

高速実験炉「常陽」性能試験報告書

PT-11 熱出力校正

1979年10月

動力炉・核燃料開発事業団

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 79-179

高速実験炉「常陽」性能試験報告書

PT-11 熱出力校正

正誤表

頁	行	誤	正
8	上から2行目	出力系検出器用管内管	出力系検出器用管内管
9	上から1行目	Multi-Pump	Multi-Pump
9	上から1行目	D-C Amplifier	D-C Amplifier
19	下から4行目	ように、過熱定抵抗	ように、過熱定抵抗
33	下から9行目	1次主ポンプ	1次主ポンプ
53	下から5行目	3838 × 10 ⁻⁷	3838 × 10 ⁻⁷
58	下から2行目	2096 × 10 ⁻⁷	2096 × 10 ⁻⁷
87	下から2行目	8月11～16	8月11～16日
112	上から4行目	熱電対起動力	熱電対起電力
113	上から7行目	θW_n	θW_n
113	上から14行目	1.67 + 1.6 3.3	1.67 + 1.6 ± 3.3
113	上から16行目	0.12 + 1.6 1.7	0.12 + 1.6 ± 1.7
115	下から1行目	デジタル電圧計	デジタル電圧計
119	上から10行目	直値	真値
127	下から4行目	よく追従しており	よく追従しており
128	上から5行目	温度依存性	温度依存性
128	上から5行目	出力系の関係	出力系の関係
140	上から1行目	Grophite	Graphite
143	下から3行目	アナログデータ	アナログデータ
144	上から15行目	比較値	比値
144	下から7行目	$\frac{C_1}{4} (T_{A_1} + T_{A_2} + T_{B_1} + T_{B_2})$	$\frac{C_1}{4} (T_{A_1} + T_{A_2} + T_{B_1} + T_{B_2}) + C_2$
145	下から11行目	FORMAT	FORMAT
145	下から5行目	Q PUMP	Q PUMP
146	下から2行目	第1 cycle	第1 cycle
154	下から6行目	熱出力は 第1	熱出力は次第に
154	下から5行目	再相熱出力	再度熱出力
159	上から7行目	計算計算	計算計算
162	上から5・7・	mech	mech
9・11・13行目			
170	下から2行目	外 3列	外側3列
176	上から13行目	含む保来での	含む体系での
183	上から5行目	間道線内脚	間、道線内脚
196	下から6行目	2次系冷却系	2次主冷却系

高速実験炉「常陽」性能試験報告書

PT-11 熱出力校正

石川 眞^{**}, 奥藤雅行^{**}, 小沢健二^{***}
佐久間孝志^{***}, 前 政敏^{***}, 関口善之^{*}

要 旨

高速実験炉「常陽」出力上昇試験の一項目として実施された熱出力校正試験 (PT-11) の結果について報告する。

本試験は、低出力から60MW定格出力までの各段階において熱出力を測定し、核計装設備における出力系の校正を行なう事を目的とする。原子炉の熱出力は一次主冷系のNa出入口温度及び流量を測定する事によって求められ、出力系及び中間系はその指示値が熱出力に一致するように原子回路を調整した。

本試験は1978年4月から8月まで実施され、この結果以下の主要諸点が確認された。

- (1) 出力系指示値と熱出力の間には、非常に良好な直線性がある。
- (2) 出力系と中間系は、3デカード以上の充分なオーバーラップを示す。
- (3) 出力系指示値は、原子炉の運転履歴に依存して変動する。

起動直後の出力系指示値は、原子炉熱出力に対して小さな値を示し、その後次第に増加して、起動後約1週間で安定する。その変動量は最大で約6%である。

* 大洗工学センター高速実験炉部技術課

** 同 上 (現、三菱原子力工業)

*** 大洗工学センター高速実験炉部原子炉二課

PNC TN941 79-179

Oct., 1979

Experimental Fast Reactor "JOYO" Power-Up Test Report

Thermal Power Calibration (PT-11)

Makoto Ishikawa*, Masayuki Endo**,
 Kenji Ozawa***, Takashi Sakuma***,
 Masatoshi Soro*** and Yoshiyuki Sekiguchi*

Abstract

This report describes the results of the thermal power calibration test (PT-11) that was planned and performed as part of the power-up testing of the Experimental Fast Reactor "JOYO".

The purpose of this test is to calibrate the Power Range Monitors (PRM) and Intermediate Range Monitors (IRM) by measuring the reactor thermal power at several levels from low power through the rated power of 50 MWt. The reactor thermal power was determined by measuring the inlet and outlet temperature and the flow rate of the primary main coolant. After this procedure, PRM and IRM were adjusted to coincide with the reactor thermal power by regulating the electronic amplifiers.

This testing was made from April through August 1978, and followings were confirmed.

- (1) The PRM indicators show good linearity with the reactor thermal power.
- (2) The PRM indicators overlap with the IRM indicators over more than three decades.

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

** The same as above. (Mitsubishi Atomic Power Industry, Ltd, present affiliation)

*** Maintenance section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

- (3) The PRM indicators changes depending on the operating history of the reactor. The PRM indicators is lower than the reactor thermal power immediately after start-up. Then that increases gradually and comes to stable in about one week after start-up. The maximum drifting value is about 6 per cent.

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 設備概要	3
第3章 試験の方法	12
第4章 試験の経過	27
第5章 試験の結果	36
第6章 測定の誤差評価	112
第7章 原子炉熱出力と炉心熱出力との差	120
第8章 熱出力校正曲線の変動	126
第9章 計算機による熱出力	143
第10章 結 言	153
付録1 出力系指示値変動の解析	159
付録2 燃料集合体出口温度分布試験 (NT-52) から求めた炉心熱出力	167
付録3 貯蔵ラック内燃料の中性子計装に及ぼす影響	175
付録4 H-350計算機による流量平均化処理プログラム	195

第1章 緒 言

本報告書は、1978年4月から9月まで行なわれた高速実験炉「常陽」出力上昇試験の一項目として実施された熱出力校正試験（PT-11）の結果について、報告するものである。

本試験は、低出力から定格出力までの各段階において、熱出力を測定し、核計装設備における出力系の校正を行なう事を目的とする。

系統設備の要件として、出力系と熱出力との間に直線性があること、及び中間系と出力系との使用範囲が充分オーバーラップしていることの2点が満たされなければならない。

以下に、本報告書の内容を概括する。

第2章では、試験設備の概要を、主冷却系と核計装に分けて記述する。

第3章では、試験方法の詳細を記述する。

第4章では、試験の経過の詳細を記述する。

第5章では、試験の結果を、内容毎に整理して、グラフ及び生データと共に詳述する。ここでは、出力系の校正の他、中間系の校正、核計装のオーバーラップ、制御棒の差換効果について述べる。

第6章では、測定の誤差評価について、熱出力と核計装に分けて、その算出の詳細を記述する。

第7章では、本試験において定義された熱出力と、原子炉炉心からの発熱量について、その差を検討する。

第8章では、運転履歴に伴う熱出力校正曲線が変動する問題について、その現象の詳細及びその原因の検討結果を記述する。

第9章では、現在「常陽」で用いられている計算機による熱出力について、その算出方法の詳細と、算出値の本試験での熱出力測定値との比較結果について記述する。

第10章では、結言として試験結果の総括及び定格運転以後の熱出力校正の見通しを記述する。その他、付録として、熱出力校正試験として行なったわけではないが、関連のある項目の若干を記述する。

付録1では、第8章で述べた熱出力校正曲線の変動について、その原因と考えられる黒鉛遮蔽体及び安全容器温度を変化させた時の効果を、1次元拡散計算で解析した結果を記述する。

付録2では、（NT-52）燃料集合体出口温度分布試験で測定された集合体毎出入口温度差と低出力試験で実施された流量分布試験の結果から、そのヒートバランスにより炉心燃料からの発熱量を試算し、熱出力校正試験による熱出力と比較した結果を記述する。

付録3では、貯蔵ラック内の炉心燃料の有無が、中性子検出系に及ぼす影響を、試験結果と解析結果とに整理して示す。これは、今後の定格運転後の熱出力校正に対する見通しを得る一助とするためのものである。

付録 4 では、熱出力修正試験の重要測定項目である冷却材流量について、H-350 計算機を用いた流量平均化処理プログラムを開発したので、その概要を記述する。

第 2 章 設 備 概 要

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。

炉心部で発生した熱は、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。

プラントの主要目に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) 原子炉出口 435 (°C)
(50 (MW) 時)	

(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 核計装設備

2.2.1 3 系統の概要

核計装設備は、起動系 2 チャンネル、中間系 3 チャンネル、出力系 3 チャンネルの合計 8 チャンネルにより構成され、原子炉の起動から原子炉定格出力の 125% まで、これらの 3 系統で計測範囲をカバーしている。

(1) 起動系

起動系の計測範囲は、1 CPS $\sim$ 10⁶ CPS で中性子束およびペリオドを測定する。測定は、中性子検出器 (核分裂計数管) からの出力パルスを前置増幅器で、適当なレベルに増幅したのち、対数計数率計に加え、この出力は、ペリオド計に接続される。

原子炉の安全を確保するため、対数計数率計は、低計数率インターロック信号 (3 CPS)、高計数率アラーム信号 (7 $\times$ 10⁵ CPS) 及び高計数率スクラム信号 (9.5 $\times$ 10⁵ CPS) を発生

する。また、ベリオド計は、ベリオド短アラーム信号 (+25 sec) およびベリオド短スクラム信号 (+5 sec) を発生する。

(2) 中間系

中間系の計測範囲は、原子炉定格出力の約 $1 \times 10^{-4}\%$ ～ 100% で中性子束及びベリオドを測定する。中性子検出器 (核分裂計数管) からの出力は、キャンベル前置増幅器に加えられる。ここで適当なレベルに増幅したのち、中間出力計に接続する。中間出力計は、この信号を受け対数出力に比例した直流電圧に変換したのち出力指示計に表示し、また対数出力の変化率を測定し、ベリオド指示計に表示する。原子炉の安全を確保するため、中間出力計は、低出力インタローック信号 ($10^{-3}\%$)、高出力アラーム信号 (70%) 及び高出力スクラム信号 (95%) を発する。またベリオド計は、ベリオド短アラーム (+25 sec) 及びベリオド短スクラム信号 (+5 sec) を発する。

(3) 出力系

出力系の計測範囲は、原子炉定格出力の約 $10^{-1}\%$ ～ 125% で中性子束を測定する。中性子検出器 (ガンマ線補償型電離箱) からの出力電流信号は、出力系モニタで増幅され、利得の切替は約 $\frac{1}{2}$ デカードごとに、レンジ切替スイッチにより補選低抵抗値を変更しておこなう。原子炉の安全を確保するため各レンジごとに低出力インタローック信号 (10%)、高出力アラーム信号 (103%) および高出力スクラム信号 (108%) を発する。

中性子検出器の配置を図 2-2 ～ 3 に示す。

核計装系の構成を図 2-4 に示す。

2.2.2 出力系の構成

「常陽」核計装出力系は図 2-4 ～ 5 に示すように (1) 検出器、(2) 微少電流計、(3) レンジスイッチ、(4) 指示計及び記録計から構成される。

検出器は安全容器外側の要素ガス部、微少電流計は中央制御室内核計装盤に設置されたモニタ内、またレンジスイッチと指示記録計は中央制御室内原子炉制御盤にそれぞれ設置されている。検出器とモニタ間のケーブル長さは約 50 ～ 80 m である。出力系は原子炉定格出力の $10^{-1}\%$ ～ 100% の計測範囲をもつ。

以下各部分の概要を示す。

(1) 検出器

中性子を検出する役割を待ち、米国 Reuter-Stokes 社製 γ 線補償型電離箱 (SK-400) が用いられている。

(2) 微少電流計

微少電流計は検出器からの出力信号を増幅し、さらに各指示計への入力信号を調整する役割をもち、電圧利得で 8 ～ 13 倍の変更が可能である。

(3) レンジスイッチ

レンジスイッチは微少電流計増幅部前段の利得設定回路補選抵抗を切換える役割をもち約 $\frac{1}{2}$ デカードずつ 10 段階に切換えることができる。(実際には 0.125 ～ 125% までの 7 レンジを使用している。)

(4) 指示計及び記録計

計測された原子炉出力を指示・記録する役割をもち、レンジスイッチ位置に対応して 0 ～ 35% と 0 ～ 125% の 2 目盛がある。さらに記録計は 2 ペン式によりレンジスイッチ位置が出力とともに記録される。

2.3 炉心の構成

出力上昇試験期間は、昭和 53 年 4 月 18 日 ～ 9 月 16 日までであった。PT-11 熱出力校正試験は、4 月 26 日から 8 月 16 日 (100 時間連続運転終了) まで実施され、この間、炉心及び燃料貯蔵ラックの配置に変更はなかった。試験中の炉心構成図を、図 2-6 に示す。

(1) 炉心構成

炉心燃料 70 体

ブランケット燃料 内側棒 44 体

外側棒 143 体

制御棒 調整 2 体

安全 4 体

反射体 スリット有 12 体

スリット無 36 体

中性子源 1 体 (7 F 1)

パイロオシレータ 1 体 (5 F 2)

(2) 燃料貯蔵ラック 構成

炉心燃料 1 体 (R 11)

炉心用計装燃料 4 体 (R 10・R 15・R 17・R 19)

ブランケット燃料 3 体

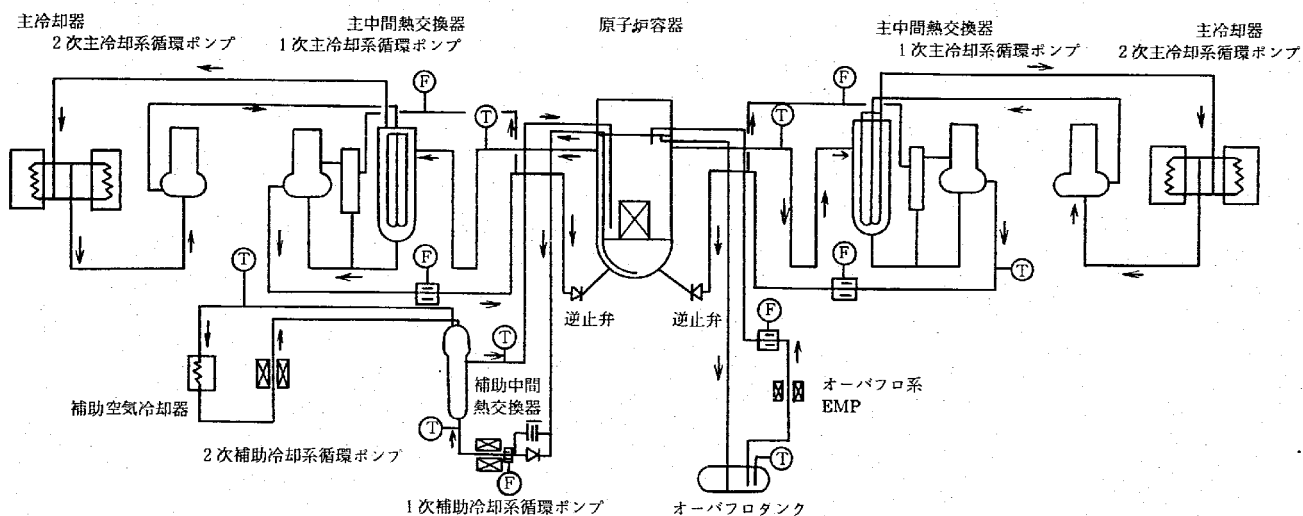
ブランケット用計装燃料 5 体

サーベイランス 5 体

ダミー要素 1 体

中性子源 (Be 部) 1 体

γ 線源収納体 1 体



注) →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

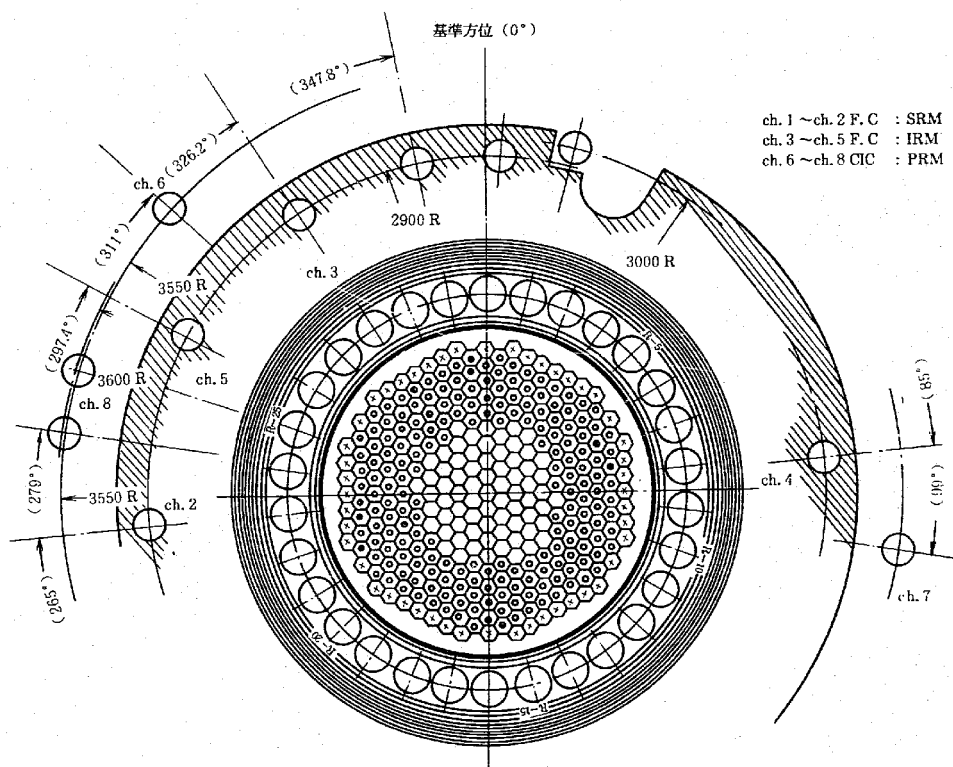


図2-2 中性子検出器配置図 (平面図)

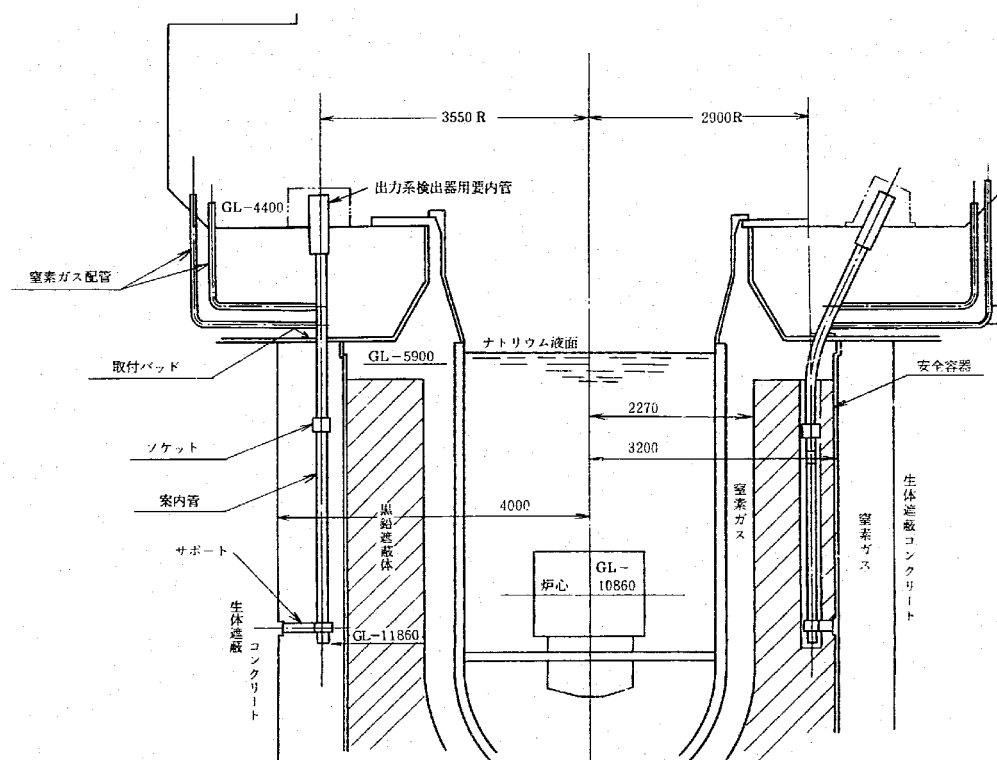


図 2-3 中性子検出器配置図 (断面図)

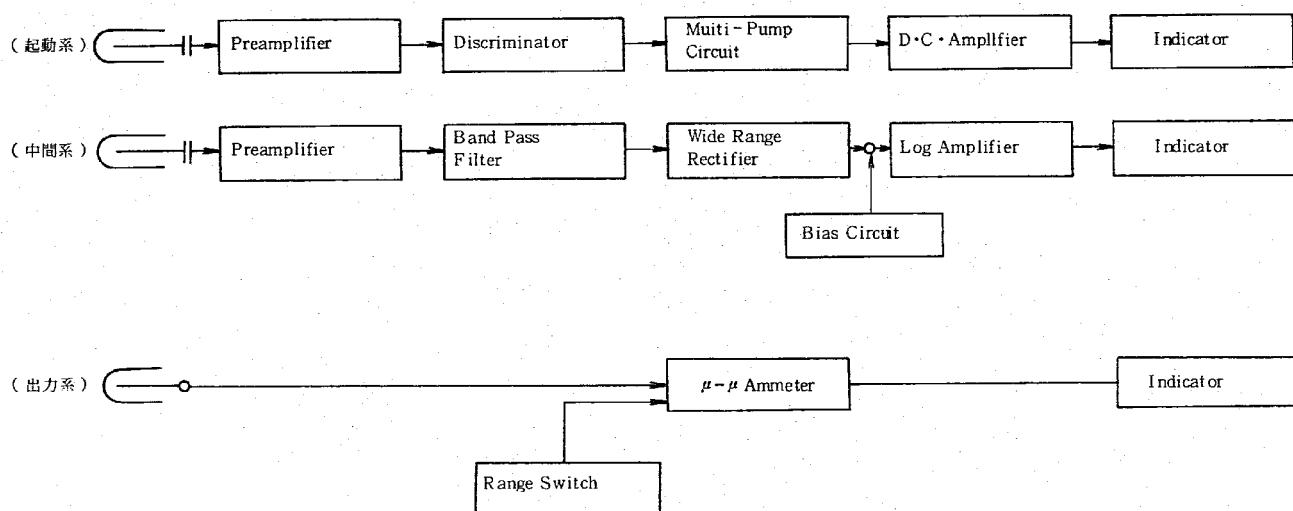


図 2-4 「常陽」核計装系の構成

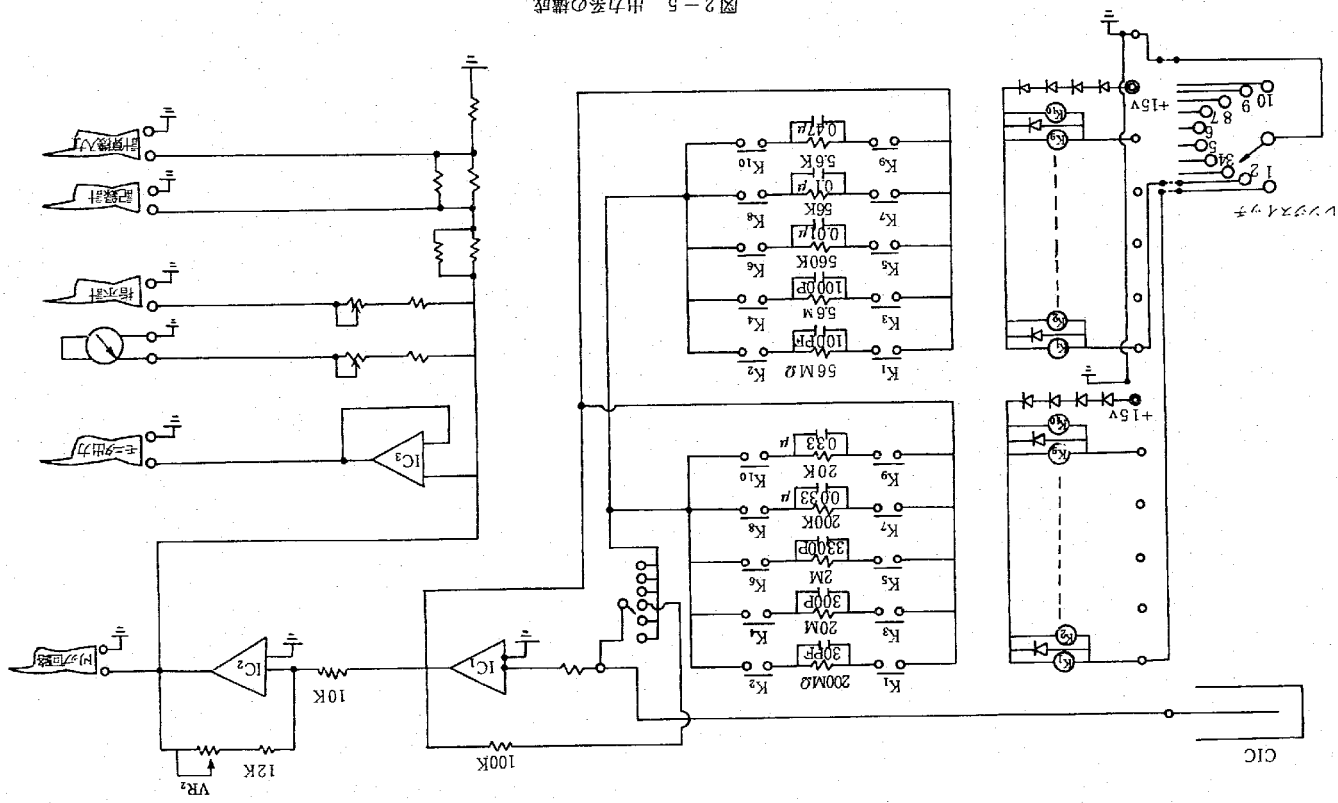
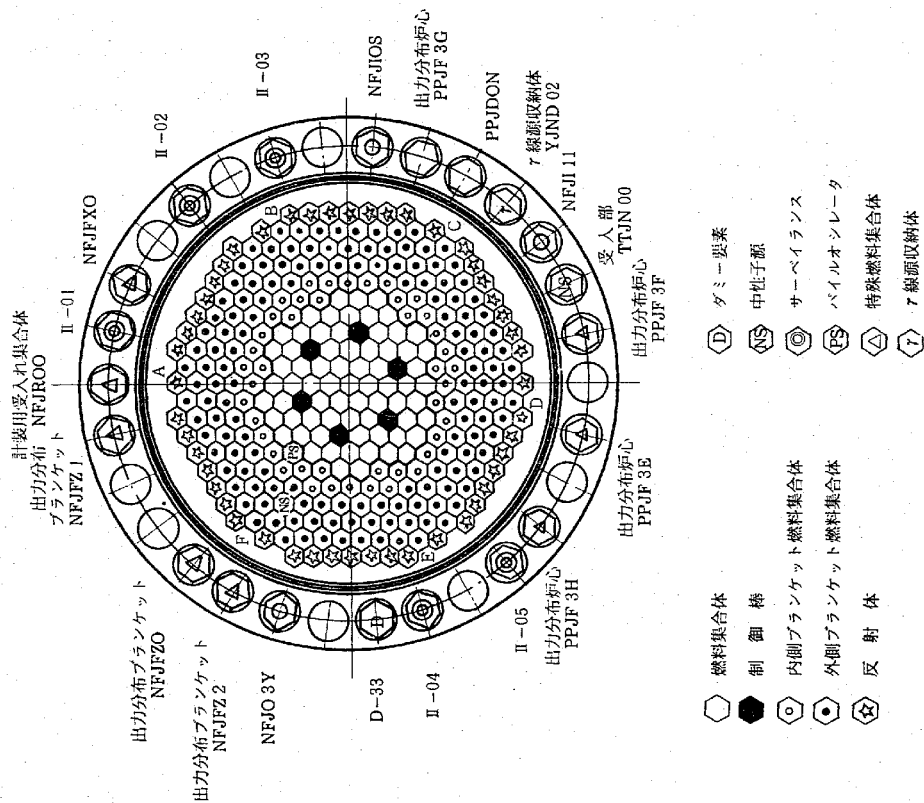


図 2-5 出力系の構成

図 2-6 53 年 4 月 26 日 現在
炉 心 構 成 図
基準方位 (T・R・側)



第3章 試験の方法

3.1 原子炉熱出力の定義

「常陽」原子炉設置許可申請書により、原子炉熱出力は1次冷却材が中間熱交換器により2次冷却材へ伝達する熱、すなわち、原子炉内で発生する熱に1次冷却材ポンプからのエネルギーを加え、これから原子炉及び1次冷却設備の放射熱損失と原子炉補助設備の熱損失を差引いたものとして定義されている。

従って、本試験での原子炉熱出力は下式から求めた。

$$Q_R = Q_{MA} + Q_{MB} + Q_{\Delta P} - Q_{LOSS}$$
 式(1)

ここに

Q_R : 原子炉熱出力

Q_{MA} : 1次主冷却系流量と炉容器出入口温度差から求まる熱量 (Aループ)

Q_{MB} : 同上 (Bループ)

$Q_{\Delta P}$: 1次主循環ポンプからの入熱のうち、炉容器出入口温度計位置から主中間熱交換器までの配管での圧損による入熱

Q_{LOSS} : 炉容器出入口温度計位置から主中間熱交換器までの配管からの放熱量

このうち、 $Q_{\Delta P}$ 、及び Q_{LOSS} は稀少であり、直接の測定が不可能なので無視する。

従って、式(1)は

$$Q_R = Q_{MA} + Q_{MB}$$
$$= \frac{1}{860 \times 10^3} [T_{MAI} W_{MA} (I_{MAO} - I_{MAI}) + T_{MBI} W_{MB} (I_{MBO} - I_{MBI})]$$
 式(2)

ここに、

T_{MAI} : T_{MAI} (Aループ炉容器入口温度) での比重 (kg/m³)

T_{MAI} : T_{MAI} (Bループ炉容器入口温度) での比重 (kg/m³)

W_{MA} : Aループ流量 (m³/h)

W_{MB} : Bループ流量 (m³/h)

I_{MAO} : T_{MAO} (Aループ炉容器出口温度) でのエンタルピ (kcal/kg)

I_{MBO} : T_{MBO} (Bループ ") でのエンタルピ (kcal/kg)

I_{MAI} : T_{MAI} でのエンタルピ (kcal/kg)

I_{MBI} : T_{MBI} でのエンタルピ (kcal/kg)

※ 但し、上式の中で、A・Bのループ流量については本来は、中間熱交換器を通る流量即ち、メイン流量からサイフォンブレイク流量を差し引いた値でなければならないが、サイフォンブレイク流量は、メイン流量の1%以下であるので、本試験ではこれを無視し、メイン流量を $W_{MA} \cdot W_{MB}$ とした。このサイフォンブレイク流量の效果、また、オーバーフロー系・補助系・ポンプ・放射熱などを考慮した原子炉内出力 (即ち原子炉炉心からの発熱量) について、その評価結果を第6章に記す。

3.2 試験時のプラント状態

本試験の開始前に、以下の各系統設備が正常に運転可能であることを確認する。

系 統 設 備 名	確 認 事 項	備 考
1. 原子炉本体	(1) 原子炉出力が目標出力* (7.5, 15, 25, 40, 50 (Mw)) の定常運転状態にあること。 (2) 原子炉入口温度が約 370 (°C) であること。	* 目標出力は予備チャンネルレコーダ指示を参考にすること。
2. 原子炉冷却設備	(1) 1次主冷却系が定格流量 (10856 (t/h)) の運転状態にあること。 (2) 2次主冷却系が定格流量 (10856 (t/h)) の運転状態にあること。 (3) 補助冷却系が起動可能な状態にあること。	
3. 計測制御設備	(1) 中性子計装が正常動作であること。 (2) プロセス計装が正常動作であること。 (3) 制御系が正常動作であること。 (4) 原子炉安全保護系が正常な状態にあること。	

3.3 原子炉熱出力の測定方法

3.3.1 試験器具

本試験で使用する計器を以下に示す。

名 称	仕 様	用 途
デジタルマルチ温度計	YEW 社製 TYPE2572 精度±(0.05% of rdg+0.2℃)	Na温度測定用 （炉出入口(A・B) ○オーバーフロータンク ○1次補助 IHX 出入口
高精度デジタル電圧計	YEW社製 TYPE2501 分解能0.1μV 許容差±(0.01% of rdg +2 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100μV 精度±(0.01% of rdg +0.001%(f.s.) ±1 digit)	中性子束測定用 （出力系 ○中間系 ○起動系

3.3.2 測定項目及び方法

本試験では、下記の項目につき測定を行なった。

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 k002-03A	TE311-7A	デジタルマルチ温度計の読み
" (B)	421 盤 k002-03B	TE311-7B	"
原子炉出口 Na温度 (A)	421 盤 k002-01A	TE311-1A	"
" (B)	421 盤 k002-01B	TE311-1B	"
1次主冷却系流量 (A)	419 盤 k011-04	FX311-1A	高精度デジタル電圧計の値を校正式で換算
" (B)	419 盤 k013-04	FX311-1B	"
中間系 ch 3	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 4	同上	—	"

測 定 項 目	測 定 場 所	検 出 端 番 号	測 定 方 法
中間系 ch 5	403 盤 J4コネクタ	—	デジタルマルチメータの電圧値を換算
出力系 ch 6	同上	—	"
" ch 7	同上	—	"
" ch 8	同上	—	"
起動系 ch 1	403 盤 J5コネクタ	—	"
" ch 2	同上	—	"
オーバーフロータンク Na温度	419 盤 k042-04	TE33-1	デジタルマルチ温度計の読み
オーバーフロー系汲上流量	① 419 盤 k042-05 ② H-350	FX33-1	デジタルマルチメータの電圧を換算 online 計算機から平均操作
1次補助系 IHX入口 Na温度	364-3 盤 7KX1A(13-14)	TE321-1	デジタルマルチ温度計の読み
" 出口 Na温度	364-3 盤 7KX1A(15-16)	TE321-2	"
1次補助系流量	① 419 盤 k033-05 ② H-350	FX321-1	デジタルマルチメータの電圧を換算 online 計算機から平均操作
サイフォンブレイク流量 (A)	H-500	FE311-5A (入力点B16)	online 計算機 output
" (B)	H-500	FE311-5B (入力点B17)	"

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)

$$Q \text{ (m}^3/\text{hr)} = 162.602 \text{ V (mV)} - 60.165$$
$$(\text{ } 1000 \leq Q \leq 1400, T \div 370 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

(出典) 「常陽」一次主冷却系電磁流量計

検査成績表 (書類番号 31.1-5-301.1, 日立, S. 48.5.25) のグラフ (図3-1~2 参照)

(2) オーバーフロー系汲上流量

$$Q \text{ (m}^3/\text{hr)} = 2830 \text{ V (mV)}$$

$$(0 \leq Q \leq 15)$$

(出典)「常陽」オーバーフロー系電磁流量計

検査成績表 (製番 792312-1, 日立, S. 48. 6. 21) のグラフ及び総合計器校正記録

正記録

(3) 1次補助系流量

$$V \geq 0 \text{ mV の時 } Q \text{ (m}^3/\text{hr)} = 17.054 \text{ V (mV)} + 0.017$$

$$(0 \leq Q \leq 80)$$

$$V < 0 \text{ " } Q \text{ (m}^3/\text{hr)} = 17.055 \text{ V (mV)} + 0.017$$

$$(-30 \leq Q < 0)$$

(出典) 1次補助冷却系電磁流量計

検査記録 (製番 792314-1, 日立, S. 48. 8. 3) のグラフ及び総合計器検査記録

(4) 中間系出力 (ch 3 ~ ch 5)

$$P (\%) = 10^{(0.6V-4)}$$

$$V : \text{volt } (0 \leq V \leq 10)$$

$$P : 100 \% = 50 \text{ MW}$$

(出典) 仕様による。

(5) 出力系出力 (ch 6 ~ 8)

$$\textcircled{1} \text{ range 1 (full scale 0.125 \%)} \quad V : \text{volt } (0 \leq V \leq 10)$$

$$P (\%) = 1.25 \times 10^{-2} \times V$$

$$\textcircled{2} \text{ range 2 (full scale 0.35 \%)} \quad P (\%) = 3.5 \times 10^{-2} \times V \times 1.275$$

$$\textcircled{3} \text{ range 3 (full scale 1.25 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10^{-1} \times V$$

$$\textcircled{4} \text{ range 4 (full scale 3.5 \%)} \quad P (\%) = 3.5 \times 10^{-1} \times V \times 1.275$$

$$\textcircled{5} \text{ range 5 (full scale 12.5 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10^0 \times V$$

$$\textcircled{6} \text{ range 6 (full scale 35 \%)} \quad P (\%) = 3.5 \times 10^0 \times V \times 1.275$$

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

$$\textcircled{8} \text{ range 8 (full scale 125 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

$$\textcircled{9} \text{ range 9 (full scale 125 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

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

$$\textcircled{11} \text{ range 11 (full scale 125 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

$$\textcircled{12} \text{ range 12 (full scale 125 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

$$\textcircled{13} \text{ range 13 (full scale 125 \%)} \quad P (\%) = 1.25 \times 10 \times V$$

(出典) 仕様及び作業連絡表 (原 2-53-17, S. 53.6.9)

(6) 起動系出力 (ch 1 ~ 2)

$$C \text{ (cps)} = 10^{0.0V} \quad V : \text{volt } (0 \leq V \leq 10)$$

(出典) 仕様による。

本試験で、使用した物性値を以下に示す。

ナトリウム比重 γ

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

ナトリウムエンタルピー I

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

ここで T : Na 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

(引用文献)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SODIUM ANL-7923 (1967)

3.3.3 データの整理方法

熱出力校正のデータ整理手順を図 3-3 に示す。(3.1 参照)

また、表 3-1 ~ 3-3 に Na 温度・Na 流量・核計表出力測定データのフォーマットを示し、表 3-2 に測定データから原子炉熱出力を求めるための様式を示す。

3.4 核計表系の校正方法

3.4.1 出力系の校正

(1) 概要

出力系の校正は、熱的方法によって求められた原子炉熱出力に対するモニタ出力 (モニタ出力電圧を出力指示に変換して求めた値) の関係を求めることである。

モニタ出力 (%) とモニタ出力電圧 (V) との関係は次式から求められる。

$$(V) = \frac{10}{125 \times 10^x} \times P \times \left(\frac{1}{K}\right) \quad (35)$$

但し、P : 原子炉出力を % で表わした値

K : 35 full scale レンジ時に使用する補正係数 (≈ 1.275)

x : レンジスイッチの選択位置により決定する値で次の関係がある。

(レンジスイッチ位置)	(x の値)
0.125	-3
0.35 及び 1.25	-2
3.5 及び 12.5	-1
35 及び 125	0

算出されたモニタ出力電圧値への設定はモニタ内微小電流計の利得を調整して行なう。

(2) 方法

熱的方法により得られた原子炉出力に出力系指示を合わせべく以下の調整を行う。

Ⅰ) 初期熱出力時に核出力試験結果もふまえて微小電流計の利得幅での調整が可能かどうかの検討を行なう。

Ⅱ) 原子炉出力上昇に応じて約10〔MW〕、20〔MW〕、25〔MW〕、40〔MW〕、50〔MW〕で微小電流計の利得調整抵抗 (VR₂) を調整して指示計の指示を原子炉出力に合致させる。

Ⅲ) 原子炉停止後出力を段階的に上昇させながら炉出力と指示値の対応をチェックする。炉出力50〔MW〕で指示値を合致するように必要に応じて利得調整を行ない非線形性の補償を行う。

3.4.2 中間系の校正

(1) 概要

中間系の校正は熱的方法によって求められた原子炉出力に対するモニタ出力 (モニタ出力電圧を出力指示に変換して求めた値) の関係を求めて行う。

「常陽」の中間系では、その炉出力計測範囲 (定格出力の10⁻¹% ~ 100%) でLOGの対数化特性は入力電圧 v が

$$v = 0.124 \times \sqrt{P} \quad (V)$$

(但し、 P は原子炉出力を%で表わした値)

に対して出力電圧 V が

$$V = \frac{10}{6} \times \log_{10} (P \times 10^4)$$

$$= \frac{10}{3} \times \log_{10} \left(\frac{100}{0.124} \times v \right)$$

となるように設計されている。

従って前置増幅器、帯域増幅器及び広帯域電流器の可変定数を調整して校正を行なう。

(2) 方法

Ⅰ) 核出力試験時に校正された状態で熱出力領域における指示を読みとり、校正するに最適な原子炉出力を決定する。

Ⅱ) 原子炉出力を校正するに最適な状態で安定させ前置増幅器及び帯域増幅器の利得を調整して指示計の指示を原子炉出力に合致させる。

Ⅲ) 原子炉出力を起動領域から出力領域まで段階的に上昇させながら炉出力と指示値の対応をチェックする。

3.4.3 核計装系計測範囲の確認

原子炉出力を起動し出力領域まで段階的に上昇され、起動系、中間系及び出力系指示と炉出力の対応をチェックし、核計装系の機能を確認する。

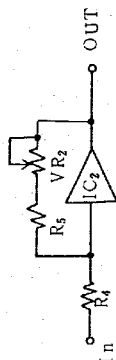
利得調整幅の変更

(1) 概要

第1回校正において原子炉熱出力12.1〔MW〕に対して出力系の指示値が1.75〔MW〕 (ch8指示値3.5〔%]) となっており、現状利得の6.91倍必要であり、現状利得幅では調整不可能であることが判明した。そのため利得調整回路の抵抗値を変更し利得幅を広げた。

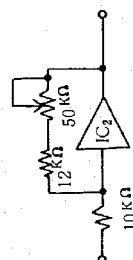
(2) 内容

利得調整回路の概略をF図に示す。この回路における利得は $\frac{R_s + VR_2}{R_4}$ となる。

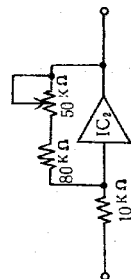


変更前の利得は $\frac{12K + 50K}{10K} = 6.2$ 倍 $\circ VR_2$ max 時 となる。
変更後の利得は $\frac{12K + 0K}{10K} = 1.2$ 倍 $\circ VR_2$ min 時

従って VR_2 min 時の利得を6.91倍となるように 選定抵抗 R_s を80〔k Ω 〕に変更した。変更前後の各抵抗値を下図に示す。



(変更前)



(変更後)

(3) 変更前後の特性

変更前後にモニタの各特性データを測定した結果、変更による差異は生じなかった。

表 3-1-1

表 3-1-2

樣式 1

樣式 2

試験番号	試験名	試験項目	測定箇所	測定時刻		試験出力 MW	試験班 名
				時	分		
PT-11	熱出力校正	原子炉入口Na温度 (A)	421盤 k002-03A $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$				
			平均値				
			421盤 k002-03B $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$				
			平均値				
	"	(B)	平均値 421盤 k002-01A $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$				
			平均値				
			421盤 k002-01B $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$				
			平均値				
	オーバーフロータンク Na温度		419盤 k042-04				
			平均値				
			419盤 k042-04				
			平均値				
	1次補助IHX入口 Na温度		7Kx1A $\begin{pmatrix} 13 \\ 14 \end{pmatrix}$				
			平均値				
			7Kx1A $\begin{pmatrix} 13 \\ 14 \end{pmatrix}$				
			平均値				
	1次補助IHX出口 Na温度		364-3盤 7Kx1A $\begin{pmatrix} 15 \\ 16 \end{pmatrix}$				
			平均値				
			364-3盤 7Kx1A $\begin{pmatrix} 15 \\ 16 \end{pmatrix}$				
			平均値				

試験番号	試験名	校正	測定項目	測定箇所	測定値		試験出力 Mw 年月日	試験班 記録者
					時刻	電圧 mV		
PT-11	熱出力校正	1次主冷却系 Na流量 (A)	419盤 k011-04 1 (2)	平均値			流量 m ³ /h	
		" (B)	419盤 k013-04 1 (2)	平均値		mV		
	1次補助系 Na流量		H-350	平均値		V		
	オーバーフロー系 汲上Na流量		H-350	平均値		V		
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				
				平均値				

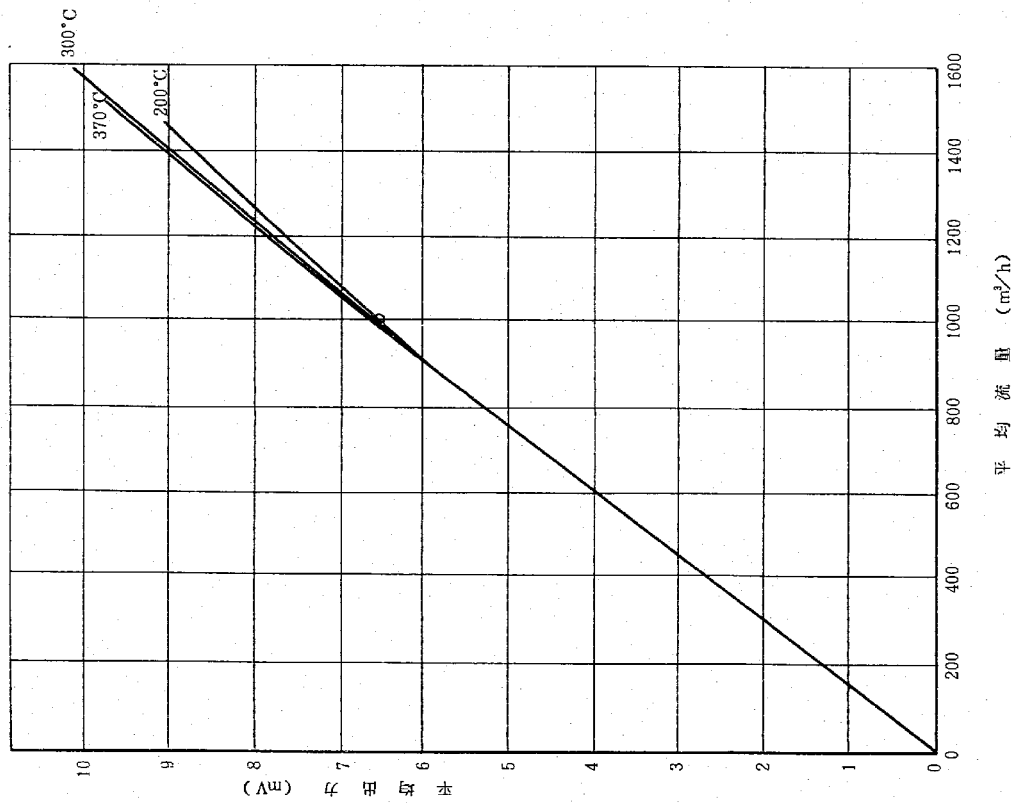


図 3-1 一次主冷却電磁流量計 (Aループ) FE 31.1-3A
校正曲線

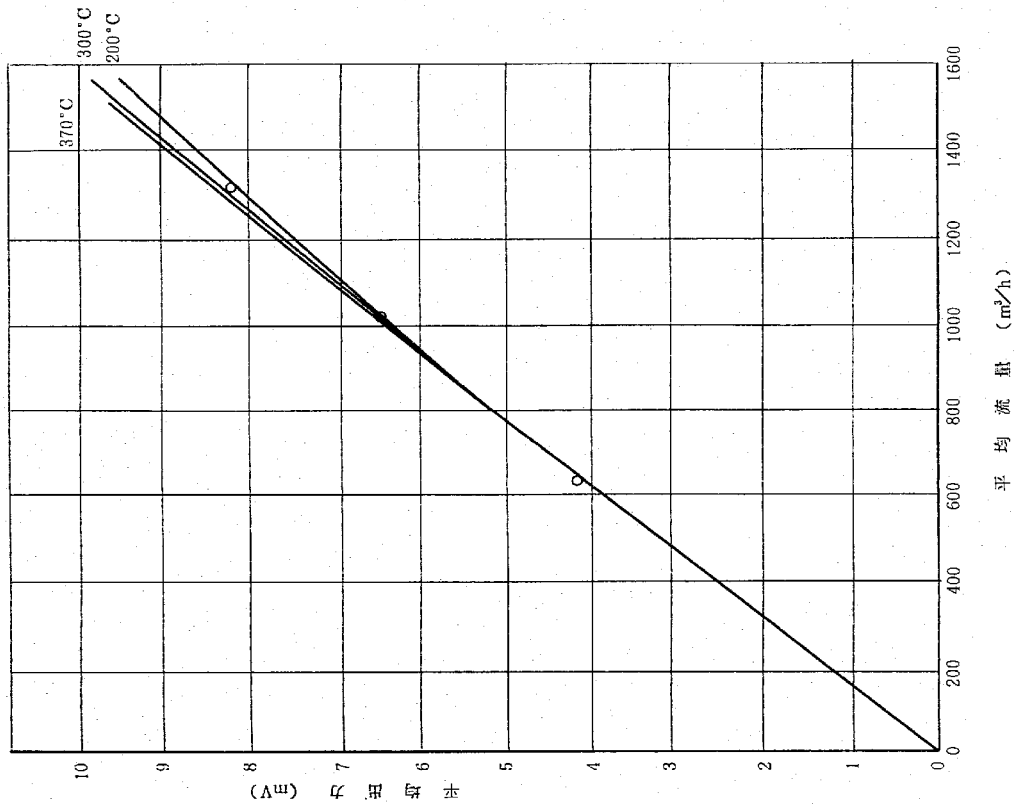


図 3-2 一次主冷却電磁流量計 (Bループ) FE 31.1-3B
校正曲線

[illegible]

No 52 ~ 62 (8月6 ~ 7日)

出力を低下していく際の熱出力校正曲線を測定した。出力上昇時との差異は見られなかった。
No.63～78 (8月11～16日)

50 MW連続 100 時間運転試験時に、熱出力校正を 1 日約 2 回実施した。調整係操作により、
出力系は 100 % に保持されたが、熱出力は、50.7 MW から 48.5 MW まで、徐々に減少した。

表 4-1 熱出力校正試験実績(1)

通し番号	測定月日	時刻	熱出力(MW)	備	考
1	1978年 4月26日		7.56		
2	4月27日		12.21		
3	5月8日		12.05	第1回出力系調整 (5/9～10, ch.6～8及び予備モ ニタの調整)	
4	5月19日	9:11	19.37	第2回出力系調整 (ch.7～8, ch.6不要)	
5	5月25日		23.40	第3回出力系調整 (ch.6～8)	
6	6月10日		25.77		
7	6月23日		40.28		
8	7月4日		38.56		
9	7月6日	10:50	45.66		
10	"	11:49	46.17	第4回出力系調整 (ch.6～8)	
11	7月7日	9:38	50.62	第5回出力系調整 (ch.6～8)	
12	7月8日	9:14	11.32		
13	"	10:17	16.29	中間系校正	
14	"	13:05	21.76		
15	"	14:05	27.19		
16	"	15:00	31.42		
17	"	16:10	36.12		
18	"	17:15	40.62		
19	"	18:34	45.68		
20	"	20:09	50.51		

表 4-1 つづき(2)

通し番号	測定月日	時刻	熱出力(MW)	備	考
21	1978年 7月20日	9:53		ch.1で10 ³ cps 臨界	
22	"	10:18		5×10 ³ "	
23	"	10:35		1×10 ⁴ "	
24	"	10:52		5×10 ⁴ "	
25	"	11:08		1×10 ⁵ "	
26	"	11:31		ch.6で0.06% (range 1)	
27	"	13:10		0.09% (" 1)	
28	"	13:18		" (range 2)	
29	"	13:49		0.2% (")	
30	"	14:23		0.3% (")	
31	"	14:28		" (range 3)	
32	"	14:48		0.6% (")	
33	"	15:09		0.9% (")	
34	"	15:15		" (range 4)	
35	"	15:35		2% (")	
36	"	16:06		3% (")	
37	"	16:12		" (range 5)	
38	7月21日	9:04	12.06		
39	"	13:05	18.13		
40	"	14:14	28.47		
41	"	15:45	43.50		
42	"	17:11	53.26		
43	7月24日	17:31	49.56	第6回出力系調整 (ch.6～8)	
44	7月25日	13:21	16.59	熱出力校正試験局立合	
45	"	14:45	27.35	"	
46	"	16:15	40.81	"	
47	"	17:33	49.64	"	
48	7月26日	13:20	(約0.5)	中間系-出力系オーバーラップ確 認試験局立合	

表 4-1-1 つづき (3)

通し番号	測定月日	時刻	熱出力 (MW)	備	考
49	1978年 7月26日	13:39	(約1)	中間系-出力系オーバーラップ確 認試験局立合	
50	"	14:29	(約5)	"	
51	"	15:09	(約10)	"	
52	8月6日	19:15	48.81		
53	"	21:10	48.65		
54	"	22:40	39.63		
55	8月7日	0:30	39.82		
56	"	1:50	30.72		
57	"	10:40	30.33		
58	"	13:10	25.58		
59	"	14:30	25.79		
60	"	16:05	19.42		
61	"	18:10	19.27		
62	"	19:40	13.36		
63	8月11日	11:10	17.45	連続100時間運転時	
64	"	12:50	27.09	"	
65	"	14:30	41.43	"	
66	"	16:00	50.76	"	
67	8月12日	9:00	50.15	"	
68	"	17:00	49.86	"	
69	8月13日	9:00	49.15	"	
70	"	17:00	48.95	"	
71	8月14日	9:00	48.58	"	
72	"	17:00	48.70	"	
73	8月15日	9:00	48.35	"	
74	"	13:00	48.76	"	
75	"	17:00	48.61	"	
76	"	23:30	48.61	"	
77	8月16日	9:30	48.74	"	
78	"	12:50	12.07	"	

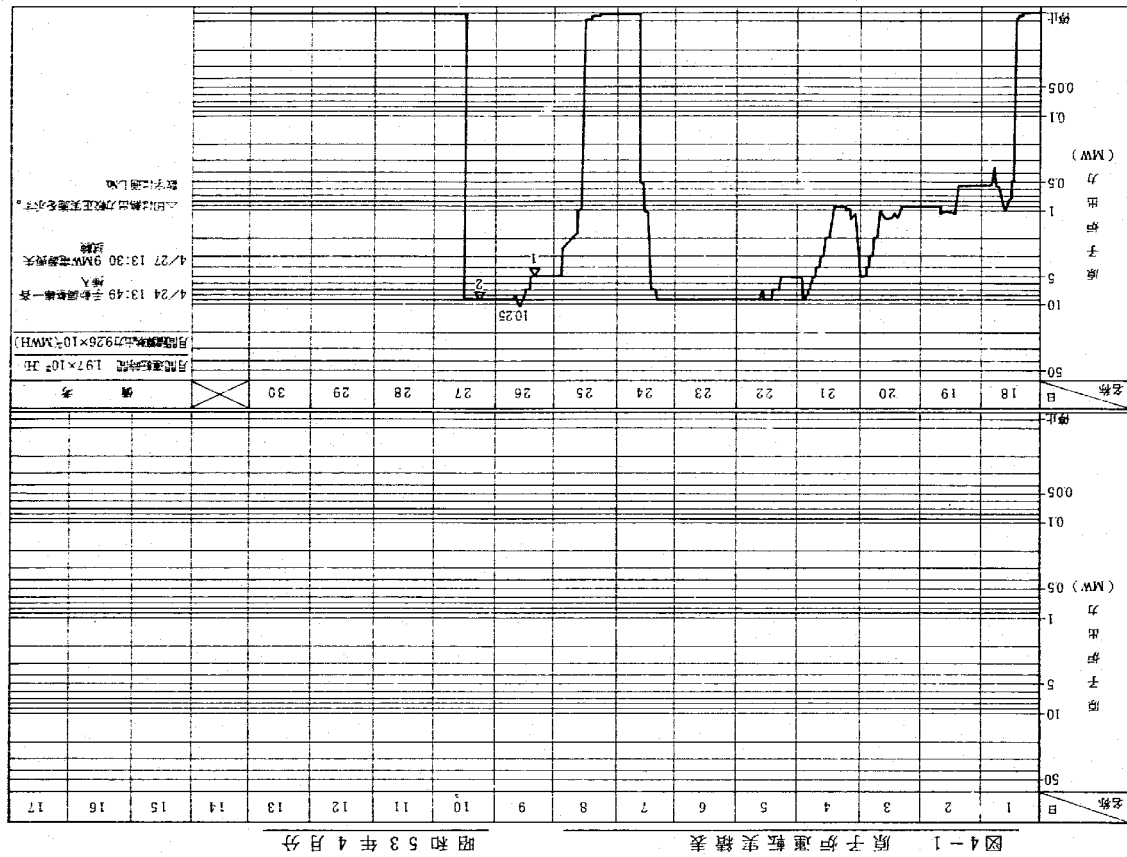


図4-2 原子炉運転実績表

昭和53年5月分

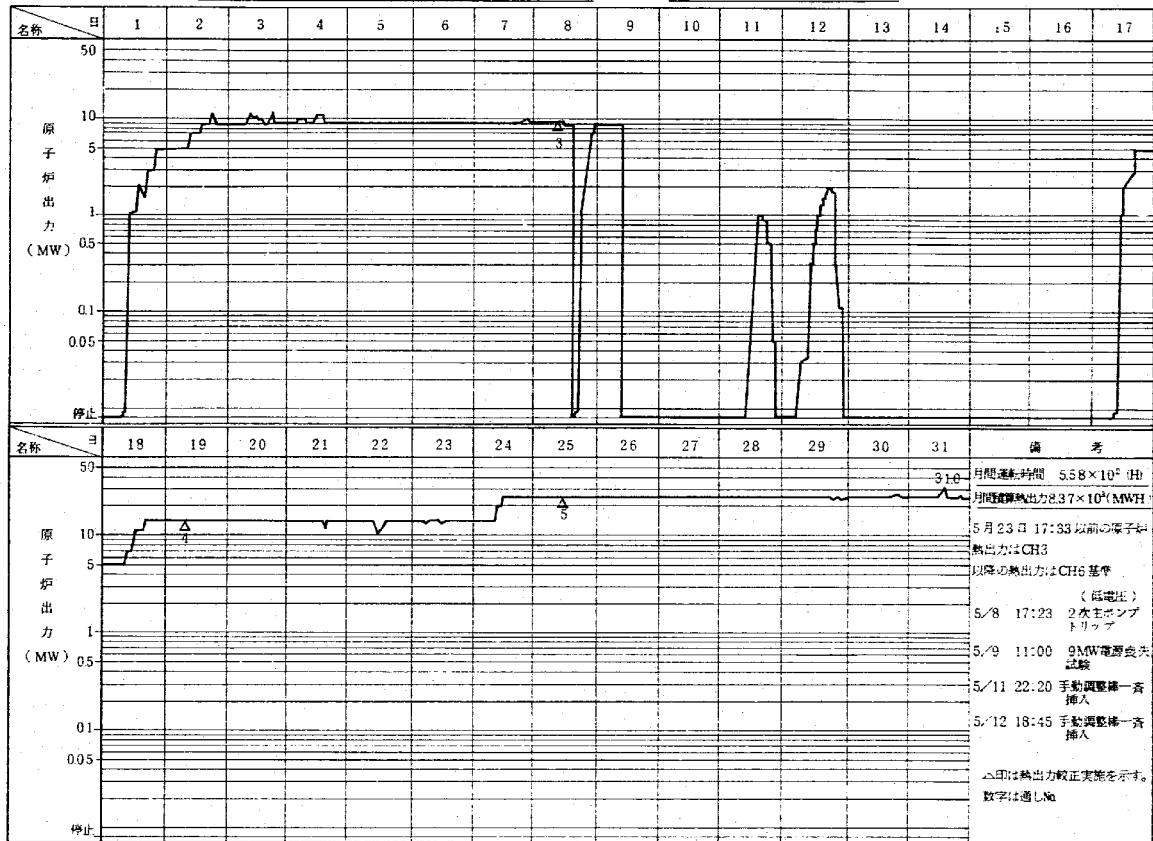


図4-3 原子炉運転実績表

昭和53年6月分

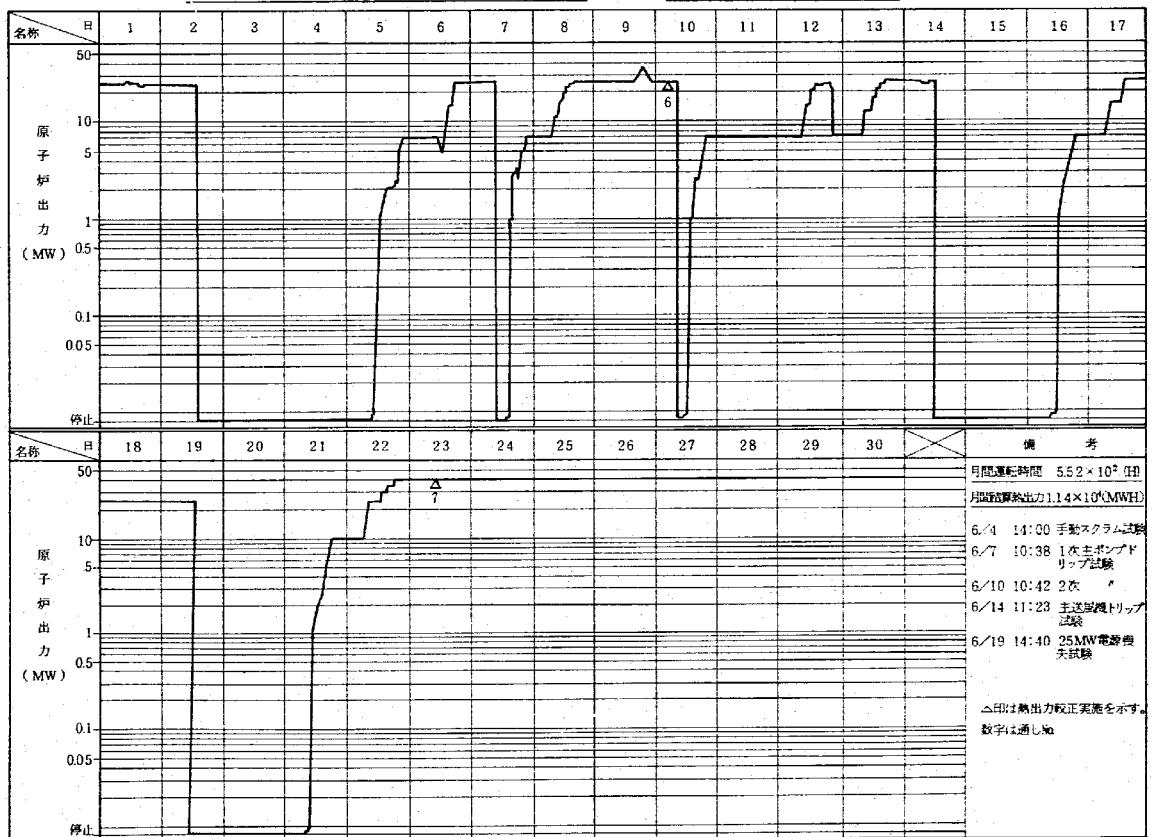


図4-4 原子炉運転実績表

昭和53年7月分

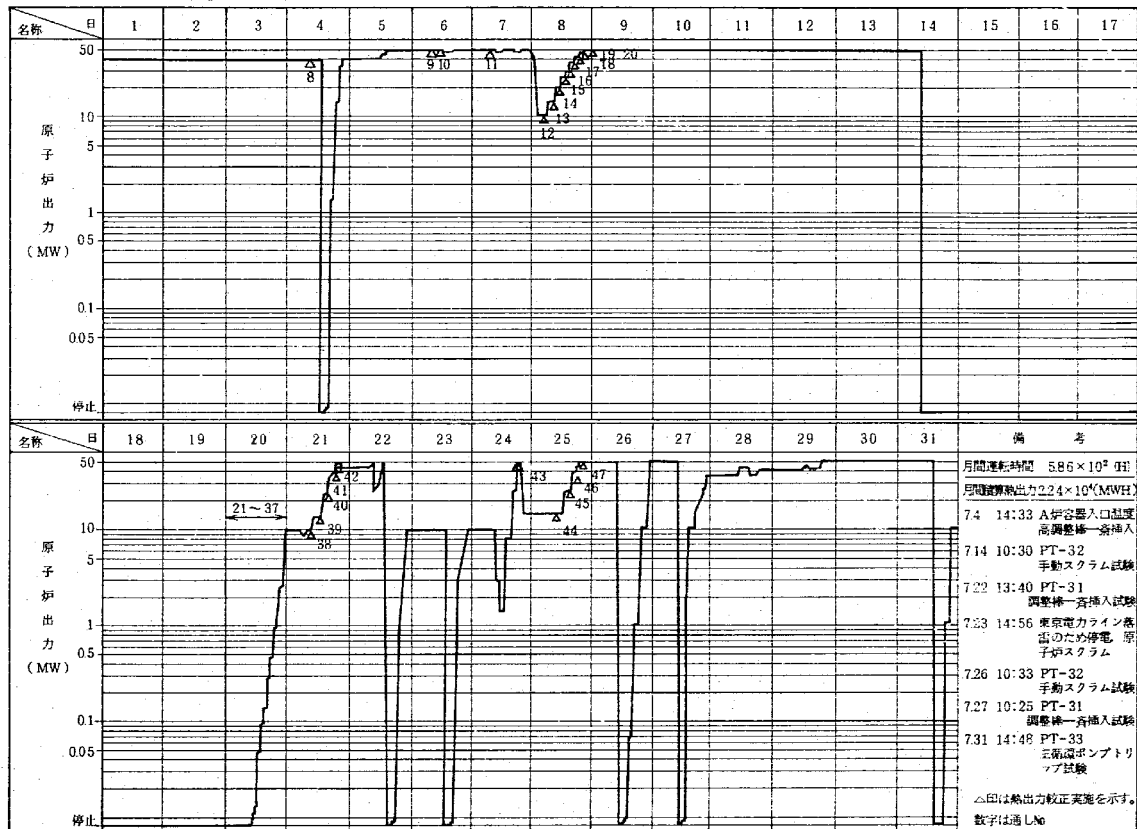
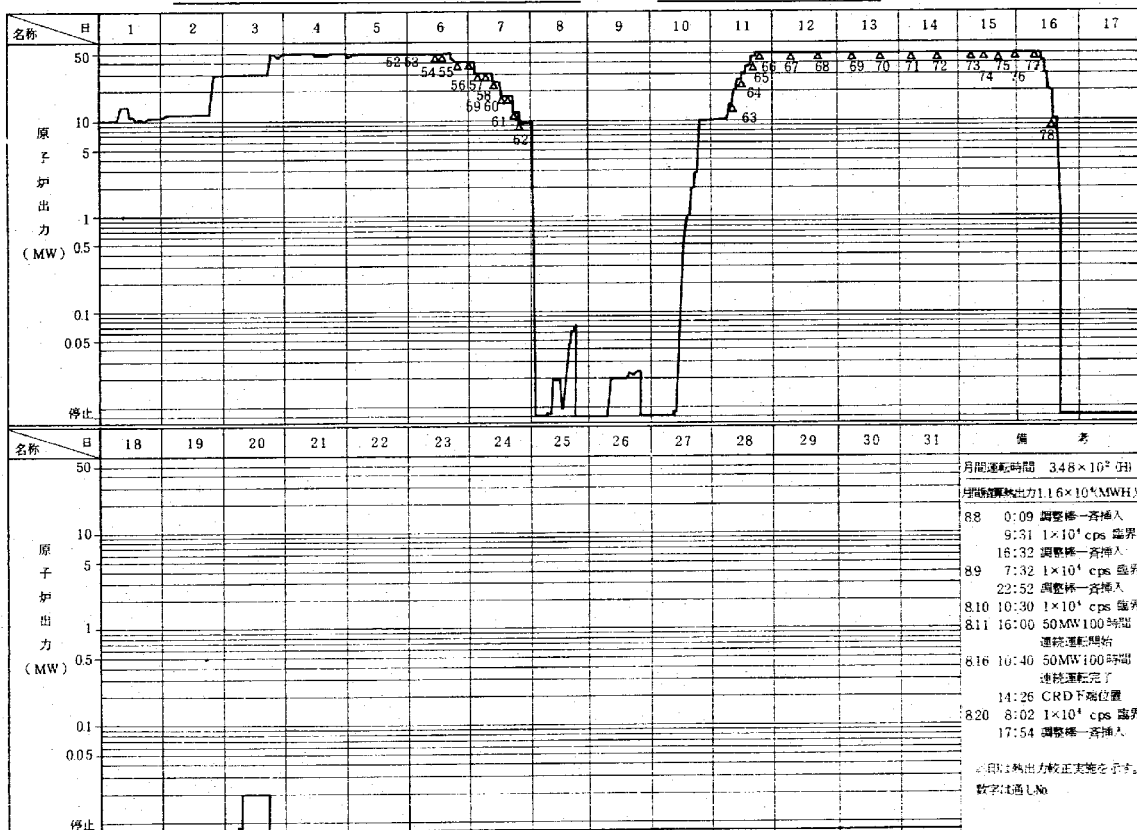


図4-5 原子炉運転実績表

昭和53年8月分



第5章 試験の結果

本章では、熱出力校正試験の測定結果について、その詳細を、各イベント毎に整理して記述する。

表5-1に、全測定点の詳細データを示す。なお、出力系及び中間系の調整に関する詳細については、「常崎」核計装系の校正（その2）-出力上昇試験時における校正-を参照されたい。

5.1 出力系の校正及び調整結果

5.1.1 5月9～10日第1回出力系調整

5月8日に測定した熱出力12.05 MW (No.3) を基準として出力系の第1回調整を行なった。

今回の調整は、微少電流計の利得調整回路の固定抵抗 (R_5) の変更及び利得調整抵抗 (VR_2) を調整する方法である。

調整の概要を以下に示す。

- ① 熱出力12.05 MWに対して、出力系指示値は1.75 MW (ch.8 指示3.5%) となっており、現在の利得を6.91倍する必要がある。そのため (R_5) を12k から80k に交換した。
 - ② (R_5) 交換により、利得増に伴い確認された応答速度はmax. 7.0 sec から7.8 sec の変化であり、問題ない事を確認した。
 - ③ 応答速度の測定中に上限スクラム信号用補助Relay によるノイズが発見された。
 - ④ 調査の結果、利得調整により新たに発生したものではないこと、また運転操作の上で特に問題ないことを確認した。
- 調整の詳細を以下に記す。

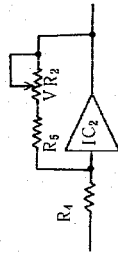
熱出力校正 (熱出力12.05 MW) のデータに基づく核計装出力系の第1回調整データ

(補助リレーによるノイズ調査含む)

実施日：○データ測定 S. 53. 5. 8
○モニタ調整 S. 53. 5. 9～10

1. 概要

- (1) 熱出力校正 (PT-11) の第1回測定をS. 53. 5. 8に実施し、その時の熱出力12.05 (MWt) を基準として出力系 (ch.6～8及び予備モニタ) の校正を行なった (原子炉運転中実施したものでなく、データにもとづいて計算から得られた値を用いて出力系の仮校正を実施した。)
- (2) 出力系の校正は微少電流計の利得調整回路の固定抵抗 (R_5) の変更及び利得調整抵抗 (VR_2) の調整により行なった。



利得調整回路の概略図

(注) S. 53年10月の500kW出力時 (ch.3 指示) の出力系指示値から出力系の利得は現在の約6.45倍必要であるとのデータを得ていた。この時より VR_2 の調整だけでは利得がとれないとの判断から校正方法として、①レンジシフト、②利得調整回路の変更の2案について検討し、その結果、既設モニタ機能の保持並びに作業の容易性等を考慮して、利得調整回路の変更による方法に決定した。

2. 校正方法

(1) 調整幅の検討

熱出力12.1 (MWt) に対して、出力計指示が1.75 (MW) (ch.8 指示3.5%) となっており現在の利得を6.91倍 ($12.1/1.75 \div 6.91$) すればよい。

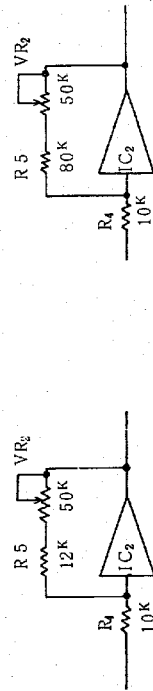
(2) 固定抵抗 (R_5) の決定

現在の利得は

$$\frac{VR_2 \text{ Max 時}}{VR_2 \text{ Min 時}} = \frac{(12k + 50k)}{10k} = 6.2 \text{ 倍}$$

$$\frac{(12k + 0k)}{10k} = 1.2 \text{ 倍}$$

従って VR_2 Min 時の利得を6.91倍となる様に R_5 の抵抗を変更する。 R_5 の抵抗値は約83 (k Ω) ($12k \times 6.91 \text{ 倍} \div 83k$) となるが VR_2 の調整幅 (S. 53. 4. 23 の調査で現在の VR_2 の位置は大体50k の1.2/5にある) を考慮して80 (k Ω) と決定した。



R_5 変更前

R_5 変更後

(3) R_5 変更に伴う入力電流 / full scale の関係

各 Range における入力電流 / full scale は現在の1/6.91倍以下の様になる。

Range (full scale)	入力電流 / full scale	
	変更後	変更前
1 (0.125%)	5.07×10^{-9} (A)	3.5×10^{-8} (A)
2 (0.35%)	1.81×10^{-8}	1.25×10^{-7}
3 (1.25%)	5.07×10^{-8}	3.5×10^{-7}
4 (3.5%)	1.81×10^{-7}	1.25×10^{-6}
5 (12.5%)	5.07×10^{-7}	3.5×10^{-6}
6 (35%)	1.81×10^{-6}	1.25×10^{-5}
7 (125%)	5.07×10^{-6}	3.5×10^{-5}
8 (予備)	1.81×10^{-5}	1.25×10^{-4}
9 (")	5.07×10^{-5}	3.5×10^{-4}
10 (")	1.81×10^{-4}	1.25×10^{-3}

§ 3 校正後データ

(1) 応答速度の測定

i) 方法 線形出力が full scale の 0 から 65 % に達するまでの時間をシンクロで測定する。

(予備モニタと ch. 8 で抜取実施)

ii) 結果

① 予備モニタ (Range 6.7) ◦変更前 7.0 msec ◦変更後 7.6 msec

② ch. 8 モニタ (Range 1.6 及び 7) ◦変更前 7.8 msec

判定基準 10 msec (工場検査要領書より)

結果 良好

(2) 入出力特性の測定

i) 方法 標準微小電流計からの模擬信号入力により線形モニタ出力電圧の精度を確認する。

ii) 結果

判定基準: Range 1~2 $\pm 5.5\%$
" 3~4 $\pm 4.5\%$ (工場検査要領書より)
" 5~10 $\pm 2.5\%$

結果 良好

表 1~4 に試験記録を示す。

(3) 校正出力試験

i) 方法 「校正 1」にしたとき 1.81×10^{-7} A (Range 4) 及び「校正 2」にしたとき

(Range 10) での各モニタ出力指示を確認する。

ii) 結果

判定基準 $10 \text{ V} \pm 2.5\%$ (工場検査要領書より)

結果 良好

表 1~3 に試験記録を示す。

(4) 校正信号設定値の変更

利得調整に伴ない校正信号設定値 (校正 1 及び校正 2) を変更し調整抵抗 (VR₆ 及び VR₅)

により full scale 調整を行なった。

モード SW	校正信号設定値 (Range)		
	変	更	後
「校正 1」	1.81×10^{-7} A (Range 4)	3.5×10^{-7} A (Range 3)	
「校正 2」	1.81×10^{-4} A (Range 10)	3.5×10^{-4} A (Range 9)	

表 1 ch 6 試験データ

① 入出力直線性

	入力電流 (A)	モニタ出力		ユニット 指 示 (%)	
		出力基準 (V)	測定値 (V)		
Range 7 (0~125%)	5.07×10^{-6}	10.0	10.004	125(*)	(*) VR ₅ 調整前 101%指示
	4.87 "	9.6	9.61	120	
	4.06 "	8.0	8.018	100.2	
	3.24 "	6.4	6.406	80	
	2.43 "	4.8	4.816	59.6	
	1.62 "	3.2	3.227	40	
	0.81 "	1.6	1.634	20	
	0 "	0	0	0	
Range 6 (0~35%)	1.81×10^{-6}	10.0	10.007	35	
	1.55 "	8.571	8.574	30.2	
	1.03 "	5.714	5.712	20	
	0.52 "	2.857	2.902	10	
	0	0	0	0	

② 校正出力試験

モード	Range	モニタ出力(V)	モニタ指示(%)	判定基準	判定
校正 1	1.81×10^{-7} (A)	10.001	3.5	±2.5%	良
校正 2	1.81×10^{-4} (A)	10.000	full scale	±2.5%	良

表 2 ch 7 試験データ

① 入出力直線性

	入力電流 (A)	モニタ出力		ユニット 指 示 (%)	
		出力基準 (V)	測定値 (V)		
Range 7 (0 ~ 125 %)	5.07×10^{-6}	10.0	10.008	125 (*)	(*) VR ₂ 調整前 101 多指示
	4.87 × "	9.6	9.611	120	
	4.06 × "	8.0	8.007	99.8	
	3.24×10^{-6}	6.4	6.384	79.8	
	2.43 × "	4.8	4.781	60.2	
	1.62×10^{-6}	3.2	3.178	41	
	0.81 × "	1.6	1.574	21	
Range 6 (0 ~ 35 %)	0	0	0	0	
	1.81×10^{-6}	10.0	10.003	35	
	1.55×10^{-6}	8.571	8.562	29.8	
	1.03×10^{-6}	5.714	5.68	19.8	
	0.52×10^{-6}	2.857	2.848	10.2	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	

② 校正出力試験

モード	Range	モニタ出力(V)	モニタ指示(%)	判定基準	判定
校正 1	1.81×10^{-7} (A)	10.011	3.5	±2.5%	良
校正 2	1.81×10^{-4} (A)	10.008	full scale	±2.5%	良

表 3 ch 8 試験データ

① 入出力直線性

	入力電流 (A)	モニタ出力		ユニット 指 示 (%)	
		出力基準 (V)	測定値 (V)		
Range 7 (0 ~ 125 %)	5.07×10^{-6}	10.0	10.004	125 (*)	(*) VR ₂ 調整前 101 多指示
	4.87 × "	9.6	9.611	120	
	4.06 × "	8.0	8.013	99	
	3.24×10^{-6}	6.4	6.395	79.5	
	2.43 × "	4.8	4.797	60	
	1.62×10^{-6}	3.2	3.200	40.5	
	0.81 × "	1.6	1.602	20	
Range 6 (0 ~ 35 %)	0	0	0	0	
	1.81×10^{-6}	10.0	10.025	35	
	1.55×10^{-6}	8.571	8.587	29.8	
	1.03×10^{-6}	5.714	5.712	19.8	
	0.52×10^{-6}	2.857	2.888	10.1	
	0	0	-0.001	0	
	0	0	0	0	

② 応答速度試験

・調整後 Data

Range	応答速度	判定基準	判 定
Range 7	7.8 msec	10 msec 以下	良
" 6	7.5 msec		
" 1	7.8 msec		

③ 校正出力試験

モード	Range	モニタ出力(V)	モニタ指示(%)	判定基準	判定
校正 1	1.81×10^{-7} (A)	10.004	3.5	±2.5%	良
校正 2	1.81×10^{-4} (A)	10.010	full scale	±2.5%	"

表4 予備モニタ試験データ

① 入出力直線性

	入力電流 (A)	モニタ出力		ユニット 指 示 (%)	(*) VR ₂ 調整前 101 %指示
		出力基準 (V)	測定値 (V)		
Range 7 (0 ~ 125 %)	5.07×10 ⁻⁶	10.0	10.001	125(*)	
	4.87 "	9.6	9.605	120	
	4.06 "	8.0	8.001	100	
	3.24 "	6.4	6.378	80	
	2.43 "	4.8	4.774	57	
	1.62 "	3.2	3.172	37.5	
	0.81 "	1.6	1.568	19	
Range 6 (0 ~ 35 %)	0	0	-0.036	0	
	1.81×10 ⁻⁶	10.0	9.986	35	
	1.55 "	8.571	8.542	29.8	
	1.03 "	5.714	5.657	19.2	
	0.52 "	2.857	2.827	9.4	
Range 1 (0 ~ 0.125 %)	0	0	0	0	
	5.07×10 ⁻⁹	10.0	10.061	0.126	
	4.87 "	9.6	9.670	0.121	
	4.06 "	8.0	8.059	0.100	
	3.24 "	6.4	6.437	0.078	
	2.43 "	4.8	4.828	0.058	
	1.62 "	3.2	3.221	0.038	
	0.81 "	1.6	1.613	0.020	
	0	0	0	0	

② 応答速度試験

	調 整 前	調 整 後	判 定 基 準	判 定
Range 7	7.0 msec	7.6 msec	10 msec	良
Range 6	7.0 msec	7.6 msec	以下	

5.1.2 5月19日～7月7日の熱出力校正結果

(No.4～11)

5月9～10日の第1回出力系調整後、7月7日までの間に、8回の熱出力校正を行った。この校正結果を、各 channel 毎に、図5-1-1～3に示す。このうち、No.4、5、10、11の点で、出力系の調整を行なったが(第2～5回)、図からわかるように、出力系の指示値は、45°勾配の基準線から、最大7%のずれを示し、再現性及び直線性がない。

一般的傾向として、図4-1～4の運転履歴と比べ合わせると、校正以前に、休止期間がある場合 (No.4) は、熱出力に対して、出力系指示値は小さく、高出力で長時間運転した場合 (No.5、9、10) は、その程度に応じて、出力系指示値は大きくなる。

5.1.3 5月19日第2回出力系調整

熱出力校正データ 19.37 MW (No.4) に基づいて、モニタ出力電圧を利用調整抵抗 VR₂ の調整により校正した。また、その際のモニタ及び原子炉制御盤の指示計指示を調整した。
結果の概要を以下に示す。

- ① 熱出力 19.37 MW時のモニタ出力電圧換算値 3.099 volt に対して、ch. 7、8 は第1回調整 (5月9～10日) 状態ではば一致していた。
 - ② ch. 6 については、2.758 volt のモニタ出力電圧であったので VR₂ の操作により、3.103 volt に調整した。
 - ③ また、各チャンネルのモニタ及び423 盤の出力指示計指示をモニタ電圧出力調整後、39 %に調整した。
- 調整の詳細を以下に記す。

熱出力校正 (熱出力 19.37 MWt) のデータにもとづく核計装出力系の第2回調整データ

実施日 : S. 53. 5. 19 (金)

1. 校正方法

熱出力校正データ 19.37 [MWt] にもとづいてモニタ出力電圧を利用調整抵抗 VR₂ の調整により校正した。またその際のモニタ及び原子炉制御盤の指示計指示を調整した。

2. モニタ出力電圧

熱出力 19.37 [MWt] での出力系指示は 38.74 % (19.37 × 100 % / 50 MW) となる。
(Range 7 125 %)

38.74 % のモニタ出力電圧は

$$38.74 \% \times \frac{10 \text{ V}}{125 \%} = 3.099 \text{ [V]}$$

に相当する。

3. 校正

(1) ch. 8

測定モニタ出力	3.105 (V)	熱出力と一致しており利得及び各指示計の調整
モニタ指示計	39 (%)	せず。
＃ 423	39 (%)	

(2) ch. 7

測定モニタ出力	3.102 (V)	熱出力と一致しており利得調整は行なわず各指
モニタ指示計	40 (%)	示値を39 (%)に調整した。
＃ 423	38.5 (%)	

(3) ch. 6

測定モニタ出力 2.758 (V) を VR_2 を操作して 3.103 (V) に調整した。 VR_2 で調整後 # 423 指示計は 39 % で良好であった。またユニット指示計 38 % を 39 % に調整した。

利得調整操作により入力電流 / full scale の関係は第 1 回調整データの 2758/3099 倍と なった。

Range	第 1 回入力電流 / full scale	第 2 回入力電流 / full scale
1 (0.125)	5.07×10^{-9} (A)	4.51×10^{-9} (A)
2 (0.35)	1.81×10^{-8}	1.61×10^{-8}
3 (1.25)	5.07×10^{-8}	4.51×10^{-8}
4 (3.5)	1.81×10^{-7}	1.61×10^{-7}
5 (12.5)	5.07×10^{-7}	4.51×10^{-7}
6 (35)	1.81×10^{-6}	1.61×10^{-6}
7 (125)	5.07×10^{-6}	4.51×10^{-6}
8 (300)	1.81×10^{-5}	1.61×10^{-5}
9 (")	5.07×10^{-5}	4.51×10^{-5}
10 (")	1.81×10^{-4}	1.61×10^{-4}

* 校正信号 1・2 は調整せず。

(注) モニタ出力電圧の小数点 2 桁以下は不安定のため上記調整データは熱出力換算出力電圧と一致したものとはならない。

5.1.4 5月25日第3回出力系調整

熱出力校正データ 23.40 MW (No. 5) に基づいて出力系の調整を、第2回と同様の方法で行な った。

調整前に、熱出力 23.40 MW に対して、出力系指示は 50 % (25 MW) であった。23.40 MW

に対応するモニタ出力電圧は 3.744 volt であるので、 VR_2 の操作により、これを調整し、指示計 の指示値を 47 % とした。

調整の詳細を以下に記す。

熱出力校正 (熱出力 23.4 MW) のデータにもつづく校正表出力系の第 3 回調整データ

実施日 : S. 53. 5. 25 (木)

1. 校正方法

熱出力校正データ 23.4 (MW) にもつづいてモニタ出力電圧を利得調整抵抗 VR_2 の調整により 校正した。またその際のモニタ及び原子炉制御盤の指示計指示を調整した。

2. モニタ出力電圧

熱出力 23.4 (MW) での出力系指示は 46.8 (%) (23.4 × 100 % / 50 MW) となる。
(Range 7 125 %)

46.8 (%) のモニタ出力電圧は

$$46.8 (\%) \times \frac{10 (V)}{125 (\%)} = 3.744 (V)$$

に相当する。

3. 校正

項目	モニタ出力電圧 (V)		モニタ指示計 (%)		制御盤指示計 (%)	
	校正前	校正後	校正前	校正後	校正前	校正後
ch. 8	3.954	3.744	50.0	47.0	50.0	47.0
ch. 7	3.951	3.744	50.0	47.0	50.0	47.0
ch. 6	3.995	3.744	50.1	*47.5	50.1	*47.5

* 47 % に調整した。

5.1.5 7月6日第4回出力系調整

熱出力校正データ 46.17 MW (No. 10) に基づいて、出力系の調整を前回と同様の方法で行な った。

熱出力校正 (熱出力 46.17 MW) のデータにもつづく校正表出力系の第 4 回調整データ

熱出力校正 (46.17 MW 仮校正)

実施日 : S. 53. 7. 6

1. 校正方法

原子炉熱出力 46.17 (MW) 時における出力系各 ch の仮校正をモニタ利得調整用 VR_2 によ りモニタ出力電圧では 7.387 (V) に調整し、さらに指示計および、記録計指示値の調整を実施

した。以下に校正前後の値を記す。

○校正前

ch	423 盤 指示計	記録計	モニタ盤 指示計	モニタ出力 電圧
ch 6	99.5	99.5	102	7.952 (V)
ch 7	96	96	94	7.782
ch 8	96	96	96	7.785

○校正後

ch	423 盤 指示値	記録計	モニタ盤 指示計	モニタ出力 電圧	基準モニタ 電圧
ch 6	92	92	94	7.385 (V)	
ch 7	91.5	91.5	89.5	7.385	7.387 (V)
ch 8	91	91.5	92	7.385	

○モニタ電圧調整後、記録計・指示計を 92% に調整

○423 盤指示計

モニタ VR-4 により調整

○モニタ盤指示計

モニタ VR-3 により調整

○指示計

指示計 スパン調整

5.1.6 7月7日第5回出力系調整

熱出力校正データ 50.62 MW (No 11) に基づいて、出力系の調整を、前回と同様の方法で行った。

調整の詳細を以下に記す。

熱出力校正 (熱出力 50.62 MW) のデータにもとづく核計装出力系の第 5 回調整データ

実施日 S-53. 7. 7

1. 校正方法

原子炉熱出力 50.62 (MWt) 時において出力系各 ch モニタ利用調整用 VR2 調整により校正を実施した。以下に校正前後の出力系各 ch の指示値、モニタ出力電圧を記す。

校正前

	423 盤 指示計	記録計	モニタ盤 指示計	モニタ出力 電圧
ch-6	100	99.5	100	7.965 (V)
ch-7	99	99	99	7.932
ch-8	100	99.5	99.5	7.935

校正後

	423 盤 指示計	記録計	モニタ盤 指示計	モニタ出力 電圧	基準モニタ 出力電圧
ch-6	101	101	101	8.083 (V)	8.08
ch-7	101	101.5	101	8.084	8.08
ch-8	101.5	101.5	101	8.082	8.08

5.1.7 7月8日の熱出力校正曲線

(No 12 ~ 20)

これ以前の校正において、再現性及び直線性の欠如していた原因が、原子炉の運転履歴にある可能性を勘案して、短時間で出力上昇を行ない、その際適当な出力レベルで数十分の出力保持をし、各々熱出力校正を行なった。

熱出力の範囲は、11 MW から 50 MW で、インターバルは約 5 MW である。ここで、出力系は前日の 7 月 7 日に熱出力 50.62 MW で、第 5 回の調整がなされた状態であった。

結果を図 5-2-1 ~ 3 に示す。

① 熱出力及び出力系指示値の測定の際の誤差を考えると、校正曲線は、充分な直線性を持っている。

② 50 MW の点では、出力系指示値と熱出力は一致し、15 MW 程度の低出力では、出力系指示値は熱出力よりも、約 2 ~ 3 % 小さい。

③ ch. 7 と ch. 8 については、range 6 と 7 の切替によるシフトは見られないが、ch. 6 については、若干のずれがある。

5.1.8 7月21日の熱出力校正曲線

(No 38 ~ 42)

7月8日と同様に、出力上昇時における各出力レベルでの熱出力校正を行なった。

熱出力の範囲は、12～53 MWで、インターバルは約10 MWである。ここで、出力系は、7月7日の第5回調整を受けたまま、7月8日の校正時と同じ状態である。

結果を、図 5-3-1～3 に示す。

- ① 今回も、直線性は非常に良好である。
 - ② 出力系指示値 100 多において、熱出力は 53.3 MW となり、出力系指示値の方が熱出力よりも6多ほど小さくなった。熱出力 15 MW 時にも、出力系の方が 4～5 多小さい。
 - ③ 今回も、ch. 7 と ch. 8 については、range 6 と 7 の切替によるシフトは見られないが、ch. 6 については、1 多のずれがある。
- 運転履歴の点から見ると、7月8日時点は、それ以前に 40～50 MW の高出力連続運転を半月以上行っているのに対して、7月21日時点は、約6日の休止直後という差異がある。

5.1.9 7月24日第6回出力系調整

熱出力校正データ 49.56 MW (No. 43) に基づいて、出力系の調整を前回と同様の方法で行なった。

調整の詳細を以下に記す。

熱出力校正 (熱出力 49.56 MW) のデータにもとづく該計装出力系の第6回調整データ

実施日 : S. 53. 7. 24

1. 校正方法

熱出力 49.56 (MW) のデータにもとづいてモニタ出力電圧を利用して調整抵抗 VR₂ の調整により校正した。またその際のモニタ及び原子炉制御盤の指示計指示を調整した。(VR₃ 及び VR₄)

2. モニタ出力電圧

熱出力 49.56 (MW) での出力系指示は 99.12 (多) となる。

99.12 (多) のモニタ出力電圧は

$$99.12 (\%) \times \frac{10 (V)}{125 (\%)} = 7.830 (V)$$

に相当する。

3. 校正データ

	モニタ出力電圧 [V]		モニタ指示計 (%)		# 423 指示計 (%)		# 423 記録計 (%)	
	校正前	校正後	校正前	校正後 (調整値)	校正前	校正後 (調整値)	校正前	校正後
ch. 6	7.693	7.932	95.0	98.0 (99.0)	96.0	99.0	96.0	99.5
ch. 7	7.751	7.930	96.0	98 (99.0)	97.0	99.0	97.0	99.3
ch. 8	7.646	7.931	95.5	99.0	95.8	99.5 (99.0)	95.9	99.5

5.1.10 7月25日の熱出力校正曲線 (官庁立合)

(No. 44～47)

前日の7月24日に第6回の調整を行なった状態で、PT-11 熱出力校正の官庁立合を受け、合格した。

熱出力の範囲は、16～50 MWで、インターバルは約10 MWである。

結果を、図 5-4-1～3 に示す。

- ① 直線性は、非常に良好である。
- ② 50 MW の点では、出力系指示値と熱出力は良く一致し (ch. 8 は若干ずれた。) 16 MW の低出力では、出力系指示値の方が、熱出力よりも 2～3 多小さい。

5.1.11 8月6～7日の出力降下時における熱出力校正曲線

(No. 52～62)

今までの熱出力校正曲線は、すべて出力上昇時に得られたものであったので、今回、出力降下時における熱出力校正曲線を測定した。熱出力の範囲は、50～13 MWで、インターバルは5～10 MWである。ここで出力系は、7月24日の第6回調整を受けた状態のままである。

他の試験との関係で、各出力レベルでの保持時間が長かったので、それぞれ、保持開始と終了の2点を測定している。

結果を図 5-5-1～3 に示す。

- ① 直線性は良好である。
- ② 50 MW では、熱出力よりも出力系指示値の方が 2～3 多ほど大きく、13 MW では、2 多ほど小さい。
- ③ 出力下降時と上昇時の校正曲線に差異はみられない。

5.1.12 8月11日の100時間連続運転開始時の熱出力校正曲線

(No. 63～66)

100 時間連続運転の開始時に、測定したものである。出力系の状態は、7月24日に第6回の調整をしたままであるが、但し、運転前に、約3日の休止期間があった。

熱出力の範囲は、17～50 MWであり、約10 MW インターバルで測定を行なった。

結果を図 5-6-1～3 に示す。

- ① 直線性は、非常に良好である。
- ② 50 MW では、熱出力よりも出力系指示値の方が 1～2 多ほど小さく、17 MW では 2～3 多ほど小さい。

5.1.13 8月11～16日の100時間連続運転中の熱出力校正

(No.66～77)

100時間連続運転時は、ch. 6出力系指示値が100%を維持するよう、1日に約2回調整率を引き抜く運転が行なわれた。この間、1日に約2回の熱出力校正を行なった。この結果を図5-7-1～3に示す。

この測定は、今までの熱出力校正曲線とは違っており、連続運転時の出力系指示値に対する熱出力の変化を時間を追って、測定したものであり、熱出力校正の直線性ではなく、再現性に関するものであると言える。

結果の図を見ると、(出力系指示値) / (熱出力) の rate が、運転の経過とともに、次第に大きくなるようにシフトしていく事がわかる。特に、これは、運転開始の初期において著しい。

ch. 6について、これを見やすくするために、横軸に測定日を、縦軸に、(出力系指示値) / (熱出力) の rateをとったものを図5-8及び表5-2に示す。

測定誤差による若干のバラツキはあるが、運転が進むにつれて、熱出力に対して出力系指示値が上に凸で単調なカーブで増加していている。

ch. 7・8も同様である。

5.2 中間系の校正及び調整結果

5.2.1 7月8日の調整以前の熱出力校正曲線

(No.1～10, 12～13)

中間系の調整は、熱出力16.29 MW (No.13) で、7月8日に行なわれたが、それ以前の熱出力校正データをまとめて図5-9-1～3に示す。

この時点での中間系の状態は、低出力試験時にNT-41核出力校正試験で1977年6月20日に調整されたままであった。

- ① ch.3～5とも、熱出力約10～30 MWの範囲では、熱出力に対して、良い直線性を持っている。
- ② ch.3とch.4は、熱出力11 MWで約7%、26 MWで約10% 熱出力よりも指示値が小さい。
- ③ ch.5は、前2者と相当に異なっていて、熱出力11 MWで約13%、26 MWで約25% 熱出力よりも、指示値が小さい。
- ④ ch.3～5とも熱出力約30 MWを越えたと、急激に指示値が上昇する。熱出力46 MW 時に、ch.3は116%、ch.4は106%、ch.5は56%の指示値を示した。

5.2.2 7月8日の中間系調整

熱出力校正データ16.29 MW (No.13) に基づいて、中間系ch. 3～5のキャンベル前置増幅器利得調整用抵抗VR₁及び帯域増幅器利得調整用抵抗VR₁の操作により、中間系の調整を実施し

た。

また、モニタ指示計の調整を、対数増幅器VR₂で実施した。
調整の詳細を以下に記す。

熱出力校正 (16.29 MW) のデータにもとづく核計表中間系の調整データ

実施日 : S.53.7.8

1. 校正方法

原子炉熱出力16.29 (MW) 時において中間系各chのキャンベル前置増幅器(Pre Amp)利得調整用抵抗VR₁及び帯域増幅器(BPS)利得調整用抵抗VR₁の操作により校正を実施した。
モニタ指示計調整は対数増幅器VR₂で実施した。
(モニタ出力電圧の算出)

$$16.29 \text{ MWt} \times \frac{50}{100} = 32.58 \% \text{ より}$$

モニタ電圧 : x

$$x = 1.666 (\log 10^6 + \log 3.258) = 8.333 + 0.855 = 9.188 \text{ (V)}$$

(調整データ)

ch	項目	校正前	校正後	調整	備考
ch. 3	モニタ出力電圧 (V)	8.961	9.188	—	Pre Amp VR ₁ で9.141Vまで9.141V → 9.211VまではBPS VR ₁ で調整し、さらにPre Amp VR ₁ で9.211V → 9.188Vに調整した。
	#423指示計 (%)	25	33	—	
	モニタ指示計 (%)	28	40	33	
ch. 4	モニタ出力電圧 (V)	8.990	9.188	—	Pre Amp VR ₁ で9.188 V に調整した。
	#423指示計 (%)	26	33	—	
	モニタ指示計 (%)	30	40	33	
ch. 5	モニタ出力電圧 (V)	8.627	9.188	—	Pre Amp VR ₁ で9.188 V に調整した。
	#423指示計 (%)	16	33	—	
	モニタ指示計 (%)	15	40	33	

(*) #423記録計は校正後33%指示で正常であった。

5.2.3 7月8日の熱出力校正曲線 (No.13~17)

7月8日に、熱出力16.29 MWで中間系の調整を行なったのち、出力を上昇して、熱出力校正曲線を作成した。

校正熱出力の範囲は16~36 MWであり、インターバルは約5 MWである。

結果を図5-10-1~3に示す。

- ① ch.3~5とも、16 MWの時点で既に、直線性は失われている。
- ② 調整以前は、ch.5のみ他チャンネルと異なった指示値を示したが、調整後は、いずれも同様の挙動を示すようになった。
- ③ 熱出力36 MWにおいて、ch.3指示値は108%、ch.4は98%、ch.5は116%となった。但し、中間系は対数出力であり、上記値を電圧に換算すると、順に10.057 volt、9.989 volt、10.108 voltとなり、各ch間のずれは1%以内で、測定誤差及び調整誤差の範囲内である。

5.2.4 7月21日の熱出力校正曲線 (No.38~40)

7月8日と同様に、出力上昇時において、各出力レベルで熱出力校正を行なった。但し、測定点は12 MW、18 MW、28.5 MWの3点のみである。

結果を図5-11-1~3に示す。

- ① 熱出力12 MWの辺で、既に、直線性が失われ始めているようである。
 - ② 7月8日の調整レベル16 MWでは、熱出力より中間系指示値の方が約2%小さいと推測される。これは、変化の幅は小さいが、傾向は、出力系で見られた再現性の欠如と同様の現象である。
- 運転履歴の点から見ると、7月8日時点は、それ以前に40~50 MWの高出力連続運転を半月以上行っているのに対して、7月21日時点は約6日の休止直後という差異がある。

5.3 核計装のオーバーラップ確認

5.3.1 中間系と出力系のオーバーラップ

中間系と出力系のオーバーラップ確認試験は、7月20日と7月26日(局立)の2回行なわれた。

いずれの場合も低出力の試験であるため、熱出力測定は行なえず、中間系と出力系の45°直線性をもってオーバーラップ確認とした。

7月20日の試験は、 1×10^{-3} % (500 W) から3% (1.5 MW) の範囲にわたって行なわれた。中間系は7月8日の調整後であり、出力系は7月7日の第5回調整後の状態である。

出力系は、 2×10^{-3} % (1 kW) から有感性を示し、 1.6×10^{-2} % (8 kW) から3% (1.5

MW) の間で、中間系と出力系は非常に良好な45°直線性を示した。また、出力系のレンジ切換による指示値ずれも全くない。

7月26日の試験は、官庁立合のもとに1% (500 kW) から20% (10 MW) の範囲にわたって行なわれた。中間系は7月8日の調整後であり、出力系は7月8日の第6回調整後の状態である。

中間系と出力系は、この試験範囲の間で、非常に良好な45°直線性を示した。

図5-12-1~3に7月20日の試験結果を、ch.3 - ch.6、ch.4 - ch.7、ch.5 - ch.8をそれぞれ組として示す。

図5-13-1~3に7月26日の試験結果を示す。

上記の2回の測定をまとめると、出力系は 2×10^{-3} % (1 kW) から感じ始め、 1.6×10^{-2} % (8 kW) から、20% (10 MW) の間で中間系と出力系は、非常に良好な45°直線性を持つ。

しかし、5.2で示したように、中間系は24% (12 MW) 付近から直線性を失い始め、使用できなくなる。

以上のまとめを図5-16に図示する。

5.3.2 起動系と中間系のオーバーラップ

7月8日に、中間系を熱出力16.29 MW時に、これに合わせて調整しているため、起動系と中間系のオーバーラップ確認を7月20日に行なった。試験範囲は 1×10^{-3} % (500 W) から 7×10^{-2} % (35 kW) である。

中間系は 1×10^{-3} % (500 W) で感じ始めており、 3×10^{-3} % (1.5 kW) から 4×10^{-2} % (20 kW) の範囲で起動系と良好な45°直線性を持つ。

図5-14-1~3に、ch.1に対するch.3・4・5の指示値を示す。

3×10^{-3} % (1.5 kW) より下で直線性が失われのは中間系のノイズによるものと考えられ、 4×10^{-2} % (20 kW) より上で直線性が失われるのは、起動系のカウンタ数の飽和によるものである。

上の対応には、起動系としてch.1を用いたので、図5-15に起動系ch.1とch.2の相関を示す。

起動系と中間系のオーバーラップ状態をまとめて図5-16に示す。

各チャンネルのオーバーラップ領域を最小自乗法によりfittingした結果を示す。

① ch.1とch.3

$$(ch.3) \% = 3.838 \times 10^{-7} (ch.1)_{CPS}^{0.9875} \\ (\text{fitting 誤差 } \log \text{ 値で } 1.4 \times 10^{-2} \text{ 以下})$$

② ch.1とch.4

$$(ch.4) \% = 2096 \times 10^{-7} (ch.1)_{CPS}^{1.049} \\ (\text{fitting 誤差 } \log \text{ 値で } 5.1 \times 10^{-3} \text{ 以下})$$

③ ch.1 と ch.5

$(ch.5) \% = 2.266 \times 10^{-7} (ch.1)_{GFS}^{1040}$
(fitting 誤差 log 値で 4.6×10^{-3} 以下)

④ ch.1 と ch.2

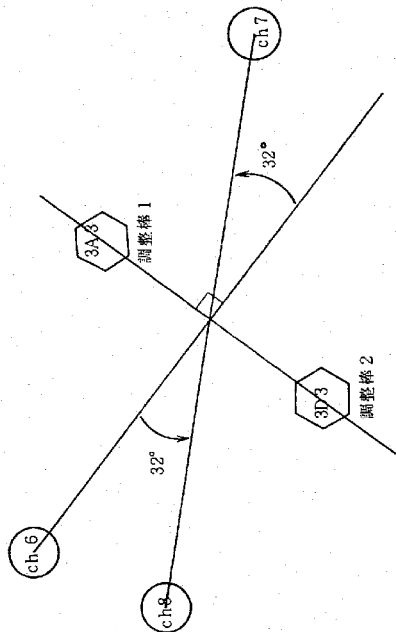
$(ch.2)_{GFS}^{0.9941} = 1.000 (ch.1)_{GFS}^{1040}$
(fitting 誤差 log 値で 5.2×10^{-3} 以下)

5.4 制御棒差換効果

7月21日に、制御棒の差し換えが、出力系の各chに与える影響を見るための試験を行った。試験は、熱出力約48 MWで、以下の3ケースにおける各chの指示値を比較する方法をとった。

- case. 1 調整棒1 (3A3) と調整棒2 (3D3) を均等引抜
- case. 2 調整棒1 を全引抜
- case. 3 調整棒2 を全引抜

出力系の各chの調整棒に対する配置を以下に示す。(図2-2参照)



配置から、ch.6には制御棒差換の影響はないと考えられる。従って、試験結果は、ch.6に対する変化量として、ch.7, ch.8の指示値を整理する方法をとった。

<試験結果> case 1を0に規格したch.6に対する変動量

	調整棒位置		出力系変動量	
	RR1	RR2	ch.7	ch.8
case. 1	504 mm	504 mm	0.0	0.0
case. 2	700	401	+1.2 %	-1.2 %
case. 3	399	700	-0.8 %	+1.9 %

(詳細試験データを表5-3-1~3に示す。)

ここで、誤差は±0.55 %である。(5.2参照)

結論として、明らかに制御棒の差換が出力系指示値に影響を与えていることがわかる。配置図から予想される通り、調整棒1を上げるとch.7の指示値が増し、調整棒2を上げるとch.8の指示値が増す。

定量的には、本試験はデータ数が少なく、またラック配置等の影響も考慮していないので、相対的誤差があるものと思われるが、調整棒位置の500→700 mmの引上げにより、それに近い出力ch.は約1 %強指示値が増加すると言える。

表 5-1 (1) PTT-11 熱出力低下試験測定結果

No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
月	日	4.26	4.27	5.8	5.19	5.25	5.10	6.23	7.4	7.6
機 出 力 (MW)	全 体	7.56	12.21	12.05	19.37	23.40	25.77	40.28	38.56	45.66
	A 炉	3.41	5.77	5.41	9.68	11.78	13.43	20.38	19.59	23.24
	B 炉	4.15	6.44	6.64	9.51	11.62	12.34	19.90	18.97	22.42
	入 力	372.4	374.1	372.4	370.6	371.9	369.9	373.2	372.57	368.98
温 度 (°C)	A	368.4	369.7	367.2	369.7	370.4	370.9	372.5	372.43	368.73
	B	381.2	386.8	386.8	386.2	402.1	404.5	426.2	423.40	431.48
	A	379.1	386.3	384.2	384.2	400.3	402.5	423.8	421.23	429.55
	B	1257.5	1276.4	1221.5	1252.0	1257.4	1262.7	1265.4	1257.17	1211.92
Na 流 量 ($\frac{M^3}{hr}$)	A	1258.2	1259.2	1267.6	1261.8	1263.7	1271.2	1265.2	1267.89	1222.07
	B	457.4	468.4	469.1	468.0	444.1	463.0	458.9	470.0	470.0
	RR1 (mm)	451.1	415.1	425.2	450.0	468.4	463.0	508.8	506.5	530.0
	RR2 (mm)	451.1	415.1	425.2	450.0	468.4	463.0	508.8	506.5	530.0
中	指示値	10	18	18	30	40	40	75	70	100以上
	記録計	10	18	18	30	38	40	72	70	100以上
	3 計算機(log)	0.429	1.246	1.477	1.588	1.876	1.876	1.876	1.856	2.056
	モニタ出力	10.38	17.54	17.06	29.44	38.18	41.88	71.78	72.48	113.40
間	指示値	10	20	19	30	40	40	75	70	100以上
	記録計	10	18	18	28	38	40	70	70	100以上
	4 計算機(log)	0.436	1.250	1.475	1.588	1.876	1.876	1.876	1.846	2.025
	モニタ出力	10.67	17.78	17.30	30.27	41.88	41.88	71.78	70.40	107.45
系	指示値	7	12	12	20	30	30	50	40	60
	記録計	6.4	12	12	18	25	25	42	40	50
	5 計算機(log)	0.273	1.080	1.295	1.475	1.661	1.661	1.642	1.753	1.753
	モニタ出力	7.05	11.75	11.27	19.45	26.55	44.26	43.41	56.29	56.29
例	指示値	1.5	3.2	3.2	3.4	5.1	5.1	81	78	99
	記録計	1.5	3.3	3.2	3.4	4.8	5.1	80	78	99
	6 計算機	1.42	2.94	2.88	31.02	46.41	47.38	77.20	75.0	95.35
	モニタ出力	(4.31)	(2.61)	(2.54)	34.48	49.94	50.75	80.38	78.54	99.06
出 力 系	指示値	1.64	3.8	3.4	38.5	50.0	51	79	76	96
	記録計	1.62	3.5	3.42	39	49.8	51	79	77	96
	7 計算機	1.63	3.50	3.44	38.50	49.02	50.31	79.41	77.6	97.25
	モニタ出力	(4.57)	(2.82)	(2.75)	38.80	49.39	50.63	79.50	77.91	97.36
例	指示値	1.62	3.8	3.5	39	50.0	51	80	76	96
	記録計	1.6	3.5	3.4	38.5	49.0	50	79.8	77	96
	8 計算機	1.61	3.45	3.38	38.35	48.63	50.16	79.65	77.35	96.75
	モニタ出力	(4.42)	(2.80)	(2.75)	38.81	49.43	50.83	80.13	78.06	97.18
range No		7	7	7	7	7	7	7	7	7
備 考		本試験後、出力系の第3回調整を行った。								

表 5-1 (2)

No		1978 年																		
月	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
熱出力 (MW)	計全体	46.17	50.62	11.32	16.29	21.76	27.19	31.42	36.12	40.62										
	A 炉	23.58	25.78	6.18	8.58	10.85	13.90	16.01	18.31	20.66										
	B 炉	22.59	24.85	5.14	7.72	10.91	13.29	15.42	17.82	19.96										
	合計	46.17	50.62	11.32	16.29	21.76	27.19	31.42	36.12	40.62										
Na 温度 (°C)	A	369.0	369.9	370.2	370.3	371.5	370.6	371.3	370.6	370.6										
	B	369.8	370.4	371.6	370.8	369.5	370.6	371.0	369.6	370.6										
	A	431.7	436.6	386.2	392.5	399.6	406.7	412.8	418.0	424.2										
	B	429.4	434.3	384.8	390.0	397.5	404.8	410.6	415.4	422.0										
Na 流量 ($\frac{M^3}{hr}$)	A	1226.07	1257.07	1255.18	1256.10	1256.8	1253.4	1257.2	1258.47	1256.6										
	B	1235.82	1288.57	1266.56	1266.94	1266.7	1265.3	1267.9	1266.92	1265.6										
	A	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0	470.0										
	B	530.0	542.5	460.0	468.0	477.8	488.3	497.4	506.5	518.0										
位置	RR1 (mm)	530.0	542.5	460.0	468.0	477.8	488.3	497.4	506.5	518.0										
	RR2 (mm)	530.0	542.5	460.0	468.0	477.8	488.3	497.4	506.5	518.0										
	指示値	100以上	100以上	15	25	48	65	75	100	100以上										
	記録値	100以上	100以上	15	24	49	65	80	100以上	100以上										
中	3 計算機 (log)	2.064	2.064	1.190	1.381	1.676	1.799	1.888	—	—										
	モニタ出力	115.61	115.61	15.32	23.80	46.77	62.26	77.23	108.19	—										
	指示値	100以上	100以上	15	25	49	65	75	100	100										
	記録値	100以上	100以上	14	22	48	62	75	100	100										
系	4 計算機 (log)	2.026	2.026	1.194	1.387	1.659	1.781	1.865	—	—										
	モニタ出力	106.41	106.41	15.81	24.47	46.00	60.39	73.49	98.49	—										
	指示値	60	60	10	16	49	65	80	100以上	—										
	記録値	60	60	9	14	48	62	80	100以上	—										
例	5 計算機 (log)	1.738	1.738	0.995	1.184	1.672	1.788	—	—	—										
	モニタ出力	56.36	56.36	9.91	15.00	46.07	62.17	77.98	116.09	—										
	指示値	100	100	20	28.0	40.0	50.5	59.5	69.9	79										
	記録値	99	99.5	20	28.0	40.0	51.0	60.0	70.0	79.9										
出	6 計算機	95.58	96.09	14.95	23.63	36.83	47.89	56.52	67.11	76.64										
	モニタ出力	93.40	93.65	20.26	29.30	40.33	51.49	60.40	70.44	80.05										
	指示値	96	99	20	30.0	41.0	52.0	60.5	70.0	79.5										
	記録値	96.5	99	20.5	30.7	42.0	53.0	61.6	71.5	80.5										
力	7 計算機	95.22	98.75	15.80	23.16	36.15	47.26	56.05	66.05	75.05										
	モニタ出力	97.06	99.26	20.27	29.60	40.63	51.65	61.05	71.02	80.39										
	指示値	96	100	19.5	29.5	40.0	51.0	60.0	70.0	79.7										
	記録値	96	99.5	20	30.3	41.8	52.2	61.2	71.0	80.3										
例	8 計算機	96.66	98.55	15.63	29.84	40.86	51.88	60.51	70.39	79.84										
	モニタ出力	97.19	99.35	20.10	30.60	41.41	52.46	61.61	70.94	80.51										
	指示値	77	77	7	7	7	7	7	7	7										
	記録値	77.9	79.3	7	7	7	7	7	7	7										
備考	range No																			
備考	水調正後出力系の第4回調整を行なった																			
備考	水調正後出力系の第5回調整を行なった																			
備考	水調正後出力系の第6回調整を行なった																			

表 5-1-13

No		19	20	21	22	23	24	25	26	27
月 日		78	78	78	78	78	78	78	78	78
機 出 力 (kW)	如 全 体	45.68	50.51							
	A ループ	23.14	25.64							
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B ループ	22.54	24.87							
	A	370.9	363.7							
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B	371.0	370.4							
	A	431.0	436.2							
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B	429.0	434.5							
	A	126.1	1257.6							
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B	1267.5	1286.0							
加 熱 機 位 置	RR1 (mm)	470.0	470.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.2
	RR2 (mm)	531.0	543.3	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0
中	指 示 値		9.5×10 ³	1.9×10 ³	3.3×10 ³	1.6×10 ³	3.1×10 ³	6.3×10 ³	9×10 ³	
	記 録 計		1.1×10 ³	2.0×10 ³	3.7×10 ³	1.7×10 ³	3.5×10 ³	7.0×10 ³	1.0×10 ³	
間	3 計算機(log)		-3.15	-2.706	-2.457	-1.797	1.462	-1.178	-1.023	
	モニタ出力		9.70×10 ³	1.93×10 ³	3.42×10 ³	1.55×10 ³	3.24×10 ³	6.53×10 ³	9.46×10 ³	
系	指 示 値		1×10 ³	1.7×10 ³	3.0×10 ³	1.8×10 ³	3.7×10 ³	7.0×10 ³	1×10 ³	
	記 録 計		1.0×10 ³	1.8×10 ³	3.0×10 ³	1.6×10 ³	3.2×10 ³	6.7×10 ³	9.5×10 ³	
例	4 計算機(log)		-3.051	-2.750	-2.485	-1.763	1.463	-1.154	-1.006	
	モニタ出力		1.03×10 ³	1.78×10 ³	3.46×10 ³	1.67×10 ³	3.52×10 ³	7.07×10 ³	1.02×10 ³	
5	指 示 値		7×10 ³	1.6×10 ³	3.0×10 ³	1.8×10 ³	3.5×10 ³	7.0×10 ³	1×10 ³	
	記 録 計		7.5×10 ³	1.7×10 ³	3.0×10 ³	1.6×10 ³	3.2×10 ³	6.5×10 ³	9.5×10 ³	
6	モニタ出力		3246	-2.770	2.480	-1.773	-1.169	1.160	-1.010	
	計算機(log)		7.65×10 ³	1.66×10 ³	3.23×10 ³	1.69×10 ³	3.39×10 ³	6.90×10 ³	9.85×10 ³	
出	指 示 値	90	100.1	0	0.001	0.0025	0.014	0.029	0.06	0.09
	記 録 計	90.0	100.0	0.001	0.002	0.0038	0.015	0.030	0.061	0.0905
力	計算機	86.88	96.91	0	0.0	0.0	0.01	0.03	0.06	0.09
	モニタ出力	90.24	100.49	7.04×10 ³	1.87×10 ³	3.54×10 ³	1.478×10 ³	0.0300	0.0611	0.0892
系	指 示 値	90	100.2	0	0.0005	0.0025	0.0135	0.028	0.0585	0.088
	記 録 計	90.5	100.5	0	0.0015	0.0028	0.014	0.0293	0.06	0.0890
7	計算機	90.43	100.23	0	0.0	0.0	0.01	0.03	0.06	0.09
	モニタ出力	90.63	100.51	5.45×10 ³	1.18×10 ³	2.83×10 ³	1.385×10 ³	0.0289	0.0600	0.0866
8	指 示 値	90	100.5	0	0.0005	0.0025	0.0137	0.028	0.059	0.089
	記 録 計	90.3	100.2	0.001	0.002	0.0035	0.0143	0.0297	0.060	0.0885
例	計算機	89.92	99.96	0	0.0	0.0	0.01	0.03	0.06	0.09
	モニタ出力	90.46	100.53	4.19×10 ³	1.35×10 ³	3.27×10 ³	1.43×10 ³	0.0282	0.0600	0.0874
range No		7	7	1	1	1	1	1	1	1
備 考		機計装オ ペレータ ア確認								

表 5-1-14

1978 年

No		28	29	30	31	32	33	34	35	36
月 日		7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
機 出 力 (kW)	如 全 体									
	A ループ									
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B ループ									
	A									
Na 加 入 口 温 度 (°C)	B									
	A									
加 熱 機 位 置	RR1 (mm)	351.2	351.6	352.4	353.3	354.8	354.8	354.8	358.0	363.4
	RR2 (mm)	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0	481.0
中	指 示 値	9×10 ³	21×10 ³	32×10 ³	65×10 ³	10	09	20	30	
	記 録 計	1.0×10 ³	22×10 ³	32×10 ³	65×10 ³	0.90	0.85	2.0	3.0	
間	3 計算機(log)	-1.026	-0.670	-0.492	-0.511	-0.209	-0.035	-0.085	0.303	0.466
	モニタ出力	9.33×10 ³	2.13×10 ³	3.14×10 ³	3.12×10 ³	6.14×10 ³	9.25×10 ³	8.50×10 ³	2.00	3.01
系	指 示 値	1.0×10 ³	2.3×10 ³	3.4×10 ³	7.0×10 ³	1.0	0.9	2.05	3.0	
	記 録 計	9.5×10 ³	2.1×10 ³	3.1×10 ³	6.1×10 ³	1.0	0.87	2.0	3.1	
例	4 計算機(log)	-1.011	-0.653	-0.475	-0.490	-0.196	-0.018	-0.078	0.311	0.474
	モニタ出力	9.82×10 ³	2.24×10 ³	3.29×10 ³	3.26×10 ³	6.49×10 ³	9.49×10 ³	8.66×10 ³	2.05	3.12
5	指 示 値	1.0×10 ³	2.3×10 ³	3.4×10 ³	7.0×10 ³	1.0	1.0	2.05	3.05	
	記 録 計	9.0×10 ³	2.1×10 ³	3.1×10 ³	6.1×10 ³	0.9	0.81	1.90	3.0	
6	モニタ出力	9.81×10 ³	2.20×10 ³	3.28×10 ³	3.24×10 ³	6.36×10 ³	9.51×10 ³	8.67×10 ³	2.05	3.12
	計算機(log)	-1.008	-0.655	-0.483	-0.483	-0.196	-0.012	-0.070	0.324	0.485
出	指 示 値	0.084	0.197	0.208	0.30	0.595	0.89	0.80	1.98	3.0
	記 録 計	0.087	0.20	0.299	0.30	0.599	0.88	0.80	1.95	3.2
力	計算機	0.06	0.15	0.23	0.27	0.56	0.86	0.19	0.53	2.18
	モニタ出力	0.0866	0.199	0.301	0.300	0.591	0.886	0.814	1.96	3.04
系	指 示 値	0.081	0.196	0.297	0.295	0.590	0.89	0.80	1.95	3.0
	記 録 計	0.086	0.20	0.299	0.30	0.599	0.88	0.81	1.96	3.3
7	計算機	0.07	0.16	0.24	0.29	0.56	0.89	0.60	1.55	2.25
	モニタ出力	0.0848	0.199	0.300	0.292	0.587	0.886	0.790	1.94	3.02
例	指 示 値	0.082	0.195	0.300	0.292	0.587	0.90	0.8	1.93	3.1
	記 録 計	0.087	0.202	0.300	0.30	0.60	0.89	0.83	1.97	3.5
8	計算機	0.07	0.16	0.24	0.29	0.59	0.89	0.60	1.55	2.25
	モニタ出力	0.0858	0.200	0.303	0.297	0.591	0.885	0.800	1.94	3.05
range No		2	2	2	3	3	3	4	4	4
備 考		機計装オ ペレータ ア確認								

表 5-1 (附)												1978 年
No.		46	47	48	49	50	51	52	53	54		
機 出 力 (MW)	如 全 体	4081	4964		7.26	7.26	7.26	8.6	8.6	8.6		
	A ユーザー	2088	2530					48.81	48.65	39.63		
Na 晶 度 (°C)	B ユーザー	1993	2435					24.48	24.46	20.09		
	A	3695	3697					24.33	24.20	19.54		
入 口 B	A	3706	3706					365.80	366.65	364.45		
	B	4237	4354					364.90	364.75	364.35		
出 口 B	A	4219	4333					429.45	429.25	416.60		
	B							427.45	427.00	414.55		
Na ($\frac{M}{hr}$)	A	1255.22	1256.04					1252.36	1251.87	1252.28		
	B	1266.56	1266.72					1266.02	1264.80	1265.37		
制御機	RR1 (mm)	465.2	465.2	450.0	451.2	465.2	465.2	470.0	470.0	470.0		
	RR2 (mm)	534.5	559.7	455.2	455.2	462.3	476.2	566.0	566.0	539.8		
指 示 値	指示値			1.0	2.0	1.0	2.05					
	記録計			1.0	2.0	1.0	2.0					
中	計算機(log)	—	—	-0.016	0.269	1.001	1.295	—	—	—		
	モニタ出力	引	引	0.960	1.907	9.858	20.109	引	引	引		
間	指示値			1.0	2.0	1.0	2.05					
	記録計			0.9	1.9	1.0	2.0					
系	計算機(log)			-0.001	0.283	1.003	1.295					
	モニタ出力			0.988	1.931	10.009	19.888					
例	指示値	抜	抜	1.0	2.0	1.0	2.05	抜	抜	抜		
	記録計	—	—	0.9	1.9	9.9	2.0	—	—	—		
5	計算機(log)			-0.012	0.284	1.006	1.304					
	モニタ出力			0.969	1.907	9.913	19.779					
出	指示値	80.0	100.0	0.98	1.99	9.9	19.7	100.0	100.0	79.7		
	記録計	80.5	100.0	0.99	2.0	1.0	2.00	100.0	100.0	79.9		
6	計算機	776.4	964.2	0.02	0.05	0.03	14.74	96.43	96.29	76.62		
	モニタ出力	81.41	100.07	0.987	1.955	10.308	20.046	100.07	100.0	80.29		
力	指示値	80.0	99.0	0.95	1.95	9.9	19.6	99.7	99.7	79.9		
	記録計	80.9	99.0	0.98	1.99	1.0	2.00	99.4	99.5	80.1		
系	計算機	806.7	98.89	0.75	1.49	8.02	15.48	99.12	99.10	79.96		
	モニタ出力	80.96	98.83	0.959	1.921	10.125	19.827	99.14	99.13	79.92		
例	指示値	81.0	100.3	0.94	1.90	9.8	19.3	100.3	100.3	80.0		
	記録計	82.0	100.9	0.98	1.90	1.0	2.00	101.1	101.0	81.1		
8	計算機	81.53	100.19	0.75	1.49	8.03	15.52	100.10	100.06	80.47		
	モニタ出力	82.20	100.84	0.976	1.933	10.331	19.974	100.62	100.68	81.08		
備 考	range Na	7	7	4	4	6	6	7	7	7		
	官庁立合			出力率ナ ンパー 高圧電力	同左	同左	同左	出力降下 時	同左	同左		

表 5-1 (7)

1978 年

月	日	55	56	57	58	59	60	61	62	63
8	7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.11
熱出力	3082	3072	3033	2558	2579	1942	1942	1927	1336	1745
熱出力	2013	1580	1561	1335	1352	1049	1039	1039	694	902
(MW)	1969	1492	1473	1223	1228	893	888	888	642	842
Na	363.35	364.15	362.10	362.10	363.30	363.30	363.30	363.30	364.80	370.3
温度	364.40	364.15	365.00	363.95	364.0	362.60	363.55	362.55	364.90	370.7
(°C)	416.45	404.15	404.80	398.95	397.0	386.35	386.35	386.30	382.75	393.7
Na	414.85	402.40	403.10	395.55	395.4	385.35	385.35	385.25	381.30	392.3
温度	1258.38	1253.90	1246.83	1242.36	1255.94	1255.94	1252.85	1253.17	1253.82	
(°C)	1208.62	1206.51	1255.37	1255.62	1268.30	1272.20	1266.92	1268.29	1267.81	
位置	RR1 (mm)	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4775
位置	RR2 (mm)	5398	5183	5191	5082	5082	4940	4940	4880	4905
指示値										
ch 3	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 4	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 5	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 6	指示値	79.7	60.0	58.7	50.0	49.9	36.0	36.0	23.0	30.5
記録計	80.0	60.2	60.0	50.0	50.0	36.0	36.0	36.0	23.8	31.1
計算機	76.86	57.50	56.78	46.72	46.60	32.65	32.68	20.31	27.75	
モニタ出力	80.52	60.90	60.58	50.31	50.32	36.33	36.35	24.07	31.52	
指示値	80.0	60.7	60.3	50.7	50.5	37.0	37.0	24.5	32.0	
ch 7	指示値	80.1	61.2	60.9	51.1	51.0	37.2	37.2	25.1	32.2
記録計	80.16	61.00	60.51	50.74	50.65	36.91	36.87	24.81	32.05	
計算機	80.09	61.00	60.58	50.65	50.63	36.41	36.86	24.67	32.05	
モニタ出力	80.1	60.0	59.6	49.9	49.9	36.0	36.0	24.2	31.4	
指示値	81.4	61.9	61.4	51.5	51.3	37.3	37.5	25.5	32.5	
ch 8	指示値	80.65	61.09	60.71	50.69	50.62	36.78	36.78	24.65	31.99
記録計	81.21	61.65	61.32	50.16	51.22	37.40	37.31	25.04	32.35	
計算機										
モニタ出力										
range No.	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
備考	出力低下									
備										

表 5-1 (8)

1978 年

月	日	64	65	66	67	68	69	70	71	72
8	11	8.11	8.11	8.11	8.12	8.12	8.13	8.13	8.14	8.14
熱出力	2709	41.43	50.76	50.15	49.86	49.15	48.05	48.05	48.70	48.70
熱出力	1385	21.13	25.79	25.39	25.29	25.02	24.93	24.64	24.72	24.72
(MW)	1323	20.31	24.98	24.76	24.57	24.13	24.02	23.94	23.98	23.98
Na	370.1	370.0	370.3	370.1	369.9	370.0	369.45	370.1	369.8	369.8
温度	370.3	370.0	370.5	370.4	370.2	370.4	370.25	370.1	370.1	370.1
(°C)	406.1	424.8	437.5	436.2	435.7	435.0	434.35	434.2	434.1	434.1
Na	404.3	422.3	434.8	434.4	433.6	432.7	432.05	431.7	431.8	431.8
温度	1252.60	1256.75	1252.20	1253.26	1253.83	1255.61	1252.76	1254.15	1254.15	1254.15
(°C)	1206.43	1265.29	1267.40	1262.36	1264.07	1263.58	1267.64	1267.40	1267.65	1267.65
位置	RR1 (mm)	494.9	515.0	515.0	515.0	515.0	515.0	515.0	515.0	515.0
位置	RR2 (mm)	490.5	500.0	523.7	524.0	524.0	524.6	524.5	525.5	526.0
指示値										
ch 3	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 4	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 5	記録計									
計算機(log)										
モニタ出力										
指示値										
ch 6	指示値	50.0	79.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
記録計	50.3	79.4	100.0	100.0	100.0	99.9	99.8	99.9	99.8	99.8
計算機	47.44	76.84	96.5	96.58	96.47	96.33	96.37	96.23	96.21	96.21
モニタ出力	51.23	80.55	100.19	100.14	100.01	100.01	99.80	99.72	99.74	99.74
指示値	51.2	79.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ch 7	指示値	51.8	80.2	100.0	99.9	99.9	99.6	99.5	99.5	99.5
記録計	51.39	80.37	99.57	99.59	99.55	99.48	99.40	99.36	99.32	99.32
計算機	51.39	80.25	99.58	99.58	99.47	99.43	99.37	99.33	99.25	99.25
モニタ出力	50.1	78.5	100.0	100.1	100.0	100.1	100.0	100.0	100.0	100.0
指示値	52.0	80.9	100.7	100.4	100.2	100.2	100.0	100.0	100.0	100.0
ch 8	指示値	51.37	80.47	100.00	99.92	99.79	99.57	99.38	99.40	99.40
記録計	51.70	80.68	100.32	100.19	99.91	99.88	99.82	99.77	99.63	99.63
計算機										
モニタ出力										
range No.	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
備考	運転100 hr 運転									
備										

表 5-2 100 時間連続運転時の熱出力校正値の遷移
(No.66 ~ 77)

校正通し No.	測定月日時刻	ch. 6 出力指示値 / 熱出力 × 2 (%)
66	8/11 16:00	0.9869
67	8/12 9:00	0.9984
68	8/12 17:00	1.0029
69	8/13 9:00	1.0174
70	8/13 17:00	1.0194
71	8/14 9:00	1.0263
72	8/14 17:00	1.0240
73	8/15 9:00	1.0289
74	8/15 13:00	1.0275
75	8/15 17:00	1.0310
76	8/15 23:30	1.0283
77	8/16 9:30	1.0312

表 5-1 (B)
1978 年

No.	73	74	75	76	77	78
月	8.15	8.15	8.15	8.15	8.16	8.16
日	4835	4876	4861	4861	4874	1207
熱出力	2161	2177	2172	2172	2177	618
(MW)	2375	2399	2382	2389	2397	589
Na	3697	3697	3696	36975	3699	37015
温度	3703	3701	3703	37020	3701	36990
度	4338	4341	4341	43390	4344	38620
(°C)	4314	4318	4316	43170	4319	38500
Na	125196	125431	125350	125689	125253	125082
重量	126765	126813	126724	126692	126513	126559
制御棒	RR1 (mm)	515.0	515.0	515.0	515.0	445.2
位置	RR2 (mm)	526.8	528.1	528.5	530.2	530.2
ch 指示値						
3 記録計						
計算機(log)						
モニタ出力						
ch 指示値						
4 記録計						
計算機(log)						
モニタ出力						
ch 指示値						
5 記録計						
計算機(log)						
モニタ出力						
ch 指示値	999	1003	1002	1001	1003	200
6 記録計	996	1001	1000	999	1002	203
計算機	9602	9653	9658	9627	9699	1725
モニタ出力	9949	10020	10023	9997	10052	2095
ch 指示値	999	1003	1002	1001	1003	220
7 記録計	995	1001	999	999	1002	220
計算機	9932	9971	9977	9940	10004	2164
モニタ出力	9922	9975	9977	9948	9992	2173
ch 指示値	999	1003	1001	1000	1002	220
8 記録計	999	1004	1002	1001	1010	222
計算機	9920	9971	9969	9938	10014	2178
モニタ出力	9953	10009	10004	9977	10041	2211
range	7	7	7	7	7	7
備考	連続 100 hr 運転	同左	同左	同左	同左	同左

制御棒差機 -- 1

表 5-3-1 PT-11 熱出力校正試験測定結果
1978年7月21日 18時 35分

炉 熱 出 力	*1 (48.38) MW	Aグループ (25.13) MW Bグループ (23.25) MW
制 御 棒 位 置	調 整 棒 1	調 整 棒 2
	504.3 mm	504.3 mm
	Aグループ	Bグループ
炉入口Na温度	359.8 °C	371.0 °C
炉出口Na温度	434.4 °C	431.3 °C
*2 Na 流 量	1243. m ³ /hr	1264. m ³ /hr

核計装出力

測 定 項 目	ch. 1	ch. 2
指 示 値	CPS	ch. 2
記 録 計	CPS	
計 算 機	CPS	
モニタ出力	CPS	
	ch. 3	ch. 4
指 示 値	%	ch. 5
記 録 計	%	
計 算 機	log %	
モニタ出力	%	
	ch. 6	ch. 7
指 示 値	%	ch. 8
記 録 計	%	90.0
計 算 機	%	
モニタ出力	%	90.01
ch 6 との差		+ 0.53

*1) 熱出力計チャート読み値

*2) H-500出力

制御棒差機 -- 2

表 5-3-2 PT-11 熱出力校正試験測定結果
1978年7月21日 19時 05分

炉 熱 出 力	*2 (48.30) MW	Aグループ (25.27) MW Bグループ (23.03) MW
制 御 棒 位 置	調 整 棒 1	調 整 棒 2
	700.6 mm	400.7 mm
	Aグループ	Bグループ
炉入口Na温度	369.8 °C	370.9 °C
炉出口Na温度	434.3 °C	431.2 °C
*2 Na 流 量	1245. m ³ /hr	1260. m ³ /hr

核計装出力

測 定 項 目	ch. 1	ch. 2
指 示 値	CPS	ch. 2
記 録 計	CPS	
計 算 機	CPS	
モニタ出力	CPS	
	ch. 3	ch. 4
指 示 値	%	ch. 5
記 録 計	%	
計 算 機	log %	
モニタ出力	%	
	ch. 6	ch. 7
指 示 値	%	ch. 8
記 録 計	%	92.0
計 算 機	%	
モニタ出力	%	91.86
ch 6 との差		+ 1.7 %
均等引抜を0とする		+ 1.17 %

*1) 熱出力計チャート読み値

*2) H-500出力

調節棒位置

表 5-3-3 PT-11 熱出力校正試験測定結果
1978 年 7 月 21 日 19 時 29 分

炉 熱 出 力	* 1 (48.00) MW		A ループ (24.82) MW		B ループ (23.18) MW	
制 御 棒 位 置	調 整 棒 1		調 整 棒 2			
	398.9 mm		700.1 mm			
	A ループ		B ループ			
炉入口 Na 温度	369.7 °C		371.1 °C			
炉出口 Na 温度	433.2 °C		432.0 °C			
* 2 Na 流量	1242. m ³ /hr		1259. m ³ /hr			

核計装出力

測 定 項 目	ch. 1	ch. 2
指 示 値	CPS	
記 録 計	CPS	
計 算 機	CPS	
モニタ出力	CPS	
	ch. 3	ch. 4
指 示 値	%	
記 録 計	%	
計 算 機	log %	
モニタ出力	%	
	ch. 5	ch. 6
指 示 値	%	
記 録 計	%	
計 算 機	%	
モニタ出力	%	
	ch. 7	ch. 8
指 示 値	%	
記 録 計	%	
計 算 機	%	
モニタ出力	%	
ch 6 との差	-0.25 %	+1.9 %
均等引抜を 0 とする	-0.78 %	+1.9 %

* 1) 熱出力計チャート読み値

* 2) H-500 出力

核計装出力 (%)

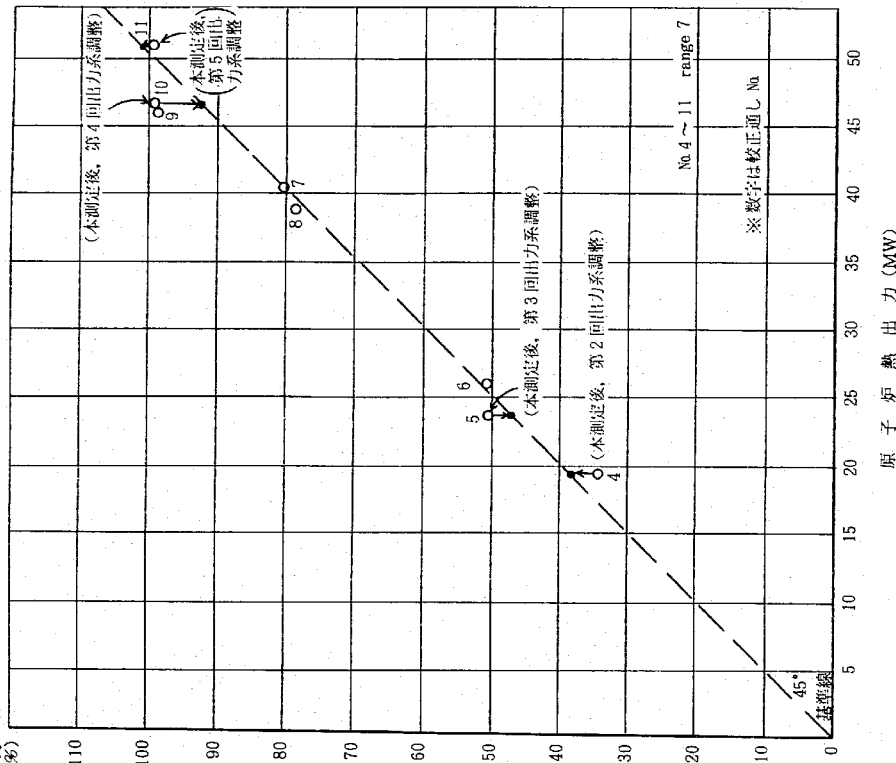


図 5-1-1 熱出力校正曲線 (No. 4 ~ 11)

出力系 ch. 6 < 5 月 19 日 ~ 7 月 7 日の測定値
(第 2 ~ 5 回出力系調整を含む) >

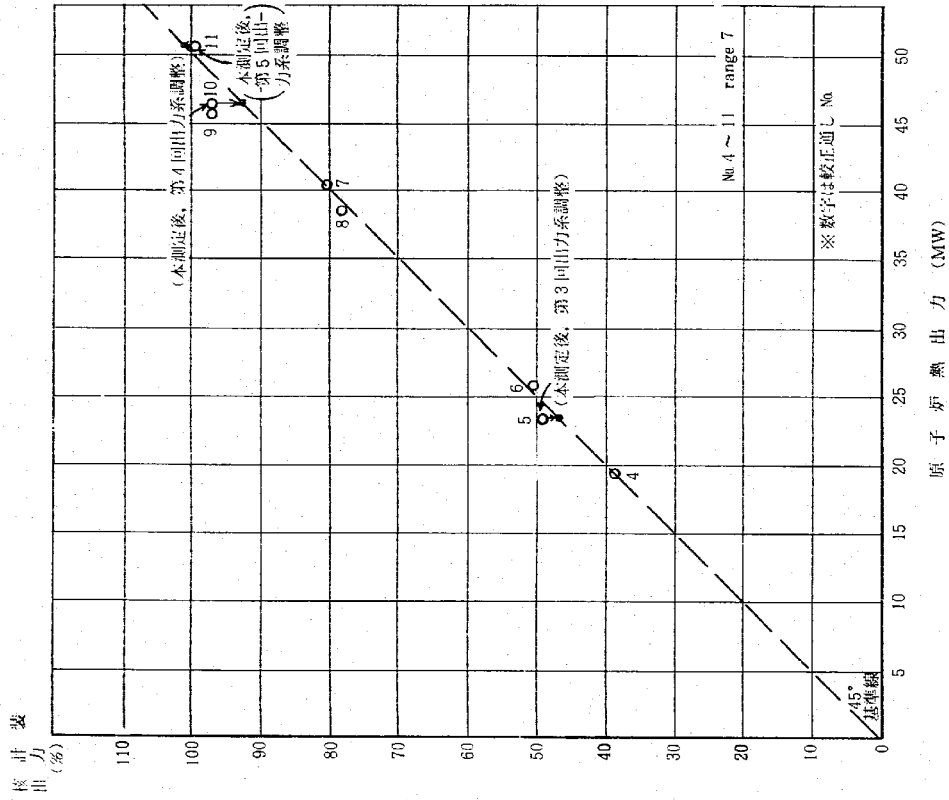


図 5-1-1-3 熱出力校正曲線 (No. 4 ~ 11)
出力系 ch. 8 < 5月14日 ~ 7月7日の測定値
(第3 ~ 5回出力系調整を含む) >

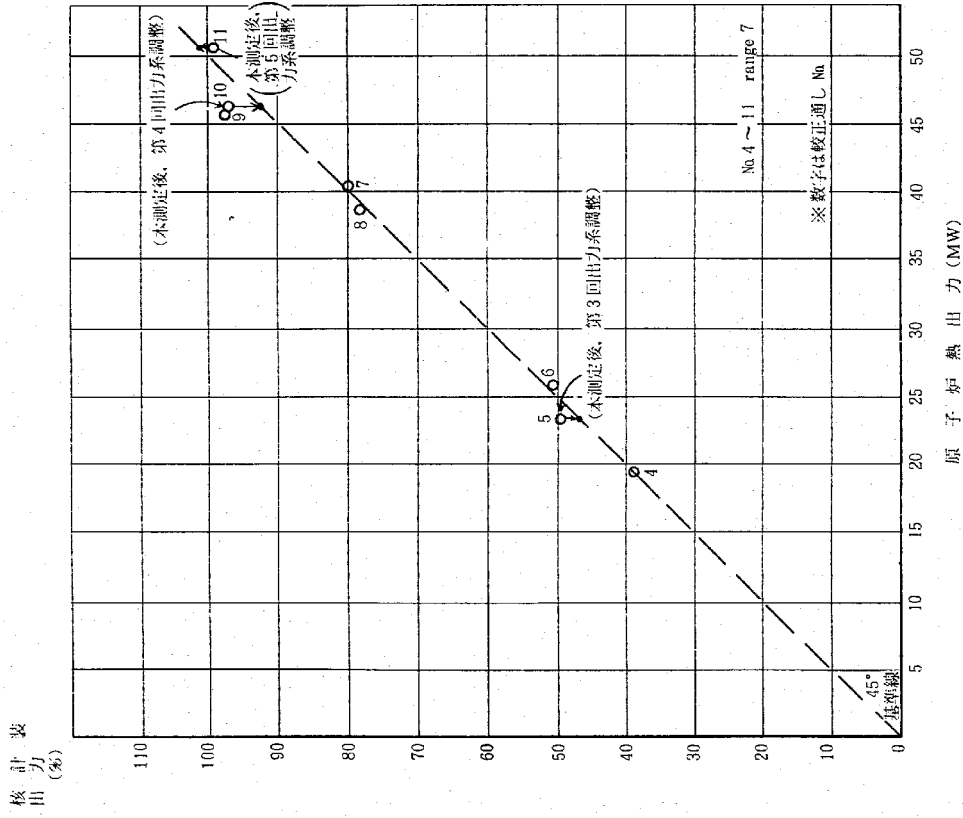


図 5-1-1-2 熱出力校正曲線 (No. 4 ~ 11)
出力系 ch. 7 < 5月19日 ~ 7月7日の測定値
(第3 ~ 5回出力系調整を含む) >

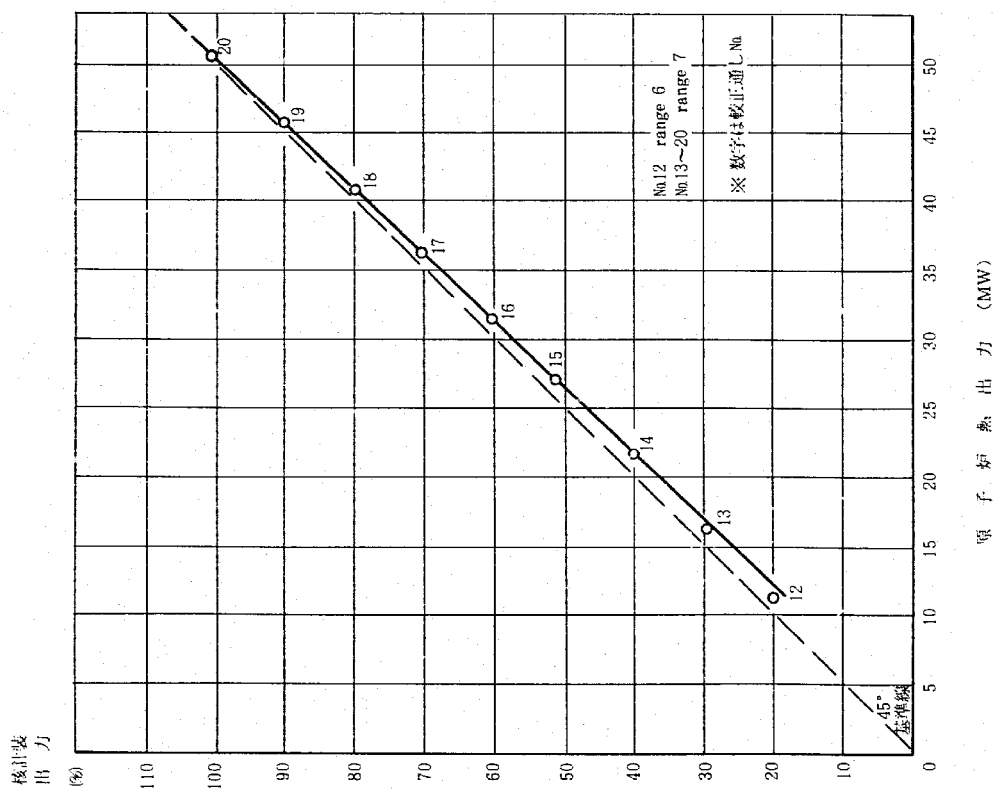


図 5-2-1 熱出力校正曲線 (No. 12 ~ 20)

出力系 ch. 6 < 7 月 8 日の測定値, 7/7 第 5 回出力系調整後 >

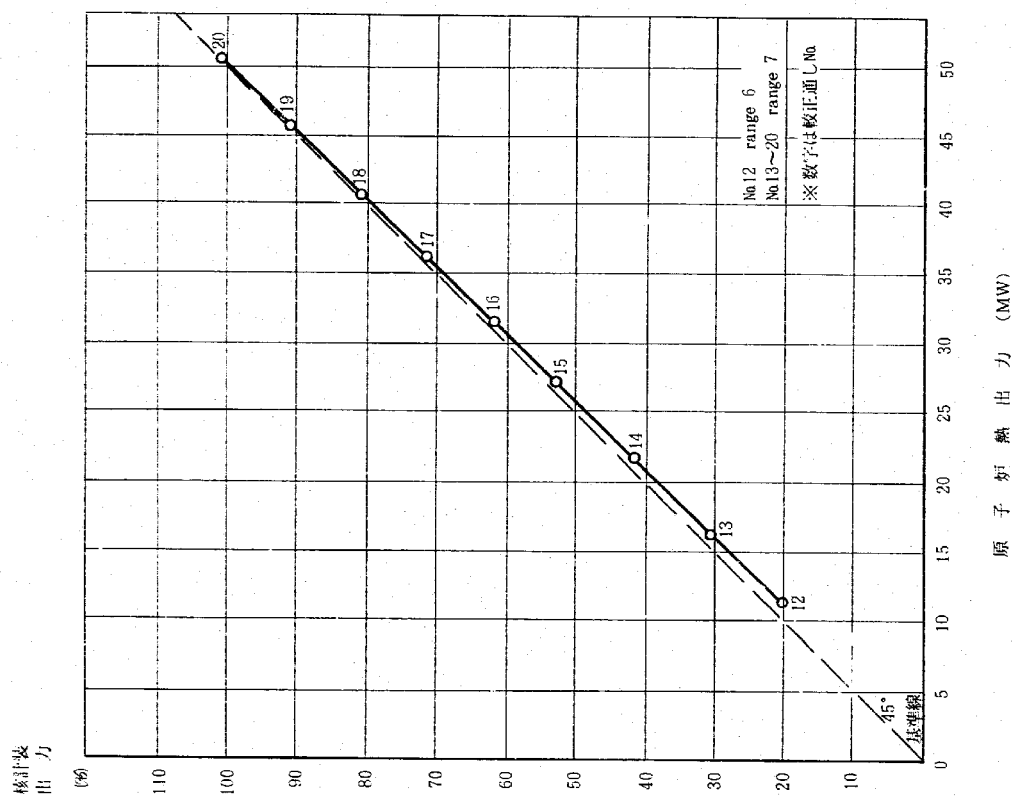


図 5-2-2 熱出力校正曲線 (No. 12 ~ 20)

出力系 ch. 7 < 7 月 8 日の測定値, 7/7 第 5 回出力系調整後 >

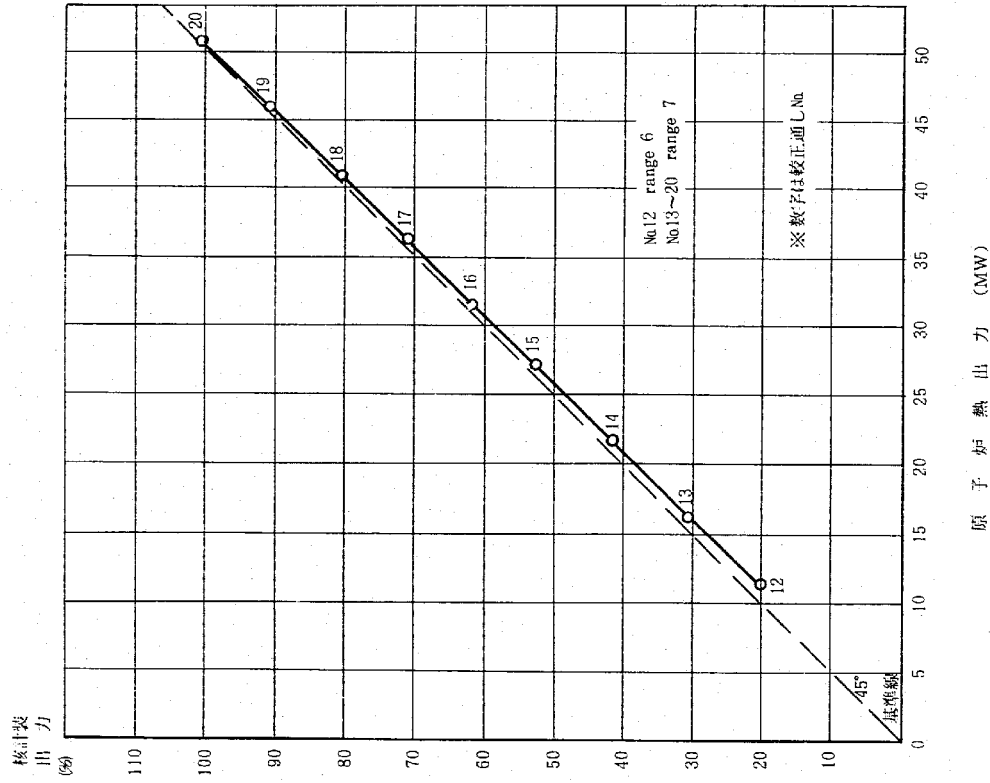


図5-2-3 熱出力校正曲線 (No.12~20)

出力系 ch.8 < 7月8日の測定値, 7/7
第5回出力系調整後>

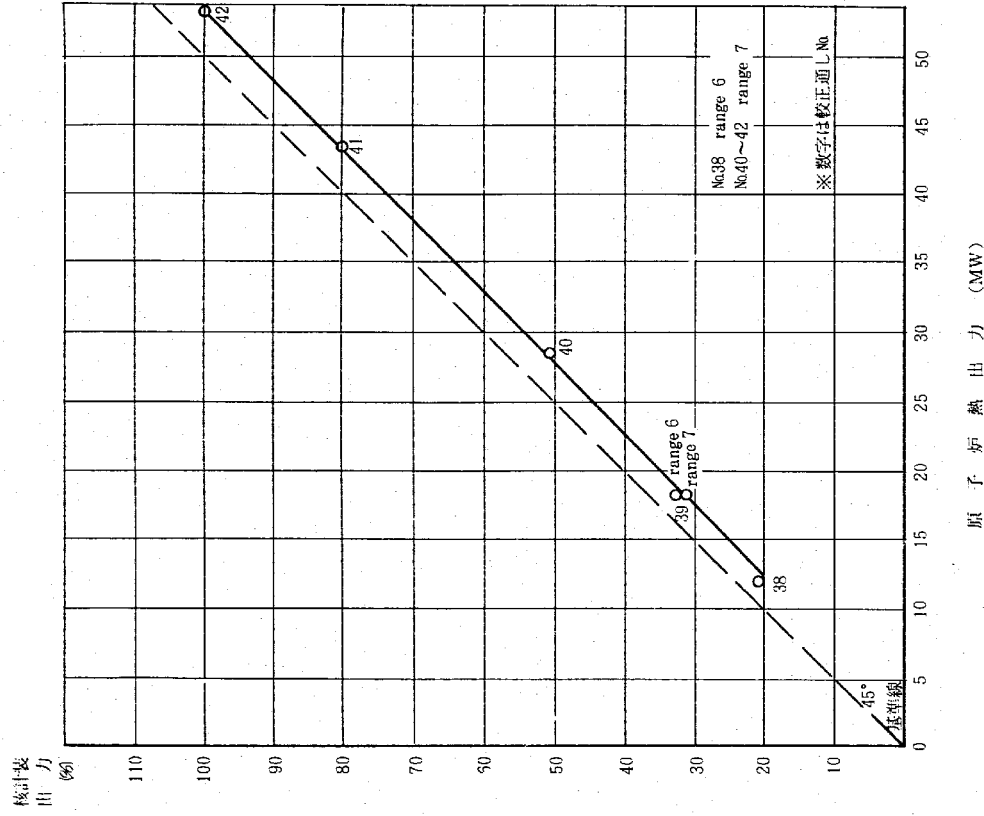


図5-3-1 熱出力校正曲線 (No.38~42)

出力系 ch.6 < 7月21日の測定値, 7/7
第5回出力系調整後>

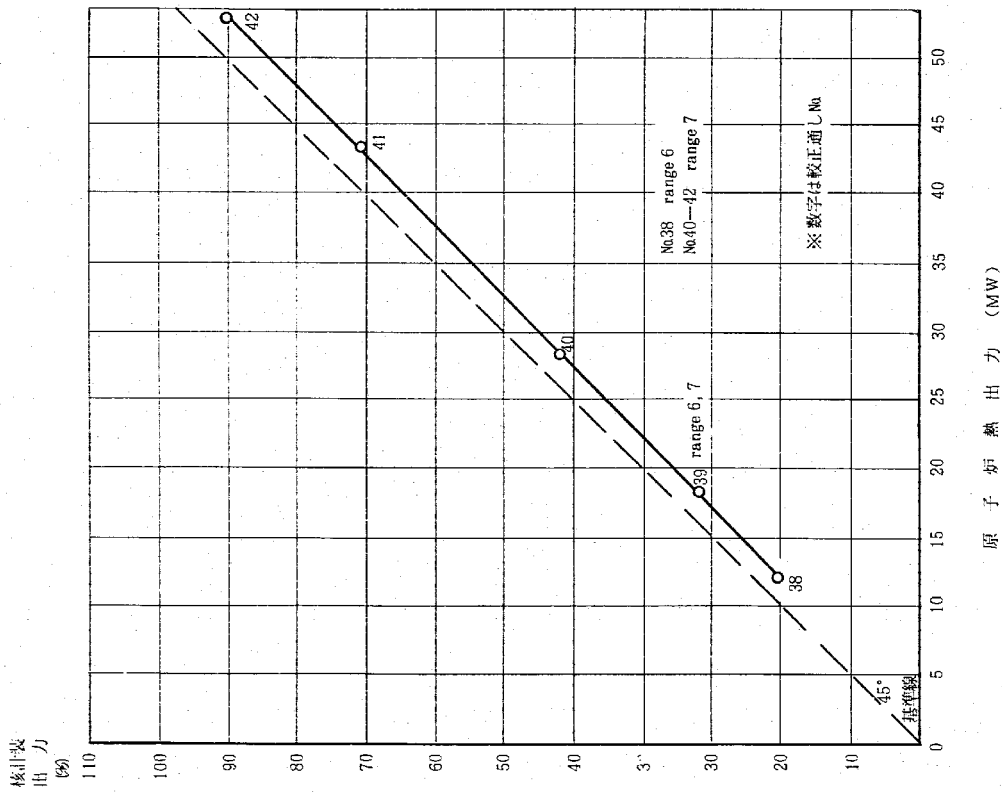


図5-3-2 熱出力校正曲線 (No.38~42)

出力系 ch.7 < 7月21日測定値, 7/7
第5回出力系調整後>

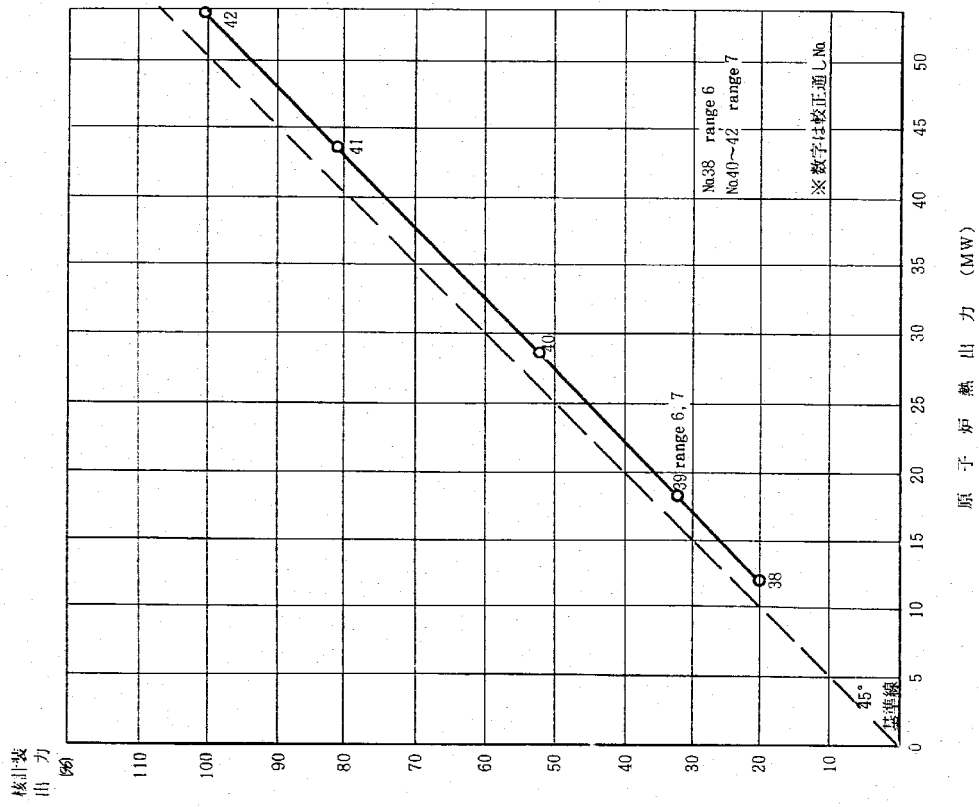


図5-3-3 熱出力校正曲線 (No.38~42)

出力系 ch.8 < 7月21日測定値, 7/7
第5回出力系調整後>

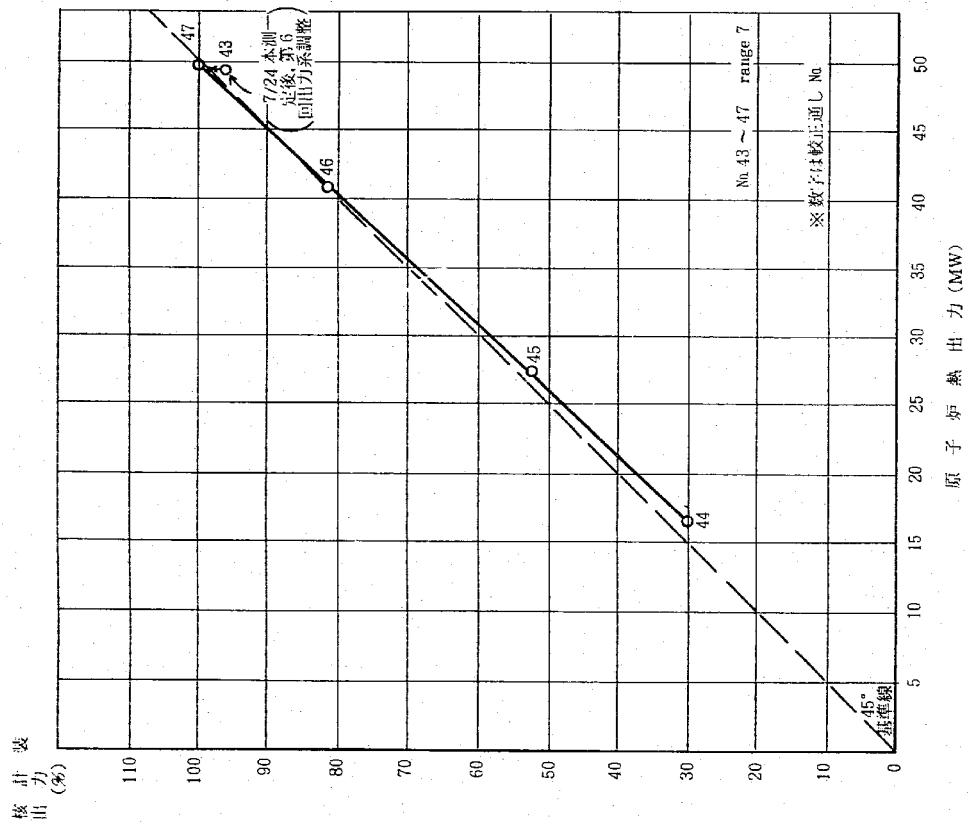


図5-4-1 熱出力校正曲線 (No. 43, 44 ~ 47)

出力系 ch. 6 < 7月25日測定値 (局立),

7/24 第6回出力系調整後>

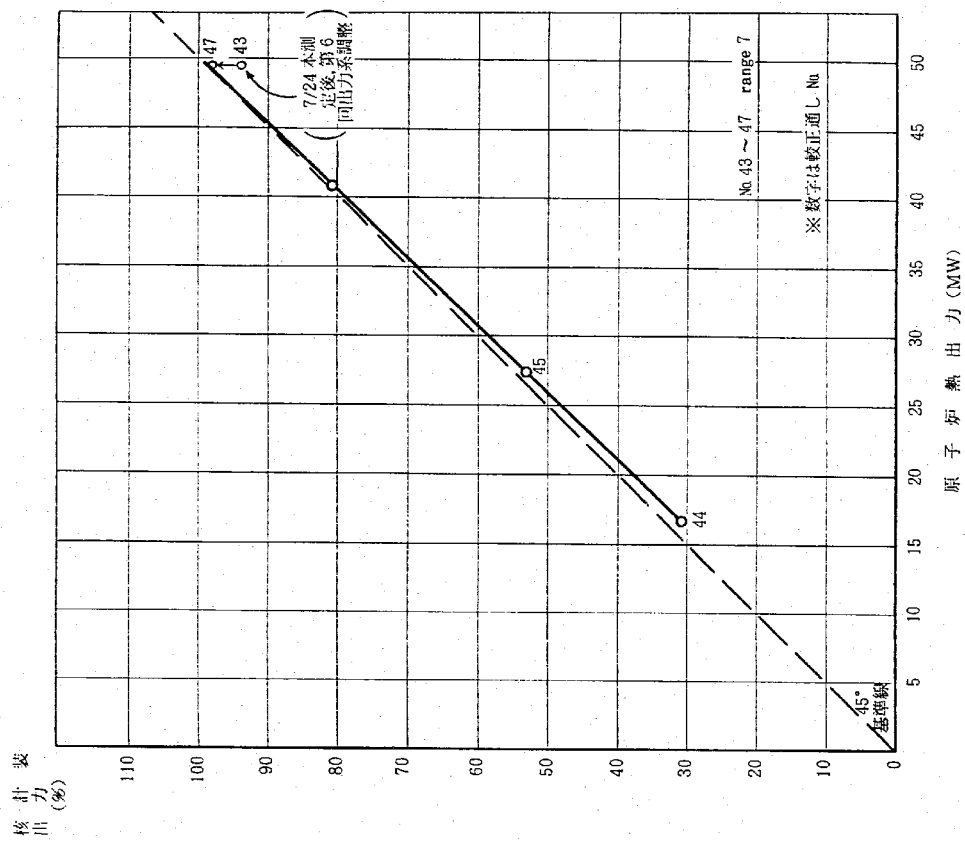


図5-4-2 熱出力校正曲線 (No. 43, 44 ~ 47)

出力系 ch. 7 < 7月25日測定値 (局立),

7/24 第6回出力系調整後>

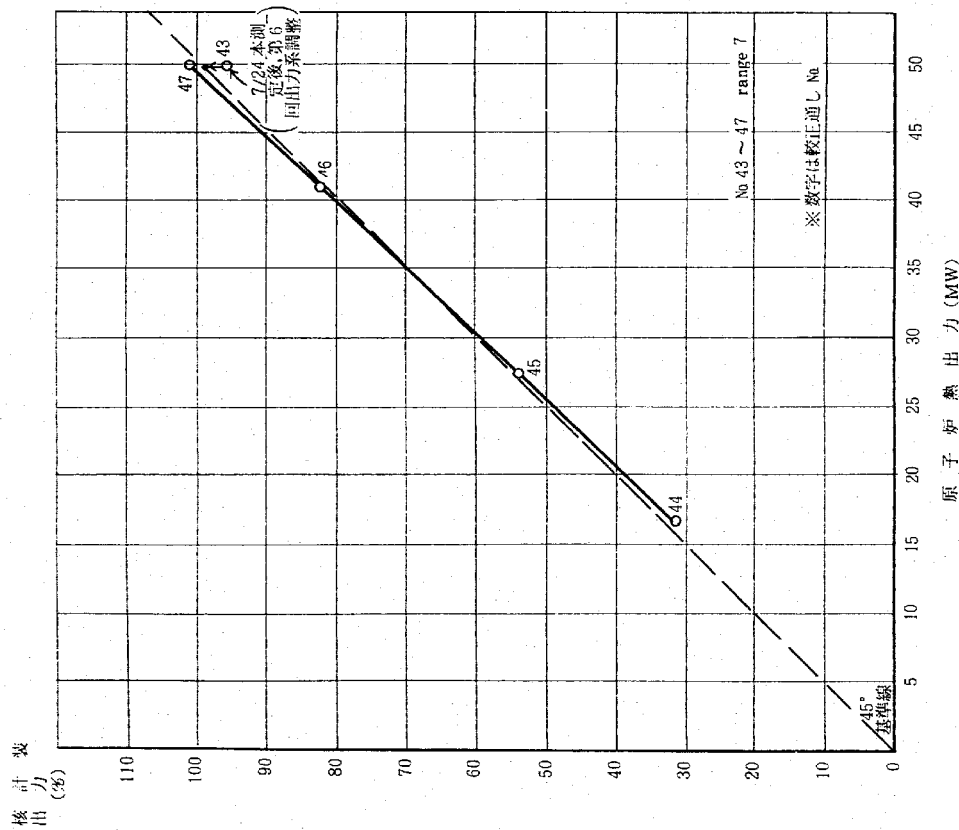


図 5-4-3 熱出力校正曲線 (No. 43, 44 ~ 47)

出力系 ch. 8 < 7月25日測定値 (局立),
7/24 第6回出力係数調整後>

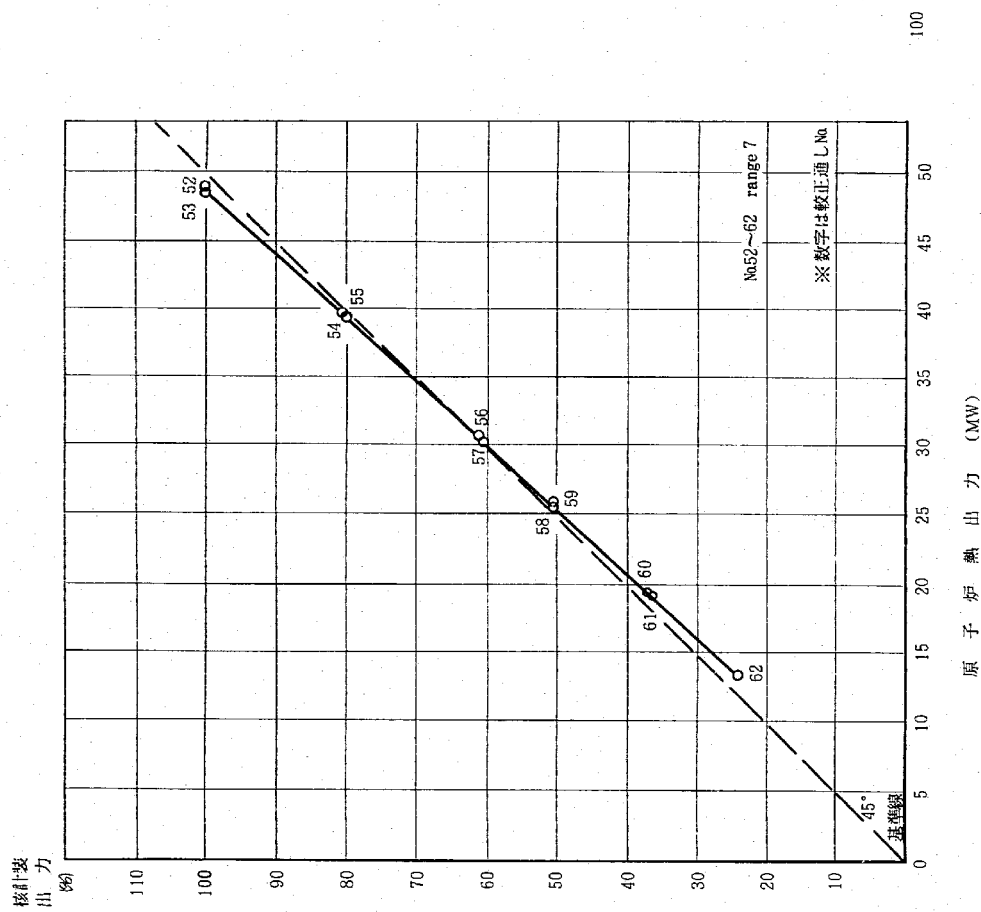


図 5-5-1 熱出力校正曲線 (No. 52 ~ 62)

出力系 ch. 6 < 8月6 ~ 7日測定値, 出力降下時,
7/24 第6回出力係数調整後>

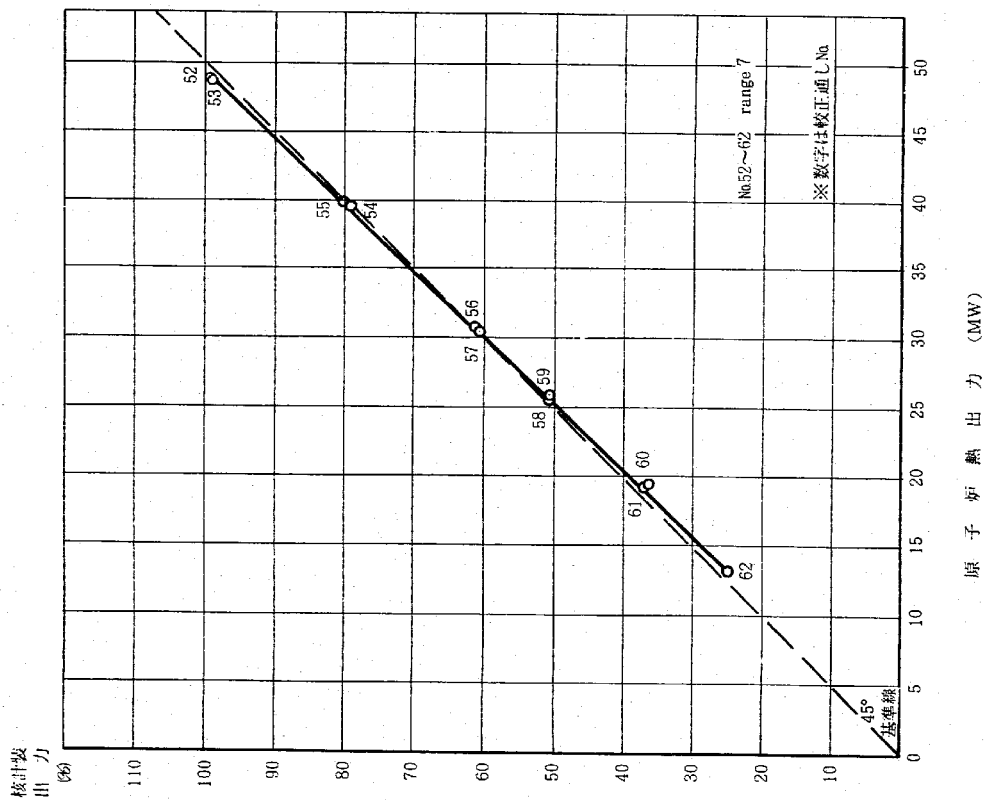


図5-5-2 熱出力校正曲線 (No52~62)
出力系 ch.7 < 3月6~7日測定値, 出力降下時,
7/24 第6回出力調整後>

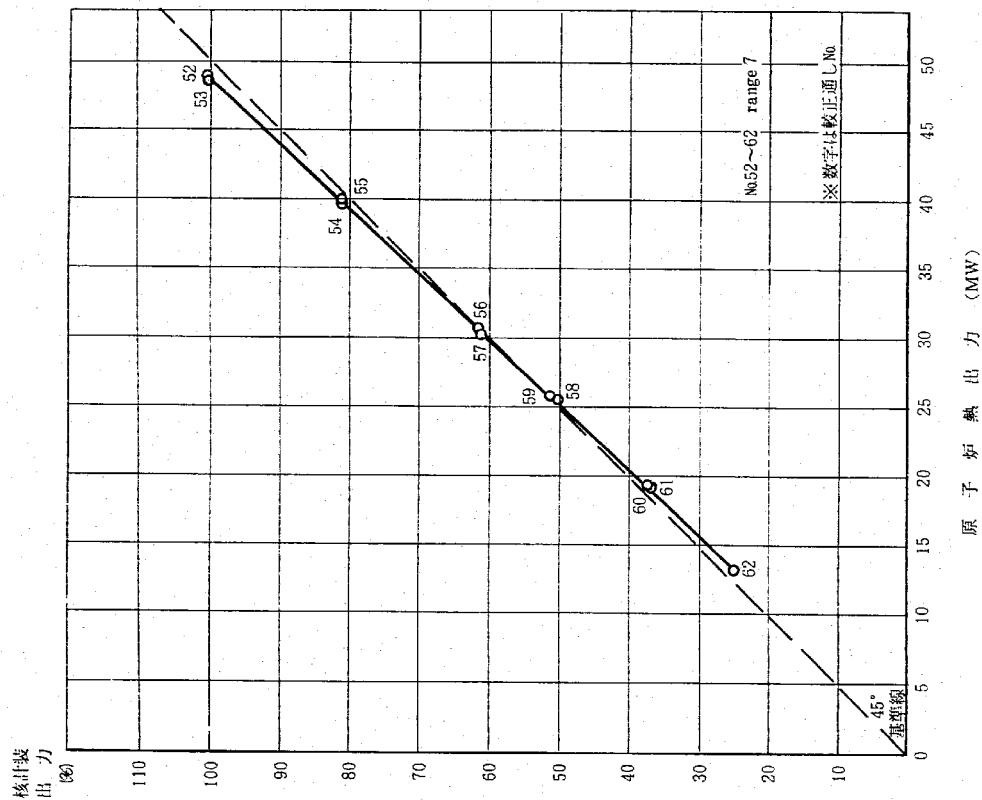


図5-5-3 熱出力校正曲線 (No52~62)
出力系 ch.8 < 8月6~7日測定値, 出力降下時,
7/24 第6回出力調整後>

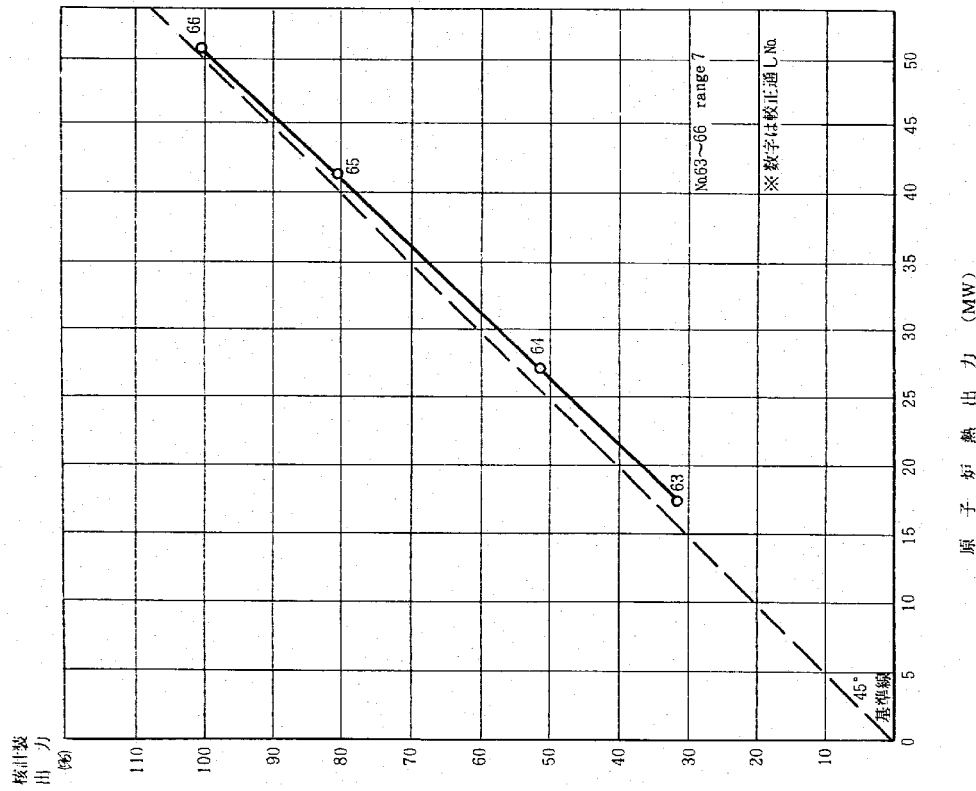


図5-6-1 熱出力校正曲線 (No.63~66)

出力系 ch.6 < 8月11日測定値, 100時間連続運転開始時, 7/24 第6回出力系調整後>

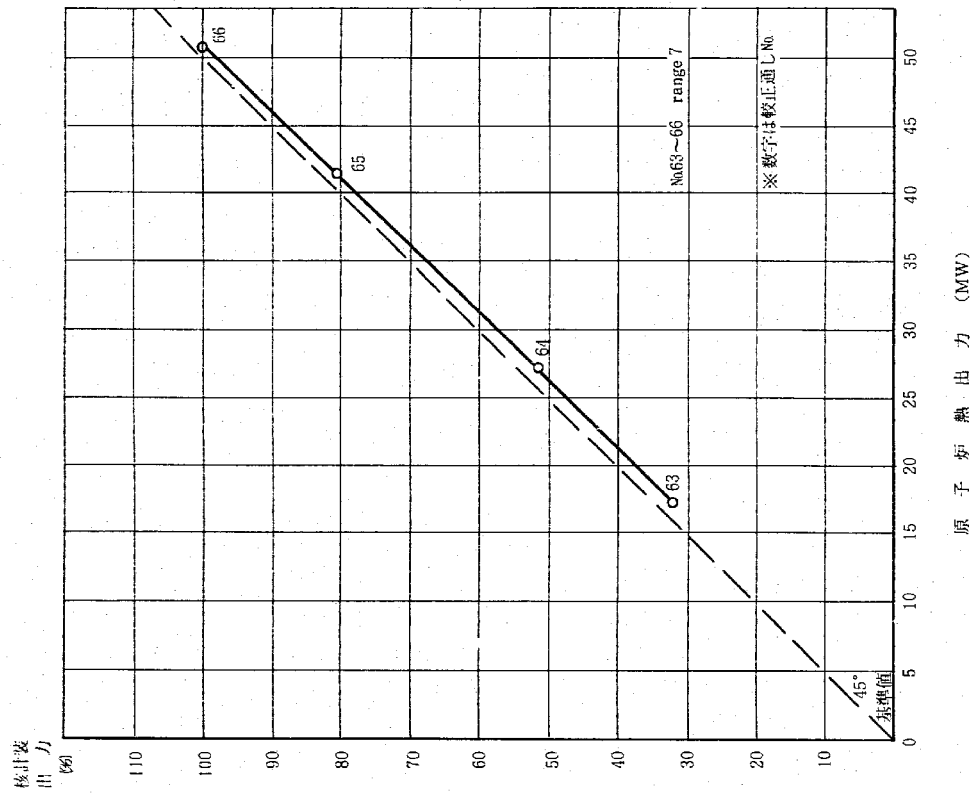


図5-6-2 熱出力校正曲線 (No.63~66)

出力系 ch.7 < 8月11日測定値, 100時間連続運転開始時, 7/24 第6回出力系調整後>

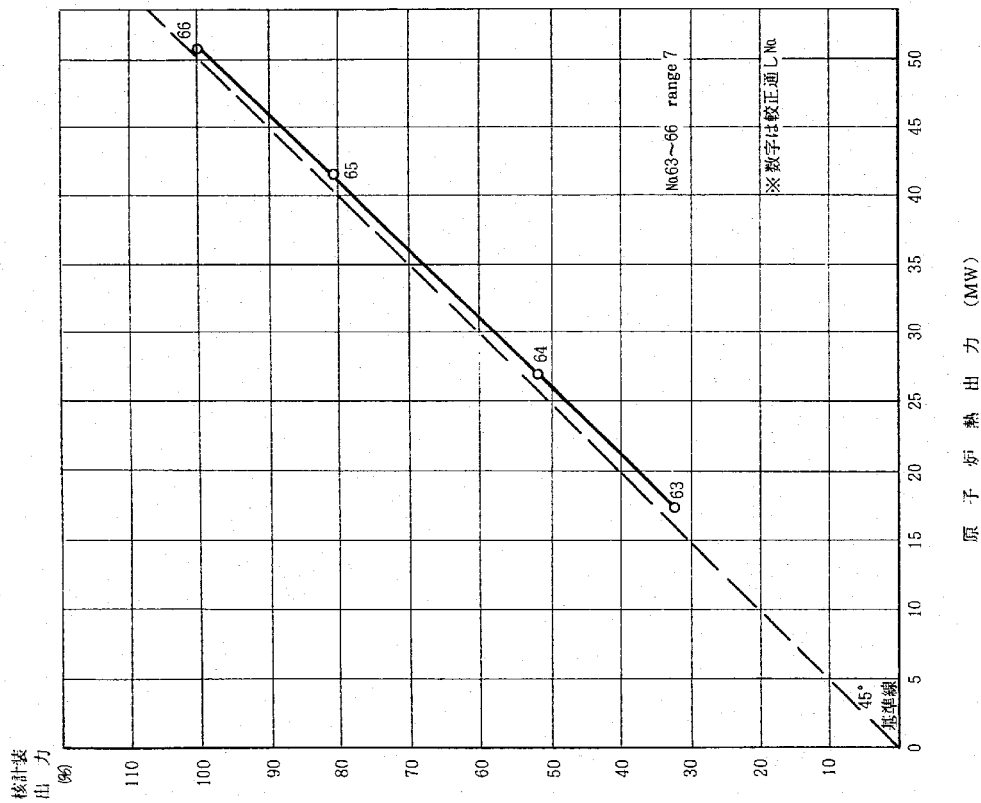


図5-6-3 熱出力校正曲線 (Na63~66)

出力系 ch.8 < 8月11日測定値, 100時間連続運転開始時, 7/24第6回出力系調整後>

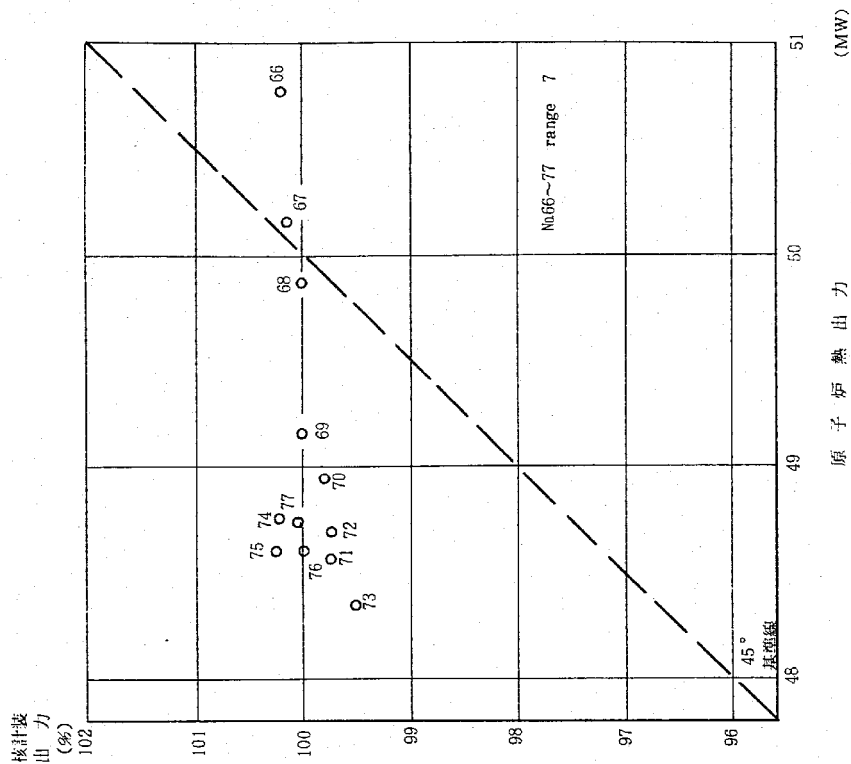


図5-7-1 熱出力校正曲線 (No66~77)

ch.6 < 8月11~16連続100時間運転時, 7/24第6回出力系調整後>

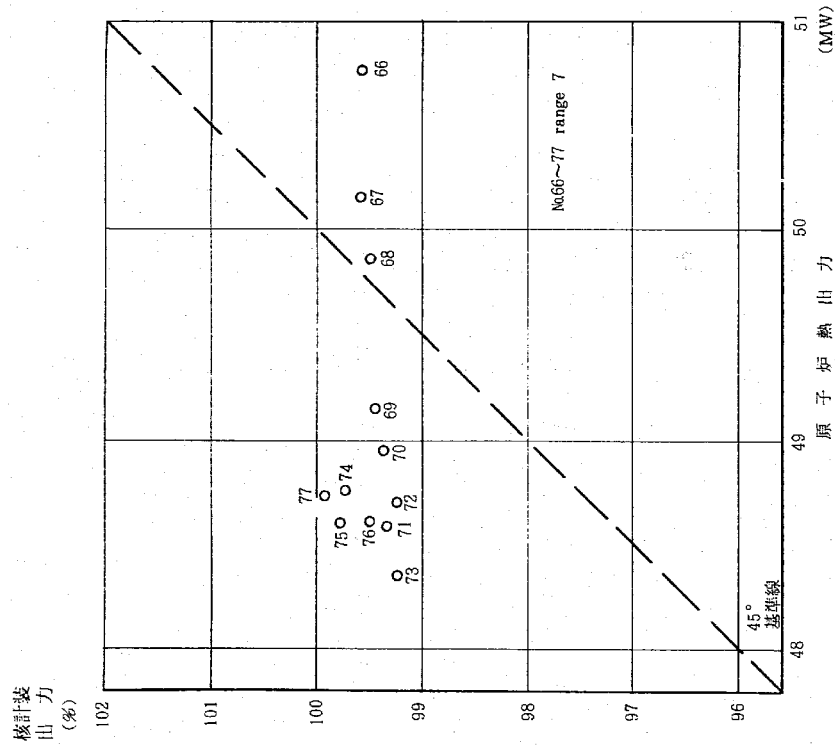


図 5-7-2 熱出力校正曲線 (Na66~77)
ch. 7 < 8月11~16日連続 100 時間運転時,
7/24第 6 回出力系調整後>

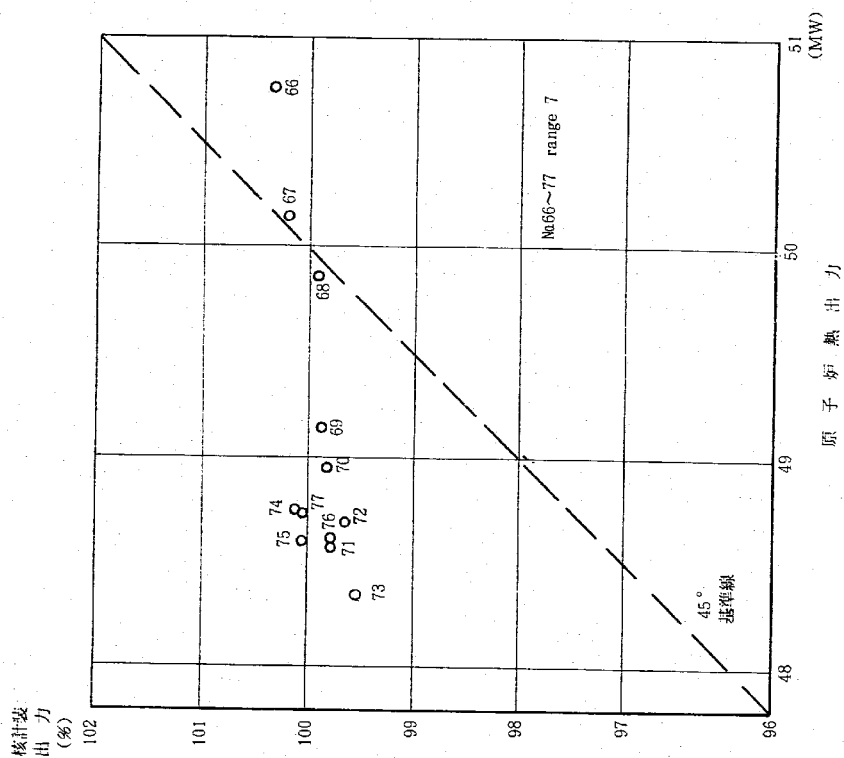


図 5-7-3 熱出力校正曲線 (Na66~77)
ch. 8 < 8月11~16日連続 100 時間運転時,
7/24第 6 回出力系調整後>

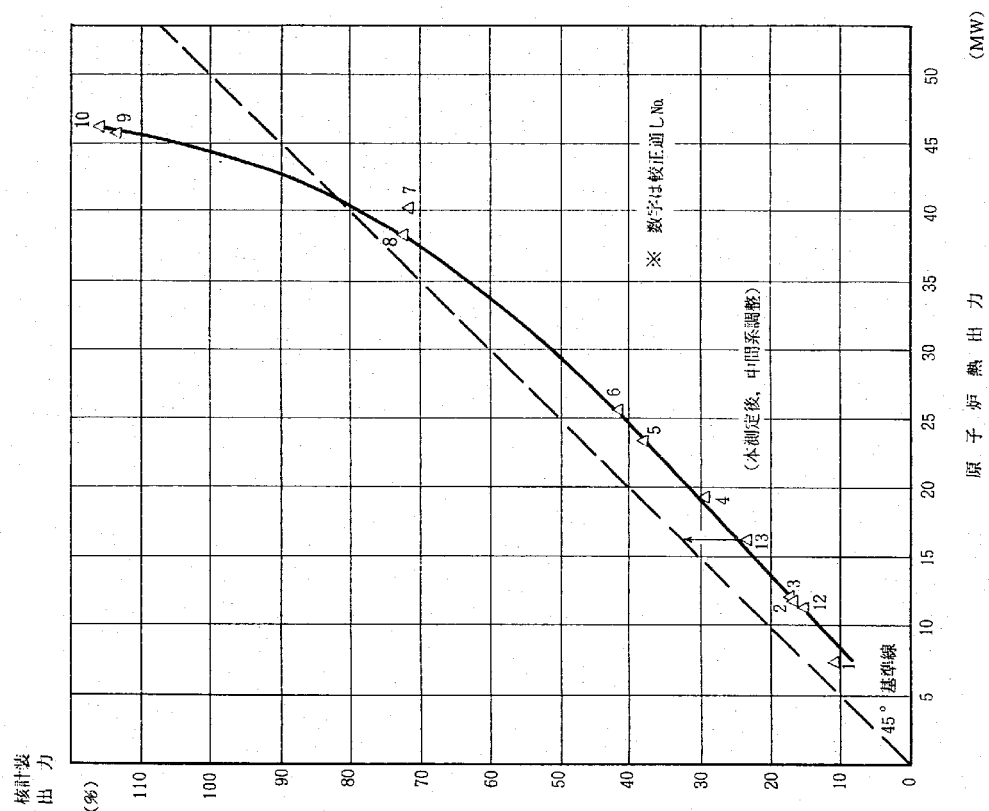
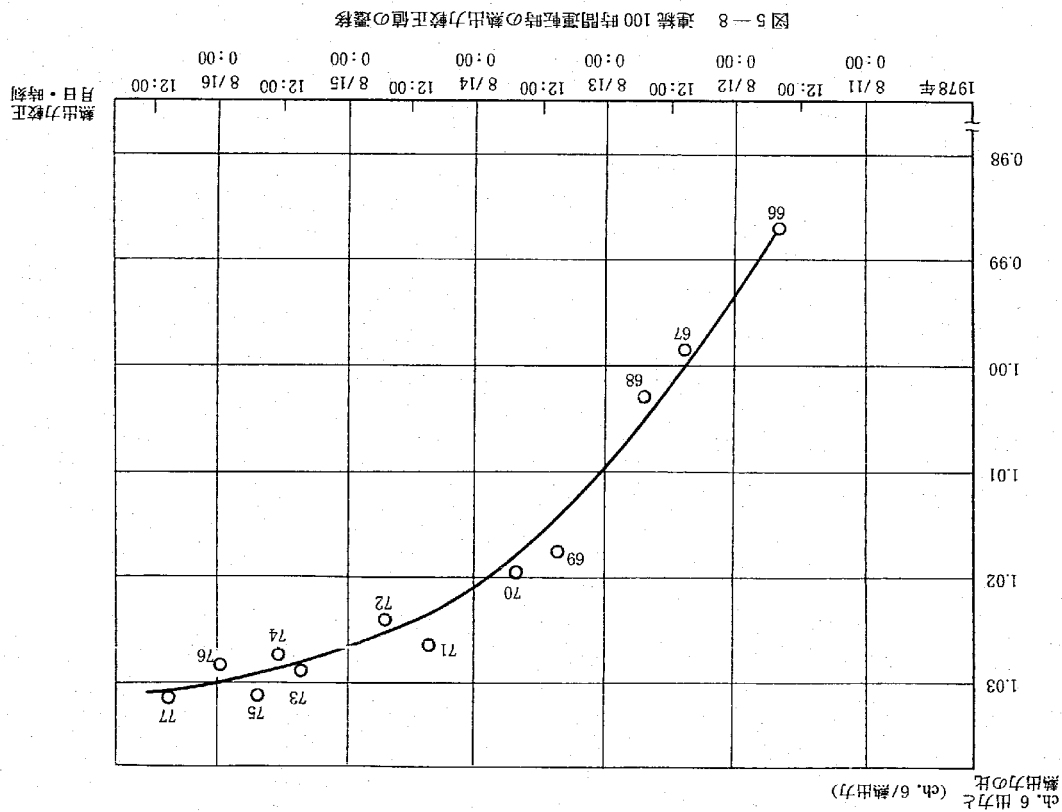


図 5-9-1 熱出力校正曲線 (No. 1 ~ 10, 12 ~ 13)
中間系 ch. 3 < 7 月 8 日の調整以前 >

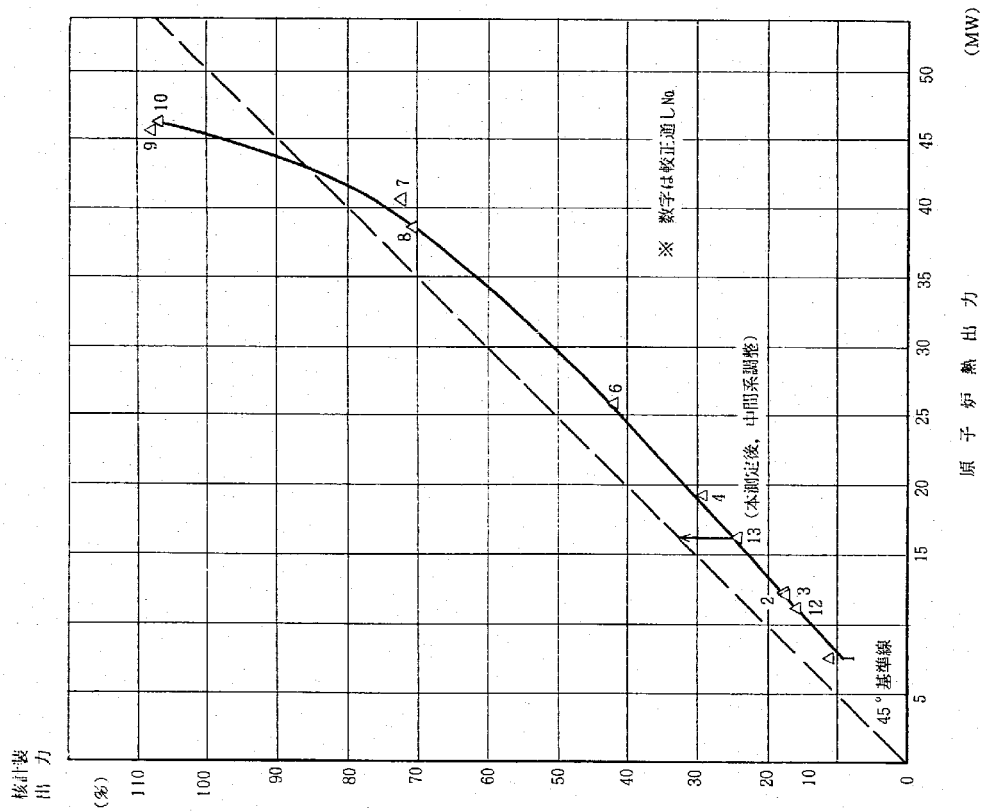


図5-9-2 熱出力校正曲線 (No.1~4, 6~10, 12~13)

中間系 ch.4 < 7月8日の調整以前>

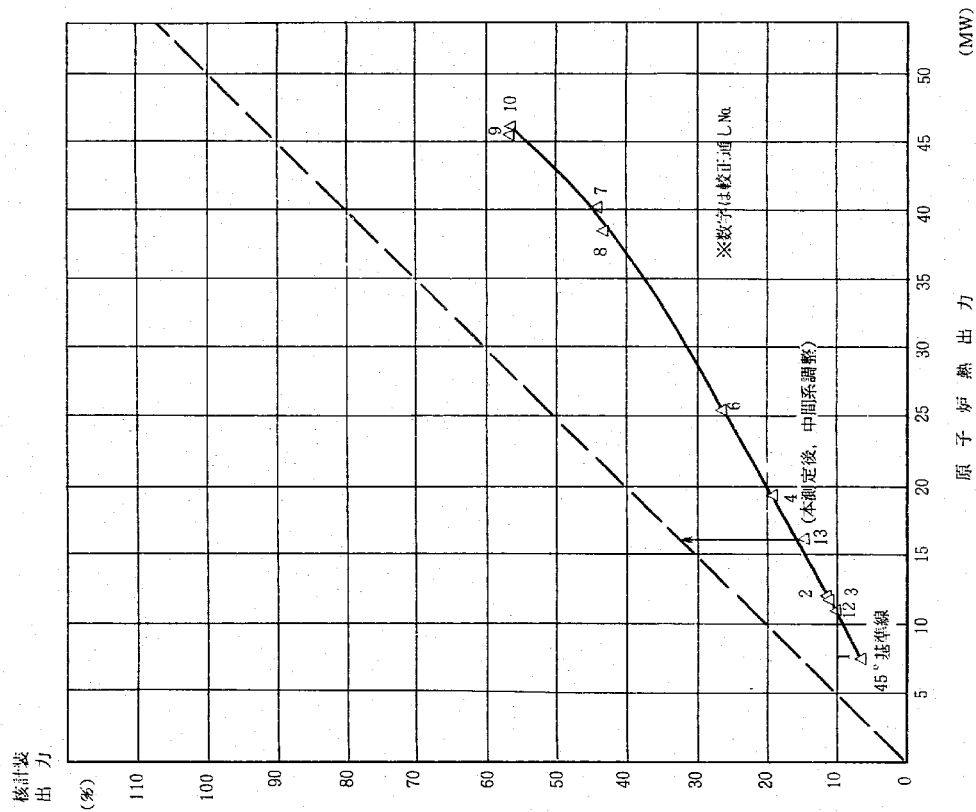


図5-9-3 熱出力校正曲線 (No.1~4, 6~10, 12~13)

中間系 ch.5 < 7月8日の調整以前>

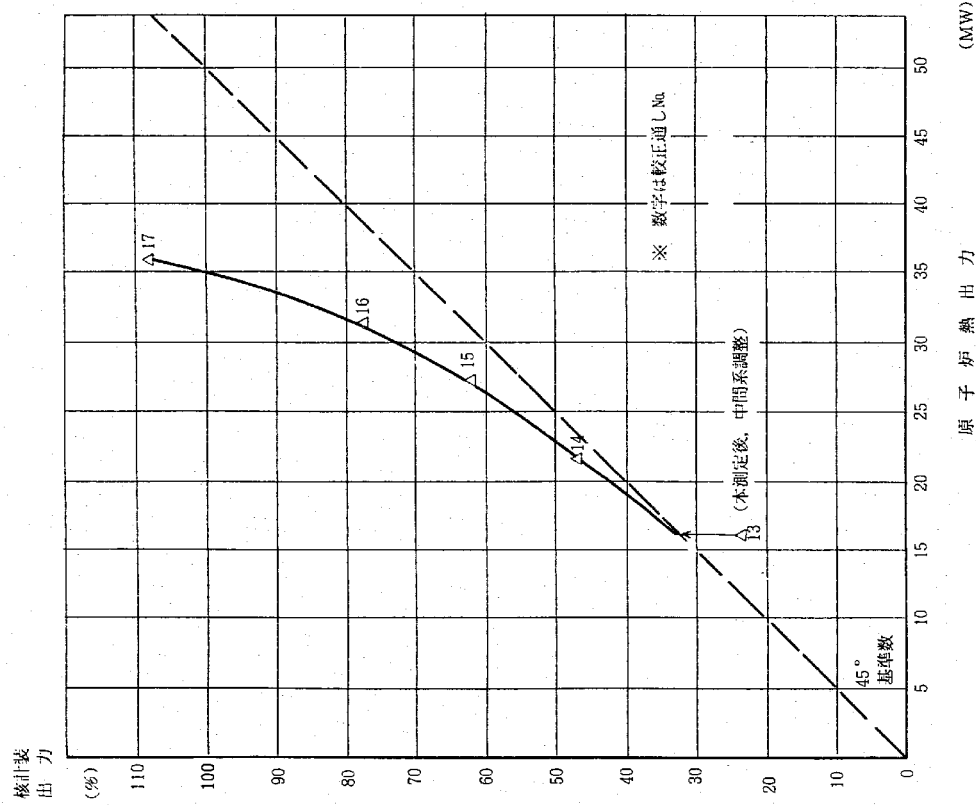


図 5-10-1 熱出力校正曲線 (No.13~17)

ch. 3 < 7月8日測定値, 7/8中間系調整後 >

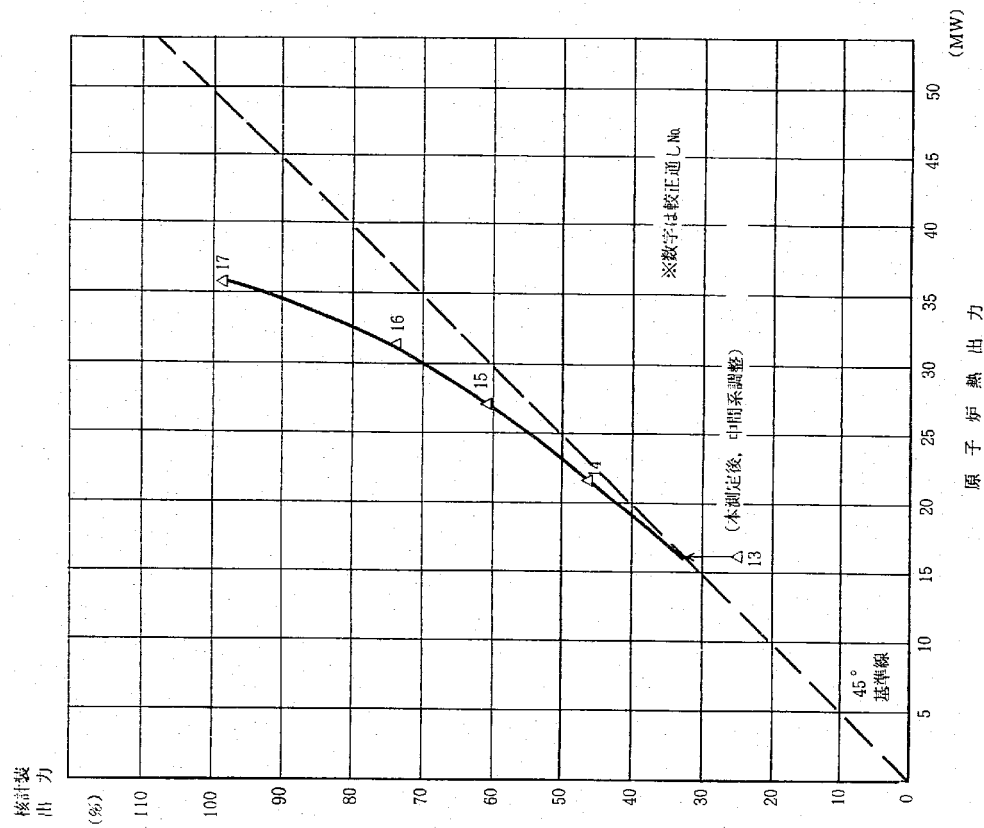


図 5-10-2 熱出力校正曲線 (No.13~17)

中間系 ch. 4 < 7月8日測定値, 7/8中間系調整後 >

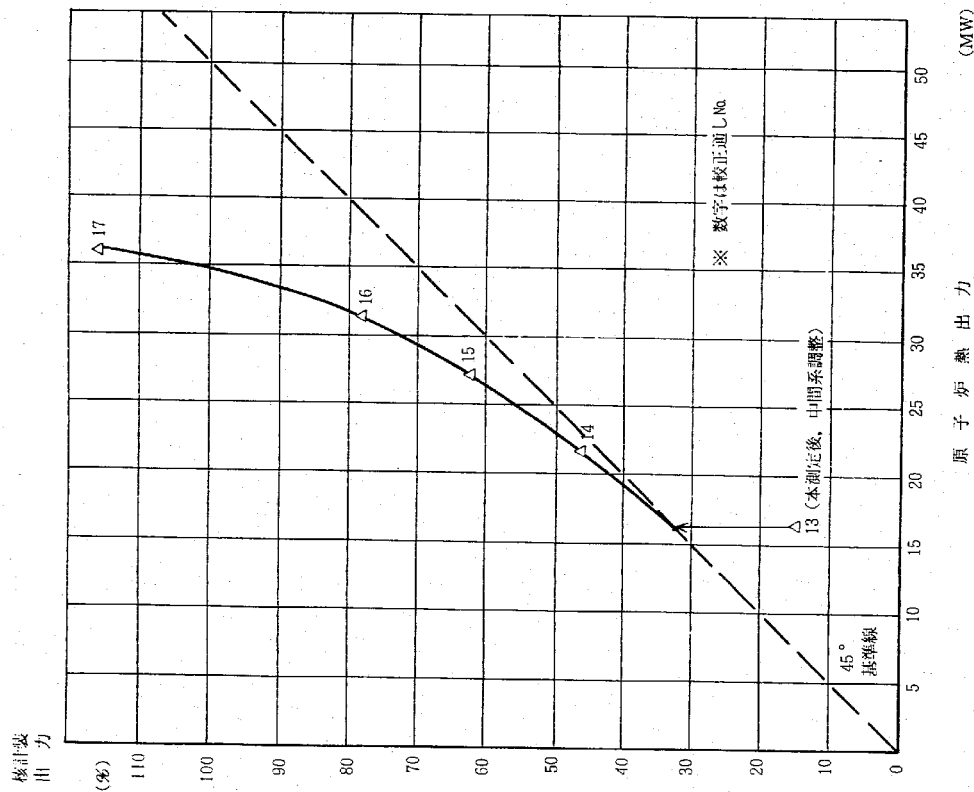


図5-10-3 熱出力校正曲線 (No.13~17)

中間系 ch.5 < 7月8日測定値, 7/8 中間系調整後 >

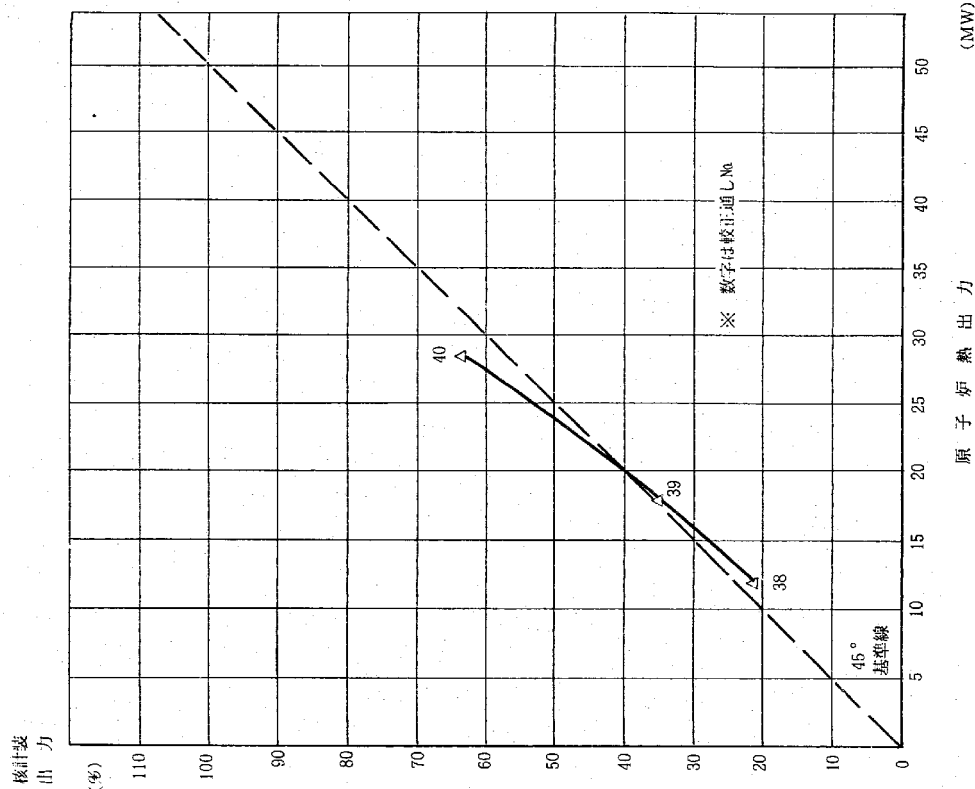


図5-11-1 熱出力校正曲線 (No.38~40)

中間系 ch.3 < 7月21日測定値, 7/8 中間系調整後 >

核計装
出力

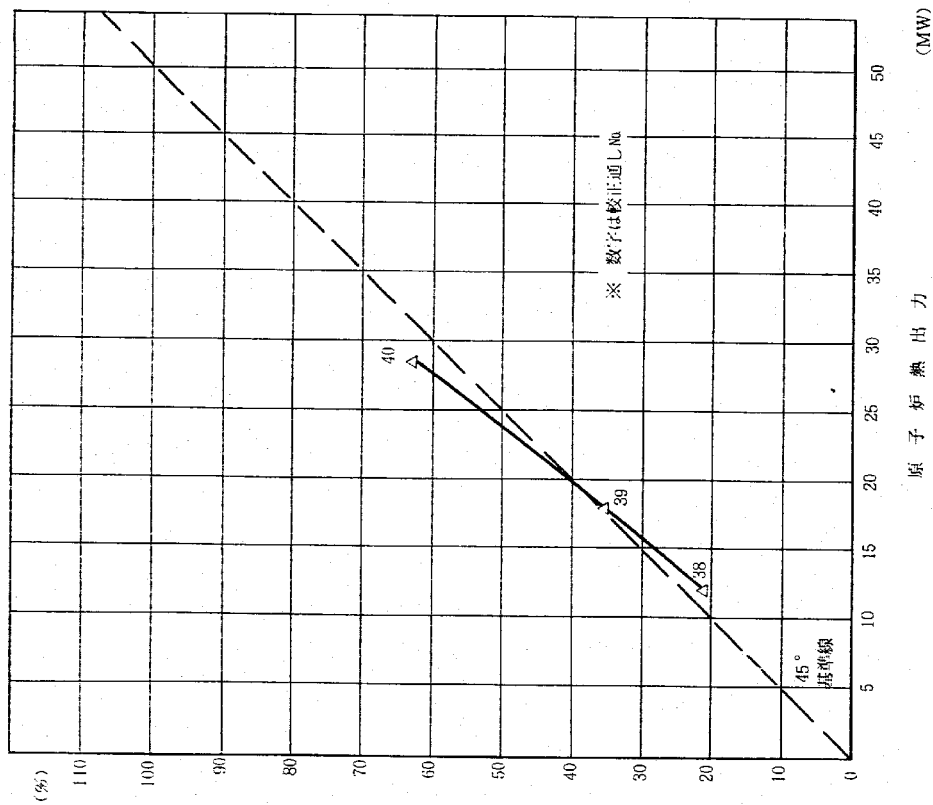


図5-11-2 熱出力校正曲線 (No.38~40)

中間系 ch.4 < 7月21日測定値, 7/8中間系調整後>

核計装
出力

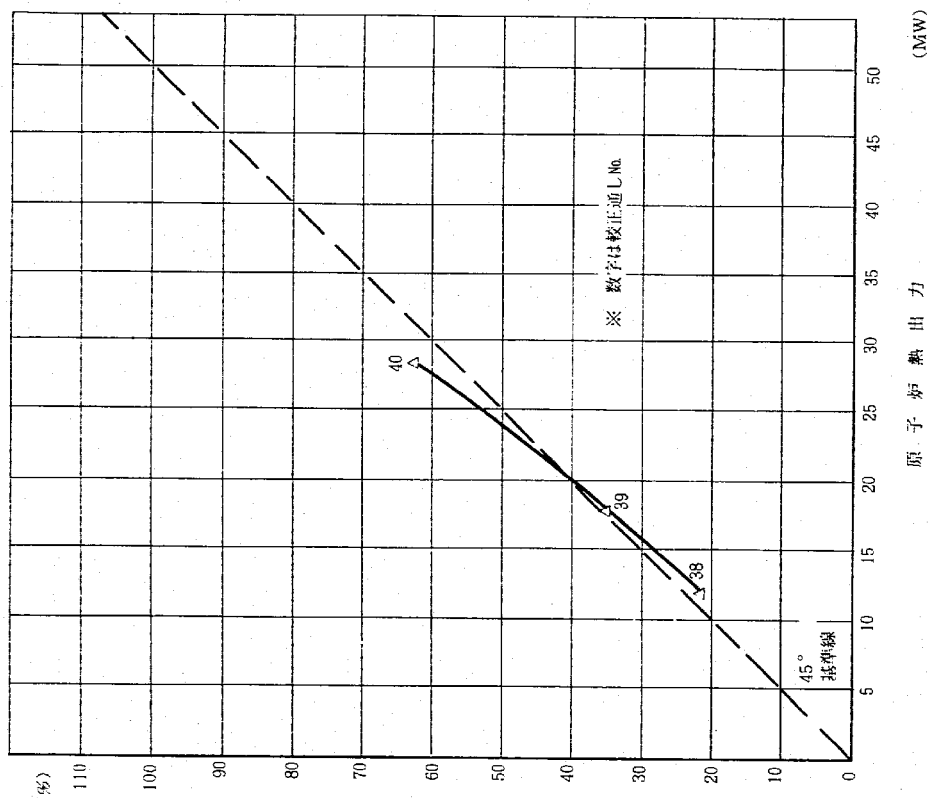
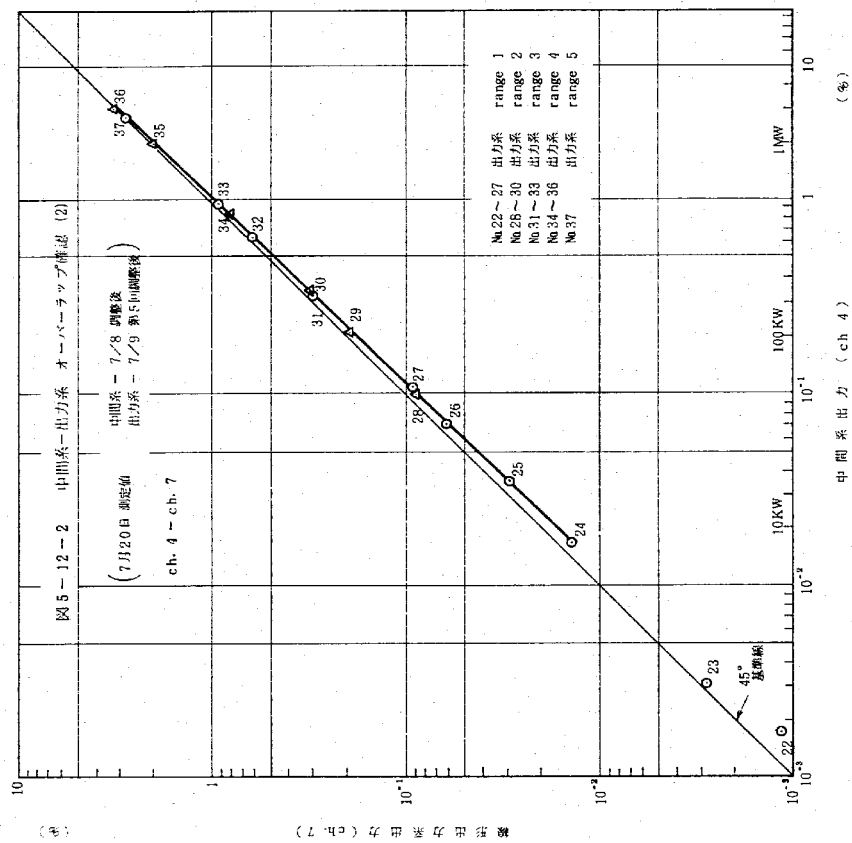
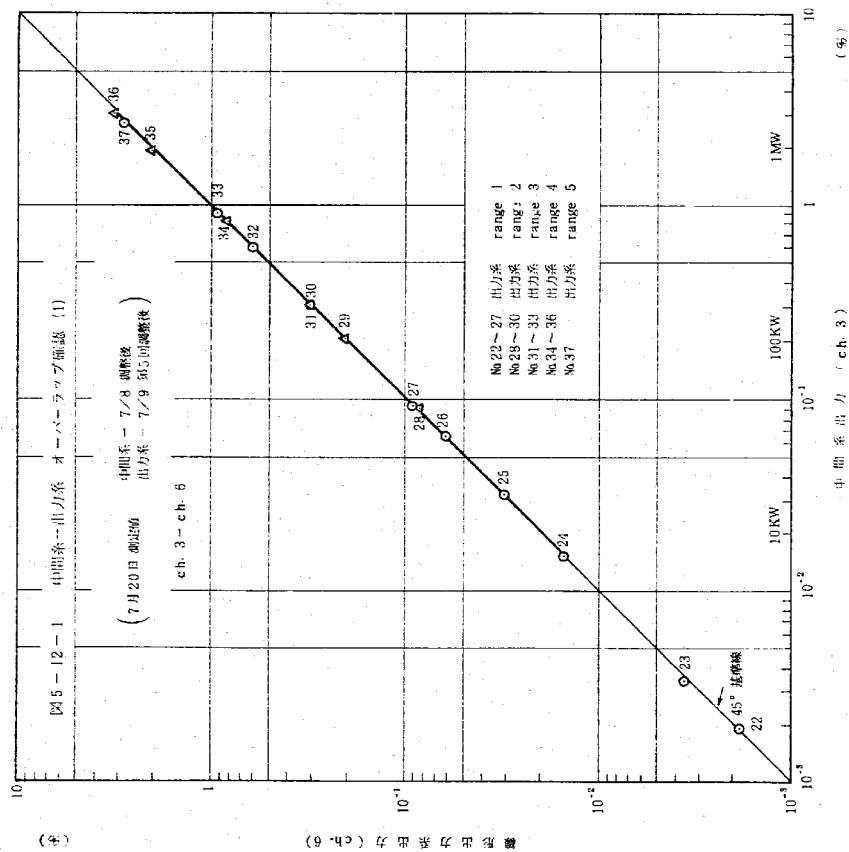
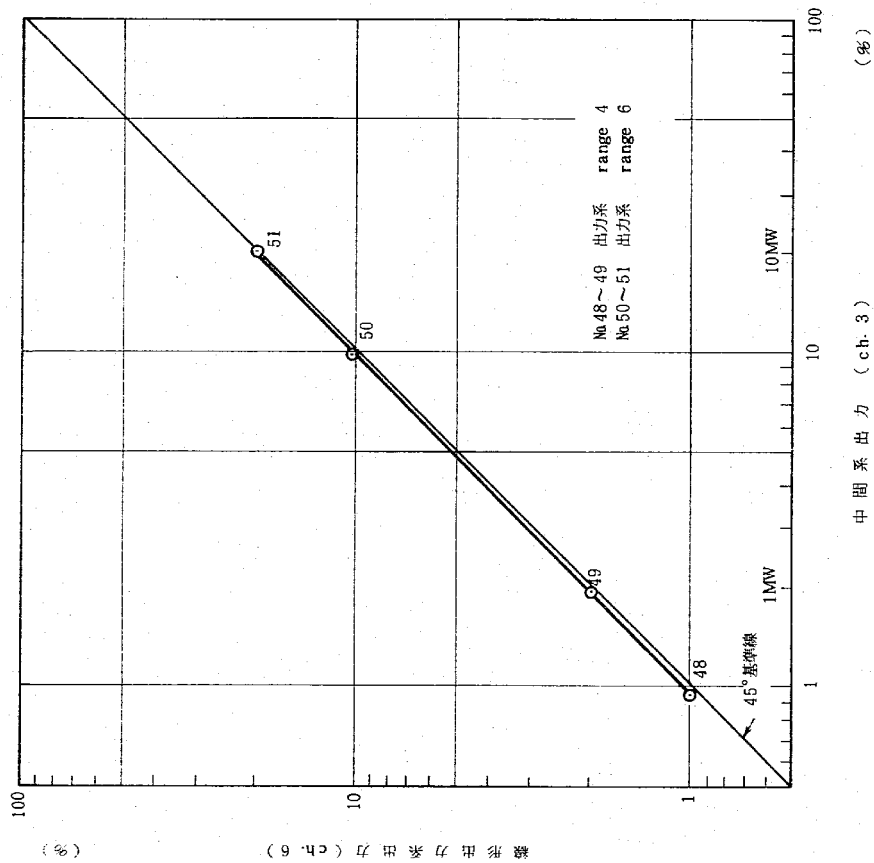
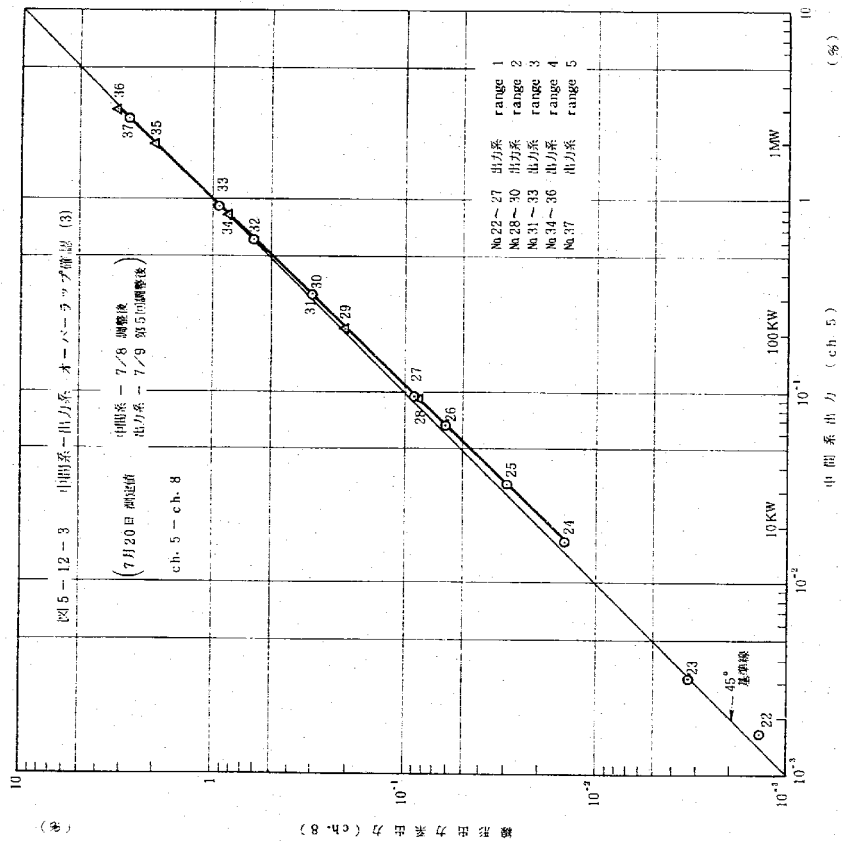


図5-11-3 熱出力校正曲線 (No.38~40)

中間系 ch.5 < 7月21日測定値, 7/8中間系調整後>





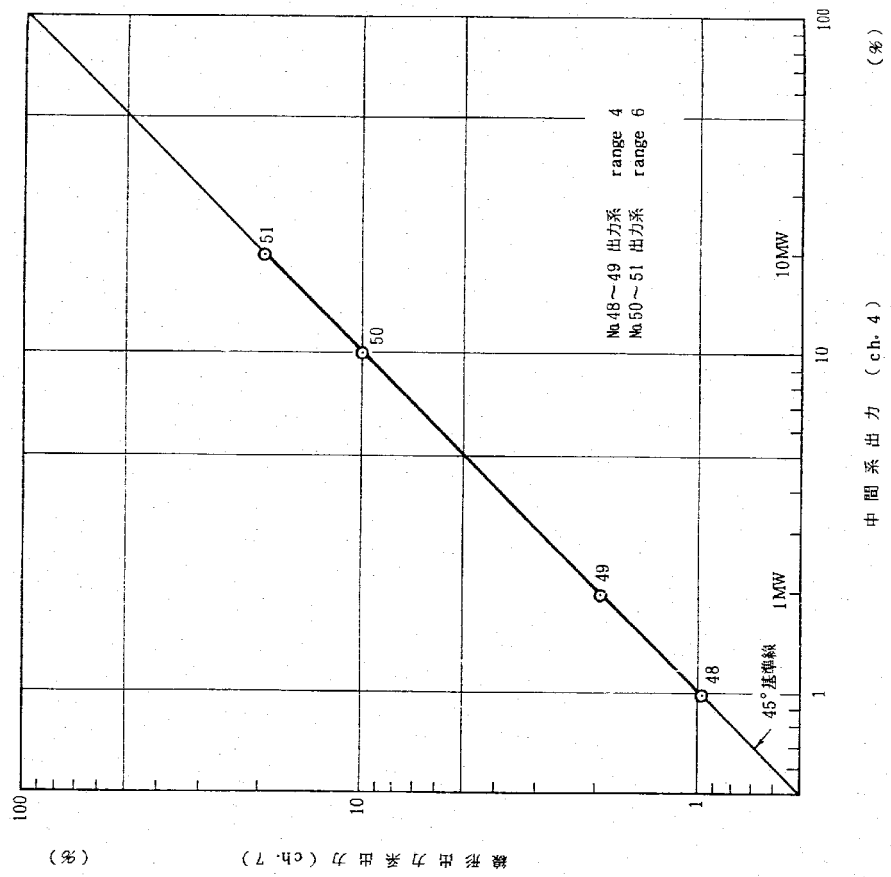


図5-13-2 中間系-出力系オーバーラップ確認(局立時2)

(7月26日 測定値 中間系 - 7/8 調整後
出力系 - 7/24 第6回調整後)

ch. 4 - ch. 7

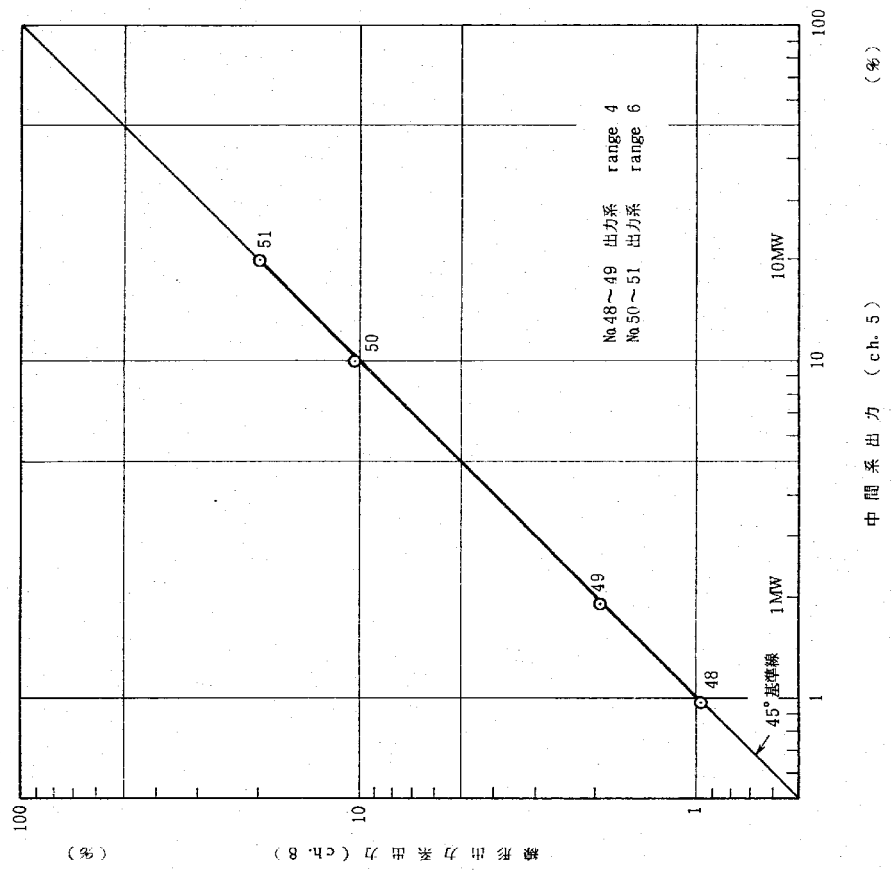
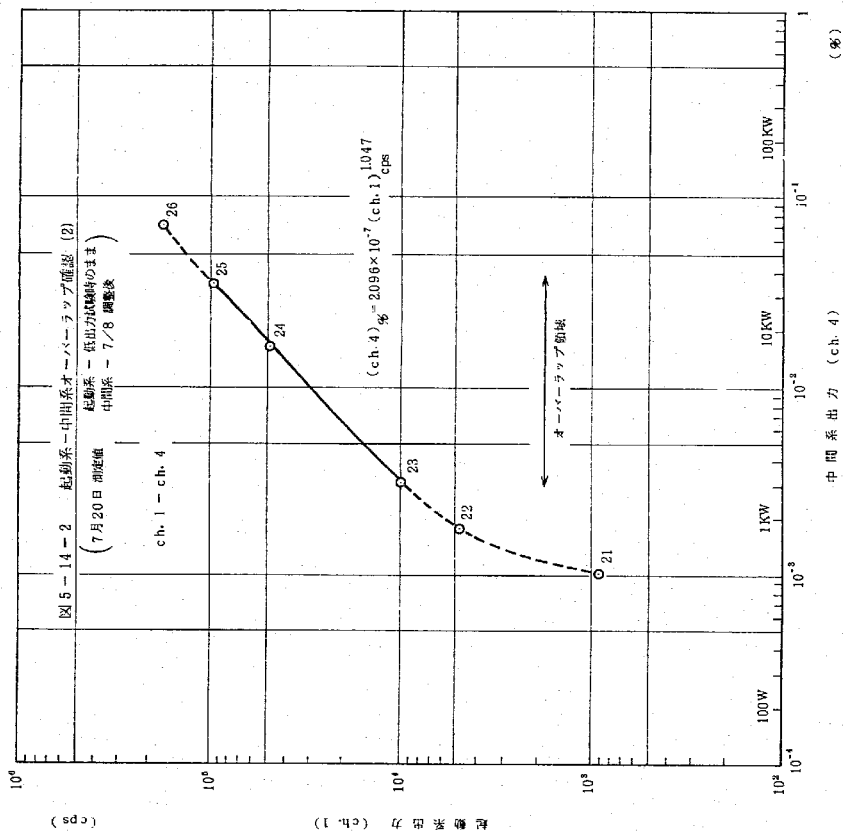
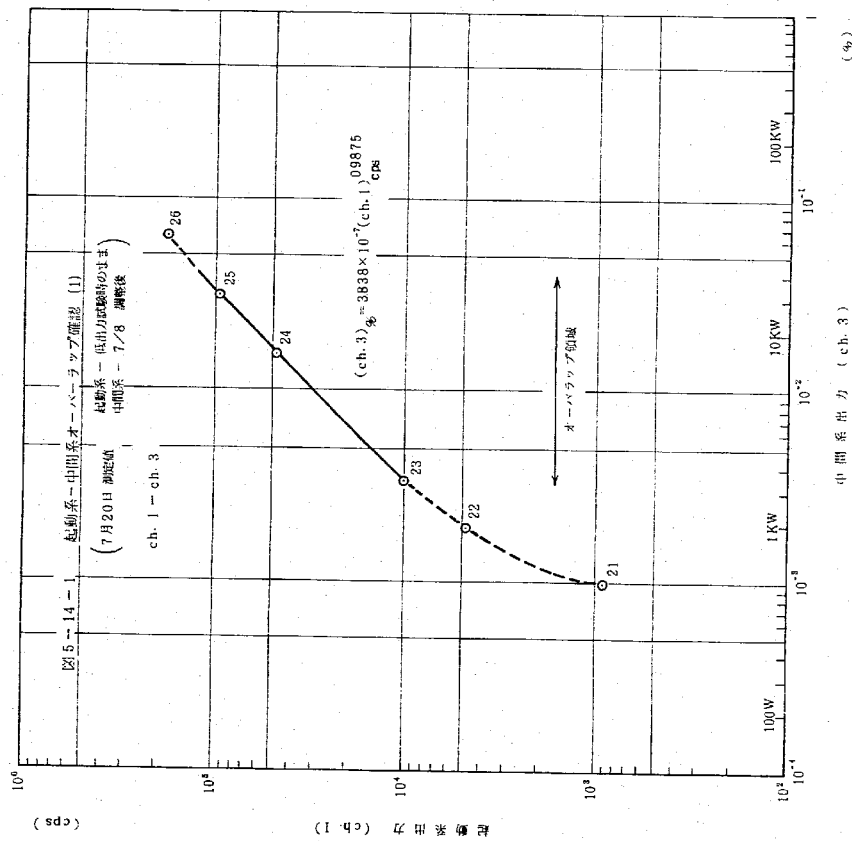
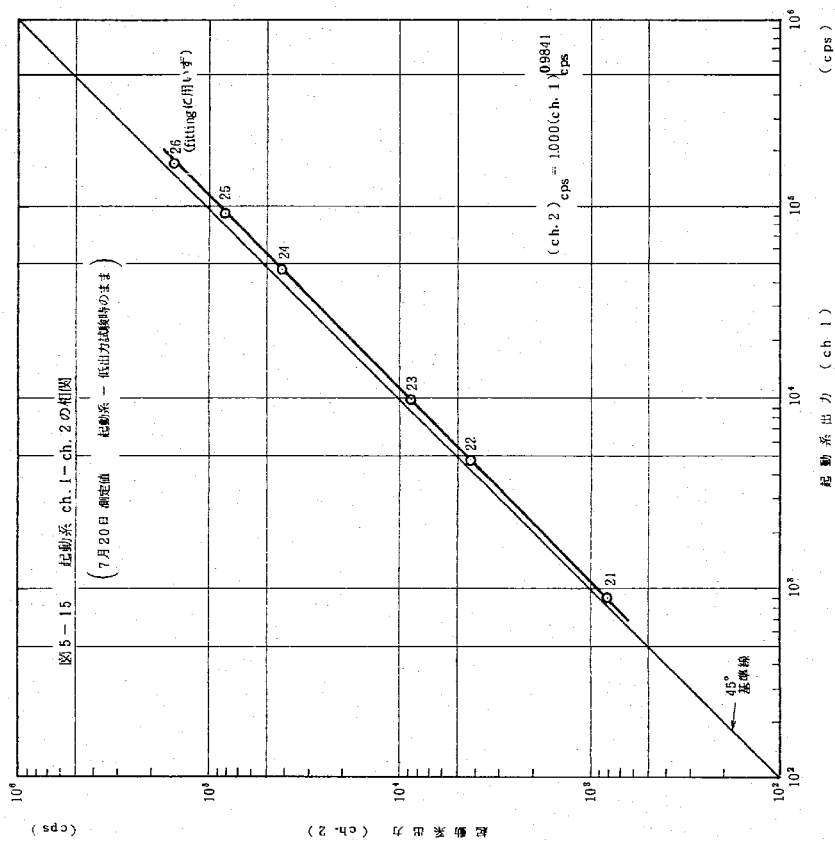
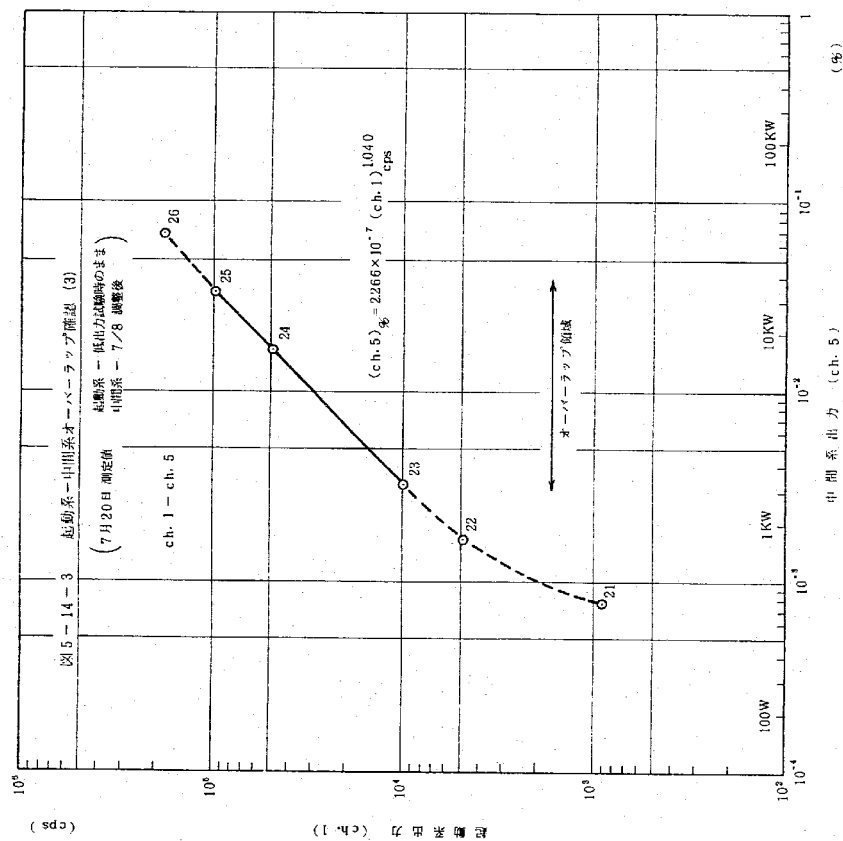


図5-13-3 中間系-出力系オーバーラップ確認(局立時3)

(7月26日 測定日 中間系 - 7/8 調整後
出力系 - 7/24 第6回調整後)

ch. 5 - ch. 8





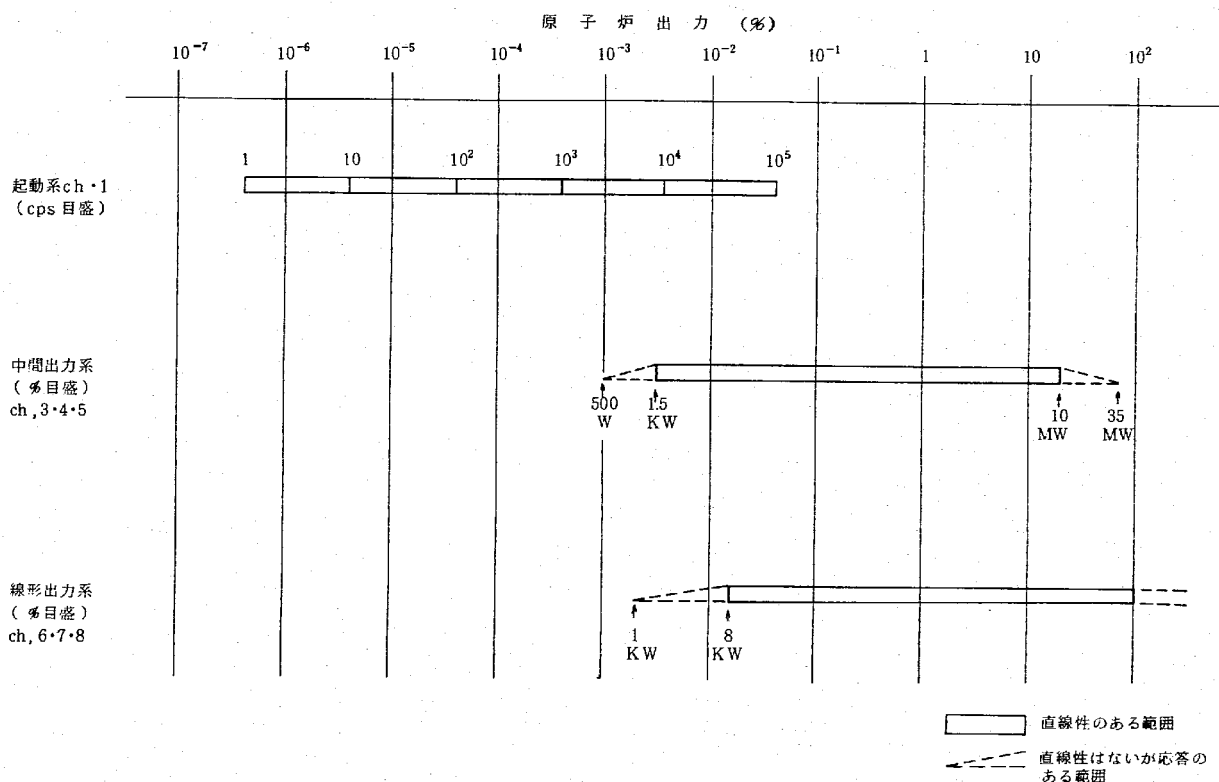


図 5-16 中性子計装設備測定範囲 (測定結果)

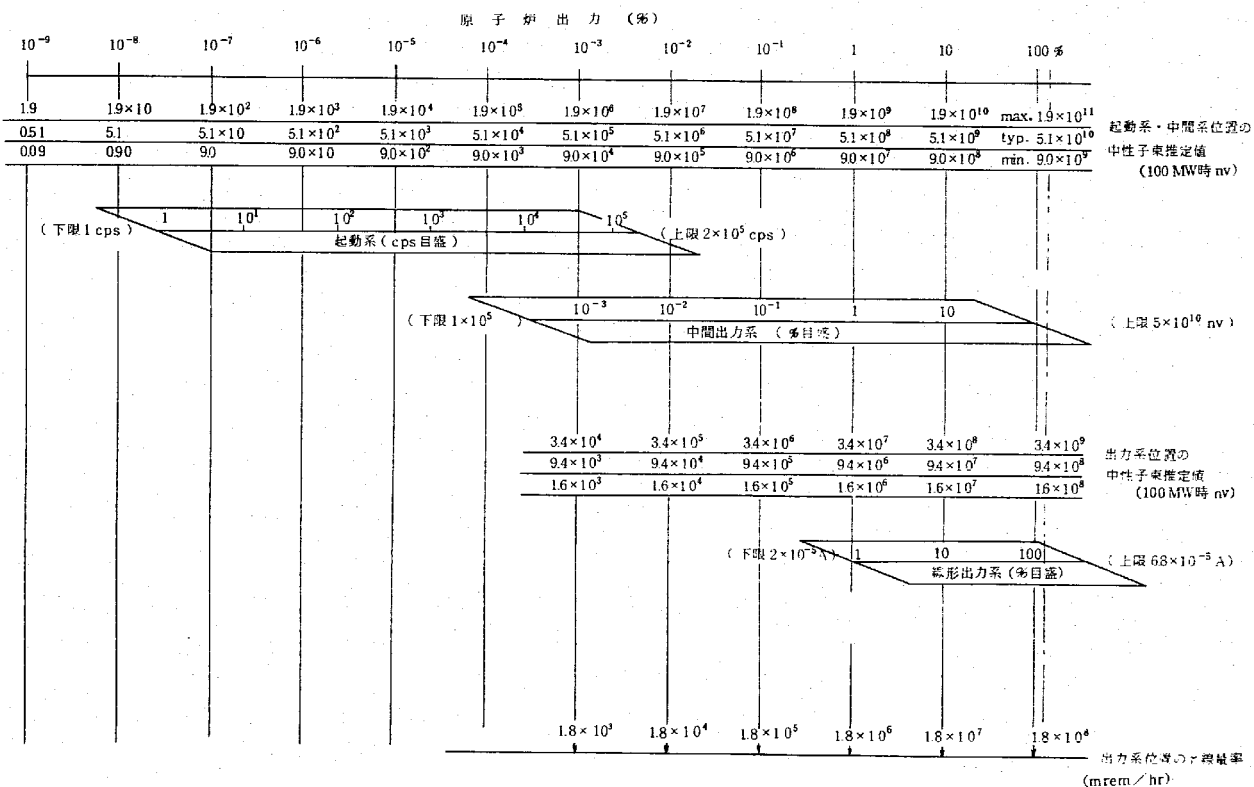


図 5-17 仕様による中性子計装設備測定範囲 (参考図)

第6章 測定の評価

本章では、熱出力校正試験における測定値の誤差を評価する。測定項目は、原子炉熱出力と出力系指示値である。

原子炉熱出力については、Na温度測定とNa流量測定との両者からの誤差が含まれるが、ここで、誤差として以下の2種を考へることとする。ひとつは、熱出力測定の絶対値に関する誤差であり、この主要要因は、熱電対および電磁流量計の製造時の校正誤差である。これは測定に系統的に含まれるものであり、測定計器精度の向上等の手段では取り除けない。もうひとつは、前者から系統的誤差を取り除いたものであり、測定値のばらつきに対する誤差、即ち測定の再現性誤差とも呼ぶべきものである。

出力系指示値については、熱出力の測定値に一致するようにアンブゲインを調整しているため、前項で述べた第2の再現性誤差のみを考へればよい。

6.1 熱出力の測定誤差

熱出力を測定した際の測定誤差の要因としては、以下の項目が考へられる。

- (1) Na温度測定
 - ① 熱電対起動力 + 0.12 ~ - 21.2°C
 - ② 補償導線 ± 1.5°C
 - ③ 計器 ± 0.4°C
 - ④ 読み取り ± 0.1°C
- (2) Na流量測定
 - ① 流量校正 ± 2.2%
 - ② mV → m³/hr 換算 ± 0.5%
 - ③ 読み取り ± 0.2%
 - ④ 計器 ± 0.01%

以上の項目から算出すると、熱出力測定の絶対値に対する確率誤差は50 MWまでの全領域において、± 2.6 MW となった。

又、測定間のばらつき（再現性）に関する誤差は、より小さく、± 0.33 MWである。

以下に、誤差算出の詳細を記す。

6.1.1 熱出力の確率誤差

原子炉熱出力は、下式より求められている。

$$Q_R = Q_A + Q_B \quad (\text{Kcal/h})$$

$$= r(T_{A1})W_A(I(T_{A1}) - I(T_{A2})) + r(T_{B1})W_B(I(T_{B1}) - I(T_{B2}))$$

(3.1 参照のこと)

ここで、直接測定値は、温度 T_{A1} 、 T_{A2} 、 T_{B1} 、 T_{B2} と流量 W_A 、 W_B である。（ r は比重、 I はエンタルピー）

従って、熱出力の確率誤差 R_{QR} は以下の式で与えられる。

$$R_{QR}^2 = \left(\frac{\partial Q_R}{\partial T_{A1}}\right)^2 r_{TA1}^2 + \left(\frac{\partial Q_R}{\partial T_{A2}}\right)^2 r_{TA2}^2 + \left(\frac{\partial Q_R}{\partial T_{B1}}\right)^2 r_{TB1}^2 + \left(\frac{\partial Q_R}{\partial T_{B2}}\right)^2 r_{TB2}^2 + \left(\frac{\partial Q_R}{\partial W_A}\right)^2 r_{WA}^2 + \left(\frac{\partial Q_R}{\partial W_B}\right)^2 r_{WB}^2$$

ここで、 r_i は測定値 T_{A1} 、 T_{A2} 、 T_{B1} 、 T_{B2} 、 W_A 、 W_B の確率誤差である。

また、Na密度 $r(T)$ 、Naエンタルピー $I(T)$ は、3.3.2に示したように温度 T の多項式で表わされているので、 r_i を求めれば、 R_{QR} が算出される。

6.1.2 測定データからの誤差算出

7月25日の50 (MW)時のデータから熱出力の確率誤差を求める。

$$\begin{aligned} T_{A1} &= 369.7 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TA1} &= 1.67 + 1.6 = 3.3 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{A2} &= 435.4 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TA2} &= 0.12 + 1.6 = 1.7 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ W_A &= 1256.0 \text{ (m}^3\text{/h)} & r_{WA} &= 1256.0 \times \frac{2.26}{100} = 28.4 \text{ (m}^3\text{/h)} \\ T_{B1} &= 370.6 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TB1} &= 2.02 + 1.6 = 3.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{B2} &= 433.3 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TB2} &= 2.12 + 1.6 = 3.7 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ W_B &= 1266.7 \text{ (m}^3\text{/h)} & r_{WB} &= 1266.7 \times \frac{2.26}{100} = 28.6 \text{ (m}^3\text{/h)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{熱出力 } Q_R &= 4269 \times 10^7 \text{ Kcal/h} \\ &= 49.6 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{確率誤差 } R_{QR} &= 2248 \times 10^7 \text{ Kcal/h} \\ &= 2.61 \text{ MW} \end{aligned}$$

同様に、25 (MW)時の熱出力の確率誤差を求める。

$$\begin{aligned} T_{A1} &= 370.0 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TA1} &= 3.3 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{A2} &= 406.4 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TA2} &= 1.7 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ W_A &= 1252.85 \text{ (m}^3\text{/h)} & r_{WA} &= 1252.85 \times \frac{2.26}{100} = 28.3 \text{ (m}^3\text{/h)} \\ T_{B1} &= 370.4 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TB1} &= 3.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{B2} &= 404.7 \text{ (}^\circ\text{C)} & r_{TB2} &= 3.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

$$W_{th} = 1265.42 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$T_{Tb_2} = 3.7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{WB} = 1265.42 \times \frac{226}{100} = 286 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$\begin{aligned} \text{熱出力 } Q_R &= 2352 \times 10^7 \text{ Kcal/h} \\ &= 273 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{確率誤差 } R_{QR} &= 2.165 \times 10^6 \text{ Kcal/h} \\ &= 252 \text{ MW} \end{aligned}$$

ゆえに、熱出力測定値の絶対確率誤差には出力依存性はなく $\pm 2.6 \text{ MW}$ としてよい。

6.1.3 検出端の測定誤差

(1) 温度測定誤差

① 熱電対起電力 (起電力校正試験結果) - 誤差として評価する。

$$\begin{aligned} \text{A ループ出口} &\text{ 約 } +0.005 \text{ (mV) at } 435 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ &+ 0.005/0.0424 = +0.12 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

$$\text{A ループ入口} \quad \text{約 } -0.07 \text{ (mV) at } 370 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{B ループ出口} \quad \text{約 } -0.09 \text{ (mV) at } 435 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{B ループ入口} \quad \text{約 } -0.09/0.0424 = -2.12 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{約 } -0.085 \text{ (mV) at } 370 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{約 } -0.085/0.0420 = -2.02 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

② 補償導線 $\pm 1.5 \text{ (}^\circ\text{C)}$ (JIS精密級)

③ デジタルマルチ温度計 $\pm (0.05 \text{ (\% of rdg + 0.2 (}^\circ\text{C))})$

$$\text{at } 435 \text{ (}^\circ\text{C)} \pm \left(\frac{0.05}{100} \times 435 + 0.2 \right) = \pm 0.4 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{at } 370 \text{ (}^\circ\text{C)} \pm \left(\frac{0.05}{100} \times 370 + 0.2 \right) = \pm 0.4 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

④ 読取り (後掲) $\pm 0.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$

② + ③ + ④

$$\text{確率誤差} = \pm \sqrt{②^2 + ③^2 + ④^2}$$

$$= \pm \sqrt{1.5^2 + 0.4^2 + 0.1^2} = \pm 1.6 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

※温度読取誤差例

(イ) A ループ原子炉入口温度

測定値 $^\circ\text{C}$	残 差 v	v^2
3699	+0.2	0.04
3697	+0.0	0.00
3694	-0.3	0.09
算術的平均値 $X_0 = 3697$	$\Sigma v = 0.5$	$\Sigma v^2 = 0.13$

算術的平均値

$$X_0 = 3697$$

直値に対する算術的

平均値の誤差

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.13}{3(3-1)}} = 0.1472$$

各測定値の測定誤差

$$r = 0.6745/\sqrt{n} \delta = 0.6745/\sqrt{3} \times 0.1472 = 0.1720$$

算術的平均値の確率

誤差

$$r_0 = \frac{r}{\sqrt{n}} = \frac{0.1720}{\sqrt{3}} = 0.099$$

真 値

$$X = X_0 \pm r_0 = 3697 \pm 0.1$$

(ロ) A ループ原子炉出口温度

測定値 $^\circ\text{C}$	残 差 v	v^2
4362	+0.0	0.00
4364	+0.2	0.04
4360	-0.2	0.04
$X_0 = 4362$	$\Sigma v = 0.4$	$\Sigma v^2 = 0.08$

$$X_0 = 4362$$

$$\delta = \sqrt{\frac{0.08}{3(3-1)}} = 0.1155$$

$$r = 0.6745/\sqrt{3} \times 0.1155 = 0.1349$$

$$r_0 = \frac{0.1349}{\sqrt{3}} = 0.078$$

$$X = 436 \pm 0.1$$

(2) 流量測定誤差

① 流量校正精度

$$\pm 22 \text{ (\%)}$$

② $\text{mV} \rightarrow \text{m}^3/\text{h}$ 換算式精度

$$\pm 0.5 \text{ (\%)}$$

③ 読取り (後掲)

$$\pm 0.2 \text{ (\%)}$$

④ 高精度デジタル表示計

$$\pm (0.01 \text{ \% of rdg} + 2 \text{ digit})$$

$$\begin{aligned}
 \text{確率誤差} &= \pm \sqrt{①^2 + ②^2 + ③^2 + ④^2} \\
 &= \pm \sqrt{2.2^2 + 0.5^2 + 0.2^2 + 0.01^2} \\
 &= \pm 2.26 (\%)
 \end{aligned}$$

※流量読取誤差例

(イ) A ループ流量 (7月8日, 50MW)

測定値 m^3/h	残 差 v	v^2
12584	+08	0.64
12568	-08	0.64
12575	-01	0.01
$X_0 = 1257.6$	$\Sigma v = 1.7$	$\Sigma v^2 = 1.29$

$$X_0 = 1257.6$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1.29}{3(3-1)}} = 0.4637$$

$$r = 0.6745\sqrt{3} \times 0.4637 = 0.5417$$

$$r_0 = \frac{0.5417}{\sqrt{3}} = 0.3128$$

$$\frac{r_0}{X} = \frac{0.3128}{1257.6} = 0.025 \times 10^{-2}$$

(ロ) A ループ流量 (7月25日, 50MW) ... パラツキの大きいデータ

測定値 m^3/h	残 差 v	v^2
12525	-35	1225
12525	-35	1225
12630	+70	4900
12560	$\Sigma v = 140$	$\Sigma v^2 = 735$

$$X_0 = 12560$$

$$\delta = \sqrt{\frac{735}{3(3-1)}} = 3.500$$

$$r = 0.6745\sqrt{3} \times 3.500 = 4.089$$

$$r_0 = \frac{4.089}{\sqrt{3}} = 2.361$$

$$\frac{r_0}{X} = \frac{2.361}{12560} = 0.18 \times 10^{-2}$$

相対誤差 = 0.2% とする。

6.1.4 熱出力測定の再現性誤差

熱出力の再現性を論じる場合の限定の要因は、以下のものとする。

(1) Na 温度測定

① 計器 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ ② 読み取り $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ①+②の確率誤差 $= \pm \sqrt{0.4^2 + 0.1^2} = \pm 0.41^\circ\text{C}$

(2) Na 流量測定

① 計器 $\pm 0.01\%$ ② 読み取り $\pm 0.2\%$ ①+②の確率誤差 $= \pm \sqrt{0.01^2 + 0.2^2} = \pm 0.20\%$

6.1.2 と同様に、7月25日の50MW時のデータから、熱出力の再現性の誤差を求める。

$$T_{A1} = 369.7 (^\circ\text{C}) \quad r_{TA1} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$T_{A2} = 435.4 (^\circ\text{C}) \quad r_{TA2} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$W_A = 1256.0 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$T_{WA} = 1256.0 \times \frac{0.20}{100} = 2.6 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$T_{B1}$$

$$T_{B2} = 433.3 (^\circ\text{C})$$

$$W_B = 1266.7 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$r_{TB1} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$r_{TB2} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$r_{WB} = 1266.7 \times \frac{0.20}{100} = 2.6 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{確率誤差 } R_{QR} = 2821 \times 10^6 \text{ Kcal/h}$$

$$= 0.328 \text{ MW}$$

同様に、7月25日の25MW時のデータから、熱出力の再現性の誤差を求める。

$$T_{A1} = 370.0 (^\circ\text{C}) \quad r_{TA1} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$T_{A2} = 406.4 (^\circ\text{C}) \quad r_{TA2} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$W_A = 125285 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$T_{WA} = 125285 \times \frac{0.20}{100} = 2.6 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$T_{B1} = 370.4 (^\circ\text{C})$$

$$T_{B2} = 404.7 (^\circ\text{C})$$

$$W_B = 1265.42 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$r_{TB1} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$r_{TB2} = 0.41 (^\circ\text{C})$$

$$r_{WB} = 1265.42 \times \frac{0.20}{100} = 2.6 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{確率誤差 } R_{QR} = 2763 \times 10^6 \text{ Kcal/h}$$

$$= 0.321 \text{ MW}$$

ゆえに、全出力範囲にわたって、熱出力測定の再現性誤差は $\pm 0.33 \text{ MW}$ としてよい。

6.2 核計装の測定誤差

核計装の誤差を考える場合、これは、熱出力のような絶対値測定ではない事に注意する。

核計装のモニタ出力は、測定された熱出力に合わせるように、アンプのゲインを調整して決定されるため、誤差要因としては以下の3項目を考えればよい。

- ① アンプ調整誤差
- ② 測定計器誤差
- ③ モニタ出力読取誤差

この他に、測定系の経時変化、例えば、アンプのゲインのシフト等が考えられるが、これらのデータはないので、ここでは無視する。

また、①のアンプ調整誤差については、調整法が、モニタ出力を読み取りながら、ゲインを調整して熱出力に合わせる方法であるため、数値としては、③のモニタ出力読取誤差と同じと考えてよい。

(1) 出力系測定の確率誤差

- ① アンプ調整誤差 ± 0.39%
- ② 測定計器誤差 ± (0.01% of rdg + 0.001 f.s.) ± 1 digit、0.01%
- ③ モニタ出力読取誤差 ± 0.39%

(後掲)

ゆえに、

$$\begin{aligned} \text{確率誤差} &= \pm \sqrt{①^2 + ②^2 + ③^2} \\ &= \pm 0.55\% \end{aligned}$$

(2) 中間系測定の確率誤差

- ① アンプ調整誤差 ± 0.0075 volt
- ② 測定計器誤差 ± 0.01% ± 0.001 volt
- ③ モニタ出力読取誤差 ± 0.0075 volt

(後掲)

ゆえに、

$$\begin{aligned} \text{確率誤差} &= \pm \sqrt{①^2 + ②^2 + ③^2} \\ &= \pm 0.011 \text{ volt} \end{aligned}$$

％に換算すると、

- 出力100多時 確率誤差 ± 1.5 %
- " 10多時 " ± 0.15 %
- " 1多時 " ± 0.015 %

※核計装モニタ出力読取り誤差

(イ) 出力系モニタ出力

8/14 17:00 ch. 7 バラツキの大きいデータ

測定値%	残差v	v ²
99.43	+0.185	0.034225
99.06	-0.185	0.034225
X ₀ = 99.245	Σ v = 0.37	Σv ² = 0.6845

ベッセルの公式から確率誤差 τ_0 は、

$$\tau_0 = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}$$

$$= 0.39\%$$

$$\text{直値} = 99.25 \pm 0.39\%$$

(ロ) 中間系モニタ出力

7/21 14:14 ch. 3 バラツキの大きいデータ

測定値 Volt	残差 v	v ²
9.678	+0.0075	5.625 × 10 ⁻⁵
9.663	-0.0075	5.625 × 10 ⁻⁵
X ₀ = 9.6705	Σ v = 0.015	Σv ² = 1.125 × 10 ⁻⁴

$$\text{確率誤差 } \tau_0 = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}$$

$$= 0.0075 \text{ volt}$$

- 出力100多時 確率誤差 ± 1.03 %
- " 10多時 " ± 0.103 %
- " 1多時 " ± 0.0103 %

第7章 原子炉熱出力と炉心熱出力との差

PT-11 熱出力校正試験では、原子炉熱出力を、3.1に記したように、1次冷却材から中間熱交換器を介して、2次冷却材へ伝達する熱として定義している。ここで、原子炉熱出力と、炉心（即ち燃料）からの発熱量（これを炉心熱出力と呼ぶ）との差に関して検討を行なう。

なお、本試験ではサイフォンブレイク流量を、小さいものとして無視しているので、その評価も合わせて行なった。

以下のように、3種の熱出力を定義する。

- ① 原子炉熱出力(1)……本試験での熱出力。サイフォンブレイク流量を無視して、主冷却系だけのヒートバランスから求めた熱出力。
- ② 原子炉熱出力(2)……主冷却流量からサイフォンブレイク流量を除いた流量を用いて、主冷却系だけのヒートバランスから求めた熱出力。
- ③ 炉心熱出力……主冷却系（サイフォンブレイク流量を考慮）、オーバーフロー系及び補助冷却系のヒートバランスから求める熱出力であり、燃料からの発熱量としてよい。この他に、ポンプ入熱と放熱があるが、これは、直接の測定が困難であるが両者は符号が反対で、その和を考えると微小であると思われるので、無視する。

3種の熱出力を相互比較した結果を表7.1に示す。

- ① サイフォンブレイク流量は、A ループで $98 \text{ m}^3/\text{h}$ 、B ループで $99 \text{ m}^3/\text{hr}$ であり、この値は5/9〜7/8 の間で殆ど変化していない。これは、主冷却流量の0.8%であるので、原子炉熱出力(1)は原子炉熱出力(2)より約0.8%大きい。

- ② オーバフロー系からの除熱量は、炉出力に対する依存性が少なく、70〜120kWの間である。

- ③ 補助系からの除熱量は、炉出力に依存していて、10MWで約120kW、50MWで約170kWである。

- ④ オーバフロー系・補助系とも流量はよく安定している。オーバーフロー系は、11〜12 m^3/hr 、補助系は $-16.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ である。

- ⑤ オーバフロー系・補助系の除熱量の和は、炉出力の0.6%から1.1%の間であり（放出力を除く）、サイフォンブレイク流量の0.8%とキャンセルするので、原子炉熱出力(1)と炉心熱出力との差は、 $\pm 0.2 \text{ MW}$ 以内になる。

表 7.1 原子炉熱出力と炉心熱出力の比較

校正 No.	測定日	熱出力(1) (MW)	熱出力(2) (MW)	炉心熱出力 (MW)	熱出力(1) - 熱出力(2)		熱出力(1) - 炉心熱出力		オーバー フロー系 (kW)	補助系 (kW)
					MW	%	MW	%		
4	5月19日	19.37	19.21	19.37	+0.16	+0.83	0.0	0.0	78	81
5	5月25日	23.40	23.21	23.41	+0.19	+0.81	-0.01	-0.04	89	108
6	6月10日	25.77	25.57	25.79	+0.20	+0.78	-0.02	-0.08	92	126
7	6月23日	40.28	39.97	40.21	+0.31	+0.77	+0.07	+0.17	89	148
8	7月4日	38.56	38.25	38.46	+0.31	+0.80	+0.10	+0.26	73	144
10	7月6日	46.17	45.80	46.05	+0.37	+0.80	+0.12	+0.26	92	159
11	7月7日	50.62	50.23	50.49	+0.39	+0.77	+0.13	+0.26	88	171
12	7月8日	11.32	11.23	11.42	+0.09	+0.80	-0.10	-0.88	74	118
13	"	16.29	16.17	16.38	+0.12	+0.74	-0.09	-0.55	95	123
14	"	21.76	21.59	21.81	+0.17	+0.78	-0.05	-0.23	98	125
15	"	27.19	26.98	27.22	+0.21	+0.77	-0.03	-0.11	109	130
16	"	31.42	31.18	31.43	+0.24	+0.76	-0.01	-0.03	116	134
17	"	36.12	35.84	36.09	+0.28	+0.78	+0.03	+0.08	114	136
18	"	40.62	40.30	40.56	+0.32	+0.79	+0.06	+0.15	115	141
19	"	45.68	45.32	45.60	+0.36	+0.79	+0.08	+0.18	116	157
20	"	50.51	50.11	50.39	+0.40	+0.79	+0.12	+0.24	108	167
					差を熱出力(1)で除した もの		差を熱出力(1)で除した もの			

表 7.2.1 1次冷却系測定データ(1)

校正通し No	4	5	6	7
測定日時 (1978年)	5月19日 9時11分	5月25日 9時07分	6月10日 9時07分	6月23日 9時07分
1次系Aグループ				
主冷却材流量	m ³ /h	12520	12574	12554
サイフォンブレイク流量	m ³ /h	974	975	978
炉入口 Na 温度	°C	3706	3719	3732
炉出口 Na 温度	°C	3962	4024	4262
ループ熱出力	MW	985	1178	2039
サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	978	1169	2023
1次系Bグループ				
主冷却材流量	m ³ /h	12618	12637	12712
サイフォンブレイク流量	m ³ /h	993	993	997
炉入口 Na 温度	°C	3697	3704	3709
炉出口 Na 温度	°C	3942	4003	4238
ループ熱出力	MW	951	1161	1990
サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	943	1152	1974
オーバーフロー	m ³ /h	1161	1189	1122
オーバーフロータンク Na 温度	°C	3733	3771	3768
炉出口平均 Na 温度	°C	3952	4014	4035
除熱量	MW	0078	0089	0089
補助系流量	m ³ /h	-1655	-1659	-1661
IHX 出口 Na 温度	°C	3908	3914	3925
IHX 入口 Na 温度	°C	3747	3702	3677
除熱量	MW	0081	0108	0126
原子炉熱出力(1)	MW	1937	2340	2577
原子炉熱出力(2)	MW	1921	2321	2557
炉心熱出力	MW	1937	2341	2579

表 7.2.2 1次冷却系測定データ(2)

校正通し No	8	10	11	12
測定日時 (1978年)	7月4日 11時49分	7月6日 11時49分	7月7日 9時38分	7月8日 9時14分
1次系Aグループ				
主冷却材流量	m ³ /h	12572	12571	12552
サイフォンブレイク流量	m ³ /h	980	979	981
炉入口 Na 温度	°C	3726	3690	3702
炉出口 Na 温度	°C	4234	4317	3862
ループ熱出力	MW	1958	2358	618
サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	1942	2339	613
1次系Bグループ				
主冷却材流量	m ³ /h	12679	12358	12666
サイフォンブレイク流量	m ³ /h	993	993	995
炉入口 Na 温度	°C	3724	3698	3704
炉出口 Na 温度	°C	4212	4294	3848
ループ熱出力	MW	1897	2259	514
サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	1882	2241	510
オーバーフロー	m ³ /h	1206	1201	1194
オーバーフロータンク Na 温度	°C	4024	4053	4113
炉出口平均 Na 温度	°C	4223	4306	4356
除熱量	MW	0073	0092	0088
補助系流量	m ³ /h	-1668	-1667	-1673
IHX 出口 Na 温度	°C	4036	4075	4105
IHX 入口 Na 温度	°C	3753	3761	3769
除熱量	MW	0144	0159	0171
原子炉熱出力(1)	MW	3856	4617	5062
原子炉熱出力(2)	MW	3825	4580	5023
炉心熱出力	MW	3846	4605	5049

表 7.2.3 1次冷却系測定データ(3)

校正通し No		13	14	15	16
測定日時 (1978年)		7月8日 10時17分	7月8日 13時05分	7月8日 14時05分	7月8日 15時00分
1次系A ループ	主冷却材流量	m ³ /h	12561	12568	12572
	サイフォンブレイク流量	m ³ /h	981	982	982
	炉入口 Na 温度	°C	370.3	371.5	371.3
	炉出口 Na 温度	°C	392.5	399.6	412.8
	ループ熱出力	MW	858	1085	1601
	サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	851	077	1589
1次系B ループ	主冷却材流量	m ³ /h	12669	12667	12679
	サイフォンブレイク流量	m ³ /h	995	995	996
	炉入口 Na 温度	°C	370.8	369.5	371.0
	炉出口 Na 温度	°C	390.6	397.5	410.6
	ループ熱出力	MW	772	1091	1542
	サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	766	1082	1539
オーバーフロー系	オーバーフロー 汲上流量	m ³ /h	1209	1208	1206
	オーバーフロータンクNa温度	°C	366.1	372.2	380.3
	炉出口平均Na温度	°C	391.6	398.6	411.7
	除熱量	MW	0095	0098	0116
	補助系流量	m ³ /h	-1663	-1671	-1673
	IHX 出口 Na 温度	°C	384.7	389.0	397.0
1次補助系	IHX 入口 Na 温度	°C	360.5	364.6	370.7
	除熱量	MW	0124	0124	0134
	原子炉熱出力 (1)	MW	1629	2176	3142
	原子炉熱出力 (2)	MW	1617	2159	3118
	炉心熱出力	MW	1638	2181	3143

表 7.2.4 1次冷却系測定データ(4)

校正通し No		17	18	19	20
測定日時 (1978年)		7月8日 16時10分	7月8日 17時15分	7月8日 18時34分	7月8日 20時09分
1次系A ループ	主冷却材流量	m ³ /h	12585	12566	12576
	サイフォンブレイク流量	m ³ /h	981	980	980
	炉入口 Na 温度	°C	370.6	370.6	369.7
	炉出口 Na 温度	°C	418.0	424.2	436.2
	ループ熱出力	MW	1831	2066	2564
	サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	1816	2050	2544
1次系B ループ	主冷却材流量	m ³ /h	12669	12656	12660
	サイフォンブレイク流量	m ³ /h	995	995	994
	炉入口 Na 温度	°C	369.6	370.6	371.0
	炉出口 Na 温度	°C	415.4	422.0	434.5
	ループ熱出力	MW	1782	1996	2487
	サイフォンブレイク流量を 除いたループ熱出力	MW	1768	1980	2468
オーバーフロー系	オーバーフロー 汲上流量	m ³ /h	1204	1206	1191
	オーバーフロータンクNa温度	°C	385.8	391.7	398.0
	炉出口平均Na温度	°C	416.7	423.1	430.0
	除熱量	MW	0114	0115	0116
	補助系流量	m ³ /h	-1670	-1673	-1671
	IHX 出口 Na 温度	°C	399.3	403.5	408.2
1次補助系	IHX 入口 Na 温度	°C	372.6	375.8	377.2
	除熱量	MW	0136	0141	0158
	原子炉熱出力 (1)	MW	3612	4062	4568
	原子炉熱出力 (2)	MW	3584	4030	4532
	炉心熱出力	MW	3609	4056	4560

第8章 熱出力校正曲線の変動

出力上昇試験期間中、熱出力校正試験を相当回数にわたって行なったが、この試験を進める中で必ずしも校正結果に再現性がない事、すなわち熱出力測定値に対して出力系の指示値が、ch. 6～8とも一様に同一方向に数%ずれる現象がある事が確認された。このずれは、熱出力校正の測定誤差を大きく越えている。

この現象を簡単にまとめると、

- (1) 同一日に出力上昇する際には、熱出力と出力系指示値は、非常に良好な直線性を示す。
- (2) 熱出力校正値の変動は、殆ど例外なく運転履歴に依存している。熱出力校正試験前に2～3日以上長い休止期間がある場合は、熱出力に対して出力系指示値は小さくなり、試験前に長期間の高出力連続運転がある場合は、熱出力に対して出力系指示値は大きくなる。その差は、最大で約6%である。

- (3) 5.1.13の項で述べたように、2～3日の休止から高出力連続運転を開始した場合、(出力系指示値) / (熱出力) のrateは、運転開始直後は急激に上昇し、運転開始後約1週間経過すると、ほぼ飽和値に達するような、上に凸な単調増加のカーブをえがく。

以上の現象の整理から、変動の原因は、炉心から中性子検出器までの温度変動にあると考え、検討を始めた。

まず、炉心及び炉内Na及び炉壁の影響はない事が判明した。これらの場所の温度はすべて運転とはほぼ同時に熱的平衡状態に達し、それ以後の変動はない。

次に、検出器自体の温度効果であるが、これは極めてその温度変動量が小さく、また、検出器度に対する温度の影響はきわめて小さいことが仕様から知られており、これも無視できる。

残るのが、グラファイト及び安全容器の温度効果であり、これらの原子炉運転に伴う変動の様子と、出力系指示値の変動の様子が、良く一致している事が判明した。

従って、出力系指示値変動の原因は、グラファイト及び安全容器温度の変動にあると考え、更に検討を進めた。

以下に、その詳細を記す。

8.1 経過

出力系指示値の変動経過の概略を記す。

- (1) 7月7日 出力系の計器校正を行なう。

校正熱出力は50.62 (MW) である。

- (2) 7月8日 中間系及び出力系の熱出力校正のために10～50 (MW) 間を5 (MW) ステップで校正する。

出力系100 [%] で熱出力約50.5 (MW) であった。

- (3) 7月21日 局立のリハーサルを行なう。

出力系100 [%] で熱出力約53.3 (MW) となり、6 [%] オーバした。

- (4) 7月24日 50 (MW) にて再度測定する。

出力系96 [%] で熱出力約49.6 (MW) となり、上記(2)、(3)の線間に入る。この熱出力で再度出力系の計器調整を行なう。

- (5) 7月25日 熱出力校正試験の官庁立合を受ける。

出力系100 [%] で熱出力約49.6 (MW) となり無事合格する。

- (6) 8月11日～16日連続100時間運転に於いて出力系を100 [%] に保持したが、熱出力は50.7 (MW) から48.5 (MW) まで徐々に減少する。

8.2 検討結果

8.2.1 熱出力校正曲線の推移

校正曲線の推移の代表例として出力系ch. 6 の校正曲線を図8.1に示す。他の検出器についても同様に移動している。

中間系ch. 3 の校正曲線の推移を図8.2に示す。中間系についてもその量は小さいが、出力系と同様の傾向がみられる。

8.2.2 推移の原因

中性子検出器の感度は検出器自体の温度及び中性子が透過する物体の温度に依存する。そこで、50 (MW) 出力での炉体周方向の温度分布を図8.3.1～2に示す。

出力系検出器温度は7月8日と21日の間で温度差が2 (°C) である。また、東芝の報告書

(SJ201 74-30) によるとCIC検出器の温度による変化は殆ど無いと報告されている。よって、検出器温度の影響は無い。

同様に、原子炉出口ナトリウム温度については温度差が4 (°C) 以内、炉心中心レベルの炉壁温度については温度差が2 (°C) 以内であり炉内ナトリウム、炉内構造物、及び炉壁とも温度による検出器感度への影響は小さいと考えられる。なお、出力上昇時の炉壁温度の推移を図8.4.1～2に示す。炉壁温度は原子炉出口温度によく追従しており、出力上昇過程で熱出力校正を行なう測定に対する炉壁温度の影響は小さい。

以上から、炉壁から出力系検出器の間に存する黒鉛遮蔽体及び安全容器が検出器感度に最も影響を与えていると考えられる。

図 8.5.11 に 7 月 21 日～26 日の黒鉛温度の推移を、図 8.5.2 に 8 月 11 日～16 日の推移を、熱出力と併せて示す。

8.2.3 温度依存性

黒鉛遮蔽体及び安全容器が原因であると仮定し、連続 100 時間運転時におけるデータから、各々の温度依存性を求めた。表 8.1.1 に、炉体廻り温度と熱出力・出力系の関係を整理して示す。図 8.6 に、出力系指示値と黒鉛温度・安全容器温度との関係を示す。測定誤差の範囲内で、非常に強い相関があることがわかる。

温度依存性は、以下のようになった。(最小 2 乗法による)

◦黒鉛遮蔽体に対して 0.26 %/°C

◦安全容器に対して 0.44 %/°C

	8月11日 16:00	8月16日 9:30
ch.6 指示値	9869 %	10312 %
黒鉛温度	698 °C	878 °C
安全容器温度	507 °C	614 °C

黒鉛温度は 7 月 14 日 0 時に、出力上昇期間中での最高温度 (TE 83-7 で 89.9 (°C)) を示しており、連続 100 時間運転終了時においても TE 83-7 で 87.9 (°C) と 2.0 (°C) 低い温度である。89.9 (°C) を飽和値とすると 50 (MWt) 到達後飽和値に達するのに 170 (h) (約 1 週間) 程度必要と考えられる。

8.2.4 ch. 9 に対する効果

ch. 9 とは、出力系と同種の CIC 中性子検出器を用いて、黒鉛遮蔽体の内部にあるホールに挿入してあるチャンネルの事であり、ホールの位置は、黒鉛遮蔽体外径から 300 mm 内側にある。

ch. 9 から読み取った指示値と、熱出力の関係を表 8.2、図 8.7 に示す。但し、この指示値は、電流を連続出力したチャートから読み取ったものであり、精度は、あまり良くないと思われる。

図 8.7 を見ると、ch. 6 と同様に、黒鉛温度の上昇に伴って、指示値は、概ね大きくなっており、傾向は同じであるが、その変動量は、ch. 6 より小さい。

これは、ch. 9 の位置が、黒鉛内部にあるために、300 mm 分の黒鉛と安全容器の効果がない事によるものと思われる。出力系指示値の変動の原因が、黒鉛温度と安全容器にあるという仮定を裏付けるものと考えられる。

表 8.1.1 炉体廻り温度と熱出力の関係 (その 1)

		7月25日 17:33	8月11日 16:00	8月12日 9:00	8月13日 9:00	8月13日 17:00
	熱出力 MW	4964				
出力系	ch. 6 モニタ換算	10014	5076	5015	4986	4895
	ch. 7 モニタ換算	9885	10019	10014	10001	9980
	ch. 8 モニタ換算	10096	9958	9958	9947	9937
50 MW 出力	ch. 6 at 50MW	10087	9869	9984	10029	10194
	ch. 7 at 50MW	9857	9809	9928	9975	10150
	ch. 8 at 50MW	10169	9882	9989	10019	10196
炉壁	TE71-121 °C	3945	3937	3949	3949	3941
	TE71-122 °C	3902	3885	3905	3905	3901
	TE83-5 °C	781	690	754	778	812
黒鉛	TE83-6 °C	783	685	750	774	810
	TE83-7 °C	792	698	760	784	817
	TE83-8 °C	875	783	852	874	919
安全容器	TE83-15 °C	585	524	561	578	609
	TE83-16 °C	564	507	541	557	585
出力系後出力	ch. 6	-	35	33	35	35
	ch. 7	-	38	39	40	40
	ch. 8	-	38	39	40	40
炭素鋼	TE83-21	399	370	379	387	401
	TE83-22	395	365	376	382	396

表 8.1.2 炉体廻り温度と熱出力の関係 (その2)

	熱出力	8月14日				8月15日				8月16日			
		9:00	17:00	9:00	17:00	9:00	17:00	9:00	17:00	9:00	17:00	9:00	17:00
出力計	ch. 6	4858	9972	9974	9949	4835	4876	4861	4861	4874	4874	4874	4874
	モニタ換算	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	ch. 7	9933	9925	9925	9922	9922	9975	9977	9948	9992	9992	9992	9992
	モニタ換算	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
50MW出力換算値	ch. 8	9977	9963	9963	9953	9953	10009	10004	9977	10041	10041	10041	10041
	モニタ換算	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	ch. 6	10263	10240	10240	10289	10275	10310	10283	10312	10312	10312	10312	10312
	at 50MW	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
炉壁	ch. 7	10223	10190	10190	10261	10229	10262	10232	10250	10250	10250	10250	10250
	at 50MW	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	ch. 8	10269	10229	10229	10093	10264	10290	10252	10301	10301	10301	10301	10301
	at 50MW	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
黒鉛	TE71-121	3946	3948	3948	3956	3944	3952	3950	3948	3948	3948	3948	3948
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	TE71-122	3905	3908	3908	3918	3905	3913	3912	3908	3908	3908	3908	3908
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
安全容器	TE83-5	845	852	852	863	865	867	871	875	875	875	875	875
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	TE83-6	845	851	851	863	864	866	871	874	874	874	874	874
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
出力系統	TE83-7	848	856	856	867	867	870	873	878	878	878	878	878
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	TE83-8	936	942	942	952	954	958	960	965	965	965	965	965
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
廃棄物	TE83-15	620	625	625	631	635	637	639	640	640	640	640	640
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	TE83-16	594	598	598	605	606	610	612	614	614	614	614	614
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
出力系統	ch. 6	35	35	35	35	36	36	37	36	36	36	36	36
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	ch. 7	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
出力系統	ch. 8	40	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	TE83-21	402	405	405	407	409	411	415	414	414	414	414	414
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
出力系統	TE83-22	398	399	399	402	403	405	409	408	408	408	408	408
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C

表 8.2 黒鉛温度と熱出力との関係 (ch. 9)

日 時	熱出力 MW	ch. 9		黒鉛温度 TE83-7	備考
		電流 $\times 10^{-4}$ A	熱出力 MW		
8/12 9:00	50.15	2086	50.1	99.90	76.0
" 17:00	49.86	2083	50.0	100.28	78.4
8/13 9:00	49.15	2065	49.6	100.92	81.7
" 17:00	48.95	2060	49.5	101.12	83.0
8/14 9:00	48.58	2051	49.3	101.48	84.8
" 17:00	48.70	2045	49.1	100.82	85.6
8/15 9:00	48.35	2033	48.9	101.14	86.7
" 13:00	48.76	2045	49.1	100.70	86.7
" 17:00	48.61	2045	49.1	101.00	87.0
" 23:30	48.61	2033	48.9	100.60	87.3
8/16 9:30	48.74	2050	49.2	100.94	87.8

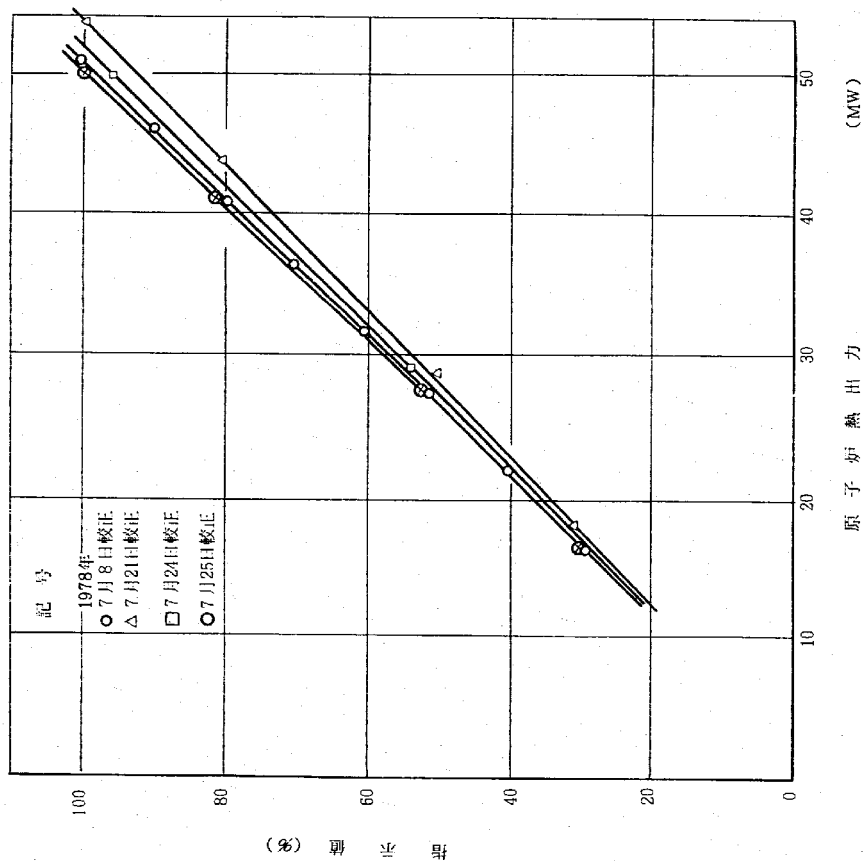


図8-1 出力系 (ch. 6) 校正曲線

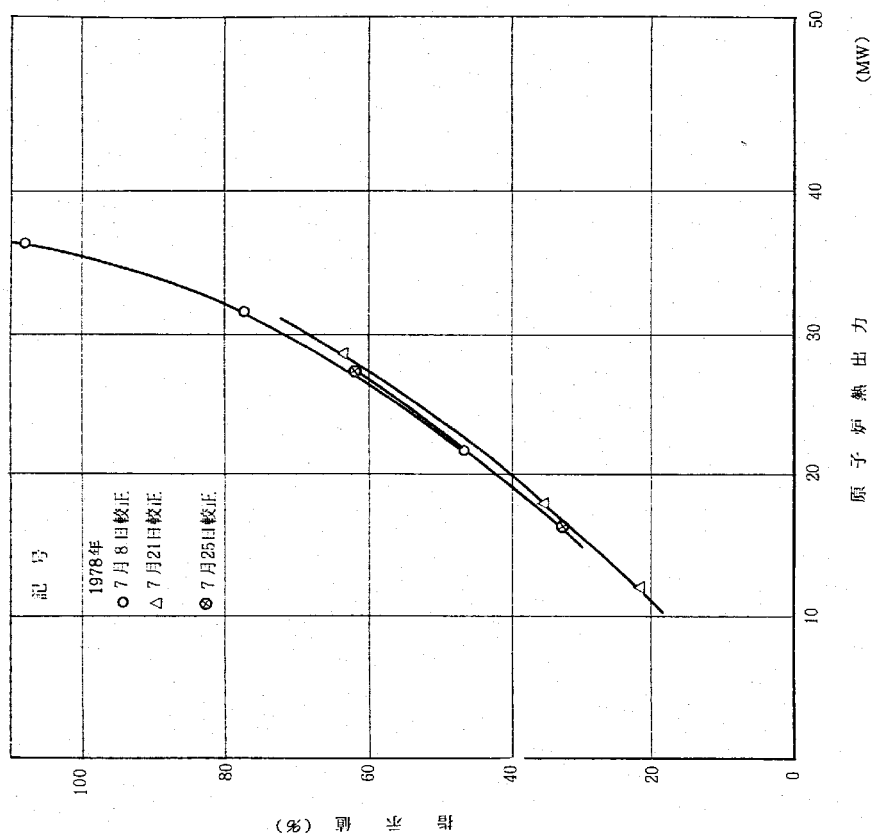


図8-2 中間系 (ch. 3) 校正曲線

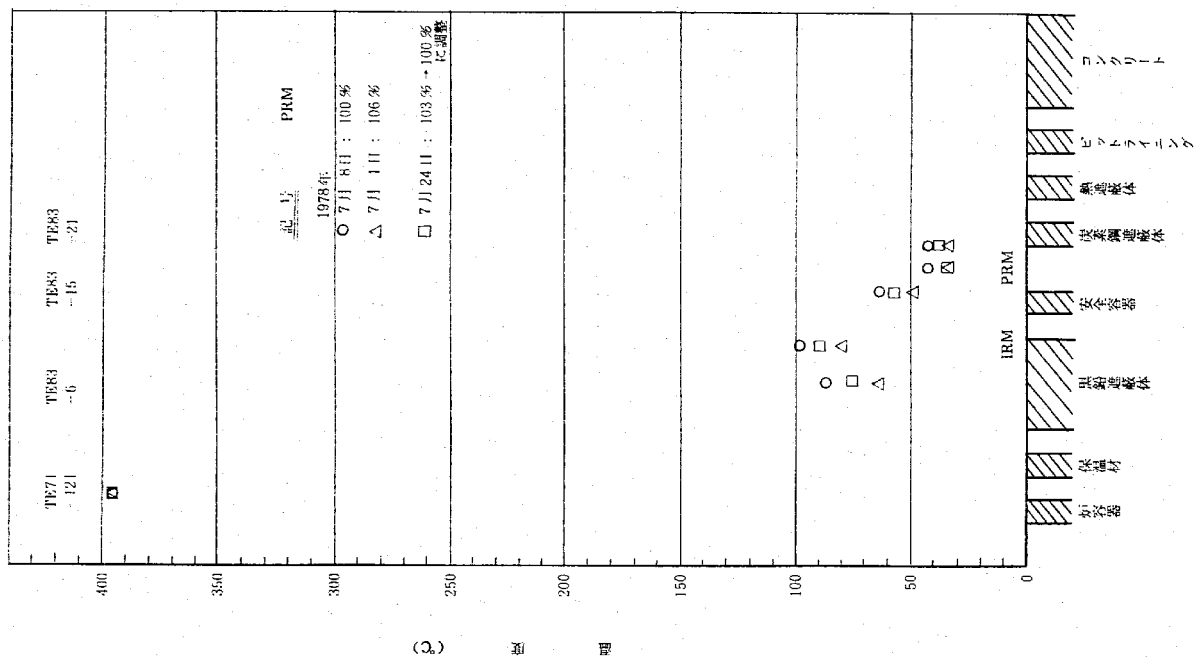


図8-3-1 炉体周方向温度分布 (GL-10860) (1)

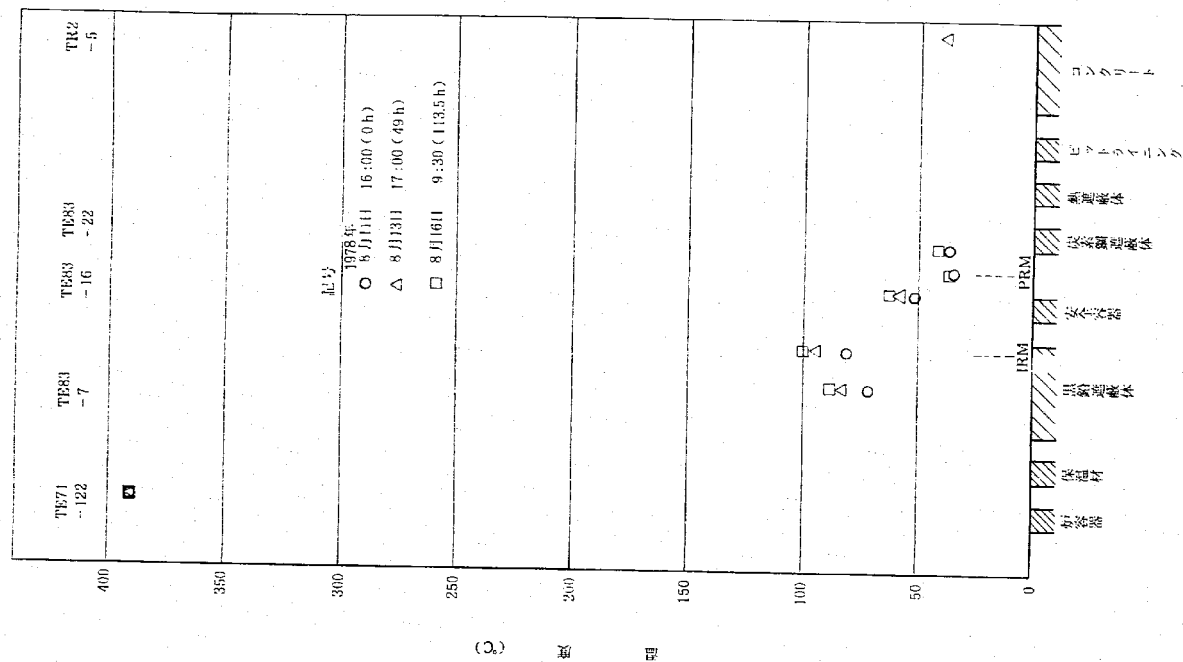


図8-3-2 炉体周方向温度分布 (GL-10860) (2)

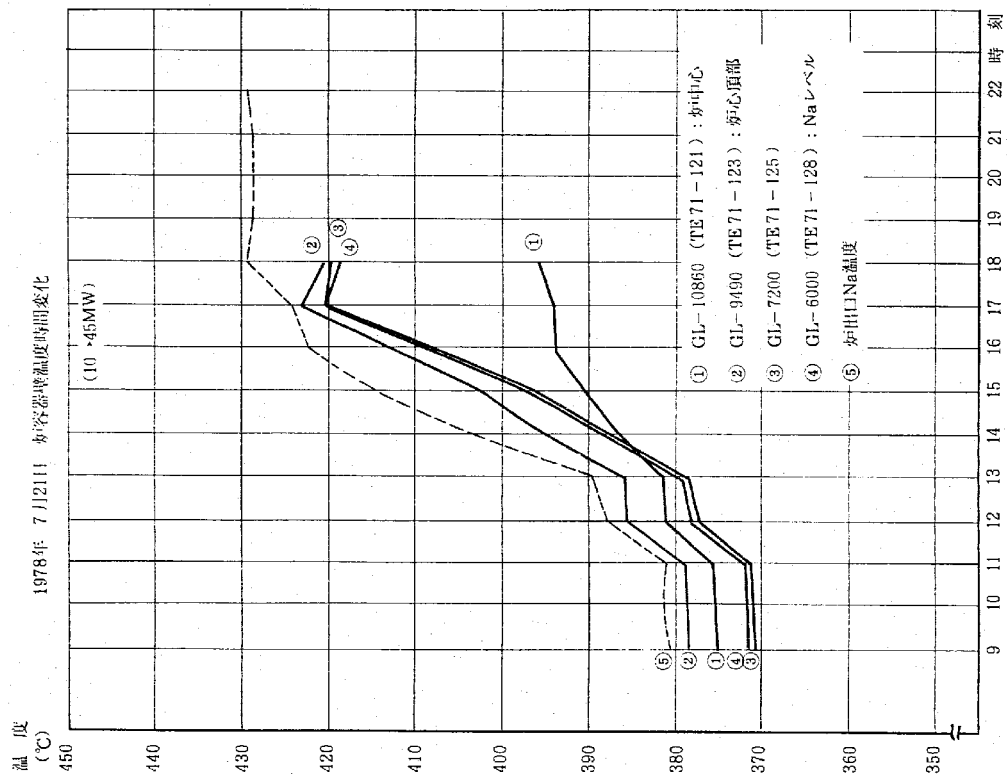


図8-4-1 炉壁温度の推移 (その1)

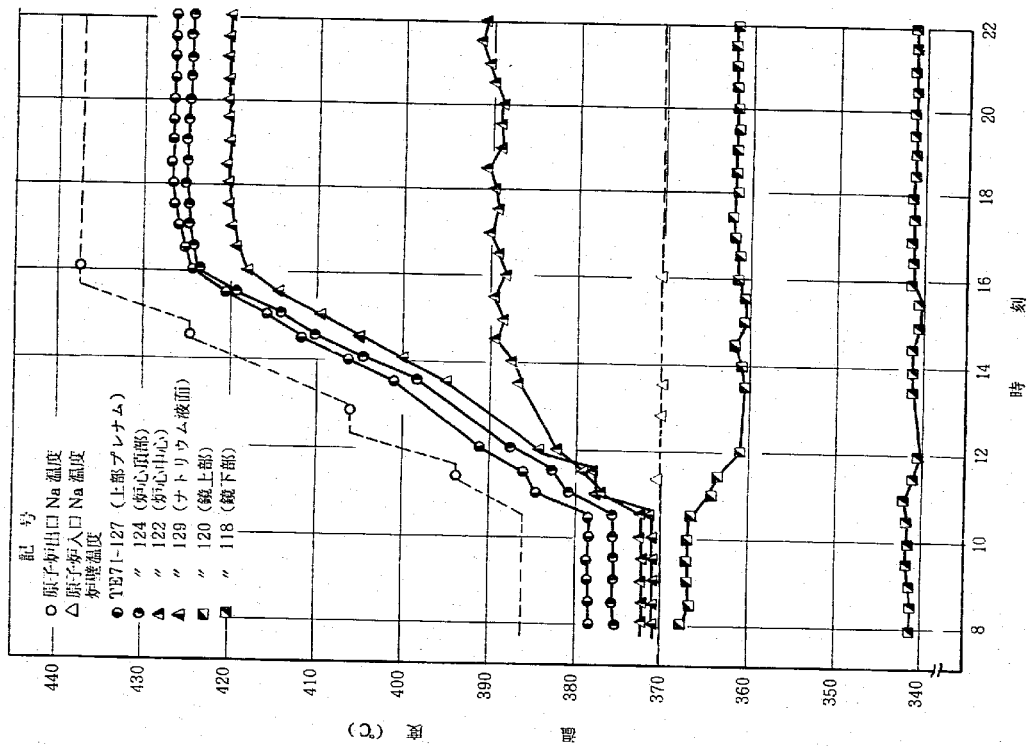


図8-4-2 炉壁温度推移 (その2)

測定日: 1978年8月11日

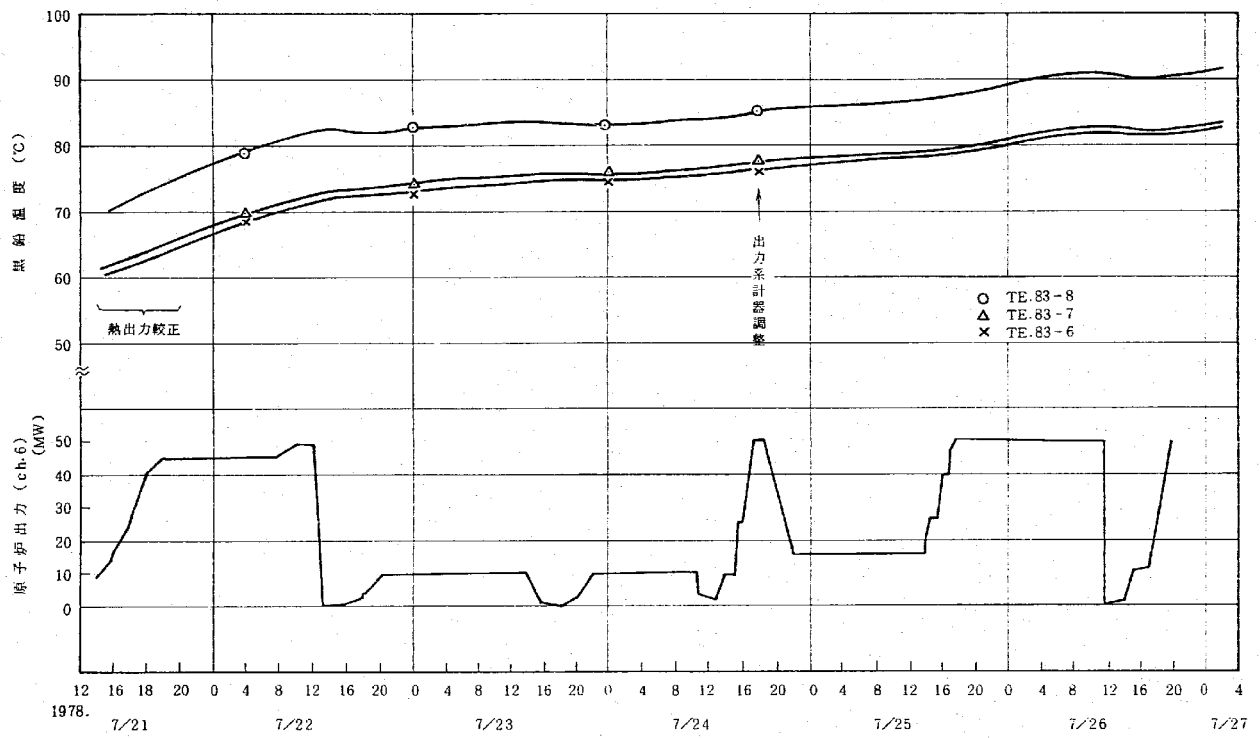


図8-5-1 黒鉛温度の推移 (その1)

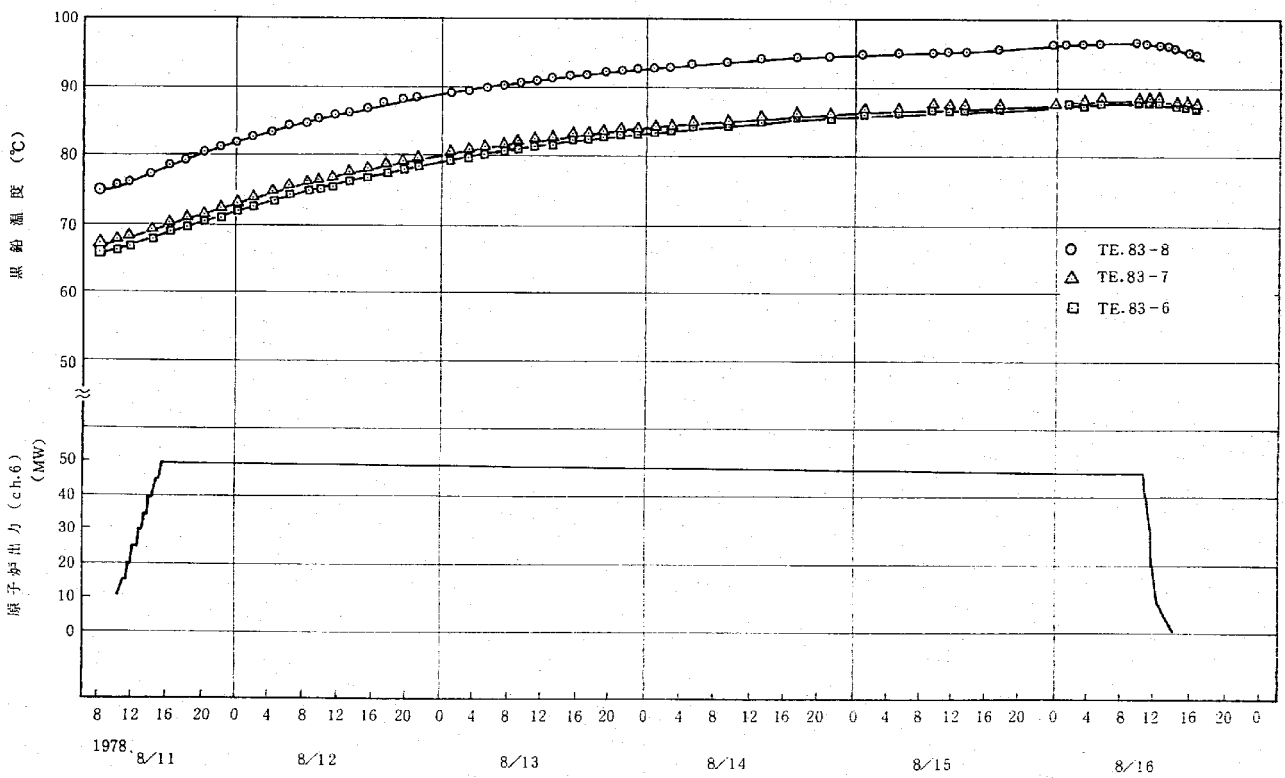


図8-5-2 黒鉛温度の推移 (その2)

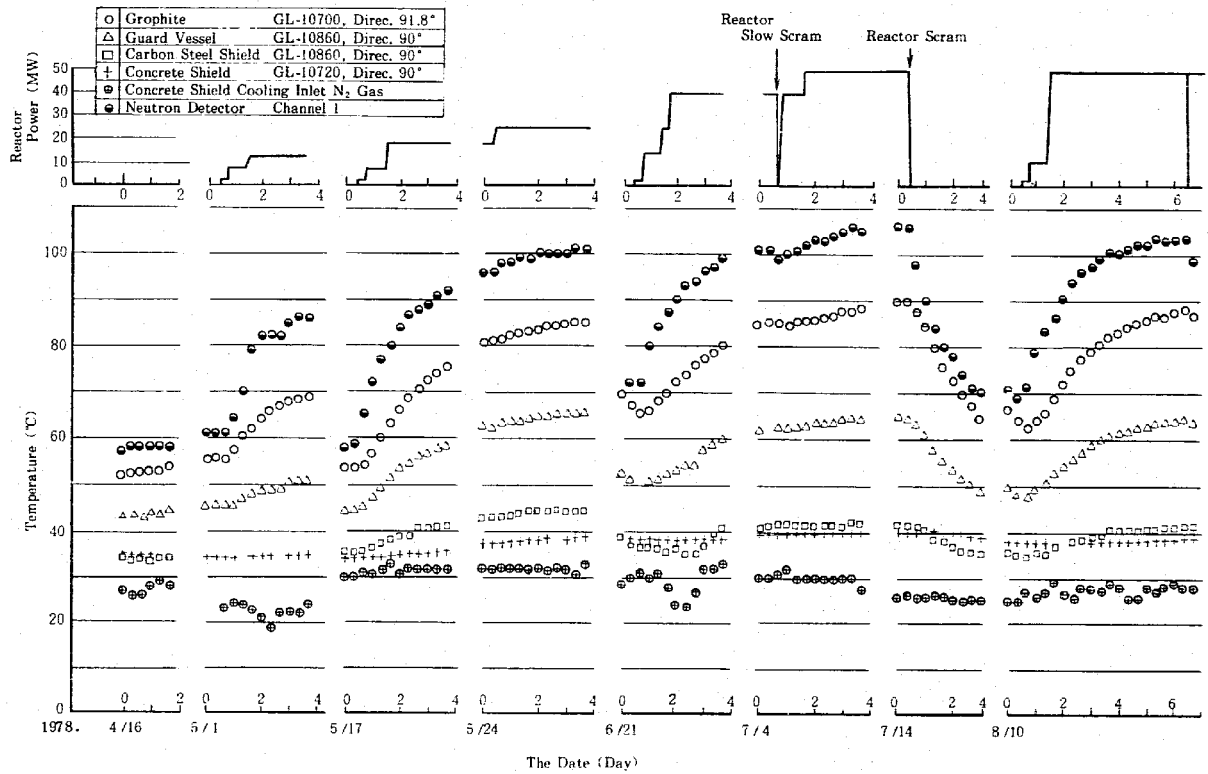


図8-5-3 Temperature Characteristics of Graphite, Guard Vessel, Carbon Steel Shield, Concrete Shield and Neutron Detector with Reactor Transient Condition.

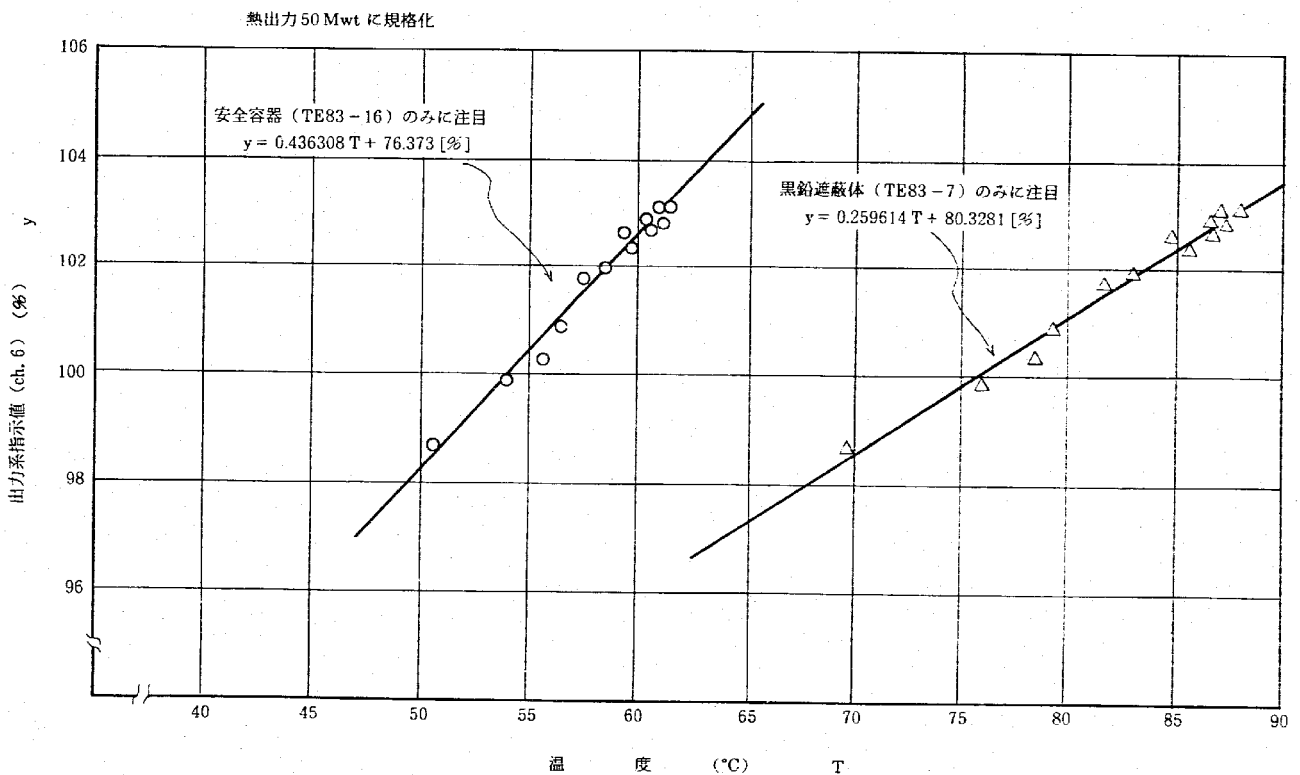


図8-6 出力系 (Ch 6) 指示値と安全容器温度, 黒鉛温度との関係

第9章 計算機による熱出力

「常陽」性能試験では、原子が熱出力の最確値として、端子から直接マルチ温度計及びデジタルで測定したNa温度及び流量による熱出力値をとっているが、その他、2系統の計算機により、熱出力を算出している。

第1の系統は、独立の演算処理装置をもつ熱出力計であり、温度及び流量端子から信号を取り込んで熱出力を連続的に算出し、チャートに書き出す。また、随時に卸操作により、温度・流量・熱出力をデジタルで打ち出せる。計算式の詳細は後述するが、主冷却系のみのヒートバランスから熱出力を求めており、熱出力校正試験の式と同一である。

第2の系統は、現在常陽においてonline計算機としてプロセス量を取り込んでいるH-500システムの処理項目としての熱出力である。これは、ヒートバランスの対象として主冷却系の他に、補助系・オーバーフロー系・放熱・ポンプ入熱を計算に入れており、炉心発熱を求めているものである。(但し、出力上昇期間中は、サイフォンブレイク流量を主冷却流量から差し引いていなかった。このため、炉心発熱を08%ほど大きく見積っていたことになる。50MW第1サイクル定格運転以後からは、サイフォンブレイク流量を考慮できるように計算式を修正した。)

以下に、各計算機熱出力の詳細及び熱出力校正値との比較結果を記す。

9.1 熱出力計

9.1.1 設備概要

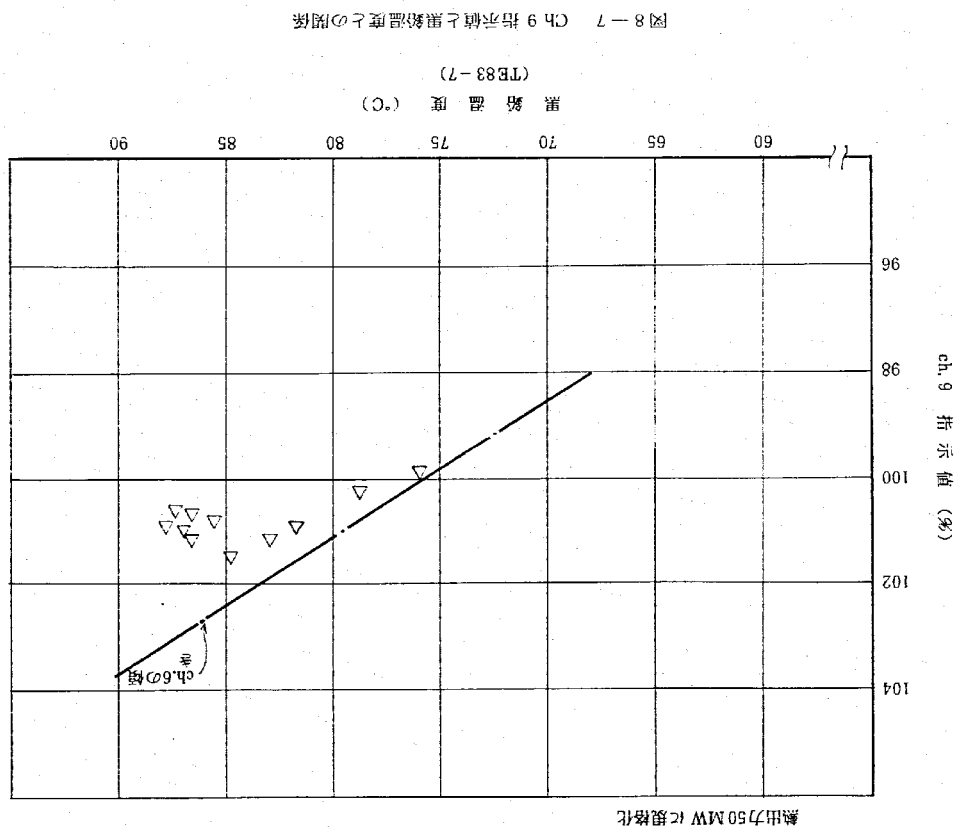
本システムは、温度及び流量計測信号を、A/D変換器によりサンプリング数値化し、所定の校正曲線に近似させた後に、エンタルピー、熱出力を計算し、結果を印字及びX/Yレコーダーに書き出す機能を有している。図9.1に熱出力計システムのブロック線図を示す。主な構成要素の機能は、次の通りである。

① C.P.U. 部

本システムの核となる部分で、16ビット構成のマイクロコンチップを中心に、4kWORDデータメモリ、及びプログラムメモリから構成されており、A/Dコンバータ及びD/Aコンバータの制御、サンプリングデータの格納、テラタイプライターの制御等の機能を有する。

② A/D変換器

アナログデータを一定のサンプリングインターバルでデジタル化し、C.P.U.部のデータメモリに送り込む機能を有する。6チャンネルのマルチプレクサ、及びA/Dコンバータが直接バスラインに接続され、並行動作が可能である。



③ D/A 変換器

演算処理した結果を、ペンレコーダに出力してグラフ化することができる様に、2 ch. の D/A コンバータが用意されている。

9.1.2 データ処理内容

(1) 入力信号処理

- ・入力チャンネル 1 ~ 4 C A 熱電対フローティング入力
0 ~ 24.91 mV → 0 ~ 600°C に換算
- ・入力チャンネル 5 ~ 6 流量計、フローティング入力
1 ~ 5 V, ②の計算式により流量に換算
100 msec/ch.
- ・サンプリング間隔 100 msec/ch.

(2) 演算処理

- ・温度校正 冷接点温度補償回路は、リニアライザによる校正 (アナログ処理)
- ・校正精度 0.4°C 以下
- ・比較量 T_j (kg/m³) の算出
$$T_j = 9500 - 0.2298T_{j2} - 1.461 \times 10^{-6}T_{j2}^2 + 5.638 \times 10^{-9}T_{j2}^3$$
- ・流量 W_j (m³/h)
$$W_A = 3692V_A - 4330$$

$$W_B = 3700V_B - 4283$$
- ・エンタルピー差 ΔI_j (Kcal/kg)
$$\Delta I_j = 0.3433(T_{j1} - T_{j2}) - 6.934 \times 10^{-6}(T_{j1}^2 - T_{j2}^2) + 3.685 \times 10^{-9}(T_{j1}^3 - T_{j2}^3)$$
- ・原子炉熱出力 Q_j (MW)
$$Q_j = r_j W_j \Delta I_j / 8.6 \times 10^6$$
- ・熱損失

$$Q_{\text{LOSS}} = \frac{C_1}{4}(T_{A1} + T_{A2} + T_{B1} + T_{B2})$$

C_1, C_2 は、最初にテレタイプライタより、F40の入力形式でキー、イン。

※ 但し、j は A, 又は B

- T_{A1} : 原子炉出口 Na 温度 (A)
- T_{A2} : 原子炉入口 Na 温度 (A)
- T_{B1} : 原子炉出口 Na 温度 (B)
- T_{B2} : 原子炉入口 Na 温度 (B)

(3) 出力結果の処理

- ・2 ペン記録計への出力
ch. 1 $Q_A + Q_B + Q_{\text{LOSS}}$
ch. 2 Q_A 又は Q_B (切替スイッチで選択)
・記録計への出力レンジ切替範囲
レンジ 1 0 ~ 15 (MW) : 0 ~ 1 V
レンジ 2 0 ~ 75 (MW) : 0 ~ 1 V
レンジ 3 0 ~ 150 (MW) : 0 ~ 1 V
・レンジ切替点
レンジ上昇時 13.5 (MW), 67.5 (MW)
レンジ下降時 60 (MW), 12 (MW)
・テレタイプライタへの印字出力
印字メッセージのキーインにより、次の項目を印字する。
時刻, 温度, 流量, $Q_A, Q_B, Q_{\text{LOSS}}, Q_{\text{total}}$
図 9.2 にデータ処理の流れを示す。

9.1.3 取扱い方法

熱出力計の取扱いの概略を、テレタイプ・リストと共に図 9.3 に示す。まず、熱出力計の電源を入れると、ハード的には装置全体の電源が入るが、プログラムの流れとしてはテレタイプとのインターフェイス機能を受け持つ "TIBUG" のルーチンにコントロールが移る。その後、C.P.U 側から印字出力されるメッセージに従って時刻や係数等の初期データをタイピングする。タイピングされたデータは、即時にチェックされ、誤りがある場合にはメッセージ (※ FORMAY ERROR ※) が印字される。この時は、再度タイピングをやり直す必要がある。(g)までで初期データの設定を終り、スタート釦を押すと印字出力を要求したものと見なし、時刻、温度、流量、 $Q_A, Q_B, Q_{\text{LOSS}}, Q_{\text{total}}$ の出力データが印字される。

9.2 ONLINE 計算機

計算式及び計算体系図を以下に示す。

$$Q_R = Q_{\text{MAINA}} + Q_{\text{MAINB}} + Q_{\text{AUX}} + Q_{\text{OV}} + Q_{\text{LOSS}} - Q_{\text{PUMP}} \quad (\text{MW})$$

(補助系) (オーバーフロー系)

ここに

比重 r_j (kg/m³)

$$r_j = 951.4 - 0.2392 T_j$$

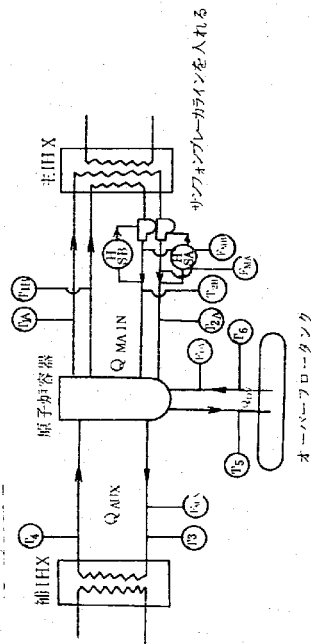
エンタルピー差 ΔI_f [Kcal/kg]

$$\Delta I_f = 0.343(T_{11} - T_{12}) - 0.695 \times 10^{-4}(T_{11}^2 - T_{12}^2) + 0.367 \times 10^{-7}(T_{11}^3 - T_{12}^3)$$

$$Q_{\text{LOSS}} = (80 \times \frac{(T_{MA1} + T_{MA2} + T_{MB1} + T_{MB2})}{250 - 38} - 38) / 1000$$

$$Q_{\text{PUMP}} = 200 \text{ (kW) を手動設定 (入力点 LO1)}$$

体系図



9.3 熱出力校正結果と計算機熱出力との比較

熱出力校正試験において、熱出力測定中に、同時に計算機による熱出力もOUTPUTさせた。この比較結果を表 9.1.1 に示す。

(1) 熱出力計

3回以上の瞬時値の平均をとった場合、熱出力校正値とのずれは、 $\pm 0.4 \text{ MW}$ 以内である。

1回だけの瞬時値であれば、熱出力校正値に対して、 1.0 MW の最大のずれがあるが、これは、主に、流量のふらつきに起因するものと思われる。

以上のことから、3回以上の平均をとれば、熱出力計は充分原子炉熱出力のモニタとして、使用できる。

(2) ONLINE 計算機

H-500 による熱出力は、熱出力校正値と比べて、 $0 \sim 0.7 \text{ MW}$ 程度高い値を示した。この原因は、計算式の違いによるものであり、H-500 では、オーバーフロー系と補助系による除熱を加えているためである。(この寄与量は、 $200 \sim 300 \text{ kW}$ である。)従って、これを考慮すれば、H-500 と熱出力校正値は $\pm 0.4 \text{ MW}$ で一致する。但し、H-500 では、温度を小数点以下で切り捨てて取り込んでいるため、このための誤差が 50 MW で 1.5 倍最大発生する可能性がある。

これも、熱出力のモニタとして充分使用できる。(50MW 第 1 cycle 以降は、サイフォンブローク流量を考慮している。)

表 9.1.1 熱出力校正結果と計算機熱出力との対応 (1)

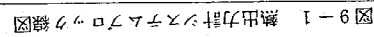
校正 測定日時	熱出力 (PT-11)	H-500 熱出力					熱出力計				
		1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差	1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差
12 7/8 9:14	11.32	11.31	-	11.31	11.31	-0.01MW (-0.1%)	11.2	11.3	11.3	11.23	-0.09MW (-0.8%)
13 " 10:17	16.29	16.34	16.35	16.34	16.34	+0.05 (+0.3)	16.2	16.3	16.3	16.23	-0.06 (-0.4)
14 " 13:05	21.76	22.07	-	22.07	22.07	+0.31 (+1.4)	21.6	21.7	21.7	21.63	-0.13 (-0.6)
15 " 14:05	27.19	27.50	-	27.50	27.50	+0.31 (+1.1)	27.0	27.1	27.1	27.10	-0.09 (-0.3)
16 " 15:00	31.42	31.43	31.73	-	31.63	+0.21 (+0.7)	31.5	31.7	31.7	31.63	+0.21 (+0.7)
17 " 16:10	36.12	36.42	-	-	36.42	+0.30 (+0.8)	36.4	36.3	36.3	36.33	+0.21 (+0.6)
18 " 17:15	40.62	41.02	40.97	-	41.00	+0.38 (+0.9)	41.1	40.8	41.1	41.00	+0.38 (+0.9)
19 " 18:34	45.68	45.95	-	-	45.95	+0.27 (+0.6)	45.9	45.7	45.7	45.76	+0.08 (+0.2)
20 " 20:09	50.51	50.60	-	-	50.60	+0.09 (+0.2)	50.5	50.3	50.3	50.53	+0.02 (+0.0)

表 9.1.2 熱出力校正試験と計算機熱出力との対応(2)

校正 No	測定日時	熱出力 (PT-11方式)	H-500 熱出力					熱出力計				
			1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差	1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差
63	8/11 11:10	17.45	17.45	17.45	-	17.45	0 MW (0) %	17.2 17.3 17.3	17.2 17.5 17.4	-	17.32	-0.13 MW (-0.8) %
64	12:50	27.09	27.44	27.46	-	27.45	+0.36 (+1.3)	27.1 26.9 27.0	26.8 26.9 26.8	-	26.92	-0.17 (-0.6)
65	14:30	41.43	41.87	41.42	-	41.65	+0.22 (+0.5)	41.1 41.2 40.9	41.3 40.8 41.3	-	41.10	-0.33 (-0.8)
66	16:00	50.76	51.21	50.56	-	50.89	+0.13 (+0.3)	50.5 50.2 50.6	50.6 50.7 50.5	-	50.52	-0.24 (-0.5)
67	8/12 9:00	50.15	50.58	50.79	-	50.69	+0.54 (+1.1)	50.4 50.0 49.6	49.5 49.9 49.8	-	49.87	-0.28 (-0.6)
68	17:00	49.86	50.09	50.03	-	50.06	+0.20 (+0.4)	49.7 50.0 49.7	49.8 49.7 49.8	-	49.78	-0.08 (-0.2)
69	8/13 9:00	49.15	49.33	49.80	-	49.57	+0.42 (+0.8)	49.4 49.0 49.2	48.6 49.2 49.0	-	49.07	-0.08 (-0.2)
70	17:00	48.95	48.98	49.01	-	49.00	+0.05 (+0.1)	48.9 48.9 49.1	49.2 49.1 49.4	-	49.10	+0.15 (+0.3)
71	8/14 9:00	48.58	48.65	48.97	-	48.81	+0.23 (+0.5)	48.7 48.9 48.7	48.8 48.9 48.2	-	48.70	+0.12 (+0.3)
72	17:00	48.70	48.88	48.58	-	48.73	+0.03 (+0.1)	48.6 48.6 49.0	48.6 48.7 48.6	-	48.68	-0.02 (0.0)
73	8/15 9:00	48.35	49.04	48.99	-	49.02	0.67 (+1.7)	48.5 48.5 48.6	48.6 48.6 48.5	-	48.55	+0.20 (+0.4)

表 9.1.3 熱出力校正結果と計算機熱出力との対応(3)

校正 No	測定日時	熱出力 (PT-11方式)	H-500 熱出力					熱出力計				
			1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差	1回目	2回目	3回目	平均	PT-11 との差
74	8/15 13:00	48.76	48.95	48.91	-	48.93	+0.17MW (+0.3) %	48.7 48.5 48.8	48.4 48.8 48.7	-	48.65	-0.11 MW (-0.2) %
75	" 17:00	48.61	48.65	48.59	-	48.62	+0.01 (0.0)	48.6 48.3 48.4	48.7 48.5 48.6	-	48.52	-0.09 (-0.2)
76	" 23:30	48.61	48.70	48.63	-	48.67	+0.06 (+0.1)	48.4 48.4 48.5	48.3 48.4 48.5	-	48.42	-0.19 (-0.4)
77	8/16 9:30	48.74	49.30	49.23	-	49.27	+0.53 (+1.1)	48.8 48.9 49.0	49.0 49.1 48.8	-	48.93	+0.19 (+0.4)
78	" 12:50	12.07	11.93	11.94	-	11.94	-0.14 (-1.1)	12.1 12.0 12.0	12.1 12.0 12.0	-	12.03	-0.04 (-0.3)



- 150 -

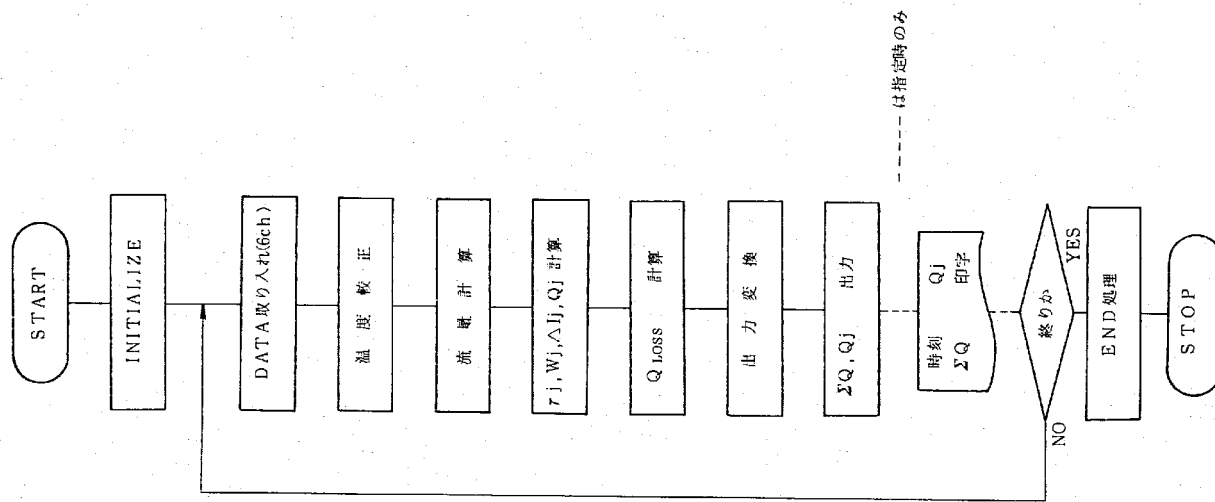


図 9-2 データ処理の流れ

TIBUG REV.A	(a) テレタイプ、ペンレコーダー、本体の電線ON
?	(b) 文字Aを入力
W=1B02 3B02	(c) 文字Rを入力
P= 4E B48	(d) 3B02を入力後、スペース入力
?	(e) IC 4E が印字されない場合は、IC 4E を入力、その後、B 48を入力して、C/Rを入力
TIME, A, B TYPE IN PLEASE	(f) 文字Eを入力
175000, 0.0, 0.0	(g) HMMSS(時刻), 0.000C/R (Carriage Return)
START	(h) START 待ち状態
TIME 17:50: 8	(i) START 印を押す。
* REACTOR SODIUM TEMP AND FLOW RATE *	(j) スタート銀点灯中にスタート印を押すと、リクエストとなる。
T IN(DEG) T OUT(DEG) FLOW(M**3/H)	(k) ストップ印を押すと、*STOP*と印字後(g)に戻る。
A LOOP + 258.7 + 307.8 + 170.6	(l) 誤操作をした時は、その都度C/Rを入力すれば、直前の状態に戻る。
B LOOP + 253.3 + 307.2 + 182.2	(m) 誤りを重ねたときは、(a)に戻る。
* REACTOR THERMAL POWER *	
A LOOP : + 2.7 MW	
B LOOP : + 3.2 MW	
LOSS : + .0 MW	
TOTAL : + 5.9 MW	
STOP	
TIME, A, B TYPE IN PLEASE	
175400, 0.0, 0.0	
START	
TIME 17:54: 5	
* REACTOR SODIUM TEMP AND FLOW RATE *	
T IN(DEG) T OUT(DEG) FLOW(M**3/H)	
A LOOP + 266.9 + 303.9 + 169.7	
B LOOP + 263.6 + 303.9 + 182.2	
* REACTOR THERMAL POWER *	
A LOOP : + 2.0 MW	
B LOOP : + 2.4 MW	
LOSS : + .0 MW	
TOTAL : + 4.4 MW	

第10章 結 言

これまでに、熱出力校正試験の結果について、その詳細を各章に分けて報告してきたが、本章においては、それらを概括し、また、定格運転以後の熱出力校正についてその見通しを述べる事とする。

10.1 試験結果のまとめ

本試験は、1978年4月から8月まで計78回の測定、及び6回の出力系調整・1回の中間系調整が行なわれ、この結果、以下の主要諸点が確認された。

1. 出力系指示値と熱出力との間には、非常に良好な直線性がある。
2. 中間系と出力系の使用可能範囲は、3デカード以上の充分なオーバーラップを示す。
3. 一定出力運転時において、原子炉の熱出力は非常に良く安定している。また、新しい出力レベルに達した場合、原子炉出力は、約20分以内で完全に安定する。
4. 出力系指示値は、原子炉の運転履歴に依存して変動する。試験前に2〜3日以上の長期の休止期間がある場合は、熱出力に対して出力系指示値は小さくなり、長期間の高出力連続運転の後には、熱出力に対して出力系指示値は大きくなる。その差は、50MWを100%として、最大で約6%である。

5. 熱出力測定の絶対値に対する確率誤差は10〜50MWの範囲で、±2.6MWと見積られる。また、測定間のばらつき(再現性)に対する確率誤差は、より小さく、±0.33MWである。
6. 出力系指示値測定の確率誤差は、±0.55%と見積られる。また、測定された熱出力に一致させる際の出力系調整誤差は、±0.39%である。
7. 本試験で採用した一次冷却系のみのヒートバランス(但し、サイフォンブレイク流量を無視)から求めた熱出力と、サイフォンブレイク流量、オーバーフロー系及び補助系からの除熱を考慮して求めた原子炉炉心からの発熱量は、約±0.2MW以内で一致する。
8. ONLINE計算機及び熱出力計による計算機熱出力は、本試験による熱出力と約±0.4MW以内で一致し、熱出力のモニタとして、充分使用できる。

10.2 定格運転以後の熱出力校正の見通し

今回の熱出力校正試験及び低出力性能試験において得られた結果から、出力系の指示値は熱出力に対して良好な直線性を示すが、しかし、その勾配は以下の諸原因で変動する事が判明した。

- (1) 原子炉の運転履歴に伴う変動

第8章に示したように、起動直後の出力系指示値は原子炉熱出力に対して小さな値を示し、

その変動量は最大で約6%である。

(2) 貯蔵ラック内燃料変動に伴う変動

出力上昇試験期間中は、燃料交換が行われなかったためこの効果は測定されていないが、付録3に示すように、低出力性能試験期間中に確認された。その変動量は最大で約25%が燃料1体（但し、位置の関数）である。定格運転以後は、各サイクル毎に燃料交換が必ず行なわれるので、ラック配置も変わる可能性が大きく、この効果は重要である。

(3) 制御棒差換に伴う変動

第5章の5.4に示したように、ch. 7・8は制御棒差換により、その指示値が変動する。しかし、その変動量は小さく、約1～2%/200mmであり、実際の運転上は無視できる。

以上のように、出力系指示値は無視できない量の変動をするので、原子炉の運転が出力系指示値に従ってなされる以上、熱出力校正は必ず各サイクル毎に行なわなければならない。この各サイクル毎の熱出力校正の手順は、以下のような方法で考えられる。

(手順1) 第1回熱出力校正

起動から定格運転までの出力上昇において、炉出力が定格の50～80%になった時点で、一旦出力保持をし、熱出力校正を行なう。第9章に示したように、計算機による熱出力は、性能試験により測定された熱出力と±0.4MW以内で一致しているので、定格運転以後の熱出力校正としては、計算機出力をそのまま熱出力の測定値として、出力系の調整を行なう方法で、実用上問題がないと思われる。

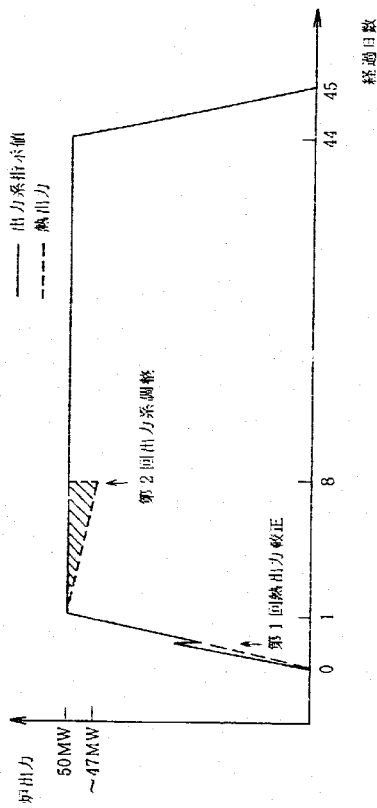
注1) 第1回熱出力校正までの出力上昇は、計算機出力を参考としながら運転していく必要がある。

注2) なお、貯蔵ラック配置の効果は非常に大きいので、燃料交換計画を立案する際には、出力系に近い貯蔵ラックにおける炉心燃料の配置変更は、できるだけ避ける事が望ましい。

(手順2) 第2回熱出力校正

第1回校正後、定格出力での運転を行なうが、出力系指示値で100%一定運転を行なっていくと、原子炉運転転瞬効果により、原子炉熱出力は、第1低下していく。この低下は、定格到達後約1週間で飽和するので、この飽和時点で再相熱出力校正を同様の方法で行なう。

以上のような手順をとれば、出力系指示値と原子炉熱出力との誤差は、下図にみるようになる。50MW/45日定格運転を考えると、1 cycle の積算出力約2200MWDにおいて、出力系指示値による積算出力（公称熱出力）と、熱出力による積算出力との差は約11MWDであり、誤差は0.5%で問題はないと思われる。



付録 1 出力系指示値変動の解析

1. 目的

第8章で報告したように、出力系の指示値は、グラファイト及び安全容器の温度とともに、上昇する事がPT-11触出力校正性能試験結果から明らかになった。

本解析は、この出力系指示値の変動の原因が、グラファイト及び安全容器の温度変動にある事を確認するために行ったものである。

2. 解析方法

- 1) 計算コードは、1次元拡算計算用のPANDAで行なう。
- 2) 使用定数は25群高速炉用定数NNS-5である。但し、第25Grをthermal定数に入れ替えてある。
- 3) 拡算モデルでは N_2 ガス領域を模擬する事ができないので、グラファイトと安全容器の間の N_2 ガス領域(≈ 2 cm)は、安全容器の原子数密度を薄めて、厚さを増す事でモデル化した。また、出力系は、355 cm位置の N_2 ガス中にあるが、この点のfluxを求められないので、安全容器の外端のfluxで代表させた。
- 4) 境界条件は、安全容器外端から約40cm離れた点でflux=0とした。(付図1.1~3参照)
- 5) グラファイト温度と安全容器温度として、60℃と90℃の2通りを考え、パラメトリックに変化させる。付表1.1に計算のケースを示す。
- 6) 60℃と90℃体系で用いた定数を付表1.2に示す。核種の原子数密度の温度上昇による減少はグラファイト・炭素鋼のそれぞれの熱膨張率から求めた。また、核種の吸収断面積の变化は、グラファイトと安全容器領域で、熱中性子束が、マックスウェル分布となっている事を仮定し、温度上昇とともに断面積が $\frac{1}{v}$ で減少する事を仮定して求めた。
- 7) 核種の原子数密度は、ミルシートによるが、グラファイト中のB10については不確かさが大きい。

3. 解析結果

付表1.3に結果を示す。

計算結果を実際の測定値と比較する。

	(60 → 90℃)	(flux 増分)	(1℃当り増分)
Graphite + 安全容器	832 %		0.277 %/1℃
Graphite のみ	251 %		0.0837 %/℃
差し引いて			
安全容器のみ	581 %		0.194 %/℃

連続100時間運転時のデータから

8月11日16:00 ch.6 指示値 98.69% (50MW 換算)

8月16日 9:30 ch.6 指示値 103.12% (50MW換算)

その上昇量は、4.43% (測定値)

この時のグラファイト・安全容器各々の温度上昇量は、

グラファイト 4.43÷0.2596 = 17.06℃

安全容器 4.43÷0.4363 = 10.15℃

(図8.6による)

計算による1℃当りの増分を用いると、

グラファイト 0.0837 × 17.06 = 1.43%

安全容器 0.194 × 10.15 = 1.97%

となり、加えて、

1.43 + 1.97 = 3.40% (解析値)

となる。

4. 結論

概算計算において、測定値で4.43%出力系指示値が上昇したのに対応して、解析では、3.40%上昇するという結果を得た。

これは、グラファイトより外側では、熱中性子束がマックスウェル分布をしているという仮定をしていること、N₂ガス部分を近似的にしか扱えない事を考えると、数値的には、まだ詳細な詰めの必要であるが、出力系指示値の変動の主たる原因が、グラファイト及び安全容器の温度上昇にあるという事は、測定及び解析の両面から確認されたとしてよい。

付表 1.1 出力系指示値変動解析ケース一覧

Case	Graphite温度	安全容器温度	B ² _Z	安全容器外端位置 (メッシュNo.)	備 考
01	60℃	60℃	(G) 3.374-4 (Z) 30-4	322731 cm (150)	基準計算
02	90℃	90℃	同 上	322746 cm (150)	グラファイト・安全容器とも 30℃上昇
03	90℃	60℃	同 上	322745 cm (150)	グラファイトのみ30℃上昇
04	60℃	60℃	(G) 0.0 (Z) 0.0	322731 cm (150)	軸バッキング効果
05	90℃	90℃	同 上	322746 cm (150)	同 上

付表 1.2 60℃ 体系と 90℃ 体系の比較表

	60℃ 体系	90℃ 体系	コメン ト
グラファイト膨張係数	4.3×10^{-6}	←	$\frac{1}{T_0} \cdot \frac{dT}{dT}$ (20~100℃)
炭素鋼 (安全容器) 線膨張係数	1.1×10^{-6}	←	" (温度範囲)
グラファイト内表面距離	2158116	←	~原料作表より
グラファイト厚さ	1030177	108031	25.0℃ 体系
" B10 N.D	50291-8	50272-8	
" B11 N.D	20499-7	20491-7	
" C N.D	87562-2	87528-2	
炭素鋼	40896-2	40855-2	→境界条件用に仮作成
グラファイト温度 (定数作成用)	333°K	363°K	
炭素鋼温度 (定数作成用)	"	"	その他は 523°K
B10 σ_a^{25}	3189.70	3055.02	
B11 σ_a^{25}	41565-3	39810-3	
C σ_a^{25}	28264-3	27071-3	
Fe σ_a^{25}	211982	203037	
炭素鋼領域メッシュ幅	1.95086	1.95150	20℃ 39/2 に炭素鋼 ^a を考慮
flux 注目距離	322.73	322.75	

メッシーニ市 領域市 メッシーニ市

	case. 01 基準計算	case. 02 グラファイト・安全容器とも30 deg 上昇	case. 03 グラファイト・のみ30 deg 上昇	case. 04 グラファイト・安全容器の $B^2 = 0.60^\circ\text{C}$	case. 05 グラファイト・安全容器の $B^2 = 0.90^\circ\text{C}$
炉心中心 (mesh = 1)	1.1733 - 15	1.1709 - 15	1.1703 - 15	1.1703 - 15	1.1709 - 15
燃料棒 Graphite 内端 (mesh = 108)	1.6858 - 6	1.7108 - 6	1.6941 - 6	1.8864 - 6	1.9150 - 6
熱中子 thermal flux peak (mesh = 114)	5.1896 - 6	5.2337 - 6	5.2231 - 6	6.1182 - 6 (mesh = 117)	6.1860 - 6 (mesh = 117)
中性子 Graphite 外端 (mesh = 148)	9.1571 - 8	9.5820 - 8	9.3874 - 8	1.4732 - 7	1.5489 - 7
原子 安全容器外端 (mesh = 150)	2.2043 - 8	2.3876 - 8	2.2597 - 8	3.5516 - 8	3.8653 - 8
束 mesh = 149	4.4927 - 8	4.7831 - 8	4.6057 - 8	7.2334 - 8	7.7374 - 8
束 mesh = 151	1.0815 - 8	1.1919 - 8	1.1087 - 8	1.7438 - 8	1.9310 - 8
炉心中心		1.0005	1.0000		1.0005
燃料棒 Graphite 内端		1.0142	1.0043		1.0157
熱中子 thermal flux peak		1.0085	1.0065		1.0111
中性子 Graphite 外端		1.0464	1.0251		1.0514
原子 安全容器外端		1.0832	1.0251		1.0883
束 mesh = 149		1.0646	1.0252		1.0697
束 mesh = 151		1.1021	1.0252		1.1074

① 輸バックリングの効果はほとんどない。

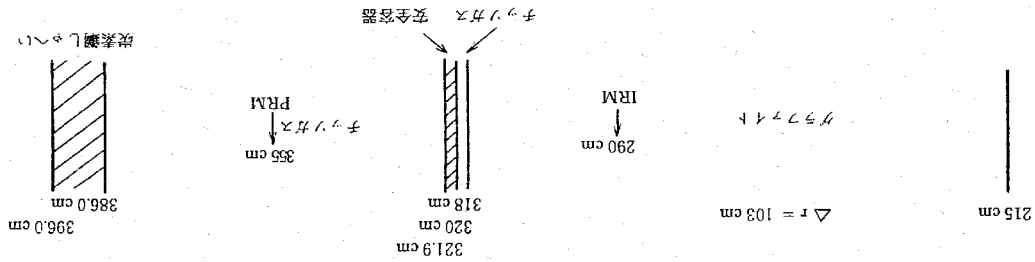
② グラファイトと安全容器の温度がともに 30°C 上昇した場合、安全容器外端の熱中性子束は

8.32%増加する。

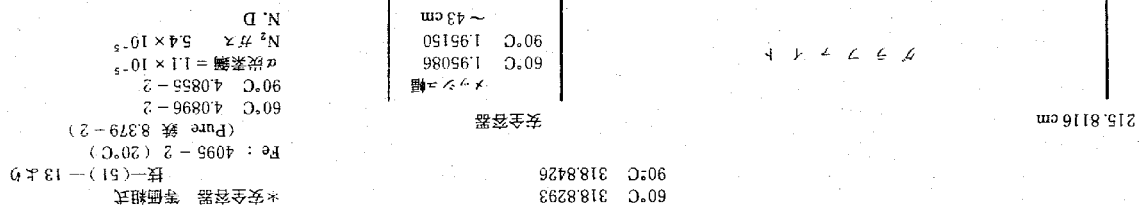
③ グラフアイトのみの温度が30℃上昇した場合、安全容器外端の燃中性子束は2.51%増加する。

200℃	250℃	炉心	200℃	250℃
2.03487 / 2.03657				
1.27745 / 1.27855		制御棒	20.3487 22.9036	20.3657 22.9228
1.81373 / 1.81525		炉心		
0.1227 / 0.12275		N.S.	37.4134 37.6588	37.4448 37.6903
2.01273 / 2.01441		Blanket		
1.5160 / 1.51728		反射体	59.8624	69.9209
2.01352 / 2.01522		内しゃへい	75.9264	75.9900
1.81783 / 1.81934		fuel ラック	89.0075	88.0813
2.06855 / 2.07028		外しゃへい	109.8214	109.9134
2.45719 / 2.45925		材料ラック	126.3698	126.4757
2.00587 / 2.00755		炉容器	175.5136	175.6605
(60℃) (90℃)		グラフファイト	215.6310	215.8116
2.57544 / 2.57578			(60℃)	(90℃)
1.95086 / 1.95150		安全容器	318.8293	318.8426
		-----	322.7310	322.7456
<境界>			~ 362.	~ 362.

付図. 1-1 Grphite・安全容器温度効果解析用幾何体系



付図 1-2 安全容器 周辺組成 (20°C)



付図 1-3 解析用モデル

付録 2 燃料集合体出口温度分布試験(NT-52)から 求めた炉心熱出力

1. 目的

集合体毎出口温度から、各集合体毎の出力を求め、原子炉熱出力を算定し、PT-11 熱出力校正試験による熱出力と比較する。

2. 方法

- ① 各出力スラップ毎に、NT-52 燃料集合体出口温度分布試験により、オリフィス領域毎に平均した集合体出口 Na 温度差を求める。
- ② ①のデータと、低出力試験時の流量配分測定値から各集合体出力を求める。
- ③ 各集合体出力をSUM して、炉心全体の発熱量を求める。但し、ここでは対象は炉心燃料と径ブランケット燃料（計257集合体）のみとし、その他の発熱部は加えていない。

注）径ブランケット外部側1～3列には集合体出口温度計がないので、集合平均出力として設計値を用いた。この部分の出力分担率は、全体の約4%しかないので、誤差は少ないと考えられる。

3. 結果

炉出力約25・40・50 MWについて、4 ケースの場合を整理した。これを付表2.1～4に示す。まとめて、以下に表の形とする。

番 号	主冷却系ヒートバランズによる熱出力	備 考		275 集合体の和 による熱出力	両者の差
1	50.40 MW	PT-11 熱出力校正による熱出力		54.78 MW	10.87
2	50.0	ONLINE 計算機による熱出力		54.39	10.88
3	39.7	PT-11による値と 上0.4MW以内で 一致する。		42.80	10.78
4	25.1			27.23	10.85

表からわかるように、炉出力にかかわらず、いずれの場合も、集合体出力の方が8～9%高い値となった。

この原因等については、現在までのところ、不明である。
(使用物性値)

ナトリウムエンタルピー I

$$I = 83.559 + 0.343253T - 693429 \times 10^{-6}T^2 + 36850 \times 10^{-4}T^3 \quad [\text{Kcal/kg}]$$

ここで、T：温度 (℃) ※熱出力校正での使用式

1 cal = 4186 Watt・Sec

(未使用)

ナトリウム比重 γ

$$\gamma = 950.01 - 0.229774T - 1.46065 \times 10^{-6}T^2 + 5.63796 \times 10^{-9}T^3 \quad [\text{kg/m}^3]$$

集合体出力Q (MW/Ass) 計算式

$$Q = (I_{out} - I_{in}) \times W \times 4186 \times 10^{-3}$$

I_{out} : 出口エンタルピー [Kcal/kg]

I_{in} : 入口エンタルピー ["]

W : 集合体流量 [kg/sec]

付表 2.1 集合体毎出力分布(1)

測定日: 1978年8月11~13日(5ヶ所の平均)

領域	オリフィス区分	集合体数	集合体平均出口温度 (°C)	集合体平均流量 (kg/sec)	集合体平均出力 (MW/Ass)	(参考) 運転監視コープによる集合体出力		位置
						000	09344	
炉心部	0-1列	7	469.2	7.667	0.9698	1A1	08943	2A1
	2列	2	463.3	7.344	0.8741	2A1	0.8103	
	3列	12	458.4	6.843	0.7719	3A1	0.6970	
	4列	24	449.4	6.217	0.6303	4A3	0.5923	
	5列	15	456.0	4.803	0.5272	5A3	0.4934	
炉内	内側1列 (5X)	14	424.5	1.210	0.08437	5A2	0.08142	
	内側2列 (6X 除6X1)	30	419.5	0.940	0.05955	6A2	0.03129	
	外側1列 (7X 加6X1)	47		0.364	(*) 0.02536			
	外側2列 (8X)	48		0.364	(*) 0.01366			
	外側3列 (9X)	48		0.364	(*) 0.008068			
計 257			370°Cに規格化	全流量 5998kg/Sec	(*) 設計出力を換算			

100% = 6032 kg/sec

$$\text{rate} = 1.0869$$

257 集合体の出力和
54.78 MW

炉心熱出力
30.40 MW
PT-11 熱出力校正に

付表 2.2 集合体毎出力分布(2)

測定日: 1978年7月7日

領域	オリフィス区分	集合体数	集合体平均出口 温度 (°C)	集合体平均流量 (kg/sec)	集合体平均出力 (MW/Ass)	(参考) 運転監視コード による集合体出力	
						位置	
炉 心 部	0・1 列	7	468.6	7.710	0.9694	000	0.9270
						1A1	0.8872
	2 列	12	462.2	7.386	0.8688	2A1	0.8039
	3 列	12	456.9	6.882	0.7632	3A1	0.6915
	4 列	24	447.8	6.252	0.6212	4A3	0.5876
径 ブ ラ 部	5 列	15	456.0	4.830	0.5302	5A3	0.4895
	内側 1 列 (5 X)	14	424.2	1.217	0.08439	5A2	0.08077
	内側 2 列 (6 X 除 6 X 1)	30	418.6	0.945	0.05879	6A2	0.03104
	外側 1 列 (7 X 加 6 X 1)	47		0.366	*1) 0.02516		
	外側 2 列 (8 X)	48		0.366	*1) 0.01355		
	外 3 列 (9 X)	48		0.366	*1) 0.008004		
		計 257	入口 Na 温度を 370°C に規格化		*1) 設計出力を 換算		

ONLINE 計算機に
よる熱出力

50.0 MW

257 集合体の出力和
54.39 MW

rate = 1.0879

付表 2.3 集合体毎出力分布(3)

測定日: 1978年6月26日

領域	オリフィス区分	集合体数	集合体平均出口 温度 (°C)	集合体平均流量 (kg/sec)	集合体平均出力 (MW/Ass)	(参考) 運転監視コード による集合体出力	
						位置	
炉 心 部	0・1 列	7	447.0	7.710	0.7582	000	0.7360
						1A1	0.7044
	2 列	12	442.3	7.386	0.6823	2A1	0.6383
	3 列	12	437.9	6.882	0.5972	3A1	0.5491
	4 列	24	431.4	6.252	0.4909	4A3	0.4666
径 ブ ラ 部	5 列	15	437.5	4.830	0.4167	5A3	0.3887
	内側 1 列 (5 X)	14	412.9	1.217	0.06686	5A2	0.06413
	内側 2 列 (6 X 除 6 X 1)	30	408.8	0.945	0.04697	6A2	0.02465
	外側 1 列 (7 X 加 6 X 1)	47		0.366	*1) 0.01998		
	外側 2 列 (8 X)	48		0.366	*1) 0.01076		
	外側 3 列 (9 X)	48		0.366	*1) 0.006355		
		計 257	入口 Na 温度を 370°C に規格化		*1) 設計出力を 換算		

ONLINE 計算機による
熱出力

39.7 MW

257 集合体の出力和
42.80 MW

rate = 1.0781

付表 2.4 集合体毎出力分布(4)

測定日：1978年5月31日

領域	オリフィス区分	集合係数	集合体平均出口温度 (°C)	集合体平均流量 (kg/sec)	集合体平均出力 (MW/Ass)	(参考) 運転監視コードによる集合体出力位置
炉心部	0・1列	7	4190	7.710	0.4836	000 0.4654 1A1 0.4454
	2列	12	4160	7.386	0.4350	2A1 0.4036
	3列	12	4133	6.882	0.3816	3A1 0.3471
	4列	24	4088	6.252	0.3107	4A3 0.2950
	5列	15	4131	4.830	0.2666	5A3 0.2457
	内側1列 (5X)	14	397.4	1.217	0.04276	5A2 0.04055
	内側2列 (6X除6X1)	30	394.1	0.945	0.02921	6A2 0.01558
	外側1列 (7X加6X1)	47		0.366	*1) 0.01263	
燃料棒部	外側2列 (8X)	48		0.366	*1) 0.006802	
	外側3列 (9X)	48		0.366	*1) 0.004018	
	計 257	入口Na温度を370℃に規格化		*1) 設計出力を換算		

25.1 MW よる熱出力 ONLINE 計算機に		257 集合体の出力和 2723 MW	rate = 1.0848
---------------------------------	--	------------------------	---------------

付録 3 貯蔵ラック内燃料料の中性子計装に及ぼす影響

1. まえがき

炉内貯蔵ラックに炉心燃料を挿入する事により、検出器位置の中性子束が増加する事が、性能試験及び解析の両方から確認されている。

出力上昇試験期間中は、ラック配置の変更がなかったため、この問題は、熱出力校正試験に起こらなかったが、今後、定格運転に入れば、燃料交換によるラック配置の変動が毎サイクルあると考えられ、熱出力校正試験に変動を与える要因となる。

本章は、炉内貯蔵ラック効果の試験及び解析結果をまとめ、今後の熱出力校正の見通しをたてる一助とする事を目的とする。

2. 性能試験結果

1977年8月23日に、「常陽」低出力性能試験NT-31燃料等価反応度試験の一環として、貯蔵ラック内にある炉心燃料集合体が中性子検出系の計数率に及ぼす効果を測定するための試験が実施された。

試験は、貯蔵ラック内にある炉心燃料集合体1体を、ラック位置を変えてパラメトリックに移動させ、中性子検出系 (ch. 1, ch. 2, ch.A, ch.B) で、中性子の計測を行ない、計数率の増分を求める方法で行なわれた。

試験時の炉心状態の概要を記す。

- ① 70 体初期炉心 (中性子源位置 5 C 2)
- ② 制御棒は 6 体全挿入の未臨界状態
- ③ ラック位置
 - R-15 に炉心燃料 (PPJF 3D) 1 体固定
 - 炉心燃料 (PPJD 0N) 1 体をパラメトリックに移動

R 21 → R 30, R 1 → R 6 まで

付図 3. 1 に炉心と検出器の配置を示す。

試験結果を付図 3. 2. 1 ~ 2, 付表 3. 1. 1 ~ 2 に示す。

炉心中心と検出器を結ぶ線上のラックに炉心燃料集合体 1 体が装荷された場合、検出器の計数率は、

ch.A・ch.B で 15 ~ 20 %, ch. 1・ch. 2 で 25 %

増加する。

3. 解析結果

試験に対応する体系で、1 次元及び 2 次元の拡散計算により、貯蔵ラック効果を求め、試験結果と比較した。

結果として、炉心燃料 1 体のラック効果最大値が試験で約 25 % であるのに対して、計算では、

約 18% となった。また、計算では等価として対称性があるように評価されたラック効果が、測定では、対称性がなくなっている。特に R-3~R-5 においてラック効果が大きくなくなっている。

以下に、解析の詳細について記す。

3.1 計算条件

i) 群定数

NNS-5 セット (群組定数は BNL 325)

エネルギー組分は ABBN 構造で 1~9/10~17/18~24/25 の 4 群であり、4 群目が群組定数である。

ii) 使用コード

JBA 所有の常陽炉心設計用コードである下記のコードを使用した。

・EXPANDA-S

～外部中性子源を含む保系での簡約定数作成

・ANTELOPE-B

～外部中性子源を含む保系に対する 2 次元拡散コード

・PANDA (EXPANDA 相当)

～1 次元 25 群拡散コード。EXPANDA-S との比較を行う。

iii) 中性子源の条件

中性子発生数 1.2×10^{10} コ/sec

～ μ 線強度 5000 Curi 相当。ただし、自発核分裂に対して充分大きな数値であれば結果に影響しない。

装荷場所 5C2 (ただし、1 次元計算では、炉心領域のすぐ外側に円環状にまいている)

iv) 体系温度

燃料等価反応度試験の解析体系 (節約体系も) は 250°C である。

3.2 計算対象炉心

70 本炉心制御棒全挿入体系

燃料等価反応度試験の解析であり、付図 3.3 に示す範囲でラック内の燃料 (PPJ DON) を移動し、ch1, ch2, chA, chB での計数率変化を測定したものの評価を行う。

計算は 2 次元 X-Y 計算であり、計算上のラック効果はラック内燃料 30 本全挿入の状態について求める。

3.3 測定値のまとめ

付表 3.2 が燃料等価反応度試験として行われたラック効果の測定値である。ラック位置と検出器の配置については付図 3.1 を参照のこと。

3.4 計算値のまとめ

付表 3.3 に燃料等価反応度試験の解析として実施した 70 本炉心制御棒全挿入体系の 2 次元 X-Y および 1 次元の計算結果について示す。

3.5 計算値の評価と処理

計算上のラック効果はすべて、ラック内燃料 30 本全挿入の場合について求められている。

ラック内燃料 30 本全挿入の時の計算結果に基づいて、測定結果を評価するために、以下に示す手法を採用する。即ち、炉心中心とラック位置、検出器のなす角度をパラメータにして単体としてのラック効果の相対分布を計算であらかじめ求めておき、30 体全挿入時の値に絶対値を規格化することによって任意のラックパターンに対応するラック効果を重ね合せを仮定して定める方法である。

単体としてのラック効果の相対分布は、付図 3.4 に示すように 8 次の多項式として整理されているものを採用する。

ラック内燃料 30 本全挿入の場合のラック効果の絶対値は、付表 3.3 の結果に基づき、群数効果やラック内のボットの存在等の形状の非均質効果を考慮して最確値を定める。その結果を下表に示す。

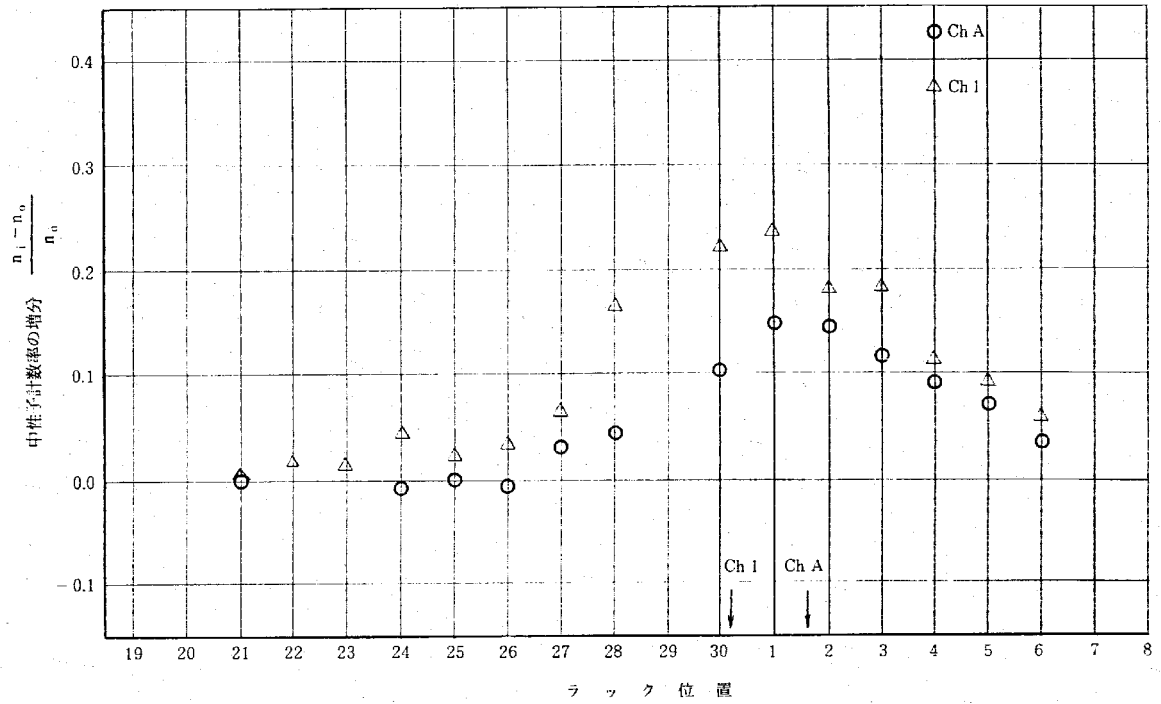
基準計算条件	基準値	補正項	標準値
1 次元 25 群 N.S 有	2.35	非均質 2 次元へ	2.08

群数効果が比較的大きい事と、同一モデルの計算値を基準として選定する事が望ましいと考えられる事から、1 次元 25 群で外部中性子源を含む体系での結果を基準とし、非均質効果と 2 次元モデルへの補正を行って標準値を定めた。

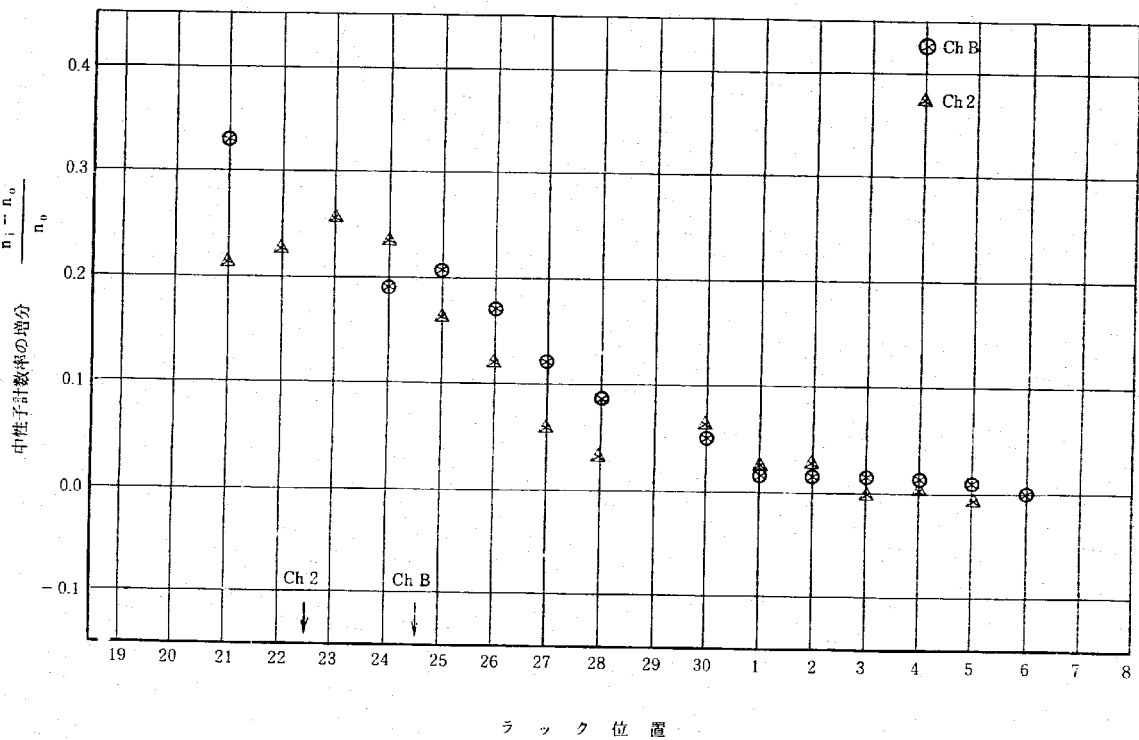
3.6 測定値と計算値の比較・検討

付図 3.5.1~4 に ch1~chB を対象とした測定値と計算値の比較を、又付表 3.4 に同じく代表点を対象にした値を示す。主要な特徴は以下の通りである。

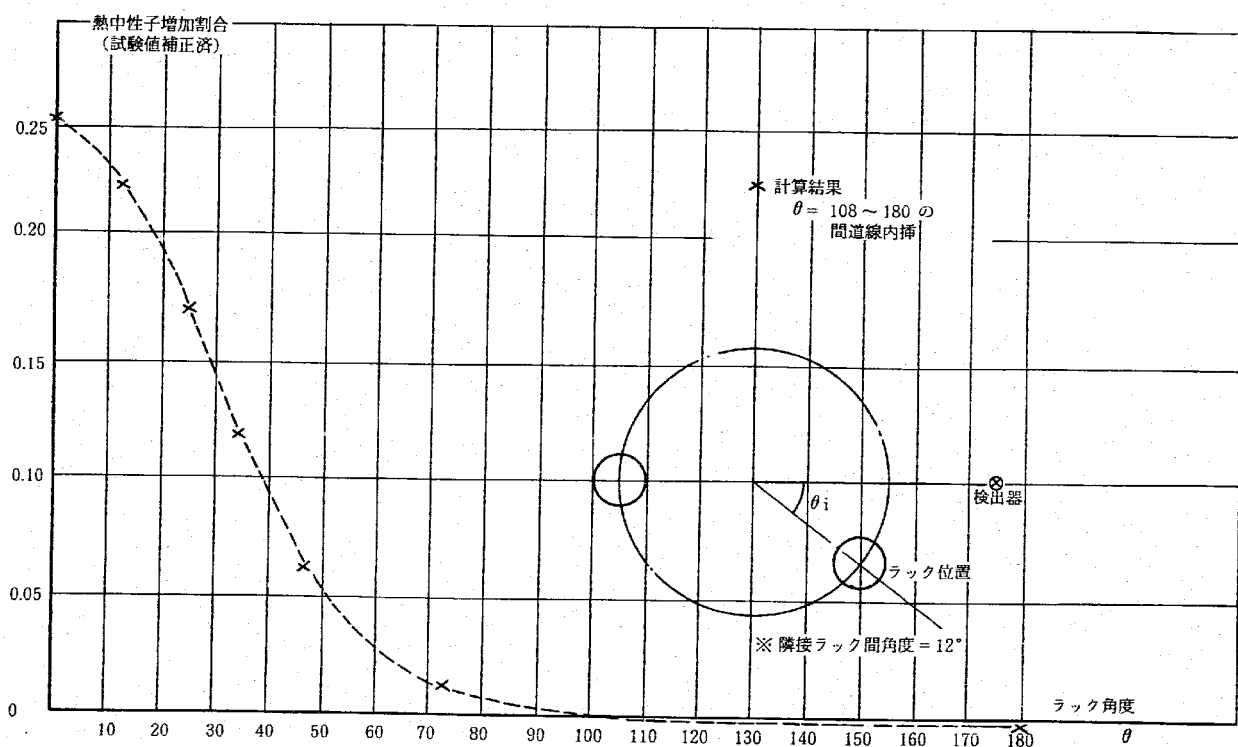
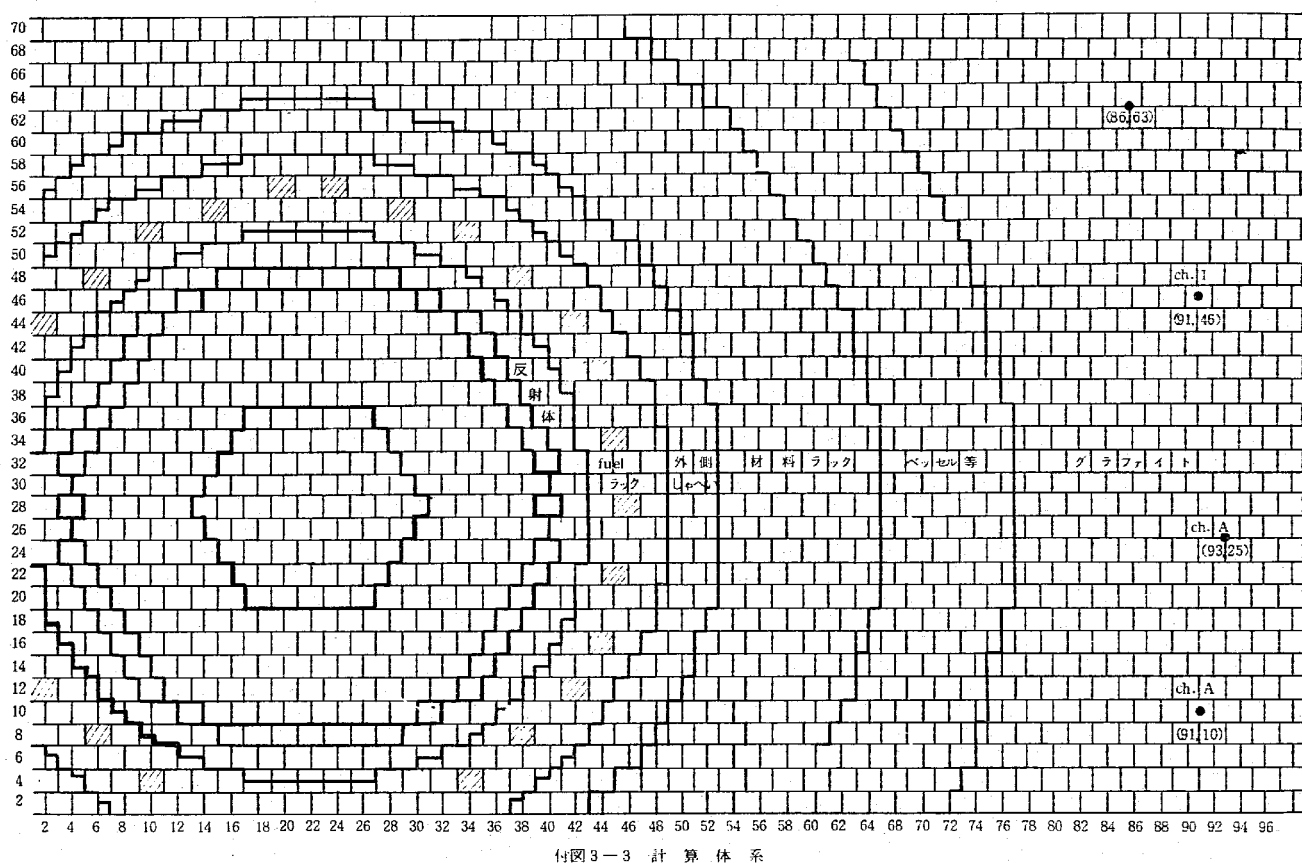
① 一般的に計算値は、測定値を過小評価している。特にラック効果の大きい位置 (炉心中心と検出器をつなぐ直線上近傍に位置するラック) においては $(n_1 - n_0)/n_0$ について ~40%



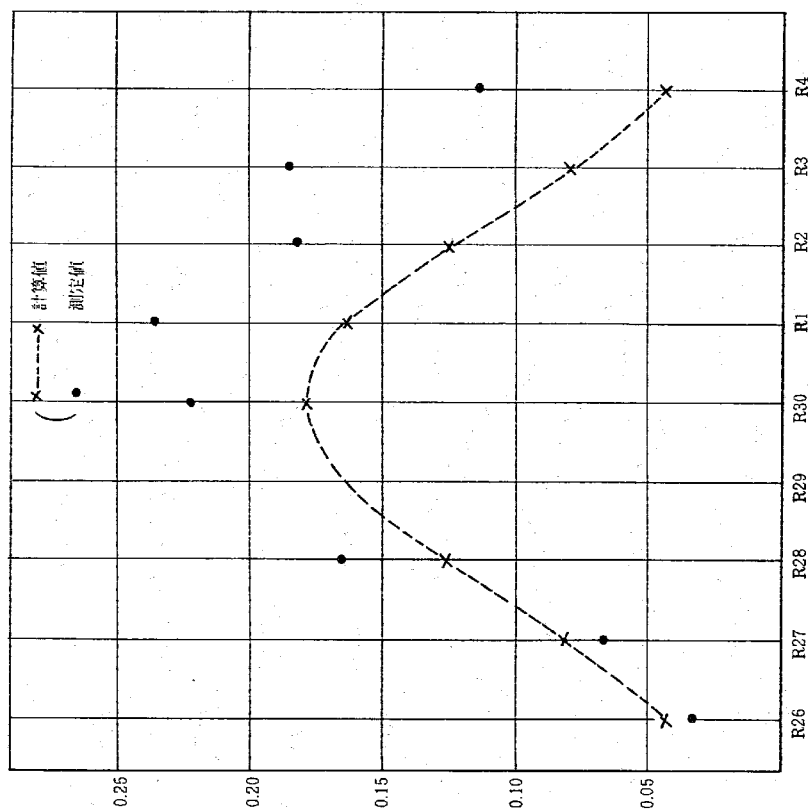
付図3-2-1 ラック内燃料装荷による中性子計数率の増分 (試験結果)
(Ch A, Ch 1)



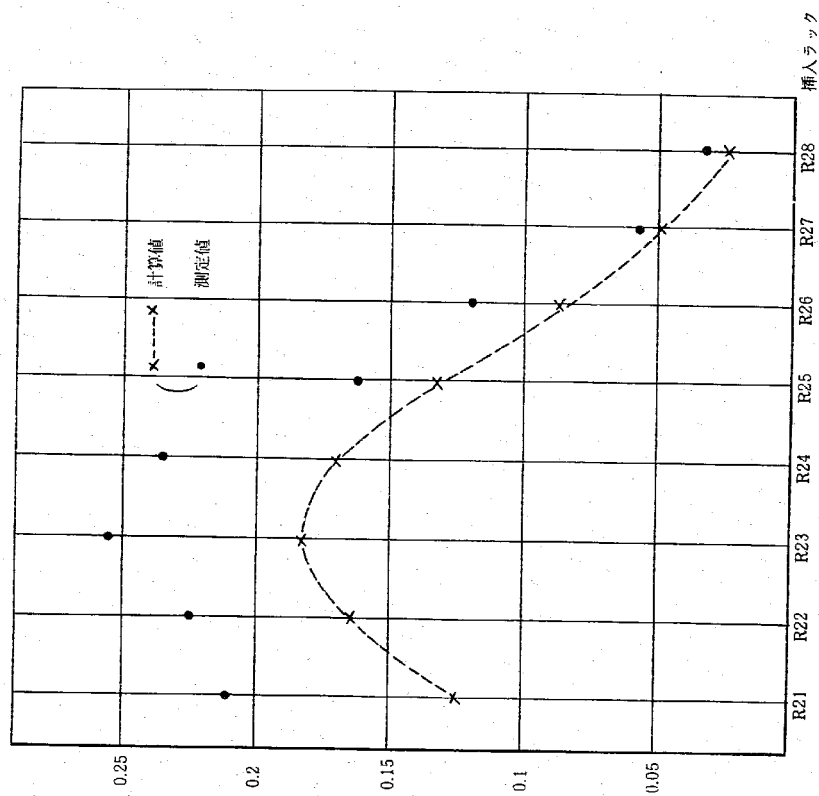
付図3-2-2 ラック内燃料装荷による中性子計数率の増分 (試験結果)
(Ch B, Ch 2)



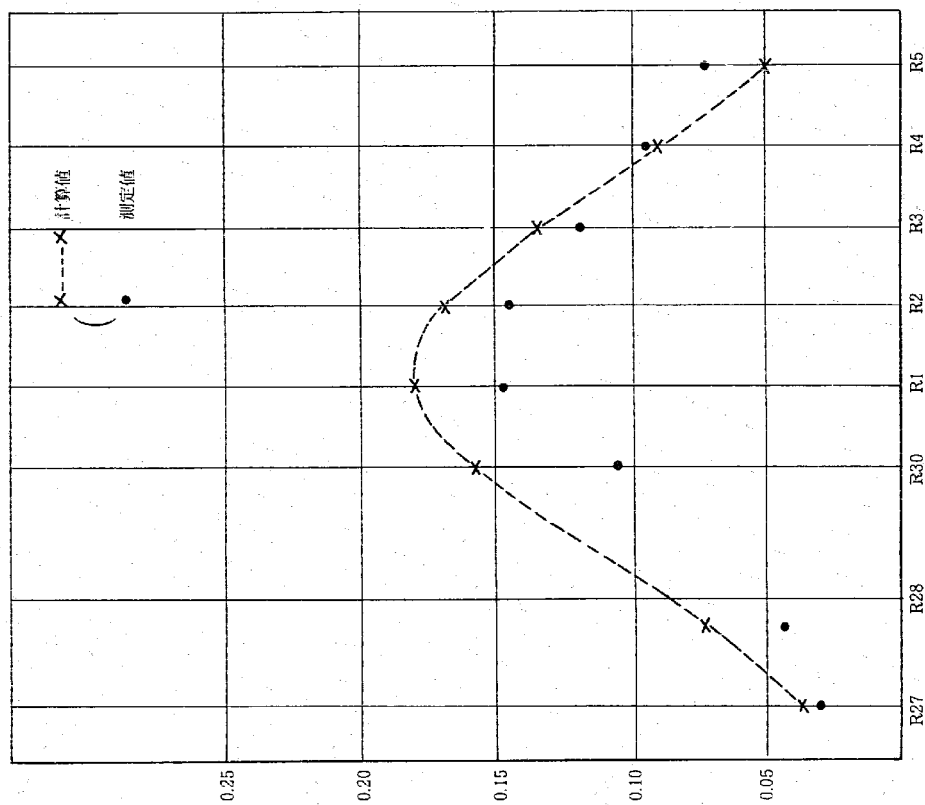
付図3-4 燃料挿入の貯蔵ラック位置と熱中性子増加率



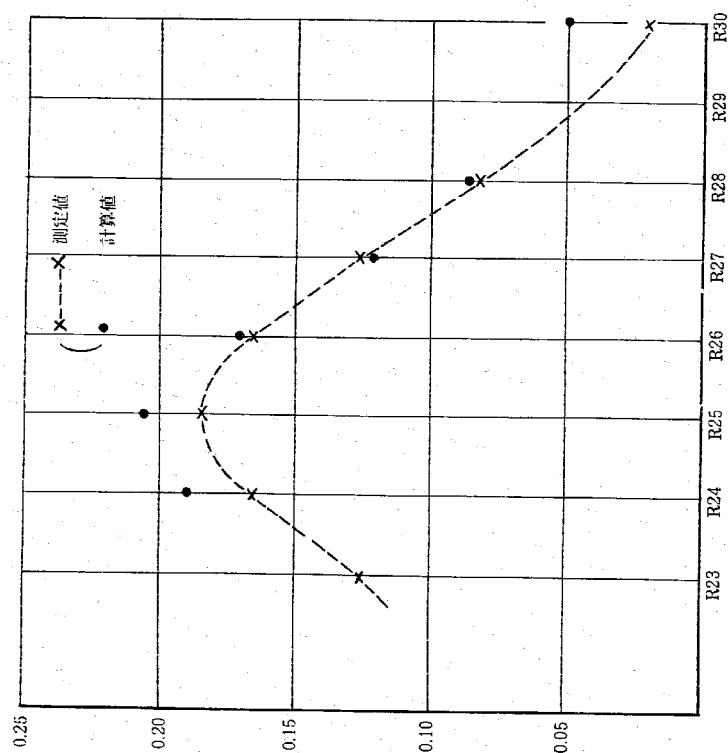
付図 3-5-1 Ch 1 ラック効果の測定値と計算値の比較



付図 3-5-2 Ch 2 ラック効果の測定値と計算値の比較



付図 3-5-3 Ch A ラック効果の測定値と計算値の比較



付図 3-5-4 Ch B ラック効果の測定値と計算値の比較

付表 3.1.1 ラック内燃料装荷による中性子計数率の増分(1)

1977年8月23日測定

項 目	Ch A		Ch B		Ch 1		Ch 2	
	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$
基準係数 n_o	1280 (R-21)		1609 (R-6)		212 (R-21)		161 (R-6)	
II-04 ① SV R-22→R-19 1. PPJDON ② R-11→R-21 } 移動	1280	0.0000	2139	0.329	212	0.0000	175	0.211
2. PPJDON ③ R-21→R-22	*		*		216	0.019	197	0.224
3. PPJDON ④ R-22→R-23	*		*		215	0.014	202	0.255
NFJIOB ⑤ R-24→R-22 4. PPJDON ⑥ R-23→R-24	1272	-0.006	1914	0.190	222	0.047	199	0.236
NFJIOI ⑦ R-25→R-23 5. PPJDON ⑧ R-24→R-25	1283	0.002	1941	0.206	217	0.024	187	0.161
NFJIOC ⑨ R-26→R-24 6. PPJDON ⑩ R-25→R-26	1276	-0.003	1882	0.170	219	0.033	180	0.118
NFJIOW ⑪ R-27→R-25 7. PPJDON ⑫ R-26→R-27	1319	0.030	1804	0.121	226	0.066	170	0.056

*ノイズにより計測出来ず。

付表 3.1.2 ラック内燃料装荷による中性子計数率の増分(2)

1977年8月23日測定

	Ch A		Ch B		Ch 1		Ch 2	
	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_i$	n_i cpm	$(n_i - n_o)/n_o$
NFJIO7 ① R-28→R-26 8. PPJDON ② R-27→R-28	1336	0.044	1748	0.086	247	0.165	166	0.031
NFJIOY ③ R-30→R-28 9. PPJDON ④ R-28→R-30	1415	0.105	1689	0.050	259	0.222	171	0.062
NFJIOO ⑤ R-1→R-28 10. PPJDON ⑥ R-30→R-1	1470	0.148	1635	0.016	262	0.236	164	0.019
II-01 ⑦ R-2→R-30 11. PPJDON ⑧ R-1→R-2	1466	0.145	1635	0.016	251	0.184	165	0.025
12. PPJDON ⑨ R-2→R-3	1432	0.119	1632	0.014	251	0.184	161	0.000
13. PPJDON ⑩ R-3→R-4	1400	0.094	1630	0.013	236	0.113	162	0.006
II-2 ⑪ R-5→R-3 14. PPJDON ⑫ R-4→R-5	1372	0.072	1622	0.008	232	0.094	159	-0.002
15. PPJDON ⑬ R-5→R-6	1325	0.035	1609	0.000	225	0.061	161	0.000

付表 3.2 70 本炉心におけるラック効果測定値のまとめ
(燃料等価反応度試験)

PPJF3D 位 置	PPJF3D 位 置	Ch 2	Ch B	Ch 1	Ch A
ラック 15	ラック 21	0.211	0.329	0.	0.
	22	0.224	-	0.019	-
	23	0.255	-	0.014	-
	24	0.236	0.190	0.047	-0.006
	25	0.161	0.206	0.024	0.002
	26	0.118	0.170	0.033	-0.003
	27	0.056	0.121	0.066	0.030
	28	0.031	0.086	0.165	0.044
	30	0.062	0.050	0.222	0.105
	1	0.019	0.016	0.236	0.148
	2	0.025	0.016	0.184	0.145
	3	0.	0.014	0.184	0.119
	4	0.006	0.013	0.113	0.094
	5	-0.002	0.008	0.094	0.072
	6	0.	0.	0.061	0.035

① ラック効果定義

$$(n_1 - n_0) / n_0$$

n_0 は ch A, ch 1 について R21

ch B, ch 2 について R6

付表 3.3 70 本初期炉心でのラック効果解析 (燃料等価反応度試験)

炉心状態等	格 子 点	ラック内空	30本燃料挿入 ^{*1}	ラック効果
70 本炉心 制御棒6体全挿入 N. S. SC2 2次元 X-Y 計算	91.10	308.7	642.2	2.08
	93.25	427.8	898.8	2.10
	93.28	441.2	928.8	2.11
	91.46	488.8	1041.	2.13
同 上 一次元計算	86.63	326.6	698.3	2.14
	123	606.3	1425.	2.35

*1) 計算モデル上は

ラック内燃料は 21 体分しか扱われていない。

付表 3.4 測定値と計算値の比較 (代表点)
(70 本炉心燃料等価反応度試験)

固定 ラック	移動 ラック	チャンネル	測定値	計算値
15	1	1	1.236	1.164
		2	1.019	1.003
		A	1.148	1.179
		B	1.016	1.008
15	3	1	1.184	1.080
		2	1.0	1.000
		A	1.119	1.134
		B	1.014	1.000
15	5	1	1.094	1.019
		2	~1.0	~1.0
		A	1.072	1.050
		B	~1.0	~1.0
15	25	1	1.024	1.020
		2	1.161	1.133
		A	1.002	1.006
		B	1.206	1.180
15	27	1	1.066	1.082
		2	1.056	1.049
		A	1.030	1.039
		B	1.121	1.127

付録 4 H-350 計算機による流量平均化処理プログラム

1. プログラムの概要

出力上昇試験の熱出力校正、定常伝熱特性に於てナトリウム流量(信号をH-350に入力し、入力電圧と流量との関係式より平均化された流量を印字出力する。

2. 対象とする流量信号

- ① 1次主冷却系A, B ループ
計算機入力電圧 1~5V (0~1400m³/h)
- ② 2次主冷却系A, B ループ
計算機入力電圧 0.25~1.25V (0~1600m³/h)
- ③ 1次補助冷却系
計算機入力電圧 10~50mV (-30~80m³/h)
- ④ 2次補助冷却系
計算機入力電圧 0.25~1.25V (0~80m³/h)
- ⑤ 1次オーバーバフロ系
計算機入力電圧 10~50mV (0~15m³/h)

3. 信号線接続要領

表1のケーブル接続要領によりH-500とH-350間のケーブル配線を行なう。

表 1. 流量信号ケーブル接続要領

信号名称	H-500 端子番号	H-350 端子番号	備考
① 1次冷却材流量 (A)	7 JX1A3	3 KX1B13	/17 ポイント アドレス
	7 JX1A4	3 KX1B14	
② "	7 JX1A5	3 KX1B15	
	7 JX1A6	3 KX1B16	" /00F
③ 2次冷却材流量 (A)	7 JX6B3	3 KX2A13	" /016
	7 JX6B4	3 KX2A14	
④ "	7 JX6B5	3 KX2A15	" /017
	7 JX6B6	3 KX2A16	
⑤ 1次補助系流量	7 LX1A11	3 KX3A13	" /026
	7 LX1A12	3 KX3A14	
⑥ 2次補助系流量	7 JX6B11	3 KX3A15	" /027
	7 JX6B12	3 KX3A16	
⑦ オーバーバフロ吸上流量	7 LX1A9	3 KX3B01	" /028
	7 LX1A10	3 KX3B02	

①~④についてはケーブル配線済み
⑤~⑦は CO-SPEV-SB のケーブルにより配線要
(H-350 端子箱の枠由はしない)

4. プログラム構成

4.1 流量の平均化処理プログラム

7種類の流量信号をA/D変換し、指定時間の平均値をASRに印字する。入力電圧も同時に印字する。

4.2 Na物性値の計算プログラム

Na温度をASRより入力し、Naの比重 γ 、エンタルピーHを計算し出力する。
なお、Naの比重 γ およびエンタルピーHは下記の式により演算する。

ナトリウム比重 γ

$$\gamma = 95001 - 0.229774T - 1.46065 \times 10^{-6}T^2 + 5.63796 \times 10^{-9}T^3 \quad (\text{kg/m}^3)$$

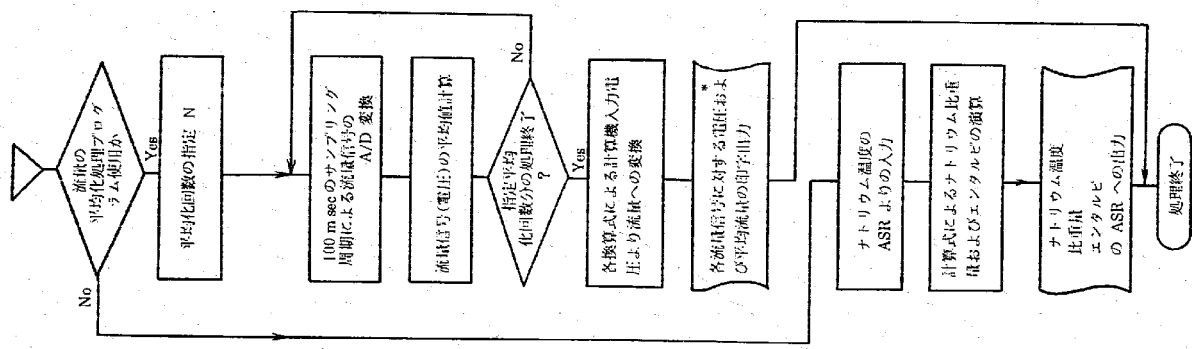
ナトリウムエンタルピーH

$$H = 83.559 + 0.343253T - 6.93429 \times 10^{-6}T^2 + 3.6850 \times 10^{-8}T^3 \quad (\text{Kcal/kg})$$

計算機入力電圧より流量への換算式

- 1次主冷却系 $\begin{cases} \text{Aルーブ} & Q_{1A} = 369.107V - 427.434 \quad (V = 1 \sim 5V) \\ \text{Bルーブ} & Q_{1B} = 373.968V - 453.581 \quad (V = 1 \sim 5V) \end{cases}$
- 2次系冷却系 $\begin{cases} \text{Aルーブ} & Q_{2A} = 1632.65V - 435.376 \quad (V = 0.25 \sim 1.25V) \\ \text{Bルーブ} & Q_{2B} = 1610.74V - 399.997 \quad (V = 0.25 \sim 1.25V) \end{cases}$
- 1次系補助冷却系 $\begin{cases} V \geq 21.24\text{mV} & Q_{1AUX} = 2787.5V - 59.207 \quad (V = 0.02124 \sim 0.05V) \\ V < 21.24\text{mV} & Q_{2AUX} = 2631.5V - 55.894 \quad (V = 0.01 \sim 0.0124V) \end{cases}$
- 2次補助冷却系 $Q_{2AUX} = 75.099V - 18.249 \quad (V = 0.25 \sim 1.25V)$
- 1次オーバーフロー系 $Q_{1OV} = 375.6V - 3.756 \quad (V = 0.01 \sim 0.05V)$

5. プログラム General Flow Chart (GFC)



※印字形式案

① 流量平均化処理の場合

NA MEAN FLOW OR GAMMA (KEY IN F OR G) : FA
 NUMEFR OF AVERAGING TIMES : 100
 TIME : START 77 05 16 17 : 18 : 45
 END 77 05 16 17 : 19 : 45

FMF POSITION	VOLTAGE(V)	NA FLOW RATE (M ³ /H)
MAIN PRI. A LOOP	4.836	1246.5
B LOOP	4.813	1228.1
MAIN SEC A LOOP	1.216	1285.4
B LOOP	1.203	1263.8
AUX. PRI.	0.04785	60.38
AUX. SEC.	1.233	61.25
O/F PRI.	0.04831	125.3

はASRによるキーイン

FA : スペース

(入力データを間違えた場合は#をキーインする)

② 比重およびエンタルピーの計算処理の場合

NA MEAN FLOW OR GAMMA (KEY IN F OR G) : GA
 NA TEMP. (GEG) SPECIFIC WEIGHT (KG/M³) ENTHALPY (KCAL/KG)

<u>FA</u> <u>FA</u> <u>FA</u> 378.6	861.5	206.3
<u>FA</u> <u>FA</u> <u>FA</u> 350.0	867.5	198.8

FAFAFA RETURN

印はキーインデータ

FA : スペース

RETURN : リターンキー