

JAERI-Data/Code

97-019



IRACM : イオン及び中性子による
生成放射能計算コードシステム

1997年5月

田中 進・福田光宏・西村浩一・渡辺博正・山野直樹*

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。

入手の問合わせは、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、お申し越してください。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 (株)原子力資料サービス

IRACM : イオン及び中性子による生成放射能の計算コードシステム

日本原子力研究所高崎研究所放射線高度利用センター

田中 進・福田 光宏・西村 浩一

渡辺 博正⁺・山野 直樹^{*}

(1997年4月24日受理)

高エネルギー加速器施設では、生成する放射性同位元素による放射線被曝及び放射性廃棄物の低減化のため、加速イオン及び2次中性子により加速器構成機器や試料中に生成される放射能を評価することが重要である。このため、加速器施設の放射線場で生成される核種、放射能を計算するコードシステム IRACM を開発した。本コードシステムは入射粒子として、中性子、陽子、重陽子、 α 、 ^{12}C 、 ^{14}N 、 ^{16}O 、 ^{20}Ne 、 ^{40}Ar を考慮した任意の1次元多重層体系における核種の生成・消滅計算が可能である。本システムは、計算プログラム、及び放射化断面積、崩壊・ガンマ線データライブラリで構成されており、FACOM-M780 大型計算機及び DEC ワークステーションで実行可能である。

高崎研究所 : 〒370-12 群馬県高崎市綿貫町1233

+ 関西研究所管理部

* 住友原子力工業㈱

IRACM : A Code System to Calculate Induced Radioactivity
Produced by Ions and Neutrons

Susumu TANAKA, Mitsuhiro FUKUDA, Koichi NISHIMURA
Hiromasa WATANABE⁺ and Naoki YAMANO*

Advanced Radiation Technology Center
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received April 24, 1997)

It is essential to estimate of radioactivity induced in accelerator components and samples bombarded by energetic ion beams and the secondary neutrons of high-energy accelerator facilities in order to reduce the amount of radioactive wastes and to minimize radiation exposure to personnel. A computer code system IRACM has been developed to estimate product nuclides and induced radioactivity in various radiation environments of accelerator facilities. Nuclide transmutation with incident particles of neutron, proton, deuteron, alpha, ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{20}Ne and ^{40}Ar can be computed for arbitrary multi-layer target system in a one-dimensional geometry. The code system consists of calculation modules and libraries including activation cross sections, decay data and photon emission data. The system can be executed in both FACOM-M780 mainframe and DEC workstations.

Keywords : IRACM Code, Induced Radioactivity, Activation Cross Section, Ion, Neutron, Decay Data, Photon Emission Data, High-Energy Accelerator, Computer Code, Nuclide Transmutation

⁺ Department of Administrative Services, Kansai Research Establishment
^{*} Sumitomo Atomic Energy Industries, Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. IRACM コードシステムの構成	3
3. 計算方法	5
3.1 IRACM コード	5
3.2 THRESM コード	14
3.3 ELOSSM コード	15
4. 使用方法	17
4.1 入力形式	17
4.2 IRACM コードの使用方法	19
4.3 THRESM コードの使用方法	37
4.4 ELOSSM コードの使用方法	40
4.5 XEDITER コードの使用方法	49
4.6 ワークステーション版IRACM コードシステムの使用方法	60
5. データライブラリ	65
5.1 ACSELAM : 放射化断面積データライブラリ	65
5.2 崩壊, ガンマ線データライブラリ	72
6. まとめ	75
参考文献	76
付録 計算結果の出力例	77

Contents

1. Introduction	1
2. Structure of the IRACM Code System	3
3. Calculation Method	5
3.1 IRACM	5
3.2 THRESM	14
3.3 ELOSSM	15
4. Calculation Procedure	17
4.1 Description of Input Data Record	17
4.2 IRACM	19
4.3 THRESM	37
4.4 ELOSSM	40
4.5 XEDITER	49
4.6 Execution Procedure of IRACM Code System with Workstations	60
5. Data Library	65
5.1 ACSELAM : Data Library of Activation Cross Sections	65
5.2 Decay Data and Photon Emission Data Libraries	72
6. Concluding Remarks	75
References	76
Appendix Sample Output List	77

1. はじめに

近年、高エネルギー、高出力加速器の建設が進められ、加速器の広範な利用が急速に増大している。その結果、イオン加速器では、軽イオンから重イオンまでの種々のイオンを大電流で長時間使用できるようになり、加速器施設で発生する放射線の増加が問題となっている。

加速器施設における放射線源としては、加速イオン（1次放射線）、1次放射線がターゲット及び加速器構造材等に入射し発生する即発中性子・ガンマ線等の2次放射線、1次及び2次放射線によって生成した放射性同位元素(Radioisotope: RI)からの放射線がある。加速器本体室や照射室等で発生した1次及び2次放射線は、コンクリート遮蔽体によって室外への放射線漏洩は低減され、加速器の停止により放射線発生も停止する。一方、1次及び2次放射線によって生成したRIからの放射線は、加速器の停止後も放出されるため、施設内作業員の放射線被曝の要因となっている。また、放射化した試料及び機器で再利用不可能なものは廃棄する必要がある。したがって、これらRI廃棄物を出来るだけ少なくすることが、施設管理上重要となる。

加速器施設で生成するRIによる放射線被曝や廃棄物を低減化するためには、1) RIの生成を出来る限り少なくする、2) RIの崩壊による減衰を待つ、3) RIを隔離・遮蔽する、などの方法がある。これらの方法を効果的に実施するには、施設や加速器の設計において、あるいは照射実験の前に、生成するRI核種と放射能を評価し、最適な方法を選択する必要がある。

これまで、原子炉及び核融合炉で生成・崩壊する核種及びその放射能を計算する目的で開発された計算コードは数多くある。例えば、原子炉用としてORIGEN2¹⁾、核融合炉用としてREAC²⁾、ACTIVE³⁾及びTHIDA2⁴⁾等がある。これらの計算コードは、主として中性子による放射化を取扱い、最大エネルギーが15 MeV以下で、15 MeV以上の中性子及び加速イオンについての計算には適用できない。一方、イオンを入射粒子とした計算コードとしては、畑らによって開発されたOSCAR⁵⁾コードがある。このコードでは、これまでに報告された実験データをまとめた放射化断面積ファイル等を用い、照射時間に応じた生成放射能が計算できる。しかし、十分な断面積データがそろっていない、崩壊によって生成する核種が計算できない等、使用範囲が限定されている。

原研高崎研究所のTIARAは、AVFサイクロトロン(K=110)、3 MVタンデム加速器、3 MVシングルエンド加速器及び400 kVイオン注入装置の合計4基の加速器を備えたイオンビーム利用研究施設で、陽子からBiまでの多種類のイオンビームを数十keVから数百MeVの広いエネルギー領域で使用可能である。この施設では、宇宙環境材料の開発、核融合炉材料の開発、バイオ技術の研究、新機能材料の研究、RIの製造・利用、ビーム技術の開発及び加速器施設遮蔽基礎研究等の放射線高度利用研究が行われ、使用される実験装置及びターゲットとなる照射試料の構成元素が多岐にわたること、2次的に発生した中性子を使用する実験が行われること、等の特徴がある。

筆者らが開発したIRAC(Induced Radioactivity Analysis Code)コードシステム⁶⁾は、これらの放射線高度利用研究を実施する際、イオンビームの照射によって生成する核種、放射能及び線量当量率の評価を実験者自身が容易に行えるように作成したコードシステムである。コードシステム作成後、実験者の利用を開始するとともに、コードシステムの問題点を調査してきた。

今回、イオンビームを利用した実験で生成される放射能等を施設利用者が容易に評価できるように、IRACコードシステムの問題点を改善し、IRACMコードシステムとして開発を完了した。

IRACMコードシステムの概要及び特徴は以下のとおりである。

- (1) コードシステムは、イオン及び中性子による放射化量計算コードIRACM、核反応のしきいエネルギー計算コードTHRESM、ターゲット内のエネルギー吸収及び阻止能・飛程の計算コードELOSSM、及びこれらのコードで用いられるデータライブラリ及び編集コードXEDITORから構成されている。
- (2) IRACMコードでは、荷電粒子 (p , d , ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{40}\text{Ar}$ イオン)及び中性子 (n)と1次元多重層体系のターゲット核との核反応による生成・消滅及び生成核の崩壊量を照射とそれに続く冷却時間毎に求め、各層における原子個数、放射性核種の放射能及び単位距離におけるガンマ線線量当量率のデータが出力される。
 入力データは、入射粒子(種類、エネルギー、粒子数)、ターゲット(厚さ、密度、核種、組成)、照射・冷却時間及び計算・出力指定である。計算に必要な物理的データは、放射化断面積データライブラリACSELAM、崩壊データライブラリDECAYLIB、ガンマ線放出データライブラリGAMMALIB、核質量データライブラリMASWPSとして用意されている。
 放射化断面積は、入力した入射粒子とターゲット組成のデータに基づいて、ACSELAMライブラリから自動的に選択・参照される。ACSELAMには、HからBiまでの57元素136核種の天然存在核種について、軽イオン (p , d , ${}^4\text{He}$ イオン)及び中性子はしきいエネルギーから150 MeV、重イオン (${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{40}\text{Ar}$ イオン)はしきいエネルギーから500 MeVまでの断面積が格納されている。なお、他のイオン種及びターゲット核種については、利用者が用意した放射化断面積をXEDITORコードで編集することにより、計算に用いることが可能である。
- (3) THRESMコードは、入射粒子とターゲット核種との組み合わせにおいて、各種放出粒子 (n , p , d , T , ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$)に対するしきいエネルギーを計算・出力する。
- (4) ELOSSMコードは、軽イオン及び重イオンによるターゲット中のエネルギー吸収及び、阻止能・飛程を計算する。

IRACMコードシステムは、IRACコードシステムの次の機能を改善したものである。

- 1) 入力データ形式を、コマンドを用いた Free Format の入力形式に変更した。
- 2) IRACMコードでは、放射化断面積を新たに計算・整備したACSELAMライブラリーを使用する。また、計算に必要な放射化断面積は、入力した入射粒子とターゲット組成のデータに基づいて、ACSELAMライブラリから自動的に選択・参照する。
- 3) 生成核種範囲、照射/冷却時間メッシュの自動設定方法を追加した。
- 4) IRACMコードシステムは、FACOM-M780大型計算機で稼働するように整備した。更に、利用の便宜をはかるため、DEC社製ワークステーション(AlphaServer 2100)でも運用できるように整備した。

本報告は、IRACMコードシステムの全体についてまとめたものである。第2章にコードシステムの全体構成、第3章に計算方法、第4章に各コードの使用法、第5章に使用するデータライブラリの説明を示した。

2. IRACMコードシステムの構成

IRACMコードシステムの構成を図1に示す。本コードシステムは、イオン及び中性子による1次元多重層体内の核反応及び付随する崩壊等によって生成する核種と放射能、RIから発生するガンマ線の線量当量率を計算するために、次に示す計算コード及びデータライブラリで構成されている。

- | | |
|-----------------------|------------|
| (1) 生成放射能計算コード | : IRACM |
| (2) 放射化断面積編集コード | : XEDITER |
| (3) 放射化断面積データライブラリ | : ACSELAM |
| (4) 熱中性子捕獲断面積データライブラリ | : ORIGNLIB |
| (5) 崩壊データライブラリ | : DECAYLIB |
| (6) ガンマ線データライブラリ | : GAMMALIB |
| (7) 核質量データライブラリ | : MASWPS |

また、IRACMコードシステムには、IRACMコードの計算機能の一部を分離して整備した次の2種類のコードが用意されている。

- | | |
|-------------------------|----------|
| (8) 核反応しきいエネルギー計算コード | : THRESM |
| (9) エネルギー吸収、阻止能・飛程計算コード | : ELOSSM |

放射化断面積データライブラリACSELAMは、多量の放射化断面積データを容易に検索・参照するために、直接編成ファイル形式のDATA-POOL⁷⁾形式で格納されている。放射化断面積データは、入射粒子とターゲット核種を系統的に組合わせた放射化断面積を得るため、ALICE-Fコード⁸⁾によって計算した。放射化断面積をDATA-POOL形式で格納・検索するため、ACSELAデータライブラリ専用のIRACLIBコードを整備した。

- | | |
|------------------|-----------|
| (10) ACSELA編集コード | : IRACLIB |
|------------------|-----------|

IRACLIBコードはACSELAデータライブラリの編集及び保守に用いるコードであり、一般のコード利用者は使用しない。従って本報告では記述を省略した。

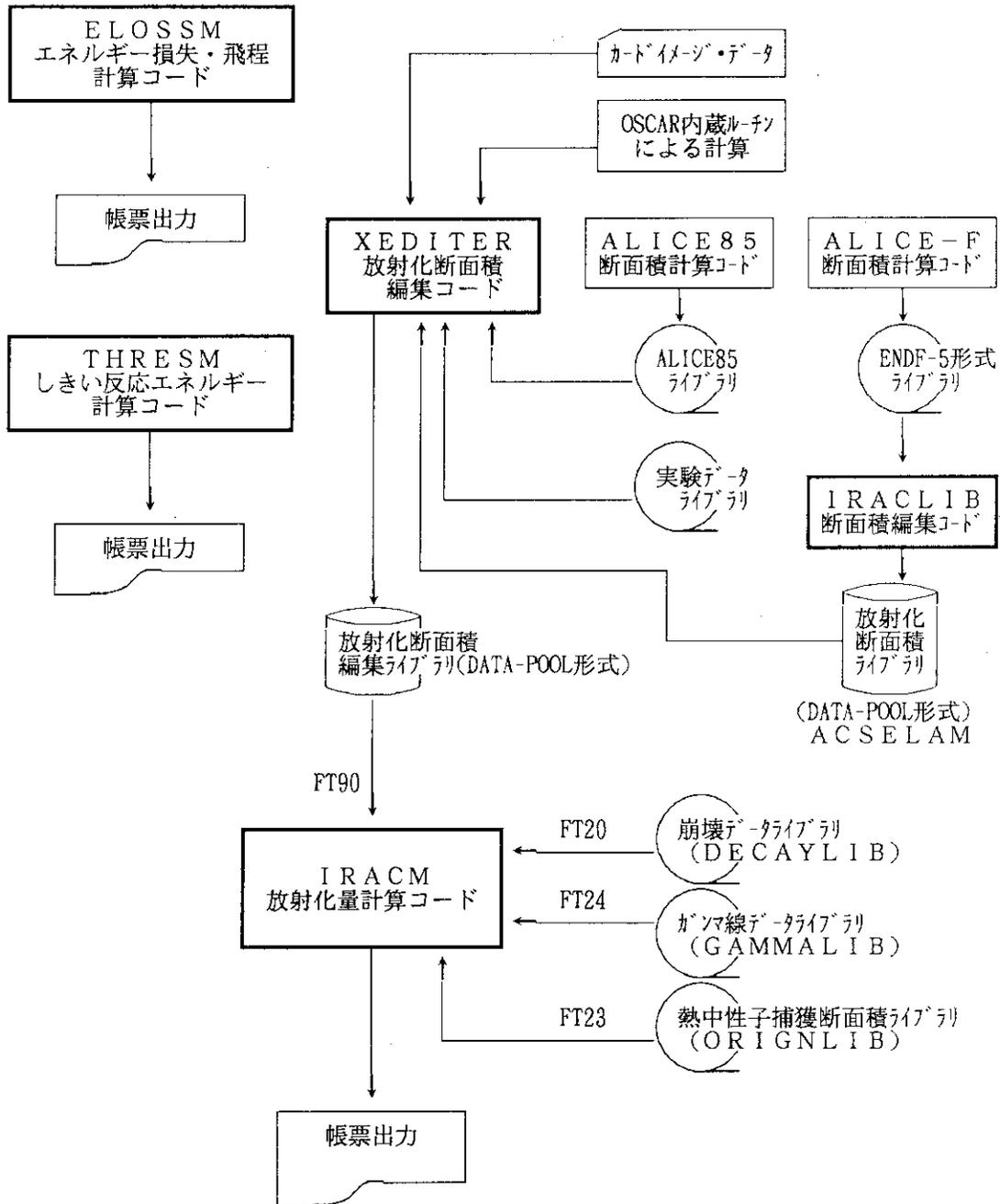


図1 IRACMコードシステムの構成

3. 計算方法

3. 1 IRACMコード

3. 1. 1 生成放射能の計算式

IRACM放射化量計算コードは、本コードシステムの中心的な機能コードであり、任意の入射粒子とターゲット核の反応による核種の生成・消滅計算を所定の照射時間毎に行い、指定された冷却時間毎に放射化量を算出する。また、ターゲットから単位距離離れた位置における線量当量率を合わせて計算する。

イオン及び中性子の入射するターゲット中での核種の生成は、入射粒子のターゲット中での減衰、核反応による核種の生成・消滅、核種の崩壊による生成・崩壊の関係を解くことによって求められる。入射粒子のターゲット中での減衰及び核反応を厳密に解くためには、入射粒子と発生した二次粒子の輸送計算システムと核反応断面積が必要となる。しかし、これらの輸送計算システムと核反応断面積は、核反応の理論的な解明が完成されていないことから系統的にまとめられておらず、また厳密に解くためには入力データの作成及び計算に時間を要し、簡便さに欠ける。このため、本コードシステムでは、次に述べる前提及び仮定に基づいてターゲット中に生成する核種量を求める。

(1) 入射粒子及びターゲット

計算の幾何学的形状は、1次元平板多重層とする。

入射粒子は、単一エネルギーの軽・重イオン、及び単一または連続エネルギースペクトルをもつ中性子の平行束とする。

(2) ターゲット中の入射粒子の輸送

ターゲット中での二次粒子の発生を無視し、入射粒子の輸送計算は行わない。

従って、入射イオンはターゲット中で移動する微小距離と阻止能の積に比例するエネルギー損失をするものとし、エネルギー0（実質的には1 eV以下）で消滅するものとする。

多重層ターゲットでは、射影飛程を用いて次のターゲット層の入射エネルギーを求める。

中性子については、ターゲット中での減衰は無視する。

(3) イオン入射による生成・消滅反応

イオン入射では、全てのビームがターゲットに入射することによってターゲット中に生成する放射化量を基本式で求める。ターゲット面積がビーム形状より小さい場合は、ターゲット面積とビーム形状の面積比で補正する。

イオン入射による生成・消滅反応では、初期に設定したターゲット核種及び新たに生成した核種の核反応を取扱う。また、初期に設定したターゲット核種数は、核反応及び崩壊による生成・消滅を無視し、初期に設定した核種数で一定とする。

(4) 中性子入射による生成・消滅反応

中性子入射では、単位面積(cm^2)当たりのターゲットの放射化量を基本式で求める。従って、単位面積当たりのターゲットの放射化量に中性子の入射するターゲット面積(cm^2)を乗じて、ターゲットでの放射化量を求める。

中性子入射による生成・消滅反応では、初期に設定したターゲット核種及び新たに生成した核種の

中性子反応による生成・消滅反応を取扱う。初期に設定したターゲット核種数は、核反応及び崩壊による生成・消滅を無視し、初期に設定した核種数で一定とする。

(5) 生成核種の崩壊

生成核種の崩壊は短寿命核種と長寿命核種の区別をせず、後述するORIGEN2コードで用いられている近似計算を行わない。

これらの前提及び仮定を基にした基本的な方程式として、注目する核種kの単位時間における生成・消滅量 Y_k (atoms)は次式で与えられる。

$$\frac{dY_k}{dt} = -\lambda_k Y_k + S_k^n + S_k^p + \sum_{m=1}^{n \rightarrow k} K_{n \rightarrow k} \lambda_m Y_m \quad (1)$$

$\underbrace{\hspace{2cm}}$
I

$\underbrace{\hspace{1cm}}$
II

$\underbrace{\hspace{1cm}}$
III

$\underbrace{\hspace{3cm}}$
IV

- ここで、(I) 核種kの崩壊による消滅項
- (II) 中性子入射による生成・消滅項
- (III) イオン入射による生成・消滅項
- (IV) 核種mの崩壊による生成項

λ_m, λ_k : 核種m、核種kの崩壊定数

$K_{n \rightarrow k}$: 核種mの崩壊により核種kが生成する割合

(1)式において、中性子入射による生成・消滅項 S_k^n は次式で示される。

$$S_k^n = S^n L \left\{ \sum_m^{n \rightarrow k} Y_m \int_{E_L}^{E_H} \sigma_{n \rightarrow k}^m(E_n) \phi^n(E_n) dE_n - Y_k \int_{E_L}^{E_H} \sigma_k^n(E_n) \phi^n(E_n) dE_n \right\} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{n \rightarrow k}^m$: 中性子入射により核種mが核種kに壊変する放射化断面積(cm^2)

ϕ^n : 入射中性子束($n/cm^2/s/MeV$)

σ_k^n : 中性子入射による核種kの反応断面積(cm^2)

E_H, E_L : 中性子上限及び下限エネルギー(MeV)

S^n : 中性子の入射するターゲット面積(cm^2)

L : ターゲットの厚さ(cm)

また、イオン入射による生成・消滅項 S_k^p は次式で示される。

$$S_k^p = \phi^p(E_i) S^p \left\{ \sum_m^{n \rightarrow k} Y_m \int_{E_f} \sigma_{n \rightarrow k}^m(E_p) / (dE/ds)_{E_p} dE_p \right.$$

$$- Y_k \int_{E_t}^{E_i} \sigma_k^p(E_p) / (dE/ds)_{E_p} dE_p \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_{n,k}^p$: イオンpの入射により核種nが核種kに壊変する放射化断面積 (cm²)

σ_k^p : イオンpの入射による核種kの反応断面積 (cm²)

$(dE/ds)_{E_p}$: イオンエネルギーE_pにおける線阻止能 (MeV/cm)

E_i : 当該ターゲット層に入射するイオンエネルギー (MeV)

E_t : 当該ターゲット層から出た時のイオンエネルギー (MeV)

$\phi^p(E_i)$: 入射イオン束 (particles/s)

イオンはターゲット中でエネルギーの減衰をするが、個数はエネルギー0 (1 eV) まで変化しないものと近似する。

S^p : ターゲットとビーム形状の補正係数

ターゲット面積 ≥ ビーム面積の場合 : S^p = 1

ターゲット面積 < ビーム面積の場合 : S^p = ターゲット面積 / ビーム面積

ここで、核種の初期量 (atoms/cm³) は次式で与えられる。

$$Y_m = Y_{m0} = \rho_k \cdot \frac{ABD_k}{A_k} \cdot N_0 \quad (4)$$

ここで、 ρ_k : 核種 k の密度 (g/cm³)

ABD_k : 核種 k の重量分率

A_k : 核種 k の原子量

N₀ : アボガドロ数 (6.022137 × 10²³)

以上より、(1)式は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \frac{dY_k}{dt} = & -Y_k \left\{ \lambda_k + \phi^p(E_i) S^p \int_{E_t}^{E_i} \sigma_k^p(E_p) / (dE/ds)_{E_p} dE_p \right. \\ & + S^n L \int_{E_L}^{E_H} \sigma_k^n(E_n) \phi^n(E_n) dE_n \left. \right\} \\ & + \sum_m^{n \rightarrow k} Y_m \left\{ K_{n,k} \lambda_m + \phi^p(E_i) S^p \int_{E_t}^{E_i} \sigma_{n,k}^p(E_p) / (dE/ds)_{E_p} dE_p \right. \\ & \left. + S^n L \int_{E_L}^{E_H} \sigma_{n,k}^n(E_n) \phi^n(E_n) dE_n \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

イオンエネルギー E_i , E_f は与えられたターゲット条件より計算し、入力された各層の厚さのうち、 $E_f \leq 1 \text{ eV}$ となった時に空間メッシュを図2のように1個自動的に発生させてイオンによる放射化量計算をこの空間メッシュ点まで行う。これらイオンのターゲットでのエネルギーの減衰、阻止能等は、OSCARコードのサブルーチンを使用して計算する。なお、中性子については、入力データで与えた各層の厚さについて計算を行う。

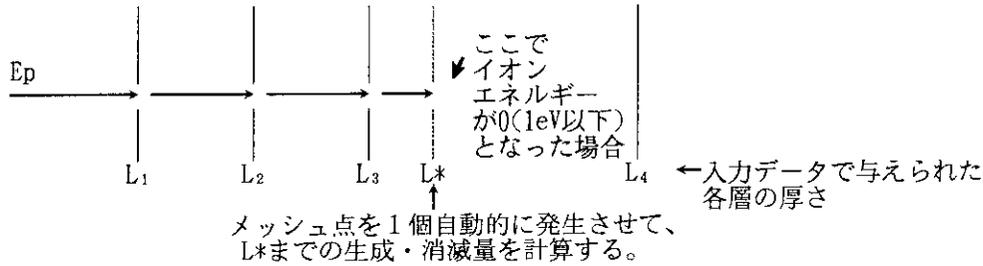


図2 イオン入射時のターゲット内空間メッシュの自動発生方法

(5)式で示される核種 k についての1階線型微分方程式は、すべての核種について連立させることにより、所要の解を得ることができる。すなわち、

$$\frac{d\bar{Y}}{dt} = \bar{A} \bar{Y}, \quad \bar{Y}(t=0) = \bar{Y}(0) \quad (6)$$

ここで(5)式の Y_k の係数はマトリクス \bar{A} の対角要素であり、 Y_m の係数は非対角要素である。

(6)式はMatrix Exponential法によって解くことができる。

$$\begin{aligned} \bar{Y}(t) &= \bar{Y}(0) \exp(\bar{A}t) \\ &= \bar{Y}(0) \left[\bar{I} + \bar{A}t + \frac{(\bar{A}t)^2}{2!} + \dots \right] \\ &= \bar{Y}(0) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\bar{A}t)^m}{m!} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $\bar{Y}(t)$ を次式のように多項式展開する。

$$\bar{Y}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \bar{C}^n \quad (8)$$

(8)式を(7)式に代入すると

$$\bar{C}^0 = \bar{Y}(0)$$

$$\overline{C}^{n+1} = \frac{t}{n+1} \overline{A} \overline{C}^n \quad (9)$$

となり、 \overline{C}^n を再帰的に求めることにより、 $\overline{Y}(t)$ を得る。

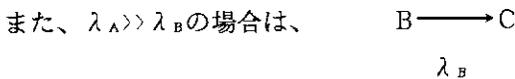
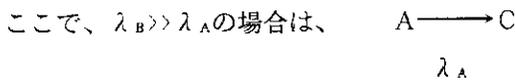
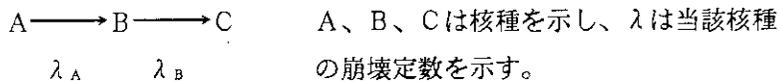
上記のMatrix Exponential法を解くために、ORIGEN2に組み込まれているサブルーチンDECAY、TERM、EQUIL、MATREXを修正して使用した。これらのオリジナルサブルーチンの機能は以下の通りである。

(1) DECAY : Bateman Equationの解を求める。

ORIGEN2では、崩壊系列の最初の核種で半減期が計算する時間メッシュ幅の1/10以下のものはBateman Equationを用いて解く。また、遷移マトリクスノルムが $2 \ln 1000 = 13.82$ より大きな場合(短寿命核種が非常に多い場合)もこのサブルーチンが用いられる。

(2) TERM : Matrix Exponential法の解を求める。

ORIGEN2では次に示すような崩壊系列は以下の近似計算を行っている。



但し、核種Bの遷移マトリクス値は核種AとBの和の値を使用する。

(3) EQUIL : 上記に示したA→B→C崩壊系列のうち、($\lambda_A \gg \lambda_B$)の系列の娘核種をGauss-Seidel法で解く。

(4) MATREX : 行列演算を行う。

上記で計算された核種量とその崩壊に伴うガンマ線強度とエネルギースペクトルを用いて、単位距離(1cm)における線量当量率Hを次式で求める。

$$H = \frac{1}{4\pi(1)^2} \sum_k \sum_{i=1}^{18} C_i G_{i,k} \quad (10)$$

ここで、

C_i : 線量当量率変換係数 [{(Sv/hr)/(photons/cm²/s)} または
{(rem/hr)/(photons/cm²/s)}]

$G_{i,k}$: 核種kのエネルギー群iにおけるガンマ線線源強度 (photons/s)

3. 1. 2 生成放射能関連のデータ

IRACMコードでは、入力データまたはデフォルト値によって自動的にデータを選定して、計算する機能が組込まれている。ここでは、ターゲット物質の核種を原子番号のみで入力した場合のターゲット物質の初期核種量の設定方法、照射及び冷却時間を最終値の1つのデータで入力した場合の照射/冷却時間メッシュの自動設定方法、及び(1)式の計算で対象となる生成核種の自動設定方法、について述べる。

(1) ターゲット物質の初期核種量の設定方法

IRACM及びELOSSMコードでは、ターゲット物質に含まれる初期核種量は、任意の核種または天然存在元素に対して、重量比または化学組成比で任意に入力可能である。そのため、以下の方法で核種の初期量を計算する。

1) j番目の物質データとして質量数 JA2≠0 が指定された場合

原子番号 JZ2、質量数 JA2 で設定される核種jの重量比または化学組成比を ABD に与える。ABD=0の時は ABD=1 とみなす。組成単位 UTF (入力した重量比を1に規格化[W]、入力した重量比[X]、化学組成比[C])によって以下のように処理が異なる。

ターゲット物質中の初期核種kの組成 C_k を以下の関係式で求める。

$$\text{UTF} = W, X \text{ の場合} : C_k = \text{ABD}_j \quad (11)$$

$$\text{UTF} = C \text{ の場合} : C_k = \text{ABD}_j \cdot \text{AA2}_j \quad (\text{g/g-atom}) \quad (12)$$

ここで、 AA2_j は核種jの原子量を示す。 $\text{AA2}_j=0$ の場合は内蔵 mass excess データより計算された原子量が自動的に与えられる。化学組成比が実数で与えられた場合は、実数で計算を行う。

2) j番目の物質データとして質量数 JA2=0 が指定された場合

原子番号 JZ2 で設定される元素jの重量比または化学組成比を ABD に与える。ABD=0の時は ABD=1 とみなす。崩壊データライブラリに格納されている天然に存在する同位体核種と存在比を検索し、同位体核種kと存在比 B_{kj} を自動的に設定する。核種組成単位 UTF によって以下のように処理が異なる。

ターゲット物質中の初期元素j、同位体核種kの組成 C_k を以下の関係式で求める。

$$\text{UTF} = W, X \text{ の場合} : C_k = \text{ABD}_j \cdot B_{kj} \cdot \text{AA2}_k / \sum_k B_{kj} \cdot \text{AA2}_k \quad (13)$$

$$\text{UTF} = C \text{ の場合} : C_k = \text{ABD}_j \cdot B_{kj} \cdot \text{AA2}_k \quad (\text{g/g-atom}) \quad (14)$$

ここで、 AA2_k は核種kの原子量を示す。入力した AA2_j の値は無視され、内蔵 mass excess データで計算された原子量が自動的に与えられる。化学組成比が実数で与えられた場合は、実数で計算を行う。

3) 初期核種量 A_k の計算

(11)~(14)式で求められた C_k から、ターゲット物質中の初期核種 k の重量比 W_k を以下の関係式で求める。

$$\text{UTF} = W \text{ の場合} : W_k = C_k / \sum_k C_k \quad (15)$$

$$\text{UTF} = X \text{ の場合} : W_k = C_k \quad (16)$$

$$\text{UTF} = C \text{ の場合} : W_k = C_k / \sum_j \text{ABD}_j \cdot \sum_k B_{kj} \cdot \text{AA2}_k \quad (17)$$

W_k より初期核種量 A_k を以下のように求める。

$$A_k = \text{DEN} \cdot A_v \cdot W_k / \text{AA2}_k \quad (\text{atoms/cm}^3) \quad (18)$$

ここで、DEN は物質の密度 (g/cm^3)、 A_v はアボガドロ数 (6.0221367×10^{23}) を示す。

(2) 照射/冷却時間メッシュの自動設定方法

IRACMコードでは、最終値の照射/冷却時間を入力した場合に、中間の時間間隔 (メッシュ) を以下のアルゴリズムに従って自動設定する機能をもつ。

1) 入力データである時間データが1個のみ設定された場合は、その時間までの計算時間メッシュを自動設定する。それ以外の時は入力された時間メッシュで計算を行う。

2) 計算時間メッシュは入力された照射/冷却時間によって以下のように自動設定する。

1分まで：設定された時間を12等分する。

10分まで：最初の1分を30、60秒で設定し、残りの時間数を10等分する。ただし、等分割した時間幅が30秒以内の時は、時間メッシュ幅を30秒に固定して、計算時間点数を調整する。

1時間まで：最初の10分を1、3、5、10分で設定し、残りの時間数を8等分する。ただし、等分割した時間幅が5分以内の時は、時間メッシュ幅を5分に固定して、計算時間点数を調整する。

24時間まで：最初の1時間を6、15、30、60分で設定し、残りの時間数を8等分する。ただし、等分割した時間幅が30分以内の時は、時間メッシュ幅を30分に固定して、計算時間点数を調整する。

120時間まで：最初の24時間を14.4分、72分、2.4時間、7.2時間、12時間、24時間とし、残りの時間数を6等分する。ただし、等分割した時間幅が12時間以内の時は、時間メッシュ幅を12時間に固定して、計算時間点数を調整する。

1200時間まで：最初の24時間を2.4、7.2、12、24時間で設定する。さらに120時間までを72、120時間とし、残りの時間数を6等分する。ただし、等分割した時間幅が48時間以内の時は、時間メッシュ幅を48時間に固定して、計算時間点数を調整する。

8766時間まで：最初の50日を2.4、12、24、120、480、1200時間で設定し、残りの時間数を6等分する。ただし、等分割した時間幅が30日以内の時は、時間メッシュ幅を30日に固定して、計算時間点数を調整する。

8766時間以上：最初の半年を8.766、87.66、438.3、876.6、2629.8、4383時間で設定し、残りの時間数を6等分する。ただし、等分割した時間幅が0.2年以内の時は、時間メッシュ幅を0.2年に固定して、計算時間点数を調整する。

(3) 生成核種範囲の自動設定方法

IRACMコードにおいて、(1)式の計算で対象となる生成核種の範囲を以下のアルゴリズムに従って自動設定する機能を追加した(図3)。

- 1) 入射粒子とターゲット核種のすべての組合せについて、崩壊データ及び放射化断面積ライブラリに格納されている生成核種を検索する。ターゲット核種が放射化断面積ライブラリに存在しない時は警告メッセージを出力する。
- 2) 生成核種の崩壊データを検索し、安定同位体または入力で設定された半減期以上の非安定同位体の場合はその核種をターゲット核種に加える。さらに、非安定同位体の場合はその崩壊によって生成される核種をターゲット核種に加える。
- 3) 上記処理を繰り返す。対象となるターゲット核種数がそれ以上増加しない場合は処理を打ち切り、ターゲット核種を生成核種として確定させる。

(4) 核種生成過程での計算方法

- 1) 放射化断面積のエネルギー積分方法は、ガウス積分公式(96分点)または8次のNewton-Cotes公式のいずれかが選択できる。通常の計算では、計算時間の短いガウス積分公式を用いることを薦める。放射化断面積が計算範囲で急激に変化する等、より正確に計算する必要がある場合にNewton-Cotes公式を用いる。放射化断面積が有限のエネルギー点について与えられ、かつ内挿方法が定められている場合は、その内挿方法を用いて放射化断面積の値を内挿して用いる。但し、値が0.0または負値でLog内挿が指定されている場合は、その部分のみをLinear内挿方式に替える。また、放射化断面積の内挿方法としてステップ内挿が指定された場合は、上記の積分を台形公式によって計算する。
- 2) 阻止能の値はイオンエネルギーに対して単調変化する関数であるため、最小と最大エネルギー間を50点計算し、所要の値はLinear-Linear内挿して(3)式の被積分関数値の計算に用いる。
- 3) 中性子エネルギースペクトルが入力データとして与えられた場合は、指定された内挿方法によって被積分関数値を計算する。積分方法はイオン入射の場合と同様である。但し、中性子エネルギーが1点しか与えられていない場合は、エネルギー積分は行わず、与えられたエネルギー点での生成・消滅を計算する。同様に、中性子放射化断面積が中性子エネルギー1点でしか与えられていない場合もエネルギー積分は行わず、与えられたエネルギー点での生成・消滅を計算する。
- 4) エネルギー積分範囲の設定方法は、次のように取り扱う。
イオンによる放射化反応の場合、各ターゲット層に入射するイオンエネルギーまたは放射化断面積のエネルギー最大値のいずれか低い方の値をエネルギー積分範囲の最大値とし、各ターゲット層の残留エネルギーまたは放射化断面積のエネルギー最小値のいずれか高い方の値をエネルギー積分範囲の最小値とする。
中性子放射化反応の場合は入力データとして与えられたターゲットに入射する中性子の上限エネルギーまたは放射化断面積のエネルギー最大値のいずれか低い方の値をエネルギー積分範囲の最大値とし、ターゲットに入射する中性子の下限エネルギーまたは放射化断面積のエネルギー最小値のいずれか高い方の値をエネルギー積分範囲の最小値とする。

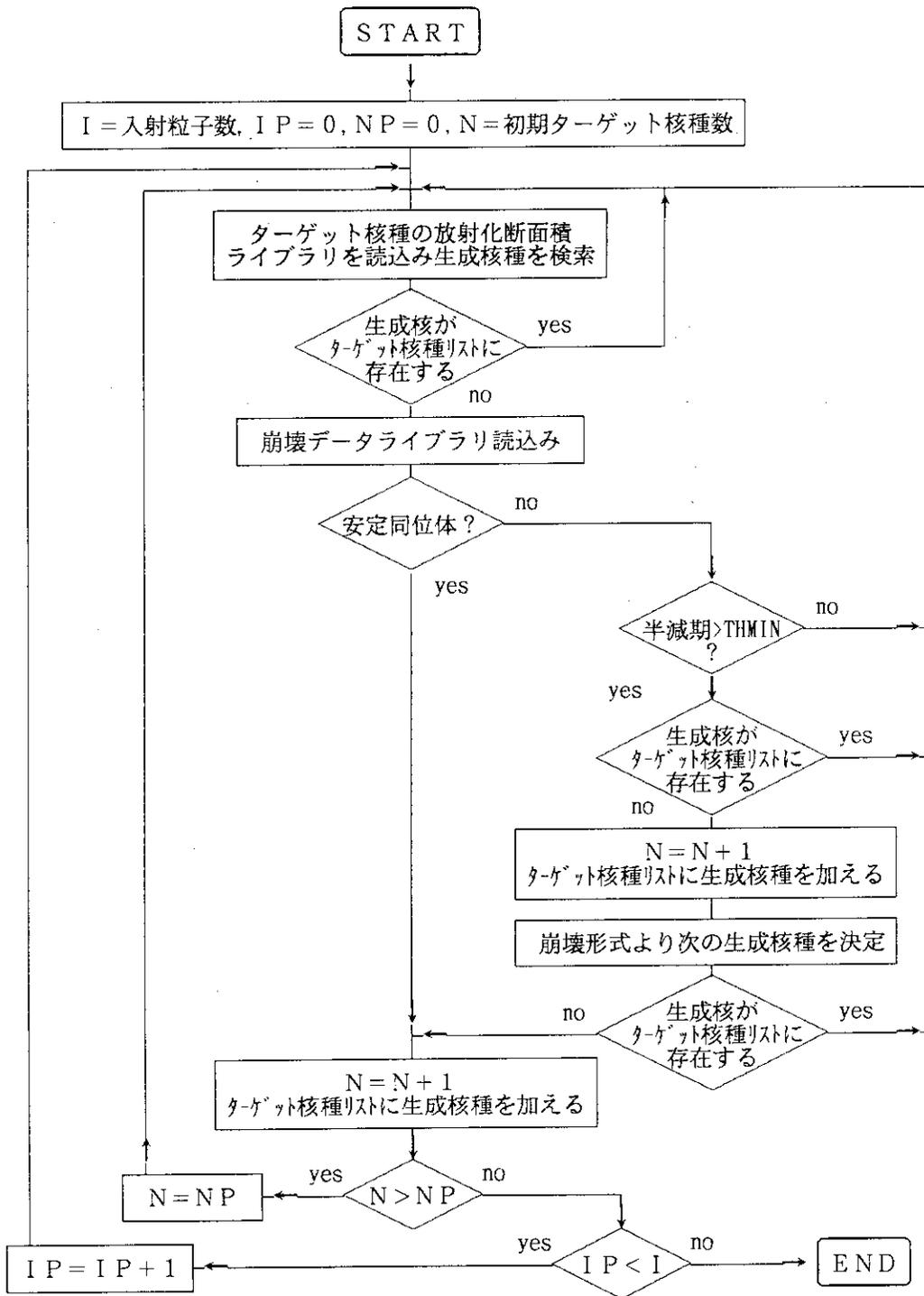


図3 生成核種範囲の自動設定アルゴリズム

3. 2 THRESMコード

THRESMコードは、入射粒子とターゲット核種の組合せについて、核反応のしきいエネルギー及びクーロン障壁エネルギーを計算し、主に低エネルギーのイオンビームの利用によって放射性核種が生成しないことを確認するために作成したコードである。本コードでは以下の処理を行う。

- (1) 複合核(ターゲット核+入射粒子)から放出される粒子の質量数及び原子番号の合計が、それぞれ0～22及び0～9間での起り得る全反応について、それぞれの核反応のしきい値を計算する。ただし、放出される粒子はn、p、d、t、³He、⁴Heの6種類とする。
- (2) 生成核種毎に、反応数、反応の種類とそのしきい値、最大及び最小のしきい値を出力する。なお、実験室系での核反応のしきい値は以下の式によって求める。その際に用いる反応のQ値は各核種、粒子の質量過剰を用いて表すことができる。ここでは、Wapstraらの質量過剰表⁹⁾を採用し、核質量データベースMASSWPSを作成した。また、Wapstraらの質量過剰表にデータの無い核種については、Tachibanaらの質量公式¹⁰⁾によりプログラム内で質量を計算する。しきいエネルギー E_{th} は、次式により計算する。

$$E_{th} = \{ (M_x + M_a) / M_x \} \cdot \max \{ 0, -Q \} \quad (19)$$

ここで、 $Q = (M_x + M_a - M_y - M_b) \cdot c^2$

E_{th} : 反応のしきい値

M_x, M_a : 反応前のターゲット核、入射粒子の質量

M_y, M_b : 反応後の残留核、放出粒子の質量

c : 光速度

- (3) しきいエネルギーの計算では、特に α 粒子が放出されるしきいエネルギーは非常に低くなる。このため、核反応が起るかの判断の資料としてクーロン障壁エネルギーを求める。

一般に、核反応が十分に起るためには、入射イオンのエネルギーがターゲット核のクーロン障壁エネルギーを越すエネルギーとなった場合である。したがって、入射エネルギーがクーロン障壁エネルギーより十分低ければ、核反応が起る確率は十分低いと判断できる。

クーロン障壁エネルギー E_c (MeV)は、

$$\text{核半径を } R = r_0 \cdot A^{1/3}, r_0 = 1.4 \text{ fm} = 1.4 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

として次式により計算する。

$$E_c = (1 + A_a/A_x) \{ (1.02 \cdot Z_a \cdot Z_x) / (A_a^{1/3} + A_x^{1/3}) \} \quad (20)$$

ここで、 Z_x, Z_a : 反応前のターゲット核、入射粒子の陽子数(原子番号)

A_x, A_a : 反応前のターゲット核、入射粒子の核子数(質量数)

3. 3 ELOSSMコード

ELOSSMコードは、ターゲット内でのイオンのエネルギー損失を計算し、残余エネルギーの阻止能・射影飛程を計算する。計算は単層あるいは多重層ターゲットについて行なうことが可能であり、OSCARコードの副プログラム群を用いて計算を実行する。

計算方法について以下に述べる。

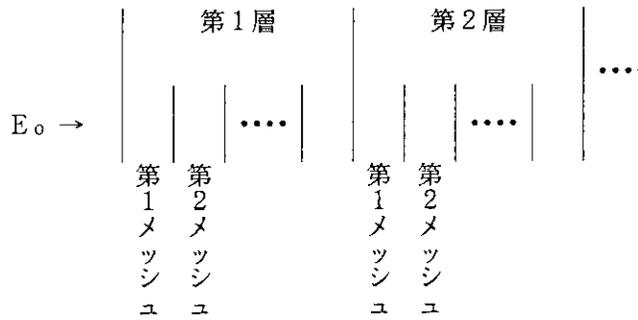


図4 ターゲット内でのイオンのエネルギー計算時のメッシュ設定

- (1) 図4に示すように各ターゲット層を細かい空間メッシュに分割し、各空間メッシュでのイオンのエネルギー損失、射影飛程、阻止能を計算する。ただし、ターゲット中でイオンのエネルギーが0になった場合にはそこで計算を打切る。
- (2) 計算結果（入射エネルギー、エネルギー損失、残余エネルギー、射影飛程、阻止能）は、各空間メッシュ毎に出力される。
- (3) 本計算コードは、ターゲット核種の原子番号、質量数及び原子量を参照するために、核質量データライブラリMA SWPSを使用する。

処理アルゴリズムは以下の通りである。

a) 単層ターゲット

図5において、入射エネルギー E_0 、ターゲットの厚さ t 、射影飛程 R_0 として、ターゲット厚さ t を空間メッシュ増分値 Δt （入力データで設定）で分割し、各メッシュ毎にイオンエネルギーを計算する。但し、イオンエネルギーが0になった場合は計算を打切る。

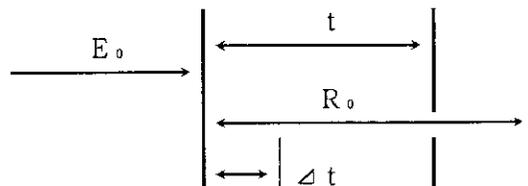


図5 単層ターゲット内でのイオンのエネルギー計算

b) 多重層ターゲット

図6に示すように第I層目の物質の射影飛程 R_1 を上記の単層ターゲットの場合と同様に求め、第II層目の入射エネルギー E_1 を求める。

$$\Delta E_1 = E_0 - E[R_1 - t_1] \quad (21)$$

$$E_1 = E_0 - \Delta E_1 \quad (22)$$

同様に第II層目の射影飛程 R_2 を求め第III層目の入射エネルギー E_2 を求める。

$$\Delta E_2 = E_1 - E[R_2 - t_2] \quad (23)$$

$$E_2 = E_1 - \Delta E_2 \quad (24)$$

ここで、

$E[R_n - t_n]$: 飛程 R_n から飛程 t_n を引いた飛程に相当する入射エネルギー

上記のアルゴリズムでターゲット内の空間メッシュを細かく分割し、各メッシュ毎に計算を行ない、イオンエネルギーが0になった場合は計算を打切る。

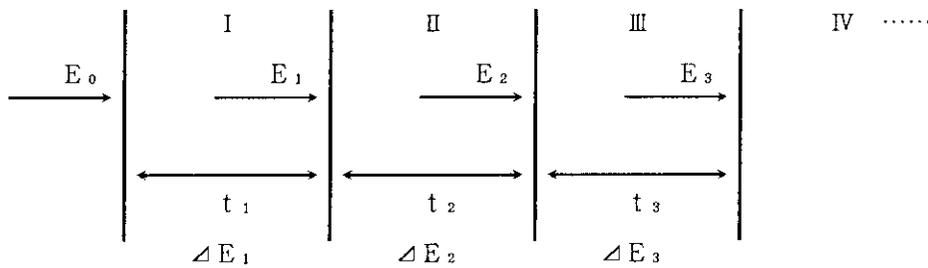


図6 多重層ターゲット内でのイオンのエネルギー計算

4. 使用方法

4. 1 入力形式

IRACMシステムの入力データ形式は、ユーザーが入力し易いようにコマンドを用いた Free Format の入力形式を採用している。

- (1) 入力データ形式は以下に示すコマンド欄(1~6カラム)とデータ欄(7~72カラム)の組合せで与える。コマンド欄が空白の場合は、直前に与えられたコマンドに対する継続データとみなされる。継続行の制限はない。
- (2) 1カラム目に“C”が与えられ、2~6カラムがすべて空白の場合は7~72カラムのデータは無視され、任意のコメントとみなされる。さらに、データ欄の任意位置に“¥”または“\$”を与えると、それ以降のデータはコメントとみなされる。
- (3) 入力データの終了はコマンド欄の1カラム目に“T”を設定し、2~6カラムを空白とする。
- (4) コマンドの設定順序は任意であり、すべて左詰めで設定する。データ欄は7~72カラムの範囲であれば自由に設定できる。データの区切りは1文字以上の空白または1個のカンマで表わす。入力例を以下に示した。

1 ←	67 ←	→ 72
コマンド 欄	データ欄	
.....	1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....	

コマンド行 →	PROJ 10010 20040 60120 80160 ¥ arbitrary comments after ¥ mark
継続行 →	180200 200400
コメント行 →	C arbitrary comments defined by the user
終了 →	T

- (5) 数値データは整数/実数(小数点付)の区別なしに与えることができる。整数/実数で指定すべきデータは実数または整数で与えられていてもプログラム内部で整数/実数に自動的に変換される。実数は任意の形式で与えることができる。

(例: 1.23456×10^{-3} は 0.00123456, .00123456, 1.23456E-3, 1.23456-3 123.456D-5)

- (6) 特殊な制御文字として以下の例のように“R”、“I”、“*”、“J”が設定できる。

R: n Rで直前のデータをn回繰り返す。(2 4R = 2 2 2 2 2)

I: n Iで前後のデータをリニア内挿する。(1.5 2I 3.0 = 1.5 2.0 2.5 3.0)

(1 4I 6 = 1 2 3 4 5 6)

*: x *で直前のデータをx倍する。(1 1 2* 2* 3* 4* = 1 1 2 4 12 48)

J: n Jでn個のデータ入力をスキップする。入力データでデフォルト値が設定されている場合、特定のデータのみ変更する時に使用すると便利である。

指定例) 1 3* I 4 = 1 3 3.5 4
 1 R 2* = 1 1 2
 1 2R 2I 2.5 = 1 1 1 1.5 2.0 2.5
 1 2I 4 2I 10 = 1 2 3 4 6 8 10
 3J 4R is illegal.
 1 4I J is illegal.

(7) コマンドのうち、識別番号で区別し、かつ複数個設定する必要のあるものは、以下のようにコマンド名に引続き識別番号を左詰めで与える。

{ 例: m 番目の物質指定 MATm の場合 MAT1 1 番目のデータ…
 MAT3 3 番目のデータ…
 MAT80 80 番目のデータ… }

各計算コードの入力データ形式で示されている入力データのうち、{ }n で表記されているものは、{ }内のデータの組をn回繰り返し設定することを意味する。この繰り返し回数nはコマンドの種類によっては任意の場合もある。

(8) その他の注意事項

文字型データの場合は、データの途中に空白を入れてはならない。

(例: "MEV" の場合、"M EV"、"ME V" 等の設定は許されない)

(9) 入力形式のエラー警告出力

省略可能な入力データの値を設定しないと既定値が採用される。その場合は確認のため警告メッセージ(warning errors)が印刷される。このメッセージは入力エラーとは判断されず、処理は継続する。

省略不可能な入力データの値を設定しない、または間違えてデータを設定した場合は、致命的エラーメッセージ(fatal errors)が印刷され、その後の処理は行わない。

これらのメッセージの集計は入力データを全て処理した後に行われ印刷される。

4. 2 IRACMコードの使用方法

4. 2. 1 IRACMコードの機能

IRACMコードは、イオン及び中性子と1次元多重層ターゲットの組合せにおける核反応及び崩壊によって生成する核種とその放射能、放射性核種から単位距離の位置におけるガンマ線線量当量率を計算するコードである。ここでは、IRACMコードを使用する場合に必要な基本的機能を述べる。

(1) 入射粒子

入射粒子として、単一エネルギーの軽・重イオン、及び単一または連続エネルギースペクトルをもつ平行束の中性子を対象とする。

計算可能な軽・重イオンの最大エネルギーは、ターゲット内のエネルギー損失計算式の制限から、100 MeV/amu である。中性子については、最大エネルギーは放射化断面積ライブラリーに格納されているデータのエネルギー上限値となる。

(2) ターゲット

計算の幾何学的形状は、1次元平板多重層である。

ターゲット層数は、最大5層まで可能である。各ターゲット層に含まれる核種数は、最大50核種まで指定可能である。ターゲット厚さの単位は(mg/cm²)と(cm)が選択できる。核種の組成は、重量比の他に化学組成比で指定することが可能である。ターゲットの元素のみを入力データで指定して、天然存在元素の密度及び核種組成を内蔵データから参照することが可能である。

(3) 生成核種及び放射能

イオン入射では、全てのビームがターゲットに入射することによってターゲット中に生成する核種及び放射能が得られる。ターゲット面積がビーム形状より小さい場合は、ターゲット面積とビーム形状の面積比の補正係数を入力することにより、補正した生成核種及び放射能を求めることができる。

中性子入射では、単位面積(cm²)当たりのターゲットの放射化量が得られる。また、中性子の入射するターゲット面積(cm²)を入力することにより、中性子入射面積の生成核種及び放射能が得られる。

なお、生成核種及び放射能の計算は、(5)及び(6)項の範囲に限定される。

(4) 単位距離における線量当量率

生成核種と放射能の計算結果をもとに、ガンマ線放出核種については、単位距離における(1cm)線量当量率(Sv/h、rem/h)を求めることができる。なお、この場合、 β^+ 線によって生成する消滅ガンマ線は線量計算に含まれているが、特性X線の寄与は考慮されていない。

(5) 放射化断面積データによって限定される生成・消滅計算の範囲

計算に必要な放射化断面積は、入力した入射粒子とターゲット組成のデータに基づいて、ACSELAMライブラリーから自動的に選択、参照される。ACSELAMには、HからBiまでの57元素136核種の天然存在核種について、軽イオン(p, d, ⁴Heイオン)及び中性子はしきいエネルギーから150 MeV、重イオン(¹²C, ¹⁴N, ¹⁶O, ²⁰Ne, ⁴⁰Arイオン)はしきいエネルギーから500 MeVまでの放射化断面積が格納されている。放射化断面積は、入射粒子とターゲット核種の複合核から、陽子が9個で核子数が22個までの2次粒子放出反応を考慮している。従って、上記の範囲外の核反応の計算処理は行わない。

入射粒子が中性子の場合、熱中性子エネルギー(2200 m/s)の捕獲断面積として断面積ライブラリORIGNLIBが参照される。

なお、他のイオン種及びターゲット核種については、利用者が用意した放射化断面積をXEDITERコードで編集することにより、計算に用いることが可能である。

(6) 崩壊データによって限定される生成核種の範囲

本コードの崩壊データライブラリDECAYLIBは、評価済核構造データファイルENSDF¹¹⁾に格納されている2590核種のデータを備えている。崩壊データとして、親核種の半減期、崩壊形式(β^- 、 β^+ 、軌道電子捕獲(EC)、 α 、核異性体遷移(IT))とその割合及び娘核種のデータが含まれている。崩壊形式及び割合が不明な核種については、娘核種が決定できないため、崩壊しない核種として取り扱っている。なお、自発核分裂(SF)の割合もデータに含まれているが、その生成核についてはデータが含まれていない。従って、核反応による生成・消滅によって生ずる核種の崩壊を崩壊形式に応じて計算する範囲は、前述の崩壊データが整備されている核種に限定される。

(7) 生成核種範囲の設定

生成・消滅の核反応計算は、入力データで与えられる生成核種範囲で指定された核種を対象とする。生成核種の最小・最大の原子番号及び質量数を同時にデフォルト値に設定することによって、生成核種の範囲を自動設定することが可能である。この場合、計算対象核種は、全ターゲット核種に対して、放射化断面積ライブラリに存在する生成核種とその崩壊連鎖核種が自動的に生成核種範囲に設定される。なお、短半減期の核種を計算対象から除外する機能がある。

高原子番号と低原子番号のターゲット核種が混在する場合、生成核種の自動設定機能を使用すると、生成核種範囲が広くなり、計算処理時間が非常に長くなる。この場合は、ターゲット核種により生成核種範囲を分ける等、生成核種範囲を設定した方がよい。生成核種範囲を明示的に設定した場合、ターゲットの初期組成に含まれる全ての核種が設定範囲内に存在しない時は、最小核種と入射粒子の複合核をプログラム内で新たに設定する。

なお、ターゲットとして入力した核種でも、生成・消滅の核反応計算を行わないように設定する機能もある。この場合、イオン入射では、ターゲット内のエネルギー損失計算は、全てのターゲット核種を考慮して計算する。

(8) 照射時間及び冷却時間の設定

生成核種、放射能及びガンマ線の線量当量率の計算は、照射時間を1回の計算で複数個指定することが可能である。また、冷却時間は各照射時間毎に設定可能である。冷却時間は、最長時間1点のみを入力した場合、自動的に最長時間までの時間を12点、計算・出力することができる。

4. 2. 2 IRACMコードの実行用ジョブ制御文及び入力データ例

IRACMコードの実行のためのジョブ制御文及び入力データ例を以下に示す。ここでは、70 MeV陽子及び1~100 MeVの中性子が銅ターゲットに入射する例を採用した。

IRACM ジョブ制御文例 (FACOM M780)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
T(03) C(02) W(06) I(05) E(01)
// EXEC LMGO,LM='J661B. IRAC2M'
//*
//FT05F001 DD DSN=J661B.P70TEST. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN)          ←入力データファイル
//*
//FT20F001 DD DSN=J661B. DEAYLIB. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN)          ←崩壊データライブラリ
//FT21F001 DD DSN=J661B. ACSELAM. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN)          ←放射化断面積ライブラリ
//FT23F001 DD DSN=J661B. ORIGEN2. LIB. DATA(LIB12), DISP=SHR, LABEL=(, , IN) ←ORIGNLIBデータ
//FT24F001 DD DSN=J661B. GAMMALIB. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN)        ←ガンマ線データライブラリ
//FT15F001 DD DSN=J661B. IRACPRT. DATA, DISP=(NEW, CATLG, DELETE),        ←デバッグ出力ファイル
//          UNIT=TSSWK, SPACE=(TRK, (10, 5), RLSE),
//          DCB=(LRECL=135, BLKSIZE=13500, RECFM=FB)
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...

```

IRACM 入力データ例 (70MeV陽子 1pμA on 2cm-thick Cu target)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
MODE 0 0
TTC 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)
LPR 0 0 1 0 1 1 0 0 0
TTG NATURAL COPPER TARGET SYSTEM OF 2CM-THICK
TLM1 CM 10 2.0
TTM10 NATURAL COPPER
MAT10 8.93 W 29 63 62.9296 0.692 1
          29 65 64.9278 0.308 1
TTP 70MEV PROTON 1-PARTICLE MICRO-A
PROJ 1 1 70.0 6.24146+12 1.0
TTN1 SAMPLE NEUTRON SOURCE SPECTRUM FROM 1 TO 100MEV
NDS1 20 3 1.0
EN20 1.0 2.0 5.0 10.0 20.0 50.0 100.0
SN20 1.0+5 1.0+6 1.0+7 1.0+8 1.0+7 1.0+6 1.0+5
RANGE 0 0 0 0 0.01
PLIMIT 1.0E-5 1.0E+5 1.0E-5 1.0E-10 1.0E-3
TIME1 3 3
IRR1 350.0
COOL1 100.0
T
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...

```

4. 2. 3 IRACMコードの入力データ形式

IRACMの入力データ形式を以下に示す。(デフォルト値は(D=)で、制限値は<>で記載)

コマンド名: MODE 計算の種類指定

書 式: MODE IDP INMH

設 定 例: MODE 0 0

コマンド	データ	内 容
MODE	IDP, INMH 計算モード等 の指定 (D=0, 0)	IDP 計算モード (D=0) =0 : 荷電粒子入射、中性子入射の両者を計算する =1 : 荷電粒子入射のみ計算する =2 : 中性子入射のみ計算する INMH 断面積のエネルギー積分方法 (D=0) =0 : ガウス積分公式(96分点)で行う =1 : 適応型ニュートン・コーツ積分公式(8次)で行う

コマンド名: TTC 計算タイトルの設定

書 式: TTC TIN1

設 定 例: TTC 90MEV PROTON ON THICK COPPER TARGET WITH 100HR IRRADIATION

コマンド	データ	内 容
TTC	TIN1 計算タイトル <66文字以内>	TIN1 計算タイトル <66文字以内>

コマンド名: LPR 出力帳票の設定
 書 式: LPR LPR1 LPR2 LPR3 LPR4 LPR5 LPR6 LPR7 LPR8 LPR9
 設定例: LPR 0 0 0 0 1 1 0 0 0

コマンド	データ	内 容
LPR	LPR(1)~LPR(9) 印刷指定 (D=0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0)	LPR(1) 崩壊データの出力 (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(2) 光子データの出力 (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(3) 線阻止能データ+中性子スペクトルの出力 (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(4) 放射化断面積データの出力 (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する =2 : ターゲット核種のみ出力する LPR(5) 核種組成の出力 (単位はatoms) (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(6) 放射化量の出力 (Bq) (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(7) 放射化量の出力 (Ci) (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(8) 線量当量率の出力 (rem/h) (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する LPR(9) 線量当量率の出力 (Sv/h) (D=0) =0 : 出力しない =1 : 出力する

コマンド名： TTG 幾何形状のタイトルの設定
 書 式： TTG TIN2
 設 定 例： TTG NATURAL COPPER 2CM TARGET CONFIGURATION

コマンド	データ	内 容
TTG	TIN2 幾何形状の タイトル <66文字以内>	TIN2 ターゲット幾何形状のタイトル <66文字以内>

コマンド名： TLMc ターゲット層 c の物質等の設定
 書 式： TLMc UTL M TKL
 設 定 例： TLM1 CM 10 2.0

コマンド	データ	内 容
TLMc	UTL, M, TKL ターゲット層 c の 物質番号等の指定 (D='MG', 0, 0) <c=5以内>	UTL c層目のターゲット厚さの単位 (D='MG') ='MG' : mg/cm ² ='CM' : cm M c層目のターゲット物質識別番号 (D=0) 物質識別番号 M は後述するMATm、TTMmで指定 する物質番号mに対応する。 TKL c層目のターゲット厚さ (D=0) <ターゲット層番号cは粒子入射面から順番に1、2、3...と設定する>

注) ターゲット層番号は下図のように粒子入射面から順番に指定する。



コマンド名: MATm ターゲット物質mの設定
 書式: MATm DEN UTF { JZ2 JA2 AA2 ABD ITRT }j
 設定例: MAT10 8.93 W 29 0 0.0 0.692 1

コマンド	データ	内容
MATm	DEN, UTF, {JZ2, JA2, AA2, ABD, ITRT}j データは{ }の組 を任意のj回繰り 返し与える。 (D=0, 'C', {0.0, 0.0, 0.0}) <j=50以内>	DEN ターゲット物質mの密度 (g/cm ³) (D=0) 物質数jが1種類の場合のみDEN=0を与えることができる。 このとき密度の値には内蔵データが代入される。 UTF ターゲット物質mの核種組成単位* (D='C') ='W' : 密度比 (規格化する) ='X' : 密度比 (規格化しない) ='C' : 化学組成比 JZ2 ターゲット物質mに含まれるj番目の核種の原子番号 (D=0) JA2 ターゲット物質mに含まれるj番目の核種の質量数** (D=0) JA2=0の場合は、天然存在元素と判断される。 AA2 ターゲット物質mに含まれるj番目の核種の原子量 (D=0) AA2=0の場合は、原子量として内蔵データが与えられる。 ABD ターゲット物質mに含まれるj番目の核種または元素の 密度比、または化学組成比 (D=0) ITRT 核種の取扱い (D=0) =0 : エネルギー損失計算のみに用いる =1 : エネルギー損失計算/放射化計算の両者に用いる

*) ターゲット層の初期核種数を決定するために用いる核種iの密度比W_iは、以下の関係式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 \text{UTF} = \text{W} \text{ の場合} & : W_i = \text{ABD}_i / \sum_k \text{ABD}_k \\
 \text{UTF} = \text{X} \text{ の場合} & : W_i = \text{ABD}_i \\
 \text{UTF} = \text{C} \text{ の場合} & : W_i = \text{ABD}_i \cdot \text{AA2}_i / \sum_k (\text{ABD}_k \cdot \text{AA2}_k)
 \end{aligned}$$

ここで、ABD_i は入力データで設定される核種iの密度比または化学組成比であり、AA2_i は核種iの原子量を示す。AA2_i=0の場合は内蔵データが自動的に与えられる。

***) JA2=0 を与えた場合は JZ2 で指定した原子番号の天然元素と判断され、天然に存在する核種と存在比が自動的に与えられる。この時、UTF='W' または 'X' を指定した場合、ABD には指定した元素の密度比を設定する。ABD=0 を設定した場合は、密度比は1と判断される。
 UTF='C' を指定した場合、ABD には元素の化学組成比を設定する。ABD=0 を設定した場合は、化学組成比は1と判断される。なお、JA2=0 の時は、原子量として入力した AA2 の値は無視され、内蔵データが与えられる。

コマンド名: TTMm ターゲット物質mのタイトルの設定

書 式: TTMm TIN5

設 定 例: TTM10 NATURAL COPPER

コマンド	データ	内 容
TTMm	TIN5 ターゲット物質 mのタイトル <66文字以内>	TIN5 ターゲット物質mのタイトル <66文字以内>

コマンド名: TTP 入射荷電粒子のタイトルの設定

書 式: TTP TIN3

設 定 例: TTP 90MEV PROTON 1-PARTICLE-MICRO-A

コマンド	データ	内 容
TTP	TIN3 入射荷電粒子の タイトル <62文字以内>	TIN3 入射荷電粒子のタイトル <62文字以内>

コマンド名: PROJ 入射荷電粒子の設定

書 式: PROJ IZ1 IA1 EPIN SPIN APIN

設 定 例: PROJ 1 1 90.0 6.24146E12 1.0

コマンド	データ	内 容
PROJ	IZ1, IA1, EPIN, SPIN, APIN 入射荷電粒子指定 (D=0, 0, 0, 0, 1.0)	IZ1 入射荷電粒子の原子番号 (D=0) IA1 入射荷電粒子の質量数 (D=0) EPIN 入射荷電粒子エネルギー (MeV) (D=0) SPIN 入射荷電粒子強度 (ions/s)* (D=0) APIN ターゲットとビーム形状の補正係数 (D=1.0)

*イオン入射では、ビーム(SPIN)がターゲットに入射することによってターゲット中に生成する核種及び放射能が得られる。ターゲット面積がビーム形状より小さい場合は、ターゲット面積とビーム形状の面積比の補正係数(APIN)を入力することにより、補正した生成核種及び放射能を求めることができる。

コマンド名: TTNc ターゲット層 c の入射中性子のタイトルの設定
 書 式: TTNc TIN4
 設 定 例: TTN1 NEUTRON SPECTRUM WITH ANISN CALCULATION

コマンド	データ	内 容
TTNc	TIN4 中性子分布の タイトル <52文字以内>	TIN4 ターゲット層 c の中性子スペクトルのタイトル <52文字以内>

コマンド名: NDS c ターゲット層 c の入射中性子分布の設定
 書 式: NDS c D NINTP SNF
 設 定 例: NDS1 100 5 1.0

コマンド	データ	内 容
NDS c	D, NINTP, SNF ターゲット層 c に おける入射中性子 エネルギースペク トル分布の指定 (D=0, 4, 1, 0)	D ターゲット層 c の中性子エネルギースペクトル分布識別番号 識別番号 D は後述する ENd、SNd コマンドで指定する 分布番号 d に対応する。 NINTP 中性子強度の内挿方式 (D=4) =1 : Y is constant in X =2 : Y is linear in X =3 : Y is linear in ln(X) =4 : ln(Y) is linear in X =5 : ln(Y) is linear in ln(X) SNF 中性子の入射するターゲット面積 (cm ²) (D=1.0)

コマンド名: ENd 入射中性子エネルギー分布 d の設定
 書 式: ENd { ENIN }j
 設 定 例: EN100 1.0 5.0 10.0 30.0 50.0 ..

コマンド	データ	内 容
ENd	{ ENIN }j <j =300以内>	ENIN 分布番号 d の入射中性子エネルギー値 (MeV) <エネルギー値は昇順で与える>

コマンド名: SNd 入射中性子強度分布dの設定
 書式: SNd {SNIN}j
 設定例: SN100 5.0 7.0 6.0 9.0 10.0 ..

コマンド	データ	内容
SNd	{SNIN}j <j=300以内>	SNIN 分布番号dの入射中性子強度 (neutrons/cm ² /s/MeV) データ点数は任意であるが、対応するENDコマンド で与えたエネルギー点数に一致する必要がある。

コマンド名: RANGE 生成核種計算範囲の設定
 書式: RANGE NZMIN NAMIN NZMAX NAMAX THMIN
 設定例: RANGE 5 10 70 80 0.1

コマンド	データ	内容
RANGE	NZMIN, NAMIN,	NZMIN 計算対象とする生成核種の最小原子番号 (D=0)
	NZMAX, NAMAX, THMIN	NAMIN 計算対象とする生成核種の最小質量数 (D=0)
	生成核種計算範囲	NZMAX 計算対象とする生成核種の最大原子番号 (D=0)
	および半減期指定	NAMAX 計算対象とする生成核種の最大質量数 (D=0)
	(D=0, 0, 0, 0, 1.0)	THMIN 計算対象とする生成核種の最小半減期 (秒) (D=1.0)

注) ここで指定した生成核種範囲内の核種から生成消滅計算の対象核種を決定する。そのため、この範囲内にはない核種については、たとえ崩壊連鎖が存在して、放射化断面データが存在する場合でも計算対象から除外される。ただし、例外として NZMIN=0, NAMIN=0 または NZMAX=0, NAMAX=0 が指定された場合、自動設定機能が働き、計算対象核種は全ターゲット核種に対する崩壊データおよび放射化断面ライブラリに存在する生成核種とその崩壊連鎖から自動的に設定される。また、THMIN が指定されると、半減期が THMIN 以下の生成核種の計算は無視される。

また、MATm コマンドで ITRT=0 と指定した核種は、ここで指定した核種範囲内であっても、原則として生成消滅計算の対象外となる。

生成核種範囲を明示的に設定する場合、ターゲットの初期組成に含まれる核種がこの範囲内に存在しない時は、その核種の初期量は0とみなされる。そのため、ここで指定する生成核種範囲は、ターゲット核種がその中に含まれるように設定しなければならない。また、自動設定機能を用いない場合でも、半減期が THMIN 以下の生成核種の計算は無視される。

実際の計算範囲は、上記の生成核種に入射粒子を考慮した複合核までを対象とする。

コマンド名: TIMEk 照射/冷却ケースkの時間単位の設定

書式: TIMEk MTIR MTDC

設定例: TIME 1 3 3

コマンド	データ	内容
TIMEk	MTIR, MTDC 照射/冷却ケースk における単位指定 (D=1, 1) <k=12以内>	MTIR 照射時間単位 (D=1) =1 : sec. =4 : day =2 : min. =5 : year =3 : hour MTDC 冷却時間単位 (D=1) MTIR と同じ定義である

コマンド名: IRRDk 照射/冷却ケースkにおける照射時間の設定

書式: IRRDk { TTIRR }j

設定例: IRRD 1 100.0

コマンド	データ	内容
IRRDk	{ TTIRR }j 照射/冷却ケースk における照射時間 計算メッシュ <j=12以内>	TTIRR 照射/冷却ケースkの照射時間メッシュ (D=0) <12以内> 照射時間1点のみを設定すると、時間メッシュは自動的に設定される。また、0は設定する必要はない。

コマンド名: COOLk 照射/冷却ケースkにおける冷却時間の設定

書式: COOLk { TTDEC }j

設定例: COOL 1 100.0

コマンド	データ	内容
COOLk	{ TTDEC }j 照射/冷却ケースk における冷却時間 計算メッシュ <j=12以内>	TTDEC 照射/冷却ケースkの冷却時間メッシュ (D=0) <12以内> 冷却時間1点のみを設定すると、時間メッシュは自動的に設定される。また、0は設定する必要はない。

コマンド名: PLIMIT 計算結果の印刷下限値の設定

書 式: PLIMIT PLIM1 PLIM2 PLIM3 PLIM4 PLIM5

設 定 例: PLIMIT 1.0E10 1.0E20 1.0E-3 1.0E-6 1.0E-3

コマンド	データ	内 容
PLIMIT	PLIM1, PLIM2,	PLIM1 核種毎の計算結果の印刷下限値 (atoms) (D=1.0E-25)
	PLIM3, PLIM4,	PLIM2 核種毎の計算結果の印刷下限値 (Bq) (D=1.0E-25)
	PLIM5	PLIM3 核種毎の計算結果の印刷下限値 (Ci) (D=1.0E-25)
	印刷下限値	PLIM4 核種毎の計算結果の印刷下限値 (Sv/h) (D=1.0E-25)
	(D=1.0E-25)	PLIM5 核種毎の計算結果の印刷下限値 (rem/h) (D=1.0E-25)

コマンド名: T 入力データの終了

書 式: T

設 定 例: T

コマンド	データ	内 容
T	なし	1 カラム目にTを入力し、2~6 カラムは空白とすると入力データの終了とみなす

コマンド名: C 任意のコメントの設定

書 式: C

設 定 例: C ARBITRARY COMMENTS BY USERS

コマンド	データ	内 容
C	任意のコメント	1 カラム目にCを入力し、2~6 カラムは空白とすると、7~7 2カラムのデータはコメントとみなす

4. 2. 4 IRACMコードの出力データ形式

IRACMコードによる計算実行後、論理ユニット6に出力される実行結果の内容について以下に述べる。

(1) INPUT DATA LIST

入力データをチェックしやすいように、入力データをそのまま表示する。また、入力データの論理エラーをコード内部でチェックした結果が、WARNING及びFATALとして表示される。

WARNING	入力データ内に、注意すべきデータがある。計算は実行する。
FATAL	入力データ内に、致命的なエラーがある。計算を実行しない。 エラーの説明に従い、データを修正し再計算を行う必要がある。

(2) INPUT DATA INFORMATION

入力データのうち計算の対象とした体系などの情報を印刷する。印刷する順番に従って表示された情報の意味を述べる。

CALCULATION TITLE	計算タイトル (TIN1)
IDP	計算範囲 = 0 : 荷電粒子入射+中性子入射 = 1 : 荷電粒子入射のみ = 2 : 中性子入射のみ
INMH, LPR(1)~LPR(13)	積分計算方法、データ一覧の出力の有無 (入力データ形式参照)
LT	ターゲット物質の数

これに続いて各物質の番号、密度(g/cm³)、ターゲット物質に含まれる核種の原子番号、質量数、組成比(重量分率)が表示される。その後、組成の合計が表示される。

次に INCIDENT CHARGED PARTICLE INFORMATION として、以下に示す値が表示される。

IZ1	入射荷電粒子の原子番号
IA1	入射荷電粒子の質量数
EPIN	荷電粒子の入射エネルギー (MeV)
SPIN	入射荷電粒子ビームの強度 (particles/s)
APIN	入射荷電粒子数とターゲット面積及び枚数等の照射時の補正係数

続いて、ターゲット層での阻止能の計算が正常に行われたことを示す以下のメッセージ、入力したターゲット体系における入射粒子のエネルギー損失の計算結果が表示される。荷電粒子データの印刷指定として LPR(12) = 1 (印刷する)を設定した場合は、(8) STOPPING POWER DATA TABLE の中で、阻止能の計算データが表示される。

STOPPING POWER HAS BEEN CALCULATED

LAYER	ターゲット層の番号
INCIDENT-E	荷電粒子の入射エネルギー(MeV)
ENERGY-LOSS	ターゲット層内での荷電粒子の損失エネルギー(MeV)
RESIDUAL-E	ターゲット層通過後の荷電粒子の残留エネルギー(MeV)

IZ1 よりここまでの情報は、荷電粒子反応を取扱う場合 (IDP=0,1) にのみ印刷される。

中性子入射を取扱う場合 (IDP=0,2) は、INCIDENT NEUTRON INFORMATION として、次の中性子データを正常に読み込んだことを示す以下のメッセージが表示される。

NEUTRON SOURCE HAS BEEN READ

中性子データの印刷指定として LPR(12) = 1 (印刷する)を設定した場合は、
(9) NEUTRON SOURCE DATA TABLEの中で、中性子入力データが表示される。
中性子データの印刷指定として LPR(12) = 0 (印刷しない)を設定した場合は、
前記のメッセージのみが表示される。

(3) PRODUCT NUCLIDE RANGE

入力した生成核種の範囲及び計算用にプログラム内部で変更した生成核種範囲が表示される。入力した生成核種の最大値が入力粒子とターゲットの複合核よりも小さい場合は、最小ターゲット核種の複合核を最大値とするように変更される。

PRODUCT NUCLIDE RANGE IN INPUT DATA	入力データの表示
PRODUCT NUCLIDE RANGE WAS ALTERED IN CALCULATION	計算用に変更したデータ

NZMIN, NAMIN	生成核種の最小原子番号、質量数
NZMAX, NAMAX	生成核種の最大原子番号、質量数

次に、生成核種の範囲内の核種であるが、入力した計算対象とする生成核種の最小半減期以下となり、計算から除外される核種が次のメッセージの後に表示される。

** WARNING ** FOLLOWING NUCLIDE(S) HAVE HALF-LIFE LESS THAN THMIN:

核種の表示方法は、以下の通りである。

印刷例 290630 = 原子番号(29) x 10000 + 質量数(63) x 10 + レベル

次に、生成核種の範囲内の計算対象核種のうち、ACSELAM 断面積データライブラリから見出せなかった核種、断面積ライブラリから見出して使用する核種が、各々次のメッセージの後に表示される。

** WARNING ** FOLLOWING NUCLIDE(S) WERE NOT FOUND

IN ACTIVATION CROSS SECTION LIBRALY	断面積が見出せない
-------------------------------------	-----------

FOLLOWING NUCLIDE(S) WERE USED

IN ACTIVATION CROSS SECTION LIBRALY	使用する断面積
-------------------------------------	---------

(4) DATA CHECK LIST

崩壊データライブラリより崩壊データを読み込み、計算の対象とした総核種数を表示する。

DECAY DATA HAS BEEN READ

TOTAL NUCLIDE = aaaa .VS. AVAILABLE ITMAX = CCCC

ここで、aaaa は計算の対象とした総核種数、CCCC はメインプログラムで指定されている最大核種数の配列要素パラメータである。本計算モジュールでは配列超過エラーを防ぐために、CCCC を超える核種は無視して計算を継続する。従って、上記の表示で $aaaa \geq CCCC$ となっている場合には、計算の対象とすべき核種が他にも存在する可能性がある。このような場合には、メインプログラムの配列要素のパラメータを拡大して再実行する必要がある。

その後、光子データライブラリよりガンマ線の放出強度データを読み込み、ガンマ線要素の数を表示する。

PHOTON DATA HAS BEEN READ

TOTAL PHOTONS = bbbb .VS. AVAILABLE IPHMAX = FFFF

ここで、bbbb は読み込んだガンマ線要素の数、FFFF はメインプログラムで指定されている最大ガンマ線数の配列要素パラメータである。本計算モジュールでは配列超過エラーを防ぐために bbbb を超えるガンマ線要素は無視して計算を継続する。従って、上記の表示で $bbbb \geq FFFF$ となっている場合には、計算の対象とすべきガンマ線要素が他にも存在する可能性がある。このような場合には、メインプログラムの配列要素のパラメータを拡大して再実行する必要がある。

(5) TIME STEP INFORMATION

入力データで指定した照射時間、冷却時間に関する情報を、TIME STEP INFORMATION のメッセージの後に表示する。

IRRADIATION 照射時間ステップ (S:秒 MI:分 HR:時間 D:日 YR:年)

COOLING 冷却時間ステップ (S:秒 MI:分 HR:時間 D:日 YR:年)

(6) DECAY DATA TABLE

DECAY DATA TABLE は、計算の対象とした全核種の崩壊データの一覧であり、入力データで $LPR(1) = 1$ とした場合に印刷される。

PARENT	親核種名
HALF-LIFE	半減期 (S:秒 MI:分 HR:時間 D:日 YR:年)
DAUGHTER	娘核種名
FRACTION	親核種の 1 崩壊に対して娘核種が生成される割合 (分岐比)

(7) PHOTON DATA TABLE

PHOTON DATA TABLE は、計算の対象とした核種のうち光子を放出する核種の光子放出強度の一覧であり、入力データで LPR(2) = 1 とした場合に印刷される。

GROUP/MEAN GAMMA ENERGY(MEV) エネルギー群/群の算術平均のガンマ線エネルギー
 NUCLIDE 光子を放出する核種名

印刷例 9 1.04E-1

1 崩壊当たり放出する光子数
 エネルギー群：詳細な群構造は表3 参照

(8) STOPPING POWER DATA TABLE

STOPPING POWER DATA TABLE は、計算に使用する物質の線阻止能の一覧であり、荷電粒子反応を取扱う場合 (IDP=0.1) で、入力データを LPR(3) = 1 とした場合に印刷される。

なお、入射荷電粒子が多重層ターゲット中でエネルギー損失により 1 e V 以下になった場合、次の層の線阻止能の計算は行われなため、表示されない。

TARGET ID 入力データで指定したターゲット幾何形状のタイトル(TIN2)
 LAYER NO. 入力データで指定したターゲット層の番号
 MATERIAL 入力データで指定したターゲット物質のタイトル(TIN5)
 PROJECTILE ID 入力データで指定した入射荷電粒子タイトル(TIN3)

 ENERGY(MEV) 荷電粒子エネルギー (MeV)
 第1番目のエネルギーは入射エネルギーを、第50番目(最後)の
 エネルギーは 1 e V を示す。
 SP(MEV/CM) 線阻止能 (MeV/cm)

(9) NEUTRON SOURCE DATA TABLE

NEUTRON SOURCE DATA TABLE は、入力された入射中性子分布の表示をする。

NEUTRON SOURCE ID 該当するターゲット層内の中性子スペクトルのタイトル(TIN4)
 ENERGY(MEV) 入射中性子のエネルギー(MeV)
 INTENSITY 入射中性子強度(neutrons/cm²/s/MeV)

(10) CROSS SECTION DATA TABLE

CROSS SECTION DATA TABLE は、計算に使用した放射化断面積データの一覧であり、入力データで LPR(4) = 1 とした場合表示される。

まず、放射化断面積を引用したデータライブラリ ACSELAM の情報が3行表示される。続いて、生成核種毎の断面積データが表示される。

MATNO	ターゲット核種の識別番号(表2 参照)
TARGET NUCLIDE	ターゲット核種記号
NUMBER OF REACTIONS	総核反応数
MAXIMUM ENERGY POINTS	最大エネルギー点数
VERSION	改訂版数
TOTAL	非弾性散乱断面積
GAS	2次放出粒子(ガス)生成断面積
X-SEC(MB)	核種生成断面積(mb)

次に、THERMAL NEUTRON CROSS SECTION (E=0.0253EV) DATA TABLE のメッセージの表示の後に、ORIGEN 2で使用されている熱中性子の捕獲反応断面積が表示される。

NUCLIDE	ターゲット核種
PRODUCT NUCLIDE	捕獲反応による生成核種
SIGMA(BARNS)	捕獲反応断面積(b)

最後に、計算結果を印刷する直前に、次の3行の情報が印刷される。

```
LAYER = n
TOTAL REACTIONS PER NUCLIDE = aa .VS. AVAILABLE LC = bb
TOTAL MATRIX ELEMENTS = cccc .VS. AVAILABLE IZMAX = dddd
```

ここで n はターゲット層の番号である。aa は1つの核種に対する最大の反応数であり、bb はメインプログラムで与えるパラメータの上限値である。cccc は非対角マトリクス要素(生成反応の数)の最大値であり、dddd はそのプログラム内のパラメータである。本計算モジュールでは配列超過エラーを防ぐため上限値を超える反応は無視して計算を継続する。従って $aa \geq bb$ あるいは $cccc \geq dddd$ と表示されている場合にはメインプログラムの配列要素を拡大して再実行する必要がある。これらの値は、ターゲット層によって異なる可能性があるため、すべてのターゲット層の計算を開始する前に印刷される。

(11) NUCLIDE TABLE NUCLIDE COMPOSITION (ATOMS)

NUCLIDE TABLE NUCLIDE COMPOSITION (ATOMS) は、照射後のターゲット層の核種量(atoms)を入力データで指定した冷却時間分点毎に表示する一覧であり、入力データで LPR(5) = 1 とした場合に、各ターゲット層の計算後に印刷される。また、ターゲット層が2層以上の場合、全ターゲット層の計算が終了した後に、その合計値が印刷される。

照射後のターゲット層の核種量は、次のように出力される。

- 1) ターゲット核種については、初期の核種量(atoms/cm³)が表示される。

- 2) イオン入射では、全てのビームがターゲットに入射することによってターゲット中に生成する核種量(atoms)が表示される。ターゲット面積とビーム形状の面積比の補正係数を入力した場合、補正した生成核種量(atoms)が表示される。
- 3) 中性子入射では、単位面積当たりのターゲットの核種量(atoms/cm²)が表示される。中性子の入射するターゲット面積(cm²)等の補正係数を入力した場合、中性子入射面積の生成核種量(atoms)が表示される。

PRINT THRESHOLD 計算結果のうち、このしきい値未満の生成核種量(atoms)は印刷されない
 NUCLIDE ターゲットまたは生成した核種名
 INITIAL 照射直後(冷却時間0)の核種量

印刷例 5.0 MI

┌───┐
 │ │ 冷却時間単位 (S:秒 MI:分 HR:時間 D:日 YR:年)
 └───┘
 冷却時間

(12) NUCLIDE TABLE RADIOACTIVITY (BQ)

NUCLIDE TABLE RADIOACTIVITY (BQ) は、照射後のターゲット層の放射能(Bq)を入力データで指定した冷却時間分点毎に表示する一覧であり、入力データで LPR(6) = 1 とした場合に、各ターゲット層の計算後に印刷される。また、ターゲット層が2層以上の場合、全ターゲット層の計算が終了した後に、その合計値(Bq)が印刷される。一覧の見方は(12)と同じである。

(13) NUCLIDE TABLE RADIOACTIVITY (CI)

NUCLIDE TABLE RADIOACTIVITY (CI) は、照射後のターゲット層の放射能(Ci)を入力データで指定した冷却時間分点毎に表示する一覧であり、入力データで LPR(7) = 1 とした場合に、各ターゲット層の計算後に印刷される。また、ターゲット層が2層以上の場合、全ターゲット層の計算が終了した後に、その合計値(Ci)が印刷される。一覧の見方は(12)と同じである。

(14) NUCLIDE TABLE DOSE EQUIVALENT (REM/HR)

NUCLIDE TABLE DOSE EQUIVALENT (REM/HR) は、照射後のターゲット層から1 cm 離れた位置での線量当量率 (rem/h)を入力データで指定した冷却時間分点毎に表示する一覧であり、入力データで LPR(8) = 1 とした場合に、各ターゲット層の計算後に印刷される。また、ターゲット層が2層以上の場合、全ターゲット層の計算が終了した後に、その合計値(rem/h)が印刷される。一覧の見方は(12)と同じである。

(15) NUCLIDE TABLE DOSE EQUIVALENT (SV/HR)

NUCLIDE TABLE DOSE EQUIVALENT (SV/HR) は、照射後のターゲット層から1 cm 離れた位置での線量当量率 (Sv/h)を入力データで指定した冷却時間分点毎に表示する一覧であり、入力データで LPR(8) = 1 とした場合に、各ターゲット層の計算後に印刷される。また、ターゲット層が2層以上の場合、全ターゲット層の計算が終了した後に、その合計値(Sv/h)が印刷される。一覧の見方は(12)と同じである。

以上の(11)から(15)までの出力は各照射時間毎に繰り返し表示される。

4. 3 THRESMコードの使用方法

4. 3. 1 THRESMコードの機能

THRESMコードは、入射粒子とターゲット核種の組合せについて、核反応のしきいエネルギー及びクーロン障壁エネルギーを計算するコードである。

(1) 入射粒子

入射粒子は、中性子及び水素以上の核種を対象とする。

(2) 核反応の種類

複合核(ターゲット核+入射粒子)から放出される粒子の質量数及び原子番号の合計が、それぞれ0～22及び0～9間での起り得る全反応について、それぞれの核反応のしきい値を計算する。ただし、放出される粒子は γ 、n、p、d、t、 ^3He 、 ^4He の7種類を考慮する。

(3) 計算結果

生成核種毎に、核反応数、核反応の種類とそのしきいエネルギー、最大及び最小のしきいエネルギーを出力する。

4. 3. 2 THRESMコードの実行用ジョブ制御文及び入力データ例

THRESM実行のためのジョブ制御文及び入力データ例を以下に示す。ここでは、陽子が銅ターゲットに入射する例を採用した。

THRESM ジョブ制御文例 (FACOM M780)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
T(01) C(02) W(03) I(02)
// EXEC LMGO, LM='J661B.THRESM'
//*
//FT05F001 DD DSN=J661B.TRTEST.DATA, DISP=SHR, LABEL=(..IN) ←入力データファイル
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...

```

THRESM 入力データ例 (陽子が銅ターゲットに入射する場合)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
PROJ 1 1
TMAT 29 65
T
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...

```

4. 3. 3 THRESMコードの入力データ形式

THRESMの入力データ形式を以下に示す。(デフォルト値は(D=)で、制限値は<>で記載)

コマンド名: PROJ 入射粒子の指定

書 式: PROJ IZ1 IA1

設 定 例: PROJ 1 1

コマンド	データ	内 容
PROJ	IZ1, IA1	IZ1 入射粒子の原子番号 (D=0)
	入射粒子の指定	IA1 入射粒子の質量数 (D=0)

コマンド名: TMAT ターゲット核種の指定

書 式: TMAT JZ1 JA1

設 定 例: TMAT 26 56

コマンド	データ	内 容
TMAT	JZ1, JA1	JZ1 ターゲット核種の原子番号 (D=0)
	ターゲット核種の指定	JA1 ターゲット核種の質量数 (D=0)

コマンド名: T 入力データの終了

書 式: T

設 定 例: T

コマンド	データ	内 容
T	なし	1カラム目にTを入力し、2～6カラムは空白とすると入力データの終了とみなす

4. 3. 4 THRE SMコードの出力データ形式

THRE SMコードによる計算実行後、論理ユニット6に出力される実行結果の内容について以下に述べる。

(1) INPUT DATA LIST

入力したターゲットと入射粒子を表示する。

TARGET	ターゲット核種
PROJECTILE	入射粒子

核種（入射粒子）の表示方法は、以下の通りである。

表示例 290630 = 原子番号(29) x 10000 + 質量数(63) x 10 + レベル

(2) NUCLEAR REACTION

核反応の形式、生成核種等の表示をする。

<< Z=Z- n A=A- m >>	入射粒子とターゲット核種の複合核から陽子 n個、核子 m個が放出される
	核反応
PRODUCT	生成核種
MIN. THRES.	前記の核反応しきいエネルギーの最小値
MAX. THRES.	前記の核反応しきいエネルギーの最大値

(3) THRESHOLD ENERGY

各放出粒子毎の核反応のしきいエネルギーを表示する。

REACTION	核反応の放出粒子
	ガンマ線(GAMMA)、中性子(N)、陽子(P)、重陽子(D)、三重陽子(T)、 ³ He(H)、 ⁴ He粒子(A)

表示例 N3PD : 中性子1個、陽子3個、重陽子1個

THRESHOLD(MEV)	しきいエネルギー(MeV)
----------------	---------------

4. 4 ELOSSMコードの使用方法

4. 4. 1 ELOSSMコードの機能

ELOSSMコードは、単層あるいは多重層ターゲット内でのイオンのエネルギー損失を計算し、残余エネルギーの阻止能・射影飛程を計算するコードである。本コードは、IRACMコードと同様な入力形式で、前述データを計算できることが特徴である。

(1) 入射粒子

入射粒子として、単一エネルギーの軽・重イオンを対象とする。

計算可能な軽・重イオンの最大エネルギーは、ターゲット内のエネルギー損失計算式の制限から、100 MeV/amu である。

(2) ターゲット

計算の幾何学的形状は、1次元平板多重層である。

ターゲット層数は、最大5層まで可能である。各ターゲット層に含まれる核種数は、最大50核種まで指定可能である。

ターゲット厚さの単位は(mg/cm^2)と(cm)が選択できる。核種の組成は、重量比の他に化学組成比で指定することが可能である。

ターゲットの元素のみを入力データで指定して、天然存在元素の密度及び核種組成を内蔵データから引用することが可能である。

(3) 計算結果

本コードは、

- 1) ターゲットへの入射イオンの阻止能、飛程、
- 2) ターゲット中のイオンのエネルギー吸収(損失)

を計算する。本コードは、多重層ターゲットを対象としたこれらのデータの計算が可能である。

4. 4. 2 ELOSSMコードの実行用ジョブ制御文及び入力データ例

ELOSSMコード実行のためのジョブ制御文及び入力データ例を以下に示す。ここでは、70 MeV陽子が銅-鉄-銅ターゲットに入射する例を採用した。

ELOSSM ジョブ制御文例 (FACOM M780)

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

T(01) C(02) W(03) I(02)

// EXEC LMGO, LM='J661B. ELOSSM'

//*

//FT05F001 DD DSN=J661B. ELTEST. DATA, DISP=SHR, LABEL=(... IN) ←入力データファイル

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

ELOSSM 入力データ例 (70 MeV陽子が銅-鉄-銅ターゲットに入射する場合)

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

MODE 1 1

TTC 70MEV PROTON ON CU-FE THICK TARGET STOPPING POWER/RANGE

LPR 0

TTP 70MEV PROTON

PROJ 1 1

EPROJ 70.0 1.0 1.0 MEV

TTG NATURAL COPPER-IRON TARGET SYSTEM

TLM1 MG 10 20. 2.0

TLM2 CM 20 0.5 0.1

TTM10 NATURAL COPPER

MAT10 8.93 W 29 0 1.0

TTM20 NATURAL IRON

MAT20 7.79 W 26 0 1.0

UNIT 0 0

T

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

4. 4. 3 ELOSSMコードの入力データ形式

ELOSSMの入力データ形式を以下に示す。(デフォルト値は(D=)で、制限値は〈〉で記載)

コマンド名: MODE 計算モードの指定

書 式: MODE IDP ISE

設 定 例: MODE 1 1

コマンド	データ	内 容
MODE	IDP 計算モード指定 (D=0)	IDP 計算モードの指定 (D=0) =0 : エネルギー損失計算 =1 : 阻止能・射影飛程計算
	ISE 処理モード指定 (D=0)	ISE 処理モードの指定 (D=0) =0 : 飛程と入射エネルギーの関係を近似計算する =1 : 飛程と入射エネルギーの関係を1keVの差まで 繰り返し計算する

コマンド名: TTC 計算タイトルの指定

書 式: TTC TIN1

設 定 例: TTC CALCULATION OF STOPPING POWER AND RANGE

コマンド	データ	内 容
TTC	TIN1 計算タイトル 〈66文字以内〉	TIN1 任意の計算タイトル 〈66文字以内〉

コマンド名: LPR 出力帳票形式の指定

書 式: LPR IPR

設 定 例: LPR 0

コマンド	データ	内 容
LPR	IPR 出力形式の指定 (D=0)	IPR 出力帳票形式の指定 (D=0) =0 : 連続出力 =1 : 入射エネルギー毎に改頁

コマンド名: TTP 入射荷電粒子タイトルの指定

書 式: TTP TIN3
 設定例: TTP 90MEV PROTON

コマンド	データ	内 容
TTP	TIN3 入射粒子タイトル <66文字以内>	TIN3 任意の入射荷電粒子のタイトル <66文字以内>

コマンド名: PROJ 入射荷電粒子の指定
 書 式: PROJ JZ1 JA1
 設定例: PROJ 1 1

コマンド	データ	内 容
PROJ	JZ1, JA1 入射粒子の指定 (D=0, 0)	JZ1 入射粒子の原子番号 (D=0) JA1 入射粒子の質量数 (D=0) <中性子(JZ1=0, JA1=1)の指定は不可>

コマンド名: EPROJ 入射荷電粒子エネルギーの指定
 書 式: EPROJ EPA EPB EPD UTEP
 設定例: EPROJ 70.0 90.0 10.0 MEV

コマンド	データ	内 容
EPROJ	EPA, EPB, EPD, UTEP 入射エネルギー条件 の指定 (D=0, 0, 0, 'MEV')	EPA 入射粒子のエネルギー (初期値) (D=0) EPB 入射粒子のエネルギー (最終値) (D=0) <EPA<EPB> EPD 入射粒子のエネルギー間隔 (D=0) UTEP 入射粒子のエネルギー単位 (D='MEV') ='MEV' : MeV ='M/A' : MeV/u

コマンド名： T T G 幾何形状タイトルの指定
 書 式： T T G TIN2
 設 定 例： T T G TARGET SYSTEM OF IRON-COPPER THICK CONFIGURATION

コマンド	データ	内 容
TTG	TIN2 幾何形状タイトル <66文字以内>	TIN2 任意の幾何形状のタイトル <66文字以内>

コマンド名： T L M n ターゲット層 n の幾何形状の指定
 書 式： T L M n UTL M TKL DTL
 設 定 例： T L M 1 CM 10 2.0 0.1

コマンド	データ	内 容
TLMn	UTL, M, TKL, DTL ターゲット層 n の厚さ等の指定。 M は物質の識別 番号で後述する MATmのmに対応 (D='MG', 0, 0, 0) <n=5以内>	UTL 第 n ターゲット層の厚さの単位 (D='MG') ='MG' : mg/cm ² ='CM' : cm M 任意の物質識別番号 (後述の MATm の m に対応する) TKL 第 n ターゲット層の厚さ (D=0) DTL 第 n ターゲット層の計算時の空間メッシュ増分値 (D=0) (単位は UTL に従う) <nはターゲット層番号で、入射面より順番に 1、2、3、… と与える>

コマンド名： T T M m ターゲット物質 m のタイトルの指定
 書 式： T T M m TIN5
 設 定 例： T T M 1 0 NATURAL IRON

コマンド	データ	内 容
TTMm	TIN5 物質 m のタイトル <66文字以内>	TIN5 任意の物質 m のタイトル <66文字以内>

コマンド名: MATm ターゲット物質mの組成等の指定
 書 式: MATm DEN UTF { JZ2 AA2 ABD }j
 設 定 例: MAT10 7.8 W 26 0.0 1.0 ..

コマンド	データ	内 容
MATm	DEN, UTF, {JZ2, AA2, ABD}j ターゲット物質 mの組成の指定 { }jは物質構成 元素jについて 繰り返し与える。 <j=50以内> (D=0, 'C', (0, 0, 0))	DEN 物質mの密度 (g/cm ³) (D=0) 物質が単体の場合のみ、0を指定することができる。 その場合は密度として内蔵データが使用される。 UTF 物質mの構成元素の組成単位 (D='C') ='W' : 密度比 ='C' : 化学組成比 JZ2 物質mの構成元素jの原子番号 (D=0) AA2 物質mの構成元素jの原子量 (D=0) 0を指定した場合は内蔵データが使用される。 ABD 物質mの構成元素jの組成比 (D=0) UTF='W' と設定した場合は密度比を入力する。 UTF='C' と設定した場合は化学組成比を入力する。

コマンド名: UNIT 計算結果の単位指定
 書 式: UNIT IUTSP IUTRP
 設 定 例: UNIT 0 1

コマンド	データ	内 容
UNIT	IUTSP, IUTRP 計算結果の単位 指定 (D=0, 0)	IUTSP 阻止能の単位 (D=0) =0 : MeV/(mg/cm ²) =1 : eV/(10 ¹⁵ atoms/cm ²) IUTRP 飛程の単位 (D=0) =0 : mg/cm ² =1 : μm

コマンド名： T 入力データの終了
 書 式： T
 設 定 例： T

コマンド	データ	内 容
T	なし	1カラム目にTを入力し、2～6カラムは空白とすると入力データの終了とみなす

コマンド名： C 任意のコメントの設定
 書 式： C
 設 定 例： C ARBITRARY COMMENTS BY USERS

コマンド	データ	内 容
C	任意のコメント	1カラム目にCを入力し、2～6カラムは空白とすると、7～72カラムのデータはコメントとみなす

4. 4. 4 ELOSSMコードの出力データ形式

ELOSSMコードによる計算実行後、論理ユニット6に出力される実行結果の内容について以下に述べる。

(1) INPUT DATA LIST

入力データをチェックしやすいように、入力データをそのまま表示する。また、入力データの論理エラーをコード内部でチェックした結果が、WARNING及びFATALとして表示される。

WARNING	入力データ内に、注意すべきデータがある。計算を実行する。
FATAL	入力データ内に、致命的なエラーがある。計算を実行しない。 エラーの説明に従い、データを修正し再計算を行う必要がある。

(2) ENERGY LOSS INFORMATION

入力データで、エネルギー損失計算(IDP=0)を指定した場合に表示される情報の意味を述べる。

TARGET STACK(S)/ENERGY LOSS INFORMATION	エネルギー損失計算を指定した表示
PROJECTILE : Z = n A = m	入射荷電粒子の原子番号(n)、質量数(m)
PROJECTILE TITLE	入射荷電粒子のタイトル(TIN3)
TARGET SYSTEM TITLE	ターゲットの幾何形状のタイトル(TIN2)

次に、計算条件の表示をする。

INCIDENT ENERGY	入射荷電粒子エネルギー
MATERIAL	ターゲットの構成元素記号
ATOM. WEI.	ターゲットの原子量
ABUNDANCE	ターゲットの組成比 (W, Cの記号は、入力データ参照)
DENS(G/CM3)	ターゲットの密度(g/cm ³)
THICK(tt)	ターゲットの厚さ(単位が tt)
TOTAL ABD.	入力された組成比の合計
MATERIAL =	ターゲット物質のタイトル(TIN5)

入力データで指定した、計算時の空間メッシュ増分値毎に計算値が表示される。

MESH NO.	ターゲットの空間メッシュ増分値の番号
THICKNESS(tt)	荷電粒子のターゲット透過厚さ(単位が tt)
INCIDENT E	ターゲットの該当するメッシュへ入射する荷電粒子のエネルギー
E LOSS	メッシュ内でのエネルギー損失量(MeV)
RESIDUAL E	荷電粒子のターゲット透過後のエネルギー(MeV)
STOPPING P(ff)	ターゲットの該当するメッシュへ入射する荷電粒子のエネルギーに対する阻止能(単位が ff)
PR. RANGE(gg)	上記と同じ条件での射影飛程(単位が gg)
LOSS ERRS	エネルギー損失計算時のプログラム内での計算誤差(MeV)

(エネルギー損失計算の近似式の誤差を含んでいない)

TOTAL エネルギー損失及び計算誤差の合計(MeV)

これらの計算結果が、ターゲット層及びエネルギー毎に表示される。

(3) STOPPING POWER INFORMATION

入力データで、阻止能・射影飛程計算(IDP=1)を指定した場合に表示される情報の意味を述べる。

TARGET STACK(S)/STOPPING POWER	阻止能・射影飛程計算を指定した表示
/PROJECTED RANGE INFORMATION	
PROJECTILE : Z = n A = m	入射荷電粒子の原子番号(n)、質量数(m)
PROJECTILE TITLE	入射荷電粒子のタイトル(TIN3)
TARGET SYSTEM TITLE	ターゲットの幾何形状のタイトル(TIN2)

次に、計算のターゲット条件の表示をする。

MATERIAL	ターゲットの構成元素記号
ATOM. WEI.	ターゲットの原子量
ABUNDANCE	ターゲットの組成比 (W, Cの記号は、入力データ参照)
DENS(G/CM3)	ターゲットの密度(g/cm ³)
THICK(tt)	ターゲットの厚さ(単位が tt)
TOTAL ABD.	入力された組成比の合計
MATERIAL =	ターゲット物質のタイトル(TIN5)

多重層のターゲットに対して、各層に入射する荷電粒子エネルギーの阻止能・射影飛程の計算結果が表示される。

-- STOPPING POWER --	阻止能の計算結果範囲
PR. RANGE	射影飛程計算結果
ENERGY	ターゲットの該当する層へ入射する荷電粒子のエネルギー
TOTAL(hh)	阻止能 (電子的阻止能+核的阻止能) (単位が hh)
ELECTRON(hh)	電子的阻止能(単位が hh)
NUCLEAR(hh)	核的阻止能(単位が hh)

これらの計算結果が、ターゲット層及びエネルギー毎に表示される。

4. 5 XEDITERコードの使用方法

4. 5. 1 XEDITERコードの機能

XEDITERコードは、以下に示す種類の形式の放射化断面積を読み込み、データの追加・更新等の編集処理を行うコードである。編集されたライブラリの内容を印刷する機能も有する。編集結果である放射化断面積ライブラリは、放射化量計算コードIRACMのデータライブラリとなる。

- 1)放射化断面積の近似計算値（不使用）
- 2)ALICE 85放射化断面積計算ライブラリ
- 3)実験データライブラリ形式入力用
- 4)実験データ内蔵ライブラリ：SIGMA.DAT⁵⁾（不使用）
- 5)カードイメージあるいはファイル入力用
- 6)放射化断面積ライブラリACSELAM(DATA-POOL型式)

なお、編集後に出力されるライブラリは上記6)の形式と同一であるため、再度編集対象とすることが可能である。また、DATA-POOL形式は直接編成ファイルであるため、同一のファイルに対してデータを追加・更新することが可能である。

(1) 取り扱うデータの範囲

1)放射化断面積の近似計算値（不使用）

OSCARコード内で使用している、放射化断面積の経験式による計算結果が得られる。陽子から⁴He粒子に至る軽イオンを入射粒子として引き起こされる核反応のうち、中性子放出反応の放射化断面積の経験式による結果を用いることができる。ただし、核反応の種類が限定されているため、特定の核反応を対象とした断面積を求める場合に使用するのが望ましい。

今後、入射粒子とターゲット核種及び核反応について、放射化断面積が系統的に与えられる経験式等が得られた場合に、使用する予定である。

2)ALICE 85放射化断面積計算ライブラリ

初期に開発したIRACコード用の放射化断面積ライブラリで、ALICE 85コード¹²⁾を用いて計算した放射化断面積データである。ALICE-Fコードで作成したACSELAM放射化断面積ライブラリの比較等に使用される。

3)実験データライブラリ形式入力用

EXFOR¹³⁾等の放射化断面積実験データファイルから引用しやすいレコード形式を採用している。使用者が入力データを作成して使用する。

4)実験データ内蔵ライブラリ：SIGMA.DAT（不使用）

OSCARコードで使用されている放射化断面積実験データライブラリが引用される。ただし、断面積データが系統的に整備されていないため、特定の目的に使用する。

5)カードイメージあるいはファイル入力用

カードイメージで放射化断面積を入力する場合には、使用しやすいレコード形式を採用している。使用者が入力データを作成して使用する。

6)放射化断面積ライブラリACSELAM(DATA-POOL型式)

ALICE-Fコードで計算した放射化断面積ライブラリACSELAMからデータを引用する。

(2) 編集方法

編集方法には、1つのターゲット核種に対して生成核種を1つ1つ直接指定しながら編集する直接指定と、1つのターゲット核種に対して生成核種範囲を指定して、その範囲内にある反応断面積の全てを編集する範囲指定とがある。この直接指定と範囲指定は、混在して設定することが可能であるが、常に直接指定が優先される。直接指定で既に設定された生成核種が範囲指定の生成核種範囲内に存在しても、その核種の編集処理は無視される。

(3) 編集範囲

編集可能な入力ファイル数は作業領域の関係から20に制限されているが、プログラム内部のパラメータ文中のMLMAXの値を再設定することにより変更することが可能である。同様に、ターゲット核種数、生成核種数の制限値はそれぞれ150、207であるが、パラメータ文中のMAMAX、IRMAXの再設定により変更できる。また、1つのデータに対するデータ点数の制限値は300であり、MEMAXの再設定で変更可能である。

(4) 編集時の注意

IRACMコードは、この編集ライブラリを使用して放射化量を計算するため、計算に必要な核種及び反応についての放射化断面積を適切に編集しなければならない。また、編集処理は入射粒子毎に実施する必要がある。

放射化断面積編集コードXEDITORで取扱う各ライブラリの形式は、第5章で詳述する。編集後に出力される編集ライブラリのコメントレコードには、各入力ライブラリに格納されているコメントの一部、または後述する入力データ形式のコマンドTTMm/TTRkで与えられたコメントが格納される。

(5) その他

上記のファイル形式の他に、ALICE-Fで計算されたENDF-5形式のデータからACSELAM形式ライブラリを直接作成するコードとして、IRACLIBコードが用意されている。

4. 5. 2 XEDITERコードの実行用ジョブ制御文及び入力データ例

XEDITERコード実行のためのジョブ制御文及び入力データ例を以下に示す。ここでは、陽子における銅の放射化断面積を編集する例を採用した。

XEDITER ジョブ制御文例 (FACOM M780)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..
T(01) C(02) W(06) I(04) E(01)
// EXEC LMGO, LM=' J661B.XEDITERM'
// *
// FT05F001 DD DSN=J661B.XETEST. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN) ←入力データファイル
// FT01F001 DD DSN=&&WK1. UNIT=WK10. SPACE=(TRK, (100, 20)), ←ワークファイル
// DCB=(LRECL=23472. BLKSIZE=23476. RECFM=VBS)
// FT90F001 DD DSN=J661B.DPIRACL. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , IN) ←放射化断面積入力ライブラリ
// FT99F001 DD DSN=J661B.DPIRACR. DATA, DISP=SHR, LABEL=(, , OUT) ←放射化断面積出力ライブラリ
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

```

XEDITER 入力データ例 (陽子における銅の放射化断面積の編集)

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..
PROJ 1 1
TTC PROTON REVISION 1.1
LPR 2
OUTU 99
ERANGE 0 0
VERS 100
TTM10 CU-63(P,X) WITH EXP100
TMT10 2056 29 63 0
PMT10 101 30 63 0 3 5 5 ¥ CU-63(P,N)ZN-63 REVISION
PMT10 102 30 62 0 3 5 5 ¥ CU-63(P,2N)ZN-62 REVISION
PMT10 103 30 61 0 3 5 5 ¥ CU-63(P,3N)ZN-61 REVISION
TTM20 CU-65(P,X) WITH EXP200
TMT20 2057 29 65 0
PMT20 201 30 65 0 3 5 5 ¥ CU-65(P,N)ZN-65 REVISION
PMT20 202 30 64 0 3 5 5 ¥ CU-65(P,2N)ZN-64 REVISION
PMT20 203 30 63 0 3 5 5 ¥ CU-65(P,3N)ZN-63 REVISION
TTR10 CU-63(P,X) FROM DPIRACL
TMR10 2056 29 63 0 3 6 90 0 0 0 0 ¥ CU-63(P,X) COPY
TTR20 CU-65(P,X) FROM DPIRACL
TMR20 2057 29 65 0 3 6 90 0 0 0 0 ¥ CU-65(P,X) COPY
DE101 1.0 2.0 5.0 10.0 20.0 50.0 100.0
DD101 2.5E1 3.0E1 3.5E1 5.0E1 8.0E1 7.0E1 4.5E1
DE102 1.1 2.1 5.1 11.0 21.0 51.0 110.0
DD102 2.5 3.0 3.5 5.0 8.0 7.0 4.5
DE103 1.2 2.2 5.2 12.0 22.0 52.0 120.0
DD103 2.5E-1 3.0E-1 3.5E-1 5.0E-1 8.0E-1 7.0E-1 4.5E-1
DE201 1.3 2.3 5.3 13.0 23.0 53.0 130.0
DD201 3.0E1 5.0E1 8.0E1 7.0E1 9.0E1 8.0E1 6.0E1
DE202 1.4 2.4 5.4 14.0 24.0 54.0 140.0
DD202 3.0 5.0 8.0 7.0 9.0 8.0 6.0
DE203 1.5 2.5 5.5 15.0 25.0 55.0 150.0
DD203 3.0E-1 5.0E-1 8.0E-1 7.0E-1 9.0E-1 8.0E-1 6.0E-1
T
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..

```

4. 5. 3 XEDITERコードの入力データ形式

XEDITERの入力データ形式を以下に示す。(デフォルト値は(D=)で、制限値は〈〉で記載)

コマンド名: PROJ 入射粒子の指定
 書 式: PROJ JZ1 JA1
 設 定 例: PROJ 1 1

コマンド	データ	内 容
PROJ	JZ1, JA1 入射粒子の指定 (D=0, 0)	JZ1 入射粒子の原子番号 (D=0) JA1 入射粒子の質量数 (D=0)

コマンド名: OUTU 編集ライブラリ出力論理ユニットの指定
 書 式: OUTU IUNIT
 設 定 例: OUTU 90

コマンド	データ	内 容
OUTU	IUNIT 出力ユニット指定 (D=99)	IUNIT 編集ライブラリ出力論理ユニット (D=99) 編集結果を出力するDATA-POOLの論理番号を 指定する。

コマンド名: TTC 編集タイトルの指定
 書 式: TTC TIN1
 設 定 例: TTC REVISION 1.2 PROTON

コマンド	データ	内 容
TTC	TIN1 計算タイトル 〈66文字以内〉	TIN1 任意の編集タイトル 〈66文字以内〉 先頭から20文字のみが出力DATA-POOLの 第1ノードのコメントとして格納される。

コマンド名： LPR 出力帳票形式の指定
 書 式： LPR LIBP
 設 定 例： LPR 0

コマンド	データ	内 容
LPR	LIBP 出力形式の指定 (D=0)	IPR 断面積データの出力帳票形式の指定 (D=0) =0 : 出力しない(更新情報のみ印刷する) =1 : 詳細情報を含む編集入力データを出力する =2 : 編集後のデータのみ出力する(編集対象核種のみ) =3 : 出力論理ユニットに指定したファイルに格納されている全核種のデータを出力する

コマンド名： ERANGE 編集エネルギー範囲の指定
 書 式： ERANGE ESMIN ESMAX
 設 定 例： ERANGE 0.0 150.0

コマンド	データ	内 容
ERANGE	ESMIN, ESMAX 編集エネルギー範囲 の指定 (D=0, 0)	ESMIN 編集する入射粒子最小エネルギー (MeV) (D=0) ESMAX 編集する入射粒子最大エネルギー (MeV) (D=0) ESMAX=0 の場合は、編集入力データの格納されている 全エネルギー範囲を編集対象とする。

コマンド名： VERS 更新識別番号(バージョン)の指定
 書 式： VERS NVN
 設 定 例： VERS 100

コマンド	データ	内 容
VERS	NVN バージョン番号 の指定 (D=0) <NVN=9999以内>	NVN 更新識別番号(バージョン)の指定 (D=0) 出力DATA-POOLに格納するバージョン番号を 設定する。NVN=0 の場合、出力DATA-POOLに 既にバージョン番号が設定されている場合は、自動的 に1が追加される。新規設定の場合はバージョン番号 を1とする。

コマンド名： TTMn ターゲット核種nのコメントの指定（生成核種直接指定）

書 式： TTMn TIN2

設 定 例： TTM1 FE-26(P.X) FROM EXP100

コマンド	データ	内 容
TTMn	TIN2 ターゲット核種 nのコメント。 nは後述する TMTnのnに対応 <24文字以内> <TTMnレコードは 150枚以内>	TIN2 第nターゲット核種の任意のコメント<24文字以内> 出力DATA-POOLの第3ノードのコメント として格納される。

コマンド名： TMTn ターゲット核種nの指定（生成核種直接指定）

書 式： TMTn NMAT IZ2 IA2 IS2

設 定 例： TMT1 2047 26 56 0

コマンド	データ	内 容
TMTn	NMAT, IZ2, IA2, IS2 生成核種を直接 指定する場合の ターゲット核種 nの指定。 nは後述する PMTnのnに対応 (D=0, 0, 0, 0) <TMTnレコードは 150枚以内>	NMAT 第nターゲット核種のDATA-POOL識別番号 (D=0) ターゲット核種はDATA-POOLの第3ノード名 (4桁の番号)で識別される。出力DATA-POOLに 既存の核種の場合は、識別番号は一致させる必要があり、 新規核種の場合は、既存の番号を設定してはならない。 IZ2 第nターゲット核種の原子番号 (D=0) IA2 第nターゲット核種の質量数 (D=0) IS2 第nターゲット核種の励起状態 (D=0) =0 : stable =1 : metastable

コマンド名： PMTn ターゲット核種nにおける生成核種の指定（生成核種直接指定）
 書 式： PMTn M IZ3 IA3 IS3 INTP LIBD LIBR
 設 定 例： PMT1 100 27 56 0 3 5 5

コマンド	データ	内 容
PMTn	M, IZ3, IA3, IS3, INTP, LIBD, LIBR 生成核種を直接 指定する場合の ターゲット核種 nにおける生成 核種の指定 nは前述した TMTnのnに対応 する。 (D=0, 0, 0, 0, 4, 0, 0) <PMTnカードは 207枚以内>	M 任意のデータ識別番号 (D=0) 後述するDEm、DDmコマンドのmに対応させる。 IZ3 生成核種の原子番号* (D=0) IA3 生成核種の質量数* (D=0) IS3 生成核種の励起状態* (D=0) =0 : stable =1 : metastable INTP データ内挿方式 (D=4) =0 : 編集入力ファイルに格納されている内挿方式 (設定されていない場合はデフォルト値を設定) =1 : Y is constant in X =2 : Y is linear in X =3 : Y is linear in ln(X) =4 : ln(Y) is linear in X =5 : ln(Y) is linear in ln(X) =6 : OSCAR内挿公式 LIBD 放射化断面積入力形式 (D=0) =1 : 内蔵OSCAR計算 =2 : ALICE/85ライブラリ =3 : 実験データライブラリ =4 : SIGMA.DATA(OSCAR内蔵ライブラリ) =5 : カードイメージまたはファイル入力 =6 : 放射化断面積ライブラリ(DATA-POOL形式) LIBR 放射化断面積入力論理ユニット (D=0) <LIBR≠1, 6, 7>

* 生成核種以外のガス生成反応断面積等(MT=5, 201~207)の編集は IZ3=IA3=0、IS3=MT と設定する。

コマンド名: DEm データ識別番号mに対するエネルギー値の指定
 書式: DEm {ENIN}j
 設定例: DE100 1.0 5.0 10.0 50.0 100.0 ..

コマンド	データ	内容
DEm	{ENIN}j エネルギー値 の設定 <j=300以内> <DEmレコードは 207枚以内>	ENIN データ識別番号mに対する入射粒子エネルギー (MeV) 後述するDDmコマンドに対応した実験室系のエネルギーを設定する。値は昇順で設定する。

*) PMTnコマンドで LIBD=5、LIBR≠5 を指定した場合は、指定した論理ユニット LIBR に設定したファイル中に格納されているDEmレコードを読み込む。

コマンド名: DDm データ識別番号mに対する断面積データの指定
 書式: DDm {SNIN}j
 設定例: DD100 50.0 55.0 60.0 50.0 25.0 ..

コマンド	データ	内容
DDm	{SNIN}j 断面積データ の設定 <j=300以内> <DDmレコードは 207枚以内>	SNIN データ識別番号mに対する放射化断面積データ (mb) 前述したDEmコマンドに対応した断面積の値を設定する。データ数は300点以内で任意に設定可能であるが、DEmコマンドで設定したエネルギー点数と一致させる必要がある。

*) PMTnコマンドで LIBD=5、LIBR≠5 を指定した場合は、指定した論理ユニット LIBR に設定したファイル中に格納されているDDmレコードを読み込む。

コマンド名： TTRk ターゲット核種kのコメントの指定（生成核種範囲指定）
 書 式： TTRk TIN3
 設 定 例： TTR1 CU-65(P.X) FROM EXP200

コマンド	データ	内 容
TTRk	TIN3 ターゲット核種 kのコメント。 kは後述する TMRkのkに対応 <24文字以内> <TTRkレコードは	TIN3 第kターゲット核種の任意のコメント <24文字以内> 出力DATA-POOLの第3ノードのコメント として格納される。

コマンド名： TMRk ターゲット核種kにおける生成核種範囲の指定 (生成核種範囲指定)
 書 式： TMRk NRMAT IZ4 IA4 IS4 INTPR LIBDR LIBRR IZMIN IZMAX IAMIN IAMAX
 設 定 例： TMR1 2057 29 65 0 3 6 92 0 0 0 0

コマンド	データ	内 容
TMRk	NRMAT, IZ4, IA4, IS4, INTPR, LIBDR, LIBRR, IZMIN, IZMAX, IAMIN, IAMAX 生成核種を範囲 指定する場合の ターゲット核種 kにおける生成 核種の範囲指定 kは前述した TTRkのkに対応 (D=0, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0) <TMRkレコードは 150枚以内>	NRMAT 第kターゲット核種のDATA-POOL識別番号 (D=0) ターゲット核種はDATA-POOLの第3ノード名 (4桁の番号)で識別される。出力DATA-POOLに 既存の核種の場合は、識別番号は一致させる必要があり、 新規核種の場合は、既存の番号を設定してはならない。 IZ4 第kターゲット核種の原子番号 (D=0) IA4 第kターゲット核種の質量数 (D=0) IS4 第kターゲット核種の励起状態 (D=0) =0 : stable =1 : metastable INTPR データ内挿方式 (D=4) =0 : 編集入力ファイルに格納されている内挿方式 (設定されていない場合はデフォルト値を設定) =1 : Y is constant in X =2 : Y is linear in X =3 : Y is linear in ln(X) =4 : ln(Y) is linear in X =5 : ln(Y) is linear in ln(X) =6 : OSCAR内挿公式 LIBDR 放射化断面積入力形式 (D=0) =1 : 内蔵OSCAR計算 =2 : ALICE/85ライブラリ =3 : 実験データライブラリ =4 : SIGMA.DAT(Oscar内蔵ライブラリ) =6 : 放射化断面積ライブラリ(DATA-POOL形式) LIBRR 放射化断面積入力論理ユニット (D=0) <LIBRR≠1, 5, 6, 7> IZMIN 生成核種範囲の最小原子番号* (D=0) IZMAX 生成核種範囲の最大原子番号 (D=0) IAMIN 生成核種範囲の最小質量数* (D=0) IAMAX 生成核種範囲の最大質量数 (D=0) 生成核種範囲として、IZMAX=0 および IAMAX=0 を設定 した場合は、編集入力ファイルに格納されている全ての 生成核種が指定されたものとみなす。

*)生成核種以外のガス生成反応断面積等(MT=5, 201~207)を含む編集は IZMIN=IAMAX=0 と設定する。

コマンド名： T 入力データの終了
 書 式： T
 設 定 例： T

コマンド	データ	内 容
T	なし	1カラム目にTを入力し、2～6カラムは空白とすると入力データの終了とみなす

コマンド名： C 任意のコメントの設定
 書 式： C
 設 定 例： C ARBITRARY COMMENTS BY USERS

コマンド	データ	内 容
C	任意のコメント	1カラム目にCを入力し、2～6カラムは空白とすると、7～72カラムのデータはコメントとみなす

4. 6 ワークステーション版 I R A C M コードシステムの使用法

インターネットを経由して、I R A C M コードシステムを使用できるようにするために、ワークステーション (WS) 上に WS 版 I R A C M コードシステムを整備した。各コードの入力データの形式は、大型計算機 (FACOM-M780) と同一であるが、OS が UNIX になったことから、計算の実行方法が変更された。

ここでは、WS 版の各コードの実行方法について述べる。なお、利用者は利用者のログインシェルから実行できるようにするために、各コードの実行用シェルスクリプトのあるディレクトリを予め PATH で定義しなければならない。

4. 6. 1 I R A C M コードの実行方法

(1) I R A C M の実行

I R A C M コードの実行用シェルスクリプトは、ir2x である。以下に ir2x を用いた WS 版 I R A C M コードの使用法の基本例を示す。なお、太字は会話形式でのユーザー入力を示し、iracsys> はワークステーションの iracsys セッションにおけるプロンプトである。

[必要なファイル名を全て入力する場合]

```
iracsys>ir2x
-----
Please enter the input file name =====>input1
Please enter the output file name =====>output1
Output file output1 already exists.
Do you want to override it [y or n] ==>y
Please enter the debug file name =====>debug.out
-----
input file name ..... input1
output file name ..... output1
debug file name ..... debug.out
start of IRAC2
Execution of IRAC2 was completed.
iracsys>
```

ir2x と入力すると、最初に I R A C M の入力データのファイル名が要求される。この例では、input1 をファイル名として与えている。次に、出力ファイル名が要求され、この例では output1 を与えている。output1 が既に存在している場合、上書きを許可するかどうかの問い合わせがなされ、y と入力することにより上書きされる。もし n と入力し許可を与えなければ、再度出力ファイル名が要求される。最後に、デバッグ出力ファイル名が要求され、この例では debug.out を与えている。デバッグ出力ファイルは、既にファイルが存在しているかどうかのチェックは行われず、入力されたファイル名を使用する。その後、3つの最終的なファイル名が示され、'start of IRAC2' のメッセージが I R A C M の実行の開始を表示する。

I R A C M ジョブは foreground で実行されるため、実行の終了を知らせる "Execution of IRAC2 was completed" のメッセージまでプロンプトは表示されない。

[暗黙のファイル名を全て使用する場合]

次の暗黙のファイル名を使用して実行することも可能である。

```

入力データファイル名 : input
出力ファイル名       : output
デバッグ出力ファイル名 : debug.out

```

```

iracsys>ir2x no
input file name ..... input
output file name ..... output
debug file name ..... debug.out
start of IRAC2
Execution of IRAC2 was completed.
iracsys>

```

ir2x no と入力するか、全てのファイル名を与えなければ、暗黙のファイル名を使用して計算が実行される。

(2) データライブラリの変更

IRACMを実行するための ir2x は、計算に使用する4つのデータライブラリが論理ユニットに固定されている。ユーザーがデータライブラリを変更したい場合には、ir2x 中の次の setenv 指定部分のファイル名を変更するだけでよい。現在、ir2x で指定されているファイル名を次に示す。

```

スクリプト ir2x (論理ユニット設定部のみ) の例
## definition of path name of directory and file
set LIBDIR=/home/iracsys/irac/src/lib
#          ftn20 = unit 20 : decay data library
#          ftn21 = unit 21 : activation cross section library(ACSELA)
#          ftn23 = unit 23 : ORIGEN-2 data library
#          ftn24 = unit 24 : gamma-ray data library
setenv ftn20 ${LIBDIR}/decaylib
setenv ftn21 ${LIBDIR}/acselam.data
setenv ftn23 ${LIBDIR}/origen2.lib12
setenv ftn24 ${LIBDIR}/gammalib

```

4. 6. 2 THRESMコードの実行方法

THRESMコードの実行用シェルスクリプトは、thrx である。以下に thrx を用いたWS版THRESMコードの使用法の基本例を示す。なお、太字は会話形式でのユーザー入力を示し、iracsys> はワークステーションの iracsys セッションにおけるプロンプトである。

```

iracsys>thrx
THRES execution script

Please enter the input file name =====>input1
Please enter the output file name =====>output1
An output file output1 already exists.
Do you want to override it [y or n] ==>n
Please enter the output file name =====>output2

THRES in progress

Result of execution was saved in output2

```

thrx と入力すると、最初に THRESM の入力データのファイル名が要求される。この例では、input1 をファイル名として与えている。次に、出力ファイル名が要求され、この例では output1 を与えている。指定した output1 が既に存在しているので、上書きを許可するかどうかの問い合わせがなされている。n と入力することで再度出力ファイル名が要求され、output2 をファイル名として与えている。上書き許可の問い合わせがなされた際に y と入力すると、実行結果は既に存在しているファイルに上書きされる。(前回の計算結果は消去される)

入力データファイルが存在しない場合、又は入力及び出力ファイル名の要求に対しファイル名を与えない場合は、メッセージを表示後、スクリプトが終了しプロンプトに戻る。

この例では、“THRES in progress” のメッセージは THRESM が実行中であることを、“Result of execution was saved in output2” のメッセージは THRESM の実行が終了し、結果を output2 に書込んだことを示している。

4. 6. 3 ELOSSMコードの実行方法

ELOSSMコードの実行用シェルスクリプトは、elox である。以下に elox を用いたWS版ELOSSMコードの使用法の基本例を示す。なお、太字は会話形式でのユーザー入力を示し、iracsys> はワークステーションの iracsys セッションにおけるプロンプトである。

```
iracsys>elox
ELOSS execution script

Please enter the input file name =====>input1
Please enter the output file name =====>output1
An output file output1 already exists.
Do you want to override it [y or n] ==>y

ELOSS in progress

Result of execution was saved in output1
iracsys>
```

elox と入力すると、最初に ELOSSM の入力データのファイル名が要求される。この例では、input1 をファイル名として与えている。次に、出力ファイル名が要求され、この例では output1 を与えている。指定した output1 が既に存在しているので、上書きを許可するかどうかの問い合わせがなされている。y と入力することで、output1 に対する上書き許可を与えている。上書き許可の問い合わせがなされた際に n と入力すると、再度出力ファイル名が要求される。入力データファイルが存在しない場合、又は入力及び出力ファイル名の要求に対しファイル名を与えない場合は、メッセージを表示後、スクリプトが終了しプロンプトに戻る。

この例では、“ELOSS in progress” のメッセージは ELOSSM が実行中であることを、“Result of execution was saved in output1” のメッセージは ELOSSM の実行が終了し、結果を output1 に書込んだことを示している。

4. 6. 4 X E D I T E Rコードの実行方法

X E D I T E Rコードの実行用シェルスクリプトは、xedx である。以下に xedx を用いたWS版X E D I T E Rコードの使用方法的な基本例を示す。なお、太字は会話形式でのユーザー入力を示し、iracsys> はワークステーションの iracsys セッションにおけるプロンプトである。

(1) 論理ユニットの設定

X E D I T E Rを実行するまえに、入力データで指定する論理ユニットにファイル名を設定する必要がある。これらの設定は、スクリプト xedx 内の論理ユニット設定部に直接書込む。ただし、使用可能な論理ユニット番号は、1、5、6、7を除く2~99の範囲である。

ここで、論理ユニット8及び90にそれぞれ /home/iracsys/data/data10 及び /home/iracsys/dpirac を指定し、これらのファイルから断面積データを読み込み、論理ユニット99に指定したデータプール形式の出力ファイル /home/iracsys/iracpool に書込む例を示す。

スクリプト xedx (論理ユニット設定部のみ) の例

```
## The logical unit numbers should correspond to those in
## the input defined by the user
##-----
ftn08 ="/home/iracsys/data/data10"
ftn90 ="/home/iracsys/dpirac"
ftn99 ="/home/iracsys/iracpool"
##-----
UNITDEFALL="ftn08 ftn90 ftn99"
```

(2) X E D I T E Rの実行

```
iracsys>xedx
XEDITER execution script
==== Confirmation of file names in environment list ====
ftn08 was set as /home/iracsys/data/data01
ftn11 was set as /home/iracsys/data2/data05
ftn99 was set as /home/iracsys/iracpool
=====
Please enter the input file name =====>input1
Please enter the output file name =====>output1
XEDITER in progress
Result of execution was saved in output1
iracsys>
```

xedx と入力すると、最初に X E D I T E Rで使用される論理ユニットとファイル名の設定状態が表示される。次に、X E D I T E Rの入力データのファイル名が要求される。この例では、input1 をファイル名として与えている。次に、出力ファイル名が要求され、この例では output1 を与えている。ここで、指定した output1 が既に存在している場合は、上書きを許可するかどうかの問い合わせがなされ、y と入力すると上書き許可が与えられ、n と入力すると、再度出力ファイル名が要求される。存在しない場合は、この問い合わせはない。

入力データファイルが存在しない場合、又は入力及び出力ファイル名の要求に対しファイル名を与えな

い場合は、メッセージを表示後、スクリプトが終了しプロンプトに戻る。

この例では、“XEDITER in progress” のメッセージはXEDITERが実行中であることを、“Result of execution was saved in output1” のメッセージはXEDITERの実行が終了し、結果を output1 に書込んだことを示している。

5. データライブラリ

5. 1 ACSELAM: 放射化断面積データライブラリ

IRACMコードで使用する放射化断面積は、入力した入射粒子とターゲット組成の核種データに基づいて、ACSELAMライブラリから自動的に選択される。ACSELAMには、改良されたALICE-Fコードシステムを用いて計算された放射化断面積データが格納されている。また、このライブラリは、格納データ量が非常に多いため、データアクセスを効率良く行うことができる直接編成ファイルのDATA-POOLに格納されている。

また、ACSELAMライブラリを編集するための入力データファイルの形式として、ALICE85コード用放射化断面積ライブラリ形式と放射化断面積実験データライブラリ形式が用意されている。

ここでは、放射化断面積の作成、格納方法及び編集に必要な断面積ライブラリ形式の概要を述べる。

5. 1. 1 放射化断面積の計算方法

ACSELAMデータライブラリは、改良されたALICE-Fコードシステムを用いて、入射粒子とターゲット核種との核反応により生成される種々の核種生成断面積を計算している。断面積の計算範囲は、使用頻度が高いと想定される入射粒子とエネルギー及びターゲット核種から、以下の9入射粒子と57元素、136ターゲット核種の計1224種類の組合せを選定した。

入射粒子 : 9種類 (n, p, d, ^4He , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{20}Ne , ^{40}Ar)

エネルギー範囲 : Threshold Energy ~ 150 MeV (n, p, d, ^4He)

Threshold Energy ~ 500 MeV (^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{20}Ne , ^{40}Ar)

ターゲット核種 : 表1に示す57元素、136核種

ALICE-Fコードによる放射化断面積の計算結果は、反応のしきいエネルギーの断面積をゼロとすること、不正常的な結果の削除または内挿によるデータの追加等の修正をした後、IRACLIBコードを用いてIRACMコードシステム用放射化断面積ライブラリACSELAMとして整備した。なお、ACSELAMライブラリとするまでの中間データファイルとして、ENDF-6形式データ及びENDF-5形式のデータが保存されている。

5. 1. 2 ACSELAMの記録形式

放射化断面積ライブラリACSELAMは、従来のライブラリに比べ格納データ量が膨大となるため、データの検索・参照を効率良く行なえる直接編成ファイル型式であるDATA-POOLに格納した。DATA-POOLは格納データを4文字の識別名(ノード名)の階層構造で管理するのが特徴であり、このノード名の組合せを指定するだけで必要なデータを直接参照することができる。

本作業で利用したDATA-POOLは4文字のノード名による階層構造データ管理方式を採用した直

表 1 放射化断面積ライブラリ ACSELAM の格納元素、核種名

原子番号	元素名	核種名
1.0	H	(¹ H)
2.0	He	(⁴ He)
3.0	Li	(⁷ Li)
4.0	Be	(⁹ Be)
5.0	B	(¹⁰ B, ¹¹ B)
6.0	C	(¹² C, ¹³ C)
7.0	N	(¹⁴ N, ¹⁵ N)
8.0	O	(¹⁶ O, ¹⁷ O, ¹⁸ O)
9.0	F	(¹⁹ F)
10.0	Ne	(²⁰ Ne)
11.0	Na	(²³ Na)
12.0	Mg	(²⁴ Mg, ²⁵ Mg, ²⁶ Mg)
13.0	Al	(²⁷ Al)
14.0	Si	(²⁸ Si, ²⁹ Si, ³⁰ Si)
15.0	P	(³¹ P)
16.0	S	(³² S, ³⁴ S)
17.0	Cl	(³⁵ Cl, ³⁷ Cl)
18.0	Ar	(⁴⁰ Ar)
19.0	K	(³⁹ K, ⁴¹ K)
20.0	Ca	(⁴⁰ Ca, ⁴⁴ Ca)
21.0	Sc	(⁴⁵ Sc)
22.0	Ti	(⁴⁶ Ti, ⁴⁷ Ti, ⁴⁸ Ti, ⁴⁹ Ti, ⁵⁰ Ti)
23.0	V	(⁵¹ V)
24.0	Cr	(⁵⁰ Cr, ⁵² Cr, ⁵³ Cr, ⁵⁴ Cr)
25.0	Mn	(⁵⁵ Mn)
26.0	Fe	(⁵⁴ Fe, ⁵⁶ Fe, ⁵⁷ Fe, ⁵⁸ Fe)
27.0	Co	(⁵⁹ Co)
28.0	Ni	(⁵⁸ Ni, ⁶⁰ Ni, ⁶¹ Ni, ⁶² Ni, ⁶⁴ Ni)
29.0	Cu	(⁶³ Cu, ⁶⁵ Cu)
30.0	Zn	(⁶⁴ Zn, ⁶⁶ Zn, ⁶⁷ Zn, ⁶⁸ Zn, ⁷⁰ Zn)
31.0	Ga	(⁶⁹ Ga, ⁷¹ Ga)
32.0	Ge	(⁷⁰ Ge, ⁷² Ge, ⁷³ Ge, ⁷⁴ Ge, ⁷⁶ Ge)
33.0	As	(⁷⁵ As)
34.0	Se	(⁷⁶ Se, ⁷⁷ Se, ⁷⁸ Se, ⁸⁰ Se, ⁸² Se)
35.0	Br	(⁷⁹ Br, ⁸¹ Br)
36.0	Kr	(⁸⁴ Kr)
40.0	Zr	(⁹⁰ Zr)
41.0	Nb	(⁹³ Nb)
42.0	Mo	(⁹² Mo, ⁹⁴ Mo, ⁹⁵ Mo, ⁹⁶ Mo, ⁹⁷ Mo, ⁹⁸ Mo, ¹⁰⁰ Mo)
46.0	Pd	(¹⁰⁴ Pd, ¹⁰⁵ Pd, ¹⁰⁶ Pd, ¹⁰⁸ Pd, ¹¹⁰ Pd)
47.0	Ag	(¹⁰⁷ Ag, ¹⁰⁹ Ag)
48.0	Cd	(¹¹² Cd, ¹¹⁴ Cd)
49.0	In	(¹¹³ In, ¹¹⁵ In)
50.0	Sn	(¹¹² Sn, ¹¹⁴ Sn, ¹¹⁵ Sn, ¹¹⁶ Sn, ¹¹⁷ Sn, ¹¹⁸ Sn, ¹¹⁹ Sn, ¹²⁰ Sn, ¹²² Sn, ¹²⁴ Sn)
51.0	Sb	(¹²¹ Sb, ¹²³ Sb)
52.0	Te	(¹²⁵ Te, ¹²⁶ Te, ¹²⁸ Te, ¹³⁰ Te)
53.0	I	(¹²⁷ I)
54.0	Xe	(¹³² Xe)
55.0	Cs	(¹³³ Cs)
56.0	Ba	(¹³⁵ Ba, ¹³⁶ Ba, ¹³⁷ Ba, ¹³⁸ Ba)
73.0	Ta	(¹⁸¹ Ta)
74.0	W	(¹⁸² W, ¹⁸³ W, ¹⁸⁴ W, ¹⁸⁶ W)
78.0	Pt	(¹⁹⁴ Pt, ¹⁹⁵ Pt, ¹⁹⁶ Pt)
79.0	Au	(¹⁹⁷ Au)
80.0	Hg	(²⁰⁰ Hg, ²⁰² Hg)
82.0	Pb	(²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb)
83.0	Bi	(²⁰⁹ Bi)

接編成形式データベースである。1レコードは 3600 bytes (900words) の固定長でデータを格納する。

内部構造は control section、directory section 及び data section から構成され、1レコードの directory section に下部ノード構造を全て格納する形式となっている。従って、ここでは1つのノード名の1次下部ノード名は最大74に制限される。そのため、ライブラリはそのデータの属性及び使用法を考慮して、以下に示すノード名による階層構造を採用した。また、各ノードにはプログラム制御のため任意の5個の information データと20文字のコメントを合わせて格納できるため、この機能を有効に使用した。

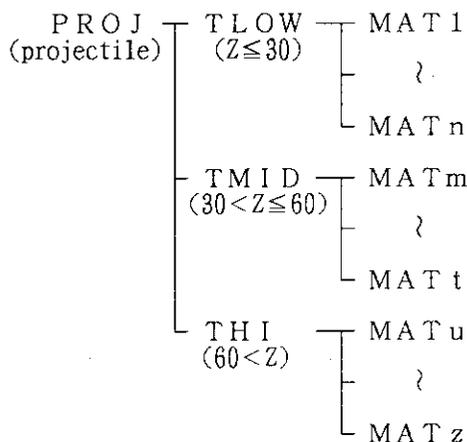


図7 DATA-POOLのノード名による階層構造

ここで、PROJは入射粒子の識別名であり、以下のいずれかである。

N , P , D , A , C12 , N14 , O16 ,
NE20 , AR40

information record: INFOM(1) = projectile ZA number

comment record : projectile identification name

TLOW, TMID, THI はターゲット核種の原子番号で区分される。

TLOW: $Z \leq 30$, TMID: $30 < Z \leq 60$, THI : $60 < Z$

information record: INFOM(1) = lowest target Z number

INFOM(2) = highest target Z number

comment record : target range identification name

MAT nはターゲット核種の識別番号で以下に示す通りである。

information record: INFOM(1) = target material number

INFOM(2) = target ZA number

INFOM(3) = number of reactions

INFOM(4) = maximum energy points

INFOM(5) = total data records

comment record : target identification name including version number

表 2 ターゲット核種の識別番号

projectile	MAT number
n	1003 ~ 1136
p	2002 ~ 2136
d	3002 ~ 3136
α	4001 ~ 4136
^{12}C	5001 ~ 5136
^{14}N	6001 ~ 6136
^{16}O	7001 ~ 7136
^{20}Ne	8001 ~ 8136
^{40}Ar	9001 ~ 9136

各ノード名に付属するデータ記録形式は以下の通りである。

(1) Record format of PROJ (node level=1)

PRITE(NUNIT, ICM)

ICM: comment data including projectile name (20 words)

(2) Record format of TLOW, TMID and THI (node level=2)

PRITE(NUNIT, ICM)

ICM: comment data including target atomic number range (20 words)

(3) Record format of MATn (node level=3)

PRITE3(NUNIT, ICM, N1, D1, N2, D2, N3, D3)

ICM: comment data including target name, material number and version number
(20 words)

N1: number of reactions

N2: number of reactions

N3: number of reactions

D1: reaction identifier, ie., 5(total), 201~207(gas production),
product isotope ZA number

D2: interpolation scheme for each reaction

D3: number of data points for each reaction

PRITE1(NUNIT, ICM, N4, D4)

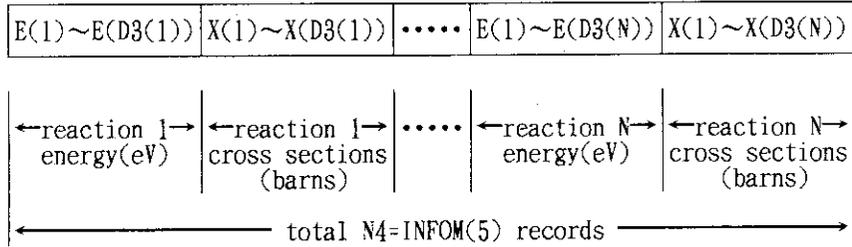
ICM: comment data including version number (20 words)

N4: number of total records

D4: energy points and cross section data for each reaction.

first data set is energy points (eV) for D3(N) times, next set is cross sections(barns) for D3(N) times, then these two sets are repeated by N times as shown below.

D4 array record form



5. 1. 3 熱中性子捕獲断面積データライブラリ

熱中性子捕獲断面積データライブラリORIGNLIBは、原子炉内の核燃料の燃焼により生成する放射性核種を計算するORIGEN2コードの熱中性子捕獲断面積ライブラリをそのまま引用している。

5. 1. 4 ALICE85コード用放射化断面積ライブラリ形式

ACSELAMライブラリを編集するための入力データファイルの基本形式として用意されているファイル形式である。ライブラリの書式を以下に示す。

データファイル形式	(カードイメージ、シーケンシャルファイル) LRECL=80, BLKSIZE=3200, RECFM=FB
73~80カラムはシーケンシャル番号。	

Record 1	(1415) IZ1	入射粒子の原子番号 Z		
	IA1	入射粒子の質量数 A		
	IZ2	ターゲット核種の原子番号 Z		
	IA2	ターゲット核種の質量数 A		
	IZ3	生成核種の原子番号 Z		
	IA3	生成核種の質量数 A		
	IC1	放出粒子数(proton)		
	IC2	放出粒子数(neutron)		
	IS3	0 / 1 : stable / metastable (生成核状態)		
	IDRN	データ出所番号		
	NLIBR	データ作成順番		
	IS2	0 / 1 : stable / metastable (ターゲット核状態)		
	IC3	放出粒子数(deuteron)		
	IC4	放出粒子数(α-particle)		

Record 2 (72A1) コメント (1)
 Record 3 (72A1) コメント (2)
 Record 4 (2I5, 1P2E10.3)
 I1 データ点数
 I2 内挿方式
 1: Y is constant in X
 2: Y is linear in X
 3: Y is linear in lnX
 4: lnY is linear in X
 5: lnY is linear in lnX
 6: OSCAR内挿公式
 EMIN 最小エネルギー (MeV)
 EMAX 最大エネルギー (MeV)

Record 5 (1P6E10.3)
 $(E_i, \sigma_i), (E_{i+1}, \sigma_{i+1}), (E_{i+2}, \sigma_{i+2})$
 3個の組毎にくりかえす。
 エネルギー単位: MeV
 断面積単位 : mb

 >
 <EOF>

5. 1. 5 放射化断面積実験データライブラリ形式

実験データを編集して、ACSELAMライブラリに組込むための入力データファイル形式である。
 ライブラリの書式を以下に示す。

Record 1 (13I5) IZ1 入射粒子の原子番号 Z
 IA1 入射粒子の質量数 A
 IZ2 ターゲット核種の原子番号 Z
 IA2 ターゲット核種の質量数 A
 IZ3 生成核種の原子番号 Z
 IA3 生成核種の質量数 A
 IC1 放出粒子数 (n) 不定の場合は負値を入れる。
 IC2 放出粒子数 (p) 不定の場合は負値を入れる。
 IC3 放出粒子数 (d) 不定の場合は負値を入れる。
 IC4 放出粒子数 (α) 不定の場合は負値を入れる。
 IS 0 / 1 : stable/metastable (生成核状態)
 IDRN データ出所番号
 NLIBR データ作成順番

Record 2 (72A1) コメント(Status [Exp. Calc. Evals.], Author)
 Record 3 (72A1) コメント (Report name)
 Record 4 (2I5, 1P2E10. 3, 2A5)
 I1 データ点数
 I2 内挿方式 (1~6 : ALICEライブラリと同定義)
 EMIN 最小エネルギー (MeV)
 EMAX 最大エネルギー (MeV)
 C5 エネルギーの誤差単位 (MeV、%のいずれか)
 C6 断面積の誤差単位 (mb、%のいずれか)
 Record 5 (1P4E10. 3) E_i , ΔE_i , σ_i , $\Delta \sigma_i$
 (エネルギー、エネルギーの誤差、断面積、断面積の誤差)
 エネルギー単位 : MeV
 断面積単位 : mb

⋮
 < EOF >

5. 2 崩壊、ガンマ線データライブラリ

崩壊データライブラリDECAYLIB及びガンマ線データライブラリGAMMALIBは、評価済核構造データファイルENSDFに格納されている約2700核種の核構造データをPDDL-MAKERコード¹⁴⁾で処理し、出力データを比較可能な最新データ¹⁵⁾⁻¹⁷⁾と照合してエラーデータを検索・修正して作成した。ここでは、各ライブラリのデータ及びその形式について述べる。

5. 2. 1 DECAYLIB: 崩壊データライブラリ

崩壊データライブラリDECAYLIBは、基本的にORIGEN2コードの崩壊データライブラリのデータ形式を採用したが、崩壊先核種の判定を容易にするため、崩壊形式に応じた娘核種のデータを追加した。ライブラリは次の書式で記述されている。

(1) Head Card (First Card of each library segment)

NLB, TITLE, (13, 5X, 72A1)

NLB : the number of this decay library segment(NLB=1)

(2) First card for each nuclide

NLB, NUCLID, IU, THALF, FBX, FSPEC, FSPECX, FA, FIT

(13, 2X, 18, 2X, 11, 4X, 6(1PE10.4))

NUCLID : a six-digit nuclide identifier

IU : time unit

THALF : half-life

FBX : β^-

FSPEC : =0.0

FSPECX : β^+ , EC

FA : α

FIT : metastable

(3) Second card for each nuclide

NLB, FSF, FN, QREC, ABUND, ARCG, WRCG

(13, 17X, 6(1PE10.4))

FSF : =0.0

FN : =0.0

QREC : =0.0

ABUND : naturally occurring isotopic abundance (%)

ARCG : =0.0

WRCG : =0.0

(4) Third card for each nuclide

NLB, (NUCLDD(MPJ), MPJ=1, 4)

(13, 17X, 4(19, 1X))

NUCLDD(MPJ): Daughter nuclide (Nuclide identifier)

- MPJ : decay type
- J=1 : β^- decay
 - 2 : IT decay
 - 3 : β^+ and EC decay
 - 4 : α decay

(5) End card of library

MKENDL (13)
 MKENDL : end mark of library (MKENDL=-1)

5. 2. 2 GAMMALIB : ガンマ線データライブラリ

ガンマ線データライブラリGAMMALIBは、基本的にORIGEN2コードのガンマ線データライブラリのデータ形式を採用した。ただし、ガンマ線は、崩壊によって発生するガンマ線、 β^+ 崩壊における消滅放射線とし、崩壊時に発生する特性X線は除外した。ガンマ線データライブラリのエネルギー群構造を表3に示す。

表 3 ガンマ線データのエネルギー群構造

群	各群のエネルギー(keV)		群	各群のエネルギー(keV)	
	範	囲 平均		範	囲 平均
1	0 - 20	10	10	700 - 1000	850
2	20 - 30	25	11	1000 - 1500	1250
3	30 - 45	37.5	12	1500 - 2000	1750
4	45 - 70	57.5	13	2000 - 2500	2250
5	70 - 100	85	14	2500 - 3000	2750
6	100 - 150	125	15	3000 - 4000	3500
7	150 - 300	225	16	4000 - 6000	5000
8	300 - 450	375	17	6000 - 8000	7000
9	450 - 700	575	18	8000 -11000	9500

ライブラリは、次の書式で記述されている。

(1) Head Card (First card of each library segment)

NLB, TITLE, (13, 5X, 72A1)
 NLB : the number of this decay library segment(NLB=101)

(2) First card for each nuclide

NLB, NUCLID, NGP(1), RPH(1),
 (13, 2X, 18, 2X, 5(I2, 1PE9, 3, 2X))
 NUCLID : a six-digit nuclide identifier.

NGP(i) : the number of a photon energy group.

RPH(i) : photon intensity for energy group NGP(i) in photons per disintegration.

(3) Subsequent cards for each nuclide

NGP(i+1), RPH(i+1),, NGP(imax), RPH(imax)
(15X, 5(12, 1PE9. 3, 2X))

(4) End card for each nuclide

MKEND (15X, 12)
MKEND : end mark of data for each nuclide (MKEND=-1)

(5) End card of library

MKENDL (13)
MKENDL : end mark of library (MKENDL=-1)

なお、IRACMコードで、計算された核種の崩壊に伴うガンマ線エネルギースペクトルを用いて、単位距離(1 cm)における線量当量率を求めるために必要な線量当量率変換係数を表4に示す。

表4 ガンマ線の線量当量率変換係数

群	エネルギー (keV)	線量当量率変換係数	
		(rem/h)/(γ/cm ² /s)	(Sv/h)/(γ/cm ² /s)
1	0 - 20	3.96x10 ⁻⁸	3.96x10 ⁻⁸
2	20 - 30	1.18x10 ⁻⁶	1.18x10 ⁻⁸
3	30 - 45	5.82x10 ⁻⁷	5.82x10 ⁻⁹
4	45 - 70	3.17x10 ⁻⁷	3.17x10 ⁻⁹
5	70 - 100	2.83x10 ⁻⁷	2.83x10 ⁻⁹
6	100 - 150	3.79x10 ⁻⁷	3.79x10 ⁻⁹
7	150 - 300	7.59x10 ⁻⁷	7.59x10 ⁻⁹
8	300 - 450	1.08x10 ⁻⁸	1.08x10 ⁻⁸
9	450 - 700	1.52x10 ⁻⁸	1.52x10 ⁻⁸
10	700 - 1000	1.98x10 ⁻⁸	1.98x10 ⁻⁸
11	1000 - 1500	2.64x10 ⁻⁸	2.64x10 ⁻⁸
12	1500 - 2000	3.21x10 ⁻⁸	3.21x10 ⁻⁸
13	2000 - 2500	3.72x10 ⁻⁸	3.72x10 ⁻⁸
14	2500 - 3000	4.19x10 ⁻⁸	4.19x10 ⁻⁸
15	3000 - 4000	5.03x10 ⁻⁸	5.03x10 ⁻⁸
16	4000 - 6000	6.56x10 ⁻⁸	6.56x10 ⁻⁸
17	6000 - 8000	8.03x10 ⁻⁸	8.03x10 ⁻⁸
18	8000 -11000	1.03x10 ⁻⁵	1.03x10 ⁻⁷

6. まとめ

I R A C Mコードシステムは、加速器施設で生成する放射能及びガンマ線による線量当量率を計算するために開発されたI R A Cコードシステムを改善した改良版である。主な改善点は、

- 1) 入力データ形式を、コマンドを用いた Free Format の入力形式に変更した。
- 2) I R A C Mコードでは、放射化断面積を再計算したA C S E L A Mライブラリを使用し、計算に必要な放射化断面積を、入力した入射粒子とターゲット組成のデータに基づいて、A C S E L A Mライブラリから自動的に選択、参照するようにした。
- 3) 生成核種範囲、照射／冷却時間メッシュの自動設定機能を追加した。

これらの改善によって、広い分野にわたるイオンビームの利用者が、実験で生成する放射能等を容易に計算、評価できるようにした。さらに、本システムはF A C O M - M 7 8 0大型計算機で稼働すると共に、D E C社製ワークステーション上でも運用できるように配慮されている。従って、本システムによれば、利用者にとって容易に使用できる柔軟な運用システムを構築することが可能である。

本報告は、コードシステムの構成、計算方法、機能、使用方法、及びデータライブラリ型式等をまとめたI R A C Mコードシステムの利用手引書である。今後、データライブラリA C S E L A Mに格納された放射化断面積と実験データとの比較を行い、コードシステムの計算誤差および信頼性の評価を実施する予定である。

参考文献

- (1) Croff A.G. : 'User's Manual for the ORIGEN2 Computer Code,' ORNL/TM-7175 (1980).
- (2) Mann F.M. : "Transmutation of Alloys in MFE Facilities as Calculated by REAC (A Computer Code System for Activation and Transmutation)," HEDL-TME 81-37 (1982).
- (3) Lessler R.M., Alley W.E. and Green J.B. : 'ACT and ACTIVE Codes for Calculating Neutron-Induced Activation,' UCRL-51292 (1978).
- (4) Seki Y., Iida H., Kawasaki H. and Yamada K. : 'THIDA-2: An Advanced Code System for Calculation of Transmutation, Activation, Decay Heat and Dose Rate,' JAERI-1301 (1986).
- (5) Hata K. and Baba H. : 'OSCAR, A Code for the Calculation of Yield of Radioisotopes Produced by Charged-Particle Induced Nuclear Reactions,' JAERI-M 88-184 (1988).
- (6) Tanaka S., Fukuda M., Nishimura K., Kamiya T., Yokota W., Watanabe H., Hata K., Yamano N. and Shiraishi T. : 'Development of IRAC Code System to Calculate Induced Radioactivity Produced by Ions and Neutrons,' Proc. of 8th Int. Conf. on Radiation Shielding, Arlington, Texas, April 24-28, pp. 965-971, American Nuclear Society Inc. (1994).
- (7) Yamano N., Koyama K., Naito Y. and Minami K. : 'DATA-POOL: A Direct-Access Data Base for Large-Scale Nuclear Codes,' JAERI-M 91-201 (1991).
- (8) Fukahori T. : 'ALICE-F Calculation of Nuclear Data up to 1 GeV,' Proc. of the Specialists' Meeting on High Energy Nuclear Data, Tokai, Ibaraki, Oct. 3-4, 1991. JAERI-M 92-039, p.114 (1992).
- (9) Wapstra A.H., Audi G. and Hoekstra R. : 'Atomic Masses from (Mainly) Experimental Data,' At. Data Nucl. Data Tables, 39, pp. 281-287 (1988).
- (10) Tachibana T., Uno M., Yamada M. and Yamada S. : 'Empirical Mass Formula with Proton-Neutron Interaction,' At. Data Nucl. Data Tables, 39, pp. 251-258 (1988).
- (11) Tuli J.K. : 'Evaluation Nuclear Structure Data File, A Manual for Preparation of Data Sets,' BNL-NCS-51655-Rev. 87 (1987).
- (12) Blann M. : 'Calculation of Excitation Functions with Code ALICE,' UCRL-98918 (1987).
- (13) McLane V. : 'EXFOR Manual,' IAEA-NDS-103 (Rev. 89/1) (1989).
- (14) Naito Y., Hara T., Ihara H. and Katakura J. : 'Development of Nuclear Decay Data Library JDDL, and Nuclear Generation and Decay Calculation Code COMRAD,' JAERI-M 86-121 (1986). (in Japanese)
- (15) Brown E., Firestone R.B. and Shirley V.S. : 'Table of Radioactive Isotopes,' Jown Wiley & Sons, Inc., New York, (1986).
- (16) Ihara H. : 'Tables and Figures from JNDC Nuclear Data Library of Fission Products,' JAERI-M 89-204 (1989).
- (17) Yoshizawa Y., Horiguchi T. and Yamada M. : 'Chart of the Nuclides,' Japanese Nuclear Data Committee and Nuclear Data Center, Japan Atomic Energy Research Institute (1988).

付録 計算結果の出力例

IRACM、THRESM及びELOSSMコードの入力データ例に応じた計算結果の出力を、それぞれ図A1、図A2及び図A3に示す。

図A1 IRACMコードの入力データ例の計算結果の出力

```

INPUT DATA LIST
-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
MODE 0 0 00010000
TTC 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST) 00020000
LPR 0 0 1 0 1 0 0 0 00030000
TTG NATURAL COPPER TARGET SYSTEM OF 2CM-THICK 00040000
TLM1 CM 10 2.0 00050000
TTM10 NATURAL COPPER 00060000
MAT10 8.93 W 29 63 62.9296 0.692 1 00070000
      29 65 64.9278 0.308 1 00080000
TTP 70MEV PROTON 1-PARTICLE MICRO-A 00090000
PROJ 1 1 70.0 6.24146+12 J 00100000
TTN1 SAMPLE NEUTRON SOURCE SPECTRUM FROM 1 TO 100MEV 00110000
NDS1 20 3 1.0 00120000
EN20 1.0 2.0 5.0 10.0 20.0 50.0 100.0 00130000
SN20 1.0+5 1.0+6 1.0+7 1.0+8 1.0+7 1.0+6 1.0+5 00140000
RANGE 0 0 0 0 0.01 00150000
PLIMIT 1.0E-5 1.0E+5 1.0E-10 1.0E-3 00160000
TIME1 3 3 00170000
IRRD1 350.0 00180000
COOL1 100.0 00190000
T 00200000
-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*

```

```

IRAC VERSION 2.11 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

```

INPUT DATA INFORMATION

CALCULATION TITLE = 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

```

IDP = 0 0/1/2 = ION+NEUTRON/ION/NEUTRON
INMH = 0 0/1 = GAUSS/NCB INTEGRATION SCHEME
LPR(1) = 0 0/1 = NO EFFECT/PRINT DECAY DATA

```

図A1 IRACMコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

LPR (2) = 0 0/1 = NO EFFECT/PRINT PHOTON DATA
 LPR (3) = 1 0/1 = NO EFFECT/PRINT STOPPING POWER AND NEUTRON FLUX
 LPR (4) = 0 0/1/2 = NO EFFECT/PRINT USED CROSS SECTION/PRINT ONLY TARGET NUCLIDE
 LPR (5) = 1 0/1 = NO EFFECT/PRINT NUCLIDE COMPOSITION (ATOMS)
 LPR (6) = 1 0/1 = NO EFFECT/PRINT RADIOACTIVITY (Bq)
 LPR (7) = 0 0/1 = NO EFFECT/PRINT RADIOACTIVITY (Ci)
 LPR (8) = 0 0/1 = NO EFFECT/PRINT DOSE EQUIVALENT (REM/HR)
 LPR (9) = 0 0/1 = NO EFFECT/PRINT DOSE EQUIVALENT (SV/HR)

LT = 1 NUMBER OF TARGET LAYER (S)

LAYER	THICKNESS (CM)	DENSITY (G/CM3)	ATOMIC NUMBER	MASS NUMBER	ATOMIC WEIGHT	ABUNDANCE	ISTR
1	2.000E+00	8.930E+00	29	63	62.9296	6.920E-01	1
			29	65	64.9278	3.080E-01	1

UNNORMALIZED ABUNDANCE TOTAL: 1.0000 MATERIAL: NATURAL COPPER

IZ1 = 1 ATOMIC NUMBER OF PROJECTILE
 IA1 = 1 MASS NUMBER OF PROJECTILE
 EPIN = 7.000E+01 ENERGY OF INCIDENT CHARGED PARTICLE (MEV)
 SPIN = 6.241E+12 BEAM INTENSITY (PARTICLES/SEC)
 APIN = 1.000E+00 IRRADIATION FACTOR FOR CHARGED PARTICLE

STOPPING POWER (S) HAVE BEEN CALCULATED

LAYER	INCIDENT-E (MEV)	ENERGY-LOSS (MEV)	RESIDUAL-E (MEV)
1	7.000E+01	7.000E+01	0.000E+00

NEUTRON SOURCE HAS BEEN READ FROM INPUT DATA

IRAC VERSION 2.11 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

PRODUCT NUCLIDE RANGE IN INPUT DATA

NZMIN = 0 NAMIN = 0 NZMAX = 0 NAMAX = 0

* AUTOMATIC SEARCH ON PRODUCT/TARGET NUCLIDE WAS ENCOUNTERED
 SEARCH COMPLETED. NUCLIDE RANGE IN CALCULATION WAS DETERMINED

NZMIN = 1 NAMIN = 1 NZMAX = 31 NAMAX = 56

** WARNING ** FOLLOWING NUCLIDE(S) HAVE HALF-LIFE LESS THAN THMIN: 1.000E-02 SEC. IGNORED NUCLIDE(S) IN THIS SYSTEM

図A1 I R A C Mコードの入力データの計算結果の出力 (続き)

80130	30110	50090	40080
** WARNING ** FOLLOWING NUCLIDE(S) WERE NOT FOUND IN ACTIVATION CROSS SECTION LIBRARY			
220430	220440	220450	220510
220450	220520	220530	220550
230490	230500	230520	230530
230520	230530	230540	230550
240510	240550	240560	240570
240570	250490	250500	250510
250520	250530	250540	250550
250560	250570	250580	250590
250590	260490	260510	260520
260520	260530	260550	260590
260600	270530	270540	270550
270550	270560	270570	270580
270580	270600	270610	280530
280550	280560	280570	280580
280580	280590	290570	290580
290580	290590	290600	290610
290610	290620	290630	290650
300570	300580	300590	300600
300600	300610	300620	300630
300630	300650	310610	310620
310620	270630	290640	300650
300650	310610	310620	310630
310630	310640	310650	310660
310660	150280	150290	150300
150300	150320	150330	150340
150340	150350	150360	160290
160300	160310	160330	160350
160350	160360	160370	160380
160380	160390	160400	160410
170340	170360	170380	170390
170390	170400	170410	180330
180330	180340	180350	180360
180360	180370	180380	180390
180390	180410	180420	190330
190330	190350	190360	190370
190370	190380	190390	190400
190400	190420	190430	200330
200330	200370	200380	200390
200390	200410	200420	200430
200430	210410	210420	210430
210430	210440	220410	220420
220420	220440	180430	190440
190440	200450	210470	180450
180450	190460	200470	210480
210480	180460	190470	210490
210490	190480	200490	210500
210500	190490	200500	210510
200510	80140	80150	80190
80190	80200	90210	90220
90220	90230	100180	100190
100190	100210	100220	100230
100230	100240	100250	110210
110210	110220	110230	110240
110240	110250	110260	110270
110270	120210	120220	120230
120230	120270	120280	130230
130240	130250	130260	130280
130280	130290	140250	140260
140260	140270	110280	120290
130300	130310	140310	140320
140320	120310	120320	130320
130320	140330	140340	10010
10020	10030	20030	20060
20060	20080	30060	30080
30080	30090	40070	40100
40110	40120	50080	50120
50120	50130	60030	60100
60100	60110	60140	70120
70130	50140	60150	70160
60160	60170	70180	40080
40080	50090	270640	
280650	290660	190500	120330

FOLLOWING NUCLIDE(S) WERE USED IN ACTIVATION CROSS SECTION LIBRARY

290630	290650	300660	220460	220470	220480	220490	220500	230510	240500
240520	240530	240540	250550	260540	260560	260570	260580	270590	280580
280600	280610	280620	280640	300640	150310	160320	160340	170350	170370
180400	190390	190410	200400	200440	210450	80160	80170	80180	90190
100200	110230	120240	120250	120260	130270	140280	140290	140300	20040
30070	40090	50100	50110	60120	60130	70140	70150		

DECAY DATA HAS BEEN READ
 TOTAL NUCLIDE = 302 . VS. AVAILABLE ITMAX = 2000

図A1 IRACMコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

TOTAL MATRIX ELEMENTS = 4366 .VS. AVAILABLE IZMAX = 30000

IRAC VERSION 2.11 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

11-Mar-97 PAGE 4

LAYER = 1 IRRADIATION TIME 14.580

NUCLIDE TABLE NUCLIDE COMPOSITION (ATOMS) PRINT THRESHOLD: 1.000E-05

NUCLIDE	INITIAL	0.25HR	1.00HR	2.00HR	5.00HR	12.00HR	24.00HR	36.67HR	49.33HR	62.00HR	74.67HR	87.33HR	100.00HR
SI 29	4.293E-05												
SI 30	6.832E-05												
P 31	1.620E-04												
P 32	3.997E-04	3.995E-04	3.989E-04	3.981E-04	3.957E-04	3.901E-04	3.808E-04	3.711E-04	3.617E-04	3.526E-04	3.436E-04	3.349E-04	3.265E-04
P 33	1.041E-03	1.040E-03	1.040E-03	1.038E-03	1.035E-03	1.027E-03	1.013E-03	9.982E-04	9.839E-04	9.698E-04	9.559E-04	9.422E-04	9.287E-04
S 32	1.194E-03	1.194E-03	1.194E-03	1.195E-03	1.198E-03	1.203E-03	1.213E-03	1.222E-03	1.232E-03	1.241E-03	1.250E-03	1.258E-03	1.267E-03
S 33	8.292E-03	8.292E-03	8.293E-03	8.294E-03	8.298E-03	8.306E-03	8.320E-03	8.334E-03	8.349E-03	8.363E-03	8.377E-03	8.390E-03	8.404E-03
S 34	8.174E-03												
S 35	4.283E-03	4.283E-03	4.282E-03	4.280E-03	4.276E-03	4.266E-03	4.249E-03	4.231E-03	4.214E-03	4.196E-03	4.179E-03	4.161E-03	4.144E-03
S 36	3.747E-02												
CL 35	1.370E+00												
CL 36	2.212E-01												
CL 37	4.898E-01	4.890E-01	4.895E-01	4.901E-01	4.920E-01	4.964E-01	5.038E-01	5.115E-01	5.194E-01	5.270E-01	5.346E-01	5.420E-01	5.494E-01
CL 38	1.368E-04	1.036E-04	4.491E-05	1.479E-05	5.896E-07	1.405E-08	7.386E-10	3.358E-11	1.525E-12	6.927E-14	3.147E-15	1.430E-16	6.496E-18
CL 39	3.605E-04	2.990E-04	1.706E-04	8.076E-05	8.563E-06	4.557E-08	5.760E-12	4.422E-16	3.395E-20	2.606E-24	2.001E-28	1.536E-32	1.179E-36
AR 36	7.162E-02												
AR 37	7.650E-01	7.658E-01	7.654E-01	7.647E-01	7.628E-01	7.584E-01	7.510E-01	7.432E-01	7.355E-01	7.278E-01	7.203E-01	7.128E-01	7.054E-01
AR 38	4.621E+01	4.623E+01											
AR 39	1.068E+01												
AR 40	3.639E+00												
AR 41	2.386E-03	2.170E-03	1.632E-03	1.117E-03	3.579E-04	2.514E-05	2.650E-07	2.169E-09	1.775E-11	1.453E-13	1.189E-15	9.728E-18	7.960E-20
AR 42	7.655E-02	7.655E-02	7.655E-02	7.655E-02	7.655E-02	7.654E-02	7.654E-02	7.654E-02	7.654E-02	7.654E-02	7.653E-02	7.653E-02	7.653E-02
K 38	2.078E-02	5.324E-03	8.958E-05	3.864E-07	3.098E-14	8.582E-31	0.000E+00						
K 39	5.208E+02												
K 40	7.093E+01												
K 41	8.437E+01												
K 42	8.978E+00	8.853E+00	8.489E+00	8.025E+00	8.783E+00	4.581E+00	2.337E+00	1.149E+00	5.645E-01	2.775E-01	1.364E-01	6.702E-02	3.294E-02
K 43	5.187E+00	5.147E+00	5.028E+00	4.874E+00	4.440E+00	3.572E+00	2.460E+00	1.659E+00	1.119E+00	7.550E-01	5.093E-01	3.435E-01	2.317E-01
K 44	4.176E-03	2.610E-03	6.376E-04	9.737E-05	3.467E-07	6.711E-13	1.078E-22	4.950E-33	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
K 45	7.926E-04	4.345E-04	7.161E-05	6.471E-06	4.774E-09	2.348E-16	6.953E-29	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
CA 40	8.145E+01												

図A1 I R A C Mコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

V 49	9.952E+07	9.958E+07	9.969E+07	9.974E+07	9.975E+07	9.970E+07	9.959E+07	9.949E+07	9.938E+07	9.927E+07	9.916E+07	9.906E+07	9.895E+07
V 50	7.663E+09												
V 51	5.900E+11	5.906E+11	5.925E+11	5.950E+11	6.199E+11	6.434E+11	6.802E+11	7.105E+11	7.405E+11	7.700E+11	8.280E+11	8.280E+11	8.280E+11
V 52	1.266E+05	7.918E+03	1.933E+00	2.950E-05	1.048E-19	0.000E+00							
V 53	1.324E+05	2.079E+02	8.016E-07	4.847E-18	0.000E+00								
V 54	1.890E+02	6.893E-04	3.342E-20	0.000E+00									
V 55	1.012E+00	0.000E+00											
CR 47	3.640E-03	0.000E+00											
CR 48	1.386E+06	1.375E+06	1.342E+06	1.299E+06	1.180E+06	9.421E+05	6.405E+05	4.263E+05	2.837E+05	1.888E+05	8.361E+04	5.564E+04	5.564E+04
CR 49	2.747E+05	2.149E+05	1.028E+05	3.845E+04	2.013E+03	2.068E+00	1.554E-05	6.068E-11	2.368E-16	9.244E-22	3.608E-27	1.408E-32	5.497E-38
CR 50	2.297E+11												
CR 51	2.404E+12	2.404E+12	2.402E+12	2.399E+12	2.392E+12	2.374E+12	2.345E+12	2.314E+12	2.284E+12	2.254E+12	2.224E+12	2.195E+12	2.166E+12
CR 52	1.816E+12	1.816E+12	1.817E+12	1.817E+12	1.819E+12	1.822E+12	1.827E+12	1.832E+12	1.836E+12	1.841E+12	1.845E+12	1.849E+12	1.852E+12
CR 53	1.081E+12												
CR 54	2.100E+12	2.103E+12	2.110E+12	2.119E+12	2.148E+12	2.215E+12	2.329E+12	2.449E+12	2.569E+12	2.689E+12	2.809E+12	2.929E+12	3.049E+12
CR 55	1.339E+06	6.847E+04	9.158E+00	6.264E-05	2.005E-20	0.000E+00							
CR 56	5.945E+05	1.033E+02	4.929E-01	3.721E-10	1.931E-31	0.000E+00							
CR 57	1.313E+02	1.897E-11	0.000E+00										
MN 49	1.621E-01	0.000E+00											
MN 50	1.052E+01	0.000E+00											
MN 51	5.570E+06	4.448E+06	2.264E+06	9.204E+05	6.182E+04	1.129E+02	2.298E-03	2.567E-08	2.867E-13	3.202E-18	3.576E-23	3.993E-28	4.460E-33
MN 52	8.899E+10	8.887E+10	8.853E+10	8.807E+10	8.672E+10	8.364E+10	7.862E+10	7.364E+10	6.898E+10	6.451E+10	6.052E+10	5.668E+10	5.309E+10
MN 53	7.827E+13	7.827E+13	7.828E+13										
MN 54	1.030E+14	1.030E+14	1.030E+14	1.029E+14	1.029E+14	1.029E+14	1.028E+14	1.028E+14	1.025E+14	1.024E+14	1.023E+14	1.022E+14	1.020E+14
MN 55	2.988E+13	2.989E+13	2.990E+13	2.991E+13	2.995E+13	3.007E+13	3.025E+13	3.044E+13	3.064E+13	3.083E+13	3.103E+13	3.122E+13	3.142E+13
MN 56	5.475E+10	5.120E+10	4.185E+10	3.198E+10	2.174E+09	8.629E+07	2.864E+06	9.502E+04	3.153E+03	1.046E+02	3.472E+00	1.152E-01	1.152E-01
MN 57	9.584E+07	7.492E+04	3.579E-05	1.336E-17	0.000E+00								
MN 58	9.584E+05	6.801E+01	2.431E-11	6.164E-28	0.000E+00								
MN 59	9.509E+03	0.000E+00											
MN 60	4.653E+00	0.000E+00											
FE 51	8.079E-01	0.000E+00											
FE 52	7.745E+06	7.585E+06	7.123E+06	6.551E+06	5.095E+06	2.835E+06	1.037E+06	3.591E+05	1.243E+05	4.301E+04	1.489E+04	5.152E+03	1.783E+03
FE 53	1.110E+10	3.272E+09	8.375E+07	6.316E+05	2.712E-01	3.769E-16	0.000E+00						
FE 54	4.166E+14												
FE 55	5.281E+14	5.281E+14	5.282E+14	5.283E+14	5.283E+14	5.286E+14	5.290E+14	5.296E+14	5.298E+14	5.299E+14	5.298E+14	5.297E+14	5.295E+14
FE 56	6.938E+14	6.940E+14	6.946E+14	6.955E+14	6.979E+14	7.037E+14	7.136E+14	7.239E+14	7.343E+14	7.446E+14	7.548E+14	7.650E+14	7.752E+14
FE 57	5.006E+14	5.008E+14	5.016E+14	5.027E+14	5.058E+14	5.132E+14	5.260E+14	5.398E+14	5.534E+14	5.671E+14	5.809E+14	5.948E+14	6.086E+14
FE 58	3.986E+14	3.991E+14	4.004E+14	4.022E+14	4.075E+14	4.199E+14	4.412E+14	4.635E+14	4.857E+14	5.078E+14	5.297E+14	5.516E+14	5.733E+14
FE 59	7.782E+12	7.781E+12	7.777E+12	7.772E+12	7.757E+12	7.722E+12	7.682E+12	7.635E+12	7.598E+12	7.537E+12	7.475E+12	7.353E+12	7.293E+12
FE 60	1.278E+12												

図A1 I R A C Mコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

FE 61 2.450E+06 4.307E+05 2.337E+03 2.230E+00 1.938E-09 1.395E-30 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
 FE 62 5.419E+04 5.620E+00 6.267E-12 7.247E-28 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
 CO 53 3.927E+00 0.000E+00 0.000E+00

IRAC VERSION 2.11 70MEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

11-Mar-97 PAGE 6

LAYER = 1 IRRADIATION TIME 14.580

NUCLIDE TABLE NUCLIDE COMPOSITION (ATOMS) PRINT THRESHOLD: 1.000E-05

NUCLIDE	INITIAL	0.25HR	1.00HR	2.00HR	5.00HR	12.00HR	24.00HR	36.67HR	49.33HR	62.00HR	74.67HR	87.33HR	100.00HR
CO 54	2.171E+02	0.000E+00											
CO 55	2.981E+12	2.951E+12	2.865E+12	2.754E+12	2.446E+12	1.855E+12	1.154E+12	6.993E+11	4.238E+11	2.568E+11	1.556E+11	9.432E+10	5.716E+10
CO 56	2.200E+15	2.200E+15	2.200E+15	2.199E+15	2.198E+15	2.194E+15	2.188E+15	2.181E+15	2.174E+15	2.167E+15	2.159E+15	2.152E+15	2.144E+15
CO 57	9.877E+15	9.880E+15	9.888E+15	9.898E+15	9.929E+15	9.993E+15	1.008E+16	1.015E+16	1.021E+16	1.024E+16	1.027E+16	1.029E+16	1.030E+16
CO 58	4.378E+15	4.377E+15	4.376E+15	4.374E+15	4.369E+15	4.356E+15	4.335E+15	4.313E+15	4.291E+15	4.269E+15	4.247E+15	4.225E+15	4.203E+15
CO 59	2.401E+15	2.402E+15	2.402E+15	2.402E+15	2.402E+15	2.402E+15	2.402E+15						
CO 60	5.615E+14	5.615E+14	5.615E+14	5.615E+14	5.615E+14	5.614E+14	5.613E+14	5.612E+14	5.611E+14	5.610E+14	5.609E+14	5.608E+14	5.607E+14
CO 61	8.707E+11	7.839E+11	5.720E+11	3.758E+11	1.066E+11	5.630E+09	3.642E+07	1.780E+05	8.698E+02	4.250E+00	2.077E-02	1.015E-04	4.962E-07
CO 62	6.183E+08	6.040E+05	5.625E-04	5.116E-16	0.000E+00								
CO 63	4.289E+07	5.553E-03	0.000E+00										
CO 64	9.873E+03	0.000E+00											
NI 55	1.052E+01	0.000E+00											
NI 56	6.605E+13	6.598E+13	6.574E+13	6.543E+13	6.451E+13	6.241E+13	5.896E+13	5.535E+13	5.230E+13	4.925E+13	4.638E+13	4.368E+13	4.114E+13
NI 57	6.197E+14	6.167E+14	6.078E+14	5.961E+14	5.623E+14	4.908E+14	3.886E+14	3.038E+14	2.375E+14	1.856E+14	1.451E+14	1.134E+14	8.867E+13
NI 58	1.276E+16												
NI 59	2.593E+16												
NI 60	5.561E+16	5.562E+16	5.564E+16	5.565E+16									
NI 61	9.221E+16	9.226E+16	9.240E+16	9.255E+16	9.286E+16	9.314E+16	9.322E+16	9.323E+16	9.323E+16	9.323E+16	9.323E+16	9.323E+16	9.323E+16
NI 62	1.046E+17	1.046E+17	1.047E+17	1.047E+17	1.049E+17	1.052E+17	1.054E+17	1.055E+17	1.055E+17	1.055E+17	1.055E+17	1.055E+17	1.055E+17
NI 63	1.275E+15												
NI 64	9.537E+15	9.543E+15	9.561E+15	9.584E+15	9.645E+15	9.754E+15	9.867E+15	9.928E+15	9.959E+15	9.974E+15	9.982E+15	9.985E+15	9.987E+15
NI 65	8.511E+09	7.945E+09	6.464E+09	4.910E+09	2.151E+09	3.137E+08	1.156E+07	3.547E+05	1.088E+04	3.339E+02	1.025E+01	3.144E-01	9.645E-03
CU 57	5.532E+01	0.000E+00											
CU 58	5.474E+07	0.000E+00											
CU 59	1.600E+11	7.584E+07	8.075E-03	4.075E-16	0.000E+00								
CU 60	3.852E+13	2.517E+13	7.005E+12	1.273E+12	7.643E+09	5.006E+04	6.501E-05	2.709E-14	1.129E-23	4.703E-33	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
CU 61	1.018E+15	9.679E+14	8.310E+14	6.780E+14	3.684E+14	8.871E+13	7.727E+12	5.877E+11	4.470E+10	3.400E+09	2.586E+08	1.967E+07	1.496E+06
CU 62	6.503E+13	3.279E+13	1.586E+13	1.410E+13	1.125E+13	6.664E+12	2.714E+12	1.052E+12	4.074E+11	1.579E+11	6.116E+10	2.370E+10	9.182E+09
CU 63	5.914E+22												

図A1 I R A C Mコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

CU 64	7.190E+14	7.093E+14	6.808E+14	6.447E+14	5.473E+14	3.735E+14	1.940E+14	9.719E+13	4.868E+13	2.439E+13	1.222E+13	6.119E+12	3.065E+12
CU 65	2.551E+22												
ZN 58	3.561E-02	0.000E+00											
ZN 59	7.549E+04	0.000E+00											
ZN 60	2.625E+10	3.326E+08	6.764E+02	1.743E-05	0.000E+00								
ZN 61	3.323E+11	3.026E+08	2.284E-01	1.570E-13	0.000E+00								
ZN 62	9.169E+14	8.999E+14	8.508E+14	7.894E+14	6.306E+14	3.734E+14	1.521E+14	5.893E+13	2.203E+13	8.847E+12	3.428E+12	1.328E+12	5.146E+11
ZN 63	8.631E+13	6.569E+13	2.897E+13	9.726E+12	3.679E+11	1.767E+08	3.619E+02	3.579E-04	3.539E-10	3.501E-16	3.462E-22	3.424E-28	3.386E-34
ZN 64	2.705E+16	2.705E+16	2.707E+16	2.708E+16	2.711E+16	2.718E+16	2.725E+16	2.728E+16	2.730E+16	2.731E+16	2.731E+16	2.732E+16	2.732E+16
ZN 65	7.302E+15	7.301E+15	7.300E+15	7.298E+15	7.292E+15	7.281E+15	7.270E+15	7.260E+15	7.249E+15	7.238E+15	7.227E+15	7.216E+15	7.216E+15
GA 61	2.913E-01	0.000E+00											
GA 62	5.033E+01	0.000E+00											
GA 63	9.464E+04	4.113E-04	0.000E+00										
GA 64	1.623E+06	3.115E+04	2.202E-01	2.987E-08	7.454E-29	0.000E+00							

IRAC VERSION 2.11 TOMEV PROTON ON CU THICK TARGET + NEUTRON (IRAC2M-TEST)

LAYER = 1 IRRADIATION TIME 14.580

NUCLIDE TABLE RADIOACTIVITY (BQ)

PRINT THRESHOLD: 1.000E+05

NUCLIDE INITIAL	0.25HR	1.00HR	2.00HR	5.00HR	12.00HR	24.00HR	36.67HR	49.33HR	62.00HR	74.67HR	87.33HR	100.00HR
CR 51	6.963E+05	6.961E+05	6.956E+05	6.949E+05	6.927E+05	6.876E+05	6.791E+05	6.702E+05	6.614E+05	6.527E+05	6.442E+05	6.357E+05
MN 52	1.277E+05	1.275E+05	1.270E+05	1.264E+05	1.244E+05	1.200E+05	1.128E+05	1.057E+05	9.897E+04	9.270E+04	8.683E+04	8.133E+04
MN 54	2.647E+06	2.647E+06	2.647E+06	2.646E+06	2.646E+06	2.641E+06	2.638E+06	2.635E+06	2.632E+06	2.629E+06	2.626E+06	2.623E+06
MN 56	4.089E+06	3.824E+06	3.125E+06	2.389E+06	1.066E+06	1.623E+05	6.445E+03	2.139E+02	7.097E+00	2.355E-01	7.815E-03	2.593E-04
MN 57	7.619E+05	5.955E+02	2.845E-07	1.062E-19	0.000E+00							
FE 53	1.507E+07	4.441E+06	1.137E+05	8.575E+02	3.681E-04	5.117E-19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
FE 55	4.249E+06	4.249E+06	4.250E+06	4.250E+06	4.253E+06	4.257E+06	4.261E+06	4.263E+06	4.263E+06	4.263E+06	4.261E+06	4.260E+06
FE 59	1.403E+06	1.402E+06	1.402E+06	1.401E+06	1.398E+06	1.392E+06	1.381E+06	1.370E+06	1.359E+06	1.348E+06	1.337E+06	1.326E+06
CO 55	3.274E+07	3.242E+07	3.147E+07	3.025E+07	2.686E+07	2.037E+07	1.267E+07	7.681E+06	4.655E+06	2.821E+06	1.709E+06	1.036E+06
CO 56	2.289E+08	2.289E+08	2.289E+08	2.288E+08	2.286E+08	2.283E+08	2.276E+08	2.269E+08	2.261E+08	2.254E+08	2.246E+08	2.238E+08
CO 57	2.915E+08	2.916E+08	2.918E+08	2.922E+08	2.931E+08	2.950E+08	2.976E+08	2.997E+08	3.013E+08	3.024E+08	3.032E+08	3.037E+08
CO 58	4.952E+08	4.952E+08	4.950E+08	4.948E+08	4.942E+08	4.928E+08	4.904E+08	4.879E+08	4.854E+08	4.829E+08	4.804E+08	4.779E+08
CO 60	2.340E+06	2.339E+06	2.339E+06	2.338E+06	2.337E+06	2.337E+06						
CO 61	1.016E+08	9.147E+07	6.675E+07	4.385E+07	1.244E+07	6.570E+05	4.249E+03	2.077E+01	1.015E-01	4.960E-04	2.424E-06	1.185E-08
CO 62	4.762E+06	4.652E+03	4.332E-06	3.940E-18	0.000E+00							
CO 63	1.085E+06	1.405E-04	0.000E+00									
NI 56	8.687E+07	8.677E+07	8.646E+07	8.605E+07	8.484E+07	8.208E+07	7.754E+07	7.303E+07	6.878E+07	6.477E+07	6.100E+07	5.745E+07
NI 57	3.347E+09	3.331E+09	3.283E+09	3.219E+09	3.037E+09	2.651E+09	2.099E+09	1.641E+09	1.283E+09	1.003E+09	7.837E+08	6.127E+08

11-Mar-97 PAGE 7

図A2 THRESMコードの入力データ例の計算結果の出力

```

TARGET : 29063    PROJECTILE : 1001
<< Z = Z - 0    A = A - 0 >>    PRODUCT : ZN- 64    RNUM = 1    RNUM(SUB TOTAL) = 23
MIN. THRES. = 0.0000E+00 (MEV)    MAX. THRES. = 0.0000E+00 (MEV)

REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)
GAMMA
0.0000E+00

<< Z = Z - 0    A = A - 1 >>    PRODUCT : ZN- 63    RNUM = 1
MIN. THRES. = 4.2152E+00 (MEV)    MAX. THRES. = 4.2152E+00 (MEV)

REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)
N
4.2152E+00

<< Z = Z - 0    A = A - 2 >>    PRODUCT : ZN- 62    RNUM = 1
MIN. THRES. = 1.3472E+01 (MEV)    MAX. THRES. = 1.3472E+01 (MEV)

REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)    REACTION    THRESHOLD (MEV)
2N
1.3472E+01

<< Z = Z - 0    A = A - 3 >>    PRODUCT : ZN- 61    RNUM = 1
MIN. THRES. = 2.6575E+01 (MEV)    MAX. THRES. = 2.6575E+01 (MEV)

```

(中略)

図A2 THRESHMコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

<< Z = Z - 8 A = A - 19 >> PRODUCT : T1- 45 RNUM = 159

MIN. THRES. = 5.4290E+01 (MEV) MAX. THRES. = 1.6927E+02 (MEV)

REACTION	THRESHOLD (MEV)	REACTION	THRESHOLD (MEV)	REACTION	THRESHOLD (MEV)	REACTION	THRESHOLD (MEV)
11N8P	1.6927E+02	10N7PD	1.6701E+02	9N6P20	1.6475E+02	8N5P30	1.6249E+02
7N4P4D	1.6023E+02	6N3P5D	1.5797E+02	5N2P6D	1.5571E+02	4N1P7D	1.5345E+02
3N8D	1.5119E+02	9N7PT	1.6066E+02	8N6PDT	1.5840E+02	7N5P2DT	1.5614E+02
6N4P3DT	1.5388E+02	5N3P4DT	1.5162E+02	4N2P5DT	1.4936E+02	3N1P6DT	1.4710E+02
2N7DT	1.4484E+02	7N6P2T	1.5204E+02	6N5PD2T	1.4978E+02	5N4P2D2T	1.4752E+02
4N3P3D2T	1.4526E+02	3N2P4D2T	1.4300E+02	2N1P5D2T	1.4074E+02	N6D2T	1.3848E+02
5N5P3T	1.4342E+02	4N4P03T	1.4116E+02	3N3P2D3T	1.3890E+02	2N2P3D3T	1.3664E+02
NP4D3T	1.3438E+02	5D3T	1.3212E+02	3N4P4T	1.3480E+02	2N3PD4T	1.3254E+02
N2P2D4T	1.3028E+02	P3D4T	1.2802E+02	N3P5T	1.2619E+02	2PD5T	1.2393E+02
10N6PH	1.6143E+02	9N5PDH	1.5917E+02	8N4P2DH	1.5691E+02	7N3P3DH	1.5465E+02
6N2P4DH	1.5239E+02	5N1P5DH	1.5013E+02	4N6DH	1.4787E+02	8N5PTH	1.5282E+02
7N4PDTH	1.5056E+02	6N3P2DTH	1.4830E+02	5N2P3DTH	1.4604E+02	4N1P4DTH	1.4378E+02
3N5DTH	1.4152E+02	6N4P2TH	1.4420E+02	5N3PD2TH	1.4194E+02	4N2P2D2TH	1.3968E+02
3N1P3D2TH	1.3742E+02	2N4D2TH	1.3516E+02	4N3P3TH	1.3558E+02	3N2PD3TH	1.3332E+02
2N2D3TH	1.3106E+02	N3D3TH	1.2880E+02	2N2P4TH	1.2696E+02	NPD4TH	1.2470E+02
2D4TH	1.2244E+02	P5TH	1.1835E+02	9N4P2H	1.5359E+02	8N3PD2H	1.5133E+02
7N2P2D2H	1.4907E+02	6N1P3D2H	1.4681E+02	5N4D2H	1.4455E+02	7N3PT2H	1.4497E+02
6N2PD2H	1.4271E+02	5N2D2T2H	1.4045E+02	4N3D2T2H	1.3819E+02	5N2P2T2H	1.3636E+02
4N2D2T2H	1.3410E+02	3N2D2T2H	1.3184E+02	3N1P3T2H	1.2774E+02	2N03T2H	1.2548E+02
N4T2H	1.1912E+02	8N2P3H	1.4575E+02	7NPD3H	1.4349E+02	6N2D3H	1.4123E+02
6NP3H	1.3713E+02	5NDT3H	1.3487E+02	4N2T3H	1.2852E+02	7N4H	1.3791E+02
9N6PA	1.4053E+02	8N5PDA	1.3827E+02	7N4P2DA	1.3601E+02	6N3P3DA	1.3375E+02
5N2P4DA	1.3149E+02	4NP5DA	1.2923E+02	3N6DA	1.2697E+02	7N5PTA	1.3191E+02
6N4PDA	1.2965E+02	5N3P2DTA	1.2739E+02	4N2P3DTA	1.2513E+02	3NP4DTA	1.2287E+02
2N5DTA	1.2061E+02	5N4P2TA	1.2329E+02	4N3PD2TA	1.2103E+02	3N2P2D2TA	1.1877E+02
2NP3D2TA	1.1651E+02	N4D2TA	1.1425E+02	3N3P3TA	1.1468E+02	2N2PD3TA	1.1242E+02
NP2D3TA	1.1016E+02	3D3TA	1.0790E+02	N2P4TA	1.0606E+02	PD4TA	1.0380E+02
8N4PHA	1.3269E+02	7N3PDHA	1.3043E+02	6N2P2DHA	1.2817E+02	5NP3DHA	1.2591E+02
4N4DHA	1.2365E+02	6N3PTHA	1.2407E+02	5N2PDTHA	1.2181E+02	4NP2DTHA	1.1955E+02
3N3DTHA	1.1729E+02	4N2P2THA	1.1545E+02	3NPD2THA	1.1319E+02	2N2D2THA	1.1093E+02
2NP3THA	1.0683E+02	ND3THA	1.0457E+02	4THA	9.8218E+01	7N2P2HA	1.2485E+02
6NPD2HA	1.2259E+02	5N2D2HA	1.2033E+02	5NPT2HA	1.1623E+02	4NDT2HA	1.1397E+02
3N2T2HA	1.0761E+02	6N3HA	1.1701E+02	7N4P2A	1.1178E+02	6N3PD2A	1.0952E+02

(後略)

図A3 ELOSSMコードの入力データの例の計算結果の出力

```

INPUT DATA LIST
-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
MODE 1 1
TTC 70MEV PROTON ON CU-FE THICK TARGET STOPPING POWER/RANGE
LPR 0
TTP 70MEV PROTON
PROJ 1 1
EPROJ 50.0 70.0 20.0 20.0 MEV
TTG NATURAL COPPER-IRON TARGET SYSTEM
TLM1 MG 10 20. 2.0
TLM2 CM 20 0.5 0.1
TTM10 NATURAL COPPER
MAT10 8.93 W 29 0 1.0
TTM20 NATURAL IRON
MAT20 7.79 W 26 0 1.0
UNIT 0 0
T
-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*

WARNING. AA2 ENTRY AT 1-TH NUCLIDE IS ZERO IN MAT 10 COMMAND. ASSUMES AS A NATURAL ELEMENT
WARNING. AA2 ENTRY AT 1-TH NUCLIDE IS ZERO IN MAT 20 COMMAND. ASSUMES AS A NATURAL ELEMENT
*****
2 WARNING(S) WERE DETECTED
*****
TARGET STACK(S) / STOPPING POWER / PROJECTED RANGE INFORMATION :
TITLE : 70MEV PROTON ON CU-FE THICK TARGET STOPPING POWER/RANGE
PROJECTILE : Z = 1 A = 1
PROJECTILE TITLE : 70MEV PROTON
TARGET SYSTEM TITLE : NATURAL COPPER-IRON TARGET SYSTEM

1 MATERIAL ATOM.WEIL. ABUNDANCE DENS(G/CM3) THICK(MG/CM2) TOTAL ABD.
1 CU 63.540 1.0000(W) 8.9300E+00 2.0000E+01 1.0000(W)
MATERIAL = NATURAL COPPER
    
```

図A3 ELOSSMコードの入力データ例の計算結果の出力 (続き)

```

----- STOPPING POWER (MEV-CM2/MG) ----- PR. RANGE
ENERGY (MEV)  TOTAL      ELECTRON  NUCLEAR  (MG/CM2)
5. 0000E+01  8. 0338E-03  8. 0307E-03  3. 1866E-06  3. 5165E+03

2 MATERIAL  ATOM.WEI.  ABUNDANCE  DENS (G/CM3)  THICK ( CM )  TOTAL ABD.
  1  FE      55.847    1.0000 (W)  7.7900E+00  5.0000E-01  1.0000 (W)
MATERIAL = NATURAL IRON

----- STOPPING POWER (MEV-CM2/MG) ----- PR. RANGE
ENERGY (MEV)  TOTAL      ELECTRON  NUCLEAR  (MG/CM2)
4. 9837E+01  8. 6591E-03  8. 6557E-03  3. 3677E-06  3. 2715E+03

1 MATERIAL  ATOM.WEI.  ABUNDANCE  DENS (G/CM3)  THICK (MG/CM2)  TOTAL ABD.
  1  CU      63.540    1.0000 (W)  8.9300E+00  2.0000E+01  1.0000 (W)
MATERIAL = NATURAL COPPER

----- STOPPING POWER (MEV-CM2/MG) ----- PR. RANGE
ENERGY (MEV)  TOTAL      ELECTRON  NUCLEAR  (MG/CM2)
7. 0000E+01  6. 1931E-03  6. 1908E-03  2. 3546E-06  6. 3600E+03

2 MATERIAL  ATOM.WEI.  ABUNDANCE  DENS (G/CM3)  THICK ( CM )  TOTAL ABD.
  1  FE      55.847    1.0000 (W)  7.7900E+00  5.0000E-01  1.0000 (W)
MATERIAL = NATURAL IRON

----- STOPPING POWER (MEV-CM2/MG) ----- PR. RANGE
ENERGY (MEV)  TOTAL      ELECTRON  NUCLEAR  (MG/CM2)
6. 9875E+01  6. 6881E-03  6. 6857E-03  2. 4840E-06  5. 9145E+03
    
```