

制御棒引抜時の出力歪に対する局所  
フィードバック反応度の影響

Local Feedback Reactivities Effect on Power Distributions  
during Control Rod Withdrawal

川島 克之 水野 朋保

Katsuyuki KAWASHIMA and Tomoyasu MIZUNO

次世代原子力システム研究開発部門

炉心・燃料設計グループ

Fast Reactor Core and Fuel Design Group

Advanced Nuclear System Research and Development Directorate

April 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

制御棒引抜時の出力歪に対する局所フィードバック反応度の影響

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 設計統括ユニット

川島 克之<sup>\*</sup>、水野 朋保

(2008年2月27日受理)

FBR サイクル実用化研究開発 (FaCT プロジェクト) の一環として、ナトリウム冷却大型高速炉炉心における制御棒引抜時の出力歪に対する局所フィードバック反応度の影響を検討した。

一点近似炉心動特性モデルを使用した制御棒引抜事象 (UTOP) の過渡解析においては、定常時の炉心状態であらかじめ求めた制御棒引抜量、投入反応度と出力歪の関係を過渡時においても適用している。しかしながら、過渡時の出力歪は、引抜制御棒周辺の温度上昇によるフィードバック反応度により、時間遅れはあるものの、定常時に求めた出力歪とは異なってくる可能性があると考えられる。とりわけ、UTOP では SASS が作動するまでの時間が 4~5 分あり、引抜制御棒周辺の温度上昇によるフィードバック反応度が発達するのに十分な時間がある。

そこで、引抜制御棒周辺の温度上昇を模擬した炉心計算モデルを構築して、制御棒引抜時の出力歪を計算し、それを定常時の炉心状態で求めた出力歪と比較検討した。

その結果、過渡時模擬炉心において、引抜制御棒周辺の燃料集合体の温度上昇にともなう反応度相当分 (燃料ドップラー及び燃料軸方向膨張) を考慮することにより最大線出力比は定常時炉心の 1.39 に対して 1.30 まで低減され、炉心径方向出力分布の歪が大幅に緩和されるとの見通しを得た。

## Local Feedback Reactivities Effect on Power Distributions during Control Rod Withdrawal

Katsuyuki KAWASHIMA<sup>※</sup> and Tomoyasu MIZUNO

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

(Received February 27, 2008)

As a part of the Fast Reactor Cycle Technology Development Project (FaCT Project), the effect of local feedback reactivities on power distributions during control rod withdrawal in a large sodium-cooled fast reactor was studied.

In UTOP transient analysis based on the point reactor kinetics model, power distribution skewing due to control rod withdrawal is usually given by the steady-state core neutronics calculation results obtained prior to transient analysis. However, the power distribution skewing during transient could be different from that in the steady-state core condition due to the effect of local feedback reactivities, allowing some time delay induced by the temperature rise in the fuel assemblies adjacent to the withdrawn control rod. In particular, UTOP allows the reactor system several minutes to activate the SASS and gives sufficient time to develop local feedback reactivities.

The present study includes a configuration of the core calculation model which takes into account the transient temperature rise in the fuel assemblies adjacent to the withdrawn control rod, and a calculation of the power distribution skewing of the core. The calculated results are compared with those using the steady-state core conditions. It is shown that core radial power distribution skewing is significantly mitigated by local feedback reactivities (fuel Doppler and fuel axial expansion) due to temperature rise in the fuel assemblies adjacent to the withdrawn control rod, which corresponds to the transient over power core conditions. The calculated maximum power density ratio is 1.30, smaller than 1.39 calculated under the steady-state core condition.

Keywords: FaCT Project, Large Fast Reactor Core, UTOP, Local Feedback Reactivities,  
Power Distributions, Control Rod Withdrawal

---

※Collaborating Engineer

目次

1. はじめに	1
2. 検討条件	2
2.1 炉心の構築	2
2.1.1 定常時炉心	2
2.1.2 過渡時模擬炉心	2
2.2 計算手法	2
2.2.1 定常時炉心	2
2.2.2 過渡時模擬炉心	2
3. 検討結果	4
3.1 定常時炉心の出力分布	4
3.2 過出力炉心過渡解析の結果	4
3.3 過渡時模擬炉心の出力分布	4
4. 結論	5
参考文献	5

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Conditions of the Study	2
2.1 Core Configuration	2
2.1.1 Steady-state Core	2
2.1.2 Transient-state Simulated Core	2
2.2 Methodology	2
2.2.1 Steady-state Core	2
2.2.2 Transient-state Simulated Core	2
3. Results	4
3.1 Power Distribution of the Steady-state Core	4
3.2 Transient Over Power Core Analysis Results	4
3.3 Power Distribution of the Transient-state Simulated Core	4
4. Conclusions	5
References	5

図表リスト

表 1 定常時炉心及び過渡時模擬各炉心の実効増倍率、最大線出力、最大線出力比 ..... 6

図 1 大型 MOX 燃料高内部転換型炉心の構成(平面図) ..... 7

図 2 HIPRAC-3D コードの炉心部解析モデル ..... 8

図 3 制御棒臨界挿入状態及び制御棒 1 本引抜状態の炉心径方向出力分布 ..... 9

図 4 制御棒 1 本引抜状態の炉心軸方向出力分布の例(最大線出力集合体) ..... 10

図 5 反応度投入時の内側炉心及び外側炉心の平均チャンネルの静定出力と燃料温度 ..... 11

図 6 定常時炉心及び過渡時模擬各炉心の制御棒 1 本引抜時の最大線出力比の比較 ..... 12

略語表

略 語	正式表現	説明
BOEC	Beginning of Equilibrium Cycle	平衡サイクル初期
FaCT	Fast Reactor Cycle Technology Development Project	FBR サイクル実用化研究開発
FBR	Fast Breeder Reactor	高速増殖炉
MOX	Mixed-Oxide	混合酸化物
PCR	Primary Control Rod	主炉停止系制御棒
UTOP	Unprotected Transient Over Power	スクラム失敗時の制御棒引抜き事象
SASS	Self-Actuated Shutdown System	自己作動型炉停止機構

## 1. はじめに

大型高速炉の炉心過渡解析においては従来より一点近似炉心動特性モデルが使用されており、制御棒引抜事象（UTOP）の解析では、定常時の炉心状態であらかじめ求めた制御棒引抜量、投入反応度と出力歪の関係を過渡時においても適用している。しかしながら、過渡時の出力歪は、引抜制御棒周辺の温度上昇によるフィードバック反応度（ドップラー、燃料膨張等）により、時間遅れはあるものの、定常時に求めた出力歪とは異なってくる可能性があると考えられる。とりわけ、UTOP では自己作動型炉停止機構（SASS）が切離されるまでの時間が 4～5 分あり、引抜制御棒周辺の温度上昇によるフィードバック反応度が発達するのに十分な時間がある。

本研究は、この局所的なフィードバック反応度が出力歪に与える影響を定量的に評価することを目的とし、それを安全評価の合理化に資するものである。そこで、引抜制御棒周辺の温度上昇を模擬した炉心計算モデルを構築して、制御棒引抜時の出力歪を計算し、それを定常時の炉心状態で求めた出力歪と比較検討するものとした。



## 2. 検討条件

### 2.1 炉心の構築

#### 2.1.1 定常時炉心

FaCT プロジェクトにおいて検討を進めている大型 MOX 燃料高内部転換型炉心の設計仕様[1, 2]に基づき、BOEC において、制御棒臨界挿入状態及び主系統制御棒 (PCR) 1 本引抜状態の炉心を構築する。図 1 に炉心の構成(平面図)を示す。引抜制御棒は、引抜状態での最大線出力が最大となる制御棒(図 1 の 440 番の制御棒)とする。定常時炉心では、制御棒引抜時の隣接集合体の出力増大に伴う温度上昇とそれが燃料組成へ及ぼす影響を考慮せずに、定常時の炉心の温度と組成を使用するものとする。

#### 2.1.2 過渡時模擬炉心

上記 2.1.1 の制御棒 1 本引抜状態の炉心において、引抜制御棒の周囲の燃料集合体を、過渡時の温度上昇を模擬した組成・温度とする。なお、反応度フィードバックの主成分は燃料ドプラー及び燃料軸方向膨張であることから、本検討では燃料温度のみに着目する。引抜制御棒の周囲の燃料集合体のうち、過渡時の温度上昇を模擬する集合体の範囲は引抜制御棒のワースに依存すると考えられるが、今回は下記を想定する。

ケース 1：引抜制御棒に隣接する燃料集合体 6 体

ケース 2：隣接燃料集合体 6 体及びその外側の燃料集合体 12 体の合計 18 体

### 2.2 計算手法

#### 2.2.1 定常時炉心

3 次元炉心核計算により、制御棒臨界挿入状態及び制御棒 1 本引抜状態の出力分布を計算し、引抜制御棒に隣接する各燃料集合体出力の制御棒引抜に伴う変化(増大幅)、出力歪(定常時の出力歪)を求める。炉心核計算では MOSES コード、核定数は高速炉用統合炉定数 ADJ2000R を使用する。実効マイクロ断面積作成に当り、定常時炉心の燃料温度は 1150℃とする。

#### 2.2.2 過渡時模擬炉心

##### (1) 過出力炉心過渡解析

反応度投入事象の過渡解析(スクラム無しを想定)を行い、過出力静定状態において出力増大幅に対応した燃料集合体の燃料温度上昇幅を求める。プラント動特性解析コード HIPRAC-3D を使用する。HIPRAC-3D コードの炉心部解析モデルを図 2 に示す。HIPRAC-3D では、炉心の核動特性は一点近似核動特性モデル、熱流動特性は単ピン多チャンネル体系(炉心部全体の温度挙動を模擬する内側・外側炉心燃料平均チャンネル、径方向ブランケット平均チャンネル、炉心バイパスから成る)でモデル化する。反応度フィードバックとして、ドプラー反応度、燃料軸方向膨張反応度、冷却材・構造材の温度フィードバック反応度、炉心支持板膨張反応度を考慮する。炉心各領域の温度、流量配分、各反応度係数等のデータは文献[1]の値を使用する。

ステップ状反応度を投入後、炉心が静定状態になったときの内側炉心及び外側炉心の平均チャンネル(代表燃料ピン)の出力と温度(平均温度、最高温度)を計算する。

##### (2) 炉心核計算



ケース 1 及び 2 について、MOSES コードを使用した 3 次元炉心核計算により以下の手順で、制御棒 1 本引抜状態の出力分布を計算し、出力歪（過渡時の出力歪）を求める。

- ① 上記の定常時炉心の結果より、引抜制御棒に隣接する各燃料集合体の出力増大幅を求める。
- ② 過出力炉心過渡解析の結果より、過渡時の各隣接集合体毎の出力増大幅に対応した燃料温度上昇幅を算出する。
- ③ 隣接集合体の燃料温度上昇時の実効マイクロ断面積を作成する。各集合体の燃料温度は、定常時炉心の実効マイクロ断面積作成温度 1150℃に上記②で求めた燃料温度上昇分を上乗せする。すなわちドップラー反応度フィードバックを模擬する。
- ④ 隣接集合体の燃料温度上昇時の燃料組成を算出する。各集合体の MOX 燃料は、上記②で求めた燃料温度上昇分だけ軸方向に自由膨張（燃料密度低下）すると仮定する。すなわち燃料軸方向膨張による反応度フィードバックを模擬する。
- ⑤ 上記③、④を使い、制御棒 1 本引抜時の出力分布と歪（過渡時の出力歪）を求める。考慮する反応度フィードバックの組合せは次の三通りとする。
  - 燃料ドップラーのみ
  - 燃料軸方向膨張のみ
  - 燃料ドップラー及び燃料軸方向膨張

### 3. 検討結果

#### 3.1 定常時炉心の出力分布

定常時炉心についての結果として、各炉心の実効増倍率、最大線出力および最大線出力比を表 1 に示す。図 3 には、制御棒臨界挿入状態及び制御棒 1 本引抜状態の炉心径方向出力分布を示す。また、制御棒 1 本引抜状態の炉心軸方向出力分布(最大線出力集合体)を図 4 に示す。

制御棒 1 本引抜により、引抜制御棒に隣接する燃料集合体出力が増大し、炉心径方向出力分布が大きく歪む。出力が大きく増大(1.5 倍程度)する領域は図 2 の集合体列 9~14 であり、これは引抜制御棒周囲の燃料集合体約 18 体に相当する。一方、軸方向出力ピーキングは制御棒引抜により緩和される。定常時炉心の最大線出力比(臨界挿入状態の炉心の最大線出力に対する相対値)は 1.39 となった。

#### 3.2 過出力炉心過渡解析の結果

反応度投入時の内側炉心と外側炉心の平均チャンネルの静定出力と、そのときの燃料平均温度及び最高温度を図 5 に示す。投入反応度は 40¢及び 70¢とした。これに対する静定出力は、それぞれ 131%及び 159%である。これより、定常状態からの出力増大幅に対応する燃料平均温度及び燃料最高温度の上昇幅が求まる。なお、燃料最高温度の上昇幅は燃料平均温度の上昇幅の約 1.6 倍である。

#### 3.3 過渡時模擬炉心の出力分布

過渡時模擬炉心の出力分布の評価では、燃料平均温度の上昇幅を用いて計算した。定常時炉心についての結果と合せて、過渡時模擬各炉心の実効増倍率、最大線出力および最大線出力比を表 1 に示す。図 3 と図 4 には、制御棒 1 本引抜状態の炉心径方向出力分布および炉心軸方向出力分布(最大線出力集合体)を、それぞれ定常時炉心と比較して示す。図 6 では、定常時炉心及び過渡時模擬各炉心の制御棒 1 本引抜時の最大線出力比を比較した。

これらの計算結果より、下記が言える。

- 過渡時模擬炉心において、引抜制御棒周辺の燃料集合体の温度上昇にともなうフィードバック反応度を考慮することにより、炉心径方向出力分布の歪が緩和される。緩和の程度は、燃料ドップラー、燃料軸方向膨張、燃料ドップラー+燃料軸方向膨張の順に大きい。
- 最大線出力比は、いずれの過渡時模擬炉心においても定常時炉心より低減された。定常時炉心の 1.39 に対して、隣接集合体として 18 体を考慮する場合で 1.30 まで低減される。隣接集合体として 6 体を考慮する場合の最大線出力比の低減幅は、18 体を考慮する場合の 60%程度となる。
- 制御棒 1 本引抜状態の軸方向出力分布の相対分布は、定常時炉心と過渡時模擬炉心でほぼ同じである。

#### 4. 結論

FaCT プロジェクトにおいて検討を進めているナトリウム冷却大型高速炉炉心（大型 MOX 燃料高内部転換型炉心）を対象として、制御棒引抜時の出力歪に対する局所フィードバック反応度の影響を検討した。過渡時模擬炉心において、従来の一点近似炉心動特性モデルでは考慮できていない引抜制御棒周辺の燃料集合体の温度上昇にともなうフィードバック反応度（燃料ドップラー及び燃料軸方向膨張）相当分を考慮することにより、炉心径方向出力分布の歪が大きく緩和されるとの見通しを得た。最大線出力比は、定常時炉心の 1.39 に対して過渡時模擬炉心では 1.30 まで低減された。今後は本検討の結果を安全評価の合理化に活用すべく、さらに検討を進める。

#### 参考文献

- [1] 大木繁夫、他、“ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討 (MOX 燃料炉心) - 2006 年度報告 -”、JAEA-Research 2007-084 (2008)
- [2] 大木繁夫、他、“MA 含有燃料を用いたナトリウム冷却酸化物燃料炉心の検討(2)”、日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集 D34 (2007)

表1 定常時炉心及び過渡時模擬各炉心の実効増倍率、最大線出力、最大線出力比

No.	炉心		局所フィードバック反応度を考慮する 引抜制御棒周囲の燃料集合体		実効増倍率	最大線出力 <sup>1)</sup> (W/cm)	最大 線出力比 <sup>2)</sup>
			ドブラー	燃料軸方向膨張			
1	定常時	臨界挿入 <sup>3)</sup>	なし	なし	0.99645	398.7	-
2		PCR1本引抜 <sup>4)</sup>	なし	なし	0.99736	553.4	1.39
3	過渡時模擬 (PCR1本引抜)		隣接6体	なし	0.99733	548.0	1.37
4			隣接18体	なし	0.99729	541.7	1.36
5			なし	隣接6体	0.9973	539.0	1.35
6			なし	隣接18体	0.99722	526.8	1.32
7			隣接6体	隣接6体	0.99727	533.9	1.34
8			隣接18体	隣接18体	0.99716	516.4	1.30

注1) 最大線出力集合体(集合体No.370)を対象

2) 臨界挿入状態の定常時炉心の最大線出力に対する相対値

3) 臨界挿入条件 全PCR 32cm挿入

4) PCR1本引抜条件 出力歪が最大となるPCR(制御棒No.440)をパーク位置(炉心上端)まで引抜

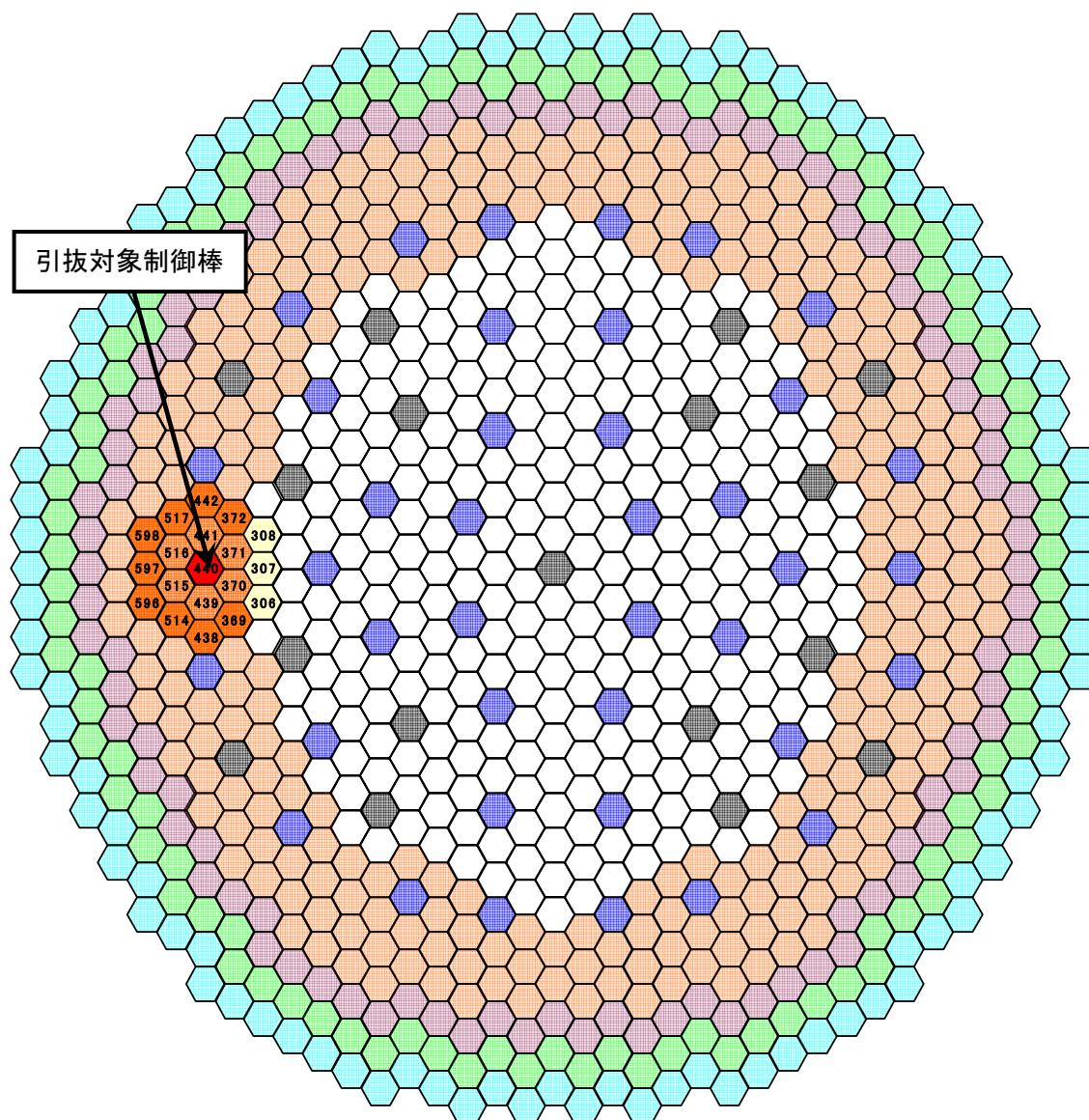


図1 大型 MOX 燃料高内部転換型炉心の構成 (平面図)

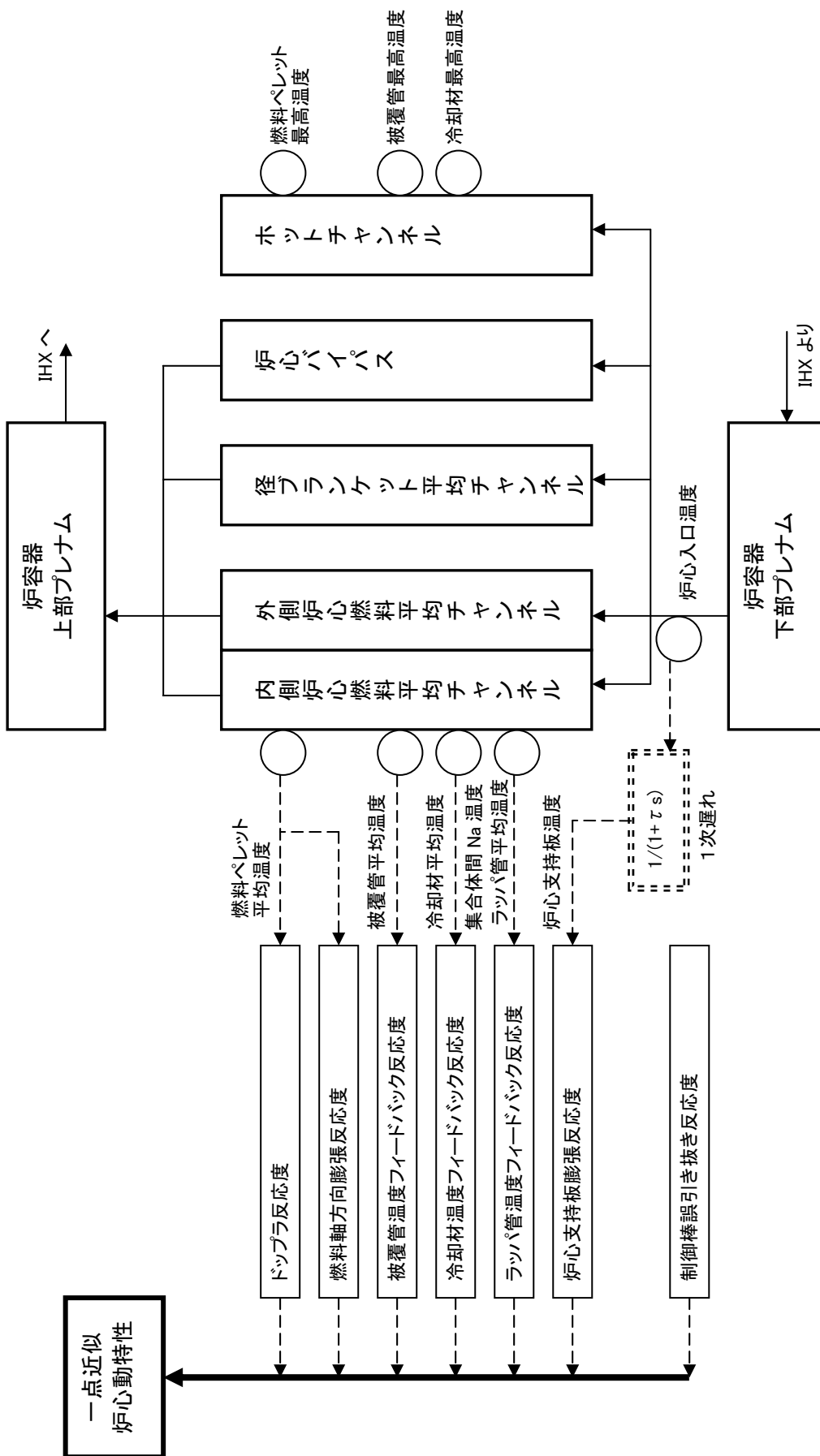


図2 HIPRAC-3D コードの炉心部解析モデル

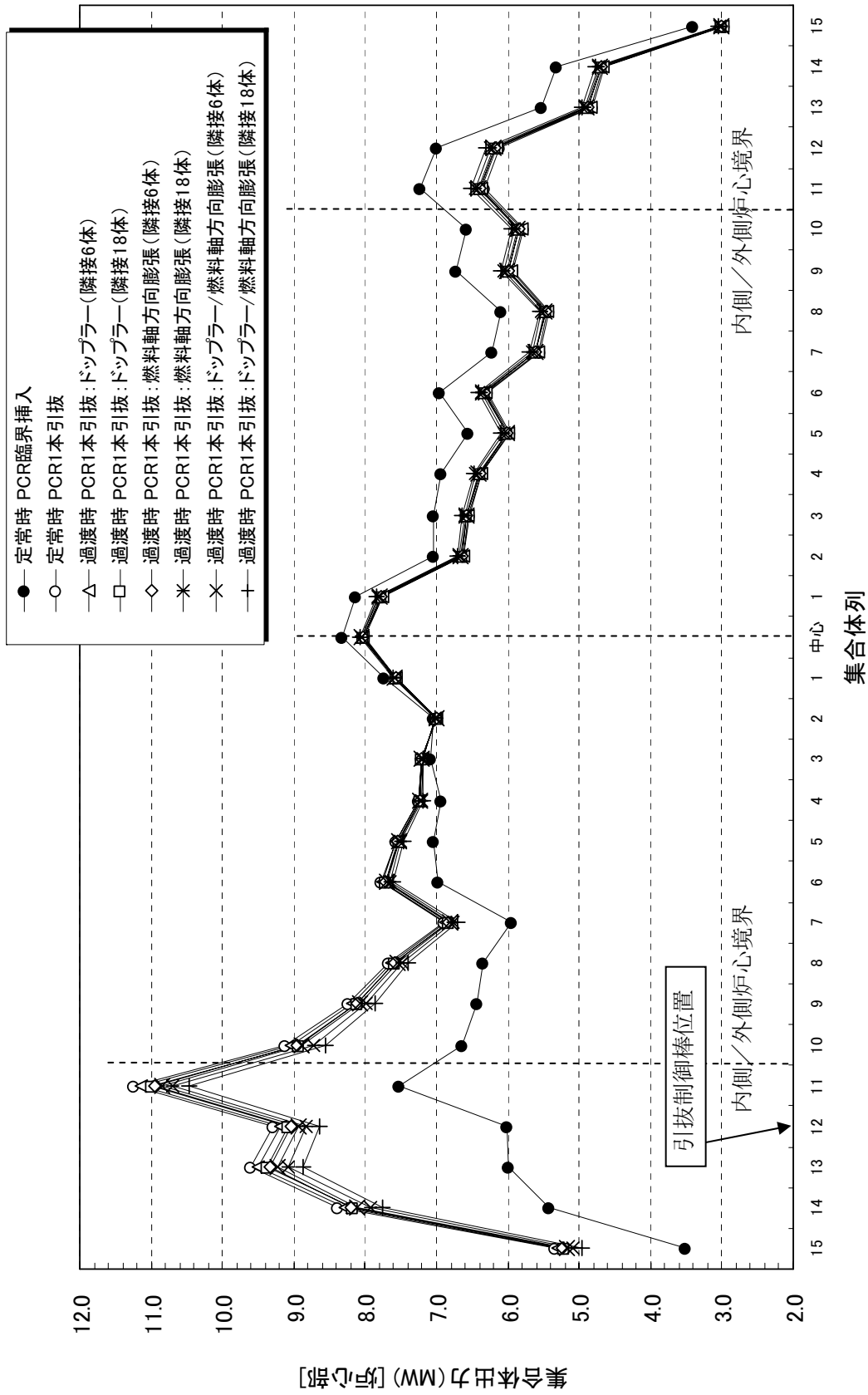


図3 制御棒臨界挿入状態及び制御棒1本引抜状態の炉心径方向出力分布



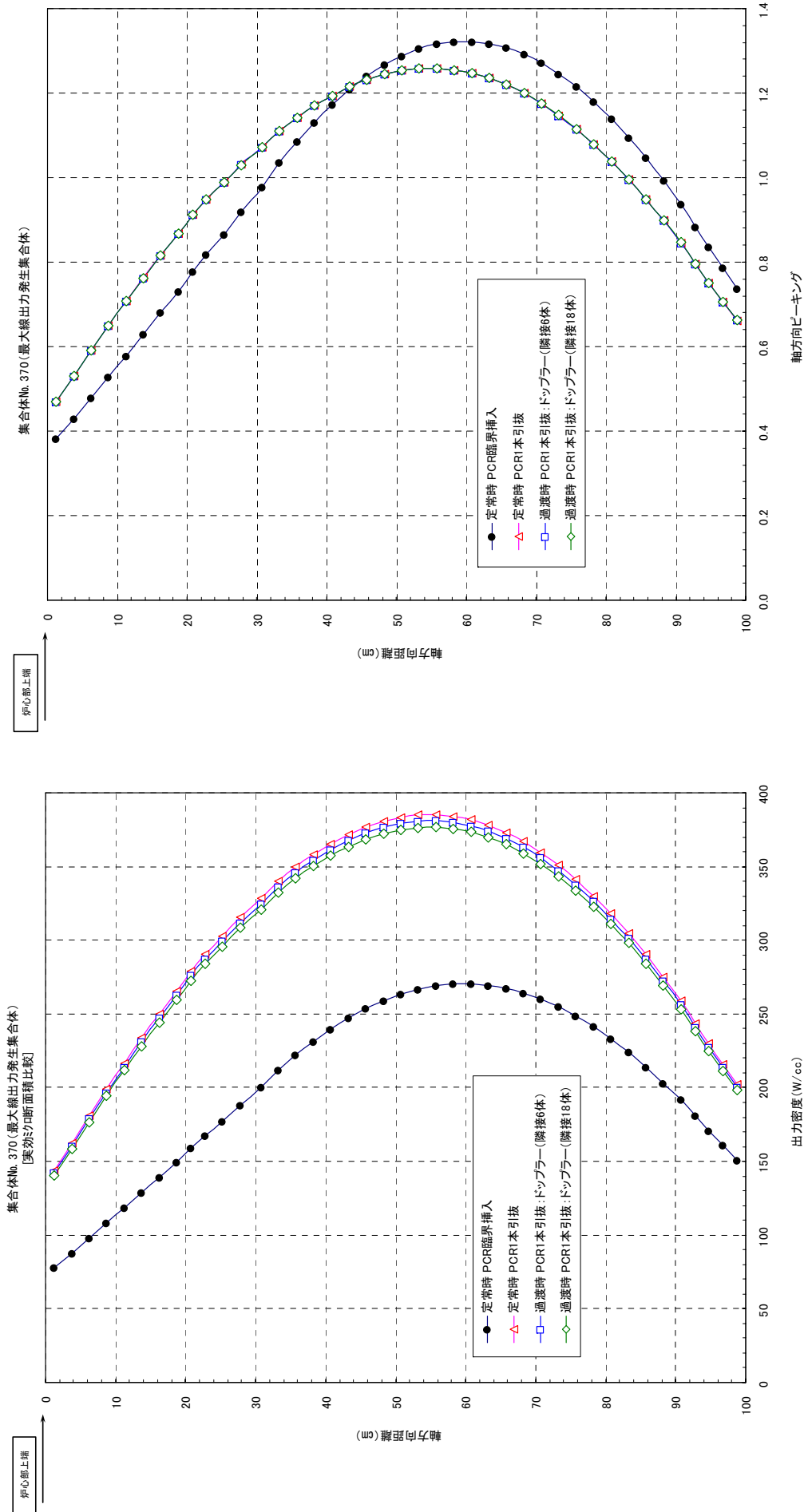


図4 制御棒1本引抜状態の炉心軸方向出力分布の例(最大線出力集合体)

単位: °C

投入 反応度 $\beta$	静定出力 %	燃料平均温度 (内側炉心)	燃料平均温度 (外側炉心)	燃料最高温度 (内側炉心)	燃料最高温度 (外側炉心)
-	100	1015	825	1630	1226
40	131	1308	1044	2111	1629
70	159	1568	1255	2450	1975

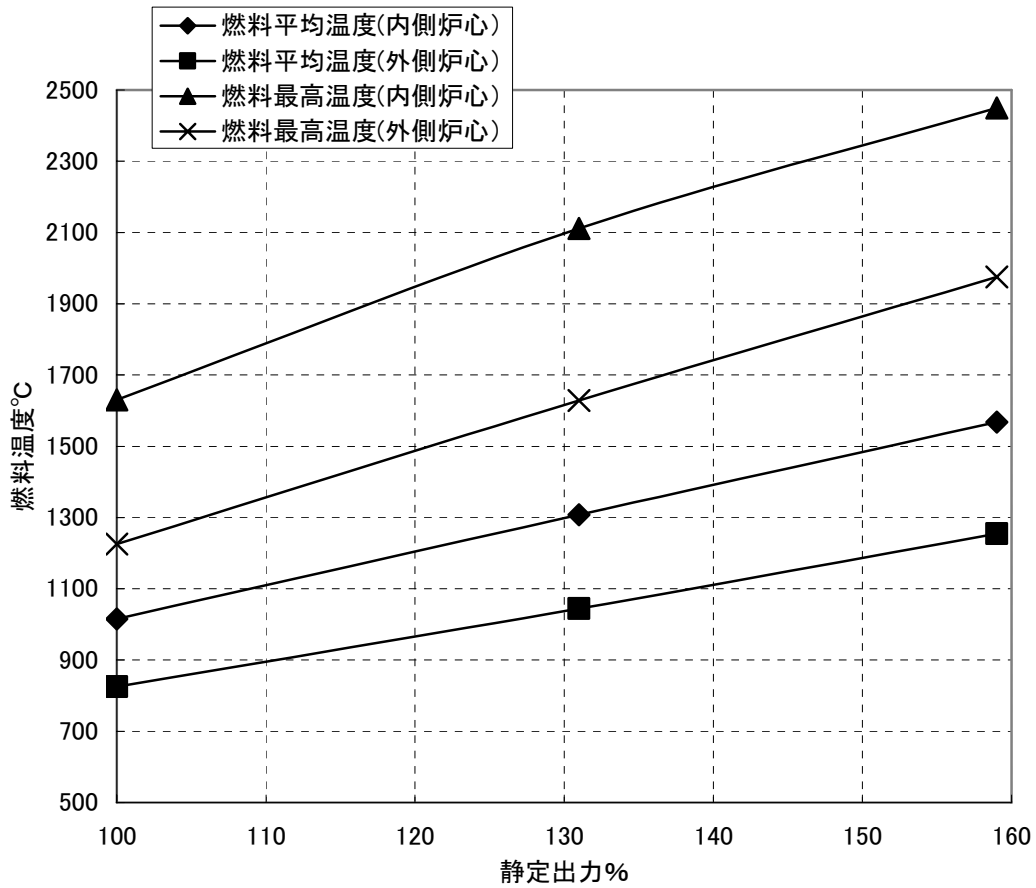


図5 反応度投入時の内側炉心及び外側炉心の平均チャンネルの静定出力と燃料温度

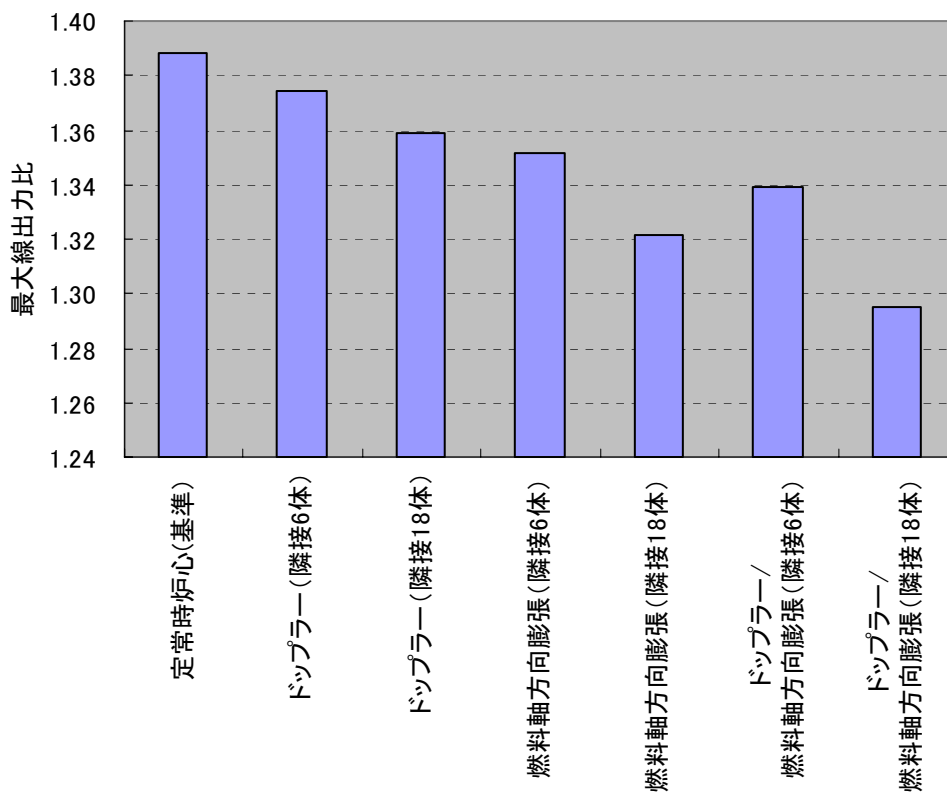


図6 定常時炉心及び過渡時模擬各炉心の制御棒1本引抜時の最大線出力比の比較

# 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 <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
質量体積 (比体積)	立法メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
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 <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
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 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	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 <sup>(a)</sup>	rad		m <sup>-1</sup> ・m <sup>1</sup> =1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m <sup>1</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s <sup>1</sup> ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>3</sup> ・A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	V・s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>1</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C		K
光束流	ルーメン	lm	cd・sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・cd=cd
照射 (放射性核種の) 放射能	ベクレル	Bq	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・cd=m <sup>2</sup> ・cd
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 <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
	シーベルト	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>

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

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 <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> 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 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10)×10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30)×10 <sup>11</sup> 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 <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バール	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

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 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm <sup>2</sup> =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G ≅10 <sup>4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe ≅(1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≅10 <sup>-8</sup> Wb
スチルブ	sb	1 sb=1cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホト	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

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 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	X	1 X unit=1.002×10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W・m <sup>-2</sup> ・Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> 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 <sup>-6</sup> m

