



高速増殖原型炉もんじゅ性能試験
(炉心確認試験) 報告書
「制御棒価値確認」

Monju System Startup Test Report Control Rod Reactivity Worth Measurements

加藤 優子 矢吹 健太郎 大川内 靖
Yuko KATO, Kentaro YABUKI and Yasushi OHKAWACHI

敦賀本部
高速増殖炉研究開発センター
技術部
Engineering Department
Fast Breeder Reactor Research and Development Center
Tsuruga Head Office

July 2013

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

高速増殖原型炉もんじゅ性能試験（炉心確認試験）報告書 「制御棒価値確認」

日本原子力研究開発機構 敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
技術部

加藤 優子、矢吹 健太郎*、大川内 靖
(2013年3月29日 受理)

高速増殖原型炉もんじゅは、平成7年12月に発生した2次主冷却系ナトリウム漏えい事故後、運転を停止していたが、平成22年5月6日に14年5ヶ月ぶりに性能試験を再開した。性能試験は、3段階に分けて実施していく計画であり、その最初の段階の炉心確認試験を78日間にわたって実施し、同年7月22日に終了した。炉心確認試験のうち、「制御棒価値確認」では、制御棒価値測定のための基礎データを取得するとともに、各制御棒の反応度価値を測定した。「制御棒価値確認」で実施した成果を以下にまとめる。

(1)制御棒価値測定のための基礎データ

ペリオド法の測定に適する計数率範囲を確認した結果、中性子源及びドップラ効果の影響を無視できる範囲は広域系中性子計装（WRM）で約100～10000 cpsであった。

(2)制御棒価値測定

- 1) 粗調整棒 CCR1（以下 C1 という。）については、ペリオド法で制御棒価値を測定した。C1 以外の制御棒については、ペリオド法で測定した C1 の制御棒価値を基準とした置換法により制御棒価値を全数測定した。
- 2) 測定した制御棒価値に基づき、炉心確認試験炉心の過剰反応度及び反応度停止余裕が原子炉設置変更許可申請書の核的制限値を満足することを確認した。
- 3) 対称位置にある制御棒の校正曲線について相対値をとると、最大でも0.4%程度であり、ほとんど差がないことがわかった。

(3)予測解析

炉心管理コードを用いた予測解析結果は、調整棒及び後備炉停止棒の単体価値の測定結果と比較的良好一致（E/C 値：0.96 前後）を示した。

Monju System Startup Test Report Control Rod Reactivity Worth Measurements

Yuko KATO, Kentaro YABUKI* and Yasushi OHKAWACHI
Engineering Department, Fast Breeder Reactor Research and Development Center,
Tsuruga Head Office
Japan Atomic Energy Agency
Tsuruga-shi, Fukui-ken

(Received March 29, 2013)

The prototype fast breeder reactor Monju resumed the system startup test (SST) on May 6, 2010 after fourteen year and five month suspension since the sodium leakage of the secondary heat transport system in December 1995, and reached criticality on May 6, 2010. Core confirmation test (CCT) is the first step of SST which consists of three steps, and finished on July 22, 2010 after the 78-day test period. The control rod worth measurement was carried out in CCT to calibrate the reactivity worth of control rods and to acquire the basic data for the control rod worth calibration.

The results of the control rod worth measurement are as follows:

(1) Basic data for the control rod worth measurements

The region of the wide range monitor (WRM) count rate applied for the measurement of the period method was from 100 cps to 10000 cps.

(2) Control rod reactivity worth measurements

- 1) The control rod worth of the coarse control rod CCR1 (hereinafter called "C1") was measured by the period method. For the control rod except C1, the reactivity worth was measured by the rod swap method on the basis of the control rod worth of C1 measured by the period method.
- 2) Based on the calibrated control rod worth, it was confirmed that the excess reactivity and the reactivity shut-down margin of the CCT's core were satisfied with the safety criteria.
- 3) The worth calibration curves of the control rods at the location of rotary symmetry in the core were coincident with each other within 0.4% of relative difference.

(3) Prediction analysis using the core management code system

As a result of the calculation using the core management code system, calculated control rod worth (C) showed a good agreement with the measured one (E) in each control rod (the E/C value: about 0.96).

Keywords: Monju, FBR, System Startup, Control Rod, Reactivity, Shut Down Margin

*The Japan Atomic Power Company

目 次

| | |
|--|-----|
| 1. 緒言 | 1 |
| 1.1 試験の目的 | 1 |
| 1.2 試験概要 | 2 |
| 1.3 試験期間 | 2 |
| 2. 系統、設備概要 | 4 |
| 2.1 炉心及び原子炉設備 | 4 |
| 2.2 制御棒及び制御棒駆動機構 | 5 |
| 2.3 原子炉冷却系設備 | 6 |
| 2.4 中性子計装設備 | 6 |
| 3. 試験方法 | 7 |
| 3.1 試験方法及び評価方法 | 7 |
| 3.2 試験条件 | 12 |
| 3.3 試験工程 | 12 |
| 4. 試験結果 | 13 |
| 4.1 試験結果 | 13 |
| 4.2 誤差評価 | 16 |
| 4.3 試験結果のまとめ | 17 |
| 5. 検討及び評価 | 19 |
| 5.1 事前解析 | 19 |
| 5.2 測定手法の評価 | 23 |
| 6. 結言 | 25 |
| 謝辞 | 26 |
| 参考文献 | 26 |
| 添付資料1 測定記録 | 86 |
| 添付資料2 核設計手法による解析値補完方法とフィッティング係数の算出方法 | 111 |

Contents

| | |
|---|-----|
| 1. Introduction | 1 |
| 1.1 Test Purpose..... | 1 |
| 1.2 Test Outline | 2 |
| 1.3 Test Period..... | 2 |
| 2. System and Plant..... | 4 |
| 2.1 Core and Reactor Facilities..... | 4 |
| 2.2 Control rod and Drive Mechanism..... | 5 |
| 2.3 Reactor Cooling System..... | 6 |
| 2.4 Instrumental and Reactor Control System..... | 6 |
| 3. Test Method..... | 7 |
| 3.1 Test Method | 7 |
| 3.2 Test Condition..... | 12 |
| 3.3 Examination Process..... | 12 |
| 4. Test results..... | 13 |
| 4.1 Test results..... | 13 |
| 4.2 Error of Measurement | 16 |
| 4.3 Measured Results..... | 17 |
| 5. Investigation and Evaluation..... | 19 |
| 5.1 Prediction Analysis..... | 19 |
| 5.2 Evaluation of Measuring Method..... | 23 |
| 6. Concluding Remarks..... | 25 |
| Acknowledgements..... | 26 |
| References | 26 |
| Appendix 1 Measurement Record..... | 86 |
| Appendix 2 Analysis Value Completion Method with Nuclear Design Method, and Calculation Method of Fitting Coefficient..... | 111 |

表リスト

| | | |
|-----------|---------------------------------------|----|
| 表 2.1.1-1 | 炉心の主要目 | 27 |
| 表 2.1.1-2 | 炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体の主要目 | 28 |
| 表 2.2.1-1 | 制御棒の主要目 | 29 |
| 表 2.4.1-1 | 中性子計装の主要目 | 30 |
| 表 3.1.1-1 | 制御棒パターン | 31 |
| 表 4.1.1-1 | 臨界到達判断計数率の確認における測定結果及び評価結果 | 32 |
| 表 4.2-1 | 制御棒価値（正のペリオド法）誤差要因表 | 33 |
| 表 4.2-2 | 制御棒価値（置換法）誤差要因表 | 37 |
| 表 4.2-3 | 過剰反応度測定値の誤差要因表 | 39 |
| 表 4.2-4 | 反応度基準制御棒(C1)価値の誤差要因表 | 40 |
| 表 4.2-5 | 正のペリオド法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：C1）..... | 41 |
| 表 4.2-6 | 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：C4）..... | 42 |
| 表 4.2-7 | 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：C10）..... | 43 |
| 表 4.2-8 | 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：F1）..... | 44 |
| 表 4.2-9 | 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：B1）..... | 45 |
| 表 4.2-10 | 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果（制御棒：B4）..... | 46 |
| 表 4.2-11 | 過剰反応度測定値の誤差評価結果 | 47 |
| 表 4.2-12 | 反応度基準制御棒(C1)価値測定の誤差評価結果 | 48 |
| 表 4.2-13 | 反応度抑制効果の誤差(炉心温度 200°C)..... | 49 |
| 表 5.1.1-1 | 炉心確認試験の予測臨界制御棒位置 | 50 |
| 表 5.1.1-2 | 動特性パラメータ | 51 |
| 表 5.1.2-1 | 過剰反応度の測定値と計算値比較及び予測値..... | 51 |
| 表 5.1.2-2 | 制御棒単体価値及び制御能力の測定値と計算値比較..... | 52 |
| 表 5.1.2-3 | 最大反応度添加率の測定値と計算値比較 | 53 |

図リスト

| | | |
|------------|---|----|
| 図 2.1.1-1 | 炉心構成 | 54 |
| 図 2.1.1-2 | 原子炉構造図 | 55 |
| 図 2.3.1-1 | 原子炉冷却系の系統概略図 | 55 |
| 図 2.4.1-1 | 炉心と中性子計装の位置関係図 | 56 |
| 図 2.4.1-2 | 中性子計装の測定範囲 | 56 |
| 図 3.1.3-1 | 最大微分反応度の測定位置と所定の量 | 57 |
| 図 3.3-1 | 「制御棒価値確認」、「過剰反応度測定試験」、「反応度停止余裕測定試験」実績工程 | 58 |
| 図 4.1.1-1 | 炉心確認試験で最初の臨界近接時の逆増倍曲線(C1以外の調整棒引抜位置 795mm) | 62 |
| 図 4.1.1-2 | ペリオド法の測定に適する計数率範囲測定結果 | 63 |
| 図 4.1.2-1 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C1) | 64 |
| 図 4.1.2-2 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C2) | 64 |
| 図 4.1.2-3 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C3) | 65 |
| 図 4.1.2-4 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C4) | 65 |
| 図 4.1.2-5 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C5) | 66 |
| 図 4.1.2-6 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C6) | 66 |
| 図 4.1.2-7 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C7) | 67 |
| 図 4.1.2-8 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C8) | 67 |
| 図 4.1.2-9 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C9) | 68 |
| 図 4.1.2-10 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (粗調整棒 C10) | 68 |
| 図 4.1.2-11 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (微調整棒 F1) | 69 |
| 図 4.1.2-12 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (微調整棒 F2) | 69 |
| 図 4.1.2-13 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (微調整棒 F3) | 70 |
| 図 4.1.2-14 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B1) | 70 |
| 図 4.1.2-15 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B2) | 71 |
| 図 4.1.2-16 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B3) | 71 |
| 図 4.1.2-17 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B4) | 72 |
| 図 4.1.2-18 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B5) | 72 |
| 図 4.1.2-19 | 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B6) | 73 |
| 図 4.2-1 | 正のペリオド法に基づく制御棒価値測定の流れと測定誤差要因 | 74 |
| 図 4.2-2 | 置換法に基づく制御棒価値測定の流れと測定誤差要因 | 75 |
| 図 4.2-3 | 過剰反応度測定の流れと測定誤差要因 | 76 |
| 図 5.1.1-1 | 炉心管理コードによる計算の流れ | 77 |
| 図 5.1.1-2 | 動特性パラメータ計算の流れ | 78 |
| 図 5.1.2-1 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (粗調整棒 C1) | 79 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 図 5.1.2-2 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較（相対値）（粗調整棒 C4） | 79 |
| 図 5.1.2-3 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較（相対値）（粗調整棒 C10） | 80 |
| 図 5.1.2-4 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較（相対値）（微調整棒 F1） | 80 |
| 図 5.1.2-5 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較（相対値）（後備炉停止棒 B1） | 81 |
| 図 5.1.2-6 | 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較（相対値）（後備炉停止棒 B4） | 81 |
| 図 5.2.1-1 | 初回性能試験と炉心確認試験の単体制御棒価値の比較 | 82 |
| 図 5.2.2-1 | 主炉停止系の制御棒校正曲線の比較 | 83 |
| 図 5.2.2-2 | 後備炉停止系の制御棒校正曲線の比較 | 84 |

This is a blank page.

1. 緒言

高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）は、わが国初の高速増殖炉（FBR）発電プラントとして、FBR サイクル技術実用化に向けた研究開発の場の中核としての使命を果たしていくことが期待されている（原子力政策大綱（平成 17 年 10 月 11 日 原子力委員会））。「もんじゅ」は、平成 7 年 12 月の 2 次主冷却系ナトリウム漏えい事故後、14 年 5 ヶ月にわたって運転を停止してきたが、平成 22 年 5 月 6 日に試運転を再開した。それに引き続き、性能試験の第 1 段階である炉心確認試験を実施し、同年 7 月 22 日に終了した。

「もんじゅ」性能試験は、プラントが長期間停止状態にあったこと、燃料が長期間保管状態にあったことを踏まえ、零出力で炉心の安全性を確認する「炉心確認試験」、40%電気出力でプラント全系統の機能確認・性能確認を行う「40%出力プラント確認試験」並びに本格運転に向けて 40%、75%及び 100%電気出力でプラント性能の確認を行う「出力上昇試験」と、段階的に出力を上げながら性能試験を確実に進めていく計画である。

炉心確認試験では全 20 項目の試験が実施され、そのうち本報告書では「制御棒価値確認」について述べる。第 1 章では試験概要、第 2 章では系統、設備概要、第 3 章～第 5 章では、試験方法、試験結果、評価について述べ、第 6 章で全体のまとめを行う。

1.1 試験の目的

性能試験で実施した「制御棒価値確認」では各制御棒の反応度価値を測定した。なお、このデータを使用して、原子炉等規制法、電気事業法に基づく以下の使用前検査相当の社内試験を実施した。

- ・ 過剰反応度測定検査
- ・ 反応度停止余裕測定検査
 - a) 主炉停止系による停止余裕測定検査
 - b) 主炉停止系の反応度添加率測定検査
 - c) 後備炉停止系による停止余裕測定検査

本報告書では炉心確認試験時の「制御棒価値確認」（過剰反応度測定検査（社内試験）及び反応度停止余裕測定検査（社内試験）を含む。）についてまとめた。この試験目的を以下に示す。

1.1.1 制御棒価値確認

「制御棒価値確認」は、原子炉等規制法、電気事業法に基づく使用前検査（過剰反応度測定検査及び反応度停止余裕測定検査）を受検するため、各制御棒の反応度価値を測定することを目的とする。

加えて、今後の「もんじゅ」の炉心管理、後継炉の設計に資するための炉心核特性データを取得することを目的とする。

1.1.2 過剰反応度測定検査

炉心確認試験炉心の過剰反応度が、以下の核的制限値を満足していることを確認する。

- (1) 最大過剰反応度
0.057 $\Delta k/k$ 以下
- (2) 過剰反応度の予測値と測定値の差
 $\pm 0.010\Delta k/k$ 以内

1.1.3 反応度停止余裕測定検査

炉心確認試験炉心が、以下の核的制限値を満足していることを確認する。

- (1) 主炉停止系による反応度停止余裕
 - ① 最大反応度効果を有する調整棒 1 本が未挿入の場合でも、反応度抑制効果^{*}が 0.067 $\Delta k/k$ 以上を満足すること。
 ※設置許可申請書では「反応度制御能力」という。
 - ② 最大反応度効果を有する調整棒 1 本が未挿入の場合でも、反応度停止余裕が 0.01 $\Delta k/k$ 以上を満足すること。
- (2) 後備炉停止系による反応度停止余裕
 - ① 後備炉停止系の反応度抑制効果が 0.029 $\Delta k/k$ 以上を満足すること。
 - ② 主炉停止系が作動しないとした場合でも、後備炉停止系により炉心を臨界未満にできること。
- (3) 主炉停止系の最大反応度添加率
調整棒の反応度添加率は $8 \times 10^{-5} \Delta k/k/s$ 以下であること。

1.2 試験概要

制御棒価値測定では、炉周期（ペリオド）法と置換法を用いて全制御棒についての制御棒校正曲線及び反応度価値を確認する。

加えて制御棒価値測定で求めた制御棒校正曲線を用いて過剰反応度、反応度停止余裕及び反応度抑制効果を評価するとともに、主炉停止系の反応度添加率及び後備炉停止系により炉心を未臨界にできることを測定により確認する。

また、上記の測定の準備として以下の測定を行う。

- ・臨界達成準備、確認作業
- ・ペリオド法における中性子源及びドップラ効果の影響を無視できる計数率の確認

1.3 試験期間

炉心確認試験炉心に対する「制御棒価値確認」に加え、使用前検査に対応した「過剰反応度測定試験」及び「反応度停止余裕測定試験」の実施期間（試験準備及び後始末期間を

含む) を以下に示す。

- 制御棒価値確認 : 平成 22 年 5 月 5 日～平成 22 年 5 月 29 日
(計器校正期間 平成 22 年 5 月 17 日～平成 22 年 5 月 20 日を含む)
- 過剰反応度測定試験 : 平成 22 年 6 月 1 日 (使用前検査に対応)
- 反応度停止余裕測定試験 : 平成 22 年 6 月 1 日～平成 22 年 6 月 2 日
(使用前検査に対応)

2. 系統、設備概要

本章では「もんじゅ」の炉心及び原子炉設備、制御棒及び制御棒駆動機構、原子炉冷却系設備並びに中性子計装設備の概要について述べる。

2.1 炉心及び原子炉設備

2.1.1 原子炉及び炉心

炉心及び原子炉設備を構成する要素は、炉心、原子炉容器、炉内構造物、炉心上部機構等である。

炉心は、炉心燃料集合体、制御棒、ブランケット燃料集合体、中性子しゃへい体等によって構成されている。炉心燃料領域は、プルトニウム富化度の異なる 2 種類の炉心燃料集合体からなり、高富化度の炉心燃料集合体を外側に配置することにより、出力平坦化を図った 2 領域炉心となっている。

炉心燃料集合体は、上下に軸方向ブランケット燃料を内蔵した炉心燃料要素により構成され、更にその上下には中性子しゃへい体を設けている。

炉心燃料領域の周囲には、ブランケット燃料集合体を配置し、増殖比を高めると同時に外部への中性子の漏れを減少させる。ブランケット燃料集合体の外側には、中性子しゃへい体を配置し、中性子反射体の役目を果たすとともに、その外部への中性子照射量を軽減させる。

炉心の主要目を表 2.1.1-1 に、炉心の構成を図 2.1.1-1 に示す。また、炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体の主要目を表 2.1.1-2 に示す。

炉心は、炉内構造物により原子炉容器の中心に配置されている。炉内構造物は、燃料集合体等の炉心構成要素に対する誤装荷防止機構及び流量調節機能を有しており、原子炉容器下部で原子炉容器に支持される。原子炉設備を図 2.1.1-2 に示す。なお、炉心構成要素の一部である制御棒については 2.2 節で述べる。

2.1.2 燃料交換

平成 7 年 12 月の 2 次主冷却系のナトリウム漏えい事故による長期停止に伴い、原子炉に装荷されている燃料中の ^{241}Pu が崩壊して炉心の反応度が約 $0.04\Delta k/k$ 低下したため、平成 21 年 6 月から 7 月にかけて燃料交換を実施した。平成 6 年の性能試験時から炉心に装荷されていた初装荷燃料 I 型 198 体のうち 84 体を初装荷燃料 II 型 78 体（本格運転以降に使用する予定で保管していた取替燃料）及び初装荷燃料 III 型 6 体（新たに製造した燃料）と交換し、初装荷ブランケット燃料（炉心確認試験前装荷分）3 体と制御棒全数（19 体）を交換した。初装荷燃料 I 型、II 型及び III 型は、 ^{241}Pu の崩壊により生成した ^{241}Am を多く含むため、炉心確認試験の炉心は炉心平均で約 1.5wt%（初回性能試験時の約 3 倍）の ^{241}Am を含有する。表 2.1.1-1 に初装荷燃料 I 型～III 型の核分裂性 Pu 富化度を示す。また、図 2.1.1-1

に初装荷燃料 I 型～III型の装荷位置を示す。

2.2 制御棒及び制御棒駆動機構

2.2.1 制御棒

制御棒は調整棒と後備炉停止棒（Back-up Control Rod、以下 BCR という。）に分けられ、調整棒は更に微調整棒（Fine Control Rod、以下 FCR という。）と粗調整棒（Coarse Control Rod、以下 CCR という。）に分けられる。制御棒の配置を図 2.1.1-1 に示す。

通常の原子炉の起動・停止は調整棒、緊急停止は原子炉停止系によって行われる。原子炉停止系には主炉停止系と後備炉停止系がある。主炉停止系の中性子吸収部分を成すのが調整棒であり、後備炉停止系の中性子吸収部分を成すのが BCR である。

調整棒には FCR が 3 体、CCR が 10 体あり、FCR と CCR はほぼ同一の構造を有する。すなわち、以下のものから構成される。

- (a) ホウ素-10 (^{10}B) を濃縮した炭化ホウ素 (B_4C) のペレットである中性子吸収材をステンレス鋼製被ふく管に納めた制御棒要素
- (b) 制御棒要素を束ねて固定支持する保護管
- (c) 制御棒駆動機構の制御棒ラッチ機構に接続するためのハンドリングヘッド
- (d) 原子炉緊急停止動作の終わりに緩衝作用を行う緩衝器等

調整棒は案内管に収納され、炉心への装荷・取出しは案内管とともに行われる。

一方、BCR は 6 体あり、その構造は調整棒とほぼ同一であるが、 ^{10}B 装荷量、中性子吸収体有効長さ、被ふく管内径及び連結軸と保護管との継ぎ部分等が異なる。制御棒の主要目を表 2.2.1-1 に示す。

2.2.2 制御棒駆動機構

制御棒駆動機構には、調整棒駆動機構と後備炉停止棒駆動機構がある。

調整棒駆動機構には FCR 用と CCR 用があり、それぞれ駆動部（駆動モータ、減速機、ボールスクリュウ、加速機構、保持用マグネット、制御棒ラッチ及び延長管ラッチ機構等からなる）と延長管類（案内管、ストローク・ラッチ動作伝達部、制御棒ラッチ機構等からなる）から構成される。両者は、それぞれの機能上の要求からくる構造の相違の他、ペローズ位置、ラッチ・デラッチ機構の作動方式が異なっている。調整棒の駆動速度は、FCR が約 30～300mm/min、CCR が 120mm/min である。

なお、原子炉トリップ時にはストローク・ラッチ動作伝達部分と調整棒とが一体となって落下すると同時に加速機構（ガス圧加速）により加速挿入させる。

後備炉停止棒駆動機構も駆動部（駆動モータ、減速機、ボールスクリュウ、保持用マグネット、制御棒ラッチ及び延長管ラッチ機構等からなる）と延長管類（案内管、ストローク・ラッチ動作伝達部、加速管、制御棒ラッチ機構等からなる）から構成される。ただし、後備炉停止棒駆動機構は調整棒駆動機構とは異なり、原子炉トリップ時には、制御棒ラッ

チ機構を作動させて BCR を切り離すとともに、加速管を介してスプリング力で BCR を加速挿入させる。BCR の駆動速度は約 180mm/min である。

2.3 原子炉冷却系設備

「もんじゅ」の原子炉で発生する熱は、図 2.3.1-1 に示すように、1 次系、2 次系及び水・蒸気系へ伝達され発電がなされる。「もんじゅ」では 1 次系、2 次系をそれぞれ 3 系統備えており、いわゆる 3 ループの冷却系である。「もんじゅ」の定格熱出力は約 714 MWt であり、これを熱移送した結果の電気出力は発電端で約 280 MWe である。

1 次、2 次主冷却系は、冷却材であるナトリウムの沸点（約 880℃）が高いため軽水炉のように加圧を必要とせず、大気圧に近い圧力で運転される。また、1 次主冷却系の各機器間を連結する配管は大部分を高所に設置し、原子炉容器、1 次主冷却系循環ポンプ及び中間熱交換器等の低所部にはガードベッセルを設けることにより、万一、冷却材の漏えいがあった場合にも、炉心冷却に必要な冷却材を確保する設計としている。加えて放射性ナトリウムを保有する系統を収納する部屋には、漏えいナトリウムの燃焼抑制、保持のため室内を窒素雰囲気とし、室内面を鋼製ライニングで覆っている。

これらの主冷却系以外に、燃料交換時等の炉停止時及び緊急時に炉心の崩壊熱を除去するため、補助冷却設備が設けられている。これは 2 次主冷却系より分岐し、空気冷却器により熱を放散するものである。熱容量は 1 ループ当たり約 15 MWt である。

2.4 中性子計装設備

中性子計装（Neutron Instrumentation System、以下 NIS という。）設備は、原子炉の停止状態から 120%原子炉熱出力に至るまで、約 10 桁にわたる中性子束レベルを計測する。また、NIS は通常運転時及び異常な過渡変化時における原子炉の出力レベルを監視するとともに、自動的に原子炉トリップ信号、制御棒引抜き阻止信号、警報信号を発報することを目的として設置されている。

NIS は、上記の目的を達成するために測定範囲及び用途に応じて、線源領域系中性子計装（Source Range Monitor、以下 SRM という。）、広域系中性子計装（Wide Range Monitor、以下 WRM という。）、出力領域系中性子計装（Power Range Monitor、以下 PRM という。）の 3 種類の計測系を原子炉容器外に設けている。これらの NIS は中性子検出器とそれらを収納する検出器案内管、中性子減速体、増幅器及び計装盤により構成される。

「もんじゅ」の NIS は、以下のような計測チャンネルで構成されている。

- (1) SRM 2 チャンネル (SRM-1、2)
- (2) WRM 3 チャンネル (WRM-1、2、3)
- (3) PRM 3 チャンネル (安全保護系用：PRM-1、2、3)
2 チャンネル (計測制御系用：PRM-4、5)

炉心と NIS の位置関係を図 2.4.1-1、測定範囲を図 2.4.1-2、主要目を表 2.4.1-1 に示す。

3. 試験方法

本章では、試験項目ごとの試験方法及び評価方法、試験条件について述べるとともに、試験工程について述べる。

3.1 試験方法及び評価方法

本節では、試験項目ごとの試験方法及び試験により採取されたデータに基づく試験結果の評価方法を説明する。

3.1.1 制御棒価値測定

制御棒価値測定のための設定条件確認として、臨界到達判断計数率の確認、ペリオド法におけるドップラ効果の影響を無視できる計数率の確認を行った。制御棒価値の測定法としてはペリオド法、置換法を用いた。それぞれの測定法の説明を以下に示す。また、制御棒価値測定における制御棒パターンと手法を表 3.1.1-1 に示す。

炉心の過剰反応度が測定対象制御棒 1 本の制御棒価値より小さい場合は、測定対象制御棒全ストロークのうち臨界達成可能な位置から全引抜位置までを測定範囲とした。測定範囲外については解析値を用いて校正曲線の補完を行った。解析には、原子炉設置変更許可、設工認で用いた核設計手法¹⁾（以下 許認可コードという。）を用いた。

(1) 制御棒価値測定のための設定条件確認

① 臨界到達判断計数率の確認

粗調整棒 CCR1（以下 C1 という。）で臨界近接を行い、逆増倍曲線を作成した。C1 の操作量は、逆増倍曲線から求めた推定臨界位置と C1 制御棒位置の差の 1/2 とした。推定臨界位置と C1 制御棒位置の差が 3mm 以内になるまで繰り返し、操作ごとの制御棒位置と WRM 計数率（以下、特に表記がない限り「計数率」は「WRM 計数率」を示す。）を測定して、中性子源の影響を受けずに臨界を確認できる（臨界到達を判断できる）下限計数率を求めた。

② ペリオド法におけるドップラ効果の影響を無視できる計数率の確認

ペリオド法による反応度測定において、出力上昇による温度フィードバック効果が入ることを避けるため、ドップラ効果の影響を無視できる計数率を確認した。測定は、「臨界到達判断計数率の確認」に引き続いて行い、臨界到達後、C1 を所定量（約 7¢）引抜き、目標計数率で安定させて、その時の制御棒位置を記録した。目標計数率は、 1×10^3 cps $\sim 1 \times 10^5$ cps の間の 15 ステップとした。

上記の測定により、所定の計数率で安定させた際に C1 制御棒位置が変化しない計数率範囲の上限を、ドップラ効果の影響を無視できる上限計数率として求めた。

(2) 制御棒価値測定

① ペリオド法

C1 制御棒についてはペリオド法にて制御棒価値を測定した。ペリオド法の測定方法を以

下に記す。

炉心に投入された反応度 ρ と出力が e 倍になる時間 T との間には以下のような関係があり、出力が e 倍となる時間を測定すれば炉心に投入された反応度 ρ を知ることができる。この「出力が e 倍になる時間 T 」のことをペリオドと呼ぶ。

$$\rho = \frac{l_p}{T} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_{i,\text{eff}}}{1 + \lambda_i T} [\Delta k/k]$$

ρ : 反応度 $[\Delta k/k]$

l_p : 即発中性子平均寿命 $[s]$

T : ペリオド $[s]$

$\beta_{i,\text{eff}}$: 遅発中性子先行核ファミリー i 群の実効遅発中性子割合 $[-]$

λ_i : 遅発中性子先行核ファミリー i 群の崩壊定数 $[s^{-1}]$

実際にはペリオド T を測定することは困難であるため、出力が 2 倍になる倍増時間 T_d を測定し、そこから $T = T_d / \ln 2$ の関係からペリオド T を求めた。測定により得られた倍増時間からペリオド、反応度及び積算反応度を算出した。なお、動特性パラメータ (l_p 、 β 、 λ) の評価手法及び使用値は 5 章に示す。

炉心確認試験炉心の過剰反応度は、C1 の制御棒価値より小さいため、フルストローク測定することができない。そこで、C1 全挿入状態から C1 以外の制御棒を全数全引抜位置とし、C1 を臨界位置に調整してから制御棒価値を測定した。(C1 のみを挿入した状態で臨界となる制御棒位置から C1 全引抜までが測定範囲となる。)

ペリオド法による測定方法は、計数率を約 1000 cps で安定させた臨界状態から、C1 を単体量 (事前解析により約 7 ϕ となる反応度に応じた引抜量) 引抜くことで反応度を印加し、その際の出力 (すなわち計数率) が 2 倍 (3000cps~6000cps、3500cps~7000cps、4000cps~8000cps の 3 区間) となる倍増時間をストップウォッチで測定した。倍増時間測定終了後、C2 を約 14 ϕ 相当挿入して計数率を初期状態の約 1000cps まで下降させた後、再び C2 を約 7 ϕ 相当引抜いて計数率を安定させた。その後 C1 以外の調整棒を制御棒位置が均等となるように調整して、計数率を約 1000cps で一定とした。

上記の操作を C1 が全引抜位置となるまで繰り返した。測定できない範囲については、許認可コードの解析値で校正曲線の補完を行った。

② 置換法

C1 以外の制御棒については、ペリオド法で測定した C1 の制御棒価値を基準とした置換法により制御棒価値を測定した。

測定方法は、C1 以外の制御棒を全引抜として、C1 のみを挿入して臨界状態を作り (その時の C1 の制御棒位置は 406mm)、その状態から測定対象制御棒を 10 mm 挿入し、それによる負の反応度を打ち消すように C1 を引抜き、これを 5 回繰り返して測定対象制御棒が 50 mm 挿入されるごとに臨界状態で計数率を安定させて両者の制御棒位置を測定した。しかし、こ

の方法では時間がかかるため、途中からは臨界状態から測定対象制御棒を約 7¢挿入し、C1 を約 14¢を引抜き、測定対象制御棒を約 14¢挿入することを繰り返し、測定対象制御棒が 50 mm 挿入されるごとに臨界として、計数率を約 5000 cps で安定させた状態で、両者の制御棒位置を測定した。

既知である C1 の制御棒価値及び制御棒校正曲線から C1 の制御棒位置変化を反応度に換算し、それを測定対象制御棒の 50mm 挿入に対する区間反応度とした。これを測定対象制御棒が全挿入位置となるか、若しくは C1 が全引抜位置となるかのいずれかまで繰り返した。上記操作において、C1 が全引抜位置に達した場合には、その時点で測定対象制御棒に対する測定は終了とした。その際は、測定対象制御棒フルストロークのうち臨界達成可能な位置から全引抜位置までを測定範囲とし、測定できない範囲については許認可コードの解析値で校正曲線の補完を行った。

3.1.2 過剰反応度測定検査

過剰反応度の測定方法としては臨界時の炉心状態（制御棒位置、原子炉容器出口ナトリウム温度等）を測定し、3.1.1 で求めた制御棒価値及び解析で求めた温度補正係数を用いて設計上の最低温度（180℃）における過剰反応度を評価した。

$$\rho_{180^{\circ}\text{C}} = \sum_{i=1}^{13} (\rho_i \times F_i) + \rho_T$$

- $\rho_{180^{\circ}\text{C}}$: 設計上の最低温度（180℃）における過剰反応度 [$\Delta\text{k/k}$]
- ρ_i : 調整棒 i の反応度価値 [$\Delta\text{k/k}$]
- F_i : 調整棒 i の挿入部分に対する反応度価値（相対値）
- ρ_T : 温度補正分の反応度 [$\Delta\text{k/k}$]

測定時における 1 次系冷却材温度は約 200℃であることから、温度補正を行う必要がある。この補正量 ρ_T ($\Delta\text{k/k}$) は、以下に示す評価式及び温度係数（設工認記載値²⁾）を用いて算出した。

$$\rho_T = D \times \ln \left(\frac{T_{\min} + 273}{T_{\text{in}} + 273} \right) + \sum_{j=1}^4 K_j \times (T_{\min} - T_{\text{in}})$$

- ρ_T : 温度補正分の反応度 [$\Delta\text{k/k}$]
- D : ドップラ係数 [$-5.1 \times 10^{-3} T \frac{dk}{dT}$]
- K_1 : 燃料温度係数 [$-0.32 \times 10^{-5} \Delta\text{k/k}/^{\circ}\text{C}$]
- K_2 : 構造材温度係数 [$+0.11 \times 10^{-5} \Delta\text{k/k}/^{\circ}\text{C}$]
- K_3 : 冷却材温度係数 [$+0.15 \times 10^{-5} \Delta\text{k/k}/^{\circ}\text{C}$]
- K_4 : 炉心支持板温度係数 [$-1.1 \times 10^{-5} \Delta\text{k/k}/^{\circ}\text{C}$]
- T_{\min} : 設計上の最低温度 [180℃]
- T_{in} : 原子炉容器出口ナトリウム温度の平均値 [℃]

3.1.3 反応度停止余裕測定検査

(1) 主炉停止系による停止余裕測定検査

主炉停止系については 3.1.1 で求めた制御棒価値に基づき、最大反応度効果を有する調整棒 1 本を除く他の調整棒 12 本の反応度抑制効果を評価した。

$$\text{反応度抑制効果} = \sum_{i=1}^{12} \rho_i \quad [\Delta k/k]$$

ρ_i : 最大反応度価値を有する調整棒を除く他の調整棒 i の反応度価値 $[\Delta k/k]$

また、上記の調整棒 12 本の反応度抑制効果から 3.1.2 で求めた過剰反応度を差し引き、主炉停止系の反応度停止余裕を評価した。

$$\text{停止余裕} = \sum_{i=1}^{12} \rho_i - \rho_{180^\circ\text{C}} \quad [\Delta k/k]$$

ρ_i : 最大反応度価値を有する調整棒を除く他の調整棒 i の反応度価値 $[\Delta k/k]$

$\rho_{180^\circ\text{C}}$: 設計上の最低温度 (180°C) における過剰反応度 $[\Delta k/k]$

(2) 後備炉停止系による停止余裕測定検査

後備炉停止系については 3.1.1 で求めた制御棒価値に基づき BCR 6 本の反応度抑制効果を評価した。

$$\text{反応度抑制効果} = \sum_{i=1}^6 \rho_i \quad [\Delta k/k]$$

ρ_i : 後備炉停止棒 i の反応度価値 $[\Delta k/k]$

後備炉停止系の停止余裕測定は、上記の反応度抑制効果から出力補償分の反応度を差し引き、後備炉停止系により炉心を臨界未満にできることを確認した。

$$\text{反応度停止余裕} = \sum_{i=1}^6 \rho_i - \rho_{\text{pow}} \quad [\Delta k/k]$$

ρ_{pow} : 定格出力時から設計上の最低温度 (180°C) までの出力補償分の反応度* $[\Delta k/k]$

* 出力補償分の反応度は原子炉設置変更許可申請書より 0.015 $\Delta k/k$ であるが、過剰反応度測定結果が 0.015 $\Delta k/k$ 未満のため、出力補償分の反応度は過剰反応度の測定結果とした。

後備炉停止系の停止余裕測定は、上記の方法に加えて以下に示す方法によっても確認した。過剰反応度が十分大きい場合は、後備炉停止系全数全引抜での臨界状態から BCR 6 本を全挿入とし、定格出力から設計上の最低温度 (180°C) までの出力補償分の反応度を調整棒の引抜きによって印加し、その状態で臨界未満にできることを確認するが、炉心確認試験では調整棒を全数全引抜としても、出力補償分の反応度に満たないため、調整棒を全数全引抜にすることに加えて測定時の温度 (約 200°C) から設計上の最低温度 (180°C) までの温度補正分の反応度を、後備炉停止棒の引抜きにより印加して、未臨界にできることを確認した。

(3) 主炉停止系の反応度添加率測定検査

主炉停止系の反応度添加率測定は、測定対象調整棒を測定位置から所定の量（倍増時間が 70 秒～200 秒になるような量）引き抜いた際の投入反応度をペリオド法にて測定し、その値を引抜き量で除して、既知の制御棒駆動速度を乗ずることで求めた。

$$\text{反応度添加率} = \frac{\Delta\rho}{\Delta L} \times S \times \frac{10}{60} [\Delta k/k/s]$$

$\Delta\rho$: 調整棒操作に伴う投入反応度値 [Δk/k]

ΔL : 調整棒操作量 [mm]

S : 調整棒駆動速度 [cm/min]

なお、測定位置とは、図 3.1.3-1 に示すように、所定の量引抜き中に最大微分反応度を有する点を通る位置である。

3.1.4 初回性能試験からの変更点

(1) 測定項目の変更点と変更理由

以下の測定項目については平成 6 年の初回性能試験の「制御棒値確認」で一定の成果が確認されているため、炉心確認試験では実施しなかった。

① 制御棒駆動機構熱収縮特性確認

制御棒全挿入状態で長時間保持した後、制御棒を引抜いて臨界とし、臨界計数率を保持するよう制御棒を調整し、その位置変化を測定した。その結果、全挿入状態から全引抜後の熱収縮量を評価すると約 2mm であり、総合機能確認試験における制御棒駆動機構の熱伸び量測定結果とほぼ一致することが確認された。

② 制御棒位置決め再現性確認

C1 引抜位置約 400mm において約 15mm の操作を行った場合の制御棒引抜位置は中央制御室の表示に対して±0.5mm の範囲で再現されていると推定された。

③ 高計数率領域でのペリオド法におけるドップラ効果の影響確認

ある計数率以上では有意なドップラ効果の影響が現れ、そのような計数率領域でのペリオド法での反応度測定は避けるべきであることが確認された。そのため炉心確認試験においてはドップラ効果の影響が有意となる上限計数率を確認し、それ以上の計数率領域での影響確認は行わない。また、投入反応度が小さいことに伴う測定時間増加によるドップラ効果及び冷却材温度フィードバックの影響も確認された。この知見を反映して、6¢～10¢を投入反応度とした。

④ 正のペリオド法における臨界補償用制御棒の相違による測定値への影響

臨界補償用の制御棒として、その他の調整棒全数を均等引抜位置とした場合と微調整棒 3 本のみを使用した場合を比較し、それぞれの測定結果にほとんど差が見られないことが確認された。

⑤ 制御棒干渉効果確認

解析結果が実測結果をよく再現し、解析により補正可能であることが確認された。

⑥ 連続ペリオド法による制御棒価値測定

正のペリオド法による測定結果より約 2% 過大評価されることが確認された。

⑦ ロッドドロップ法による負の反応度測定

初期未臨界度が既知の場合のロッドドロップ時の計数データを用いて、外挿法と逆動特性法を用いて反応度を求めた。外挿法は計数データのばらつきが大きい場合は適用が困難であるが、逆動特性法では実測反応度曲線から求めた反応度とほぼ一致することが確認された。

⑧ 中性子源増倍法による未臨界度測定

同手法は未臨界度を大幅に過小評価することが確認された。

⑨ 修正中性子源増倍法による未臨界度測定

未臨界度が $-1\% \Delta k/k$ 程度以下までは精度良く測定できることが確認された。

(2) 測定内容の変更点と変更理由

① 制御棒校正曲線の測定対象制御棒本数の変更

前回性能試験においては、C2～C3、C5～C9、F2～F3、B2～B3 及び B5～B6 の制御棒については単体価値のみを測定し制御棒校正曲線は測定しなかったが、今回の燃料交換後の炉心も含め、今後、燃焼が進み燃料交換を行っていくと対称位置にある制御棒であっても周囲の燃料組成が異なるため制御棒価値に若干差がでてくることが想定されるため、炉心確認試験においては全数の制御棒校正曲線を測定した。

② 制御棒校正曲線の測定範囲の変更

炉心確認試験においては、炉心の過剰反応度が C1～C4、FCR 及び BCR の各 1 本の制御棒価値より小さいために、測定対象制御棒が全挿入位置では未臨界となった。そのため、測定対象制御棒全ストロークのうち臨界達成可能な位置から全引抜位置までを測定範囲とし、測定範囲外については解析値に基づく制御棒校正曲線の補完を行った。

3.2 試験条件

「制御棒価値確認」測定時のプラント状態をまとめると以下のとおりである。

- ・ 原子炉 零出力臨界
- ・ 1 次主冷却系 温度 約 200℃ 流量 約 49%
- ・ 2 次主冷却系 温度 約 200℃ 流量 約 7% (ポニーモータ流量)
- ・ 補助冷却設備 運転状態
- ・ 水・蒸気系 停止状態

3.3 試験工程

「制御棒価値確認」に加え、使用前検査である「過剰反応度測定試験」及び「反応度停止余裕測定試験」の実績工程を図 3.3-1 に示す。

4. 試験結果

本章では、試験で得られた各種データをまとめるとともに、それらデータの測定誤差評価結果について述べる。

4.1 試験結果

4.1.1 制御棒価値測定のための設定条件確認

炉心確認試験炉心における初臨界時の制御棒位置は以下のとおりであった。逆増倍曲線を図 4.1.1-1 に示す。

| | |
|--------|--------------------|
| C1 | : 793 [mm] |
| C2～C10 | : 795 [mm] |
| F1～F3 | : 795 [mm] |
| B1～B6 | : 1101 [mm] (上限位置) |

臨界到達判断計数率及びドップラ効果の影響を無視できる計数率範囲の測定結果を図 4.1.1-2 に示す。図 4.1.1-2 より、所定の計数率で安定させた際に C1 制御棒位置が変化しない計数率の範囲を以下のように評価した。

| | |
|----------------------------|---------------------|
| 臨界到達判断計数率 | : 約 100 [cps] |
| 中性子源及びドップラ効果の影響を無視できる計数率範囲 | : 約 100～10000 [cps] |

ペリオド法における倍増時間の測定は、上記計数率範囲の約 100～10000 cps に対して余裕を考慮するとともに、倍増時間を見るペンレコーダのレンジが 1 桁ごとであることも考慮し、約 1000 cps から反応度を印加して、約 3000～8000 cps の範囲で倍増時間の測定を実施することとした。そして、3 名がそれぞれ以下の計数率で測定することとした。

(a) 3000 → 6000 [cps]、(b) 3500 → 7000 [cps]、(c) 4000 → 8000 [cps]

臨界到達判断計数率の確認の測定結果を基に逆増倍曲線を求め、ペリオド法測定の測定開始計数率 1000cps における未臨界度を求めると -0.0332ϵ 、置換法の安定計数率 5000cps における未臨界度を求めると -0.0066ϵ となることが判った。(詳細は表 4.1.1-1 を参照)

4.1.2 制御棒価値測定

(1) ペリオド法による制御棒価値測定

C1 以外の制御棒を全数全引抜位置とし、C1 が 406mm で臨界となった。このため、C1 の測定範囲を 406mm から C1 全引抜となるまでとした。また、測定範囲外 (0～406mm) においては許認可コードによる解析値にて補完し、測定結果と合わせて全ストローク (0～1000mm) に

対する制御棒価値、制御棒校正曲線（フィッティング係数）を求めた。（解析値による補完とフィッティング係数の求め方は添付資料 2 を参照。）以下に解析値による補完も含めた全ストロークの制御棒価値と測定範囲を示す。

C1 : 0.01030 [$\Delta k/k$] （測定範囲 406～1000 mm）

得られた倍増時間からペリオド、反応度、積算反応度を算出した測定結果を添付資料 1 に、制御棒校正曲線を図 4.1.2-1 に示す。

なお、後述（5.1.2）のとおり、初回性能試験では、臨界点のバンク制御棒位置が 543mm であったため、当該位置を補正基準位置として、その上部の制御棒価値測定値に補正係数を乗じて干渉効果補正を行った。しかし、今回の測定体系では、臨界点のバンク制御棒位置が 793mm であり、測定中もほとんどの制御棒がほぼ引き抜かれていることから、干渉効果がほとんどないものとして補正を行っていない。初回性能試験では、C1 とその他の調整棒との干渉効果により、C1 の制御棒価値は 2%程度⁸⁾ の過小評価であり、他の制御棒も、C1 を基準制御棒とした置換法による制御棒価値測定を行っているため過小評価であった。よって、挿入制御棒の反応度から求める過剰反応度、反応度停止余裕及び反応度抑制効果についても過小評価となっていた。今回の炉心では、上述のとおり、制御棒の干渉効果はほとんどないものと考えられるが、仮に初回性能試験と同程度の C1 の干渉効果を考慮したとしても、過剰反応度については、本炉心は過剰反応度がきわめて小さいため制限値を超えることはなく、また、反応度停止余裕や反応度抑制効果においては制御棒価値が過小評価の方が保守的（過小評価でも制限値を下回らない）であることから、安全上の問題はない。

(2) 置換法による制御棒価値測定（C1 以外）

C2～C4、F1～F3、B1～B6 については、C1 と同様に制御棒価値よりも過剰反応度が小さかったため、全ストロークにわたる測定ができなかった。測定範囲外については C1 の制御棒価値及び制御棒校正曲線の算出時と同様に許認可コードによる解析値で補完した。

C5～C10 については、全ストロークにわたり測定値が得られているため解析値による補完は行っていない。以下に解析値による補完も含めた全ストロークの制御棒価値と測定範囲を示す。

| | | |
|-----|----------------------------|--------------------|
| C2 | : 0.00863 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 338～1000 mm） |
| C3 | : 0.00859 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 335～1000 mm） |
| C4 | : 0.00860 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 335～1000 mm） |
| C5 | : 0.00504 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |
| C6 | : 0.00506 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |
| C7 | : 0.00502 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |
| C8 | : 0.00506 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |
| C9 | : 0.00500 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |
| C10 | : 0.00507 [$\Delta k/k$] | （測定範囲 0～1000 mm） |

| | | |
|----|----------------------------|--------------------|
| F1 | : 0.00600 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 100～1000 mm) |
| F2 | : 0.00597 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 89～1000 mm) |
| F3 | : 0.00593 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 78～1000 mm) |
| B1 | : 0.0135 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 551～1000 mm) |
| B2 | : 0.0135 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 550～1000 mm) |
| B3 | : 0.0135 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 550～1000 mm) |
| B4 | : 0.0094 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 432～1000 mm) |
| B5 | : 0.0094 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 429～1000 mm) |
| B6 | : 0.0093 [$\Delta k/k$] | (測定範囲 427～1000 mm) |

各制御棒に対して得られた倍増時間からペリオド、反応度、積算反応度を算出した測定結果を添付資料 1 に、制御棒校正曲線を図 4.1.2-2～図 4.1.2-19 に示す。

4.1.3 過剰反応度（社内検査）

制御棒位置は C1 が 406mm、他制御棒が全引抜であることから、C1 の 406～1000mm までの引抜反応度を算出し、これに温度補正を行い、過剰反応度を求めた。測定結果を以下に示す。また、その詳細を添付資料 1 に示す。

| | 測定値 | 制限値 |
|--------------|---------------------------|--------------------------|
| ・過剰反応度（180℃） | : 0.0064 [$\Delta k/k$] | 0.057 [$\Delta k/k$]以下 |

4.1.4 反応度停止余裕（社内検査）

(1) 主炉停止系の反応度停止余裕

主炉停止系のうち、最大価値を持つ C1 を除く 12 本の制御棒価値を合計することで反応度抑制効果を算出した。求められた反応度抑制効果から、過剰反応度を差し引くことにより反応度停止余裕を求めた。測定結果を以下に示す。また、その詳細を添付資料 1 に示す。

| | 測定値 | 制限値 |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| ・主炉停止系の反応度抑制効果 | : 0.0739 [$\Delta k/k$] | 0.067 [$\Delta k/k$]以上 |
| ・主炉停止系の反応度停止余裕 | : 0.067 [$\Delta k/k$] | 0.01 [$\Delta k/k$]以上 |

(2) 後備炉停止系の反応度停止余裕

後備炉停止系の反応度停止余裕については、既に求まっている制御棒価値から算出する方法と、実際の制御棒操作により臨界未満にできることを確認するという 2 通りの方法で行った。

① 制御棒価値からの算出

後備炉停止系 6 本の制御棒価値を合計することで反応度抑制効果を算出した。

求められた反応度抑制効果から、出力補償分の反応度を差し引くことにより反応度停止余裕を算出するが、今回は出力補償分の反応度より過剰反応度が小さいため、過剰反応度を差し引くことにより反応度停止余裕を求めた。測定結果を以下に示す。また、その詳細を添付資料 1 に示す。

| | 測定値 | 制限値 |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| ・後備炉停止系の反応度抑制効果 | : 0.0687 [$\Delta k/k$] | 0.029 [$\Delta k/k$] 以上 |
| ・後備炉停止系の反応度停止余裕 | : 0.0623 [$\Delta k/k$] | 臨界未満にできること |

② 制御棒操作により臨界未満にできることの確認

実際の制御棒操作により臨界未満（臨界判断計数率である 100cps 未満）となることを確認した。詳細を添付資料 1 に示す。

なお、測定時の温度（200℃）から設計上の最低温度（180℃）までの温度補正分の反応度（0.00045 $\Delta k/k$ ）は、B1 を 0mm から 108mm まで引抜くことで印加した。

(3) 主炉停止系の最大反応度添加率

算出された反応度添加率測定位置及び引抜量に基づき、主炉停止系の各調整棒に対して反応度添加率測定を行った。印加される反応度をペリオド法にて測定し、既知である制御棒駆動速度を乗じて反応度添加率を算出した。最大反応度添加率の結果を以下に示す。各調整棒の結果を添付資料 1 に示す。

| | 測定値 | 制限値 |
|-----------------|---|---|
| ・主炉停止系の最大反応度添加率 | : 5.2×10^{-5} [$\Delta k/k/s$]以下 | 8×10^{-5} [$\Delta k/k/s$]以下 |

4.2 誤差評価

今回測定した正のペリオド法の誤差、置換法に基づく制御棒価値測定の流れと測定誤差要因図を図 4.2-1～4.2-3、測定誤差要因表を表 4.2-1～4.2-4、誤差評価結果を表 4.2-5～4.2-13 に示す。

4.2.1 制御棒価値測定

代表制御棒の測定値と測定誤差（統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む）は以下のとおり。

| | 測定値 | 絶対誤差 | 相対誤差 |
|-----|--------------------------|------------------------------------|---------------|
| C1 | 0.01030 [$\Delta k/k$] | -0.00031～+0.00078 [$\Delta k/k$] | -3.0～+7.5 [%] |
| C4 | 0.00860 [$\Delta k/k$] | -0.00028～+0.00059 [$\Delta k/k$] | -3.3～+6.9 [%] |
| C10 | 0.00507 [$\Delta k/k$] | -0.00020～+0.00031 [$\Delta k/k$] | -4.0～+6.2 [%] |
| F1 | 0.00600 [$\Delta k/k$] | -0.00023～+0.00034 [$\Delta k/k$] | -3.8～+5.7 [%] |
| B1 | 0.0135 [$\Delta k/k$] | -0.00038～+0.00099 [$\Delta k/k$] | -2.8～+7.3 [%] |
| B4 | 0.0094 [$\Delta k/k$] | -0.00030～+0.00069 [$\Delta k/k$] | -3.1～+7.3 [%] |

C1, C4, B1, B4 は正側の誤差が大きく、誤差評価結果から解析補完による誤差の寄与が大きいことがわかる。解析補完による誤差は、核設計手法に基づく解析値にて補完を行った測定範囲外の補完値に対する誤差(誤差の評価方法は表 4.2-1 及び 4.2-2 参照)である。核設計手法は保守的に制御棒価値を低く評価する傾向があるため正の方向に誤差として見込んでいる。特に補完量が多い C1～C4 及び BCR の正の誤差が大きく β_{eff} の不確かさを除いた誤差でも約 3～6%となった。ただし、次回以降は炉心の反応度が大きくなり、全ストローク測定が可能となるため、

本誤差はなくなる。

C10, F1 は負側の誤差が大きく、誤差評価結果から反応度基準制御棒価値の誤差（系統）の寄与が大きいことがわかる。C10, F1 は解析値補完を行っていないため、補完値に対する誤差がないことから、相対的に反応度基準制御棒価値の誤差（系統）の寄与が大きくなり、負側の誤差が大きくなった。

4.2.2 過剰反応度測定

過剰反応度の測定値と測定誤差（統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む）は以下のとおり。

| | 測定値 | 絶対誤差 | 相対誤差 |
|---------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 過剰反応度測定 | 0.0064 [$\Delta k/k$] | -0.0005 ~ +0.0006 [$\Delta k/k$] | -7.8 ~ +9.8 [%] |

誤差評価表から温度外挿誤差が大きいことがわかる。これは、過剰反応度測定時のナトリウム温度 200℃から制限値の 180℃へ許認可コードの解析値を用いて外挿していることから、保守的に解析値誤差 30%として見込んでいるため、大きくなった。今後は実測値を用いる等、低減を図る。

4.2.3 反応度抑制効果

反応度抑制効果の測定値と測定誤差（統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む）は以下のとおり。

| | 測定値 | 絶対誤差 | 相対誤差 |
|--------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 主炉停止系 | 0.0739 [$\Delta k/k$] | -0.0020 ~ +0.0040 [$\Delta k/k$] | -2.8 ~ +5.4 [%] |
| 後備炉停止系 | 0.0687 [$\Delta k/k$] | -0.0017 ~ +0.0047 [$\Delta k/k$] | -2.5 ~ +6.9 [%] |

解析補完による誤差の影響により正側の誤差が大きく、特に補完量が多い BCR の正の誤差が大きくなった。

4.3 試験結果のまとめ

4.3.1 制御棒価値確認

(1) 制御棒価値測定のための設定条件確認

① 炉心確認試験における初臨界制御棒位置

臨界制御棒位置 (C1) : 793 [mm]

(他調整棒 : 795 [mm]、後備炉停止棒 : 1101 [mm] (全引抜))

② ペリオド法における倍増時間の測定計数率範囲

臨界到達判断計数率 : 約 100 [cps]

中性子源及びドップラ効果の影響を無視できる計数率範囲 : 約 100 ~ 10000 [cps]

ペリオド法における倍増時間の測定は、約 3000 ~ 8000cps の範囲で実施することとし、

3名がそれぞれ以下の計数率で測定することとした。

(a) 3000 → 6000 [cps]、(b) 3500 → 7000 [cps]、(c) 4000 → 8000 [cps]

(2) 制御棒価値測定

| | <u>測定値</u> | <u>絶対誤差*</u> | <u>相対誤差</u> |
|-----|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| C1 | 0.01030 [$\Delta k/k$] | -0.00031 ~ +0.00078 [$\Delta k/k$] | -3.0 ~ +7.5 [%] |
| C4 | 0.00860 [$\Delta k/k$] | -0.00028 ~ +0.00059 [$\Delta k/k$] | -3.3 ~ +6.9 [%] |
| C10 | 0.00507 [$\Delta k/k$] | -0.00020 ~ +0.00031 [$\Delta k/k$] | -4.0 ~ +6.2 [%] |
| F1 | 0.00600 [$\Delta k/k$] | -0.00023 ~ +0.00034 [$\Delta k/k$] | -3.8 ~ +5.7 [%] |
| B1 | 0.0135 [$\Delta k/k$] | -0.00038 ~ +0.00099 [$\Delta k/k$] | -2.8 ~ +7.3 [%] |
| B4 | 0.0094 [$\Delta k/k$] | -0.00030 ~ +0.00069 [$\Delta k/k$] | -3.1 ~ +7.3 [%] |

*統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む

(3) 過剰反応度

誤差を考慮しても核的制限値を満足することが確認できた。

| | <u>測定値</u> | <u>絶対誤差*</u> | <u>制限値</u> |
|-----------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| ・過剰反応度(180°C) : | 0.0064 [$\Delta k/k$] | -0.0005 ~ +0.0006 [$\Delta k/k$] | 0.057 [$\Delta k/k$]以下 |

*統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む

(4) 反応度停止余裕

誤差を考慮しても核的制限値を満足することが確認できた。

① 主炉停止系による反応度停止余裕

| | <u>測定値</u> | <u>絶対誤差*</u> | <u>制限値</u> |
|------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| ・反応度抑制効果 : | 0.0739 [$\Delta k/k$] | -0.0020 ~ +0.0040 [$\Delta k/k$] | 0.067 [$\Delta k/k$]以上 |
| ・反応度停止余裕 : | 0.067 [$\Delta k/k$] | ——— | 0.01 [$\Delta k/k$]以上 |

*統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む

② 後備炉停止系による反応度停止余裕

| | <u>測定値</u> | <u>絶対誤差*</u> | <u>制限値</u> |
|------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| ・反応度抑制効果 : | 0.0687 [$\Delta k/k$] | -0.0017 ~ +0.0047 [$\Delta k/k$] | 0.029 [$\Delta k/k$] 以上 |
| ・反応度停止余裕 : | 0.0623 [$\Delta k/k$] | ——— | 未臨界にできること |

*統計誤差 3σ 、 β_{eff} の誤差を含む

③ 主炉停止系の最大反応度添加率

| | <u>測定値</u> | <u>制限値</u> |
|-------------------|---|---|
| ・主炉停止系の最大反応度添加率 : | 5.2×10^{-5} [$\Delta k/k/s$]以下 | 8×10^{-5} [$\Delta k/k/s$]以下 |

5. 検討及び評価

本章では、制御棒価値の事前解析及び測定手法の評価結果について述べる。

5.1 事前解析

炉心確認試験炉心について、以下の項目の解析を行った。

- (a) 過剰反応度
- (b) 臨界制御棒位置
- (c) 反応度抑制効果
- (d) 制御棒価値
- (e) 制御棒校正曲線
- (f) 最大反応度添加率
- (g) 動特性パラメータ

また、(a)～(e)の項目については、初回性能試験（平成6年9月20日）の測定値を用いて求めた過剰反応度の E-C 値、制御棒価値及び反応度抑制効果の E/C 値で補正を行うものとした。

5.1.1 解析手法

- (1) 初回性能試験測定値を用いたバイアス補正值の算出

炉心確認試験の予測値を補正するために、初回性能試験の測定値を用いて、過剰反応度の E-C 値、制御棒価値と反応度抑制効果の E/C 値を求めた。

このとき、燃料組成は燃料製造データから燃料1体ごとの原子数密度を作成し、分析日から初回性能試験の過剰反応度測定日（平成6年9月20日）まで ^{241}Pu を崩壊させた組成を用いて、初期炉心構成の燃料配置とした。また、熱出力は 0%、温度は 200°C とした。

① 過剰反応度の E-C 値

図 5.1.1-1 に記載した炉心管理コードによる計算手法を用いて実効増倍率 k_{eff} を求めて、 $(k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$ により過剰反応度を求めた。この値と測定値の差をとることで E-C 値とした。主な計算条件は以下のとおり。

- 組成 : 初回性能試験（平成6年9月20日）時点の組成
- 温度条件 : 200°C
- 制御棒引抜量 : 全制御棒を全引抜 (CCR、FCR 引抜量 1000mm、BCR 引抜量 1100mm)
- 計算体系 : 3次元 Tri-Z
- エネルギー群 : 6群
- 炉定数セット : JFS-3-J3.3 (JENDL-3.3⁴⁾ベース)

② 制御棒価値の E/C 値

①の過剰反応度計算と同じ計算方法で、解析対象の制御棒1体を全挿入（引抜量 0mm）及び全引抜（CCR、FCR の場合の引抜量 1000mm、BCR の場合の引抜量 1100mm）として実効増倍率を求め、全挿入時の実効増倍率を k_{eff} 、全引抜時の実効増倍率を k_{eff}' として、

$(k_{\text{eff}}' - k_{\text{eff}}) / (k_{\text{eff}}' \cdot k_{\text{eff}})$ により制御棒価値を求めた。この際、解析対象以外の制御棒については初回性能試験の臨界制御棒位置とした。

この計算値と測定値の比をとることで E/C 値とした。

③ 反応度抑制効果の E/C 値

(i) 主炉停止系

①の過剰反応度計算と同じ計算方法で、最も制御棒価値の大きい C1 を除く CCR と FCR を全挿入（引抜量 0mm）、C1 と BCR を全引抜（C1 は 1000mm、BCR は 1100mm）として実効増倍率 k_{eff} を求め、過剰反応度計算の実効増倍率 k_{eff}' として、 $(k_{\text{eff}}' - k_{\text{eff}}) / (k_{\text{eff}}' \cdot k_{\text{eff}})$ により主炉停止系の反応度抑制効果を求めた。

主炉停止系の反応度抑制効果の E/C 値は、この計算値と測定値の比をとることで求めた。

(ii) 後備炉停止系

①の過剰反応度計算と同じ計算方法で、CCR と FCR を全引抜（CCR、FCR 引抜量 1000mm）、BCR を全挿入（BCR 引抜量 0mm）として実効増倍率 k_{eff}' を求め、全制御棒全引抜時（過剰反応度計算と同じ）の実効増倍率 k_{eff}'' として、 $(k_{\text{eff}}'' - k_{\text{eff}}') / (k_{\text{eff}}'' \cdot k_{\text{eff}}')$ により後備炉停止系の反応度抑制効果を求めた。

後備炉停止系の反応度抑制効果の E/C 値は、この計算値と測定値の比をとることで求めた。

(2) 炉心確認試験炉心の予測解析

燃料組成は燃料製造データから燃料 1 体ごとの原子数密度を作成し、分析日から起動を想定していた平成 22 年 4 月 30 日まで ^{241}Pu を崩壊させた組成を用いて、炉心確認試験炉心の燃料配置により予測値を求めた。

ここで、初装荷燃料 I 型及び初装荷ブランケット燃料集合体の燃料組成は、炉心管理コードで初回性能試験（40EFPD）の燃焼と起動想定日までの崩壊及び生成を計算した結果を使用し、燃料交換により炉心に装荷する初装荷燃料 II 型、III 型及びブランケット燃料集合体は起動想定日時点の組成とした。

また、熱出力は 0%、温度は 200°C とした。

① 過剰反応度

平成 22 年 4 月 30 日時点の組成、温度 200°C、全ての制御棒を全引抜（CCR、FCR 引抜量 1000mm、BCR 引抜量 1100mm）として実効増倍率 k_{eff} を求め、 $(k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$ により過剰反応度を求めた。

この値に初回性能試験の過剰反応度の E-C 値と ^{241}Pu 崩壊効果の解析精度補正（+0.0007Δk/k）、α線の自己照射による燃料膨張効果の補正（-0.0004Δk/k）及び 200°C から 180°C への温度補正（-0.0004Δk/k）を加え、過剰反応度（補正込み）を求めた。

(i) ^{241}Pu 崩壊効果の解析精度補正

炉心確認試験炉心は、Na 漏えい事故で長期間保管していた燃料を使用しているため、 ^{241}Pu の崩壊により ^{241}Am が蓄積している。 ^{241}Am は、 ^{235}U や ^{239}Pu のようなメジャー核種と比較して、断面積精度が悪いため誤差が大きく、また、炉心確認試験炉心の過剰反応度は非常に小さいことが予測されたため、断面積誤差を考慮した場合、予測される過剰反応度が負の値となった。そこで、解析に用いた核データ (JEDNL-3.3) よりも最新核データの方が、精度が良く信頼できるとして、予測解析を行った当時にリリースされていた最新核データを用いた場合との差を補正することで、解析精度の向上を図った。

補正值は ^{241}Pu 崩壊効果への寄与が支配的な ^{241}Pu と ^{241}Am の 2 核種について、核データを JENDL-3.3 (基準)⁴⁾ から JENDL/AC-2008⁵⁾、ENDF/B-VII⁶⁾ に変更して評価した。具体的には、核データ変更による断面積の変化に初回性能試験炉心、炉心確認試験炉心の感度係数 (断面積の単位変化に対する実効増倍率の変化) を乗じて評価した。2 種類の核データで補正值はほぼ等しく、大きい側の $0.0007\Delta k/k$ を補正值に採用した。加えて補正值の誤差として JENDL-3.3 の核データ誤差から算出した $\pm 0.0010\Delta k/k$ を適用した。

(ii) 過剰反応度予測における α 線の自己照射による燃料膨張の補正

α 線の自己照射により燃料ペレットに微小な寸法変化が生じると考えられ、その寄与を補正した。 α 線自己照射による格子定数の変化率は、保管期間に応じて増加し、約 2 年で飽和することが報告されている⁷⁾。格子定数の変化率はプルトニウム燃料技術開発センター燃料技術部設計解析課からの情報に基づき以下の設定とした。

- ・初回性能試験炉心:平成 6 年 9 月時点での格子定数の変化率推定値 $0.05\sim 0.2\%$ より $0.13\pm 0.07\%$ 。誤差は燃料棒の多くが同時期に製造されているため、系統誤差として扱う。
- ・炉心確認試験炉心: α 線の自己照射による膨張率の飽和値 0.3%

格子定数の変化率に応じて燃料ペレットの寸法変化 (膨張) が生じるとみなし、炉心高さの変化を、反応度変化に換算した (径方向のペレット寸法変化は炉心の有効直径には影響しない)。

なお、炉心高さの変化による反応度変化の計算時にはスタック重量を保存した。

② 予測臨界制御棒位置

BCR を全引抜 (引抜量 1100mm) として、全ての CCR 及び FCR を全挿入から全引抜まで引抜量 (表 5.1.1-1 に示す) を変化させて反応度を求め、初回性能試験の過剰反応度の E-C 値と ^{241}Pu 崩壊効果及び α 線の自己照射効果を加えて補正を行い、6 次フィッティング曲線を求めて反応度が 0.0 となる引抜量を予測臨界制御棒位置とした。

臨界となる制御棒位置は 830mm となった。

なお、以下のバンク臨界位置を用いる計算では、評価途中で得られた暫定値 830mm 引抜位置を使用した。

③ 反応度抑制効果

反応度抑制効果は、温度条件を 200°Cとして評価した。

(i) 主炉停止系

C1を除く粗調整棒と微調整棒を全挿入（CCR、FCR 引抜量 0mm）、後備炉停止棒を全引抜（BCR 引抜量 1100mm）として実効増倍率 k_{eff} を求め、過剰反応度計算の実効増倍率 k_{eff}' として、 $(k_{\text{eff}}' - k_{\text{eff}}) / (k_{\text{eff}}' \cdot k_{\text{eff}})$ により主炉停止系の反応度抑制効果を求めた。

この値に初回性能試験の反応度抑制効果の E/C 補正値を乗じることで、炉心確認試験炉心の反応度抑制効果（補正込み）を求めた。

(ii) 後備炉停止系

粗調整棒と微調整棒を全引抜（CCR、FCR 引抜量 1000mm）、後備炉停止棒を全挿入（BCR 引抜量 0mm）として実効増倍率 k_{eff} を求め、過剰反応度計算の実効増倍率 k_{eff}' として、 $(k_{\text{eff}}' - k_{\text{eff}}) / (k_{\text{eff}}' \cdot k_{\text{eff}})$ により後備炉停止系の反応度抑制効果を求めた。

この値に初回性能試験の反応度抑制効果の E/C 補正値を乗じることで、炉心確認試験炉心の反応度抑制効果（補正込み）を求めた。

④ 制御棒価値、制御棒校正曲線、最大反応度添加率

制御棒 1 体の引抜量を全挿入から全引抜まで変化させて実効増倍率から反応度を算出し、制御棒価値、制御棒校正曲線を求めた。

次に、制御棒校正曲線を微分したものに、制御棒駆動速度を乗じることで反応度添加率を求め、その最大となる反応度添加率を求めた。

この際、解析対象以外の制御棒引抜量は炉心確認試験の予測臨界制御棒位置（CCR、FCR 引抜量 830mm、BCR 引抜量 1100mm）とした。

また、初回性能試験の制御棒価値の E/C 値を乗じて補正込みの制御棒価値、制御棒校正曲線、最大反応度添加率を求めた。

⑤ 動特性パラメータ

ペリオド法の測定で用いるための動特性パラメータ（実効遅発中性子割合、先行核崩壊定数、即発中性子寿命）を摂動計算（計算の流れを図 5.1.1-2 に示す）により求めた。

この際、JENDL-3.3 ベースの遅発中性子のファミリーごとのスペクトル、収率、崩壊定数を用い、制御棒位置は②で求めた炉心確認試験の予測臨界制御棒位置（CCR、FCR 引抜量 830mm、BCR 引抜量 1100mm）とした。計算結果を表 5.1.1-2 に示す。

5.1.2 予測解析結果及び測定値との比較

過剰反応度、反応度抑制効果、制御棒単体価値及び最大反応度添加率の解析結果並びに測定値との比較を表 5.1.2-1～3 及び図 5.1.2-1～6 に示す。

制御棒単体価値については、E/C が 0.94～0.98 と予測解析結果は測定結果を良く再現している。特に、初回性能試験における後備炉停止棒の制御棒単体価値及び制御能力の E/C は 0.85 程度であったが、炉心確認試験では 0.95 程度となり E/C が向上した。

初回性能試験では、主炉停止系は過剰反応度や反応度停止余裕等、制御棒価値として制御棒がバンク状態で移動した場合の価値が必要であったため、臨界点のバンク制御棒位置 (543mm) を補正基準位置として、その上部の制御棒価値測定値に補正係数を乗じて干渉効果補正を行っている。後備炉停止系については通常全引抜であることから干渉効果補正を考慮していない。

後備炉停止系の初回性能試験の測定結果に基準制御棒位置を全挿入とした補正係数を乗じて干渉効果補正を行った測定結果と計算値を比較すると、以下のように計算精度は向上することがわかった。

| | 初回性能試験 | | |
|----|--------------------------------|------------------|-------|
| | 測定結果 C (干渉補正有) [% Δ k/k] | 計算値 E [%Δk/k] | E/C |
| B1 | 1.327 | 1.354 | 0.980 |
| B2 | 1.312 | 1.355 | 0.968 |
| B3 | 1.312 | 1.352 | 0.970 |
| B4 | 0.991 | 0.985 | 1.007 |
| B5 | 0.976 | 0.984 | 0.992 |
| B6 | 0.984 | 0.982 | 1.002 |

今回の測定体系では、臨界点のバンク制御棒位置が 793mm であり、測定中もほとんどの制御棒がほぼ引き抜かれていることから、干渉効果はほとんどないものとして補正を行っていない。

次回以降の炉心では過剰反応度が大きくなり、臨界点のバンク制御棒位置がより深く挿入された位置になることから、干渉効果を考慮する必要がある。

5.2 測定手法の評価

5.2.1 制御棒価値の炉心確認試験と初回性能試験との比較

制御棒価値の炉心確認試験と初回性能試験との比較を図 5.2.1-1 に示す。

主炉停止系について、C1 は初回性能試験と比べて炉心確認試験の制御棒価値の方が高いが、外側に装荷された制御棒ほど初回性能試験の制御棒価値が高くなる傾向となっている。また、BCR について、初回性能試験が干渉効果の影響によりどの制御棒も炉心確認試験の制御棒価値の方が高いが、外側に装荷された制御棒の方がその差が小さくなっている。

炉心確認試験の炉心ではプルトニウム富化度の高い燃料を炉中心に近い場所 (図 2.1.1-1) に装荷したために、相対的に炉中心側の中性子束分布が高くなり、周辺部では低くなる。このために、炉中心側の制御棒の価値が高くなり、周辺部では制御棒の価値が低くなる傾向がみられた。

BCR の今回測定値は、初回性能試験に比べて、10%前後の増加が見られる。また、炉中心側

(B1～B3) は、周辺部 (B4～B6) よりも増加率が大きい。

これは、以下のように考えられる。初回性能試験の炉心では、過剰反応度が $0.03\Delta k/k$ 程度であって、調整棒全体が中途挿入の状態にあったのに対して、炉心確認試験炉心は過剰反応度が $0.006\Delta k/k$ 程度のため、ほとんどの調整棒は引抜かれた状態にあった。初回性能試験の測定では、中途挿入された調整棒の中に後備炉停止棒を挿入するため、相対的に調整棒位置の中性子束が増加し、調整棒の価値がその測定時より増加傾向となり、結果的に、後備炉停止棒の価値を過小評価したと考えられる。

それに対して、今回測定では、調整棒の価値を測定したときも、後備炉停止棒の価値を測定したときも、大部分の制御棒は全引抜位置の同条件であるため、初回のような過小評価は生じにくいと考えられる。

5.2.2 制御棒校正曲線についての比較

炉心確認試験炉心における主炉停止系の制御棒校正曲線 (相対値) の比較を図 5.2.2-1 に、後備炉停止系の制御棒校正曲線 (相対値) の比較を図 5.2.2-2 に示す。これから、C2～C4、C5～C10、F1～F3、B1～B3、B4～B6 と幾何学的対称位置に装荷された制御棒校正曲線 (相対値) は、ほぼ重なっていることが判る。幾何学的対称位置ごとの制御棒校正曲線 (相対値) について相対差をとると最大でも 0.4%程度でありほとんど差がないことがわかった。

| | | | | | | |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 対称制御棒 | C2,3,4 | C5,7,9 | C6,8,10 | F1,2,3 | B1,2,3 | B4,5,6 |
| 最大相対差 | 0.15% | 0.40% | 0.35% | 0.24% | 0.17% | 0.19% |

以上のことから、以下の方法で「制御棒価値確認」の測定時間を短縮することが可能であるといえる。

主炉停止系については、正のペリオド法で C1 の制御棒価値を測定し、置換法で C2～C4、C5～C10、F1～F3 のうち代表 1 本ずつ計 3 本の制御棒校正曲線を測定し、その他 10 本の制御棒については、置換法により単体価値を測定する。後備炉停止系については、通常運転期間中は全引抜であり、中途挿入されることがないため、制御棒校正曲線は不要である。よって、B1～B6 は置換法で単体価値を測定する。

上記手法であれば「制御棒価値確認」の試験期間は 7 日 (条件確認 1 日、C1 ペリオド法 2 日、主炉停止系置換法 2 日、後備炉停止系 1 日、過剰反応度 + 反応度添加率測定 (社内) 1 日) となり、大幅に試験期間を短縮することが可能となる。

炉心確認試験では、3.1.4(2)④で述べたとおり、周囲の燃料組成が異なる影響を確認するため、全数の制御棒校正曲線を測定したが、上述の通り、幾何学的対象位置に装荷された制御棒校正曲線 (相対値) に差がないことがわかった。

今後、測定実績を蓄積し、上述の検討の妥当性を確認することで、測定対象本数の削減を図って測定期間の短縮化及び制御棒校正作業の合理化を目指す。

6. 結言

炉心確認試験のうち、「制御棒価値確認」では、制御棒価値測定のための基礎データを取得するとともに、各制御棒の反応度価値を測定した。「制御棒価値確認」で実施した成果を以下にまとめる。

(1) 制御棒価値測定のための基礎データ

ペリオド法の測定に適する計数率範囲を確認した結果、中性子源及びドップラ効果の影響を無視できる範囲は広域系中性子計装（WRM）で約 100～10000 cps であった。

(2) 制御棒価値測定

- 1) C1 については、ペリオド法で制御棒価値を測定した。C1 以外の制御棒については、ペリオド法で測定した C1 の制御棒価値を基準とした置換法により制御棒価値を全数測定した。
- 2) 測定した制御棒価値に基づき、炉心確認試験炉心の過剰反応度及び反応度停止余裕が原子炉設置変更許可申請書の核的制限値を満足することを確認した。
- 3) 対称位置にある制御棒の校正曲線について相対値をとると、最大でも 0.4%程度であり、ほとんど差がないことがわかった。今後、測定実績を蓄積し、測定対象本数の削減を図って測定期間の短縮を目指す。

(3) 予測解析

炉心管理コードを用いた予測解析結果は、調整棒及び後備炉停止棒の単体価値の、測定結果と比較的良好一致（E/C 値：0.96 前後）を示した。

謝辞

本試験の実施にあたりご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

特に、試験班として参画いただいた原子力基礎工学研究部門 核工学・炉工学ユニット 福島昌宏氏、解析班として参画いただいた大洗研究開発センター 高速実験炉部技術課 前田 茂貴氏には、試験のあり方、データ解析手法や考察の方法など細部にわたるご指導を頂きました。解析作業等に㈱NESI 引地 拓夫氏及び加藤 光顕氏にご協力いただきました。

また、本試験遂行にあたり昼夜を問わず測定のための運転操作を実施いただいた、プラント管理部発電課の諸氏に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ”高速増殖炉核設計計算コードの概要” MAPI-F0001, 三菱重工業, 昭和 56 年 10 月
- 2) ”高速増殖原型炉もんじゅ設計及び工事の方法の変更に係る許可申請書 第 5 回申請分”, JAEA, 平成 22 年 1 月
- 3) 石川 眞 他, 「核設計基本データベースの整備(IV) -核特性解析コードシステムの整備-」, PNC TN9440 94-004 (1994 年 3 月)
- 4) K. Shibata et al., ” Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 39, No. 11 pp.1125-1136 (2002)
- 5) O. Iwamoto et al., ” JENDL Actinoid File 2008”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 46, No. 11 pp.510-528(2009)
- 6) M.B.Chadwick et al., ” ENDF/B-VII.0:Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology”, Nuclear Data Sheets, 107[12], pp.2931-3060 (2006)
- 7) 米野 他, 「長期保管 MOX ペレットの熱処理による密度と組織の変化 ; 燃料における密度の温度依存性」 2008 年春の原子力学会 p.58
- 8) K. Takano et al. “Control Rod Worth Evaluation for the Monju Restart Core“Nuclear Technology Vol.179 Number2 pp.266-285(2012)

表 2.1.1-1 炉心の主要目

| 主 要 目 | | 単 位 | 仕 様 |
|----------------|-------------|-----|--------------------|
| 原子炉熱出力 | | MWt | 714 |
| 炉心燃料領域形状*1 | 領域数 | - | 2 |
| | 有効高さ | mm | 930 |
| | 等価直径 | mm | 約 1800 |
| 軸方向ブランケット厚さ | 上部 | mm | 300 |
| | 下部 | mm | 350 |
| 径方向ブランケット厚さ | | mm | 約 300 |
| 燃料材料 | 炉心 | - | Pu・U 混合酸化物 |
| | 軸方向ブランケット | - | 二酸化ウラン |
| | 径方向ブランケット | - | 二酸化ウラン |
| 炉心部核分裂性 Pu 富化度 | 初装荷燃料Ⅰ型内側炉心 | wt% | 約 15 |
| | 〃 外側炉心 | wt% | 約 20 |
| | 初装荷燃料Ⅱ型内側炉心 | wt% | 約 16 |
| | 〃 外側炉心 | wt% | 約 21 |
| | 初装荷燃料Ⅲ型内側炉心 | wt% | 約 16 |
| | 〃 外側炉心 | wt% | 約 21 |
| 炉心構成要素数 | 内側炉心燃料集合体 | 体 | 108 |
| | 外側炉心燃料集合体 | 体 | 90 |
| | 制御棒 | 体 | 19 |
| | ブランケット燃料集合体 | 体 | 172 |
| | 中性子源集合体 | 体 | 2 |
| | 中性子しゃへい体 | 体 | 316 |
| | サーベイランス集合体 | 体 | 8 (中性子しゃへい体領域用) |

*1 図 2.1.1-1 参照。

表 2.1.1-2 炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体の主要目

| 主要目 | | 単位 | 炉心燃料集合体 | ブランケット燃料集合体 | |
|-----------|---------------|----------------------|---------|-----------------|-----------------------|
| 燃料要素 | 燃料ペレット | 材料 | — | Pu・U 混合酸化物 | 二酸化ウラン |
| | | 製作密度 | %TD | 約 85 | 約 93 |
| | | 化学量論比 | — | 約 1.98(O/M 比) | 約 2.00(O/U 比) |
| | | ²³⁵ U 含有率 | wt% | 0.2~1.0 | |
| | | スタック長さ | mm | 930 | 1580 |
| | | 外径 | mm | 5.4 | 10.4 |
| | 軸方向ブランケットペレット | 材料 | — | 二酸化ウラン | — |
| | | 製作密度 | %TD | 約 93 | — |
| | | 化学量論比 | — | 約 2.00(O/U 比) | — |
| | | ²³⁵ U 含有率 | wt% | 約 0.3 | — |
| | | スタック長さ(上部/下部) | mm | 300/350 | — |
| | | 外径 | mm | 5.4 | — |
| | 被ふく管 | 材料 | — | SUS316 相当ステンレス鋼 | |
| | | 外径 | mm | 6.5 | 11.6 |
| | | 内径 | mm | 5.56 | 10.6 |
| | | 肉厚 | mm | 0.47 | 0.5 |
| | ワイヤスペーサ | 材料 | — | SUS316 相当ステンレス鋼 | |
| | | 外径 | mm | 1.32 | 1.5/0.9 ^{*1} |
| | | 巻付ピッチ | mm | 307 | 251 |
| | | 全長 | mm | 2813 | 2805 |
| | 集合体 | 集合体 | 装荷体数 | 体 | 198 |
| 燃料要素配列 | | | — | 正三角形配列 | |
| 燃料要素配列ピッチ | | | mm | 7.87 | 13.15 |
| 燃料要素数 | | | 本 | 169 | 61 |
| 集合体配列ピッチ | | | mm | 115.6 | |
| 全長 | | | mm | 4200 | |
| ラップ管 | | 材料 | — | SUS316 相当ステンレス鋼 | |
| | | 外対辺間距離 | mm | 110.6 | |
| | | 内対辺間距離 | mm | 104.6 | |
| | | 肉厚 | mm | 3 | |

*1 集合体内の中心部のワイヤスペーサは 1.5mm、周辺部は 0.9mm。

表 2.2.1-1 制御棒の主要目

| 主要目 | 単位 | 主炉停止系 | | 後備炉停止系 |
|----------------------------|-----|-----------------|------|--------|
| | | 微調整棒 | 粗調整棒 | 後備炉停止棒 |
| 装荷体数 | 体 | 3 | 10 | 6 |
| ¹⁰ B 装荷量 | g | 約 1200 | | 約 4400 |
| ¹⁰ B 濃縮度 | wt% | 約 39 | | 約 90 |
| 制御棒要素本数 | 本 | 19 | | |
| 制御棒要素配列ピッチ | mm | 18.2 | | |
| B ₄ C ペレットスタック長 | mm | 800 | | 930 |
| B ₄ C ペレット密度 | %TD | 約 95 | | |
| B ₄ C ペレット外径 | mm | 12.2 | | 14.2 |
| 被ふく管内径 | mm | 12.9 | | 14.9 |
| 被ふく管外径 | mm | 16.9 | | |
| ワイヤスペーサ径 | mm | 1.2 | | |
| ワイヤスペーサ巻付ピッチ | mm | 239 | | 300 |
| 保護管内径 | mm | 90 | | |
| 保護管外径 | mm | 94 | | |
| 案内管内径 | mm | 104.6 | | |
| 案内管外径 | mm | 110.6 | | |
| 主要構造材材料 | — | SUS316 相当ステンレス鋼 | | |

表 2.4.1-1 中性子計装の主要目

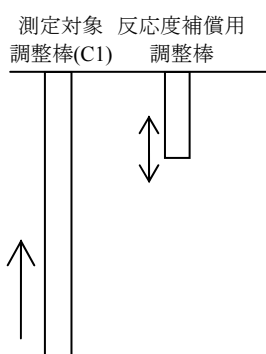
| 主要目 | | SRM | WRM | PRM |
|--------|--------|--|---|---|
| 設置位置 | | 原子炉容器外 | | |
| 種類 | | 比例計数管 (BF ₃) | 核分裂計数管(²³⁵ U) | γ線補償型電離箱 |
| 員数 | | 2 | 3 | (安全保護系用) 3 (計測制御系用) 2 |
| 検出器仕様 | 中性子感度 | 約 30 cps/nv | パルス・キャンベルモード 約 0.3cps/nv DCモード 約 4.8×10 ⁻¹⁴ A/nv | 約 4×10 ⁻¹⁴ A/nv |
| | ガンマ線感度 | — | 約 2×10 ⁻¹¹ A/R/hr ^{*4} | (非補償時) 約 2×10 ⁻¹¹ A/R/hr ^{*4} (補償時) 約 1×10 ⁻¹² A/R/hr ^{*4} |
| | 計数率範囲 | 1~10 ⁵ cps | パルス・キャンベルモード 1~10 ⁹ cps | — |
| 計測要求 | 中性子計数率 | 1.5 cps 以上 | — | — |
| | 計測範囲 | 10 ⁻⁸ ~10 ⁻³ %FP ^{*1} | パルス・キャンベルモード 10 ⁻⁶ ~120 %FP ^{*1} DCモード 10~120 %FP ^{*1} | 1~120 %FP ^{*1} |
| | ガンマ線条件 | (動作時) 100 R/hr 以下 ^{*3*4} | パルスモード 2.5×10 ⁵ R/hr 以下 | — |
| | その他 | — | パルス・キャンベルモード 10 ⁵ cps の時 γ線誤差 ^{*2} <10% DCモード 100%FP ^{*1} の時 γ線誤差 ^{*2} <1% | 10%FP ^{*1} の時 γ線誤差 ^{*2} <1% |
| 計数処理方式 | パルス計数 | パルス計数 平均自乗法 直流電流 | 電流測定 | |

*1 FP は Full Power の略称。 *2 2次γ線は除く。
 *3 検出器自身の放射化による寄与は除く。
 *4 1R=2.58×10⁻⁴C/kg

表 3.1.1-1 制御棒パターン

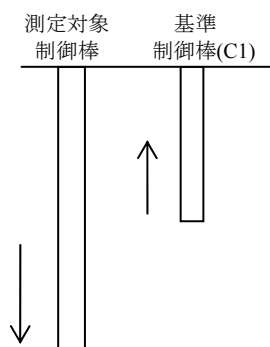
| 測定法 | | 対象制御棒 | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| ペリオド法 | 制御棒校正曲線 | C1 | | | | | | | | | |
| | 反応度添加率 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| 置換法 | 制御棒校正曲線 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | |
| | | F1 | F2 | F3 | | | | | | | |
| | | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | | | | |

ペリオド法



- ① BCR を全引抜位置とする。
- ② 測定対象調整棒 (C1) 以外の調整棒を全引抜位置とする。
- ③ C1 を所定の位置にして臨界状態とする。
- ④ C1 を約 7 ρ 引抜き倍増時間を測定する。
- ⑤ 反応度補償用調整棒 (C1 以外の任意の 1 本) を 7 ρ 以上挿入し、計数率を降下させる。
- ⑥ C1 以外の調整棒位置を調整し、計数率を一定の臨界状態とする。
- ⑦ ④～⑥を C1 が全引抜位置となるまで繰り返す。

置換法



- ① BCR を全引抜位置とする。
- ② 基準制御棒 (C1) 以外の調整棒を全引抜位置とする。
- ③ C1 を所定の位置にして臨界状態とする。
- ④ 測定対象制御棒を所定の量を挿入する。
- ⑤ C1 を引抜き④の反応度を打ち消し、計数率一定の臨界状態に調整する。
- ⑥ C1 の操作量より④の投入反応度を評価する。
- ⑦ ④～⑥を測定対象制御棒が全挿入又は C1 が全引抜になるまで繰り返す。

表 4.1.1-1 臨界到達判断計数率の確認における測定結果及び評価結果

| C1 位置 [mm] | 計数率 [cps] | 逆増倍率 (1/M) |
|--|-----------|------------|
| 0 | 0.13 | 7.69E+00 |
| 396 | 0.19 | 5.26E+00 |
| 608 | 0.64 | 1.56E+00 |
| 686 | 1.35 | 7.41E-01 |
| 735 | 2.60 | 3.85E-01 |
| 762 | 5.05 | 1.98E-01 |
| 774 | 8.93 | 1.12E-01 |
| 784 | 17.92 | 5.58E-02 |
| 789 | 36.50 | 2.74E-02 |
| 791 | 61.94 | 1.61E-02 |
| 逆増倍曲線 (784~791mm の範囲で評価) <1/M=a×CR 位置+b> | 傾き a | -5.67E-03 |
| | 切片 b | 4.50E+00 |
| 推定臨界位置 [mm] | | 793.8 |
| 1000cps に相当する CR 位置 [mm] | | 793.7 |
| 1000cps に相当する CR 位置と 臨界推定位置の反応度差 [¢] | | -0.0332 |
| 5000cps に相当する CR 位置 [mm] | | 793.8 |
| 5000cps に相当する CR 位置と 臨界推定位置の反応度差 [¢] | | -0.0066 |

表 4.2-1 制御棒価値（正のペリオド法）誤差要因表

番号は図 4.2-1 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|-----|----------------------------|---|------|---|
| 1-1 | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | $\pm 0.13\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 制御棒ラッチ点の誤差による制御棒と炉心の相対位置関係のずれによる誤差。 SST-R-1-15「未臨界度測定法適用性評価」でデラッチ・ラッチ操作に伴う荷重発生位置については 1mm 以上の変動は確認されなかった。よって、制御棒の位置表示は最小目盛が 1mm であることから $\pm 0.5\text{mm}$ を考慮し、 $\pm 0.26\text{¢}(2\sigma)$ を見込む。 これは、ストローク下端 406~406.5mm の反応度校正曲線より求めた反応度差 0.26¢ と上端 999.5~1000mm の反応度差 0.05¢ のうち、最大値をとったもの。 |
| 1-2 | 外部中性子源効果による誤差 | $-0.03+0.0$ ¢/step | 系統 | 反応度投入前初期臨界点計数率を 1000cps とした場合、計数率が完全に安定していれば、約 0.03¢ の未臨界（4.1.1 章本文参照）である。 |
| 1-3 | 臨界点調整の誤差 | $\pm 0.13\text{¢}/\text{step}$ (1 σ) | 統計 | 臨界調整作業の経験より、臨界判定作業では C1 で約 0.25mm の臨界点からのずれが見られることがあった。これより、臨界点調整の誤差として統計誤差 (1 σ) $\pm 0.13\text{¢}$ を考慮する。 |
| 1-4 | 温度変動（臨界点調整中の臨界点からのずれ）による誤差 | — | — | 原因としては主に冷却材温度の変化が考えられるが、通常 1 ステップ測定中の温度変化はほとんどないと考えられるため、本誤差は無視する。 |
| 1-5 | 制御棒位置表示の誤差 | $\pm 0.13\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 制御棒単体の価値測定の場合、測定途中の各ステップの表示誤差は反応度を積算すると相殺されるので、その制御棒のストローク下端及び上端に対応する反応度基準制御棒位置表示誤差を考慮する。 制御棒の位置表示は最小目盛が 1mm であることから表示誤差を $\pm 0.5\text{mm}$ とし、制御棒校正曲線から求めたストローク下端 406.0~406.5mm の反応度差 0.26¢、上端 999.5~1000.0mm を 0.05¢ と評価し、ストローク上端/下端分を統計処理して $\pm\sqrt{0.26^2+0.05^2} = \pm 0.26\text{¢}(2\sigma)$ とする。 |

表 4.2-1 制御棒価値（正のペリオド法）誤差要因表

番号は図 4.2-1 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|-----|------------------------------------|---|------|---|
| 1-6 | 計数率上昇やその他要因による冷却材温度上昇による反応度フィードバック | — | — | ドップラフィードバックの影響が無視できる計数率領域(3000~10000cps)で倍增時間を測っており、測定中の温度変化はほとんどないため考慮しない。 |
| 1-7 | 安定ペリオド外での倍增時間測定誤差 | — | — | 初期計数率の3倍以上の計数率であれば安定ペリオド領域と見なせるので、誤差として見込まない。 |
| 1-8 | 倍增時間の測定誤差 | $\pm 0.08\text{¢}/\text{step}$ (1 σ) | 統計 | <p>・ストップウォッチ</p> <p>ストップウォッチのスタートとストップでそれぞれ 1sec の誤差を見込む。従って、倍增時間の測定誤差は$\pm\sqrt{1^2+1^2}=\pm 1.4\text{sec}$となる。更に倍增時間は3人の測定の平均値を用いるので、その平均値の誤差は$\pm\sqrt{1.4^2/3}=\pm 1\text{sec}$となる。</p> <p>測定での印加反応度は最大 7.5¢で増倍時間が 83.4sec あった。このことから増倍時間 82sec の反応度 7.551¢と増倍時間 83sec の反応度 7.477¢の差をとり大きめに丸めた 0.08¢を誤差として見込む。</p> <p>・レートメータ</p> <p>試験前の年次点検における計器誤差はいずれのレンジも-0.4%程度であったが、試験終了後の年次点検では、5000cpsでは-0.4%、10000cpsでは-2.0%の誤差が見られた。測定中後者の誤差を有していたとすると、増倍時間測定開始のレートメータ出力値 3000cpsは 3012cps、終了値の 6000cpsは 6122cpsとなり、$6122\text{cps}/3012\text{cps}=2.033$倍となる。このため、ペリオド $T=T_d/\ln 2.033$として算出すると、3.4¢大きくなる。これを誤差として見込む。</p> |

表 4.2-1 制御棒価値（正のペリオド法）誤差要因表

番号は図 4.2-1 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|------|-----------------|--------------------|------|--|
| 1-9 | 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | $-0.0+0.6\phi/CR$ | 系統 | <p>・測定対象制御棒</p> <p>正のペリオド法の場合、制御棒を引抜き、増倍時間測定及び臨界調整中に制御棒駆動軸が熱収縮していくので、その分余分に制御棒が引き抜かれ、測定できていない事になる。単体機能試験では全引抜時には 2mm の熱収縮であることが確認されている。保守的に最大値 2mm の熱収縮量を見込んで、測定した平均的な微分反応度を用い、$177\phi/549mm \times 2mm = +0.6\phi$ 見込む。</p> <p>・測定対象外制御棒</p> <p>反応度投入前の初期臨界点を設定する際に、制御棒駆動軸熱収縮分は臨界補償用制御棒で調整されるので誤差としては考慮する必要はない。</p> |
| 1-10 | 解析補完による誤差 | $-0.0+10.8\phi/CR$ | 系統 | <p>測定範囲外（0～406 mm）については、核設計手法に基づく解析値にて補完を行っている。実測した反応度評価値（E）と核設計手法による解析値から求めた測定範囲に対する反応度価値（C）を求める。補完に用いた測定範囲外の解析値（C'）に E/C を乗じた値と補正量との差（$\Delta\rho$）を解析補完による誤差として見込む。</p> |

表 4.2-1 制御棒価値（正のペリオド法）誤差要因表

番号は図 4.2-1 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|------|---|-------------|------|---|
| 1-11 | 動特性パラメータ (β_{eff})の誤差 | $\pm 2.0\%$ | 系統 | <p>β_{eff}の誤差は制御棒価値を $\Delta k/k$ 単位で表示する場合のみ考慮する（ρ単位での表示の場合は考慮しない）。</p> <p>遅発中性子(β)の核分裂性核種ごとに、(βの相対誤差)\times(感度係数(βの単位変化あたりの核特性の変化))を求め、すべての核分裂性核種について統計和することによって$\pm 2.0\%$を得た。</p> <p>βの相対誤差には核データファイルに格納されている値を使用した。</p> |
| 1-12 | フィッティングの誤差 | — | — | 校正曲線を 6 次式にフィッティングする場合の誤差であるが、その誤差は十分小さく無視する。 |

表 4.2-2 制御棒価値（置換法）誤差要因表

番号は図 4.2-2 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|-----|----------------------------|---|------|--|
| 2-1 | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | $\pm 0.13\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 保守的に表 4.2-1 と同等量を見込む。 |
| 2-2 | 外部中性子源効果による誤差 | — | — | 反応度投入前初期臨界点計数率が約 5000cps の場合には未臨界度は十分小さく無視できる。(4.1.1 章本文参照) |
| 2-3 | 臨界点調整の誤差 | $\pm 0.07\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 制御棒単体の価値測定の場合、測定途中の各ステップの表示誤差は反応度を積算すると相殺されるので、その制御棒のストローク下端及び上端に対応する臨界点調整の誤差を考慮する。臨界点からのずれを約 0.25mm 見込み、ストローク下端 406.0~406.5mm の反応度差 0.13¢、上端 761.5~762.0*mm を 0.06¢ と評価し、ストローク上端/下端分を統計処理して $\pm\sqrt{0.13^2+0.06^2} = \pm 0.14\text{¢}$ (2 σ) を見込む。 *C5~10 測定対象制御棒全挿入時の C1 位置 |
| 2-4 | 温度変動（臨界点調整中の臨界点からのずれ）による誤差 | — | — | 測定対象制御棒 1 体の価値測定中に温度が変化すればそれは反応度基準制御棒位置のずれをもたらすので考慮する。しかし、測定中に温度変化はなかったので考慮しない。 |
| 2-5 | 測定対象制御棒位置表示の誤差 | $\pm 0.13\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 保守的に表 4.2-1 と同等量を見込む。 |
| 2-6 | 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | $\pm 0.14\text{¢}/\text{CR}$ (1 σ) | 統計 | 制御棒単体の価値測定の場合、測定途中の各ステップの表示誤差は反応度を積算すると相殺されるので、その制御棒のストローク下端及び上端に対応する反応度基準制御棒位置表示誤差を考慮する。 制御棒の位置表示は最小目盛が 1mm であることから表示誤差を $\pm 0.5\text{mm}$ とし、ストローク下端 406.0~406.5mm の反応度差 0.26¢、上端 761.5~762.0*mm を 0.12¢ と評価し、ストローク上端/下端分を統計処理して $\pm\sqrt{0.26^2+0.12^2} = \pm 0.28\text{¢}$ (2 σ) を見込む。 *C5~10 測定対象制御棒全挿入時の C1 位置 |

表 4.2-2 制御棒価値（置換法）誤差要因表

番号は図 4.2-2 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|------|-------------------------------------|---|--------|---|
| 2-7 | 反応度基準制御棒価値の誤差 | 表 4.2-4 参照 | 統計及び系統 | 反応度基準制御棒価値の誤差。この要因については表 4.2-4 に示す。 |
| 2-8 | 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | C2~4 -0.0+0.3¢/CR C5~10 ±0.0¢/CR F1~3 ±0.0¢/CR B1~3 -0.0+0.7¢/CR B4~6 -0.0+0.4¢/CR | 系統 | <ul style="list-style-type: none"> 測定対象制御棒 置換法の場合、測定途中の各ステップの熱収縮は反応度を積算すると相殺されるため、全ストローク測定の場合は熱収縮の影響を考慮しない。今回全ストローク測定できなかった制御棒の下端の 1mm 熱収縮量に応じた反応度を誤差として見込む。 <ul style="list-style-type: none"> 反応度基準制御棒 各ステップの熱収縮は相殺されるため無視する。 |
| 2-9 | 解析補完による誤差 | C2~4 -0.0+5.9¢/CR C5~10 ±0.0¢/CR F1~3 -0.0+0.19¢/CR B1~3 -0.0+14.4¢/CR B4~6 -0.0+8.1¢/CR | 系統 | 測定範囲外については、核設計手法に基づく解析値にて補完を行っている。実測した反応度評価値 (E) と核設計手法による解析値から求めた測定範囲に対する反応度価値(C)を求め、補完に用いた測定範囲外の解析値(C')に E/C を乗じた値と補正量との差($\Delta\rho$)を解析補完による誤差として見込む。 |
| | | | | |
| 2-10 | 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | ±2.0% | 系統 | 表 4.2-1 参照。 |
| 2-11 | フィッティングの誤差 | — | — | 校正曲線を 6 次式にフィッティングする場合の誤差は十分小さく無視する。 |

表 4.2-3 過剰反応度測定値の誤差要因表

番号は図 4.2-3 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 |
|------|-------------------------------------|---------------------|--------|--|
| 3-1 | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | — | — | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれは制御棒と炉心の相対位置関係のずれによるものであり、今回必要な制御棒値は複数の制御棒位置での反応度変化であり考慮する必要はない。 |
| 3-2 | 外部中性子源効果による誤差 | -0.03+0.0¢/step | 系統 | 表 4.2-1 と同等量を見込む。ただし、1step のみ。 |
| 3-3 | 臨界点調整の誤差 | ±0.13¢/step (1σ) | 統計 | 表 4.2-1 と同等量を見込む。ただし、1step のみ。 |
| 3-4 | 温度変動(臨界点調整中の臨界点からのずれ)による誤差 | — | — | 測定中に温度変化はなかったので考慮しない。 |
| 3-5 | 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢/CR (1σ) | 統計 | 制御棒の位置表示は最小目盛が 1mm であることから表示誤差を±0.5mm とし、臨界点 406.0~406.5mm の反応度差 0.26¢ (2σ) を誤差と見込む。 |
| 3-6 | 反応度基準制御棒値の誤差 | 表 4.2-4 参照 | 統計及び系統 | 反応度基準制御棒値 (C1) の誤差。この要因については表 4.2-4 に示す。 |
| 3-7 | 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.1+0.0¢/CR | 系統 | 保守的に表 4.2-1 と同等量を見込む。 |
| 3-8 | R/V 出口温度計誤差 | ±2.3°C (1σ) | 統計 | A~C ループの出口温度の平均値をもって R/V 入口温度とするため、各ループの温度測定誤差±4°Cより、 $\sqrt{4^2/3} = 2.3^\circ\text{C}$ (1σ) 見込む。 |
| 3-9 | 温度外挿の誤差 | ±5.03¢ | 系統 | 許認可コード解析値の±30%の誤差を考慮。 |
| 3-10 | 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | ±2.0% | 系統 | 表 4.2-1 参照。 |

表 4.2-4 反応度基準制御棒(C1)値の誤差要因表

番号は図 4.2-1 に対応

| 番号 | 誤差要因 | 誤差幅 | 誤差種類 | 誤差幅の根拠 | |
|------|-------------------------------------|---------------------------|------|--|-------------------------------------|
| 1-1 | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | — | — | 制御棒ラッチによる零点表示位置のずれは制御棒と炉心の相対位置関係のずれによるものであり、今回必要な制御棒値は複数の制御棒位置での反応度変化であり考慮する必要はない。 | |
| 1-2 | 外部中性子源効果による誤差 | -0.03+0.0 ρ /step | 系統 | 表 4.2-1 参照 | |
| 1-3 | 臨界点調整の誤差 | $\pm 0.13\rho$ /step | 統計 | | |
| 1-4 | 温度変動(臨界点調整中の臨界点からのずれ)による誤差 | — | — | | |
| 1-5 | 制御棒位置表示の誤差 | $\pm 0.26\rho$ /CR | 統計 | | |
| 1-6 | 計数率上昇やその他の要因による冷却材温度上昇による反応度フィードバック | — | — | | |
| 1-7 | 安定ペリオド外での倍増時間測定誤差 | — | — | | |
| 1-8 | 倍増時間の測定誤差 | $\pm 0.08\rho$ /step | 統計 | | |
| 1-9 | 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.0+0.5 ρ /C R | 系統 | | |
| 1-10 | 解析補完による誤差 | — | — | | 実測範囲を反応度基準制御棒の値として使用するため、考慮する必要はない。 |
| 1-11 | 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | — | — | | ρ 単位で使用するため考慮する必要はない。 |
| 1-12 | フィッティングの誤差 | — | — | 表 4.2-1 参照 | |

表 4.2-5 正のペリオド法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : C1)

| | | β_{eff} : | 3.32103E-03 | |
|-------------------------|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 測定法 | 正のペリオド法 | |
| | | 測定日 | 2010年5月11日 | |
| | | 制御棒価値測定値 | 310.24¢ | |
| | | 制御棒価値測定ステップ数 | 26 | |
| 誤 差 | 統計 誤 差 | 各ステップ毎の誤差 | | |
| | | 1-3 臨界点調整の誤差 | ±0.13¢/step | |
| | | 1-8 倍増時間の測定誤差(ストップウォッチ) | ±0.08¢/step | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計(¢単位) | ±0.78¢ | |
| | | 制御棒単体の誤差 | | |
| | | 1-1 制御棒フタによる零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 1-5 制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | ±0.18¢ | |
| | | 統計誤差合計(¢単位) | ±0.80¢ | |
| | | | 負側 | 正側 |
| | 系 統 誤 差 | 各ステップ毎の誤差 | | |
| | | 1-2 外部中性子源効果による誤差 | -0.03¢/step | +0.00¢/step |
| 各ステップ毎の誤差合計 | | -0.78¢ | +0.00¢ | |
| 制御棒単体の誤差 | | | | |
| 1-8 倍増時間の測定誤差(レートメーター) | | -0.00¢ | +3.40¢ | |
| 1-9 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | | -0.00¢ | +0.60¢ | |
| 1-10 解析補完による誤差 | | -0.00¢ | +10.80¢ | |
| | 1-12 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 ^{*1} | -2% | +2% | |
| | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | +0.00¢ | +14.80¢ | |
| | 系統誤差合計(¢単位) | -0.78¢ | +14.80¢ | |
| | 系統誤差合計($\Delta k/k$ 単位) ^{*1} | -0.00023 $\Delta k/k$ | +0.0007 $\Delta k/k$ | |
| 絶 対 誤 差 | (¢単位) ^{*2} | ±0.8 ¢ | -0.8 ¢ | +14.8 ¢ |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -1.6 ¢ | ~ | +15.6 ¢ |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -2.4 ¢ | ~ | +16.4 ¢ |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.2 ¢ | ~ | +17.2 ¢ |
| | ($\Delta k/k$ 単位) ^{*1,2} | ±0.00003 $\Delta k/k$ | -0.00023 $\Delta k/k$ | +0.00070 $\Delta k/k$ |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -0.00026 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00072 $\Delta k/k$ |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -0.00029 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00075 $\Delta k/k$ |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00031 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00078 $\Delta k/k$ | |
| 相 対 誤 差 | β_{eff} の誤差を含めない | ±0.3% | -0.3% | +4.8% |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -0.5% | ~ | +5.0% |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -0.8% | ~ | +5.3% |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -1.0% | ~ | +5.5% |
| | β_{eff} の誤差を含む | ±0.3% | -2.3% | +6.8% |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -2.5% | ~ | +7.0% |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -2.8% | ~ | +7.3% |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.0% | ~ | +7.5% | |

*1 単位換算(¢ → $\Delta k/k$)に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含めない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差：負側)+(系統誤差：正側) という書式で表す。

表 4.2-6 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : C4)

β_{eff} : 3.32103E-03

| 測定法 | | 置換法 | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|------------------------|-----------------------|-------|
| 測定日 | | 2010年5月14日 | | | |
| 制御棒価値測定値 | | 259.09¢ | | | |
| 制御棒価値測定ステップ数 | | 14 | | | |
| 誤差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計(¢単位) | ±0.00¢ | | |
| | | 2-1 制御棒タッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 2-3 臨界点調整の誤差 | ±0.07¢ | | |
| | | 2-5 測定対象制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 2-6 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.14¢ | | |
| | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) *3 | ±0.79¢ | | | |
| | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 統計誤差合計(¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 系統誤差 | 各ステップ毎の誤差 | 負側 | 正側 | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計(¢単位) | -0.00¢ | +0.00¢ | |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) *3 | -0.78¢ | +4.00¢ | |
| | | 2-8 測定対象制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.30¢ | |
| | | 2-9 解析補完による誤差 | -0.00¢ | +5.89¢ | |
| | | 2-10 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | -2% | +2% | |
| | | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | -0.78¢ | +10.19¢ | |
| | | 系統誤差合計(¢単位) | -0.78¢ | +10.19¢ | |
| | 系統誤差合計($\Delta k/k$ 単位) *1 | -0.00020% $\Delta k/k$ | +0.00051% $\Delta k/k$ | | |
| 絶対誤差 | (¢単位)*2 | ±0.8¢ | -0.8¢ | +10.2¢ | |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -1.6¢ | ~ | +11.0¢ | |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -2.4¢ | ~ | +11.8¢ | |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.3¢ | ~ | +12.7¢ | |
| | ($\Delta k/k$ 単位) *1,2 | ±0.00003 $\Delta k/k$ | -0.00020 $\Delta k/k$ | +0.00051 $\Delta k/k$ | |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -0.00023 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00054 $\Delta k/k$ | |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -0.00025 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00057 $\Delta k/k$ | |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00028 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00059 $\Delta k/k$ | |
| | 相対誤差 | β_{eff} の誤差を含めない | ±0.3% | -0.3% | +3.9% |
| | | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -0.6% | ~ | +4.3% |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | | -0.9% | ~ | +4.6% | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | | -1.3% | ~ | +4.9% | |
| β_{eff} の誤差を含む | | ±0.3% | -2.3% | +5.9% | |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -2.6% | ~ | +6.3% | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -2.9% | ~ | +6.6% | | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.3% | ~ | +6.9% | | |

*1 単位換算(¢ → $\Delta k/k$)に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差:負側)+(系統誤差:正側) という書式で表す。

*3 表4.2-12参照

表 4.2-7 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : C10)

β_{eff} : 3.32103E-03

| 測定法 | | 置換法 | | |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|--------|
| 測定日 | | 2010年5月24日 | | |
| 制御棒価値測定値 | | 152.81¢ | | |
| 制御棒価値測定ステップ数 | | 20 | | |
| 誤差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | ±0.00¢ | |
| | | 2-1 制御棒タッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 2-3 臨界点調整の誤差 | ±0.07¢ | |
| | | 2-5 測定対象制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 2-6 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.14¢ | |
| | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) *3 | ±0.74¢ | | |
| | 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | ±0.78¢ | | |
| | 統計誤差合計 (¢単位) | ±0.78¢ | | |
| | 系統誤差 | | 負側 | 正側 |
| | | 各ステップ毎の誤差 | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | -0.00¢ | +0.00¢ |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) *3 | -0.69¢ | +4.00¢ |
| | | 2-8 測定対象制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.00¢ |
| | | 2-10 動特性パラメータ (β_{eff}) の誤差 | -2% | +2% |
| 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | -0.69¢ | +4.00¢ | | |
| 系統誤差合計 (¢単位) | -0.69¢ | +4.00¢ | | |
| 系統誤差合計 ($\Delta k/k$ 単位) *1 | -0.00012% $\Delta k/k$ | +0.00023% $\Delta k/k$ | | |
| 絶対誤差 | (¢単位) *2 | ±0.8¢ | -0.7¢ +4.0¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -1.5¢ | ~ +4.8¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -2.3¢ | ~ +5.6¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -3.0¢ | ~ +6.3¢ | |
| | ($\Delta k/k$ 単位) *1,2 | ±0.00003 $\Delta k/k$ | -0.00012 $\Delta k/k$ +0.00023 $\Delta k/k$ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -0.00015 $\Delta k/k$ | ~ +0.00026 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -0.00018 $\Delta k/k$ | ~ +0.00029 $\Delta k/k$ | | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00020 $\Delta k/k$ | ~ +0.00031 $\Delta k/k$ | | |
| 相対誤差 | β_{eff} の誤差を含めない | ±0.5% | -0.5% +2.6% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -1.0% | ~ +3.1% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -1.5% | ~ +3.6% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -2.0% | ~ +4.2% | |
| | β_{eff} の誤差を含む | ±0.5% | -2.5% +4.6% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -3.0% | ~ +5.1% | |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -3.5% | ~ +5.6% | | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -4.0% | ~ +6.2% | | |

*1 単位換算 (¢ \rightarrow $\Delta k/k$) に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差: 負側)+(系統誤差: 正側) という書式で表す。

*3 表 4.2-12 参照

表 4.2-8 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : F1)

| 測定法 | | 置換法 | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|------------------------|--------|
| 測定日 | | 2010年5月24日 | | | |
| 制御棒価値測定値 | | 180.56¢ | | | |
| 制御棒価値測定ステップ数 ^{*4} | | 19 | | | |
| 誤差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計(¢単位) | ±0.00¢ | | |
| | | 2-1 制御棒タッチによる零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 2-3 臨界点調整の誤差 | ±0.07¢ | | |
| | | 2-5 測定対象制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 2-6 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.14¢ | | |
| | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) ^{*3} | ±0.79¢ | | | |
| | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 統計誤差合計(¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 系統誤差 | 各ステップ毎の誤差 | 負側 | 正側 | |
| | | | 各ステップ毎の誤差合計(¢単位) | -0.00¢ | +0.00¢ |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) ^{*3} | -0.78¢ | +4.00¢ | |
| | | 2-8 測定対象制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.00¢ | |
| | | 2-9 解析補完による誤差 | -0.00¢ | +0.19¢ | |
| | | 2-10 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | -2% | +2% | |
| | | 制御棒単体誤差合計(¢単位) | -0.78¢ | +4.19¢ | |
| | | 系統誤差合計(¢単位) | -0.78¢ | +4.19¢ | |
| | | 系統誤差合計($\Delta k/k$ 単位) ^{*1} | -0.00015% $\Delta k/k$ | +0.00026% $\Delta k/k$ | |
| | | 絶対誤差 | (¢単位) ^{*2} | ±0.8¢ | -0.8¢ |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -1.6¢ | | ~ | +5.0¢ | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -2.4¢ | | ~ | +5.8¢ | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.3¢ | | ~ | +6.7¢ | |
| ($\Delta k/k$ 単位) ^{*1,2} | ±0.00003 $\Delta k/k$ | | -0.00015 $\Delta k/k$ | +0.00026 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -0.00017 $\Delta k/k$ | | ~ | +0.00029 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -0.00020 $\Delta k/k$ | | ~ | +0.00031 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00023 $\Delta k/k$ | | ~ | +0.00034 $\Delta k/k$ | |
| 相対誤差 | β_{eff} の誤差を含めない | | ±0.5% | -0.4% | +2.3% |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -0.9% | ~ | +2.8% |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -1.3% | ~ | +3.2% | |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -1.8% | ~ | +3.7% | |
| | β_{eff} の誤差を含む | ±0.5% | -2.4% | +4.3% | |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | -2.9% | ~ | +4.8% | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | -3.3% | ~ | +5.2% | | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | -3.8% | ~ | +5.7% | | |

*1 単位換算(¢ → $\Delta k/k$)に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差：負側)+(系統誤差：正側) という書式で表す。

*3 表4.2-12参照

*4 保守的に、対称位置にある制御棒の最大ステップ数を示す。

表 4.2-9 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : B1)

β_{eff} : 3.32103E-03

| 測定法 | | 置換法 | | |
|--------------------------|-------------------------------|--|---|--------------|
| 測定日 | | 2010年5月25日 | | |
| 制御棒価値測定値 | | 405.61¢ | | |
| 制御棒価値測定ステップ数 | | 11 | | |
| 誤差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | ±0.00¢ | |
| | | 2-1 制御棒 γ による零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 2-3 臨界点調整の誤差 | ±0.07¢ | |
| | | 2-5 測定対象制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | |
| | | 2-6 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.14¢ | |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) *3 | ±0.79¢ | |
| | 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | ±0.83¢ | | |
| | 統計誤差合計 (¢単位) | ±0.83¢ | | |
| | 系統誤差 | 各ステップ毎の誤差 | 負側 | 正側 |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | -0.00¢ | +0.00¢ |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) *3 | -0.78¢ | +4.00¢ |
| | | 2-8 測定対象制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.70¢ |
| | | 2-9 解析補完による誤差 | -0.00¢ | +14.41¢ |
| | | 2-10 動特性パラメータ (β_{eff}) の誤差 | -2% | +2% |
| | | 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | -0.78¢ | +19.11¢ |
| | 系統誤差合計 (¢単位) | -0.78¢ | +19.11¢ | |
| | 系統誤差合計 ($\Delta k/k$ 単位) *1 | -0.00030% $\Delta k/k$ | +0.00090% $\Delta k/k$ | |
| | 絶対誤差 | (¢単位) *2 | ±0.8¢ | -0.8¢ +19.1¢ |
| | | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -1.6¢ | ~ +19.9¢ |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | | -2.4¢ | ~ +20.8¢ | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | | -3.3¢ | ~ +21.6¢ | |
| ($\Delta k/k$ 単位) *1,2 | | ±0.00003 $\Delta k/k$ | -0.00030 $\Delta k/k$ +0.00090 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | | -0.00032 $\Delta k/k$ | ~ +0.00093 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | | -0.00035 $\Delta k/k$ | ~ +0.00096 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00038 $\Delta k/k$ | ~ +0.00099 $\Delta k/k$ | | |
| 相対誤差 | β_{eff} の誤差を含めない | ±0.2% | -0.2% +4.7% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -0.4% | ~ +4.9% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -0.6% | ~ +5.1% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -0.8% | ~ +5.3% | |
| | β_{eff} の誤差を含む | ±0.2% | -2.2% +6.7% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -2.4% | ~ +6.9% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -2.6% | ~ +7.1% | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -2.8% | ~ +7.3% | | |

*1 単位換算 (¢ \rightarrow $\Delta k/k$) に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差：負側)+(系統誤差：正側) という書式で表す。

*3 表4.2-12参照

表 4.2-10 置換法による制御棒単体価値の誤差評価結果 (制御棒 : B4)

| | | 測定法 | $\beta_{\text{eff}} : 3.32103\text{E-}03$ | | |
|------------------------------|--|-------------------------------------|---|-----------------------|--|
| | | 測定日 | 2010年5月25日 | | |
| | | 制御棒価値測定値 | 284.02¢ | | |
| | | 制御棒価値測定ステップ数 | 14 | | |
| 誤差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | ±0.00¢ | | |
| | | 制御棒単体の誤差 | | | |
| | | 2-1 制御棒 γ 値による零点表示位置のずれによる誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 2-3 臨界点調整の誤差 | ±0.07¢ | | |
| | | 2-5 測定対象制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | | |
| | 2-6 反応度基準制御棒位置表示の誤差 | ±0.14¢ | | | |
| | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) *3 | ±0.79¢ | | | |
| | 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 統計誤差合計 (¢単位) | ±0.83¢ | | | |
| | 系統誤差 | 各ステップ毎の誤差 | 負側 | 正側 | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 (¢単位) | -0.00¢ | +0.00¢ | |
| | | 制御棒単体の誤差 | | | |
| | | 2-7 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) *3 | -0.78¢ | +4.00¢ | |
| | | 2-8 測定対象制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.40¢ | |
| | | 2-9 解析補完による誤差 | -0.00¢ | +8.08¢ | |
| | 2-10 動特性パラメータ (β_{eff}) の誤差 | -2% | +2% | | |
| | 制御棒単体誤差合計 (¢単位) | -0.78¢ | +12.48¢ | | |
| 系統誤差合計 (¢単位) | -0.78¢ | +12.48¢ | | | |
| 系統誤差合計 ($\Delta k/k$ 単位) *1 | -0.00021% $\Delta k/k$ | +0.00060% $\Delta k/k$ | | | |
| 絶対誤差 | (¢単位) *2 | ±0.8¢ | -0.8¢ | +12.5¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -1.6¢ | ~ | +13.3¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -2.4¢ | ~ | +14.1¢ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -3.3¢ | ~ | +15.0¢ | |
| | ($\Delta k/k$ 単位) *1,2 | ±0.00003 $\Delta k/k$ | -0.00021 $\Delta k/k$ | +0.00060 $\Delta k/k$ | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -0.00024 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00063 $\Delta k/k$ | |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -0.00027 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00066 $\Delta k/k$ | | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -0.00030 $\Delta k/k$ | ~ | +0.00069 $\Delta k/k$ | | |
| 相対誤差 | β_{eff} の誤差を含めない | ±0.3% | -0.3% | +4.4% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -0.6% | ~ | +4.7% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -0.9% | ~ | +5.0% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -1.1% | ~ | +5.3% | |
| | β_{eff} の誤差を含む | ±0.3% | -2.3% | +6.4% | |
| | 誤差幅 (統計誤差を1 σ 考慮) | -2.6% | ~ | +6.7% | |
| 誤差幅 (統計誤差を2 σ 考慮) | -2.9% | ~ | +7.0% | | |
| 誤差幅 (統計誤差を3 σ 考慮) | -3.1% | ~ | +7.3% | | |

*1 単位換算 (¢ \rightarrow $\Delta k/k$) に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、+(統計誤差)-(系統誤差: 負側)+(系統誤差: 正側) という書式で表す。

*3 表4.2-12参照

表 4.2-11 過剰反応度測定値の誤差評価結果

| | | 測定日時： 2010/5/11 | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|----------------|
| 項目 | 測定値 | 反応度変化/誤差 | | | |
| 測定時温度での過剰反応度測定値(¢) | | 176.57 | - | | |
| 180℃での過剰反応度測定値(¢) | | 190.19 | - | | |
| CR 位置と抑制反応度 | F1 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | F2 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | F3 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C1 | 406mm | 176.57¢ | | |
| | C2 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C3 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C4 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C5 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C6 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| | C7 | 1000mm | 0.00¢ | | |
| C8 | 1000mm | 0.00¢ | | | |
| C9 | 1000mm | 0.00¢ | | | |
| C10 | 1000mm | 0.00¢ | | | |
| 誤差 | 統計処理項 | 3-3 臨界点調整の誤差 | | +0.13¢ | |
| | | 3-5 制御棒価値測定誤差における統計的誤差 | | +0.13¢ | |
| | | 3-6 反応度基準制御棒価値の誤差 (統計) *3 | | +0.79¢ | |
| | | 3-8 R/V出口温度計誤差 | | +1.57¢ | |
| | | 統計処理項合計(¢単位) | | +1.76¢ | |
| | 系統処理項 | | | 負側 | 正側 |
| | | 3-2 外部中性子源効果による誤差 | | -0.03¢ | +0.00¢ |
| | | 3-6 反応度基準制御棒価値の誤差 (系統) *3 | | -0.78¢ | +4.00¢ |
| | | 3-7 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | | -0.00¢ | +0.50¢ |
| | | 3-9 温度外挿の誤差 | | -5.03¢ | +5.03¢ |
| | | 3-10 動特性パラメータ(β_{eff})の誤差 | | -2% | +2% |
| | 系統誤差合計(¢単位) | | -5.84¢ | +9.53¢ | |
| | 系統誤差合計($\Delta k/k$ 単位) *1 | | -0.00032 $\Delta k/k$ | +0.00044 $\Delta k/k$ | |
| | 絶対誤差 | (¢単位) *2 | | ±1.8¢ | -5.8¢ +9.5¢ |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -7.6¢ | ~ +11.3¢ | | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | | -9.4¢ | ~ +13.1¢ | | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | | -11.1¢ | ~ +14.8¢ | | |
| ($\Delta k/k$ 単位) *1,2 | | ±0.00006 $\Delta k/k$ | -0.00032 $\Delta k/k$ +0.00044 $\Delta k/k$ | | |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -0.0004 $\Delta k/k$ | ~ +0.0005 $\Delta k/k$ | | |
| 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | | -0.0004 $\Delta k/k$ | ~ +0.0006 $\Delta k/k$ | | |
| 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | | -0.0005 $\Delta k/k$ | ~ +0.0006 $\Delta k/k$ | | |
| β_{eff} の誤差を含めない | | ±0.9% | -3.1% +5.0% | | |
| 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -4.0% | ~ +5.9% | | |
| 相対誤差 | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | | -4.9% | ~ +6.9% | |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | | -5.8% | ~ +7.8% | |
| | β_{eff} の誤差を含む | | ±0.9% | -5.1% +7.0% | |
| | 誤差幅(統計誤差を1 σ 考慮) | | -6.0% | ~ +7.9% | |
| | 誤差幅(統計誤差を2 σ 考慮) | | -6.9% | ~ +8.9% | |
| | 誤差幅(統計誤差を3 σ 考慮) | | -7.8% | ~ +9.8% | |

*1 単位換算(¢ → $\Delta k/k$)に β_{eff} を使用するため、 β_{eff} の誤差が含まれる。

(β_{eff} の誤差は系統誤差で考慮するため、統計誤差には含まない)

*2 この誤差は、±(統計誤差)-(系統誤差：負側)+(系統誤差：正側) という書式で表す。

*3 表4.2-12参照

表 4.2-12 反応度基準制御棒(C1)価値測定の誤差評価結果*2

β_{eff} : 3.32103E-03

| 反応度基準制御棒 | | C1 | | | |
|-----------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|-------------|
| 測定法 | | 正のペリオド法 | | | |
| 測定日 | | 2010年5月11日 | | | |
| 測定対象 | | 過剰反応度 | 制御棒価値測定(置換法) | | |
| | | | C4,F1,B1,B4 | C10 | |
| 測定値に対応するペリオド法のステップ数*1 | | 26 | 26 | 23 | |
| 誤 差 | 統計誤差 | 各ステップ毎の誤差 | ±0.13¢/step | | |
| | | 1-3 臨界点調整の誤差 | ±0.13¢/step | | |
| | | 1-8 増倍時間の測定誤差 | ±0.08¢/step | | |
| | 各ステップ毎の誤差合計 | | ±0.15¢/step | | |
| | 制御棒の誤差 | 1-5 制御棒位置表示の誤差 | ±0.13¢ | | |
| | | 制御棒単体誤差合計 | | ±0.13¢ | |
| | | | | 負側 | 正側 |
| | 系統誤差 | 各ステップ毎の誤差 | -0.03¢/step | +0.00¢/step | |
| | | 1-2 外部中性子源効果による誤差 | | | |
| | | 各ステップ毎の誤差合計 | | -0.03¢/step | +0.00¢/step |
| 制御棒の誤差 | | 1-8 増倍時間の測定誤差(レートメーター) | -0.00¢ | +3.40¢ | |
| | | 1-9 制御棒駆動軸の熱収縮による誤差 | -0.00¢ | +0.60¢ | |
| 制御棒単体誤差合計 | | -0.00¢ | +4.00¢ | | |
| | | 統計誤差 | 系統誤差：負 系統誤差：正 | | |
| 過剰反応度測定時絶対誤差合計 | | ±0.79¢ | -0.78¢ | +4.00¢ | |
| C4,F1,B1,B4測定時絶対誤差合計 | | ±0.79¢ | -0.78¢ | +4.00¢ | |
| C10測定時絶対誤差合計 | | ±0.74¢ | -0.69¢ | +4.00¢ | |

*1 保守的に、対称位置にある制御棒の最大ステップ数を示す。

*2 置換法による制御棒価値測定に使用する、反応度基準制御棒価値(C1)の誤差

表 4.2-13 反応度抑制効果の誤差(炉心温度 200°C)

| | 単体値 (Δk/k) | 反応度 制御能力 (Δk/k) | 統計誤差(Δk/k) | | 系統誤差(Δk/k) | | | | 誤差幅 | | |
|----------------------------|---------------|-----------------------|-------------|----------|------------|------------------------------------|------------------|------------|-----------|--|--------------------------------|
| | | | 値測定上 の誤差 | 合計 | 値測定上の誤差 | 動特性パラメータ (β _{eff})の誤差 | 合計 ^{*1} | 絶対誤差(Δk/k) | 相対誤差(%) | | |
| 主 炉 停 止 系 | C 1 | - | - | | - | - | - | | | | |
| | C 2 | 0.00863 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00034 | -0.00017 | +0.00017 | | | | (系統誤差を1σ考慮) -0.5 ~ +3.1 |
| | C 3 | 0.00859 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00034 | -0.00017 | +0.00017 | | | | (系統誤差を2σ考慮) (-2.5) ~ (+5.1) |
| | C 4 | 0.00860 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00034 | -0.00017 | +0.00017 | | | | |
| | C 5 | 0.00504 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | | | |
| | C 6 | 0.00506 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | +0.0022 | | (系統誤差を3σ考慮) -0.6 ~ +3.3 |
| | C 7 | 0.00502 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | (+0.0037) | | (-2.6) ~ (+5.3) |
| | C 8 | 0.00506 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | | | |
| | C 9 | 0.00500 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | | | |
| | C 1 0 | 0.00507 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00013 | -0.00010 | +0.00010 | | | | |
| 後 備 炉 停 止 系 | F 1 | 0.00600 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00014 | -0.00012 | +0.00012 | | | | |
| | F 2 | 0.00597 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00014 | -0.00012 | +0.00012 | | | | |
| | F 3 | 0.00593 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00014 | -0.00012 | +0.00012 | | | | |
| | B 1 | 0.0135 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00063 | -0.00027 | +0.00027 | | | | (系統誤差1σ考慮) -0.3 ~ +4.7 |
| | B 2 | 0.0135 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00063 | -0.00027 | +0.00027 | | | | (系統誤差2σ考慮) -0.4 ~ +4.8 |
| | B 3 | 0.0135 | ±0.00003 | ±0.00003 | +0.00063 | -0.00027 | +0.00027 | | +0.0031 | | (系統誤差3σ考慮) -0.5 ~ +4.9 |

*1 測定上の誤差、()内はβ_{eff}の誤差を含む。

表 5.1.1-1 炉心確認試験の予測臨界制御棒位置

| CCR,FCR 引抜量 [mm] | 計算ノミナル値* ¹ | | 補正込み* ² | |
|--|-----------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | 実効増倍率 | 反応度 [Δk/k] | 実効増倍率 | 反応度 [Δk/k] |
| 1000.00 | 0.99738 | -0.00263 | 1.00412 | 0.00411 |
| 865.00 | 0.99471 | -0.00531 | 1.00143 | 0.00142 |
| 761.66 | 0.98970 | -0.01041 | 0.99634 | -0.00367 |
| 658.33 | 0.98157 | -0.01878 | 0.98810 | -0.01204 |
| 555.00 | 0.97050 | -0.03040 | 0.97689 | -0.02366 |
| 451.67 | 0.95682 | -0.04512 | 0.96303 | -0.03839 |
| 348.33 | 0.94151 | -0.06213 | 0.94751 | -0.05539 |
| 245.00 | 0.92653 | -0.07929 | 0.93235 | -0.07255 |
| 141.67 | 0.91453 | -0.09346 | 0.92020 | -0.08672 |
| 0.00 | 0.90841 | -0.10082 | 0.91401 | -0.09409 |
| 臨界(k _{eff} =1.0)となる CCR,FCR 引抜量 = 829.7mm | | | | |

*1 BCR を全引抜(引抜量 1100mm)とした状態で、CCR,FCR の引抜量をパラメータとした計算を行い、反応度(補正込み)が 0.0 となる引抜量を求めた。

*2 過剰反応度の E-C 補正值、²⁴¹Pu 崩壊効果及び α ダメージの効果を考慮。

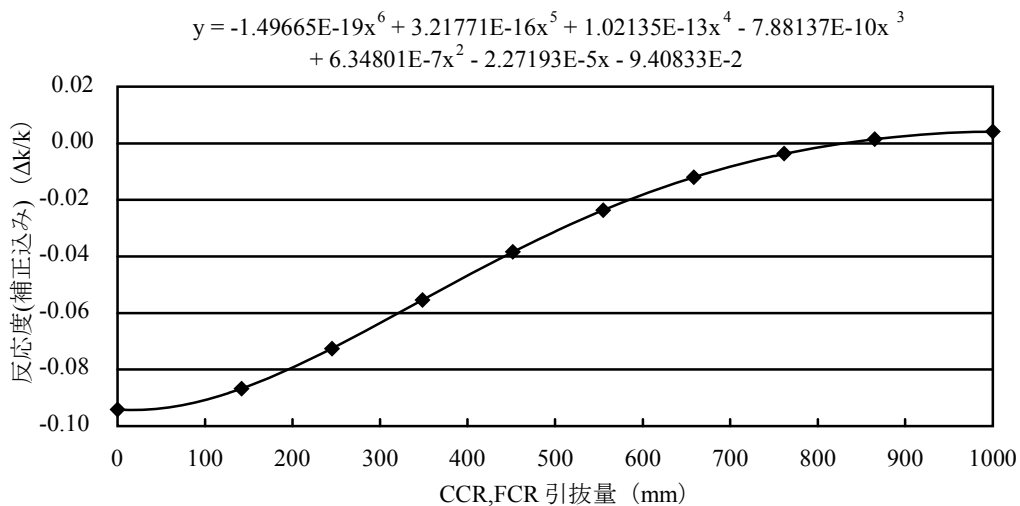


表 5.1.1-2 動特性パラメータ

| 項目 | | 動特性パラメータ |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| 実効遅発中性子割合 | β_{eff} | 3.32103×10^{-3} |
| 実効遅発中性子割合 (ファミリー毎) | β_1 | 7.87173×10^{-5} |
| | β_2 | 7.09826×10^{-4} |
| | β_3 | 6.10649×10^{-4} |
| | β_4 | 1.20866×10^{-3} |
| | β_5 | 5.47426×10^{-4} |
| | β_6 | 1.65755×10^{-4} |
| 先行核崩壊定数(s^{-1}) | λ_1 | 1.29660×10^{-2} |
| | λ_2 | 3.12874×10^{-2} |
| | λ_3 | 1.34616×10^{-1} |
| | λ_4 | 3.44560×10^{-1} |
| | λ_5 | 1.38307×10^0 |
| | λ_6 | 3.76334×10^0 |
| 即発中性子寿命(μs) | | 0.44119 |

表 5.1.2-1 過剰反応度の測定値と計算値比較及び予測値

[単位： $\Delta k/k$]

| | 初回性能試験 | | | 炉心確認試験(平成 22 年 5 月 26 日) | | |
|-------|--------|---------|-------|--------------------------|----------|-------|
| | 測定値(E) | 計算値(C) | E-C | 測定値(E) (2010/6/1) | 計算値(C) | E-C |
| 過剰反応度 | 0.0287 | 0.02226 | 0.644 | 0.0064 | -0.00280 | 0.903 |

[単位： $\Delta k/k$]

| | 計算値(C) (平成 22 年 4 月 30 日時点) | 補正 | | | 予測値 (平成 22 年 6 月 1 日) |
|-------|--------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | | 初回性能試 験 E-C | ^{241}Pu 崩壊 効果 | α 線自己 照射効果 | |
| 過剰反応度 | -0.00263 | 0.00644 | 0.0007 | -0.0004 | 0.00411 |

表 5.1.2-2 制御棒単体価値及び制御能力の測定値と計算値比較

| 解析対象 制御棒 | | 初回性能試験 | | | 炉心確認試験 | | | |
|-------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|---------|------------------|--------------------------------|---------|------|
| | | 測定値(E) [Δk/k] | 計算値(C) ^{*1} [Δk/k] | E/C | 測定値(E) [Δk/k] | 計算値(C) ^{*1} [Δk/k] | E/C | |
| 制御棒単体価値 | 粗調整棒 | C1 | 0.00985 | 0.01000 | 0.99 | 0.0103 | 0.0107 | 0.96 |
| | | C2 | 0.00864 | 0.00880 | 0.98 | 0.00863 | 0.00890 | 0.97 |
| | | C3 | 0.00858 | 0.00880 | 0.97 | 0.00859 | 0.00898 | 0.96 |
| | | C4 | 0.00865 | 0.00880 | 0.98 | 0.00860 | 0.00892 | 0.96 |
| | | C5 | 0.00593 | 0.00601 | 0.99 | 0.00504 | 0.00516 | 0.98 |
| | | C6 | 0.00577 | 0.00587 | 0.98 | 0.00506 | 0.00518 | 0.98 |
| | | C7 | 0.00585 | 0.00600 | 0.98 | 0.00502 | 0.00522 | 0.96 |
| | | C8 | 0.00575 | 0.00587 | 0.98 | 0.00506 | 0.00526 | 0.96 |
| | | C9 | 0.00583 | 0.00598 | 0.97 | 0.00500 | 0.00522 | 0.96 |
| | | C10 | 0.00581 | 0.00588 | 0.99 | 0.00507 | 0.00520 | 0.98 |
| | 微調整棒 | F1 | 0.00665 | 0.00674 | 0.99 | 0.00600 | 0.00624 | 0.96 |
| | | F2 | 0.00656 | 0.00672 | 0.98 | 0.00597 | 0.00626 | 0.95 |
| | | F3 | 0.00654 | 0.00671 | 0.97 | 0.00593 | 0.00631 | 0.94 |
| | 後備炉停止棒 | B1 | 0.01162 | 0.01354 | 0.86 | 0.0135 | 0.0142 | 0.95 |
| | | B2 | 0.01149 | 0.01355 | 0.85 | 0.0135 | 0.0143 | 0.94 |
| | | B3 | 0.01149 | 0.01352 | 0.85 | 0.0135 | 0.0143 | 0.94 |
| | | B4 | 0.00868 | 0.00985 | 0.88 | 0.00943 | 0.00968 | 0.97 |
| | | B5 | 0.00855 | 0.00984 | 0.87 | 0.00941 | 0.00986 | 0.95 |
| B6 | | 0.00861 | 0.00982 | 0.88 | 0.00938 | 0.00978 | 0.96 | |
| 制御能力 | 主炉停止系 ^{*2} (C1を除く) | 0.0805 | 0.0821 | 0.98 | 0.0739 | 0.0768 | 0.96 | |
| | 後備炉停止系 ^{*2} | 0.0604 | 0.0701 | 0.86 | 0.0687 | 0.0719 | 0.96 | |

*1 解析対象外の制御棒引抜量は、以下のとおりである。

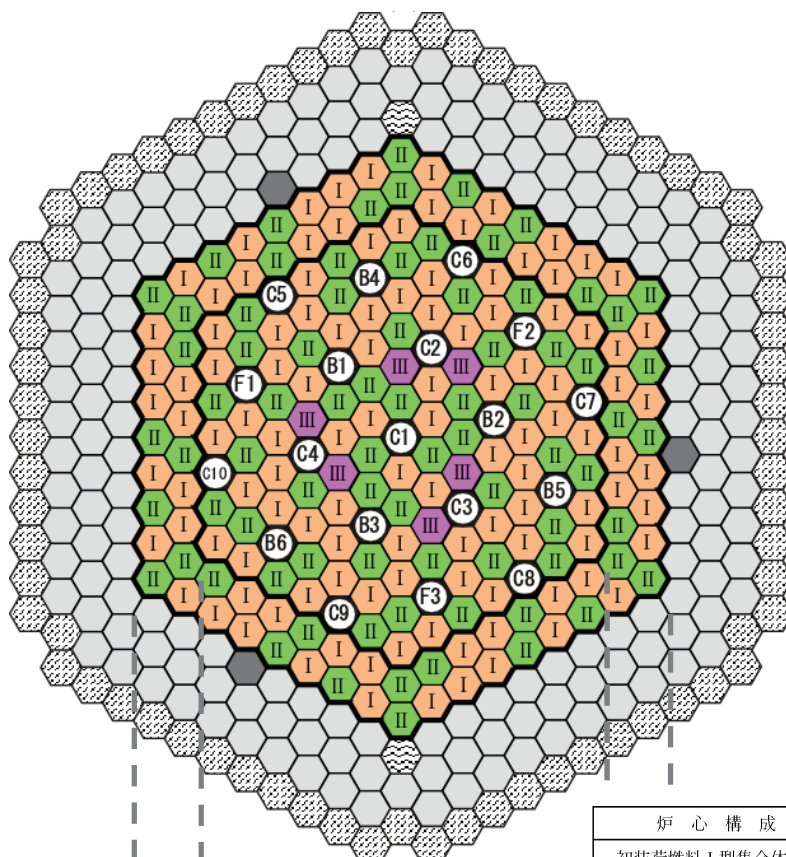
| | 初回性能試験 | | 炉心確認試験 | |
|-------------------|----------|--------|----------|--------|
| | CCR, FCR | BCR | CCR, FCR | BCR |
| C1～C10, F1～F3 の解析 | 543mm | 1100mm | 830mm | 1100mm |
| B1～B6 の解析 | 720mm | 1100mm | 830mm | 1100mm |

*2 測定値及び計算値は小数点以下第5桁を切り捨て。E/Cは小数点以下第3桁を四捨五入。

表 5.1.2-3 最大反応度添加率の測定値と計算値比較

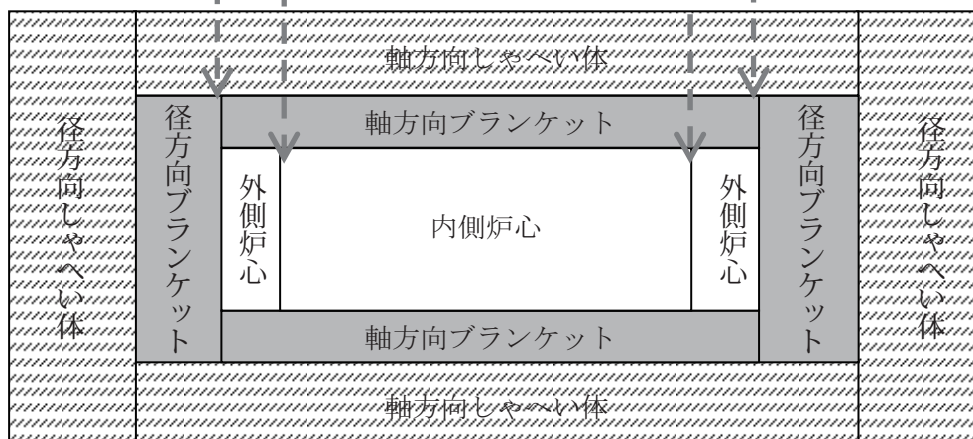
| 解析対象 制御棒 | | 炉心確認試験 | | |
|-------------|-----|----------------------------------|-----------------------|-------|
| | | 測定値(E) ^{*1} [Δk/k/s] | 計算値(C) [Δk/k/s] | E/C |
| 粗調整棒 | C1 | 3.51×10 ⁻⁵ | 3.53×10 ⁻⁵ | 0.993 |
| | C2 | 2.73×10 ⁻⁵ | 2.93×10 ⁻⁵ | 0.933 |
| | C3 | 2.73×10 ⁻⁵ | 2.95×10 ⁻⁵ | 0.924 |
| | C4 | 2.70×10 ⁻⁵ | 2.93×10 ⁻⁵ | 0.920 |
| | C5 | 1.56×10 ⁻⁵ | 1.68×10 ⁻⁵ | 0.928 |
| | C6 | 1.68×10 ⁻⁵ | 1.69×10 ⁻⁵ | 0.991 |
| | C7 | 1.69×10 ⁻⁵ | 1.70×10 ⁻⁵ | 0.994 |
| | C8 | 1.55×10 ⁻⁵ | 1.72×10 ⁻⁵ | 0.900 |
| | C9 | 1.62×10 ⁻⁵ | 1.70×10 ⁻⁵ | 0.953 |
| | C10 | 1.65×10 ⁻⁵ | 1.70×10 ⁻⁵ | 0.970 |
| 微調整棒 | F1 | 5.15×10 ⁻⁵ | 5.14×10 ⁻⁵ | 1.003 |
| | F2 | 4.44×10 ⁻⁵ | 5.15×10 ⁻⁵ | 0.863 |
| | F3 | 4.78×10 ⁻⁵ | 5.19×10 ⁻⁵ | 0.920 |

*1 小数点以下 3 桁を四捨五入した値。



水平断面

| 炉心構成要素 | 記号 |
|--------------------------------|----|
| 初装荷燃料Ⅰ型集合体 | Ⅰ |
| 初装荷燃料Ⅱ型集合体 | Ⅱ |
| 初装荷燃料Ⅲ型集合体 | Ⅲ |
| 初装荷ブランケット燃料集合体 | ○ |
| 初装荷ブランケット燃料集合体 (炉心確認試験前装荷分) | ● |
| 粗調整棒 | ○ |
| 微調整棒 | ⊕ |
| 後備炉停止棒 | ⊖ |
| 中性子しゃへい体 | ⊘ |
| 中性子源集合体 | ⊙ |



垂直断面

図 2.1.1-1 炉心構成

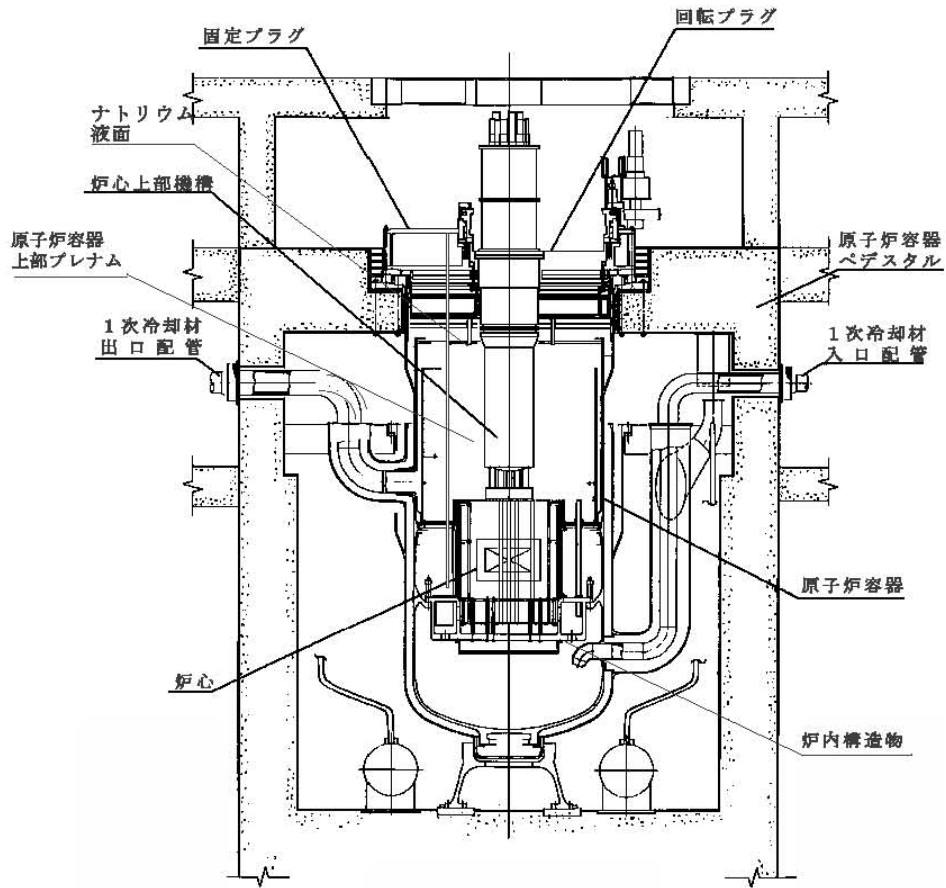


図 2.1.1-2 原子炉構造図

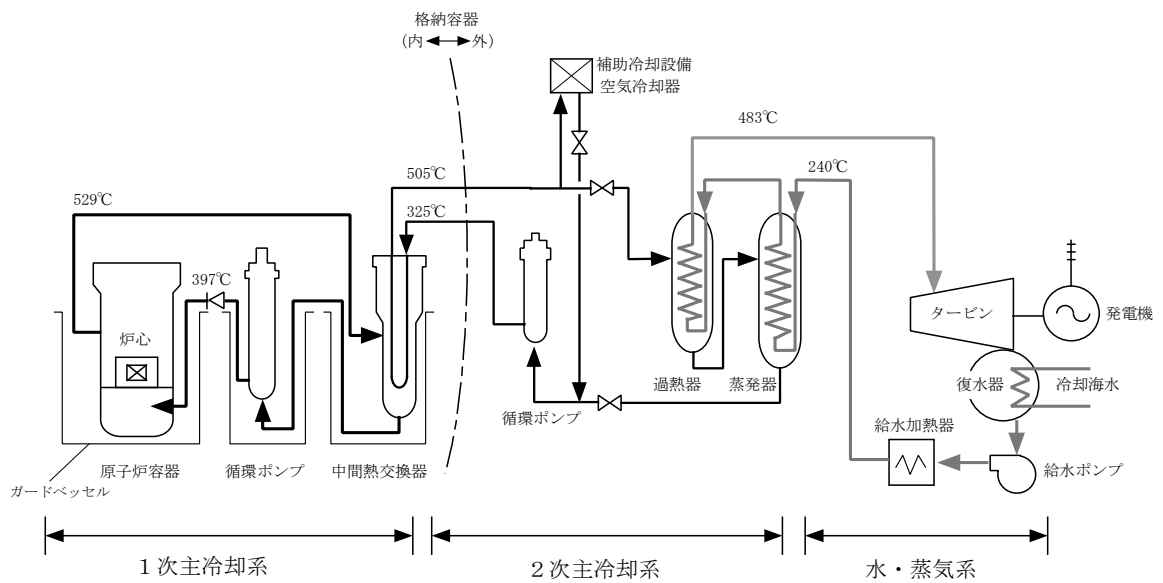


図 2.3.1-1 原子炉冷却系の系統概略図

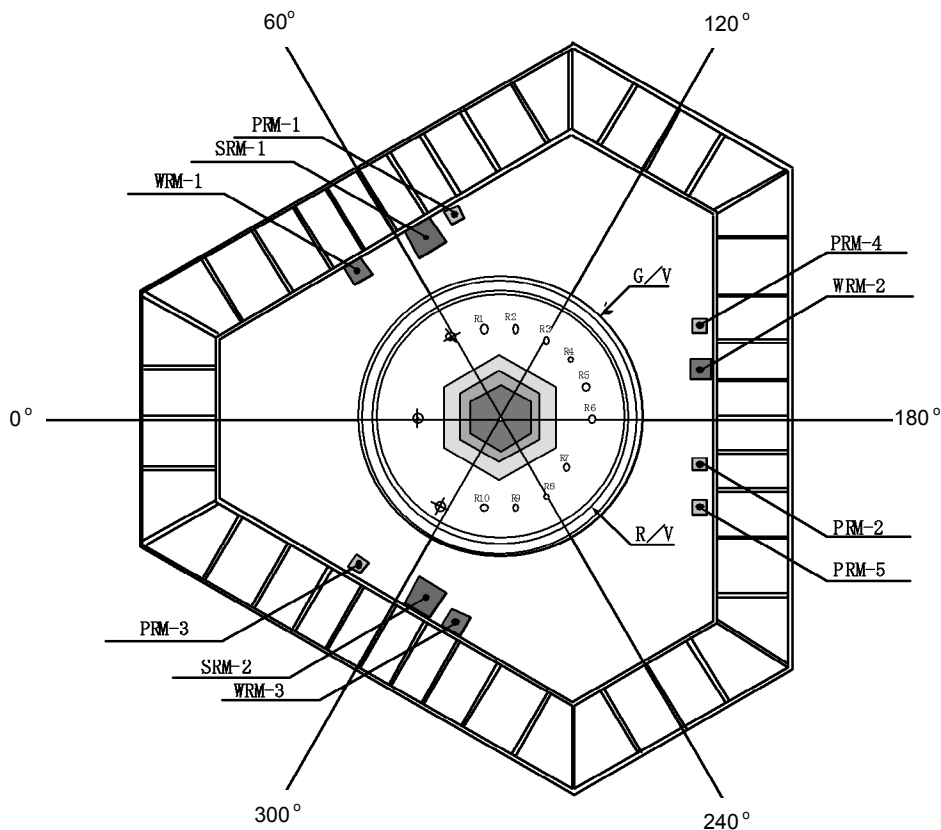


図 2.4.1-1 炉心と中性子計装の位置関係図

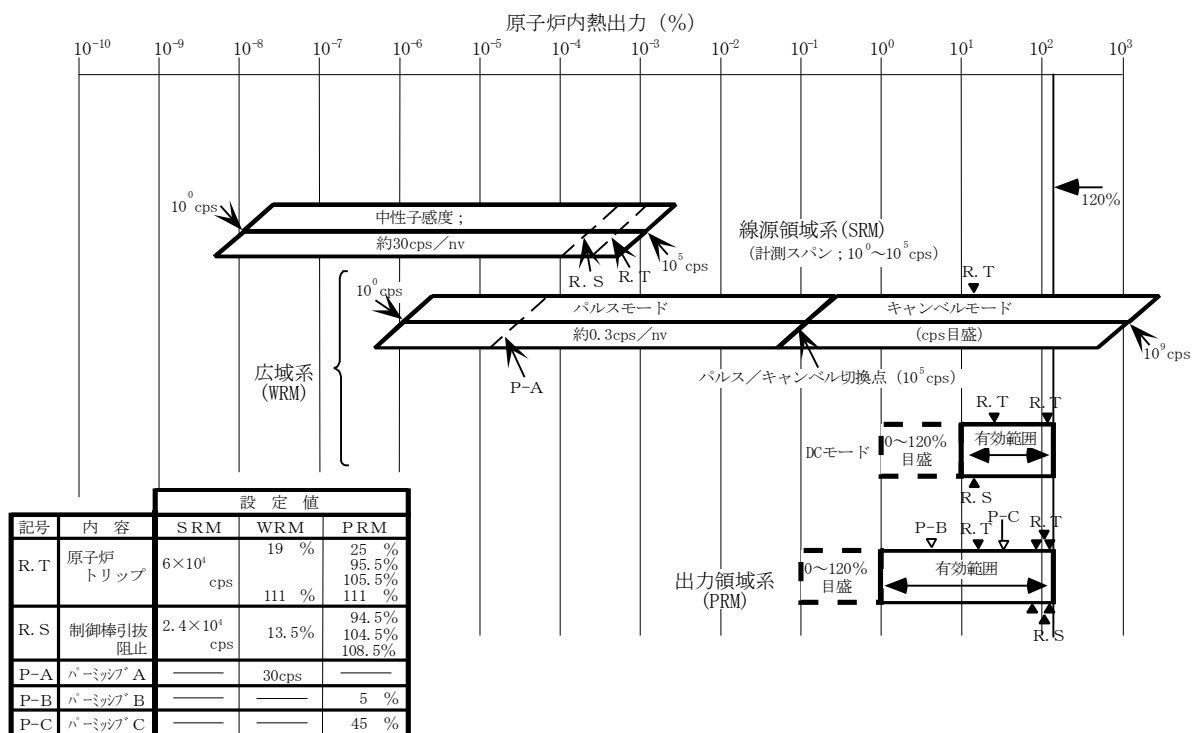


図 2.4.1-2 中性子計装の測定範囲

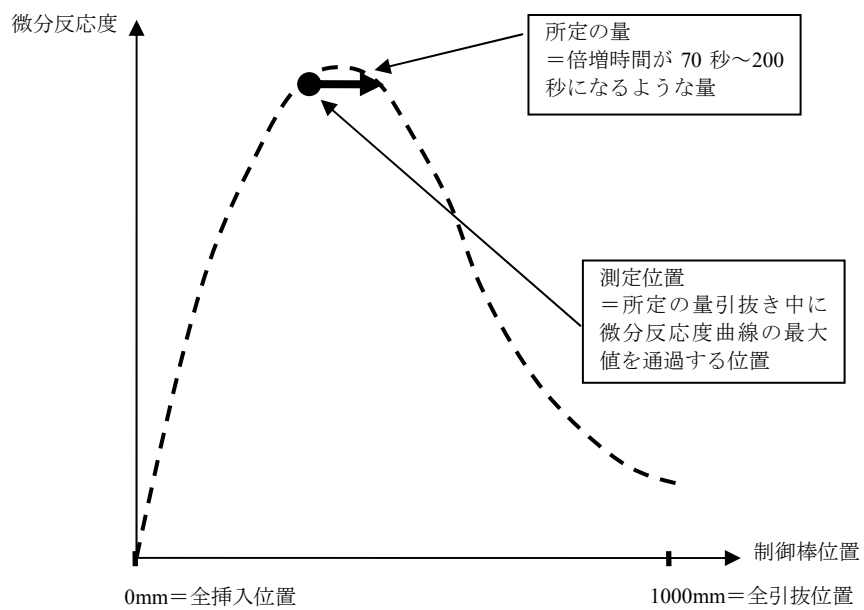


図 3.1.3-1 最大微分反応度の測定位置と所定の量

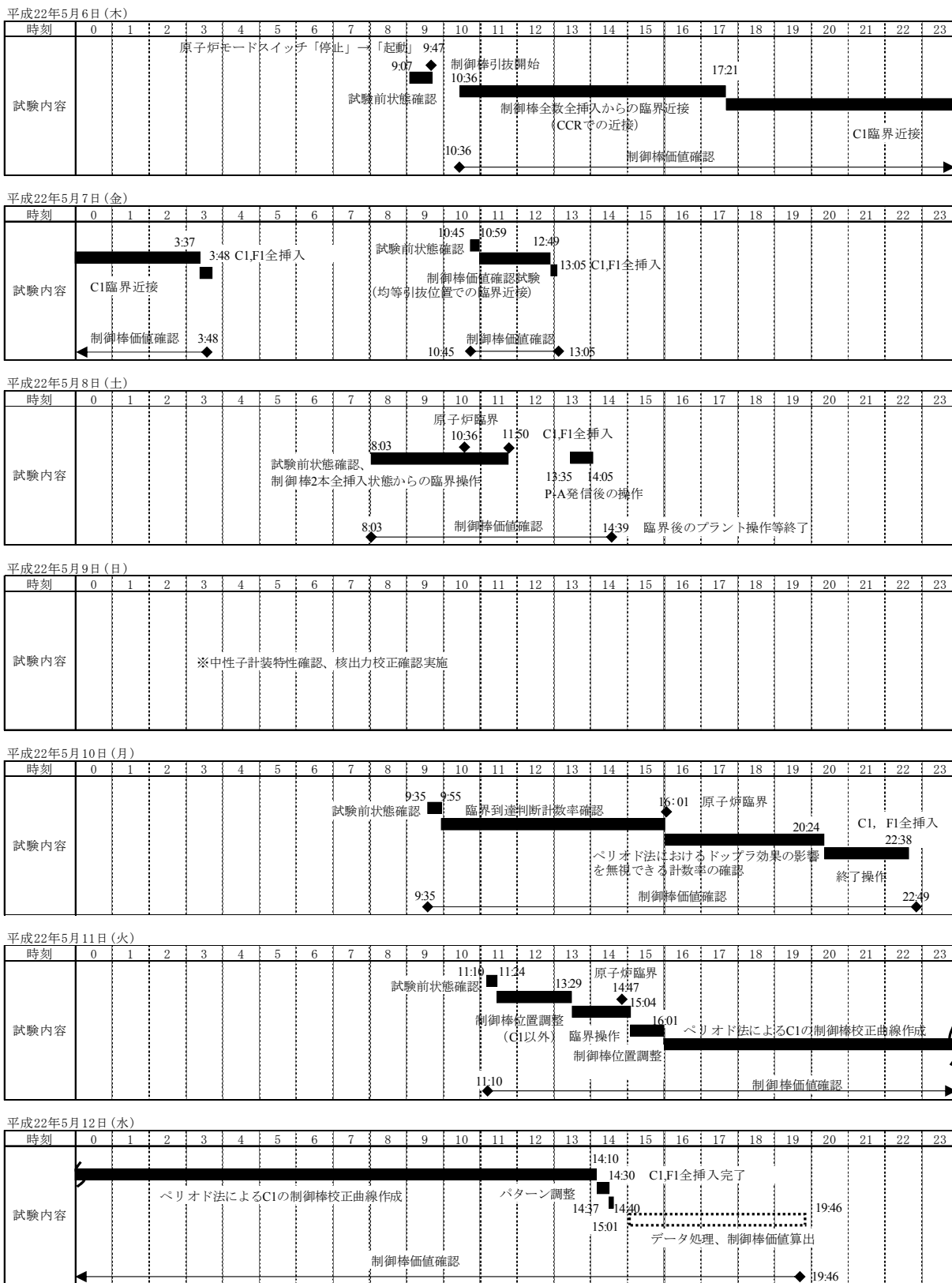


図 3.3-1 「制御棒値確認」、「過剰反応度測定試験」、「反応度停止余裕測定試験」実績工程 (1/4)

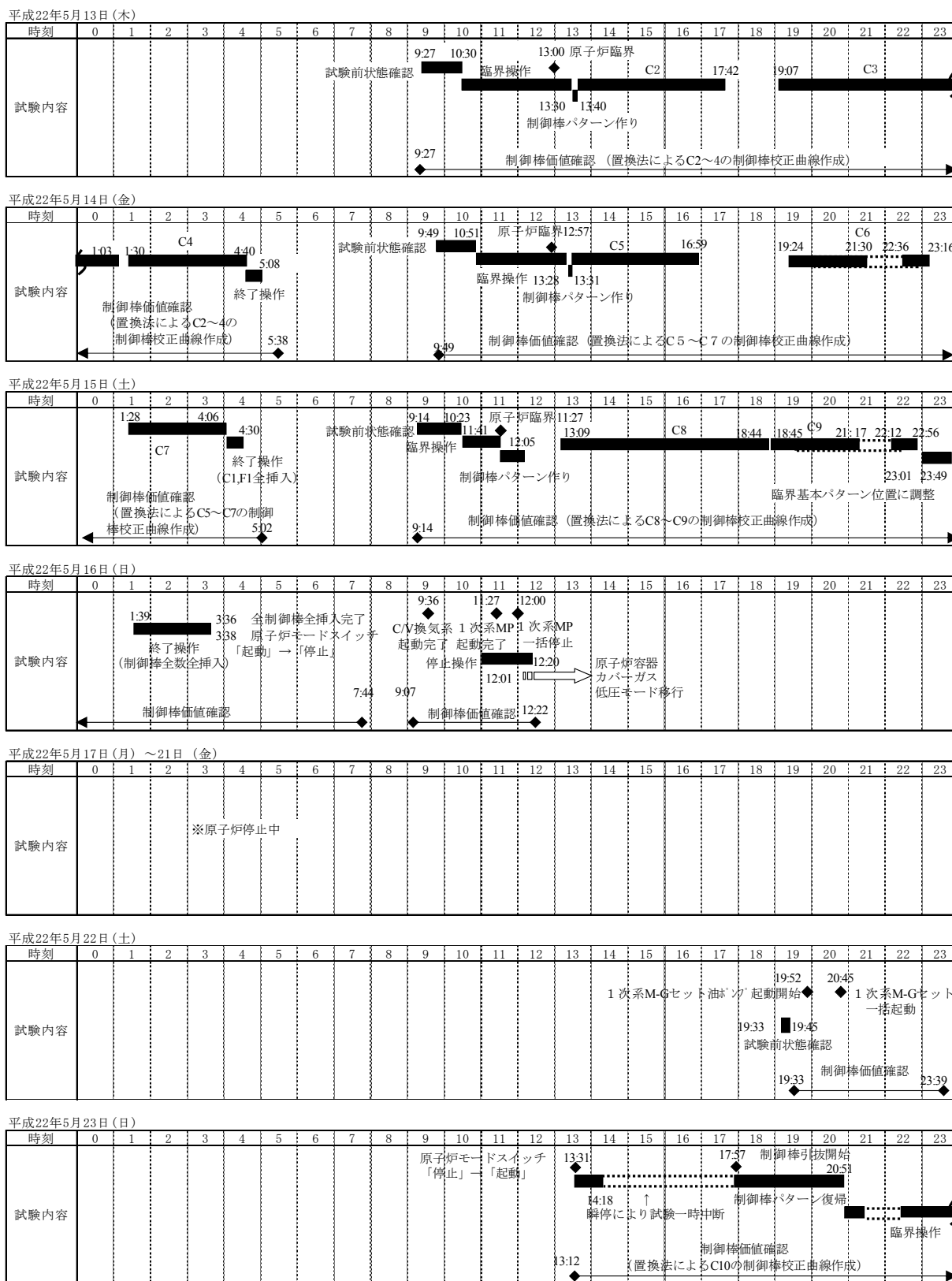


図 3.3-1 「制御棒値確認」、「過剰反応度測定試験」、「反応度停止余裕測定試験」実績工程 (2/4)

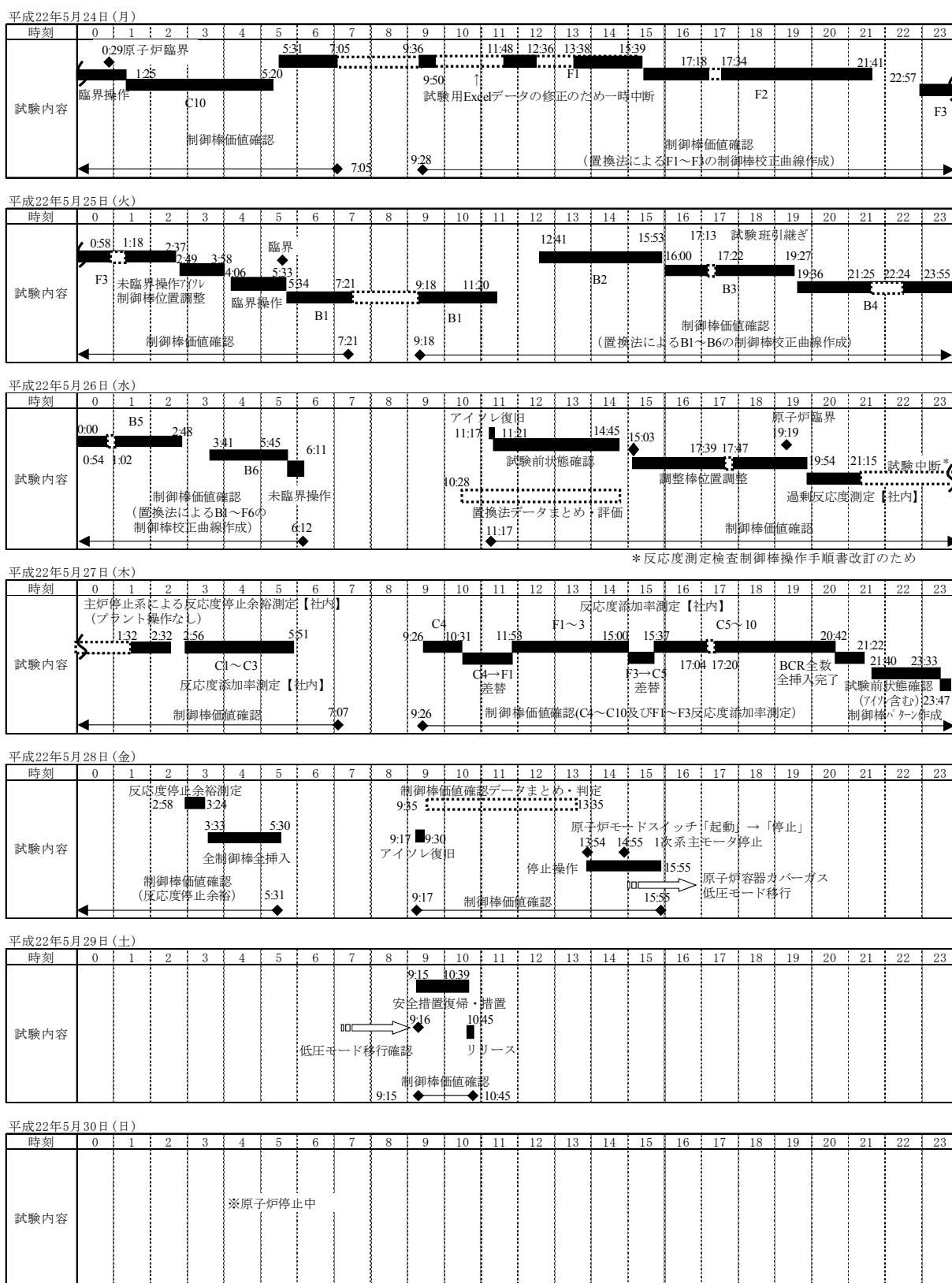


図 3.3-1 「制御棒値確認」、「過剰反応度測定試験」、「反応度停止余裕測定試験」実績工程 (3/4)

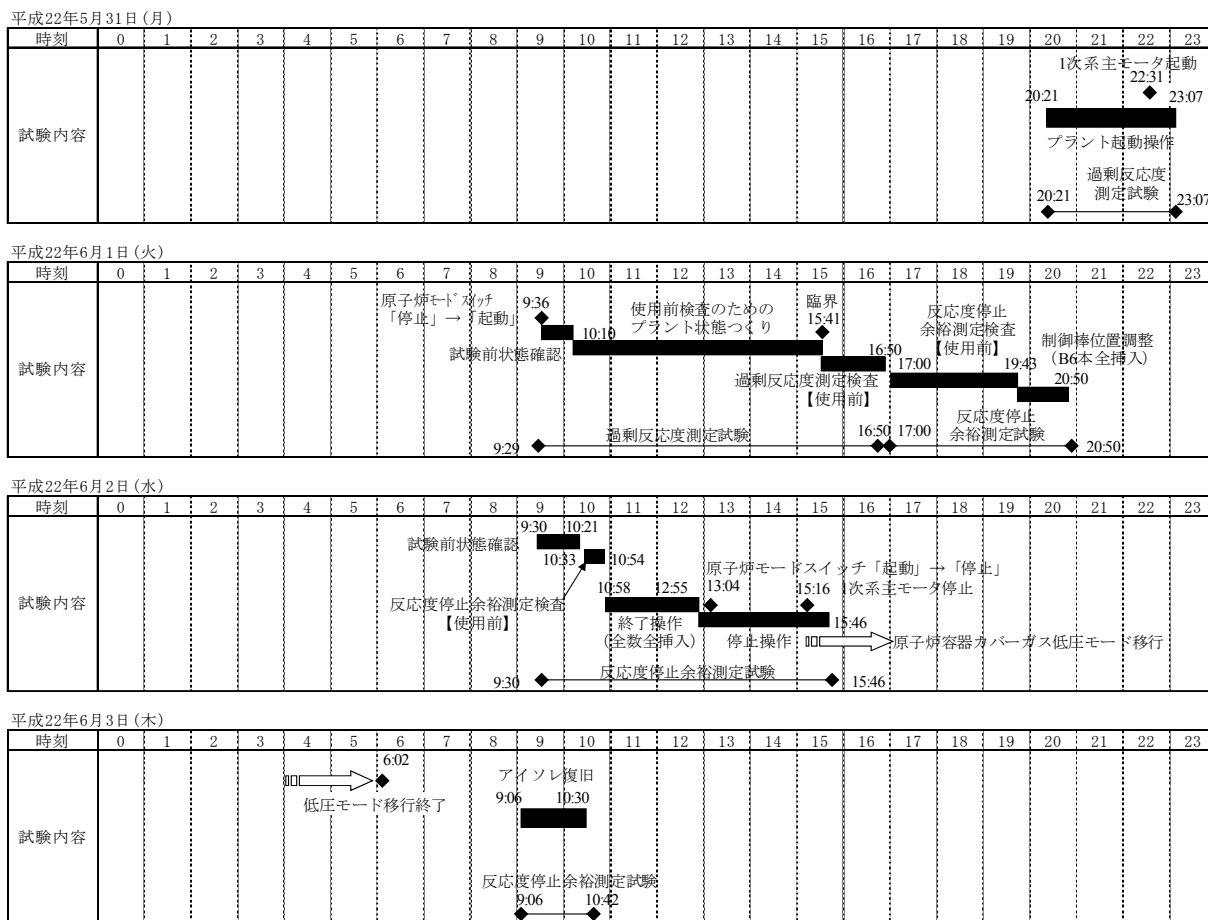
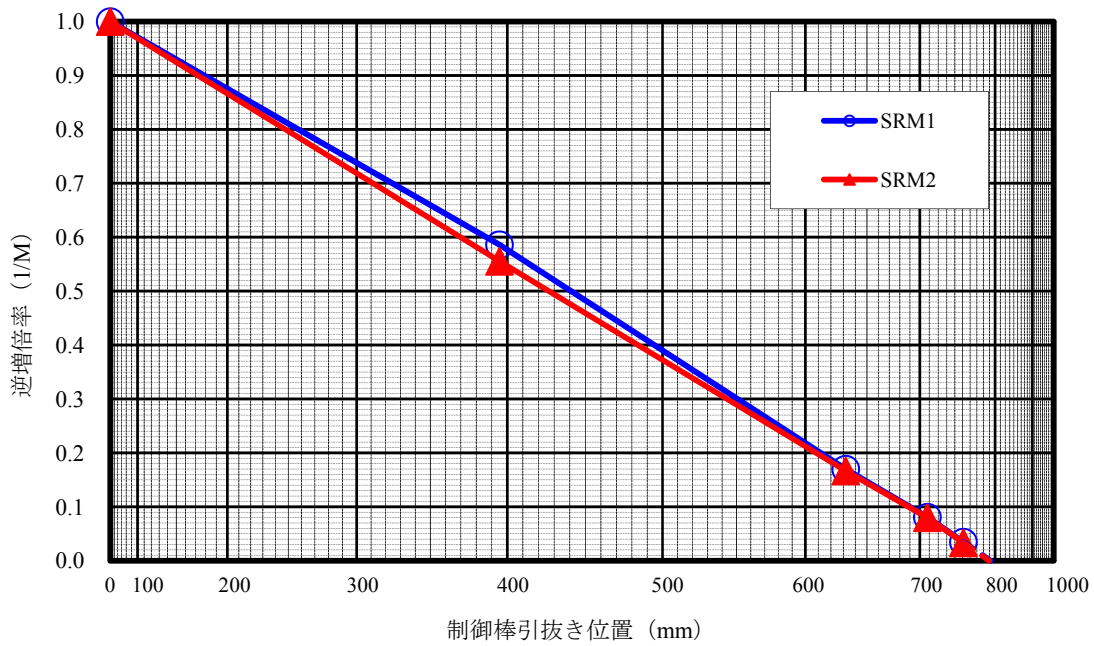
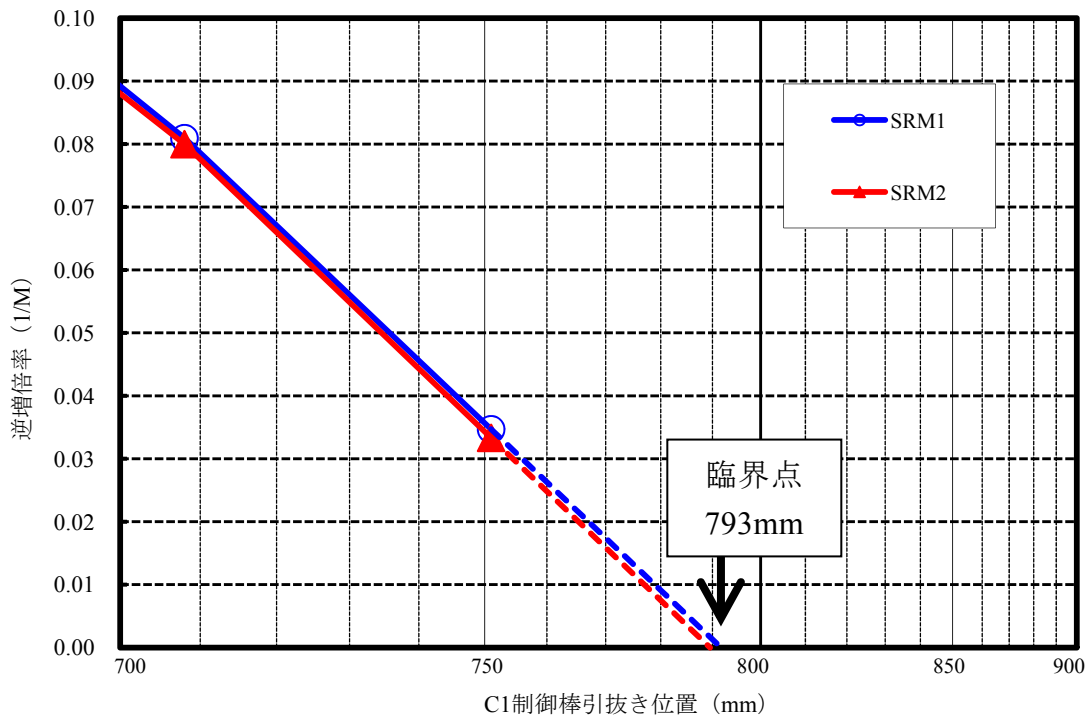


図 3.3-1 「制御棒価値確認」、「過剰反応度測定試験」、「反応度停止余裕測定試験」実績工程 (4/4)



(a) C1 全挿入状態からの逆増倍曲線



(b) 上記(a)の拡大図

図 4.1.1-1 炉心確認試験で最初の臨界近接時の逆増倍曲線(C1以外の調整棒引抜き位置 795mm)

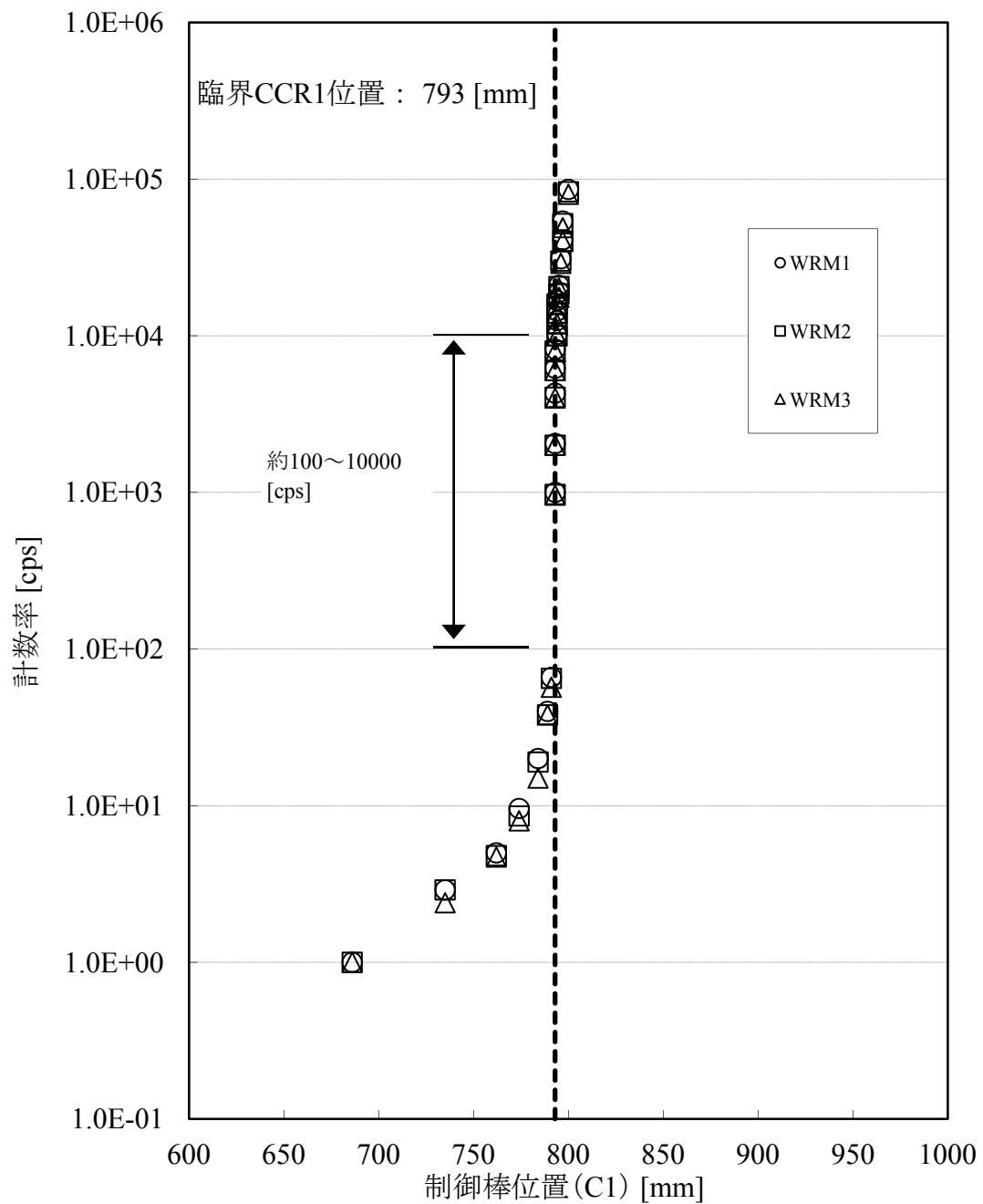


図 4.1.1-2 ペリオド法の測定に適する計数率範囲測定結果

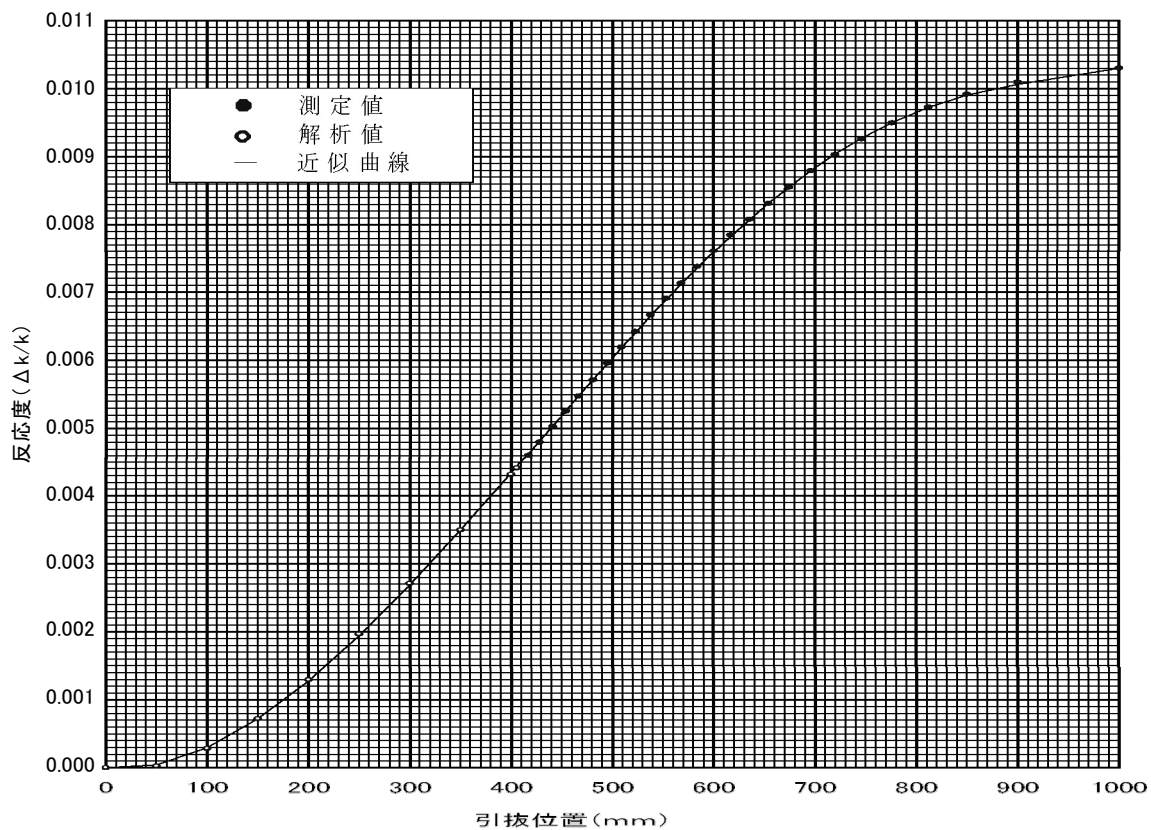


図 4.1.2-1 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C1）

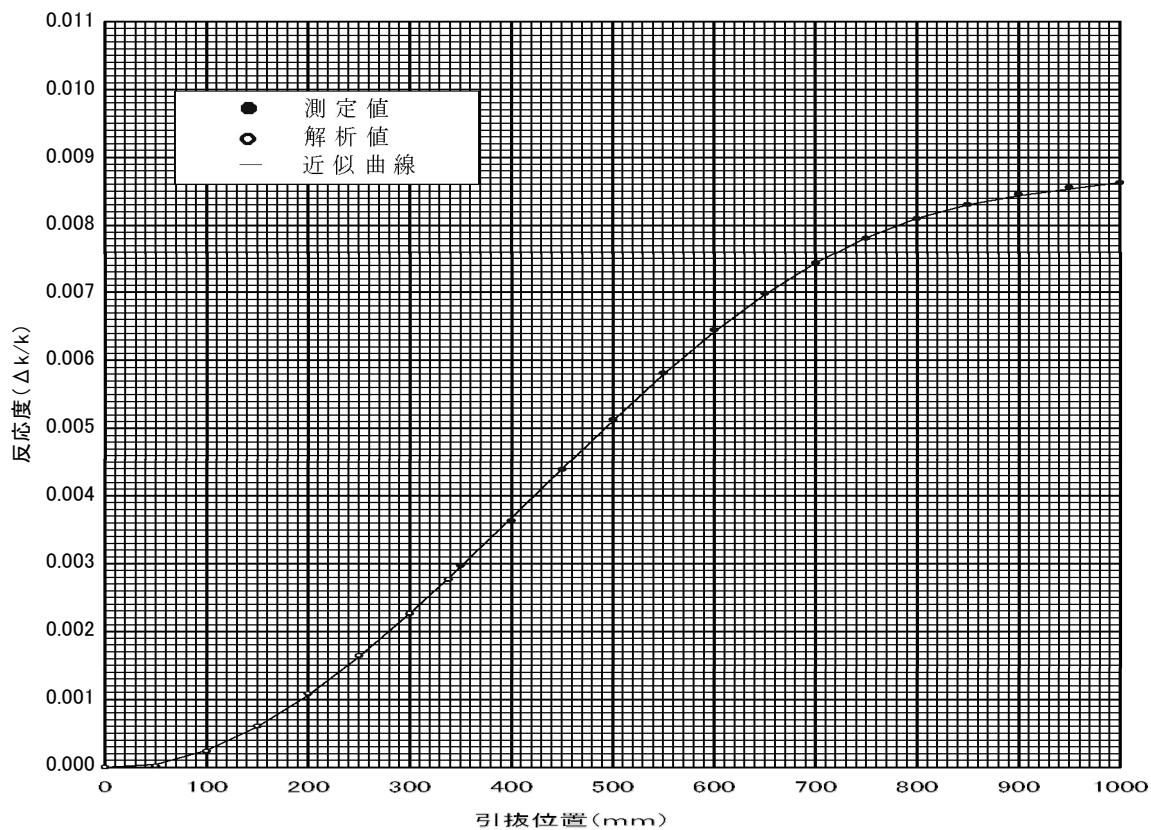


図 4.1.2-2 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C2）

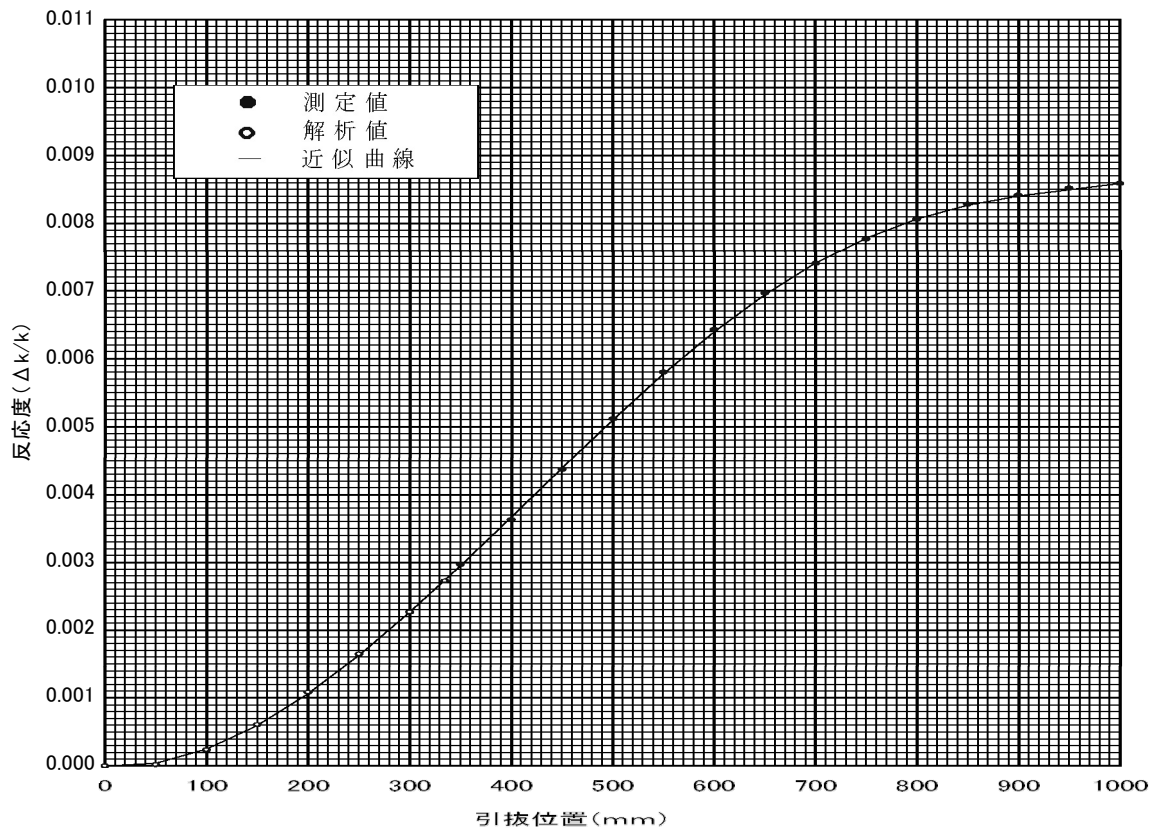


図 4.1.2-3 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C3）

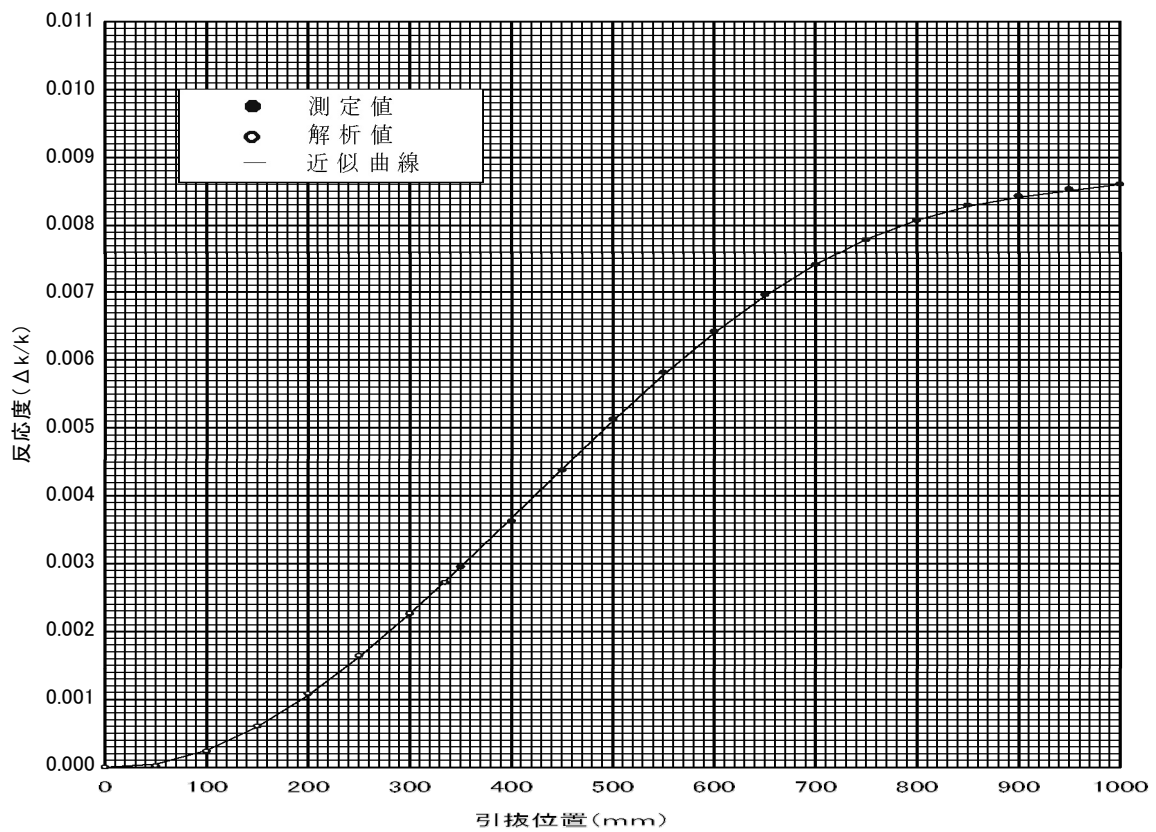


図 4.1.2-4 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C4）

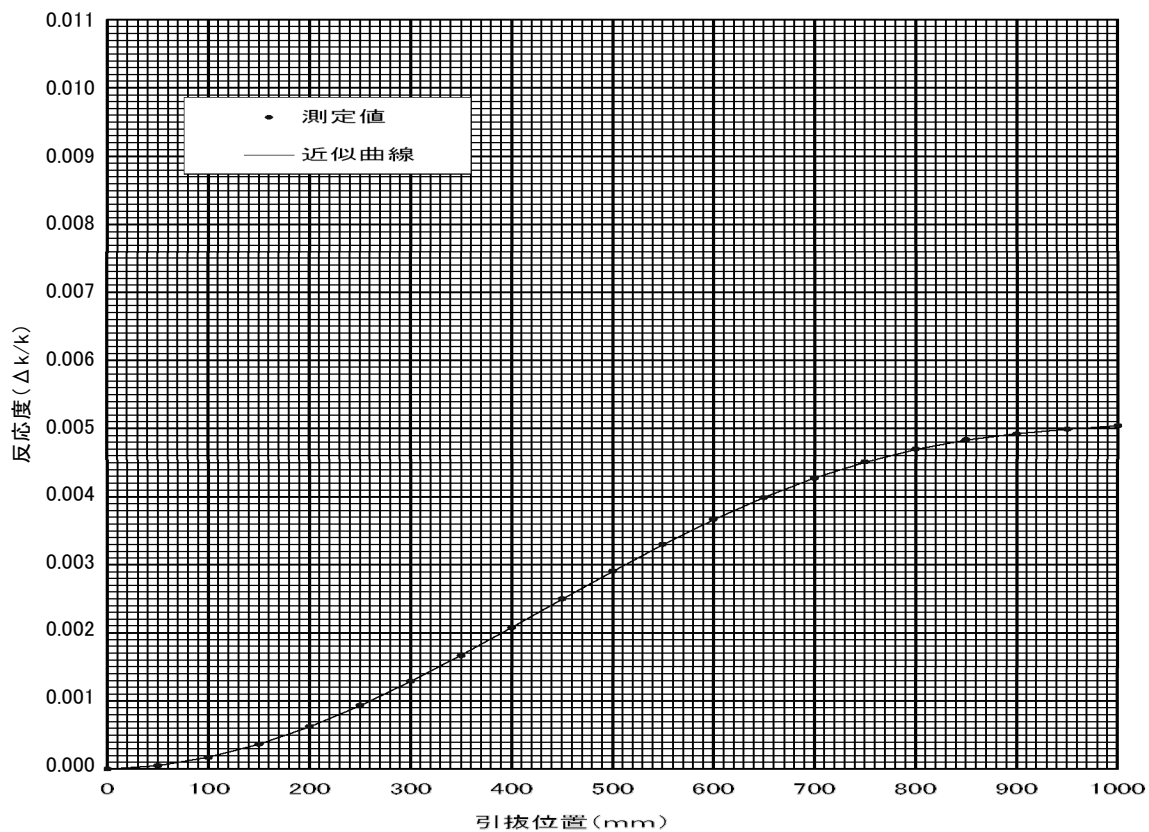


図 4.1.2-5 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C5）

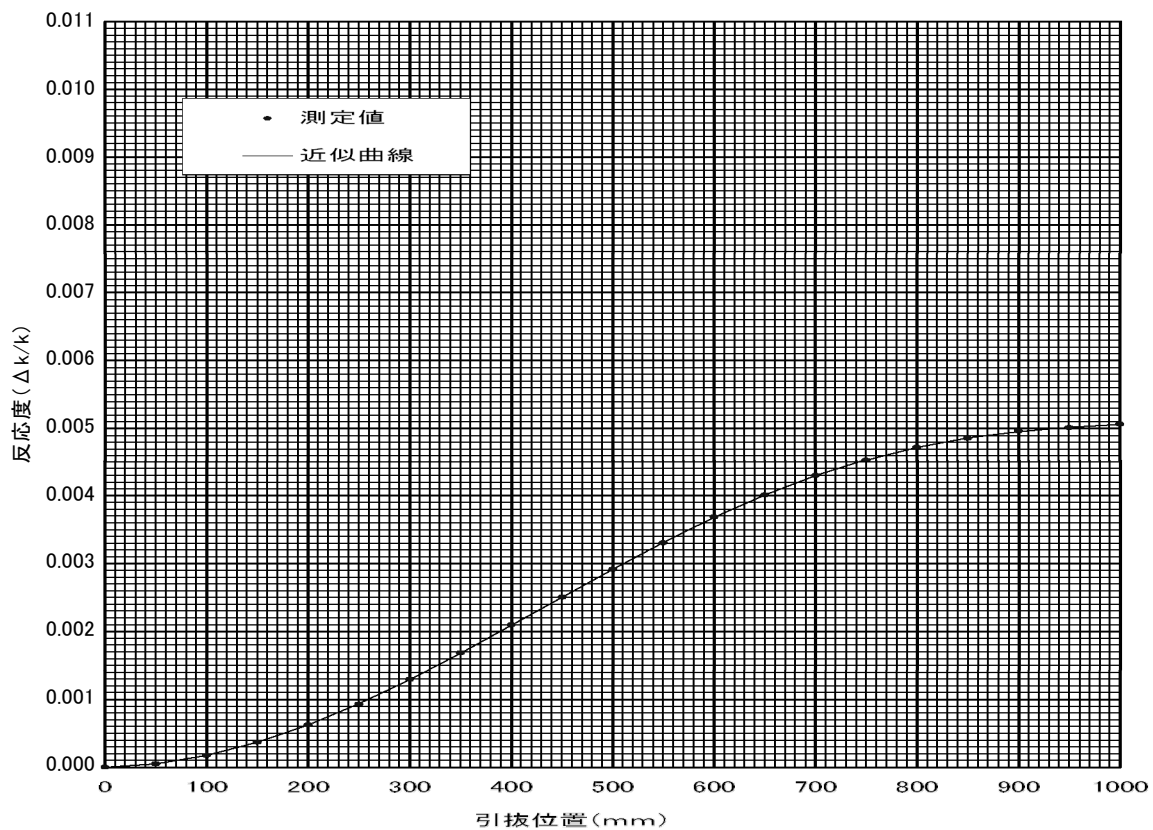


図 4.1.2-6 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C6）

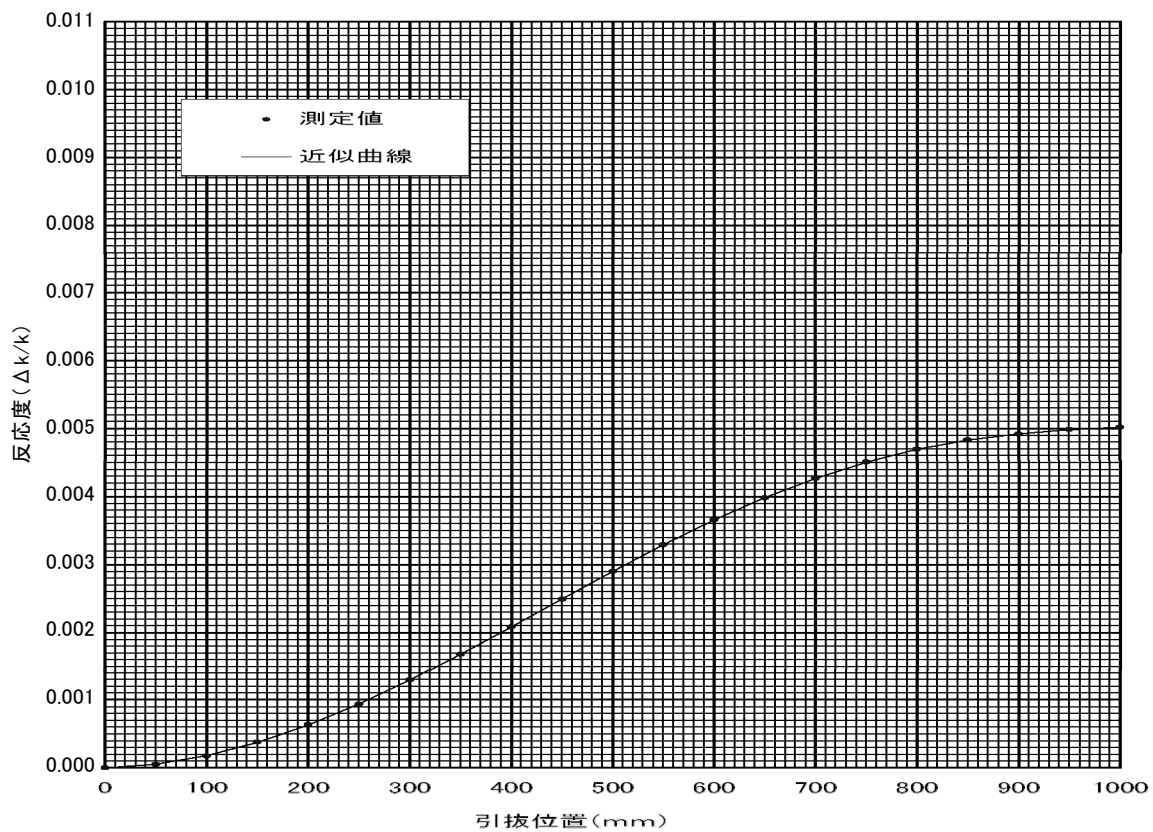


図 4.1.2-7 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C7）

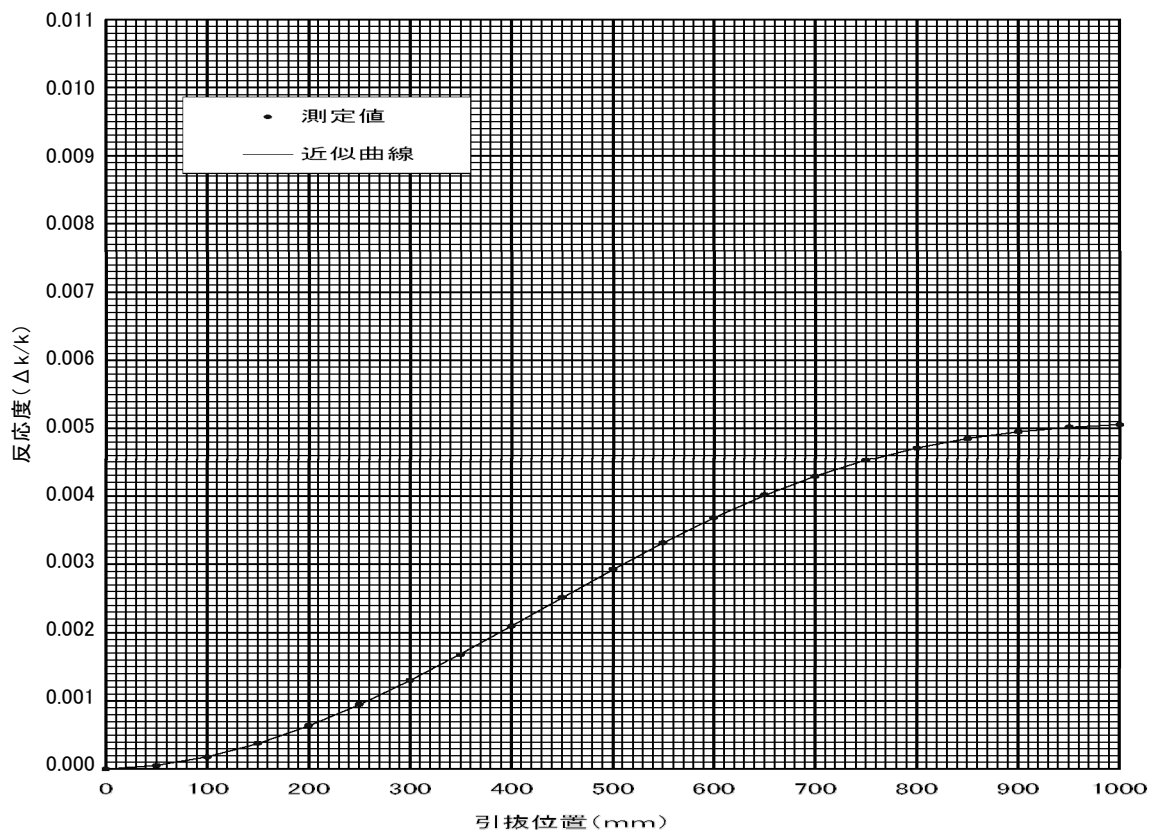


図 4.1.2-8 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C8）

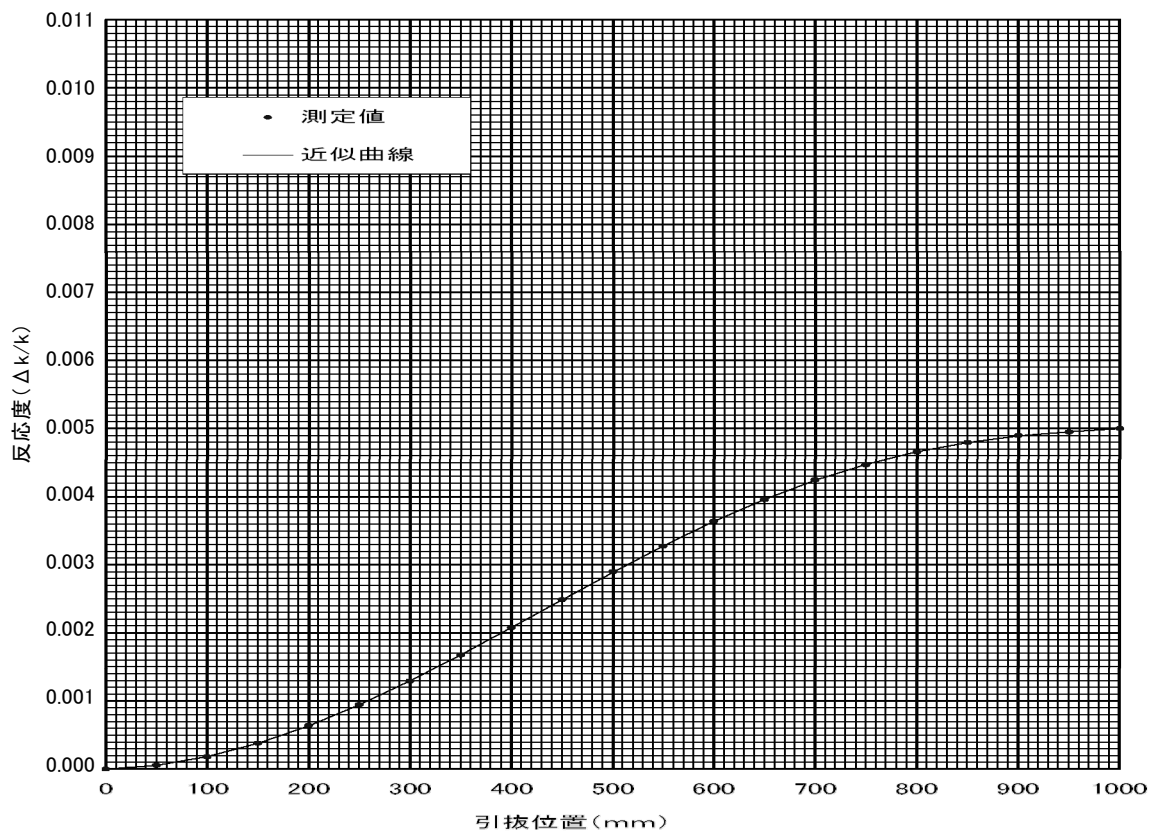


図 4.1.2-9 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C9）

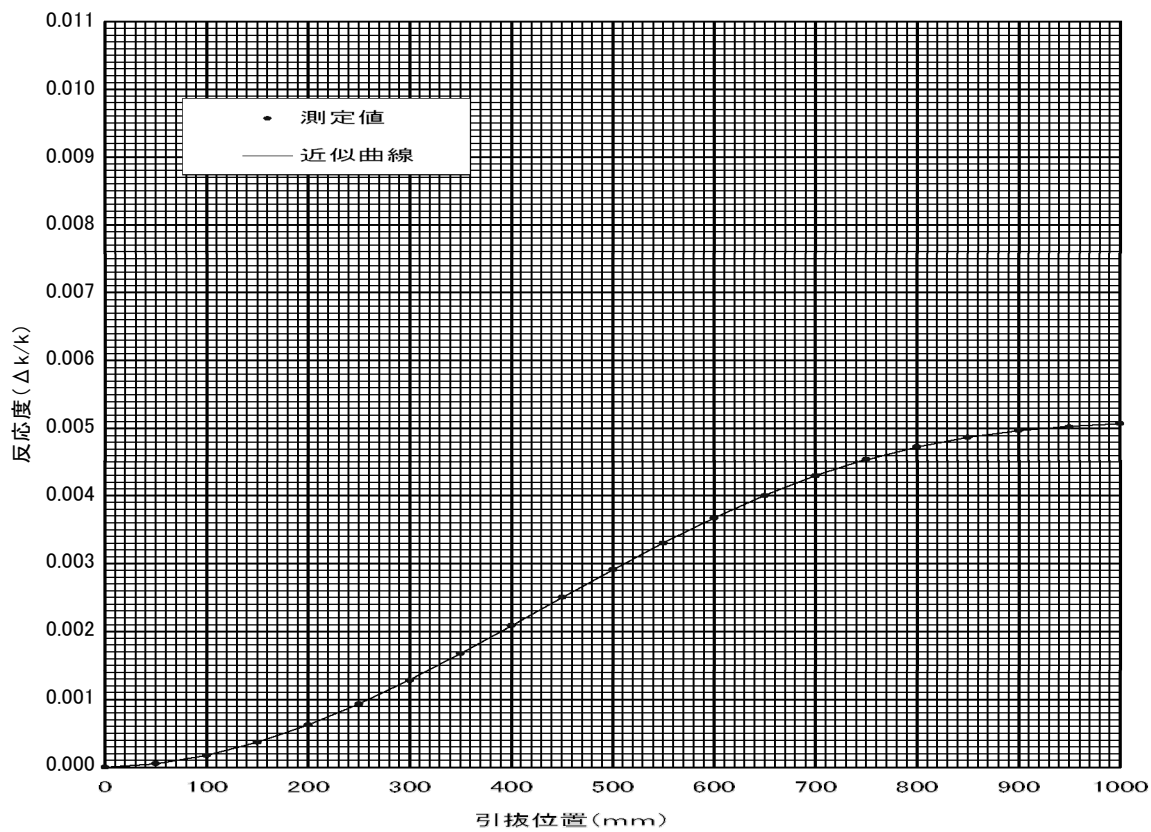


図 4.1.2-10 制御棒校正曲線（絶対値）（粗調整棒 C10）

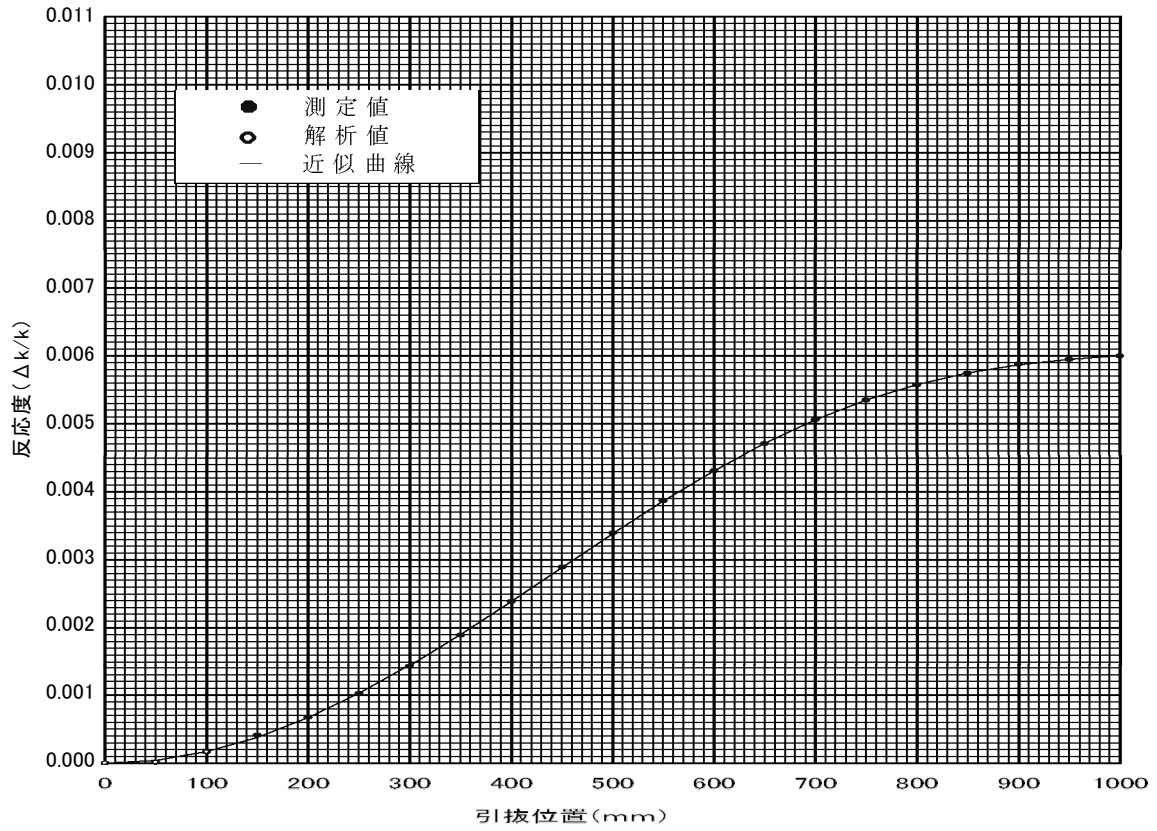


図 4.1.2-11 制御棒校正曲線（絶対値）（微調整棒 F1）

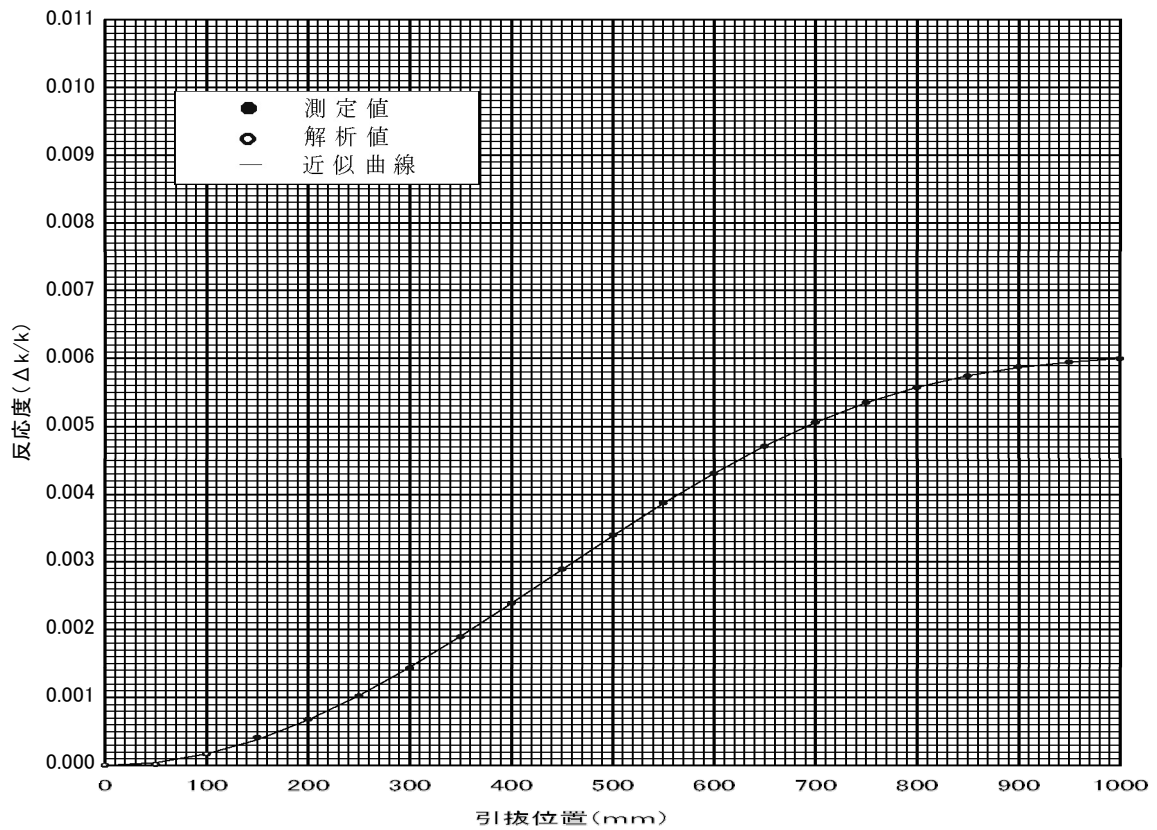


図 4.1.2-12 制御棒校正曲線（絶対値）（微調整棒 F2）

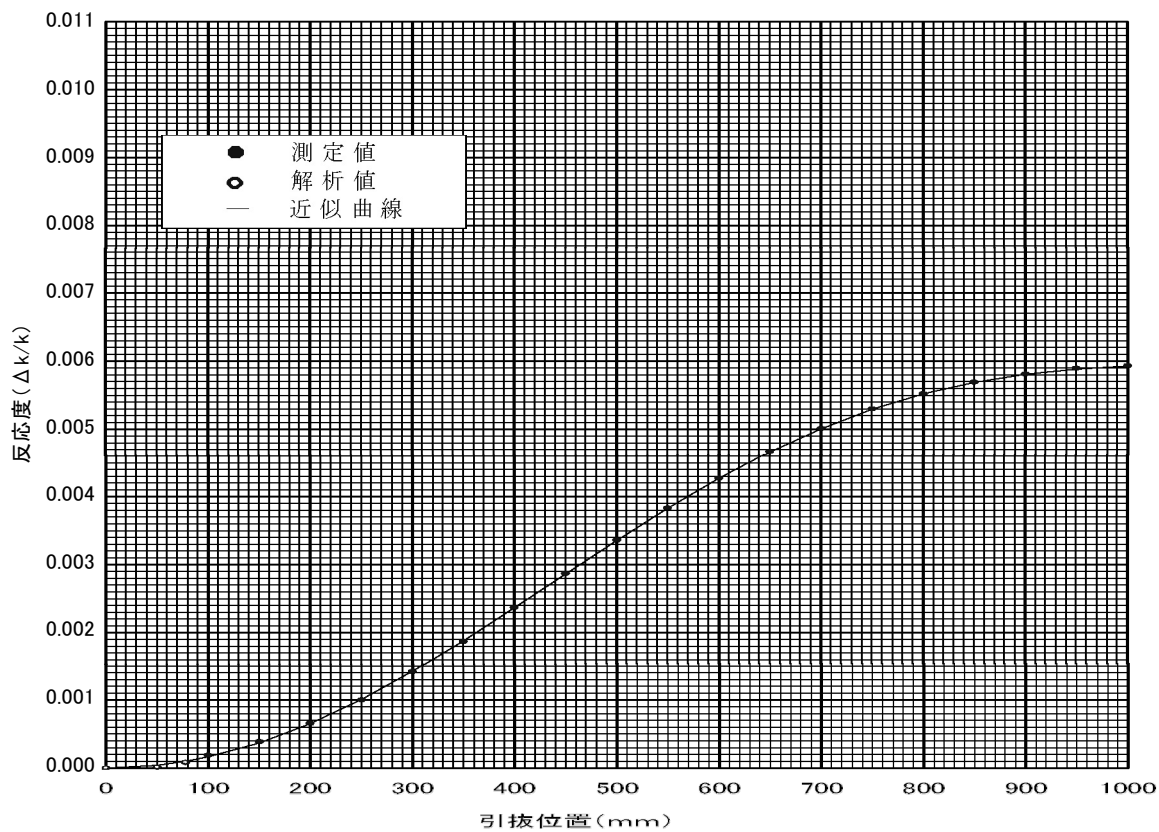


図 4.1.2-13 制御棒校正曲線 (絶対値) (微調整棒 F3)

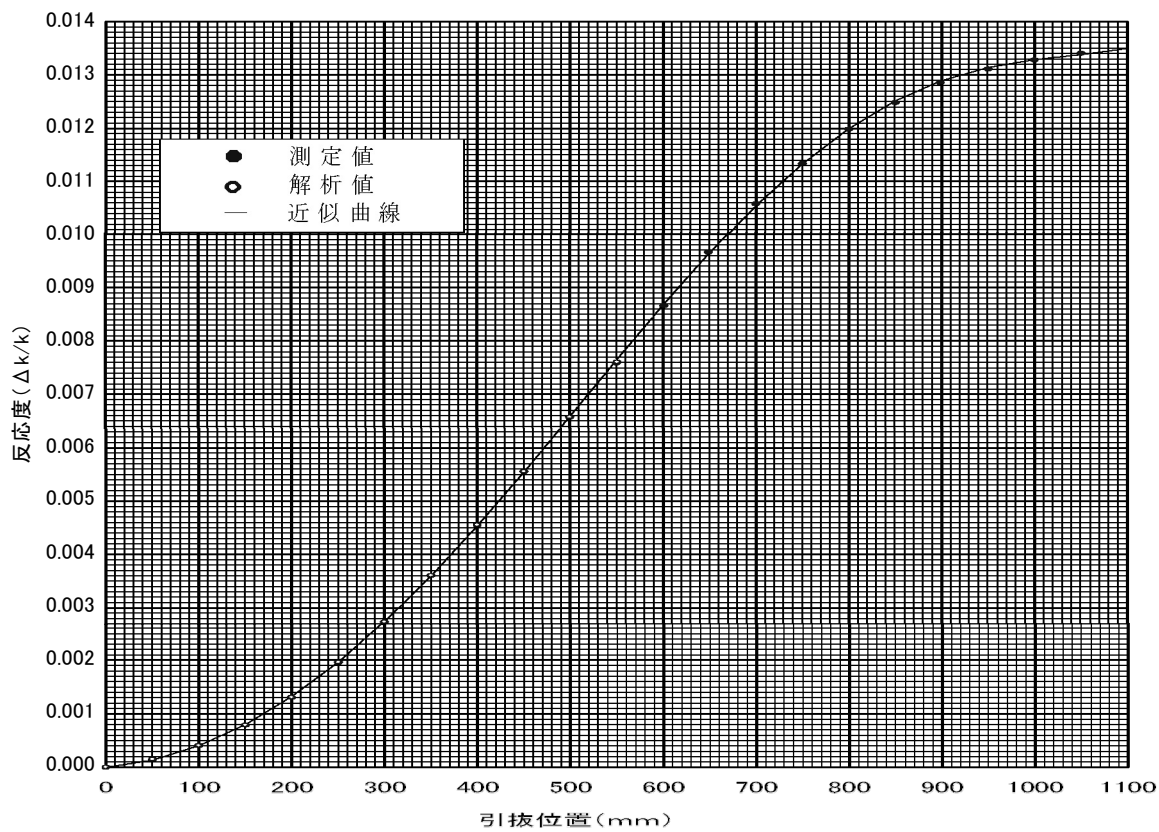


図 4.1.2-14 制御棒校正曲線 (絶対値) (後備炉停止棒 B1)

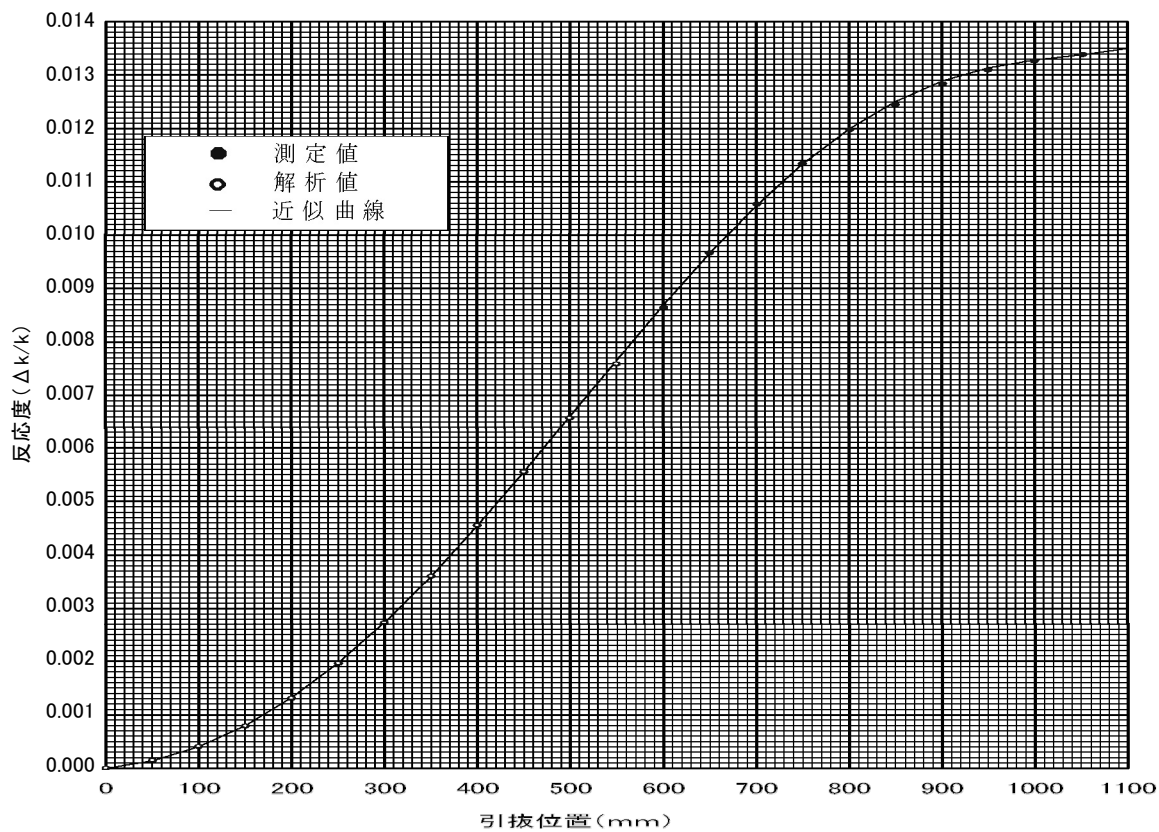


図 4.1.2-15 制御棒校正曲線（絶対値）（後備炉停止棒 B2）

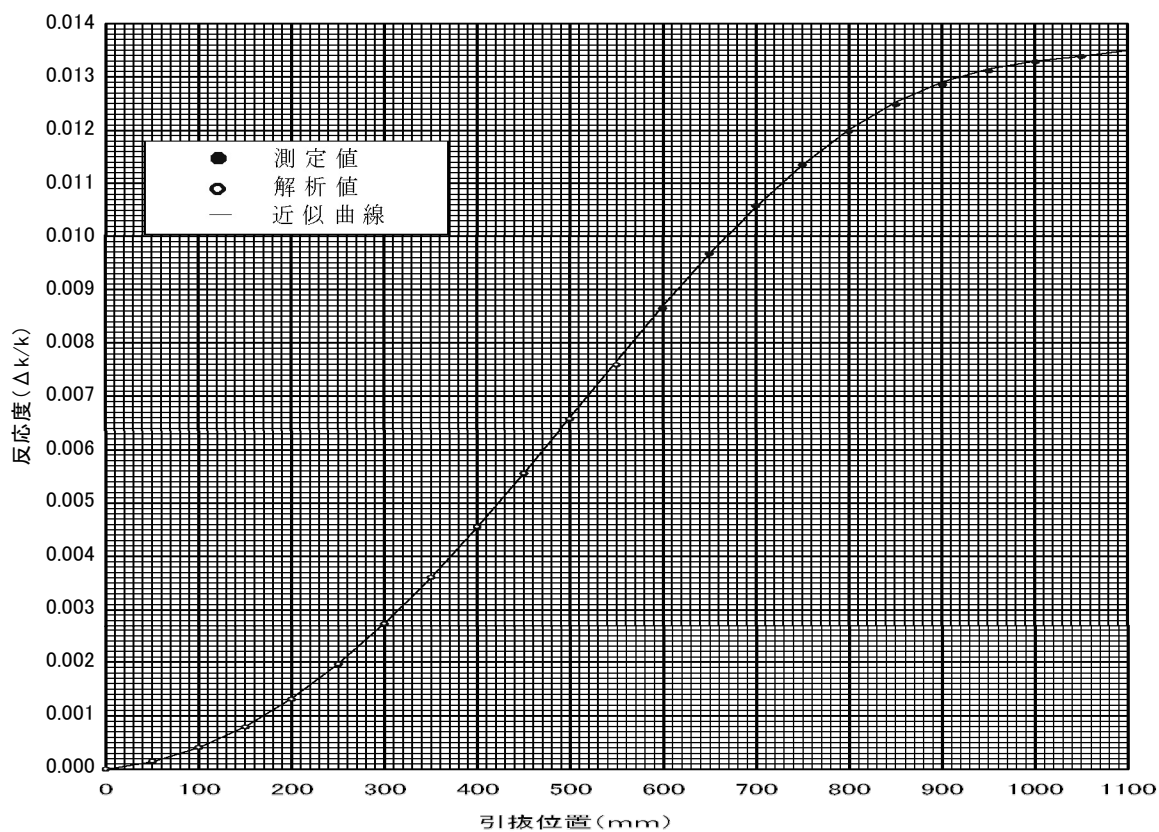


図 4.1.2-16 制御棒校正曲線（絶対値）（後備炉停止棒 B3）

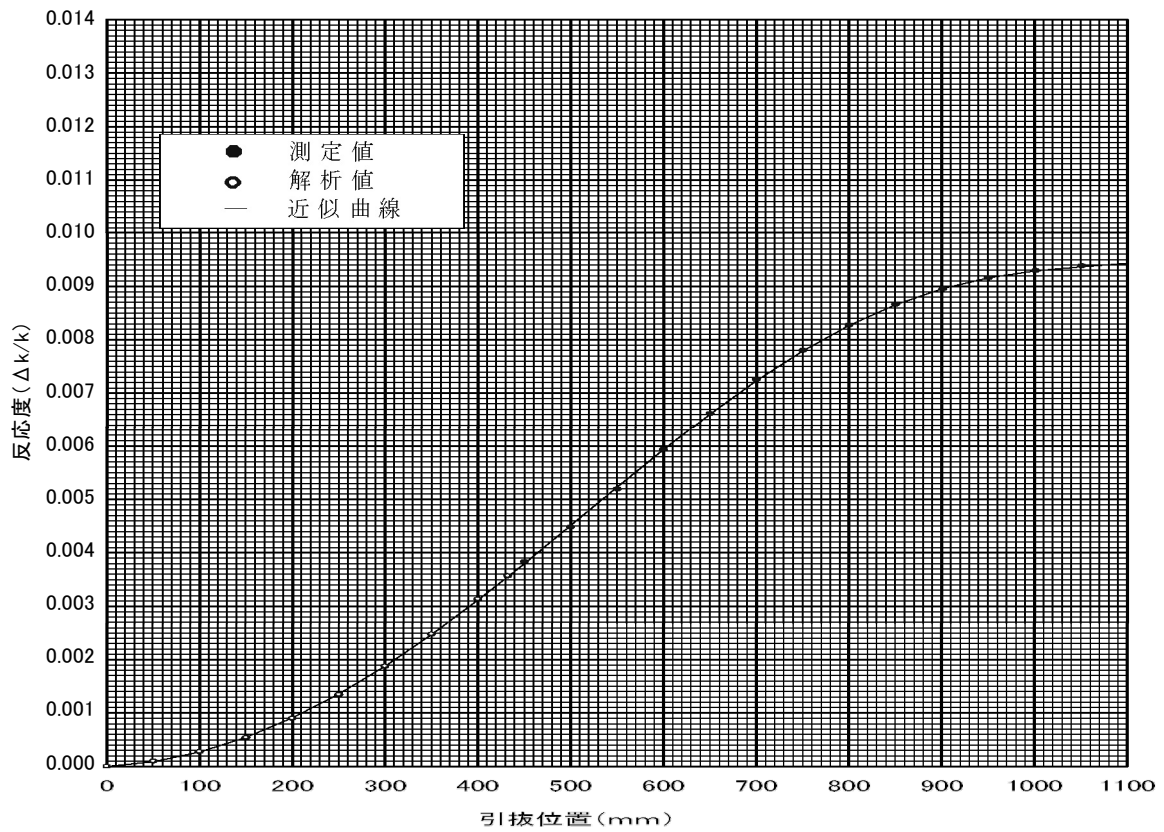


図 4.1.2-17 制御棒校正曲線（絶対値）（後備炉停止棒 B4）

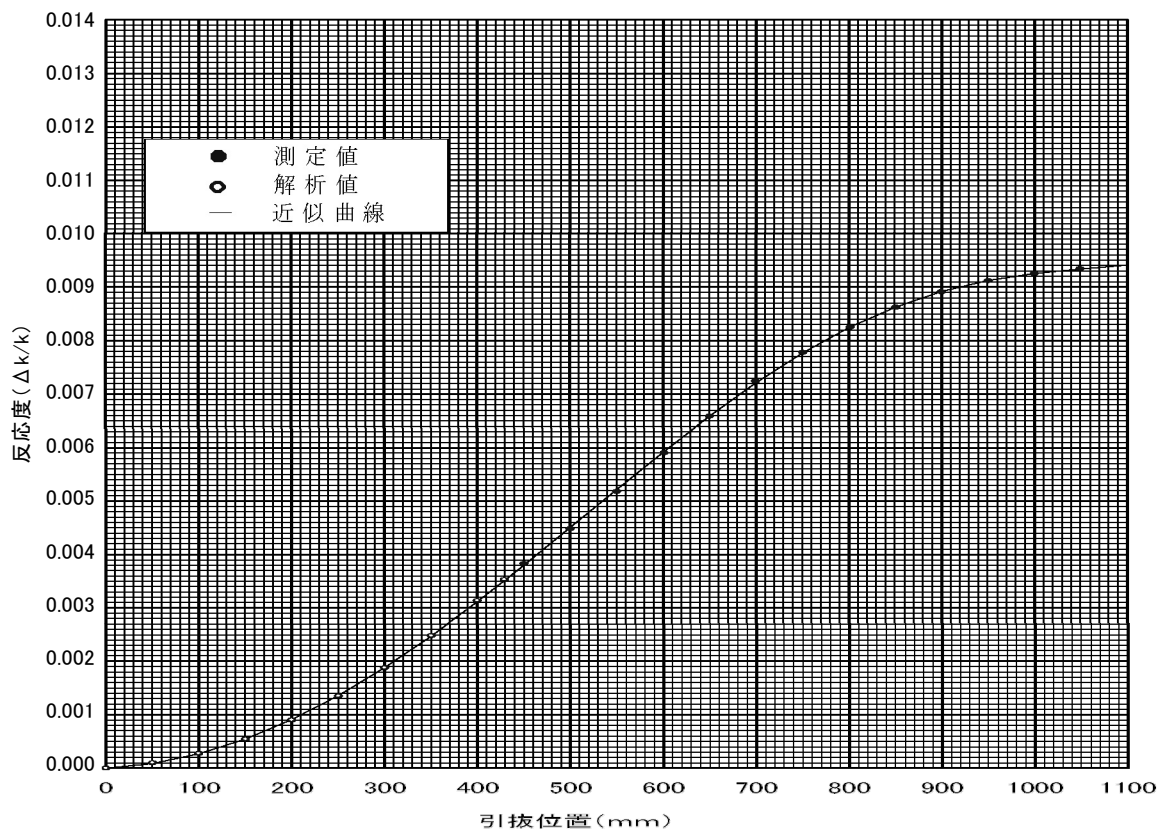


図 4.1.2-18 制御棒校正曲線（絶対値）（後備炉停止棒 B5）

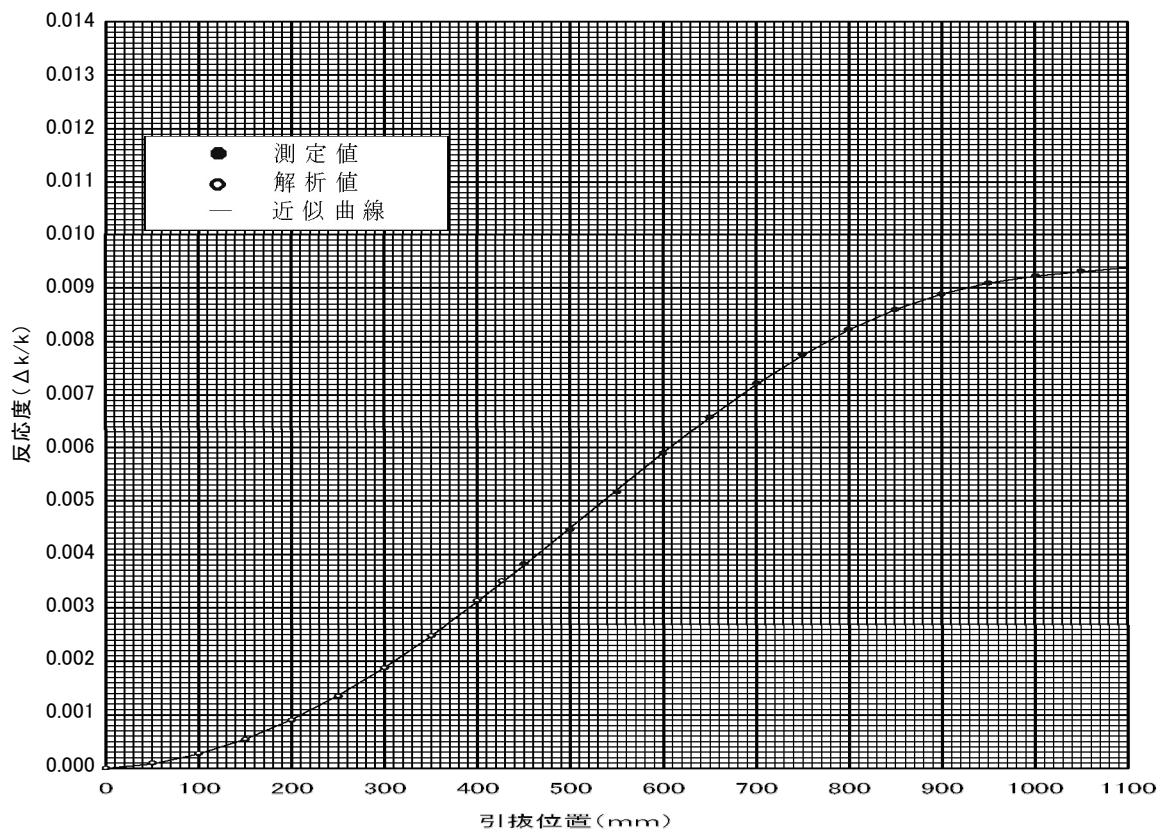


図 4.1.2-19 制御棒校正曲線（絶対値）（後備炉停止棒 B6）

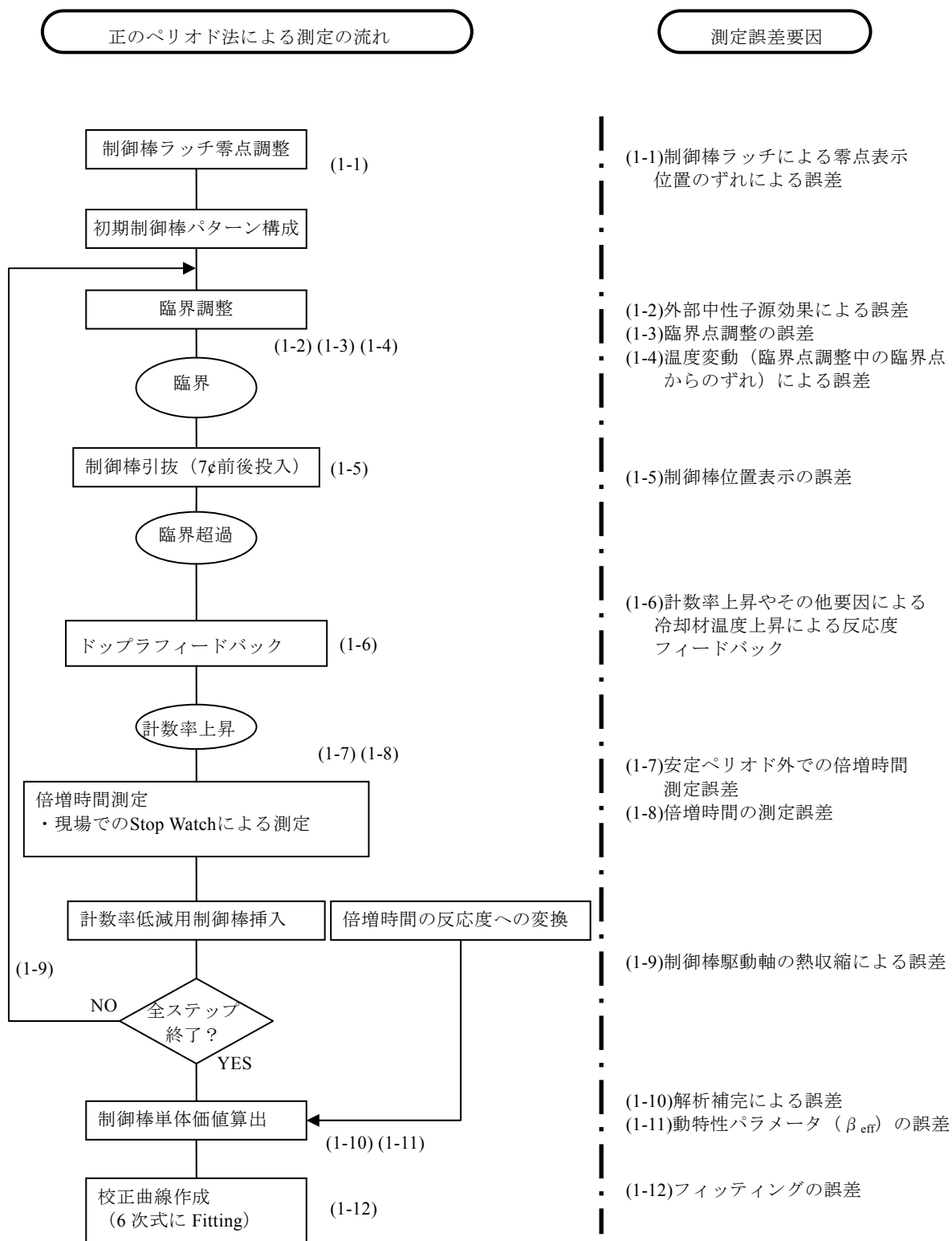


図 4.2-1 正のペリオド法に基づく制御棒価値測定の流れと測定誤差要因

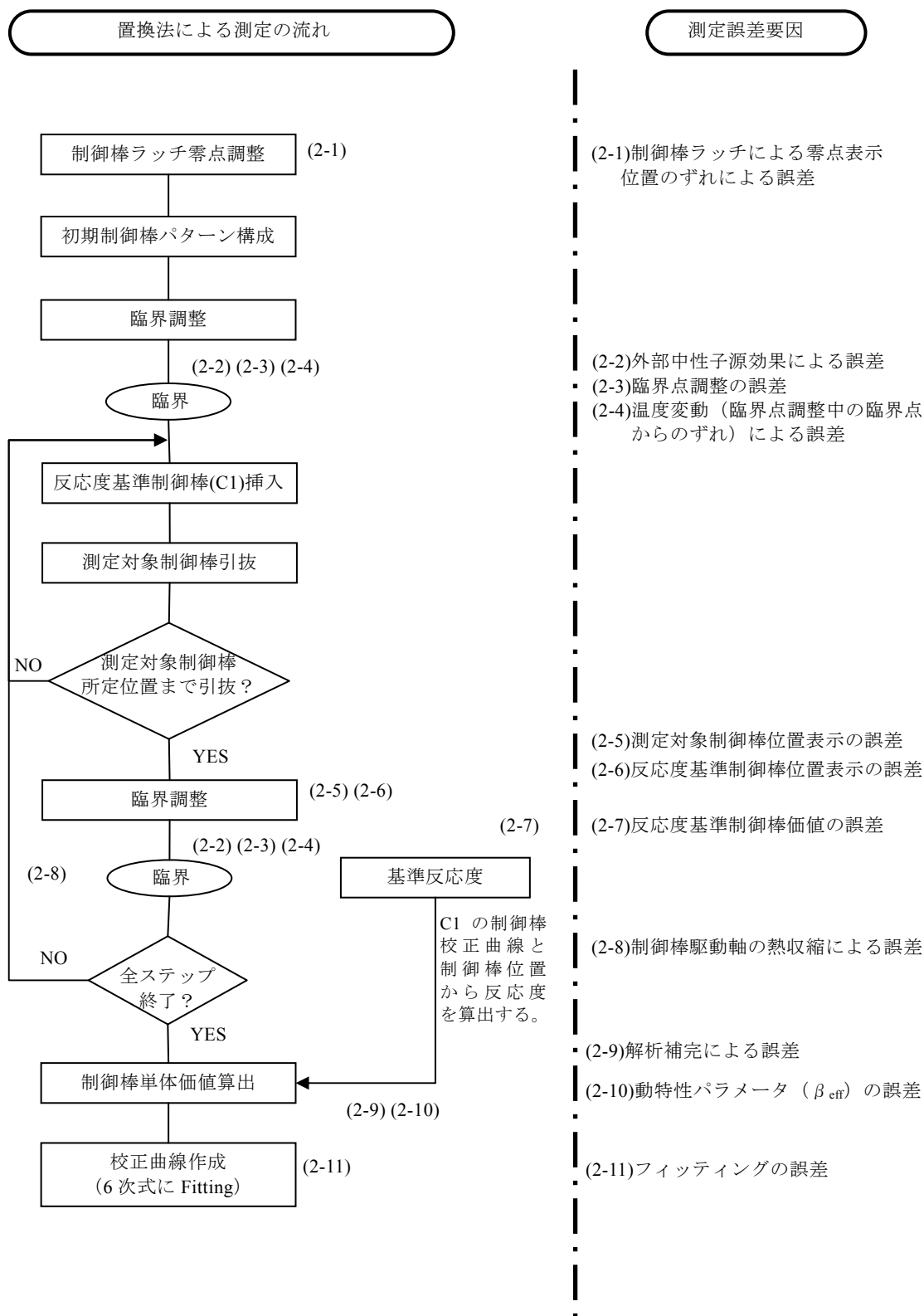


図 4.2-2 置換法に基づく制御棒価値測定の流れと測定誤差要因

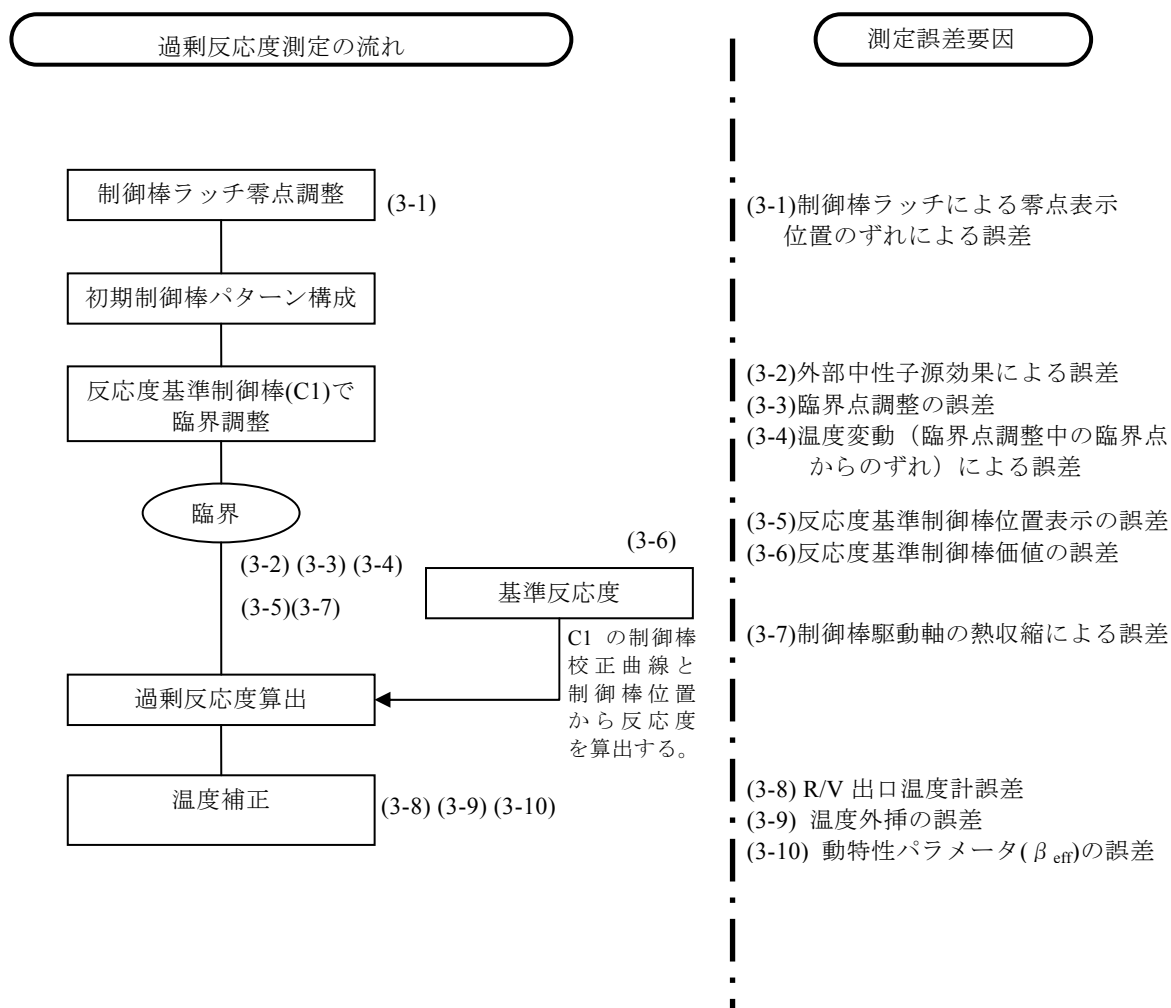


図 4.2-3 過剰反応度測定の流れと測定誤差要因

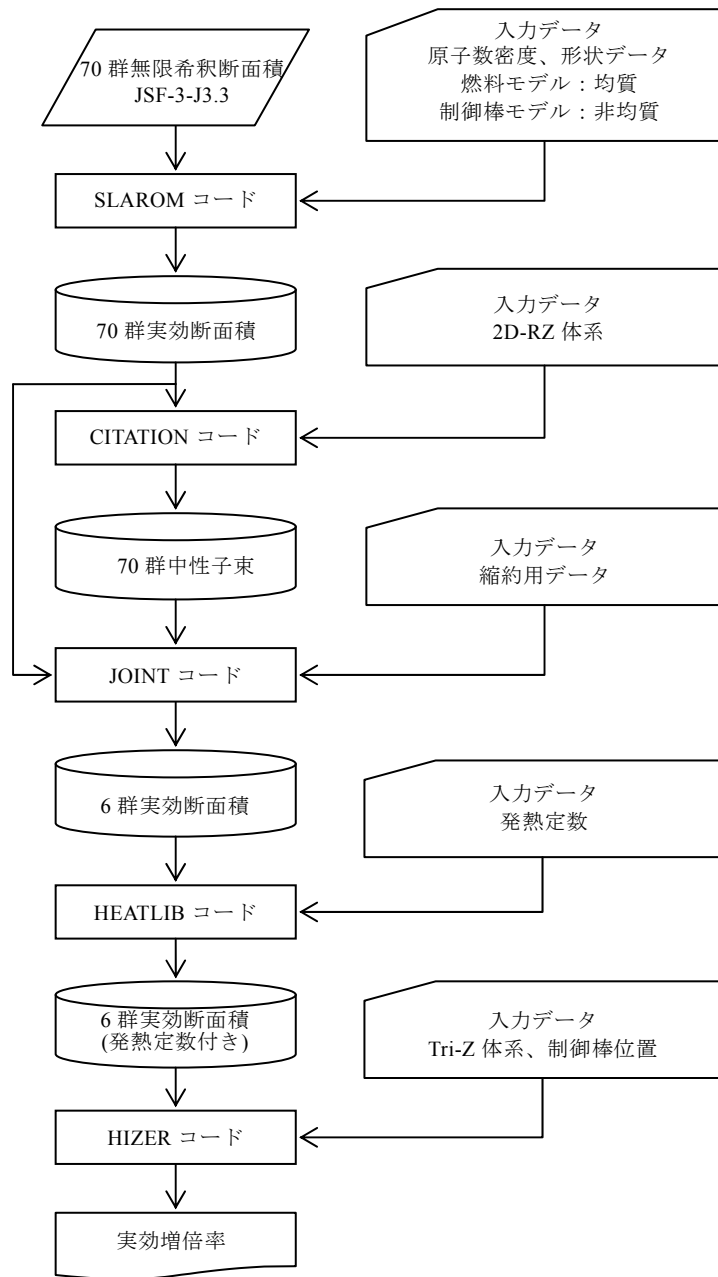


図 5.1.1-1 炉心管理コードによる計算の流れ

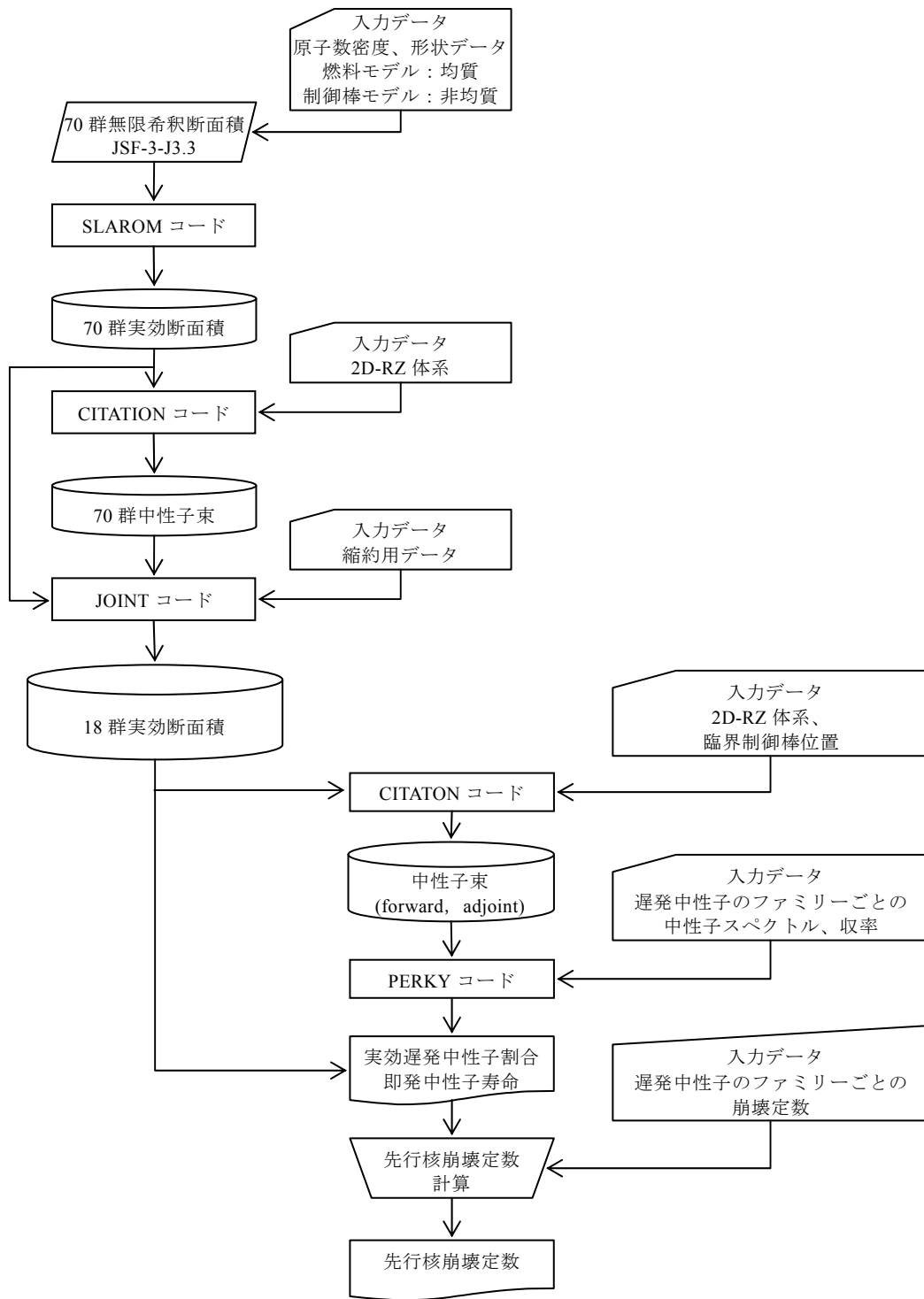


図 5.1.1-2 動特性パラメータ計算の流れ

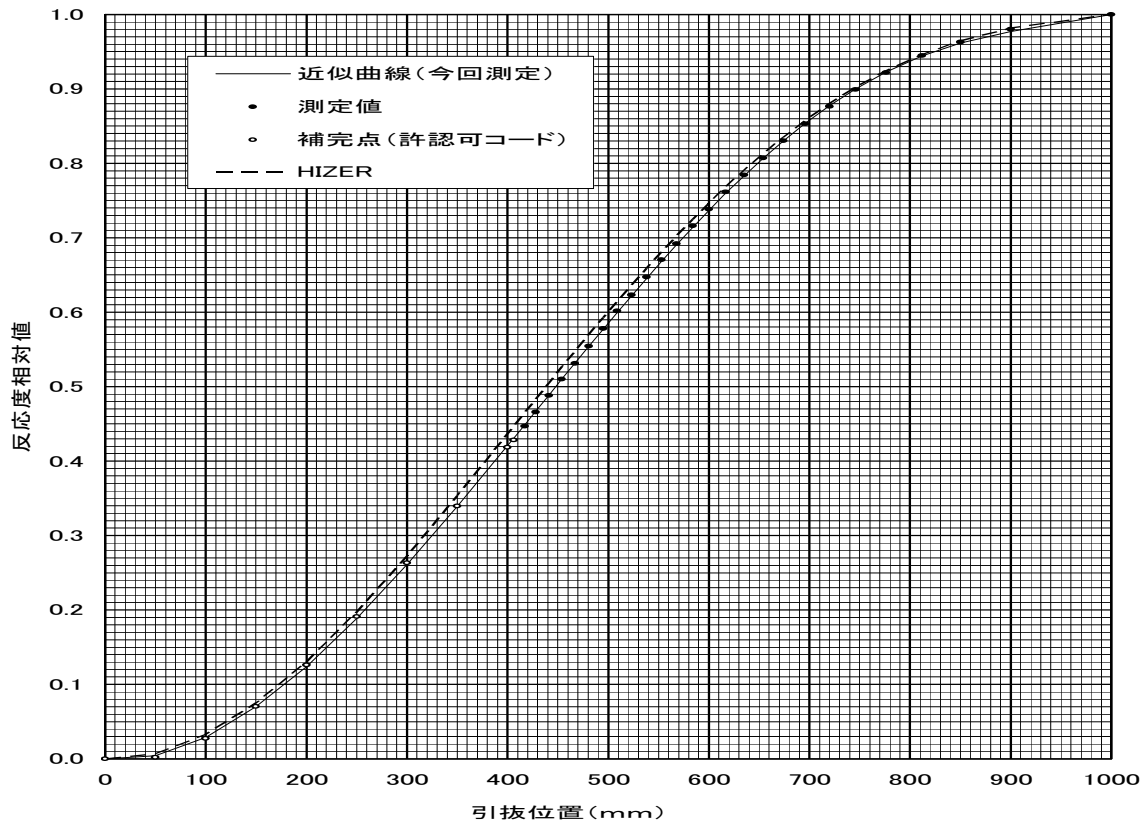


図 5.1.2-1 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (粗調整棒 C1)

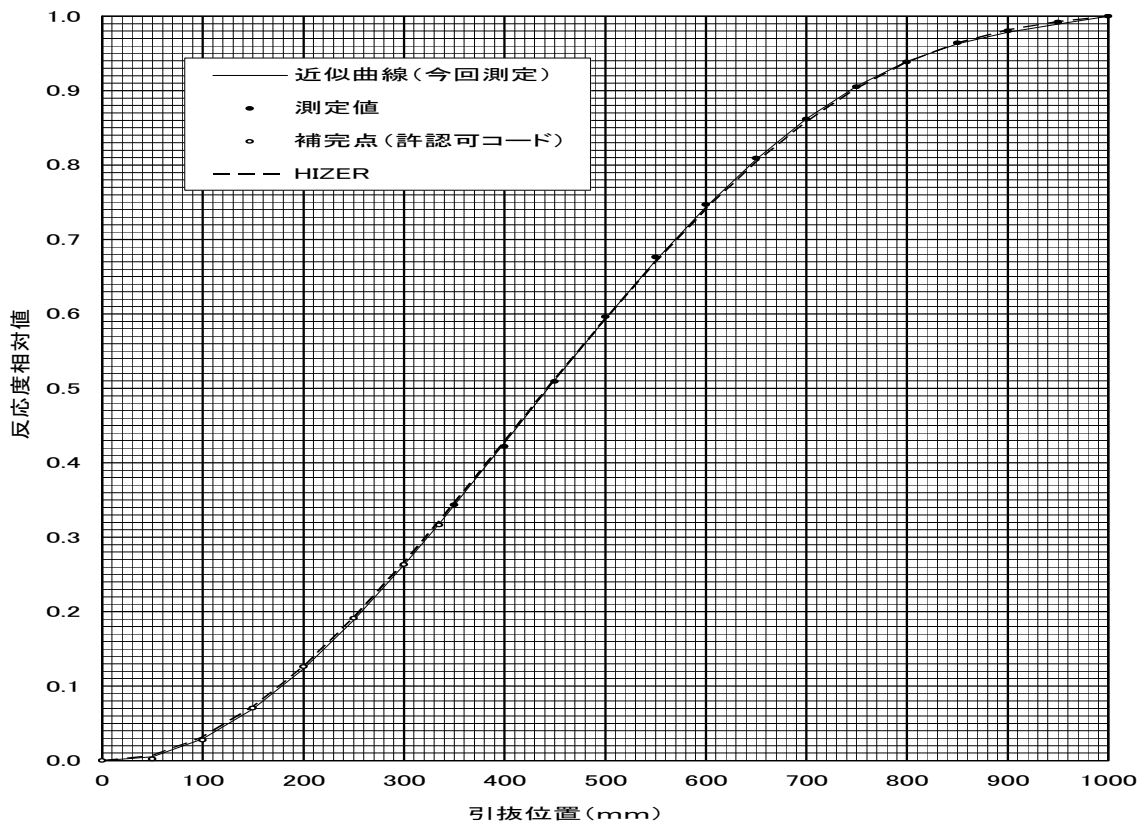


図 5.1.2-2 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (粗調整棒 C4)

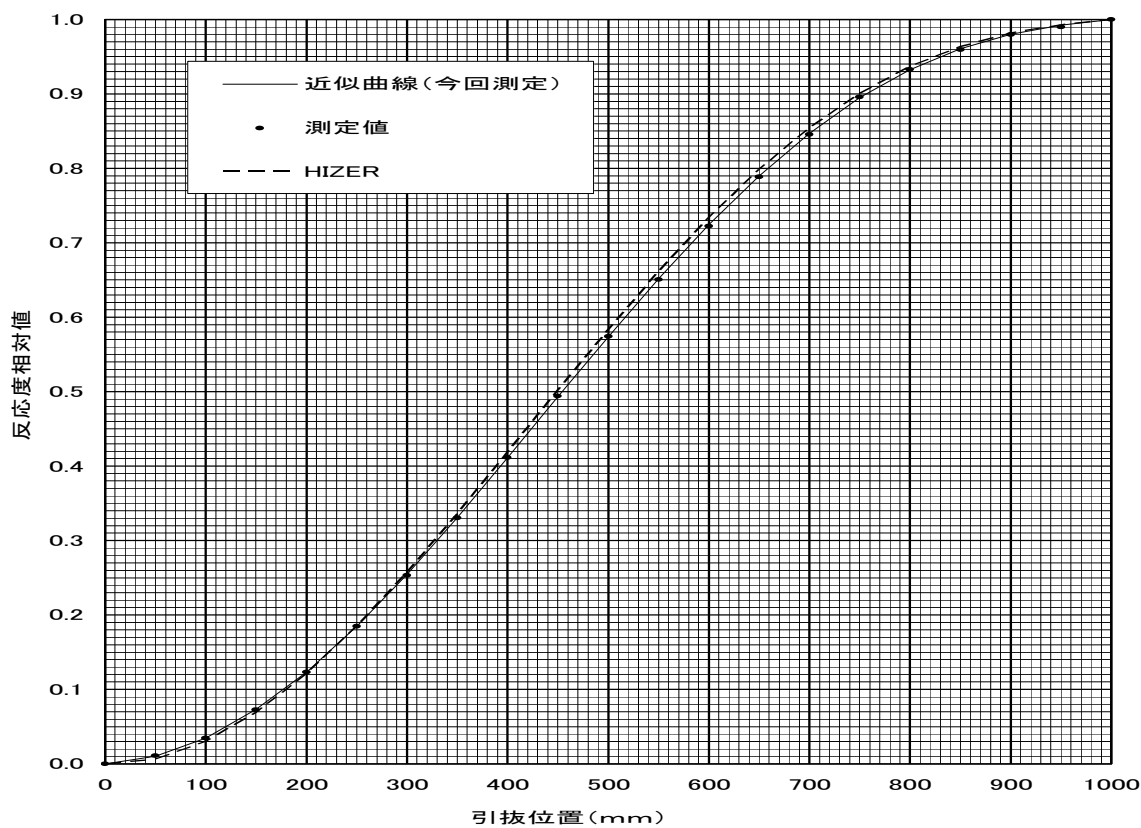


図 5.1.2-3 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (粗調整棒 C10)

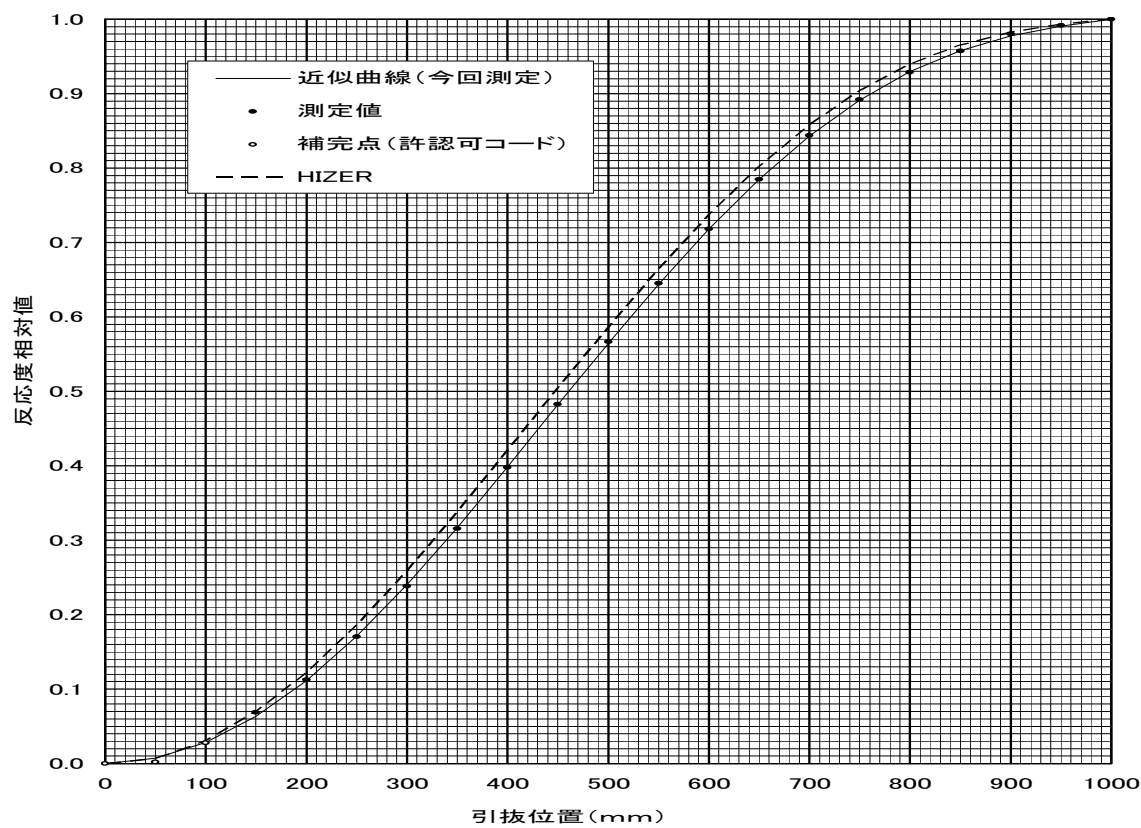


図 5.1.2-4 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (微調整棒 F1)

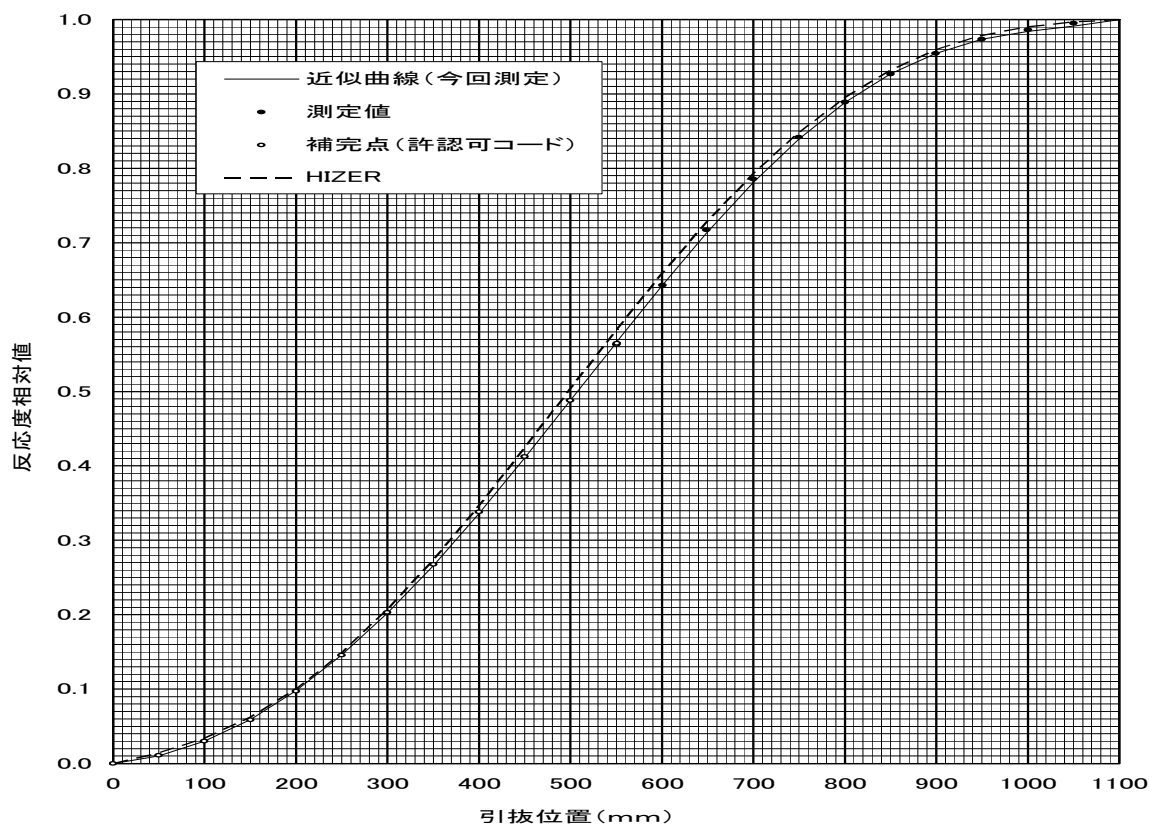


図 5.1.2-5 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (後備炉停止棒 B1)

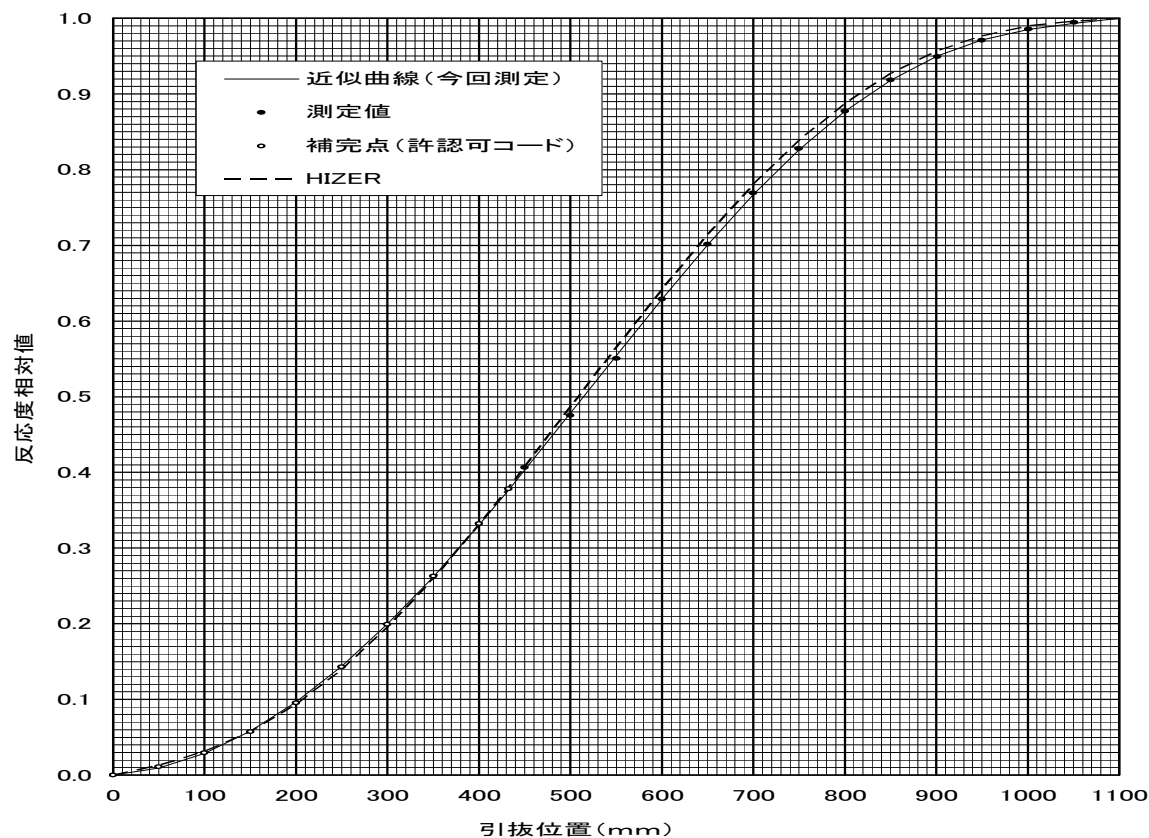


図 5.1.2-6 測定値と事前解析値の制御棒校正曲線の比較 (相対値) (後備炉停止棒 B4)

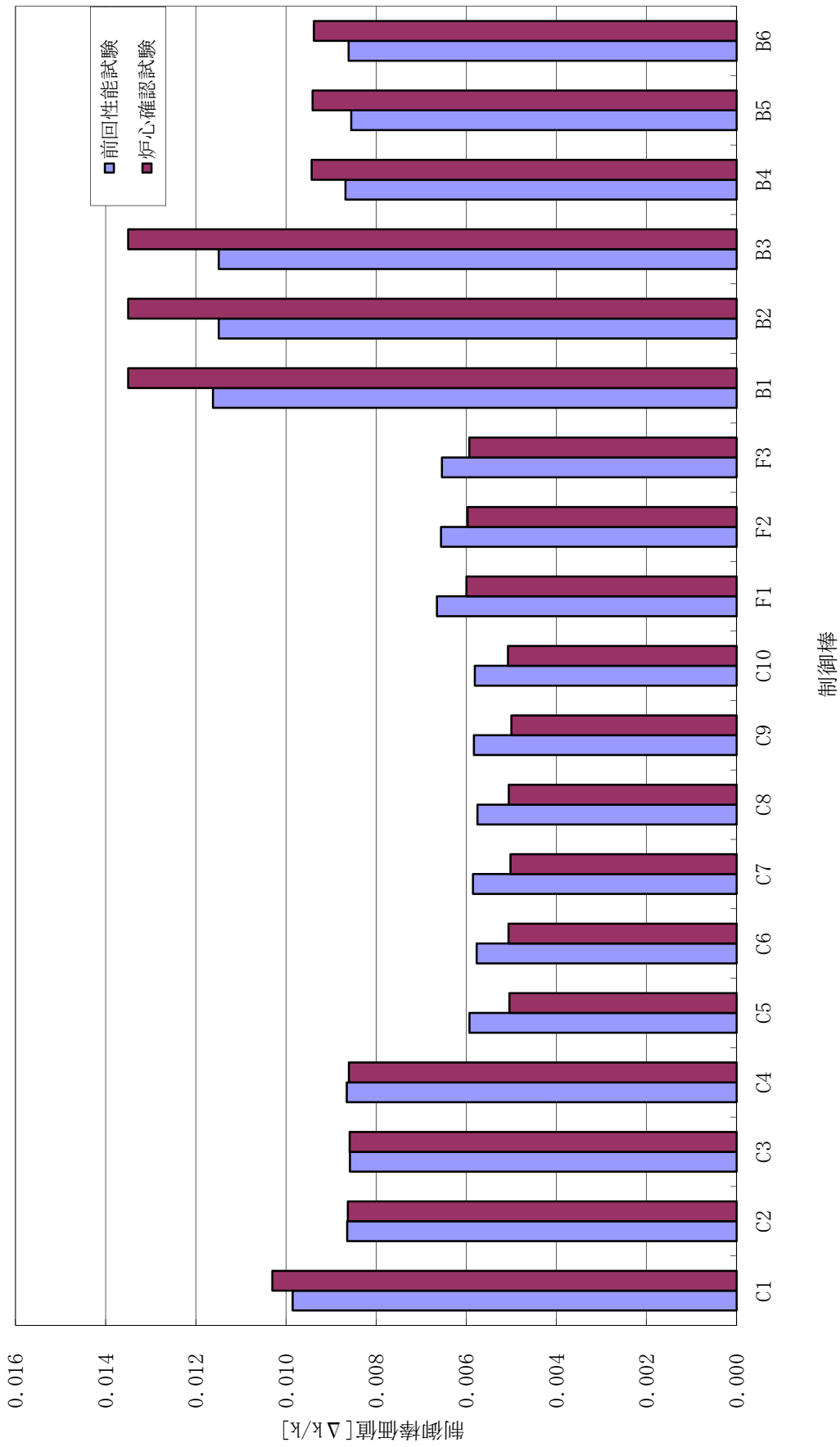


図 5.2.1-1 初回性能試験と炉心確認試験の単体制御棒価値の比較

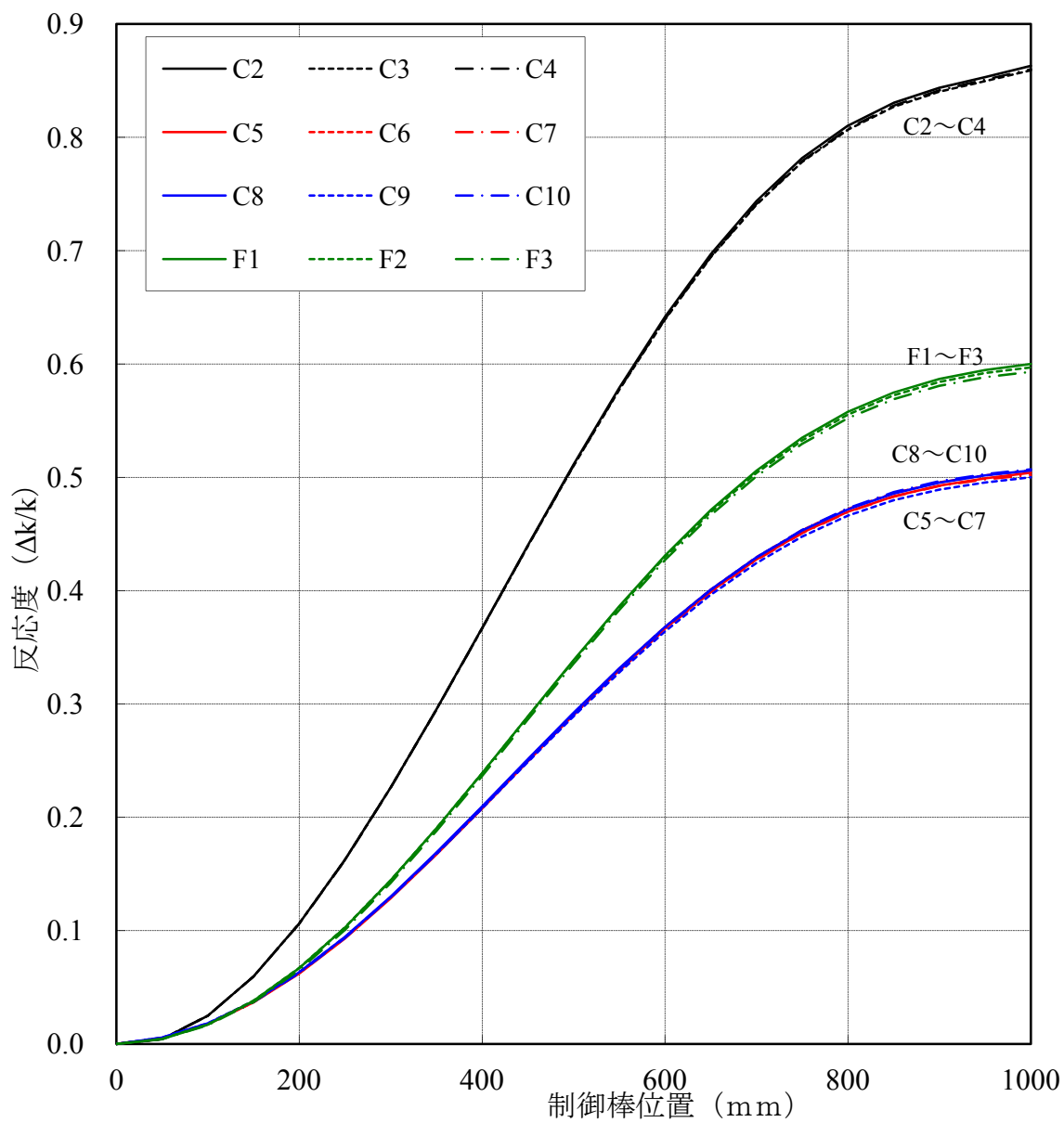


図 5.2.2-1 主炉停止系の制御棒校正曲線の比較

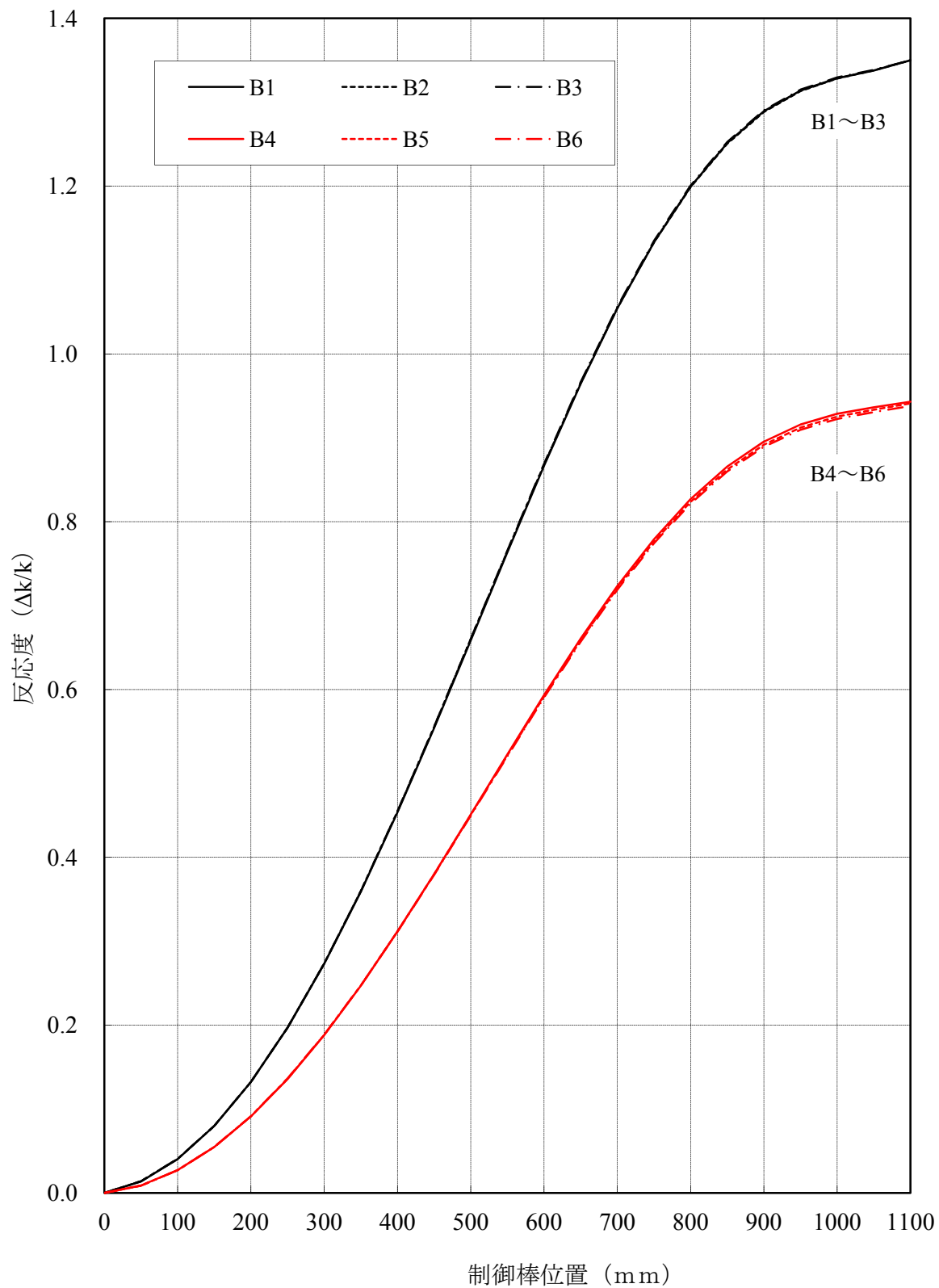


図 5.2.2-2 後備炉停止系の制御棒校正曲線の比較

添付資料

- 1) 添付資料 1 : 測定記録
- 2) 添付資料 2 : 核設計手法による解析値補完方法とフィッティング係数の算出方法

添付資料 1 測定記録

本添付資料では、以下の測定記録を示す。

- 添付表 1-1 C1 ペリオド法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-2 C2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-3 C3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-4 C4 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-5 C5 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-6 C6 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-7 C7 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-8 C8 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-9 C9 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-10 C10 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-11 F1 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-12 F2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-13 F3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-14 B1 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-15 B2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-16 B3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-17 B4 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-18 B5 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-19 B6 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果
- 添付表 1-20 過剰反応度測定記録
- 添付表 1-21 主炉停止系による停止余裕測定検査測定記録
- 添付表 1-22 反応度添加率測定結果
- 添付表 1-23 後備炉停止系による停止余裕測定検査測定記録

添付表 1-1 C1 ペリオド法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

| STEP No. | 時刻 | 制御棒位置(mm) | | | | | | | | | | | | 倍増時間 (s) | | | | 反応度 (Δk/k) | 積算反応度 (Δk/k) | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------------|--------------|------|------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|----------|---------|--|
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | | | | | | ストロブウォッチ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | C1 | | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | F1 | F2 | F3 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | a | b | c | 平均 | ペリオド (s) | (Δk/k) | (Δk/k) | | | |
| | | 操作前 | 操作後 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 初期状態 | 平成22年 5月11日 15:50 (測定開始前) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 16:01 | 406 | → | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 111.62 | 113.95 | 111.61 | 112.39 | 162.14 | 1.930E-4 | 5.811 | 1.930E-4 | 5.811 | |
| 2 | 17:06 | 417 | → | 983 | 982 | 982 | 983 | 982 | 983 | 982 | 983 | 982 | 983 | 983 | 983 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 108.49 | 109.81 | 113.96 | 110.75 | 159.78 | 1.954E-4 | 5.884 | 3.884E-4 | 11.695 | |
| 3 | 17:57 | 428 | → | 967 | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | 967 | 968 | 968 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 92.28 | 90.54 | 93.18 | 92.00 | 132.73 | 2.282E-4 | 6.871 | 6.166E-4 | 18.566 | |
| 4 | 18:59 | 441 | → | 952 | 952 | 952 | 952 | 952 | 952 | 952 | 952 | 952 | 951 | 951 | 951 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 91.46 | 92.83 | 95.70 | 93.33 | 134.65 | 2.255E-4 | 6.790 | 8.421E-4 | 25.356 | |
| 5 | 19:52 | 454 | → | 938 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 937 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 95.51 | 96.03 | 96.86 | 96.13 | 138.69 | 2.201E-4 | 6.627 | 1.062E-3 | 31.983 | |
| 6 | 21:12 | 467 | → | 481 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 925 | 924 | 924 | 924 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 89.12 | 86.90 | 88.73 | 88.25 | 127.32 | 2.362E-4 | 7.112 | 1.298E-3 | 39.095 | |
| 7 | 23:06 | 481 | → | 495 | 912 | 912 | 912 | 912 | 912 | 912 | 912 | 912 | 913 | 913 | 913 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 86.65 | 83.60 | 82.18 | 84.14 | 121.39 | 2.456E-4 | 7.395 | 1.544E-3 | 46.490 | |
| 8 | 23:52 | 495 | → | 509 | 902 | 902 | 901 | 901 | 901 | 901 | 901 | 901 | 901 | 901 | 901 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 82.93 | 87.06 | 88.82 | 86.27 | 124.46 | 2.406E-4 | 7.245 | 1.785E-3 | 53.735 | |
| 9 | 0:27 | 509 | → | 523 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 891 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 93.13 | 95.65 | 92.88 | 93.89 | 135.45 | 2.244E-4 | 6.757 | 2.009E-3 | 60.492 | |
| 10 | 1:05 | 523 | → | 538 | 882 | 882 | 882 | 882 | 882 | 882 | 882 | 882 | 882 | 883 | 883 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 81.66 | 84.54 | 83.99 | 83.40 | 120.32 | 2.473E-4 | 7.446 | 2.256E-3 | 67.938 | |
| 11 | 1:42 | 538 | → | 553 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 873 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 86.48 | 87.06 | 88.75 | 87.43 | 126.13 | 2.380E-4 | 7.166 | 2.494E-3 | 75.104 | |
| 12 | 2:56 | 553 | → | 568 | 864 | 864 | 864 | 865 | 865 | 865 | 865 | 865 | 865 | 865 | 865 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 96.92 | 93.47 | 94.13 | 94.84 | 136.83 | 2.225E-4 | 6.700 | 2.717E-3 | 81.804 | |
| 13 | 3:22 | 568 | → | 584 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 857 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 80.49 | 85.50 | 85.83 | 83.94 | 121.10 | 2.460E-4 | 7.407 | 2.963E-3 | 89.211 | |
| 14 | 3:48 | 584 | → | 600 | 849 | 849 | 849 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 849 | 849 | 849 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 88.68 | 90.13 | 90.00 | 89.60 | 129.27 | 2.332E-4 | 7.022 | 3.196E-3 | 96.233 | |
| 15 | 4:20 | 600 | → | 617 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 843 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 85.28 | 87.43 | 88.74 | 87.15 | 125.73 | 2.386E-4 | 7.185 | 3.435E-3 | 103.418 | |
| 16 | 5:02 | 617 | → | 635 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 836 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 85.38 | 90.34 | 89.66 | 88.46 | 127.62 | 2.357E-4 | 7.097 | 3.670E-3 | 110.515 | |
| 17 | 5:30 | 635 | → | 654 | 830 | 830 | 830 | 830 | 830 | 830 | 830 | 830 | 829 | 829 | 829 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 89.39 | 91.69 | 89.45 | 90.18 | 130.10 | 2.320E-4 | 6.986 | 3.902E-3 | 117.501 | |
| 18 | 6:06 | 654 | → | 674 | 824 | 824 | 824 | 824 | 824 | 824 | 824 | 824 | 824 | 823 | 823 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 86.84 | 85.82 | 88.24 | 86.97 | 125.47 | 2.390E-4 | 7.197 | 4.141E-3 | 124.698 | |
| 19 | 6:34 | 674 | → | 696 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 818 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 87.39 | 85.07 | 89.20 | 87.22 | 125.83 | 2.385E-4 | 7.182 | 4.380E-3 | 131.880 | |
| 20 | 7:01 | 696 | → | 720 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 812 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 86.99 | 87.78 | 87.92 | 87.56 | 126.32 | 2.377E-4 | 7.157 | 4.618E-3 | 139.037 | |
| 21 | 9:49 | 720 | → | 746 | 806 | 807 | 807 | 807 | 807 | 807 | 807 | 807 | 806 | 806 | 806 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 91.15 | 90.22 | 88.61 | 89.99 | 129.83 | 2.324E-4 | 6.998 | 4.850E-3 | 146.035 | |
| 22 | 10:14 | 746 | → | 776 | 802 | 802 | 802 | 802 | 802 | 802 | 802 | 802 | 801 | 801 | 801 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 87.24 | 86.94 | 88.31 | 87.50 | 126.24 | 2.378E-4 | 7.160 | 5.088E-3 | 153.195 | |
| 23 | 10:40 | 776 | → | 812 | 797 | 797 | 797 | 797 | 797 | 797 | 797 | 797 | 796 | 796 | 796 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 88.08 | 89.33 | 92.66 | 90.02 | 129.87 | 2.324E-4 | 6.998 | 5.320E-3 | 160.193 | |
| 24 | 11:10 | 812 | → | 850 | 792 | 792 | 792 | 791 | 792 | 791 | 792 | 791 | 792 | 792 | 792 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 114.21 | 116.32 | 118.45 | 116.33 | 167.83 | 1.874E-4 | 5.643 | 5.508E-3 | 165.836 | |
| 25 | 13:17 | 850 | → | 900 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 788 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 121.48 | 123.28 | 124.09 | 122.95 | 177.38 | 1.787E-4 | 5.381 | 5.686E-3 | 171.217 | |
| 26 | 13:46 | 900 | → | 1000 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 781 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 104.09 | 105.92 | 105.19 | 105.07 | 151.58 | 2.043E-4 | 6.152 | 5.891E-3 | 177.369 | |
| - | 14:06 | 1000 | → | 781 | 781 | 781 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | 1101 | | | | | | | | | | |

添付表 1-2 C2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 13 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C2] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| 1 | 13:46 | 1000 | 950 | 406 | 410 | 0.681 | 2.052 | 58.640 | 176.575 |
| 2 | 13:54 | 950 | 900 | 410 | 416 | 1.023 | 3.081 | 57.959 | 174.523 |
| 3 | 14:05 | 900 | 850 | 416 | 425 | 1.536 | 4.625 | 56.936 | 171.442 |
| 4 | 14:16 | 850 | 800 | 425 | 437 | 2.048 | 6.167 | 55.400 | 166.817 |
| 5 | 14:23 | 800 | 750 | 437 | 454 | 2.896 | 8.722 | 53.352 | 160.650 |
| 6 | 14:43 | 750 | 700 | 454 | 476 | 3.726 | 11.219 | 50.456 | 151.928 |
| 7 | 15:01 | 700 | 650 | 476 | 503 | 4.510 | 13.581 | 46.730 | 140.709 |
| 8 | 15:12 | 650 | 600 | 503 | 536 | 5.369 | 16.165 | 42.220 | 127.128 |
| 9 | 15:25 | 600 | 550 | 536 | 577 | 6.355 | 19.137 | 36.851 | 110.963 |
| 10 | 15:34 | 550 | 500 | 577 | 625 | 6.845 | 20.610 | 30.496 | 91.826 |
| 11 | 15:43 | 500 | 450 | 625 | 685 | 7.401 | 22.287 | 23.651 | 71.216 |
| 12 | 16:02 | 450 | 400 | 685 | 766 | 7.556 | 22.751 | 16.250 | 48.929 |
| 13 | 16:14 | 400 | 350 | 766 | 911 | 6.613 | 19.913 | 8.694 | 26.178 |
| 14 | 16:41 | 350 | 338 | 911 | 1000 | 2.081 | 6.265 | 2.081 | 6.265 |

*1：C1, C2 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-3 C3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 13 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C3] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 19:25 | 1000 | 950 | 406 | 410 | 0.681 | 2.052 | 58.640 | 176.576 |
| 2 | 19:34 | 950 | 900 | 410 | 416 | 1.023 | 3.081 | 57.959 | 174.524 |
| 3 | 19:45 | 900 | 850 | 416 | 424 | 1.365 | 4.111 | 56.936 | 171.443 |
| 4 | 19:52 | 850 | 800 | 424 | 437 | 2.219 | 6.681 | 55.571 | 167.332 |
| 5 | 19:59 | 800 | 750 | 437 | 454 | 2.896 | 8.722 | 53.352 | 160.651 |
| 6 | 20:06 | 750 | 700 | 454 | 476 | 3.726 | 11.219 | 50.456 | 151.929 |
| 7 | 20:15 | 700 | 650 | 476 | 502 | 4.345 | 13.083 | 46.730 | 140.710 |
| 8 | 20:22 | 650 | 600 | 502 | 535 | 5.374 | 16.182 | 42.385 | 127.627 |
| 9 | 20:35 | 600 | 550 | 535 | 575 | 6.215 | 18.714 | 37.011 | 111.445 |
| 10 | 20:51 | 550 | 500 | 575 | 623 | 6.875 | 20.701 | 30.796 | 92.731 |
| 11 | 21:05 | 500 | 450 | 623 | 683 | 7.448 | 22.428 | 23.921 | 72.030 |
| 12 | 21:17 | 450 | 400 | 683 | 761 | 7.399 | 22.279 | 16.473 | 49.602 |
| 13 | 21:29 | 400 | 350 | 761 | 897 | 6.648 | 20.019 | 9.074 | 27.323 |
| 14 | 21:36 | 350 | 335 | 897 | 1000 | 2.426 | 7.304 | 2.426 | 7.304 |

*1：C1, C3 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-4 C4 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 14 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C4] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| 1 | 1:43 | 1000 | 950 | 405 | 409 | 0.681 | 2.051 | 58.810 | 177.085 |
| 2 | 1:53 | 950 | 900 | 409 | 415 | 1.023 | 3.080 | 58.129 | 175.034 |
| 3 | 2:03 | 900 | 850 | 415 | 423 | 1.365 | 4.110 | 57.106 | 171.954 |
| 4 | 2:13 | 850 | 800 | 423 | 436 | 2.219 | 6.682 | 55.741 | 167.844 |
| 5 | 2:27 | 800 | 750 | 436 | 453 | 2.897 | 8.723 | 53.522 | 161.162 |
| 6 | 2:40 | 750 | 700 | 453 | 475 | 3.727 | 11.223 | 50.625 | 152.439 |
| 7 | 2:54 | 700 | 650 | 475 | 502 | 4.513 | 13.590 | 46.898 | 141.216 |
| 8 | 3:16 | 650 | 600 | 502 | 535 | 5.374 | 16.182 | 42.385 | 127.626 |
| 9 | 3:28 | 600 | 550 | 535 | 574 | 6.064 | 18.260 | 37.011 | 111.444 |
| 10 | 3:44 | 550 | 500 | 574 | 622 | 6.890 | 20.746 | 30.947 | 93.184 |
| 11 | 3:56 | 500 | 450 | 622 | 682 | 7.472 | 22.498 | 24.057 | 72.438 |
| 12 | 4:13 | 450 | 400 | 682 | 761 | 7.511 | 22.617 | 16.585 | 49.940 |
| 13 | 4:26 | 400 | 350 | 761 | 901 | 6.751 | 20.327 | 9.074 | 27.323 |
| 14 | 4:36 | 350 | 335 | 901 | 1000 | 2.323 | 6.996 | 2.323 | 6.996 |

*1：C1, C4 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-5 C5 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 14 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|-----|--------------|-----|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C5] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 13:39 | 1000 | 950 | 405 | 408 | 0.511 | 1.538 | 50.413 | 151.798 |
| 2 | 13:51 | 950 | 900 | 408 | 412 | 0.682 | 2.053 | 49.902 | 150.260 |
| 3 | 13:59 | 900 | 850 | 412 | 417 | 0.853 | 2.568 | 49.220 | 148.207 |
| 4 | 14:15 | 850 | 800 | 417 | 425 | 1.365 | 4.111 | 48.367 | 145.639 |
| 5 | 14:25 | 800 | 750 | 425 | 436 | 1.878 | 5.654 | 47.002 | 141.528 |
| 6 | 14:38 | 750 | 700 | 436 | 450 | 2.387 | 7.186 | 45.124 | 135.874 |
| 7 | 14:48 | 700 | 650 | 450 | 467 | 2.886 | 8.691 | 42.737 | 128.688 |
| 8 | 15:00 | 650 | 600 | 467 | 486 | 3.200 | 9.636 | 39.851 | 119.997 |
| 9 | 15:14 | 600 | 550 | 486 | 508 | 3.655 | 11.006 | 36.651 | 110.361 |
| 10 | 15:23 | 550 | 500 | 508 | 532 | 3.903 | 11.753 | 32.996 | 99.355 |
| 11 | 15:32 | 500 | 450 | 532 | 558 | 4.101 | 12.348 | 29.093 | 87.602 |
| 12 | 15:40 | 450 | 400 | 558 | 586 | 4.232 | 12.743 | 24.992 | 75.254 |
| 13 | 15:51 | 400 | 350 | 586 | 615 | 4.143 | 12.474 | 20.760 | 62.511 |
| 14 | 15:59 | 350 | 300 | 615 | 643 | 3.731 | 11.236 | 16.617 | 50.037 |
| 15 | 16:10 | 300 | 250 | 643 | 672 | 3.553 | 10.698 | 12.886 | 38.801 |
| 16 | 16:17 | 250 | 200 | 672 | 700 | 3.102 | 9.341 | 9.333 | 28.103 |
| 17 | 16:28 | 200 | 150 | 700 | 726 | 2.574 | 7.750 | 6.231 | 18.762 |
| 18 | 16:36 | 150 | 100 | 726 | 748 | 1.939 | 5.839 | 3.657 | 11.012 |
| 19 | 16:49 | 100 | 50 | 748 | 763 | 1.195 | 3.599 | 1.718 | 5.173 |
| 20 | 16:59 | 50 | 0 | 763 | 770 | 0.523 | 1.574 | 0.523 | 1.574 |

*1：C1, C5 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-6 C6 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 14 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|-----|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|--|
| | | [測定対象： C6] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 1 | 19:31 | 1000 | 950 | 405 | 408 | 0.511 | 1.538 | 50.631 | 152.452 | |
| 2 | 19:39 | 950 | 900 | 408 | 411 | 0.511 | 1.539 | 50.120 | 150.914 | |
| 3 | 19:48 | 900 | 850 | 411 | 417 | 1.023 | 3.081 | 49.609 | 149.375 | |
| 4 | 19:55 | 850 | 800 | 417 | 425 | 1.365 | 4.111 | 48.586 | 146.294 | |
| 5 | 20:01 | 800 | 750 | 425 | 436 | 1.878 | 5.654 | 47.221 | 142.183 | |
| 6 | 20:08 | 750 | 700 | 436 | 450 | 2.387 | 7.186 | 45.343 | 136.529 | |
| 7 | 20:15 | 700 | 650 | 450 | 467 | 2.886 | 8.691 | 42.956 | 129.343 | |
| 8 | 20:22 | 650 | 600 | 467 | 486 | 3.200 | 9.636 | 40.070 | 120.652 | |
| 9 | 20:28 | 600 | 550 | 486 | 509 | 3.820 | 11.501 | 36.870 | 111.016 | |
| 10 | 20:36 | 550 | 500 | 509 | 533 | 3.899 | 11.741 | 33.050 | 99.515 | |
| 11 | 20:43 | 500 | 450 | 533 | 559 | 4.095 | 12.331 | 29.151 | 87.774 | |
| 12 | 20:55 | 450 | 400 | 559 | 586 | 4.078 | 12.278 | 25.056 | 75.443 | |
| 13 | 21:04 | 400 | 350 | 586 | 615 | 4.143 | 12.474 | 20.978 | 63.165 | |
| 14 | 21:16 | 350 | 300 | 615 | 644 | 3.859 | 11.621 | 16.835 | 50.691 | |
| 15 | 21:30 | 300 | 250 | 644 | 674 | 3.658 | 11.013 | 12.976 | 39.070 | |
| 16 | 22:42 | 250 | 200 | 674 | 702 | 3.078 | 9.269 | 9.318 | 28.057 | |
| 17 | 22:49 | 200 | 150 | 702 | 728 | 2.551 | 7.680 | 6.240 | 18.788 | |
| 18 | 22:56 | 150 | 100 | 728 | 750 | 1.919 | 5.779 | 3.689 | 11.108 | |
| 19 | 23:05 | 100 | 50 | 750 | 766 | 1.257 | 3.784 | 1.770 | 5.329 | |
| 20 | 23:14 | 50 | 0 | 766 | 773 | 0.513 | 1.545 | 0.513 | 1.545 | |

*1：C1, C6 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-7 C7 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 15 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|------|-------------------|-----|--------------|-----|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C7] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 1 | 1:34 | 1000 | 950 | 405 | 407 | 0.341 | 1.025 | 50.192 | 151.131 |
| 2 | 1:44 | 950 | 900 | 407 | 411 | 0.682 | 2.052 | 49.851 | 150.106 |
| 3 | 1:51 | 900 | 850 | 411 | 416 | 0.853 | 2.567 | 49.169 | 148.054 |
| 4 | 1:58 | 850 | 800 | 416 | 424 | 1.365 | 4.111 | 48.316 | 145.487 |
| 5 | 2:04 | 800 | 750 | 424 | 435 | 1.878 | 5.654 | 46.951 | 141.376 |
| 6 | 2:11 | 750 | 700 | 435 | 449 | 2.387 | 7.187 | 45.073 | 135.722 |
| 7 | 2:19 | 700 | 650 | 449 | 466 | 2.887 | 8.694 | 42.686 | 128.535 |
| 8 | 2:26 | 650 | 600 | 466 | 485 | 3.202 | 9.641 | 39.799 | 119.841 |
| 9 | 2:31 | 600 | 550 | 485 | 507 | 3.658 | 11.014 | 36.597 | 110.200 |
| 10 | 2:39 | 550 | 500 | 507 | 531 | 3.907 | 11.766 | 32.939 | 99.186 |
| 11 | 2:56 | 500 | 450 | 531 | 557 | 4.106 | 12.365 | 29.032 | 87.420 |
| 12 | 3:02 | 450 | 400 | 557 | 584 | 4.092 | 12.321 | 24.926 | 75.055 |
| 13 | 3:09 | 400 | 350 | 584 | 612 | 4.022 | 12.110 | 20.834 | 62.734 |
| 14 | 3:14 | 350 | 300 | 612 | 641 | 3.890 | 11.715 | 16.812 | 50.624 |
| 15 | 3:21 | 300 | 250 | 641 | 670 | 3.576 | 10.767 | 12.922 | 38.909 |
| 16 | 3:28 | 250 | 200 | 670 | 697 | 3.020 | 9.094 | 9.346 | 28.142 |
| 17 | 3:37 | 200 | 150 | 697 | 722 | 2.514 | 7.570 | 6.326 | 19.048 |
| 18 | 3:44 | 150 | 100 | 722 | 745 | 2.064 | 6.215 | 3.812 | 11.478 |
| 19 | 3:49 | 100 | 50 | 745 | 760 | 1.216 | 3.661 | 1.748 | 5.263 |
| 20 | 4:04 | 50 | 0 | 760 | 767 | 0.532 | 1.602 | 0.532 | 1.602 |

*1：C1, C7 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-8 C8 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 15 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|-----|--------------|-----|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C8] | | [基準： C1] | | ($\times 10^{-4}$) $\Delta k/k$ | ϕ | ($\times 10^{-4}$) $\Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 13:17 | 1000 | 950 | 405 | 407 | 0.341 | 1.025 | 50.558 | 152.234 |
| 2 | 13:26 | 950 | 900 | 407 | 411 | 0.682 | 2.052 | 50.217 | 151.209 |
| 3 | 13:34 | 900 | 850 | 411 | 417 | 1.023 | 3.081 | 49.535 | 149.157 |
| 4 | 13:42 | 850 | 800 | 417 | 425 | 1.365 | 4.111 | 48.512 | 146.076 |
| 5 | 13:51 | 800 | 750 | 425 | 436 | 1.878 | 5.654 | 47.147 | 141.965 |
| 6 | 14:03 | 750 | 700 | 436 | 450 | 2.387 | 7.186 | 45.269 | 136.311 |
| 7 | 14:11 | 700 | 650 | 450 | 466 | 2.717 | 8.181 | 42.882 | 129.125 |
| 8 | 14:21 | 650 | 600 | 466 | 486 | 3.369 | 10.146 | 40.165 | 120.944 |
| 9 | 14:29 | 600 | 550 | 486 | 508 | 3.655 | 11.006 | 36.796 | 110.798 |
| 10 | 14:40 | 550 | 500 | 508 | 532 | 3.903 | 11.753 | 33.141 | 99.792 |
| 11 | 14:48 | 500 | 450 | 532 | 558 | 4.101 | 12.348 | 29.238 | 88.039 |
| 12 | 14:57 | 450 | 400 | 558 | 586 | 4.232 | 12.743 | 25.137 | 75.691 |
| 13 | 15:10 | 400 | 350 | 586 | 615 | 4.143 | 12.474 | 20.905 | 62.948 |
| 14 | 15:23 | 350 | 300 | 615 | 643 | 3.731 | 11.236 | 16.762 | 50.474 |
| 15 | 15:31 | 300 | 250 | 643 | 672 | 3.553 | 10.698 | 13.031 | 39.238 |
| 16 | 15:40 | 250 | 200 | 672 | 700 | 3.102 | 9.341 | 9.478 | 28.540 |
| 17 | 15:49 | 200 | 150 | 700 | 726 | 2.574 | 7.750 | 6.376 | 19.199 |
| 18 | 15:57 | 150 | 100 | 726 | 749 | 2.022 | 6.089 | 3.802 | 11.449 |
| 19 | 16:06 | 100 | 50 | 749 | 765 | 1.264 | 3.806 | 1.780 | 5.360 |
| 20 | 16:16 | 50 | 0 | 765 | 772 | 0.516 | 1.554 | 0.516 | 1.554 |

*1：C1, C8 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-9 C9 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 15 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|-------------------|-------|----------------|-----|--------------|-----|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C9] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | | | |
| 1 | 18:54 | 1000 | 950 | 404 | 407 | 0.511 | 1.538 | 49.985 | 150.509 |
| 2 | 19:03 | 950 | 900 | 407 | 410 | 0.511 | 1.539 | 49.474 | 148.971 |
| 3 | 19:16 | 900 | 850 | 410 | 416 | 1.023 | 3.081 | 48.963 | 147.432 |
| 4 | 19:23 | 850 | 800 | 416 | 424 | 1.365 | 4.111 | 47.940 | 144.351 |
| 5 | 19:30 | 800 | 750 | 424 | 435 | 1.878 | 5.654 | 46.575 | 140.240 |
| 6 | 19:40 | 750 | 700 | 435 | 448 | 2.217 | 6.675 | 44.697 | 134.586 |
| 7 | 19:50 | 700 | 650 | 448 | 465 | 2.888 | 8.697 | 42.480 | 127.911 |
| 8 | 20:01 | 650 | 600 | 465 | 484 | 3.204 | 9.646 | 39.592 | 119.214 |
| 9 | 20:12 | 600 | 550 | 484 | 506 | 3.661 | 11.023 | 36.388 | 109.568 |
| 10 | 20:32 | 550 | 500 | 506 | 529 | 3.751 | 11.293 | 32.727 | 98.545 |
| 11 | 20:39 | 500 | 450 | 529 | 555 | 4.118 | 12.399 | 28.976 | 87.252 |
| 12 | 20:46 | 450 | 400 | 555 | 582 | 4.106 | 12.364 | 24.858 | 74.853 |
| 13 | 20:58 | 400 | 350 | 582 | 610 | 4.039 | 12.162 | 20.752 | 62.489 |
| 14 | 21:07 | 350 | 300 | 610 | 638 | 3.781 | 11.385 | 16.713 | 50.327 |
| 15 | 21:18 | 300 | 250 | 638 | 666 | 3.491 | 10.511 | 12.932 | 38.942 |
| 16 | 22:19 | 250 | 200 | 666 | 693 | 3.066 | 9.231 | 9.441 | 28.431 |
| 17 | 22:27 | 200 | 150 | 693 | 718 | 2.558 | 7.703 | 6.375 | 19.200 |
| 18 | 22:36 | 150 | 100 | 718 | 740 | 2.019 | 6.081 | 3.817 | 11.497 |
| 19 | 22:43 | 100 | 50 | 740 | 755 | 1.250 | 3.765 | 1.798 | 5.416 |
| 20 | 22:54 | 50 | 0 | 755 | 762 | 0.548 | 1.651 | 0.548 | 1.651 |

*1：C1, C9 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-10 C10 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 24 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|-------------------|------|----------------|-----|--------------|-----|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： C10] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | | | |
| 1 | 1:36 | 1000 | 950 | 408 | 411 | 0.511 | 1.539 | 50.747 | 152.801 |
| 2 | 1:42 | 950 | 900 | 411 | 414 | 0.511 | 1.540 | 50.236 | 151.262 |
| 3 | 1:51 | 900 | 850 | 414 | 420 | 1.024 | 3.082 | 49.725 | 149.722 |
| 4 | 2:00 | 850 | 800 | 420 | 428 | 1.366 | 4.112 | 48.701 | 146.640 |
| 5 | 2:08 | 800 | 750 | 428 | 439 | 1.877 | 5.653 | 47.335 | 142.528 |
| 6 | 2:19 | 750 | 700 | 439 | 454 | 2.555 | 7.694 | 45.458 | 136.875 |
| 7 | 2:25 | 700 | 650 | 454 | 471 | 2.882 | 8.678 | 42.903 | 129.181 |
| 8 | 2:33 | 650 | 600 | 471 | 491 | 3.360 | 10.117 | 40.021 | 120.503 |
| 9 | 2:42 | 600 | 550 | 491 | 513 | 3.640 | 10.961 | 36.661 | 110.386 |
| 10 | 2:51 | 550 | 500 | 513 | 537 | 3.882 | 11.689 | 33.021 | 99.425 |
| 11 | 3:01 | 500 | 450 | 537 | 563 | 4.072 | 12.260 | 29.139 | 87.736 |
| 12 | 3:10 | 450 | 400 | 563 | 591 | 4.194 | 12.629 | 25.067 | 75.476 |
| 13 | 3:19 | 400 | 350 | 591 | 620 | 4.097 | 12.335 | 20.873 | 62.847 |
| 14 | 3:29 | 350 | 300 | 620 | 650 | 3.933 | 11.842 | 16.776 | 50.512 |
| 15 | 3:37 | 300 | 250 | 650 | 679 | 3.472 | 10.454 | 12.843 | 38.670 |
| 16 | 3:44 | 250 | 200 | 679 | 708 | 3.120 | 9.393 | 9.371 | 28.216 |
| 17 | 3:51 | 200 | 150 | 708 | 735 | 2.570 | 7.738 | 6.251 | 18.823 |
| 18 | 3:59 | 150 | 100 | 735 | 758 | 1.928 | 5.804 | 3.681 | 11.085 |
| 19 | 4:07 | 100 | 50 | 758 | 774 | 1.198 | 3.608 | 1.753 | 5.281 |
| 20 | 4:15 | 50 | 0 | 774 | 782 | 0.555 | 1.673 | 0.555 | 1.673 |

*1：C1, C10以外の調整棒の引抜位置は1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置1101mmである。

添付表 1-11 F1 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 24 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： F1] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 5:36 | 1000 | 950 | 408 | 411 | 0.511 | 1.539 | 58.300 | 175.547 |
| 2 | 5:42 | 950 | 900 | 411 | 415 | 0.682 | 2.054 | 57.789 | 174.008 |
| 3 | 5:51 | 900 | 850 | 415 | 423 | 1.365 | 4.110 | 57.107 | 171.954 |
| 4 | 5:58 | 850 | 800 | 423 | 433 | 1.707 | 5.140 | 55.742 | 167.844 |
| 5 | 6:03 | 800 | 750 | 433 | 446 | 2.217 | 6.676 | 54.035 | 162.704 |
| 6 | 6:06 | 750 | 700 | 446 | 463 | 2.890 | 8.702 | 51.818 | 156.028 |
| 7 | 6:21 | 700 | 650 | 463 | 484 | 3.542 | 10.667 | 48.928 | 147.326 |
| 8 | 6:31 | 650 | 600 | 484 | 508 | 3.990 | 12.015 | 45.386 | 136.659 |
| 9 | 6:39 | 600 | 550 | 508 | 535 | 4.384 | 13.200 | 41.396 | 124.644 |
| 10 | 6:49 | 550 | 500 | 535 | 565 | 4.698 | 14.145 | 37.012 | 111.444 |
| 11 | 6:56 | 500 | 450 | 565 | 599 | 5.045 | 15.190 | 32.314 | 97.299 |
| 12 | 7:03 | 450 | 400 | 599 | 636 | 5.078 | 15.291 | 27.269 | 82.109 |
| 13 | 11:48 | 400 | 350 | 636 | 676 | 4.923 | 14.823 | 22.191 | 66.818 |
| 14 | 12:06 | 350 | 300 | 676 | 720 | 4.646 | 13.988 | 17.268 | 51.995 |
| 15 | 12:21 | 300 | 250 | 720 | 768 | 4.077 | 12.277 | 12.622 | 38.007 |
| 16 | 13:48 | 250 | 200 | 768 | 824 | 3.445 | 10.375 | 8.545 | 25.730 |
| 17 | 13:58 | 200 | 150 | 824 | 896 | 2.648 | 7.972 | 5.100 | 15.355 |
| 18 | 14:28 | 150 | 100 | 896 | 1000 | 2.452 | 7.383 | 2.452 | 7.383 |

*1：C1, F1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-12 F2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 24 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： F2] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 1 | 15:46 | 1000 | 950 | 407 | 410 | 0.511 | 1.539 | 58.469 | 176.059 |
| 2 | 15:58 | 950 | 900 | 410 | 414 | 0.682 | 2.053 | 57.958 | 174.520 |
| 3 | 16:09 | 900 | 850 | 414 | 422 | 1.365 | 4.110 | 57.276 | 172.467 |
| 4 | 16:18 | 850 | 800 | 422 | 431 | 1.536 | 4.626 | 55.911 | 168.357 |
| 5 | 16:29 | 800 | 750 | 431 | 445 | 2.388 | 7.191 | 54.375 | 163.731 |
| 6 | 16:44 | 750 | 700 | 445 | 462 | 2.891 | 8.705 | 51.987 | 156.540 |
| 7 | 17:04 | 700 | 650 | 462 | 482 | 3.376 | 10.167 | 49.096 | 147.835 |
| 8 | 17:17 | 650 | 600 | 482 | 506 | 3.996 | 12.033 | 45.720 | 137.668 |
| 9 | 17:46 | 600 | 550 | 506 | 533 | 4.393 | 13.228 | 41.724 | 125.635 |
| 10 | 17:59 | 550 | 500 | 533 | 563 | 4.711 | 14.186 | 37.331 | 112.407 |
| 11 | 18:11 | 500 | 450 | 563 | 596 | 4.920 | 14.813 | 32.620 | 98.221 |
| 12 | 18:21 | 450 | 400 | 596 | 632 | 4.984 | 15.007 | 27.700 | 83.408 |
| 13 | 18:37 | 400 | 350 | 632 | 672 | 4.985 | 15.011 | 22.716 | 68.401 |
| 14 | 18:52 | 350 | 300 | 672 | 715 | 4.624 | 13.923 | 17.731 | 53.390 |
| 15 | 19:09 | 300 | 250 | 715 | 763 | 4.187 | 12.607 | 13.107 | 39.467 |
| 16 | 19:21 | 250 | 200 | 763 | 816 | 3.411 | 10.272 | 8.920 | 26.860 |
| 17 | 19:36 | 200 | 150 | 816 | 881 | 2.637 | 7.941 | 5.509 | 16.588 |
| 18 | 19:48 | 150 | 100 | 881 | 974 | 2.164 | 6.515 | 2.872 | 8.647 |
| 19 | 19:31 | 100 | 89 | 974 | 1000 | 0.708 | 2.132 | 0.708 | 2.132 |

*1：C1, F2 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-13 F3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 24 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|-------------------|-----|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： F3] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| | | 中央制御盤操作パネルデジタル表示器 | | | | | | | |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 23:01 | 1000 | 950 | 407 | 409 | 0.341 | 1.026 | 58.472 | 176.060 |
| 2 | 23:07 | 950 | 900 | 409 | 414 | 0.852 | 2.567 | 58.131 | 175.034 |
| 3 | 23:14 | 900 | 850 | 414 | 421 | 1.194 | 3.596 | 57.279 | 172.467 |
| 4 | 23:24 | 850 | 800 | 421 | 431 | 1.707 | 5.140 | 56.085 | 168.871 |
| 5 | 23:31 | 800 | 750 | 431 | 444 | 2.218 | 6.678 | 54.378 | 163.731 |
| 6 | 23:37 | 750 | 700 | 444 | 461 | 2.892 | 8.707 | 52.160 | 157.053 |
| 7 | 23:46 | 700 | 650 | 461 | 481 | 3.378 | 10.172 | 49.268 | 148.346 |
| 8 | 23:58 | 650 | 600 | 481 | 505 | 3.999 | 12.042 | 45.890 | 138.174 |
| 9 | 0:07 | 600 | 550 | 505 | 532 | 4.398 | 13.242 | 41.891 | 126.132 |
| 10 | 0:19 | 550 | 500 | 532 | 562 | 4.718 | 14.206 | 37.493 | 112.890 |
| 11 | 0:32 | 500 | 450 | 562 | 595 | 4.929 | 14.841 | 32.775 | 98.684 |
| 12 | 0:42 | 450 | 400 | 595 | 631 | 4.996 | 15.043 | 27.846 | 83.843 |
| 13 | 0:52 | 400 | 350 | 631 | 671 | 5.001 | 15.058 | 22.850 | 68.800 |
| 14 | 1:25 | 350 | 300 | 671 | 713 | 4.544 | 13.682 | 17.849 | 53.742 |
| 15 | 1:38 | 300 | 250 | 713 | 760 | 4.153 | 12.505 | 13.305 | 40.060 |
| 16 | 1:57 | 250 | 200 | 760 | 812 | 3.428 | 10.321 | 9.152 | 27.555 |
| 17 | 2:07 | 200 | 150 | 812 | 875 | 2.668 | 8.032 | 5.724 | 17.234 |
| 18 | 2:25 | 150 | 100 | 875 | 959 | 2.009 | 6.048 | 3.056 | 9.202 |
| 19 | 2:37 | 100 | 78 | 959 | 1000 | 1.047 | 3.154 | 1.047 | 3.154 |

*1：C1, F3 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, 後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-14 B1 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 25 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B1] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 5:48 | 1101 | 1050 | 406 | 410 | 0.681 | 2.052 | 58.640 | 176.572 |
| 2 | 5:57 | 1050 | 1000 | 410 | 417 | 1.194 | 3.594 | 57.959 | 174.520 |
| 3 | 6:08 | 1000 | 950 | 417 | 427 | 1.707 | 5.139 | 56.765 | 170.926 |
| 4 | 6:17 | 950 | 899 | 427 | 442 | 2.560 | 7.707 | 55.058 | 165.787 |
| 5 | 6:30 | 899 | 850 | 442 | 464 | 3.741 | 11.266 | 52.498 | 158.080 |
| 6 | 6:40 | 850 | 800 | 464 | 494 | 5.044 | 15.189 | 48.757 | 146.814 |
| 7 | 6:47 | 800 | 750 | 494 | 533 | 6.382 | 19.218 | 43.713 | 131.625 |
| 8 | 6:56 | 750 | 700 | 533 | 582 | 7.581 | 22.827 | 37.331 | 112.407 |
| 9 | 7:07 | 700 | 649 | 582 | 649 | 9.228 | 27.786 | 29.750 | 89.580 |
| 10 | 9:49 | 649 | 601 | 649 | 743 | 9.985 | 30.065 | 20.522 | 61.794 |
| 11 | 10:11 | 601 | 551 | 743 | 1000 | 10.537 | 31.729 | 10.537 | 31.729 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, B1 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-15 B2 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 25 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B2] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 12:49 | 1101 | 1052 | 406 | 410 | 0.681 | 2.052 | 58.641 | 176.574 |
| 2 | 12:54 | 1052 | 1000 | 410 | 417 | 1.194 | 3.594 | 57.960 | 174.522 |
| 3 | 12:59 | 1000 | 950 | 417 | 427 | 1.707 | 5.139 | 56.766 | 170.928 |
| 4 | 13:08 | 950 | 901 | 427 | 442 | 2.560 | 7.707 | 55.059 | 165.789 |
| 5 | 13:16 | 901 | 850 | 442 | 465 | 3.911 | 11.776 | 52.499 | 158.082 |
| 6 | 13:25 | 850 | 801 | 465 | 493 | 4.708 | 14.178 | 48.588 | 146.306 |
| 7 | 13:37 | 801 | 750 | 493 | 532 | 6.389 | 19.237 | 43.880 | 132.128 |
| 8 | 13:45 | 750 | 701 | 532 | 581 | 7.593 | 22.863 | 37.491 | 112.891 |
| 9 | 13:56 | 701 | 650 | 581 | 647 | 9.124 | 27.473 | 29.898 | 90.028 |
| 10 | 14:08 | 650 | 601 | 647 | 743 | 10.237 | 30.826 | 20.774 | 62.555 |
| 11 | 14:32 | 601 | 550 | 743 | 1000 | 10.537 | 31.729 | 10.537 | 31.729 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, B2 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-16 B3 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 25 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B3] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 16:08 | 1101 | 1051 | 406 | 410 | 0.681 | 2.052 | 58.640 | 176.573 |
| 2 | 16:17 | 1051 | 1001 | 410 | 416 | 1.023 | 3.081 | 57.959 | 174.521 |
| 3 | 16:26 | 1001 | 951 | 416 | 426 | 1.707 | 5.139 | 56.936 | 171.440 |
| 4 | 16:37 | 951 | 901 | 426 | 441 | 2.560 | 7.708 | 55.229 | 166.301 |
| 5 | 17:01 | 901 | 851 | 441 | 463 | 3.742 | 11.269 | 52.669 | 158.593 |
| 6 | 17:11 | 851 | 800 | 463 | 493 | 5.047 | 15.198 | 48.927 | 147.324 |
| 7 | 17:31 | 800 | 750 | 493 | 531 | 6.228 | 18.753 | 43.880 | 132.126 |
| 8 | 17:42 | 750 | 700 | 531 | 581 | 7.753 | 23.346 | 37.652 | 113.373 |
| 9 | 17:52 | 700 | 650 | 581 | 647 | 9.124 | 27.473 | 29.899 | 90.027 |
| 10 | 18:05 | 650 | 600 | 647 | 742 | 10.152 | 30.568 | 20.775 | 62.554 |
| 11 | 18:18 | 600 | 550 | 742 | 1000 | 10.623 | 31.986 | 10.623 | 31.986 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm, B3 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-17 B4 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 25 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|-------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B4] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 19:46 | 1101 | 1051 | 406 | 409 | 0.511 | 1.539 | 58.639 | 176.573 |
| 2 | 19:59 | 1051 | 1001 | 409 | 414 | 0.852 | 2.567 | 58.128 | 175.034 |
| 3 | 20:08 | 1001 | 950 | 414 | 422 | 1.365 | 4.110 | 57.276 | 172.467 |
| 4 | 20:18 | 950 | 901 | 422 | 434 | 2.048 | 6.168 | 55.911 | 168.357 |
| 5 | 20:27 | 901 | 850 | 434 | 451 | 2.898 | 8.726 | 53.863 | 162.189 |
| 6 | 20:36 | 850 | 800 | 451 | 474 | 3.899 | 11.740 | 50.965 | 153.463 |
| 7 | 20:44 | 800 | 750 | 474 | 502 | 4.682 | 14.098 | 47.066 | 141.723 |
| 8 | 20:54 | 750 | 700 | 502 | 536 | 5.534 | 16.663 | 42.384 | 127.625 |
| 9 | 21:04 | 700 | 650 | 536 | 577 | 6.355 | 19.137 | 36.850 | 110.962 |
| 10 | 21:20 | 650 | 600 | 577 | 625 | 6.845 | 20.610 | 30.495 | 91.825 |
| 11 | 22:34 | 600 | 550 | 625 | 685 | 7.401 | 22.287 | 23.650 | 71.215 |
| 12 | 22:45 | 550 | 500 | 685 | 760 | 7.098 | 21.373 | 16.249 | 48.928 |
| 13 | 22:54 | 500 | 450 | 760 | 889 | 6.510 | 19.603 | 9.151 | 27.555 |
| 14 | 23:07 | 450 | 432 | 889 | 1000 | 2.641 | 7.952 | 2.641 | 7.952 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm，B4 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-18 B5 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 26 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B5] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ϕ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 0:09 | 1101 | 1049 | 405 | 409 | 0.681 | 2.051 | 58.811 | 177.086 |
| 2 | 0:14 | 1049 | 1000 | 409 | 414 | 0.852 | 2.567 | 58.130 | 175.035 |
| 3 | 0:22 | 1000 | 950 | 414 | 422 | 1.365 | 4.110 | 57.278 | 172.468 |
| 4 | 0:27 | 950 | 900 | 422 | 434 | 2.048 | 6.168 | 55.913 | 168.358 |
| 5 | 0:33 | 900 | 851 | 434 | 451 | 2.898 | 8.726 | 53.865 | 162.190 |
| 6 | 0:41 | 851 | 802 | 451 | 473 | 3.730 | 11.232 | 50.967 | 153.464 |
| 7 | 0:46 | 802 | 751 | 473 | 501 | 4.685 | 14.107 | 47.237 | 142.232 |
| 8 | 1:09 | 751 | 700 | 501 | 534 | 5.380 | 16.199 | 42.552 | 128.125 |
| 9 | 1:17 | 700 | 650 | 534 | 576 | 6.525 | 19.648 | 37.172 | 111.926 |
| 10 | 1:25 | 650 | 601 | 576 | 624 | 6.860 | 20.656 | 30.647 | 92.278 |
| 11 | 1:34 | 601 | 550 | 624 | 682 | 7.201 | 21.682 | 23.787 | 71.622 |
| 12 | 1:44 | 550 | 500 | 682 | 755 | 7.040 | 21.198 | 16.586 | 49.940 |
| 13 | 1:55 | 500 | 450 | 755 | 877 | 6.552 | 19.728 | 9.546 | 28.742 |
| 14 | 2:10 | 450 | 429 | 877 | 1000 | 2.994 | 9.014 | 2.994 | 9.014 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm，B5 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-19 B6 置換法での制御棒引抜位置と反応度測定結果

(測定日：平成 22 年 5 月 26 日)

| STEP No. | 時刻 | 測定対象制御棒位置 (mm) | | 基準制御棒位置 (mm) | | 反応度 | | 積分反応度 | |
|----------|------|----------------|------|--------------|------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | | [測定対象： B6] | | [基準： C1] | | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ | $(\times 10^{-4}) \Delta k/k$ | ρ |
| | | 前 | 後 | 前 | 後 | | | | |
| 1 | 3:48 | 1101 | 1050 | 405 | 409 | 0.681 | 2.051 | 58.810 | 177.085 |
| 2 | 3:52 | 1050 | 1001 | 409 | 414 | 0.852 | 2.567 | 58.129 | 175.034 |
| 3 | 3:57 | 1001 | 950 | 414 | 422 | 1.365 | 4.110 | 57.277 | 172.467 |
| 4 | 4:01 | 950 | 900 | 422 | 434 | 2.048 | 6.168 | 55.912 | 168.357 |
| 5 | 4:11 | 900 | 850 | 434 | 451 | 2.898 | 8.726 | 53.864 | 162.189 |
| 6 | 4:16 | 850 | 800 | 451 | 473 | 3.730 | 11.232 | 50.966 | 153.463 |
| 7 | 4:23 | 800 | 750 | 473 | 501 | 4.685 | 14.107 | 47.236 | 142.231 |
| 8 | 4:31 | 750 | 701 | 501 | 534 | 5.380 | 16.199 | 42.551 | 128.124 |
| 9 | 4:39 | 701 | 650 | 534 | 575 | 6.375 | 19.195 | 37.171 | 111.925 |
| 10 | 4:47 | 650 | 600 | 575 | 623 | 6.875 | 20.701 | 30.796 | 92.730 |
| 11 | 5:00 | 600 | 550 | 623 | 681 | 7.223 | 21.750 | 23.921 | 72.029 |
| 12 | 5:11 | 550 | 500 | 681 | 754 | 7.072 | 21.296 | 16.698 | 50.279 |
| 13 | 5:31 | 500 | 450 | 754 | 871 | 6.441 | 19.393 | 9.626 | 28.983 |
| 14 | 5:44 | 450 | 427 | 871 | 1000 | 3.185 | 9.590 | 3.185 | 9.590 |

*1：C1 以外の調整棒の引抜位置は 1000mm，B6 以外の後備炉停止棒は引抜位置 1101mm である。

添付表 1-20 過剰反応度測定記録

| 試験年月日 | | 平成 22 年 5 月 26 日 | | | |
|--------------|--------|---------------------|---------------------------|----------|--|
| 測定項目 | | プラント状態測定結果 | | | |
| 測定項目 | | 測定機器 | 測定値 | | |
| 制御棒位置 | 粗調整棒 | C1 | 406 mm | | |
| | | C2 | 1000 mm | | |
| | | C3 | 1000 mm | | |
| | | C4 | 1000 mm | | |
| | | C5 | 1000 mm | | |
| | | C6 | 1000 mm | | |
| | | C7 | 1000 mm | | |
| | | C8 | 1000 mm | | |
| | | C9 | 1000 mm | | |
| | | C10 | 1000 mm | | |
| 粗調整棒 | 反応度値 | F1 | 1000 mm | | |
| | | F2 | 1000 mm | | |
| | | F3 | 1000 mm | | |
| 微調整棒 | 粗調整棒 | B1 | 1101 mm | | |
| | | B2 | 1101 mm | | |
| | | B3 | 1101 mm | | |
| 後備炉停止棒 | 微調整棒 | B4 | 1100 mm | | |
| | | B5 | 1101 mm | | |
| | | B6 | 1101 mm | | |
| R/V 出口 Na 温度 | 後備炉停止棒 | A ループ | 110A-TR001 | | |
| | | B ループ | 110B-TR001 | | |
| | | C ループ | 110C-TR001 | | |
| | | 平均 | - | | |
| | | CH I | 711-NR001 | | |
| | | CH II | | | |
| | | CH III | | | |
| | | 中性子束レベル | 広域 | 3300 cps | |
| | | | | 3000 cps | |
| | | | | 3000 cps | |
| 測定項目 | | 測定項目 | 測定値 | | |
| 過剰反応度算出結果 | | 測定項目 | 測定値 | | |
| 制御棒位置 | 粗調整棒 | C1 | 0.00586 Δk/k | | |
| | | C2 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C3 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C4 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C5 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C6 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C7 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C8 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C9 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | C10 | 0.00000 Δk/k | | |
| 粗調整棒 | 反応度値 | F1 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | F2 | 0.00000 Δk/k | | |
| | | F3 | 0.00000 Δk/k | | |
| 微調整棒 | 粗調整棒 | B1 | 0.00586 Δk/k | | |
| | | B2 | 0.00045 Δk/k | | |
| | | B3 | 0.0064 ^{*1} Δk/k | | |
| 後備炉停止棒 | 微調整棒 | B4 | 0.057Δk/k 以下 | | |
| | | B5 | | | |
| | | B6 | 良好 | | |
| 【備考】 | | ※ 1 小数点以下第 5 位を切り上げ | | | |

添付表 1-21 主炉停止系による停止余裕測定検査測定記録

| 試験年月日 | 平成 22 年 5 月 27 日 | | |
|------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 測定項目 | | 測定値 | |
| 反応度価値 | 粗調整棒 | C1 | - $\Delta k/k$ |
| | | C2 | 0.00863 $\Delta k/k$ |
| | | C3 | 0.00859 $\Delta k/k$ |
| | | C4 | 0.00860 $\Delta k/k$ |
| | | C5 | 0.00504 $\Delta k/k$ |
| | | C6 | 0.00506 $\Delta k/k$ |
| | | C7 | 0.00502 $\Delta k/k$ |
| | | C8 | 0.00506 $\Delta k/k$ |
| | | C9 | 0.00500 $\Delta k/k$ |
| | | C10 | 0.00507 $\Delta k/k$ |
| | 微調整棒 | F1 | 0.00600 $\Delta k/k$ |
| | | F2 | 0.00597 $\Delta k/k$ |
| | | F3 | 0.00593 $\Delta k/k$ |
| 反応度抑制効果 | | 0.0739 ^{※1} $\Delta k/k$ | |
| 判定基準 | | 0.067 $\Delta k/k$ 以上 | |
| 検査結果 | | 良 | |
| 過剰反応度の測定結果 | | 0.0064 $\Delta k/k$ | |
| 反応度停止余裕 | | 0.067 ^{※2} $\Delta k/k$ | |
| 判定基準 | | 0.01 $\Delta k/k$ 以上 | |
| 検査結果 | | 良 | |

【備考】

※ 1 小数点以下第 5 位を切捨て

※ 2 小数点以下第 4 位を切捨て

添付表 1-22 反応度添加率測定結果

| 制御棒選択 | | 試験年月日 | | 平成 22年 5月 27日 | | | | | | | 投入反応度価値 | 最大反応度添加率 |
|-------|-----|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|----------|------|---------|----------|
| | | 制御棒位置 | 操作量 | 広域中性子計装計数率倍增時間 | | | 平均 | | | | | |
| | | 引抜前 | 引抜後 | A | B | C | | | | | | |
| 粗調整棒 | C1 | 420 mm | 434 mm | 14 mm | 81.84s | 82.92s | 84.69s | 83.15s | 2.48E-04 | Δk/k | 3.6E-05 | Δk/k/s |
| | C2 | 410 mm | 426 mm | 16 mm | 97.91s | 94.16s | 98.56s | 96.88s | 2.19E-04 | Δk/k | 2.8E-05 | Δk/k/s |
| | C3 | 407 mm | 423 mm | 16 mm | 94.82s | 99.84s | 95.97s | 96.88s | 2.19E-04 | Δk/k | 2.8E-05 | Δk/k/s |
| | C4 | 407 mm | 423 mm | 16 mm | 95.46s | 98.78s | 97.26s | 97.17s | 2.18E-04 | Δk/k | 2.7E-05 | Δk/k/s |
| | C5 | 416 mm | 444 mm | 28 mm | 95.30s | 96.67s | 97.44s | 96.47s | 2.19E-04 | Δk/k | 1.6E-05 | Δk/k/s |
| | C6 | 416 mm | 444 mm | 28 mm | 88.97s | 89.35s | 86.94s | 88.42s | 2.36E-04 | Δk/k | 1.7E-05 | Δk/k/s |
| | C7 | 416 mm | 444 mm | 28 mm | 86.27s | 87.77s | 89.99s | 88.01s | 2.37E-04 | Δk/k | 1.7E-05 | Δk/k/s |
| | C8 | 415 mm | 443 mm | 28 mm | 97.90s | 96.42s | 97.64s | 97.32s | 2.18E-04 | Δk/k | 1.6E-05 | Δk/k/s |
| | C9 | 415 mm | 443 mm | 28 mm | 90.73s | 92.70s | 93.01s | 92.15s | 2.28E-04 | Δk/k | 1.7E-05 | Δk/k/s |
| | C10 | 418 mm | 445 mm | 27 mm | 93.98s | 92.44s | 95.95s | 94.12s | 2.24E-04 | Δk/k | 1.7E-05 | Δk/k/s |
| 微調整棒 | F1 | 426 mm | 450 mm | 24 mm | 81.45s | 79.72s | 80.63s | 80.60s | 2.54E-04 | Δk/k | 5.2E-05 | Δk/k/s |
| | F2 | 423 mm | 447 mm | 24 mm | 95.36s | 97.26s | 97.76s | 96.79s | 2.19E-04 | Δk/k | 4.5E-05 | Δk/k/s |
| | F3 | 423 mm | 447 mm | 24 mm | 87.64s | 90.33s | 86.66s | 88.21s | 2.36E-04 | Δk/k | 4.8E-05 | Δk/k/s |

添付表 1-23 後備炉停止系による停止余裕測定検査測定記録 (1 / 2)

| 試験年月日 | 平成 22 年 5 月 28 日 | |
|-------------------------|----------------------|-------------|
| 測定項目 | 測定値 | |
| 後備炉停止棒反応度価値 | B1 | 0.0135 Δk/k |
| | B2 | 0.0135 Δk/k |
| | B3 | 0.0135 Δk/k |
| | B4 | 0.0094 Δk/k |
| | B5 | 0.0094 Δk/k |
| | B6 | 0.0094 Δk/k |
| 反応度抑制効果 | 0.0687* ² | Δk/k |
| 判定基準 | 0.029Δk/k 以上 | |
| 検査結果 | 良 | |
| 出力補償分の反応度* ¹ | 0.0064 | Δk/k |
| 反応度停止余裕 | 0.0623 | Δk/k |
| 判定基準 | 臨界未満にできること | |
| 検査結果 | 良 | |

※ 1 過剰反応度が 0.015Δk/k 未満のため過剰反応度の測定値を出力補償分の反応度とした。

※ 2 小数点以下第 5 位を切捨て

添付表 1-23 後備炉停止系による停止余裕測定検査測定記録 (2 / 2)

| 試験年月日 | | 平成 22 年 5 月 28 日 | |
|-------------------------|--------|------------------|--------------|
| 測定項目 | | | 測定値 |
| 制御棒位置 | 粗調整棒 | C1 | 1000 mm |
| | | C2 | 1000 mm |
| | | C3 | 1000 mm |
| | | C4 | 1000 mm |
| | | C5 | 1000 mm |
| | | C6 | 1000 mm |
| | | C7 | 1000 mm |
| | | C8 | 1000 mm |
| | | C9 | 1000 mm |
| | | C10 | 1000 mm |
| | 微調整棒 | F1 | 1000 mm |
| | | F2 | 1000 mm |
| | | F3 | 1000 mm |
| | 後備炉停止棒 | B1 | 108 mm |
| | | B2 | 0 mm |
| | | B3 | 0 mm |
| | | B4 | 0 mm |
| | | B5 | 0 mm |
| | | B6 | 0 mm |
| R/V出口Na温度 | A ループ | 200 °C | |
| | B ループ | 200 °C | |
| | C ループ | 200 °C | |
| | 平均 | 200 °C | |
| 温度補正分の反応度 ^{※3} | | | 0.00045 Δk/k |
| 中性子束レベル | 広域 | CH I | 1 以下 cps |
| | | CH II | 1 以下 cps |
| | | CH III | 1 以下 cps |
| 臨界到達判断最低計数率 (広域) | | | 100 cps |
| 判定基準 | | | 臨界未満にできること |
| 検査結果 | | | 良 |

※3 過剰反応度が 0.015 Δk/k 以上の場合は「-」とする。

添付資料 2 核設計手法による解析値補完方法とフィッティング係数の算出方法

測定範囲外となる 0~406 mm については、許認可コードベースの核設計手法による解析値を用いて補完して、フィッティング係数を求める。詳細な手順は以下のとおり。

(1) 核設計手法による解析値

核設計の基本計算は、多群中性子拡散計算コードにより行う。核設計計算の概略フローを添付図 2-1 に示す。主要な計算条件は以下のとおり。

| | |
|--------|---------------------|
| 組成 | : 平成 22 年 3 月 31 日 |
| 計算体系 | : 2 次元 RZ 拡散燃焼計算 |
| エネルギー群 | : 26 群 |
| 群定数 | : ABBN 型 MICS5.2R2* |

* 各種の測定データをもとに評価を行ったものと、既存の核データファイル ENDF/B-II、III のデータとを、ETOX コードにより処理して作成されたもの及び JENDL3.2 のデータを NJOY コードにより処理して作成されたもの。

制御棒の挿入反応度は、制御棒引抜量に応じた実効増倍率 k_{eff} を求めて $(k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$ により算出した。これは、2 次元 RZ 拡散計算によるものであり、炉心中心位置の制御棒 1 本に対する評価である。後備炉停止系制御棒は実際には炉心中心にないが、以下の理由により今回の評価では主炉停止系制御棒と同様のモデルとした。

- ・設工認で用いた核設計手法では、2 次元 RZ 及び 2 次元 XY 拡散計算を用いており、ここで測定した制御棒価値は使用前検査に使用するため、許認可手法を踏襲した。
- ・許認可手法では、制御棒校正曲線は RZ 体系でしか算出できないが、この場合、炉心中心以外はリング状になるため、中心で計算した方が妥当である。
- ・制御棒校正曲線は相対値（カーブの形状）として使用するため、中心以外の制御棒を中心に計算しても大きくずれることはない。
- ・単体価値は XY 拡散計算で計算しており、上記手法で求めた制御棒校正曲線と合わせて補完値としている。

以上の手法で算出された、主炉停止系制御棒引抜位置の制御棒価値を添付表 2-1 に、後備炉停止系制御棒引抜位置の制御棒価値は添付表 2-2 に示す。

また、制御棒単体価値については、2 次元 RZ 及び XY 拡散計算の組合せに基づき算出した。以上の手法で算出された結果は、補正を行う C1~C4、FCR 及び BCR について、添付表 2-3 に示す。なお、C5~C10 については、全ストロークにわたり測定値が得られているため解析値による補完は行っていない。

(2) 解析値補完方法とフィッティング係数の算出方法

核設計手法により算出された、炉中心における引抜位置の制御棒価値（相対値）（添付表 2-1、2-2）から、解析値に基づく制御棒校正曲線作成のためのフィッティング係数を算出する。フィ

フィッティング係数算出方法の概略フローを添付図 2-2 に示す。

校正曲線は 6 次式の近似曲線としており、各制御棒位置における反応度（主炉停止系 7 点、後備炉停止系 9 点）とそれぞれの位置での近似曲線の値との差が最小となるような、0～6 次の各フィッティング係数を最小二乗法により求める。Microsoft Excel 2003 に内蔵される Linest 関数を用いて 6 次のフィッティング係数①を算出する。

フィッティング係数①と核設計手法により 2 次元 RZ 体系及び XY 体系での拡散計算の組合せに基づいて算出された各制御棒価値 ρ_i （添付表 2-3）とから、測定範囲外の補完値を求める。以下の式に代入し、補完値は 0mm から 50mm 毎に測定範囲との境界点に達するまで算出する。

$$\rho = \rho_i \times (M_0 + M_1 x + M_2 x^2 + M_3 x^3 + M_4 x^4 + M_5 x^5 + M_6 x^6) \quad [\Delta k/k]$$

ρ_i : 制御棒 i の制御棒価値

x : 制御棒 i の引抜位置

測定値に基づく反応度と、測定範囲外の解析値に基づく反応度を合わせたデータに基づき、制御棒校正曲線作成のためのフィッティング係数②（絶対値）を最小二乗法による 6 次式へのあてはめにより算出する。なお、0mm の際に 0 $\Delta k/k$ とするため、0 次の項 M_0 を 0 としている。

このフィッティング係数②を用いて描かれる校正曲線は、各点からの差が最も小さくなるように求めた曲線であるので、測定と解析に基づいて求められた各制御棒位置における各反応度（ゼロ点除く）の値を通らない。このため、解析と測定に基づく全引抜位置での積算反応度が校正曲線の全引抜位置の反応度に等しくなるように、フィッティング係数②（絶対値）から求めた全引抜位置の反応度で規格化することによりフィッティング係数③（相対値）を求め、それに解析と測定に基づく全引抜位置での積算反応度を掛けることにより、フィッティング係数③（絶対値）を算出する。このフィッティング係数③を制御棒校正曲線のフィッティング係数として使用した。以上の手順で求めたフィッティング係数を添付表 2-4～2-7 に示す。

<参考文献>

- 1) 「高速増殖炉核設計計算コードの概要」MAP I - F 0001 三菱原子力工業 昭和 56 年 10 月
- 2) R.E.Schenter, J.L.Baker and R.B.Kidman, "ETOX, A Code to Calculate Group Constants for Nuclear Reactor Calculations", BNWL-1002 (ENDF-127), Battelle Northwest Laboratory report, 1969
- 3) R.E.MacFarlane and D.W.Muir, "The NJOY Nuclear Data Processing System, version 91 ", LA-12740-M, Los Alamos National Laboratory report, 1994

以上

添付表 2-1 主炉停止系制御棒引抜位置の制御棒価値（核設計手法）

| 挿入 ステップ | 制御棒引抜 位置[cm] | 実効増倍率 k_{eff} | 挿入反応度 | |
|------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|-------|
| | | | 絶対値 [$\Delta k/k$] | 相対値 |
| s1 | 100.0 | 1.0115 | 0.00000 | 0.000 |
| s2 | 85.0 | 1.0112 | 0.00031 | 0.028 |
| s3 | 70.0 | 1.0101 | 0.00143 | 0.131 |
| s4 | 50.0 | 1.0071 | 0.00437 | 0.399 |
| s5 | 30.0 | 1.0035 | 0.00797 | 0.728 |
| s6 | 15.0 | 1.0013 | 0.01009 | 0.922 |
| s7 | 0.0 | 1.0005 | 0.01095 | 1.000 |

添付表 2-2 後備炉停止系制御棒引抜位置の制御棒価値（核設計手法）

| 挿入 ステップ | 制御棒引抜 位置[cm] | 実効増倍率 k_{eff} | 挿入反応度 | |
|------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|-------|
| | | | 絶対値 [$\Delta k/k$] | 相対値 |
| s1 | 110.0 | 1.0115 | 0.00000 | 0.000 |
| s2 | 101.5 | 1.0114 | 0.00017 | 0.009 |
| s3 | 91.5 | 1.0108 | 0.00068 | 0.036 |
| s4 | 76.5 | 1.0088 | 0.00264 | 0.141 |
| s5 | 56.5 | 1.0039 | 0.00747 | 0.398 |
| s6 | 36.5 | 0.9982 | 0.01320 | 0.703 |
| s7 | 21.5 | 0.9948 | 0.01660 | 0.884 |
| s8 | 6.5 | 0.9930 | 0.01845 | 0.983 |
| s9 | 0.0 | 0.9927 | 0.01877 | 1.000 |

添付表 2-3 RZ 体系と XY 体系の組合せによる制御棒価値 (核設計手法)

| 制御棒 | | 制御棒価値[$\Delta k/k$] |
|--------|----|-----------------------|
| 粗調整棒 | C1 | 0.00986 |
| | C2 | 0.00824 |
| | C3 | 0.00824 |
| | C4 | 0.00824 |
| 微調整棒 | F1 | 0.00578 |
| | F2 | 0.00578 |
| | F3 | 0.00578 |
| 後備炉停止棒 | B1 | 0.01312 |
| | B2 | 0.01312 |
| | B3 | 0.01312 |
| | B4 | 0.00902 |
| | B5 | 0.00902 |
| | B6 | 0.00903 |

添付表 2-4 フィットティング係数 (CCR, 相対値)

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 次 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 |
| 1 次 | -1.52727E-04 | -1.11147E-04 | -1.09500E-04 | -1.01202E-04 | 5.68051E-05 | 5.00263E-05 | 6.42137E-05 | 8.51852E-05 | 7.83037E-05 | 5.40934E-05 |
| 2 次 | 5.10286E-06 | 4.38100E-06 | 4.36244E-06 | 4.23561E-06 | 2.89330E-06 | 2.97978E-06 | 2.97748E-06 | 2.70187E-06 | 2.92865E-06 | 2.95011E-06 |
| 3 次 | -7.70359E-09 | -4.02623E-09 | -3.78468E-09 | -3.24376E-09 | 3.78395E-10 | 1.30793E-10 | -4.14747E-11 | 1.10790E-09 | 1.68984E-11 | 1.26439E-10 |
| 4 次 | 9.41764E-12 | 1.99495E-12 | 1.25932E-12 | 2.41403E-13 | -4.73945E-12 | -4.54456E-12 | -4.12248E-12 | -6.25806E-12 | -4.13588E-12 | -4.50561E-12 |
| 5 次 | -9.67807E-15 | -3.16042E-15 | -2.32865E-15 | -1.43739E-15 | 2.29004E-15 | 2.37024E-15 | 2.00323E-15 | 3.80392E-15 | 1.93762E-15 | 2.43237E-15 |
| 6 次 | 4.01389E-18 | 1.92186E-18 | 1.60107E-18 | 1.30534E-18 | 1.20910E-19 | 1.37205E-20 | 1.19035E-19 | -4.40818E-19 | 1.74409E-19 | -5.74027E-20 |

添付表 2-5 フィットティング係数 (CCR, 絶対値)

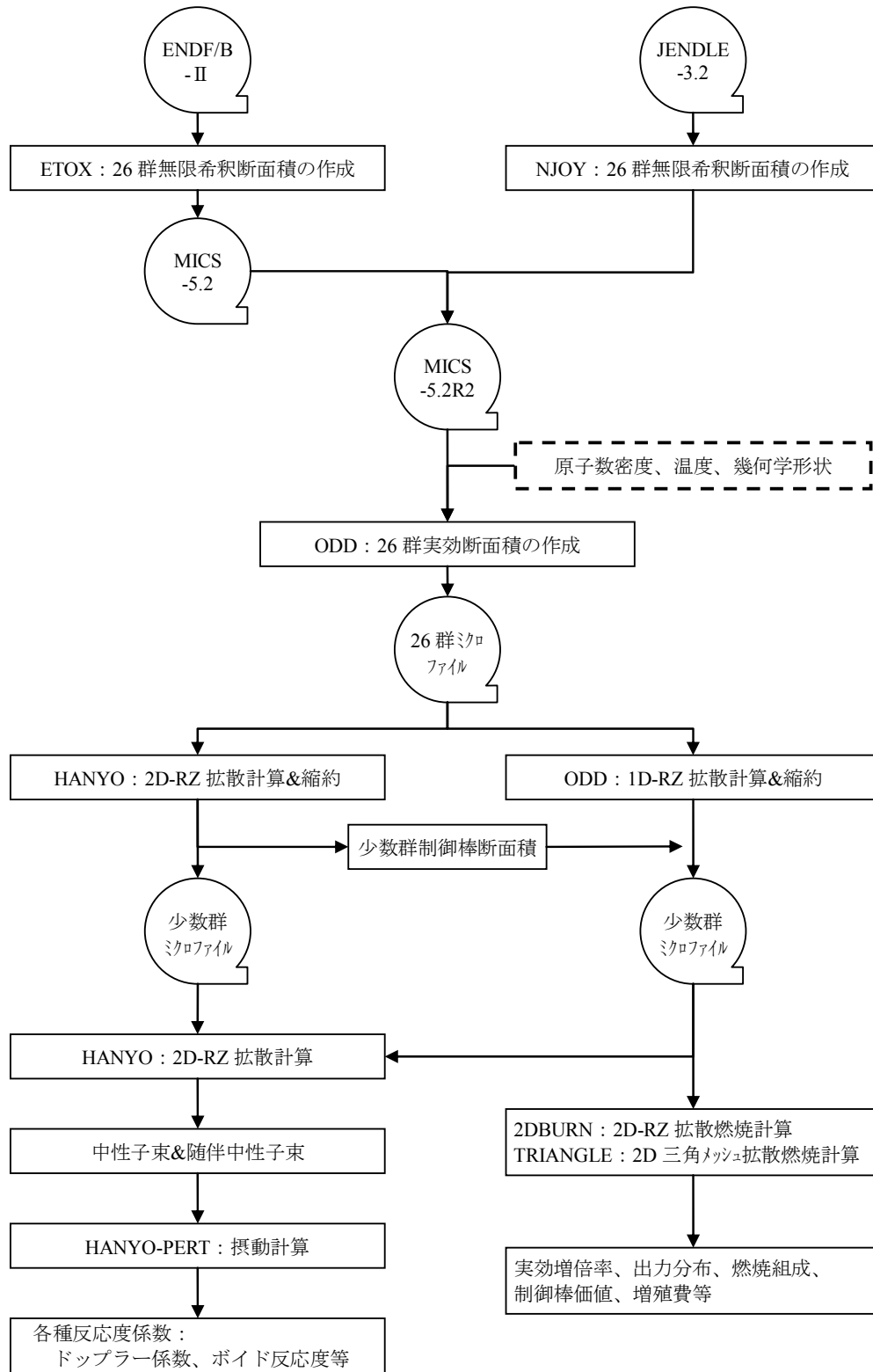
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 次 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 |
| 1 次 | -1.57355E-06 | -9.58910E-07 | -9.40325E-07 | -8.70786E-07 | 2.86371E-07 | 2.53288E-07 | 3.22301E-07 | 4.30679E-07 | 3.91401E-07 | 2.74508E-07 |
| 2 次 | 5.25749E-08 | 3.77966E-08 | 3.74621E-08 | 3.64450E-08 | 1.45860E-08 | 1.50869E-08 | 1.49446E-08 | 1.36601E-08 | 1.46389E-08 | 1.49709E-08 |
| 3 次 | -7.93702E-11 | -3.47360E-11 | -3.25007E-11 | -2.79107E-11 | 1.90760E-12 | 6.62217E-13 | -2.08170E-13 | 5.60131E-12 | 8.44668E-14 | 6.41639E-13 |
| 4 次 | 9.70300E-14 | 1.72113E-14 | 1.08143E-14 | 2.07713E-15 | -2.38930E-14 | -2.30096E-14 | -2.06916E-14 | -3.16395E-14 | -2.06732E-14 | -2.28646E-14 |
| 5 次 | -9.97133E-17 | -2.72662E-17 | -1.99971E-17 | -1.23680E-17 | 1.15448E-17 | 1.20008E-17 | 1.00546E-17 | 1.92319E-17 | 9.68519E-18 | 1.23435E-17 |
| 6 次 | 4.13552E-20 | 1.65806E-20 | 1.37491E-20 | 1.12317E-20 | 6.09545E-22 | 6.94683E-23 | 5.97461E-22 | -2.22869E-21 | 8.71782E-22 | -2.91302E-22 |

添付表 2-6 フィットティング係数 (FCR,BCR,相対値)

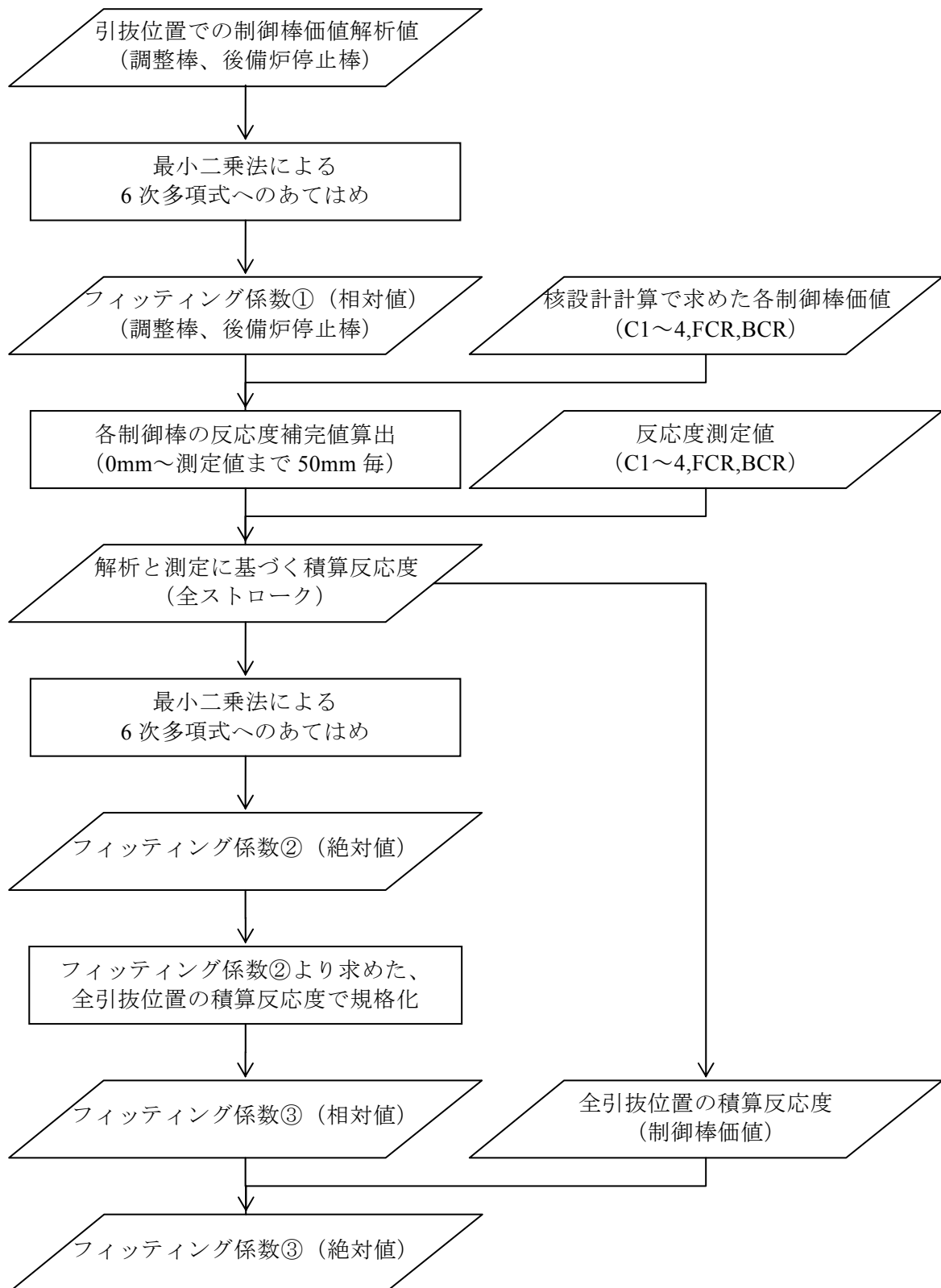
| | F1 | F2 | F3 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0次 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 |
| 1次 | 1.04559E-05 | 2.16851E-05 | 1.92536E-05 | 1.07795E-04 | 1.16805E-04 | 1.17499E-04 | 8.65693E-05 | 8.07397E-05 | 7.12886E-05 |
| 2次 | 2.60336E-06 | 2.49619E-06 | 2.34685E-06 | 1.90073E-06 | 1.77266E-06 | 1.77032E-06 | 2.05609E-06 | 2.12904E-06 | 2.26529E-06 |
| 3次 | 1.99910E-09 | 2.56310E-09 | 3.33114E-09 | 1.08250E-10 | 7.21931E-10 | 6.99028E-10 | -3.60437E-10 | -5.78517E-10 | -1.10826E-09 |
| 4次 | -7.62031E-12 | -8.89156E-12 | -1.03011E-11 | 3.49175E-13 | -8.48426E-13 | -7.43697E-13 | 4.99627E-13 | 7.65391E-13 | 1.66563E-12 |
| 5次 | 4.61217E-15 | 5.85521E-15 | 6.99408E-15 | -3.42250E-15 | -2.40807E-15 | -2.53017E-15 | -2.87281E-15 | -3.03032E-15 | -3.73719E-15 |
| 6次 | -6.04779E-19 | -1.04463E-18 | -1.39022E-18 | 1.94064E-18 | 1.62900E-18 | 1.67183E-18 | 1.57583E-18 | 1.61701E-18 | 1.82642E-18 |

添付表 2-7 フィットティング係数 (FCR,BCR,絶対値)

| | F1 | F2 | F3 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0次 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 | 0.00000E+00 |
| 1次 | 6.26986E-08 | 1.29451E-07 | 1.14201E-07 | 1.45205E-06 | 1.57110E-06 | 1.58042E-06 | 8.16552E-07 | 7.59611E-07 | 6.68998E-07 |
| 2次 | 1.56110E-08 | 1.49012E-08 | 1.39201E-08 | 2.56038E-08 | 2.38434E-08 | 2.38117E-08 | 1.93937E-08 | 2.00304E-08 | 2.12583E-08 |
| 3次 | 1.19876E-11 | 1.53006E-11 | 1.97584E-11 | 1.45818E-12 | 9.71041E-12 | 9.40228E-12 | -3.39977E-12 | -5.44277E-12 | -1.04003E-11 |
| 4次 | -4.56951E-14 | -5.30788E-14 | -6.11002E-14 | 4.70356E-15 | -1.14119E-14 | -1.00031E-14 | 4.71266E-15 | 7.20091E-15 | 1.56309E-14 |
| 5次 | 2.76568E-17 | 3.49531E-17 | 4.14849E-17 | -4.61028E-17 | -3.23900E-17 | -3.40321E-17 | -2.70973E-17 | -2.85097E-17 | -3.50711E-17 |
| 6次 | -3.62655E-21 | -6.23601E-21 | -8.24601E-21 | 2.61414E-20 | 2.19110E-20 | 2.24870E-20 | 1.48637E-20 | 1.52130E-20 | 1.71398E-20 |



添付図 2-1 核設計計算の概略フロー



添付図 2-2 フィッティング係数算出方法の概略フロー

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

| 基本量 | SI基本単位 | |
|-------|--------|-----|
| | 名称 | 記号 |
| 長さ | メートル | m |
| 質量 | キログラム | kg |
| 時間 | 秒 | s |
| 電流 | アンペア | A |
| 熱力学温度 | ケルビン | K |
| 物質の量 | モル | mol |
| 光度 | カンデラ | cd |

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量 | SI基本単位 | |
|-------------------------|--------------|--------------------|
| | 名称 | 記号 |
| 面積 | 平方メートル | m ² |
| 体積 | 立方メートル | m ³ |
| 速度 | メートル毎秒 | m/s |
| 加速度 | メートル毎秒毎秒 | m/s ² |
| 波数 | 毎メートル | m ⁻¹ |
| 密度, 質量密度 | キログラム毎立方メートル | kg/m ³ |
| 面積密度 | キログラム毎平方メートル | kg/m ² |
| 比体積 | 立方メートル毎キログラム | m ³ /kg |
| 電流密度 | アンペア毎平方メートル | A/m ² |
| 磁界の強さ | アンペア毎メートル | A/m |
| 量濃度 ^(a) , 濃度 | モル毎立方メートル | mol/m ³ |
| 質量濃度 | キログラム毎立方メートル | kg/m ³ |
| 輝度 | カンデラ毎平方メートル | cd/m ² |
| 屈折率 ^(b) | (数字の) | 1 |
| 比透磁率 ^(b) | (数字の) | 1 |

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 組立量 | SI組立単位 | | | |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|--|
| | 名称 | 記号 | 他のSI単位による表し方 | SI基本単位による表し方 |
| 平面角 | ラジアン ^(b) | rad | 1 ^(b) | m/m |
| 立体角 | ステラジアン ^(b) | sr ^(c) | 1 ^(b) | m ² /m ² |
| 周波数 | ヘルツ ^(d) | Hz | | s ⁻¹ |
| 力 | ニュートン | N | | m kg s ⁻² |
| 圧力, 応力 | パスカル | Pa | N/m ² | m ⁻¹ kg s ⁻² |
| エネルギー, 仕事, 熱量 | ジュール | J | N m | m ² kg s ⁻² |
| 仕事率, 工率, 放射束 | ワット | W | J/s | m ² kg s ⁻³ |
| 電荷, 電流量 | クーロン | C | | s A |
| 電位差 (電圧), 起電力 | ボルト | V | W/A | m ² kg s ⁻³ A ⁻¹ |
| 静電容量 | ファラド | F | C/V | m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ² |
| 電気抵抗 | オーム | Ω | V/A | m ² kg s ⁻³ A ⁻² |
| コンダクタンス | ジーメンズ | S | A/V | m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ² |
| 磁束 | ウェーバ | Wb | Vs | m ² kg s ⁻² A ⁻¹ |
| 磁束密度 | テスラ | T | Wb/m ² | kg s ⁻² A ⁻¹ |
| インダクタンス | ヘンリー | H | Wb/A | m ² kg s ⁻² A ⁻² |
| セルシウス温度 | セルシウス度 ^(e) | °C | | K |
| 光照度 | ルーメン | lm | cd sr ^(c) | cd |
| 放射線量 | ルクス | lx | lm/m ² | m ⁻² cd |
| 放射線種の放射能 ^(f) | ベクレル ^(d) | Bq | | s ⁻¹ |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ | グレイ | Gy | J/kg | m ² s ⁻² |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向線量当量, 個人線量当量 | シーベルト ^(g) | Sv | J/kg | m ² s ⁻² |
| 酸素活性 | カタール | kat | | s ⁻¹ mol |

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量 | SI組立単位 | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--|
| | 名称 | 記号 | SI基本単位による表し方 |
| 粘力のモーメント | パスカル秒 | Pa s | m ⁻¹ kg s ⁻¹ |
| 表面張力 | ニュートンメートル | N m | m ² kg s ⁻² |
| 角速度 | ニュートン毎メートル | N/m | kg s ⁻² |
| 角加速度 | ラジアン毎秒 | rad/s | m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹ |
| 熱流密度, 放射照度 | ラジアン毎秒毎秒 | rad/s ² | m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻² |
| 熱容量, エントロピー | ワット毎平方メートル | W/m ² | kg s ⁻³ |
| 比熱容量, 比エントロピー | ジュール毎ケルビン | J/K | m ² kg s ⁻² K ⁻¹ |
| 比エネルギー | ジュール毎キログラム毎ケルビン | J/(kg K) | m ² s ⁻² K ⁻¹ |
| 熱伝導率 | ジュール毎キログラム | J/kg | m ² s ⁻² |
| 体積エネルギー | ワット毎メートル毎ケルビン | W/(m K) | m kg s ⁻³ K ⁻¹ |
| 電界の強さ | ジュール毎立方メートル | J/m ³ | m ¹ kg s ⁻² |
| 電荷密度 | ボルト毎メートル | V/m | m kg s ⁻³ A ⁻¹ |
| 表面電荷 | クーロン毎立方メートル | C/m ³ | m ³ s A |
| 電束密度, 電気変位 | クーロン毎平方メートル | C/m ² | m ² s A |
| 誘電率 | クーロン毎平方メートル | C/m ² | m ² s A |
| 透磁率 | ファラド毎メートル | F/m | m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ² |
| モルエネルギー | ヘンリー毎メートル | H/m | m kg s ⁻² A ⁻² |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル | J/mol | m ² kg s ⁻² mol ⁻¹ |
| 照射線量 (X線及びγ線) | ジュール毎モル毎ケルビン | J/(mol K) | m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| 吸収線量率 | クーロン毎キログラム | C/kg | kg ⁻¹ s A |
| 放射線強度 | グレイ毎秒 | Gy/s | m ² s ⁻³ |
| 放射輝度 | ワット毎ステラジアン | W/sr | m ² m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³ |
| 酵素活性濃度 | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | W/(m ² sr) | m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³ |
| | カタール毎立方メートル | kat/m ³ | m ³ s ⁻¹ mol |

表5. SI接頭語

| 乗数 | 接頭語 | 記号 | 乗数 | 接頭語 | 記号 |
|------------------|-----|----|-------------------|------|----|
| 10 ²⁴ | ヨタ | Y | 10 ⁻¹ | デシ | d |
| 10 ²¹ | ゼタ | Z | 10 ⁻² | センチ | c |
| 10 ¹⁸ | エクサ | E | 10 ⁻³ | ミリ | m |
| 10 ¹⁵ | ペタ | P | 10 ⁻⁶ | マイクロ | μ |
| 10 ¹² | テラ | T | 10 ⁻⁹ | ナノ | n |
| 10 ⁹ | ギガ | G | 10 ⁻¹² | ピコ | p |
| 10 ⁶ | メガ | M | 10 ⁻¹⁵ | フェムト | f |
| 10 ³ | キロ | k | 10 ⁻¹⁸ | アト | a |
| 10 ² | ヘクト | h | 10 ⁻²¹ | ゼプト | z |
| 10 ¹ | デカ | da | 10 ⁻²⁴ | ヨクト | y |

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称 | 記号 | SI単位による値 |
|-------|------|---|
| 分 | min | 1 min=60s |
| 時 | h | 1 h=60 min=3600 s |
| 日 | d | 1 d=24 h=86 400 s |
| 度 | ° | 1°=(π/180) rad |
| 分 | ' | 1'=(1/60)°=(π/10800) rad |
| 秒 | " | 1"=(1/60)′=(π/648000) rad |
| ヘクタール | ha | 1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ² |
| リットル | L, l | 1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³ |
| トン | t | 1 t=10 ³ kg |

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

| 名称 | 記号 | SI単位で表される数値 |
|----------|----|---|
| 電子ボルト | eV | 1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J |
| ダルトン | Da | 1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg |
| 統一原子質量単位 | u | 1 u=1 Da |
| 天文単位 | ua | 1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m |

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

| 名称 | 記号 | SI単位で表される数値 |
|-----------|------|--|
| バール | bar | 1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | 1 mmHg=133.322 Pa |
| オングストローム | Å | 1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m |
| 海里 | M | 1 M=1852 m |
| バイン | b | 1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ² |
| ノット | kn | 1 kn=(1852/3600) m/s |
| ネーパ | Np | SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。 |
| ベベル | B | |
| デジベル | dB | |

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

| 名称 | 記号 | SI単位で表される数値 |
|-----------------------|-----|---|
| エルグ | erg | 1 erg=10 ⁻⁷ J |
| ダイン | dyn | 1 dyn=10 ⁻⁵ N |
| ポアズ | P | 1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s |
| ストークス | St | 1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹ |
| スチルブ | sb | 1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻² |
| ファオトル | ph | 1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx |
| ガラ | Gal | 1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻² |
| マクスウェル | Mx | 1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb |
| ガウス | G | 1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T |
| エルステッド ^(c) | Oe | 1 Oe ≐ (10 ³ /4π) A m ⁻¹ |

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

| 名称 | 記号 | SI単位で表される数値 |
|-----------|------|--|
| キュリー | Ci | 1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq |
| レントゲン | R | 1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg |
| ラド | rad | 1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy |
| レム | rem | 1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv |
| ガンマ | γ | 1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T |
| フェルミ | f | 1 f=1 fm=10 ⁻¹⁵ m |
| メートル系カラット | | 1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg |
| トル | Torr | 1 Torr=(101 325/760) Pa |
| 標準大気圧 | atm | 1 atm=101 325 Pa |
| カロリ | cal | 1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ) |
| マイクロン | μ | 1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m |

