

# 浅地中処分のための JPDR 生体遮蔽コンクリートの 放射能評価手法の検討

Study on the Radioactivity Evaluation Method of Biological Shielding Concrete of  
JPDR for Near Surface Disposal

河内山 真美 岡田 翔太 坂井 章浩

Mami KOCHIYAMA, Shota OKADA and Akihiro SAKAI

バックエンド統括本部

埋設事業センター

Radioactive Wastes Disposal Center

Decommissioning and Radioactive Waste Management Head Office

July 2021

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

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

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (include data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

## 浅地中処分のための JPDR 生体遮蔽コンクリートの放射能評価手法の検討

日本原子力研究開発機構 バックエンド統括本部  
埋設事業センター

河内山 真美、岡田 翔太、坂井 章浩

(2021 年 4 月 20 日受理)

原子炉施設の解体廃棄物の浅地中処分にあたっては、廃棄物中の放射能インベントリを評価することが必要である。本報では、JPDR の解体で発生した生体遮蔽コンクリートのうち炉心に近い部分について、浅地中処分のための放射能評価手法を検討するとともに、埋設処分の際の処分区分を判断するために、計算による放射能評価を行った。

本計算では、中性子/光子輸送計算コード DORT と核種生成消滅計算コード ORIGEN-S を用いて放射化放射能計算を行い、対象コンクリートの放射能濃度を評価した。DORT 計算では JENDL-4.0 から作成された MATXSLIB-J40 ファイルから断面積ライブラリを作成し、ORIEGN-S では、SCALE6.0 付属の断面積ライブラリを用いた。

評価した放射能濃度を過去の報告書における測定値と比較したところ、半径方向においては数倍程度高い場所があったものの全体的に傾向が一致しており、垂直方向においては大変よく一致することが確認できた。

また、対象コンクリート廃棄物の平均放射能濃度  $D_i$  (Bq/t) と浅地中処分で評価対象とされている 140 核種に対する基準線量相当濃度の試算値  $C_i$  (Bq/t) を比較評価した結果、対象コンクリート廃棄物は全体の約 2%を除けばトレンチ処分が可能であると見通しが得られた。さらに、核種毎の相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) から、トレンチ処分における重要核種を予備的に選定した結果、H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Co-60、Sr-90、Eu-152、Cs-137 の 8 核種を重要核種として選定した。

Study on the Radioactivity Evaluation Method of Biological Shielding Concrete of  
JPDR for Near Surface Disposal

Mami KOCHIYAMA, Shota OKADA and Akihiro SAKAI

Radioactive Wastes Disposal Center  
Decommissioning and Radioactive Waste Management Head Office  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 20, 2021)

It is necessary to evaluate the radioactivity inventory in wastes in order to dispose of radioactive wastes generated from dismantling nuclear reactor in the shallow ground. In this report, we examined radioactivity evaluation method for near surface disposal about biological shield concrete near the core generated from the dismantling of JPDR. We calculated radioactive concentration of the target biological concrete using the DORT code and the ORIGEN-S code, and we estimated radioactivity concentration  $D_i$  (Bq/t). For DORT calculation, the cross-section library created from the MATXSLIB-J40 file from JENDL-4.0 was used, and for ORIGEN-S, the attached library of SCALE6.0 was used.

As a result of comparing the calculation results of the radioactivity concentration with the past measured values in the radial direction and the vertical direction, we found that the trends were generally the same.

We calculated radioactive concentration of the target biological concrete  $D_i$  (Bq/t), and we compared with the estimated  $C_i$  (Bq/t) equivalent to the dose criteria of trench disposal calculated for 140 nuclides. As a result we inferred that the except for about 2% of target waste could be disposed of in the trench disposal facility. We also preselected important nuclides for trench disposal based on the ratios ( $D_i/C_i$ ) for each nuclide, H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Co-60, Sr-90, Eu-152 and Cs-137 were selected as important nuclides.

Keywords: Very Low-level Wastes, Trench Disposal Facilities,

JPDR, Biological Shielding Concrete, DORT, ORIGEN-S, MATXSLIB-J40

目次

1. はじめに	1
2. コンクリート廃棄物の放射能評価の概要	2
2.1 放射化放射能評価方法の概要	2
2.2 対象施設及び放射能インベントリ評価対象廃棄物の概要	2
3. コンクリート廃棄物の放射能計算の方法	3
3.1 放射能計算の流れ	3
3.2 中性子束及びスペクトルの計算	3
3.2.1 巨視的断面積ライブラリの作成	3
3.2.2 原子炉体系のモデル化	3
3.2.3 中性子線源強度の設定	4
3.2.4 Sn 法計算パラメータの設定	4
3.3 放射化放射能の計算	4
3.3.1 実効放射化断面積の処理	4
3.3.2 コンクリートの元素組成及び原子炉の運転履歴の設定	5
3.3.3 対象廃棄物の平均放射能濃度及び最大放射能濃度の算出	6
4. 中性子束及び放射化放射能の計算結果	7
4.1 中性子束分布の計算結果	7
4.2 放射化放射能の計算結果	7
4.3 放射化放射能計算結果の妥当性の確認	7
4.3.1 コンクリート試料の放射能濃度の測定値との比較	7
4.3.2 先行計算結果との比較	8
5. 保管コンクリートの重要核種選定と埋設処分区分の評価	9
5.1 埋設処分区分及び重要核種選定の評価方法	9
5.1.1 相対重要度の合計値による処分区分の判定方法	9
5.1.2 重要核種の選定方法	9
5.1.3 重要核種の最大放射能濃度による処分区分の判定方法	10
5.1.4 一部の廃棄物を除いたトレンチ処分区分の再評価	11
5.2 処分区分及び重要核種選定の評価結果	11
5.2.1 相対重要度の合計値による処分区分の判定結果	11
5.2.2 重要核種の選定結果	11
5.2.3 重要核種の最大放射能濃度による埋設処分区分の評価結果	12
5.2.4 一部の廃棄物を除いたトレンチ処分区分の再評価結果	12
6. まとめ	13
謝辞	14
参考文献	15
付録	54

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of radioactivity evaluation for concrete waste .....	2
2.1 Outline of radioactive evaluation method .....	2
2.2 Outline of the facility and the radioactive wastes for radioactive evaluation .....	2
3. Calculation method of radioactivity of concrete waste .....	3
3.1 Calculation procedure .....	3
3.2 Calculation of the neutron flux and energy spectrum .....	3
3.2.1 Making macroscopic cross-section libraries .....	3
3.2.2 Modeling reactor structure .....	3
3.2.3 Setting neutron source intensity .....	4
3.2.4 Setting calculation parameters for Sn method .....	4
3.3 Calculation of radioactivity due to neutron activation .....	4
3.3.1 Making effective cross-sections .....	4
3.3.2 Setting elemental composition of concrete and operation history .....	5
3.3.3 Calculation of average and maximum radioactivity concentration of waste .....	6
4. Calculation results of neutron flux and radioactivity .....	7
4.1 Calculation result of neutron flux distribution .....	7
4.2 Calculation result of radioactivity .....	7
4.3 Validity confirmation of radioactivity calculation results .....	7
4.3.1 Comparison with the measured radioactivity concentration .....	7
4.3.2 Comparison with the previous calculation result .....	8
5. Evaluation of important nuclides in concrete waste and determination of disposal classification for concrete waste .....	9
5.1 Methods for evaluation of important nuclides and for determination of disposal classification .....	9
5.1.1 Determination method for disposal classification by sum of fractions methodology .....	9
5.1.2 Selection method of important nuclides .....	9
5.1.3 Determination method for disposal classification by maximum radioactivity concentrations of important nuclides .....	10
5.1.4 Re-evaluation of conformity to trench disposal classification in case of exclusion of a part of wastes .....	11
5.2 Result of evaluation of important nuclides and for determination of disposal classification .....	11
5.2.1 Results of determination of disposal classification by sum of fractions methodology .....	11

5.2.2 Selection results of important nuclides .....	11
5.2.3 Results of disposal classification by maximum radioactivity concentration of important nuclides .....	12
5.2.4 Results of re-evaluation of conformity to trench disposal classification .....	12
6. Conclusion .....	13
Acknowledgments .....	14
References .....	15
Appendix .....	54

表リスト

表 2.1	JPDR の主要諸元	17
表 3.1	MATXSLIB-J40 の中性子エネルギー群構造	18
表 3.2.1	MATXSLIB-J40 の収録核種（自由ガスモデル）	21
表 3.2.2	MATXSLIB-J40 の収録核種（熱中性子散乱則データ）	24
表 3.3	原子炉体系各領域の物質組成と原子個数密度	25
表 3.4	ORIGEN-S の計算に用いた生体遮蔽コンクリートの重量比	27
表 3.5	計算に用いた JPDR の運転期間、運転停止期間及び平均出力	28
表 4.1	炉心高さ径方向の放射能濃度の測定値と計算値の比較	29
表 5.1	トレンチ基準線量相当濃度 C (Bq/t) と保管コンクリートの平均放射能濃度 D (Bq/t)	32
表 5.2	保管コンクリートのトレンチ処分における重要核種の選定	35
表 5.3	重要核種と各シナリオの相対重要度 D/C	38
表 5.4	JPDR 保管廃棄物の最大放射能濃度とトレンチ基準線量相当濃度との比較	39

図リスト

図 2.1	JPDR の炉心及び生体遮蔽コンクリートの概略図	40
図 3.1	本報における放射化放射能の計算フロー	41
図 3.2	計算に用いた原子炉体系	42
図 3.3	JPDR の運転ヒストグラム	43
図 4.1	炉心高さでの径方向中性子束分布	44
図 4.2.1	中性子束分布のコンター図（熱中性子）	45
図 4.2.2	中性子束分布のコンター図（熱外中性子）	46
図 4.2.3	中性子束分布のコンター図（高速中性子）	47
図 4.3	炉心高さの生体遮蔽コンクリートの放射能濃度分布	48
図 4.4	生体遮蔽コンクリート径方向の測定と計算による放射能濃度分布	49
図 4.5	生体遮蔽コンクリート表面の測定と計算による放射能濃度分布	50
図 4.6	先行計算及び本計算における炉心高さの中性子束分布	51
図 5.1	トレンチ処分区分の判定及び重要核種選定のフロー	52
図 5.2	保管コンクリート中の H-3 及び Eu-152 の放射能濃度分布	53



## 1. はじめに

原子炉施設の解体に伴って発生する放射性廃棄物の浅地中処分にあたっては、対象廃棄物の含有核種毎に放射能濃度と放射能（以下、「放射能インベントリ」という）を評価することが必要である。原子炉施設の解体で発生する廃棄物は、原子炉内で発生した中性子により原子炉内構造物や生体遮蔽コンクリートなどが放射化して廃棄物となるもの、放射化した物質によって汚染した冷却水や排気が機器等の表面に付着することで生じる廃棄物、放射化と汚染の両方の汚染起源による廃棄物の3通りの形態に分けられる。

原子炉施設の解体において放射化コンクリート廃棄物は多量に発生し、計算により評価できることから、計算による放射能インベントリ評価方法を構築する必要性は高いと考えられる。

動力試験炉 JPDR では、1976年に運転停止後、1995年に生体遮蔽コンクリート及び建屋コンクリートのうち放射能濃度の低い部分についてトレンチ処分が行われている<sup>1)</sup>。一方で、トレンチ処分対象とせずに保管している放射化コンクリート廃棄物も存在していることから、本報では、JPDRの解体に伴って発生し、トレンチ処分対象とせずに保管している放射化した生体遮蔽コンクリートを対象として、原子炉施設の解体に伴って発生する放射化コンクリート廃棄物の浅地中処分に向けた放射能インベントリ評価方法の検討を行った。

JPDRの生体遮蔽コンクリートの放射化放射能の評価では、炉心から発生した中性子束の生体遮蔽コンクリート内での分布を評価し、その中性子束分布を用いて、放射化放射能の計算を行った。この中性子束分布の評価及び放射化放射能の計算は、過去に実施された方法<sup>2),3)</sup>を参考に、新たに JENDL-4.0 から作成した中性子輸送計算の断面積ライブラリ及び SCALE6.0 に含まれる ORIGEN-S コードを用いて実施した。

現在保管中のコンクリート廃棄物の大部分が、運転終了からの保管期間による放射能の減衰を考慮するとトレンチ処分が可能であると予想されるため、本検討ではトレンチ処分区分を判定する方法を整理し、本報で評価した生体遮蔽コンクリートの平均放射能濃度と、現在、評価されているトレンチ処分の基準線量相当濃度<sup>4)</sup>を用いて相対重要度を求め、トレンチ処分の対象とできる可能性を確認するとともに、対象廃棄物についてトレンチ処分の対象とした際の重要核種を予備的に選定した。

## 2. コンクリート廃棄物の放射能評価の概要

### 2.1 放射化放射能評価方法の概要

原子炉施設における放射化放射能の評価は、対象とする領域における中性子束及びエネルギースペクトルを評価し、次に、中性子の照射を受けた材料の放射化放射能を評価する 2 段階で行う。本評価では、2 次元の離散座標 Sn 法に基づく中性子/光子輸送計算コード DORT<sup>5),6)</sup>を用いて中性子エネルギースペクトルの評価を行い、SCALE6.0 付属の核種生成消滅コード ORIGEN-S<sup>7)</sup>を用いて放射化放射能評価を行った。

DORT コードを用いた中性子輸送計算で使う巨視的多群断面ライブラリは、JENDL-4.0<sup>8)</sup>から作成された中性子 199 群の MATXSLIB-J40<sup>9)</sup>ファイルと TRANSX<sup>10),11)</sup>コードを利用して作成した。

ORIGEN-S は、SCALE システムに含まれる中性子の照射による放射化や核分裂による放射性核種の生成、壊変及び減損についての計算を行うコードで、入力データの 3 群の中性子束データを使って 1 群実効放射化断面を作成し、行列指数関数法によって連立方程式を解いて核種毎の放射能を計算している。計算方法の詳細は 3 章に示す。

本評価では、日本原子力研究開発機構で開発された RADO コードシステム<sup>3)</sup>の機能を用いて、中性子輸送計算で得られた中性子エネルギースペクトルを 199 群から 3 群に縮約し、原子炉の運転情報及び原子炉構成材料の物質情報から、放射化放射能計算用の入力ファイルを作成して計算を実施した。

### 2.2 対象施設及び放射能インベントリ評価対象廃棄物の概要

本評価の対象とした JPDR は、我が国で初めて建造した熱出力 45MW、電気出力 12.5MW の自然循環直接サイクル沸騰水型発電炉である。主要諸元<sup>1),12)</sup>を表 2.1 に、JPDR の炉心及び生体遮蔽コンクリートの概略図を図 2.1 に示す。原子炉は、原子炉压力容器、炉内構造物、炉心及び制御棒等から構成され、原子炉压力容器周りには生体遮蔽コンクリートが配置されている。なお、JPDR は 1969 年 10 月から 1971 年 12 月にかけて出力上昇のために改造工事を行っており<sup>12)</sup>、工事前を JPDR-I (定格熱出力 45MW)、工事後を JPDR-II (定格熱出力 90MW) という。ただし、運転時期のほとんどが JPDR-I であったこと、JPDR-II は 45 MW を超える出力で運転されなかったことから、JPDR-I のモデルを用いて全期間の計算を実施した。

図 2.1 において、生体遮蔽体の薄く塗りつぶした部分は、原子力科学研究所の敷地において、トレンチ処分がなされている。トレンチ処分した領域以外の図 2.1 で黒く塗りつぶした部分は、現在保管されており、今後、埋設対象となる(以下、「保管コンクリート」という)。この保管コンクリートは、比較的炉心に近い中心から 135 cm~215 cm の部分で、厚さ最大 78.5 cm、高さ最大で約 16.5 m、コンクリートの密度を 2.3 g/cm<sup>3</sup> とすると、総重量約 209 t と推定される。なお、中性子束分布及び放射能濃度の評価においては、既に埋設済みのコンクリート領域も含めて測定値との比較を行った。

### 3. コンクリート廃棄物の放射能計算の方法

#### 3.1 放射能計算の流れ

図 3.1 に中性子断面積の編集、中性子束及びスペクトル計算から放射化放射能計算までのフローを示す。本評価では、JENDL-4.0 から作成した中性子 199 群の多群断面積ライブラリを用いて DORT による中性子輸送計算を行い、原子炉体系内の全メッシュで中性子スペクトルを計算した。さらに、RADO システムの RTFLUM 及び MAKEFLX 機能を基に作成したプログラムを用いて得られた 199 群の中性子スペクトルを 3 群に縮約し、その 3 群中性子束から ORIGEN-S を用いて評価対象範囲のコンクリートの放射化放射能を計算した。

#### 3.2 中性子束及びスペクトルの計算

##### 3.2.1 巨視的断面積ライブラリの作成

中性子輸送計算に用いるため、JENDL-4.0 から作成された MATXS 形式の断面積ライブラリ MATXSLIB-J40 を TRANSX コードで処理して、中性子 199 群の巨視的多群断面積ライブラリを作成した。MATXSLIB-J40 は、熱中性子を自由ガスモデルで扱っている 406 核種と熱中性子散乱則データを使った 19 種類の物質のライブラリを格納<sup>13)</sup>しており中性子 199 群、 $\gamma$ 線 42 群のエネルギー群構造を持つ。MATXSLIB-J40 の中性子エネルギー群構造を表 3.1 に、収納核種を表 3.2.1 及び表 3.2.2 に示す。物質中の原子が周りの原子の影響を受けない場合には「自由ガスモデル」のライブラリを用い、熱エネルギー領域において物質の結晶構造や分子構造の影響を考慮する必要がある場合には、「熱中性子散乱則データ」のライブラリを用いる。

熱中性子エネルギー領域では、入射中性子よりも衝突を受ける物質の原子核のエネルギーの方が大きいと、衝突により中性子がエネルギーを得る「上方散乱」現象がおきる。上方散乱を計算するため、TRANSX でこの上方散乱データも入った巨視的実効多群ライブラリを物質毎に作成し、それに GIP コード<sup>14)</sup>で全上方散乱断面積を追加した。

##### 3.2.2 原子炉体系のモデル化

本評価では、公開レポート<sup>2)</sup>を参考に一部詳細を見直して炉心から生体遮蔽コンクリートの外側まで約 3.6 m、原子炉圧力容器底部から上部 (EL-3.9~17.57 m) まで約 21.5 m の領域を R-Z 座標系円柱形状のモデルを作成した。

メッシュの作成にあたっては、該当物質領域における中性子平均自由行程 ( $\lambda = \Sigma_t^{-1}$ ) をもとに、メッシュの幅を  $1/2\lambda \sim \lambda$  程度とし、隣り合う物質領域間でメッシュ幅に大きな差が生じないように設定した。その結果、体系のメッシュ数は半径方向 R に 165 メッシュ、高さ方向 Z に 784 メッシュになった。今回、計算に用いた原子炉体系の構造を図 3.2 に示す。また、文献<sup>2)</sup>やミルシートを基に設定した原子炉体系各領域の物質組成と原子個数密度を表 3.3 に示す。

### 3.2.3 中性子線源強度の設定

原子炉の中性子線源の強度は、原子炉モデルの燃料領域を中心に、それぞれ **R** 方向、**Z** 方向に分布を与えた。

中性子の線源強度の設定をする上で入力するパラメータは、中性子のエネルギースペクトル、炉心部での線源強度の分布、炉心部全体での発生中性子数の 3 つである。

U-235 の核分裂エネルギースペクトルは次式の Watt 型の近似式<sup>15)</sup>を用いた。

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

ここで、**E** は中性子エネルギー (MeV) であり、エネルギー群毎に上式で得られるスペクトル値を設定した。

炉心部での線源強度の分布は、円柱状系として **R-Z** 方向にメッシュ状に分割し、それぞれ運転時の燃焼度の平均的な分布を設定した。

また、炉心部の単位時間当たりの発生中性子数は、式 3-2 を使い、定格熱出力 (JPDR-I:45MW) で運転されているときの中性子数 (約  $3.5 \times 10^{18}$  neutron/sec) とした。

$$N \times V = 3.12 \times 10^{10} \text{ (fission/sec/W)} \times 2.5 \text{ (neutrons/fission)} \times P \text{ (W)} \quad \dots\dots (3-2)$$

ここで、

**N** : 単位時間当たりの発生中性子数 (neutron/sec/m<sup>3</sup>)

**P** : 定格運転時の熱出力 (W)

**V** : 炉心部の体積 (m<sup>3</sup>)

### 3.2.4 Sn 法計算パラメータの設定

上述の他、DORT の計算で設定すべきパラメータとして、散乱のルジャンドル展開次数を一般的に 2 次元 Sn 計算で十分とされる 3 (P3) に<sup>16)</sup>、媒質内での中性子の移動方向に関する Sn 角度分点パラメータを対称の S8 (半面球当たりの分点数 48) と設定した。また、収束条件として、最大外部反復回数 (ISRMX) 300、エネルギー群当たりの内部反復最大回数 (IFXMI) 100、メッシュ毎のフラックスの収束精度 (EPP) はデフォルトの 0.001、外部反復におけるフラックスの収束精度 (EPO) は EPP の 2 倍の 0.002 に設定した。

## 3.3 放射化放射能の計算

### 3.3.1 実効放射化断面積の処理

本計算では、RADO コードシステムの機能を利用し、輸送計算で求めた各メッシュでの中性子スペクトルを 3 群 (熱、熱外、高速) に縮約した中性子束から、1 群放射化反応断面積を求める際の係数 THERM、RES、FAST を以下の式 3-3、3-4、3-5 で計算し、ORIGEN-S 用の入力データとした。3 群の中性子のエネルギー境界は、ORIGEN-S の定義に合わせて、0.625 eV 及び 1MeV とした。各エネルギー群の放射化断面積  $\sigma_0$ 、 $\sigma_{res}$ 、 $\sigma_{MeV}$  は、SCALE6.0 付属ライブラリを用いた。

$$THERM = \sigma (1/v)_{th} \cong \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}} \quad \dots\dots (3-3)$$

$$RES = \frac{\sum_{E_g \leq 1 \text{ MeV}} \sum_{E_g \geq 0.625 \text{ eV}} \varphi_g}{\varphi_{th}} \quad \dots\dots (3-4)$$

$$FAST = \frac{\sum_{E_g \geq 1 \text{ MeV}} \varphi_g}{\varphi_{th}} \quad \dots\dots (3-5)$$

ただし、

THERM: 反応断面積が  $1/v$  則に従う場合の熱群の断面積係数。熱群中性子束が Maxwell-

Boltzmann 分布をしている場合、 $\sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T}}$  になる。

$T_0$  : 室温 293.61 (K)

$T$  : 物質の温度 (K)

$\varphi_{th} = \int_0^{0.625 \text{ eV}} \varphi(E) dE$  : 熱群 ( $E < 0.625 \text{ eV}$ ) の中性子束 (n/cm<sup>2</sup>/sec)

上のような熱群の近似が成り立つ時、1群実効断面積 $\sigma_{eff}$ は、以下の式 3-6 で表される。

$$\sigma_{eff} = THERM \times \sigma_0 + RES \times \sigma_{res} + FAST \times \sigma_{MeV} \quad \dots\dots (3-6)$$

$\sigma_0$  : 2200 m/s 中性子の反応断面積 (barn)

$$\sigma_{res} = \frac{\sum_{E_g \leq 1 \text{ MeV}} \sum_{E_g \geq 0.625 \text{ eV}} \varphi_g \cdot \sigma_g}{\sum_{E_g \geq 0.625 \text{ eV}} \varphi_g} \quad : 0.625 \text{ eV} \sim 1 \text{ MeV} \text{ の熱外中性子群の平均反応断面積 (barn)}$$

$$\sigma_{MeV} = \frac{\sum_{E_g \leq 20 \text{ MeV}} \sum_{E_g \geq 1 \text{ MeV}} \varphi_g \cdot \sigma_g}{\sum_{E_g \geq 1 \text{ MeV}} \varphi_g} \quad : 1 \text{ MeV} \text{ 以上の速中性子群の平均反応断面積 (barn)}$$

### 3.3.2 コンクリートの元素組成及び原子炉の運転履歴の設定

本計算の評価対象である生体遮蔽コンクリートの放射化放射能の計算に用いる元素組成(重量比)は、JPDR の構造材を用いた分析で得られた値と文献値<sup>17)</sup>を参照し、表 3.4 に示すように設定した。

原子炉の詳細な運転履歴を図 3.3 に示すような放射化放射能計算用にモデル化して運転ヒストグラムを作成した。1つの運転期間中の出力の変化を一定の平均出力に変換し、表 3.5 に示すような運転期間、運転停止期間及び平均出力を計算条件とした。

### 3.3.3 対象廃棄物の平均放射能濃度及び最大放射能濃度の算出

ORIGEN-S による放射化放射能の計算では、3.2.2 で設定した DORT 計算用の形状メッシュ毎に放射能濃度を求めた。保管コンクリートの核種  $i$  の平均放射能濃度  $C_i$  (Bq/g) は、メッシュ毎の放射能濃度  $M_{ij}$  (Bq/g) とメッシュの体積  $V_{ij}$  (cm<sup>3</sup>) 及びコンクリートの密度  $d$  (g/cm<sup>3</sup>) から以下の式で求めた。

$$C_i = \frac{\sum_j M_{ij} \times V_{ij} \times d}{\sum_k V_k \times d} \quad \dots\dots (3-7)$$

また、核種  $i$  における最大の  $M_{ij}$  の値を最大放射能濃度とした。

## 4. 中性子束及び放射化放射能の計算結果

### 4.1 中性子束分布の計算結果

JPDR-I における定格出力 45MW 運転時の炉心高さにおける径方向の中性子束分布を熱中性子、熱外中性子、高速中性子のエネルギー群別に図 4.1 に示す。径方向の中性子束分布では、冷却水領域において大きく減少し、生体遮蔽コンクリート領域においては指数関数的に減少していることがわかる。コンクリートに入射した中性子はエネルギーを失い高速中性子や熱外中性子が熱中性子に変化するため、コンクリート表面深さ 10 cm 付近まで熱中性子束の増加傾向が見られる。中性子束分布のコンター図を図 4.2.1～図 4.2.3 に示す。

### 4.2 放射化放射能の計算結果

炉心中心高さにおける生体遮蔽コンクリートの径方向の主な $\gamma$ 線放出核種 (Co-60、Cs-134、Eu-152、Eu-154) 及び H-3 についての放射能濃度分布の計算を図 4.3 に示す。いずれも熱中性子束の分布と同様にコンクリート表面から深さ約 10cm 付近で分布が最大になり、それより深い領域では指数関数的に減衰する形となっている。

### 4.3 放射化放射能計算結果の妥当性の確認

#### 4.3.1 コンクリート試料の放射能濃度の測定値との比較

##### (1)半径方向についての中性子束分布の比較

半径方向についての比較を行うため、原子炉圧力容器底部から 340 cm の高さ (炉心中心高さ：約 305 cm) において径方向にコアボーリングを行って採取した生体遮蔽コンクリート試料の 1991 年 3 月末時点の H-3、Co-60、Cs-134、Eu-152、Eu-154 の測定値<sup>2),18)</sup>を該当位置の放射化計算の結果 (以下、「計算値」という) と比較した。この測定値と計算値の放射能濃度分布を図 4.4 に示す。図 4.4 では、測定値と計算値両者のコンクリート深さに対する放射能濃度の変化の傾向はほぼ同じであるが、全体的に計算値の方が大きい値をとることがわかる。

次に、定量的な比較のため、参考文献記載の Co-60、Cs-134、Eu-152、Eu-154 の測定値<sup>18)</sup>及び参考文献のグラフから読み取った H-3 の測定値<sup>2)</sup>について、測定点における炉心からの距離に対応する計算値 (内挿補正した値) を算出し、測定値との比を求めた。この結果を表 4.1 に示す。表 4.1 では、コンクリートの浅い部分の Co-60 で計算値が測定値の 10 倍未満、その他の核種で 5 倍程度であり、コンクリート深部の Co-60 が最大で 20 倍程度、その他の核種で 10 倍程度であることがわかる。

また、図 4.4 のコンクリート深部では、計算値の方が減衰の傾きが小さいことから両者の差異が広がることがわかるが、これは、中性子輸送計算時の生体遮蔽コンクリート中の鉄筋量の設定の違いによるものと推定できる。本計算では、生体遮蔽体に用いられた鉄筋の含有量を過去のレポート<sup>2)</sup>等から設定できなかったため、保守的に評価するために遮蔽効果を持つ鉄筋を考慮していないが、参考計算として鉄筋の影響を評価した。この結果を付録に示す。この参考計算では、生体遮蔽コンクリート中の鉄含有量を変化させて中性子輸送計算を行

った結果、鉄含有量の増加により中性子束の減少量が大きくなる傾向から、鉄筋を考慮した場合、放射能濃度が測定値に近づくものと考えられる。

#### (2) 垂直方向についての比較

垂直方向についての比較を行うため、生体遮蔽コンクリートの表面の放射能濃度について、Eu-152 の測定値を放射化計算の結果と共に図 4.5 に示す。ここで、測定値は参考文献別にプロットした。図 4.5 では、特に地上高さ 6 ～16 m の範囲で放射化計算の結果は測定とよく一致することが確認できた。

#### (3) 保管コンクリートの総放射能

放射化計算によって評価した保管コンクリートの総放射能は、上記の (1)、(2) に示す生体遮蔽コンクリートの半径方向及び垂直方向の計算値と測定値の比較結果から、コンクリート表面の垂直方向においては計算値と測定値がよく一致しているが、半径方向においてはコンクリート表面から深くなるにつれ計算値が測定値より大きくなるため、測定値に比べて高くなると考えられる。

#### 4.3.2 先行計算結果との比較

本計算の妥当性を確認するため、過去に実施された先行計算<sup>2)</sup>と比較した。先行計算では、ANISN<sup>19)</sup>で求めた中性子スペクトルで重みづけをして巨視的断面積を作成し、中性子輸送計算及び放射化放射能計算にそれぞれ DOT3.5<sup>20)</sup>と ORIGEN-MD (ORIGEN<sup>21)</sup>の改良版)コードを用いて計算を実施している。

炉心高さにおける径方向の中性子束分布の計算結果を比較したところ、生体遮蔽コンクリート中での熱中性子束及び熱外中性子束の減衰の傾きが本計算の方が小さく、コンクリート表面から深くなるほどその差が顕著に表れた。図 4.6 に先行計算と本計算の中性子束分布を示す。これらの計算結果の違いは、計算コードや断面積ライブラリの違いによるものと考えられる。

先行計算とは差異がみられたが、測定値と比較した結果半径方向に対しては放射能濃度が大きくなり、垂直方向に対してはほぼ一致する結果が得られており、測定に比べて過少評価にならないことが確認できたため、本計算結果を用いて放射能インベントリ評価を行うことは問題ないと考えられる。



## 5. 保管コンクリートの重要核種選定と埋設処分区分の評価

### 5.1 埋設処分区分及び重要核種選定の評価方法

本節では、重要核種選定及び処分区分の評価フローに従い、相対重要度の合計値による処分区分の判定、重要な核種の選定、重要核種の最大放射能濃度による処分区分の判定の順に評価方法を記載する。図 5.1 に重要核種選定及び処分区分の評価フローを示す。

#### 5.1.1 相対重要度の合計値による処分区分の判定方法

相対重要度の合計値による処分区分の判定は、対象廃棄物における核種毎の平均放射能濃度の評価結果から、トレンチ処分の可能性を図 5.1 の左側上部のフローに従って行う。

トレンチ処分の可能性の判断は、評価対象廃棄物における全ての核種からの線量の合計が基準線量以下となることとし、具体的には安全評価シナリオ毎に各核種の平均放射能濃度 ( $D_i$ ) を「研究施設等廃棄物の浅地中処分のための基準線量相当濃度の計算方法及び結果 (JAEA-Technology 2015-016)」<sup>22)</sup>で評価された基準線量相当濃度 ( $C_i$ ) で除して求めた相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) の総和  $\sum_i (D_i/C_i)$  が 1 以下になることで判断することとした。以下に具体的な評価の手順を示す。

##### a) 相対重要度の評価

保管コンクリート全体に対して、放射化放射能計算で求めた核種 ( $i$ ) 毎の平均放射能濃度 ( $D_i$ ) 及び基準線量相当濃度 ( $C_{i,s}$ ) から、安全評価シナリオ ( $s$ ) 毎に相対重要度 ( $D_i/C_{i,s}$ ) を算出する。

##### b) 相対重要度の合計値の評価

評価シナリオ毎に相対重要度の合計  $\sum_i (D_i/C_{i,s})$  を算出する。

##### c) 相対重要度の合計値による処分区分の判定

全ての評価シナリオにおいて、相対重要度の合計  $\sum_i (D_i/C_{i,s})$  が 1 以下の場合は、廃棄物全量に対してトレンチ処分できる可能性があるとして判断し、重要核種の選定のフローへ進む。

$\sum_i (D_i/C_{i,s}) > 1$  の場合は、放射能濃度の高い一部の廃棄物を除いたのち、平均放射能濃度の再評価及びトレンチ処分区分の再評価を行う。

なお、現在、埋設事業センターでは、埋設施設の安全評価への裕度を考えて、 $\sum_i (D_i/C_{i,s})$  が 1 よりも低い値 (例えば、 $\sum_i (D_i/C_{i,s}) \leq 0.3$ ) を基準とすることも検討しているが、本報では、裕度を考慮せずに  $\sum_i (D_i/C_{i,s}) \leq 1$  として評価することとした。この  $\sum_i (D_i/C_{i,s})$  の具体的な基準値については、今後、対象廃棄物の放射能濃度及び総放射能、並びに埋設施設の安全評価結果を基に具体化していくこととする。

#### 5.1.2 重要核種の選定方法

埋設事業においては、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設事業規則で定める放射性核種 (トレンチ処分においては、Co-60、Sr-90、Cs-137) に加えて、埋設する廃棄物に含まれる被ばく線量への寄与の大きい核種を重要核種として選出

し、その重要核種の総放射能と最大放射能濃度を許可申請書に示す必要がある。本報では、経済産業省原子力安全・保安院の放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類について（内規）<sup>23)</sup>を踏まえて、以下の手順により重要核種の選定を行った。以下に具体的な評価の手順を示す。

a) 相対重要度の評価

保管コンクリート全体に対して、放射化放射能計算で求めた核種 (i) 毎の平均放射能濃度 ( $D_i$ ) 及び基準線量相当濃度 ( $C_{i,s}$ ) から、安全評価シナリオ (s) 毎に相対重要度 ( $D_i / C_{i,s}$ ) を算出する。

b) 相対重要度による重要核種の選定

b-1: 評価シナリオ (s) 毎に、相対重要度が最大となる値 ( $(D_i / C_{i,s})_{\max}$ ) を選出する。

b-2: 評価シナリオ (s) 毎に、相対重要度を相対重要度の最大値で除した値 ( $D_i / C_{i,s}$ ) /  $(D_i / C_{i,s})_{\max}$  を算出する。

b-3: 各評価シナリオにおいて、以下の条件（下記の計算式）を満たす最大の相対重要度に対して1%以上の相対重要度となる核種を重要核種とする。

$$(D_i / C_{i,s}) / ((D_i / C_{i,s})_{\max}) \geq 0.01$$

c) 上記の b) 項で選定された重要核種及び第二種廃棄物埋設事業規則で濃度が定められている核種（トレンチでは Co-60、Sr-90、Cs-137）を重要核種とする。

### 5.1.3 重要核種の最大放射能濃度による処分区分の判定方法

上記 5.1.2 項で選定した重要核種の最大放射能濃度から、保管コンクリートがトレンチ処分に区分されるかどうかの評価を以下の手順で行った。なお、図 5.1 の評価フローでは、「測定による再評価」のフローがあるが、本報では評価を割愛する。以下に具体的な評価の手順を示す。

a) 重要核種毎の最大放射能濃度の評価

以下の条件を満たす場合には、廃棄物全量がトレンチ処分の対象と評価する。

- ・下記の計算式に示すように、重要核種 (k) 毎の廃棄物全体の最大放射能濃度 ( $D_{k\_max}$ ) が、0 でない最も低いシナリオの基準線量相当濃度 ( $C_{k, s\_min}$ ) に対して 10 倍以下であること。

$$(D_{k\_max}) / (C_{k, s\_min}) \leq 10$$

ここで、 $(D_{k\_max}) / (C_{k, s\_min})$  を 10 倍に設定した理由は、第二種廃棄物埋設事業規則のトレンチ処分の濃度上限値は、平均放射能濃度と最大放射能濃度との比を 10 倍として設定されているため<sup>24)</sup>、これを参照して設定した。

判定条件を満たさない場合は、一部の廃棄物を除外してトレンチ処分の再評価を行うこととする。ただし、放射化計算による放射能濃度は、実際の値よりも高く評価されていることから、実際には、図 5.1 の評価フローでは、「測定による再評価」のフローにあるように、個々の保管コンクリートの放射能濃度分布を測定値等により評価し、トレンチ処分の対象となることの再評価を行う方法が考えられる。本報では、現在の保管コ

ンクリートの状況を把握していないことから、保管コンクリートの実測値による再評価は割愛した。

#### 5.1.4 一部の廃棄物を除いたトレンチ処分区分の再評価

上記 5.1.3 項までの過程で、廃棄物全量がトレンチ処分可能と判定されなかった場合は、一部の放射能が高い廃棄物を除くことにより、残りの廃棄物についてトレンチ処分の可能性を検討する。

## 5.2 処分区分及び重要核種選定の評価結果

### 5.2.1 相対重要度の合計値による処分区分の判定結果

トレンチ処分の安全評価シナリオ毎の基準線量相当濃度  $C_i$  (Bq/t)、廃棄物の平均放射能濃度 (ORIGEN-S 計算結果)  $D_i$  (Bq/t) 及び基準線量相当濃度  $C_i$  を平均放射能濃度  $D_i$  で除した相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) を表 5.1 に示す。表 5.1 より、2021 年 3 月 31 日時点での各シナリオにおける  $\Sigma (D_i/C_i)$  の値は、跡地建設シナリオで 0.78、跡地居住シナリオで 0.97、地下水シナリオで 0.39 であり、全て 1 以下であることから、保管コンクリートは、トレンチ処分が可能であると判定された。

なお、天然の放射性核種である K-40、Rb-87、Th-232、U-235、U-238 の計算結果における放射能は、放射化計算の条件において設定した材料に含まれる放射能から増加していなかったため、相対重要度の評価対象外とした。これは、浅地中処分の線量評価では、処分環境中における土壌や構造材などに含まれる自然放射性物質の線量は評価しないため、それと同等と考えられるためである。また、本検討では、保管コンクリートが原子炉冷却水等による 2 次的な汚染がないことを前提としている。

### 5.2.2 重要核種の選定結果

相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) による重要核種の選定結果を表 5.2 に示す。表 5.2 では、評価シナリオ毎に相対重要度を最大の相対重要度で除した値である  $(D_i/C_i) / (D/C)_{\max}$ 、各シナリオで  $(D_i/C_i) / (D/C)_{\max}$  の値が 0.01 以上になる核種を重要核種の候補として“○”で示した。

重要核種の選定結果を整理すると、相対重要度が最大となる核種は跡地建設シナリオで Eu-152、跡地居住シナリオで H-3、地下水シナリオで H-3 であった。 $(D_i/C_{i,s}) / ((D_i/C_{i,s})_{\max}) \geq 0.01$  を満たす核種  $i$  は、跡地建設シナリオでは Eu-152、跡地居住シナリオでは H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Sr-90、地下水シナリオでは H-3、C-14 となり、相対重要度を用いた重要核種の評価において H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Sr-90 の 5 核種が選定された。

これらに第二種埋設事業規則でトレンチ処分において定める核種 (Co-60、Sr-90、Cs-137) を加えて、H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Co-60、Sr-90、Cs-137、Eu-152 の 8 核種を重要核種として選定した。重要核種の各シナリオにおける相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) を表 5.3 に示す。

なお、選出された重要核種は、放射化による汚染だけを想定しており、原子炉冷却材等による 2 次的な汚染が想定される場合は、別途、2 次的な汚染を含めた放射能濃度を算出し、

重要核種を選定する必要がある。

### 5.2.3 重要核種の最大放射能濃度による埋設処分区分の評価結果

前述 5.2.2 項で選定した重要核種である H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Co-60、Sr-90、Eu-152、Cs-137 の 8 核種の最大放射能濃度を用いて、廃棄物全量がトレンチ処分可能かを判定した。

計算で求めた重要核種 (k) に対する最大放射能濃度 (Dk\_max)、0 でない最小のシナリオのトレンチ基準線量相当濃度 (Ck, s\_min) の及びその比 (Dk\_max) / (Ck, s\_min) を表 5.4 に示す。C-14、Cl-36、Ca-41、Co-60、Sr-90、Cs-137 については、(Dk\_max) / (Ck, s\_min) ≤ 10 を満たすが、H-3 及び Eu-152 はこれを満たさないため、廃棄物の一部を除いてトレンチ処分を検討する “No” のフローに進む結果となった。

### 5.2.4 一部の廃棄物を除いたトレンチ処分区分の再評価結果

放射化計算の結果から、保管コンクリート部分におけるメッシュ毎の H-3 及び Eu-152 の放射能濃度の分布を確認したところ、2021 年 3 月末時点の放射能濃度において、炉心近くのコンクリートがトレンチの基準線量相当濃度 (Ck, s\_min) の 10 倍を超えており、保管廃棄物全体約 91 m<sup>3</sup> に対してそれぞれ約 1.2%、2% の体積の廃棄物がトレンチ処分できない評価結果になった。保管コンクリート中の H-3 及び Eu-152 の放射能濃度の分布を図 5.2 に示した。

なお、本報の計算値は、実際のコンクリートより放射能濃度が高い評価結果となっていることから、トレンチ処分の対象外となったコンクリートが収納されている保管体を測定し、放射能濃度を確認することが望ましいと考えられる。

## 6. まとめ

本報では、原子炉施設の解体に伴って発生した放射化コンクリートの浅地中処分における放射能評価手法を構築するため、JPDR の解体により発生した生体遮蔽コンクリートのうちトレンチ処分されずに保管されているものを対象として、放射化計算を用いた評価手法の検討を行った。また、これらの廃棄物のトレンチ処分の可能性について検討した。

浅地中処分における放射能評価手法の検討では、保管コンクリートに対して、2次元中性子/光子輸送計算コード DORT と核種生成消滅コード ORIGEN-S によって放射能濃度を求めた。

ほぼ炉心中心の高さにおける半径方向の放射能濃度分布について、測定値と計算値で比較したところ、全体的に計算値の方が数倍大きい値をとり、コンクリート深部では測定値の方が減衰の傾きが大きいことがわかった。計算値と測定値の差の一因として、中性子輸送計算における生体遮蔽コンクリート中の鉄筋量の違いが考えられる。本報では、放射能濃度を保守的に評価するため遮蔽効果を持つ鉄筋を考慮していないが、コンクリート中の鉄含有量の増加により中性子束が減少し、その分低い放射能の結果が得られていることから説明できる。生体遮蔽コンクリートの表面の高さ方向で Eu-152 の測定値と放射化計算の結果を比較したところ、地上高さ 6~16 m の範囲で放射化計算の結果は測定とよく一致することが確認できた。生体遮蔽コンクリートの径方向及び垂直方向の分布から、放射化計算によって評価する保管コンクリートの総放射能は、測定した場合に比べて高くなると考えられる。

また、過去に実施された先行計算と本計算の結果を比較したところ、炉心高さにおける径方向の中性子束分布において、生体遮蔽コンクリート中での熱中性子束及び熱外中性子束の減衰の傾きが本計算の方が小さく、コンクリート表面から深くなるほどその差が大きくなる傾向となり、これらの違いは、計算コードや断面積ライブラリの違いによるものと考えられる。

次に計算対象コンクリートの埋設処分の検討として、放射化計算結果から、保管コンクリートの平均放射能濃度を求め、トレンチ処分の基準線量相当濃度と比較してトレンチ処分が可能な範囲にあることを確認した。ただし、H-3 と Eu-152 の最大放射能濃度は、基準線量相当濃度の 10 倍を超える可能性があるとして評価されたため、今後、廃棄物の保管記録などを基に評価して、廃棄物の最大放射能濃度がトレンチ処分の可能な範囲であることを確認することが必要である。

計算結果から得られた対象コンクリートのトレンチ処分における重要核種は、H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Co-60、Sr-90、Eu-152、Cs-137 の 8 核種を選定した。

今後は、廃棄体確認における放射能評価の合理化として、放射化放射能計算で得られた核種組成比等を用いた廃棄体の放射能濃度評価方法を構築し、廃棄体確認への適用性を検討することが重要と考えられる。このため、廃棄物の放射化学分析で得られた核種組成比と計算で得られた核種組成比を比較検討する必要がある。さらに、本評価では、原子炉冷却水等による 2 次的な汚染を評価していないため、過去の記録を調査して、2 次的な汚染の可能性及び可能性が認められる場合には、汚染を考慮した放射能評価を行うことが必要となる。

## 謝辞

本報を執筆するにあたり、放射化放射能計算に関してご指導を頂いた、原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター 炉物理標準コード研究グループの今野力氏に感謝の意を表す。また、放射能計算に関してご指導頂いた埋設技術開発室の戸塚真義氏に感謝の意を表す。最後に、本報をまとめるにあたり、貴重なご意見を頂いた敦賀廃止措置実証部門 高速増殖原型炉もんじゅ 廃止措置部 廃止措置計画課の林宏一氏に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 宮坂靖彦ほか, JPDR 解体実地試験の概要と成果, 日本原子力学会誌, vol.38, No.7, 1996, pp.553-576.
- 2) 助川武則ほか, 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, 81p.
- 3) 助川武則ほか, 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, JAEA-Data/Code 2008-009, 2008, 57p.
- 4) 坂井章浩ほか, 研究施設等廃棄物の埋設処分における安全評価上重要核種の選定 (その3) - RI・研究所等廃棄物に係る主要放射性廃棄物発生施設毎の重要核種の予備評価 -, JAEA-Technology 2010-021, 2010, 152p.
- 5) Rhoades, W. A. et al., The DORT two-dimensional discrete ordinates transport code, Nucl. Sci. Eng., vol. 99, No.1, 1988, pp.88-89.
- 6) Emmett, M.B. et al., A User's Manual for MASH 1.0 - A Monte Carlo Adjoint Shielding Code System, ORNL/TM-11778, 1992.
- 7) OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, ver.6, vols. I -III, 2009.
- 8) Shibata, K. et al., JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering, J. Nucl. Sci. Technol., vol.48, No.1, 2011, pp.1-30.
- 9) Okumura, K., Nuclear Data for Prediction of Isotope Generation and Depletion, Proceedings of the 2011 Symposium on Nuclear Data, November 16-17, 2011, Ricotti, Tokai, Japan, JAEA-Conf 2012-001, 2012, pp.39-44.
- 10) MacFarlane, R.E., TRANSX 2: a code for interfacing MATXS cross-section libraries to nuclear transport codes, LA-12312-MS, 1992, 122p.
- 11) Konno, C. et al., EFFECT OF IAEA PATCH FOR TRANSX2.15, Proceedings of 20th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of ANS (RPSD 2018), Santa Fe, 2018, CD-ROM.
- 12) 白石邦生ほか, 動力試験炉 (JPDR) の解体における作業データの分析 (受託研究), JAERI-Data/Code 98-010, 1998, 186p.
- 13) 日本原子力研究開発機構炉物理標準コード研究グループ, MATXSLIB-J40, [https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/library\\_matxslibj40/](https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/library_matxslibj40/) (accessed 2021-04-01).
- 14) Rhoades, W. A. et al., DOS: The Discrete Ordinates System, ORNL/TM-8362, 1982, 88p.
- 15) Watt, B.E., Energy Spectrum of Neutrons from Thermal Fission of U<sup>235</sup>, Phys. Rev., vol.87, No.6, 1952, pp.1037-1041.
- 16) 小佐古敏荘ほか編, 放射線遮蔽 (原子力教科書), オーム社, 2010, 192p.
- 17) Evans, J.C. et al., Long-Lived Activation Products in Reactor Materials, NUREG/CR-3474, 1984, 131p.

- 18) Sukegawa, T. et al., ACCURACY VERIFICATION FOR CALCULATION OF INVENTORY IN JPDR DUE TO NEUTRON ACTIVATION, INDC(JPN)-164, 1993, 38p.
- 19) Engle, W. W. Jr., A User's Manual for ANISN, A One-dimensional Discrete Ordinates Transport Code with anisotropic Scattering, K-1693, 1967.
- 20) Rhoades, W. A. et al., THE DOT III TWO-DIMENSIONAL DISCRETE ORDINATES TRANSPORT CODE, ORNL/TM/4280, 1973.
- 21) Bell, M.J. et al., ORIGEN: the ORNL isotope generation and depletion code, ORNL/4628, 1973.
- 22) 岡田翔太ほか, 研究施設等廃棄物の浅地中処分のための基準線量相当濃度の計算方法及び結果, JAEA-Technology 2015-016, 2015, 44p.
- 23) 経済産業省原子力安全・保安院, “放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類について (内規)”, NISA-192e-12-1, 2012.
- 24) 原子力安全委員会, 低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について, 平成 19 年 5 月 21 日, 2007.



表 2.1 JPDR の主要諸元

原子炉型式	沸騰水型 (BWR)	
熱出力	45MW (JPDR-II:90MW)	
電気出力	12.5 MW	
炉心	直径	130cm
	有効燃料長	147cm
	燃料集合体数	72
	燃料	2.6% UO <sub>2</sub>
原子炉圧力容器	材質	ASTM-A302-56GrB (低合金鋼)
	直径 (内面)	2.1 m
	高さ	8.1 m
	厚さ	7 cm
生体遮蔽体	材質	鉄筋コンクリート
	厚さ	1.5~3 m
	直径 (内面)	2.7 m
原子炉格納容器	直径	15 m
	高さ	38 m
運転履歴	初臨界	1963 年 8 月
	初発電	1963 年 10 月
	最終運転	1976 年 3 月
	原子炉熱出力量	(JPDR-I) 18,501 MWD (JPDR-II) 2,951 MWD

表 3.1 MATXSLIB-J40 の中性子エネルギー群構造 (1/3)

エネルギー群	GROUP	UPPER-ENERGY	LOWER-ENERGY	MID-ENERGY
高速中性子群	1	1.9640E+07	1.7332E+07	1.8486E+07
	2	1.7332E+07	1.6905E+07	1.7119E+07
	3	1.6905E+07	1.6487E+07	1.6696E+07
	4	1.6487E+07	1.5683E+07	1.6085E+07
	5	1.5683E+07	1.4918E+07	1.5301E+07
	6	1.4918E+07	1.4550E+07	1.4734E+07
	7	1.4550E+07	1.4191E+07	1.4371E+07
	8	1.4191E+07	1.3840E+07	1.4016E+07
	9	1.3840E+07	1.3499E+07	1.3670E+07
	10	1.3499E+07	1.2840E+07	1.3170E+07
	11	1.2840E+07	1.2523E+07	1.2682E+07
	12	1.2523E+07	1.2214E+07	1.2369E+07
	13	1.2214E+07	1.1618E+07	1.1916E+07
	14	1.1618E+07	1.1052E+07	1.1335E+07
	15	1.1052E+07	1.0513E+07	1.0783E+07
	16	1.0513E+07	1.0000E+07	1.0257E+07
	17	1.0000E+07	9.5123E+06	9.7562E+06
	18	9.5123E+06	9.0484E+06	9.2804E+06
	19	9.0484E+06	8.6071E+06	8.8278E+06
	20	8.6071E+06	8.1873E+06	8.3972E+06
	21	8.1873E+06	7.7880E+06	7.9877E+06
	22	7.7880E+06	7.4082E+06	7.5981E+06
	23	7.4082E+06	7.0469E+06	7.2276E+06
	24	7.0469E+06	6.7032E+06	6.8751E+06
	25	6.7032E+06	6.5924E+06	6.6478E+06
	26	6.5924E+06	6.3763E+06	6.4844E+06
	27	6.3763E+06	6.0653E+06	6.2208E+06
	28	6.0653E+06	5.7695E+06	5.9174E+06
	29	5.7695E+06	5.4881E+06	5.6288E+06
	30	5.4881E+06	5.2205E+06	5.3543E+06
	31	5.2205E+06	4.9659E+06	5.0932E+06
	32	4.9659E+06	4.7237E+06	4.8448E+06
	33	4.7237E+06	4.4933E+06	4.6085E+06
	34	4.4933E+06	4.0657E+06	4.2795E+06
	35	4.0657E+06	3.6788E+06	3.8723E+06
	36	3.6788E+06	3.3287E+06	3.5038E+06
	37	3.3287E+06	3.1664E+06	3.2476E+06
	38	3.1664E+06	3.0119E+06	3.0892E+06
	39	3.0119E+06	2.8651E+06	2.9385E+06
	40	2.8651E+06	2.7253E+06	2.7952E+06
	41	2.7253E+06	2.5924E+06	2.6589E+06
	42	2.5924E+06	2.4660E+06	2.5292E+06
	43	2.4660E+06	2.3852E+06	2.4256E+06
	44	2.3852E+06	2.3653E+06	2.3753E+06
	45	2.3653E+06	2.3457E+06	2.3555E+06
	46	2.3457E+06	2.3069E+06	2.3263E+06
	47	2.3069E+06	2.2313E+06	2.2691E+06
	48	2.2313E+06	2.1225E+06	2.1769E+06
	49	2.1225E+06	2.0190E+06	2.0708E+06
	50	2.0190E+06	1.9205E+06	1.9698E+06
	51	1.9205E+06	1.8268E+06	1.8737E+06
	52	1.8268E+06	1.7377E+06	1.7823E+06
	53	1.7377E+06	1.6530E+06	1.6954E+06
	54	1.6530E+06	1.5724E+06	1.6127E+06
	55	1.5724E+06	1.4957E+06	1.5341E+06
	56	1.4957E+06	1.4227E+06	1.4592E+06
	57	1.4227E+06	1.3534E+06	1.3881E+06
	58	1.3534E+06	1.2874E+06	1.3204E+06
	59	1.2874E+06	1.2246E+06	1.2560E+06
	60	1.2246E+06	1.1648E+06	1.1947E+06
	61	1.1648E+06	1.1080E+06	1.1364E+06
	62	1.1080E+06	1.0026E+06	1.0553E+06
熱外中性子群	63	1.0026E+06	9.6164E+05	9.8212E+05
	64	9.6164E+05	9.0718E+05	9.3441E+05
	65	9.0718E+05	8.6294E+05	8.8506E+05
	66	8.6294E+05	8.2085E+05	8.4190E+05
	67	8.2085E+05	7.8082E+05	8.0084E+05
	68	7.8082E+05	7.4274E+05	7.6178E+05
	69	7.4274E+05	7.0651E+05	7.2463E+05
	70	7.0651E+05	6.7206E+05	6.8929E+05
	71	6.7206E+05	6.3928E+05	6.5567E+05
	72	6.3928E+05	6.0810E+05	6.2369E+05
	73	6.0810E+05	5.7844E+05	5.9327E+05

表 3.1 MATXSLIB-J40 の中性子エネルギー群構造 (2/3)

エネルギー群	GROUP	UPPER-ENERGY	LOWER-ENERGY	MID-ENERGY
熱外中性子群	74	5.7844E+05	5.5023E+05	5.6434E+05
	75	5.5023E+05	5.2340E+05	5.3682E+05
	76	5.2340E+05	4.9787E+05	5.1064E+05
	77	4.9787E+05	4.5049E+05	4.7418E+05
	78	4.5049E+05	4.0762E+05	4.2906E+05
	79	4.0762E+05	3.8774E+05	3.9768E+05
	80	3.8774E+05	3.6883E+05	3.7829E+05
	81	3.6883E+05	3.3373E+05	3.5128E+05
	82	3.3373E+05	3.0197E+05	3.1785E+05
	83	3.0197E+05	2.9849E+05	3.0023E+05
	84	2.9849E+05	2.9721E+05	2.9785E+05
	85	2.9721E+05	2.9452E+05	2.9587E+05
	86	2.9452E+05	2.8725E+05	2.9089E+05
	87	2.8725E+05	2.7324E+05	2.8025E+05
	88	2.7324E+05	2.4724E+05	2.6024E+05
	89	2.4724E+05	2.3518E+05	2.4121E+05
	90	2.3518E+05	2.2371E+05	2.2945E+05
	91	2.2371E+05	2.1280E+05	2.1826E+05
	92	2.1280E+05	2.0242E+05	2.0761E+05
	93	2.0242E+05	1.9255E+05	1.9749E+05
	94	1.9255E+05	1.8316E+05	1.8786E+05
	95	1.8316E+05	1.7422E+05	1.7869E+05
	96	1.7422E+05	1.6573E+05	1.6998E+05
	97	1.6573E+05	1.5764E+05	1.6169E+05
	98	1.5764E+05	1.4996E+05	1.5380E+05
	99	1.4996E+05	1.4264E+05	1.4630E+05
	100	1.4264E+05	1.3569E+05	1.3917E+05
	101	1.3569E+05	1.2907E+05	1.3238E+05
	102	1.2907E+05	1.2277E+05	1.2592E+05
	103	1.2277E+05	1.1679E+05	1.1978E+05
	104	1.1679E+05	1.1109E+05	1.1394E+05
	105	1.1109E+05	9.8037E+04	1.0456E+05
	106	9.8037E+04	8.6517E+04	9.2277E+04
	107	8.6517E+04	8.2503E+04	8.4510E+04
	108	8.2503E+04	7.9499E+04	8.1001E+04
	109	7.9499E+04	7.1998E+04	7.5749E+04
	110	7.1998E+04	6.7379E+04	6.9689E+04
	111	6.7379E+04	5.6562E+04	6.1971E+04
	112	5.6562E+04	5.2475E+04	5.4519E+04
	113	5.2475E+04	4.6309E+04	4.9392E+04
	114	4.6309E+04	4.0868E+04	4.3589E+04
	115	4.0868E+04	3.4307E+04	3.7588E+04
	116	3.4307E+04	3.1828E+04	3.3068E+04
	117	3.1828E+04	2.8501E+04	3.0165E+04
	118	2.8501E+04	2.7000E+04	2.7751E+04
	119	2.7000E+04	2.6058E+04	2.6529E+04
120	2.6058E+04	2.4788E+04	2.5423E+04	
121	2.4788E+04	2.4176E+04	2.4482E+04	
122	2.4176E+04	2.3579E+04	2.3878E+04	
123	2.3579E+04	2.1875E+04	2.2727E+04	
124	2.1875E+04	1.9305E+04	2.0590E+04	
125	1.9305E+04	1.5034E+04	1.7170E+04	
126	1.5034E+04	1.1709E+04	1.3372E+04	
127	1.1709E+04	1.0595E+04	1.1152E+04	
128	1.0595E+04	9.1188E+03	9.8569E+03	
129	9.1188E+03	7.1017E+03	8.1103E+03	
130	7.1017E+03	5.5308E+03	6.3163E+03	
131	5.5308E+03	4.3074E+03	4.9191E+03	
132	4.3074E+03	3.7074E+03	4.0074E+03	
133	3.7074E+03	3.3546E+03	3.5310E+03	
134	3.3546E+03	3.0354E+03	3.1950E+03	
135	3.0354E+03	2.7465E+03	2.8910E+03	
136	2.7465E+03	2.6126E+03	2.6796E+03	
137	2.6126E+03	2.4852E+03	2.5489E+03	
138	2.4852E+03	2.2487E+03	2.3670E+03	
139	2.2487E+03	2.0347E+03	2.1417E+03	
140	2.0347E+03	1.5846E+03	1.8097E+03	
141	1.5846E+03	1.2341E+03	1.4094E+03	
142	1.2341E+03	9.6112E+02	1.0976E+03	
143	9.6112E+02	7.4852E+02	8.5482E+02	
144	7.4852E+02	5.8295E+02	6.6574E+02	
145	5.8295E+02	4.5400E+02	5.1848E+02	
146	4.5400E+02	3.5357E+02	4.0379E+02	

表 3.1 MATXSLIB-J40 の中性子エネルギー群構造 (3/3)

エネルギー群	GROUP	UPPER-ENERGY	LOWER-ENERGY	MID-ENERGY
熱外中性子群	147	3.5357E+02	2.7536E+02	3.1447E+02
	148	2.7536E+02	2.1445E+02	2.4491E+02
	149	2.1445E+02	1.6702E+02	1.9074E+02
	150	1.6702E+02	1.3007E+02	1.4855E+02
	151	1.3007E+02	1.0130E+02	1.1569E+02
	152	1.0130E+02	7.8893E+01	9.0097E+01
	153	7.8893E+01	6.1442E+01	7.0168E+01
	154	6.1442E+01	4.7851E+01	5.4647E+01
	155	4.7851E+01	3.7266E+01	4.2559E+01
	156	3.7266E+01	2.9023E+01	3.3145E+01
	157	2.9023E+01	2.2603E+01	2.5813E+01
	158	2.2603E+01	1.7604E+01	2.0104E+01
	159	1.7604E+01	1.3710E+01	1.5657E+01
	160	1.3710E+01	1.0677E+01	1.2194E+01
	161	1.0677E+01	8.3153E+00	9.4962E+00
	162	8.3153E+00	6.4760E+00	7.3957E+00
	163	6.4760E+00	5.0435E+00	5.7598E+00
	164	5.0435E+00	3.9279E+00	4.4857E+00
	165	3.9279E+00	3.0590E+00	3.4935E+00
	166	3.0590E+00	2.3824E+00	2.7207E+00
167	2.3824E+00	1.8554E+00	2.1189E+00	
168	1.8554E+00	1.4450E+00	1.6502E+00	
169	1.4450E+00	1.3000E+00	1.3725E+00	
170	1.3000E+00	1.1253E+00	1.2127E+00	
171	1.1253E+00	1.0800E+00	1.1027E+00	
172	1.0800E+00	1.0400E+00	1.0600E+00	
173	1.0400E+00	1.0000E+00	1.0200E+00	
174	1.0000E+00	8.7643E-01	9.3822E-01	
175	8.7643E-01	8.0000E-01	8.3822E-01	
176	8.0000E-01	6.8256E-01	7.4128E-01	
177	6.8256E-01	6.2506E-01	6.5381E-01	
熱中性子群	178	6.2506E-01	5.3158E-01	5.7832E-01
	179	5.3158E-01	5.0000E-01	5.1579E-01
	180	5.0000E-01	4.1399E-01	4.5700E-01
	181	4.1399E-01	3.6680E-01	3.9040E-01
	182	3.6680E-01	3.2500E-01	3.4590E-01
	183	3.2500E-01	2.7500E-01	3.0000E-01
	184	2.7500E-01	2.2500E-01	2.5000E-01
	185	2.2500E-01	1.8400E-01	2.0450E-01
	186	1.8400E-01	1.5000E-01	1.6700E-01
	187	1.5000E-01	1.2500E-01	1.3750E-01
	188	1.2500E-01	1.0000E-01	1.1250E-01
	189	1.0000E-01	7.0000E-02	8.5000E-02
	190	7.0000E-02	5.0000E-02	6.0000E-02
	191	5.0000E-02	4.0000E-02	4.5000E-02
	192	4.0000E-02	3.0000E-02	3.5000E-02
	193	3.0000E-02	2.1000E-02	2.5500E-02
	194	2.1000E-02	1.4500E-02	1.7750E-02
	195	1.4500E-02	1.0000E-02	1.2250E-02
	196	1.0000E-02	5.0000E-03	7.5000E-03
	197	5.0000E-03	2.0000E-03	3.5000E-03
	198	2.0000E-03	5.0000E-04	1.2500E-03
	199	5.0000E-04	1.0000E-05	2.5500E-04

表 3.2.1 MATXSLIB-J40 の収録核種 (自由ガスモデル) (1/3)

No.	元素番号	各核種のファイル名	No.	元素番号	各核種のファイル名
1	1	H-1	76	32	GE-72
2	1	H-2	77	32	GE-73
3	2	HE-3	78	32	GE-74
4	2	HE-4	79	32	GE-76
5	3	LI-6	80	33	AS-75
6	3	LI-7	81	34	SE-74
7	4	BE-9	82	34	SE-76
8	5	B-10	83	34	SE-77
9	5	B-11	84	34	SE-78
10	6	C-0	85	34	SE-79
11	7	N-14	86	34	SE-80
12	7	N-15	87	34	SE-82
13	8	O-16	88	35	BR-79
14	9	F-19	89	35	BR-81
15	11	NA-23	90	36	KR-78
16	12	MG-24	91	36	KR-80
17	12	MG-25	92	36	KR-82
18	12	MG-26	93	36	KR-83
19	13	AL-27	94	36	KR-84
20	14	SI-28	95	36	KR-85
21	14	SI-29	96	36	KR-86
22	14	SI-30	97	37	RB-85
23	15	P-31	98	37	RB-86
24	16	S-32	99	37	RB-87
25	16	S-33	100	38	SR-84
26	16	S-34	101	38	SR-86
27	16	S-36	102	38	SR-87
28	17	CL-35	103	38	SR-88
29	17	CL-37	104	38	SR-89
30	18	AR-40	105	38	SR-90
31	19	K-39	106	39	Y-89
32	19	K-40	107	39	Y-90
33	19	K-41	108	39	Y-91
34	20	CA-40	109	40	ZR-90
35	20	CA-42	110	40	ZR-91
36	20	CA-43	111	40	ZR-92
37	20	CA-44	112	40	ZR-93
38	20	CA-46	113	40	ZR-94
39	20	CA-48	114	40	ZR-95
40	21	SC-45	115	40	ZR-96
41	22	TI-46	116	41	NB-93
42	22	TI-47	117	41	NB-94
43	22	TI-48	118	41	NB-95
44	22	TI-49	119	42	MO-92
45	22	TI-50	120	42	MO-94
46	23	V-50	121	42	MO-95
47	23	V-51	122	42	MO-96
48	24	CR-50	123	42	MO-97
49	24	CR-52	124	42	MO-98
50	24	CR-53	125	42	MO-99
51	24	CR-54	126	42	MO-100
52	25	MN-55	127	43	TC-99
53	26	FE-54	128	44	RU-96
54	26	FE-56	129	44	RU-98
55	26	FE-57	130	44	RU-99
56	26	FE-58	131	44	RU-100
57	26	FE-59	132	44	RU-101
58	27	CO-59	133	44	RU-102
59	28	NI-58	134	44	RU-103
60	28	NI-59	135	44	RU-104
61	28	NI-60	136	44	RU-105
62	28	NI-61	137	44	RU-106
63	28	NI-62	138	45	RH-103
64	28	NI-64	139	45	RH-105
65	29	CU-63	140	46	PD-102
66	29	CU-65	141	46	PD-104
67	30	ZN-64	142	46	PD-105
68	30	ZN-65	143	46	PD-106
69	30	ZN-66	144	46	PD-107
70	30	ZN-67	145	46	PD-108
71	30	ZN-68	146	46	PD-110
72	30	ZN-70	147	47	AG-107
73	31	GA-69	148	47	AG-109
74	31	GA-71	149	47	AG-110m
75	32	GE-70	150	47	AG-111

表 3.2.1 MATXSLIB-J40 の収録核種 (自由ガスモデル) (2/3)

No.	元素番号	各核種のファイル名	No.	元素番号	各核種のファイル名
151	48	CD-106	226	59	PR-141
152	48	CD-108	227	59	PR-143
153	48	CD-110	228	60	ND-142
154	48	CD-111	229	60	ND-143
155	48	CD-112	230	60	ND-144
156	48	CD-113	231	60	ND-145
157	48	CD-114	232	60	ND-146
158	48	CD-116	233	60	ND-147
159	49	IN-113	234	60	ND-148
160	49	IN-115	235	60	ND-150
161	50	SN-112	236	61	PM-147
162	50	SN-114	237	61	PM-148
163	50	SN-115	238	61	PM-148m
164	50	SN-116	239	61	PM-149
165	50	SN-117	240	61	PM-151
166	50	SN-118	241	62	SM-144
167	50	SN-119	242	62	SM-147
168	50	SN-120	243	62	SM-148
169	50	SN-122	244	62	SM-149
170	50	SN-123	245	62	SM-150
171	50	SN-124	246	62	SM-151
172	50	SN-126	247	62	SM-152
173	51	SB-121	248	62	SM-153
174	51	SB-123	249	62	SM-154
175	51	SB-124	250	63	EU-151
176	51	SB-125	251	63	EU-152
177	51	SB-126	252	63	EU-153
178	52	TE-120	253	63	EU-154
179	52	TE-122	254	63	EU-155
180	52	TE-123	255	63	EU-156
181	52	TE-124	256	63	EU-157
182	52	TE-125	257	64	GD-152
183	52	TE-126	258	64	GD-153
184	52	TE-127m	259	64	GD-154
185	52	TE-128	260	64	GD-155
186	52	TE-129m	261	64	GD-156
187	52	TE-130	262	64	GD-157
188	52	TE-132	263	64	GD-158
189	53	I-127	264	64	GD-160
190	53	I-129	265	65	TB-159
191	53	I-130	266	65	TB-160
192	53	I-131	267	66	DY-154
193	53	I-135	268	66	DY-156
194	54	XE-124	269	66	DY-158
195	54	XE-126	270	66	DY-159
196	54	XE-128	271	66	DY-160
197	54	XE-129	272	66	DY-161
198	54	XE-130	273	66	DY-162
199	54	XE-131	274	66	DY-163
200	54	XE-132	275	66	DY-164
201	54	XE-133	276	68	ER-162
202	54	XE-134	277	68	ER-164
203	54	XE-135	278	68	ER-166
204	54	XE-136	279	68	ER-167
205	55	CS-133	280	68	ER-168
206	55	CS-134	281	68	ER-170
207	55	CS-135	282	69	TM-169
208	55	CS-136	283	70	YB-168
209	55	CS-137	284	70	YB-170
210	56	BA-130	285	70	YB-171
211	56	BA-132	286	70	YB-172
212	56	BA-134	287	70	YB-173
213	56	BA-135	288	70	YB-174
214	56	BA-136	289	70	YB-176
215	56	BA-137	290	72	HF-174
216	56	BA-138	291	72	HF-176
217	56	BA-140	292	72	HF-177
218	57	LA-138	293	72	HF-178
219	57	LA-139	294	72	HF-179
220	57	LA-140	295	72	HF-180
221	58	CE-140	296	72	HF-181
222	58	CE-141	297	72	HF-182
223	58	CE-142	298	73	TA-181
224	58	CE-143	299	74	W-180
225	58	CE-144	300	74	W-182

表 3.2.1 MATXSLIB-J40 の収録核種 (自由ガスモデル) (3/3)

No.	元素番号	各核種のファイル名	No.	元素番号	各核種のファイル名
301	74	W-183	354	93	NP-235
302	74	W-184	355	93	NP-236
303	74	W-186	356	93	NP-237
304	76	OS-184	357	93	NP-238
305	76	OS-186	358	93	NP-239
306	76	OS-187	359	94	PU-236
307	76	OS-188	360	94	PU-237
308	76	OS-189	361	94	PU-238
309	76	OS-190	362	94	PU-239
310	76	OS-192	363	94	PU-240
311	79	AU-197	364	94	PU-241
312	80	HG-196	365	94	PU-242
313	80	HG-198	366	94	PU-244
314	80	HG-199	367	94	PU-246
315	80	HG-200	368	95	AM-240
316	80	HG-201	369	95	AM-241
317	80	HG-202	370	95	AM-242
318	80	HG-204	371	95	AM-242m
319	82	PB-204	372	95	AM-243
320	82	PB-206	373	95	AM-244
321	82	PB-207	374	95	AM-244m
322	82	PB-208	375	96	CM-240
323	83	BI-209	376	96	CM-241
324	88	RA-223	377	96	CM-242
325	88	RA-224	378	96	CM-243
326	88	RA-225	379	96	CM-244
327	88	RA-226	380	96	CM-245
328	89	AC-225	381	96	CM-246
329	89	AC-226	382	96	CM-247
330	89	AC-227	383	96	CM-248
331	90	TH-227	384	96	CM-249
332	90	TH-228	385	96	CM-250
333	90	TH-229	386	97	BK-245
334	90	TH-230	387	97	BK-246
335	90	TH-231	388	97	BK-247
336	90	TH-232	389	97	BK-248
337	90	TH-233	390	97	BK-249
338	90	TH-234	391	97	BK-250
339	91	PA-229	392	98	CF-246
340	91	PA-230	393	98	CF-248
341	91	PA-231	394	98	CF-249
342	91	PA-232	395	98	CF-250
343	91	PA-233	396	98	CF-251
344	92	U-230	397	98	CF-252
345	92	U-231	398	98	CF-253
346	92	U-232	399	98	CF-254
347	92	U-233	400	99	ES-251
348	92	U-234	401	99	ES-252
349	92	U-235	402	99	ES-253
350	92	U-236	403	99	ES-254
351	92	U-237	404	99	ES-254
352	92	U-238	405	99	ES-255
353	93	NP-234	406	100	FM-255

表 3.2.2 MATXSLIB -J40 の収録核種 (熱中性子散乱則データ)

No.	原子番号	各核種のファイル名	備考
1	1	lwtr	H - 1 in H2O
2	1	lmeth	H - 1 in CH2
3	1	benz	H - 1 in C6H6
4	1	h_zr	H - 1 in ZrH
5	1	smeth	H - 1 in ICH4
6	1	poly	H - 1 in sCH4
7	1	hortho	Ortho H - 1
8	1	hpara	Para H - 1
9	1	hwtr	H - 2 in D2O
10	1	dortho	Ortho H - 2
11	1	dpara	Para H - 2
12	4	be	Be - 9 Metal
13	4	beo	Be - 9 in BeO
14	6	grph	Graphite
15	40	zr90_H	Zr - 90 in ZrH
16	40	zr91_H	Zr - 91 in ZrH
17	40	zr92_H	Zr - 92 in ZrH
18	40	zr94_H	Zr - 94 in ZrH
19	40	zr96_H	Zr - 96 in ZrH



表 3.3 原子炉体系各領域の物質組成と原子個数密度 (1/2)

( $1 \times 10^{24} / \text{cm}^3$ )

元素又は核種	燃料領域 2	水 1	シュラウド*	圧力容器	空気
H	2.4110E-02	5.0548E-02	—	—	—
C	—	—	3.1729E-04	9.8293E-04	—
N	—	—	—	—	3.9099E-05
O	2.3493E-02	2.5274E-02	—	—	1.0538E-05
Na	—	—	—	—	—
Al	—	—	—	—	—
Si	—	—	1.8100E-03	3.8698E-04	—
Ca	—	—	—	—	—
Cr	1.8999E-04	—	1.7408E-02	—	—
Mn	—	—	1.7343E-03	1.1399E-03	—
Fe	7.3243E-04	—	5.7872E-02	8.2195E-02	—
Ni	8.2869E-05	—	8.1116E-03	4.4297E-04	—
Zr	5.0663E-03	—	—	—	—
U-235	1.4459E-04	—	—	—	—
U-238	5.3489E-03	—	—	—	—

元素又は核種	燃料領域 3	上部プレナム領域	上部グリッド領域	水 2	蒸気
H	2.1414E-02	2.1918E-02	2.6419E-02	2.9662E-02	2.1068E-03
C	—	—	—	—	—
N	—	—	—	—	—
O	2.1694E-02	1.0959E-02	1.3210E-02	1.4831E-02	1.0534E-03
Na	—	—	—	—	—
Al	—	—	—	—	—
Si	—	—	3.3582E-04	—	—
Ca	—	—	—	—	—
Cr	1.8999E-04	—	—	—	—
Mn	—	—	2.7964E-04	—	—
Fe	7.3243E-04	—	1.3451E-02	—	—
Ni	8.2869E-05	2.5658E-03	—	—	—
Zr	5.0663E-03	5.2307E-03	1.0223E-03	—	—
U-235	1.4459E-04	—	—	—	—
U-238	5.3489E-03	—	—	—	—

元素又は核種	燃料領域 1	下部プレナム領域	燃料ベース領域	支持板領域	下部グリッド領域
H	2.7795E-02	3.0575E-02	3.6770E-02	1.9500E-02	3.8870E-02
C	—	3.5386E-04	8.4909E-04	5.3076E-04	4.0917E-04
N	—	—	—	—	—
O	2.4885E-02	1.5287E-02	1.8385E-02	9.7501E-03	1.9811E-02
Na	—	—	—	—	—
Al	—	—	—	—	—
Si	—	—	—	1.0794E-03	—
Ca	—	—	—	—	—
Cr	1.8999E-04	—	—	1.0381E-02	—
Mn	—	—	4.1377E-04	1.0342E-03	3.6966E-04
Fe	7.3243E-04	3.9230E-03	1.9899E-02	3.9349E-02	1.7774E-02
Ni	8.2869E-05	—	—	—	—
Zr	5.0663E-03	4.2649E-03	6.8496E-04	—	—
U-235	1.4459E-04	—	—	—	—
U-238	5.3489E-03	—	—	—	—

\* : 圧力容器被覆材、チムニー領域も同一の組成とした。

表 3.3 原子炉体系各領域の物質組成と原子個数密度 (2/2)

( $1 \times 10^{24} / \text{cm}^3$ )

元素又は核種	下部遮蔽層	内張り鋼板	コンクリート	ベローズ・サンプル
H	—	—	1.0592E-02	—
C	—	8.2658E-04	—	3.1729E-04
N	—	—	—	—
O	—	—	4.5134E-02	—
Na	—	—	8.4026E-04	—
Al	—	—	2.6571E-03	—
Si	—	1.1468E-04	1.6072E-02	1.6962E-03
Ca	—	—	2.5612E-03	—
Cr	—	—	—	1.7408E-02
Mn	—	9.8102E-04	—	1.7343E-03
Fe	8.4755E-02	8.4296E-02	4.8571E-04	5.7872E-02
Ni	—	—	—	8.1116E-03
Zr	—	—	—	—
U-235	—	—	—	—
U-238	—	—	—	—

表 3.4 ORIGEN-S の計算に用いた生体遮蔽コンクリートの重量比

元素又は核種	普通コンクリート
H	5.90E-03
Li	1.48E-05
B	2.00E-05*
C	1.30E-03*
N	1.20E-04*
O	4.91E-01
Na-23	1.40E-02
Al-27	5.10E-02
Si	3.26E-01
P-31	5.00E-07
S	1.30E-03
Cl	1.28E-05
K	1.60E-02
Ca	7.07E-02
Sc-45	6.50E-06*
Ti	1.40E-03
V	1.03E-04*
Cr	1.50E-04
Mn-55	4.10E-04
Fe	1.90E-02
Co-59	6.60E-06
Ni	1.24E-05
Cu	1.60E-05
Zn	6.92E-05
Ga	8.80E-06*
As-75	7.90E-06*
Se	9.20E-07*
Br	2.40E-06*
Rb	3.50E-05*
Sr	4.38E-04*
Y-89	1.80E-05*
Zr	1.50E-04
Nb-93	1.20E-05
Mo	2.00E-06
Pd	3.00E-06*
Ag	2.00E-07*
Cd	1.00E-06
Sn	2.00E-06
Sb	3.00E-06*
Cs-133	2.00E-06
Ba	4.00E-04
La	1.30E-05*
Ce	2.40E-05*
Sm	5.00E-06
Eu	5.90E-07
Tb-159	4.10E-07*
Dy	2.30E-06*
Ho-165	3.00E-07
Yb	1.40E-06*
Lu	2.70E-07*
Hf	2.50E-06
Ta	4.40E-07*
W	1.40E-06*
Pb	6.10E-05*
Th-232	3.50E-06
U-235	1.94E-08
U-238	2.68E-06

\* : 参考文献 15)による。その他は、JPDR の構造材を対象とした分析値に基づく。

表 3.5 計算に用いた JPDR の運転期間、運転停止期間及び平均出力

運転条件	区間当初年月 (西暦、月)		累積日数	区間日数	区間平均出力	区間出力量	累積出力量
			day	day	MW	MWD	MWD
JPDR-I	1963	10	160.8	160.8	4.434	712.99	712.99
	1964	3	427.3	266.5	—	—	—
	1964	12	625.8	198.5	18.98	3767.53	4480.52
	1965	7	708.7	82.9	—	—	—
	1965	9	935.9	227.2	22.354	5078.83	9559.35
	1966	5	1072.1	136.2	—	—	—
	1966	9	1203.9	131.8	21.23	2798.11	12357.46
	1967	2	1266.2	62.3	—	—	—
	1967	4	1347.1	80.9	26.2	2119.58	14477.04
	1967	6	1411.1	64	—	—	—
	1967	9	1451.9	40.8	35.4	1444.32	15921.36
	1967	10	1633	181.1	—	—	—
	1968	4	1669	36	30	1080.00	17001.36
	1968	5	2107.3	438.3	—	—	—
1969	7	2145.9	38.6	40.717	1571.68	18573.04	
JPDR-II	1969	9	3113.1	967.2	—	—	—
	1972	4	3228	114.9	7.196	826.82	19399.86
	1972	8	4362.9	1134.9	—	—	—
	1975	9	4537	174.1	12.198	2123.67	21523.53

表 4.1 炉心高さ径方向の放射能濃度の測定値と計算値の比較 (1/3)

(1991年3月31日時点)

炉心からの距離 (cm)	Co-60			Cs-134		
	計算値*1) (Bq/g)	測定値 (Bq/g)	計算値/ 測定値	計算値*1) (Bq/g)	測定値 (Bq/g)	計算値/ 測定値
136.3	3.24E+02	1.32E+02	2.5	3.20E+00	2.16E+00	1.5
138.7	3.54E+02	1.51E+02	2.3	3.26E+00	2.53E+00	1.3
140.0	3.91E+02	2.18E+02	1.8	3.30E+00	3.00E+00	1.1
149.8	4.07E+02	1.05E+02	3.9	2.55E+00	1.08E+00	2.4
151.5	3.83E+02	9.07E+01	4.2	2.34E+00	7.87E-01	3.0
153.5	3.52E+02	9.30E+01	3.8	2.09E+00	7.90E-01	2.6
155.5	3.18E+02	8.23E+01	3.9	1.85E+00	9.70E-01	1.9
157.6	2.83E+02	6.56E+01	4.3	1.62E+00	5.71E-01	2.8
159.5	2.52E+02	5.85E+01	4.3	1.42E+00	5.44E-01	2.6
161.6	2.19E+02	6.02E+01	3.6	1.22E+00	3.76E-01	3.2
168.1	1.36E+02	2.12E+01	6.4	7.34E-01	2.95E-01	2.5
169.5	1.22E+02	1.98E+01	6.1	6.55E-01	2.26E-01	2.9
171.5	1.03E+02	1.36E+01	7.6	5.54E-01	1.10E-01	5.0
173.6	8.67E+01	1.51E+01	5.7	4.62E-01	1.11E-01	4.2
175.6	7.29E+01	1.10E+01	6.6	3.87E-01	9.85E-02	3.9
177.6	6.15E+01	1.09E+01	5.6	3.26E-01	1.13E-01	2.9
179.6	5.16E+01	9.08E+00	5.7	2.72E-01	6.45E-02	4.2
181.6	4.32E+01	7.30E+00	5.9	2.28E-01	5.33E-02	4.3
183.6	3.61E+01	5.97E+00	6.0	1.90E-01	5.61E-02	3.4
197.8	9.83E+00	8.59E-01	11.4	5.14E-02	9.93E-03	5.2
199.5	8.38E+00	9.90E-01	8.5	4.39E-02	7.24E-03	6.1
201.4	7.00E+00	7.97E-01	8.8	3.66E-02	8.86E-03	4.1
203.6	5.71E+00	6.38E-01	8.9	2.99E-02	4.93E-03	6.1
205.6	4.76E+00	8.99E-01	5.3	2.49E-02	4.22E-03	5.9
207.5	4.00E+00	4.48E-01	8.9	2.09E-02	4.90E-03	4.3
209.6	3.29E+00	3.82E-01	8.6	1.72E-02	4.19E-03	4.1
211.7	2.70E+00	3.62E-01	7.5	1.42E-02	3.17E-03	4.5
213.6	2.26E+00	3.59E-01	6.3	1.19E-02	—	—
215.4	1.93E+00	2.21E-01	8.7	1.01E-02	1.96E-03	5.2
217.4	1.61E+00	1.77E-01	9.1	8.43E-03	—	—
219.7	1.30E+00	1.21E-01	10.7	6.81E-03	—	—
221.7	1.08E+00	1.33E-01	8.1	5.66E-03	—	—
227.6	6.29E-01	5.36E-02	11.7	3.31E-03	—	—
229.5	5.31E-01	5.70E-02	9.3	2.80E-03	—	—
231.6	4.40E-01	3.15E-02	14.0	2.32E-03	—	—
233.5	3.69E-01	2.66E-02	13.9	1.95E-03	—	—
235.8	2.99E-01	1.73E-02	17.3	1.58E-03	—	—
237.6	2.56E-01	1.60E-02	16.0	1.35E-03	—	—
239.8	2.10E-01	1.56E-02	13.5	1.11E-03	—	—
241.6	1.78E-01	1.20E-02	14.8	9.41E-04	—	—
243.6	1.49E-01	1.05E-02	14.2	7.86E-04	—	—
252.5	6.74E-02	5.37E-03	12.5	3.56E-04	—	—
254.5	5.64E-02	4.55E-03	12.4	2.99E-04	—	—
256.6	4.70E-02	3.15E-03	14.9	2.49E-04	—	—
258.7	3.90E-02	2.78E-03	14.0	2.07E-04	—	—
260.5	3.31E-02	2.39E-03	13.9	1.75E-04	—	—
262.6	2.76E-02	1.91E-03	14.5	1.46E-04	—	—
264.4	2.36E-02	1.85E-03	12.8	1.25E-04	—	—
266.5	1.96E-02	2.67E-03	7.3	1.04E-04	—	—

\*1) 放射化放射能計算で得られた値を測定点に合わせて内挿補正した値。

\*2) 参考文献 2) のグラフから読み取った値。

表 4.1 炉心高さ径方向の放射能濃度の測定値と計算値の比較 (2/3)

(1991年3月31日時点)

炉心からの 距離 (cm)	Eu-152			Eu-154		
	計算値*1) (Bq/g)	測定値 (Bq/g)	計算値/ 測定値	計算値*1) (Bq/g)	測定値 (Bq/g)	計算値/ 測定値
136.3	1.33E+03	7.48E+02	1.8	1.11E+02	5.64E+01	2.0
138.7	1.51E+03	1.07E+03	1.4	1.18E+02	6.68E+01	1.8
140.0	1.73E+03	1.39E+03	1.2	1.26E+02	8.08E+01	1.6
149.8	2.02E+03	8.20E+02	2.5	1.17E+02	4.79E+01	2.5
151.5	1.91E+03	6.80E+02	2.8	1.10E+02	4.18E+01	2.6
153.5	1.77E+03	8.15E+02	2.2	9.97E+01	4.61E+01	2.2
155.5	1.61E+03	6.11E+02	2.6	8.97E+01	4.08E+01	2.2
157.6	1.44E+03	5.40E+02	2.7	7.93E+01	2.66E+01	3.0
159.5	1.29E+03	4.96E+02	2.6	7.02E+01	2.34E+01	3.0
161.6	1.12E+03	4.44E+02	2.5	6.09E+01	2.21E+01	2.8
168.1	7.02E+02	2.16E+02	3.2	3.74E+01	1.04E+01	3.6
169.5	6.30E+02	1.88E+02	3.3	3.35E+01	8.93E+00	3.7
171.5	5.36E+02	1.60E+02	3.3	2.84E+01	6.96E+00	4.1
173.6	4.50E+02	1.42E+02	3.2	2.38E+01	8.12E+00	2.9
175.6	3.79E+02	1.06E+02	3.6	2.00E+01	5.34E+00	3.7
177.6	3.20E+02	8.44E+01	3.8	1.68E+01	4.24E+00	4.0
179.6	2.69E+02	6.60E+01	4.1	1.41E+01	3.66E+00	3.9
181.6	2.25E+02	5.50E+01	4.1	1.18E+01	2.99E+00	3.9
183.6	1.88E+02	4.32E+01	4.4	9.86E+00	2.34E+00	4.2
197.8	5.13E+01	8.86E+00	5.8	2.68E+00	4.65E-01	5.8
199.5	4.38E+01	7.07E+00	6.2	2.29E+00	3.74E-01	6.1
201.4	3.66E+01	7.34E+00	5.0	1.91E+00	3.59E-01	5.3
203.6	2.98E+01	5.32E+00	5.6	1.56E+00	2.60E-01	6.0
205.6	2.49E+01	4.83E+00	5.1	1.30E+00	2.58E-01	5.0
207.5	2.09E+01	4.05E+00	5.2	1.09E+00	2.09E-01	5.2
209.6	1.72E+01	3.17E+00	5.4	8.97E-01	1.56E-01	5.8
211.7	1.41E+01	2.72E+00	5.2	7.38E-01	1.37E-01	5.4
213.6	1.18E+01	2.85E+00	4.1	6.18E-01	1.46E-01	4.2
215.4	1.01E+01	1.75E+00	5.8	5.26E-01	7.05E-02	7.5
217.4	8.38E+00	1.43E+00	5.9	4.38E-01	6.48E-02	6.8
219.7	6.77E+00	1.27E+00	5.3	3.54E-01	7.68E-02	4.6
221.7	5.62E+00	9.40E-01	6.0	2.94E-01	—	—
227.6	3.28E+00	4.07E-01	8.1	1.72E-01	1.46E-02	11.8
229.5	2.77E+00	3.17E-01	8.7	1.45E-01	—	—
231.6	2.30E+00	2.87E-01	8.0	1.20E-01	9.40E-03	12.8
233.5	1.93E+00	2.24E-01	8.6	1.01E-01	9.87E-03	10.2
235.8	1.56E+00	1.73E-01	9.0	8.19E-02	7.78E-03	10.5
237.6	1.33E+00	1.45E-01	9.2	7.00E-02	—	—
239.8	1.10E+00	1.34E-01	8.2	5.75E-02	—	—
241.6	9.29E-01	1.14E-01	8.1	4.87E-02	—	—
243.6	7.76E-01	9.62E-02	8.1	4.07E-02	—	—
252.5	3.51E-01	3.51E-02	10.0	1.84E-02	1.97E-03	9.4
254.5	2.94E-01	3.51E-02	8.4	1.55E-02	—	—
256.6	2.45E-01	2.87E-02	8.5	1.29E-02	—	—
258.7	2.03E-01	2.20E-02	9.2	1.07E-02	—	—
260.5	1.72E-01	1.91E-02	9.0	9.06E-03	—	—
262.6	1.44E-01	1.55E-02	9.3	7.56E-03	—	—
264.4	1.23E-01	1.48E-02	8.3	6.47E-03	—	—
266.5	1.02E-01	—	—	5.36E-03	—	—

\*1) 放射化放射能計算で得られた値を測定点に合わせて内挿補正した値。

\*2) 参考文献 2) のグラフから読み取った値。

表 4.1 炉心高さ径方向の放射能濃度の測定値と計算値の比較 (3/3)

(1991年3月31日時点)

炉心からの 距離 (cm)	H-3		
	計算値* <sup>1)</sup> (Bq/g)	測定値* <sup>2)</sup> (Bq/g)	計算値/測定値
136.3	2.11E+04	6.36E+03	3.3
138.7	2.38E+04	—	—
140.0	2.73E+04	6.65E+03	4.1
149.8	3.16E+04	—	—
151.5	2.99E+04	—	—
153.5	2.76E+04	—	—
155.5	2.51E+04	—	—
157.6	2.24E+04	—	—
159.5	2.00E+04	—	—
161.6	1.75E+04	—	—
168.1	1.09E+04	—	—
169.5	9.78E+03	—	—
171.5	8.33E+03	—	—
173.6	7.00E+03	—	—
175.6	5.88E+03	—	—
177.6	4.97E+03	—	—
179.6	4.17E+03	—	—
181.6	3.49E+03	—	—
183.6	2.92E+03	—	—
197.8	7.96E+02	—	—
199.5	6.79E+02	4.21E+01	16.1
201.4	5.67E+02	—	—
203.6	4.63E+02	3.66E+01	12.6
205.6	3.86E+02	—	—
207.5	3.24E+02	—	—
209.6	2.66E+02	2.11E+01	12.6
211.7	2.19E+02	—	—
213.6	1.83E+02	—	—
215.4	1.56E+02	—	—
217.4	1.30E+02	—	—
219.7	1.05E+02	—	—
221.7	8.71E+01	6.65E+00	13.1
227.6	5.09E+01	—	—
229.5	4.30E+01	3.33E+00	12.9
231.6	3.56E+01	—	—
233.5	2.99E+01	—	—
235.8	2.42E+01	—	—
237.6	2.07E+01	3.33E+00	6.2
239.8	1.70E+01	—	—
241.6	1.44E+01	—	—
243.6	1.20E+01	—	—
252.5	5.45E+00	—	—
254.5	4.56E+00	—	—
256.6	3.80E+00	—	—
258.7	3.16E+00	—	—
260.5	2.68E+00	—	—
262.6	2.23E+00	—	—
264.4	1.91E+00	—	—
266.5	1.58E+00	—	—

\*1) 放射化放射能計算で得られた値を測定点に合わせて内挿補正した値。

\*2) 参考文献 2) のグラフから読み取った値。

表 5.1 トレンチ基準線量相当濃度 C (Bq/t) と保管コンクリートの平均放射能濃度 D (Bq/t) (1/3)  
(2021年3月31日時点)

核種		ORIGEN-S 計算結果 D(Bq/t)	トレンチ処分 C(Bq/t)			相対重要度 (D/C)		
			跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
1	H-3	3.4E+08	2.6E+14	5.3E+08	1.1E+09	1.3E-06	6.3E-01	3.1E-01
2	Be-10	5.2E-01	3.4E+10	3.1E+09	5.0E+09	1.5E-11	1.7E-10	1.0E-10
3	C-14	1.8E+06	1.1E+12	1.2E+08	2.2E+07	1.6E-06	1.5E-02	8.1E-02
4	Na-22	1.6E-01	7.1E+11	2.9E+12	—	2.2E-13	5.5E-14	—
5	Al-26	0.0E+00	9.3E+05	2.8E+06	1.9E+09	—	—	—
6	Si-32	1.6E-03	1.4E+10	3.5E+06	2.5E+09	1.1E-13	4.7E-10	6.4E-13
7	Cl-36	3.2E+04	1.5E+10	1.4E+06	1.5E+09	2.2E-06	2.3E-02	2.2E-05
8	K-40	(*2) 5.1E+05	1.7E+07	1.7E+07	3.4E+08	—	—	—
9	Ca-41	3.7E+06	3.4E+12	7.1E+07	2.4E+10	1.1E-06	5.2E-02	1.5E-04
10	Sc-46	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
11	Mn-54	2.1E-09	—	—	—	—	—	—
12	Fe-55	1.8E+04	2.3E+17	1.9E+16	—	7.9E-14	9.6E-13	—
13	Fe-59	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
14	Co-58	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
15	Co-60	4.6E+05	7.6E+08	2.3E+09	—	6.0E-04	2.0E-04	—
16	Ni-59	4.9E+03	1.5E+11	2.7E+09	1.6E+11	3.2E-08	1.8E-06	3.0E-08
17	Ni-63	4.1E+05	1.8E+12	1.6E+09	—	—	—	—
18	Zn-65	1.4E-13	—	—	—	—	—	—
19	Se-79	3.2E+00	2.1E+11	2.3E+07	2.8E+09	1.5E-11	1.4E-07	1.1E-09
20	Rb-87	(*2) 3.1E+04	—	9.1E+06	—	—	—	—
21	Sr-90	1.4E+04	2.7E+10	4.2E+05	—	5.0E-07	3.2E-02	—
22	Zr-93	2.6E+01	2.2E+10	1.2E+09	1.2E+11	1.2E-09	2.2E-08	2.2E-10
23	Zr-95	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
24	Nb-92	8.3E-04	1.8E+06	9.8E+06	6.9E+09	4.6E-10	8.4E-11	1.2E-13
25	Nb-93m	4.9E+01	2.3E+12	7.2E+10	—	2.1E-11	6.8E-10	—
26	Nb-94	5.6E+03	1.7E+06	8.0E+06	4.8E+09	3.3E-03	7.0E-04	1.2E-06
27	Nb-95	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
28	Mo-93	3.5E+01	3.2E+10	1.1E+07	9.1E+09	1.1E-09	3.1E-06	3.8E-09
29	Tc-97	1.9E-12	4.1E+12	9.9E+06	2.2E+10	4.7E-25	1.9E-19	8.7E-23
30	Tc-97m	0.0E+00	4.3E+19	1.0E+14	2.3E+17	—	—	—
31	Tc-98	5.1E-08	1.8E+06	3.4E+05	7.4E+08	2.9E-14	1.5E-13	6.9E-17
32	Tc-99	1.3E+01	2.0E+11	1.1E+06	2.3E+09	6.7E-11	1.2E-05	5.8E-09
33	Ru-103	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
34	Rh-101	4.3E-11	3.0E+11	4.9E+12	—	1.4E-22	8.7E-24	—
35	Rh-102	4.9E-13	—	—	—	—	—	—
36	Rh-102m	1.7E-10	1.8E+11	9.7E+11	—	9.2E-22	1.7E-22	—
37	Pd-107	5.8E-01	2.2E+12	1.2E+09	6.3E+12	2.6E-13	4.8E-10	9.2E-14
38	Ag-108m	1.0E+04	1.7E+06	6.6E+06	1.3E+14	6.0E-03	1.5E-03	7.9E-11
39	Ag-110m	6.9E-15	—	—	—	—	—	—
40	Cd-109	1.3E-07	—	8.6E+18	—	—	1.5E-26	—
41	Cd-113m	5.2E+03	5.2E+10	1.1E+07	—	1.0E-07	4.6E-04	—
42	Sn-121m	4.3E+01	1.4E+10	1.6E+08	—	3.0E-09	2.7E-07	—
43	Sn-126	1.4E-01	1.3E+06	4.3E+06	2.8E+08	1.1E-07	3.2E-08	5.0E-10
44	Sb-124	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
45	Sb-125	1.8E-01	2.0E+12	1.4E+13	—	9.0E-14	1.3E-14	—
46	Te-123m	0.0E+00	—	4.7E+19	—	—	—	—
47	Te-129m	0.0E+00	1.7E+17	—	2.2E+15	—	—	—
48	I-129	8.7E-03	1.0E+09	6.1E+05	1.3E+07	8.7E-12	1.4E-08	6.7E-10

(\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。

(\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。



表 5.1 トレンチ基準線量相当濃度 C (Bq/t) と保管コンクリートの平均放射能濃度 D (Bq/t) (2/3)  
(2021年3月31日時点)

核種		ORIGEN-S 計算結果 D(Bq/t)	トレンチ処分 C(Bq/t)			相対重要度 (D/C)		
			跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
49	Cs-134	6.3E+00	3.3E+13	1.1E+14	—	1.9E-13	5.7E-14	—
50	Cs-135	7.1E-01	6.6E+11	1.3E+08	9.6E+09	1.1E-12	5.4E-09	7.4E-11
51	Cs-137	1.5E+04	1.5E+07	3.7E+07	—	9.9E-04	4.0E-04	—
52	Ba-133	1.3E+05	1.8E+08	2.2E+09	—	7.2E-04	5.8E-05	—
53	La-137	2.3E+01	7.4E+08	6.7E+10	2.9E+12	3.1E-08	3.5E-10	7.9E-12
54	La-138	1.0E+01	2.3E+06	8.2E+06	—	4.5E-06	1.3E-06	—
55	Pm-143	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
56	Pm-144	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
57	Pm-145	7.1E+03	2.2E+09	1.4E+11	—	3.3E-06	5.0E-08	—
58	Pm-146	6.4E-08	1.8E+09	1.2E+10	2.4E+15	3.5E-17	5.3E-18	2.7E-23
59	Pm-147	2.6E-01	7.7E+16	4.7E+15	5.7E+18	3.4E-18	5.6E-17	4.7E-20
60	Pm-148m	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
61	Sm-145	2.5E-10	4.1E+10	2.5E+12	—	6.0E-21	1.0E-22	—
62	Sm-146	1.2E-04	9.7E+07	6.2E+07	1.3E+08	1.2E-12	1.9E-12	9.4E-13
63	Sm-147	6.3E+02	1.1E+08	6.9E+07	1.4E+08	5.9E-06	9.1E-06	4.5E-06
64	Sm-151	1.1E+06	3.6E+11	5.1E+10	—	3.0E-06	2.1E-05	—
65	Eu-150	0.0E+00	4.3E+06	2.9E+07	—	—	—	—
66	Eu-152	2.4E+07	3.2E+07	1.2E+08	—	7.6E-01	2.0E-01	—
67	Eu-154	6.1E+05	1.2E+08	4.7E+08	—	5.1E-03	1.3E-03	—
68	Eu-155	2.6E+03	9.0E+10	6.5E+12	—	2.9E-08	4.0E-10	—
69	Tb-157	1.6E+03	2.5E+09	3.2E+10	—	6.6E-07	5.1E-08	—
70	Tb-160	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
71	Ho-163	1.5E-11	3.9E+12	3.8E+11	3.4E+12	3.9E-24	4.0E-23	4.4E-24
72	Ho-166m	2.8E+03	1.5E+06	9.1E+06	5.9E+10	1.9E-03	3.1E-04	4.7E-08
73	Tm-171	5.6E-09	4.6E+17	4.2E+17	—	1.2E-26	1.3E-26	—
74	Lu-173	0.0E+00	1.6E+18	3.8E+19	—	—	—	—
75	Lu-174	0.0E+00	9.6E+11	4.4E+12	—	—	—	—
76	Lu-176	1.5E+01	5.0E+06	7.0E+07	—	3.0E-06	2.1E-07	—
77	Lu-177m	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
78	Hf-172	0.0E+00	1.4E+14	5.8E+14	—	—	—	—
79	Hf-178m	0.0E+00	3.4E+06	3.5E+07	—	—	—	—
80	Hf-181	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
81	Hf-182	2.8E-06	1.6E+06	6.5E+06	3.3E+09	1.7E-12	4.2E-13	8.4E-16
82	Ta-179	0.0E+00	2.8E+16	9.6E+18	—	—	—	—
83	Ta-182	2.8E-06	—	—	—	—	—	—
84	Os-185	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
85	Os-194	0.0E+00	8.5E+09	3.6E+10	—	—	—	—
86	Ir-192	0.0E+00	—	—	—	—	—	—
87	Ir-192m	0.0E+00	3.1E+06	2.7E+07	1.2E+14	—	—	—
88	Pt-190	0.0E+00	—	1.0E+07	—	—	—	—
89	Pt-193	0.0E+00	4.8E+13	9.6E+08	—	—	—	—
90	Tl-204	3.7E-05	2.2E+13	5.4E+12	—	1.7E-18	6.8E-18	—
91	Pb-205	1.1E-01	1.6E+12	2.4E+09	4.7E+11	7.1E-14	4.7E-11	2.4E-13
92	Pb-210	4.3E-05	8.6E+08	4.5E+06	—	5.0E-14	9.5E-12	—
93	Bi-207	0.0E+00	5.0E+06	2.0E+07	1.4E+15	—	—	—
94	Bi-208	1.3E-10	9.8E+05	1.5E+06	1.8E+11	1.3E-16	8.4E-17	7.0E-22
95	Bi-210m	1.5E-10	9.2E+06	4.3E+06	1.5E+10	1.6E-17	3.5E-17	1.0E-20
96	Ra-226	8.8E-05	1.5E+06	3.6E+05	1.1E+08	5.8E-11	2.4E-10	8.0E-13

(\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。

(\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。

表 5.1 トレンチ基準線量相当濃度 C (Bq/t) と保管コンクリートの平均放射能濃度 D (Bq/t) (3/3)  
(2021年3月31日時点)

核種		ORIGEN-S 計算結果 D(Bq/t)	トレンチ処分 C(Bq/t)			相対重要度 (D/C)		
			跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
97	Ra-228	1.4E+04	3.2E+08	9.1E+07	—	4.4E-05	1.6E-04	—
98	Ac-227	1.8E+00	4.3E+06	6.4E+06	—	4.2E-07	2.8E-07	—
99	Th-228	1.4E+04	1.2E+14	2.9E+14	—	1.2E-10	4.9E-11	—
100	Th-229	2.6E+00	4.2E+06	1.6E+06	9.1E+09	6.3E-07	1.6E-06	2.9E-10
101	Th-230	4.7E-03	1.5E+06	3.7E+05	5.9E+06	3.2E-09	1.3E-08	8.0E-10
102	Th-232	(*2) 1.4E+04	9.8E+05	2.2E+05	1.9E+07	—	—	—
103	Pa-231	2.8E+00	7.8E+05	2.0E+05	2.5E+08	3.7E-06	1.4E-05	1.1E-08
104	U-232	3.1E-02	2.4E+06	5.6E+06	—	1.3E-08	5.6E-09	----
105	U-233	5.6E+02	4.6E+06	1.8E+06	1.1E+09	1.2E-04	3.1E-04	5.1E-07
106	U-234	5.4E+00	2.3E+06	5.8E+05	2.2E+07	2.3E-06	9.3E-06	2.5E-07
107	U-235	(*2) 1.6E+03	7.3E+05	2.0E+05	6.6E+08	—	—	—
108	U-236	1.9E-01	1.0E+08	1.4E+08	5.0E+09	1.9E-09	1.3E-09	3.7E-11
109	U-238	(*2) 3.3E+04	1.3E+06	3.4E+05	2.0E+08	—	—	—
110	Np-235	4.8E-22	4.8E+14	1.3E+14	4.3E+17	1.0E-36	3.7E-36	1.1E-39
111	Np-236	1.9E-11	6.7E+06	2.6E+07	1.1E+12	2.8E-18	7.4E-19	1.7E-23
112	Np-237	1.0E-02	3.4E+06	1.6E+06	2.0E+09	3.1E-09	6.5E-09	5.2E-12
113	Pu-236	8.2E-12	5.6E+07	1.3E+08	—	1.5E-19	6.4E-20	—
114	Pu-237	0.0E+00	5.9E+13	2.8E+13	3.4E+16	—	—	—
115	Pu-238	1.2E-02	3.2E+07	7.7E+07	6.0E+10	3.7E-10	1.6E-10	2.0E-13
116	Pu-239	9.9E+02	2.0E+07	4.8E+07	5.6E+09	4.9E-05	2.1E-05	1.8E-07
117	Pu-240	5.2E-01	2.0E+07	4.8E+07	1.4E+11	2.6E-08	1.1E-08	3.7E-12
118	Pu-241	2.1E-03	7.2E+08	2.0E+09	2.8E+14	2.9E-12	1.0E-12	7.4E-18
119	Pu-242	6.3E-11	2.1E+07	5.0E+07	1.3E+09	3.0E-18	1.3E-18	4.8E-20
120	Pu-244	0.0E+00	4.0E+06	1.6E+07	5.9E+08	—	—	—
121	Am-241	6.8E-04	2.4E+07	6.6E+07	9.2E+12	2.8E-11	1.0E-11	7.4E-17
122	Am-242m	7.3E-09	2.2E+07	6.1E+07	4.5E+10	3.3E-16	1.2E-16	1.6E-19
123	Am-243	6.1E-14	8.3E+06	5.3E+07	1.2E+10	7.3E-21	1.1E-21	5.1E-24
124	Cm-241	0.0E+00	1.1E+11	3.2E+11	4.4E+16	—	—	—
125	Cm-242	6.0E-09	6.3E+09	1.5E+10	1.2E+13	9.6E-19	4.0E-19	5.0E-22
126	Cm-243	3.6E-14	4.2E+07	7.0E+08	4.8E+12	8.5E-22	5.1E-23	7.5E-27
127	Cm-244	5.0E-18	2.5E+08	2.6E+09	5.1E+13	2.0E-26	1.9E-27	9.8E-32
128	Cm-245	0.0E+00	9.6E+06	5.5E+07	3.3E+10	—	—	—
129	Cm-246	0.0E+00	2.3E+07	2.3E+08	1.0E+11	—	—	—
130	Cm-247	0.0E+00	3.0E+06	2.7E+07	7.8E+08	—	—	—
131	Cm-248	0.0E+00	6.9E+06	6.8E+07	4.2E+08	—	—	—
132	Cm-250	(*1) 0.0E+00	—	—	—	—	—	—
133	Bk-249	0.0E+00	2.2E+09	3.1E+10	3.0E+14	—	—	—
134	Cf-249	0.0E+00	5.5E+06	7.7E+07	7.6E+11	—	—	—
135	Cf-250	0.0E+00	4.0E+08	8.8E+09	3.7E+13	—	—	—
136	Cf-251	0.0E+00	8.3E+06	2.1E+08	1.3E+13	—	—	—
137	Cf-252	0.0E+00	8.8E+11	8.8E+12	5.4E+13	—	—	—
138	Cf-254	(*1) 0.0E+00	—	—	—	—	—	—
139	Es-254	0.0E+00	2.0E+11	4.4E+12	6.4E+14	—	—	—
140	Es-255	0.0E+00	6.8E+10	1.7E+12	7.4E+16	—	—	—
			合計			7.8E-01	9.7E-01	3.9E-01

(\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。

(\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。

表 5.2 保管コンクリートのトレンチ処分における重要核種の選定 (1/3)

核種		(D/C)/(D/C_max)			重要核種の選定結果 (D/C)/(D/C_max) ≥ 0.01		
		跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
1	H-3	1.7E-06	1.0E+00	1.0E+00	—	○	○
2	Be-10	2.0E-11	2.6E-10	3.4E-10	—	—	—
3	C-14	2.1E-06	2.3E-02	2.7E-01	—	○	○
4	Na-22	2.9E-13	8.7E-14	—	—	—	—
5	Al-26	—	—	—	—	—	—
6	Si-32	1.5E-13	7.4E-10	2.1E-12	—	—	—
7	Cl-36	2.8E-06	3.7E-02	7.1E-05	—	○	—
8	K-40	(*2)	—	—	—	—	—
9	Ca-41	1.4E-06	8.2E-02	5.1E-04	—	○	—
10	Sc-46	—	—	—	—	—	—
11	Mn-54	—	—	—	—	—	—
12	Fe-55	1.0E-13	1.5E-12	—	—	—	—
13	Fe-59	—	—	—	—	—	—
14	Co-58	—	—	—	—	—	—
15	Co-60	7.9E-04	3.1E-04	—	—	—	—
16	Ni-59	4.2E-08	2.8E-06	9.9E-08	—	—	—
17	Ni-63	3.0E-07	4.1E-04	—	—	—	—
18	Zn-65	—	—	—	—	—	—
19	Se-79	2.0E-11	2.2E-07	3.7E-09	—	—	—
20	Rb-87	(*2)	—	—	—	—	—
21	Sr-90	6.6E-07	5.1E-02	—	—	○	—
22	Zr-93	1.6E-09	3.4E-08	7.1E-10	—	—	—
23	Zr-95	—	—	—	—	—	—
24	Nb-92	6.0E-10	1.3E-10	3.9E-13	—	—	—
25	Nb-93m	2.8E-11	1.1E-09	—	—	—	—
26	Nb-94	4.3E-03	1.1E-03	3.8E-06	—	—	—
27	Nb-95	—	—	—	—	—	—
28	Mo-93	1.4E-09	5.0E-06	1.2E-08	—	—	—
29	Tc-97	6.1E-25	3.0E-19	2.8E-22	—	—	—
30	Tc-97m	—	—	—	—	—	—
31	Tc-98	3.8E-14	2.4E-13	2.3E-16	—	—	—
32	Tc-99	8.8E-11	1.9E-05	1.9E-08	—	—	—
33	Ru-103	—	—	—	—	—	—
34	Rh-101	1.9E-22	1.4E-23	—	—	—	—
35	Rh-102	—	—	—	—	—	—
36	Rh-102m	1.2E-21	2.7E-22	—	—	—	—
37	Pd-107	3.4E-13	7.6E-10	3.0E-13	—	—	—
38	Ag-108m	7.9E-03	2.4E-03	2.6E-10	—	—	—
39	Ag-110m	—	—	—	—	—	—
40	Cd-109	—	2.4E-26	—	—	—	—
41	Cd-113m	1.3E-07	7.2E-04	—	—	—	—
42	Sn-121m	4.0E-09	4.2E-07	—	—	—	—
43	Sn-126	1.4E-07	5.1E-08	1.6E-09	—	—	—
44	Sb-124	—	—	—	—	—	—
45	Sb-125	1.2E-13	2.0E-14	—	—	—	—
46	Te-123m	—	—	—	—	—	—
47	Te-129m	—	—	—	—	—	—
48	I-129	1.1E-11	2.3E-08	2.2E-09	—	—	—

2021年3月31日時点の放射能濃度から評価した。

(\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。

(\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。

表 5.2 保管コンクリートのトレンチ処分における重要核種の選定 (2/3)

核種		(D/C)/(D/C_max)			重要核種の選定結果 (D/C)/(D/C_max) ≥ 0.01		
		跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
49	Cs-134	2.5E-13	9.1E-14	—	—	—	—
50	Cs-135	1.4E-12	8.6E-09	2.4E-10	—	—	—
51	Cs-137	1.3E-03	6.4E-04	—	—	—	—
52	Ba-133	9.4E-04	9.2E-05	—	—	—	—
53	La-137	4.1E-08	5.5E-10	2.6E-11	—	—	—
54	La-138	5.9E-06	2.0E-06	—	—	—	—
55	Pm-143	—	—	—	—	—	—
56	Pm-144	—	—	—	—	—	—
57	Pm-145	4.3E-06	7.9E-08	—	—	—	—
58	Pm-146	4.6E-17	8.4E-18	8.8E-23	—	—	—
59	Pm-147	4.5E-18	8.9E-17	1.5E-19	—	—	—
60	Pm-148m	—	—	—	—	—	—
61	Sm-145	7.8E-21	1.6E-22	—	—	—	—
62	Sm-146	1.6E-12	3.0E-12	3.1E-12	—	—	—
63	Sm-147	7.7E-06	1.4E-05	1.5E-05	—	—	—
64	Sm-151	4.0E-06	3.4E-05	—	—	—	—
65	Eu-150	—	—	—	—	—	—
66	Eu-152	1.0E+00	3.2E-01	—	○	○	—
67	Eu-154	6.7E-03	2.0E-03	—	—	—	—
68	Eu-155	3.8E-08	6.3E-10	—	—	—	—
69	Tb-157	8.6E-07	8.0E-08	—	—	—	—
70	Tb-160	—	—	—	—	—	—
71	Ho-163	5.2E-24	6.2E-23	1.5E-23	—	—	—
72	Ho-166m	2.4E-03	4.8E-04	1.5E-07	—	—	—
73	Tm-171	1.6E-26	2.1E-26	—	—	—	—
74	Lu-173	—	—	—	—	—	—
75	Lu-174	—	—	—	—	—	—
76	Lu-176	3.9E-06	3.3E-07	—	—	—	—
77	Lu-177m	—	—	—	—	—	—
78	Hf-172	—	—	—	—	—	—
79	Hf-178m	—	—	—	—	—	—
80	Hf-181	—	—	—	—	—	—
81	Hf-182	2.2E-12	6.7E-13	2.7E-15	—	—	—
82	Ta-179	—	—	—	—	—	—
83	Ta-182	—	—	—	—	—	—
84	Os-185	—	—	—	—	—	—
85	Os-194	—	—	—	—	—	—
86	Ir-192	—	—	—	—	—	—
87	Ir-192m	—	—	—	—	—	—
88	Pt-190	—	—	—	—	—	—
89	Pt-193	—	—	—	—	—	—
90	Tl-204	2.2E-18	1.1E-17	—	—	—	—
91	Pb-205	9.3E-14	7.4E-11	7.8E-13	—	—	—
92	Pb-210	6.5E-14	1.5E-11	—	—	—	—
93	Bi-207	—	—	—	—	—	—
94	Bi-208	1.7E-16	1.3E-16	2.3E-21	—	—	—
95	Bi-210m	2.2E-17	5.5E-17	3.4E-20	—	—	—
96	Ra-226	7.7E-11	3.8E-10	2.6E-12	—	—	—

2021年3月31日時点の放射能濃度から評価した。

- (\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。
- (\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。

表 5.2 保管コンクリートのトレンチ処分における重要核種の選定 (3/3)

核種		(D/C)/(D/C_max)			重要核種の選定結果 (D/C)/(D/C_max) ≥ 0.01		
		跡地建設	跡地居住	地下水	跡地建設	跡地居住	地下水
97	Ra-228		5.8E-05	2.5E-04	—	—	—
98	Ac-227		5.5E-07	4.5E-07	—	—	—
99	Th-228		1.6E-10	7.7E-11	—	—	—
100	Th-229		8.2E-07	2.6E-06	9.5E-10	—	—
101	Th-230		4.1E-09	2.0E-08	2.6E-09	—	—
102	Th-232	(*2)	—	—	—	—	—
103	Pa-231		4.8E-06	2.2E-05	3.7E-08	—	—
104	U-232		1.7E-08	8.8E-09	—	—	—
105	U-233		1.6E-04	4.9E-04	1.7E-06	—	—
106	U-234		3.1E-06	1.5E-05	8.0E-07	—	—
107	U-235	(*2)	—	—	—	—	—
108	U-236		2.4E-09	2.1E-09	1.2E-10	—	—
109	U-238	(*2)	—	—	—	—	—
110	Np-235		1.3E-36	5.8E-36	3.7E-39	—	—
111	Np-236		3.7E-18	1.2E-18	5.4E-23	—	—
112	Np-237		4.0E-09	1.0E-08	1.7E-11	—	—
113	Pu-236		1.9E-19	1.0E-19	—	—	—
114	Pu-237		—	—	—	—	—
115	Pu-238		4.9E-10	2.5E-10	6.5E-13	—	—
116	Pu-239		6.5E-05	3.2E-05	5.8E-07	—	—
117	Pu-240		3.4E-08	1.7E-08	1.2E-11	—	—
118	Pu-241		3.8E-12	1.6E-12	2.4E-17	—	—
119	Pu-242		3.9E-18	2.0E-18	1.6E-19	—	—
120	Pu-244		—	—	—	—	—
121	Am-241		3.7E-11	1.6E-11	2.4E-16	—	—
122	Am-242m		4.4E-16	1.9E-16	5.3E-19	—	—
123	Am-243		9.6E-21	1.8E-21	1.7E-23	—	—
124	Cm-241		—	—	—	—	—
125	Cm-242		1.3E-18	6.4E-19	1.7E-21	—	—
126	Cm-243		1.1E-21	8.1E-23	2.4E-26	—	—
127	Cm-244		2.6E-26	3.0E-27	3.2E-31	—	—
128	Cm-245		—	—	—	—	—
129	Cm-246		—	—	—	—	—
130	Cm-247		—	—	—	—	—
131	Cm-248		—	—	—	—	—
132	Cm-250	(*1)	—	—	—	—	—
133	Bk-249		—	—	—	—	—
134	Cf-249		—	—	—	—	—
135	Cf-250		—	—	—	—	—
136	Cf-251		—	—	—	—	—
137	Cf-252		—	—	—	—	—
138	Cf-254	(*1)	—	—	—	—	—
139	Es-254		—	—	—	—	—
140	Es-255		—	—	—	—	—

2021年3月31日時点の放射能濃度から評価した。

(\*1) 自発核分裂を主な放射性壊変とするため、基準線量相当濃度が評価されていない<sup>3)</sup>。

(\*2) 天然の放射性核種であるため、D/C 相対重要度の評価対象外としている。

表 5.3 重要核種と各シナリオの相対重要度 D/C  
(2021年3月31日時点)

重要核種	被ばくシナリオ		
	跡地建設 (-)	跡地居住 (-)	地下水 (-)
H-3	1.3E-06	6.4E-01	3.1E-01
C-14	1.6E-06	1.5E-02	8.1E-02
Cl-36	2.2E-06	2.3E-02	2.2E-05
Ca-41	1.1E-06	5.3E-02	1.6E-04
Co-60	6.0E-04	2.0E-04	—
Sr-90	5.1E-07	3.3E-02	—
Cs-137	1.0E-03	4.1E-04	—
Eu-152	7.7E-01	2.0E-01	—

表 5.4 JPDR 保管廃棄物の最大放射能濃度とトレンチ基準線量相当濃度との比較

※放射能濃度は (Bq/g)

重要核種	最大放射能濃度 (Dk_max)	最小の基準線量相当濃度 (Ck,s_min)	(Dk_max) /(Ck,s_min)
H-3	6.95E+03	5.3E+02	13.11
C-14	3.72E+01	2.2E+01	1.69
Cl-36	6.83E-01	1.4E+00	0.49
Ca-41	7.69E+01	7.1E+01	1.08
Co-60	9.63E+00	7.6E+02	0.01
Sr-90	2.84E-01	4.2E-01	0.68
Eu-152	5.02E+02	3.2E+01	15.69
Cs-137	3.12E-01	1.5E+01	0.02

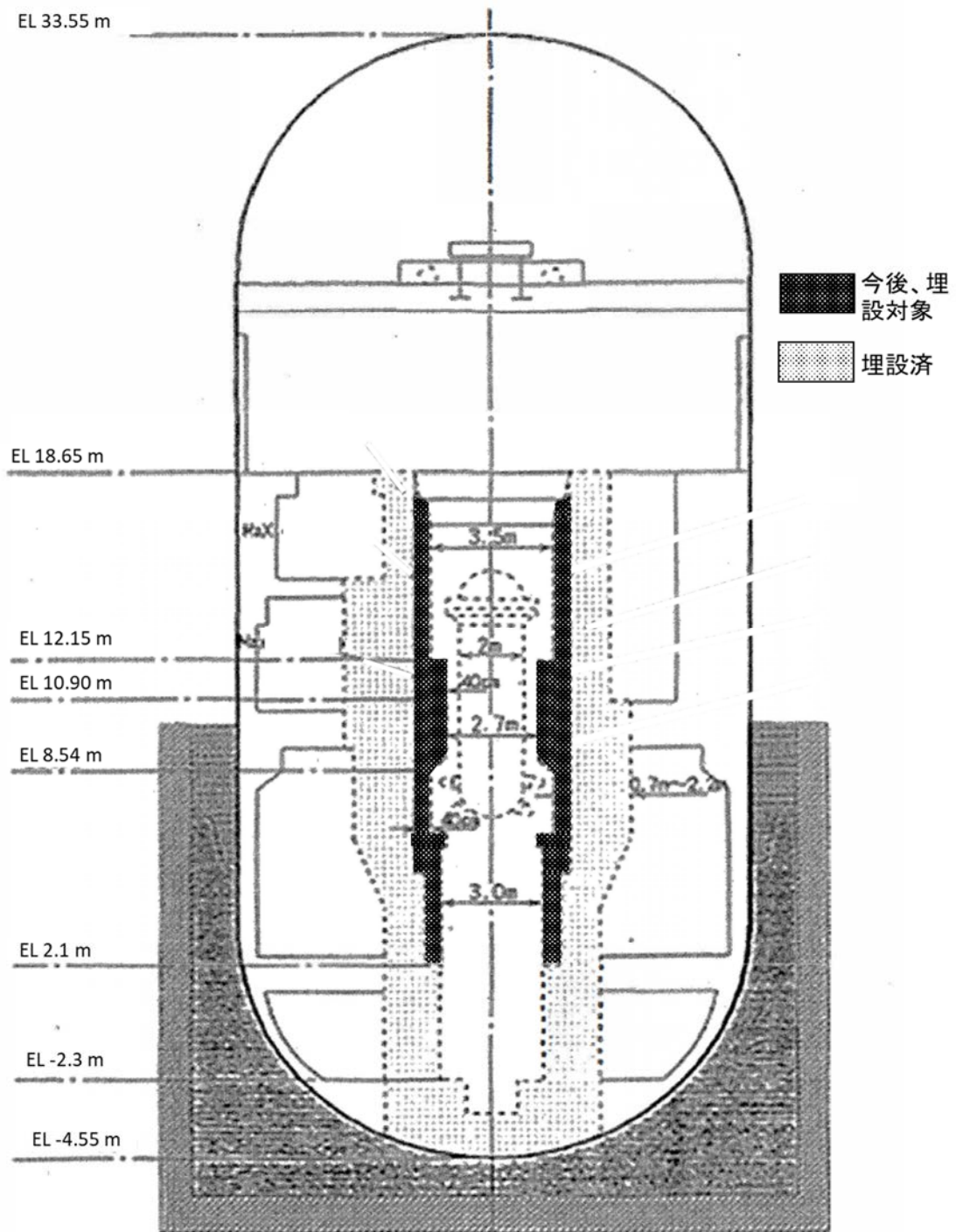


図 2.1 JPDR の炉心及び生体遮蔽コンクリートの概略図



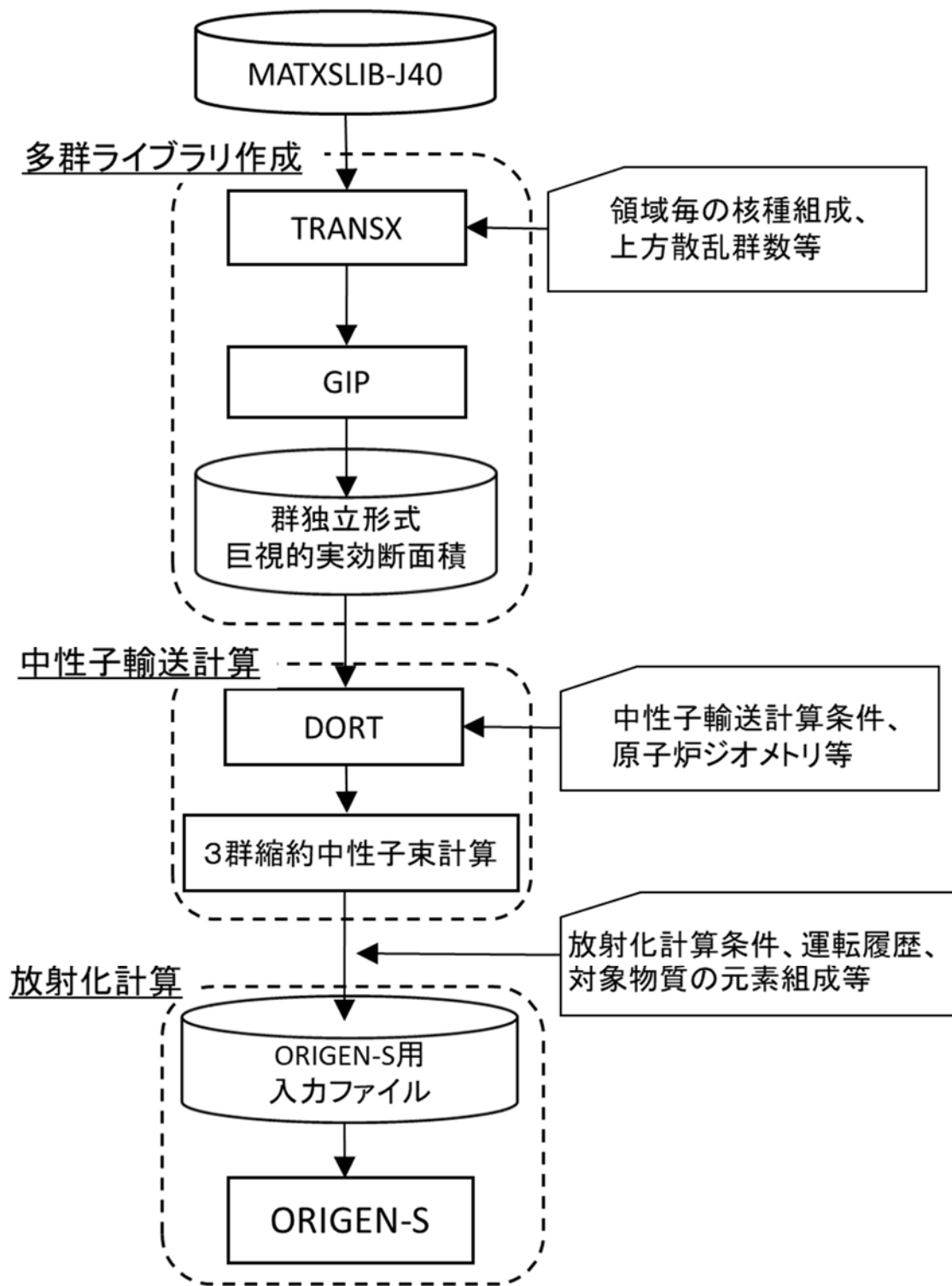


図 3.1 本報における放射化放射能の計算フロー

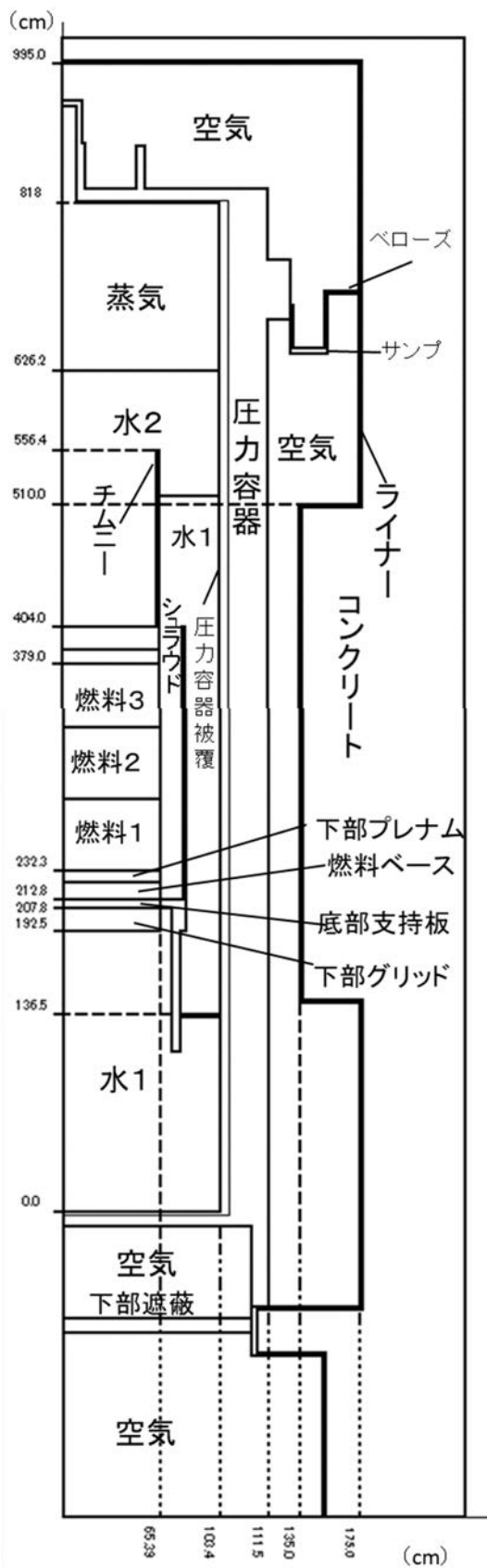


図 3.2 計算に用いた原子炉体系

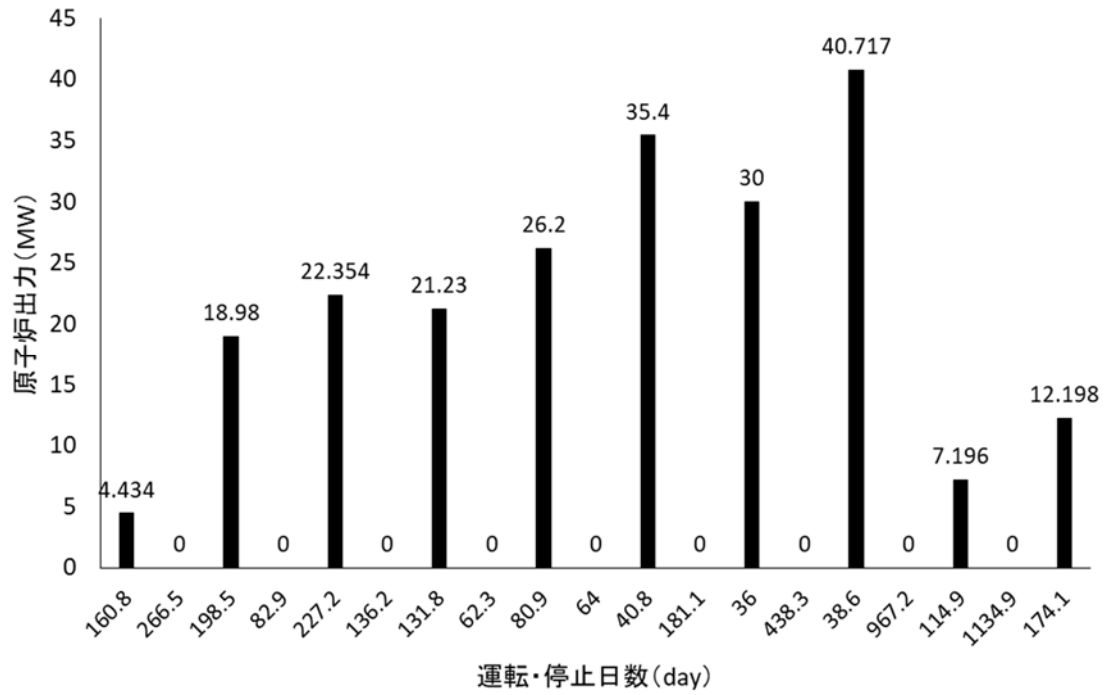


図 3.3 JPDR の運転ヒストグラム

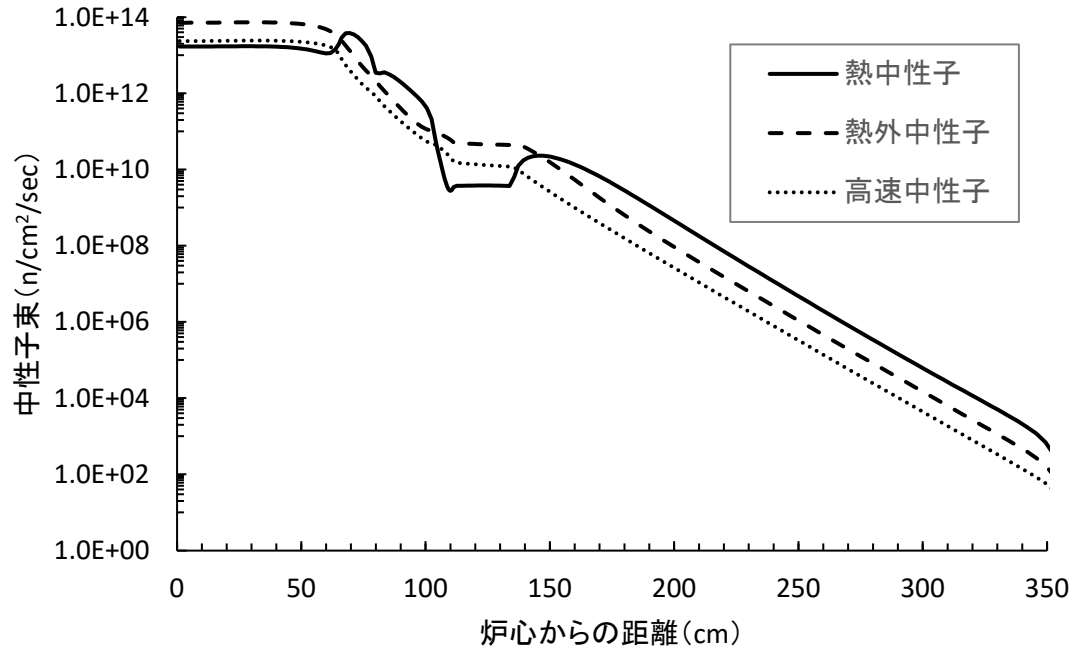


図 4.1 炉心高さでの径方向中性子束分布

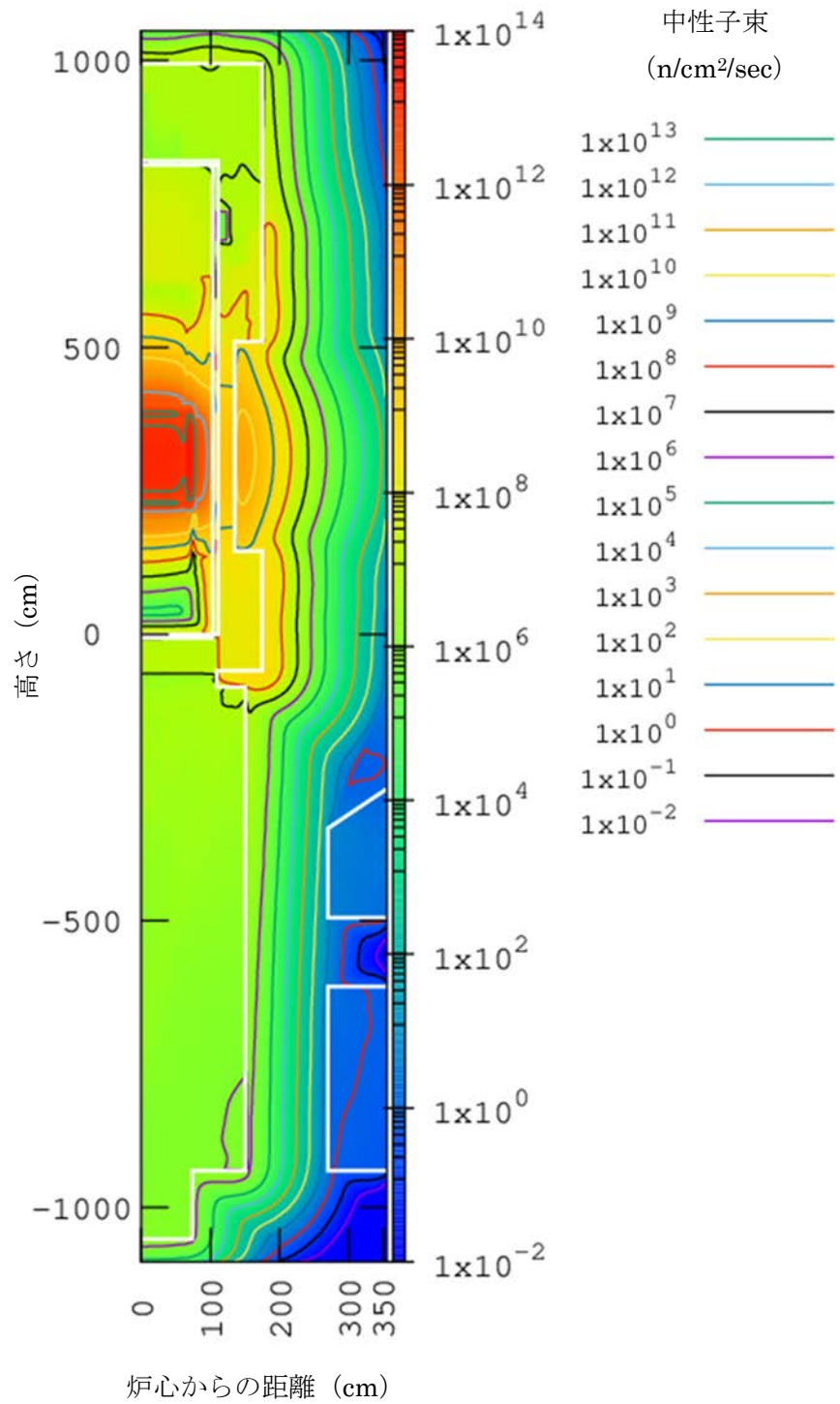


図 4.2.1 中性子束分布のコンター図 (熱中中性子)

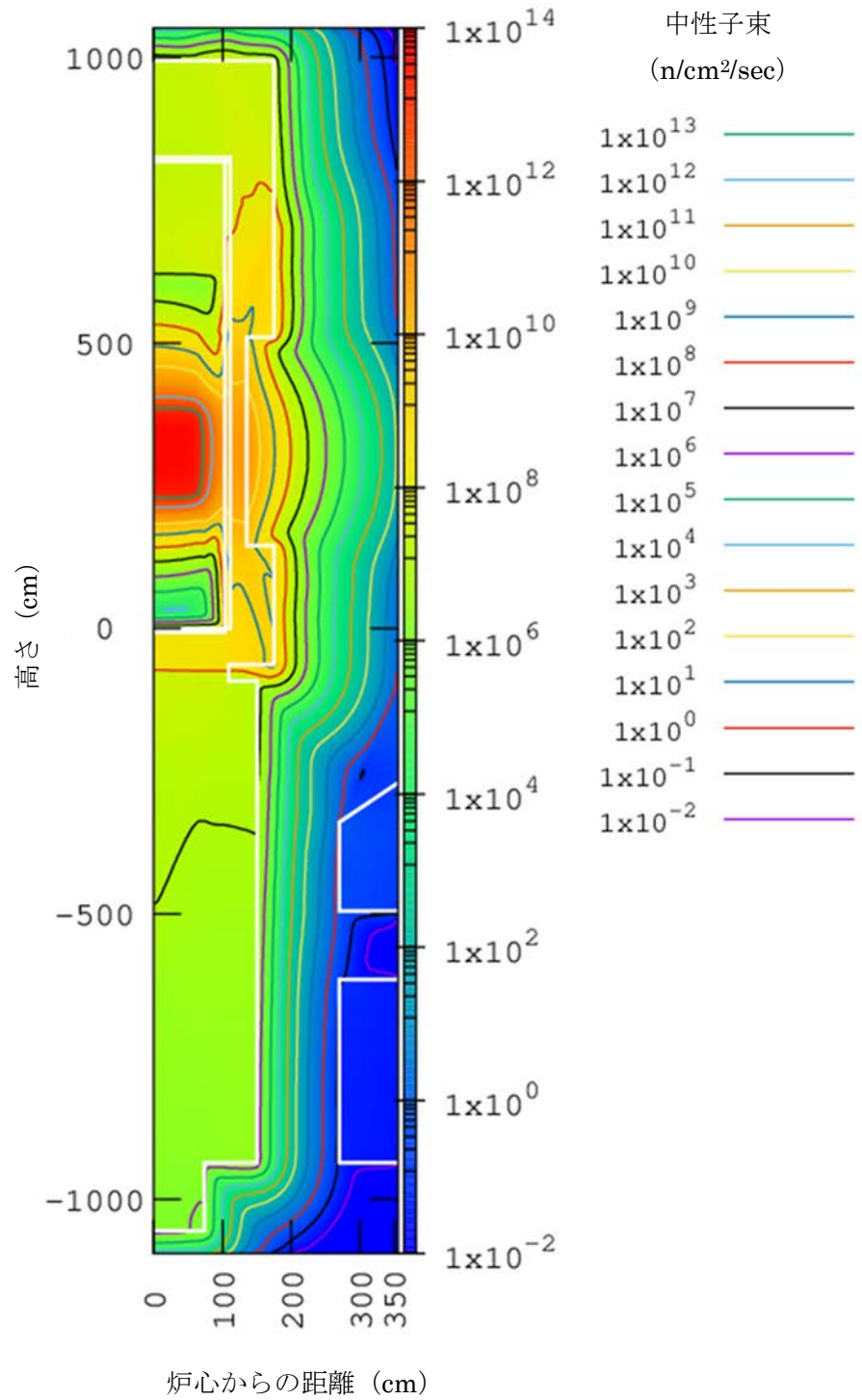


図 4.2.2 中性子束分布のコンター図 (熱外中性子)

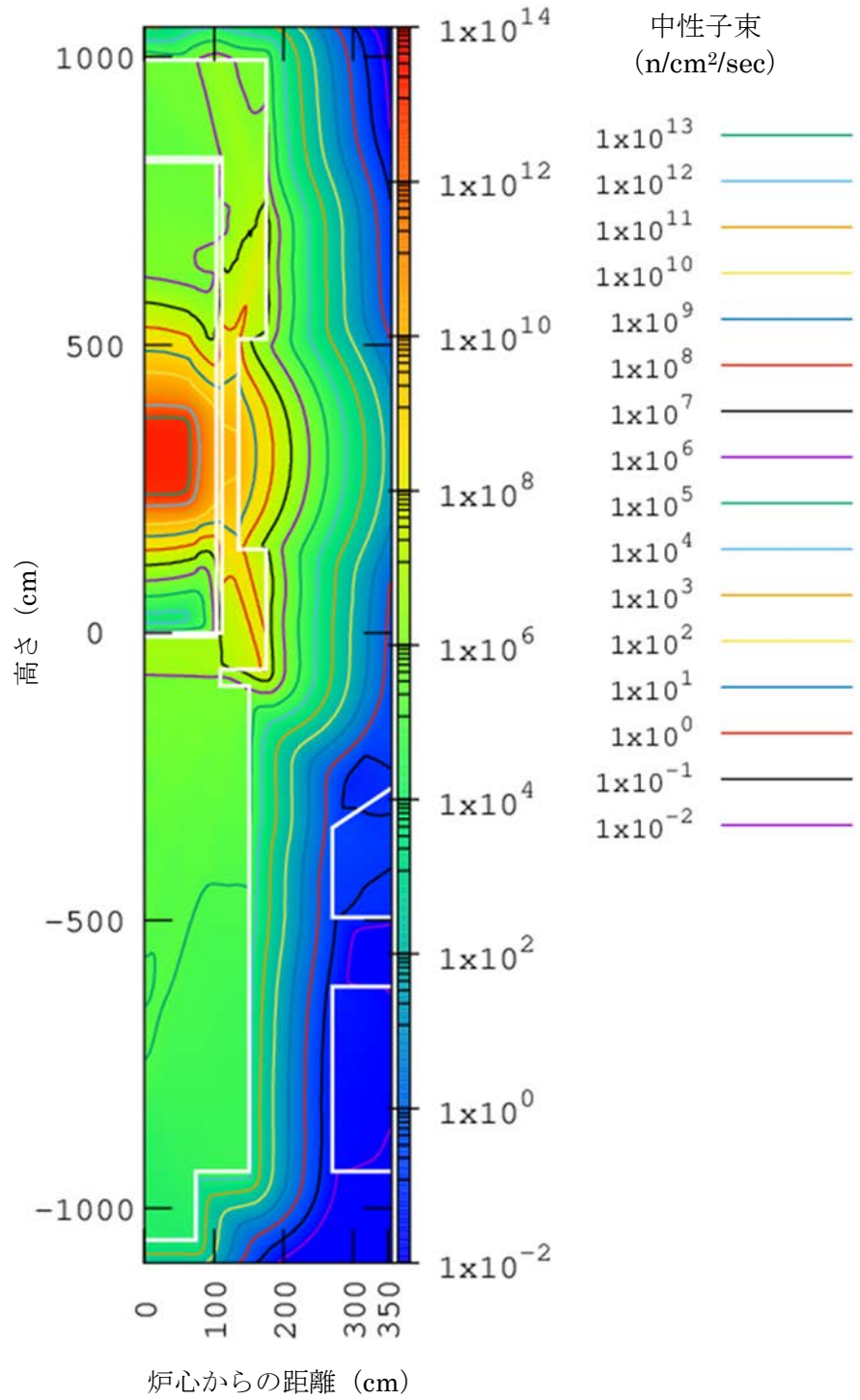


図 4.2.3 中性子束分布のコンター図 (高速中性子)

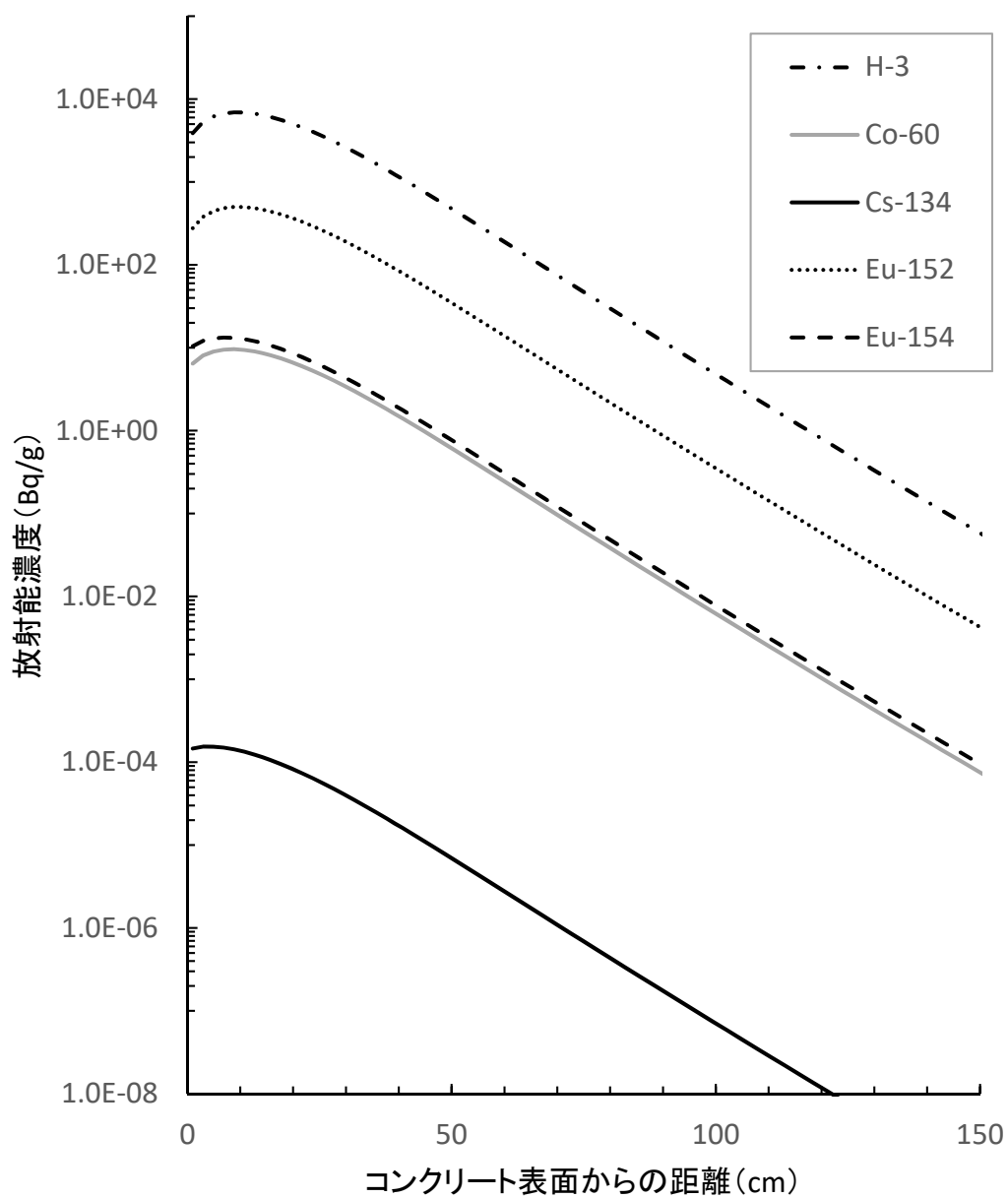


図 4.3 炉心高さの生体遮蔽コンクリートの放射能濃度分布 (2021 年 3 月末時点)



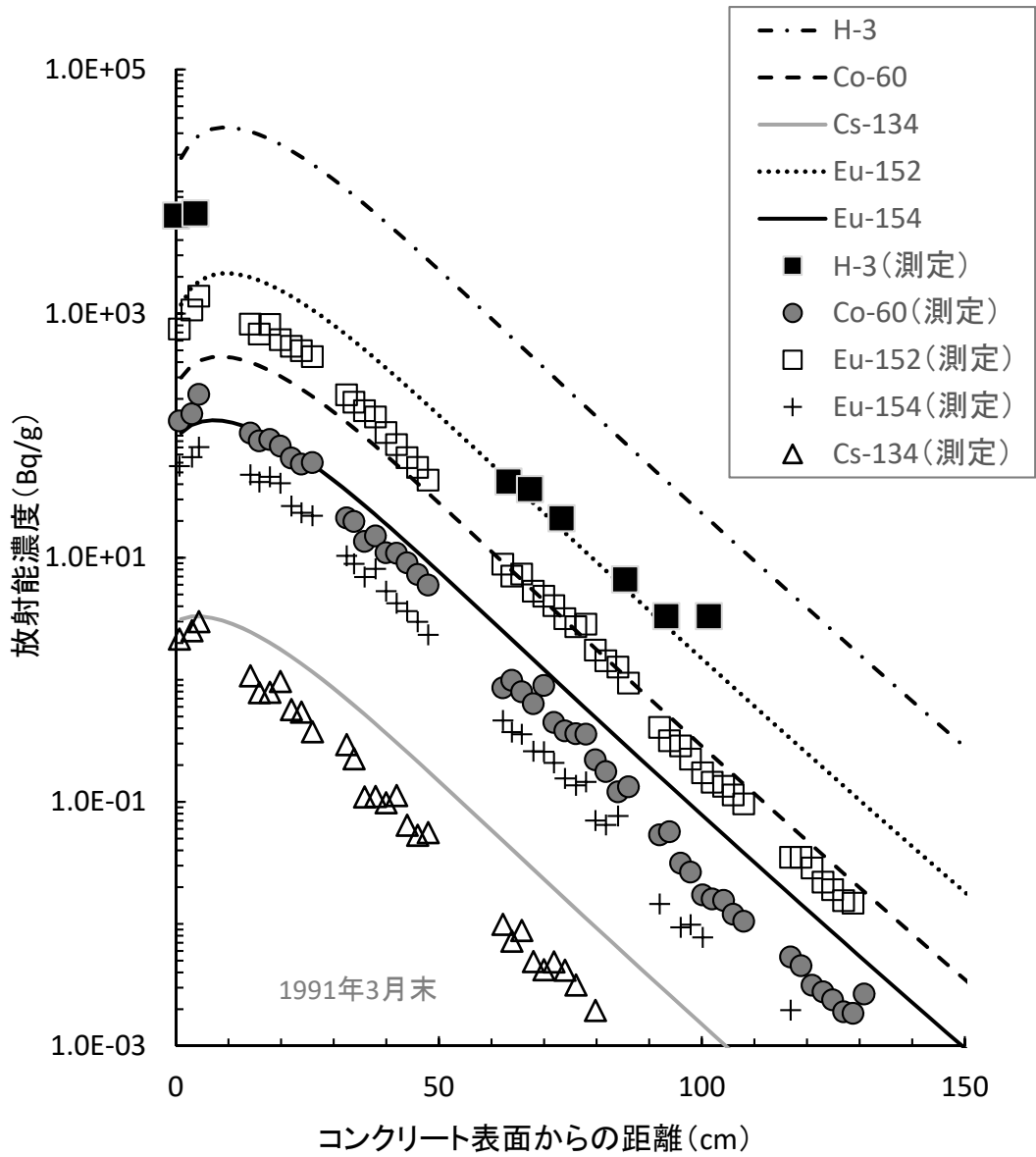


図 4.4 生体遮蔽コンクリート径方向の測定と計算による放射能濃度分布  
(1991年3月末、格納容器底部から高さ 340cm)

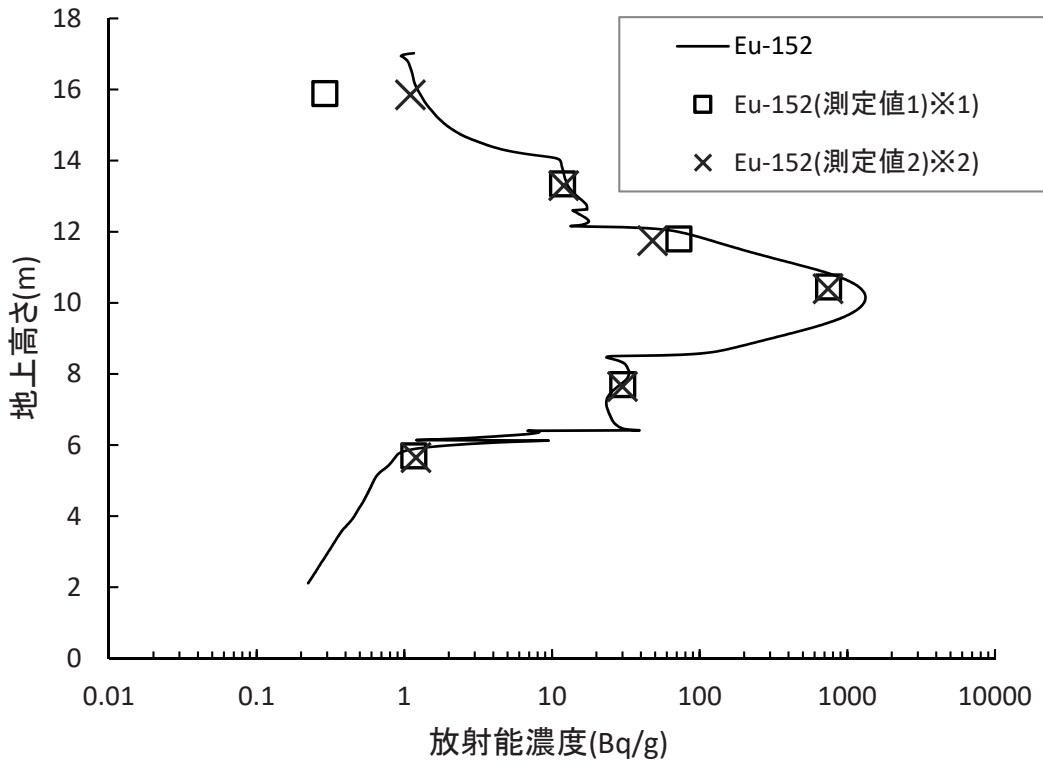
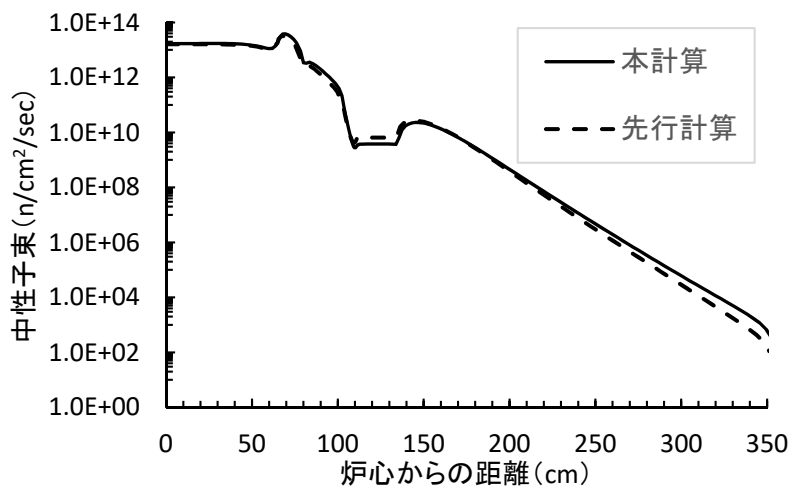
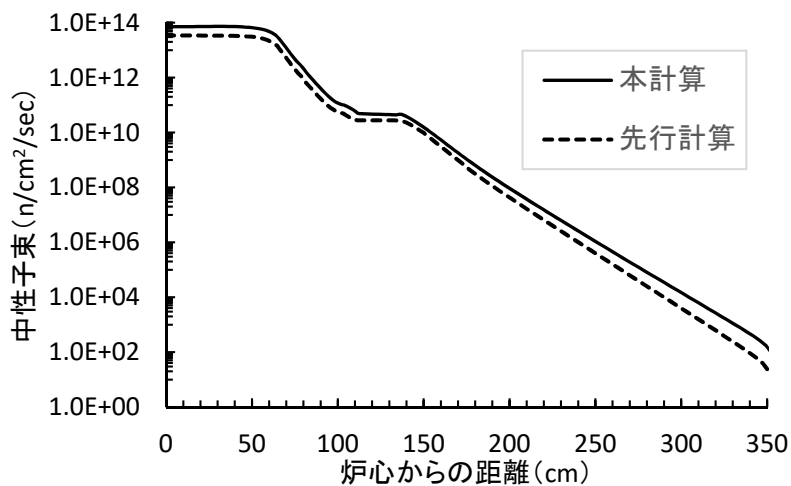


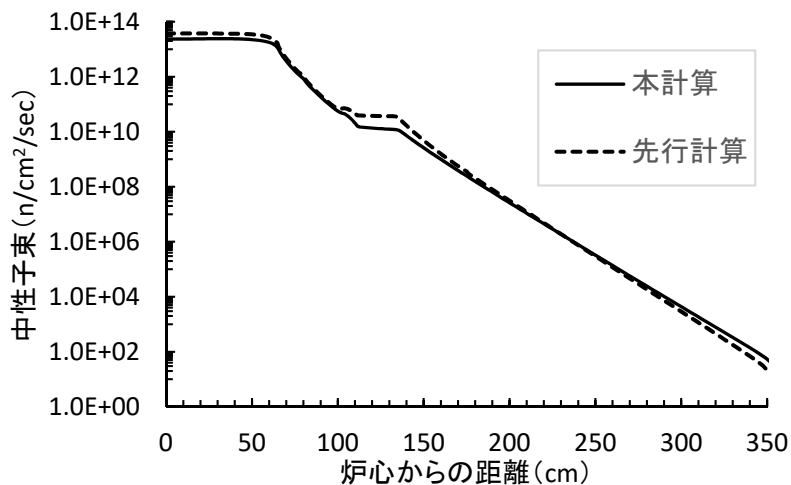
図 4.5 生体遮蔽コンクリート表面の測定と計算による放射能濃度分布（1991年3月末）  
 ※1) 測定値1は参考文献16)、※2) 測定値2は参考文献2) から引用



熱中性子束の分布



熱外中性子束の分布



高速中性子束の分布

図 4.6 先行計算及び本計算における炉心高さの中性子束分布

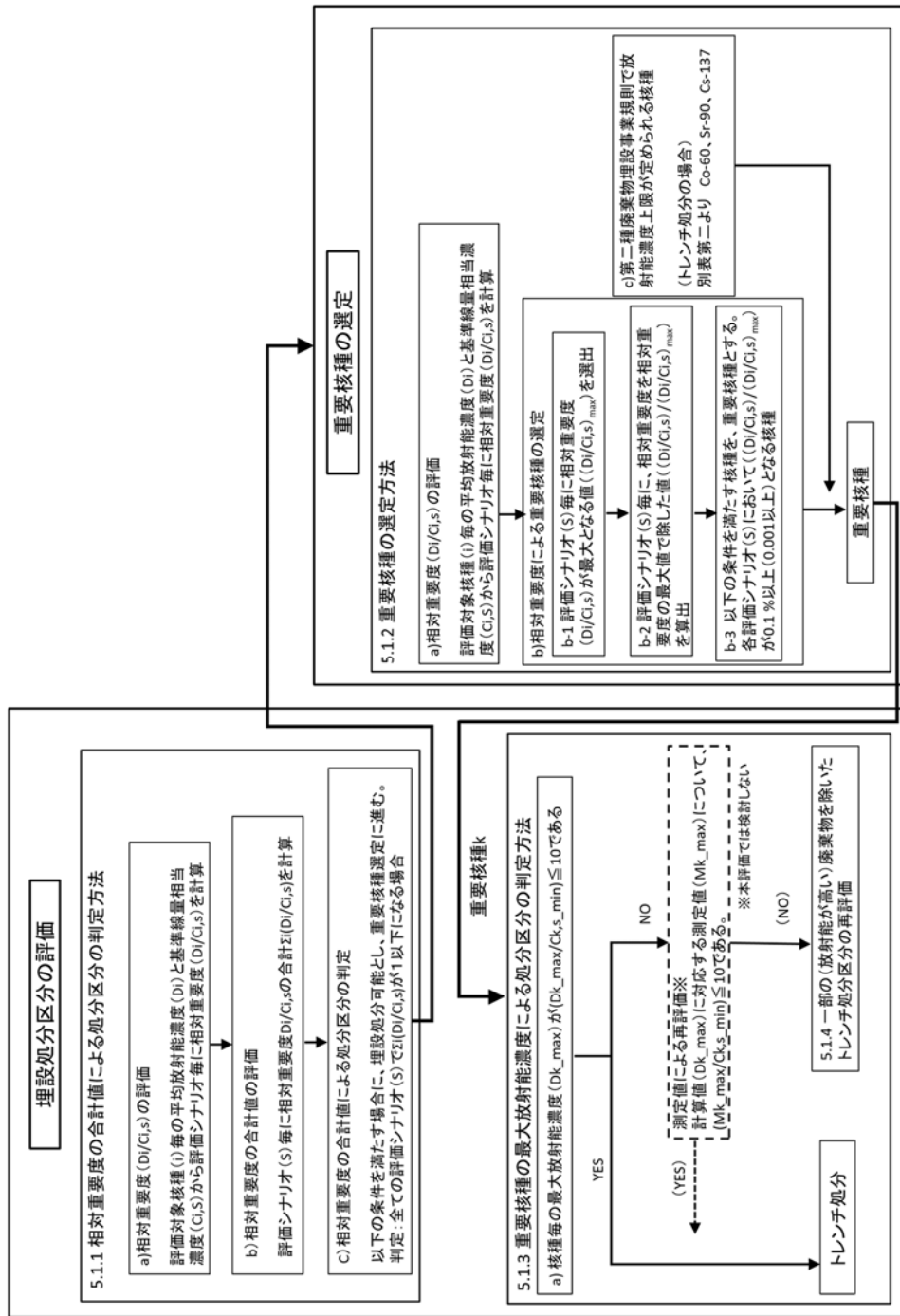
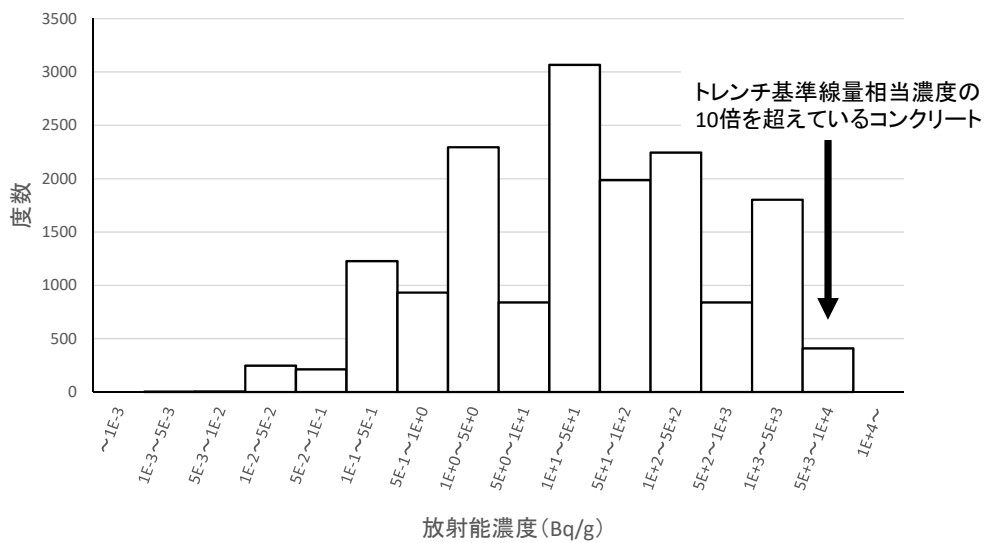
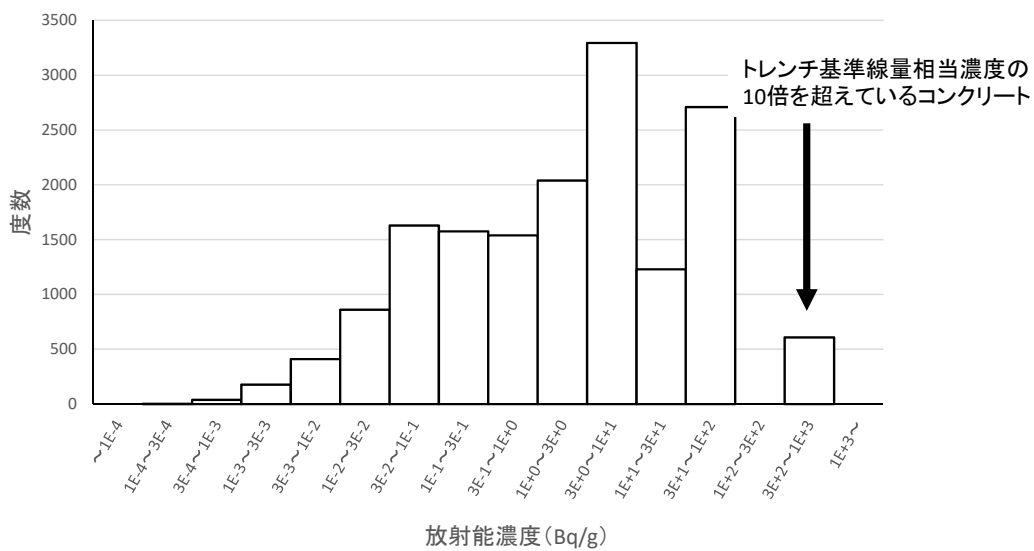


図 5.1 トレンチ処分区分の判定及び重要核種選定のフロー



H-3 の放射能濃度分布



Eu-152 の放射能濃度分布

図 5.2 保管コンクリート中の H-3 及び Eu-152 の放射能濃度分布

## 付録

## コンクリート中の鉄含有量の違いによる中性子束及び放射能濃度の変化

生体遮蔽コンクリートに設置された鉄筋の影響を考慮するためにコンクリート中に鉄を均一に加えたモデルを仮定して DORT 計算及び ORIGEN-S 計算を行い、先行研究<sup>\*</sup>でも行われているように、コンクリート中の鉄含有量に対する中性子束及び放射能濃度の変化について検討した。

コンクリート自体には 1.9wt%の鉄が含まれているが、さらに鉄筋を考慮して、コンクリート中の鉄以外の元素の量は変えずに、鉄の含有量のみ 3.1wt%、8.1wt%、18.1wt%増やしたケース（以下、それぞれ「鉄 5wt%」、「鉄 10wt%」、「鉄 20wt%」という）で計算を行った。DORT 計算で用いたコンクリートの物質組成と原子個数密度を付表-1 に示す。計算には JPDR の炉心付近高さ約 2.7 m の範囲の原子炉体系を用いた。

鉄含有量を変化させたときの径方向の中性子束分布と鉄含有量 1.9wt%に対する中性子束の比をエネルギー群別に付図-1～付図-3 に示す。これらから鉄含有量が多いケースほど中性子束の減衰が大きく、炉心から径方向 300 cm における鉄含有量 5wt%の鉄含有量では鉄筋なしのコンクリートの 6～8 割程度、20wt%のケースでは 1～2 割程度になっていることがわかる。また、付図-4 の中性子スペクトルから、鉄含有量の増加によって中性子束が全エネルギー範囲で下がっていることがわかる。この結果から、コンクリート中の鉄が中性子を遮蔽し減衰をもたらしていると考えられる。

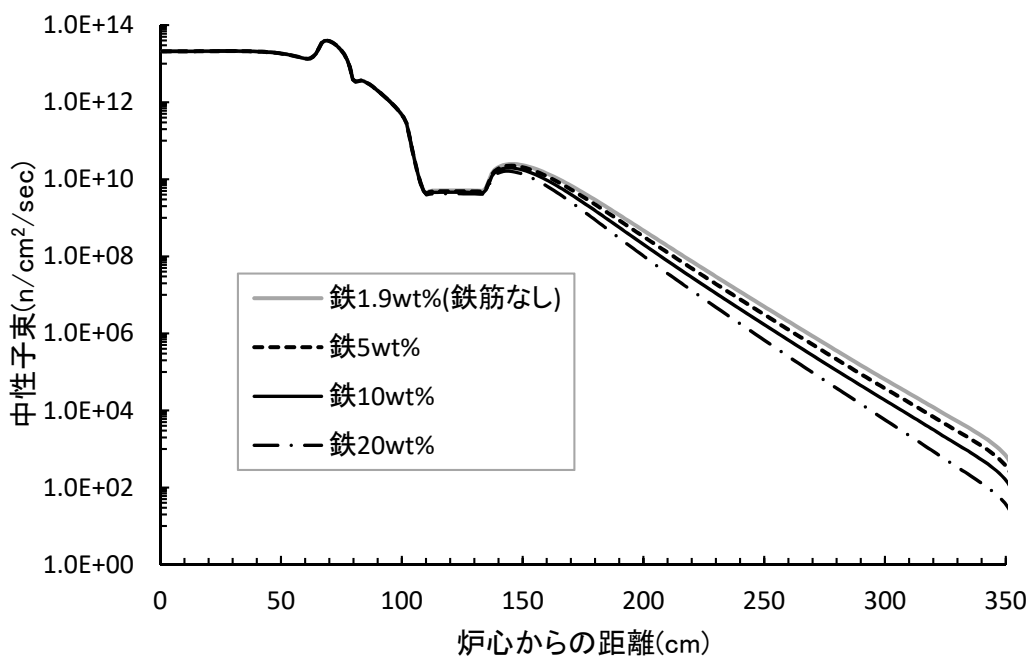
上記の中性子束を基に SCALE6.0 の ORIGEN-S による放射化放射能計算を行った。運転履歴や生体遮蔽コンクリートの組成などの計算条件は報告書本編と同様に設定した。

DORT 計算での鉄含有量に対するコンクリート中の Eu-152 の放射能濃度分布の結果と測定値を付図-5 に示す。これらは原子炉压力容器底部から 340 cm の高さにおける 1991 年 3 月末時点の値である。放射能濃度分布を見ると中性子束と同様に含有量が大きくなるとともにコンクリート中での減衰が大きくなり、鉄 20wt%のときに測定値とよく一致していることがわかる。Eu-152 以外で測定点がそろっている Co-60、Cs-134、Eu-154 の核種について、コンクリートのみの場合と鉄含有量が 20wt%のときの計算結果及び測定値を付図-6 示す。いずれも鉄含有量が 20wt%のときに測定値に傾きが近づき、先行計算<sup>\*</sup>と同様の結果が得られた。このように、鉄筋の成分を考慮することによって中性子束及び放射能濃度が変化することが本参考計算で確認された。

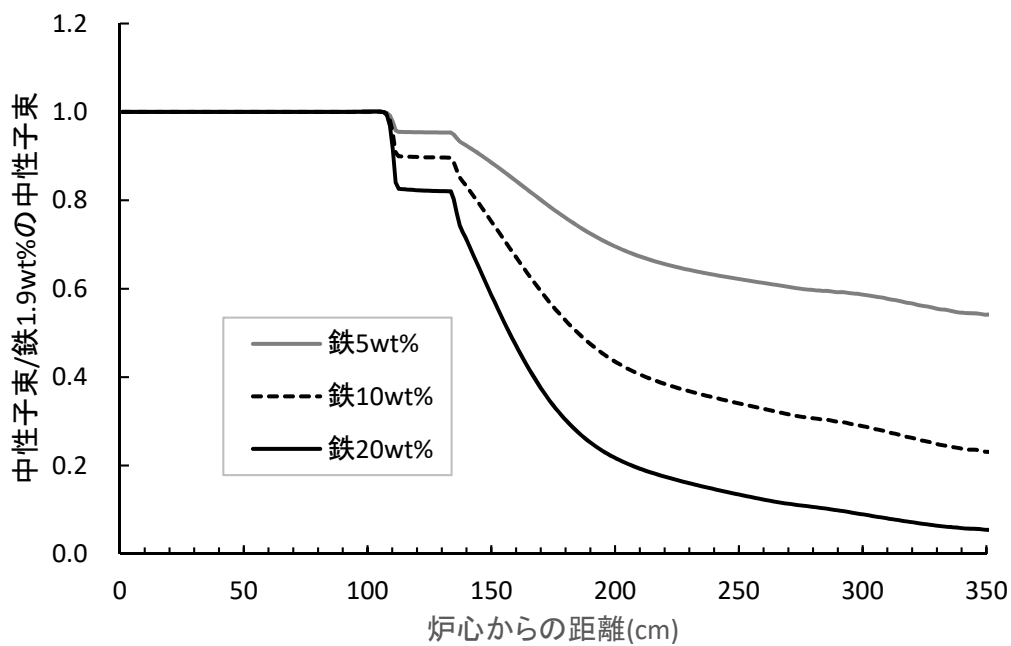
<sup>\*</sup>助川武則ほか，“原子炉の廃止措置における残存放射能評価方法の検討（受託研究）”，JAERI-Tech 2001-058, 2001, p.14.

付表-1 コンクリートの核種組成と原子個数密度の設定

元素	鉄 1.9wt% (コンクリートのみ)	鉄 5wt%	鉄 10wt%	鉄 20wt%
H	1.0592E-02	1.0592E-02	1.0592E-02	1.0592E-02
O	4.5134E-02	4.5134E-02	4.5134E-02	4.5134E-02
Na	8.4026E-04	8.4026E-04	8.4026E-04	8.4026E-04
Al	2.6571E-03	2.6571E-03	2.6571E-03	2.6571E-03
Si	1.6072E-02	1.6072E-02	1.6072E-02	1.6072E-02
Ca	2.5612E-03	2.5612E-03	2.5612E-03	2.5612E-03
Fe	4.8571E-04	1.2782E-03	2.5564E-03	5.1128E-03



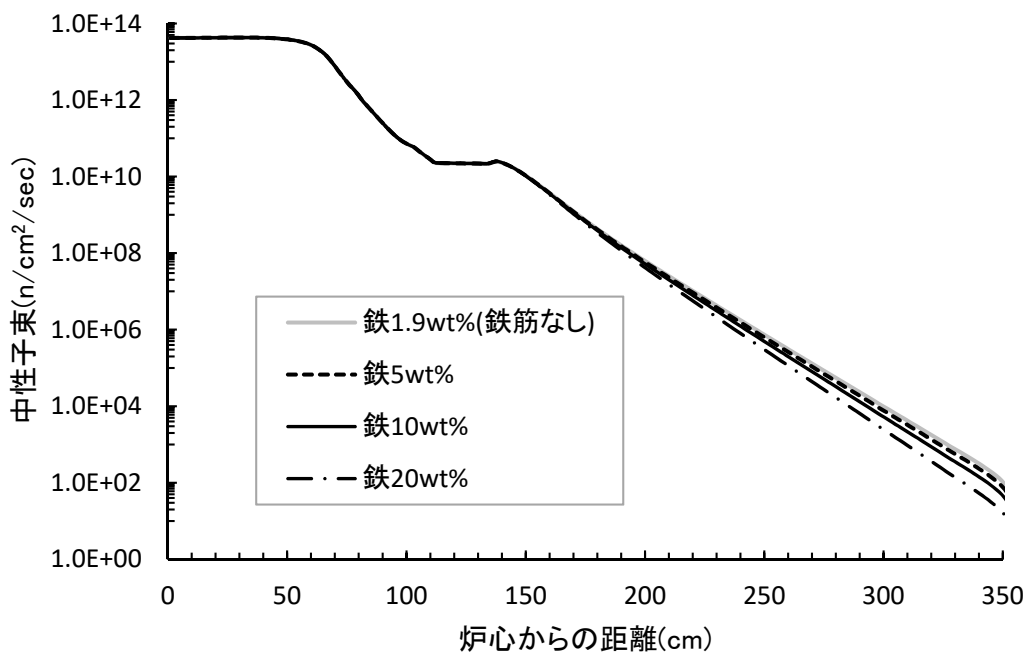
熱中性子束の分布



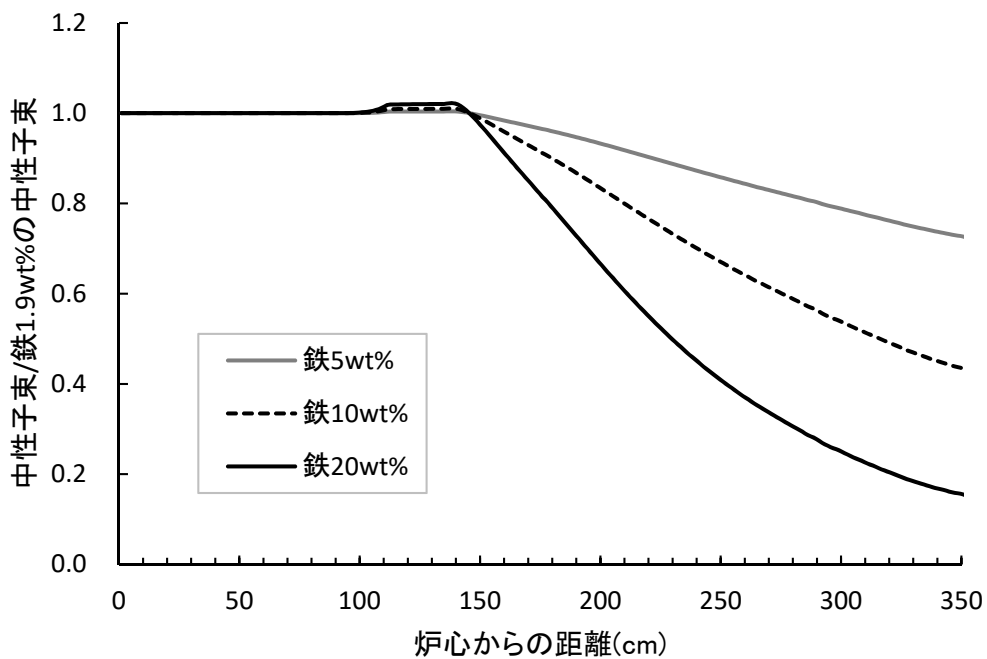
熱中性子束の分布

付図-1 鉄含有量の変化による熱中性子束分布の変化



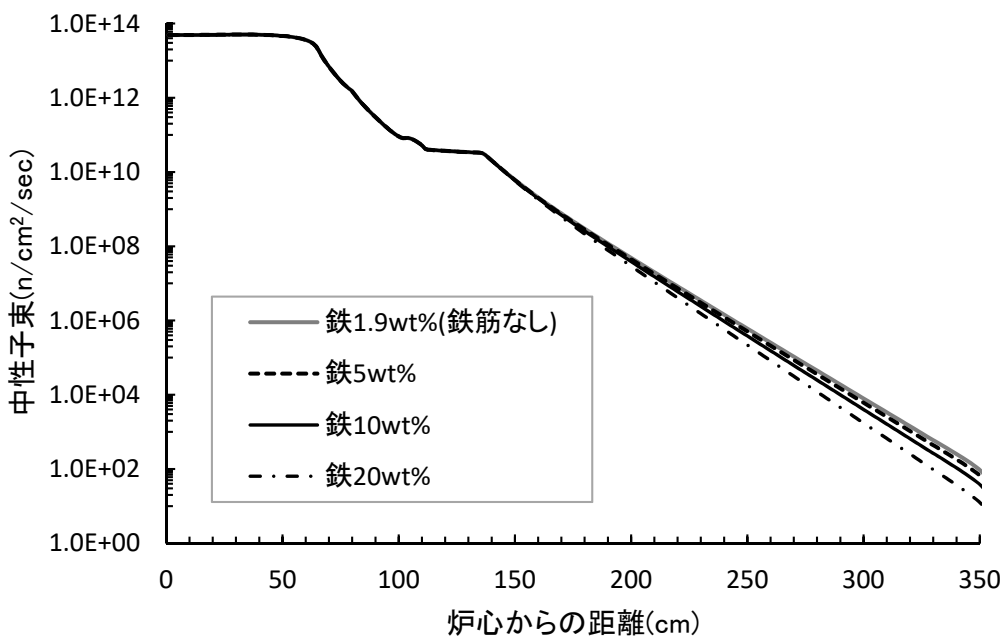


熱外中性子束の分布

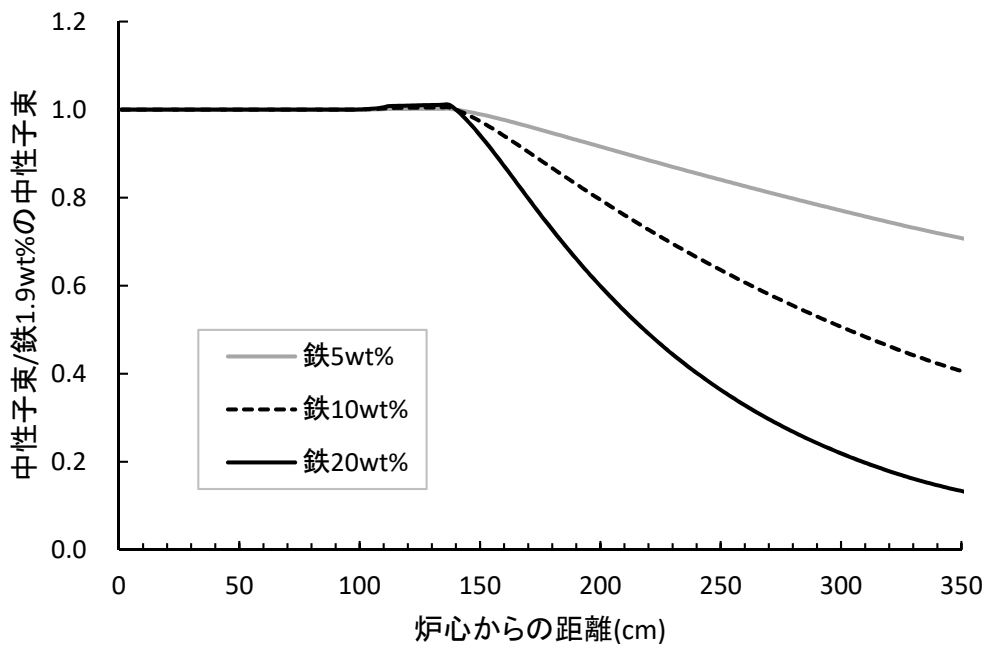


熱外中性子束の分布

付図-2 鉄含有量の変化による熱外中性子束分布の変化

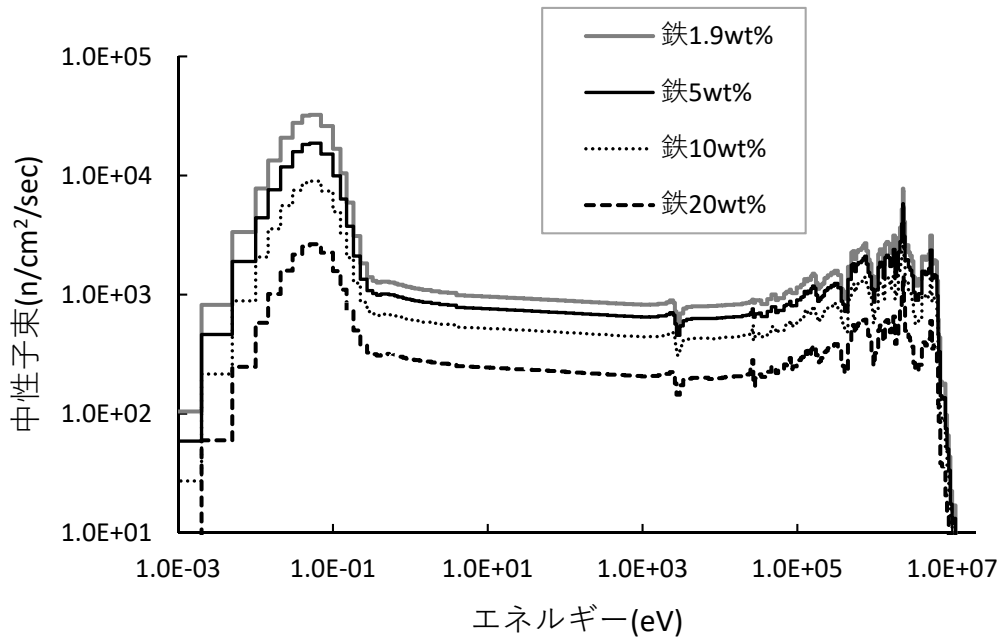


高速中性子束の分布

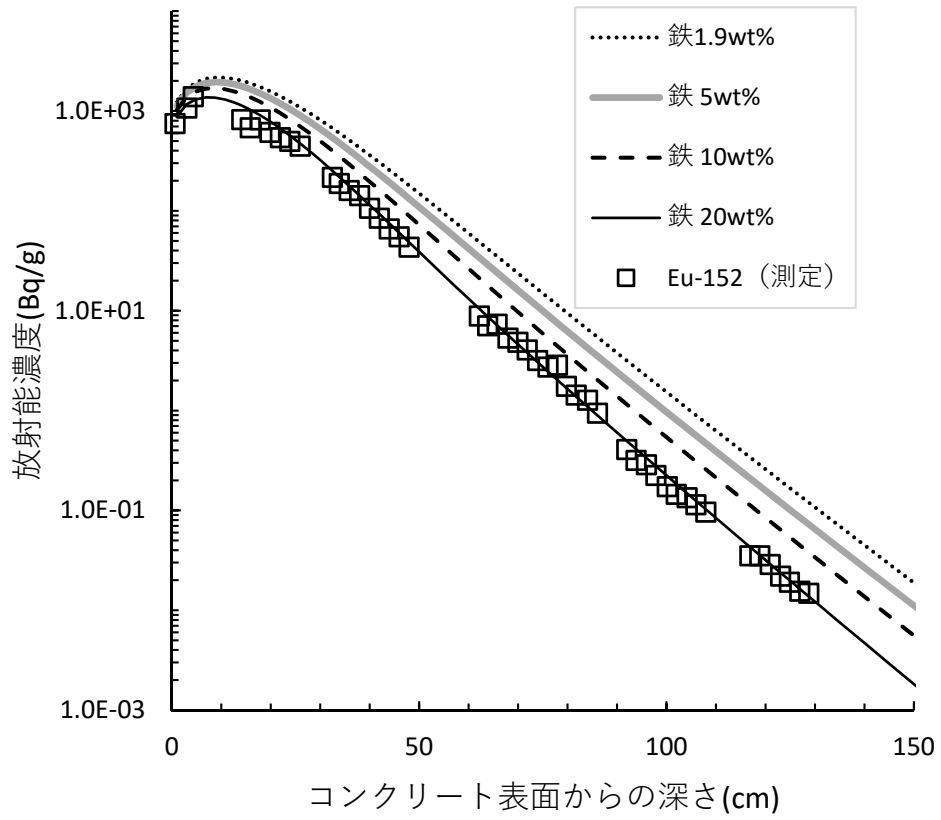


高速中性子束の分布

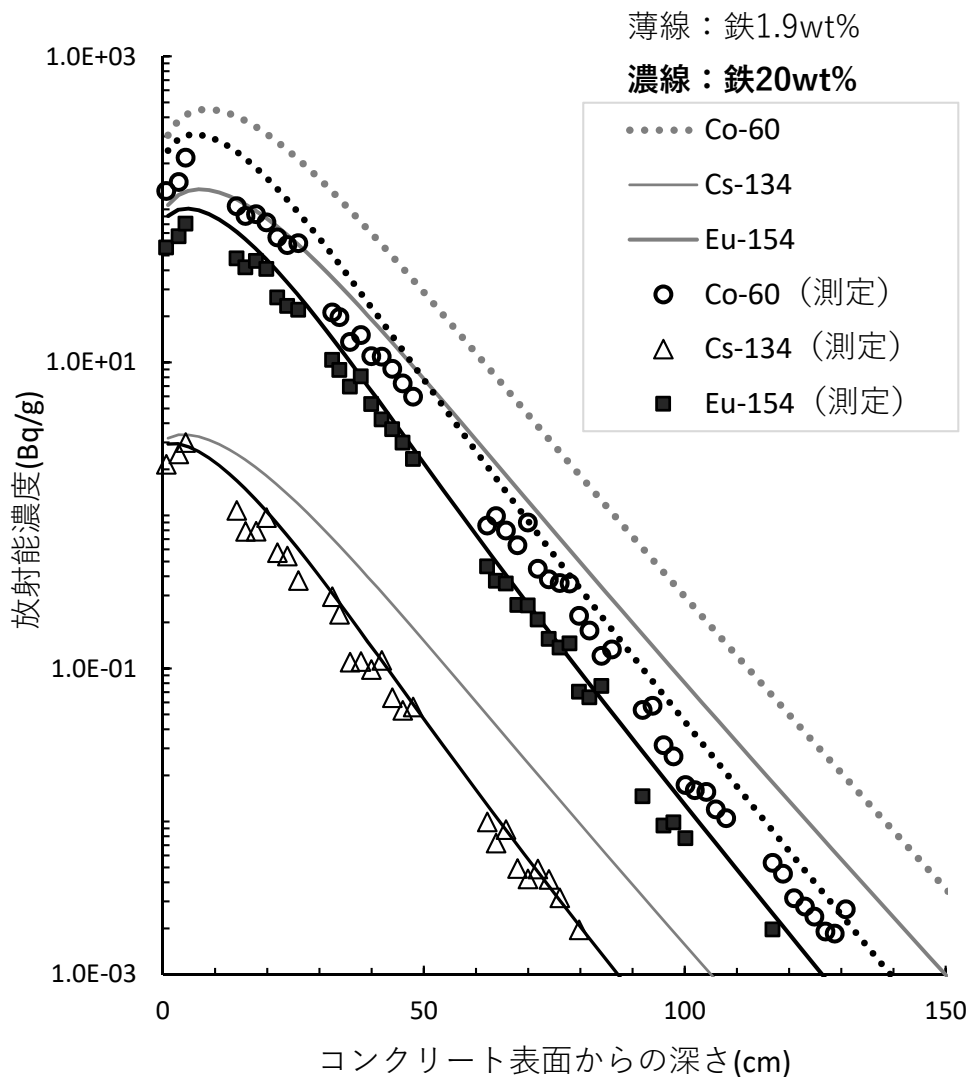
付図-3 鉄含有量の変化による高速中性子束分布の変化



付図-4 鉄含有量による中性子スペクトルの変化  
(炉心から 300cm、格納容器より高さ 305cm の生体遮蔽コンクリートにおける)



付図-5 鉄含有量の変化による Eu-152 の放射能濃度分布と測定値  
(1991年3月末、格納容器底部より340cm高さ)



付図-6 鉄含有量 1.9wt%と 20wt%のときの核種毎の放射能濃度分布と測定値  
 (1991年3月末、格納容器底部より340cm高さ)

※グラフ中の線のスタイルは核種による。濃線が鉄 20wt%、薄線が鉄 1.9wt%

This is a blank page.



