

高速実験炉「常陽」性能試験報告書

NT-35 燃焼係数

1980年2月

動力炉・核燃料開発事業団

高速実験炉「常陽」性能試験報告書

NT-35 燃焼係数

石川 真*

巽 良隆*

関口 裕之*

要 旨

高速実験炉「常陽」50 MW性能試験の一項目として実施された燃焼係数試験 (NT-35) の結果について報告する。本試験は、原子炉運転期間中の炉心余剰反応度及び原子炉積算熱出力を測定する事によって、原子炉の燃焼に伴う反応度の変化量を求める事をその内容とする。測定方法として、原子炉起動時の臨界点の変化を追跡する方法と、原子炉が定格出力で連続運転している際の制御棒位置の変化を追跡する方法の2種が、適宜採用された。

燃焼係数試験は、1978～1979年の50 MW出力上昇試験・50 MW定格第1・第2サイクルの3期にわたって実施され、以下の主要諸点が確認された。

- (1) 燃焼係数は負であり、測定の最確値として以下の値を得た。

$$\text{燃焼係数 I (Np 239 の効果を含む)} : -7.9 \left(\begin{array}{c} +1.0 \\ -0.3 \end{array} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\text{燃焼係数 II (Np 239 の効果を含まない)} : -7.7 \left(\begin{array}{c} +0.9 \\ -0.5 \end{array} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

- (2) 燃焼による反応度降下曲線は、50 MW定格到達直後から約1週間にわたって、下に凸のカーブを描き、その後直線となる。これは、Np 239 (半減期 2.35 日) の蓄積のためであり、その反応度降下量は約 -1 ～ -2 ㎧ と測定された。
- (3) 燃焼係数の測定誤差は、絶対値に対して +6 ～ -12 % と見積られる。誤差幅が負の方向に偏っているのは、主として、使用した制御棒値が過大評価であったと推定されるためである。
- (4) 定格連続運転時の反応度降下曲線は、データのバラツキが 0.7 ㎧ 以下と非常に少ない。しかし、原子炉停止前後の反応度降下勾配を比較すると約 5 % の差がある。これは見慣れた再現性誤差を大きく超える量であり、今後の検討課題として残された。

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

PNC TN941 80-33

Feb., 1980

Experimental Fast Reactor "JOYO" Power-Up Test Report
Burn-Up Coefficient (NT-35)

Makoto Ishikawa*, Yoshitaka Tatsumi*
and Yoshiyuki Sekiguchi*

Abstract

This report describes the results of the burn-up coefficient test (NT-35) that was planned and performed as a part of the power-up testing of the Experimental Fast Reactor "JOYO".

The purpose of this test is to measure the reactivity change against the reactor burn-up (burn-up coefficient). Two measuring methods was adopted properly, one was to measure the critical points at the reactor start-up and the other was to measure control rods' position at rated power operation.

This testing was made through 3 periods in 1978 ~ 1979, that is, 50 MW power-up testing, 50 MW duty 1st and 2nd cycle.

(1) The measured burn-up coefficient was negative as follows.

Burn-up coefficient I (including Np239 effect): $-7.9 \begin{matrix} +1.0 \\ -0.3 \end{matrix} \times 10^{-3}$

%ΔK/K/50MW·DAY

Burn-up coefficient II (excluding Np239 effect): $-7.7 \begin{matrix} +0.9 \\ -0.5 \end{matrix} \times 10^{-3}$

%ΔK/K/50MW·DAY

(2) The reactivity descent by burn-up was rather large in a few-days after reaching the rated power, and it became linear after about a week, resulting in the accumulation of Np239. This effect was measured as -1 ~ -2 ϕ.

(3) The error of burn-up coefficient is estimated as +6 ~ -12 % against absolute value.

* Reactor Technology Section, Experimental Fast Reactor Division,
O-arai Engineering Center, PNC

目次

第1章 緒言	1
第2章 設備概要	2
2.1 主冷却系設備	2
2.2 制御設備	2
2.3 炉心構成	6
第3章 試験の方法	15
3.1 燃焼係数の定義	15
3.2 起動時臨界点による測定方法	16
3.3 定格出力連続運転時の測定方法	17
第4章 試験の経過	22
第5章 試験の結果	31
5.1 50 MW出力上昇試験(1) - 起動時臨界データ	31
5.2 50 MW出力上昇試験(2) - 50 MW 100 hr 連続運転データ	32
5.3 50 MW定格第1サイクル	33
5.4 50 MW定格第2サイクル	35
5.5 各サイクルにおける燃料取替反応度	37
第6章 測定の誤差評価	71
6.1 起動時臨界点測定法における誤差	71
6.2 定格運転時測定法における誤差	75
6.3 燃焼係数測定における誤差のまとめ	79
第7章 結言	86
(付録1) 設計計算による燃焼係数	89
(付録2) 50 MW定格第1サイクル・第2サイクルにおける測定データ一覧	99

表 リ ス ト

- 表 3.1 50 MW出力上昇試験における臨界記録測定項目
 表 3.2 50 MW 100時間連続運転試験における燃焼係数測定項目
 表 3.3 50 MW定格第1 cycle・第2 cycleにおける燃焼係数測定項目
 表 3.4 50 MW 100時間連続運転試験・50 MW定格第1・第2 cycleにおける燃焼係数試験器具
 表 5.1 燃焼係数測定値のまとめ (1978年4月～1979年2月測定)
 表 5.2 臨界記録データ整理シート (1978年4月18日～8月20日)
 表 5.3 50 MW 100 hr 連続運転時燃焼係数測定結果
 表 5.4 NT-35 燃焼係数データ整理シート (100時間連続運転時)
 表 5.5 50 MW 100時間連続運転試験時測定データ
 表 5.6 ONLINE定時データによる熱出力と熱出力校正による値の比較 (1978年8月11日～8月16日)
 表 5.7 100時間連続運転時臨界点測定からの燃焼係数
 表 5.8 NT-35 燃焼係数データ整理シート (50 MW定格第1サイクル)
 表 5.9 50 MW第1 cycle 燃焼曲線 fitting
 表 5.10 NT-35 燃焼係数データ整理シート (50 MW定格第2サイクル)
 表 5.11 50 MW第2 cycle 燃焼曲線 fitting
 表 5.12 50 MW定格第1・第2サイクル臨界記録
 表 6.1 各運転サイクル末期の調整棒燃焼量
 表 6.2 50 MW定格第1 cycle・第2 cycleにおけるPT-11熱出力校正による熱出力とH-500による熱出力の差
 表 6.3 50 MW性能試験における燃焼係数測定誤差のまとめ
 表 6.4 各測定時における燃焼係数のバラツキと、見積られた誤差の比較
 附表 1.1 設計計算による50 MW定格運転時の反応度効果
 附表 1.2 燃焼計算結果 (Lamda)
 附表 2.1 50 MW定格第1 cycleにおける燃焼係数測定データ
 附表 2.2 50 MW定格第2 cycleにおける燃焼係数測定データ

図 リ ス ト

- 図 2.1 原子炉冷却系統図
 図 2.2 制御棒構造概要図
 図 2.3 原子炉断面図
 図 2.4 調整棒駆動機構
 図 2.5 50 MW出力上昇試験期間炉心構成図
 図 2.6 50 MW定格第1 cycle 期間炉心構成図
 図 2.7 50 MW定格第2 cycle 期間炉心構成図
 図 4.1 原子炉運転実績表 昭和53年4～8月分
 図 4.2 原子炉運転実績表 50 MW定格第1 cycle
 図 4.3 原子炉運転実績表 50 MW定格第2 cycle
 図 5.1 臨界記録からの燃焼係数 (50 MW出力上昇試験)
 図 5.2 50 MW連続100 hr 運転時燃焼係数
 図 5.3 50 MW第1サイクルにおける余剰反応度の変化
 図 5.4 50 MW第2サイクルにおける余剰反応度の変化
 図 6.1 50 MW出力上昇試験臨界記録による原子炉余剰反応度の fitting 値と測定値の差
 付図 1.1 燃焼係数解析結果
 付図 1.2 燃焼係数実測値と解析値の比較 (50 MW 100時間連続時)
 付図 1.3 原子炉運転実績表 (昭和53年8月分)
 付図 1.4 燃焼係数解析体系

第1章 緒 言

本報告書は、1978年4月から9月まで行われた高速実験炉「常陽」50 MW出力上昇試験、1978年10月から12月にかけて運転された50 MW定格第1サイクル、1979年1月から2月にかけて運転された50 MW定格第2サイクルの3期にわたって実施されたNT-35 燃焼係数試験の結果について、報告するものである。

本試験は、原子炉運転期間中の原子炉積算熱出力及び余剰反応度を測定することによって、原子炉の燃焼に伴う反応度の変化量を求める事をその内容とする。具体的方法としては、その測定時期によって、原子炉起動時の臨界点の変化を追跡する方法と、原子炉が定格出力で連続運転している際の制御棒位置の変化を追跡する方法の2種が、適宜採用された。

燃焼係数は、原子炉性能を表わす代表的なパラメータのひとつとしてのみならず、今後の「常陽」の運転計画（燃料取替計画）を立案するために用いられる点からも重要である。

以下に本報告書の内容を概括する。

第2章では、本試験に関連する系統設備を、主冷却系設備・制御設備・試験時炉心構成に分けて記述する。

第3章では、試験の方法として、本試験で採用した燃焼係数の定義（ N_p239 の効果を含む燃焼係数Iと含まない燃焼係数IIの2種）と、起動時臨界点による測定方法及び定格出力連続運転時の測定方法について、記述する。但し、本試験における原子炉余剰反応度・熱出力等の測定方法は、出力係数試験と同一なので、測定の詳細については、PNC SN 941 80-06 出力係数試験報告書を参照されたい。

第4章では、試験の経過を記述する。燃焼係数は、50 MW出力上昇試験・50 MW定格第1 cycle・50 MW定格第2 cycleの3期にわたって測定された。

第5章では、試験の結果を各測定期間毎に、グラフ及び整理データと共に記述する。ここでは、本試験とは直接の関連はないが、各サイクルの起動時臨界データから算出された各サイクルの燃料取替反応度についても、その結果を記述する。

第6章では、燃焼係数試験結果における誤差を評価する。評価法として、起動時臨界点測定法と定格運転時測定法は、その測定条件が大きく異なるので別個に扱った。

第7章では、本試験全体の結果を要約し、結言とする。

なお、付録1として、「常陽」炉心設計計算における燃焼係数の値を記述する。

また付録2として、50 MW定格第1・第2 cycleにおける燃焼係数試験の測定生データを表の形で示す。

第2章 設備概要

本章では、燃焼係数に関連する系統設備を主冷却系設備・制御設備・試験時炉心構成に分けて記す。

2.1 主冷却系設備

主冷却系設備は、2系統からなり各系統は1次冷却系及び2次冷却系から構成される。

炉心部より発生した熱は、1次主冷却系から中間熱交換器を介して2次主冷却系に伝達され、さらに主冷却器により大気中に放散される。

プラントの主要目は以下の通りである。

(1) 1次主冷却系

ループ数	2 [ループ]
冷却材流量	1085.6 [t/h/ループ]
運転温度	原子炉入口 370 [°C]
(50 [MW] 時)	原子炉出口 435 [°C]

(2) 1次補助冷却系

ループ数	1 [ループ]
冷却材流量	56.5 [t/h]
	(通常運転時逆流 13.5 [t/h])

(3) オーバーフロー系

ループ数	1 [ループ]
冷却材流量	11 [t/h]

原子炉冷却系統図及び温度・流量の測定点を図2.1に示す。

2.2 制御設備

原子炉の出力を制御する制御設備は、制御棒、制御棒駆動機構（以下CRDという）、原子炉出力制御設備および原子炉保護系設備からなる。

各設備の機能は次の通りである。

2.2.1 制御棒

制御棒は、制御棒要素（ B^{10} 濃縮 B_4C ペレットを SUS 316 ステンレス鋼管で被覆したもの）7本を、円形断面を有する SUS 316 ステンレス鋼製保護管内に、三角形格子状に配列して固定した

構造をもち、上端にハンドリングヘッド、下端にスクラム時減速用のダッシュラムを有し、その全長は約 2,250 mm である。(図 2.2 参照)

制御棒の主な仕様は次の通りである。

(a) 制御棒個数	6 (安全棒 4, 調整棒 2)
(b) 吸収材の種類	炭化硼素
(c) 吸収材の有効長	約 700 mm
(d) 反応度制御能力	安全棒 0.056 $\Delta k/k$ 以上 調整棒 0.028 $\Delta k/k$ 以上
(e) 反応度付加率	0.00015 $\Delta k/k/sec$ 以下
(f) 冷却材導入プレナム	安全棒 低圧プレナム 調整棒 高圧プレナム
(g) 最も反応度効果の大きい安全棒 1 本が完全に引抜かれた状態でも十分余裕を持って残りの安全棒および調整棒で停止できる制御能力を有する。	

2.2.2 CRD

CRD は、小回転ブラン中の炉心上部機構に組込まれ、(a) 駆動部、(b) 上部案内管、(c) 延長管、(d) 加速管、(e) 下部案内管、(f) アルゴンガス系設備で構成されており、全部で 6 基ある。このうち 4 基が安全棒駆動機構で、安全棒を炉心へ急速挿入（スクラム）させる機能をもち、2 基が調整棒駆動機構で原子炉通常運転時に調整棒を炉心へ引抜・挿入および位置保持等をするための機能を有する。

CRD は電動機駆動により通常速度で制御棒の挿入・引抜動作を行う。安全棒のスクラム動作は保持電磁石の消磁により駆動装置に連結されている安全棒を解放し、スプリング力で急速落下させる。燃料交換時には、制御棒を炉心内の下部案内管へ全挿入して切離し、延長管を引上げることでより回転プラグの回転操作を可能にする。

つきに各部の機構について記述する。(図 2.3 ~ 4 参照)

(a) 駆動部

(ア) 駆動機構

駆動機構はハウジング、駆動モータ、減速材、電磁ブレーキ、ボールネジとナットおよびロードセルからなり、炉心上部機構上面に固定されている。駆動モータは、減速機を介してボールネジを回転させ、これにかみ合ったナットを上下させる。このナットは外側延長管に結合されているため制御棒が上下する。電磁ブレーキはモータに直結されていて停止および停止中の位置の保持を行う。ロードセルは駆動系の過負荷時に各部を保護する。

駆動機構の駆動速度は 130 mm/min 以下に設計されており、これにより反応度付加率の最大値が 0.00015 $\Delta k/k/sec$ 以下となる。上下動ストロークは安全棒が 900 mm、調整棒

が700 mmである。

(イ) 位置検出器

シンクロ発信器、歯車伝達機構からなり、制御棒の炉心内位置を検出して原子炉制御盤に指示する。精度は、安全棒±4 mm以下、調整棒±3 mm以下で設計されている。

(ウ) 保持電磁石

平板型直流電磁石で外側延長管上端と結合している電磁石ケーシング内に鉄心とコイルが、内側延長管上端にアーマチュアが固定されている。通常時はアーマチュアが吸着されていて、コイルの電流をしゃ断すると内側延長管がデラッチスプリングと自重により上下に押し出されてラッチ機構が外れ安全棒を解放落下させる。電磁石の保持力は約400 kgである。

(エ) ラッチ検出機構

ラッチ機構の状態がラッチ状態か、デラッチ状態かを検出するもので、内側延長管と外側延長管の相対位置をリミットスイッチで検出している。さらに実際に制御棒を保持したことを前記のロードセルの荷重変化で検出している。

(b) 上部案内管

炉心上部機構の上部および下部に嵌合されている円管であり、制御棒と延長管の上下動および安全棒の急速落下の際の案内をする。

(c) 延長管

延長管は外側延長管、内側延長管、ストロークベローズおよびベローズからなりCRDと制御棒とを連結するための管で、延長管下端にラッチ機構があり、内側延長管の下端にフィンガー動作棒が、外側延長管下端には4つ割りのラッチフィンガーがついている。ラッチ時は常時閉の角度に組立てられているラッチフィンガーをフィンガー動作棒が押し広げる構造になっていて、保持電磁石の鉄心にアーマチュアが吸着され、内側と外側延長管は一体化されて駆動系の上下動を制御棒へ伝える。CRDと制御棒の切り離しは、保持電磁石が消磁されデラッチスプリングの力と自重により内側延長管が約30 mm落下することにより起る。内側延長管と外側延長管との間はラッチベローズ、外側延長管と外側生体遮蔽体との間はストロークベローズで炉内ガスと炉上部雰囲気とをシールしている。これらのベローズは厚さ約0.15 mmのステンレス板製である。

延長管内の摺動する部分には、表面硬化処理を施すと共に、管内面の摺動面は精密仕上を行いかじりが起らないように留意している。

なお、CRDの材料は、ナトリウムおよびナトリウム蒸気との接触部には主としてオーステナイトステンレス鋼を用いている。

(d) 加速管

安全棒駆動機構には加速スプリングと加速管がついていて、スクラム時に、安全棒は解放されると同時に加速管を介して伝達されるスプリング力により加速されて急速落下する。加速管

の落下衝撃を吸収するため上部案内管にダンピングスプリングが組み込まれている。また加速管頭部に永久磁石が組み込まれており、加速管が落下すると上部案内管外面に巻かれた誘導コイルに起電力が発生し、安全棒駆動機構のスクラム機構が正常であることが確認できるようにスクラム時間測定装置がついている。スクラム機能は保持電磁石励磁電流断から上記誘導コイルに発生する起電力の半周期までの時間が1秒以内と決められている。

安全棒駆動機構は制御棒の浮上りを加速管で押えているが、調整棒駆動機構は調整棒押え管を取付けて制御棒の浮上りを防止している。

(e) 下部案内管

炉心内で制御棒の上下動の案内、安全棒の急速落下時の緩衝（ダッシュポット部）および冷却材の導入の機能を有し、炉心支持板にエントランスノズルを挿入しバイネット方式で固定されている。

地震時のスクラム特性上および運転制御上の要求から調整棒と安全棒とでは、それぞれの下部案内管との間隙が異なり、調整棒は約1 mm、安全棒は約5 mmの半径間隙を有している。また冷却材の導入も、発熱量の違いにより流量に差をもたせるため、調整棒に対しては高圧プレナム、安全棒に対しては低圧プレナムより行っている。

(f) アルゴンガス系設備

炉内カバーガスをシールしている金属溶接ベローズおよび炉心上部機構と上部案内管との間をシールしているリングの破損検出と、破損後の炉内ガス漏出を防ぐためシールガス圧を高くしている。破損の検出は流量計から発信される警報により行う。

2.2.3 原子炉出力制御設備

原子炉出力制御設備は、

- (a) 原子炉制御盤
- (b) 駆動電動機制御盤
- (c) ロードセル計装盤
- (d) 補助継電器盤

より構成される。

各盤の機能は次の通りである。

(a) 原子炉制御盤

原子炉制御盤は、制御棒を遠隔操作により手で制御する機能を有する。

このため、原子炉の運転を監視するための制御棒位置指示計、中性子束指示計および記録計、炉周期指示計および記録計と、CRDおよび中性子検出器駆動装置を操作するためのスイッチ類等が取り付けられている。

また盤面上部には故障表示器が取り付けられ、アイソレーション、スクラムおよび調整棒一

齊挿入等の原因を警報表示する。

さらに緊急時の手動操作スイッチを設け、アイソレーション、スクラムおよび調整棒一斉挿入を手動で行うことができる。

(b) 駆動電動機制御盤

駆動電動機制御盤には、CRDに収納されている駆動電動機と、中性子検出器駆動装置内に収納されている駆動電動機用の電磁接触器が収納されており、この電磁接触器の開閉により駆動電動機を駆動する。

(c) ロードセル計装盤

ロードセル計装盤には、CRD並びに中性子検出器駆動装置の荷重検出用演算器と荷重指示計が取り付けられている。

荷重検出器（ロードセル）はCRDおよび中性子検出器駆動装置に取り付けられ、引抜または挿入荷重を指示すると同時に、所定の設定値を超過した場合には警報表示をし、制御棒挿入時を除いて駆動電動機を停止させる。

(d) 補助継電器盤

補助継電器盤は、CRDおよび中性子検出器駆動装置を操作するための補助継電器、故障表示用の警報継電器など原子炉出力制御設備関係の継電器を収納する。

2.2.4 原子炉保護系

原子炉保護系は、ロジック盤A、ロジック盤Bおよび地震計等で構成され、原子炉各部の状態を監視する計装から異常信号が発せられた場合、異常の程度により安全動作を行わせるための設備である。

安全動作としては、アイソレーション、スクラムおよび調整棒一斉挿入がある。

2.3 炉心構成

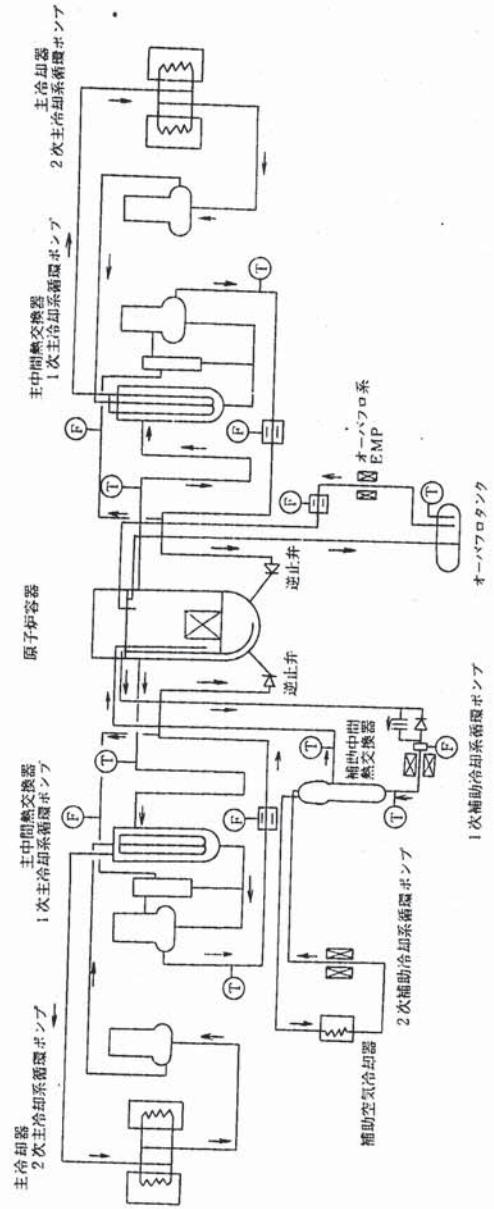
NT-35 燃焼係数試験は、50 MW出力上昇試験（1978年4～8月）、50 MW定格第1 cycle（1978年10～12月）、50 MW定格第2 cycle（1979年1～2月）の3期にわたって実施された。各期間の炉心及び燃料貯蔵ラックの配置を、図2.5～7に示す。

(1) 炉心構成

種 類	50 MW出力上昇	50 MW第1 cycle	50 MW第2 cycle
炉心燃料	70 体	71 体	71 体
ブランケット燃料	内 側 44 体	44 体	44 体
	外 側 143 体	143 体	143 体
制 御 棒	調 整 棒 2 体	2 体	2 体
	安 全 棒 4 体	4 体	4 体
反 射 体	スリット有 12 体	12 体	12 体
	スリット無 36 体	36 体	36 体
中性子源	1 体 (7 F 1)	1 体 (7 F 1)	1 体 (7 F 1)
バイオシレータ	1 体 (5 F 2)	0 体	0 体

(2) 燃料貯蔵ラック構成

種 類	50 MW出力上昇	50 MW第1 cycle	50 MW第2 cycle
炉心燃料	1 体 (R 11)	1 体 (R 4)	2 体 (R 4) (R 18)
炉心用計装燃料	4 体 (R 10) (R 15) (R 17) (R 19)	4 体 (R 6) (R 17) (R 19) (R 21)	4 体 (R 6) (R 17) (R 19) (R 21)
ブランケット燃料	3 体	3 体	2 体
ブランケット用計装燃料	5 体	5 体	5 体
サーベイランス	5 体	5 体	5 体
ダミー要素	1 体	1 体	1 体
中性子源 (Be部)	1 体	0 体	0 体
r線源収納体	1 体	1 体	1 体
調 整 棒	0 体	1 体	1 体



注) 一印は原子炉通常運転時の冷却材流れ方向を示す。

図 2.1 原子炉冷却系統図

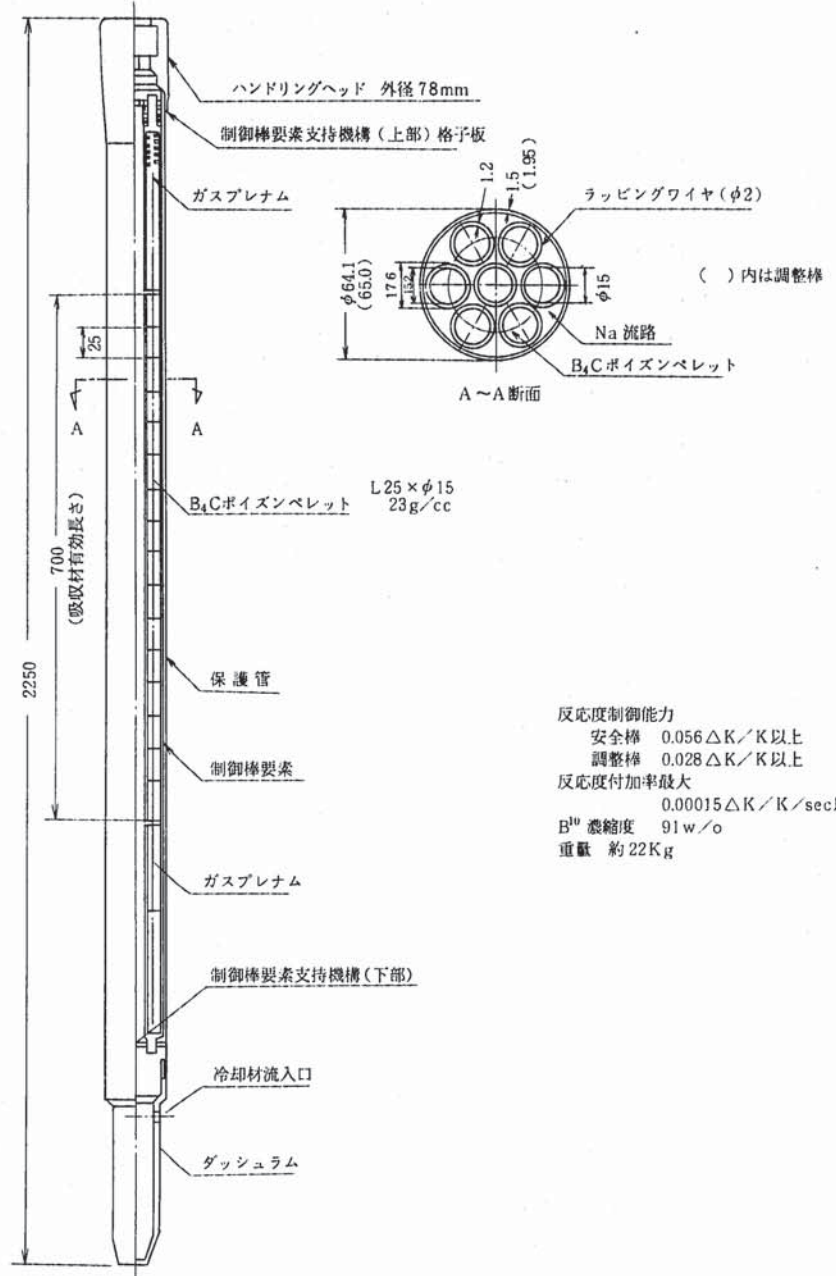


図 2.2 制御棒構造概要図

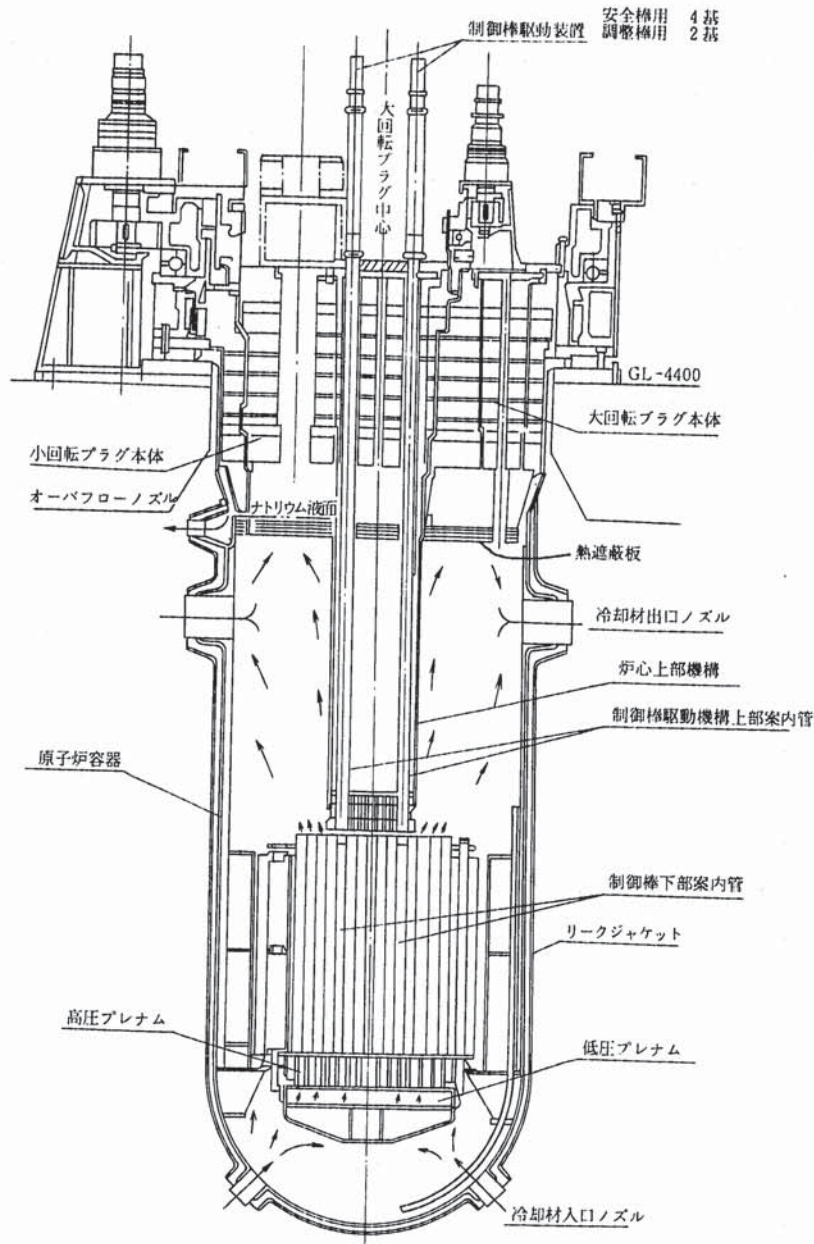


図 2.3 原子炉断面図

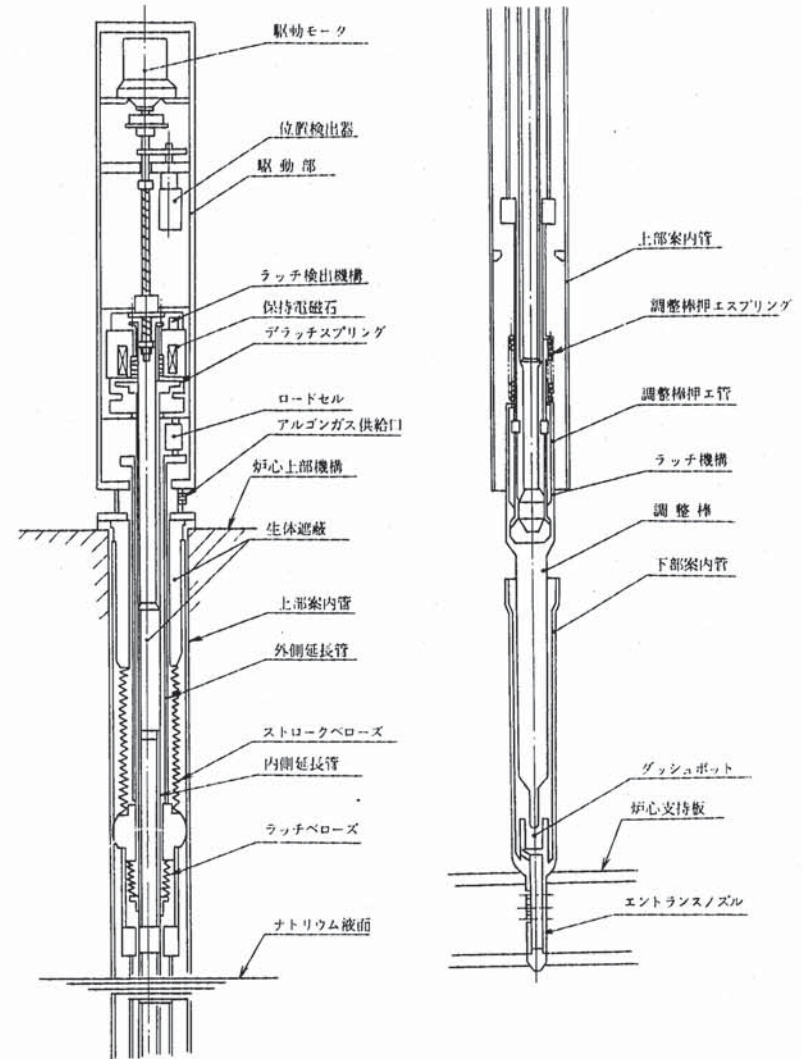


図 2.4 調整棒駆動機構
Regulation Rod Drive Mechanism

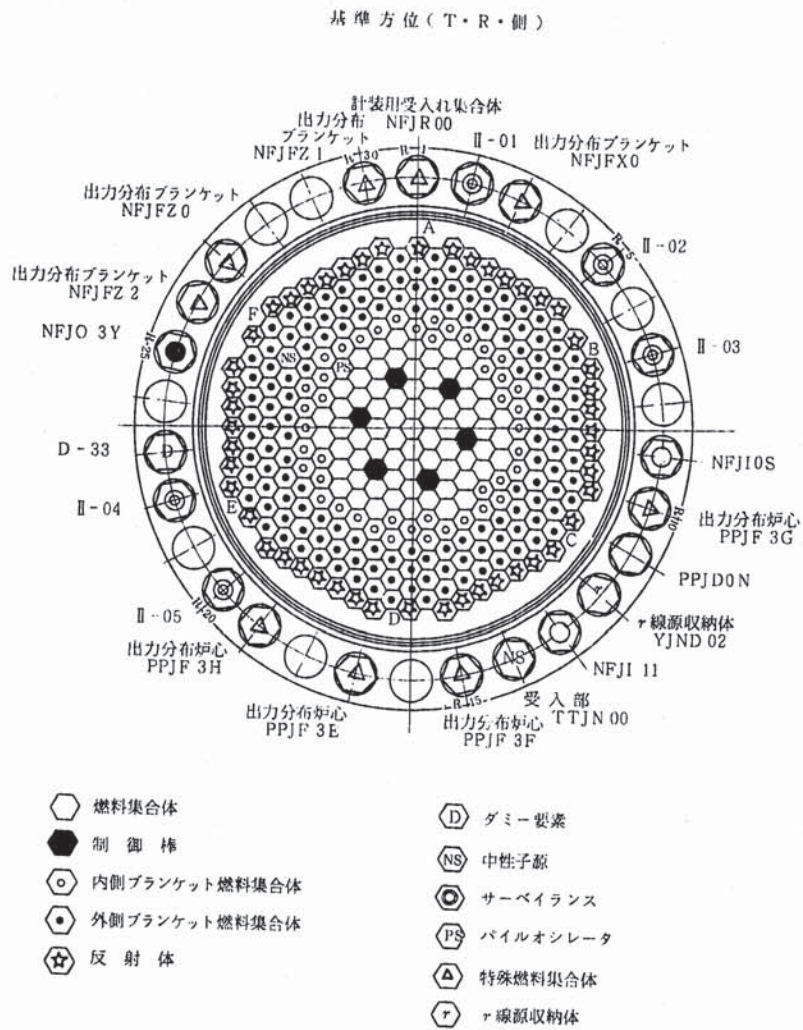


図 2.5 50MW出力上昇試験期間(1978年4~8月) 炉心構成図

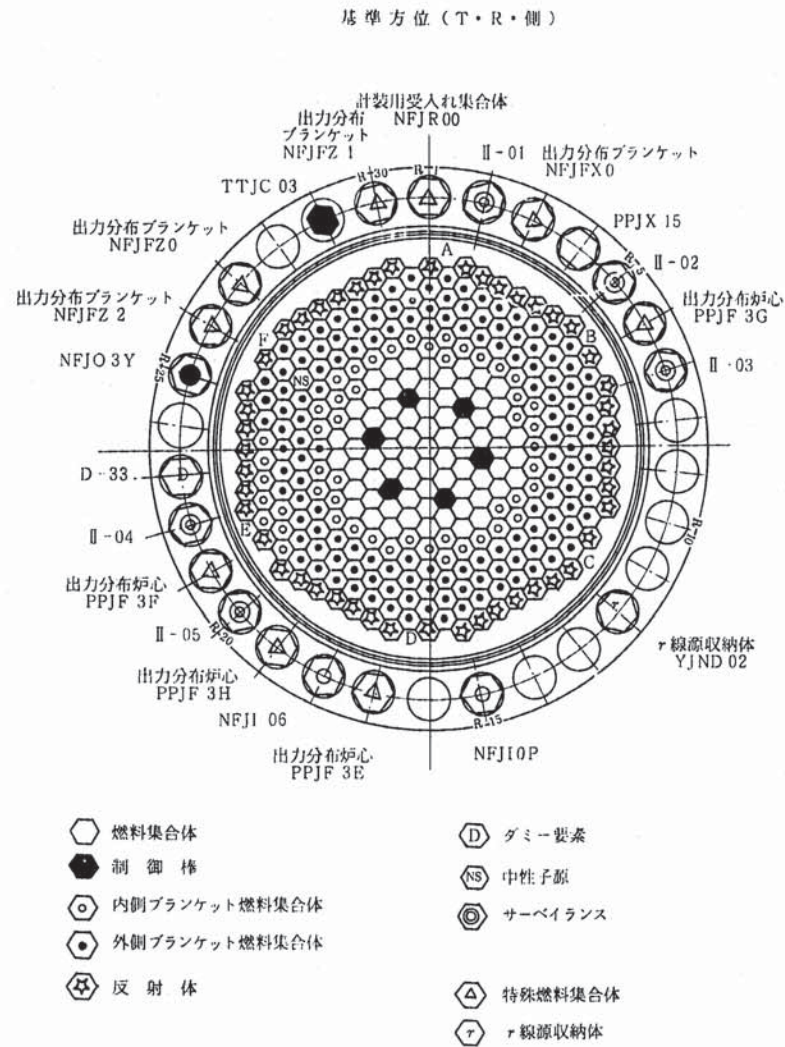


図 2.6 50MW定格第1 cycle期間(1978年10~12月) 炉心構成図

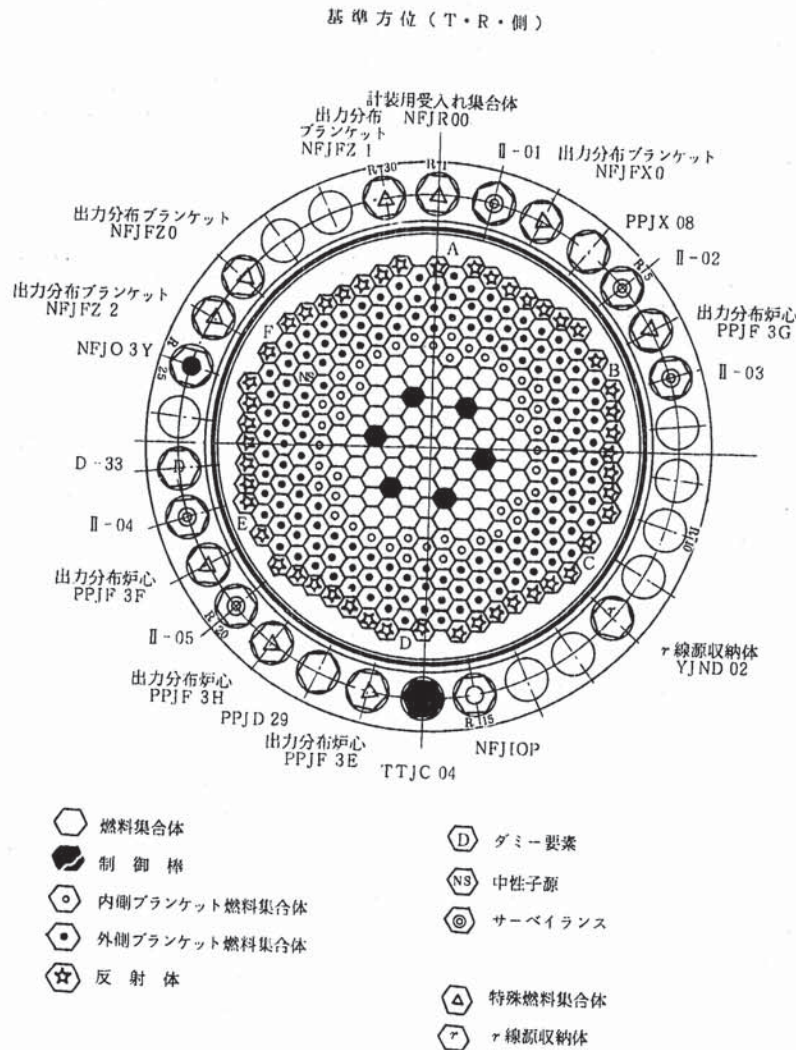


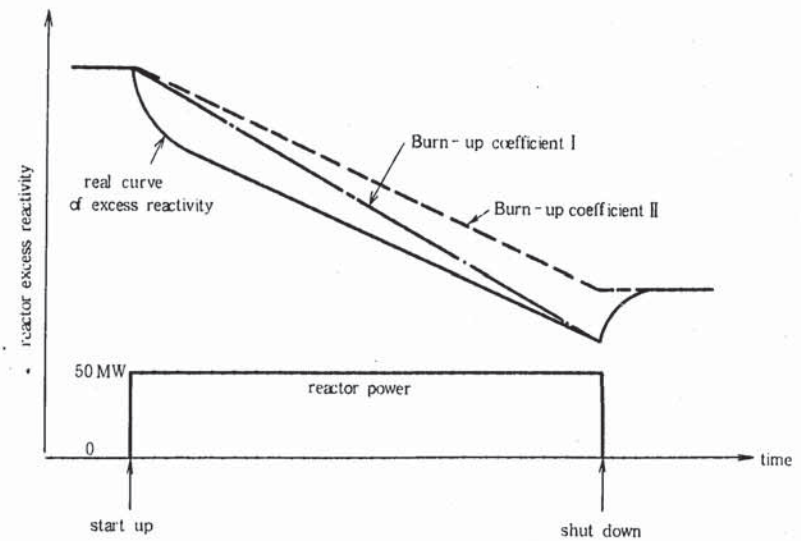
図 2.7 50MW定格第2cycle期間 (1979年1~2月)
炉心構成図

第3章 試験の方法

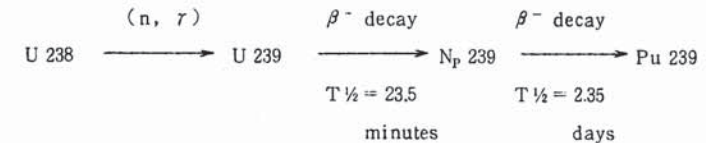
本章では、本試験で用いた2種の燃焼係数の定義、及び測定方法について記す。測定は、起動時臨界点から求める方法と定格出力連続運転時データから求める方法の2つが併用された。

3.1 燃焼係数の定義

解析によると、原子炉の一定出力運転に伴う反応度の降下曲線は、下図の実線のようになる。(付録参照の事。)



運転の初期に反応度降下が急であるのは、 $N_p 239$ の生成に起因する。



このため、本試験では、燃焼係数の測定結果を以下の定義によるI・IIの2種に分類して整理した。(前図参照。)

燃焼係数 I : 定格到達直後から、炉停止操作直前までの反応度降下量を、その間の積算出力で除した値である。これは、 $N_p 239$ の生成による見かけの反応度降下を含んだ値であ

り、設計値の $7.9 \times 10^{-3} \% \Delta k/k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ はこの定義である。

燃焼係数 II : 定格到達後、約10日以上経過してからの平衡状態における反応度降下量を当該積算出力で除した値であり、 $N_p 239$ の見かけの反応度降下を含まない値である。50 MW 出力上昇試験において、臨界記録から得られた結果は、こちらの定義に合致している。又、 $N_p 239$ の効果は次サイクル初期には消失しているため、「常陽」の運転計画を立案する際には、こちらの定義による値を用いるのが妥当である。

前図からも明らかにわかるように、両者の間には常に「燃焼係数 I」・「燃焼係数 II」の関係がある。

両者の差は、設計では4%であった。

3.2 起動時臨界点による測定方法

炉心の燃焼に伴い、起動時臨界時の調整棒位置（即ち余剰反応度）が変化していく事から、燃焼係数を測定する方法である。本方法は、50 MW 出力上昇試験時に採用された。測定項目は、臨界時の調整棒位置・1次冷却材温度、測定時までの積算出力である。測定項目の詳細を表3.1に示す。

以下に、測定及びデータの整理手順を記す。

- (1) 原子炉1課による運転記録から、臨界時の調整棒位置及び1次冷却材温度を求める。但し、起動系指示値が 10^4 cps 以下の場合には中性子源効果が残留しており、臨界位置が1mm程度ずれる事が1977年の低出力試験で知られていたため、データとして採用しなかった。又、冷却材温度は、A・Bループ原子炉出入口温度（4点）の相加平均値を採用した。
- (2) 低出力試験で測定された調整棒ストロークカーブを用いて、調整棒位置から原子炉余剰反応度を算出する。算出法の詳細については、SN 941 80-06 出力係数試験報告書を参照の事。
- (3) 低出力試験で測定された等温係数を用いて、炉余剰反応度を 250°C に規格化する。

計算式

$$\begin{aligned} & \text{規格化余剰反応度 } (\% \Delta k/k) \\ &= \text{調整棒位置からの余剰反応度 } (\% \Delta k/k) \\ &+ 3.77 \times 10^{-3} (\% \Delta k/k / ^\circ\text{C}) \times [\text{冷却材温度 } (^\circ\text{C}) - 250 (^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

- (4) オンライン計算機による定時熱出力（1時間毎）を直線近似して積分することにより、各測定時における積算熱出力を算出する。データは、1978年4月18日の50 MW 出力上昇試験開始時を0 MWDとして整理した。
- (5) 積算熱出力に対して 250°C 規格化余剰反応度をプロットし、最小二乗法を用いて燃焼係数を求める。

3.3 定格出力連続運転時の測定方法

原子炉が定格出力で連続運転されている際に、燃焼による反応度の降下を補償するために操作された調整棒の引抜量から、燃焼係数を算出する方法である。本方法は、50 MW 出力上昇試験期間中の100時間連続運転時・50 MW 定格第1サイクル・第2サイクル時に採用された。

測定項目は、調整棒位置・原子炉熱出力・原子炉入口Na温度・測定時までの積算出力である。測定項目の詳細を、50 MW 100時間連続運転について表3.2に、50 MW 定格第1サイクル・第2サイクルについて表3.3に示す。又、本方法で用いた試験器具を表3.4に示す。

以下に、測定及びデータの整理手順を記す。

- (1) 原子炉が、出力約50 MWで定常状態である事を、原子炉制御盤のチャート（出力系・原子炉出入口温度・熱出力計）で確認する。
- (2) 原子炉制御盤のメータから調整棒位置を読み取り、原子炉余剰反応度を算出する。
- (3) 原子炉出入口Na温度及び1次冷却材流量を測定し、原子炉熱出力と原子炉入口Na平均温度を算出する。
- (4) 調整棒位置から求められた余剰反応度に、出力補正及び炉入口Na温度補正を加えて、熱出力50 MW・炉入口Na温度 370°C に規格化された余剰反応度を求める。補正係数としては、いずれも50 MW 出力上昇試験中に実測された値を用いた。（NT 34 出力係数報告書参照）

計算式

$$\begin{aligned} & \text{規格化余剰反応度 } (\% \Delta k/k) \\ &= \text{調整棒位置からの余剰反応度 } (\% \Delta k/k) \\ &+ 9.02 \times 10^{-3} (\% \Delta k/k / \text{MW}) \times [\text{測定熱出力 (MW)} - 50 (\text{MW})] \\ &+ 3.73 \times 10^{-3} (\% \Delta k/k / ^\circ\text{C}) \times [\text{測定炉入口Na温度 } (^\circ\text{C}) - 370 (^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

- (5) オンライン計算機により、積算熱出力を算出する。100時間連続運転時はサンプリング間隔が1時間であり、その間は直線内挿であるが、50 MW 定格第1 cycle・第2 cycle においては5分サンプリングである。
- (6) 積算熱出力に対して、50 MW・ 370°C 規格化余剰反応度をプロットし、最小二乗法を用いて燃焼係数を求める。

*注1) デジタル電圧計を使用している測定項目について、換算式を示す。

- (1) 1次主冷却系流量 (A・Bループ)

$$Q (\text{m}^3/\text{hr}) = 162.602 V (\text{mV}) - 60.165 \quad (1,000 \leq Q \leq 1,400, T = 370^\circ\text{C})$$
 (出典) 「常陽」一次主冷却系電磁流量計検査成績表 (書類番号 31.1-5-3011, H.立, S 48.5.25) のグラフ (図3-1~2 参照)
- (2) 出力系出力 (ch. 6~8)

$$\text{range 7 (full scale 125 \%)} \\ P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

(出典)仕様及び作業連絡表(原2-53-17, S 53.6.9)

*注2)本試験で、使用した物性値を以下に示す。

ナトリウム比熱 γ

$$\gamma = 950.01 + 0.229774 T - 1.46065 \times 10^{-5} T^2 + 5.63796 \times 10^{-9} T^3 \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$

ナトリウムエンタルピー I

$$I = 83.559 + 0.343253 T - 6.93429 \times 10^{-5} T^2 + 3.6850 \times 10^{-8} T^3 \quad (\text{kcal} / \text{kg})$$

ここでT: Na温度(°C)

(引用文献)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SODIUM ANL-7323 (1967)

表3.1 50 MW出力上昇試験における臨界記録測定項目(1978年4月18日~8月20日)
(全項目とも、原1課の運転記録による。)

測定項目	測定場所	検出端番号	備考
原子炉入口Na温度(A)	中央制御室オンライン計算機(H-500)ディスプレイ	TE 31.1-7A	定時運転記録から、臨界確認時刻に最も近いものを採用した。従って約10分程度のずれがある事もある。但し、数点の温度変化が大きかった点については、前後の記録の平均操作を採用した。
"(B)	同上	TE 31.1-7B	同上
原子炉出口Na温度(A)	同上	TE 31.1-1A	同上
"(B)	同上	TE 31.1-1B	同上
調整棒位置 Na 1	制御盤メータ	-	目視。
" Na 2	同上	-	同上
起動係数率 ch.1	制御盤レコーダ	-	目視。
" ch.2	同上	-	同上
積算出力	オンライン計算機(H-500)定時データ	-	オンライン計算機による定時熱出力(1時間毎)を直線近似し、積分して算出した。

表3.2 50 MW 100時間連続運転試験における燃焼係数測定項目
(1978年8月11日~8月16日)

測定項目	測定場所	検出端番号	測定方法
原子炉入口Na温度(A)	421盤 k 002-03A	TE 31.1-7A	デジタルマルチ温度計の読み
"(B)	421盤 k 002-03B	TE 31.1-7B	"
原子炉出口Na温度(A)	421盤 k 002-01A	TE 31.1-1A	"
"(B)	421盤 k 002-01B	TE 31.1-1B	"
1次主冷却系流量(A)	419盤 k 011-04	FX 31.1-1A	高精度デジタル電圧計の値を校正式で換算
"(B)	419盤 k 013-04	FX 31.1-1B	"
出力系 ch.6	403盤 J4コネクタ	-	デジタルマルチメータの電圧値を換算
" ch.7	同上	-	"
" ch.8	同上	-	"
調整棒位置 Na 1	制御盤メータ	-	目視。
調整棒位置 Na 2	同上	-	同上
積算出力	オンライン計算機(H-500)定時データ	-	オンライン計算機による定時熱出力(1時間毎)を直線近似し、積分して算出した。

注)本試験は、PT-11熱出力校正試験と同時に行われ、データ採取も共通であった。

表 3.3 50 MW 定格第 1 cycle・第 2 cycle における燃焼係数測定項目
(1978 年 10 月 28 日～12 月 10 日, 1979 年 1 月 13 日～2 月 26 日)

測定項目	測定場所	検出端番号	測定方法
*注 1) 原子炉入口 Na 温度 (A)	421 盤 k 002 - 03 A	TE 31.1 - 8 A	デジタルマルチ温度計の読み (78.11.7 に 7 A から取換)
" (B)	421 盤 k 002 - 03 B	TE 31.1 - 7 B	デジタルマルチ温度計の読み
原子炉出口 Na 温度 (A)	421 盤 k 002 - 01 A	TE 31.1 - 1 A	"
" (B)	421 盤 k 002 - 01 B	TE 31.1 - 1 B	"
*注 2) 1 次主冷却系流氙 (A)	417 - 3 盤 k 010 - 03	FE 31.1 - 1 A	高精度デジタル電圧計の値を校正式で換算
*注 2) " (B)	417 - 3 盤 k 012 - 03	FE 31.1 - 1 B	"
出力系 ch. 6	403 盤 J 4 コネクタ	-	デジタルマルチメータの電圧値を換算
" ch. 7	同上	-	"
" ch. 8	同上	-	"
調整棒位置 No. 1	制御盤 メータ	-	目視。
調整棒位置 No. 2	同上	-	同上
積算出力	オンライン計算機 (H-500) MT 出力	-	オンライン計算機による積算熱出力 (5 分サンプリング, 1 時間毎速達)

*注 1) 78 年 11 月 2 日に故障し始め, 78 年 11 月 7 日に盤レコードに行っている端子からバラで引き込んだ。以後, 第 2 cycle end までこのまま。
*注 2) 出力上昇試験中は, セルピウスコントローラに行っている端子から信号をとっていたが, 50 MW 第 1・第 2 cycle は安全保護系からとった。このため, A ループは 0.9807, B ループは 0.9931 の補正係数が必要であった。詳細は, 性能試験報告書 No. 54 - 1 参照のこと。

表 3.4 50 MW 100 時間連続運転試験・50 MW 定格第 1・第 2 cycle における燃焼係数試験器具

名称	仕様	用途
デジタルマルチ温度計	YEW 社製 TYPE 2572 精度 $\pm (0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$	Na 温度測定用 (\circ 炉出入口 (A・B) \circ オーバフロータンク \circ 1 次補助 IHX 出入口)
高精度デジタル電圧計	YEW 社製 TYPE 2501 分解能 $0.1 \mu\text{V}$ 許容差 $\pm (0.01\% \text{ of rdg} + 2 \text{ digit})$	Na 流量測定用 (1 次主冷却 A・B)
デジタルマルチメータ	タケダ理研社製 - TR - 6856 分解能 $100 \mu\text{V}$ 精度 $\pm (0.01\% \text{ of rdg} + 0.001\% \text{ f.s.} \pm 1 \text{ digit})$	中性子束測定用 (\circ 出力系 \circ 中間系 \circ 起動系)
D C アンプ	YEW 社製 TYPE 3128	Na 流量測定用 [* 50 MW 定格第 1・第 2 cycle 時に使用。]
D C フィルタ		Na 流量測定用 [* 50 MW 定格第 1・第 2 cycle 時に使用。]

第4章 試験の経過

NT-35 燃焼係数試験は、1978年4月から8月にかけての50 MW出力上昇試験、10月から12月にかけての50 MW定格第1 cycle、1979年1月から2月にかけての50 MW定格第2 cycleにおいて実施された。

試験は、その時間、内容から以下の4ケースに整理される。

Case. 1 50 MW出力上昇試験(1)

- 試験方法 起動時臨界点測定法
- 試験時期 1978年4月18日～8月20日
- 起動回数 合計23回
 - (内訳) 通常起動 13回…… 冷却材温度約250℃
 - 高温起動 8回…… 原子炉停止直後の起動で、冷却材温度約330～350℃
 - 補助系起動 2回

この内、試験データとして、通常起動の12回の高温起動の8回(計20点)を採用した。冷却材流量はいずれも100%である。

- 期間中積算熱出力 2469.6 MWD (= 50 MW × 49.4 日)
- この値は、本試験で採用したオンライン計算機定時データの直線内挿によるものである。
(参考) 運転監視システムによる積算熱出力(最確値)
- 2436.4 MWD (= 50 MW × 48.7 日)
- 原子炉1課による公称積算出力
- 2389.1 MWD (= 50 MW × 47.8 日)

図4.1.1～4.1.5に、期間中の原子炉運転履歴と測定点を示す。

Case. 2 50 MW出力上昇試験(2)

- 試験方法 定格出力連続運転時測定法
- 試験時期 1978年8月11日～8月16日(50 MW 100時間連続運転試験)
- 測定回数 12回(2～4回/日)
- 期間中積算熱出力 233.2 MWD (= 50 MW × 4.66 日)

図4.1.5に、期間中の原子炉運転履歴と測定点を示す。

Case. 3 50 MW定格第1 cycle

- 試験方法 定格出力連続運転時測定法
- 試験時期 1978年10月28日～12月10日(但し、第1 cycle は10月27日10時3分～12月11日10時59分)

- 測定回数 35回(1回/1～2日)
- 11月2日～11月6日(測定No.6～10)の間は、Aルーフ入口熱電対が故障していたので、データとして採用していない。
- 期間中積算熱出力 2101.3 MWD (= 50 MW × 42.0 日) (但し、第1 cycle中積算出力は2123.2 MWD (= 50 MW × 42.5 日)であった。)

図4.2に、期間中の原子炉運転履歴と測定点を示す。

Case. 4 50 MW定格第2 cycle

- 試験方法 定格出力連続運転時測定法
- 試験時期 1979年1月13日～2月26日(但し、第2 cycle は1月12日7時23分～2月26日14時01分)
- 測定回数 37回(1回/1～2日)
- 期間中積算熱出力 2118.4 MWD (= 50 MW × 42.4 日) (但し、第2 cycle 中積算熱出力は2141.3 MWD (= 50 日 × 42.8 日)であった。)

図4.3に、期間中の原子炉運転履歴と測定点を示す。第2 cycle 中、2月17日14時13分に東京電力停電のためスクラムが起った。又、cycle 終了時は電喪試験により停止され、通常停止ではなかった。

図4.1.1 原子炉運転実績表

昭和53年4月分

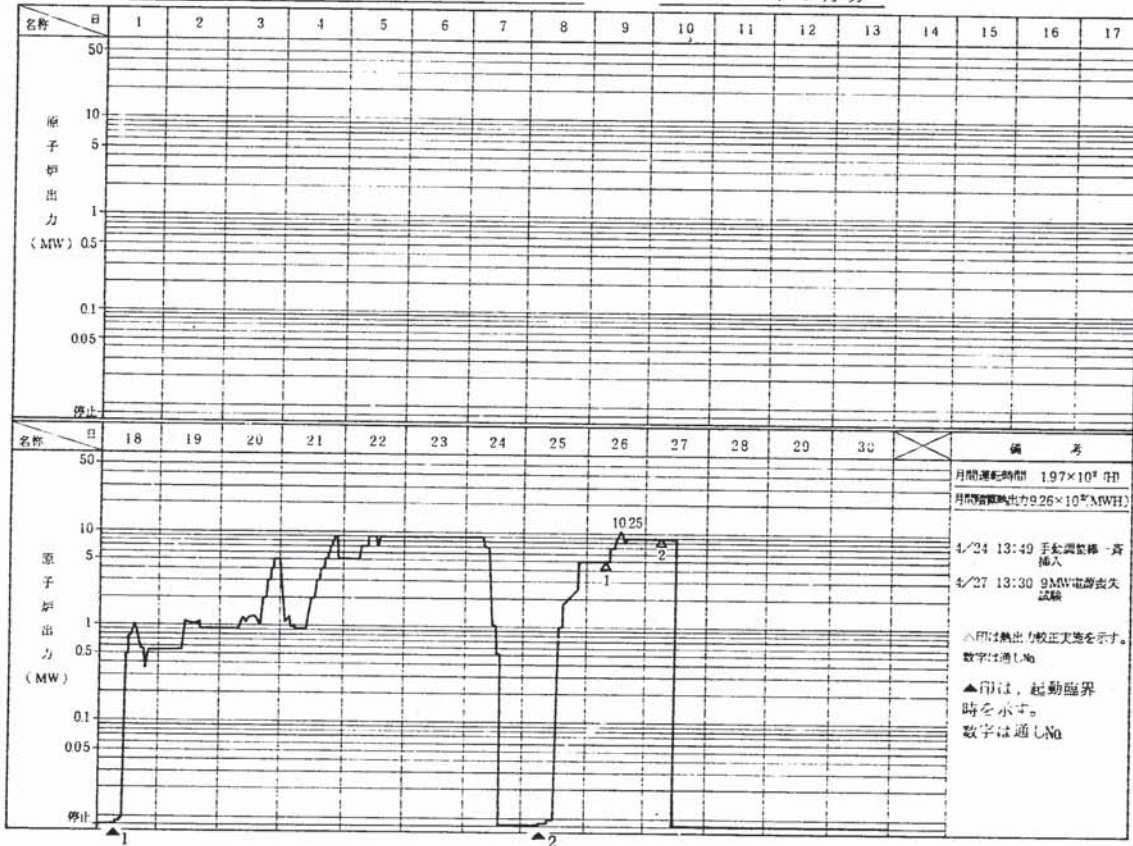


図4.1.2 原子炉運転実績表

昭和53年5月分

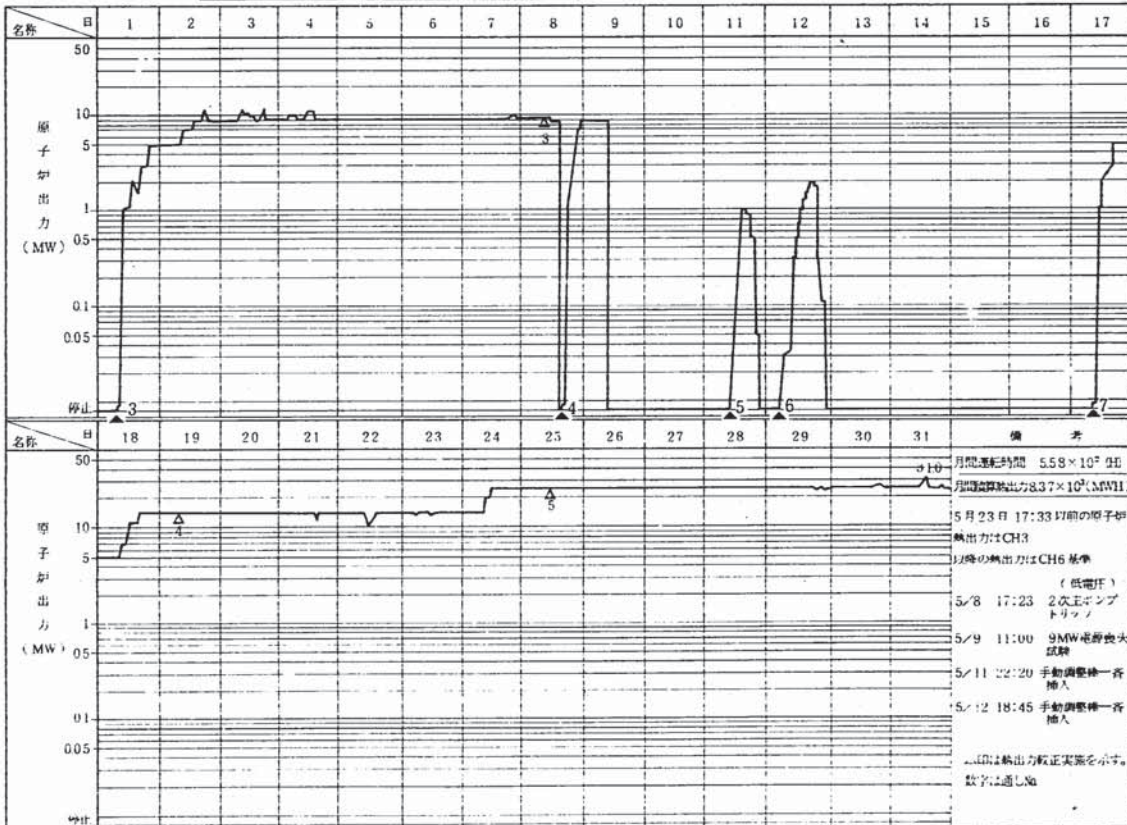


図4.1.3 原子炉運転実績表 昭和53年6月分

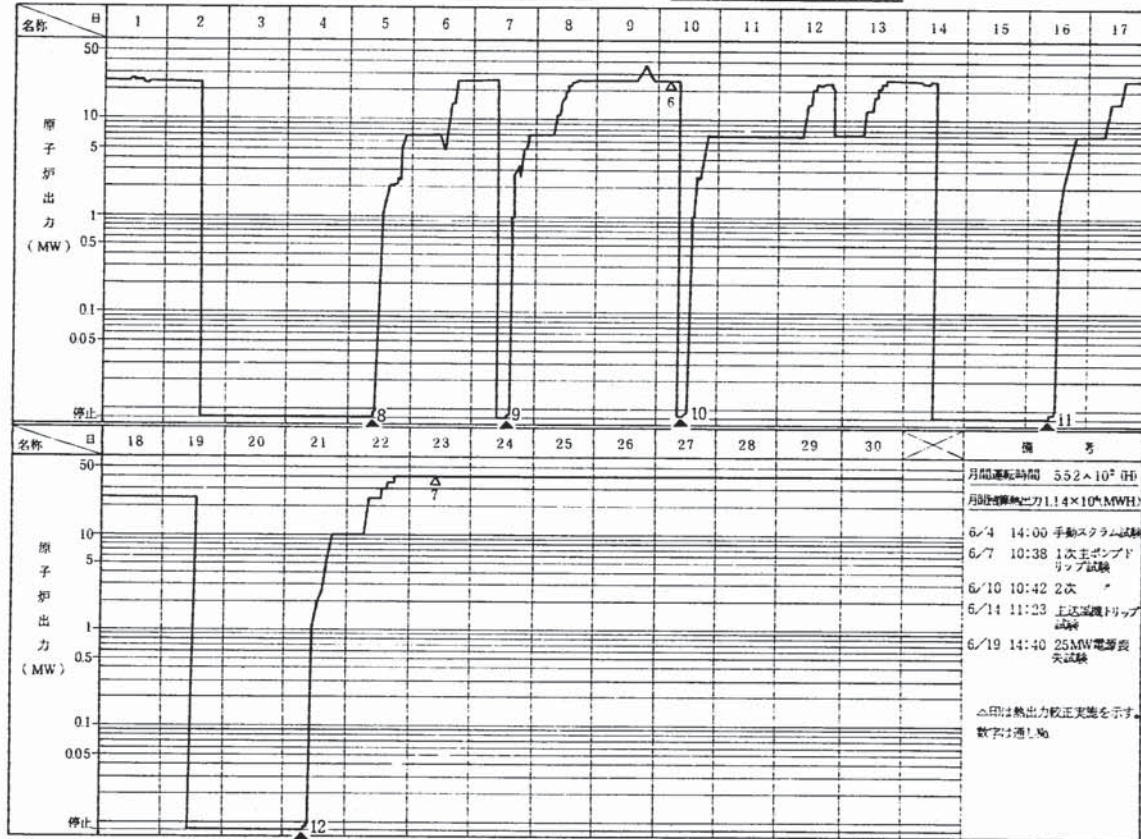


図4.1.4 原子炉運転実績表 昭和53年7月分

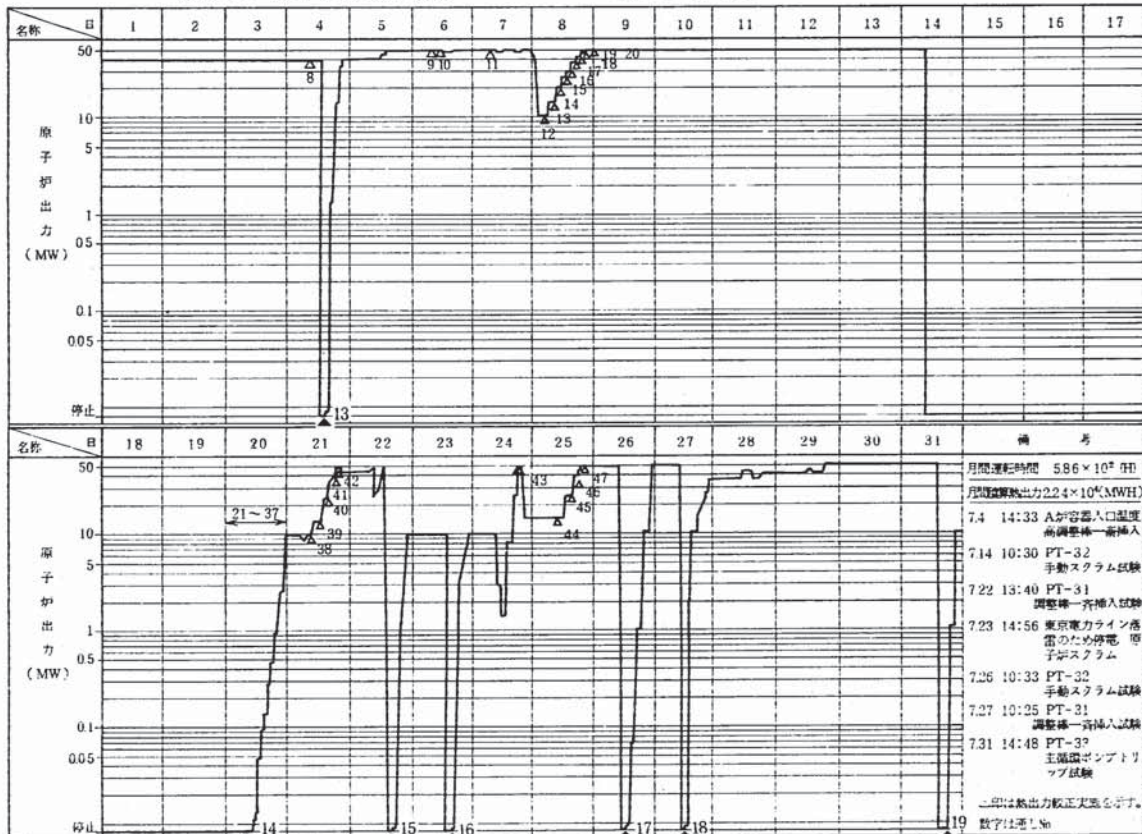


図4.1.5 原子炉運転実績表

昭和53年8月分

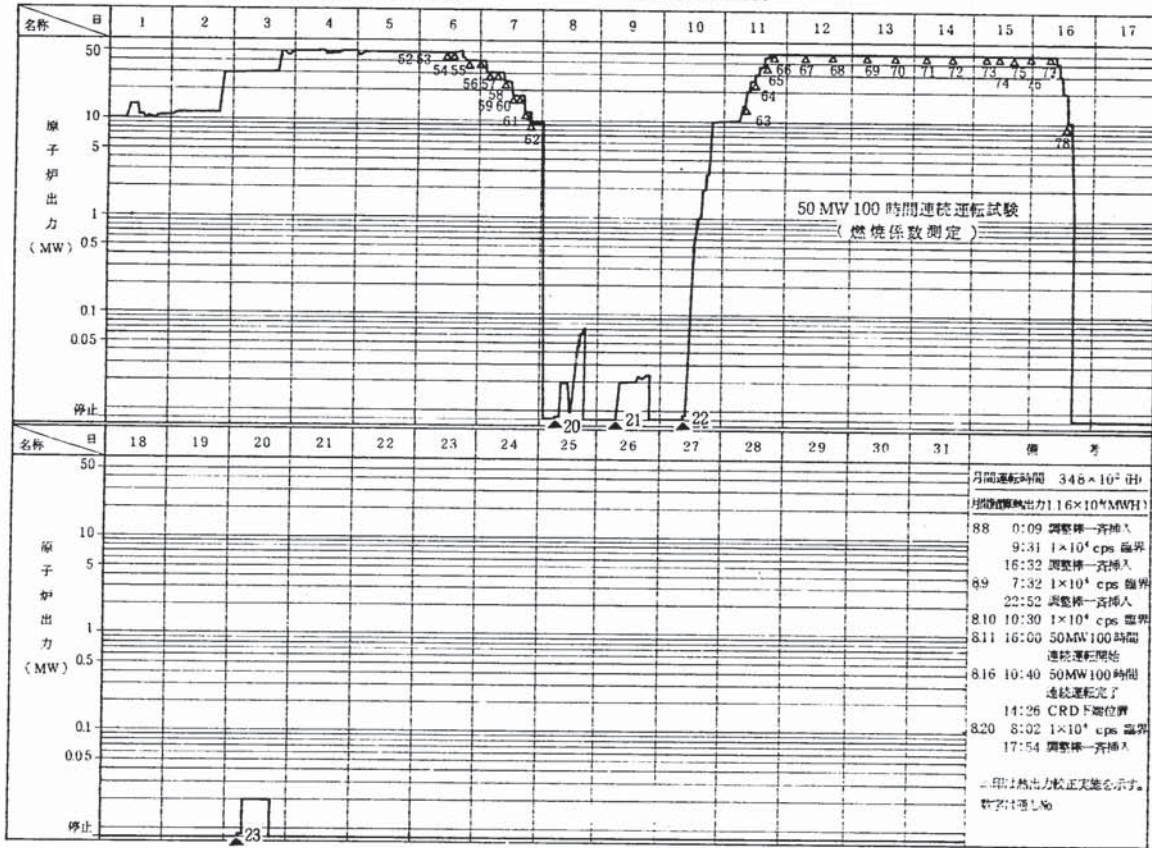


図. 4.2 原子炉運転実績表

CYCLE-NO. 50 MW-1

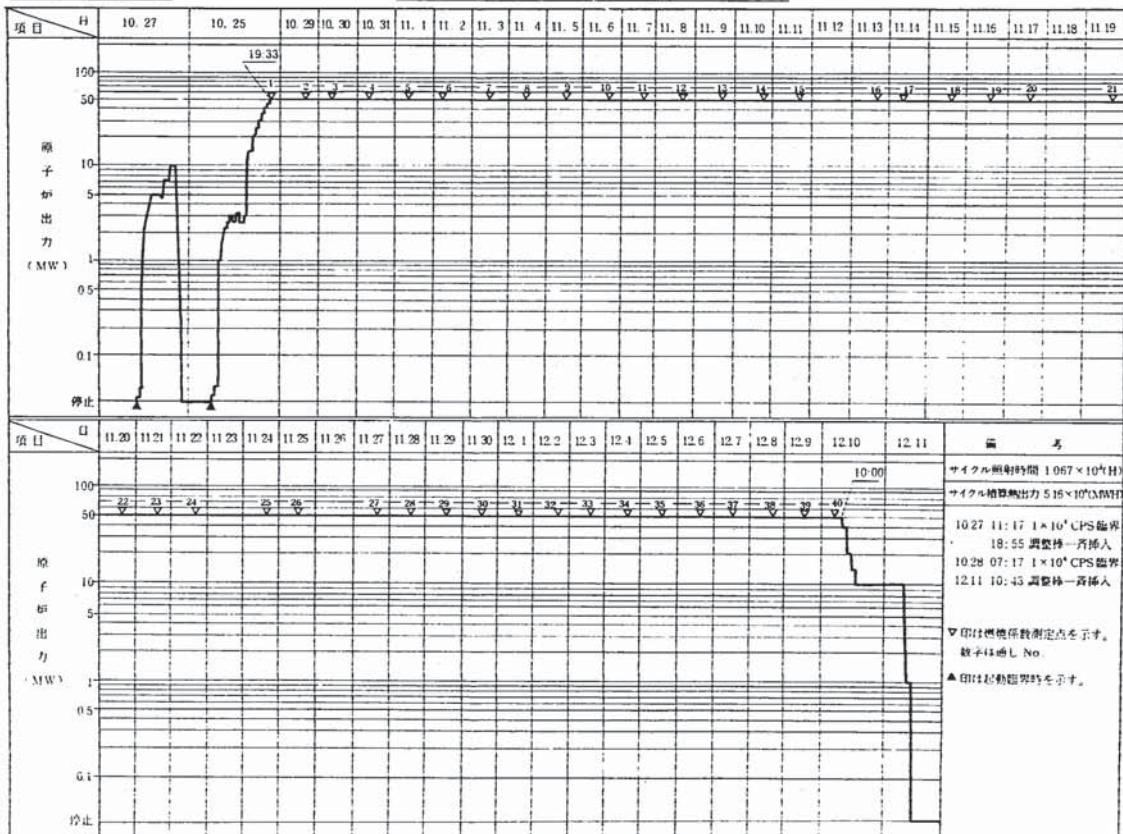
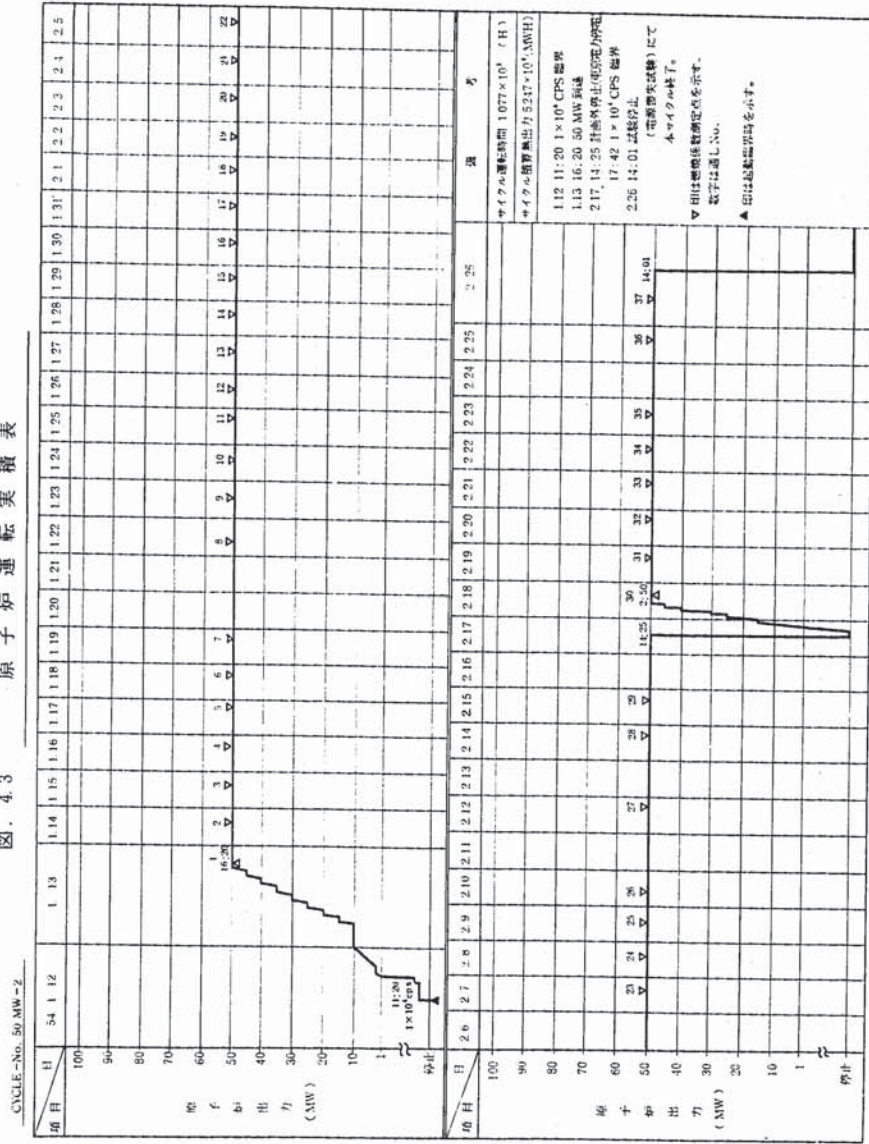


図 4.3 原子炉運転実績積表



第5章 試験の結果

50 MW出力上昇試験 (起動臨界データ・50 MW 100 hr 連続運転データ)・50 MW 定格第1サイクル・第2サイクルの燃焼係数測定結果を表 5.1 にまとめて示す。各測定データには、最大7%の差がある

「常陽」第1期出力における燃焼係数測定の最確値
 (1978年4月～1979年2月測定)

燃焼係数 I (N_p 239 の効果を含む)

$$-7.9 \left(\begin{matrix} +1.0 \\ -0.3 \end{matrix} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

燃焼係数 II (N_p 239 の効果含まない)

$$-7.7 \left(\begin{matrix} +0.9 \\ -0.5 \end{matrix} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

誤差の評価については、第6章で詳しく述べる。

以下に、各測定時期毎にその測定結果の詳細を記述する。

また、燃焼係数試験からはずれるが、各サイクル起動時に測定した臨界点から燃料取替による反応度が得られたので、5.5で報告する。

5.1 50 MW出力上昇試験(1)-起動時臨界データ

1978年4月18日から8月20までの23回の臨界記録データを表 5.2.1～3に示す。燃焼係数を求めるためのデータとしてこのうち、通常起動12点・高温起動8点を採用した。積算出力に対する余剰反応度の変化及び最小二乗法による fitting 結果を図 5.1 に示す。

データ整理の方法として、通常起動と高温起動を各々別に fitting して、その結果をデータ点数で加重平均する方法をとった。この理由は以下の4点による。

- ① 高温起動は、高出力連続運転のスクラム等による停止の直後の起動であり、N_p 239 (T_{1/2} = 2.35 days) が多量に残っていると考えられる。
 設計計算によると、50 MW出力においてはN_p 239の有無により、2.8%の反応度差が出る。
- ② 高温起動の冷却材温度は約340℃、通常起動は約250℃であり、約90℃の差がある。等温係数 (-3.77 × 10⁻³ %Δk/k/℃) を用いて、余剰反応度を250℃に規格化する際に、使用した等温係数に仮に4%の誤差があったとすると、2.7%の反応度差が出る。

注) SN 941 79-119 等温係数試験報告書によると、等温係数はその測定時により、 $-3.88 \times 10^{-3} \sim -3.62 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ のバラツキ (最大7%) を示す。

- ③ 高温起動は、高出力連続運転直後であるため炉心内に無視できない崩壊熱が発生していると考えられる。これは、冷却材に対して燃料温度を高くし、反応度を降下させる。
- ④ 高出力運転時と起動臨時では、調整棒位置が約 100 mm 程度異なる。高温起動の場合は、高出力時と起動時の間が数 hr なので、制御棒延長管が十分な熱平衡に達していない可能性がある。但し、この値は制御棒位置で 1 mm 以下であろうと見積られ、小さい。

注) SN 941 79-75 制御棒駆動機構の熱的影響報告書によると、内側延長管と外側延長管が熱平衡に達するためには 2~6 hr かかる。

本測定による結果を以下に要約する。

- (1) 通常起動時データによる燃焼係数は -7.86×10^{-3} [単位: $\% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$]、高温起動時データによる燃焼係数は -7.60×10^{-3} であり、加重平均値として -7.8×10^{-3} を得た。
- (2) 測定データのバラツキは、fitting 結果に対して最大 5% あり、大きい。通常起動時のデータ (12 点) を統計処理すると、その標準偏差は 2.2% である。高温起動時はより小さく、1.1% である。
- (3) 50 MW 出力上昇試験開始時 (1978.4.18) の 250 °C 時余剰反応度は 1.98 $\% \Delta k / k$ (但し、fitting 値) であった。1977 年 5 月 19 日の低出力試験初期炉心構成時は、2.24 $\% \Delta k / k$ であったので、0.26 $\% \Delta k / k$ 降下した。これは、炉心の組替え (5B2・5D2・5F2 → 5B5, 5D5, 5F5) の炉心燃料の移動、測定反応度は +0.013 $\% \Delta k / k$ 、5F2 へのパイルオンレータの挿入、中性子源 5C2 → 7F1 の移動の 3 要因によると考えられる。
- (4) 50 MW 出力上昇試験末期 (1978.8.20) の余剰反応度は 1.59 $\% \Delta k / k$ であり、この期間で 0.39 $\% \Delta k / k$ 燃焼により低下した。

注) これまで用いた余剰反応度算出のための温度データは、全てオンライン計算機によるものである。マルチ温度計による温度データを用いると、試験末期の余剰反応度は 1.606 $\% \Delta k / k$ となる。(この時点では、マルチ温度計よりもオンライン計算機は約 4 °C 低い値を示していたため。)

- (5) 通常起動時の余剰反応度に対して、高温起動時のそれは 2~4% 常に低い。

5.2 50 MW 出力上昇試験(2) - 50 MW 100 hr 連続運転データ

1978 年 8 月 11 日から 8 月 16 日にかけて 50 MW 100 時間連続運転試験が実施され、この時に 50 MW 定格出力運転時の燃焼による反応度降下が測定された。

図 5.2 に燃焼による反応度降下曲線を示す。

図 5.3 に 50 MW 換算経過日数に対する 50 MW・370 °C 規格化余剰反応度の変化及び、1 日イ

ンターバルの平均燃焼係数を示す。測定開始から終了までの 50 MW 換算経過時間は 112 hr (4.7 days)、実経時間は 113 hr (4.7 days) であった。

表 5.4 に、余剰反応度規格化のためのデータ整理を示す。

表 5.5 に、測定データの詳細を示す。

本測定による結果を以下に要約する。

- (1) 測定開始から終了までの 4.7 日間で、調整棒 2 は 50 MW 出力を維持するために、約 7 mm 引抜かれた。(調整棒 1 は 515 mm 固定。) 規格化余剰反応度は 8.4% 降下した。原子炉は、出力系 (ch. 6) で 100% となるように 1 日 2 回の出力調整を行ったが、グラフィット温度効果のため、熱出力は 50.8 MW から 48.7 MW まで次第に降下した。(PNC SN 941 79-179 熱出力校正試験報告書参照のこと。)
- (2) 燃焼による反応度降下曲線は、50 MW 達成時から約 3 日程度経過する間に、下に凸のカーブが得られた。これは、 $N_p 239$ (半減期 235 days) の生成に起因すると考えられる。
- (3) ゆえに、5 日程度の連続運転時の測定データから、定格サイクル (45 日運転) の燃焼係数を推定する事は困難である。
- (4) 測定データのバラツキは $\pm 0.3\%$ 以内である。熱出力校正試験結果から、熱出力測定の再現性誤差は $\pm 0.33 \text{ MW}$ ($\pm 0.6\%$) であり、これ以上に測定精度を上げる事は難しい。
- (5) 燃焼係数の横軸となる積算熱出力としては、オンライン計算機 (H-500) の定時データを直線内挿して求めたが、これは妥当である。表 5.5 に示すように、熱出力校正試験による熱出力と、オンライン計算機によるそれは +0.5% で一致している。
- (6) 50 MW 100 時間連続運転開始時 (8 月 10 日 10 時 42 分) と終了後 (8 月 20 日 8 時 05 分) に、起動系 10^4 cps 時の臨界点を測定した。その結果を表 5.7 に示す。この結果から算定される 50 MW 到達時から終了直前までの反応度降下は 8.3% であり、定格運転時測定結果の 8.4% とよく一致した。

5.3 50 MW 定格第 1 サイクル

50 MW 定格第 1 cycle は 1978 年 10 月 27 日に起動され、12 月 11 日に停止された。サイクル中の積算熱出力は 2123.2 MWD であった。

78 年 10 月 28 日 19 時 35 分に定格到達後第 1 回の測定が行われ、fitting の規格化 k_{ex} は 1.2081 $\% \Delta k / k$ であった。この時点の原子炉積算出力を 0 MWD とし、第 1 cycle 中の余剰反応度の変化を示したものが図 5.3 である。

第 1 cycle の特徴的な点を以下に記す。

以下で記す規格化余剰反応度は、全て fitting 後の値である事に注意すること。(表 5.8.1~4 の生データではない) 表 5.9.1~3 にデータの fitting 結果及び各データの偏差を示す。

- (1) 10 月 28 日に定格に到達してから 11 月 10 日まで、調整棒操作は RR 1 を固定して RR 2 のみ

を引き抜く方法をとっていた。この間のRR 2の引抜量25 mm(496→521 mm)であり、その積算熱出力は600 MWDである。この後、11月10日10時にRR 1とRR 2を均等引抜に差換え、両者を交互に引抜いていく方法に変更した。この制御棒の差換により、0.0070 %Δk/kの見かけ上の余剰反応度の上昇があった。差換前後で、各調整棒位置はRR 1が437→476 mm、RR 2が521→476 mmと変化した。この差換により、見かけ上の余剰反応度が上昇した原因は、主として調整棒相互の干渉効果の変化と推測する。もし、そうであるとすれば、均等引抜よりも、非均等引抜の方が干渉効果が大いという事になり、これはPNC SN 941 79-236「常陽」性能試験解析報告書と一致している。その他の要因として、出力分布の変化等も考えられるが、この反応度効果はわからない。

- (2) 従って、データ処理の方法としてN_p 239の半減期が235日である事も考え合わせ、0～600 MWD(50 MW×12日)の期間と、600～EÖCまでの期間の2つに区分して各々fittingを行い、最終燃焼係数を算出した。
- (3) 0～600 MWDの区間(DATA No 1～13)は、2次式でfittingした。この間に4章で記したように、5日間原子炉が入口AのT/Cが故障しており(Na 6～10)、データ点数は少ない。また、本来はこの区間はN_p 239の蓄積効果により、exponential関数が燃焼によるlinearな反応度降下に重なっている箇所であり、2次式では、(測定誤差の範囲内ではあるが)600 MWD近くのfittingが良くなかった。(fitting誤差は0.6以下)

以下に、fitting結果による燃焼反応度降下値を示す。

0～600 MWD 平均燃焼係数

$$-7.96 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

0 MWD 時の微分燃焼係数

$$-11.47 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

600 MWD 時の微分燃焼係数

$$-4.45 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY} \text{ (Na 1～13の2次fittingから)}$$

$$-6.83 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY} \text{ (Na 11～13のみの1次fittingから)} >$$

0→600 MWDの反応度変化

$$1.2081 \text{ (0 MWD)} \rightarrow 1.1126 \text{ (600 MWD)} \% \Delta k / k \text{ } (\Delta \rho = -0.0955 \% \Delta k / k)$$

- (4) 600～EÖCの区間(DATA No 14～40)はlinearと見られ、1次式でfittingした。データ点数は27であり、fitting結果は誤差最大で0.7以下と良好である。

600～2101.3 MWD 平均燃焼係数(平衡時)

$$-7.48 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

600→2101.3 MWDの反応度変化

$$1.1196 \text{ (600 MWD)} \rightarrow 0.8951 \text{ (2101.3 MWD)} \% \Delta k / k \text{ } (\Delta \rho = -0.2245 \% \Delta k / k)$$

- (5) 50 MW第1 cycle 全期間中の燃焼係数を求める。

制御棒差換による反応度ギャップを考慮して、

$$\begin{aligned} \text{全燃焼係数} &= \frac{F(2101.3) - F(0) - 0.0070}{2101.3} \times 50 \\ &= -7.61 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY} \end{aligned}$$

- (6) 50 MW第1 cycle 期間中の全反応度降下は、上記の平均燃焼係数を用いて、

$$-7.61 \times 10^{-3} \times \frac{2123.2}{50} = -0.323 \% \Delta k / k$$

となる。

ここで、2123.2 MWDは、測定範囲外の積算出力を含んだ値である。

- (7) N_p 239の蓄積による反応度降下量は、燃焼係数IとIIの差から求められ、

$$\{-7.61 \times 10^{-3} - (-7.48 \times 10^{-3})\} \times \frac{2101.3}{50} = -0.0055 \% \Delta k / k \text{ } (= -1.1 \text{ } \mu)$$

となる。

5.4 50 MW定格第2サイクル

50 MW定格第2 cycleは、1979年1月12日に起動され、2月26日に電喪スクラム試験で停止された。サイクル中の積算出力は2141.3 MWDであった。

79年1月13日16時45分に定格到達後第1回の測定が行われ、fitting後の規格化 k_{eff} は0.9216 %Δk/kであった。

この時点の原子炉積算出力を0 MWDとして、第1 cycle中の余剰反応度の変化を示したものが図5.4である。

第2 cycleの特徴的な点を以下に記す。表5.10.1～4に測定データを示す。

また、表5.11.1～3にデータのfitting結果及び各データの偏差を示す。

- (1) 第2 cycleは、BÖCから調整棒を交互に均等に引き抜いて行く運転方法をとった。従って第1 cycleのような反応度ギャップはないが、炉心燃料本数が第1 cycleと同じ71体であったため、相当な引き上げ位置で運転がなされていた。(BÖCで501 mm、EÖCで553 mm、RR 1・RR 2とも。)データ処理に使用した制御棒ストロークカーブは、低出力試験時のものなので、均等引抜の場合約350 mmで校正されたものであり、この引抜量差による干渉効果の減少分が制御棒値を実際には数%程度小さくしていると予想される。従って、本メモでのデータ整理は、燃焼係数を大きめに見積っていると考えられる。(この事情は第1 cycleでも程度は小さいが、同様。)

- (2) 2月17日14時13分に、東京電力停電のため電喪スクラムが起こった。この後、直ちに復

旧再起動が行われ、2月18日2時50分に再び50 MW定格に到達したが、スクラム前後の余剰反応度に大きいギャップが見られた。この量は反応度に換算して0.0142 % Δ k/k (= 2.84 ϕ)である。

(3) 従って、データ処理としては3つの期間に分けて各々fittingを行った。第1は0～600 MWD (No 1～11)であり、これは50 MW第1 cycleとの比較を考えている。第2は、600～1701.5 MWD (電喪スクラム時まで) (No 12～29)である。第3は、1701.5～EÖCまで (No 29～37)である。第1と第2の期間は、600 MWDの時点で連続であるはずだが、fitting誤差により0.0029 % Δ k/k (0.6 ϕ)のずれがあった。

(4) 第1の0～600 MWDの区間 (DATA No 1～11)は2次式でfittingした。fitting誤差は、0.4 ϕ 以下であるが、50 MW第1 cycleと比較すると、下に凸のカーブの程度が緩である事が顕著である。これは測定誤差とも思われるが、詳しい原因は未詳である。

0～600 MWD 平均燃焼係数

$$- 8.75 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

0 MWD 時の微分燃焼係数

$$- 9.22 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

600 MWD 時の微分燃焼係数

$$- 8.28 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

0→600 MWD の反応度変化

$$0.9216 (0 \text{ MWD}) \rightarrow 0.8166 (600 \text{ MWD}) \% \Delta k / k (\Delta \rho = -0.1050 \% \Delta k / k)$$

(5) 600～1701.5 MWDの第2の区間 (DATA No 12～29)は、linearと見られ、1次式でfittingした。fitting誤差は0.4 ϕ 以下と良好である。

600～1701.5 MWD 平均燃焼係数 (平衡時(1))

$$- 8.16 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

600→1701.5 MWD の反応度変化

$$0.8195 (600 \text{ MWD}) \rightarrow 0.6398 (1701.5 \text{ MWD}) \% \Delta k / k (\Delta \rho = -0.1797 \% \Delta k / k)$$

(6) 1701.5～EÖCの第3の区間 (No 30～37)は、1次式でfittingした。2/17の電喪後、約半日の後に再び定格に到達しており、この休止はある程度反応度降下曲線をlinearityからずらしていると思われるが、グラフ上は見ることができなかった。fitting誤差は0.4 ϕ 以下であり、良好である。

なお、EÖCは性能試験として電喪試験スクラムにより停止された。

1701.5～2118.4 MWD の平均燃焼係数 (平衡時(2))

$$- 7.39 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

1701.5→2118.4 MWD の反応度変化

$$0.625 (1701.5 \text{ MWD}) \rightarrow 0.5640 (2118.4 \text{ MWD}) \% \Delta k / k (\Delta \rho = -0.0616 \% \Delta k / k)$$

(7) 50 MW第2 cycle全期間中の燃焼係数を求める。

電喪スクラムによるつかみ誤差及びfittingずれを考慮して、

$$\begin{aligned} \text{全燃焼係数} &= \frac{F(2118.4) - F(0) - 0.0029 + 0.0142}{2118.4} \times 50 \\ &= -8.17 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY} \end{aligned}$$

(8) 50 MW第2 cycle期間中の全反応度降下は、前項の燃焼係数を用いて、

$$- 8.17 \times 10^{-3} \times \frac{2141.3}{50} = -0.350 \% \Delta k / k$$

となる。

ここで2141.3 MWDは、測定範囲外の積算出力を含んだ50 MW第2 cycle全積算出力である。

(9) 電喪スクラム前後の平衡時燃焼係数に、10%ほどの差がある。この原因は現在不明であるので一応測定誤差と見なし、両者のデータ数の重みをつけて平均し、50 MW第2 cycleの平衡時燃焼係数を算出する。

$$\begin{aligned} \text{平均平衡時燃焼係数} &= \frac{8.16 \times 10^{-3} \times 18 + 7.39 \times 10^{-3} \times 8}{26} \\ &= -7.92 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY} \end{aligned}$$

*これが、第1 cycleの -7.48×10^{-3} と比較すべき値である。

(10) N_p 239の蓄積による反応度降下量は、燃焼係数IとIIの差から求められ、

$$\{ -8.17 \times 10^{-3} - (-7.92 \times 10^{-3}) \} \times \frac{2118.4}{50} = -0.0106 \% \Delta k / k (= -2.1\phi)$$

となる。

5.5 各サイクルにおける燃料取替反応度

各サイクルの起動時に、臨界点を測定している。この間の反応度差は、燃焼による反応度降下・燃料取替による反応度の増減・臨界点測定誤差の和であると考えられる。測定誤差は標準偏差で約3 ϕ であるので、先に求めた燃焼係数から燃料取替反応度を算出できる。測定結果を、表5.12に示す。

(1) 50 MW出力上昇試験末期 (78/8/20)→50 MW第1 cycle初期 (78/10/27～28)

* 但し、9月に8.08 MWH (= 0.3 MWD) 運転しているが、微小なので無視する。また、10

月 27 日に 39.3 MWH (± 1.6 MWD) 運転しているが無視する。

燃料取替位置	旧	新	平均燃焼度 (MWD/T)
5 A 3	(PPJD 1 A → PPJD 2 R)		2052.8 (60 cm)
1 C 1	(PPJX 15 → PPJD 39)		3765.7 (60 cm)
◎ 5 A 5	(NFJI 0 P → PPJD 0 V)		
5 D 1	(NFJI 06 → NFJI 11)		63.1 (140 mm)
◎ 5 F 2	(TTJP 00 → NFJI 0 S)		↑

SMART 記録による。

表 5.12 から、反応度変化量は、

$$2.0529 - 1.6057 = 0.4472 \% \Delta k / k$$

5 A 5 位置の径ブラ→炉心燃料置換反応度を 0.35 $\% \Delta k / k$ と見積ると、パイルオシレータ→径ブラ置換反応度は、約 0.10 $\% \Delta k / k$ となる。

〔参考〕低出力試験で、5 F 4 位置の径ブラ→炉心燃料置換反応度は 0.36 $\% \Delta k / k$ であった。

(2) 50 MW 第 1 cycle → 50 MW 第 2 cycle 初期 (79 / 1 / 12)

50 MW 第 1 cycle 中の燃焼による反応度降下は、0.323 $\% \Delta k / k$ であった。

燃料取替位置	旧	新	平均燃焼度 (MWD/T)
3 A 3	(TTJC 01 → TTJC 03)		0.5576 a/o (70 cm)
2 E 2	(PPJX 08 → PPJD 0 U)		6362.1 (60 cm)
5 A 4	(PPJD 29 → PPJD 28)		3866.5 (60 cm)

表 5.12 から、燃焼と燃料置換を合わせた反応度変化は、

$$1.7564 - 2.0529 = -0.2965 \% \Delta k / k$$

燃料置換のみの反応度変化は、

$$0.323 - 0.2965 = 0.027 \% \Delta k / k (= 5.4 \downarrow)$$

と見積られる。

(3) 50 MW 第 2 cycle → 50 MW (第 3) cycle (79 / 4 / 11)

50 MW 第 2 cycle 中の燃焼による反応度降下は、0.350 $\% \Delta k / k$ であった。

燃料取替位置	旧	新	平均燃焼度 (MWD/T)
3 A 3	(TTJC 03 → TTJC 04)		0.2414 a/o (70 cm)
3 D 3	(TTJC 02 → TTJC 05)		0.7003 a/o (70 cm)
◎ 5 C 5	(NFJI 0 N → PPJD 2 W)		
◎ 5 E 5	(NFJI 02 → PPJD 33)		
1 B 1	(PPJX 14 → PPJD 0 B)		
4 B 2	(PPJD 04 → PPJD 1 V)		

5 A 2 (NFJI 0 H → NFJI 0 D)

表 5.12 から、燃焼と燃料置換を合わせた反応度変化は、

$$2.0828 - 1.7564 = 0.3264 \% \Delta k / k$$

燃料置換のみの反応度変化は、

$$0.3264 + 0.350 = 0.676 \% \Delta k / k$$

と見積られる。

表 5.1 燃焼係数測定値のまとめ (1978年4月~1979年2月測定)

項目 測定時期	測定期間	測定方法	燃焼係数 I (Np 239 の効果を 含む)	燃焼係数 II (Np 239 の効果を 含まない)	I と II の 差 (%)	備 考
50 MW出力上昇試験	1978. 4.18 ~ 8.20	起動時臨界記録 (DATA数20)	-	$\% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ $- 7.8 \times 10^{-3}$	-	性能試験結果報告書 No 53 - 118
50 MW定格第1 cycle	1978.10.28 ~ 12.10	定格運転時余剰反応度 (DATA数35)	$\% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ $- 7.61 \times 10^{-3}$	$- 7.48 \times 10^{-3}$	1.7%	cycle中で、A入口のT・Cを取り換えた。
50 MW定格第2 cycle	1979. 1.13 ~ 2.26	同上 (DATA数37)	$- 8.17 \times 10^{-3}$	*1) $- 7.92 \times 10^{-3}$	3.2	*1) デラッチ前後で、 -8.16×10^{-3} から -7.39×10^{-3} と大きく変化した。
「常陽」第1期出力における燃焼係数測定値の最確値	1978. 4 ~ 1979. 2	-	$- 7.9 \times 10^{-3}$	$- 7.7 \times 10^{-3}$	2.6	50 MW 出力上昇試験・定格第1・第2 cycleの測定平均値。
(参考) 設計値 (NNS-5)	-	-	$- 7.91 \times 10^{-3}$	$- 7.60 \times 10^{-3}$	4.1	設計数値及びコードを用いて、試験体系での計算をやり直したものの。(2D-RZ) 性能試験の評価 No 53 - 15

表 5.2.1 NT-35 燃焼係数臨界記録データ整理シート (1978年4月18日~8月20日)

No.1 番号	月 日	時刻	調整棒位置		調整棒位置 からの余剰 反応度 $\% \Delta k / k$	冷却材		温度 平均 $^{\circ}\text{C}$ ()内時刻	起動計数率		温度補正 余剰反応 度 (於 250 $^{\circ}\text{C}$) $\% \Delta k / k$	積算出力 MWH	50 MW 燃焼日数 DAYS	備 考	fitting値 との差 $\times 10^{-3} \%$ $\Delta k / k$	
			RR 1	RR 1		入口 A・B	出口 A・B		ch. 1	ch. 2						
			mm	mm		$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$		cps	cps						
1	4	18	11:07	350.0	425.0	1.9218	259 / 259	260 / 259	(11:00)	1.1×10^3	8×10^2					計数少ない、 不採用。
	"	"	11:52	"	426.8	1.9136	260 / 260	260 / 260	(12:00)	5×10^4	3.5×10^4	1.9513	0	0		-25.7
2	4	25	11:50	350.0	410.0	1.9910	243 / 244	245 / 244	(12:00)	420	310					計数少ない、 不採用。
	"	"	13:35	"	409.0	1.9956	245 / 245	246 / 245	(14:00)	5×10^3	4.5×10^4	1.9777	656.6	0.716		+6.3
3	5	1	10:36	350.0	411.2	1.9854	250 / 250	252 / 251		1.3×10^3	1.5×10^3					計数少ない、 不採用。
	"	"	11:06	351.9	"	1.9763			(11:00) 250.75	5×10^4	5.4×10^4	1.9791	1336.6	1.114		-10.9
4	5	8	19:08	460.1	349.7	1.5528	350 / 350	352 / 350	350.5	5×10^4	5×10^4	*1.9317	3312.8	2.761		高温起動 -3.3
*5	5	11	11:15	350.0	386.6	2.1012	227 / 225	197 / 191	(11:00)	350	350					
	"	"	11:38	356.0	"	2.0724				1×10^3	1×10^3		3510.9			補助系試験、 不採用。

*調整棒位置・冷却材温度は原1課の運転記録による。
 *使用等温度係数 $- 3.77 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^{\circ}\text{C}$
 *積算出力は online の定時データによる。

No. 2

表 5.2.2 NT-35 燃焼係数臨界記録データ整理シート (1978年4月18日~8月20日)

番号	月日	時刻	調整棒位置		調整棒位置からの余剰反応度 %Δk/k	冷却材温度			起動計数率		温度補正余剰反応度 (於 250℃) %Δk/k	積算出力 MWH	50 MW 換算日数 DAYS	備考	fitting 値 との差 10 ⁻³ %Δk/k	
			RR 1	RR 2		炉入口 A	炉出口 A	平均	ch. 1	ch. 2						
			mm	mm		℃	℃	℃ ()内時刻	cps	cps						
6	5-12	11:38	350.0	411.0	1.9863	224 222	195 190	(11:00) 260.75	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴						
		11:51	352.5	"	1.9743	225 223	196 191	(12:00) 260.75	5 × 10 ⁴	5 × 10 ⁴		3515.6		補助系試験 不採用		
7	5-17	11:49	350.0	424.0	1.9263	260 260	262 261	(12:00) 260.75	1.5 × 10 ⁴	1.5 × 10 ⁴	1.5668	3550.4	2.959		+13.1	
8	6-5	11:15	350.0	427.5	1.9104	247 247	248 247	(11:00) 247.25	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	1.9000	11613.5	9.567		-1.0	
9	6-7	15:00	444.0	404.2	1.5781	330 330	332 330	(15:00) 330.5	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	*1.8816	12344.6	10.29	高温起動	+3.8	
10	6-10	13:17	444.0	412.4	1.5398	338 338	341 340	(13:00) 339.25	1 × 10 ⁴	1.1 × 10 ⁴	*1.8763	13735.8	11.45	"	+7.3	
11	6-16	11:11	350.0	436.5	1.8697	250 250	252 251	(11:00) 250.75	1 × 10 ⁴	7.5 × 10 ³	1.8725	15091.2	12.58		-5.6	
12	6-21	10:48	350.0	431.8	1.8771	247 246	248 247	(11:00) 247.0	1 × 10 ⁴	1.1 × 10 ⁴	1.8661	16618.0	13.85		-2.0	
13	7-4	15:40	450.0	434.6	1.4110	343 343	345 345	(16:00) 344.0	1.2 × 10 ⁴	1.3 × 10 ⁴	*1.7654	28368.3	23.64	高温起動	-10.9	
14	7-20	10:34	351.0	481.0	1.6747	265 265	267 265	(10:00) 265.5	1 × 10 ⁴	8 × 10 ⁴	1.7331	39267.6	32.72		+13.3	

◦調整棒位置・冷却材温度は原1課の運転記録による。 ◦使用等温係数 $-3.77 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$
 ◦積算出力は online の定時データによる。

No. 3

表 5.2.3 NT-35 燃焼係数臨界記録データ整理シート (1978年4月18日~8月20日)

番号	月日	時刻	調整棒位置		調整棒位置からの余剰反応度 %Δk/k	冷却材温度			起動計数率		温度補正余剰反応度 (於 250℃) %Δk/k	積算出力 MWH	50 MW 換算日数 DAYS	備考	fitting 値 との差
			RR 1	RR 2		炉入口 A	炉出口 A	平均	ch. 1	ch. 2					
			mm	mm		℃	℃	℃ ()内時刻	cps	cps					
15	7-22	15:51	454.4	445.9	1.3425	346 346	348 317	(16:00) 346.75	1 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁴				高温起動(最小2 乗データに入らず)	
16	7-23	18:20	454.4	438.2	1.3766	355 355	337 336	(18:00) 335.75	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	*1.6900	40858.7	34.05	高温起動	+2.7
17	7-26	12:48	450.0	455.3	1.3206	(12:00) 353 353	356 356	(12:00) 347.3	1 × 10 ⁴	8 × 10 ³	*1.6874	42521.6	35.44	"	-0.7
18	7-27	12:10	450.0	450.0	1.3436	(13:00) 344 345	347 346	(12:00) 340.0	1 × 10 ⁴	8 × 10 ³	*1.6829	43374.5	36.15	高温起動	+1.6
19	7-31	18:40	465.3	433.0	1.3534	(18:00) 335 335	337 337	(18:00) 330.17	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	*1.6556	47476.8	39.56	"	+0.3
20	8-8	9:32	470.0	372.1	1.6186	(19:00) 326 326	329 328	(9:00) 249.75	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	1.6177	53032.2	44.19		-12.0
21	8-9	7:32	350.0	500.0	1.6048	(8:00) 255 255	257 257	(8:00) 256.0	1 × 10 ⁴	8.1 × 10 ³	1.6274	53053.6	44.21		+2.1
22	8-10	10:30	350.0	490.9	1.6400	(10:00) 248 247	249 249	(10:00) 248.75	1 × 10 ⁴	1 × 10 ⁴	1.6334	53071.5	44.23		-4.0
23	8-20	8:05	470.0	375.9	1.6005	(8:00) 247 247	248 247	(8:00) 247.25	1 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁴	1.5901	59269.6	49.39		-1.3

◦調整棒位置・冷却材温度は原1課の運転記録による。 ◦使用等温係数 $3.77 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$
 ◦積算出力は online の定時データによる。

通常起動 (平均) + 0.04 × 10⁻³ %Δk/k
 (a) 11.2 × " (2.2c)
 (平均) + 0.28 × 10⁻³ %Δk/k
 高温起動 (a) 5.4 × " (1.1c)

表 5.3 50 MW 100 hr 連続運転時燃焼係数測定結果
(1978年8月11日~16日測定)

番号	測定日時	補正済余剰 反応度 (%Δk/k)	積算熱出力 (MWH)	50 MW 換 算経過日数 (days)	1日インター バルの平均出力係 数(%Δk/k/day)	備考
1	8/11 16:00	0.7992	0	0	-10.1 -11.4 -11.2 -8.77 -6.85 -7.08 -8.21 -8.14	100 hr 運転開始
2	8/12 9:00	0.7920	862.2	0.7185		100 hr 運転中
3	8/12 17:00	0.7886	1263.3	1.0528		"
4	8/13 9:00	0.7806	2057.0	1.7142		"
5	8/13 17:00	0.7775	2451.7	2.0431		"
6	8/14 9:00	0.7720	3234.1	2.6951		"
7	8/14 17:00	0.7708	3625.4	3.0212		"
8	8/15 9:00	0.7651	4404.1	3.6701		"
9	8/15 13:00	0.7640	4598.9	3.8324		"
10	8/15 17:00	0.7628	4795.0	3.9958		"
11	8/15 23:30	0.7615	5111.4	4.2595		"
12	8/16 9:30	0.7570	5597.6	4.6647		100 hr 運転終了

* 積算熱出力は、online の定時データを使用。

表 5.4 NT-35 燃焼係数データ整理シート (100時間連続運転時)
(1978年8月11日~16日測定)

データ 番号	調整棒位置から の余剰反応度 (%ΔK/K)	原子炉入口 平均Na温度 (℃)	温度補正 (%ΔK/K)	調整棒位置		熱出力校正 による熱出力 (MW)	出力補正 (%ΔK/K)	補正済余剰 反応度 (%ΔK/K)	50 MW 経過日数	測定日時
				RR1 (mm)	RR2 (mm)					
1	0.7908	370.40	+0.0015	515.0	523.7	50.76	+0.0069	0.7992	0	8/11 16:00
2	0.7897	370.25	+0.0009	"	524.0	50.15	+0.0014	0.7920	0.7083 (17 hr)	8/12 9:00
3	"	370.05	+0.0002	"	"	49.86	-0.0013	0.7886	1.0417 (25 hr)	8/12 17:00
4	0.7876	370.20	+0.0007	"	524.6	49.15	-0.0077	0.7806	1.7083 (41 hr)	8/13 9:00
5	"	369.85	-0.0006	"	"	48.95	-0.0095	0.7775	2.0417 (49 hr)	8/13 17:00
6	0.7845	370.10	+0.0004	"	525.5	48.58	-0.0129	0.7720	2.7083 (65 hr)	8/14 9:00
7	0.7828	369.95	-0.0002	"	526.0	48.70	-0.0118	0.7708	3.0417 (73 hr)	8/14 17:00
8	0.7800	370.00	0.0	"	526.8	48.35	-0.0149	0.7651	3.7083 (89 hr)	8/15 9:00
9	0.7756	369.90	-0.0004	"	528.1	48.76	-0.0112	0.7640	3.8750 (93 hr)	8/15 13:00
10	"	369.95	-0.0002	"	"	48.61	-0.0126	0.7628	4.0417 (97 hr)	8/15 17:00
11	0.7742	369.98	-0.0001	"	528.5	48.61	-0.0126	0.7615	4.3125 (103.5 hr)	8/15 23:30
12	0.7684	370.00	0.0	"	530.2	48.74	-0.0114	0.7570	4.7292 (113.5 hr)	8/16 9:30

入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta K / K / \text{deg}$ (15.25MW 平均) 50MW時出力係数 $-9.62 \times 10^{-3} \% \Delta K / K / \text{MW}$

表 5.5.1 50 MW 100 時間加速運転試験の時間定率データ(1)

燃焼係数測定値		63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
出力 (MW)	全体	1745	2701	4143	5076	5045	4080	4915	4895	3992	1385	2113	2579	2639	2620	2602	2693	2492	2402
	A	842	1324	2034	2498	2176	3457	2415	2402	642	1043	1438	1703	1701	3089	3700	3703	3701	3703
	B	902	1377	2109	2578	2869	2620	2492	2493	850	344	444	876	974	4367	3704	3702	3701	37025
No. MW	A	3703	3701	3700	3703	3704	3702	3701	3703	3703	3701	3703	3701	3703	3702	3704	37025	37045	37025
	B	3707	3703	3700	3705	3704	3702	3704	37025	3707	3703	3704	3703	3704	3702	3701	37025	37045	37025
RR1 (mm)	A	3947	4061	4248	4375	4362	4367	4350	4345	4011	4312	4313	4314	4311	4311	4311	4311	4311	4311
	B	3923	4223	4223	4348	4314	4336	4327	4327	4011	4312	4313	4314	4311	4311	4311	4311	4311	4311
RR2 (mm)	A	123382	119380	129675	125220	125325	125383	125561	125276	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781
	B	4775	4949	5150	5150	5150	5150	5150	5150	4775	4775	4775	4775	4775	4775	4775	4775	4775	4775

表 5.5.2 50 MW 100 時間加速運転試験の時間定率データ(2)

燃焼係数測定値		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
出力 (MW)	全体	1858	1870	4833	4876	4860	4860	4860	4860	2152	2446	2446	2446	2446	2446	2446	2446	2446	2446
	A	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384
	B	1474	1486	2449	2492	2476	2476	2476	2476	868	1062	1062	1062	1062	1062	1062	1062	1062	1062
No. MW	A	3701	3608	3701	3703	3703	3703	3703	3703	3701	3701	3701	3701	3701	3701	3701	3701	3701	3701
	B	4701	3701	4703	4703	4703	4703	4703	4703	4701	4701	4701	4701	4701	4701	4701	4701	4701	4701
RR1 (mm)	A	125115	124115	125100	124813	125150	125689	125092	124513	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781	120781
	B	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150	5150
RR2 (mm)	A	5253	5260	5268	5281	5281	5285	5285	5285	5253	5253	5253	5253	5253	5253	5253	5253	5253	5253
	B	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276	125276

表 5.6 online 定時データによる熱出力と熱出力校正による値の比較
(1978年8月11日～8月16日)

番号	月 時 刻	熱出力校正による値 (MW)	online定時データに よる熱出力(MW)	online 熱出力校正
1	8/11 16:00	50.76	51.0	1.005
2	8/12 9:00	50.15	50.6	1.009
3	8/12 17:00	49.86	49.6	0.995
4	8/13 9:00	49.15	49.3	1.003
5	8/13 17:00	48.95	49.4	1.009
6	8/14 9:00	48.58	49.0	1.009
7	8/14 17:00	48.70	48.9	1.004
8	8/15 9:00	48.35	48.6	1.005
9	8/15 13:00	48.76	49.4	1.013
10	8/15 17:00	48.61	48.6	1.000
11	8/15 23:30	48.61	48.55	0.999
12	8/16 9:30	48.74	49.15	1.008
平均				1.005

online 定時データの方が0.5%高い。

表 5.7 100時間連続運転時臨界点測定からの燃焼係数

① 開始時臨界データ

8/10 10:42

ch 1 1×10^4 cps RR 1 350.0 mm

ch 2 1.1×10^4 cps RR 2 490.5 mm

原子炉出入口平均温度 252.50 °C

余剰反応度

$$1.6416 + 3.77 \times 10^{-3} (252.50 - 250) = 1.6510 \% \Delta k / k$$

② 終了後初臨界データ

8/20 8:05

ch 1 1×10^4 cps RR 1 470.0 mm

ch 2 1.2×10^4 cps RR 2 375.9 mm

原子炉出入口平均温度 251.40 °C

余剰反応度

$$1.6004 + 3.77 \times 10^{-3} (251.40 - 250) = 1.6057 \% \Delta k / k$$

③ 積算熱出力 (online 定時データによる値)

8/10 11:00～8/11 16:00 364.7 MWh

8/11 16:00～8/16 9:30 5597.6 "

8/16 9:30～8/16 15:00 154.3 "

計 6116.6 MWh

(5.097 days × 50 MW)

$$\therefore \frac{1.6057 - 1.6510}{5.097} = -8.9 \times 10^{-3} \% \Delta k / k \cdot \text{day} \cdot 50 \text{ MW}$$

$$= -8.9 \times 10^{-3} \times \frac{5597.6}{24 \times 50} = -0.0415 \% \Delta k / k \quad (\approx -8.3 \text{ \textmu})$$

表 5.8.1 NT-35 燃焼係数データ整理

No.50-1-1				<50 MW定格第1サイクル>							
番 デ イ 号	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na温度 °C	炉入口Na 温度補正反 応度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
1	1.2120	437.0	495.8	370.69	+0.0026	49.23	-0.0069	1.2077	1978-10-28 19:35	2.45295×10 ³ (0.)	
2	1.2160	436.9	494.9	369.68	-0.0012	48.36	-0.0148	1.2000	10-29 16:40	2.49588×10 ³ (42.93)	
3	1.2160	436.9	194.9	369.32	-0.0025	47.66	-0.0211	1.1924	10-30 9:30	2.52947×10 ³ (76.52)	
4	1.1866	436.9	502.6	369.72	-0.0010	49.24	-0.0069	1.1787	10-31 8:58	2.57710×10 ³ (124.15)	
5	1.1824	436.9	503.7	369.40	-0.0022	49.03	-0.0087	1.1715	11-1 9:10	2.62440×10 ³ (171.45)	
6	1.1776	436.9	505.0						11-2 9:20	2.67338×10 ³ (220.43)	
7	1.1683	436.9	507.5						11-3 14:15	2.73212×10 ³ (279.17)	
8	1.1604	436.9	509.6	(原子炉入口Aの熱電対故障)					11-4 13:40	2.77967×10 ³ (326.72)	
9	1.1517	436.9	512.0						11-5 15:30	2.83214×10 ³ (379.19)	
10	1.1408	436.9	515.0						11-6 20:10	2.89036×10 ³ (437.41)	
11	1.1397	436.9	515.3	369.12	-0.0033	48.97	-0.0093	1.1271	11-7 16:15	2.93118×10 ³ (478.23)	

原子炉入口Na温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW平均)
熱出力50 MW時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.8.2 NT-35 燃焼係数データ整理

No.50-1-2				<50 MW第1サイクル>							
番 デ イ 号	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na温度 °C	炉入口Na 温度補正反 応度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
12	1.1297	436.9	518.6	369.08	-0.0034	49.32	-0.0070	1.1193	1978 11 8 19:55	2.98786×10 ³ (534.91)	
13	1.1215	436.9	520.4	368.99	-0.0038	49.38	-0.0056	1.1121	11-9 21:50	3.04099×10 ³ (588.04)	
14	1.1191	476.0	477.0	368.85	-0.0043	49.71	0.0026	1.1122	11-10 20:51	3.08826×10 ³ (635.31)	調整棒差換え 後
15	1.1179	476.3	477.0	368.95	-0.0039	49.08	-0.0083	1.1057	11-11 14:25	3.12441×10 ³ (671.46)	
16	1.1048	478.5	478.0	368.84	-0.0043	49.18	-0.0074	1.0931	11-13 18:30	3.23142×10 ³ (778.47)	
17	1.0915	479.5	478.8	368.75	-0.0047	49.34	-0.0060	1.0868	11-14 9:50	3.26290×10 ³ (809.95)	
18	1.0873	480.8	480.0	369.65	-0.0013	49.54	-0.0041	1.0819	11-15 16:00	3.32498×10 ³ (872.03)	
19	1.0821	481.0	481.1	369.17	-0.0031	49.34	-0.0060	1.0730	11-16 17:00	3.37656×10 ³ (923.61)	
20	1.0732	482.5	481.8	368.85	-0.0043	49.41	-0.0053	1.0636	11-17 15:45	3.42359×10 ³ (970.64)	
21	1.0559	484.6	484.0	369.29	-0.0027	49.45	-0.0050	1.0482	11-19 18:30	3.52861×10 ³ (1075.66)	
22	1.0503	485.0	485.0	369.04	-0.0036	49.36	-0.0058	1.0409	11-20 16:40	3.57456×10 ³ (1121.61)	

原子炉入口Na温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW平均)
熱出力50 MW時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.8.3 NT-35 燃焼係数データ整理

No.50-1-3		< 50 MW定格第1サイクル >									
番 デ ！ 号 タ	調整棒位置 からの 余剰 反応 度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na温度 (°C)	炉入口Na 温度補正反 応 (%Δk/k)	原 子 炉 熱 出 力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
23	1.0439	485.4	486.2	368.98	-0.0038	49.36	-0.0058	1.0343	1978-11-21 16:15	3.62322×10 ³ (1170.27)	
24	1.0336	488.0	486.2	369.00	-0.0037	49.74	-0.0023	1.0276	11-22 16:16	3.67293×10 ³ (1219.98)	
25	1.0205	488.5	489.0	369.00	-0.0037	49.53	-0.0042	1.0145	11-24 16:55	3.77384×10 ³ (1320.89)	
26	1.0126	490.5	489.0	368.94	-0.0040	49.85	-0.0014	1.0072	11-25 11:20	3.81203×10 ³ (1350.08)	
27	0.9973	491.9	491.5	369.07	-0.0035	49.59	-0.0037	0.9901	11-27 16:35	3.92248×10 ³ (1469.53)	
28	0.9910	492.4	492.6	369.17	-0.0031	49.53	-0.0042	0.9837	11-28 15:30	3.96995×10 ³ (1517.00)	
29	0.9840	494.2	492.6	369.07	-0.0035	49.46	-0.0049	0.9756	11-29 14:45	4.01800×10 ³ (1565.05)	
30	0.9758	494.2	494.7	369.08	-0.0034	49.36	-0.0058	0.9666	11-30 14:40	4.06749×10 ³ (1614.54)	
31	0.9708	495.0	495.2	368.64	-0.0051	49.66	-0.0031	0.9626	12-1 16:08	4.12009×10 ³ (1667.14)	
32	0.9642	496.2	495.7	368.97	-0.0038	49.29	-0.0064	0.9540	12-2 15:15	4.16776×10 ³ (1714.81)	
33	0.9538	497.6	497.0	368.98	-0.0038	49.65	-0.0032	0.9468	12-3 12:50	4.21232×10 ³ (1759.37)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均)
 熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.8.4 NT-35 燃焼係数データ整理

No.50-1-4		< 50 MW定格第1サイクル >									
番 デ ！ 号 タ	調整棒位置 からの 余剰 反応 度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na温度 (°C)	炉入口Na 温度補正反 応 (%Δk/k)	原 子 炉 熱 出 力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
34	0.9492	497.6	498.2	368.97	-0.0038	49.19	-0.0073	0.9381	1978-12-4 17:16	4.27099×10 ³ (1818.04)	
35	0.9400	499.7	498.5	368.29	-0.0064	49.45	-0.0050	0.9286	12-5 17:27	4.32105×10 ³ (1868.10)	
36	0.9327	500.0	500.1	368.67	-0.0050	49.39	-0.0055	0.9222	12-6 17:28	4.37065×10 ³ (1917.90)	
37	0.9194	501.9	501.7	368.60	0.0049	50.00	0	0.9145	12-7 18:15	4.42241×10 ³ (1969.46)	
38	0.9126	503.3	502.1	369.09	-0.0034	49.62	-0.0034	0.9058	12-8 17:30	4.47077×10 ³ (2017.82)	
39	0.9055	503.3	504.0	368.94	-0.0040	49.90	-0.0009	0.9006	12-9 11:20	4.50798×10 ³ (2055.03)	
40	0.8998	504.3	504.5	368.97	-0.0038	49.72	-0.0025	0.8935	12-10 9:35	4.55425×10 ³ (2101.30)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均)
 熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.9.1 50 MW 第 1 cycle 燃焼曲線 fitting (1)
(積算出力 0 ~ 600 MWD)

*** LIST OF INPUT DATA *** (KAKUNIN SEYO I I)

	積算出力 (MWD)	余剰反応度 (も△k/k)
I	X(I)	Y(I)
1	0.0	1.2077
2	42.93	1.2000
3	76.52	1.1924
4	124.15	1.1787
5	171.45	1.1715
6	478.23	1.1271
7	534.91	1.1193
8	588.04	1.1121

*** ANSWER ***

$$F(X) = \text{COF}(K) * X^{(K-1)} + \text{COF}(K-1) * X^{(K-2)} + \dots + \text{COF}(2) * X + \text{COF}(1)$$

	微分係数	
K → 1	COF(K) = 1.20805 D + 00	COF'(1) = -2.29408 × 10 ⁻⁴
K → 2	COF(K) = -2.29408 D - 04	COF'(2) = 2.34178 × 10 ⁻⁷
K → 3	COF(K) = 1.17089 D - 07	

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X)-Y)
8.0	1.20770	1.20805	3.51681 E - 04
42.93000	1.20000	1.19842	- 1.58043 E - 03
76.52000	1.19240	1.19118	- 1.21691 E - 03
124.15000	1.17870	1.18138	2.67550 E - 03 ← 誤差最大
171.45000	1.17150	1.17216	6.62056 E - 04
478.23000	1.12710	1.12512	- 1.97888 E - 03
534.91000	1.11930	1.11884	- 4.57875 E - 04
588.04000	1.11210	1.11364	1.53983 E - 03

*** OTSUKARE SAMA DESHITA ! ! **

$$F(0) = 1.2081 \% \Delta k / k$$

$$F(600) = 1.1126 \% \Delta k / k \quad (\cdot 11 / 10 \quad 10:16 \quad \text{調整棒差換})$$

0 → 600 MWD の平均燃焼係数

$$\frac{F(600) - F(0)}{600} \times 50 = -7.96 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\frac{dF}{dx}(0) = -11.47 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\frac{dF}{dx}(600) = -4.45 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

表 5.9.2 50 MW 第 1 cycle 燃焼曲線 fitting (2)
(積算出力 600 ~ 2101.3 MWD)

*** LIST OF INPUT DATA *** (KAKUNIN SEYO I I)

I	X(I)	Y(I)
1	635.31	1.1122
2	671.46	1.1157
3	778.47	1.0931
4	809.95	1.0868
5	872.03	1.0819
6	923.61	1.0730
7	970.64	1.0636
8	1075.66	1.0482
9	1121.61	1.0409
10	1170.27	1.0343
11	1219.98	1.0276
12	1320.89	1.0145
13	1359.08	1.0072
14	1469.53	0.9901
15	1517.00	0.9837
16	1565.05	0.9756
17	1614.54	0.9666
18	1667.14	0.9626
19	1714.81	0.9540
20	1759.37	0.9468
21	1818.04	0.9381
22	1868.10	0.9286
23	1917.90	0.9222
24	1969.46	0.9145
25	2017.82	0.9058
26	2055.03	0.9006
27	2101.30	0.8935

** ANSWER **

$$F(X) = COF(K) * X^{**} (K-1) + COF(K-1) * X^{**} (K-2) + \dots + COF(2) * X + COF(1)$$

K=1 COF(K) = 1.20940 D+00
 K=2 COF(K) = 1.49588D-04

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X) - Y)
635.31000	1.11220	1.11436	2.15986 E-03
671.46000	1.10570	1.10895	3.25252 E-03 ← 誤差最大
778.47000	1.09310	1.09295	-1.54901 E-04
809.95000	1.08680	1.08824	1.43585 E-03
872.03000	1.08190	1.07895	-2.95103 E-03
923.61000	1.07300	1.07123	-1.76625 E-03
970.64000	1.06360	1.06420	5.98494 E-04
1075.66000	1.04820	1.04849	2.88617 E-04
1121.61000	1.04090	1.04162	7.15486 E-04
1170.27000	1.03430	1.03434	3.60901 E-05
1219.92000	1.02760	1.02690	-6.99708 E-04
1320.89000	1.01450	1.01180	-2.69542 E-03
1359.08000	1.00720	1.00609	-1.10793 E-03
1469.53000	0.99010	0.98957	-5.29382 E-04
1517.00000	0.98370	0.98247	-1.23032 E-03
1565.05000	0.97560	0.97528	-3.18046 E-04
1614.54000	0.96660	0.96788	1.27882 E-03
1667.14000	0.96260	0.96001	-2.58953 E-03
1714.81000	0.95400	0.95288	-1.12039 E-03
1759.37000	0.94680	0.94621	-5.86099 E-04
1818.04000	0.93810	0.93744	-6.62406 E-04
1868.10000	0.92860	0.92995	1.34916 E-03
1917.90000	0.92220	0.92250	2.99657 E-04
1969.46000	0.91450	0.91479	2.86875 E-04
2017.82000	0.90580	0.90755	1.75278 E-03
2055.03000	0.90060	0.90199	1.38660 E-03
2111.30000	0.89350	0.89507	1.56513 E-03

*** OTSUKARE SAMA DESHITA !! ***

$$F(600) = 1.1196 \% \Delta k / k$$

調整棒差換効果 1.1196 - 1.1126 = 0.0070 \% \Delta k / k

600 → 2100 MWD の燃焼係数

$$= 1.49588 \times 10^{-4} \times 50 = 7.48 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$F(2101.3) = 0.8951 \% \Delta k / k$$

(50 MW 第 1 cycle 全燃焼係数)

$$\frac{F(2101.3) - F(0) - 0.0070}{2101.3} \times 50 = 7.61 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

表 5.9.3 (参考) 50 MW 第 1 cycle No. 11 ~ 13 の 1 次式 fitting 結果

** LIST OF INPUT DATA ** (KAKUNIN SEYO !!)

I	X(I)	Y(I)
1	478.230	1.1271
2	534.910	1.1193
3	588.040	1.1121

** ANSWER **

$$F(X) = COF(K) * X^{**} (K-1) + COF(K-1) * X^{**} (K-2) + \dots + COF(2) * X + COF(1)$$

K=1 COF(K) = 1.19241 D+00

K=2 COF(K) = 1.36611 D-04

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X) - Y)
478.23000	1.12710	1.12708	-1.90826 E-05
534.91000	1.11930	1.11934	3.80356 E-05
588.04000	1.11210	1.11208	-2.03796 E-05

478 → 588 MWD 平均燃焼係数

$$= 6.83 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

表 5.10.1 NT-35 燃焼係数データ整理

Na 50-2-1		< 50 MW 定格第 2 サイクル >									
番 デ 1 号 タ	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na 温度 (°C)	炉入口 Na 温度補正反 応度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
1	0.9240	501.2	501.2	372.37	+0.0068	48.87	-0.0102	0.9226	1979-1-13 16:45	4.63041+3 (0.00)	
2	0.9209	502.0	501.2	372.27	+0.0085	48.23	-0.0160	0.9134	1-14 14:30	4.67454+3 (44.13)	
3	0.9179	502.0	502.0	369.65	-0.0013	48.50	-0.0135	0.9031	1-15 18:15	4.73100+3 (100.59)	
4	0.9088	503.3	503.1	369.58	-0.0016	48.36	-0.0148	0.8924	1-16 19:50	4.78257+3 (152.16)	
5	0.9077	503.3	503.4	369.08	-0.0034	47.78	-0.0200	0.8843	1-17 20:55	4.83267+3 (202.26)	
6	0.9051	504.0	503.4	369.65	-0.0013	47.14	-0.0258	0.8780	1-18 17:10	4.87264+3 (242.23)	
7	0.8976	504.4	505.0	369.40	-0.0022	47.27	-0.0246	0.8711	1-19 16:25	4.91822+3 (287.81)	
8	0.8729	508.0	508.0	369.59	-0.0015	47.58	-0.0218	0.8496	1-22 9:20	5.04598+3 (415.57)	
9	0.8416	512.4	512.1	370.48	+0.0018	49.26	-0.0067	0.8367	1-23 13:35	5.10372+3 (473.31)	
10	0.8329	513.1	513.8	370.23	+0.0009	49.34	-0.0060	0.8278	1-24 19:25	5.16471+3 (534.30)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均)
熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.10.2 NT-35 燃焼係数データ整理

Na 50-2-2		< 50 MW 定格第 2 サイクル >									
番 デ 1 号 タ	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na 温度 (°C)	炉入口 Na 温度補正反 応度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
11	0.8256	514.1	514.8	370.27	+0.0010	49.13	-0.0078	0.8188	1979-1-25 20:00	5.21475+3 (584.34)	
12	0.8220	515.1	514.8	370.78	+0.0029	48.86	-0.0103	0.8146	1-26 14:25	5.25220+3 (621.79)	
13	0.8152	516.3	515.5	370.41	+0.0015	48.89	-0.0100	0.8067	1-27 14:50	5.30168+3 (671.27)	
14	0.8051	517.0	517.6	370.20	+0.0007	49.12	-0.0079	0.7979	1-28 19:50	5.36049+3 (730.08)	
15	0.8012	518.1	517.6	370.15	+0.0006	48.90	-0.0099	0.7919	1-29 16:00	5.40140+3 (770.99)	
16	0.7922	519.4	518.8	370.27	+0.0010	48.95	-0.0095	0.7837	1-30 15:15	5.44847+3 (818.06)	
17	0.7823	521.0	520.0	370.40	+0.0015	49.26	-0.0067	0.7771	1-31 15:55	5.49849+3 (868.08)	
18	0.7770	521.0	521.5	370.40	+0.0015	48.98	-0.0092	0.7693	2-1 16:33	5.54837+3 (917.96)	
19	0.7682	522.0	523.0	370.28	+0.0010	49.02	-0.0088	0.7604	2-2 14:45	5.59331+3 (962.90)	
20	0.7612	524.0	523.0	370.26	+0.0010	48.96	-0.0094	0.7528	2-3 16:15	5.64508+3 (1014.67)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均)
熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.10.3 NT-35 燃焼係数データ整理

No 50-2-3		50 MW 定格第 2 サイクル									
番 デ イ 号 タ	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na 温度 (°C)	炉入口 Na 温度補正反 度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
21	0.7438	525.4	526.6	370.32	+ 0.0012	49.73	- 0.0024	0.7426	1979-2-4 19:25	5,700.33 + 3 (1069.92)	
22	0.7397	526.6	526.6	370.26	+ 0.0010	49.45	- 0.0050	0.7357	2-5 16:03	5,741.32 + 3 (1110.91)	
23	0.7191	530.0	529.2	370.51	+ 0.0019	49.77	- 0.0021	0.7189	2-7 17:15	5,842.80 + 3 (1212.39)	
24	0.7123	531.0	530.2	370.65	+ 0.0024	49.77	- 0.0021	0.7126	2-8 15:47	5,889.31 + 3 (1258.90)	
25	0.7038	532.2	531.5	370.63	+ 0.0023	49.88	0.0011	0.7050	2-9 13:25	5,934.00 + 3 (1303.59)	
26	0.6961	533.0	533.0	370.48	+ 0.0018	50.02	+ 0.0002	0.6981	2-10 10:50	5,978.20 + 3 (1347.79)	
27	0.6757	536.4	535.7	370.68	+ 0.0025	49.95	- 0.0005	0.6777	2-12 20:20	6,096.76 + 3 (1466.35)	
28	0.6598	538.8	538.1	370.55	+ 0.0021	49.88	- 0.0011	0.6608	2-14 20:40	6,196.42 + 3 (1566.01)	
29	0.6569	538.8	539.0	370.66	+ 0.0025	49.53	- 0.0042	0.6552	2-15 16:02	6,236.33 + 3 (1605.92)	
30	0.6207	543.5	545.5	368.81	- 0.0044	50.26	+ 0.0023	0.6186	2-18 18:05	6,369.04 + 3 (1738.63)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均) * 2-17 14:13 に電費スクラム
 熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.10.4 NT-35 燃焼係数データ整理

No 50-2-4		50 MW 定格第 2 サイクル									
番 デ イ 号 タ	調整棒位置 からの余剰 反応度 (%Δk/k)	調整棒位置		原子炉入 口平均 Na 温度 (°C)	炉入口 Na 温度補正反 度 (%Δk/k)	原子炉 熱出力 (MW)	炉熱出力補 正反応度 (%Δk/k)	50MWt・370 °C規格化余 剰反応度 (%Δk/k)	測定日時	H-500からの 積算熱出力 (MWD)	備 考
		RR 1 (mm)	RR 2 (mm)								
31	0.6194	544.3	545.1	368.70	0.0018	49.92	- 0.0007	0.6139	1979-2-19 18:51	6,420.45 + 3 (1790.04)	
32	0.6083	546.3	546.6	368.52	- 0.0055	50.19	+ 0.0017	0.6045	2-20 19:27	6,471.47 + 3 (1841.06)	
33	0.6058	547.1	546.6	368.64	- 0.0051	49.83	- 0.0015	0.5991	2-21 16:01	6,514.11 + 3 (1883.70)	
34	0.5979	547.8	548.4	368.57	- 0.0053	49.89	- 0.0010	0.5916	2-22 15:30	6,562.73 + 3 (1932.32)	
35	0.5926	548.8	549.1	368.60	- 0.0052	49.71	- 0.0026	0.5848	2-23 15:40	6,614.66 + 3 (1984.25)	
36	0.5780	551.2	551.4	368.47	- 0.0057	49.64	- 0.0032	0.5691	2-5 17:27	6,715.07 + 3 (2084.66)	
37	0.5688	552.3	553.3	368.57	- 0.0053	49.95	- 0.0005	0.5630	2-26 9:50	6,748.80 + 3 (2118.38)	

原子炉入口 Na 温度補正係数 $-3.73 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / ^\circ C$ (15.25 MW 平均)
 熱出力 50 MW 時出力係数 $-9.02 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / MW$

表 5.11.1 50 MW 第 2 cycle 燃焼曲線 fitting (1)
(積算出力 0 ~ 600 MWD)

** LIST OF INPUT DATA ** (KAKUNIN SEYO !!)

I	X(I)	Y(I)
1	0.0	0.9226
2	44.13	0.9134
3	100.59	0.9031
4	152.16	0.8924
5	202.26	0.8813
6	242.23	0.8780
7	287.81	0.8708
8	415.57	0.8496
9	473.31	0.8367
10	534.30	0.8278
11	584.34	0.8188

** ANSWER **

$$F(X) = COF(K) * X^{(K-1)} + COF(K-1) * X^{(K-2)} + \dots + COF(2) * X + COF(1)$$

	COF(K)	微分係数
K = 1	COF(K) = 9.21637 D - 01	COF'(1) = - 1.84353 x 10 ⁻⁴
K = 2	COF(K) = - 1.84353 D - 04	COF'(2) = 3.11182 x 10 ⁻⁸
K = 3	COF(K) = 1.55591 D - 08	

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X) - Y)
0.0	0.92260	0.92164	- 9.62644 E - 04
44.13000	0.91340	0.91353	1.32138 E - 04
100.59000	0.90310	0.90325	1.50694 E - 04
152.16000	0.89240	0.89395	1.54647 E - 03
202.26000	0.88430	0.88499	6.86639 E - 04
242.23000	0.87800	0.87789	- 1.05539 E - 04
287.81000	0.87080	0.86987	- 9.32437 E - 04
415.57000	0.84960	0.84771	- 1.88713 E - 03
473.31000	0.83670	0.83787	1.16684 E - 03
534.30000	0.82780	0.82758	- 2.20621 E - 04
584.34000	0.81880	0.81923	4.25252 E - 04

** * OTSUKARE SAMA DESHITA !! ** *

$$F(0) = 0.9216 \% \Delta k \cdot k$$

$$F(600) = 0.8166 \% \Delta k \cdot k$$

0 ~ 600 MWD の平均燃焼係数

$$\frac{F(600) - F(0)}{600} < 50 \text{ -- } 8.75 \times 10^{-3} \% \Delta k \cdot k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\frac{dF}{dx}(0) = - 9.22 \times 10^{-3} \% \Delta k \cdot k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\frac{dF}{dx}(600) = - 8.28 \times 10^{-3} \% \Delta k \cdot k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

表 5.11.2 50 MW 第 2 cycle 燃焼曲線 fitting (2)
(積算出力 600 ~ 1701.5 MWD)

** LIST OF INPUT DATA ** (KAKUNIN SEYO !!)

I	X(I)	Y(I)
1	621.79	0.8146
2	671.27	0.8067
3	730.08	0.7979
4	770.99	0.7919
5	818.06	0.7837
6	868.08	0.7771
7	917.96	0.7693
8	962.90	0.7601
9	1014.67	0.7528
10	1069.92	0.7426
11	1110.91	0.7357
12	1212.39	0.7189
13	1258.90	0.7126
14	1303.59	0.7050
15	1347.79	0.6981
16	1466.35	0.6777
17	1566.01	0.6608
18	1605.92	0.6552

** ANSWER **

$$F(X) = COF(K) * X^{(K-1)} + COF(K-1) * X^{(K-2)} + \dots + COF(2) * X + COF(1)$$

K = 1	COF(K) = 9.17378 D - 01
K = 2	COF(K) = - 1.63158 D - 04

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X) - Y)
621.79000	0.81460	0.81593	1.32852 E - 03
671.27000	0.80670	0.80786	1.15549 E - 03
730.08000	0.79790	0.79826	3.60212 E - 04
770.99000	0.79190	0.79159	- 3.14614 E - 04
818.06000	0.78370	0.78391	2.05566 E - 04
868.08000	0.77710	0.77574	- 1.35556 E - 03
917.96000	0.76930	0.76761	- 1.69386 E - 03
962.90000	0.76040	0.76027	- 1.26126 E - 04
1014.67000	0.75280	0.75183	- 9.72820 E - 04
1069.92000	0.74260	0.74281	2.12753 E - 04
1110.91000	0.73570	0.73612	4.24873 E - 04
1212.39000	0.71890	0.71957	6.67656 E - 04
1258.90000	0.71260	0.71198	- 6.20790 E - 04
1303.59000	0.70500	0.70469	- 3.12285 E - 03
1347.79000	0.69810	0.69748	- 6.23851 E - 04
1466.35000	0.67770	0.67813	4.32176 E - 04
1566.01000	0.66080	0.66187	1.07191 E - 03
1605.92000	0.65520	0.65536	1.60281 E - 04

** * OTSUKARE SAMA DESHITA !! ** *

$F(600) = 0.8195 \text{ \%} \Delta k / k$
 $F(1701.5) = 0.6398 \text{ \%} \Delta k / k$ (→ 2月17日 14:13 電喪スクラム時)
 600 → 1701.5 MWD
 $-1.63158 \times 10^{-4} \times 50 = -8.16 \times 10^{-3} \text{ \%} \Delta k / k \cdot 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$
 fittingによる600 MWD時のずれ $0.8195 - 0.8166 = 0.0029 \text{ \%} \Delta k / k$

表 5.11.3 50 MW第2 cycle 燃焼曲線 fitting(3)
(積算出力 1701.5 → 2118.38 MWD)

*** LIST OF INPUT DATA *** (KAKUNIN SEYO !!)

I	X(I)	Y(I)
1	1738.63	0.6186
2	1790.04	0.6139
3	1841.06	0.6045
4	1883.70	0.5991
5	1932.32	0.5916
6	1984.25	0.5848
7	2084.66	0.5691
8	2118.38	0.5630

*** ANSWER ***

$$F(X) = COF(K) * X^{(K-1)} + COF(K-1) * X^{(K-2)} + \dots + COF(2) * X + COF(1)$$

K = 1 COF(K) = 8.76988 D - 01

K = 2 COF(K) = 1.47746 D - 04

X(I)	Y(I)	F (X(I))	(F(X) - Y)
1738.63000	0.61860	0.62011	1.51248 E - 03 ← 誤差最大
1790.04000	0.61390	0.61252	- 1.38312 E - 03
1841.06000	0.60450	0.60498	4.78859 E - 04
1883.70000	0.59910	0.59868	- 4.20994 E - 04
1932.32000	0.59160	0.59150	- 1.04426 E - 04
1984.25000	0.58480	0.58382	- 9.76855 E - 04
2084.66000	0.56910	0.56899	- 1.11975 E - 04
2118.38000	0.56300	0.56401	1.00603 E - 03

*** OTSUKARE SAMA DESHITA !! ***

$$F(1701.5) = 0.6256 \text{ \%} \Delta k / k$$

$$F(2118.38) = 0.5640 \text{ \%} \Delta k / k$$

1701.5 → 2118.38 MWD の燃焼係数

$$-1.47746 \times 10^{-4} \times 50 = -7.39 \times 10^{-3} \text{ \%} \Delta k / k \cdot 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

電喪スクラム前後の反応度ギャップ

$$0.6256 - 0.6398 = -0.0142 \text{ \%} \Delta k / k$$

[50 MW第2 cycle 全燃焼係数]

$$\frac{F(2118.38) - F(0) - 0.0029 + 0.0142}{2118.38} \times 50 = -8.17 \times 10^{-3} \text{ \%} \Delta k / k \cdot 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

表 5.12 50 MW定格第1・第2サイクル臨界記録

運転サイクル	臨界時刻	調整棒位置				一次系冷却材温度 () 内CRT				起動計数率		Na温度250°C時補正余剰反応度	備考
		RR 1	RR 2	入口A	出口A	入口B	出口B	ch. 1	ch. 2				
50 MW出力上昇試験末期	1978-8-20 8:05	470.0	375.9	250.9	252.2	251.0	251.5	251.5	1 × 10 ⁴ cps	1.2 × 10 ⁴ cps	1.6057	平均 2.0529 %Δk/k	
50 MW第1 cycle (起動)	1978-10-27 11:18	350.0	388.5	242.5 (238)	242.3 (238)	241.8 (237)	241.1 (237)	241.1 (237)	1.5 × 10 ⁴	1.5 × 10 ⁴	2.0618		
同 上	10-28 7:17	350.0	411.0	266.0 (261)	255.7 (261)	265.0 (260)	264.4 (259)	264.4 (259)	1 × 10 ⁴	-	2.0439		
50 MW第2 cycle (起動)	1979-1-12 11:20	350.0	474.8	263.8 (260)	264.0 (260)	263.3 (259)	263.5 (260)	263.5 (260)	1.0 × 10 ⁴	8 × 10 ³	1.7564		
75 MW第0 cycle (起動)	1979-4-11 14:58	350.0	385.0	255.5	257.0	255.3	255.5	255.5	9.5 × 10 ³	3.3 × 10 ³	2.0828	75 MW初期CR校正棒 果による値	

等温係数 $-3.77 \times 10^{-3} \% \Delta k / k \cdot ^\circ C$

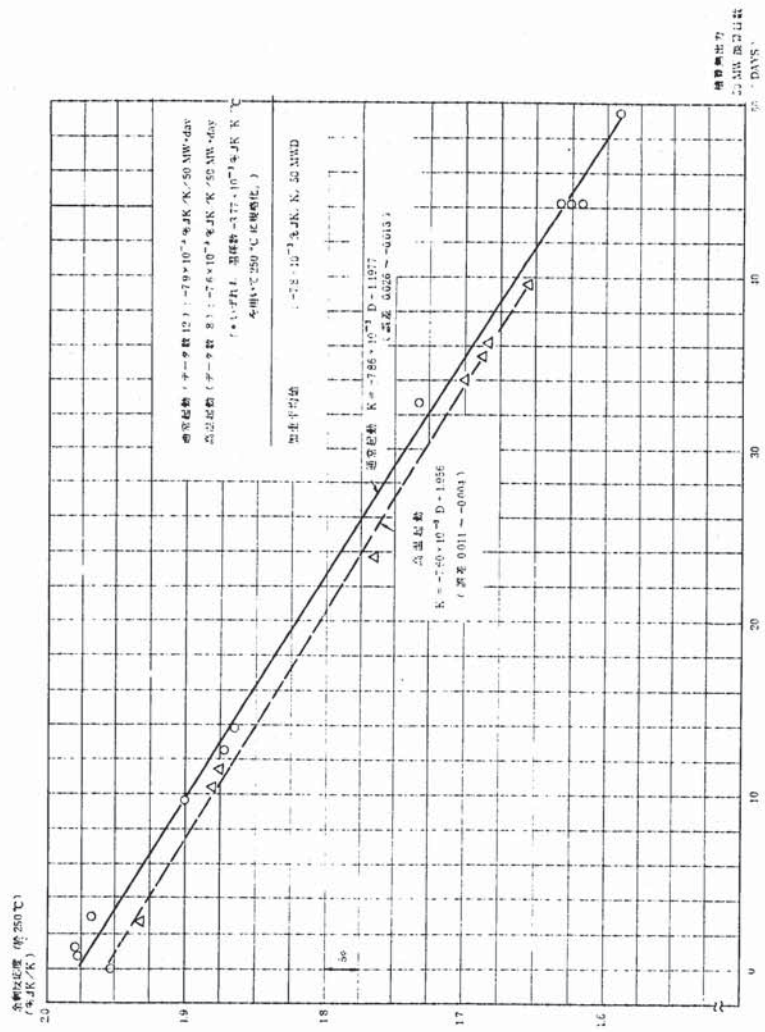


図. 5.1 臨界記録からの燃焼係数

50 MW 出力上昇試験 (1978年4月18日～8月20日)

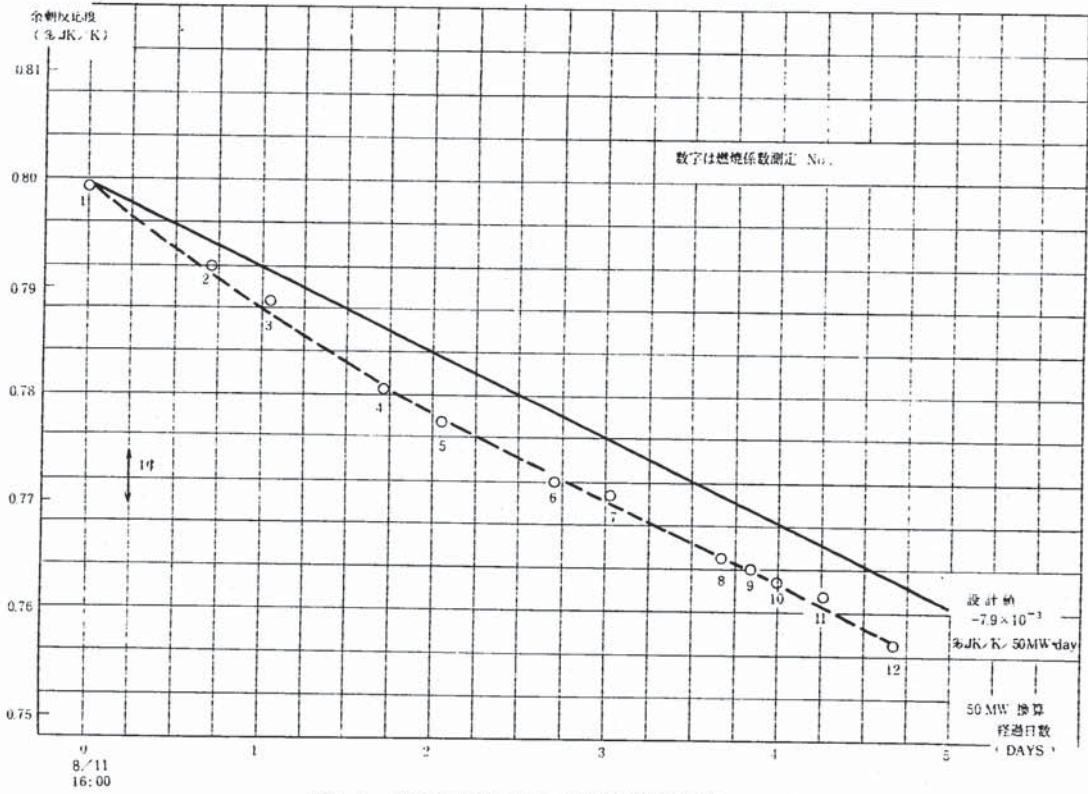


図 5.2 50 MW 連続 100 hr 運転時燃焼係数 (1978 年 8 月 11 日 ~ 16 日)

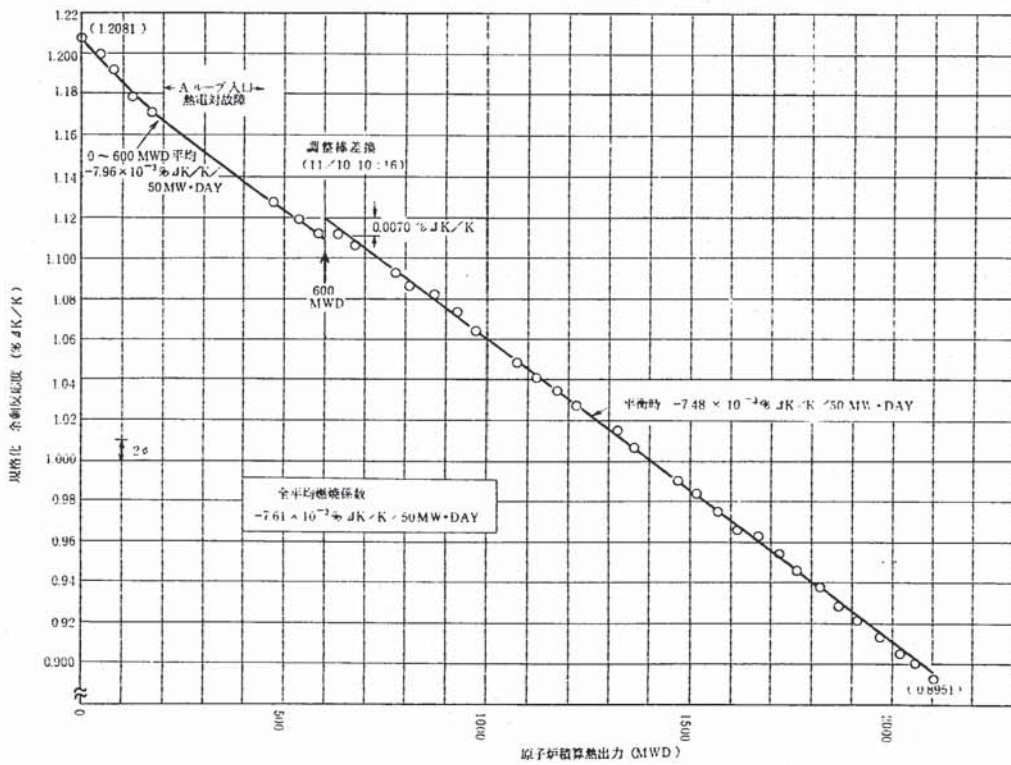


図 5.3 50 MW 第 1 サイクルにおける余剰反応度の変化 (1978 年 10 月 28 日 ~ 1978 年 12 月 10 日)

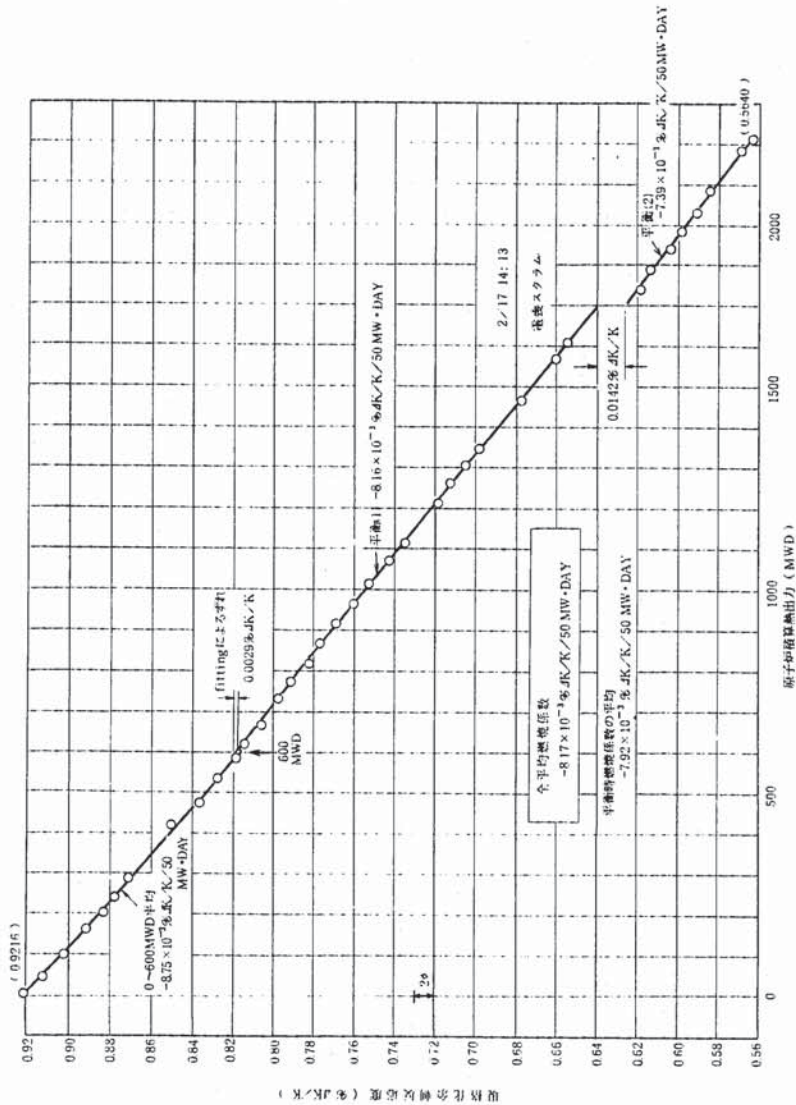


図 5.4 50 MW 第 2 サイクルにおける余剰反応度の変化
(1979年1月13日～1979年2月26日)

第 6 章 測定誤差の評価

本章では、燃焼係数測定における誤差を評価する。

本試験で用いた 2 種の測定法(起動時臨界点測定法と定格運転時測定法)は、その測定条件が大きく異なるので、別個に扱う事とする。

6.1 起動時臨界点測定法における誤差

本測定法は、第 3 章に詳述したように調整棒位置と 1 次冷却材温度を測定して積算出力に対する変化を追うものであり、調整棒位置からの余剰反応度・冷却材温度と積算熱出力に関わる誤差が検討対象となる。

6.1.1 余剰反応度の測定誤差

燃焼係数試験は、余剰反応度の相対変化を対象とするものであり、臨界法による余剰反応度には以下の項目の誤差がある。(参考--PNC SN 941 80-06 出力係数試験報告書)

- ① NT-21 制御棒校正試験における制御棒値測定の誤差
- ② 上記測定結果を 6 次多項式で fitting した際に生ずる誤差
- ③ NT-21 制御棒校正試験時(低出力試験)と、燃焼係数測定時(50 MW 出力上昇試験)の炉心配置の変化による効果(中性子源 5C2→7F1, バイロシレータ 5F2)
- ④ 50 MW 出力上昇試験期間中の制御棒の燃焼効果
- ⑤ 臨界点確認の誤差(含、調整棒読み取り誤差及び位置指示計の精度)
- ⑥ 制御棒実位置の再現性誤差
- ⑦ 測定時の N_p 239 の体系への蓄積量の差に伴う誤差
- ⑧ 測定直前の調整棒駆動機構の操作履歴による延長管熱膨張(熱収縮)に伴う誤差

ここで、統計的に生じる誤差は⑤～⑧であり、①～④は系統的に含まれる誤差である。また、250℃に余剰反応度を規格化するための誤差が統計的に入る。

- ⑨ 冷却材温度測定の誤差
- ⑩ 補正係数として用いた等温係数の誤差

以下に、誤差の各項目について定量的評価を行う。但し、前述の①～③については出力係数試験報告書で検討済であるので、ここでは結果だけを記す。

A. 系統誤差

- (1) NT-21 制御棒校正試験における制御棒値測定の誤差

調整棒1が±0.16%、調整棒2が±0.75%であり、合わせて相対誤差を±0.8%と見積る。

(2) 調整棒ストロークカーブを6次多項式でfittingした誤差

臨界法での調整棒位置は、350～500mmの引抜位置であり、この範囲での制御棒校正試験での測定値とfitting値の差の2乗平均は調整棒1が $\pm 10.7 \times 10^{-4} \% \Delta k/k$ 、調整棒2が $\pm 5.1 \times 10^{-4} \% \Delta k/k$ であり、調整棒1・2を合わせて $\pm 1.2 \times 10^{-3} \% \Delta k/k$ の誤差が見込まれる。50MW出力上昇試験期間中の燃焼による反応度降下量は0.39% $\Delta k/k$ であるので、相対誤差は、

$$\pm \frac{2 \times 1.2 \times 10^{-3}}{0.39} = \pm 0.6\% \text{である。}$$

(3) 炉心配置の変化による効果

調整棒値の相対変化は、-1.2%である。

(4) 調整棒の燃焼による効果

原子炉の運転とともに、調整棒中の吸収材B10は燃焼とともに減少していきそのまま調整棒値の減少となり、即ち燃焼係数の過大評価となる。50MW出力上昇試験期間中の調整棒の燃焼量(下端から20cmの平均)は0.6a/0であるので、調整棒値の減少も-0.6%と見積る。

B. 再現性誤差

(1) 臨界点確認の誤差

臨界点は、起動系指示チャートが $10^4 \sim 10^5$ cpsの範囲で、増減しない状態をもって確認するが、これには調整棒読み取り誤差及び位置指示計の誤差も含んで約±0.5mmの誤差があるものとする。この量は、350mm引抜付近では±0.0024% $\Delta k/k$ (=±0.5¢)に相当する。

(2) 制御棒実位置の再現性誤差

デラッチ後の臨界点再現性誤差については、1977年10月28～29日に試験が行われていて、最大で±0.0096% $\Delta k/k$ (=±1.9¢)と報告されている。(結果報告書Na52-74)この値を採用する。

(3) 測定時の N_p 239の体系への蓄積量の差に伴う誤差

付録で示すように高出力連続運転直後は、 N_p 239(半減期2.35日)が体系内に崩壊途中で残っていて、余剰反応度を引き下げる。この量は、50MW運転直後で0.014% $\Delta k/k$ (=2.8¢)と計算されている。しかし、本試験では高温起動(高出力運転直後)と通常起動(1日以上冷却あり)とを区別して整理してデータ整理を行っているので、±0.010% $\Delta k/k$ を誤差として見込む。

(4) 調整棒延長管の熱膨張(熱収縮)に伴う誤差

低出力試験時(1977年5月5日)に、制御棒延長管の熱収縮による臨界点の変化が報告されている。(結果報告書Na52-17)それによると臨界点が安定するまでには数hrかかり、

その変化量は約0.7mmである。この量は350mm引抜付近で±0.0034% $\Delta k/k$ (=±0.7¢)に相当する。

(5) 冷却材温度測定及び使用した等温係数による誤差

50MW出力上昇試験中の臨界点法における冷却材温度はオンライン計算機(H-500)の定時記録によっている。オンライン計算機の温度は1℃単位であり、4点(原子炉A・Bループ出入口)の平均値を採用しているのでその誤差は、

$$\pm \sqrt{\frac{\sum \delta_2}{n(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{4}{4 \times 3}} = \pm 0.6\% \text{と見做られる。}$$

また、PNC SN 941 79-119等温係数試験によると等温係数試験報告書によると等温係数測定結果はその測定日により、-3.77(±0.15)% $\Delta k/k$ ℃のバラツキがある。

また、250℃からの温度のバラツキは±20℃以内(通常起動)である。

従って、冷却材温度を250℃に規格化した際の誤差は、

$$\text{温度測定誤差から} \quad \pm (3.77 + 0.15) \times 10^{-3} \times 0.6 = \pm 0.0024 \% \Delta k/k$$

$$\text{等温係数誤差から} \quad \pm 0.15 \times 10^{-3} \times 20 = \pm 0.0030 \% \Delta k/k$$

合わせて、±0.0054% $\Delta k/k$ と見積られる。

以上から、余剰反応度の測定誤差は以下のようにまとめられる。

○ 系統的誤差

$$\pm 0.8 \pm 0.6 - 1.2 - 0.6 = \begin{matrix} -0.4 \\ -3.2 \end{matrix} \%$$

○ 再現性誤差

$$\pm \sqrt{(0.0024)^2 + (0.0096)^2 + (0.010)^2 + (0.0034)^2 + (0.0054)^2} \\ = \pm 0.0154 \% \Delta k/k (= \pm 3.1\text{¢})$$

これから、50MW出力上昇試験中の燃焼による反応度降下量が0.39% $\Delta k/k$ であるので相対誤差は±4.0%となる。

○ 誤差の合計

系統的誤差と再現性誤差を合わせると、余剰反応度降下量の測定誤差は+3.6～7.2%となる。

6.1.2 積算熱出力の測定誤差

50MW出力上昇試験の臨界記録測定法においては、積算熱出力として、オンライン計算機による定時熱出力(1時間毎)を直線近似積分して算出している。従って、以下の誤差項目が検討対象となる。

(1) オンライン計算機による熱出力計算値と、PT-11熱出力校正試験による熱出力との差

50MW出力上昇試験中の両者の差については、PNC SN 941 79-179熱出力校正試験報告書で検討していて、オンライン計算機の方が0～0.7MW高い。(これは計算式の差であ

り、50 MW第1 cycle以降は変更された。) 従って誤差として、-0.7%を見積る。

(2) 熱出力校正試験による熱出力と炉心発熱との差

上記報告書で検討していて、±0.2 MW以内と報告されている。従って±0.4%を見積る。

(3) 熱出力校正試験による熱出力の誤差

上記報告書から、絶対値に対する確率誤差は±2.6 MWである。従って±5.2%を見積る。

(4) 直線近似で積分した事による誤差

第4章で記したように、本試験で採用した方法による50 MW出力上昇試験期間中積算熱出力は2469.6 MWDであり、同じオンライン計算機で運転監視システムとして計算した積算熱出力(5分毎サンプリング)の最確値は2436.4 MWDである。

この差を直線近似積分による誤差と見積ると、±1.4%の誤差である。

以上から、(1)・(3)を系統誤差、(2)・(4)を統計誤差として扱って、積算出力測定に関わる誤差は以下のようにまとめられる。

・系統誤差

$$-0.7 \pm 5.2 = -4.5 \sim -5.9\%$$

・再現性誤差

$$\pm \sqrt{(0.4)^2 + (1.4)^2} = \pm 1.5\%$$

・誤差の合計

系統的誤差と再現性誤差を合わせて、積算熱出力測定の誤差は-6.0～-7.4%となる。

6.1.3 起動時臨界法による燃焼係数測定誤差

以上の検討結果から、燃焼係数としての誤差をまとめる。

但し、積算熱出力は分母にくるので正負の符号が逆転する。

・系統誤差

$$\begin{aligned} +0.4 - 5.9 &= -5.5 \\ -3.2 - 4.5 &= -7.7 \end{aligned} \text{多 (中央値} - 1.1 \text{多)}$$

・再現性誤差

$$\pm \sqrt{(4.0)^2 + (1.5)^2} = \pm 4.3\%$$

注) 余剰反応度の再現性誤差は±3.1%と見積られたが、図6.1に示すように測定データとfitting値の差は1点を除いて±3%以内に納まっていて、評価を裏付けた。

系統誤差と再現性誤差を合わせて、50 MW出力上昇試験の臨界記録による燃焼係数の測定誤差は、-9.8～-12.0%である。

6.2 定格運転時測定法における誤差

本測定法は、調整棒位置と熱出力・炉入口Na温度を測定して各々50 MW・370℃に規格化した余剰反応度を算出し、その積算熱出力に対する変化を追うものであり、調整棒位置からの余剰反応度・原子炉熱出力・炉入口Na温度と積算熱出力に関わる誤差が検討対象となる。また、対象測定時は50 MW定格第1サイクルと第2 cycleである。

6.2.1 余剰反応度の測定誤差

定格運転時における余剰反応度降下量測定の誤差項目としては、以下のものがある。

まず、調整棒位置からの余剰反応度変化量として、

- ① NT-21 制御棒校正試験における制御棒値測定誤差
- ② 上記測定結果を6次多項式でfittingした際に生ずる誤差
- ③ NT-21 制御棒校正試験時(低出力試験)と、燃焼係数測定時(50 MW定格第1 cycle・第2 cycle)の炉心配置の変化による効果
 - 50 MW定格第1 cycle
 - 中性子源 5 C 2 → 7 F 1, 5 A 5 径ブランケット → 炉心燃料
 - 50 MW定格第2 cycle
 - 上記に加えて、3 A 3 調整棒 TTJC 01 → TTJC 03
- * その他、炉心燃料どうし径ブランケットどうしの交換が数体行われているが、その効果は微小と思われるので無視する。
- ④ NT-21 制御棒校正試験時と、燃焼係数測定時の調整棒引抜距離の差による干渉効果の変化
- ⑤ 試験時の制御棒の燃焼効果
- ⑥ 調整棒位置の読み取り誤差及び位置指示計の精度

ここで、統計的に生じる誤差は⑥のみであり、①～⑤は全て系統的に測定値に含まれるものである。

又、本試験では測定余剰反応度に対して条件を規格化するために、以下の2項目の補正を行っている。この補正に入る誤差があり、いずれも統計処理項目である。

- ⑦ 入口Na温度を370℃に規格化するための入口Na温度測定値と、使用した入口Na温度係数の誤差
 - ⑧ 原子炉熱出力を50 MWに規格化するための熱出力測定値と、使用した出力係数の誤差
- 以下に、各項目の定量的検討を行う。

A. 系統誤差

- (1) NT-21 制御棒校正試験における制御棒値測定誤差

相対誤差を±0.8%と見積る。

(2) 調整棒ストロークカーブを6次多項式でfittingした誤差

本試験では、調整引抜距離は約470～550mmであり、その範囲における調整棒1・2の測定値とfitting値の差の2乗平均は $\pm 1.6 \times 10^{-3} \% \Delta k/k$ である。(出力係数報告書参照) 50定格サイクルでの反応度降下量は、約0.34% $\Delta k/k$ であるので、相対誤差は、

$$\pm \frac{2 \times 1.6 \times 10^{-3}}{0.34} = \pm 0.9\% \text{となる。}$$

(3) 炉心配置の変化による効果

- 中性子源が5C2→7F1に移動した効果 -1.2%
- 炉心燃料本数が70→71体が増えた効果

ZJ 201 75-16(2)第2期出力安全解析(II)分冊2によると炉心拡大による制御棒価値の変動評価値として、調整棒2本挿入時に67本炉心から82本炉心に拡大したとき、3%の価値の減少があるとされている。従って、70→71本の変動は $(-3) \times \frac{71-70}{82-67} = -0.2\%$ と見積る。

○ 調整棒の取替による効果

50MW定格第2 cycle開始前に、3A3の調整棒を取り換えている。製造誤差によるB10含有量の個性として、±0.1%を見込む。

(4) 干渉効果の変化による誤差

NT-21制御棒校正試験時は、調整棒2本の位置は均等引抜の場合で約350mmであるのに対して、燃焼係数試験時は50MW第1 cycle末期で約500mm、50MW第2 cycle末期で約550mmであり、各々150mm、200mmの差がある。

この引き上げ長さの増大は、制御棒校正試験時に比して正の干渉効果を減少させている、即ち、制御棒価値が相対的に小さくなっていると思われる。

干渉効果のこの差は、実験的には求められないので計算値を用いる。SN 941 79-236「常陽」性能試験解析報告書によると、3次元Hex-Z計算で調整棒2本全挿入時の干渉効果は+4.3%、調整棒2本350mm挿入時の干渉効果は+1.7%(但し、coarse meshであることの補正はしていない値)であると報告される。この量から内挿して、干渉効果の変化量は、

$$\circ 50 \text{ MW 定格第 1 cycle } \quad \frac{150}{350} \times (1.7 - 4.3) = -1.1\%$$

$$\circ 50 \text{ MW 定格第 2 cycle } \quad \frac{200}{350} \times (1.7 - 4.3) = -1.5\% \text{と見積られる。}$$

これは、そのまま燃焼係数の過大評価の定置評価となる。

(5) 調整棒の燃焼による効果

表6.1に各運転サイクル末期の各ノード毎(10cm幅)の各調整棒の燃焼量を示す、調整棒の引抜距離は約500mmであるので、調整棒下端から約200mm(node No.1と2)のB10部分の燃焼量をそのまま、調整棒価値の減少量と見なす。

- 50 MW第1 cycle -1.1%
- 50 MW第2 cycle -1.0%

B. 再現性誤差

(1) 調整棒位置の読み取り誤差及び位置指示計の精度

技メモ(51)-170から±0.2mmである。本試験で使用している引抜長さ約500mm付近ではこの量は±0.0009% $\Delta k/k$ に相当する。

(2) 入口Na温度規格化による誤差

使用している入口Na温度係数の誤差は、15MW測定値と25MW測定値との差をとり、 $(3.73 \pm 0.13) \times 10^{-3} \% \Delta k/k/^{\circ}\text{C}$ と見積る。又、入口Na温度測定の誤差は、ここでは測定における再現性誤差であり、SN 941 79-179熱出力校正試験報告書から±0.5°Cである。又、入口Na温度の370°Cからのずれは3°C以内である。

従って、入口Na温度規格化による誤差は、

$$\pm (3.73 + 0.13) \times 10^{-3} \times 0.5 = \pm 0.0019 \% \Delta k/k \text{と}$$

$$\pm 0.13 \times 10^{-3} \times 3 = \pm 0.0004 \% \Delta k/k \text{とを分けて}$$

$$\pm \sqrt{(0.0017)^2 + (0.0004)^2} = \pm 0.0020 \% \Delta k/k \text{となる。}$$

(3) 熱出力規格化による誤差

原子炉熱出力を50MWに規格化するために使用した出力係数は $-9.02 (\pm 0.17) \times 10^{-3} \% \Delta k/k/^{\circ}\text{C}/\text{MW}$ である。但し、()内は再現性誤差である。(PNC SN 941 80-06出力係数試験報告書による。)

熱出力測定の誤差は、ここでは測定における再現性誤差であり、熱出力校正試験により±0.33MWと報告されている。又、測定時の50MW定格からの熱出力のずれは±2.5MW以内である。

従って、熱出力規格化による誤差は、

$$\pm (9.02 + 0.17) \times 10^{-3} \times 0.33 = \pm 0.0030 \% \Delta k/k \text{と}$$

$$\pm 0.17 \times 10^{-3} \times 2.5 = \pm 0.0004 \% \Delta k/k \text{を合わせて、}$$

$$\pm \sqrt{(0.0030)^2 + (0.0004)^2} = \pm 0.0030 \% \Delta k/k \text{となる。}$$

以上から、余剰反応度の測定誤差は以下のようにまとめられる。

○ 系統的誤差

$$50 \text{ MW 第 1 cycle について、 } \pm 0.8 \pm 0.9 (-1.2 - 0.2) - 1.1 - 1.1 = -5.3\%$$

$$50 \text{ MW 第 2 cycle について, } \pm 0.8 \pm 0.9 \begin{pmatrix} -1.2 \\ +0.2 \\ +0.1 \end{pmatrix} - 1.5 \sim -1.0 = \begin{matrix} -2.1 \\ -5.7 \end{matrix} \%$$

○再現性誤差

$$\pm \sqrt{(0.0009)^2 + (0.0020)^2 + (0.0030)^2} = \pm 3.7 \times 10^{-3} \% \text{ k/k } (\pm 0.7 \text{ } \mu\text{k})$$

これら 50 MW 定格サイクルの燃焼による反応度降下率は約 0.34 %/k/k であるので、相対誤差は ± 1.1 % となる。

○誤差の合計

系統誤差と再現性誤差を合わせると、余剰反応度降下率の測定誤差は、50 MW 第 1 cycle で -0.8 ~ -6.4 %, 50 MW 第 2 cycle で -1.0 ~ -6.8 % となる。

6.2.2 積算熱出力の測定誤差

50 MW 定格第 1 cycle・第 2 cycle の定格運転時測定法においては、積算熱出力としてオンライン計算機による 5 分毎サンプリングの値を用いている。従って、以下の誤差項目が検討対象となる。

(1) オンライン計算機による熱出力計算値と、PT-11 熱出力校正試験による熱出力との差
表 6.2 に両者の差 (50 MW 第 1 cycle 35 点, 50 MW 第 2 cycle 37 点) を統計処理した結果を示す。ここで、オンライン計算機による値としては、熱出力測定中に 3 回 OUTPUT した平均をとっている。

結果をみると、50 MW 定格第 1 cycle においてはオンライン計算機の方が 0.07 MW 高く、第 2 cycle においては 0.23 MW 低い。従って、系統誤差として第 1 cycle に -0.1 %, 第 2 cycle に +0.5 % を見積る。

(2) 熱出力校正試験による熱出力と炉心発熱との差

熱出力校正試験報告書で検討していて、± 0.2 MW 以内と報告されている。従って ± 0.4 % と見積る。

(3) 熱出力校正試験による熱出力の誤差

上記報告書から、絶対値に対する確率誤差は ± 2.6 MW である。従って ± 5.2 % と見積る。

(4) 5 分毎サンプリングである事による誤差

殆どないと考えてよい。

ここで(1)・(3)を系統誤差、(2)・(4)を統計誤差として扱う。

以上から(1)・(3)を系統誤差、(2)・(4)を統計誤差として扱って、積算熱出力測定に関わる誤差は以下のようにまとめられる。

○系統的誤差

$$50 \text{ MW 第 1 cycle } \begin{matrix} -0.1 \\ +5.2 \end{matrix} = \begin{matrix} +5.1 \\ -5.3 \end{matrix} \%$$

$$50 \text{ MW 第 2 cycle } \begin{matrix} +0.5 \\ +5.2 \end{matrix} = \begin{matrix} +5.7 \\ -4.7 \end{matrix} \%$$

○再現性誤差

$$50 \text{ MW 第 1・第 2 cycle } \pm 0.4 \%$$

○誤差の合計

系統的誤差と再現性誤差を合わせて積算熱出力測定誤差は、50 MW 第 1 cycle が +5.5 ~ 5.7 %, 50 MW 第 2 cycle が +6.1 ~ 5.1 % である。

6.2.3 定格運転時測定法による燃焼係数測定誤差

以上の検討結果から、燃焼係数としての誤差をまとめる。但し、積算熱出力は分母にくるので正負の符号が逆転する。

(1) 50 MW 定格第 1 cycle

○系統誤差

$$\begin{matrix} -1.9 + 5.3 \\ -5.3 - 5.1 \end{matrix} = \begin{matrix} +3.4 \\ -10.4 \end{matrix} \% \text{ (中央値 - 3.5 \%)}$$

○再現性誤差

$$\pm \sqrt{(1.1)^2 + (0.4)^2} = \pm 1.2 \%$$

注) 余剰反応度の再現性誤差は、± 0.7 % と見積られたが、表 5.9.1 ~ 2 及び第 5.11.1 ~ 3 に示すように測定データと fitting 値との差は、50 MW 第 1 cycle が 0.65 % 以内、50 MW 第 2 cycle が 0.38 % 以内に納まっていて評価を裏付けた。

系統誤差と再現性誤差を合わせて、50 MW 第 1 cycle の定格運転時の燃焼係数測定誤差は +4.6 ~ -11.6 % である。

(2) 50 MW 定格第 2 cycle

○系統誤差

$$\begin{matrix} -2.1 + 4.7 \\ -5.7 - 5.7 \end{matrix} = \begin{matrix} +2.6 \\ -11.4 \end{matrix} \% \text{ (中央値 - 4.4 \%)}$$

○再現性誤差

$$\pm \sqrt{(1.1)^2 + (0.4)^2} = \pm 1.2 \%$$

系統誤差と再現性誤差を合わせて、50 MW 定格第 2 cycle の定格運転時の燃焼係数測定誤差は、+3.8 ~ -12.6 % である。

6.3 燃焼係数測定における誤差のまとめ

ここでは、今までの検討をもとに燃焼係数に対する誤差をまとめる。表 6.3 に燃焼係数測定誤差のまとめを、余剰反応度測定及び積算熱出力に分類して、又、系統誤差と再現性誤差に分類し

て示す。以下に、誤差評価の要点を記す。

- (1) 燃焼係数の絶対値に対する誤差は、燃焼係数Ⅰに対して+4.2～-12.1%、燃焼係数Ⅱに対して+6.1～-12.1%となった。これから、本試験による燃焼係数の測定値は、

$$\text{燃焼係数Ⅰ} = -7.9 \begin{pmatrix} +1.0 \\ -0.3 \end{pmatrix} \times 10^{-3} \% \Delta k/k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

$$\text{燃焼係数Ⅱ} = -7.7 \begin{pmatrix} +0.9 \\ -0.5 \end{pmatrix} \times 10^{-3} \% \Delta k/k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

となった。(表5.1参照)

- (2) 本試験における燃焼係数最確値は、炉設計と比較する場合は、やや絶対値が大きめ(燃焼係数Ⅰが4%、燃焼係数Ⅱが3%)であると推定される。これは主として、調整棒値の過大評価(炉心配置の変化・干渉効果の変化・B10の燃焼等の効果)によるものである。

但し、運転計画立案等プラントとして燃焼係数を使用する場合には、制御棒校正試験によるストロークカーブをそのまま用いるので、最確値をそのまま使用した方がよい。

- (3) 起動時臨界法による測定では、再現性誤差が±4.3%と大きい。これは、その大部分が臨界点による余剰反応度算定誤差(±3.1%)によるものである。

- (4) 定格出力で連続運転している時の反応度降下曲線は、非常にデータのバラツキが少ない(最大0.7%以下)。これは、このような静的状態での各測定(調整棒位置・原子炉熱出力・原子炉入口Na温度)の再現性が非常に良い事を示す。0.7%は、熱出力に換算すると390kW(50MW時)に相当する。

- (5) しかし、原子炉停止前後の燃焼係数測定値には、約5%の大きなバラツキがある。これは、定格運転法の再現性誤差として見積った±1.2%を大きく超える量であり、今後の検討課題として残された。表6.4に各測定時における燃焼係数のバラツキと見積られた誤差を比較して示す。

表6.1 各運転サイクル末期の調整棒燃焼量(運転監視コード記録計算による。)

50MW炉心試験機本機	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCO1	MAXIMUM BURN UP(O/O)	AVERAGE BURN UP(O/O)
LOC=3A3	ACCUMULATED POWER(SSD)=0.0		1.021E-00	3.221E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	7.315E-01	4.765E-01	2.927E-01	1.130E-01
	NODE=6	NODE=7		
	5.819E-02			
	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCO2		
LOC=3D3	ACCUMULATED POWER(MSD)=0.0		9.071E-01	2.631E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	6.700E-01	4.054E-01	1.869E-01	8.260E-02
	NODE=6	NODE=7		
	3.660E-02			
	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCU1		
50MW炉心試験機本機	TYPE OF LOC-R. ROD	MAXIMUM BURN UP(O/O)	AVERAGE BURN UP(O/O)	
LOC=3A3	ACCUMULATED POWER(MSD)=0.0		1.622E-00	5.579E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	1.297E-00	8.666E-01	4.733E-01	2.128E-01
	NODE=6	NODE=7		
	9.166E-02			
	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCO2		
LOC=3D3	ACCUMULATED POWER(SSD)=0.0		1.713E-00	5.002E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	1.103E-00	7.981E-01	3.022E-01	1.609E-01
	NODE=6	NODE=7		
	7.028E-02			
	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCO3		
50MW炉心試験機本機	TYPE OF LOC-R. ROD	MAXIMUM BURN UP(O/O)	AVERAGE BURN UP(O/O)	
LOC=3A3	ACCUMULATED POWER(MSD)=0.0		7.393E-01	2.414E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	5.218E-01	3.043E-01	1.663E-01	1.022E-01
	NODE=6	NODE=7		
	7.347E-02			
	TYPE OF LOC-R. ROD	BUNDLE NAME=TLJCO2		
LOC=3D3	ACCUMULATED POWER(MSD)=0.0		2.429E-00	7.003E-01
	BURN UP OF EACH NODE (O/O) =			
	NODE=1	NODE=3	NODE=4	NODE=5
	1.1709E-00	1.063E-00	4.829E-01	2.126E-01
	NODE=6	NODE=7		
	9.533E-02			

表 6.2 50 MW定格第 1 cycle・第 2 cycle における PT-11 熱出力校正による熱出力と H-500 による熱出力 (3 回平均) の差

$\frac{[H-500 (MW)] - [PT-11 (MW)]}{(50 MW 定格第 1 cycle) \quad (50 MW 定格第 2 cycle)}$	
DATA	DATA
0.02	0.34
-0.09	0.13
0.24	0.21
-0.21	0.07
-0.17	-0.32
-0.19	-0.12
-0.01	0.16
-0.26	0.11
0.12	-0.39
0.24	-0.18
0.12	-0.03
-0.09	-0.33
-0.19	-0.32
0.18	-0.2
0.12	-0.63
0.39	-0.38
0.24	-0.53
0.22	-0.48
-0.08	-0.05
-0.13	-0.99
-0.25	-0.42
0.32	0.13
0.44	-0.31
-0.15	-0.13
0.34	-0.49
-0.04	-0.03
-0.12	-0.2
0	-0.03
-0.04	0.05
0.15	-0.32
0.18	-0.26
-0.2	0.13
0.37	-0.54
0.31	-0.31
0.07	-0.68
	-0.53
	-0.53
データ数 N 35	N 37
平均 \bar{X}	\bar{X}
0.0691428571	-0.227027027
標準偏差 Δ	Δ
0.2044558262	0.2929909447
分散 Δ^2	Δ^2
0.0406078367	0.0835235939

表 6.3 50 MW性能試験における燃焼係数測定誤差のまとめ (1978年4月~1979年2月測定) (単位:%)

項目	測定時期	測定法	余剰反応度測定による誤差		積算出力測定による誤差			燃焼係数の測定誤差		
			系統誤差	中央値	再現性誤差	系統誤差	中央値	再現性誤差	系統誤差	中央値
50 MW出力上昇試験	起動時臨界法		-0.4 -3.2	-1.8	±4.0	+5.9 -4.5	+0.7	±1.5	+9.8 -12.0	-1.1
50 MW定格第 1 cycle	定格運転法		-1.9 -5.3	3.6	±1.1	+5.3 -5.1	+0.1	±0.4	+4.6 -11.6	-3.5
50 MW定格第 2 cycle	定格運転法		-2.1 -5.7	-3.9	±1.1	+4.7 -5.7	-0.5	±0.4	+3.8 -12.6	-4.4
50 MW上昇試験・第 1 cycle・第 2 cycleの平均	燃焼係数 II に対する誤差								+6.1 -12.1	-3.0
50 MW定格第 1 cycle・第 2 cycleの平均	燃焼係数 I に対する誤差								+4.2 -12.1	-4.0

表 6.4 各測定時における燃焼係数のバラツキと見積られた誤差の比較

項目 測定時期	燃 焼 係 数 I				燃 焼 係 数 II			
	測定値 (%Δk/k / 50 MW・DAY)	測定最確値 からの偏差	見積られた誤差		測定値 (%Δk/k / 50 MW・DAY)	測定最確値 からの偏差	見積られた誤差	
			系統誤差 中央値	再現性誤差			系統誤差 中央値	再現性誤差
50 MW出力上昇試験					-7.8×10^{-3}	+ 0.9 %	- 1.1 %	± 4.3 %
50 MW定格第 1 cycle	-7.61×10^{-3}	- 3.5 %	- 3.5 %	± 1.2 %	-7.48×10^{-3}	- 3.3 %	- 3.5 %	± 1.2 %
50 MW定格第 2 cycle	-8.17×10^{-3}	+ 3.5 %	- 4.4 %	± 1.2 %	-7.92×10^{-3}	+ 2.4 %	- 4.4 %	± 1.2 %

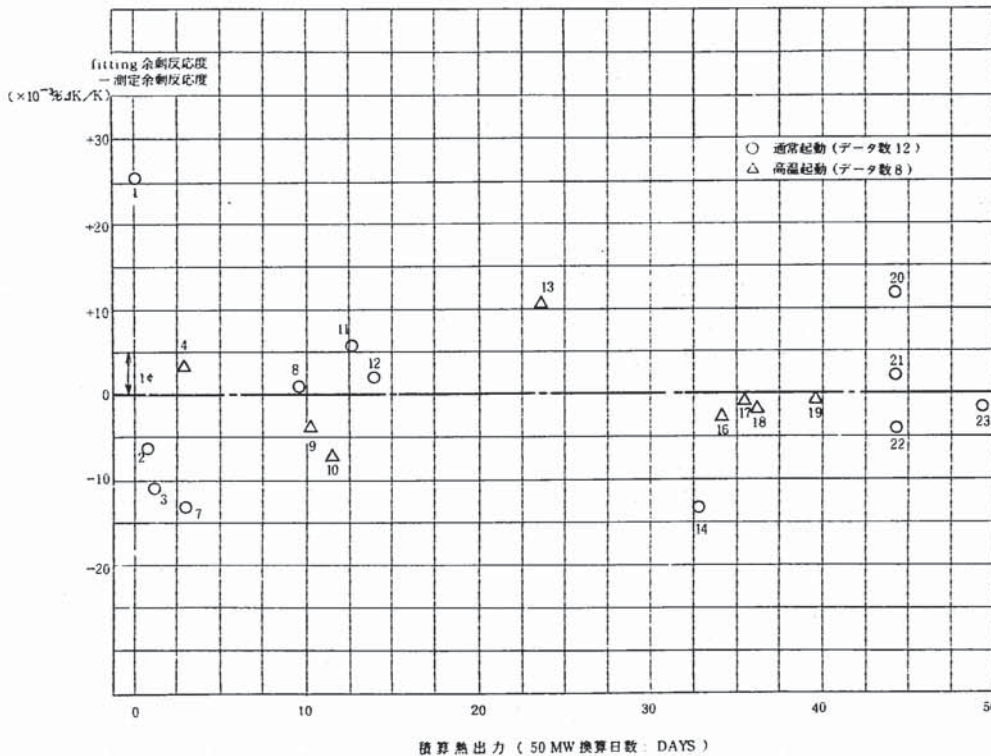


図 6.1 50 MW 出力上昇試験臨界記録による原子炉余剰反応度の fitting 値と測定値の差 (1978 年 4 月 ~ 8 月測定)

第7章 結 言

NT-35 燃焼係数試験は、1978～1979年の50 MW出力上昇試験・50 MW定格第1・第2サイクルの3期にわたって実施され、以下の諸点が確認された。

1. 燃焼係数は負であり、測定之最確値として以下の値を得た。

燃焼係数 I (Np 239 の効果を含む)

$$-7.9 \left(\begin{array}{c} +1.0 \\ -0.3 \end{array} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

燃焼係数 II (Np 239 の効果を含まない)

$$-7.7 \left(\begin{array}{c} +0.9 \\ -0.5 \end{array} \right) \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$$

2. 燃焼による反応度効果曲線は、50 MW定格到達直後から約1週間にわたって下に凸のカーブを描き、その後直線となる。これは、Np 239 (半減期 2.35 日)の蓄積のためであり、その反応度降下量は約-1～-2¢と測定された。従って、50 MW 100 時間連続運転程度の測定時間では燃焼係数を算出する事はできない。
3. 燃焼係数の測定誤差は、絶対値に対して+6～-12%の間と見積られる。誤差幅が負の方向に偏っているのは、主として、使用した制御棒値が過大評価であったと推定されるためである。従って、運転計画立案等プラントとして燃焼係数を用いる場合は、測定最確値をそのまま用いた方がよいが、炉心設計等の計算値と実測値を比較する場合には、最確値より3～4%小さい値を実測値としなければならない。
4. 起動時臨界法による測定では、再現性誤差が±4.3%と大きい。これは、その大部分が臨界点による余剰反応度算定誤差(±3.1¢)によるものである。
5. 定格出力で連続運転している時の反応度降下曲線は、非常にデータのバラツキが少ない(最大0.7¢以下)。これは、このような静的状態での各測定(調整棒位置・原子炉熱出力・原子炉入口Na温度)の再現性が非常に良い事を示す。0.7¢は、熱出力に換算すると390 kW(50 MW時)に相当する。

しかし、原子炉停止前後の燃焼係数測定値には、約5%の大きなバラツキがある。これは、定格運転法の再現性誤差として見積った±1.2%を大きく超える量であり、今後の検討課題として残された。

最後に、本試験実施に際して、データ採取に御協力を戴いた原子炉一課の皆様にご感謝の意を表します。

(付録1)

設計計算による燃焼係数

1. ま え が き

本章では、設計計算による燃焼係数を示す。設計書（常陽 3711 核設計III）では、燃焼係数として $-7.9 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ とあるのみで、 $N_p 239$ の効果等について触れていないので、設計定数（NNS - 5）及び設計コード（STANBRE）を用いて、技術課で新たに計算し直したものである。

結果として、燃焼係数 I は $-7.91 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ 、燃焼係数 II は $-7.60 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / 50 \text{ MW} \cdot \text{DAY}$ となり、 $N_p 239$ の蓄積による反応度降下量は -2.8 \mu となった。

2. 計 算 法

◦ 計算体系	2次元RZ - half core
◦ 使用コード	STANBRE
◦ 使用定数	NNS -- 5 & JFS 25 Gr
◦ 解析対象	70 体炉心・20 °C・制御棒6体全引抜（付図 1.4 参照）
◦ 原子数密度	技術課メモ -- (53) -- 5 による

3. 計 算 結 果

a. 未燃焼炉心から Start して、50 MW 45 日間燃焼させた時の反応度降下を付表 1.1 に示す。最初の 10 日間は 2 日ステップ、それ以後は 10 日ステップである。

① 運転開始から約 10 日までの間は、 $N_p 239$ の生成のため、燃焼曲線は下に凸のカーブとなる。

0 → 2 日め $-10.75 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / \text{day}$

↓
平衡状態 $-7.60 \times 10^{-3} \quad "$
(約 10 日以後)

② 50 MW 1 cycle 運転時燃焼係数
 $-7.91 \times 10^{-3} \% \Delta k / k / \text{day}$

設計は -7.93×10^{-3} であるので、今回の計算は設計計算と同一であると言ってよい。

但し、この値は N_p 239の生成による降下分こみの値である。

N_p 239の生成による反応度降下量

$$\begin{aligned} & (7.91 - 7.60) \times 10^{-3} \times 45 \\ & = 1.395 \times 10^{-2} \% \Delta k / k \\ & = 2.79 \downarrow \end{aligned}$$

㉓ 50 MW 10日間を2日ステップで計算した反応度降下と、10日ステップで計算した値は同一である。

㉔ 50 MW 45日間を10日ステップで計算した場合の反応度降下は $-0.3560 \% \Delta k / k$ 、45日ステップで計算した場合は $-0.3544 \% \Delta k / k$ であり、0.5%の差しかなかった。

b. 50 MW 45日1ステップのケースについて、JAERI FAST SETの25Gr定数で計算を行い、NNS-5の場合と比較した。

45日間の反応度降下

NNS-5 $-0.3544 \% \Delta k / k$

JFS 25Gr $-0.3574 \% \Delta k / k$

$$\frac{(JFS)}{(NNS-5)} = 1.008$$

すなわち、JFS 25GrとNNS-5の間に燃焼計算における有意な差はないと言える。未燃焼炉心の実効増倍率を比較する。

NNS-5 = 1.0177

JFS 25 = 1.0210

JFSの方が0.3%大きい値を示す。

c. 100 hr 連続運転時の実測データと解析結果を比較したものを付図1.2に示す。付図1.3に、100 hr 運転時の運転履歴を示す。試験においては、100 hr 運転開始前に約4日の高出力運転期間とそれに続く約3日の休止期間があった。従って、100 hr 運転開始時には既に若干の N_p 239の生成があったと推定される。以下に、100 hr 運転開始時に既に生成されていた N_p 239による反応度降下量を見積る。

・ 50 MW 4日運転による反応度降下 (N_p のみ)

$$-0.0402 + 7.60 \times 10^{-3} \times 4 = -9.3 \times 10^{-3} \% \Delta k / k$$

・ 3日の休止による回復

$$\begin{aligned} & -9.8 \times 10^{-3} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2.35}} \\ & = -4.05 \times 10^{-3} \% \Delta k / k \\ & = -0.8 \downarrow \end{aligned}$$

すなわち、1ヶ弱分の N_p 239が運転開始時にすでに生成していたことになる。

これは、付図1.2からも読み取ることができる。

付表1.1 設計計算による50 MW定格運転時の反応度降下

(2次元Rz・half core・制御棒なし・未燃焼炉心start)

(単位 $\% \Delta k / k$)

燃 焼 時 間	NNS-5	JFS-25	$\frac{JFS-NNS}{NNS} \times 100 (\%)$
(days)			
1	-	-	-
2	-0.0215	-0.0237	+10.2
4	-0.0402	-0.0402	0.0
6	-0.0573	-0.0574	+0.2
8	-0.0736	-0.0738	+0.3
10	-0.0894	-0.0896	+0.2
20	-0.1659		
30	-0.2419		
40	-0.3180		
*1(45)	(-0.3560)		
50	-0.3940		
0→45 (1ステップ)	-0.3544		+0.8

*1) 40日と50日の値から内挿。

付表1.2 燃焼計算結果 (Lamda)

Case. 01 50 MW 2日ステップ
total 10日間燃焼

time step	NNS-5	JFS-25Gr
0 days	1.017654	1.020952
2	1.017435	1.020710
4	1.017245	1.020542
6	1.017071	1.020366
8	1.016905	1.020199
10	1.016744	1.020037

Case. 02 50 MW 10日ステップ
total 50日間燃焼

time step	NNS - 5
0 days	1.017654
10	1.016745
20	1.015966
30	1.015192
40	1.014418
50	1.013644

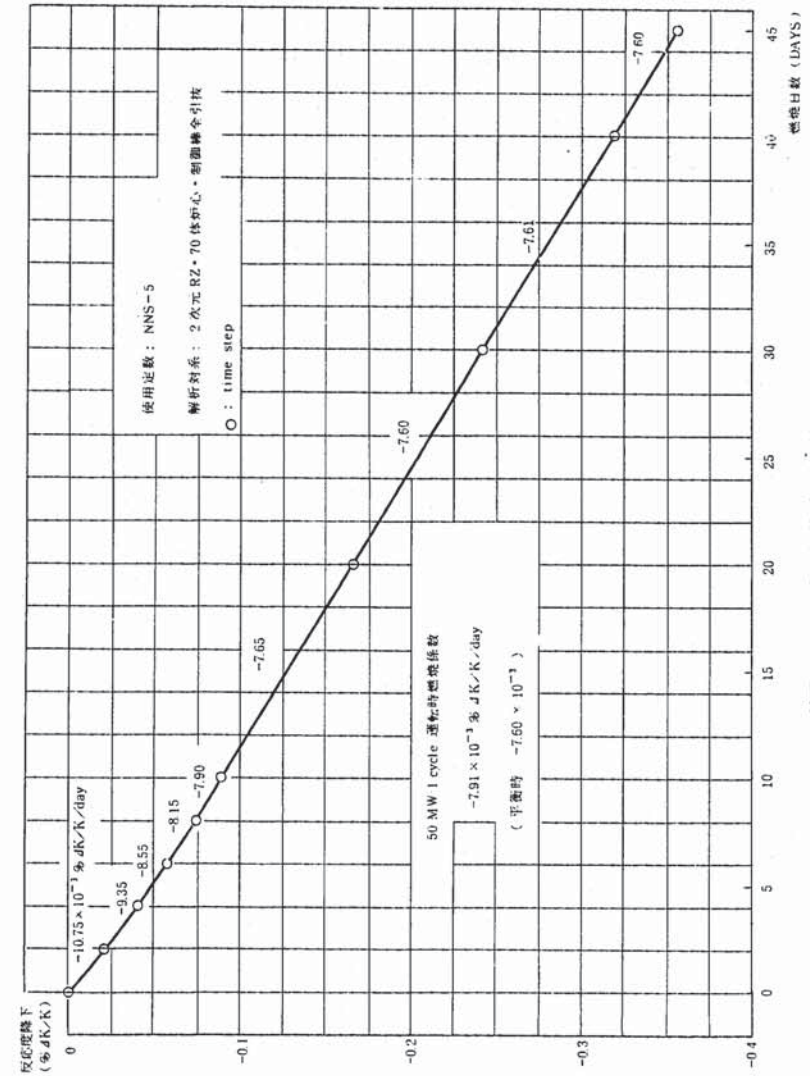
Case. 03 50 MW 45日1ステップ

time step	NNS - 5	JFS - 25Gr
0 days	1.017641	1.020952
45	1.014047	1.017303

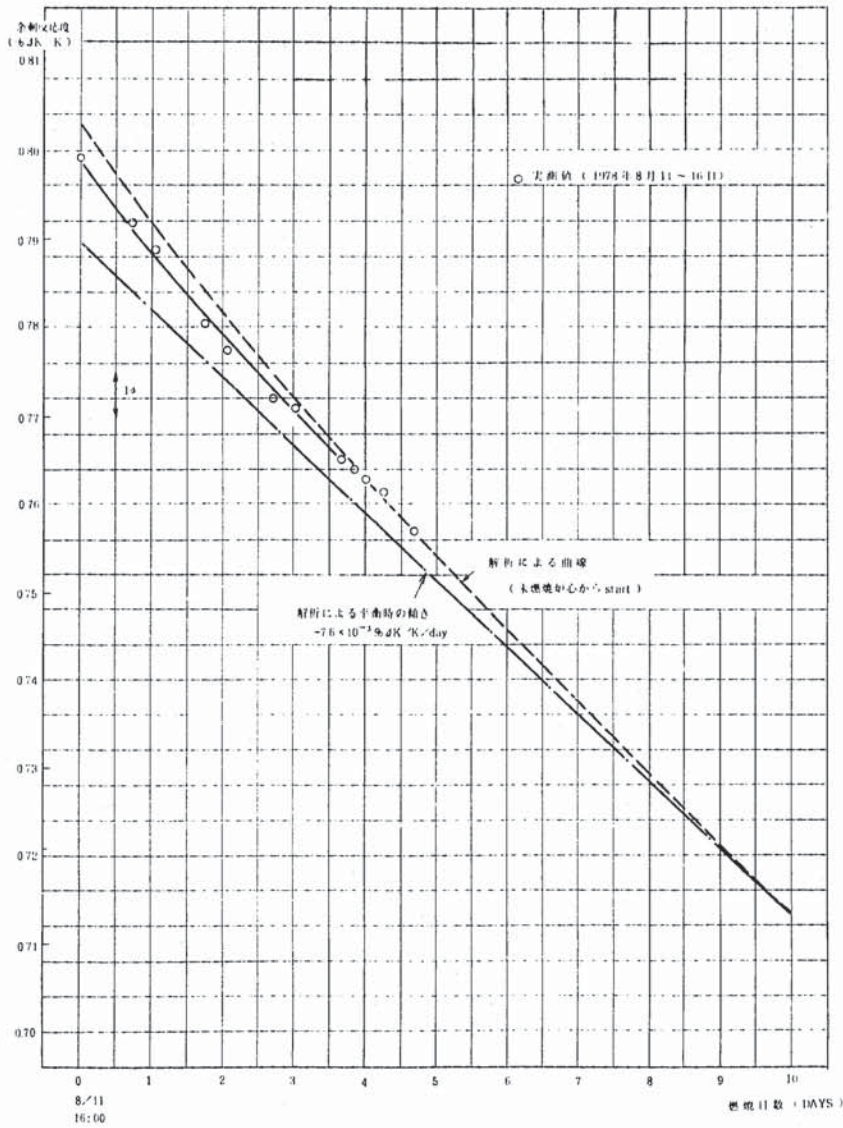
Case. 04 50 MW 100 hr 運転時モデル (不採用)

* 休止期間扱えず。shuffling 毎に $Np^{239} \rightarrow Pu^{239}$ の変換全部。

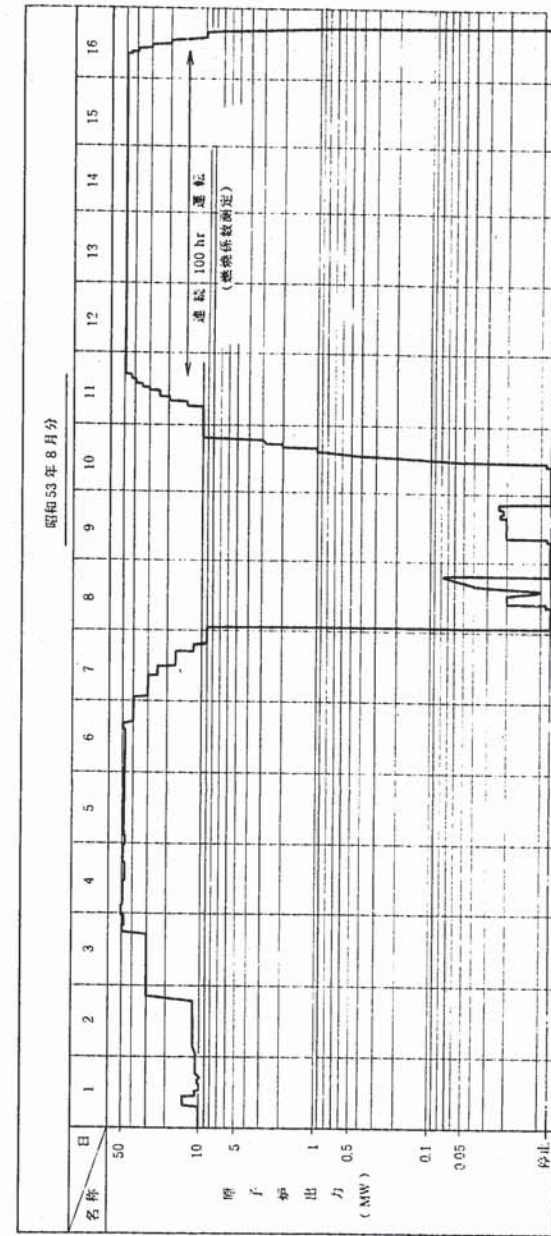
炉出力	time step	NNS - 5	JFS - 25Gr
40 MW	0 days	1.017654	1.020952
	10	1.016923	1.020217
50 MW	0	1.017031	1.020327
	3	1.017029	1.020322
	0	1.017027	1.020322
	1	1.016913	1.020207
	2	1.016808	1.020102
	3	1.016710	1.020003
	4	1.016616	1.019909
	5	1.016527	1.019819
	6	1.016441	1.019733



付図 1.1 燃焼係数解析結果

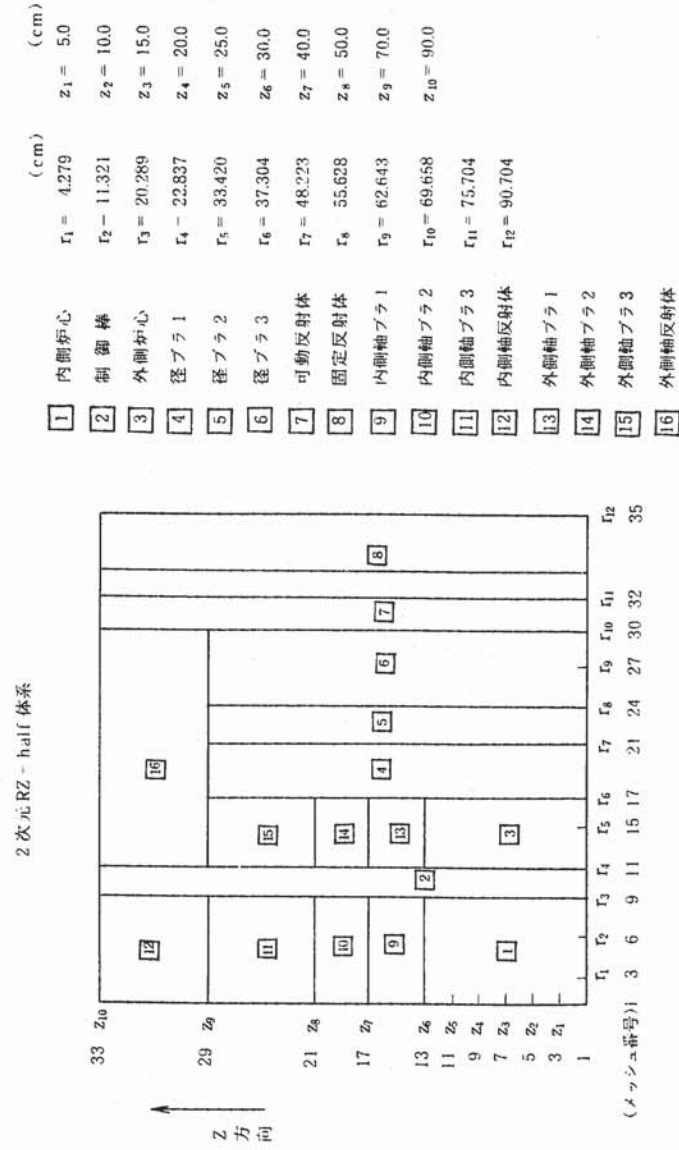


付図1.2 燃焼係数実測値と解析値の比較
(50 MW 100時間連続運転時)



付図1.3 原子炉運転実績表

(70体炉心・20°C・制御棒全引抜)



付図 1.4 燃焼係数解析体系

(付録 2)

50MW定格第1サイクル・第2サイクルにおける測定データ一覧

本章では、50 MW定格第1サイクルと第2サイクルにおいて、燃焼係数試験として測定した生データを表の形で示す。

以下に、各測定項目に対する補足説明を行う。

燃 焼 係 数 測 定 No		第1・第2 cycle 毎の測定通し No	
測 定	日 時	測定開始時刻を示す。 (測定時間 15 ~ 20 分)	
制 御 棒 置	RR 1 (mm)	制御盤メータを目視。	
	RR 2 (mm)		
熱 出 力 (MW)	炉 全 体	PT-11 熱出力校正試験と同じ方法で Na 温度・流量から算出。	
	A ル ー プ		
	B ル ー プ		
	熱 出 力 計 (3 回 平 均)	測定中の3回の瞬時値の平均。	
オンライン計算機 (3 回 平 均)			
1 次 冷 却 材 流 (m ³ /hr)	A	両ループとも3回 max 値と min 値を測定し、その平均。 アンパ及びフィルタで、mV - V 変換を行っている。	
	B		
1 次 冷 却 材 温 (°C)	炉 入 口	A	デジタル・マルチ温度計の読み3回の平均。
		B	
	炉 出 口	A	
		B	
出 力 系 モ ー タ 出 力 (%)	ch. 6	デジタル・マルチメータの電圧を3回測定し、その平均。	
	ch. 7		
	ch. 8		

付表 2.1 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(1)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定 No.		1	2	3	4	5	6	
測定日時		10/28 19:35	10/29 16:40	10/30 9:30	10/31 8:58	11/1 9:10	11/2 9:20	
制御 棒置	RR 1 (mm)	437.0	436.9	436.9	436.9	436.9	436.9	
	RR 2 (mm)	495.8	494.9	494.9	502.6	503.7	505.0	
熱出力 (MW)	炉全体	49.23	48.36	47.66	49.24	49.03	(50.24)	
	A ループ	25.03	24.36	24.06	24.63	24.61	(25.90)	
	B ループ	24.20	23.99	23.60	24.61	24.42	24.34	
	熱出力計 (3回平均)	49.4	48.6	48.0	49.5	48.9	(50.4)	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.3	48.3	47.9	49.0	48.9	(49.9)	
1次冷却材 流 (m ³ /hr)	A	1255.1	1251.7	1253.5	1256.2	1255.9	1256.1	
	B	1261.9	1255.7	1258.2	1258.3	1258.0	1258.8	
1次冷却材 温 (°C)	炉入口	A	370.6	369.8	369.4	370.2	369.8	(366.2)
		B	370.8	369.5	369.2	369.2	369.0	368.9
	炉出口	A	435.6	433.3	432.0	434.4	433.7	433.4
		B	433.4	431.8	430.3	433.0	432.3	431.9
出力系 モル (%)	ch. 6	94.09	94.52	94.38	99.43	99.21	99.31	
	ch. 7	86.40	87.00	87.01	99.25	99.10	99.08	
	ch. 8	99.85	100.14	100.13	99.25	98.83	99.12	
備考		19:33に 定格到達		16:30に ch.7と ch.8を ch.6に合 わせて調整			A入口T/ C故障	

付表 2.1(2) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(2)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定 No.		7	8	9	10	11	12	
測定日時		11/3 14:15	11/4 13:40	11/5 15:30	11/6 20:10	11/7 16:50	11/8 19:55	
制御 棒置	RR 1 (mm)	436.9	436.9	436.9	436.9	436.9	436.9	
	RR 2 (mm)	507.5	509.6	512.0	515.0	515.3	518.6	
熱出力 (MW)	炉全体	(50.87)	(52.26)	(55.53)	(65.70)	48.97	49.32	
	A ループ	(26.60)	(27.99)	(31.20)	(41.21)	24.72	24.96	
	B ループ	24.27	24.27	24.33	24.49	24.24	24.36	
	熱出力計 (3回平均)	(50.9)	(52.8)	(55.8)	(66.7)	49.2	49.8	
	オンライン計算機 (3回平均)	(51.0)	(52.2)	(55.3)	(65.2)	48.8	49.3	
1次冷却材 流 (m ³ /hr)	A	1253.0	1252.4	1251.9	1251.3	1254.3	1254.8	
	B	1259.1	1259.6	1258.8	1259.6	1260.3	1259.3	
1次冷却材 温 (°C)	炉入口	A	(364.1)	(360.6)	(352.8)	(327.6)	368.9	368.9
		B	369.1	369.1	369.1	368.9	369.3	369.2
	炉出口	A	433.2	433.3	433.6	433.4	433.2	433.8
		B	432.0	431.9	432.1	432.3	432.0	432.3
出力系 モル (%)	ch. 6	99.11	98.99	98.96	99.69	98.90	99.86	
	ch. 7	99.08	98.96	98.86	99.64	98.85	99.73	
	ch. 8	99.00	98.88	99.00	99.73	98.68	99.35	
備考		A入口T/ C故障	A入口T/ C故障	A入口T/ C故障	A入口T/ C故障	今回から、 A入口測定 測定点を切 換 K002 43A ↓ TN941 8A	第2 cycle 終了まで、 このまま	

付表 2.1(3) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(3)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定No		13	14	15	16	17	18	
測定日時		11/9 21:50	11/10 20:51	11/11 14:25	11/13 18:30	11/14 9:50	11/15 16:00	
制御棒位置	RR 1 (mm)	436.9	476.0	476.3	478.5	479.5	480.8	
	RR 2 (mm)	520.4	477.0	477.0	478.0	478.8	480.0	
熱出力 (MW)	炉全体	49.38	49.71	49.08	49.18	49.34	49.54	
	A ループ	24.93	25.12	24.90	24.94	24.96	25.04	
	B ループ	24.45	24.59	24.18	24.24	24.39	24.50	
	熱出力計 (3回平均)	49.7	50.0	49.5	49.2	49.6	49.5	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.1	49.8	49.3	49.3	49.3	49.4	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1254.6	1258.1	1252.2	1258.1	1256.4	1255.9	
	B	1260.4	1259.9	1259.6	1263.3	1261.7	1263.2	
1次冷却材温度 (°C)	炉入口	A	368.8	368.7	368.7	368.5	368.5	369.0
		B	369.2	369.0	369.2	369.2	369.0	369.3
	炉出口	A	433.6	433.8	433.5	433.1	433.3	434.0
		B	432.4	432.6	431.8	431.7	432.0	432.5
出力系出力 (%)	ch. 6	99.50	99.99	99.01	99.00	99.64	98.70	
	ch. 7	99.48	100.30	99.53	99.65	100.09	98.45	
	ch. 8	99.53	99.34	99.60	98.71	99.03	99.18	
備考			試験前、流 量アンプを 基準電圧で 校正。			10:30 出力系調整		

付表 2.1(4) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(4)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定No		19	20	21	22	23	24	
測定日時		11/16 17:00	11/17 15:45	11/19 18:30	11/20 16:40	11/21 16:15	11/22 16:16	
制御棒位置	RR 1 (mm)	481.0	482.5	484.6	485.0	485.4	488.0	
	RR 2 (mm)	481.1	481.8	484.0	485.0	486.2	486.2	
熱出力 (MW)	炉全体	49.34	49.41	49.45	49.36	49.36	49.74	
	A ループ	24.94	25.01	24.94	25.07	24.92	25.18	
	B ループ	24.40	24.40	24.52	24.29	24.45	24.56	
	熱出力計 (3回平均)	49.4	49.9	49.6	49.6	49.6	49.9	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.5	49.5	49.8	49.6	49.6	49.7	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1258.1	1254.8	1253.2	1254.8	1254.5	1253.7	
	B	1260.1	1261.9	1259.3	1254.6	1259.0	1258.5	
1次冷却材温度 (°C)	炉入口	A	369.0	368.6	369.4	369.0	368.7	368.8
		B	369.4	369.1	369.2	369.1	369.2	369.2
	炉出口	A	433.6	433.6	434.3	434.1	433.5	434.3
		B	432.5	432.2	432.6	432.2	432.5	432.9
出力系出力 (%)	ch. 6	98.53	98.80	99.06	99.15	98.86	99.38	
	ch. 7	98.33	98.58	98.95	98.85	98.90	99.36	
	ch. 8	98.69	98.98	99.70	99.50	99.45	99.63	
備考			流量アンプ 校正					

付表 2.1 (5) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(5)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定 No		25	26	27	28	29	30	
測定日時		11/24 16:55	11/25 11:20	11/27 16:35	11/28 15:30	11/29 14:45	11/30 14:40	
制御 棒置	RR 1 (mm)	488.5	490.5	491.9	492.4	494.2	494.2	
	RR 2 (mm)	489.0	489.0	491.5	492.6	492.6	494.7	
熱出力 (MW)	炉全体	49.53	49.85	49.59	49.53	49.46	49.36	
	A ループ	24.91	25.10	24.97	25.05	24.92	24.99	
	B ループ	24.62	24.75	24.61	24.48	24.54	24.37	
	熱出力計 (3回平均)	49.7	50.0	49.8	50.0	49.4	50.0	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.4	49.6	49.9	50.0	49.3	49.7	
1次冷却材 流 (m ³ /hr)	A	1254.0	1256.2	1253.0	1255.4	1253.3	1255.3	
	B	1258.2	1260.3	1260.4	1262.0	1258.0	1259.6	
1次冷却材 温 (°C)	炉入口	A	368.9	368.9	368.9	368.9	369.1	369.1
		B	369.1	369.0	369.2	369.5	369.0	369.1
	炉出口	A	433.6	434.0	433.9	433.9	433.9	434.0
		B	432.9	433.0	432.9	432.7	432.6	432.2
出力系 モータ (%)	ch. 6	98.81	99.15	99.05	99.30	99.11	99.20	
	ch. 7	98.84	99.18	98.96	99.16	99.20	99.13	
	ch. 8	99.20	99.84	99.66	99.69	99.70	99.63	
備考				流量アンブ 校正			流量アンブ 校正	

付表 2.1 (6) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(6)

測定日: 1978年10月28日~12月10日

燃焼係数測定 No		31	32	33	34	35	36	
測定日時		12/1 16:08	12/2 15:15	12/3 12:50	12/4 17:16	12/5 17:27	12/6 17:28	
制御 棒置	RR 1 (mm)	495.0	496.2	497.6	497.6	499.7	500.0	
	RR 2 (mm)	495.2	495.7	497.0	498.2	498.5	500.1	
熱出力 (MW)	炉全体	49.66	49.29	49.65	49.19	49.45	49.39	
	A ループ	25.05	24.90	24.98	24.84	25.03	24.89	
	B ループ	24.61	24.38	24.67	24.35	24.42	24.50	
	熱出力計 (3回平均)	49.6	49.3	49.9	49.7	49.6	49.6	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.6	49.2	49.7	49.2	49.6	49.6	
1次冷却材 流 (m ³ /hr)	A	1253.7	1253.8	1251.7	1254.9	1249.7	1253.0	
	B	1259.3	1262.2	1261.6	1260.4	1256.7	1260.4	
1次冷却材 温 (°C)	炉入口	A	368.3	368.7	368.8	368.9	368.1	368.5
		B	369.0	369.2	369.1	369.0	368.5	368.8
	炉出口	A	433.4	433.5	433.9	433.5	433.4	433.3
		B	432.7	432.2	432.9	432.0	431.8	432.2
出力系 モータ (%)	ch. 6	99.04	98.43	99.21	98.21	98.68	98.15	
	ch. 7	98.86	98.56	99.10	98.21	98.73	98.26	
	ch. 8	99.41	99.14	99.54	98.79	99.26	98.81	
備考		流量アンブ 校正	流量アンブ 校正	流量アンブ 確認	流量アンブ 校正	流量アンブ 校正	流量アンブ 校正	

付表 2.1(7) 50 MW定格第1 cycle 燃焼係数測定データ(7)

測定日：1978年10月28日～12月10日

燃焼係数測定 No		37	38	39	40			
測定日時		12/7 18:15	12/8 17:30	12/9 11:20	12/10 9:35			
制御棒位置	RR 1 (mm)	501.9	503.3	503.3	504.3			
	RR 2 (mm)	501.7	502.1	504.0	504.5			
熱出力 (MW)	炉全体	50.00	49.62	49.90	49.72			
	A ループ	25.18	25.01	25.13	25.13			
	B ループ	24.82	24.61	24.77	24.60			
	熱出力計 (3回平均)	50.0	49.8	50.4	50.0			
	オンライン計算機 (3回平均)	49.8	50.0	50.2	49.8			
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1251.9	1251.6	1250.5	1253.0			
	B	1259.8	1260.3	1261.2	1260.1			
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	368.6	369.1	368.9	368.9		
		B	368.8	369.1	369.0	369.0		
	炉出口	A	434.2	434.2	434.4	434.3		
		B	433.0	432.8	433.0	432.7		
出力系出力 (%)	ch. 6	99.09	98.90	99.41	99.16			
	ch. 7	99.10	98.99	99.58	99.00			
	ch. 8	99.60	99.51	100.11	99.76			
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ確認	流量アンブ校正 10:00から出力降下開始			

付表 2.2(1) 50 MW定格第2 cycle 燃焼係数測定データ(1)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		1	2	3	4	5	6	
測定日時		1/13 16:45	1/14 14:30	1/15 18:15	1/16 19:50	1/17 20:55	1/18 17:10	
制御棒位置	RR 1 (mm)	501.2	502.0	502.0	503.3	503.3	504.0	
	RR 2 (mm)	501.2	501.2	502.0	503.1	503.4	503.4	
熱出力 (MW)	炉全体	48.87	48.23	48.50	48.36	47.78	47.14	
	A ループ	24.86	24.55	25.01	24.94	24.65	24.48	
	B ループ	24.01	23.68	23.49	23.42	23.13	22.66	
	熱出力計 (3回平均)	49.7	48.8	49.1	49.1	48.6	47.7	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.2	48.4	48.7	48.4	47.5	47.0	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1253.0	1257.8	1261.3	1259.1	1258.4	1261.0	
	B	1259.6	1259.9	1256.1	1258.5	1258.2	1260.9	
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	371.9	371.9	368.4	368.2	367.7	368.2
		B	372.8	372.7	370.9	370.9	370.4	371.1
	炉出口	A	436.7	435.6	433.1	432.8	431.6	431.5
		B	435.1	434.0	431.9	431.6	430.4	429.7
出力系出力 (%)	ch. 6	95.79	97.05	99.02	99.96	98.93	98.21	
	ch. 7	92.53	93.77	95.65	96.74	95.76	95.13	
	ch. 8	95.71	96.74	98.51	99.28	98.29	97.56	
備考		16:20 50 MW 定格到達 流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	

付表 2.2(2) 50 MW 定格第 2 cycle 燃焼係数測定データ(2)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		7	8	9	10	11	12	
測定日時		1/19 16:25	1/22 9:20	1/23 13:35	1/24 19:25	1/25 20:00	1/26 14:25	
制御棒位置	RR 1 (mm)	504.4	508.0	512.4	513.1	514.1	515.1	
	RR 2 (mm)	505.0	508.0	512.1	513.8	514.8	514.8	
熱出力 (MW)	炉全体	47.27	47.58	49.26	49.34	49.13	48.86	
	A ループ	24.40	24.63	25.46	25.50	25.46	25.18	
	B ループ	22.87	22.95	23.80	23.84	23.67	23.68	
	熱出力計 (3回平均)	48.1	48.2	50.1	50.2	50.0	49.6	
	オンライン計算機 (3回平均)	47.1	47.7	48.9	49.2	49.1	48.5	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1259.8	1262.2	1264.8	1264.3	1264.8	1265.0	
	B	1263.8	1256.0	1260.4	1262.2	1259.3	1259.6	
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	367.9	368.3	369.3	369.0	369.0	369.7
		B	370.9	370.9	371.7	371.4	371.5	371.8
	炉出口	A	431.0	431.9	434.9	434.8	434.7	434.7
		B	429.9	430.5	433.3	433.1	432.8	433.2
出力系出力 (%)	ch. 6	98.58	99.51	99.09	99.14	99.33	98.69	
	ch. 7	95.46	96.44	99.05	99.13	99.45	98.81	
	ch. 8	97.94	98.89	99.20	99.29	99.49	98.89	
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正 10:00から出力系調整 10:52から出力50 MWに調整	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	

付表 2.2(3) 50 MW 定格第 2 cycle 燃焼係数測定データ(3)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		13	14	15	16	17	18	
測定日時		1/27 14:50	1/28 19:50	1/29 16:00	1/30 15:15	1/31 15:55	2/1 16:33	
制御棒位置	RR 1 (mm)	516.3	517.0	518.1	519.4	521.0	521.0	
	RR 2 (mm)	515.5	517.6	517.6	518.8	520.0	521.5	
熱出力 (MW)	炉全体	48.89	49.12	48.90	48.95	49.26	48.98	
	A ループ	25.23	25.33	25.25	25.38	25.41	25.20	
	B ループ	23.66	23.79	23.65	23.57	23.85	23.78	
	熱出力計 (3回平均)	49.6	49.8	49.5	49.5	49.9	49.2	
	オンライン計算機 (3回平均)	48.6	48.9	48.3	48.6	48.7	48.5	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1264.3	1264.7	1265.1	1265.0	1263.2	1265.5	
	B	1258.2	1259.8	1260.9	1261.1	1260.3	1258.2	
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	369.3	369.0	368.8	368.9	369.0	369.1
		B	371.6	371.4	371.5	371.6	371.8	371.7
	炉出口	A	434.3	434.3	433.9	434.4	434.6	434.0
		B	432.9	433.0	432.7	432.6	433.5	433.4
出力系出力 (%)	ch 6	98.79	99.30	98.61	98.83	99.33	98.70	
	ch 7	98.85	99.34	98.59	98.96	99.44	98.93	
	ch. 8	98.95	99.33	98.83	99.01	99.56	99.05	
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	

付表 2.2(4) 50 MW定格第2 cycle 燃焼係数測定データ(4)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		19	20	21	22	23	24	
測定日時		2/2 14:45	2/3 16:15	2/4 19:25	2/5 16:03	2/7 17:15	2/8 15:47	
制御棒位置	RR 1 (mm)	522.0	524.0	525.4	526.6	530.0	531.0	
	RR 2 (mm)	523.0	523.0	526.6	526.6	529.2	530.2	
熱出力 (MW)	炉全体	49.02	48.96	49.73	49.45	49.77	49.77	
	A ループ	25.37	25.36	25.69	25.56	25.68	25.63	
	B ループ	23.65	23.60	24.04	23.89	24.09	24.14	
	熱出力計 (3回平均)	50.0	49.6	50.2	49.9	50.6	50.2	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.0	48.0	49.3	49.6	49.5	49.6	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1268.1	1265.6	1268.7	1265.9	1265.1	1266.7	
	B	1257.8	1261.2	1259.5	1260.6	1262.2	1260.6	
1次冷却材温度 (°C)	炉入口	A	368.9	368.9	369.0	369.0	369.3	369.5
		B	371.6	371.7	371.6	371.6	371.8	371.8
	炉出口	A	434.2	434.2	435.0	434.8	435.5	435.5
		B	433.0	432.7	433.9	433.4	434.1	434.3
出力系モル (%)	ch. 6	98.80	97.93	98.96	98.26	98.56	98.40	
	ch. 7	99.00	98.10	99.24	98.35	98.85	98.81	
	ch. 8	99.11	98.15	99.38	98.43	98.96	98.93	
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	

付表 2.2(5) 50 MW定格第2 cycle 燃焼係数測定データ(5)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		25	26	27	28	29	30	
測定日時		2/9 13:25	2/10 10:50	2/12 20:20	2/14 20:40	2/15 16:02	2/18 18:05	
制御棒位置	RR 1 (mm)	532.2	533.0	536.4	538.8	538.8	543.5	
	RR 2 (mm)	531.5	533.0	535.7	538.1	539.0	545.5	
熱出力 (MW)	炉全体	49.88	50.02	49.95	49.88	49.53	50.26	
	A ループ	25.63	25.72	25.70	25.68	25.52	26.02	
	B ループ	24.25	24.30	24.25	24.20	24.01	24.24	
	熱出力系 (3回平均)	50.7	50.4	50.9	50.6	50.2	51.0	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.4	50.0	49.8	49.9	49.6	49.9	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1263.1	1256.7	1258.4	1256.9	1261.6	1266.1	
	B	1264.6	1261.2	1260.4	1260.6	1261.2	1258.2	
1次冷却材温度 (°C)	炉入口	A	369.3	369.1	369.4	369.3	369.5	367.5
		B	371.9	371.9	371.9	371.8	371.9	370.2
	炉出口	A	435.5	435.8	436.0	435.9	435.4	434.4
		B	434.5	434.8	434.7	434.5	434.0	433.0
出力系モル (%)	ch. 6	98.66	98.84	99.19	99.11	98.35	98.91	
	ch. 7	98.96	99.03	99.48	99.35	98.59	99.24	
	ch. 8	99.03	99.29	99.58	--	98.79	99.49	
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正 2/17 14:13に電 線によるス クラム 調整棒デラ ッチ	流量アンブ校正	

付表 2.2(6) 50 MW定格第2 cycle 燃焼係数測定データ(6)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		31	32	33	34	35	36	
測定日 時		2/19 18:51	2/20 19:27	2/21 16:01	2/22 15:30	2/23 15:40	2/25 17:27	
制御棒位置	RR 1 (mm)	544.3	546.3	547.1	547.8	548.8	551.2	
	RR 2 (mm)	545.1	546.6	546.6	548.4	549.1	551.4	
熱出力 (MW)	炉全体	49.92	50.19	49.83	49.89	49.71	49.64	
	A ループ	25.89	25.88	25.64	25.61	25.58	25.62	
	B ループ	24.03	24.31	24.19	24.29	24.13	24.02	
	熱出力計 (3回平均)	50.7	50.7	50.6	50.4	50.3	50.3	
	オンライン計算機 (3回平均)	49.7	50.3	49.3	49.6	49.0	49.1	
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1269.3	1270.2	1270.6	1270.1	1271.2	1272.0	
	B	1258.5	1259.6	1260.3	1258.2	1261.2	1258.0	
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	367.5	367.5	367.8	367.7	367.5	367.4
		B	369.9	369.5	369.5	369.4	369.7	369.6
	炉出口	A	433.9	433.9	433.6	433.4	433.1	433.0
		B	432.2	432.4	432.1	432.4	432.1	431.8
出力系モル (%)	ch. 6	98.35	98.85	98.23	98.78	98.46	98.25	
	ch. 7	98.81	99.19	98.64	98.96	98.86	98.78	
	ch. 8	98.99	99.48	98.83	99.19	99.04	98.87	
備考		流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	流量アンブ校正	

付表 2.2(7) 50 MW定格第2 cycle 燃焼係数測定データ(7)

測定日：1979年1月13日～2月26日

燃焼係数測定 No		37					
測定日 時		2/26 9:50					
制御棒位置	RR 1 (mm)	552.3					
	RR 2 (mm)	553.3					
熱出力 (MW)	炉全体	49.95					
	A ループ	25.74					
	B ループ	24.21					
	熱出力系 (3回平均)	51.0					
	オンライン計算機 (3回平均)	49.4					
1次冷却材流 (m ³ /hr)	A	1271.4					
	B	1258.5					
1次冷却材温 (°C)	炉入口	A	367.5				
		B	369.6				
	炉出口	A	433.5				
		B	432.3				
出力系モル (%)	ch. 6	98.86					
	ch. 7	99.35					
	ch. 8	99.52					
備考		流量アンブ校正 14:01に電費試験で第2 cycle 終了					

参 照 文 献

1. PNC SN 941 79 -- 179 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 PT -- II 熱出力校正
(1979年10月)
2. PNC SN 941 80 -- 06 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 NT -- 34 出力係数
(1980年1月)
3. PNC SN 941 79 -- 191 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 制御棒特性 (NT -- 21,
22, 23) (1979年10月)
4. PNC SN 941 79 -- 119 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 等温反応度係数 (NT --
33) (1979年8月)
5. PNC SN 941 79 -- 75 高速実験炉「常陽」運転試験報告書
制御棒駆動機構の熱的影響について (1979年6月)
6. PNC SN 941 79 -- 236 高速実験炉「常陽」性能試験解析報告書
炉心核特性の解析 (その1) (1979年12月)
7. 常陽3711 常陽設計(III) 核設計計算書 (第1期出力炉心設計) (1972年9月)
8. PNC SN 941 78 -- 143 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 総集編 (1978年10月)