

高速実験炉「常陽」MK-Ⅲ性能試験
— 制御棒校正 (NT-321) —
(研究報告)

2004年10月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
449 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2004

JNC TN9400 2004-057
2004年10月

高速実験炉「常陽」MK-III 性能試験

— 制御棒校正 (NT-321) —

(研究報告)

千葉 豪*、北野 彰洋**、前田 茂貴***、関根 隆***

要 旨

高速実験炉「常陽」MK-III 性能試験の一環として、制御棒校正試験を実施した。制御棒の引き抜きにより生じる反応度を逆運動特性法により求めて反応度価値を測定した（単独引き抜きによる測定）。また、これを参照値として、4本の制御棒の挿入・引き抜きにより生じる反応度を測定する4本同時差換法、及び中性子源増倍法を用いた試験を行い、それらの測定精度を評価した。また、制御棒干渉効果の測定も行った。本試験で得られた知見を以下に示す。

- (1) MK-III 炉心の制御棒反応度価値に関する炉心特性が核的な制限値を満たしていることを確認した。
- (2) 4本同時差換法により測定された制御棒反応度価値は、制御棒干渉効果を補正することにより、単独の制御棒引き抜きによる実験値と実験誤差内で一致した。
- (3) 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値は、制御棒干渉効果を補正することにより、単独の制御棒引き抜きによる実験値と10%以内で一致した。測定する未臨界度が浅い、もしくは外部中性子源が無視できる場合は5%以内で一致した。
- (4) 制御棒の全挿入及び半挿入の反応度価値について、輸送理論による解析値と実験値は4%以内で一致した。
- (5) 制御棒干渉効果について、拡散理論による解析値と実験値は3%以内で一致した。また、メッシュ分割の詳細化および輸送理論の採用により、さらによく一致した。

* 大洗工学センター システム技術開発部 中性子工学グループ

** 敦賀本部 国際技術センター 炉心技術開発グループ

*** 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部 技術課

JNC TN9400 2004-057
October 2004

MK- III Performance Test of Experimental Fast Reactor “JOYO” – Control Rod Calibration (NT-321) –

Go Chiba*, Akihiro Kitano**, Shigetaka Maeda*** and Takashi Sekine***

ABSTRACT

Control rod reactivity worth (CRRW) was measured in a series of MK-III performance test of the experimental fast reactor “JOYO”. Reactivity worth was measured by the inverse kinetics method in process of withdrawing each control rod. The measured CRRW was regarded as reference. Additional measurements were carried out with a four-rod-juggling method and the neutron source multiplication method (NSM). Their experimental accuracy was examined. The control rod shadowing effect (CRSE) was also measured. Following results were obtained in measurements and analyses:

- (1) It was confirmed that core characteristics related to CRRW satisfy their limits.
- (2) Experimental values obtained by the four-rod-juggling method agree with references within the experimental uncertainties after correcting the CRSEs.
- (3) Experimental values obtained by NSM agree with references within 10% differences after correcting the CRSEs. The differences decrease to about 5% when the sub-criticality was not so large or a point neutron source was weak.
- (4) Full-traveled and half-traveled CRRW calculated by the transport theory agrees with experimental values within 4% difference.
- (5) CRSEs calculated by the diffusion theory agree with experimental values within 3% difference. The agreement becomes better when calculation mesh was divided finer or the transport theory was adopted.

* Reactor Physics Research Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center, JNC

** Core Development Group, International Cooperation and Technology Development Center, Turuga Head Office, JNC

*** Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, O-arai Engineering Center, JNC

目 次

1.	緒言	1
2.	MK-III 炉心の概略と制御棒校正試験方法	2
2.1	「常陽」 MK-III 炉心	2
2.2	単独の制御棒引き抜きによる制御棒校正試験	2
2.3	4本同時差換法による制御棒校正試験	3
2.4	制御棒干渉効果測定試験	3
2.4.1	干渉効果測定試験の概要	3
2.4.2	試験立案のためのサーベイ計算	4
2.4.3	試験方法	4
2.5	中性子源増倍法による制御棒校正試験	5
3.	測定結果	14
3.1	単独の制御棒引き抜きによる制御棒校正試験	14
3.2	4本同時差換法による制御棒校正試験	15
3.3	制御棒干渉効果測定試験	15
3.4	中性子源増倍法による制御棒校正試験	16
4.	誤差評価と実験値の整理	57
4.1	誤差評価	57
4.1.1	統計誤差の評価	57
4.1.2	系統誤差の評価	58
4.2	実験値の整理	59
4.3	単独の制御棒引き抜きと 4本同時差換法との比較	59
4.4	中性子源増倍法による測定値の評価	59
5.	実験解析	76
5.1	解析手法	76
5.2	解析結果	77
6.	結言	80
	謝辞	81
	参考文献	82

表リスト

表 3.1 単独引き抜きによる測定値 (CR1)	17
表 3.2 単独引き抜きによる測定値 (CR2)	18
表 3.3 単独引き抜きによる測定値 (CR3)	19
表 3.4 単独引き抜きによる測定値 (CR4)	20
表 3.5 単独引き抜きによる測定値 (CR5)	21
表 3.6 単独引き抜きによる測定値 (CR6)	22
表 3.7 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR1、均等引き抜き状態に補正)	23
表 3.8 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR2、均等引き抜き状態に補正)	23
表 3.9 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR3、均等引き抜き状態に補正)	24
表 3.10 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR4、均等引き抜き状態に補正)	24
表 3.11 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR5、均等引き抜き状態に補正)	25
表 3.12 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR6、均等引き抜き状態に補正)	25
表 3.13 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR1、単独引き抜き状態に補正)	26
表 3.14 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR2、単独引き抜き状態に補正)	27
表 3.15 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR3、単独引き抜き状態に補正)	28
表 3.16 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR4、単独引き抜き状態に補正)	29
表 3.17 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR5、単独引き抜き状態に補正)	30
表 3.18 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR6、単独引き抜き状態に補正)	31
表 3.19 校正曲線の多項式係数 (均等引き抜き状態模擬)	32
表 3.20 校正曲線の多項式係数 (単独引き抜き状態模擬)	32
表 3.21 4本同時差換法による測定値	33
表 3.22 4本同時差換法による校正試験結果 (CR1、単独引き抜き状態に補正)	34
表 3.23 4本同時差換法による校正試験結果 (CR3、単独引き抜き状態に補正)	34
表 3.24 4本同時差換法による校正試験結果 (CR4、単独引き抜き状態に補正)	35
表 3.25 4本同時差換法による校正試験結果 (CR6、単独引き抜き状態に補正)	35
表 3.26 校正曲線の多項式係数 (4本同時差換法・単独引き抜き状態模擬)	35
表 3.27 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR4 位置 325mm)	36
表 3.28 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR4 位置 650mm)	36
表 3.29 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR6 位置 325mm)	37
表 3.30 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR6 位置 650mm)	37
表 3.31 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR3 位置 200mm)	38
表 3.32 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR3 位置 450mm)	38
表 3.33 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR6 位置 200mm)	39

表 3.34 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR6 位置 450mm)	39
表 3.35 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR4 位置 325mm)	40
表 3.36 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR4 位置 650mm)	40
表 3.37 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR6 位置 325mm)	40
表 3.38 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR6 位置 650mm)	41
表 3.39 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR3 位置 200mm)	41
表 3.40 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR3 位置 450mm)	41
表 3.41 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR6 位置 200mm)	42
表 3.42 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR6 位置 450mm)	42
表 3.43 中性子源増倍法による試験での測定結果 (1回目、CR1)	43
表 3.44 中性子源増倍法による試験での測定結果 (1回目、CR2、CR5)	43
表 3.45 中性子源増倍法による試験での測定結果 (2回目)	44
表 4.1 反応度実験値の統計誤差 (CR1)	61
表 4.2 反応度実験値の統計誤差 (CR2)	62
表 4.3 反応度実験値の統計誤差 (CR3)	63
表 4.4 反応度実験値の統計誤差 (CR4)	64
表 4.5 反応度実験値の統計誤差 (CR5)	65
表 4.6 反応度実験値の統計誤差 (CR6)	66
表 4.7 微分反応度価値におけるフィッティング曲線との一致度合い	67
表 4.8 積分反応度価値実験値とその誤差	67
表 4.9 制御棒干渉効果実験値とその誤差	67
表 4.10 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差 (1回目、CR1)	67
表 4.11 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差 (1回目、CR2,CR5)	68
表 4.12 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差 (2回目)	68
表 4.13 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値	69
表 5.1 制御棒反応度価値の C/E 値	78
表 5.2 干渉効果解析に使用した制御棒引き抜きパターン	78
表 5.3 干渉効果解析結果	78

図リスト

図 2.1 高速実験炉「常陽」MK-III 炉心構成図	6
図 2.2 炉心軸方向概略図	7
図 2.3 単独引き抜きによる測定試験での炉心出力と反応度の時間変化.....	8
図 2.4 単独引き抜きによる測定試験での制御棒引き抜きパターン	8
図 2.5 4本同時差換法による測定試験での炉心出力と反応度の時間変化	9
図 2.6 4本同時差換法による測定試験での制御棒引き抜きパターン	9
図 2.7 CR1に対する制御棒干渉効果	10
図 2.8 CR2に対する制御棒干渉効果	11
図 2.9 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置（1回目、CR1）	12
図 2.10 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置（1回目、CR2,CR5）	12
図 2.11 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置（2回目、CR1）	13
図 2.12 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置（2回目、CR2,CR5）	13
 図 3.1 制御棒校正曲線（CR1、均等引き抜き状態模擬）	45
図 3.2 制御棒校正曲線（CR2、均等引き抜き状態模擬）	46
図 3.3 制御棒校正曲線（CR3、均等引き抜き状態模擬）	47
図 3.4 制御棒校正曲線（CR4、均等引き抜き状態模擬）	48
図 3.5 制御棒校正曲線（CR5、均等引き抜き状態模擬）	49
図 3.6 制御棒校正曲線（CR6、均等引き抜き状態模擬）	50
図 3.7 制御棒校正曲線（CR1、単独引き抜き状態模擬）	51
図 3.8 制御棒校正曲線（CR2、単独引き抜き状態模擬）	52
図 3.9 制御棒校正曲線（CR3、単独引き抜き状態模擬）	53
図 3.10 制御棒校正曲線（CR4、単独引き抜き状態模擬）	54
図 3.11 制御棒校正曲線（CR5、単独引き抜き状態模擬）	55
図 3.12 制御棒校正曲線（CR6、単独引き抜き状態模擬）	56
 図 4.1 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR1）	70
図 4.2 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR2）	70
図 4.3 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR3）	71
図 4.4 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR4）	71
図 4.5 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR5）	72
図 4.6 微分反応度のフィッティング曲線との比較（CR6）	72
図 4.7 異なる試験で得られた同一区間反応度価値の比較	73

図 4.8 単独引き抜きと 4 本同時差換法で得られた積分反応度の比.....	74
図 4.9 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値の参考値との比（1回目）	75
図 4.10 中性子源増倍法により測定された制御棒価値反応度参考値との比（2回目）	75
図 5.1 制御棒反応度価値の解析結果	79
図 5.2 輸送計算結果の詳細	79

1 緒言

高速実験炉「常陽」MK-III性能試験の一環として、制御棒校正試験を実施した。本試験では、MK-III炉心の制御棒校正曲線を作成し、制御棒反応度価値に関する炉心特性が核的な制限値を満足していることを確認する。

本試験では、制御棒を単独で引き抜いて各制御棒の全ストロークの反応度価値を測定する（単独引き抜きによる測定）とともに、4本の制御棒の反応度価値を同時に測定する4本同時差換法および中性子源増倍法による測定も併せて実施した。これら、単独引き抜き、4本同時差換法、中性子源増倍法による制御棒反応度価値の測定はこれまでのMK-II炉心の測定にも用いられているものである。

常陽は小型炉心であるが、無視できない程度の制御棒干渉効果が生じ、白方の論文[1]によると、6本の制御棒をそれぞれ単独で挿入した場合の反応度価値の和と、6本の制御棒を同時に挿入した場合の反応度価値はおよそ8%程度異なる。制御棒反応度価値を測定する際の制御棒引き抜きパターンと、運転時の制御棒引き抜きパターンとは大きく異なることから、測定で得られた反応度価値を運転時の反応度の校正に用いる場合には、制御棒引き抜きパターンの違いにより生じる制御棒干渉効果の違いを測定値に補正する必要がある。MK-II炉心での測定では、制御棒干渉効果が挿入位置に対して一次関数で近似できることを仮定して補正していたが、本試験ではよりきめ細かく干渉効果の補正を行った（すなわち、反応度測定ステップ毎に干渉効果を補正した）。これは計算機能力が格段に向上了ることで可能となったものである。

また、MK-II炉心での中性子源増倍法による測定では、測定誤差が大きいことから制御棒干渉効果の補正を行わずに参照値と比較していた。本試験では、中性子源増倍法による測定値に対しても制御棒干渉効果の補正を行い、参照値との相違を厳密に評価し、中性子源増倍法のMK-III炉心への適用性を検討した。

これまで述べた制御棒干渉効果の補正是計算により行うが、その妥当性を確認するために本試験では制御棒干渉効果自体の測定も行い、解析値と比較した。

解析の面では、MK-II炉心までは炉心管理コードを用いて、均質格子により集合体実効断面積を作成し拡散理論による体系計算を行っていたが、本試験では最新の解析システムを導入し、非均質格子計算により実効断面積を作成し輸送理論により体系計算を行った。

本報告書では、第2章でMK-III炉心の概略及び制御棒校正の試験方法について述べる。第3章では各試験で得られた測定データ、第4章では測定値の誤差について言及する。第5章では標準的な高速炉炉心解析手法により実施した解析評価結果について述べ、第6章で以上をまとめた。

2 MK-III 炉心の概略と制御棒校正試験方法

2.1 「常陽」 MK-III 炉心

MK-III 炉心の構成を図 2.1 に示す（なお、通常運転時と性能試験時の炉心構成はわずかに異なる）。制御棒を 6 本装荷し、それらは反応度制御及び炉停止の両方の機能を有している。中性子吸収材には、炭化ホウ素 (^{10}B 濃縮度約 90%) の焼結ペレットを用いており、ストロークは 650mm である。6 本の制御棒のうち、制御棒 No. 1 (以下、CR1 と表記する。他の制御棒についても同様)、CR3、CR4 及び CR6 は炉心第 3 列に装荷している。CR2 と CR5 は、MK-II 炉心では他の制御棒と同様に炉心第 3 列に装荷していたが、MK-III 炉心では、中性子束の高い位置を計測線付の照射試験に使用するため、炉心第 3 列から第 5 列に配置を変更した。

燃料集合体の軸方向の領域構成と制御棒の引き抜き位置の関係を図 2.2 に示す。MK-III 炉心では、炉内の高速中性子束をこれまでの MK-II 炉心の 1.3 倍に増加させることを目的として、炉心を 2 領域化して径方向に拡大するとともに、軸方向は燃料スタック長さ（炉心高さ）を 550mm から 500mm に短くした。ここで、制御棒が全挿入状態（すなわち引き抜き位置 0mm）の際に、制御棒の軸方向中心高さ位置は炉心中心高さ位置と一致する。

核計装は、起動系が 2 チャンネル (Ch.1, Ch.2)、中間系が 3 チャンネル (Ch.3~Ch.5)、出力系が 3 チャンネル (Ch.6~Ch.8) で構成している。起動系、中間系には核分裂計数管、出力系には γ 線補償型電離箱を使用している。中性子検出器は全て原子炉容器外に設置し、起動系、中間系は炉心中心から水平方向 2.9m の黒鉛遮へい体中、出力系は 3.55m の安全容器外側窒素ガス雰囲気中に挿入している。逆動特性法で使用する原子炉出力は出力系核計装を用いて測定し、中性子源増倍法では起動系核計装を用いて計数率を測定した。

2.2 単独の制御棒引き抜きによる制御棒校正試験

MK-III 性能試験における制御棒校正試験では、逆動特性法により 6 本全ての制御棒について、それぞれの制御棒を単独に引き抜いた際の反応度価値を全ストロークにわたり測定した。以下、試験方法について述べる。

図 2.3 に測定中の原子炉出力と反応度の時間変化を、図 2.4 に制御棒の引き抜きパターンの一例を示す。はじめに、反応度価値を測定する制御棒（以下、測定対象制御棒）を下端位置 (0mm)、その他の制御棒（以下、補償用制御棒）を均等に引き抜いて（すなわち下端位置を揃えて）臨界状態（原子炉出力約 20kW）とし、そこから測定対象制御棒を引き抜いて約 8 セント程度の正の反応度を投入する。この際の出力系核計装の信号の変化から、逆動特性方程式に基づいて印加反応度を求める。その後、原子炉出力が 120kW に到達した時点で、補償用制御棒のうちの 1 本を挿入し、再度 20kW で臨界状態とする。以上の操作を、測定対象制御棒が上端位置 (650mm) に達するまで、炉心第 3 列の制御棒については約 50 回、ステンレス鋼製の反射体に隣接し反応度価値が第 3 列の制御棒の約 1/3 である第 5 列の制御棒については約 20 回繰り返す。

なお、ドル単位で得られた測定値を $\Delta k/kk'$ 単位に変換する実効遅発中性子割合 β_{eff} については、遅発中性子収率は Tuttle[2]、遅発中性子割合は Keepin[3]、遅発中性子核分裂

スペクトルについてはSaphier[4]の評価値に基づいて、「常陽」MK-III炉心管理コードシステム"HESTIA"[5]により算出した。

この単独の制御棒引き抜きによる測定では、測定対象制御棒の引き抜き操作毎に体系を臨界状態に調整するため、測定時間が多く要する。性能試験時の測定では、炉心第5列の制御棒で約10時間、第5列では約5時間を要した。

2.3 4本同時差換法による制御棒校正試験

単独の制御棒引き抜きによる校正試験では、体系に挿入される正の反応度のみを測定して反応度曲線を作成するが、4本同時差換法では、連続的に行う制御棒の引き抜き・挿入に伴う正負の反応度を測定する。各運転サイクルで実施する運転特性試験では、測定時間を短縮するため、4本同時差換法を用いて炉心第3列に装荷した制御棒の反応度価値を測定する。MK-III性能試験では、この4本同時差換法による測定結果を、2.2節で述べた単独の制御棒引き抜きによる測定結果と比較し、その測定精度を確認した。以下、4本同時差換法の試験方法について述べる。

図2.5に測定中の原子炉出力と反応度の時間変化を、図2.6に制御棒の引き抜きパターンを示す。測定対象とする4本の制御棒(CR1、3、4、6)のうち、CR3、6を上端位置(650mm)、CR1、4を炉中心高さ付近(約300mm)まで引き抜いて臨界状態(原子炉出力約20kW)とする。その後、CR1を引き抜いて炉心を+8セント程度の反応度の状態とし、逆動特性法により反応度を測定する。その後、出力が120kWに到達した時点でCR3を挿入して、約16セントの負の反応度を投入し、炉心を-8セント程度の反応度の状態とし、この際の反応度を逆動特性法により求める。これ以降、原子炉出力が20kW、120kWに到達する毎にCR1、4の引き抜き、CR3、6の挿入を交互に繰り返し、第3列の制御棒4本の炉中心付近から上端位置までの反応度曲線を求める。

この方法では、制御棒引き抜き毎に測定される反応度は単独の制御棒引き抜きにより測定される反応度の約2倍であり、かつ臨界に調整する操作が不要なため、約4時間で4本の制御棒の反応度価値を測定でき、大幅な測定時間の短縮が可能である。

2.4 制御棒干渉効果測定試験

2.4.1 干渉効果測定試験の概要

過剰反応度、等温温度係数、出力係数、燃焼係数等の炉心特性は、各温度及び出力時の制御棒位置から反応度曲線を用いて評価し、求められる。これらの炉心特性の測定及び定格出力運転時は、6本の制御棒がほぼ均等な(制御棒の下端がそろった)引き抜き位置となるよう操作されるが、前述の制御棒校正試験においては、測定手法上、制御棒の引き抜き位置は非均等となる。このため、過剰反応度等の評価に際しては、非均等な引き抜き位置で測定された制御棒反応度価値を、計算で求めた制御棒干渉効果を用いて、均等状態の反応度価値に補正する必要がある。この制御棒干渉効果の計算精度を検証するため、干渉効果を生じさせる制御棒の引き抜き位置を変えて同一のストロークの制御棒反応度価値を測定することにより、制御棒干渉効果を測定した。

ここで、制御棒干渉効果について簡単に説明する。制御棒干渉効果(以下、干渉効果)

とは、着目する制御棒の反応度価値が、他の制御棒の引き抜き位置の違いにより変化する効果である。制御棒の反応度価値は、摂動論によると制御棒位置における中性子束、随伴中性子束及び制御棒の吸收断面積の積で求められる。中性子束、随伴中性子束の空間分布は他の制御棒の引き抜き位置によって変化するため、着目する制御棒の反応度価値は、他の制御棒引き抜きパターンに依存することになる。これが干渉効果である。

2.4.2 試験立案のためのサーベイ計算

干渉効果測定試験計画の立案に先立ち、大きい干渉効果を生じさせる制御棒引き抜きパターンを検討するため、以下のパラメータサーベイを実施した。

CR1 の 4 引き抜き区間 (0~200mm、200~325mm、325~450mm、450~650mm) の反応度価値を、それ以外の 1 本の制御棒（干渉制御棒）の挿入位置をパラメータ (0mm、200mm、325mm、450mm) として求め、干渉制御棒の位置が 650mm のときの反応度価値に対する比を計算した。この際、CR1 および干渉制御棒以外の制御棒は全引き抜きとした。計算は均質格子モデルより得た 7 群実効断面積を用い、Hex-Z 体系（1 集合体 1 メッシュ）拡散計算で行った。

計算結果を図 2.7 に示す。CR1 と最も近い位置にある CR6 は、その挿入に伴い CR1 の反応度価値を小さくする。一方、CR1 と離れた位置にある CR4 は、その挿入に伴い CR1 の反応度価値を大きくする。これは、CR1 に近い位置の制御棒の挿入は CR1 の位置での中性子束を低下させ、CR1 から離れた位置にある制御棒の挿入は逆に中性子束を増加させることに起因する。また、干渉制御棒が CR6 のケースでは、0~200mm の区間の CR1 の反応度は、CR6 の挿入に伴い増加する傾向が見られる。これは中性子束の軸方向の空間分布の変化によるものと考えられる。また、炉心第 5 列に装荷されている CR2 が CR1 に及ぼす干渉効果は数%程度であり、炉心第 3 列の制御棒による影響に比べて小さいことがわかった。

次に CR5 を評価対象として同様に行なったパラメータサーベイの結果を図 2.8 に示す。CR5 と最も近い位置にある CR6 と、最も離れた位置にある CR3 は、それぞれ逆の方向に大きな干渉効果を及ぼす。一方、その中間位置にある CR1、CR4 はそれほど大きな干渉効果を生じさせないことがわかった。

2.4.3 試験方法

試験は単独の制御棒引き抜きによる校正試験と同様の方法で実施した。このため、(1) 測定対象制御棒の引き抜き操作毎に体系を臨界状態とするため、測定対象制御棒の引き抜きにより投入した反応度を別の制御棒の挿入により補償する必要がある。また、(2) 干渉制御棒の挿入位置を変える際に、干渉制御棒の位置変化により印加される反応度を、別の制御棒により補償しなければならない。これらの制御棒の位置変化が別の干渉効果を生じさせ、測定値に含まれてしまう。この影響については、以下のようにして極力小さくするよう努めた。まず、CR1 を測定対象制御棒としたケースでは、第 5 列の制御棒との干渉効果が小さいことに着目し、CR2、CR5 を (1) 及び (2) の補償用制御棒として使用することとした。また、CR5 を測定制御棒としたケースでは、(1) の補償は干渉効果が小さい CR2 で行うこととし、(2) の補償は、事前解析結果に基づき、CR5 に対する干

涉効果が小さい CR1、CR4 を用いることとした。

2.5 中性子源増倍法による制御棒校正試験

一点炉近似動特性方程式は、

$$\frac{dn}{dt} = (\rho - \beta_{eff}) \frac{n}{\Lambda} + \sum_i C_i \lambda_i + S \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \beta_i \frac{n}{\Lambda} - C_i \lambda_i \quad (2)$$

と記述される。ここで、 n は炉出力信号（中性子検出器信号）、 C_i 、 λ_i はそれぞれ遅発中性子第 i 群の先行核濃度と先行核崩壊定数、 Λ は中性子世代時間、 β_{eff} は実効遅発中性子割合、 S は外部中性子源強度を示す。

低出力、未臨界領域での反応度変化を仮定し、外部中性子源強度は反応度変化前後で変化しないこととし（すなわち(1)(2)式の左辺をゼロと置く）、変化前の反応度（既知）と定常状態の炉出力信号値をそれぞれ ρ_1 、 n_1 、変化後のものをそれぞれ ρ_2 、 n_2 とすると、両者の関係は、

$$S\Lambda = n_1\rho_1 = n_2\rho_2 \quad (3)$$

となるので、求めるべき反応度は、

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{n_1}{n_2} \quad (4)$$

となり、基準反応度（ ρ_1 ）と炉出力信号の比から、変化後の反応度（ ρ_2 ）を求めることができる。

MK-III 性能試験における中性子源増倍法による測定は、平成 15 年 7 月 7 日及び 8 月 19 日と、10 月 16 日に実施した。10 月の測定は、7 月 7 日及び 8 月 19 日の測定では原子炉停止時の Ch.1 の計数率が約 0.5 cps であり測定中のノイズの影響等が大きいと考えられること、及び測定対象とした制御棒を限定したことから、原子炉熱出力 105MWt で約 6 日運転し中性子源強度が回復（停止時の起動系の計数率が約 5 cps）した際に行ったものである。本報告書では、7 月 7 日及び 8 月 19 日に実施された測定を「1 回目の測定」、10 月 16 日に実施されたものを「2 回目の測定」と記述する。

本試験では、未臨界領域での起動系核計装の Ch.1 及び Ch.2 の計数率を測定した。測定時の制御棒の挿入状態を図 2.9~2.12 に示す。CR1 については、基準未臨界状態から 4 段階に分けて制御棒を挿入し、計数率を測定した。CR2、CR5 については、基準未臨界状態と全挿入時で計数率を測定した。また、2 回目の測定では、CR5 については基準状態から 2 段階に分けて制御棒を挿入し、計数率を測定した。他の制御棒（CR3、CR4、CR6）については、基準未臨界体系として CR1 の基準未臨界状態のデータを用いることとし、全挿入時の計数率を測定した。

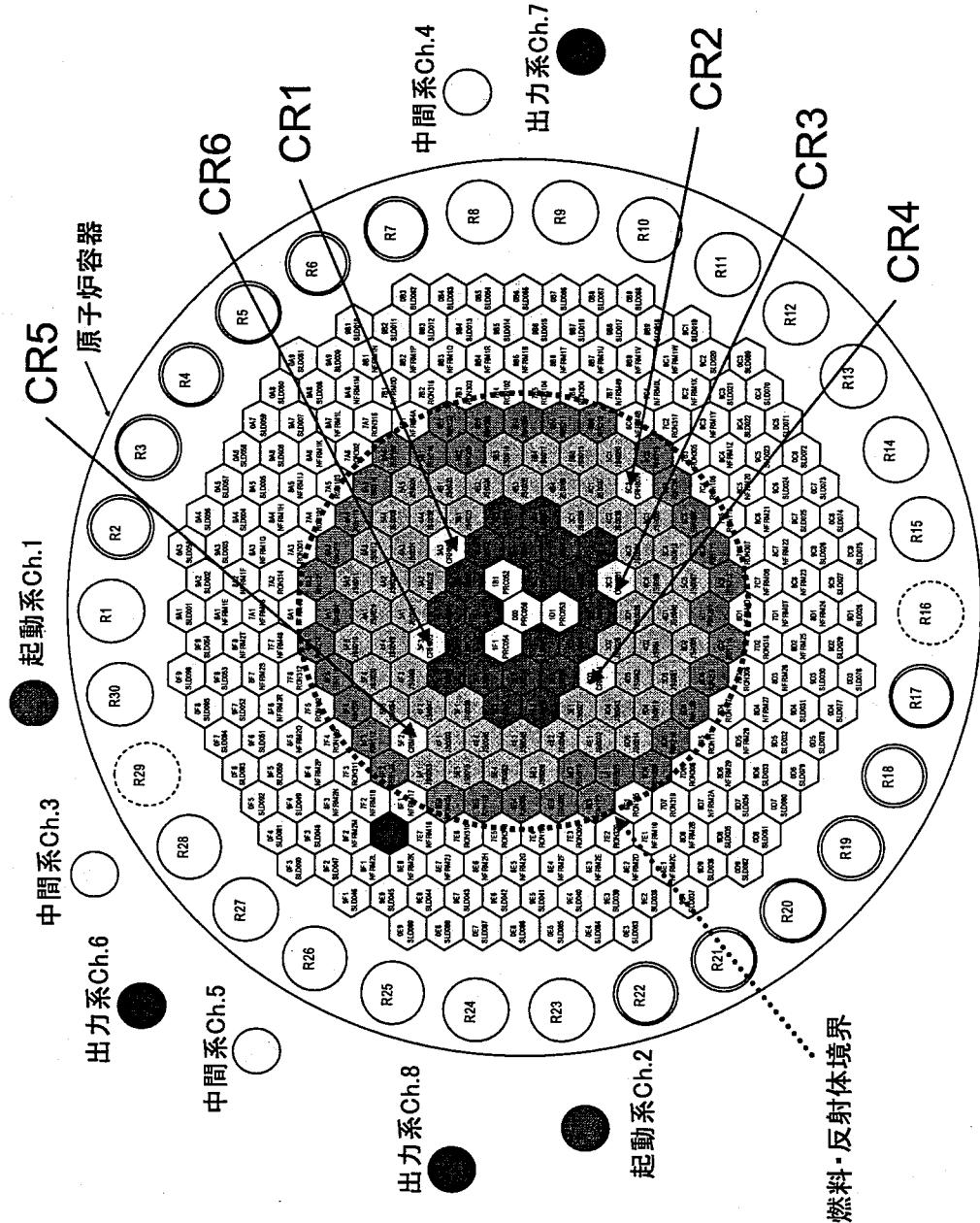


図2.1 高速実験炉「常陽」MK-III/IV構成図

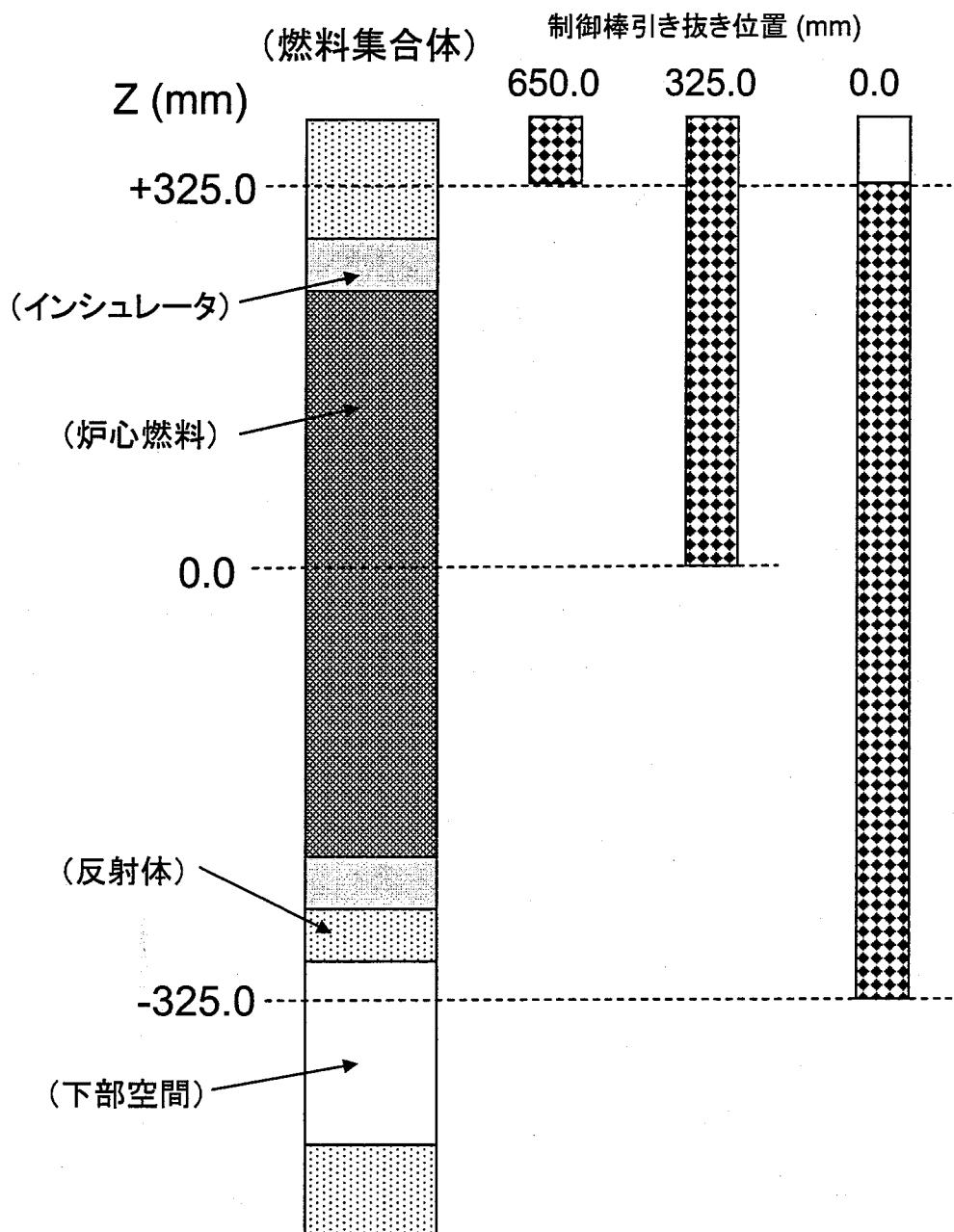


図2.2 炉心軸方向概略図

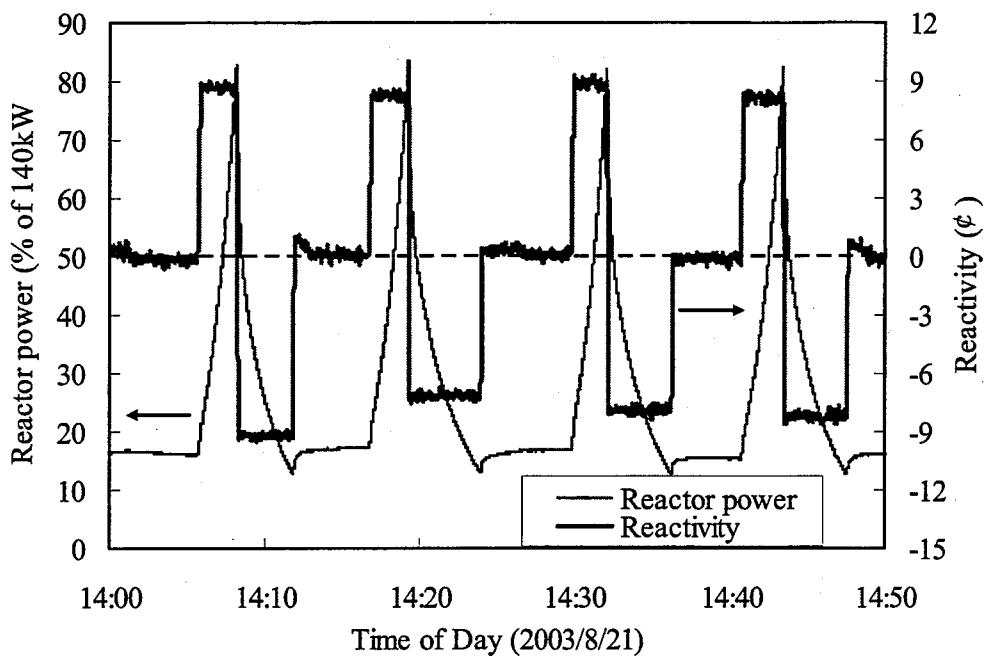


図 2.3 単独引き抜きによる測定試験での炉心出力と反応度の時間変化

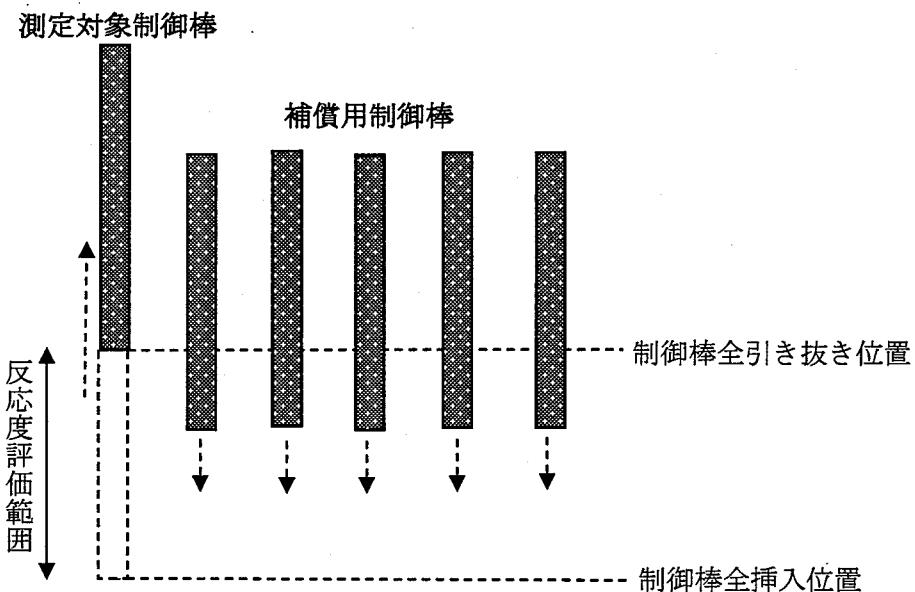


図 2.4 単独引き抜きによる測定試験での制御棒引き抜きパターン

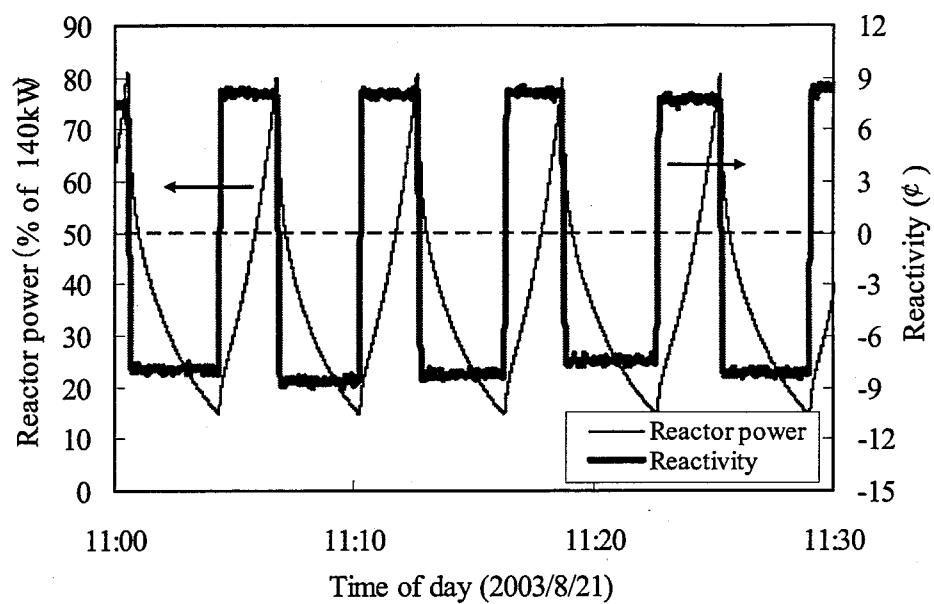


図 2.5 4本同時差換法による測定試験での炉心出力と反応度の時間変化

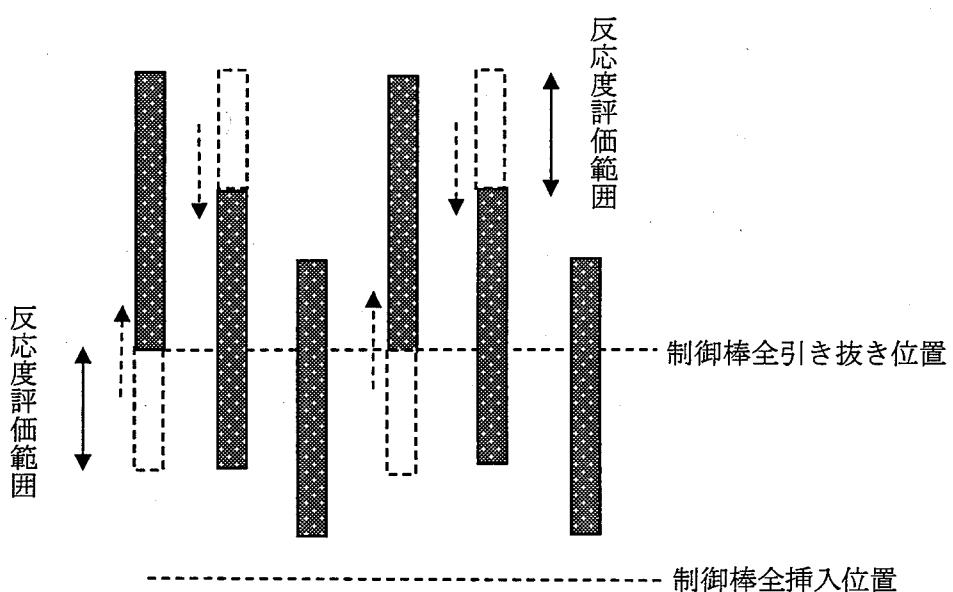


図 2.6 4本同時差換法による測定試験での制御棒引き抜きパターン

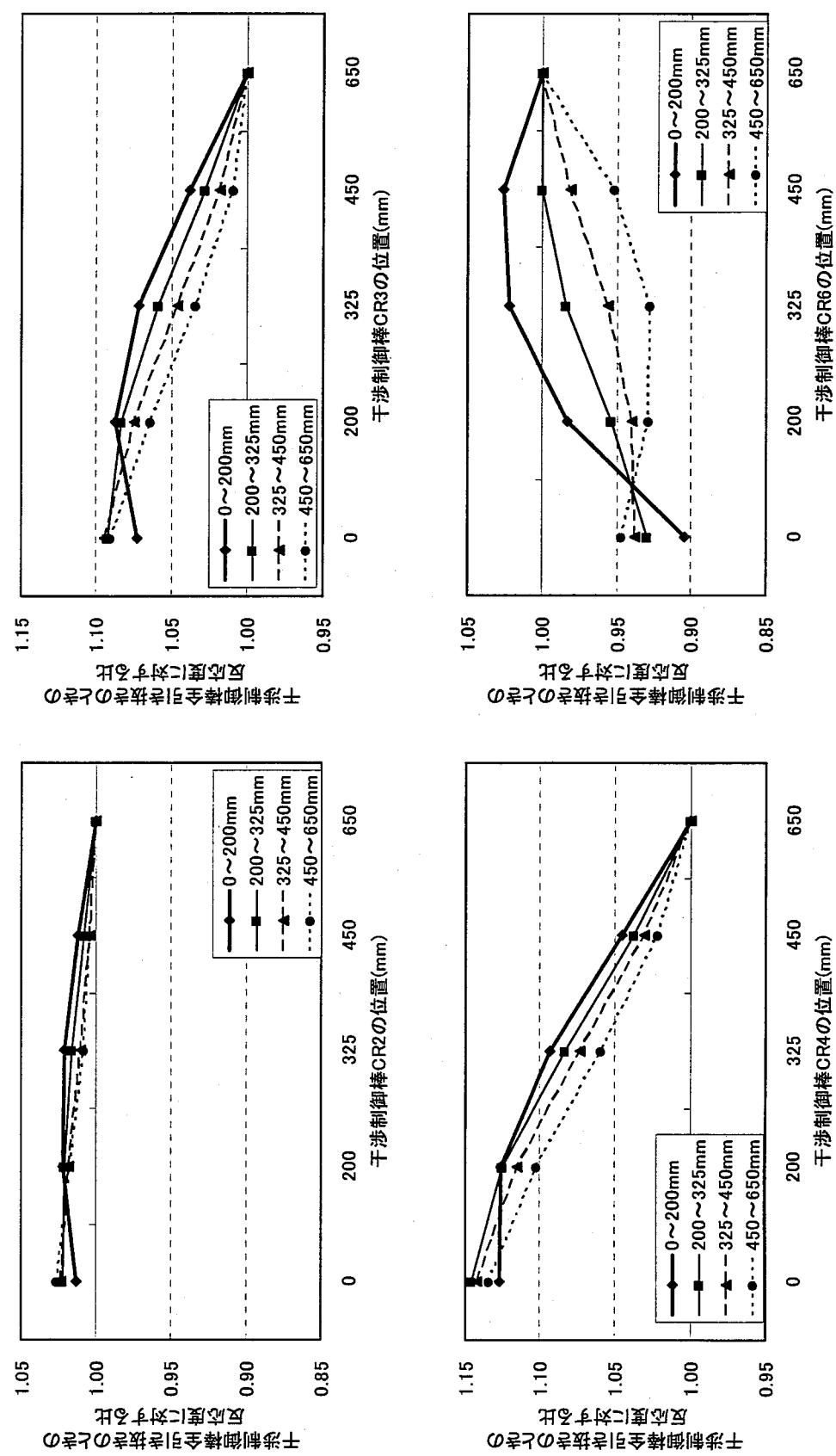


図2.7 CR1に対する制御棒干涉効果

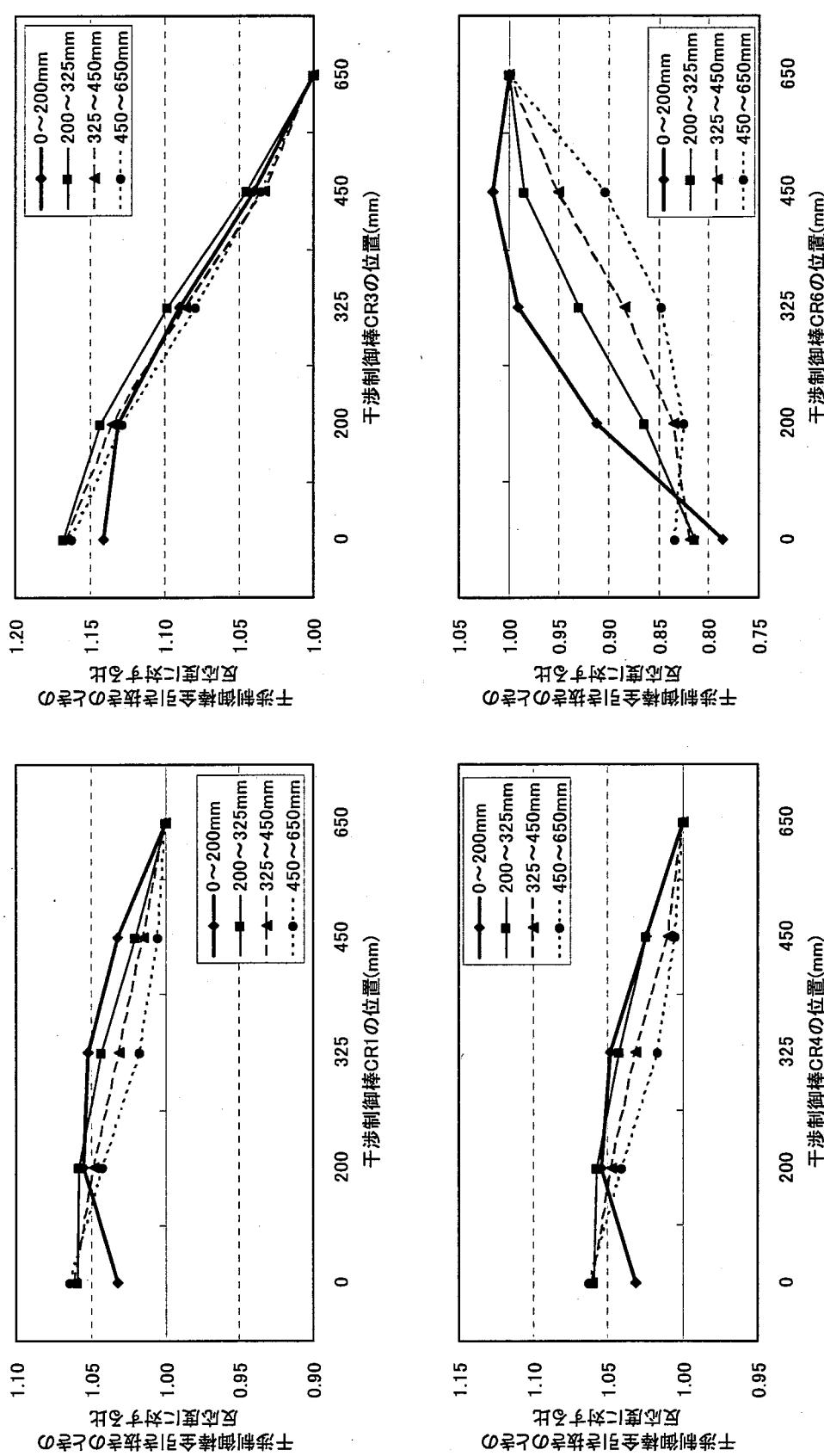


図2.8 CR2に対する制御棒干涉効果

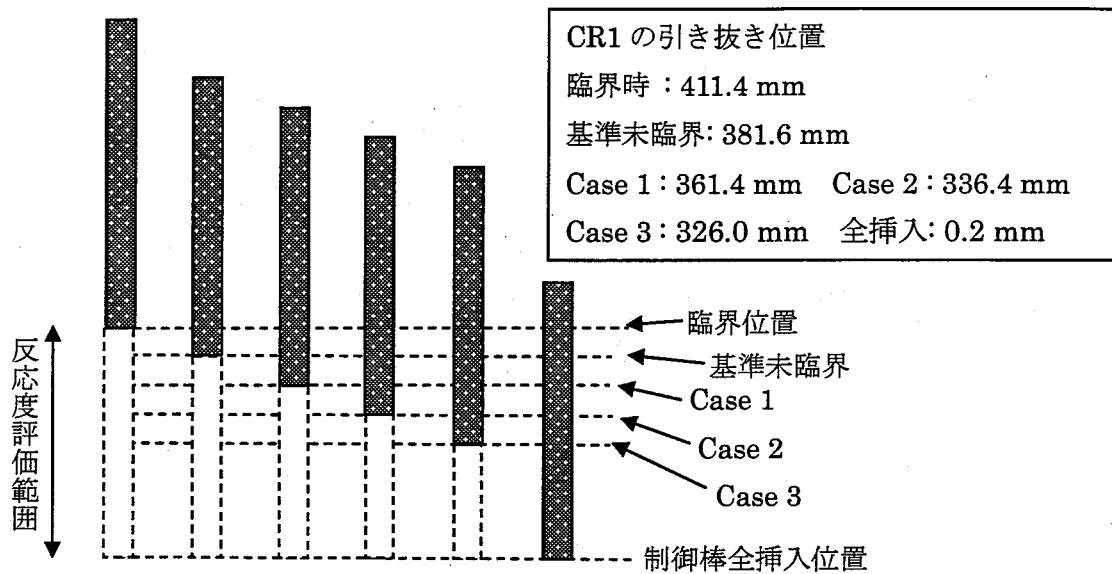


図 2.9 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置(1回目、CR1)

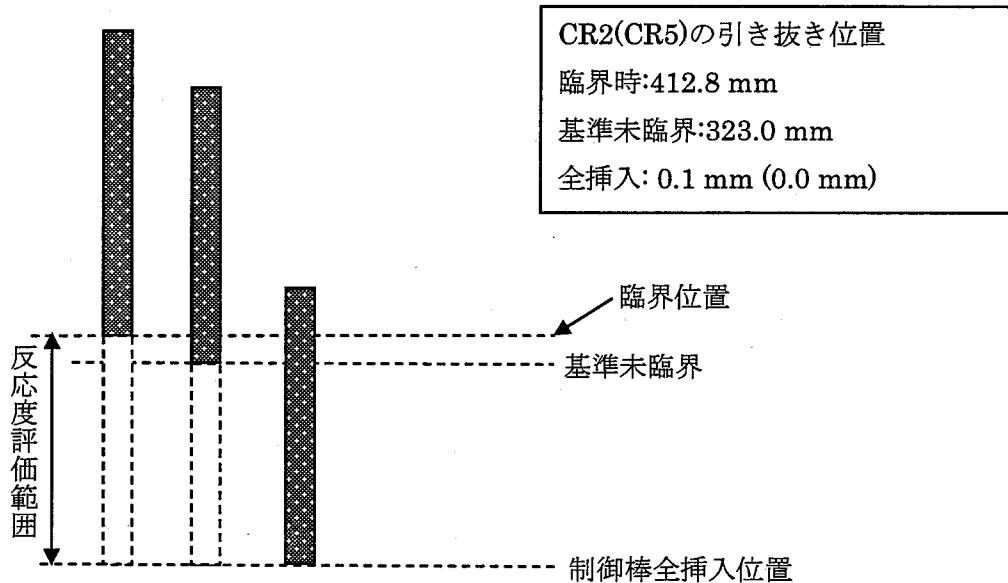


図 2.10 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置(1回目、CR2、CR5)

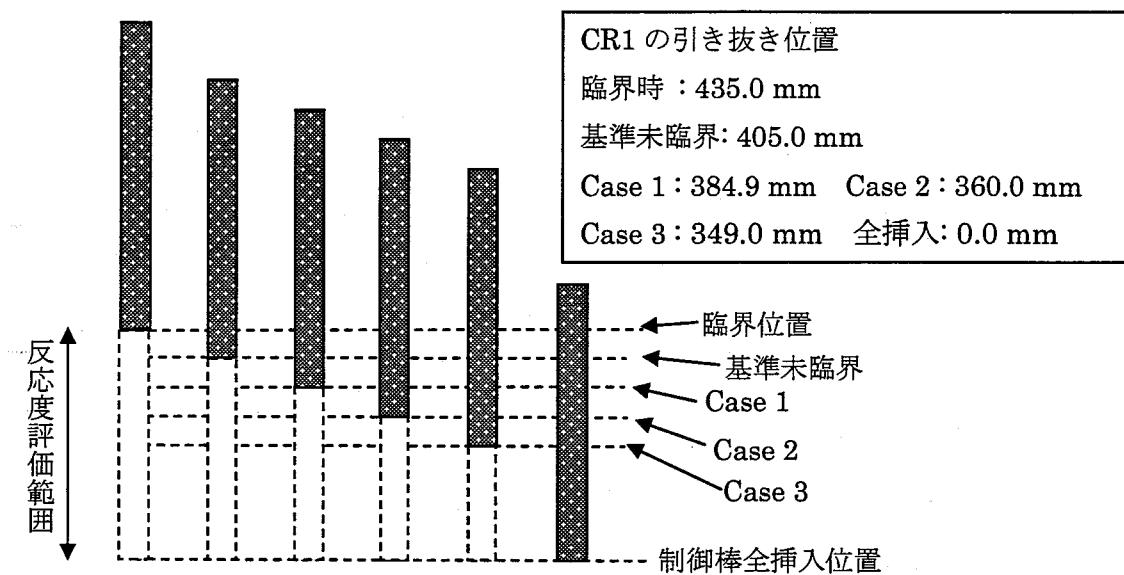


図 2.11 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置 (2 回目、CR1)

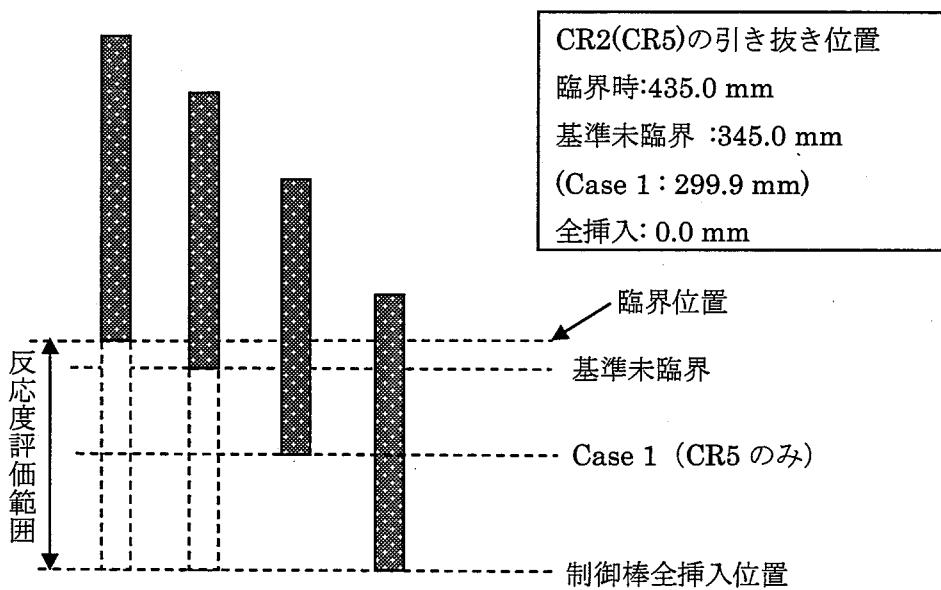


図 2.12 中性子源増倍法における制御棒引き抜き位置 (2 回目、CR2、CR5)

3 測定結果

3.1 単独の制御棒引き抜きによる制御棒校正試験

単独の制御棒引き抜きによる校正試験で得られた測定値と制御棒引き抜き位置について、表 3.1～3.6 に示す。なお、この表に記載している引き抜き位置は、測定対象制御棒を引き抜いて反応度を測定した後、補償用の制御棒を挿入して再び臨界状態とした際のものである。引き抜き位置が空欄となっている所は、その測定ステップで引き抜き位置に変化がなかったことを示す。なお、測定結果は HESTIA により求めた実効遅発中性子割合 (4.408×10^{-3}) を用いて $\Delta k/kk'$ 単位に換算した。

測定データから、制御棒反応度価値に関する炉心特性（反応度制御能力、反応度付加率最大、原子炉停止余裕）を求め、核的な制限値と比較した。

核的な制限値は、3 つの炉心特性に対して次のように設定されている。

- 反応度制御能力が $7.6\%\Delta k/kk'$ 以上であること
- 反応度付加率最大が $0.019\%\Delta k/kk'/s$ 以下であること
- 原子炉停止余裕が $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ において $1.1\%\Delta k/kk'$ 以上であること

これらの炉心特性の測定値は、反応度制御能力（全制御棒の反応度価値の和）は $9.84\%\Delta k/kk'$ 、反応度付加率最大は $0.011\%\Delta k/kk'/s$ 、原子炉停止余裕は $4.18\%\Delta k/kk'$ となった（なお、制御棒引き抜き速度は 2.07 mm/s 、最大微分反応度は CR1 で $0.0052\%\Delta k/kk'/mm$ 、 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ の過剰反応度は $3.57\%\Delta k/kk'$ である）。

これらより、制御棒反応度価値に関する炉心特性が核的な制限値を満足していることを確認した。

2.4 節で述べたように、過剰反応度の校正に用いる制御棒反応度曲線は、全ての制御棒が均等に引き抜かれた体系でのものにすべきである。また、本試験で取得したデータを公開し、なおかつそれが制御棒反応度価値の計算精度の検証等に広く活用されるためには、評価対象以外の制御棒の引き抜き位置を固定した値で提供した方が、解析との比較が容易である。

このため、試験での各引き抜きステップ毎に得られた反応度測定値に対して、以下の補正係数を乗じることとした。

$$\text{干渉効果補正係数} = \frac{\text{想定する制御棒引き抜きパターンのもとでの反応度計算値}}{\text{試験時の制御棒引き抜きパターンのもとでの反応度計算値}} \quad (5)$$

過剰反応度校正及び解析値との比較に用いるための反応度価値曲線を作成するため、(5) 式の分子に「（全ての制御棒が）均等引き抜き状態」「（着目した制御棒が）単独引き抜き状態」を想定し、それぞれ補正係数を求めた。単独引き抜き状態では、着目していない制御棒は全て全引き抜き位置にあるとした。補正係数は、非均質格子計算により得た 7 群実効断面積を用いた Hex-Z 体系（1 集合体 1 メッシュ）拡散計算により求めた。この補正係数を求める計算で注意すべきは、補正係数にメッシュ分割の違いによる効果が含まれることを避けるため、各引き抜きステップの計算でメッシュ分割を同一としなければならない

点である（すなわち、(5)式の分子、分母を計算する際のメッシュ分割を同一としなければならない）。

測定値、干渉効果補正係数、補正後実験値（なお、本報告書では試験で取得した値を「測定値」、それに干渉効果の補正を加えた値を「実験値」と区別して表記する）を、制御棒引き抜きステップ毎に示したものを、均等引き抜き状態へ補正したケースについて表3.7～3.12に、単独引き抜き状態へ補正したケースについて表3.13～3.18にそれぞれ示す。表の「制御棒引抜位置(mm)」は各ステップでの引き抜き後の位置を示す。なお、均等引き抜き状態に補正した反応度価値曲線は、ゼロ出力臨界時の制御棒引き抜き位置よりも上側でのみ必要となるため、引き抜き位置380mm付近から全引き抜き位置までのみ示した。

補正した各ステップの反応度実験値を用いて、5次多項式で内挿した積分反応度価値曲線を作成した。多項式の係数を表3.19、3.20に、積分反応度価値曲線を図3.1～3.12にそれぞれ示す。なお、過剰反応度校正用の（すなわち均等引き抜き状態に補正した）反応度価値曲線としては、その用途から全引き抜き位置からの積分反応度を示した。

3.2 4本同時差換法による制御棒校正試験

4本同時差換法により得られた測定値と制御棒引き抜き位置を表3.21に示す。この表で示されている引き抜き位置は、測定制御棒を引き抜いて（もしくは挿入して）反応度を測定した時点のものである。4本同時差換法で得られた各引き抜きステップ毎の測定値に対しても、前節と同様の考え方で「単独引き抜き状態」への干渉効果補正を施した。測定値、干渉効果補正係数、補正後実験値を制御棒引き抜きステップ毎に示したものと表3.22～3.25に示す。

また、補正後実験値を用いて5次多項式で内挿した積分反応度価値曲線の係数を表3.26に示す。この積分曲線は、4本同時差換法による試験での制御棒最下端位置（たとえばCR1では295.8mm）からの積分反応度とした。

3.3 制御棒干渉効果測定試験

制御棒干渉効果測定試験では、2本の測定制御棒に対してそれぞれ2本の制御棒の干渉効果を取得するため、計8ケースの反応度価値測定を行った。

試験計画の段階では、測定制御棒がCR1のケースでCR1を325mmから450mmまで段階的に引き抜き、測定を行う予定であったが、補償用制御棒の反応度価値の予測が過大であったため、CR1を450mmまで引き抜けなかった。そのため、CR1に対するCR4の干渉効果は325mmから385mm、CR1に対するCR6の干渉効果は325mmから430mmの区間で定義することとした。

本試験により得られた測定値と制御棒引き抜き位置について、表3.27～3.34に示す。干渉制御棒の引き抜き位置変化前後の反応度価値の比が干渉効果であるが、干渉制御棒以外の制御棒の引き抜き位置も以下の理由で変化する。まず、測定制御棒の引き抜きに伴い生じる正の反応度を補償するための制御棒が挿入される。また、干渉制御棒の位置変化により生じる反応度を補償するため干渉制御棒とは別の制御棒の引き抜き位置が変えられる。これらの干渉制御棒以外の制御棒の引き抜き位置変化に伴う反応度の変化を、干渉効

果の実験値として含ませるかどうか任意性がある。

本報告書では、測定制御棒の引き抜きに伴う補償用制御棒の引き抜き位置変化については、その補償用制御棒の干渉効果補正係数を乗じることにより引き抜き位置が変化しないものとした。一方、干渉制御棒の引き抜き位置の変化に伴う補償用制御棒の引き抜き位置変化による干渉効果については、実験値として含めることとした。つまり、本干渉効果測定試験の実験解析を行う際には、干渉制御棒の引き抜き位置変化とともにそのための補償用制御棒の引き抜き位置変化を模擬する必要がある。

測定値、干渉効果補正係数、補正後実験値を各制御棒引き抜きステップ毎に示したものと表 3.35～3.42 に示す。

3.4 中性子源増倍法による制御棒校正試験

各測定ケースの制御棒引き抜き位置及び計数率を表 3.43～3.45 に示す。

2回目の測定では、外部中性子源強度の回復及び燃料中の自発核分裂核種の中性子源(²⁴⁴Cm 等)が増加したため、1回目に比べて中性子計数率が増加している。なお、本試験により得られた制御棒反応度価値は、誤差評価と併せて次章で述べることとする。

表 3.1 単独引き抜きによる測定値 (CR1)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
0.0	513.2	513.2	513.1	513.1	513.1	
50.4	"	502.8	"	"	"	3.3045E-02
76.8	"	"	503.2	"	"	3.3721E-02
96.0	"	"	"	"	500.9	3.5017E-02
112.2	"	491.9	"	"	"	3.6884E-02
128.8	"	"	493.2	"	"	3.5111E-02
143.4	"	"	"	"	488.0	4.0328E-02
156.0	"	481.2	"	"	"	3.7515E-02
167.6	"	"	483.3	"	"	3.7222E-02
178.2	"	"	"	"	476.9	3.6778E-02
189.8	479.7	"	"	"	"	4.1886E-02
200.4	"	"	"	477.8	"	4.2378E-02
210.8	"	469.8	"	"	"	4.1510E-02
220.3	"	"	472.7	"	"	4.0599E-02
229.4	"	"	"	"	465.5	3.9875E-02
239.2	"	458.2	"	"	"	4.5130E-02
247.5	"	"	462.8	"	"	3.9722E-02
256.3	"	"	"	"	453.8	4.3323E-02
264.4	"	448.4	"	"	"	3.9075E-02
272.6	"	"	453.1	"	"	4.0361E-02
280.8	"	"	"	"	443.2	4.1289E-02
289.0	450.2	"	"	"	"	4.1562E-02
298.1	"	"	"	445.1	"	4.6550E-02
305.9	"	438.7	"	"	"	4.0216E-02
313.8	"	"	443.5	"	"	4.1151E-02
322.2	"	"	"	"	432.1	4.4272E-02
330.0	"	429.0	"	"	"	4.0633E-02
338.1	"	"	433.8	"	"	4.2129E-02
346.4	"	"	"	"	421.9	4.3158E-02
354.8	"	419.2	"	"	"	4.2600E-02
362.0	"	"	425.1	"	"	3.7228E-02
369.0	"	"	"	"	413.7	3.6113E-02
377.3	424.2	"	"	"	"	4.1086E-02
384.2	"	"	425.0	427.0	"	3.3818E-02
393.0	"	409.8	"	"	"	4.2229E-02
402.3	"	"	415.2	"	"	4.4321E-02
411.6	"	"	"	"	404.2	4.3244E-02
420.5	"	400.8	"	"	"	4.1084E-02
429.4	"	"	406.9	"	"	3.9177E-02
439.2	"	"	"	"	395.2	4.2203E-02
449.8	"	391.3	"	"	"	4.3090E-02
460.4	"	"	397.8	"	"	4.2612E-02
471.3	"	"	"	"	386.7	4.2442E-02
482.7	400.5	"	"	"	"	4.0756E-02
496.0	"	"	"	399.8	"	4.5270E-02
507.0	"	383.8	"	"	"	3.5543E-02
519.1	"	"	389.9	"	"	3.6679E-02
532.6	"	"	"	"	379.1	3.7103E-02
545.6	"	376.9	"	"	"	3.2584E-02
562.1	"	"	382.0	"	"	3.7582E-02
580.5	"	"	"	"	371.9	3.7048E-02
601.2	"	369.5	"	"	"	3.4774E-02
624.0	"	"	375.1	"	"	3.1444E-02
650.0	"	"	"	"	366.5	2.8255E-02

表 3.2 単独引き抜きによる測定値 (CR2)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
442.0	0.0	442.1	442.0	441.8	442.0	
433.8	83.6	"	"	"	"	3.5240E-02
"	125.1	431.9	"	"	"	3.9427E-02
"	156.9	"	433.0	"	"	3.7759E-02
"	185.6	"	"	"	432.8	3.9751E-02
425.3	209.1	"	"	"	"	3.6972E-02
"	232.2	422.0	"	"	"	3.9182E-02
"	254.4	"	424.2	"	"	3.9636E-02
"	273.8	"	"	"	424.3	3.7822E-02
416.1	294.4	"	"	"	"	4.0866E-02
"	313.3	413.3	"	"	"	3.7119E-02
"	333.0	"	415.3	"	"	3.9235E-02
"	353.6	"	"	417.1	"	4.0831E-02
"	372.8	"	"	"	415.6	3.8315E-02
407.7	393.7	"	"	"	"	3.8710E-02
"	412.2	405.6	"	"	"	3.3885E-02
"	434.9	"	407.5	"	"	3.6988E-02
"	459.5	"	"	"	407.1	3.8142E-02
400.1	487.3	"	"	"	"	3.6866E-02
"	520.0	397.6	"	"	"	3.7617E-02
"	551.1	"	401.5	"	"	2.7814E-02
"	590.1	"	"	"	401.5	2.6018E-02
"	650.0	"	"	"	"	2.4193E-02

表 3.3 単独引き抜きによる測定値 (CR3)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
511.8	511.8	0.0	511.4	511.8	511.5	
502.1	"	48.1	"	"	"	3.1811E-02
"	"	78.7	497.8	"	"	4.0604E-02
"	"	100.4	"	"	500.0	3.8342E-02
490.5	"	119.2	"	"	"	4.0747E-02
"	"	135.2	484.5	"	"	4.2081E-02
"	"	150.2	"	"	488.5	4.2212E-02
479.8	"	162.8	"	"	"	3.9479E-02
"	"	174.4	473.0	"	"	3.9369E-02
"	"	185.2	"	"	478.1	3.8715E-02
"	474.7	195.7	"	"	"	3.9359E-02
479.7	"	205.2	472.8	481.5	478.0	3.8180E-02
467.9	"	216.3	"	"	"	4.5173E-02
"	"	226.2	461.0	"	"	4.2954E-02
"	"	235.5	"	"	467.2	4.1611E-02
456.4	"	245.7	"	"	"	4.5821E-02
"	"	254.3	450.2	"	"	4.1079E-02
"	"	263.1	"	"	456.8	4.2161E-02
446.0	"	272.0	"	"	"	4.3839E-02
"	"	280.3	440.0	"	"	4.1129E-02
"	"	289.1	"	"	446.2	4.3993E-02
"	440.5	298.3	"	"	"	4.5323E-02
"	"	306.8	"	451.2	"	4.3014E-02
435.3	"	315.5	"	"	"	4.4887E-02
"	"	323.7	429.8	"	"	4.1904E-02
"	"	331.7	"	"	436.8	4.0388E-02
426.1	"	339.7	"	"	"	4.0617E-02
"	"	347.2	420.4	"	"	4.0007E-02
"	"	355.2	"	"	427.6	4.0349E-02
416.8	"	363.3	"	"	"	4.1358E-02
"	"	372.1	410.9	"	"	4.2861E-02
"	"	380.2	"	"	418.9	3.8615E-02
"	414.0	389.1	"	"	"	4.2222E-02
"	"	398.2	"	424.2	"	4.1447E-02
407.3	"	407.8	"	"	"	4.3261E-02
"	"	417.5	401.8	"	"	4.2465E-02
"	"	426.8	"	"	410.1	3.9176E-02
398.3	"	437.2	"	"	"	4.2958E-02
"	"	448.2	392.5	"	"	4.4485E-02
"	"	459.1	"	"	400.8	4.2553E-02
390.7	"	469.1	"	"	"	3.6431E-02
"	"	479.9	385.0	"	"	3.7043E-02
"	"	490.8	"	"	393.0	3.5660E-02
"	394.8	502.3	"	"	"	3.5939E-02
"	"	515.0	"	402.2	"	3.6306E-02
383.0	"	528.8	"	"	"	3.6956E-02
"	"	550.2	375.1	"	"	5.1006E-02
"	"	572.0	"	"	383.6	4.3832E-02
373.7	"	600.0	"	"	"	4.5739E-02
"	"	650.0	364.2	"	"	5.8205E-02

表 3.4 単独引き抜きによる測定値 (CR4)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
513.0	512.9	513.3	0.0	513.1	513.0	
502.1	"	"	55.3	"	"	3.7303E-02
"	"	499.5	83.7	"	"	3.9146E-02
"	"	"	106.6	"	500.8	4.0766E-02
491.9	"	"	123.9	"	"	3.6738E-02
"	"	485.5	140.2	"	"	4.2273E-02
"	"	"	154.2	"	488.4	4.2815E-02
481.1	"	"	166.6	"	"	4.0845E-02
"	"	472.9	178.6	"	"	4.1602E-02
"	"	"	189.0	"	477.9	3.8053E-02
"	482.8	"	198.8	"	"	3.6774E-02
"	"	"	208.9	479.1	"	4.1258E-02
471.5	"	"	218.0	"	"	3.7890E-02
"	"	461.0	227.5	"	"	4.0931E-02
"	"	"	236.4	"	467.1	4.1517E-02
461.2	"	"	245.2	"	"	4.1608E-02
"	"	449.4	254.3	"	"	4.3695E-02
"	"	"	262.1	"	457.5	3.9360E-02
451.8	"	"	270.0	"	"	3.9615E-02
"	"	437.8	278.8	"	"	4.4409E-02
"	"	"	286.9	"	447.8	4.0163E-02
"	455.6	"	294.3	"	"	3.8034E-02
"	"	"	302.0	451.4	"	3.9120E-02
442.9	"	"	309.1	"	"	3.7536E-02
"	"	428.2	316.5	"	"	3.8377E-02
"	"	"	324.3	"	437.9	4.1006E-02
433.1	"	"	332.3	"	"	4.1992E-02
"	"	418.8	339.9	"	"	3.8950E-02
"	"	"	347.7	"	428.7	4.0093E-02
424.0	"	"	355.1	"	"	4.0082E-02
"	"	410.2	362.3	"	"	3.6710E-02
"	"	"	370.8	"	419.0	4.2430E-02
"	432.0	"	378.0	"	"	3.6530E-02
"	"	"	385.1	427.7	"	3.5807E-02
415.2	"	"	393.7	"	"	3.9599E-02
"	"	402.2	401.2	"	"	3.6739E-02
"	"	"	409.4	"	410.7	3.8046E-02
406.9	"	"	417.9	"	"	3.8844E-02
"	"	393.8	426.4	"	"	3.8419E-02
"	"	"	435.0	"	402.9	3.6092E-02
398.5	"	"	444.2	"	"	3.9274E-02
"	"	386.0	453.2	"	"	3.6475E-02
"	"	"	462.4	"	395.1	3.6323E-02
"	410.7	"	471.5	"	"	3.4608E-02
"	"	"	481.8	405.2	"	3.7109E-02
390.4	"	"	492.8	"	"	3.7442E-02
"	"	378.2	504.4	"	"	3.7870E-02
"	"	"	515.2	"	388.0	3.2877E-02
381.8	"	"	530.1	"	"	4.1397E-02
"	"	370.0	546.9	"	"	4.2191E-02
"	"	"	565.1	"	379.3	4.1273E-02
373.0	"	"	587.0	"	"	4.1473E-02
"	"	361.7	615.0	"	"	4.2908E-02
"	"	"	650.0	"	"	4.1051E-02

表 3.5 単独引き抜きによる測定値 (CR5)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
442.1	442.1	442.0	442.0	0.0	442.1	
433.7	"	"	"	88.8	"	3.5355E-02
"	"	433.1	"	131.9	"	3.9448E-02
"	"	"	433.5	160.9	"	3.5822E-02
"	"	"	"	191.6	430.8	4.4867E-02
424.4	"	"	"	218.1	"	4.1422E-02
"	"	422.7	"	244.5	"	4.4739E-02
"	"	"	423.4	268.4	"	4.2763E-02
"	"	"	"	289.7	421.1	4.1019E-02
416.0	"	"	"	309.4	"	3.9116E-02
"	"	412.9	"	331.0	"	4.3072E-02
"	"	"	414.1	352.7	"	4.2203E-02
"	"	"	"	373.8	411.8	4.0993E-02
"	415.5	"	"	397.0	"	4.3151E-02
407.6	"	"	"	419.5	"	3.8361E-02
"	"	404.6	"	443.2	"	3.7250E-02
"	"	"	406.0	468.9	"	3.7273E-02
"	"	"	"	498.1	403.8	3.6766E-02
400.6	"	"	"	529.4	"	3.2244E-02
"	"	396.6	"	575.1	"	3.5583E-02
"	"	"	399.2	650.0	"	3.1924E-02

表 3.6 単独引き抜きによる測定値 (CR6)

CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Measured reactivity (%)
						$\Delta k/kk'$
513.4	513.3	513.5	513.1	513.1	0.0	
499.2	"	"	"	"	58.0	4.2087E-02
"	"	500.8	"	"	88.0	4.3129E-02
"	"	"	500.5	"	109.9	4.2241E-02
486.2	"	"	"	"	128.6	4.1633E-02
"	"	488.0	"	"	145.0	4.5367E-02
"	"	"	489.8	"	157.2	3.7382E-02
474.0	"	"	"	"	169.6	4.0988E-02
"	"	476.5	"	"	181.7	4.2133E-02
"	"	"	478.1	"	193.3	4.3107E-02
"	482.5	"	"	"	203.4	4.0087E-02
"	"	"	"	477.2	212.3	3.7112E-02
462.7	"	"	"	"	221.7	4.0578E-02
"	"	466.6	"	"	230.4	3.8248E-02
"	"	"	467.0	"	239.6	4.1995E-02
452.0	"	"	"	"	248.0	3.9569E-02
"	"	456.6	"	"	256.4	4.0097E-02
"	"	"	456.6	"	264.9	4.1878E-02
441.0	"	"	"	"	273.4	4.2950E-02
"	"	445.2	"	"	282.8	4.7064E-02
"	"	"	447.5	"	290.1	3.7185E-02
"	451.9	"	"	"	298.9	4.4401E-02
"	"	"	"	445.0	306.9	4.1223E-02
429.7	"	"	"	"	315.8	4.5954E-02
"	"	434.9	"	"	324.1	4.3064E-02
"	"	"	437.4	"	332.2	4.2597E-02
420.1	"	"	"	"	340.1	4.0549E-02
"	"	425.6	"	"	347.9	3.9863E-02
"	"	"	428.0	"	355.7	4.0618E-02
410.3	"	"	"	"	364.1	4.3521E-02
"	"	416.2	"	"	372.3	4.1138E-02
"	"	"	419.3	"	380.1	3.8413E-02
"	424.6	"	"	"	389.0	4.2183E-02
"	"	"	"	417.1	398.1	4.3492E-02
401.9	"	"	"	"	406.8	3.9856E-02
"	"	407.2	"	"	415.7	4.0285E-02
"	"	"	410.7	"	424.6	3.9740E-02
393.7	"	"	"	"	434.0	3.9786E-02
"	"	399.2	"	"	442.8	3.6404E-02
"	"	"	402.2	"	452.6	3.9148E-02
385.5	"	"	"	"	462.9	3.9862E-02
"	"	390.2	"	"	473.8	4.0023E-02
"	"	"	393.8	"	485.3	3.9974E-02
"	401.8	"	"	"	497.0	3.8012E-02
"	"	"	"	396.3	509.2	3.7955E-02
378.0	"	"	"	"	522.8	3.7994E-02
"	"	382.2	"	"	537.1	3.7228E-02
"	"	"	384.6	"	555.9	4.4152E-02
369.4	"	"	"	"	579.0	4.5449E-02
"	"	372.2	"	"	608.9	4.7086E-02
"	"	"	375.0	"	649.8	4.6693E-02

表 3.7 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR1、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
384.2									
393.0	4.2229E-02	0.992638	0.993031	3.99E-04	0.986873	0.987267	4.04E-04	1.01	4.2832E-02
402.3	4.4321E-02	0.992624	0.993029	4.11E-04	0.988722	0.989128	4.15E-04	1.01	4.4782E-02
411.6	4.3244E-02	0.992966	0.993367	4.07E-04	0.990566	0.990967	4.09E-04	1.00	4.3454E-02
420.5	4.1084E-02	0.992607	0.992986	3.85E-04	0.992465	0.992845	3.86E-04	1.00	4.1204E-02
429.4	3.9177E-02	0.992844	0.993214	3.75E-04	0.994167	0.994538	3.75E-04	1.00	3.9178E-02
439.2	4.2203E-02	0.992761	0.993156	4.01E-04	0.995847	0.996242	3.98E-04	0.99	4.1942E-02
449.8	4.3090E-02	0.992726	0.993136	4.16E-04	0.997663	0.998074	4.13E-04	0.99	4.2769E-02
460.4	4.2612E-02	0.992791	0.993189	4.04E-04	0.999667	1.000065	3.98E-04	0.99	4.2028E-02
471.3	4.2442E-02	0.992721	0.993111	3.96E-04	1.001458	1.001848	3.89E-04	0.98	4.1705E-02
482.7	4.0756E-02	0.992707	0.993090	3.88E-04	1.003294	1.003681	3.84E-04	0.99	4.0317E-02
496.0	4.5270E-02	0.992780	0.993196	4.22E-04	1.005104	1.005524	4.16E-04	0.99	4.4591E-02
507.0	3.5543E-02	0.992826	0.993151	3.30E-04	1.007063	1.007394	3.26E-04	0.99	3.5183E-02
519.1	3.6679E-02	0.992718	0.993050	3.37E-04	1.008576	1.008913	3.31E-04	0.98	3.6070E-02
532.6	3.7103E-02	0.992631	0.992968	3.42E-04	1.010173	1.010518	3.38E-04	0.99	3.6676E-02
545.6	3.2584E-02	0.992496	0.992795	3.03E-04	1.011810	1.012117	3.00E-04	0.99	3.2191E-02
562.1	3.7582E-02	0.992816	0.993148	3.37E-04	1.013251	1.013596	3.36E-04	1.00	3.7494E-02
580.5	3.7048E-02	0.992709	0.993033	3.29E-04	1.014913	1.015253	3.30E-04	1.00	3.7195E-02
601.2	3.4774E-02	0.992532	0.992847	3.20E-04	1.016519	1.016856	3.26E-04	1.02	3.5467E-02
624.0	3.1444E-02	0.992347	0.992628	2.85E-04	1.018038	1.018344	2.95E-04	1.03	3.2535E-02
650.0	2.8255E-02	0.992642	0.992894	2.56E-04	1.019518	1.019801	2.72E-04	1.06	3.0079E-02

表 3.8 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR2、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
372.8									
393.7	3.8710E-02	0.992924	0.993272	3.53E-04	0.984390	0.984740	3.61E-04	1.02	3.9610E-02
412.2	3.3885E-02	0.992943	0.993243	3.04E-04	0.988885	0.989186	3.08E-04	1.01	3.4277E-02
434.9	3.6988E-02	0.992950	0.993304	3.59E-04	0.992505	0.992863	3.63E-04	1.01	3.7439E-02
459.5	3.8142E-02	0.993049	0.993405	3.61E-04	0.996916	0.997275	3.61E-04	1.00	3.8166E-02
487.3	3.6866E-02	0.993083	0.993440	3.62E-04	1.001375	1.001737	3.61E-04	1.00	3.6766E-02
520.0	3.7617E-02	0.992948	0.993307	3.64E-04	1.005801	1.006170	3.65E-04	1.00	3.7683E-02
551.1	2.7814E-02	0.992860	0.993139	2.83E-04	1.010284	1.010578	2.88E-04	1.02	2.8307E-02
590.1	2.6018E-02	0.992719	0.992994	2.79E-04	1.013808	1.014105	2.89E-04	1.04	2.6942E-02
650.0	2.4193E-02	0.992564	0.992847	2.87E-04	1.017276	1.017595	3.08E-04	1.07	2.5961E-02

表 3.9 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR3、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
380.2	4.2222E-02	0.992569	0.992957	3.94E-04	0.985969	0.986356	3.98E-04	1.01	4.2679E-02
389.1	4.1447E-02	0.992537	0.992923	3.92E-04	0.987871	0.988259	3.97E-04	1.01	4.2056E-02
398.2	4.3261E-02	0.992623	0.993027	4.10E-04	0.989708	0.990113	4.13E-04	1.01	4.3624E-02
407.8	4.2465E-02	0.992423	0.992827	4.10E-04	0.991716	0.992121	4.12E-04	1.00	4.2631E-02
426.8	3.9176E-02	0.992537	0.992920	3.89E-04	0.993638	0.994017	3.84E-04	0.99	3.8681E-02
437.2	4.2958E-02	0.992470	0.992879	4.15E-04	0.995455	0.995868	4.17E-04	1.00	4.3118E-02
448.2	4.4485E-02	0.992441	0.992857	4.22E-04	0.997295	0.997715	4.22E-04	1.00	4.4477E-02
459.1	4.2553E-02	0.992491	0.992889	4.04E-04	0.999380	0.999783	4.03E-04	1.00	4.2496E-02
469.1	3.6431E-02	0.992490	0.992837	3.52E-04	1.001305	1.001657	3.51E-04	1.00	3.6308E-02
479.9	3.7043E-02	0.992379	0.992735	3.61E-04	1.002938	1.003301	3.61E-04	1.00	3.6980E-02
490.8	3.5660E-02	0.992740	0.993079	3.44E-04	1.004669	1.005016	3.44E-04	1.00	3.5640E-02
502.3	3.5939E-02	0.992640	0.992980	3.45E-04	1.006332	1.006681	3.45E-04	1.00	3.5893E-02
515.0	3.6306E-02	0.992604	0.992948	3.49E-04	1.007931	1.008289	3.52E-04	1.01	3.6643E-02
528.8	3.6956E-02	0.992682	0.993022	3.45E-04	1.009682	1.010037	3.48E-04	1.01	3.7298E-02
550.2	5.1006E-02	0.992506	0.992967	4.68E-04	1.011332	1.011819	4.76E-04	1.02	5.1894E-02
572.0	4.3832E-02	0.992561	0.992952	3.97E-04	1.013767	1.014187	4.09E-04	1.03	4.5133E-02
600.0	4.5739E-02	0.992485	0.992897	4.18E-04	1.015767	1.016221	4.40E-04	1.05	4.8116E-02
650.0	5.8205E-02	0.992390	0.992904	5.22E-04	1.017998	1.018583	5.64E-04	1.08	6.2951E-02

表 3.10 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR4、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
385.1									
393.7	3.9599E-02	0.992491	0.992869	3.84E-04	0.987045	0.987425	3.90E-04	1.02	4.0249E-02
401.2	3.6739E-02	0.992914	0.993238	3.29E-04	0.988874	0.989199	3.32E-04	1.01	3.7154E-02
409.4	3.8046E-02	0.992806	0.993155	3.54E-04	0.990332	0.990683	3.58E-04	1.01	3.8455E-02
417.9	3.8844E-02	0.992663	0.993018	3.60E-04	0.991970	0.992328	3.64E-04	1.01	3.9227E-02
426.4	3.8419E-02	0.992569	0.992917	3.53E-04	0.993648	0.993997	3.53E-04	1.00	3.8446E-02
435.0	3.6092E-02	0.992493	0.992843	3.55E-04	0.995434	0.995784	3.53E-04	0.99	3.5879E-02
444.2	3.9274E-02	0.992532	0.992894	3.67E-04	0.996984	0.997348	3.66E-04	1.00	3.9139E-02
453.2	3.6475E-02	0.992452	0.992795	3.48E-04	0.998651	0.998995	3.45E-04	0.99	3.6129E-02
462.4	3.6323E-02	0.992779	0.993121	3.47E-04	1.000250	1.000593	3.43E-04	0.99	3.5887E-02
471.5	3.4608E-02	0.993124	0.993447	3.27E-04	1.001832	1.002157	3.24E-04	0.99	3.4220E-02
481.8	3.7109E-02	0.993133	0.993481	3.53E-04	1.003318	1.003669	3.49E-04	0.99	3.6673E-02
492.8	3.7442E-02	0.993014	0.993364	3.55E-04	1.004946	1.005300	3.50E-04	0.99	3.6976E-02
504.4	3.7870E-02	0.992908	0.993260	3.57E-04	1.006600	1.006955	3.50E-04	0.98	3.7161E-02
515.2	3.2877E-02	0.992770	0.993073	3.07E-04	1.008208	1.008517	3.04E-04	0.99	3.2509E-02
530.1	4.1397E-02	0.992694	0.993074	3.85E-04	1.009694	1.010082	3.80E-04	0.99	4.0857E-02
546.9	4.2191E-02	0.992578	0.992964	3.92E-04	1.011474	1.011871	3.88E-04	0.99	4.1787E-02
565.1	4.1273E-02	0.992395	0.992754	3.64E-04	1.013410	1.013783	3.63E-04	1.00	4.1122E-02
587.0	4.1473E-02	0.992282	0.992656	3.80E-04	1.015158	1.015552	3.82E-04	1.01	4.1743E-02
615.0	4.2908E-02	0.992184	0.992567	3.89E-04	1.017012	1.017424	3.98E-04	1.02	4.3930E-02
650.0	4.1051E-02	0.992055	0.992404	3.54E-04	1.018968	1.019356	3.74E-04	1.05	4.3258E-02

表 3.11 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR5、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
373.8									
397.0	4.3151E-02	0.992359	0.992739	3.86E-04	0.984604	0.984984	3.92E-04	1.02	4.3833E-02
419.5	3.8361E-02	0.992514	0.992870	3.61E-04	0.989554	0.989909	3.62E-04	1.00	3.8482E-02
443.2	3.7250E-02	0.992426	0.992781	3.60E-04	0.994000	0.994358	3.62E-04	1.01	3.7446E-02
468.9	3.7273E-02	0.992291	0.992646	3.60E-04	0.998392	0.998750	3.59E-04	1.00	3.7130E-02
498.1	3.6766E-02	0.992208	0.992566	3.64E-04	1.002824	1.003188	3.62E-04	1.00	3.6595E-02
529.4	3.2244E-02	0.992229	0.992547	3.23E-04	1.007396	1.007726	3.25E-04	1.01	3.2461E-02
575.1	3.5583E-02	0.992099	0.992462	3.69E-04	1.011423	1.011807	3.75E-04	1.02	3.6216E-02
650.0	3.1924E-02	0.992444	0.992821	3.83E-04	1.016037	1.016456	4.06E-04	1.06	3.3851E-02

表 3.12 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR6、均等引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			均等挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
380.1									
389.0	4.2183E-02	0.992870	0.993259	3.94E-04	0.985957	0.986345	3.99E-04	1.01	4.2667E-02
398.1	4.3492E-02	0.992845	0.993236	3.96E-04	0.987861	0.988249	3.97E-04	1.00	4.3595E-02
406.8	3.9856E-02	0.992604	0.992970	3.71E-04	0.989672	0.990039	3.75E-04	1.01	4.0202E-02
415.7	4.0285E-02	0.992520	0.992886	3.71E-04	0.991487	0.991853	3.72E-04	1.00	4.0369E-02
424.6	3.9740E-02	0.992535	0.992895	3.65E-04	0.993256	0.993615	3.64E-04	1.00	3.9572E-02
434.0	3.9786E-02	0.992669	0.993039	3.75E-04	0.994955	0.995325	3.74E-04	1.00	3.9603E-02
442.8	3.6404E-02	0.992536	0.992875	3.44E-04	0.996770	0.997112	3.44E-04	1.00	3.6415E-02
452.6	3.9148E-02	0.992473	0.992837	3.69E-04	0.998403	0.998770	3.68E-04	1.00	3.9003E-02
462.9	3.9862E-02	0.992409	0.992779	3.76E-04	1.000164	1.000539	3.75E-04	1.00	3.9777E-02
473.8	4.0023E-02	0.992731	0.993104	3.78E-04	1.001878	1.002256	3.76E-04	0.99	3.9822E-02
485.3	3.9974E-02	0.992716	0.993086	3.75E-04	1.003698	1.004074	3.73E-04	0.99	3.9738E-02
497.0	3.8012E-02	0.992667	0.993019	3.57E-04	1.005508	1.005874	3.62E-04	1.01	3.8520E-02
509.2	3.7955E-02	0.992692	0.993038	3.51E-04	1.007247	1.007601	3.49E-04	0.99	3.7718E-02
522.8	3.7994E-02	0.992698	0.993049	3.56E-04	1.008911	1.009275	3.57E-04	1.00	3.8145E-02
537.1	3.7228E-02	0.992558	0.992889	3.36E-04	1.010643	1.010990	3.40E-04	1.01	3.7643E-02
555.9	4.4152E-02	0.992454	0.992838	3.90E-04	1.012342	1.012748	3.96E-04	1.02	4.4865E-02
579.0	4.5449E-02	0.992389	0.992786	4.03E-04	1.014309	1.014736	4.15E-04	1.03	4.6792E-02
608.9	4.7086E-02	0.992272	0.992687	4.21E-04	1.016362	1.016822	4.45E-04	1.06	4.9745E-02
649.8	4.6693E-02	0.992196	0.992602	4.12E-04	1.018526	1.018991	4.48E-04	1.09	5.0747E-02

表 3.13 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR1、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
50.4	3.3045E-02	0.993162	0.993445	2.87E-04	1.002713	1.002952	2.38E-04	0.83	2.7379E-02
76.8	3.3721E-02	0.993102	0.993389	2.91E-04	1.002918	1.003182	2.62E-04	0.90	3.0415E-02
96.0	3.5017E-02	0.993113	0.993384	2.75E-04	1.003255	1.003510	2.53E-04	0.92	3.2287E-02
112.2	3.6884E-02	0.993182	0.993457	2.79E-04	1.003557	1.003818	2.59E-04	0.93	3.4287E-02
128.8	3.5111E-02	0.992999	0.993325	3.31E-04	1.003702	1.004012	3.08E-04	0.93	3.2680E-02
143.4	4.0328E-02	0.993078	0.993407	3.33E-04	1.004072	1.004385	3.10E-04	0.93	3.7532E-02
156.0	3.7515E-02	0.993065	0.993378	3.17E-04	1.004343	1.004642	2.96E-04	0.93	3.5037E-02
167.6	3.7222E-02	0.993099	0.993413	3.18E-04	1.004683	1.004984	2.98E-04	0.94	3.4863E-02
178.2	3.6778E-02	0.993047	0.993356	3.13E-04	1.004968	1.005265	2.94E-04	0.94	3.4517E-02
189.8	4.1886E-02	0.993006	0.993366	3.65E-04	1.005218	1.005563	3.41E-04	0.94	3.9172E-02
200.4	4.2378E-02	0.993104	0.993454	3.55E-04	1.005652	1.005987	3.31E-04	0.93	3.9557E-02
210.8	4.1510E-02	0.993039	0.993402	3.68E-04	1.005941	1.006289	3.44E-04	0.93	3.8781E-02
220.3	4.0599E-02	0.993005	0.993352	3.52E-04	1.006240	1.006571	3.27E-04	0.93	3.7716E-02
229.4	3.9875E-02	0.992973	0.993316	3.48E-04	1.006547	1.006877	3.26E-04	0.94	3.7337E-02
239.2	4.5130E-02	0.993102	0.993486	3.89E-04	1.006965	1.007334	3.64E-04	0.93	4.2182E-02
247.5	3.9722E-02	0.993051	0.993387	3.41E-04	1.007258	1.007581	3.18E-04	0.93	3.7116E-02
256.3	4.3323E-02	0.992987	0.993352	3.70E-04	1.007552	1.007903	3.46E-04	0.93	4.0466E-02
264.4	3.9075E-02	0.993135	0.993480	3.50E-04	1.008001	1.008334	3.28E-04	0.94	3.6612E-02
272.6	4.0361E-02	0.993051	0.993406	3.60E-04	1.008275	1.008618	3.37E-04	0.94	3.7829E-02
280.8	4.1289E-02	0.993009	0.993369	3.65E-04	1.008603	1.008951	3.42E-04	0.94	3.8689E-02
289.0	4.1562E-02	0.992947	0.993314	3.72E-04	1.008891	1.009245	3.48E-04	0.93	3.8833E-02
298.1	4.6550E-02	0.993004	0.993419	4.21E-04	1.009330	1.009731	3.93E-04	0.94	4.3537E-02
305.9	4.0216E-02	0.992993	0.993351	3.63E-04	1.009712	1.010060	3.41E-04	0.94	3.7809E-02
313.8	4.1151E-02	0.992967	0.993332	3.70E-04	1.010037	1.010391	3.47E-04	0.94	3.8574E-02
322.2	4.4272E-02	0.993053	0.993447	3.99E-04	1.010489	1.010872	3.75E-04	0.94	4.1564E-02
330.0	4.0633E-02	0.992976	0.993342	3.71E-04	1.010785	1.011142	3.49E-04	0.94	3.8250E-02
338.1	4.2129E-02	0.992885	0.993264	3.84E-04	1.011087	1.011457	3.62E-04	0.94	3.9662E-02
346.4	4.3158E-02	0.992857	0.993244	3.92E-04	1.011453	1.011831	3.69E-04	0.94	4.0619E-02
354.8	4.2600E-02	0.992545	0.992935	3.96E-04	1.011884	1.012270	3.77E-04	0.95	4.0567E-02
362.0	3.7228E-02	0.992540	0.992872	3.37E-04	1.012276	1.012604	3.20E-04	0.95	3.5360E-02
369.0	3.6113E-02	0.992362	0.992683	3.26E-04	1.012528	1.012845	3.09E-04	0.95	3.4257E-02
377.3	4.1086E-02	0.992359	0.992738	3.85E-04	1.012898	1.013274	3.66E-04	0.95	3.9125E-02
384.2	3.3818E-02	0.992296	0.992605	3.14E-04	1.013280	1.013588	3.00E-04	0.96	3.2327E-02
393.0	4.2229E-02	0.992630	0.993021	3.97E-04	1.013617	1.014006	3.78E-04	0.95	4.0292E-02
402.3	4.4321E-02	0.992614	0.993019	4.11E-04	1.014018	1.014422	3.93E-04	0.96	4.2365E-02
411.6	4.3244E-02	0.992667	0.993068	4.07E-04	1.014377	1.014778	3.90E-04	0.96	4.1413E-02
420.5	4.1084E-02	0.992231	0.992611	3.86E-04	1.014771	1.015154	3.72E-04	0.96	3.9589E-02
429.4	3.9177E-02	0.992017	0.992387	3.76E-04	1.015144	1.015518	3.63E-04	0.97	3.7817E-02
439.2	4.2203E-02	0.991930	0.992325	4.01E-04	1.015491	1.015892	3.89E-04	0.97	4.0879E-02
449.8	4.3090E-02	0.992316	0.992727	4.17E-04	1.015875	1.016294	4.06E-04	0.97	4.1915E-02
460.4	4.2612E-02	0.992366	0.992764	4.04E-04	1.016338	1.016745	3.94E-04	0.97	4.1544E-02
471.3	4.2442E-02	0.992721	0.993110	3.95E-04	1.016699	1.017099	3.87E-04	0.98	4.1608E-02
482.7	4.0756E-02	0.992704	0.993088	3.90E-04	1.017122	1.017519	3.84E-04	0.98	4.0137E-02
496.0	4.5270E-02	0.992778	0.993195	4.23E-04	1.017527	1.017962	4.20E-04	0.99	4.4954E-02
507.0	3.5543E-02	0.992870	0.993198	3.33E-04	1.017964	1.018306	3.30E-04	0.99	3.5255E-02
519.1	3.6679E-02	0.992769	0.993101	3.37E-04	1.018303	1.018653	3.37E-04	1.00	3.6752E-02
532.6	3.7103E-02	0.992692	0.993029	3.42E-04	1.018688	1.019045	3.44E-04	1.01	3.7324E-02
545.6	3.2584E-02	0.992493	0.992791	3.02E-04	1.018953	1.019272	3.07E-04	1.02	3.3092E-02
562.1	3.7582E-02	0.992854	0.993185	3.36E-04	1.019347	1.019704	3.43E-04	1.02	3.8454E-02
580.5	3.7048E-02	0.992708	0.993031	3.28E-04	1.019657	1.020008	3.37E-04	1.03	3.8159E-02
601.2	3.4774E-02	0.992491	0.992800	3.14E-04	1.019940	1.020281	3.28E-04	1.04	3.6337E-02
624.0	3.1444E-02	0.992364	0.992641	2.81E-04	1.020283	1.020592	2.97E-04	1.06	3.3182E-02
650.0	2.8255E-02	0.992231	0.992484	2.57E-04	1.020619	1.020906	2.75E-04	1.07	3.0293E-02

表 3.14 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR2、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
83.6	3.5240E-02	0.992669	0.993005	3.41E-04	1.013782	1.014062	2.72E-04	0.80	2.8158E-02
125.1	3.9427E-02	0.992559	0.992871	3.17E-04	1.014036	1.014320	2.76E-04	0.87	3.4386E-02
156.9	3.7759E-02	0.992503	0.992813	3.15E-04	1.014335	1.014624	2.81E-04	0.89	3.3703E-02
185.6	3.9751E-02	0.992234	0.992566	3.37E-04	1.014495	1.014807	3.03E-04	0.90	3.5736E-02
209.1	3.6972E-02	0.992222	0.992532	3.15E-04	1.014860	1.015153	2.84E-04	0.90	3.3404E-02
232.2	3.9182E-02	0.992996	0.993331	3.40E-04	1.015208	1.015527	3.09E-04	0.91	3.5697E-02
254.4	3.9636E-02	0.992804	0.993146	3.47E-04	1.015406	1.015735	3.19E-04	0.92	3.6452E-02
273.8	3.7822E-02	0.992792	0.993108	3.21E-04	1.015787	1.016093	2.96E-04	0.93	3.4986E-02
294.4	4.0866E-02	0.992249	0.992596	3.52E-04	1.016045	1.016383	3.27E-04	0.93	3.7964E-02
313.3	3.7119E-02	0.992225	0.992554	3.34E-04	1.016418	1.016740	3.12E-04	0.93	3.4621E-02
333.0	3.9235E-02	0.991807	0.992153	3.52E-04	1.016787	1.017129	3.31E-04	0.94	3.6900E-02
353.6	4.0831E-02	0.991609	0.991968	3.65E-04	1.017038	1.017396	3.46E-04	0.95	3.8707E-02
372.8	3.8315E-02	0.991783	0.992116	3.38E-04	1.017487	1.017821	3.23E-04	0.95	3.6513E-02
393.7	3.8710E-02	0.991450	0.991800	3.56E-04	1.017757	1.018110	3.41E-04	0.96	3.7050E-02
412.2	3.3885E-02	0.991902	0.992201	3.04E-04	1.018186	1.018492	2.95E-04	0.97	3.2911E-02
434.9	3.6988E-02	0.992183	0.992537	3.59E-04	1.018467	1.018832	3.52E-04	0.98	3.6194E-02
459.5	3.8142E-02	0.992516	0.992873	3.62E-04	1.018809	1.019181	3.58E-04	0.99	3.7719E-02
487.3	3.6866E-02	0.992886	0.993243	3.62E-04	1.019177	1.019559	3.68E-04	1.02	3.7438E-02
520.0	3.7617E-02	0.992860	0.993220	3.65E-04	1.019600	1.019991	3.76E-04	1.03	3.8741E-02
551.1	2.7814E-02	0.992756	0.993033	2.81E-04	1.019971	1.020280	2.97E-04	1.06	2.9393E-02
590.1	2.6018E-02	0.992600	0.992876	2.80E-04	1.020283	1.020597	3.02E-04	1.08	2.8015E-02
650.0	2.4193E-02	0.992430	0.992713	2.87E-04	1.020567	1.020900	3.20E-04	1.11	2.6918E-02

表 3.15 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR3、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
48.1	3.1811E-02	0.993218	0.993495	2.81E-04	1.002712	1.002940	2.27E-04	0.81	2.5692E-02
78.7	4.0604E-02	0.993152	0.993489	3.42E-04	1.002911	1.003221	3.08E-04	0.90	3.6629E-02
100.4	3.8342E-02	0.993350	0.993671	3.25E-04	1.003387	1.003687	2.98E-04	0.92	3.5121E-02
119.2	4.0747E-02	0.993284	0.993625	3.46E-04	1.003603	1.003923	3.18E-04	0.92	3.7456E-02
135.2	4.2081E-02	0.993367	0.993704	3.41E-04	1.004006	1.004326	3.17E-04	0.93	3.9117E-02
150.2	4.2212E-02	0.993301	0.993657	3.61E-04	1.004203	1.004543	3.37E-04	0.93	3.9445E-02
162.8	3.9479E-02	0.993274	0.993603	3.33E-04	1.004496	1.004810	3.11E-04	0.93	3.6843E-02
174.4	3.9369E-02	0.993346	0.993678	3.36E-04	1.004878	1.005195	3.14E-04	0.93	3.6733E-02
185.2	3.8715E-02	0.993313	0.993640	3.31E-04	1.005141	1.005455	3.11E-04	0.94	3.6307E-02
195.7	3.9359E-02	0.993266	0.993603	3.41E-04	1.005419	1.005742	3.19E-04	0.94	3.6818E-02
205.3	3.8180E-02	0.993418	0.993742	3.28E-04	1.005831	1.006143	3.08E-04	0.94	3.5865E-02
216.3	4.5173E-02	0.993310	0.993701	3.96E-04	1.006095	1.006472	3.72E-04	0.94	4.2456E-02
226.2	4.2954E-02	0.993278	0.993644	3.71E-04	1.006413	1.006765	3.47E-04	0.94	4.0240E-02
235.5	4.1611E-02	0.993036	0.993393	3.62E-04	1.006861	1.007207	3.41E-04	0.94	3.9230E-02
245.7	4.5821E-02	0.993011	0.993416	4.11E-04	1.007171	1.007565	3.88E-04	0.95	4.3333E-02
254.3	4.1079E-02	0.992918	0.993271	3.58E-04	1.007510	1.007851	3.36E-04	0.94	3.8542E-02
263.1	4.2161E-02	0.992609	0.992979	3.75E-04	1.007903	1.008262	3.53E-04	0.94	3.9676E-02
272.0	4.3839E-02	0.992584	0.992966	3.88E-04	1.008244	1.008615	3.65E-04	0.94	4.1265E-02
280.3	4.1129E-02	0.992953	0.993314	3.66E-04	1.008601	1.008953	3.46E-04	0.95	3.8869E-02
289.1	4.3993E-02	0.992586	0.992978	3.98E-04	1.008890	1.009271	3.74E-04	0.94	4.1388E-02
298.3	4.5323E-02	0.992366	0.992780	4.20E-04	1.009333	1.009740	3.99E-04	0.95	4.3072E-02
306.8	4.3014E-02	0.992265	0.992648	3.89E-04	1.009722	1.010101	3.72E-04	0.96	4.1106E-02
315.5	4.4887E-02	0.992096	0.992493	4.03E-04	1.010104	1.010494	3.82E-04	0.95	4.2538E-02
323.7	4.1904E-02	0.992614	0.992994	3.86E-04	1.010594	1.010968	3.66E-04	0.95	3.9788E-02
331.7	4.0388E-02	0.992407	0.992776	3.75E-04	1.010819	1.011184	3.57E-04	0.95	3.8508E-02
339.7	4.0617E-02	0.992904	0.993271	3.72E-04	1.011188	1.011553	3.57E-04	0.96	3.8948E-02
347.2	4.0007E-02	0.992872	0.993216	3.49E-04	1.011553	1.011895	3.34E-04	0.96	3.8319E-02
355.2	4.0349E-02	0.992752	0.993118	3.71E-04	1.011951	1.012317	3.57E-04	0.96	3.8833E-02
363.3	4.1358E-02	0.992723	0.993090	3.72E-04	1.012319	1.012687	3.59E-04	0.96	3.9881E-02
372.1	4.2861E-02	0.992581	0.992976	4.01E-04	1.012611	1.013008	3.87E-04	0.97	4.1391E-02
380.2	3.8615E-02	0.992612	0.992971	3.64E-04	1.013052	1.013417	3.56E-04	0.98	3.7692E-02
389.1	4.2222E-02	0.992161	0.992549	3.94E-04	1.013419	1.013812	3.83E-04	0.97	4.0991E-02
398.2	4.1447E-02	0.992129	0.992516	3.93E-04	1.013843	1.014238	3.84E-04	0.98	4.0511E-02
407.8	4.3261E-02	0.992152	0.992554	4.08E-04	1.014195	1.014607	4.00E-04	0.98	4.2431E-02
417.5	4.2465E-02	0.992607	0.993006	4.05E-04	1.014641	1.015054	4.01E-04	0.99	4.2066E-02
426.8	3.9176E-02	0.992388	0.992767	3.85E-04	1.015024	1.015417	3.81E-04	0.99	3.8831E-02
437.2	4.2958E-02	0.992894	0.993303	4.15E-04	1.015409	1.015836	4.14E-04	1.00	4.2881E-02
448.2	4.4485E-02	0.992862	0.993278	4.22E-04	1.015818	1.016254	4.22E-04	1.00	4.4540E-02
459.1	4.2553E-02	0.993062	0.993460	4.03E-04	1.016295	1.016715	4.06E-04	1.01	4.2875E-02
469.1	3.6431E-02	0.992657	0.993005	3.53E-04	1.016723	1.017092	3.57E-04	1.01	3.6822E-02
479.9	3.7043E-02	0.992240	0.992596	3.61E-04	1.017080	1.017459	3.66E-04	1.01	3.7533E-02
490.8	3.5660E-02	0.992613	0.992951	3.43E-04	1.017474	1.017837	3.51E-04	1.02	3.6448E-02
502.3	3.5939E-02	0.992454	0.992795	3.46E-04	1.017764	1.018131	3.54E-04	1.02	3.6779E-02
515.0	3.6306E-02	0.992459	0.992804	3.50E-04	1.018143	1.018518	3.62E-04	1.03	3.7496E-02
528.8	3.6956E-02	0.992537	0.992877	3.45E-04	1.018575	1.018949	3.60E-04	1.04	3.8599E-02
550.2	5.1006E-02	0.992397	0.992859	4.69E-04	1.018896	1.019410	4.95E-04	1.06	5.3832E-02
572.0	4.3832E-02	0.992397	0.992788	3.97E-04	1.019420	1.019864	4.27E-04	1.08	4.7168E-02
600.0	4.5739E-02	0.992364	0.992779	4.21E-04	1.019874	1.020348	4.55E-04	1.08	4.9459E-02
650.0	5.8205E-02	0.992781	0.993296	5.22E-04	1.020348	1.020956	5.84E-04	1.12	6.5048E-02

表 3.16 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR4、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
55.3	3.7303E-02	0.993134	0.993463	3.33E-04	1.002690	1.002970	2.78E-04	0.83	3.1147E-02
83.7	3.9146E-02	0.993141	0.993473	3.36E-04	1.002970	1.003280	3.08E-04	0.92	3.5840E-02
106.6	4.0766E-02	0.993269	0.993624	3.60E-04	1.003340	1.003670	3.28E-04	0.91	3.7139E-02
123.9	3.6738E-02	0.993253	0.993578	3.29E-04	1.003630	1.003940	3.08E-04	0.93	3.4322E-02
140.2	4.2273E-02	0.993281	0.993637	3.61E-04	1.003960	1.004300	3.37E-04	0.93	3.9520E-02
154.2	4.2815E-02	0.993286	0.993628	3.47E-04	1.004250	1.004577	3.24E-04	0.94	4.0049E-02
166.6	4.0845E-02	0.993256	0.993588	3.36E-04	1.004529	1.004846	3.14E-04	0.93	3.8130E-02
178.6	4.1602E-02	0.993320	0.993670	3.55E-04	1.004913	1.005248	3.32E-04	0.94	3.8906E-02
189.0	3.8053E-02	0.992671	0.992993	3.27E-04	1.005178	1.005488	3.07E-04	0.94	3.5729E-02
198.8	3.6774E-02	0.993082	0.993404	3.26E-04	1.005564	1.005874	3.06E-04	0.94	3.4531E-02
208.9	4.1258E-02	0.993001	0.993350	3.54E-04	1.005840	1.006174	3.30E-04	0.93	3.8484E-02
218.0	3.7890E-02	0.992969	0.993299	3.35E-04	1.006148	1.006463	3.11E-04	0.93	3.5227E-02
227.5	4.0931E-02	0.992905	0.993261	3.61E-04	1.006434	1.006776	3.38E-04	0.94	3.8272E-02
236.4	4.1517E-02	0.993011	0.993356	3.50E-04	1.006846	1.007179	3.28E-04	0.94	3.8980E-02
245.2	4.1608E-02	0.992988	0.993339	3.56E-04	1.007157	1.007496	3.34E-04	0.94	3.9063E-02
254.3	4.3695E-02	0.992903	0.993278	3.80E-04	1.007444	1.007805	3.56E-04	0.94	4.0859E-02
262.1	3.9360E-02	0.992737	0.993066	3.34E-04	1.007841	1.008160	3.14E-04	0.94	3.7029E-02
270.0	3.9615E-02	0.992689	0.993029	3.45E-04	1.008144	1.008473	3.24E-04	0.94	3.7168E-02
278.8	4.4409E-02	0.992620	0.993017	4.03E-04	1.008449	1.008831	3.75E-04	0.93	4.1401E-02
286.9	4.0163E-02	0.992426	0.992789	3.68E-04	1.008857	1.009208	3.45E-04	0.94	3.7581E-02
294.3	3.8034E-02	0.992386	0.992722	3.41E-04	1.009182	1.009507	3.19E-04	0.94	3.5575E-02
302.0	3.9120E-02	0.992701	0.993053	3.57E-04	1.009488	1.009830	3.35E-04	0.94	3.6756E-02
309.1	3.7536E-02	0.992765	0.993091	3.31E-04	1.009830	1.010148	3.12E-04	0.94	3.5388E-02
316.5	3.8377E-02	0.992689	0.993032	3.48E-04	1.010141	1.010474	3.26E-04	0.94	3.5982E-02
324.3	4.1006E-02	0.992753	0.993116	3.68E-04	1.010544	1.010899	3.48E-04	0.94	3.8703E-02
332.3	4.1992E-02	0.992630	0.993004	3.79E-04	1.010816	1.011182	3.58E-04	0.94	3.9629E-02
339.9	3.8950E-02	0.992595	0.992950	3.60E-04	1.011178	1.011526	3.40E-04	0.94	3.6792E-02
347.7	4.0093E-02	0.992244	0.992610	3.72E-04	1.011582	1.011942	3.52E-04	0.95	3.7943E-02
355.1	4.0082E-02	0.992603	0.992947	3.49E-04	1.011934	1.012274	3.32E-04	0.95	3.8117E-02
362.3	3.6710E-02	0.992537	0.992869	3.37E-04	1.012276	1.012604	3.20E-04	0.95	3.4867E-02
370.8	4.2430E-02	0.992364	0.992758	4.00E-04	1.012605	1.012997	3.82E-04	0.96	4.0544E-02
378.0	3.6530E-02	0.992744	0.993073	3.34E-04	1.012983	1.013311	3.20E-04	0.96	3.4978E-02
385.1	3.5807E-02	0.992492	0.992811	3.24E-04	1.013312	1.013629	3.09E-04	0.95	3.4136E-02
393.7	3.9599E-02	0.992239	0.992619	3.86E-04	1.013638	1.014017	3.69E-04	0.96	3.7845E-02
401.2	3.6739E-02	0.992234	0.992561	3.32E-04	1.014054	1.014381	3.18E-04	0.96	3.5175E-02
409.4	3.8046E-02	0.991779	0.992132	3.59E-04	1.014316	1.014671	3.45E-04	0.96	3.6580E-02
417.9	3.8844E-02	0.991568	0.991930	3.68E-04	1.014651	1.015016	3.54E-04	0.96	3.7404E-02
426.4	3.8419E-02	0.991531	0.991889	3.64E-04	1.015013	1.015373	3.49E-04	0.96	3.6867E-02
435.0	3.6092E-02	0.991541	0.991893	3.58E-04	1.015369	1.015725	3.45E-04	0.96	3.4809E-02
444.2	3.9274E-02	0.991458	0.991822	3.70E-04	1.015706	1.016077	3.59E-04	0.97	3.8141E-02
453.2	3.6475E-02	0.992845	0.993189	3.49E-04	1.016067	1.016418	3.40E-04	0.97	3.5536E-02
462.4	3.6323E-02	0.992808	0.993149	3.46E-04	1.016466	1.016816	3.39E-04	0.98	3.5566E-02
471.5	3.4608E-02	0.992721	0.993044	3.28E-04	1.016811	1.017145	3.23E-04	0.99	3.4111E-02
481.8	3.7109E-02	0.992574	0.992921	3.52E-04	1.017134	1.017496	3.50E-04	0.99	3.6866E-02
492.8	3.7442E-02	0.992458	0.992809	3.56E-04	1.017493	1.017857	3.51E-04	0.99	3.6941E-02
504.4	3.7870E-02	0.992349	0.992701	3.57E-04	1.017839	1.018207	3.55E-04	0.99	3.7633E-02
515.2	3.2877E-02	0.992212	0.992515	3.08E-04	1.018185	1.018504	3.08E-04	1.00	3.2869E-02
530.1	4.1397E-02	0.992570	0.992949	3.85E-04	1.018564	1.018966	3.87E-04	1.01	4.1696E-02
546.9	4.2191E-02	0.992435	0.992821	3.92E-04	1.018885	1.019297	3.97E-04	1.01	4.2724E-02
565.1	4.1273E-02	0.992889	0.993247	3.63E-04	1.019377	1.019764	3.72E-04	1.03	4.2327E-02
587.0	4.1473E-02	0.992777	0.993149	3.77E-04	1.019720	1.020126	3.90E-04	1.03	4.2902E-02
615.0	4.2908E-02	0.992652	0.993035	3.89E-04	1.020076	1.020500	4.07E-04	1.05	4.4980E-02
650.0	4.1051E-02	0.992574	0.992923	3.54E-04	1.020501	1.020897	3.80E-04	1.07	4.4063E-02

表 3.17 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR5、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
88.8	3.5355E-02	0.992743	0.993107	3.69E-04	1.013884	1.014190	2.98E-04	0.81	2.8497E-02
131.9	3.9448E-02	0.992631	0.992966	3.40E-04	1.014136	1.014443	2.98E-04	0.88	3.4635E-02
160.9	3.5822E-02	0.992560	0.992850	2.94E-04	1.014450	1.014719	2.61E-04	0.89	3.1810E-02
191.6	4.4867E-02	0.992485	0.992849	3.69E-04	1.014771	1.015113	3.32E-04	0.90	4.0325E-02
218.1	4.1422E-02	0.992311	0.992666	3.60E-04	1.014970	1.015307	3.27E-04	0.91	3.7587E-02
244.5	4.4739E-02	0.992253	0.992643	3.96E-04	1.015316	1.015689	3.62E-04	0.91	4.0868E-02
268.4	4.2763E-02	0.992275	0.992657	3.88E-04	1.015723	1.016089	3.55E-04	0.91	3.9103E-02
289.7	4.1019E-02	0.992177	0.992531	3.59E-04	1.016024	1.016366	3.31E-04	0.92	3.7791E-02
309.4	3.9116E-02	0.992189	0.992526	3.42E-04	1.016406	1.016736	3.19E-04	0.93	3.6501E-02
331.0	4.3072E-02	0.992485	0.992857	3.78E-04	1.016698	1.017064	3.54E-04	0.94	4.0383E-02
352.7	4.2203E-02	0.992875	0.993251	3.81E-04	1.017082	1.017456	3.61E-04	0.95	4.0005E-02
373.8	4.0993E-02	0.993263	0.993620	3.62E-04	1.017465	1.017823	3.46E-04	0.96	3.9176E-02
397.0	4.3151E-02	0.993615	0.993997	3.87E-04	1.017824	1.018212	3.74E-04	0.97	4.1769E-02
419.5	3.8361E-02	0.993683	0.994037	3.58E-04	1.018274	1.018636	3.49E-04	0.97	3.7356E-02
443.2	3.7250E-02	0.992279	0.992634	3.60E-04	1.018602	1.018971	3.56E-04	0.99	3.6744E-02
468.9	3.7273E-02	0.992191	0.992545	3.59E-04	1.018930	1.019303	3.59E-04	1.00	3.7239E-02
498.1	3.6766E-02	0.992517	0.992877	3.65E-04	1.019283	1.019664	3.67E-04	1.00	3.6894E-02
529.4	3.2244E-02	0.992478	0.992797	3.24E-04	1.019694	1.020043	3.36E-04	1.04	3.3418E-02
575.1	3.5583E-02	0.992425	0.992789	3.69E-04	1.020107	1.020514	3.91E-04	1.06	3.7655E-02
650.0	3.1924E-02	0.992738	0.993115	3.82E-04	1.020460	1.020902	4.24E-04	1.11	3.5420E-02

表 3.18 単独引き抜きによる校正試験結果 (CR6、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
58.0	4.2087E-02	0.993229	0.993598	3.74E-04	1.002736	1.003052	3.14E-04	0.84	3.5364E-02
88.0	4.3129E-02	0.993320	0.993690	3.75E-04	1.003055	1.003397	3.40E-04	0.91	3.9096E-02
109.9	4.2241E-02	0.993447	0.993804	3.62E-04	1.003460	1.003795	3.33E-04	0.92	3.8852E-02
128.6	4.1633E-02	0.993391	0.993757	3.71E-04	1.003720	1.004067	3.44E-04	0.93	3.8664E-02
145.0	4.5367E-02	0.993504	0.993875	3.76E-04	1.004091	1.004445	3.51E-04	0.93	4.2381E-02
157.2	3.7382E-02	0.993495	0.993802	3.11E-04	1.004405	1.004698	2.90E-04	0.93	3.4907E-02
169.6	4.0988E-02	0.993424	0.993762	3.42E-04	1.004646	1.004969	3.20E-04	0.93	3.8300E-02
181.7	4.2133E-02	0.993532	0.993890	3.63E-04	1.005036	1.005380	3.40E-04	0.94	3.9565E-02
193.3	4.3107E-02	0.993505	0.993871	3.71E-04	1.005336	1.005688	3.48E-04	0.94	4.0489E-02
203.4	4.0087E-02	0.993638	0.993977	3.43E-04	1.005777	1.006101	3.20E-04	0.93	3.7395E-02
212.3	3.7112E-02	0.993549	0.993862	3.17E-04	1.006065	1.006368	2.99E-04	0.94	3.5038E-02
221.7	4.0578E-02	0.993509	0.993852	3.47E-04	1.006329	1.006659	3.26E-04	0.94	3.8052E-02
230.4	3.8248E-02	0.993271	0.993599	3.32E-04	1.006694	1.007012	3.14E-04	0.94	3.6100E-02
239.6	4.1995E-02	0.993227	0.993586	3.64E-04	1.006999	1.007346	3.42E-04	0.94	3.9489E-02
248.0	3.9569E-02	0.993179	0.993517	3.43E-04	1.007304	1.007631	3.22E-04	0.94	3.7216E-02
256.4	4.0097E-02	0.993236	0.993583	3.52E-04	1.007687	1.008024	3.32E-04	0.94	3.7833E-02
264.9	4.1878E-02	0.993582	0.993942	3.65E-04	1.008034	1.008383	3.43E-04	0.94	3.9443E-02
273.4	4.2950E-02	0.993559	0.993925	3.71E-04	1.008363	1.008719	3.50E-04	0.94	4.0559E-02
282.8	4.7064E-02	0.993247	0.993660	4.18E-04	1.008743	1.009145	3.95E-04	0.94	4.4415E-02
290.1	3.7185E-02	0.992817	0.993144	3.32E-04	1.009078	1.009396	3.12E-04	0.94	3.5006E-02
298.9	4.4401E-02	0.992352	0.992750	4.04E-04	1.009366	1.009754	3.81E-04	0.94	4.1839E-02
306.9	4.1223E-02	0.992331	0.992696	3.71E-04	1.009751	1.010107	3.49E-04	0.94	3.8832E-02
315.8	4.5954E-02	0.992329	0.992735	4.12E-04	1.010108	1.010506	3.90E-04	0.95	4.3477E-02
324.1	4.3064E-02	0.992415	0.992797	3.88E-04	1.010558	1.010934	3.68E-04	0.95	4.0880E-02
332.2	4.2597E-02	0.992300	0.992675	3.81E-04	1.010854	1.011223	3.61E-04	0.95	4.0391E-02
340.1	4.0549E-02	0.992670	0.993034	3.69E-04	1.011218	1.011578	3.52E-04	0.95	3.8646E-02
347.9	3.9863E-02	0.992313	0.992674	3.66E-04	1.011636	1.011996	3.52E-04	0.96	3.8249E-02
355.7	4.0618E-02	0.992664	0.993022	3.63E-04	1.011986	1.012342	3.47E-04	0.96	3.8864E-02
364.1	4.3521E-02	0.993024	0.993405	3.86E-04	1.012343	1.012724	3.72E-04	0.96	4.1876E-02
372.3	4.1138E-02	0.992968	0.993341	3.78E-04	1.012703	1.013078	3.66E-04	0.97	3.9763E-02
380.1	3.8413E-02	0.993380	0.993733	3.58E-04	1.013111	1.013466	3.46E-04	0.97	3.7141E-02
389.0	4.2183E-02	0.993701	0.994093	3.97E-04	1.013439	1.013836	3.86E-04	0.97	4.1073E-02
398.1	4.3492E-02	0.993647	0.994039	3.97E-04	1.013845	1.014242	3.86E-04	0.97	4.2309E-02
406.8	3.9856E-02	0.993179	0.993546	3.72E-04	1.014206	1.014582	3.65E-04	0.98	3.9158E-02
415.7	4.0285E-02	0.992717	0.993088	3.76E-04	1.014590	1.014973	3.72E-04	0.99	3.9814E-02
424.6	3.9740E-02	0.992225	0.992593	3.74E-04	1.014961	1.015340	3.68E-04	0.98	3.9115E-02
434.0	3.9786E-02	0.992148	0.992523	3.81E-04	1.015330	1.015719	3.77E-04	0.99	3.9408E-02
442.8	3.6404E-02	0.991710	0.992050	3.46E-04	1.015747	1.016101	3.43E-04	0.99	3.6130E-02
452.6	3.9148E-02	0.992046	0.992410	3.70E-04	1.016089	1.016471	3.70E-04	1.00	3.9162E-02
462.9	3.9862E-02	0.992409	0.992779	3.76E-04	1.016472	1.016862	3.77E-04	1.00	4.0050E-02
473.8	4.0023E-02	0.992731	0.993103	3.77E-04	1.016813	1.017208	3.82E-04	1.01	4.0508E-02
485.3	3.9974E-02	0.992713	0.993084	3.76E-04	1.017233	1.017629	3.83E-04	1.02	4.0635E-02
497.0	3.8012E-02	0.992663	0.993015	3.57E-04	1.017642	1.018020	3.65E-04	1.02	3.8840E-02
509.2	3.7955E-02	0.992689	0.993034	3.50E-04	1.018018	1.018391	3.60E-04	1.03	3.9018E-02
522.8	3.7994E-02	0.992696	0.993047	3.56E-04	1.018377	1.018761	3.70E-04	1.04	3.9495E-02
537.1	3.7228E-02	0.992554	0.992885	3.36E-04	1.018741	1.019107	3.53E-04	1.05	3.9074E-02
555.9	4.4152E-02	0.992452	0.992835	3.89E-04	1.019108	1.019536	4.12E-04	1.06	4.6791E-02
579.0	4.5449E-02	0.992431	0.992826	4.01E-04	1.019586	1.020033	4.30E-04	1.07	4.8727E-02
608.9	4.7086E-02	0.992236	0.992643	4.13E-04	1.019914	1.020385	4.53E-04	1.10	5.1570E-02
649.8	4.6693E-02	0.992211	0.992616	4.11E-04	1.020384	1.020864	4.61E-04	1.12	5.2323E-02

表 3.19 校正曲線の多項式係数（均等引き抜き状態模擬）

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
a5	6.63627E-15	0.00000E+00	1.15181E-13	-6.1800E-14	0.00000E+00	1.4481E-14
a4	-5.01672E-11	-1.00970E-11	-3.34433E-10	1.2841E-10	-1.6773E-11	-6.9097E-11
a3	8.36187E-08	1.94305E-08	3.79205E-07	-1.02559E-07	3.39765E-08	1.01610E-07
a2	-4.98370E-05	-1.05220E-05	-2.02731E-04	4.70875E-05	-2.23537E-05	-5.84657E-05
a1	6.95190E-03	-1.61146E-04	4.65006E-02	-1.82250E-02	4.11710E-03	9.15534E-03
a0	1.75876E+00	1.01656E+00	-2.37656E+00	4.36499E+00	4.31562E-01	1.49983E+00

$$* \rho(x) = a5 \cdot x^5 + a4 \cdot x^4 + a3 \cdot x^3 + a2 \cdot x^2 + a1 \cdot x + a0$$

表 3.20 校正曲線の多項式係数（単独引き抜き状態模擬）

	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
a5	6.01703E-14	2.19891E-14	6.19383E-14	6.32982E-14	2.17705E-14	6.28239E-14
a4	-9.62423E-11	-3.56063E-11	-9.85446E-11	-1.00397E-10	-3.51802E-11	-1.00134E-10
a3	3.79919E-08	1.40710E-08	3.89686E-08	3.94467E-08	1.37925E-08	3.96914E-08
a2	3.72248E-06	1.40906E-06	3.48926E-06	3.78499E-06	1.49089E-06	3.60133E-06
a1	2.93596E-04	1.64403E-04	3.15936E-04	2.15717E-04	1.22401E-04	2.55724E-04
a0	2.26105E-04	-2.97717E-04	-8.83201E-03	1.18682E-03	-3.18946E-04	9.70211E-04

表 3.21 4本同時差換法による測定値

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
295.8	413.0	650.0	295.6	412.9	650.0	
303.8	"	"	"	"	"	4.3105E-02
"	"	585.1	"	"	"	8.0108E-02
"	"	"	310.0	"	"	7.8796E-02
"	"	"	"	"	585.6	8.1372E-02
318.5	"	"	"	"	"	8.0432E-02
"	"	543.5	"	"	"	8.0823E-02
"	"	"	323.5	"	"	7.3352E-02
"	"	"	"	"	551.8	6.5429E-02
332.7	"	"	"	"	"	7.6753E-02
"	"	511.7	"	"	"	8.0102E-02
"	"	"	336.7	"	"	7.1333E-02
"	"	"	"	"	523.1	7.0333E-02
347.2	"	"	"	"	"	7.8223E-02
"	"	485.4	"	"	"	7.8156E-02
"	"	"	351.4	"	"	7.8916E-02
"	"	"	"	"	496.7	7.7354E-02
361.0	"	"	"	"	"	7.3724E-02
"	"	462.3	"	"	"	7.9461E-02
"	"	"	365.0	"	"	7.2842E-02
"	"	"	"	"	475.3	7.0696E-02
375.0	"	"	"	"	"	7.3451E-02
"	"	442.2	"	"	"	7.6677E-02
"	"	"	380.0	"	"	7.6407E-02
"	"	"	"	"	455.3	7.4677E-02
389.9	"	"	"	"	"	7.4871E-02
"	"	424.6	"	"	"	7.1231E-02
"	"	"	394.1	"	"	6.9577E-02
"	"	"	"	"	437.4	7.2646E-02
405.4	"	"	"	"	"	7.5621E-02
"	"	406.4	"	"	"	7.9407E-02
"	"	"	408.8	"	"	6.9923E-02
"	"	"	"	"	422.4	6.4271E-02
420.7	"	"	"	"	"	7.0941E-02
"	"	390.5	"	"	"	7.2888E-02
"	"	"	424.8	"	"	7.1809E-02
"	"	"	"	"	407.2	6.8929E-02
438.1	"	"	"	"	"	7.6851E-02
"	"	373.4	"	"	"	8.1807E-02
"	"	"	441.4	"	"	7.1401E-02
"	"	"	"	"	393.1	6.6833E-02
455.2	"	"	"	"	"	6.9598E-02
"	"	359.1	"	"	"	7.2416E-02
"	"	"	459.0	"	"	7.1105E-02
"	"	"	"	"	379.4	6.7918E-02
475.0	"	"	"	"	"	7.5003E-02
"	"	344.1	"	"	"	7.7411E-02
"	"	"	478.0	"	"	7.0547E-02
"	"	"	"	"	366.1	6.8643E-02
496.0	"	"	"	"	"	7.2931E-02
"	"	329.9	"	"	"	7.4320E-02
"	"	"	499.5	"	"	7.0983E-02
"	"	"	"	"	353.3	6.8251E-02
520.1	"	"	"	"	"	7.4001E-02
"	"	314.1	"	"	"	8.1882E-02
"	"	"	522.7	"	"	6.8550E-02
"	"	"	"	"	341.7	6.3345E-02
550.1	"	"	"	"	"	7.7427E-02
"	"	298.6	"	"	"	8.1868E-02
"	"	"	553.1	"	"	7.5937E-02
"	"	"	"	"	329.6	6.6131E-02
590.0	"	"	"	"	"	7.9346E-02
"	"	281.2	"	"	"	8.9191E-02
"	"	"	592.0	"	"	7.4641E-02
"	"	"	"	"	316.9	6.9036E-02
649.7	"	"	"	"	"	7.8461E-02
"	"	266.5	"	"	"	7.5455E-02
"	"	"	650.0	"	"	7.4150E-02
"	"	"	"	"	302.7	7.7536E-02

表 3.22 4本同時差換法による校正試験結果 (CR1、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
295.8									
303.8	4.3105E-02	0.992742	0.993121	3.84E-04	1.009596	1.009951	3.48E-04	0.91	3.9040E-02
318.5	8.0432E-02	0.992464	0.993163	7.09E-04	1.009899	1.010556	6.44E-04	0.91	7.3015E-02
332.7	7.6753E-02	0.991863	0.992548	6.96E-04	1.010565	1.011214	6.35E-04	0.91	7.0056E-02
347.2	7.8223E-02	0.991803	0.992496	7.04E-04	1.011197	1.011857	6.45E-04	0.92	7.1671E-02
361.0	7.3724E-02	0.993827	0.994477	6.58E-04	1.011916	1.012541	6.10E-04	0.93	6.8379E-02
375.0	7.3451E-02	0.993717	0.994378	6.69E-04	1.012479	1.013115	6.20E-04	0.93	6.8081E-02
389.9	7.4871E-02	0.994078	0.994761	6.91E-04	1.013148	1.013809	6.44E-04	0.93	6.9760E-02
405.4	7.5621E-02	0.989932	0.990615	6.96E-04	1.013882	1.014563	6.62E-04	0.95	7.1881E-02
420.7	7.0941E-02	0.991857	0.992512	6.65E-04	1.014529	1.015184	6.36E-04	0.96	6.7807E-02
438.1	7.6851E-02	0.992182	0.992888	7.17E-04	1.015165	1.015880	6.93E-04	0.97	7.4347E-02
455.2	6.9598E-02	0.991774	0.992422	6.58E-04	1.015817	1.016482	6.44E-04	0.98	6.8083E-02
475.0	7.5003E-02	0.992107	0.992804	7.08E-04	1.016432	1.017155	6.99E-04	0.99	7.4121E-02
496.0	7.2931E-02	0.992250	0.992909	6.69E-04	1.017267	1.017961	6.70E-04	1.00	7.3072E-02
520.1	7.4001E-02	0.992054	0.992717	6.73E-04	1.017874	1.018583	6.84E-04	1.02	7.5169E-02
550.1	7.7427E-02	0.992081	0.992762	6.91E-04	1.018681	1.019420	7.12E-04	1.03	7.9688E-02
590.0	7.9346E-02	0.992515	0.993208	7.03E-04	1.019440	1.020206	7.37E-04	1.05	8.3128E-02
649.7	7.8461E-02	0.992414	0.993088	6.84E-04	1.020110	1.020873	7.33E-04	1.07	8.4058E-02

表 3.23 4本同時差換法による校正試験結果 (CR3、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
650.0									
585.1	8.0108E-02	0.993172	0.992463	-7.19E-04	1.020925	1.020083	-8.09E-04	1.12	9.0043E-02
543.5	8.0823E-02	0.993099	0.992386	-7.23E-04	1.020011	1.019187	-7.93E-04	1.10	8.8550E-02
511.7	8.0102E-02	0.992689	0.991958	-7.42E-04	1.019263	1.018438	-7.95E-04	1.07	8.5756E-02
485.4	7.8156E-02	0.993117	0.992383	-7.45E-04	1.018411	1.017598	-7.84E-04	1.05	8.2326E-02
462.3	7.9461E-02	0.992524	0.991784	-7.52E-04	1.017568	1.016762	-7.79E-04	1.04	8.2344E-02
442.2	7.6670E-02	0.992975	0.992255	-7.31E-04	1.016788	1.016018	-7.45E-04	1.02	7.8201E-02
424.6	7.1231E-02	0.992455	0.991777	-6.89E-04	1.016035	1.015320	-6.93E-04	1.01	7.1674E-02
406.4	7.9407E-02	0.992512	0.991765	-7.59E-04	1.015401	1.014625	-7.53E-04	0.99	7.8814E-02
390.5	7.2888E-02	0.992316	0.991641	-6.86E-04	1.014637	1.013945	-6.73E-04	0.98	7.1472E-02
373.4	8.1897E-02	0.992063	0.991313	-7.63E-04	1.013851	1.013095	-7.36E-04	0.97	7.9041E-02
359.1	7.2416E-02	0.992103	0.991448	-6.66E-04	1.013095	1.012444	-6.35E-04	0.95	6.9021E-02
344.1	7.7411E-02	0.992187	0.991495	-7.03E-04	1.012431	1.011751	-6.64E-04	0.94	7.3055E-02
329.9	7.4320E-02	0.992089	0.991422	-6.78E-04	1.011756	1.011108	-6.33E-04	0.93	6.9421E-02
314.1	8.1882E-02	0.991894	0.991157	-7.50E-04	1.011108	1.010397	-6.96E-04	0.93	7.6017E-02
298.6	8.1868E-02	0.991647	0.990925	-7.35E-04	1.010417	1.009727	-6.76E-04	0.92	7.5356E-02
281.2	8.9191E-02	0.991594	0.990794	-8.14E-04	1.009754	1.008995	-7.45E-04	0.91	8.1599E-02
266.5	7.5455E-02	0.991312	0.990657	-6.67E-04	1.008936	1.008317	-6.08E-04	0.91	6.8835E-02

表 3.24 4本同時差換法による校正試験結果 (CR4、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
295.6									
310.0	7.8796E-02	0.992730	0.993410	6.90E-04	1.009533	1.010173	6.28E-04	0.91	7.1716E-02
323.5	7.3352E-02	0.992528	0.993169	6.50E-04	1.010132	1.010737	5.93E-04	0.91	6.6843E-02
336.7	7.1333E-02	0.992512	0.993147	6.44E-04	1.010816	1.011420	5.91E-04	0.92	6.5418E-02
351.4	7.8916E-02	0.992663	0.993361	7.08E-04	1.011442	1.012112	6.54E-04	0.92	7.2967E-02
365.0	7.2842E-02	0.992493	0.993127	6.43E-04	1.012060	1.012675	6.00E-04	0.93	6.7955E-02
380.0	7.6413E-02	0.992554	0.993245	7.01E-04	1.012712	1.013390	6.61E-04	0.94	7.2022E-02
394.1	6.9577E-02	0.992451	0.993078	6.36E-04	1.013391	1.014013	6.05E-04	0.95	6.6200E-02
408.8	6.9923E-02	0.992579	0.993217	6.47E-04	1.014063	1.014702	6.21E-04	0.96	6.7097E-02
424.8	7.1809E-02	0.992469	0.993141	6.82E-04	1.014681	1.015362	6.61E-04	0.97	6.9620E-02
441.4	7.1401E-02	0.992332	0.992988	6.66E-04	1.015347	1.016023	6.55E-04	0.98	7.0280E-02
459.0	7.1105E-02	0.992228	0.992885	6.67E-04	1.015937	1.016621	6.62E-04	0.99	7.0612E-02
478.0	7.0547E-02	0.992253	0.992900	6.57E-04	1.016673	1.017357	6.61E-04	1.01	7.1040E-02
499.5	7.0983E-02	0.992661	0.993324	6.72E-04	1.017373	1.018082	6.85E-04	1.02	7.2263E-02
522.7	6.8550E-02	0.992060	0.992678	6.28E-04	1.018056	1.018726	6.46E-04	1.03	7.0569E-02
553.1	7.5937E-02	0.992458	0.993126	6.78E-04	1.018782	1.019516	7.07E-04	1.04	7.9180E-02
592.0	7.4641E-02	0.992315	0.992973	6.68E-04	1.019460	1.020195	7.07E-04	1.06	7.8990E-02
650.0	7.4150E-02	0.992620	0.993265	6.54E-04	1.020089	1.020824	7.06E-04	1.08	8.0001E-02

表 3.25 4本同時差換法による校正試験結果 (CR6、単独引き抜き状態に補正)

制御棒 引抜位置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			単独挿入模擬			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
650.0									
585.6	8.1372E-02	0.992883	0.992184	-7.10E-04	1.020880	1.020048	-7.99E-04	1.13	9.1625E-02
551.8	6.5429E-02	0.993043	0.992480	-5.71E-04	1.020054	1.019404	-6.25E-04	1.09	7.1597E-02
523.1	7.0333E-02	0.993361	0.992750	-6.20E-04	1.019460	1.018767	-6.67E-04	1.08	7.5745E-02
496.7	7.7354E-02	0.993513	0.992826	-6.96E-04	1.018749	1.017987	-7.35E-04	1.05	8.1605E-02
475.3	7.0696E-02	0.993572	0.992927	-6.54E-04	1.017982	1.017278	-6.80E-04	1.04	7.3510E-02
455.3	7.4683E-02	0.993630	0.992952	-6.87E-04	1.017252	1.016524	-7.04E-04	1.02	7.6512E-02
437.4	7.2646E-02	0.993261	0.992605	-6.65E-04	1.016582	1.015888	-6.72E-04	1.01	7.3370E-02
422.4	6.4271E-02	0.993746	0.993154	-6.00E-04	1.015893	1.015279	-5.95E-04	0.99	6.3785E-02
407.2	6.8929E-02	0.993301	0.992668	-6.42E-04	1.015282	1.014633	-6.30E-04	0.98	6.7644E-02
393.1	6.6833E-02	0.993732	0.993125	-6.15E-04	1.014672	1.014059	-5.96E-04	0.97	6.4736E-02
379.4	6.7918E-02	0.993992	0.993388	-6.12E-04	1.013976	1.013373	-5.87E-04	0.96	6.5158E-02
366.1	6.8643E-02	0.994172	0.993565	-6.15E-04	1.013409	1.012809	-5.85E-04	0.95	6.5299E-02
353.3	6.8251E-02	0.994163	0.993574	-5.96E-04	1.012762	1.012185	-5.63E-04	0.94	6.4426E-02
341.7	6.3345E-02	0.994128	0.993585	-5.50E-04	1.012224	1.011696	-5.16E-04	0.94	5.9411E-02
329.6	6.6139E-02	0.994369	0.993795	-5.81E-04	1.011692	1.011139	-5.41E-04	0.93	6.1554E-02
316.9	6.9036E-02	0.994565	0.993969	-6.03E-04	1.011106	1.010534	-5.60E-04	0.93	6.4104E-02
302.7	7.7536E-02	0.994638	0.993972	-6.74E-04	1.010526	1.009892	-6.21E-04	0.92	7.1505E-02

表 3.26 校正曲線の多項式係数 (4本同時差換法・単独引き抜き状態模擬)

	CR1	CR3	CR4	CR6
a5	-3.61665E-15	-9.95319E-15	1.28192E-14	-2.59106E-14
a4	4.24377E-11	5.89951E-11	4.74150E-12	9.26323E-11
a3	-7.92634E-08	-9.57792E-08	-4.52447E-08	-1.22947E-07
a2	5.17794E-05	5.97044E-05	3.66048E-05	6.98508E-05
a1	-9.19631E-03	-1.12160E-02	-5.83028E-03	-1.26187E-02
a0	-7.56491E-02	2.52680E-02	-3.71563E-01	1.17086E-01

表 3.27 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR4 位置 325mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% $\Delta k/kk'$)
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
325.0	650.0	466.3	325.0	650.0	466.3	
332.9	560.7	"	"	"	"	4.3013E-02
341.0	"	"	"	561.1	"	4.2338E-02
350.0	510.0	"	"	"	"	4.7325E-02
357.9	"	"	"	514.3	"	4.2808E-02
366.9	471.8	"	"	"	"	4.7964E-02
375.9	"	"	"	475.3	"	4.6910E-02
385.0	440.3	"	"	"	"	4.6810E-02
394.1	"	"	"	444.4	"	4.5457E-02
402.1	416.6	"	"	"	"	3.9888E-02
410.0	"	"	"	420.1	"	3.8172E-02
420.1	390.9	"	"	"	"	4.7416E-02
430.1	"	"	"	394.1	"	4.6004E-02
439.8	369.0	"	"	"	"	4.2741E-02
450.2	"	"	"	370.2	"	4.5564E-02

表 3.28 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR4 位置 650mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% $\Delta k/kk'$)
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
325.0	243.4	466.3	650.0	242.5	466.3	
333.3	220.0	"	"	"	"	4.2402E-02
341.0	"	"	"	220.6	"	3.9238E-02
349.2	193.8	"	"	"	"	4.1546E-02
356.9	"	"	"	197.5	"	3.8491E-02
363.5	171.6	"	"	"	"	3.3548E-02
370.9	"	"	"	169.8	"	3.7307E-02
378.0	146.2	"	"	"	"	3.3347E-02
384.9	"	"	"	145.1	"	3.3440E-02

表 3.29 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR6 位置 325mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
325.0	650.4	459.9	459.8	649.9	325.0	
332.2	574.3	"	"	"	"	3.5749E-02
339.8	"	"	"	564.7	"	3.7504E-02
348.0	525.7	"	"	"	"	4.1122E-02
357.0	"	"	"	516.2	"	4.4162E-02
365.0	487.8	"	"	"	"	3.8639E-02
375.0	"	"	"	472.3	"	4.8062E-02
385.0	454.4	"	"	"	"	4.7744E-02
394.0	"	"	"	441.4	"	4.0674E-02
403.1	429.4	"	"	"	"	4.1349E-02
413.0	"	"	"	412.3	"	4.4051E-02
422.0	407.2	"	"	"	"	3.9870E-02
431.9	"	"	"	386.8	"	4.0811E-02
440.0	390.2	"	"	"	"	3.2314E-02
450.1	"	"	"	342.9	"	4.0148E-02

*CR2、CR5の制御棒位置はJOYDAS(JOYO Data Acquisition System)の記録値

表 3.30 干渉効果測定試験による測定値 (CR1 測定、CR6 位置 650mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (%Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
325.0	270.0	459.9	459.9	270.0	649.8	
332.1	250.7	"	"	"	"	3.7508E-02
339.0	"	"	"	251.4	"	3.6241E-02
347.8	224.7	"	"	"	"	4.6489E-02
357.0	"	"	"	225.4	"	4.7836E-02
365.6	197.6	"	"	"	"	4.4687E-02
375.0	"	"	"	194.1	"	5.0203E-02
385.0	162.1	"	"	"	"	5.0321E-02
394.0	"	"	"	166.7	"	4.4706E-02
403.1	122.7	"	"	"	"	4.5331E-02
413.1	"	"	"	130.0	"	4.8786E-02
422.1	76.7	"	"	"	"	4.2550E-02
432.1	"	"	"	67.6	"	4.7342E-02

表 3.31 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR3 位置 200mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% $\Delta k/kk'$)
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
472.8	450.0	200.0	473.0	325.1	650.0	
"	417.0	"	"	345.8	"	4.5360E-02
"	387.6	"	"	365.9	"	4.4440E-02
"	362.8	"	"	384.0	"	3.9082E-02
"	338.7	"	"	403.2	"	3.9933E-02
"	314.3	"	"	423.0	"	3.9938E-02
"	291.0	"	"	443.9	"	3.8404E-02
"	265.7	"	"	466.8	"	4.0287E-02
"	237.7	"	"	493.7	"	4.2498E-02
"	206.3	"	"	525.9	"	4.3649E-02
"	168.2	"	"	569.9	"	4.6260E-02
"	120.2	"	"	650.1	"	4.7989E-02

表 3.32 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR3 位置 450mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% $\Delta k/kk'$)
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
347.5	450.0	450.0	347.5	325.0	649.8	
"	427.2	"	"	342.5	"	3.6309E-02
"	404.0	"	"	361.3	"	3.9600E-02
"	383.2	"	"	379.9	"	3.7947E-02
"	362.2	"	"	400.1	"	4.0358E-02
"	341.5	"	"	421.5	"	4.0458E-02
"	321.2	"	"	443.8	"	3.9516E-02
"	300.4	"	"	469.0	"	4.1019E-02
"	279.0	"	"	497.0	"	4.1037E-02
"	257.1	"	"	530.1	"	4.1003E-02
"	234.8	"	"	571.2	"	3.9060E-02
"	208.4	"	"	650.1	"	4.2833E-02

表 3.33 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR6 位置 200mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
467.4	450.0	650.0	467.4	325.0	200.0	
"	430.3	"	"	348.0	"	3.7104E-02
"	410.9	"	"	372.0	"	3.8821E-02
"	392.3	"	"	397.1	"	3.9193E-02
"	373.8	"	"	424.3	"	3.9842E-02
"	357.6	"	"	451.9	"	3.6216E-02
"	341.1	"	"	483.0	"	3.7471E-02
"	325.5	"	"	517.6	"	3.5472E-02
"	309.4	"	"	562.9	"	3.5901E-02
"	292.1	"	"	650.0	"	3.8302E-02

表 3.34 干渉効果測定試験による測定値 (CR5 測定、CR6 位置 450mm)

Control rod insertion position (mm)						Measured reactivity (% Δ k/kk')
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	
346.5	450.1	650.0	346.6	325.0	450.0	
"	427.2	"	"	346.2	"	4.0516E-02
"	405.9	"	"	367.1	"	4.0694E-02
"	385.5	"	"	389.0	"	4.1002E-02
"	365.3	"	"	412.0	"	4.0874E-02
"	347.1	"	"	435.9	"	3.8194E-02
"	328.8	"	"	462.1	"	3.9090E-02
"	310.8	"	"	490.8	"	3.8526E-02
"	292.4	"	"	525.0	"	3.8405E-02
"	275.1	"	"	567.8	"	3.5750E-02
"	255.5	"	"	650.0	"	3.9082E-02

表 3.35 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR4 位置 325mm)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
332.9	4.3013E-02	0.992722	0.993097	3.80E-04	0.992722	0.993097	3.80E-04	1.00	4.3013E-02
341.0	4.2338E-02	0.992678	0.993070	3.98E-04	0.993179	0.993570	3.96E-04	1.00	4.2187E-02
350.0	4.7325E-02	0.992530	0.992964	4.40E-04	0.993524	0.993957	4.38E-04	1.00	4.7122E-02
357.9	4.2808E-02	0.992443	0.992821	3.84E-04	0.993900	0.994277	3.81E-04	0.99	4.2570E-02
366.9	4.7964E-02	0.992331	0.992757	4.32E-04	0.994236	0.994662	4.31E-04	1.00	4.7780E-02
375.9	4.6910E-02	0.992223	0.992646	4.29E-04	0.994607	0.995029	4.26E-04	0.99	4.6575E-02
385.0	4.6810E-02	0.992217	0.992644	4.34E-04	0.995079	0.995505	4.30E-04	0.99	4.6432E-02
394.1	4.5457E-02	0.992159	0.992574	4.21E-04	0.995452	0.995865	4.17E-04	0.99	4.4939E-02
402.1	3.9888E-02	0.992270	0.992635	3.71E-04	0.995982	0.996345	3.66E-04	0.99	3.9374E-02
410.0	3.8172E-02	0.992307	0.992653	3.51E-04	0.996330	0.996675	3.47E-04	0.99	3.7755E-02
420.1	4.7416E-02	0.992264	0.992699	4.42E-04	0.996592	0.997027	4.38E-04	0.99	4.7005E-02
430.1	4.6004E-02	0.992266	0.992690	4.30E-04	0.997085	0.997509	4.26E-04	0.99	4.5560E-02
439.8	4.2741E-02	0.992158	0.992556	4.04E-04	0.997469	0.997866	3.99E-04	0.99	4.2181E-02
450.2	4.5564E-02	0.992147	0.992560	4.19E-04	0.997806	0.998218	4.14E-04	0.99	4.4940E-02

表 3.36 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR4 位置 650mm)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
333.3	4.2402E-02							1.00	4.2402E-02
341.0	3.9238E-02	0.992385	0.992745	3.65E-04	0.992688	0.993050	3.67E-04	1.00	3.9432E-02
349.2	4.1546E-02	0.992442	0.992823	3.87E-04	0.993047	0.993428	3.86E-04	1.00	4.1495E-02
356.9	3.8491E-02	0.992411	0.992767	3.61E-04	0.993432	0.993787	3.60E-04	1.00	3.8304E-02
363.5	3.3548E-02	0.992554	0.992857	3.07E-04	0.993863	0.994165	3.06E-04	0.99	3.3349E-02
370.9	3.7307E-02	0.992486	0.992826	3.45E-04	0.994039	0.994377	3.42E-04	0.99	3.6972E-02
378.0	3.3347E-02	0.992423	0.992745	3.27E-04	0.994352	0.994671	3.23E-04	0.99	3.2908E-02
384.9	3.3440E-02	0.992601	0.992916	3.20E-04	0.994750	0.995064	3.17E-04	0.99	3.3190E-02

表 3.37 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR6 位置 325mm)

制御棒 引抜位置 (mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
332.2	3.5749E-02							1.00	3.5749E-02
339.8	3.7504E-02	0.993030	0.993372	3.47E-04	0.993394	0.993736	3.46E-04	1.00	3.7477E-02
348.0	4.1122E-02	0.993057	0.993429	3.77E-04	0.993813	0.994185	3.77E-04	1.00	4.1059E-02
357.0	4.4162E-02	0.992857	0.993262	4.11E-04	0.994128	0.994533	4.10E-04	1.00	4.4049E-02
365.0	3.8639E-02	0.992933	0.993290	3.62E-04	0.994539	0.994896	3.61E-04	1.00	3.8514E-02
375.0	4.8062E-02	0.992903	0.993341	4.44E-04	0.994904	0.995343	4.43E-04	1.00	4.7978E-02
385.0	4.7744E-02	0.992735	0.993175	4.46E-04	0.995274	0.995714	4.44E-04	0.99	4.7501E-02
394.0	4.0674E-02	0.992594	0.992981	3.93E-04	0.995679	0.996064	3.88E-04	0.99	4.0214E-02
403.1	4.1349E-02	0.992680	0.993068	3.94E-04	0.996150	0.996536	3.89E-04	0.99	4.0850E-02
413.0	4.4051E-02	0.992761	0.993166	4.11E-04	0.996540	0.996944	4.07E-04	0.99	4.3610E-02
422.0	3.9870E-02	0.992721	0.993084	3.68E-04	0.996880	0.997243	3.65E-04	0.99	3.9538E-02
431.9	4.0811E-02	0.992691	0.993083	3.98E-04	0.997226	0.997617	3.93E-04	0.99	4.0338E-02
440.0	3.2314E-02	0.992790	0.993101	3.15E-04	0.997623	0.997933	3.11E-04	0.99	3.1899E-02
450.1	4.0148E-02	0.992775	0.993151	3.81E-04	0.997947	0.998323	3.77E-04	0.99	3.9733E-02

表 3.38 干渉効果測定試験結果 (CR1 測定、CR6 位置 650mm)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
332.1	3.7508E-02							1.00	3.7508E-02
339.0	3.6241E-02	0.992738	0.993069	3.36E-04	0.993064	0.993395	3.36E-04	1.00	3.6217E-02
347.8	4.6489E-02	0.992818	0.993240	4.28E-04	0.993481	0.993905	4.29E-04	1.00	4.6647E-02
357.0	4.7836E-02	0.992813	0.993252	4.45E-04	0.993935	0.994373	4.43E-04	1.00	4.7619E-02
365.6	4.4687E-02	0.992633	0.993043	4.16E-04	0.994218	0.994625	4.12E-04	0.99	4.4219E-02
375.0	5.0203E-02	0.992752	0.993193	4.47E-04	0.994622	0.995062	4.45E-04	0.99	4.9901E-02
385.0	5.0321E-02	0.993052	0.993524	4.78E-04	0.995211	0.995680	4.73E-04	0.99	4.9785E-02
394.0	4.4706E-02	0.993114	0.993531	4.23E-04	0.995763	0.996177	4.17E-04	0.99	4.4149E-02
403.1	4.5331E-02	0.992877	0.993292	4.21E-04	0.996024	0.996436	4.15E-04	0.99	4.4720E-02
413.1	4.8786E-02	0.992996	0.993442	4.52E-04	0.996529	0.996970	4.44E-04	0.98	4.7898E-02
422.1	4.2550E-02	0.993188	0.993586	4.03E-04	0.997028	0.997423	3.97E-04	0.98	4.1905E-02
432.1	4.7342E-02	0.993293	0.993720	4.33E-04	0.997419	0.997842	4.25E-04	0.98	4.6512E-02

表 3.39 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR3 位置 200mm)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.1									
345.8	4.5360E-02							1.00	4.5360E-02
365.9	4.4440E-02	0.992621	0.993006	3.91E-04	0.993014	0.993397	3.88E-04	0.99	4.4174E-02
384.0	3.9082E-02	0.992545	0.992889	3.49E-04	0.993361	0.993702	3.45E-04	0.99	3.8678E-02
403.2	3.9933E-02	0.992545	0.992902	3.62E-04	0.993797	0.994150	3.57E-04	0.99	3.9386E-02
423.0	3.9938E-02	0.992536	0.992894	3.63E-04	0.994084	0.994437	3.57E-04	0.98	3.9258E-02
443.9	3.8404E-02	0.992532	0.992889	3.62E-04	0.994523	0.994874	3.55E-04	0.98	3.7608E-02
466.8	4.0287E-02	0.992565	0.992938	3.78E-04	0.994846	0.995212	3.70E-04	0.98	3.9350E-02
493.7	4.2498E-02	0.992664	0.993060	4.02E-04	0.995221	0.995609	3.92E-04	0.97	4.1426E-02
525.9	4.3649E-02	0.992674	0.993081	4.13E-04	0.995626	0.996024	4.01E-04	0.97	4.2431E-02
569.9	4.6260E-02	0.992788	0.993233	4.51E-04	0.996106	0.996539	4.36E-04	0.97	4.4714E-02
650.1	4.7989E-02	0.992738	0.993261	5.30E-04	0.996472	0.996980	5.11E-04	0.96	4.6265E-02

表 3.40 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR3 位置 450mm)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干渉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
342.5	3.6309E-02							1.00	3.6309E-02
361.3	3.9600E-02	0.992950	0.993296	3.51E-04	0.993248	0.993594	3.51E-04	1.00	3.9576E-02
379.9	3.7947E-02	0.992796	0.993132	3.41E-04	0.993571	0.993905	3.38E-04	0.99	3.7662E-02
400.1	4.0358E-02	0.992845	0.993203	3.63E-04	0.993953	0.994307	3.58E-04	0.99	3.9818E-02
421.5	4.0458E-02	0.992816	0.993186	3.75E-04	0.994261	0.994626	3.69E-04	0.98	3.9796E-02
443.8	3.9516E-02	0.992816	0.993180	3.69E-04	0.994662	0.995021	3.63E-04	0.98	3.8829E-02
469.0	4.1019E-02	0.992755	0.993145	3.96E-04	0.994976	0.995358	3.86E-04	0.98	3.9999E-02
497.0	4.1037E-02	0.992815	0.993199	3.89E-04	0.995388	0.995763	3.78E-04	0.97	3.9869E-02
530.1	4.1003E-02	0.992964	0.993351	3.92E-04	0.995751	0.996131	3.83E-04	0.98	4.0037E-02
571.2	3.9060E-02	0.992991	0.993377	3.91E-04	0.996092	0.996468	3.79E-04	0.97	3.7812E-02
650.1	4.2833E-02	0.993069	0.993552	4.90E-04	0.996615	0.997084	4.72E-04	0.96	4.1297E-02

表 3.41 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR6 位置 200mm)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干涉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
348.0	3.7104E-02							1.00	3.7104E-02
372.0	3.8821E-02	0.993172	0.993522	3.55E-04	0.993513	0.993863	3.54E-04	1.00	3.8794E-02
397.1	3.9193E-02	0.993172	0.993530	3.63E-04	0.993866	0.994222	3.60E-04	0.99	3.8920E-02
424.3	3.9842E-02	0.993213	0.993584	3.76E-04	0.994278	0.994646	3.72E-04	0.99	3.9435E-02
451.9	3.6216E-02	0.993109	0.993461	3.57E-04	0.994551	0.994899	3.52E-04	0.99	3.5701E-02
483.0	3.7471E-02	0.993388	0.993750	3.67E-04	0.995014	0.995371	3.60E-04	0.98	3.6833E-02
517.6	3.5472E-02	0.993150	0.993495	3.50E-04	0.995357	0.995696	3.42E-04	0.98	3.4701E-02
562.9	3.5901E-02	0.993112	0.993471	3.64E-04	0.995694	0.996045	3.54E-04	0.97	3.4919E-02
650.0	3.8302E-02	0.993131	0.993568	4.43E-04	0.996085	0.996512	4.30E-04	0.97	3.7204E-02

表 3.42 干渉効果測定試験結果 (CR5 測定、CR6 位置 450mm)

制御棒 引抜位 置(mm)	実験値 (%Δk/kk')	実験体系模擬			補償制御棒位置変化なし			干涉効果 補正係数	補正後実験値 (%Δk/kk')
		k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)	k(引抜前)	k(引抜後)	反応度 (Δk/k)		
325.0									
346.2	4.0516E-02							1.00	4.0516E-02
367.1	4.0694E-02	0.993127	0.993484	3.62E-04	0.993453	0.993809	3.61E-04	1.00	4.0553E-02
389.0	4.1002E-02	0.993167	0.993534	3.72E-04	0.993830	0.994194	3.68E-04	0.99	4.0613E-02
412.0	4.0874E-02	0.993250	0.993624	3.79E-04	0.994285	0.994656	3.75E-04	0.99	4.0462E-02
435.9	3.8194E-02	0.993140	0.993504	3.69E-04	0.994517	0.994877	3.64E-04	0.99	3.7670E-02
462.1	3.9090E-02	0.993171	0.993548	3.82E-04	0.994906	0.995277	3.75E-04	0.98	3.8334E-02
490.8	3.8526E-02	0.993138	0.993503	3.70E-04	0.995240	0.995599	3.62E-04	0.98	3.7733E-02
525.0	3.8405E-02	0.993247	0.993615	3.73E-04	0.995702	0.996063	3.64E-04	0.98	3.7489E-02
567.8	3.5750E-02	0.993188	0.993552	3.69E-04	0.996006	0.996361	3.58E-04	0.97	3.4669E-02
650.0	3.9082E-02	0.993409	0.993850	4.47E-04	0.996392	0.996824	4.35E-04	0.97	3.8056E-02

表 3.43 中性子源増倍法による試験での測定結果（1回目、CR1）

Control rod insertion position (mm)						Count		Time (s)			
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Ch. 1	Ch. 2				
411.4	411.7	411.6	411.6	411.3	411.6	(臨界点)					
381.6	"	"	"	"	"	5958 5903 5842	4298 4150 4013	300			
361.4	"	"	"	"	"	3531 3587 3375	2814 2425 2415	300			
336.4	"	"	"	"	"	2279 2174 2234	1708 1595 1556	300			
326.0	"	"	"	"	"	1958 2083 1963	1393 1490 1409	300			
0.2	"	"	"	"	"	597 569 745	579 501 626	300 400			

表 3.44 中性子源増倍法による試験での測定結果（1回目、CR2,CR5）

Control rod insertion position (mm)						Count		Time (s)			
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Ch. 1	Ch. 2				
412.8	412.8	412.8	412.8	412.8	412.7	(臨界点)					
"	"	"	"	323.0	"	3255 3183 3340	2226 2339 2309	200			
"	"	"	"	0.1	"	1996 2015 2058	1771 1867 1736	400			
"	323.0	"	"	412.8	"	5115 5086 5085	3969 3392 3503	300			
"	0.0	"	"	"	"	2058 2020 2038	1463 1985 2079	400			

表 3.45 中性子源増倍法による試験での測定結果（2回目）

Control rod insertion position (mm)						Count		Time (s)			
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Ch. 1	Ch. 2				
435.0	435.0	435.1	435.1	435.0	435.1	(臨界点)					
405.0	"	"	"	"	"	23694 23625 24271 23822	16055 16178 16001 16197	100			
384.9	"	"	"	"	"	13905 14367 14132 13954	9528 9791 10082 9582	100			
360.0	"	"	"	"	"	18306 18301 18363	12746 12535 12431	200			
349.9	"	"	"	"	"	15934 15644 16003 15811	11178 10795 11212 11221	200			
0.0	"	"	"	"	"	11127 11130 10931	8288 9224 8797	500			
435.0	"	0.0	"	"	"	11861 11904 11912	8511 8311 8270	500			
"	"	435.1	0.0	"	"	11491 11733 11262	8149 7849 7811	500			
"	"	"	435.1	"	0.0	10045 10075 9939	7797 7604 7882	500			
"	"	"	"	345.0	435.1	93820 94566 94948	63642 63537 63816	500			
"	"	"	"	299.9	"	60185 60009	40965 41170	500			
"	"	"	"	0.0	"	14186 9463 9463	10339 7011 6459	300 200 200			
"	"	345.0	"	435.0	"	19984 20145 20176 19925 19737 20240	13450 13217 13617 13965 13611 13726	100			
"	"	0.0	"	"	"	11417 11242 11547	7870 7894 7938	200			

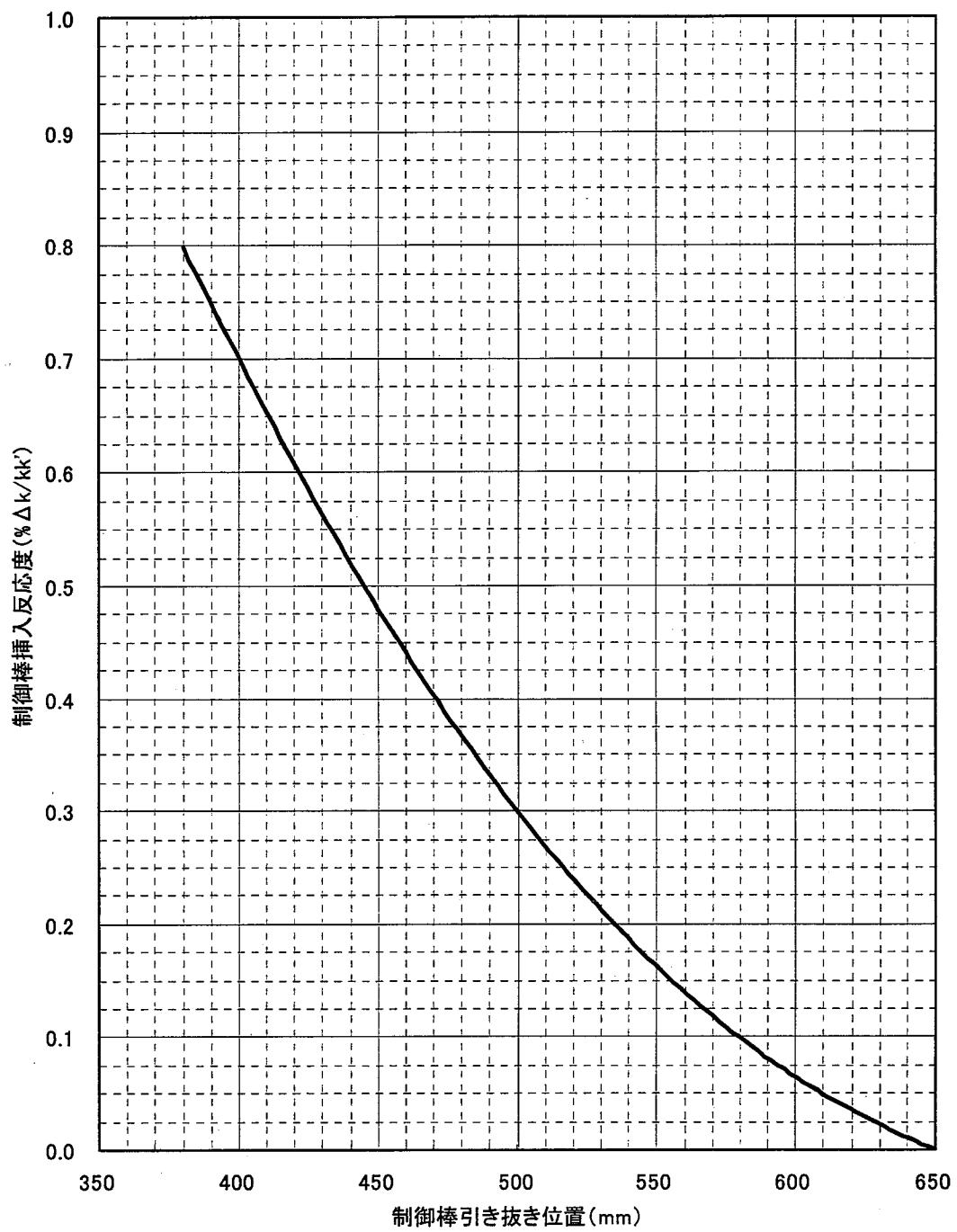


図 3.1 制御棒校正曲線 (CR1、均等引き抜き状態模擬)

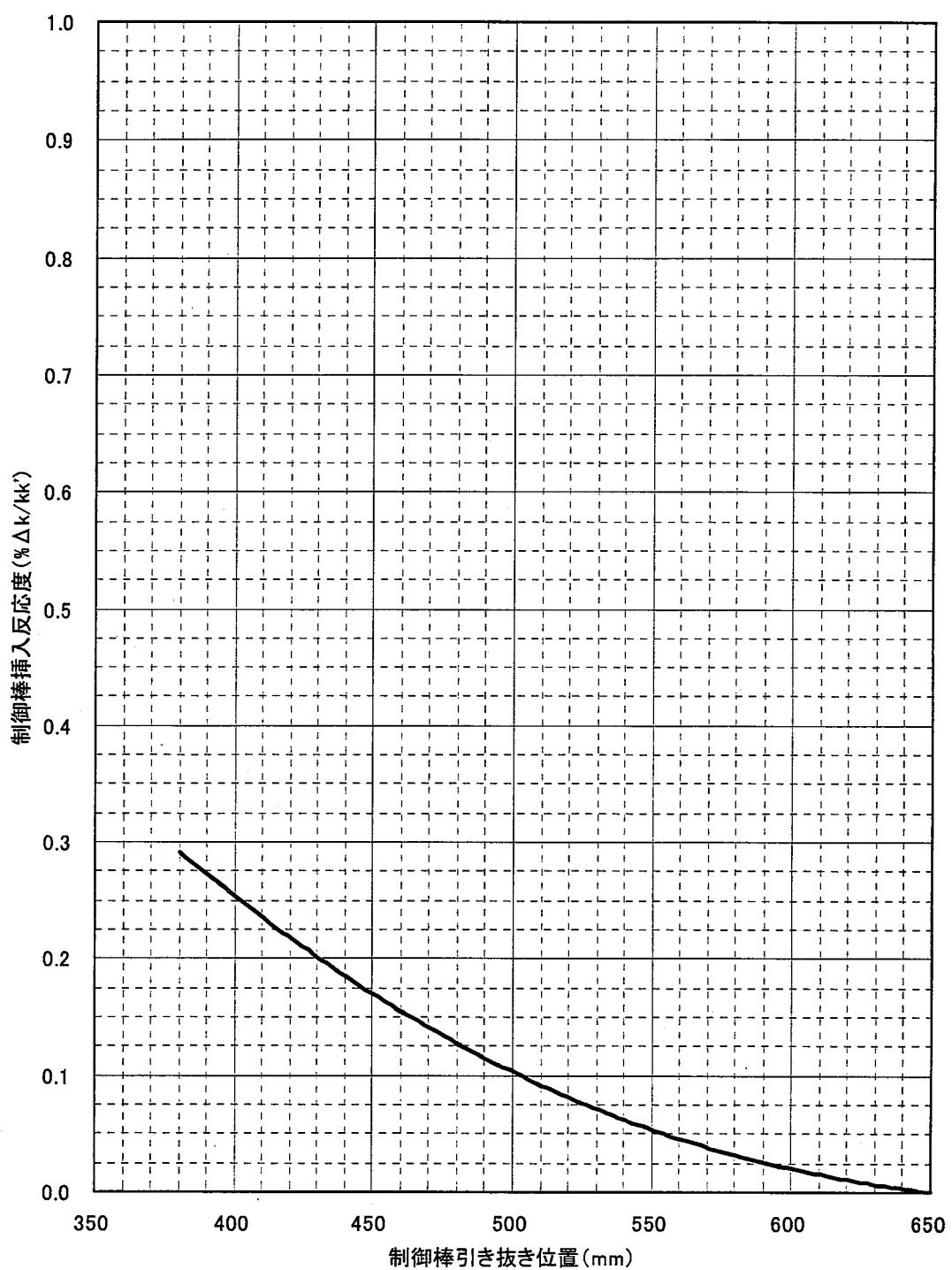


図 3.2 制御棒校正曲線 (CR2、均等引き抜き状態模擬)

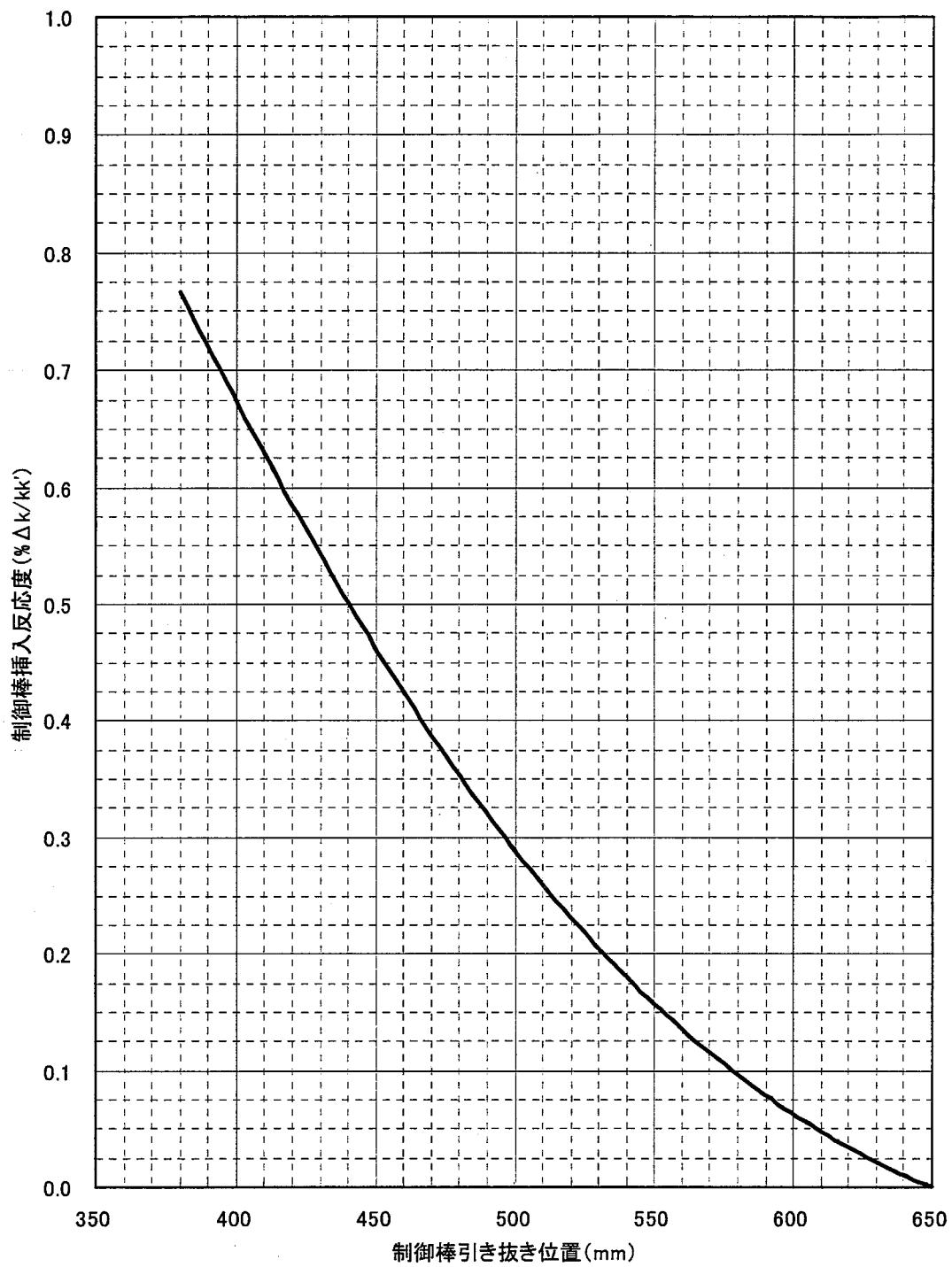


図 3.3 制御棒校正曲線 (CR3、均等引き抜き状態模擬)

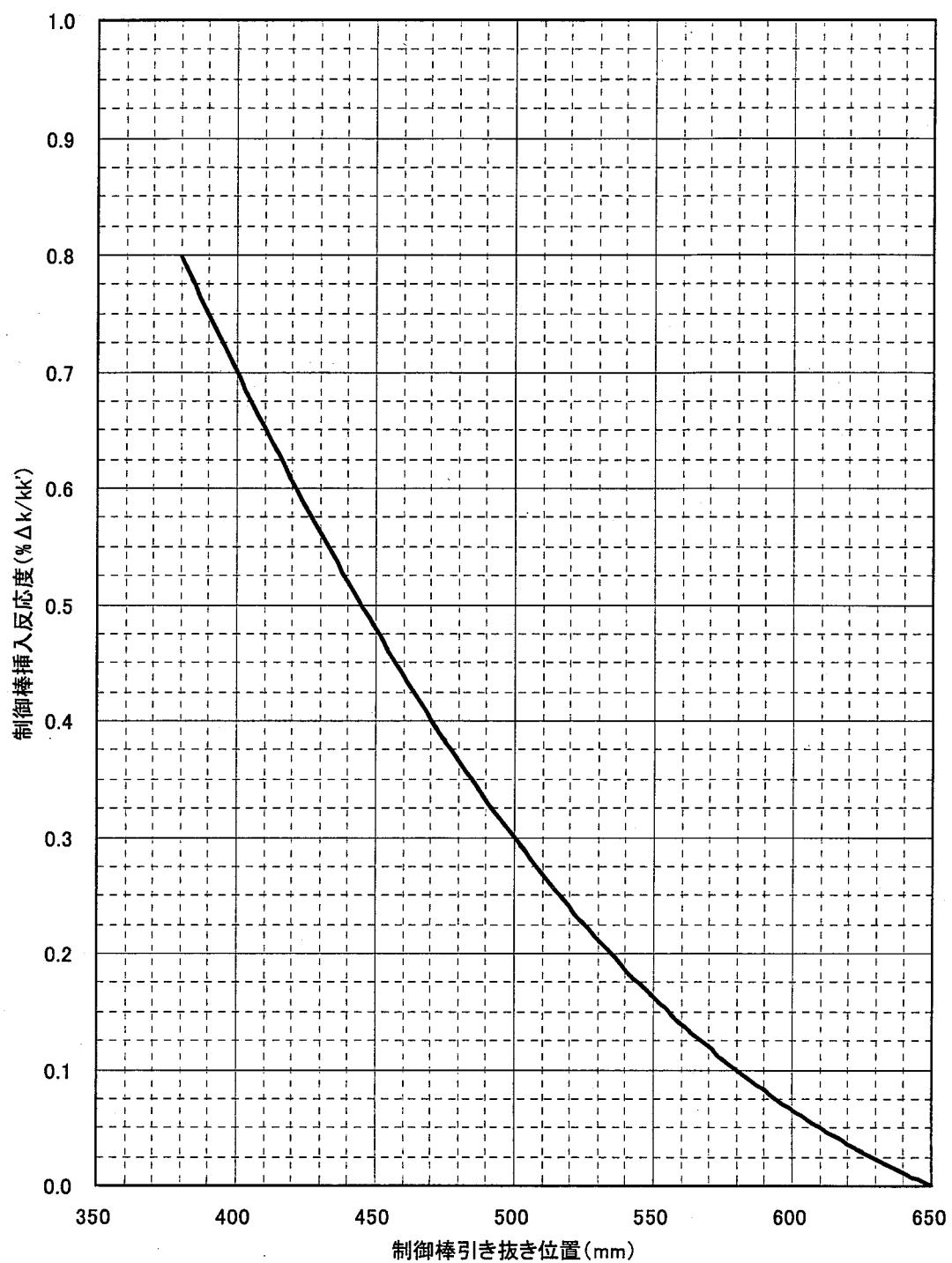


図 3.4 制御棒校正曲線 (CR4、均等引き抜き状態模擬)

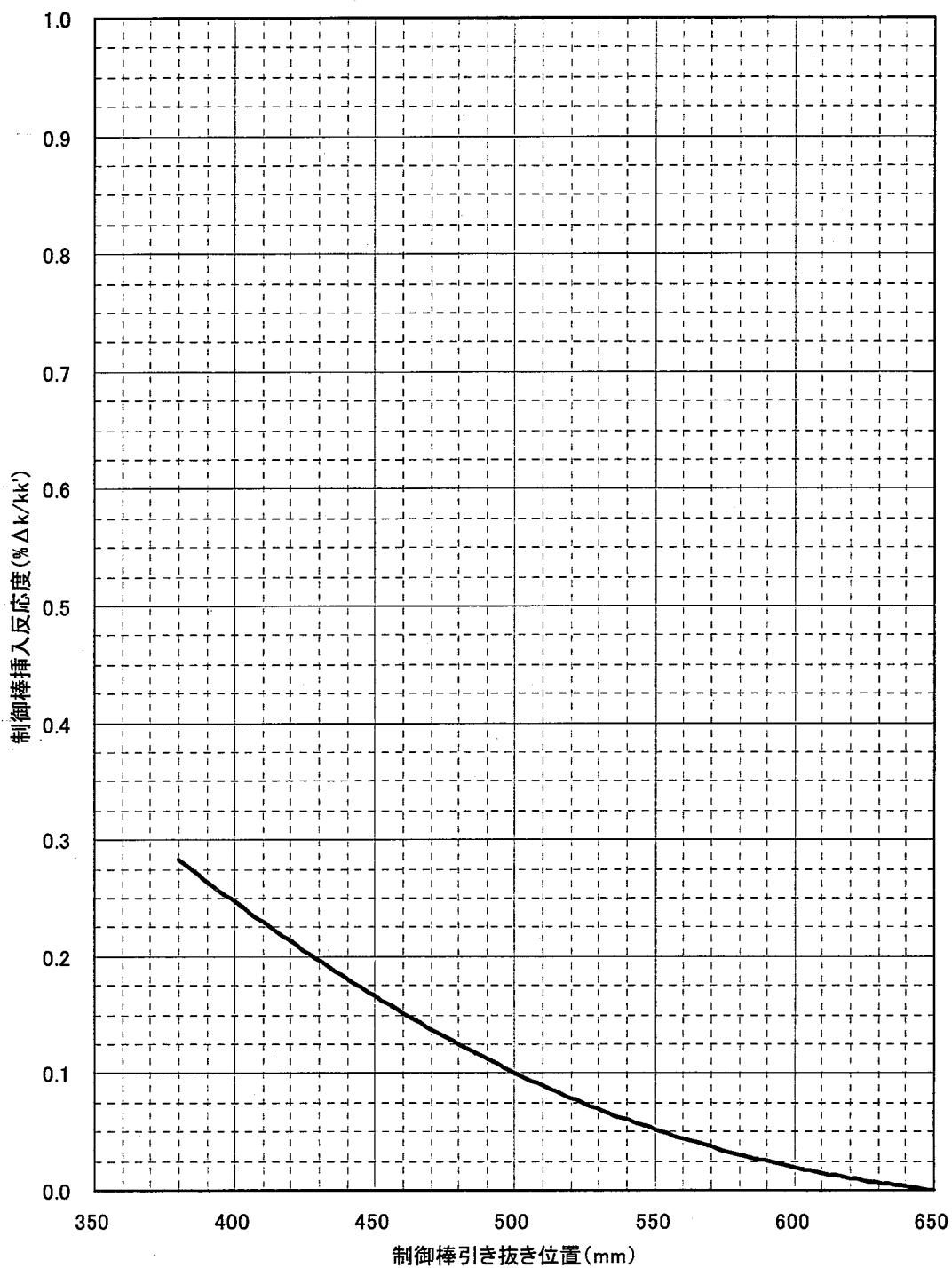


図 3.5 制御棒校正曲線 (CR5、均等引き抜き状態模擬)

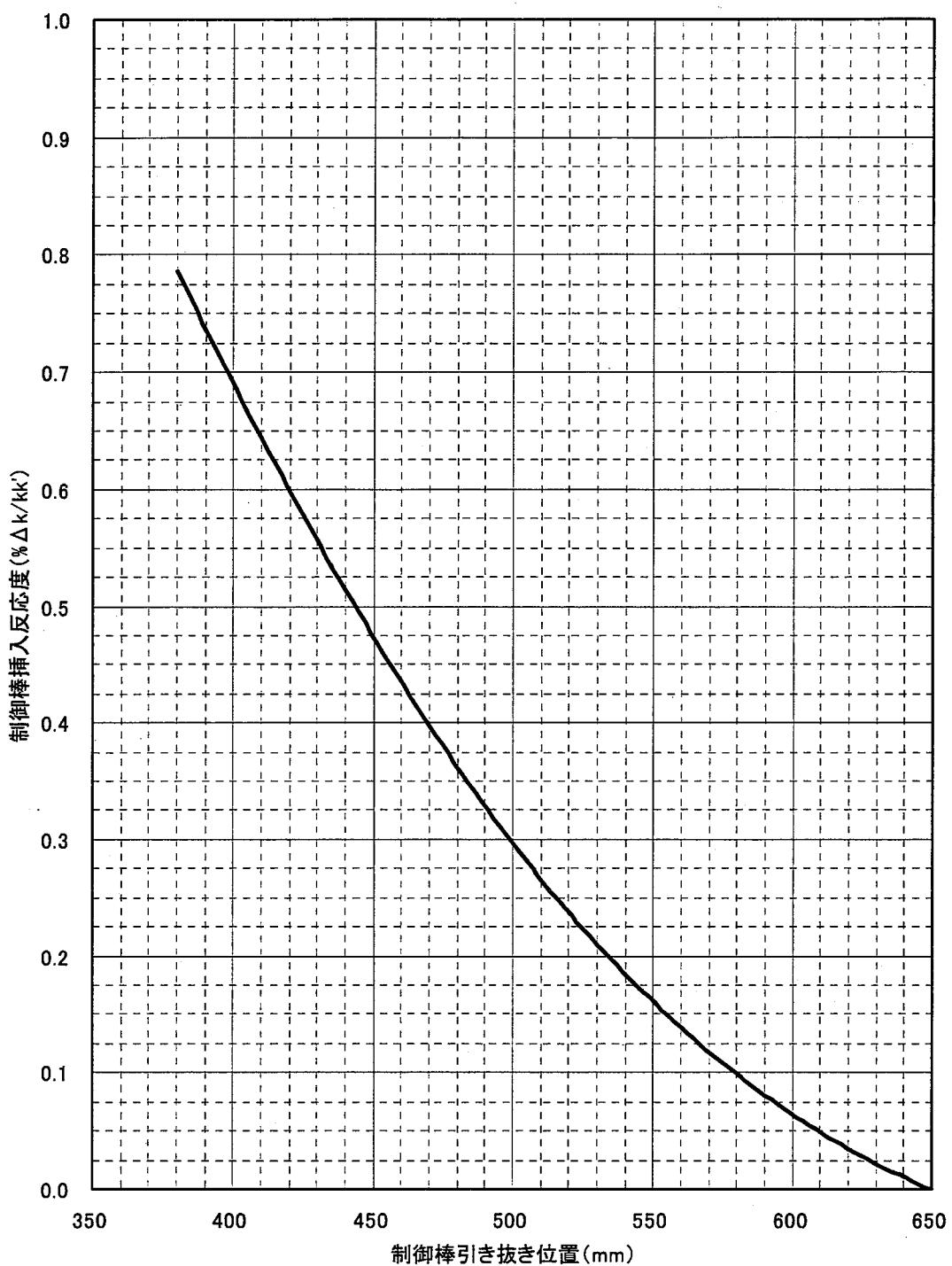


図 3.6 制御棒校正曲線 (CR6、均等引き抜き状態模擬)

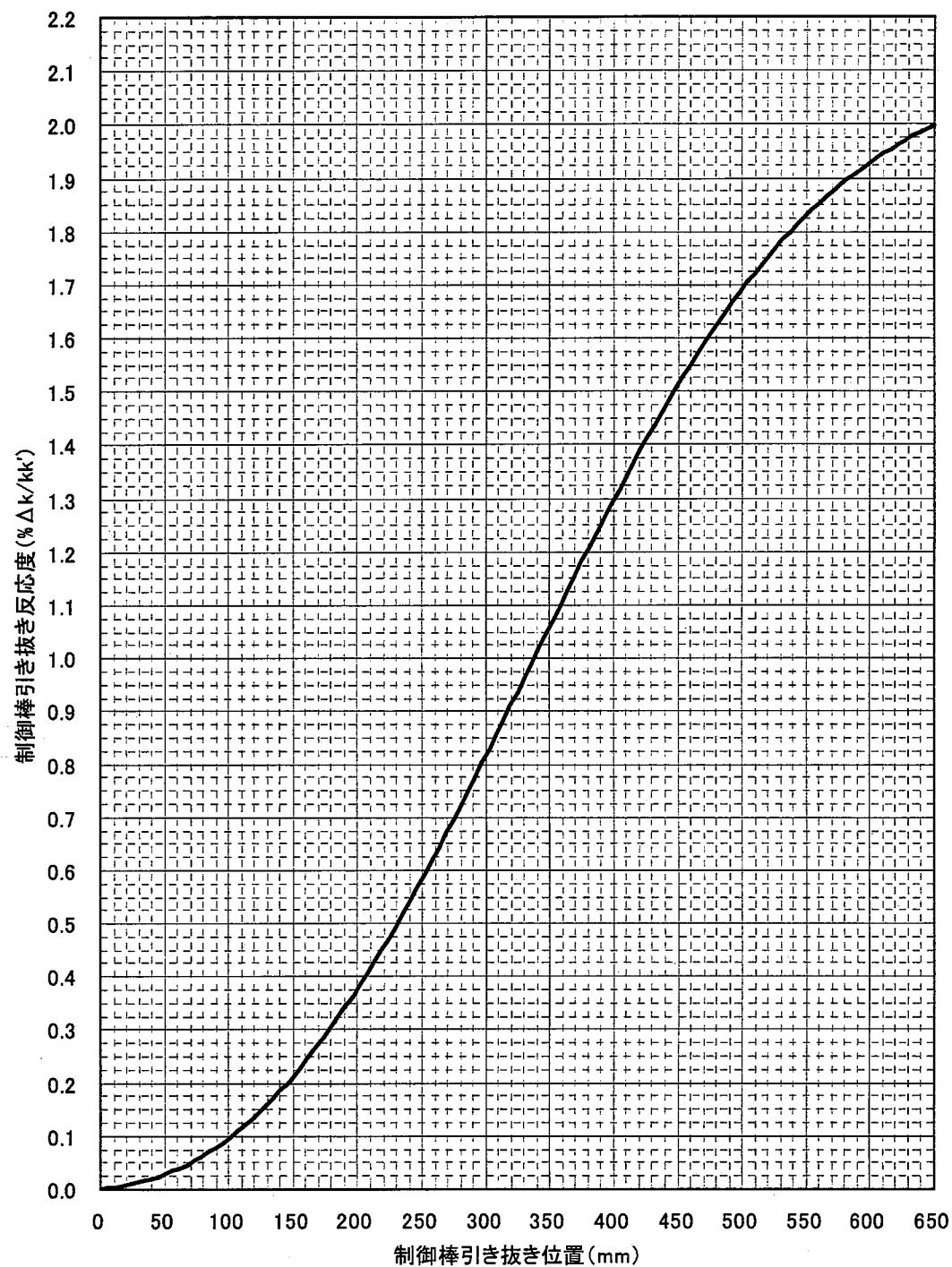


図 3.7 制御棒校正曲線 (CR1、単独引き抜き状態模擬)

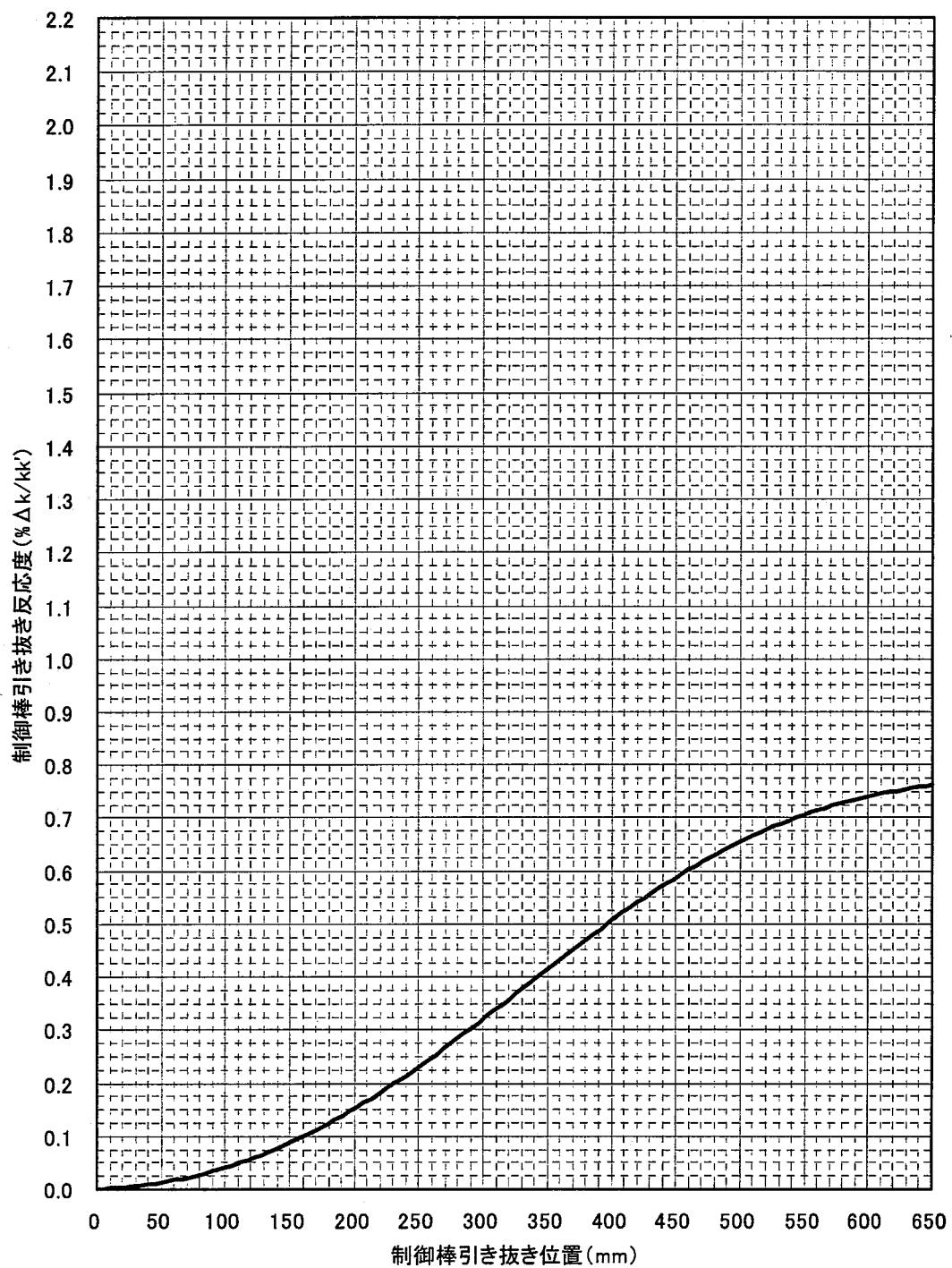


図 3.8 制御棒校正曲線 (CR2、単独引き抜き状態模擬)

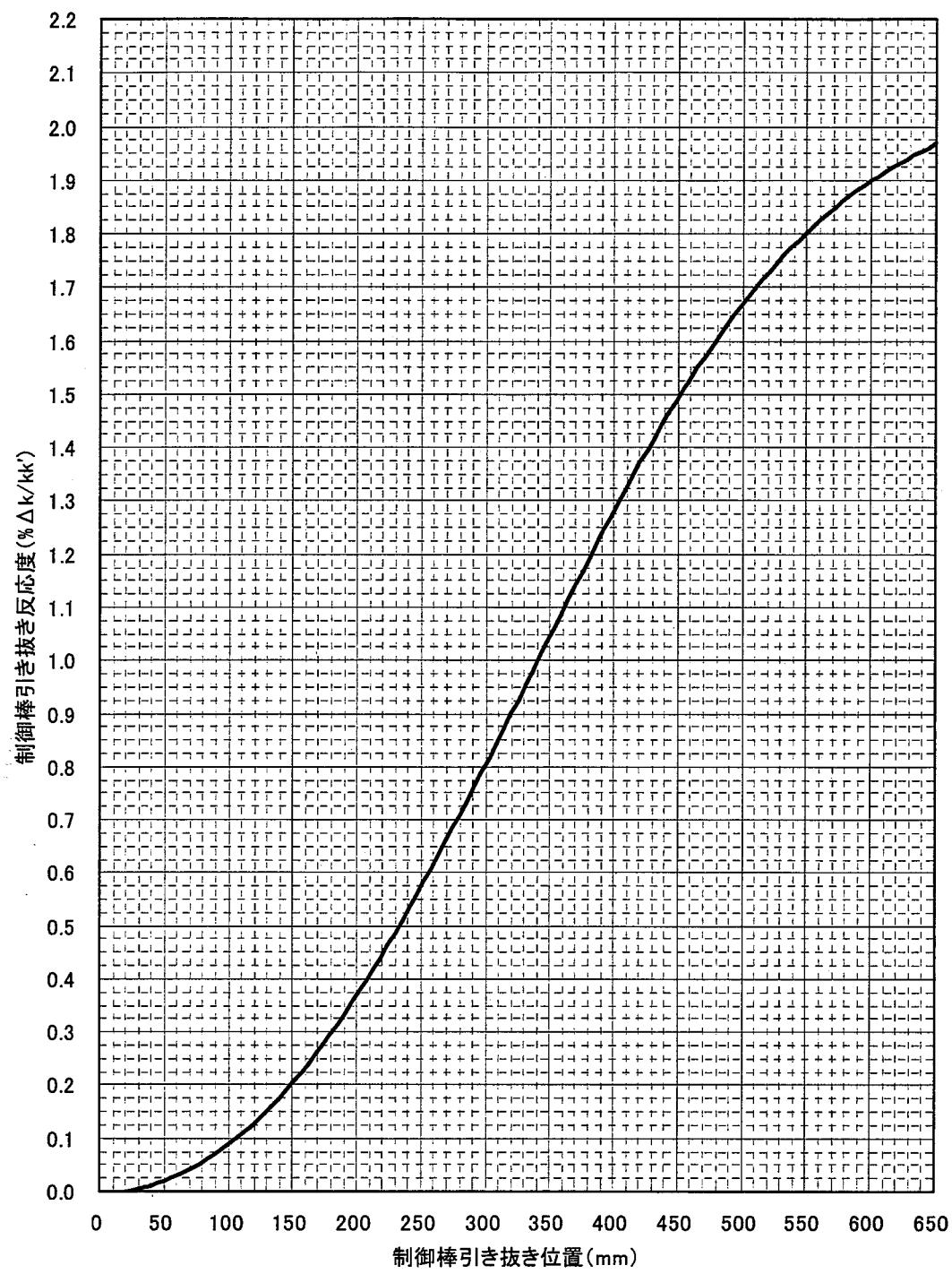


図 3.9 制御棒校正曲線 (CR3、単独引き抜き状態模擬)

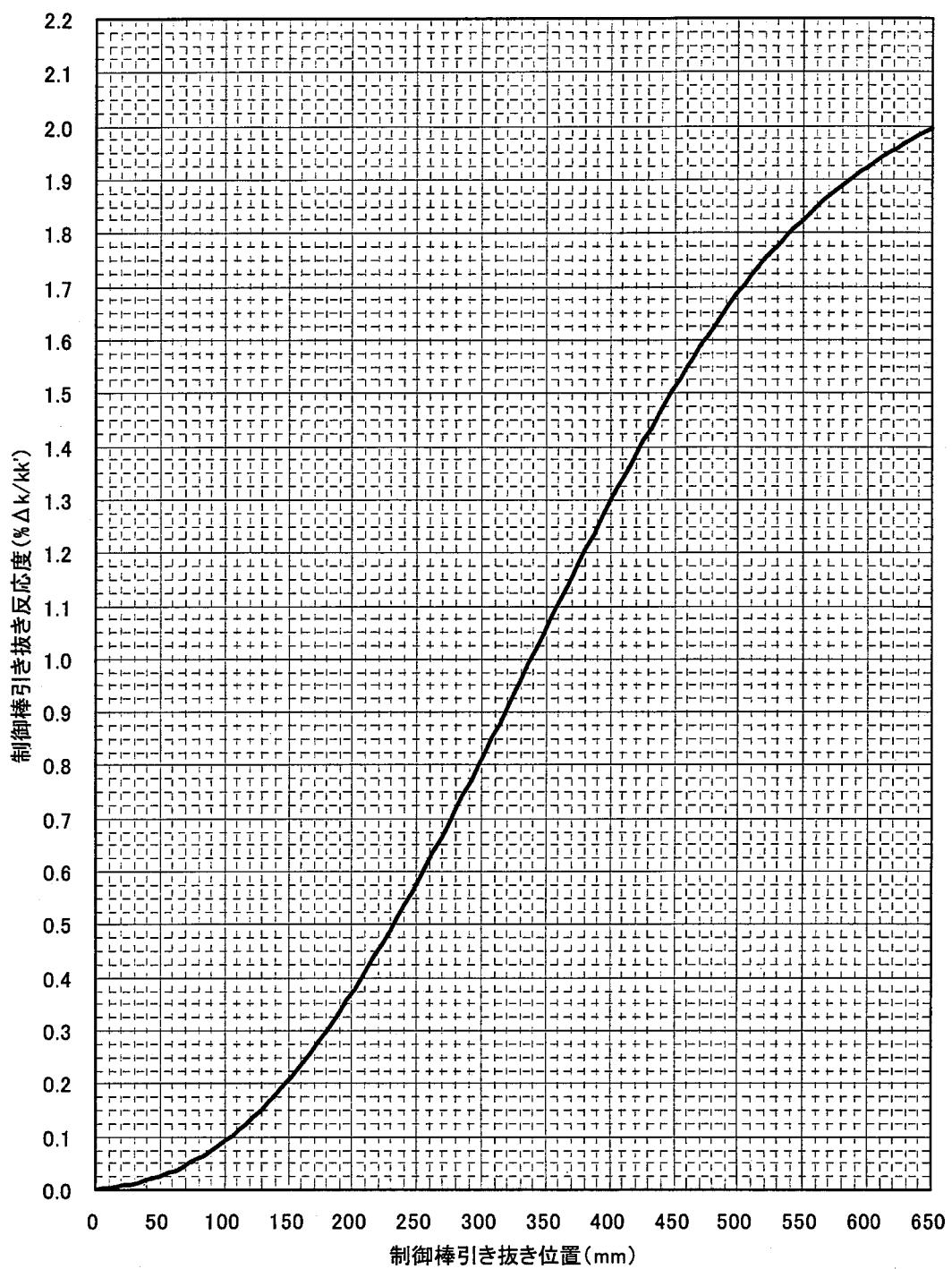


図 3.10 制御棒校正曲線 (CR4、単独引き抜き状態模擬)

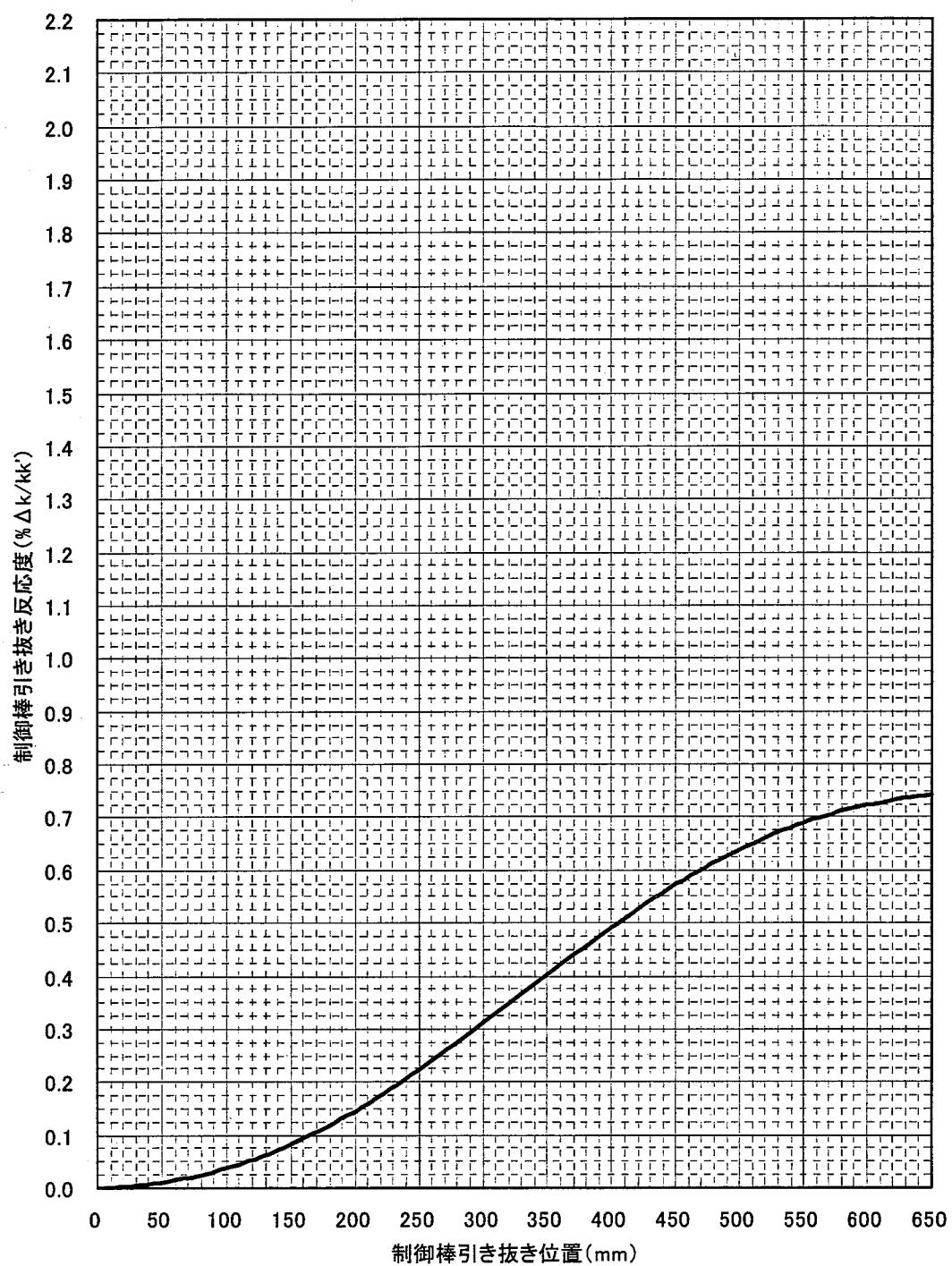


図 3.11 制御棒校正曲線 (CR5、単独引き抜き状態模擬)

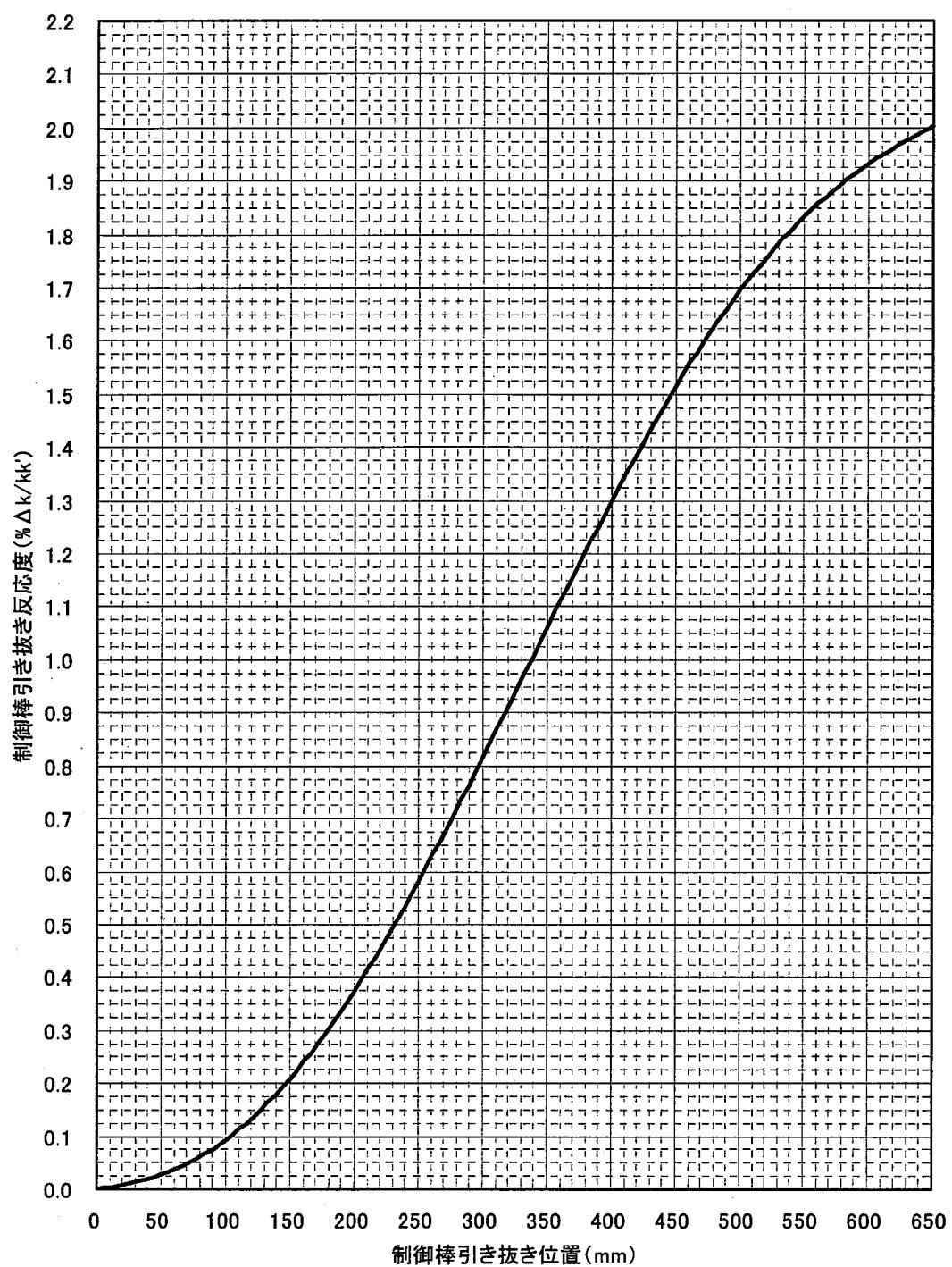


図 3.12 制御棒校正曲線 (CR6、単独引き抜き状態模擬)

4 誤差評価と実験値の整理

本章では、はじめに単独の制御棒引き抜き及び4本同時差換法により得られた実験値の誤差評価方法を検討し、その妥当性を確認する。これを基にして、トータルワース（全引き抜き区間の積分反応度価値）と制御棒干渉効果の実験値とその誤差を整理する。そして、4本同時差換法の測定精度を、単独の制御棒引き抜きによる測定との比較により検証する。

また、中性子源増倍法による測定試験で得られたデータから制御棒反応度価値を求め誤差評価を行い、単独の制御棒引き抜きによる測定値との比較により中性子源増倍法の測定精度の検証を行う。

4.1 誤差評価

誤差は統計誤差と系統誤差に分類されるが、本節ではその各々の成分についての評価結果について述べる。なお、本節で対象としたのは単独の制御棒引き抜き及び4本同時差換法により得た測定値に対してであり、中性子源増倍法による測定結果の誤差評価は別節にて述べる。

4.1.1 統計誤差の評価

測定制御棒の引き抜きにより生じる反応度の実験値がもつ不確かさの要因として、以下が挙げられる。

- JOYDAS(JOYO Data Acquisition System)[6]での逆動特性方程式を用いた反応度計算における不確かさ
- 反応度投入前に臨界であることの不確かさ（4本同時差換法では考慮する必要はない）
- 干渉効果補正係数の不確かさ
- 読み取った制御棒引き抜き位置の不確かさ

JOYDASでは、3チャンネルある線形出力系核計装からの信号を0.25秒毎にサンプリングし、タイムステップ毎に反応度を計算している。これら各チャンネルおよび各タイムステップで得られた反応度を単純平均したものを、反応度測定値としている。

すなわち、タイムステップ t 、チャンネル x で得られた反応度を $\rho_{t,x}$ とし、 $t = 1$ から $t = T$ までの時間幅で反応度が計算されたとすると、反応度測定値 $\bar{\rho}$ は、

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{x=6}^8 \frac{\sum_{t=1}^T \rho_{t,x}}{T}}{3} \quad (6)$$

と求められる。JOYDASではCh.6の出力から求められた反応度の分散が計算されるため、Ch.7、8から得られた反応度の分散をCh.6のものと等しいと仮定し、 $\bar{\rho}$ の分散を計算した。

反応度投入前の臨界状態の不確かさは、核計装のゆらぎが大きいほど臨界状態であると判断することが困難になることから、JOYDAS から得られる反応度の標準偏差の 50%を標準偏差として計上した。干渉効果補正係数がもつ不確かさは、補正係数の 1.0 からの差の絶対値の 20%を標準偏差とした。読み取った制御棒位置の不確かさは、制御棒位置指示計の構造が 1mm 刻みの目盛りとなっている点を勘案し、0.1mm とした。

このようにして得た単独引き抜きにより得た測定値の誤差（相対標準偏差）を表 4.1～4.6 に示す。干渉効果補正是「単独引き抜き状態模擬」とした。

上記の誤差設定方法の妥当性を次のようにして評価した。

微分反応度価値曲線は制御棒引き抜き位置に対して滑らかな曲線になるはずであるが、得られた測定値をプロットするとばらつきが生じる。このばらつきを測定値がもつ統計誤差として考えれば、測定値と測定値のフィッティング曲線との相違を、上述の方法で得た測定誤差と比較することにより、統計誤差の設定方法が妥当であるかを判断できる。

微分反応度価値の測定値とそのフィッティング曲線との比較を図 4.1～4.6 に示す。誤差幅は 1σ である。各制御棒の微分反応度価値について、データ点が誤差範囲内でフィッティング曲線と一致する確率を表 4.7 に示す。 1σ の誤差範囲内では 68～82% のデータ点で、 3σ の誤差範囲内では 94～100% のデータ点で、両者は一致しており、統計誤差の設定がおおむね妥当であると判断できる。

4.1.2 系統誤差の評価

本検討では、異なる日時に行われた試験で得られた同一ストロークの制御棒反応度価値が統計誤差の範囲内で一致しない原因を系統誤差によるものと仮定し、系統誤差を評価した。

CR1 について、単独の制御棒引き抜きにより得られた単独引き抜き状態模擬の反応度価値を参照値とし、それに対して以下の試験で得られた CR1 の反応度価値を比較した。

- 原子炉自動停止により中断した¹CR1 の単独の制御棒引き抜きによる校正試験（比較した引き抜き区間：310～650mm）
- 制御棒干渉効果測定試験（干渉制御棒が CR4、325mm 位置でのケース。比較区間：325～450mm）
- 制御棒干渉効果測定試験（干渉制御棒が CR6、325mm 位置でのケース。比較区間：325～450mm）
- CR4 の単独の制御棒引き抜きによる校正試験（CR1 は補償用として使用。比較区間：370～510mm）

これらに加えて、4 本同時差換法により得られた反応度価値を、単独の制御棒引き抜きにより得られた反応度価値と比較した。比較対象の反応度価値実験値は参照値と同様に単独引き抜き状態模擬の干渉効果補正を施した。

¹ 7月8日に行われた CR1 の制御棒校正試験の際に線形出力計の中性子束高で原子炉が自動停止した。

図4.7に、参照値に対する各試験での実験値の比およびその統計誤差成分を示す。自動停止により中断したCR1の校正試験で得られた実験値は参照値とよく一致しており、測定日が異なることにより生じる系統誤差は無視できることが分かる。その他を見ると、反応度比の1.0からのずれは統計誤差幅 (1σ) よりも大きい。これらから、主に干渉効果補正係数が系統誤差を生じさせていると考えられる。以上の結果より、系統誤差を1.0%と設定することとした。

4.2 実験値の整理

前述の誤差評価方法を用いて、得られた実験値とその誤差の整理を行った。対象とした実験値は、単独の制御棒引き抜きによる校正試験にて得た各制御棒のトータルワース（0～650mmの積分反応度）と炉心上部のワース（310～650mmの積分反応度）、4本同時差換法にて得た炉心上部のワース（310～650mm）、そして制御棒干渉効果である。

積分反応度の実験値とその誤差を表4.8に、制御棒干渉効果を表4.9にそれぞれ示す。なお、積分反応度の単位は β_{eff} の不確かさを除くためにセントとした。

4.3 単独の制御棒引き抜きと4本同時差換法の測定精度の比較

単独の制御棒引き抜き及び4本同時差換法により得た反応度価値から単独引き抜き状態を模擬した積分反応度価値曲線を作成し、両者を比較した。ここでの積分反応度価値は、全引き抜き状態からのものと定義した。

第3列の制御棒4本についての積分反応度価値の比（4本同時差換法による実験値に対する単独引き抜きによる実験値の比）を図4.8に示す。図より、制御棒引き抜き位置が500mm以下の領域で、両者は1%以内で一致していることが分かる。一般に、4本同時差換法では1ステップの投入反応度が大きい（本性能試験では16セント程度）ため、校正曲線の内挿誤差が大きくなると考えられてきたが、制御棒引き抜き位置が炉心上部でない限りは精度面で劣らないことが示された。なお、炉心上部で違いが大きく現れているのは、その位置では実験データから多項式に内挿する際のフィッティング誤差が大きくなるためである。

4.4 中性子源増倍法による測定値の評価

まずははじめに、測定した中性子計数率の誤差を評価した。

本試験では、未臨界状態の炉心で中性子の計数を数回行い、その平均計数率を用いることとしている。一般に中性子計数が N のとき、その絶対標準偏差は \sqrt{N} と評価されるため、その方法により平均中性子計数率に対する誤差を求めた。

一方、そのようにして得た誤差と中性子計数率のばらつきを比較すると、誤差がばらつきに比べて小さいケースが見られた。これは、炉心温度のゆらぎなどによって系統誤差が生じたものであると考えられる。そこで、中性子計数率のばらつきを平均計数率の誤差として、別途評価した。

表4.10～4.12に、Ch.1およびCh.2の平均中性子計数率とその誤差を示す。表で「Err.

1」とあるのが前者の方法で評価した誤差、「Err. 2」が後者の方法で評価した誤差である。今回の測定では、Ch.2の中性子計数率のばらつきが非常に大きいため、Ch.1の計数率のみを用いて評価を行うこととした。平均中性子計数率の誤差としては、2つの評価法で得た誤差のうち大きいものをとることとした。

次に、基準未臨界度及び参照値とする反応度を求めた。まず、単独引き抜きによる測定試験で得た単独引き抜き状態を模擬した校正曲線により、本試験で着目する制御棒ストロークの反応度を求めた。その値に対して、本試験における制御棒引き抜きパターンを模擬するための干渉効果補正を計算で求め乘じることにより、基準未臨界度および参照値とする反応度を求めた。

このようにして得た中性子計数率と基準未臨界度より制御棒反応度価値を求め参照値と比較した。結果を表4.13、図4.9、4.10に示す。

1回目の測定では、測定制御棒、未臨界度に依存せず全てのケースで実験値は参照値と5%以内で一致した。一方2回目の測定では、浅い未臨界度では5%以内で一致したが、未臨界度が深いケースでは参照値との相違は拡大した。また、一致度合いの制御棒依存性も有意に現れており、CR1、CR2の全挿入時の実験値は過少評価となった一方、CR5の全挿入時の実験値は過大評価となった。

中性子源増倍法では制御棒挿入前後の実効中性子源強度と検出器効率が不変であると仮定しているため、それらの変化が大きいほど測定される反応度の誤差は大きくなる。1回目の測定では、外部中性子源の強度が極端に小さく、燃料中の自発核分裂の寄与が中性子源として支配的であることから、中性子源が炉心全体に均一に分布していると考えてよい。一方、2回目の測定では、外部中性子源の強度が回復し中性子源が局所的にピークをもつことになる。実効中性子源強度は基本随伴モードと中性子源の積の全炉心体積積分値である。反応度挿入に伴う基本随伴モード空間分布の変化を考えるとき、中性子源分布が不均一であるほど実効中性子源強度の変化は大きくなる（検出器に近い位置にあるCR5の全挿入のケースでは実験値は過大評価となったが、これはCR5の挿入により外部中性子源位置での基本随伴モードが歪み、実効中性子源強度が小さくなつたためと考えることができる）。また、中性子源が特定の位置にピークを持つ場合には、制御棒の挿入に伴い特定の高次モードが励起されることになり、中性子束分布に大きな歪みが生じ検出器効率が大きく変化する。これらのことから、中性子源分布が不均一となつた2回目の測定では中性子源増倍法の誤差が拡大し、参照値との一致が悪くなつたといえる。

本試験により、MK-III炉心における中性子源増倍法について得られた知見を示す。

- 浅い未臨界度 ($0.4\%\Delta k/kk'$ 程度まで) を測定する場合、5%以内で逆動特性法による実験値と一致する。
- 外部中性子源の影響が無視できる場合、5%以内で逆動特性法による実験値と一致する。
- 外部中性子源が大きく影響する場合には測定精度は悪化するものの、10%以内で逆動特性法による実験値と一致する。

なお、これらの結論は全て干渉効果の相違を考慮することが前提となっている。

表 4.1 反応度実験値の統計誤差 (CR1)

CR位置 (mm)	実験値(% Δ k/k')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
50.4	2.7379E-02	0.014	0.034	0.007	0.002	0.038
76.8	3.0415E-02	0.013	0.020	0.007	0.004	0.025
96.0	3.2287E-02	0.011	0.016	0.005	0.005	0.020
112.2	3.4287E-02	0.010	0.014	0.005	0.006	0.019
128.8	3.2680E-02	0.012	0.014	0.006	0.006	0.020
143.4	3.7532E-02	0.010	0.014	0.005	0.007	0.019
156.0	3.5037E-02	0.015	0.013	0.007	0.008	0.022
167.6	3.4863E-02	0.014	0.013	0.007	0.009	0.022
178.2	3.4517E-02	0.014	0.012	0.007	0.009	0.022
189.8	3.9172E-02	0.012	0.013	0.006	0.009	0.021
200.4	3.9557E-02	0.011	0.013	0.006	0.009	0.020
210.8	3.8781E-02	0.012	0.013	0.006	0.010	0.021
220.3	3.7716E-02	0.011	0.014	0.005	0.011	0.021
229.4	3.7337E-02	0.014	0.013	0.007	0.011	0.023
239.2	4.2182E-02	0.012	0.013	0.006	0.010	0.021
247.5	3.7116E-02	0.015	0.013	0.007	0.012	0.024
256.3	4.0466E-02	0.014	0.013	0.007	0.011	0.023
264.4	3.6612E-02	0.015	0.013	0.007	0.012	0.024
272.6	3.7829E-02	0.014	0.013	0.007	0.012	0.023
280.8	3.8689E-02	0.013	0.013	0.006	0.012	0.022
289.0	3.8833E-02	0.012	0.013	0.006	0.012	0.023
298.1	4.3537E-02	0.010	0.013	0.005	0.011	0.020
305.9	3.7809E-02	0.012	0.012	0.006	0.013	0.022
313.8	3.8574E-02	0.014	0.013	0.007	0.013	0.024
322.2	4.1564E-02	0.012	0.012	0.006	0.012	0.022
330.0	3.8250E-02	0.013	0.012	0.007	0.013	0.023
338.1	3.9662E-02	0.013	0.012	0.006	0.012	0.022
346.4	4.0619E-02	0.013	0.012	0.007	0.012	0.022
354.8	4.0567E-02	0.012	0.010	0.006	0.012	0.020
362.0	3.5360E-02	0.011	0.010	0.006	0.014	0.021
369.0	3.4257E-02	0.013	0.010	0.006	0.014	0.022
377.3	3.9125E-02	0.012	0.010	0.006	0.012	0.020
384.2	3.2327E-02	0.014	0.009	0.007	0.014	0.023
393.0	4.0292E-02	0.012	0.009	0.006	0.011	0.020
402.3	4.2365E-02	0.013	0.009	0.007	0.011	0.020
411.6	4.1413E-02	0.012	0.008	0.006	0.011	0.019
420.5	3.9589E-02	0.014	0.007	0.007	0.011	0.020
429.4	3.7817E-02	0.013	0.007	0.007	0.011	0.020
439.2	4.0879E-02	0.013	0.006	0.006	0.010	0.019
449.8	4.1915E-02	0.011	0.005	0.005	0.009	0.016
460.4	4.1544E-02	0.011	0.005	0.006	0.009	0.017
471.3	4.1608E-02	0.012	0.004	0.006	0.009	0.017
482.7	4.0137E-02	0.015	0.003	0.008	0.009	0.019
496.0	4.4954E-02	0.010	0.001	0.005	0.008	0.013
507.0	3.5255E-02	0.014	0.002	0.007	0.009	0.018
519.1	3.6752E-02	0.015	0.000	0.007	0.008	0.018
532.6	3.7324E-02	0.011	0.001	0.005	0.007	0.014
545.6	3.3092E-02	0.015	0.003	0.008	0.008	0.019
562.1	3.8454E-02	0.015	0.005	0.007	0.006	0.018
580.5	3.8159E-02	0.015	0.006	0.008	0.005	0.019
601.2	3.6337E-02	0.018	0.009	0.009	0.005	0.022
624.0	3.3182E-02	0.018	0.011	0.009	0.004	0.023
650.0	3.0293E-02	0.017	0.014	0.009	0.004	0.024

表 4.2 反応度実験値の統計誤差 (CR2)

CR位置 (mm)	実験値(%Δ k/kk')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
83.6	2.8158E-02	0.028	0.040	0.014	0.001	0.051
125.1	3.4386E-02	0.027	0.026	0.014	0.002	0.040
156.9	3.3703E-02	0.023	0.021	0.011	0.003	0.033
185.6	3.5736E-02	0.014	0.020	0.007	0.003	0.026
209.1	3.3404E-02	0.015	0.019	0.007	0.004	0.026
232.2	3.5697E-02	0.015	0.018	0.008	0.004	0.025
254.4	3.6452E-02	0.014	0.016	0.007	0.005	0.023
273.8	3.4986E-02	0.014	0.015	0.007	0.005	0.023
294.4	3.7964E-02	0.016	0.014	0.008	0.005	0.023
313.3	3.4621E-02	0.017	0.013	0.008	0.005	0.024
333.0	3.6900E-02	0.014	0.012	0.007	0.005	0.020
353.6	3.8707E-02	0.014	0.010	0.007	0.005	0.019
372.8	3.6513E-02	0.012	0.009	0.006	0.005	0.017
393.7	3.7050E-02	0.015	0.009	0.007	0.005	0.019
412.2	3.2911E-02	0.015	0.006	0.008	0.005	0.019
434.9	3.6194E-02	0.016	0.004	0.008	0.004	0.019
459.5	3.7719E-02	0.013	0.002	0.007	0.004	0.015
487.3	3.7438E-02	0.015	0.003	0.007	0.004	0.017
520.0	3.8741E-02	0.012	0.006	0.006	0.003	0.015
551.1	2.9393E-02	0.018	0.011	0.009	0.003	0.024
590.1	2.8015E-02	0.020	0.015	0.010	0.003	0.027
650.0	2.6918E-02	0.022	0.023	0.011	0.002	0.033

表 4.3 反応度実験値の統計誤差 (CR3)

CR位置 (mm)	実験値 (% Δ k/kk')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
48.1	2.5692E-02	0.013	0.038	0.006	0.002	0.041
78.7	3.6629E-02	0.009	0.020	0.005	0.003	0.022
100.4	3.5121E-02	0.011	0.017	0.006	0.005	0.021
119.2	3.7456E-02	0.011	0.016	0.005	0.005	0.021
135.2	3.9117E-02	0.013	0.014	0.006	0.006	0.021
150.2	3.9445E-02	0.010	0.013	0.005	0.007	0.019
162.8	3.6843E-02	0.013	0.013	0.006	0.008	0.021
174.4	3.6733E-02	0.011	0.013	0.005	0.009	0.020
185.2	3.6307E-02	0.014	0.012	0.007	0.009	0.022
195.7	3.6818E-02	0.014	0.013	0.007	0.010	0.022
205.3	3.5865E-02	0.014	0.012	0.007	0.010	0.023
216.3	4.2456E-02	0.010	0.012	0.005	0.009	0.019
226.2	4.0240E-02	0.012	0.013	0.006	0.010	0.021
235.5	3.9230E-02	0.012	0.011	0.006	0.011	0.021
245.7	4.3333E-02	0.009	0.011	0.004	0.010	0.017
254.3	3.8542E-02	0.012	0.012	0.006	0.012	0.021
263.1	3.9676E-02	0.012	0.012	0.006	0.011	0.021
272.0	4.1265E-02	0.011	0.012	0.005	0.011	0.020
280.3	3.8869E-02	0.012	0.011	0.006	0.012	0.021
289.1	4.1388E-02	0.012	0.012	0.006	0.011	0.021
298.3	4.3072E-02	0.010	0.010	0.005	0.011	0.018
306.8	4.1106E-02	0.011	0.009	0.006	0.012	0.019
315.5	4.2538E-02	0.012	0.010	0.006	0.011	0.021
323.7	3.9788E-02	0.010	0.010	0.005	0.012	0.019
331.7	3.8508E-02	0.013	0.009	0.007	0.013	0.022
339.7	3.8948E-02	0.010	0.008	0.005	0.013	0.019
347.2	3.8319E-02	0.012	0.008	0.006	0.013	0.021
355.2	3.8833E-02	0.013	0.008	0.006	0.013	0.021
363.3	3.9881E-02	0.013	0.007	0.007	0.012	0.020
372.1	4.1391E-02	0.012	0.007	0.006	0.011	0.019
380.2	3.7692E-02	0.013	0.005	0.006	0.012	0.019
389.1	4.0991E-02	0.013	0.006	0.007	0.011	0.019
398.2	4.0511E-02	0.011	0.005	0.006	0.011	0.017
407.8	4.2431E-02	0.013	0.004	0.007	0.010	0.018
417.5	4.2066E-02	0.011	0.002	0.005	0.010	0.016
426.8	3.8831E-02	0.015	0.002	0.007	0.011	0.020
437.2	4.2881E-02	0.012	0.000	0.006	0.010	0.016
448.2	4.4540E-02	0.012	0.000	0.006	0.009	0.016
459.1	4.2875E-02	0.012	0.002	0.006	0.009	0.017
469.1	3.6822E-02	0.014	0.002	0.007	0.010	0.018
479.9	3.7533E-02	0.012	0.003	0.006	0.009	0.017
490.8	3.6448E-02	0.014	0.004	0.007	0.009	0.019
502.3	3.6779E-02	0.015	0.005	0.007	0.009	0.019
515.0	3.7496E-02	0.013	0.007	0.006	0.008	0.018
528.8	3.8599E-02	0.013	0.009	0.007	0.007	0.019
550.2	5.3832E-02	0.009	0.011	0.004	0.005	0.015
572.0	4.7168E-02	0.011	0.015	0.006	0.005	0.020
600.0	4.9459E-02	0.010	0.016	0.005	0.004	0.020
650.0	6.5048E-02	0.009	0.024	0.004	0.002	0.026

表 4.4 反応度実験値の統計誤差 (CR4)

CR位置 (mm)	実験値(% Δ k/k')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
55.3	3.1147E-02	0.011	0.033	0.005	0.002	0.035
83.7	3.5840E-02	0.011	0.017	0.006	0.004	0.021
106.6	3.7139E-02	0.011	0.018	0.005	0.004	0.022
123.9	3.4322E-02	0.013	0.013	0.006	0.006	0.020
140.2	3.9520E-02	0.011	0.013	0.005	0.006	0.019
154.2	4.0049E-02	0.010	0.013	0.005	0.007	0.018
166.6	3.8130E-02	0.011	0.013	0.006	0.008	0.020
178.6	3.8906E-02	0.009	0.013	0.005	0.008	0.018
189.0	3.5729E-02	0.010	0.012	0.005	0.010	0.019
198.8	3.4531E-02	0.010	0.012	0.005	0.010	0.020
208.9	3.8484E-02	0.011	0.013	0.006	0.010	0.021
218.0	3.5227E-02	0.009	0.014	0.005	0.011	0.021
227.5	3.8272E-02	0.010	0.013	0.005	0.011	0.020
236.4	3.8980E-02	0.014	0.012	0.007	0.011	0.023
245.2	3.9063E-02	0.013	0.012	0.006	0.011	0.022
254.3	4.0859E-02	0.010	0.013	0.005	0.011	0.020
262.1	3.7029E-02	0.013	0.012	0.007	0.013	0.023
270.0	3.7168E-02	0.013	0.012	0.007	0.013	0.023
278.8	4.1401E-02	0.010	0.014	0.005	0.011	0.021
286.9	3.7581E-02	0.013	0.013	0.007	0.012	0.023
294.3	3.5575E-02	0.012	0.013	0.006	0.014	0.023
302.0	3.6756E-02	0.011	0.012	0.005	0.013	0.021
309.1	3.5388E-02	0.012	0.011	0.006	0.014	0.022
316.5	3.5982E-02	0.014	0.012	0.007	0.014	0.024
324.3	3.8703E-02	0.010	0.011	0.005	0.013	0.020
332.3	3.9629E-02	0.011	0.011	0.006	0.013	0.021
339.9	3.6792E-02	0.010	0.011	0.005	0.013	0.021
347.7	3.7943E-02	0.013	0.011	0.007	0.013	0.022
355.1	3.8117E-02	0.011	0.010	0.005	0.014	0.020
362.3	3.4867E-02	0.014	0.010	0.007	0.014	0.023
370.8	4.0544E-02	0.008	0.009	0.004	0.012	0.018
378.0	3.4978E-02	0.014	0.008	0.007	0.014	0.022
385.1	3.4136E-02	0.013	0.009	0.007	0.014	0.022
393.7	3.7845E-02	0.012	0.009	0.006	0.012	0.020
401.2	3.5175E-02	0.014	0.009	0.007	0.013	0.023
409.4	3.6580E-02	0.011	0.008	0.005	0.012	0.019
417.9	3.7404E-02	0.011	0.007	0.006	0.012	0.019
426.4	3.6867E-02	0.013	0.008	0.006	0.012	0.020
435.0	3.4809E-02	0.014	0.007	0.007	0.012	0.021
444.2	3.8141E-02	0.011	0.006	0.005	0.011	0.017
453.2	3.5536E-02	0.013	0.005	0.006	0.011	0.019
462.4	3.5566E-02	0.014	0.004	0.007	0.011	0.019
471.5	3.4111E-02	0.012	0.003	0.006	0.011	0.018
481.8	3.6866E-02	0.014	0.001	0.007	0.010	0.019
492.8	3.6941E-02	0.012	0.003	0.006	0.009	0.016
504.4	3.7633E-02	0.013	0.001	0.006	0.009	0.017
515.2	3.2869E-02	0.017	0.000	0.008	0.009	0.021
530.1	4.1696E-02	0.014	0.001	0.007	0.007	0.017
546.9	4.2724E-02	0.012	0.003	0.006	0.006	0.014
565.1	4.2327E-02	0.012	0.005	0.006	0.005	0.016
587.0	4.2902E-02	0.013	0.007	0.007	0.005	0.017
615.0	4.4980E-02	0.013	0.010	0.006	0.004	0.018
650.0	4.4063E-02	0.012	0.015	0.006	0.003	0.020

表 4.5 反応度実験値の統計誤差 (CR5)

CR位置 (mm)	実験値(% Δ k/k')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
88.8	2.8497E-02	0.022	0.039	0.011	0.001	0.046
131.9	3.4635E-02	0.019	0.024	0.009	0.002	0.032
160.9	3.1810E-02	0.041	0.022	0.021	0.003	0.051
191.6	4.0325E-02	0.025	0.020	0.012	0.003	0.034
218.1	3.7587E-02	0.023	0.019	0.012	0.004	0.032
244.5	4.0868E-02	0.032	0.017	0.016	0.004	0.040
268.4	3.9103E-02	0.019	0.017	0.010	0.004	0.028
289.7	3.7791E-02	0.028	0.016	0.014	0.005	0.035
309.4	3.6501E-02	0.027	0.013	0.014	0.005	0.033
331.0	4.0383E-02	0.022	0.012	0.011	0.005	0.028
352.7	4.0005E-02	0.017	0.010	0.009	0.005	0.023
373.8	3.9176E-02	0.013	0.009	0.006	0.005	0.018
397.0	4.1769E-02	0.015	0.006	0.008	0.004	0.019
419.5	3.7356E-02	0.016	0.005	0.008	0.004	0.019
443.2	3.6744E-02	0.013	0.003	0.007	0.004	0.016
468.9	3.7239E-02	0.012	0.000	0.006	0.004	0.014
498.1	3.6894E-02	0.015	0.001	0.007	0.003	0.017
529.4	3.3418E-02	0.016	0.007	0.008	0.003	0.019
575.1	3.7655E-02	0.014	0.012	0.007	0.002	0.020
650.0	3.5420E-02	0.014	0.022	0.007	0.001	0.027

表 4.6 反応度実験値の統計誤差 (CR6)

CR位置 (mm)	実験値(% Δ k/k'')	相対標準偏差				
		JOYDAS	干渉補正	臨界	読み取り	トータル
58.0	3.5364E-02	0.010	0.032	0.005	0.002	0.034
88.0	3.9096E-02	0.009	0.019	0.004	0.003	0.021
109.9	3.8852E-02	0.010	0.016	0.005	0.005	0.020
128.6	3.8664E-02	0.010	0.014	0.005	0.005	0.019
145.0	4.2381E-02	0.012	0.013	0.006	0.006	0.019
157.2	3.4907E-02	0.012	0.013	0.006	0.008	0.020
169.6	3.8300E-02	0.012	0.013	0.006	0.008	0.021
181.7	3.9565E-02	0.010	0.012	0.005	0.008	0.019
193.3	4.0489E-02	0.012	0.012	0.006	0.009	0.020
203.4	3.7395E-02	0.014	0.013	0.007	0.010	0.023
212.3	3.5038E-02	0.015	0.011	0.007	0.011	0.023
221.7	3.8052E-02	0.011	0.012	0.005	0.011	0.020
230.4	3.6100E-02	0.014	0.011	0.007	0.011	0.022
239.6	3.9489E-02	0.012	0.012	0.006	0.011	0.021
248.0	3.7216E-02	0.010	0.012	0.005	0.012	0.020
256.4	3.7833E-02	0.012	0.011	0.006	0.012	0.021
264.9	3.9443E-02	0.012	0.012	0.006	0.012	0.021
273.4	4.0559E-02	0.011	0.011	0.005	0.012	0.020
282.8	4.4415E-02	0.010	0.011	0.005	0.011	0.019
290.1	3.5006E-02	0.014	0.012	0.007	0.014	0.024
298.9	4.1839E-02	0.010	0.012	0.005	0.011	0.020
306.9	3.8832E-02	0.012	0.012	0.006	0.013	0.021
315.8	4.3477E-02	0.012	0.011	0.006	0.011	0.020
324.1	4.0880E-02	0.010	0.010	0.005	0.012	0.019
332.2	4.0391E-02	0.013	0.010	0.006	0.012	0.022
340.1	3.8646E-02	0.010	0.009	0.005	0.013	0.020
347.9	3.8249E-02	0.012	0.008	0.006	0.013	0.020
355.7	3.8864E-02	0.013	0.009	0.006	0.013	0.021
364.1	4.1876E-02	0.012	0.008	0.006	0.012	0.020
372.3	3.9763E-02	0.012	0.007	0.006	0.012	0.019
380.1	3.7141E-02	0.013	0.007	0.006	0.013	0.020
389.0	4.1073E-02	0.013	0.005	0.007	0.011	0.019
398.1	4.2309E-02	0.011	0.005	0.005	0.011	0.017
406.8	3.9158E-02	0.014	0.004	0.007	0.011	0.020
415.7	3.9814E-02	0.011	0.002	0.006	0.011	0.017
424.6	3.9115E-02	0.015	0.003	0.007	0.011	0.020
434.0	3.9408E-02	0.013	0.002	0.006	0.011	0.018
442.8	3.6130E-02	0.014	0.002	0.007	0.011	0.020
452.6	3.9162E-02	0.013	0.000	0.007	0.010	0.018
462.9	4.0050E-02	0.013	0.001	0.006	0.010	0.017
473.8	4.0508E-02	0.011	0.002	0.006	0.009	0.016
485.3	4.0635E-02	0.013	0.003	0.006	0.009	0.017
497.0	3.8840E-02	0.014	0.004	0.007	0.009	0.018
509.2	3.9018E-02	0.012	0.006	0.006	0.008	0.017
522.8	3.9495E-02	0.013	0.008	0.007	0.007	0.018
537.1	3.9074E-02	0.012	0.010	0.006	0.007	0.018
555.9	4.6791E-02	0.011	0.012	0.006	0.005	0.018
579.0	4.8727E-02	0.010	0.014	0.005	0.004	0.019
608.9	5.1570E-02	0.011	0.019	0.006	0.003	0.023
649.8	5.2323E-02	0.012	0.024	6.188	0.002	6.188

表 4.7 微分反応度価値におけるフィッティング曲線との一致度合い

	データ数	1σ以内で一致		2σ以内で一致		3σ以内で一致	
		データ数	(%)	データ数	(%)	データ数	(%)
CR1	53	43	81	49	92	50	94
CR2	22	15	68	22	100	22	100
CR3	49	38	78	47	96	49	100
CR4	53	36	68	45	85	50	94
CR5	20	15	75	20	100	20	100
CR6	50	41	82	49	98	49	98

表 4.8 積分反応度価値実験値とその誤差

	全区間(0~650mm)		炉心上部(310~650mm)			
			逆動特性法		差換法	
	実験値(セント)	誤差(%)	実験値(セント)	誤差(%)	実験値(セント)	誤差(%)
CR1	452.9	1.3	256.8	1.3	258.9	1.5
CR2	172.8	1.5	95.8	1.6		
CR3	448.1	1.3	252.9	1.3	253.1	1.5
CR4	452.3	1.2	257.0	1.3	258.9	1.5
CR5	168.6	1.6	94.2	1.6		
CR6	454.0	1.2	257.9	1.3	262.0	1.6

表 4.9 制御棒干渉効果実験値とその誤差

測定制御棒	引き抜き位置	干渉制御棒	干渉制御棒位置	干渉効果	誤差
CR1	325mm=>385mm	CR4	325mm、650mm	1.057	0.012
CR1	325mm=>430mm	CR6	325mm、650mm	0.926	0.011
CR5	325mm=>650mm	CR3	200mm、450mm	1.064	0.007
CR5	325mm=>650mm	CR6	200mm、450mm	0.864	0.008

表 4.10 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差 (1回目、CR1)

Control rod insertion position (mm)	Count					Time (s)	Averaged count rate (cps)								
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5		Ch. 1	Ch. 2	Ch. 1	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)	Ch. 2	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)	
							(臨界点)								
411.4	411.7	411.6	411.6	411.3	411.6		5958 5903 5842	4298 4150 4013	300	19.67	0.8	1.0	13.85	0.9	3.4
381.6	"	"	"	"	"		3531 3587 3375	2814 2425 2415	300	11.66	1.0	3.1	8.50	1.1	8.9
361.4	"	"	"	"	"		2279 2174 2234	1708 1595 1556	300	7.43	1.2	2.4	5.40	1.4	4.9
336.4	"	"	"	"	"		1958 2083 1963	1393 1490 1409	300	6.67	1.3	3.5	4.77	1.5	3.6
326.0	"	"	"	"	"		597 569 559	579 501 470	300	1.92	2.4	3.4	1.72	2.5	10.9
0.2	"	"	"	"	"										

表 4.11 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差（1回目、CR2、CR5）

Control rod insertion position (mm)						Count		Time (s)	Averaged count rate (cps)										
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Ch. 1	Ch. 2		Ch. 1	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)	Ch. 2	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)					
412.8	412.8	412.8	412.8	412.8	412.7	(臨界点)													
"	"	"	"	323.0	"	3255	2226	200	16.30	1.0	2.4	11.46	1.2	2.6					
"	"	"	"	0.1	"	3183	2339												
"	"	"	"			3340	2309												
"	"	"	"			1996	1771	400	5.06	1.3	1.6	4.48	1.4	3.8					
"	"	"	"			2015	1867												
"	"	"	"			2058	1736												
"	323.0	"	"	412.8	"	5115	3969	300	16.98	0.8	0.3	12.07	1.0	8.5					
"	"	"	"			5086	3392												
"	"	"	"			5085	3503												
"	0.0	"	"	"	"	2058	1463	400	5.10	1.3	0.9	4.61	1.3	18.0					
"	"	"	"			2020	1985												
"	"	"	"			2038	2079												

表 4.12 中性子源増倍法における中性子計数率と誤差（2回目）

Control rod insertion position (mm)						Count		Time (s)	Averaged count rate (cps)										
CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	Ch. 1	Ch. 2		Ch. 1	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)	Ch. 2	Err. 1 (%)	Err. 2 (%)					
435.0	435.0	435.1	435.1	435.0	435.1	(臨界点)													
405.0	"	"	"	"	"	23694	16055	100	238.53	0.3	1.2	161.08	0.4	0.6					
"	"	"	"	"	"	23625	16178												
"	"	"	"	"	"	24271	16001												
"	"	"	"	"	"	23822	16197												
384.9	"	"	"	"	"	13905	9528	100	140.90	0.4	1.5	97.46	0.5	2.6					
"	"	"	"	"	"	14367	9791												
"	"	"	"	"	"	14132	10082												
"	"	"	"	"	"	13954	9582												
360.0	"	"	"	"	"	18306	12746	200	91.62	0.4	0.2	62.85	0.5	1.3					
"	"	"	"	"	"	18301	12535												
"	"	"	"	"	"	18363	12431												
349.9	"	"	"	"	"	15934	11178	200	79.24	0.4	1.0	55.51	0.5	1.8					
"	"	"	"	"	"	15644	10795												
"	"	"	"	"	"	16003	11212												
"	"	"	"	"	"	15811	11221												
0.0	"	"	"	"	"	11127	8288	500	22.13	0.5	1.0	17.54	0.6	5.3					
"	"	"	"	"	"	11130	9224												
"	"	"	"	"	"	8797													
435.0	"	0.0	"	"	"	11861	8511	500	23.78	0.5	0.2	16.73	0.6	1.5					
"	"	0.0	"	"	"	11904	8311												
"	"	0.0	"	"	"	11912	8270												
"	"	435.1	0.0	"	"	11491	8149	500	22.99	0.5	2.0	15.87	0.6	2.3					
"	"	435.1	0.0	"	"	11733	7849												
"	"	435.1	0.0	"	"	11262	7811												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	10045	7797	500	20.04	0.6	0.7	15.52	0.7	1.8					
"	"	435.1	0.0	"	0.0	10075	7604												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	9939	7882												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	93820	63642	500	188.89	0.2	0.6	127.33	0.2	0.2					
"	"	435.1	0.0	"	0.0	94566	63537												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	94948	63816												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	60185	40965	500	120.19	0.3	0.2	82.14	0.3	0.4					
"	"	435.1	0.0	"	0.0	60009	41170												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	9457	6893	200	47.31	0.6	0.0	33.94	0.7	4.3					
"	"	435.1	0.0	"	0.0	9463	7011												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	9463	6459												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	19984	13450	100	200.35	0.3	0.9	135.98	0.4	1.9					
"	"	435.1	0.0	"	0.0	20145	13217												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	20176	13617												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	19925	13965												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	19737	13611												
"	"	435.1	0.0	"	0.0	20240	13726												
"	"	0.0	"	"	"	11417	7870	200	57.01	0.5	1.3	39.50	0.6	0.4					
"	"	0.0	"	"	"	11242	7894												
"	"	0.0	"	"	"	11547	7938												

表 4.13 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値

Date	測定制御 棒	測定区間	SM法測定値 (% $\Delta k/kk'$)	Error (%)	参照値 (% $\Delta k/kk'$)	SM法/参照値(逆 動特性法)
2004/7/7	CR No.1	411.4 => 361.4	0.241	3.8	0.246	0.98
		411.4 => 336.4	0.379	3.3	0.373	1.02
		411.4 => 326.0	0.422	4.2	0.430	0.98
		411.4 => 0.2	1.465	4.1	1.483	0.99
2004/8/19	CR No.2	412.8 => 0.0	0.569	2.5	0.579	0.98
	CR No.5	412.8 => 0.1	0.541	3.5	0.564	0.96
2004/10/16	CR No.1	435.0 => 384.9	0.227	2.8	0.231	0.98
		435.0 => 360.0	0.349	2.4	0.352	0.99
		435.0 => 349.0	0.403	2.5	0.412	0.98
		435.0 => 0.0	1.444	2.5	1.566	0.92
	CR No.2	435.0 => 0.0	0.573	2.5	0.609	0.94
	CR No.5	435.0 => 299.9	0.251	2.1	0.253	0.99
		435.0 => 0.0	0.639	2.2	0.605	1.06
	CR No.3	435.1 => 0.0	1.344	2.4	1.542	0.87
	CR4	435.1 => 0.0	1.390	3.1	1.562	0.89
	CR6	435.1 => 0.0	1.595	2.4	1.555	1.03

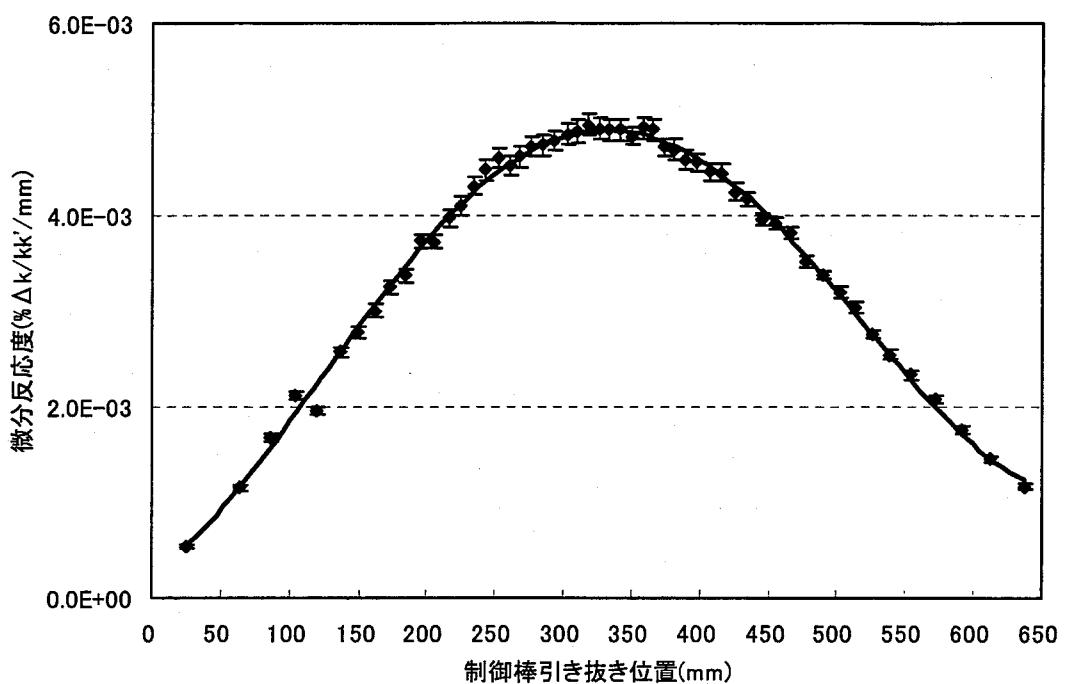


図 4.1 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR1)

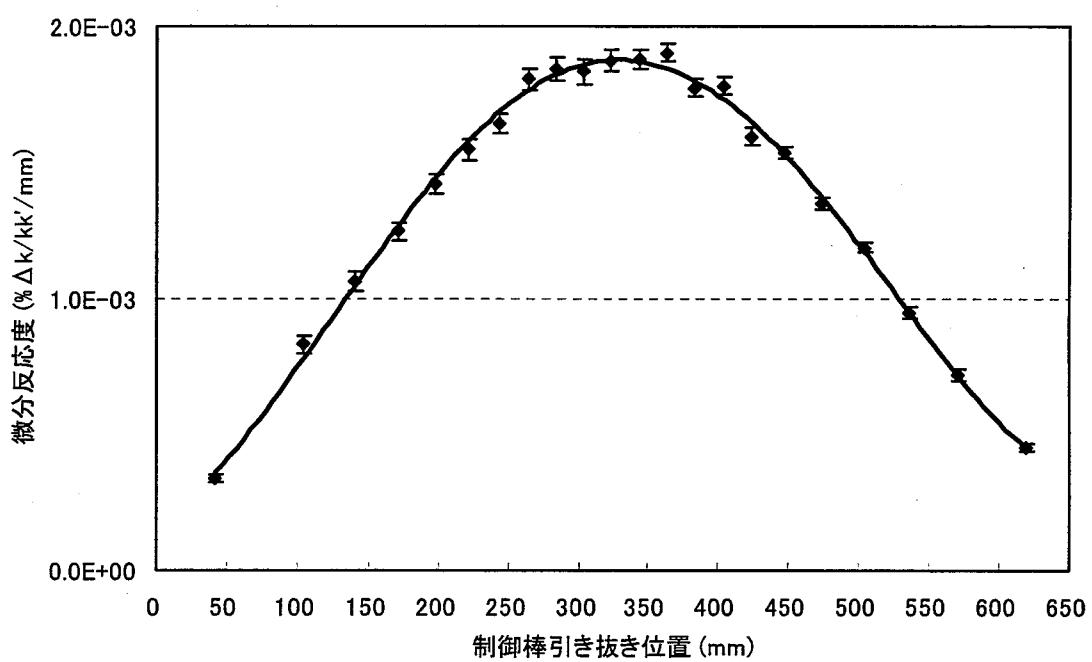


図 4.2 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR2)

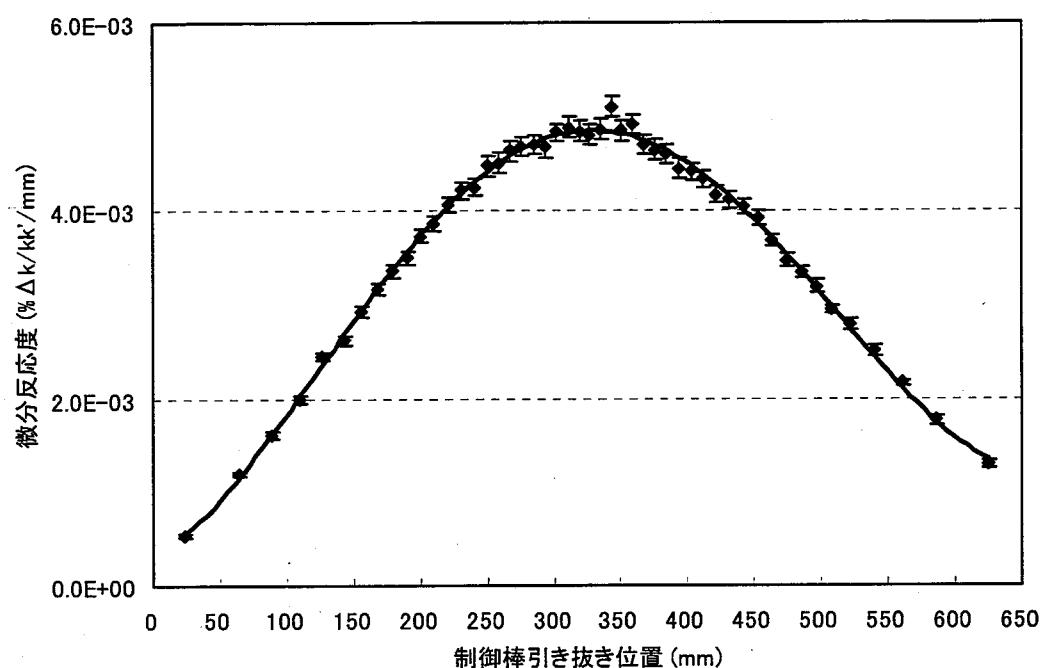


図 4.3 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR3)

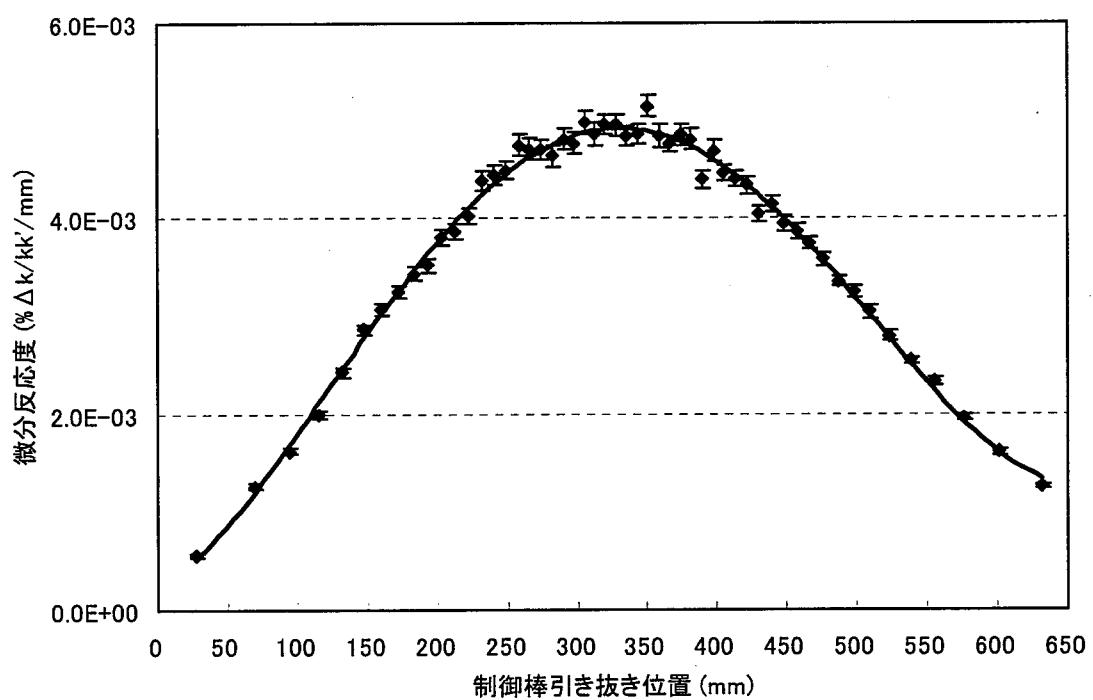


図 4.4 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR4)

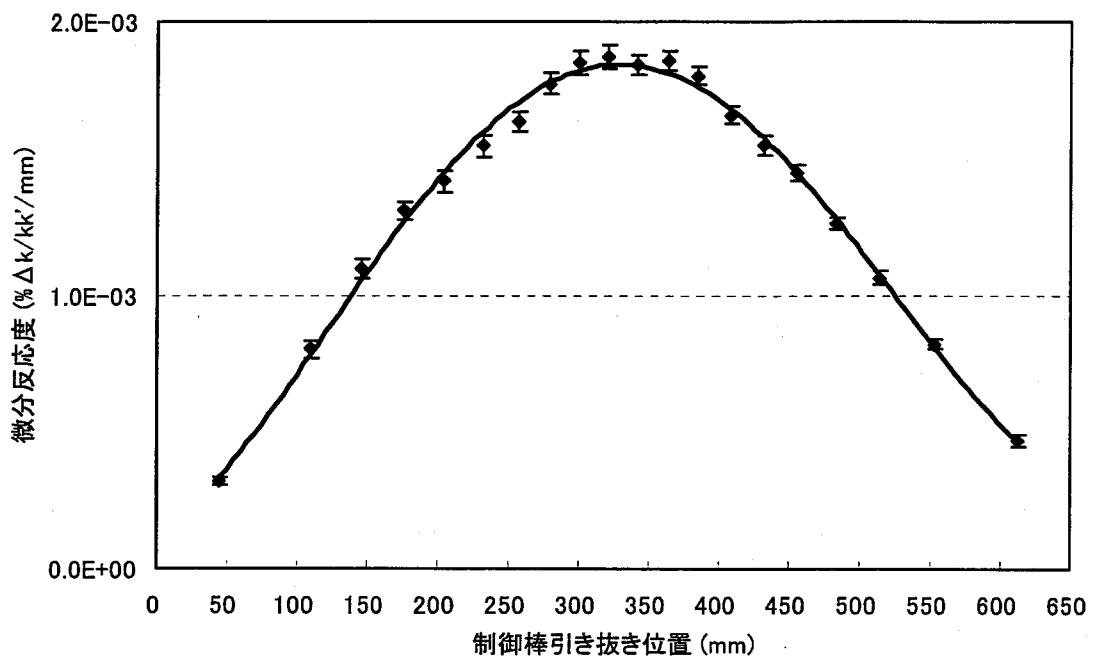


図 4.5 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR5)

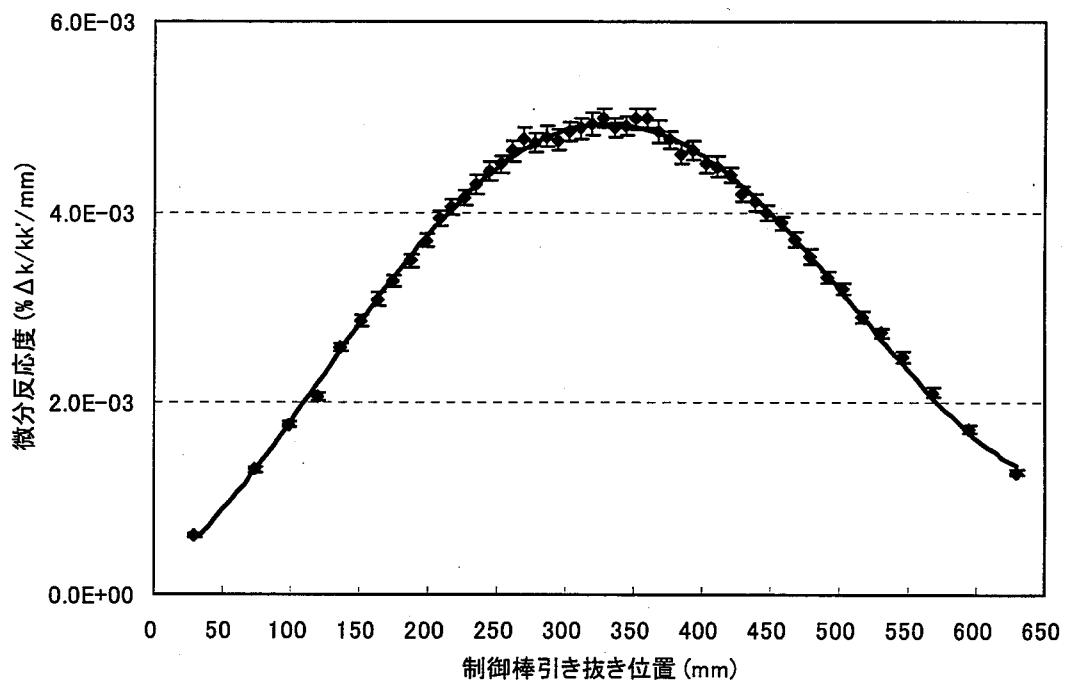


図 4.6 微分反応度のフィッティング曲線との比較 (CR6)

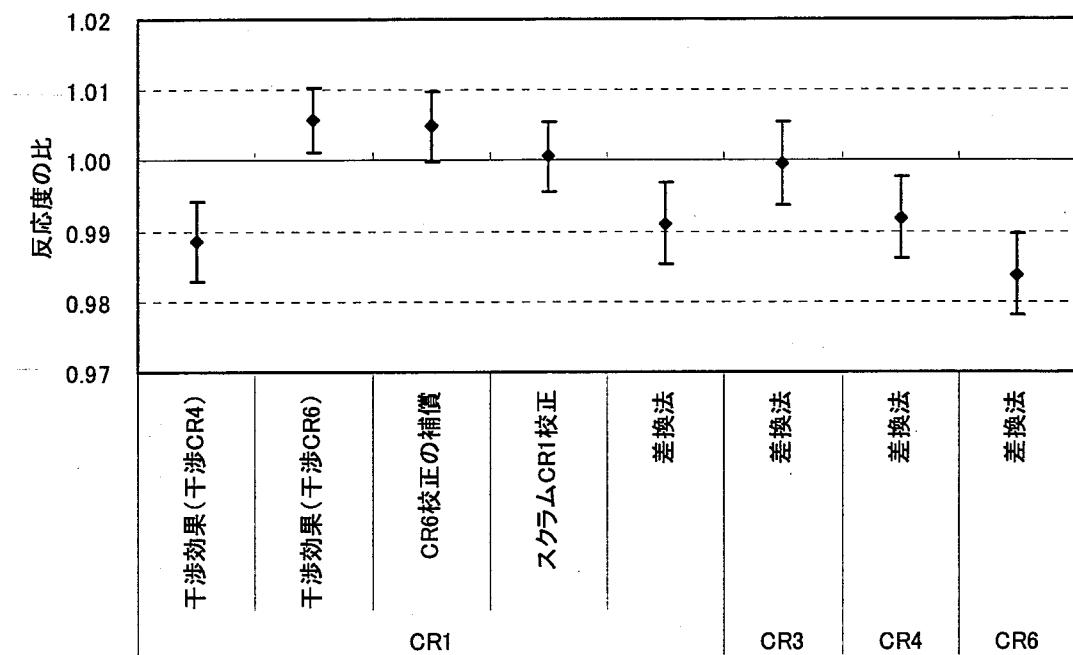


図 4.7 異なる試験で得られた同一区間反応度値の比較

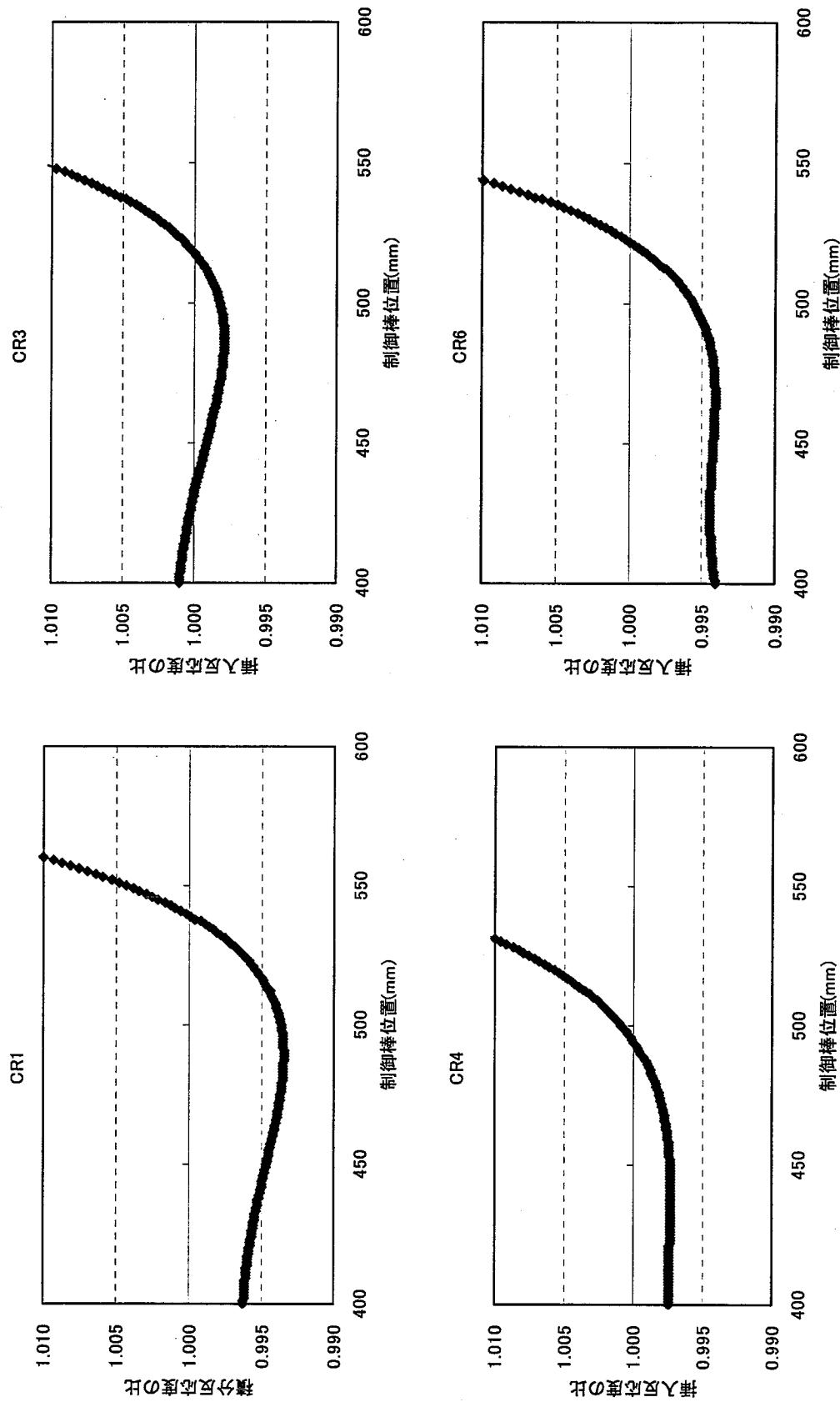


図4.8 単独引き抜きと4本同時差換法で得られた積分反応度の比
(基準: 単独引き抜きで得られた積分反応度)

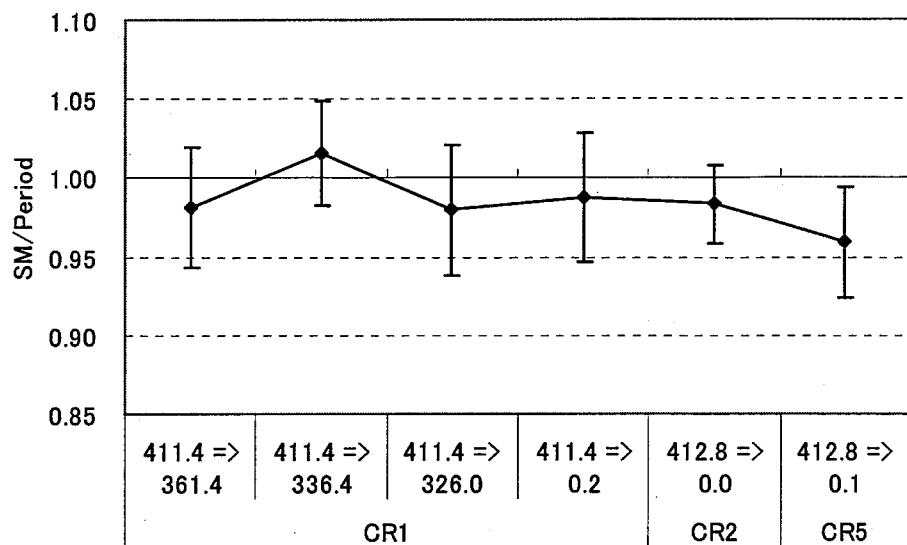


図 4.9 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値の参考値との比（1回目）

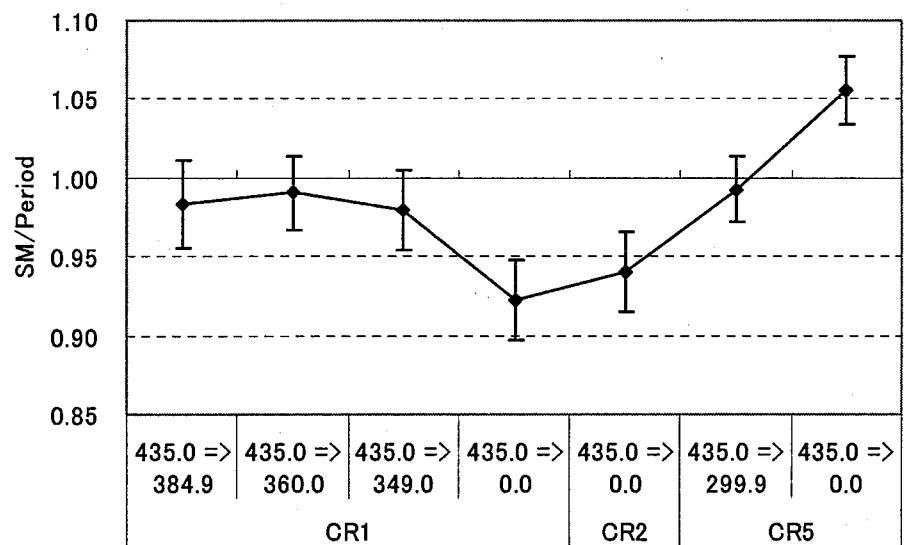


図 4.10 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値の参考値との比（2回目）

5 実験解析

5.1 解析手法

核データは JENDL-3.2[7] に基づく高速炉用炉定数セット JFS-3-J3.2R[8] を使用した。

格子計算コード SLAROM-UF[9] を用いて、燃料集合体、制御棒集合体は燃料ピン、吸収ピンまで模擬した 2 次元非均質格子モデルにより扱い、それ以外の集合体は均質格子モデルとした。また、制御棒集合体を除いてすべて無限配列を仮定した。

共鳴自己遮蔽効果の評価では非均質集合体における背景断面積を東捻の方法 [10] により評価し、集合体内の中性子束分布は衝突確率法により求めた。なお、燃料集合体の計算では臨界バックリングにより中性子の漏洩を考慮した。均質化後の拡散係数は Benoist の理論 [11] により決定し、輸送断面積は以下の式で Benoist の等方拡散係数 $D_{Ave.}$ より求めた。

$$\Sigma_{tr} = \frac{1}{3D_{Ave.}} \quad (7)$$

制御棒集合体の計算では、周りに均質燃料集合体を 6 体分巻いたスーパーセルモデルを用いた。中性子束荷重による均質化は吸収断面積を過大に評価することが知られているため、反応率比保存法 [12] による反復計算で均質断面積を得た。

SLAROM-UF により得られた 70 群実効断面積は、Hex-Z 体系拡散計算（1 集合体あたり 1 メッシュ）により得られた中性子スペクトルを重みとして 7 群に縮約した。制御棒以外は制御棒を全引き抜きとした体系でのスペクトルを、制御棒は全挿入とした体系のものをそれぞれ用いた。なお、輸送断面積の縮約は拡散係数と中性子束との積を重みとして行った。

制御棒反応度価値は制御棒挿入前後の実効増倍率から直接求めた。反応度価値の精度の観点から、体系計算の実効増倍率の収束精度を通常より厳密にし、 10^{-6} と設定した。

体系計算は拡散計算コード CITATION-FBR[13] および輸送計算コード TRITAC[14] にて実施した。CITATION-FBR による計算では炉心を Tri-Z メッシュに分割した。メッシュ分割は 1 集合体あたり XY 平面で 6 メッシュ、Z 軸方向を 1 メッシュ 40mm とし、干渉効果の解析を除いて、XY 平面、Z 軸をそれぞれ倍メッシュとした計算も併せて行い無限メッシュ相当に外挿した。TRITAC による計算は、炉心を XYZ 体系にモデル化し、1 集合体あたり XY 平面で 4 メッシュ、Z 軸方向を 1 メッシュ 40mm とし、輸送近似を用いた S8P0 で行った。また制御棒干渉効果の解析では、測定値に対して干渉効果補正値を求めた方法（1 集合体あたり XY 平面で 1 メッシュの Hex-Z 体系拡散計算）でも行った。

なお、実験値はすでに HESTIA で得た実効遅発中性子収率 β_{eff} を用いて $\Delta k/kk'$ 単位に変換されている。MK-I 炉心の β_{eff} の誤差は 2.9% と計算されており、MK-I 炉心と MK-III 炉心の類似性を考慮して、本報告書では β_{eff} の誤差を 3% とし、 $\Delta k/kk'$ 単位の反応度の誤差を求めた。なお、干渉効果は制御棒反応度価値の比なので β_{eff} の誤差は影響しない。

5.2 解析結果

制御棒全挿入反応度（トータルワース）および半挿入（310mm から 650mm）反応度の解析結果を、表 5.1 および図 5.1 に示す。拡散計算では 10% 程度解析値が過大評価となる一方、輸送計算では 5% 以内で実験値と一致した。図 5.2 に輸送計算結果をより細かく示す。図より、第 5 列の CR2、CR5 の C/E 値が第 3 列のそれと異なっており、特に半挿入反応度で顕著である。実験誤差は、それぞれの実験値に対して系統的な誤差となる β_{eff} の誤差が支配的であるため、この C/E 値の相違は有意である。全挿入と半挿入の C/E 値から炉心下部の制御棒反応度価値の C/E 値を外挿すると、第 3 列の CR と第 5 列の CR との C/E 値に相違は生じないと考えられることから、炉心上部の中性子スペクトルおよび随伴中性子スペクトルの空間、エネルギー分布の計算精度に径方向依存性がある可能性がある。

次に、制御棒干渉効果の解析結果について述べる。表 5.2 に計算に使用した制御棒引き抜きパターンを、表 5.3 に解析結果をそれぞれ示す。計算手法が詳細化するに伴い、計算値は実験値とよく一致した。輸送計算と干渉効果補正值計算に用いた HexZ 拡散計算とは、最大で 2.3% 程度の相違が生じているが、TriZ 拡散計算を用いることでその差は 0.8% 以内となった。

また、測定制御棒が CR1、干渉制御棒が CR4 のケースでは実験誤差を大きく越えた解析値と実験値の不一致が見られた。この原因については現時点では明らかにすることはできない。

1 ケースで説明できない実験値と解析値の不一致がみられたものの、それ以外のケースの解析結果から、測定値に対して行った干渉効果補正の妥当性がおおむね確認できた。また、干渉効果補正值を求める際に TriZ 拡散計算を用いることにより、干渉効果補正に伴う誤差をさらに低減できる可能性が示された。

表 5.1 制御棒反応度価値の C/E 値

		実験値 ($\Delta k/kk'$)	相対誤差 (%)	計算値($\Delta k/kk'$)		C/E	
				拡散	輸送	拡散	輸送
全挿入	No. 1	1.996E-02	3.3	2.150E-02	1.920E-02	1.08	0.96
	No. 2	7.620E-03	3.4	8.270E-03	7.456E-03	1.09	0.98
	No. 3	1.975E-02	3.3	2.136E-02	1.919E-02	1.08	0.97
	No. 4	1.994E-02	3.2	2.154E-02	1.924E-02	1.08	0.96
	No. 5	7.430E-03	3.4	8.148E-03	7.381E-03	1.10	0.99
	No. 6	2.001E-02	3.2	2.133E-02	1.918E-02	1.07	0.96
半挿入	CR1	1.132E-02	3.3	1.236E-02	1.093E-02	1.09	0.97
	CR2	4.220E-03	3.4	4.749E-03	4.244E-03	1.13	1.01
	CR3	1.115E-02	3.3	1.224E-02	1.090E-02	1.10	0.98
	CR4	1.133E-02	3.3	1.238E-02	1.095E-02	1.09	0.97
	CR5	4.150E-03	3.4	4.676E-03	4.211E-03	1.13	1.01
	CR6	1.137E-02	3.3	1.222E-02	1.090E-02	1.07	0.96

表 5.2 干渉効果解析に使用した制御棒引き抜きパターン

実験No.	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6
7	325=>385	650	460	325	650	460
8	325=>385	240	460	650	240	460
9	325=>430	650	460	460	650	325
10	325=>430	270	460	460	270	650
11	470	450	200	470	325=>650	650
12	350	450	450	350	325=>650	650
13	470	450	650	470	325=>650	200
14	350	450	650	350	325=>650	450

表 5.3 干渉効果解析結果

測定制御棒	干渉制御棒	実験値		計算値		
		干渉効果	絶対誤差	輸送	拡散(TriZ)	拡散(HexZ)
CR1	CR4	1.057	0.012	1.030	1.035	1.032
CR1	CR6	0.926	0.011	0.928	0.930	0.938
CR5	CR3	1.064	0.007	1.057	1.062	1.054
CR5	CR6	0.864	0.008	0.858	0.866	0.881

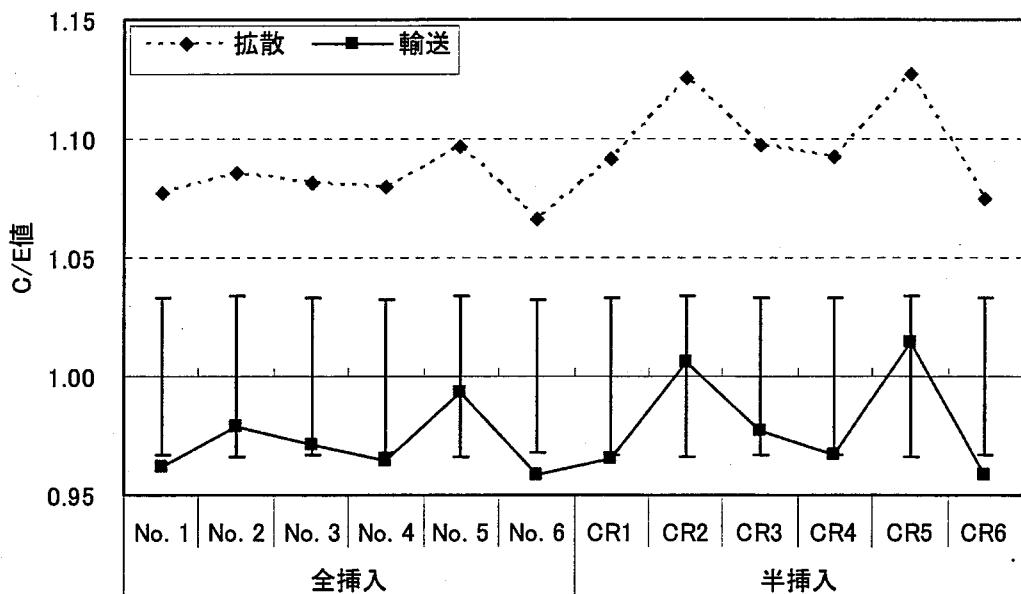


図 5.1 制御棒反応度価値の解析結果

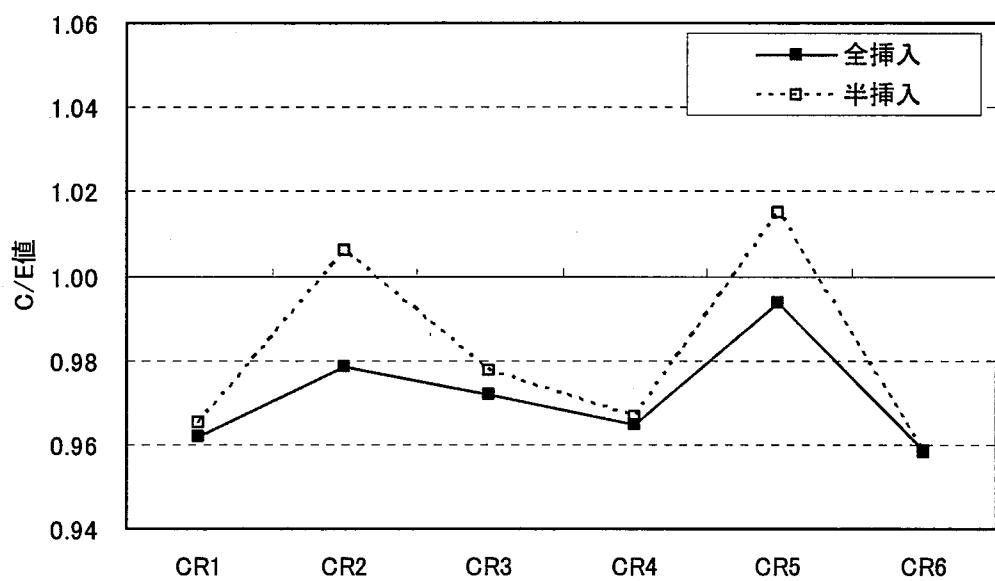


図 5.2 輸送計算結果の詳細

6 結言

高速実験炉「常陽」の MK-III 性能試験の一環として実施した制御棒校正試験について、試験方法、試験で取得した実験値とその誤差評価、実験解析の結果を述べた。試験の結果、制御棒反応度価値に関する炉心特性が核的な制限値を満足していることを確認した。また、標準的な高速炉炉心解析手法を用いた解析を実施し、制御棒反応度価値及び制御棒干渉効果の実験値と解析値がよく一致することを確認した。

制御棒反応度価値測定および解析に関して得た知見を以下に示す。

- 4 本同時差換法による制御棒反応度価値測定結果は、制御棒干渉効果を補正することにより、単独の制御棒引き抜きによるものと測定誤差内で一致し、その妥当性が確認された。
- 中性子源増倍法により測定された制御棒反応度価値は、制御棒干渉効果を補正することにより、単独の制御棒引き抜きによるものと比較して 10%以内で一致した。測定する未臨界度が浅い場合もしくは外部中性子源が無視できる場合では 5%以内で一致した。
- 全挿入及び半挿入反応度価値について、輸送理論による解析値と実験値は 4%以内で一致した。
- 制御棒干渉効果について、拡散理論による解析値と実験値は 3%以内で一致したが、メッシュ分割詳細化および輸送理論の採用により、さらによく一致した。

謝辞

駐在員として米国アルゴンヌ国立研究所から派遣されたロバート・シェイファー氏には、未臨界法による測定に関するコメント、測定誤差、解析手法に関する議論など、大変お世話になりました。数多くの有益な議論、情報交換が行われたと確信しています。

MK-III 炉心の計算のための入力データの作成については、(株) NESI の沼田一幸氏に大変お世話になりました。

また、この性能試験データは、高速実験炉「常陽」の運転員の方々及び炉心特性評価班のメンバーの作業により取得されたものです。

ここに深い感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 白方敬章、他：「大型高速炉炉心の核的ディカップリング特性」、日本原子力学会和文論文誌、2[2], p.163 (2003).
- [2] R.J.Tuttle:Consultants' Meeting on Delayed Neutron Properties, IAEA, Vienna (1979).
- [3] G.R.Keepin:"Physics of Nuclear Kinetics," (1965).
- [4] D.Saphier:"Evaluated Delayed Neutron Spectra and Their Importance in Reactor Calculations," *Nucl. Sci. Eng.*,62, p.660 (1977).
- [5] 大川内靖、他：「「常陽」 MK-III 炉心管理コードシステム”HESTIA” の開発」、JNC TN9400 2002-070 (2003).
- [6] 大洗工学センター実験炉部技術課：「「常陽」 を用いた高速炉技術開発」、動燃技報、No.104、p.11(1997).
- [7] T.Nakagawa, *et al.*:"Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL-3.2," *J. Nucl. Sci. Technol.* 32, p.1259 (1995).
- [8] 千葉豪、他：「高速炉用炉定数 JFS-3-J3.2 の改訂」、日本原子力学会和文論文誌、1[4], p.335 (2002).
- [9] 羽様平、他：「SLAROM-UF : 高速炉用超微細群格子計算コード」、JNC TN9520 2004-001 (2004).
- [10] T. Tone:"A Numerical Study of Heterogeneous Effects in Fast Reactor Critical Assemblies," *J. Nucl. Sci. Technol.* 12[8], p.467 (1975).
- [11] P. Benoist:"Streaming Effects and Collision Probabilities in Lattices," *Nucl. Sci. Eng.* 34, p.285 (1968).
- [12] T. Kitada,*et al.*:"New Control Rod Homogenization Method for Fast Reactors," *J. Nucl. Sci. Technol.* 31[7], p.647 (1994).
- [13] 中川正幸、他：「高速炉の核特性解析コードシステム」、JAERI-M 83-066(1983).
- [14] M. Bando, *et al.*:"Three-Dimensional Transport Calculation Method for Eigenvalue Problems Using Diffusion Synthetic Acceleration," *J. Nucl. Sci. Technol.* 23, p.849 (1986).