始める必要がある。ALL-FE056 は OK であるが、FE056-ALL は NG である。

■ 使用例 ■

一般的な使用例は以下の通りである。

```
$TALLY
...
PNPRODUCE
& ID(1) NEUTRON
...
DIMENSION(PRODUCE-NUCLIDE)
PRODUCE-NUCLIDE(FE056 AL027)
& ID(2) NEUTRON
...
DIMENSION(PRODUCE-NUCLIDE)
PRODUCE-NUCLIDE(ALL)
$END TALLY
```

ワイルドカード文字“*”と“+”及び“-”を用いた使用例は以下の通りである。

```
PRODUCE-NUCLIDE( FE056 FE* FE000+W0000 ALL-FE* )
```

入力データ中で鉄とタングステンの物質が組成として使用されているとする。上記のような指定は、以下のような核種の区分にしたがってタリーを取ることを示している。

- FE056: Fe-56 のみのタリー。
- FE*: Fe-54, 56, 57, 58 のタリーの合計。

- FE000+W0000: Fe-54, 56, 57, 58, W-182, 183, 184, 186 のタリーの合計。
- ALL-FE*: W-182, 183, 184, 186 のタリーの合計。全体は Fe と W であるが、これらから Fe を取り除いた W のみとなる。

■ 注意すべきこと ■

“+” または “-” で連結された核種名パターンは、2 行以上にまたがって定義することができない。“-” を使用した場合、天然元素 (“000”) から同位体の核種指定では取り除くことができない場合がある。例えば、鉄の元素 FE000 が指定されている場合には、中性子反応に関しては同位体に分解されないため、“-FE054-FE056-FE057-FE058” と指定しても取り除けない。もし取り除く場合には、“-FE*” と指定する。光核反応に関しては同位体に元素は分解されるため取り除くことができる。光原子反応に関しては、中性子または光核の指定核種が存在する場合には取り除かれない (全て取り除かれている場合にのみ取り除かれる)。中性子と光核の指定核種が存在しない場合には、取り除かれる (光子のみの輸送計算)。

PRODUCE-REACTION

■ 形式 ■

```
PRODUCE-REACTION( mt-n_1 mt-n_2 ... mt-n_NMT
                  mt-p_1 mt-p_2 ... mt-p_NMTP
                  mt-pn_1 mt-pn_2 ... mt-pn_NMTPN )
```

■ 意味 ■

タリーが生成反応の次元を持つとき、粒子が弾性外衝突過程により生成される時にどの生成反応 (MT) に起因するかによってタリーを区別するために指定する。光核反応を含む場合に指定する反応区分は、中性子の区分数 (NMT=120)、光子の区分数 (NMTP=60) および光核反応の区分数 (NMTPN=135) の合計 315 個である。具体的な反応リストについては、付録 H の表を参照のこと。これらの各反応区分がこのタリーの何番目の反応ビンに対応するかを指定する負でない整数。*i* 番目の入力が 0 であるときはその反応はタリーしないことを示す。必要な区分数よりも入力が少ない場合には、入力した数以降の区分は全て 0 として取り扱われる。MVP でのみ指定できる。また、DELAYED-NEUTRON オプションが有効な場合に遅発中性子の生成が可能であれば、核分裂反応は即発中性子 (MT=18) と遅発中性子 (MT=98) の 2 種類に分離される。従って、遅発中性子の寄与を評価したい場合には、MT=98 に反応ビン番号を指定する必要がある。

■ 使用例 ■

以下に光核分裂に起因する遅発中性子からの寄与を計算する例を示す。

```
$TALLY
  PNPRODUCE
  ...
& ID(1)
  LABEL('CAPTURE BY DELAYED NEUTRON FROM PHOTO-FISSION IN U-238')
```



```

EVENT (TRACK)
NEUTRON
DIMENSION (REGION PRODUCE-REACTION PRODUCE-REGION
            PRODUCE-NUCLIDE)
REGION (@DETR)
PRODUCE-REGION (BALL)
PRODUCE-NUCLIDE (U0238)
PRODUCE-REACTION (120(0) 60(0) 97(0) 1 R(0))
MACRO (CAPTURE)
$END TALLY

```

この例では、中性子反応フラグをすべて 0、光原子フラグをすべて 0 とし、98 番目の光核反応フラグ (光核分裂で遅発中性子が発生する反応) のみを 1 としている。BALL という領域で U-238 の光核分裂で発生した遅発中性子を起源とする、@DETR というタリー領域の巨視的捕獲反応率を計算する。

また、複数の反応ビンを指定する例を以下に示す。

```

PRODUCE-REACTION( 4(0) 1 10(0) 1 5(0) 1 5(0) 1 22(0) 41(1) 29(0)
                  60(0)
                  4(0) 2 10(0) 3 5(0) 3 5(0) 3 21(0) 42(4) 6(0) 5
                  37(0) )

```

反応ビン 1 は中性子反応 (MT=5, 16, 22, 28)、反応ビン 2 は光核反応 (MT=5)、反応ビン 3 は光核反応 (MT=16, 22, 28)、反応ビン 4 は光核反応 (MT=50 – 91)、反応ビン 5 は光核反応 (MT=98) である。

12.3.7 反応率計算の指定

本節 (12.3.7 節) 及び次節 (12.3.8 節) でタリーの種類を指定する。両節で指定可能なタリーのいずれもが指定されなかった場合、粒子束タリーが指定されたことになる。即ち、粒子束が省略値である。

IRESP

■ 形式 ■

```
IRESP ( n )
```

■ 意味 ■

エネルギー依存のレスポンス関数 (多群形式) を使用する。データ RESP (p. 249) に含まれる n 番目のレスポンスを使用する。

PRESP

■ 形式 ■

```
PRESP ( n )
```

■ 意味 ■

エネルギー依存のレスポンス関数(連続エネルギー形式)を使用する。STAL または CRESP (p. 250) データで指定された n 番目のレスポンスを使用する。

MACRO – 中性子反応

■ 形式 ■

MACRO (*reaction*)

■ 意味 ■

MVP でのみ指定できる。エネルギー依存の中性子反応レスポンス関数として中性子マクロ断面積バンク (SMAC) の指定された反応のデータを使用する。

以下の反応が指定可能である。

- TOTAL : 全反応
- NUFSSION : 核分裂中性子生成 ($\nu\Sigma_f\phi$)
- FISSION : 核分裂反応 ($\Sigma_f\phi$)
- ELASTIC : 弾性散乱 ($\Sigma_{el}\phi$)
- CAPTURE : 中性子捕獲反応 ($\Sigma_c\phi$) (中性子吸収反応率から核分裂反応を差し引いたもの)
- INELASTIC : 非弾性散乱 ($\Sigma_{iel}\phi$)
- N2N : (n,2n) 反応 ($\Sigma_{n,2n}\phi$)
- LOSS : ロス ($\Sigma_{loss} = \Sigma_a - \Sigma_{n,2n} - 2\Sigma_{n,3n} - 3\Sigma_{n,4n}$)

MACRO – 光原子反応

■ 形式 ■

MACRO (*reaction*)

■ 意味 ■

MVP でのみ指定できる。エネルギー依存の光子レスポンス関数として光子巨視的断面積バンク (SMAC) の指定された反応のデータを使用する。

以下の反応が指定可能である。

- TOTAL : 全反応
- COHERENT : 干渉性散乱 (トムソン散乱)

- INCOHERENT : 非干渉性散乱 (コンプトン散乱)
- PAIRPRODUCTION : 電子対生成
- PHOTELECTRIC : 光電子生成

MICRO – 中性子反応

■ 形式 ■

MICRO:*nucid*(*reaction*)

または

MICRO:*nucid*:SPREAD(*reaction*)

■ 意味 ■

エネルギー依存のレスポンス関数として指定された核種 ID の中性子マイクロ断面積 (SMIC) の指定された反応のデータを使用する (MVP で有効)。“:SPREAD” が指定された場合、粒子が存在している空間位置の物質にその核種が含まれているかどうかに関係なく、1 原子核あたりの反応率が計算される。“:SPREAD” が指定されない場合には粒子が存在している空間位置の物質でのその核種の個数密度を乗じた反応率が評価される。

以下の反応が指定可能である。

- TOTAL : 全反応
- NUFSSION : 核分裂中性子生成 ($\nu\sigma_f\phi$)
- FISSION : 核分裂反応 ($\sigma_f\phi$)
- ELASTIC : 弾性散乱 ($\sigma_{el}\phi$)
- CAPTURE : 中性子捕獲反応 ($\sigma_c\phi$) (中性子吸収反応率から核分裂反応を差し引いたもの)
- INELASTIC : 非弾性散乱 ($\sigma_{iel}\phi$)
- N2N : (n,2n) 反応 ($\sigma_{n,2n}\phi$)
- LOSS : ロス ($\sigma_{loss} = \sigma_a - \sigma_{n,2n} - 2\sigma_{n,3n} - 3\sigma_{n,4n}$)

MICRO – 光原子反応

■ 形式 ■

MICRO:*atomid*(*reaction*)

または

MICRO:*atomid*:SPREAD(*reaction*)

■ 意味 ■

エネルギー依存のレスポンス関数として指定された原子 ID の光子微視的断面積 (SMIC) の指定された反応のデータを使用する (MVP で有効)。“:SPREAD” が指定された場合、粒子が存在している空間位置の物質にその原子が含まれているかどうかに関係なく、1 原子あたりの反応率が計算される。“:SPREAD” が指定されない場合には粒子が存在している空間位置の物質でのその原子の個数密度を乗じた反応率が評価される。

以下の反応が指定可能である。

- TOTAL : 全反応
- COHERENT : 干渉性散乱 (トムソン散乱)
- INCOHERENT : 非干渉性散乱 (コンプトン散乱)
- PAIRPRODUCTION : 電子対生成
- PHOTELECTRIC : 光電子生成

MICROPN – 光核反応

■ 形式 ■

MICROPN:*pn-nucid* (*MT*) または MICROPN:*pn-nucid*:SPREAD (*MT*)

■ 意味 ■

エネルギー依存のレスポンス関数として指定された光核核種 ID の光核反応マイクロ断面積 (SMICPN) の指定された反応のデータを使用する (MVP で有効)。“:SPREAD” が指定された場合、粒子が存在している空間位置の物質にその核種が含まれているかどうかに関係なく、1 原子核当たりの反応率が計算される。“:SPREAD” が指定されない場合、粒子が存在している空間位置の物質中のその核種の個数密度を乗じた反応率が評価される。“*pn-nucid*” は、レスポンス関数として指定する光核反応核種 ID (第 9.1.4 節参照) であり、CROSS SECTION ブロックで指定されたものでなければならない。指定以外のものは、光核反応断面積が読み込まれないため使用できない。指定可能な反応 (MT) は、光核核種の断面積データとして格納されているものでなければならない。もし格納されていない MT の番号が指定されたならば、fatal エラーでジョブは打ち切られる。使用可能な MT の番号は光核断面積ライブラリーを参照のこと。指定可能な MT の数は最大 100 個である。複数の MT が指定された場合には、それらの合計の反応率が計算され、個別には計算されない。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。

■ 使用例 ■

MT=3 のみを指定する場合

```
MICROPN:U02380JEPN( 3 )
```

複数の MT を指定する場合

```
MICROPN:FE0560CNPN:SPREAD( 16 50 51 52 53 54 )
```

12.3.8 炉雑音解析に対する指定

ANALOG

■ 形式 ■

ANALOG(*reaction*)

■ 意味 ■

衝突反応が起こったときに、中性子の重みをカウントする。以下の反応を指定することができる。

- SCATTERING: 散乱反応が起こったときに、中性子の重みをカウントする。
- ABSORPTION: 吸収反応が起こったとき (核分裂を除く)、中性子の重みをカウントする。
((n,γ), (n,p), … 反応)
- CAPTURE: 捕獲反応が起こったときに、中性子の重みをカウントする。((n,γ) 反応のみ)
- FISSION: 核分裂反応が起こったときに、中性子の重みをカウントする。

■ 注意すべきこと ■

タリー ANALOG は、EVENT(ANALOG) (p. 252) が指定され、かつ ANALOG-FISSION オプションが指定されたときのみ有効である。ANALOG では核種名を指定することはできない。

FEYNMAN-Y

■ 形式 ■

FEYNMAN-Y(*Ngate ID*)

■ 意味 ■

Feynman の Y 値 ((4.54) 式) を計算する。 $Ngate$ によって計算するゲート幅の最大値を示す。即ち、 $\tau_{max} = Ngate \times \tau_{min}$ である。ここで、 τ_{min} はタイムビンの幅の最小値を表しており、TIMEB (p. 245) において等間隔の時間幅として指定される。 ID は、 Y 値計算の対象とする時間スペクトルを計算するタリーの ID を示す。 $ID \leq 0$ のときは、対象とするタリーは別には定義されておらず、ここで時間スペクトルのタリーを定義するデータの入力が必要となる。ただし、この場合は、時間スペクトル自身の計算結果は出力されない (評価対象タリーとはならない)。

■ 使用例 ■

```
% TMAX = 2.E-1 , NTBIN = 20000 , DT = TMAX/NTBIN
$TALLY
  NTIME(<NTBIN>)
  TIMEB( 0.0 <%NTIME>:<DT> )
  NWORK( <%NTIME*2> )
& ID(10) NEUTRON
```

```

    LABEL('SCATTERING-DETECTOR IN REFLECTOR')
    DIMENSION( TIME REGION )
    ITIME ( 1 <%NTIME-1>:1 )
    REGION( @REFL @ALL )
    EVENT( ANALOG )
    ANALOG( ABSORPTION )
& ID(20) NEUTRON
    LABEL('FEYNMAN-Y VALUE OR TALLY ID=10')
    FEYNMAN-Y( 1000 10 )
$END TALLY

```

12.4 TALLY データブロックの例

以下に示す入力データは TALLY データブロックの 1 例である。この入力データでは時間依存の計算が行われ、ポイントワイズ(連続エネルギー)レスポンス関数が用いられる。(即ち、TIME-DEPENDENT オプションと RESPONSE オプションがオプション部で指定されている。) 中性子エネルギー群数(NGROUP.N)は TALLY データブロックより前で定義されており、TALLY REGION(@D13, @D23, @D33, @D43, @D53, @D63, @D73)は GEOMETRY データブロックの最後で定義される TALLY REGION ブロックで指定されている。また、エネルギービンは TALLY データブロックの外で定義されている。

Example:

```

$TALLY
NSTAL(6)
STAL ( 13027.03Y ( MT107 )
        28058.03Y ( MT16 )
        28058.03Y ( MT103 )
        41093.03Y ( MT16 )
        49115.03Y ( MT51 )
        79197.03Y ( MT102 )
      )
NTIME(96)
TIMEB(
1.00000E-08 1.25890E-08 1.58490E-08 1.99530E-08 2.51190E-08
3.16230E-08 3.98110E-08 5.01190E-08 6.30960E-08 7.94330E-08
1.00000E-07 1.09650E-07 1.20230E-07 1.31830E-07 1.44540E-07
1.58490E-07 1.73780E-07 1.90550E-07 2.08930E-07 2.29090E-07
2.51190E-07 2.75420E-07 3.02000E-07 3.31130E-07 3.63080E-07
3.98110E-07 4.36520E-07 4.78630E-07 5.24810E-07 5.75440E-07
6.30960E-07 6.91830E-07 7.58580E-07 8.31760E-07 9.12010E-07
9.99999E-07 1.09650E-06 1.20230E-06 1.31830E-06 1.44540E-06
1.58490E-06 1.73780E-06 1.90550E-06 2.08930E-06 2.29090E-06
2.51190E-06 2.75420E-06 3.02000E-06 3.31130E-06 3.63080E-06
3.98110E-06 4.36520E-06 4.78630E-06 5.24810E-06 5.75440E-06
6.30960E-06 6.91830E-06 7.58580E-06 8.31760E-06 9.12010E-06
1.00000E-05 1.09650E-05 1.20230E-05 1.31830E-05 1.44540E-05
1.58490E-05 1.73780E-05 1.90550E-05 2.08930E-05 2.29090E-05
2.51190E-05 2.75420E-05 3.02000E-05 3.31130E-05 3.63080E-05
3.98110E-05 4.36520E-05 4.78630E-05 5.24810E-05 5.75440E-05
6.30960E-05 6.91830E-05 7.58580E-05 8.31760E-05 9.12010E-05

```

```

1.00000E-04 1.25890E-04 1.58490E-04 1.99530E-04 2.51190E-04
3.16230E-04 3.98110E-04 5.01190E-04 6.30960E-04 7.94330E-04
1.00000E-03 1.00000E+26 )
&
ID(10)
LABEL( "TIME-DEPENDENT FLUX" )
PARTICLE( NEUTRON )
DIMENSION( REGION TIME ENERGY )
REGION( @D13 @D23 @D33 @D43 @D53 @D63 @D73 )
IENERGY ( 1 <%NGROUP.N-1>:1 )
ITIME ( 1 <%NTIME-1>:1 )
&
ID(20)
LABEL( "TIME-DEPENDENT POINT-WISE RESPONSE FOR NI-58(n,p)" )
PARTICLE( NEUTRON )
DIMENSION( REGION TIME )
REGION( @D43 @D53 @D63 @D73 )
ITIME ( 1 <%NTIME-1>:1 )
PRESP( 3 )
&
ID(30)
LABEL( "REGION-WISE FE-56 TOTAL REACTION RATE/ATOM" )
PARTICLE( NEUTRON )
DIMENSION( REGION )
REGION( @D13 @D23 @D33 @D43 @D53 @D63 @D73 )
MICRO:FE0560J40:SPREAD( TOTAL )
$END TALLY

```

- タリー 10 は中性子束を計算する。“DIMENSION(REGION TIME ENERGY)”は指定された領域、時間ビン、エネルギービンで中性子束のタリーを取ることと意味している。このタリーでは7つの TALLY REGION (@D13, @D23, @D33, @D43, @D53, @D63, @D73) が指定されている。“IENERGY (1 <%NGROUP.N-1>:1)”は“IENERGY (1 2 3 … NGROUP.N)”と同じであり、中性子束は ENGYB.N で指定されたエネルギービン毎に計算される。“ITIME (1 <%NTIME-1>:1)”は“IENERGY (1 2 3 … 95 96)”と同じであり、中性子束は TIMEB で指定された時間ビンごとに計算される。
- タリー 20 は Ni-58(*n,p*) 反応率を計算する。反応率は4つの TALLY REGION で計算され、タリー 10 と同じ時間ビンで計算される。“PRESP(3)”は STAL の 28058.03Y (MT103) によって指定されたポイントワイズ断面積データを用いることを意味している。
- タリー 30 は Fe-56 の衝突率を計算する。衝突率はタリー 10 と同じ7つの TALLY REGION で計算される。SPREAD オプションが指定されているので計算結果は1原子当りの衝突率となる。

12.5 空間領域の体積

MVP/GMVP では体積の入力として以下の3つがある。

- VOL: ゾーンの体積

- RVOL: REGION の体積
- TRVOL: TALLY-REGION の体積

衝突エスティメータ (collision estimator) と飛程長エスティメータ (track-length estimator) で評価された粒子束や反応率のような体積平均のタリーに必要なのは TALLY-REGION の体積である。現状の MVP/GMVP には空間領域の体積を自動的に計算する機能は備わっていないので、TALLY-REGION の体積は利用者が入力するしなければならない。もし、TALLY-REGION の体積が入力されない、もしくは 1.0 が入力された場合、体積積分された結果が得られる。体積平均値は計算終了後に体積積分値から簡単に求めることができるので、予め TALLY-REGION の体積を正確に求めておく必要はない。これらのデータは TALLY データブロックの中でも外でも指定することができる。

実際の粒子のシミュレーションとは別にして、MVP/GMVP を用いて以下のようにして体積を計算することができる。

- IMAGINARY-PARTICLE オプションと FIXED-SOURCE オプションを使用する。
- 座標軸の 1 つに垂直な平面源を指定する。
- TRVOL の値を 1.0 (デフォルト値) にセットする。
- 飛程長エスティメータ (track-length estimator) で着目している空間領域の粒子束を評価する。
- 着目領域の体積は粒子束に平面源の面積を掛ける事によって得られる。

12.5.1 VOL

■ 形式 ■

VOL (vol_1 vol_2 ... vol_NINPZ)

■ 意味 ■

各 INPUT ZONE の体積 (cm^3)。NINPZ は INPUT ZONE の数。現状では、計算で直接使用されない。

■ デフォルト ■

各入力ゾーンの体積は $1.0(\text{cm}^3)$ にセットされる。

12.5.2 RVOL

■ 形式 ■

RVOL (rvol_1 rvol_2 ... rvol_NREG)

または

RVOL (!region-name (volume) ...)

■ 意味 ■

各 REGION の体積。NREG は REGION 数で幾何形状データからコードが計算する。

■ デフォルト ■

RVOL が入力されない時は各 REGION を構成する INPUT ZONE の体積 (VOL) の和として計算される。(但し、繰り返し形状表現によって、何度も現れる ZONE の個数は考慮されない。) VOL も入力されていない時は、すべての REGION の体積を 1.0(cm³) とする。

REGION 名を用いて RVOL を定義するとき、定義されなかった REGION の体積は 1.0(cm³) にセットされる。

12.5.3 TRVOL

■ 形式 ■

TRVOL(trvol_1 trvol_2 ... trvol_NTREG)

または

TRVOL(!region-name(volume) ...)

または

TRVOL(@tally-region-name(volume) ...)

■ 意味 ■

各 TALLY-REGION の体積。NTREG は TALLY-REGION の数。

■ デフォルト ■

TRVOL が入力されない時は各 TALLY-REGION を構成する REGION の体積 (RVOL) の和として計算される。(但し、繰り返し形状表現によって、何度も現れる REGION の個数は考慮されない。) RVOL も入力されていない時は、すべての TALLY-REGION の体積を 1.0(cm³) とする。

入力の方法として REGION 名または TALLY-REGION 名を与えて体積を指定する方法を選んだ場合、体積が与えられなかった TALLY-REGION の体積は 1.0(cm³) となる。

■ 注意すべきこと ■

TALLY-REGION 名を指定する入力方式を使用する方が望ましい。

13. 分散低減法データの入力

13.1 利用できる分散低減法

MVP/GMVP では4つの分散低減法を利用することができる。(ロシアン・ルーレット, インポートランス, ウェイト・ウインドウ, パス・ストレッチング) これら分散低減法の詳細な説明は 2.9 節に記述されている。これらの分散低減法を用いるためにユーザーはこれらに対するパラメータを入力しなければならない。ユーザーが指定しなければならない分散低減パラメータを表 13.1 に示す。

表 13.1 ユーザーが指定しなければならない分散低減パラメータ

分散低減法	パラメータ	節
ロシアン・ルーレット	WKIL, WSRV	13.2, 13.2
インポートランス	XIMP	13.2
ウェイト・ウインドウ	WKIL, WSRV	13.2, 13.2
パス・ストレッチング	PSALP, PSXYZ	13.2, 13.2

また、光核反応を取り扱う場合、光核反応を起こす確率を高めることができ(パラメータ PPNBR について 13.2 節参照)、光子が特定の核種と衝突する確率を高めることができる(パラメータ PFCN について 13.2 節参照)。

13.2 分散低減法パラメータ

XIMP または XIMP.N/XIMP.P

■ 形式 ■

((XIMP (i, j), i=1,NGROUP), j=1,NREG)

または

XIMP (!region-name (importance-for-energy-groups) ...)

または

!region-name (XIMP (importance-for-energy-groups) ...)

■ 意味 ■

エネルギー群、REGION 毎のインポートンス (省略値 =1.0)。NREG は領域の数で幾何形状データからコードが決める。IMPORTANCE オプション 指定時に有効である。中性子/光子結合問題ではそれぞれの粒子毎に XIMP.N(NGROUP.N, NREG), XIMP.P(NGROUP.P, NREG) を入力してもよい。

■ 注意すべきこと ■

入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。

WKIL または WKIL.N/WKIL.P

■ 形式 ■

((WKIL(*i, j*), *i*=1,NGROUP), *j*=1,NREG)

または

WKIL(!*region-name*(*russian-roulette-killing-weight*) ...)

または

!*region-name*(WKIL(*russian-roulette-killing-weight*) ...)

■ 意味 ■

WKIL 以下の重みになった粒子に対して Russian roulette を行う (省略値 =0.00001)。NREG は REGION 数。RUSSIAN-ROULETTE オプション あるいは WEIGHT-WINDOW オプション 指定時に有効である。中性子／光子結合問題ではそれぞれの粒子毎に WKIL.N(NGROUP.N, NREG), WKIL.P(NGROUP.P, NREG) を入力してもよい。

■ 注意すべきこと ■

どのエネルギー群/REGION に対しても WSRV より小さい値を指定しなければならない。旧版の MVP/GMVP では WKIL < WSRV になっているかどうかをチェックしていなかったので注意。入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。

WSRV または WSRV.N/WSRV.P

■ 形式 ■

((WSRV(*i, j*), *i*=1,NGROUP), *j*=1,NREG)

または

WSRV(!*region-name*(*surviving-particle-weights*) ...)

または

!*region-name*(WSRV(*surviving-particle-weights*) ...)

■ 意味 ■

Russian roulette で生き残った粒子あるいは WEIGHT-WINDOW の splitting を行った後の粒子に与える重み(省略値は 0.0001)。WEIGHT-WINDOW の splitting は重みが $2 \times \text{WSRV}$ より大きい粒子に対して行われる。NREG は REGION 数である。RUSSIAN-ROULETTE オプション あるいは WEIGHT-WINDOW オプション 指定時に有効である。中性子/光子結合問題ではそれぞれの粒子毎に $\text{WSRV.N(NGROUP.N, NREG)}$, $\text{WSRV.P(NGROUP.P, NREG)}$ を入力してもよい。

■ 注意すべきこと ■

どのエネルギー群/REGION に対しても WKIL より大きな値を指定しなければならない。旧版の MVP/GMVP では $\text{WKIL} < \text{WSRV}$ になっているかどうかをチェックしていなかったので注意。入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。

PSALP

■ 形式 ■

$(\text{PSALP}(j) \ j=1, \text{NREG})$

または

$\text{PSALP}(\text{!region-name}(\text{path-stretching-factor}) \dots)$

または

$\text{!region-name}(\text{PSALP}(\text{path-stretching-factor}) \dots)$

■ 意味 ■

オプション PATH-STRETCH (p. 110) が指定されたときに、各空間 REGION ごとに与える制御用パラメータ。詳しい意味については PATH-STRETCH (p. 110) の説明を参照。

- 0 より大きく 1 より小さい場合：

入力された空間内の点 PSXYZ (p. 277) に向かって散乱された粒子に対して飛行パスが長くなるバイアスを適用する。

- 負の値:

空間内の点 PSXYZ (p. 277) に向かって方向と反対に散乱された粒子に対して飛行パスが長くなるバイアスを適用する。

- ゼロ：

PATH-STRETCHING を適用しない。

- 1 より大きい値：

不正な入力となり計算は行わない。

■ デフォルト ■

全 REGION に対して 0。

■ 注意すべきこと ■

入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。

PSXYZ

■ 形式 ■

PSXYZ (*px py pz*)

■ 意味 ■

オプション PATH-STRETCH (p. 110) が指定されたときに、パス・ストレッチング (path stretching) を行うための「目標点」の座標。詳しい意味については PATH-STRETCH (p. 110) の説明を参照。

オプション PATH-STRETCH 指定時にはかならず PSXYZ を入力しなければならない。

PFCN

■ 形式 ■

PFCN (!*region-name* (*probability nuclide-name-pattern_1*
nuclide-name-pattern_2 . . .) . . .)

全領域で共通のデータを与える場合は

PFCN (*probability nuclide-name-pattern_1* . . .)

■ 意味 ■

MVP での光核反応計算時に、REGION 毎に光子が指定した核種と強制的に衝突する確率を与える。その領域で指定した核種グループがこの確率でサンプリングされる。確率 0 は、光子の強制衝突を行わないことを意味し、衝突させないという意味ではない。光子の強制衝突確率は $0 < P_{\text{PFCN}} < 1$ である。核種名の指定方法については、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262) を参照のこと。領域名の入力方法については、6.6 節も参照のこと。

■ デフォルト ■

全 REGION の全核種で 0.0。光子の強制衝突は行われない。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。

■ 注意すべきこと ■

強制衝突核種として指定した核種が、衝突のサンプリングが行われるその領域に存在していなくても問題ない。これは、その領域の物質中の核種だけを使用して光子強制衝突のサンプリング

を行うためである。（その領域に指定核種が存在しない場合は、PFCN = 0 と同じ意味である。）1 領域で指定できる核種グループは 1 つだけである。光核核種との衝突がサンプリングされた場合、光子強制衝突確率とその核種が衝突指定核種かどうかにより、入射光子の重みは調整される。光子強制衝突確率を極端に小さくすると全く衝突事象が起こらなくなることに注意されたい。通常は PFCN > 1.0E-5 で使用すべきである。

■ 使用例 ■

```
PFCN( !RG01( 0.1 U0235 U0238 ) !RG02( 0.05 FE* ) !RG03( 0.02 FE056 ) )
PFCN( 1.0E-2 U0235 U0238 PU* )
```

PPNBR

■ 形式 ■

PPNBR(*probability*(*nuclide-name-pattern_1* *nuclide-name-pattern_2* . . .) . . .)

全核種に共通のデータを与える場合は

PPNBR(*probability*)

■ 意味 ■

MVP での光核反応を含む中性子・光子結合計算において、光子が光原子反応と光核反応を選択する時に、衝突核種毎に光核反応を選ぶ確率。光核選択確率は $0 < P_{\text{PPNBR}} < 1$ である。核種名の指定方法については、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262) を参照のこと。

■ 解説 ■

光核反応断面積は、光原子反応断面積と比べて 0.1 ~ 0.001 倍程度の大きさである。そのため、光子衝突過程で選択される反応は圧倒的に光原子反応が多くなる。本来は稀な光核反応の選択確率を高めるためにこれを使用する。これは、光子のエネルギーが光核反応の下限エネルギーよりも高い場合にのみ有効である。

パラメータ PPNBR を用いて、光子の重みは以下のように調整される。確率 PPNBR で光核反応が選択された場合、

$$W'_\gamma = W_\gamma \frac{\sigma_t^{\text{pn}}}{\sigma_t^{\text{pa}} + \sigma_t^{\text{pn}} \text{PPNBR}}$$

確率 (1-PPNBR) で光原子反応が選択された場合、

$$W'_\gamma = W_\gamma \frac{\sigma_t^{\text{pa}}}{\sigma_t^{\text{pa}} + \sigma_t^{\text{pn}} (1 - \text{PPNBR})}$$

である。ここで、

W'_γ : 調整後の光子の重み

W_γ : 調整前の光子の重み

σ_t^{pa} : 光原子反応の全断面積

σ_t^{pn} : 光核反応の全断面積

■ デフォルト ■

省略値 = 0.0。光核反応の選択確率は、 $\sigma_t^{\text{pn}} / (\sigma_t^{\text{pa}} + \sigma_t^{\text{pn}})$ の比で行う。

■ 注意すべきこと ■

最初の入力形式において、最後に確率のみが与えられた場合には、未指定の核種全てにその確率が適用される。

■ 使用例 ■

```
PPNBR( 0.3 (U0235 U0238) 0.5 (FE*) 0.1 )
PPNBR( 0.3 (U0235 U0238) 0.2 (FE054 FE056) 0.1 )
PPNBR( 0.01 (N0014 O0016) )
PPNBR( 0.3 )
```

PMT

■ 形式 ■

```
PMT( !region-name( ( nuclide-name reaction-mt probability ) ... ) ... )
PMT( !region-name( nuclide-name reaction-mt probability ) ... )
PMT( !region-name( reaction-mt probability ) ... )
```

全領域に共通のデータを与える場合は

```
PMT( ( nuclide-name reaction-mt probability ) ... )
```

全領域と核種に共通のデータを与える場合は

```
PMT( reaction-mt probability )
```

■ 意味 ■

MVP で光核反応が選択された場合に、ある特定の光核反応の反応型式を優先して選択するための確率。ある領域の 1 つの核種について指定できる特定反応型式は 1 つのみである。特定光核反応型式選択確率は $0 < P_{\text{PMT}} < 1$ である。 $P_{\text{PMT}} = 0$ の場合には、その反応型式の断面積に基づいた自然サンプリングを行う。もし確率が自然サンプリングの確率よりも低い場合には、自然サンプリングが行われる。反応型式の番号 MT は、光核反応断面積ライブラリで定義された MT 番号である (H.3 節参照。)。核種名を省略した場合は、その領域内の全核種が対象となる。核種名の指定方法については、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262) を参照のこと (“+” または “-” の記号による連結はできない)。領域名の入力方法については、「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」を参照のこと。

■ 解説 ■

U-238 の光核分裂断面積は、入射光子エネルギーが 7 ～ 15 MeV では全断面積に対して約 30% である。遅発中性子の統計精度を上げたい場合には、光核分裂反応のサンプリング確率を高めることが計算効率上有効である。そのため、`PMT((U0238 18 0.5))` と入力し、 $P_{\text{PMT}} = 0.5$ のように自然サンプリング確率よりも高くなるように指定する。

■ デフォルト ■

省略値 = 0.0。自然サンプリングを行う。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。

14. 二次粒子発生を制御するデータ

14.1 二次粒子の発生方法

MVP/GMVP では中性子反応により発生した核分裂中性子、中性子と原子核の反応で発生した光子を、粒子源データとして与えられた「一次粒子」(primary particle) のヒストリーから二次的に発生したものとして「二次粒子」(secondary particle) と呼んでいる。二次粒子からさらに三次粒子、四次粒子等も発生することがある。

中性子反応のたびに二次粒子をすべて実際に発生しては粒子の情報を記憶する配列 (粒子バンク) があふれてしまうことがあるため、衝突反応時の中性子重みと、そのときの二次粒子生成断面積から計算される二次粒子生成反応率と、あらかじめ与えた基準となる重みの値を利用してロシアン・ルーレット を行って実際にコード中で「粒子」として二次粒子を生成するかを決定する。その基準粒子重み値が核分裂中性子に対しては WGTF、二次粒子に対しては WGTP という入力データとなっている。

光核反応を取り扱う場合は、光子を一次粒子として中性子が二次粒子で発生する。このとき、衝突時の光子の重み、二次中性子生成確率と収率、二次中性子に与える基準重み (WGTPN あるいは WGTPNR) を用いて、二次中性子発生数を決定する。

14.2 核分裂中性子、二次光子に関するデータ

FKAI

■ 形式 ■

$$\text{FKAI} (\begin{array}{l} \chi_{1,1} \chi_{2,1} \dots \chi_{\text{NTGX},1} \\ \chi_{1,2} \chi_{2,2} \dots \chi_{\text{NTGX},2} \\ \dots \\ \chi_{1,\text{NMAT}} \chi_{2,\text{NMAT}} \dots \chi_{\text{NTGX},\text{NMAT}} \end{array})$$

■ 意味 ■

GMVP コードでの物質毎の核分裂エネルギースペクトル。NTGX、NMAT は巨視的断面積の群数と物質の数であり、それぞれ NGP + NGG、NMED (断面積データ入力参照) に等しい。MVP コードでは指定できない。

■ 注意すべきこと ■

GMVP の“XSEC ブロック”ではなく“CROSS SECTION ブロック”を使用する場合、FKAI はこのブロック内の各物質に対して個別に指定すべきである。これらの入力方法は GMVP の CROSS SECTION ブロックの組成データの解説 (p. 154) を参照。

WGTF or WGTFD

■ 形式 ■

- (1) 即発中性子と遅発中性子に同じ値を与える場合

WGTF (*weight_1 weight_2 ... weight_NREG*)

または

WGTF (*!region-name (weight) ...*)

または

!region-name (WGTF (*weight*) ...)

- (2) 即発中性子と遅発中性子に違う値を与える場合

WGTFD (*!region-name (prompt-weight delayed-weight) ...*)

WGTFD (*!region-name (prompt-weight) !region-name (prompt delayed) ...*)

または

WGTFD (*prompt-weight_reg1 delayed-weight_reg1 prompt_reg2 delayed_reg2 ...*)

■ 意味 ■

各 REGION 毎に核分裂で発生する中性子に与える重み。NREG は REGION 数。WGTF を用いて中性子衝突反応が起こるごとに以下のように核分裂中性子の発生個数が決められる。

$$n_f = \frac{W \cdot \nu \sigma_f / \sigma_t}{\text{WGTF}}$$

W は衝突を起こした時の中性子の重みである。入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。DELAYED-NEUTRON オプションが有効であれば、核分裂反応からの即発中性子と遅発中性子に対して異なる重みを REGION 毎に与えることができる。その場合には WGTFD を使用する。これは中性子ライブラリ中に核分裂の遅発中性子データが存在しなければ意味を持たない。

■ デフォルト ■

全 REGION で 1.0。

■ 解説 ■

● **固有値問題の場合** 固有値問題では核分裂粒子としてその位置と重みを登録された粒子が次のバッチ (世代) でバッチ当たりヒストリー数 **NHIST** (p. 121) の個数だけ等しい確率で選ばれて中性子源として用いられる。この場合各バッチでは核分裂中性子は **NHIST** 以上の数が登録されていることが望ましい。**NHIST** 以上の中性子源が登録されていなければ、次のバッチの中性子源としてどれかの核分裂中性子の発生位置と重みを 2 回以上使用することになるため世代間の統計的相関が大きくなり固有値 (中性子増倍率) の計算値の信頼性に影響する。

そのためには原則として **WGTF** が予想される固有値より小さいものであればよい。通常は、予想される固有値 (中性子増倍率) の 0.8 倍程度の値を用いればよい。デフォルト値が 1.0 なので未臨界の体系を計算するときには 1.0 より小さい **WGTF** の値を指定する必要がある。

核分裂粒子として登録された粒子が次のバッチ (世代) で中性子源として用いられる際に、重みの総和が **NHIST**×1.0 となるように規格化されるので、次のバッチで中性子源として発生するときの重みは必ずしも **WGTF** そのものとはなるわけではない。

● **固定粒子源問題の場合** **WGTF** の値を小さくすれば二次粒子としての核分裂中性子の発生数を増やすことができ、これによって二次中性子以降の挙動が重要な問題での計算効率が向上することを期待できる。ただし、**RUSSIAN-ROULETTE**, **WEIGHT-WINDOW** による分散低減オプションをもちいている場合には、小さい重みで発生した二次粒子にそのまま **WKIL**, **WSRV** が適用されてしまうため、発生してもただちにランダムウォークが終了してしまう可能性がある。それを避けるためにはオプション **RELATIVE-WEIGHT** (p. 114) を用いる。

● **WGTF に空間分布を持たせる場合** **WGTF** は空間 **REGION** 毎に異なった値を指定することができるようになっているが、これは

- **WGTF** が小さいところでは多数の核分裂中性子を発生し、
- **WGTF** が大きいところでは小数の核分裂中性子しか発生させない

というバイアスサンプリングを行うことができることを意味する。

WGTP

■ 形式 ■

WGTP (*weight_1 weight_2 ... weight_NREG*)

または

WGTP (*!region-name (weight) ...*)

または

!region-name (**WGTP** (*weight*) ...)

■ 意味 ■

各 REGION 毎に中性子の衝突反応で発生した二次光子に与える重み。NREG は REGION 数。WGTP を用いて二次光子の発生個数が以下のように決められる。

$$n_p = \frac{W \cdot \sigma_p / \sigma_t}{WGTP}$$

W は衝突を起こした中性子の重み、 σ_p は光子生成断面積。入力方法については「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。

■ デフォルト ■

全 REGION で 1.0。

■ 注意すべきこと ■

WGTF の「固定粒子源問題の場合 (p. 283)」、「WGTF に空間分布を持たせる場合 (p. 283)」と同様のことが当てはまる。

WGTPN あるいは WGTPNR

■ 形式 ■

- (1) 一般的な場合 (領域、核種、反応タイプに依存)

```
WGTPN( !region-name( weight( nuclide-name_1 mt_1 nuclide-name_2 mt_2 ... ) ... ) ... )
WGTPN( !region-name( weight( nuclide-name_1 nuclide-name_2 mt_2 ... ) ... ) ... )
```

- (2) 核種と反応タイプにのみ依存する場合

```
WGTPN( weight( nuclide-name_1 mt_1 nuclide-name_2 mt_2 ... ) ... )
WGTPN( weight( nuclide-name_1 nuclide-name_2 mt_2 ... ) ... )
```

- (3) 領域と核種にのみ依存する場合

```
WGTPN( !region-name( weight( nuclide-name-pattern_1 ... ) ... ) ... )
```

- (4) 核種にのみ依存する場合

```
WGTPN( weight( nuclide-name-pattern_1 ... ) ... )
```

- (5) 領域にのみ依存する場合

```
WGTPNR( weight_1 weight_2 ... weight_NREG )
```

または

```
WGTPNR( !region-name( weight ) ... )
WGTPN( !region-name( weight ) ... )
```

または

```
!region-name( WGTPNR( weight ) ... )
```

■ 意味 ■

REGION と衝突光核核種と反応タイプ毎に光子の衝突で光核反応により発生した二次粒子に与える重み。MVP でのみ指定できる。NREG は REGION 数。WGTPN または WGTPNR を用いて光核反応の二次粒子の発生個数 n_{pn} が以下のように決められる。

$$n_{pn} = \frac{WY_{pn}\sigma_{pn}/\sigma_t}{WGTPN}$$

ここで、 W は衝突を起こした光子の重み、 Y_{pn} は衝突核種の光核生成粒子の収率、 σ_{pn} は衝突核種の光核反応断面積、 σ_t はその光核反応断面積と原子相互作用断面積の和である。核種名の指定方法については、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262) を参照のこと。ただし、“+” または “-” の記号による連結はできない。領域名の入力方法については、6.6 節を参照のこと。領域名を省略した (領域依存がない) 場合には、全領域に適用される。反応型式の番号 MT は、光核反応断面積ライブラリで定義された MT 番号である。反応タイプの MT 番号については、H.3 節を参照。核種名と反応タイプで 1 つの組とする。もし反応タイプが与えられない場合には、全ての反応タイプが指定されたものとして扱う。ある核種で複数の反応タイプを指定したい場合には、複数個の核種名と反応タイプの組で指定する必要がある。DELAYED-NEUTRON オプションが有効であれば、光核分裂反応からの即発中性子と遅発中性子の異なる重みを与えることができる。その場合の MT 番号としては、即発中性子は 18、遅発中性子は 98 または -18 を使用する。これは、光核反応断面積ライブラリ中に光核分裂の遅発中性子データが存在しなければ意味を持たない。

■ デフォルト ■

全 REGION で 0.001。光核反応で生成した全ての粒子の重みは 0.001 とする。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときに意味がある。オプション DELAYED-NEUTRON (p. 99) が有効なときには、遅発中性子にも適用可能である。

■ 注意すべきこと ■

同一領域内の核種と反応タイプ毎に異なる重みを与えることもできる。

光核反応で生成した粒子の重みのモニター入力 MONPNWGT (p. 286) が使用される場合には、強制的に WGTPN=0 が設定される。この時には自然サンプリングが適用され、入射光子の重みが二次粒子に引き継がれる。ユーザーが WGTPN の入力値として 0 を与えた場合も同様である。

WGTF の「固定粒子源問題の場合 (p. 283)」、「WGTF に空間分布を持たせる場合 (p. 283)」と同様のことが当てはまる。

■ 使用例 ■

```
WGTPN( !DCONC( 1.E-5(U0*) 5.E-4(C0* SI* S0* CR* MN055 FE* NI*) ) ) )
WGTPN( !RG01 (1.0E-4) !RG02 (2.0E-4) !RG03 (5.0E-4) )
WGTPN( 0.005 ( U0* FE* CU* ) )
WGTPNR( 28( 0.001 ) )
WGTPN(!DCONC(1.E-5(U0235 18 U0235 98)
          2.E-5(NP237 U0238 18 U0238 -18) ) )
```

MONPNWGT

■ 形式 ■

```
MONPNWGT( !region-name-pattern( ( nuclide-name-pattern mt-pattern ) ... ) ... )  
MONPNWGT( !region-name-pattern( nuclide-name-pattern mt-pattern ) ... )  
MONPNWGT( !region-name-pattern( nuclide-name-pattern ) ... )  
MONPNWGT( !region-name-pattern( mt-pattern ) ... )  
MONPNWGT( !region-name-pattern ... )
```

■ 意味 ■

光核反応により生成される二次粒子の重みをモニターするために、モニタリングする REGION、衝突光核核種と反応タイプを指定する。ここで指定されたものだけがモニタリングされて出力される。MVP でのみ指定できる。これが入力されると、排他関係にある WGTPN (p. 284) は強制的に 0 に設定される。反応タイプの MT 番号は、光核反応断面積ライブラリで定義された MT 番号である。反応タイプの MT 番号については、H.3 節を参照。核種名の指定方法については、PRODUCE-NUCLIDE (p. 262) を参照のこと。領域名の入力方法については、「REGION 毎に入力するデータ (p. 85)」も参照のこと。領域名、光核反応核種 ID と反応タイプは、“+” 記号による連結は可能であるが、“-” 記号は許されない。領域名のみを指定した場合には、その領域に含まれる全ての核種と反応がモニタリングの対象となる。モニタリングビンは、入力データ記述における最も内側の括弧内の指定毎に順番にビン番号が割り当てられる。同一ビンとして複数の核種と反応が指定可能である。同じ領域の核種でも反応毎にビン番号を変えたい場合には、繰り返し記述することができる。下記の使用例における最初の行では、領域 RG01 の核種 Fe-56 の MT=5 がモニタリングビン 1 となり、Fe-54 と Fe-56 の MT=5 がビン 2、領域 RG02 の U-235 と U-238 の MT=5 と 18 がビン 3 になる。

■ デフォルト ■

モニタリングしない。

■ 他のオプションとの関連 ■

オプション PHOTO-NUCLEAR (p. 112) が有効なときのみ意味がある。

■ 使用例 ■

```
MONPNWGT( !RG01( (FE056 5) (FE054+FE056 5) ) !RG02 (U0235+U0238 5+18) )  
MONPNWGT( !RG01(FE056) !RG02 (U 5+18) )  
MONPNWGT( !RG01(18) )  
MONPNWGT( !RG01 !RG02 )
```

15. 摂動計算の入力データ

15.1 摂動計算入力データの一般的規則

15.1.1 PERTURBATION データブロック

PERTURBATION データブロックの一般的な形式は、TALLY データブロックと同様であり、以下のようになっている。

```
$PERT[URBATION]
[ すべての摂動パラメータ情報の指定に共通のデータ ] (現在のところ未使用)
&
摂動パラメータ情報 1
&
摂動パラメータ情報 2
&
...
$END PERT[URBATION]
```

- ここで\$及び&は、入力行の 1 カラム目に置くものとし、&から&または\$END PERT が現れるまでに 1 つの”direct tally”を定義するセットを指定する。ここで、”direct tally”とはある 1 つの摂動パラメータ (密度、核種数密度など) の変化量に対する、ある 1 つの物理パラメータ (k_{eff} 、反応率、中性子束) の変化量をスコアリングするためのタリーを示す。例えば、密度摂動に対する実効増倍率の 1 次摂動量の場合は $\partial k / \partial \rho$ への寄与をスコアリングしているタリーを示す。
- この摂動計算入力ブロックを置く位置は幾何形状データブロック (\$GEOM — \$END GEOM)、断面積/物質組成データブロック (\$XSEC — \$END XSEC) の後とする。

表 15.1 に摂動計算の入力パラメータ一覧を示す。

15.2 各摂動パラメータに対する入力

15.2.1 ID

■ 形式 ■

ID(*perturbation_id_number*)

■ 意味 ■

摂動パラメーターの ID 番号。任意の正の整数を入力する。

15.2.2 LABEL

■ 形式 ■

`LABEL("label_string")`

■ 意味 ■

摂動計算に対するタイトル。プリント出力のために用いる。

15.2.3 評価法の指定

■ 形式 ■

`EVENT(event)`

■ 意味 ■

評価法 (エスティメータ) の指定。現在のところ、`event = COLLISION` のみ指定可能である。

■ デフォルト ■

衝突エスティメータ (`event = COLLISION`)。

15.2.4 タリー粒子の指定

■ 形式 ■

`NEUTRON`

■ 意味 ■

タリーの対象とする粒子。現在のところ、摂動計算では `NEUTRON` のみ有効。

■ デフォルト ■

中性子 (`NEUTRON`)。

15.2.5 タリーパラメータの指定

■ 形式 ■

`KEFF | BEFF`

■ 意味 ■

タリーの対象とするパラメータの指定。必ず入力する必要がある。以下のパラメータが指定可能である。

- KEFF : 実効増倍率に対する摂動。
- BEFF : 動特性パラメータ (実効遅発中性子割合 β_{eff} と中性子生成時間 Λ) を計算。

1 つの摂動パラメータ情報の中で、このパラメータを 2 つ同時に指定すると **fatal error** となる。

摂動ブロックにおいて BEFF が指定されると、微分演算子サンプリング法によって動特性パラメータが計算される。手法の詳細については、参考文献 [62, 63] を参照されたい。

15.2.6 摂動パラメータの指定

■ 形式 ■

```
PARAMETER( DENSITY | NUMBER( nucid ) )
```

■ 意味 ■

摂動パラメータの種類を指定する。必ず入力する必要がある。以下の摂動パラメータが指定可能である。

- DENSITY : 密度に対する摂動。
- NUMBER : 核種数密度に対する摂動 (*nucid* は \$XSEC ブロックで指定された核種の ID 名)

15.2.7 摂動計算手法の指定

■ 形式 ■

```
METHOD( CORRELATED | DIFFERENTIAL )
```

■ 意味 ■

摂動計算手法を指定する。以下の手法が指定可能である。

- CORRELATED : 相関サンプリング法。
- DIFFERENTIAL : 微分演算子サンプリング法。

現在、相関サンプリング法は、密度に対する摂動 (PARAMETER(DENSITY)) にのみ対応している。また、微分演算子サンプリング法は、テイラー級数展開項の二次の項までを計算する。

■ デフォルト ■

微分演算子サンプリング法 (METHOD(DIFFERENTIAL))。

15.2.8 核分裂源分布変化を考慮するための世代数

■ 形式 ■

PERT[TURBED]-SOUR[CE] (*NGSP*)

■ 意味 ■

核分裂源分布変化による影響を考慮する際、*NGSP* 世代前からの影響を考慮する。このオプションは固有値問題でのみ有効であり、固定源問題では意味を持たない。固定源問題ではこのオプションは無効で、コード内で強制的に *NGSP* = 0 とされる。

■ デフォルト ■

NGSP = 10。

15.2.9 摂動量の指定

■ 形式 ■

FRACTIONAL-CHANGE (*value1 value2 ...*)

■ 意味 ■

摂動パラメータの基準値からの相対変化量の指定。微分演算子サンプリング法では、複数の変化量を入力することができる。ただし、現在入力できる変化量の数は 10 に制限されている。相間サンプリング法では 1 つ目の値だけ意味を持ち、それ以外は無視される。

15.2.10 摂動領域の指定

■ 形式 ■

PERT[TURBED]-REG[ION] (*perturbed_region_1* [*perturbed_region_2 ...*])

■ 意味 ■

摂動領域の指定。*perturbed_region_?*には、幾何形状データブロック (\$GEOM — \$END GEOM) の最後で定義された@で始まる 12 文字以内 (@を含む) の文字列を指定する。タリー領域の指定と同じく、!と:を使って MVP/GMVP の幾何形状モデルにおける領域名を指定することも可能である。UNIX で標準的に使われている?と*も使用できる。(?は 1 文字だけ任意の文字で置き換える。*は任意の文字数の任意の文字列で置き換える。)

15.2.11 摂動核種の指定

■ 形式 ■

PERT[TURBED]-NUCL[IDE] (*perturbed_nuclide_1* [*perturbed_nuclide_2* ...])

■ 意味 ■

組成データ指定ブロック (\$XSEC — \$END XSEC) で指定された核種 ID を入力する。本データが意味を持つのは、PARAMETER (NUMBER) が指定された場合であり、PARAMETER (DENSITY) が指定された場合には、warning 表示をし、摂動対象領域に含まれるすべての核種が摂動対象になる。なお、任意温度ライブラリを使用した解析では、核種 ID の後ろに温度インデックスが自動的に付加されるため、\$XSEC で指定した ID 名と一致しなくなる場合もある。そのため、U02350J40* のようにワイルドカードを使用した入力を行うなどの注意が必要になる。

表 15.1 摂動計算入力パラメータ一覧

入力項目	変数内容	デフォルト	備考
ID	任意の自然数	なし	
LABEL	摂動情報のタイトル	なし	
EVENT	評価法の指定	COLLISION	現在、COLLISION のみ対応。
NEUTRON	タリー粒子	NEUTRON	現在、NEUTRON のみ対応。
KEFF BEFF	タリーパラメータ	KEFF	
PARAMETER	摂動パラメータ	なし	
METHOD	摂動計算手法の指定	なし	
FRACTIONAL-CHANGE	摂動パラメータの基準値からの相対変化量の指定	なし	CORRELATED の場合には 1 つ目の値のみが採用される（最大 10）。
PERTURBED-SOURCE	核分裂源分布変化による影響を考慮するための世代数	10	固有値問題でのみ有効。
PERTURBED-REGION	摂動領域の指定	なし	REGION NAME で指定する。
PERTURBED-NUCLIDE	摂動核種の指定	なし	核種名で指定する。

15.2.12 摂動計算データ入力例

均質 1 領域体系において密度摂動に対する実効増倍率の変化量を計算する場合の入力例を以下に示す。微分演算子サンプリング法と相関サンプリング法を用い、基準密度 18.74 g/cm³ 密度が 20.0, 21.0, 23.5, 26.0 g/cm³ (相対変化量はそれぞれ、6.7%, 12.6%, 25.4%, 38.74%) に変化したときの実効増倍率の変化量を計算する。

例 1:

\$PERTURBATION

```

&
  ID(1)
  LABEL('DIFFERENTIAL OPERATOR SAMPLING')
  EVENT(COLLISION)
  METHOD(DIFFERENTIAL)
  PARAMETER(DENSITY)
  FRACTIONAL-CHANGE(<20.0/18.74 - 1.0> <21.0/18.74 - 1.0>
                    <23.5/18.74 - 1.0> <26.0/18.74 - 1.0>)
  PERTURBED-REGION(!FUEL1)
&
  ID(2)
  LABEL('CORRELATED SAMPLING')
  EVENT(COLLISION)
  PARAMETER(DENSITY)
  METHOD(CORRELATED)
  FRACTIONAL-CHANGE(<20.0/18.74 - 1.0>)
  PERTURBED-REGION(!FUEL1)
&
  ID(3)
  LABEL('CORRELATED SAMPLING')
  EVENT(COLLISION)
  PARAMETER(DENSITY)
  METHOD(CORRELATED)
  FRACTIONAL-CHANGE(<21.0/18.74 - 1.0>)
  PERTURBED-REGION(!FUEL1)
&
  ID(4)
  LABEL('CORRELATED SAMPLING')
  EVENT(COLLISION)
  PARAMETER(DENSITY)
  METHOD(CORRELATED)
  FRACTIONAL-CHANGE(<23.5/18.74 - 1.0>)
  PERTURBED-REGION(!FUEL1)
&
  ID(5)
  LABEL('CORRELATED SAMPLING')
  EVENT(COLLISION)
  PARAMETER(DENSITY)
  METHOD(CORRELATED)
  FRACTIONAL-CHANGE(<26.0/18.74 - 1.0>)
  PERTURBED-REGION(!FUEL1)
$END PERTURBATION

```

- 摂動領域名を FUEL1 と指定しており、これは幾何形状データブロックで定義されている領域名である。
- ID(1) で指定されている摂動パラメータ情報は、微分演算子サンプリング法によって実効増倍率の変化量を計算する。微分演算子サンプリング法では、摂動パラメータに関する実効増倍率の微分係数を計算するので、1つの摂動パラメータ情報を指定するだけで、摂動パラメータの任意の変化量に対する計算が可能である。
- ID(2) から ID(5) で指定されている摂動パラメータ情報は、相関サンプリング法によって実効増倍率の変化量を計算する。相関サンプリング法では、1つの摂動パラメータ情報で1

つの摂動パラメータの変化量に対する摂動しか計算できないので、ID(1)と同じ摂動を計算するために、4つの摂動パラメータ情報を計算している。

動特性パラメータを計算するための入力例を以下に示す。摂動領域や摂動核種を指定する必要はないので、基本的には、BEFFだけを指定するだけでよい。

例 2:

```
$PERTURBATION
&
  ID(1)
  LABEL('KINETICS PARAMETERS')
  BEFF
$END PERTURBATION
```

16. 入出力ファイル

16.1 FORTRAN I/O ユニット

MVP/GMVP コードで共通に使用される FORTRAN I/O ユニットと、ユニット上で開かれるファイルの用途を表 16.1 に示す。また、MVP と GMVP 固有のファイルと I/O ユニットのそれぞれを表 16.2 と表 16.3 に示す。

GMVP のルジャンドル展開形式バイナリ断面積入力 I/O ユニットは \$CROSS SECTION 入力データ “INPUT” または旧形式の入力の “IXTAPE” で指定することができるが、これらはそれぞれデフォルト値 (=1) を使用すべきである。また、GMVP の処理済断面積出力機能は使用すべきでない。

表 16.1 MVP/GMVP 共通の入出力ファイル

I/O unit	形式	用途	入力/出力
5	テキスト	標準入力データ	入力
6	テキスト	プリント出力 (標準出力)	出力
8	バイナリ	中性子源ファイル 別の計算で核分裂中性子源ファイルとして出力されたもの。	入力
9	バイナリ	固有値問題で出力する核分裂中性子源	出力
10	バイナリ	リスタート計算の時に入力するファイル 以前の計算でリスタート出力として書き出されたもの。	入力
15	テキスト	幾何形状データ処理作業ファイル	入出力
16	バイナリ	入力データ処理作業ファイル	入出力
20	バイナリ	次のリスタート計算に必要な出力データ	出力
30	バイナリ	計算結果の出力ファイル	出力
55	テキスト	入力データ処理作業ファイル	入出力
66	テキスト	入力データ処理 (計算機能) のモニター	出力
75	テキスト	幾何形状データ処理作業ファイル	入出力

16.2 コマンド行での入出力ファイル等の指定

UNIX または MS-DOS 環境などで、コマンド行あるいはシェルスクリプトで MVP/GMVP を実行する場合、MVP 及び GMVP の実行イメージ (ロードモジュール) にコマンド行パラメータを通してファイルと I/O ユニットの対応、その他の実行制御情報を与えることができる。

UNIX 環境では通常の使用においてはロードモジュールをコマンドとして呼び出すよりも第 17 章で記述する runmvp 及び rungmvp コマンドを使用するほうが望ましい。

表 16.2 MVP の入出力ファイル

I/O unit	形式	用途	入出力
24	テキスト	任意温度中性子断面積ライブラリインデックス	入力
25	テキスト	固定温度中性子断面積ライブラリインデックス	入力
26	テキスト	光原子反応断面積ライブラリインデックスファイル	入力
27	テキスト	電子断面積ライブラリインデックスファイル (制動 X 線発生時に必要)	入力
28	テキスト	光核反応断面積ライブラリインデックスファイル	入力
29	テキスト	連続エネルギーレスポンスライブラリの インデックス	入力
49	バイナリ	任意温度断面積ライブラリの入力もしくは 処理に使用	入力
50	バイナリ	断面積ライブラリの入力に使用	入力
51	テキスト	任意温度断面積ライブラリの処理結果を 出力する際の排他制御に使用	出力

表 16.3 GMVP の入出力ファイル

I/O unit	形式	用途	入出力
INPUT	バイナリ	ルジャンドル展開型断面積ライブラリ、または 処理済みライブラリの入力	入力
OUTPUT	バイナリ	処理済みライブラリ出力	出力
99	バイナリ	二重微分型中性子断面積ライブラリ入力	入力
98	バイナリ	二重微分型光子断面積ライブラリ入力	入力

(1) ファイル名と FORTRAN I/O ユニットの対応付け

以下のような形式のコマンド行パラメータを指定する。

"/N" + "制御文字" + ":" + "ファイル名"

ここで、

(a) N: 入出力機番を表す数字 (1~99)

(b) 制御文字:

<FORM パラメータ>

- U または u: バイナリーファイル (FORM=UNFORMATTED)
 - F または f: テキストファイル (FORM=FORMATTED)
- 省略値は“U”である。

<STATUS パラメータ>

- S または s: スクラッチファイル (STATUS=SCRATCH)
処理終了後消去される。ただしファイル名として既存のファイルが指定された場合には消去されない。
- R または r: 既存ファイル (STATUS=OLD)
通常、読み込みのみのファイルに指定する。
- N または n: 新規作成ファイル (STATUS=NEW)
- 省略時: ファイル名が与えられた時は STATUS=UNKNOWN、
ファイル名が与えられない時は STATUS=SCRATCH。

以下に使用例を示す。

- /5rf:test.inp
入出力機番 5 にテキストファイル test.inp をオープンする。
- /99:DDL.lib または /99ru:DDL.lib
入出力機番 99 に既存のバイナリファイル DDL.lib をオープンする。
- /30:RESULT または /30un:RESULT
入出力機番 30 に新規バイナリファイル RESULT をオープンする。
- /15sf または /15f
入出力機番 15 にテキスト形式のワークファイルをオープンする。
- /16s または /16
入出力機番 16 にバイナリ形式のワークファイルをオープンする。

(2) その他の制御情報

- マルチタスクジョブのタスク数の指定

形式: \texttt{NTASK=n}

ここで、

\texttt{NTASK=}: タスク数の指定であることを示す ('ntask=' で
もよい)。

\texttt{n}: タスク数。

マルチタスク機能を持たないロードモジュールに対しては、このパラメータは意味を持たず指定は無視される。

16.3 MVP コードの断面積インデックスファイル

MVP に対しては、断面積ライブラリファイルを直接指定する代わりに、入力データ中の核種 ID と実際の断面積ファイルの対応を示す「断面積インデックスファイル」を計算実行時に与える。インデックスファイルは、表 16.4 に示されるように、中性子、光子などの断面積ファイルの種類別に異なる FORTRAN I/O ユニットでアクセスされる。

中性子、光子、電子の、それぞれのインデックスファイルは、以下に示す規則で記述されたテキストファイルであり、核種の ID 名と実際の核種毎の断面積ライブラリを対応付ける。

表 16.4 MVP の断面積インデックスファイルと I/O ユニット

I/O unit	断面積の種類
24	任意温度中性子断面積
25	固定温度中性子断面積
26	光原子反応断面積
27	電子断面積（光子問題での制動 X 線発生時に使用）
28	光核反応断面積
29	連続エネルギーレスポンスライブラリ

- (1) 1 行に核種 ID 名とその核種の断面積データの保存されているファイル名を記述する。記述する位置は、1～72 文字目の範囲であればどこでもよい。

例: 核種 ID 名とファイル名の記述形式

(核種 ID 名)	(ファイル名)
H00010J40	/home/MVPLIB/MVPlibV3.H00010J40.dat

- (2) UNIX 系ファイルシステムや MS-DOS 系ファイルシステム (MS-DOS、Windows 等) でのファイル指定を柔軟に行うことができるように、「パス名」(ディレクトリ名、ドライブ ID を含むパス名) をファイル名とは別に記述できる。これを PATH 行と呼び、次のように記述される。

PATH パス名

この行以降、次の PATH 行が現れるまでは、各核種の実際のファイル名はパス名とファイル名を連結したものとなる。

PATH 行による指定がない場合には、UNIX 系もしくは MS-DOS 系ではパス名はインデックスファイルの存在するディレクトリ名となる。

例: 次の記述は上述の例と同じである。

```
PATH /home/MVPLIB/
H00010J40      MVPlibV3.H00010J40.dat
```

MS-DOS 系の場合の例

```
PATH C:\user\MVPLIB\
H00010J40      MVPlibV3.H00010J40.dat
```

PATH で指定するパスは「絶対パス」以外にインデックスファイルの存在するパスからの相対ディレクトリで指定することも可能である。また “\$VAR” の形式の文字列 (“\$VAR” はディレクトリ区切り文字を含まない任意の文字列) を含むこともでき、実行時に “VAR” を名前に持つ環境変数で置き換えられる。

- (3) ブランク行、及び 1 文字目に “*” のある行は意味を持たず、読み飛ばされる。後者はコメント行として利用できる。

16.4 GMVP コードの断面積ファイル

GMVP コードの入力するバイナリ形式の断面積ライブラリファイルにはルジャンドル展開型断面積 (ANISN 形式) と二重微分型断面積 (DDX 形式) がある。

ルジャンドル展開型データのバイナリ形式は入力データの CROSS SECTION ブロックの PLTYPE もしくは旧形式入力の IXTAPE データで指定する。

(1) ルジャンドル展開型データ

(a) PLTYPE(ANISN) または IXTAPE < 1000

ANISN コードの断面積形式である。核種毎、ルジャンドル展開の次数毎に以下のレコードを含む。

- IGM,IHM,IC,MATNO,TITLE
- ((CRX(i,j),i=1,IHM),J=1,IGM)

(b) PLTYPE(ANISN-MAIL) または IXTAPE > 1000

ANISN 形式とデータ内容は同じであるが断面積がエネルギー群毎に別のレコードになっている。JACS システムの MAIL コード [59] によって出力される形式である。

- IGM,IHM,IC,MATNO,TITLE
- J=1,IGM に対して各レコード (CRX(i,j),i=1,IHM)

(a), (b) 共通

- IGM : エネルギー群数
- IHM : 1 群当りのテーブル長
- IC : ダミーデータ
(通常はルジャンドル展開次数等であるが処理系依存)
- MATNO : 核種毎、展開次数毎の ID 番号
- TITLE : タイトル (48 文字)
- CRX : 断面積データ

(2) 中性子二重微分型断面積ライブラリ (I/O ユニット 99)

核種毎に以下のレコードを持つ。

- MAXN,IDUM,IDUM,MATNO,TITLE
- (MAXSD(i),i=1,MAXN)
- ((CX(j,i),j=1,5),i=1,MAXN)

$g'=1, \text{MAXN}$ に対して

- ((I(k,g' → g),k=1,MAXMU),i=g',g'+MAXSD(g')-1)
 - MAXN : 群数
 - IDUM : ダミーデータ

- MATNO : 核種毎の ID 番号
- TITLE : タイトル (48 文字)
- CX : 断面積データ
 - * j=1 : 二次中性子生成散乱断面積
 - * j=2 : 核分裂断面積
 - * j=3 : 中性子捕獲断面積
 - * j=4 : $\nu \times$ 核分裂断面積
 - * j=5 : 全断面積
- MAXMU : 散乱角度ビン数 (現状では 20 に固定)
- I : 散乱のエネルギー角度分布

(3) 光子二重微分型断面積ライブラリ (I/O ユニット 98)

核種毎に以下のレコードを持つ。

- MAXP, IDUM, MAXN, MATNO, TITLE
- (MAXSD(i), i=1, MAXP)
- ((CX(j,i), j=1, 5), i=1, MAXP)

$g'=1$, MAXP に対して

- ((I(k, $g' \rightarrow g$), k=1, MAXMU), i= g' , $g'+\text{MAXSD}(g')-1$)
- (σ_p (i), i=1, MAXN)
- ((Ip($g' \rightarrow g$), $g=1$, MAXP), $g'=1$, MAXN)
 - MAXP : 光子群数
 - MAXN : 光子生成断面積を与える中性子群数
 - IDUM : ダミーデータ
 - MATNO : 核種毎の ID 番号
 - TITLE : タイトル (48 文字)
 - CX : 光子断面積データ
 - MAXMU : 散乱角度ビン数 (現状では 20 に固定)
 - I : 散乱のエネルギー角度分布
 - σ_p : 光子生成中性子断面積
 - Ip : 二次光子のエネルギー分布

16.5 標準出力の内容

MVP/GMVP の計算実行時に標準出力に出力される内容は次の通りである (順序はこの通りでない場合がある)。

16.5.1 入力データ処理に関する出力

- 現在使用している MVP/GMVP のバージョンに関する情報
- 入力データのリスト
- 選択したオプションに関する情報
- 断面積処理に関する出力
- 幾何形状に関する出力
- 体系断面図の出力 (PICTURE オプション)
- 分散低減法に関するパラメータ (XIMP、WKIL 及び WSRV)
- 二次粒子に関する情報 (核分裂スペクトル:多群、WGTF 及び WGTP)
- 線源に関する情報。各線源の空間及びエネルギー分布等
- 統計 (TALLY) に関する情報。エネルギー群境界, 各領域の体積, 反応率計算のための応答関数
- 入力データのチェックの結果

入力データチェックの結果を次の 3 項目に分類してその個数を書出す。

- (1) MESSAGE:実行上全く差し支えない
- (2) WARNING:実行上差し支えないと思われるが注意が必要
- (3) FATAL:実行不可能なエラー

WARNING 内容は入力データの処理時に “!!!” で始まる文で書き出される。実行不可能なエラーについては、“xxx” とともに、入力データ処理時にその内容が書き出される。

16.5.2 ランダムウォークに関する出力

ランダムウォークの経過

各バッチ毎に次のデータを出力する。

- バッチの始めまでに使用した CPU 時間
- ランダムウォークする粒子数 (ヒストリー数)
- 粒子の発生位置, 方向, エネルギー (群) のバッチ平均及び累積した値
- 累積ヒストリー数
- 固有値問題の場合、核分裂反応の回数、発生した核分裂中性子の数、核分裂粒子バンクに入れられた粒子の数及び固有値。

追跡に失敗した粒子 (lost particle) が発生した場合以下の情報を出力する。

- 自由飛行 (サブルーチン FLIONE で以下のメッセージが出力される。)

```
(FLIONE) n PARTICLES ARE LOST !!
X=xxx Y=yyy Z=zzz MU=aaa ETA=bbb XI=ccc SURFACE=j NO.=i
      ⋮
      (Repeated n times)
      ⋮
```

- 領域探索 (サブルーチン SEAONE で以下のメッセージが出力される。)

```
!! (SEAONE) n PARTICLES ARE LOST !! ZONE # =k
```

以下、各 lost particle に対して

```
i  X=xxx Y=yyy Z=zzz MU=aaa ETA=bbb XI=ccc
LEVL = 1 LZZ = lz1 LPOS = lp1
LEVL = 2 LZZ = lz2 LPOS = lp2
現在の粒子のレベルまでの情報、各レベルの SUBSPACE 名 (TALLY LATTICE オプション使用時)
```

ここで、

lzn: レベル n の格子の入る FRAME の ZONE 番号

lpn: レベル n の格子における SUBFRAME の位置を表すインデックス

$$lpn = i-1 + NVLAT(1) ((j-1) + NVLAT(2) (k-1))$$

- 粒子発生 (サブルーチン SOURCE で以下のメッセージが出力される。)

```
!!! CAUTION: YOU ARE GOING TO GENERATE PARTICLES IN A ZONE
      WHERE PARTICLES SHOULD NOT EXIST !!!
SOURCE NO. i MAT = m ZONE = iz      n PARTICLES.
THEY ARE TREATED AS LOST !!!
```

無限ループ検出の情報

無限ループの検出は困難であるが、MVP/GMVP では次の方法を採用している。各バッチにおいて、生き残り粒子数が線源粒子数の 1% 以下あるいは 2 個以下になった後の各計算タスク処理粒子の数のべ数のそれまでの総数に対する割合が入力データ ELOOP(デフォルトは 0.2) 以上となった時点で、無限ループの可能性があると判断し、次のメッセージを出す。

```
XXX  n  PARTICLES ARE PROBABLY IN ENDLESS LOOP.
(MONITOR 30 EVENTS)
```

29 回のモニター出力がそれに続く。

```
EVENT :  k  MZONE  iz  MMAX  n
```

30 回のモニターの後に次のメッセージを出し、生き残っている粒子のトラッキングをすべて強制的に終了する。

```
XXX n PARTICLES ARE PROBABLY IN ENDLESS LOOP AFTER MONITORING
30 EVENTS.
```

ランダムウォーク終了後

- 全バッチ終了後に lost particle があった場合にはその総数と線源粒子に対する割合 (%)。
- リスタートファイルに書き出される情報のうち次のもの。
 - 入力データのタイトル
 - 粒子数
 - バッチ数
 - 線源粒子の重みの総和
 - ランダムウォーク終了時点での乱数

16.5.3 計算結果

固有値

飛程長エスティメータ (track length estimator)、衝突エスティメータ (collision estimator) 及びアナログエスティメータ (analog estimator, MVP のみ) による中性子増倍法 (production)、中性子バランス法 (neutron balance) の計算値が各バッチ毎、各バッチまでの平均、各バッチより後のバッチに対する平均として出力される。また、最尤推定 (maximum likelihood estimation) によって評価した計算結果も出力される。最後に、NSKIP バッチ以降の結果の表が共分散マトリックスとともにプリントされる。

各応答関数、各タリー領域に対するレスポンス関数による反応率

以下の式で定義される反応率 R_{res} が出力される。

$$R_{\text{res}} = \frac{\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE R(E) \Phi(\mathbf{r}, E)}{V_{\text{in}}} \quad (16.1)$$

ここで、

$R(E)$: レスポンス関数 (入力値)

$\Phi(\mathbf{r}, E)$: 粒子束 ($\text{n/cm}^2/\text{単位エネルギー}/1$ 粒子源粒子)

V_t : タリー領域の体積

$\int_g dE$: g 群のエネルギービンに対する積分 ($= \int_{E_g}^{E_{g-1}} dE$)

V_{in} : 入力値 TRVOL。

である。 $V_{\text{in}} = 1.0$ (デフォルト値) であればタリー領域で積分された反応率が計算され、 $V_{\text{in}} = V_t$ を入力すれば単位体積当りの反応率が計算される。

粒子束

FLUX-PRINT オプションを指定した場合、以下の式で定義される単位レサジー当りの粒子束 Φ_g が出力される。

$$\Phi_g = \frac{\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Phi(\mathbf{r}, E)}{V_{in} \Delta U_g} \quad (16.2)$$

ここで、 $\Phi(\mathbf{r}, E)$ は粒子束 ($\text{n/cm}^2/\text{単位エネルギー}/1$ 線源粒子)、 V_t はタリー領域の体積、 V_{in} は入力値 TRVOL、 $\int_g dE$ は g 群のエネルギービンに対する積分 ($= \int_{E_g}^{E_{g+1}} dE$)、 ΔU_g はレサジー幅 (エネルギーの自然対数値の差) である。GMVP の随伴計算の出力では粒子束は ΔU_g では割られていないことに注意。

TALLY REGION 毎、反応タイプ毎の巨視的反応率と実効断面積

以下の式で定義される巨視的反応率 $R_{x,g}$ と実効断面積 $\Sigma_{x,g}$ が出力される。

$$R_{x,g} = \int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Sigma_x(\mathbf{r}, E) \Phi(\mathbf{r}, E), \quad (16.3)$$

$$\Sigma_{x,g} = \frac{R_{x,g}}{\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Phi(\mathbf{r}, E)} \quad (16.4)$$

Σ_x は反応タイプ x の巨視的断面積 (cm^{-1}) である。

TALLY REGION 毎、核種毎、反応タイプ毎の微視的反応率と平均断面積

以下の式で定義される微視的反応率 $R_{x,g}^k$ と平均断面積 $\hat{\sigma}_{x,g}^k$ が出力される。

$$R_{x,g}^k = \int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE N^k(\mathbf{r}) \sigma_x^k(\mathbf{r}, E) \Phi(\mathbf{r}, E), \quad (16.5)$$

$$\hat{\sigma}_{x,g}^k = \frac{R_{x,g}^k}{\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE N^k(\mathbf{r}) \Phi(\mathbf{r}, E)} \quad (16.6)$$

$\hat{\sigma}_{x,g}^k$ は、反応のタイプ x 、核種 k の微視的断面積 (barn) である。ここで、 N^k は核種 k の原子数密度である。上式で計算される平均微視的断面積は、炉心計算で定義される実効微視的断面積 (下式) とは異なるので注意が必要である。

$$\sigma_{x,g}^k = \frac{R_{x,g}^k}{\frac{\int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r})}{V_t} \left[\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Phi(\mathbf{r}, E) \right]} = \frac{R_{x,g}^k}{\left[\int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r}) \right] \frac{V_{in} \Delta U_g}{V_t} \Phi_g} \quad (16.7)$$

実効微視的断面積を計算したい場合は、 $R_{x,g}^k$ と Φ_g は計算されているので、 $\int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r}) V_{in} \Delta U_g / V_t$ を計算し、上式から求めればよい。

粒子束、反応率等の結果は線源粒子 1 個当りに規格化されている。従って、固有値問題の場合の総核分裂中性子生成率は 1.0 ではなくて実効増倍率の値となっている。また、統計誤差は標準偏差 ($\%1\sigma$) の評価値である。

タリー領域毎の巨視的散乱行列及び散乱行列モーメント

SCATTERING-MATRIX オプションを指定した場合、以下の式で定義される巨視的散乱行列 ($\ell = 0$) 及び散乱行列モーメント ($\ell \neq 0$) が出力される。

$$R_{x,\ell,g \rightarrow g'} = \sum_k \int_{-1}^1 d\mu_0 \int_g dE \int_{g'} dE' \int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r}) \sigma_x^k(E) P_\ell(\mu_0) f_x^k(E \rightarrow E', \mu_0) \Phi(\mathbf{r}, E) \quad (16.8)$$

ここで、

$R_{x,\ell,g \rightarrow g'}$: 散乱反応 x に対する g 群から g' 群への散乱行列反応率 ($\ell = 0$) 及び散乱行列モーメント ($\ell \neq 0$)

x : 散乱反応 (弾性散乱, 非弾性散乱, (n,2n))

g : エネルギー群インデックス

ℓ : ルジャンドル展開次数

k : 核種インデックス

μ_0 : 実験室系での散乱角余弦

$\int_g dE$: g 群のエネルギービンについての積分 ($= \int_{E_g}^{E_{g+1}} dE$)

V_t : タリー領域体積

N^k : 核種 k の原子数密度

σ_x^k : 核種 k の微視的断面積

$P_\ell(\mu_0)$: ℓ 次のルジャンドル関数

$f_x^k(E \rightarrow E', \mu_0)$: 実験室系での散乱角 μ_0 、エネルギー E から E' への散乱確率

Φ : 中性子束

である。

現在、散乱行列断面積はコード内で計算していない。散乱行列断面積を計算したい場合は、(16.8) 式の計算結果と群平均粒子束の計算結果を用いて、以下の式から計算することができる。

$$\Sigma_{x,\ell,g \rightarrow g'} = \frac{R_{x,\ell,g \rightarrow g'}}{\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Phi(\mathbf{r}, E)} \quad (16.9)$$

ただし、(16.9) 式で計算される高次 ($\ell \neq 0$) の散乱断面積を決定論的コードで用いる際には注意が必要である。NJOY 等の断面積処理コードが与える高次散乱断面積は (16.9) 式で定義されるものであるが、多群粒子輸送計算で用いられる高次散乱断面積のエネルギー縮約あるいは空間均質化では、(16.8) 式の右辺と (16.9) 式の分母にある中性子束が中性子束モーメントでなければならない。

タリー領域毎の微視的散乱行列及び散乱行列モーメント

SCATTERING-MATRIX オプションを指定した場合、以下の式で定義される微視的群間散乱反応率 ($\ell = 0$) 及び散乱行列モーメント ($\ell \neq 0$) が出力される。

$$R_{x,\ell,g \rightarrow g'}^k = \int_{-1}^1 d\mu_0 \int_g dE \int_{g'} dE' \int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r}) \sigma_x^k(E) P_\ell(\mu_0) f_x^k(E \rightarrow E', \mu_0) \Phi(\mathbf{r}, E) \quad (16.10)$$

ここで、 $R_{x,\ell,g \rightarrow g'}^k$ は核種 k の散乱反応 x に対する g 群から g' 群への散乱反応率 ($\ell = 0$) 及び散乱行列モーメント ($\ell \neq 0$) である。その他の記号については、(16.8) 式と同じである。

現在、散乱行列断面積はコード内で計算していない。散乱行列断面積を計算したい場合は、(16.10) 式の計算結果と群平均粒子束の計算結果を用いて、以下の式から計算することができる。

$$\sigma_{x,\ell,g \rightarrow g'}^k = \frac{R_{x,\ell,g \rightarrow g'}^k}{\frac{\int_{V_t} d\mathbf{r} N^k(\mathbf{r})}{V_t} \left[\int_{V_t} d\mathbf{r} \int_g dE \Phi(\mathbf{r}, E) \right]} \quad (16.11)$$

ただし、巨視的散乱反応率と同様に、(16.11) 式で計算される高次 ($\ell \neq 0$) の散乱断面積について、多群粒子輸送計算に用いる場合には注意が必要である。

タリー領域毎の巨視的平均散乱角余弦

SCATTERING-MUBAR オプションを指定し、EDIT-MACROSCOPIC-DATA オプションの弾性散乱フラッグ (N4)、非弾性散乱フラッグ (N6)、(n,2n) 反応フラッグ (N7) が 1 以上に指定されている場合、タリー領域毎の巨視的平均散乱角余弦 $\bar{\mu}_{x,g}$ が出力される。ここで、 x は散乱反応タイプ (弾性散乱、非弾性散乱、(n,2n) 反応)、 g はエネルギー群を表す。

タリー領域毎の微視的平均散乱角余弦

SCATTERING-MUBAR オプションを指定し、EDIT-MICROSCOPIC-DATA オプションの弾性散乱フラッグ (N4)、非弾性散乱フラッグ (N6)、(n,2n) 反応フラッグ (N7) が 1 以上に指定されている場合、タリー領域毎の微視的平均散乱角余弦 $\bar{\mu}_{x,g}^k$ が出力される。ここで、 x は散乱反応タイプ (弾性散乱、非弾性散乱、(n,2n) 反応)、 g はエネルギー群、 k は核種を表す。

摂動計算の結果

オプション入力で PERTURBATION オプションを指定し、摂動ブロックのタリーパラメータで KEFF を指定した場合、摂動パラメータ (密度、核種数密度) が変化した時の実効増倍率 (k) の変化量 (Δk) が出力される。評価法として微分演算子サンプリング法を指定した時は、実効増倍率の微分係数 ($\partial k / \partial a$, a は摂動パラメータ) の計算結果が、核分裂源摂動効果 (perturbed source effect) を考慮しない場合と考慮する場合について出力される。さらに、ユーザが指定した摂動パラメータの変化量 Δa に対して以下の式で計算した実効増倍率の変化量 Δk が出力される。現在のところ、テイラー級数展開項を 2 次まで考慮した結果を出力するようにしている。

$$\Delta k = \frac{\partial k}{\partial a} \Delta a + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 k}{\partial a^2} (\Delta a)^2$$

評価法として相関サンプリング法を指定した時は、実効増倍率の実効増倍率の変化量 Δk がそのまま出力される。

核分裂源摂動効果は、その効果を考慮するための重み係数を複数世代間に渡って継承することによって評価する。その継承世代数に対する核分裂源摂動効果も出力されており、これは核分裂源摂動効果がほぼ一定値に収束しているかどうかを確認するためのものである。ただし、核分裂源摂動効果の統計誤差は、一般的に大きくなりがちであり、継承世代数が大きくなるにつれて大きくなるので、大まかな目安としてチェックすればよい。

オプション入力で PERTURBATION オプションを指定し、摂動ブロックのタリーパラメータで BEFF を指定した場合、摂動計算によって得られた実効遅発中性子割合と中性子生成時間が出力される。摂動計算による実効遅発中性子割合の評価は、遅発中性子発生数を摂動パラメータ a として以下の式で評価する。

$$\beta_{\text{eff}} = \left[\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial a} \right]_{a=0}$$

一方、摂動計算による中性子生成時間の評価は、体系に $1/v$ 吸収体を一様挿入する割合を摂動パラメータ a として以下の式で評価する。

$$\Lambda = \left[-\frac{1}{k^2} \frac{\partial k}{\partial a} \right]_{a=0}$$

次世代核分裂確率による実効遅発中性子割合

BETA-EFFECTIVE オプションを指定した場合、近似的に計算した実効遅発中性子割合を出力する。実効遅発中性子割合は、通常、以下のように定義されており、随伴中性子束重みの核分裂中性子数の比として表される。

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\sum_i \langle \Phi^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_{f,i}^d(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}{\langle \Phi^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_f(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}$$

ここで、 $\Phi^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega})$ は随伴中性子束、 $S_{f,i}^d$ は核分裂によって発生する遅発中性子数、 S_f は全核分裂中性子数である。また、ブラケットは $\int d\mathbf{r} \int d\boldsymbol{\Omega} \int dE$ を意味している。BETA-EFFECTIVE オプションで計算される実効遅発中性子割合は、以下の3つの近似方法を用いて計算した遅発中性子割合である。

- 随伴中性子束が一定値であるとして計算する方法 (随伴中性子束重みなし)

$$\beta_{\text{eff}} \approx \frac{\sum_i \langle S_{f,i}^d(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}{\langle S_f(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}$$

- 名内の方法 (次世代核分裂確率による重み関数)

$$\beta_{\text{eff}} \approx \frac{\sum_i \langle G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_{f,i}^d(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}{\langle G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_f(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle},$$

$$L^\dagger G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) = \nu \boldsymbol{\Sigma}_f$$

L^\dagger は、正味の消滅に関する随伴オペレータである。

- Meulekamp の方法 (次世代核分裂確率による重み関数)

$$\beta_{\text{eff}} \approx \frac{\sum_i \langle G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_{f,i}^d(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle}{\langle G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) S_f(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) \rangle},$$

$$L^\dagger G^\dagger(\mathbf{r}, E, \boldsymbol{\Omega}) = \boldsymbol{\Sigma}_f$$

これら 3 つの方法に対して、飛程長エスティメータ (track length estimator)、衝突エスティメータ (collision estimator) 及びアナログエスティメータ (analog estimator, MVP のみ) による計算値が各バッチ毎、各バッチまでの平均、各バッチより後のバッチに対する平均として出力される。また、最尤推定 (maximum likelihood estimation) によって評価した計算結果も出力される。最後に、NSKIP バッチ以降の結果の表が共分散マトリックスとともにプリントされる。

16.5.4 事象モニター

以下の事象に対して、発生回数及び重みの総和を出力する。

- 中性子源からの粒子発生
- 核分裂反応
- 光子生成反応
- 衝突反応すべて
- スプリッティング
- 粒子バンクの容量不足でスプリッティングできなかった数
- 体系からの漏洩
- エネルギー下限値に到達してランダムウォークを打ち切った粒子
- IMPORTANCE あるいは WEIGHT-WINDOW オプションの場合の生き残り及び打ち切り
- RUSSIAN-ROULETTE オプション (weight cut off) の場合の生き残り及び打ち切り

また、以下の事象の発生回数。

- 粒子の自由飛行
- ZONE 境界の通過
- 反射面での反射

MONITOR オプションを使用した時には、各 REGION (TALLY REGION ではない)、各エネルギー群ごとの衝突反応の回数と重み及び各領域ごとにエネルギーの下限以下に散乱された事象の回数と重みを出力する。

16.6 計算結果のバイナリ出力

MVP/GMVP の計算終了後、I/O ユニット 30 にバイナリ形式で計算結果が出力される。このファイルに出力されたデータを用いて、計算結果のプロットを行う等の後処理を行うことができる。

- MVP/GMVP とともに基本的な形式は同一であり、4 番目のレコード以降は、各レコードの先頭にそのレコードの内容を示す 32 文字の “TAG” が付けられている。

- ファイルの内容はプログラムの改良や機能追加によって内容が変更されることがありうる。ファイル形式の「バージョン」は最初のレコードに記述されており、MVP と GMVP に対する現在のバージョンはそれぞれ 3.08 と 3.04 である (2016 年 3 月現在)。それ以前の版との内容の相違については、“[*3.02 以降で出力*]” のように適宜記述する。
- TAG の付けられたレコードについては、各項目でまとめて解説され「エネルギー群ごとに繰り返す」といった記述がされているもの以外については、どのような順序でファイルに格納されるかは規定していない。例えば項目 (9) と (10) として説明されているレコードがこの順序でファイルにあるとは限らない。但し、TAG が同じで内容が異なるものについては記述の順序に従って置かれている。計算条件によってはここに記述されたレコードが出力されていないこともある。以上のことから、このファイルを読み込む処理プログラムを作成するには必ず TAG の内容をチェックするようにすべきである。(サンプルプログラムについては付録 D を参照。)
- FORTRAN のバイナリ形式ファイルとして出力されるので、異なる OS やマシン間でのファイルの流用は制限される。
- 出力されるレコード内の項目のデータ型は、特記しない場合は単精度浮動小数点データまたは整数データであり、FORTRAN 言語の暗黙の型宣言の規則¹⁶に従う。

以下に各レコードの内容を示す。特に断りがない場合は (1),(2) 等の項目がそれぞれ 1 つのレコードに対応する。

- (1) 出力ファイルの形式 (コードのバージョンによって変わる) を示す 64 文字の文字列。現在は次の文字列が出力される。

- MVP コード: 'MVP OUTPUT FILE TYPE 3.08 (FROM 11/AUG/2006) ' ,
- GMVP コード: 'GMVP OUTPUT FILE TYPE 3.04 (FROM 27/OCT/1998) ' ,

- (2) 計算を行った日付、時刻を表わす 31 文字の文字列。形式は次のようになっている。

'DATE dd-mmm-yyyy TIME hr:mn:sc'

計算を実行した日付が yyyy 年 mmm 月 dd 日, 時刻が hr 時 mn 分 sc 秒。

- (3) 入力データのタイトル (72 文字 × 2)
- (4) ランダムウォークのパラメータ

```
write(30) TAG,
WSUM,NTHIST,NBATCH,NGROUP,NREG,NRESP,NSKIP,NSTAL,NGP1,NGP2,
NTREG,NPDET,NTIME,NSTALY,JNEUT,JPHOT,JRESP,JEIGN,JADJM,JTIME,
IQNTH,IRNTH
```

- TAG = ' PROBLEM PARAMETERS ' (32 文字)

¹⁶ A から H、及び O から Z で始まる変数は単精度浮動小数点型、I から N で始まる変数は整数型

- WSUM : 粒子の重みの総和 (倍精度)
- NTHIST : 粒子の総数
- NBATCH : バッチ総数
- NGROUP : エネルギー群総数
- NREG : REGION 数
- NRESP : 多群形式の応答関数の数
- NSKIP : 固有値計算において粒子束等の統計をとり始める前の捨てバッチ数
- NSTAL : ポイントワイズな応答関数の数 (GMVP では NSTAL=0)
- NGP1 : タリーの中性子群数
- NGP2 : タリーの光子群数
- NTREG : TALLY REGION 数
- NPDET : 点検出器の個数
- NTIME : 時間ビン数 [*3.03 以降*]
- NSTALY : TALLY ブロックで指定したタリーの数 [*3.03 以降*]
- JNEUT : 1/0= 中性子の追跡を行う／行わない
- JPHOT : 1/0= 光子の追跡を行う／行わない
- JRESP : 1/0= 反応率計算あり／なし
- JEIGN : 1/0= 固有値問題／固定源問題
- JADJM : 1/0=adjoint 計算／forward 計算 (MVP では JADJM=0 のみ)
- JTIME : 1/0= 時間依存問題／定常問題 [*3.03 以降*]
- IQNTH : INT(NHIST/I4MAX) :I4MAX 単精度で表現できる最大の整数 [*3.08 以降*、MVP only]
- IRNTH : NHIST-IQNTH*I4MAX[*3.08 以降*、MVP only]

(5) エネルギー境界、領域体積、時間境界

```
write(30) TAG,
(ENGYB(I),I=1,NGP1+1),(ENGPB(I),I=1,NGP2+1),
(TRVOL(I),I=1,NTREG),(RVOL(I),I=1,NREG),
(TIMEB(I),I=1,NTIME+1)
```

- TAG = ' ENERGY & REG.VOLUME ' (32 文字)
- ENGYB: 中性子タリーのエネルギー群境界 (eV)
- ENGPB: 光子タリーのエネルギー群境界 (eV)
- TRVOL: TALLY REGION の体積 (cm³)
- RVOL: REGION の体積 (cm³)
- TIMEB: 時間ビン境界 (秒) [*3.03 以降*]

(6) TALLY REGION の名前 [*3.01 以降*]

```
do KR=1,NTREG
  write(30) TAG, KR, LNM, NAME(1:LNM)
end do
```

- TAG = ' TALLY REGION NAME ' (32 文字)
- KR: TALLY REGION 番号
- LNM: TALLY REGION 名文字列長
- NAME(1:LNM): TALLY REGION 名 (LNM 文字)

(7) TALLY REGION、エネルギー群毎の track length estimator による粒子束と相対誤差 (1σ)

```
do KR=1,NTREG
  write(30) TAG,
    (SFLTR(IG,KR,1),IG=1,NGROUP),(SFLTR(IG,KR,2),IG=1,NGROUP)
end do
```

- TAG = ' FLUX & ERROR: TRACK LENGTH ' (32 文字)
- SFLTR(IG,KR,1) : track length estimator による単位レサジー、単位体積、単位線源粒子当たりの粒子束。GMVP の随伴計算に対しては単位線源粒子当たりの随伴粒子束。(倍精度)
- SFLTR(IG,KR,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(8) TALLY REGION、エネルギー群毎の collision estimator による粒子束と相対誤差 (1σ)

```
do KR=1,NTREG
  write(30) TAG,
    (SFLCL(IG,KR,1),IG=1,NGROUP),(SFLCL(IG,KR,2),IG=1,NGROUP)
end do
```

- TAG = ' FLUX & ERROR: COLLISION ' (32 文字)
- SFLCL(IG,KR,1) : collision estimator による単位レサジー、単位体積、単位線源粒子当たりの粒子束。GMVP の随伴計算に対しては単位線源粒子当たりの随伴粒子束。(倍精度)
- SFLCL(IG,KR,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(9) 点検出器による粒子束と相対誤差 (1σ)

```
do KP=1,NPDET
  write(30) TAG,
    (SFLPD(IG,KP,1),IG=1,NGROUP),(SFLPD(IG,KP,2),IG=1,NGROUP)
end do
```

GMVP で NPDET>0 の時のみ出力される。

- TAG = 'FLUX & ERROR: POINT DETECTOR' (32 文字)
- SFLPD(IG,KP,1) : point estimator による単位レサジー、単位線源粒子当たりの粒子束。
GMVP の随伴計算に対しては単位線源粒子当たりの随伴粒子束。(倍精度)
- SFLPD(IG,KP,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(10) 多群形式の応答関数を使用して track length estimator で計算された反応率と相対誤差 (1σ)

```
do N=1,NRESP
  write(30) TAG,
    (SRETR(K,N,1),K=1,NTREG),(SRETR(K,N,2),K=1,NTREG)
end do
```

- TAG = 'REACTION RATE (RESP) : TRACK LENGTH' (32 文字)
- SRETR(K,N,1) : track length estimator による反応率 (倍精度)。
単位体積、単位粒子源あたり。
- SRETR(K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(11) 多群形式の応答関数を使用して collision estimator で計算された反応率と相対誤差 (1σ)

```
do N=1,NRESP
  write(30) TAG,
    (SRECL(K,N,1),K=1,NTREG),(SRECL(K,N,2),K=1,NTREG)
end do
```

- TAG = 'REACTION RATE (RESP) : COLLISION' (32 文字)
- SRECL(K,N,1) : collision estimator による反応率 (倍精度)。
単位体積、単位粒子源あたり。
- SRECL(K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(12) ポイントワイズな応答関数を使用して track length estimator で計算された反応率と相対誤差 (1σ)

```
do N=1,NSTAL
  write(30) TAG,
    (SRSTR(K,N,1),K=1,NTREG),(SRSTR(K,N,2),K=1,NTREG)
end do
```

JRESP=1,NSTAL>0 のとき出力。

- TAG = 'REACTION RATE (STAL) : TRACK LENGTH' (32 文字)
- SRSTR(K,N,1) : track length estimator による反応率 (倍精度)。
単位体積、単位粒子源当り。
- SRSTR(K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

- (13) ポイントワイズな応答関数を使用して Collision estimator で計算された反応率と相対誤差 (1σ)

```
do N=1,NSTAL
  write(30) TAG,
    (SRSC(L,K,N,1),K=1,NTREG),(SRSC(L,K,N,2),K=1,NTREG)
end do
```

JRESP=1,NSTAL>0 のとき出力。

- TAG = 'REACTION RATE(STAL):COLLISION' (32 文字)
- SRSC(L,K,N,1) : collision estimator による反応率 (倍精度)。
単位体積、単位粒子源当り。
- SRSC(L,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

- (14) 多群形式の応答関数を使用して点検出器で計算された反応率と相対誤差 (1σ)

GMVP で NPDET>0 の時のみ。

```
do N=1,NRESP
  write(30) TAG,
    (SREPD(K,N,1),K=1,NPDET),(SREPD(K,N,2),K=1,NPDET)
end do
```

- TAG = 'REACTION RATE(ESP):POINT'
- SREPD(K,N,1) : 点検出器による反応率 (倍精度)。
単位粒子源あたり。
- SREPD(K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

- (15) MVP における巨視的及び微視的反応率、断面積関連の情報 (1)

```
write(30) TAG,
  NUC,NEMIC,NEMAC,JRTTR,JRTCL,(JMICE(L),L=1,8),(JMACE(L),L=1,8),
  KY,KYM,JSCTM,JSCMU,NPKIND
```

- TAG = 'MICRO & MACRO TALLY DATA' (32 文字)
- NUC:核種数
- NEMIC:微視的断面積、反応率を計算した反応タイプの数
- NEMAC:巨視的断面積、反応率を計算した反応タイプの数
- JRTTR:1/0=track length estimator を使用 / collision estimator を使用
- JRTCL:1/0=collision estimator を使用 / track length estimator を使用
- JMICE(L):1/0=L 番目タイプの反応について微視的量を計算した / しない
L=1~8 に関してはオプション入力データ EDIT-MICRO-DATA 参照。

- JMACE(L):1/0=L 番目タイプの反応について巨視的量を計算した／しない
L=1~8 に関してはオプション入力データ EDIT-MACRO-DATA 参照。
- KY:微視的散乱行列を計算した反応タイプの数 [*3.08 以降*]
- KYM:巨視的散乱行列を計算した反応タイプの数 [*3.08 以降*]
- JSCTM: $n/0$ = 散乱行列の $n-1$ 次モーメントを計算した／しない [*3.08 以降*]
- JSCMU: $1/0$ = 平均散乱余弦を計算した／しない [*3.08 以降*]
- NPKIND:粒子タイプの数。JNEUT=JPHOT=1 の場合は NPKIND=2 で、一方のみが 1 の場合は NPKIND=1 である。 [*3.08 以降*]

(16) MVP における巨視的及び微視的反応率、断面積関連の情報 (2)

write(30) TAG, (LEMIC(L),L=1,16), (LEMAC(L),L=1,16), (NUCID(N),N=1,NUC)

- TAG = ' MICRO & MACRO TALLY DATA 2 ' (32 文字)
[* 3.06 以降、最後に 2 が追加されている。*]
- LEMIC:反応タイプ毎の SRMIC 等における位置を示すインデックス
 - LEMIC(L),L=1,8:
L 番目のタイプ反応が LEMIC(L) 番目の反応として計算されている。すなわち、LEMIC(L) は SRMIC,RMICR,XMIC における M の値 (後述)。計算されていなければ 0。 ($0 \leq \text{LEMIC}(L) \leq \text{NEMIC}$)
 - LEMIC(M+8):M 番目の反応としてとられたタリーの反応タイプ ($M \leq \text{NEMIC}$)
 $1 \leq \text{LEMIC}(M+8) \leq 8$
- LEMAC:巨視的量に対する LEMIC と同様な情報
- NUCID:核種の ID 名 (16 文字)

(17) 核種 ID [*3.05 以降*]

write(30) TAG, len(NUCID(1)), (NUCID(N),N=1,NUC)

- TAG = 'NUCLIDE ID ' (32 文字)
- NUCID:核種の ID 名 (16 文字)
- “len” は FORTRAN 組み込み関数で、文字列の長さを返す関数である。

(18) 核種温度 [*3.05 以降*]

write(30) TAG, (TEMPN(N),N=1,NUC)

- TAG = ' NUCLIDE TEMPERATURE ' (32 文字)
- TEMPN:核種温度 (K)

(19) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的反応率の結果と相対誤差 (1σ)

```
write(30) TAG,
(((SRMIC(IG,K,N,M,1),IG=1,NGROUP),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC),
(((SRMIC(IG,K,N,M,2),IG=1,NGROUP),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC)
```

- TAG = 'MICROSCOPIC REACTION RATE' (32 文字)
- SRMIC(IG,K,N,M,1): 反応率 (倍精度)。
単位粒子源あたり。
- SRMIC(IG,K,N,M,2): 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(20) TALLY REGION 毎のエネルギー積分した微視的反応率の結果と相対誤差 (%1 σ)

```
write(30) TAG,
( ((RMICR(J,K,N,M,1),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC),
((RMICR(J,K,N,M,2),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC), J=1,NPKIND )
```

ここで、NPKIND は JNEUT=JPHOT=1 なら 2、JNEUT、JPHOT の一方だけが 1 なら 1。インデックス J は粒子のタイプ（中性子／光子）を示す。JNEUT=JPHOT=1 なら J=1 が中性子、J=2 が光子である。

- TAG = 'MICROSCOPIC REACTION RATE 2' (32 文字)
[* 3.06 以降、最後に 2 が追加されている。*]
- RMICR(J,K,N,M,1) : 反応率 (倍精度)。
単位粒子源あたり。
- RMICR(J,K,N,M,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(21) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的実効断面積と相対誤差 (%1 σ)

```
write(30) TAG,
(((XMIC(IG,K,N,M,1),
      IG=1,NGROUP+NPKIND),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC),
(((XMIC(IG,K,N,M,2),
      IG=1,NGROUP+NPKIND),K=1,NTREG),N=1,NUC),M=1,NEMIC)
```

ここで、NPKIND は JNEUT=JPHOT=1 なら 2、JNEUT、JPHOT の一方だけが 1 なら 1 である。IG=NGROUP+1 は、JNEUT、JPHOT の値に応じて、中性子または光子の全エネルギー領域で平均化した断面積を与える。NPKIND=2 の場合には、IG=NGROUP+2 が光子に対応している。

- TAG = 'MICROSCOPIC CROSS SECTION' (32 文字)
- XMIC(IG,K,N,M,1) : 断面積 (倍精度)。
- XMIC(IG,K,N,M,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(22) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的反応率と相対誤差 (%1 σ)

```
write(30) TAG,  
(((RMAC(IG,K,M,1),IG=1,NGROUP),K=1,NTREG),M=1,NEMAC),  
(((RMAC(IG,K,M,2),IG=1,NGROUP),K=1,NTREG),M=1,NEMAC)
```

- TAG = 'MACROSCOPIC REACTION RATE' (32 文字)
- RMAC(IG,K,M,1) : 反応率 (倍精度)。単位粒子源あたり。
- RMAC(IG,K,M,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(23) TALLY REGION 毎のエネルギー積分した巨視的反応率の結果と相対誤差 (%1 σ)

```
write(30) TAG,  
( ((RMACR(J,K,M,1),K=1,NTREG),M=1,NEMAC),  
((RMACR(J,K,M,2),K=1,NTREG),M=1,NEMAC),J=1,NPKIND )
```

インデックス J は粒子のタイプ (中性子/光子) を示す。JNEUT=JPHOT=1 なら J=1 が中性子、J=2 が光子である。JNEUT=0, JPHOT=1(光子のみの計算) なら J=1 が光子となる。

- TAG = 'MACROSCOPIC REACTION RATE 2' (32 文字)
[* 3.06 以降、最後に 2 が追加されている。*]
- RMACR(J,K,M,1) : 反応率 (倍精度)。単位粒子源あたり。
- RMACR(J,K,M,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(24) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的実効断面積の結果と相対誤差 (%1 σ)

```
write(30) TAG,  
(((XMAC(IG,K,M,1),IG=1,NGROUP+NPKIND),K=1,NTREG),M=1,NEMAC),  
(((XMAC(IG,K,M,2),IG=1,NGROUP+NPKIND),K=1,NTREG),M=1,NEMAC)
```

ここで、NPKIND は JNEUT=JPHOT=1 なら 2、JNEUT、JPHOT の一方だけが 1 なら 1 である。IG=NGROUP+1 は、JNEUT、JPHOT の値に応じて、中性子または光子の全エネルギー領域で平均化した断面積を与える。NPKIND=2 の場合には、IG=NGROUP+2 が光子に対応している。

- TAG = 'MACROSCOPIC CROSS SECTION' (32 文字)
- XMAC(IG,K,M,1) : 断面積 (倍精度)。
- XMAC(IG,K,M,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(25) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的弾性散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```

write(30) TAG,
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM),
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM)

```

- TAG = 'MICRO ELAS REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(26) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的非弾性散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```

write(30) TAG,
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM),
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM)

```

- TAG = 'MICRO INEL REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(27) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的 (n,2n) 反応散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```

write(30) TAG,
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM),
((((SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
N=1,NUC),IM=1,JSCTM)

```

- TAG = 'MICRO N2N REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- SRMICS(MIG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(28) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的弾性散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```

write(30) TAG,
((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM), (((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM)

```

- TAG = 'MACRO ELAS REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(29) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的非弾性散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (1σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM), (((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM)
```

- TAG = 'MACRO INEL REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(30) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的 (n,2n) 反応散乱マトリックスモーメントの結果と相対誤差 (1σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM),
((((RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1),K=1,NTREG),
IM=1,JSCTM)
```

- TAG = 'MACRO N2N REAC SCAT MATRIX' (32 文字)
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,1,IM) : 散乱マトリックスモーメント (倍精度)。
- RMACSM(IG1,IG2,K,N,2,IM) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(31) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的平均弾性散乱角余弦の結果と相対誤差 (1σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
((((SMICMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC),
((((SMICMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC)
```

- TAG = 'MICRO ELAS MUBA SCAT' (32 文字)
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(32) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的平均非弾性散乱角余弦の結果と相対誤差 (1σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
(((SMICMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC),
(((SMICMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC)
```

- TAG = 'MICRO INEL MUBA SCAT' (32 文字)
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(33) TALLY REGION、エネルギー群毎の微視的平均 (n,2n) 反応散乱角余弦の結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
(((SMICMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC),
(((SMICMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),N=1,NUC)
```

- TAG = 'MICRO N2N MUBA SCAT' (32 文字)
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。
- SMICMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(34) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的平均弾性散乱角余弦の結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG)
```

- TAG = 'MACRO ELAS MUBA SCAT' (32 文字)
- RMAMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。
- RMAMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(35) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的平均非弾性散乱角余弦の結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG)
```

- TAG = 'MACRO INEL MUBA SCAT' (32 文字)
- RMAMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。

- RMAMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(36) TALLY REGION、エネルギー群毎の巨視的平均 (n,2n) 反応散乱角余弦の結果と相対誤差 (%1 σ)[*3.08 以降*]

```
write(30) TAG,
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,1),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG),
(((RMAMU(IG1,IG2,K,N,2),IG1=1,NGP1),IG2=1,NGP1+1),K=1,NTREG)
```

- TAG = 'MACRO N2N MUBA SCAT' (32 文字)
- RMAMU(IG1,IG2,K,N,1) : 平均散乱角余弦 (倍精度)。IG2=NGP1+1 は散乱後中性子エネルギーで積分した平均散乱角余弦を与える。
- RMAMU(IG1,IG2,K,N,2) : 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(37) バッチ毎の k_{eff} の計算値

```
write(30) TAG,
((XKB(J,I),I=1,NBATCH),J=1,NES),((XKC(J,I),I=1,NBATCH),J=1,NES)
```

- TAG = 'K-EFF: BATCH & CUMULATIVE' (32 文字)
- XKB(J,I):バッチ毎の k_{eff} の評価値 (倍精度)。
J は評価法を表す。NES=6(MVP)、NES=4 (GMVP)。
- XKC(J,I):各評価法毎の 1~I バッチまでの k_{eff} の平均値 (倍精度)。

(38) 評価法毎の k_{eff} の結果

```
do J=1,NES
  write(30) TAG,
    (XKEF(J,I),I=1,NBATCH-1),(VKEF(J,I),I=1,NBATCH-1)
end do
```

- TAG = 'K-EFF: AFTER EACH BATCH' (32 文字)
- XKEF(J,I):J 番目の評価法による I バッチ以降 (I~NBATCH) の k_{eff} の評価値。
NES=6(MVP)、NES=4 (GMVP)。
- VKEF(J,I):相対誤差 (倍精度)。標準偏差を%で与える。

(39) 最尤法による k_{eff} の推定値

```
do J=1,N
  write(30) TAG,
    (XKMLE(J,I),I=1,NBATCH-1),(XKERR(J,I),I=1,NBATCH-1)
end do
```

- TAG = 'K-EFF: MAXIMUM LIKELYHOOD' (32 文字)

- XKMLE(J,I):固有値の最尤推定値 (倍精度)。I バッチから NBATCH までの平均。
- XKERR(J,I):相対誤差 (倍精度)
J は評価法の組合せを示す (N=6(MVP)、N=5 (GMVP))。

MVP:

- 1: track length estimators (multiplication + balance)
- 2: collision estimators (multiplication + balance)
- 3: analog estimators (multiplication + balance)
- 4: multiplication (track length + collision + analog)
- 5: neutron balance (track length + collision + analog)
- 6: all estimators

GMVP:

- 1: track length estimators (multiplication + balance)
- 2: collision estimators (multiplication + balance)
- 3: multiplication (track length + collision)
- 4: neutron balance (track length + collision)
- 5: all estimators

(40) TALLY ブロックで指定されたタリーの情報。 [*3.04 以降*]

write(30) TAGS, NETALY, NEDTMX, NBINMX, NETRV

入力データの TALLY ブロックで指定される “special tally” が、このレコード以降の項目 (48) まで出力される。

- TAGS = 'TALLIES SPECIAL' (32 文字)
- NETALY: special tally の数
- NEDTMX: 全 special tally のうち最大のデータ個数を持つもののデータ個数。
- NBINMX: special tally の結果は多次元配列データとして格納されている。
この数字は全 special tally の各次元のうち最大の大きさを持つ次元のサイズ。
- NETRV: “real variance” の評価が指定された special tally の数。

このレコードとこれ以降のレコードを含めて、special tally として出力されるレコード (項目 (40)~(47)) を図 16.1 に示す。


```

TAGS      = 'TALLIES SPECIAL'
write(30) TAGS, NETALY, NEDTMX, NBINMX, NETRV

+----- repeat for tally #1 to NETALY -----+
|
| TAG = 'TALLY.'//<tally-#>
|   write(30) TAG, tally-#, number-of-dimension, JRV
|   JRV: flag to show real variance(error) estimation is available
|         ( 0 / 1 = no/yes )
|
| TAG = 'TALLY-LABEL'      (optional)
|   write(30) TAG, length-of-label-string, tally-label
|
| TAG = 'TALLY-HEADER'
|   write(30) TAG, header-array-length, header-data
|
+----- repeat for dimension -----+
|
| TAG = 'TALLY-DIMENSION'
|   write(30) TAG, dimension-type(16 char), dimension-size
|   <Dimension type>
|       REGION ENERGY TIME ANGLE GENERATION
|
| TAG = 'TALLY-BIN' (if dimension type is not region)
|   write(30) TAG, ( lower/upper bin combinations )
|
| TAG = 'TALLY-REGION' (if dimension type is region)
|   write(30) TAG, string-length-of-region-name,(region name list)
|
+-----+
|
| TAG = 'TALLY-DATA'
|   write(30) TAG, size, tally-data-array(..., dim3, dim2, dim1)
|
| TAG = 'TALLY-ERROR'
|   write(30) TAG, size, tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)
|
| TAG = 'TALLY-ERROR-REAL'
|   ('`real error(variance)``' estimation,if JRV.ne.0)
|   write(30) TAG, size, tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)
+-----+

```

図 16.1 計算結果ファイルにおける Special tally の出力

(41) Special tally の次元数など (各 special tally に 1 つずつ) [*3.04 以降*]

```
write(30) TAG, N, NDIM, JRV
```

- TAG = 'TALLY.n' (32 文字) (n はタリー番号を十進数で表したもの)
- N: special tally 番号
- NDIM: この special tally が NDIM 次元の配列データであることを示す。
- JRV: “real variance” 評価を持っているか (1/0= 持っている／いない)。

(42) Special tally のラベル (各 special tally に 1 つずつ) [*3.04 以降*]

```
write(30) TAG, L, TLABEL(1:L)
```

- TAG = 'TALLY-LABEL' (32 文字)
- L: 文字列長 (バイト、128 文字以下)
- TLABEL(1:L): ラベル文字列

(43) Special tally の構成に関する情報 (各 special tally に 1 つずつ) [*3.04 以降*]

```
write(30) TAG, NN, (INFO(J), J=1, NN)
```

- TAG = 'TALLY-HEADER' (32 文字)
- NN : INFO 配列のデータ数 (=10)
- INFO(J) :
 - INFO(1): special tally の ID
 - INFO(2): particle type
 - INFO(3): method to synthesize direct-tallies
 - 0:** no combination
 - 1:** weighted sum
 - 2:** multiplication / division
 - 3:** general expression
 - INFO(4): number of tally dimensions (NDIM)
 - INFO(5): starting address of this tally in ETALY(*)
 - INFO(6): event #
 - INFO(7): weighting function
 - INFO(8): nuclide/atom # & reaction #
 - INFO(9): <unused>
 - INFO(10): custom tally# (non-zero means user customized tally)

(44) Special tally の次元の種類と、tally のビン (各 special tally 毎に全ての次元について) [*3.04 以降*]

```
do I=1,NDIM
```

```
  TAG = 'TALLY-DIMENSION' (32 文字)  
  write(30) TAG, dimension-type(16 char), dimension-size
```

```
  TAG = 'TALLY-BIN' (32 文字)  
  (if dimension type is not REGION)  
  write(30) TAG, ( lower/upper bin combinations )
```

TAG = 'TALLY-REGION' (32 文字)

(if dimension type is REGION)

write(30) TAG, string-length-of-REGION-name,
(REGION name list)

end do

- TAG = 'TALLY-DIMENSION'

- <dimension type>: 以下の文字列のいずれか。統計区分 (ビン) の種類。

REGION, POINT, ENERGY, TIME, ANGLE, GENERATION, SOURCE, SOURCE-
REGION, MARKER-REGION, PRODUCE-REGION, PRODUCE-NUCLIDE,
PRODUCE-REACTION

- * REGION : 空間領域 (tally-region)

- * POINT : 点検出器の検出点 (point detector)

- * ENERGY : エネルギー

- * TIME : 時間

- * ANGLE : 角度。面検出器において検出面法線と粒子飛行方向の間の角度もしくはその余弦。

- * GENERATION : 固定粒子源問題における粒子世代

- * SOURCE : 粒子が発生した粒子源セット ID

- * SOURCE-REGION : 粒子が粒子源から発生したときの空間 REGION

- * MARKER-REGION : “marker REGION”。粒子が指定した REGION を通過したかどうか。

- * PRODUCE-REGION : 弾性外衝突過程により粒子が生成されたときの REGION

- * PRODUCE-NUCLIDE : 弾性外衝突過程により粒子を生成した標的核種

- * PRODUCE-REACTION : 弾性外衝突過程により粒子を生成した反応 (MT 番号)

- <dimension-size>: この次元の統計区分の数。

- TAG = 'TALLY-BIN'

<dimension type> が “REGION” でない場合に、統計区分 (ビン) の上下の境界の数値。

- TAG = 'TALLY-REGION'

<dimension type> が “REGION” である場合の tally region 名の文字列長と名前リスト。

(45) Special tally の計算結果 (各 special tally 毎) [*3.04 以降*]

write(30) TAG, <size>, <tally-data-array(..., dim3, dim2, dim1)>

- TAG = 'TALLY-DATA' (32 文字)

- <size> : データのサイズ (この tally を構成する各次元の統計区分数の積)。

- <tally-data-array(..., dim3, dim2, dim1)>: 計算結果 (倍精度)。NDIM 次元の FORTRAN 風配列データである。

(46) Special tally の標準偏差 (各 special tally 毎) [*3.04 以降*]

```
write(30) TAG, <size>, <tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)>
```

- TAG = 'TALLY-ERROR' (32 文字)
- <size>: データのサイズ (この tally を構成する各次元の統計区分数の積)。
- <tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)>: % で表した相対誤差 (倍精度)。NDIM 次元の FORTRAN 風配列データである。

(47) Special tally の “real variance” として評価した標準偏差 (各 special tally 毎) [*3.04 以降*]

このタリーは、JRV > 0 のときのみ出力される。

```
write(30) TAG, <size>, <tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)>
```

- TAG = 'TALLY-ERROR-REAL' (32 文字)
- <size>: データのサイズ (この tally を構成する各次元の統計区分数の積)。
- <tally-error-array(..., dim3, dim2, dim1)>: % で表した相対誤差 (倍精度)。NDIM 次元の FORTRAN 風配列データである。

(48) Special tally に対するコード内データ配列の出力 [*3.01 以降*]

このデータ配列の構造は複雑であり、その解釈には MVP/GMVP コード内での Special tally 関連データについての知識が必要である。(48) のデータはすべて (40)~(47) で与えられている。

```
write(30) TAG, NETALY, NIETAL, NLETAL, NEDTMX, NBINMX
write(30) TAG, (IETAL(I), I=1, NIETAL)
write(30) TAG, (ETALY(I,1), I=1, NLETAL), (ETALY(I,2), I=1, NLETAL)
```

- TAG = 'SPECIAL TALLIES' (32 文字)
- NETALY: special tally の数。
- NIETAL: IETAL データの数。
- NLETAL: ETALY 配列中のデータの数。
- NEDTMX: 全 special tally のうち最大のデータ個数を持つもののデータ個数。
- NBINMX: special tally の結果は多次元配列データとして格納されている。
この数字は全 special tally の各次元のうち最大の大きさを持つ次元のサイズ。
- IETAL: special tally に関する情報 (統計ビン、など) を整数型配列内に格納したもの。
- ETALY(I,1): 計算結果 (倍精度)。全ての special tally のものを連結。
- ETALY(I,2): 相対誤差 (倍精度)。標準偏差を % で与える。

(49) バッチ毎の微分演算子サンプリング法による計算の結果 [*3.08 以降*]

```

write(30) TAG, NUCPT, NTPT
do INC = 1, NUCPT
do IPT= 1, NTPT
write(30) ((XKPB(INC,IPT,J,I),I=1,NBATCH),J=1,6)
end do
end do

```

- TAG = 'DIFFERENTIAL OF K: BATCH' (32 文字)
- NUCPT : 摂動核種の数。
- NTPT : 摂動タリーの全数。
- XKPB(INC,IPT,J,I) : 実効増倍率 k_{eff} の微係数 ($\partial k / \partial \alpha$; α は摂動パラメータ)。インデックス J は評価法を示す。

16.7 リスタートファイル

MVP/GMVP はリスタートファイルの入力／出力をサポートしている。継続する次のリスタート計算に必要なデータの出力 (I/O ユニット 20) はオプション RESTART-FILE の指定によって行なわれる (このオプションはデフォルトで有効である)。

- リスタートファイルの内容はコード内の機能に密接に関連している。従って、リスタート計算が可能なのは MVP/GMVP の連続する計算が同一のバージョンのリスタートファイルを出力する場合に限られる。
- リスタートファイルは FORTRAN のバイナリ形式ファイルとして出力されるので、異なる OS やマシン間でのリスタートファイルの流用は制限される。

16.8 核分裂中性子源ファイル

SOURCE ブロックで粒子源指定入力に “#FISSIONFILE” サンプリング関数を使用した時に入力される。核分裂中性子源ファイルは別の MVP/GMVP の固有値計算で SOURCE-OUTPUT オプションを指定し、最後のバッチの核分裂中性子源データが I/O ユニット 9 に出力されたものか、あるいはなんらかの方法でその形式に作られたファイルである。

ファイルの内容は以下のようにになっている。まず、以下に示す「ヘッダーレコード」がいくつか存在する。

- Record 1 : ファイルヘッダー (32 文字) とヘッダーレコードの数 (NHREC)

```

HEADER = '%MVP SOURCE FILE%'
write(9) HEADER, NHREC

```

- Record 2 : ファイル形式のバージョン (32 文字)

```

HEADER = 'source file version 1.0'
write(9) HEADER

```

- Record 3 : このファイルを出力した MVP/GMVP の計算の入力データタイトル
(72 文字× 2)

write(9) TITLE1,TITLE2

- Record 4 : 日付、時間など任意の情報 (64 文字)
- Record 5 – Record NHREC : 使用されないダミーのヘッダーレコード。もし、レコードとしてこれらが存在するなら、少なくとも 32 バイト以上の文字列を先頭にもっていなければならない。MVP/GMVP 第 3 版では NHREC=4 となっているために、このレコードはない。

Record NHREC+1 以降の内容及び順序は固定されていないが、形式としては以下のようなレコードの繰り返しである。

- データ名などを含む 32 バイトの文字列を持つレコード (TAG レコード)
- データを含むレコード

現状では以下のようなデータが含まれる:

- ファイルに含まれる粒子源粒子数

TAG = 'SIZES'

write(9) TAG

write(9) NUSE

- 粒子源座標 (絶対座標)

TAG = 'X'

write(9) TAG

write(9) (XXXF(I),I=1,NUSE)

TAG = 'Y'

write(9) TAG

write(9) (YYYF(I),I=1,NUSE)

TAG = 'Z'

write(9) TAG

write(9) (ZZZF(I),I=1,NUSE)

データ XXXF、YYYF、ZZZF は倍精度データである。格子形状問題でも格子内座標から絶対座標に変換されて出力される。

- 粒子重み

TAG = 'W'

write(9) TAG

write(9) (W(I),I=1,NUSE)

データ W は単精度データである。

- MVP の場合、計算に使用された核種 ID のリスト (16 文字)

```
TAG = 'NUCLIDE ID'  
write(9) TAG  
write(9) NUC, (NUCID(I),I=1,NUC)
```

NUC は核種数。データ NUCID は 16 文字の文字列である。

- MVP の場合、核分裂反応を起こした核種番号 (前述のレコードの核種 ID リスト中の番号)

```
TAG = 'INUF'  
write(9) TAG  
write(9) (INUF(I),I=1,NUSE)
```

- MVP の場合、核分裂反応を起こさせた中性子のエネルギー

```
TAG = 'EEEF'  
write(9) TAG  
write(9) (EEEF(I),I=1,NUSE)
```

データ EEEF は単精度データである。

このファイルに最低限必要なデータは「ヘッダー」レコード群と、粒子発生位置座標データだけである。MVP で出力されたファイルを GMVP で使用すること、及びその逆も可能である。

17. MVP/GMVP の実行方法

この章では、初めて MVP や GMVP を使用するユーザーを対象として、基本的な使用方法を解説する。使用する環境は、UNIX または Linux システムを対象にしている。UNIX 環境へのインストールの手順については、付録 A「MVP/GMVP のインストール」を参照されたい。UNIX と Linux 以外の環境での使用方法については、配付されたファイルに付属するドキュメントを参照されたい。

MVP/GMVP を使用する基本的手順は以下の通りである。

(1) プログラムをインストールする。

配布されたプログラムソースをコンパイルして、実行ファイル (executable) を作成にする。詳しくは前述の付録 A「MVP/GMVP のインストール」を参照のこと。既にインストール済みの環境であればこの手順は省略できる。

(2) 断面積データを用意する。

MVP コードの場合、配布されている断面積データとそれを MVP コードが検索するための「インデックスファイル」をシステム上に用意する必要がある。これも詳しい手順は上記付録を参照のこと。既に断面積が用意されている環境であればこの手順は省略できる。GMVP コードの場合、特に断面積は配布されないの、ユーザー側で用意する必要がある。計算のための入力データにテキスト形式で書き込む方式と、それとは別のファイルに用意しておく方式とがある。

(3) 利用環境をセットする。

使用するマシンに MVP/GMVP がインストールされている場合には、各ユーザーのユーザーアカウントごとに実行環境を設定する。具体的には環境変数の設定とコマンドサーチパスの設定を行う。通常は各ユーザーアカウントに対し一度だけ行えばよいが、使用する MVP/GMVP のバージョンの変更、MVP 断面積の変更などで設定を変更する必要がある場合もある。

(4) 計算のための入力データを用意する。

テキスト形式で用意された入力データであり、ユーザーが計算を行うたびに作成する必要がある。入力データの作成方法については第 6 章以降で詳しく解説している。

(5) 計算の実行。

一般には、MVP/GMVP に用意されたコマンド (スクリプト) を入力データ名を引数として実行すればよい。

17.1 利用環境の設定

MVP/GMVP を使用するには以下の条件が必要である。

- (1) MVP/GMVP プログラムソースからコンパイルされた実行ファイル及び関連スクリプトが使用可能になっていること。即ち、コードがインストールされていること。
- (2) MVP コードを利用する場合は、連続エネルギー断面積が使用可能になっていること。GMVP コードを利用する場合は、多群形式の断面積データが用意されていること。

MVP/GMVP や MVP 断面積ライブラリのシステムへのインストールの詳細は、付録 A「MVP-GMVP のインストール」等に記述されている。既に、インストールが終了している環境で新たなユーザーを追加する場合、環境変数とコマンドサーチパスの設定を行うだけでよい。これらの設定は、ユーザーがログインした時点で有効になっているべきであるから、ユーザーのホームディレクトリ以下のログインシェルの初期化コマンドファイルに記述することが望ましい。ログインシェルが C-shell(csh) や tcsh の場合には \$HOME/.cshrc、ログインシェルが Korn-shell(ksh) や Bourne-again-shell(bash) の場合は \$HOME/.profile などにコマンドを記述する。ここで、\$HOME は環境変数 HOME であり、ユーザーの環境に応じた内容で置き換えられる。以下の説明では環境変数の内容そのものを示すためにもこの書き方を使用することがある。

17.1.1 環境変数の設定

MVP/GMVP コードをそれぞれ後述の runmvp、rungmvp スクリプトで実行する場合、環境変数 MVP_DIR 及び MVPHOST を設定する必要がある。これらの環境変数はスクリプト内で引用されている。環境変数 MVP_DIR には MVP/GMVP コードソース等の配付ファイルが展開されているディレクトリパスを指定する。また、MVPHOST は使用するマシンやオペレーティングシステムの種類を示すために MVP/GMVP コードシステムで決められている文字列であり、インストール時に適切なものが選択されているはずである。通常は、MVP/GMVP 付属のコマンド getsystem が返して来る文字列に指定するが、インストール時の設定によってはインストールを行ったときに決められたシステム名を陽に指定する場合もある。

MVP コードを runmvp スクリプトで実行する場合、環境変数 MVPLIB_DIR を MVP 断面積ライブラリの「インデックスファイル」が置かれているディレクトリに指定しておくといよい。また、MVP の「任意温度中性子断面積ライブラリ」を使用する場合、MVP コードで生成された温度依存断面積データを保存するディレクトリ MVP_ARTPOOL を指定することで断面積処理にかかる時間を節約できることがある。

17.1.2 コマンドサーチパス

「コマンドサーチパス」とは、UNIX のシェルが指定されたコマンドの実行ファイルを探すために使用するディレクトリパスである。環境変数 PATH はコマンドサーチパスが記述されているリストである。このリストに \$MVP_DIR/etc 及び \$MVP_DIR/bin/\$MVPHOST を追加する必要がある。

17.1.3 シェル初期化スクリプトへの記述例

以上の設定を行うユーザーために、シェルの初期化ファイルに追加するコマンドの「雛型」が、\$MVPDIR/etc/ 以下に cshrc.ex 及び profile.ex として用意されている。

以下に設定の例を挙げる。実際の利用にはディレクトリパス等は実際のものに置き換える必要がある。

● 例: **.cshrc** への設定

```
setenv MVP_DIR /home/codes/mvp-3.0
# getsystem を使用する場合
setenv MVPHOST ` $MVP_DIR/etc/getsystem -i `
setenv MVPLIB_DIR /home/nucdata/MVPLIB
if( $?path ) then
    set path=( $path $MVP_DIR/etc $MVP_DIR/bin/$MVPHOST
else
    set path=( $MVP_DIR/etc $MVP_DIR/bin/$MVPHOST
endif
```

● 例: **.profile** への設定

```
MVP_DIR=/home/codes/mvp-3.0 ; export MVP_DIR
MVPHOST=` $MVP_DIR/etc/getsystem -i `
# # getsystem コマンドで正しい環境名が得られない場合には
# # 直接システム名を指定する。
MVPHOST=THE_GREAT_SYSTEM
export MVPHOST
MVPLIB_DIR=/home/nucdata/MVPLIB ; export MVPLIB_DIR
PATH=${PATH}:$MVP_DIR/etc:$MVP_DIR/bin/$MVPHOST
export PATH
```

17.2 MVP コードの実行方法

17.2.1 MVP コードに関連するファイル

MVP コードは、入力として以下のようなファイルを必要とする。

- 標準入力：計算の内容の記述したテキストデータ。ユーザーが各自作成する。
- 連続エネルギー断面積データとそのインデックスファイル (MVP)

MVP の断面積ファイルは、核種毎にバイナリー形式ファイルとしてインストールされているものを「断面積インデックスファイル」を通して参照する。インデックスファイルは、MVP 断面積ライブラリがインストールされた時に用意されるものであり、MVP 断面積ライブラリがインストールされて利用環境が設定されていれば、後述する `runmvp` コマンドを利用して MVP を実行する場合には特にその存在を意識する必要はない。

計算終了後、以下のようなファイルが出力される。

- 標準出力（プリントアウト）
- 計算結果保存ファイル（バイナリー形式）
- リスタートファイル（バイナリー形式）

リスタートファイルは、別の計算の入力として使用する場合もある（RESTART オプション指定時）。

17.2.2 runmvp コマンドによる MVP コードの実行

UNIX 環境での MVP コードの実行は、runmvp コマンドを利用するのが最も容易な方法である。この場合、正しく環境変数が設定されていれば、以下のコマンドを実行するだけでよい。

```
% runmvp input-data
```

input-data はテキスト形式の計算条件入力ファイルであり、% はシステムの発するプロンプトである。MVP コードはこの入力ファイル以外に断面積データインデックスファイルなどを参照するが、runmvp コマンドが自動的に MVP に情報を与えるので、通常の使用には意識する必要はない。

このコマンドを入力してリターンキーを押すと、画面はまた入力待ち状態になるが、これは計算が終了したということではなく、MVP コードの起動を計算機に命令し終わった状態である。MVP コードの計算は、ユーザーがこれ以後入力するコマンドとは通常は関係なく計算機上で実行されている (バックグラウンドジョブ)。MVP コードが動作しているかどうかを見るには、ps コマンドを入力する。ps コマンドを入力すると、以下のような画面出力が得られるはずである (利用するシステムによって若干異なる場合がある)。

```
% ps
PID TTY      TIME   COMMAND
111 tttyp0    0:02   csh
113 tttyp0    0:25   mvp
114 tttyp0    0:00   ps
112 tttyp0    0:00   time
%
```

これはユーザーが起動したプログラムの実行状況の一覧であり、PID はプロセス (実行状態のプログラム) の番号、TTY はコマンドが出された端末の名前、TIME はそのプロセスが利用した計算時間、COMMAND は入力コマンドの名前、等である。runmvp コマンドを入力した直後に mvp が動いていない状態だったとすると、プログラムの実行がうまくいかずに終了してしまった可能性が高い。

計算出力ファイル名

計算がうまく実行されてもされなくても、その結果はファイルに出力される。runmvp コマンドのデフォルトでは、計算の結果や途中経過などは、通常次のような名前のテキストファイルに出力される。

出力ファイル名: *xxxxx.hostname.date.hour.minuite.second*

ここで、

- *xxxxx*: 入力データ名。あるいは、入力データ名が*.inp の形の時は、.inp をとったもの。
- *hostname*: 計算機のホスト名
- *date.hour.minuite.second*: runmvp コマンドを実行した時の日付と時間。

例えば、sample1.inp という入力データでホスト名 figaro という計算機上で、2000 年 11 月 18 日の 15 時 30 分 20 秒に runmvp を実行した場合の出力ファイル名は

sample1.figaro.2000Nov18.15.30.20

となる。

計算が終了したら、このファイルの内容を参照し、計算が正常に終了したかどうか、妥当な計算結果が得られているか等を確認する。

runmvp コマンドのパラメータ

runmvp コマンドでは、ここまで述べてきたデフォルトの使い方以外に、より詳しい計算条件等を指定できる。

```
runmvp {input|i=input} [-lb] [-ss/+ss]
      [o=output-list]
      [xa=arbitrary-temp-neutron-xsec-libray-index-file]
      [xi=neutron-xsec-libray-index-file]
      [xip=photon-xsec-libray-index-file]
      [xie=electron-xsec-libray-index-file]
      [xid=dosimetry-xsec-index-file]
      [ri=restart-input]
      [ro=restart-output]
      [si=source-input]
      [so=source-output]
      [rf=result-file (unit 30)]
      [ex=alternate-MVP-executable]
      [preex=placed-before-MVP-executable]
      [exeopt=additional-command-parameters]
      [CAPITAL_STRING=...|/...]
```

([...] で囲まれたパラメータは省略可能であることを意味する。)

引数に何も指定しないで runmvp を実行すると、指定可能な引数の簡単な説明が端末上に出力される。

runmvp の主なパラメータの意味は以下の通りである。

- *input* または *i=input*

入力データ（標準入力）のファイル名。

- *o=output-list*

プリント出力（標準出力、エラー出力）のファイル名はデフォルトでは

xxxxx.hostname.date.hour.minuite.second

のようになる。ここで、

- *xxxxx*: 入力データ名。あるいは、入力データ名が*.inp の形の時は.inp をとったもの。
- *hostname*: 計算機のホスト名
- *date.hour.minuite.second*: runmvp コマンドを実行した時の日付と時間。

このデフォルト出力先以外のファイルに出力したい場合、このパラメータを指定する。

- *xa=arbitrary-temp-neutron-xsec-library-index-file*
- *xi=neutron-xsec-library-index-file*
- *xip=photoatomic-xsec-library-index-file*
- *xipn=photonuclear-xsec-library-index-file*
- *xie=electron-xsec-library-index-file*
- *xid=dosimetry-xsec-index-file*

中性子(任意温度、固定温度)、光原子反応、光核反応、電子の MVP 断面積ライブラリーインデックスファイルに対し、デフォルトのもの以外を指定する時に使用する。インデックスファイル名はデフォルトで、それぞれ以下のようにになっている。

中性子(任意温度)	\$MVPLIB_DIR/neutron.art.index
中性子(固定温度)	\$MVPLIB_DIR/neutron.index
光原子反応	\$MVPLIB_DIR/photon.index
光核反応	\$MVPLIB_DIR/photonuclear.index
電子	\$MVPLIB_DIR/electron.index

ここで、“\$MVPLIB_DIR”は環境変数である。なお、*xid*は、ドジメトリライブラリーのインデックスファイルを指定するパラメータでデフォルト値は定義されていない。

- *ri=restart-input*
リスタート計算を行うときの入力リスタートファイル名を指定する。
- *ro=restart-output*
リスタートファイルを保存したいときにファイル名を指定する。
- *si=source-input*
入力する核分裂源ファイル名を指定する。
- *so=source-output*
出力する核分裂源ファイル名を指定する。
- *rf=result-file*
入出力ユニット 30 に出力される計算結果ファイルの名前を指定する。省略すると計算結果ファイルは保存されない。

- *ex=alternate-MVP-executable*

MVP コードの実行ファイル名は、デフォルトで `$MVP_DIR/bin/$MVPHOST/mvp` である。デフォルト以外の実行ファイルを使用したいときにこのパラメータを指定する。実行ファイル名をフルパス名で与えないときには `$MVP_DIR/bin/$MVPHOST/alternate-MVP-executable` が実行ファイル名になる。

- *preex=placed-before-MVP-executable*

MVP の実行ファイル名の前に置かれるコマンドを指定する。例えば、システムによる実行時間を計測するためのコマンド `time` や MPI プログラムを実行するための `mpiexec` コマンドなどを指定する。

- *exeopt=additional-command-parameters*

実行時オプションを指定する。

- *CAPITAL_STRING=...* または */...*

“大文字の文字列 [=...]” の形あるいは “/...” の形のパラメータはそのまま MVP コードの実行ファイルに渡される。この形で指定可能な引き数は以下のようなものがある。

- *NTASK=...* : マルチタスキング時のタスク数
- *MEMORY=...* : 動的に確保されるメモリーサイズのデフォルト値
- *RUN-MODE=...* : 動作モード (0/1 = 通常/入力データ処理のみ)

“-” で始まるコマンド行パラメータは、スクリプトやプログラム本体の実行方法に関するオプションである。

- *-lb*

標準出力への出力をバッファリングしないようにする。プリント出力が直ちにプリント出力ファイルに反映される。

- *-ss/+ss*

-ss/+ss : プリント出力ファイルに `runmvp` スクリプトの内容を出力しない/する。

17.3 GMVP の実行方法

17.3.1 GMVP コードに関連するファイル

GMVP コードは入力として以下のようなファイルを必要とする。

- 標準入力 : 計算の内容の記述したテキストデータ。
- 多群形式断面積 (ANISN 形式または DDX 形式)

MVP コードの場合と異なり、GMVP 用の断面積データはプログラムと共に配布されているわけではないので、GMVP を実行するためにユーザーは入力データと断面積データを両方用意する必要があります。ユーザーは、MOSRA-SRAC コード [12]、EXPARAM コードシステム [64]、TRANSX コード [65] などを用いて多群断面積データを用意することができる。

計算終了後には MVP と同様に以下のようなファイルが出力される。

- 標準出力（プリントアウト）
- 計算結果保存ファイル（バイナリー形式）
- リスタートファイル（バイナリー形式）

リスタートファイルは別の計算の入力として使用する場合もある（RESTART オプション指定時）。

17.3.2 `rungmvp` コマンドによる GMVP コードの実行

UNIX 環境での GMVP コードの実行は、`rungmvp` コマンドを利用するのが最も容易な方法である。この場合、正しく環境変数が設定されていれば、以下のコマンドを実行するだけでよい。

```
% rungmvp input-data
```

input-data はテキスト形式計算条件入力ファイルである。このファイルに断面積データが含まれておらず、他のファイルから入力する必要がある場合、この入力ファイル以外に断面積データファイルを指定するためのコマンド行パラメータを指定する必要がある。

```
% rungmvp input-data x=/nn:cross-section-file
```

ここで、*nn* は GMVP が断面積データの入力に使用する FORTRAN の I/O ユニット番号であり、テキスト形式計算条件入力ファイルに指定されたものと対応させる（コード内での省略値は、ANISN 形式では 1、DDX 形式では 99 である）。

コマンド実行後の動作は、MVP 実行コマンド `runmvp` と同様である。

`rungmvp` コマンドのパラメータ

`rungmvp` コマンドでは、ここまでに述べた使い方以外により詳しい計算条件等を指定できるようになっている。

```
rungmvp input [o=output-list]
           [-lb] [-ss]
           [x=/n:cross section file]
           [ri=restart-input] [ro=restart_output]
           [rf=result-file]
           [ex=alternate-GMVP-executable]
```

（`[...]` で囲まれたパラメータは省略可能であることを意味する。）

引数に何も指定しないで `rungmvp` を実行すると、指定可能な引数の簡単な説明が端末上に出
力される。

`rungmvp` の各パラメータの意味は以下の通りである。

- `input` または `i=input`

入力データ（標準入力）のファイル名。

- `o=output-list`

プリント出力（標準出力、エラー出力）のファイル名はデフォルトでは

`xxxxx.hostname.date.hour.minuite.second`

となる。ここで、

- `xxxxx`: 入力データ名。あるいは、入力データ名が `*.inp` の形の時は `.inp` をとったもの。
- `hostname`: 計算機のホスト名
- `date.hour.minuite.second`: `rungmvp` コマンドを実行した時の日付と時間。

このデフォルト出力先以外のファイルに出力したい場合に、このパラメータを指定する。

- `x=/n:cross-section-file`

計算に断面積ファイルを指定する必要がある場合に指定する。ここで、`n` は断面積データの
入力に使用する入出力ユニット番号であり、特別な場合を除いてユーザーはルジャンドル展
開断面積の場合は 1、DDX 断面積の場合は 99 を用いるべきである。`cross-section-file` は断面積
データファイルの名前である。

- `ri=restart-input`

リスタート計算を行うときの入力リスタートファイル名を指定する。

- `ro=restart-output`

リスタートファイルを保存したいときにファイル名を指定する。

- `rf=result-file`

入出力ユニット 30 に出力される計算結果ファイルの名前を指定する。省略すると計算結果
ファイルは保存されない。

- `ex=alternate-GMVP-executable`

GMVP コードの実行ファイル名は、デフォルトで `$MVP_DIR/bin/$MVPHOST/gmvp` である。
デフォルト以外の実行ファイルを使用したいときにこのパラメータを指定する。実行ファイル名
をフルパス名で与えないときには、`$MVP_DIR/bin/$MVPHOST/alternate-GMVP-executable`
が実行ファイル名になる。

- `preex=placed-before-GMVP-executable`

GMVP の実行ファイル名の前に置かれるコマンドを指定する。例えば、システムによる実行
時間を計測するためのコマンド `time` や MPI プログラムを実行するための `mpiexec` コマン
ドなどを指定する。

- `exeopt=additional-command-parameters`

実行時オプションを指定する。

17.4 メモリサイズの指定

17.4.1 動的メモリ確保

たいていの計算機環境では、プログラムの実行時、プログラムが利用するメモリを動的に確保できるようになっている。MVP/GMVP コードにおいて動的メモリ確保機能が利用できるのは、ファイル `src/OBJ.$MVPHOST/ASSIM` に “SET DYNAMIC” という行 (1 文字目が “*” でない) がある場合である。この場合、メモリの上限を標準入力からの入力データ、あるいは実行時のコマンドオプションで決定することができる。

- 入力データでのメモリ上限値指定

次のデータをオプション指定部に記述する。

```
DYNAMIC-MEMORY( memory )
```

ここで、*memory* は利用可能なメモリのサイズを指定する正の整数で、単位は「ワード」(使用マシンの REAL 型配列宣言での要素数に対応するもの) である。

- コマンドラインからのメモリ上限値指定

`runmvp` または `rungmvp` コマンドを使用して実行する場合、以下のようなオプションを指定できる。

```
runmvp other-parameters MEMORY=memory
```

ここで、*memory* は利用可能なメモリのサイズのデフォルト値を指定する正の整数で、単位はワードである。また、このようにコマンド行から指定したサイズは、上記の標準入力データで DYNAMIC-MEMORY オプションが指定されなかった時のデフォルト値として使用されるので、入力で DYNAMIC-MEMORY オプションが指定されていればそちらが優先される。

確保されたメモリサイズの情報は計算リストに以下のように出力される。

```
**** MEMORY FOR VARIABLE-SIZED DATA :    200000000  WORDS  ( 4 BYTES/WORD )
(          762.94 MEGA-BYTES )
```

実行環境によっては指定したサイズのメモリを確保できるとは限らない。うまく行かない場合には、次のようなメッセージが出力される。

```
!!! FAILED TO ALLOCATE MEMORY DYNAMICALLY WITH SPECIFIED SIZE ( 500000000 WORDS)
```

このような状態になっても、プログラムはデフォルトサイズ (現状では、約 1,000,000 ワード) でメモリを確保して処理を続行する。ただし、この状態では計算を最後まで実行することはほぼ不可能である。メモリを確保できない原因は、次のようなことが考えられる。

- 使用マシン上で動いているプロセス数が多すぎる。

大きなメモリを必要とするプログラムが同時にたくさん動いていれば、メモリーの確保に失敗する可能性が高い。余分なプロセスを終了して、再実行してみる。

- 仮想記憶のサイズの上限が小さい。

通常 UNIX マシンには仮想記憶機能があり実メモリサイズ以上のメモリを使用するプログラムを動かすことができる。ただ、この機能に関連したパラメータ (スワップディスクの容量、プロセスあたりの仮想記憶上限等) の設定によっては、大きなメモリを必要とするプログラムが動作しない可能性がある。システム管理者に相談する必要がある。

17.4.2 静的メモリ確保

プログラムが動的にメモリを確保できないような実行環境では、プログラムは静的にメモリを確保する。MVP/GMVP では、ファイル `src/OBJ.$MVPHOST/ASSIM` に “SET DYNAMIC” という行がないか、あるいは 1 文字目が “*” の場合、静的にメモリが確保され、メモリサイズはコンパイル時に決定される。

静的メモリ確保においてメモリサイズを変更するには、MVP の場合 `src/mvp/aaalloc.f` を、GMVP コードの場合 `src/gmvp/aaalloc.f` を修正し、再コンパイルする必要がある。修正する部分は、どちらのコードの場合も次の PARAMETER 文である。

```
PARAMETER (MAXMEM = nnnnnnnn )
```

`nnnnnnnn` を使用するメモリサイズ (ワード数) に修正する。

謝辞

MVP/GMVP コードの開発にあたり、数多くの開発者からご支援頂き、数多くのユーザのユーザー方々から有益なコメントを頂きました。この場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

特に以下に挙げる方々からは格別のご支援を頂きました。中川正幸氏は、新モンテカルロコード開発プロジェクトを立ち上げて頂き、MVP/GMVP コードの礎を築いてくださいました。故佐々木誠氏は、卓越したプログラミング技術でプロジェクトを支援して頂き、数多くの有益なコメントを頂きました。金子邦男氏は、MVP 断面積ライブラリの作成で貢献して頂きました。小迫和明氏 (現、清水建設) は、MVP の光核反応モデルの開発をご支援して頂きました。山本徹氏 (現、原子力規制庁) は、厳密共鳴弾性散乱モデルの開発をご支援して頂きました。鈴木求氏 (現、電力中央研究所) は、MVP コードの 64 ビット版の開発をご支援して頂きました。

光核反応モデルの実装は、文部科学省受託研究「ウラン濃縮施設廃棄物の光核分裂検出法による非破壊測定技術の開発」の成果の一部です。

参考文献

- [1] T. Mori, M. Nakagawa, and M. Sasaki. Vectorization of Continuous Energy Monte Carlo Method for Neutron Transport Calculation. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **29**[4], pp.325–336 (1992).
- [2] Message Passing Interface Forum. MPI: A Message-Passing Interface Standard (1994).
- [3] T. Mori and M. Nakagawa. MVP/GMVP: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods. JAERI-Data/Code 94-007, 152p. (1994). [in Japanese].
- [4] K. Shibata, et al. Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version 3, JENDL-3. JAERI 1319, 516p. (1990).
- [5] T. Nakagawa, et al. Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version 3, Revision 2. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **32**, pp.1259–1271 (1995).
- [6] P. F. Rose and C. L. Dunford (Eds.). ENDF-102; Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File, ENDF. BNL-NCS-44945 (1990).
- [7] M. Herman and A. Trkov (Eds.). ENDF-6 Formats Manual. BNL-90365-2009 (2009).
- [8] Y. Nagaya, K. Okumura, T. Mori, and M. Nakagawa. MVP/GMVP II : General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations Based on Continuous Energy and Multigroup Methods. JAERI 1348, 388p. (2005).
- [9] T. Mori and Y. Nagaya. Comparison of resonance elastic scattering models newly implemented in MVP continuous-energy Monte Carlo code. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**[8], pp.793–798 (2009).
- [10] M. Ouisloumen and R. Sanchez. A Model for Neutron Scattering Off Heavy Isotopes That Accounts for Thermal Agitation Effects. *Nucl. Sci. Eng.*, **107**[3], pp.189–200 (1991).
- [11] T. Sakurai, K. Kosako, and T. Mori. A Conceptual Design Study for Active Nondestructive Assay System by Photon Interrogation for Uranium-Bearing Waste with MVP Code and Evaluated Photonuclear Data. *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, **2**, pp.318–329 (2010).
- [12] K. Okumura. MOSRA-SRAC; Lattice calculation module of the modular code system for nuclear reactor analyses MOSRA. JAEA-Data/Code 2015-015, 162p. (2015).
- [13] T. Hazama, G. Chiba, W. Sato, and K. Numata. SLAROM-UF : Ultra fine group cell calculation code for fast reactor – version 20090113 –. JAEA-Review 2009-003, 59p. (2009).
- [14] W. R. Martin. Challenges and Prospects for Whole-Core Monte Carlo Analysis. *Nucl. Eng. Technol.*, **44**, pp.151–160 (2012).
- [15] J. E. Hoogenboom, W. R. Martin, and B. Petrovic. Monte Carlo Performance Benchmark for Detailed Density Calculation in a Full Size Reactor Core, Benchmark specifications Revision 1.2, July 2011 (2011).

- [16] N. Horelik, B. Herman, B. Forget, and K. Smith. Benchmark for Evaluation and Validation of Reactor Simulation (BEAVRS). *Proc. of M&C 2013*, pp. 2986–2999, Sun Valley, Idaho, USA, 5-9 May 2013.
- [17] M. Suzuki and Y. Nauchi. Analysis of BEAVRS Benchmark Problem by Using Enhanced Monte Carlo Code MVP with JENDL-4.0. *Proc. of ANS M&C2015 - Joint International Conference on Mathematics and Computation (M&C), Supercomputing in Nuclear Applications (SNA) and the Monte Carlo (MC) Method*, Nashville, Tennessee, USA, 19-23 April 2015.
- [18] M. B. Emmett. MORSE-CGA, A Monte Carlo Radiation Transport Code with Array Geometry Capability. ORNL-6174 (1985).
- [19] L. M. Petrie and N. F. Landers. KENO-V.a: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping, Vol. II, Sect. F11 of SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation. NUREG/CR-0200, Rev.5 (ORNL/NUREG/CSD-2R5) (1997).
- [20] X-5 Monte Carlo Team. MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. LA-UR-03-1987 (2003).
- [21] R. N. Blomquist. Status of the VIM Monte Carlo Neutron/Photon Transport Code. *Proceedings of 12th Biennial RPSD Topical Meeting of the American Nuclear Society*, Santa Fe, New Mexico, USA, April 14-18 2002.
- [22] G. I. Bell and S. Glasstone. *Nuclear Reactor Theory*. Van Nostrand Reinhold Company, New York (1970).
- [23] J. Spanier and E. M. Gelbard. *Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problem*, chapter 2.6 The Track Length Estimator, pp. 66–76. Addison-Wesley Publishing Company (1969).
- [24] A. Dubi, T. Elperin, and H. Rief. On Confidence Limits and Statistical Convergence of Monte Carlo Point-Flux Estimators with Unbounded Variance. *Ann. Nucl. Energy*, **9**, pp.675–682 (1982).
- [25] S. K. Fraley and T. J. Hoffman. Bounded Flux-at-a-Point Estimators for Multigroup Monte Carlo Computer Codes. *Nucl. Sci. Eng.*, **70**, pp.14–19 (1979).
- [26] T. Mori, K. Okumura, and Y. Nagaya. Status of JAERI's Monte Carlo Code MVP for Neutron and Photon Transport Problems. *Monte Carlo 2000 Conference*, pp. 625–630, Lisbon, 23-26 October 2000.
- [27] T. Mori, K. Okumura, Y. Nagaya, and H. Ando. Monte Carlo Analysis of HTTR with the MVP Statistical Geometry Model. *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **83**, pp.283–284 (2000).
- [28] T. Mori, M. Nakagawa, and M. Sasaki. One-, Two- and Three Dimensional Transport Codes Using Multi-Group Double-Differential Cross Sections. JAERI 1314, 151p. (1988).
- [29] T. Mori, M. Nakagawa, and K. Kaneko. Neutron Cross Section Library Production Code System for Continuous Energy Monte Carlo Code MVP — LICEM. JAERI-Data/Code 96-018 (1996). [in Japanese].

- [30] K. Okumura, et al. Validation of a Continuous-Energy Monte Carlo Burn-up Code MVP-BURN and Its Application to Analysis of Post Irradiation Experiment. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **29**[11], pp.128–138 (2000).
- [31] M. Nakagawa, T. Mori, and M. Sasaki. Comparison of Vectorization Methods Used in a Monte Carlo Method. *Nucl. Sci. Eng.*, **107**, pp.58–66 (1991).
- [32] T. Mori, Y. Nagaya, K. Okumura, and K. Kaneko. Production of MVP Neutron Cross Section Libraries Based on the Latest Evaluated Nuclear Data Files. JAERI-Data/Code 2004-011, 119p. (2004). [in Japanese].
- [33] R. C. Little. New Photon Library from ENDF Data. LA-UR-03-0164 (2003).
- [34] RSIC COMPUTER CODE SELECTION, MCNP4, Monte Carlo Neutron and Photon Transport Code System. CCC-200A/B (1991).
- [35] C. J. Everett and E. D. Cashwell. MCP Code Fluorescence Routine Revision. LA-5240-MS (1973).
- [36] IAEA. Handbook on Photonuclear Data for Applications Cross-sections and Spectra. IAEA-TECDOC-1178 (2000).
- [37] D. E. Cullen, et al. The 1989 ENDF/B Pre-processing Codes. IAEA-NDS-39 (1989).
- [38] H. Akima. Algorithm 433, Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedure. *Comm. ACM*, **15**, pp.914–918 (1972).
- [39] J. Spanier and E. M. Gelbard. *Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problem*, chapter 5.4 Refinements of the Formulation, pp. 192–198. Addison-Wesley Publishing Company (1969).
- [40] F. B. Brown, W. R. Martin, and D. A. Calahan. A Discrete Sampling Method for Vectorized Monte Carlo Calculations. *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **38**, pp.354–355 (1981).
- [41] V. V. Kolesov and V. F. Ukraintsev. Temperature effects and resonance elastic cross section influence on secondary energy distributions of scattered neutrons in the resolved resonance region. *Proc. of PHYSOR-2006*, Vancouver, BC, Canada, 10-14 September 2006.
- [42] R. Dagan and C. H. M. Broeders. On the effect of resonance dependent scattering-kernel on fuel cycle and inventory. *Proc. of PHYSOR-2006*, Vancouver, BC, Canada, 10-14 September 2006.
- [43] D. Lee, K. Smith, and J. Rhodes. The impact of ^{238}U resonance elastic scattering approximations on thermal reactor Doppler reactivity. *Ann. Nucl. Energy*, **36**, pp.274–280 (2009).
- [44] R. Dagan, B. Becker, and D. Roubtsov. Evaluation of the CANDU 6 neutron characteristics in view of application of the resonance dependent scattering kernel in MCNP(X). *Proc. Nucl. Sci. Technol.*, **2**, pp.782–787 (2011).
- [45] T. Ueki, T. Mori, and M. Nakagawa. Error Estimations and Their Biases in Monte Carlo Eigenvalue Calculations. *Nucl. Sci. Eng.*, **125**, pp.1–11 (1997).

- [46] R. P. Feynman, F. de Hoffmann, and R. Serber. Dispersion of the Neutron Emission in U-235 Fission. *J. Nucl. Energy*, **3**, pp.64–69 (1956).
- [47] J. Terrell. Distribution of Fission Neutron Numbers. *Phys. Rev*, **108**, pp.783–789 (1957).
- [48] L. Koblinger. Direct Sampling from the Klein-Nishina Distribution for Photon Energies Above 1.4 MeV. *Nucl. Sci. Eng.*, **56**, pp.218–219 (1975).
- [49] Y. S. Horowitz, A. Dubi, and S. Mordechai. The Monte Carlo Nonuniform Sampling Technique Applied to the Klein-Nishina Probability Density Function. *Nucl. Sci. Eng.*, **60**, pp.461–463 (1976).
- [50] P. Vertes. Test Calculations with IAEA Photonuclear Data Library. INDC(HUN)-035 (2001).
- [51] I. Murata, T. Mori, M. Nakagawa, and H. Itakura. Continuous Energy Monte Carlo Calculations of Randomly Distributed Spherical Fuels Based on Statistical Geometry Model. JAERI-Research 96-015, 44p. (1996). [in Japanese].
- [52] I. Murata, A. Takahashi, T. Mori, and M. Nakagawa. New Sampling Method on Continuous Energy Monte Carlo Calculation for Pebble Bed Reactors. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **34**[8], pp.734–744 (1997).
- [53] I. Murata, T. Mori, M. Nakagawa, and H. Shirai. Packing Simulation Code to Calculate Distribution Function of Hard Spheres by Monte Carlo Method: MCRDF. JAERI-Data/Code 96-016, 79p. (1996). [in Japanese].
- [54] R. K. Meulekamp and S. C. van der Marck. Calculating the Effective Delayed Neutron Fraction with Monte Carlo. *Nucl. Sci. Eng.*, **152**, pp.142–148 (2006).
- [55] Y. Nauchi and T. Kameyama. Proposal of Direct Calculation of Kinetic Parameters β_{eff} and Λ Based on Continuous Energy Monte Carlo Method. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **42**[6], pp.503–514 (2005).
- [56] Y. Nagaya, G. Chiba, T. Mori, D. Irwanto, and K. Nakajima. Comparison of Monte Carlo calculation methods for effective delayed neutron fraction. *Ann. Nucl. Energy*, **37**, pp.1308–1315 (2010).
- [57] T. Mori, K. Okumura, Y. Nagaya, and M. Nakagawa. Application of Continuous Energy Monte Carlo Code MVP to Burn-up and Whole Core Calculations Using Cross Sections at Arbitrary Temperatures. *Proc. of Int. Conf. on Mathematics and Computer, Reactor Physics and Environmental Analysis in Nuclear Applications (M&C'99)*, pp. 987–996, Madrid, Spain, 27-30 September 1999.
- [58] W. W. Engle, Jr. A user manual for anisn, a one dimensional discrete ordinates transport code with anisotropic scattering. K-1693 (1967).
- [59] Y. Komuro, et al. MAIL3.0: A Computer Program Calculating Cross Section Sets for SIMCRI, ANISN, KENO-IV, MULTI-KENO and MULTI-KENO-II. JAERI-M 90-126, 125p. (1990). [in Japanese].
- [60] N. M. Green, et al. XLACS: A Program to Produce Weighted Multigroup Neutron Cross Sections from ENDF/B. ORNL-TM-3646 (1972).

- [61] K. D. Lathrop. DTF-IV, A Fortran Program for Solving the Multigroup Transport Equation with Anisotropic Scattering. LA-3373 (1965).
- [62] Y. Nagaya and T. Mori. Calculation of effective delayed neutron fraction with Monte Carlo perturbation techniques. *Ann. Nucl. Energy*, **38**, pp.254–260 (2011).
- [63] Y. Nagaya. Calculation of reactor kinetics parameters with Monte Carlo differential operator sampling. *Ann. Nucl. Energy*, **82**, pp.226–229 (2015).
- [64] S. Iijima, Y. Kato, K. Takasaki, and S. Okajima. Fast Reactor Nuclear Physics Parameters Calculation Code System “EXPARAM”. JAERI-Data/Code 2004-016, 91p. (2004). [in Japanese].
- [65] R. E. MacFarlane. TRANSX 2 : A Code for Interfacing MATXS Cross-Section Libraries to Nuclear Transport Codes. LA-12312-MS (1992).
- [66] K. Kosako. Present Status of Cross Section Libraries. *Proc. of 3rd Specialists’ Meeting on Nuclear Data for Fusion Reactors*, JAERI-Conf 96-005, pp. 55–62, Tokai, Japan, 29-30 November 1996.

付録

A. MVP/GMVP のインストール

この付録は MVP/GMVP の UNIX または Linux 環境へのインストールについて解説したものである。なお、インストール及びコードの利用に際しては UNIX に関する若干の知識が必要である。

A.1 UNIX または Linux 環境への MVP/GMVP コードのインストール

MVP/GMVP コードを利用可能にするための手順を以下に示す。各手順の詳細は次節以下を参照されたい。また、配付されたソースにドキュメントが添付されているのでそれも参照されたい(ファイル INSTALL.guide 等)。

(1) 必要な計算機資源の確保または確認

- プログラムソースからコンパイルして実行モジュールを作成するには 80 Mbyte 程度のディスクスペースが必要である。
- MVP コードの断面積データのためにかなりのディスクスペースを必要とする。MVP コードのための断面積ライブラリ（以下「MVP ライブラリ」と記述）のデータを処理して利用可能状態にするには、JENDL-4.0 で約 1.1 Gbyte 必要である。64 ビット版の MVP(2 Gbyte 以上のメモリが利用可) を利用する際には、断面積も倍精度となるため、約 2 倍のデータ容量となる。
- プログラムのコンパイルのために FORTRAN 及び C 言語のコンパイラ、そして make、sed などのユーティリティを必要とする。
- MVP 実行時にある程度のメモリが必要である。大規模な計算を行う場合には、十分なメモリが搭載されているかどうか確認する。

(2) 配布された記憶媒体からのデータの取り出し

関連データが DVD 等で配布されている場合にそれを十分な空き容量のあるハードディスク上に展開する。

(3) プログラム実行のための環境の設定

プログラムソース等を格納するためのディレクトリ名及び MVP ライブラリのディレクトリ名を示す環境変数の設定及びコマンドサーチパスの設定のための作業。

(4) プログラムのコンパイル／リンク

MVP 及び GMVP プログラム本体及び断面積形式変換に必要なユーティリティプログラム等をコンパイル／リンクして作成する。既に関元で対応済のマシン／環境では用意された簡単なコマンドをいくつか実行するだけで済む。

(5) 断面積データの処理

必要に応じて、配布された断面積データ（通常はテキスト形式）を利用可能な形に変換する。

(6) サンプル入力データによるテスト計算

MVP 及び GMVP に対してサンプル入力データと計算出力例が添付されている。計算を実行して動作を確認する。

以上の手順は速度の遅い計算機では処理時間をかなり必要とする（特にコンパイル、断面積処理、テスト計算）。

これらの作業が完了すると「インストールしたマシンのインストールを行ったユーザに対して」プログラムが使用可能になる。利用ユーザや使用可能なマシンを追加する場合は上記手順を部分的に行えばよい。

- 利用できるユーザを追加する。

新しいユーザに対して手順「環境設定」を行う。

- 利用できる計算機を追加する。

追加したい計算機がインストールしたマシンと同じ機種、同じオペレーティングシステムであればインストール済のファイル環境をコピーし「環境設定」を行うだけである。NFS などファイルシステムを共有している場合にはファイルコピーをする必要はない。異なる機種、異なるオペレーティングシステムの計算機を追加する場合には「コンパイル/リンク」、と場合によっては「断面積データの処理」も行う必要がある。また環境によっては、以下に記述する標準的な手順とやや異なる手続きが必要な場合がある。A.5 及びソースに添付のドキュメント等も併せて参照されたい。

A.1.1 ファイルの展開

まず、MVP/GMVP 関連ファイルを作成するための十分な空き容量のあるディスクを用意する。配布される MVP/GMVP コード関連のファイルは2つに分類される。

(a) プログラムソース、コマンドファイル、テスト計算データ等

インストール後約 80 Mbyte。

(b) MVP コード用の断面積ライブラリデータ

MVP/GMVP Version 3 と共に配布される JENDL-4.0 では、約 1.1 Gbyte(64 ビット版では、約 2.1 Gbyte) 必要である。

十分な容量のあるディスクなら (a),(b) 両方をひとつのディスク内に格納できるが、そうでない場合は別々のディスクに格納することも可能である。

アーカイブファイルからのファイルの取り出し

プログラムソースのアーカイブファイルは、`mvp3.0.tar.gz` である。このファイルをディスク上の適当なディレクトリにコピーし、インストールしたいディレクトリで展開する。DVD で配布されている場合は、DVD をマウントし、DVD から直接展開してもよい。

コマンド例:

```
tar xvfz.mvp3.0.tar.gz
```

または

```
gzip -dc.mvp3.0.tar.gz | tar xvf -
```

この処理が正常に終了すると”mvp-3.0”という名前のディレクトリが作成される。その下にディレクトリ LOCAL, artrun, burnrun, etc, gmvplib, gmvprun, mvprun, porting, src, template, testcase のディレクトリが新たに作成される。

各ディレクトリの内容は表 A.1 のようになっている (bin はコンパイル時自動的に生成される)。

表 A.1 MVP/GMVP コード関連ファイルのディレクトリの内容

ディレクトリ	内容
src	プログラムソース、オブジェクトファイル、make ファイル等
bin	コンパイル／リンクして作成される実行モジュール
etc	インストール、プログラム実行のためのコマンドファイル (シェルスクリプト) 等
mvprun	MVP コードのテスト計算用データと計算出力例
gmvprun	GMVP コードのテスト計算用データと計算出力例
gmvplib	GMVP コードのテスト計算に必要な断面積データ
template	MVP/GMVP コードの入力データの雛形ファイル
testcase	特殊目的用のサンプル入力データ
artrun	MVP-ART コードのテスト計算用データと計算出力例
burnrun	MVP-BURN コードのテスト計算用データと計算出力例
porting	MVP/GMVP コードを UNIX 以外の環境に移植するためのコマンド等
LOCAL	コードの利用者が作業用等に任意に使用できるディレクトリ

A.1.2 プログラム実行環境の設定

MVP/GMVP の実行にあたっては以下のように環境が設定されている必要がある。

(1) 3 つの環境変数 MVP_DIR, MVPHOST 及び MVPLIB_DIR が設定されている。

- MVP_DIR: MVP/GMVP コードの関連ファイル (表 A.1 に示したもの) が格納されたディレクトリパス名。
- MVPHOST: 使用するマシンの種類を示すために MVP/GMVP コードシステムで決められている文字列。
- MVPLIB_DIR: MVP コードの断面積データのインデックスファイルが格納されたディレクトリ名。

MVP_DIR 及び MVPHOST の設定は必須である。MVPLIB_DIR は MVP を runmvp コマンドで使用する場合には設定しておくことが望ましい。

- (2) ディレクトリ \$MVP_DIR/bin/\$MVPHOST 及び \$MVP_DIR/etc がコマンドサーチパスに設定されている¹⁷。

これらの環境はユーザがマシンにログインした時点で設定されていることが望ましいため、通常使用しているコマンドシェルの設定ファイルに記述を追加する。ログインシェルに C シェルもしくは tcsh などを使用している場合にはログインディレクトリの .cshrc を、B シェルもしくは bash などを使用している場合にはログインディレクトリの .profile (もしくは .bachrc 等) をそれぞれ変更するか、またはない場合には作成する。 .cshrc または .profile に追加する記述の例を以下に示す。これらの記述例はディレクトリ \$MVP_DIR/etc のファイル cshrc.ex 及び profile.ex に格納してあるので、どちらかをコピーして使用することができる。

- .cshrc に追加する記述の例

```
#
# -- C-shell startup script for MVP/GMVP --
#
#      mmmmmmmmm : directory path on which MVP/GMVP files are installed.
#      xxxxxxxxx : directory path on which MVP library is placed.
#
#      Insert in user's .cshrc file and modify mmmmmmmmm & xxxxxxxxx.
#
setenv MVP_DIR      mmmmmmmmm
setenv MVPLIB_DIR   xxxxxxxxx
setenv MVPHOST ` $MVP_DIR/etc/getsystem -i `
if( $?MVPHOST ) then
    if( $?path ) then
        set path=($MVP_DIR/etc $MVP_DIR/bin/$MVPHOST $path)
    else
        set path=($MVP_DIR/etc $MVP_DIR/bin/$MVPHOST)
    endif
endif
endif
```

- .profile に追加する記述の例

```
#
# -- Bourne or Korn-shell startup script for MVP/GMVP --
#
#      mmmmmmmmm : directory path on which MVP/GMVP files are installed.
#      mmmmmmmmm : directory path on which MVP/GMVP files are installed.
#      xxxxxxxxx : directory path on which MVP library is placed.
#
#      Insert in user's .profile file and modify mmmmmmmmm & xxxxxxxxx.
#
MVP_DIR=mmmmmmmm
export MVP_DIR
MVPLIB_DIR=xxxxxxx
```

¹⁷ ここで、\$MVP_DIR、\$MVPHOST 等は環境変数の値を参照する記法。

```

export MVPLIB_DIR
if [ "$MVPHOST" = "" ]; then
    MVPHOST=`$MVP_DIR/etc/getsystem -i`
fi
export MVPHOST
PATH=$MVP_DIR/etc:$MVP_DIR/bin/$MVPHOST:$PATH
export PATH

```

上記の記述を各ファイルに追加するときに文字列 mmmmmmmm 及び xxxxxxxx をそれぞれ環境変数 MVP_DIR, MVPLIB_DIR に設定したいディレクトリパス名に書き換えればよい。

環境変数 MVPHOST の設定は MVP/GMVP のコマンド \$MVP_DIR/etc/getsystem が自動的に行うように設定されているが、このコマンドで正しくシステムが認識されない場合もあるので、その場合直接該当するシステム名を指定する。

なおログイン時の条件によっては実行されないような位置に記述すると環境設定が行えなくなるので注意が必要である。ファイル .cshrc または .profile の修正が終わったら一旦ログアウトしてからもう一度ログインする。そこでコマンド printenv または env により環境変数が正しく設定されているかをチェックする。

出力例:

```

...
PATH=/home/codes/mvp-3.0/etc:/home/codes/mvp-3.0/bin/LINUXGLIBC:./bin:
/usr/bin:/usr/X11R6/bin
...
MVP_DIR=/home/codes/mvp-3.0
MVPLIB_DIR=/server1/MVPlib
MVPHOST=LINUXGLIBC
...

```

環境変数 PATH に意図したディレクトリが組み込まれていること、環境変数 MVP_DIR, MVPLIB_DIR 及び MVPHOST が定義されていることを確認する。これらが設定されていない場合は、.cshrc または .profile の変更方法が誤っているか、正しいディレクトリが指定されていない可能性がある。環境変数 MVPHOST の設定は、ほとんどの場合ログインした機種あるいは OS に応じて表 A.2 のように自動的に行われるようになっている。

表 A.2 機種あるいは OS に対する環境変数 MVPHOST の設定

MVPHOST	対応機種あるいは OS
LINUXGLIBC	Linux for x86
FREEBSD	FreeBSD x86
X86SOL2	Solaris 2.x for x86
CYGWIN	Cygwin (Windows)
WIN	MS-Windows
UNKNOWN	機種、OS 等開発元で未対応のもの。

表 A.2 の “UNKNOWN” でない機種にインストールしようとしているのに、MVPHOST が環境に合った文字列に設定されていないように思われる、あるいは、MVPHOST が “UNKNOWN” になっている

場合があるかもしれない。この場合はコマンド `uname -a` でどのような出力になるかを確認し、開発元に連絡されたい。

環境が認識できない場合でも、とりあえず“UNKNOWN”が設定された状態のままで次の「コンパイル/リンク」に進むことができる。この場合プログラムのインストールには余分な労力を必要とすることになるかもしれない。

A.1.3 プログラムのコンパイル/リンク

環境変数とコマンドサーチパスを設定すれば、プログラムのコンパイル及びリンクを行うことができる。MVP/GMVP では用意された 2 つのコマンド `makemake` 及び `mvpmake` を使用する。これらのコマンドは環境設定が行われていれば(コマンドサーチパスが設定されていれば)、どのディレクトリでも実行することができる (LOCAL ディレクトリなど)。「各機種に関する情報」を読んでインストールしようとする機種に関する個別情報をあらかじめ確認されたい。

makemake コマンドの実行

このコマンドは使用者のシステムにあわせたコンパイル/リンクを行うために Makefile の作成などを行う。

コマンド:

`makemake`

`makemake` コマンドにはいくつかコマンドオプションがあり、“-h”オプションで表示させることができる。

```
makemake [-src source-directory] [-c] [-ic] [-noc] [-h] [-a]
          [sys=system] [mf=...] [mm=...] [as=...]
-src source-directory: use non-default source directory.
-c      : use current system for OBJ.xxx (non interactive)
-ic     : add include file dependency rules.
-noc    : do not use C-language coded source files.
-h      : only print this message.
-a      : linkage thru *.a files.
src=source-directory: use non-default source directory.
                    (alternative form to -src)
sys=... : use OBJ.sys (non interactive. override -c)
mf=...  : specify name of Makefile.
mm=...  : specify alternate "MakeMacro" file.
as=...  : specify alternate "ASSIM" file.
```

`makemake` を実行すると選択可能なシステムのリストが以下のように画面に出力される。“current system”に表示されているシステムが正しければ“0”(ゼロ)を入力し、システムが正しく認識されていない場合は正しいシステムの番号を入力してリターンキーを押す。MPI 並列版の実行モジュールを作成したい場合は、インストールしたいシステムの後に“.mpi”が付いている番号を選択す

る。また、64 ビット版実行モジュールを作成したい場合は、インストールしたいシステムの後に “.mvp64” が付いている番号を選択する。

```
=== Makefile builder for target system ==
```

```
Default source directory : /home/codes/mvp-3.0/src
```

```
(1) CYGWIN
```

```
(2) CYGWIN.mpi
```

```
(3) FREEBSD
```

```
(4) LINUXGLIBC
```

```
(5) LINUXGLIBC.mpi
```

```
(6) LINUXGLIBC.mvp64
```

```
(7) LINUXGLIBC.mvp64.mpi
```

```
(8) UNKNOWN
```

```
(9) WIN
```

```
(10) X86SOL2
```

```
( current system : LINUXGLIBC )
```

```
select target system by number (*:all 0:current q:quit) -->
```

画面に次のようなメッセージが出力されれば、処理は正常に終了し、ディレクトリ \$MVP_DIR/src/ OBJ.\$MVPHOST に Makefile が作成される。

```
-----  
Makefile making completed.  
-----
```

うまくいかない場合には次のことを確認してからもう一度実行する。

- ディレクトリ \$MVP_DIR/src/OBJ.\$MVPHOST が書き込み可能になっているか？
- コマンド \$MVP_DIR/etc/makemake が実行可能になっているか？

mvpmake コマンドの実行

mvpmake コマンド は、MVP 及び GMVP コードの実行モジュールを作成するためのコマンドで、どのディレクトリからでも実行できる。コマンドの標準的な使い方は

```
mvpmake target ...
```

のようになる。ここで、*target* は作成しようとするプログラムの実行モジュールに対応した文字列で、以下のように指定する。

- MVP の実行モジュールの作成

```
mvpmake mvp (シングル版の場合)
```

または

```
mvpmake .mpi mvp (MPI 並列版の場合)
```

または

```
mvpmake .mvp64 mvp (64 ビット版の場合)
```

- GMVP の実行モジュールの作成

```
mvpmake gmvp (シングル版の場合)
```

または

```
mvpmake .mpi gmvp (MPI 並列版の場合)
```

または

```
mvpmake .mvp64 gmvp (64 ビット版の場合)
```

- MVP/GMVP の断面積処理プログラム (NLB2TXT, NTXT2LB, GMVPLBCV) の実行モジュールの作成

```
mvpmake xsectool
```

“target” を省略して “mvpmake” だけ入力すると MVP と GMVP の実行モジュールを同時に作成する。

コマンド実行が終了したら、出力の最後に次のような 2 行がでていいるかどうかを確認する (MVP を作成した場合の例)。

```
%%% information of MVP executable %%%  
-rwxrwxr-- 1 user group 1159468 Nov 01 15:01  
../bin/LINUXGLIBC/mvp
```

(実際の出力では 3 行目は 2 行目の終わりに続く。) 上記の 2 行目は作成した実行モジュールに関する情報で、作成された日付と時刻が示される (上記の例では、Nov 01 15:01)。

この出力がない場合にはコンパイルまたはリンク時にエラーが生じている可能性がある (すでに作成済の場合にもメッセージは出力されないが、この場合にはコンパイルリンクに関する情報も出力されないで区別はつくはずである)。

環境変数 MVPHOST の設定が “UNKNOWN” でない場合には、通常は問題なくコンパイル/リンクは成功するが、OS やコンパイラのバージョン等の環境の違いによりエラーが発生する可能性はある。“UNKNOWN” の環境ではエラーが発生しやすいと思われる。エラーが発生した場合には出力リストをとってエラーの原因を調べることができる。出力リストをとるには mvpmake コマンドをもう一度、今度は出力先を指定して実行する。(例: mvpmake mvp >& makeerr.log)

エラーが解決できない場合、あるいはプログラムソースの修正が必要と思われる場合には開発元に御連絡いただきたい。

また、コンパイラのバージョンアップなどにより再コンパイルしたい場合には、オブジェクトファイルを消去してから行う。

mvpmake コマンドで行う場合には以下のように入力する。

<code>mvpmake cleanmvp</code>	(MVP のオブジェクトをすべて消去)
<code>mvpmake cleangmvp</code>	(GMVP のオブジェクトをすべて消去)
<code>mvpmake cleanall</code>	(MVP, GMVP のオブジェクトをすべて消去)

MVP/GMVP のプログラムソースの格納場所、環境に応じて自動的に `make` を行うメカニズムについては付録 F を参照されたい。

A.2 断面積データの準備

A.2.1 MVP 断面積データの処理

MVP コードが利用する断面積データは核種、粒子種類ごとに別々のバイナリ形式のファイルに格納するようになっている。断面積データの配布は通常いくつかのテキストデータにまとめた形で行われるので、これらを MVP が直接読み込めるバイナリファイルに変換する必要がある。この処理は前項で `mvpmake` により作成した断面積処理プログラムで行う。このプログラムの使用法は付録 E に記述されているのでそちらを参照されたい。

断面積処理プログラムを用いてバイナリ形式に変換するためのシェルスクリプトは、各断面積パッケージ毎に用意されている。このシェルスクリプトは、通常リリースされた断面積パッケージに付属されており、その使い方も配布された断面積パッケージに付属されている。

MVP を実行するために必要な標準ライブラリー式を準備するためのシェルスクリプトを表 A.3 に示す。

表 A.3 MVP ライブラリを準備するためのシェルスクリプト

Shell script	Library to be processed
<code>Makelib_nJ40.sh</code>	JENDL-4.0 に基づく任意温度中性子ライブラリ
<code>Makelib_paB68.sh</code>	ENDF/B-VI.8 に基づく光原子ライブラリ
<code>Makelib_pn.sh</code>	光核反応ライブラリ
<code>Makelib_el.sh</code>	電子ライブラリ
<code>Makelib_ds.sh</code>	ドジメトリライブラリ

これらのシェルスクリプトの使い方は以下の通りである。

コマンド:

```
./Makelib_nJ40.sh
```

取り扱う問題によっては、これらすべてのライブラリをインストールしておく必要はないが、ディスクスペースに余裕があれば、すべてインストールしておくとう便利である。

また、評価済み核データの予測精度を比較したい場合に、別の中性子ライブラリパッケージをインストールしたい場合がある。この場合には、そのパッケージにバイナリ変換用シェルスクリプトが付属されているので、それを上記と同様に実行する。例えば、ENDF/B-VII.0 の中性子ライブラリをインストールしたい場合には、`Makelib_nB70.sh` を実行する。すると、`neutron.art.B70.index` というインデックスファイルが作成されるので、これを `neutron.art.index` に追加する。(`neutron.art.index` は、`Makelib_nJ40.sh` を実行した時に自動的に生成される。) 例えば、以下のようにすればよい。


```
cat neutron.art.B70.index >> neutron.art.index
```

これにより、JENDL-4.0 と ENDF/B-VII.0 の両方の中性子ライブラリが利用可能となる。

A.2.2 GMVP 断面積データの処理

GMVP コードは MVP コードと異なり、特に配布された指定断面積データというものはなく ANISN 形式の断面積データあるいは MORSE-DD コード用の DDX 形式断面積なら原則としてどれでも使用できる。今回の配布版ではサンプル計算で利用する断面積データがテキスト形式で用意されている。

- テキスト形式で配布されている GMVP 断面積

- サンプル問題 2 用: \$MVP_DIR/gmvplib/ddxj3.txt.Z (compress により圧縮)
- サンプル問題 3 用: \$MVP_DIR/gmvplib/n46g26.txt.Z (compress により圧縮)

(サンプル 1 は断面積ファイル不要)

GMVP コードの実行時にはこれらはバイナリファイルとして使用されるので、配布されたテキスト形式データをバイナリ形式に変換する必要がある。

まず圧縮されたテキストファイルを解凍する。

コマンド:

```
uncompress ddxj3.txt.Z
uncompress n46g26.txt.Z
```

または compress の代わりに gzip を使用する場合

```
gzip -d ddxj3.txt.Z
gzip -d n46g26.txt.Z
```

次に変換プログラムを起動する。

コマンド:

```
gmvplbcv
```

次のようにテキスト→バイナリ変換あるいはバイナリ→テキスト変換のいずれを行うかを問い合わせるので ”2” を入力する。

```
*****
*** GMVP/ANISN/KENO library form conversion ***
*****
conversion type
  1.  binary -> text
  2.  text -> binary
INPUT>
```

入力ファイルの名前を問い合わせてくる。

```
== INPUT (TEXT) LIBRARY -->
```

ここでテキストファイルの名前 (ddxj3.txt または n46g26.txt) を入力する。

```
== OUTPUT (BINARY) LIBRARY -->
```

ここでバイナリ出力ファイルの名前を入力する。入力テキストファイルと異なる名前にする必要がある。

A.3 サンプル入力データによるテスト計算

A.3.1 MVP コードのテスト計算

MVP コードの動作を確認するために表 A.4 示される例題がディレクトリ \$MVP_DIR/mvprun に用意されている。これらのうち初めの 3 つは参考文献 [3] の「6. 入力例」に記述されている 3 つの例題に対応している。これら以外にも例題が用意されている。内容や実行時の注意については \$MVP_DIR/mvprun/README を参照されたい。

表 A.4 MVP コードのサンプル問題の入力データ

ファイル	問題
sample1.inp	格子形状 (一重格子) を用いた単一燃料集合体計算
sample2.inp	格子形状 (二重格子) を用いた複数燃料集合体から構成される体系
sample3.inp	中性子-光子結合問題
sample4.inp	確率論的幾何形状モデルの例
sample5.inp	FREE-FRAME-LATTICE オプションの例
sample6.inp	SOURCE-REGION と MARKER-REGION を用いたタリーの例
sample7.inp	ファインマン- α 計算の例
sample8.inp	面検出器と衝突検出器の例
sample9.inp	面検出器と点検出器の例

各例題は以下のような計算を行う。

- Example 1 : 六角格子を用いた LMFBR 集合体モデル。
- Example 2 : 階層になった格子形状を用いた集合体モデル。
- Example 3 : FNS/JAERI で行われた実験解析に対する中性子/光子結合問題。
- Example 4 : 確率論的幾何形状モデル。完全反射体を除く計算領域は黒鉛で満たされている。この計算はゾーンの体積割合を評価するために行われる。
- Example 5 : FREE-LATTICE-FRAME オプションを用いて記述された二重 (内側と外側) に境界が区切られた六角格子集合体モデル。

- Example 6 : タリー次元 SOURCE-REGION と MARKER-REGION を用いた特殊なタリー機能の例。この例は光子生成を伴う固有値問題の例にもなっている。
- Example 7 : ファインマンの Y 値を計算するための炉雑音解析。PERIODIC-TIME オプション、ANALOG-FISSION オプションと Y 値を計算するためのタリー機能が用いられている。
- Example 8 : TALLY データブロックで定義された面検出器と衝突エスティメータの例。
- Example 9 : TALLY データブロックで定義された面検出器と点検出器の例。

MVP コードは正しく環境変数が設定されていれば、通常は次のコマンドを入力するだけで実行できる。

```
runmvp input-data
```

ここで、*input-data* は MVP コード入力データのファイル名である。例題を実行するには

```
cd $MVP_DIR/mvprun
runmvp sample2.inp
```

などと入力すればよい。runmvp コマンドの詳しい使用方法は、17.2.2 項を参照されたい。

上記の3つの入力データ (sample1.inp, sample2.inp, sample3.inp) を実行するには割と計算時間を必要とするので、計算粒子数を 10 分の 1 から数分の 1 に減らした入力データ sample1t.inp, sample2t.inp 及び sample3t.inp を用意している。とりあえずそちらを実行してみれば少なくとも MVP が動作するかどうかは確認できる。

MVP コードが動作しているかどうかは ps コマンド等で確認できる。

実行を確認するコマンド例と出力例:

```
% ps
  PID   TTY      TIME    COMMAND
  111    tty0      0:02    csh
  113    tty0      0:25    mvp
  114    tty0      0:00    ps
  112    tty0      0:00    time
%
```

runmvp コマンドを入力したばかりなのに mvp が動いていない状態だったとすると、プログラムの実行がうまくいかずに終了してしまった可能性が高い。計算出力を参照して原因を調べる必要がある。

MVP コードの出力ファイル

runmvp コマンドで MVP を実行すると計算の結果や、途中経過などが通常次のような形式の名前のテキストファイルに出力される。

```
casename.hostname.date.hour.minuite.second
```

ここで、

- casename : 入力データ名。あるいは入力データ名が*.inp の形の時は.inp を取り除いたもの。

- `hostname`: 計算機のホスト名。
- `date.hour.minute.second`: `runmvp` コマンドを実行した時の日付と時間。

例えば、`sample1.inp` という入力データを使用し、ホスト名 `taro` という計算機上で、11 月 15 日の 15 時 30 分 20 秒に `runmvp` を実行した場合の出力ファイル名は以下のようになる。

`sample1.taro.Nov15.15.30.20`

計算が終了したらこのファイルの内容を参照し、計算が正常に終了したかどうか、計算値は妥当な値になっているか等を確認する。各例題入力に対して計算出力例が添付されているのでそれと比較してみるとよい。(ファイル名 `sample1.LINUXGLIBC.*` など。) ただし、計算機環境毎に数値計算の丸め処理の違い等で添付された出力例と完全に同一の計算結果になるとは限らない。

A.3.2 GMVP コードのテスト計算

GMVP コードの動作を確認するために表 A.5 に示されるような例題がディレクトリ `$MVP_DIR/gmvp` に用意されている。

表 A.5 GMVP コードのサンプル問題の入力データ

ファイル	問題
<code>sample1.inp</code>	格子形状による炉心計算
<code>sample2.inp</code>	DDX 形式断面積による計算
<code>sample3.inp</code>	中性子-光子結合問題
<code>sample4.inp</code>	確率論的幾何形状モデルの例
<code>sample5.inp</code>	FREE-FRAME-LATTICE オプションの例
<code>sample6.inp</code>	SOURCE-REGION と MARKER-REGION を用いたタリーの例
<code>sample7.inp</code>	ファインマン- α 計算の例
<code>sample8.inp</code>	面検出器と衝突検出器の例

各例題は以下のような計算を行う。

- 例題 1: 三次元輸送計算のベンチマーク問題として作成された体系である。格子形状オプションを用いて単純化された炉心を表現している。断面積データはテキスト形式で入力データ中に書き込まれたものを使用する。
- 例題 2: DDX(二重微分型断面積)を用いる計算。円柱型の試料片に打ち込まれた単一エネルギー(群)の中性子ビームの散乱後の角度/エネルギー分布を計算する(つまり、DDX 断面積を用いてやはり DDX を計算しているようなもの)。
- 例題 3: 放射線被爆線量評価のための人体模型(Phantom)を表現したもの。形状データは、当時日本原子力研究所保健物理部の山口恭弘氏が MORSE コードのために作成されたものになっている。MVP/GMVP が使用できる 16 種類の形状プリミティブ(body)のうち、12 種類を使用して作成されている。中性子 46 群、光子 26 群のルジャンドル展開形式の断面積を利用した中性子/光子結合計算である。

- 例題 4 : 確率論的幾何形状モデルの例。ゾーンの体積比を求めるために完全反射領域を除く計算体系は黒鉛のような物質で満たされている。
- 例題 5 : MVP の sample5.inp と同じ二重非均質集合体モデルの例。MVP でも用いられている FREE-LATTICE-FRAME オプションが用いられている。
- 例題 6 : SOURCE-REGION と MARKER-REGION を用いたタリーの例。
- 例題 7 : Feynman-Y 値を計算する炉雑音解析の例。PERIODIC-TIME オプション、ANALOG-FISSION オプションと Y 値を計算するためのタリー機能が用いられている。
- 例題 8 : TALLY データブロックで定義された面検出器評価法と衝突評価法の例。

GMVP コードは正しく環境変数が設定されていれば、通常は次のコマンドを入力するだけで実行できる。

```
rungmvp input-data [ x=/nr:xsec-file ]
```

ここで、*input-data* は GMVP コード入力データのファイル名である。*x=/nr:xsec-file* は、断面積ファイルを指定する必要がある場合に指定する。ここで、*n* は断面積データの入力に使用する入出力ユニット番号であり、DDX 断面積の場合は 99、それ以外では入力データ内の指定に依存する¹⁸。そして、*xsec-file* は断面積データファイルの名前である。rungmvp コマンドの詳しい使用方は 17.3.2 節を参照のこと。

例題 1 から例題 3 を実行するためのコマンドは以下ようになる (ディレクトリ \$MVP_DIR/gmvprun に移動して、既に用意された断面積ファイルを使用する場合)。

コマンド例:

```
例題 1:  rungmvp sample1.inp
例題 2:  rungmvp sample2.inp x=/99r:../gmvplib/ddxj3.IEEE
例題 3:  rungmvp sample3.inp x=/1r:../gmvplib/n46g26.IEEE
```

バイナリ形式断面積の名前はそれぞれ GMVPLBCV で作成したものを指定する。計算結果のプリント出力ファイル名等は MVP の場合と同様である。

内容や実行時の注意については、\$MVP_DIR/gmvprun/README を参照されたい。

A.4 プログラムソースファイルについて

プログラムソースファイル及びコンパイルで生成されるオブジェクトファイルはディレクトリ \$MVP_DIR/ src 以下に格納されている。プログラムソースファイル (及びインクルードファイル) の格納ディレクトリを表 A.6 に示す。

MVP と GMVP で共有するプログラムソース (A) については MVP と GMVP コード本体に必要なもの、(B) の方は MVP/GMVP 本体以外の関連プログラムでも使用し、またそのまま他のプログラムに転用可能な汎用性の高いものとなっている。「補助プログラム」は MVP 断面積ライブラリの変換プログラム (NTXT2LB, NLB2TXT)、GMVP 断面積ライブラリの変換プログラム (GMVPLBCV) 及びプログラムソースのプリプロセッサ MVPFAT(後述) などである。

¹⁸GMVP コードが断面積データの入出力ユニットを変更できるようになっているため、このような指定が必要。本来このような入出力ユニット番号を変更する必要などないと思われるが、現状ではこのようになっている。

表 A.6 プログラムソースファイルの格納ディレクトリ

ディレクトリ	内容
src/mvp	MVP コードのプログラムソース
src/mvp/INC	MVP コードのプログラムソースへのインクルードファイル
src/artcore	MVP 任意温度ライブラリ処理部分のプログラムソース
src/artcore/INC	MVP 任意温度ライブラリ処理ソースへのインクルードファイル
src/gmvp	GMVP コードのプログラムソース
src/gmvp/INC	GMVP コードのプログラムソースへのインクルードファイル
src/shared	MVP と GMVP で共有するプログラムソース (A)
src/shared/INC	MVP と GMVP で共有するプログラムソース (A) のインクルードファイル
src/mvpart	MVP 任意温度ライブラリ処理プログラムのソース
src/utils	MVP/GMVP 及び関連プログラムで共有するプログラムソース (B)
src/tools	補助プログラムのプログラムソース

src ディレクトリの下には OBJ.* という形式の名前のディレクトリがいくつかあるがこれらは MVP/GMVP がインストール可能な環境毎にコンパイルによって作成されたオブジェクトを格納するためのもので、makemake コマンドにより自動生成される Makefile もここに作られる。“OBJ.*” の “*” は MVP/GMVP で認識するシステム名で表 A.2 に示した文字列である。

コンパイル時には src/mvp, src/gmvp 等の下にあるソースファイルは MVP/GMVP のために作成した MVPFAT というユーティリティプログラムを用いて、各環境に合わせたプログラムソースに自動的に書き換えられてからコンパイルされる¹⁹。異なるマシン用のオブジェクトファイルを別々に格納することができるため、異なるマシンから NFS などソースファイルを共有している場合でも同時にコンパイル／リンクを行うことができる。リンクして作成された実行ファイルもまた機種別のディレクトリ \$MVP_DIR/bin/\$MVPHOST に格納される。

MVPFAT ユーティリティがどのようなソース変換を行うかは OBJ.\$MVPHOST にある ASSIM という名前のファイルに記述されている。詳しくは付録 F を参照されたい。

A.5 各機種/OS に固有の情報

ここでは MVP/GMVP で開発元が対応した機種ごとに注意すべき点や補足的な情報を記述する。

A.5.1 Linux

MVP/GMVP は Intel x86 上で稼働する Linux 環境で動作する。対応しているコンパイラは以下の通りである。

- GNU コンパイラ (gfortran または g77, gcc)

¹⁹変換されたソースファイルは元のソースプログラムと別のファイルになるため、src/mvp, src/gmvp 等の下にあるソースファイル自身は変更されない。

- Intel コンパイラ (ifort, icc)
- PGI コンパイラ (pgf90, pgcc)
- 富士通コンパイラ (ftr, fcc)

gfortran で動的メモリ確保機能 (DYNAMIC-MEMORY オプション) を用いる場合には、バージョン 4.1 以降を用いる必要がある。これ以前のバージョンを用いる場合には、Makefile を作成する際に、静的メモリ確保オプションを選択する。

A.5.2 FreeBSD

Intel x86 環境での動作を確認している。FORTRAN コンパイラについては Linux と同様に f2c を使った LINUX 用の f77 シミュレータ \$MVP_DIR/etc/_f77.linux 及び g77 が使える。デフォルトの MakeMacro は g77 を使うようになっている。

F2c を使う場合 FreeBSD 2.1.6 では f2c のパッケージが古いかまたはコンパイルオプションがおかしいようで E 形式の浮動小数点数出力で指数部が 1 桁しか出力されないためにプリント出力の桁がずれてしまう。計算には支障が無いようだが f2c のソースを入手してコンパイルしなおすか、g77 を含むより新しい版の FreeBSD を使用することを奨める。

A.5.3 CYGWIN

CYGWIN は Free Software Foundation の GNU ソフトウェアを使用して MS-Windows 上で UNIX 風の実現するシステムである。この環境で gfortran と gcc を使用して MVP/GMVP の UNIX 版をコンパイルし、使用することができる。

A.5.4 MS Windows

Intel CPU の PC 上における Windows 環境 (32 ビットまたは 64 ビット) で動作する。

UNIX 版とは別形態で配布されるのでインストール方法や使用方法についてはそれに付属するドキュメントを参照されたい。

B. CGVIEW

CGVIEW-SLICE コードはMVPおよびGMVPコードの入力データに指定された形状をグラフィック画面上またはイメージデータファイルに出力することで入力データのチェックを行うためのツールである。以下CGVIEW-SLICEを単に“CGVIEW”と呼ぶことにする。CGVIEWには以下のような機能がある。

- 物質、空間領域 (INPUT-ZONE, ZONE, REGION) を断面形状として表示 (X-Window)。
 - 色分けによる表示。
 - 境界線の表示。
- 形状チェック機能
 - 未定義空間領域チェック。
 - 空間領域 (INPUT-ZONE, REGION) や物質の重なりチェック (OVERLAP コマンド)。
 - 矩形領域内の仮想粒子ランダム飛行による三次元的チェック (FLOOD コマンド)。
- 形状表示操作
 - 表示範囲の自動設定。
 - 対話的にコマンドを入力 (シェルスクリプト “mview3” 使用時)。
 - 表示範囲の拡大/縮小、回転、移動。
 - 格子セルごとの内容の表示。
 - 特定の空間領域 (INPUT-ZONE, ZONE, BODEY) へのズームイン。
 - 特定のボディへのズームイン。
 - 表示色変更。
- 物質組成のチェック (MVP のみ)
- 表示データのファイル出力
 - ベクトルデータ: Postscript 形式。
 - ビットマップデータ: GIF、BMP、EPS 形式等 (他の外部ツールと併用)。

B.1 CGVIEW の出力画面

CGVIEW は図 B.1 に示すような画面出力を行う。描画領域の上方部分にタイトル文字列が描画され、画面右の部分に描画領域の色分けに対応する物質/領域/ゾーンなどの番号が出力される。現在の版では色分けに使用できる色は十数色しかないので、表示対象の物質などの種類が多い場合には異なる物質などが同一の色で表示されることになる。²⁰

²⁰MCOLOR コマンドなどでデフォルトの色割当てを変更することができる。

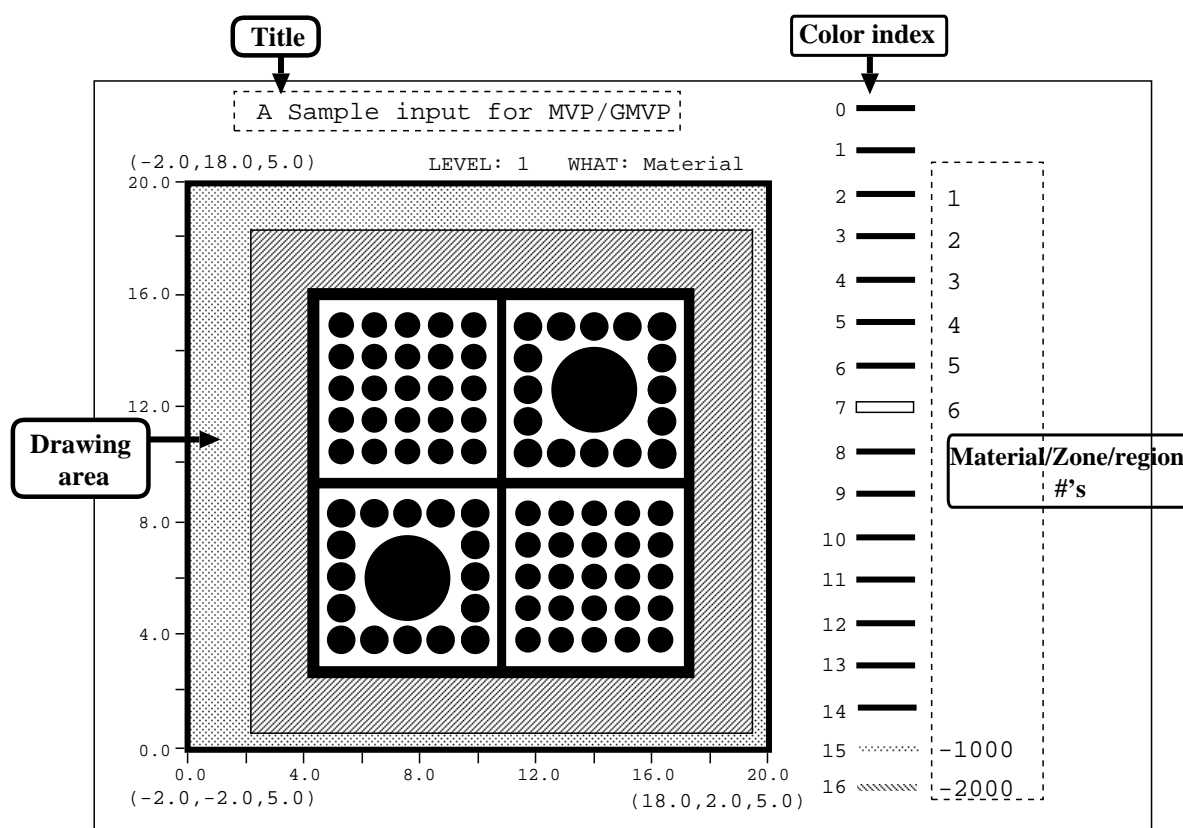


図 B.1 CGVIEW の出力画面の構成

B.2 CGVIEW コードの入力データ

CGVIEW に与える入力データは MVP/GMVP コードの入力データが文字“/”(スラッシュ)で終了された後に、CGVIEW へのコマンドが MVP/GMVP と同様のフォーマットで指定されたものである。

```
MVP/GMVP コードの入力データ
/
CGVIEW で表示する画面 1 のためのデータ
/
CGVIEW で表示する画面 2 のためのデータ
/
CGVIEW で表示する画面 3 のためのデータ
/
....
```

この形式の入力データはそのまま MVP/GMVP コードの入力データとすることができる。CGVIEW データ指定の方法の概要と留意点は以下の通りである。

- CGVIEW の表示のための指定を行うデータ (以後「CGVIEW コマンド」と呼ぶ) は MVP/GMVP と同様な形式である。

- “data-name(data data ...)” : MVP/GMVP 型自由形式によるデータ指定
- “/” : ここまでのデータ指定による 1 画面の描画

- CGVIEW コードでは原則として、MVP の入力データも GMVP の入力データも処理できるが、CGVIEW の実行モジュールに与える実行時引数として、入力データが MVP/GMVP いずれのコードのものかを指定することができる。

- cgview3 c=MVP ... (MVP の入力を処理)
- cgview3 c=GMVP ... (GMVP の入力を処理)

“c=MVP” の場合、物質組成データブロック (\$CROSS SECTION) の内容が実際に読み込まれ、CGVIEW の MAT コマンドによる組成データ出力が可能になる (こちらがデフォルト)。“c=GMVP” が明示的に指定された場合、物質組成入力を読み飛ばされる。

実際に CGVIEW コードを実行する際には、MVP 入力データに対して mview3 コマンド (ラッパー・スクリプト) を、GMVP 入力データに対して gmview3 コマンドを実行すると便利である。

- CGVIEW コマンドは、「そこまで指定されている設定を変更する」ことを意味し、また、“/” を指定して描画した後でも描画指定データの内容は保存される。従って、一部の設定だけを変更して再描画を行いたい場合には、変更したい設定を指定する CGVIEW コマンドだけを指定すればよい。例えば、以下のような入力があった場合、画面 3 ではコマンド “ZOOM(2)” (倍率 2 倍のズーム) により表示範囲が変更されるが、「表示タイトルは」画面 2 のために設定した ‘Material’ が引き継がれ、また表示されるものも画面 2 の “WHAT(2)” で指定した物質の表示が引き継がれる。

```
/* MVP/GMVP コードの入力データ */
/
/* CGVIEW で表示する画面 1 のためのデータ */
TITLE('Region') /* タイトル
WHAT(1) /* REGION を表示する
/
/* CGVIEW で表示する画面 2 のためのデータ */
TTITLE('Material') /* タイトル変更
WHAT(2) /* 物質を表示する
/
/* CGVIEW で表示する画面 3 のためのデータ */
ZOOM(2)
/
....
```

- X Window 上への描画を行っている場合、ひとつの画面の描画が終了したのち、次の画面の描画を行うためには、描画されているウィンドウにマウスクリック/移動等で「フォーカス」を移し、その状態でキーボード上の任意のキーを押す、という操作が必要になる。後述の CGVIEW コマンド “WAITOFF” または “WOFF” はこの操作を不要にし、“/” が入力された段階でただちに描画を開始することができるようにする。これは対話的に CGVIEW を使用する場合に有用である。

- CGVIEW コマンドは MVP/GMVP 入力の部分と異り大文字でも小文字でも入力できる。

表 B.1 に CGVIEW コマンドの概要を示す。

表 B.1 CGVIEW コマンド (1/3)

コマンド	操作	ページ
BACK または B	表示画面を一つ前に戻す。	365
BODY(<i>body-ID</i> ...) B(<i>body-ID</i> ...)	指定した ID のボディの情報を出力。	365
BOUNDARY または BDY	境界をマークするモードにする。STYLE(0 1) と同じ。	366
CELL(<i>cell-ID</i> [<i>plane</i>])	指定した ID の格子セルの内容のみを表示。 (<i>cell-ID</i> =0: non-cell mode, <i>cell-ID</i> <0: inquiry) <i>plane</i> : 断面方向 (1/2/3=xy/xz/yz)	366
CENTER(<i>x y z</i>) C(<i>x y z</i>)	表示画面の中心を座標 (x, y, z) にする。	366
CHECK	現在の描画設定データの出力。	366
DOVERLAP(<i>d</i>) DOVL(<i>d</i>)	重なりチェックにおける判定基準距離。 <i>d</i> > 0 : <i>d</i> *DEPS、 <i>d</i> < 0 : ABS(<i>d</i>)	366
FLOOD(<i>mode</i> [<i>num</i>]) FL(<i>mode</i> [<i>num</i>])	ランダムパスによる三次元形状チェック。 <i>mode</i> : 1= 均一分布 / 2= 余弦分布 / 0= モード解除 <i>num</i> : 描画線数	367
FORGET	記憶しているゾーンのクリア	367
FORWARD または F	表示画面を一つ進む。	368
GRANGE(<i>x1 x2 y1 y2</i> <i>z1 z2</i>)	ランダムパスによる三次元形状チェックを行う座標範囲。	368
HELP または H HELP2 または H2 ...	CGVIEW コマンド一覧の出力。 (以下 2 ページ、3 ページ...)	368
HELPW または HW	CGVIEW コマンド一覧の出力 (画面操作関連)。	368
IZCOLOR(<i>izone color</i>) IZC(<i>izone color</i>)	入力ゾーンの表示色の変更。	368
IZCR	入力ゾーンの表示色をデフォルト設定に戻す。	369
LEVEL(<i>nest-level</i>)	格子形状描画レベル。 (<i>nest-level</i> < 0 で境界表示モードの時 SUBFRAME 境界表示)	369
LINES(<i>p</i>)	描画線密度 (PAPER の <i>p</i> と同じ)。	369
MAT(<i>material-ID</i> ...)	物質組成情報の表示 (MVP のみ)。	369
MCOLOR(<i>mat color</i>) MC(<i>mat color</i>)	物質の表示色の変更。	370
MCR	物質の表示色をデフォルト設定に戻す。	370
MOVE(<i>dx dy dz</i>)	表示画面移動 (画面サイズ相対)。	370
MOVEA(<i>dx dy dz</i>)	表示画面移動 (cm)。	371

表 B.1 CGVIEW コマンド (2/3)

コマンド	操作	ページ
OVERLAP(<i>flag</i>) OVL(<i>flag</i>)	領域、物質定義の重なりチェック。 <i>flag</i> >0 : チェックを行う、 <i>flag</i> =0 : 行わない。	371
PAINT または PNT	色分け塗りつぶしモードにする。STYLE(0 0) と同じ。	372
PAPER(<i>cx cy cz</i> <i>ax ay az</i> <i>bx by bz p</i>)	描画面位置、方向、描画線密度。 <i>cx, cy, cz</i> : 描画面の左下の座標位置 <i>ax, ay, az</i> : X 軸ベクトル <i>bx, by, bz</i> : Y 軸ベクトル <i>p</i> > 0 : 1 cm 当りの線の数 <i>p</i> < 0 : abs(<i>p</i>) ピクセル毎の線の数	372
PRINT([<i>cmd-no</i> [<i>seq</i>]])	画面表示のビットマップイメージファイルでの保存。	372
QUIT	CGVIEW を終了する。	375
RCOLOR(<i>region color</i>) RC(<i>region color</i>)	領域 (REGION) の表示色の変更。	375
RCR	領域 (REGION) の表示色をデフォルト設定に戻す。	375
REDRAW または RD	X-Window 画面再描画。	375
ROT(<i>d</i> [<i>x</i> [<i>y</i>]])	表示画面回転 (回転軸は画面に垂直)。 <i>d</i> : 反時計回り回転角 (度) <i>x,y</i> : 回転軸位置 (画面相対、default 0.5, 0.5)	375
ROTX(<i>d</i> [<i>pos</i>])	表示画面回転 (回転軸は画面内、画面 X 軸方向)。 <i>d</i> : 反時計回り回転角 (度) <i>pos</i> : 回転軸 Y 座標位置 (画面相対) (default 0.5)	376
ROTY(<i>d</i> [<i>pos</i>])	表示画面回転 (回転軸は画面内、画面 Y 軸方向)。 <i>d</i> : 反時計回り回転角 (度) <i>pos</i> : 回転軸 X 座標位置 (画面相対) (default 0.5)	376
SCAN(<i>sx sy</i>)	描画線スキャンモード。 <i>sx</i> : X 軸方向スキャンモード (0/1/2/3 = none/+y/-y/+y/-) <i>sy</i> : Y 軸方向スキャンモード (0/1/2/3 = none/+x/-x/+x/-)	376
SIZE(<i>xsize ysize</i>) XMAX(<i>xsize ysize</i>)	描画面サイズ。 <i>xsize</i> : X 軸方向の長さ (cm) <i>ysize</i> : Y 軸方向の長さ (cm)	377
STYLE(<i>s1</i> [<i>s2</i>])	描画線スタイル。 <i>s1</i> : 0 = 塗りつぶし, 1 = 境界線のみ <i>s2</i> : 0 = 色分け塗りつぶし, 1 = 境界をマーク	378
SUBF 及び NOSUBF	境界線表示モードで SUBFRAME 境界表示の有無を指定。	378
TITLE('title string')	描画タイトル文字列の指定。	379
WAITOFF または WOFF	描画面でのキー入力不要モードにする。	379
WAITON または WON	描画面でのキー入力を必要にする。	379
WHAT(<i>what</i>)	画面に表示される属性。	379

表 B.1 CGVIEW コマンド (3/3)

コマンド	操作	ページ
	<i>what</i> = -1 : ゾーン (コード内ゾーン) <i>what</i> = 0 : 入力ゾーン (INPUT-ZONE) <i>what</i> = 1 : 領域 (REGION) <i>what</i> = 2 : 物質	
XY YX XZ ZX YZ ZY	自動断面位置、方向設定 (XY 面、XZ 面、YZ 面)	380
ZCOLOR(<i>zone color</i>) ZC(<i>zone color</i>)	ゾーンの表示色の変更。	380
ZCR	ゾーンの表示色をデフォルト設定に戻す。	380
ZONE(<i>zone ...</i>) Z(<i>zone ...</i>)	入力ゾーンの情報を出力。負の値の場合、ゾーンの情報。	380
ZOOM(<i>f</i> [<i>cx</i> [<i>cy</i>]])	表示画面ズーム。 <i>f</i> > 1 : ズームイン, <i>f</i> < 1 : ズームアウト <i>cx</i> , <i>cy</i> : ズームの際中心とする座標 (デフォルト 0.5, 0.5)	381
ZOOMBODY(<i>body-ID</i> [<i>plane</i>]) ZB(<i>body-ID</i> [<i>plane</i>])	指定したボディを中心に表示する。 <i>plane</i> : 断面方向 (1/2/3=xy/xz/yz)	381
ZOOMZONE(<i>zID</i> [<i>plane</i>]) ZZ(<i>zID</i> [<i>plane</i>])	指定した入力ゾーン (もしくはゾーン) を中心に表示する。 <i>zID</i> < 0 の時はゾーン。 <i>plane</i> : 断面方向 (1/2/3=xy/xz/yz)	381
ZSEARCH(<i>flag</i>) ZS(<i>flag</i>)	描画線ごとの空間ゾーンサーチ順序。 <i>flag</i> =0 : 順方向、=1 : 逆方向、=2 : 順逆交互	382

B.3 CGVIEW コマンド

BACK または B

■ 形式 ■

BACK or B

■ 解説 ■

表示画面を一つ前のものに戻す。

BODY

■ 形式 ■

BODY(*body-ID* [...])

■ 解説 ■

指定した ID のボディの情報を標準出力に出力する。

BOUNDARY または BDY

■ 形式 ■

BOUNDARY or BDY

■ 解説 ■

画面表示を境界をマークするモードにする。STYLE(0 1) を指定するのと同じ。

CELL

■ 形式 ■

CELL (*cell-ID* [*plane*])

■ 解説 ■

指定した ID の格子セル一個分の内容を表示する。ID=0 の場合はセルの表示ではなく形状全体の表示となる。また ID<0 の場合にはセルの ID の一覧が標準出力に出力される。

plane は表示画面の断面方向を示す (省略可能)。plane=1,2,3 がそれぞれ xy 面方向、xz 面方向及び yz 面方向に対応する。plane が省略された場合には xy 面方向の表示となる。

CENTER

■ 形式 ■

CENTER (*x y z*)

■ 解説 ■

表示画面の中心を座標 (x, y, z) にする。

CHECK

■ 形式 ■

CHECK

■ 解説 ■

現在の表示位置、表示モード、表示内容などを標準出力に表示する。出力は CHECK コマンドを CGVIEW コードが読み込んだ時点でただちに行われる。

DOVERLAP または DOVL

■ 形式 ■

DOVERLAP (*d*) or DOVL (*d*)

■ 解説 ■

OVERLAP コマンドで重なりチェックを行うモードになっているときに複数の空間領域の REGION または物質が多重定義されていると判定するための基準にする距離。

- $d > 0$: $d \cdot \text{DEPS}$ (cm)。ここで、DEPS は MVP/GMVP 入力で指定された無限小距離。
- $d < 0$: d の絶対値が判定距離 (cm)。

FLOOD または FL

■ 形式 ■

FLOOD(*mode* [*num*]) or FL(*mode* [*num*])

■ 解説 ■

描画線を画面上下左右に生成するのではなく、図 B.2 のようにある直方体空間領域内にランダムな位置と方向で発生した飛行パスを生成する。これにより形状チェックが2次元断面表示より完全に行われるので、全ての MVP/GMVP 入力データに対して必ず実行するのが望ましい。

mode は描画線開始位置の分布または FLOOD モードの終了を指示するパラメータである。

- *mode*=1: 均一分布。
- *mode*=2: x, y, z 軸それぞれについて余弦分布。検査領域の中心に偏った分布になる。
- *mode*=0: FLOOD モードを解除して通常の描画モードにする。

num は描画線数であり (省略可能)、デフォルト値は 2,000 である。*mode* と *num* の値は変更されない限り次回の描画に引き継がれる。

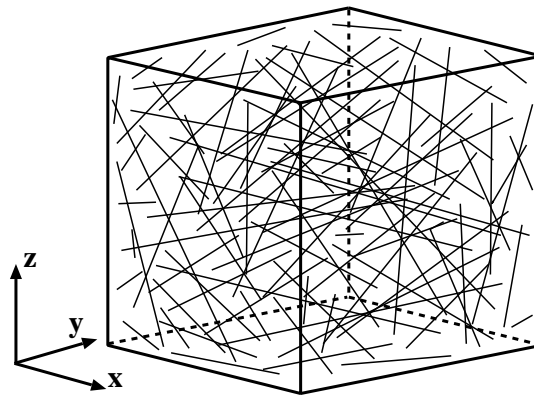


図 B.2 ランダムな粒子線による形状チェック - FLOOD

FORGET

■ 形式 ■

FORGET

■ 解説 ■

現時点までに記憶されている互いに接しているゾーンの記録 (next zone memory) をクリアする。

FORWARD または F

■ 形式 ■

FORWARD or F

■ 解説 ■

表示画面を一つ進む。この入力までの BACK コマンドが指定されている場合にのみ有効である。

GRANGE

■ 形式 ■

GRANGE (*x1 x2 y1 y2 z1 z2*)

■ 解説 ■

FLOOD コマンドでランダム飛行パスモードを指定したときにランダムなパスを発生する直方体空間領域の座標範囲を指定する (図 B.2)。FLOOD モードに使用する座標範囲はデフォルトでは幾何形状データに現れるゾーンに使用されたボディデータから決められており、また CELL、XY、YX、XZ、ZX、YZ、ZY、ZOOMZONE 及び ZOOMBODY コマンドが使用された場合も自動的に設定されるので、通常は GRANGE データを明示的に指定する必要はないことが多いはずである。

HELP または H

■ 形式 ■

HELP or H

■ 解説 ■

CGVIEW コマンド説明を標準出力に出力する。コマンド説明の出力は HELP コマンドを CGVIEW コードが読み込んだ時点でただちに行われる。コマンド説明は標準的な端末画面 (80×24 文字程度) に収まる単位 (ページ) 毎にまとめられている。2 ページ目以降を出力するには HELP2 または H2 のようにページ番号を付加した HELP コマンドを使用する。

表示ウィンドウの操作コマンド (ZOOM, MOVE 等...) の説明を出力するためにコマンド HELPW または HW が特に用意されている。

IZCOLOR または IZC

■ 形式 ■

IZCOLOR (*izone color*) or IZC (*izone color*)

■ 解説 ■

入力ゾーンの表示色の変更。入力ゾーン番号が `izone` である部分が表示される色を図 B.1 に示された “Color index” の部分に表示された色の番号で指定する。

IZCR

■ 形式 ■

`IZCR`

■ 解説 ■

入力ゾーンの表示色をデフォルト設定に戻す。

LEVEL

■ 形式 ■

`LEVEL(nest-level)`

■ 解説 ■

格子形状機能を使用した体系の場合に、格子セルの階層をどの「深さ」までの空間構造を表示するかを指定する。

例えば、図 B.3 のように格子セルの中に更に格子形状があり、その格子セルの中にまた格子があるといった形状 (深さ 2 の形状) の場合、`LEVEL=0` では格子形状全体の枠のみが表示され、`LEVEL=1` では階層 1 にある格子の枠が表示され、`LEVEL=2` で完全な形状が表示される。

`LEVEL` データのデフォルト値は描画される MVP/GMVP 入力データでの格子形状階層の最大の深さである。

LINES

■ 形式 ■

`LINES(p)`

■ 解説 ■

画面表示の際に描かれる線の間隔を指定する。 p が正の場合、実空間の 1 cm あたりに引かれる描画線の本数を示す。 p が負の場合、その絶対値が X Window ディスプレイの何ピクセル毎に引かれるかを示す。 p の値は `PAPER` コマンドで指定することもできる。

MAT

■ 形式 ■

`MAT(material-ID ...)`

■ 解説 ■

物質組成情報を標準出力に出力する。MVP の入力データ (実行時引数 “`c=MVP`” が与えられているとき) のみ有効である。

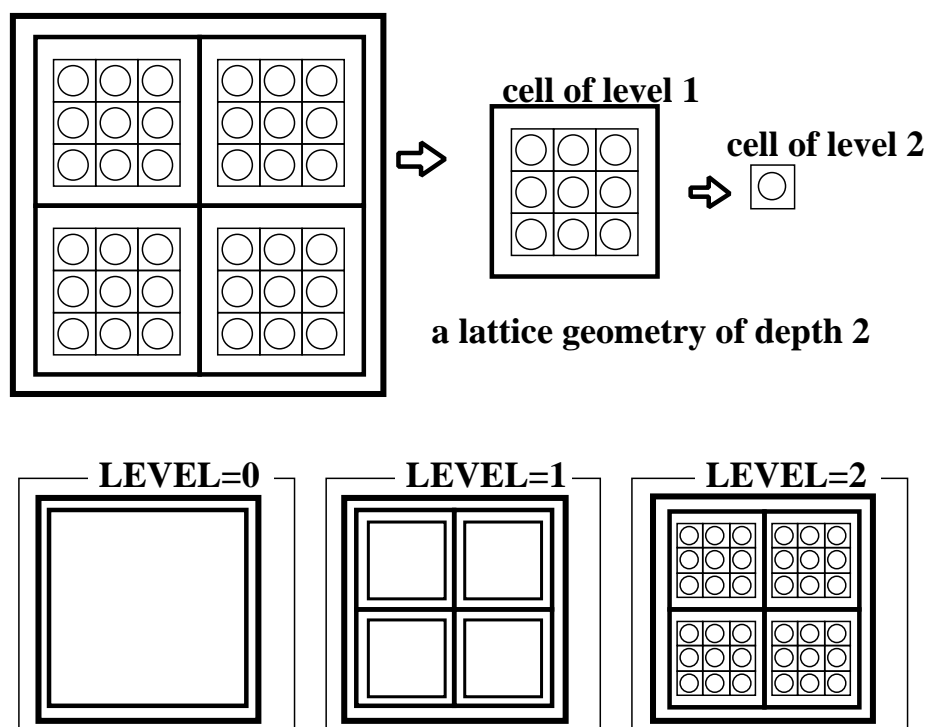


図 B.3 描画の際の格子階層深さの指定 - LEVEL

MCOLOR または MC

■ 形式 ■

MCOLOR (*mat color*) or MC (*mat color*)

■ 解説 ■

物質の表示色の変更。物質 *mat* が表示される色を図 B.1 に示された “Color index” の部分に表示された色の番号で指定する。

MCR

■ 形式 ■

MCR

■ 解説 ■

物質の表示色をデフォルト設定に戻す。

MOVE または M

■ 形式 ■

MOVE (*dx dy dz*) or M (*dx dy dz*)

■ 解説 ■

表示画面を移動する。「表示対象の、表示画面に対する移動」ではなく、表示対象を固定して表示画面を移動する、という意味である。dx,dy は現在の表示画面サイズに相対的な移動値である。

move(1 0 0)/* 画面の X 方向の「隣」を表示

dz は画面の X 軸の長さに対する相対値とする。dz > 0 が「手前」方向の移動となる。X,Y,Z 各方向の移動のみを指定する形式のコマンド MX(dx), MY(dy) および MZ(dz) もある。

MOVEA または MA

■ 形式 ■

MOVEA(dx dy dz) or MA(dx dy dz)

■ 解説 ■

MOVE と同様であるが dx、dy、dz は cm による絶対的な画面移動距離である。X,Y,Z 各方向の移動のみを指定する形式のコマンド MXA(dx), MYA(dy) 及び MZA(dz) もある。

OVERLAP または OVL

■ 形式 ■

OVERLAP(flag) or OVL(flag)

■ 解説 ■

領域 (REGION)、物質定義の重なりチェック (同一の空間を異なる REGION や物質で重なって定義していないか) を行うかどうかを指定する。重なりチェックを行うモードでは描画線上で検出された重なりについてその空間位置やゾーンなどを標準出力に表示する。

flag>0 であればチェックを行い、flag=0 では行わない。デフォルトは flag=1 であり、重なりチェックを行うようになっている。

OVERLAP モードを指定した場合、描画線がある空間ゾーンから別のゾーンに移動して、そこが異なる REGION または物質の境界であることを検出したとき、その位置が新しく入るゾーンの境界からある程度以上の距離に離れている場合 (判定基準は DOVERLAP 参照) に、2つの空間ゾーンに重なりがあると判定する。このため OVERLAP を有効にしても、以下の例のように完全に重なっている空間ゾーンで異なる領域 (REGION) や物質を指定している状態は検出できない可能性がある (部分的に重なっている状態は検出可能)。

```
/** Body input **/  
RPP( 10  0.0  10.0    0.0 5.0    0.0 20.0 )  
RPP( 20  0.0  10.0    0.0 5.0    0.0 20.0 )  
...  
END  
/** Zone input **/  
ZONE1: REGION1 : 1 : 10  
ZONE2: REGION2 : 2 : 20  
...
```

FLOOD によってランダムに描画線を発生させたときには OVERLAP の指定に関係なく、描画線の出発点においてより完全な重なりチェックが行われるようになっているので幾何形状の整合性チェックには FLOOD モードの使用が望ましい。

PAINT または PNT

■ 形式 ■

PAINT or PNT

■ 解説 ■

画面表示を色分け塗りつぶしモードにする。STYLE(0 0) を指定するのと同じ。

PAPER

■ 形式 ■

PAPER (*cx cy cz ax ay az bx by bz p*)

■ 解説 ■

空間のどの部分の断面を表示するかと描画線密度を指定する。(cx cy cz) は表示画面の左下隅の実空間座標、(ax ay az) は表示画面の水平方向 (画面 X 軸) が実空間内のどの方向に対応するかを示すベクトル、(bx by bz) は表示画面の鉛直方向 (画面 Y 軸) が実空間内のどの方向に対応するかを示すベクトルである。表示部分の実空間内でのサイズは後述の SIZE または XMAX コマンドで指定するので、これらのベクトルは方向だけに意味がある。表示範囲については、図 B.4 を参照。

CGVIEW は表示画面上に多数ひかれた直線上をたどっていき実空間内ではその線上のゾーン番号/領域番号/物質番号の分布がどのようになっているかを調べてそれに従って描画を行う。*p* はこの方法による画面表示の際に描かれる線の間隔を指定する。*p* が正の場合、実空間の 1 cm あたりに引かれる描画線の本数を示す。*p* が負の場合、その絶対値が X Window ディスプレイの何ピクセル毎に引かれるかを示す。*p* の値は、LINES コマンドで指定することもできる。

PAPER データが一度も入力されていない状態では断面表示方向と範囲が以下のように設定されている。

- 方向：X-Y 平面に平行な方向
- 表示範囲：全てのゾーンを構成するボディ(格子形状の場合は“レベル 0”の空間のゾーン)の大きさから、全形状範囲を含むと推定される X,Y および Z 方向の範囲を CGVIEW コードが計算する。このようにして推定した形状全体の範囲の X-Y の範囲と Z 方向の中心を表示範囲とする。

PRINT

■ 形式 ■

PRINT ([*cmd-no [seq]*])

■ 解説 ■

画面表示のビットマップイメージファイルでの保存。画面表示をファイルに保存する方法としては CGVIEW 起動時のオプションとして出力デバイスを Postscript または EPS ファイルに指定する方法があるが (B.4 節参照)、この方法では画面表示が行われず、また大きなサイズの PS ファ

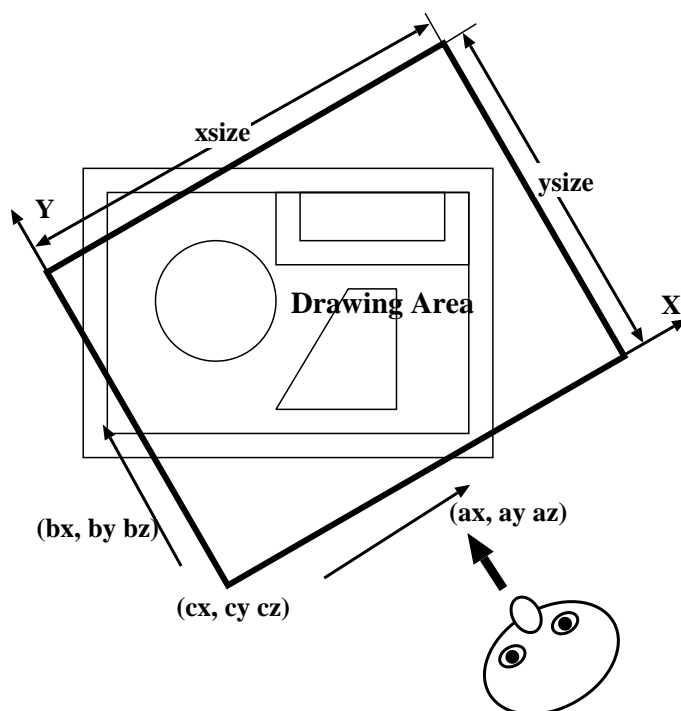


図 B.4 CGVIEW での描画位置の指定 - PAPER, SIZE

イルがしやすいという問題がある。PRINT コマンドでは X Window ディスプレイに表示された CGVIEW の出力画像をそのままビットマップイメージに保存することができる。

cmd-no は複数種類が指定できる画面出力コマンドの番号で、*seq* は出力される画像ファイルに付加する連続番号 (出力コマンド毎) である。*cmd-no* と *seq* を省略すると、一番目のコマンドを利用し、番号は CGVIEW が自動的に付加することを意味する。*seq* を省略するとコマンド *cmd-no* の画像出力の番号を CGVIEW が決定する。

以下の点に注意する必要がある。

- 画像イメージの取り込みと出力処理そのものは CGVIEW が行わずに、そのような処理が可能な別のプログラムを CGVIEW 内部から起動することによって行う (例: *xwd*、*netpbm*、*ImageMagick* などのツール群)。PRINT コマンドを利用するためには、そのような外部ツールが利用できるように環境が設定されていなければならない。
- 一般に、PRINT コマンドで出力されるイメージファイルは、CGVIEW 起動時のオプションで Postscript または EPS ファイル出力を指定して得られたものより解像度がよくないことが多い。

画像イメージ取り込みのための外部コマンドとその使用法は複数種類を指定することができ、環境変数 *CGV_PRINT1*、*CGV_PRINT2*、*CGV_PRINT3*、*CGV_PRINT4* で指定する。例えば、

```
setenv CGV_PRINT2 'xwd -id %w | xwdtopnm | ppmtogif > %%f%%p.gif'
```

これは PRINT コマンドの二番目のコマンド (*cmd-no*=2) で、「*xwd* コマンドによる画面イメージとりこみ」、「*netpbm* ツールの *xwdtopnm* により *pnm* 形式に変換してさらにそれを *gif* イメージに

変換」という操作を行うことを指定している。上記の環境変数の指定で現れる`%%w`等はCGVIEWが内部的に置き換えるもので、以下のような意味がある。

- `%%w` : 現在の表示画面のウィンドウ ID
- `%%f` : 利用者が指定できる任意の文字列。出力ファイルに“`cgvimage*.gif`”などの名前をつけて識別できるようにすることができる。`%%f` は環境変数 `CGV_PRBASE` で指定することができる。

```
setenv CGV_PRBASE cgvimage
```

- `%%p` : CGVIEW が同じコマンド番号 `cmd-no` の PRINT コマンドによる複数の出力に付加する番号。PRINT コマンドの第 2 パラメータ `seq` で強制的に設定することもできる。

上記の説明から分かるように、PRINT コマンドが利用できる外部コマンドは、描画ウィンドウのウィンドウ ID を与えてコマンド起動することで画像を「キャプチャー」することが可能なプログラムなら、どれでも利用可能である。以下にいくつかのツールを使用する例を示す。

- `xwd` のみ

```
setenv CGV_PRINT1 'xwd -id %%w > %%f%%p.xwd'
```

これは一番目の PRINT コマンドを X Window System の標準コマンド `xwd`(X Window dump) での画面出力に指定することを意味する。環境変数 `CGV_PRINT*` が指定されていない場合、このコマンドが用いられる。

- `xwd` と `netpbm` ツールの組合せ

`Netpbm` は各種の画像イメージの変換を行うコマンド群を含むツールである。

```
setenv CGV_PRINT2 'xwd -id %%w | xwdtopnm | ppmtogif > %%f%%p.gif'
setenv CGV_PRINT3 'xwd -id %%w | xwdtopnm | ppmtotiff > %%f%%p.tiff'
setenv CGV_PRINT4 'xwd -id %%w | xwdtopnm | ppmtobmp > %%f%%p.bmp'
```

これらはそれぞれ GIF、TIFF 及び BMP イメージの画像データを保存する。

- ImageMagick の `import` コマンド

`ImageMagick` は画像編集、変換のためのコマンドを持つツールである。その中の `import` コマンドを使用することができる。

```
setenv CGV_PRINT2 'import -compression LZW -window %%w %%f%%p.gif'
setenv CGV_PRINT3 'import -compression LZW -window %%w %%f%%p.eps'
setenv CGV_PRINT4 'import -window %%w %%f%%p.eps2'
```

これらはそれぞれ GIF イメージ (LZW 圧縮)、EPS (LZW 圧縮)、EPS2 (Postscript Level II に基づく EPS 形式) に画像データを保存する²¹。`import` コマンドは他にもさまざまな形式をサポートしている。

²¹ 各種 Linux ディストリビューションなどのフリーな UNIX 環境では、LZW 圧縮に関する特許問題のために LZW 圧縮を行えないようにコンパイルされた `ImageMagick` が配付されている場合がある。この場合は圧縮オプションは“-compression RunlengthEncoded” とするか (EPS の場合)、LZW 対応に利用者自身がコンパイルしたものを使用する必要がある。

QUIT または EXIT

■ 形式 ■

QUIT or EXIT

■ 解説 ■

CGVIEW を終了させる。

RCOLOR または RC

■ 形式 ■

RCOLOR (*region color*) or RC (*region color*)

■ 解説 ■

領域 (REGION) の表示色の変更。領域 (REGION) 番号が *region* である部分が表示される色を図 B.1 に示された “Color index” の部分に表示された色の番号で指定する。

RCR

■ 形式 ■

RCR

■ 解説 ■

領域 (REGION) の表示色をデフォルト設定に戻す。

REDRAW または RD

■ 形式 ■

REDRAW or RD

■ 解説 ■

対話表示で WAITOFF を指定している場合、表示されたイメージが他のウィンドウの下になるとその部分が消えてしまうことがある (いわゆる「バッキングストア」ができない設定になっている X Window 画面の場合)。このコマンドを入力すると表示されていた画面が直ちに再描画される。

ROT

■ 形式 ■

ROT (*d* [*x* [*y*]])

■ 解説 ■

表示画面に垂直な軸のまわりに表示画面を反時計回りに *d* 度回転する。「表示対象の、表示画面に対する回転」ではなく、表示対象を固定して表示画面を回転する。表示画面の回転については、

図 B.5 を参照。x, y は回転軸が表示画面のどの位置にあるかを画面サイズの相対値で指定する (省略可能)。x, y の省略値は 0.5 である。

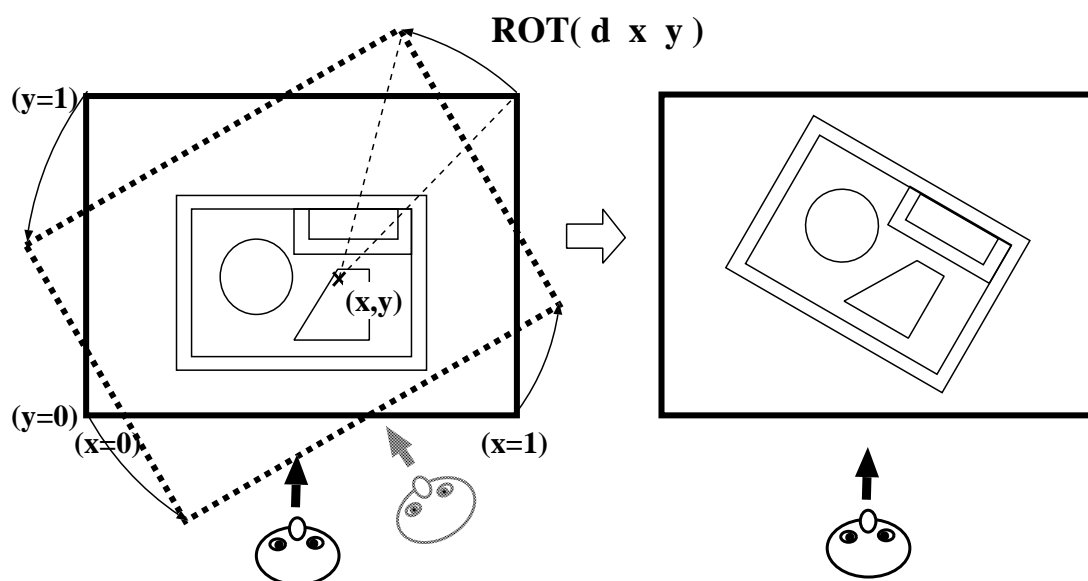


図 B.5 表示画面の回転：画面に垂直な回転軸の場合 - ROT

ROTX または ROTY

■ 形式 ■

ROTX(d [pos]) or ROTY(d [pos])

■ 解説 ■

表示画面の X 方向または Y 方向に平行で表示画面内にある軸のまわりに表示面を回転する。表示面の回転については、図 B.6 を参照。pos は回転軸の y または x 座標 (表示画面に対する相対値) である (省略可能)。pos の省略値は 0.5 である。

SCAN

■ 形式 ■

SCAN(sx sy)

■ 解説 ■

描画線を引く方向と引き方を指定する。指定方法については、図 B.7 を参照のこと。sx, sy はそれぞれ X 座標および Y 座標での描画線の「スキャン」における描画線が引かれる方向を示している。ここで、「X 座標でのスキャン」とは複数の X 座標に関して Y 方向 (画面上下方向) の描画線を描画していく動作であり、「Y 座標でのスキャン」とは複数の Y 座標に関して X 方向 (画面左右方向) の描画線を描画していく動作である。

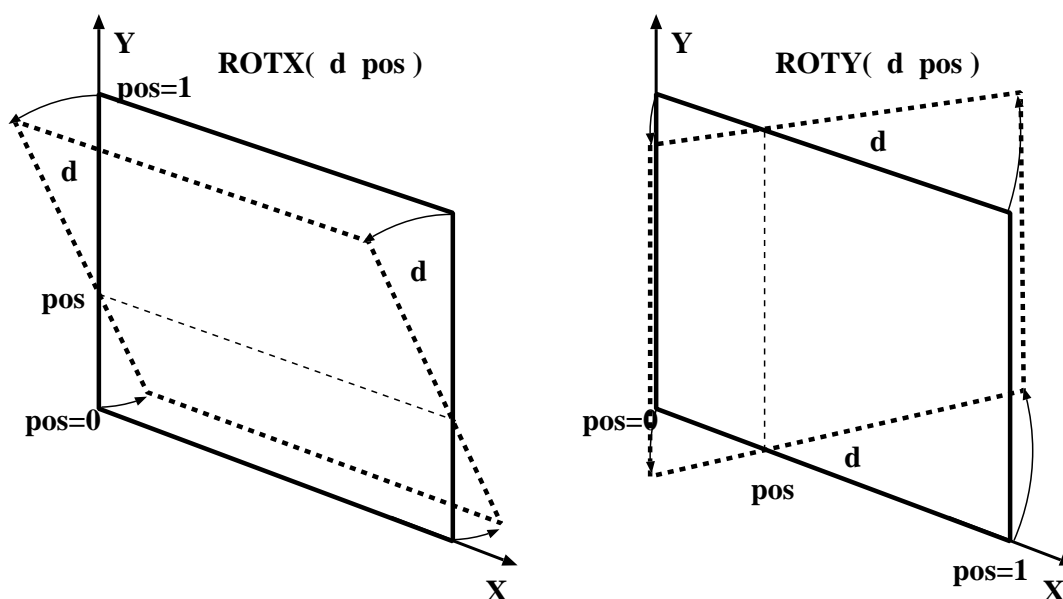


図 B.6 表示画面の回転：画面に平行な回転軸の場合 - ROTX, ROTY

sx, sy 指定により以下のように描画線が引かれる。デフォルトは、 $sx=0, sy=3$ である。

- $sx=0$: X 座標方向のスキャンを行わない。
- $sx=1$: X 座標方向のスキャンで、描画線を「下から上」に引く。
- $sx=2$: X 座標方向のスキャンで、描画線を「上から下」に引く。
- $sx=3$: X 座標方向のスキャンで、「下から上」 / 「上から下」の描画線を交互に引く。
- $sy=0$: Y 座標方向のスキャンを行わない。
- $sy=1$: Y 座標方向のスキャンで、描画線を「左から右」に引く。
- $sy=2$: Y 座標方向のスキャンで、描画線を「右から左」に引く。
- $sy=3$: Y 座標方向のスキャンで、「左から右」 / 「右から左」の描画線を交互に引く。

SIZE または XMAX

■ 形式 ■

SIZE($x1\ y1$) or XMAX($x1\ y1$)

■ 解説 ■

表示画面座標軸での X および Y 方向サイズを実空間サイズで指定する。単位は cm。

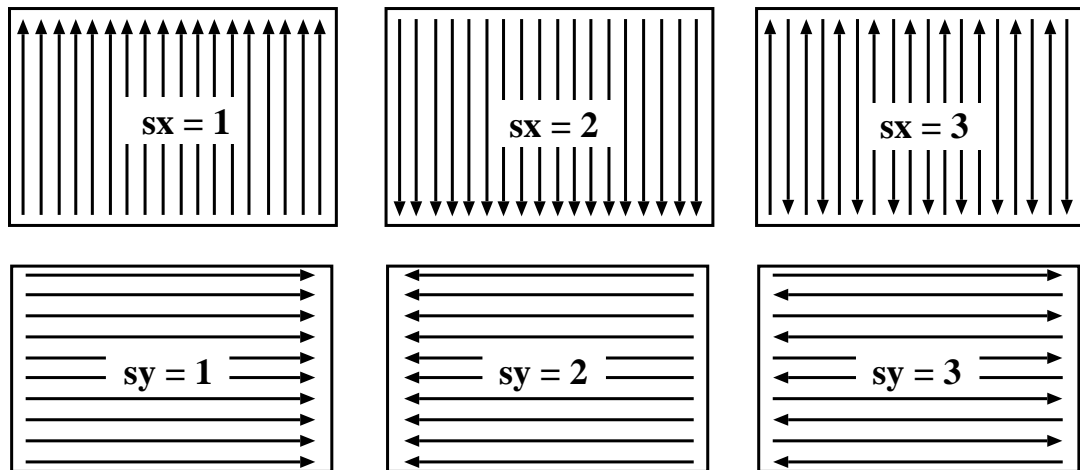


図 B.7 CGVIEW での描画線方向の指定 - SCAN(sx sy)

STYLE

■ 形式 ■

STYLE(*s1* [*s2*])

■ 解説 ■

描画スタイルの指定。*s2* は省略可能である。

- *s1* = 0 : 描画線に添ったゾーン/領域/物質の分布を描く。
- *s1* = 1 : 描画線に添ったゾーン/領域/物質の情報を元にして、ゾーン/領域/物質の境界を検出し、それを連続した曲線として描画することを試みる。

s1=0 の場合、*s2* が有効になる。

- *s2* = 0 : ゾーン/領域/物質の分布を色分けで表示する。
- *s2* = 1 : ゾーン/領域/物質の境界に点を描くのみ。

s1=1 による「線画」は不完全な描画になることが多い。現状では、線画による形状が必要な場合、*s1*=0, *s2*=1 とし、LINES コマンドで LINES(-1) を指定する方がより完全な描画となる。

SUBF 及び NOSUBF

■ 形式 ■

SUBF and NOSUBF

■ 解説 ■

境界線表示モード (BOUNDARY が指定された時) で SUBFRAME 境界表示の有無を指定する。

TITLE

■ 形式 ■

TITLE(' *title string* ') or TITLE(" *title string* ")

■ 解説 ■

”(二重引用符) または ’ (一重引用符) で囲まれた文字列を指定する。表示画面のタイトルとなり、画面上部に表示される。このコマンドが一度も入力されない状態では MVP/GMVP データの「入力データのタイトル」で説明した MVP/GMVP データのタイトル行のうち一行目が使用される。

WAITOFF または WOFF

■ 形式 ■

WAITOFF or WOFF

■ 解説 ■

X-Window への表示の場合、デフォルトの状態では次の画面表示を開始するには、表示ウィンドウにフォーカスを移動し、そこで何らかのキーを押すことになっているが、このコマンドを指定すると、CGVIEW の入力データ中に “/” を見つけると直ちに表示が開始されるようになる。対話的に使用する場合に便利である。

WAITON または WON

■ 形式 ■

WAITON or WON

■ 解説 ■

WAITOFF または WOFF と逆に次のページのプロットを開始するためには表示ウィンドウにフォーカスを移動し、そこでなにかのキーを押す必要のあるモードにする。

WHAT または SPTYP

■ 形式 ■

WHAT(*what*) or SPTYP(*what*)

■ 解説 ■

画面に表示される属性。色分けモード (STYLE(0)) のときには以下の属性に従って色分けが行われ、線画モード (STYLE(1) または STYLE(0 1)) の時は以下の属性が異なる空間部分の境界線が描画される。

- *what* = -1 : ゾーン (コード内ゾーン)
- *what* = 0 : 入力ゾーン (INPUT-ZONE)

- *what* = 1 : 領域 (REGION)
- *what* = 2 : 物質

XY、YX、XZ、ZX、YZ または ZY

■ 形式 ■

XY, YX, XZ, ZX, YZ or ZY

■ 解説 ■

表示画面の向きを XY 平面方向、XZ 平面方向または YZ 平面方向に設定するコマンド。描画範囲と位置は PAPER のデフォルトと同様にして MVP/GMVP の幾何形状入力から自動的に設定される。YX、ZX 及び ZY は表示画面の横軸/縦軸をそれぞれ Y 軸/X 軸、Z 軸/X 軸および Z 軸/Y 軸にするモードである。

ZCOLOR または ZC

■ 形式 ■

ZCOLOR (*zone color*) or ZC (*zone color*)

■ 解説 ■

ゾーン (ZONE) の表示色の変更。ゾーン (ZONE) 番号が *zone* である部分が表示される色を図 B.1 に示された “Color index” の部分に表示された色の番号で指定する。

ZCR

■ 形式 ■

ZCR

■ 解説 ■

ゾーン (ZONE) の表示色をデフォルト設定に戻す。

ZONE または Z

■ 形式 ■

ZONE (*zone* [...]) or Z (*zone* [...])

■ 解説 ■

入力ゾーン (INPUT-ZONE) もしくはゾーン (ZONE) の情報を標準出力に出力する。正の値は入力ゾーンの番号、負の値の場合コード内部ゾーンの番号である。

ZOOM または ZM

■ 形式 ■

ZOOM(*zm* [*x* [*y*]]) or ZM(*zm* [*x* [*y*]])

■ 解説 ■

表示画面のズーム。*zm* が 1 より大きければ、図 B.8 のように拡大表示にする。*zm* が正の値で 1 より小さければ縮小表示にする。*zm* が負の場合は拡大率を $1/|zm|$ とする。*x*、*y* は表示画面上での相対位置で (省略可能)、この点を表示の中心にする。デフォルトは $x=y=0.5$ である。

ZOOM(*zm* *x* *y*) : $zm > 1$

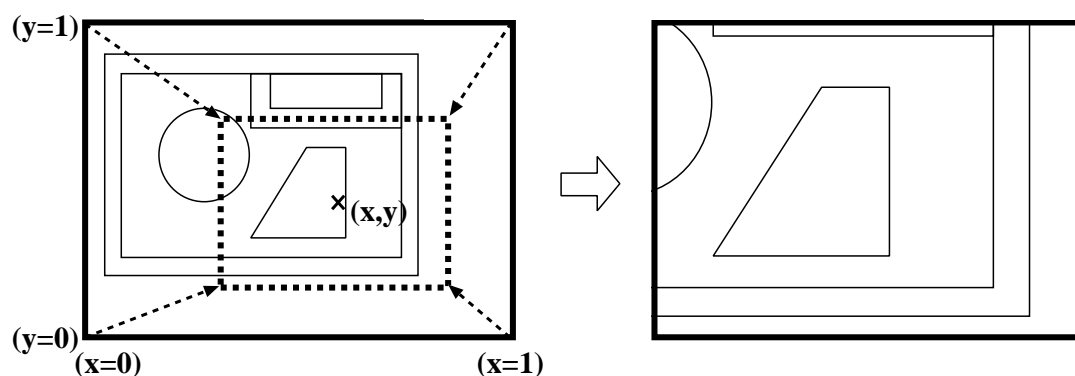


図 B.8 表示画面のズーム - ZOOM

ZOOMBODY または ZB

■ 形式 ■

ZOOMBODY(*body-ID* [*plane*]) or ZB(*body-ID* [*plane*])

■ 解説 ■

指定したボディを中心に表示する。

plane は表示画面の断面方向を示す (省略可能)。*plane*=1,2,3 がそれぞれ *xy* 面方向、*xz* 面方向及び *yz* 面方向に対応する。*plane* が省略された場合には *xy* 面方向の表示となる。

ZOOMZONE または ZZ

■ 形式 ■

ZOOMZONE(*zID* [*plane*]) or ZZ(*zID* [*plane*])

■ 解説 ■

指定した入力ゾーン (もしくはゾーン) を中心に表示する。*zID*>0 のときには入力ゾーンが、*zID*<0 の時はゾーンが対象となる。

plane は表示画面の断面方向を示す (省略可能)。*plane*=1,2,3 がそれぞれ xy 面方向、xz 面方向及び yz 面方向に対応する。*plane* が省略された場合には xy 面方向の表示となる。

ZSEARCH または ZS

■ 形式 ■

ZSEARCH(*flag*) or ZS(*flag*)

■ 解説 ■

描画線ごとの空間ゾーンサーチ順序。MVP/GMVP の幾何形状処理では粒子がある空間ゾーンの境界に到達したときに次に粒子が入るゾーンを探す処理が行われるが、そのとき入力データで定義された順序でゾーンをチェックする²²。

CGVIEW においては ZSEARCH コマンドによりゾーンを探す順序を MVP/GMVP の処理と逆の順序、すなわち「後から定義されたゾーンを先にチェック」にすることができる。このようにすることで矛盾した幾何形状の発見ができる場合がある (順方向と逆方向サーチで表示される形状が異なる !! 等)。

- *flag*=0 : MVP/GMVP と同じ順方向
- *flag*=1 : 逆方向
- *flag*=2 : 描画線毎に順逆交互

ZSEARCH コマンドが指定されないときのデフォルトは、*flag*=2 である。
明確に矛盾した形状のチェックには、FLOOD モードを使用すべきである。

B.4 CGVIEW を実行するためのスクリプト

ロードモジュール *cgview3* をそのままコマンドとして起動しても CGVIEW を使用することができるが、結果表示モードの指定等が煩雑なので、コマンドラインから簡単に CGVIEW を使えるようにしたコマンド *mview3* (*cgview3* のラッパー・スクリプト) が用意されている。また、GMVP コードの入力データを処理する場合には、同じ引数を取るコマンド *gmview3* を使用することができる。

mview3 の使い方は以下の通りである (*gmview3* も同様)。

```
mview3 [-help|-h] [-man|-m] [-d device] [-o name]
        [-e command] [-p] [-db=debugger] [files]

-help or -h                : show this help message.

-d device or -ddevice      : output device.
    device = x or X        - X-Window display (default)
    device = p[s]          - Postscript
    device = e[ps] or t[ex] - EPS for TeX

-o name or -oname          : graphic output file name for non-display device
```

²²ゾーンの記憶処理が進むにつれて必ずしもこのような順序にはならない場合もある。

```

-e command or -ecommand : command to run CGVIEW (default is 'cgview3')

-p : enable additional input from tty (interactive mode)
-s[=file] : save input & additional input on file
           (default file is $$newinp )
-w : do not append WOFF to input
-gmvp : input is for GMVP (MVP is default)
-l[=logfile] : save output log in interactive mode.
              (default file is $.cgvlog )
files : MVP/GMVP input file ( + CGVIEW-command file if necessary)

```

対話的に使用するには

```
mview3 -p input-data
```

のようにする。このようにすると、入力データに含まれる CGVIEW コマンド (もしあれば) を全て実行して描画したのち、さらに利用者が CGVIEW コマンドを端末から入力することができる。files を省略すると標準入力から MVP/GMVP のデータを入力できるが、-p オプション使用時には入力データ名を省略できない。

B.5 CGVIEW を使用する上での問題点と対処方法

CGVIEW を使用するとき発生する可能性のある問題点とそれに関する対処方法を以下に示す。

- **[問題点]** 表示画面位置 (あるいはその一部) がたまたま空間ゾーンの境界面とちょうど重なってしまった場合、重なっている部分の表示がうまく行かないことがある。

[対処法] 現在の CGVIEW では避けられないエラーである。このような状況であると思われる場合には表示画面を視線方向に少し移動してみるとよい。例えば、MZ(0.0001) など。

- **[問題点]** 完全に重なって定義された 2 つ以上の空間領域を検出できないことがある。

[対処法] 通常の描画モードでは一部が重なっている複数の空間領域については重なり検出機能でチェックできるが、完全に同じ形で重なっているか、もしくは他の空間領域に完全に重なって(覆われて)しまうような空間領域を定義してしまった場合、現状の CGVIEW ではチェックできないことがある (OVERLAP コマンドの説明を参照)。表示画面の端が重なりが生じた領域にあり、ZSEARCH モードが 2 になっているときには、画面上で重なりが表示される場合もある。FLOOD モードでランダムな描画線による描画を行う場合には描画線開始時点でより厳密な重なりチェックを行ってメッセージを出力するようになっているので、形状の整合性チェックには FLOOD モードを実行することが望ましい。

- **[問題点]** 表示される色の数が減ってしまうことがある。

[対処法] X Window ディスプレイの表示可能な色の数が少なく、他に色種類をたくさん必要とするアプリケーションが動作している場合にこのようなことが起こる。CGVIEW が使用している画面表示ライブラリーの問題である。色をたくさん使用しているアプリケーションを終了するか、色数の多いモードで X Window を起動可能であればそうしてみる。

- **[問題点]** FLOOD モードで画面表示をしたら、ウィンドウいっぱいランダムな線が引かれてしまった。

[対処法] 表示画面領域と FLOOD モードで描画線を生成する空間領域の大きさに不整合がある。CELL コマンド、ZOOMZONE コマンド、ZOOMBODY コマンド等で両者を調整することができる。

- [問題点] PAPER コマンドを使用しないで表示しようとするとき “lost particle” が大量に発生したり、おかしい位置で表示されたりする。

[対処法] この場合、表示位置の自動設定がうまく行くように形状データの作り方を変えるべきである。

- 計算体系の外側に「無定義」の空間を作らない。反射体/吸収体仮想物質で全形状を取り囲んでいる場合、その領域は無限に広がっているように定義する (単一のゾーンの外部すべて、といった方法)。
- 計算体系の一番外側を決めるボディには直方体、円柱、球などのなるべく単純な形状を選ぶ。

- [問題点] 対話モードで使用しているとき、間違ったコマンドデータを入力してしまうと、それ以降にうまく入力できない。

[対処法] 右括弧“) ”をタイプしてリターンキーを押すことで正常なコマンド入力状態に復帰できることがある。

C. MVP-ART

MVP-ART は任意温度における断面積データを生成する補助コードである。共鳴断面積は Doppler broadening により生成され、熱中性子散乱データと非分離共鳴確率テーブルは与えられた温度点の間を内挿することによって生成される。以下に MVP-ART コードの使用法について述べる。

C.1 MVP-ART の入力データ

MVP-ART コードを実行するには以下のデータを自由形式で入力する。

Data #1 IVPOP, IDBG (I4, I4)

IVPOP	Doppler broadening の処理にベクトル化されたルーチンを使うかどうかのオプション。 = 1 使用する。 = 0 使用しない。(ワークステーションの場合は 0 を選択すること。)
IDBG	デバッグオプション。 = 1 デバッグプリント出力を行わない。 = 0 デバッグプリント出力を行う。

Data #2 INIDX (A)

INIDX	MVP ライブラリーのインデックスファイルへのパス (ファイル名を含む)。 データは 1 カラム目から入力し、入力データは 144 文字以下でなければならない。
-------	---

Data #3 TAGP, PATH (A, A)

TAGP	= 'path'. タグ 'path' は 1 カラム目から入力しなければならない。
PATH	生成された断面積データを保存するディレクトリ。PATH はスラッシュ (/) で終わらなければならない。また、タグを含む文字数は 144 文字以下でなければならない。

Data #4 TAGI, OUTIDX (A, A)

TAGI	= 'index'. タグ 'index' は 1 カラム目から入力しなければならない。
OUTIDX	生成された断面積データのインデックスファイル名。タグを含む文字数は 144 文字以下でなければならない。

以下、#5、#6 を必要なだけ繰り返し入力する。なお、#5、#6 の最初の 1 文字が '*' であればコメント文になる。

Data #5 NUCIN, RTEMP (A, R4)

NUCIN	処理する核種 ID。
RTEMP	処理温度 (Kelvin)。

Data #6 NUCOUT, OFILE (A, A)

NUCOUT	生成された断面積データの核種 ID。文字数は 12 文字以下でなければならない。
--------	--

OFILE	生成された断面積データのファイル名。NUCOUT を含む文字数は 144 文字以下でなければならない。実際のファイルパスは PATH/OFILE となる。
-------	---

C.2 サンプル入力データ

以下の B シェルスクリプトは、MVP のサンプル入力データ sample1 (p. 354) の温度依存断面積を生成する例である。入力データは、行“cat - << END_DATA | \$EXEC > \$OUTLIST 2>&1”と行“END_DATA”の間に記述されている。

```
#!/bin/sh
#
# ... Sample shell script and input data for MVPART ...
#
# (Cross section data is prepared for MVP sample problem 1.)
#
EXEC=$MVP_DIR/bin/$MVPHOST/mvpart
CASE=MVPART.sample01
DATE=`date +%Y%m%d.%H%M%S`
#
# ... neutron index file for arbitrary-temp libraries ...
#
ININDEX=/cygdrive/c/MVP-GMVP/MVplib/neutron.art.index
#
# ... directory where cross section files are created ...
#
NEWLIBDIR=$PWD/USRlib
#
# ... index file for generated cross section data ...
#
OUTINDEX=sample01.index
#
OUTLIST=$CASE.$DATE.ft06
#
if [ ! -d $NEWLIBDIR ]; then
    mkdir $NEWLIBDIR
fi
#
cat - << END_DATA | $EXEC > $OUTLIST 2>&1
0 0 / IVPOP IDBG
$ININDEX
path $NEWLIBDIR/
```

```

index $OUTINDX
*
* ... Fuel : 293.15 => 1500.0 Kelvin
*
U02350J40      1500.0
U023501500     U02350-T1500.J40.dat
U02380J40      1500.0
U023801500     U02380-T1500.J40.dat
PU2390J40      1500.0
PU23901500     PU2390-T1500.J40.dat
PU2400J40      1500.0
PU24001500     PU2400-T1500.J40.dat
PU2410J40      1500.0
PU24101500     PU2410-T1500.J40.dat
O00160J40      1500.0
O001601500     O00160-T1500.J40.dat
*
* ... Cladding : 293.15 => 900.0 Kelvin
*
CR0500J40      900.0
CR05000900     CR0500-T0900.J40.dat
CR0520J40      900.0
CR05200900     CR0520-T0900.J40.dat
CR0530J40      900.0
CR05300900     CR0530-T0900.J40.dat
CR0540J40      900.0
CR05400900     CR0540-T0900.J40.dat
MN0550J40      900.0
MN05500900     MN0550-T0900.J40.dat
FE0540J40      900.0
FE05400900     FE0540-T0900.J40.dat
FE0560J40      900.0
FE05600900     FE0560-T0900.J40.dat
FE0570J40      900.0
FE05700900     FE0570-T0900.J40.dat
FE0580J40      900.0
FE05800900     FE0580-T0900.J40.dat
NI0580J40      900.0
NI05800900     NI0580-T0900.J40.dat
NI0600J40      900.0
NI06000900     NI0600-T0900.J40.dat
NI0610J40      900.0
NI06100900     NI0610-T0900.J40.dat
NI0620J40      900.0
NI06200900     NI0620-T0900.J40.dat
NI0640J40      900.0
NI06400900     NI0640-T0900.J40.dat
MO0920J40      900.0
MO09200900     MO0920-T0900.J40.dat
MO0940J40      900.0
MO09400900     MO0940-T0900.J40.dat
MO0950J40      900.0
MO09500900     MO0950-T0900.J40.dat
MO0960J40      900.0

```

```
MO09600900  MO0960-T0900.J40.dat
MO0970J40    900.0
MO09700900  MO0970-T0900.J40.dat
MO0980J40    900.0
MO09800900  MO0980-T0900.J40.dat
MO1000J40    900.0
MO10000900  MO1000-T0900.J40.dat
*
* ... Coolant : 293.15 => 800.0 Kelvin
*
NA0230J40    800.0
NA02300800  NA0230-T0800.J40.dat
END_DATA
```

D. バイナリ出力ファイルを読むためのサンプルプログラム

この付録で MVP/GMVP のバイナリ出力ファイルを読みこむサンプルプログラムを示す。バイナリ出力ファイルは FORTRAN のユニット 30 から出力されたファイルである。このファイルでは、最初のタイトル行と日付バージョン行を除いたすべてのレコードは、タグデータで始まっている。ユーザーはこのタグを用いることにより、バイナリ出力ファイルを読む簡単なプログラムを書くことができる。以下に 2 つの例を示す。

D.1 例 1

以下のプログラムはエネルギービンの境界と飛程長評価法 (track length estimator) で計算された中性子束を読み込み、規格化した中性子束 (中性子エネルギースペクトル) を出力する。プログラムはメインルーチンとサブルーチン SRTAG から構成されている。SRTAG はユニット NFILE のファイル内の指定されたタグを検索するサブルーチンである。

- メインプログラム

```
c
c ... Simple program to read MVP binary output ...
c
c      program SMPL01
c
c      character TITLE0*64, DATE*17, TITLE1*72, TITLE2*72, TAG*32
c      real*8      WSUM
c
c      real      ENGYB( 100 )
c      real*8      SFLTR( 100, 20, 2 )
c
c ... I/O units ...
c
c      NSTDI   = 5
c      NSTDO   = 6
c      NMVPB   = 1
c      NTXT0   = 6
c
c ... open file ...
c
c      open( NMVPB, file='mvp_binary_results.fort.30',
c      & status='old',access='sequential',form='unformatted' )
c
c ... read binary file ...
c
c      read( NMVPB ) TITLE0
c      write( NTXT0, '(a)') TITLE0
```

```

      read( NMVPB ) DATE
      write( NTXTO, '(a)' ) DATE

      read( NMVPB ) TITLE1, TITLE2
      write( NTXTO, '(a/a)' ) TITLE1, TITLE2

      read( NMVPB ) TAG, WSUM, NTHIST, NBATCH, NGROUP, NREG, NRESP,
& NSKIP, NSTAL, NGP1, NGP2, NTREG, NPDET, NTIME, NSTALY, JNEUT,
& JPHOT, JRESP, JEIGN,JADJM,JTIME
      write( NTXTO, * ) TAG, WSUM, NTHIST, NBATCH, NGROUP, NREG, NRESP,
& NSKIP, NSTAL, NGP1, NGP2, NTREG, NPDET, NTIME, NSTALY, JNEUT,
& JPHOT, JRESP, JEIGN,JADJM,JTIME
c
c      ----- ENERGY BOUNDARY -----
c
c      0-----1-----2-----3--
TAG    = 'ENERGY & REG.VOLUME          '
c      0-----1-----2-----3--
call SRTAG( NMVPB, TAG, IRC )

      if( IRC.eq.0 ) then
        write( NSTDO, * ) ' XXX NO ENERGY BOUNDARY DATA !! STOP '
        stop
      end if

      read( NMVPB ) TAG, (ENGYB(I),I=1,NGP1+1)
      write( NTXTO, * ) TAG, (ENGYB(I),I=1,NGP1+1)
c
c      ----- FLUX : TRACK LENGTH -----
c
c      0-----1-----2-----3--
TAG    = 'FLUX & ERROR: TRACK LENGTH    '
c      0-----1-----2-----3--
call SRTAG( NMVPB, TAG, IRC )

      if( IRC.eq.0 ) then
        write( NSTDO, * ) ' XXX NO FLUX DATA !! STOP '
        stop
      end if

      do KR = 1, NTREG
        read( NMVPB ) TAG, (SFLTR(IG,KR,1),IG=1,NGROUP),
& (SFLTR(IG,KR,2),IG=1,NGROUP)
        write( NTXTO, * ) TAG, (SFLTR(IG,KR,1),IG=1,NGROUP),
& (SFLTR(IG,KR,2),IG=1,NGROUP)
      end do
c
c ... calculate & output normalized flux ...
c
      NT = 1

      FN = 0.d0
      do IG = 1, NGP1
        FN = FN + SFLTR(IG,NT,1)*log(ENGYB(IG)/ENGYB(IG+1))

```

```

end do

write( NSTDO, '(///)' )
write( NSTDO, '(''#   GRP'',8x,'ENERGY'',10x,'FLUX'',11x,
&                '1SIGMA'')' )

do IG = NGP1, 1, -1
    write( NSTDO, '(1x,i5,3x,e13.5,3x,e13.5,3x,e13.5)' )
&    IG, ENGYB(IG+1), SFLTR(IG,NT,1)/FN,
&    SFLTR(IG,NT,1)*SFLTR(IG,NT,2)/FN/100.d0
end do
    write( NSTDO, '(1x,i5,3x,e13.5,3x,e13.5,3x,e13.5)' )
&    0, ENGYB(1), 0., 0.
c
c ... close file ...
c
    close( unit=NMVPB, status='keep' )
c
    stop
end

```

● サブルーチン SRTAG

```

c
c ===== SEARCH RECORD TAG =====
c
    subroutine SRTAG( NFILE, TAG, IRC )
c
    character*32  TAG
    character*32  STAG
c
    IRC  = 0 : RECORD WITH TAG NOT FOUND
    IRC  = 1 : RECORD WITH TAG IS  FOUND
c
    IRC  = 0
1000 read( NFILE, END=999 ) STAG
    if ( STAG.eq.TAG ) then
        IRC = 1
        backspace NFILE
        return
    end if
    go to 1000
c
999 return
end

```

D.2 例2

以下のプログラムは TALLY データブロックに対する結果(スペシャルタリー)を読み込み、時間依存中性子束を出力する。プログラムはメインプログラムとサブルーチン RDSTL、SRTAG、CCOMP で構成される。サブルーチン SRTAG は例1 のものと同じである。サブルーチン RDSTL はスペシャルタリーの結果を読み込み、フォーマットされた結果を出力する。(出力フォーマットを変えるに

は、RDSTL の最後の部分を変更すればよい。) サブルーチン CCOMP は文字列を取り扱うユーティリティルーチンである。

- メインプログラム

```

c
c ... Simple program to read MVP binary output ...
c
  program SMPL02

  parameter( MEMORY = 2000000 )

  character TITLE0*64, DATE*17, TITLE1*72, TITLE2*72, TAG*32
  real*8      WSUM

  real        A( MEMORY )

c
c ... I/O units ...
c
  NSTDI  =  5
  NSTDO  =  6
  NMVPB  =  1
  NTXTO  =  6

c
c ... open file ...
c
  open( NMVPB, file='mvp_binary_results.fort.30',
    & status='old',access='sequential',form='unformatted' )

c
c ... read binary file ...
c
  read( NMVPB ) TITLE0
  write( NTXTO, '(a)') TITLE0

  read( NMVPB ) DATE
  write( NTXTO, '(a)') DATE

  read( NMVPB ) TITLE1, TITLE2
  write( NTXTO, '(a/a)') TITLE1, TITLE2

  read( NMVPB ) TAG, WSUM, NTHIST, NBATCH, NGROUP, NREG, NRESP,
    & NSKIP, NSTAL, NGP1, NGP2, NTREG, NPDET, NTIME, NSTALY, JNEUT,
    & JPHOT, JRESP, JEIGN,JADJM,JTIME
  write( NTXTO, * ) TAG, WSUM, NTHIST, NBATCH, NGROUP, NREG, NRESP,
    & NSKIP, NSTAL, NGP1, NGP2, NTREG, NPDET, NTIME, NSTALY, JNEUT,
    & JPHOT, JRESP, JEIGN,JADJM,JTIME

c
c ... read special tallies ...
c
c          0-----1-----2-----3--
TAG      = 'TALLIES SPECIAL' ,
c          0-----1-----2-----3--
call SRTAG( NMVPB, TAG, IRC )

```



```

if( IRC.eq.0 ) then
  write( NSTDO, * ) ' XXX NO SPECIAL TALLY DATA !! STOP '
  stop
end if

read( NMVPB ) TAG, NETALY, NEDTMX, NBINMX, NETRV
write( NTXTO, * ) TAG, NETALY, NEDTMX, NBINMX, NETRV

LETALY = 1
if( MOD(LETALY,2).eq.0 ) LETALY = LETALY + 1
LETRV = LETALY + NEDTMX*2*2
LBIN = LETRV + NEDTMX*2
LRNM = LBIN + NBINMX*2*8*2
LTEMP = LRNM + NBINMX*128

if( LTEMP.gt.MEMORY ) then
  write(6,*) ' XXX MEMORY SIZE IS INSUFFICIENT TO TREAT ',
&           'SPECIAL TALLIES.'
  write(6,*) ' AT LEAST ',LTEMP,' WORDS ARE NECESSARY.'
  stop
end if

c ... special tally index ...
c >0: ID # ; <0: SEQUENTIAL #
c ISTNO = 11

call RDSTL( NSTDO, NTXTO, NMVPB, ISTNO,
&          NETALY, A(LETALY), NEDTMX, A(LETRV),
&          A(LBIN), A(LRNM), NBINMX )
c
c ... close file ...
c
c close( unit=NMVPB, status='keep' )
c
c stop
c end

```

● サブルーチン RDSTL

```

subroutine RDSTL ( N06, NTXTO, NFILE, ISTNO,
&               NETALY, ETALY, NEDTMX, ETRV,
&               BIN, RNM, NBINMX )

C=====
C  NFILE : unit of input file
C  ISTNO : SPECIAL TALLY #
C          >0: ID # ; <0: SEQUENTIAL #
C=====

real*8  ETALY(NEDTMX,2), ETRV(NEDTMX)
real*8  BIN(NBINMX,2,8)
character RNM(NBINMX)*128

C
C ... local data ...
C

```

```

integer INFO(10)
parameter( MAXDIM = 8 )

C
character TAG*6
character PLAB*32
character TLABEL*128

C
character*32 TAGS

C
character DIMLBL( MAXDIM )*16
integer NDIME( MAXDIM )

C-----
C          0-----1-----2-----3--
TAGS = 'TALLIES SPECIAL'
C          0-----1-----2-----3--

if( ISTNO.lt.0 ) then

    N = ABS( ISTNO )

    if( N.gt.NETALY ) then
        write(N06,*) ' XXX SPECIFIED SPECIAL TALLY # (',N,
&                ' ) IS INCORRECT !! STOP.'
        write(N06,*) ' PLEASE SET CORRECT IRG PARAMETER.'
        stop
    endif

    TAG = ' '
    write(TAG,'(''.'',i5)') N
    call CCOMP( TAG, LEN(TAG), TAG, IIF )
    LTAG = index(TAG,' ') - 1
    if ( LTAG.lt.0 ) LTAG = len(TAG)

    PLAB = 'TALLY'//TAG(:LTAG)
    TAGS = PLAB
    call SRTAG( NFILE, TAGS, IRC )
    if( IRC.eq.0 ) then
        write(N06,*) ' XXX NO SPECIAL TALLY DATA !! STOP '
&                , TAGS
        stop
    end if

    read(NFILE) TAGS,N,INFO(4),JRV
    write( NTXTO, * ) TAGS,N,INFO(4),JRV
    read(NFILE) TAGS,L,TLABEL
    write( NTXTO, * ) TAGS,L,TLABEL
    read(NFILE) TAGS,L,( INFO(J),J=1,10)
    write( NTXTO, * ) TAGS,L,( INFO(J),J=1,10)

else

    do N = 1, NETALY
        TAG = ' '
        write(TAG,'(''.'',i5)') N

```

```

call CCOMP( TAG, LEN(TAG), TAG, IIF )
LTAG = index(TAG,' ') - 1
if ( LTAG.lt.0 ) LTAG = len(TAG)

PLAB      = 'TALLY'//TAG(:LTAG)
TAGS      = PLAB
CALL      SRTAG( NFILE, TAGS, IRC )

if( IRC.eq.0 ) then
    write(N06,*) ' XXX NO SPECIAL TALLY DATA !! STOP '
&                , TAGS
    stop
end if

read(NFILE) TAGS,NN,INFO(4),JRV
write( NTXTO, * ) TAGS,NN,INFO(4),JRV
read(NFILE) TAGS,L,TLABEL
write( NTXTO, * ) TAGS,L,TLABEL
read(NFILE) TAGS,L,(INFO(J),J=1,10)
write( NTXTO, * ) TAGS,L,(INFO(J),J=1,10)

if( INFO(1).eq.ISTNO ) go to 2000
end do

write(6,*) ' XXX SPECIFIED SPECIAL TALLY ID # (',ISTNO,
&          ' ) IS INCORRECT !! STOP.'
write(6,*) ' PLEASE SET CORRECT IRG PARAMETER.'
stop

endif

C
2000 continue
C
    write(N06,'(A,I3,A,I5,A)')
&    'Special tally No.', N, ' (ID=',INFO(1),')'
    write(N06,'(1x,''LABEL: <'',a,''>'')' ) TLABEL
C
    NSIZ      = 1
    do J = 1, INFO(4)
        read(NFILE) TAGS,DIMLBL(J),NDIME(J)
        write(N06,'(A,2X,A,i7)') TAGS,DIMLBL(J)(:8),NDIME(J)
        if( DIMLBL(J)(1:3).eq.'REG' ) then
            read(NFILE) TAGS,L,(RNM(JJ),JJ=1,NDIME(J))
            write( NTXTO, * ) TAGS,L,(RNM(JJ),JJ=1,NDIME(J))
        else
            read(NFILE) TAGS,(BIN(JJ,1,J),BIN(JJ,2,J),JJ=1,NDIME(J))
            write( NTXTO, * )
&                TAGS,(BIN(JJ,1,J),BIN(JJ,2,J),JJ=1,NDIME(J))
        endif
        NSIZ      = NSIZ*NDIME(J)
    end do
C
    write(N06,7020) (DIMLBL(J)(:8),',',J=1,INFO(4)), ' )'
7020    format(1X,' DIMENSION( ',5(A,A,' ')/(1X,13X,5(A,A,' ')))

```

```

        write(N06,7040) (NDIME(J),J=1,INFO(4))
7040    format(1X,'  SIZE      : ',5(I8,:', ')/(1X,13X,5(I8,:', ')))
C
    read(NFILE) TAGS,L,(ETALY(I,1),I=1,L)
    if( NSIZ.ne.L ) then
        write(N06,*) ' XXX ',TAGS(1:10),', ', NSIZ(',L,') is wrong.'
    end if
    write( NTXTO, * ) TAGS,L,(ETALY(I,1),I=1,L)

    read(NFILE) TAGS,L,(ETALY(I,2),I=1,L)
    if( NSIZ.ne.L ) then
        write(N06,*) ' XXX ',TAGS(1:11),', ', NSIZ(',L,') is wrong.'
    end if
    write( NTXTO, * ) TAGS,L,(ETALY(I,2),I=1,L)

    if ( JRV.ne.0 ) then
        read(NFILE) TAGS,L,(ETRV(I),I=1,L)
        if( NSIZ.ne.L ) then
            write(N06,*) ' XXX ',TAGS(1:15),', ', NSIZ(',L,') is wrong.'
        end if
        write( NTXTO, * ) TAGS,L,(ETRV(I),I=1,L)
    end if
C
C ... output formatted results ...
C
    write( N06, '(////)' )

    JTIM = 1
    JTRG = 2

    do J = 1, NDIME(JTRG)

        write( N06, '(/'# TALLY REGION:',' ,a12)') RNM(J)
        write( N06, '('# NUM'',8x,' TIME'',12x,' FLUX'',11x,
&                '1SIGMA''')' )

        IC = 0
        do I = J, NDIME(JTIM)*NDIME(JTRG), NDIME(JTRG)
            IC = IC + 1
            write( N06, '(1x,i5,3x,e13.5,3x,e13.5,3x,e13.5)')
&                IC, BIN(IC,1,JTIM), ETALY(I,1),
&                ETALY(I,1)*ETALY(I,2)/100.d0
        end do
        write( N06, '(1x,i5,3x,e13.5,3x,e13.5,3x,e13.5)')
&                IC+1, BIN(IC,2,JTIM), 0., 0.

    end do

    return
end

```

- サブルーチン CCOMP

```

    subroutine CCOMP( OUTCH, LN,      INCH,  IFL )
C

```

```

C      GMVP/MVP UTILITY
C
C=====
C  PURPOSE:  'COMPRESS' CHARACTER STRING INCH BY REMOVING BLANK
C            INTO CHARACTER STRING 'OUTCH' UPTO LN CHARACTERS.
C            ( 'OUTCH' & 'INCH' CAN OVERLAP IN MEMORY BUT
C            THE STARTING ADDRESS OF 'OUTCH' MUST PRECEED OR BE SAME AS
C            THAT OF 'INCH'. )
C
C            IFL : FLAG
C                0 = NORMAL END
C                1 = NUMBER OF NON-BLANK CHARACTERS IN INCH EXCEEDS LN.
C
C  HISTORY:  PROGRAMMED BY M.SASAKI ( 18 MAR 1992 )
C=====
C            character*(*) OUTCH, INCH
C            character*1 CH1
C
C            IFL      = 0
C            LL       = LEN(INCH)
C            NN       = 0
C            do 100 I = 1, LL
C                if ( INCH(I:I).ne.' ' ) then
C                    NN      = NN + 1
C                    if ( NN.le.LN ) then
C                        CH1   = INCH(I:I)
C                        OUTCH(NN:NN) = CH1
C                    end if
C                end if
C            end if
C            100 continue
C            if ( NN.lt.LN ) OUTCH(NN+1:LN) = ' '
C            if ( NN.gt.LN ) IFL = 1
C            return
C            end

```

E. 断面積ライブラリの形式変換コード

MVP コードが実行時に使用する断面積ライブラリはバイナリデータを仮定しており、断面積ライブラリがテキスト形式で提供される場合これをバイナリ形式に変換する必要がある。また、ファイル形式や数値/文字表現の異なるシステムに対応するために、バイナリファイルをテキスト化する必要がある場合もある。NTXT2LB はテキスト形式の中性子、光原子反応、光核反応及び電子の断面積データをバイナリデータに変換するコードであり、NLB2TXT は逆にバイナリ形式の MVP ライブラリをテキスト形式に変換するコードである。

GMVP コードもバイナリ形式の多群断面積データのみ読み込むことができる。テキスト形式の多群断面積データが用意されるなら、ユーザーは GMVPLBCV コードを用いてバイナリ形式のデータに変換することができる。

E.1 MVP ライブラリのテキスト形式からバイナリ形式への変換

NTXT2LB コードは、NLB2TXT コードで作成された形式のテキストファイルを MVP コードで使用するバイナリファイルに変換する。データ変換と同時にインデックスデータ (MVP ライブラリのファイル名とコードで使用する核種コードとの対応を記述したデータ) を作成することもできる。

標準入力から以下のようなデータを入力する。データは文字列データとして入力する。2 つ以上の文字列を入力する必要がある場合には空白で区切る。文字列の入力行内での位置は 1~72 文字目の間であればどこでもよい。

(1) 新しいインデックスファイル名

変換されたファイル名と核種 ID が出力されるインデックスファイル名。既存のインデックスファイル名をここに指定すると、そのファイルに先頭から書き込むため元のファイルの内容が失われるので注意が必要である。

(2) 入力テキストファイル名

この入力ファイルの名前として文字 ‘-’ を指定した場合、コントロールデータ (4) の終了後に断面積のテキストデータが続いていることを意味する。

(3) 出力バイナリファイル名

(4) 入力ファイルから変換する核種 ID

データ (4) は 64 回まで繰返すことができる。データ (4) が空白の場合、コントロール入力を終了する。

入力テキストファイル名が ‘-’ の場合は (4) のあとに断面積データが続く。

出力ファイル名等については、以下のルールがある。

- (3) の出力バイナリファイル名に文字 ‘*’ が含まれている場合、‘*’ を核種 ID で置き換えたものが最終的な出力ファイル名になる。ファイル名に ‘*’ を含まない場合は、このファイル名の次に核種 ID を連結したものが最終的な出力ファイル名になる。

- (4) の核種 ID 入力 は核種 ID のマッチング用のパターンであり、‘*’、‘?’ 等のワイルドカード文字を含んでもよい (‘*’ は 0 文字以上の任意の文字列、‘?’ は任意の 1 文字に対応)。

(4) の入力として空白行しかなかった場合は、* を入力したのと同じことになる。

例: テキストファイル `mvp.nlib.txt` に含まれる断面積データのうち、核種 ID の末尾が“B4”であるものだけをバイナリデータファイル“核種 ID.b4lib”に変換する。インデックス情報はファイル `tempindex.dat` に出力される。

```
line      .....
1         tempindex.dat
2         mvp.nlib.txt
3         *.b4lib
4         *B4
5
          .....
```

E.2 MVP ライブラリのバイナリ形式からテキスト形式への変換

NLB2TXT コードは、MVP コードで使用する断面積バイナリファイルをテキストファイルに変換する。NLB2TXT により入力/生成されるファイルの指定には以下の方法がある。

- 入力ファイル (中性子、光原子反応、光核反応または電子のライブラリ) :

以下の 2 通りの指定法が可能である。

- MVP ライブラリーインデックスファイルに含まれるすべて、または指定した核種 ID の断面積データファイル。
- 標準入力で指定したファイル。

- 出力ファイル :

1 つまたは複数のバイナリ入力ファイルを、1 つまたは複数のテキストファイルに出力。

標準入力から以下のようなコントロール情報を入力する。

NLB2TXT のコントロール入力

(1) 処理する粒子の種類

1 桁目から以下の文字列のいずれかを入力する。

- NEUTRON : 中性子ライブラリ
- PHOTON : 光原子ライブラリ
- PHOTONUCLEAR : 光核ライブラリ
- ELECTRON : 電子ライブラリ

(2) インデックスファイル名

変換すべき断面積データのファイル名が含まれるインデックスファイル名あるいは空白。

(3) 変換するバイナリファイル指定と出力テキストファイル名。

データ (2) のインデックスファイル名の入力に応じて、データ (3) の入力方法が変わる。

(A) インデックスファイル名入力がブランクでない場合:

以下の入力レコードを任意の回数繰り返すことができる。

[NUC=核種 ID 照合パターン] [出力テキストファイル名]

- “NUC=核種 ID 照合パターン” が省略された場合、インデックスファイルを参照し、その中に記述されている全てのファイルを出力テキストファイルに変換する。
- “NUC=核種 ID 照合パターン” が指定されている場合、インデックスファイル中の核種 ID がこの照合パターンに一致する核種の断面積のみが変換される。照合パターンには、ワイルドカード文字 ‘*’(0 文字以上の任意の文字列) と ‘?’(任意の 1 文字) を用いることができる。
- 出力テキストファイル名に ‘*’ が含まれる場合、‘*’ が核種 ID に置き換えられたファイル名のテキストファイルが、各バイナリファイルに対応して作成される。
- 出力テキストファイル名に ‘*’ が含まれない場合、バイナリファイルをテキスト化したデータはすべてこのファイルに出力される。
- 出力テキストファイル名が省略された場合、テキストに変換されたデータは最後に指定された出力ファイルの後に追加される。従って、最初の (3) データにはかならず出力テキストファイル名が指定されていなければならない。

(B) インデックスファイル名入力がブランクの場合:

「入力バイナリファイル名 出力テキストファイル名」の組合せを任意回入力できる。出力ファイル名が ‘+’ の場合、次の行に出力ファイル名があることを示す (ファイル名が長い場合等に使用する)。出力ファイル名が省略された場合、その入力ファイルに対する変換後の出力は、最後に指定された出力ファイルに追加される。最初の入力ファイル名に対する出力ファイル名を省略することはできない。

NLB2TXT へのコントロール入力データの例:

インデックスファイル `nindex.dat` に含まれる中性子の核種別断面積ファイル全てを、“核種 ID.txt” のようなファイル名をもつテキストファイルに変換する。

```
line .....
1      NEUTRON
2      nindex.dat
3      *.txt
      .....
```

インデックスファイル `nindex.dat` に含まれる中性子の核種別断面積ファイルのうち、指定した核種 ID 照合パターンに合致する核種 ID のファイルのみを変換する。

```
line .....
1      NEUTRON
2      nindex.dat
3      NUC=*B70  B70lib.txt
4      NUC=PU*J40  J40FIS.txt
5      NUC=U0*J40
      .....
```


指定した中性子の核種別断面積ファイルだけを、2つのテキストファイルに変換する。

```
line .....
1      NEUTRON
2
3      U02350B70.nlibf2  U0235.textlib
4      U02350J40.nlibf1
5      U02380J40.nlibf1  U0238.textlib
6      U02380B70.nlibf2
      .....
```

E.3 GMVP ライブラリのファイル形式変換

GMVP の断面積入力も MVP と同様に原則としてバイナリファイルである。GMVPLBCV はテキスト \leftrightarrow バイナリの形式変換を行うコードであり、これによって異なるシステムへのデータ転送等を行うことができる。標準入力からコントロール情報を入力する。GMVPLBCV でバイナリ \rightarrow テキスト、テキスト \rightarrow バイナリの両方を処理できる。

GMVPLBCV のコントロール入力

最初の入力は変換モードの指定である。

- 1: バイナリ \rightarrow テキスト
- 2: テキスト \rightarrow バイナリ
- バイナリ \rightarrow テキストモードの場合には以下の入力を指定する。
 - (a) ライブラリ形式
 - 1: KENO-IV
 - 2: GMVP / ANISN 形式 (断面積データが1レコード)
 - 3: ANISN 形式2 (断面積データがエネルギー群毎に別のレコード)
 - 4: DDX 形式
 - (b) 入力ファイル名
 - (c) 出力ファイル名
 - (d) (a) で形式2または形式3を入力した場合に以下の4個のデータが必要。
NGP, IHM, IHT, IHS
 - NGP: エネルギー群数
 - IHM: 断面積テーブル長
 - IHT: 全断面積の位置
 - IHS: 自群散乱断面積の位置
- テキスト \rightarrow バイナリモードの場合には以下の入力を指定する。
 - (a) 入力ファイル名
 - (b) 出力ファイル名

F. FORTRAN ソースを使用環境に適合させる ツール

FORTRAN 言語には ISO、JIS 等の規格で定められた文法があるが、現実には各種 FORTRAN コンパイラにはそれぞれの「方言」が存在し、移植性のよいプログラムの記述を困難にする場合もある。このため、移植しようとするプログラムの使用環境によってプログラムソースを書換えなければならない場合がある。また、ネットワーク環境において一つのファイルシステムを複数の、しかも場合によっては機種の異なるマシンが、ネットワークを介して共有しているような場合も考慮する必要がある。

そこで、利用する環境毎に異なる記述をしたソースを別々に用意する代わりに、プログラムソースファイル自体は 1 セットだけ用意し、その中に各環境に適用する部分をあらかじめ書きこんでおき、それを環境に応じて選択して利用するためのツール (MVPFAT: MVP Fortran-source Assimilation Tool) を開発した。

MVP/GMVP コードの FORTRAN プログラムソースは、コンパイル時にこのツールで前処理するように記述されている。

F.1 MVPFAT の機能

MVPFAT を利用するプログラムの記述

MVPFAT が処理できるプログラムソースは以下のように記述されている。

```
<プログラムソース>
C/#IF      expression
<プログラムソース>
C/#ELSEIF  expression
<プログラムソース>
C/#ELSE
<プログラムソース>
C/#ENDIF
<プログラムソース>
```

ここで、“C/#” は 1～3 桁目にこの文字列があることを意味する。一つの“C/#IF” に対して、必ず対応する“C/#ENDIF” が必要である。“C/#ELSEIF” 及び“C/#ELSE” は必要な場合にのみ指定する。また、この“C/#IF”～“C/#ENDIF” ブロックを入れ子構造にすることも可能である。“#” と

“IF”、“ELSE”等の間には、空白または“#”がいくつあってもよい。ただし、文字列“ELSEIF”は、間に空白を置かずにこの通りに記述する。

Expression はブロックを選択するための条件を示していて、MVPFAT はこの条件を判断しながら、通常の IF ブロックの規則に従って利用すべきブロックを決定する。

MVPFAT の行う処理

MVPFAT がブロックを選択して利用可能 (ON) または休眠状態 (OFF) にする方法は以下のようになる。

- (1) ‘ON’ であるブロックの各行の先頭が“*”でコメント化されていれば、それを空白に置き換えてコンパイルの対象とする。ただし、後述の DIRECTIVE コマンドで指定されている形式の行はそのままになる。“*”が先頭である行の 2 桁目が空白及び数字でない場合には、行を 1 文字左にシフトして、2 文字目であった文字を先頭に移動する。先頭が“c”または“C”のコメント行あるいは先頭が空白の行はそのままとする。
- (2) ‘OFF’ であるブロックの各行の先頭が空白であれば、先頭を“*”に変えてその行をコメント化する。先頭が“c”でも“C”でもなく、かつ空白でない場合には、その行を 1 桁右にシフトして、先頭を“*”にする。後述の DIRECTIVE コマンドで指定されている形式の行はそのままになる。先頭が“c”または“C”のコメント行はそのまま変更されない。

このような処理規則であるため、C/IF ブロック中での FORTRAN ソース記述には以下の注意が必要である。

- 5 桁の行ラベルあるいは、1 桁目に数字が置かれる行ラベルは使用しない。
- ON 状態になってもコメント行にしたい行の先頭は、“*”ではなく“c”または“C”とする。
- コメント化に際して、右シフトが行われる行の 72 桁目が失われる可能性がある。

Expression は FORTRAN の論理式に似た形式であり、以下のように記述される。

```
expression  := logical-operator expression
             := expression logical-operator expression
             := (expression)
             := parameter-name
             := parameter-name(sub-parameter-names)
```

```
logical-operator  := .NOT.
                  := .AND.
                  := .OR.
                  := .XOR. (排他的 OR)
```

演算子の優先順位は、.NOT. > .AND. > .OR. = .XOR. の順である。

parameter-name は後述の SET コマンドで設定される (あるいは設定解除される) パラメータ名で、sub-parameter-name はパラメータが持っているサブパラメータの名前である。

Expression の ON/OFF 規則

- (a) `expression := parameter-name` の場合

後述の SET コマンドでパラメータ名 `parameter-name` がセットされていれば ON、いなければ OFF。

- (b) `expression := parameter-name(sub-parameter-names)` の場合

パラメータ名 `parameter-name` が SET コマンドでセットされていて、さらにその `parameter-name` に SET されているサブパラメータ `sub-parameter-name(s)` があって、それらのうちの 1 つでも `expression` 中の `sub-parameter(s)` の 1 つと一致すれば ON。それ以外は OFF。なお、サブパラメータ名にはワイルドカード “*” (0 文字以上の任意文字列) 及び “?” (任意の 1 文字) を、全体または一部として使用することができる。

- (c) `expression` 自体が `expression` の論理式である場合

`Expression` の ON を真、OFF を偽とする論理式の結果が真なら ON、偽なら OFF。

MVPFAT コマンド

“C/#” 行によるソース制御を有効にするためには、パラメータ名あるいはサブパラメータ名を設定/解除する MVPFAT コマンドを指定する。このコマンドは、標準入力あるいはプログラムソース中で指定できる。標準入力では先頭が “*” の行はコメントとして無視される。

プログラムソース内で指定できる MVPFAT コマンドには以下のものがある。

- `C/#SET parameter-name[(sub-parameter-names)]`

プログラムソース内でパラメータ及びそのサブパラメータを ON に設定する。

- `C/#UNSET parameter-name[(sub-parameter-names)]`

プログラムソース内でパラメータ及びそのサブパラメータを OFF に設定する。

その他の MVPFAT コマンドは標準入力から指定する。

- INPUT

入力ソースファイル名。

- OUTPUT

出力ソースファイル名。

- SET,UNSET

SET コマンドでパラメータ名を ON にする。サブパラメータがある場合は、それも ON にする。

例:

```
SET UNIX
SET SYSTEM(LINUXELF)
```

最初の例はパラメータ UNIX を ON にする。2 番目の例ではパラメータ SYSTEM とそのサブパラメータ LINUXELF を ON にする。

UNSET は SET で設定されたパラメータやサブパラメータを OFF 状態にする。ON 状態のサブパラメータがあるパラメータに対してパラメータ名だけが指定されている場合、そのパラメータのすべてのサブパラメータも OFF になる。

例:

```
UNSET UNIX
UNSET SYSTEM(LINUXELF)
```

前者はパラメータ UNIX を OFF にする。パラメータ UNIX にサブパラメータが SET されている場合、全てのサブパラメータも OFF になる。後者の例では、パラメータ SYSTEM のサブパラメータ LINUXELF のみを OFF にする。パラメータ SYSTEM に他のサブパラメータが SET されていても、それらは影響を受けない。

- INPUT, OUTPUT

INPUT, OUTPUT は標準入力でのみ指定でき、それぞれ、MVPFAT が処理する入力プログラムソース名と処理後に出力されるソースファイル名を指定する。INPUT, OUTPUT はそれぞれ 1 回だけ使用することができる。また、同一のファイル名を INPUT と OUTPUT に指定してはならない (入力ファイルが破壊される)。INPUT を指定しない場合、ソース行は入力ユニット 10 (MVPFAT プログラムは FORTRAN で記述されている) あるいは SOURCE コマンドに続けて標準入力から入力される。OUTPUT を指定しない場合、処理されたソースは出力ユニット 20 に出力される。

- DIRECTIVE

DIRECTIVE コマンドは、行の先頭を “*” で始めなければならないコンパイラ指示文等 (富士通 VPP の *VOCL 行など) を処理するためのものである。文字列 DIRECTIVE が行の先頭にある行は ON/OFF いずれの状態のブロックにあっても、処理されずにそのままの状態に残される。

- MONITOR

MONITOR コマンドは、MVPFAT による変換の経過や、エラーが起こったときのメッセージ等を出力する FORTRAN 入出力ユニット番号を指定する。この番号を 10、20 または 6 (標準出力) に指定してはならない。このコマンドを指定しなかった場合の出力ユニット番号は 0 である。これは、ほとんどの UNIX 上コンパイラでは標準エラー出力に割り当てられている。出力ユニット番号 0 への出力がエラーとなるシステムでは、10、20、6 以外のユニットを必ず指定する必要がある。

- SOURCE

SOURCE コマンドは標準入力でのみ指定できて、これ以降の標準入力を入力プログラムソースとみなす事を意味する。INPUT コマンドの指定は無視される。

F.2 MVPFAT への入力と出力

(1) 標準入力 :

- MVPFAT コマンド (SET、UNSET 等)
- SOURCE コマンド以降のプログラムソース

(2) 入力ソース :

INPUT コマンドで指定されたファイル、あるいは SOURCE コマンド以降の標準入力、あるいは入出力ユニット 10。

(3) 処理結果ソース :

OUTPUT マンドで指定されたファイルあるいは入出力ユニット 20。

(4) 標準出力 :

変換が行なわれた行数のみ出力する (0 または正の整数)。MVPFAT にエラーが発生した場合には負の数を出力する。これは、正の数が出力された場合のみ、出力ファイルを入力ファイルと置き換える等の処理に使用することを想定している。

(5) 処理結果モニター :

変換処理の経過を示す。MONITOR コマンドで指定された入出力ユニット。

F.3 MVPFAT によるプログラムソースの処理例

以下のサブルーチンを考える。このサブルーチンは、システム毎に異なる日付取得ルーチン利用している部分を、MVPFAT で書き換えるように記述されている。

```
line      .....+.....
1          SUBROUTINE HIZUKE(XDATE)
2          CHARACTER*(*) XDATE
3          character*3 month(12)
4          data month /'Jan','Feb','Mar','Apr','May','Jun','Jul','Aug',
5                   &  'Sep','Oct','Nov','Dec' /
6
7          C/#IF SYSTEM(FACOM)
8          C
9          C ----- FACOM M or VP series
10         C
11         CHARACTER*8 TDATE
12         XDATE = ' '
13         CALL DATE(TDATE)
14         READ(TDATE,'(I2,1X,I2,1X,I2)') IY,IM,ID
15         WRITE(XDATE,'(I2,'''-''',A3,'''-''',I2)') ID,MONTH(IM),IY
16         C/#ELSEIF SYSTEM(HP*)
17         C
18         C ----- HP-9000 SERIES ---
19         C
20         *$NOSTANDARD SYSTEM
21         *      XDATE = ' '
22         *      CALL IDATE(IM,ID,IY)
23         *      WRITE(XDATE,'(I2,'''-''',A3,'''-''',I2)') ID,MONTH(IM),IY
24         C
```

```

25      C/#ELSEIF SYSTEM(VMS)
26      C
27      C ----- IN   VMS   ---
28      C
29      *          XDATE = ' '
30      *          CALL DATE(XDATE(1:9))
31      C/#ELSE
32      C
33      C ----- IN   UNKNOWN SYSTEM   ---
34      C
35      *          XDATE = 'DATE?????'
36      C/#ENDIF
37      RETURN
38      END

```

この入力ソースファイルを MVPFAT コマンド

```
SET SYSTEM(HP700)
```

で処理した場合、出力ソースファイルは以下のようになる。

```

7      C/#IF SYSTEM(FACOM)
8      C
9      C ----- FACOM M or VP series
10     C
11     *          CHARACTER*8 TDATE
12     *          XDATE = ' '
13     *          CALL DATE(TDATE)
14     *          READ(TDATE,'(I2,1X,I2,1X,I2)') IY,IM,ID
15     *          WRITE(XDATE,'(I2,'''-''',A3,'''-''',I2)') ID,MONTH(IM),IY
16     C/#ELSEIF SYSTEM(HP*)
17     C
18     C ----- HP-9000 SERIES ---
19     C
20     $NOSTANDARD SYSTEM
21     XDATE = ' '
22     CALL IDATE(IM,ID,IY)
23     WRITE(XDATE,'(I2,'''-''',A3,'''-''',I2)') ID,MONTH(IM),IY
24     C
25     C/#ELSEIF SYSTEM(VMS)
26     C

```

入力ソースファイルの 11～15 行目がコメント化され、20～23 行目は先頭の“*”がブランクになりコメント行ではなくなる。さらに、入力ソースファイルの 20 行目は、2 文字目がブランクでも数字でもない文字“\$”なので、非コメント化の際に“\$”が行頭に来るようにシフトされている。

F.4 MVPFAT の実行コマンド

UNIX における MVPFAT の実行はシェルスクリプト \$MVP_DIR/etc/Fatman を使用するのが便利である。Fatman は、MVPFAT プログラムを UNIX コマンドで利用しやすいようにしたコマンドである。ベクトル化指示文を FACOM 形式から SX、CRAY、HITACHI 形式等へ書き換える機能も持つ。

< 使用法 >

Fatman *MVPFAT-file input-file output-file* [*post*]

MVPFAT-file : MVPFAT への指示コマンド (SET,UNSET ,...) を含むファイル名。

input-file : 変換されるソースファイル名。
output-file : 変換で生成されるソースファイル名。
post : MVPFAT による変換の後、さらに加工操作を行う場合に指定。

文字列 “*post*” には以下のものが指定可能である。

SX : ベクトル化指示文を FACOM 形式から SX 形式に書き換える。
CRAY : ベクトル化指示文を FACOM 形式から CRAY 形式に書き換える。
HITACHI : ベクトル化指示文を FACOM 形式から HITACHI 形式に書き換える。

F.5 MVP で使用する SET,UNSET コマンドのパラメータ

パラメータ	サブパラメータ	意味
SYSTEM	LINUXELF FREEBSD X86SOL2 CYGWIN WIN32	<使用するシステム> Linux x86(ELF binary) FreeBSD x86 Solaris2.x x86 Cygwin on Windows Windows (32 bit)
UNIX		UNIX 環境または互換機能を利用
DYNAMIC		メモリーの実行時確保
NOPOINTER		DYNAMIC であるが POINTER 文を使用しない。
ARGSAVE		サブプログラム呼出引数の保存を仮定
WORD	32 64	<1 ワードのビット数> 32 ビット 64 ビット
ADRSIZE	32 64	<メモリアドレスのビット数> 32 ビット 64 ビット
ROUNDOFF	TRUNCATE NEAREST	<浮動小数点計算結果のまるめ処理> 切捨て 最も近い値
READONLY	DEC ACTION MODE	<読み込み専用ファイルの OPEN > READONLY キーワードを使用 (DEC 方式) ACTION キーワードを使用 (IBM、F90 など) MODE キーワードを使用 (MS-FORTRAN など)
FILENAME	DOS MACOS	<ファイル名中のディレクトリ表示> MS-DOS 方式 MacOS 方式

(Cont'd)

パラメータ	サブパラメータ	意味
ARGV	GETARG	＜FORTRAN からのコマンド引数取得＞ GETARG ルーチン (UNIX 標準)
FLOATHANDLER	ONSTMT	＜浮動小数点例外の処理＞ ON 文 (HP-FORTRAN)
RANDOM		0 も 1 も発生しない一様乱数を使用
CHARARG	LOOSE	＜文字型引数＞ 非文字型実引数を文字型仮引数に渡せる。
NOGETENV		環境変数を取得しない (または不可能)。
VECTORIZE		選択可能な場合ベクトル処理コードを使用
SSL2		SSL2 ライブラリの RANU2 ルーチンを使用
PARA	VPP SX CRAY PVM MPI	＜並列処理モード＞ FACOM VPP-Fortran による並列処理 NEC SX シリーズのマルチタスキング CRAY MP シリーズのマルチタスキング PVM (Parallel Virtual Machine) MPI (Message Passing Interface)

G. MVP 断面積ライブラリ

G.1 中性子ライブラリ

G.1.1 JENDL-4.0

JENDL-4.0 に基づく MVP ライブラリーで利用できる核種を表 G.1 と表 G.2 に示す。表 G.1 は、自由ガスモデルに基づく断面積データである。表 G.2 は ENDF/B-VI.8 に基づく熱中性子散乱データを含む断面積データである。

これらの表における項目の意味は以下の通りである。

Z	Atomic number.
Nuclide	Nuclide represented with the element name and the atomic mass number. -Nat means the natural isotope mixture. -M means the metastable state of the nuclide.
ID in MVP	Nuclide ID used for the specification in MVP input data.
MAT	MAT number defined in the ENDF format.
MAT(tape) for $S(\alpha, \beta)$	MAT number and ENDF tape number for $S(\alpha, \beta)$.
C.S.P.	“Yes” denotes that cross section probability tables in the unresolved resonance region are included. “No” denotes that cross section probability tables in the unresolved resonance region are not included.
γ-prod.	“Yes” denotes that γ production data are included. “No” denotes that γ production data are not included.
KERMA factor	“Yes” denotes that the KERMA factor is included. “No” denotes that the KERMA factor is not included.
ELOW	Lowest energy of the cross section data (eV).
EHI	Highest energy of the cross section data (eV).
Temp.	Temperature at which the cross section data were processed (K).
Max-T	Maximum temperature up to which the cross section data can be generated (K). If no value is specified, there is no limitation for temperature.

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (1/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
1	H - 1	H00010J40	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
1	H - 2	H00020J40	128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
2	HE- 3	HE0030J40	225	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
2	HE- 4	HE0040J40	228	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
3	LI- 6	LI0060J40	325	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
3	LI- 7	LI0070J40	328	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
4	BE- 9	BE0090J40	425	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
5	B - 10	B00100J40	525	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
5	B - 11	B00110J40	528	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
6	C - Nat.	C00000J40	600	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
7	N - 14	N00140J40	725	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
7	N - 15	N00150J40	728	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
8	O - 16	O00160J40	825	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
9	F - 19	F00190J40	925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
11	NA- 23	NA0230J40	1125	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
12	MG- 24	MG0240J40	1225	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
12	MG- 25	MG0250J40	1228	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
12	MG- 26	MG0260J40	1231	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
13	AL- 27	AL0270J40	1325	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
14	SI- 28	SI0280J40	1425	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
14	SI- 29	SI0290J40	1428	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
14	SI- 30	SI0300J40	1431	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
15	P - 31	P00310J40	1525	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
16	S - 32	S00320J40	1625	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
16	S - 33	S00330J40	1628	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
16	S - 34	S00340J40	1631	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
16	S - 36	S00360J40	1637	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
17	CL- 35	CL0350J40	1725	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
17	CL- 37	CL0370J40	1731	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
18	AR- 40	AR0400J40	1837	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
19	K - 39	K00390J40	1925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
19	K - 40	K00400J40	1928	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
19	K - 41	K00410J40	1931	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 40	CA0400J40	2025	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 42	CA0420J40	2031	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 43	CA0430J40	2034	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 44	CA0440J40	2037	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 46	CA0460J40	2043	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
20	CA- 48	CA0480J40	2049	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
21	SC- 45	SC0450J40	2125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	TI- 46	TI0460J40	2225	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	TI- 47	TI0470J40	2228	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	TI- 48	TI0480J40	2231	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	TI- 49	TI0490J40	2234	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	TI- 50	TI0500J40	2237	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
23	V - 50	V00500J40	2325	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
23	V - 51	V00510J40	2328	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 50	CR0500J40	2425	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 52	CR0520J40	2431	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 53	CR0530J40	2434	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 54	CR0540J40	2437	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
25	MN- 55	MN0550J40	2525	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
26	FE- 54	FE0540J40	2625	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
26	FE- 56	FE0560J40	2631	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
26	FE- 57	FE0570J40	2634	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
26	FE- 58	FE0580J40	2637	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
26	FE- 59	FE0590J40	2640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
27	CO- 59	CO0590J40	2725	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
28	NI- 58	NI0580J40	2825	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
28	NI- 59	NI0590J40	2828	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
28	NI- 60	NI0600J40	2831	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
28	NI- 61	NI0610J40	2834	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
28	NI- 62	NI0620J40	2837	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (2/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
28	NI- 64	NI0640J40	2843	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
29	CU- 63	CU0630J40	2925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
29	CU- 65	CU0650J40	2931	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
30	ZN- 64	ZN0640J40	3025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
30	ZN- 65	ZN0650J40	3028	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
30	ZN- 66	ZN0660J40	3031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
30	ZN- 67	ZN0670J40	3034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
30	ZN- 68	ZN0680J40	3037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
30	ZN- 70	ZN0700J40	3043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
31	GA- 69	GA0690J40	3125	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
31	GA- 71	GA0710J40	3131	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
32	GE- 70	GE0700J40	3225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
32	GE- 72	GE0720J40	3231	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
32	GE- 73	GE0730J40	3234	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
32	GE- 74	GE0740J40	3237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
32	GE- 76	GE0760J40	3243	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
33	AS- 75	AS0750J40	3325	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 74	SE0740J40	3425	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 76	SE0760J40	3431	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 77	SE0770J40	3434	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 78	SE0780J40	3437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 79	SE0790J40	3440	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 80	SE0800J40	3443	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
34	SE- 82	SE0820J40	3449	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
35	BR- 79	BR0790J40	3525	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
35	BR- 81	BR0810J40	3531	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 78	KR0780J40	3625	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 80	KR0800J40	3631	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 82	KR0820J40	3637	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 83	KR0830J40	3640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 84	KR0840J40	3643	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 85	KR0850J40	3646	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
36	KR- 86	KR0860J40	3649	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
37	RB- 85	RB0850J40	3725	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
37	RB- 86	RB0860J40	3728	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
37	RB- 87	RB0870J40	3731	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 84	SR0840J40	3825	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 86	SR0860J40	3831	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 87	SR0870J40	3834	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 88	SR0880J40	3837	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 89	SR0890J40	3840	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
38	SR- 90	SR0900J40	3843	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
39	Y - 89	Y00890J40	3925	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
39	Y - 90	Y00900J40	3928	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
39	Y - 91	Y00910J40	3931	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 90	ZR0900J40	4025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 91	ZR0910J40	4028	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 92	ZR0920J40	4031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 93	ZR0930J40	4034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 94	ZR0940J40	4037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 95	ZR0950J40	4040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
40	ZR- 96	ZR0960J40	4043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
41	NB- 93	NB0930J40	4125	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
41	NB- 94	NB0940J40	4128	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
41	NB- 95	NB0950J40	4131	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 92	MO0920J40	4225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 94	MO0940J40	4231	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 95	MO0950J40	4234	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 96	MO0960J40	4237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 97	MO0970J40	4240	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 98	MO0980J40	4243	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO- 99	MO0990J40	4246	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
42	MO-100	MO1000J40	4249	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (3/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
43	TC- 99	TC0990J40	4331	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU- 96	RU0960J40	4425	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU- 98	RU0980J40	4431	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU- 99	RU0990J40	4434	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-100	RU1000J40	4437	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-101	RU1010J40	4440	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-102	RU1020J40	4443	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-103	RU1030J40	4446	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-104	RU1040J40	4449	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-105	RU1050J40	4452	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
44	RU-106	RU1060J40	4455	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
45	RH-103	RH1030J40	4525	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
45	RH-105	RH1050J40	4531	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-102	PD1020J40	4625	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-104	PD1040J40	4631	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-105	PD1050J40	4634	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-106	PD1060J40	4637	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-107	PD1070J40	4640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-108	PD1080J40	4643	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
46	PD-110	PD1100J40	4649	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
47	AG-107	AG1070J40	4725	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
47	AG-109	AG1090J40	4731	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
47	AG-110-M	AG1101J40	4735	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
47	AG-111	AG1110J40	4737	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-106	CD1060J40	4825	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-108	CD1080J40	4831	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-110	CD1100J40	4837	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-111	CD1110J40	4840	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-112	CD1120J40	4843	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-113	CD1130J40	4846	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-114	CD1140J40	4849	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
48	CD-116	CD1160J40	4855	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
49	IN-113	IN1130J40	4925	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
49	IN-115	IN1150J40	4931	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-112	SN1120J40	5025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-114	SN1140J40	5031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-115	SN1150J40	5034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-116	SN1160J40	5037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-117	SN1170J40	5040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-118	SN1180J40	5043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-119	SN1190J40	5046	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-120	SN1200J40	5049	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-122	SN1220J40	5055	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-123	SN1230J40	5058	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-124	SN1240J40	5061	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
50	SN-126	SN1260J40	5067	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
51	SB-121	SB1210J40	5125	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
51	SB-123	SB1230J40	5131	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
51	SB-124	SB1240J40	5134	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
51	SB-125	SB1250J40	5137	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
51	SB-126	SB1260J40	5140	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-120	TE1200J40	5225	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-122	TE1220J40	5231	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-123	TE1230J40	5234	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-124	TE1240J40	5237	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-125	TE1250J40	5240	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-126	TE1260J40	5243	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-127-M	TE1271J40	5247	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-128	TE1280J40	5249	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-129-M	TE1291J40	5253	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-130	TE1300J40	5255	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-132	TE1320J40	5261	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
53	I -127	I01270J40	5325	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (4/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
53	I -129	I01290J40	5331	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
53	I -130	I01300J40	5334	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
53	I -131	I01310J40	5337	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
53	I -135	I01350J40	5349	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-124	XE1240J40	5425	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-126	XE1260J40	5431	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-128	XE1280J40	5437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-129	XE1290J40	5440	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-130	XE1300J40	5443	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-131	XE1310J40	5446	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-132	XE1320J40	5449	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-133	XE1330J40	5452	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-134	XE1340J40	5455	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-135	XE1350J40	5458	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
54	XE-136	XE1360J40	5461	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
55	CS-133	CS1330J40	5525	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
55	CS-134	CS1340J40	5528	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
55	CS-135	CS1350J40	5531	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
55	CS-136	CS1360J40	5534	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
55	CS-137	CS1370J40	5537	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-130	BA1300J40	5625	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-132	BA1320J40	5631	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-134	BA1340J40	5637	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-135	BA1350J40	5640	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-136	BA1360J40	5643	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-137	BA1370J40	5646	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-138	BA1380J40	5649	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
56	BA-140	BA1400J40	5655	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
57	LA-138	LA1380J40	5725	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
57	LA-139	LA1390J40	5728	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
57	LA-140	LA1400J40	5731	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
58	CE-140	CE1400J40	5837	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
58	CE-141	CE1410J40	5840	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
58	CE-142	CE1420J40	5843	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
58	CE-143	CE1430J40	5846	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
58	CE-144	CE1440J40	5849	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
59	PR-141	PR1410J40	5925	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
59	PR-143	PR1430J40	5931	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-142	ND1420J40	6025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-143	ND1430J40	6028	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-144	ND1440J40	6031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-145	ND1450J40	6034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-146	ND1460J40	6037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-147	ND1470J40	6040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-148	ND1480J40	6043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
60	ND-150	ND1500J40	6049	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
61	PM-147	PM1470J40	6149	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
61	PM-148	PM1480J40	6152	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
61	PM-148-M	PM1481J40	6153	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
61	PM-149	PM1490J40	6155	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
61	PM-151	PM1510J40	6161	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-144	SM1440J40	6225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-147	SM1470J40	6234	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-148	SM1480J40	6237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-149	SM1490J40	6240	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-150	SM1500J40	6243	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-151	SM1510J40	6246	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-152	SM1520J40	6249	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-153	SM1530J40	6252	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
62	SM-154	SM1540J40	6255	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-151	EU1510J40	6325	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-152	EU1520J40	6328	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-153	EU1530J40	6331	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (5/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
63	EU-154	EU1540J40	6334	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-155	EU1550J40	6337	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-156	EU1560J40	6340	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-157	EU1570J40	6343	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-152	GD1520J40	6425	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-153	GD1530J40	6428	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-154	GD1540J40	6431	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-155	GD1550J40	6434	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-156	GD1560J40	6437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-157	GD1570J40	6440	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-158	GD1580J40	6443	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
64	GD-160	GD1600J40	6449	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
65	TB-159	TB1590J40	6525	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
65	TB-160	TB1600J40	6528	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-154	DY1540J40	6619	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-156	DY1560J40	6625	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-158	DY1580J40	6631	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-159	DY1590J40	6634	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-160	DY1600J40	6637	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-161	DY1610J40	6640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-162	DY1620J40	6643	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-163	DY1630J40	6646	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
66	DY-164	DY1640J40	6649	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-162	ER1620J40	6825	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-164	ER1640J40	6831	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-166	ER1660J40	6837	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-167	ER1670J40	6840	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-168	ER1680J40	6843	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
68	ER-170	ER1700J40	6849	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
69	TM-169	TM1690J40	6925	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-168	YB1680J40	7025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-170	YB1700J40	7031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-171	YB1710J40	7034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-172	YB1720J40	7037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-173	YB1730J40	7040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-174	YB1740J40	7043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
70	YB-176	YB1760J40	7049	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-174	HF1740J40	7225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-176	HF1760J40	7231	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-177	HF1770J40	7234	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-178	HF1780J40	7237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-179	HF1790J40	7240	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-180	HF1800J40	7243	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-181	HF1810J40	7246	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
72	HF-182	HF1820J40	7249	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
73	TA-181	TA1810J40	7328	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
74	W -180	W01800J40	7425	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
74	W -182	W01820J40	7431	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
74	W -183	W01830J40	7434	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
74	W -184	W01840J40	7437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
74	W -186	W01860J40	7443	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-184	OS1840J40	7625	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-186	OS1860J40	7631	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-187	OS1870J40	7634	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-188	OS1880J40	7637	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-189	OS1890J40	7640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-190	OS1900J40	7643	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
76	OS-192	OS1920J40	7649	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
79	AU-197	AU1970J40	7925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
80	HG-196	HG1960J40	8025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-198	HG1980J40	8031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-199	HG1990J40	8034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-200	HG2000J40	8037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (6/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
80	HG-201	HG2010J40	8040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-202	HG2020J40	8043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-204	HG2040J40	8049	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
82	PB-204	PB2040J40	8225	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
82	PB-206	PB2060J40	8231	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
82	PB-207	PB2070J40	8234	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
82	PB-208	PB2080J40	8237	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
83	BI-209	BI2090J40	8325	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
88	RA-223	RA2230J40	8825	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
88	RA-224	RA2240J40	8828	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
88	RA-225	RA2250J40	8831	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
88	RA-226	RA2260J40	8834	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
89	AC-225	AC2250J40	8925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
89	AC-226	AC2260J40	8928	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
89	AC-227	AC2270J40	8931	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
90	TH-227	TH2270J40	9025	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
90	TH-228	TH2280J40	9028	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
90	TH-229	TH2290J40	9031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
90	TH-230	TH2300J40	9034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
90	TH-231	TH2310J40	9037	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
90	TH-232	TH2320J40	9040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
90	TH-233	TH2330J40	9043	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
90	TH-234	TH2340J40	9046	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
91	PA-229	PA2290J40	9125	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
91	PA-230	PA2300J40	9128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
91	PA-231	PA2310J40	9131	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
91	PA-232	PA2320J40	9134	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
91	PA-233	PA2330J40	9137	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -230	U02300J40	9213	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
92	U -231	U02310J40	9216	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
92	U -232	U02320J40	9219	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -233	U02330J40	9222	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -234	U02340J40	9225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -235	U02350J40	9228	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -236	U02360J40	9231	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -237	U02370J40	9234	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -238	U02380J40	9237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
93	NP-234	NP2340J40	9337	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
93	NP-235	NP2350J40	9340	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
93	NP-236	NP2360J40	9343	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
93	NP-237	NP2370J40	9346	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
93	NP-238	NP2380J40	9349	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
93	NP-239	NP2390J40	9352	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
94	PU-236	PU2360J40	9428	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-237	PU2370J40	9431	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
94	PU-238	PU2380J40	9434	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-239	PU2390J40	9437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-240	PU2400J40	9440	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-241	PU2410J40	9443	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-242	PU2420J40	9446	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-244	PU2440J40	9452	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-246	PU2460J40	9458	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
95	AM-240	AM2400J40	9540	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
95	AM-241	AM2410J40	9543	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-242	AM2420J40	9546	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-242-M	AM2421J40	9547	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-243	AM2430J40	9549	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-244	AM2440J40	9552	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
95	AM-244-M	AM2441J40	9553	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
96	CM-240	CM2400J40	9625	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
96	CM-241	CM2410J40	9628	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
96	CM-242	CM2420J40	9631	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-243	CM2430J40	9634	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

(Cont'd)

表 G.1 MVP library based on JENDL-4.0 with the free gas model (7/7)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
96	CM-244	CM2440J40	9637	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-245	CM2450J40	9640	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-246	CM2460J40	9643	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-247	CM2470J40	9646	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-248	CM2480J40	9649	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
96	CM-249	CM2490J40	9652	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
96	CM-250	CM2500J40	9655	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
97	BK-245	BK2450J40	9740	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
97	BK-246	BK2460J40	9743	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
97	BK-247	BK2470J40	9746	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
97	BK-248	BK2480J40	9749	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
97	BK-249	BK2490J40	9752	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
97	BK-250	BK2500J40	9755	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
98	CF-246	CF2460J40	9843	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
98	CF-248	CF2480J40	9849	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
98	CF-249	CF2490J40	9852	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
98	CF-250	CF2500J40	9855	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
98	CF-251	CF2510J40	9858	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
98	CF-252	CF2520J40	9861	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
98	CF-253	CF2530J40	9864	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
98	CF-254	CF2540J40	9867	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-251	ES2510J40	9911	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-252	ES2520J40	9912	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-253	ES2530J40	9913	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-254	ES2540J40	9914	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-254-M	ES2541J40	9915	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
99	ES-255	ES2550J40	9916	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
100	FM-255	FM2550J40	9936	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
psd	ZZ0500	ZZ0500J40	500	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
psd	ZZ0900	ZZ0900J40	1040	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
psd	ZZ0990	ZZ1110J40	1110	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
dmy	ZZ0000	ZZ0000DMY	4534	No	No	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	

psd : Pseudo fission product for burn-up calculation. These cross section were made based on the MOSRA library with 200-group structure.

dmy : Dummy cross section not effective to neutron transport calculation. This is an alternative cross section data in burnup calculation for the nuclides whose nuclear data is not evaluated and decay half-time is sufficiently short.

表 G.2 MVP library based on JENDL-4.0 with ENDF/B-VI.8 thermal scattering data

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH1 (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)	Pair nuclides
1	H - 1 in H2O	H0001HJ40	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1000.0	O00160J40 (free)
1	H - 1 in CH2	H0001PJ40	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	350.0	O00160J40 (free)
1	H - 1 in C6H6	H0001QJ40	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1000.0	C0000QJ40
1	H - 1 in ZrH	H0001ZJ40	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	ZR09[1-6]ZJ40
1	H - 1 in ICH4	H0001LJ40CH4	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	100.00		C0000LJ40CH4
1	H - 1 in sCH4	H0001SJ40CH4	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	22.00		C0000SJ40CH4
1	Ortho H - 1	H0001TJ40ORT	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	20.00		
1	Para H - 1	H0001TJ40PAR	125	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	20.00		
1	H - 2 in D2O	H0002DJ40	128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1000.0	O00160J40 (free)
1	Ortho H - 2	H0002TJ40ORT	128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	19.00		
1	Para H - 2	H0002TJ40PAR	128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	19.00		
4	Be- 9 Metal	BE009BJ40	425	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	
4	Be- 9 in BeO	BE009EJ40	425	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	O0016EJ40
6	Graphite	C0000CJ40	600	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	2000.0	
6	C -Nat. in C6H6	C0000QJ40	600	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1000.0	H0001QJ40
6	C -Nat. in ICH4	C0000LJ40CH4	600	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	100.00		H0001LJ40CH4
6	C -Nat. in sCH4	C0000SJ40CH4	600	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	22.00		H0001SJ40CH4
8	O - 16 in BeO	O0016EJ40	825	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	BE009EJ40
40	Zr- 90 in ZrH	ZR090ZJ40	4025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40
40	Zr- 91 in ZrH	ZR091ZJ40	4028	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40
40	Zr- 92 in ZrH	ZR092ZJ40	4031	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40

(Cont'd)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)	Pair nuclides
40	Zr- 93 in ZrH	ZR093ZJ40	4034	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40
40	Zr- 94 in ZrH	ZR094ZJ40	4037	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40
40	Zr- 95 in ZrH	ZR095ZJ40	4040	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40
40	Zr- 96 in ZrH	ZR096ZJ40	4043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	296.00	1200.0	H0001ZJ40

The data above thermal energy region are the same as those of the free gas model.

G.1.2 JENDL-4.0u1

JENDL-4.0u1 に基づく MVP ライブラリーで利用できる核種を表 G.3 に示す。表 G.3 は、自由ガスモデルに基づく断面積データである。この表における項目の意味は、表 G.1 と同じである。

表 G.3 MVP library based on JENDL-4.0u1 with the free gas model

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
1	H - 2	H00020J40U1	128	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
5	B - 10	B00100J40U1	525	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
19	K - 39	K00390J40U1	1925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
22	Ti- 48	TI0480J40U1	2231	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 52	CR0520J40U1	2431	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
24	CR- 53	CR0530J40U1	2434	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
28	Ni- 59	NI0590J40U1	2828	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
47	AG-109	AG1090J40U1	4731	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-127-M	TE1271J40U1	5247	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
52	TE-129-M	TE1291J40U1	5253	Yes	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
63	EU-156	EU1560J40U1	6340	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
79	AU-197	AU1970J40U1	7925	No	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
80	HG-196	HG1960J40U1	8025	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-202	HG2020J40U1	8043	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
80	HG-204	HG2040J40U1	8049	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
88	RA-224	RA2240J40U1	8828	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
88	RA-225	RA2250J40U1	8831	No	No	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	
92	U -233	U02330J40U1	9222	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -234	U02340J40U1	9225	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -235	U02350J40U1	9228	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
92	U -238	U02380J40U1	9237	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
93	NP-237	NP2370J40U1	9346	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-238	PU2380J40U1	9434	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-239	PU2390J40U1	9437	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
94	PU-242	PU2420J40U1	9446	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-241	AM2410J40U1	9543	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0
95	AM-243	AM2430J40U1	9549	Yes	Yes	Yes	1.00e-05	2.00e+07	293.15	3000.0

G.1.3 JENDL-4.0TZ

JENDL-4.0TZ は、JENDL-4.0 に基づいて基準温度 0 K で作成した MVP ライブラリーである。JENDL-4.0TZ で利用できる核種を表 G.4 に示す (“TZ” : Temperature = Zero Kelvin)。表 G.4 は、自由ガスモデルに基づく断面積データである。このライブラリに含まれる各断面積データファイルは、0 K の弾性散乱断面積を含んでおり、厳密共鳴散乱モデル (DOPPLER-SCATTERING (EXACT)) または DOPPLER-SCATTERING (EXACT+) で特別に使用する断面積データファイルである。厳密共鳴散乱モデルの詳細については、4.2.6 項に記載されている。

この表における項目の意味は、表 G.1 と同じである。

表 G.4 MVP library based on JENDL-4.0TZ with the free gas model

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	C.S.P. Tables	γ -prod. data	KERMA factor	ELOW (eV)	EH (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)
92	U-235	U02350J40TZ	9228	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
92	U-238	U02380J40TZ	9237	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
94	PU-238	PU2380J40TZ	9434	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
94	PU-239	PU2390J40TZ	9437	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
94	PU-240	PU2400J40TZ	9440	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
94	PU-241	PU2410J40TZ	9443	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
94	PU-242	PU2420J40TZ	9446	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0
95	AM-241	AM2410J40TZ	9543	Yes	Yes	No	1.00e-05	2.00e+07	0.00	3000.0

G.2 光原子反応ライブラリ

G.2.1 MCPLIB

MCNP 用光原子反応断面積データファイル MCPLIB[33, 34] を変換して作成した MVP 用光原子反応ライブラリで利用できる元素を表 G.5 に示す。

表における項目の意味は以下の通りである。

Z	Atomic number.
Element	Symbol of the element.
ID in MVP	Element ID used for the specification in MVP input data.
F.X. data	“Yes” denotes that fluorescence X-ray data are included. “No” denotes that fluorescence X-ray data are not included.
ELOW	Lowest energy of the cross section data (eV).
EH	Highest energy of the cross section data (eV).

表 G.5 MVP photon library converted from MCNP MCPLIB library (1/3)

Z	Element	ID in MVP	F.X. data	ELOW (eV)	EH (eV)
1	H	H0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
2	HE	HENPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
3	LI	LINPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
4	BE	BENPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
5	B	B0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
6	C	C0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
7	N	N0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
8	O	O0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
9	F	F0NPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
10	NE	NENPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
11	NA	NANPTNMC	No	1.00E+03	1.00E+08
12	MG	MGNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
13	AL	ALNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
14	SI	SINPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
15	P	P0NPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
16	S	S0NPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
17	CL	CLNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
18	AR	ARNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
19	K	K0NPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08

(Cont'd)

表 G.5 MVP photon library converted from MCNP MCPLIB library (2/3)

Z	Element	ID in MVP	F.X. data	ELOW (eV)	EHI (eV)
20	CA	CANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
21	SC	SCNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
22	TI	TINPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
23	V	VONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
24	CR	CRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
25	MN	MNNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
26	FE	FENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
27	CO	CONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
28	NI	NINPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
29	CU	CUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
30	ZN	ZNNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
31	GA	GANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
32	GE	GENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
33	AS	ASNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
34	SE	SENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
35	BR	BRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
36	KR	KRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
37	RB	RBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
38	SR	SRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
39	Y	YONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
40	ZR	ZRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
41	NB	NBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
42	MO	MONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
43	TC	TCNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
44	RU	RUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
45	RH	RHNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
46	PD	PDNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
47	AG	AGNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
48	CD	CDNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
49	IN	INNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
50	SN	SNNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
51	SB	SBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
52	TE	TENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
53	I	IONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
54	XE	XENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
55	CS	CSNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
56	BA	BANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
57	LA	LANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
58	CE	CENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
59	PR	PRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
60	ND	NDNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
61	PM	PMNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
62	SM	SMNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
63	EU	EUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
64	GD	GDNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
65	TB	TBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
66	DY	DYNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
67	HO	HONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
68	ER	ERNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
69	TM	TMNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
70	YB	YBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
71	LU	LUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
72	HF	HFNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
73	TA	TANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
74	W	WONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
75	RE	RENPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
76	OS	OSNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
77	IR	IRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
78	PT	PTNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
79	AU	AUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
80	HG	HGNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
81	TL	TLNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
82	PB	PBNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08

(Cont'd)

表 G.5 MVP photon library converted from MCNP MCPLIB library (3/3)

Z	Element	ID in MVP	F.X. data	ELOW (eV)	EH1 (eV)
83	BI	BINPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
84	PO	PONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
85	AT	ATNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
86	RN	RNNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
87	FR	FRNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
88	RA	RANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
89	AC	ACNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
90	TH	THNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
91	PA	PANPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
92	U	UONPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
93	NP	NPNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08
94	PU	PUNPTNMC	Yes	1.00E+03	1.00E+08

G.2.2 ENDF/B-VI.8

ENDF/B-VI.8 に基づく MVP 用光原子ライブラリで利用できる元素を表 G.6 に示す。表における項目に意味は、表 G.5 と同じである。原子番号が 94 より大きい元素に対する蛍光放出データは、暫定的に原子番号が 94(Pu) のデータを採用するようにしている。

表 G.6 MVP photon library based on ENDF/B-VI.8 (1/2)

Z	Element	ID in MVP	F.X. data	ELOW (eV)	EH1 (eV)
1	H	HONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
2	HE	HENPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
3	LI	LINPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
4	BE	BENPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
5	B	BONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
6	C	CONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
7	N	NONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
8	O	OONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
9	F	FONPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
10	NE	NENPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
11	NA	NANPTNB6	No	1.00E+03	8.00E+09
12	MG	MGNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
13	AL	ALNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
14	SI	SINPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
15	P	PONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
16	S	SONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
17	CL	CLNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
18	AR	ARNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
19	K	KONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
20	CA	CANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
21	SC	SCNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
22	TI	TINPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
23	V	VONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
24	CR	CRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
25	MN	MNNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
26	FE	FENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
27	CO	CONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
28	NI	NINPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
29	CU	CUNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
30	ZN	ZNNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.04E+09
31	GA	GANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.22E+09
32	GE	GENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
33	AS	ASNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
34	SE	SENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
35	BR	BRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
36	KR	KRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
37	RB	RBNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09

(Cont'd)

表 G.6 MVP photon library based on ENDF/B-VI.8 (2/2)

Z	Element	ID in MVP	F.X. data	ELOW (eV)	EHI (eV)
38	SR	SRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
39	Y	YONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
40	ZR	ZRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
41	NB	NBNPTNB6	Yes	1.00E+03	9.33E+09
42	MO	MONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
43	TC	TCNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
44	RU	RUNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
45	RH	RHNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
46	PD	PDNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
47	AG	AGNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
48	CD	CDNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
49	IN	INNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
50	SN	SNNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
51	SB	SBNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
52	TE	TENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
53	I	IONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
54	XE	XENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
55	CS	CSNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
56	BA	BANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
57	LA	LANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
58	CE	CENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
59	PR	PRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
60	ND	NDNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
61	PM	PMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
62	SM	SMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
63	EU	EUNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
64	GD	GDNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
65	TB	TBNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
66	DY	DYNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
67	HO	HONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
68	ER	ERNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
69	TM	TMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
70	YB	YBNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
71	LU	LUNPTNB6	Yes	1.00E+03	9.33E+09
72	HF	HFNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
73	TA	TANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
74	W	WONPTNB6	Yes	1.00E+03	9.66E+09
75	RE	RENPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
76	OS	OSNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
77	IR	IRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
78	PT	PTNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
79	AU	AUNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
80	HG	HGNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
81	TL	TLNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
82	PB	PBNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
83	BI	BINPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
84	PO	PONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
85	AT	ATNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
86	RN	RNNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
87	FR	FRNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
88	RA	RANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
89	AC	ACNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
90	TH	THNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
91	PA	PANPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
92	U	UONPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
93	NP	NPNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
94	PU	PUNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
95	AM	AMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
96	CM	CMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
97	BK	BKNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
98	CF	CFNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
99	ES	ESNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09
100	FM	FMNPTNB6	Yes	1.00E+03	8.00E+09

G.3 光核反応ライブラリ

MVP 用光核反応ライブラリで利用できる核種を表 G.7 に示す。表における項目の意味は以下の通りである。

Z	Atomic number.
Nuclide	Nuclide name.
ID in MVP	Nuclide ID used for the specification in MVP input data.
MAT	MAT number defined in the ENDF format.
ELOW	Lowest energy of the cross section data (eV).
EHI	Highest energy of the cross section data (eV).

表 G.7 MVP photonuclear library (1/5)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	ELOW (eV)	EHI (eV)
1	H-2	H0002JEPN	128	2.22E+06	1.40E+08
2	HE-3	HE003JEPN	225	5.49E+06	1.50E+08
3	LI-6	LI006JEPN	325	3.70E+06	1.40E+08
3	LI-7	LI007JEPN	328	2.47E+06	1.40E+08
4	BE-9	BE009CNP	409	1.00E+06	3.00E+07
4	BE-9	BE009JEPN	425	1.66E+06	1.40E+08
5	B-10	B0010JEPN	525	4.46E+06	1.40E+08
5	B-11	B0011JEPN	528	8.66E+06	1.40E+08
6	C-12	C0012JEPN	625	7.37E+06	1.40E+08
6	C-12	C0012KAPN	625	7.37E+06	1.40E+08
6	C-12	C0012LAPN	625	7.37E+06	1.50E+08
6	C-13	C0013KAPN	628	4.95E+06	1.40E+08
7	N-14	N0014JEPN	725	7.55E+06	1.50E+08
7	N-14	N0014KAPN	725	7.55E+06	1.40E+08
7	N-15	N0015KAPN	728	1.10E+07	1.40E+08
8	O-16	O0016JEPN	825	7.16E+06	1.50E+08
8	O-16	O0016KAPN	825	7.16E+06	1.40E+08
8	O-16	O0016LAPN	825	1.25E+07	1.50E+08
8	O-17	O0017KAPN	828	4.50E+06	1.40E+08
8	O-18	O0018KAPN	831	6.23E+06	1.40E+08
9	F-19	F0019JEPN	925	4.01E+06	1.40E+08
11	NA-23	NA023KAPN	1125	8.79E+06	1.40E+08
12	MG-24	MG024KAPN	1225	9.31E+06	1.40E+08
12	MG-25	MG025KAPN	1228	7.33E+06	1.40E+08
12	MG-26	MG026KAPN	1231	1.06E+07	1.40E+08
13	AL-27	AL027CNP	2131	5.00E+06	3.00E+07
13	AL-27	AL027KAPN	1325	8.50E+06	1.40E+08
13	AL-27	AL027LAPN	1325	8.50E+06	1.50E+08
14	SI-27	SI027KAPN	1422	7.46E+06	1.40E+08
14	SI-28	SI028KAPN	1425	9.98E+06	1.40E+08
14	SI-28	SI028LAPN	1425	9.98E+06	1.50E+08
14	SI-29	SI029JEPN	1428	8.47E+06	3.57E+08
14	SI-29	SI029KAPN	1428	8.47E+06	1.40E+08
14	SI-30	SI030JEPN	1431	1.06E+07	3.25E+08
14	SI-30	SI030KAPN	1431	1.06E+07	1.40E+08
15	P-31	P0031JEPN	1525	7.30E+06	1.40E+08
16	S-32	S0032KAPN	1625	6.95E+06	1.40E+08
16	S-33	S0033KAPN	1628	7.12E+06	1.40E+08
16	S-34	S0034KAPN	1631	7.92E+06	1.40E+08
16	S-36	S0036KAPN	1637	9.01E+06	1.40E+08

(Cont'd)

表 G.7 MVP photonuclear library (2/5)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	ELOW (eV)	EH1 (eV)
17	CL-35	CL035KAPN	1725	6.37E+06	1.40E+08
17	CL-37	CL037KAPN	1731	7.85E+06	1.40E+08
18	AR-36	AR036KAPN	1825	6.64E+06	1.40E+08
18	AR-38	AR038KAPN	1831	7.21E+06	1.40E+08
18	AR-40	AR040KAPN	1837	6.80E+06	1.40E+08
19	K-39	K0039KAPN	1925	6.38E+06	1.40E+08
19	K-40	K0040KAPN	1928	6.44E+06	1.40E+08
19	K-41	K0041KAPN	1931	6.22E+06	1.40E+08
20	CA-40	CA040JEPN	2025	7.04E+06	1.50E+08
20	CA-40	CA040KAPN	2025	9.00E+06	1.40E+08
20	CA-40	CA040LAPN	2025	7.04E+06	1.50E+08
20	CA-42	CA042KAPN	2031	6.26E+06	1.40E+08
20	CA-43	CA043KAPN	2034	7.59E+06	1.40E+08
20	CA-44	CA044KAPN	2037	8.86E+06	1.40E+08
20	CA-46	CA046KAPN	2043	1.04E+07	1.40E+08
20	CA-48	CA048KAPN	2049	9.94E+06	1.40E+08
22	TI-46	TI046KAPN	2225	8.00E+06	1.40E+08
22	TI-47	TI047KAPN	2228	8.88E+06	1.40E+08
22	TI-48	TI048KAPN	2231	9.44E+06	1.40E+08
22	TI-49	TI049KAPN	2234	8.14E+06	1.40E+08
22	TI-50	TI050KAPN	2237	1.07E+07	1.40E+08
23	V-51	V0051CNPN	2231	5.00E+06	3.00E+07
23	V-51	V0051JEPN	2325	1.11E+07	4.94E+08
24	CR-50	CR050CNPN	2241	1.00E+06	3.00E+07
24	CR-50	CR050KAPN	2425	8.56E+06	1.40E+08
24	CR-52	CR052CNPN	2242	1.00E+06	3.00E+07
24	CR-52	CR052KAPN	2431	9.35E+06	1.40E+08
24	CR-53	CR053CNPN	2243	1.00E+06	3.00E+07
24	CR-53	CR053KAPN	2434	7.94E+06	1.40E+08
24	CR-54	CR054CNPN	2244	1.00E+06	3.00E+07
24	CR-54	CR054KAPN	2437	7.93E+06	1.40E+08
25	MN-55	MN055KAPN	2525	7.93E+06	1.40E+08
26	FE-54	FE054CNPN	2261	5.00E+06	3.00E+07
26	FE-54	FE054JEPN	2625	1.31E+07	5.53E+08
26	FE-54	FE054KAPN	2625	8.42E+06	1.40E+08
26	FE-56	FE056CNPN	2262	5.00E+06	3.00E+07
26	FE-56	FE056JEPN	2628	1.12E+07	5.05E+08
26	FE-56	FE056KAPN	2631	7.61E+06	1.40E+08
26	FE-56	FE056LAPN	2631	7.61E+06	1.50E+08
26	FE-57	FE057CNPN	2263	5.00E+06	3.00E+07
26	FE-57	FE057KAPN	2634	7.32E+06	1.40E+08
26	FE-58	FE058CNPN	2264	5.00E+06	3.00E+07
26	FE-58	FE058KAPN	2637	7.65E+06	1.40E+08
27	CO-59	CO059KAPN	2725	6.94E+06	1.40E+08
28	NI-58	NI058JEPN	2825	1.22E+07	5.40E+08
28	NI-58	NI058KAPN	2825	6.40E+06	1.40E+08
28	NI-60	NI060JEPN	2831	1.14E+07	1.50E+08
28	NI-60	NI060KAPN	2831	6.29E+06	1.40E+08
28	NI-61	NI061KAPN	2834	6.47E+06	1.40E+08
28	NI-62	NI062KAPN	2837	7.02E+06	1.40E+08
28	NI-64	NI064KAPN	2843	8.12E+06	1.40E+08
29	CU-63	CU063CNPN	2291	5.00E+06	3.00E+07
29	CU-63	CU063JEPN	2925	1.10E+07	4.67E+08
29	CU-63	CU063KAPN	2925	5.78E+06	1.40E+08
29	CU-63	CU063LAPN	2925	5.78E+06	1.50E+08
29	CU-65	CU065CNPN	2292	5.00E+06	3.00E+07
29	CU-65	CU065JEPN	2928	9.91E+06	4.30E+08
29	CU-65	CU065KAPN	2931	6.79E+06	1.40E+08
30	ZN-64	ZN064JEPN	3025	1.19E+07	4.85E+08
30	ZN-64	ZN064KAPN	3025	3.96E+06	1.40E+08
30	ZN-66	ZN066KAPN	3031	4.58E+06	1.40E+08
30	ZN-67	ZN067KAPN	3034	4.79E+06	1.40E+08
30	ZN-68	ZN068KAPN	3037	5.33E+06	1.40E+08

(Cont'd)

表 G.7 MVP photonuclear library (3/5)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	ELOW (eV)	EH1 (eV)
30	ZN-70	ZN070KAPN	3043	5.96E+06	1.40E+08
32	GE-70	GE070KAPN	3225	4.09E+06	1.40E+08
32	GE-72	GE072KAPN	3231	5.00E+06	1.40E+08
32	GE-73	GE073KAPN	3234	5.30E+06	1.40E+08
32	GE-74	GE074KAPN	3237	6.29E+06	1.40E+08
32	GE-76	GE076KAPN	3243	7.51E+06	1.40E+08
38	SR-84	SR084KAPN	3825	5.17E+06	1.40E+08
38	SR-86	SR086KAPN	3831	6.35E+06	1.40E+08
38	SR-87	SR087KAPN	3834	7.32E+06	1.40E+08
38	SR-88	SR088KAPN	3837	7.91E+06	1.40E+08
38	SR-90	SR090KAPN	3843	5.11E+06	1.40E+08
40	ZR-90	ZR090CNPN	2401	5.00E+06	3.00E+07
40	ZR-90	ZR090JEPN	4025	1.20E+07	3.93E+08
40	ZR-90	ZR090KAPN	4025	6.68E+06	1.40E+08
40	ZR-91	ZR091CNPN	2402	5.00E+06	3.00E+07
40	ZR-91	ZR091KAPN	4028	5.44E+06	1.40E+08
40	ZR-92	ZR092CNPN	2403	2.97E+06	3.00E+07
40	ZR-92	ZR092KAPN	4031	2.97E+06	1.40E+08
40	ZR-93	ZR093KAPN	4034	3.33E+06	1.40E+08
40	ZR-94	ZR094CNPN	2404	3.00E+06	3.00E+07
40	ZR-94	ZR094KAPN	4037	3.75E+06	1.40E+08
40	ZR-96	ZR096CNPN	2405	4.94E+06	3.00E+07
40	ZR-96	ZR096KAPN	4043	4.94E+06	1.40E+08
41	NB-93	NB093JEPN	4125	8.83E+06	3.79E+08
41	NB-93	NB093KAPN	4125	1.93E+06	1.40E+08
41	NB-94	NB094KAPN	4128	2.30E+06	1.40E+08
42	MO-100	MO100KAPN	4249	3.17E+06	1.30E+08
42	MO-92	MO092KAPN	4225	5.61E+06	1.40E+08
42	MO-94	MO094KAPN	4231	2.07E+06	1.40E+08
42	MO-95	MO095KAPN	4234	2.24E+06	1.40E+08
42	MO-96	MO096KAPN	4237	2.76E+06	1.40E+08
42	MO-97	MO097KAPN	4240	2.85E+06	1.40E+08
42	MO-98	MO098KAPN	4243	3.27E+06	1.35E+08
46	PD-102	PD102KAPN	4625	2.12E+06	1.40E+08
46	PD-104	PD104KAPN	4631	2.60E+06	1.40E+08
46	PD-105	PD105KAPN	4634	2.89E+06	1.40E+08
46	PD-106	PD106KAPN	4637	3.23E+06	1.40E+08
46	PD-107	PD107KAPN	4640	3.54E+06	1.40E+08
46	PD-108	PD108KAPN	4643	3.85E+06	1.40E+08
46	PD-110	PD110KAPN	4649	4.44E+06	1.40E+08
47	AG-107	AG107KAPN	4725	2.81E+06	1.40E+08
47	AG-108	AG108KAPN	4728	3.08E+06	1.40E+08
47	AG-109	AG109KAPN	4731	3.30E+06	1.40E+08
48	CD-106	CD106KAPN	4825	1.64E+06	1.40E+08
48	CD-108	CD108KAPN	4831	2.28E+06	1.40E+08
48	CD-110	CD110KAPN	4837	2.87E+06	1.40E+08
48	CD-111	CD111KAPN	4840	3.30E+06	1.40E+08
48	CD-112	CD112KAPN	4843	3.48E+06	1.40E+08
48	CD-113	CD113KAPN	4846	3.87E+06	1.40E+08
48	CD-114	CD114KAPN	4849	4.10E+06	1.40E+08
48	CD-116	CD116KAPN	4855	4.81E+06	1.40E+08
50	SN-112	SN112KAPN	5025	1.83E+06	1.40E+08
50	SN-114	SN114KAPN	5031	2.63E+06	1.40E+08
50	SN-115	SN115KAPN	5034	3.20E+06	1.40E+08
50	SN-116	SN116KAPN	5037	3.37E+06	1.15E+08
50	SN-117	SN117KAPN	5040	3.77E+06	1.10E+08
50	SN-118	SN118KAPN	5043	4.06E+06	1.15E+08
50	SN-119	SN119KAPN	5046	4.40E+06	1.10E+08
50	SN-120	SN120KAPN	5049	4.81E+06	1.10E+08
50	SN-122	SN122KAPN	5055	5.66E+06	1.40E+08
50	SN-124	SN124KAPN	5061	6.69E+06	1.30E+08
51	SB-121	SB121KAPN	5125	3.07E+06	1.40E+08
51	SB-123	SB123KAPN	5131	3.92E+06	1.40E+08

(Cont'd)

表 G.7 MVP photonuclear library (4/5)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	ELOW (eV)	EH1 (eV)
52	TE-120	TE120KAPN	5225	2.85E+06	1.40E+08
52	TE-122	TE122KAPN	5231	1.08E+06	1.40E+08
52	TE-123	TE123KAPN	5234	1.53E+06	1.40E+08
52	TE-124	TE124KAPN	5237	1.85E+06	1.15E+08
52	TE-125	TE125KAPN	5240	2.25E+06	1.40E+08
52	TE-126	TE126KAPN	5243	2.55E+06	1.20E+08
52	TE-128	TE128KAPN	5249	3.18E+06	1.20E+08
52	TE-130	TE130KAPN	5255	3.75E+06	1.30E+08
53	I-127	I0127KAPN	5325	2.18E+06	1.40E+08
53	I-129	I0129KAPN	5331	2.67E+06	1.40E+08
55	CS-133	CS133KAPN	5525	2.00E+06	1.40E+08
55	CS-135	CS135KAPN	5531	2.63E+06	1.40E+08
55	CS-137	CS137KAPN	5537	3.09E+06	1.40E+08
59	PR-141	PR141KAPN	5925	3.00E+06	1.40E+08
62	SM-144	SM144KAPN	6225	8.00E+06	1.40E+08
62	SM-147	SM147KAPN	6234	6.00E+06	1.40E+08
62	SM-148	SM148KAPN	6237	8.00E+06	1.40E+08
62	SM-149	SM149KAPN	6240	5.50E+06	1.40E+08
62	SM-150	SM150KAPN	6243	7.50E+06	1.40E+08
62	SM-151	SM151KAPN	6246	5.50E+06	1.40E+08
62	SM-152	SM152KAPN	6249	8.00E+06	1.40E+08
62	SM-154	SM154KAPN	6255	1.20E+06	1.40E+08
64	GD-152	GD152JEPN	6425	8.59E+06	1.50E+08
64	GD-154	GD152JEPN	6431	8.89E+06	1.50E+08
64	GD-155	GD155JEPN	6434	6.44E+06	1.50E+08
64	GD-156	GD156JEPN	6437	8.54E+06	1.50E+08
64	GD-157	GD157JEPN	6440	6.36E+06	1.50E+08
64	GD-158	GD158JEPN	6443	7.94E+06	1.50E+08
64	GD-160	GD160JEPN	6449	7.45E+06	1.50E+08
65	TB-158	TB158KAPN	6522	1.57E+05	1.40E+08
65	TB-159	TB159KAPN	6525	1.38E+05	1.40E+08
67	HO-165	HO165KAPN	6725	4.00E+06	1.40E+08
73	TA-181	TA181JEPN	7328	7.58E+06	1.60E+08
73	TA-181	TA181LAPN	7328	7.50E+06	1.50E+08
74	W-180	W0180CNPN	2741	5.00E+06	3.00E+07
74	W-182	W0182CNPN	2742	5.00E+06	3.00E+07
74	W-182	W0182JEPN	7431	8.20E+06	1.40E+08
74	W-183	W0183CNPN	2743	4.00E+06	3.00E+07
74	W-184	W0184CNPN	2744	5.00E+06	3.00E+07
74	W-184	W0184JEPN	7437	7.41E+06	1.40E+08
74	W-184	W0184LAPN	7437	7.50E+06	1.50E+08
74	W-186	W0186CNPN	2746	5.00E+06	3.00E+07
74	W-186	W0186JEPN	7443	7.20E+06	1.40E+08
79	AU-197	AU197JEPN	7925	5.78E+06	1.40E+08
79	AU-197	AU197KAPN	7925	8.00E+06	1.40E+08
80	HG-196	HG196JEPN	8025	8.85E+06	1.50E+08
80	HG-198	HG198JEPN	8031	8.49E+06	1.50E+08
80	HG-199	HG199JEPN	8034	6.66E+06	1.50E+08
80	HG-200	HG200JEPN	8037	8.03E+06	1.50E+08
80	HG-201	HG201JEPN	8040	6.23E+06	1.50E+08
80	HG-202	HG202JEPN	8043	7.75E+06	1.50E+08
80	HG-204	HG204JEPN	8049	7.50E+06	1.50E+08
82	PB-206	PB206JEPN	8225	8.09E+06	1.40E+08
82	PB-206	PB206LAPN	8231	8.00E+06	1.50E+08
82	PB-207	PB207JEPN	8228	6.74E+06	1.40E+08
82	PB-207	PB207LAPN	8234	6.50E+06	1.50E+08
82	PB-208	PB208JEPN	8231	7.37E+06	1.40E+08
82	PB-208	PB208LAPN	8237	7.50E+06	1.50E+08
83	BI-209	BI209CNPN	2831	1.00E+06	3.00E+07
83	BI-209	BI209JEPN	8325	7.40E+06	1.50E+08
83	BI-209	BI209KAPN	8325	7.00E+06	1.40E+08
90	TH-232	TH232BOPN	9032	4.80E+06	2.00E+07
92	U-233	U0233BOPN	9233	4.80E+06	2.00E+07

(Cont'd)

表 G.7 MVP photonuclear library (5/5)

Z	Nuclide	ID in MVP	MAT	ELOW (eV)	EHI (eV)
92	U-234	U0234BOPN	9234	5.06E+06	2.00E+07
92	U-235	U0235BOPN	9235	3.25E+06	2.00E+07
92	U-235	U0235JEPN	9228	5.30E+06	1.40E+08
92	U-236	U0236BOPN	9236	5.90E+06	2.00E+07
92	U-238	U0238BOPN	9238	3.42E+06	2.00E+07
92	U-238	U0238JEPN	9237	5.00E+06	1.40E+08
93	NP-237	NP237JEPN	9346	5.30E+06	1.40E+08
94	PU-238	PU238BOPN	9438	5.00E+06	2.00E+07
94	PU-239	PU239BOPN	9439	5.34E+06	2.00E+07
94	PU-241	PU241BOPN	9441	4.00E+06	2.00E+07

G.4 電子ライブラリ

MVP用電子ライブラリで利用できる元素を表 G.8 に示す。MVP用電子ライブラリは MCNP 用電子断面積データファイル EL1[34] から作成されたものである。

表における項目の意味は以下の通りである。

Z	Atomic number.
Element	Symbol of the element.
ID in MVP	Element ID used for the specification in MVP input data.
ELOW	Lowest energy of the cross section data (eV).
EHI	Highest energy of the cross section data (eV).

表 G.8 MVP electron library (1/3)

Z	Element	ID in MVP	ELOW (eV)	EHI (eV)
1	H	H0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
2	HE	HENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
3	LI	L1NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
4	BE	BENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
5	B	B0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
6	C	C0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
7	N	N0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
8	O	O0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
9	F	F0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
10	NE	NENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
11	NA	NANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
12	MG	MGNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
13	AL	ALNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
14	SI	SINELEL1	1.00E+03	1.00E+08
15	P	P0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
16	S	S0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
17	CL	CLNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
18	AR	ARNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
19	K	K0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
20	CA	CANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
21	SC	SCNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
22	TI	TINELEL1	1.00E+03	1.00E+08
23	V	V0NELEL1	1.00E+03	1.00E+08
24	CR	CRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08

(Cont'd)

表 G.8 MVP electron library (2/3)

Z	Element	ID in MVP	ELOW (eV)	EHI (eV)
25	MN	MNNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
26	FE	FENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
27	CO	CONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
28	NI	NINELEL1	1.00E+03	1.00E+08
29	CU	CUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
30	ZN	ZNNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
31	GA	GANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
32	GE	GENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
33	AS	ASNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
34	SE	SENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
35	BR	BRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
36	KR	KRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
37	RB	RBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
38	SR	SRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
39	Y	YONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
40	ZR	ZRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
41	NB	NBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
42	MO	MONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
43	TC	TCNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
44	RU	RUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
45	RH	RHNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
46	PD	PDNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
47	AG	AGNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
48	CD	CDNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
49	IN	INNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
50	SN	SNNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
51	SB	SBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
52	TE	TENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
53	I	IONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
54	XE	XENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
55	CS	CSNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
56	BA	BANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
57	LA	LANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
58	CE	CENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
59	PR	PRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
60	ND	NDNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
61	PM	PMNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
62	SM	SMNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
63	EU	EUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
64	GD	GDNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
65	TB	TBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
66	DY	DYNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
67	HO	HONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
68	ER	ERNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
69	TM	TMNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
70	YB	YBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
71	LU	LUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
72	HF	HFNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
73	TA	TANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
74	W	WONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
75	RE	RENELEL1	1.00E+03	1.00E+08
76	OS	OSNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
77	IR	IRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
78	PT	PTNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
79	AU	AUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
80	HG	HGNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
81	TL	TLNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
82	PB	PBNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
83	BI	BINELEL1	1.00E+03	1.00E+08
84	PO	PONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
85	AT	ATNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
86	RN	RNNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
87	FR	FRNELEL1	1.00E+03	1.00E+08

(Cont'd)

表 G.8 MVP electron library (3/3)

Z	Element	ID in MVP	ELow (eV)	EHI (eV)
88	RA	RANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
89	AC	ACNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
90	TH	THNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
91	PA	PANELEL1	1.00E+03	1.00E+08
92	U	UONELEL1	1.00E+03	1.00E+08
93	NP	NPNELEL1	1.00E+03	1.00E+08
94	PU	PUNELEL1	1.00E+03	1.00E+08

G.5 ドジメトリ・ライブラリ

MVP ドジメトリライブラリは JENDL ドジメトリファイルに基づく MCNP 用ライブラリ FSXDOS-J3 library[66] と同じである。MVP ドジメトリライブラリで利用できる核種を表 G.9 に示す。

表における項目の意味は以下の通りである。

ZAID	Nuclide identifier used in the MCNP code. The form of a ZAID is ZZZAAA.nnX, where ZZZ is the atomic number, AAA is the atomic mass number, nn is the unique evaluation identifier and X is the class of data.
MT	MT number defined in the ENDF format.
Target	Target nuclide.
Reaction	Type of the nuclear reaction.
Product	Product from the nuclear reaction.
EMIN	Lowest energy of the cross section data (MeV).
EMAX	Highest energy of the cross section data (MeV).
NES	Number of energy points at which cross sections are given.
MAT	MAT number defined in the ENDF format.

表 G.9 MVP dosimetry library (1/2)

ZAID	MT	Target	Reaction	Product	EMIN (MeV)	EMAX (MeV)	NES	MAT
3006.03Y	105	Li-6	(n,t)	He-4	1.00E-11	2.00E+01	403	331
3006.03Y	207	Li-6	a production		1.00E-11	2.00E+01	422	331
3007.03Y	205	Li-7	t production		2.82E+00	2.00E+01	18	332
5010.03Y	107	B-10	(n,a)	Li-7	1.00E-11	2.00E+01	440	531
5010.03Y	207	B-10	a production		1.00E-11	2.00E+01	423	531
9019.03Y	16	F-19	(n,2n)	F-18	1.10E+01	2.00E+01	19	931
11023.03Y	16	Na-23	(n,2n)	Na-22	1.30E+01	2.00E+01	13	1131
11023.03Y	102	Na-23	(n,g)	Na-24	1.00E-11	2.00E+01	1228	1131
12024.03Y	103	Mg-24	(n,p)	Na-24	4.93E+00	2.00E+01	41	1231
13027.03Y	103	Al-27	(n,p)	Mg-27	1.90E+00	2.00E+01	38	1331
13027.03Y	107	Al-27	(n,a)	Na-24	3.25E+00	2.00E+01	72	1331
15031.03Y	103	P-31	(n,p)	Si-31	7.32E-01	2.00E+01	22	1531

(Cont'd)

表 G.9 MVP dosimetry library (2/2)

ZAID	MT	Target	Reaction	Product	EMIN (MeV)	EMAX (MeV)	NES	MAT
16032.03Y	103	S-32	(n,p)	P-32	9.57E-01	2.00E+01	31	1631
21045.03Y	102	Sc-45	(n,g)	Sc-46	1.00E-11	2.00E+01	9572	2131
22000.03Y	210	Ti-nat	(n,x)	Sc-46	1.62E+00	2.00E+01	32	2230
22000.03Y	211	Ti-nat	(n,x)	Sc-47	1.00E-11	2.00E+01	38	2230
22000.03Y	212	Ti-nat	(n,x)	Sc-48	3.28E+00	2.00E+01	27	2230
22046.03Y	103	Ti-46	(n,p)	Sc-46	1.62E+00	2.00E+01	31	2231
22047.03Y	28	Ti-47	(n,np)	Sc-46	1.07E+01	2.00E+01	13	2232
22047.03Y	103	Ti-47	(n,p)	Sc-47	1.00E-11	2.00E+01	30	2232
22048.03Y	28	Ti-48	(n,np)	Sc-47	1.17E+01	2.00E+01	17	2233
22048.03Y	103	Ti-48	(n,p)	Sc-48	3.28E+00	2.00E+01	26	2233
22049.03Y	28	Ti-49	(n,np)	Sc-48	1.25E+00	2.00E+01	11	2234
25055.03Y	16	Mn-55	(n,2n)	Mn-54	1.04E+01	2.00E+01	12	2531
25055.03Y	102	Mn-55	(n,g)	Mn-56	1.00E-11	2.00E+01	7355	2531
26054.03Y	103	Fe-54	(n,p)	Mn-54	1.00E-11	2.00E+01	35	2631
26056.03Y	103	Fe-56	(n,p)	Mn-56	2.97E+00	2.00E+01	32	2632
26057.03Y	28	Fe-57	(n,np)	Mn-56	1.08E+01	2.00E+01	10	2633
26058.03Y	102	Fe-58	(n,g)	Fe-59	1.00E-11	2.00E+01	4731	2634
27059.03Y	16	Co-59	(n,2n)	Co-58	1.06E+01	2.00E+01	14	2731
27059.03Y	102	Co-59	(n,g)	Co-60	1.00E-11	2.00E+01	10701	2731
27059.03Y	107	Co-59	(n,a)	Mn-56	1.00E-11	2.00E+01	16	2731
28058.03Y	16	Ni-58	(n,2n)	Ni-57	1.24E+01	2.00E+01	16	2831
28058.03Y	103	Ni-58	(n,p)	Co-58	1.00E-11	2.00E+01	35	2831
28060.03Y	103	Ni-60	(n,p)	Co-60	2.08E+00	2.00E+01	29	2832
29063.03Y	16	Cu-63	(n,2n)	Cu-62	1.10E+01	2.00E+01	10	2931
29063.03Y	102	Cu-63	(n,g)	Cu-64	1.00E-11	2.00E+01	15081	2931
29063.03Y	107	Cu-63	(n,a)	Co-60	1.00E-11	2.00E+01	23	2931
29065.03Y	16	Cu-65	(n,2n)	Cu-64	1.01E+01	2.00E+01	11	2932
30064.03Y	103	Zn-64	(n,p)	Cu-64	1.00E-11	2.00E+01	25	3031
40090.03Y	16	Zr-90	(n,2n)	Zr-89	1.21E+01	2.00E+01	10	4031
41093.03Y	16	Nb-93	(n,2n)	Nb-92m	9.05E+00	2.00E+01	12	4131
41093.03Y	51	Nb-93	(n,n')	Nb-93m	3.07E-02	2.00E+01	58	4131
45103.03Y	51	Rh-103	(n,n')	Rh-103m	4.00E-02	2.00E+01	70	4531
49115.03Y	51	In-115	(n,n')	In-115m	3.20E-01	2.00E+01	388	4931
49115.03Y	102	In-115	(n,g)	In-116m	1.00E-11	2.00E+01	13392	4931
53127.03Y	16	I-127	(n,2n)	I-126	9.22E+00	2.00E+01	16	5331
63151.03Y	102	Eu-151	(n,g)	Eu-152	1.00E-11	2.00E+01	4016	6331
73181.03Y	102	Ta-181	(n,g)	Ta-182	1.00E-11	2.00E+01	22138	7331
74186.03Y	102	W-186	(n,g)	W-187	1.00E-11	2.00E+01	8865	7431
79197.03Y	16	Au-197	(n,2n)	Au-196	8.11E+00	2.00E+01	14	7931
79197.03Y	102	Au-197	(n,g)	Au-198	1.00E-11	2.00E+01	10941	7931
80199.03Y	57	Hg-199	(n,n')	Hg-199m	5.34E-01	2.00E+01	49	8031
90232.03Y	18	Th-232	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	92	9031
90232.03Y	102	Th-232	(n,g)	Th-233	1.00E-11	2.00E+01	18519	9031
92235.03Y	18	U-235	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	3987	9231
92238.03Y	18	U-238	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	3330	9232
92238.03Y	102	U-238	(n,g)	U-239	1.00E-11	2.00E+01	32318	9232
93237.03Y	18	Np-237	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	6230	9331
94239.03Y	18	Pu-239	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	9832	9431
95241.03Y	18	Am-241	fission	-	1.00E-11	2.00E+01	7328	9531

H. MVP ライブラリで定義されている核反応

H.1 中性子反応

MVP 中性子ライブラリで定義されている反応 ID を表 H.1 に示す。ID は、ENDF 形式の MT 番号と同じであり、割り当てられていないものを含めて 120 までが確保されている。MTPAR は、対応となる反応 ID である。

表 H.1 Neutron reactions in MVP neutron libraries

ID/MT	MTPAR	comments	ID/MT	MTPAR	comments	ID/MT	MTPAR	comments
1	0	total	41	-1		81	81	(n,n')31th ex.
2	2	elastic	42	-1		82	82	(n,n')32th ex.
3	0	nonelastic	43	-1		83	83	(n,n')33th ex.
4	0	total inel.	44	-1		84	84	(n,n')34th ex.
5	-1	—	45	-1		85	85	(n,n')35th ex.
6	46	(n,2n) 1st ex.	46	46	(n,2n) 1th ex.	86	86	(n,n')36th ex.
7	47	(n,2n) 2nd ex.	47	47	(n,2n) 2th ex.	87	87	(n,n')37th ex.
8	48	(n,2n) 3rd ex.	48	48	(n,2n) 3th ex.	88	88	(n,n')38th ex.
9	49	(n,2n) 4th ex.	49	49	(n,2n) 4th ex.	89	89	(n,n')39th ex.
10	-1	—	50	-1		90	90	(n,n')40th ex.
11	-1	—	51	51	(n,n') 1st ex.	91	91	(n,n') continuum
12	-1	—	52	52	(n,n') 2nd ex.	92	92	thermal inela.
13	-1	—	53	53	(n,n') 3rd ex.	93	93	thermal elastic
14	-1	—	54	54	(n,n') 4th ex.	94	0	total (n,2n)
15	-1	—	55	55	(n,n') 5th ex.	95	0	total (n,3n)
16	16	(n,2n) direct	56	56	(n,n') 6th ex.	96	0	total (n,4n)
17	17	(n,3n)	57	57	(n,n') 7th ex.	97	0	total threshold (n,Nn')
18	18	total fission	58	58	(n,n') 8th ex.	98	18	delayed neutron
19	-1	(n,f)	59	59	(n,n') 9th ex.	99	-1	
20	-1	(n,n'f)	60	60	(n,n')10th ex.	100	0	kerma factor
21	-1	(n,2n'f)	61	61	(n,n')11th ex.	101	0	capture
22	22	(n,n'a)	62	62	(n,n')12th ex.	102	0	(n,g)
23	23	(n,n'3a)	63	63	(n,n')13th ex.	103	0	(n,p)
24	24	(n,2na)	64	64	(n,n')14th ex.	104	0	(n,d)
25	25	(n,3na)	65	65	(n,n')15th ex.	105	0	(n,t)
26	-1	(n,2n)isomeric	66	66	(n,n')16th ex.	106	0	(n,he-3)
27	-1	absorption	67	67	(n,n')17th ex.	107	0	(n,a)
28	28	(n,n'p)	68	68	(n,n')18th ex.	108	0	(n,2a)
29	29	(n,n'2a)	69	69	(n,n')19th ex.	109	0	(n,3a)
30	30	(n,2n2a)	70	70	(n,n')20th ex.	110	-1	—
31	-1		71	71	(n,n')21th ex.	111	0	(n,2p)
32	32	(n,n'd)	72	72	(n,n')22th ex.	112	0	(n,pa)
33	33	(n,n't)	73	73	(n,n')23th ex.	113	0	(n,t2a)
34	34	(n,n'he 3)	74	74	(n,n')24th ex.	114	0	(n,d2a)
35	35	(n,n'd2a)	75	75	(n,n')25th ex.	115	0	gamma data
36	36	(n,n't2a)	76	76	(n,n')26th ex.	116	-1	—
37	37	(n,4n)	77	77	(n,n')27th ex.	117	-1	—
38	-1	(n,3nf)	78	78	(n,n')28th ex.	118	-1	—
39	-1		79	79	(n,n')29th ex.	119	-1	—
40	-1		80	80	(n,n')30th ex.	120	-1	—

(n,2n) ⇒ MT=6,7,8,9,16,24,30 : (n,3n) ⇒ MT=17,25 : (n,4n) ⇒ MT=37 : (n,inelastic) ⇒ not MT=4, but cross section emitting 1 neutron except elatic capture ⇒ MT=102 – 116 not including MT=117

H.2 光原子反応

MVP 光原子反応ライブラリで定義されている反応 ID を表 H.2 に示す。ID は、割り当てられていないものを含めて 60 までが確保されている。

表 H.2 Photoatomic reactions in MVP photon libraries

ID	MT	comments
1	501	total photon interaction
2	502	photon coherent scattering
3	0	incoherent scattering by Klein-Nishina
4	504	photon incoherent scattering
5	515	pair production, electron field
6	516	pair production
7	517	pair production, nuclear field
8	522	photoelectric absorption
9 – 52	0	(not assigned)
53	0	averaged heating number
54 – 60	0	(not assigned)

H.3 光核反応

MVP 光核反応ライブラリで定義されている反応 ID を表 H.3 に示す。ID は、割り当てられていないものを含めて 135 までが確保されている。

表 H.3 Photonuclear reactions in MVP photonuclear libraries

ID	MT	comments	ID	MT	comments	ID	MT	comments
1	0	total	51	51	(g,n') 1th ex.	101	-1	
2	-1		52	52	(g,n') 2th ex.	102	0	(g,g')
3	0	total reaction	53	53	(g,n') 3th ex.	103	103	(g,p)
4	4	total (g,ln)	54	54	(g,n') 4th ex.	104	104	(g,d)
5	5	anything	55	55	(g,n') 5th ex.	105	105	(g,t)
6	-1		56	56	(g,n') 6th ex.	106	106	(g,He-3)
7	-1		57	57	(g,n') 7th ex.	107	107	(g,a)
8	-1		58	58	(g,n') 8th ex.	108	108	(g,2a)
9	-1		59	59	(g,n') 9th ex.	109	109	(g,3a)
10	-1		60	60	(g,n')10th ex.	110	-1	
11	-1		61	61	(g,n')11th ex.	111	111	(g,2p)
12	-1		62	62	(g,n')12th ex.	112	-1	
13	-1		63	63	(g,n')13th ex.	113	-1	
14	-1		64	64	(g,n')14th ex.	114	-1	
15	-1		65	65	(g,n')15th ex.	115	-1	
16	16	(g,2n)	66	66	(g,n')16th ex.	116	-1	
17	17	(g,3n)	67	67	(g,n')17th ex.	117	-1	
18	18	total fission	68	68	(g,n')18th ex.	118	201	total neutron
19	-1		69	69	(g,n')19th ex.	119	202	total gamma-ray
20	-1		70	70	(g,n')20th ex.	120	203	total proton
21	-1		71	71	(g,n')21th ex.	121	204	total deuteron
22	22	(g,na)	72	72	(g,n')22th ex.	122	205	total triton
23	-1		73	73	(g,n')23th ex.	123	206	total He3
24	-1		74	74	(g,n')24th ex.	124	207	total alpha
25	-1		75	75	(g,n')25th ex.	125	208	total pi+
26	-1		76	76	(g,n')26th ex.	126	209	total pi0
27	-1		77	77	(g,n')27th ex.	127	210	total pi-
28	28	(g,np)	78	78	(g,n')28th ex.	128	211	total mu+
29	-1		79	79	(g,n')29th ex.	129	212	total mu-
30	-1		80	80	(g,n')30th ex.	130	213	total k+
31	-1		81	81	(g,n')31th ex.	131	214	total k0(long)
32	-1		82	82	(g,n')32th ex.	132	215	total k0(short)
33	-1		83	83	(g,n')33th ex.	133	216	total k-
34	-1		84	84	(g,n')34th ex.	134	217	total anti-proton
35	-1		85	85	(g,n')35th ex.	135	218	total anti-neutron
36	-1		86	86	(g,n')36th ex.			
37	-1		87	87	(g,n')37th ex.			
38	-1		88	88	(g,n')38th ex.			
39	-1		89	89	(g,n')39th ex.			
40	-1		90	90	(g,n')40th ex.			
41	-1		91	91	(g,n')continuum			
42	-1		92	-1				
43	-1		93	600	(g,p')ground			
44	-1		94	650	(g,d')ground			
45	-1		95	700	(g,t')ground			
46	-1		96	750	(g,He-3')ground			
47	-1		97	800	(g,a')ground			
48	-1		98	-1	delayed neutron			
49	-1		99	-1				
50	50	(g,n')ground	100	-1	KERMA			

索引

■ Symbols ■

#CELL, 159, 191
#CIRCLE – サンプルング関数, 222
#COSINE – サンプルング関数, 219
#DISC – サンプルング関数, 222
#EVAPORATION – サンプルング関数, 220
#FEYNMAN – サンプルング関数, 225
#FISSION – サンプルング関数, 221
#FISSIONFILE – サンプルング関数, 223
#GAUSS – サンプルング関数, 219
#ISOTROPIC – サンプルング関数, 223
#MAXWELL – サンプルング関数, 220
#NEWAXIS – データ加工指示関数, 230
#NORMALIZE – データ加工指示関数, 231
#POWER – サンプルング関数, 221
#RESIZE – データ加工指示関数, 229
#ROTATE2D – データ加工指示関数, 228
#ROTATE3D – データ加工指示関数, 229
#SPHERE – サンプルング関数, 223
#SUBFRAME, 200
#SWAP – データ加工指示関数, 228
#TABLE – サンプルング関数, 216
#TABLEXY – サンプルング関数, 217
#TALLY REGION, 159, 207
#TYPE_n – サンプルング関数, 225
#UNIFORM – サンプルング関数, 218
#USER_n – サンプルング関数, 226
#WATT – サンプルング関数, 219

■ A ■

ACCEPT – 線源データ, 231
ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION オプション, 89, 97
ADD モード – TALLY REGION, 207
ADJOINT オプション, 89, 97
AMLIM – コントロールデータ, 131
ANALOG – タリーデータ, 269
analog absorption, 13, 36, 132
analog estimator, 42
ANALOG-FISSION オプション, 89, 97, 252, 269

ANGLE – タリーデータ, 247
ANGLE2 – タリーデータ, 259
ANISN, 143
ANISN/DTF 型多群断面積, 149, 298
ARB – BODY, 167
ASSIM, 358
— ファイル, 337
AUTO-RESTART オプション, 90, 98

■ B ■

B – CGVIEW コマンド, 365
BACK – CGVIEW コマンド, 365
BANKP – コントロールデータ, 132
BBC – BODY, 176
BDY – CGVIEW コマンド, 366
BEFF
— 摂動データ, 288
BETA-EFFECTIVE オプション, 90, 98
BODY, 51, 52
— の指定, 159
— の組み合わせ, 178
ARB, 167
BBC, 176
BOX, 165, 191
CYL, 162
ELL, 173
ELT, 174, 246
GEL, 174
GQS, 175
HAF, 167
HEX, 170, 191
ID, 160, 178
RAW, 166
RCC, 163
RCL, 170, 191
RHP, 168, 191
RPP, 162, 189
SPH, 164
TEC, 172
TRC, 171
WED, 166

BODY – CGVIEW コマンド, 365
BODY-by-BODY combination, 52
BODY の組合せによる BODY, 176
BOUNDARY – CGVIEW コマンド, 366
bounded sphere approach, 15
BOX
 BODY, 165, 191
 セルタイプ, 192
BREMSSTRAHLUNG オプション, 90, 99

■ C ■

CELL, 58
 STGM 領域, 202
CELL – CGVIEW コマンド, 366
CELLDIRS – 幾何形状データ, 185
CELLIDS – 幾何形状データ, 184
CELLSYMS – 幾何形状データ, 185
CENTER
 CGVIEW command, 366
CGV.PRBASE – 環境変数, 374
CGV.PRINT – 環境変数, 373
CGVIEW, 27, 360
 — -SLICE, 360
 対話的利用, 383
 入力データ, 361
CGVIEW commands
 CENTER, 366
 NOSUBF, 378
 SUBF, 378
CGVIEW コマンド, 365
 B, 365
 BACK, 365
 BDY, 366
 BODY, 365
 BOUNDARY, 366
 CELL, 366
 CHECK, 366
 DOVERLAP, 366
 DOVL, 366
 F, 368
 FL, 367
 FLOOD, 367
 FORGET, 367

FORWARD, 368
GRANGE, 368
H, 368
HELP, 368
IZC, 368
IZCOLOR, 368
IZCR, 369
LEVEL, 369
LINES, 369
M, 370
MA, 371
MAT, 369
MC, 370
MCOLOR, 370
MCR, 370
MOVE, 370
MOVEA, 371
MX, 371
MXA, 371
MY, 371
MYA, 371
MZ, 371
MZA, 371
OVERLAP, 371
OVL, 371
PAINT, 372
PAPER, 372
PNT, 372
PRINT, 372
QUIT, 375
RC, 375
RCOLOR, 375
RCR, 375
RD, 375
REDRAW, 375
ROT, 375
ROTX, 376
ROTY, 376
SCAN, 376
SIZE, 377
SPTYP, 379
STYLE, 378

TITLE, 379
 WAITOFF, 379
 WAITON, 379
 WHAT, 379
 WOFF, 379
 WON, 379
 XMAX, 377
 XY, 380
 XZ, 380
 YX, 380
 YZ, 380
 Z, 380
 ZB, 381
 ZC, 380
 ZCOLOR, 380
 ZCR, 380
 ZM, 381
 ZONE, 380
 ZOOM, 381
 ZOOMBODY, 381
 ZOOMZONE, 381
 ZS, 382
 ZSEARCH, 382
 ZX, 380
 ZY, 380
 ZZ, 381
 CHECK – CGVIEW コマンド, 366
 CKLATT – 幾何形状データ, 185
 CKSLAT – 幾何形状データ, 185
 CNames – 幾何形状データ, 200
 collision estimator, 13, 18, 252
 COLLISION-LESS オプション, 90, 99
 combinatorial geometry, 8
 COMPOSITION – GMVP 断面積データ, 154
 COPYNND – STGM 領域, 203
 COSINE – タリーデータ, 247
 cosine distribution, 219
 CPU 時間, 125
 CRESP – タリーデータ, 250
 CROSS SECTION データブロック, 221
 GMVP, 143, 144
 MVP, 135

CSPACE – 幾何形状データ, 201
 current
 surface crossing estimator, 16, 252
 CYGWIN, 359
 CYL – BODY, 162

■ D ■

DEFINE モード – TALLY REGION, 207
 DELAYED-NEUTRON オプション, 90, 99
 DEPS – コントロールデータ, 56, 128
 DIMENSION – タリーデータ, 253
 DINF – コントロールデータ, 128, 162–164, 169, 170
 DIRSYMS – 幾何形状データ, 185
 DISCRETE – #TABLE, 216
 discrete conditional sampling 法, 39
 doppler broadening, 139
 DOPPLER-SCATTERING オプション, 90, 100
 DOVERLAP – CGVIEW コマンド, 366
 DOVL – CGVIEW コマンド, 366
 DTF-IV 形式, 144
 DYNAMIC-MEMORY オプション, 90, 101, 337

■ E ■

EBOT.P – コントロールデータ, 131
 EBOT[.N] – コントロールデータ, 130
 EDIT-BY-COLLISION オプション, 90, 102
 EDIT-BY-TRACK-LENGTH オプション, 90, 103
 EDIT-MACROSCOPIC-DATA オプション, 91, 103
 EDIT-MICROSCOPIC-DATA オプション, 91, 104
 EIGEN-VALUE オプション, 91, 104
 ELL – BODY, 173
 ELOOP – コントロールデータ, 129
 ELT – BODY, 174, 246
 END-ACCEPT – 線源データ, 231
 ENGYB.N – タリーデータ, 244
 ENGYB.P – タリーデータ, 244
 estimator, 13
 ETHMAX – コントロールデータ, 131
 ETOP.P – コントロールデータ, 130
 ETOP[.N] – コントロールデータ, 130

EVENT – タリーデータ, 252
EVENT – 摂動データ, 288
EWCUT – コントロールデータ, 37, 131
exponential transform, 22

■ F ■

F – CGVIEW コマンド, 368
F=body-ID, 191
f2c, 359
FAT, 402
Feynman's Y value, 44
FEYNMAN-Y – タリーデータ, 269
FIDO フォーマット, 144, 146
FISSION-MULTIPLICITY オプション, 92, 105
FISSION オプション, 91, 105
FIXED-SOURCE オプション, 92, 105, 106
FKAI
 GMVP 断面積データ, 154
 二次粒子データ, 281
FL – CGVIEW コマンド, 367
FLOOD – CGVIEW コマンド, 367
flux
 surface crossing estimator, 16, 252
FLUX-PRINT オプション, 92, 106
FNND1 – STGM 領域, 202
FNND2 – STGM 領域, 202
FNND3 – STGM 領域, 202
FORGET – CGVIEW コマンド, 367
FORWARD – CGVIEW コマンド, 368
FRACTIONAL-CHANGE
 摂動データ, 290
FRAME ZONE, 58, 107, 165, 182, 189, 199
 — の名前付け, 199
FRAME=body-ID, 191
FRAME-DEPENDENT-TALLY オプション, 118,
 199
free gas model, 131
FREE-LATTICE-FRAME オプション, 58, 68,
 92, 107, 189, 191, 195
FreeBSD, 359

■ G ■

GEL – BODY, 174

GENERATION – タリーデータ, 260
GEOMETRY データブロック, 159, 180
getsystem, 329, 348
gmview3, 382
gmvpplbcv, 401
GQS – BODY, 175
GRANGE – CGVIEW コマンド, 368

■ H ■

H – CGVIEW コマンド, 368
HAF – BODY, 167
HELP – CGVIEW コマンド, 368
HEX – BODY, 170, 191
HEXA – セルタイプ, 192

■ I ■

I/O ユニット, 294
IANGLE – タリーデータ, 259
IANGLE2 – タリーデータ, 259
ID
 セル, 192
 タリーデータ, 251
 摂動データ, 287
 線源データ, 211
IDDX – 旧形式 GMVP 入力, 156
IDLAT – 幾何形状データ, 182, 189, 202
IDMAT – GMVP 断面積データ, 154
IDMAT – MVP 断面積データ, 136
IDTF – 旧形式 GMVP 入力, 156
IENERGY – タリーデータ, 256
IENERGY2 – タリーデータ, 257
IGENE2 – タリーデータ, 260
IHT – GMVP 断面積データ, 149
ImageMagick, 374
IMAGINARY-PARTICLE オプション, 92, 107
import
 ImageMagick, 374
IMPORTANCE オプション, 92, 107, 120, 122,
 275
IN-BODY – 線源データ, 233
IN-ZONE – 線源データ, 233
INCELM – GMVP 断面積データ, 151
INGP – GMVP 断面積データ, 150

INGP – 旧形式 GMVP 入力, 155
 INPUT – GMVP 断面積データ, 152
 INPUT-ZONE, 54, 179
 IRAND – コントロールデータ, 125
 IRESP – タリーデータ, 265
 ISGG – GMVP 断面積データ, 150
 ISGG – 旧形式 GMVP 入力, 155
 ISTAT – 旧形式 GMVP 入力, 156
 ITBL – GMVP 断面積データ, 149
 ITBL – 旧形式 GMVP 入力, 155
 ITIME – タリーデータ, 257
 ITIME2 – タリーデータ, 258
 IXTAPE – 旧形式 GMVP 入力, 156
 IZC – CGVIEW コマンド, 368
 IZCOLOR – CGVIEW コマンド, 368
 IZCR – CGVIEW コマンド, 369

■ J ■

JPNLCP – MVP 断面積データ, 141
 JVPOP – MVP 断面積データ, 140
 JVPOPT – MVP 断面積データ, 138
 JXPOOL – MVP 断面積データ, 138, 140
 JXTAPE – 旧形式 GMVP 入力, 157

■ K ■

KEFF
 摂動データ, 288
 KENO, 4, 12
 KLATT – 幾何形状データ, 65, 183
 Klein-Nishina の公式, 48
 Klein-Nishina の微分断面積, 48
 KSLAT – 幾何形状データ, 65, 183

■ L ■

L=lattice-ID, 178
 LABEL – タリーデータ, 252
 LABEL – 摂動データ, 288
 LAT=lattice-ID, 178
 LATTICE, 58
 LATTICE or REPEATED-GEOMETRY オプシ
 ョン, 92
 LATTICE オプション, 108, 159, 180
 LEVEL – CGVIEW コマンド, 369

LICEM, 31
 LINEAR – #TABLE, 217
 LINES – CGVIEW コマンド, 369
 Linux, 358
 LOG-LINEAR – #TABLE, 217
 LOG-STEP – #TABLE, 217
 lost particle, 56, 300
 LTYP – STGM 領域, 202
 LTYP – 幾何形状データ, 182

■ M ■

M – CGVIEW コマンド, 370
 MA – CGVIEW コマンド, 371
 MACRO – タリーデータ, 266
 MAIL コード, 143, 146
 makemake, 349
 MARKER-REGION – タリーデータ, 261
 MAT – CGVIEW コマンド, 369
 MB – コントロールデータ, 132
 MBASE – STGM 領域, 202
 MBASE – セルタイプ, 192
 MBASE セル – 確率論的幾何形状モデル, 201
 MC – CGVIEW コマンド, 370
 MCNP, 4, 12
 MCOLOR – CGVIEW コマンド, 370
 MCR – CGVIEW コマンド, 370
 METHOD
 摂動データ, 289
 MICRO – タリーデータ, 267
 MICROPN – タリーデータ, 268
 MONITOR オプション, 92, 109
 MONPNWGT – 二次粒子データ, 286
 MORSE, 4, 12, 54
 MOVE – CGVIEW コマンド, 370
 MOVEA – CGVIEW コマンド, 371
 MPI, 29
 MULTI-TASK オプション, 92, 109
 MUS – GMVP 断面積データ, 153
 mview3, 382
 MVP_ARTPOOL – 環境変数, 141, 329
 MVP_DIR – 環境変数, 329, 346, 348
 MVPFAT, 402
 MVPHOST – 環境変数, 329, 346, 348

MVPLIB_DIR – 環境変数, 329, 346, 348
mvpmake, 349, 350
MX – CGVIEW コマンド, 371
MXA – CGVIEW コマンド, 371
MXPGEN – コントロールデータ, 128
MY – CGVIEW コマンド, 371
MYA – CGVIEW コマンド, 371
MZ – CGVIEW コマンド, 371
MZA – CGVIEW コマンド, 371

■ N ■

NAMES – 幾何形状データ, 200
NBANK – コントロールデータ, 122
NBPINT – コントロールデータ, 124
NCOEF – 旧形式 GMVP 入力, 156
NDGS – 旧形式 GMVP 入力, 155
NDS – 旧形式 GMVP 入力, 155
NDS1 – GMVP 断面積データ, 147
NDS2 – GMVP 断面積データ, 148
Nearest Neighbor Distribution, 71
nearest neighbor distribution, 202
NELEM – 旧形式 GMVP 入力, 156
netpbm, 374
NEUTRON
 タリーデータ, 253
 摂動データ, 288
 線源データ, 211
NEUTRON オプション, 92, 109
NFBANK – コントロールデータ, 126
NFS, 345
NGG – 旧形式 GMVP 入力, 155
NGP – 旧形式 GMVP 入力, 155
NGP1
 GMVP 断面積データ, 147
 コントロールデータ, 123
NGP2
 GMVP 断面積データ, 148
 コントロールデータ, 123
NGROUP – コントロールデータ, 123
NGROUP.N
 コントロールデータ, 123
 タリーデータ, 244
NGROUP.N – コントロールデータ, 123

NGROUP.P
 コントロールデータ, 123
 タリーデータ, 244
NGROUP.P – コントロールデータ, 123
NHIST – コントロールデータ, 25, 105, 121
NLB2TXT, 398, 399
NMAT, 132
NMED – 旧形式 GMVP 入力, 155
NMEMO – コントロールデータ, 126
NMEMOP – コントロールデータ, 127
NMEMS – コントロールデータ, 127
NMENO, 179
NMIX – 旧形式 GMVP 入力, 156
NND, 71, 202
NND1 – STGM 領域, 202
NND2 – STGM 領域, 202
NND3 – STGM 領域, 202
non-analog absorption, 13, 36, 132
NOSUBF – CGVIEW command, 378
NOT-IN-BODY – 線源データ, 233
NOT-IN-ZONE – 線源データ, 233
NPART – コントロールデータ, 121
NPDET – タリーデータ, 247
NPICT – コントロールデータ, 133
NPL – GMVP 断面積データ, 150
NRESP – タリーデータ, 249
NRSINT – コントロールデータ, 124
NRSKIP – コントロールデータ, 127
NSCT – GMVP 断面積データ, 151
NSCT – 旧形式 GMVP 入力, 156
NSKIP – コントロールデータ, 25, 126
NSTAL – タリーデータ, 250
NTIME – コントロールデータ, 124
NTIME – タリーデータ, 245
NTMINT – コントロールデータ, 125
NTXT2LB, 398
NVLAT – 幾何形状データ, 182
NWORK – タリーデータ, 251

■ O ■

OBJ.\$MVPHOST, 358
optical path length, 5
optical thickness, 5

OR

BODY の組み合わせ, 178, 179

OUTPUT – GMVP 断面積データ, 153

OVERLAP – CGVIEW コマンド, 371

OVL – CGVIEW コマンド, 371

■ P ■

PAINT – CGVIEW コマンド, 372

PAPER

CGVIEW コマンド, 372

コントロールデータ, 133

PARAMETER

摂動データ, 289

PARTICLE

タリーデータ, 253

path stretching, 22, 110

PATH-STRETCH オプション, 92, 110

PATH 行, 297

PCELL – STGM 領域, 202

PERIODIC-TIME オプション, 93, 110

PERTURBED-REGION

摂動データ, 290

PERTURBATION オプション, 93, 111

PERTURBATION データブロック, 287

perturbed source effect, 305

PERTURBED-SOURCE

摂動データ, 290

PF – STGM 領域, 202

PFCN – 分散低減データ, 277

PHOTO-NUCLEAR オプション, 93, 112

PHOTON

タリーデータ, 253

線源データ, 211

PHOTON オプション, 93, 99, 111

PICTURE オプション, 93, 113, 133

PLFORM

GMVP 断面積データ, 145

PMT – 分散低減データ, 279

PNPRODUCE – タリーデータ, 251

PNT – CGVIEW コマンド, 372

POINT – タリーデータ, 256

point detector, 247, 248, 252, 253

estimator, 15

PPNBR – 分散低減データ, 278

PRESP – タリーデータ, 265

PRFLAG – GMVP 断面積データ, 152

PRINT – CGVIEW コマンド, 372

PRINT-SUPPRESS オプション, 93, 113

processing element (PE), 29

PRODUCE-NUCLIDE – タリーデータ, 262

PRODUCE-REACTION – タリーデータ, 264

PRODUCE-REGION – タリーデータ, 262

PSALP – 分散低減データ, 23, 276

PSXYZ – 分散低減データ, 23, 277

■ Q ■

Q-value, 38

QUIT – CGVIEW コマンド, 375

■ R ■

RATIO

線源データ, 211

RAW – BODY, 166

RC – CGVIEW コマンド, 375

RCC – BODY, 163

RCELL – 幾何形状データ, 182

RCL – BODY, 170, 191

RCOLOR – CGVIEW コマンド, 375

RCR – CGVIEW コマンド, 375

RD – CGVIEW コマンド, 375

REDRAW – CGVIEW コマンド, 375

REGION, 51, 255

タリーデータ, 255

REGION 番号, 85

REGION 名, 177, 200

— の省略, 177

— を指定した入力, 85

RELATIVE-WEIGHT オプション, 94, 114, 129

REPEATED-GEOMETRY オプション, 108

RESP.N – タリーデータ, 249

RESP.P – タリーデータ, 249

RESPONSE オプション, 94, 115

RESTART-FILE オプション, 94, 116

RESTART オプション, 94, 115

RHP – BODY, 168, 191

ROOT-CELL, 61

ROOT-SUBFRAME, 61
ROT – CGVIEW コマンド, 375
ROTX – CGVIEW コマンド, 376
ROTY – CGVIEW コマンド, 376
RPP – BODY, 162, 189
RUN-MODE オプション, 94, 116
rungmvp, 335, 357
runmvp, 331, 332, 355
Russian roulette, 20, 108, 281
RUSSIAN-ROULETTE オプション, 94, 117, 120,
246, 275, 276
RVOL, 272

■ S ■

SCAN – CGVIEW コマンド, 376
SCATTERING-MATRIX オプション, 94, 117
SCATTERING-MUBAR オプション, 94, 118
SIZE – CGVIEW コマンド, 377
SOURCE – タリーデータ, 261
SOURCE-OUTPUT オプション, 94, 118, 224,
325
SOURCE-REGION – タリーデータ, 261
SOURCE データブロック, 210
SPACE – 幾何形状データ, 200
SPDET – タリーデータ, 248
SPH – BODY, 164
splitting, 20, 21
SPREAD – タリーデータ - MICRO, 267, 268
SPTYP – CGVIEW コマンド, 379
STAL – タリーデータ, 250
Statistical Geometry Model, 71
STEP – #TABLE, 216
STG – セルタイプ, 192
STGM 領域, 71, 201
空間内への配置, 203
STGM 領域 – 確率論的幾何形状モデル, 201
STGM 領域の媒質 – 確率論的幾何形状モデル,
201
STGP – STGM 領域, 204
STGP セル – 確率論的幾何形状モデル, 201
STG 粒子, 71
—の定義, 204
STG 粒子 – 確率論的幾何形状モデル, 201

STYLE – CGVIEW コマンド, 378
SUBF – CGVIEW command, 378
SUBFRAME, 58, 187
— の名前付け, 199
SUBFRAME 名, 199
STGM 領域, 203
surface crossing estimator, 16, 246, 252
SZHEX – 幾何形状データ, 182
SZLAT – 幾何形状データ, 182

■ T ■

tally, 13
TALLY REGION, 74, 207, 255
ADD モード, 207
DEFINE モード, 207
TALLY-LATTICE or FRAME-DEPENDENT-TALLY
オプション, 94
TALLY-LATTICE オプション, 85, 118, 199
TALLY-SURFACE – タリーデータ, 246
TALLY データブロック, 244, 391
TCPU – コントロールデータ, 125
TCUT – コントロールデータ, 111, 128
TEC – BODY, 172
template ディレクトリ, 79
TEMPMT – MVP 断面積データ, 138, 142, 143
Terrell の分布, 45
thick target 近似, 33, 49
TIME-DEPENDENT オプション, 94, 111, 119,
128
TIMEB – タリーデータ, 128, 245
TITLE – CGVIEW コマンド, 379
TPRECS – MVP 断面積データ, 138, 139
track length estimator, 14, 252
TRC – BODY, 171
TRVOL, 273
TYPE
GMVP 断面積データ, 145
セル, 192

■ V ■

variance reduction technique, 18
VIM, 4, 12
VOL, 272

■ W ■

WAITOFF – CGVIEW コマンド, 379
WAITON – CGVIEW コマンド, 379
Watt's fission spectrum, 219
WED – BODY, 166
weight window, 23
WEIGHT-WINDOW オプション, 95, 108, 117,
119, 122, 246, 275, 276
WGTF – 二次粒子データ, 24, 25, 36, 105, 126,
246
WGTF — 二次粒子データ, 282
WGTP – 二次粒子データ, 246, 283
WGTPN – 二次粒子データ, 284
WHAT – CGVIEW コマンド, 379
WHEN – 線源データ, 232
WKIL – 分散低減データ, 108, 117, 246, 275,
276
WKIL.N – 分散低減データ, 275
WKIL.P – 分散低減データ, 275
WLLIM – コントロールデータ, 129
WNND1 – STGM 領域, 202
WNND2 – STGM 領域, 202
WNND3 – STGM 領域, 202
WOFF – CGVIEW コマンド, 379
WON – CGVIEW コマンド, 379
WSRV – 分散低減データ, 108, 117, 246, 275
WSRV.N – 分散低減データ, 275
WSRV.P – 分散低減データ, 275
WTIME – タリーデータ, 245

■ X ■

XIMP – 分散低減データ, 274
XIMP.N – 分散低減データ, 274
XIMP.P – 分散低減データ, 274
XLAST – GMVP 断面積データ, 154
XMAX – CGVIEW コマンド, 377
XPDET – タリーデータ, 248
XSEC データブロック
GMVP, 143
MVP, 135
xwd, 374
XY – CGVIEW コマンド, 380
XZ – CGVIEW コマンド, 380

■ Y ■

YX – CGVIEW コマンド, 380
YZ – CGVIEW コマンド, 380

■ Z ■

Z
CGVIEW コマンド, 380
ZB – CGVIEW コマンド, 381
ZC – CGVIEW コマンド, 380
ZCOLOR – CGVIEW コマンド, 380
ZCR – CGVIEW コマンド, 380
ZM – CGVIEW コマンド, 381
ZONE, 51, 179
— の多重定義, 54
— の入力, 177
CGVIEW コマンド, 380
ZONE 名, 177
ZOOM – CGVIEW コマンド, 381
ZOOMBODY – CGVIEW コマンド, 381
ZOOMZONE – CGVIEW コマンド, 381
ZS – CGVIEW コマンド, 382
ZSEARCH – CGVIEW コマンド, 382
ZX – CGVIEW コマンド, 380
ZY – CGVIEW コマンド, 380
ZZ – CGVIEW コマンド, 381

■ ア ■

アナログ吸収, 36, 132

■ イ ■

位相空間, 14
一次粒子, 147, 281
イベント, 7, 18
インデックスファイル, 330
断面積, 296

■ エ ■

エネルギー群境界, 245
エネルギー群数, 244
演算式
入力データ中での —, 81
円錐台, 171
円柱
z 軸に平行な中心軸を持つ —, 162

底面に方向性を持つ —, 170
任意の軸方向を持つ —, 163

■ 才 ■

オプション

ADAPTIVE-MICRO-CALCULATION, 89, 97
ADJOINT, 89, 97
ANALOG-FISSION, 89, 97, 252, 269
AUTO-RESTART, 90, 98
BETA-EFFECTIVE, 90, 98
BREMSSTRAHLUNG, 90, 99
COLLISION-LESS, 90, 99
DELAYED-NEUTRON, 90, 99
DOPPLER-SCATTERING, 90, 100
DYNAMIC-MEMORY, 90, 101, 337
EDIT-BY-COLLISION, 90, 102
EDIT-BY-TRACK-LENGTH, 90, 103
EDIT-MACROSCOPIC-DATA, 91, 103
EDIT-MICROSCOPIC-DATA, 91, 104
EIGEN-VALUE, 91, 104
FISSION, 91, 105
FISSION-MULTIPLICITY, 92, 105
FIXED-SOURCE, 92, 105, 106
FLUX-PRINT, 92, 106
FRAME-DEPENDENT-TALLY, 118, 199
FREE-LATTICE-FRAME, 58, 92, 107, 189, 191, 195
IMAGINARY-PARTICLE, 92, 107
IMPORTANCE, 92, 107, 120, 122, 275
LATTICE, 108, 159, 180
LATTICE or REPEATED-GEOMETRY, 92
MONITOR, 92, 109
MULTI-TASK, 92, 109
NEUTRON, 92, 109
PATH-STRETCH, 92, 110
PERIODIC-TIME, 93, 110
PERTURBATION, 93, 111
PHOTO-NUCLEAR, 93, 112
PHOTON, 93, 99, 111
PICTURE, 93, 113, 133
PRINT-SUPPRESS, 93, 113
RELATIVE-WEIGHT, 94, 114, 129

REPEATED-GEOMETRY, 108
RESPONSE, 94, 115
RESTART, 94, 115
RESTART-FILE, 94, 116
RUN-MODE, 94, 116
RUSSIAN-ROULETTE, 94, 117, 120, 246, 275, 276
SCATTERING-MATRIX, 94, 117
SCATTERING-MUBAR, 94, 118
SOURCE-OUTPUT, 94, 118, 224, 325
TALLY-LATTICE, 85, 118, 199
TALLY-LATTICE or FRAME-DEPENDENT-TALLY, 94
TIME-DEPENDENT, 94, 111, 119, 128
WEIGHT-WINDOW, 95, 108, 117, 119, 122, 246, 275, 276

オプションの相互関係, 95

オプション部, 78

オプション入力の規則, 89

温度, 142

■ 力 ■

回転楕円体, 173
外部反復, 24
ガウス分布, 219
核種 ID, 136, 137, 221
核種ごとの温度の指定, 142
角度ビン, 247
角度粒子束, 4
核分裂源ファイル, 333
核分裂スペクトル, 36
核分裂中性子, 36
核分裂中性子源ファイル, 223, 325
核分裂中性子バンク, 126
確率テーブル法
 非分離共鳴領域, 31
確率論的幾何形状モデル, 10, 71, 191, 201
 MBASE セル, 201
 STGM 領域, 201
 STGM 領域の媒質, 201
 STGP セル, 201
 STG 粒子, 201, 204
 マトリックス, 201, 204

仮想物質, 11, 57, 177

簡易モデル

光子反応, 47, 93

環境変数

CGV_PRBASE, 374

CGV_PRINT, 373

MVP_ARTPOOL, 141

MVP_DIR, 329, 346, 348

MVP_DIRMVP_ARTPOOL, 329

MVPHOST, 329, 346, 348

MVPLIB_DIR, 329, 346, 348

完全吸収体, 177

完全吸収物質, 99

完全反射境界条件, 11, 57

完全反射物質, 11

■ キ ■

幾何形状データ

STGM 領域

CELL, 202

COPYNND, 203

FNND1, 202

FNND2, 202

FNND3, 202

IDLAT, 202

LTYPE, 202

MBASE, 202

NND1, 202

NND2, 202

NND3, 202

PCELL, 202

PF, 202

STGP, 204

WNND1, 202

WNND2, 202

WNND3, 202

セル

BOX, 192

HEXA, 192

ID, 192

MBASE, 192

STG, 192

TYPE, 192

格子

CELLDIRS, 185

CELLIDS, 184

CELLSYMS, 185

CKLATT, 185

CKSLAT, 185

CNAMES, 200

CSPACE, 201

DIRSYMS, 185

IDLAT, 182, 189

KLATT, 65, 183

KSLAT, 65, 183

LTYPE, 182

NAMES, 200

NVLAT, 182

RCELL, 182

SPACE, 200

SZHEX, 182

SZLAT, 182

棄却法によるサンプリング, 177

球面, 164

境界条件, 11, 57, 177

共鳴弾性散乱, 39

共鳴断面積を用いた自由単原子ガスモデル, 40, 100

厳密モデル, 40, 100

漸近モデル, 39, 100

漸近減速散乱モデル, 39, 100

断面積一定モデル, 40, 100

断面積一定近似を用いた自由単原子ガスモデル, 40, 100

巨視的断面積バンク, 266

■ ク ■

クラスタ環境, 29

■ ケ ■

蛍光 X 線, 47

計算結果出力ファイル, 307

計算時間の短縮

ミクロ断面積, 97

元素 ID, 137

■ コ ■

格子
 用語の定義, 58
 格子 ID, 189
 格子形状, 10, 224
 格子形状 ID, 178, 182
 格子セル, 10
 格子内座標系, 182
 光子の速さ, 50
 格子枠, 10
 — の形状, 58
 光電効果, 47
 固定粒子源問題, 24
 コヒーレント散乱, 48
 コマンド行パラメータ, 294
 コマンドサーチパス, 329
 コメント, 77
 固有値の評価
 neutron balance, 42
 production, 42
 固有値問題, 24
 固有モード, 24
 コントロールデータ
 MVP/GMVP 共通
 DEPS, 56, 128
 DINF, 128, 162–164, 169, 170
 ELOOP, 129
 IRAND, 125
 MXPGEN, 128
 NBANK, 122
 NBPINT, 124
 NFBANK, 126
 NGP1, 123
 NGP2, 123
 NGROUP(データブロック外入力), 123
 NGROUP.N, 123
 NGROUP.N[EUTRON], 123
 NGROUP.P, 123
 NGROUP.P[HOTON], 123
 NHIST, 25, 105, 121, 126
 NMEMO, 126
 NMEMOP, 127
 NMEMS, 127
 NPART, 121
 NRSINT, 124
 NRSKIP, 127
 NSKIP, 25, 126
 NTIME(データブロック外入力), 124
 NTMINT, 125
 TCPU, 125
 TCUT, 111, 128
 WLLIM, 129
 MVP のみ
 AMLIM, 131
 BANKP, 132
 EBOT.P, 131
 EBOT[.N], 130
 ETHMAX, 131
 ETOP.P, 130
 ETOP[.N], 130
 EWCUT, 37, 131
 MB, 132
 PICTURE オプション
 NPIC, 133
 PAPER, 133
 コンプトン散乱, 47

■ サ ■

再近接粒子分布, 71, 202
 最尤法, 42
 サブフレーム
 用語の定義, 58
 三角柱, 166
 三軸不等楕円体, 174
 サンプリング指定行, 211
 サンプリング関数, 213, 215, 216
 #CIRCLE, 222
 #COSINE, 219
 #DISC, 222
 #EVAPORATION, 220
 #FEYNMAN, 225
 #FISSION, 221
 #FISSIONFILE, 223
 #GAUSS, 219
 #ISOTROPIC, 223
 #MAXWELL, 220

#POWER, 221
#SPHERE, 223
#TABLE, 216
#TABLEXY, 217
#TYPE_n, 225
#UNIFORM, 218
#USER_n, 226
#WATT, 219
散乱角余弦タリー, 118
 オプション, 118
 計算結果, 305
散乱行列
 — タリー, 117
 — モーメント, 117
 オプション, 117
 群から群への散乱反応率, 117
 計算結果, 304

■ シ ■

時間ビン, 245
事象駆動型アルゴリズム, 27
事象スタック, 28
指数変換, 22
四方格子, 10
自由ガスモデル, 38
 自由単原子ガスモデル, 38
周期境界条件, 12, 58, 180
詳細モデル
 光子反応, 47, 93
蒸発スペクトル, 220
蒸発モデル, 38
初期分布, 24
処理要素, 29
真空境界条件, 12
シンボリックパラメータ, 82, 85

■ ス ■

スタック, 28
捨てバッチ, 25
スプリッティング, 21, 121, 122
スペシャルタリー, 391

■ セ ■

正規分布, 219
制動輻射光子, 49
摂動計算, 287
 — 入力データ
 BEFF, 288
 EVENT, 288
 FRACTIONAL-CHANGE, 290
 ID, 287
 KEFF, 288
 LABEL, 288
 METHOD, 289
 NEUTRON, 288
 PARAMETER, 289
 PERTURBED-REGION, 290
 PERTURBED-SOURCE, 290
 オプション, 111
 計算結果, 305
 摂動核種の指定, 290

セル, 10, 159, 191
 用語の定義, 58
セル並び座標系, 182
線形補間, 31
線源, 7
線源セット, 127, 210
線源データ, 210
 ID, 211
 NEUTRON, 211
 PHOTON, 211
 RATIO, 211
線源パラメータ, 211

■ ソ ■

ゾーン, 8

■ タ ■

対数線形補間, 31
体積
 REGION, 272
 TALLY-REGION, 272
 ZONE, 271
体積充填率 – STGM 領域, 202
タイトル
 GMVP 断面積入力データ, 145

入力データの —, 77, 89
 楕円錐台, 172
 多群法, 12
 多重格子形状, 59
 タスク, 28
 タリー, 13
 タリーデータ
 ANALOG, 269
 ANGLE, 247
 ANGLE2, 259
 COSINE, 247
 CRESP, 250
 DIMENSION, 253
 ENGYB.N, 244
 ENGYB.P, 244
 EVENT, 252
 FEYNMAN-Y, 269
 GENERATION, 260
 IANGLE, 259
 IANGLE2, 259
 ID, 251
 IENERGY, 256
 IENERGY2, 257
 IGENE2, 260
 IRESP, 265
 ITIME, 257
 ITIME2, 258
 LABEL, 252
 MACRO, 266
 MARKER-REGION, 261
 MICRO, 267
 SPREAD, 267, 268
 MICROPN, 268
 NEUTRON, 253
 NGROUP.N, 244
 NGROUP.P, 244
 NPDET, 247
 NRESP, 249
 NSTAL, 250
 NTIME, 245
 NWORK, 251
 PARTICLE, 253

PHOTON, 253
 PNPRODUCE, 251
 POINT, 256
 PRESP, 265
 PRODUCE-NUCLIDE, 262
 PRODUCE-REACTION, 264
 PRODUCE-REGION, 262
 REGION, 255
 RESP.N, 249
 RESP.P, 249
 SOURCE, 261
 SOURCE-REGION, 261
 SPDET, 248
 STAL, 250
 TALLY-SURFACE, 246
 TIMEB, 128, 245
 WTIME, 245
 XPDET, 248
 弾性散乱, 37
 断面積データ
 GMVP
 COMPOSITION, 154
 FKAI, 154
 IDMAT, 154
 IHT, 149
 INCELM, 151
 INGP, 150
 INPUT, 152
 ISGG, 150
 ITBL, 149
 MUS, 153
 NDS1, 147
 NDS2, 148
 NGP1, 147
 NGP2, 148
 NPL, 150
 NSCT, 151
 OUTPUT, 153
 PLFORM, 145
 PRFLAG, 152
 TYPE, 145
 XLAST, 154

MVP

IDMAT, 136
JPNLCP, 141
JVPOP, 140
JVPOPT, 138
JXPOOL, 138, 140
TEMPMT, 138, 142, 143
TPRECS, 138, 139

■ チ ■

中心極限定理, 17
中性子の速さ, 41
直方体, 162

■ テ ■

データ入力ブロック, 79, 80
データブロック
GEOMETRY, 159
データ加工指示関数, 213, 215, 228
#NEWAXIS, 230
#NORMALIZE, 231
#RESIZE, 229
#ROTATE2D, 228
#ROTATE3D, 229
#SWAP, 228
点検出器, 247, 249, 252, 253
点検出器の位置, 248
点検出器評価法, 15
電子質量, 47
電子対生成, 47

■ ト ■

統計誤差, 16
統計的独立性, 18
等方反射境界条件, 12
等方反射物質, 12
トーラス, 174, 246
トムソン散乱, 48

■ ニ ■

二次曲面
任意の —, 175
二重微分型断面積, 298
二次粒子, 132, 148, 281

二次粒子データ

FKAI, 281
MONPNWGT, 286
WGTF, 24, 25, 36, 105, 126, 246, 282
WGTP, 246, 283
WGTPN, 284

入出力機番, 294

入力 ZONE, 179

任意温度中性子断面積ライブラリ, 31, 135, 138

■ ネ ■

熱中性子散乱, 38, 131
 $S(\alpha, \beta)$, 38
— 則データ, 38

■ ハ ■

バイアスサンプリング, 234
バイナリ出力ファイル, 389
パス・ストレッチング, 22
バックグラウンドジョブ, 331
バッチ, 18, 121, 122
半空間, 167
反射体物質, 177

■ ヒ ■

非アナログ吸収, 36
光核反応, 46
— 解析, 49
— 断面積, 33
— 断面積データの入力, 137
— 断面積データ入力オプション, 141
オプション, 93, 112
タリーデータの入力
DIMENSION, 254
MICROPN, 268
PNPRODUCE, 251
PRODUCE-NUCLIDE, 262
PRODUCE-REACTION, 264
PRODUCE-REGION, 262
二次粒子データの入力
MONPNWGT, 286
WGTPN, 284
分散低減データの入力

PFCN, 277
PMT, 279
PPNBR, 278
光原子反応, 46
— 断面積, 32
非干渉性散乱, 47
ヒストリー, 18, 121
ヒストリー駆動型アルゴリズム, 27
微分型輸送方程式, 4
非分離共鳴領域, 31

■ フ ■

物質 ID, 57, 177
物質 ID 番号, 57
物質組成データ, 136, 154
不偏推定量, 17
フレームゾーン
— 用語の定義, 58
分散, 17, 18
— 真の — の定義, 43
— 真の — の評価, 25, 42
分散対平均比, 44
分散低減オプション, 23
分散低減データ
— PFCN, 277
— PMT, 279
— PPNBR, 278
— PSALP, 23, 276
— PSXYZ, 23, 277
— WKIL, 108, 117, 246, 275, 276
— WKIL.N, 275
— WKIL.P, 275
— WSRV, 108, 117, 246, 275
— WSRV.N, 275
— WSRV.P, 275
— XIMP, 274
— XIMP.N, 274
— XIMP.P, 274
分散低減法, 18, 274
分散低減法パラメータ, 274
分離共鳴領域, 31

■ ヘ ■

平行六面体, 165
並列計算, 29
冪乗分布, 221
ベクトル計算, 27, 122
ベクトルの回転, 228, 229

■ ホ ■

ボディ, 8
ボルツマン方程式, 4

■ マ ■

マクスウェル分布, 220
マクロ断面積バンク, 266
マトリックス – 確率論的幾何形状モデル, 201, 204

■ ミ ■

ミクロ断面積の計算, 97
未定義空間, 56

■ ム ■

無限質量モデル, 38

■ メ ■

メモリの動的確保, 337
面検出器, 246, 252
面検出器評価法, 16

■ ユ ■

ユーザー定義サンプリング関数, 226

■ ヨ ■

余弦分布, 219

■ ラ ■

乱数列の初期値, 126
ランダムウォーク, 7, 8, 13, 18

■ リ ■

リスタート計算, 98, 115, 121, 122
リスタートファイル, 98, 115, 116, 122, 124, 325, 330, 333, 335, 336
粒子源, 7
粒子束
— 面検出器, 16, 252
— 粒子の重み, 13, 14, 20

粒子バンク, 28, 122, 132, 281

粒子流

面検出器, 16, 252

粒子束との関係, 16

領域探索, 8, 127, 179

■ レ ■

レスポンス

連続エネルギー, 250

レスポンス関数, 250

連続エネルギー法, 12

■ ロ ■

六面体, 167

炉雑音解析, 44

個別タリーの指定, 269

ロシアン・ルーレット

インポートランスによる —, 21

重みによる —, 21

六角柱

中心軸が z 軸に平行な —, 168

任意の軸方向を持つ —, 170

六方格子, 10

■ ワ ■

ワイルドカード文字, 88, 221, 399, 400

ワット型核分裂中性子スペクトル, 219

国際単位系 (SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎平方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe Δ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 Δ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
ミクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

