

# 新型転換炉実証炉核設計コードの計算精度解析(III)

—SUS制御棒反応度、重水中ボロン反応度及びキセノン反応度—

1989年8月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1989年8月

新型転換炉実証炉核設計コードの計算精度解析(Ⅲ)  
— SUS制御棒反応度, 重水中ボロン反応度及びキセノン反応度 —

川太徳夫\*, 若林利男\*

## 要 旨

DCA実験データ, 「ふげん」起動試験及び運転実績データに基づいてWIMS-ATRコードによるSUS制御棒反応度値, 重水中ボロン反応度及びキセノン反応度の計算精度解析を実施した。

本検討で得られた主要な結果を以下に示す。

- (1) WIMS-ATRとLAYMON-2AコードによるDCA Pu-U2領域炉心のチャンネル出力分布の計算精度の解析結果より, チャンネル出力分布のRMSは4.8%, 径方向ピーキング係数の相対誤差は+2.1%である。
- (2) WIMS-ATRとLAYMON-2AコードによるDCA炉心のSUS制御棒反応度の計算精度の解析結果より, SUS制御棒反応度の計算誤差は-5.9%であり, 計算誤差である±10%(C/E-1)以内である。
- (3) WIMS-ATRとLAYMON-2Aコードによる「ふげん」起動試験実績データに基づく重水中ボロン反応の計算精度の解析結果より, 重水中ボロン反応度の計算誤差は-2.2%~+7.9%であり, 設計誤差である±10%以内である。
- (4) WIMS-ATRとLAYMON-2Aコードによる「ふげん」運転実績データに基づくキセノン反応度の計算精度の解析結果より, キセノン反応度の計算誤差は-12.0%~+14.7%であり, 設計誤差である±20%以内である。

---

\* 大洗工学センター 技術開発部 プラント工学室

Aug. 1989

The Calculation Accuracy Analysis of the Core Design Code  
for ATR (Advanced Thermal Reactor) Demonstration Plant  
— Reactivity Worths of SUS Control Rod, Boron in D<sub>2</sub>O and Xenon —

Norio Kawata\*, Toshio Wakabayashi\*

## Abstract

The calculation accuracy evaluation of the SUS control rod reactivity worth, boron reactivity and Xenon reactivity were performed on the basis of DCA experimental data, "Fugen" start-up test data and "Fugen" operation data by using the WIMS-ATR code.

The main results obtained are as follows.

- (1) As is shown in the results of the calculation accuracy evaluation of the channel power distribution for DCA Pu-U two-region core by the WIMS-ATR code, the RMS(Root Mean Square) of the calculation error of the channel power distribution is 4.8% and the relative error of the radial peaking factor is +2.1%.
- (2) As is shown in the results of the calculation accuracy evaluation of the SUS control rods worths by the WIMS-ATR code, the calculation error of the SUS control rod worth is -5.9%, and the value satisfy the design margin 10% (C/E-1).
- (3) As is shown in the results of the calculation accuracy evaluation of the boron (in the heavy water) reactivity based on "Fugen" start-up test data by the WIMS-ATR code / the LAYMON-2A code, the calculation error of the boron reactivity is -2.2%~+7.9%, and the value satisfies the design margin of  $\pm 10\%$ .
- (4) As is shown in the results of the calculation accuracy evaluation of the Xenon reactivity based on "Fugen" operation data by the WIMS-ATR code/the LAYMON-2A code, the calculation error of the Xenon reactivity is -1.20% ~ +14.7%, and the value satisfies the design margin  $\pm 20\%$ .

---

\* Technical Development Division Plant Engineering Section,  
Oarai Engineering Center, PNC.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. DCA SUS制御棒挿入炉心実験データに基づく SUS制御棒反応度計算精度解析 .....	2
2.1 DCA Pu-U2領域炉心チャンネル出力分布実験データに基づく 出力分布計算精度解析と炉心境界定数の検討 .....	2
2.2 新吸収面積法によるSUS制御棒反応度値計算精度解析 .....	3 3
3. 「ふげん」起動試験実験データに基づく重水中ボロン反応度計算精度解析 .....	5 1
3.1 重水中ボロン反応度計算精度解析 .....	5 1
4. 「ふげん」運転データに基づくキセノン反応度計算精度解析 .....	6 5
4.1 出力変更時のキセノン反応度の推定 .....	6 5
4.2 WIMS-ATRコードに基づくキセノン反応度計算精度評価 .....	6 6
5. 結 論 .....	9 3
6. 謝 辞 .....	9 4
7. 参考文献 .....	9 5
8. 付 録 .....	9 6
8.1 計算に使用した核定数 .....	9 6
8.2 WIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードの キセノン反応度及びボロン反応度の比較 .....	9 6
8.3 DCA Pu-U2領域炉心チャンネル出力分布実験データについて .....	9 7

## 表リスト

表 2.1 - 1	DCA燃料集合体の幾何形状と物性値	5
表 2.1 - 2	DCA Pu-U2領域炉心における径方向ピーキング係数, チャンネル出力分布の計算精度比較	6
表 2.1 - 3	0.54wt% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> 燃料のMETHUSELAH-IIコードと WIMS-ATRコードとの核定数の比較	7
表 2.1 - 4	1.2wt% UO <sub>2</sub> 燃料のMETHUSELAH-IIコードと WIMS-ATRコードとの核定数の比較	8
表 2.1 - 5	WIMS-ATR/LAYMON-2AコードによるDCAチャンネル 出力分布の解析精度	9
表 2.1 - 6	DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 各コードにおける計算値との比較	10
表 2.1 - 7	DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 各コードにおける計算値との比較	11
表 2.1 - 8	DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 各コードによる計算値との比較	12
表 2.2 - 1	DCA SUS 制御棒の幾何形状と物性値	38
表 2.2 - 2	DCA 制御棒引抜き高さにおける臨界重水水位と 重水水位反応度係数実験値	39
表 2.2 - 3	DCA 制御棒引抜き高さにおける臨界重水水位と反応度値実験値	39
表 2.2 - 4	DCA 制御棒反応度の実験値	39
表 2.2 - 5	SUS 制御棒のC定数	40
表 2.2 - 6	SUS 制御棒のF定数	40
表 2.2 - 7	DCA 実験データに基づくSUS制御棒反応度値の WIMS-ATRコードの計算精度	41
表 2.2 - 8	SUS 制御棒挿入周囲チャンネルのインポートانس	42
表 2.2 - 9	DCA 実験データに基づくSUS制御棒反応度値の 各種解析手法の計算精度	43
表 2.2 - 10	制御棒反応度値のWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードの計算精度	44

表 3.1 - 1	ボロン反応度測定試験における臨界時データ (S. 53. 5. 19)(全炉心, 0%ポイド) .....	55
表 3.1 - 2	全炉心常温 100%ポイド時 M-rod積分反応度実測値 (S. 53. 5. 18) (FLC数え落し補正值) .....	56
表 3.1 - 3	ボロン反応度測定時の各炉心におけるMロッド残存ワース .....	57
表 3.1 - 4	ボロン反応度測定値(重水温度変化を含む) .....	58
表 3.1 - 5	温度補正後のボロン反応度測定値 .....	59
表 3.1 - 6	WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによる重水中ボロン濃度変化時の 実効増倍率と重水中ボロン反応度の計算値 .....	60
表 3.1 - 7	「ふげん」起動試験実績データに基づく重水中ボロン反応度の WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードの計算精度 .....	61
表 3.1 - 8	「ふげん」起動試験実績データに基づく重水中ボロン反応度の METHUSELAH-II/CITATIONコードの計算精度 .....	62
表 4.1 - 1 (1)	制御棒位置の記録(実績データ) .....	68
表 4.1 - 1 (2)	制御棒位置の記録(実績データ) .....	69
表 4.1 - 2 (1)	ポイズン除去記録(1/2)(2/2) .....	70
表 4.1 - 2 (2)	ポイズン注入記録 .....	72
表 4.1 - 3	キセノン反応度推定値算出に使用した反応度関連データ .....	73
表 4.1 - 4	キセノン反応度推定値算出に使用したキセノン関連データ .....	74
表 4.1 - 5	WIMS-ATRコード出力係数計算精度 .....	75
表 4.1 - 6	WIMS-ATRコード減速材温度反応度係数計算精度 .....	76
表 4.1 - 7	MSIV試験時出力降下時の各種反応度変化とキセノン反応度の推定値 .....	77
表 4.1 - 8	通常停止時出力降下時の各種反応度変化とキセノン反応度の推定値 .....	78
表 4.2 - 1	WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによる定格飽和時のキセノン反応 .....	89
表 4.2 - 2	「ふげん」実績データに基づくキセノン反応度計算誤差 (WIMS-ATR/LAYMON-2Aコード) .....	90
表 8.1 - 1	新吸収面積法によるLAYMON-2AコードB定数のまとめ (クラス3入力値)(1/1) DCA(0.54, 0.54, 0.54)PUO <sub>2</sub> E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=0 (ppm), VOID=0(%) .....	98

表 8.1 - 2	新吸収面積法によるLAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) DCA(1.20, 1.20, 1.20)UO <sub>2</sub> E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=0 (ppm), VOID=0 (%)	99
表 8.1 - 3	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.34 (ppm), VOID=0 (%)	100
表 8.1 - 4	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.34 (ppm), VOID=0 (%)	101
表 8.1 - 5	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.615 (ppm), VOID=0 (%)	102
表 8.1 - 6	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.615 (ppm), VOID=0 (%)	103
表 8.1 - 7	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.86 (ppm), VOID=0 (%)	104
表 8.1 - 8	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1) ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup> B=12.86 (ppm), VOID=0 (%)	105
表 8.1 - 9 (1)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/3) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> HOT	106
表 8.1 - 9 (2)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(2/3) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> HOT	107
表 8.1 - 9 (3)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(3/3) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> HOT	108
表 8.1 - 10	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 35, 38, 43 入力値) ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> HOT	109
表 8.1 - 11 (1)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/3) ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> HOT	110
表 8.1 - 11 (2)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(2/3) ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> HOT	111



表 8.1 - 11(3)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(3/3)	
	ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> HOT	112
表 8.1 - 12	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 35, 38, 43 入力値)	
	ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO <sub>2</sub> HOT	113
表 8.1 - 13(1)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/3)	
	ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT	114
表 8.1 - 13(2)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(2/3)	
	ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT	115
表 8.1 - 13(3)	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(3/3)	
	ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT	116
表 8.1 - 14	LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 35, 38, 43 入力値)	
	ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT	117
表 8.1 - 15(1)	B 定数におけるフィッティング式一覧表	118
表 8.1 - 15(2)	(続き)	119
表 8.1 - 16	局所出力ピーキング係数(LPF)のフィッティング式	120
表 8.1 - 17	核分裂断面積( $\Sigma f$ )のフィッティング式	121
表 8.2 - 1	従来及び今回の定格飽和時キセノン反応度の解析法, 計算結果の比較	123
表 8.2 - 2	METHUSELAH-IIコードで計算したキセノン及び サマリウム反応度(「ふげん」初装荷炉心BOC)	124
表 8.2 - 3	「ふげん」実績データに基づくMETHUSELAH-IIコードの キセノン反応度計算誤差	125
表 8.2 - 4	格子計算ベースでのMETHUSELAH-IIコードとWIMS-ATRコードの キセノン反応度( $\delta k_{xe}$ )の比較	126
表 8.2 - 5	格子計算ベースでのMETHUSELAH-IIコードとWIMS-ATRコードの ポロン反応度( $\% \Delta K_{\infty}/\text{ppm}$ )の比較(定格出力時)	127

## 図リスト

図 2.1 - 1	DCA 実験炉心径方向断面図(Pu-U2領域炉心) .....	13
図 2.1 - 2	DCA 28本クラスタ断面図 .....	14
図 2.1 - 3	チャンネル出力分布の実験値と計算値(WIMS-ATR/LAYMON-2A)の比較 .....	15
図 2.1 - 4	DCA Pu-U2領域炉心における実験値とWIMS-ATR/LAYMON-2A コード計算値との径方向出力分布の比較 .....	16
図 2.1 - 5	チャンネル出力分布の実験値と計算値(WIMS-ATR/CITATION)の比較 .....	17
図 2.1 - 6	チャンネル出力分布の実験値と計算値(METHUSELAH-II /LAYMON-2A)の比較 .....	18
図 2.1 - 7	チャンネル出力分布の実験値と計算値(METHUSELAH-II /CITATION)の比較 .....	19
図 2.1 - 8	DCA(Pu-U)2の領域炉心における実験値と計算値との 径方向出力分布の比較 .....	20
図 2.1 - 9	DCA チェスボードB炉心 .....	21
図 2.1 - 10	DCA チェスボードD炉心 .....	22
図 2.1 - 11	DCA 一様分散(C2-0-3)炉心 .....	23
図 2.1 - 12	DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較 .....	24
図 2.1 - 13	DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較 .....	25
図 2.1 - 14	DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較 .....	26
図 2.1 - 15	DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と CITATIONとの比較 .....	27
図 2.1 - 16	DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と CITATIONとの比較 .....	28
図 2.1 - 17	DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と CITATIONとの比較 .....	29
図 2.1 - 18	DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 計算値との比較 .....	30

図 2.1-19	DCA チェスボード D 炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 計算値との比較	31
図 2.1-20	DCA 一様分散 (C2-0-3) 炉心におけるチャンネル出力分布実験値と 計算値との比較	32
図 2.2-1	DCA 実験炉心径方向断面図	45
図 2.2-2	SUS 制御棒の形状	46
図 2.2-3	制御棒軸方向装荷概略図	47
図 2.2-4	臨界重水水位と重水水位反応度係数	48
図 2.2-5	制御棒挿入割合と制御棒反応度	49
図 2.2-6	DCA SUS 制御棒反応度価値計算の解析モデル	50
図 3.1-1	液体ポイズン反応度測定試験時におけるポイズン除去塔通過 重水量と重水中の B <sup>10</sup> 濃度の関係	63
図 3.1-2	ペリオド法による測定値から求めた全炉心ドライ クリティカル時 M-rod S 字曲線	64
図 4.1-1	主要弁類作動試験時における TPM 変化 (S. 54. 5. 30 実績データ)	79
図 4.1-2	MSIV 試験のための出力降下時の運転実績	80
図 4.1-3	通常停止時の運転実績 (S. 54. 6. 23)	81
図 4.1-4	2.55GWD/T における E ロッド 4 本の反応度曲線	82
図 4.1-5	ATROSTAR コードの計算出力軌跡 (S. 54. 5. 30 MSIV 試験時)	83
図 4.1-6	ATROSTAR コードの計算出力軌跡 (S. 54. 6. 23 通常停止時)	84
図 4.1-7	MSIV 試験時出力降下時のキセノン反応度推定値の変化	85
図 4.1-8	通常停止時出力降下時のキセノン反応度推定値の変化	86
図 4.1-9	「ふげん」MSIV 試験時出力降下時の E ロッド位置及び キセノン濃度変化 (S. 54. 5. 30)	87
図 4.1-10	「ふげん」通常停止時の E ロッド位置及びキセノン 濃度変化 (S. 54. 6. 23)	88
図 4.2-1	MSIV 試験時出力降下時のキセノン反応度の計算値と推定値の比較	91
図 4.2-2	通常停止時出力降下時のキセノン反応度の計算値と推定値の比較	92
図 8.1-1	新吸収面積法における DCA (Pu-U) 2 領域炉心の CITATION 3 群格子定数	122
図 8.3-1	DCA SUS 制御棒無挿入時の実験結果の出力分布	128
図 8.3-2	DCA 炉心の炉心中心からのチャンネル位置	129

## 1. 緒 言

新型転換炉実証炉合理化炉心では、標準燃料及び特殊燃料にガドリニア入り燃料棒を使用する。<sup>(1)</sup> ガドリニアは燃料要素36本のうち数本に混入するため、2次元格子計算を実施する必要があることから、格子計算コードとしては従来のMETHUSELAH-IIコード<sup>(2)</sup>からWIMS-ATRコード<sup>(3)</sup>に切替えた方が設計の統一性がとれるうえ、従来のように一般的な格子特性をMETHUSELAH-IIで、非均質な効果（例えばGd入燃料の混入）をWIMSで行うと二度手間になり、WIMSのみで行った方が合理化が図れる。

このため、WIMS-ATRコードで計算した場合の計算精度を解析することとし、SU S制御棒反応度については臨界工学試験室(DCA)の実験データを、重水中ボロン反応度及びキセノン反応度についてはふげん発電所の起動試験実績データ及び運転実績データを用いて計算精度解析を実施する。

## 2. DCA SUS制御棒挿入炉心実験データに基づく SUS制御棒反応度値計算精度解析

臨界工学試験室(DCA) SUS制御棒挿入炉心の実験データ<sup>(4)</sup>に基づいて、WIMS-A TRコードを用いたSUS制御棒の反応度値の計算精度評価を設計手法に準拠しながら実施する。SUS制御棒反応度値の計算精度解析の先立ち、SUS制御棒が入っていない状態でのチャンネル出力分布の計算精度解析を実施し、実験データとチャンネル出力分布が最も一致するようなLAYMON-2Aコードの炉心径方向境界定数を求め、得られた炉心境界定数<sup>(5)</sup>を使用してSUS制御棒の反応度値計算精度解析を実施する。

### 2.1 DCA Pu-U2領域炉心チャンネル出力分布実験データに基づく出力分布計算精度解析と炉心境界定数の検討

SUS制御棒は、DCA Pu-U2領域炉心の中央部に1本挿入されることから、SUS制御棒の反応度値はチャンネル出力分布の形状に大きく左右されることが予想される。すなわち、炉心中央部で凸の分布であれば反応度値が大きくなり、平坦化すれば小さくなることから、反応度値の計算精度はチャンネル出力分布の計算精度に大きな影響を与えられられる。

そこで、DCA Pu-U2領域炉心のSUS制御棒未挿入炉心でチャンネル出力分布の計算精度解析を実施し、LAYMON-2Aコードの計算値がチャンネル出力分布実験データと最も一致するような炉心境界定数を検討する。

#### (1) DCA実験体系

図2.1-1にDCA Pu-U2領域炉心の燃料配置を、図2.1-2に装荷したDCA燃料集合体の断面図を示す。図2.1-1に示すように、DCA Pu-U2領域炉心は中央領域にPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料を25体、外側領域にUO<sub>2</sub>燃料72体を250mmの格子ピッチで配置する炉心である。

燃料集合体は、図2.1-2に示すごとく28本クラスタであり、表2.1-1に示す幾何形状と物性値をもつ0.54wt% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>\*及び1.2wt% UO<sub>2</sub>\*\*を燃料として使用している。

\* UO<sub>2</sub>の中に0.54wt%のPuO<sub>2</sub>を添加した燃料

\*\* 1.2% <sup>235</sup>U濃縮を含むUO<sub>2</sub>燃料

## (2) 出力分布計算精度解析と炉心境界定数

WIMS-ATRコードを使用して(1)で示した燃料の核定数(B定数)を作成し、出力分布解析用設計コードLAYMON-2Aに入力し、チャンネル出力分布を解析し、DCA Pu-U2領域炉心のチャンネル出力分布実験値と最も一致するように、即ち計算値と実験値との差の平均2乗根(RMS)が最小となるように炉心径方向境界定数( $\alpha_H$ )をサーチして決定した。決定した $\alpha_H$ は0.743であり、この時のRMSは4.8%である。

炉心径方向境界定数が0.743の時のWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによるチャンネル出力分布の計算値と実験値の比較を図2.1-3及び図2.1-4に示す。図2.1-3、図2.1-4より計算値と実験値は比較的良く一致していると云える。しかし、図2.1-3に示すごとく炉心境界近傍では絶対値が小さいため相対誤差としては比較的大きな値を示している。又、炉心中央部では実験値と比べ計算値は若干凸状の分布を示す。この原因は(3)で考察する。

## (3) 各種解析手法との比較

(2)では、現設計手法であるWIMS-ATRコード/LAYMON-2Aコードにより出力分布計算精度解析を実施したが、ここでは従来の設計手法であったMETHUSELAH-IIコード/LAYMON-2Aコードによる解析手法及び詳細拡散コードCITATION<sup>(6)</sup>を使用したWIMS-ATR/CITATION、METHUSELAH-II/CITATIONによる解析手法により出力分布計算精度解析を実施し、WIMS-ATR/LAYMON-2Aによる解析結果を比較する。

図2.1-5、図2.1-6及び図2.1-7にWIMS-ATR/CITATION、METHUSELAH-II/LAYMON-2A及びMETHUSELAH-II/CITATIONによるチャンネル出力分布の実験値と計算値の比較を示す。これらの結果をまとめて、各種解析手法の径方向出力分布の計算結果を比較したものを図2.1-8に、計算精度を比較したものを表2.1-2に示す。

表2.1-2より、径方向ピーキング係数計算誤差及びチャンネル出力分布平均2乗誤差とも、WIMS-ATRコード/CITATIONコードの解析手法が~12%と比較的大きな計算誤差を示す。他の解析手法は比較的良い精度で実験値と一致する。図2.1-8からわかるように、WIMS-ATR/CITATIONの解析手法の計算誤差が他の解析手法と比べ大きいのはPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料を25体装荷した炉心中央領域で出力を高く、UO<sub>2</sub>燃料を72体装荷した炉心外側領域で出力を低く評価するためである。この原因を調べるために、CITATIONコードの計算に使用したWIMS-ATRコード及びMETHUSELAH-IIコードの3群核定数を比較した。PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>

燃料及びUO<sub>2</sub>燃料に対する核定数の比較結果を表2.1-3及び表2.1-4に示す。表2.1-3及び表2.1-4より、METHUSELAH-IIコードと比べWIMS-ATRコードはPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料、UO<sub>2</sub>燃料ともどの核定数でも同程度の割合で小さく評価する傾向を示すことがわかるが原因がはっきりしない。そこで、これらの

核定数より形 $K_{\infty}$ 及び $K_{\infty}^*$  ( $\equiv \frac{\nu \Sigma f_{\text{thermal}}}{\Sigma a_{\text{thermal}}}$ ) を作成し、両コードを比較して

みるとPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料ではWIMSの方が $K_{\infty}$ で0.24% $\Delta K_{\infty}$ 、 $K_{\infty}^*$ で0.48% $\Delta K_{\infty}^*$ 程度小さ目に過ぎないがUO<sub>2</sub>燃料ではWIMSの方が $K_{\infty}$ で1.79% $\Delta K_{\infty}$ 、 $K_{\infty}^*$ で2.34% $\Delta K_{\infty}^*$ と大きく過小評価する傾向を示す。したがって、WIMS-ATRコード/CITATIONコードで計算した出力分布がPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料領域で過大評価、UO<sub>2</sub>燃料領域で過小評価する原因はUO<sub>2</sub>燃料の $K_{\infty}$ 、 $K_{\infty}^*$ がMETHUSELAH-IIコードよりも過小評価するためである。3群核定数で云うとUO<sub>2</sub>燃料の $\nu \Sigma f_{\text{thermal}}$ が小さいためと考えられる。しかし、ATR実証炉は全MOX燃料装荷炉心のためこの計算誤差は発生しないと考えられる。又、WIMS-ATR/LAYMON-2Aで計算した出力分布が比較の実証値と良く合うのは計算した出力分布が実験値と良く合うようにLAYMON-2Aコードの径方向境界定数を求めているためと考えられる。

#### (4) チェスボード炉心との比較

今回実施したPu-U2領域炉心と前回実施したチェスボード炉心<sup>(7)</sup>の出力分布計算精度を比較する。

WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによるチャンネル出力分布の計算精度の比較結果を表2.1-5にまとめて示す。表2.1-5に示すごとくチャンネル出力分布の平均誤差はチェスボード炉心では2~3%であるがPu-U2領域炉心では(3)に示す原因により~5%と若干大きくなる。しかし、ATR実証炉の炉心はPu-U2領域炉心ではなく、出力ピーキング係数の大きな取替炉心はチェスボード炉心であることから、設計手法によるチャンネル出力分布の平均誤差は2~3%、ピーキング係数の誤差は~±1%程度とよく合っていると考えられる。

参考のために前回実施したチェスボード炉心の炉心構成を図2.1-9、図2.1-10、図2.1-11に、チャンネル出力分布の実験値とLAYMON-2Aによる設計値との比較を図2.1-12、図2.1-13、図2.1-14に、CITATIONによる計算値との比較を図2.1-15、図2.1-16、図2.1-17に示す。又、各解析手法での計算精度の比較を表2.1-6、表2.1-7、表2.1-8に示す。

表 2.1 - 1 DCA燃料集合体の幾何形状と物性値\*

(a) 燃料棒

燃 料	元 素	外 径 (cm)	元 素	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )
0.54 wt% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	ペレット	1.469	PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	10.17
	ギャップ	1.506	Helium	—
	被覆管	1.668	Zry-2	6.523
1.2 wt% UO <sub>2</sub>	ペレット	1.480	UO <sub>2</sub>	10.36
	ギャップ	1.503	Helium	—
	被覆管	1.673	Al-Mg alloy	2.674

(b) 構造材

元 素	内 径 (cm)	厚 さ (cm)	元 素	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )
圧 力 管	1.168	0.2	Al-Mg alloy	2.674
ギャップ	1.208	0.59	Air	—
カランドリア管	1.325	0.2	Al-Mg alloy	2.674
減 速 材	1.365	—	99.45 mol% D <sub>2</sub> O	1.1045

(c) 燃料組成

ペレット	物性値	割 合 (wt%)		原子数密度 ( $\times 10^{24}$ / cm <sup>3</sup> )
		Pu	whole	
0.54 wt% PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> **	U-235	—	0.6214	0.0001620
	U-238	—	86.782	0.02233
	Pu-238	0.021	0.000102	0.000000026
	Pu-239	90.360	0.4304	0.0001103
	Pu-240	8.640	0.04115	0.0000105
	Pu-241	0.915	0.004359	0.000001108
	Pu-242	0.064	0.000303	0.000000077
	O-16	—	12.12	0.04640
1.2 wt% UO <sub>2</sub>	U-235	—	1.057	0.0002806
	U-238	—	86.793	0.02275
	O-16	—	12.150	0.04738

\*DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用  
 \*\*Data of analysis : 23 August 1971



表 2.1-2 DCAPu-U2 領域炉心における径方向ピーキング係数, チャンネル出力分布の計算精度比較

解 析 手 法 (格子計算コード/出力分布計算コード)	径方向ピーキング係数			チャンネル出力分布 平均 2 乗 誤 差 RMS (%)
	実験値 (E)	計算値 (C)	相 対 誤 差 (C/E-1) × 100 (%)	
WIMS-ATR/LAYMON-2A	2.417	2.468	+2.1	4.8
WIMS-ATR/CITATION	2.417	2.699	+11.7	11.6
METHUSELAH-II/LAYMON-2A	2.417	2.429	+0.5	3.8
METHUSELAH-II/CITATION	2.417	2.399	-0.7	5.3

表 2.1 - 3 0.54wt% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料のMETHUSELAH-IIコードとWIMS-ATRコードとの核定数の比較

核定数	エネルギー 群数	コード	METHUSELAH-II	WIMS-ATR	WIMS-ATR
					METHUSELAH-II
D	1		1.5022	1.4202	0.945
	2		1.2578	1.2423	0.988
	3		8.9511 -1	8.4986 -1	0.949
Σ a	1		1.4948 -3	1.1935 -3	0.798
	2		3.8967 -3	3.8281 -3	0.982
	3		9.0010 -3	8.5164 -3	0.946
Σ r	1 → 2		2.8468 -2	2.7061 -2	0.951
	2 → 3		2.4197 -2	2.3685 -2	0.979
ν Σ f	1		1.9193 -3	1.6588 -3	0.864
	2		1.2561 -3	1.1839 -3	0.943
	3		1.2677 -2	1.1954 -2	0.943
Σ f	1		7.4260 -4	5.9272 -4	0.798
	2		4.7260 -4	4.5366 -4	0.960
	3		4.7591 -3	4.4860 -3	0.943
K <sub>∞</sub>			1.2591	1.2567	-0.24 *
$\frac{\phi_{\text{thermal}}}{\phi_{\text{fast}}}$			1.1676	1.1905	1.020
* $K_{\infty} \left( \equiv \frac{\nu \Sigma f_{\text{thermal}}}{\Sigma a_{\text{thermal}}} \right)$			1.4084	1.4036	-0.48 *

\* (%) Δ K<sub>∞</sub> (WIMS - METHUSELAH)

表 2.1-4 1.2wt %UO<sub>2</sub>燃料のMETHUSELAH-IIコードと  
WIMS-ATRコードとの核定数比較

核 定 数	エネルギー 群数	コード	METHUSELAH-II	WIMS-ATR	WIMS-ATR
					METHUSELAH-II
D	1		1.5054	1.4264	0.948
	2		1.2624	1.2481	0.989
	3		8.9181 -1	8.4653 -1	0.949
Σ a	1		1.4797 -3	1.2209 -3	0.825
	2		3.4888 -3	3.4835 -3	0.998
	3		8.2111 -3	7.7925 -3	0.949
Σ r	1 → 2		2.8455 -2	2.6990 -2	0.949
	2 → 3		2.4242 -2	2.3896 -2	0.986
ν Σ f	1		1.9545 -3	1.6879 -3	0.864
	2		1.1281 -3	1.1735 -3	1.040
	3		1.0901 -2	1.0163 -2	0.932
Σ f	1		7.5951 -4	6.0803 -4	0.801
	2		4.5897 -4	4.8209 -4	1.050
	3		4.4861 -3	4.1816 -3	0.932
K <sub>∞</sub>			1.2075	1.1896	-1.79 *
$\frac{\phi_{\text{thermal}}}{\phi_{\text{fast}}}$			1.2768	1.3014	1.019
* $\left[ \begin{array}{l} \nu \Sigma f_{\text{thermal}} \\ \Sigma a_{\text{thermal}} \end{array} \right]$			1.3276	1.3042	-2.34 *

\* (%) Δ K<sub>∞</sub> (WIMS - METHUSELAH)

表 2.1 - 5 WIMS-ATR/LAYMON-2 A コードによる DCA チャンネル出力分布の解析精度

DCA 炉心	計算誤差 チャンネル出力分布 平均誤差 RMS (%)	径方向ピーキング 係数相対誤差 (C/E-1) (%)	備 考
Pu-U2 領域炉心	4.8	+2.1	
チェスボード B 炉心	3.0	-1.3	
チェスボード D 炉心	2.0	-0.6	
一様分散 C2-0-3 炉心	2.4	+0.2	

表 2.1 - 6 DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と各コードにおける計算値との比較

		径方向出力 分布誤差 RMS (%)	(I, J) チャンネル出力及び出力ミスマッチ								
			( 8.6 ) (1.2%U)	( 9.6 ) (1.2%U)	( 8.6 ) ( 9.6 )	( 6.5 ) (1.2%U)	( 7.5 ) (0.7%U)	( 6.5 ) ( 7.5 )	( 6.8 ) (1.5%U)	( 7.7 ) (0.7%U)	( 6.8 ) ( 7.7 )
		実 験 値 (E)	基 準	1.60	1.26	1.27	1.22	0.92	1.33	1.52	1.06
MET-II / LAYMON-2A	計算値 (C)	—	1.61	1.25	1.29	1.25	0.91	1.37	1.61	1.03	1.56
	誤 差 (C/E-1)×100%	3.6	0.6	-0.8	1.6	2.5	-1.1	3.0	5.2	-2.8	9.1
WIMS-D / LAYMON-2A	計算値 (C)	—	1.58	1.24	1.27	1.24	0.90	1.38	1.58	1.00	1.58
	誤 差 (C/E-1)×100%	3.0	-1.3	-1.6	0.0	1.6	-2.2	3.8	3.9	-5.7	10.5
WIMS-D / CITATION	計算値 (C)	—	1.55	1.24	1.25	1.24	0.90	1.38	1.55	1.01	1.53
	誤 差 (C/E-1)×100%	2.6	-3.1	-1.6	-1.6	1.6	-2.2	3.8	2.0	-4.7	7.0

表 2.1-7 DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と各コードにおける計算値との比較

		径方向出力	(I, J) チャンネル出力及び出力ミスマッチ								
			分布誤差	( 8.6 )	( 9.6 )	( 8.6 )	( 6.6 )	( 7.6 )	( 6.6 )	( 4.6 )	( 4.5 )
		RMS (%)	(1.5%U)	(1.2%U)	( 9.6 )	(1.5%U)	(1.2%U)	( 7.6 )	(1.5%U)	(1.2%U)	( 4.5 )
実 験 値 (E)		基 準	1.53	1.26	1.21	1.54	1.40	1.10	1.11	0.84	1.32
MET-II / LAYMON-2A	計 算 値 (C)	—	1.54	1.22	1.26	1.53	1.40	1.09	1.13	0.86	1.31
	誤 差 (C/E-1)×100%	2.0	0.7	-3.2	4.1	0.7	0.0	-0.9	1.8	2.4	-0.8
WIMS-D / LAYMON-2A	計 算 値 (C)	—	1.53	1.22	1.25	1.53	1.41	1.09	1.13	0.87	1.30
	誤 差 (C/E-1)×100%	2.0	0.0	-3.2	3.3	-0.6	0.7	-0.9	1.8	-3.6	-1.5
WIMS-D / CITATION	計 算 値 (C)	—	1.53	1.21	1.26	1.53	1.40	1.09	1.12	0.86	1.30
	誤 差 (C/E-1)×100%	1.9	0.0	-4.0	4.1	-0.6	0.0	-0.9	0.9	2.4	-1.5

表 2.1 - 8 DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と各コードによる計算値との比較

		径方向出力 分布誤差 RMS (%)	(I, J) チャンネル出力及び出力ミスマッチ							備 考	
			( 1.1 )	( 1.2 )	( 1.1 )	( 5.1 )	( 5.2 )	( 5.1 )	( 2.2 )		( 1.1 )
			(0.87%Pu)	(1.2%U)	( 1.2 )	(0.87%Pu)	(1.2%U)	( 5.2 )	(0.54%Pu)		( 2.2 )
実 験 値 (E)		基 準	2.055	1.752	1.173	1.153	0.965	1.195	1.729	1.189	
MET-II / LAYMON-2A	計算値 (C)	—	2.052	1.771	1.159	1.136	0.965	1.177	1.713	1.198	
	誤 差 (C/E-1)×100%	2.1	-0.2	1.1	-1.2	-1.5	0.0	-1.5	-0.9	0.8	
WIMS-D / LAYMON-2A	計算値 (C)	—	2.060	1.749	1.178	1.146	0.958	1.196	1.715	1.201	
	誤 差 (C/E-1)×100%	2.4	0.2	-0.2	0.4	-0.6	-0.7	0.1	-0.8	1.0	
WIMS-D / CITATION	計算値 (C)	—	2.101	1.722	1.220	1.156	0.937	1.234	1.756	1.196	
	誤 差 (C/E-1)×100%	3.6	2.2	-1.7	4.0	0.3	-2.9	3.3	1.6	0.6	

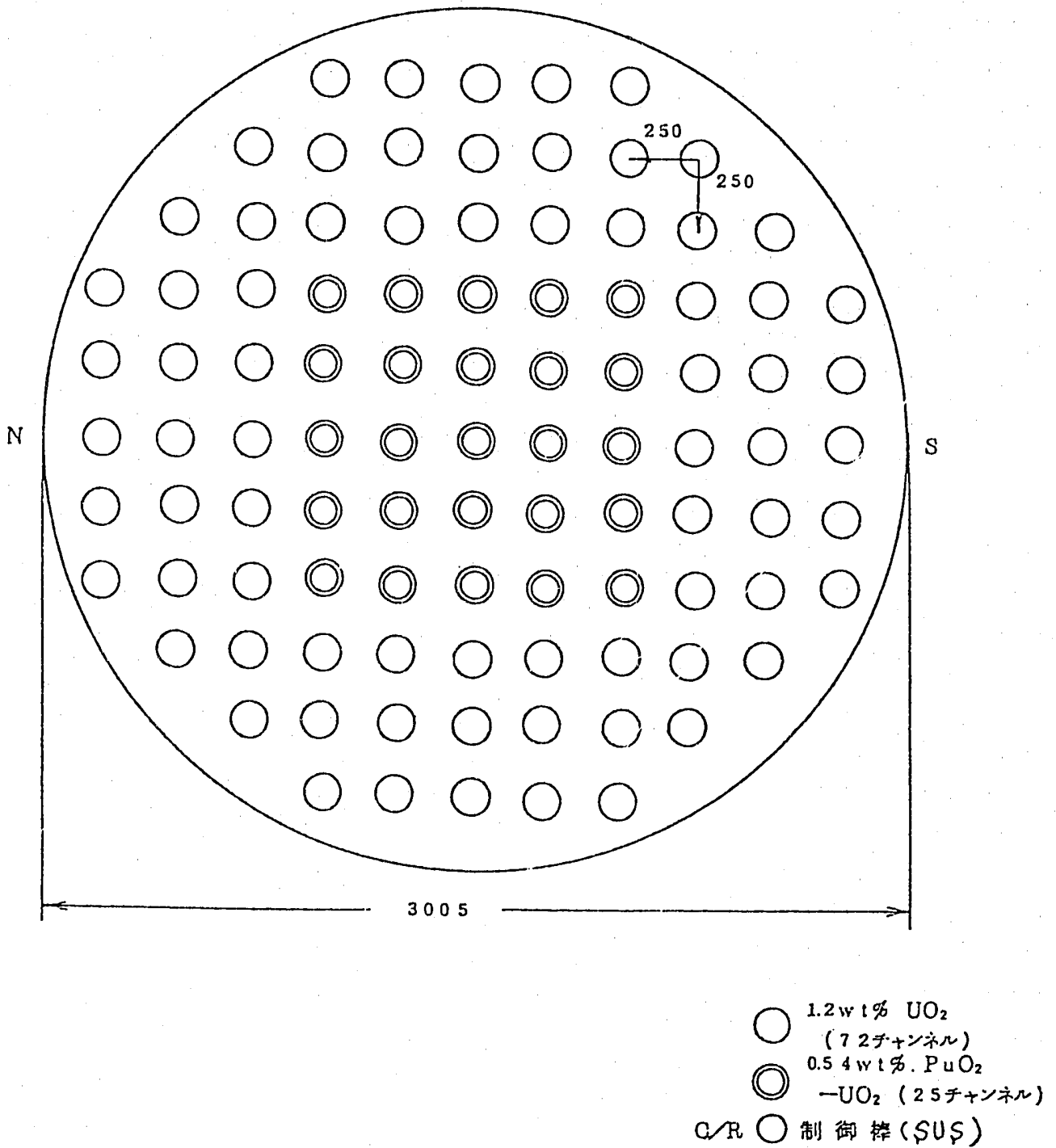


図 2.1 - 1 DCA実験炉心径方向断面図(Pu-U2領域炉心)  
(DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用)



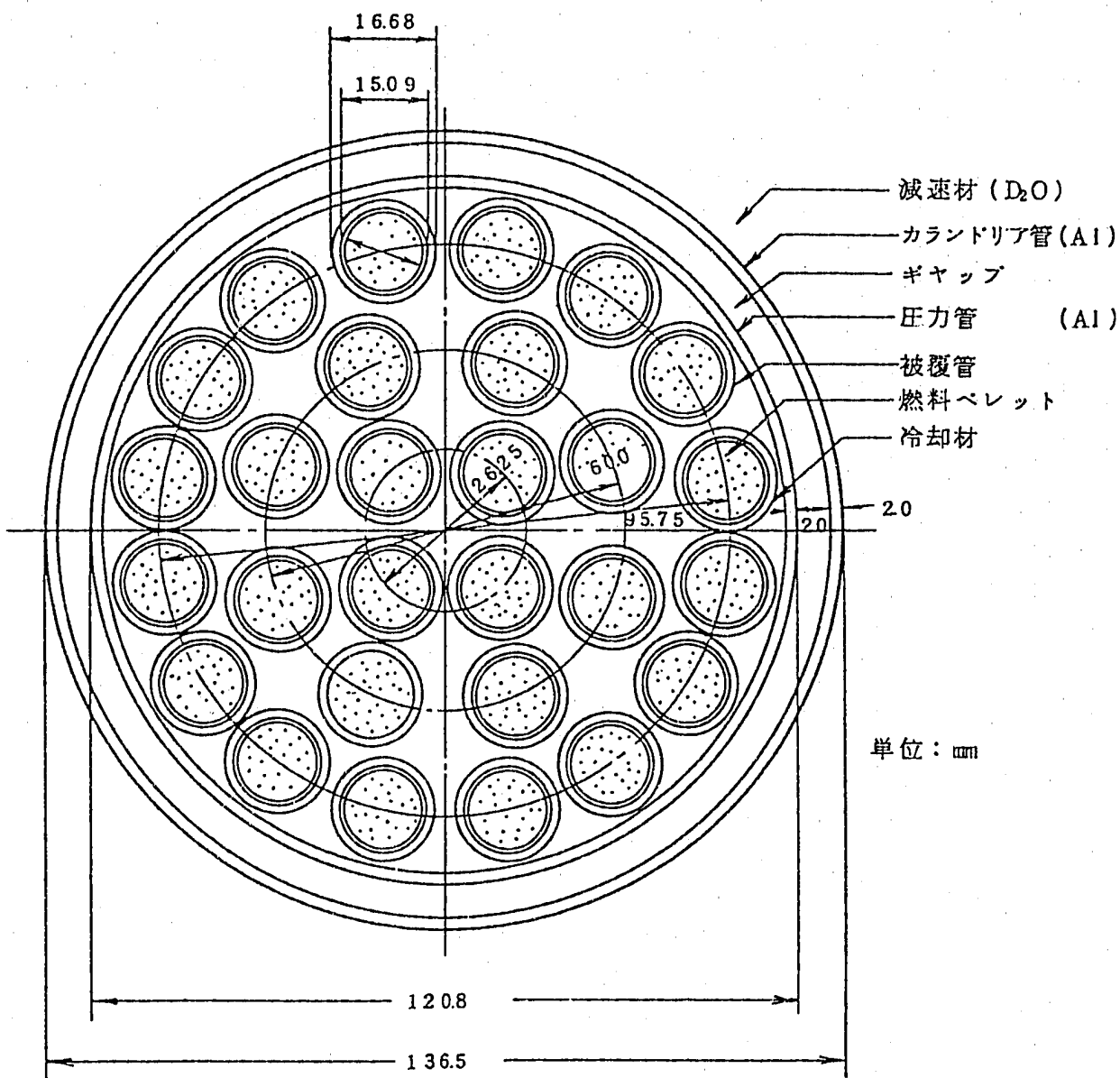


図 2.1 - 2 DCA28本クラスター断面図  
(DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用)

			0.277	0.380	0.413	0.380	0.277			
			0.237	0.349	0.381	0.349	0.235			
			16.9	8.9	8.4	8.9	17.9			
		0.359	0.587	0.735	0.787	0.735	0.587	0.359		
		0.388	0.611	0.763	0.793	0.713	0.611	0.388		
		-7.5	-3.9	-3.7	-0.8	-3.7	-3.9	-7.5		
	0.359	0.668	0.979	1.192	1.268	1.192	0.979	0.668	0.359	
	0.388	0.693	1.079	1.295	1.344	1.295	1.079	0.675	0.365	
	-7.5	-3.6	-9.3	-8.0	-5.7	-8.0	-9.3	-1.0	-1.6	
0.277	0.587	0.979	1.473	1.795	1.907	1.795	1.473	0.979	0.587	0.277
0.235	0.611	1.079	1.458	1.837	1.905	1.837	1.471	1.024	0.577	0.221
17.9	-3.9	-9.3	1.0	-2.3	0.1	-2.3	0.1	-4.4	1.7	25.3
0.380	0.735	1.192	1.795	2.187	2.323	2.187	1.795	1.192	0.735	0.380
0.349	0.763	1.295	1.837	2.168	2.270	2.161	1.756	1.230	0.719	0.329
8.9	-3.7	-8.0	-2.3	0.9	2.3	1.2	2.2	-3.1	2.2	15.5
0.413	0.787	1.268	1.907	2.323	2.468	2.323	1.907	1.268	0.787	0.413
0.381	0.793	1.344	1.905	2.270	2.417	2.222	1.821	1.276	0.748	0.359
8.4	-0.8	-5.7	0.1	2.3	2.1	4.5	4.7	-0.6	5.2	15.0
0.380	0.735	1.192	1.795	2.187	2.323	2.187	1.795	1.192	0.735	0.380
1.349	0.763	1.295	1.837	2.161	2.222	2.153	1.756	1.230	0.719	0.329
8.9	-3.7	-8.0	-2.3	1.2	4.5	1.6	2.2	-3.0	2.2	15.5
0.277	0.587	0.979	1.473	1.795	1.907	1.795	1.473	0.979	0.587	0.277
0.235	0.611	1.079	1.471	1.756	1.821	1.756	1.484	1.024	0.577	1.221
17.9	-3.9	-9.3	0.1	2.2	4.7	2.2	-0.7	-4.4	1.7	25.3
0.359	0.668	0.979	1.192	1.268	1.192	0.979	0.668	0.359		
0.388	0.675	1.024	1.230	1.271	1.230	1.024	0.658	0.365		
-7.5	-1.0	-4.4	-3.1	-0.6	-3.1	-4.4	1.5	-1.6		
0.359	0.587	0.735	0.787	0.735	0.587	0.359				
0.365	0.577	0.719	0.748	0.719	0.577	0.365				
-1.6	1.7	2.2	5.2	2.2	1.7	-1.6				
			0.277	0.380	0.413	0.380	0.277			
			0.227	0.329	0.359	0.329	0.221			
			25.3	15.5	15.0	15.5	25.3			

$\alpha_H$  : 0.743

RMS : 4.8

○ : SUS制御棒全引抜

C	C : 計算値 (WIMS-ATR/LAYMON-2A)
E	E : 実験値
R	R : $(C/E-1) \times 100 (\%)$

図 2.1-3 チャンネル出力分布の実験値と計算値(WIMS-ATR/LAYMON-2A)の比較

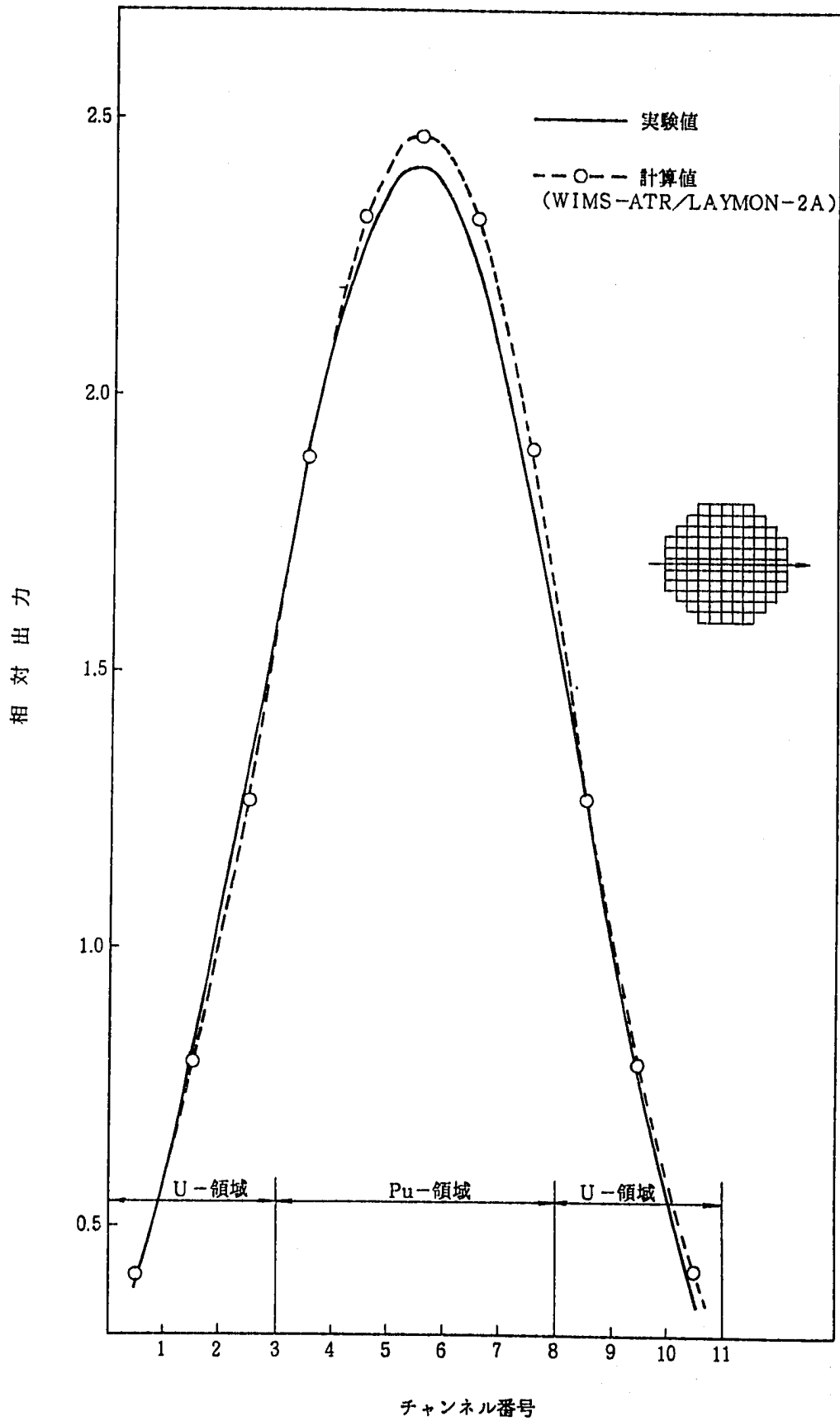


図 2.1 - 4 DCA Pu-U2領域炉心における実験値とWIMS-ATR/LAYMON-2Aコード計算値との径方向出力分布の比較

			0.249	0.322	0.346	0.322	0.249			
			0.237	0.349	0.381	0.349	0.235			
			5.1	-7.7	-9.2	-7.7	6.0			
		0.326	0.553	0.692	0.740	0.692	0.553	0.326		
		0.388	0.611	0.763	0.793	0.763	0.611	0.388		
		-16.0	-9.5	-9.3	-6.7	-9.3	-9.5	-16.0		
	0.326	0.571	0.921	1.137	1.214	1.137	0.920	0.570	0.326	
	0.388	0.693	1.079	1.295	1.344	1.295	1.079	0.675	0.365	
	-16.0	-17.6	-14.6	-12.2	-9.7	-12.2	-14.7	-15.6	-10.7	
0.249	0.553	0.921	1.550	1.914	2.043	1.914	1.549	0.920	0.552	0.249
0.235	0.611	1.079	1.458	1.837	1.905	1.837	1.471	1.024	0.577	0.221
6.0	-9.5	-14.6	6.3	4.2	7.2	4.2	5.3	-10.2	-4.3	12.7
0.322	0.692	1.137	1.914	2.369	2.528	2.368	1.913	1.136	0.691	0.321
0.349	0.763	1.295	1.837	2.168	2.270	2.161	1.756	1.230	0.719	0.329
-7.7	-9.3	-12.2	4.2	9.3	11.4	9.6	8.9	-7.6	-3.9	-2.4
0.346	0.740	1.214	2.043	2.528	2.699	2.527	2.041	1.212	0.739	0.346
0.381	0.793	1.344	1.905	2.270	2.417	2.222	1.821	1.276	0.748	0.359
-9.2	-6.7	-9.7	7.2	11.4	11.7	13.7	12.1	-5.0	-1.2	-3.6
0.322	0.692	1.137	1.914	2.368	2.527	2.367	1.912	1.136	0.691	0.321
0.349	0.763	1.295	1.837	2.161	2.222	2.153	1.756	1.230	0.719	0.329
-7.7	-9.3	-17.2	4.2	9.6	13.7	9.9	8.9	-7.6	-3.9	-2.4
0.249	0.553	0.920	1.549	1.913	2.041	1.912	1.547	0.919	0.552	0.249
0.235	0.611	1.079	1.471	1.756	1.821	1.756	1.484	1.024	0.577	0.221
6.0	-9.5	-14.7	5.3	8.9	12.1	8.9	4.2	-10.3	-4.3	12.7
	0.326	0.570	0.920	1.136	1.212	1.136	0.919	0.569	0.326	
	0.388	0.675	1.024	1.230	1.276	1.230	1.024	0.658	0.365	
	-16.0	-15.6	-10.2	-7.6	-5.0	-7.6	-10.3	-13.5	-10.7	
		0.326	0.552	0.691	0.739	0.691	0.552	0.326		
		0.365	0.577	0.719	0.748	0.719	0.577	0.365		
		-10.7	-4.3	-3.9	-1.2	-3.9	-4.3	-10.7		
			0.249	0.321	0.346	0.321	0.249			
			0.221	0.329	0.359	0.329	0.221			
			12.7	-2.4	-3.6	-2.4	12.7			

RMS : 11.6

○ : SUS制御棒全引抜

C	C : 計算値 (WIMS-ATR/CITATION)
E	E : 実験値
R	R : $(C/E - 1) \times 100$ (%)

図 2.1 - 5 チャンネル出力分布の実験値と計算値(WIMS-ATR/CITATION) の比較

			0.259	0.368	0.402	0.368	0.259				
			0.237	0.349	0.381	0.349	0.235				
			9.2	5.4	5.5	5.4	10.2				
		0.342	0.592	0.751	0.806	0.751	0.592	0.342			
		0.388	0.611	0.763	0.793	0.763	0.611	0.388			
		-11.9	-3.1	-1.6	1.6	-1.6	-3.1	-11.9			
	0.342	0.675	0.998	1.217	1.294	1.217	0.998	0.675	0.342		
	0.388	0.693	1.079	1.295	1.344	1.295	1.079	0.675	0.365		
	-11.9	-2.6	-7.5	-6.0	-3.7	-6.0	-7.5	0.0	-6.3		
0.259	0.592	0.998	1.477	1.790	1.898	1.790	1.477	0.998	0.592	0.259	
0.235	0.611	1.079	1.458	1.837	1.905	1.837	1.471	1.024	0.577	0.221	
10.2	-3.1	-7.5	1.3	-2.6	-0.4	-2.6	0.4	-2.5	2.6	17.3	
0.368	0.751	1.217	1.790	2.163	2.292	2.163	1.790	1.217	0.751	0.368	
0.349	0.763	1.295	1.837	2.168	2.270	2.161	1.756	1.230	0.719	0.329	
5.4	-1.6	-1.0	-2.6	-0.2	1.0	0.1	1.9	-1.1	4.5	11.9	
0.402	0.806	1.294	1.898	2.292	2.429	2.292	1.898	1.294	0.806	0.402	
0.381	0.793	1.344	1.905	2.270	2.417	2.222	1.821	1.276	0.748	0.359	
5.5	1.6	-3.7	-0.4	1.0	0.5	3.2	4.2	1.4	7.8	12.0	
0.368	0.751	1.217	1.790	2.163	2.292	2.163	1.790	1.217	0.751	0.318	
0.349	0.763	1.295	1.837	2.161	2.222	2.153	1.756	1.230	0.719	0.329	
5.4	-1.6	-6.0	-2.6	0.1	3.2	0.5	1.9	-1.1	4.5	11.9	
0.259	0.592	0.998	1.477	1.790	1.898	1.790	1.477	0.998	0.592	0.259	
0.235	0.611	1.079	1.471	1.756	1.821	1.756	1.484	1.024	0.577	0.221	
10.2	-3.1	-7.5	0.4	1.9	4.2	1.9	-0.5	-2.5	2.6	17.2	
	0.342	0.675	0.998	1.217	1.294	1.217	0.998	0.675	0.342		
	0.388	0.675	1.024	1.230	1.276	1.230	1.024	0.658	0.365		
	-11.9	0.0	-2.5	-1.1	1.4	-1.1	-2.5	2.6	-6.3		
		0.342	0.592	0.751	0.806	0.751	0.592	0.342			
		0.365	0.577	0.719	0.748	0.719	0.577	0.365			
		-6.3	2.6	4.5	7.6	4.5	2.6	-6.3			
			0.259	0.368	0.402	0.368	0.259				
			0.221	0.329	0.359	0.329	0.221				
			17.2	11.9	12.0	11.9	17.2				

$\alpha_H$  : 0.866  
RMS : 3.8

○ : SUS制御棒全引抜

C	C : 計算値 (METHUSELAH-II/LATMON-2A)
E	E : 実験値
R	R : (C/E-1) × 100 (%)

図 2.1-6 チャンネル出力分布の実験値と計算値(METHUSELAH-II/LAYMON-2A) の比較

			0.291	0.342	0.362	0.342	0.291			
			0.237	0.349	0.381	0.349	0.235			
			22.8	-2.0	-5.0	-2.0	23.8			
		0.488	0.655	0.776	0.819	0.776	0.655	0.489		
		0.388	0.611	0.763	0.793	0.763	0.611	0.388		
		25.8	7.2	1.7	3.3	1.7	7.2	26.0		
	0.488	0.777	1.057	1.253	1.322	1.253	1.057	0.777	0.488	
	0.388	0.693	1.079	1.295	1.344	1.295	1.079	0.675	0.365	
	25.8	12.1	-2.0	-3.2	-1.6	-3.2	-2.0	15.1	33.7	
0.291	0.655	1.057	1.506	1.795	1.896	1.794	1.506	1.057	0.655	0.291
0.235	0.611	1.079	1.458	1.837	1.905	1.837	1.471	1.024	0.577	0.221
23.8	7.2	-2.0	2.3	-2.3	-0.5	-2.3	2.4	3.2	13.5	31.7
0.342	0.776	1.253	1.795	2.146	2.268	2.145	1.794	1.252	0.776	0.342
0.349	0.763	1.295	1.837	2.168	2.270	2.161	1.756	1.230	0.719	0.329
-2.0	1.7	-3.2	-2.3	-1.0	-0.1	-0.7	2.2	1.8	7.9	4.0
0.362	0.819	1.322	1.896	2.268	2.399	2.268	1.895	1.321	0.818	0.361
0.381	0.793	1.344	1.905	2.270	2.417	2.222	1.821	1.276	0.748	0.359
-5.0	3.3	-1.6	-0.5	-0.1	-0.7	2.1	4.1	3.5	9.4	0.6
0.342	0.776	1.253	1.794	2.145	2.268	2.144	1.793	1.252	0.775	0.342
0.349	0.763	1.295	1.837	2.161	2.222	2.153	1.756	1.230	0.719	0.329
-2.0	1.7	-3.2	-2.3	-0.7	2.1	-0.4	2.1	1.8	7.8	4.0
0.291	0.655	1.057	1.506	1.794	1.895	1.793	1.505	1.056	0.654	0.290
0.235	0.611	1.079	1.471	1.756	1.821	1.756	1.484	1.024	0.577	0.221
23.8	7.2	-2.0	2.4	2.2	4.1	2.1	1.4	3.1	13.3	31.2
	0.488	0.777	1.057	1.252	1.321	1.252	1.056	0.776	0.487	
	0.388	0.675	1.024	1.230	1.276	1.230	1.024	0.658	0.365	
	25.8	15.1	3.2	1.8	3.5	1.8	3.1	17.9	33.4	
		0.488	0.655	0.776	0.818	0.775	0.654	0.487		
		0.365	0.577	0.719	0.748	0.719	0.577	0.365		
		33.7	13.5	7.9	9.4	7.8	13.3	33.4		
			0.291	0.342	0.361	0.342	0.290			
			0.221	0.329	0.359	0.329	0.221			
			31.7	4.0	0.6	4.0	31.2			

RMS : 5.3 (%)

○ : SUS制御棒全引抜

C	C : 計算値 (METHUSELAH-II/CITATION)
E	E : 実験値
R	R : $(C/E - 1) \times 100 (\%)$

図 2.1 - 7 チャンネル出力分布の実験値と計算値(METHUSELAH-II/CITATION)の比較

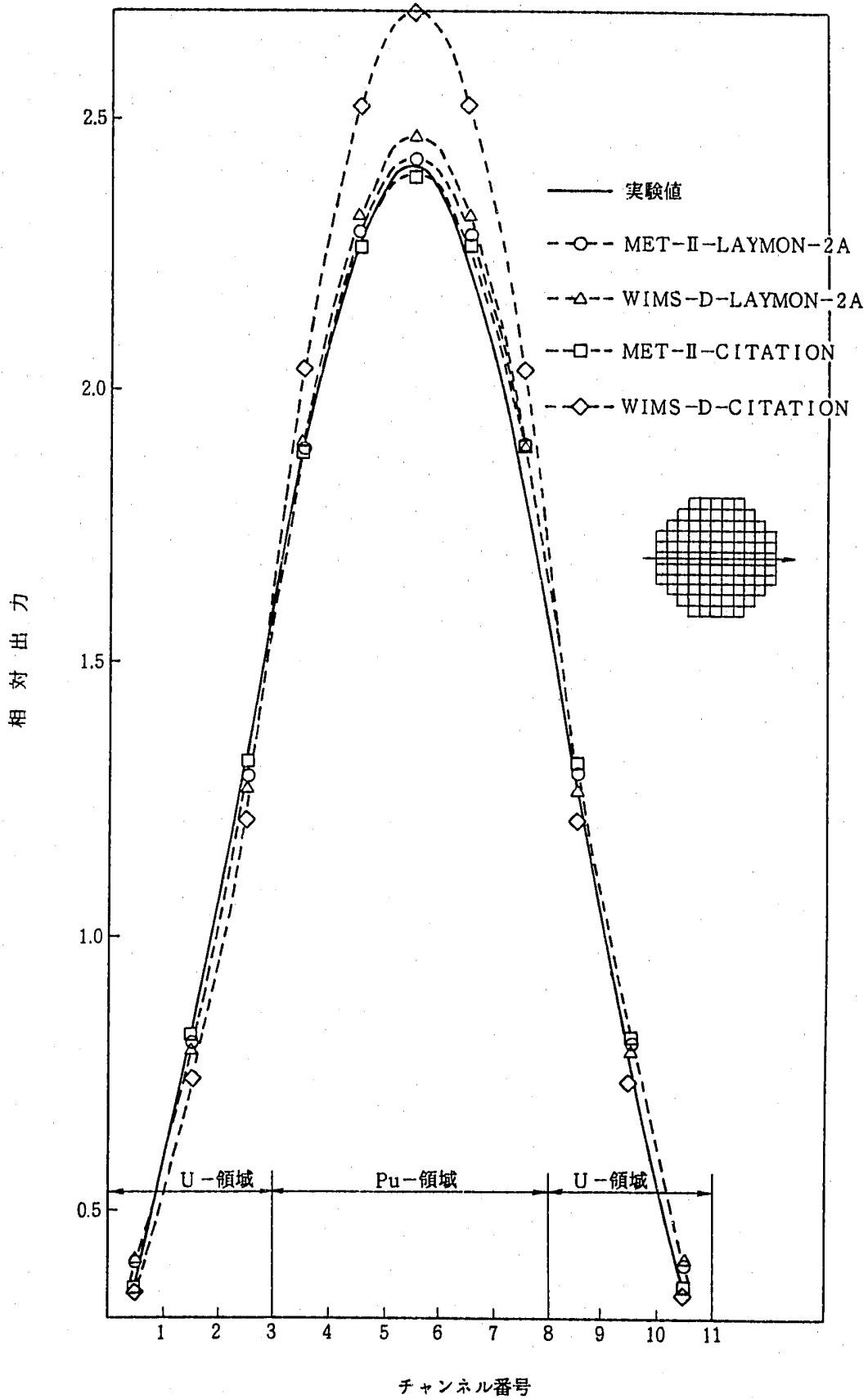
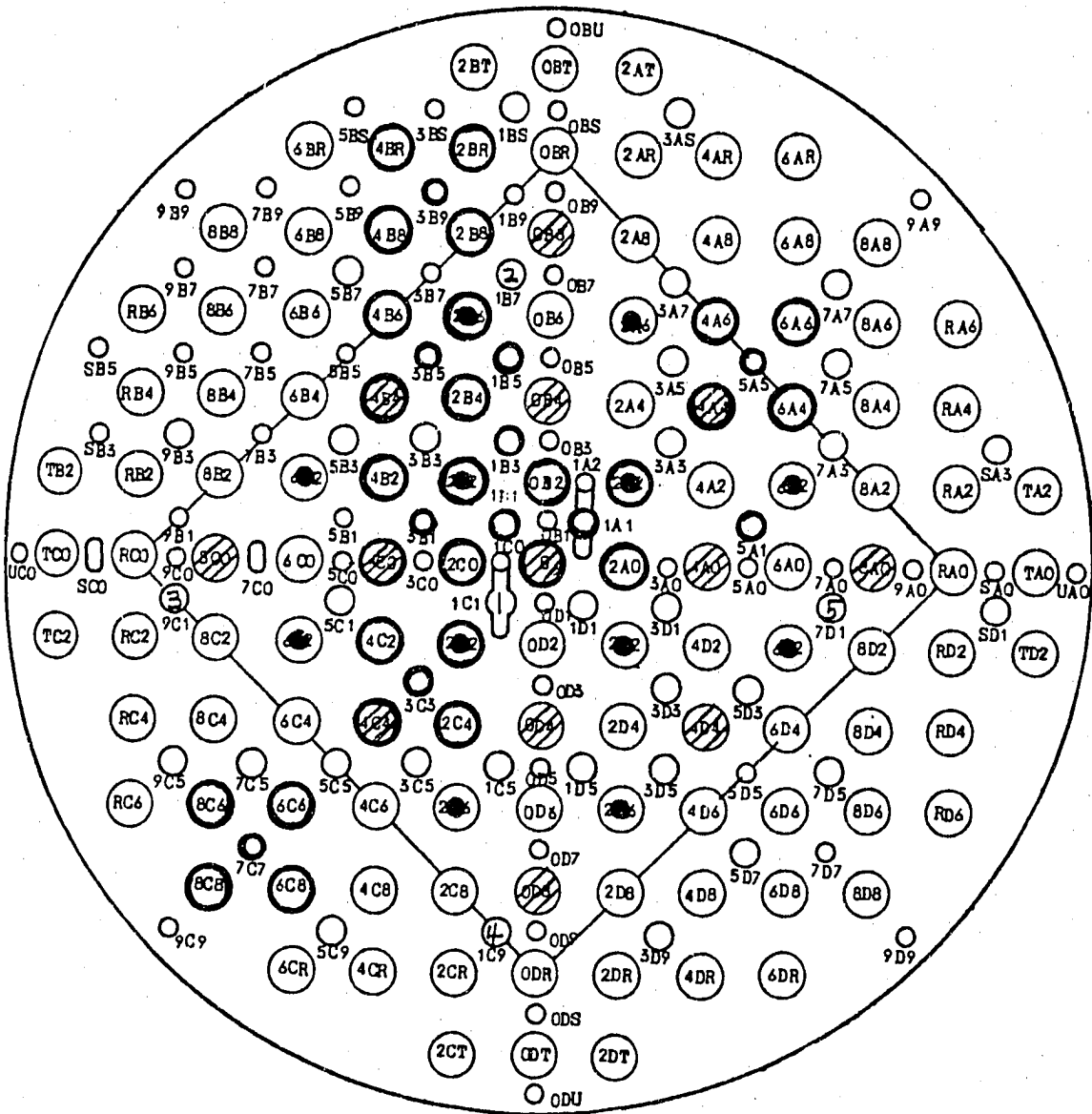


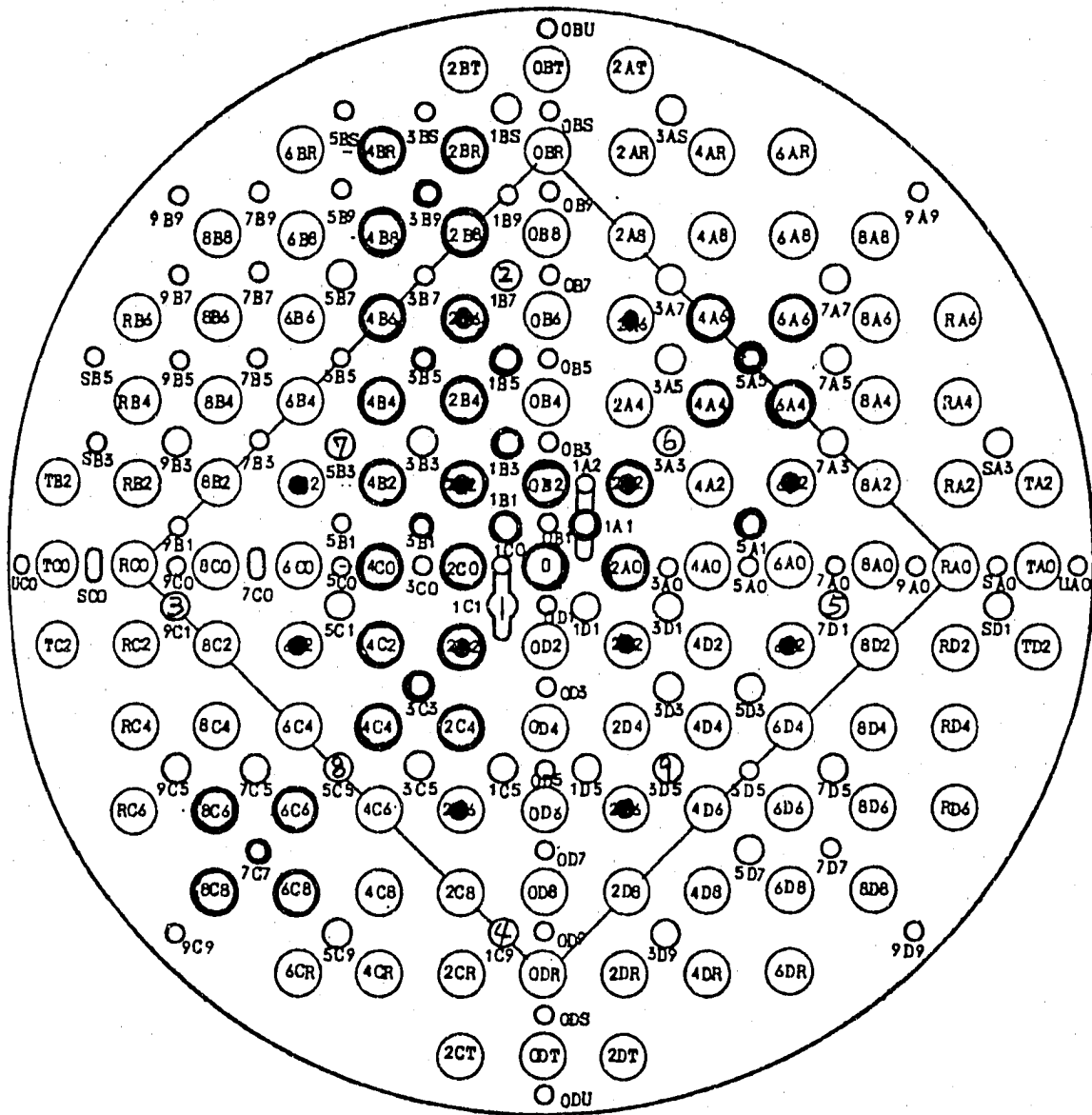
図 2.1 - 8 DCA (Pu-U)2 の領域炉心における実験値と計算値との径方向出力分布の比較



- 0.7% EU - 0% Void (13体)
- 1.2% EU - 0% Void (96体)
- 1.5% EU - 0% Void (12体)
- Channels of Cuwires being inserted

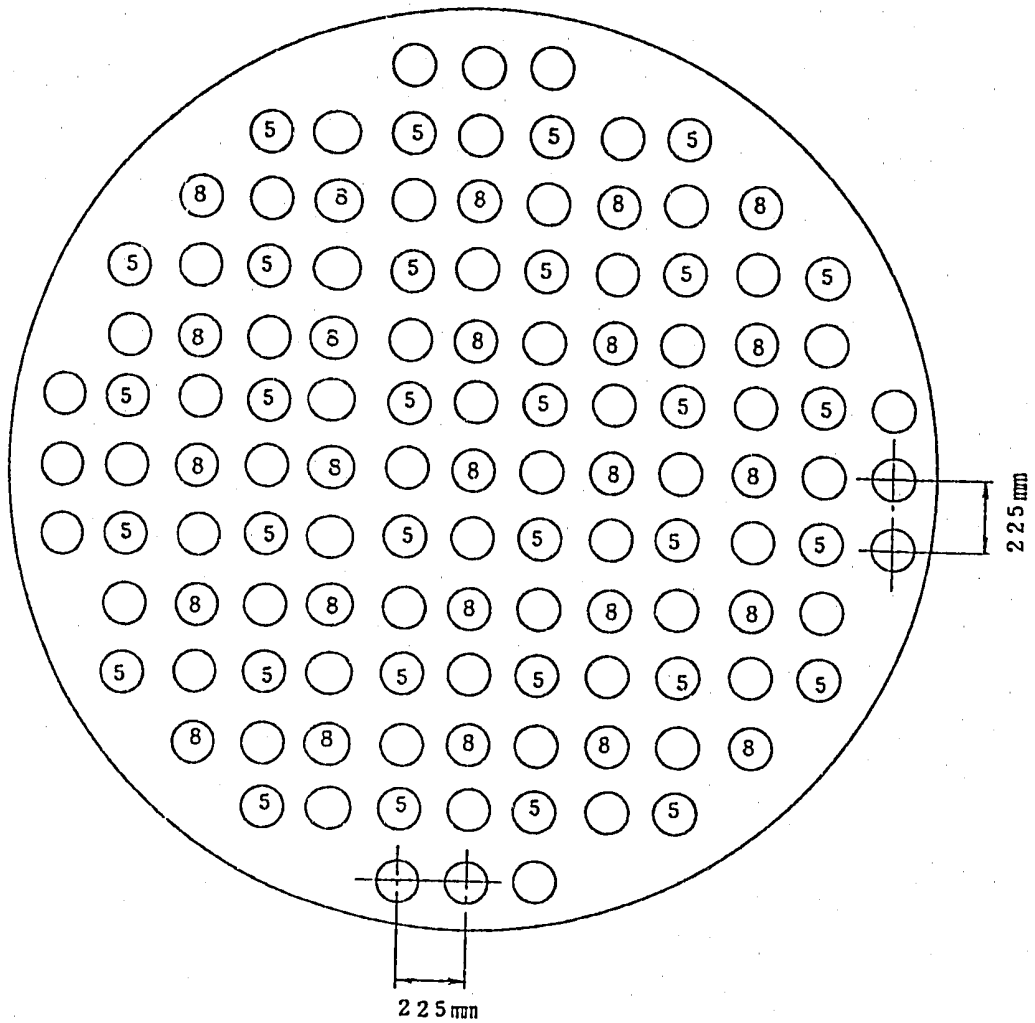
図 2.1 - 9 DCAチェスボードB炉心  
「チェスボード炉心実験」<sup>(14)</sup>より引用





- 1.2% EU - 0% Void (109 体)
- 1.5% EU - 0% Void (12 体)
- Channels of Cu wires being inserted

図 2.1 - 10 DCA チェスボード D 炉心  
「チェスボード炉心実験」<sup>(14)</sup>より引用



- |   |                                       |      |
|---|---------------------------------------|------|
| ⑤ | 0.54 w/o $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ | 32 体 |
| ⑧ | 0.87 w/o $\text{PuO}_2 - \text{UO}_2$ | 25 体 |
| ○ | 1.2 w/o $\text{UO}_2$                 | 64 体 |

図 2.1 - 11 DCA一様分散(C2-0-3)炉心

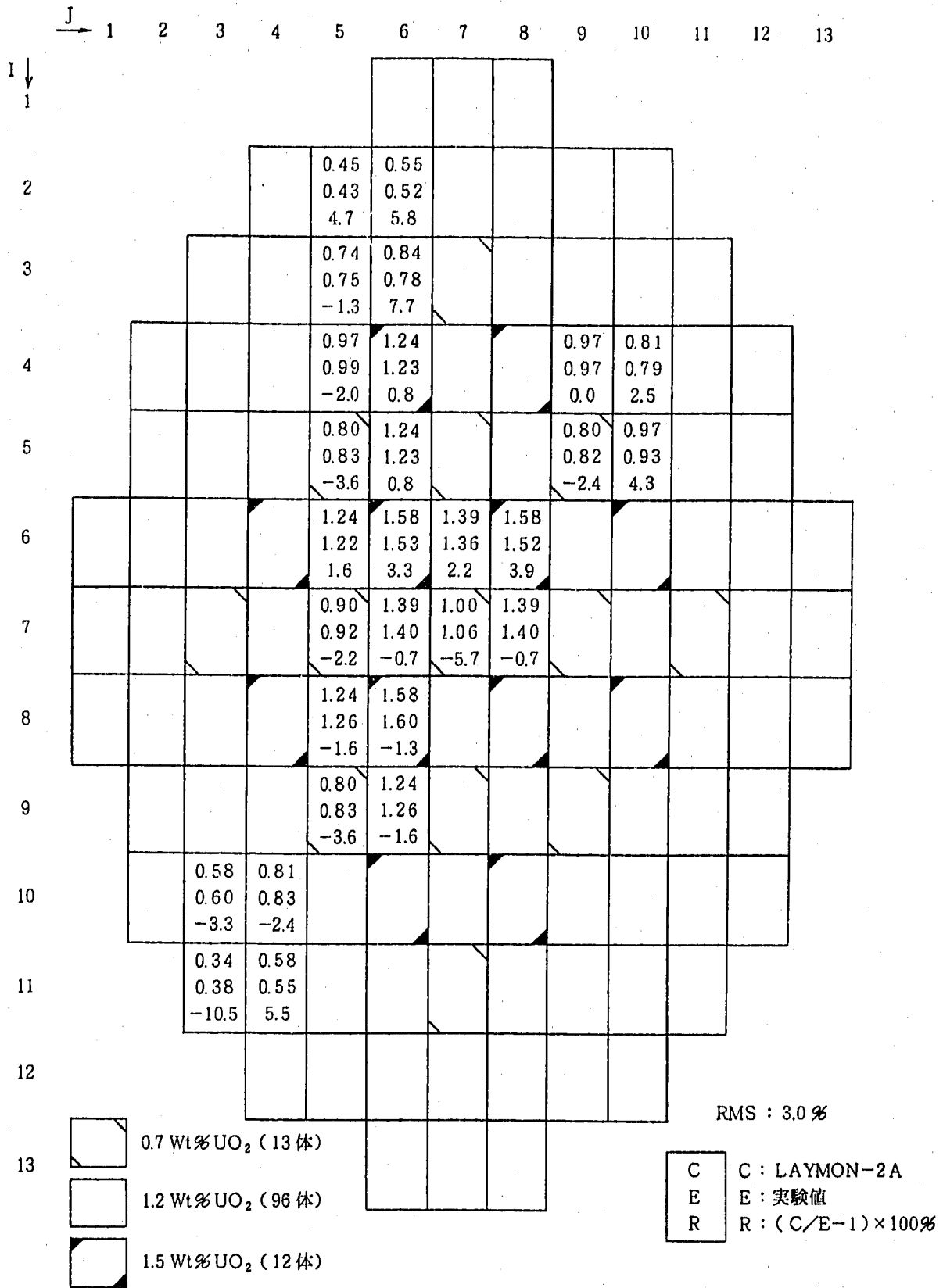


図 2.1 - 12 DCA チェスボード B 炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較

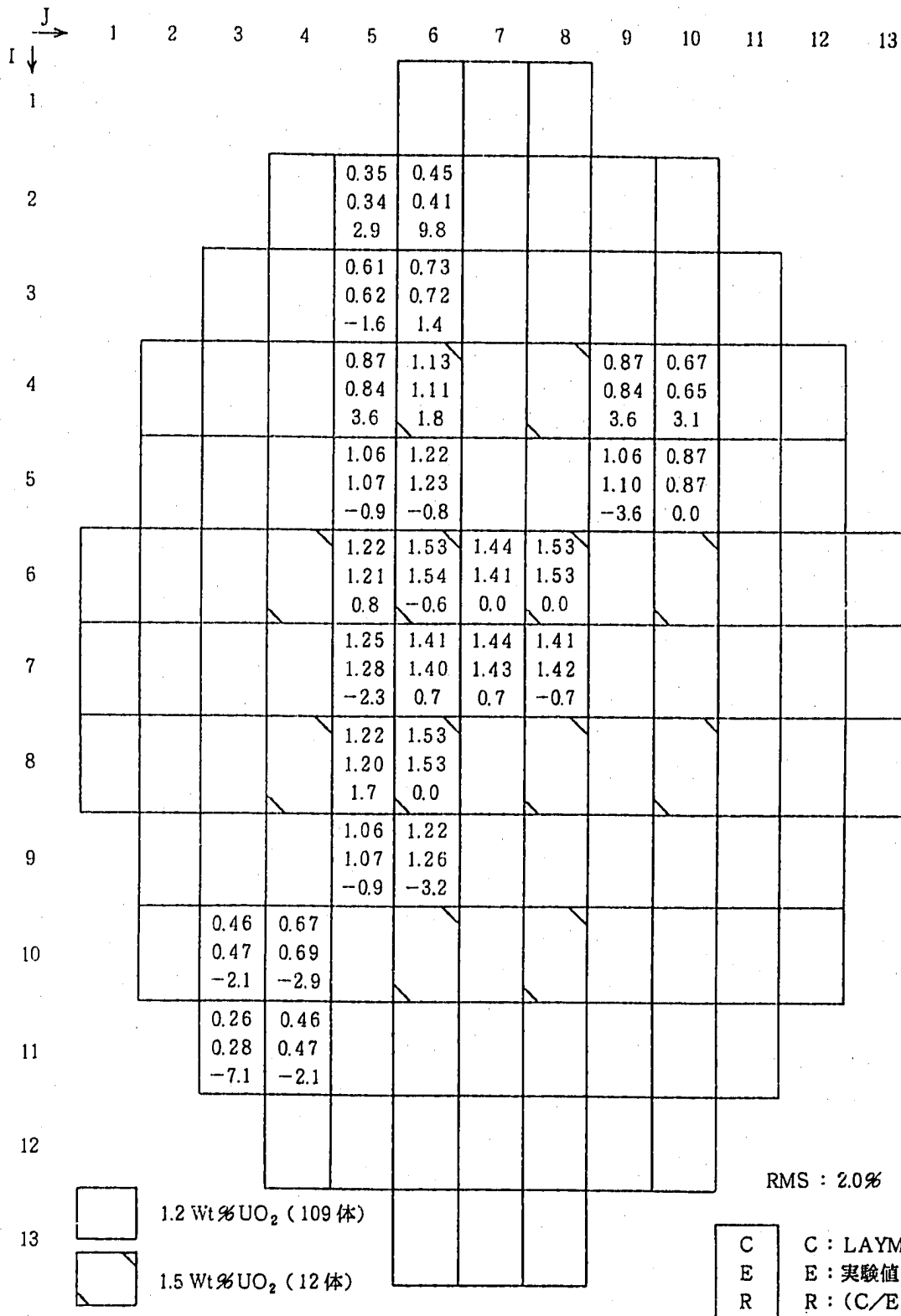


図 2.1 - 13 DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較

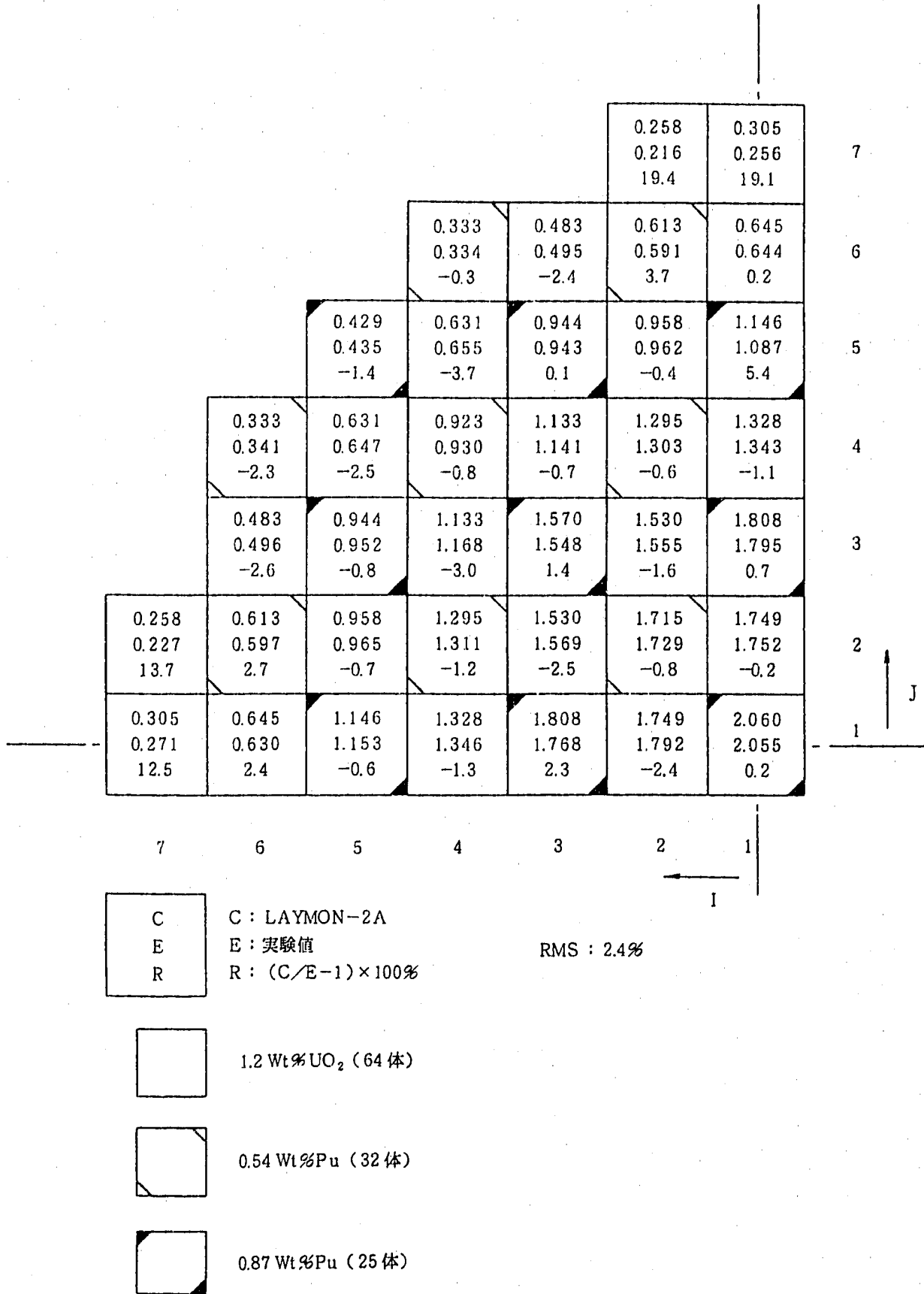


図 2.1-14 DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と LAYMON-2A との比較

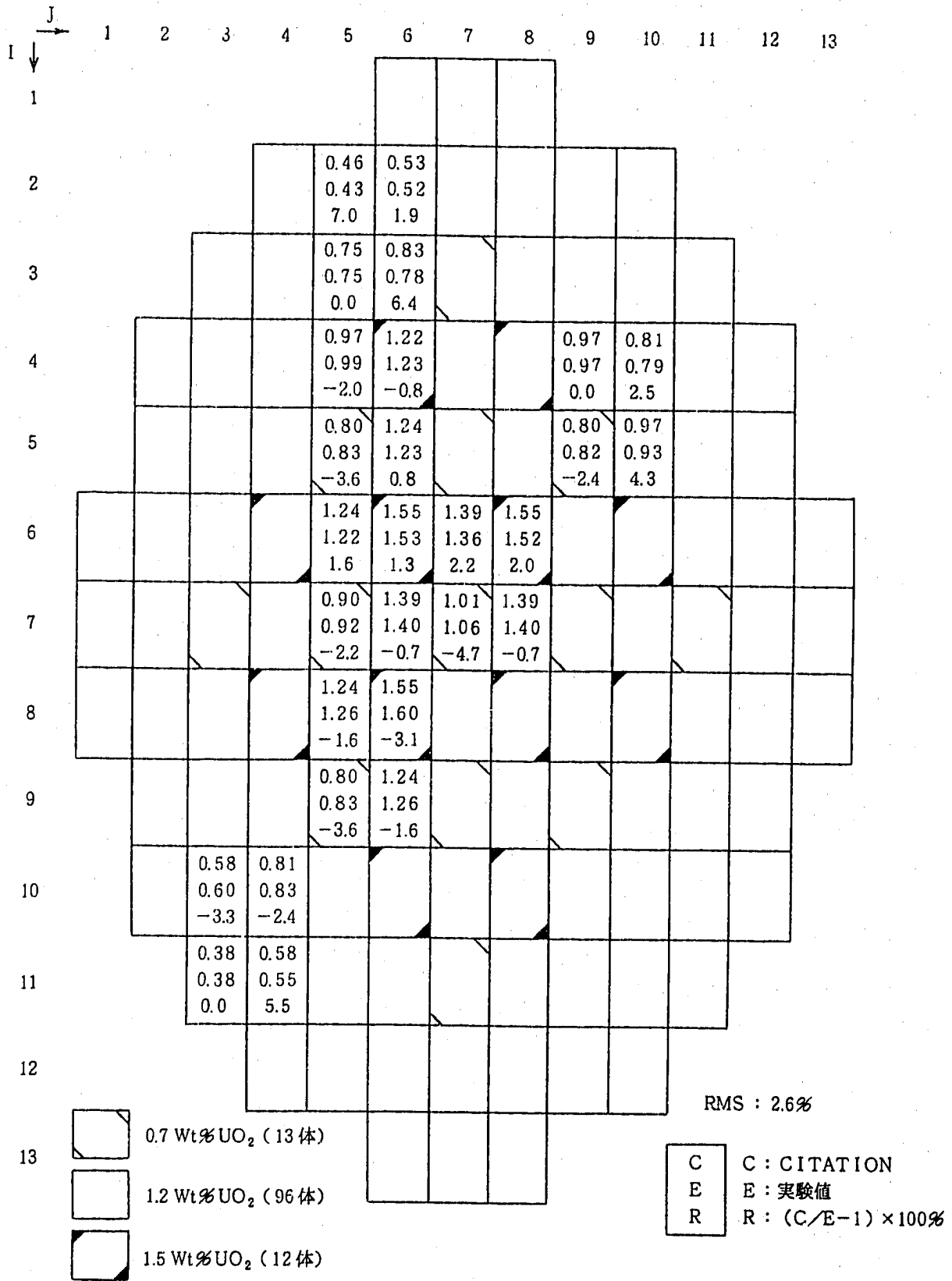


図 2.1 - 15 DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と CITATIONとの比較

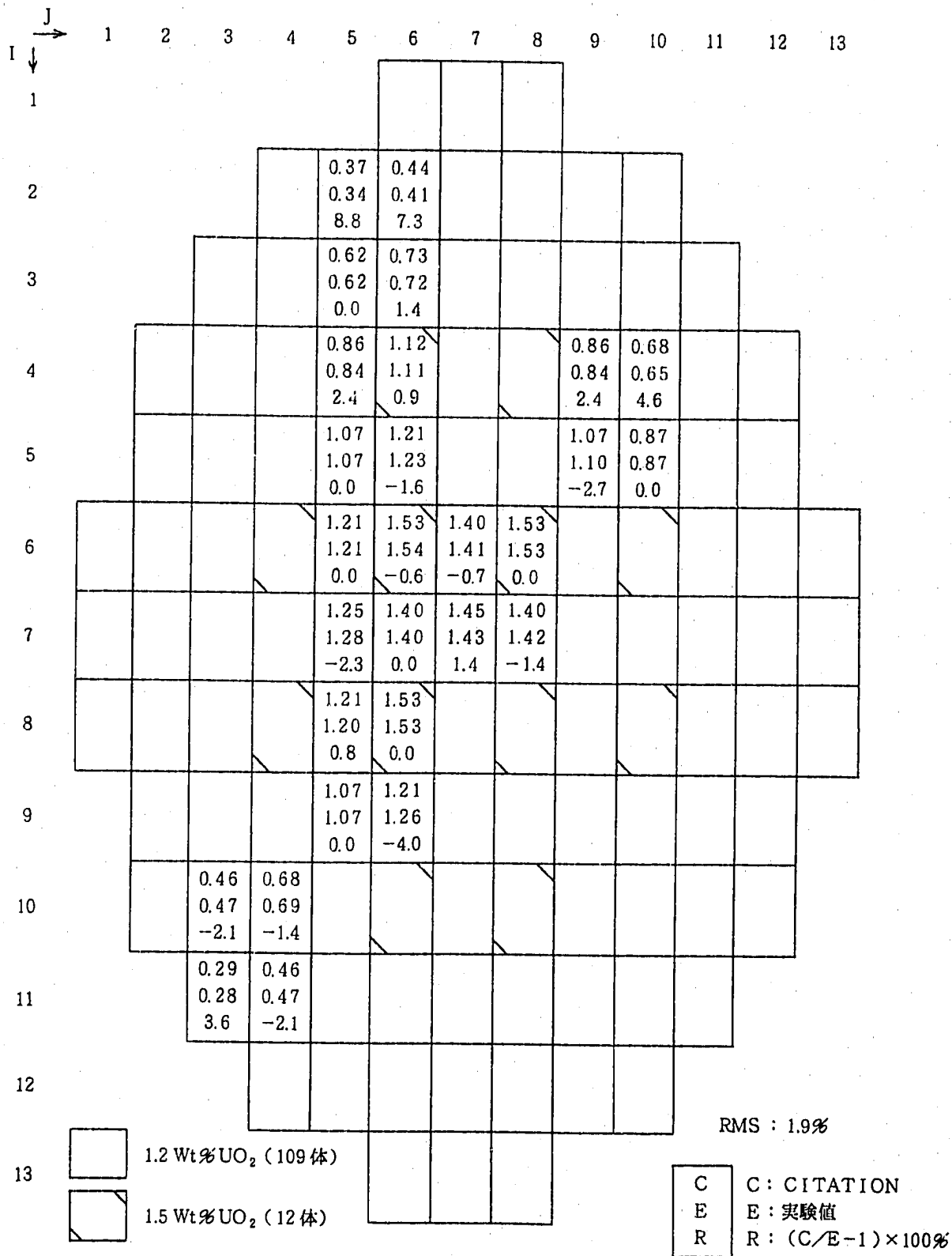


図 2.1 - 16 DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値とCITATIONとの比較

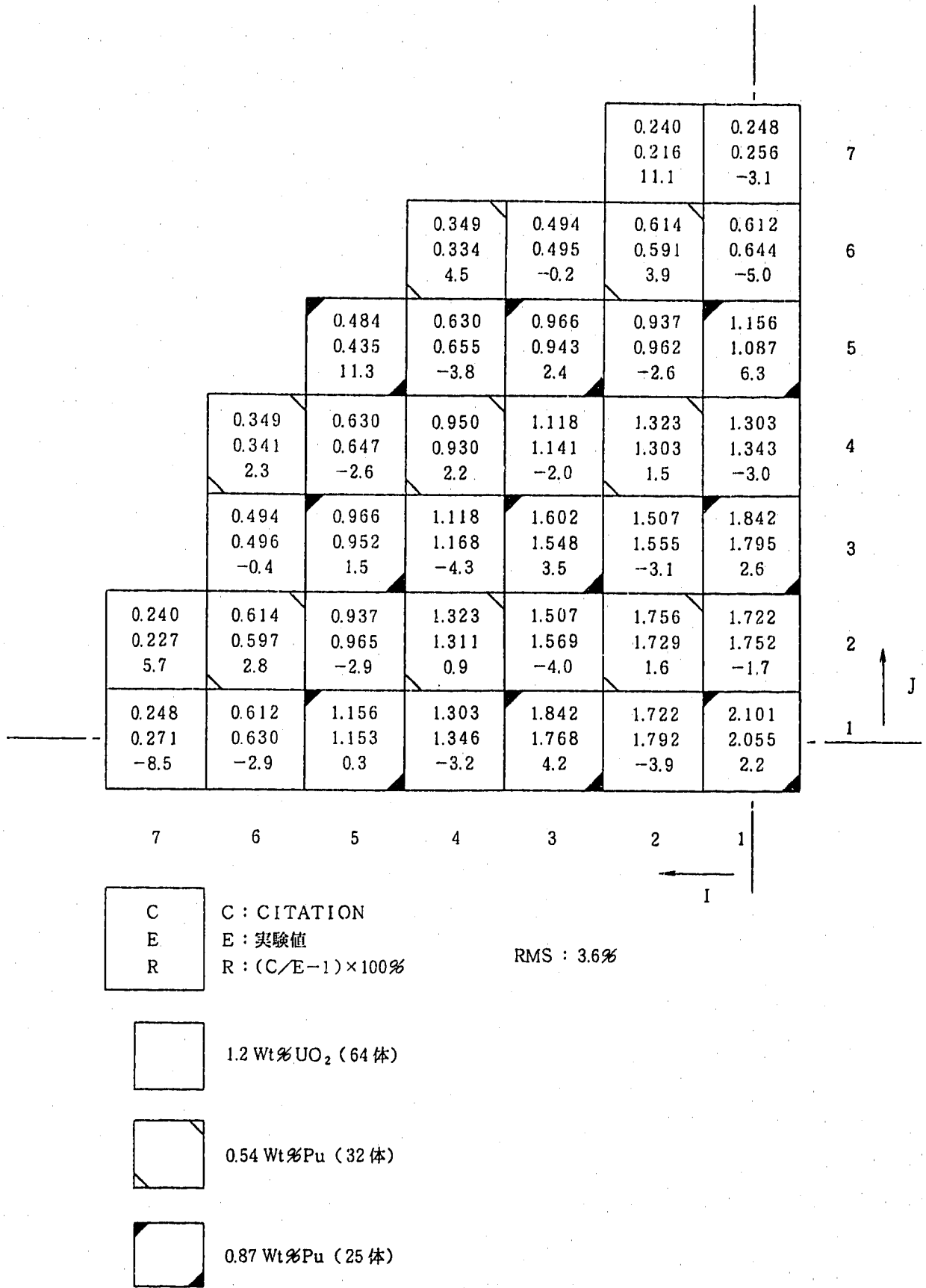


図 2.1-17 DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と CITATIONとの比較



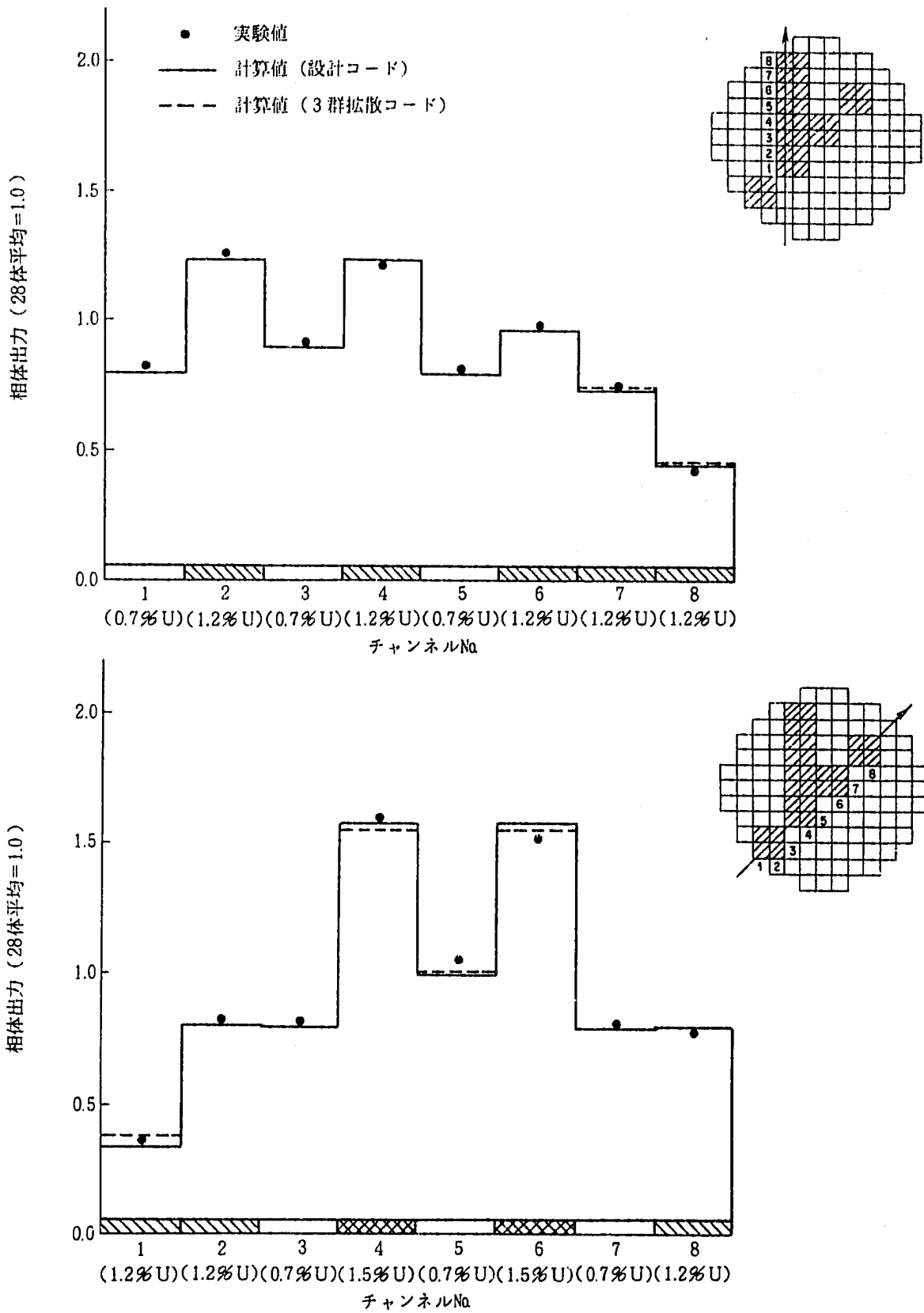


図 2.1-18 DCAチェスボードB炉心におけるチャンネル出力分布実験値と計算値との比較

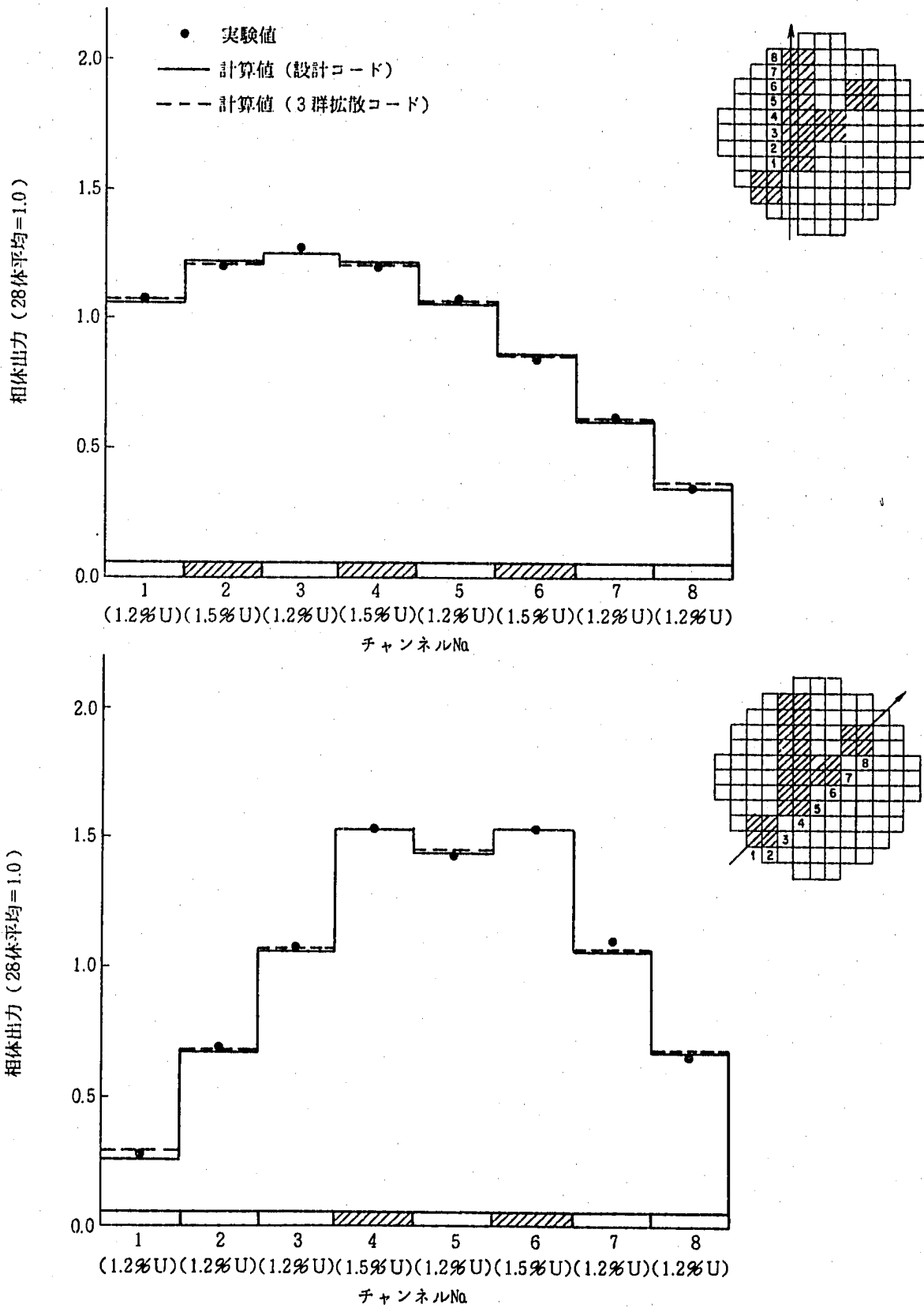


図 2.1 - 19 DCAチェスボードD炉心におけるチャンネル出力分布実験値と計算値との比較

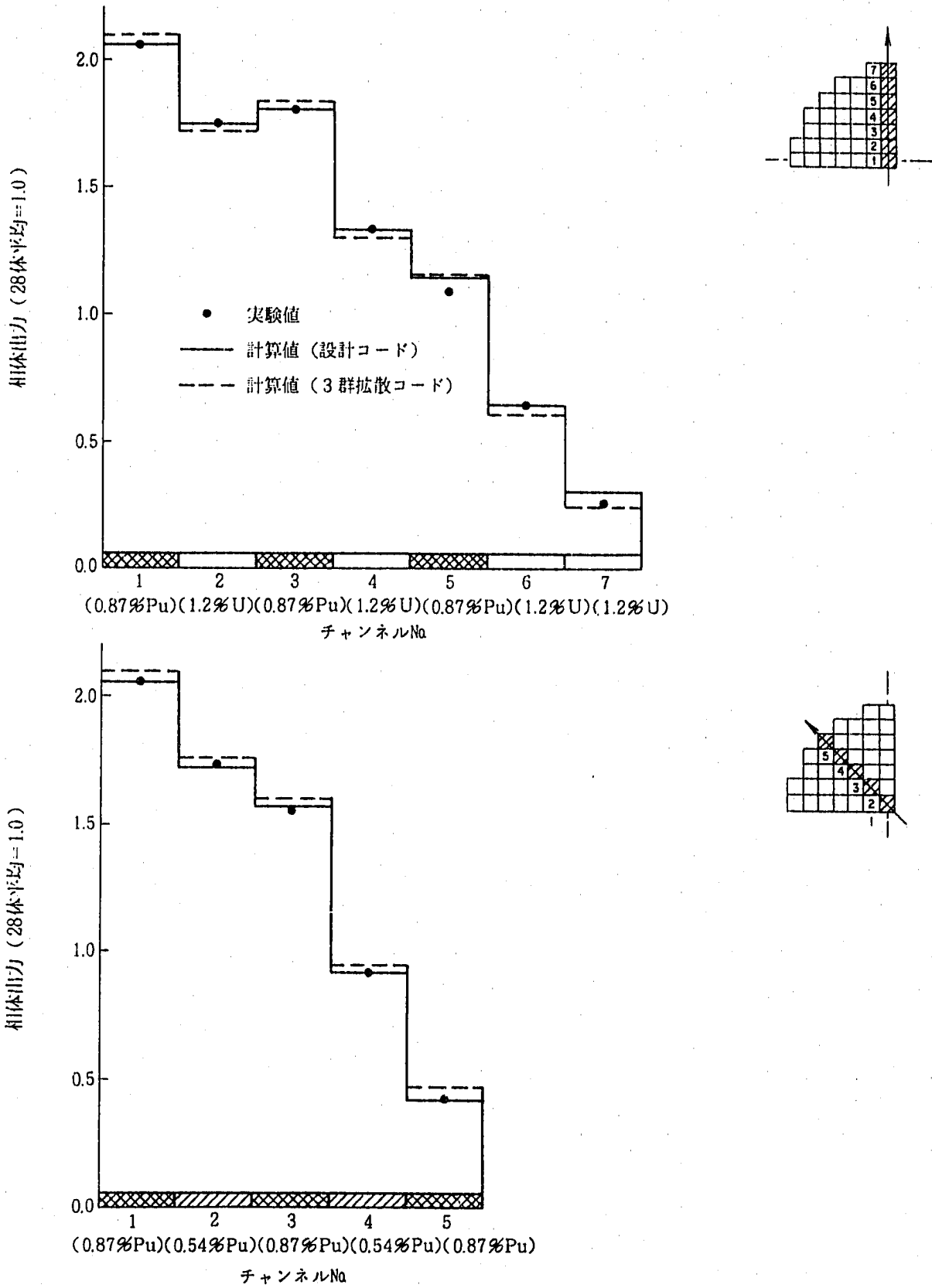


図 2.1-20 DCA一様分散(C2-0-3)炉心におけるチャンネル出力分布実験値と計算値との比較

## 2.2 新吸収面積法によるSUS制御棒反応度値計算精度解析

WIMS-ATRコードにより求めた新吸収面積法<sup>(1)</sup>に基づくSUS制御棒定数と2.1節で求めた境界定数を使用してLAYMON-2AコードによりSUS制御棒反応度値を解析し、解析結果と実験データを比較することにより、計算精度を評価する。又、計算精度の評価に当っては、WIMS-ATRコードにより求めた3群格子定数(新吸収面積法に基づく制御格子定数も含む)を用いたCITATIONコードによる3群解析も実施し、LAYMON-2Aコードによる解析結果と比較する。

### (1) DCA実験体系

図2.2-1に計算精度解析を実施したSUS制御棒入りDCA炉心を示す。SUS制御棒が炉心に挿入されていることを除いて使用する燃料及びその配置は2.1節(1)で示した通りである。即ち、Pu-U2領域炉心であり、中央領域にPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料25体、外側領域にUO<sub>2</sub>燃料72体を250mmの格子ピッチで配置する炉心である。

SUS制御棒は、図2.2-1に示すように炉心のほぼ中央の減速材重水領域に1本挿入されている。制御棒の構造を図2.2-2に示す。制御棒は、図2.2-3に示すように支持具により上部グリッド板から炉心内に吊り下げられている。

制御棒反応度値の測定値は、制御棒挿入臨界炉心から制御棒を完全に引抜いたときに炉心に投入される正の反応度により求められる。臨界重水々位および近傍での水位反応度係数の測定値を表2.2-2に示す。測定した重水々位と水位反応度係数を図2.2-4に示す。また、このときの制御棒挿入長の変化により求められた制御棒の反応度値を表2.2-3及び図2.2-5に、%ΔK/K単位で表わした制御棒反応度値の実験値を表2.2-4に示す。

### (2) 解析方法

SUS制御棒反応度値の解析は、WIMS-ATRコードより求めた新吸収面積法に基づくSUS制御棒定数と核定数及び2.1節で求めた境界定数を使用して設計コードであるLAYMON-2Aにより実施する。又、併せてWIMS-ATRコードにより求めた3群格子定数を用いたCITATIONコードによる3群解析も実施する。

新吸収面積法に基づくLAYMON-2Aコードの制御棒反応度 $\delta K_{CR}$ の計算法は次の通りである。

$\delta K_{CR}$ は次式で定義される。

$$\delta K_{CR} \equiv \left\{ K_{\infty}^{+}(E, 100) - K_{\infty}^{-}(E, 100) \right\} / K_{\infty}^{-}(E, 100) \quad (1)$$

ここで、 $K_{\infty}^{-}$  (E, 100),  $K_{\infty}^{+}$  (E, 100) は出力 100%, 燃焼度 E 時の制御棒未挿入, 制御棒挿入時の無限増倍率 ( $K_{\infty}$ ) である。

中性子 3 群無限体系における中性子拡散方程式より, 制御棒挿入時の  $K_{\infty}^{-}$  は次式で表される。

$$K_{\infty}^{-} = \frac{1}{\Sigma_{r1} + \Sigma_{a1}} \left\{ \nu \Sigma f_1 + \frac{\Sigma_{r1}}{\Sigma_{r2} + \Sigma_{a2}} \cdot F_2 \cdot \nu \Sigma f_2 + \frac{\Sigma_{r1}}{\Sigma_{r2} + \Sigma_{a2}} \cdot \frac{\Sigma_{r2}}{\Sigma_{a3}} \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot \nu \Sigma f_3 \right\} \quad (2)$$

$$K_{\infty}^{-} = \frac{1}{\Sigma_{r1} + \Sigma_{a1}} \left\{ \nu \Sigma f_1 + \frac{\Sigma_{r1}}{\Sigma_{r2} + \Sigma_{a2}} \cdot \nu \Sigma f_2 + \frac{\Sigma_{r1}}{\Sigma_{r2} + \Sigma_{a2}} \cdot \frac{\Sigma_{r2}}{\Sigma_{a3}} \cdot \nu \Sigma f_3 \right\} \quad (3)$$

ここで,

- $\nu \Sigma f_1, \nu \Sigma f_2, \nu \Sigma f_3$  : 1 群, 2 群, 3 群のマクロ中性子生成断面積
- $\Sigma_{a1}, \Sigma_{a2}, \Sigma_{a3}$  : 1 群, 2 群, 3 群のマクロ中性子吸収断面積
- $\Sigma_{r1}, \Sigma_{r2}$  : 1 群, 2 群, 3 群のマクロ中性子除去断面積

であり, 格子計算コード内で計算される。

(2), (3)式で計算される  $K_{\infty}^{+}, K_{\infty}^{-}$  を (1 式に代入することにより  $\delta K_{CH}$  が計算される。

又, (2), (3)式中の  $F_2, F_3$  は吸収面積法により求められる制御棒定数であり, 次式を WIMS-ATR コード内に組込むことにより計算される。

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= \frac{A_c - A_2}{A_c} \\ F_3 &= \frac{A_c - A_3}{A_c} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで,  $A_2, A_3$  は熱外, 熱中性子の吸収面であり, 次式により計算される。

$$A_2 = \frac{2 \pi r_0}{k_2 \xi} [I_1(k_2 R_0)K_1(k_2 r_0) - I_1(k_2 r_0)K_1(k_2 R_0)] \quad (5)$$

$$A_3 = \frac{2 \pi r_0 \xi^{-1} k_2}{k_3^2 - k_1^2} [I_1(k_2 R_0) K_1(k_2 r_0) - I_1(k_2 r_0) K_1(k_2 R_0)] \\ + \frac{2 \pi r_0 \zeta}{k_3 \eta} [I_1(k_3 R_0) K_1(k_3 r_0) - I_1(k_3 r_0) K_1(k_3 R_0)] \quad (6)$$

(4) 式中の  $A_c$  は次式で計算される。

$$A_c = \pi R_0^2 \quad (7)$$

(5) (6), (7) 式中の各パラメータは次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} k_2^2 &= (\Sigma a_2 + \Sigma r_2) / D_2 \\ k_3^2 &= \Sigma a_3 / D_3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\xi = [I_0(k_2 r_0) K_1(k_2 R_0) + I_1(k_2 R_0) K_0(k_2 r_0) \\ + k_2 d_2 \{ I_1(k_2 R_0) K_1(k_2 r_0) - I_1(k_2 r_0) K_1(k_2 R_0) \}] \quad (9)$$

$$\zeta = 1 - \frac{\xi^{-1}}{1 - (k_2/k_3)^2} [I_1(k_2 R_0) \cdot K_0(k_2 r_0) + I_0(k_2 r_0) \\ \cdot K_1(k_2 R_0) + k_2 d_3 \{ I_1(k_2 R_0) K_1(k_2 r_0) \\ - I_1(k_2 r_0) K_1(k_2 R_0) \}] \quad (10)$$

$$\eta = I_1(k_3 R_0) K_0(k_3 r_0) + I_0(k_3 r_0) K_1(k_3 R_0) \\ + k_3 d_3 \{ I_1(k_3 R_0) K_1(k_3 r_0) - I_1(k_3 r_0) K_1(k_3 R_0) \} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} d_2 &= 3 C_2 \cdot D_2 \\ d_3 &= 3 C_3 \cdot D_3 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

ここで、各(8)~(12)式中の各記号は

$D_2, D_3$  : 2群, 3群の拡散係数

$C_2, C_3$  : 2群, 3群の制御棒定数 (=外挿距離の係数)

$d_2, d_3$  : 2群, 3群の制御棒表面の中性子外挿距離

である。

ここで、これまでの吸収面積法では経験的に(12)式の拡散係数 $D_2, D_3$ をセル定数ではなく重水の拡散係数 $D_2^{D_2O}, D_3^{D_2O}$ を使用している。

すなわち、(12)式は

$$\left. \begin{aligned} d_2 &= 3 C_2 \cdot D_2^{D_2O} \\ d_3 &= 3 C_3 \cdot D_3^{D_2O} \end{aligned} \right\} \text{----- (13)}$$

を使用している。

しかし、今回使用する新吸収面積法では(12)式のまま、すなわち拡散係数 $D_2, D_3$ はセル定数を使用する。

(13)式に使用するSUS制御棒のC定数( $C_2, C_3$ )は、表2.2-5に示す値を使用し、最終的に(4)式で吸収面積法のF定数( $F_2, F_3$ )が計算される。計算された $F_2, F_3$ を表2.2-6に示す。LAYMON-2Aコードでは、表2.2-6に示す $F_2, F_3$ を使用して(1)式に基づき制御棒反応度 $\delta K_{CR}$ が計算され、使用される。一方、CITATIONコードでは $F_2, F_3$ で補正された3群格子定数がそのまま使用される。CITATIONコードによる炉心解析体系を図2.2-6に示す。

計算で得られた実効増倍係数( $k_{eff}$ )から制御棒反応度計算値( $\rho_c$ )は、制御棒挿入前の臨界炉心の $k_{eff}(k_1)$ と制御棒挿入後の未臨界炉心の $k_{eff}(k_2)$ を使用して、

$$\rho_c = \ln \frac{k_2}{k_1}$$

で算出される。

本式は、臨界実験より得られる $\rho$ が上式に対応する<sup>(9)</sup>ことから前回のB,C制御棒にも使用した。

### (3) 解析結果

(1)に示した実験体系、実験条件にて、(2)で示す解析方法でWIMS-ATR/LAYMON-2Aコード及びWIMS-ATR/CITATIONコードでSUS制御棒反応度値の解析を実施し、実験データと比較することによって計算精度を評価した。

結果を表2.2-7に示す。

表2.2-7より、SUS制御棒反応度値の計算値は、LAYMON-2Aコードで0.953% $\Delta K/K$ 、CITATIONコードで1.160% $\Delta K/K$ とLAYMON-2Aコードと比べCITATIONコードの方が約20%大きな値を示す。これは、2.1節で示したごとくWIMS-ATR/CITATIONコードで計算した出力分布が図2.1-8に示すごとく実験値及びWIMS-ATR/LAYMON-2Aの計算値と比べS

US制御棒が挿入される炉中央部で大きな値を示し、その結果、中央部に挿入されるSUS制御棒の反応度値が過大評価されるためである。これを、インポートンスを使用してより定量的に考えてみると、一般に制御棒反応度値は挿入される予定の周囲4チャンネルの平均インポートンスに比例することが経験的に判っているので、表2.2-8に示すごとく実験値、LAYMON-2Aの計算値及びCITATIONの計算値のインポートンスを比較してみた。表2.2-8より、LAYMON-2Aのインポートンスは実験値と比較的良く一致するが、CITATIONのインポートンスは実験値と比べ約25%、LAYMON-2Aと比べ約20%大きな値を示すことがわかる。それゆえ、LAYMON-2Aと比べCITATIONが制御棒反応度値を約20%大きく評価する原因は約20%インポートンスを大きく評価しているためである。インポートンス、即ち出力分布を中央部でCITATIONが大きく評価する原因は、即ち2.1節(3)で考察したのでここでは触れないことにする。

この結果、SUS制御棒反応度値の計算誤差は、表2.2-7に示すごとくWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードでは-5.6%と従来の設計誤差である±10%以内に入り、比較的良く実験値と一致するが、WIMS-ATR/CITATIONコードでは+14.9%と過大評価する。しかし、この誤差の原因は、上述したようにPu-U2領域炉心のPu領域で出力分布を過大評価することであり、実証炉のようなMOX(Pu)全装荷炉心ではこのような誤差は発生しないものと思われる。実際、LAYMON-2Aコードで境界定数を調整し、出力分布が実験値とよく一致するような状態で解析すると、SUS制御棒反応度値の計算誤差は表2.2-7に示すごとく-5.6%と比較的小きな値を示し、制御棒反応度値計算手法そのものは±10%以内の精度有していると云える。

参考のために、表2.2-9に他の解析手法との精度比較を表2.2-10に前回実施したB、C制御棒反応度値の計算精度比較を併せて示す。表2.2-10より、設計手法であるWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによる制御棒反応度値の計算精度は100%ボイド時を除く±10% (C/E-1)以内と云える。



表 2.2 - 1 DCA SUS制御棒の幾何形状と物性値\*

制御棒	領域	元素	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
SUS	吸収材 案内管	SUS 304 —	7.93 —

実験制御棒	領域	物性値	組成 (wt%)
SUS	吸収材 (SUS 304)	Fe	70.36
		Cr	18.36
		Ni	9.00
		Mn	1.80
		Si	0.39
		Ca	0.05
		P	0.03
		S	0.01

\*DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用

表 2.2 - 2 DCA制御棒引抜き高さにおける臨界重水水位と重水水位反応度係数実験値\*

装荷燃料：0.54wt% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料 25体 & 1.2wt% UO<sub>2</sub>燃料 72体  
 制御棒位置：1C1 (PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> 領域)

制御棒	引抜き高さ (mm)	冷却材水位 (mm)	臨界重水水位 (mm)	重水水位反応度係数 ( $\phi/cm$ )
—	全引抜	920	920.2	5.57 ± 2.4
SUS	605	930	930.8	4.94 ± 2.0 5.03 ± 2.0
	505	935	938.4	5.06 ± 2.0
	0	960	956.4	4.66 ± 2.0

\*参考文献 DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用

表 2.2 - 3 DCA制御棒引抜き高さにおける臨界重水水位と反応度値実験値\*

装荷燃料：0.54wt% PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>-25 & 1.2wt% UO<sub>2</sub>-72  
 制御棒位置：1C1 (PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> region)

制御棒	引抜き高さ (mm)	挿入割合 (%)	臨界重水水位 (mm)	臨界重水水位相対値 (mm)	反応度値 ( $\beta$ )
—	—	0	920.2	0.0	—
SUS	605	35	930.8	1.06	0.55 ± 0.07
	505	46	938.4	1.82	0.94 ± 0.07
	0	100	956.4	3.62	1.82 ± 0.07

\*参考文献 DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用

表 2.2 - 4 DCA制御棒反応度の実験値\*

制御棒	炉心底部からの制御棒位置 (mm)	制御棒反応度	
		$\beta$	$\beta \Delta K / K * 2$
SUS	605	0.55 ± 0.07	0.30 ± 0.04
	505	0.94 ± 0.07	0.52 ± 0.04
	0	1.82 ± 0.07	1.01 ± 0.04

\*1 ; DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用

\*2 ;  $\beta_{eff} = 0.00553$

尚,  $\beta_{eff}$ の値は, DCA使用値を用いた。

表 2.2 - 5 SUS制御棒のC定数

燃 料	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
0.54W/0PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	50.78	3.12

表 2.2 - 6 SUS制御棒のF定数

燃 料	コ ー ド	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> F <sub>3</sub>
0.54W/0PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	WIMS-ATR	9.978-1	9.287-1	9.267-1
	METHUSELAH-II	9.978-1	9.291-1	9.271-1

表 2.2-7 DCA実験データに基づくSUS制御棒反応度値の  
WIMS-ATRコードの計算精度

解析コード	反応度値 ( $\% \Delta K / K$ )		計算誤差 (%) (C/E-1) × 100
	実験値 (E)	計算値 (C)	
LAYMON-2A	1.01	0.953	-5.6
CITATION	1.01	1.160	14.9

表 2.2-8 SUS制御棒挿入周囲チャンネルのインポートランス

解析コード	SUS制御棒挿入 周囲4チャンネルの 平均インポートランス*	計算値/実験値
実験値	5.1505	1.0
LAYMON-2A 計算値	5.4167	1.052
CITATION 計算値	6.4117	1.245

\*  $\frac{\sum_{i=1}^4 P_i^2}{4}$  ;  $P_i$  : SUS制御棒挿入周囲  
4チャンネルの出力  
(但し、SUS制御棒全引技時)

表 2.2 - 9 DCA実験データに基づくSUS制御棒反応度値の  
各種解析手法の計算精度

解 析 手 法 (格子計算コード/反応度値計算コード)	反応度値 ( $\% \Delta K / K$ )		計算誤差 (%) (C/E-1) × 100
	実験値 (E)	計算値 (C)	
WIMS-ATR/LAYMON-2A	1.01	0.953	-5.6
WIMS-ATR/CITATION	1.01	1.160	14.9
METHUSELAH-II/LAYMON-2A	1.01	0.918	-9.1
METHUSELAH-II/CITATION	1.01	0.902	-10.7

表 2.2-10 制御棒反応度値のWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードの計算精度

解析コード	制御棒材質	プラント	炉 心	制御棒挿入パターン	ボイド率 (%)	実測値(E) (%ΔK/K)	計算値(C) (%ΔK/K)	計算誤差 (C/E-1)(%)	
WIMS-ATR/ LAYMON-2A	SUS	DCA	0.54wt%PuO <sub>2</sub> -1.2wt%UO <sub>2</sub> , 2領域炉心, 格子ピッチ25cm	中央 1 本	0	1.01	0.95	-5.9	
	B.C			1.2wt%UO <sub>2</sub> , 1領域炉心, 格子ピッチ22.5cm	5A1+1B5+5C1+1D5	0	3.599	3.541	-1.6
			30			3.450	3.714	7.7	
			70			3.967	4.036	1.7	
			100			5.174	4.414	-14.7	
	B.C		0.54wt%PuO <sub>2</sub> -1.2wt% UO <sub>2</sub> , 2領域炉心, 格子ピッ チ22.5cm	5A1+1B5+5C1+1D5	0	4.171	3.939	-5.6	
					100	5.490	4.621	-15.8	
	ふげん		零出力炉心*, クリーンコールド, ボロン濃度12ppm	Mロッド (Eロッドで補償)	0	0.453	0.473	4.4	
					Mロッド { C, B, A, G ロッドで補償 }	0	0.502	0.515	2.6
						1 Lロッド { Eロッドで 補償 }	0	0.381	0.407

\* 解析に使用したLAYMON-2Aコードの径方向境界定数は定格出力時(第1BOC)の実績値(0.443)を使用

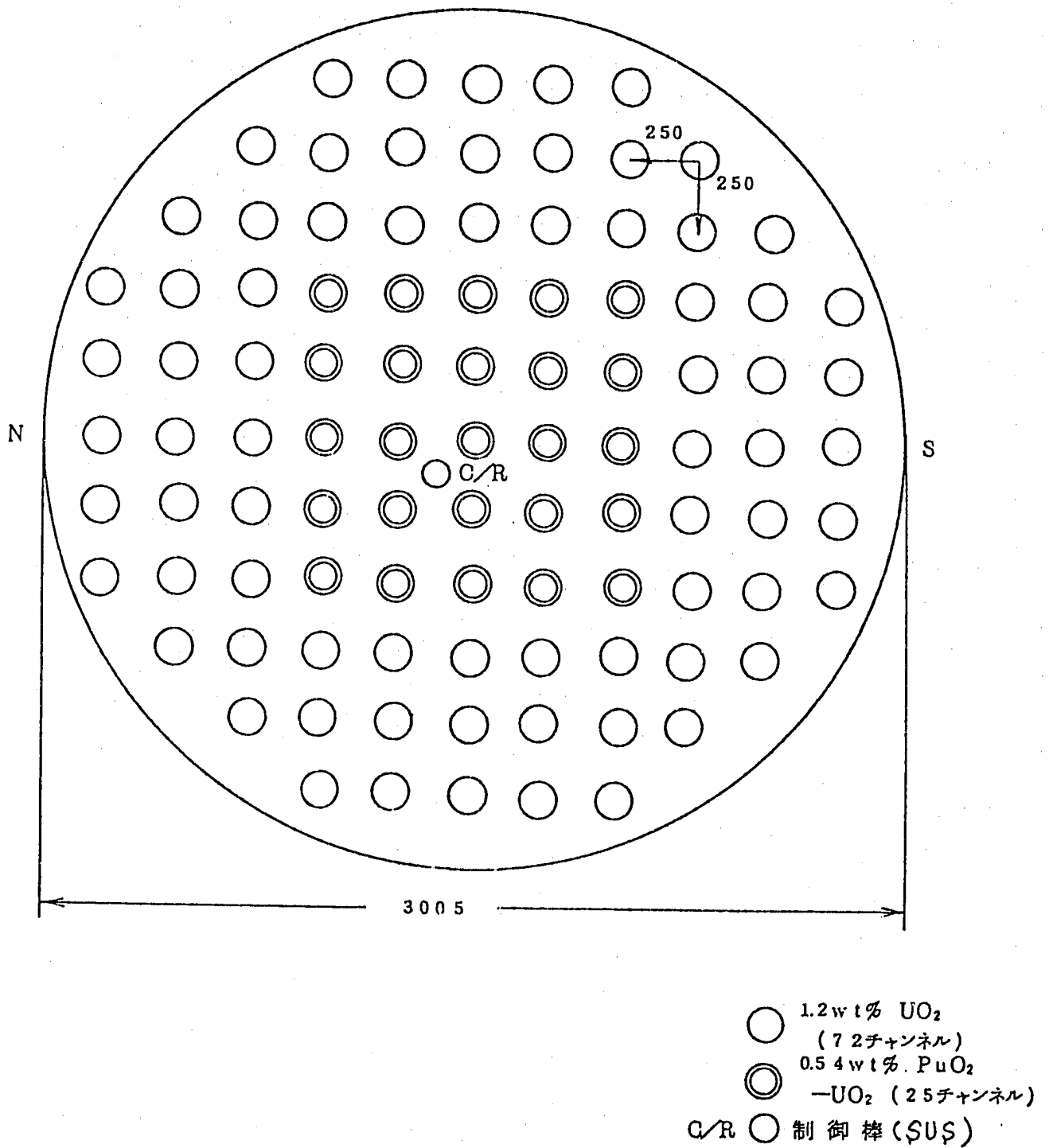


図 2.2 - 1 DCA実験炉心径方向断面図  
(DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用)



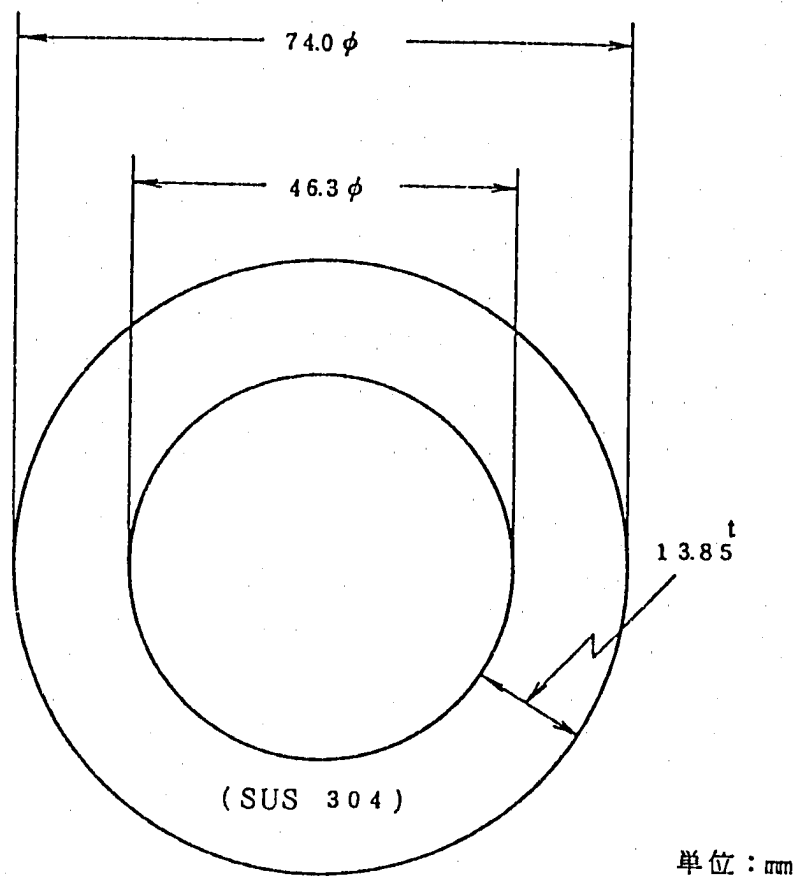


図 2. 2 - 2 SUS制御棒の形状

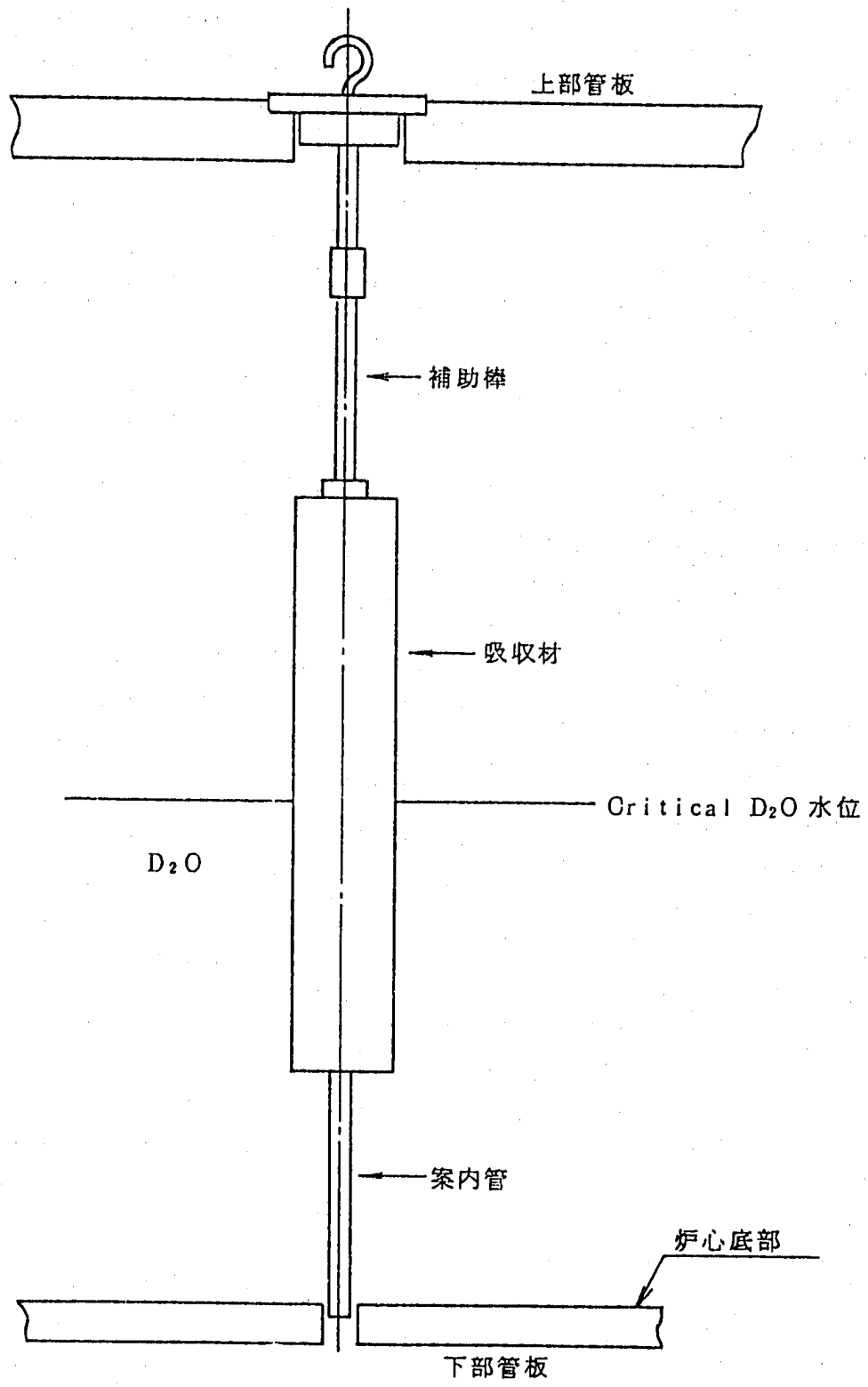


图 2.2 - 3 制御棒轴方向装荷概略图

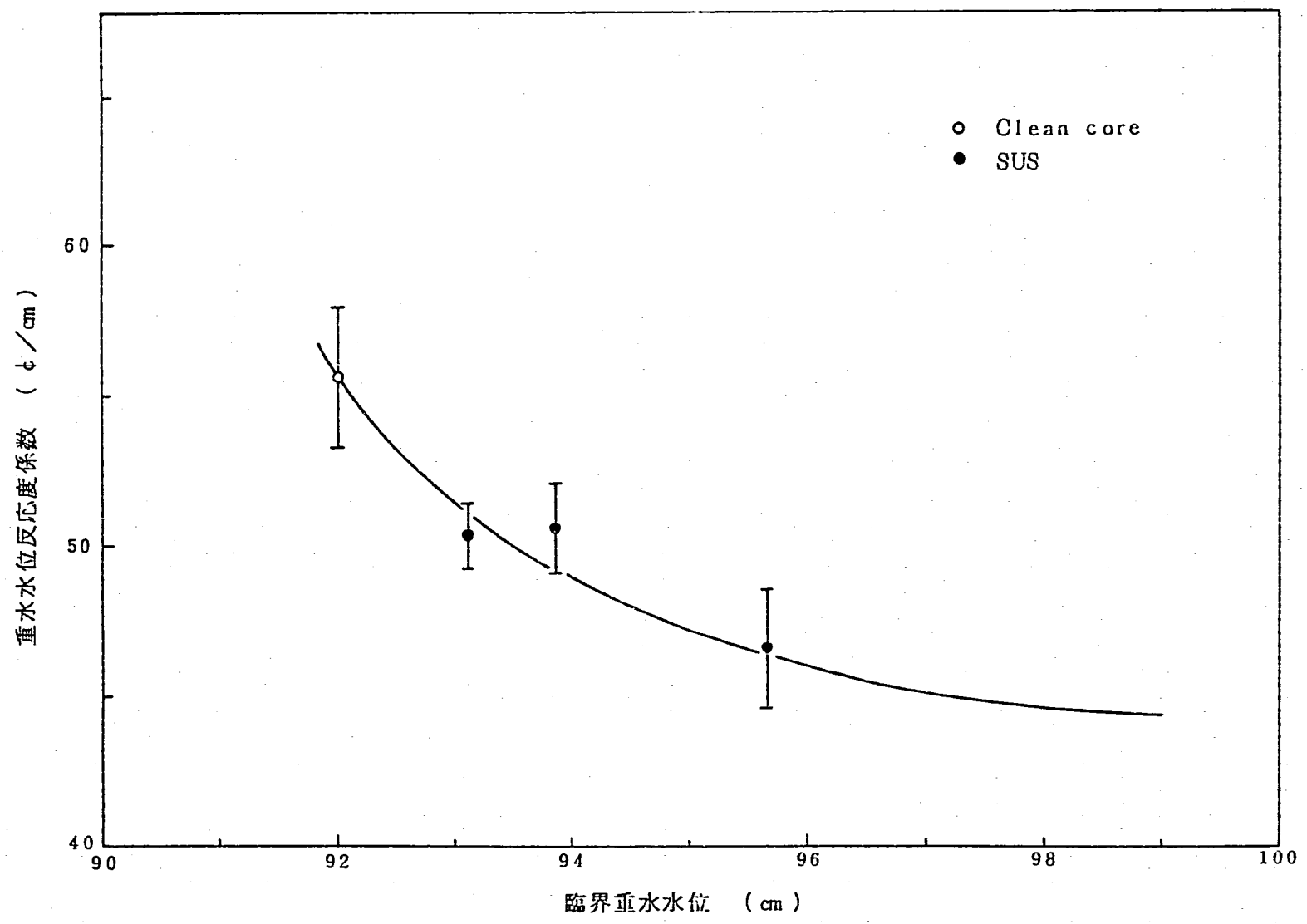


図 2.2 - 4 臨界重水水位と重水水位反応係数  
(DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用)

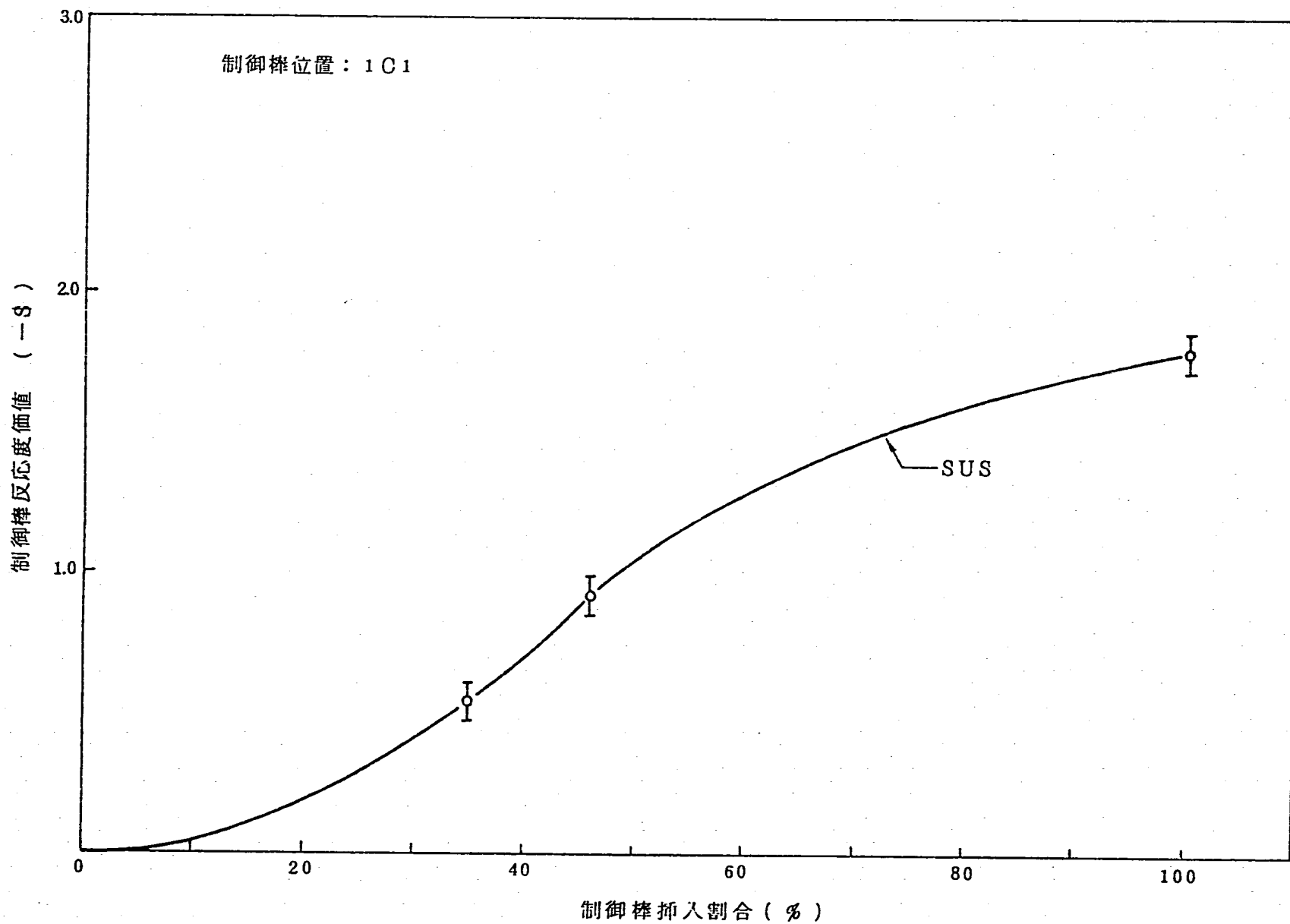


図 2.2 - 5 制御棒挿入割合と制御棒反応度  
(DCA実験レポート<sup>(13)</sup>より引用)

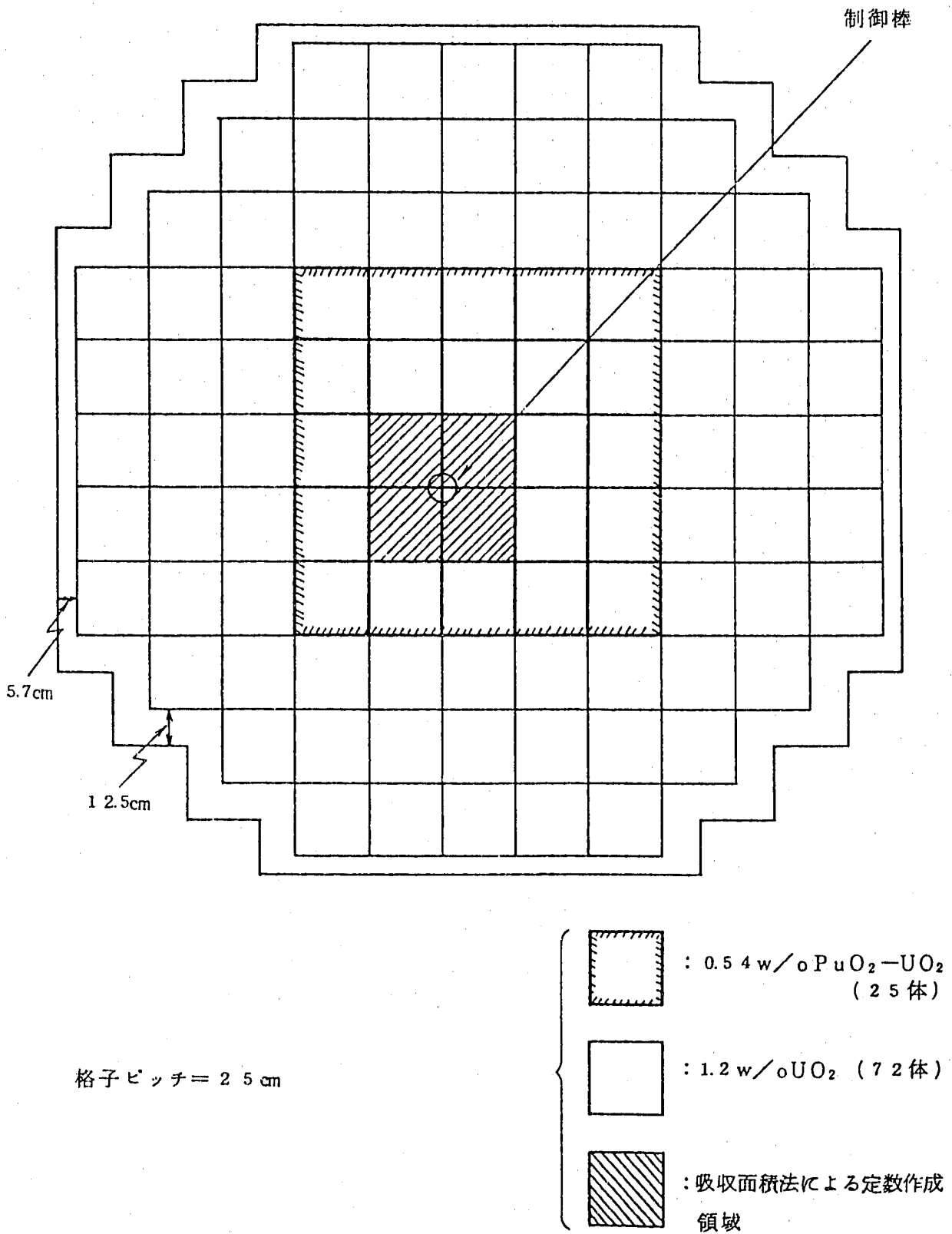


図 2.2 - 6 DCA SUS制御棒反応度値計算の解析モデル

### 3. 「ふげん」起動試験実績データに基づく重水中 ボロン反応度計算精度解析

WIMS-ATRコードにより核定数を作成し、これを用いて重水中ボロン反応度を解析し、解析結果と起動試験実測データを比較することにより、計算精度解析を行う。

#### 3.1 重水中ボロン反応度計算精度解析

WIMS-ATRコードにより核定数を作成し、これを用いてLAYMON-2Aコードで重水中反応度を解析し、解析結果と起動試験実測データを比較することにより、計算精度解析を実施する。

##### (1) 起動試験実測データ

重水中ボロン反応度計算精度解析に使用する起動試験実測データとして、昭和53年5月19日に測定された“ふげん”常温、0%ボイド炉心におけるボロン濃度調整時の臨界炉心データを<sup>(1)</sup>を使用する。以下に実測データ及び測定条件を示す。

##### (a) ボロン (<sup>10</sup>B) 濃度調整時の臨界炉心データ

ボロン反応度測定のベースとなる炉心として、表3.1-1に示す3つの炉心が試験時に形成された。形成手順は表3.1-1のNo.1の炉心を基準として、<sup>10</sup>Bを除去し、<sup>10</sup>B除去に伴う正の投入反応度を炉心中心部のMロッドを挿入することにより補償したものである。

また、図3.1-1には表3.1-1で示したボイズン除去塔通過重水流量と<sup>10</sup>B濃度との関係をグラフ化したもので、同図には昭和53年5月9日および11日に測定されたそれらの値も参考のため示した。

##### (b) ドライクリティカル時Mロッド校正データ

(a)のデータより、ボロン反応度を求めるためには、MロッドのS字反応度曲線が必要である。そのようなデータとして、昭和53年5月18日実施された全炉心ドライクリティカル炉心におけるMロッド校正データを表3.1-2に示す。又、同表には(P-T)テーブルを用い、炉周期Tより反応度 $\rho$ を求めた値も示す。

次に、各Mロッド引抜位置に対するこれらの値を内外挿することにより、全炉心ドライクリティカル時のMロッドS字曲線が求められる。結果を表3.1-2及び図3.1-2に示す。なお、このMロッドのS字曲線は<sup>10</sup>B濃度の補償により求めた値であるので、干渉効果のないMロッドのS字曲線に相当する。

##### (c) 測定データに基づくボロン反応度

(a)及び(b)で述べた臨界炉心はデータとMロッドS字曲線を使用して、ボロン反

応度の“測定値”は次のようにして求められている。

(i) 測定データの基づくボロン反応度

0%ボイド状態の全炉心に対して、他制御棒全引抜時のMロッド校正試験は行われていないので、以下の仮定を設け、ボロン反応度の測定値が求められている。

(イ) 0%ボイド炉心における干渉効果のない他制御棒全引抜時のMロッドS字曲線は図3.1-2で示したドライクリティカル時のMロッドS字曲線(干渉効果なし)と一致する。

(ロ) 0%ボイド炉心におけるMロッドワースの測定値と解析値(METHUSEL AH-II/CITATION)は良く一致しているので、干渉効果のないMロッドワースとして解析値  $0.449\% \Delta k$  を使用する。

以上(イ)(ロ)の仮定を基にして求めた表3.1-1に示した各炉心のMロッドの残存ワース3.1-3に示す。

次に、次式に基づきボロン反応度( $\% \Delta k / \text{ppm}$ )を計算した時の結果を表3.1-4に示す。

この結果、重水温度変化も含んだボロン反応度の測定値は $0.84\% \Delta k / \text{ppm}$ となる。

$$\text{ボロン反応度} = \frac{\text{Mロッドのワース変化} (\% \Delta k)}{\text{ボロン} (^{10}\text{B}) \text{濃度変化} (\text{ppm})}$$

(ii) 重水温度補正後のボロン反応度測定値

表3.1-1からわかるように、使用データは重水減速材の温度が異なっているため表3.1-4に示したボロン反応度は減速温度反応度を含んでいると考えられる。そこで、減速材温度反応度係数の計算値を用いて、ボロン反応度を補正することによって、ボロン反応度測定値が求められている。

温度補正量は、次式によって計算される。

$$\Delta^T \left( \frac{\partial k}{\partial c} \right) = \left( \frac{\partial k}{\partial T} \right) \cdot \frac{T_1 - T_2}{C_1 - C_2}$$

ここで

$$\Delta^T \left( \frac{\partial k}{\partial c} \right) : \text{反応度に対する温度補正量} (\% \Delta k / \text{ppm B}^{10})$$

$$\left( \frac{\partial k}{\partial c} \right) : \text{減速材温度係数} (\% \Delta k / ^\circ\text{C})$$

$T_1, T_2$  : ポイズン除去前及び除去後の減速材温度 (°C)  
 $C_1, C_2$  : " 重水中の  $B^{10}$  濃度 (ppm)

表 3.1-5 に、表 3.1-1 に示したデータに基づいて計算されたボロン反応度の温度補正後の“測定値”を示す。したがって、解析値との比較は温度補正後の測定値で実施する。

(2) 計算精度解析

(1)で示した測定時の炉心状態を用い、Mロッドが全引抜と全挿入の場合について実行増倍係数を計算し、重水中ボロン反応度を算出し、測定値と比較することによって WIMS-ATR/LAYMON-2A コードによる重水中ボロン反応度の計算精度を評価する。

(a) 解析条件

- (i) 燃焼度 0,  $X_e, S_m = 0$  のクリーン炉心  
 (燃料は A779)
- (ii) 減速材温度 (カランドリア管, 炉内構造物を含む)  
 ..... 16.5°C
- (iii) 冷却材温度 (燃料, 圧力管含む)  
 ..... 20.0°C
- (iv) 重水中ボロン ( $B^{10}$ ) 濃度: 各温度での計測値の平均値  
 ..... 12.86, 12.615, 12.34 ppm
- (v) 制御棒 (Mロッド) パターン: 各ボロン濃度に対して Mロッド全挿入及び全引抜の 2 ケースの解析を実施
- (vi) 使用解析コード: 核定数作成 ..... WIMS-ATR  
 炉心計算 ..... LAYMON-2A

(b) 解析結果

(a)の条件に基づいて、WIMS-ATR/LAYMON-2A コードで解析した重水中ボロン濃度変化時の実行増倍率と重水中ボロン反応度を表 3.1-6 に示す。

表 3.1-6 より、今測定しているボロン濃度範囲では  $B^{10}$  1 ppm 当りのボロン反応度は計算値の平均で約 0.92%  $\Delta k / \text{ppm}$  である。又、Mロッド全引抜時と全挿入時のボロン反応度の差は最大でも 0.007%  $\Delta k / \text{ppm}$  と小さい。

表 3.1-6 の結果を整理して測定値と比較し、計算精度を評価した結果を表 3.1-7 に示す。ここで、重水中ボロン反応度の解析値は、表 3.1-6 の結果に基づいて Mロッド全挿入時と全引抜時の結果を平均したものを使用した。

表 3.1-7 より、「ふげん」起動試験データに基づく重水中ボロン反応度の WIMS



S-ATR/LAYMON-2Aコードの計算誤差は、相対誤差 $((C/E-1) \times 100(\%))$ で $-7.6\% \sim +7.9\%$ の範囲にあり、設計誤差である $\pm 10\%$ 以内である。

次に、従来設計手法であるMETHUSELAH-II/CITATIONコードによる計算精度と比較してみる。表3.1-8に、METHUSELAH-II/CITATIONコードによる重水中ポロン反応度の計算値と計算精度を示す。計算誤差は、相対誤差で $-6.2 \sim 12.1\%$ の範囲にあり、現設計手法であるWIMS-ATR/LAYMON-2Aコードの $-7.6 \sim +7.9\%$ と比べ同程度もしくは若干悪い程度である。

表 3.1 - 1 ボロン反応度測定試験における臨界時データ (S. 53. 5. 19)

(全炉心, 0% ボイド)

No	臨 界 時 刻	ポイズン除去塔 通過重水量( $m^3$ ) (FQ32-10 読み)	B <sup>10</sup> 濃度 (ppm) (同位体希釈法)	減速材 温度(°C)	冷却材 温度(°C)	Mロッド位置 (%)**	
						(+305)	(プロコン)
1	19 : 20	78.00	12.84 ± 0.03 12.88 ± 0.03	18.0	20.0	72.0	70.8
2	20 : 20	80.92	12.64 ± 0.03 12.59 ± 0.03	16.5	20.0	39.5	38.2
3	23 : 13	83.01	12.41 ± 0.03 12.27 ± 0.03	16.7	20.0	14.0	13.9

\* 土は2σ, \*\* 他制御棒は全引抜 (100%)

表 3.1 - 2 全炉心常温 100%ボイド時 M-rod積分反応度実測値(S.53.5.18) (FLC数え落し補正值)

M-rod 位置 (%)		投入反応度 (ベリオド法) (%dk)	Iteration No. 1				Iteration No. 2			Iteration No. 3			炉周期(スケラ) sec	
(プロコン値)			積分反応度	反応度***	積分反応度		反応度***	積分反応度		反応度***	積分反応度		FLC 数え落し	
引抜前	引抜後		初期規格値*	内挿値(%dk)	絶対値(%dk)	規格値	内挿値(%dk)	絶対値(%dk)	規格値	内挿値(%dk)	絶対値(%dk)	規格値	補正前	補正後
0			0		0	0			0		0		-	-
3.3	24.9	0.0825	0.002 0.174	0.0010	0.0010	0.002 0.177	0.0009	0.0009	0.002 0.175	0.0010	0.0010	0.002	51.8 **** (0.0822)	51.6 **** (0.0824)
20.9	29.8	0.0729	0.124 0.258	0.0585	0.0595	0.120 0.267	0.0556	0.0565	0.115 0.265	0.0539	0.0549	0.112	64.9 (0.0704)	61.8 (0.0728)
27.7	34.3	0.0659	0.220 0.358	0.0522	0.1117	0.226 0.357	0.0526	0.1091	0.223 0.356	0.0532	0.1081	0.221	75.0 (0.0634)	71.2 (0.0659)
32.7	39.3	0.0679	0.320 0.479	0.0478	0.1595	0.323 0.467	0.0488	0.1579	0.322 0.460	0.0491	0.1572	0.321	70.6 (0.0663)	68.3 (0.0679)
37.7	44.8	0.0767	0.442 0.597	0.0521	0.2116	0.428 0.586	0.0495	0.2074	0.423 0.583	0.0497	0.2069	0.423	60.8 (0.0737)	57.5 (0.0766)
42.3	49.5	0.0711	0.547 0.684	0.0520	0.2636	0.533 0.673	0.0510	0.2584	0.527 0.672	0.0499	0.2568	0.525	68.1 (0.0680)	64.0 (0.0711)
47.5	54.9	0.0618	0.649 0.776	0.0529	0.3165	0.640 0.769	0.0543	0.3127	0.638 0.765	0.0544	0.3112	0.636	83.4 (0.0587)	77.8 (0.0618)
53.2	61.4	0.0635	0.748 0.871	0.0482	0.3647	0.738 0.865	0.0469	0.3596	0.734 0.862	0.0467	0.3579	0.732	77.8 (0.0618)	74.9 (0.0635)
58.9	68.0	0.0505	0.838 0.942	0.0465	0.4112	0.832 0.933	0.0470	0.4066	0.830 0.933	0.0476	0.4055	0.829	109.7 (0.0473)	101.7 (0.0505)
66.4	100 (82.2)	0.0404	0.926 1.0	0.0472	0.4539	0.918 1.0	0.0430	0.4496	0.918 1.0	0.0431	0.4486	0.917	150.2 (0.0370)	134.9 (0.0404)

\* CITATION-RZ計算によるM-rod S字曲線(E=0, Cold, B<sup>10</sup>=14ppm, V=0, 防騒収有り: ZJ302 78-20 P2-18) 使用  
 \*\* ρより%dkに変換した値  
 \*\*\* ベリオド法による測定では、制御棒を引き抜いた後、少し挿入してから次のステップに移っているため、あるステップでの引抜前の位置から次のステップの引抜前の位置までの制御棒位置変化による投入反応度を、適当なS字カーブを仮定して内挿により求めた。  
 \*\*\*\* スケラの値を問いて炉周期Tを求め、ρ-Tテーブルにより反応度ρに換算したもの。(FLCの不感時間による数え落し補正済)

表 3.1 - 3 ボロン反応度測定時の各炉心におけるMロッド残存ワース

No	臨 界 時 デ ー タ				Mロッドワース	
	B <sup>10</sup> 濃度 <sup>*</sup> (ppm)	減速材温度 (℃)	冷却材温度 (℃)	Mロッド位置 <sup>**</sup> (%)	規格値 <sup>***</sup>	ワース <sup>****</sup> (%Δk)
(1)	12.88	18.0	20.0	70.8	0.954	0.021
(2)	12.59	16.5	20.0	38.2	0.435	0.254
(3)	12.39	16.7	20.0	13.9	0.037	0.432

\* 図 3.1 - 1 実線の読み (B<sup>10</sup>濃度とポイズン除去塔通過重水量の関係を最小2乗法によって  $y = a e^{bx}$  という形の実験式にフィッティングさせた。)

\*\* プロコン値

\*\*\* 図 3.1 - 2 のMロッドS字カーブ使用

\*\*\*\*  $(0.449\% \Delta k) \times (\text{規格値})$

表 3.1-4 ボロン反応度測定値 (重水温度変化を含む)

使用データ	B <sup>10</sup> 濃度 (ppm)		M ロッド挿入 反応度 (%Δk)	ポイズン反応度 (%Δk/ppm B <sup>10</sup> )
	除去前→除去後	変化量		
(1)-(2)	12.88 → 12.59	0.29	0.233	0.803
(2)-(3)	12.59 → 12.39	0.20	0.178	0.890
(1)-(3)	12.88 → 12.39	0.49	0.411	0.839

表 3.1 - 5 温度補正後のボロン反応度測定値

使用データ	補正前のボロン 反応度 (%dk/ppmB <sup>10</sup> )	温度補正後のボロン反応度	
		温度補正量(%dk/ppmB <sup>10</sup> )の計算*	反応度(%dk/ppmB <sup>10</sup> )
(1)-(2)	0.803	$0.04 \times \frac{18.0 - 16.5}{12.88 - 12.59} = 0.207$	1.010
(2)-(3)	0.890	$0.04 \times \frac{16.5 - 16.7}{12.59 - 12.39} = -0.040$	0.850
(1)-(3)	0.839	$0.04 \times \frac{18.0 - 16.7}{12.88 - 12.39} = 0.106$	0.945

\* 減速材温度係数として  
用いた。

計算値  $4 \times 10^{-4}$  dk/℃を

表3.1-6 WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによる重水中ボロン濃度変化時の  
実効増倍率と重水中ボロン反応度の計算値

ケース No.	解 析 条 件					実効増倍率 計 算 値	重水中ボロン反応度計算値			
	ボロ ン ( $^{10}\text{B}$ ) 濃度 (ppm)	T M ( $^{\circ}\text{C}$ )	T C ( $^{\circ}\text{C}$ )	ボイド (%)	制御棒位置		制御棒全本全引抜		M-Rodのみ全挿入	
							% $\Delta$ K	% $\Delta$ K /ppm $^{10}\text{B}$	% $\Delta$ K	% $\Delta$ K /ppm $^{10}\text{B}$
①	12.34	16.5	20.0	0	全本全引抜	1.00944	0.0	-0.92 $^{\cdot 1}$		
②	12.615	16.5	20.0	0	全本全引抜	1.00691	-0.253	-0.935 $^{\cdot 2}$		
③	12.86	16.5	20.0	0	全本全引抜	1.00462	-0.482	-0.927 $^{\cdot 3}$		
④	12.34	16.5	20.0	0	M-rod ** 全挿入	1.00407			0.0	-0.913 $^{\cdot 1}$
⑤	12.615	16.5	20.0	0	M-rod ** 全挿入	1.00156			-0.251	-0.931 $^{\cdot 2}$
⑥	12.86	16.5	20.0	0	M-rod ** 全挿入	0.99928			-0.479	-0.921 $^{\cdot 3}$

\* 1 ②-①より算出, \* 2 ③-②より算出, \* 3 ③-①より算出

\*\* 他制御棒、全本全引抜き

表 3.1-7 「ふげん」 起動試験実績データに基づく重水中ボロン反応度の  
WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードの計算精度

ケース No	測 定 値 (E)				解 析 値 (C)			計 算 誤 差				
	条 件 (臨界時データ)				重水中ボロン反応度 (%ΔK/ppm)		解 析 条 件			重水中ボロン 反 応 度	C-E	(C/E-1)×100
	<sup>10</sup> B濃度 (ppm)	減速材温度 (°C)	冷却材温度 (°C)	Mロッド位置 (°C)	重水温度 補正前	重水温度 補正後	<sup>10</sup> B濃度 (ppm)	減速材温度 (°C)	冷却材温度 (°C)	(%ΔK/ppm)	(%ΔK/ppm)	(%)
1	12.88	18.0	20.0	70.8	0.803	1.010	12.86	16.5	20.0	0.933	-0.077	-7.6
	↓	↓		↓			↓					
2	12.59	16.5	20.0	38.2	0.890	0.850	12.615	16.5	20.0	0.917	0.067	+7.9
	↓	↓		↓			↓					
3	12.88	18.0	20.0	70.8	0.839	0.945	12.86	16.5	20.0	0.924	-0.021	-2.2
	↓	↓		↓			↓					



表 3. i - 8 「ふげん」 起動試験実績データに基づく垂水中ボロン反応度の  
METHUSELAH-II/CITATIONコードの計算精度

ケース No.	測 定 値 (E)						解 析 値 (C)			計 算 誤 差		
	条 件 (臨界時データ)				重水中ボロン反応度 (%ΔK/ppm)		解 析 条 件			重水中ボロン 反 応 度	C-E	(C/E-1)×100
	<sup>10</sup> B濃度 (ppm)	減速材温度 (°C)	冷却材温度 (°C)	Mロッド位置 (°C)	重水温度 補正前	重水温度 補正後	<sup>10</sup> B濃度 (ppm)	減速材温度 (°C)	冷却材温度 (°C)	(%ΔK/ppm)	(%ΔK/ppm)	(%)
1	12.88	18.0	20.0	70.8	0.803	1.010	12.86	16.5	20.0	0.947	-0.063	-6.2
	↓	↓		↓			↓					
2	12.59	16.5	20.0	38.2	0.890	0.850	12.615	16.5	20.0	0.953	0.103	+12.1
	↓	↓		↓			↓					
3	12.88	18.0	20.0	70.8	0.839	0.945	12.86	16.5	20.0	0.950	0.005	+0.5
	↓	↓		↓			↓					

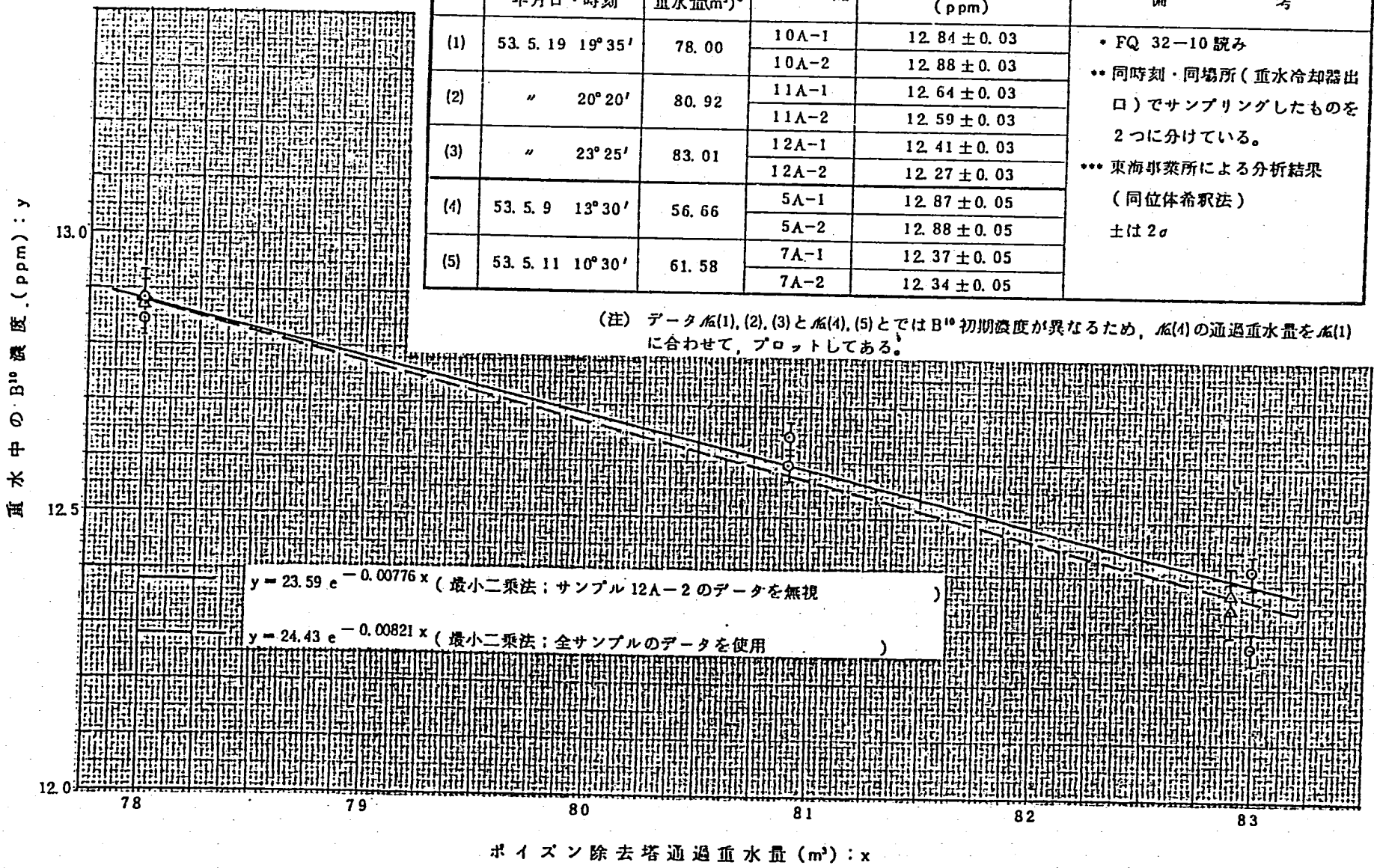


図 3. 1 - 1 液体ポイズン反応度測定試験時におけるポイズン除去塔通過垂水量と垂水中の B¹⁰濃度の関係

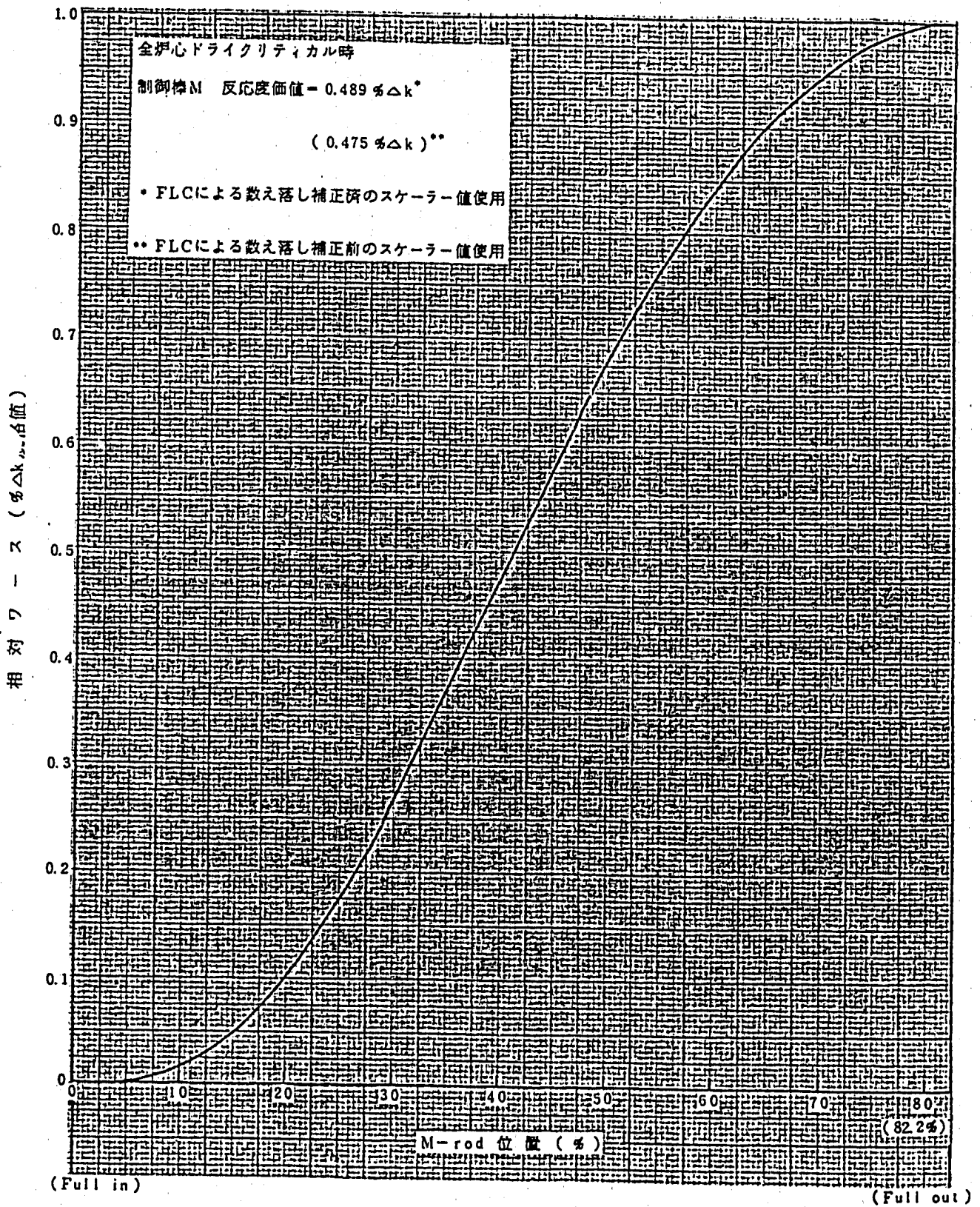


図 3.1 - 2 ペリオド法による測定値から求めた全炉心ドライクリティカル時M-rod S字曲線

## 4. 「ふげん」運転実績データに基づく キセノン反応度計算精度解析

「ふげん」出力変更時の炉心反応度変化（出力係数反応度，制御棒反応度，および減速材温度反応度の合計）を基に出力変更に伴うキセノン濃度の変化によるキセノン反応度の実績値を推定し，WIMS-ATRコードにより解析したキセノン反応度の計算値と比較することによって計算精度を解析する。

### 4.1 出力変更時のキセノン反応度の推定

「ふげん」出力変更時の炉心反応度変化（出力係数反応度，制御棒反応度および減速材反応度の合計）を基に，出力変更に伴うキセノン濃度の変化によるキセノン反応度を推定する。

#### (1) 運転実測データ

運転実測データとして，ふげん発電所のS.54.5.30のMSIV試験のため出力降下時データとS.54.6.23の通常停止時のデータを使用する。<sup>(10)</sup>

以下に両データを示す。

#### (a) MSIV試験のための出力降下時データ

S.54.5.30にMSIV試験のために熱出力50%まで出力を降下させた時のTPMの変化の実測データを図4.1-1に示す。また，制御棒位置の記録を表4.1-1に，重水中<sup>10</sup>B濃度の変化を図4.1-2及び表4.1-2に示す。

#### (b) 通常停止時データ

S.54.6.23に行われた通常停止時のTPMの変化の実測データ及び制御棒位置変化の実測データを図4.1-3に示す。

#### (2) キセノン反応度の推定

(1)の運転実測データを利用してキセノン反応度を推定する。

キセノン反応度を推定するためには，炉心出力シミュレーションコードに出力変化の実績値等を入力し，各時刻での出力係数（ボイド及びドップラ）の反応度，減速材温度反応度，制御棒反応度の変化を算出し，これらの反応度変化の合計を帳消しとするような反応度を求めればよい。ここで，出力係数，減速材温度係数は実績値，制御棒反応度は±10%の精度を有する計算値を使用する。使用した反応度関連データを表4.1-3に，キセノン関連データを表4.1-4に示す。表4.1-3中，出力係数は表4.1-5に示す第1サイクル約2.5GWd/tの実績値を，減速材温度係数は表4.1-6に示す第1サイクル

約 3 Gwd/t の実測値を使用した。また、制御棒反応度は図 4.1-4 に示す LAYMON で計算した E ロッド 4 本の反応度曲線を使用した。

次に、キセノン反応度推定に使用した炉心出力シミュレーションコードはキセノン 1 点近似動特性モデルに基づく“ふげん”起動・停止シミュレーションコード ATROSTAR<sup>(11)</sup>コードを使用した。ATROSTARコードに入力した出力軌跡を図 4.1-5 及び図 4.1-6 に示す。ここで、図 4.1-5 は S.54.5.30 の MSIV 試験時、図 4.1-6 は S.54.6.23 の通常停止時の出力軌跡の入力モデルを示す。

ATROSTARコードによって算出したキセノン反応度の推定値を図 4.1-7、図 4.1-8、表 4.1-7 及び表 4.1-8 に示す。ここで、図 4.1-7、表 4.1-7 は MSIV 試験時出力降下時の推定値を、図 4.1-8、表 4.1-8 は通常停止時出力降下時の推定値を示す。また、この場合のキセノン濃度の変化を MSIV 試験時の場合を図 4.1-9 に、通常停止時の場合を図 4.1-10 に示す。

MSIV 試験時のキセノン反応度推定値は図 4.1-7 に示すごとく  $18^{\circ}00'$  に  $-0.57\% \Delta k$  と最大の反応度を示す。これは、図 4.1-9 に示すごとくキセノン濃度が最大値を示すためである。同様に通常停止時の場合は図 4.1-8 に示すごとく約  $8^{\circ}00'$  に  $-0.62\% \Delta k$  と最大の反応度を示す。これは、図 4.1-10 に示すごとくキセノン濃度が最大の値を示すためである。

#### 4.2 WIMS-ATRコードに基づくキセノン反応度計算精度評価

WIMS-ATRコードにより作成された核定数<sup>(12)</sup>を使用して、キセノン反応度（キセノン濃度；ゼロ→定格飽和に対応した反応度）を解析する。解析したキセノン反応度よりキセノン濃度変化によるキセノン反応度を算出し、4.1節で算出したキセノン反応度推定値と比較することによって計算精度を評価する。

##### (1) 定格飽和時のキセノン反応度の解析

5月30日及び6月30日に対応する炉心条件で解析したWIMS-ATRコード/LAYMON-2Aコードによる定格飽和時のキセノン反応度の計算値を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 より、MSIV 試験を実施した 5月30日のキセノン反応度は  $2.785\% \Delta k$ 、通常停止を実施した 6月30日のキセノン反応度は  $2.772\% \Delta k$  である。

##### (2) キセノン反応度の計算精度

4.1節で算出した出力変更に伴うキセノン濃度の変化と 4.2節(1)で計算した定格飽和時のキセノン反応度より、出力変更時のキセノン反応度を次式により計算し、4.1節で算出したキセノン反応度推定値と比較しキセノン反応度の計算精度を評価する。

出力変更時のキセノン反応度の計算式は次の通りである。

$$\left( \frac{\Delta K}{K} \right)_{Xe} = \left( \frac{N_{Xe}}{N_{Xe0}} \right) \times \left( \frac{\Delta K}{K} \right)_{Xe0} \quad (1)$$

ここで

$\left( \frac{\Delta K}{K} \right)_{Xe}$  : 出力変更時のキセノン反応度

$\left( \frac{\Delta K}{K} \right)_{Xe0}$  : 定格飽和時のキセノン反応度

$N_{Xe}$  : 出力変更時のキセノン濃度

$N_{Xe0}$  : 定格飽和時のキセノン濃度

である。

(1)式より算出したキセノン反応度と推定値を比較した結果を表4.2-2, 図4.2-1, 及び図4.2-2に示す。ここで, 図4.2-1はMSIV試験時出力降下時の比較結果, 図4.2-2は通常停止時出力降下時の比較結果である。

図4.2-1, 図4.2-2より, キセノン反応度の計算値は推定値と比べ最大値を示す時間が~1時間程度遅くなり, 値も若干大きな値を示すが全体的によく一致していると云える。

WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードに基づくキセノン反応度の計算誤差は表4.2-2に示す。表4.2-2より推定値算出時に使用した制御棒反応度の計算誤差±10%を考慮してもキセノン反応度の計算誤差は-12.0%~+14.7%の範囲にあり, 設計に使用している±20%を越えることはないと考えられる。

表 4.1 - 1 (1) 制御棒位置の記録 (実績データ)

月日	時刻	熱出力		L ロッド					E ロッド					C ロッド					NLHGR (kW/ft)
		MW	%	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	
5/30	11°00'	553.4	99.4	14.7	15.0	14.9	14.9	15.0	25.3	24.4	25.2	24.7	24.9	769	77.2	76.1	77.3	76.9	121.4
	12°00'	477.4	85.7						14.6	26.4	25.0	26.5	23.1						10.59
	13°00'	409.1	73.4						23.1	26.4	25.0	26.5	25.3						8.91
	13°30'	362.5	65.1						27.8	27.4	26.5	27.0	27.2						7.89
	14°00'	341.0	61.2						29.3	28.0	27.6	28.2	28.3						7.43
	14°20'	305.6	54.9						30.2	29.6	29.7	29.1	29.7						6.65
	15°00'	268.4	48.2						32.5	33.3	31.3	31.2	32.1						5.85
	16°00'	267.4	48.0						37.2	37.5	34.4	37.2	36.6						6.16
	17°00'	265.7	47.7						39.2	40.2	36.7	40.0	39.0						6.33
	18°00'	268.3	48.2						39.8	41.1	37.8	40.9	39.9						6.47
	19°00'	268.7	48.2						39.4	40.8	37.8	40.9	39.7						6.51
	20°00'	267.4	48.0						38.3	39.8	37.8	39.8	38.7						6.42
	21°00'	269.0	48.3						36.9	38.4	35.7	38.1	37.3						6.37
	22°00'	269.1	48.3						35.3	36.8	34.0	36.4	35.6						6.27
23°00'	266.5	47.8						33.3	34.7	32.3	34.2	33.6						6.05	
5/31	0°00'	269.3	48.3						31.8	32.6	30.5	32.1	31.8						6.07
	1°00'	271.5	48.7						29.5	30.2	28.2	29.3	29.3						6.02
	2°00'	270.6	48.6						27.3	27.5	25.9	26.8	26.9						6.92
	3°00'	271.5	48.7						25.7	25.8	23.8	24.7	25.0						5.89
	4°00'	272.9	49.0						25.4	25.6	23.5	24.3	24.7						5.87
	5°00'	270.7	48.6						25.4	25.5	23.2	23.8	24.5						5.89
	6°00'	269.8	48.4						25.8	25.4	23.3	23.4	24.5						5.91
	7°00'	270.7	48.6						25.4	25.6	23.3	23.6	24.5						5.94
	8°00'	301.3	54.1						25.2	25.0	25.0	25.0	25.1						6.58
	9°00'	334.3	60.0						25.2	25.0	23.4	25.0	24.7						7.27
	10°00'	357.2	64.1						24.7	22.5	22.1	24.7	23.5						7.84
	11°00'	387.8	69.6						22.8	22.5	22.0	23.5	22.5						8.49
	12°00'	421.4	75.7						22.5	22.5	22.0	22.6	22.4						9.19
	13°00'	446.3	80.1						23.0	23.5	23.2	23.3	23.3						9.79
	14°00'	474.9	85.3						25.0	24.4	24.0	24.9	24.6						10.44
	15°00'	476.5	85.5						26.5	26.8	22.8	24.3	25.1						10.45
	16°00'	477.0	85.6						25.7	25.7	25.0	25.0	25.4	↓	↓	↓	↓	↓	10.43
17°00'	475.1	85.3												78.5	78.8	77.6	78.8	78.4	10.41
18°00'	478.4	85.9												79.8	80.1	78.8	80.1	79.7	10.49
19°00'	480.5	86.3												80.4	80.7	79.3	80.6	80.3	10.54

表 4.1 - 1 (2) 制御棒位置の記録 (実績データ)

月日	時刻	熱出力		L ロッド					E ロッド					C ロッド					MLHGR (kW/ft)		
		MW	%	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均			
5/31	20°00'	484.3	86.9	14.7	15.0	14.9	14.9	15.0								81.2	81.5	80.1	81.4	81.1	10.59
	21°00'	482.1	86.6													81.8	82.1	80.6	82.0	81.6	10.54
	22°00'	486.9	87.4						25.6	25.3	25.5	25.5	25.5		100	100	100	100	100	10.65	
	23°00'	487.4	87.5												80.1	80.6	78.9	80.4	80.0	10.73	
6/1	0°00'	488.2	87.6												78.4	78.9	77.3	78.8	78.4	10.76	
	1°00'	493.2	88.5												78.0	78.5	76.8	78.3	77.9	10.86	
	2°00'	494.3	88.7												77.4	78.0	76.3	77.8	77.4	10.88	
	3°00'	498.4	89.5												77.3	77.8	76.1	77.7	77.2	10.98	
	4°00'	499.5	89.7												76.3	76.9	75.1	76.7	76.3	11.04	
	5	502.0													75.7	76.3	74.5	76.1	75.7	11.09	
	6	502.8													74.7	75.2	73.4	75.0	74.6	11.11	
	7	506.5													74.2	74.8	72.9	74.5	74.1	11.19	
	8	510.0													73.7	74.3	72.4	74.0	73.6	11.28	
	9	510.7													72.7	73.3	71.5	73.1	72.7	11.31	
	10	512.4													72.3	72.9	71.1	72.7	72.3	11.37	
	11	515.2													71.6	72.2	70.4	72.0	71.6	11.45	
12	517.5													71.4	72.0	70.2	71.8	71.4	11.49		



表 4.1 - 2 (1) ポイズン除去記録 (1/2)

月日, 時刻	ポイズン除去塔通過重水量 (m <sup>3</sup> )		$e^{-\frac{1}{120}x}$	炉心 B <sup>10</sup> 濃度 (ppm)	備 考
	読 み	差 : x			
S54 5/31 16 <sup>00</sup> '	341.80	0	1.0	3.27	
17	341.96	0.04	0.9997	"	
18	342.50	0.7	0.9942	3.25	
19	343.05	1.3	0.9896	3.24	
20	343.70	1.9	0.9843	3.22	
21	344.95	3.2	0.9741	3.19	
22	345.50	3.7	0.9696	3.17	
23	346.97	5.2	0.9578	3.13	
6/1 0 <sup>00</sup> '	348.67	6.9	0.9444	3.09	
1	350.34	8.5	0.9313	3.05	
2	352.02	10.2	0.9184	3.00	
3	353.82	12.0	0.9047	2.96	
4	355.71	13.9	0.8906	2.91	
5	357.59	15.8	0.8767	2.87	
6	359.39	17.6	0.8637	2.82	
7	361.07	19.3	0.8517	2.79	
8	362.78	21.0	0.8396	2.75	
9	364.43	22.6	0.8281	2.71	
10	365.82	24.0	0.8186	2.68	
11	367.40	25.6	0.8079	2.64	
12	369.16	27.4	0.7961	2.60	
13	370.48	28.7	0.7874	2.57	
14	373.91	32.1	0.7652	2.50	
15	377.35	35.6	0.7436	2.43	
16	380.85	39.1	0.7222	2.36	
17	381.64	39.8	0.7175	2.35	
18	381.98	40.2	0.7155	2.34	
19	382.13	40.3	0.7146	"	
20	383.95	42.2	0.7038	2.30	
21	385.46	43.7	0.6950	2.27	
22	387.73	45.9	0.6820	2.23	
23	389.98	48.2	0.6693	2.19	
6/2 0	392.38	50.6	0.6561	2.15	

表 4.1 - 2(1) ポイズン除去記録 (2/2)

月日, 時刻	ポイズン除去塔通過重水量 (m <sup>3</sup> )		$e^{-\frac{1}{170}x}$	炉心B <sup>10</sup> 濃度 (ppm)	備 考
	統 み	差; x			
6/2 1 <sup>00</sup> '	393.85	52.1	0.6481	212	
2	395.49	53.7	0.6393	209	
3	396.94	55.1	0.6818	207	
4	398.05	56.3	0.6258	205	
5	398.92	57.1	0.6213	203	
6	399.42	57.6	0.6187	202	
7	399.92	58.1	0.6161	201	
8	400.44	58.6	0.6134	"	
9	401.06	59.3	0.6103	200	
0	401.74	59.9	0.6068	198	
11	402.43	60.6	0.6034	197	
12	403.13	61.3	0.5999	196	
13	403.81	62.0	0.5965	195	
14	404.49	62.7	0.5931	194	
15	405.38	63.6	0.5887	193	
16	406.22	64.4	0.5846	191	
17	407.07	65.3	0.5805	190	
18	407.68	65.9	0.5775	189	
19	408.15	66.4	0.5753	188	
20	408.61	66.8	0.5731	187	
21	409.07	67.3	0.5709	"	
22	409.59	67.8	0.5684	186	
23	409.97	68.2	0.5665	185	
6/3 0 <sup>00</sup> '	410.54	68.7	0.5639	184	
1	410.82	69.0	0.5626	"	
2	411.16	69.4	0.5610	183	
3	411.47	69.7	0.5596	"	
4	411.68	69.9	0.5586	"	
5	411.75	70.0	0.5583	"	
6	411.78	∫	∫	∫	
7	411.80	∫	∫	∫	
8	∫	∫	∫	∫	

表 4.1 - 2 (2) ポイズン注入記録

月 日 時 刻	ポイズン溶解槽 水位 (mm)	水位差 (mm)	ポイズン注入量(ℓ)		B <sup>10</sup> 濃度 増分(ppm)	炉心B <sup>10</sup> 濃度 (ppm)	備 考
			× 0.6 2	積算値			
S54						2.81*	
5/31 2 <sup>00</sup> '	1.120						2 <sup>37</sup> ' ON 3秒OFF6分30秒
3 <sup>00</sup> '	"	0		0	0		3 <sup>00</sup> ' " 6分
4 <sup>00</sup> '	1.100	10		6.2	0.03	2.84	
5 <sup>00</sup> '	1.085	35		21.7	0.09	2.90	
6	1.070	50		31.0	0.13	2.94	
7	1.058	62		38.4	0.16	2.97	
8	1.045	75		46.5	0.19	3.00	
9	1.040	80		49.6	0.20	3.01	
10	1.020	100		62.0	0.25	3.06	
11	1.010	110		68.2	0.28	3.09	
12	1.000	120		74.4	0.30	3.11	
13	975	145		89.9	0.36	3.17	
14	955	165		102.3	0.41	3.22	
15	940	180		111.6	0.45	3.26	
16	∩	∩		∩	∩	∩	
6/1 8 <sup>00</sup> '	940	∩		∩	∩	∩	
9 <sup>00</sup> '	935	185		114.7	0.46	3.27	
	∩	∩		∩	∩	∩	

(注) ポイズン溶解槽 B<sup>10</sup> 濃度 486 ppm

$$B^{10} \text{濃度増分} : y \quad y = \frac{486 \times x}{120000 + x} \quad (x : \text{ポイズン注入量 } \ell)$$

\* S54.5.28, 10<sup>00</sup>' サンプルング 2.83 ppm と 2.78 ppm の平均値

表 4.1 - 3 キセノン反応度推定値算出に使用した反応度関連データ

項 目	使 用 デ ー タ	備 考
出 力 係 数	$-6.0 \times 10^{-5} \frac{\Delta K}{K} / \% \text{出力}$	第一サイクル約2.5GWd/tの実績値 使用 (表 4.1 - 5 参照)
減 速 材 温 度 係 数	$+5.0 \times 10^{-5} \frac{\Delta K}{K} / ^\circ\text{C}$	第一サイクル約3 GWd/t の実績値 使用 (表 4.1 - 6 参照)
制 御 棒 反 応 度 (E ロッド 4 本全反応度)	1.314 % ΔK	第一サイクル約2.5GWd/tの LAYMON計算値使用 (誤差±10%) (図 4.1 - 4 参照)

表 4.1-4 キセノン反応度推定値算出に使用したキセノン関連データ

項目	核種			備考
	$^{135}\text{I}$	$^{135}\text{Xe}$	$^{149}\text{Pm}$	
崩壊定数 ( $\lambda$ )	$2.88 \times 10^{-5}$	$2.11 \times 10^{-5}$	$3.56 \times 10^{-6}$	
生成割合 (Y)	0.066	0.003	0.013	

表 4.1 - 5 WIMS-ATRコード出力係数計算精度

プラ ント	条 件	実 測 値 (E) ( $\frac{\Delta k}{k}$ / %出力)	計 算 値 (C) ( $\frac{\Delta k}{k}$ / %出力)	誤 差	
				E - C ( $\frac{\Delta k}{k}$ / %出力)	(E/C-1) × 100 (%)
ふ げ ん	第1サイクル燃焼度約1GWd/t	$-8.2 \times 10^{-5}$	$-7.9 \times 10^{-5}$	$-0.3 \times 10^{-5}$	+ 3.8
	" 約2.5GWd/t	$-6.0 \times 10^{-5}$	$-6.8 \times 10^{-5}$	$+0.8 \times 10^{-5}$	-11.8
	" 約4GWd/t (制御棒パターン交換前)	$-5.5 \times 10^{-5}$	$-6.0 \times 10^{-5}$	$+0.5 \times 10^{-5}$	- 8.3
	" 約4GWd/t (制御棒パターン交換後)	$-7.1 \times 10^{-5}$	$-7.1 \times 10^{-5}$	$0.0 \times 10^{-5}$	0.0
	" 約5GWd/t	$-6.7 \times 10^{-5}$	$-6.5 \times 10^{-5}$	$-0.2 \times 10^{-5}$	+ 3.1
	" 末期	$-6.2 \times 10^{-5}$	$-5.9 \times 10^{-5}$	$-0.3 \times 10^{-5}$	+ 5.1
	第2サイクル 初期	$-6.3 \times 10^{-5}$	$-6.5 \times 10^{-5}$	$+0.2 \times 10^{-5}$	+ 3.1
	第3サイクル "	$-5.6 \times 10^{-5}$	$-6.5 \times 10^{-5}$	$+0.9 \times 10^{-5}$	-13.8

表 4.1 - 6 WIMS-ATRコード減速材温度反応度係数計算精度

条 件		実測値(E) ( $\frac{\Delta k}{k}/^{\circ}\text{C}$ )	計算値(C) ( $\frac{\Delta k}{k}/^{\circ}\text{C}$ )	誤差(E-C) ( $\frac{\Delta k}{k}/^{\circ}\text{C}$ )
「ふげん」 運転データ	第1サイクル, 燃焼度3.0Gwd/t $^{10}\text{B}$ 濃度 2.3 ppm	$5.0 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$-0.5 \times 10^{-5}$
	" 燃焼度4.0Gwd/t $^{10}\text{B}$ 濃度 0.9 ppm	$3.4 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$

表 4.1-7 MSIV試験時出力降下時の各種反応度変化とキセノン反応度の推定値

月日時刻	TPM よみ (%)	出力係数 反応度 (%ΔK/K)	制御棒 反応度 (%ΔK/K)	減速材温度 反応度 (%ΔK/K)	キセノン反応度 実績推定値 (%ΔK/K)
5/30 16° 00	49.7	+0.299	+0.235 ±0.024	-0.035	-0.499
5/30 17° 00	49.7	"	+0.285 ±0.029	"	-0.549
5/30 18° 00	49.7	"	+0.305 ±0.031	"	-0.569
5/30 19° 00	49.7	"	+0.300 ±0.032	"	-0.564
5/30 20° 00	49.7	"	+0.280 ±0.028	"	-0.544
5/30 21° 00	49.7	"	+0.253 ±0.025	"	-0.517
5/30 22° 00	49.7	"	+0.213 ±0.021	"	-0.477
5/30 23° 00	49.7	"	+0.175 ±0.018	"	-0.439
5/31 0° 00	49.7	"	+0.140 ±0.014	"	-0.404
5/31 1° 00	49.7	"	+0.092 ±0.009	"	-0.356

\* 減速材温度は定格出力時より7℃低下



表 4.1 - 8 通常停止時出力降下時の各種反応度変化とキセノン反応度の推定値

月日時刻	TPM よみ (%)	出力係数 反応度 (% $\Delta$ K/K)	制御棒 反応度 (% $\Delta$ K/K)	減速材温度 反応度* (% $\Delta$ K/K)	キセノン反応度 実績推定値 (% $\Delta$ K/K)
6/23 5° 00	45.1	+0.319	+0.200 ±0.020	-0.040	-0.479
6/23 30	45.2	"	+0.245 ±0.025	-0.035	-0.529
6/23 6° 00	45.4	"	+0.285 ±0.029	"	-0.569
6/23 30	45.0	"	+0.308 ±0.031	"	-0.592
6/23 7° 00	44.9	"	+0.323 ±0.032	"	-0.607
6/23 30	45.2	"	+0.332 ±0.033	"	-0.616
6/23 8° 00	45.0	"	+0.337 ±0.034	"	-0.621
6/23 30	45.6	"	+0.335 ±0.034	"	-0.619
6/23 9° 00	45.4	"	+0.330 ±0.033	"	-0.614
6/23 30	45.2	"	+0.320 ±0.032	"	-0.604
6/23 10° 00	45.4	"	+0.306 ±0.031	"	-0.590

\* 減速材温度は定格出力時と比べ6/23 5° 00で8℃低下、6/25 5° 30で7℃低下

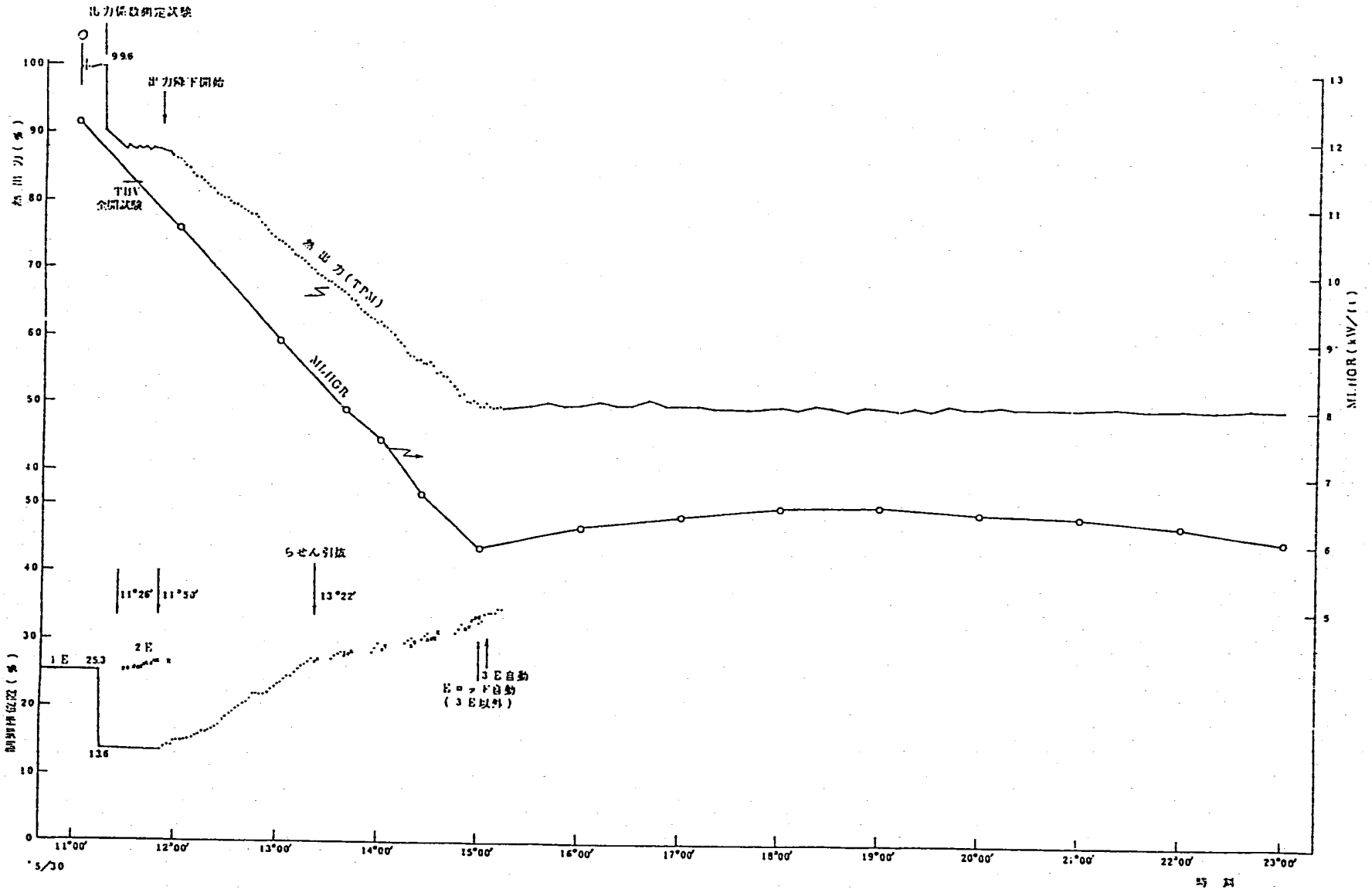


図 4.1-1 主要弁類作動試験時におけるTPMの変化(S.54.5.30実績データ)

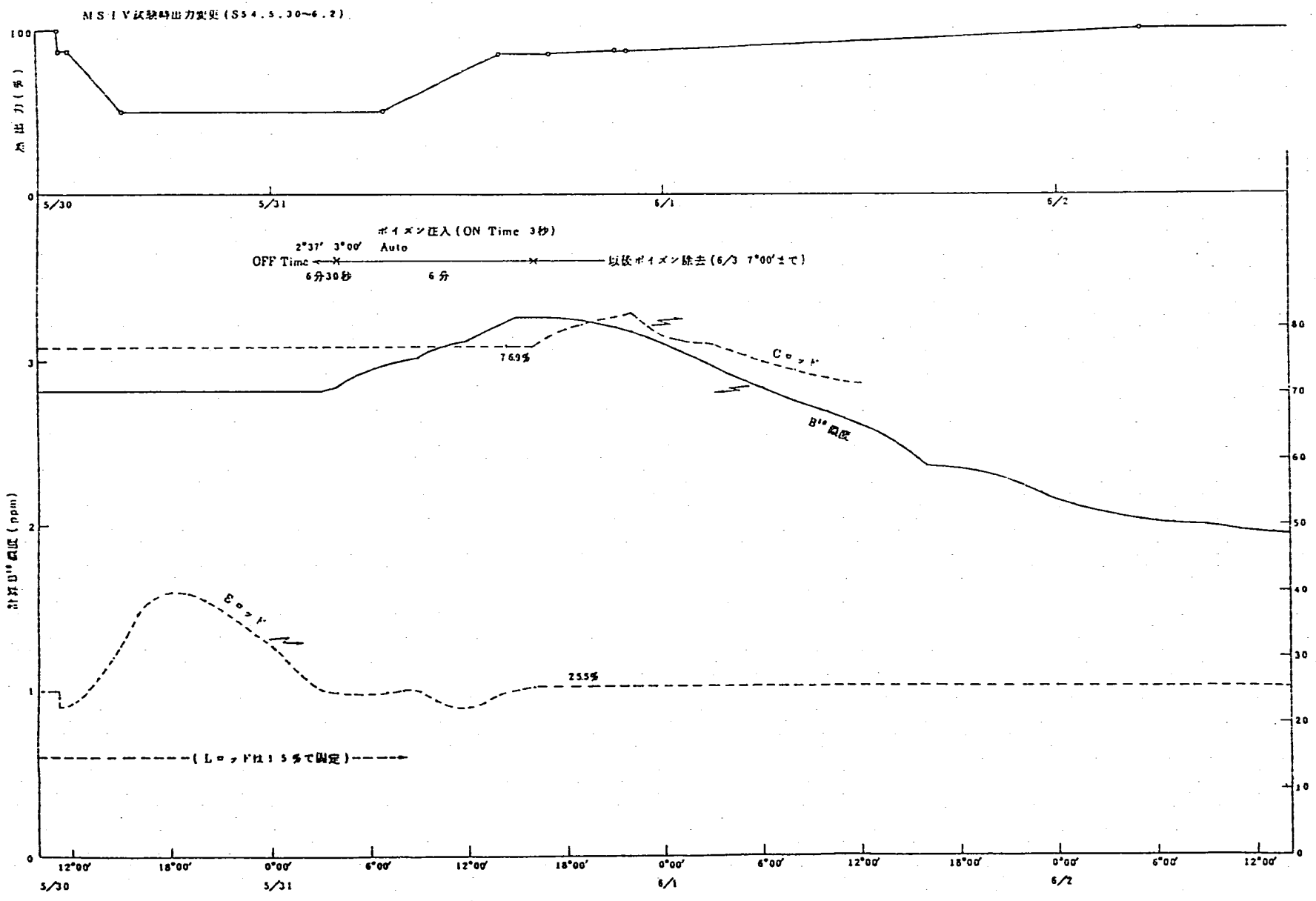


図 4.1 - 2 MSIV試験のための出力降下時の運転実績

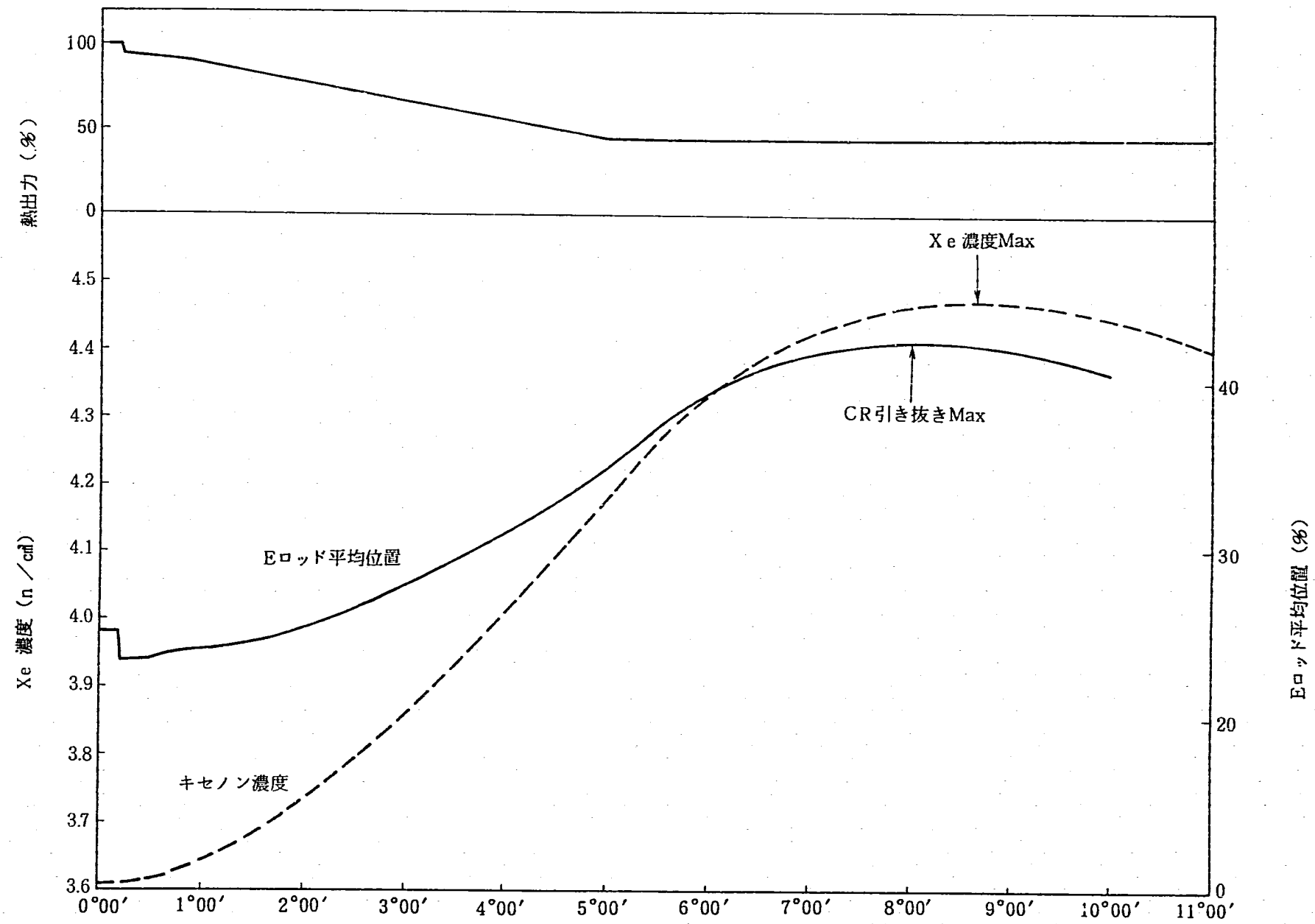


図 4.1 - 3 通常停止時の運転実績 (S. 54. 6. 23)

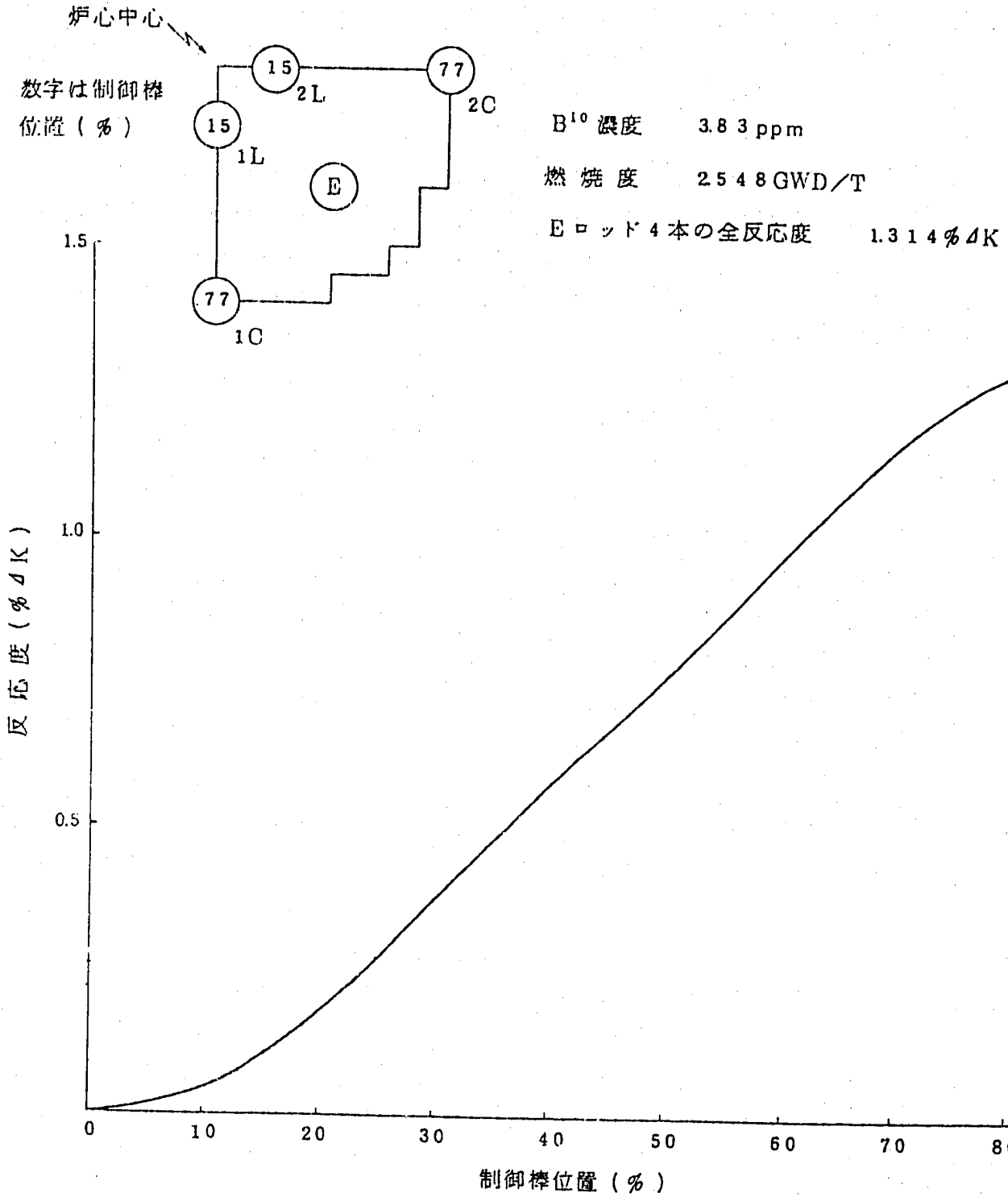
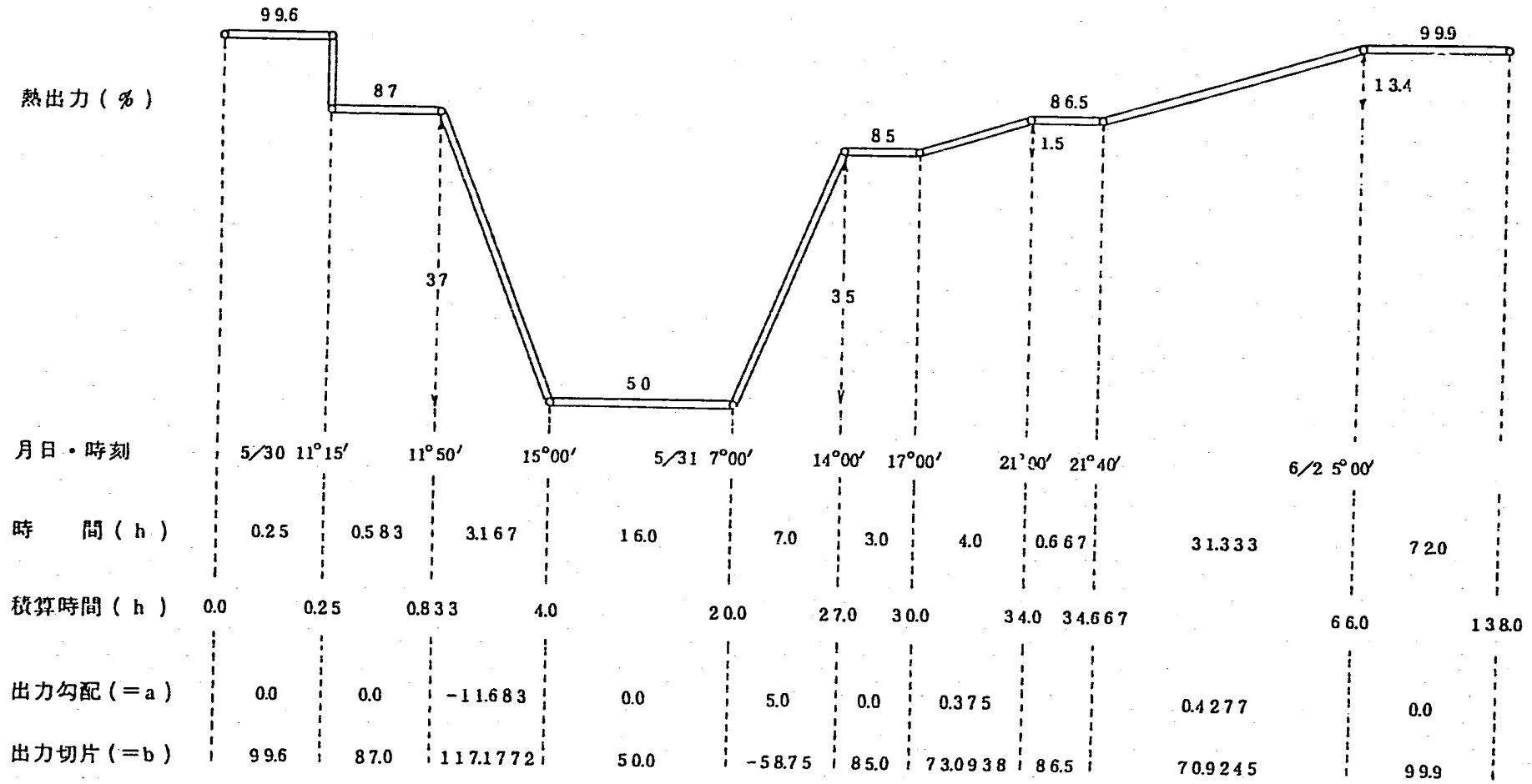


図 4.1 - 4 2.55GWD/T における E ロッド 4 本の反応度曲線



$b = c - a \cdot t$

( t : その前の積算時間 )  
 ( c : " 出力 )

図 4.1 - 5 ATROSTARコードの計算出力軌跡(S. 54.5.30 MSIV試験時)

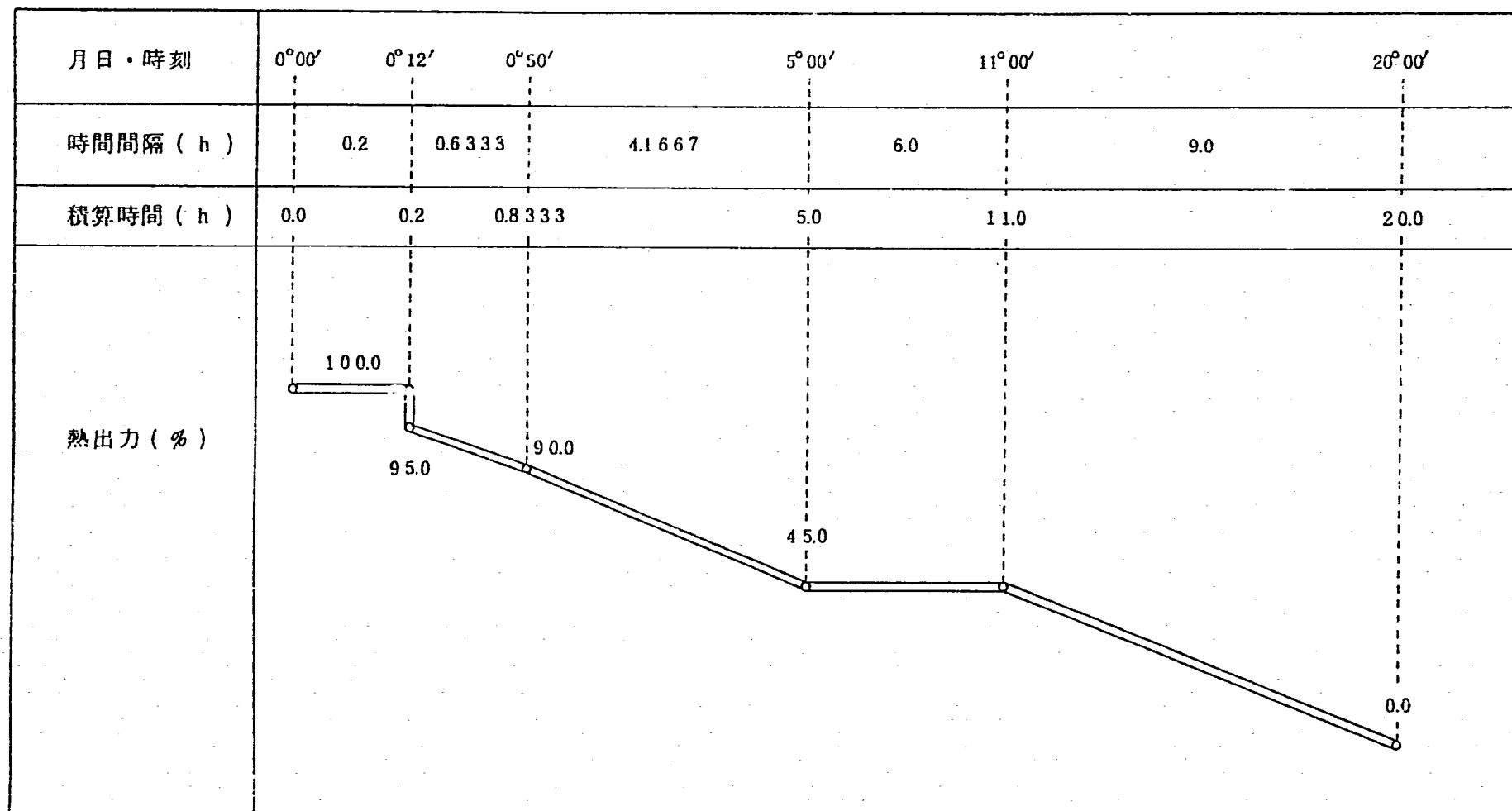


図 4.1 - 6 ATROSTARコードの計算出力軌跡(S. 54. 6. 23 通常停止時)

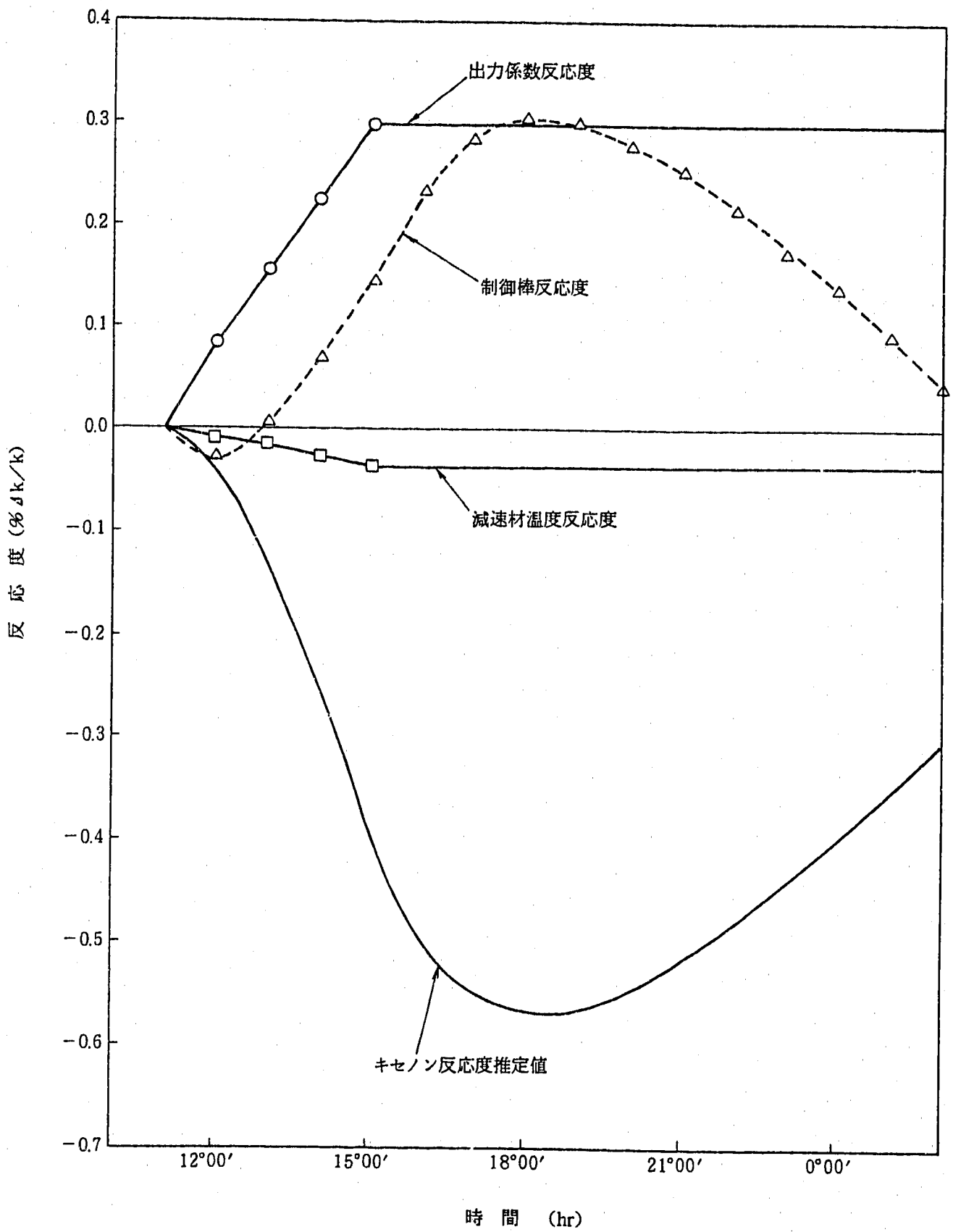


図 4.1 - 7 MSIV試験時出力降下時のキセノン反応度推定値の変化



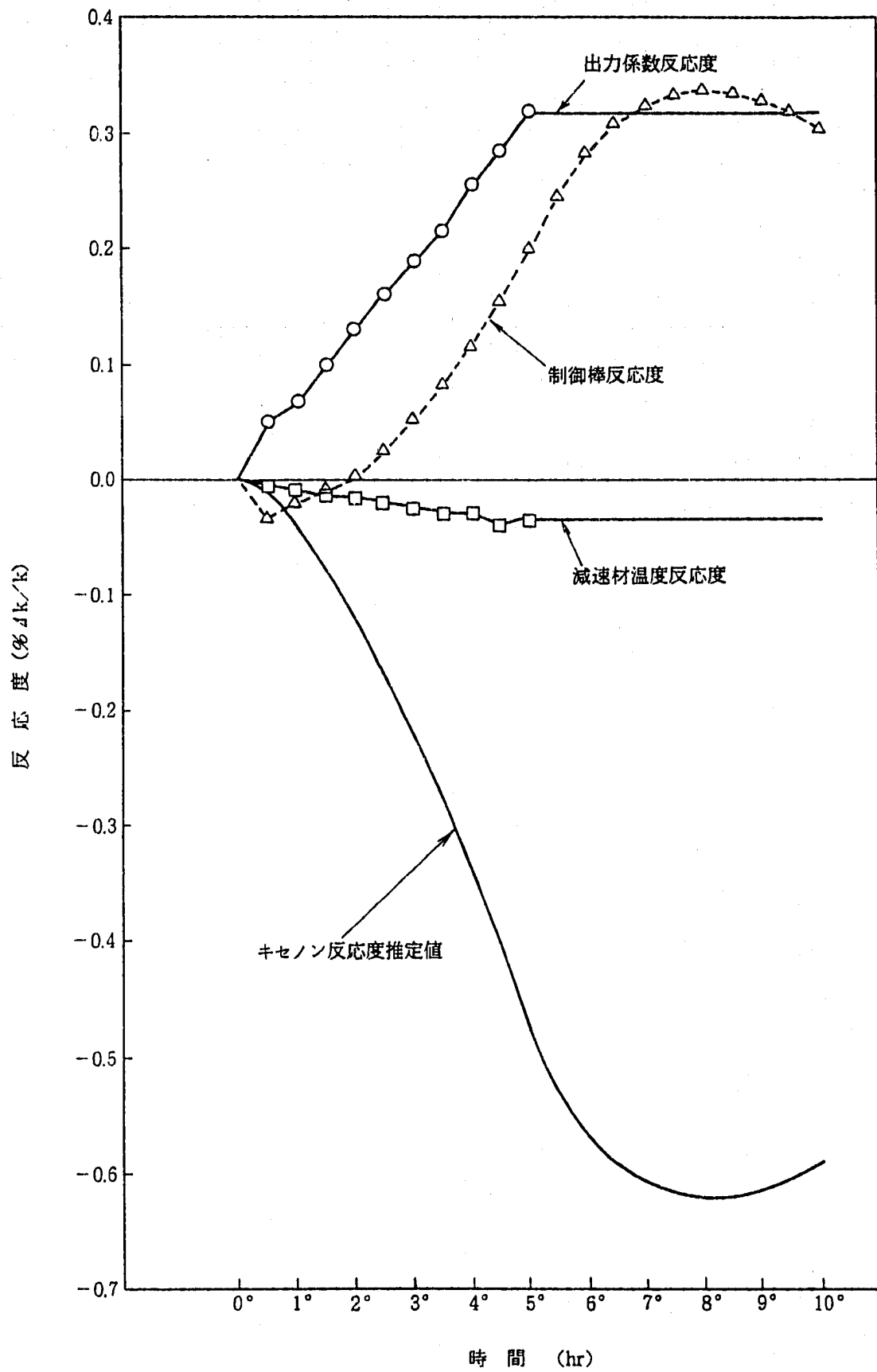


図 4.1 - 8 通常停止時出力降下時のキセノン反応度推定値の変化

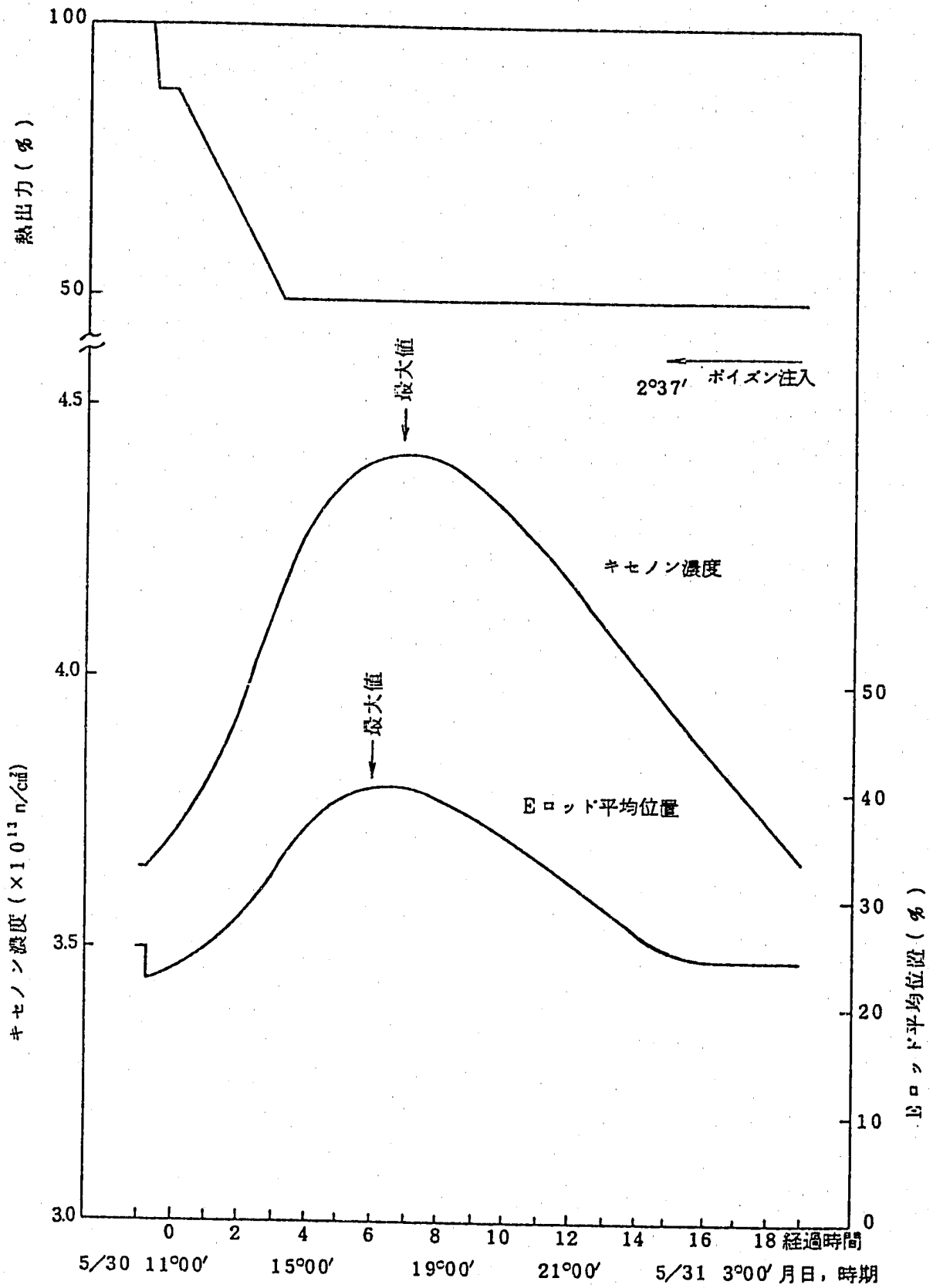


図 4.1-9 「ふげん」MSIV試験時出力降下時のEロッド位置及びキセノン濃度変化(S.54.5.30)

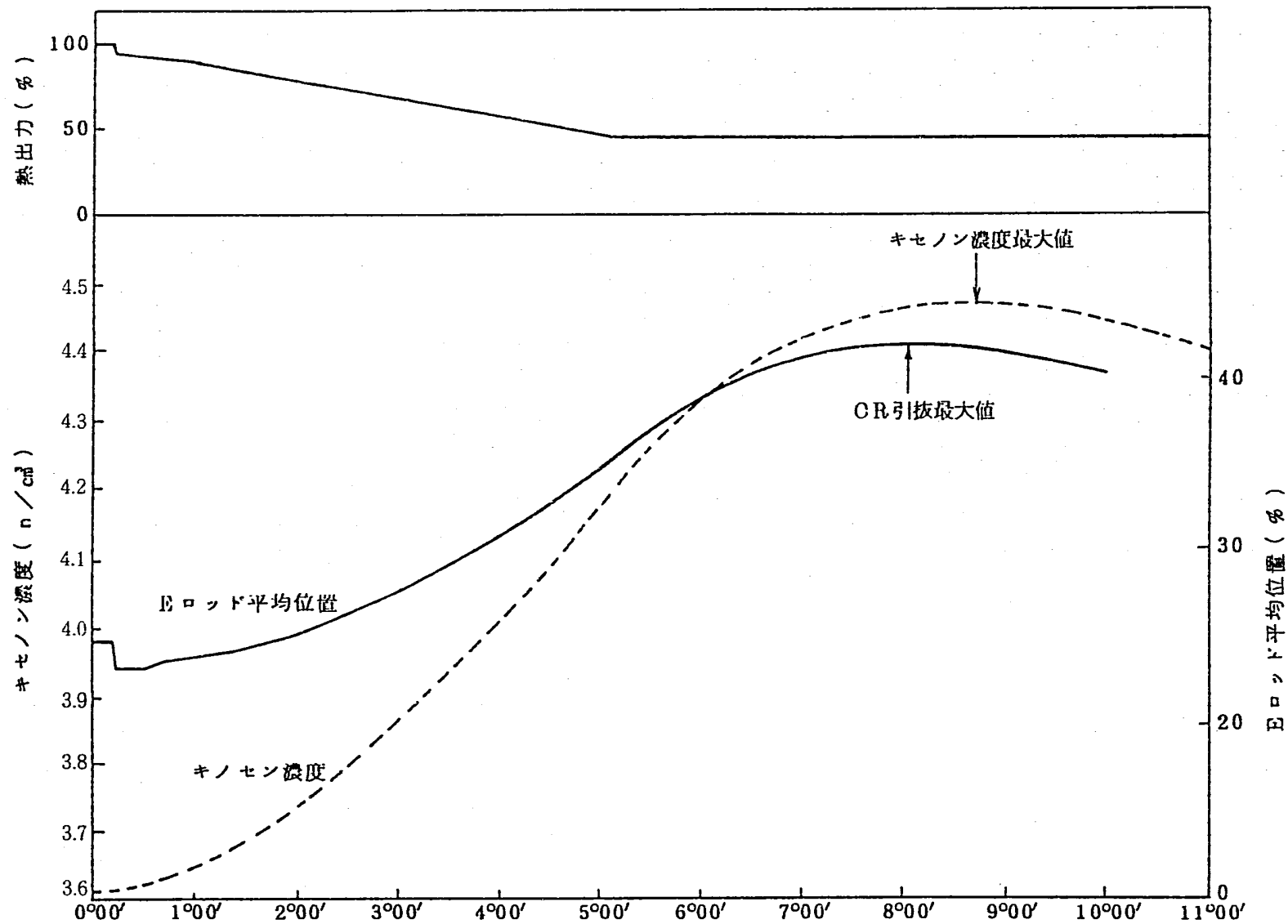


図 4.1-10 「ふげん」 通常停止時の E ロッド位置及びキセノン濃度変化 (S. 54. 6. 23)

表4.2-1 WIMS-ATR/LAYMON-2Aコードによる定格飽和時のキセノン反応

月/日	解析条件	実効増倍係数計算値		キセノン反応度 計算値* (%ΔK/K)	備考
		Xe有り(定格)	Xe無し		
5/30	第一サイクル 燃焼度2.56Gwd/t <sup>10</sup> B濃度2.8ppm	0.9828 <sub>0</sub>	1.0101 <sub>7</sub>	-2.78 <sub>5</sub>	MSIV試験時 解析に使用
6/23	第一サイクル 燃焼度2.94Gwd/t <sup>10</sup> B濃度2.3ppm	0.9828 <sub>2</sub>	1.0100 <sub>6</sub>	-2.77 <sub>2</sub>	通常停止時 解析に使用

$$* \frac{\text{Xe無し} - \text{Xe有り}}{\text{Xe有り}}$$

表 4.2 - 2 「ふげん」実績データに基づくキセノン反応度計算誤差  
(WIMS-ATR/LAYMON-2Aコード)

	月日時刻	TPM よみ (%)	出力係数 反応度 (%ΔK/K)	制御棒 反応度 <sup>*1</sup> (%ΔK/K)	減速材温 度反応度 (%ΔK/K)	キセノン反応度 (%ΔK/K)		キセノン反応 度計算誤差 (%)
						実績推定値	計算値	
(1) 「ふげん」 M S I V 試験出力変更時データ (51.5.30)	5/30 16° 00	49.7	+0.299	+0.235 ±0.024	-0.035	-0.499	-0.465	+7.3±5.2
	5/30 17° 00	49.7	"	+0.285 ±0.029	"	-0.549	-0.534	+2.8±5.4
	5/30 18° 00	49.7	"	+0.305 ±0.031	"	-0.569	-0.568	+0.2±5.5
	5/30 19° 00	49.7	"	+0.300 ±0.032	"	-0.564	-0.576	+2.1±5.6
	5/30 20° 00	49.7	"	+0.280 ±0.028	"	-0.544	-0.554	-1.8±5.1
	5/30 21° 00	49.7	"	+0.253 ±0.025	"	-0.517	-0.532	-2.8±4.7
	5/30 22° 00	49.7	"	+0.213 ±0.021	"	-0.477	-0.493	-3.2±4.3
	5/30 23° 00	49.7	"	+0.175 ±0.018	"	-0.439	-0.446	-1.6±4.0
	5/31 0° 00	49.7	"	+0.140 ±0.014	"	-0.404	-0.393	+2.8±3.6
	5/31 1° 00	49.7	"	+0.092 ±0.009	"	-0.356	-0.337	+5.6±2.7
(2) 「ふげん」 通常停止時データ (51.6.23)	6/23 5° 00	45.1	+0.319	+0.200 ±0.020	-0.040	-0.479	-0.435	+10.1±4.6
	6/23 30	45.2	"	+0.245 ±0.025	-0.035	-0.529	-0.499	+6.0±5.0
	6/23 6° 00	45.4	"	+0.285 ±0.029	"	-0.569	-0.552	+3.1±5.3
	6/23 30	45.0	"	+0.308 ±0.031	"	-0.592	-0.590	+0.3±5.3
	6/23 7° 00	44.9	"	+0.323 ±0.032	"	-0.607	-0.618	-1.8±5.2
	6/23 30	45.2	"	+0.332 ±0.033	"	-0.616	-0.638	-3.4±5.2
	6/23 8° 00	45.0	"	+0.337 ±0.034	"	-0.621	-0.651	-4.6±5.2
	6/23 30	45.6	"	+0.335 ±0.034	"	-0.619	-0.657	-5.8±5.2
	6/23 9° 00	45.4	"	+0.330 ±0.033	"	-0.614	-0.654	-6.1±5.0
	6/23 30	45.2	"	+0.320 ±0.032	"	-0.604	-0.649	-6.9±4.9
6/23 10° 00	45.4	"	+0.306 ±0.031	"	-0.590	-0.635	-7.1±4.9	
*1 ±10%の計算誤差を考慮							正側最大値	+14.7
*2 (推定値/計算値-1)×100%							負側最大値	-12.0

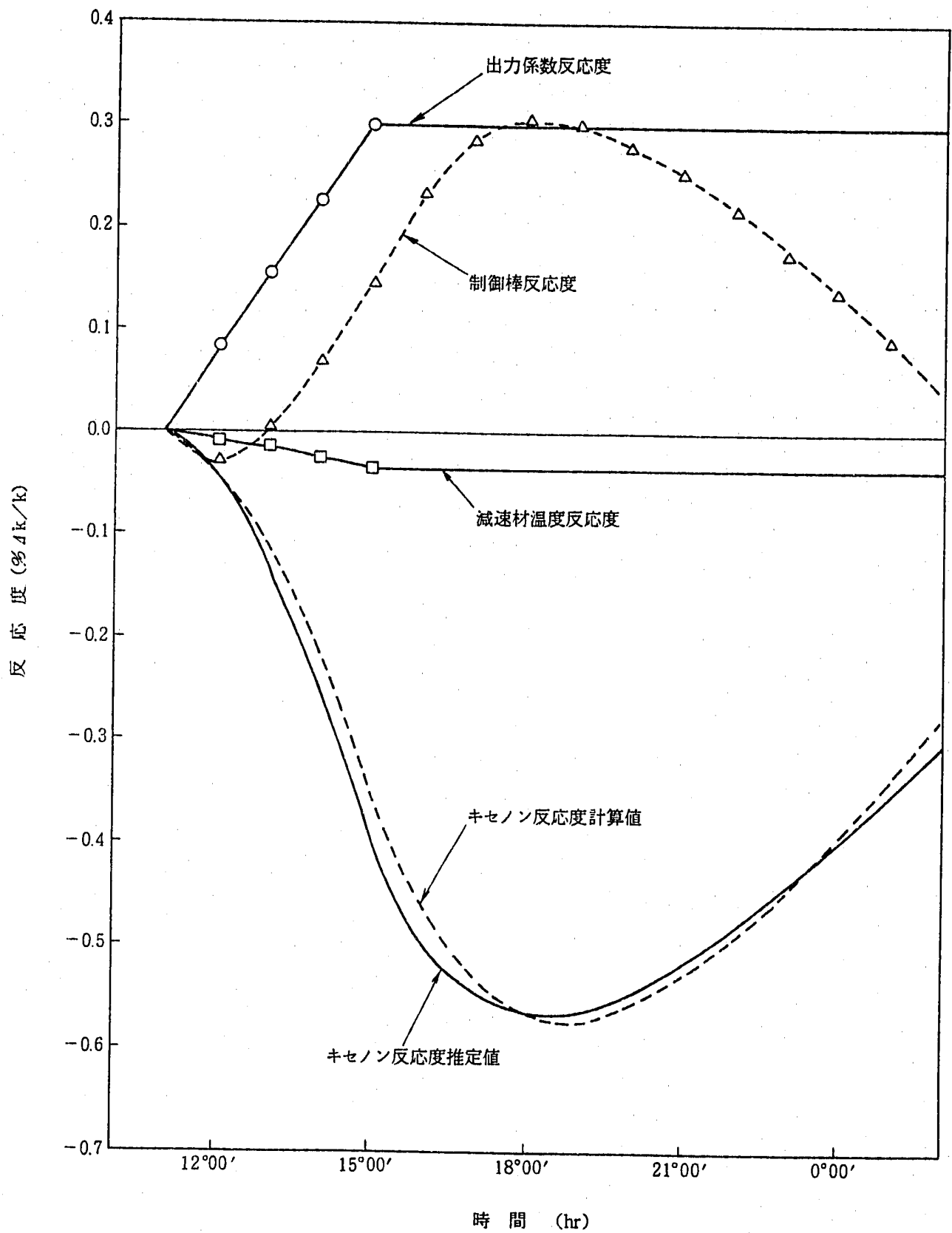


図 4.2 - 1 MSIV試験時出力降下時のキセノン反応度の計算値と推定値の比較

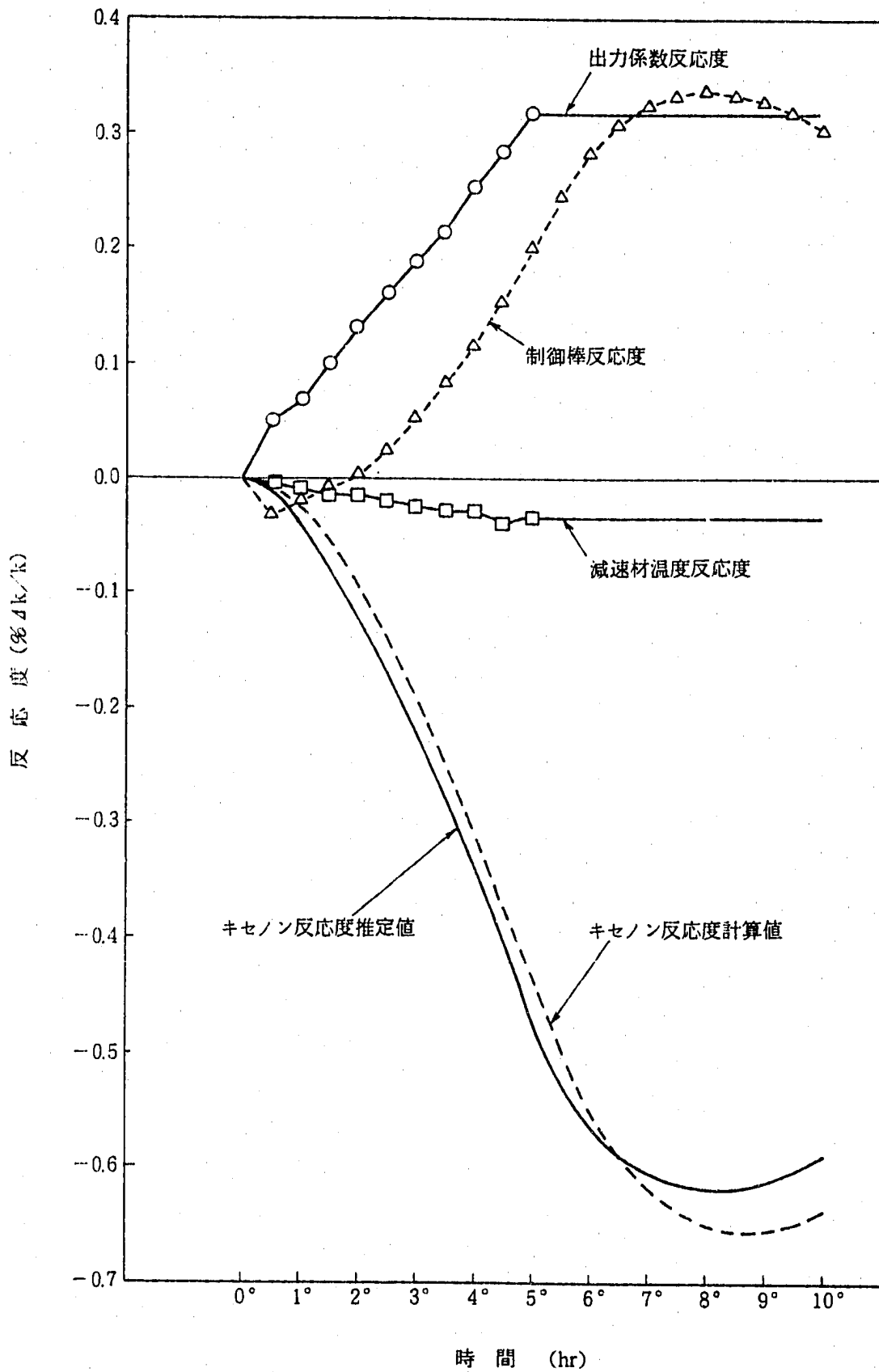


図 4.2 - 2 通常停止時出力降下時のキセノン反応度の計算値と推定値の比較

## 5. 結 論

大洗工学センター臨界工学試験室(DCA)の実験データ及びふげん発電所の起動試験、運転実績データを用いてDCA Pu-U2領域炉心のチャンネル出力分布、SUS制御棒の反応度値、ふげんの重水中ボロン反応度及びキセノン反応度の計算精度解析を実施し、核設計コードWIMS-ATRの計算精度を確認した。

本検討の結果を以下に要約する。

- (1) DCA Pu-U2領域炉心のチャンネル出力分布の平均誤差(RMS)は4.8%、径方向ピーキング係数の相対誤差は+2.1%であり、計算値と実験値は比較的良く一致している。
- (2) DCA Pu-U2領域炉心のSUS制御棒反応度値の計算誤差((C/E-1(%))は-5.9%であり、設計誤差である±10%(C/E-1)以内である。
- (3) 「ふげん」起動試験実績データに基づく重水中ボロン反応度の計算誤差((C/E-1(%))は-2.2%~+7.9%であり、設計誤差である±10%以内である。
- (4) 「ふげん」運転実績データに基づくキセノン反応度の計算誤差は-12.0~+14.7%であり、設計誤差である±20%以内である。

今後、本検討の成果を新型転換炉実証炉の設計に反映して行く必要がある。



## 6. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、御協力を頂いた日立製作所笹川勝、金戸邦和氏、日立エンジニアリング株式会社増田博之、堂元昇氏をはじめ、関係各位に対し、心から感謝の意を表する。

## 7. 参考文献

- (1) (株)日立製作所：新型転換炉実証炉炉心性能向上の検討成果報告書，PNC ZJ3124 87-500，  
'87年6月
- (2) M. J. Brinkworth, J. A. Griffiths : METHUSELAH - II A Fortran Program and Nuclear  
Data Library for Physics Assessment of Liquid Moderated Reactors, AEEW-R480
- (3) J. R. Askew et al., "A General Description of the Lattice Code WIMS ENEA Computer  
Programme Library EW304"
- (4) (株)日立製作所：新型転換炉実証炉のための設計コードの開発 - 36本クラスタ局所ピー  
キング係数，SUS制御棒反応度価値の計算精度と設計手法の改良 -，PNC ZJ302 84-07，  
'84年2月
- (5) (株)日立製作所：新型転換炉実証炉のための設計コードの開発 - DCAガドリニア入り燃  
料データに基づくLAYMON - 2Aプログラムの改良・整備 -，PNC ZJ302 85-06，'85  
年2月
- (6) ORNL : Nuclear Reactor Core Analysis Code CITATION REVISION2, July, 1971
- (7) (株)日立製作所：新型転換炉実証炉核設計コードの計算精度解析(II) - 制御棒反応度価  
値及びDCA出力分布，'88年7月
- (8) W. J. Eich et al., : Calculation of Reactivity Worth of Rod-Cluster Control  
Elements and Correlation of Theory with Experiment, Nucl. Sci. Eng. 24, 272-283  
(1966)
- (9) (株)日立製作所：新型転換炉原型炉「ふげん」起動試験に基づく制御棒計画および炉心管  
理プログラム(I) - 試験データに基づく炉心計画の検討，評価 -，ZJ302 79-03，'79年  
2月
- (10) (株)日立製作所：新型転換炉原型炉ふげん発電所長期制御棒計画及び燃料取替計画作成，  
PNC ZJ302 80-04，'80年3月
- (11) (株)日立製作所：新型転換炉原型炉「ふげん」炉心管理プログラムシステムの開発，ZJ30  
2 78-04，'78年2月
- (12) (株)日立製作所：新型転換炉実証炉核設計コードの計算精度解析，'88年4月
- (13) DCA実験レポート PNC ZN 81-208
- (14) DCA実験レポート PNC SN 72-23 「チェスボード炉心実験」

## 8. 付 録

### 8.1 計算に使用した核定数

本検討に使用したWIMS-ATRコードで計算したLAYMON-2Aコード用の核定数（B定数）を表8.1-1～表8.1-4に示す。参考のためにこれらB定数のLAYMON-2Aコードにおけるフィッティング式を表8.1-15～表8.1-17に示す。

一方、CITATIONコード用の核定数を図8.1-1に示す。

### 8.2 WIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードのキセノン反応度及びボロン反応度の比較

#### (1) METHUSELAH-IIコードで解析したキセノン反応度の計算精度

従来の計算精度評価に使用したMETHUSELAH-IIコードを使用したキセノン反応度の計算法と今回のWIMS-ATRコードによるキセノン反応度の計算法を比較して表8.2-1に示す。従来の方法で使用したキセノン反応度は表8.2-2の示すMETHUSELAH-IIコードの格子計算の結果より算出した $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ 格子と $\text{UO}_2$ 格子のキセノン反応度をインポートランス合成法で合成したものである。このキセノン反応度を使用した場合のキセノン反応度の計算誤差を表8.2-1に示す。表8.2-1よりこの方法によるMETHUSELAH-IIコードのキセノン反応度の計算誤差は-18.7%～+5.9%であり、WIMS-ATRコードの計算誤差-12.0%～+14.7%と比べ6～9%ほど負側に大きな誤差を示すが、設計誤差である±20%の範囲内にある。

#### (2) WIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードの格子ベースでのキセノン反応度の比較

表8.2-4格子計算ベースでのWIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードのキセノン反応度の比較を示す。表8.2-4に示すごとくMETHUSELAH-IIコードと比べWIMS-ATRコードの方が若干小さ目の値を示すが、ほとんど差がなく、したがってLAYMON-2Aコードでキセノン反応度を算出すれば両コードとも同程度のキセノン反応度の値を示すことが予想される。

#### (3) WIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードの格子ベースでのボロン反応度の比較

表8.2-5に定格出力時、燃焼50MWd/tで計算した格子計算ベースでのWIMS-ATRコードとMETHUSELAH-IIコードのボロン反応度（% $\Delta k_{\infty}$ /ppm）の比較を示す。MOX燃料ではWIMS-ATRコードの方が若干大きく、 $\text{UO}_2$ 燃料で

は逆に若干小さい傾向を示すが、両コードとも大差がない値を示す。

### 8.3 DCA Pu-U2 領域炉心チャンネル出力分布実験データについて

2.1 節の炉心境界定数サーチに使用した DCA Pu-U2 領域炉心チャンネル出力分布は下記のごとくして算出した。

図 9.3-1 に実験で得られたチャンネル出力（□で示す。）と推定チャンネル出力（\*で示す。）を示す。

炉心境界定数をサーチするためには全チャンネルの出力が必要であることからチャンネル出力実験値を使用して実験値のないチャンネル出力を次のようにして算出した。

まず、D 軸上のチャンネル出力は中心から等距離にある 2 つの実験値を平均した。即ち c チャンネルの値は a チャンネルと b チャンネルの値を平均した。

次に D 軸と C' 軸にはさまれたチャンネルは B 軸と C' 軸の実験値よりチャンネル出力と中心からの距離の関係図をプロットし、図 8.3-2 に示す炉心からの距離を使用してチャンネル出力の値を読みとった。同様に、C 軸と D 軸にはさまれたチャンネルは A 軸と C 軸の実験値により同様の方法で求めた。

\* PNC ZN941 82-93 の値使用

表 8.1-1 新吸収面積法によるLAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)  
 DCA(0.54, 0.54, 0.54)PuO<sub>2</sub>, E=0(Gwd/t), <sup>10</sup>B=0(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.858 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.670
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>	-6.765 -2	B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.678 -3
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.257	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	

表 8.1-2 新吸収面積法によるLAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)  
 DCA(1.20, 1.20, 1.20)UO<sub>2</sub> E=0(Gwd/t), <sup>10</sup>B=0(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.957 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.449
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.602 -3
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.190	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	

表 8.1-3 LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)

ふげん(0.80,0.80,0.55)APUO<sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup>B=12.34(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.806 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.699
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.350 -1	B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.821 -3
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.043	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	——		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子(St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	——	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	

表 8.1 - 4 LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)

ふげん(1.50,1.50,1.50)AUO<sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/l), <sup>10</sup>B=12.34(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.878 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.448
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.945 -3
B <sub>6</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	1.040	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	



表 8.1-5 LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)

ふげん(0.80,0.80,0.55)APU0, COLD E=0(Gwd/t),  $^{138}\text{B}=12.615(\text{ppm})$ , VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.803 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	$\nu$	2.699
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	$\nu$	
B <sub>4</sub>	$\delta K_{cr}$	-1.346 -1	B <sub>29</sub>	$\nu$	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	$\Sigma f$	2.820 -3
B <sub>6</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	1.040	B <sub>31</sub>	$\Sigma f$	
B <sub>7</sub>	$\delta K_{cr}$		B <sub>32</sub>	$\Sigma f$	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	$\Sigma f$	
B <sub>9</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$		B <sub>34</sub>	$\Sigma f$	
B <sub>10</sub>	$\delta K_{cr}$		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	-----		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$		B <sub>37</sub>	$\delta K_{cr}$	
B <sub>13</sub>	$\delta K_e$		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	$\delta K_e$		B <sub>39</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	
B <sub>15</sub>	$\delta K_e$		B <sub>40</sub>	$\delta K_{cr}$	
B <sub>16</sub>	$\delta K_e$		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	$\delta K_d$		B <sub>42</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	
B <sub>18</sub>	$\delta K_d$		B <sub>43</sub>	$= I \Sigma f \phi_0$	
B <sub>19</sub>	$\delta K_d$		B <sub>44</sub>	$= x \Sigma f \phi_0$	
B <sub>20</sub>	$\delta K_e$		B <sub>45</sub>	$\lambda I$	
B <sub>21</sub>	$\delta K_e$		B <sub>46</sub>	$\lambda x$	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	-----	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	$\Sigma f$	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	$\delta K_m$	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	$\delta K_m$	

表 8.1 - 6 LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス 3 入力値)(1/1)

ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup>B=12.615(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.875 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度 積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.448
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δ K <sub>c r</sub>		B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内 燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σ f	2.943 -3
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.037	B <sub>31</sub>	Σ f	
B <sub>7</sub>	δ K <sub>c r</sub>		B <sub>32</sub>	Σ f	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か 否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σ f	
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>34</sub>	Σ f	
B <sub>10</sub>	δ K <sub>c r</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>		B <sub>37</sub>	δ K <sub>c r</sub>	
B <sub>13</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピン の被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>15</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δ K <sub>c r</sub>	
B <sub>16</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピン の被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δ K <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	
B <sub>18</sub>	δ K <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σ f φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δ K <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σ f φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δ K <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度 積算因子		B <sub>48</sub>	Σ f	
B <sub>24</sub>	チャンネル 流量分布		B <sub>49</sub>	δ K <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル 流量分布		B <sub>50</sub>	δ K <sub>m</sub>	

表 8.1-7 LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス3入力値)(1/1)

ふげん(0.80,0.80,0.55)APUO<sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>18</sup>B=12.86(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.801 +2	B <sub>26</sub>	ポイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.699
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.343 -1	B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.818 -3
B <sub>6</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	1.038	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ポイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	

表 8.1 - 8 LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/1)

ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> COLD E=0(Gwd/t), <sup>10</sup>B=12.86(ppm), VOID=0(%)

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	1.872 +2	B <sub>25</sub>	ボイド燃焼度積算因子	
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>27</sub>	ν	2.448
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>		B <sub>28</sub>	ν	
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>29</sub>	ν	
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	2.941 -3
B <sub>6</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	1.035	B <sub>31</sub>	Σf	
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>32</sub>	Σf	
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ		B <sub>33</sub>	Σf	
B <sub>9</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>34</sub>	Σf	
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>		B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>11</sub>	—		B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	
B <sub>12</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>		B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>39</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>42</sub>	K <sup>∞</sup> <sub>uncont</sub>	
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>		B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>45</sub>	λ I	
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>		B <sub>46</sub>	λ x	
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)		B <sub>47</sub>	—	
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度積算因子		B <sub>48</sub>	Σf	
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布		B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	

表 8.1 - 9(1) LAYMON-2AコードB定数のまとめ。(クラス3入力値)(1/3)

ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	2.860 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度 積算因子	0.0
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>	-3.426 -1	B <sub>27</sub>	ν	2.716
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>	9.710 -2	B <sub>28</sub>	ν	6.961 -3
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.851 -1	B <sub>29</sub>	ν	-4.464 -5
B <sub>5</sub>	クラスタ内 燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	0.0
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.173	B <sub>31</sub>	Σf	0.0
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.460 -1	B <sub>32</sub>	Σf	0.0
B <sub>8</sub>	特殊燃料か 否かのフラグ	0.0	B <sub>33</sub>	Σf	0.0
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	-3.230 -2	B <sub>34</sub>	Σf	0.0
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>	2.836 -2	B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	-6.125 -3
B <sub>11</sub>	—	0.0	B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	1.344 -3
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	-1.227 -2	B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	-9.218 -3
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>	3.916 -4	B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの 被覆管外径	0.0
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>	-1.313 -5	B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.504 -2
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>	6.357 -7	B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	1.192 -4
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>	-1.092 -8	B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの 被覆管外径	0.0
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>	5.726 -3	B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.765 -4
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>	0.0	B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	2.560 +10
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>	0.0	B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	1.12 +9
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>	-1.969 -2	B <sub>45</sub>	λ I	2.88 -5
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>	2.033 -3	B <sub>46</sub>	λ x	2.11 -5
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)	1.0	B <sub>47</sub>	—	—
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度 積算因子	1.0	B <sub>48</sub>	Σf	0.0
B <sub>24</sub>	チャンネル 流量分布	0.0	B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	-8.108 -4
B <sub>25</sub>	チャンネル 流量分布	0.0	B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	2.154 -4

表 8.1 - 9 (2) LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値)(2/3)

ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO<sub>2</sub> HOT

B 定数	関連項目	値	B 定数	関連項目	値
B <sub>51</sub>	$\delta K_m$	8.919	B <sub>76</sub>	$\delta K_{xe}$	2.783 -4
B <sub>52</sub>	$\delta K_m$	-4.229 -6	B <sub>77</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>53</sub>	$\delta K_m$	-7.616 -4	B <sub>78</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>54</sub>	$\delta K_{sm}$	-2.686 -2	B <sub>79</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>55</sub>	$\delta K_{sm}$	5.288 -2	B <sub>80</sub>	チャンネル流量分布	1.077
B <sub>56</sub>	$\delta K_{sm}$	-3.267 -2	B <sub>81</sub>	チャンネル流量分布	0.005
B <sub>57</sub>	$\delta K_{sm}$	6.373 -3	B <sub>82</sub>	チャンネル流量分布	-0.0489
B <sub>58</sub>	LPF	0.0	B <sub>83</sub>	チャンネル流量分布	0.2355
B <sub>59</sub>	LPF	0.0	B <sub>84</sub>	チャンネル流量分布	-0.07388
B <sub>60</sub>	LPF	0.0	B <sub>85</sub>	チャンネル流量分布	-0.1190
B <sub>61</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	1.0	B <sub>86</sub>	LPF	0.0
B <sub>62</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>87</sub>	LPF	0.0
B <sub>63</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>88</sub>	LPF	0.0
B <sub>64</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>89</sub>	LPF	0.0
B <sub>65</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>90</sub>	LPF	0.0
B <sub>66</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	1.0	B <sub>91</sub>	LPF	0.0
B <sub>67</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>92</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	9.197 -1
B <sub>68</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>93</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	2.723 -3
B <sub>69</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>94</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	1.376 -2
B <sub>70</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>95</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	-3.594 -4
B <sub>71</sub>	$\delta K_{xe}$	2.642 -2	B <sub>96</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	1.074
B <sub>72</sub>	$\delta K_{xe}$	-1.498 -4	B <sub>97</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	1.548 -3
B <sub>73</sub>	$\delta K_{xe}$	-1.624 -6	B <sub>98</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-3.521 -2
B <sub>74</sub>	$\delta K_{xe}$	4.023 -1	B <sub>99</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-3.858 -4
B <sub>75</sub>	$\delta K_{xe}$	-1.452 -2	B <sub>100</sub>	—	0.0

表 8.1 - 9 (3) LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス3 入力値) (3/3)

ふげん(0.80, 0.80, 0.55) APU0<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>101</sub>	K <sub>∞</sub> uncont	-1.321 -2			
B <sub>102</sub>	K <sub>∞</sub> uncont	-2.431 -2			
B <sub>103</sub>	K <sub>∞</sub> uncont	1.078 -2			
B <sub>104</sub>	K <sub>∞</sub> uncont	-3.623 -2			
B <sub>105</sub>	K <sub>∞</sub> uncont	0.62			
B <sub>106</sub>	δK <sub>cr</sub>	5.647 -3			
B <sub>107</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.177 -4			

表 8.1-10 LAYMON-2AコードB定数のまとめ (クラス35, 38, 43入力値)

ふげん(0.80, 0.80, 0.55)APUO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
a	$\Sigma f$	2.265 -3	d	LPF(3-lay)	-2.795 -6
b	$\Sigma f$	3.621 -4	e	LPF(3-lay)	-3.436 -4
c	$\Sigma f$	-1.056 -5	f	LPF(3-lay)	1.417 -2
d	$\Sigma f$	-2.212 -5	g	LPF(3-lay)	-1.698 -2
e	$\Sigma f$	-4.167 -5	a	LPF(4-lay)	
f	$\Sigma f$	4.943 -7	b	LPF(4-lay)	
g	$\Sigma f$	-2.766 -5	c	LPF(4-lay)	
h	$\Sigma f$	9.398 -7	d	LPF(4-lay)	
a	LPF(1-lay)	7.427 -1	e	LPF(4-lay)	
b	LPF(1-lay)	2.037 -2	f	LPF(4-lay)	
c	LPF(1-lay)	-5.490 -4	g	LPF(4-lay)	
d	LPF(1-lay)	8.573 -7	a	$\delta Ke.cr$	2.090 -3
e	LPF(1-lay)	7.945 -4	b	$\delta Ke.cr$	9.328 -5
f	LPF(1-lay)	-3.258 -2	c	$\delta Ke.cr$	-3.595 -6
g	LPF(1-lay)	5.796 -2			
a	LPF(2-lay)	9.198 -1			
b	LPF(2-lay)	8.048 -3			
c	LPF(2-lay)	-4.564 -4			
d	LPF(2-lay)	6.308 -6			
e	LPF(2-lay)	3.785 -4			
f	LPF(2-lay)	-1.787 -2			
g	LPF(2-lay)	1.086 -2			
a	LPF(3-lay)	1.105			
b	LPF(3-lay)	-6.794 -3			
c	LPF(3-lay)	2.834 -4			



表 8.1 - 11(1) LAYMON-2AコードB定数のまとめ (クラス3入力値)(1/3)  
 ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	3.042 +2	B <sub>26</sub>	ポイド燃焼度積算因子	0.0
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>	-3.414 -1	B <sub>27</sub>	ν	2.457
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>	9.582 -2	B <sub>28</sub>	ν	2.547 -2
B <sub>4</sub>	δK <sub>cr</sub>	-2.044 -1	B <sub>29</sub>	ν	-4.458 -4
B <sub>5</sub>	クラスタ内燃料ピン本数	28.0	B <sub>30</sub>	Σf	0.0
B <sub>6</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.203	B <sub>31</sub>	Σf	0.0
B <sub>7</sub>	δK <sub>cr</sub>	-1.615 -1	B <sub>32</sub>	Σf	0.0
B <sub>8</sub>	特殊燃料か否かのフラグ	0.0	B <sub>33</sub>	Σf	0.0
B <sub>9</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	-5.779 -2	B <sub>34</sub>	Σf	0.0
B <sub>10</sub>	δK <sub>cr</sub>	3.432 -2	B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	-6.416 -3
B <sub>11</sub>	——	0.0	B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	-1.065 -3
B <sub>12</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	-1.432 -2	B <sub>37</sub>	δK <sub>cr</sub>	-9.943 -3
B <sub>13</sub>	δK <sub>e</sub>	-1.159 -3	B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの被覆管外径	0.0
B <sub>14</sub>	δK <sub>e</sub>	9.977 -5	B <sub>39</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	1.633 -2
B <sub>15</sub>	δK <sub>e</sub>	-3.541 -6	B <sub>40</sub>	δK <sub>cr</sub>	1.125 -4
B <sub>16</sub>	δK <sub>e</sub>	4.936 -8	B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの被覆管外径	0.0
B <sub>17</sub>	δK <sub>d</sub>	5.811 -3	B <sub>42</sub>	K <sub>∞</sub> <sup>uncont</sup>	2.210 -4
B <sub>18</sub>	δK <sub>d</sub>	0.0	B <sub>43</sub>	= I Σf φ <sub>0</sub>	2.46 +10
B <sub>19</sub>	δK <sub>d</sub>	0.0	B <sub>44</sub>	= x Σf φ <sub>0</sub>	1.13 +9
B <sub>20</sub>	δK <sub>e</sub>	-9.199 -3	B <sub>45</sub>	λ I	2.88 -5
B <sub>21</sub>	δK <sub>e</sub>	9.463 -4	B <sub>46</sub>	λ x	2.11 -5
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)	1.0	B <sub>47</sub>	——	0.0
B <sub>23</sub>	ポイド燃焼度積算因子	1.0	B <sub>48</sub>	Σf	0.0
B <sub>24</sub>	チャンネル流量分布	0.0	B <sub>49</sub>	δK <sub>m</sub>	-1.169 -3
B <sub>25</sub>	チャンネル流量分布	0.0	B <sub>50</sub>	δK <sub>m</sub>	2.417 -4

表 8.1-11(2) LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(2/3)

ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値	
B <sub>51</sub>	$\delta K_m$	1.007 +1	B <sub>76</sub>	$\delta K_{xe}$	5.708 -5	
B <sub>52</sub>	$\delta K_m$	-5.548 -6	B <sub>77</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0	
B <sub>53</sub>	$\delta K_m$	-9.557 -4	B <sub>78</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0	
B <sub>54</sub>	$\delta K_{sm}$	-2.978 -2	B <sub>79</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0	
B <sub>55</sub>	$\delta K_{sm}$	5.657 -2	B <sub>80</sub>	チャンネル流量分布	リフィスなし 1.077	リフィスあり 0.6714
B <sub>56</sub>	$\delta K_{sm}$	-3.334 -2	B <sub>81</sub>	チャンネル流量分布	0.005	-0.0640
B <sub>57</sub>	$\delta K_{sm}$	6.223 -3	B <sub>82</sub>	チャンネル流量分布	-0.0489	-0.0351
B <sub>58</sub>	LPF	0.0	B <sub>83</sub>	チャンネル流量分布	0.2355	0.1550
B <sub>59</sub>	LPF	0.0	B <sub>84</sub>	チャンネル流量分布	-0.07388	-0.08376
B <sub>60</sub>	LPF	0.0	B <sub>85</sub>	チャンネル流量分布	-0.1190	-0.0796
B <sub>61</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	1.0	B <sub>86</sub>	LPF	0.0	
B <sub>62</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>87</sub>	LPF	0.0	
B <sub>63</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>88</sub>	LPF	0.0	
B <sub>64</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>89</sub>	LPF	0.0	
B <sub>65</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	0.0	B <sub>90</sub>	LPF	0.0	
B <sub>66</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	1.0	B <sub>91</sub>	LPF	0.0	
B <sub>67</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>92</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	9.131 -1	
B <sub>68</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>93</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	3.024 -3	
B <sub>69</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>94</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	1.367 -2	
B <sub>70</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	0.0	B <sub>95</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	-3.828 -5	
B <sub>71</sub>	$\delta K_{xe}$	2.978 -2	B <sub>96</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	1.068	
B <sub>72</sub>	$\delta K_{xe}$	-4.138 -4	B <sub>97</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	1.716 -3	
B <sub>73</sub>	$\delta K_{xe}$	4.523 -6	B <sub>98</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-3.610 -2	
B <sub>74</sub>	$\delta K_{xe}$	3.185 -1	B <sub>99</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-1.620 -4	
B <sub>75</sub>	$\delta K_{xe}$	-6.408 -3	B <sub>100</sub>	—	0.0	

表 8. 1 - 11(3) LAYMON-2Aコード B 定数のまとめ (クラス 3 入力値) (3/3)

ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> HOT

B 定数	関連項目	値	B 定数	関連項目	値
B <sub>101</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-3.283 -2			
B <sub>102</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-3.288 -2			
B <sub>103</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	9.580 -3			
B <sub>104</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-3.794 -2			
B <sub>105</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	0.62			
B <sub>106</sub>	$\delta K_{Cr}$	-2.369 -3			
B <sub>107</sub>	$\delta K_{Cr}$	9.831 -5			

表 8.1 - 12 LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス35, 38, 43入力値)  
 ふげん(1.50, 1.50, 1.50)AUO<sub>2</sub> HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
a	$\Sigma f$	2.298 -3	d	LPF(3-lay)	8.197 -6
b	$\Sigma f$	3.564 -4	e	LPF(3-lay)	-3.634 -4
c	$\Sigma f$	-1.271 -5	f	LPF(3-lay)	1.532 -2
d	$\Sigma f$	-1.738 -5	g	LPF(3-lay)	-1.412 -2
e	$\Sigma f$	-3.444 -5	a	LPF(4-lay)	
f	$\Sigma f$	5.971 -7	b	LPF(4-lay)	
g	$\Sigma f$	-2.134 -5	c	LPF(4-lay)	
h	$\Sigma f$	3.771 -7	d	LPF(4-lay)	
a	LPF(1-lay)	7.418 -1	e	LPF(4-lay)	
b	LPF(1-lay)	4.669 -3	f	LPF(4-lay)	
c	LPF(1-lay)	6.612 -4	g	LPF(4-lay)	
d	LPF(1-lay)	-2.315 -5	a	$\delta Ke.cr$	1.025 -3
e	LPF(1-lay)	8.805 -4	b	$\delta Ke.cr$	1.496 -4
f	LPF(1-lay)	-3.579 -2	c	$\delta Ke.cr$	-4.211 -6
g	LPF(1-lay)	5.027 -2			
a	LPF(2-lay)	8.541 -1			
b	LPF(2-lay)	4.037 -3			
c	LPF(2-lay)	2.657 -4			
d	LPF(2-lay)	-1.199 -5			
e	LPF(2-lay)	4.283 -4			
f	LPF(2-lay)	-2.119 -2			
g	LPF(2-lay)	9.965 -3			
a	LPF(3-lay)	1.138			
b	LPF(3-lay)	-2.291 -3			
c	LPF(3-lay)	-2.049 -4			

表 8.1-13(1) LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス3入力値)(1/3)

ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>1</sub>	M <sup>2</sup>	2.964 +2	B <sub>26</sub>	ボイド燃焼度 積算因子	0.0
B <sub>2</sub>	M <sup>2</sup>	-2.786 -1	B <sub>27</sub>	$\nu$	2.451
B <sub>3</sub>	M <sup>2</sup>	7.358 -2	B <sub>28</sub>	$\nu$	1.923 -2
B <sub>4</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0	B <sub>29</sub>	$\nu$	-2.137 -4
B <sub>5</sub>	クラスタ内 燃料ピン本数	36.0	B <sub>30</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>6</sub>	$K_{\infty}^{uncont}$	1.213	B <sub>31</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>7</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0	B <sub>32</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>8</sub>	特殊燃料か 否かのフラグ	1.0	B <sub>33</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>9</sub>	$K_{\infty}^{uncont}$	-5.912 -2	B <sub>34</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>10</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0	B <sub>35</sub>	M <sup>2</sup>	-7.563 -3
B <sub>11</sub>	—	0.0	B <sub>36</sub>	M <sup>2</sup>	4.299 -4
B <sub>12</sub>	$K_{\infty}^{uncont}$	-1.490 -2	B <sub>37</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0
B <sub>13</sub>	$\delta K_e$	-6.370 -4	B <sub>38</sub>	特殊燃料内層ピンの 被覆管外径	0.97
B <sub>14</sub>	$\delta K_e$	3.016 -5	B <sub>39</sub>	$K_{\infty}^{uncont}$	1.125 -2
B <sub>15</sub>	$\delta K_e$	-4.788 -7	B <sub>40</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0
B <sub>16</sub>	$\delta K_e$	2.985 -9	B <sub>41</sub>	特殊燃料外層ピンの 被覆管外径	1.472
B <sub>17</sub>	$\delta K_d$	5.551 -3	B <sub>42</sub>	$K_{\infty}^{uncont}$	2.394 -4
B <sub>18</sub>	$\delta K_d$	0.0	B <sub>43</sub>	$= I \Sigma f \phi_0$	2.49 +10
B <sub>19</sub>	$\delta K_d$	0.0	B <sub>44</sub>	$= x \Sigma f \phi_0$	1.15 +9
B <sub>20</sub>	$\delta K_e$	-9.733 -3	B <sub>45</sub>	$\lambda I$	2.58 -5
B <sub>21</sub>	$\delta K_e$	8.138 -4	B <sub>46</sub>	$\lambda x$	2.51 -5
B <sub>22</sub>	燃焼度積算因子 (St.Fuel=1.0)	1.4	B <sub>47</sub>	—	0.0
B <sub>23</sub>	ボイド燃焼度 積算因子	1.4	B <sub>48</sub>	$\Sigma f$	0.0
B <sub>24</sub>	チャンネル 流量分布	0.0	B <sub>49</sub>	$\delta K_m$	-1.077 -3
B <sub>25</sub>	チャンネル 流量分布	0.0	B <sub>50</sub>	$\delta K_m$	2.391 -4

表 8.1 - 13(2) LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス3入力値)(2/3)

ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT

B定数	関連項目	値		B定数	関連項目	値
B <sub>51</sub>	$\delta K_m$	9.940		B <sub>76</sub>	$\delta K_{xe}$	9.715 -5
B <sub>52</sub>	$\delta K_m$	-4.795 -6		B <sub>77</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>53</sub>	$\delta K_m$	-9.643 -4		B <sub>78</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>54</sub>	$\delta K_{sm}$	-2.621 -2		B <sub>79</sub>	$\delta K_{xe}$	0.0
B <sub>55</sub>	$\delta K_{sm}$	5.101 -2		B <sub>80</sub>	チャンネル流量分布	1.133
B <sub>56</sub>	$\delta K_{sm}$	-3.099 -2		B <sub>81</sub>	チャンネル流量分布	0.095
B <sub>57</sub>	$\delta K_{sm}$	5.917 -3		B <sub>82</sub>	チャンネル流量分布	-0.0739
B <sub>58</sub>	LPF	0.0		B <sub>83</sub>	チャンネル流量分布	0.2975
B <sub>59</sub>	LPF	0.0		B <sub>84</sub>	チャンネル流量分布	-0.1039
B <sub>60</sub>	LPF	0.0		B <sub>85</sub>	チャンネル流量分布	-0.1846
B <sub>61</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	MOX 9.737 -1	UO <sub>2</sub> 9.933 -1	B <sub>86</sub>	LPF	0.0
B <sub>62</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	-1.784 -2	-8.913 -3	B <sub>87</sub>	LPF	0.0
B <sub>63</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	2.861 -4	9.563 -5	B <sub>88</sub>	LPF	0.0
B <sub>64</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	1.237 -4	-7.751 -4	B <sub>89</sub>	LPF	0.0
B <sub>65</sub>	$K^\infty$ に対する スペクトル補正係数	7.669 -4	-3.717 -4	B <sub>90</sub>	LPF	0.0
B <sub>66</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	1.105	1.030	B <sub>91</sub>	LPF	0.0
B <sub>67</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	4.258 -2	2.833 -2	B <sub>92</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	9.149 -1
B <sub>68</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	1.873 -3	-6.292 -5	B <sub>93</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	3.115 -3
B <sub>69</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	-1.821 -3	1.339 -3	B <sub>94</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	9.579 -3
B <sub>70</sub>	$M^2$ に対するスペク トル補正係数	-2.099 -3	9.914 -4	B <sub>95</sub>	SPMODK (防振板に よる $K^\infty$ 補正因子)	-2.275 -4
B <sub>71</sub>	$\delta K_{xe}$	3.072 -2		B <sub>96</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	1.065
B <sub>72</sub>	$\delta K_{xe}$	-4.200 -4		B <sub>97</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	2.480 -3
B <sub>73</sub>	$\delta K_{xe}$	2.946 -6		B <sub>98</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-3.760 -2
B <sub>74</sub>	$\delta K_{xe}$	2.651 -1		B <sub>99</sub>	SPMODM (防振板に よる $M^2$ 補正因子)	-2.950 -4
B <sub>75</sub>	$\delta K_{xe}$	-7.738 -3		B <sub>100</sub>	—	0.0

表 8.1-13(3) LAYMON-2Aコード B定数のまとめ (クラス 3 入力値) (3/3)  
ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
B <sub>101</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-4.195 -2			
B <sub>102</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-1.765 -2			
B <sub>103</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	5.190 -3			
B <sub>104</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	-1.064 -1			
B <sub>105</sub>	$K_{\infty}^{\text{uncont}}$	0.62			
B <sub>106</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0			
B <sub>107</sub>	$\delta K_{cr}$	0.0			

表 8.1-14 LAYMON-2AコードB定数のまとめ(クラス35, 38, 43入力値)  
ふげん(2.50, 1.50)ASP HOT

B定数	関連項目	値	B定数	関連項目	値
a	$\Sigma f$	2.404 -3	d	LPF(3-lay)	8.395 -7
b	$\Sigma f$	1.946 -4	e	LPF(3-lay)	-2.969 -4
c	$\Sigma f$	-1.257 -5	f	LPF(3-lay)	5.655 -3
d	$\Sigma f$	-2.049 -5	g	LPF(3-lay)	-3.122 -3
e	$\Sigma f$	-3.715 -5	a	LPF(4-lay)	
f	$\Sigma f$	4.966 -7	b	LPF(4-lay)	
g	$\Sigma f$	-2.941 -5	c	LPF(4-lay)	
h	$\Sigma f$	5.429 -7	d	LPF(4-lay)	
a	LPF(1-lay)	7.200 -1	e	LPF(4-lay)	
b	LPF(1-lay)	-6.045 -3	f	LPF(4-lay)	
c	LPF(1-lay)	5.417 -5	g	LPF(4-lay)	
d	LPF(1-lay)	-1.469 -6	a	$\delta Ke.cr$	0.0
e	LPF(1-lay)	6.424 -4	b	$\delta Ke.cr$	0.0
f	LPF(1-lay)	-1.203 -2	c	$\delta Ke.cr$	0.0
g	LPF(1-lay)	8.172 -3			
a	LPF(2-lay)	0.0			
b	LPF(2-lay)	0.0			
c	LPF(2-lay)	0.0			
d	LPF(2-lay)	0.0			
e	LPF(2-lay)	0.0			
f	LPF(2-lay)	0.0			
g	LPF(2-lay)	0.0			
a	LPF(3-lay)	1.280			
b	LPF(3-lay)	3.412 -3			
c	LPF(3-lay)	-3.127 -5			



表 8.1-15(1) B定数におけるフィッティング式一覧表

№	項目	フィッティング式 (METS = 20 オプション)	記号の説明	備考		
1	$M^2 \left( \frac{D}{\Sigma a} \right)$	$B_1 \cdot (1+B_2 \cdot U+B_3 \cdot U^2) \cdot (1+B_{35} \cdot Z) \cdot (1+B_{36} \cdot E)$	Z : B <sup>10</sup> 濃度 (ppm) E : 燃焼度 (GWd/t)			
2	K <sub>∞</sub>	$K_{\infty}^{uncorr} (K_{\infty})$	$B_6 \cdot (1+B_9 \cdot U+B_{39} \cdot U^2) \cdot (1+B_{12} \cdot Z+B_{42} \cdot Z^2) \cdot \left\{ \frac{1+B_{12} \cdot (1+B_{12} \cdot E) \cdot (U-U_0) + B_{12} \cdot (1+B_{12} \cdot E) \cdot (U-U_0)^2}{(1+B_{12} \cdot E + B_{12} \cdot E^2)} \right\}$	U : 冷却材相対密度 U <sub>0</sub> : B <sub>125</sub>	K <sub>∞</sub> = K <sub>∞</sub> (1 + c δK <sub>CR</sub> ) × (1 + δK <sub>E</sub> ) × (1 + δK <sub>Xe</sub> + δK <sub>D</sub> ) × (1 + δK <sub>Sm</sub> ) (1 + δK <sub>M</sub> )	
		δK <sub>CR</sub>	$B_4 \cdot (1+B_7 \cdot U+B_{10} \cdot U^2+B_{37} \cdot Z+B_{40} \cdot Z^2) \cdot \left( \frac{1+B_{12} \cdot E + B_{12} \cdot E^2}{1+B_{12} \cdot E + B_{12} \cdot E^2} \right)$			
		δK <sub>E</sub>	$(B_{20}+B_{21} \cdot \sqrt{E}) \cdot E+B_{13} \cdot E^2+B_{14} \cdot E^3+B_{15} \cdot E^4+B_{16} \cdot E^5$	$\sqrt{E}$ : 燃焼を通じての平均ボイド率		
		平衡時	δK <sub>Xe</sub>	$\delta K_{Xe} = (B_{71}+B_{72} \cdot E+B_{73} \cdot E^2) \cdot \left( 1 - \frac{X_e^R}{X_e} \right)$	X : 定格出力時のX <sub>e</sub> 濃度	
				$\frac{X_e^R}{X_e} = P_S \cdot \frac{1+\alpha}{P_S+\alpha}, \alpha = \frac{\lambda_X}{(\sigma_X \phi)_R} = B_{74}+B_{75} \cdot E+B_{76} \cdot E^2$	X : 出力レベル P における X <sub>e</sub> 濃度	
		過渡時	δK <sub>Xe</sub>	$\delta K_{Xe} = (B_{71}+B_{72} \cdot E+B_{73} \cdot E^2) - (B_{77}+B_{78} \cdot E+B_{79} \cdot E^2) X_e(t)$	$P_S = P_{ijk} \cdot \frac{P_{TH}}{P_R}$	P <sub>ijk</sub> : セグメント相対出力 P <sub>TH</sub> : 熱出力 P <sub>R</sub> : 定格出力
				$X_e(t) = \frac{B_{45} \cdot I(t-1) + TFMP \cdot P_S}{TEMP \cdot P_S + B_{46}} [1 - \exp\{- (TEMP \cdot P_S + B_{46}) \cdot \Delta t\}] + X_e(t-1) \cdot \exp\{- (TEMP \cdot P_S + B_{46}) \cdot \Delta t\}$		
				$I(t) = \frac{B_{43} \cdot P_S}{B_{45}} [1 - \exp(-B_{45} \cdot \Delta t)] + I(t-1) \cdot \exp(-B_{45} \cdot \Delta t)$		
				$TEMP (\sigma_X \phi)_R = \frac{R_{45}}{B_{74} + B_{75} \cdot E + B_{76} \cdot E^2}$		
				$B_{43} = \gamma_1 \Sigma_i \phi_0, B_{44} = \gamma_X \Sigma_i \phi_0, B_{45} = \lambda_1, B_{46} = \lambda_X$		
	δK <sub>D</sub>	$B_{17} \cdot \{ 1+B_{18} \cdot (1-B_{19} \cdot U) \} \cdot (1-P_S)$				
	δK <sub>Sm</sub>	$B_{54} \cdot E^3+B_{55} \cdot E^2+B_{56} \cdot E+B_{57}$				
	δK <sub>M</sub>	$\{ B_{49}+B_{50}(Z+B_{51} \cdot U)+B_{52} \cdot Z^2+B_{53} \cdot U^2 \} \cdot \left( 1 - \frac{P_{TH}}{P_R} \right)$				

表 8.1 - 15(2) (続き)

№	項目	フィッティング式 (METS = 2.0 オプション)	記号の説明	備考	
3	特殊燃料 スペクトル 補正係数	$F_{K\infty}$	$B_{61} \cdot (1+B_{62} \cdot V_f) \cdot (1+B_{63} \cdot Z) \cdot (1+B_{64} \cdot E) \cdot (1+B_{65} \cdot \Delta E)$	$V_f$ : ボイド率 $Z$ : $B^{10}$ 濃度 (ppm) $E$ : 燃焼度 (GWd/t) $\Delta E$ : (周囲の標準燃料の平均燃焼度) - (特殊の燃焼度)	$K'_{\infty} = F_{K\infty} \cdot K_{\infty}$
	$F_{M^2}$	$B_{66} \cdot (1+B_{67} \cdot V_f) \cdot (1+B_{68} \cdot Z) \cdot (1+B_{69} \cdot E) \cdot (1+B_{70} \cdot \Delta E)$	$U$ : 冷却材相対密度	$M^{2'} = F_{M^2} \cdot M^2$	
4	防振板 効果の 補正因子	SPMODK ( $K_{\infty}$ )	$B_{92} \cdot (1+B_{92} \cdot Z) \cdot (1+B_{94} \cdot U) \cdot (1+B_{95} \cdot E)$	SPMODK = $\frac{K_{co}(\text{防振板あり})}{K_{\infty}(\text{防振板なし})}$	
		SPMODM ( $M^2$ )	$B_{96} \cdot (1+B_{97} \cdot Z) \cdot (1+B_{98} \cdot U) \cdot (1+B_{99} \cdot E)$	SPMODM = $\frac{M^2(\text{防振板あり})}{M^2(\text{防振板なし})}$	
5	$\nu$	$B_{27} + B_{28} \cdot E + B_{29} \cdot E^2$			
6	$\Sigma_f$	$\{B_{30} + B_{31} \cdot (E + B_{32} \cdot U) + B_{33} \cdot E^2 + B_{34} \cdot U^2\} (1 + B_{45} \cdot Z)$		クラス 43 ①番地が 1 のときは別のフィッティング式を使用	
7	局所出力ピーキング 係数	$B_{58} \cdot (1+B_{66} \cdot E + B_{67} \cdot E^2 + B_{68} \cdot E^3 + B_{69} \cdot E^4 + B_{60} \cdot E^5) \cdot (1+B_{63} \cdot Z) \cdot (1+B_{60} \cdot V_f + B_{61} \cdot V_f^2)$		クラス 35 ①番地が 1 のときは別のフィッティング式を使用	
8	燃焼度・ボイド燃焼 度積算因子	$E_{ijk} = E_{ijk} + B_{22} \cdot \Delta E \cdot P_{ijk}$			
		$V_{ijk} = V_{ijk} + B_{23} \cdot \Delta E \cdot P_{ijk} \cdot \{V_{f,ijk} + B_{26} \cdot (C_{ijk} + 1)\}$	$V$ : ボイド積算燃焼度 $C$ : 各ノードの制御率		
9	チャンネル 流量分布(1)	$WF_{ij}$	$F_{ij} \{1 + B_{24} \cdot (P_{ij} - 1) + B_{25} \cdot (P_{ij} - 1)^2\}$	$B_{80} \sim B_{85}$ がすべて 0 のとき使用 $F_{ij}$ はクラス 6 で入力	
10		FC	$FC = B_{80} - B_{81} \cdot \frac{P_{TH}}{P_R}$	$P_{TH}$ : 熱出力 $P_R$ : 定格出力	
		BC	$BC = B_{82} - B_{83} \cdot \frac{P_{TH}}{P_R}$		
		CC	$CC = B_{84} - B_{85} \cdot \frac{P_{TH}}{P_R}$		
		$WF_{ij}$	$FC \{1 + BC (P_{ij} - 1) + CC (P_{ij} - 1)^2\}$		

表 8.1-16 局所出力ピーキング係数(LPF)のフィッティング式

No.	項目	フィッティング式	記号の説明	備考
35	LPF	$LPF_{jk} = a_{jk} \cdot (1 + b_{jk} \cdot E + c_{jk} \cdot E^2 + d_{jk} \cdot E^3)$ $\times (1 + e_{jk} \cdot Z) \cdot (1 + f_{jk} \cdot V + g_{jk} \cdot V^2)$ <p>ここで、  j: 燃料タイプ  k: 燃料層No.  (k=1:内層, k=2:中間層, k=3:外層)</p>	E: 燃焼度 (GWd/t) Z: $^{10}\text{B}$ 濃度 (PPm) V: ボイド率	Class 35でBCOEF (j,k,1) ~ BCOEF (j,k,7) 定数として入力 ie; BCOEF (j,k,1) = $a_{jk}$ : : : BCOEF (j,k,7) = $g_{jk}$

表 8.1 - 17 核分裂断面積 ( $\Sigma f$ ) のフィッティング式

NO.	項目	フィッティング式	記号の説明	備考
43	$\Sigma f$	$\Sigma f = a + b \cdot U + c \cdot Z$ $+ (d + e \cdot U + f \cdot Z + g \cdot VE) \cdot E$ $+ h \cdot E^2$	E : 燃焼度 (GWd/t) Z : $^{10}\text{B}$ 濃度 (ppm) U : 冷却材相対密度 VE : 燃焼を通じたの 平均ボイド率	クラス43でBEC(1,N)~BEC(8,N) 定数として入力。 N : 燃料タイプ

1	1	1.42019	1.19352 -03	1.65880 -03	5.92720 -04
		2.70612 -02			
1	2	1.24232	3.52814 -03	1.18389 -03	4.53656 -04
			2.36846 -02		
1	3	0.84986	8.51644D-03	1.19544D-02	4.48598D-03
			0.0		
2	1	1.42640	1.22092 -03	1.68786 -03	6.08030 -04
		2.69898 -02			
2	2	1.24809	3.48346 -03	1.17354 -03	4.82090 -04
			2.38955 -02		
2	3	0.84653	7.79251 -03	1.01629 -02	4.18164D-03
			0.0		
3	1	1.42019	1.25235 -03	1.65880 -03	5.92720 -04
		2.70023 -02			
3	2	1.24232	5.51723 -03	1.18389 -03	4.53656 -04
			2.19955 -02		
3	3	0.84986	8.51644D-03	1.19544D-02	4.48598D-03
			0.0		
5	1	1.53907	-5.29191D-05	0.0	0.0
		2.62585D-02			
5	2	1.23968	6.50558D-06	0.0	0.0
			1.89000 -02		
5	3	8.47296 -01	1.24943D-04	0.0	0.0
			0.0		

- 1 ——— DCA 0.54wt% PuO<sub>2</sub> - UO<sub>2</sub> 燃料, E=0(MWd/t), <sup>10</sup>B=0ppm, Void=0%
- 2 ——— DCA 1.2wt% UO<sub>2</sub> 燃料, E=1(MWd/t), <sup>10</sup>B=0ppm, Void=0%
- 3 ——— 1 の燃料の制御棒入り定数
- 5 ——— 2 の燃料, 重水定数

図 8.1 - 1 新吸収面積法におけるDCA(Pu-U)2領域炉心のCITATION 3 群格子定数

表 8.2-1 従来及び今回の定格飽和時キセノン反応度の解析法，計算結果の比較

	解 析 法			計 算 結 果
	格 子 計 算	炉 心 計 算	キセノン反応度の定義	
従 来 使 用 キセノン反応度	METHUSELAH-II コード使用	左記のMOXとUO <sub>2</sub> の結果をインポートンスで合成 (表9.2-3 参照)	(%) $\Delta K =$ $\frac{K_{eff}^{(Xeなし)} - K_{eff}^{(Xe有り)}}{K_{eff}^{(Xe有り)}}$	3.0% $\Delta K$
今 回 使 用 キセノン反応度	WIMS-ATR コード使用	LAYMON-2A コード使用	(%) $\Delta K / K =$ $\frac{\frac{K_{eff}^{(Xeなし)} - K_{eff}^{(Xe有り)}}{K_{eff}^{(Xe有り)}}}{K_{eff}^{(Xe有り)}}$	MSIV試験時 2.78 <sub>5</sub> (%) $\Delta K / K$ 通常停止時 2.77 <sub>2</sub> (%) $\Delta K / K$

表 8.2 - 2 METHUSELAH-II コードで計算したキセノン及びサマリウム反応度\*\*  
 (「ふげん」初装荷炉心BOC)

B <sup>10</sup>	Core Condition	Core Configuration					
		PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>		UO <sub>2</sub>		2 Region	
(ppm)	Hot Operation	ke	(%)Δke	ke	(%)Δke	ke	(%)Δke*
7.5	Without (Xe+Sm)	1.0678	0.	1.0669	0.	—	0.
	With Sm, Without Xe	1.0524	-1.54	1.0570	-0.99	—	-1.35
	With Xe Without Sm	1.0400	-2.78	1.0373	-2.96	—	-2.84
	With(Xe+Sm)	1.0254	-4.24	1.0280	-3.89	—	-4.12
	Without (Xe+Sm)	1.1630	0.	1.1793	0.	—	0.
0.0	With Sm, Without Xe	1.1456	-1.74	1.1677	-1.16	—	-1.54
	With Xe, Without Sm	1.1314	-3.16	1.1446	-3.47	—	-3.27
	With(Xe+Sm)	1.1150	-4.80	1.1338	-4.55	—	-4.71

\*  $(\Delta ke \text{ of PuO}_2\text{-UO}_2) \times 0.657 + (\Delta ke \text{ of UO}_2) \times 0.343$

\*\* SJ302 73-24 新型転換炉原型炉「ふげん」伝熱流動実験データ等に基づく  
 炉心特性評価('73年7月)

表 9.2 - 3 より

$$^{10}\text{B} \sim 3 \text{ ppm での Xe 反応度 ; } \frac{2.84 + 3.27}{2} = \underline{3.06\% \Delta k}$$

表 8. 2 - 3 「ふげん」実績データに基づく METHUSELAH-II コードのキセノン反応度計算誤差

	月日時刻	TPM よみ (%)	出力係数 反応度 (%ΔK/K)	制 御 棒 反 応 度 (%ΔK/K)	減速材温 度反応度 (%ΔK/K)	キセノン反応度 (%ΔK/K)		キセノン反応 度計算誤差 (%)
						実績推定値	計算値*	
(1) 「ふげん」 MSIV試験出力変更時データ (54.5.30)	5/30 16° 00	49.7	+0.299	+0.235 ±0.024	-0.035	-0.499	-0.501	-0.4±4.8
	5/30 17° 00	49.7	"	+0.285 ±0.025	"	-0.549	-0.577	-4.9±5.0
	5/30 18° 00	49.7	"	+0.305 ±0.031	"	-0.569	-0.613	-7.2±5.1
	5/30 19° 00	49.7	"	+0.300 ±0.032	"	-0.564	-0.620	-9.0±5.2
	5/30 20° 00	49.7	"	+0.280 ±0.028	"	-0.544	-0.605	-10.1±4.6
	5/30 21° 00	49.7	"	+0.253 ±0.025	"	-0.517	-0.573	-9.8±4.4
	5/30 22° 00	49.7	"	+0.213 ±0.021	"	-0.477	-0.501	-4.8±4.2
	5/30 23° 00	49.7	"	+0.175 ±0.018	"	-0.439	-0.479	-8.4±3.8
	5/31 0° 00	49.7	"	+0.140 ±0.014	"	-0.404	-0.423	-4.5±3.3
	5/31 1° 00	49.7	"	+0.092 ±0.009	"	-0.356	-0.363	-1.9±2.5
(2) 「ふげん」 通常停止時データ (54.6.23)	6/23 5° 00	45.1	+0.329	+0.200 ±0.020	-0.040	-0.479	-0.471	-1.7±4.2
	6/23 30	45.2	"	+0.245 ±0.025	-0.035	-0.529	-0.540	-2.0±4.6
	6/23 6° 00	45.4	"	+0.285 ±0.029	"	-0.569	-0.596	-4.5±4.8
	6/23 30	45.0	"	+0.308 ±0.031	"	-0.592	-0.638	-7.2±4.9
	6/23 7° 00	44.9	"	+0.323 ±0.032	"	-0.607	-0.670	-9.4±4.8
	6/23 30	45.2	"	+0.332 ±0.033	"	-0.616	-0.691	-10.9±4.8
	6/23 8° 00	45.0	"	+0.337 ±0.034	"	-0.621	-0.705	-11.9±4.8
	6/23 30	45.6	"	+0.335 ±0.034	"	-0.619	-0.710	-12.8±4.8
	6/23 9° 00	45.4	"	+0.330 ±0.033	"	-0.614	-0.708	-13.3±4.7
	6/23 30	45.2	"	+0.320 ±0.032	"	-0.604	-0.701	-13.8±4.6
6/23 10° 00	45.4	"	+0.306 ±0.031	"	-0.590	-0.688	-14.2±4.5	
* METHUSELAH-II							正側最大値	+5.9
							負側最大値	-18.7



表 8.2-4 格子計算ベースでのMETHUSELAH-IIコードとWIMS-ATRコードの  
キセノン反応度(8Kxe)の比較

燃料タイプ \ コード	①METHUSELAH-II	②WIMS-ATR	②/①
Aタイプ MOX	$2.749 \times 10^{-2}$	$2.642 \times 10^{-2}$	0.961
Aタイプ UO <sub>2</sub>	$3.014 \times 10^{-2}$	$2.978 \times 10^{-2}$	0.988
Bタイプ MOX	$2.447 \times 10^{-2}$	$2.424 \times 10^{-2}$	0.991
Bタイプ UO <sub>2</sub>	$3.015 \times 10^{-2}$	$2.958 \times 10^{-2}$	0.981

\*  $\delta K_{xe} = \frac{K_{\infty}(\text{Xeなし}) - K_{\infty}(\text{Xe有り})}{K_{\infty}(\text{Xe有り})}$

表 8.2-5 格子計算ベースでのMETHUSELAH-IIコードとWIMS-ATRコードの  
ボロン反応度 ( $\% \Delta K_{\infty}/\text{ppm}$ )の比較 (定格出力時)

燃 料	B定数 $K_{\infty}$	① METHUSELAH-II	② WIMS-ATR	②/①
Aタイプ MOX	$B_6$	1.144	1.156	——
	$B_{12}$	-1.153 -2	-1.227 -2	——
	$B_{42}$	1.513 -4	1.756 -4	——
Aタイプ UO <sub>2</sub>	$B_6$	1.174	1.167	——
	$B_{12}$	-1.356 -2	-1.432 -2	——
	$B_{42}$	1.910 -4	2.210 -4	——
Aタイプ MOX	$K_{\infty}$ ( $^{10}\text{B}=12$ )	1.01064	1.01517	——
	$K_{\infty}$ ( $^{10}\text{B}=13$ )	1.00178	1.00609	——
	$\% \Delta K_{\infty}/\text{ppm}$	1.886	0.908	1.025
Aタイプ UO <sub>2</sub>	$K_{\infty}$ ( $^{10}\text{B}=12$ )	1.01526	1.00360	——
	$K_{\infty}$ ( $^{10}\text{B}=13$ )	1.00494	0.99334	——
	$\% \Delta K_{\infty}/\text{ppm}$	1.032	1.026	0.994

$$K_{\infty} = B_6 (1 + B_{12} \cdot ^{10}\text{B} + B_{42} \cdot (^{10}\text{B})^2) \quad (\text{LAYMON-2Aコードの式})$$

燃料	熱出力変換係数比( $\beta$ )
0.54 Pu	1.277
1.2 U	1.0

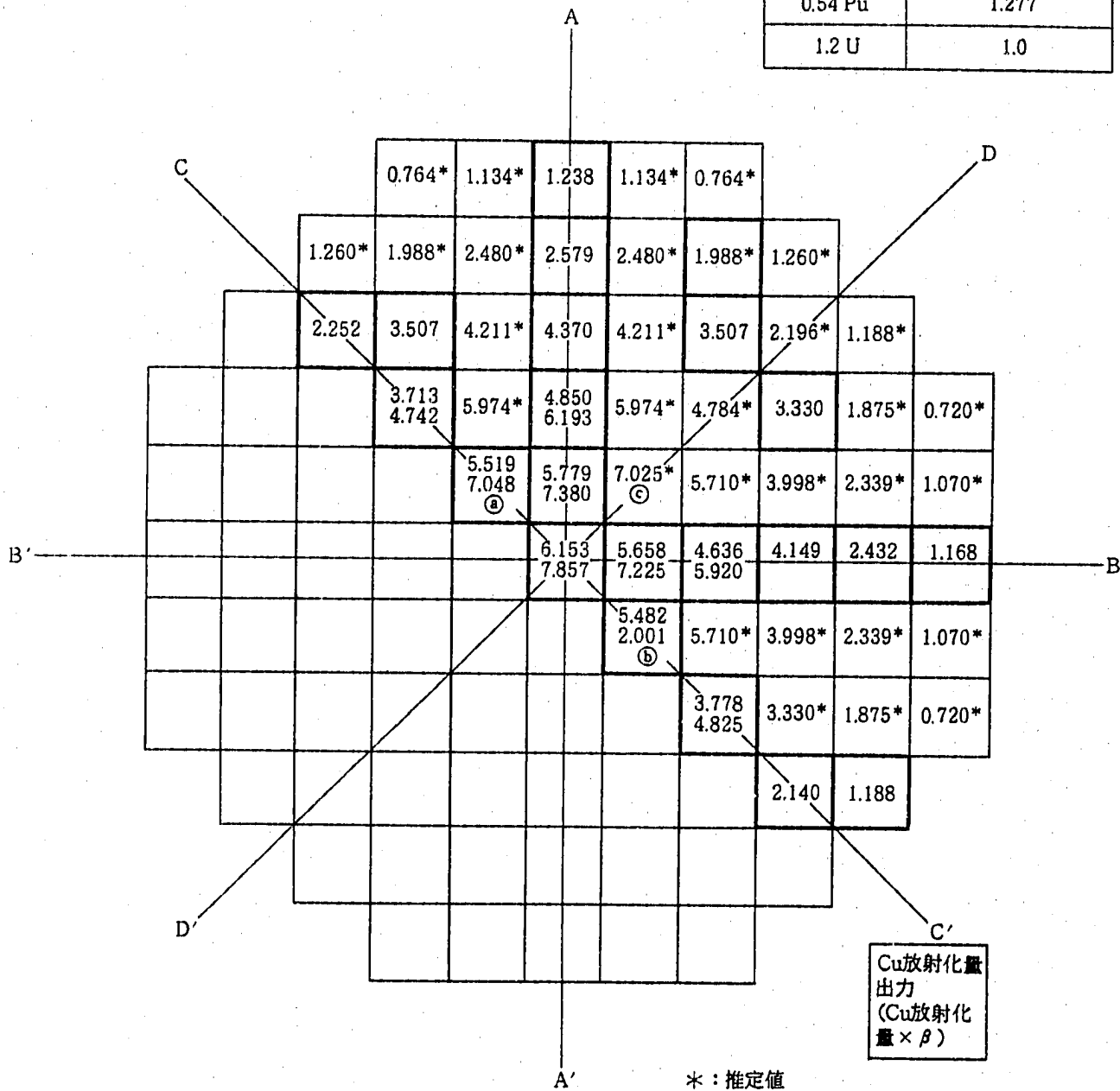


図 8.3 - 1 DCA SUS制御棒無挿入時の実験結果の出力分布

		J チャンネル					
I		1	2	3	4	5	6
1					134.6	127.5	125.0
2				125.0	111.8	103.0	100.0
3			125.0	106.1	90.1	79.1	75.0
4		134.6	111.8	90.1	70.7	55.9	50.0
5		127.5	103.1	79.1	55.9	35.4	25.0
6		125.0	100.0	75.0	50.0	25.0	0.0

単位 (cm)

図 8.3 - 2 DCA炉心の炉心中心からのチャンネル位置