JAEA-Data/Code
2008-009

原子炉施設廃止措置のための残存放射能インベントリ評価コードシステム RADO

Computer Code System "RADO" for Evaluating Residual Radioactive Inventory in Decommissioning of Nuclear Reactor

助川 武則　島田 太郎　白石 邦生
立花 光夫　石神 努

Takenori SUKEGAWA, Taro SHIMADA, Kunio SHIRAISHI
Mitsuo TACHIBANA and Tsutomu ISHIGAMI

安全研究センター
廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ

Waste Disposal and Decommissioning Safety Research Group
Nuclear Safety Research Center

March 2008

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

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

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2008

JAEA-Data/Code 2008-009

原子炉施設廃止措置のための残存放射能インベントリ評価コードシステム RADO

日本原子力研究開発機構
安全研究センター　原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット
助川　武則・島田　太郎
白石　邦生[+]・立花　光夫[+]・石神　努[+]

（2008 年 2 月 21 日受理）

廃止措置を行う原子炉施設に残存する放射化放射能インベントリを評価する計算コードシステムRADOを整備した。本コードシステムは、巨視的実効断面積の計算、中性子束の計算及び放射化放射能インベントリの計算を行う計算プログラムから構成される。

本報告書は、放射化放射能インベントリ評価手法の概要、RADOシステムの全体構成と機能、各計算プログラムの入出力データ及び試計算をまとめたものである。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
[+] バックエンド推進部門　バックエンド技術開発ユニット

JAEA-Data/Code 2008-009

Computer Code System "RADO" for Evaluating Residual Radioactive Inventory in Decommissioning of Nuclear Reactor

Takenori SUKEGAWA, Taro SHIMADA
Kunio SHIRAISHI [+], Mitsuo TACHIBANA [+] and Tsutomu ISHIGAMI [+]

Nuclear Facility Safety Research Unit, Nuclear Safety Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 21, 2008)

The RADO system was developed for evaluating residual radioactive inventory in decommissioning of nuclear reactor. The code system consists of computer programs which calculate macroscopic effective cross section, neutron flux, and radioactive inventory. This report describes an evaluation method of radioactive inventory, structure and functions of RADO, input and output of RADO, and sample run with RADO.

Keywords: Decommissioning, Activation, Radioactivity, Inventory, Neutron Flux

---

[+] Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit, Nuclear Cycle Backend Directorate

目　次

1. はじめに 1
2. 残存放射能インベントリの計算手順 2
2.1 計算手順の概要 2
2.2 中性子束及びエネルギースペクトルの計算 2
2.3 放射化量の計算 3
3. RADOコードシステムの構成及び機能 5
3.1 構成 5
3.2 機能 5
4. 中性子束計算及び放射化計算における入力条件設定 10
4.1 中性子束計算の入力条件設定の考え方 10
4.2 放射化計算の入力条件設定の考え方 11
5. 放射能インベントリ計算の知見 15
5.1 中性子束計算のためのモデル化 15
5.2 放射化計算のための物質組成データ 16
6. おわりに 18
謝辞 18
参考文献 18
付録A 計算プログラムの使用手引 20
付録B サンプルラン 44
付録C サンプルランのためのバッチファイルリスト 55
付録D FIDOフォーマット 56

Contents

1. Introduction 1
2. Calculation method of residual radioactive inventory 2
2.1 Calculation procedure 2
2.2 Calculation of neutron flux and energy spectrum 2
2.3 Calculation of radioactive inventory 3
3. Outline of RADO structure and function 5
3.1 Structure 5
3.2 Function 5
4. Input conditions for neutron flux and radioactive inventory calculation 10
4.1 Neutron flux calculation 10
4.2 Radioactive inventory calculation 11
5. Lessons learned at radioactive inventory calculations 15
5.1 Calculation model for neutron flux 15
5.2 Material composition data for radioactive inventory calculation 16
6. Concluding remarks 18
Acknowledgment 18
References 18
Appendix A User's manual of RADO 20
Appendix B Sample run 44
Appendix C Batch file list for Sample run 55
Appendix D FIDO format 56

図表リスト

表3.1　構成プログラムの機能の概略
表4.1　代表的な構造物材料中の組成のまとめ（NUREG/CR-3474）

図2.1　放射化放射能インベントリの計算手順の概要
図3.1　RADOコードシステムによる計算手順
図4.1　BWRについての2次元計算モデルの例

List of Tables and Figures

Table 3.1　Outline of functions of constituent programs
Table 4.1　Composition in structure material（NUREG/CR-3474）

Figure 2.1　Calculation procedure of radioactive inventory
Figure 3.1　Calculation procedure in RADO
Figure 4.1　Example of two-dimensional calculation model for BWR

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構とする）が保有する原子力施設の中には、既にその役目を終え運転を停止したものがいくつかあり、それらは現在廃止措置が実施されていたり、あるいは、近い将来に実施される予定である。また、長期的には、現在運転されている施設もいずれは廃止措置されることとなり、そのための長期的な廃止措置計画を策定することが必要となる。原子力機構の中期計画[1)]では、自らの原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分について、「安全確保を大前提に、計画的かつ効率的に進めていく。この際、安全確保はもちろんのこと、コスト低減が重要であるから、合理的な廃止措置や放射性廃棄物の処理･処分に必要な技術開発を実施する」と記述されている。

原子力施設の廃止措置を計画的かつ効率的に進めて費用低減を図るためには、その計画作成段階において施設の特性評価や廃止措置の作業計画等について十分な検討が必要である。すなわち、解体工法の選定、廃棄物発生量の推定、放射性廃棄物の処理･処分方法の決定、作業者被ばく線量の予測、周辺公衆や環境への影響評価等に基づいて廃止措置計画を立案することが重要である。このためには、基本情報として施設に残存する放射性核種の種類、濃度、分布等（放射能インベントリ）を評価する必要がある。原子力施設のうち、中性子照射を受けた原子炉及び周辺構造物の放射化放射能インベントリは計算プログラムを用いて施設の形状や材料、運転履歴等に基づいて評価することができる。但し、対象となる原子炉施設の放射能インベントリを求める上で必要な中性子束の計算には炉心から離れた遮へい体等までの範囲を含む体系を考慮することが重要である。このような条件で良い計算精度を得るためには Sn 法等に基づく輸送コードを用いること、また、原子炉構造材や遮へい体の放射化については、輸送コードで得られた中性子束を読み込み、そのエネルギースペクトルに依存した放射化断面積を用いて計算することが望ましい。

原子力機構では、以上のことを考慮して中性子の照射による放射化放射能インベントリを評価するコードシステム RADO を整備した。本コードシステムは、中性子束やエネルギースペクトルを計算する DORT 及びその結果に基づいて放射化放射能インベントリを計算する ORIGEN-MD 等から構成される。

本報告書は、放射化放射能インベントリ評価手法の概要として、評価の流れ、評価条件等を述べ（2 章）、次に、RADO コードシステムの全体構成と機能を記述し（3 章）、ある原子炉施設を対象に放射化放射能インベントリを計算しようとするもの（ユーザー）が計算モデルや入力条件を設定するに際して考慮すべきこと等を解説した（4 章）。さらに、原子力機構の研究用原子炉を対象とした放射能インベントリ計算から得られた知見を記述した（5 章）。付録には、ユーザーの助けになるよう各構成プログラムの使用手引を記述し、研究用原子炉を対象とした放射化インベントリの計算を例題として構成プログラムの入出力データを掲載した。

2. 残存放射能インベントリの計算手順

本章では、廃止措置を計画している原子炉施設内の残存放射能インベントリを、計算コードを用いて評価する場合の計算手順の概要とRADOコードシステムを整備するにあたっての考え方を述べる。

2.1 計算手順の概要

放射化による残存放射能インベントリの評価においては、原子炉の運転履歴、機器・構造物の幾何学的な配置（原子炉の幾何形状）と材料組成（材料の分布、構造物の物質組成）を入力データとし、中性子束とエネルギースペクトル及び中性子による放射化の計算を行い、機器毎、核種毎に放射能濃度分布及び放射能総量を算出することが求められる。これらは一般には図 2.1 に示す手順により計算される。本図に示すように、計算は大別すると、

- 運転中の原子炉の炉心及び周辺の各位置での中性子束とエネルギースペクトルの計算
- 原子炉の運転履歴に基づく放射性核種の生成及び停止後の冷却時間に依存した放射性崩壊の計算

の 2 段階に分けられる。後者の計算では、前者の計算で得られた中性子束とエネルギースペクトルのデータを用いる。以下、それぞれの計算手順について述べるとともに、具体的にRADOコードシステムを整備するにあたっての考え方を示す。

2.2 中性子束及びエネルギースペクトルの計算

中性子束とエネルギースペクトルの計算手法には、決定論的手法（主に離散座標 Sn 法）と確率論的手法（モンテカルロ法）とがある。離散座標 Sn 法では 1 次元と 2 次元の計算プログラムが主流で、モンテカルロ法では 3 次元の計算プログラムが使用されている。

BWR、PWR 等の原子炉施設は円筒形の炉心構造のものが多いため、炉内構造物や圧力容器のような主要な放射化領域は円筒形状でのモデル化が可能である。従って、主要な放射化領域の中性子束の計算には、2 次元までの Sn 法に基づく計算プログラムが適している。

RADO コードシステムでは、計算対象となる施設が円筒形状としてモデル化できる特徴を有しており比較的容易にモデル化を行うことを考慮して、2 次元の離散座標 Sn 法に基づく計算プログラム DORT[2), 3)]を用いている。

一方、生体遮へい体を貫通している圧力容器接続配管やダクト等の配管貫通孔付近では中性子の局所的な流れ（ストリーミング）が生じる。原子炉施設には多くの配管貫通孔等が存在し、ストリーミングによる中性子で炉心から離れた位置においても放射化による放射能が生成することが想定され、これらの中性子束とエネルギースペクトルの計算が必要になる。このような領域には 3 次元の計算プログラムを適用する必要がある。

中性子束計算プログラムで使用するデータライブラリには大きく分けて、汎用核データライブラリと目的別の群定数ライブラリがある。汎用核データライブラリは目的別の群定数ライブラリの基礎となるもので、多数の核種について、種々の核反応断面積や核物理定数を収納したものである。代表的なものに米国で開発された ENDF[4)]及び日本の JENDL[5)]がある。目的別の群定数ライ

ブラリは、原子炉施設の種類等に依存して異なる中性子エネルギースペクトルに応じて、比較的少数の群数で編集したものであり、取扱いが容易となるよう考慮されている。

RADO コードシステムでは、JENDL3.2 をもとに作成された中性子 100 群の群定数ライブラリ JSSTDL-J32[6]を用いている。

2.3 放射化量の計算

放射化量の計算では、原子炉施設の運転による計算対象部位の照射履歴、中性子束及び構成材料の物質組成を入力データとして、放射性核種の生成及び停止後の放射性崩壊による放射性核種の消滅を計算する。放射化量の計算に用いられる代表的な計算プログラムとして ORIGEN[7), 8)]（米国オークリッジ国立研究所の開発）がある。ORIGEN は、本来、燃料中の放射性同位元素の生成及び崩壊を追跡し、多数の放射性核種の量を求めるものである。

ORIGEN-2（ORIGEN の改良版）を利用する場合、照射を受ける燃料・構成材料の物質組成及び照射冷却の履歴（時間－熱出力ヒストグラム）はユーザーが入力することになるが、放射化断面積を格納しているデータベース（ライブラリ）を指定する必要がある。放射化断面積は、炉型、燃料の種類、燃焼度等に依存するため、ORIGEN-2 には PWR、BWR、LMFBR を含む多種類の炉型の原子炉に利用可能な放射化断面積ライブラリが用意されている。これらの放射化断面積ライブラリを用いることで炉型別の中性子エネルギースペクトルの違いを考慮できる。しかし、放射化断面積ライブラリは、前記の炉型の燃料におけるエネルギースペクトルに基づいて作成された 1 群のデータである。そこで、前記炉型とは異なる中性子スペクトルを有する施設について原子炉構造材の放射化量を求める場合は、予め対象施設の中性子束及びそのエネルギースペクトルを計算して、計算領域ごとに 1 群の放射化断面積を作成し、その結果を使用することが望ましい。

RADO コードシステムでは、DORT による計算で得られた中性子束を読み込み、原子炉構造材中の放射性核種の生成・崩壊を計算できるよう改良した ORIGEN-MD[9)] を用いている。また、ORIGEN-MD では、放射化量を計算する領域ごとに DORT 計算で得られたエネルギースペクトルを用いて実効放射化断面積データを作成し、それを放射性核種の生成・崩壊計算に使用する。

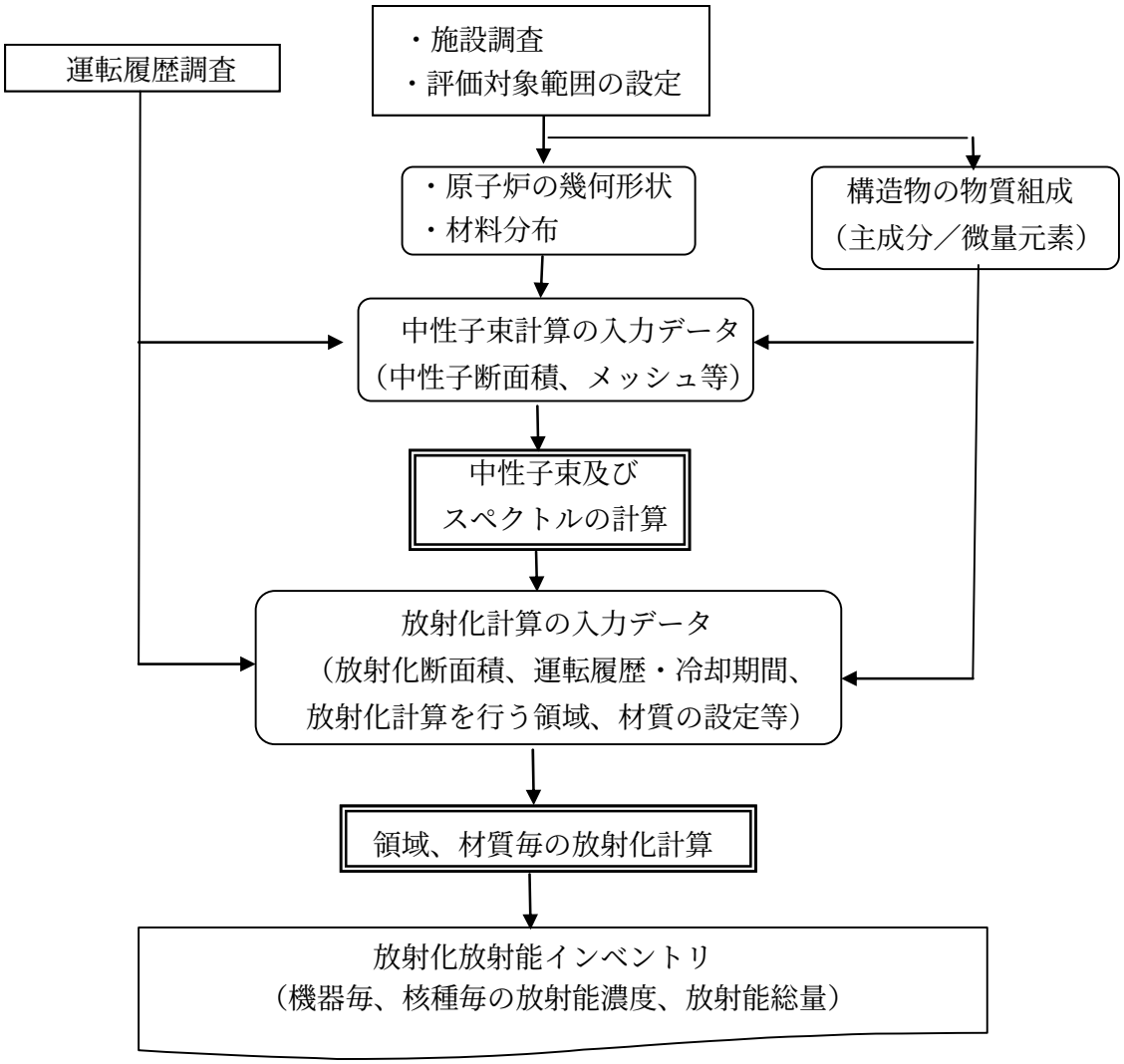


図 2.1　放射化放射能インベントリの計算手順の概要

3. RADO コードシステムの構成及び機能

3.1 構成

RADO コードシステムは、原子炉施設における放射化による残存放射能インベントリを評価するための統合計算プログラムである。本コードシステムは、巨視的実効断面積、中性子束分布及び放射化放射能インベントリの計算を行う主要な計算プログラム（MACRO-JG、DORT、ORIGEN-MD）、データの編集・授受を行うプログラム（CONCAT、GIP、RTFLUM 等）、関連するライブラリ（JSSTDL-J32、ORIGEN-MD 用ライブラリ）並びにこれらのプログラムの入出力データファイルから構成される。RADO コードシステムによる計算手順を図 3.1 に示す。

RADO コードシステムにおける計算の流れは、以下のとおりである。

(1)巨視的実効断面積の計算（MACRO-JG）

中性子断面積ライブラリ JSSTDL-J32 及び同ライブラリを用いる際のコントロールデータを入力とし、MACRO-JG を用いて各構成物質に対する巨視的実効断面積を計算する。

(2)中性子束の計算（DORT）

複数の各構成物質の巨視的実効断面積を CONCAT を用いて一つのファイルに結合する。さらに、GIP を用いてこのファイルを群独立形式の巨視的実効断面積に変換する。この形式の巨視的実効断面積を入力データとして DORT を用いて中性子束を計算する。

(3)放射化放射能インベントリの計算（ORIGEN-MD）

DORT を用いて得られた中性子束データをもとに、RTFLUM 及び MAKEFLX を用いて ORIGEN-MD で利用可能なテキスト形式の中性子束データファイルを作成する。この中性子束データファイル及び放射化断面積データライブラリを入力データとして、ORIGEN-MD を用いて放射化放射能インベントリを計算する。

3.2 機能

RADO コードシステムを構成する各計算プログラム及びデータの編集・授受を行うプログラムの機能は以下の通りである（表 3.1）。

(1)MACRO-JG

MACRO-JG は、中性子断面積ライブラリ JSSTDL-J32 を入力データとして、巨視的実効断面積を計算するプログラムである。単一の構成物質に対する巨視的実効断面積を作成する。なお、複数の構成物質を対象とする場合には、材質ごとに繰り返し計算を行う必要がある。

(2)CONCAT

CONCAT は、MACRO-JG を用いて構成物質ごとに繰り返し計算で得られた複数の構成物質に対する巨視的実効断面積を結合して、1 つの断面積にまとめるプログラムである。作成される断面積は ANISN 形式の巨視的実効断面積である。

(3)GIP

炉内構造物等は、各構成物質や水等の均質化領域として表すことが多い。その場合、炉内構造物等をモデル化するために、様々な混合比（体積割合）からなる均質化領域を設定する必要がある。しかし、各均質化領域に対して巨視的実効断面積を予め用意しておくことは効率が悪く、また、実効断面積計算の際のバックグラウンド断面積も実際の非均質物質でのそれとは異なるものとなる。GIP は、構成物質毎の巨視的実効断面積を領域中の各構成物質の体積割合に応じて混合して均質化断面積を作成するプログラムである。GIP からは群独立形式と呼ばれる形式の巨視的実効断面積ファイルが出力される。DOORS3.2 システム [2)]の 1 モジュールである。

(4)DORT

DORT は、2 次元の離散座標 Sn 法を用いて中性子束とエネルギースペクトルを計算するプログラムである。RADO コードシステムにおいては DOORS3.2 システムのモジュールをそのまま用いている。但し、プログラムをパーソナルコンピュータ環境に整備するに際して FORTRAN コンパイラに適合するよう若干の改良を加えている。

(5)RTFLUM、MAKEFLX

DORT で計算された中性子束を ORIGEN-MD に引き渡すためには、データの形式変換が必要である。この形式変換は、2 つの変換用プログラム RTFLUM 及び MAKEFLX を用いて行われる。RTFLUM は、VARFLM 形式の中性子束データファイルを DOT3.5 形式（NFSLV 形式）へ変換するプログラムである（DOORS3.2 システムのモジュール）。MAKEFLX は、RTFLUM によって作成された NFSLV 形式の中性子束データファイルをテキスト形式データに変換するプログラムである。また、MAKEFLX は、ORIGEN-MD と同じアルゴリズムで詳細群から縮約した 3 群（熱群：～0.876eV、中速群：0.876eV～1MeV、高速群：1MeV～）の中性子束を、ORIGEN-MD で用いるファイル形式で出力する機能を持っている。

(6)ORIGEN-MD

ORIGEN-MD は、中性子束データファイル及び放射化断面積データライブラリを入力データとして、放射化放射能インベントリを計算するプログラムである。このプログラムでは、放射化計算を行う領域を DORT の計算領域番号で指定して、MAKEFLX により編集した高速、中速及び熱群のデータを読み込む。また、放射性核種の生成と消滅を算出するための実効的な放射化断面積を編集するために必要な指標を自動的に作成する。

例えば、(n, γ)反応断面積に対する実効放射化断面積は、以下の式で作成する。

$$\sigma_{eff} = \sigma_{n\gamma} \times THERM + RI_{n\gamma} \times RES \quad \cdots\cdots (1)$$

$$THERM = \sqrt{\frac{\pi}{4}.\frac{T_0}{T}} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで、

$\sigma_{n\gamma}$：2200m/sec - (n, γ)反応断面積

$RI_{n\gamma}$：(n,γ)反応共鳴積分

RES：単位レサジー当たりの共鳴中性子束と熱中性子束との比

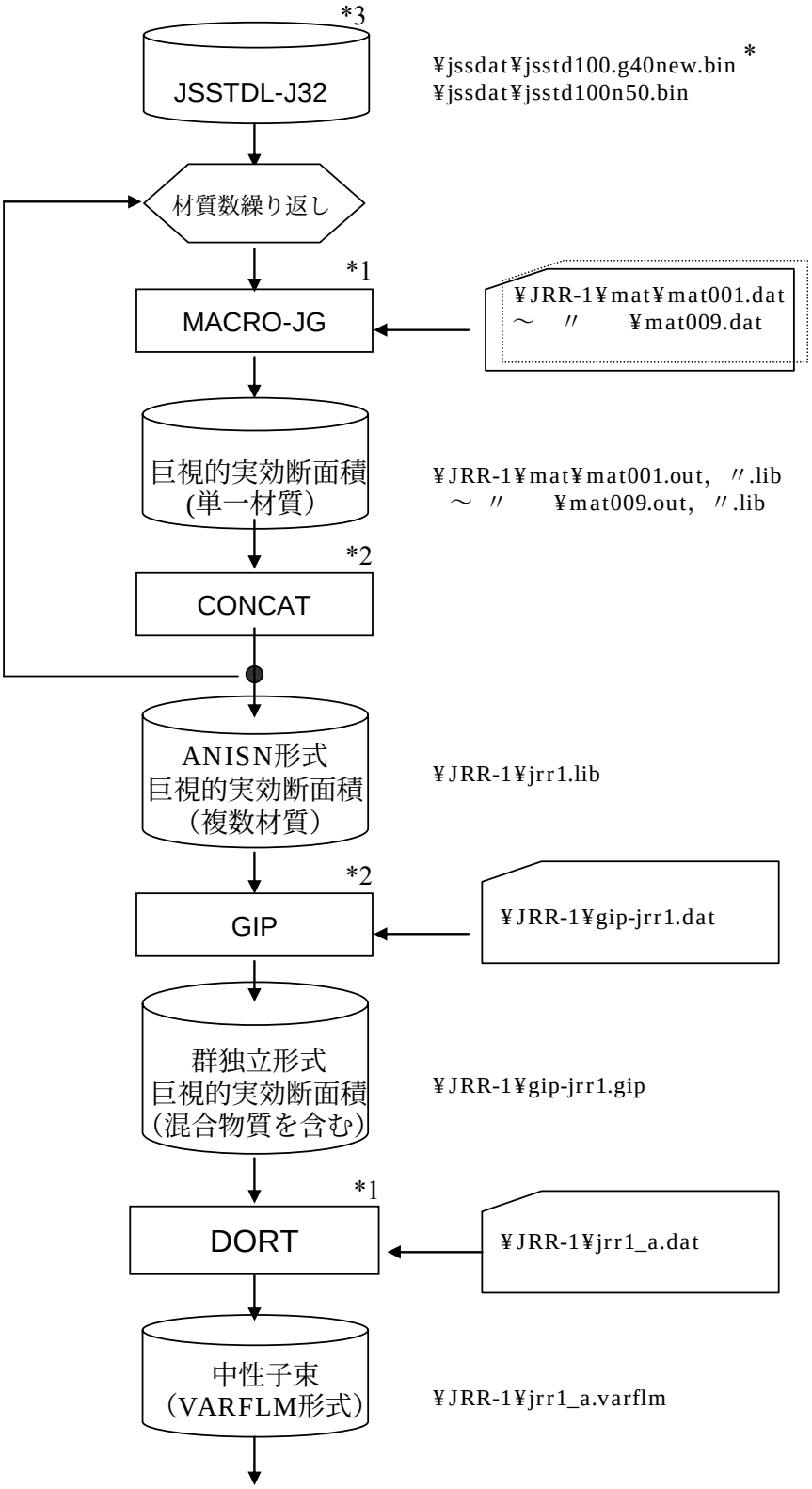
T_0　：293.61（K）

T　　：物質の温度（K）

ORIGEN-MD では、上記の THERM を入力データで与え、RES は、指定した計算領域番号の DORT 中性子束データを読み込んで、自動的に実効断面積を作成する。

表 3.1　構成プログラムの機能の概要

プログラム名	機能	備考
MACRO-JG	JSSTDL-J32 ライブラリをもとに巨視的実効断面積を作成する。	単一の構成物質に対する巨視的実効断面積を作成する際に用いられる。
CONCAT	複数の ANISN 形式の巨視的実効断面積を結合する。	
GIP	構成物質毎の巨視的実効断面積を混合するとともに、群独立形式の巨視的実効断面積ファイルを作成する。	DOORS3.2 システムのモジュール。例えば、炉内構造物（ステンレス鋼と水）のような、複数の構成物質から成る領域を均質化された巨視的実効断面積でモデル化する場合に用いる。
DORT	2 次元の離散座標 Sn 法を用いて中性子束とエネルギースペクトルを計算する。	DOORS3.2 システムのモジュール。
RTFLUM	VARFLM 形式の中性子束データファイルを DOT3.5 形式ファイルへ変換する。	DOORS3.2 システムのモジュール。
MAKEFLX	RADO コードシステムで用いるテキスト形式の中性子束データファイルを作成する。	
ORIGEN-MD	放射化放射能インベントリを計算する。	DORT の計算結果を利用しやすいように ORIGEN を改良



* ファイル名はサンプルラン(付録)でのそれである。

*1 計算プログラム
*2 データの編集･授受を行うプログラム
*3 ライブラリ

図 3.1 RADO コードシステムによる計算手順(1/2)

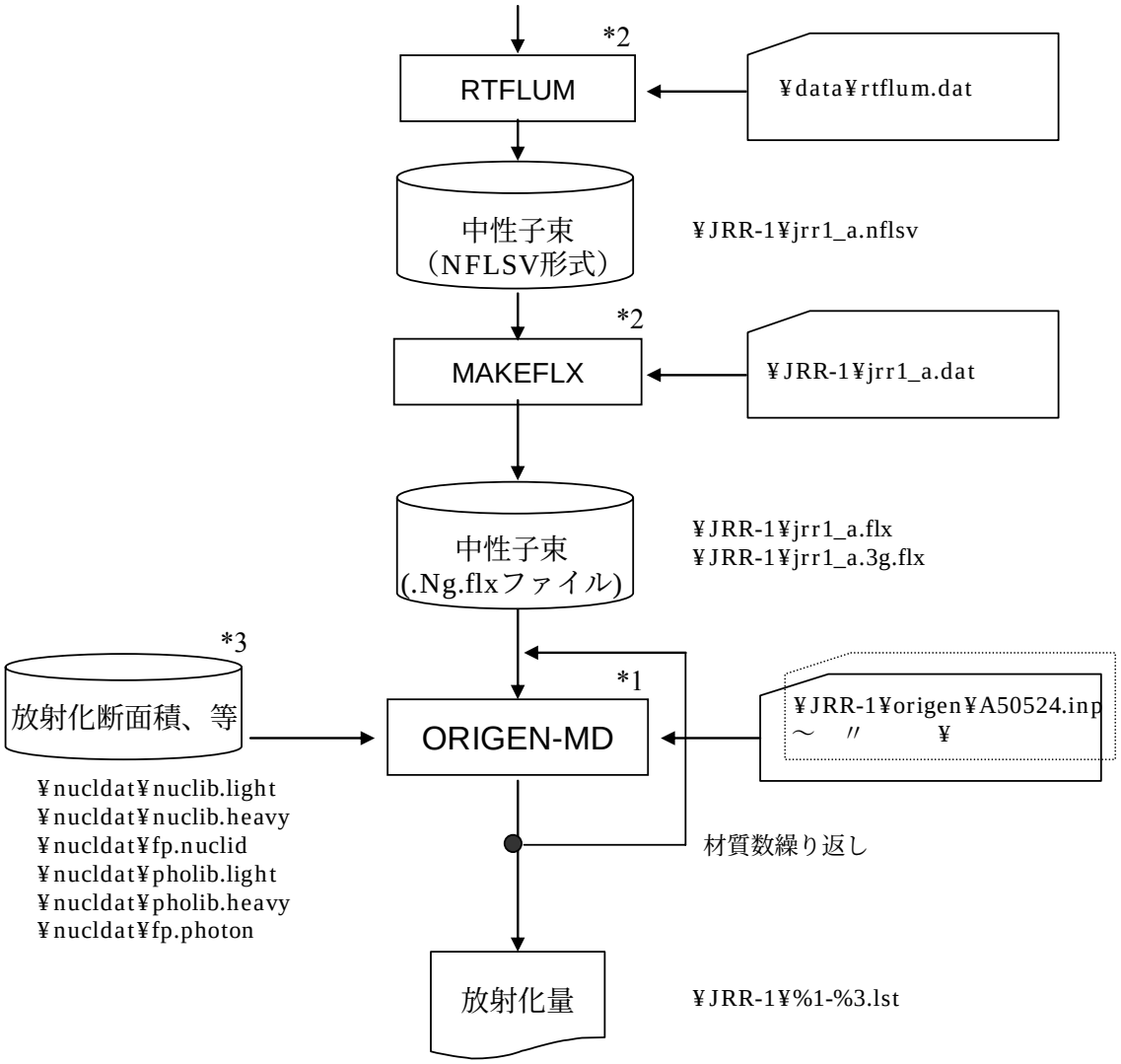


図 3.1　RADO コードシステムによる計算手順（2/2）

4. 中性子束計算及び放射化計算における入力条件設定

4.1 中性子束計算の入力条件設定の考え方

(1)原子炉施設のモデル化

計算体系をモデル化する場合、原子炉施設の構造・組立図に基づいて設定する。円柱形状のモデルで計算を行う場合、炉心部は炉心断面積と等価直径の円柱とし、その外側の水や構造物の層は半径方向の厚さを保存して円柱形状のモデルとする。炉心領域の物質組成は、領域温度、炉水中のボイド分布の違い等を考慮して作成する。他方、炉心の燃料集合体、制御棒、上部及び下部燃料格子領域のような複雑形状部については、形状を単純化する必要がある。このような複雑形状部は材料も単一ではないため、燃料、燃料被覆材、炉水、炉内構造物等のそれぞれの体積比率で物質組成の均質化を行い、組成データを作成する。制御棒付近では、炉心全体を均質と仮定して計算を行えば、中性子束を過大評価する可能性がある。このような特殊な領域では領域をいくつかのゾーンに分けて個別計算（一次元で近似した計算でよい）を行い、その計算結果により均質化計算の妥当性を確認する必要がある。

生体遮へい体領域も全体として円柱形状にモデル化できるが、そこに含まれる鉄筋や埋設冷却管等についてはその体積比率等を用いて組成の均質化を行う。鉄筋等の影響を無視すれば中性子束が過大に算出される。

(2)線源強度の設定

中性子の線源強度を設定する上で入力するパラメータは、エネルギースペクトル、炉心部での線源強度の分布及び炉心部全体の発生中性子数である。

a) エネルギースペクトル

圧力容器内及び周辺領域における中性子は、熱中性子による ^{235}U の核分裂で生じる。この中性子スペクトルとしては、Maxwell 型、Watt 型の近似式がよく知られている。このうち、Watt 型の近似式の代表例は次式のとおりである [10]。

$$\chi(E) = 0.4527e^{-E/0.965}\sinh(2.29E)^{1/2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ここで、E は中性子エネルギー（MeV）である。エネルギー群毎に上式で得られるスペクトル値を入力する。

b) 炉心部での線源強度の分布

炉心部は、通常円柱形状とし、半径方向及び軸方向にメッシュ状に分割してモデル化する。各メッシュの線源強度として、半径方向及び軸方向について運転時の燃焼度の平均的な分布を入力する。

c) 炉心部全体の発生中性子数

炉心部全体の単位体積、単位時間当たりの発生中性子数は、通常、定格運転時の熱出力に依存した次式で得られる値を入力する。

$$N = 3.12\times10^{10}\ (\text{fission/sec/W})\times2.5\ (\text{neutrons/fission})\times P/V \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

N：発生中性子数 (neutrons/ sec/cm^3)

P：定格運転時の熱出力 (MW)

V：有効炉心体積 (cm^3)

(3)Sn 法計算パラメータ

上述の他、DOT3.5/DORT による計算で設定すべき基本的なパラメータとして、空間メッシュ幅、群定数ライブラリのエネルギー群数および離散座標 Sn 法の固有のパラメータとして散乱のルジャンドル展開次数の最大値、媒質内での中性子の移動方向に関する角度分点パラメータ、計算の収束判定値がある。

空間メッシュ幅のとり方は、当該物質領域の中性子平均自由行程（$\lambda = \Sigma_t^{-1}$）をもとに 1/2・λ ないし λ を基準とし、また、隣り合う物質領域間でメッシュ幅に大きな差が無いこと等に注意すべきである。大規模の計算体系ではメッシュ数が膨大となる。DOT3.5 を用いた BWR プラントの解析の例では、図 4.1 に示すように計算モデル全体を半径方向に 2 分割し、接続計算を実施して全領域の中性子束を計算している [11]。メッシュ幅（粗さ）については、一次元で近似した計算により計算精度を損なわないことを予め確かめておくと良い。

群定数ライブラリのエネルギー群数は、100 群程度であれば縮約せずそのまま大規模の計算体系での計算に適用可能である。

散乱のルジャンドル展開次数は P_3 を、また、角度分点パラメータには対称型の S8（半球面あたりの分点数 48）、ストリーミングを取扱う場合、非対称型 S124、S164（半球面あたりの分点数がそれぞれ 124、164）等を設定すればよい。エネルギー群毎の計算の収束判定値については、通常、0.01（熱群での収束度に依存する）を設定する。

4.2　放射化計算の入力条件設定の考え方

ORIGEN に代表される燃焼計算プログラムを原子炉材料の放射化の計算に用いる場合、対象物の親元素組成や運転及び停止後の時間（運転ヒストグラム）を入力し、さらに各領域の中性子束分布を読み込み（あるいは入力し）、核種毎の放射能濃度を計算する。これらの設定について記述する。

(1)評価対象とする放射性核種とその親元素の化学組成

廃止措置計画の策定に重要となる放射性核種を抽出するためには、初期の計算の段階で可能な限り多くの親元素の物質組成データを入力する。よく使われるデータ集として、ステンレス鋼、圧力容器用炭素鋼、コンクリート、制御棒等に含まれ放射化される元素について包括的に化学分析を行い、データベース化した米国の資料（NUREG/CR-3474）[12]がある（表 4.1 参照）。

ORIGEN-MD においては、初期の組成として元素ごとに単位重量（g）または単位体積（cm^3）あたりの割合を入力することにより、計算結果はそれぞれ Bq/g、Bq/ cm^3 単位で出力される。

(2)運転ヒストグラムの作成

原子炉施設の詳細な運転履歴（時間－熱出力ヒストグラム）に基づいて、放射化計算用の簡略な運転ヒストグラムを作成する。実際の運転では、運転中の制御棒パターン調整、コーストダウ

ン運転、あるいは機器・設備の故障によるトリップ等により出力が低下したり、運転停止となることがあるが、計算に当たっては、1 つの運転期間内では一定の平均出力で運転されているとして運転ヒストグラムを作成する。原子炉施設の運転は、計画的な定格運転と定期検査による停止のサイクル運転であるので、運転ヒストグラムは、運転期間と定期検査期間の繰り返しとなる。このヒストグラムでの、運転期間、運転停止期間及び個々の運転期間毎の平均熱出力を放射化計算の条件とする。

なお、供用期間中に、炉心改造やシュラウド交換のような構造物全体の取り替えが行われることがある。このような場合は、当該設備・機器を改造記録等と照合しつつ作成した運転ヒストグラムを適用する必要がある

(3)計算対象領域の設定

ORIGEN-MD では、DORT 計算における形状メッシュ位置を指定することによって放射化計算に用いる中性子束を決める。DORT での半径方向及び軸方向の複数メッシュ位置を指定すると、厚みや高さをもった大きな領域の放射化計算が一度の計算で可能である。しかし、原子炉圧力容器や生体遮へい体のように大きな構造物については、これらの中で放射能濃度が広く分布するためいくつかの領域に分割して計算すべきである。

表 4.1　代表的な構造物材料中の組成のまとめ（NUREG/CR-3474）

No	元素		SUS304	原子炉容器炭素鋼	鉄筋用炭素鋼	コンクリート
1	H	ppm				6100
2	Li	ppm	0.13	0.3	0.1	20
3	B	ppm				20
4	N	ppm	452	84	77	120
5	Na	ppm	9.7	23	7.2	7390
6	Al	ppm	100	330	180	31000
7	Si	%				16.8
8	P	ppm				5000
9	S	ppm				3100
10	Cl	ppm	70	40		45
11	K	ppm	3	12	40	7500
12	Ca	ppm	19	14	50	183000
13	Sc	ppm	0.03	0.26	0.1	6.5
14	Ti	ppm	600	2	700	2121
15	V	ppm	456	80	201	103
16	Cr	%	18.4	0.17	0.131	0.0109
17	Mn	%	1.53	1.02	0.94	0.0377
18	Fe	%	70.6	98	98	3.9
19	Co	ppm	1414	122	103	9.8
20	Ni	%	10	0.66	0.107	0.0038
21	Cu	ppm	3080	1274	2980	25
22	Zn	ppm	457	100	67	75
23	Ga	ppm	129	80		8.8
24	As	ppm	194	532	129	7.9
25	Se	ppm	35	0.7		0.92
26	Br	ppm	2	0.85	1.1	2.4
27	Rb	ppm	10	48	20	35
28	Sr	ppm	0.2	0.15	0.4	438
29	Y	ppm	5	20		18.2
30	Zr	ppm	10	10		71
31	Nb	ppm	89	18.8		4.3
32	Mo	ppm	2600	5600	218	10.3
33	Pd	ppm				3
34	Ag	ppm	2	2	4.2	0.2
35	Cd	ppm				0.3
36	Sn	ppm				7
37	Sb	ppm	12.3	11	47	1.8
38	Cs	ppm	0.3	0.2	0.6	1.3
39	Ba	ppm	500	1	400	950
40	La	ppm	0.2	273	0.3	13
41	Ce	ppm	371	1		24.3
42	Nd	ppm				20
43	Sm	ppm	0.1	0.017	0.04	2
44	Eu	ppm	0.02	0.031	0.09	0.55
45	Gd	ppm				4
46	Tb	ppm	0.47	0.45		0.41
47	Dy	ppm	1			2.3
48	Ho	ppm	1	0.8	0.04	0.9
49	Yb	ppm	2	1		1.4
50	Lu	ppm	0.8	0.2	0.6	0.27
51	Hf	ppm	2	0.21	0.8	2.2
52	Ta	ppm		0.13	0.6	0.44
53	W	ppm	186	5.5	15	1.4
54	Pb	ppm	67	820		61
55	Th	ppm	1	0.18	0.6	3.5
56	U	ppm	2	0.2	0.9	2.7

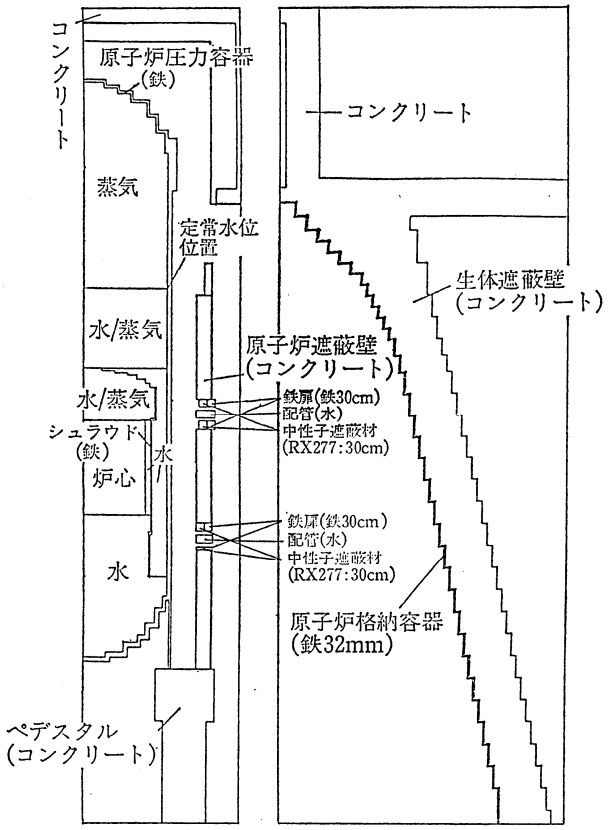


図4.1　BWRについての2次元計算モデルの例

5. 放射能インベントリ計算の知見

5.1 中性子束計算のためのモデル化

(1)評価対象範囲

放射化放射能インベントリの計算に当たって、炉心部からどの範囲までを計算の対象とするかは、計算の最初の段階で考慮することになる。

原子炉施設で使用されている遮へい体は中性子を十分遮へいできるように設計されているため、遮へい体のある部分より外側については中性子による放射化の影響を考慮する必要がないと考えられる。管理区域境界における線量基準（6.25μSv/h）を目安に生体遮へい体の中での放射化の影響範囲を検討した事例がある[13)]。これによれば、中性子線量当量率がこの値になる部位はBWR、PWRともに生体遮へい体の内部にあり、炉内構造物、圧力容器、圧力容器周辺の構造物等、生体遮へい体の内側に設置されている設備・機器及び生体遮へい体内部の一部領域が含まれる。

このように、放射化放射能インベントリの評価対象範囲の設定に当たっては、まず炉心部を始点として生体遮へい体までの領域を対象とした概略の計算を行うことによって放射化の範囲を判断し、次に漏洩中性子の影響等を考慮しつつ範囲の明確化を行うこととなる。

他方、多様な実験孔をもち炉心形状が複雑な研究用原子炉のような施設の放射能インベントリの計算評価には、2次元コードと3次元のSnコードやモンテカルロコードの併用が有効である[14)]。

(2)燃料特性

原子炉施設では定格出力を得るために、燃焼に伴って変化する燃料特性（濃縮度、燃焼度等）を考慮して、初期装荷と平衡装荷で燃料の配置を変えたり、燃料の定期的な交換、燃料の配置替えを行っている。運転時には特性が異なった燃料が原子炉に存在し、燃焼に伴いさらに燃料特性が変化していく。燃料の燃焼度や濃縮度が異なれば、核分裂に伴い発生する中性子の数（増倍係数）やエネルギースペクトルが異なり、炉心部の中性子束は複雑に変化する。この燃料特性の時間的変化を厳密に考慮した中性子束計算は困難であるため、実際上は近似的な計算を行う。例えば、原子力発電所の場合、初期装荷から数回程度の燃料交換を行うと平衡炉心となるため、平衡炉心での燃料特性データで中性子束を計算することが多い。中性子束とエネルギースペクトルの計算条件のうち、燃料特性に係る条件設定の例を以下に示す。

- 燃料領域のモデル：燃料領域を一つまたは複数のゾーンとし、それぞれのゾーンで均質化したモデルを基本とする。ゾーン別に断面積及び出力密度分布を与える。
- 核分裂中性子発生数：定格出力に相当する中性子数を基に、出力が定格出力と異なる場合は、定格出力との比で中性子数を与える。
- 核分裂中性子のエネルギースペクトル：平衡炉心での初期 ^{235}U 濃縮度に相当するエネルギースペクトルを用いる。
- 断面積ライブラリ：平衡炉心の形状、材料、初期 ^{235}U 濃縮度で定まる物質組成をもとに作成した断面積を用いる。

5.2　放射化計算のための物質組成データ

(1)評価対象とする放射性核種の種類

残存放射能インベントリの評価は、解体作業（除染や解体の手順･方法）の決定、作業員や環境の防護、廃棄物の分類や処理処分の基礎となるものであることから、それぞれの観点から評価対象とする放射性核種を選定する必要があり、原子炉施設の燃料特性等を反映して選択される。

廃棄物の分類や廃棄物の処理・処分に関しては、原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の埋設に関する政令濃度上限値やクリアランスレベルの設定に係る放射性核種が既に決められており、それらの核種を包含するよう評価する必要がある。廃棄物に関する放射性核種の中で、放射化の汚染の対象となる放射性核種は以下のとおりである。

^{3}H、^{14}C、^{22}Na、 ^{36}Cl、^{39}Ar、^{41}Ca、^{54}Mn、^{55}Fe、^{59}Fe、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Ni、^{63}Ni、^{65}Zn、^{93}Zr、^{93m}Nb、^{94}Nb、^{93}Mo、^{99}Tc、^{108m}Ag、^{110m}Ag、^{125}Sb、^{134}Cs、^{133}Ba、^{152}Eu、^{154}Eu、^{155}Eu、^{166m}Ho、^{182}Hf、^{239}Pu, ^{241}Pu、 ^{241}Am

一般的にはこれらの放射性核種を考慮すれば十分と思われるが、対象とする原子炉施設に固有の構成材料が使用されている場合には、上記以外の放射性核種も考慮して選定する。計算プログラムで算出される放射性核種の種類は、入力する親元素（構造材元素及び核分裂性元素）に依存することから、初期の計算の段階で可能な限り多くの親元素の物質組成データを入力し、多くの放射性核種を網羅的に算出しその中から評価対象とする放射性核種を選定するのが良い。

(2)利用できる物質組成データ

放射化計算に用いる材料の親元素組成をデータベース化したものとして前述の米国の資料（NUREG/CR-3474）がある。コンクリートについては実際の原子炉施設で使われている生体遮へいコンクリート等の実測データがまとめられている。この他に、米国ではジルカロイのような特殊な材料について微量な不純物の組成上限値が不純物基準（米国材料試験協会基準、ASTM 規格）で規定されている。このような米国における不純物を含む組成データは有用である。

我が国においても鋼材類については、日本工業規格等の規格により鋼材中の主要元素の組成や不純物濃度を確認することができ、個々の鋼材についてはミルシートが参考になる。

コンクリートの物質組成データを文献等から引用する場合、骨材産地の差異等により組成にばらつきがあることに注意する必要がある。

(3)物質組成データの作成

放射化計算の精度を高めるために、中性子照射を受ける構成材料の物質組成を正確に把握しておくことが重要である。特に、主要な放射能インベントリとなる ^{60}Co、^{94}Nb の親元素である Co、Nb、また、放射化により長寿命核種を生成したり、処分の観点から重要な親元素である鋼材中の N、Cl、Zr、Mo、Ho 及びコンクリート中の Li、Ca、Cs、Ba、Eu、Sm 等については、構成材料のスペック等を用いるか、実際の対象物の化学分析や放射化分析によって物質組成値を決定すべきである。また、ウランは鋼材やコンクリート材料に微量ではあるが不純物として存在し、核分裂生成物やアクチノイドの発生源となるので注意が必要である。

材料のスペックに規定されている元素の種類は限られており、特に微量元素については最大濃

度の記載しかないことが多い。特に、処分やクリアランスの観点から重要な長寿命核種の親元素として Li、N、Ca、Cl、Co、Mo、Eu 等があり、実際の材料を対象にこれらの元素の組成を化学分析や放射化分析により確認することが必要となる。

上記の他、コンクリート中の水分（水素）含有量は、中性子束計算上の重要な入力条件であることから、可能な限り実際の原子炉施設のコンクリート試料を分析して得られたデータに基づき設定すべきである。

6. おわりに

原子炉施設に残存する放射化放射能インベントリを計算するRADOコードシステムを整備した。放射化放射能を計算で求める場合の手順は、巨視的実効断面積の計算、中性子束の計算そして放射化放射能インベントリの計算の3つのステップになる。RADOコードシステムでは、中性子束の計算には、炉心から離れた遮へい体等まで大きな体系の計算が良い計算精度で可能なように2次元のSn輸送コードDORTを、また、放射化放射能の計算には、輸送コードで得られた中性子束とエネルギースペクトル依存の実効的な放射化断面積を用いて計算できるORIGEN-MDを用いた。さらに、中性子群定数ライブラリJSSTDL、上記2つの計算プログラム、データの編集・授受を行うプログラム等を統合し、MS-Windows上で稼動するプログラムとして整備した。

本報告書は、放射化放射能インベントリ評価手法の概要、RADOコードシステムの全体構成と機能、各計算プログラムの入出力データをまとめたものである。また、これまで原子力機構で研究用原子炉の廃止措置のために行った残存放射化放射能インベントリ計算から得られた知見に基づき、DORTによる中性子束計算における入力パラメータ（線源強度、形状モデル、構成物質組成、Sn法特有のパラメータ）や放射化放射能計算における入力パラメータ（放射性核種計算のための構成物質組成、運転ヒストグラム）等について、それらの設定の考え方を述べた。さらに、付録には、ユーザーの助けになるようプログラム使用手引とともに、計算の手順に沿ってサンプルランとして詳細な入出力リストをつけた。

謝辞

本報告書をまとめるにあたって、安全研究センター、バックエンド推進部門及びバックエンド技術部の諸氏に種々の助言や援助をいただきました。ここに、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

1) “独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）”，独立行政法人日本原子力研究開発機構（2007）
2) “DOORS3.2: One, Two- and Three-Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code System”, RSIC CODE PACKAGE CCC-650 (1996)
3) M. B. Emmett, W. A. Rhoades, R. L. Childs, and J. O. Johnson, the DORT section of “A User's Manual for MASH 1.0 - A Monte Carlo Adjoint Shielding Code System,” ORNL/TM-11778 (1992).
4) D.Garber, C.Dunford and S.Pearlstein : “Data Formats and Procedures for the Nuclear Data File, ENDF”, BNL-NCS-50496(ENDF102) (1975).

5) K.Shibata et al. : “Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3”, JAERI 1319 (1990).
6) 長谷川明: “JENDL-3.2 に基づく炉定数　中性子 300 群γ線 104 群 JSSTDL-300 ライブラリーについて（JSSTDL 98 version）”,核データニュース　No.62, p.43-52 (2003)
7) M.J.Bell: ORIGEN – The ORNL Isotope Generation and Depletion Code”, ORNL-4628 (1973).
8) A.G.Croff :“A User’s Manual for the ORIGEN2 Computer Code”, ORNL/TM-7175 (1980).
9) 助川武則、畠山睦夫、柳原敏：“原子炉の廃止措置における残存放射能評価方法の検討（受託研究）”, JAERI-Tech 2001-058 (2001).
10) B.E.Watt: Phys. Rev., 87, 1037 (1952)
11) 藤田、落合他：“原子炉廃止措置時の残存放射能の評価研究 (1)放射化放射能量の評価”, 日本原子力学会「1991 年秋の大会」.
12) J.C.Evans et al. : “Long-Lived Activation Products in Reactor Materials”, NUREG/CR-3474 (1984)
13) “原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について”, 原子力安全委員会 (2001).
14) 岸本克己、有金賢次：“中性子束分布計算に 3 次元体系を導入した JRR-2 原子炉本体放射化放射能量評価”, JAERI-Tech 2005-016 (2005).
15) 圷敦、岸本克己、助川武則、島田太郎：“JRR-１炉心構造物の放射能インベントリ評価”, JAERI-Tech 2003-090 (2004).

付録 A　計算プログラムの使用手引

A.1　入力データ

RADO コードシステムを構成するプログラムの中で、ユーザーの入力が必要な 5 つのプログラム MACRO-JG、GIP、DORT、RTFLUM 及び ORIGEN-MD について、入力データのフォーマットを以下に示す。

(1) MACRO-JG

[　]内は中性子 100 群、γ線 40 群の JSSTDL-J32 ライブラリを用いる際の入力値を示す。[-]は問題により値が変わることを示す。

カード#0　ITITLE (20A4)

JOB TITLE:　コメント　[-]

カード#1　IMAX,LPMAX,MMAT,IMAX0,I1GRP,LPMAX0,NCTL0,NPELF,IPRMAC,IDBG　(12I6)

IMAX: JSSTDL-J32 ライブラリのエネルギー群数（表 A.1 参照）　[100]

LPMAX: JSSTDL-J32 ライブラリのルジャンドル展開次数（P_L）の数　[5]

MMAT: 出力 MACRO ライブラリにおける全物質数　[-]

1 から MMAT は P_L テーブルのセットに対応する(0--LPMAX0)

MMAT≦ 20

IMAX0: 出力 MACRO ライブラリにおける出力群数　[100]

IMAX0 ≦ IMAX

I1GRP: 入力ライブラリ群数において出力される最初のエネルギー群数　[1]

もし入力ライブラリと同じ場合、1 をセットする。

1 ≦I1GRP ≦ IMAX-IMAX0+1

LPMAX0: 出力 MACRO ライブラリの最大ルジャンドル展開次数（P_L）　[5]

LPMAX0: 0,1,2,3,4,...5　最大 5 まで、LPMAX0 ≦ LPMAX

NCTL0: 出力 MACRO ライブラリのテーブル長　[103]

= IMAX0+3 に固定

NPELF: 出力ライブラリの自群散乱位置、通常 4 以上　[4]

IPRMAC: 巨視的実効断面積テーブルのプリント出力オプション　[-]

=0　　無し

=その他　有り

IDBG: デバッグオプション

カード#2' IGMAX,LGPMAX　(12I6)

IGMAX: JSSTDL-J32 ライブラリのガンマエネルギー群数　[40]

LGPMAX: JSSTDL-J32 ライブラリのルジャンドル展開次数　[5]

カード#2　IPRMIC,IMSTA,IMSTOP,KSTA,KSTOP,IFOPT　(12I6)

IPRMIC: 探索した巨視的実効断面積のプリント出力オプション　[-]

=1　　有り

=その他　無し

IMSTA: プリント出力を開始するエネルギー群　[-]

もし 0 の場合、IMSTA=1

IMSTOP: プリント出力を終了するエネルギー群　[-]

もし 0 の場合、IMSTOP=IMAX

KSTA: プリント出力を開始する領域数　[-]

もし 0 の場合、KSTA=1

KSTOP: プリント出力を終了する領域数　[-]

もし 0 の場合、KSTOP=MMAX

IFOPT: f-table サーチオプション [0]
=0 有り 通常
=-1 無し デバック段階で使用する f-table 効果をテストする特殊な場合

カード#3 IREG,MMAX,NCIDN,ICOM12 (2I3,I6,12A4)
IREG: 構成物質-ID, 領域 ID
MMAX: 構成する核種の数
MMAX ≦ 15
NCIDN: DOT（DORT）ライブラリのための新しい巨視的実効断面積 ID 数
もし 0 の場合、IREG の数をとる
ICOM12: 物質のコメント

カード#4 (NUREG(I), AN(I), I=1,MMAX) (4(I6,E12.5))
NCODE(I): 核種を識別するためのコード ID（表 A.2 参照）
中性子に対するカード
AN(I): 個数密度

カード#4' (NUREG(I), I=1,MMAX) (10(I6) OR '*')
NUREG(I): 核種を識別するためのコード ID（表 A.2 参照）
ガンマ線に対するカード（ガンマ線'*'は中性子の NCODE と同じ）

(カード#3 から MMAT 回繰り返す)

カード#5 NRQCD (I6)
散乱&非散乱マトリックス集計のデバックオプションのプリント出力 [-1]
=-1: 全てスキップ
=999: 全て ON
=その他: REQ-CODE （例）、925 NCODE 数の割付

(2) GIP
$、*がついているものは FIDO フォーマット（付録 D 参照）で入力する。

①タイトルカード(A72)
②1$ (データ数=14) [(1)～(7)は、ANISN の 15$に対応]

	変数名	内容
(1)	IGM	エネルギー群数
(2)	IHT	全断面積の位置
(3)	IHS	自群散乱断面積の位置
(4)	ITM	テーブルの長さ
(5)	MS	ミキシングテーブルの長さ
(6)	MCR	カードからの物質数
(7)	MTP	ライブラリファイルからの構成物質数
(8)	MTM	新規の構成物質数(MCR+MTP+MIXTURES)
(9)	ITH	0:Direct Solution 1:Adjoint
(10)	ISCT	ルジャンドル展開次数
(11)	IPRT	0:全てプリント 1:プリントしない 2:mixture のみプリント
(12)	IOUT	0:全ての構成物質を出力 1:出力しない
(13)	IDOT	出力形式 0:ANISN 1:DOT Ⅲ

2:DOT Ⅳ
(14) NBUF バッファ領域(kByte) (default=60)
E 入力の終わり
T ターミネータ

③他の配列データ [10$、11$、12*は ANISN の同配列説明を参照]

10$	(データ数=MS)	ミキシングテーブルにおける混合物質番号
11$	(データ数=MS)	ミキシングテーブルにおける組成物質番号
12*	(データ数=MS)	ミキシングテーブルにおける組成混合 factor
7$	(データ数=MTM)	ミックスコード(通常不要)
13$	(データ数=MTP)	ライブラリファイルでの核種の識別番号
T		ターミネータ
14*	(MCR 個の物質それぞれに必要)	断面積(ANISN 形式で全群)
T		ターミネータ

(3) DORT

Default 値は括弧で明記する。

Title Card (72 個のアルファベット半角文字で記述)

入力データブロック 1
61$Array - データセット論理ユニット参照数字
注: 0をユニットにすると対応した機能を不能にする。

NTFLX	フルエンス推定入力ユニット
NTFOG	フルエンス出力ユニット
NTSIG	断面積ユニット(default=8)
NTBSI	外部境界ソース入力ユニット
NTDSI	分布ソース入力ユニット (INPSRM>0 ならスクラッチユニットが必要)
-5---	
NTFCI	未使用(0 を入力)
NTIBI	内部境界ソース入力ユニット
NTIBO	内部境界フルエンス出力ユニット
NTNPR	広範囲プリントユニット (NTNPR=0 なら標準出力ユニットで全プリント)
NTDIR	方向フルエンス出力ユニット
-10---	
NTDSO	分布ソース出力ユニット
NTSCL	スカラー束出力ユニット
NTZNF	ゾーン束出力ユニット

E(“E”で Array 終了)

62$Array – 整数コントロールパラメータ

IADJ	0/1=前方/随伴 計算
ISCTM	散乱の最大次数(ルジャンドル展開次数 P_L の L) (負の値は、エネルギー群を特定した(77$Array)$P_L$ 計算を示す)
IZM	構成物質領域数
IM	I セットにおける 1 番目(I)の空間間隔(半径方向)の最大数 (負の値は 2 番目のディメンションによって変化、すなわち可変メッシュ)
JM	2 番目(J)の空間間隔(軸方向)の数

-5---

IGM　エネルギー群の数

IHT　巨視的実効断面積テーブルでの全断面積の位置

IHS　巨視的実効断面積テーブルでの自群散乱断面積の位置

IHM　各エネルギー群についての断面積テーブルの長さ

MIXL　断面積混合テーブルの長さ

-10---

MMESH　構成物質領域体系の数(0＝効果なし)

MTP　NTSIG からの断面積のセットの数(0 は MTP＝MTM の場合)

MTM　混合物質を含めた全物質数

IDFAC　密度因子入力オプション

- 0　無効
- 1　断面積を修正するため DNIJ(I,J)を 3*のように入力する

MM　あらゆる M セットの最大の方向入力数(負は可変角度セットを使用する場合)

-15---

INGEOM　ジオメトリオプション

- 0　X-Y 平板
- 1　R-Z 円柱
- 2　R-θ 円
- 3　180°-360° 3 角形
- 4　60° 3 角形
- 5　90° 3 角形
- 6　120° 3 角形

IBL　左境界条件

- 0　真空
- 1　反射
- 2　ピリオド
- 3　シリンドリカル
- 4　固定境界ソース
- 5　アルベド

IBR　右境界条件　0/1/2/3/4/5(IBL 参照)

IBB　下境界条件　0/1/2/3/4/5(IBL 参照)

IBT　上境界条件　0/1/2/3/4/5(IBL 参照)

-20---

ISRMX　ソース(外部)イタレーション最大回数(default=1)

IFXMI　群あたりの初期フルエンス(内部)イタレーション最大回数(default=20)
(負の場合、群毎に与えられる最大数を設定(28$Array))

IFXMF　群あたりの最終フルエンス(内部)イタレーション最大回数
(0 のとき効果なし)

MODE　フルエンス外挿モデル(default=4)

- 0　負を 0 にセットした線形
- 1　負を固定しない線形
- 2　スカラー重み
- 3　ゼロ重み
- 4　θ 重み
- 5　ベクトル重み

KTYPE　計算タイプ

- 0　固定ソース
- 1　K(固有値)サーチ
- 2　DB^2 サーチ

3　濃度サーチ
4　ディメンジョンサーチ

-25---

IACC　離散座標セクションでのリバランス法(default=2)
0　単一群リバランスファクター法
1　拡散加速法
2　部分カレント加速法

KALF　リバランス安定法
0　標準加速法
1　代わりの加速法

IGTYPE　解法のタイプ
0　通常の離散座標法
N　最初の N を外部で、その後離散座標法で群ごと(7$Array)に選択する方法。

INPFXM　フルエンス入力オプション
0　フルエンスを 0 に設定、あるいは NTFLX>0 のときユニット NTFLX から読み込む
1　FIJ(I,J)は各群について 93*Array のように読み込む
2　FIJ(I,J)*FG(G)、93*Array と 95*Array を使用
3　FI(I)*FJ(J)*FG(G)、93*Array、94*Array、95*Array を使用

INPSRM　分布ソース入力オプション 0/1/2/3
(オプションは INPFXM と同様；96*、97*、98*Array を使用)
(INPSRM>0 のとき、NTDSI>0 にする必要がある)

-30---

NJNTSR　NJNTSR J 境界で内部境界ソースは NTIBI から入力する(0 でよい)

NINTSR　NINTSR I 境界で内部境界源は NTIBI から入力する(0 でよい)

NJNTFX　NJNTFX J 境界で内部境界フルエンスは NTIBO に書かれる(0 でよい)

NINTFX　NINTFX I 境界で内部境界フルエンスは NTIBO に書かれる(0 でよい)

IACT　領域およびポイントワイズな放射能を計算する数
(負は領域の放射能のみ示す)
0　効果なし
1　N 個の放射能を計算

-35---

IRED　バランステーブル出力コントロール
一般に IRED は 84$Array(IZNRT[IZ])の最大数である、次のものは除外
IRED=-1　ゾーン毎に 1 つの領域を与える、バランステーブルは全体系に対してのみ与える
IRED= 0　バランステーブルを出力しない、しかし各ゾーンにつき一つの領域を出力
IRED= 1　全てのゾーンを単一領域の中の統合する
IRED= IZM　各ゾーンについて 1 つの領域、IZM 領域についてバランステーブル

IPDB2　バランステーブルから J 方向 DB^2 をパンチ
0　DB^2 を作成しない
1　単一の平均 DB^2
2　IGM 群ごとの DB^2 値
3　IGM*NREG 群ごと及び領域ごとの DB^2 値

IFXPRT　スカラーフルエンスプリントオプション(default=1)
0　全群のスカラーフルエンスを出力フェーズでプリントする
1　スカラーフルエンスをプリントしない
2　スカラーフルエンスを計算結果としてプリントする

(+10 で、フラックスイタレーションプリントを削除する、すなわち 10,11,12)

ICSPRT　断面積プリントオプション(default=1)
- 0　巨視的実効断面積をプリントする
- 1　巨視的実効断面積をプリントしない

IDIRF　方向フルエンス
- 0　方向フルエンスを保存しない
- 1　方向フルエンスを保存しプリントする
- 2　方向フルエンスを保存するがプリントしない

(IDIRF>0 で NTDIR＞0 の場合、方向フルエンスは NTDIR に書き込まれる)

-40---

JDIRF　方向フルエンスを出力する最初の J 間隔(軸方向)

JDIRL　方向フルエンスを出力する最後の J 間隔(軸方向)

NBUF　使用しない

IEPSBZ　ゾーンインポータンス収束機能(24*Array で使用)
- 0　機能を使用しない
- 1　ゾーンインポータンスを使用する
- 11　ゾーンインポータンスを使用し、また収束後、ゾーン収束度をプリントする
- 21　ゾーンインポータンスを使用し、また各イタレーション毎にゾーン収束度をプリントする

MINBLK　フルエンスモーメント保存のための最小 J ブロック(RV=0)
- 0　群ごとに 1 つのスペースブロックを、また全ての群にメモリ割当て
- 1　群ごとに 1 つのスペースブロックを、また 1 つの群にメモリ割当て
- N　最低要求された N スペースブロックと、1 群メモリ割当て

-45---

MAXBLK　最大 J ブロック
- 0　与えられた群ごとに JM のスペースブロック
- 1　与えられた群ごとに 1 つのスペースブロック
- N　与えられた群ごとに最大 N 個のスペースブロック

ISBT　境界フルエンスのための標準 I セット(default=1)

MSBT　境界フルエンスのための標準 M セット(default=1)

MSDM　ディメンジョニングのための標準 M セット(default=1)
(このバージョンでは常に MSDM=MSBT)

IBFSCL　最初のソースイタレーションでの最初のリバランス前のフルエンスイタレーションの数(default=1)

-50---

INTSCL　リバランスイタレーションの最小の数(default=4)

ITMSCL　リバランスイタレーションの最大の数(default=50)

NOFIS　核分裂スペクトルオプション(default=1)
- 0　1.0 に規格化したχで計算した核分裂
- 1　入力したχの値で計算した核分裂(規格化はしない)
- 2　メモリスペースを節約するため核分裂計算をしない

(1*Array が 0 のとき、NOFIS は 2 にセットする)

IFDB2Z　DB^2 入力オプション
- 0　オプションは使わない
- 1　群、次に領域を用いて 6*Array と同様に入力した DB2Z(IG,IZ)

ISWP　拡散理論 sweep(スウィープ)の種類(RV＝4 または 5)

0　メッシュ間隔の最大数の方向でのライン反転
1　連続した外部のイタレーションでの方向転換(line-column)
2　ライン反転
3　カラム反転
4　連続した内部のイタレーションでの方向転換(line-column)
5　連続した内部のイタレーションでの方向転換(column- line)
6　J 間隔中央から外部方向へのライン反転

-55---

KEYJN　キーフルエンスをプリントする J 間隔(0 のときは無視) (default=1)
KEYIN　キーフルエンスをプリントする I 間隔(0 のときは無視) (default=1)
NSIGTP　未使用(0 使用)
NORPOS　出力正規化のための断面積テーブル位置
(NORPOS=0 のときオプションは使用しない)
NORMAT　出力正規化のための断面積物質数
(0 は各ゾーンにおける巨視的実効断面積セットを使用する；負は規格化において密度ファクタを使用しない)

-60---

MSTMAX　M セットの最大数(0 は与えられた JM セットを含む)
NEGFIX　負の散乱ソースの設定量オプション(default=-1)
-1　エコノミーな設定量を使用
0　オプションは使用しない
1　全ソース設定量を使用
2　初期の設定量を使用
LOCOBJ　初期メモリ割当て、words*1000
(0 はデフォルトを使用する)
LCMOBJ　ファイルセグメントサイズ、words*1000
(0 はセグメント長さを制限しない)
NKEYFX　キーフルエンス列の長さ(29$、30$)
(0 は機能を無視する、負は各群に対して収束時あるいはイタレーション限界時のプリントのみ行う)

-65---

NCNDIN　許容される最大ユーザー条件コード(default=4)
NEUT　最終中性子群数(default=-1) (default の使用は NEUT=IGM を意味する)
ITALLY　初期の内部タイミング分析ルーチン
-1　内部タイミング ON
0　効果なし
NEUTAG　群毎の放射能の計算コントロール
0　効果なし
N　最初の N 群以降、放射能を計算する($25 と$26)
ISCTC　断面積のルジャンドル展開次数の最大数
0　効果なし

E(“E”で Array 終了)

63* Array –　実数コントロールパラメータ(対象長さは変化する)
TMAX　この問題の最大 cpu 時間（分）　(0 の場合無視する)
XNF　規格化するソースの値(KTYPE=0 の場合 0 は無視する、さもなければ XNF=1.0 は 0 を意味する)
EPS　固有値収束基準(ソースイタレーション)(default=1.0E-4)
EPP　ポイントワイズなフルエンス収束基準(フルエンスイタレーション)
(負：ソースイタレーションは EPP を満たさなくても中断できる)(default=1.0E-3)

EPV 体積フルエンス収束基準(フルエンスイタレーション)
-5---
EPF ポイントワイズな核分裂収束基準(default=1.0E-3)
EKOBJ サーチ(KTYPE>1)される k-effective、又は初期の k-effective (KTYPE=1) をみる (default=1.0)
EVTH k-effective 収束比(default=0.2)
EVCHM イタレーション毎の最大 EV 変化比(default=1.5)
EVMAX 全体での最大 EV 変化比(default=10.0)
-10---
EVKMX 最大許容|k-effective – EKOBJ| (default=1.0)
EVI 初期の固有値(default=1.0)
DEVDKI 初期の固有値勾配(default=-1.0)
EVDELK 初期の固有値増分(default=0.3)
SORMIN 最大ソースイタレーション加速(default=10.0)
-15---
CONACC フルエンス加速許容基準(default＝1.0)
CONSCL フルエンス加速収束基準(default=1.0E-4)
CONEPS フルエンス加速収束レート(default=0.01)
WSOLMN 未使用(0 入力)
WSOLII フルエンス加速ダンピング増分(default=-1.5)
(負は必要なときのみ使用する)
-20---
WSOLCN フルエンス加速ダンピング定数(default=1.5)(負は最初のソースイタレーションでのみ使用する)
ORF 拡散理論フルエンス加速ファクタ(default=0.6)
FSNACC 未使用(0 入力)
FLXMIN 収束テストにおける最小フルエンス(default=1.0E-30)
SMOOTH 未使用(0 入力)
-25---
EPO ソースイタレーションフルエンス収束基準
EXTRCV ソースイタレーション外挿収束基準 (default=0.2)
THETA θ 重み外挿モデルパラメータ(default=0.9)
ESP1 未使用(0 入力)
ESP2 未使用(0 入力)
E(“E”で Array 終了)

T(“T”でブロック終了) [T は常に必要]

入力データブロック 2

形状設定のための第 1 の Array(必要でない Array は省略する)

71$Array	ISET(J)	(入力数=JM)	[IM<0]
	各 J レベルで使用する径方向メッシュセットのインデックス (default=Set 1)		
72$Array	IMBIS(ISET)	(入力数=JM)	[IM<0]
	各 I セットの間隔数；その後 0 で Array を満たす		
73$Array	MMBMS(MSET)	(入力数=MSTMAX)	[MM<0]
	各 M セットの方向数；その後 0 で Array を満たす		
74$Array	ISZNG(IG)	(入力数=IGM)	[MM<0]
	群ごとのスーパー群数 (default=単一のスーパー群)		

75*Array SZNBZ(JSZ) (入力数=JM) [MM<0 or KTYPE>1]
J スーパーメッシュ境界
要求した境界を入力する。その後 0 で満たす(default=単一のスーパーゾーン)
76*Array SZNBR(ISZ) (入力数=|IM|) [MM<0 or KTYPE>1]
I スーパーメッシュ境界
75*と同じように入力
77$Array ISCTG(IG) (入力数=IGM) [ISCTM<0]
計算で使用するルジャンドル展開次数の次数
78$Array NSIG(MT) (入力数=MTM) [MCR<0]
断面積セットのルジャンドル展開次数の次数
T(“T”でブロック終了) [T は常に必要]

これらから、次のように決定される
MGSZN =最も大きいスーパー群数 [MM>0 のとき 1]
NJSZN =J スーパーゾーン境界の数[MM>0 のとき 1]
NISZN = I スーパーゾーン境界の数[MM>0 のとき 1]
ISM =72$Array で入力した 0 でない入力数[MM>0 のとき 1]
MSM =73$Array で入力した 0 でない入力数[MM>0 のとき 1]
IMSISM = IMBIS の和、全ての I セット[IM>0 のとき IM]
MMSMSM = MMBMS の和、全ての M セット[MM>0 のとき MM]
IMSJM = IMBIS(ISET(J))の和、全ての J [IM>0 のとき IM*JM]
IMA =|IM|
MMA =|MM|
MMSIMS =MMA*IMA
MMSIMS =MMA*JM
IHP =IHM+1 (IHS>IHT+1 のとき)
=IHM (その他)

入力データブロック 3

形状設定のための第 2 の Array(必要でない Array は省略する)
81*Array W(M,MSET) (入力数=MMSMSM)
方向ごとの重み
82*Array EMU(M,MSET) (入力数=MMSMSM)
μ，X 又は R 方向の余弦角
83*Array ETA(M,MSET) (入力数=MMSMSM)
τ，Z 又は θ 方向の余弦角
84*Array IZNRG(IZ) (入力数=IZM) [IRED=0 or IACT=0]
ゾーンごとの領域番号(IRED でコントロールされたデフォルト，
IRED=IZM，0 又は-1 なら 1 つのゾーンに対し 1 つの領域，；
IZM=1 のとき 1 つの領域;そうでなければ IZNRG は詳細に明記する)
85*Array ZCMB(JC) (入力数=JM)
J 軸の粗メッシュの境界
限界 JM まで要求した境界を入力する。次に少なくとも最後の J 詳細メッシュ境界とすくなくとも同じ数を入力。
(default=1、各間隔についての粗メッシュ)
86*Array RCMB(IC) (入力数=IMA)

85*と同じような I 粗メッシュの境界
87*Array IJGSZ(ISZ,JSZ,IGSZ) (入力数 [MM<0]
=NISZN*NJSZN*NGSZN)
I スーパーメッシュ毎に M セット、次に J スーパーメッシュ毎に、スーパー群毎に
T(“T”でブロック終了) [T は常に必要]

これらから、次のように決定される
JCM =ZCMB Array に入力した粗メッシュ境界の入力数
ICM =RCMB Array に入力した粗メッシュ境界の入力数
NREG =IZNRG(IZ)Array の最大値
ICMJCM =ICM*JCM
ICPJCP =(ICM+1)*(JCM+1)

入力データブロック 4

全般的な入力 Array(必要でない Array は省略する)

1*Array	CHI(IG)	群ごとの核分裂スペクトル割合 χ (入力数=IGM)
2*Array	ZIN(J)	Z あるいは θ 詳細メッシュ境界 (入力数=JM+1)
3*Array	DNIJ(I,J)	密度ファクタ (入力数=IMSJM) [IDFAC>0] (default=1.0)
4*Array	RIN(I,ISET)	X あるいは R 詳細メッシュ境界 (入力数=IMSISM+ISM)
5*Array	ENER(IG)	先頭の中性子エネルギー群境界 + 最後の中性子エネルギー群 + 先頭の光子エネルギー群境界 + 最後の光子エネルギー群 (入力数=IGM+2) [NTYFOG>0]
6*Array	DB2Z(IG,IZ)	群、次に領域ごとの DB^2 (入力数=IGM*NREG) [IFDB2Z>0]
7$Array	ITHYG(IG)	群ごとの解法 (入力数=IGM) [IGTYPE>0]
8$Array	IJZN(I,J)	詳細空間メッシュごとの物質領域 (入力数=IMSJM)
9$Array	IZMT(IJZN)	構成物質ゾーンごとの物質数 (入力数=IZM)
10$Array	MIXT(MIX)	混合物質 ID (入力数=MIXL)
11$Array	NUCL(MIX)	核種 ID (入力数=MIXL)
12*Array	DENS(MIX)	個数密度 (入力数=MIXL)
13$Array	MATL(MT)	構成物質ごとの ID 番号 (入力数=MTM) (default MATL(MT)=MT)
14*Array	ZNTSR(JNTSR)	J 境界ソース入力のための Z あるいは θ 境界位置 (入力数=NJNTSR)
15*Array	RNTSR(INTSR)	I 境界ソース入力のための X あるいは R 境界位置 (入力数=NINTSR)
16*Array	ZNTFX(JNTFX)	J 境界フルエンスのための Z あるいは θ 境界位置 (入力数=NJNTFX)
17*Array	RNTSR(INTSR)	I 境界フルエンスのための X あるいは R 境界位置 (入力数=NINTFX)
18*Array	FJSRZ(JSZN)	J スーパーゾーンサーチ割合 (入力数=NJSZN) [KTYPE=4]
19*Array	FISRZ(ISZN)	I スーパーゾーンサーチ割合 (入力数=NISZN) [KTYPE=4]
20*Array	ABDOL(IG,J)	左境界アルベト (入力数=IGM*JM) [IBL=5]

21*Array ABDOR(IG,J) 右境界アルベト (入力数=IGM*JM) [IBL=5]
22*Array ABDOB(IG,J) 下境界アルベト (入力数=IGM*IMA) [IBL=5]
23*Array ABDOT(IG,J) 上境界アルベト (入力数=IGM*IMA) [IBL=5]
24*Array EPSBZ(IZ) 構成物質ゾーンごとのフルエンスエラーインポータンス
(入力数=IZM) [IEPSBZ>0]
25$Array ICMAT(IAC) 放射化計算で用いる構成物質 (入力数=|IACT|)
26$Array ICPOS(IAC) 放射能のための断面積テーブル位置
(入力数=|IACT|)
27*Array ACMUL(IAC) 放射化乗数 (入力数=|IACT|)
28$Array ITMBG(IG) 群ごとの初期のイタレーション限界
(入力数=IGM) [IFXMI<0]
29$Array KEYAJ(NKEY) 昇順でのキーフルエンスの J 位置
(入力数=|NKEYFX|)
30$Array KEYAI(NKEY) 同様に昇順でのキーフルエンスの I 位置
(入力数=|NKEYFX|)
T(“T”でブロック終了) [T は常に必要]

入力データブロック 5

外部境界ソース入力[INGEOM<20 で IBL,IBR,IBB,IBT のいずれかが 4 の場合に必要]
91*Array SII(M,J) (入力数=MMA*JM) [IBL=4 あるいは IBR=4]
群についての I 境界ソース
92*Array SJI(M,I) (入力数=MMA*IMA) [IBB=4 あるいは IBT=4]
群についての J 境界ソース
T(“T”でブロック終了) [T は常に必要]
左右のソースは方向にしたがい、同じ Array で混じりあう。もし μ>0 なら、ソースは左の境界に適用する；もし μ=0 なら、左に適用する；同様に τ>0 なら、J 境界ソースは下部境界に適用する；もし τ<0 なら、ソースは上部境界に適用する。もしこのタイプのいくつかのブロックが必要なら IGM が必要である。

IADJ>0 の場合、エネルギー群は降順に入力しなくてはならない。もし INGEOM が 20 あるいは Array が必要ないならば、ブロックや区切り文字を省略する。

入力データブロック 6

フルエンス推定値入力 [INPFXM>0 の場合に必要]
93*Array FIJ(I,J) INPFXM=1,2,3 と同様に FIJ(I,J)あるいは FI(I)
(入力数=IMSJM,IMSJM あるいは IM) [INPFXM>0]
94*Array FJ(J) (入力数=JM) [INPFXM=3]
95*Array FG(IG) (入力数=IGM) [INPFXM>1]
注：このブロックの各 Array の次に“T”を置く。もし Array が必要ないならば、“T”は必要ない。IADJ>0 ならば、エネルギー群は反対の順序で記入する。

入力データブロック 7

分布ソース入力 [INPSRM>0 の場合に必要]
96*Array 93*Array と同様に入力

97*Array　94*Array と同様に入力
98*Array　95*Array と同様に入力

(4) RTFLUM

①タイトル　　A72

②1$$

NTRTF	入力論理機番（default=71）
NTFOG	出力論理機番（default=72）
IEDIT	編集制御　0/1/2　出力なし/スカラー出力のみ/全て出力 10/11/12　境界束も編集
MM	方向数の出力数（default=-1）
ISCAT	散乱数の出力度数（default=-1）
NBUF	バッファ領域（default=60KB（IBM））
INTYPE	0/1/2　VARFLM/DOTⅢ/RTFLUX　入力（default=2）
IOTYPE	0/1/2　VARFLM/DOTⅢ/RTFLUX　出力
SPARE	0
SPARE	0
IGM	エネルギー群数
IM	I-インターバル数
JM	J-インターバル数
ISCA1	散乱の入力数（default=-1）
MM1	方向数の入力数（default=-1）
IGM1	群数の入力（0 で IGM を使用）
NEUT	中性子群数
ISM	I セット数
ITER	イタレーション数
SPARE	0

③2**

EV	固有値（K-計算のための Keff）
DEVDK	固有値スロープ（サーチのための）
EKEFF	Keff（サーチのための）
POWER	パワー
XNORM	規格値（0 なら無視）

- 入力が VARFLM ファイルのとき、MM,ISCAT,IGM,IM,JM,ISCA1,MM1,IGM1 はファイルからのデータで置き換えられる。
- RTFLUX ファイルのとき、MM は 6、ISCAT は 0 とされる。
- DOTⅢスカラ束ファイルのとき、MM,ISCAT,IGM,IM,JM は入力しなければならない。ISCA1,MM1,IGM1 のデフォルト値は MM,ISCAT,IGM の値として使われる。

(5) ORIGEN-MD

カード A　(フリーフォーマット)

IFLX	入力中性子束データの形式 =1　1 次元輸送計算コード　ANISN-JR =2　2 次元輸送計算コード　DORT 但し、いずれも本コードシステムにおける ANISN-JR 及び DORT である。
MULTI	放射化計算を行う領域の数

カード B　(フリーフォーマット)(MULTI 回繰り返す)
IRZ1　横方向メッシュ(r 方向)の始点
　負の値の場合、領域指定
IRZ2　横方向メッシュ(r 方向)の終点
IRZ3　縦方向メッシュ(z 方向)の始点
IRZ4　縦方向メッシュ(z 方向)の終点
TEMP　温度(絶対温度)
　中性子束データが 1 次元の場合、IRZ3 及び IRZ4 は 1 に置く必要がある。

カード C　(フリーフォーマット)
ENER　エネルギー群の境界エネルギー(上限エネルギー)を降順に入力し最後は下限エネルギー境界で終了する。(eV)

カード D　(18A4)
TITLE　タイトル

カード E　(フリーフォーマット)
NLIBE　放射化計算を行う炉心の形状
　=1　HTGR（高温ガス炉）
　=2　LWR（軽水炉）
　=3　LMFBR（液体金属冷却炉）
　=4　MSBR（熔融塩増殖炉）
MLOOP　照射冷却のサイクル数(50 以下)
JTO　計算結果プリントオプション
　=0　全てプリントする(現在、無効)
　=1　全てプリントしない(現在、無効)
　=2　後述の入力 NTO に依存する
MSTAR　プリントオプション
　=M　タイムステップ M での値が後述するカットオフ値以下であった場合、プリントを抑制する。
NXX1　被覆材または構造材の同位元素(アイソトープ)の入力数
NXX2　重金属の同位元素(アイソトープ)の入力数
NXX3　核分裂生成物の同位元素(アイソトープ)の入力数
NXX4　被覆材または構造材の元素(エレメント)の入力数

カード F　(フリーフォーマット)(MLOOP 回入力)
MMNA(I)　I サイクルでの照射タイムステップ数(10 以下)
MOUTA(I)　I サイクルでの照射冷却タイムステップ数(10 以下)
ITUNTA(I)　I サイクルでのタイムステップの単位
　(0/秒、1/日)

カード G　(フリーフォーマット)(JTO=2 の場合必要)
NTO(1~63)　=1　プリントする
　=0　プリントしない
　但し位置の意味は以下による
　21*(K-1)+3*(L-1)+M
　K =1　被覆材及び構造材
　=2　重金属
　=3　核分裂生成物

L =1　gram-atom
=2　gram
=3　Bq
=4　watts
=5　gamma power
=6　inhalation hazard
=7　ingestion hazard
M=1　同位元素一覧表
=2　元素一覧表
=3　サマリー

カード H　(フリーフォーマット)(MLOOP 回繰り返す)
FULX　照射タイムステップごとの熱中性子束の相対値(1.0 を基準とする)
(MMNA(I)個入力)
但し MMNA(I)=0 のサイクルでの入力は不要である。
後続するサイクルがある場合、最後の値は 0 であってはならない。

カード I　(フリーフォーマット)(MLOOP 回繰り返す)
T　照射，冷却時間(MOUTA(I)個入力

カード J　(フリーフォーマット)
CUTOFF(1) カットオフ値(g-atom　table)
CUTOFF(2) カットオフ値(g　table)
CUTOFF(3) カットオフ値(Ci　table)
CUTOFF(4) カットオフ値(β+γ　table)
CUTOFF(5) カットオフ値(γ-power table)
CUTOFF(6) カットオフ値(inhalation hazard)
CUTOFF(7) カットオフ値(ingestion　hazard)

カード K　(フリーフォーマット)
INUCL　同位元素のＩＤ番号
ID 番号＝原子番号*10000+原子量*10+IS
ここで　IS　=0　：基底状態
=1　：励起状態
原子量を 0 とした場合は元素(エレメント)となる。
XCOMP　重量(g)
INUCL と XCOMP を対としてカード E における NXX1～NXX4 個入力する。

A.2　出力結果

RADO コードシステムを構成する 3 つの主要な計算プログラム、MACRO-JG、DORT 及び ORIGEN-MD の出力データについて、主要項目と出力リスト(例)を示す。主要な出力項目を表 A.3 に示す。また、以下に出力リストの例を示す。ここに、出力リストは、付録 B のサンプルランに対応するものである。

(1) MACRO-JG の出力リスト

```
0                  MACROJG V01/E04(98-AUG-13)
0                 JOB TITLE:  cross section for material 1 (Fuel)
0                 IMAX: ENG.GROUP NUMBER  OF INPUT LIB (MAX:300) ==>  100
                          NEUTRON
0                 IGMAX: ENG.GROUP NUMBER OF INPUT LIB (MAX:300) ==>   40
                          GAMMA
                  LPMAX: NUMBER OF PL OF INPUT LIB ( 0 TO 5) ======>    5
                          NEUTRON
                  LGPMAX: NUMBER OF PL OF INPUT LIB ( 0 TO 5) =====>    5
                          GAMMA
                  MMAT: NUMBER OF MATERIALS (LIMIT:40) ============>    1
                  IMAXO: ENG.GROUP NUMBER OF MACRO OUTPUT LIB =====>  100
                         IMAXO <= IMAX       NEUTRON
                  I1GRP: FIRST ENG.GROUP OF MACRO OUTPUT LIB ======>    1
                         1 <= I1GRP <= IMAX-IMAXO+1
                         IF THE SAME AS INPUT LIB THEN I1GRP=1
                  LPMAXO: NUMBER OF PL OF OUTPUT LIB ( 0 TO 5) ====>    5
                  NCTLO: MACRO OUTPUT TABLE LENGTH
                                    (  IMAXO+IGMAX+3)       ======>  143
                  NPSLF: POSITION OF SELF-SCATTERING IN NCTLO =====>    4
                  IPRMAC: PRINT OPTION FOR MACRO CROSS-TABLE  =====>    1
                          =0:NO  =OTHER:ON
                  IDBG: DEBUG OPTION (0: OFF. OTHERS:ON) ==========>    0

                  IPRMIC: SEARCHED MICRO CROSS. PRINT OUT OPTION.==>    0
                          =1 ON , =OTHERS OFF.
                  IMSTA : INITIAL ENERGY GROUP TO START PRINT. ====>    1
                          IF 0 THEN IMSTA=1
                  IMSTOP: FINAL ENERGY GROUP TO STOP PRINT. =======>  100
                          IF 0 THEN IMSTOP=IMAX
                  KSTA  : INITIAL REGION NUMBER TO START PRINT. ===>    1
                          IF 0 THEN KSTA=1
                  KSTOP : FINAL REGION NUMBER TO STOP PRINT.OUT. ==>    1
                          IF 0 THEN KSTOP=MMAX
                  IFOPT : F-TABLE SEARCH OPTION.  =================>    0
                          =0---ON.  NORMAL.
                          =-1---OFF. SPECIAL CASE TO TEST F-TABLE EFFECT.
                                     ONLY FOR DEBUGGING STAGE.
0           ********  MIXING TABLE LIST  ********
0          ORDER     ================>    1
           REGION ID ================>    1
           NUMBER OF NUCLIDES =======>    8
           TEMPERATURE OF MATERIALS =>   300.0  KELVIN
           NEW ID. FOR THIS MACRO ===>    1
           COMMENT FOR THE LIB ======>
0            I CODE(NEUTRON) CODE(GAMMA)    N.DENSITY
             1       110          110      6.27300E-02
             2       860          860      3.58200E-02
             3      1370         1370      1.69500E-07
             4      1600         1600      8.58900E-04
             5      2600         2600      2.94800E-06
             6      2900         2900      4.31800E-07
             7      9250         9250      1.26100E-04
             8      9280         9280      5.00800E-04
```

コントロール情報（入力）

核種コードと個数密度（入力）

```
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・省略・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

1TABLE OF MACRO CROSS SECTION. ICOM12==>
 GROUP...TOTAL....   NUSIGF   ...SIGF.....  SIGA        .SCAT-SUM... AV-PL( 1)  AV-PL( 2)  AV-P                    AV-PL( 5)
   1   1.07101E-01 3.70595E-03 8.29180E-04 6.92115E-03 1.01108E-01 5.37215E-01 2.76530E-01 1.285              8.58822E-02
   2   1.08785E-01 3.16465E-03 7.41474E-04 6.81452E-03 1.02838E-01 5.27289E-01 2.60514E-01 1.107              7.36726E-02
   3   1.16304E-01 2.88711E-03 7.06907E-04 7.85170E-03 1.09245E-01 5.04051E-01 2.58656E-01 1.019              7.27356E-02
   4   1.10054E-01 2.77292E-03 7.07539E-04 9.00282E-03 1.01791E-01 4.88739E-01 2.36470E-01 7.332            2 3.81160E-02
   5   1.11271E-01 2.68835E-03 7.13189E-04 8.48427E-03 1.03482E-01 5.09837E-01 2.16200E-01 6.472            2 2.09051E-02

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・省略・・・・・・・・・・・・・    ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・    ・・・・・・・・・・・・・・

  99   1.48167E+00 2.79410E-02 1.15038E-02 1.82843E-02 1.46339E+00 6.06267E-01 2.26479E-01-1.4085           02 1.83547E-04
 100   1.98189E+00 1.53320E-01 6.29270E-02 9.22051E-02 1.88969E+00 6.18742E-01 2.31458E-01-1.4443           02 1.87897E-04
 DOT MACRO LIB CREATED.
                    IMAXI :  NEUTRON ENERGY GROUP ===>   100
                    JNGMAX:  GAMMA   ENERGY GROUP ===>    40
                    NLENG :  DOT LIB TABLE LENGTH (NLENG,2*IMAXI+JNGMAX2         ))  ===>   143
                    NPSELF:  SELF SCATTERING POSITION  ===>     4
                    MMAX  :  MATERIAL (REGION)         ===>     1
                    LPMAX :  NO. OF PL MAX ORDER  0,1,2..=>     5
```

巨視的実効断面積の計算結果
エネルギー群、Σt, νΣf, Σf, Σa, , , , ,

(2) DORT の出力リスト

```
1>>dort non-hole, non-bismuth side at JRR-1
0   DORT first 20 parameters
0iadj   =    0     0=forward calculation; 1=adjoint
 isctm  =    3     maximum order of pl scattering
 izm    =   13     number of material zones
 im     =  185     number of radial intervals (negative implies variable mesh is used)
 jm     =  334     number of axial intervals
0igm    =  100     number of energy groups
 iht    =    3     position of total cross section
 ihs    =    4     position of self-scatter cross section
 ihm    =  143     cross section table length per group
 mixl   =    0     mixing table length
0mmesh  =*****     number of material zone bodies (0=no effect)
 mtp    =   52     number of materials from ntsig (0 implies mtm)
 mtm    =   52     total number of materials
 idfac  =    0     0=no density factors; 1=input dens(i,j)
 mm     =   48     maximum number of directions in quadrature (negative indicates variable quadratu      used)
0ingeom =    1     0=x-y geometry; 1=r-z; 2=r-theta; 3=180-360 triangle; 4=60 triangle; 5=90 triang      120 triangle
 ibl    =    1     (0=void        4=fxd bndry srce)
 ibr    =    0     (1=reflected   5=albedo        )
 ibb    =    0     (2=periodic                    )
 ibt    =    0     (3=cylindrical                 )
```

コントロール情報（入力）

```
1  DORT 4**,2**,9$$ array
 No.    Radius       Height    Mat./Zone
     1 0.00000E+00-1.80000E+02     -1
     2 8.13333E-01-1.77925E+02     -5
     3 1.62667E+00-1.75850E+02     -9
     4 2.44000E+00-1.73775E+02    -13
     5 3.25333E+00-1.71700E+02    -17
     6 4.06667E+00-1.69625E+02    -21
     7 4.88000E+00-1.67550E+02    -25
     8 5.06000E+00-1.65475E+02    -29
     9 5.70000E+00-1.63400E+02    -33
    10 6.53333E+00-1.61325E+02    -37
    11 7.36667E+00-1.59250E+02    -41
    12 8.20000E+00-1.57175E+02    -45
    13 9.03333E+00-1.55100E+02    -49
    14 9.86667E+00-1.53025E+02
    15 1.07000E+01-1.50950E+02
```

メッシュ分割（半径、高さ）
構成物質／領域番号

```
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

   334            2.39121E+02
   335            2.41300E+02
1
0src  region map for DORT
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

 334... DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
 333... DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD

• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

   1... DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
 yzt
    xrr 12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345
        22222222233333333334444444444555555555566666666667777777777888888
        11111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111
0symbol =   1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D
0number =   1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13

 define Fast group from 1 to 27 ,Resonance group from 28 to 98

• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

以下、省略
```

以下に DORT 計算用の領域マップが表示される。その一部を図 A.1 に示す。

(3) ORIGEN-MD の出力リスト

```
*****************************************************************
    O R I G E N   F O R  D O I C S Y S T E M
    ( sun version of origen-md code )
 *****************************************************************

          2 IFLX   TYPE OF NEUTRON FLUX(1/ANISN,2/DOT3.5)
          1 MULTI  NUMBER OF CALCULATION REGIONS

 CALCULATION REGIONS INFORMATION
        R MESH      Z MESH    TEMPERATURE
     FROM   TO   FROM   TO
      40    60    40    60       300.0

          3 JNEG   NO. OF NEUTRON ENERGY GROUP
          5 JGE    GEOMETRY
        185 JRM    NO. OF R-MESH
        334 JZM    NO. OF Z-MESH
         13 JNZ    NO. OF ZONE
          0 JFO    FLUX OUTPUT(0/1;MID/BOUND)

1
0src  region map for DORT
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • • •

   2... DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
   1... DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
 yzt
```

コントロール情報（入力）

放射化計算のための領域／ポイント（メッシュ）指定

DORT 計算における領域マップが、ここにエコー出力される（図 A.1 と同様）

```
   xrr 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345
       222222222333333333344444444445555555556666666666777777777788888888
       111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111
Osymbol =   1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D
Onumber =   1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13

 FAST FLUX                          9.2829E+04
 RESONANCE FLUX                     7.6456E+05
 THERMAL FLUX                       1.4171E+04
 SPECTRUM PARAMETER     THERM       8.7607E-01
 SPECTRUM PARAMETER     RES         3.8682E+00
 SPECTRUM PARAMETER     FAST        9.4987E+00
```

放射化計算のために指定した領域／ポイントにおける中性子スペクトル情報

```
 ORIGEN INPUT FILE LIST
  A5052  at region <<REG>>                                              2
    0.87607   3.86824   9.49869 0.100E-24 719 7 0 0 0 0 0 0 1
     9    9    0    1    0    0    1    0    0    2
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
  A5052  at region <<REG>>
 .258E+04.000E+00.711E+04.000E+00.728E+04.000E+00.499E+04.000E+00.717E+04
 .106E+02.342E+03.376E+03.696E+03.741E+03.107E+04.111E+04.143E+04.147E+04
 R MESHES ARE 40TO 60Z MESHES ARE 40TO 60 86400.D
  0.100E-29 0.100E-29 0.100E-29 0.100E-29 0.100E-29 0.100E+01 0.100E+01
 1302709.708E-011402807.000E-042505501.000E-042705902.000E-06                1 1
  300001.000E-05 500003.000E-06 600001.000E-041200002.400E-022000001.000E-04 1 4
 2400002.400E-032600001.800E-032800001.000E-042900001.000E-043000001.000E-04 1 4
 4700002.000E-064800004.000E-06                                              1 4
                                                                             1 0
     8    8    0    1    9    0    1    0    0    2
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
  A5052  at region <<REG>>
 .000E+00.743E+04.000E+00.717E+04.000E+00.734E+04.000E+00.607E+04
 .330E+03.365E+03.699E+03.730E+03.107E+04.110E+04.143E+04.146E+04
 R MESHES ARE 40TO 60Z MESHES ARE 40TO 60 86400.D
     6    6    0    1    8    0    1    0    0    2
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
  A5052  at region <<REG>>
 .000E+00.561E+04.000E+00.332E+04.000E+00.564E+04
 .339E+03.365E+03.711E+03.730E+03.108E+04.110E+04
 R MESHES ARE 40TO 60Z MESHES ARE 40TO 60 86400.D
     0   10    0    1    6    0    1    0    0    2
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
           000       000       100       000       000       000       000
  A5052  at region <<REG>>
 .100E+01.365E+03.183E+04.365E+04.730E+04.120E+05.157E+05.194E+05.303E+05.486E+05
 R MESHES ARE 40TO 60Z MESHES ARE 40TO 60 86400.D

 MEMORY USED 106491 WORDS
0
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    6-1.86679E-06 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    7-1.91002E-06 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    8-1.92200E-06 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    9-1.92781E-06 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    6-5.15249E-19 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    7-5.27182E-19 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    8-5.30489E-19 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
 L,I,BATE,XTEM,XTEMP(J1),AKDJQ =  1139    9-5.32092E-19 0.00000E+00 0.00000E+00 2.50000E-01
```

親元素組成（入力）

放射化計算のための停止後の経過日数（入力）

A5052 at region <<REG>>

POWER= 0.00MW, BURNUP= 0.MWD, FLUX= 1.64E+03N/CM**2-SEC

指定した領域／ポイント
（入力）

NUCLIDE RADIOACTIVITY, BECQUEREL
BASES = R MESHES ARE 40TO 60Z MESHES ARE 40TO 60

停止後の経過日数（入力）

	INITIAL	1.00D	365.D	1830.D	3650.D	7300.D	12000.D	15700.D	19400.D	30300.D	48600.D
H 3	3.19E-02	3.19E-02	3.02E-02	2.41E-02	1.82E-02	1.03E-02	5.01E-03	2.83E-03	1.60E-03	2.98E-04	1.77E-05
HE 6	1.45E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LI 8	2.70E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BE 8	2.70E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BE 10	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11	1.21E-11
BE 11	6.78E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
B 12	3.64E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
C 14	2.46E-10	2.46E-10	2.46E-10	2.46E-10	2.46E-10	2.45E-10	2.45E-10	2.45E-10	2.44E-10	2.43E-10	2.42E-10
C 15	3.17E-25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
N 16	8.40E-49	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F 20	1.09E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NE 23	1.05E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NA 24	7.86E-01	2.59E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NA 24M	1.81E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NA 25	6.36E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MG 27	3.65E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MG 28	5.93E-19	5.93E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AL 28	1.05E+02	5.93E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AL 29	1.94E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SI 31	1.64E-38	1.64E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
P 34	1.16E-18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
S 37	2.33E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CL 38	3.87E-17	9.27E-29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CL 38M	4.45E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AR 37	1.76E-04	1.73E-04	1.23E-07	3.08E-20	6.83E-36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AR 39	3.49E-08	3.49E-08	3.48E-08	3.44E-08	3.40E-08	3.31E-08	3.20E-08	3.12E-08	3.04E-08	2.82E-08	2.47E-08
AR 41	5.80E-08	6.54E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

以下略

放射性核種毎の放射能濃度
の計算結果
（Bq/g または Bq/cm^3）

表 A.1　エネルギー群構造(1/2)

GROUP	UPPER ENERGY	LOWER ENERGY	MID-ENERGY
1	1.49183E+07	1.34986E+07	1.41907E+07
2	1.34986E+07	1.22140E+07	1.28402E+07
3	1.22140E+07	1.10517E+07	1.16183E+07
4	1.10517E+07	1.00000E+07	1.05127E+07
5	1.00000E+07	9.04837E+06	9.51229E+06
6	9.04837E+06	8.18731E+06	8.60708E+06
7	8.18731E+06	7.40818E+06	7.78801E+06
8	7.40818E+06	6.70320E+06	7.04688E+06
9	6.70320E+06	6.06531E+06	6.37628E+06
10	6.06531E+06	5.48812E+06	5.76950E+06
11	5.48812E+06	4.96585E+06	5.22046E+06
12	4.96585E+06	4.49329E+06	4.72366E+06
13	4.49329E+06	4.06570E+06	4.27415E+06
14	4.06570E+06	3.67879E+06	3.86741E+06
15	3.67879E+06	3.32871E+06	3.49938E+06
16	3.32871E+06	3.01194E+06	3.16637E+06
17	3.01194E+06	2.72532E+06	2.86505E+06
18	2.72532E+06	2.46597E+06	2.59240E+06
19	2.46597E+06	2.23130E+06	2.34570E+06
20	2.23130E+06	2.01897E+06	2.12248E+06
21	2.01897E+06	1.82684E+06	1.92050E+06
22	1.82684E+06	1.65299E+06	1.73774E+06
23	1.65299E+06	1.49569E+06	1.57237E+06
24	1.49569E+06	1.35335E+06	1.42274E+06
25	1.35335E+06	1.22456E+06	1.28735E+06
26	1.22456E+06	1.10803E+06	1.16484E+06
27	1.10803E+06	1.00259E+06	1.05399E+06
28	1.00259E+06	9.07180E+05	9.53693E+05
29	9.07180E+05	8.20850E+05	8.62936E+05
30	8.20850E+05	7.42736E+05	7.80817E+05
31	7.42736E+05	6.72055E+05	7.06512E+05
32	6.72055E+05	6.08101E+05	6.39279E+05
33	6.08101E+05	5.50232E+05	5.78443E+05
34	5.50232E+05	4.97871E+05	5.23397E+05
35	4.97871E+05	4.50492E+05	4.73589E+05
36	4.50492E+05	4.07622E+05	4.28521E+05
37	4.07622E+05	3.68832E+05	3.87742E+05
38	3.68832E+05	3.33733E+05	3.50844E+05
39	3.33733E+05	3.01974E+05	3.17457E+05
40	3.01974E+05	2.73237E+05	2.87246E+05
41	2.73237E+05	2.47235E+05	2.59911E+05
42	2.47235E+05	2.23708E+05	2.35178E+05
43	2.23708E+05	2.02419E+05	2.12797E+05
44	2.02419E+05	1.83156E+05	1.92547E+05
45	1.83156E+05	1.65727E+05	1.74224E+05
46	1.65727E+05	1.49956E+05	1.57644E+05
47	1.49956E+05	1.35686E+05	1.42643E+05
48	1.35686E+05	1.22773E+05	1.29068E+05
49	1.22773E+05	1.11090E+05	1.16786E+05
50	1.11090E+05	8.65169E+04	9.80365E+04
51	8.65169E+04	6.73794E+04	7.63509E+04
52	6.73794E+04	5.24752E+04	5.94621E+04

表 A.1　エネルギー群構造(2/2)

GROUP	UPPER ENERGY	LOWER ENERGY	MID-ENERGY
53	5.24752E+04	4.08677E+04	4.63092E+04
54	4.08677E+04	3.18278E+04	3.60656E+04
55	3.18278E+04	2.47875E+04	2.80879E+04
56	2.47875E+04	1.93045E+04	2.18749E+04
57	1.93045E+04	1.50344E+04	1.70362E+04
58	1.50344E+04	1.17088E+04	1.32678E+04
59	1.17088E+04	9.11882E+03	1.03330E+04
60	9.11882E+03	7.10174E+03	8.04733E+03
61	7.10174E+03	5.53084E+03	6.26726E+03
62	5.53084E+03	4.30742E+03	4.88095E+03
63	4.30742E+03	3.35463E+03	3.80129E+03
64	3.35463E+03	2.61259E+03	2.96045E+03
65	2.61259E+03	2.03468E+03	2.30560E+03
66	2.03468E+03	1.58461E+03	1.79560E+03
67	1.58461E+03	1.23410E+03	1.39842E+03
68	1.23410E+03	9.61116E+02	1.08909E+03
69	9.61116E+02	7.48518E+02	8.48182E+02
70	7.48518E+02	5.82947E+02	6.60565E+02
71	5.82947E+02	4.53999E+02	5.14449E+02
72	4.53999E+02	3.53575E+02	4.00653E+02
73	3.53575E+02	2.75364E+02	3.12029E+02
74	2.75364E+02	2.14454E+02	2.43008E+02
75	2.14454E+02	1.67017E+02	1.89255E+02
76	1.67017E+02	1.30073E+02	1.47392E+02
77	1.30073E+02	1.01301E+02	1.14789E+02
78	1.01301E+02	7.88932E+01	8.93978E+01
79	7.88932E+01	6.14421E+01	6.96230E+01
80	6.14421E+01	4.78512E+01	5.42225E+01
81	4.78512E+01	3.72665E+01	4.22285E+01
82	3.72665E+01	2.90232E+01	3.28876E+01
83	2.90232E+01	2.26033E+01	2.56129E+01
84	2.26033E+01	1.76035E+01	1.99474E+01
85	1.76035E+01	1.37096E+01	1.55350E+01
86	1.37096E+01	1.06770E+01	1.20987E+01
87	1.06770E+01	8.31529E+00	9.42244E+00
88	8.31529E+00	6.47595E+00	7.33821E+00
89	6.47595E+00	5.04348E+00	5.71501E+00
90	5.04348E+00	3.92786E+00	4.45085E+00
91	3.92786E+00	3.05902E+00	3.46632E+00
92	3.05902E+00	2.38237E+00	2.69958E+00
93	2.38237E+00	1.85539E+00	2.10243E+00
94	1.85539E+00	1.44498E+00	1.63738E+00
95	1.44498E+00	1.12535E+00	1.27519E+00
96	1.12535E+00	8.76425E-01	9.93119E-01
97	8.76425E-01	6.82560E-01	7.73442E-01
98	6.82560E-01	5.31578E-01	6.02357E-01
99	5.31578E-01	4.13994E-01	4.69116E-01
100	4.13994E-01	1.00000E-03	2.03468E-02

表 A.2　核種 ID テーブル

1		H1	110
2		H2	120
3		He3	230
4		He4	240
5		Li6	360
6		Li7	370
7		Be9	490
8		B10	500
9		B11	510
10		C	620
11		N	740
12		O	860
13		F	990
14		Na	1130
15		Mg	1200
16		Al	1370
17		Si	1400
18		P	1510
19		S	1600
20		Cl	1700
21		Ar	1800
22		K	1900
23		Ca	2000
24		Ti	2200
25		V	2310
26		Cr	2400
27		Mn	2550
28		Fe	2600
29		Co	2790
30		Ni	2800
31		Cu	2900
32		Ga	3100
33		Ge	3200
34		Nb	4130
35		Eu	6300
36		Ta	7310
37		W	7400
38		Pb	8200
39		Bi	8390
40		Th	9020
41		U233	9230
42		U234	9240
43		U235	9250
44		U236	9260
45		U238	9280
46		Np237	9370
47		Pu239	9490
48		Pu240	9400
49		Pu241	9410
50		Pu242	9420
51		Zr	4000
52		Mo	4200
53		Hf	7200
54		Cd	4800

表 A.3　主要な出力項目

計算プログラム	主要な出力項目
MACRO-JG	• 対象の構成物質のエネルギー群ごとの巨視的実効断面積
DORT	• 計算モデルにおけるメッシュ分割情報 • メッシュごとの領域マップと構成物質マップ • エネルギー群ごと、メッシュごとのスカラー中性子束
ORIGEM-MD	• 参照する DORT 計算における材質マップ • 領域またはポイントにおける停止後経過日数ごと、核種ごとの放射能濃度

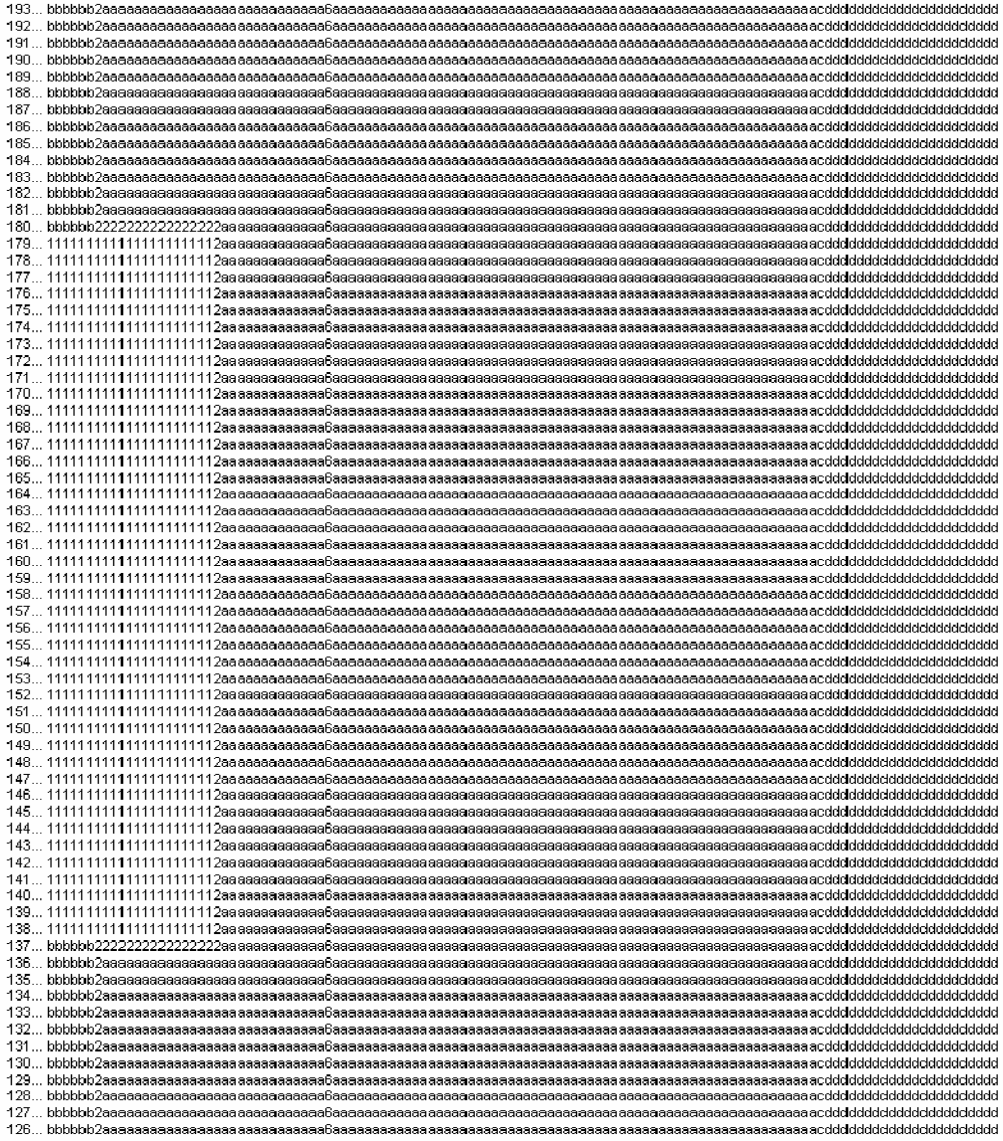


図 A.1　DORT 計算用の領域マップ（炉心部の一部）

付録 B　サンプルラン

JRR-1 を対象とし、放射化した残存放射能インベントリの計算に RADO コードシステムを適用した例をサンプルランとして示す。

JRR-1 は、定格出力（最大熱出力)が 50kW で、濃縮ウラン軽水減速冷却型（ウォーターボイラー型）である。1956 年に建設され 1957 年に臨界に達し、1968 年に停止した。1969 年から 1970 年にかけて、炉室周辺機器の解体工事が行われ、現在、炉室 1 階は非管理区域の展示室として使用され、原子炉本体、サブパイル室等は使用施設として維持管理されている。

サンプルランでは、炉心近傍における中性子束分布と放射性核種濃度の計算が、図 3.1 に示す流れに従って行われた。以下に、主要な入出力データのプリント出力（一部）を示す。

このサンプルランは、JRR-1 の将来の解体撤去に備えて実施された放射能インベントリ評価のための計算であり、その詳細情報は報告書として出版されている [15)]。

(1) 計算条件

原子炉本体のモデル化に当たっては、炉心タンクを中心に重コンクリート遮へい体の外側を含めて構造物を円筒形でモデル化した（図 B.1)。中性子束計算に用いた構成物質の組成及び Sn 法計算パラメータを、それぞれ表 B.1 と表 B.2 に示す。また、JRR-1 の運転履歴について、ORIGEN-MD による計算のために簡略化した履歴を表 B.3 に示す。

(2) 入力データ

ユーザー入力が必要な 5 つのプログラム、MACRO-JG、GIP、DORT、RTFLUM 及び ORIGEN-MD についての入力データを、それぞれ表 B.4～B.8 に以下に示す。

(3) 計算結果

炉心中心部から高さ 0cm（z = 0）及び半径方向 50cm(r = 50)における半径方向及び高さ方向の中性子束の計算結果を、それぞれ図 B.2(1), (2)に示す。高速中性子束は、グラファイトと重コンクリートで中性子の吸収率に大きな違いがないため、炉心部から離れるにつれて単調に減少している。一方、熱中性子束は、重コンクリートでの熱中性子の吸収率が大きいため、重コンクリート領域に入って急激に減少している。

炉心中心部から高さ 0cm、半径方向 16.7cm におけるステンレス鋼の放射性核種濃度及び高さ 0cm、半径方向 27.95cm におけるアルミニウムの放射性核種濃度の経年変化の計算結果を、それぞれ図 B.3(1), (2)に示す。炉停止から 30～40 年経過した時点で、ステンレス鋼では ^{63}Ni と ^{60}Co、アルミニウムでは ^{3}H、^{63}Ni 及び ^{60}Co が濃度の高い放射性核種である。

表 B.1　中性子束計算に用いた構成物質の組成

(組成%)

燃料等		ステンレス鋼		アルミニウム		グラファイト		重コンクリート (水分 7%)	
燃料領域		炉心タンク、溢流器、各配管		2 次気密タンク、及び反射体タンク		反射材		重コンクリート遮へい体	
1.45(g/cm³)		7.93(g/cm³)		2.72(g/cm³)		1.67(g/cm³)		3.74(g/cm³)	
元素	比率(%)	元素	比率(%)	元素	比率(%)	元素	比率(%)	元素	比率(%)
H	7.09E+00	C	1.50E-02	Al	9.71E+01	C	1.00E+02	H	8.45E-01
C	4.40E-04	Si	5.00E-01					^{10}B	5.18E-01
N	4.91E+00	Cr	1.90E+01					O	3.42E+01
O	6.56E+01	Mn	1.00E+00					Al	7.39E-01
Al	5.04E-04	Fe	6.82E+01					Si	2.79E+00
Si	1.47E-02	Ni	1.10E+01					Ca	4.81E+00
S	3.05E+00							Mn	9.40E-01
Cr	5.58E-01							Fe	5.47E+01
Mn	2.94E-02							Ni	1.07E-01
Fe	2.02E+00							Cu	2.98E-01
Ni	3.23E-01								
Cu	3.02E-03								
^{235}U	3.23E+00								
^{238}U	1.32E+01								

表B.2　Sn法計算パラメータ

項目	パラメータ
中性子断面積ライブラリ	JSSTDL-J32(JENDL-3.2)
中性子エネルギー群数	100 群*
散乱角のルジャンドル展開次数	P_3
Sn 分点数	S48(等方 S_8)
計算範囲	径方向：0～240.1 cm 軸方向：－180～241.3 cm
領域数	14
径方向メッシュ分割数	186
軸方向メッシュ分割数	335
核分裂中性子分布	炉心内で平坦分布(径方向・軸方向とも)
核分裂中性子スペクトル	^{235}U の熱中性子核分裂スペクトル
核分裂中性子強度	3.85×10^{15} n/sec (熱出力 50 kW 相当)
中性子束収束誤差	1%(各メッシュ)

*：100 群の計算後、3 群に分類

表 B.3　運転実績と放射化計算に用いた運転履歴

年度	運転実績						計算に用いた運転履歴	
	起動回数	スクラム回数	運転時間(時間)	出力量(kWh)	平均出力(kW)	運転時間/スクラム回数	運転日数(日)	平均出力 / 定格出力*
1957	276	52	254.10	2,298.6	9.1	4.9	10.59	0.182
58	325	57	799.09	20,044.0	25.1	5.7	33.30	0.502
59	359	41	1,062.42	27,361.8	25.7	25.9	44.27	0.514
60	365	52	822.07	14,493.7	17.6	15.8	34.25	0.352
61	444	55	882.20	22,300.3	25.3	16.0	36.76	0.506
62	370	40	840.59	22,024.6	26.2	21.0	35.02	0.524
63	347	25	738.45	18,692.4	25.3	29.5	30.77	0.506
64	287	18	605.28	15,667.3	25.9	33.6	25.22	0.518
65	356	61	643.33	14,715.3	21.4	10.6	26.81	0.428
66	303	25	634.20	12,576.7	19.8	25.4	26.43	0.396
67	302	24	455.12	5,341.7	11.7	18.9	18.96	0.234
68	163	12	304.43	6,083.5	19.9	25.4	12.68	0.398
合計	3,898	462	8,043.28	181,599.9			335.05	

*：定格出力 50 kW

表 B.4　MACRO-JG の入力データ

```
cross section for material 1 (Fuel)
   100     5     1   100     1     5   103     4     1     0
    40     5
     0     1   100     1     1     0
 1  8                                                  300.
   110   6.273E-02   860   3.582E-02  1370   1.695E-07  1600   8.589E-04
  2600   2.948E-06  2900   4.318E-07  9250   1.261E-04  9280   5.008E-04
   110   860  1370  1600  2600  2900  9250  9280
    -1
```

表 B.5　GIP の入力データ

```
gip input for JRR-1
1$$
 140   3   4 143   136    0   36   92  0   3
   2   2   2  e
   t
13$$
  1   2   3  4      7   8   9  10    13  14  15  16    19  20  21  22
 25  26  27  28    31  32  33  34    37  38  39  40    43  44  45  46
 49  50  51  52
10$$
 37   38   39   40  4q4
 41   42   43   44  1q4
 45   46   47   48  1q4
 49   50   51   52  1q4
 53   54   55   56  1q4
 57   58   59   60  1q4
 61   62   63   64  1q4
 65   66   67   68  1q4
 69   70   71   72  1q4
 73   74   75   76  1q4
 77   78   79   80  1q4
 81   82   83   84  1q4
 85   86   87   88  1q4
 89   90   91   92  4q4
11$$
4r0   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16
4r0  13  14  15  16
4r0  21  22  23  24
4r0  13  14  15  16
4r0   9  10  11  12
4r0  17  18  19  20
4r0  29  30  31  32
4r0  25  26  27  28
4r0  29  30  31  32
4r0  21  22  23  24
4r0   9  10  11  12
4r0  17  18  19  20
4r0  33  34  35  36
4r0   1   2   3   4   5   6   7   8  17  18  19  20  21  22  23  24
12**
4z  4r0.89626  4r0.00891  4r0.06546  4r0.02936
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r1.00
4z  4r0.9695  4r0.0112  4r0.0078  4r0.0115
  t
```

表 B.6　DORT の入力データ(1/3)

```
>>dort non-hole, non-bismuth side at JRR-1
61$$
  0  9  8  0  20    0  0  0  0  0     0   e
62$$
    0    3   13  185  334      100    3    4  143    0
    0   52   52    0   48        1    1    0    0    0
    1  100    0    3    0        2    0    0    0    3
    0    0    0    0    0        0    0    1    1    0
    0    0  400    0    0        0    1    1    1    1
    4   50    0    0    0        0    0    0    0    0
    1   -1 20000 2000   0        4    0    e
63**
   0.0    3.85e+15     1.0e-4    1.0e-2       0.0
   1.0e-3   1.0        0.2       1.5         10.0
   1.0      1.0       -1.0       0.3         10.0
   1.0e-0   1.0e-3     0.01      0.0         -1.5
   1.5      0.6        0.0       1.0e-60      0.0
   3.0e-2   0.2        0.9
 e
 t
 t
82**  -0.30861 -0.21822 1m1 -0.61721 -0.57735 -0.21822 1m2 -0.81650
      -0.78680 -0.57735 -0.21822 1m3 -0.97590 -0.95119 -0.78680
      -0.57735 -0.21822 1m4 -0.30861 -0.21822 1m1 -0.61721 -0.57735
      -0.21822 1m2 -0.81650 -0.78680 -0.57735 -0.21822 1m3 -0.97590
      -0.95119 -0.78680 -0.57735 -0.21822 1m4
83**
      3r-0.95119 5r-0.78680 7r-0.57735 9r-0.21822 3r0.95119 5r0.78680
      7r0.57735 9r0.21822
81**  0.0 2r0.30247-1 0. 4r0.22685-1 0. .22685-1 .23148-1
      .22685-1 1n3 0. .30247-1 .22685-1 .22685-1
      .30247-1 1n4 0. 2r0.30247e-01 0.0 4r0.22685e-01 0.0
      .22685e-01 .23148e-01 .22685e-01 1n4 .30247e-01 .22685e-01
      .22685e-01 .30247e-01 1n4
     t
1**
  f0.0
5**  f1.0
4**
5i      0.00
        4.88
        5.06
5i      5.70
6i     10.70
       16.70
12i    16.88
       27.95
5i     28.59
5i     33.59
4i     38.59
43i    42.59
       90.00
26i    91.24
      120.00
18i   121.24
39i   160.90
      242.10
```

表 B.6　DORT の入力データ(2/3)

```
2**
39i  -180.00
19i   -97.00
2i    -73.66
49i   -72.42
5i    -35.00
      -30.27
12i   -29.63
2i    -19.50
      -16.88
14i   -16.70
3i     -4.90
1i     -1.75
1i      0.00
3i      1.75
14i     4.90
       16.70
2i     16.88
19i    19.50
39i    35.00
       70.00
7i     70.18
       77.50
       78.10
9i     78.74
69i    88.74
      241.30
8$$
'  1
 11 11 11 11 11 11  2  6 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13
'  2
 11 11 11 11 11 11  2  6 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13

••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••••

'  334
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
```

表 B.6　DORT の入力データ(3/3)

```
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13
 13 13 13 13 13
9$$
   -1  -5  -9  -13  -17     -21  -25  -29  -33  -37
  -41 -45 -49
    t
'  neutron source here
96**
   21r1.0  164z
  t
97**
    137z  42r1.0  155z
   t
98**
  5.3309e-05  1.4326e-04  3.3912e-04  7.2712e-04  1.4243e-03  2.5608e-03
  4.2705e-03  6.6572e-03  9.7641e-03  1.3548e-02  1.7899e-02  2.2666e-02
  2.7481e-02  3.2281e-02  3.6655e-02  4.0510e-02  4.3626e-02  4.5760e-02
  4.7276e-02  4.7675e-02  4.7470e-02  4.6609e-02  4.4963e-02  4.3273e-02
  4.0492e-02  3.8324e-02  3.5311e-02  3.2824e-02  2.9921e-02  2.7266e-02
  2.4619e-02  2.2209e-02  1.9906e-02  1.7742e-02  1.5810e-02  1.4023e-02
  1.2393e-02  1.0926e-02  9.5944e-03  8.4570e-03  7.3930e-03  6.4596e-03
  5.6510e-03  4.9098e-03  4.3076e-03  3.7158e-03  3.2510e-03  2.8142e-03
  2.4472e-03  4.7780e-03  3.3298e-03  2.3128e-03  1.6040e-03  1.1095e-03
  7.6643e-04  5.2954e-04  3.6457e-04  2.5078e-04  1.7306e-04  1.1906e-04
  8.1933e-05  5.6383e-05  3.8728e-05  2.6655e-05  1.8331e-05  1.2599e-05
  8.6745e-06  5.9526e-06  4.0931e-06  2.8139e-06  1.9331e-06  1.3289e-06
  9.1354e-07  6.2789e-07  4.3218e-07  2.9629e-07  2.0409e-07  1.4014e-07
  9.6301e-08  6.6187e-08  4.5475e-08  3.1293e-08  2.1489e-08  1.4769e-08
  1.0141e-08  6.9715e-09  4.8021e-09  3.2950e-09  2.2659e-09  1.5559e-09
  1.0702e-09  7.3571e-10  5.0538e-10  3.4699e-10  2.3900e-10  1.6385e-10
  1.1273e-10  7.7518e-11  5.3277e-11  1.1707e-10
  T
```

表 B.7　RTFLUM の入力データ

```
rtflum varflm ==> nflsv
 1$$   a3  0 a7   0  1
  e  t
     t
```

表 B.8　ORIGEN-MD の入力データ

```
2 1 1
<<RMIN>> <<RMAX>> <<ZMIN>> <<ZMAX>>  300.0
1.49183E+07 1.00000E+06 0.87600E+00 1.00000E-03
 A5052  at region <<REG>>
 2  4 2 0  4 0 0 12
    9  9  1
    8  8  1
    6  6  1
    0 10  1
0 0 0 0 0  0 1 0 0 0  0 0 0 0 0  0 0 0 0 0  0
0 0 0 0 0  0 1 0 0 0  0 0 0 0 0  0 0 0 0 0  0
0 0 0 0 0  0 1 0 0 0  0 0 0 0 0  0 0 0 0 0  0
  0.182  0.00  0.502  0.00  0.514  0.00  0.352  0.00
  0.506
  0.00  0.524  0.00  0.506  0.00  0.518  0.00  0.428
  0.00  0.396  0.00  0.234  0.00  0.398
   10.59  342.29  375.59  696.32  740.59  1071.34  1105.59  1433.83
  1470.59
  329.98  365.00  699.23  730.00  1069.78  1095.00 1433.19  1460.0
  338.57  365.00  711.04  730.00  1082.32  1095.00
  1.00  365.0  1825.0  3650.0  7300.0  12000.0  15700.0  19400.0  30300.0  48600.0
1.0e-30 1.0e-30 1.0e-30 1.0e-30 1.0e-30 1.0 1.0
  130270  0.9708
  140280  7.000e-04
  250550  1.000e-04
  270590  2.000e-06
   30000  1.000e-05
   50000  3.000e-06
   60000  1.000e-04
  120000  2.400e-02
  200000  1.000e-04
  240000  2.400e-03
  260000  1.800e-03
  280000  1.000e-04
  290000  1.000e-04
  300000  1.000e-04
  470000  2.000e-06
  480000  4.000e-06
```

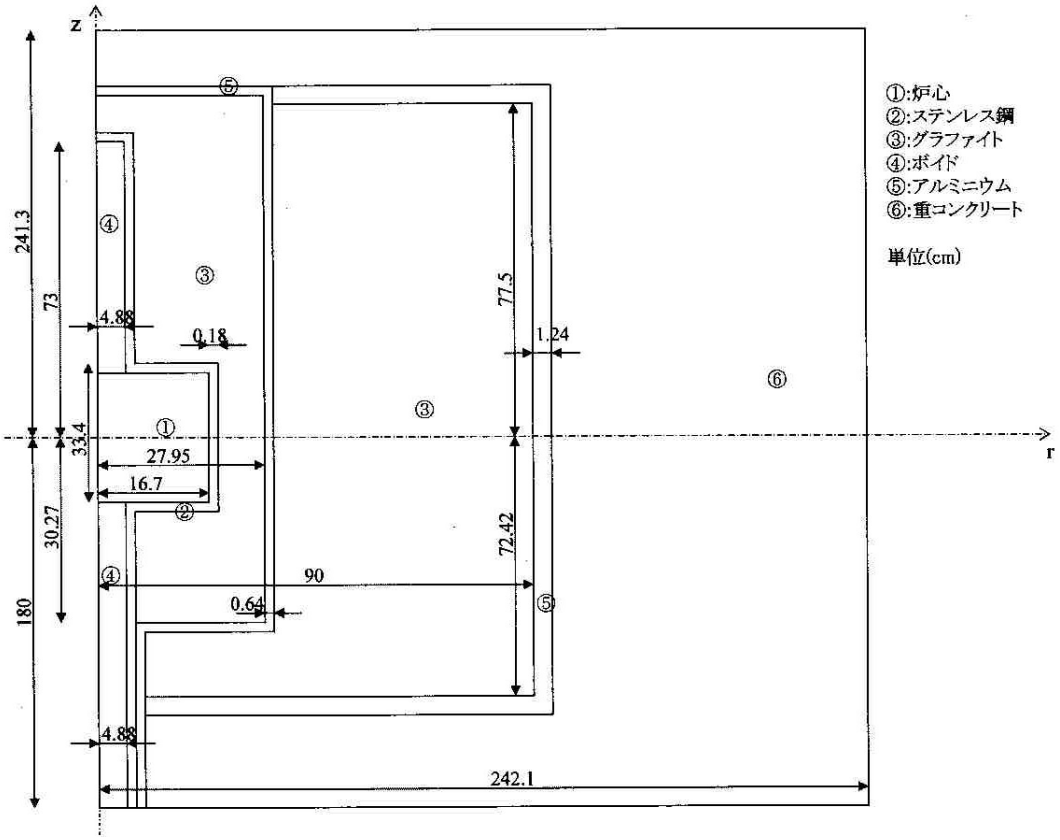
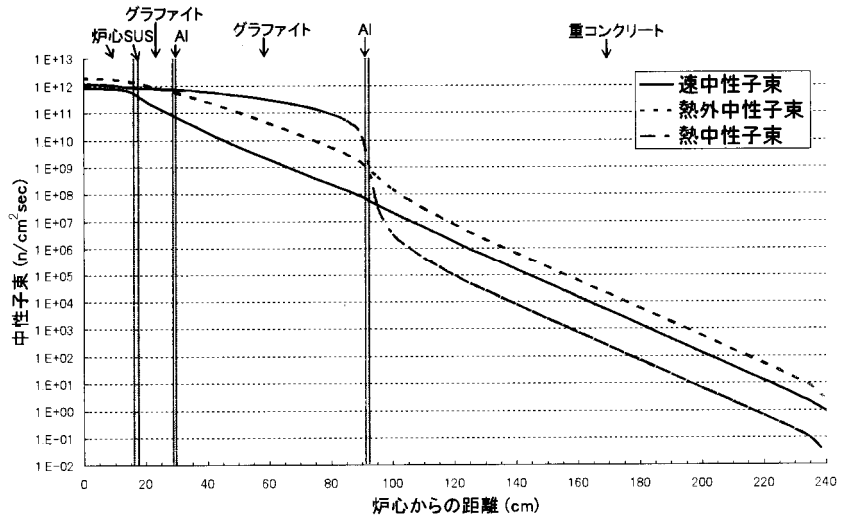
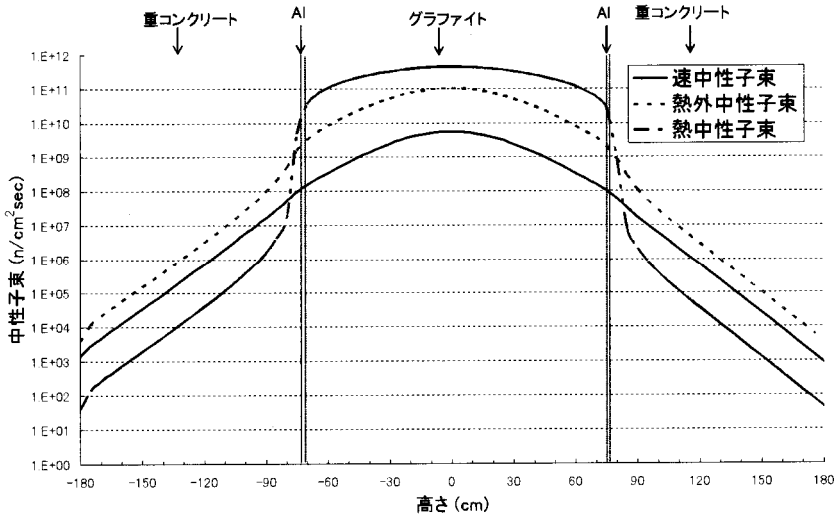


図 B.1　計算体系のモデル図



(1)半径方向の中性子束（z = 0 cm）



(2)高さ方向の中性子束（r = 50 cm）

図 B.2　中性子束の計算結果

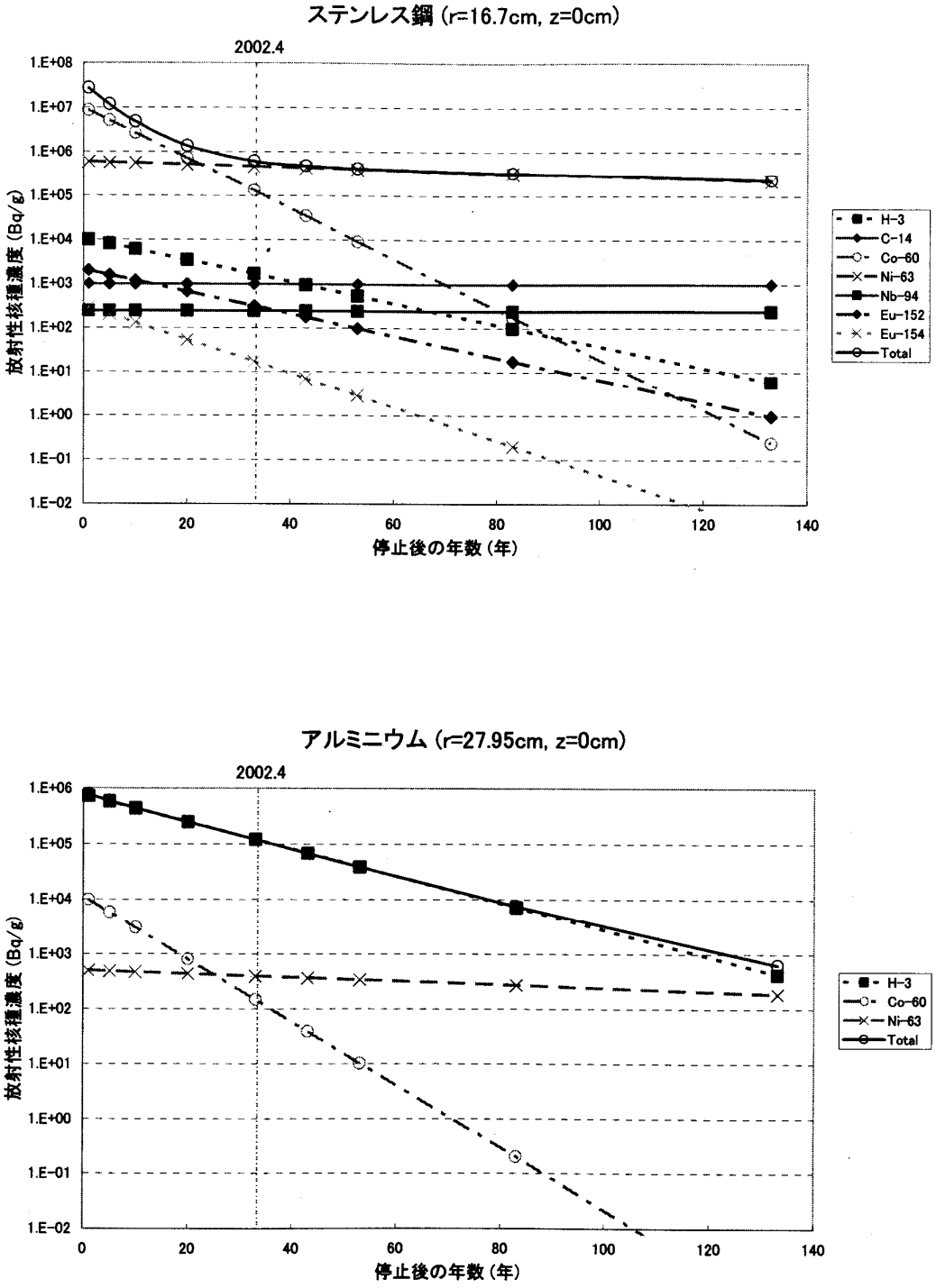


図 B.3　原子炉停止後の放射性核種濃度の計算結果

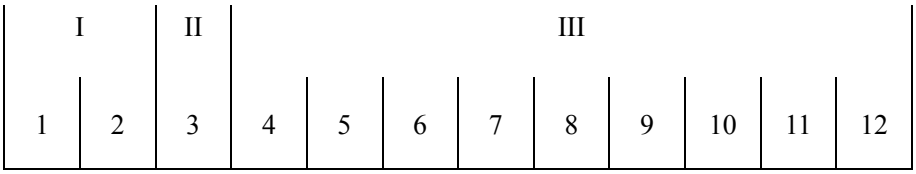
付録C　サンプルランのためのバッチファイルリスト

```
echo off
cls
set oldpath=%path%
set radopath=D:¥rado

set path=%radopath%¥bin

cd mat

copy %radopath%¥jssdat¥jsstd100.g40new.bin fort.3
copy %radopath%¥jssdat¥jsstd100n50.bin          fort.4
call macro.bat mat001
call macro.bat mat002
call macro.bat mat003
call macro.bat mat004
call macro.bat mat005
call macro.bat mat006
call macro.bat mat007
call macro.bat mat008
call macro.bat mat009
del fort.*

del jrr1.lib
call concat.bat mat001 jrr1
call concat.bat mat002 jrr1
call concat.bat mat003 jrr1
call concat.bat mat004 jrr1
call concat.bat mat005 jrr1
call concat.bat mat006 jrr1
call concat.bat mat007 jrr1
call concat.bat mat008 jrr1
call concat.bat mat009 jrr1
del fort.*

cd ..
move .¥mat¥jrr1.lib jrr1.lib

call gip.bat          gip-jrr1 jrr1
call dort.bat       jrr1_a         gip-jrr1
call rtflum.bat    jrr1_a         gip-jrr1
call makeflx.bat jrr1_a         jsstdl


call origenmds.bat 40 60 40 60 A50524 jrr1_a.3g


set path=%oldpath%
```

付録 D　FIDO フォーマット

1. Type1 フォーマット

入力データは 12 カラムずつに分割され、さらに下図のように 3 つのサブフィールドに分割される。



最初のサブフィールドにはデータ配列の定義を与える 2 桁の整数値を入力する。次のサブフィールドには$、*、R、I、T、S、F、A、C、E、Q、L、N、M、O、U、V、Z、+、-、あるいはブランクを入力する。第 3 サブフィールドには整数値または浮動小数点の数値を入力する。各フィールドがブランクのとき、そのフィールドは無視される。第 I、第 II サブフィールドは、第 III サブフィールドに対するオペレーションを指示する。第 II サブフィールドに入力する主なオペレータの機能を以下に示す。

$：データ配列が整数パラメータである。

*：データ配列が浮動小数点パラメータである。

R：データの繰り返し。

（例）　15R 1.0

1.0 を 15 回続けて入力する

I：2 つのデータ間を線型内挿する。

（例）　3I 1.5 5.5

1.5 と 5.5 の間を 3 等分する。

T：1 つのデータ配列を終了。

S：飛び越しの指定。

（例）　5S 3

データエントリーを 5 つ飛び越し、6 つめのデータエントリーに 3 を入力する。

F：以降のデータ配列に同じ数字を入力する。

（例）　･･･3 4 3 F8

データ配列･･･3 4 3 の後に入力するデータは全て 8

Q：配列の繰り返し指定。Q の後に入力すべき配列の長さを、Q の前に繰り返し回数指定する。

（例）　1 0 4 3Q3

配列 1 0 4 を 3 回繰り返す

1 0 4 1 0 4 1 0 4

L：2 つのデータ間を対数内挿する。

N：N の前にある配列を逆に入力する。N の後に入力すべき配列の長さを指定する。

（例）　0.0 0.166667 0.333333 N2

0.0 0.166667 0.333333 0.333333 0.166667

M：M の前にある配列の符号を逆にして、配列を逆順に入力する。M の後に入力すべき配列の長さを指定する。

（例）　-1.0 -0.8819171 -0.3333333 M2

-1.0 -0.8819171 -0.3333333 0.3333333 0.8819171

2. Type2 フォーマット（free format）

Type1 フォーマットの便利な機能を活かし、かつ、サブフィールドの煩わしさを無くすなどの改良を行ったものである。フリーフォーマットの選択は、整数パラメータまたは浮動小数

点パラメータを指定する$または*を、$$または**とする。

主な制限事項は以下のとおりである。

(1) データ（第 III サブフィールド）は 1 カラム以上のブランクを空けて続けて入力する。
(2) 1 から 72 カラムまでが有効である。
(3) 指数データは、1.0E-4 のように入力し、1.0 E-4、1.0E -4 のような入力は不可である。
(4) 数値データは 9 桁以内である。

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m-1
密度（質量密度）	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
質量体積（比体積）	立法メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
（物質量の）濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率	（数の）1	1

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表３．固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(a)	rad		$m \cdot m^{-1}=1$(b)
立体角	ステラジアン(a)	sr(c)		$m^2 \cdot m^{-2}=1$(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s・A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	V・s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度(d)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd・sr(c)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd=cd$
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
（放射性核種の）放射能	ベクレル	Bq		s^{-1}
吸収線量，質量エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量，組織線量当	シーベルト	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a)ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表４に示されている。
(b)実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“１”は明示されない。
(c)測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
(d)この単位は、例としてミリセルシウス度m℃のようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表４．単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa・s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s^2	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量（比熱容量），質量エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー（比エネルギー）	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 \cdot sr)$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=kg \cdot s^{-3}$

表６．国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1° =(π/180) rad
分	’	1’ =(1/60)° =(π/10800) rad
秒	”	1” =(1/60)’ =(π/648000) rad
リットル	l、L	1l=1 $dm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	1t=10^3 kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表７．国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10^{-19}J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10^{-27}kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30)×10^{11}m

表８．国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里		1海里=1852m
ノット		1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 $dam^2=10^2m^2$
ヘクタール	ha	1ha=1 $hm^2=10^4m^2$
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10^5Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10^{-10}m
バーン	b	1b=100$fm^2=10^{-28}m^2$

表９．固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10^{-7} J
ダイン	dyn	1 dyn=10^{-5}N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm^2=0.1Pa・s
ストークス	St	1 St =1$cm^2/s=10^{-4}m^2/s$
ガウス	G	1 G ≙10^{-4}T
エルステッド	Oe	1 Oe ≙(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≙10^{-8}Wb
スチルブ	sb	1 sb =1$cd/cm^2=10^4cd/m^2$
ホト	ph	1 ph=$10^4$1x
ガル	Gal	1 Gal =1$cm/s^2=10^{-2}m/s^2$

表10．国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10^{10}Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10^{-4}C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10^{-2}Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10^{-2}Sv
X線単位		1X unit=1.002×10^{-4}nm
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10^{-9}T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10^{-26}W・m^{-2}・Hz^{-1}
フェルミ		1 fermi=1 fm=10^{-15}m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10^{-4}kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第７版，1998年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています