

JAERI-Data/Code
97-047



統合化燃焼計算コードシステム
SWAT

1997年11月

須山賢也・岩崎智彦*・平川直弘*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 倫原子力資料サービス

統合化燃焼計算コードシステム
SWAT

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部
須山 賢也・岩崎 智彦*・平川 直弘*

(1997年10月21日受理)

SWATは、照射後試験、消滅処理、そして燃焼度クレジットの解析を目的に開発された統合燃焼計算コードシステムである。国内における標準的熱炉解析コードSRACと、世界的に広く使用されている燃焼計算コードORIGEN2をコントロールすることで、照射環境に依存した中性子スペクトルをもちいて燃焼解析を行うことが可能である。

SWATは、SRACの計算結果にもとづいて実効断面積ライブラリを作成し、そのライブラリを使用してORIGEN2による燃焼計算を行う。SRACとORIGEN2は、外部モジュールとして呼び出されることが可能である。さらに、SWATはJENDL-3.2から作成した独自の断面積ライブラリとJNDC Fission Products Library第2版より作成した崩壊及び核分裂収率ライブラリを有している。これらのライブラリを使用することで、計算者は、SRACによって求められた実効断面積以外にも、SWATによる計算において現在の最新データを使用する事が可能である。

また、SWATの出力ファイルを使用すれば、ORIGEN2用のライブラリを作成する事も可能である。

本レポートにおいて、SWATの開発概念とそのマニュアルを示した。

Integrated Burnup Calculation Code System
SWAT

Kenya SUYAMA, Tomohiko IWASAKI* and Naohiro HIRAKAWA*

Department of Fuel Cycle Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 21, 1997)

SWAT is an integrated burnup code system developed for analysis of post irradiation examination, transmutation of radioactive waste, and burnup credit problem. It enables us to analyze the burnup problem using neutron spectrum depending on environment of irradiation, combining SRAC which is Japanese standard thermal reactor analysis code system and ORIGEN2 which is burnup code widely used all over the world.

SWAT makes effective cross section library based on results by SRAC, and performs the burnup analysis with ORIGEN2 using that library. SRAC and ORIGEN2 can be called as external module. SWAT has original cross section library on based JENDL-3.2 and libraries of fission yield and decay data prepared from JNDC FP Library second version. Using these libraries, user can use latest data in the calculation of SWAT besides the effective cross section prepared by SRAC.

Also, User can make original ORIGEN2 library using the output file of SWAT. This report presents concept and user's manual of SWAT.

Keywords: SWAT, Burnup Calculation, SRAC, ORIGEN2, Driver, JENDL-3.2, JNDC FP Library 2nd Version, Post Irradiation Examination, Burnup Credit

* Tohoku University

目 次

1. 序 論	1
2. 燃焼計算	3
2.1 ステップワイズ燃焼計算手法	4
2.2 燃焼方程式の解法	5
2.2.1 Matrix Exponential 法	6
2.2.2 Bateman 方程式	9
2.2.3 Matrix Exponential 法の非同次系への適用	10
3. SWATにおける計算の概要	12
3.1 SWATを構成するコード	12
3.2 計算の流れ	12
3.3 各モジュールの機能	15
3.3.1 LIBMAK	15
3.3.2 TABMAK	18
4. SWATで使用するライブラリ	20
4.1 SWAT Library	20
4.1.1 SWAT Library の構造	22
4.1.2 SWAT Library の作成方法	25
4.2 崩壊及び核分裂収率データ	25
4.3 SWATで使用する補助ライブラリ	26
4.3.1 READMASS ライブラリ	26
4.3.2 STEAM ライブラリ	26
5. 外部モジュールの利用	28
5.1 外部モジュールを指定する環境変数	28
6. 入力データ	29
6.1 ファイル指定	30
6.1.1 PDS file の指定における環境変数の設定	30
6.1.2 PDS file 用の directory の自動作成と削除	31
6.1.3 入力の説明	32
6.2 SWAT一般コントロール	35
6.2.1 計算結果出力	36
6.2.2 ライブラリー制御	39
6.3 SRACの入力コントロール	42
6.3.1 SRAC 制御データ	42
6.3.2 中性子スペクトルに関する情報	49

6.3.3 衝突確率法の制御と燃焼領域数	50
6.3.4 中性子スペクトル評価領域	61
6.3.5 SRAC における物質の情報	62
6.4 呼び出されるモジュールのコントロール	69
6.4.1 出力分布計算	69
6.4.2 燃焼ステップ	72
6.4.3 燃焼ステップごとのコマンド	74
6.5 燃焼履歴コントロール	76
6.5.1 運転モード情報	76
6.5.2 各領域の温度	78
6.5.3 冷却材領域の物質指定に関する情報	79
6.6 その他の付加的機能コントロール	81
7. 実行例	84
7.1 SWAT を実行するための Shell Script の例	84
7.2 外部モジュールとして実行される SRAC の shell script 例	86
7.3 外部モジュールとして実行される ORIGEN2 の shell script 例	88
7.4 サンプル入力	88
7.5 サンプル出力	92
8. SWAT のプログラミングについて	115
8.1 ファイル機番	115
8.2 配列	115
9. SWAT の Install	118
9.1 テープから archive を取り出す	118
9.2 Archive からソースツリーを作成する	118
9.3 SWAT の make	118
9.3.1 preprocessor 用の定義	119
10. swat2ori2 ユーティリティ	121
10.1 作成方法	121
10.1.1 nlib2nlib	124
11. SWAT の課題と今後	125
謝辞	126
参考文献	127

Contents

1.	Introduction	1
2.	Burnup Calculation	3
2.1	Stepwise Burnup Calculation Method	4
2.2	Solution of Burnup Equation	5
2.2.1	Matrix Exponential Method.....	6
2.2.2	Bateman Equation	9
2.2.3	Application of Matrix Exponential Method for Non-homogeneous System.....	10
3.	Summary of Calculation in SWAT	12
3.1	Codes in SWAT	12
3.2	Flow of Calculation	12
3.3	Function of Each Module	15
3.3.1	LIBMAK.....	15
3.3.2	TABMAK	18
4.	Libraries Used in SWAT	20
4.1	SWAT Library.....	20
4.1.1	Structure of SWAT Library	22
4.1.2	Method to Make SWAT Library	25
4.2	Decay and Fission Yield Data	25
4.3	Auxiliary Library Used in SWAT	26
4.3.1	READMASS Library	26
4.3.2	STEAM Library	26
5.	Use of External Module	28
5.1	Environment Variables Specifying External Module	28
6.	Input Data	29
6.1	File Assignment	30
6.1.1	Environment Variables for PDS file Specification	30
6.1.2	Automated Make and Remove of Directory for PDS file	31
6.1.3	Description of Input	32
6.2	SWAT General Control.....	35
6.2.1	Output of Calculation Results	36
6.2.2	Library Control.....	39
6.3	Input Control for SRAC	42
6.3.1	SRAC Control Data	42

6.3.2	Information for Neutron Spectrum.....	49
6.3.3	Control of Collision Probability Method and Number of Burnup Regions.....	50
6.3.4	Regions for Evaluating Neutron Spectrum	61
6.3.5	Material Control for SRAC	62
6.4	Control for Called Modules.....	69
6.4.1	Calculation of Power Distribution	69
6.4.2	Burnup Steps	72
6.4.3	Command for Each Burnup Step	74
6.5	Control for Burnup History	76
6.5.1	Information for Operation Mode	76
6.5.2	Temperature of Each Region	78
6.5.3	Information for Material Specification of Coolant Region	79
6.6	Other Additional Function Control	81
7.	Example of Execution.....	84
7.1	Example of Shell Script for Executing SWAT	84
7.2	Example of Shell Script for SRAC run as External Module	86
7.3	Example of Shell Script for ORIGEN2 run as External Module	88
7.4	Sample Input	88
7.5	Sample Output	92
8.	About Programming of SWAT.....	115
8.1	File Unit	115
8.2	Array	115
9.	Install of SWAT.....	118
9.1	Extract Archive from Tape	118
9.2	Making Source Tree from Archive.....	118
9.3	Make of SWAT	118
9.3.1	Definition for Preprocessor	119
10.	swat2ori2 Utility	121
10.1	Method to Make	121
10.1.1	nlib2nlib	124
11.	Problem and Future of SWAT	125
	Acknowledgment	126
	References	127

1 序論

使用済燃料の核種組成を精度良く求める事は、核燃料サイクル関連の研究において非常に重要である。特に近年、消滅処理の研究が盛んであるが、燃焼計算の結果はその研究結果を左右するし、燃焼度クレジットの導入においては、 ^{235}U および ^{239}Pu の生成消滅計算の計算精度は、安全性の評価に直接的な影響を有している。

燃焼計算コードの精度を左右するものに、燃焼中のスペクトルの変化の影響と、使用する断面積の精度があげられる。すなわち、燃料の燃焼にともない中性子スペクトルは変化をしていくことが知られているが、その効果を取り入れる事は、燃焼計算コードの精度を向上させるために不可欠である。また、JENDL-3.2 に代表されるような近年の核データライブラリは、Minor Actinide (MA) のように、生成量は少ないが使用済燃料の性質を左右する同位体のデータが評価されており、計算精度の精度向上のために、是非とも使用する事を考えなければならない。

これまでにも、上記の中性子スペクトルの変化を取り入れながら燃焼計算を行うコードが存在した。たとえば、国内における標準的核計算コードシステムである SRAC[1] は、燃焼計算を行う機能があり、燃焼中の燃料の組成変化に伴なう中性子スペクトルの変化を取り入れた解析が行えた。そして、最近公開された SRAC95[2] においては、燃焼計算の機能が充実されている。また、同様に原研で開発された UNITBURN[3] というコードは、SRAC とは異なり、単一ピンセル体系における中性子スペクトルを ANISN[4] によって算出しつつ燃焼計算を行うコードである。

しかしながら、それらは、主に炉心の反応度の燃焼に伴う変化を計算する事を主な目的としており、計算時間等の問題から、せいぜい 100 核種程度しかあつかわない。これでは、詳細な消滅処理の研究を行おうとするには取り扱い核種が少ない。仮に、計算時間の問題が解決されたとしても、100 程度の同位体を扱う状態から脱脚するには、千近い同位体の生成チェインを作成しなければならない。

また、ORIGEN2 のような、1000 近い同位体の計算を行うコードは、すでに膨大な生成チェインは作成されていて、取り扱い核種数は十分である。さらに毒性評価や、放出放射能の計算も可能になっているので、消滅処理の解析には最も望ましいコードである。しかし、そのようなコードにおいては、ORIGEN2 のように、中性子スペクトルの変化は前もって内蔵断面積に取り入れておくことをしているため、任意の炉心に対して、常に良い精度で計算出来るわけではない。この、「数千の同位体の生成消滅計算」と「中性子スペクト

ルの変化を取り入れる」という一見合反する性質を兼ね備えた燃焼計算コードは、バックエンド関連の研究においては、必要不可欠な道具になりつつある。

その目的を満すために、統合燃焼計算コード SWAT [5, 6] (Step Wise Burnup Analysis Code System) は開発された。本レポートは、SWAT における計算の概念と、使用マニュアルを与えるものである。尚、本文中で SRAC と書いてあるものは、明記しないかぎり、近年公開された SRAC95[2] または最近発表された SRAC97 を示し、ORIGEN2 も同様に ORIGEN2.1[7] を示す。

2 燃焼計算

燃焼計算とは、原子炉の運転に伴なって生成される、あるいは消滅する同位体の量を算出する計算のことである。原子炉の中で起る反応は、ほとんどが中性子によって起ると考えてよいので、それは以下の式によって表される。

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N l_{ij} \lambda_j X_j + \phi \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \phi \sigma_i) X_i \quad (2.1)$$

ここで、

X_i 核種 i の原子個数密度

λ_i 核種 i の放射性崩壊定数

σ_i 核種 i の中性子吸収断面積

l_{ij} 核種 j が放射性崩壊を起して、核種 i が生成される比率

f_{ik} 核種 k が中性子吸収を起して、核種 i が生成される比率

ϕ 短い時間ステップにおいて一定と仮定される中性子束

式 2.1 を構成するパラメータの中で、右辺の最初から 2 項は核種 i の生成率を、最後の項が消滅率を示す。この式の中で、 λ_i 、 l_{ij} は核種が決れば物理的に決ってしまう。よって、種々の炉心における燃焼計算の計算精度にとって、 σ をいかに精度良く求めるかという事が最も重要である事がわかる。この σ は、実効一群断面積であるが、核種組成とその燃料が置かれた環境に依存して変るものである。 σ は以下の式によって表わされる。

$$\sigma = \frac{\int_E \phi(E) \sigma(E) du}{\int_E \phi(E) du} \quad (2.2)$$

よって、断面積 $\sigma(E)$ の値と、断面積の重み関数となる ϕ のエネルギー依存性、つまり中性子スペクトル $\phi(E)$ が、 σ の決定にとって重要であることが分かる。

$\sigma(E)$ は、核データライブラリを処理して得られる値であり、同位体とその反応ごとに評価されている。この $\sigma(E)$ の精度は、核データライブラリによって決まるが、当然の事ながら、新しいライブラリほど、より多くのデータを基に評価されているために、その精度は高い。

また、 $\phi(E)$ は、原子炉の炉型、温度、燃料の状態、炉内での位置によって異なる。そして、燃料の燃焼によっても変化する。つまり、式 2.2 の $\phi(E)$ がそれぞれの原子炉や燃焼の履歴によって変化し、その結果として平均化された断面積 σ が変化する。よって、実効断面積は、解析を行う原子炉とその燃料のおかれている状況に応じて、燃料等価セルを使用したセル計算、及び状況によっては、全炉心計算によって求めることが必要不可欠である。

さらに、燃焼計算で用いる中性子束の絶対値 ϕ の値の与え方には、2つの方法がある。1つは、直接 ϕ の値を与える「中性子束一定近似」と、データとして原子炉出力を与えて、コードの中で中性子束の値を求める「出力一定近似」である。原子炉の燃焼計算を行う場合には、解析用データとして中性子束が与えられることはなく、一般には原子炉出力が与えられるので、出力一定近似を使用するのが普通である。出力一定近似をとった場合、核分裂性物質の量と核分裂断面積から中性子束を求めることになる。従って、 ϕ を決定する際にも核分裂断面積が影響をもつことになる。よって σ の決定がやはり計算結果に影響をもつ。

従って、これらの事から、同位体の生成消滅計算結果に必要なのは、いかに σ を正確に評価するか、つまり、 $\sigma(E)$ と $\phi(E)$ をいかに正確に評価するかと言うことになる。

SWAT は、それ自身が有する断面積ライブラリ作成に、最新の評価済データ JENDL-3.2 を使用し、現在のところ最も信頼できる σ を使用した解析を行える。そして、燃焼とともに変化をする ϕ の評価に、国内で標準的に使用されている原子炉解析システムの SRAC を利用することで、その信頼性を高めている。さらに、入力で指定した同位体に関しては、SRAC の計算において評価された σ を使用する事が可能で、自己遮蔽の効果を取り入れる事が必要な同位体の取り扱いも、もちろん行う。これらの事はすべて、SWAT 開発の基本的な考え方である、「可能な限り信頼出来るデータを使用する」ということを表しているのである。

2.1 ステップワイズ燃焼計算手法

SWAT が採用している計算手法は、燃焼度ごとの組成をもとにして、実効断面積と中性子スペクトルをもとめるもので、ステップワイズ燃焼計算手法 (Step Wise Burn up Calculation Method) と呼んでいる。

序論で述べたように、0 次元燃焼計算コードの代表である ORIGEN それ自体は、多くの同位体を取り扱える事から非常に有用であるが、それぞれの原子炉の形式や燃焼のパターンに合せたライブラリを用いて計算を行うことから、どのような燃料にもすぐに対応する事が出来るわけではない。さらに、SRAC のような、中性子スペクトルを計算する核

計算コードの中にも燃焼計算を行うルーチンを持つものもあるが、それらは主に U-235 や Pu-239 のような反応度に影響する核種のみを取り扱うために、MA のような他の原子力のバックエンドにおいて重要になる同位体については不十分な場合が多い。これら 2 つのコードの弱点をそれぞれおぎないつつ、その時点で利用可能である新しい核データを容易に使用可能とする計算方法があれば、これまでの燃焼計算コードの弱点を補う優れた燃焼計算コードシステムとなる。

新しい核データを持ちつつ、特定の原子炉に依存しないで、 $\phi(E)$ の燃焼にともなう変化を取り込み、そして、多くの同位体の原子数密度を同時に計算する手法が、ステップワイズ燃焼計算手法である。この手法は、ある燃焼期間を適当な期間（ステップ）に分割し、ある燃焼ステップの計算結果で得られた燃料組成を、次の燃焼ステップの初期組成として、ステップごとに燃焼計算を行う手法である。

このように燃焼期間をステップ化した場合の利点は、それぞれの燃焼ステップの初期中性子スペクトルを、その時の燃料の組成と燃料がおかれている環境、例えば冷却材温度や燃料ピンのピッチを考慮したデータを用いた計算によって、求めることが可能になることがある。そうすれば、その計算された中性子スペクトルを使用して、それぞれのステップの燃焼計算に使用する 1 群断面積を計算することが可能になる。これにより、 $\phi(E)$ の燃焼にともなう変化を取りいれる事が可能となる。また、新しい核データを使用するには、あらかじめ最新の評価済核データライブラリから作成しておいた多群断面積を用意しておき、それを縮約して 1 群断面積を求めるべきである。この、ステップワイズ計算手法は、多くの核種の生成消滅を取り扱える 0 次元燃焼計算コードを利用した燃焼計算と、燃焼期間の中性子スペクトルの変化を取り扱える核計算コードの燃焼計算ルーチンを利用した燃焼計算の、両方の特質を兼ね備えた計算手法である。

2.2 燃焼方程式の解法

ステップワイズ燃焼計算手法でも、燃焼方程式の解法自身は既存の方式を利用する事になる。燃焼方程式を解くこと自体は、ORIGEN2 が非常に良く考えられて作成されている事から、出来上がってしまった解法のように考えられている。しかしながら、一度は ORIGEN2 における燃焼計算の解法に関して関心を持っておくことは、有益であると考えられる。以下に、燃焼方程式の解法を概括する [8, 9, 10, 11]。

2.2.1 Matrix Exponential 法

燃焼計算で行なわなければならないのは、式 2.1 を解く事である。すなわち、連立微分方程式を解くための方法が必要になる。そのための方法の一つとして、Matrix Exponential 法というものがある。これは、ORIGEN2 によって採用されている解法であって、オークリッジ国立研究所 (ORNL) において、1960 年代に精力的に研究されていたものである。

Matrix Exponential 法では、まず、式 2.1 を以下の形に書く。 \mathbf{A} が遷移行列 (transition matrix) と呼ばれるものである。 \mathbf{X} は、同位体の量 (原子個数密度) を表わすベクトルである。

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{AX} \quad (2.3)$$

すると、式 2.4 のように解かれる。

$$\mathbf{X} = \exp(\mathbf{At}) \mathbf{X}(0) \quad (2.4)$$

式 2.4においては、 \mathbf{I} を単位行列として \exp の項は以下のように展開される。

$$\exp(\mathbf{At}) = \mathbf{I} + \mathbf{At} + \frac{1}{2}(\mathbf{At})^2 + \dots = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\mathbf{At})^m}{m!} \quad (2.5)$$

この展開をいかに上手く行うかが、Matrix Exponential 法の正否にかかっている。特に、Matrix Exponential 法が開発された当時は、計算機の主記憶は小さく、遷移行列を直接的に扱うのが困難であり、遷移行列の要素の中で 0 でないものだけを選び出して扱うようにするなどの工夫がなされている。

その工夫とは、式 2.5 を、式 2.4 に代入して、同位体 i の濃度を見てみると、

$$C_i^0 = X_i(0) \quad (2.6)$$

と定義すれば、

$$C_i^{n+1} = \frac{t}{n+1} \sum_j a_{ij} C_j^n \quad (2.7)$$

であって、

$$X_i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_i^n \quad (2.8)$$

と、再帰的に記述することである。このように再帰的に記述出来る事から、計算の効率が上り、プログラミングも容易になる。そして、解を求めるには、解が代入される X の他に C_i^n と C_i^{n+1} と言う 2 つの配列が用意してあればよいことになる。

このように再構成して、再帰的な記述をしたとしても問題は残る。それは、遷移行列を構成する行列の要素の値によるものである。つまり、式 2.7における和を取る作業においては、ほとんど同じ大きさの数字を足したり引いたりすることに伴なう、精度の低下を防がなければならない。しかし、そのために、行列 $A t$ のノルムが適当な条件を満すまで、時間ステップを短くしていくと言う方法は、計算時間を考えると、取り扱う同位体数が多い場合には現実的ではない。そこで、ORIGEN では、短い半減期を有する同位体(これに関する、遷移行列の要素の値は大きい)の量はすぐに平衡状態になる事を利用する。すなわち、遷移行列の対角成分が、あらかじめ決めておいた値以下の同位体についてのみ、Matrix Exponential 法によって計算を行い、その他の同位体は、解析的な手法によって評価する。

Lapidus と Luus は、遷移行列 At のノルムの大きさが、使用する計算機の Word 長によって決まる値以下になるように時間ステップ t を制御することで、計算された Matrix Exponential 関数の精度をどのような値にでも維持できる事を示した。

Lapidus と Luus は、行列 A のノルムを以下の値で定義した。

$$[A] = \min \left\{ \max_j \sum_i |a_{ij}|, \max_i \sum_j |a_{ij}| \right\} \quad (2.9)$$

つまり、行に関する要素の和の最大値と列に関する要素の和の最大値を比較して、大きくない方が行列 A のノルムである。

彼等は、 n を $[A]t$ 以下の最大の整数として、 Matrix Exponential 関数の中の如何なる要素に関する和における最大値項も、 $\frac{([A]t)^n}{n!}$ を越えない事を示した。 ORIGEN コードにおいては、 A_t のノルムの最大値は、

$$[A]t \leq -2\ln(0.001) = 13.8155 \quad (2.10)$$

に制限されている。よって、最大の項は、 10^5 程度に制限される。式 2.10 に示される制限は、 $\exp(-dt) < 0.001$ になるように、遷移行列から同位体を取り除くことで満足される。 $-d$ は、遷移行列の対角成分であって、着目している同位体の全崩壊率である。よって、列に関する要素の絶対値の和を取ってもその和は $2d$ を越えない。ただし、その同位体のすべての娘核がその列にあらわれるのであれば、 $2d$ に等しい。また、遷移行列の中で d を含む行に関して、要素の絶対値の和を取ると、 $2d$ を越えるかもしれないが、 $[A]$ は $2d$ 以下である。よって、

$$[A]t \leq 2dt = -2\ln(\exp(-dt)) \leq -2\ln(0.001) \quad (2.11)$$

$\exp(A_t)$ の展開において、 m 番目の項は、 $\frac{([A]t)^m}{m!}$ であるが、それを Stirling の公式によつて、 $\left(\frac{[A]te}{m}\right)^m (2m\pi)^{-1/2}$ と近似する。そして、その展開を何項目まで行うかは、収束における誤差が 0.1 % 以下となるように、経験則から $\frac{7}{2}[A]t + 5$ 以下の最大の整数として与えられる¹。すると、 $[A]t$ が 13.8155 の場合には、その上の条件から 53 項が必要になり、 53 項目に加えられる項は、 6.4×10^{-10} となる。これは、十分に小さい値である。

ノルムの評価によって取りのぞかれるチェインは、たとえば、 $A \Rightarrow B \Rightarrow C$ のようなチェインにおいて、 B の半減期が大きい場合が考えられる。そのような場合には、 B を飛ばして、 $A \Rightarrow C$ のようなチェインにおきかえて考えるようとする。また、 A の半減期が大きい場合には、 B が $A + B$ の量を初めに有しているとして、 $B \Rightarrow C$ のようなチェインを Matrix Exponential 法で考えるようとしている。このように、 Matrix Exponential 法で取りあつかう事が困難な場合には、以下に述べる Bateman 方程式を利用した解法を利用するのである。

¹ ORIGEN2(82) や ORIGEN2.1 では、 $\frac{7}{2}[A]t + 6$ 以下となっている。

2.2.2 Bateman 方程式

遷移行列のノルムに関する制限によって、Matrix Exponential 法で取りあつかわないと判断された同位体は、以下の式 2.12 によって取りあつかう。これはいわゆる、Bateman 方程式である。

$$X_i = X_i(0) \exp(-d_i t) + \sum_{k=1}^{i-1} X_k(0) \left(\sum_{j=k}^{i-1} \frac{\exp(-d_j t) - \exp(-d_i t)}{d_i - d_j} a_{j+1,j} \prod_{\substack{n=k \\ n \neq j}}^{i-1} \frac{a_{n+1,n}}{d_n - d_j} \right) \quad (2.12)$$

$a_{i,j}$ は、これまでに使用してきた notation と同じであって、1 次の変化率、 d_j は、 $a_{j,j}$ という遷移行列の対角要素に対応する。Bell は、式 2.12 を $\prod_{n=k}^{i-1} d_n$ で掛けそして割ることで、以下のように変形した。

$$X_i = X_i(0) \exp(-d_i t) + \sum_{k=1}^{i-1} X_k(0) \prod_{n=k}^{i-1} \frac{a_{n+1,n}}{d_n} \left(\sum_{j=1}^{i-1} d_j \frac{\exp(-d_j t) - \exp(-d_i t)}{d_i - d_j} \prod_{\substack{n=k \\ n \neq j}}^{i-1} \frac{d_n}{d_n - d_j} \right) \quad (2.13)$$

式 2.13 における最初の積は、特定の同位体の崩壊と中性子捕獲反応のあとに存在する、同位体 k の原子数の割合である。この積が 10^{-6} 以下になった場合には、同位体 k からのそしてその先行核からの、同位体 i に対する寄与は無視される。Vondy によって報告されたような、 $d_i t$ が小さいことによる Bateman 方程式の数値解法上の困難さと言うのはない。言うのも、そのような場合には、上に述べた Matrix Exponential 法によって、解かれるからである。その意味において、ORIGEN2 においては、Matrix Exponentail 法と Bateman 方程式は相補的に使用される。

$d_i = d_j$ の場合には、すなわち、2 つの同位体が同じ崩壊定数をもっているならば、式 2.13 における括弧内の和の項は、

$$\sum_{j=k}^{i-1} d_j t \exp(-d_j t) \prod_{\substack{n=k \\ n \neq j}}^{i-1} \frac{d_n}{d_n - d_j} \quad (2.14)$$

とされる。これと同様の事は、 $d_n = d_j$ の場合にも適応される。このような条件になるのは、遷移行列の対角成分が同じ値を持った時と、循環チェーン、すなわち、自分自身が自分の親核になっているような場合² に生じる。

もう一つ考えなければならない状況は、短い半減期の核が、長い半減期の先行核(親核)を有している場合である。このような場合には、放射平衡状態になってしまっており、いかなる時間間隔の後でも、平衡状態にある事が仮定されるであろう。

よって、

$$\frac{dX_i}{dt} = 0 = \sum_{j=1}^N a_{ij} X_j \quad (2.15)$$

この場合には、短い半減期の同位体濃度の線形な連立方程式になるので、Gauss-Seidel 法によって解かれる。この場合には、係数行列の対角成分は負で、非対角成分は正である。この解は、

$$X_i^{k+1} = -\frac{1}{a_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N a_{ij} X_j^k \quad (2.16)$$

の反復による収束を見ることで得られるが、一般に収束は速い。なぜなら、短寿命の同位体には普通は先行核は無く、反復と言うよりしばしば直接解になるからである。

2.2.3 Matrix Exponential 法の非同次系への適用

これまで、同次系の解を Matrix Exponential 法によって解くことを考えてきたが、一定の割合いで燃料を加えたり取り除いたりする問題³においては、以下の式を考える事に他ならない。これはいわゆる、非同次の問題である。

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{AX} + \mathbf{B} \quad (2.17)$$

式 2.17 は特解を持ち、 \mathbf{A}^{-1} があるなら、それは以下で表せる。

²(n,2n) で戻って、中性子捕獲反応を起すような場合

³溶融塩炉や再処理の解析

$$\mathbf{X} = [\exp(\mathbf{A}t) - \mathbf{I}] \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \quad (2.18)$$

ここで、Matrix Exponential の展開を代入すると、

$$\mathbf{X} = [\mathbf{I} + \frac{\mathbf{A}t}{2!} + \frac{(\mathbf{A}t)^2}{3!} + \dots] \mathbf{B}t = \left(\sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\mathbf{A}t)^m}{(m+1)!} \right) \mathbf{B}t \quad (2.19)$$

この特解もまた、無限級数として表現される。

$$X_i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} D_i^n \quad (2.20)$$

同次系の場合のように、この式 2.20 は、再帰的な関係式によって、あたえられる。

$$D_i^1 = b_i t \quad (2.21)$$

$$D_i^{n+1} = \frac{t}{n+1} \sum_{j=1}^N a_{ij} D_j^n \quad (2.22)$$

この形になれば、同次の場合の解法が使用可能になる。すなわち、長い半減期の核に関しては、Matrix Exponential 法を利用し、短い半減期の核は、別の方針が利用される。その場合には、式 2.15 を以下の形に書く。

$$\frac{dX_i}{dt} = 0 = \sum_{j=1}^N a_{ij} X_j + b_i \quad (2.23)$$

これは、Gauss-Seidel 法によって解かれる。同次および特解が得られたなら、その和をとって、非同次方程式の解とする。

3 SWAT における計算の概要

3.1 SWAT を構成するコード

SWAT は大きくわけて 4 つのコードからなっている。

まず、 SRAC[1, 2] である。このコードは、中性子輸送方程式を解くために使用される。そして、 ORIGEN2[12, 13] は、燃焼方程式を解くために使用される。これら 2 つのコードをうまく組み合わせて計算を行う事が、 SWAT の最終的な目的になるわけである。そして、そのために、 LIBMAK と TABMAK という 2 つのコードが作成されている。

TABMAK は、 ORIGEN2 の出力ファイルを処理して、 SRAC と ORIGEN2 の入力ファイルを作成し、さらに、計算結果を編集するコードである。 LIBMAK は、 SRAC の計算結果と後述する SWAT ライブリから、 ORIGEN2 フォーマットの断面積ファイルを作成するコードである。

ところで、 SWAT は、 SRAC と ORIGEN2 を、独立した外部モジュールとして利用する事が可能である。これは、従来、幾つかのコードを組み合せる時に行なわれていたような、コードの main routine を subroutine 化して、それを call する方式でなく、一つの独立したパッケージ(すなわち、それ単体で動作するもの)を、 SWAT が呼び出して使用することである。現在、 SRAC は、 SRAC95 というバージョンが最新のものであるが、 SRAC95 の利用は、後者の「外部モジュール利用」により可能としている。この「外部モジュール利用」は、 SRAC 自身の変更にそのまま対応可能な利点がある。これに関しては、後に述べる。

3.2 計算の流れ

SWAT の大まかな計算の流れを Fig. 3.1 に示す。また、少し詳細に、どのファイルが書き出され、また読み込まれるかを Fig. 3.2 に示す。

初めに、入力データから、燃料の初期組成、計算を行う体系、そして、燃焼履歴が読み取られる。そして、 SRAC と ORIGEN2 の入力データが作成される。その後は、入力データ通りに各コードが起動されて、計算が行なわれる。

一般的な流れによると、 SRAC が起動されて、実効断面積と中性子スペクトルが算出される。この結果は、 SRAC の PDS File に格納される。そして、 LIBMAK が、 PDS File に直接 access して必要なデータを取得し、 SWAT Library からのデータも含めて、 ORIGEN2 Format の断面積ファイルを作成する。そして、 ORIGEN2 が起動されて、先

程作成された断面積データを使用して、ORIGEN2による燃焼計算を行う。もし、燃焼領域が複数あるのであれば、その領域の数だけ LIBMAK による断面積作成と、ORIGEN2による燃焼計算が繰りかえされる。

そして、この ORIGEN2 の結果は、それぞれの燃焼領域の計算が終るたびに処理され、最後の燃焼領域の燃焼計算が終った時点で(その燃焼ステップが終了した事になり)、SRAC の入力作成へと進む。そして、ふたたび SRAC によって中性子スペクトルと実効断面積の計算を行って、、、、、という一連の流れを SWAT は自動的に行う。このような、それぞれの燃焼ステップでの中性子スペクトルと実効断面積を使用して ORIGEN2 用のライブラリを作成することで、中性子スペクトル変化の効果を取り入れた解析を行なっているのである。

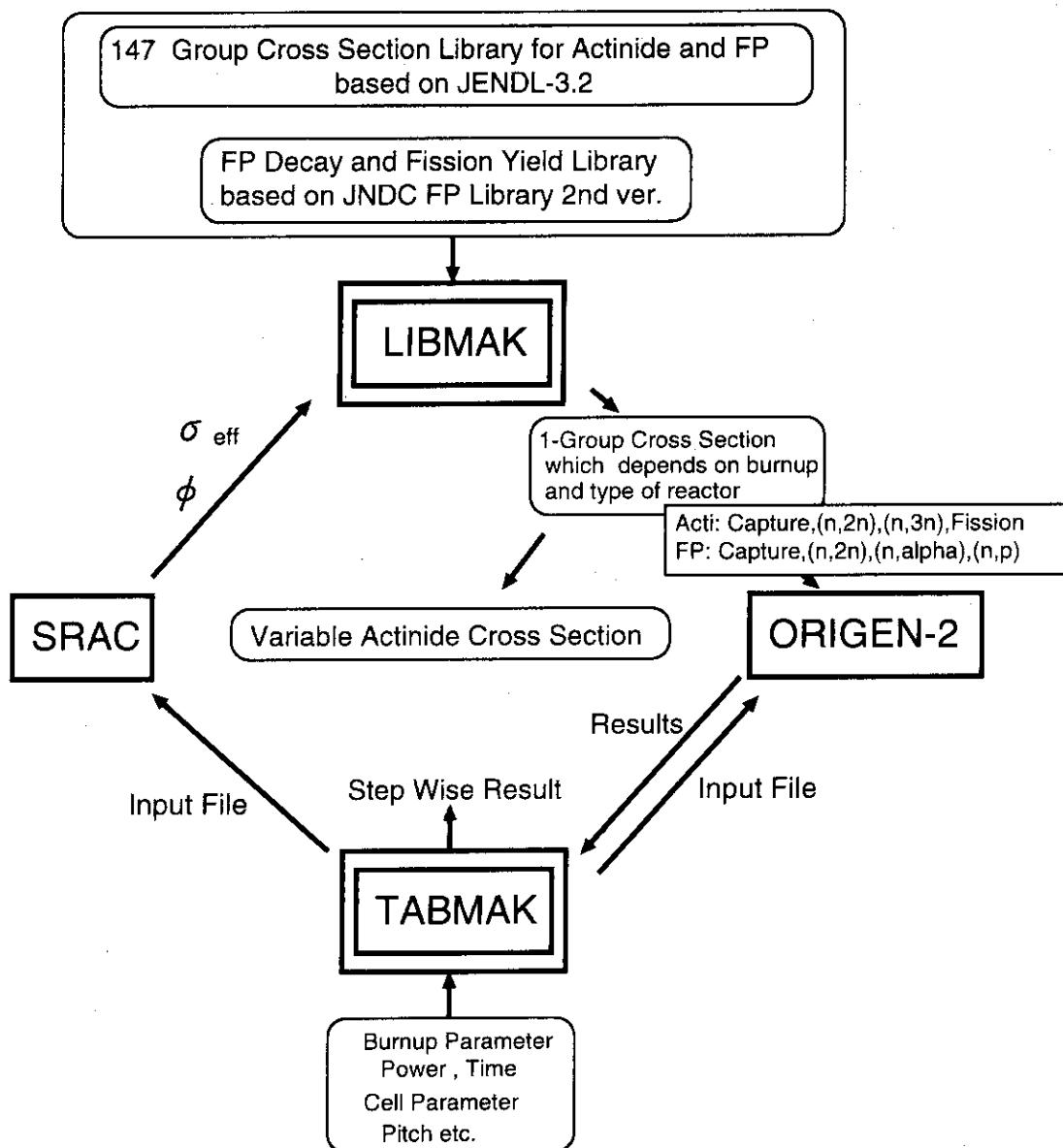


Figure 3.1: Flow Chart of SWAT

3.3 各モジュールの機能

3.3.1 LIBMAK

SWAT における ORIGEN2 用断面積作成は、 LIBMAK によって行われる。その処理の流れを、 Fig. 3.3 に示す。

このコードは、多群断面積を単に縮約をするのであるが、 SRAC の計算結果として作成された PDS file に直接アクセスを行い、処理を行う所に特徴がある。このような処理を手作業で行うのは非常に面倒であるが、 LIBMAK は、計算ケース名、ステップ数、そして燃焼領域から決定される PDS file 名を決定して、そのデータを目的の配列に store する。さらに、 SRAC によって計算された着目燃焼領域の中性子スペクトルを使用して、縮約作業を行う。対象となる反応は、 (n,γ) と (n,f) である。このために LIBMAK がアクセスを行う PDS file は、 Micro Effective Cross Section File (MICREF) と Flux File (FLUX) である。この対象になる同位体は、 SWAT の入力において指定される。

ϕ_g を SRAC によって算出された着目領域の g 群のレサジーあたりの中性子スペクトルとし、 $\sigma_{g,x}^i$ を SRAC によって算出された核種 i についての反応 x の g 群の実効断面積とすれば、

$$\sigma_{1g,x}^i = \frac{\sum_{g=1}^{107} \phi_g \sigma_{g,x}^i \Delta u_g}{\sum_{i=1}^{107} \phi_g \Delta u_g} \quad (3.1)$$

によって縮約される。ここで Δu_g は、 g 群のレサジー幅である。

さらに、 SWAT ライブライに内蔵のデータ（無限希釈データ）を読み込んで、それを SRAC による中性子スペクトルで縮約した断面積を用意する。対象になる同位体は、 SWAT Library に内蔵されている同位体すべてである。アクチノイドに関する反応は、 $(n,\gamma), (n,2n), (n,3n), (n,f)$ の、 FP に関する反応は、 $(n,\gamma), (n,2n), (n,p), (n,\alpha)$ の断面積が用意してある。たとえば、アクチノイドの $(n,3n)$ 反応や核分裂生成物の (n, α) 反応は、 SRAC の PDS file には含まれないが、 ORIGEN2 のライブラリでは必要である。このようなデータも SWAT Library には内蔵されているのである。尚、 10 MeV 以上の中性子スペクトルは、 SRAC では計算されないので、便宜的に、 U-235 の核分裂スペクトルを、 SRAC で計算されるスペクトルに接続して、 20 MeV までの中性子スペクトルを作成して縮約作業を行う。これにより、閾値反応の一群断面積を求める時の問題を解決している。

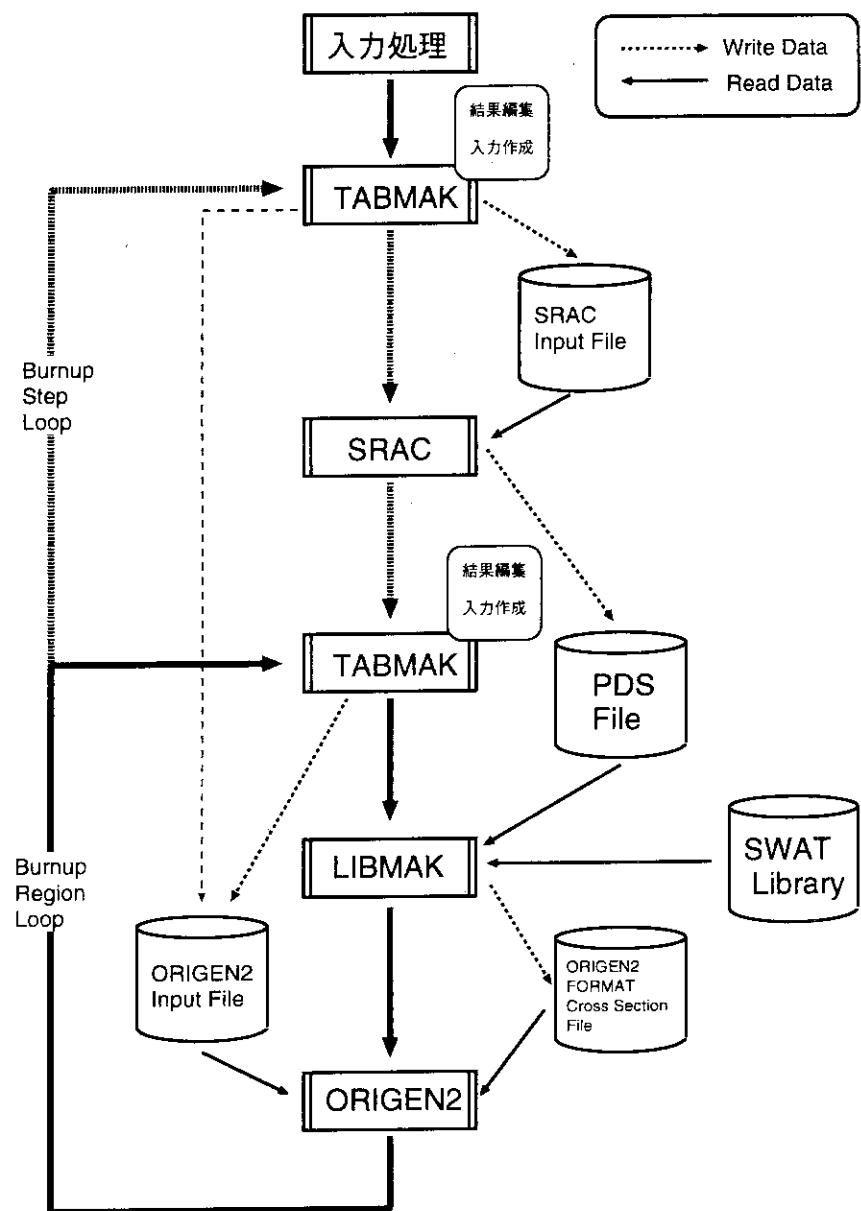


Figure 3.2: Relation of Modules in SWAT

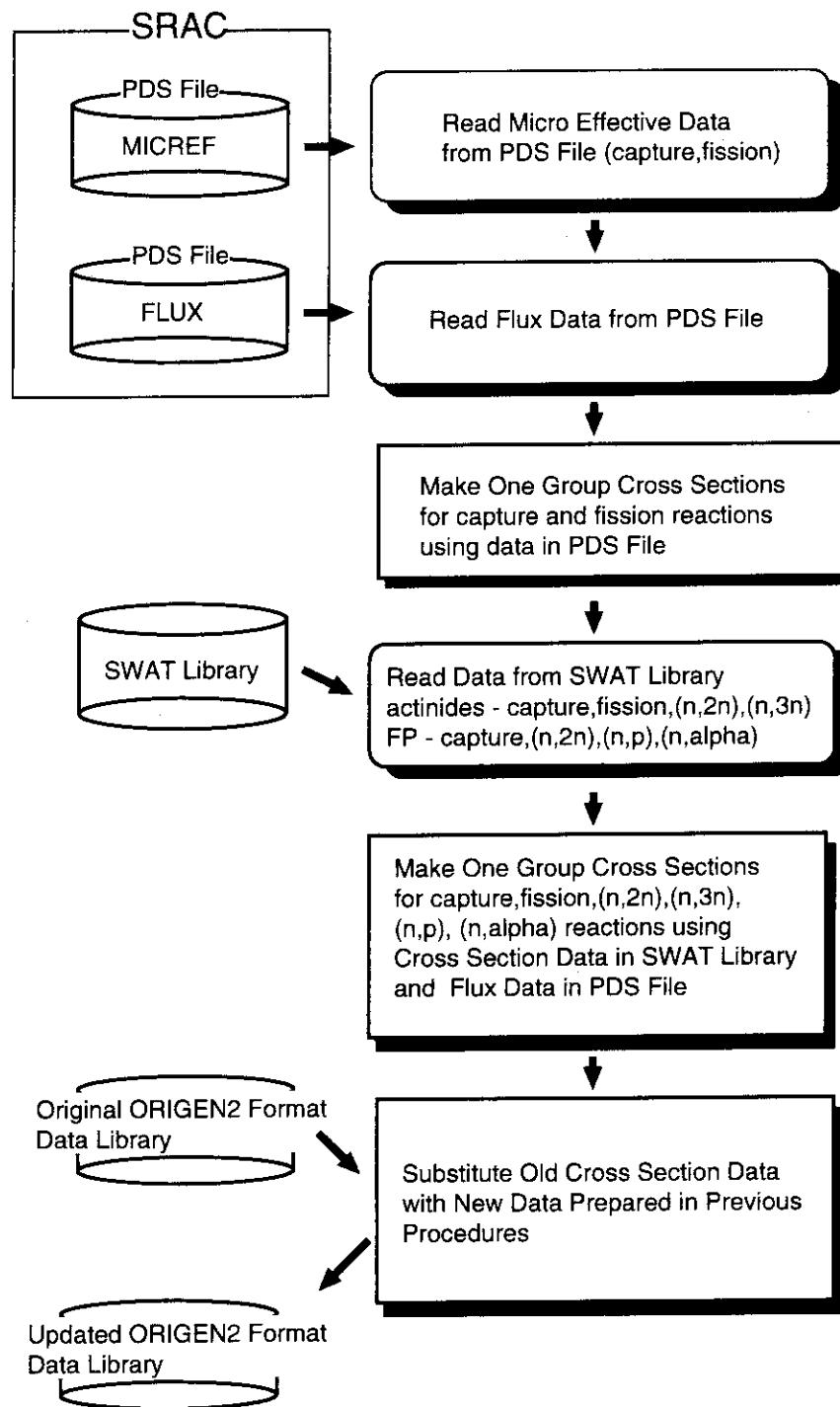


Figure 3.3: Flow of Process in LIBMAK

その詳細を説明する。まず、JENDL-3.2 より、U-235 の即発核分裂中性子スペクトルを取り出して 147 群のデータとしておく。それを χ_g とする。147 群の構造は、SRAC Public Library の 107 群構造に、10 MeV から 20 MeV を 250 KeV 每に 40 群に分割した群構造を接続したものである⁴。それは、SWAT Library に内蔵させておく。そして、SWAT Library のエネルギー群に合せて SRAC によって算出された中性子スペクトルのエネルギー群を反転して入れ換えたものを再び ϕ_g として表すと、以下のように 147 群のスペクトルを定義する。

$$\Phi_g = \begin{cases} \phi_g, & \text{for } 1 < g < 107 \\ \frac{\phi_{107}}{\chi_{107}} \chi_g, & \text{for } 108 < g < 147 \end{cases} \quad (3.2)$$

そして、この Φ_g を利用して、縮約をおこなう。 $\sigma_{g,x}^{i,swat}$ を、SWAT Library から読みこんだ、核種 i についての反応 x の g 群の断面積とすれば、

$$\sigma_{1g,x}^i = \frac{\sum_{g=1}^{147} \Phi_g \sigma_{g,x}^{i,swat} \Delta u_g}{\sum_{i=1}^{147} \Phi_g \Delta u_g} \quad (3.3)$$

最後に、LIBMAK では、あらかじめ用意しておいた ORIGEN2 の断面積データを読み込んで、そのデータと、上の作業で用意した一群断面積とを入れ換える。そして、再び ORIGEN2 フォーマットの断面積ファイルを出力する。この時、PDS File を介して SRAC の計算による実効一群断面積が得られている同位体に関しては(すなわち入力で指定した同位体については)、SRAC の計算による実効一群データが使用される。

3.3.2 TABMAK

TABMAK には 2 つの機能がある。それは、ORIGEN2 による計算結果を編集する事と、ORIGEN2 と SRAC の入力を生成する事である。そのために、ORIGEN2 による計算結果で必要な部分だけを読み込み、配列に保存しておき、必要な時にそのデータを編集する。現在 TABMAK で処理されて、計算者が得る事が可能な値は以下のものである。

1. それぞれの燃焼領域における同位体の質量(g)

⁴後述するが、SWAT Libraryにおいては、一群が低エネルギーになっている。それは、処理プログラムのCRECTJ5 の出力をそのまま使用するためである。

2. それぞれの燃焼領域における同位体の質量の和 (g)
3. それぞれの燃焼領域における同位体の質量の総和に対する割合 (%)
4. それぞれの燃焼領域における UO_2 1 gあたりの同位体の質量 (mg/g UO_2)
5. それぞれの燃焼領域における UO_2 1 gあたりの同位体の放射能 (mCi/g UO_2)
6. 燃焼領域の体積で平均化された同位体の質量 (g)
7. % FIMA (The Number of Fissions per initial atom in %)
8. 燃焼度 ($\text{MWd}/\text{T}_{initial \text{ Heavy Metal}}$)
9. 燃焼度 ($\text{MWd}/\text{gram-atom-present}$)
10. SRAC の入力にわたされる同位体の原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$)
11. 冷却材温度と圧力に対応した冷却材領域の原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$)

同位体の質量から原子個数密度を求めるには、原子量が必要である。原子量は、あらじめデータ文によってあたえておくか、READMASSという補助ライブラリから読みこんだ値を使用する。これは、コード中で使用する定数をなるべく精度の高いものにするためである。

さらに、冷却材領域の原子個数密度に関しても、原子個数密度を計算者が与える事も可能であるが、SWATにおいては、STEAMという蒸気表の値を算出するライブラリを使用する事で、温度を与えるだけで、冷却材領域の原子個数密度が求まるようになっており、計算者の負担を軽くしている。

TABMAKには二つのモードが存在している。一つは"STORE RESULT"であり、ORIGEN2の計算をそれぞれの燃焼領域に対して行った後に使用される。この場合は、ORIGEN2の計算結果をメモリに格納する。もう一つが"MAKE INPUT"である。これは、SRACとORIGEN2の入力データを作成するモードであって、SRACまたはORIGEN2の入力を生成する。"STORE RESULT"か"MAKE INPUT"は、自動的に判断される。

4 SWAT で使用するライブラリ

4.1 SWAT Library

SWAT library は、147 群の断面積データが保存してあるファイルである。現在、JENDL-3.2に基づいたファイルが与えてある。そのファイルに内蔵されている同位体を **Table 4.1** に示す。また、SWAT Library の 147 群の群構造を **Table 4.2** に示す。この表の下段が、SRAC Public Library 107 群構造に付加された、40 群の構造である。

Table 4.1: Nuclide in SWAT Library

RA223	RA224	RA225	RA226	AC225	AC226	AC227	TH227	TH228	TH229
TH230	TH232	TH233	TH234	PA231	PA232	PA233	U232	U233	U234
U235	U236	U237	U238	NP236	NP237	NP238	NP239	PU236	PU238
PU239	PU240	PU241	PU242	AM241	AM242M	AM242	AM243	AM244M	AM244
CM241	CM242	CM243	CM244	CM245	CM246	CM247	CM248	CM249	CM250
BK249	BK250	CF249	CF250	CF251	CF252	CF254	ES254	ES255	FM255
GA000	GA 69	GA 71	GE000	GE 70	GE 72	GE 73	GE 74	GE 76	AS 75
SE 74	SE 76	SE 77	SE 78	SE 79	SE 80	SE 82	BR 79	BR 81	KR 78
KR 80	KR 82	KR 83	KR 84	KR 85	KR 86	RB 85	RB 87	SR 86	SR 87
SR 88	SR 89	SR 90	Y 89	Y 91	ZR 0	ZR 90	ZR 91	ZR 92	ZR 93
ZR 94	ZR 95	ZR 96	NB 93	NB 94	NB 95	MO000	MO 92	MO 94	MO 95
MO 96	MO 97	MO 98	MO 99	MO100	TC 99	RU 96	RU 98	RU 99	RU100
RU101	RU102	RU103	RU104	RU106	RH103	RH105	PD102	PD104	PD105
PD106	PD107	PD108	PD110	AG000	AG107	AG109	AG110M	CD000	CD106
CD108	CD110	CD111	CD112	CD113	CD114	CD116	IN113	IN115	SN112
SN114	SN115	SN116	SN117	SN118	SN119	SN120	SN122	SN123	SN124
SN126	SB000	SB121	SB123	SB124	SB125	TE120	TE122	TE123	TE124
TE125	TE126	TE127M	TE128	TE129M	TE130	I127	I129	I131	XE124
XE126	XE128	XE129	XE130	XE131	XE132	XE133	XE134	XE135	XE136
CS133	CS134	CS135	CS136	CS137	BA130	BA132	BA134	BA135	BA136
BA137	BA138	BA140	LA138	LA139	CE140	CE141	CE142	CE144	PR141
PR143	ND142	ND143	ND144	ND145	ND146	ND147	ND148	ND150	PM147
PM148	PM148M	PM149	SM144	SM147	SM148	SM149	SM150	SM151	SM152
SM153	SM154	EU000	EU151	EU152	EU153	EU154	EU155	EU156	GD152
GD154	GD155	GD156	GD157	GD158	GD160	TB159			

Table 4.2: Energy Bounday of SWAT Library (147 Groups)

1.00000E-05	3.52380E-04	1.46630E-03	3.34230E-03	5.98040E-03	9.38050E-03
1.35430E-02	1.84670E-02	2.41540E-02	3.06020E-02	3.78130E-02	4.57850E-02
5.45200E-02	6.40170E-02	7.42760E-02	8.53970E-02	9.70800E-02	1.09630E-01
1.22930E-01	1.37000E-01	1.51830E-01	1.67430E-01	1.83780E-01	2.00900E-01
2.18780E-01	2.37420E-01	2.56830E-01	2.76990E-01	2.97920E-01	3.19610E-01
3.42060E-01	3.65280E-01	3.89260E-01	4.13990E-01	4.69120E-01	5.31580E-01
6.02360E-01	6.82560E-01	7.73440E-01	8.76430E-01	9.93120E-01	1.12540E+00
1.27520E+00	1.44500E+00	1.63740E+00	1.85540E+00	2.38240E+00	3.05900E+00
3.92790E+00	5.04350E+00	6.47600E+00	8.31530E+00	1.06770E+01	1.37100E+01
1.76040E+01	2.26030E+01	2.90230E+01	3.72660E+01	4.78510E+01	6.14420E+01
7.88930E+01	1.01300E+02	1.30070E+02	1.67020E+02	2.14450E+02	2.75370E+02
3.53570E+02	4.54000E+02	5.82950E+02	7.48520E+02	9.61120E+02	1.23410E+03
1.58460E+03	2.03470E+03	2.61260E+03	3.35460E+03	4.30740E+03	5.53080E+03
7.10170E+03	9.11880E+03	1.17090E+04	1.50340E+04	1.93050E+04	2.47880E+04
3.18280E+04	4.08680E+04	5.24750E+04	6.73800E+04	8.65170E+04	1.11090E+05
1.42640E+05	1.83160E+05	2.35180E+05	3.01970E+05	3.87740E+05	4.97870E+05
6.39280E+05	8.20850E+05	1.05400E+06	1.35340E+06	1.73770E+06	2.23130E+06
2.86510E+06	3.67880E+06	4.72370E+06	6.06530E+06	7.78800E+06	1.00000E+07
1.02500E+07	1.05000E+07	1.07500E+07	1.10000E+07	1.12500E+07	1.15000E+07
1.17500E+07	1.20000E+07	1.22500E+07	1.25000E+07	1.27500E+07	1.30000E+07
1.32500E+07	1.35000E+07	1.37500E+07	1.40000E+07	1.42500E+07	1.45000E+07
1.47500E+07	1.50000E+07	1.52500E+07	1.55000E+07	1.57500E+07	1.60000E+07
1.62500E+07	1.65000E+07	1.67500E+07	1.70000E+07	1.72500E+07	1.75000E+07
1.77500E+07	1.80000E+07	1.82500E+07	1.85000E+07	1.87500E+07	1.90000E+07
1.92500E+07	1.95000E+07	1.97500E+07	2.00000E+07		

4.1.1 SWAT Library の構造

SWAT ライブライアリは、ヘッダーと断面積データからなっている、以下にファイルの構造を説明する。

最初の行はコメントである。2行目は、そのファイルのバージョンを示す。3行目は、エネルギー群の情報で、

1. 全エネルギー群 (IGGC (=147))
2. 高速群と共鳴群境界の群 (IGFGC(=99))
3. 共鳴群と熱群の境界 (IGRGC(=36))
4. 热群の最後の群 (IGTGC(=1))

一般に炉物理の世界では、1群が高速群で、群数が大きい方がエネルギーが低くなるが、SWAT Library では、反転して低い群より保存されている事に注意をして欲しい。これは、後述する CRECTJ5 による出力をそのまま利用するためである。

次に、エネルギー群構造のデーターが (IGGC+1 個) 保存される。このエネルギー群は、 1.0×10^5 eV から 10 MeV までの SRAC Public Library の 107 群の構造に、10 MeV から 20 MeV を 40 群に分割した群構造を接続をした、147 群の群構造を有している。これは、閾値反応を取り扱うためである。

その次のブロックは、IGGC 群の U-235 の即発核分裂スペクトルである。このデータは、SRAC で計算されたスペクトルに接続されるために用意されている。

その次の行は、そのライブラリに保存されている、同位体数である。この例では、60 核種のデータが保存されていると記述してある。

その次の Block は、actinide の場合には、

1. 同位体の化学記号
2. ZA 番号
3. MAT 番号
4. 中性子捕獲断面積は入っているか (=1) いないか (=0)
5. (n,2n) 断面積は入っているか (=1) いないか (=0)

6. (n,3n) 断面積は入っているか (=1) いないか (=0)

7. (n,f) 断面積は入っているか (=1) ないか (=0)

8. 中性子捕獲反応における分岐比

9. (n,2n) 反応における分岐比

を与える。FP ライブライの場合には、(n,3n) と (n,f) 反応のかわりに、(n,p) と (n, α) 反応の断面積があるかどうかを示すこととしている。

そして、その後で、IGGC 群構造の断面積データが続く。

```
----- Sample of SWAT Library -----
JENDL-3.2 ACTILIB FOR SWAT BY KENYA JNDC-PNT.(300K)+SIGMA1(900)+CRECTJ5
JENDL-3.2 VER. 2.1
147 99 36 1
1.00000E-05 3.52380E-04 1.46630E-03 3.34230E-03 5.98040E-03 9.38050E-03
1.35430E-02 1.84670E-02 2.41540E-02 3.06020E-02 3.78130E-02 4.57850E-02
5.45200E-02 6.40170E-02 7.42760E-02 8.53970E-02 9.70800E-02 1.09630E-01
1.22930E-01 1.37000E-01 1.51830E-01 1.67430E-01 1.83780E-01 2.00900E-01
2.18780E-01 2.37420E-01 2.56830E-01 2.76990E-01 2.97920E-01 3.19610E-01
3.42060E-01 3.65280E-01 3.89260E-01 4.13990E-01 4.69120E-01 5.31580E-01
6.02360E-01 6.82560E-01 7.73440E-01 8.76430E-01 9.93120E-01 1.12540E+00
1.27520E+00 1.44500E+00 1.63740E+00 1.85540E+00 2.38240E+00 3.05900E+00
3.92790E+00 5.04350E+00 6.47600E+00 8.31530E+00 1.06770E+01 1.37100E+01
1.76040E+01 2.26030E+01 2.90230E+01 3.72660E+01 4.78510E+01 6.14420E+01
7.88930E+01 1.01300E+02 1.30070E+02 1.67020E+02 2.14450E+02 2.75370E+02
3.53570E+02 4.54000E+02 5.82950E+02 7.48520E+02 9.61120E+02 1.23410E+03
1.58460E+03 2.03470E+03 2.61260E+03 3.35460E+03 4.30740E+03 5.53080E+03
7.10170E+03 9.11880E+03 1.17090E+04 1.50340E+04 1.93050E+04 2.47880E+04
3.18280E+04 4.08680E+04 5.24750E+04 6.73800E+04 8.65170E+04 1.11090E+05
1.42640E+05 1.83160E+05 2.35180E+05 3.01970E+05 3.87740E+05 4.97870E+05
6.39280E+05 8.20850E+05 1.05400E+06 1.35340E+06 1.73770E+06 2.23130E+06
2.86510E+06 3.67880E+06 4.72370E+06 6.06530E+06 7.78800E+06 1.00000E+07
1.02500E+07 1.05000E+07 1.07500E+07 1.10000E+07 1.12500E+07 1.15000E+07
1.17500E+07 1.20000E+07 1.22500E+07 1.25000E+07 1.27500E+07 1.30000E+07
1.32500E+07 1.35000E+07 1.37500E+07 1.40000E+07 1.42500E+07 1.45000E+07
1.47500E+07 1.50000E+07 1.52500E+07 1.55000E+07 1.57500E+07 1.60000E+07
1.62500E+07 1.65000E+07 1.67500E+07 1.70000E+07 1.72500E+07 1.75000E+07
1.77500E+07 1.80000E+07 1.82500E+07 1.85000E+07 1.87500E+07 1.90000E+07
1.92500E+07 1.95000E+07 1.97500E+07 2.00000E+07
5.61030E-17 3.70669E-15 3.14837E-14 1.24848E-13 3.46469E-13 7.09910E-13
1.18876E-12 1.84923E-12 2.71497E-12 3.81004E-12 5.14767E-12 6.77546E-12
8.711663E-12 1.09950E-11 1.36381E-11 1.66656E-11 2.00531E-11 2.38308E-11
2.81588E-11 3.31453E-11 3.85718E-11 4.44312E-11 5.10544E-11 5.82229E-11
6.59249E-11 7.44199E-11 8.35468E-11 9.34156E-11 1.04030E-10 1.15361E-10
1.27543E-10 1.40527E-10 1.54377E-10 1.77684E-10 2.14351E-10 2.58632E-10
3.12001E-10 3.76309E-10 4.53942E-10 5.47610E-10 6.57893E-10 7.89684E-10
9.54758E-10 1.15489E-09 1.39275E-09 1.85162E-09 2.69869E-09 3.92969E-09
5.71910E-09 8.32320E-09 1.21100E-08 1.75731E-08 2.54792E-08 3.70784E-08
5.40623E-08 7.88112E-08 1.14783E-07 1.67060E-07 2.43171E-07 3.53906E-07
5.14710E-07 7.45354E-07 1.08273E-06 1.58079E-06 2.30316E-06 3.35507E-06
4.88604E-06 7.10883E-06 1.03442E-05 1.50525E-05 2.17867E-05 3.16560E-05
4.62711E-05 6.73704E-05 9.79931E-05 1.42598E-04 2.07532E-04 3.01935E-04
4.39120E-04 6.35528E-04 9.24185E-04 1.34810E-03 1.95859E-03 2.84572E-03
4.13100E-03 5.99852E-03 8.68944E-03 1.25770E-02 1.80981E-02 2.60161E-02
3.74125E-02 5.35110E-02 7.60687E-02 1.06926E-01 1.47795E-01 1.99160E-01
2.59728E-01 3.26632E-01 3.94163E-01 4.52475E-01 4.82724E-01 4.61645E-01
3.83256E-01 2.69439E-01 1.54795E-01 6.80323E-02 2.10059E-02 8.39211E-03
7.09201E-03 5.98983E-03 5.05614E-03 4.26263E-03 3.58904E-03 3.02043E-03
2.54074E-03 2.13455E-03 1.79098E-03 1.50211E-03 1.25933E-03 1.05449E-03
8.81837E-04 7.37197E-04 6.16073E-04 5.14289E-04 4.28837E-04 3.57475E-04
2.97901E-04 2.48018E-04 2.06283E-04 1.71526E-04 1.42588E-04 1.18432E-04
9.82806E-05 8.15394E-05 6.76345E-05 5.60543E-05 4.64166E-05 3.84280E-05
3.18079E-05 2.62995E-05 2.17199E-05 1.79345E-05 1.48062E-05 1.22213E-05
```

1.00861E-05 8.32245E-06 6.86611E-06

60

RA223	882230	8825	1	1	1	1	1.0	1.0
RA224	882240	8828	1	1	1	0	1.0	1.0
RA225	882250	8831	1	1	1	0	1.0	1.0
RA226	882260	8834	1	1	1	1	1.0	1.0
AC225	892250	8925	1	1	1	0	1.0	1.0
AC226	892260	8928	1	1	1	0	1.0	1.0
AC227	892270	8931	1	1	1	1	1.0	1.0
TH227	902270	9025	1	1	1	1	1.0	1.0
TH228	902280	9028	1	1	1	1	1.0	1.0
TH229	902290	9031	1	1	1	1	1.0	1.0
TH230	902300	9034	1	1	1	1	1.0	1.0
TH232	902320	9040	1	1	1	1	1.0	1.0
TH233	902330	9043	1	1	1	1	1.0	1.0
TH234	902340	9046	1	1	1	1	1.0	1.0
PA231	912310	9131	1	1	1	1	1.0	1.0
PA232	912320	9134	1	1	1	1	1.0	1.0
PA233	912330	9137	1	1	1	1	0.5	1.0
U232	922320	9219	1	1	1	1	1.0	1.0
U233	922330	9222	1	1	1	1	1.0	1.0
U234	922340	9225	1	1	1	1	1.0	1.0
U235	922350	9228	1	1	1	1	1.0	1.0
U236	922360	9231	1	1	1	1	1.0	1.0
U237	922370	9234	1	1	1	1	1.0	1.0
U238	922380	9237	1	1	1	1	1.0	1.0
NP236	932360	9343	1	1	1	1	1.0	1.0
NP237	932370	9346	1	1	1	1	1.0	2.585E-01
NP238	932380	9349	1	1	1	1	1.0	1.0
NP239	932390	9352	1	1	1	1	7.991E-01	1.0
PU236	942360	9428	1	1	1	1	1.0	1.0
PU238	942380	9434	1	1	1	1	1.0	1.0
PU239	942390	9437	1	1	1	1	1.0	1.0
PU240	942400	9440	1	1	1	1	1.0	1.0
PU241	942410	9443	1	1	1	1	1.0	1.0
PU242	942420	9446	1	1	1	1	1.0	1.0
AM241	952410	9543	1	1	1	1	8.900E-01	1.0
AM242M	952421	9547	1	1	1	1	1.0	1.0
AM242	952420	9546	1	1	1	1	1.0	1.0
AM243	952430	9549	1	1	1	1	4.999E-02	1.0
AM244M	952441	9553	1	1	1	1	1.0	1.0
AM244	952440	9552	1	1	1	1	1.0	1.0
CM241	962410	9628	1	1	1	1	1.0	1.0
CM242	962420	9631	1	1	1	1	1.0	1.0
CM243	962430	9634	1	1	1	1	1.0	1.0
CM244	962440	9637	1	1	1	1	1.0	1.0
CM245	962450	9640	1	1	1	1	1.0	1.0
CM246	962460	9643	1	1	1	1	1.0	1.0
CM247	962470	9646	1	1	1	1	1.0	1.0
CM248	962480	9649	1	1	1	1	1.0	1.0
CM249	962490	9652	1	1	1	1	1.0	1.0
CM250	962500	9655	1	1	1	1	1.0	1.0
BK249	972490	9752	1	1	1	1	1.0	1.0
BK250	972500	9755	1	1	1	1	1.0	1.0
CF249	982490	9852	1	1	1	1	1.0	1.0
CF250	982500	9855	1	1	1	1	1.0	1.0
CF251	982510	9858	1	1	1	1	1.0	1.0
CF252	982520	9861	1	1	1	1	1.0	1.0
CF254	982540	9867	1	1	1	1	1.0	1.0
ES254	992540	9914	1	1	1	1	1.0	1.0
ES255	992550	9915	1	1	1	1	1.0	1.0
FM255	1002550	9936	1	1	1	1	1.0	1.0
** JENDL-3.2 * RA223(8825) SWATLIB-ACTI(9609) * T= 900.0(K) **							0	0
8.82230+ 4	2.21103+ 2	0	1	0	0	08825	1451	1
0.00000+ 0	0.00000+ 0	0	0	0	0	08825	1451	2
0.0 + 0	0.0 + 0	0	0	1	1	58825	1451	3
						8825	1451	4
		1	451	10	10	18825	1451	5
		3	16	18	18	08825	1451	6
		3	17	15	15	08825	1451	7
		3	18	53	53	08825	1451	8
		3	102	53	53	08825	1451	9
						8825	1 0	10

4.1.2 SWAT library の作成方法

SWAT library の作成方法は簡単である。すべての tool は、EWS へ移植され、shell script を実行するだけで、作成される。詳細については述べないが、使用したプログラムを示す。

RECENT[14, 15]

共鳴パラメータを処理するプログラム。これが、所謂 "Point wise cross section" を作成する。

LINEAR[16, 15]

断面積の内挿公式を線形内挿に変更する。

SIGMA1[17, 15]

共鳴パラメータを処理する場合には、ドップラー広がりを考慮するために、温度を指定しなければならない。そのために、一度作成された Point Wise 断面積に、任意の温度のドップラー広がりを与える。

CRECTJ5[18]

断面積編集プログラム。これによって、SWAT ライブラリの形式に変更される。

4.2 崩壊及び核分裂収率データ

FP に関しては、その核分裂収率と崩壊定数の見直しをおこなった。これらのデータは、FP の生成 chain を決定する重要なデータである。現在、最新の核データにもとづいた核分裂収率のデータとして、JNDC(Japanese Nuclear Data Committee) Nuclear Data Library of Fission Products – Second version – [19](JNDCFPV2) が利用出来る。この、JNDCFPV2 で評価された FP 核種の崩壊定数と核分裂収率データを、ORIGEN2 の FP Library の形式に変更して、計算に利用可能ないようにした。

4.3 SWAT で使用する補助ライブラリ

燃焼計算において使用されるデータには、原子量のように物理定数として与えらえる性質のものがある。また、冷却材の密度も、温度と圧力があたえられれば蒸気表によって与えらえる。一般に、計算者が独自の値を使用したい場合には、それらは計算を行う側で入力として与えるであろうが、実際には標準的な値を使用して計算する事になる。その目的のために、SWAT では、内部で使用する補助的なデータを用意してある。それは、READMASS とSTERM という 2つの補助ライブラリであって、それぞれ、原子量と冷却材の密度を与えるために使用する。

4.3.1 READMASS ライブラリ

READMASS library は、同位体の原子量を読み込むためのライブラリである。これは、原子個数密度を計算する際に使用される。基になったデータは、BNL の WWW サーバーから入手し、原子質量を読み出すサブルーチンを作成して、SWAT で利用している。

READMASS library を利用するには、環境変数を設定する必要がある。すなわち、READMASS Library の subroutine が実際にオープンするファイルを指定しなければならない。

たとえば、そのファイルが、

```
/home/codes/swat/readmass/ms
```

にあったとすると、

環境変数 READMASS を、csh を利用しているのであれば、

```
setenv READMASS /home/codes/swat/readmass/ms
```

として、設定しなければならない。

READMASS ライブラリを使用しない場合には、SWAT のサブルーチンにおいて、算出された(あるいは与えてあった)質量数が、自動的にセットされる。

4.3.2 STEAM ライブラリ

STEAM ライブラリは、日本原子力研究所において開発された数値計算パッケージに入っているものである。温度や、圧力を指定するだけで、水の蒸気表に内蔵されている値を算出する。軽水炉における PIE の解析には、冷却材の密度が必要となるが、そのデータを蒸気

表から引いてくる事は、解析の効率上問題がある。SWATでは、このSTEAMライブラリを利用することで解析上の効率と、使用数値の高精度化を目指している。

STEAMルーチンを利用しない場合には、SWATの中に内蔵されている各温度点における水密度を温度で内挿して使用する。

5 外部モジュールの利用

SWAT は、 SRAC と ORIGEN2 の橋渡しをするコードである。そのために、以前は ORIGEN2 と SRAC のメインルーチンをサブルーチン化して利用していた [5, 6]。しかしながら、 ORIGEN2 はともかく、 SRAC はあまりに巨大なコードパッケージであり、上記のような方法では、プログラムが大きくなりすぎる、また、 SRAC に変更があった場合には、同様の変更を、 SWAT にリンクしたソースプログラムにも加えなければならず、開発の効率が悪い。よって、 UNIX の system 関数を利用した、「外部モジュール呼びだし」機能を可能とした。これは、 ORIGEN2 と SRAC を SWAT 本体に LINKさせずに、呼び出して使用する機能である。これにより、 SRAC の修正に遅滞なく対応可能になる。SWAT では、 SRAC による計算結果を、メモリではなく PDS file に access する事で得ているために、このような事が可能になった。よって、 SRAC の PDS file の形式が変更にならないかぎり、 SWAT は SRAC の計算機能を利用可能である。

この外部モジュールは、現在 SRAC と ORIGEN2 の呼び出しに使用可能であって、 swat の make を行う際に、 preprocessor 用の定義において、 USERSRAC と USERORI2 を定義し、さらに、 SRAC95 を定義すれば、それに対応してソースプログラムが書き換えられ、コンパイルされる。

5.1 外部モジュールを指定する環境変数

外部モジュールを指定するには、 SRAC 用の SRACMOD 、そして ORIGEN2 用の ORI2MOD の 2 つの環境変数を利用する。

csh の shell script の中で、

```
setenv SRACMD /codes/srac/srac_script
setenv ORI2MOD /codes/origin2/origin2_script
```

のように、指定をすればよい。これら script の例はあとに示す。

6 入力データ

入力データの説明を以下に行う。SWAT の入力データは大きく分けると、

1. ファイル指定
2. SWAT 一般コントロール
3. SRAC の入力コントロール
4. 呼び出されるモジュールのコントロール
5. 燃焼履歴コントロール
6. その他の付加的機能コントロール

の 6 パートからなる。ファイルの指定以外は、すべて、SRAC と同様のフリーフォーム入力が可能である。以下に、入力データの説明を行う。

6.1 ファイル指定

このパートは、 SRAC と SWAT Library の指定を行う。上に示したように、 SWAT は、 SRAC によって作成された PDS file に直接アクセスをして、データを取得する。また、 SRAC で取り扱われない断面積データは、 SWAT Library のデータを使用する。ここでは、それらのファイルの指定を行う。

6.1.1 PDS file の指定における環境変数の設定

SRAC を利用した方なら御存知だとは思うが、 SRAC における PDS file の指定は、実質的には、 directory の Full Path を指定することである。計算結果は、 MEMBER と呼ばれる file として、その directory の配下に記録される。

さて、一般に、 PDS file (特に Public Library と呼ばれる SRAC の共通ファイル) は、非常に大きいために、複数の利用者が同じものを使用する。よって、その Path は、 SRAC を install した時点で決ってしまい、不変である。また、ユーザーが作成する PDS file も、 directory の構成上 (高速な local の file system 上に作成した方が良いので) 、 Path を変えることは少ない。

このような場合に、すべての計算ケースにおいて PDS file の位置を、 Full Path で指定するのは、計算を行う側にとっては面倒な場合がある。そのために、 SWAT では環境変数を使用して PDS file の位置を指定する。すなわち、 **Table 6.1** に示した 3 つの環境変数を使用する。少なくとも、これらの 3 つの directory は実行の前に存在していなければならない。

Table 6.1: PDS file 指定のための環境変数

環境変数名	内容
PBLIB	Public Library の絶対 PATH (FASTP, THETMALP MCROSSP)
USLIB	User Library の絶対 PATH (FASTU,THERMALU)
OULIB	その他の User Library の絶対 PATH MACRO,MICREF,FLUX,MACROWRK,UMCROSS)

たとえば、後述する PUBLIC FAST file の指定において、 fastp と directory 名が指定され、 PBLIB が /work/srac95/pdsdir/ と指定されているなら、

`/work/srac95/pdsdir/fastp` という directory が PUBLIC FAST file のメンバーが保存されている directory となる。この、`/work/srac95/pdsdir/fastp` という directory は、SWAT の実行の前に、存在していなければならない⁵。

また、USER FAST file の指定には、USLIB が使用されるが、それが`/home/srac95/` と指定され、USER FAST file の指定において、`fastu` と directory 名が指定されるなら、`/home/srac95/fastu` が USER FAST Library のメンバーが保存される。この、`/home/srac95/fastu` も、実行の前に存在していなければならない。

さらに、多数の燃焼計算の結果を保存するために、SWAT は燃焼ステップによって決定されるケース名を持つ sub directory を作成する場合がある。これは、OULIB によって指定される PDS file の指定で使用される。この理由は、OULIB で指定されるものは、一般にその計算に固有のものであるからである⁶。

たとえば、後述する MICREF file の指定において、`micref` と directory 名が指定され、OULIB が`/tmp/pdsdir/` と指定されており、ケース名が CCC1 であるなら、`/tmp/pdsdir/CCC1/micref` という directory が MICREF file のメンバーが保存される directory となる。この場合は、`/tmp/pdsdir/` が存在していなければならない。

これらの、環境変数は、SWAT を実際に実行する shell script の中で、指定をするのが一般的であろう。または、login shell の設定ファイルの中で、指定してもかまわない。

csh を使用しているのであれば、

```
setenv PBLIB /home/codes/srac/publiclib/
```

のように、指定すればよい。

6.1.2 PDS file 用 directory の自動作成と削除

SRAC が使用する PDS file は膨大である。そのために、不要になった PDS file は定期的に削除をしておくことが望ましい。特に、SWAT では自動的に PDS file を作成していくために、かなり膨大な量の disk を使用する。環境変数 OULIB で指定される PDS file は、典型的な計算によると、6.1 M Byte / (step 数 × 燃焼領域数) である。よって、燃焼

⁵PUBLIC Library なので当然である

⁶それに比較をすると USER Library と言えども、USLIB で指定されるものは、エネルギー群数が決まれば不变である事が多い。よって、USLIB で指定される PDS Directory の指定では、ケース名を持つ sub directory は作成しないのである。

領域数と燃焼ステップが多い場合には、 disk 容量が不足する状況が予想される。また、管理上 quota を掛けているサイトなどでは disk 容量の制限のために計算が出来なくなる可能性がある。

よって、 SWAT では、 OULIB によって指定された PDS directory の下のケース名を有する directory を自動的に作成して不要になった時点で削除する機能を有している。これは、 SWAT の make を行う場合に、 preprocessor での定義において RMPREVDIR を指定する事で実現される。

6.1.3 入力の説明

CARD 1 コメント行 /A80/

CARD 2 PDS file PUBLIC LIBRARY(FAST group) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

PDS file の環境変数とケース名で指定された後に続く部分を 8 文字以内で指定する。そして、 PDS file に access する時のモード等の 2 文字を指定する。この指定は、 SRAC95 のそれと同様である。よって、詳しくは、 JAERI-Data/Code 96-015 を参照していただきたい。ただし、 Public Library の場合には、 file によって読まれ、 STATUS は OLD として Access される。また、 SWAT で直接使用しない PDS file (たとえば、 MACRO) は、 Scratch ファイルとしてあつかい、 SRAC95 の計算後に file を残さないようにするのが計算の高速性の観点からすると望ましいし、 MICREF や FLUX のように、 SWAT があとで使用する事がわかっている PDS file は、 file アクセスによりアクセスして、ファイルにデータを残さなければならない。よって、ここで明示的に指定を行わない場合には (すなわちブランクならば) 、以上述べたように自動的に指定される。よって、特に問題の無い場合には、指定しないことを勧める。以下、 **CARD 2** から **CARD 11** は、同様に PDS file の指定を行う。

2-1 FNAME /A8/

PDS file (Public Fast Library) の Directory 名

2-2 FSTATUS /A1/

PDS file Public Fast Library の保存モード

- = O すでに存在している
- = N 新しく作成する
- = S スクラッチファイルとして使用後は捨てる

2-3 ACSMODE /A1/

PDS file Public Fast Library への access モード

- = F ファイルからアクセスする
- = C メモリ上の仮想 PDS ファイルからアクセスする

CARD 3 PDS file PUBLIC LIBRARY(THERMAL group) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 4 PDS file USER LIBRARY(FAST group) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 5 PDS file USER LIBRARY(THERMAL group) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 6 PDS file USER LIBRARY(macro working file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 7 PDS file USER LIBRARY(flux file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 8 PDS file USER LIBRARY(macro file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 9 PDS file PUBLIC LIBRARY(mcross file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 10 PDS file USER LIBRARY(micro effective file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 11 PDS file USER LIBRARY(mcross file) /10X,A8,5X,A1,5X,A1/

CARD 12 コメント行 /A80/

CARD 13 FT93 / 8X, A80/

アクチノイド用 SWAT ライブラリファイルのファイル名

CARD 14 FT94 / 8X,A80/

核分裂生成物用 SWAT ライブラリファイルのファイル名

CARD 15 FT95 / 8X,A80/

ORIGEN2 のオリジナル断面積ライブラリのファイル名。SWATにおいては、ここで指定された ORIGEN2 フォーマットのファイルの一群断面積データを、LIBMAK によって作成された一群断面積で入れ換える。よって、崩壊及び核分裂収率データを新らしくしたり、計算者が独自の崩壊データを使用する場合には、その新しいファイルをここで指定する。

尚、ここで指定するファイルは、ORIGEN2 で使用しているのとまったく同じフォーマットで、以下の NLB 番号を有している事を前提としている。Table 6.2 に、NLB 番号を示す。

CARD 16 コメント /A80/

CARD 17 FT10 /8X,A80/

ORIGEN2 で使用するフォトンデータファイル名。現在のバージョンでは、このファイルは変更されないが、将来のために指定だけはしておく。

Table 6.2: 使用する NLB 番号

NLB	対象データ
1	放射化生成物の崩壊データ
2	アクチノイドの崩壊データ
3	核分裂生成物の崩壊データ
204	放射化生成物の断面積
205	アクチノイドの断面積
206	核分裂生成物の断面積

6.2 SWAT 一般コントロール

ORIGEN2 の基本的な出力は、各同位体の「重量」である。しかしながら、その他のデータに換算を行いたい場合がある。SWAT は、いくつかの換算ルーチンを有しており、質量を基本とした出力を他の単位に変換する事ができる。また、断面積データの制御においては、断面積を入れ換えないで古い断面積データで計算を行う事も可能にしている。このセクションでは、それらの制御を行う。

CARD 18 コメント /A80/

CARD 19 コメント /A80/

ここで指定したコメントは、SRAC のコメントと ORIGEN2 のヘッダーで使用される。

6.2.1 計算結果出力

CARD 20 出力制御 /20I/

SWAT の結果の出力を制御する。

20-1 SUMMARRY(1) /I/

それぞれの燃焼領域の各同位体の質量 (g)

- =0 出力しない
- =1 出力する

20-2 SUMMARRY(2) /I/

それぞれの燃焼領域の各同位体の質量の和 (g)

- = 0 出力しない
- = 1 出力する

20-3 SUMMARRY(3) /I/

それぞれの燃焼領域での各同位体の存在割合 (%)

- = 0 出力しない
- = 1 出力する

20-4 SUMMARRY(4) /I/

それぞれの同位体の mg/gUO₂ (OECD/NEA/BUC Phase-IB ベンチマーク用)

- = 0 出力しない
- = 1 出力する

20-5 SUMMARRY(5) /I/

それぞれの同位体の mCi/gUO₂ (OECD/NEA/BUC Phase-IB ベンチマーク用)

• = 0 出力しない

• = 1 出力する

20-6 SUMMARRY(6) /I/

それぞれの同位体の燃焼領域ごとの質量を体積平均した質量 (g)

• = 0 出力しない

• = 1 出力する

20-7 SUMMARRY(7) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-8 SUMMARRY(8) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-9 SUMMARRY(9) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-10 SUMMARRY(10) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-11 SUMMARRY(11) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-12 SUMMARRY(12) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-13 SUMMARRY(13) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-14 SUMMARRY(14) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-15 SUMMARRY(15) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-16 SUMMARRY(16) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-17 SUMMARRY(17) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-18 SUMMARRY(18) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-19 SUMMARRY(19) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

20-20 SUMMARRY(20) /I/

現在無効 (将来の拡張のため)

6.2.2 ライブラリー制御

CARD 21 ライブラリー制御 /8I/

このカードで、ライブラリの形式や断面積の置き換えに関する指定を行う

21-1 XSLIB /I/

核分裂生成物崩壊データライブラリの形式を指定する。ORIGEN2 附属のライブラリと、JNDC FP ライブラリ第2版から作成したもののが指定可能である。

- = 0 ORIGEN2 附属ライブラリ (874 核種)
- = 1 JNDC FP ライブラリ第2版から作成した崩壊ライブラリ (1227 核種)

21-2 LIB /I/

アクチノイド用 SWAT ライブラリの指定。現在は、JENDL-3.2 だけが使用可能。他のものは、歴史的な意味しかないが、ENDF/B-VI については近日中に作成する予定。よって、現在は、1 を指定しておくこと。

- = 0 ENDF/B-V + JENDL-2
- = 1 JENDL-3.2
- = 2 ENDF/B-VI
- = 3 ENDF/B-VI + JENDL-3.1

21-3 DUMMY /I/

FP 用 SWAT ライブラリの指定。現在は、JENDL-3.2 だけが使用可能。ENDF/B-VI に関しては作成する予定がある。よって現在は、常に 1 を指定しておくこと。

- = 0 ENDF/B-V + JENDL-2(無効)
- = 1 JENDL-3.2
- = 2 ENDF/B-VI(無効)
- = 3 ENDF/B-VI + JENDL-3.1(無効)

21-4 XSSHOW(1) /I/

PDS file にアクセスをした時の情報を表示するかしないかを選択。データを取得したメンバー名等が表示される。

- = 0 表示しない
- = 1 表示する

21-5 XSSHOW(2) /I/

SRAC による実効断面積で置き換える時の情報を表示するかしないかを選択する。

- = 0 表示しない
- = 1 表示する

21-6 XSSHOW(3) /I/

アクチノイドの一群断面積を表示するかしないかの選択。後述する swat2ori2 を使用する場合には、1にしておくこと。

- = 0 表示しない
- = 1 表示する

21-7 XSSHOW(4) /I/

核分裂生成物の一群断面積を表示するかしないかの選択。後述する swat2ori2 を使用する場合には、1にしておくこと。

- = 0 表示しない
- = 1 表示する

21-8 ACTILIB / I/

アクチノイドに関して、LIBMAK で作成した一群断面積を使用するかしないかの選択。使用しないと、**CARD 15**で指定したファイルに記述してあるデータをそのまま使用する。すなわち、LIBMAK で計算した結果は無視される。

- = 0 使用しない
- = 1 使用する

21-9 FPLIB /I/

核分裂生成物に関して、LIBMAK で作成した一群断面積を使用するかしないかの選択。使用しないと、**CARD 15**で指定したファイルに記述してあるデータをそのまま使用する。すなわち、LIBMAK で計算した結果は無視される。

- = 0 使用しない
- = 1 使用する

21-10 SLIBM / I/

中性子スペクトルの指定。一般には、SRAC で計算された中性子スペクトルを使用して縮約計算を行うが、特殊な目的においては、USER が定義した中性子スペクトルを使用して計算を行いたい場合がある。ここでは、そのための選択を行う。普通は 1 として、SRAC の計算した、中性子スペクトルを使用して縮約計算を行う。0 を指定すると、**CARD 67**が必要になる。ただし、0 としても、SRAC による計算がスキップされるわけではない。実効断面積を使用したい場合があるからである。

- = 0 USER 定義の中性子スペクトルを使用する。
- = 1 SRAC で計算した中性子スペクトルを使用する。

6.3 SRAC の入力コントロール

このセクションでは、SRAC の入力に必要なデータを中心に与える。

6.3.1 SRAC 制御データ

CARD 22 SRAC 一般制御オプション /20I/

このカードは、SRAC の一般制御とまったく同じデータを与える。すなわち JAERI-Data/Code 96-015 の BLOCK 3 で指定する 20 個の整数を与える。詳しくは JAERI-Data/Code 96-015 を見て欲しい。ここでは、大まかな情報を与える。現在の SWAT は、SRAC の固定中性子源問題を衝突確率法によって解くための制御だけが可能である。

22-1 IC(1) /I/

衝突確率法ルーチンを使用するかしないか。

- =0 使用しない
- =1 使用する

22-2 IC(2) /I/

高速群と熱群を分離した固定源問題として、以下のルーチンを使用して解く。

- =0 どのルーチンも使用しない
- =1 衝突確率法
- =2 ANISN
- =3 TWOTRAN
- =4 TUD
- =5 CITATION

22-3 IC(3) /I/

ダンコフ係数計算のプロセスの選択

- =0 マテリアル指定入力セクションでの入力値
- =1 衝突確率法によって計算する
- =2 Tone の方法で計算する (ピンタイプの燃料には適応不可)

22-4 IC(4) /I/

エネルギー範囲の指定

- =0 高速群のみ
- =1 全エネルギー範囲

22-5 IC(5) /I/

第2共鳴エネルギー範囲における実効共鳴断面積計算手法の選択。(可能であるなら2あるいは-2を指定したほうがよい)

- =0 NR 近似に基づく Bondarenko 型テーブル内挿
- =1 IR 近似に基づく テーブル内挿
- =2 超詳細群衝突確率法 (PEACO ルーチン使用)
- =-2 超詳細群衝突確率法 (PEACO ルーチン使用)。格子内に、3つ以上の共鳴物質が存在する場合に使用する。

22-6 IC(6) /I/

固定源問題 ($IC(2) > 0$)において、断面積の空間平均化を行うかどうか。

- =0 均質化しない
- =1 IC(7) で指定する方法で均質化する

22-7 IC(7) /I/

固定源問題における各エネルギー範囲での中性子束分布評価方法。通常は、どのエネルギー範囲も計算で求めるのが望ましいので、 $IC(7)=4$ としておく。くわしくは、JAERI-Data/Code 96-015 を参照する事。

22-8 IC(8) /I/

PEACO で使用する MCROSS ライブラリのエネルギー範囲とエネルギー
メッシュの選択 (IC(5)=±2 の時に有効)

- =0 130.07 eV (レサジー幅 0.00125) ~ cut off
- =1 961.12 eV (レサジー幅 0.000625) ~ 130.07 eV (レサジー幅
0.00125) ~ cut off
- =2 961.12 eV (レサジー幅 0.0005) ~ cut off
- =3 961.12 eV (レサジー幅 0.000250) ~ 130.07 eV (レサジー幅
0.0005) ~ cut off

22-9 IC(9) /I/

HOMOSP/HOMOPP ルーチンによる格子内均質化断面積を使用し
て、一点炉全群スペクトル計算を実施して、 k_{inf} と k_{eff} を算出する
かの指定。負の値を代入すると、均質化断面積の小数群縮約に、本計
算で得られた P0 成分スペクトルが使用される。すなわち、衝突確率
の計算は、無限体系で計算をされるが、バックリングによる洩れの効
果が、このオプションによって取り入れられる。

- =0 スキップ
- =±1 P1 近似
- =±2 B1 近似
- =±11 P1 近似による臨界バックリングサーチ
- =±12 B1 近似による臨界バックリングサーチ

22-10 IC(10) /I/

IC(12) で指定する固有値計算の前に、 MACROWRK の詳細群マク
ロ断面積を群縮約して MACRO ファイルに収納するかしないか。 IC(10)
と IC(13) が共に 1 であってはならない。

- =0 スキップする

- =1 縮約する

22-11 IC(11) /I/

幾何情報を新規入力するかしないか。（SWATでは常に新規入力）

- =0 新規入力する
- =1 新規入力せず、前のケースと同様の幾何形状を使用する

22-12 IC(12) /I/

全エネルギー群による固有値問題として、以下のルーチンで解く。（現在 SWAT は対応していない）

- =0 どのルーチンも使用しない
- =±1 衝突確率法
- =±2 ANISN
- =3 TWOTRAN
- =4 TUD
- =5 CITATION

IC(12)=-1 とすると、FLUX の中の caseAbSp のスペクトルを外部表面流入とする全群による固定源問題として解く。IC(12)=-2 を指定すると、P1 成分断面積の群縮約が行なわれる。

22-13 IC(13) /I/

IC(12) で指定した固有値計算のあとで、MACROWRK のマクロ断面積を群縮約して MACRO ファイルに保存するかしないか。

- =0 スキップする
- =1 縮約する

22-14 IC(14) /I/

オリジナル CITATION 用の断面積作成オプション。SRAC 内蔵ではない CITATION を使用するため。機番 31 にファイルが書き出される。CITATION 入力セクションで補足入力あり。(SWAT はこの入力に対応していない)

- =0 スキップする
- =1 作成する

22-15 IC(15) /I/

ミクロ全断面積作成方法選択

- =± 1 全断面積の自己遮蔽因子を使用して作成する

$$\sigma_{t,g} = \sigma_{t,g}^{\infty} f_{t,g}$$

- =± 2 各反応の実効断面積の和として作成する

$$\sigma_{t,g} = \sum_x \sigma_{x,g}^{\infty} f_{x,g}$$

IC(15)=1 の場合には、全断面積が保存されるように、自群散乱断面積の値が調整される。高速炉の解析では、IC(15)=1 である。熱炉の解析では、有為な差はない。負の値にすると、熱エネルギーから熱外エネルギーへの上方散乱を自群散乱に含める近似を行う。

22-16 IC(16) /I/

等方輸送ルーチンで必要な各マテリアルのマクロ輸送断面積の作成方法選択

- =0 拡張輸送近似

$$\Sigma_{tr,g} = \Sigma_{0,g} - \sum_{g'} \Sigma_{1,g \rightarrow g'}$$

ただし、共鳴遮蔽計算では、常に $\Sigma_{tr,g} = \Sigma_{0,g}$ とされる。

- =1 P₁ 近似計算により作成

$$\Sigma_{tr,g} = \Sigma_{0,g} - \sum_{g'} \Sigma_{1,g' \rightarrow g} \left(\frac{J_{g'}}{J_g} \right)$$

- =2 B₁ 近似計算により作成

$$\Sigma_{tr,g} = \Sigma_{0,g} - \sum_{g'} \Sigma_{1,g' \rightarrow g} \left(\frac{J_{g'}}{J_g} \right)$$

- =3 非等方 Sn 計算により作成 (IC(12) = -2 とすること)

$$\Sigma_{tr,g} = \Sigma_{0,g} - \sum_{g'} \Sigma_{1,g' \rightarrow g} \left(\frac{J_{g'}}{J_g} \right)$$

22-17 IC(17) /I/

拡散係数の作成と群縮約の方法。絶対値は拡散係数作成方法を、正負は拡散係数とトータル断面積作成の方法を決定する。

- >0 の場合

$$D_g = \frac{\sum_{g \in G} D_g \varphi_g}{\sum_{g \in G} \varphi_g}, \quad \frac{1}{\Sigma_{t,g}} = \frac{\sum_{g \in G} \varphi_g}{\sum_{g \in G} \Sigma_{t,g}}$$

- <0 の場合

$$\frac{1}{D_g} = \frac{\sum_{g \in G} \varphi_g}{\sum_{g \in G} D_g}, \quad \Sigma_{t,g} = \frac{\sum_{g \in G} \Sigma_{t,g} \varphi_g}{\sum_{g \in G} \varphi_g}$$

- ±1 輸送断面積の逆数として作成する

$$D_g = \frac{1}{3 \Sigma_{tr,g}}$$

- ±2 Benoist モデルの Behrens 項の等方成分として作成する。このオプションは、衝突確率法が使用された時に有効になる。

$$D_g = \frac{\sum_i \varphi_{i,g} \sum_j \frac{P_{ij}}{\Sigma_{tr,j}}}{3 \sum_i \varphi_{i,g}}$$

- ±3 Benoist モデルの Behrens 項の非等方成分として作成する。

このオプションは、衝突確率法が使用された時に有効になる。

$$D_{k,g} = \frac{\sum_i \varphi_{i,g} \sum_j \frac{P_{ijk}}{\Sigma_{tr,j}}}{3 \sum_i \varphi_{i,g}}$$

現在 SWAT は、小数群計算との接続を考えていないために、このオプションは実質的に無効である。

22-18 IC(18) /I/

反応率計算オプション

- =0 スキップ

- =1 反応率を計算する

SWAT では対応していない。よって、今は、SWAT で作成された SRAC の入力をもとにこのための修正をしてから、SRAC の再実行を行うしかない。

22-19 IC(19) /I/

マクロ断面積作成ルーチン (MACROF,MACROT,P1B1,HOMOSP,IRA,PEACO) での出力制御

- =0 簡易出力
- =1 詳細出力

22-20 IC(20) /I/

格子燃焼計算オプションの指定。（SWAT はこの入力作成に対応していない）

- =0 スキップ
- =1 格子燃焼計算を行う

CARD 23 幾何学的バックリング ($1/\text{cm}^2$) /E/

23-1 BUCKLING /E/

6.3.2 中性子スペクトルに関する情報

CARD 24 エネルギ群に関する指定 /3I/

24-1 IFAST / I/

高速群のエネルギー群数

24-2 ITHERMAL / I/

熱群のエネルギー群数

24-3 LETH / I/

SRACにおいて算出された中性子スペクトル(あるいは、USER定義の中性子スペクトル)をレサジー幅で割るか割らないかの指定。核計算コードで計算されて出力される中性子スペクトルは、レサジー幅が掛けた事がある。SWATの内部の処理においては、中性子スペクトルにレサジー幅がかかっていない事を仮定しているが、古いバージョンのSRACではそれがいまいな点があつたので、選択可能にしている。現在では歴史的な意味しかない。1にしておく事。

- = 0 割らない
- = 1 割る

CARD 25 高速群の縮約用データ /IFAST I/

このデータは $IFAST + ITHERMAL \neq 107$ の時に必要となる。小数群ごとに、詳細群の群数を IFAST 個指定する。

CARD 26 热群の縮約情報 /IFAST I/

このデータは $IFAST + ITHERMAL \neq 107$ の時に必要となる。小数群ごとに、詳細群の群数を ITHERMAL 個指定する。

CARD 25 と **CARD 26** は現在開発中であるので使用してはならない。すなわち、 $IFAST + ITHERMAL = 107$ でなければならない。

6.3.3 衝突確率法の制御と燃焼領域数

CARD 27 衝突確率法の制御と燃焼領域数 /19I/

このカードの 1 から 18 個目までのデータは、JAERI-Data/Code 96-015 の衝突確率法のための指定と同一である。19 個目に SWAT 独自のデータが付く。

27-1 IGT /I/

幾何形状タイプ

- = 1 一次元球
- = 2 一次元平板
- = 3 一次元円筒
- = 4 同心円分割による正方格子
- = 5 二次元分割による正方格子
- = 6 同心円分割による正六角格子
- = 7 二次元分割による正六角格子
- = 8 X-Y 分割による 45° 対称正四角集合体
- = 9 ピンロッドを配置した X-Y 分割による 45° 対称正四角集合体
- = 10 ピンロッドを環状配置した環状集合体
- = 11 ピンロッドを非対称配置した環状集合体
- = 12 ピンロッドを非対称配置した六角集合体
- = 13 X-Y グリッド点にピンロッドを配置した長方形集合体
- = 14 ピンロッドを六角格子に配置した六角集合体
- = 15 三角メッシュグリッド点にピンロッドを配置した六角集合体
- = 16 X-Y グリッド点にピンロッドを配置した 1/4 対称長方形集合体

27-2 NZ /I/

sub-region の数。sub-region は、線または円によってかこまれた最小の単位である。

单一ピンセルモデルの場合には、Fig. 6.1に示した。この例では、NZ は 5 である。

IGT=9 の例は、Fig. 6.2 に示した。この例では、NZ は 30 である。

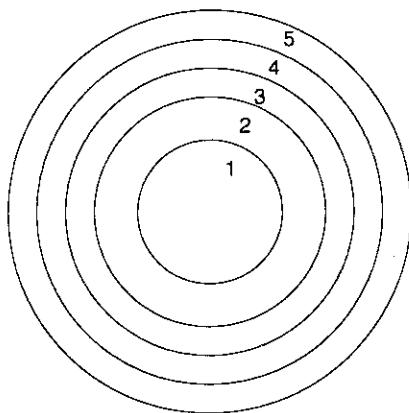


Figure 6.1: One dimensional circular cylindrical of multi-shell

27-3 NR /I/

T-region の数。T-region は、いくつかの sub-region から成っている。

27-4 NRR /I/

R-region の総数。R-Region は、いくつかの T-region から成っている。

27-5 NXR /I/

X-region の総数。X-region は、いくつかの R-region から成っている。この X-region から、燃焼計算で使用する断面積データを得る。

27-6 IBOUND /I/

外部境界条件

- =0 等方反射 (white reflection)

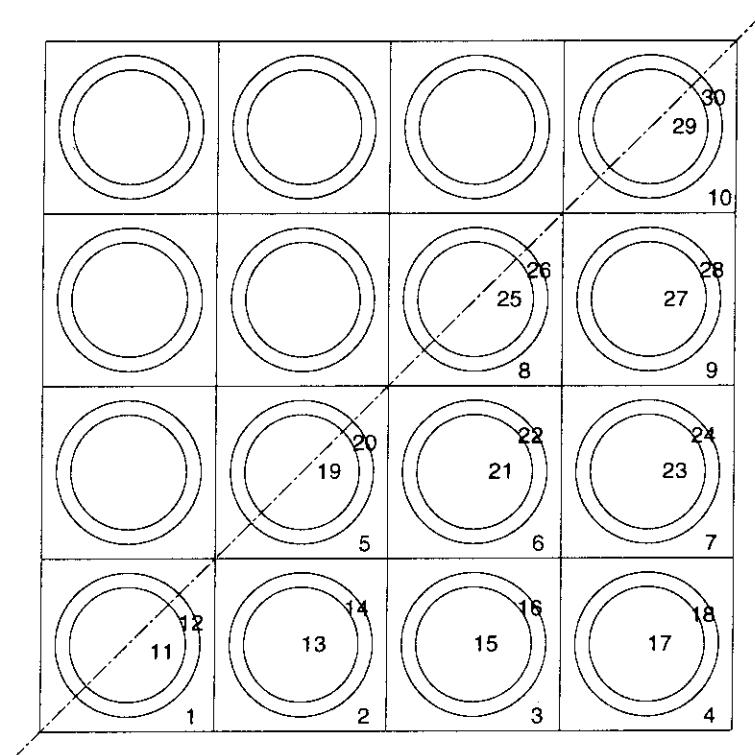


Figure 6.2: Octant symmetric square pillar divided by X-Y coordinates with square array of pin rods

- =1 完全反射 (Perfect reflection)。ただし、IGT=2(1D slab) または IGT=13(2D X-Y pillar) の場合には、周期 (periodic) 境界条件が使用される。IGT=15 では無効である。
- =2 黒体 (Black)
- =-1 60° 回転 (IGT=12 の場合のみ)

27-7 NX /I/

X 軸方向分割数 (IGT=2,8,9,13,15,16)

径方向分割数 (IGT=1,3,4,5,6,7,10,11,12,14)

27-8 NY /I/

IGT=11,12,13,15,16 で有効

Y 軸方向分割数 (IGT=13,16)

角度方向分割数 (IGT=11,12)

六角集合体の外周領域分割数 (IGT=15)

27-9 NTPIN /I/

ピンロッドの総数 (IGT=9,10,11,12,13,14,15,16 で有効)。SRAC95 の場合とは異なり、IGT=9 の場合でも、自分で計算して入力しておくこと。

IGT=10,11,12 では、集合体中心軸上の円環をピンロッドとして数えず、RX による分割領域とみなす。

IGT=14,15 の場合には、中心軸上の円環をピンロッドとして扱う。

IGT=15 の場合、60° 対称であるが、全燃料集合体中のピンロッドの本数を入力する。

27-10 NAPIN /I/

IGT=9,10,14,15 で有効

X 軸方向のピンロッドの配置 (IGT=9 の時)

ピンロッドが乗る同心円の数。ただし、中心軸は含まない (IGT=10)

ピンロッドが乗る同心六角形の数。ただし、中心軸を含む (IGT=14)

X 軸に接する三角メッシュの数 (IGT=15)。

27-11 NCELL /I/

中性子の飛跡を追う最小格子数。

27-12 IEDPIJ /I/

衝突確率のプリントオプション。

- =0 プリントしない
- =1 プリントする

27-13 NGR /I/

径方向数値積分に関する、ガウス積分の次数 (IGT=2 では無効)。推奨値は 6 ~ 10 である。衝突確率を計算する時間は、この項に比例する。IGT = 8,9,13,15,16 では、ガウス積分は台形積分に置き換えられ、この項は、その分割数になる。

27-14 NDA /I/

角度方向数値積分の角度範囲に対する分割数。IGT=4 ~ 16 で有効である。≈ $\frac{IBETM}{2}$ とすれば十分である。

27-15 NDPIN /I/

ピンロッドの径方向分割数。(IGT=9 ~ 16 で有効)

27-16 IDIVP /I/

RPP による機能選択。(IGT= 9, 10, 11, 12, 14 で有効)

- =0 RPP は単にピンロッドの半径位置を示す。
- =1 RPP は ピンロッドの半径位置を示すとともに、RX と同様に、X 軸 方向または径方向の冷却材領域分割を行う。
- =2 RPP はさらに、ピンロッド領域を内部と外部に分ける。

RX, TY による機能選択 (IGT=13,16 で有効)

- =0 NTPIN ≠ 0 の場合、 RX,TY による減速材領域分割を無効として、ピ
ン領域以外を一領域としてあつかう。
- =1 RX, TY による分割を有効とする。通常は、 IDIVP = 1 とする。

27-17 IBETM /I/

角度積分の範囲 (IGT=4 ~ 16 で有効)

対称正方格子なら 45 を、対称六角格子なら 30 を、 IBOUND = 1 なら上記の
値の 2 倍の値を代入する。左右対称であるなら、 360 を指定する。一次元の場
合には、無効である。

27-18 IPLOT / I/

幾何形状プロットオプション

- =0 プロットしない
- =1 プロットする

27-19 IBNODE / I/

これは、 SWAT の入力に特有の値である。燃焼領域数を代入する。もし、 UO₂,
被覆材、冷却材領域の 3 領域のセルで、複数の燃焼領域を使用しないのである
なら、燃焼領域は 1 である。

CARD 28 NREG /NZ I/

各 sub-region に対応する T-region の番号 (Required if NR < NZ)

CARD 29 IRR /NR I/

各 T-region に対応する R-region の番号 (Required if NRR < NR)

[CARD 30] IXR /NRR I/

各 R-region ごとの X-region 番号 (Required if NXR < NRR)

[CARD 31] MAR /NRR/

各 R-region ごとのマテリアル (物質) の番号。マテリアルの番号は、 SWAT の物質指定の順番になる。燃焼領域から設定していった方が望ましい。

[CARD 32] NPIN /NAPIN/

IGT=10、14 で NAPIN ≠ 0 の場合に必要

IGT=10 の時、中心上の円環は NTPIN に含めない

IGT=14 の場合は、中心上の円環は NTPIN に含める。また、 IGT=14 で、
NPIN(1) =0 とすると、デフォルト値が指定される。

[CARD 33] RX /NX+1/

各幾何形状に対応して、X 軸方向分割位置、中心からの径方向分割半径、または、境界までの距離を cm 単位で示す。ただし、常に RX(1)=0。

[CARD 34] TY /NY/

IGT=11,12 で、 NY > 1 の場合に必要。

角度分割位置を θ° で表わす。

[CARD 35] TY /NY+1/

IGT=13,16 の場合に必要

Y 軸方向分割位置を cm 単位で示す。常に、 TY(1)=0 .

CARD 36 TY /NY+1/

IGT=15 の場合に必要。 IGT=15 の場合は、 TY は三角メッシュで分割されない集合体周辺部を領域分割するために使用される。この場合、外部境界面を NY 分割して、各分割点と集合体中心を結ぶ線により、周辺部領域を分割する。 TY は、最外六角形の一辺を 1.0 とする相対距離で入力し、常に TY(1)=0.0、 TY(NY+1)=1.0 である。

CARD 37 RPP /NAPIN/

IGT = 9,10,14 で NAPIN ≠ 0 の場合に必要。

IGT = 9 なら、 X 軸方向のピンロッド位置を cm 単位で入力する。

IGT = 10 なら、ピンロッドが乗る円環半径を cm 単位で入力する。

IGT = 14 なら、中心から各同心六角柱の側面までの距離 (cm) を入力する。

CARD 38 RPP /NTPIN/

IGT = 11、 12 で NTPIN ≠ 0 の場合に必要。

各ピンロッドの中心と集合体中心の距離を cm 単位で示す。

CARD 39 IXP /NTPIN/

IGT=13,15,16 で NTPIN ≠ 0 の場合に必要

各ピンロッドの X 軸座標を、 RX に対応する整数値で示す。但し、 IGT=13,16 の場合は、左下グリッド座標が (1,1) となる。よって、 IGT=13 の場合は IXP を 1 ~ NX+1 の範囲で指定する。 IGT=15 の場合は、集合体中心のグリッド座標を (0,0) とする。よって、 IGT=15 の場合には、 IXP を 0 ~ NX の範囲で指定する。 NTPIN 個の入力が必要であるが、 IGT=15 の場合には自動的に 60 ° 回転対称が仮定されるため、 1/6 集合体分を正しく入力し、他はダミー入力として、 IXP=1 としてもかまわない。

CARD 40 THETA /NTPIN/

IGT=10,11,12 で NTPIN ≠ 0 の場合に必要
各ピンロッドの角度方向位置を、 θ° で示す。

CARD 41 IYP /NTPIN/

IGT=13,15,16 で NTPIN ≠ 0 の場合に必要
各ピンロッドの Y 軸座標を、 TY に対する整数値で示す。

CARD 42 RDP /NDPIN+1/

IGT= 10,14 で NAPIN ≠ 0 の場合に必要。
ピンロッド内部の分割半径 (すべてのピンロッドに共通)。 RDP(1)=0.0 とする。

CARD 43 RDP /(NDPIN+1)*NTPIN/

IGT= 9,11,12,13,15,16 で NTPIN ≠ 0 の場合に必要。
各ピンロッドの内部分割半径。 RDP(1,j=1~NTPIN)=0.0 とする。 IGT=9 の場合には、対角線上の 1/8 対称のピンロッドに対して与えるので、
NTPIN=NAPIN*(NAPIN+1)/2 である。 IGT=15 の場合には、自動的に 60° の回転対称が仮定されるために、 1/6 集合体分を正しく入力して、残りの入力は、ダミー入力としてかまわない。

CARD 44 IPLOT=1 なら必要 /3I/

44-1 IG /I/

PLOT する領域マップの選択指示 (下記より必要項目に対する数値を
加算する)

- =0 無し
- =+1 Sub-region
- =+2 T-region
- =+4 R-region
- =+8 マテリアル番号
- =+16 X-region

44-2 ISCALE /I/

図のサイズの指示

- =1 スクリーンあたり、 20 cm の直径の 1 つの図を書く
- =2 スクリーンあたり、 15 cm の直径の 2 つの図を書く
- =3 スクリーンあたり、 10 cm の直径の 5 つの図を書く

44-3 ICONT /I/

連続指定

- =0 引き続きこのカードを指定する
- =1 カードの指定は終了する

CARD 45二重非均質問題の制御 /5I/

CARD 31で負の値が指定されたら必要である。

45-1 IBD /I/

微視的非均質格子内で微視的断面積の均質化を行うエネルギー範囲

- =1 高速群
- =2 热群 (使用不可)
- =3 高速群と热群 (使用不可)

45-2 IGEOM /I/

微視的非均質格子の幾何形状。内側が共鳴物質、外側が非共鳴物質という2領域問題にかぎられる。

- =1 平板
- =2 円筒
- =3 球

45-3 MODEL /I/

微視的非均質格子における衝突確率計算モデルの指定

- =1 透過確率モデル（推奨）
- =2 非共鳴物質領域で中性子が発生すると仮定するモデル
- =3 共鳴物質領域からの中性子脱出確率を使用するモデル
- =4 簡便な確率モデル

45-4 RF /E/

共鳴物質領域の平板厚さ (IGEOM=1) または半径 (IGEOM=2,3) (cm)

45-5 RM /I/

微視的非均質格子の平板厚さ (IGEOM=1) または半径 (IGEOM=2,3) (cm)

6.3.4 中性子スペクトル評価領域

CARD 46 中性子スペクトルデータを取得したい X-Region 番号 /IBNODE I/

燃焼領域毎の X-Region 番号を指定する。その X-Region から中性子スペクトルと実効断面積が評価される。

46-1 XRGNNUM(1) / I/

燃焼領域 1 の中性子スペクトルを評価する領域

46-2 XRGNNUM(2) / I /

燃焼領域 2 の中性子スペクトルを評価する領域

.....

46-NZ RGNNUM(IBNODE) /I/

燃焼領域 IBNODE の中性子スペクトルを評価する領域

6.3.5 SRAC における物質の情報

CARD 47 同じ同位体組成を有する物質の数 /I/47 NMAT / I/

ここで指定された物質は、 SRAC の入力における物質指定で順番に指定される。よって、燃焼領域に対応する物質の番号を考えて指定をしなければならない。

CARD 48 物質の一般的情報 /4I,6E/48-1 NISO /I/

この物質が含む同位体数

48-2 EACHBTAG /I/

この物質が燃焼領域のものかそうでないか

- = 0 燃焼領域でない
- = 1 燃焼領域である

48-3 COOLTAG / I/

この物質が冷却材領域のものかそうでないか

- = 0 冷却材領域でない
- = 1 冷却材領域のものである (この場合には、 STEAM によつて、水の密度が計算される。)

この入力において 1 が指定された場合には、あとで指定する燃焼ステップ毎の温度、ボイド率、ボロン濃度、そして圧力から、H-1、O-16、B-10、B-11 の原子個数密度を算出して、指定した値と入れ換える。ただし、冷却材領域であっても計算者が指定した H-1、O-16、B-10、B-11 の原子個数密度を利用するのであれば、0 としていなければならない。

48-4 IRRSF /I/

初期組成をリストアトファイルから読み込むかどうか

- = 0 新しい組成を指定して読み込む
- = 1 リスタートファイルから領域 1 のデータを読み込む
- = 2 リスタートファイルから領域 2 のデータを読み込む
-
- = NN リスタートファイルから領域 NN のデータを読み込む

48-5 VOLRATIO / E/

その物質の体積比。この値は、体積平均の組成(質量)を求める際に使用される。SRACの入力となる原子個数密度の計算には使用しない。

48-6 UMCL /E/

この物質の平均弦長(cm)

48-7 DC / E/

ダンコフ係数。普通は、SRACの内部で計算されるので、使用しなくてよい。0.0を指定すればよい。

48-8 DENSITY / E/

UO₂の密度(g/cm³)

48-9 ENRICH / E/

U-235の濃縮度(重量%)

48-10 GDENRICH / E/

Gd₂O₃の割合(重量%)

SRAC は、その計算において、原子個数密度 ($\#/cm^3$) を使用する。しかしながら、照射後試験の解析では、同位体の質量 (g) を計算結果として求めるのが普通である。もちろん、燃焼度の単位には、質量を基本とする単位が炉心の運転履歴からあたえられる (MWd/THM のように)。このため、SWAT は内部で、計算あるいは与えられた同位体の質量から、原子個数密度に変換する。

同位体 i について、 M_i^j が燃焼ステップ j での計算された質量 (g) だとする。そして、 W_i がその同位体 i の原子量、 Ab をアボガドロ数とする。さらに、 V_0 が、初期重元素の質量に対応した体積だとする。すると、原子個数密度は、以下の式で与えられる。

$$N_i^j = Ab \frac{M_i^j}{W_i} \frac{1}{V_0} \quad (6.1)$$

SWAT の入力においては、各燃焼領域において初期重元素の質量の和は 1.0×10^6 (g) に規格化されていなければならない。たとえば、濃縮度 3.0 wt % の UO_2 燃料の場合、U-235 と U-238 の質量は 3.0×10^4 (g) と 9.7×10^5 (g) として与えなければならない。すなわち、

$$\sum_{i=1}^k M_i^0 = 1.0 \times 10^6 \text{ (g)} \quad (6.2)$$

SWAT は、さらに UO_2 の計算である事を仮定して、 V_0 を以下の式で計算する。この式においては、濃縮ウランは U-235 と U-238 から成っている事を仮定している。ここで、 $W5, W8, W6$ は U-235、U-238 そして O-16 の原子量である。 $DENSITY$ は、 UO_2 の密度である。

$$V_0 = \frac{1.0 \times 10^6}{DENSITY} \left(1 + \frac{200 \times W6}{ENRICH \cdot W5 + (100 - ENRICH) \cdot W8} \right) \quad (6.3)$$

もし、他の燃料系の解析を行う場合には、たとえば、Th サイクルの解析などでは、初期重元素の質量の和が 1.0×10^6 (g) である状態において、 $DENSITY$ と $ENRICH$ が初期原子個数密度を与えるように調整をしなければならない。この調整は、あくまでも、正確な原子個数密度を SRAC に渡すための変換パラメータを求めるために行うもので、SWAT

の内部では、計算された同位体の質量を渡しながら計算を行っている事に注意をすべきである。

CARD 49 その物質中で考慮する同位体の指定 /7I/

49-1 DINTE(1) / I/

同位体の ZA 番号 ($Z \times 10000 + A \times 10 + IS$ であたえられる)

IS は、励起状態なら 1、基底状態なら 0。天然存在比を有する同位体の場合は、 $A=0$ 及び $IS=0$ である。

49-2 IRES / I/

JAERI Data/Code 96-015 P115 を見てほしい。共鳴を有する核に対しては 2 を指定する事。ただし、どのような核に対しても 2にしておいて実質的に問題はない。

49-3 IMX / I/

JAERI Data/Code 96-015 P117 (IXMICR) を見てほしい。実効断面積を MLCREF に書き出すためには、1としておくこと。

49-4 DINTE(4) / I/

その同位体が、励起状態にあるか天然存在比を有する同位元素としてあつかわれるか。これは、SRAC における同位体表示方法 (m-tag) の文字を指定するために使用される。

- = 0 標準。 m-tag の文字は質量数の最後の数字が使用される。
- = 1 天然同位体組成。 m-tag の 4 番目の文字は "N"
- = 2 基底状態。励起状態の核が存在する時に、これが、基底状態である事を示すために使用される。 m-tag の文字は "G"。
- = 3 励起状態。 m-tag の文字は "M"

49-5 DINTE(5) / I/

化学的結合状態を示す。これは、SRACにおける同位体表示法の5番目の文字(C-Tag)を決めるために使用される。

- = 0 自由原子。C-tagは"0"。
- = 1 金属ベリリウム(Be)。C-tagは"B"。
- = 2 酸化ベリリウム(BeO)。C-tagは"E"。(BとOに与える)
- = 3 ベンゼン(C₆H₆)。C-tagは"Q"。(CとHに与える)
- = 4 黒鉛(C)。C-tagは"C"。
- = 5 ポリエチレン(C₂H₂)。C-tagは"P"。(Cは自由原子)
- = 6 金属ウラン(U)。C-tagは"0"。
- = 7 炭化ウラン(UC)。C-tagは"V"。(未完成)
- = 8 二酸化ウラン(U₂O)。C-tagは"W"。(UとOに与える)
- = 9 軽水(H₂O)。C-tagは"H"。(Oは自由原子)
- = 10 重水(D₂O)。C-tagは"D"。(Oは自由原子)
- = 11 水素化ジルコニウム(ZrH)。C-tagは"Z"。(ZとHに与える)

49-6 DINTE(6) /I/

実効断面積を LIBMAK で使用する。ここで、使用するように指定した同位体の実効断面積は、LIBMAK で作成する ORIGEN2 フォーマットのファイル作成において、SRACによる実効断面積で置き換えられる。U-238等は、かならず、1を指定しなければならない。

- = 0 入れ換えない。
- = 1 入れ換える。

49-7 DINTE(7) / I/

初期原子個数密度の与え方

- = 0 初期量はあたえない。燃焼計算の結果によって、その後原子個数密度を与える([CARD 48-4]が0でなく、リスタートファイルから組成を読み込む時は、0としておく)

- = 1 一定の原子個数密度を有しており、燃焼中でも不変であるとする。このあとのカードで一定の原子個数密度を与える。
- = 2 初期質量を与えるが、その後は燃焼計算の結果が入力される。(もし **CARD 48-4** が 0 でなく、リスタートファイルから組成を読み込む時は、そちらを使用するので無視される)。初期重元素の質量の和は 1.0E6(g) とする事。

CARD 49 は、 NISO (**CARD 48-1** で指定) 回くりかえす。

CARD 50 質量 (g) / **CARD 49-7** が "2" の同位体数 E /

CARD 49-7 が "2" の同位体について、質量を与える。SWAT では、重元素の初期質量の和が、 10^6 (g) である事を仮定して、出力等を与える事に注意する事。

50-1 WEIGHT(1) /E/

CARD 49-7 が "2" の最初の同位体の重量 (g)

50-2 WEIGHT(2) / E/

CARD 49-7 が "2" の 2 番目の同位体の重量 (g)

.....

50-NN WEIGHT(NN) /E/

CARD 49-7 が "2" の NN 番目の同位体の重量 (g)

CARD 51 原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$) / **CARD 49-7** が "1" である同位体数 E /

燃焼に伴なわざ一定の原子個数密度を有する同位体の原子個数密度を指定する。一定の冷却材密度、被覆材、 UO_2 ペレット中の O-16、そして、Th 塩中の F のように、燃焼中もその量が不変であると考えられる同位体の原子個数密度を与える。ここで与えた個数密度が、そのまま、SRAC の入力に与えられる。もともと、このオプションは、燃焼中のペレットにおいては O-16 の原子個数密度が一定であるという事を実現するために導入された。

51-1 CONSTDENS(1) /E/

CARD 49-7 が”1”である最初の同位体の原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$)

51-2 CONSTDENS(2) /E/

CARD 49-7 が”1”である 2 番目の同位体の原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$)

.....

51-NN CONSTDENS(NN) / E/

CARD 49-7 が”1”である NN 番目の同位体の原子個数密度 (# $10^{24}/\text{cm}^3$)

CARD 48 から **CARD 51** は NAMT (**CARD 47** で指定) 回繰りかえし入力される。

6.4 呼び出されるモジュールのコントロール

6.4.1 出力分布計算

CARD 52 出力分布計算と ORIGEN2 の出力制御 /2I/

SRAC は、出力分布を計算して、それを 機番 99 のファイルに書き出している。 SWAT は、その値を読み取って、出力分布を計算する事が可能である。また、外部モジュール化されていない ORIGEN2 を利用する場合には、出力が繁雑になるのを防ぐために、ORIGEN2 が書き出す入力のエコーバックをさせないようにする事が出来る。

52-1 SPTAG / I/

SRAC による出力分布計算を利用するかしないか

- = 0 SRAC による出力分布計算を利用しない。
- = 1 SRAC による出力分布計算を利用する。

52-2 ORIGTAG /I/

ORIGEN2 の出力の制御。このオプションは、外部モジュールの ORIGEN2 を利用する場合には無効である。

- = 0 ORIGEN2 の入力の echo back をしない
- = 1 ORIGEN2 の入力の echo back をする

CARD 53 SRAC による出力分布計算の方法 /IBNODE I/

SRAC によって算出された出力分布を利用する方法を指定する。

53-1 IVOLsamp(1) / I/

燃焼領域 1 について、

- = -1 出力密度で補正を行う
- = 0 この領域は補正に加えない
- = 1 出力で補正を行う

53-2 IVOLSAMP(2) / I/

燃焼領域 2 について、

- = -1 出力密度で補正を行う
- = 0 この領域は補正に加えない
- = 1 出力で補正を行う

53-IBNODE IVOLSAMP(IBNODE) / I/

燃焼領域 IBNODE について、

- = -1 出力密度で補正を行う
- = 0 この領域は補正に加えない
- = 1 出力で補正を行う

それぞれの燃焼領域の出力 $MWPK(i)$ は以下で計算される。

$$MWPK(i) = SPRATIO(i) \times \sum_{\substack{j=1 \\ IVOLSAMP(j)=1}}^{IBNODE} MW(j) \quad (6.4)$$

$$SPRATIO(i) = \frac{POWER(i)}{\sum_{\substack{j=1 \\ IVOLSAMP(j)=1}}^{IBNODE} POWER(j)} \quad (6.5)$$

$POWER(i)$ は、 SRAC の出力 (機番 99) より読み込まれる。 $IVOLSAMP = -1$ の場合には、 SRAC の出力から読みこんだ出力を体積で割った「比出力」を、 $POWER$ のかわりに使用する。

$$SPRATIO(i) = \frac{\frac{POWER(i)}{VOLUME(i)}}{\sum_{\substack{j=1 \\ IVOLsamp(j)=-1}}^{IBNODE} \frac{POWER(j)}{VOLUME(j)}} \quad (6.6)$$

この理由は、SRAC では、対角線上にあるピンの体積をその他のものの半分として評価しているために、SWAT における「初期重元素の質量の和が 10^6 (g)」という条件とあわせるために必要となる。もし、SRAC の内部で計算される燃焼領域の体積がすべて同じであるなら、IVOLsamp=1 でよい。

6.4.2 燃焼ステップ

CARD 54 燃焼計算のステップ指定 /2I/

燃焼計算を行う際のステップ数や ORIGEN2 における燃焼計算のステップ数を指定する。

54-1 ISTPTOTAL / I/

燃焼計算の全ステップ数。燃焼ステップ数とは、 SRAC により断面積を計算しなおす回数と言い換えることができる(冷却期間も含む)。計算値の精度を向上させるためには、1ステップあたりの燃焼度は、2000 MWd/T 以下になるように設定するべきである。

54-2 NBSTEP / I/

ORIGEN2 における燃焼計算のステップ数。SWAT で決定される ORIGEN2 における計算ステップ数について説明する。この値は、ORIGEN コマンドの一つである、"IRP" の数に関連している。SWATにおいては、"IRP" コマンドの時間ステップは $DAY S / (NBSTEP - 1)$ として計算される。ただし、 $DAY S$ は **CARD 57** で指定される。言い換えると、燃焼計算の結果は、ORIGEN2 の出力の NBSTEP 番目の "VECTOR" から得られる。この "VECTOR" や "IRP コマンド" については、ORIGEN2 のマニュアル [12] を見ていただきたい。尚、NBSTEP は 12 以下でなければならない。

CARD 55 それぞれの燃焼ステップにおけるコマンドの数 /ISTPTOTAL I/

燃焼ステップそれぞれにおいて実行されるコマンドの数を指定する。

55-1 ICOM(1) / I/

燃焼ステップ 1 でのコマンド数

55-2 ICOM(2) / I/

燃焼ステップ 2 でのコマンド数

.....

55-ISTPTOTAL ICOM(ISTPTOTAL) / I/

燃焼ステップ ISTPTOTAL でのコマンド数

6.4.3 燃焼ステップごとのコマンド

CARD 56 それぞれの燃焼ステップ毎のコマンド / **CARD 55** で指定されたコマンド数 I/

CARD 55 では、各燃焼ステップ毎のコマンドの数を指定した。このカードでは、コマンドの内容を指示する。コマンドとしては以下のものを指定可能である。

- = 1 STEP

このコマンドは、ステップ番号を一つ大きくするのに使用する。SWATでは、ステップ番号を、 SRAC におけるケース名を指定するために使用している。現在のバージョンでは、最初の計算ケースにおいて自動的に 1 にセットされ、燃焼ステップが一つ大きくなるごとに、自動的に一つカウントアップされる。よって、明示的に使用する必要はない。

- = 2 TABMAK

TABMAK を CALL する。現在のバージョンでは、SWAT が自動的に、TABMAK を CALL するかしないかを判断するようになっているので、明示的に使用する必要はない。

- = 3 SRAC

SRAC による中性子スペクトルと実効断面積計算を行う。SRAC の実行の前に、STEP コマンドが実行され、ケース番号が一つ大きくなる。そして、TABMAK が、 "MAKE INPUT" モードで call されて、 SRAC 用の入力ファイルが作成される。

- = 4 ORIGEN2

ORIGEN2 による燃焼計算を行う。もし、 on-power 状態の計算であるなら、その前に自動的に LIBMAK が call される。そして、新しい断面積ファイルが作成される。反対に、冷却期間であるなら、 LIBMAK は call されない。ORIGEN2 計算のあとで、自動的に TABMAK が "STORE RESULT" モードで実行される。これは、燃焼領域数だけくりかえされる。

- = 5 LIBMAK

LIBMAK を実行する。現在のバージョンでは、SWAT は自動的に LIB-MAK を call する。

56-1 COM(1,1) / I/

燃焼ステップ 1 の 1 番目のコマンド

56-2 COM(1,2) / I/

燃焼ステップ 1 の 2 番目のコマンド

.....

56-ICOM(1) COM(1,ICOM(1)) / I/

燃焼ステップ 1 の ICOM(1) 番目のコマンド

CARD 56 は、全燃焼ステップ数 (ISTPTOTAL) 繰りかえす。

6.5 燃焼履歴コントロール

6.5.1 運転モード情報

CARD 57 それぞれの燃焼ステップの運転モード /ISTPTOTAL I/

57-1 OPE(1) / I/

燃焼ステップ 1 の運転モード

- = 0 冷却
- = 1 運転

57-2 OPE(2) / I/

燃焼ステップ 2 の運転モード

- = 0 冷却
- = 1 運転

.....
57-ISTPTOTAL OPE(ISTPTOTAL) /I/

燃焼ステップ ISTPTOTAL の運転モード

- = 0 冷却
- = 1 運転

CARD 58 燃焼ステップの日数 (day) と出力 (MW) /E or (IBNODE+1) E/

○ もし冷却ステップなら

58-1 DAYs / E/

冷却時間 (day)

○ もし運転ステップなら

58-1 DAYs / E/

運転期間 (day)

58-2 MW(1) / E/

一番目の燃焼領域の出力 (MW)

58-3 MW(2) / E/

二番目の燃焼領域の出力 (MW)

.....

58-(IBNODE+1) MW(IBNODE) / E/

IBNODE 目の燃焼領域の出力 (MW)

CARD 58 は全燃焼ステップ回数 (ISTPTOTAL) 繰りかえす。

6.5.2 各領域の温度

CARD 59 それぞれの物質の温度 /NMAT E/

それぞれの物質の温度 (K) を与える。

59-1 TEMP(1) / E/

物質 1 の温度

59-2 TEMP(2) / E/

物質 2 の温度

.....
59-NMAT TEMP(NMAT) / E/

物質 NMAT の温度

CARD 59 は全燃焼ステップ数 (ISTPTOTAL) 繰りかえす。

6.5.3 冷却材領域の物質指定に関する情報

CARD 60 冷却材の圧力 /I/

60 IPRESS / E/

このカードは、冷却材の圧力を指定するのに利用される。SWATは、**CARD 48-3**において、冷却材物質であると指定されたものに関しては、STEAM ライブライアリを使用して冷却材の密度を計算し、その値を使用することが出来る。STEAM を利用しない場合には、あらかじめ蒸気表よりもとめた各温度点における密度を線型内挿して求める。ただし、**CARD 48-3** の指定にかかわらず、入力はすること。

- = -1 大気圧 (1kgf/cm^2)
- = 0 PWR の圧力 (157.0 Kgf/cm^2)
- = 1 BWR の圧力 (73.1 Kgf/cm^2)

CARD 61 ボイド率履歴 /ISTPTOTAL E/

BWR の解析の場合には、ボイド率の設定は非常に重要である。ここでは、それぞれの燃焼ステップ毎のボイド率(%)を指定する。もちろん、PWR の解析の場合でも、入力としては有効である。

SWAT は、**CARD 48-3**において、冷却材物質であると指定されたものに関しては、STEAM ライブライアリを使用して冷却材の密度を計算し、その値を使用することが出来るが、その時に、ボイド率の効果を入れるために使用される。ただし、**CARD 48-3** の指定にかかわらず、入力はすること。

61-1 VOIDRATIO(1) / E/

燃焼ステップ 1 でのボイド率 (%)

61-2 VOIDRATIO(2) / E/

燃焼ステップ 2 でのボイド率 (%)

.....
61-ISTPTOTAL VOIDRATIO(ISTPTOTAL) /E/

燃焼ステップ ISTPTOTAL でのボイド率 (%)

[CARD 62] 剥酸濃度履歴 /ISTPTOTAL E/

PWR の解析の場合には、硼酸を利用した反応度制御が行なわれる。ここでは、それぞれの燃焼ステップ毎の硼酸濃度 (ppm) を指定する。もちろん、BWR の解析の場合でも、入力としては有効である。

SWAT は、[CARD 48-3]において、冷却材物質であると指定されたものに関しては、その指定された温度をもとにして冷却材密度を算出するが、さらに、指定された硼酸濃度から B-10 と B-11 の原子個数密度を算出する。ここでの入力は、その硼酸濃度を指定する。ただし、[CARD 48-3] の指定にかかわらず、入力はすること。

62-1 BORICCONC(1) / E/

燃焼ステップ 1 での硼酸濃度 (ppm)

62-2 BORICCONC(2) / E/

燃焼ステップ 2 での硼酸濃度 (ppm)

.....
62-ISTPTOTAL BORICCONC(ISTPTOTAL) /E/

燃焼ステップ ISTPTOTAL での硼酸濃度 (ppm)

6.6 その他の付加的機能コントロール

ここでは、付加的な機能コントロールのためのデータを指定する。基本的には、普段の解析には使用されないデータである。

CARD 63 断面積調整を行う同位体数 /I/

一群断面積の値を調整する同位体数を指定する

63 TOTNUM /I/

CARD 64 断面積修正の値 /I,4E/

もし **CARD 63** が 0 でないなら必要である。ここで指定した修正量が 1.0 に加算されて、その値を修正前の断面積に掛ける。すなわち、

922350	0.01	0.0	0.0	0.0	0.05
--------	------	-----	-----	-----	------

と指定されていた場合には、U-235 の、中性子捕獲断面積が 1%、核分裂断面積が 5 %、増加される事を意味する。

64-1 TARGET / I/

変更する同位体の ZA 番号

64-2 GAIN(1,N) /E/

中性子捕獲反応一群断面積変更量

64-3 GAIN(2,N) / E/

(n,2n) 反応一群断面積変更量

64-4 GAIN(3,N) / E/

(n,3n) 反応一群断面積変更量。ただし FP の場合には、(n,p) 反応。

64-5 GAIN(4,N) / E/

核分裂反応一群断面積変更量。ただし、FP の場合には、(n, α) 反応。

このカードは [CARD 63] で指定された数だけ入力されなければならない (TOT-NUM)。

[CARD 65] 分岐比データ修正核種数 /I/

計算に使用する分岐比を修正する同位体の数

65 NBRAN /I/

[CARD 66] ユーザー定義の分岐比データ /I,2E/

もし [CARD 64] が 0 でなければ、必要である。たとえば、

952410 0.6

と指定された場合には、Am-241 の中性子捕獲反応において、Am-242 が生成されるのは、Am-241 の全中性子捕獲反応の 60 % である事を示している。現在の SWAT は、ORIGEN2 PWR-U Library に内蔵の分岐比データを内蔵している。

66-1 INAME(N) / I/

分岐比データが修正される同位体の ZA 番号。

66-2 BRABCH(N,1) / I/

中性子捕獲反応において基底状態が生成される割合。0.0 未満の値が指定されると、SWAT Library 内蔵の値がそのまま使用される。

66-3 BRABCH(N,2) / I/

(n,2n) 反応において基底状態が生成される割合。0.0 未満の値が指定されると、SWAT Library 内蔵の値がそのまま使用される。

このカードは、**CARD 65** で指定された数 (NBRAN) 回繰りかえされる。

CARD 67 USER 定義の中性子スペクトル /E/

もし SLIBM が 0 であるなら、このカードは必要になる。IFAST+ ITHERMAL 群のデータ (中性子スペクトル) を指定する。

67-1 FLX(1) /E/

一群の中性子スペクトル

67-2 FLX(2) /E/

二群の中性子スペクトル

.....
67-(IFAST+ITHERMAL) FLX(IFAST+ITHERMAL) /E/

IFAST+ITHERMAL 群の中性子スペクトル

CARD 67 は、燃焼領域数 (IBNODE)×(LIBMAK が call される回数、すなわち
燃焼ステップ数の中で、冷却計算を除いた数) 回繰りかえされる。

7 実行例

7.1 SWAT を実行するための Shell Script の例

SWAT それ自身は、入力ファイルを `input_file` とすると、

```
swat input_file
```

と言う形式で実行される。しかしながら、SWAT は多くの環境変数を使用するので、shell script を利用するのが、もっとも便利である。以下に、その例を示す。その中では、最初にいくつかの環境変数を使用して SWAT が実行する外部モジュールや、使用する PDS file を指定して、その後、古い結果が残っている場合には、安全のために実行を止める等の処理をした後に、SWAT を実行している。

```
#!/bin/sh
if [ $# -eq 0 ]
then
    echo "Usage: run_swat swat_input_file"
    exit
fi
##
## pds file allocation
##      following set is for FCS
##      please change for your setup....
##
# PUBLIC LIBRARY
PBLIB=/work/codes/srac95/lib/usrplib/
export PBLIB
# USER LIBRARY
USLIB=/home4/kenya/lib/srac95/
export USLIB
# OTHER USER LIBRARY
OULIB=/tmp/pdsdir/
export OULIB
# EXECUTION MODULE
EXMOD=/home5/codes/swat9705/swat
export EXMOD
# READNASS FILE
READMASS=/home5/codes/swat9705/readmass/ms
export READMASS
# ORIGEN2 MODULE
ORI2MOD='/home5/codes/swat9705/ORI2MOD'
export ORI2MOD
# SRAC MODULE
SRACMOD='/home5/codes/swat9705/SRACMOD'
export SRACMOD
## run
##
if [ -f $1.out ]
then
    echo "Hummm.... I think you have already calculated result with SWAT."
    NAME= "$1.out"
    echo -n "Delete old results ? (y or n)"
    read RMRES
```

```

case $RMRES in
  1) RMRES="Y";;
  2) RMRES="y";;
  3) RMRES="N";;
  4) RMRES="n";;
esac

if [ $RMRES = "Y" -o $RMRES = "y" ]
then
  rm $1.out
fi
if [ $RMRES = "N" -o $RMRES = "n" ]
then
  echo "Oh! I hesitate to continue ...."
  exit
fi
fi

if [ -f srac95.out ]
then
  echo "Hummm.... I think you have already temporary result with SRAC95.
          NAME= \"srac95.out\""
  echo -n "Delete old results ? (y or n)"
  read RMRES

case $RMRES in
  1) RMRES="Y";;
  2) RMRES="y";;
  3) RMRES="N";;
  4) RMRES="n";;
esac

if [ $RMRES = "Y" -o $RMRES = "y" ]
then
  rm srac95.out
fi
if [ $RMRES = "N" -o $RMRES = "n" ]
then
  echo "Oh! I hesitate to continue ...."
  exit
fi
fi

if [ -f $1.srac95.out ]
then
  echo "Hummm.... I think you have already final result with SRAC95.
          NAME= \"$1.srac95.out\""
  echo -n "Delete old results ? (y or n)"
  read RMRES

case $RMRES in
  1) RMRES="Y";;
  2) RMRES="y";;
  3) RMRES="N";;
  4) RMRES="n";;
esac

if [ $RMRES = "Y" -o $RMRES = "y" ]
then
  rm $1.srac95.out
fi
if [ $RMRES = "N" -o $RMRES = "n" ]
then
  echo "Oh! I hesitate to continue ...."
  exit
fi

```

```

fi
if [ -f $1 ]
then
echo "+-----+
echo "|     (^_~)    RUNNING   SWAT ....
echo "+-----+
echo "      date   :" "'date'"
echo "      user   :" "'whoami'"
echo "      host   :" "'hostname'"
echo "      input  :" "$1"
${EXMOD} $1 > $1.out
echo "+-----+
echo "|     (o_o)  END OF SWAT
echo "+-----+
echo "      date   :" "'date'"
echo "+-----+
mv fort.97 $1.sum
mv fort.80 $1.srac95.inp
mv fort.61 $1.xslib
mv sra95.out $1.sra95.out
cp fort.91 $1.rst
# rm -rf fort.*
exit
else
echo "No Input File"
exit
fi

```

7.2 外部モジュールとして実行される SRAC の shell script 例

この shell script は、環境変数 SRACMOD で指定されるものである。ただ単に、SRAC95 を実行させているだけである。ちなみに、この shell script は、SRAC95 のソースに付隨のものを基にして作成している。

```

#!/bin/csh
#####
#
# << run SRAC95 on UNIX >>
#
# Consultant : keisuke OKUMURA, Tel 029-282-5321
#               E-mail okumura@mike.tokai.jaeri.go.jp
#
#####
#
# REMAKED BY K.SUYAMA FCSE,JAERI
#               kenya@cyclone.tokai.jaeri.go.jp
#
#####
#
# Fortran logical unit usage (allocate if you need)
#
#       The meaning of each file depends on sub-programs used in SRAC.
#       [ ]:important files for users.
#
#       1  binary (ANISN,TWOTRAN,CIATION)
#       2  binary (ANISN,CIATION), scratch
#       3  binary (SRAC,ANISN,TWOTRAN,CIATION), scratch
#       4  binary (PIJ,ANISN,TWOTRAN), scratch
# [ 5]  text:80 standard input
# [ 6]  text:137 standard output, monitoring message
#       8  binary (ANISN,TWOTRAN), angular flux in TWOTRAN
#       9  binary (TWOTRAN,CIATION)

```

```

#          flux map in CITATION, angular flux in TWOTRAN
# 10  binary (ANISN,TWOTRAN,CITATION), scratch
# 11  binary (TWOTRAN,CITATION), Sn constants in TWOTRAN
# 12  binary (TWOTRAN), restart file for TWOTRAN
# 13  binary (TWOTRAN,CITATION), restart file for TWOTRAN & CITATION
# 14  binary (TWOTRAN,CITATION), scratch
# 15  binary (CITATION), scratch (fast I/O device may be effective)
# 16  binary (CITATION), scratch
# 17  binary (CITATION), fixed source in CITATION
# 18  binary (CITATION), scratch
# 19  binary (CITATION), scratch
# 20  binary (CITATION), scratch
# 21  binary (PIJ), scratch
# 22  binary (PIJ,CITATION), scratch
# 26  binary (CITATION), scratch
# 28  binary (CITATION), scratch
# 31  text:80 (SRAC-CVMACT,CITATION), macro-XS interface for CITATION
# 32  binary (PIJ,ANISN,TWOTRAN,TUD,CITATION)
#          fixed source for TWOTRAN, power density map in CITATION
# 33  binary (PIJ,TWOTRAN,TUD), total flux in TWOTRAN & TUD
# 49  device internally used to access PDS file
# [50] text:80 burnup chain library (SRAC-BURNUP)
# 52  binary (SRAC-BURNUP), scratch
# 81  binary (PIJ), scratch
# 82  binary (PIJ), scratch
# 83  binary (PIJ), scratch
# 84  binary (PIJ), scratch
# 85  binary data table (PIJ), always required in PIJ
# [89] plot file : PostScript (SRAC-PEACO,PIJ)
# 91  text:80 (CITATION), scratch
# 92  binary (CITATION), scratch
# 93  text:80 (SRAC-BURNUP), scratch
# 95  text:80 (SRAC-DTLIST), scratch
# 96  binary (SRAC-PEACO), scratch
# 97  binary (SRAC-BURNUP), scratch
# [98] text:137 (SRAC-BURNUP) summary of burnup results
# [99] text:137 calculated results
#
===== Set by user =====
#
# LMN   : load module name
#         = SRACsc.30m(Scalar,30M), SRACvp.50m(Vector,50M), ....
# BRN   : burnup chain library data
#         =ucm66fp : U-Np-Pu-Am-Cm & 65+1 FP & B-10 (standard model)
#         =thcm66fp : Th-Pa-U-Np-Pu-Cm & 65+1 FP & B-10 (Th model)
#         =ucm30fp : U-Np-Pu-Am-Cm & 26+4 FP & B-10 (simple FP model)
# ODR   : directory name in which output data will be stored
# CASE  : case name which is referred as names of output files and PDS
# WKDR  : directory name in which scratch PS files will be made and deleted
# PDSD  : directory name in which PDS files will be made
#
setenv HOMESRAC /work/codes
setenv LMN     SRACsc.30m
setenv BRN     ucm66fp
#
===== Change if you like =====
#
setenv SRAC_DIR $HOMESRAC/srac95
setenv LM      $SRAC_DIR/bin/$LMN
setenv DATE    `date +%b%d.%H.%M.%S'
#
setenv fu50 $SRAC_DIR/lib/burnlibT/$BRN
setenv fu85 $SRAC_DIR/lib/kintab.dat

```

```

# setenv fu89 $ODR/$CASE.SFT89.$DATE
# setenv fu98 $ODR/$CASE.SFT98.$DATE
# setenv fu99 SFT99.$DATE
# setenv OUTLST SFT06.$DATE
#
#===== Exec SRAC code =====
#
$LM < fort.5 >& srac95.out

```

7.3 外部モジュールとして実行される ORIGEN2 の shell script 例

この shell script は、環境変数 ORI2MOD で指定されるものである。ただ単に、ORIGEN2 を実行させているだけである。

```

#!/bin/csh
setenv EXDIR /home5/codes/origin2.1/bin
# use kenya-enhanced module
setenv EXMOD $EXDIR/ori2iske
setenv LIBDIR /home5/codes/origin2.1/libs/user
setenv PHOLIB $LIBDIR/photonlib
setenv INPUT fort.5
setenv OUTFN origin2_out

# linking photon library
if ( ! -f fort.10 ) then
  ln -s $PHOLIB fort.10
endif

$EXMOD < $INPUT >> $OUTFN

# unlinking photon library
rm fort.10

```

7.4 サンプル入力

計算例として、SRAC95 のマニュアル [2] の 194 ページに記載にされているデータと同様のデータの解析を行うもので、U-235 初期濃縮度は 3.2 wt%、燃焼度 33000 MWd/tHM である。そして、燃焼のあとで 1095.75 日と 730.50 日の冷却を行っている。ただし、衝突確率法のための入力では、境界条件を White Boundary とした。

```

===== PDS FILE ALOCATION =====
FASTP : pfast
THERMP : pthml
FASTU : fastu
THERMU : thermalu
MACWRK : macrowrk
FLUX : flux
MACRO : macro
MCROSSP: pmcrs
MICREF : micref
UMCROS : umcros
===== for libmak =====
usacti :/home5/codes/swat9705/xslib/acti.j32.v2.1
usfp   :/home5/codes/swat9705/xslib/fp.j32.v2.1

```

```

ori2ori:/home5/codes/swat9705/ori2origlib/decaydat.fp-j3.v7
===== for origen2 =====
photo :/home5/codes/swat9705/ori2origlib/photodat
COMPARE OF SWAT WITH SRAC95 PIJ BURNUP FOR SWAT9707A
SRAC95 -- JAERI-DATA/CODES pp.194-196 (PWR 3.2 WT% , 33000 MWD/THM)
1 0 0 0 0 0 14(100) / Result Control
1 1 1 1 1 1 1 1 / Library Control
1 1 1 1 2 1 4 3 -2 1 0 0 0 0 2 0 1 0 0 0 / SRAC General Control
1.0000E-25
61 46 1 / Fast Thermal Lethargy
4 6 6 3 3 0 6 0 0 0 0 0 8 15 0 0 30 0 1 / Collision Prob. Control
1 1 1 2 3 3 / R-T B-4
1 2 3 / M-R B-6
0.0 0.2413 0.3413 0.418 0.475 0.570 0.6616
1
3
67 1 0 0 1.0 0.836 0.0 9.81157 3.200 0.0 / U02 PELLET
922340 2 1 0 0 1 0 / U-234
922350 2 1 0 0 1 2 / U-235
922360 2 1 0 0 1 0 / U-236
922380 2 1 0 0 1 2 / U-238
932370 2 1 0 0 1 0 / Np-237
942380 2 1 0 0 1 0 / Pu-238
942390 2 1 0 0 1 0 / Pu-239
942400 2 1 0 0 1 0 / Pu-240
942410 2 1 0 0 1 0 / Pu-241
942420 2 1 0 0 1 0 / Pu-242
952410 2 1 0 0 1 0 / Am-241
952421 2 1 3 0 1 0 / Am-242m
952420 2 1 2 0 1 0 / Am-242
952430 2 1 0 0 1 0 / Am-243
962420 2 1 0 0 1 0 / Cm-242
962430 2 1 0 0 1 0 / Cm-243
962440 2 1 0 0 1 0 / Cm-244
962450 2 1 0 0 1 0 / Cm-245
962460 2 1 0 0 1 0 / Cm-246
641520 2 1 0 0 1 0 / Gd-152
641540 2 1 0 0 1 0 / Gd-154
641550 2 1 0 0 1 0 / Gd-155
641560 2 1 0 0 1 0 / Gd-156
641570 2 1 0 0 1 0 / Gd-157
641580 2 1 0 0 1 0 / Gd-158
641600 2 1 0 0 1 0 / Gd-160
541350 2 1 0 0 1 0 / Xe-135
601430 2 1 0 0 1 0 / Nd-143
451030 2 1 0 0 1 0 / Rh-103
541310 2 1 0 0 1 0 / Xe-131
551330 2 1 0 0 1 0 / Cs-133
621490 2 1 0 0 1 0 / Sm-149
430990 2 1 0 0 1 0 / Tc- 99
621520 2 1 0 0 1 0 / Sm-152
621510 2 1 0 0 1 0 / Sm-151
611470 2 1 0 0 1 0 / Pm-147
631530 2 1 0 0 1 0 / Eu-153
601450 2 1 0 0 1 0 / Nd-145
631550 2 1 0 0 1 0 / Eu-155
631540 2 1 0 0 1 0 / Eu-154
621500 2 1 0 0 1 0 / Sm-150
420950 2 1 0 0 1 0 / Mo- 95
471090 2 1 0 0 1 0 / Ag-109
611481 2 1 3 0 1 0 / Pm-148m
441010 2 1 0 0 1 0 / Ru-101
551340 2 1 0 0 1 0 / Cs-134
461050 2 1 0 0 1 0 / Pd-105
611480 2 1 2 0 1 0 / Pm-148
451050 2 1 0 0 1 0 / Rh-105
591410 2 1 0 0 1 0 / Pr-141
360830 2 1 0 0 1 0 / Kr- 83
461080 2 1 0 0 1 0 / Pd-108
621470 2 1 0 0 1 0 / Sm-147
461070 2 1 0 0 1 0 / Pd-107
420970 2 1 0 0 1 0 / Mo- 97
481130 2 1 0 0 1 0 / Cd-113
551350 2 1 0 0 1 0 / Cs-135

```

```

420980 2 1 0 0 1 0 / Mo- 98
541330 2 1 0 0 1 0 / Xe-133
491150 2 1 0 0 1 0 / In-115
591430 2 1 0 0 1 0 / Pr-143
631560 2 1 0 0 1 0 / Eu-156
441030 2 1 0 0 1 0 / Ru-103
621480 2 1 0 0 1 0 / Sm-148
601470 2 1 0 0 1 0 / Nd-147
611490 2 1 0 0 1 0 / Pm-149
80160 0 0 0 0 0 1 / O- 16
32000.0 968000.0 / Weight of U235 and U238
4.3777E-02 / 016 constant density
1 0 0 0 1.0 0.114 0.0 0.0 0.0 0.0
400000 0 0 1 0 0 1 / ZRN
4.2507E-02 / ZRN
7 0 0 0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
10010 0 0 0 9 0 1 / H-1
80160 0 0 0 0 0 1 / O-16
400000 0 0 1 0 0 1 / ZRN
280000 0 0 1 0 0 1 / NIN
240000 0 0 1 0 0 1 / CRN
260000 0 0 1 0 0 1 / FEN
410930 0 0 0 0 0 1 / NB3
4.5869E-2 2.2934E-2 8.7989E-4 9.6919E-4 3.8407E-4 3.5563E-4 5.7770E-5
1 0
1
14 12 / Step of burnup ( total steps, step in ORIGEN-2 )
14 (2) / Number of Command for each step
3 4 / 1
3 4 / 2
3 4 / 3
3 4 / 4
3 4 / 5
3 4 / 6
3 4 / 7
3 4 / 8
3 4 / 9
3 4 / 10
3 4 / 11
3 4 / 12
3 4 / 13
3 4 / 14
11(1) 0 0 0 / Operation
2.63579 37.916 /1
23.737 37.916 /2
39.561 37.916 /3
65.9356 37.916 /4
65.9356 37.916 /5
65.9356 37.916 /6
131.871 37.916 /7
131.871 37.916 /8
131.871 37.916 /9
131.871 37.916 /10
79.123 37.916 /11
1095.0 / 12
730.50 / 13
730.50 / 14
1000.0 600.0 581.05 / 1
1000.0 600.0 581.05 / 2
1000.0 600.0 581.05 / 3
1000.0 600.0 581.05 / 4
1000.0 600.0 581.05 / 5
1000.0 600.0 581.05 / 6
1000.0 600.0 581.05 / 7
1000.0 600.0 581.05 / 8
1000.0 600.0 581.05 / 9
1000.0 600.0 581.05 / 10
1000.0 600.0 581.05 / 11
1000.0 600.0 581.05 / 12
1000.0 600.0 581.05 / 13
1000.0 600.0 581.05 / 14
0 /PWR
14(0.0) / Void ratio is 0 %
14(0.0) / BORIC

```

0 / xs val.
0 branching

7.5 サンプル出力

出力の一部を例として示す。初めに、入力のエコーバックが表示される。

```
VERSION CONTROL DATA BY RCS
$Date: 1997/10/15 01:41:43 $:$Revision: 1.3 $
```

```
=====
SSSSS   W   W   A   TTTTTT
S   S   W   W   A   A   T
SSSSS   W   W   A   A   A   T
S   S   W   W   A   A   A   T
SSSSS   W   W   A   A   A   T
W   W   W   A   A   A   T
WW WW A   A   A   T
=====
SWAT SYSTEM VERSION 9710A
BASED ON STEP WISE BURNUP ANALYSIS METHOD
K.SUYAMA
KENYA@CYCLONE.TOKAI.JAERI.GO.JP
=====
MACHINE AND ROUTINE INFORMATION =====
SUN FORTRAN 1.4 VERSION
USING STEAM ROUTINE
USING READ MASS ROUTINE
USING YOUR ORIGEN2
USING YOUR SRAC95
REMOVE PDS FILE OF PREVIOUS CASE
=====
PATH OF PUBLIC LIB: /work/codes/srac95/lib/usrplib/
PATH OF USER LIB: ./9707a/pdsdir/
PATH OF OTHER LIB: /tmp/pdsdir/
PATH OF SRAC MODULE: /home5/codes/swat9710/SRACMOD
PATH OF ORIGEN2 MODULE: /home5/codes/swat9710/ORI2MOD
=====
*****
*   Input Data List ( Unit = 90 ) *
*****

```

*** Continue ***

(エコーバックが終ると、入力データの解析を行う)

* * * * *

					PIJ-CONTROLL	0	0	0	0
					R-REGION NUMBER BY T-REGION	0	0	0	0
					MATERIAL NUMBER BY R-REGION	3	3	3	1
4	6	6	6	3					
0	0	0	8	15					
1	1	1	1	2					
1	2	2	3						
0.00000E+000 0.24130E+000 0.34130E+000 0.41800E+000 0.47500E+000 0.57000E+000 0.66160E+000									
X-REGION NUMBER FOR GETTING FLUX									
1									
3									
NMAT	1 /	3	NUMBER	ISOTOPE	MATERIAL MEMBER	TINFORMATION	USE	CROSS SECTION	---
			1	U234	XU04000X	1			
			2	U235	XU05000X	2			
			3	U236	XU06000X	3			
			4	U238	XU08000X	4			
			5	NP237	XNP7000X	5			
			6	PU238	XPU8000X	6			
			7	PU239	XPU9000X	7			
			8	PU240	XPU0000X	8			
			9	PU241	XPU1000X	9			
			10	PU242	XPU2000X	10			
			11	AM241	XAM1000X	11			
			12	AM242M	XAMM000X	12			
			13	AM242	XAMG000X	13			
			14	AM243	XAM3000X	14			
			15	CM242	XCM2000X	15			
			16	CM243	XCM3000X	16			
			17	CM244	XCM4000X	17			
			18	CM245	XCM5000X	18			
			19	CM246	XCM6000X	19			
			20	GD152	XGD2000X	20			
			21	GD154	XGD4000X	21			
			22	GD155	XGD5000X	22			
			23	GD156	XGD6000X	23			
			24	GD157	XGD7000X	24			
			25	GD158	XGD8000X	25			
			26	GD160	XGD000X	26			
			27	XE135	XXE5000X	27			
			28	ND143	XND3000X	28			
			29	RH103	XRH3000X	29			
			30	XE131	XXE1000X	30			
TOTAL NUMBER OF MATERIAL FOR SRAC									

31	XCS3000X
32	XSM9000X
33	XTC9000X
34	XSM2000X
35	XSM1000X
36	XPM7000X
37	XEU3000X
38	XND5000X
39	XEU5000X
40	XEU4000X
41	XSM0000X
42	XMO5000X
43	XAG9000X
44	XPMW000X
45	XRU1000X
46	XCS4000X
47	XPD5000X
48	XPMG000X
49	XRH5000X
50	XPR1000X
51	XKR3000X
52	XPD8000X
53	XSM7000X
54	XPD7000X
55	XMO7000X
56	XCD3000X
57	XCS5000X
58	XMO8000X
59	XKE3000X
60	XIN5000X
61	XPR3600X
62	XEU6000X
63	XRU3000X
64	XSM8000X
65	XND7000X
66	XPM9000X
67	0 16 XQ06000X

VOLUME RATIO TO TOTAL BURNUP REGION (0.0 FOR NON-BURNUP REGION)
1.00000E+00

MEAN CHORD LENGTH(CM) AND DANCUFF COLLECTION FACTOR
8.36000E-01 0.00000E+00

DENSITY U-235 ENRICHMENT AND WT% OF GD203
9.81157E+00 3.20000E+00 0.00000E+00

INITIAL WEIGHT(G) SPECIFICATION
U235 32000
U238 9.68000E+05

CONSTANT NUCLIDE DENSITY (#/CM**3)

0 16 4.37770E-02

NMAT 2 / 3 ----- NUMBER ----- ISOTOPE ----- MEMBER ----- USE CROSS SECTION -----
 1 ZR 0 XZRN000X

VOLUME RATIO TO TOTAL BURNUP REGION(0.0 FOR NON-BURNUP REGION)
 1.00000E+00

MEAN CHORD LENGTH(CM) AND DANCOff COLLECTION FACTOR
 1.14000E-01 0.00000E+00

DENSITY U-235 ENRICHMENT AND WT% OF GD203
 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

INITIAL WEIGHT(G) SPECIFICATION

ZR 0 CONSTANT NUCLIDE DENSITY(#/CM**3)
 4.25070E-02

NMAT 3 / 3 ----- NUMBER ----- ISOTOPE ----- MEMBER ----- USE CROSS SECTION -----
 1 H 1 XH01H00X
 2 0 X006000X
 ZR 0 XZRN000X
 NI 0 XMIN000X
 CR 0 XCRN000X
 FE 0 XFEN000X
 7 NB 93 XNB3000X

VOLUME RATIO TO TOTAL BURNUP REGION(0.0 FOR NON-BURNUP REGION)
 1.00000E+00

MEAN CHORD LENGTH(CM) AND DANCOff COLLECTION FACTOR
 1.00000E+00 0.00000E+00

DENSITY U-235 ENRICHMENT AND WT% OF GD203
 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

INITIAL WEIGHT(G) SPECIFICATION

CONSTANT NUCLIDE DENSITY(#/CM**3)
 H 1 4.58690E-02
 0 16 2.29340E-02
 ZR 0 8.79890E-04
 NI 0 9.69190E-04
 CR 0 3.84070E-04
 FE 0 3.55630E-04
 NB 93 5.77700E-05

JAERI-Data/Code 97-047

SET SRAC POWER CORRECTION AND
ORIGIN2 INPUT ECHO BACK

VOLUME IS GIVEN BY THE FOLLOWING REGION

TOTAL BURNED AREA (in square meters)

COMMANDS BY EACH BURNUP SIEF

OPERATION OF ORIGEN2 (0=DECAY; 1=BURNUP)
1
0

TABLE OF BURNUP HISTORY

TABLE OF CUMULATIVE BURNUP

STP		MWD(-1)		CMUMWD(-1)	
1	99	9.386	99	9.386	99
2	900	0.0121	999	9.507	999
3	1499	9.949	2499	9.456	2499
4	2500	0.0142	4999	9.599	4999
5	2500	0.0142	7499	9.741	7499
6	5000	0.0210	9999	9.884	9999
7	5000	0.0210	15000	0.0093	15000
8	5000	0.0210	20000	0.0303	20000
9	5000	0.0210	25000	0.0513	25000
10	5000	0.0210	30000	0.0722	30000
11	3000	0.0277	33000	1.000	33000
12	0	0.0000	33000	1.0000	33000
13	0	0.0000	33000	1.0000	33000

| 14 | 0.0000 | 33000.1000 |

TABLE OF TEMP. (K) FOR EACH MATERIAL			
+STP	-TMP(-1)	-TMP(-2)	-TMP(-3)
1	1000.00	600.00	581.05
2	1000.00	600.00	581.05
3	1000.00	600.00	581.05
4	1000.00	600.00	581.05
5	1000.00	600.00	581.05
6	1000.00	600.00	581.05
7	1000.00	600.00	581.05
8	1000.00	600.00	581.05
9	1000.00	600.00	581.05
10	1000.00	600.00	581.05
11	1000.00	600.00	581.05
12	1000.00	600.00	581.05
13	1000.00	600.00	581.05
14	1000.00	600.00	581.05

COOLANT DENSITY DEPEND
0

ON REACTOR TYPE (-1=STD:0=PWR; 1=BWR)

VOID RATIO (%) HISTORY	BORIC ACID CONC.(PPM) HISTORY
0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00	0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00	0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

VARIABLE CROSS SECTION

0

BRANCHING RATIO

0

(そして、第…ステップの計算を行う)

```
*****
*** STEP CCC1 ***
*****
```

```
***** INPUT ECHO BACK FOR CASE 1 *****
```

SRAC

CASE NAME => CCC1 TOTAL MATERIAL NUMBER => 3

```
---- REGION MATERIAL ----
   1 FM11X11X
   2 FM12X12X
   3 FM13X13X
```

BORIC CONC(PPM) => 0.000

ORIGIN-2

OPERATION STATUS => BUP DAYS => 2.636 CALC. STEP => 12

```
---- REGION MW ----
   1 3.79160E+01
--- TOTAL POWER ---> 3.79160E+01
```

 (SRAC の入力作成のために、TABMAK が起動される。そして、第一次トップの SRAC による)
 (計算で使用される各物質の原子個数密度が表示される)

ENTER TABMAK FOR SRAC(MAKE1) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:32:59 1997
 VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$:\$Revision: 1.3 \$

```
- REGION NUMBER << 1 >> - IN TOTAL NMAT( 3 )
NO ISOTOPE MASS CALC. WEIGHT DENSITY RATIO(FOR ANA.) DENSITY(E-24)
  2 U235 2.350439E+02 3.200000E+04 7.090802E+20 1.000000E+00 7.090802E-04
  4 U238 2.380508E+02 9.680000E+05 2.117874E+22 1.000000E+00 2.117874E-02
  0 16 NUMBER DENSITY HAS SET TO 4.37770E-02 IN PRM. FILE
```

ZR 0 REGION NUMBER HAS SET TO 4.25070E-02 IN PRM. FILE
 - REGION NUMBER << 2 >> - IN TOTAL NMAT(3)

```
H 1 NUMBER DENSITY HAS SET TO 4.58690E-02 IN PRM. FILE
  0 16 NUMBER DENSITY HAS SET TO 2.29340E-02 IN PRM. FILE
ZR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 8.79890E-04 IN PRM. FILE
NI 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 9.69190E-04 IN PRM. FILE
```

CR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.84070E-04 IN PRM. FILE
 FE 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.55630E-04 IN PRM. FILE
 NB 93 NUMBER DENSITY HAS SET TO 5.77700E-05 IN PRM. FILE

OUT TABMAK FOR SRAC(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:32:59 1997

(SRAC の実行)

```
*****
*          sSSSS    RRRR    AA      CCC   *
*          S        R      A      C     C   *
*          SSSSS    RRRR    AAAA   C     C   *
*          S        R      A      C     C   *
*          SSSSS    R      A      CCC   C   *
*          DATE AND TIME Sun Sep 28 08:32:59 1997
*          *****
*          *****(出力分布の解析)
*          *** POWER DISTRIBUTION BY SRAC ***
*****
```

BURNUP	REGION	MTNAME	VOLUME	POWER	POW/VOL	SPRATIO	VOL.RATIO
1		FM11X11X	5.48911E-01	5.33192E-01	9.71363E-01	1.00000E+00	1.00000E+00
SUM				5.48911E-01	5.33192E-01		
*** BURNUP DISTRIBUTION (IRRADIATION 2.63579E+00 DAYS) ***							
BURNUP	REGION	MTNAME	SPRATIO	MW	MWD	SUM OF MWD	PEAK. FACT.
1		FM11X11X	1.00000E+00	3.79160E+01	9.99386E+01	9.99386E+01	1.00000E+00
				3.79160E+01			
		AVR					

(ORIGEN2 の人力作成のための TABMAK の起動)

ENTER TABMAK FOR ORIGEN2(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:42:14 1997
 VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$:\$Revision: 1.3 \$

OUT TABMAK FOR ORIGEN2(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:42:14 1997

(LIBMAK が起動され、ORIGEN2 用の断面積の作成を行う)
 ENTER LIBMAK FOR CROSS SECTION OF REGION : 1 AT :Sun Sep 28 08:42:14 1997
 VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$:\$Revision: 1.3 \$

- MICREFEFFECTIVE LIBRARY -

HUMM..... I KNOW THAT SRAC95 MAKES DUMMY MEMBER. I WILL CHANGE 6TH AND 7TH TAGS OF CU04T119 TO ZERO FOR LOOKING OUT
 HUMM..... I KNOW THAT SRAC95 MAKES DUMMY MEMBER. I WILL CHANGE 6TH AND 7TH TAGS OF KU04T119 TO ZERO FOR LOOKING OUT

(PDS File から読み込まれたメンバーを表示している)

CU04F119	MU04F119	CU04T009	KU04T009	CU04T119	MU05F119	CU05T119	KU05T119
CU06F119	MU06F119	CU06T009	KU06T009	CU06T119	MU08F119	CU08T009	KU08T009
CNP7F119	MNP7F119	CNP7T119	KNP7T119	CPU9T119	MPU9F119	CPU8T119	KPU8T119
CPU9F119	MPU9F119	CPU9T119	KPU9T119	CPU9T119	MPU9F119	CPU8T119	KPU8T119
CPU1F119	MPU1F119	CPU1T119	KPU1T119	CPU1T119	MPU2F119	CPU2T119	KPU2T119
CAM1F119	MAM1F119	CAM1T119	KAM1T119	CAM1T119	MAMMF119	CAMMF119	KAMMT119
CAMGF119	MAMGF119	CAMGF119	KAMGF119	CAMGF119	MAM3F119	CAM3T119	KAM3T119
CCM2F119	MCM2F119	CCM2T009	KCM2T009	CCM3F119	MCM3F119	CCM3T119	KCM3T119
CCM4F119	MCM4F119	CCM4T009	KCM4T009	CCM5F119	MCM5F119	CCM5T119	KCM5T119
CCM6F119	MCM6F119	CCM6T119	KCM6T119	CCD2F119	MGD2F119	CCD2T119	KGD2T119
CGD4F119	MGD4F119	CGD4T009	KGD4T009	CGD5F119	MGD5F119	CGD5T119	KGD5T119
CGD6F119	MGD6F119	CGD6T009	KGD6T009	CGD7F119	MGD7F119	CGD7T119	KGD7T119
CGD8F119	MGD8F119	CGD8T009	KGD8T009	CGDQF119	MGDOF119	CGDQT009	KGDQT009
CXE5F119	MXE5F119	CXE5T119	KXE5T119	CXE6F119	MXE6F119	CXE6T009	KXE6T009
CRH3F119	MRH3F119	CRH3T119	KRH3T119	CRH3T119	MRE3F119	CRH3T009	KRM3T009
CCS3F119	MCS3F119	CCS3T009	KCS3T009	CCS3T119	MSC3F119	CCS3T009	KSM3T009
CTC9F119	MTC9F119	CTC9T009	KTC9T009	CTC9T119	MTC9F119	CTC9T009	KTM9T009
CSM1F119	MSM1F119	CSM1T119	KSM1T119	CSM1T119	MSM1F119	CSM1T009	KSM1T009
CRU1F119	MRU1F119	CRU1T009	KRU1T009	CRU1T119	MRU1F119	CRU1T009	KRU1T009
CRU3F119	MRU3F119	CRU3T119	KRU3T119	CRU3T119	MRU3F119	CRU3T009	KRU3T009
CEU5F119	MEU5F119	CEU5T119	KEU5T119	CEU5T119	MEU5F119	CEU5T009	KEU5T009
CSM0F119	MSM0F119	CSM0T009	KSM0T009	CSM0T119	MSM0F119	CSM0T009	KSM0T009
CAG9F119	MAG9F119	CAG9T119	KAG9T119	CAG9T119	MAG9F119	CAG9T009	KAG9T009
CPD5F119	MRD5F119	CPD5T009	KPD5T009	CPD5T119	MRD5F119	CPD5T009	KPD5T009
CRH5F119	MRH5F119	CRH5T119	KRH5T119	CRH5T119	MRE5F119	CRH5T009	KRM5T009
CKR3F119	MKR3F119	CKR3T009	KKR3T009	CKR3T119	MKR3F119	CKR3T009	KKR3T009
CSW7F119	MSW7F119	CSW7T119	KSW7T119	CSW7T119	MSW7F119	CSW7T009	KSW7T009
CM07F119	MN07F119	CM07T009	KM07T009	CM07T119	MN07F119	CM07T009	KM07T009
CCS5F119	MCS5F119	CCS5T009	KCCS5T009	CCS5T119	MCS5F119	CCS5T009	KM08T009
CXE3F119	MXE3F119	CXE3T009	KXE3T009	CXE3T119	MXE3F119	CXE3T009	KXE3T009
CPR3F119	MPR3F119	CPR3T009	KPR3T009	CPR3T119	MPR3F119	CPR3T009	KPR3T009
CRU3F119	MRU3F119	CRU3T009	KRU3T009	CRU3T119	MRU3F119	CRU3T009	KRU3T009
CND7F119	MND7F119	CND7T009	KMND7T009	CND7T119	MND7F119	CND7T009	KMND7T009

(中性子スペクトルの情報)

-- MEMBER OF NEUTRON SPECTRUM : CCC1A010 --
 -- CONTROL DATA / LETH. / VOLUME : CONTA002 --

```

1.13188E-06 1.17439E-04 1.47608E-03 7.21634E-03 2.16708E-02 4.95182E-02
9.48261E-02 1.60546E-01 2.47896E-01 3.55662E-01 4.79487E-01 6.12543E-01
7.46998E-01 8.75383E-01 9.88030E-01 1.07825E+00 1.14300E+00 1.17939E+00
1.18894E+00 1.17282E+00 1.13514E+00 1.08010E+00 9.40377E-01
8.63495E-01 7.90270E-01 7.22372E-01 6.65203E-01 6.20852E-01 5.84050E-01
5.54913E-01 5.30479E-01 5.09669E-01 4.99512E-01 4.75060E-01 4.60076E-01
4.49335E-01 4.39396E-01 4.31126E-01 4.20887E-01 4.07735E-01 4.07918E-01
4.18186E-01 4.14869E-01 4.05251E-01 3.98316E-01 3.91054E-01 3.86646E-01
3.87268E-01 3.25390E-01 2.83208E-01 4.04155E-01 4.26982E-01
3.25506E-01 4.47632E-01 3.82274E-01 4.50733E-01 4.71000E-01 4.50822E-01
4.85914E-01 4.47845E-01 4.99136E-01 4.91145E-01 5.04251E-01 5.07445E-01
5.24586E-01 5.26779E-01 5.29020E-01 5.41391E-01 5.55758E-01 5.63253E-01
5.65954E-01 5.82821E-01 5.63409E-01 5.85628E-01 5.90963E-01 6.00083E-01
6.05727E-01 6.23911E-01 6.40299E-01 6.45327E-01 6.69207E-01 7.04274E-01
7.43815E-01 7.69711E-01 8.32200E-01 8.96216E-01 9.80115E-01 1.08914E+00
1.21905E+00 1.38646E+00 1.60455E+00 1.80849E+00 1.53831E+00 2.30682E+00
2.70331E+00 2.26965E+00 2.38493E+00 2.60294E+00 2.38331E+00 2.59815E+00
1.83167E+00 1.23817E+00 7.96703E-01 3.63387E-01 1.26168E-01

```

(SRAC で計算された実効断面積で、無限希釈断面積を入れ換えている)

---- ORIGEN2 NEXT RUN CROSS SECTION TABLE ----

```

FOR 922340 FISSION CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 4.705E-01 => 4.721E-01
FOR 922340 CAPTURE CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 2.065E-01 => 2.227E+01

FOR 922350 FISSION CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 4.867E+01 => 4.857E+01
FOR 922350 CAPTURE CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 1.049E+01 => 1.027E+01

FOR 922360 FISSION CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 2.933E-01 => 3.013E-01
FOR 922360 CAPTURE CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 7.927E+00 => 8.592E+00

FOR 922380 FISSION CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 9.526E-02 => 9.516E-02
FOR 922380 CAPTURE CROSS SECTION HAS SUBSTITUTED 5.940E+00 => 9.255E-01

```

途中省略
(ORIGEN2 フォーマットによる計算された一群断面積の表示)

```

204 310690 7.005E-01 6.394E-05 7.904E-05 4.641E-04 0.000E+00 0.000E+00
204 310710 1.216E+00 1.350E-04 1.291E-04 7.525E-04 3.877E-02 0.000E+00
204 320700 3.107E-01 2.117E-05 1.368E-04 3.728E-04 0.000E+00 0.000E+00
204 320720 9.853E-02 6.034E-05 5.955E-04 1.664E-03 0.000E+00 0.000E+00
204 320730 2.911E+00 7.417E-04 2.652E-05 9.821E-05 0.000E+00 0.000E+00
204 320740 3.815E-02 1.436E-04 6.549E-05 4.863E-05 1.075E-02 0.000E+00
204 320760 3.236E-02 2.228E-04 6.394E-06 2.948E-06 2.250E-02 0.000E+00
204 330750 2.226E+00 8.908E-05 1.231E-07 2.750E-07 0.000E+00 0.000E+00
204 340740 1.969E+01 1.213E-05 6.503E-06 1.412E-04 0.000E+00 0.000E+00
204 340760 6.034E+00 5.341E-05 1.229E-03 5.039E-03 1.507E+00 0.000E+00

```

.... 途中省略

```

206 631550 8.309E+02 8.775E-04 3.361E-07 8.868E-07 0.000E+00 0.000E+00
206 641550 2.420E+03 2.581E-03 1.537E-06 1.136E-06 0.000E+00 0.000E+00
206 631560 4.282E+01 3.789E-03 1.918E-07 3.486E-07 0.000E+00 0.000E+00
206 641560 3.539E+00 7.065E-04 3.919E-06 1.242E-06 0.000E+00 0.000E+00
206 641570 1.035E+04 3.408E-03 4.546E-07 7.550E-07 0.000E+00 0.000E+00
206 641580 1.981E+00 1.239E-03 1.959E-05 6.742E-07 0.000E+00 0.000E+00
206 651590 1.409E+01 1.126E-03 1.230E-07 1.081E-07 0.000E+00 0.000E+00
206 641600 4.544E-01 1.961E-03 1.855E-07 1.761E-07 0.000E+00 0.000E+00
NLB NUCL CAPT N2N N3N NF SNGX SN2NX

```

(ORIGEN-S で使用される 3 パラメータの表示)

THERM= 5.19712E-01 RES = 2.98328E-01 FAST= 2.15645E+00

OUT LIBMAK FOR CROSS SECTION OF REGION : 1 AT :Sun Sep 28 08:42:39 1997

(ORIGEN2 の実行)

```

*****
*   00000 RRRR    LLLL    GGGGG    EEEEE    N    N    222222    *
*   0     R     R    I     G     E     NN    N    22    22    *
*   0     RRRR    LLLL    G     GG    EEEE    N    NN    22    22    *
*   0     R     R    I     G     E     NN    N    22    22    *
*   00000 R     R    ILLL    GGGGG    EEEE    N    NN    222222    *
*   DATE AND TIME Sun Sep 28 08:42:39 1997
*   ****
*
```

(ORIGEN2 が終り、 TABMAK が結果を纏めるために起動される)

ENTER TABMAK FOR ORI2(STORE) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:42:53 1997
VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$:\$Revision: 1.3 \$

**** PREVIOUS BURN-UP CONDITION DISPLAY ****
FOR BURN UP REGION NO. --- > 1

* SRAC95 -- JAERI-DATA/CODES PP.194-196 (PWR 3.2 WT%, 33CCCC1M
POWER= 3.79160E+01 MW, BURNUP= 9.99466E+01 MWD, FLUX= 2.78E+14 N/CM**2-SEC

BASIS=C95 -- JAERI-DATA/CODES PP.194-196 (PWR 3.2 WT%, 33000 MWD/THM

TIME, SEC	0.00E+00	2.07E+04	4.14E+04	6.21E+04	0.5D	0.2D	1.0D	1.2D	1.4D	1.7D	1.9D	2.2D	2.4D	2.6D
NEUT. FLUX	0.00E+00	2.77E+14	2.77E+14	2.78E+14										
SP POW, MWD	0.00E+00	3.79E+01												
BURNUP, MWD	0.00E+00	9.10E+00	9.06E+00	9.10E+00	9.10E+00	9.06E+00	9.10E+00	9.06E+00	9.10E+00	9.10E+00	9.06E+00	9.10E+00	9.06E+00	9.10E+00
K_INFINITY	0.000000	1.39528	1.38363	1.37608	1.37177	1.36926	1.36776	1.36681	1.36616	1.36568	1.36528	1.36494	1.36494	1.36494
NEUT PRODN	0.00E+00	1.03E+04												
NEUT DESTN	0.00E+00	7.39E+03	7.45E+03	7.49E+03	7.51E+03	7.53E+03	7.53E+03	7.54E+03						
TOT BURNUP	0.00E+00	9.99E+01												
Avg N FLUX	0.00E+00	2.78E+14												
Avg SP POW	0.00E+00	3.79E+01												

***** TOTAL WEIGHT AND %FIMA

** REGION NUMBER * 1 * TOTAL WEIGHT - ACTINIDE													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TWA	1.000E+06												
* TOTAL WEIGHT - FP													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TWF	0.000E+00	9.415E+00	1.880E+01	2.822E+01	3.761E+01	4.703E+01	5.645E+01	6.584E+01	7.526E+01	8.469E+01	9.407E+01	1.035E+02	
* (%)FIMA													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
GAP	0.000E+00	4.838E-04	1.371E-03	2.355E-03	3.342E-03	4.236E-03	5.219E-03	6.206E-03	7.190E-03	8.075E-03	9.062E-03	9.062E-03	1.005E-02
* GRAM-ATOM(PRESENT)													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
GAP	4.203E+03	4.202E+03											
* DELTA MWD/GRAM-ATOM(PRESENT)													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
DBU	2.162E-03												
* MWD/GRAM-ATOM(PRESENT)													
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SBU	0.000E+00	2.162E-03	4.324E-03	6.486E-03	8.648E-03	1.081E-02	1.297E-02	1.513E-02	1.730E-02	1.946E-02	2.162E-02	2.378E-02	

(次の ORIGEN2 の入力になるデータの表示)

* NEXT ORIGEN-2 INPUT DATA *

- REGION NUMBER << 1 >> - DATA TO UNIT 5	
TL206 0.00000E+00 TL207 4.73706E-24 TL208 2.27915E-23 TL209 1.85671E-28 PB206 0.00000E+00 PB207	3.00863E-22
PB208 7.33919E-21 PB209 1.46738E-28 PB210 4.54514E-26 PB211 3.66439E-23 PB212 1.52174E-20 PB214	0.00000E+00
BI208 0.00000E+00 BI209 0.00000E+00 BI210 0.00000E+00 BI210 0.00000E+00 BI211 2.16222E-24 BI212	1.27446E-21
BI213 1.81729E-25 BI214 0.00000E+00 P0210 0.00000E+00 P0211 2.65286E-29 P0212 6.74273E-32	
P0213 2.72646E-34 P0214 6.83666E-33 P0215 2.23735E-29 P0216 1.50933E-25 P0218 0.00000E+00 AT217	1.41605E-29
RN218 1.48360E-30 RN219 5.03926E-26 RN220 5.69819E-23 RN222 0.00000E+00 FR221 1.28588E-25 FR223	1.68893E-22
RA222 1.64032E-27 RA223 1.28010E-20 RA224 3.29918E-19 RA225 1.67833E-20 RA226 1.52016E-18 RA228	1.69175E-22

AC225	3.92266E-22	AC227	5.874385E-15	AC228	5.87463E-18	TH226	8.15236E-26	TH227	3.90078E-19	TH228	7.63245E-16
TH229	7.80243E-14	TH230	7.14259E-11	TH231	1.06523E-07	TH232	2.18834E-09	TH233	7.00958E-15	TH234	1.02605E-06
PA231	1.16442E-07	PA232	1.19860E-10	PA233	2.27164E-11	PA234M	3.45969E-11	PA234	1.30914E-11	PA235	4.43647E-16
U230	6.91635E-23	U231	6.91635E-17	U232	4.95518E-11	U233	5.03136E-06	U234	1.04322E-03	U235	3.18811E+04
U236	2.08323E+01	U237	2.07506E-01	U238	9.67937E+05	U239	5.09375E-01	U240	3.65582E-05	U241	8.00000E+01
NP236M	2.99059E-10	NP236	1.59222E-10	NP237	2.90781E-02	NP238	1.92375E-05	NP239	3.92304E+01		
NP235	3.08753E-12	NP236	6.87823E-04	NP241	7.69784E-12	PU236	7.65933E-11	PU237	3.70031E-10	PU238	4.96357E-06
NP240M	2.03223E-05	NP240	4.71167E-02	PU241	2.00194E-04	PU242	1.31086E-07	PU243	1.77035E-11	PU244	2.64539E-15
PU239	1.71054E+01	PU240	1.89194E-20	PU246	0.00000E+00	AM239	4.12220E-19	AM240	1.58210E-08	AM242M	2.54570E-12
PU245	1.42751E-11	AM243	2.70713E-11	AM244M	8.44336E-16	AM244	4.16347E-19	AM245	5.1902E-19	AM246	0.00000E+00
CM241	2.58229E-20	CM242	5.29779E-12	CM243	1.97905E-16	CM244	1.23541E-14	CM245	2.27042E-18	CM246	2.63659E-22
CM247	0.00000E+00	CM248	0.00000E+00	CM249	0.00000E+00	CM250	0.00000E+00	CM251	0.00000E+00	BK249	0.00000E+00
BK250	0.00000E+00	BK251	0.00000E+00	CF249	0.00000E+00	CF250	0.00000E+00	CF251	0.00000E+00	CF252	0.00000E+00
CF253	0.00000E+00	CF254	0.00000E+00	CF255	0.00000E+00	ES253	0.00000E+00	ES254M	0.00000E+00	ES254M	0.00000E+00
V 66	3.82159E-24	CR 66	1.24528E-17	MN 66	7.44112E-16	FE 66	3.17452E-13	CO 66	3.61197E-13	NI 66	1.46830E-08
CU 66	2.27728E-11	ZN 66	6.63098E-09	CR 67	1.61870E-18	MN 67	1.03954E-15	FE 67	1.59352E-13	CO 67	1.35331E-12
NI 67	1.18856E-11	CU 67	7.91924E-08	ZN 67	3.13431E-08	GA 67	5.57104E-19	CR 68	1.48540E-19	MN 68	1.15855E-16

途中省略

***** SUMMARY OF ORIGEN2 RESULTS *****

OUT TABMAK FOR ORI2(STORE) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:45:27 1997

（第2ステップの計算の開始）

***** INPUT ECHO BACK FOR CASE 2 *****

SRAC ##

CASE NAME => CCC2 TOTAL MATERIAL NIMBER => 3

REGION	MATERIAL
1	FM14X14X
2	FM15X15X
3	FM16X16X

```

## ORIGEN-2 #
OPERATION STATUS => BUP      DAYS => 23.737    CALC. STEP => 12
----- REGION      MW   -----
      1  3.79160E+01
--- TOTAL POWER ---> 3.79160E+01

```

(SRAC の入力が作成のために TABMAK が起動)
(SRAC の入力になる原子個数密度の表示)
ENTER TABMAK FOR SRAC(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:45:37 1997
VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$: \$Revision: 1.3 \$

- REGION NUMBER <<		1 >> - IN TOTAL MMAT (. 3)			DENSITY(E-24)
NO	ISOTOPES	MASS	CALC. WEIGHT	DENSITY	RATIO(FOR ANA.)
1	U234	2.340409E+02	7.104320E-03	1.56975E+14	1.580975E-10
2	U235	2.350439E+02	3.188110E+04	7.064455E+20	7.064455E-07
3	U236	2.360456E+02	2.083230E+01	4.596590E+17	4.596590E-07
4	U238	2.380508E+02	9.679370E+05	2.117736E+22	2.117736E-02
5	NP237	2.370482E+02	2.907810E-02	6.388867E+14	6.388867E-10
6	PU238	2.380496E+02	9.635370E-06	1.085978E+11	1.085978E-13
7	PU239	2.390522E+02	1.710540E+01	3.7226791E+17	3.7226791E-07
8	PU240	2.400538E+02	4.711670E-02	1.022258E+15	1.022258E-09
9	PU241	2.410568E+02	2.001940E-04	4.325397E+12	4.325397E-12
10	PU242	2.420587E+02	1.310860E-07	2.820525E+09	2.820525E-15
11	AM241	2.410568E+02	1.582100E-08	3.418290E+08	3.418290E-16
12	AM242M	2.420595E+02	2.545700E-12	5.477463E+04	5.477463E-20
13	AM242	2.420595E+02	1.427510E-11	3.071506E+05	3.071506E-19
14	AM243	2.430614E+02	2.708130E-11	5.802939E+05	5.802939E-19
15	CM242	2.420588E+02	5.297790E-12	1.139904E+05	1.139904E-19
16	CM243	2.430614E+02	1.979050E-16	4.246677E+00	4.246677E-24
17	CM244	2.440627E+02	1.235410E-14	2.6363556E+02	2.6363556E-22
18	CM245	2.450655E+02	2.270420E-18	4.822235E-02	4.822235E-26
19	CM246	2.460672E+02	2.636590E-22	5.580630E-06	5.580630E-30
20	GD152	1.519198E+02	4.941500E-09	1.694099E+08	1.694099E-16
21	GD154	1.539209E+02	9.124330E-09	3.087436E+08	3.087436E-16
22	GD155	1.549226E+02	1.204710E-05	4.050663E+11	4.050663E-13
23	GD156	1.559221E+02	4.570110E-04	1.526558E+13	1.526558E-11
24	GD157	1.569240E+02	4.053830E-03	1.345460E+14	1.345460E-10
25	GD158	1.579241E+02	4.040000E-03	1.332378E+14	1.332378E-10
26	GD160	1.599271E+02	3.406700E-04	1.109447E+13	1.109447E-11
27	XE135	1.349072E+02	7.17880E-02	7.97033E+15	7.97033E-09
28	ND143	1.429093E+02	7.833620E-02	2.854933E+15	2.854933E-09
29	RH103	1.429055E+02	3.183800E-02	1.611393E+15	1.611393E-09

30	XE131	1.309051E+02	1.528900E-01	6.082988E-09
31	CS133	1.329054E+02	2.639400E-01	1.034325E+00
32	SM149	1.489172E+02	1.848100E-01	1.000000E+00
33	TC 99	9.890625E+01	5.830390E-01	6.463609E-09
34	SM152	1.519197E+02	1.890750E-01	3.070211E-08
35	SM151	1.509199E+02	1.409760E-01	6.482079E-09
36	PM147	1.469151E+02	1.143950E-01	4.865114E-09
37	EU153	1.529212E+02	4.152560E-02	4.055411E-09
38	ND145	1.449126E+02	2.163550E+00	1.414303E-09
39	EU155	1.549229E+02	2.490770E-02	7.775983E-08
40	EU154	1.539230E+02	5.574750E-05	8.373605E-10
41	SM150	1.469173E+02	3.182470E-02	1.886324E-12
42	MO 95	9.490584E+01	6.496730E-04	1.105623E-09
43	AG109	1.089048E+02	1.631660E-02	1.000000E+00
44	PM148M	1.479175E+02	4.629070E-05	7.803281E-10
45	RU101	1.009056E+02	2.268860E+00	1.629929E-12
46	CS134	1.339067E+02	5.733140E-05	1.171081E-07
47	PD105	1.049051E+02	1.835100E-01	1.000000E+00
48	PM148	1.479175E+02	8.675070E-05	3.054555E-12
49	RH105	1.049057E+02	2.732240E-01	1.356483E-08
50	PR141	1.409076E+02	8.341680E-02	3.083283E+15
51	KR 83	8.291414E+01	1.763070E-01	1.000000E+00
52	PD108	1.079039E+02	4.636230E-02	2.237805E-09
53	SM147	1.469149E+02	7.355920E-05	2.607748E-12
54	PD107	1.069051E+02	9.631730E-02	4.692456E-09
55	MO 97	9.690602E+01	1.588080E+00	8.535246E-08
56	CD113	1.129044E+02	7.028020E-03	3.242026E-10
57	CS135	1.349060E+02	7.931440E-01	1.000000E+00
58	MO 98	9.790541E+01	2.476190E+00	1.317261E-07
59	XE133	1.329059E+02	1.952480E+00	7.651326E-08
60	IN115	1.149039E+02	1.497040E-03	1.000000E+00
61	PR143	1.429108E+02	5.724339E-08	6.785676E-11
62	EU156	1.559248E+02	9.019260E-03	5.724339E-08
63	RU103	1.029063E+02	1.425030E+00	3.012661E-10
64	SM148	1.479148E+02	8.106110E-06	7.212343E-08
65	ND147	1.469161E+02	1.349490E+00	2.854271E-13
66	PM149	1.489183E+02	4.764630E-01	4.784039E-08
0	16 NUMBER DENSITY HAS SET TO	4.37770E-02 IN PRM.	FILE	
0	16 NUMBER DENSITY HAS SET TO	4.25070E-02 IN PRM.	FILE	

ZR 0 REGION NUMBER << 2 >> - IN TOTAL NMAT(3)

- REGION NUMBER << 3 >> - IN TOTAL NMAT(3)

H 1 NUMBER DENSITY HAS SET TO 4.58690E-02 IN PRM. FILE
 0 16 NUMBER DENSITY HAS SET TO 2.29340E-02 IN PRM. FILE
 ZR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 8.79890E-04 IN PRM. FILE
 NI 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 9.69190E-04 IN PRM. FILE
 CR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.84070E-04 IN PRM. FILE

FE 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.55630E-04 IN PRM. FILE
 NB 93 NUMBER DENSITY HAS SET TO 5.77700E-05 IN PRM. FILE

OUT TABMAK FOR SRAC(MAKE1) REGION : 1 AT Sun Sep 28 08:45:38 1997
 (SRAC の実行)

```
*****
*          SSSSS   RRRR    AA      CCC
*          S       R     R   A   A   C   C
*          SSSSS   RRRR    AAAA    C
*          S       R     R   A   A   C   C
*          SSSSS   R     R   A   A   CCC
*          DATE AND TIME Sun Sep 28 08:45:38 1997
*          ****
*****
```

.....途中省略.....

(第 14 ステップ目 の計算)

```
*****
*** STEP CCCE ***
*****
```

***** INPUT ECHO BACK FOR CASE 14 *****

SRAC

CASE NAME => CCCE TOTAL MATERIAL NUMBER => 3

-----	REGION	MATERIAL	-----
	1	FM25X25X	
	2	FM26X26X	
	3	FM27X27X	

BORIC CONC(PPM) => 0.000

ORIGIN-2

OPERATION STATUS => DEC DAYS => 730.500 CALC. STEP => 12

--- TOTAL POWER ---> 0.00000E+00

ENTER TABMAK FOR SRAC(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 11:11:22 1997
 VERSION CONTROL DATA BY RCS \$Date: 1997/10/15 01:41:43 \$:\$Revision: 1.3 \$

- REGION NUMBER <<		1 >> - IN TOTAL NMAT(3)			RATIO(FOR ANA.)	DENSITY(E-24)
NO	ISOTOPE	MASS	CALC. WEIGHT	DENSITY		
1	U234	2.340409E+02	6.876480E+00	1.530272E+17	1.000000E+00	1.530272E-07
2	U235	2.350439E+02	8.738110E+03	1.936257E+20	1.000000E+00	1.936257E-04
3	U236	2.360456E+02	3.731830E+03	8.234181E+19	1.000000E+00	8.234181E-05
4	U238	2.380508E+02	9.431740E+05	2.063558E+22	1.000000E+00	2.063558E-02
5	NP237	2.370482E+02	4.008730E+02	8.807743E+18	1.000000E+00	8.807743E-06
6	PU238	2.380496E+02	1.279240E+02	2.798846E+18	1.000000E+00	2.798846E-06
7	PU239	2.390522E+02	5.707050E+03	1.243407E+20	1.000000E+00	1.243407E-04
8	PU240	2.400538E+02	2.216290E+03	4.808531E+19	1.000000E+00	4.808531E-05
9	PU241	2.410568E+02	1.101480E+03	2.379861E+19	1.000000E+00	2.379861E-05
10	PU242	2.420587E+02	4.976240E+02	1.070718E+19	1.000000E+00	1.070718E-05
11	AM241	2.410568E+02	3.346120E+02	7.229637E+18	1.000000E+00	7.229637E-06
12	AM242M	2.420595E+02	5.132270E-01	1.104286E+16	1.000000E+00	1.104286E-08
13	AM242	2.420595E+02	6.622490E-06	1.424930E+11	1.000000E+00	1.424930E-13
14	AM243	2.430614E+02	8.645170E+01	1.852474E+18	1.000000E+00	1.852474E-06
15	CM242	2.420588E+02	6.617050E-03	1.423764E+14	1.000000E+00	1.423764E-10
16	CM243	2.430614E+02	2.127700E-01	4.559202E+15	1.000000E+00	4.559202E-09
17	CM244	2.440627E+02	2.019710E+01	4.310046E+17	1.000000E+00	4.310046E-07
18	CM245	2.450655E+02	1.370940E+00	2.912649E+16	1.000000E+00	2.912649E-08
19	CM246	2.460672E+02	1.016040E-01	2.150560E+15	1.000000E+00	2.150560E-09
20	GD152	1.519198E+02	1.573710E-02	5.395166E+14	1.000000E+00	5.395166E-10
21	GD154	1.539209E+02	7.183910E+00	2.430848E+17	1.000000E+00	2.430848E-07
22	GD155	1.549226E+02	3.658240E+00	1.229849E+17	1.000000E+00	1.229849E-07
23	GD156	1.5592221E+02	6.845660E+01	2.286662E+18	1.000000E+00	2.286662E-06
24	GD157	1.569240E+02	9.601760E-02	3.186809E+15	1.000000E+00	3.186809E-09
25	GD158	1.579241E+02	1.618560E+01	5.337954E+17	1.000000E+00	5.337954E-07
26	GD160	1.599271E+02	1.006230E+00	3.276950E+16	1.000000E+00	3.276950E-08
27	XE135	1.349072E+02	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
28	ND143	1.429098E+02	8.127230E+02	2.961931E+19	1.000000E+00	2.961931E-05
29	RH103	1.029055E+02	4.865510E+02	2.462545E+19	1.000000E+00	2.462545E-06
30	XE131	1.309051E+02	4.335700E+02	1.725032E+19	1.000000E+00	1.725032E-05
31	CS133	1.329054E+02	1.149090E+03	4.503039E+19	1.000000E+00	4.503039E-05
32	SM149	1.489172E+02	3.475680E+00	1.215596E+17	1.000000E+00	1.215596E-07
33	TG 99	9.890625E+01	8.117030E+02	4.274328E+19	1.000000E+00	4.274328E-05
34	SM152	1.519197E+02	1.285290E+02	4.406374E+18	1.000000E+00	4.406374E-06
35	SM151	1.509199E+02	1.165360E+01	4.021684E+17	1.000000E+00	4.021684E-07
36	PM147	1.469151E+02	5.342500E+01	1.893967E+18	1.000000E+00	1.893967E-06
37	EU153	1.529212E+02	1.050900E+02	3.579217E+18	1.000000E+00	3.579217E-06
38	ND145	1.449126E+02	6.744030E+02	2.423862E+19	1.000000E+00	2.423862E-05
39	EU155	1.549229E+02	3.574530E+00	1.201705E+17	1.000000E+00	1.201705E-07
40	EU154	1.539230E+02	1.215930E+01	4.114334E+17	1.000000E+00	4.114334E-07

```

41      1.499173E+02   2.764910E+02   9.605583E+18   9.605583E-06
42      MO 95       9.490584E+01   7.535740E+02   4.135494E+19   4.135494E-05
43      AG109      1.089048E+02   8.900210E+01   4.256453E+18   4.256453E-06
44      PM148M     1.479175E+02   5.868850E-14   2.066465E+03   2.066465E-21
45      RU101      1.009056E+02   7.627250E+02   3.936835E+19   3.936835E-05
46      CS134      1.339067E+02   2.197240E+01   8.546131E+17   8.546131E-05
47      PD105      1.049051E+02   3.761190E+02   1.867339E+19   1.867339E-05
48      PM148      1.479175E+02   4.037920E-16   1.421781E+01   1.421781E-23
49      RH105      1.049057E+02   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
50      PR141      1.409076E+02   1.093280E+03   4.041022E+19   4.041022E-05
51      KR 83       8.291414E+01   4.225470E+01   2.654244E+18   2.654244E-06
52      PD108      1.079039E+02   1.459870E+02   7.046468E+18   7.046468E-06
53      SM147      1.469149E+02   2.106710E+02   7.468499E+18   7.468499E-06
54      PD107      1.069051E+02   2.198970E+02   1.071310E+19   1.071310E-05
55      MO 97       9.690602E+01   7.986900E+02   4.292615E+19   4.292615E-05
56      CD113      1.129044E+02   9.660670E-02   1.4566468E+15   1.4566468E-09
57      CS135      1.349060E+02   3.364271E+02   1.298835E+19   1.298835E-05
58      MO 98       9.790541E+01   8.078970E+02   4.297776E+19   4.297776E-05
59      XE133      1.329059E+02   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
60      IN115      1.149039E+02   1.550920E+00   7.029900E+16   7.029900E-03
61      PR143      1.4229108E+02   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
62      EU156      1.5592448E+02   0.000000E+00   1.000000E+00   1.000000E+00
63      RU103      1.0290633E+02   6.053820E-13   3.063951E+04   3.063951E-20
64      SM148      1.479148E+02   1.405080E+02   4.947477E+18   4.947477E-06
65      ND147      1.469161E+02   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
66      PM149      1.489183E+02   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
0 16 NUMBER DENSITY HAS SET TO 4.37770E-02 IN PRM. FILE

```

ZR 0 REGION NUMBER << 2 >> - IN TOTAL NMAT(3)

```

H 1 NUMBER DENSITY HAS SET TO 4.58690E-02 IN PRM. FILE
0 16 NUMBER DENSITY HAS SET TO 2.29340E-02 IN PRM. FILE
ZR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 8.79890E-04 IN PRM. FILE
NI 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 9.69190E-04 IN PRM. FILE
CR 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.84070E-04 IN PRM. FILE
FE 0 NUMBER DENSITY HAS SET TO 3.55630E-04 IN PRM. FILE
NB 93 NUMBER DENSITY HAS SET TO 5.77700E-05 IN PRM. FILE

```

OUT TABMAK FOR SRAC(MAKEI) REGION : 1 AT Sun Sep 28 11:11:22 1997

(CPU 時間の表示)
::: 途中省略 :::

ELAPSED TIME (S)	2394.280	USER TIME (S)	2349.130	SYSTEM TIME (S)	45.150
------------------	----------	---------------	----------	-----------------	--------

主な同位体の計算結果を、 **Table 7.1**に示す。ここに示した FP は、臨界安全ハンドブック改訂準備資料 [20] 中で、再処理施設の臨界安全性評価において考慮してもよいとされている同位体である。

この表からわかるが、ほとんどの actinide において、 SRAC95 と同様の計算結果となっており、 U や Pu については最大でも、 2 % 程度の差で計算を行っている。 Actinide の中では、 Cm の同位体の計算値の差が最も大きな差を示し、 5 % となっている。 FP においては、 Sm 同位体の計算値の差が、 最も大きな差を示し、 3 % の差である。その他の FP はよく一致している。

この結果によって示されたように、 SRAC95 の燃焼計算結果と SWAT の計算結果は、よく一致をしている。この事は、 SWAT は、重要同位体に関して、 SRAC95 による精度のよい計算結果を有しつつ、 1000 以上の同位体の燃焼計算を一氣に行える、コードであることを示している。

Table 7.1: Comparison of Nuclide Density (# $10^{24}/\text{cm}^3$) between SRAC95 and SWAT

Isotope	SRAC95	SWAT(9707A)	SWAT/SRAC
U-235	1.924(-4)*	1.936(-4)	1.006
U-236	8.243(-5)	8.234(-5)	0.999
U-238	2.064(-2)	2.064(-2)	1.000
Np-237	8.501(-6)	8.808(-6)	1.036
Pu-238	2.727(-6)	2.799(-6)	1.026
Pu-239	1.221(-4)	1.243(-4)	1.018
Pu-240	4.783(-5)	4.809(-5)	1.005
Pu-241	2.332(-5)	2.380(-5)	1.021
Pu-242	1.061(-5)	1.071(-5)	1.009
Am-241	7.056(-6)	7.230(-6)	1.025
Am-242m	1.131(-8)	1.104(-8)	0.976
Cm-242	1.355(-10)	1.424(-10)	1.051
Cm-244	4.287(-7)	4.310(-7)	1.005
Rh-103	2.443(-5)	2.463(-5)	1.008
Nd-143	2.942(-5)	2.962(-5)	1.007
Cs-133	4.424(-5)	4.503(-5)	1.018
Tc-99	4.157(-5)	4.274(-5)	1.028
Sm-152	4.472(-6)	4.406(-6)	0.985
Gd-155	1.201(-7)	1.230(-7)	1.024
Nd-145	2.408(-5)	2.424(-5)	1.007
Sm-147	7.534(-6)	7.468(-6)	0.991
Mo-95	4.091(-5)	4.135(-5)	1.011
Eu-153	3.498(-6)	3.579(-6)	1.023
Sm-150	9.958(-6)	9.606(-6)	0.965
Sm-149	1.257(-7)	1.216(-7)	0.967

* read as 1.924×10^{-4}

8 SWAT のプログラミングについて

8.1 ファイル機番

SWAT は、Table 8.1 に示すファイルを使用する。機番 97 は、サマリー出力のために使用されるので、もし、計算の出力が大きくなりすぎるのであれば、そちらも参照して欲しい。

8.2 配列

SWAT はコンパイル時に、PARAMS.SWAT という配列の大きさを定義するパラメータファイルをインクルードする。

その例を下に示す。それぞれのパラメータの意味は以下の通りである。カッコ内は、デフォルト値である。

MAXSRACN(100)

SRAC における一つの物質が有する最大同位体数

MAXBRG(20)

最大の燃焼領域数

MAXNUC(3000)

ORIGEN2 の計算における最大同位体数

MAXBstp(100)

最大の燃焼ステップ

MAXENG(107)

最大のエネルギー群数

IGF(74)

高速群の最大群数

MAXLNUC(2000)

SWAT ライブライリにおける最大核種数

MAXSLE(400)

SWAT ライブライアリにおける最大エネルギー群数

IOORIG(95)

オリジナルな ORIGEN2 のファイルを読み込む機番

IOMOD(9)

新しい ORIGEN2 のファイルを書き込む機番

NLBST(204)

ORIGEN2 ライブライアリにおける light nuclide の NLB 番号

NLBAC(205)

ORIGEN2 ライブライアリにおける actinide の NLB 番号

NLBFP(206)

ORIGEN2 ライブライアリにおける FP の NLB 番号

MAXSUB(500)

SRAC における最大の sub-region 数

MAXPDSLEN(30000)

PDS file メンバーの最大の長さ

Table 8.1: Unit number of file used in SWAT

UNIT	Module	TYPE
3	SRAC	BINARY
4	SRAC	BINARY
5	SWAT	TEXT
7	ORIGEN2	TEXT
8	ORIGEN2	TEXT
9	LIBMAK	TEXT
10	ORIGEN2	TEXT
11	—	—
12	ORIGEN2	TEXT
13	—	—
15	ORIGEN2	TEXT
16	ORIGEN2	TEXT
20	SWAT	TEXT(READMASS)
21	SRAC	BINARY
22	SRAC	BINARY
32	SRAC	BINARY
33	SRAC	BINARY
50	ORIGEN2	TEXT
51	—	—
52	SRAC	BINARY
61	LIBMAK	TEXT
80	TABMAK	TEXT
81	SRAC	BINARY
84	SRAC	BINARY
91	SWAT	BINARY(restart)
97	SWAT	TEXT
98	—	—
99	SRAC	TEXT

9 SWAT の Install

9.1 テープから archive を取り出す

現在 SWAT は、4mm DAT(DDS-2 format) または QIC-150 カートリッジテープによって供給される。ただし、外部モジュールとして利用される、SRAC95 は含まない。テープのフォーマットは tar である。

ここで、そのファイル名を swat9710.tar.gz とする。これを、"archive file" と呼ぶ。これが、ソースプログラムとデータライブラリを含んでいる。このファイルは、tar で必要なファイルをまとめたあとで、gzip によって圧縮してある。gzip は、フリーソフトウェアであるので、anonymous FTP サーバーからソースを持ってきて install しておく必要がある。

Sun OS 4.1.x の場合、以下のようにして tape から、archive ファイルを取り出す (Device 名は機械 (OS) によって、異なるので注意)。

```
tar -xvf /dev/rst0
```

9.2 Archive からソースツリーを作成する

以下のコマンドによって、ソースツリーを作成する。

```
gunzip swat9710.tar.gz
tar -xf swat9710.tar
```

または、

```
zcat swat9710.tar.gz | tar -xf -
```

このコマンドによって、"swatdist" という directory が作成されて、このにソースプログラム一式が格納される。

9.3 SWAT の make

SWAT は "make" を利用して compile が行なわれる。"make" は UNIX における標準的ツールである。make は、その動作を定義するための Makefile を使用するが、Install という shell script が用意されているので、それを使用して Makefile を作成する事が出来る。

また、make する前に、preprocessor に渡す定義を変更すれば、SWAT の機能を変更することが可能である。

9.3.1 preprocessor 用の定義

Makefile の中で、それぞれのソースプログラムの依存関係が記述してあるが、最初に、preprocessor のための定義が記述してある。たとえば、-DSTEAM のようにである。現在のバージョンにおいては、以下のものが利用可能である。preprocessor 用の定義を変更した場合には、`make dist-clean` として、古いソースプログラムを消去してから、`make` しなければならない。

THCYCLE Th-U cycle 解析用に、6 つの direct fission yield を使用する。計算時間が長くなるので注意すること。また、この場合には、ORIGEN2 の使用配列も大きくする必要がある。

ORI21 (内部に有している) ORIGEN2.1 ルーチンを使用する。ORI82 と同時に定義しないこと。

ORI82 (内部に有している) ORIGEN2-82 ルーチンを使用する。ORI21 と同時に定義しないこと。

WITHSTEAM STEAM ライブライアリを使用する。NOSTEAM と同時に定義しないこと。

NOSTEAM STEAM ライブライアリを使用しない。WITHSTEAM と同時に定義しないこと。

RDMS READMASS ライブライアリを使用する。NORDMS と同時に定義しないこと。

NORDMS READMASS ライブライアリを使用しない。RDMS と同時に定義しないこと。

SUNFOR14 Sun 用プログラムを作成する。

HP HP 用プログラムを作成する。

MINISRAC MINISRAC を利用する。USERSRAC との組み合せで使用してはいけない(確認していないため)。

SRAC95 SRAC95 を利用する。USERSRAC との組み合せで使用する事。

USERSRAC 外部モジュールとして用意された SRAC を使用する。

USERORI2 外部モジュールとして用意された ORIGEN2 を使用する。

RMPREVDIR 古い PDS file の directory (環境変数 OULIB で指定される directory の下ケース名を有する directory) の削除を自動的に行う。2 次元計算の場合には、PDS file の容量があまりにも大きくなるので、自動的に directory を削除する事を可能としている。

10 swat2ori2 ユーティリティ

SWAT は、 ORIGEN2 のライブラリとまったく同一のフォーマットの断面積ファイルを作成する。よって、その作成されたファイルを使用すれば、簡単に ORIGEN2 用のライブラリを作成可能である。swat2ori2 は、ORIGEN2 の variable actinide cross section library を作成するためのパッケージである。Table 10.1 に使用するファイルを示す。

Table 10.1: swat2ori2 の使用するファイル

ファイル名	内容
Makefile	make file
README.jis	README
grexps	SWAT の出力から断面積データを取り出す
nlib2nlib	nlib2nlib の実行形式
nlib2nlib.f	nlib2nlib.f のソースプログラム
swat2ori2	swat2ori2 の実行形式
swat2ori2.f	swat2ori2 のソース
temp_subr	v. a. c. subroutine のテンプレート

10.1 作成方法

1. ライブラリを作成したい体系で SWAT を実行する。この時、出力コントロールにおいて、断面積を出力するように option を立てておく事。
2. grepzs (シェルスクリプト) によって、必要な同位体の断面積を file に書き出す (xslib)。2つめ以降の同位体については、出力ファイルに append するようとする。

*grepzs の実行例

```
%grepzs test.out > xslib
922340(ret)
7(ret)
```

```
%grepzs test.out >> xslib
```

922350(ret)

7(ret)

さらに、この xslib の先頭に、以下のフォーマットを有する header を付ける。

Block 1 I3 内蔵されている同位体数

Block 2 6I11 内蔵される同位体の ZA 数

(Block 1 で指定した数だけ繰りかえす)

3. parameter file (param) を作成する。

以下のフォーマットを有するパラメータファイルを作成する。

Block 1 I3 燃焼度点 (ORIGEN2.1 のソースによると 32 以下であるが、30 以下でないとうまく実行されない。よって、その場合には、サブルーチンを作成したあとで、MPT を変更をすること。)

Block 2 6E11 燃焼度 (MWd/gram-atoms(present))
(燃焼度点 だけくりかえす。この値は, SWAT の出力から得る
SWAT 9610B 以上で算出するようになっている)

Block 3 I3 断面積が与えられる総数

Block 4 6I11 断面積が与えられる ZA number

Block 5 6I11 上の核について反応が与えられる反応の識別子

*parameter file の例

--- do not include this line --

27

0.000E+00	1.219E-01	6.099E-01	1.099E+00	1.589E+00	2.080E+00
2.573E+00	3.066E+00	3.560E+00	4.056E+00	4.552E+00	5.050E+00
5.549E+00	6.049E+00	6.550E+00	7.052E+00	7.555E+00	8.059E+00
8.564E+00	9.071E+00	9.578E+00	1.009E+01	1.060E+01	1.111E+01
1.162E+01	1.213E+01	1.265E+01			

20

922340	922350	922350	922360	922380	932370
942380	942380	942390	942390	942400	942410
942410	942420	952410	952410	952430	952430

962420	962440				
1	1	4	1	1	1
1	4	1	4	1	1
4	1	1	2	1	2
1	1				

--- do not include this line ---

4. swat2ori2 を実行する。

swat2ori2 のソースがある directory において、make によって swat2ori2 は作成される。swat2ori2 を実行すると、上記のパラメータファイル (param) と断面積ファイル (xslib) を与える事によって、必要なファイルが作成される。

* 実行例

```
% swat2ori2 > test
param (ret) : パラメータファイルを与える
xslib (ret) : 断面積ファイルを与える
%
```

5. SUBROUTINE XSEC?? を作成する

temp_subr の指定された部分に、作成されたファイルを挿入して、編集する。?? には、これまでに使用されていない数字を使用するようにして、ORIGEN2 のソースに加える。

6. SUBROUTINE MAIN2 を編集する

CALL XSEC01 等のように call している部分を見ると XSEC?? の ?? を指定する事で goto 文により場合分けをしている事がわかる。それに基づいてソースを変更する。

7. そのファイルをコンパイルする。

10.1.1 nlib2nlib

nlib2nlib は、SWAT の出力として作成された ORIGEN2 用 Cross Section データの NLB (ライブラリ識別子) を変更するツールである。これにより、user は独自の NLB 値をライブラリに与える事が可能になる。

実行例

```
% nlib2nlib > newfile
old_file_name (ret)
old nlib (ret)
new nlib (ret)
```

11 SWAT の課題と今後

当初、SWAT は消滅処理用の解析コードシステムとして開発されてきた。しかしながら、現在では、燃焼度クレジット関連の解析も行なわれている。このように、使用目的もしだいに変化をしていくものであるが、SWAT の課題は、以下のようになるであろう。

1. SRAC の解析シーケンスへのさらなる対応。現在の SWAT は、SRAC における計算は固定源問題だけを解くものとして SRAC 用の入力を作成している。しかしながら、問題によっては、固定源問題によって実効断面積を作成しておき、そのあとで固有値問題を解くといった解析方法に対応したい場合があるかもしれない。ところが、これらの任意の組み合せに対応するのはむずかしいので、SCALE[21] のように、解析シーケンスをこちら側で決めておいて、それ用の入力を作成するようにする必要があるかもしれない。
2. SWAT Library の ENDF/B-VI 対応。ENDF/B-VI に基づく SWAT Library は、以前は存在したが、現在のフォーマットにはなっていないので、再作成する必要がある。
3. 臨界解析用ライブラリの作成。臨界安全上の評価においては、KENO 等のモンテカルロ法による解析が行なわれる事が多い。よって、SWAT の計算結果を燃焼度クレジットの導入に適応するとすれば、KENO 用のライブラリ作成を考慮する必要が出てくるかもしれない。
4. 入力作成用補助プログラム。SWAT の入力は単純であるが、体系の Viewer を含めた入力作成用補助プログラムが必要であろう。
5. 遮蔽計算コード用の線源出力。ORIGEN2 は、遮蔽計算における γ および中性子の線源強度を算出するためにも使用されている。よって、DOT 等遮蔽用コードの入力を編集するルーチンの作成は SWAT の機能強化にとって、必要不可欠であろう。

謝辞

本燃焼計算コードシステム SWAT は、まず筆者らによって東北大学における原子炉物理計算グループの解析ツールとして開発され、現在、筆者が日本原子力研究所において、燃焼度クレジット関連の研究のために開発を行っているものである。ここに、それを記して使用して有益なコメントをいただいたたユーザーの方に特に感謝したい。特に、堀内敏光氏(現在 原子燃料工業)には、SWAT の入力に方法に関する要望やバグ情報を含めて、多くの有益な情報を出していただいた。

また、原子炉工学部核データセンターの中川庸雄氏には、SWAT Library 作成時における種々のプログラムに関して、数多くの御助言をいただいた。さらに、前燃料サイクル安全工学部部長 内藤淑孝 氏と、燃料サイクル安全工学部次長野村靖 氏には、SWAT の完成にむけて多大なる援助をいただいた。

swat2ori2 のような、SWAT に付随するユーティリティプログラムに関しては、シグマ委員会核種生成量評価ワーキンググループにおける、議論と要望が開発の動機となった。マニュアルに関しては、東北大学工学部量子エネルギー工学科の大澤哲哉氏にコメントをいただいた。

また、HP におけるコンパイル上の問題点は、(株)日立製作所の湯地洋子女史に協力をいただいた。

参考文献

- [1] 土橋敬一郎, 石黒幸雄, 金子邦男, 井戸勝. "SRAC コードシステム 改訂版". *JAERI-1302*, 1986.
- [2] 奥村啓介, 金子邦男, 土橋敬一郎. "SRAC95; 汎用核計算コードシステム". *JAERI-Data/Code 96-015*, 1996.
- [3] Y. Naito, M. Inamura, F. Masukawa, and Y. Okuda. "UNITBURN: A Computer Code for Burnup Calculation of a Unit Fuel Cell". *JAERI-M 90-019*, 1990. (in Japanese).
- [4] W. W. Engle Jr. "A Users Manual for ANISN, a One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code With Anisotropic Scattering". *Union Carbide Corporation Report*, Vol. K-1693, , March 1967.
- [5] Kenya Suyama, Tomohiko Iwasaki, and Naohiro Hirakawa. "Analysis of Post Irradiation Experiments in PWR Using New Nuclear Data Libraries". *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol. 31, No. 6, pp. 596–608, June 1994.
- [6] Kenya Suyama, Tomohiko Iwasaki, and Naohiro Hirakawa. "Improvement of Burnup Code System SWAT for Use in Burnup Credit Problem". In *Proceedings of PHYSOR96*, Vol. 4, pp. L-53–L-62, Mito,Ibaraki,Japan, September 1996. Japan Atomic Energy Research Institute, Japan Atomic Energy Research Institute.
- [7] K. J. Notz. "ORIGEN2, Version 2.1 Release Notes". *CCC-371*, pp. 200–208, August 1991.
- [8] M. J. Bell. "ORIGEN - The ORNL Isotope Generation and Depletion Code". *ORNL-4628*, May 1973.
- [9] O. W. Hermann and R. M. Westfall. "ORIGEN-S: Scale System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms". *CCC-545*, Vol. 2, , 1995. Section F7.
- [10] S. J. Ball and R. K. Adams. ""MATEXP", A General Purpose Digital Computer Program for Solving Ordinary Differential Equations by the Matrix Exponential Method". *ORNL-TM-1933*, 1967.

- [11] D. R. Vondy. "Development of a General Method of Explicit Solution to the Nuclide Chain Equations for Digital Machine Calculations". *ORNL-TM-361*, 1962.
- [12] A. G. Croff. "ORIGEN2 – A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code". *ORNL-5621*, 1980.
- [13] A. G. Croff. "ORIGEN2 – A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials". *Nucl. Technol.*, Vol. 62, pp. 335–352, September 1983.
- [14] Dermott. E. Cullen. "Program RECENT(Version 79-1)". *UCRL-50400*, Vol. 17(PART C), , 1979.
- [15] Dermott. E. Cullen. "The 1994 ENDF Pre-Processing Codes(PRE-PRO94)". *IAEA-NDS-39*, 1994.
- [16] Dermott. E. Cullen. "Program LINEAR(Version 79-1)". *UCRL-50400*, Vol. 17(PART A), , 1979.
- [17] Dermott. E. Cullen. "Program SIGMA1(Version 79-1)". *UCRL-50400*, Vol. 17(PART B), , 1979.
- [18] T. Nakagawa. "CRECTJ5(VERSION 84-08): A Computer Program for Compilation of Evaluated Nuclear Data in the ENDF/B Format". *Private Communication*, 1984.
- [19] K. Tasaka, J. Katakura, H. Ihara, T. Yoshida, S. Iijima, R. Nakasima, T. Nakagawa, and H. Takano. "JNDC Nuclear Data Library of Fission Products – Second Version –". *JAERI-1320*, 1990.
- [20] 奥野浩, 小室雄一, 中島健, 野村靖, 内藤俊孝, 仁科浩二郎, 西堀俊雄, 松本忠邦, 三好慶典, 高井克昭, 板原国幸. "臨界安全ハンドブック改訂準備資料". *JAERI-Tech 95-048*, 1995.
- [21] C. V. Parks. "SCALE-4.3: Modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation for Workstations and Personal Computers". *CCC-545*, 1995.