



高速炉実機燃焼解析システムの開発（その3）
（委託研究）

Development of Burnup Analysis System for Fast Reactor (3)
(Contract Research)

平井 康志* 兵頭 秀昭* 巽 雅洋* 横山 賢治

Yasushi HIRAI*, Hideaki HYOUDOU*, Masahiro TATSUMI* and Kenji YOKOYAMA

次世代原子力システム研究開発部門

炉心解析グループ

Reactor Physics Analysis and Evaluation Group
Advanced Nuclear System Research and Development Directorate

October 2008

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

高速炉実機燃焼解析システムの開発（その3）
（委託研究）

日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門 **FBR** 要素技術ユニット
平井 康志*、兵頭 秀昭*、巽 雅洋*、横山 賢治

（2008年7月24日受理）

高速炉の実用化に向けて高速炉実機炉心の核特性予測精度を向上させることは、合理的で高性能な炉心を設計してプラントの経済性の向上を図る上でも信頼性および安全性の裕度をより高める上でも、重要な研究課題である。これまでの研究では炉定数調整法を適用することにより、**JUPITER** 等の臨界実験の成果を活用して核設計精度の向上を達成しているが、高速炉の炉心設計では燃焼核特性の精度向上も重要となる。このため高速実験炉「常陽」、高速原型炉「もんじゅ」等の高速炉実機の燃焼関連データを有効に活用して、更なる精度向上を図る必要がある。特に近年ではマイナーアクチニド等の効率的な燃焼方式の検討も重要な課題となっている。

しかしながら従来の核特性解析システムは臨界実験体系を想定しているため、燃料組成の燃焼変化を考慮した計算機能は十分には整備されておらず、機能的な制限により解析作業が極めて非効率的になるという問題がある。そこで各計算機能を必要に応じて組み立てたり分解したりすることが可能な、高速炉実機の燃焼解析評価および予測精度向上に資する高速炉実機燃焼解析システムを開発している。

これまでに実施した「高速炉実機燃焼解析システムの開発（その2）」においては、集合体の詳細幾何形状、燃料装荷パターン等のモデルの設計と実装を行った。またそれらのモデルを構築するためにシステムに与える入力ファイルの仕様を作成し、入力ファイル処理機能を実装した。本研究では「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発（その2）」の成果を利用して、マクロ定数作成機能・炉心計算機能・燃焼計算機能を組み込んだプロトタイプシステムの実装を行った。さらに複数サイクルにまたがる燃焼解析において、簡便なユーザ入力をもとに適切な燃料交換・シャッフリングを行う機能を実装した。

本報告書は原子燃料工業が日本原子力研究開発機構との委託研究契約により実施した研究成果を含むものである。

大洗研究開発センター（駐在）：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

*原子燃料工業（株）

Development of Burnup Analysis System for Fast Reactor (3)
(Contract Research)

Yasushi HIRAI*, Hideaki HYODOU*, Masahiro TATSUMI* and Kenji YOKOYAMA

FBR System Technology Development Unit
Advanced Nuclear System Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 24, 2008)

Improvement of the prediction accuracy for neutronics property of fast reactor cores is one of the most important study domains in terms of both achievement of high economical plant efficiency based on reasonably advanced designs and increased reliability and safety margins. In the previous study, considerable improvement of the prediction accuracy in neutronics design has been achieved in the development of the unified constants library as a fruit of a series of critical experiments such as JUPITER in application of the reactor constant adjustments. For design of fast reactor cores, however, improvement of not only static properties but also burnup properties is very important. For such purposes, it is necessary to improve the prediction accuracy of burnup properties using actual burnup data of “JOYO” and “MONJU”, experimental and prototype fast reactors. Recently, study on effective burnup method for minor actinides becomes important theme.

However, there is a problem that analysis work tends to become inefficient for lack of functionality suitable for analysis of composition change due to burnup since the conventional analysis system is targeted to critical assembly systems. Therefore development of burnup analysis system for fast reactors with modularity and flexibility is being done that would contribute to actual core design work and improvement of the prediction accuracy.

In the previous study on “Development of Burnup Analysis System for Fast Reactors (2)” in FY2006, design and implementation of models for detailed geometry of assembly, fuel loading pattern and so on, accompanied with specification and implementation of input file handling to construct data models. In the present study, a prototype system has been implemented in which functionalities are embedded for calculation of macroscopic cross section, core calculation and burnup calculation applying the fruits of the study “Development of a Framework for the Neutronics Analysis System for Next Generation (2)”. It also implements a fuel reloading/shuffling function controlled with simple description in user input for multi-cycle burnup analysis.

Keywords: Fast Reactor, Neutronics Design, Burnup Calculation, Analysis Code System, Object-Oriented Technique

This work was partly performed by Nuclear Fuel Industries under contract with Japan Atomic Energy Agency.

* Nuclear Fuel Industries, Ltd.

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	背景と目的.....	1
1.2	本報告書の内容.....	2
2.	実機燃焼解析システムのプロトタイプ.....	3
2.1	プロトタイプの機能概要.....	3
2.1.1	マクロ定数計算機能.....	4
2.1.2	炉心計算機能.....	5
2.1.3	燃焼計算機能.....	6
2.1.4	リスタートファイル処理機能.....	7
2.2	リスタートファイル設計.....	8
2.2.1	基本方針.....	8
2.2.2	リスタートファイルの構造.....	8
2.3	入力ファイル設計.....	11
2.3.1	ユーザ入力ファイル（計算条件ファイル）.....	12
2.3.2	集合体詳細幾何形状ファイル.....	15
2.3.3	装荷パターンファイル.....	19
2.3.4	燃料等組成データファイル.....	22
2.3.5	炉心特性データファイル.....	23
2.3.6	断面積情報ファイル.....	25
2.4	プロトタイプの詳細設計.....	27
2.4.1	入力処理部.....	27
2.4.2	炉心計算部.....	32
2.4.3	燃焼計算部.....	33
2.4.4	全体制御部.....	34
3.	機能検証.....	35
3.1	検証用のテスト環境.....	35
3.2	マクロ定数計算機能.....	36
3.3	炉心計算機能.....	48
3.4	燃焼計算機能.....	65
3.5	リスタートファイル処理機能.....	67
3.5.1	検証用体系の集合体装荷パターン.....	67
3.5.2	計算メッシュの幾何形状毎の検証.....	68
4.	まとめ.....	75
	参考文献.....	75
	付録A 「常陽」MK-II 入力ファイル.....	79
	付録B シャッフリング検証用体系の装荷パターンファイル.....	101
	付録C システムが作成した炉心計算コード用入力ファイル.....	105

Contents

1. Introduction.....	1
1.1 Purpose and background of system development.....	1
1.2 Contents of this report.....	2
2. Overview of the prototype of the burnup analysis system.....	3
2.1 Overview of the functions of the system.prototype.....	3
2.1.1 Calculation of macroscopic cross section.....	4
2.1.2 Core calculation.....	5
2.1.3 Burnup calculation.....	6
2.1.4 Handling of the Restart files.....	7
2.2 Design of the restart file.....	8
2.2.1 Basic design policy.....	8
2.2.2 Structure of the restart file.....	8
2.3 Examination of model of internal data.....	11
2.3.1 User input file (calc condition file).....	12
2.3.2 Geometry file.....	15
2.3.3 Pattern file.....	19
2.3.4 Material file.....	22
2.3.5 Core property file.....	23
2.3.6 Cross section file.....	25
2.4 Detailed design of the system prototype.....	27
2.4.1 Input processors.....	27
2.4.2 Core calculation processors.....	32
2.4.3 Burnup calculation processors.....	33
2.4.4 System controll processors.....	34
3. Verification.....	35
3.1 Environments for verification of the system prototype.....	35
3.2 Calculation of macroscopic cross section.....	36
3.3 Core calculation.....	48
3.4 Burnup calculation.....	65
3.5 Handling of the restart files.....	67
3.5.1 Loading pattern for verification.....	67
3.5.2 Verification for each mesh geometry.....	68
4. Summary.....	75
Reference.....	75
Appendix A "JOYO" MK-II input files	79
Appendix B Loading pattern files for verification of fuel shuffling.....	101
Appendix C Core calculation input files generated by the system.....	105

表リスト

表 1 ユーザ入力ファイルのセクション一覧	12
表 2 集合体詳細幾何形状ファイルのセクション一覧	15
表 3 装荷パターンファイルのセクション一覧	19
表 4 燃料等組成データファイルのセクション一覧	22
表 5 炉心特性データファイルのセクション一覧	23
表 6 断面積情報ファイルのセクション一覧	25
表 7 テキストファイル処理に関するクラス一覧	27
表 8 燃料領域の数密度の比較結果	37
表 9 インシュレータ領域の数密度の比較結果	38
表 10 吸収体領域の数密度の比較結果	39
表 11 燃料領域の実効マクロ断面積の比較結果	40
表 12 インシュレータ領域の実効マクロ断面積の比較結果	43
表 13 吸収体領域の実効マクロ断面積の比較結果	46
表 14 CITATION-FBR の計算結果の比較	48
表 15 燃焼前後の数密度一覧及び Burnup による処理結果との比較	66
表 16 Hex-Z メッシュにおけるマテリアル番号	68
表 17 マテリアル情報の移動 (Hex-Z→Hex-Z)	71
表 18 マテリアル情報の移動 (Hex-Z→Tri-Z)	72
表 19 マテリアル情報の移動 (Tri-Z→Hex-Z)	73
表 20 マテリアル情報の移動 (Tri-Z→Tri-Z)	74

図リスト

図 1	リスタートファイルの構造	8
図 2	file セクションの入力例	13
図 3	calc_system セクションの入力例	13
図 4	solver セクションの入力例	14
図 5	step セクションの入力例	14
図 6	primitive セクションの入力例	15
図 7	ベースとなる幾何形状の定義 (回転角 0 [rad])	16
図 8	pin セクションの入力例	16
図 9	lattice セクションの入力例	17
図 10	segment セクションの入力例	17
図 11	assembly セクションの入力例	18
図 12	fuels および load_fuels セクションの入力例	20
図 13	zone_set セクションの入力例	21
図 14	material セクションの入力例	22
図 15	assembly セクションの入力例	23
図 16	rcc セクションの入力例	24
図 17	xs_table セクションの入力例	25
図 18	テキストファイル処理に関するクラス図	28
図 19	入力処理制御に関するクラス図	29
図 20	リスタートファイルの構成	30
図 21	リスタートファイル処理のコード例	30
図 22	リスタートファイル処理に関するクラス図	31
図 23	炉心計算部のクラス図	32
図 24	燃焼計算部のクラス図	33
図 25	システムが作成した CITATION-FBR の入力	49
図 26	既存の計算における CITATION-FBR の入力	57
図 27	燃料交換・シャッフリング検証用の装荷パターン	67
図 28	Tri-Z メッシュにおけるマテリアル番号 (集合体アドレス 1B1)	69
図 29	Tri-Z メッシュにおけるマテリアル番号 (集合体アドレス 1A1)	69

1. はじめに

1.1 背景と目的

高速炉の実用化に向けて、高速炉実機炉心の核特性予測精度を向上させることは、合理的で高性能な炉心を設計してプラントの経済性の向上を図る上でも、信頼性および安全性の裕度をより高める上でも、極めて重要な研究課題となっている。これまでの研究では、炉定数調整法を適用することにより、**JUPITER**等の臨界実験の成果を最大限有効に反映した統合炉定数を開発し、核設計精度の向上を達成している。しかし、高速炉の炉心設計においては、臨界性、反応率、制御棒価値等のいわゆる静核特性だけでなく、燃焼反応度損失、増殖比といった燃焼核特性の精度良い評価も重要である。このためには、高速実験炉「常陽」や高速原型炉「もんじゅ」等の実機燃焼データを有効に活用して燃焼核特性の精度向上を図る必要がある。特に近年では、マイナーアクチニド等の効果的な燃焼方式の検討も重要な課題となっている。

実機で測定された燃焼関連データを核設計精度向上に活用するには、実験データが持つ情報を最大限引き出す必要があるため、解析誤差を最小化しなければならない。このためには、実機燃焼解析に対して**JUPITER**臨界実験解析等で適用したような最確モデルに基づく詳細な炉物理解析を実施する必要がある。しかしながら、これまで**JUPITER**標準解析手法として整備されてきた核特性解析システムは、解析対象として臨界実験体系を想定しているため、燃料組成の燃焼変化を考慮した計算機能は十分には整備されてこなかった。したがって、実機燃焼解析を詳細に実施しようとするると様々な機能的な制限により、解析作業が極めて非効率的になるという問題があった。例えば、複数サイクルにまたがる燃焼計算を行う場合は、サイクル毎に手作業で処理する必要があり、さらに燃料交換、制御棒操作、出力変化に伴う体系サイズの変化等、実機では当然考慮されるべき現象についても、解析作業者が手作業で計算メッシュに変換しなければならなかった。このため、実機特有の問題を詳細に取り扱おうとすると作業量が多くなりすぎ、原理的には適用可能な解析モデルであっても簡略化せざるを得ないという問題があった。

一方、この実機燃焼解析では、定型の解析手順を繰り返せばよい訳ではなく、解析モデル誤差を評価する際には計算手順を変更し、物理的意味を分析する際には計算ステップの途中の結果を利用する必要がある。このため、各計算機能を単純に統合するだけでは不十分である。このため、セル計算や炉心計算といった各機能を部品として保持したまま、必要に応じて部品を組み立てたり分解したりできるような実機燃焼解析システムを開発して、高速炉実機の燃焼解析評価及び予測精度向上に資する。

これまでに実施した「高速炉実機燃焼解析システムの開発（その2）」²⁾においては、集合体の詳細幾何形状、燃料装荷パターン等のモデルの設計と実装を行った。またそれらのモデルを構築するためにシステムに与える入力ファイルの仕様を検討し、入力ファイル処理機能を実装した。本研究では「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発（その2）」⁴⁾の成果を利用して、マクロ定数作成機能・炉心計算機能・燃焼計算機能を組み込んだプロトタイプシステムの実装を行った。さらに複数サイクルにまたがる燃焼解析において、簡便なユーザ入力をもとに適切な燃料交換・シャッフリングを行う機能を実装した。

1.2 本報告書の内容

本研究では、主に(1)マクロ定数計算機能、(2)炉心計算機能、(3)燃焼計算機能、(4)リスタートファイル処理機能、の4つの機能を組み込んだプロトタイプの実装を行った。なおリスタートファイル処理機能とはリスタートファイルの書き出し・読み込みを行う機能であり、複数サイクルにまたがる燃焼解析における燃料交換・シャッフリングを行うために必要となる。

本報告書では第2章において、実機燃焼解析システムのプロトタイプの機能概要や詳細設計について示した。第3章においてマクロ定数計算機能・炉心計算機能・燃焼計算機能・リスタートファイル処理機能について、その機能検証結果を示した。最後に第4章において本報告書を総括した。なお実装の詳細に関しては付録にまとめた。

実機燃焼解析システムは、「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発（その2）」⁴⁾にて設計・実装したフレームワークを利用して実装される。このフレームワークは従来の解析手法の中で使用されてきた既存の計算コードや今後新規作成する計算コードを、その差異を意識することなく統一的に取り扱うことを可能にするものである。このフレームワークに関連する用語や概念については、参考文献4)に記述されている。

2. 実機燃焼解析システムのプロトタイプ

2.1 プロトタイプの機能概要

開発中の実機燃焼解析システムは、高速炉実機炉心に対して、「定数計算」「炉心計算」「燃焼計算」の一連の流れからなる燃焼核特性の解析を、ユーザが作成する簡便な入力をもとに自動的にを行うことを目指すものである。

これまでの研究^{1),2)}にて検討したとおり、実機燃焼解析システムは大きく分けて全体制御部、入力処理部、定数計算部、炉心計算部、燃焼計算部、計算補正部、計算結果処理部に分類される。これまでに主に入力処理部の設計と実装を行い、全体制御部のプロトタイプを作成した。本研究では、これまでの作業を継続し、炉心計算部と燃焼計算部の主な機能を設計・実装する。また複数サイクルにまたがる燃焼解析処理を実現するために必要なリスタートファイルの設計を行い、リスタートファイル作成機能およびリスタートファイル入力処理機能を実装する。本研究で作成するプロトタイプに実装する機能は以下の通りである。

- マクロ定数計算機能
- 炉心計算機能
- 燃焼計算機能
- リスタートファイル処理機能

本研究で作成するプロトタイプでは燃焼計算後のマイクロ断面積の更新は考慮しない。また指定された実効増倍率となる制御棒位置を探索する制御棒サーチ機能、および高度なモデルに基づく詳細な炉心計算結果を用いて簡易計算結果を補正する計算補正機能は実装しない。

2.1.1 マクロ定数計算機能

マクロ定数計算機能とは、マテリアルメッシュ¹毎にセル計算から得られた実効マイクロ断面積等を用いてマクロ定数を作成する機能である。なお処理ロジックの詳細に関しては、参考文献 1) を参照できる。

本研究で作成するプロトタイプでは定数計算機能をスコープ外とするため、実効マイクロ断面積についてはシステムの外部から与えられるものとし、この既存の実効マイクロ断面積と数密度の積から実効マクロ断面積を作成する。なお実効マクロ断面積を作成するに当たって、非等方拡散係数には等方拡散係数と同じ値を適用する。また核分裂スペクトルは外部ファイルから与えるものとする。

本プロトタイプで使用する実効マイクロ断面積は、SLAROM-UF が出力する新 PDS 形式ファイルとして与えるものとする。

¹ 参考文献 1) では MaterialRegion と定義されている。

2.1.2 炉心計算機能

炉心計算機能とは、マクロ定数計算機能によって作成された実効マクロ断面積を用いて炉心計算を行い、燃焼計算で必要となる中性子束を計算する機能である。なお処理ロジックの詳細に関しては、参考文献 1)を参照できる。

本研究のプロトタイプでは、炉心計算を行う計算コードとして拡散計算コード CITATION-FBR と輸送計算コード TRITAC をサポートする。なお CITATION-FBR については、計算メッシュ体系として 3次元 Hex-Z 体系と 3次元 Tri-Z 体系のみを取り扱うものとする。

中性子輸送（拡散）方程式を解いて得られる中性子束は相対値であるが、燃焼計算を行うためには炉心の熱出力で規格化した絶対中性子束が必要である。中性子束の規格化は、以下の式をもとに行う。

$$P = \sum_r \sum_i \sum_g (\kappa_f^i \sigma_f^{r,i,g} + \kappa_c^i \sigma_c^{r,i,g}) N^{r,i} \phi^{r,g} V^r$$

ここで、

P : 炉心熱出力

κ_f^i : 核種 i の 1 核分裂あたりの発熱エネルギー

κ_c^i : 核種 i の 1 捕獲反応あたりの発熱エネルギー

$\sigma_f^{r,i,g}$: 核種 i , エネルギー群 g , 領域 r の核分裂断面積

$\sigma_c^{r,i,g}$: 核種 i , エネルギー群 g , 領域 r の捕獲反応断面積

$N^{r,i}$: 核種 i , 領域 r の原子数密度

$\phi^{r,g}$: エネルギー群 g , 領域 r の中性子束

V^r : 領域 r の体積

である。

2.1.3 燃焼計算機能

燃焼計算機能とは、炉心計算で得られた中性子束および実効マイクロ断面積を用いて燃焼計算を行い、燃焼後の物質組成を計算する機能である。なお計算処理の詳細に関しては、参考文献1)を参照できる。

燃焼計算は規格化された中性子束と実効マイクロ断面積、数密度および燃焼チェーン情報を用いてマテリアルメッシュ毎に行われる。ここで、一般に炉心計算を行う中性子束メッシュとマテリアルメッシュは一致しないことに注意する必要がある。例えば炉心計算は **Tri-Z** 体系の詳細メッシュで実施し、燃焼計算は **Hex-Z** 体系の粗メッシュで実施するようなケースである。このためマテリアルメッシュにおける反応率の計算は、体積重みで平均化した中性子束を用いて行う。

各マテリアルメッシュの初期物質組成は、後述する集合体詳細幾何形状ファイルと燃料等組成データファイルの情報をもとに算出する。すなわちマテリアルメッシュに含まれる燃料棒等の体積とその組成データを取得し、マテリアルメッシュについて体積平均することでメッシュ平均数密度を算出する。

本プロトタイプにおいては燃焼計算コードとして **Python** スクリプトで記述された **Burnup** コード²を使用する。

燃焼計算により数密度を更新した後、再びマクロ定数計算・炉心計算を行い、計算が全燃焼ステップ終了するまで繰り返す。

²次世代炉物理解析システム開発の一環として作成された **Python** スクリプトで記述された燃焼計算コード。

2.1.4 リスタートファイル処理機能

リスタートファイル処理機能とは、システムの計算結果や内部データモデルをリスタートファイルとして出力する機能であり、またリスタートファイルを読み込んで計算処理に必要なデータモデルを構築する機能である。リスタートファイル処理については、参考文献 1)、2)で参照できる。

リスタートファイルは今サイクルの計算結果を引き継いで次サイクルの計算を行う、もしくはある燃焼ステップの計算結果を引き継いで次の計算を行うために必要となる。

2.2にて、リスタートファイルの詳細な設計を示す。

2.2 リスタートファイル設計

2.2.1 基本方針

参考文献 2)にて検討したとおり、実機燃焼解析システムにおいてはリスタートファイルはシステムを構成する一連のオブジェクトを永続化したものから構成される。すなわち、システムをリスタートするのに必要十分なオブジェクトをひとまとめにし、Python スクリプトの標準ライブラリの機能を使用してシリアライズ³し、所定のファイルに書き出したものをリスタートファイルとする。

2.2.2 リスタートファイルの構造

リスタートファイルは「ヘッダ部」と「ボディ部」の2つから構成される。ヘッダ部は集合体装荷パターンや計算体系の3次元メッシュ構造及び計算条件（計算ステップ数、使用ソルバー他）等、計算ステップに依らない情報をまとめたものである。対してボディ部は計算ステップ毎に存在し、各計算ステップにおける全計算メッシュの中性子束と数密度を出力したものである。

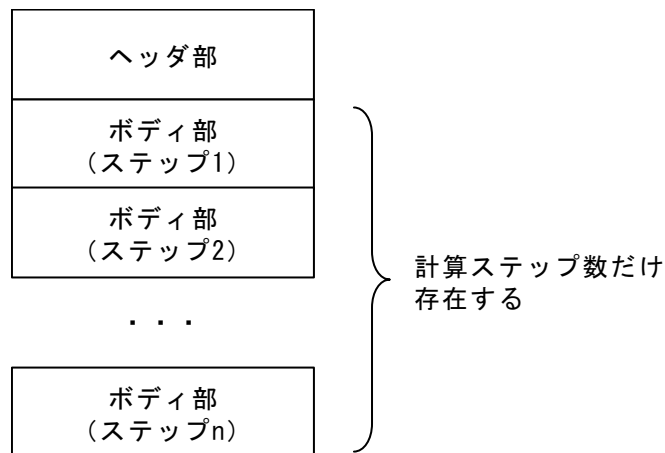


図 1 リスタートファイルの構造

(1) ヘッダ部の構造

ヘッダ部は以下の7ブロックから構成される。

□ Condition ブロック

³ オブジェクトの持つ構造化されたデータを、ファイルに保存したり、ネットワークで転送したりするために直列化（シリアライズ）すること。

- CoreProperty ブロック
- Zone ブロック
- Pattern ブロック
- 中性子束メッシュ幾何形状ブロック
- マテリアルメッシュ幾何形状ブロック
- マテリアルメッシュ変換テーブルブロック

Condition ブロック

サイクル名や計算ステップ数、使用ソルバー等の計算条件に関する一般的な情報を格納するブロック。

CoreProperty ブロック

燃料集合体・反射体等の配置情報や種々の炉心特性を管理する CoreProperty オブジェクトを格納するブロック。

Zone ブロック

ゾーン⁴に関する情報を管理する ZoneSet オブジェクトを格納するブロック。

Pattern ブロック

集合体装荷パターンを管理する Pattern オブジェクトを格納するブロック。

中性子束メッシュ幾何形状ブロック

中性子束メッシュの3次元メッシュ構造モデルである MeshGeometry オブジェクトを格納するブロック⁵。

マテリアルメッシュ幾何形状ブロック

マテリアルメッシュの3次元メッシュ構造モデルである MeshGeometry オブジェクトを格納するブロック。中性子束メッシュとマテリアルメッシュは一般にメッシュ構造が異なるため、それぞれ個別に取り扱われる。

マテリアルメッシュ変換テーブルブロック

マテリアルメッシュに対して、マテリアル番号 MaterialNum, メッシュ番号 MeshNum, ゾーン番号 ZoneNum の相互変換のためのテーブルを格納する。

⁴ 炉心を複数に分割した領域。同一のマイクロ断面積が割り当てられる。

⁵ MeshGeometry オブジェクトはメッシュの幾何形状を表す SegmentSetGeometry オブジェクトを保持しているため、MeshGeometry オブジェクトと合わせてシリアライズされる。

(2) ボディ部の構造

ボディ部は以下の3ブロックから構成される。

- Summary ブロック
- 中性子束ブロック
- 数密度ブロック

Summary ブロック

主要な計算結果を格納するブロック。

中性子束ブロック

全中性子束メッシュのデータを格納するブロック。

数密度ブロック

全マテリアルメッシュのデータを格納するブロック。

2.3 入力ファイル設計

参考文献 2)で述べた通り、実機燃焼解析システムは集合体詳細幾何形状、物質組成、集合体装荷パターン等の情報からこれらをモデル化した内部データ構造⁶を構築し、炉心計算・燃焼計算に使用する。この内部データモデルの構築のため、また実機燃焼解析システムの動作制御のため、入力として以下の 6 種類のテキストファイルを与える。(なおシステムへの入力としては、他にリスタートファイルとマイクロ断面積ファイルが存在する。)

- ユーザ入力ファイル (計算条件ファイル)
- 集合体詳細幾何形状ファイル
- 装荷パターンファイル
- 燃料等組成データファイル
- 炉心特性データファイル
- 断面積情報ファイル

参考文献 2)で検討したとおり、これらの入力ファイルは **YAML** 形式⁷で記述され、キーワードとそれに対応する値がハッシュ⁸による階層構造で定義される。以下ではこの階層構造のトップにあるキーワードとそのキーワードで与えられる値全体をセクションと呼称する。本節ではこれらの入力ファイルで定義されたセクションに関して、特に重要な点に絞って説明する。

入力ファイル全体のサンプルは付録 A にまとめた。

⁶ データモデルの詳細については、参考文献 4)に記載した。

⁷ **YAML** (<http://www.yaml.org/>) は構造化データやオブジェクトを表現するためのデータ形式の一種である。役割は **XML** (eXtensible Markup Language) に似ているが、**XML** に比べて大幅に単純化されている。

⁸ **YAML** の仕様ではマッピングという用語が使用される。同様に配列についてはシーケンスという用語が使用される。

2.3.1 ユーザ入力ファイル（計算条件ファイル）

ユーザ入力ファイルでは、計算の対象となる炉心やサイクルの指定、各種の詳細な計算条件等、計算ケースに固有な情報を与える。

本ファイルのセクションの一覧は表 1の通りである。

表 1 ユーザ入力ファイルのセクション一覧

セクション	内容
mode	システムの動作モードを指定する。calc もしくは edit を選択 ⁹ 。
title	計算タイトルを指定する。
case_name	計算ケース名を指定する。
core_name	炉心名を指定する。
cycle	サイクルに関する情報を指定する。 サイクル名、積算サイクル数、起動・停止日等。
file	入出力ファイルを指定する。
calc_system	計算体系を指定する。
solver	使用する計算コードとコードに与えるオプションを指定する。
step	燃焼ステップ毎の種々の条件を指定する。
raytrace	レイトレース処理実行時のオプションを指定する。

以下では幾つかの代表的なセクションについて説明する。

(1) file

file セクションの入力例を図 2に示す。

システムへの入力として与えるファイルを **input** キーワード、システムが出力するファイルを **output** キーワードの階層構造下に記述する。**input** キーワード以下には、前述の入力ファイルのうちユーザ入力ファイルを除く 5つのファイルを指定する。**output** キーワードには出力ファイルとしてリスタートファイルを指定する。リスタート計算を行う場合は、**input** キーワード以下に入力として使用するリスタートファイルを必要な数だけ指定する。

本システムは計算メッシュの初期物質組成を得るため、集合体の各物質領域の計算メッシュに対するウエイトを、集合体詳細幾何形状に対するレイトレース処理を行って算出する¹⁰。レイトレースは比較的時間を要する処理であるが、集合体の詳細幾何形状の種類は限られているため、一度実施したレイトレース処理の結果を保存し 2 回目以降は保存された結果を使用するようにすれば処理時間を短縮できる。そこで **output** および **input** キーワード以下にレイトレースファイルを指定できるようにする。これによりシステムはレイトレース処理結果の保存と再利用を行うことができる。

⁹ 但し edit モードは現在未実装。

¹⁰ 参考文献 2)、4)に記載した。


```

file:
input:
  core_property: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/core_property.inp
  geometry      : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/geometry.inp
  material      : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/material.inp
  pattern       : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/pattern_cy1.inp
  cross_section: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/xs.inp
  raytrace      : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/raytrace_hexz.dat
  restart:
    0: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/restart_cy0.rst

output:
  restart: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/restart_cy1.rst
  summary: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/summary_cy1.sum
  list    : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/list_cy1.lst
    
```

図 2 file セクションの入力例

(2) calc_system

calc_system セクションの入力例を図 3 に示す。

炉心計算および燃焼計算のそれぞれについて、coordinates キーワード以下に計算メッシュの体系を指定し、axial_mesh キーワード以下に軸方向のメッシュ長を指定する。計算メッシュの体系には hexz, triz, xyz のいずれかを指定する¹¹。軸方向メッシュ長は、CITATION-FBR コードの入力と同様に、分割数と長さのペアを必要な数だけ指定する。例えば [5, 11.4400] という指定は、11.44cm を 5 等分することを表す。

```

calc_system:
  coordinates:
    core      : hexz
    burnup    : hexz

  axial_mesh:
    core      : [[ 5, 11.4400], [17, 41.9083], [10, 25.2517], [ 6, 15.0300],
                  [ 6, 15.0300], [ 1,  1.2000], [ 3,  8.6583], [ 2,  5.0100],
                  [ 1,  1.2000], [ 4, 10.0200], [ 2,  5.0100], [10, 25.2117],
                  [ 1,  1.2000], [ 3,  8.6583], [ 3,  6.3717], [12, 30.0600],
                  [ 2,  4.8483], [ 8, 19.2517]]
    burnup    : [[ 1, 11.4400], [ 1, 41.9083], [ 1, 25.2517], [ 1, 15.0300],
                  [ 1, 15.0300], [ 1,  1.2000], [ 1,  8.6583], [ 1,  5.0100],
                  [ 1,  1.2000], [ 1, 10.0200], [ 1,  5.0100], [ 1, 25.2117],
                  [ 1,  1.2000], [ 1,  8.6583], [ 1,  6.3717], [ 1, 30.0600],
                  [ 1,  4.8483], [ 1, 19.2517]]
    
```

図 3 calc_system セクションの入力例

¹¹ 計算コードによって使用できる計算メッシュ体系が異なる。

(3) solver

solver セクションの入力例を図 4に示す。

炉心計算および燃焼計算それぞれについて、使用する計算コードの名称と計算コードに固有の入力オプションを指定する。例では炉心計算コードとして **CITATION-FBR**、燃焼計算コードとして **Burnup** を使用する。オプション指定が省略された場合、システムが適当なデフォルト値を与える。

```

solver:
  core:
    name: citation
    options:
      ngc : [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
      iedg : [1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
      itmx : [900, 900]
      isodf: 1
      idxct: 2
      iydct: 2
      izdct: 3
      ipunf: 7

  burnup:
    name: burnup
    
```

図 4 solver セクションの入力例

(4) step

step セクションの入力例を図 5に示す。

ここでは燃焼ステップ毎に燃焼期間（日数）と相対出力を指定する。燃焼を行うステップ数分だけ指定する。

```

step:
  - period: 13.905 # (day)
    power : 97.394 # (%)

  - period: 13.905
    power : 97.394
    
```

図 5 step セクションの入力例

2.3.2 集合体詳細幾何形状ファイル

集合体詳細幾何形状ファイルでは、集合体の詳細な幾何形状の定義を行う。
本ファイルのセクションの一覧は表 2の通りである。

表 2 集合体詳細幾何形状ファイルのセクション一覧

セクション	内容
primitive	六角形・円等の基礎的な幾何形状を定義する。
pin	燃料ピンの幾何形状等、primitive セクションにおいて定義された形状の組み合わせによる単純形状を定義する。
lattice	燃料ピンの格子配列等、pin セクションにおいて定義された単純形状の適当な配置を定義する。
segment	lattice, primitive セクションで定義された形状を用いて、集合体の2次元断面の幾何形状を定義する。
assembly	segment セクションにおいて定義された形状をZ軸方向に積み重ねて、3次元集合体詳細幾何形状を定義する。

(1) primitive

primitive セクションの入力例を図 6に示す。

本システムでは六角形・円等の基礎的な形状を組み合わせる事で複雑な集合体詳細幾何形状を構成する。ここでは最も基礎となる幾何形状の定義を行う。type, angle, value キーワードでそれぞれ形状、回転角、大きさを定義する。ここで与えるベースとなる形状の定義を図 7に示した。name キーワードで、定義された形状に対して固有の名称が与えられる。ここで与えた名称は pin, segment 等のキーワードの中で参照される。

```
primitive:
  - name : circle1                # pellet outer boundary (= clad inner boundary)
    type : circle
    angle: 0.0
    value: 0.23240

  - name : circle2                # clad outer boundary
    type : circle
    angle: 0.0
    value: 0.27607
```

図 6 primitive セクションの入力例

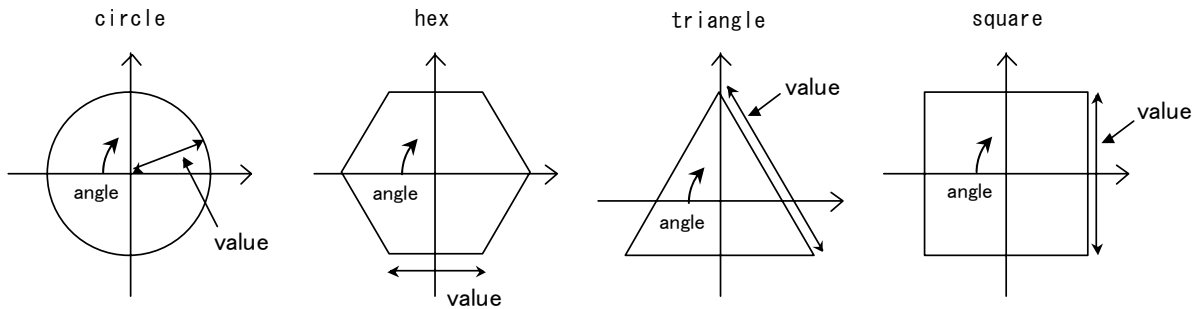


図 7 ベースとなる幾何形状の定義（回転角 0 [rad]）

(2) pin

pin セクションの入力例を図 8に示す。

ここでは primitive セクションで定義された形状を組み合わせて燃料ピンや吸収体等を定義する。name キーワードでピンの名称を、boundary キーワードで外枠となる形状を与え、composition キーワードで primitive な形状の組み合わせで生じる領域¹²に関する定義を与える。例えば下記サンプルにおける記述は、circle1 という形状の内部領域の名称が fuel1 であること、および pin1 の内部に circle1 が存在し、pin1 と circle1 との間の領域の名称が clad1 であることを定義している。（形状名の前に付与されたプラス記号はその形状の内側を表し、マイナス記号は外側を表す。）なおここで与えられる領域の名称をもとに、この領域の物質組成が決定される。

```

pin:
  - name: pin1                                # fuel
    boundary: circle2
    composition:
      - name : fuel1
        region: [+circle1]
      - name : clad1
        region: [-circle1, +pin1]
    
```

図 8 pin セクションの入力例

(3) lattice

lattice セクションの入力例を図 9に示す。

ここでは pin セクションで定義された形状を適当に配列させた形状を定義する。下記サンプルでは arrangement キーワードで番号 1 の燃料ピンを格子状に配列させている。そして pin_index キーワードで番号 1 の燃料ピンを pin1 と定義している。（pin1 は事

¹² 参考文献 2)の幾何形状モデルに関する記述を参照できる。

前に pin セクションで定義されている幾何形状である。) pitch キーワードは、ピンを配置する際のピン間隔を与える。name および boundary キーワードについては pin セクションにおけるものと同様で、定義した lattice の名称と lattice の外枠となる形状を与える。

```

lattice:
- name: lattice1                                # CORE0
  boundary: hex1
  pitch: 0.647
  arrangement:
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  - [      1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1      ]
  pin_index:
  - number: 1
    name: pin1
    
```

図 9 lattice セクションの入力例

(4) segment

segment セクションの入力例を図 10に示す。

ここでは primitive, pin, lattice セクションで定義された幾何形状を用いて集合体の XY 平面断面の幾何形状を定義する。キーワードの構成は pin セクションのものと同じであり詳細は省略する。

```

segment:
- name: core0                                # CORE0
  boundary: hex3
  composition:
  - name : coolant1
    region: [+lattice1]
  - name : wrapper1
    region: [-lattice1, +hex2]
  - name : coolant1
    region: [-hex2, +core0]
    
```

図 10 segment セクションの入力例

(5) assembly

assembly セクションの入力例を図 11に示す。

ここでは segment セクションで定義された 2 次元幾何形状を Z 軸方向に積み重ねること
 とで詳細集合体幾何形状を定義する。すなわち (assembly セクションの) segment キ
 ーワードを使って、segment セクションで定義された 2 次元集合体幾何形状を指定し、
 axial_range キーワードでその幾何形状が割り当てられる Z 軸方向の範囲を指定する。
 name キーワードで与えられる名称がこの幾何形状をもつ集合体の集合体タイプ名とな
 る。

```
assembly:
- name: fuel_pfd1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [156.76, 223.92]
      segment      : gpl00
    - axial_range: [126.70, 156.76]
      segment      : ur000
    - axial_range: [125.50, 126.70]
      segment      : ins00
    - axial_range: [ 70.39, 125.50]
      segment      : core0
    - axial_range: [ 69.19,  70.39]
      segment      : ins00
    - axial_range: [ 54.16,  69.19]
      segment      : ls000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment      : lr000
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000
```

図 11 assembly セクションの入力例

2.3.3 装荷パターンファイル

装荷パターンファイルでは、燃料集合体・反射体・制御棒等の炉心への装荷パターンの定義およびゾーンの定義を行う。パターンファイルはサイクル毎に個別に作成する必要がある。

本ファイルのセクションの一覧は表 3の通りである。

表 3 装荷パターンファイルのセクション一覧

セクション	内容
core_name	炉心名を指定。
cycle_name	サイクル名を指定。
cycle_number	積算サイクル数を指定。
fuels	今サイクルで新たに装荷される燃料集合体を定義。
reflectors	今サイクルで新たに装荷される反射体を定義。
rccs	今サイクルで新たに装荷される制御棒を定義。
sources	今サイクルで新たに装荷される中性子源を定義。
load_fuels	燃料集合体の装荷アドレスを指定。
load_reflectors	反射体の装荷アドレスを指定。
load_rccs	制御棒の装荷アドレスを指定。
load_sources	中性子源の装荷アドレスを指定。
zone_set	ゾーンを定義。

以下では代表的なセクションに絞って説明する。なお、ここで説明する装荷パターンファイルの例は高速実験炉「常陽」の炉心体系を用いている。集合体ラベルや集合体アドレスの命名方法の詳細については、参考文献 5)を参照できる。

(1) fuels および load_fuels

fuels および load_fuels セクションの入力例を図 12に示す。

fuels セクションでは今サイクルで新たに装荷される新燃料集合体を定義する。label キーワードで集合体ラベルを与え、type キーワードで集合体タイプを指定する。ここで指定される集合体タイプは、詳細集合体幾何形状ファイルの assembly セクションで定義されたものである。このサンプルでは集合体ラベルが PFD066～PFD068 で集合体タイプが fuel_pfd1 の燃料集合体 3 体と、集合体ラベルが PFC010 で集合体タイプが fuel_pfb1 という集合体 1 体を定義している。

load_fuels セクションでは fuels セクションで定義した新燃料と前サイクルからの引継ぎ燃料、さらに再使用燃料の装荷情報を定義する。例では、fuels セクションで定義した集合体ラベル PFD066～PFD068 の新燃料をそれぞれ集合体アドレス 1A1, 1C1, 1E1 に装荷し、同じく新燃料 PFC010 を 2E2 に装荷している。また集合体アドレス 2B1 には前サイクルからの引継ぎ燃料である PFB010 を装荷している。

集合体を装荷する際の回転を定義するには、load_fuels セクションで maxKey キーワードを使用し、集合体の MaxKey の位置を指定する。例えば PFB010 を回転させる場合は {address:2B1, label:PFB010, maxKey:2} 等と指定する¹³。

引継ぎ燃料や再使用燃料の装荷情報の指定は、集合体ラベル名のみならず移動情報を用いることでも可能である。例えば前々サイクルの 2B1 に装荷されていた集合体を 1A1 に装荷する場合は {address:1A1, pre_location: [-2, 2B1]} 等と指定する。ここで-2 が前々サイクルを意味する。前サイクルの場合は-1 である。もしくは今サイクルをサイクル 4 として、サイクル 3 の 2C1 に装荷されていた燃料を 1D1 に引き継ぐ場合、{address:1D1, pre_location: [3, 2C1]} 等と指定することも可能である。

```
fuels:
- label: [PFD066, PFD068]          # PFD066 ~ PFD068 の範囲を表す
  type: fuel_pfd1

- label: PFC010
  type: fuel_pfb1

load_fuels:
- { address: 1A1, label: PFD066 }
- { address: 1C1, label: PFD067 }
- { address: 1E1, label: PFD068 }
- { address: 2B1, label: PFB010 }
- { address: 2E2, label: PFC010 }
```

図 12 fuels および load_fuels セクションの入力例

(2) zone_set

zone_set セクションの入力例を図 13 に示す。

zone_set セクションによりゾーンの設定を行う。ゾーンは径方向には集合体単位、軸方向にはプレーン単位で炉心を分割したものである。従ってゾーンの設定は集合体アドレスのセットとプレーン番号のセットの組み合わせによって行う。すなわち address キーワードで集合体アドレスのセットを定義し、plane キーワードで軸方向のプレーン番号のセットを定義する。そして zone キーワードでそれら 2 つのキーワードで与えられた情報を組み合わせてゾーンを定義する。zone はゾーン番号と合わせて定義される。なおゾーン番号は正の整数とする¹⁴。

サンプルでは径方向の集合体のセットとして rid1 と rid2 が定義され、軸方向プレーンのセットとして zid1, zid2, zid3 が定義されている。そしてこれらの組み合わせとして計 6 個のゾーンが定義されている。ここで rid1 は 000, 1B1, 1D1, ..., 5E4, 5F4 の計 64 の集合体アドレスを表し、rid2 は 1A1, 1C1, 1E1 の 3 つの集合体アドレスを表

¹³ MaxKey の位置に関する定義は参考文献 4)に記載。

¹⁴ ゾーン番号 0 は炉外領域を表す。

している。また `zid1` はプレーン番号 0 を、`zid2` はプレーン番号 1~6 を、`zid3` はプレーン番号 7 をそれぞれ表している。

なお `address` キーワードにおいて集合体アドレスを定義する際、例えば「2A1+」と記述した場合は 2A1 の 60° 回転対称位置を含めたアドレス (2A1, 2B1, 2C1, 2D1, 2E1, 2F1 の 6 つ) を表している。

```

zone_set:
  address:
    rid1: [ 000 , 1B1 , 1D1 , 1F1 , 2A1+, 2A2+, 3A1+, 3A2+, 4A1+,
           4A2+, 4A3+, 4A4+, 5A3+, 5A4+ ]
    rid2: [ 1A1 , 1C1 , 1E1 ]

  plane:
    zid1: [ 0, 0 ]           # プレーン番号 0 のみ
    zid2: [ 1, 6 ]         # プレーン番号 1~6
    zid3: [ 7, 7 ]         # プレーン番号 7 のみ

  zone:
    1: [rid1 , zid1 ]       # ゾーン番号 1
    2: [rid1 , zid2 ]       # ゾーン番号 2
    3: [rid1 , zid3 ]       # ゾーン番号 3
    4: [rid2 , zid1 ]       # ゾーン番号 4
    5: [rid2 , zid2 ]       # ゾーン番号 5
    6: [rid2 , zid3 ]       # ゾーン番号 6
    
```

集合体アドレス
と炉心装荷位置
の対応

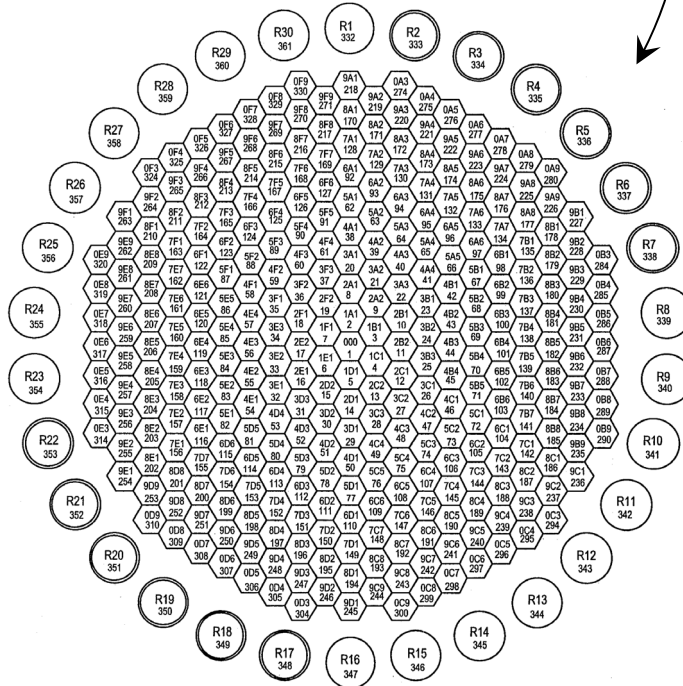


図 13 zone_set セクションの入力例

2.3.4 燃料等組成データファイル

燃料等組成データファイルでは、物質名とその組成（核種名と数密度のセット）を定義する。本ファイルのセクションの一覧は表 4 燃料等組成データファイルのセクション一覧の通りである。

表 4 燃料等組成データファイルのセクション一覧

セクション	内容
material	各物質の定義を与える。
outside	炉外のマテリアルメッシュに割り当てられる物質名を指定する。

(1) material

material セクションの入力例を図 14に示す。

material セクションでは name キーワードで定義した名称の物質に対して、核種と数密度のペアを配列のかたちで与える。ここで核種は ID を使って指定する。ID としては JFSID または ORIGEN 方式の ID を利用できる。

```

material:
- name: fuel1
  composition:
  - [925, 0.00196132]
  - [926, 7.76703e-10]
  - [928, 0.0140548]
  - [937, 3.77569e-11]
  - [948, 8.65083e-06]
  - [949, 0.00471935]
  - [940, 0.00132132]
  - [941, 0.000197429]
  - [942, 4.41774e-05]
  - [951, 2.20386e-05]
  - [ 8, 0.0440464]
    
```

図 14 material セクションの入力例

(2) outside

炉外（外側反射体の外）のマテリアルメッシュに対して割り当てる物質名を指定する。ここで物質名は material セクションで定義されたものである。

2.3.5 炉心特性データファイル

炉心特性データファイルでは、炉心名称や熱出力等の各炉心に固有のデータを定義する。また炉心全体の形状、すなわち燃料集合体、反射体、制御棒等の配置情報（集合体アドレス）を定義する。

本ファイルのセクション一覧は表 5の通りである。

表 5 炉心特性データファイルのセクション一覧

セクション	内容
name	炉心名を指定する。
power	熱出力[MWth]を指定する。
assembly	集合体の配置情報を指定する。
fuel	燃料集合体の配置情報を指定する。
reflector	反射体の配置情報を指定する。
rcc	制御棒の配置情報を指定する。
source	中性子源の配置情報を指定する。

以下では代表的なセクションに絞って説明する。

(1) assembly

assembly セクションの入力例を図 15に示す。

assembly セクションでは燃料・反射体等を含めた全集合体の配置情報（集合体アドレス）を指定する。

指定方法は 2 種類ある。一つは体系に含まれる集合体の層数を与えてから実際に体系に含まれない集合体アドレスを除外する方法であり、もう一つは体系に含まれる全ての集合体アドレスを羅列する方法である。ここでは前者について説明する。後者については後述の fuel セクションや reflector セクションでの定義に使用される方法と同様であり、ここではその説明を省略した。

まず体系に含まれる集合体の層数を layer キーワードで指定する。ここで層数とは最外周の集合体アドレスから定義される。例えば最外周の反射体の集合体アドレスが 10A3 等である場合は層数を 10 と定義する。次に体系に含まれない集合体アドレスを except キーワードで指定する。サンプルでは 10A1, 10A2 および 10A10 とその 60° 回転対称位置の計 18 体を除外している。なおここで見られるプラス記号を用いたアドレス表記については2.3.3(2)で述べた通りである。

```
assembly:
  layer: 10
  except: [10A1+, 10A2+, 10A10+]
```

図 15 assembly セクションの入力例

(2) fuel, reflector, rcc, source

fuel, reflector, rcc, source セクションは全て同一の構造であり、例として rcc セクションの入力例を図 16に示す。

これらのセクションでは燃料、反射体、制御棒、中性子源の配置情報（集合体アドレス）を指定する。指定は address キーワードに集合体アドレスを羅列することで行う。サンプルの場合、制御棒の集合体アドレスとして 3A3 とその 60° 回転対称位置を指定している。（プラス記号を用いたアドレス表記については前述の通り。）

<pre>rcc: address: [3A3+]</pre>

図 16 rcc セクションの入力例

2.3.6 断面積情報ファイル

断面積情報ファイルでは使用するマイクロ断面積に関する種々の情報を指定する。本プロトタイプは、2.1.1で述べたように実効マイクロ断面積を既知として別システムが作成した PDS ファイルを使用して処理を行うため、マイクロ断面積ファイルに関する情報を与えてやる必要がある。すなわち本断面積情報ファイルは今回のプロトタイプにおいてのみ使用されるものである。

本ファイルのセクション一覧は表 6の通りである。

表 6 断面積情報ファイルのセクション一覧

セクション	内容
newpds_dir	PDS ファイルが存在するディレクトリを指定。
nuclides	マイクロ断面積が定義されている核種の一覧を指定。
xs_table	各ゾーンに割り当てる PDS ファイルを指定。
fission_spectrum	実効マクロ断面積に与える核分裂スペクトルを指定。
fs_zone	代表的な核分裂スペクトルを与えるゾーン番号を指定。
burnable	燃料領域を表すゾーン番号を指定。
energy_group	エネルギー群数。

以下では代表的なセクションに絞って説明する。

(1) xs_table

xs_table セクションの入力例を図 17に示す。

xs_table セクションでは各ゾーンに割り当てられる実効マイクロ断面積を指定する。すなわちゾーン番号をキーとして対応する PDS ファイル名を指定する。ここでゾーン番号は2.3.3(2)で述べたとおり、装荷パターンファイルにてゾーンを定義した際に各ゾーンに割り当てられた値である。

特別なゾーン番号として 0 は常に炉外を表すものとする。例えばサンプルでは炉外の断面積として、MTX00- という PDS ファイルを割り当てる。

xs_table:	
0:	MTX00-
1:	HH00-
2:	GPL00-
3:	UR00-
4:	INS00-
5:	CORE0-
6:	INS00-
7:	LS00-
8:	LR00-
9:	EN00-

図 17 xs_table セクションの入力例

(2) fission_spectrum

2.1.1で述べたとおり、本プロトタイプでは実効マクロ断面積を作成する際に核分裂スペクトルを外部から与える。そこで `fission_spectrum` セクションでは各ゾーンの核分裂スペクトルを指定する。

(3) burnable

`burnable` セクションでは燃料領域を表すゾーンをゾーン番号によって指定する。このセクションで指定されたゾーンに属する材料メッシュは燃焼計算の対象となる。

2.4 プロトタイプの詳細設計

実機燃焼解析システムのプロトタイプの詳細設計について述べる。なお実機燃焼解析システムは参考文献 4) のフレームワークを用いたアプリケーションであり、以降の説明にも参考文献 4) にて詳説されている一連のクラスが使用されるため、合わせて参照するのが望ましい。

2.4.1 入力処理部

(1) テキストファイル

テキストファイル処理に関するクラス図を図 18 に示す。

テキストファイル処理部は、2.3 にて定義される入力ファイルを読み込み、データの整合性チェックを行う。なお入力ファイル毎にそれを処理するクラスが存在する。入力ファイルと対応するクラスの一覧を表 7 に示す。ファイル読み込み処理ロジックの詳細に関しては、参考文献 2) に記述されている。

表 7 テキストファイル処理に関するクラス一覧

クラス名	主な役割
InputInterface	各入力ファイルの読み込み処理に共通の処理を実装した抽象クラス。
CalcConditionFile	ユーザ入力ファイルを取り扱うクラス。
GeometryFile	集合体詳細幾何形状ファイルを取り扱うクラス。
PatternFile	装荷パターンファイルを取り扱うクラス。
MaterialFile	燃料等組成データファイルを取り扱うクラス。
CorePropertyFile	炉心特性データファイルを取り扱うクラス。
CrossSectionFile	断面積情報ファイルを取り扱うクラス。
Parser	入力ファイルのパーズ処理（字句解析・構文解析）を行う抽象クラス。
Validator	入力ファイルの整合性チェックを行う抽象クラス。

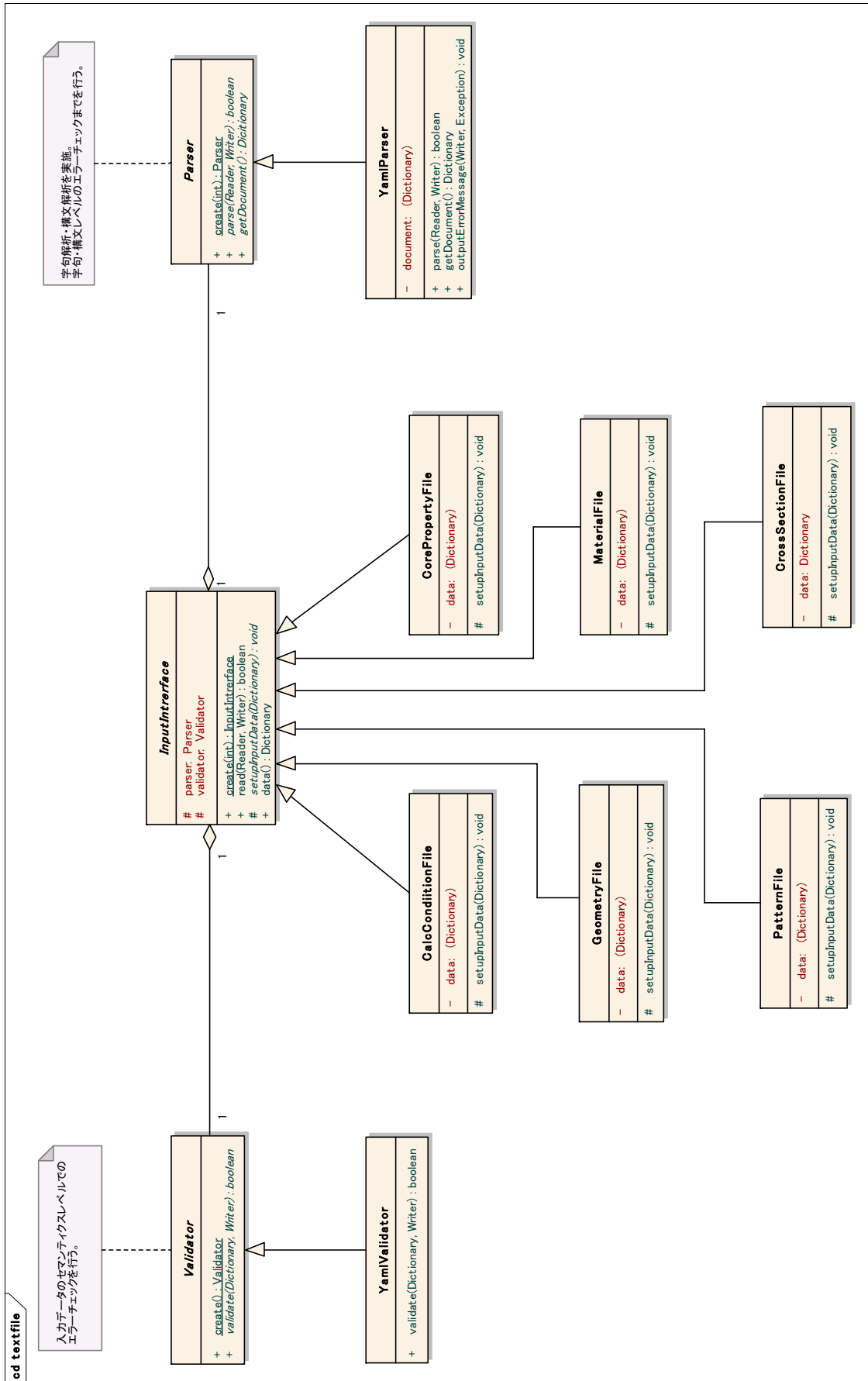


図 18 テキストファイル処理に関するクラス図

CalcConditionFile オブジェクト、GeometryFile オブジェクト等、表 7に挙げた各クラスのインスタンスを統括する役割をもつクラスとして **InputManager** クラスを定義する。InputManager オブジェクトは入力ファイルに関する処理全体を担う。

InputManager クラスによる入力処理の制御に関するクラス図を図 19に示す。

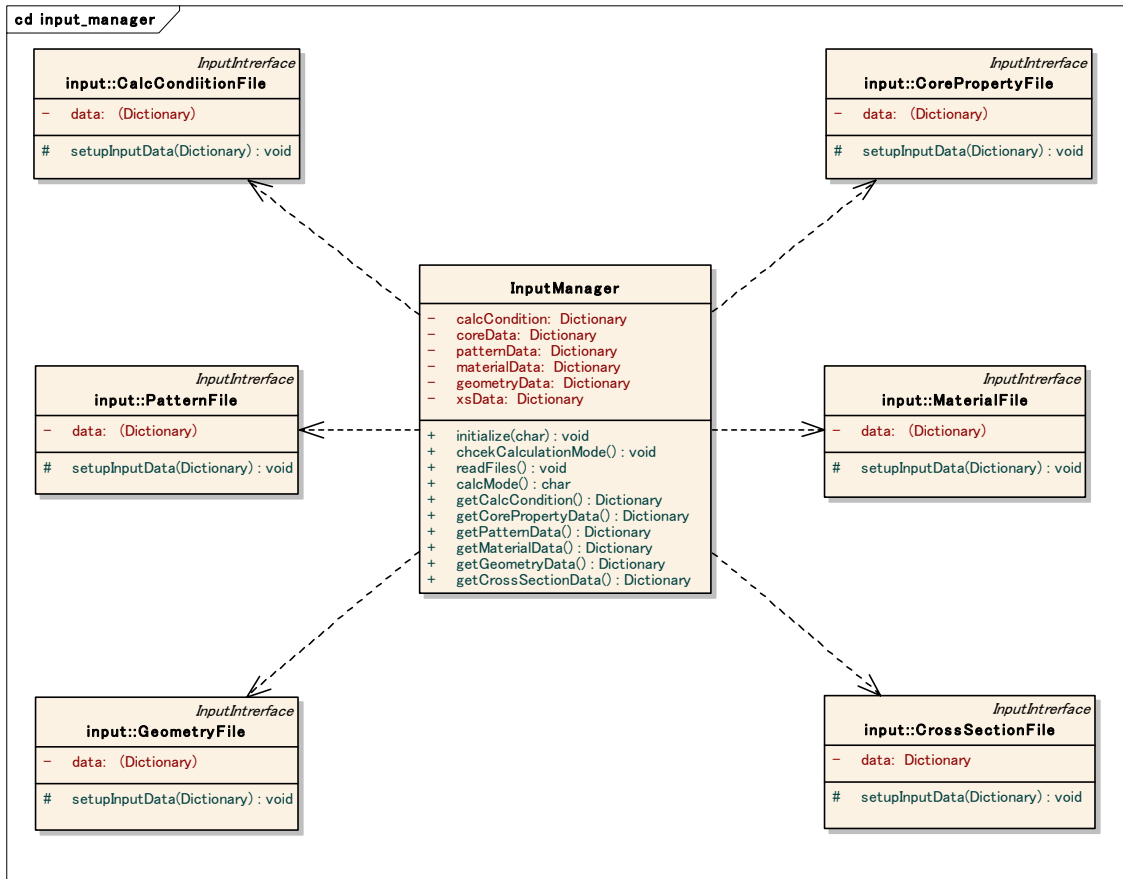


図 19 入力処理制御に関するクラス図

InputManager オブジェクトで管理する入力ファイルのデータをもとに、幾何形状や装荷パターン等のデータモデルが構築される。具体的には詳細幾何形状ファイルの情報をもとに Geometry パッケージのオブジェクトが生成され、装荷パターンファイルの情報をもとに Pattern オブジェクトと ZoneSet オブジェクトが生成される。また燃料等組成データファイルから MaterialSet オブジェクトが生成され、炉心特性データファイルから CoreProperty オブジェクトが生成される。さらに断面積情報ファイルからマイクロ断面積 MicroscopicEffectiveCrossSection オブジェクトが生成される。これらのオブジェクトの生成と管理を行うためのクラスとして、CoreManager クラスを用意する。

(2) リスタートファイル

2.2.2にて説明したとおり、リスタートファイルはヘッダ部とボディ部の2つで構成され、ボディ部は計算ステップ数だけ存在する。そこでヘッダ部を表すクラスとして `RestartFileHeader` クラスを定義し、ボディ部を表すクラスとして `RestartFileBody` クラスを定義する。`RestartFileHeader` クラスは `CoreProperty` オブジェクト、`ZoneSet` オブジェクト、`Pattern` オブジェクト、2つの `MeshGeometry` オブジェクトおよび計算条件等を格納するハッシュを保持する。`RestartFileBody` クラスは、計算結果のサマリの他に全中性子束メッシュ `FluxRegionInfo` オブジェクトと全マテリアルメッシュ `MaterialRegionInfo` オブジェクトを保持する。リスタートファイルは、1つの `RestartFileHeader` オブジェクトと複数の `RestartFileBody` オブジェクトをシリアライズして束ねたものとなる。

<< リスタートファイル >>



図 20 リスタートファイルの構成

`RestartFileHeader` クラス及び `RestartFileBody` クラスにはオブジェクトの書き出しを行う `dump` メソッドとファイルからの復元を行う `load` メソッドが用意され、Python スクリプトの `cPickle` モジュールを用いてシリアライズや復元が行われる。

参考として、リスタートファイルの読み込みを行うコードのサンプルを図 21に示す。

```

fin = file(“リスタートファイル名”, “rb”)
header = RestartFileHeader.load(fin)
num_body_steps = header[RestartFileHeader.CONDITION][“num_steps”]
body_set = []
for step_no in range(num_body_steps):
    body = RestartFileBody.load(fin)
    body_set.append(body)
    
```

図 21 リスタートファイル処理のコード例

RestartFileHeader オブジェクト及び RestartFileBody オブジェクトを管理するクラスとして RestartFileManager クラスを定義する。RestartFileManager オブジェクトは複数サイクルのリスタートファイルを管理し、リスタートファイルの読み込み及びリスタートファイルの書き出しを行う。

リスタートファイル関連クラスのクラス図を図 22に示す。

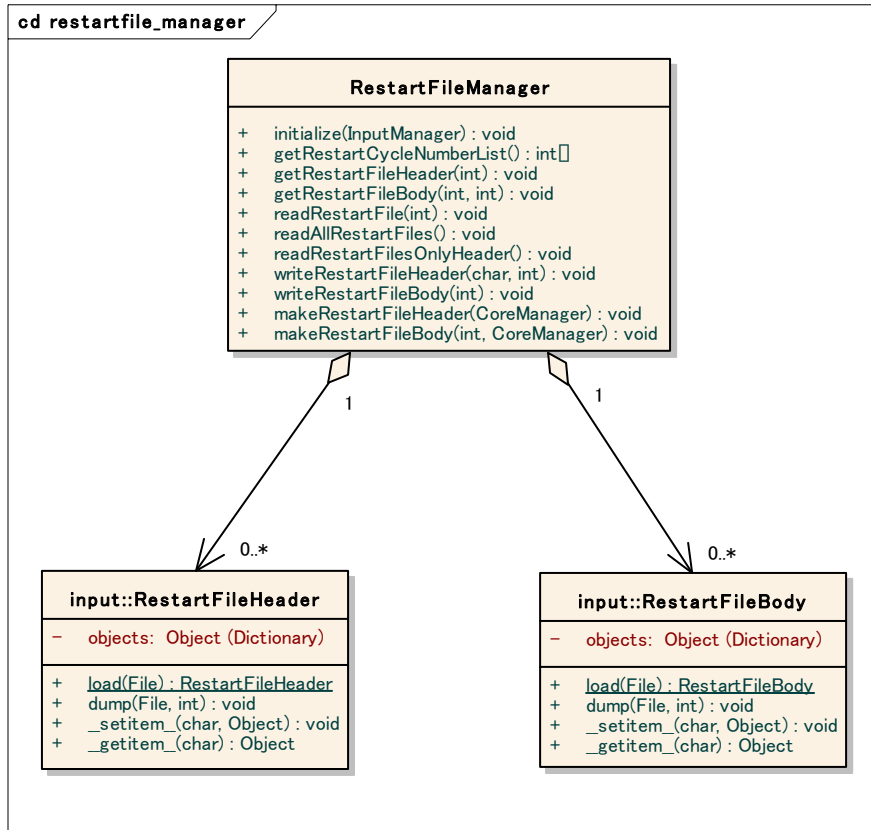


図 22 リスタートファイル処理に関するクラス図

2.4.2 炉心計算部

炉心計算部のクラス図を図 23に示す。

計算処理を統括する CalculationManager クラス、および炉心計算を管理する CoreCalculator クラスを定義する。CalculationManager オブジェクトは CoreCalculator オブジェクトを制御し、炉心計算を実行する。CoreCalculator オブジェクトは適当な炉心計算コードの高レベルカプセル化層オブジェクト (Solver) を用いて計算を行う。炉心計算が終了すると CoreInfo オブジェクトが保持する¹⁵詳細中性子束分布が更新されるので、CoreProperty オブジェクトから取得した炉心の熱出力値を引数として CoreInfo オブジェクトの normalizeFlux メソッドを呼び出し、中性子束の規格化を行う。

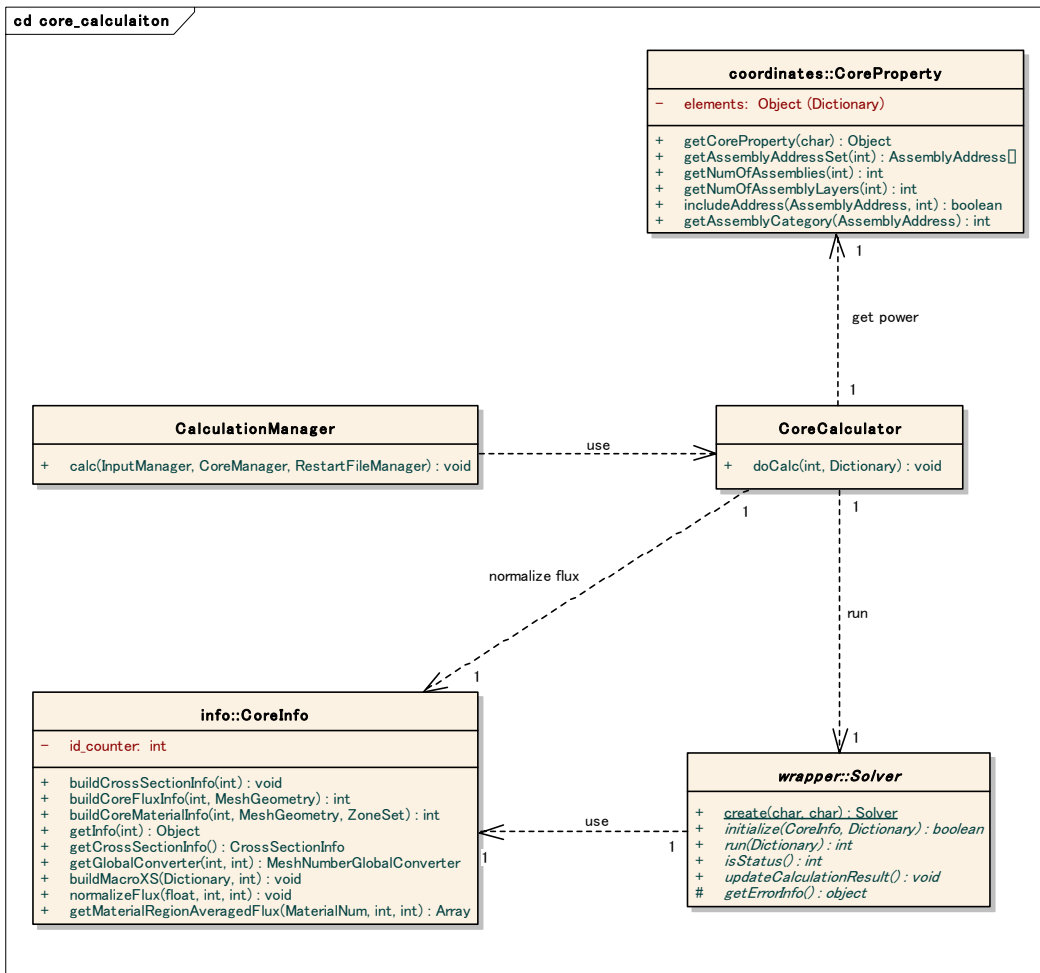


図 23 炉心計算部のクラス図

¹⁵中性子束分布は、正確には CoreInfo オブジェクトが保持する CoreFluxInfo オブジェクトが管理している。

2.4.3 燃焼計算部

燃焼計算部のクラス図を図 24に示す。

計算処理を統括する CalculationManager クラス、および燃焼計算を管理する BurnupCalculator クラスを定義する。CalculationManager オブジェクトは BurnupCalculator オブジェクトを制御し、燃焼計算を実行する。BurnupCalculator オブジェクトは適当な燃焼計算コードの高レベルカプセル化層オブジェクト (Solver) を用いて計算を行う。2.1.3で述べたとおり燃焼計算を行う際にはマテリアルメッシュ平均の中性子束を算出する必要があるが、この処理は Solver オブジェクトが CoreInfo オブジェクトの getMaterialRegionAveragedFlux メソッドを呼び出して Solver オブジェクト内部で行うため、CoreCalculator オブジェクトは特に意識する必要はない。

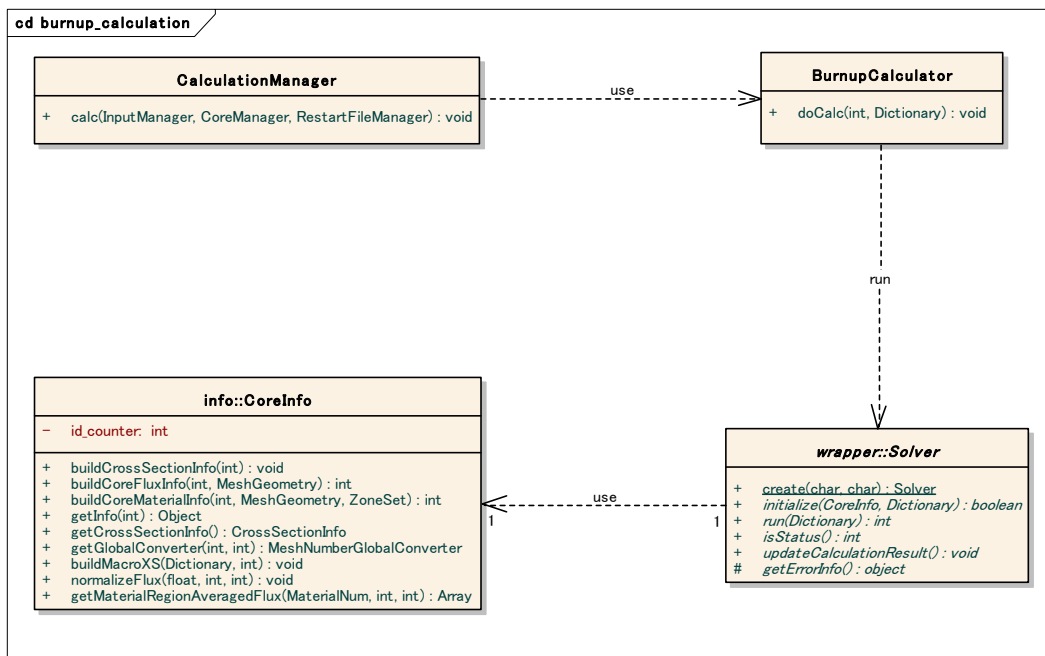


図 24 燃焼計算部のクラス図

2.4.4 全体制御部

システム全体の中心的な制御を行うクラスとして **Controller** クラスを定義する。**Controller** オブジェクトは **InputManager**, **RestartFileManager**, **CoreManager**, **CalculationManager** の4つのマネージャオブジェクトを使ってシステム全体を統括する。全体制御部の考え方は参考文献 2) で実装したプロトタイプのものであり、詳細については参考文献 2) で参照できる。

本システムの処理の流れは、「初期化」「計算実行」「終了処理」の3つのフェーズに大別される。初期化とはシステムを動作させるために必要な各種リソースを確保する処理であり、すなわち、システムを構成する各種オブジェクトを生成・初期化することに相当する。計算実行フェーズは、システムを中心となるフェーズであり、初期化フェーズで生成したオブジェクトを適切な手順に従って起動し、各種計算処理を実行する。終了処理のフェーズでは、初期化フェーズで確保したリソースの解放等、様々な後処理を実施する。

システムの全体制御を行う **Controller** クラスには、この3つのフェーズに相当する **initialize**, **execute**, **finalize** の3つのメソッドを実装する。**initialize** メソッドにおいては主に **InputManager**, **RestartFileManager** 及び **CoreManager** を用いて初期化処理を行い、**execute** メソッドにおいて **CalculationManager** を起動して炉心計算・燃焼計算を実行する。なお本プロトタイプにおいては特別のシステム終了処理は不要であり、**finalize** メソッドは特に何も行わない。

3. 機能検証

3.1 検証用のテスト環境

2.1で述べた本プロトタイプ各機能に対して検証を行った。

炉心計算・燃焼計算については、「常陽」MK-IIのサイクル0（初装荷炉心）を対象として検証計算を行った。検証のために使用した本プロトタイプの入力ファイルを付録Aに示す。

リスタートファイル処理機能の検証に当たっては、集合体が7体のみの小体系を作成してシャッフリング処理の検証を行った。シャッフリング機能の検証は物質配置のシャッフリング前後の移動状況を確認することが目的なので、適当な体系を用いてテストする方が十分な確認を行えるためである。この小体系用の入力ファイルのうち特に装荷パターンファイルを付録Bに示す。

本プロトタイプはセル計算機能を実装しないため、実効マイクロ断面積をPDSファイルとして与える必要がある。今回は、SLAROM-UFが作成した70群の断面積ファイルを使用して検証を行った。

3.2 マクロ定数計算機能

本システムは、SLAROM-UF で作成した PDS ファイル中のマイクロ断面積と入力ファイルで与えた集合体詳細幾何形状および物質組成データをもとに、実効マクロ断面積を構築する。このマクロ定数計算機能の実装が適切であることを以下のように確認した。

燃料領域、インシュレータ領域、吸収体領域の実効マクロ断面積に対して、PDS ファイル中に含まれる SLAROM-UF により作成したマクロ断面積と本システムが生成するマクロ断面積を比較する。そのため、まず対象とする領域の詳細集合体幾何形状と物質組成データから手計算で算出した核種の数密度を、システムが算出した数密度と比較する。次に PDS ファイルから読み込んだ実効マクロ断面積とシステムが生成したマクロ断面積を比較する。比較するのは核分裂断面積、捕獲反応断面積および等方拡散係数である。

まず数密度の比較結果を表 8～表 10に示す。この結果を見ると燃料領域、インシュレータ領域、吸収体領域ともに比較的良く一致していることが分かる。燃料ピンに当たる核種の数密度の誤差が 0.003%程度であるのに対し、構造材核種の数密度の相対誤差は 0.01%程度と比較的大きくなっているが、これは燃料ピンに比べて被覆管に対するレイトレース処理結果の誤差が大きくなってしまったためである¹⁶。

次に実効マクロ断面積の比較結果を表 11～表 13に示す。この結果を見ると数密度と同様に、燃料領域、インシュレータ領域、吸収体領域ともに比較的良く一致している。核分裂断面積に関しては全てのエネルギー群に渡って 0.003%程度の誤差で一致しているが、これは数密度の誤差を反映したもので妥当な結果である。捕獲反応断面積の結果は核分裂断面積の結果と比べるとエネルギー群によるばらつきが大きいですが、これは燃焼核種の数密度の誤差が 0.003%程度であるのに対し構造材核種の誤差が 0.01%程度あるため、核種毎の共鳴状態の差により、結果としてこのようなばらつきが生じていると思われる。但し炉心計算に十分な精度は確保しており、特に問題にはならない。

¹⁶ レイトレース処理の際は幾何形状のマクロバンドを考慮し、また積分は Gauss-Legendre 求積法を用いて実施している。

表 8 燃料領域の数密度の比較結果

核種	手計算値	システム算出値	相対誤差 (%)
U-234	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-235	7.29051E-04	7.29074E-04	0.00314%
U-236	2.88712E-10	2.88721E-10	0.00313%
U-238	5.22438E-03	5.22454E-03	0.00314%
Np-237	1.40348E-11	1.40352E-11	0.00313%
Np-239	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-238	3.21564E-06	3.21574E-06	0.00314%
Pu-239	1.75425E-03	1.75431E-03	0.00313%
Pu-240	4.91154E-04	4.91169E-04	0.00314%
Pu-241	7.33873E-05	7.33896E-05	0.00314%
Pu-242	1.64214E-05	1.64219E-05	0.00314%
Am-241	8.19207E-06	8.19233E-06	0.00314%
Am-242m	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Am-243	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-242	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-243	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-244	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-245	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-246	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-235FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-238FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-239FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-241FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
O-16	1.63727E-02	1.63732E-02	0.00313%
B-10	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
B-11	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
C-12	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Be-9	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Sb-121	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Sb-123	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
N-14	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
N-15	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cr-nat	3.59564E-03	3.59602E-03	0.01077%
Mn-55	3.50337E-04	3.50374E-04	0.01077%
Fe-nat	1.28480E-02	1.28494E-02	0.01077%
Ni-nat	2.52947E-03	2.52974E-03	0.01077%
Mo-nat	2.86645E-04	2.86676E-04	0.01077%
Al-27	2.40464E-21	2.40492E-21	0.01164%
Na-23	8.90221E-03	8.90130E-03	-0.01022%

表 9 インシュレータ領域の数密度の比較結果

核種	手計算値	システム算出値	相対誤差 (%)
U-234	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-235	1.82764E-05	1.82770E-05	0.00314%
U-236	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-238	9.00471E-03	9.00500E-03	0.00314%
Np-237	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Np-239	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-238	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-239	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-240	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-241	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-242	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Am-241	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Am-242m	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Am-243	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-242	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-243	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-244	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-245	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cm-246	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-235FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
U-238FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-239FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Pu-241FP	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
O-16	1.77743E-02	1.77748E-02	0.00314%
B-10	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
B-11	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
C-12	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Be-9	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Sb-121	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Sb-123	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
N-14	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
N-15	3.71715E-21	3.71726E-21	0.00314%
Cr-nat	3.59564E-03	3.59602E-03	0.01077%
Mn-55	3.50337E-04	3.50374E-04	0.01077%
Fe-nat	1.28480E-02	1.28494E-02	0.01077%
Ni-nat	2.52947E-03	2.52974E-03	0.01077%
Mo-nat	2.86645E-04	2.86676E-04	0.01077%
Al-27	2.40464E-21	2.40492E-21	0.01164%
Na-23	8.90221E-03	8.90130E-03	-0.01022%

表 10 吸収体領域の数密度の比較結果

核種	手計算値	システム算出値	相対誤差 (%)
B-10	2.25189E-02	2.25175E-02	-0.00615%
B-11	2.26575E-03	2.26561E-03	-0.00615%
C-12	6.26648E-03	6.26610E-03	-0.00615%
Cr-nat	2.85166E-03	2.85292E-03	0.04423%
Mn-55	2.34923E-04	2.35027E-04	0.04424%
Fe-nat	1.10684E-02	1.10733E-02	0.04441%
Ni-nat	1.40583E-03	1.40646E-03	0.04446%
Mo-nat	2.39984E-05	2.40090E-05	0.04454%
Na-23	1.30110E-02	1.30094E-02	-0.01179%

表 11 燃料領域の実効マクロ断面積の比較結果

エネルギー群	核分裂断面積		捕獲反応断面積		等方拡散係数	
	リアレンス	計算値	リアレンス	計算値	リアレンス	計算値
1	0.01208737	0.01208753	0.00599729	0.00599748	3.80687666	3.80676317
2	0.01044708	0.01044721	0.00395768	0.00395784	3.72165775	3.72154260
3	0.00763666	0.00763676	0.00228775	0.00228787	3.47822165	3.47811317
4	0.00801345	0.00801355	0.00172693	0.00172702	3.03874063	3.03865170
5	0.00808147	0.00808158	0.00071360	0.00071365	2.76965070	2.76957226
6	0.00831680	0.00831690	0.00052069	0.00052072	2.92894745	2.92886639
7	0.00829353	0.00829364	0.00046951	0.00046952	2.62220669	2.62214041
8	0.00712010	0.00712019	0.00057512	0.00057514	2.52414584	2.52408075
9	0.00531455	0.00531461	0.00079512	0.00079513	2.12301850	2.12297606
10	0.00478374	0.00478380	0.00102649	0.00102651	1.88989830	1.88986588
11	0.00432228	0.00432233	0.00108712	0.00108714	1.89965796	1.89963770
12	0.00400304	0.00400310	0.00110690	0.00110692	2.14508629	2.14504528
13	0.00379967	0.00379972	0.00115913	0.00115916	1.36205101	1.36202049
14	0.00376633	0.00376638	0.00126716	0.00126719	1.59844387	1.59841371
15	0.00376908	0.00376913	0.00140680	0.00140683	1.56998014	1.56994808
16	0.00371100	0.00371105	0.00159483	0.00159486	1.34332097	1.34328985
17	0.00375460	0.00375465	0.00172440	0.00172443	1.35650098	1.35646415
18	0.00388294	0.00388299	0.00196800	0.00196804	1.42883193	1.42879987
19	0.00398668	0.00398673	0.00228104	0.00228109	1.24048126	1.24044633
20	0.00408733	0.00408738	0.00253918	0.00253923	1.33270121	1.33267081
21	0.00424128	0.00424134	0.00304545	0.00304551	1.19013476	1.19010866
22	0.00439550	0.00439556	0.00358510	0.00358516	1.15183175	1.15180278
23	0.00459376	0.00459382	0.00433528	0.00433536	1.04035258	1.04031932
24	0.00461933	0.00461939	0.00474279	0.00474288	0.90955609	0.90952241
25	0.00490096	0.00490103	0.00508485	0.00508494	1.20224702	1.20222068
26	0.00518849	0.00518856	0.00568847	0.00568857	0.87471855	0.87468672
27	0.00537921	0.00537928	0.00656999	0.00657012	0.81539249	0.81536144
28	0.00570207	0.00570215	0.00691876	0.00691889	0.90620089	0.90617269
29	0.00651402	0.00651411	0.00798369	0.00798384	0.61880916	0.61878198

30	0.00666543	0.00666552	0.0013%	0.00940950	0.00940968	0.0018%	0.67485535	0.67483127	-0.0036%
31	0.00743963	0.00743973	0.0013%	0.01010793	0.01010810	0.0017%	0.66524863	0.66523153	-0.0026%
32	0.00876319	0.00876331	0.0013%	0.01084909	0.01084926	0.0015%	0.51096189	0.51095790	-0.0008%
33	0.01070560	0.01070574	0.0013%	0.01480800	0.01480812	0.0009%	0.23913907	0.23915409	0.0063%
34	0.00963040	0.00963053	0.0013%	0.01517355	0.01517376	0.0014%	0.42505285	0.42504981	-0.0007%
35	0.01098244	0.01098258	0.0013%	0.01575834	0.01575864	0.0019%	0.74344158	0.74342489	-0.0022%
36	0.01334280	0.01334297	0.0013%	0.01484220	0.01484242	0.0015%	0.86649638	0.86647034	-0.0030%
37	0.01691748	0.01691770	0.0013%	0.02464342	0.02464413	0.0029%	0.80172092	0.80169225	-0.0036%
38	0.01640335	0.01640356	0.0013%	0.02092177	0.02092207	0.0015%	0.86554539	0.86551434	-0.0036%
39	0.01584744	0.01584765	0.0013%	0.02311407	0.02311442	0.0015%	0.84490097	0.84486961	-0.0037%
40	0.03464763	0.03464808	0.0013%	0.02921528	0.02921573	0.0015%	0.78635991	0.78633040	-0.0038%
41	0.02203249	0.02203277	0.0013%	0.02377115	0.02377160	0.0019%	0.73337233	0.73334080	-0.0043%
42	0.02995399	0.02995438	0.0013%	0.04502836	0.04502926	0.0020%	0.56590343	0.56587589	-0.0049%
43	0.04333416	0.04333472	0.0013%	0.04278573	0.04278635	0.0015%	0.72923243	0.72920460	-0.0038%
44	0.04174121	0.04174176	0.0013%	0.03815017	0.03815072	0.0014%	0.75572056	0.75569177	-0.0038%
45	0.04132121	0.04132175	0.0013%	0.04543062	0.04543139	0.0017%	0.75681359	0.75678408	-0.0039%
46	0.04110904	0.04110957	0.0013%	0.06291536	0.06291626	0.0014%	0.72094613	0.72091889	-0.0038%
47	0.07549278	0.07549375	0.0013%	0.04954677	0.04954747	0.0014%	0.73404759	0.73401940	-0.0038%
48	0.06751882	0.06751969	0.0013%	0.06458854	0.06458949	0.0015%	0.70488381	0.70485717	-0.0038%
49	0.11943428	0.11943583	0.0013%	0.05692754	0.05692838	0.0015%	0.65348119	0.65345740	-0.0036%
50	0.04360588	0.04360645	0.0013%	0.11752044	0.11752313	0.0023%	0.61222971	0.61220670	-0.0038%
51	0.04295957	0.04296014	0.0013%	0.08628808	0.08628932	0.0014%	0.78281081	0.78277904	-0.0041%
52	0.05620864	0.05620937	0.0013%	0.03876550	0.03876612	0.0016%	0.74620020	0.74617100	-0.0039%
53	0.08510577	0.08510688	0.0013%	0.20661895	0.20662174	0.0013%	0.63045728	0.63043457	-0.0036%
54	0.13773145	0.13773322	0.0013%	0.07334381	0.07334492	0.0015%	0.65273857	0.65271455	-0.0037%
55	0.13463786	0.13463962	0.0013%	0.10298423	0.10298579	0.0015%	0.64979976	0.64977557	-0.0037%
56	0.08110020	0.08110125	0.0013%	0.03770356	0.03770426	0.0018%	0.72013366	0.72010571	-0.0039%
57	0.10864712	0.10864852	0.0013%	0.19981031	0.19981311	0.0014%	0.58112240	0.58110207	-0.0035%
58	0.05094972	0.05095038	0.0013%	0.07879718	0.07879847	0.0016%	0.73332143	0.73329264	-0.0039%
59	0.03453637	0.03453681	0.0013%	0.03857004	0.03857083	0.0021%	0.78748435	0.78745180	-0.0041%
60	0.04055177	0.04055230	0.0013%	0.02588202	0.02588269	0.0026%	0.78819871	0.78816605	-0.0041%
61	0.03039734	0.03039774	0.0013%	0.06781722	0.06781848	0.0019%	0.74573559	0.74570566	-0.0040%
62	0.03589409	0.03589455	0.0013%	0.04198109	0.04198206	0.0023%	0.75360900	0.75357848	-0.0040%

63	0.04318781	0.04318836	0.0013%	0.07421735	0.07421880	0.0020%	0.68282855	0.68280244	-0.0038%
64	0.06221382	0.06221462	0.0013%	0.30472624	0.30473086	0.0015%	0.47757646	0.47756442	-0.0025%
65	0.01012053	0.01012066	0.0013%	1.17414355	1.17416012	0.0014%	0.32537672	0.32536858	-0.0025%
66	0.09771796	0.09771923	0.0013%	0.35568211	0.35568771	0.0016%	0.41929814	0.41929284	-0.0013%
67	0.17284130	0.17284353	0.0013%	0.20357247	0.20357609	0.0018%	0.45362064	0.45361146	-0.0020%
68	0.30618194	0.30618593	0.0013%	0.22857015	0.22857432	0.0018%	0.38754320	0.38754082	-0.0006%
69	0.50025231	0.50025880	0.0013%	0.35187197	0.35187823	0.0018%	0.32302362	0.32302654	0.0009%
70	0.48844871	0.48845506	0.0013%	0.35032415	0.35033155	0.0021%	0.31923354	0.31923592	0.0007%

表 12 インシデント領域の実効マクロ断面積の比較結果

エネルギー群	核分裂断面積		捕獲反応断面積		等方拡散係数	
	リアレンス	計算値	リアレンス	計算値	リアレンス	計算値
1	0.00920116	0.00920128	0.00620696	0.00620715	3.66151023	3.66141033
2	0.00783470	0.00783481	0.00410349	0.00410365	3.58496690	3.58486605
3	0.00499674	0.00499680	0.00238063	0.00238076	3.34771323	3.34761953
4	0.00516129	0.00516136	0.00181592	0.00181601	2.92410541	2.92402744
5	0.00490129	0.00490136	0.00073902	0.00073907	2.65577197	2.65570354
6	0.00500140	0.00500147	0.00053442	0.00053445	2.82553148	2.82546115
7	0.00478675	0.00478681	0.00048607	0.00048608	2.51847887	2.51842141
8	0.00306349	0.00306353	0.00063220	0.00063222	2.42083812	2.42078114
9	0.00044717	0.00044717	0.00095092	0.00095093	2.03055310	2.03051639
10	0.00014006	0.00014006	0.00124835	0.00124837	1.80575180	1.80572438
11	0.00004239	0.00004239	0.00122494	0.00122497	1.82913876	1.82912302
12	0.00002653	0.00002653	0.00114109	0.00114112	2.05419087	2.05415559
13	0.00002407	0.00002407	0.00110907	0.00110910	1.29839921	1.29837298
14	0.00002387	0.00002387	0.00114971	0.00114974	1.52208257	1.52205610
15	0.00002399	0.00002399	0.00122729	0.00122731	1.49783218	1.49780416
16	0.00002512	0.00002512	0.00135057	0.00135060	1.28631628	1.28628910
17	0.00002636	0.00002636	0.00142138	0.00142141	1.29748416	1.29745173
18	0.00002752	0.00002752	0.00159981	0.00159984	1.36677861	1.36675012
19	0.00002899	0.00002899	0.00189206	0.00189210	1.19510901	1.19507790
20	0.00003084	0.00003084	0.00216236	0.00216240	1.28493750	1.28491020
21	0.00003333	0.00003333	0.00269215	0.00269220	1.15338683	1.15336311
22	0.00003443	0.00003443	0.00327817	0.00327823	1.12204146	1.12201560
23	0.00003675	0.00003675	0.00399017	0.00399024	1.01796603	1.01793611
24	0.00003784	0.00003784	0.00439008	0.00439016	0.89906378	0.89903284
25	0.00004175	0.00004175	0.00460609	0.00460617	1.18905449	1.18902874
26	0.00004485	0.00004485	0.00509665	0.00509673	0.86675531	0.86672282
27	0.00004816	0.00004817	0.00583475	0.00583487	0.81163335	0.81160176
28	0.00005279	0.00005279	0.00595388	0.00595399	0.90330293	0.90330297
29	0.00005764	0.00005764	0.00627336	0.00627348	0.61617571	0.61615068

30	0.00006193	0.00006193	0.0013%	0.00738738	0.00738752	0.0019%	0.67494375	0.67492110	-0.0034%
31	0.00007243	0.00007243	0.0013%	0.00749836	0.00749849	0.0018%	0.66652000	0.66650385	-0.0024%
32	0.00008322	0.00008322	0.0013%	0.00750309	0.00750321	0.0016%	0.51090014	0.51089734	-0.0005%
33	0.00009519	0.00009519	0.0013%	0.01117288	0.01117296	0.0007%	0.23946412	0.23948003	0.0066%
34	0.00009876	0.00009876	0.0013%	0.00972349	0.00972363	0.0014%	0.43290201	0.43290067	-0.0003%
35	0.00011415	0.00011415	0.0013%	0.00937532	0.00937552	0.0022%	0.78034157	0.78032559	-0.0020%
36	0.00012564	0.00012564	0.0013%	0.00798051	0.00798064	0.0016%	0.91089428	0.91086799	-0.0029%
37	0.00016248	0.00016248	0.0013%	0.01602691	0.01602747	0.0035%	0.85103732	0.85100764	-0.0035%
38	0.00015803	0.00015804	0.0013%	0.01168121	0.01168139	0.0016%	0.93657994	0.93654633	-0.0036%
39	0.00024132	0.00024132	0.0013%	0.01187140	0.01187160	0.0016%	0.89881998	0.89878744	-0.0036%
40	0.00024979	0.00024980	0.0013%	0.01211603	0.01211625	0.0018%	0.89124572	0.89121175	-0.0038%
41	0.00021564	0.00021564	0.0013%	0.01228170	0.01228199	0.0023%	0.77137578	0.77134383	-0.0041%
42	0.00025811	0.00025812	0.0013%	0.01600994	0.01601043	0.0031%	0.63334769	0.63331729	-0.0048%
43	0.00041088	0.00041088	0.0013%	0.01373103	0.01373126	0.0017%	0.82338727	0.82335538	-0.0039%
44	0.00033237	0.00033237	0.0013%	0.01791188	0.01791216	0.0016%	0.87562466	0.87559032	-0.0039%
45	0.00038619	0.00038620	0.0013%	0.01373911	0.01373945	0.0025%	0.86147219	0.86143786	-0.0040%
46	0.00038502	0.00038502	0.0013%	0.03011674	0.03011720	0.0015%	0.80818546	0.80815494	-0.0038%
47	0.00043751	0.00043751	0.0013%	0.01817545	0.01817575	0.0017%	0.93270463	0.93266571	-0.0042%
48	0.00044208	0.00044209	0.0013%	0.02852691	0.02852738	0.0017%	0.83562124	0.83558828	-0.0039%
49	0.00101950	0.00101951	0.0013%	0.00330778	0.00330791	0.0039%	0.87229210	0.87225682	-0.0040%
50	0.00061625	0.00061626	0.0013%	0.03032575	0.03032710	0.0045%	0.70750344	0.70747644	-0.0038%
51	0.00090575	0.00090576	0.0013%	0.11201485	0.11201640	0.0014%	0.90387845	0.90384060	-0.0042%
52	0.00082197	0.00082198	0.0013%	0.00861572	0.00861594	0.0026%	0.85907400	0.85903913	-0.0041%
53	0.00096041	0.00096043	0.0013%	0.14958930	0.14959140	0.0014%	0.73343658	0.73340929	-0.0037%
54	0.00061760	0.00061761	0.0013%	0.00688100	0.00688123	0.0033%	0.92354572	0.92350626	-0.0043%
55	0.00085331	0.00085332	0.0013%	0.00771336	0.00771366	0.0038%	0.89144671	0.89140940	-0.0042%
56	0.00185882	0.00185885	0.0013%	0.01168185	0.01168219	0.0029%	0.85988206	0.85984671	-0.0041%
57	0.00021733	0.00021734	0.0013%	0.11126952	0.11127120	0.0015%	0.74422026	0.74419212	-0.0038%
58	0.00044926	0.00044927	0.0013%	0.09220853	0.09220998	0.0016%	0.80426318	0.80423111	-0.0040%
59	0.00009637	0.00009637	0.0013%	0.01511427	0.01511473	0.0031%	0.89051217	0.89047456	-0.0042%
60	0.00058897	0.00058898	0.0013%	0.01125322	0.01125367	0.0039%	0.88867670	0.88863927	-0.0042%
61	0.00024298	0.00024298	0.0013%	0.01074689	0.01074736	0.0045%	0.88555753	0.88552028	-0.0042%
62	0.00026437	0.00026437	0.0013%	0.01146702	0.01146755	0.0047%	0.88072717	0.88069016	-0.0042%

63	0.00027219	0.00027219	0.0013%	0.01222450	0.01222510	0.0049%	0.87669194	0.87665498	-0.0042%
64	0.00077865	0.00077866	0.0013%	0.01359775	0.01359842	0.0049%	0.87020868	0.87017202	-0.0042%
65	0.00136887	0.00136889	0.0013%	0.01513389	0.01513464	0.0050%	0.86555976	0.86552352	-0.0042%
66	0.00102984	0.00102985	0.0013%	0.01682751	0.01682837	0.0051%	0.86244041	0.86240411	-0.0042%
67	0.00123147	0.00123148	0.0013%	0.01875511	0.01875607	0.0051%	0.85665447	0.85661835	-0.0042%
68	0.00166623	0.00166625	0.0013%	0.02105459	0.02105567	0.0051%	0.85008925	0.85005343	-0.0042%
69	0.00250023	0.00250026	0.0013%	0.02383461	0.02383583	0.0051%	0.84283167	0.84279615	-0.0042%
70	0.00435505	0.00435511	0.0013%	0.03970186	0.03970392	0.0052%	0.80605072	0.80601651	-0.0042%

表 13 吸収体領域の実効マクロ断面積の比較結果

エネルギー群	捕獲反応断面積			等方拡散係数		
	リファレンス	計算値	相対誤差	リファレンス	計算値	相対誤差
1	0.00969419	0.00969456	0.0039%	4.69443989	4.69385862	-0.0124%
2	0.00893019	0.00893038	0.0021%	4.33655596	4.33602095	-0.0123%
3	0.00872053	0.00872049	-0.0004%	4.16638851	4.16586637	-0.0125%
4	0.00830820	0.00830803	-0.0021%	3.62525630	3.62485003	-0.0112%
5	0.00662559	0.00662540	-0.0029%	3.26916695	3.26883602	-0.0101%
6	0.00696800	0.00696769	-0.0044%	2.94946170	2.94919562	-0.0090%
7	0.01175503	0.01175439	-0.0055%	2.99274874	2.99248648	-0.0088%
8	0.00847077	0.00847030	-0.0055%	2.95917535	2.95890975	-0.0090%
9	0.00576742	0.00576712	-0.0054%	2.59474492	2.59458232	-0.0063%
10	0.00624422	0.00624389	-0.0053%	2.35158539	2.35147619	-0.0046%
11	0.00807880	0.00807837	-0.0053%	1.81738949	1.81734145	-0.0026%
12	0.01242966	0.01242897	-0.0056%	2.10572457	2.10563254	-0.0044%
13	0.01793402	0.01793300	-0.0057%	1.75267780	1.75255275	-0.0071%
14	0.01807371	0.01807269	-0.0056%	1.87439990	1.87431955	-0.0043%
15	0.02218367	0.02218240	-0.0057%	1.77717102	1.77708387	-0.0049%
16	0.02654715	0.02654565	-0.0057%	1.46354103	1.46343052	-0.0076%
17	0.03054435	0.03054260	-0.0057%	1.56397867	1.56383562	-0.0091%
18	0.03301856	0.03301667	-0.0057%	1.69028533	1.69017732	-0.0064%
19	0.03879964	0.03879744	-0.0057%	1.45297360	1.45282316	-0.0104%
20	0.04137306	0.04137069	-0.0057%	1.61671889	1.61661279	-0.0066%
21	0.04737446	0.04737173	-0.0057%	1.40432608	1.40422118	-0.0075%
22	0.04751933	0.04751659	-0.0058%	1.35305393	1.35292661	-0.0094%
23	0.05397613	0.05397309	-0.0056%	1.22707856	1.22691536	-0.0133%
24	0.05624171	0.05623856	-0.0056%	1.07937336	1.07919645	-0.0164%
25	0.06268630	0.06268270	-0.0057%	1.50763071	1.50755203	-0.0052%
26	0.07365555	0.07365125	-0.0058%	1.08431375	1.08417618	-0.0127%
27	0.07052991	0.07052594	-0.0056%	0.99991816	0.99977773	-0.0140%
28	0.07523414	0.07522990	-0.0056%	1.02581310	1.02569294	-0.0117%
29	0.08464845	0.08464373	-0.0056%	0.64538515	0.64524227	-0.0221%
30	0.08192860	0.08192401	-0.0056%	0.71366924	0.71354586	-0.0173%
31	0.08653337	0.08652844	-0.0057%	0.67917496	0.67909735	-0.0114%
32	0.09432118	0.09431577	-0.0057%	0.46062583	0.46060094	-0.0054%
33	0.13498999	0.13498196	-0.0060%	0.15382010	0.15383194	0.0077%
34	0.08025004	0.08024545	-0.0057%	0.37216327	0.37214750	-0.0042%
35	0.08782870	0.08782414	-0.0052%	0.76279140	0.76272589	-0.0086%
36	0.09767345	0.09766779	-0.0058%	0.94028246	0.94017017	-0.0119%
37	0.11095346	0.11094966	-0.0034%	0.91996509	0.91981822	-0.0160%
38	0.10859075	0.10858448	-0.0058%	0.97885507	0.97869611	-0.0162%
39	0.11076289	0.11075652	-0.0058%	0.97427964	0.97410911	-0.0175%
40	0.11375500	0.11374850	-0.0057%	0.95066506	0.95048964	-0.0185%
41	0.11683035	0.11682402	-0.0054%	0.84376538	0.84358329	-0.0216%
42	0.11200963	0.11200492	-0.0042%	0.67233026	0.67215127	-0.0266%
43	0.11395191	0.11394560	-0.0055%	0.91499060	0.91480440	-0.0204%
44	0.11580849	0.11580202	-0.0056%	0.92607814	0.92589146	-0.0202%
45	0.11846693	0.11846047	-0.0055%	0.92003357	0.91984850	-0.0201%

46	0.11755128	0.11754482	-0.0055%	0.91684550	0.91666442	-0.0198%
47	0.11660822	0.11660187	-0.0054%	0.91241741	0.91222853	-0.0207%
48	0.11972040	0.11971397	-0.0054%	0.90767860	0.90748620	-0.0212%
49	0.12480652	0.12479978	-0.0054%	0.90352279	0.90332907	-0.0214%
50	0.12754270	0.12753686	-0.0046%	0.89223164	0.89203793	-0.0217%
51	0.12316656	0.12316006	-0.0053%	0.89950675	0.89931262	-0.0216%
52	0.12353806	0.12353165	-0.0052%	0.89747536	0.89728004	-0.0218%
53	0.13049400	0.13048729	-0.0051%	0.89458054	0.89438504	-0.0219%
54	0.13899937	0.13899232	-0.0051%	0.89197862	0.89178306	-0.0219%
55	0.14610387	0.14609662	-0.0050%	0.88955832	0.88936293	-0.0220%
56	0.14121257	0.14120576	-0.0048%	0.88898331	0.88878697	-0.0221%
57	0.13886678	0.13886030	-0.0047%	0.88766778	0.88747239	-0.0220%
58	0.14187706	0.14187066	-0.0045%	0.88585287	0.88565642	-0.0222%
59	0.13048434	0.13047886	-0.0042%	0.88539201	0.88519490	-0.0223%
60	0.12890096	0.12889589	-0.0039%	0.88379961	0.88360220	-0.0223%
61	0.11535928	0.11535534	-0.0034%	0.88250846	0.88231075	-0.0224%
62	0.11609364	0.11609006	-0.0031%	0.88017643	0.87997866	-0.0225%
63	0.11740655	0.11740334	-0.0027%	0.87777466	0.87757707	-0.0225%
64	0.12057461	0.12057168	-0.0024%	0.87499780	0.87484127	-0.0179%
65	0.12904047	0.12903766	-0.0022%	0.86733681	0.86714196	-0.0225%
66	0.12853627	0.12853417	-0.0016%	0.86454272	0.86436564	-0.0205%
67	0.12860850	0.12860702	-0.0011%	0.86188895	0.86174852	-0.0163%
68	0.13129650	0.13129562	-0.0007%	0.85723013	0.85703975	-0.0222%
69	0.13573574	0.13573553	-0.0002%	0.85070229	0.85050887	-0.0227%
70	0.14939147	0.14939588	0.0030%	0.82181811	0.82162768	-0.0232%

3.3 炉心計算機能

本プロトタイプは CITATION-FBR および TRITAC による炉心計算機能を実装している。システムの炉心計算機能が適切であることを、以下のように確認した。

検証を行う上での要点を考えると、本システムはそれ自体が炉心計算処理を行うのではなく、計算そのものは外部コードを用いて行っているため、外部コードに対する入力を適切に作成できていることを確認することが重要である。そこで「常陽」MK-II 環境のサイクル 0 の CITATION-FBR による炉心計算に対して、システムが自動作成した入力と解析者が手動で作成した入力とを比較した。次にシステムによる解析結果と既存の解析結果を比較した。なおテスト計算の計算体系は Hex-Z である。また解析結果の比較は固有値に対して行った。

システムが作成した CITATION-FBR の入力ファイルを図 25 に、リファレンスとした既存の計算における入力ファイルを図 26 に示す。入力ファイルの比較に当たっては、計算メッシュ体系の詳細を指定する 004 セクションとマテリアルマップを指定する 005 セクションが特に重要である。そのほかのセクションに関しては、詳細は省略するが問題なく一致していることが分かる。

004 セクションを比較すると、メッシュ分割数・メッシュ長ともに同等であることが分かる¹⁷。005 セクションで定義されるマテリアルマップについては、既存の解析ではマテリアルが計 30 しかないのに対し、システムが作成した入力ではマテリアルが計 555 存在する。これは解析対象が初装荷炉心であるため、既存の入力では燃料に全て同じマテリアルを割り当てているのに対し、システムでは同一のマテリアルであっても異なるものとして処理しているためである。各プレーンを比較すれば、実質的には両者は等価であることが分かる。

次にシステムが実施した CITATION-FBR による Hex-Z 体系での計算と既存の計算結果との比較結果を表 14 に示す。固有値の比較結果を見ると良く一致しており、システムによる計算が十分妥当であることが分かる。

表 14 CITATION-FBR の計算結果の比較

	固有値
システムによる計算値	0.9871417
リファレンス (既存の計算値)	0.9871478

なお CITATION-FBR の Tri-Z 体系による炉心計算、および TRITAC による計算についても詳細は省略するが問題ないことを確認した。これらの計算処理に対して、システムが作成した入力ファイルを付録 C に示す。

¹⁷ 僅かな差がみられるのは計算精度の違いによるものであり、計算結果への影響は無視できる。

55555555	2	4	4	4	10	13	13	13	13	105	13	13	13	10	4	4	4	2	
555555	2	4	4	4	10	13	13	105	13	13	13	13	13	13	10	4	4	4	2
555555	4	4	4	10	10	13	13	13	13	13	13	105	13	10	10	4	4	4	555
555	2	4	4	4	10	13	13	13	13	13	13	13	13	10	4	4	4	2555	
555	4	4	4	10	10	13	105	13	13	13	13	13	13	10	10	4	4	4	555555
	2	4	4	4	10	13	13	13	13	13	13	105	13	13	10	4	4	4	2555555
	2	4	4	4	10	13	13	13	105	13	13	13	13	10	4	4	4	255555555	
	2	4	4	4	10	10	13	13	13	13	10	10	4	4	4	255555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	13	13	10	10	10	4	4	4	25555555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	10	10	4	4	4	4	2555555555555555					
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	255555555555555555					
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	25555555555555555555					
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2555555555555555555555555555555555							
555555	2	2	2	2	2	2	2	2555555555555555555555555555555555555555											
555	2	2	2	2	2	2	2	2555555											
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2555	
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	7	10	10	10	10	10	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	10	10	13	13	10	10	10	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	10	13	13	13	13	13	10	10	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	13	13	13	13	106	13	13	13	10	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	13	13	106	13	13	13	13	13	10	4	4	4	4	2
555	4	4	4	10	10	13	13	13	13	106	13	10	10	4	4	4	4	4	555
555	2	4	4	4	10	13	13	13	13	13	13	13	13	10	4	4	4	2555	
555	4	4	4	10	10	13	106	13	13	13	13	13	10	10	4	4	4	4	555555
	2	4	4	4	10	13	13	13	13	13	106	13	13	10	4	4	4	2555555	
	2	4	4	4	10	13	13	13	106	13	13	13	13	10	4	4	4	255555555	
	2	4	4	4	10	10	13	13	13	13	10	10	4	4	4	255555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	13	13	10	10	10	4	4	4	255555555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	10	10	4	4	4	4	255555555555555555					
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	25555555555555555555					
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2555555555555555555555					
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2555555555555555555555555555555555							
555555	2	2	2	2	2	2	2	2555555555555555555555555555555555555555											
555	2	2	2	2	2	2	2	2555555											
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2555	
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	7	10	10	10	10	10	4	4	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	10	10	14	14	10	10	10	4	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	10	14	14	14	14	14	10	10	4	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	14	14	14	14	106	14	14	14	10	4	4	4	4	2
555	2	4	4	4	10	14	14	14	14	14	14	14	10	4	4	4	4	4	2
555	4	4	4	10	10	14	14	14	14	14	106	14	10	10	4	4	4	4	555
555	2	4	4	4	10	14	14	14	14	14	14	14	14	10	4	4	4	2555	
555	4	4	4	10	10	14	106	14	14	14	14	14	10	10	4	4	4	4	555555
	2	4	4	4	10	14	14	14	14	14	106	14	14	10	4	4	4	2555555	
	2	4	4	4	10	14	14	14	106	14	14	14	10	4	4	4	255555555		
	2	4	4	4	10	10	14	14	14	14	10	10	4	4	4	255555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	14	14	10	10	10	4	4	4	255555555555555			
	2	4	4	4	10	10	10	10	10	4	4	4	4	255555555555555555					
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	25555555555555555555					

図 25 システムが作成した CITATION-FBR の入力 (2/8)

555555	2	5	5	5	11139147106155163171179187195	11	5	5	5	2							
555555	5	5	5	11	11203211219227235243106251	11	11	5	5	5555							
555	2	5	5	5	11259267275283291299307315323	11	5	5	5	2555							
555	5	5	5	11	11331106339347354356364372	11	11	5	5	555555							
	2	5	5	5	11380388396404412420106428436	11	5	5	5	255555							
	2	5	5	5	11444452460106468476484492	11	5	5	5	25555555							
	2	5	5	5	111500508516524532	11	11	5	5	5	2555555555						
	2	5	5	5	11111540548	11	11	11	5	5	5	255555555555					
	2	5	5	5	5	11	11	11	11	5	5	5	25555555555555				
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2555555555555555					
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	255555555555555555					
555	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2555555555555555555555						
555555	2	2	2	2	2	2	2555555555555555555555555555555555555555										
55	2	2	2	2	2	2	25555555										
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	2555							
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2						
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2						
55	2	5	5	5	8	11	11	11	11	5	5	5	2				
55	2	5	5	5	11	11	11	17	27	11	11	11	5	5	2		
55	2	5	5	5	11	11	35	43	51	59	67	11	11	5	5	2	
55	2	5	5	5	11	75	83	91	99	107	116	124	132	11	5	5	2
55	2	5	5	5	11140148107156164172180188196	11	5	5	5	2							
55	5	5	5	11	11204212220228236244107252	11	11	5	5	5555							
555	2	5	5	5	11260268276284292300308316324	11	5	5	5	2555							
555	5	5	5	11	11332107340348354357365373	11	11	5	5	555555							
	2	5	5	5	11381389397405413421107429437	11	5	5	5	255555							
	2	5	5	5	11445453461107469477485493	11	5	5	5	25555555							
	2	5	5	5	111501509517525533	11	11	5	5	5	2555555555						
	2	5	5	5	11111541549	11	11	11	5	5	5	255555555555					
	2	5	5	5	5	11	11	11	11	5	5	5	25555555555555				
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2555555555555555					
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	255555555555555555					
555	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2555555555555555555555555555555555						
555555	2	2	2	2	2	2	2555555555555555555555555555555555555555										
55	2	2	2	2	2	2	25555555										
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	2555							
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2						
55	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2						
55	2	5	5	5	8	11	11	11	11	5	5	5	2				
55	2	5	5	5	11	11	11	18	28	11	11	11	5	5	2		
55	2	5	5	5	11	11	36	44	52	60	68	11	11	5	5	2	
55	2	5	5	5	11	76	84	92	100	108	117	125	133	11	5	5	2
55	2	5	5	5	11141149108157165173181189197	11	5	5	5	2							
55	5	5	5	11	11205213221229237245108253	11	11	5	5	5555							
555	2	5	5	5	11261269277285293301309317325	11	5	5	5	2555							
555	5	5	5	11	11333108341349354358366374	11	11	5	5	555555							
	2	5	5	5	11382390398406414422108430438	11	5	5	5	255555							
	2	5	5	5	11446454462108470478486494	11	5	5	5	25555555							
	2	5	5	5	111502510518526534	11	11	5	5	5	2555555555						
	2	5	5	5	11111542550	11	11	11	5	5	5	255555555555					
	2	5	5	5	5	11	11	11	11	5	5	5	25555555555555				
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2555555555555555					
	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	255555555555555555					

図 25 システムが作成した CITATION-FBR の入力 (4/8)


```

555555 5 5 5 11 11208216224232240248111256 11 11 5 5 5555
555 2 5 5 5 11264272280288296304312320328 11 5 5 5 2555
555 5 5 5 11 11336111344352354361369377 11 11 5 5 555555
 2 5 5 5 11385393401409417425111433441 11 5 5 5 2555555
 2 5 5 5 11449457465111473481489497 11 5 5 5 2555555555
 2 5 5 5 11 11505513521529537 11 11 5 5 5 2555555555555
 2 5 5 5 11 11 11545553 11 11 11 5 5 5 2555555555555555
 2 5 5 5 5 11 11 11 11 11 5 5 5 5 255555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2555555555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555
555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555555555
555555 2 2 2 2 2 2 2555555555555555555555555555555555
5555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 2 2 2 2 2 25555555
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 2555
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 8 11 11 11 11 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 11 11 11 22 32 11 11 11 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 11 11 40 48 56 64 72 11 11 5 5 5 2
5555555555 2 5 5 5 11 80 88 96104111121129137 11 5 5 5 2
555555 2 5 5 5 11145153111161169177185193201 11 5 5 5 2
555555 5 5 5 11 11209217225233241249111257 11 11 5 5 5555
555 2 5 5 5 11265273281289297305313321329 11 5 5 5 2555
555 5 5 5 11 11337111345353354362370378 11 11 5 5 555555
 2 5 5 5 11386394402410418426111434442 11 5 5 5 2555555
 2 5 5 5 11450458466111474482490498 11 5 5 5 2555555555
 2 5 5 5 11 11506514522530538 11 11 5 5 5 2555555555555
 2 5 5 5 11 11 11546554 11 11 11 5 5 5 2555555555555555
 2 5 5 5 5 11 11 11 11 11 5 5 5 5 255555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2555555555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555
555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555555555
555555 2 2 2 2 2 2 2555555555555555555555555555555555
5555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 2 2 2 2 2 25555555
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 2555
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 9 11 11 11 11 5 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 11 11 11 23 23 11 11 11 5 5 5 2
55555555555555555555555555555555555555555555555555555 2 5 5 5 11 11 23 23 23 23 23 11 11 5 5 5 2
5555555555 2 5 5 5 11 23 23 23 23 23 23 23 11 5 5 5 2
55555555 2 5 5 5 11 23 23 23 23 23 23 23 23 11 5 5 5 2
55555555 5 5 5 11 11 23 23 23 23 23 23 23 11 11 5 5 5555
555 2 5 5 5 11 23 23 23 23 23 23 23 23 11 5 5 5 2555
555 5 5 5 11 11 23111 23 23 23 23 23 23 11 11 5 5 555555
 2 5 5 5 11 23 23 23 23 23 23111 23 23 11 5 5 5 2555555
 2 5 5 5 11 23 23 23111 23 23 23 23 11 5 5 5 2555555555
 2 5 5 5 11 11 23 23 23 23 23 11 11 5 5 5 2555555555555
 2 5 5 5 11 11 11 23 23 11 11 11 5 5 5 2555555555555555
 2 5 5 5 5 11 11 11 11 11 5 5 5 5 25555555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555
 2 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555
555 2 5 5 5 5 5 5 5 5 255555555555555555555555555555

```

図 25 システムが作成した CITATION-FBR の入力 (6/8)


```

JOYO MK-2 Burn-UP 100.00MW x 27.81day 2781.00MWD 0cy
 13.9050day x 2
001
0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
900900

003
0 0 0 0 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1.0000E-4 1.0000E-5

004
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
1 8.181698 1 8.181698 1 8.181698
5 11.4400 17 41.9083 10 25.2517 6 15.0300 6 15.0300 1 1.2000
3 8.6583 2 5.0100 1 1.2000 4 10.0200 2 5.0100 10 25.2117
1 1.2000 3 8.6583 3 6.3717 12 30.0600 2 4.8483 8 19.2517

005
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 16 16 16 16 16 16 16 30 30
30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 16 15 15 15 15 15 15 15 16 30
30 30 30 30 30 30 30 30 16 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16
30 30 30 30 30 30 16 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16
30 30 30 30 30 16 15 15 15 12 12 12 6 6 12 12 12 15 15 15 16
30 30 30 30 16 15 15 15 12 12 12 6 6 6 6 6 12 12 15 15 15 16
30 30 30 30 16 15 15 15 12 12 6 6 6 6 6 12 12 15 15 15 16

```

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (1/8)

30	30	30	16	15	15	15	12	6	6	6	6	21	6	6	6	12	15	15	15	16	
30	30	16	15	15	15	12	6	6	21	6	6	6	6	6	6	12	15	15	15	16	
30	30	15	15	15	12	12	6	6	6	6	6	21	6	12	12	15	15	15	30		
30	16	15	15	15	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	12	15	15	15	16	30	
30	15	15	15	12	12	6	21	6	6	6	6	6	6	12	12	15	15	15	30	30	
16	15	15	15	12	6	6	6	6	6	6	21	6	6	12	15	15	15	16	30	30	
16	15	15	15	12	6	6	6	21	6	6	6	6	12	15	15	15	16	30	30	30	
16	15	15	15	12	12	6	6	6	6	6	12	12	15	15	15	16	30	30	30	30	
16	15	15	15	12	12	12	6	6	12	12	12	15	15	15	16	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	12	12	12	12	12	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	18	12	12	12	12	12	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	16	15	15	15	12	12	12	6	6	12	12	12	15	15	15	15	16
30	30	30	30	16	15	15	15	12	12	6	6	6	6	6	12	12	15	15	15	15	16
30	30	30	16	15	15	15	12	6	6	6	6	22	6	6	6	12	15	15	15	15	16
30	30	16	15	15	15	12	6	6	22	6	6	6	6	6	6	12	15	15	15	15	16
30	30	15	15	15	12	12	6	6	6	6	6	6	22	6	12	12	15	15	15	30	
30	16	15	15	15	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	12	15	15	15	16	30	
30	15	15	15	12	12	6	22	6	6	6	6	6	6	12	12	15	15	15	30	30	
16	15	15	15	12	6	6	6	6	6	6	22	6	6	12	15	15	15	16	30	30	
16	15	15	15	12	6	6	6	22	6	6	6	6	12	15	15	15	16	30	30	30	
16	15	15	15	12	12	6	6	6	6	12	12	12	15	15	15	16	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	12	12	12	12	12	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	
30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	18	12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	16	15	15	15	12	12	12	5	5	12	12	12	15	15	15	15	16
30	30	30	30	16	15	15	15	12	5	5	5	5	5	12	12	15	15	15	15	15	16
30	30	16	15	15	15	12	5	5	22	5	5	5	5	5	12	15	15	15	15	15	16
30	30	15	15	15	12	12	5	5	5	5	5	5	5	22	5	12	12	15	15	15	30
30	16	15	15	15	12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	12	15	15	15	16	30	
30	15	15	15	12	12	5	22	5	5	5	5	5	5	5	12	12	15	15	15	30	
16	15	15	15	12	5	5	5	5	5	5	22	5	5	12	15	15	15	16	30	30	
16	15	15	15	12	5	5	5	22	5	5	5	5	5	12	15	15	15	16	30	30	
16	15	15	15	12	12	5	5	5	5	5	12	12	15	15	15	16	30	30	30	30	
16	15	15	15	12	12	12	5	5	12	12	12	15	15	15	16	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	12	12	12	12	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (2/8)

16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	18	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	5	5	11	11	11	14	14	14	14	16		
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	5	5	5	5	5	11	11	14	14	14	14	16		
30	30	30	16	14	14	14	11	5	5	5	5	22	5	5	5	11	14	14	14	14	16		
30	30	16	14	14	14	11	5	5	22	5	5	5	5	5	11	14	14	14	14	16			
30	30	14	14	14	11	11	5	5	5	5	5	22	5	11	11	14	14	14	14	30			
30	16	14	14	14	11	5	5	5	5	5	5	5	5	11	14	14	14	14	16	30			
30	14	14	14	11	11	5	22	5	5	5	5	5	5	11	11	14	14	14	14	30	30		
16	14	14	14	11	5	5	5	5	5	5	22	5	5	11	14	14	14	16	30	30			
16	14	14	14	11	5	5	5	22	5	5	5	5	11	14	14	14	16	30	30	30			
16	14	14	14	11	11	5	5	5	5	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30		
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16		
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16		
30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16			
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	2	2	11	11	11	14	14	14	16			
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	2	2	2	2	2	11	11	14	14	14	16			
30	30	30	16	14	14	14	11	2	2	2	2	22	2	2	2	11	14	14	14	16			
30	30	16	14	14	14	11	2	2	22	2	2	2	2	2	11	14	14	14	16				
30	30	14	14	14	11	11	2	2	2	2	4	2	22	2	11	11	14	14	14	30			
30	16	14	14	14	11	2	2	2	4	2	2	2	2	2	11	14	14	14	16	30			
30	14	14	14	11	11	2	22	2	2	17	2	2	2	11	11	14	14	14	14	30	30		
16	14	14	14	11	2	2	2	2	2	2	22	2	2	11	14	14	14	16	30	30			
16	14	14	14	11	2	2	2	22	2	2	2	2	11	14	14	14	16	30	30	30			
16	14	14	14	11	11	2	2	2	2	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30			
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30		
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30		
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16		
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16			
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16			
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16			
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	22	1	1	1	11	14	14	14	16			

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (3/8)

30	30	16	14	14	14	11	1	1	22	1	1	1	1	1	11	14	14	14	16			
30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	22	1	11	11	14	14	14	30		
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30			
30	14	14	14	11	11	1	22	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	30	30		
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	22	1	1	11	14	14	14	16	30	30		
16	14	14	14	11	1	1	1	22	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30		
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30		
16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30		
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	16	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	23	1	1	1	11	14	14	14	14	16	
30	30	16	14	14	14	11	1	1	23	1	1	1	1	1	1	11	14	14	14	14	16	
30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	23	1	11	11	14	14	14	14	30	
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	
30	14	14	14	11	11	1	23	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	30	30	30	
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	23	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30	
16	14	14	14	11	1	1	1	23	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	24	1	1	1	11	14	14	14	14	16	
30	30	16	14	14	14	11	1	1	24	1	1	1	1	1	1	11	14	14	14	14	16	
30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	24	1	11	11	14	14	14	14	30	
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	
30	14	14	14	11	11	1	24	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	30	30	30	
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	24	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30	
16	14	14	14	11	1	1	1	24	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (4/8)

30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	16
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	16
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16
30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	25	1	1	1	11	14	14	14	16
30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	25	1	1	1	11	14	14	14	16
30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	25	1	11	11	14	14	30
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30
30	14	14	14	11	11	1	25	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	30
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	25	1	1	11	14	14	14	16	30
16	14	14	14	11	1	1	1	25	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30
16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	16
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	16
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	26	1	1	1	11	14	14	16
30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	26	1	1	1	1	1	11	14	14	16
30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	26	1	11	11	14	14	30
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30
30	14	14	14	11	11	1	26	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	30
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	26	1	1	11	14	14	14	16	30
16	14	14	14	11	1	1	1	26	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	16
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	16
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16
30	30	30	16	14	14	14	11	1	1	1	1	27	1	1	1	11	14	14	16
30	30	16	14	14	14	11	1	1	27	1	1	1	1	1	11	14	14	14	16

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (5/8)

30	30	14	14	14	11	11	1	1	1	1	3	1	27	1	11	11	14	14	14	14	30	
30	16	14	14	14	11	1	1	1	3	1	1	1	1	1	11	14	14	14	14	16	30	
30	14	14	14	11	11	1	27	1	1	17	1	1	1	11	11	14	14	14	14	30	30	
16	14	14	14	11	1	1	1	1	1	1	27	1	1	11	14	14	14	16	30	30		
16	14	14	14	11	1	1	1	27	1	1	1	1	11	14	14	14	16	30	30	30		
16	14	14	14	11	11	1	1	1	1	1	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30		
16	14	14	14	11	11	11	1	1	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30		
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30		
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	19	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	2	2	11	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	2	2	2	2	2	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	16	14	14	14	11	2	2	2	2	27	2	2	2	11	14	14	14	14	16	
30	30	16	14	14	14	11	2	2	27	2	2	2	2	2	2	11	14	14	14	14	16	
30	30	14	14	14	11	11	2	2	2	2	4	2	27	2	11	11	14	14	14	14	30	
30	16	14	14	14	11	2	2	2	4	2	2	2	2	2	11	14	14	14	14	16	30	
30	14	14	14	11	11	2	27	2	2	17	2	2	2	11	11	14	14	14	14	30	30	
16	14	14	14	11	2	2	2	2	2	2	27	2	2	11	14	14	14	16	30	30	30	
16	14	14	14	11	2	2	2	27	2	2	2	2	11	14	14	14	16	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	2	2	2	11	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	20	11	11	11	11	11	14	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	8	8	11	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	8	8	8	8	8	11	11	14	14	14	14	16	
30	30	30	16	14	14	14	11	8	8	8	8	27	8	8	8	11	14	14	14	14	16	
30	30	16	14	14	14	11	8	8	27	8	8	8	8	8	8	11	14	14	14	14	16	
30	30	14	14	14	11	11	8	8	8	8	8	27	8	11	11	14	14	14	14	14	30	
30	16	14	14	14	11	8	8	8	8	8	8	8	8	11	14	14	14	14	16	30	30	
30	14	14	14	11	11	8	27	8	8	8	8	8	8	11	11	14	14	14	14	30	30	
16	14	14	14	11	8	8	8	8	8	8	27	8	8	11	14	14	14	16	30	30	30	
16	14	14	14	11	8	8	8	27	8	8	8	8	11	14	14	14	16	30	30	30	30	
16	14	14	14	11	11	8	8	8	8	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (6/8)

30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	16	16	16	16	16	16	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
30	30	30	30	30	30	16	14	14	14	20	11	11	11	11	11	14	14	14	16
30	30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	11	8	8	11	11	11	14	14	16
30	30	30	30	16	14	14	14	11	11	8	8	8	8	8	11	11	14	14	16
30	30	30	16	14	14	14	11	8	8	8	8	28	8	8	8	11	14	14	16
30	30	16	14	14	14	11	8	8	28	8	8	8	8	8	8	11	14	14	16
30	30	14	14	14	11	11	8	8	8	8	8	28	8	11	11	14	14	14	30
30	16	14	14	14	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	11	14	14	14	30
30	14	14	14	11	11	8	28	8	8	8	8	8	8	11	11	14	14	14	30
16	14	14	14	11	8	8	8	8	8	8	28	8	8	11	14	14	14	16	30
16	14	14	14	11	8	8	8	28	8	8	8	8	11	14	14	14	16	30	30
16	14	14	14	11	11	8	8	8	8	11	11	14	14	14	16	30	30	30	30
16	14	14	14	14	11	11	11	11	11	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30
30	16	14	14	14	14	14	14	14	14	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
30	30	30	30	30	30	16	15	15	15	20	13	13	13	13	13	15	15	15	16
30	30	30	30	30	16	15	15	15	13	13	13	9	9	13	13	13	15	15	16
30	30	30	30	16	15	15	15	13	13	9	9	9	9	9	13	13	15	15	16
30	30	16	15	15	15	13	9	9	9	28	9	9	9	9	13	15	15	15	16
30	30	15	15	15	13	13	9	9	9	9	9	9	9	9	13	15	15	15	30
30	16	15	15	15	13	9	9	9	9	9	9	9	9	9	13	15	15	16	30
30	15	15	15	13	13	9	28	9	9	9	9	9	9	13	13	15	15	16	30
16	15	15	15	13	9	9	9	9	9	28	9	9	13	15	15	15	16	30	30
16	15	15	15	13	9	9	9	9	9	9	13	13	15	15	15	16	30	30	30
16	15	15	15	13	13	13	9	9	13	13	13	15	15	15	16	30	30	30	30
16	15	15	15	15	13	13	13	13	13	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30
30	16	15	15	15	15	15	15	15	15	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	16	16	16	16	16	16	16	16	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	28	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	28	10	10	10	10	10	10	10	10	10

図 26 既存の計算における CITATION-FBR の入力 (7/8)

3.4 燃焼計算機能

本プロトタイプは Python スクリプトで記述された燃焼ソルバー Burnup による燃焼計算機能を実装している。Burnup は 1 群縮約断面積、1 群縮約中性子束、物質組成、燃焼期間、核種毎の燃焼チェーンおよび崩壊定数をもとに燃焼方程式を解き、燃焼後の物質組成を計算する。本プロトタイプの燃焼機能が適切であることを、以下のように確認した。

検証を行う上での要点を考えると、本システムはそれ自体が燃焼計算処理を行うのではなく、計算そのものは Burnup を用いて行っているため、Burnup に対する入力を適切に作成できていることを確認することが重要である。そこでまず、本プロトタイプシステムを用いて「常陽」MK-II 環境のサイクル 0 に対する炉心計算および Burnup による燃焼計算を行う。ここで炉心計算終了後の任意に選んだあるメッシュの断面積、中性子束、物質組成をデバッグ出力させておき、これらの情報をもとに別途 Burnup を手動実行して燃焼計算を行う。最後にプロトタイプによる燃焼計算結果と Burnup による処理結果を比較し、システムによる燃焼処理に問題がないことを確認する¹⁸。

対象として炉心中心部の燃料を考える（マテリアル番号 293）。当該マテリアルの燃焼計算前後の数密度、およびシステムによる炉心計算結果をもとに手動で Burnup による燃焼計算を行った結果を表 15 に示す。これを見ると、まず燃焼によって物質組成が妥当な増減を見せていることが分かる。またシステムによる処理結果と Burnup による処理結果が一致していることが分かる。

¹⁸ 全てのメッシュに対して処理ロジックは同一であるため、任意に選んだ一つのメッシュについてのみ確認すれば十分である。

表 15 燃焼前後の数密度一覧及び Burnup による処理結果との比較

核種	燃焼前	1ステップ 燃焼後	2ステップ 燃焼後	Burnupによる 計算結果	一致/ 不一致
U-235FP	3.716101E-21	1.493922E-04	2.687738E-04	2.687738E-04	○
Na-23	8.872095E-03	8.872095E-03	8.872095E-03	8.872095E-03	○
Pu-242	1.641677E-05	1.876140E-05	2.137223E-05	2.137223E-05	○
Pu-241	7.336662E-05	6.980490E-05	6.975711E-05	6.975711E-05	○
Pu-240	4.910159E-04	5.062743E-04	5.089588E-04	5.089588E-04	○
Am-241	8.189767E-06	1.371771E-05	1.719671E-05	1.719671E-05	○
Am-243	3.716101E-21	9.096161E-07	1.949029E-06	1.949029E-06	○
Cr-nat.	3.615232E-03	3.615232E-03	3.615232E-03	3.615232E-03	○
Mn-55	3.522458E-04	3.522458E-04	3.522458E-04	3.522458E-04	○
Ni-nat.	2.543254E-03	2.543254E-03	2.543254E-03	2.543254E-03	○
Al-27	2.418803E-21	2.418803E-21	2.418803E-21	2.418803E-21	○
C-12	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
Pu-241FP	3.716101E-21	5.978019E-05	1.236902E-04	1.236902E-04	○
Am-242m	3.716101E-21	3.531189E-07	7.716768E-07	7.716768E-07	○
Cm-242	3.716101E-21	3.917490E-07	6.223920E-07	6.223920E-07	○
Cm-243	3.716101E-21	1.256873E-08	3.679696E-08	3.679696E-08	○
Cm-246	3.716101E-21	1.941382E-11	3.804830E-10	3.804830E-10	○
Cm-244	3.716101E-21	7.361741E-08	3.228129E-07	3.228129E-07	○
Cm-245	3.716101E-21	1.903551E-09	1.673109E-08	1.673109E-08	○
Fe-nat.	1.291802E-02	1.291802E-02	1.291802E-02	1.291802E-02	○
Pu-239	1.753758E-03	1.431855E-03	1.158212E-03	1.158212E-03	○
Be-9	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
Pu-238	3.214736E-06	3.641974E-06	5.350767E-06	5.350767E-06	○
U-238FP	3.716101E-21	5.090469E-05	1.010920E-04	1.010920E-04	○
N-15	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
N-14	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
Sb-121	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
Sb-123	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
Pu-239FP	3.716101E-21	3.863846E-04	7.218980E-04	7.218980E-04	○
Mo-nat.	2.882069E-04	2.882069E-04	2.882069E-04	2.882069E-04	○
U-238	5.222906E-03	5.009772E-03	4.772142E-03	4.772142E-03	○
U-236	2.886307E-10	3.703608E-05	6.567215E-05	6.567215E-05	○
U-235	7.288464E-04	5.383067E-04	3.767913E-04	3.767913E-04	○
U-234	3.716101E-21	2.132366E-07	3.810869E-07	3.810869E-07	○
Np-239	3.716101E-21	4.987027E-07	5.621827E-07	5.621827E-07	○
B-11	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
B-10	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	3.716101E-21	○
O-16	1.636809E-02	1.636809E-02	1.636809E-02	1.636809E-02	○
Np-237	1.403085E-11	2.213460E-06	5.824426E-06	5.824426E-06	○

3.5 リスタートファイル処理機能

リスタートファイル処理機能の検証として、サイクル0からサイクル1に渡る解析における燃料交換・シャッフリング処理を検証した。すなわちサイクル0にて出力したリスタートファイルをサイクル1にて読み込み、サイクル0での燃焼を考慮した初期マテリアル分布を作成できることを確認した。以下では、まず3.5.1にて検証に使用した集合体層数が1の小体系について説明し、3.5.2にてサイクル0からサイクル1に渡るシャッフリング処理の検証結果を示す。

3.5.1 検証用体系の集合体装荷パターン

検証計算のための集合体装荷パターンを図27に示す。

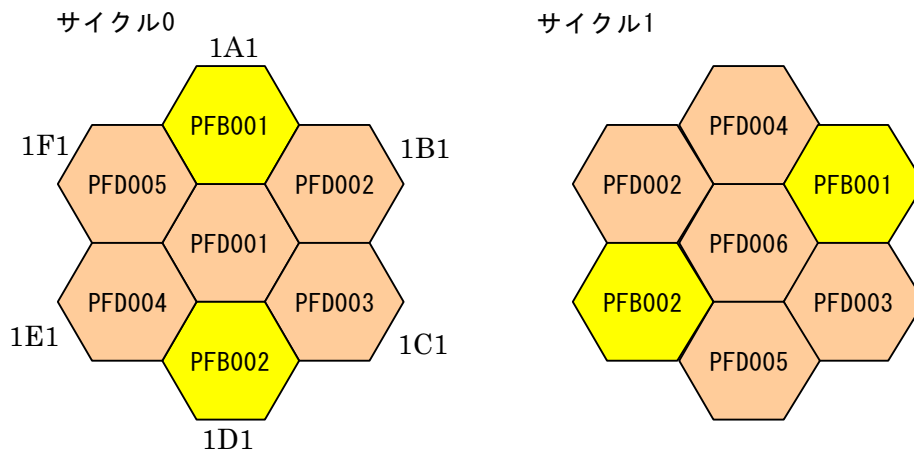


図 27 燃料交換・シャッフリング検証用の装荷パターン

この集合体装荷パターンの内容は以下の通り。

- 集合体タイプは PFDxxx と PFBxxx の 2 種類。両者は幾何形状が異なり、初期組成も異なる。
- サイクル1では集合体アドレス 000 に新燃料 PFD006 が装荷される。PFD001 は取り出される。
- シャッフリングの際、PFB001 はサイクル0における装荷時から半時計周りに 120 度回転した状態で装荷されるものとする。

このサイクル0およびサイクル1の集合体装荷パターンファイルを付録Bに示す。

3.5.2 計算メッシュの幾何形状毎の検証

検証計算における炉心計算は CITATION-FBR で行った。サイクル 0 およびサイクル 1 での材料メッシュの幾何形状に応じて、Hex-Z (サイクル 0) →HexZ (サイクル 1) , Hex-Z (サイクル 0) →Tri-Z (サイクル 1) , Tri-Z (サイクル 0) →HexZ (サイクル 1) , Tri-Z (サイクル 0) →Tri-Z (サイクル 1) の 4 種類の検証ケースが存在する。これらの 4 ケースについて、サイクル 0 における任意の材料メッシュの燃焼後の数密度が、サイクル 1 の燃焼前の適切なメッシュに移動していることを確認した。

(1) Hex-Z→Hex-Z

Hex-Z 体系における各材料メッシュの材料番号は表 16 の通りである。ここでプレーン番号が 7~12 の軸方向範囲が燃焼領域である。そこでシャッフリング機能を確認するため、集合体 PFB001 のプレーン番号 9 における材料メッシュの情報を確認する。3.5.1 で述べた通り、PFB001 は 1A1 から 1B1 へ移動し、かつ半時計周りに 120 度回転している。従って、サイクル 0 の材料番号 18 のメッシュの材料情報 (数密度) がサイクル 1 の材料番号 42 のメッシュに設定されることを確認すればよい。なおサイクル 0, 1 ともに Hex-Z 体系なので、PFB001 の回転による影響は存在しない。

表 16 Hex-Z メッシュにおける材料番号

プレーン 番号	材料番号						
	000	1A1	1B1	1C1	1D1	1E1	1F1
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2
4	3	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3	3
6	31	15	39	55	47	23	4
7	32	16	40	56	48	24	5
8	33	17	41	57	49	25	6
9	34	18	42	58	50	26	7
10	35	19	43	59	51	27	8
11	36	20	44	60	52	28	9
12	37	21	45	61	53	29	10
13	38	22	46	62	54	30	11
14	12	12	12	12	12	12	12
15	12	12	12	12	12	12	12
16	13	13	13	13	13	13	13
17	14	14	14	14	14	14	14
18	14	14	14	14	14	14	14

比較結果を表 17に示す。これを見るとシャッフリング前後で同一のマテリアルを表すメッシュの情報（数密度）が適切に設定されていることが分かる。

(2) Hex-Z→Tri-Z

(1)と同様に集合体 PFB001 のプレーン番号 9 におけるマテリアルメッシュの移動前後の数密度を確認する。ここで Hex-Z 体系における各マテリアルメッシュのマテリアル番号は表 16の通りである。また Tri-Z 体系におけるプレーン番号 9, 集合体アドレス 1B1 の各マテリアルメッシュのマテリアル番号は図 28の通りである。

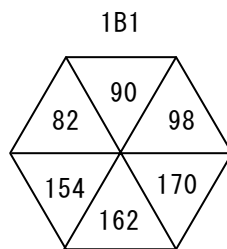


図 28 Tri-Z メッシュにおけるマテリアル番号（集合体アドレス 1B1）

本ケースの場合、サイクル 0 のマテリアル番号 18 の数密度がサイクル 1 のマテリアル番号 82, 90, 98, 154, 162, 170 のメッシュに設定される。なお本ケースでは集合体の回転の影響は存在しない。

比較を行うと上記 6 つの全てのマテリアル番号に対して数密度が適切に設定されていることが確認できる。比較結果の一部を表 18に示す。

(3) Tri-Z→Hex-Z

(1)と同様に集合体 PFB001 のプレーン番号 9 におけるマテリアルメッシュの移動前後の数密度を確認する。ここで Hex-Z 体系における各マテリアルメッシュのマテリアル番号は表 16の通りである。また Tri-Z 体系におけるプレーン番号 9, 集合体アドレス 1A1 の各マテリアルメッシュのマテリアル番号は図 29の通りである。

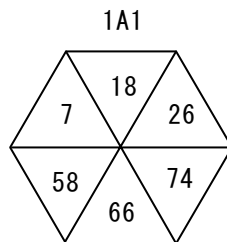


図 29 Tri-Z メッシュにおけるマテリアル番号（集合体アドレス 1A1）

本ケースの場合、サイクル0の材料番号7, 18, 26, 58, 66, 74の数密度を平均化したものがサイクル1の材料番号42のメッシュに設定される。なお本ケースでは集合体の回転の影響は存在しない。

比較結果を表19に示す。これを見ると、着目した4つの核種に関して、サイクル0の6つの材料メッシュの数密度の平均値がサイクル1の当該メッシュの材料として設定されていることが分かる。

(4) Tri-Z→Tri-Z

(1)と同様に集合体PFB001のプレーン番号9における材料メッシュの移動前後の数密度を確認する。ここでTri-Z体系におけるプレーン番号9, 集合体アドレス1A1および1B1の各材料メッシュの材料番号は図28、図29の通りである。

本ケースの場合はサイクル1装荷時の集合体の回転を考慮する必要があり、サイクル0の材料番号7, 18, 26, 58, 66, 74の数密度がサイクル1の材料番号162, 154, 82, 170, 98, 90のメッシュにそれぞれ設定される。

比較を行うと上記6つの全ての材料番号に対して数密度が適切に設定されていることが確認できる。比較結果の一部を表20に示す。

表 17 マテリアル情報の移動 (Hex-Z→Hex-Z)

核種	サイクル 0	サイクル 1	一致 or 不一致
	マテリアル番号 18	マテリアル番号 42	
U-235FP	2.498427E-07	2.498427E-07	○
Na-23	1.438000E-02	1.438000E-02	○
Pu-242	4.464080E-06	4.464080E-06	○
Pu-241	1.822465E-05	1.822465E-05	○
Pu-240	1.159597E-04	1.159597E-04	○
Am-241	8.336252E-07	8.336252E-07	○
Am-243	9.283349E-10	9.283349E-10	○
Cr-nat.	5.051000E-03	5.051000E-03	○
Mn-55	4.922000E-04	4.922000E-04	○
Ni-nat.	3.552000E-03	3.552000E-03	○
Al-27	1.000000E-20	1.000000E-20	○
C-12	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-241FP	1.280515E-07	1.280515E-07	○
Am-242m	1.179560E-10	1.179560E-10	○
Cm-242	3.490154E-10	3.490154E-10	○
Cm-243	3.735925E-14	3.735925E-14	○
Cm-246	1.155283E-20	1.155283E-20	○
Cm-244	3.071519E-13	3.071519E-13	○
Cm-245	3.335884E-17	3.335884E-17	○
Fe-nat.	1.805000E-02	1.805000E-02	○
Pu-239	4.230498E-04	4.230498E-04	○
Be-9	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-238	4.821901E-10	4.821901E-10	○
U-238FP	1.496930E-07	1.496930E-07	○
N-15	1.000000E-20	1.000000E-20	○
N-14	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Sb-121	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Sb-123	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-239FP	7.396475E-07	7.396475E-07	○
Mo-nat.	4.026000E-04	4.026000E-04	○
U-238	1.253663E-03	1.253663E-03	○
U-236	5.675298E-08	5.675298E-08	○
U-235	1.747060E-04	1.747060E-04	○
U-234	5.372536E-10	5.372536E-10	○
Np-239	1.121883E-08	1.121883E-08	○
B-11	1.000000E-20	1.000000E-20	○
B-10	1.000000E-20	1.000000E-20	○
O-16	3.924000E-03	3.924000E-03	○
Np-237	4.632866E-09	4.632866E-09	○

表 18 マテリアル情報の移動 (Hex-Z→Tri-Z)

核種	サイクル 0	サイクル 1	一致 or 不一致
	マテリアル番号 18	マテリアル番号 82	
U-235FP	2.498427E-07	2.498427E-07	○
Na-23	1.438000E-02	1.438000E-02	○
Pu-242	4.464080E-06	4.464080E-06	○
Pu-241	1.822465E-05	1.822465E-05	○
Pu-240	1.159597E-04	1.159597E-04	○
Am-241	8.336252E-07	8.336252E-07	○
Am-243	9.283349E-10	9.283349E-10	○
Cr-nat.	5.051000E-03	5.051000E-03	○
Mn-55	4.922000E-04	4.922000E-04	○
Ni-nat.	3.552000E-03	3.552000E-03	○
Al-27	1.000000E-20	1.000000E-20	○
C-12	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-241FP	1.280515E-07	1.280515E-07	○
Am-242m	1.179560E-10	1.179560E-10	○
Cm-242	3.490154E-10	3.490154E-10	○
Cm-243	3.735925E-14	3.735925E-14	○
Cm-246	1.155283E-20	1.155283E-20	○
Cm-244	3.071519E-13	3.071519E-13	○
Cm-245	3.335884E-17	3.335884E-17	○
Fe-nat.	1.805000E-02	1.805000E-02	○
Pu-239	4.230498E-04	4.230498E-04	○
Be-9	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-238	4.821901E-10	4.821901E-10	○
U-238FP	1.496930E-07	1.496930E-07	○
N-15	1.000000E-20	1.000000E-20	○
N-14	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Sb-121	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Sb-123	1.000000E-20	1.000000E-20	○
Pu-239FP	7.396475E-07	7.396475E-07	○
Mo-nat.	4.026000E-04	4.026000E-04	○
U-238	1.253663E-03	1.253663E-03	○
U-236	5.675298E-08	5.675298E-08	○
U-235	1.747060E-04	1.747060E-04	○
U-234	5.372536E-10	5.372536E-10	○
Np-239	1.121883E-08	1.121883E-08	○
B-11	1.000000E-20	1.000000E-20	○
B-10	1.000000E-20	1.000000E-20	○
O-16	3.924000E-03	3.924000E-03	○
Np-237	4.632866E-09	4.632866E-09	○

表 19 マテリアル情報の移動 (Tri-Z→Hex-Z)

マテリアル 番号	サイクル 0			
	Pu-238	Pu-239	U-235	U-238
7	5.040086E-10	4.230764E-04	1.747292E-04	1.253677E-03
18	5.053167E-10	4.230822E-04	1.747331E-04	1.253680E-03
26	5.053699E-10	4.230751E-04	1.747282E-04	1.253676E-03
58	5.071385E-10	4.230772E-04	1.747282E-04	1.253676E-03
66	5.101310E-10	4.230879E-04	1.747331E-04	1.253680E-03
74	5.071085E-10	4.230801E-04	1.747292E-04	1.253677E-03
average	5.065122E-10	4.230798E-04	1.747302E-04	1.253678E-03

マテリアル 番号	サイクル 1			
	Pu-238	Pu-239	U-235	U-238
42	5.065122E-10	4.230798E-04	1.747302E-04	1.253678E-03

表 20 マテリアル情報の移動 (Tri-Z→Tri-Z)

核種	サイクル0 マテリアル番号 7	サイクル1 マテリアル番号 162	一致 or 不一致
U-235FP	2. 324039E-07	2. 324039E-07	○
Na-23	1. 438000E-02	1. 438000E-02	○
Pu-242	4. 463623E-06	4. 463623E-06	○
Pu-241	1. 822373E-05	1. 822373E-05	○
Pu-240	1. 159504E-04	1. 159504E-04	○
Am-241	8. 336854E-07	8. 336854E-07	○
Am-243	8. 097199E-10	8. 097199E-10	○
Cr-nat.	5. 051000E-03	5. 051000E-03	○
Mn-55	4. 922000E-04	4. 922000E-04	○
Ni-nat.	3. 552000E-03	3. 552000E-03	○
Al-27	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
C-12	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
Pu-241FP	1. 267517E-07	1. 267517E-07	○
Am-242m	1. 023814E-10	1. 023814E-10	○
Cm-242	3. 046224E-10	3. 046224E-10	○
Cm-243	2. 800167E-14	2. 800167E-14	○
Cm-246	1. 090014E-20	1. 090014E-20	○
Cm-244	2. 307237E-13	2. 307237E-13	○
Cm-245	2. 201572E-17	2. 201572E-17	○
Fe-nat.	1. 805000E-02	1. 805000E-02	○
Pu-239	4. 230764E-04	4. 230764E-04	○
Be-9	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
Pu-238	5. 040086E-10	5. 040086E-10	○
U-238FP	1. 567484E-07	1. 567484E-07	○
N-15	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
N-14	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
Sb-121	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
Sb-123	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
Pu-239FP	7. 033270E-07	7. 033270E-07	○
Mo-nat.	4. 026000E-04	4. 026000E-04	○
U-238	1. 253677E-03	1. 253677E-03	○
U-236	5. 101459E-08	5. 101459E-08	○
U-235	1. 747292E-04	1. 747292E-04	○
U-234	5. 729041E-10	5. 729041E-10	○
Np-239	1. 176051E-08	1. 176051E-08	○
B-11	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
B-10	1. 000000E-20	1. 000000E-20	○
O-16	3. 924000E-03	3. 924000E-03	○
Np-237	4. 897161E-09	4. 897161E-09	○

4. まとめ

高速炉の実用化に向けて高速炉実機炉心の核特性予測精度を向上させることは、合理的で高性能な炉心を設計してプラントの経済性の向上を図る上でも信頼性および安全性の裕度をより高める上でも、重要な研究課題である。これまでの研究では、炉定数調整法を適用することにより、JUPITER等の臨界実験の成果を活用して核設計精度の向上を達成しているが、高速炉の炉心設計では燃焼核特性の精度向上も重要である。そこで、高速炉実機解析を効率的かつ柔軟に実施するためのシステムの開発を実施している。

本研究においては、これまでに実施した「高速炉実機燃焼解析システムの開発（その2）」²⁾を踏まえ、また「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発（その2）」⁴⁾の成果を利用して、マクロ定数作成機能・炉心計算機能・燃焼計算機能を組み込んだプロトタイプシステムの実装を行った。さらに複数サイクルにまたがる燃焼解析において、簡便なユーザ入力をもとに適切な燃料交換・シャッフリングを行う機能を実装した。

参考文献

- 1) 兵頭 秀昭, 巽 雅洋 : 「高速炉実機燃焼解析システムの開発」, JAERI-Data/Code 2006-018 (2006)
- 2) 平井 康志, 兵頭 秀昭, 巽 雅洋 : 「高速炉実機燃焼解析システムの開発（その2）」, JAEA-Data/Code 2007-019 (2007)
- 3) 巽 雅洋, 横山 賢治 : 「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発」, JAEA-Data/Code 2007-020 (2007)
- 4) 平井 康志, 兵頭 秀昭, 巽 雅洋, 横山 賢治 : 「次世代炉物理解析システムのためのフレームワーク開発（その2）」, JAEA-Data/Code 2008-020 (2008)
- 5) 大川内 靖, 前田 茂貴, 他 : 「『常陽』MK-II 炉心特性データベース—JFS-3-J3.2R への改訂—」, JNC TN9400 2003-029 (2003)

This is a blank page.

付録

A.	「常陽」MK-II 入力ファイル.....	79
A.1	ユーザ入力ファイル (サイクル 0)	79
A.2	集合体詳細幾何形状ファイル.....	81
A.3	装荷パターンファイル (サイクル 0)	89
A.4	燃料等組成データファイル	96
A.5	炉心特性データファイル.....	98
A.6	断面積情報ファイル (サイクル 0)	99
B.	シャッフリング検証用体系の装荷パターンファイル	101
B.1	サイクル 0 のパターンファイル.....	101
B.2	サイクル 1 のパターンファイル.....	103
C.	システムが作成した炉心計算コード用入力ファイル	105
C.1	CITATION-FBR (Tri-Z 体系)	105
C.2	TRITAC	108

This is a blank page.

A. 「常陽」MK-II 入力ファイル

A.1 ユーザ入力ファイル(サイクル 0)

```

# -----
# Input Sample : CalcCondition
# -----

mode: calc # (calc or edit)

title : JOYO MK-2 Burn-UP 100.00MW x 27.81day 2781.00MWD 0cy 13.9050day x 2
case_name: case1

core_name: jyoyomk2

cycle:
  name : 0
  number: 0
  startup : YYYY/MM/DD
  shutdown: YYYY/MM/DD

file:
  input:
    core_property: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/core_property.inp
    geometry : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/geometry.inp
    material : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/material.inp
    pattern : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/pattern_cy0.inp
    cross_section: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/xs.inp

  output:
    raytrace: $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/raytrace_hexz.dat
    restart : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/restart_cy0.rst
    summary : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/summary_cy0.sum
    list : $MARBLE_TEST_DATA_PATH/orpheus/list_cy0.lst

calc_system:
  coordinates:
    core : hexz
    burnup: hexz

  axial_mesh:
    core : [[5, 11.4400], [17, 41.9083], [10, 25.2517], [6, 15.0300], [6, 15.0300], [1, 1.2000],
            [3, 8.6583], [2, 5.0100], [1, 1.2000], [4, 10.0200], [2, 5.0100], [10, 25.2117],
            [1, 1.2000], [3, 8.6583], [3, 6.3717], [12, 30.0600], [2, 4.8483], [8, 19.2517]]
    burnup: [[1, 11.4400], [1, 41.9083], [1, 25.2517], [1, 15.0300], [1, 15.0300], [1, 1.2000],
            [1, 8.6583], [1, 5.0100], [1, 1.2000], [1, 10.0200], [1, 5.0100], [1, 25.2117],
            [1, 1.2000], [1, 8.6583], [1, 6.3717], [1, 30.0600], [1, 4.8483], [1, 19.2517]]

solver:
  core:
    name: citation
    options:
      ngc : [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
      iedg : [1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
      itmx : [900, 900]
      isodf: 1
      ixdct: 2
      iydct: 2
      izdct: 3
      ipunf: 7

  burnup:
    name: burnup

```

```
step:  
- period: 13.905 # (day)  
  power : 97.394 # (%)  
  
- period: 13.905  
  power : 97.394  
  
raytrace:  
  order: 5
```


A.2 集合体詳細幾何形状ファイル

```

# -----
# Input Sample : Geometry
# -----

# -----
# Definition of Primitive Geometry Component
# -----
primitive:
- name : circle1                # pellet outer boundary (= clad inner boundary)
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 0.23239850937500003

- name : circle2                # clad outer boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 0.27606734375000003

- name : circle3                # B4C absorber outer boundary (= B4C clad inner boundary)
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 0.81816

- name : circle4                # B4C clad outer boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 0.90851

- name : circle5                # B4C protection inner boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 3.09697

- name : circle6                # B4C protection outer boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 3.24756

- name : circle7                # B4C guide inner boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 3.74950

- name : circle8                # B4C guide outer boundary
  type : circle
  angle: 0.0
  value: 3.93020

- name : hex1                   # wrapper inner boundary
  type : hex
  angle: 0.0
  value: 4.3295455911167284

- name : hex2                   # wrapper outer boundary
  type : hex
  angle: 0.0
  value: 4.5497902128870571

- name : hex3                   # assembly boundary
  type : hex
  angle: 0.0
  value: 4.7236675458636324

```

```

# -----
# Definition of Pin Geometry
# -----
pin:
- name: pin1                                # fuel
  boundary: circle2
  composition:
    - name : fuel1
      region: [+circle1]
    - name : clad1
      region: [-circle1, +pin1]

- name: pin2                                # insulator
  boundary: circle2
  composition:
    - name : fuel2
      region: [+circle1]
    - name : clad1
      region: [-circle1, +pin2]

- name: absorber                             # absorber
  boundary: circle4
  composition:
    - name : b4c
      region: [+circle3]
    - name : sus
      region: [-circle3, +absorber]

# -----
# Definition of Lattice Geometry
# -----
lattice:
- name: lattice1                             # CORE0
  boundary: hex1
  pitch: 0.647
  arrangement:
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
  pin_index:
    - number: 1
      name: pin1

- name: lattice2                             # INS00
  boundary: hex1
  pitch: 0.647
  arrangement:
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]
    - [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] ]

```

```

- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
- [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]

```

```

pin_index:
- number: 1
  name: pin2

```

```

- name: lattice3 # B4C00
  boundary: circle5
  pitch: 1.97
  arrangement:
  - [1, 1 ]
  - [1, 1, 1]
  - [1, 1 ]
  pin_index:
  - number: 1
    name : absorber

```

```

# -----
# Definition of Segment Geometry
# -----

```

```

segment:
- name: core0 # CORE0
  boundary: hex3
  composition:
  - name : coolant1
    region: [+lattice1]
  - name : wrapper1
    region: [-lattice1, +hex2]
  - name : coolant1
    region: [-hex2, +core0]

- name: ins00 # INS00
  boundary: hex3
  composition:
  - name : coolant1
    region: [+lattice2]
  - name : wrapper1
    region: [-lattice2, +hex2]
  - name : coolant1
    region: [-hex2, +ins00]

- name: b4c00 # B4C00
  boundary: hex3
  composition:
  - name : coolant2
    region: [+lattice3]
  - name : sus
    region: [-lattice3, +circle6]
  - name : coolant2
    region: [-circle6, +circle7]
  - name : sus
    region: [-circle7, +circle8]
  - name : coolant2
    region: [-circle8, +b4c00]

- name: b0fu0 # B0FU0
  boundary: hex3
  composition:
  - name : b0fu
    region: [+b0fu0]

- name: b0ins # B0INS

```

```

boundary: hex3
composition:
  - name : b0ins
    region: [+b0ins]

- name: prc00                                # PRC00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : prc
      region: [+prc00]

- name: ur000                                # UR000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : ur
      region: [+ur000]

- name: gpl00                                # GPL00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : gpl
      region: [+gpl00]

- name: hh000                                # HH000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : hh
      region: [+hh000]

- name: ls000                                # LS000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : ls
      region: [+ls000]

- name: lr000                                # LR000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : lr
      region: [+lr000]

- name: en000                                # EN000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : en
      region: [+en000]

- name: ir000                                # IR000
  boundary: hex3
  composition:
    - name : ir
      region: [+ir000]

- name: iru00                                # IRU00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : iru
      region: [+iru00]

- name: irl00                                # IRL00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : irl
      region: [+irl00]

- name: or000                                # OR000
  boundary: hex3

```

```

composition:
  - name : or
    region: [+or000]

- name: orx00                                # ORX00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : orx
      region: [+orx00]

- name: orb00                                # ORB00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : orb
      region: [+orb00]

- name: nsu00                                # NSU00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : nsu
      region: [+nsu00]

- name: nsm00                                # NSM00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : nsm
      region: [+nsm00]

- name: nsl00                                # NSL00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : nsl
      region: [+nsl00]

- name: cru00                                # CRU00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cru
      region: [+cru00]

- name: cr300                                # CR300
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr3
      region: [+cr300]

- name: cr400                                # CR400
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr4
      region: [+cr400]

- name: cr500                                # CR500
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr5
      region: [+cr500]

- name: cr600                                # CR600
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr6
      region: [+cr600]

- name: cr700                                # C7300
  boundary: hex3
  composition:

```

```

- name : cr7
  region: [+cr700]

- name: cr800                                # CR800
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr8
      region: [+cr800]

- name: cr900                                # CR900
  boundary: hex3
  composition:
    - name : cr9
      region: [+cr900]

- name: mtx00                                # MTX00
  boundary: hex3
  composition:
    - name : mtx
      region: [+mtx00]

# -----
# Definition of Assembly Geometry
# -----
assembly:
- name: fuel_pfd1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment : hh000
    - axial_range: [156.76, 223.92]
      segment : gp100
    - axial_range: [126.70, 156.76]
      segment : ur000
    - axial_range: [125.50, 126.70]
      segment : ins00
    - axial_range: [ 70.39, 125.50]
      segment : core0
    - axial_range: [ 69.19,  70.39]
      segment : ins00
    - axial_range: [ 54.16,  69.19]
      segment : ls000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment : lr000
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment : en000

- name: fuel_pfb1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment : hh000
    - axial_range: [156.76, 223.92]
      segment : gp100
    - axial_range: [126.70, 156.76]
      segment : ur000
    - axial_range: [125.50, 126.70]
      segment : b0ins
    - axial_range: [ 70.39, 125.50]
      segment : b0fu0
    - axial_range: [ 69.19,  70.39]
      segment : b0ins
    - axial_range: [ 54.16,  69.19]
      segment : ls000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment : lr000
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment : en000

```

```

- name: ref_prc1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [156.76, 223.92]
      segment      : gp100
    - axial_range: [126.70, 156.76]
      segment      : ur000
    - axial_range: [ 69.19, 126.70]
      segment      : prc00
    - axial_range: [ 54.16,  69.19]
      segment      : ls000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment      : lr000
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000

- name: ref_nfri1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [141.73, 223.92]
      segment      : iru00
    - axial_range: [ 54.16, 141.73]
      segment      : ir000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment      : ir100
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000

- name: ref_nfrm1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [141.73, 223.92]
      segment      : orx00
    - axial_range: [ 54.16, 141.73]
      segment      : or000
    - axial_range: [ 24.10,  54.16]
      segment      : orx00
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000

- name: ref_nfro1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [ 24.10, 223.92]
      segment      : orb00
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000

- name: ns1
  composition:
    - axial_range: [223.92, 235.36]
      segment      : hh000
    - axial_range: [126.70, 223.92]
      segment      : nsu00
    - axial_range: [ 69.19, 126.70]
      segment      : nsm00
    - axial_range: [ 24.10,  69.19]
      segment      : ns100
    - axial_range: [  0.00,  24.10]
      segment      : en000

- name: rcc1
  composition:

```

- axial_range: [182.0117, 235.3600]
 segment : cru00
- axial_range: [116.8417, 182.0117]
 segment : b4c00
- axial_range: [111.8317, 116.8417]
 segment : cr300
- axial_range: [110.6317, 111.8317]
 segment : cr400
- axial_range: [100.6117, 110.6317]
 segment : cr500
- axial_range: [95.6017, 100.6117]
 segment : cr600
- axial_range: [60.5317, 95.6017]
 segment : cr700
- axial_range: [19.2517, 60.5317]
 segment : cr800
- axial_range: [0.0000, 19.2517]
 segment : cr900

- name: mtx
 composition:
 - axial_range: [0.00, 235.36]
 segment : mtx00

A.3 装荷パターンファイル(サイクル 0)

```

# -----
# Input Sample : Pattern
# -----

# -----
# Basic Information
# -----
core_name   : jyoyomk2
cycle_name  : 0
cycle_number: 0

# -----
# Definition of New Fuels, Reflectors, RCC's and Neutron Sources,
# -----
fuels:
- label: [PFD001, PFD064]
  type: fuel_pfd1

- label: PFB000
  type: fuel_pfb1

- label: PFB010
  type: fuel_pfb1

reflectors:
- label: PRC000
  type: ref_prc1

- label: NFR1??
  type: ref_nfri1

- label: NFRM??
  type: ref_nfrm1

- label: NFR0??
  type: ref_nfro1

- label: TTJ??
  type: ref_nfro1

rccs:
- label: MCR??
  type: rccl

sources:
- label: TNS002
  type: ns1

# -----
# Definition of Loading Pattern
# -----
load_fuels:
- { address: 000, label: PFD001 }
- { address: 1A1, label: PFB000 }
- { address: 1B1, label: PFD003 }
- { address: 1D1, label: PFD005 }
- { address: 1E1, label: PFB010 }
- { address: 1F1, label: PFD007 }
- { address: 2A1, label: PFD008 }
- { address: 2A2, label: PFD009 }

```

```

- { address: 2B1, label: PFD010 }
- { address: 2B2, label: PFD011 }
- { address: 2C1, label: PFD012 }
- { address: 2C2, label: PFD013 }
- { address: 2D1, label: PFD014 }
- { address: 2D2, label: PFD015 }
- { address: 2E1, label: PFD016 }
- { address: 2E2, label: PFD017 }
- { address: 2F1, label: PFD018 }
- { address: 2F2, label: PFD019 }
- { address: 3A1, label: PFD020 }
- { address: 3A2, label: PFD021 }
- { address: 3B1, label: PFD022 }
- { address: 3B2, label: PFD023 }
- { address: 3C1, label: PFD024 }
- { address: 3C2, label: PFD025 }
- { address: 3D1, label: PFD026 }
- { address: 3D2, label: PFD027 }
- { address: 3E1, label: PFD028 }
- { address: 3E2, label: PFD029 }
- { address: 3F1, label: PFD030 }
- { address: 3F2, label: PFD031 }
- { address: 4A1, label: PFD032 }
- { address: 4A2, label: PFD033 }
- { address: 4A3, label: PFD034 }
- { address: 4A4, label: PFD035 }
- { address: 4B1, label: PFD036 }
- { address: 4B2, label: PFD037 }
- { address: 4B3, label: PFD038 }
- { address: 4B4, label: PFD039 }
- { address: 4C1, label: PFD040 }
- { address: 4C2, label: PFD041 }
- { address: 4C3, label: PFD042 }
- { address: 4C4, label: PFD043 }
- { address: 4D1, label: PFD044 }
- { address: 4D2, label: PFD045 }
- { address: 4D3, label: PFD046 }
- { address: 4D4, label: PFD047 }
- { address: 4E1, label: PFD048 }
- { address: 4E2, label: PFD049 }
- { address: 4E3, label: PFD050 }
- { address: 4E4, label: PFD051 }
- { address: 4F1, label: PFD052 }
- { address: 4F2, label: PFD053 }
- { address: 4F3, label: PFD054 }
- { address: 4F4, label: PFD055 }
- { address: 5A3, label: PFD056 }
- { address: 5A4, label: PFD002 }
- { address: 5B3, label: PFD057 }
- { address: 5B4, label: PFD058 }
- { address: 5C3, label: PFD059 }
- { address: 5C4, label: PFD004 }
- { address: 5D3, label: PFD064 }
- { address: 5D4, label: PFD060 }
- { address: 5E3, label: PFD061 }
- { address: 5E4, label: PFD006 }
- { address: 5F3, label: PFD062 }
- { address: 5F4, label: PFD063 }

load_reflectors:
- { address: 1C1, label: PRC000 }
- { address: 5A1, label: NFR100 }
- { address: 5A2, label: NFR101 }
- { address: 5A5, label: NFR103 }
- { address: 5B1, label: NFR104 }
- { address: 5B2, label: NFR105 }
- { address: 5B5, label: NFR107 }

```

```

- { address: 5C1, label: NFR108 }
- { address: 5C2, label: NFR109 }
- { address: 5C5, label: NFR10B }
- { address: 5D1, label: NFR10C }
- { address: 5D2, label: NFR10D }
- { address: 5D5, label: NFR10F }
- { address: 5E1, label: NFR10G }
- { address: 5E2, label: NFR10H }
- { address: 5E5, label: NFR10K }
- { address: 5F1, label: NFR10L }
- { address: 5F2, label: NFR10M }
- { address: 5F5, label: NFR10P }
- { address: 6A1, label: NFRM00 }
- { address: 6A2, label: NFR10Q }
- { address: 6A3, label: NFR10R }
- { address: 6A4, label: NFR10S }
- { address: 6A5, label: NFR10T }
- { address: 6A6, label: NFR10U }
- { address: 6B1, label: NFRM01 }
- { address: 6B2, label: NFR10V }
- { address: 6B3, label: NFR10W }
- { address: 6B4, label: NFR10X }
- { address: 6B5, label: NFR10Y }
- { address: 6B6, label: NFR10Z }
- { address: 6C1, label: NFRM02 }
- { address: 6C2, label: NFR110 }
- { address: 6C3, label: NFR111 }
- { address: 6C4, label: NFR112 }
- { address: 6C5, label: NFR113 }
- { address: 6C6, label: NFR114 }
- { address: 6D1, label: NFRM03 }
- { address: 6D2, label: NFR115 }
- { address: 6D3, label: NFR116 }
- { address: 6D4, label: NFR117 }
- { address: 6D5, label: NFR118 }
- { address: 6D6, label: NFR119 }
- { address: 6E1, label: NFRM04 }
- { address: 6E2, label: NFR11A }
- { address: 6E3, label: NFR11B }
- { address: 6E4, label: NFR11C }
- { address: 6E5, label: NFR11D }
- { address: 6E6, label: NFR11E }
- { address: 6F2, label: NFR11F }
- { address: 6F3, label: NFR11G }
- { address: 6F4, label: NFR11H }
- { address: 6F5, label: NFR11J }
- { address: 6F6, label: NFR11K }
- { address: 7A1, label: NFRM06 }
- { address: 7A2, label: NFRM07 }
- { address: 7A3, label: NFRM08 }
- { address: 7A4, label: NFRM09 }
- { address: 7A5, label: NFRMOA }
- { address: 7A6, label: NFRMOB }
- { address: 7A7, label: NFRMOC }
- { address: 7B1, label: NFRMOD }
- { address: 7B2, label: NFRMOE }
- { address: 7B3, label: NFRMOF }
- { address: 7B4, label: NFRMOG }
- { address: 7B5, label: NFRMOH }
- { address: 7B6, label: NFRMOJ }
- { address: 7B7, label: NFRMOK }
- { address: 7C1, label: NFRMOL }
- { address: 7C2, label: NFRMOM }
- { address: 7C3, label: NFRMON }
- { address: 7C4, label: NFRMOP }
- { address: 7C5, label: NFRMOQ }
- { address: 7C6, label: NFRMOR }

```

```

- { address: 7C7, label: NFRMOS }
- { address: 7D1, label: NFRMOT }
- { address: 7D2, label: NFRMOU }
- { address: 7D3, label: NFRMOV }
- { address: 7D4, label: NFRMOW }
- { address: 7D5, label: NFRMOX }
- { address: 7D6, label: NFRMOY }
- { address: 7D7, label: NFRMOZ }
- { address: 7E1, label: NFRM10 }
- { address: 7E2, label: NFRM11 }
- { address: 7E3, label: NFRM12 }
- { address: 7E4, label: NFRM13 }
- { address: 7E5, label: NFRM14 }
- { address: 7E6, label: NFRM15 }
- { address: 7E7, label: NFRM16 }
- { address: 7F1, label: NFRM17 }
- { address: 7F2, label: NFRM18 }
- { address: 7F3, label: NFRM19 }
- { address: 7F4, label: NFRM1A }
- { address: 7F5, label: NFRM1B }
- { address: 7F6, label: NFRM1C }
- { address: 7F7, label: NFRM1D }
- { address: 8A1, label: NFRM1E }
- { address: 8A2, label: NFRM1F }
- { address: 8A3, label: NFRM1G }
- { address: 8A4, label: NFRM1H }
- { address: 8A5, label: NFRM1J }
- { address: 8A6, label: NFRM1K }
- { address: 8A7, label: NFRM1L }
- { address: 8A8, label: NFRM1M }
- { address: 8B1, label: NFRM1N }
- { address: 8B2, label: NFRM1P }
- { address: 8B3, label: NFRM1Q }
- { address: 8B4, label: NFRM1R }
- { address: 8B5, label: NFRM1S }
- { address: 8B6, label: NFRM1T }
- { address: 8B7, label: NFRM1U }
- { address: 8B8, label: NFRM1V }
- { address: 8C1, label: NFRM1W }
- { address: 8C2, label: NFRM1X }
- { address: 8C3, label: NFRM1Y }
- { address: 8C4, label: NFRM1Z }
- { address: 8C5, label: NFRM20 }
- { address: 8C6, label: NFRM21 }
- { address: 8C7, label: NFRM22 }
- { address: 8C8, label: NFRM23 }
- { address: 8D1, label: NFRM24 }
- { address: 8D2, label: NFRM25 }
- { address: 8D3, label: NFRM26 }
- { address: 8D4, label: NFRM27 }
- { address: 8D5, label: NFRM28 }
- { address: 8D6, label: NFRM29 }
- { address: 8D7, label: NFRM2A }
- { address: 8D8, label: NFRM2B }
- { address: 8E1, label: NFRM2C }
- { address: 8E2, label: NFRM2D }
- { address: 8E3, label: NFRM2E }
- { address: 8E4, label: NFRM2F }
- { address: 8E5, label: NFRM2G }
- { address: 8E6, label: NFRM2H }
- { address: 8E7, label: NFRM2J }
- { address: 8E8, label: NFRM2K }
- { address: 8F1, label: NFRM2L }
- { address: 8F2, label: NFRM2M }
- { address: 8F3, label: NFRM2N }
- { address: 8F4, label: NFRM2P }
- { address: 8F5, label: NFRM2Q }

```

```

- { address: 8F6, label: NFRM2R }
- { address: 8F7, label: NFRM2S }
- { address: 8F8, label: NFRM2T }
- { address: 9A1, label: NFR00R }
- { address: 9A2, label: NFRM2U }
- { address: 9A3, label: NFRM2V }
- { address: 9A4, label: NFRM2W }
- { address: 9A5, label: NFRM2X }
- { address: 9A6, label: NFRM2Y }
- { address: 9A7, label: NFRM2Z }
- { address: 9A8, label: NFRM30 }
- { address: 9A9, label: NFRM31 }
- { address: 9B1, label: TTJT02 }
- { address: 9B2, label: NFRM32 }
- { address: 9B3, label: NFRM33 }
- { address: 9B4, label: NFRM34 }
- { address: 9B5, label: NFRM35 }
- { address: 9B6, label: NFRM36 }
- { address: 9B7, label: NFRM37 }
- { address: 9B8, label: NFRM38 }
- { address: 9B9, label: NFRM39 }
- { address: 9C1, label: TTJR17 }
- { address: 9C2, label: NFRM3A }
- { address: 9C3, label: NFRM3B }
- { address: 9C4, label: NFRM3C }
- { address: 9C5, label: NFRM3D }
- { address: 9C6, label: NFRM3E }
- { address: 9C7, label: NFRM3F }
- { address: 9C8, label: NFRM3G }
- { address: 9C9, label: NFRM3H }
- { address: 9D1, label: TTJR11 }
- { address: 9D2, label: NFRM3J }
- { address: 9D3, label: NFRM3K }
- { address: 9D4, label: NFRM3L }
- { address: 9D5, label: NFRM3M }
- { address: 9D6, label: NFRM3N }
- { address: 9D7, label: NFRM3P }
- { address: 9D8, label: NFRM3Q }
- { address: 9D9, label: NFRM3R }
- { address: 9E1, label: TTJT01 }
- { address: 9E2, label: NFRM3S }
- { address: 9E3, label: NFRM3T }
- { address: 9E4, label: NFRM3U }
- { address: 9E5, label: NFRM3V }
- { address: 9E6, label: NFRM3W }
- { address: 9E7, label: NFRM3X }
- { address: 9E8, label: NFRM3Y }
- { address: 9E9, label: NFRM3Z }
- { address: 9F1, label: TTJT03 }
- { address: 9F2, label: NFRM40 }
- { address: 9F3, label: NFRM41 }
- { address: 9F4, label: NFRM42 }
- { address: 9F5, label: NFRM43 }
- { address: 9F6, label: NFRM44 }
- { address: 9F7, label: NFRM45 }
- { address: 9F8, label: NFRM46 }
- { address: 9F9, label: NFRM47 }
- { address: 10A3, label: NFR001 }
- { address: 10A4, label: TTJR1H }
- { address: 10A5, label: NFR002 }
- { address: 10A6, label: NFR003 }
- { address: 10A7, label: TTJT04 }
- { address: 10A8, label: NFR00V }
- { address: 10A9, label: NFR004 }
- { address: 10B3, label: TTJR0S }
- { address: 10B4, label: NFR005 }
- { address: 10B5, label: NFR006 }

```

```

- { address: 10B6, label: TTJR16 }
- { address: 10B7, label: NFRO07 }
- { address: 10B8, label: NFRO08 }
- { address: 10B9, label: TTJR0T }
- { address: 10C3, label: NFRO09 }
- { address: 10C4, label: NFRO0T }
- { address: 10C5, label: NFRO0A }
- { address: 10C6, label: TTJR1C }
- { address: 10C7, label: NFRO0B }
- { address: 10C8, label: TTJR1A }
- { address: 10C9, label: NFRO0C }
- { address: 10D3, label: NFRO0D }
- { address: 10D4, label: TTJR13 }
- { address: 10D5, label: NFRO0E }
- { address: 10D6, label: TTJR0V }
- { address: 10D7, label: NFRO0F }
- { address: 10D8, label: NFRO0S }
- { address: 10D9, label: NFRO0G }
- { address: 10E3, label: TTJR0X }
- { address: 10E4, label: NFRO0H }
- { address: 10E5, label: NFRO0J }
- { address: 10E6, label: TTJR19 }
- { address: 10E7, label: NFRO0K }
- { address: 10E8, label: NFRO0L }
- { address: 10E9, label: TTJR15 }
- { address: 10F3, label: NFRO0M }
- { address: 10F4, label: NFRO0U }
- { address: 10F5, label: NFRO0N }
- { address: 10F6, label: TTJR18 }
- { address: 10F7, label: NFRO0P }
- { address: 10F8, label: TTJR1K }
- { address: 10F9, label: NFRO0Q }

```

load_rccs:

```

- { address: 3A3, label: MCRO01 }
- { address: 3B3, label: MCRO02 }
- { address: 3C3, label: MCRO03 }
- { address: 3D3, label: MCRO04 }
- { address: 3E3, label: MCRO05 }
- { address: 3F3, label: MCRO06 }

```

load_sources:

```

- { address: 6F1, label: TNS002 }

```

```

# -----
# Definition of Zones
# -----

```

zone_set:

```

address:
  rid1: [ 000 , 1B1 , 1D1 , 1F1 , 2A1+, 2A2+, 3A1+, 3A2+,
          4A1+, 4A2+, 4A3+, 4A4+, 5A3+, 5A4+]
  rid2: [ 1A1 , 1E1 ]
  rid3: [ 1C1 ]
  rid4: [ 5A1+, 5A2+, 5A5+, 6A2+, 6A3+, 6A4+, 6A5+, 6A6+]
  rid5: [ 6A1 , 6B1 , 6C1 , 6D1 , 6E1 , 7A1+, 7A2+, 7A3+,
          7A4+, 7A5+, 7A6+, 7A7+, 8A1+, 8A2+,
          8A3+, 8A4+, 8A5+, 8A6+, 8A7+, 8A8+, 9A2+, 9A3+,
          9A4+, 9A5+, 9A6+, 9A7+, 9A8+, 9A9+]
  rid6: [ 9A1+, 10A3+, 10A4+, 10A5+, 10A6+, 10A7+, 10A8+, 10A9+]
  rid7: [ 6F1 ]
  rid8: [ 3A3+]
  rid9: [ 000 , 1A1+, 2A1+, 2A2+, 3A1+, 3A2+, 4A1+, 4A2+,
          4A3+, 4A4+, 5A1+, 5A2+, 5A3+, 5A4+,
          5A5+, 6A1+, 6A2+, 6A3+, 6A4+, 6A5+, 6A6+, 7A1+,
          7A2+, 7A3+, 7A4+, 7A5+, 7A6+, 7A7+,
          8A1+, 8A2+, 8A3+, 8A4+, 8A5+, 8A6+, 8A7+, 8A8+,

```

```

          9A1+, 9A2+, 9A3+, 9A4+, 9A5+, 9A6+,
          9A7+, 9A8+, 9A9+, 10A3+, 10A4+, 10A5+, 10A6+, 10A7+,
          10A8+, 10A9+]
rid10: [ 000 , 1A1+, 2A1+, 2A2+, 3A1+, 3A2+, 4A1+, 4A2+,
          4A3+, 4A4+, 5A3+, 5A4+]

```

plane:

```

zid1: [ 0, 0]
zid2: [ 1, 2]
zid3: [ 3, 4]
zid4: [ 5, 5]
zid5: [ 6, 11]
zid6: [12, 12]
zid7: [13, 14]
zid8: [15, 15]
zid9: [16, 17]
zid10: [ 5, 12]
zid11: [ 1, 3]
zid12: [ 4, 14]
zid13: [ 1, 15]
zid14: [ 1, 4]
zid15: [13, 15]
zid16: [ 0, 1]
zid17: [ 2, 6]
zid18: [ 7, 7]
zid19: [ 8, 8]
zid20: [ 9, 9]
zid21: [10, 10]
zid22: [11, 13]
zid23: [14, 16]
zid24: [17, 17]

```

zone:

```

1: [rid9, zid1 ] # HH000
2: [rid10, zid2 ] # GPL00
3: [rid10, zid3 ] # UR000
4: [rid1 , zid4 ] # INS00
5: [rid1 , zid5 ] # CORE0
6: [rid1 , zid6 ] # INS00
7: [rid10, zid7 ] # LS000
8: [rid10, zid8 ] # LR000
9: [rid9 , zid9 ] # EN000
10: [rid2 , zid4 ] # BOINS
11: [rid2 , zid5 ] # BOFU0
12: [rid2 , zid6 ] # BOINS
13: [rid3 , zid10] # PRC00
14: [rid4 , zid11] # IRU00
15: [rid4 , zid12] # IR000
16: [rid4 , zid8 ] # IRL00
17: [rid5 , zid11] # ORX00
18: [rid5 , zid12] # OR000
19: [rid5 , zid8 ] # ORX00
20: [rid6 , zid13] # ORB00
21: [rid7 , zid14] # NSU00
22: [rid7 , zid10] # NSM00
23: [rid7 , zid15] # NSL00
24: [rid8 , zid16] # CRU00
25: [rid8 , zid17] # B4C00
26: [rid8 , zid18] # CR300
27: [rid8 , zid19] # CR400
28: [rid8 , zid20] # CR500
29: [rid8 , zid21] # CR600
30: [rid8 , zid22] # CR700
31: [rid8 , zid23] # CR800
32: [rid8 , zid24] # CR900

```

A.4 燃料等組成データファイル

```

# -----
# Input Sample : Material
# -----

# -----
# Definition of Materials
# -----
material:
- name: fuel1
  composition:
  - [924, 1.0e-20]
  - [925, 0.00196132]
  - [926, 7.76703e-10]
  - [928, 0.0140548]
  - [937, 3.77569e-11]
  - [939, 1.0e-20]
  - [948, 8.65083e-06]
  - [949, 0.00471935]
  - [940, 0.00132132]
  - [941, 0.000197429]
  - [942, 4.41774e-05]
  - [951, 2.20386e-05]
  - [950, 1.0e-20]
  - [953, 1.0e-20]
  - [962, 1.0e-20]
  - [963, 1.0e-20]
  - [964, 1.0e-20]
  - [965, 1.0e-20]
  - [966, 1.0e-20]
  - [854, 1.0e-20]
  - [884, 1.0e-20]
  - [894, 1.0e-20]
  - [814, 1.0e-20]
  - [ 8, 0.0440464]
  - [105, 1.0e-20]
  - [115, 1.0e-20]
  - [ 6, 1.0e-20]
  - [ 4, 1.0e-20]
  - [511, 1.0e-20]
  - [513, 1.0e-20]
  - [147, 1.0e-20]
  - [157, 1.0e-20]
- name: fuel2
  composition:
  - [924, 1.0e-20]
  - [925, 4.91678e-05]
  - [926, 1.0e-20]
  - [928, 0.0242248]
  - [937, 1.0e-20]
  - [939, 1.0e-20]
  - [948, 1.0e-20]
  - [949, 1.0e-20]
  - [940, 1.0e-20]
  - [941, 1.0e-20]
  - [942, 1.0e-20]
  - [951, 1.0e-20]
  - [950, 1.0e-20]
  - [953, 1.0e-20]
  - [962, 1.0e-20]
  - [963, 1.0e-20]
  - [964, 1.0e-20]
  - [965, 1.0e-20]

```


- [966, 1.0e-20]
- [854, 1.0e-20]
- [884, 1.0e-20]
- [894, 1.0e-20]
- [814, 1.0e-20]
- [8, 0.047817]
- [105, 1.0e-20]
- [115, 1.0e-20]
- [6, 1.0e-20]
- [4, 1.0e-20]
- [511, 1.0e-20]
- [513, 1.0e-20]
- [147, 1.0e-20]
- [157, 1.0e-20]
(以下略)

outside: mtx

A.5 炉心特性データファイル

```

# -----
# Input Sample : CoreProperty
# -----

# -----
# Basic Information
# -----
name: jyoyomk2      # reactor name
power: 100.0        # MWth

# -----
# Definition of Core Geometry
# -----
assembly:
  layer: 10
  except: [10A1+, 10A2+, 10A10+]

reflector:
  address: [ 1C1 ,  6A1 ,  6B1 ,  6C1 ,  6D1 ,  6E1 ,
            5A1+, 5A2+, 5A5+, 6A2+, 6A3+, 6A4+, 6A5+, 6A6+, 7A1+, 7A2+,
            7A3+, 7A4+, 7A5+, 7A6+, 7A7+, 8A1+, 8A2+, 8A3+, 8A4+, 8A5+,
            8A6+, 8A7+, 8A8+, 9A1+, 9A2+, 9A3+, 9A4+, 9A5+, 9A6+, 9A7+,
            9A8+, 9A9+, 10A3+, 10A4+, 10A5+, 10A6+, 10A7+, 10A8+, 10A9+]

rcc:
  address: [3A3+]

source:
  address: [6F1]

```

A.6 断面積情報ファイル(サイクル 0)

```

# -----
# Input Sample : Table of Zone vs. MicroscopicCrossSection
# -----

newpds_dir: /project/JAEA/marble/sample/0cyc/WORK/PDS70g

nuclides: [924, 925, 926, 928, 937, 939, 948, 949, 940, 941, 942, 951, 950, 953,
           962, 963, 964, 965, 966, 854, 884, 894, 814, 8, 11, 24, 25, 26,
           28, 42, 105, 115, 6, 13, 4, 511, 513, 147, 157]

xs_table:
0: MTX00-
1: HH000-
2: GPL00-
3: UR000-
4: INSO0-
5: CORE0-
6: INSO0-
7: LS000-
8: LR000-
9: EN000-
10: BOINS-
11: BOFU0-
12: BOINS-
13: PRC00-
14: IRU00-
15: IRO00-
16: IRL00-
17: ORX00-
18: OR000-
19: ORX00-
20: ORB00-
21: NSU00-
22: NSM00-
23: NSL00-
24: CRU00-
25: B4C00-
26: CR300-
27: CR400-
28: CR500-
29: CR600-
30: CR700-
31: CR800-
32: CR900-

fission_spectrum:
0: [0.010227818042, 0.0220433752984, 0.0451342351735, 0.0728153660893, 0.097524009645,
    0.112763538957, 0.115993209183, 0.108863838017, 0.0952100902796, 0.079093426466,
    0.0629632845521, 0.0484965257347, 0.0363847725093, 0.0267438124865, 0.0193569362164,
    0.0138462893665, 0.00981515273452, 0.00690576760098, 0.0048404308036, 0.00337642733939,
    0.0023469273001, 0.00162718852516, 0.00112594757229, 0.000777928798925, 0.000536812876817,
    0.000370036024833, 0.000254847720498, 0.000175563574885, 0.000120904078358,
    8.31922225188e-05, 5.72286735405e-05, 3.93607078877e-05, 2.70666787401e-05,
    1.86115976248e-05, 1.27954026539e-05, 8.79667732079e-06, 6.04901561019e-06,
    4.16365082856e-06, 2.86421618512e-06, 1.97085614673e-06, 1.3566115058e-06,
    6.60449757106e-07, 4.54849470088e-07, 3.13896066473e-07, 2.16902151351e-07,
    1.5012609822e-07, 1.0412802709e-07, 7.24167463773e-08, 5.05343784596e-08,
    3.54150131443e-08, 2.49502978278e-08, 1.76923613537e-08, 1.2644561842e-08,
    9.12201603143e-09, 1.15612908136e-10,
    0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]
(以下略)

```

fs_zone: 5

burnable: [4, 5, 6, 10, 11, 12]

energy_group: 70

B. シャッフリング検証用体系の装荷パターンファイル

B.1 サイクル 0 のパターンファイル

```

# -----
# Input Sample : Pattern
# -----

# -----
# Basic Information
# -----
core_name   : test-1
cycle_name  : 0
cycle_number: 0

# -----
# Definition of New Fuels
# -----
fuels:
- label: [PFD001, PFD005]
  type: fuel_pfd1

- label: [PFB001, PFB002]
  type: fuel_pfb1

# -----
# Definition of Loading Pattern
# -----
load_fuels:
- { address: 000, label: PFD001 }
- { address: 1A1, label: PFB001 }
- { address: 1B1, label: PFD002 }
- { address: 1C1, label: PFD003 }
- { address: 1D1, label: PFB002 }
- { address: 1E1, label: PFD004 }
- { address: 1F1, label: PFD005 }

# -----
# Definition of Zones
# -----
zone_set:
address:
  rid1: [000]
  rid2: [1A1, 1B1, 1C1, 1D1, 1E1, 1F1]
  rid3: [000, 1A1, 1B1, 1C1, 1D1, 1E1, 1F1]

plane:
  zid1: [ 0, 0]
  zid2: [ 1, 2]
  zid3: [ 3, 4]
  zid4: [ 5, 5]
  zid5: [ 6, 11]
  zid6: [12, 12]
  zid7: [13, 14]
  zid8: [15, 15]
  zid9: [16, 17]

zone:
  1: [rid3, zid1] # HH000
  2: [rid3, zid2] # GPL00

```

3: [rid3, zid3] # UR000
4: [rid1, zid4] # INS00
5: [rid2, zid4] # B0INS
6: [rid1, zid5] # CORE0
7: [rid2, zid5] # BOFU0
8: [rid1, zid6] # INS00
9: [rid2, zid6] # B0INS
10: [rid3, zid7] # LS000
11: [rid3, zid8] # LR000
12: [rid3, zid9] # EN000

B.2 サイクル 1 のパターンファイル

```

# -----
# Input Sample : Pattern
# -----

# -----
# Basic Information
# -----
core_name   : test-1
cycle_name  : 1
cycle_number: 1

# -----
# Definition of New Fuels
# -----
fuels:
- label: PFD006
  type: fuel_pfd1

# -----
# Definition of Loading Pattern
# -----
load_fuels:
- { address: 000, label: PFD006 }
- { address: 1A1, label: PFD004 }
- { address: 1B1, label: PFB001, maxKeyPosition: 2 }
- { address: 1C1, label: PFD003 }
- { address: 1D1, label: PFD005 }
- { address: 1E1, label: PFB002 }
- { address: 1F1, label: PFD002 }

# -----
# Definition of Zones
# -----
zone_set:
address:
  rid1: [000]
  rid2: [1A1, 1B1, 1C1, 1D1, 1E1, 1F1]
  rid3: [000, 1A1, 1B1, 1C1, 1D1, 1E1, 1F1]

plane:
  zid1: [ 0, 0]
  zid2: [ 1, 2]
  zid3: [ 3, 4]
  zid4: [ 5, 5]
  zid5: [ 6, 11]
  zid6: [12, 12]
  zid7: [13, 14]
  zid8: [15, 15]
  zid9: [16, 17]

zone:
  1: [rid3, zid1] # HH000
  2: [rid3, zid2] # GPL00
  3: [rid3, zid3] # UR000
  4: [rid1, zid4] # INS00
  5: [rid2, zid4] # BOINS
  6: [rid1, zid5] # CORE0
  7: [rid2, zid5] # BOFU0
  8: [rid1, zid6] # INS00

```

9: [rid2, zid6] # B01NS
10: [rid3, zid7] # LS000
11: [rid3, zid8] # LR000
12: [rid3, zid9] # EN000


```

1 1 1 1 1 1 1 1105105105 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 15555555555555555555555555555555555555555555555
(中略)
008
-70 70 0555 1 2 2 3
8. 14386E-03 2. 01681E-02 4. 39026E-02 7. 35182E-02 1. 01094E-01 1. 18556E-01
1. 21597E-01 1. 12138E-01 9. 56866E-02 7. 85583E-02 6. 16811E-02 4. 68499E-02
3. 45708E-02 2. 49342E-02 1. 77229E-02 1. 24732E-02 8. 71766E-03 6. 04335E-03
4. 21989E-03 2. 92682E-03 2. 02245E-03 1. 39540E-03 9. 61734E-04 6. 62338E-04
4. 55701E-04 3. 13109E-04 2. 14785E-04 1. 48155E-04 1. 02239E-04 7. 02920E-05
4. 83196E-05 3. 32087E-05 2. 28143E-05 1. 56737E-05 1. 07578E-05 7. 38185E-06
5. 07020E-06 3. 50363E-06 2. 40793E-06 1. 65479E-06 1. 13716E-06 2. 44923E-09
6. 09673E-10 4. 20689E-10 2. 90648E-10 2. 01126E-10 1. 39464E-10 9. 69586E-11
6. 76312E-11 4. 73712E-11 3. 33514E-11 2. 36304E-11 1. 68720E-11 1. 21577E-11
8. 85522E-12 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00
0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00
0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00
023
0 0 0 7 0
040
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0. 00000E+00 0. 00000E+00 0. 00000E+00
999

```

C.2 TRITAC

JOYO MK-2 Burn-UP 100.00MW x 27.81day 2781.00MWD Ocy 13.9050day x 2

0											
1	1	0	0	0	0	1	1	0			
	21		42		96			70		555	8
	21		42		18						
	0		0		0			0		0	0
1.00000E-04	1.00000E-04	1.00000E-05				1	10	99999.00000		0.00000	
	10	1.00000E-02	1.00000E+00				900				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	E		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	E					
5	17	10	6	6	1	3	2	1	4	2	10
1	3	3	12	2	8	E					
0.0000		7.0855		14.1710		21.2565		28.3420		35.4275	
42.5130		49.5985		56.6840		63.7695		70.8550		77.9405	
85.0260		92.1115		99.1970		106.2825		113.3680		120.4535	
127.5390		134.6245		141.7100		148.7955	E				
0.0000		4.0908		8.1816		12.2724		16.3633		20.4541	
24.5449		28.6357		32.7265		36.8173		40.9082		44.9990	
49.0898		53.1806		57.2714		61.3622		65.4531		69.5439	
73.6347		77.7255		81.8163		85.9071		89.9980		94.0888	
98.1796		102.2704		106.3612		110.4520		114.5429		118.6337	
122.7245		126.8153		130.9061		134.9969		139.0878		143.1786	
147.2694		151.3602		155.4510		159.5418		163.6326		167.7235	
171.8143	E										
0.0000		11.4400		53.3483		78.6000		93.6300		108.6600	
109.8600		118.5183		123.5283		124.7283		134.7483		139.7583	
164.9700		166.1700		174.8283		181.2000		211.2600		216.1083	
235.3600	E										
555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555
555	555	555	555	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555
555	555	555	555	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	555	555	555	555	1	555	1	555
1	555	555	555	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	555	555	555	1	1	1	1	1
1	1	555	555	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	555	555	555	1	1	1	1	1
1	1	1	555	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	555	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	555	555	555	555	555	N		
555	555	555	555	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	555	555	555	N		
555	555	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	555	555	N		
555	555	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
555	555	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
555	555	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	555	N		
555	555	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	N		

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
物質の量	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	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
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 ⁻¹ ・m ¹ =1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ¹ ・kg ¹ ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ・kg ¹ ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ¹ ・s ⁻²
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² ・kg ¹ ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ¹ ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ¹ ・s ⁻³ ・A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² ・kg ¹ ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m ² ・kg ¹ ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg ¹ ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ¹ ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr ^(c)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
放射能	ベクレル	Bq	lm/m ²	m ² ・m ⁻⁴ ・cd=m ⁻² ・cd
(放射性核種の) 放射能吸収線量, 質量エネルギー一分与, カーマ線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m ² ・s ⁻²
	シーベルト	Sv	J/kg	m ² ・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に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°C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
粘着力のモーメント	ニュートンメートル	Pa・s	m ¹ ・kg ¹ ・s ⁻¹
表面張力	ニュートン毎メートル	N・m	m ² ・kg ¹ ・s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	N/m	kg ¹ ・s ⁻²
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s	m ¹ ・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	rad/s ²	m ¹ ・m ⁻¹ ・s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ジュール毎キログラム	W/m ²	kg ¹ ・s ⁻³
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/K	m ² ・kg ¹ ・s ⁻² ・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・K)	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	J/kg	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	W/(m・K)	m ¹ ・kg ¹ ・s ⁻³ ・K ⁻¹
電界の強さ	ボルト毎メートル	J/m ³	m ⁻¹ ・kg ¹ ・s ⁻²
体積電荷	クーロン毎立方メートル	V/m	m ¹ ・kg ¹ ・s ⁻³ ・A ⁻¹
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s ¹ ・A
誘電率	ファラド毎メートル	C/m ²	m ⁻² ・s ¹ ・A
透磁率	ヘンリー毎メートル	F/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
モルエネルギー	ジュール毎モル	H/m	m ¹ ・kg ¹ ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/mol	m ² ・kg ¹ ・s ⁻² ・mol ⁻¹
モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m ² ・kg ¹ ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・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 ・s ¹ ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² ・s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ ・m ⁻² ・kg ¹ ・s ⁻³ =m ² ・kg ¹ ・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 ・sr)	m ² ・m ⁻² ・kg ¹ ・s ⁻³ =kg ¹ ・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	1 h=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	1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(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	1 eV=1.60217733(49)×10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1 ua=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	海里	1 海里=1852m
ノット	ノット	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バール	b	1 b=100fm 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=1cm 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=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/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	X	1 X unit=1.002×10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1 γ=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	fm	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	cal	
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

