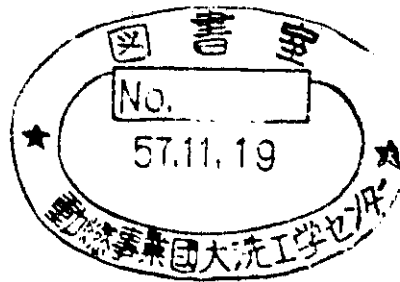


分置

高速実験炉「常陽」特殊試験結果報告書

—外部中性子源無し原子炉起動試験—



1982年3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ください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

1982年3月

高速実験炉「常陽」特殊試験結果報告書

—外部中性子源無し原子炉起動試験—

佐々木 誠

要 旨

高速実験炉「常陽」MK-I炉心においては、中性子計装の正常動作確認と原子炉起動時の反応度事故を防ぐ目的で、原子炉起動操作開始時に中性子計装計数率が3CPS以上あることが、運転マニュアルで定められている。この規定を守るため、炉内に外部中性子源(Sb-Be)が装荷されている。しかしながら、この外部中性子源の半減期が約2ヶ月であることから、長期間原子炉を停止していると本規定を守れなくなる。また、外部中性子源は、外部の原子炉であらかじめ中性子照射しなければならない。

このようなことから、外部中性子源を使わずに原子炉を起動できれば大変有利である。そこで、外部中性子源を炉心内から、炉心の外側へ移動し、中性子源なしで原子炉が起動できるかどうか、中性子計装の応答を詳細に測定し、確認した。

主な試験結果は次の通りである。

- (1) 外部中性子源を燃料貯蔵ラックに移した状態で、原子炉を起動することができた。
- (2) 原子炉は、炉心燃料から発生している内部中性子のみによって起動し得たことを確認した。
- (3) MK-II炉心でも、MK-I炉心と同様に、外部中性子源を使わないので原子炉を起動できるものと推定される。

Report on Result of Special Test of
Fast Experimental Reactor "JOYO"

Reactor Start-up Test without External Neutron Source

Makoto Sasaki*

Abstract

A 3 cps criterion of the neutron start-up monitor at the reactor start-up is set up in order to protect the reactivity accident at the reactor start-up and confirm the normal motion of the monitor. Fast Experimental Reactor "JOYO" has one external neutron source (Sb-Be) in the core region to meet this criterion.

However, the 3 cps criterion is not met after long reactor outage, because the half life time of the external neutron source is about only 2 months. In addition, the external neutron source is irradiated by another reactor before being put into use.

Therefore, it is very convenient if the reactor can start-up without the external neutron source since in this case various potential troubles are avoided. This report describes the start-up experiment without the external neutron source in "JOYO" MK-I core. The results are as following:

- 1) The reactor was able to start-up without the external neutron source.
- 2) The reactor was start-up due to inner neutron of the driven fuels.
- 3) The reactor may be able to start-up without the external neutron source in "JOYO" MK II core, too.

* Technology Section, Fast Experimental Reactor Div., OEC.

目 次

	ページ
1. 結 言	1
2. 試験設備の概要	2
2.1 試験時の炉心構成	2
2.2 起動系中性子計装	3
2.3 中性子源	13
3. 試験の方法	24
3.1 試験方法	24
3.2 仮設中性子計装	25
4. 試験の経過	30
5. 試験の結果	37
5.1 計数率の一次系Na温度依存性	37
5.2 炉容器・黒鉛反射体温度依存性	38
5.3 炉内燃料貯蔵ラック内燃料の効果	39
5.4 外部中性子源の減衰効果	40
6. 考 察	50
6.1 炉心末臨界度と中性子計数率の対応	50
6.2 直接中性子と増倍中性子の割合	51
6.3 内部中性子源の強さ	52
7. 結論とまとめ	60
謝 辞	61
参考文献	62
付 録	
1. 特殊試験計画書	63
2. 仮設信号取出し管理表	71
3. ジャンパー管理票	74
4. 起動系計数基準について	79
5. 「常陽」起動系計数率の基準及び運用について(技術課メモ)	85

List of Figures

Fig. 2.1	Core Configuration	17
2.2	In-vessel Storage Rack Configuration	18
2.3	Diagram of Neutron Startup Range Monitor	19
2.4	Diagram of Neutron Low Power Range Monitor	20
2.5	Diagram of Neutron Power Range Monitor	21
2.6	Power Range measured by Neutron Monitors	22
2.7	Structure of Neutron Source	23
3.1	Position of Neutron Monitors	26
3.2	Diagram of Temporary Neutron Startup Range Monitors	27
3.3	Output Signal from Ch. 1 Buffer Amplifier and Discrete Level.	28
3.4	Output Signal from Ch. 2 Buffer Amplifier and Discrete Level.	29
4.1	Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9. 12)	31
4.2	Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9. 25)	32-33
4.3	Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9. 26)	34
4.4	Daily Plan of Test (1981. 9. 12)	35
4.5	Daily Plan of Test (1981. 9. 25)	36
5.1	Thermometer Locations on Outside Wall of Reactor Vessel and Guard Vessel, and Reactor Shields	46
5.2	Chart of Graphite Shield Temperature	47-48
5.3	Chart of Reactor Vessel Temperature	49
6.1	Differential Curve and Stroke Curve of Regulation Rod No. 1 .	58
6.2	Differential Curve and Stroke Curve of Regulation Rod No. 2 .	59

List of Tables

Table 5.1	Measured Neutron Count Data (1981. 9. 12)	41
5.2	Measured Neutron Count Data (1981. 9. 25)	42
5.3	Measured Neutron Count Data (1981. 9. 26)	43
5.4	Graphite Shield Temperature	44
5.5	Reactor Vessel Temperature	45
6.1	Maximum Insertion Rate and Control Rod Worth of Safety Rods.	53
6.2	Fitting Results of Diff. and Rod Worth	54
6.3	Neutron Count Data and Subcriticality (1981. 9. 12)	55
6.4	Neutron Count Data and Subcriticality (1981. 9. 25)	56
6.5	Evaluated α Values	57

第1章 緒 言

本報告書は、1981年9月11日から10月16日迄に行なわれた、特殊試験サイクル（高速実験炉「常陽」75 MW定格第5サイクルと）の一項目として実施された、中性子源引抜起動試験結果について報告するものである。

中性子源引抜起動試験は、上記特殊試験サイクル中、9月12日、25～26日の3日間実施した。

本試験は、「常陽」炉心内に通常装荷されているSb-Be製外部中性子源を使わずに、炉心内燃料から発生している内部中性子源のみで、原子炉を起動できるかどうかの可能性を検討するため実施した。外部中性子源を用いずに、原子炉が起動できれば、「常陽」照射用炉心の運用や、「もんじゅ」炉心の炉心設計へ有効なバックアップ・データとして活用できることとなる。

以下、第2章では、試験設備、第3章では試験方法、第4章では、試験の経過、第5章では試験の結果を記載した。

第2章 試験設備の概要

本章では、中性子源引抜起動試験に関連する炉心構成、起動系中性子計装について示す。

2.1 試験時の炉心構成

特殊試験サイクルでは、炉心燃料及び、径方向ブランケットの置換反応度測定試験が実施されているため、日々その炉心構成は変わっていた。しかしながら、本中性子源引抜起動試験が実施された9月12日、25～26日は、外部中性子源の炉内装荷位置を除き、炉心及び、炉内燃料貯蔵ラック内の炉心構成要素の配置は、総て同じにした。これは、炉内の炉心構成要素の配置が、測定日毎に変わることによる中性子計装データへの影響をさけるためである。

本試験中の、炉心構成図をFig 2.1とFig 2.2に示す。又、以下に、炉心構成を簡単に説明する。

(1) 炉心構成

炉心燃料	78体
ブランケット燃料	37体(内側)
	143体(外側)
制御棒	2体(調整棒)
	4体(安全棒)
反射体	36体(スリット無し)
	12体(スリット付)
中性子源	1体(7F1)

(2) 炉内燃料貯蔵ラック

炉心燃料
 炉心用計装燃料
 径ブランケット燃料
 径ブランケット用計装燃料
 サーベイランス
 ダミー燃料
 中性子源(Be部)
 γ 線源収納体

2.2 起動系中性子計装

2.2.1 概要

核計装設備は、原子炉の起動から定格出力までの中性子束及びベリオドを測定することにより、原子炉の状態を監視するとともに、異常を検知した場合は直ちに安全動作信号を発することを目的とする。

原子炉停止時の中性子源レベルから、定格出力運転時の中性子レベルまでは約10デカードもあり、この全域の測定レンジをカバーするために、起動系、中間系、出力系の3系統の計測系が設けられている。また各計測系はそれぞれ2系統または3系統からなり多重化により信頼性を増している。

起動系および中間系の中性子検出器には、核分裂計数管を用い中央制御室から遠隔駆動できる構造となっており、原子炉の定格出力運転中は上方へ引き上げて検出器への無駄な中性子照射を防ぎ、検出器の寿命を引きのばすように配慮している。出力系はガンマ線補償型電離箱を中性子検出器として用いている。

中性子検出器はすべて原子炉容器の外に設置される。起動系、中間系の検出器は、炉心中心から水平方向2.9 mの黒鉛遮蔽体中に、出力系の検出器は、3.55 mの安全容器外側窒素ガス雰囲気中に挿入される。いずれも検出器の中心が、炉心の縦方向中心と同じレベルにある。

前置増幅器盤は、原子炉建物1階壁にとりつけられ、起動系、中間系の前置増幅器が収納される。中央制御室には、中性子計装盤が設けられ起動系、中間系、出力系の各モニタ、20V電源、補助リレーが収められる。運転監視に必要な記録計、指示計、出力系のレンジスイッチおよび中性子計装設備の異常を示すアナンスェータは、原子炉制御盤にとりつけられている。

中性子検出器から中央制御室に至る迄のケーブルは、すべて専用の電線管を通して配線されている。

起動系は2系統、中間系、出力系はそれぞれ3系統から構成され多重性を確保している。また、前置増幅器盤、中性子計装盤、ケーブル・ペネトレーションおよび電源系統も、系統毎に分離されている。

起動系、中間系、出力系の各モニタは、内蔵または外部入力 of 較正信号により、系統指示値およびトリップ・レベルの較正を行なうことが出来る。特に、中間系、出力系については、3系統による2 out of 3の論理構成を利用して、運転中の点検を行なうことが可能である。

各系統で発せられるトリップ信号のうち、スクラム信号はロジック盤に送られ、ここで

起動系については 1 out of 2, 中間系, 出力系については 2 out of 3 の論理処理が行なわれる。アラーム信号については, 原子炉制御盤に送られて, 故障表示窓に表示されるとともに, 制御棒操作のインターロック条件に組みこまれる。起動系, 中間系, 出力系の各モニタは, 高圧電源電圧が高または低となった場合, プリント基板のいずれかが挿入されていない場合, 切換スイッチが測定状態となっていない場合に「動作不能」(inoperable)のトリップ信号を発する。

(1) 起動系

起動系は, 核分裂計数管からのパルス信号を判定するもので, 原子炉停止時の中性子源レベル(定格出力の約 2×10^{-8} %)から定格出力の約 5×10^{-3} %までの領域をカバーする。ch 1 および ch 2 の 2 系統からなる。

中性子検出器からのパルス信号は, 前置増幅器で増幅されたのち, 中性子計装盤の起動系モニタに送られる。起動系モニタ内のパルス波高弁別器, 対数積分器, 直流増幅器, ベリオド増幅器を通して信号処理が行なわれたのち, 対数計数率およびベリオド信号が原子炉制御盤の指示計, 記録計に送られる。

トリップ信号としては, 対数計数率高高, ベリオド短短のスクラム信号, 対数計数率高, 対数計数率低, ベリオド短, 動作不能のアラーム信号が, 起動系モニタのトリップ回路から発せられる。

起動系モニタには, 高圧電源回路が設けられ, 中性子検出器に供給される。起動系モニタおよび前置増幅器の電源は, 20V 電源から起動系モニタ内の $\pm 15V$ 電源回路に供給されたのち, 各回路に供給される。

起動系モニタのモードスイッチを切換えることにより, 起動系モニタの較正を行なうことが出来る。対数計数率 10 cps, 10^5 cps, ベリオド 3 秒, 30 秒の較正信号が内蔵されている。又, 外部較正信号用の入力端子も設けられている。

データ処理装置に, 対数計数率の信号が送られる。また, スケータ用の出力端子が設けられている。Fig 2.3 参照のこと。

(2) 中間系

中間系は, 核分裂計数管からの直流電流のゆらぎ成分を測定するもので, 定格出力の約 1×10^{-3} %から約 10%までの領域を対象とする。ch 3, ch 4, ch 5 の 3 系統からなる。

中間系の測定原理は, いわゆるキャンベル法とよばれるもので, 直流電流のゆらぎ成分の 2 乗が原子炉出力に比例することを利用している。中性子検出器は, 起動系と同じ型式の検出器であるが, 中間系では直流電流をとりだし, このゆらぎ成分を前置増幅器

で増幅したのち、中間系モニタに送られる。中間系モニタでは、帯域増幅器、広帯域整流器、対数増幅器、ペリオド増幅器を通して信号が処理され、対数出力及びペリオド信がえられる。これらの信号は、原子炉制御盤で指示記録される。

トリップ信号は、起動系と同じく、対数出力高高、ペリオド短短のスクラム信号、対数出力高、対数出力低、ペリオド短、動作不能のアラーム信号がある。

検出器の高圧電源回路は、中間系モニタ内に設けられている。各回路の電源は、20V電源から供給される。

中間系モニタも、モードスイッチを操作して、内蔵または外部入力の校正信号により校正点検を行なうことができる。内蔵の校正信号は、対数出力が $10^{-3}\%$ 、 10% 、ペリオドが3秒、30秒である。

データ処理装置には、対数出力が送られる。

対数出力の単位は、定格出力に対する割合(%)で表示されるが、これは、熱出力校正等により測定された原子炉出力に対し、増幅器の利得を変えることによって、指示値が調整される。Fig. 2.4参照のこと。

(3) 出力系

出力系は、ガンマ線補償型電離箱からの直流電流を測定するもので、定格出力の約1%から定格出力の125%までの領域を対象とする。ch 6, ch 7, ch 8の3系統からなる。

中性子検出器からの直流電流は、直接中央制御室中性子計装盤の出力系モニタに導びかれ、微小電流計により増幅される。利得切換えは、約1/2デカードごとに帰還抵抗をきりかえることにより行なわれ、線形出力の信号が、原子炉制御盤の指示計、帰還抵抗をきりかえるレンジスイッチも、原子炉制御盤にとりつけられている。

検出器の正および負の高圧電源回路から供給される。各回路の電源は、20V電源から出力モニタ内の $\pm 15V$ 電源を通して供給される。

出力系のトリップ信号は、線形出力高高と動作不能を組み合わせたスクラム信号、線形出力低、動作不能のアラーム信号がある。前3者のトリップ信号設定値は、レンジスイッチの各レンジ毎にそのレンジの100%指示値を基準として設定されている。

モードスイッチを操作して、内蔵または外部入力信号により、系の校正を行なうことができる。

出力系指示値の単位も、中間系と同様、定格出力に対する割合(%)で表示される。実測された原子炉出力に対しては、微小電流計の利得調整および帰還抵抗の選択により、指示値をあわせることができる。

データ処置に対しては、線形出力信号が送られる。

(4) 20V電源、補助リレーユニット

中性子計装盤は、A、B、Cに3分割され、それぞれに起動系モニタ2系統、中間系モニタ、出力系モニタ各3系統が分離して収納されている。(中性子計装盤Bには、起動系モニタはない)

中性子計装盤A、B、Cのそれぞれに共通に、20V電源、補助リレーユニットが設けられている。

中性子計装の電源は交流無停電電源が使用されている。交流無停電電源6Cが中世子計装盤Aに、6Dが盤Bに、6Sが盤Cに接続される。各盤ではいずれも20V電源に供給され、ここで±20Vの安定電源となって各盤の起動系モニタ、中間系モニタ、出力系モニタ、補助リレーユニットに供給される。

起動系、中間系、出力系モニタで発せられたトリップ信号は、すべて各盤の補助リレーユニットに集められる。ここで必要な接点増幅および論理処理を行なったのち、スクラム信号についてはロジック盤へ、アラーム信号については原子炉制御盤に送られる。スクラム信号はすべて2重の信号となって、ロジック盤AおよびBに送られる。スクラム信号の1 out of 2(起動系)または2 out of 3(中間系、出力系)論理処理は、ロジック盤において行なわれる。

トリップ信号については、電源喪失時のfail safeを考慮して、トリップ回路の出力は、正常時ON、トリップ時OFF、またリレー信号は、常時励磁で接点閉、トリップ時非励磁で接点開となっている。Fig 2.5参照のこと。

2.2.2 中性子計装設備の主要目

(1) 中性子計装盤

(a) 形式	閉鎖自立形
(b) 数量	1面
(c) 外形寸法	約1830W×2300H×760D
(d) 設置場所	原子炉付属建物2階中央制御室
(e) 取付機器	

(1) 中性子計装盤A	20V電源A
	起動系モニタ(ch1)
	中間系モニタ(ch3)
	出力系モニタ(ch6)

(ロ) 中性子計装盤 B	補助リレーユニット A 20V電源 B 中間系モニタ (ch 4) 出力系モニタ (ch 7)
(ハ) 中性子計装盤 C	補助リレーユニット B 20V電源 C 起動系モニタ (ch 2) 中間系モニタ (ch 5) 出力系モニタ (ch 8) 補助リレーユニット C
(2) 前置増幅基盤	
(a) 形 式	壁面取付形
(b) 数 量	3 組
(c) 外形寸法	約 610W × 610H × 470D
(d) 設置場所	原子炉建物 1 階壁面
(e) 取付機器	
(イ) 前置増幅器盤 A	起動系 ch 1 前置増幅器 中間系 ch 3 前置増幅器
(ロ) 前置増幅器盤 B	中間系 ch 4 前置増幅器
(ハ) 前置増幅器盤 C	起動系 ch 2 前置増幅器 中間系 ch 5 前置増幅器
(3) 中性子検出器	
(a) 核分裂計数管	
(イ) 数 量	起動系 2 本 中間系 3 本
(ロ) 外形寸法	約 38φ × 5.50L
(ハ) 熱中性子感度	約 0.1 cps/nv (起動系) 約 2×10^{-14} A/nv (中間系)
(ニ) 熱中性子束範囲 (最大)	約 2×10^6 nv (10% 計数損失) (起動系) 約 5×10^{10} nv (1mA 出力) (中間系)
(ホ) r 線束範囲 (最大)	約 2×10^5 R/hr
(ヘ) 動作電圧	200 ~ 400V

(ト) ケーブル	MI ケーブル
(b) ガンマ線補償形電離箱	
(イ) 数 量	出力系 3 本
(ロ) 外形寸法	約 76 ϕ ×360L
(ハ) 熱中性子感度	約 2×10 ⁻¹⁴ A/nv
(ニ) 熱束性子束範囲	約 1×10 ³ nv ~ 1×10 ¹⁰ nv
(ホ) γ 線感度	約 1×10 ⁻¹¹ A/R/hr
(ヘ) γ 線量率範囲	約 10 ~ 10 ⁷ R/hr
(ト) 動作電圧	200 ~ 600V
(チ) ケーブル	MI ケーブル
(4) 20V電源	
(a) 形 式	引出式シャーシ
(b) 数 量	3 台
(c) 外形寸法	約 480W×178H×407D
(d) 出 力	±20V(5A)
(5) 前置増幅器(起動系)	
(a) 形 式	箱形ケース収納形
(b) 数 量	2 台
(c) 外形寸法	約 290W×230H×115D
(d) 利 得	約 80mA/pico coulombs
(e) 入力インピーダンス	約 75 Ω
(f) 出力インピーダンス	約 220 Ω
(6) 起動系モニタ	
(a) 形 式	引出式シャーシ
(b) 数 量	2 台
(c) 外形寸法	約 480W×178H×407D
(d) 主要内蔵回路	±15V電源 高圧電源 パルス波高弁別器 対数積分器 直流増幅器 ペリオド増幅器

		トリップ回路
		較正信号発生器
(e) 指示計	数量	2 台
	目盛	対数計数率 $1 \sim 10^6 \text{ cps}$ 6デカード対数目盛
		ペリオド $-30 \sim 3 \text{ 秒}$ ペリオド
(f) 外部出力		指示計出力
		記録計出力
		ペリオド $-30 \sim 3 \text{ 秒}$ ペリオド目盛
(g) トリップ信号		対数計数率高高スクラム
		ペリオド短短スクラム
		対数計数率高アラーム (制御棒引抜インターロック)
		対数計数率低アラーム (同 上)
		ペリオド短アラーム (同 上)
		動作不能アラーム (同 上)
(h) 較 正		対数計数率 $10 \text{ cps}, 10^5 \text{ cps}$
		ペリオド $-30 \text{ 秒}, 3 \text{ 秒}$
(i) 高圧電源		$+150 \text{ V} \sim 750 \text{ V}$
(7) 前置増幅器 (中間系)		
(a) 形 式		箱形ケース収納形
(b) 数 量		3 台
(c) 外形寸法		約 $290 \text{ W} \times 230 \text{ H} \times 115 \text{ D}$
(d) 利 得		約 1,000 倍
(e) 入力インピーダンス		約 75Ω
(f) 出力インピーダンス		約 75Ω
(8) 中間系モニタ		
(a) 形 式		引出式シャーシ
(b) 数 量		3 台
(c) 外形寸法		約 $480 \text{ W} \times 178 \text{ H} \times 407$
(d) 主要内蔵回路		±15V電源
		高圧電源
		帯域増幅器
		広帯域整流器

		対数増幅器
		ペリオド増幅器
		トリップ回路
		較正信号発生器
(e) 指示計	数量	2 台
	目盛	対数出力 $10^{-4}\%$ ~ $10^2\%$ 6デカード対数目盛 ペリオド -30秒 ~ 3秒 ペリオド目盛
(f) 外部出力		指示計出力 記録計出力
(g) トリップ信号		対数出力高高スクラム ペリオド短短スクラム 対数出力高アラーム (制御棒引抜インターロック) 対数出力低アラーム (同 上) ペリオド短アラーム (同 上) 動作不能アラーム (同 上)
(h) 較 正		対数出力 $10^{-3}\%$, 10% ペリオド -30秒, 3秒
(i) 高圧電源		+150V ~ 750V
(9) 出力系モニタ		
(a) 形 式		引出式シャーシ
(b) 数 量		3 台
(c) 外形寸法		約480W×178H×407D
(d) 主要内蔵回路		±15V電源 高圧電源 微小電流計 利得設定 トリップ回路 較正信号発生器
(e) 指示計	数量	1 台
	目盛	線形出力 0.125% ~ 125% まで約1/2デカードずつ
(f) レンジ切換 (フルスケール)		0.125% 0.35% 1.25% 3.5% 1.25% 3.5% 125% (7レンジ)

(g) 外部出力	指示計出力 記録計出力
(h) トリップ信号	線形出力高スクラム 線形出力高アラーム (制御棒引抜インターロック) 線形出力低アラーム (同 上) 動作不能アラーム (同 上)
(i) 較 正	線形出力 2点
(j) 高圧電源	+150 ~ +750V -150 ~ -750V
(10) 原子炉制御盤とりつけ計器	
(a) 指 示 計	
(1) 形 式	110角広角メータ
(2) 数 量	13台
(3) 外形寸法	約110W×110H×111D
(4) 指示目盛	起動系対数計数率(2台) $1 \sim 10^6$ cps 起動系ベリオド(2台) -30 ~ 3秒 中間系対数出力(3台) $10^{-4} \sim 10^2$ % 中間系ベリオド(3台) -30 ~ 3秒 出力系線形出力(3台) 0.125 ~ 125 % Fig 2.6 参照のこと。
(b) 記 録 計	
(1) 形 式	ペン書き式(2ペン式)
(2) 数 量	5 台
(3) 外形寸法	約166W×173H×435D
(4) 記録内容	1台 起動系対数計数率(ch1 ch2)又は、中間系対数出力(ch3, ch4, ch5の任意の2chs)
	1台 起動系ベリオド(ch1, ch2)又は、中間系ベリオド(ch3, ch4, ch5の任意の2hs)
	3台 出力系線形出力及びレンジ表示
(c)	
(1) 形 式	ユニット引出式
(2) 数 量	1 台
(3) 外形寸法	約71W×152H×160D

(二) 切換要素

7 点

2.2.3 中性子計装設備の設計条件

(1) 温度条件

(a) 中央制御室		10℃～40℃
(b) 前置増幅器盤雰囲気	通常運転時	40℃以下
	雰囲気調整系異常時	60℃以下
(c) 検出器雰囲気	起動系, 中間系	350℃以下
	出力系	200℃以下

これらの値は、原子炉出力100MW運転時、原子炉容器盤を500℃として計算した検出器位置での温度に、30℃の余裕をとって定めたものである。

- | | |
|----------|-----------|
| (2) 湿度条件 | 20～90%RH |
| (3) 電源条件 | |
| (a) 種類 | 交流無停電電源 |
| (b) 電圧 | AC110V±2% |
| (c) 周波数 | 50Hz±2Hz |
| (4) 耐震条件 | Aクラス |

2.3 中性子源

2.3.1 中性子源の概要

中性子源は炉心構成要素の一つであり、 γ 線源部本体と γ 線源部受入集合体より構成される。Fig.27参照のこと。

γ 線源部にはアンチモンを使用し、受入集合体はベリリウムを内蔵している。使用前には日本原子力研究所の材料試験炉(JMTR)で照射した γ 線源部を、あらかじめ装荷してある γ 線源部受入集合体に組み込む。中性子の発生は主に、 ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ 反応により行われる。必要な中性子源強度は、材料試験炉の照射時間によって選ぶことができる。

γ 線源部受入集合体は、炉心部のブランケット領域の定められた位置に装荷される。外形形状および寸法はブランケット燃料集合体とほぼ同一であり、燃料集合体と同一の方法により炉心内に装荷、取出しできる構造となっている。

γ 線源部は、材料試験炉で照射したアンチモン棒を含む γ 線源要素を、ホットラボ内で γ 線源部に組立て、 γ 線源部取出機で炉内装荷、炉外取出しを行う。

増殖炉心では中性子源は2体用意された。1体は通常の運転のための炉起動用で、外側ブランケットに装荷され、定常運転時には、アンチモンは炉内中性子によって常時放射化され γ 線源となる。別の2体は臨界近接より低出力特性試験期間中に使用されたもので、中性子源強度を考慮して内側ブランケット領域の定められた位置に装荷された。

中性子源の炉内装荷後の発熱は、 γ 線部受入集合体の下部エントランスノズルより、低圧プレナムより導入された冷却材で除熱する。

(1) γ 線源部本体

γ 線源部本体は、アンチモン棒2本をSUS316ステンレス鋼管で密封被覆したものを γ 線源要素とし、この2要素とバネ座をスプリングで押えて Fig. 2.7 に示すようにバスケットに組込んだものである。頭部は装荷・取出しを、 γ 線源部取扱機のグリッパで行えるような構造となっている。

γ 線源要素は、材料試験炉で照射され、ホットラボ内でバスケットに組込まれる。

(2) γ 線源部受入集合体

γ 線源部受入集合体は、下部にエントランスノズル、胴部にラップ管、上部に燃料交換機で炉内装荷・炉外取り出しできるようなハンドリングヘッドを有し、ラップ管の内部にベリリウム管を収納している。エントランスノズルは、低圧プレナムより中性子源の除熱に必要な十分な冷却材を導入するようになっている。ベリリウム管は、ベリリウムをSUS316ステンレス鋼管で密封被覆したもので、被覆管内上部には、ガスプレナムを設けて、ベリリウムを押え管とともにスプリングで押えて固定してある。

2.3.2 中性子源の主要目

1. γ 線源部本体

数 量	3 体 (内 2 体は低出力運転用)
全 長	1,282 mm
全 重 量	5 kg

(1) γ 線源要素

数 量	2 体 (本体 1 体当り)
形 式	円筒密封形
全 長	312 mm
被覆管外径	225 mm
被覆管肉厚	1 mm
アンチモン棒	2 本 (要素 1 体当り)
アンチモン直径	20 mm
アンチモン全長	150 mm
アンチモン密度	6.6 g/cm ³

(2) バスケット

数 量	2 本
形 式	籠形
全 長	1,134 mm

2. γ 線源部受入集合体

数 量	2 体 (内 1 体は低出力運転用)
全 長	2,970 mm
全 重 量	32 kg

(1) ラッパ管

数 量	2 体
ハンドリングヘッド パッド部外側対面距離	80.3 mm
胴部外径	78.5 mm
胴部パッド部 外側対面間距離	81.4 mm

(2) ベリリウム管

数 量	2 体
形 式	円環筒密封形

全 長	1,097 mm
外側被覆管外径	73.3 mm
外側被覆管肉厚	2.0 mm
内側被覆管外径	35 mm
内側被覆管肉厚	1.5 mm
ベリリウム内径	35.5 mm
ベリリウム外径	68.5 mm
ベリリウム全長	64.5 mm
ベリリウム密度	1.89 /cm ³

2.3.3 中性子源の設計条件

(1) 設計圧力

ベリリウム管内圧(寿命末期) 16.7 kg/cm²

(2) 設計温度

エントランスノズル取付部 500℃(*1)

スベーサパッド部 550℃(*2)

ハンドリングヘッド取付部 550℃(*2)

(3) 冷却材流量

定常運転時 0.31 kg/sec

(4) 耐震クラス

Aクラス

(5) 中性子数放出率

平均 3×10^6 n/Ci

(6) 運転サイクル

連続運転 45日

停止 15日

(7) 使用年数

5年

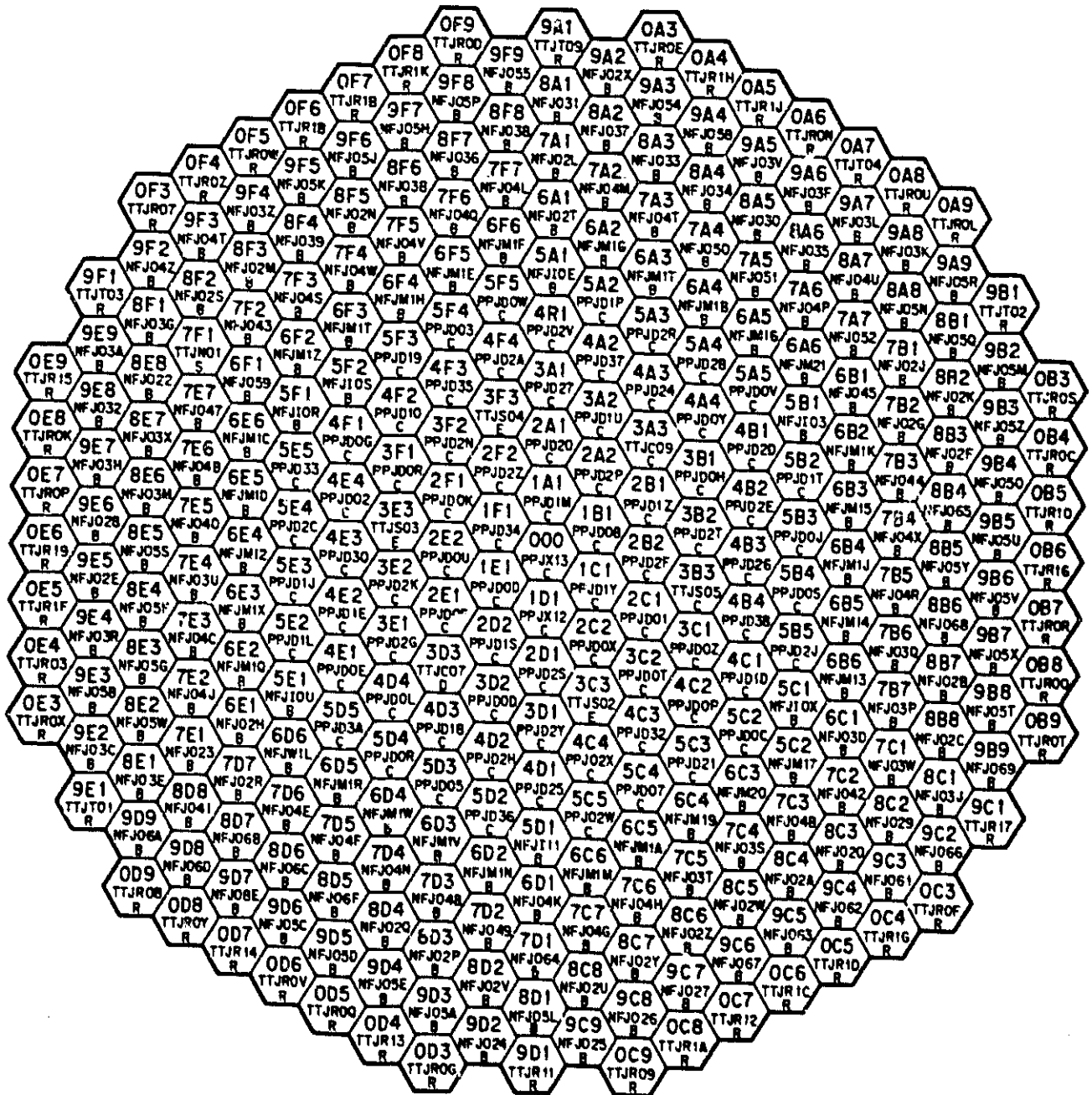
(*1) 冷却材入口温度370℃に熱過渡条件を考慮した温度

(*2) 運転時の最高温度424℃に熱過渡条件を考慮した温度

2.3.4 中性子源の材料

中性子源の材料は、設計圧力、設計温度、荷重条件などの使用条件に対し十分な安全性を確保するために、十分な強度を有するものを使用する。特にナトリウムとの共有性を考慮し、オーステナイト系ステンレス鋼を主として用いる。詳細は次の通りである。

構成部	部 品 名 称	材 料
7 線 源 部 本 体	ハンドリングヘッド バスケット・リング 被 覆 管 バ イ プ	JISG3459(1973)SUS316
	バ ネ 座 バ ネ 押 え	JISG4303(1972)SUS316
	バスケット	JISG4305(1972)SUS316
	スプリング	JISG4314(1972)SUS316 WPA
	アンチモン	アンチモン(Sb)
7 線 受 入 集 合 体	ラ ッ パ 管 被 覆 管	JISG3459(1968)SUS316
	ハンドリングヘッド エントランスノズル	JISG4303(1972)SUS316
	スプリング	JISG4314(1972)SUS316 WPA
	ベリリウム	ベリリウム(Be)

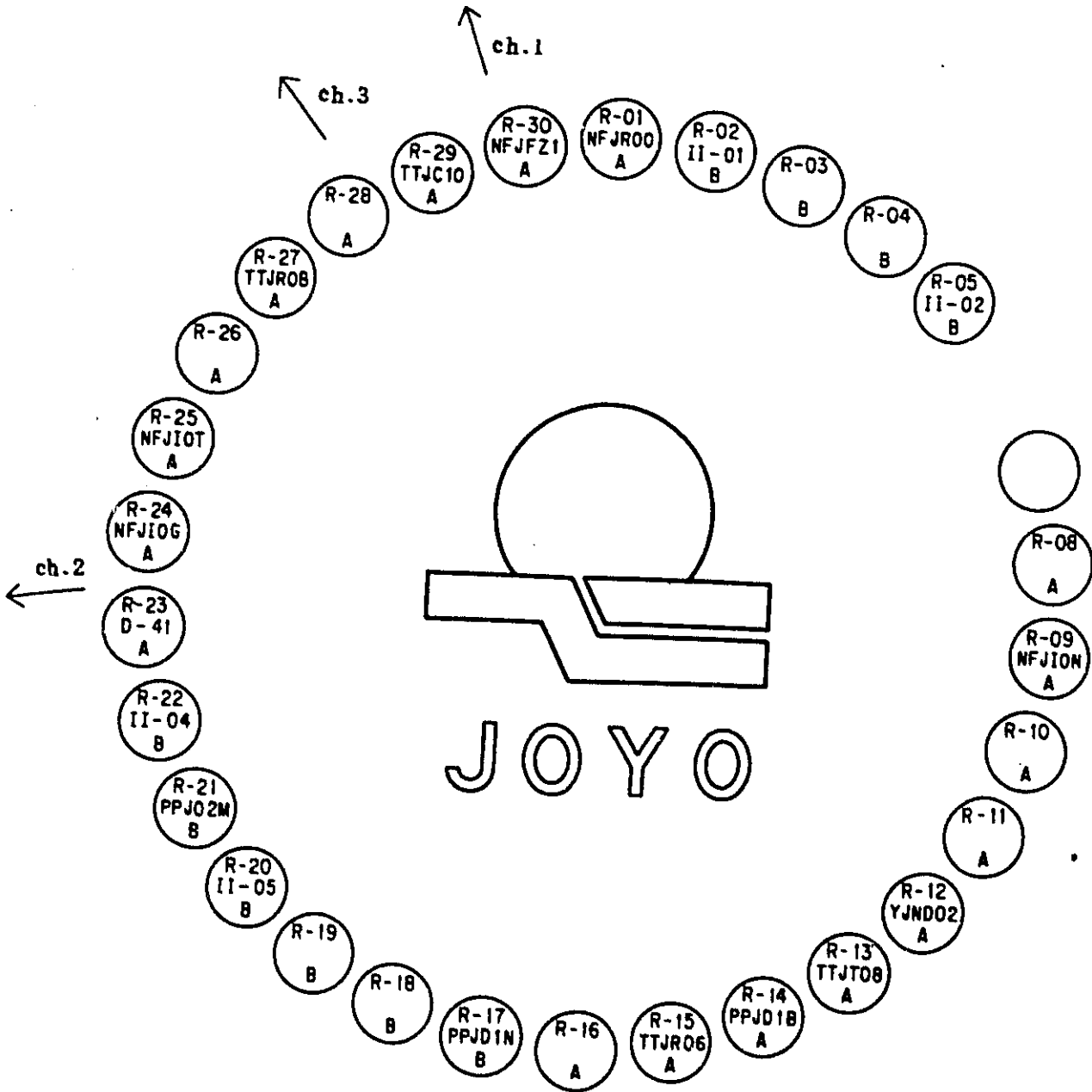


75MW Special CYCLE OPERATION

DATE: 1981/08/29

JOYO CORE CONFIGURATION

Fig. 2.1 Core Configuration



75MW Special CYCLE OPERATION

DATE: 1981/09/04

JOYO RACK CONFIGURATION

Fig. 2.2 In-vesel Storage Rack Configuration

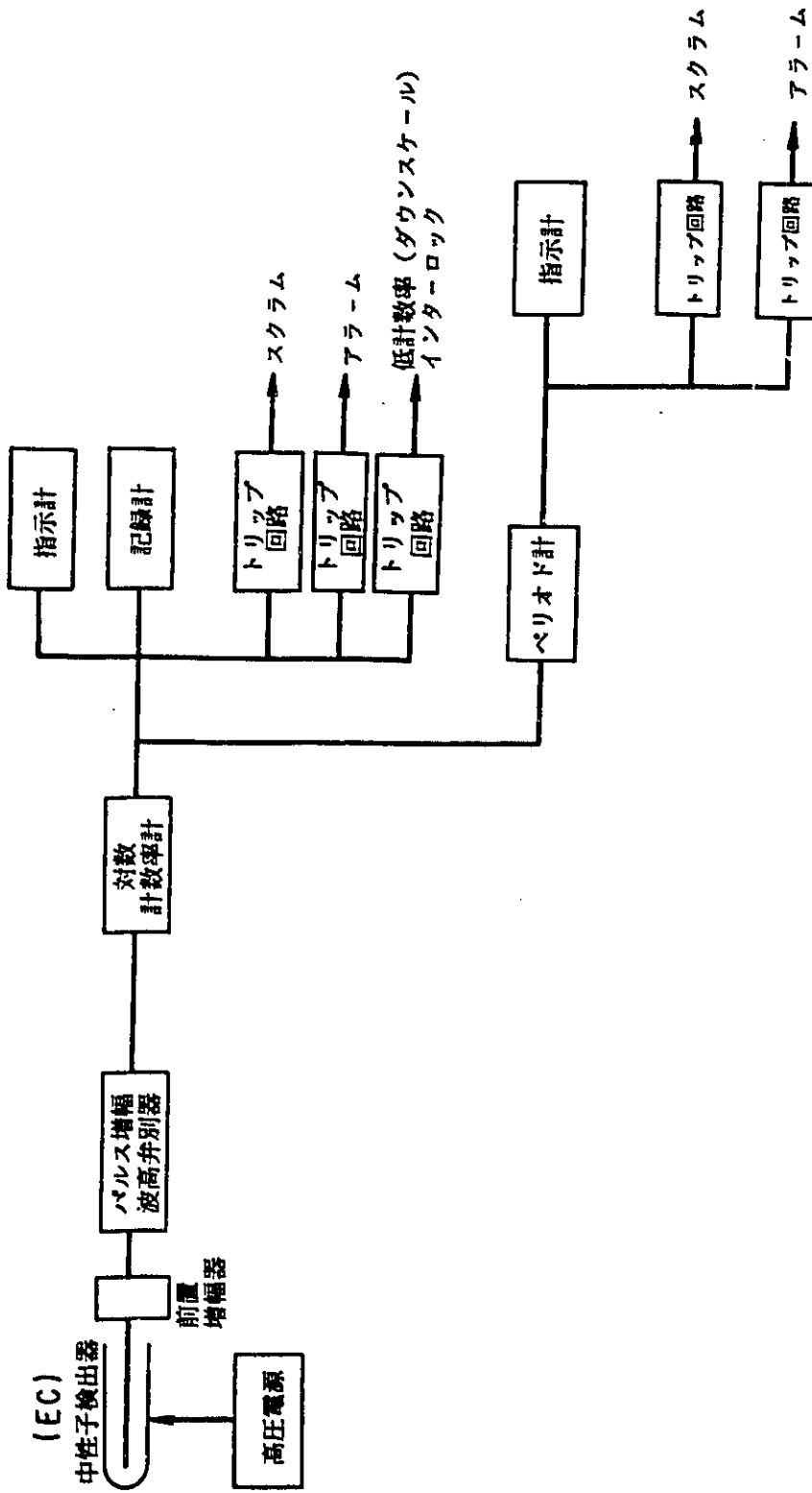


Fig 2.3 Diagram of Neutron Start up Range Monitor

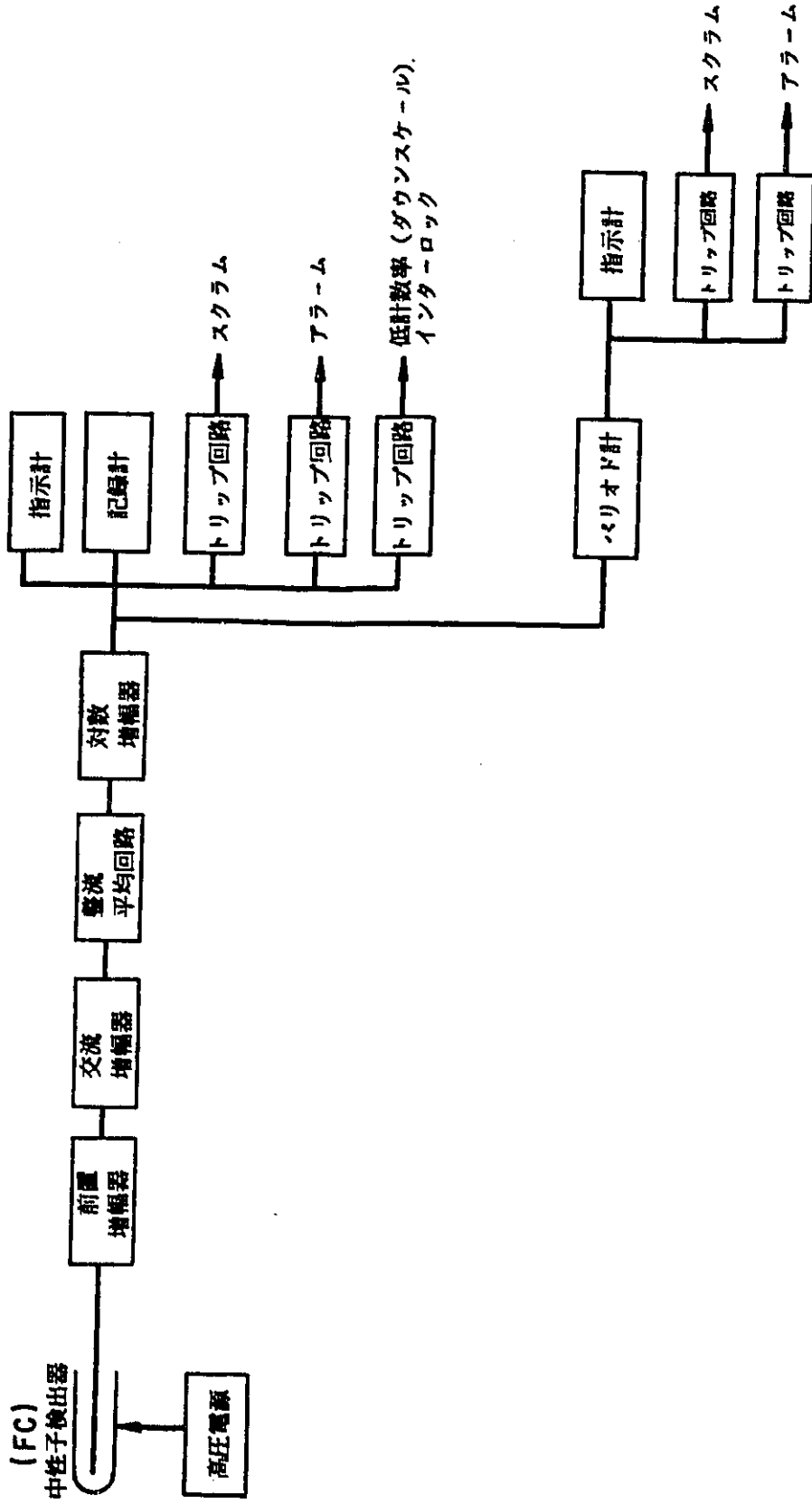


Fig 2.4 Diagram of Neutron Low Power Range Monitor

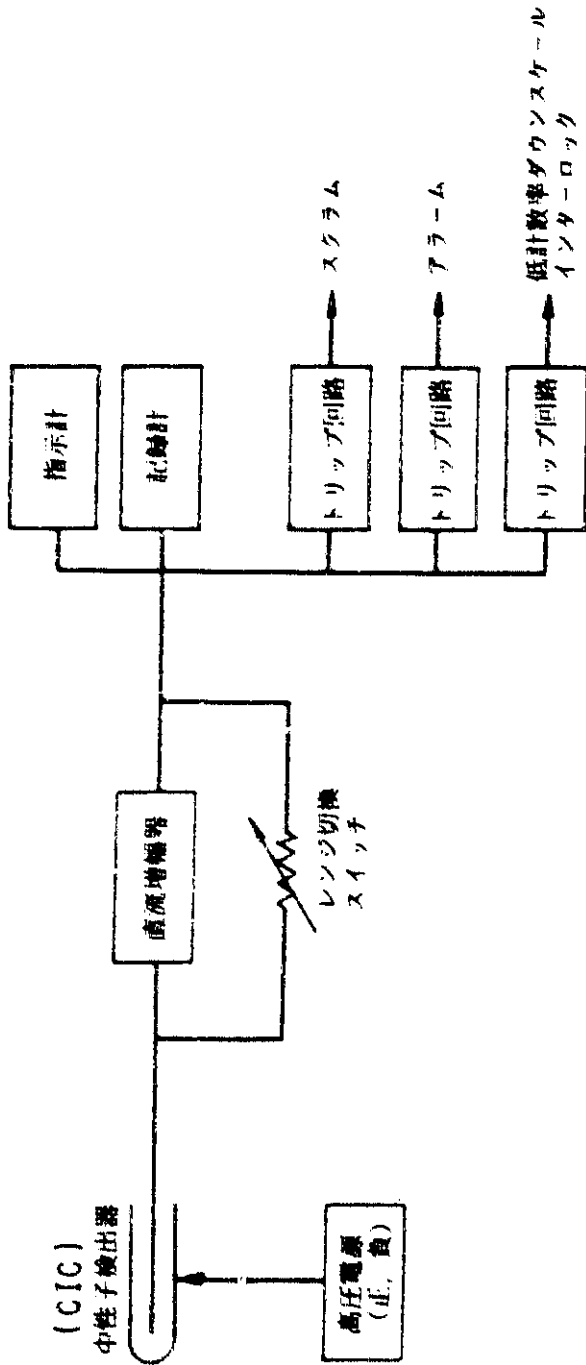
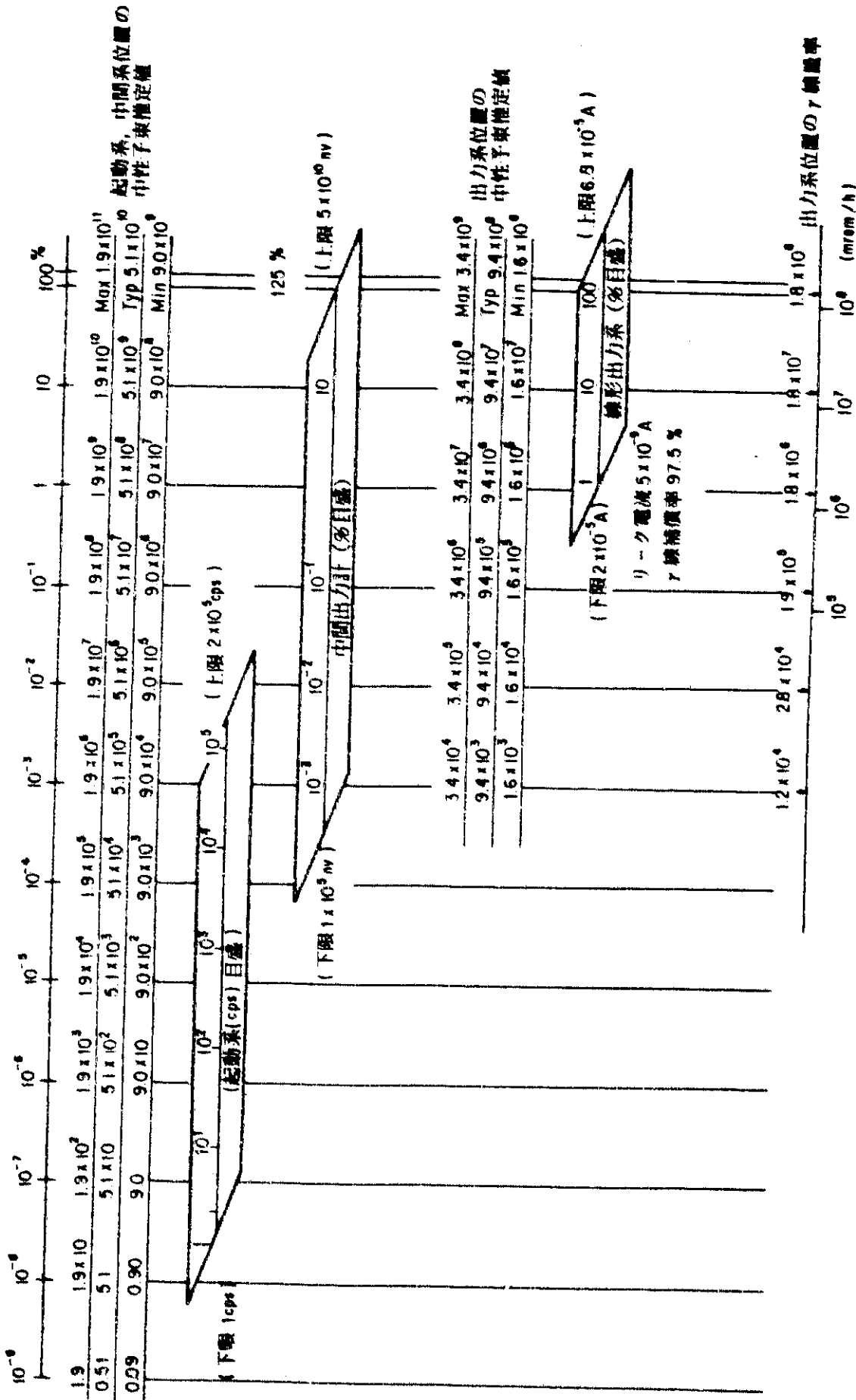


Fig 2.5 Diagram of Neutron Power Range Monitor

原子炉出力



中性子計装設備測定範囲

Fig 2.6 Power Range Measured by Neutron Monitors

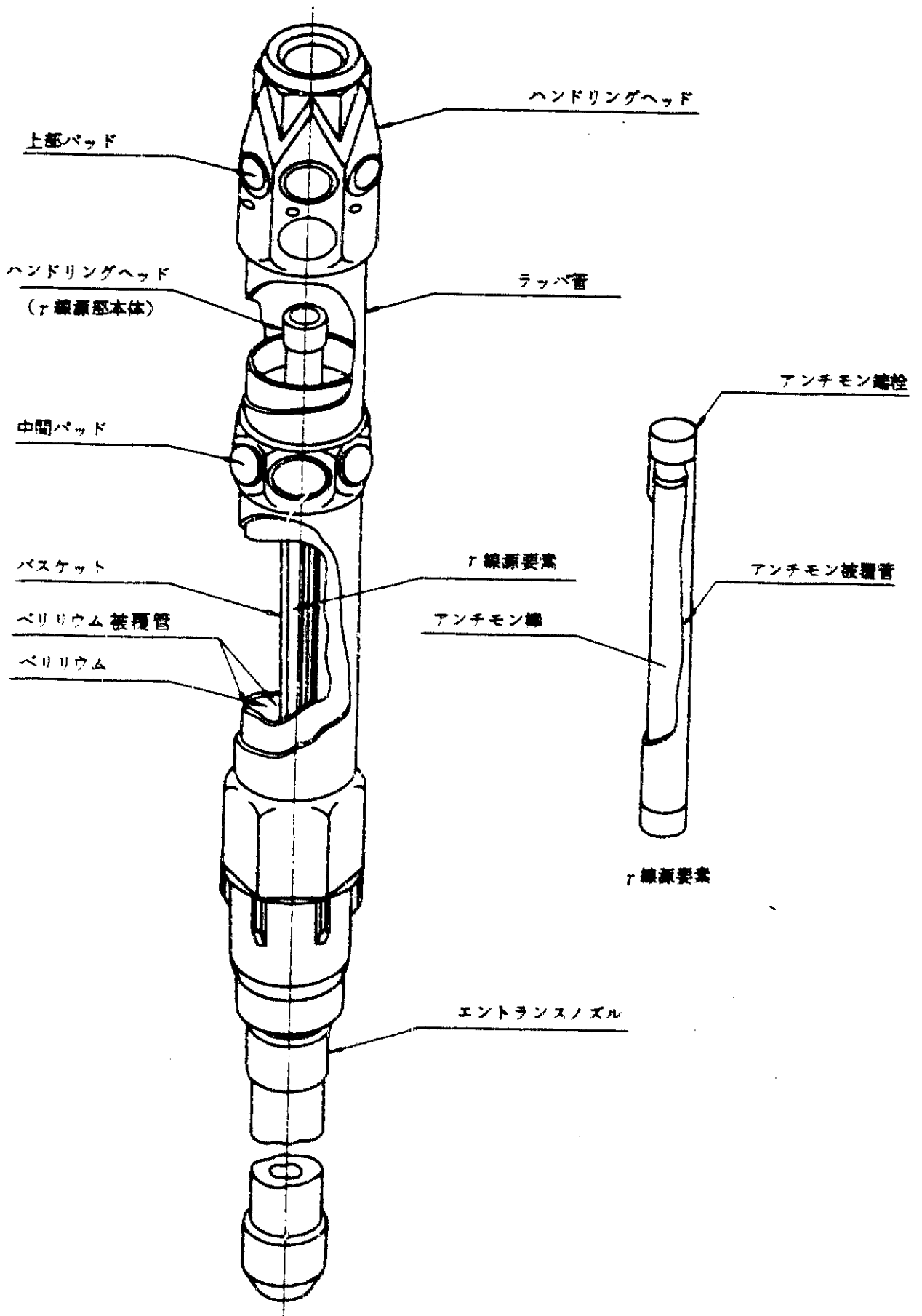


Fig 2.7 Structure of Neutron Source

第3章 試験の方法

3.1 試験方法

外部中性子源が無い状態で、原子炉を起動させる試験としては、本来、 γ 線源であるSb部のみを中性子源取扱いキャスクにて、 γ 線源収納集合体(Be部装填)より引抜くことが好ましい。しかしながら、本試験は、「常陽」増殖炉心の厳しい工程上、キャスクを用いることは時間を要し、他の試験の実施のさまたげになるため、あきらめざるを得なかった。

そこで、炉内燃料貯蔵ラックに移送した外部中性子源から発生する中性子が、直接的に起動系へ飛び込まぬ位置として、炉中心に対し、起動系と反対側になるラック位置(R-11)を、外部中性子源移送位置とした。外部中性子源を所定の装荷位置(7F1)より、炉内燃料貯蔵ラック位置(R-11)への移送は、燃料交換機にて実施した。尚、この特殊試験サイクル中は、先に記した工程上の理由により、炉上部ビット蓋は開放のままであった。

Fig. 3.1には、炉心、炉内燃料貯蔵ラック及び、中性子計装の位置関係を示した。

特殊試験サイクル中、起動系2チャンネルの内、ch1の核分裂計数管の同軸ケーブルの接続部不良のため、以下の様な核計装の操作がなされていた。

- (1) ch1の指示：ch3の核分裂計数管の信号
- (2) ch3の指示：国産メーカー、共同研究中の核分裂計数管の信号

本試験では、外部中性子源が炉内燃料貯蔵ラックに装荷された状態では、起動計の指示値が1 cpsを下廻ると予測されている。(付録1：特殊試験計画書を参照のこと。)従って、中性子計数を精度よく得るために、以下に示す、仮設の中性子計測システムを用意した。(付録2：仮設信号取出し管理票を参照のこと。)

又、本試験時には、一次系冷却材Na流量を20%にして、原子炉起動及び臨界にした。これは、やはり試験工程を短縮するため、一次主ポンプの流量調整(20%→100%→20%流量)時間をおしんだことによる。(付録3：ジャンパー管理票を参照のこと。)

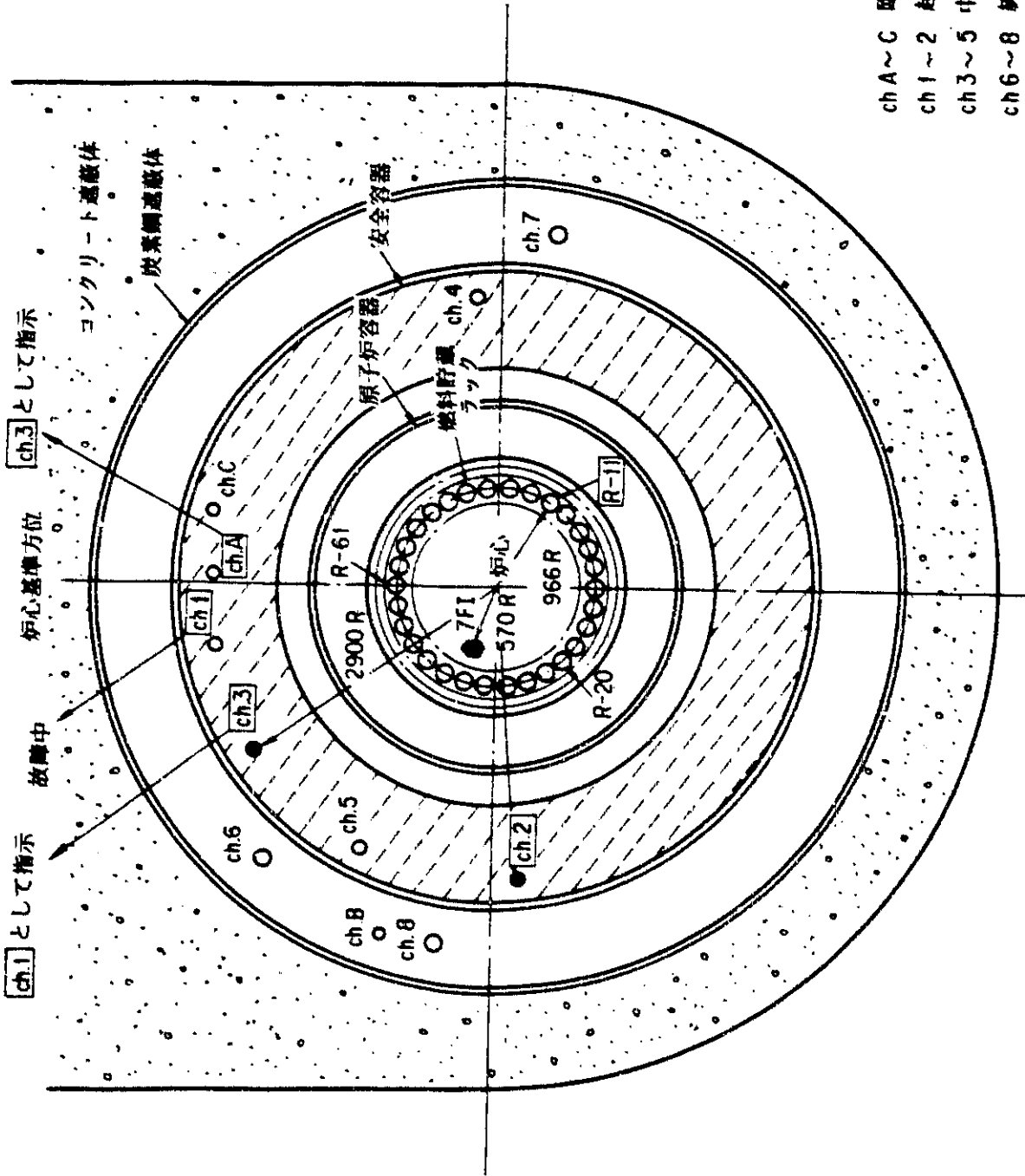
3.2 仮設中性子計装

本試験のために用意した、仮設中性子計装をFig.3.2に示した。計測系としては、以下に説明するように、起動系 ch.1 及び 2 に対し、それぞれ、2 系統を用意した。

付録 2 中の中性子計装系統図に見られるように、J4' 端子は、本設の起動系のバッファアンプ出力端子である。又、J4 端子は、本設の起動系のディスクリ出力であるが、信号の増幅と反転を行なうため、仮設計測系では、スペクトロ・スコピーアンプに入力させている。

ch.1 及び ch.2 の仮設計測系のディスクリレベルは、本設指示値にほぼ対応するよう、それぞれ 1.6 V、2.1 V に設定した。Fig.3.3～3.4 に示すように、ディスクリレベルはノイズ領域から十分上にあることが判かる。

尚、ch.1 の仮設 1 は、バッファアンプより J4' 端子への接続が悪く、9 月 12 日の測定においては計測に使用できなかった。



- ch A~C 臨界近接用特設チャンネル
- ch 1~2 起動系
- ch 3~5 中間出力計
- ch 6~8 線形出力計

Fig 3.1 Position of Neutron Monitors

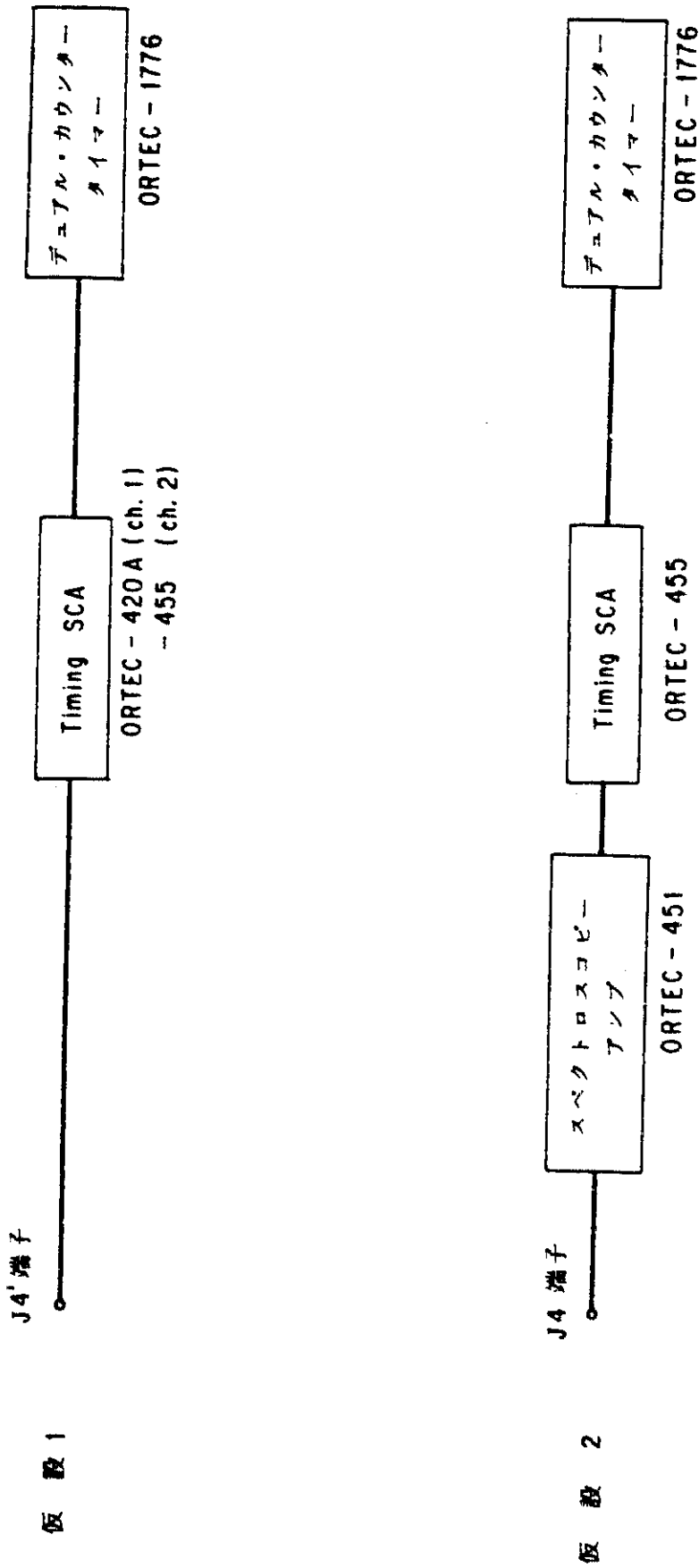
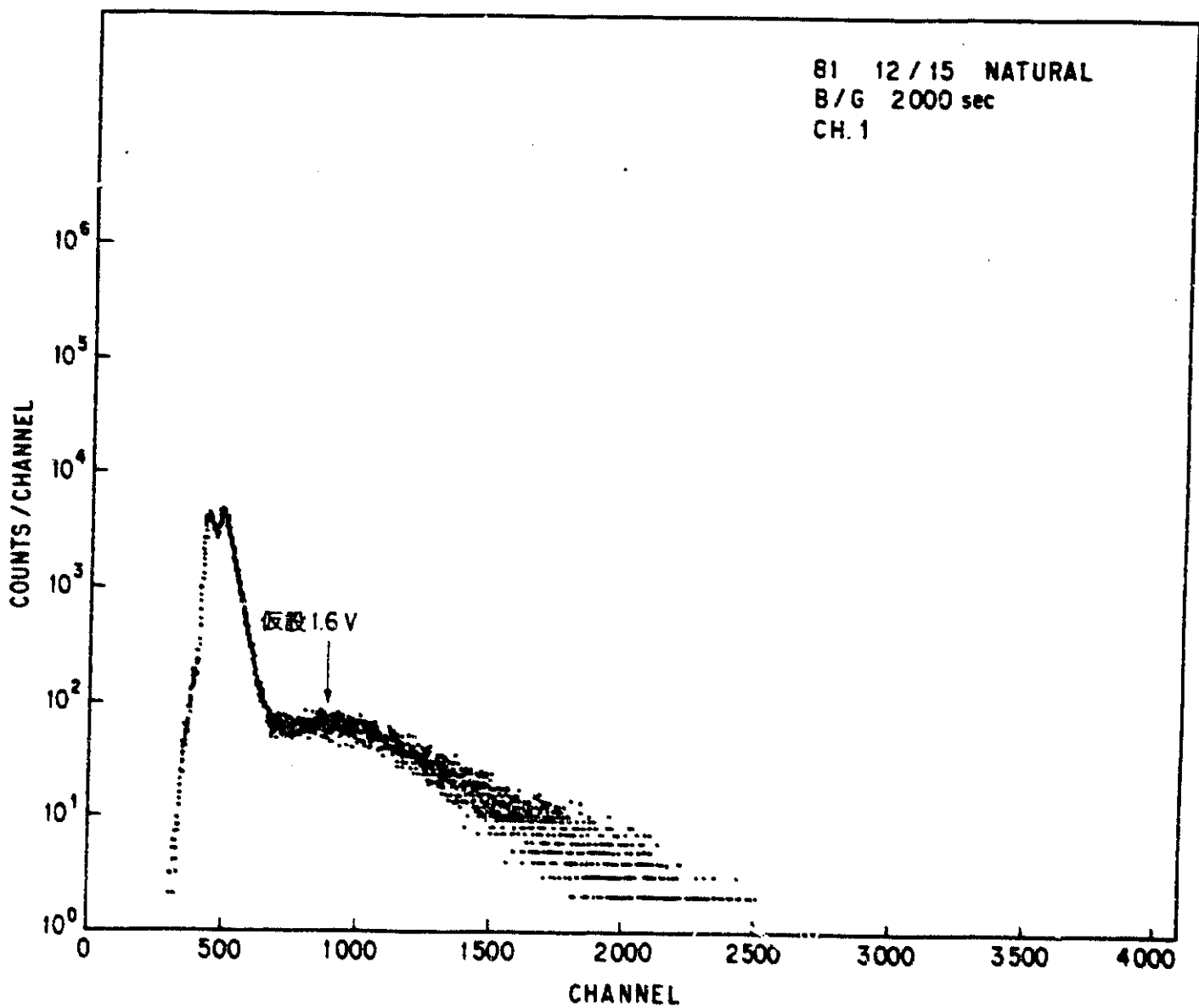


Fig. 3.2 Diagram of Temporary Neutron Startup Range Monitors



81 12 / 15 NATURAL
 B/G 2000 sec
 CH. 1

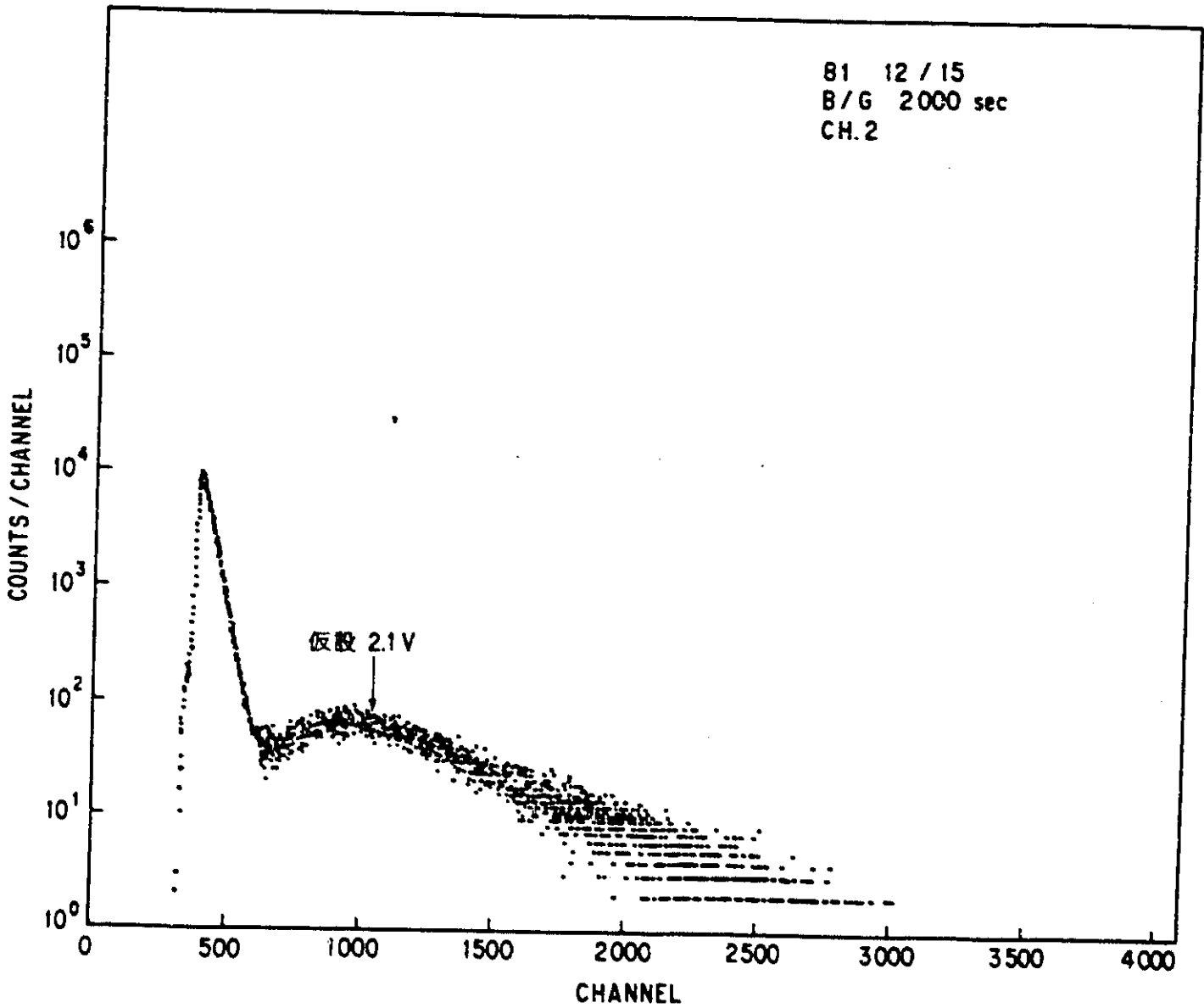
Region: 693 - 4005(Ch) * PEAK AREA *

Total(cnts)=	39352	BG(cnts)=	107673	Error(%)=	-0.56
Net(cnts)=	-68321				

Region: 693 - 4095(Ch) * PEAK AREA *

Total(cnts)=	39352	BG(cnts)=	110598	Error(%)=	-0.54
Net(cnts)=	-71246				

Fig. 3.3 Output Signal from ch.1 Buffer Amplifier and Discrete Level



81 12 / 15
 B/G 2000 sec
 CH.2

Region: 643 - 3997(Ch) * PEAK AREA *

Total(cnts)=	58618	BG(cnts)=	41938	Error(%)=	3.58
Net(cnts)=	8681				

Region: 0 - 0(Ch) * PEAK AREA *

Total(cnts)=	2000	BG(cnts)=	2000	Error(%)=	
Net(cnts)=	0				
9.999999999999999E+99 SD.2D					

Region: 643 - 4095(Ch) * PEAK AREA *

Total(cnts)=	58618	BG(cnts)=	43163	Error(%)=	4.11
Net(cnts)=	7456				

Fig. 3.4 Output Signal from ch.2 Buffer Amplifier.
 and Discrete Level

第4章 試験の経過

本試験に関する中性子計数率測定は、9月12日、9月25～26日に実施した。この内12日には、外部中性子源引抜時の中性子計数率に対する基準を得るため、外部中性子源が通常の炉心装荷位置(7F1)にある状態の原子炉起動データを測定した。又、25日は、外部中性子源が炉内燃料貯蔵ラック(R-11)に装荷し、外部中性子源引抜時の中性子計数率を測定した。26日は、参考のため、外部中性子源が、(7F1)及び(R-11)位置で、燃料交換機により、燃料交換機上端に引上げられた状態での、中性子計数率を測定した。

以下に、中性子計数率測定データ点を示す。

- ① 4月12日
制御棒全挿入時より、原子炉臨界迄 14点
- ② 9月25日
制御棒全挿入時より、原子炉臨界迄 16点
- ③ 9月26日
燃料交換中、2点

Fig.4.1～4.3に、試験中の起動系チャート記録を掲げる。Fig.4.4～4.5に、試験の予定表を示した。

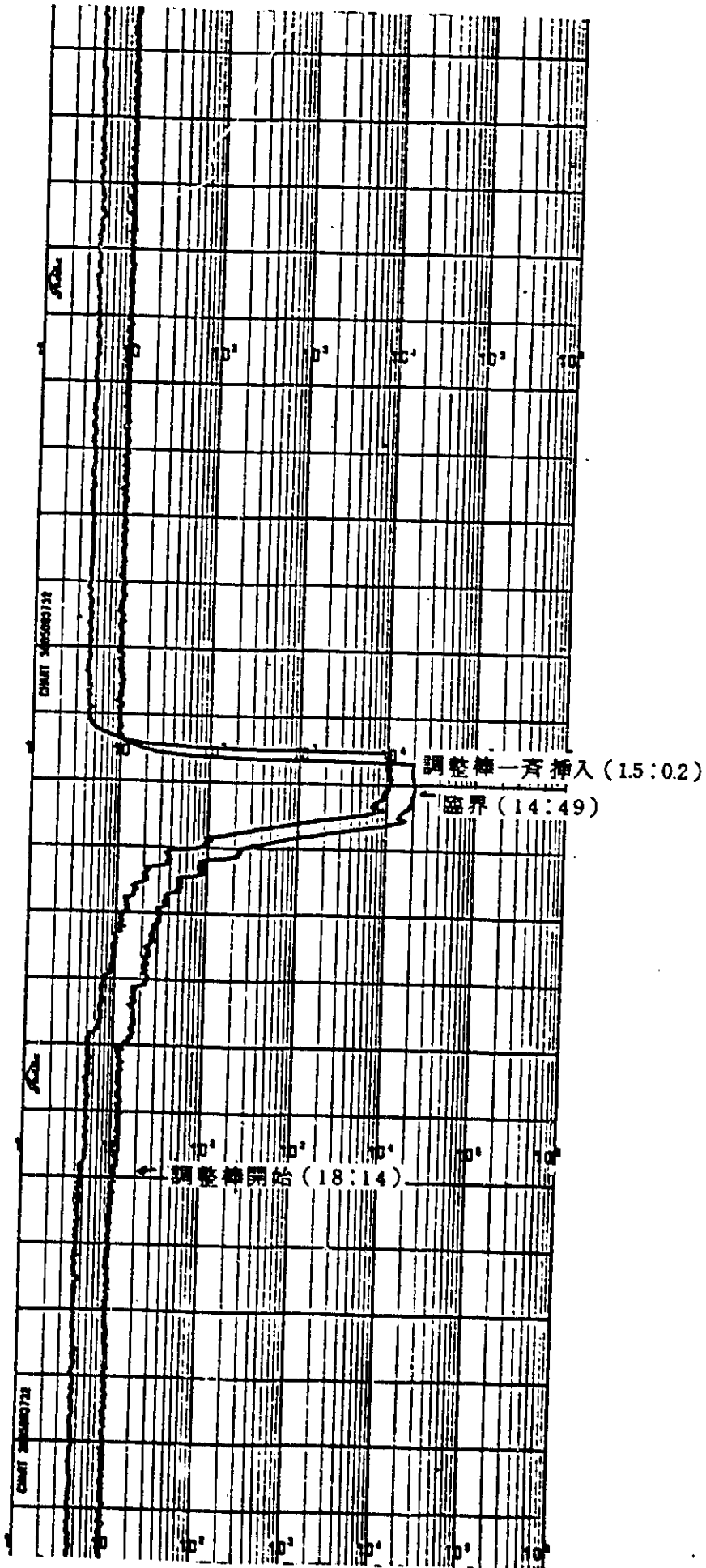


Fig.4.1 Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9.12)

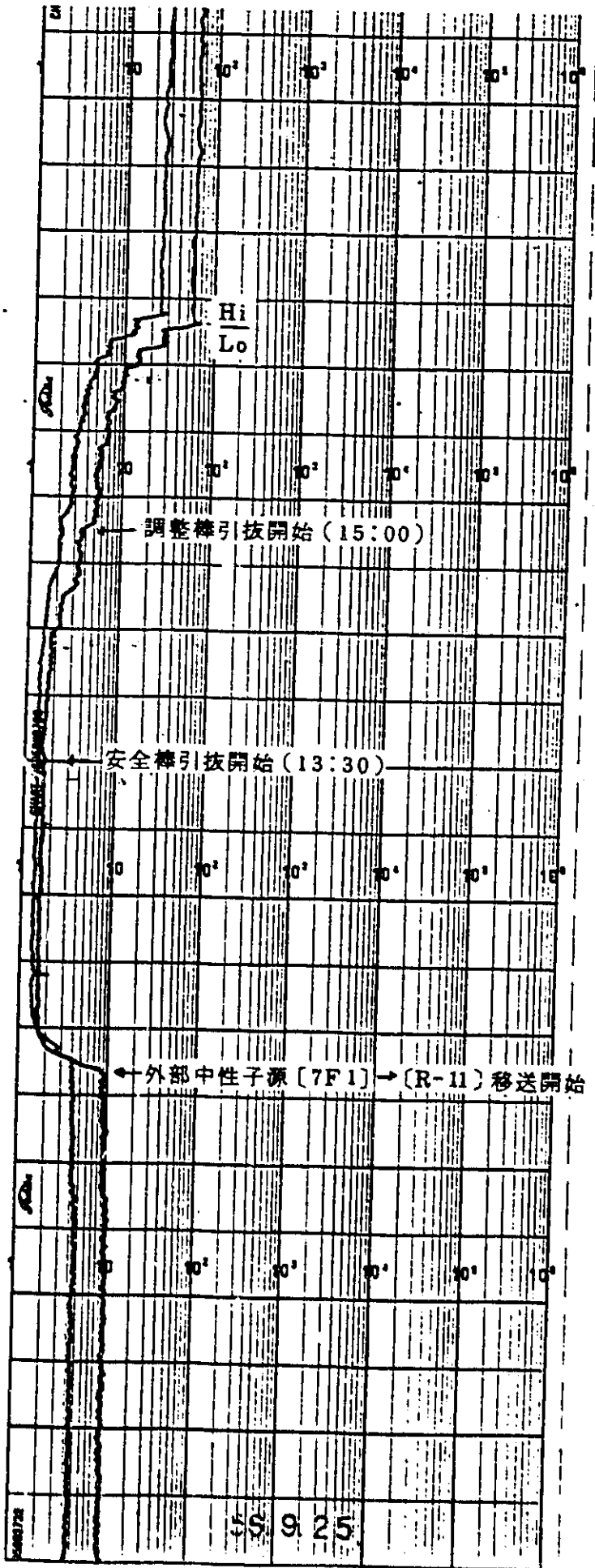


Fig.4.2(1) Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9.25) (1)

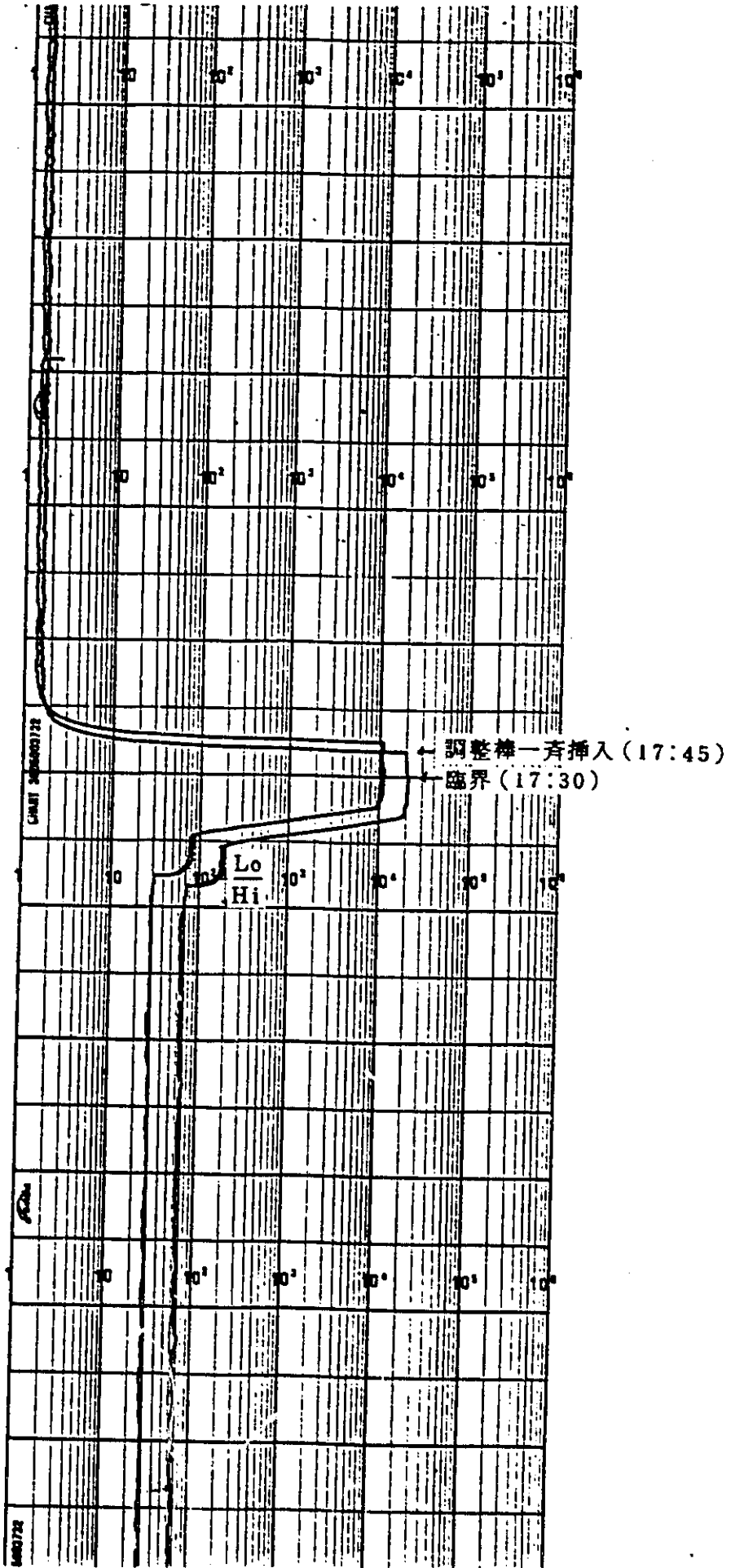
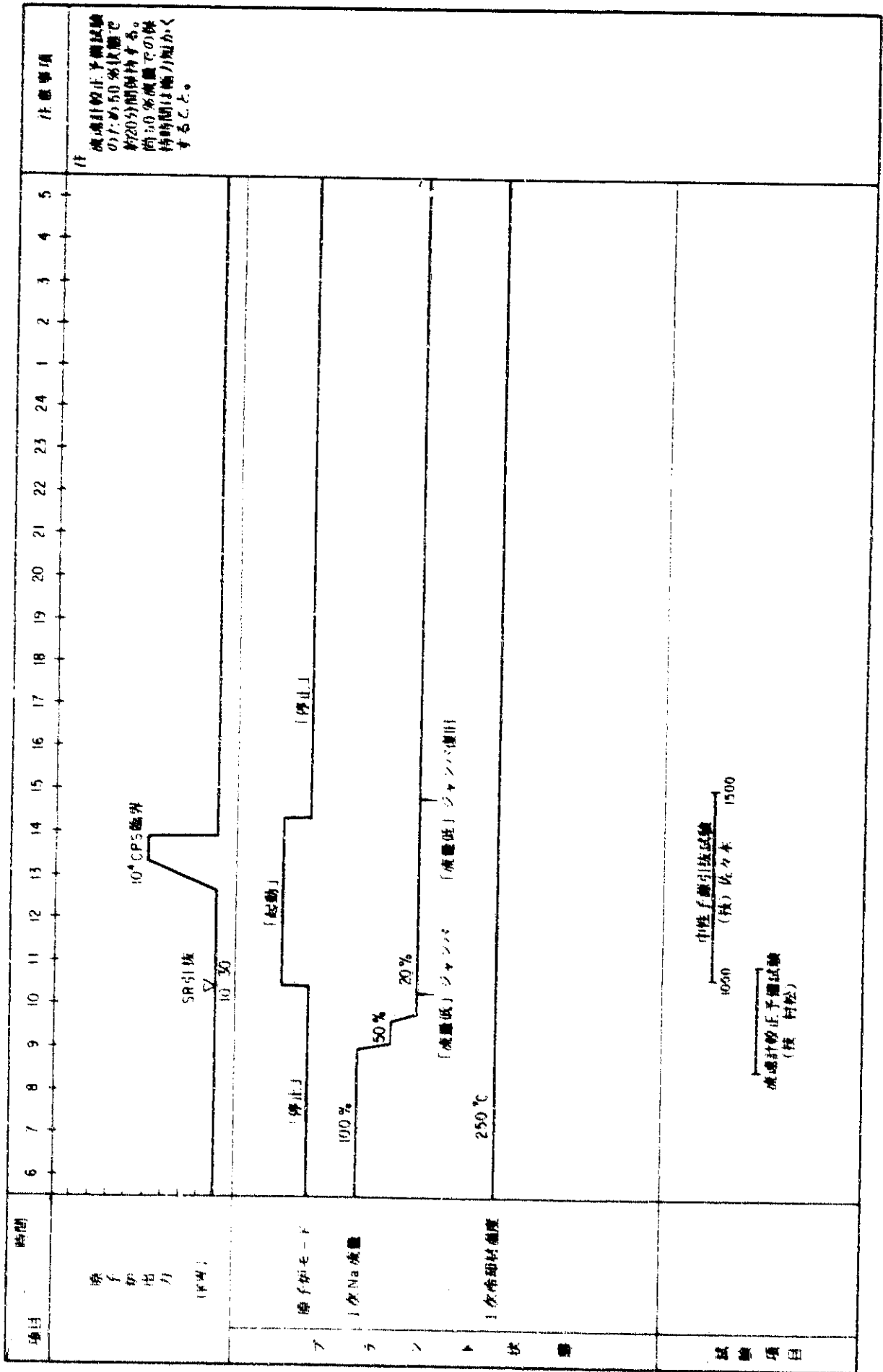


Fig. 4.2 (2) Flow Chart of Startup Range Monitor (1981. 9.25) [2]

Fig 4.4 Daily Plan of Test (1981.9.12)



第5章 試験の結果

9月12日、25～26日の測定結果を、Table 5.1～5.3に示した。

試験結果のうち、仮設1,2で求めた中性子計数率は、同計測系の計数が最低1,000カウントに成るように、計測時間を定めた。(9月12日測定No.1～3を除く。)

中性子計数率に関しては、Table 5.1～5.3に示した一次系冷却材Na温度依存性⁽¹⁾のみでなく、炉容器や黒鉛反射体温度依存性がある⁽²⁾。これ等の効果を確認するために、Table 5.4～5.5及びFig. 5.2～5.3に炉容器及び、黒鉛反射体温度を示した。尚、Fig. 5.1には、これら温度を計測するT/Cの装荷位置を示した。

5.1 計数率の一次系Na温度依存性

文献<1>に示されているように、ch.2の計数率に対する温度依存性は、次式で表現される。

$$f_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{dR(T)}{dR} \times 100 (\%)$$

$$= (8.56 \pm 0.53) \times 10^{-2} \% \Delta R/R/^\circ\text{C}$$

R_2 : 250℃におけるch.2の計数率

同文献には、ch.1についても、同様の式を求めているが、今回の試験に使われているch.3の核分裂管については、言及していない。従って、ch.3についても、ch.2に対する温度依存性を用いる。

Table 5.1～5.3に示してあるように、各測定日においては、原子炉出入口Na温度の変動は、高々7℃(9月12日)である。この7℃の温度変動による、中性子計数率の変化は、前式から、0.6%であることが判かる。

同様に、各測定日間での原子炉出入口Na温度の違いは、16℃(例えば9月13日10:43と9月26日10:05)である。この温度の違いによる中性子計数率の変化は、約1.4%であることが判かる。

従って、原子炉出入口Na温度の変動による中性子計数率への誤差は最大±0.7%であり、これは仮設1,2の中性子計数率測定誤差の最小値より、いくぶん小さい値である。

そこで、この温度効果は無視し得ると思われる。

5.2 炉容器・黒鉛反射体温度依存性

文献<2>によると、黒鉛反射体温度に対する出力系指示値の効果は、

$$0.26\% / ^\circ\text{C}$$

と評価されている。

炉容器温度に関してみると、Table 5.5 に示されるように、同一日内での試験時間内における温度変動は最大8℃(9月25日)である。又、各測定日間での温度変動は、最大15℃(TE71-126, 9月12日10:00と9月25日10:00の温度差)である。炉容器温度の中性子計装への影響は、黒鉛反射体温度効果に比べ非常に小さいと考えられる。従って、炉容器温度による中性子計数率の誤差は±2.0%より十分小さいと推定される。

黒鉛反射体温度に関しては、Table 5.4 に示されるように、同一日内での温度変動は、0.2℃程度である。又、各測定日間での温度変動は、最大1.6℃(TE83-1, 9月12日14:00と9月26日14:00の温度差)である。従って、この黒鉛反射体温度変動による、中性子計数率の誤差は±0.2%以下と成る。

以上に示した通り、黒鉛反射体温度効果により生ずる、中性子計数率の誤差は、中性子計数率測定誤差に比べ、十分小さく無視できる。又、炉容器温度変動により生ずる中性子計数率の誤差は、最大2%と推定したが、実際は、この値よりかなり小さいと考えられる。

5.3 炉内燃料貯蔵ラック内燃料の効果

炉内燃料貯蔵ラック内に装荷されている炉心構成要素を、Fig. 22 に示す。

ch.1 の中性子計数率は、先に述べたように、ch.3 位置の中性子応答である。炉心から見れば、ch.3 方向のラック位置は R-28 であり、試験期間中には空と成っていた。又、周囲のラック位置 R-26 ~ R-30 までは、空か、反射体、制御棒、ブランケット燃料が装荷されていた。

これに対し、ch.2 の方向のラック位置 R-23, R-24 には、それぞれ、ダミー燃料とブランケット燃料が装荷されており、周囲のラック位置 R-22 ~ R-25 には、サベールンスリグ又はブランケット燃料が装荷されていた。

この炉内燃料貯蔵ラック内の炉心構成要素による中性子計数率への効果は、文献<1>に述べられている。しかしながら、同文献では炉心燃料集合体による効果しか、言及していないが、本試験時において、本効果はそれ程大きいとは思われない。

Fig. 33 と Fig. 34 に、ch.1 及び ch.2 のパルプアンプ出力と、仮説の中性子計装で設定されていたディスクリレベルを示している。同図では、ディスクリレベルが、ch.1 及び ch.2 に対しそれぞれ、1.6 V と 2.6 V である。これらのディスクリレベルは、本設の中性子計数率と仮設の中性子計数率が同一になるように、設定されたものである。

従って、同図でわかるように、ch.2 のディスクリレベルは、かなり保守的に設定されている。二つの図を比べると、信号の全面積が、ch.1 に比べ ch.2 では約半分と成っており、従って、二つのチャンネルの計数率の違いは、この点から説明できそうである。

いずれにしても、本試験期間を通じ、炉心及び、炉内燃料貯蔵ラック内の配列は変わっていない。結局、ラック内炉心構成要素による中性子計数率への効果を補正できないが、本試験の評価にはさしつかえないと考える。

5.4 外部中性子源の減衰効果

外部中性子源が炉心〔7F1〕に装荷されている9月12日と9月25日の同一条件（制御棒全挿入，測定ステップ1）での中性子計数率が，Table 5.1, 5.2に見られる様に異なっている。これは， ^{124}Sb の γ 線源の半減期が約60日のためであろう。即ち，9月12日から9月25日の13日間で約14% ^{124}Sb の γ 線源が減衰することにより，外部中性子源の強さが約14%減衰するためであろう。

例えば，9月12日測定ステップ1のch.1仮設1の計数率 10.3 ± 1.0 cpsは，9月25日日の同時刻では， 8.86 ± 1.0 cpsに減衰するはずである。実際，9月25日の同一条件（測定ステップ1）の実測値は， 8.48 ± 0.2 cpsであり，前記の推定は妥当と考えられる。

Table 5.2 Measured Neutron Count Data (1981. 9.25)

日 時	制御棒位置 (mm)						ch. 1 (cps)			ch. 2 (cps)			原子炉入口 原子炉出口 一次系流量 溫度 (°C) 溫度 (°C) (m ³ /h)				備 考		
	SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	RR-1	RR-2	仮設 1	仮設 2	本設	仮設 1	仮設 2	本設	A	B	A	B		A	B
9/25																			
1 10:20	切離	切離	切離	切離	切離	切離	9.44 ± 0.22	8.48 ± 0.21	9.0	4.56 ± 0.15	4.28 ± 0.15	4.0	239	240	239	240	239	243	243
2 11:15	"	"	"	"	"	"	0.715 ± 0.032	0.712 ± 0.032	1.5	0.425 ± 0.025	0.423 ± 0.025	1.3	239	240	239	240	239	245	245
3 13:40	900.7	-0.9	-0.8	-0.1	0.0	0.0	0.869 ± 0.035	0.8 ± 0.035	1.5	0.437 ± 0.025	0.453 ± 0.025	1.4	238	239	239	239	238	246	246
4 14:01	900.7	900.1	-0.8	-0.1	0.0	0.0	0.703 ± 0.032	0.763 ± 0.031	1.6	0.439 ± 0.025	0.449 ± 0.025	1.4	238	239	239	240	239	243	243
5 14:17	900.7	900.1	899.9	-0.1	0.0	0.0	1.21 ± 0.04	1.16 ± 0.04	2.1	0.699 ± 0.032	0.667 ± 0.031	1.5	238	240	240	240	238	245	245
6 14:40	900.7	900.1	899.9	899.6	0.0	0.0	3.00 ± 0.07	3.01 ± 0.07	3.0	1.78 ± 0.05	1.61 ± 0.05	2.0	239	239	239	240	235	247	247
7 15:07	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	-0.2	5.04 ± 0.10	5.03 ± 0.10	5.0	2.53 ± 0.07	2.59 ± 0.07	2.6	238	239	239	240	239	245	245
8 15:27	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	99.9	5.45 ± 0.10	5.49 ± 0.11	5.2	2.83 ± 0.08	2.96 ± 0.08	2.7	238	240	240	240	240	242	242
9 15:39	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	200.0	6.76 ± 0.12	6.73 ± 0.12	6.5	3.47 ± 0.08	3.60 ± 0.08	3.0	239	240	240	241	241	242	242
10 15:55	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	250.0	8.24 ± 0.17	8.17 ± 0.17	7.4	4.88 ± 0.13	4.41 ± 0.12	3.8	239	240	240	240	243	239	239
11 16:04	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	300.1	10.4 ± 0.2	10.4 ± 0.2	8.5	5.91 ± 0.14	5.63 ± 0.14	4.5	239	240	240	240	241	244	244
12 16:15	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	350.0	15.6 ± 0.3	15.6 ± 0.3	12.0	8.05 ± 0.20	8.34 ± 0.20	6.0	238	240	239	240	231	248	248
13 16:24	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	400.0	30.7 ± 0.6	30.5 ± 0.6	25.0	16.6 ± 0.4	17.0 ± 0.4	11.0	239	240	240	240	241	243	243
14 16:34	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	430.0	72.2 ± 0.9	72.1 ± 0.8	57.0	37.9 ± 0.6	39.4 ± 0.6	24.0	238	240	240	240	238	240	240
15 16:57	900.7	900.1	899.9	899.6	350.0	445.0	201. ± 1.	201. ± 1.	180.	112 ± 1.	115. ± 1.	80.	239	240	239	240	242	243	243

*H-500ア-1

Table 5.3 Measured Neutron Count Data (1981. 9.26)

日 時	制御棒位置 (mm)					ch. 1 (cps)			ch. 2 (cps)			原子炉入口 原子炉出口 一次系流量 温度 (°C) 温度 (°C) (ml/h)				備 考			
	SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	RR-1	RR-2	仮設 1	仮設 2	本設	仮設 1	仮設 2	本設	A	B	A		B	A	B
9/26																			
1 10:05	切離	切離	切離	切離	切離	切離	0.690 ± 0.029	0.690 ± 0.029	1.4	0.423 ± 0.023	0.465 ± 0.024	1.3	237	238	238	238	244	234	800 sec [R-11]上方
2 10:35	"	"	"	"	"	"	2.71 ± 0.06	2.71 ± 0.06	2.7	1.44 ± 0.04	1.49 ± 0.04	1.8	237	238	238	233	246	246	800 sec [7F1]上方

●H-5007-7

Table 5.4 Graphite Shield Temperature

Day	TIME		0:	2:	4:	6:	8:	10:	12:	14:	16:	18:	20:	22:
	TAG.													
9/12	TE83-12	34	57.5	57.4	57.6	57.5	57.5	57.4	57.4	37.4	57.5	57.5	57.7	57.5
		11° 33	57.7	57.7	57.8	57.8	57.8	57.8	57.8	57.8	57.9	57.9	57.9	57.9
		10 32	50.7	50.7	51.0	51.0	50.9	50.8	50.9	50.7	50.9	50.8	50.9	51.0
		9° 31	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.1	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0
		8° 30	52.2	52.2	52.1	52.0	52.1	52.3	52.3	52.2	52.1	51.8	51.8	51.8
		7 29	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	47.9	47.8	47.8	48.0	48.0	48.0	47.9
		6° 28	47.4	47.5	47.6	47.6	47.6	47.4	47.3	47.3	47.3	47.3	47.4	47.5
		5 27	46.9	46.9	47.0	47.0	47.1	47.0	47.0	46.9	46.9	47.0	47.0	47.1
		4 26	44.4	44.3	44.5	44.6	44.5	44.4	44.4	44.3	44.4	44.4	44.6	44.7
		3 25	44.2	44.2	44.4	44.4	44.4	44.3	44.2	44.1	44.2	44.2	44.3	44.4
		2 24	37.8	37.8	38.0	37.9	37.9	37.9	37.9	37.8	37.9	37.9	38.0	38.0
	TE83-1°	23	39.7	39.7	39.8	39.8	39.8	39.7	39.7	39.6	39.7	39.8	39.9	39.9
9/25		12 34	57.2	57.2	57.3	57.2	57.2	57.2	57.4	57.5	57.5	57.5	57.7	57.7
		11° 33	57.5	57.5	57.5	57.6	57.5	57.6	57.6	57.7	57.8	57.7	57.8	57.9
		10 32	50.3	50.4	50.4	50.4	50.5	50.6	50.6	50.7	50.7	50.7	50.8	50.9
		9° 31	50.4	50.5	50.6	50.7	50.6	50.6	50.6	50.7	50.7	50.8	51.0	51.0
		8° 30	51.3	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.7	51.8	52.0
		7 29	47.3	47.4	47.5	47.5	47.6	47.6	47.6	47.6	47.7	47.7	47.9	47.8
		6° 28	46.9	46.9	47.0	47.0	47.0	47.1	47.3	47.3	47.2	47.2	47.3	47.4
		5 27	46.4	46.4	46.4	46.4	46.5	46.6	46.6	46.7	46.7	46.7	46.8	46.9
		4 26	44.0	44.0	44.1	44.1	44.2	44.3	44.3	44.4	44.4	44.4	44.5	44.6
		3 25	44.9	43.7	43.9	43.8	43.9	44.1	44.1	44.1	44.2	44.2	44.3	44.2
		2 24	37.7	37.7	37.8	37.8	37.9	38.0	38.0	38.2	38.2	38.2	38.3	38.5
	TE83-1°	23	39.4	39.4	39.5	39.6	39.6	39.7	39.7	39.7	39.9	40.0	40.2	
9/26		12 34	57.8	58.0	58.1	58.1	58.3	58.4	58.4	58.7	58.7	58.7	58.7	58.6
		11° 33	58.1	58.1	58.3	58.4	58.4	58.5	58.6	58.8	58.8	58.8	58.7	58.7
		10 32	51.0	51.1	51.3	51.3	51.4	51.6	51.6	51.8	51.9	52.0	52.0	52.1
		9° 31	51.0	51.2	51.3	51.3	51.4	51.5	51.5	51.8	51.9	52.0	52.0	52.1
		8° 30	52.0	52.1	52.1	52.1	52.2	52.4	52.4	52.5	52.8	53.0	53.0	53.0
		7 29	48.0	48.1	48.2	48.3	48.5	48.6	48.7	48.9	48.9	49.0	49.0	49.2
		6° 28	47.4	47.6	47.8	47.8	47.8	48.0	48.1	48.4	48.3	48.4	48.4	48.6
		5 27	46.9	47.1	47.3	47.3	47.4	47.5	47.6	47.8	47.9	48.0	48.0	48.1
		4 26	44.6	44.7	44.8	45.0	45.2	45.4	45.6	45.8	45.8	45.7	45.8	45.9
		3 25	44.4	44.4	44.6	44.7	44.8	45.0	45.1	45.3	45.4	45.5	45.6	45.6
		2 24	38.5	38.8	38.9	39.0	39.1	39.4	39.6	39.8	39.8	39.9	39.9	39.9
	TE83-1°	23	40.2	40.4	40.5	40.7	40.7	41.0	41.1	41.2	41.4	41.7	41.6	

○印：検出器側のT/Cを示す。

Table 5.5 Reactor Vessel Temperature

Day	TIME													
	TAG.		0:	2:	4:	6:	8:	10:	12:	14:	16:	18:	20:	22:
9/12	-132°	17	80.9	80.9	81.1	81.1	81.1	80.9	81.0	81.0	81.2	81.3	81.3	81.4
	-131	16	165.4	165.1	165.1	165.0	164.9	164.7	163.5	162.3	161.2	160.1	159.2	158.2
	-130°	15	150.9	150.8	150.9	150.8	150.6	150.6	150.6	150.2	149.5	148.8	148.0	147.4
	-129	14	247.3	246.9	246.6	246.4	246.2	244.9	242.1	239.0	236.8	234.5	232.3	230.4
	-128°	13	248.2	247.7	247.4	247.2	247.1	245.6	241.3	238.4	235.9	233.7	231.6	230.0
	-127	12	249.6	249.2	248.8	248.6	248.4	247.6	244.6	241.6	239.1	236.8	234.7	232.8
	-126°	11	249.1	248.7	248.3	248.1	248.0	247.2	244.2	241.1	238.6	236.2	233.9	232.0
	-125	10	246.8	246.3	245.6	245.5	245.3	244.8	241.6	238.8	236.2	233.7	231.6	229.6
	-124	9	250.3	250.0	249.7	249.4	249.1	248.3	245.0	241.9	239.3	236.9	234.7	232.9
	-123	8	249.1	248.7	248.4	248.2	248.0	247.0	242.9	239.7	237.2	235.0	232.9	231.0
	-122	7	242.8	242.5	242.3	242.0	241.8	240.2	236.1	232.9	230.4	228.2	225.9	224.2
	-121	6	245.9	245.6	245.4	245.1	245.0	243.4	240.0	236.9	234.3	232.0	229.8	228.1
	-120	5	242.2	241.7	241.6	241.3	241.2	239.8	236.4	233.3	230.8	228.6	226.5	224.8
	-119°	4	245.9	245.6	245.3	245.0	244.9	243.8	240.5	237.2	234.7	232.5	230.2	228.3
	-118	3	229.2	228.7	228.3	228.2	227.9	226.6	222.8	219.9	217.5	215.0	213.0	211.1
	-117	2	236.8	236.3	235.5	235.6	235.4	233.9	230.3	227.3	225.0	222.7	220.5	218.8
TE71-116	1	219.3	218.8	218.8	218.3	218.1	216.8	213.3	210.5	208.2	206.2	204.1	202.3	
9/25	-132°	17	85.2	85.7	86.2	86.5	86.5	85.8	83.9	81.9	80.6	79.8	79.5	79.2
	-131	16	158.0	157.6	157.0	156.6	156.2	155.7	155.6	155.8	155.9	156.0	156.1	156.3
	-130°	15	152.4	152.7	152.9	152.9	152.5	151.4	149.7	145.5	143.9	143.0	142.7	142.6
	-129	14	234.2	233.3	232.4	231.8	231.1	231.2	229.5	228.5	228.2	228.0	228.4	228.3
	-128°	13	233.5	232.5	231.8	231.1	230.6	230.9	228.7	227.9	227.9	228.0	227.8	227.8
	-127	12	236.7	235.7	234.9	234.1	233.5	233.5	233.0	232.9	233.2	233.2	233.0	233.0
	-126°	11	235.7	235.0	234.3	233.4	232.9	232.6	232.6	232.3	232.6	232.5	232.4	232.3
	-125	10	233.6	232.7	232.1	231.3	230.6	230.4	229.9	229.8	230.2	230.1	230.1	230.1
	-124	9	236.8	235.8	235.1	234.1	233.5	233.2	233.0	232.9	233.0	233.0	232.9	232.7
	-123	8	235.2	234.2	233.5	232.6	232.0	231.7	231.8	231.7	232.0	231.8	231.8	231.7
	-122	7	228.3	227.3	226.4	225.6	225.0	224.8	224.6	224.4	224.5	224.5	224.5	224.3
	-121	6	231.9	230.9	230.0	229.2	228.6	228.3	228.3	228.1	228.2	228.2	228.0	227.9
	-120	5	228.4	227.4	226.6	225.8	225.5	224.9	224.4	224.2	224.3	224.3	224.3	224.2
	-119°	4	232.1	231.1	230.2	229.5	228.7	228.6	228.1	228.0	228.0	228.0	228.0	227.8
	-118	3	215.0	214.1	213.3	212.6	212.0	211.8	211.6	211.4	211.7	211.4	211.4	211.4
	-117	2	223.1	222.2	221.3	220.5	220.1	219.8	219.8	219.6	219.8	219.8	219.8	219.7
TE71-116	1	206.2	205.2	204.6	203.8	203.3	203.2	203.0	202.9	203.0	203.0	203.0	202.9	
9/26	-132°	17	79.2	79.4	79.6	79.5	79.6	80.1	83.3	84.3	85.9	87.0	87.6	88.1
	-131	16	156.2	156.3	156.3	156.3	156.1	156.5	156.1	155.9	155.9	155.9	155.8	155.8
	-130°	15	142.7	142.9	143.1	143.1	143.4	143.9	148.8	150.9	152.8	153.6	154.0	154.3
	-129	14	227.9	228.1	227.2	226.6	226.7	227.3	227.3	227.9	227.3	228.3	227.5	228.0
	-128°	13	227.3	227.0	226.7	226.2	225.9	226.1	227.4	228.0	228.6	228.8	229.1	229.3
	-127	12	232.6	232.4	232.1	231.7	231.5	231.7	232.0	232.0	232.6	232.9	233.2	233.5
	-126°	11	232.1	231.8	231.7	231.1	230.8	231.0	231.3	231.7	232.0	232.3	232.6	232.9
	-125	10	229.9	229.5	229.2	228.8	228.5	228.6	229.1	229.2	229.5	230.0	230.4	230.6
	-124	9	232.3	232.2	232.0	231.5	231.4	231.5	231.8	231.9	232.2	232.3	232.9	233.1
	-123	8	231.1	231.1	230.9	230.3	230.1	230.3	230.5	230.9	231.3	231.5	231.7	232.0
	-122	7	223.9	223.7	223.6	223.0	222.8	223.0	223.3	223.6	223.9	224.1	224.3	224.6
	-121	6	227.7	227.4	227.2	226.7	226.5	226.5	227.0	227.2	227.6	227.9	228.0	228.3
	-120	5	223.8	223.6	223.4	223.0	222.8	223.0	223.3	223.5	223.7	223.9	224.3	224.6
	-119°	4	227.5	227.3	227.2	226.7	226.5	226.5	227.0	227.1	227.5	227.9	228.0	228.3
	-118	3	210.9	210.8	210.7	210.1	210.1	210.1	210.7	211.1	211.2	211.5	211.7	212.1
	-117	2	219.3	219.2	219.9	218.3	218.2	218.4	218.8	219.1	219.4	219.6	219.9	220.2
TE71-116	1	202.5	202.3	202.1	201.7	201.5	201.8	202.2	202.3	202.7	202.9	203.1	203.5	

○印：検出器側のT/Cを示す。

記号

- TE71-116~TE71-133 : 炉格外部温度計
- TE83-1~TE83-12 : 黒鉛層格体温度計
- TE83-13~TE83-18 : 安全容器外壁温度計
- TE83-19~TE83-24 : 炭素層格体温度計 (内側)
- TR1-12.2-12.3-12 : イグニッションコンタクト温度計

(注) 方位については炉心基準方位で示し、建屋基準方位を° (東~北) で示す。

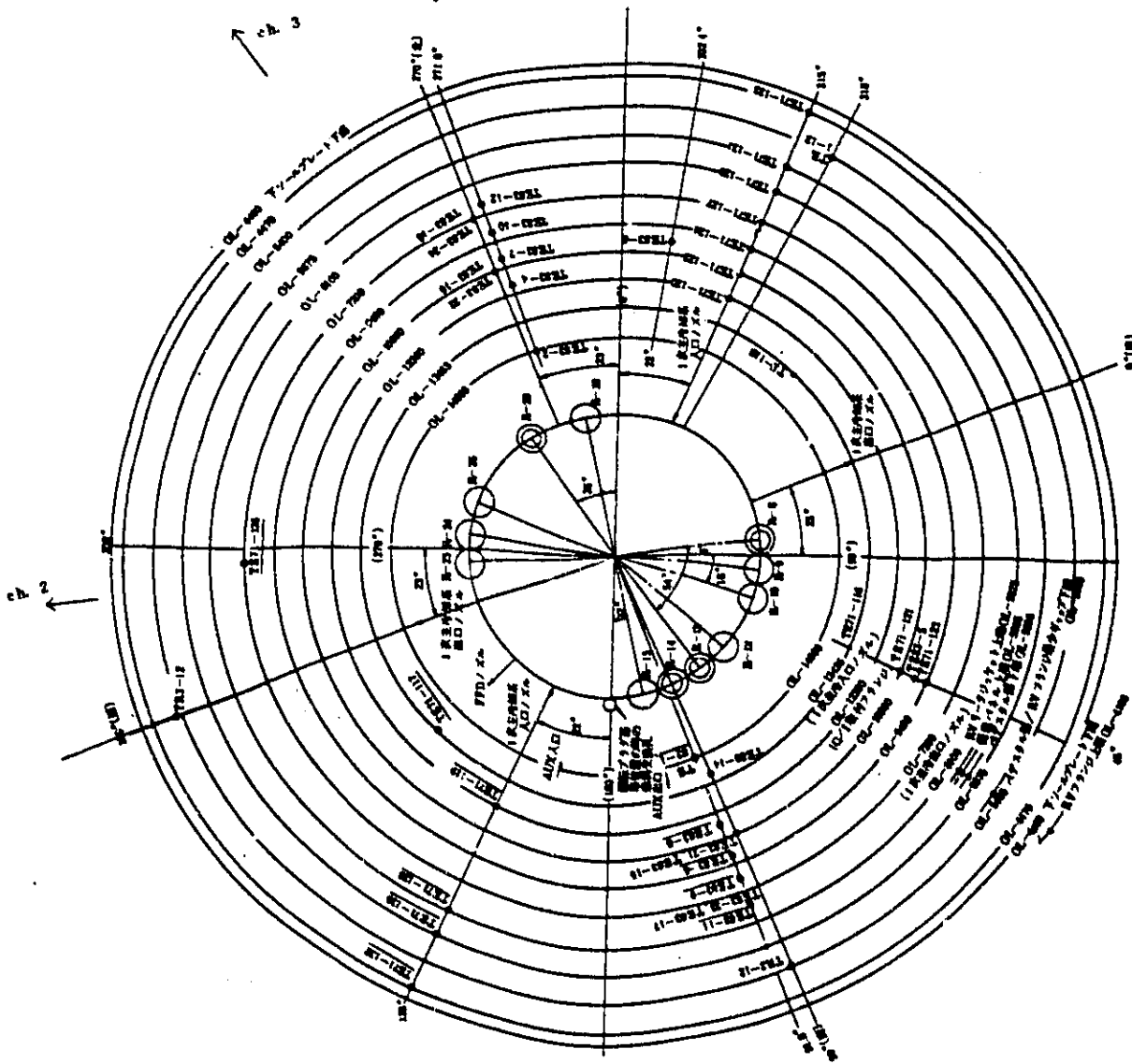


Fig. 5.1 Thermometer Locations on Outside Wall of Reactor Vessel and Guard Vessel, and Reactor Shields

603-EF-J-BED

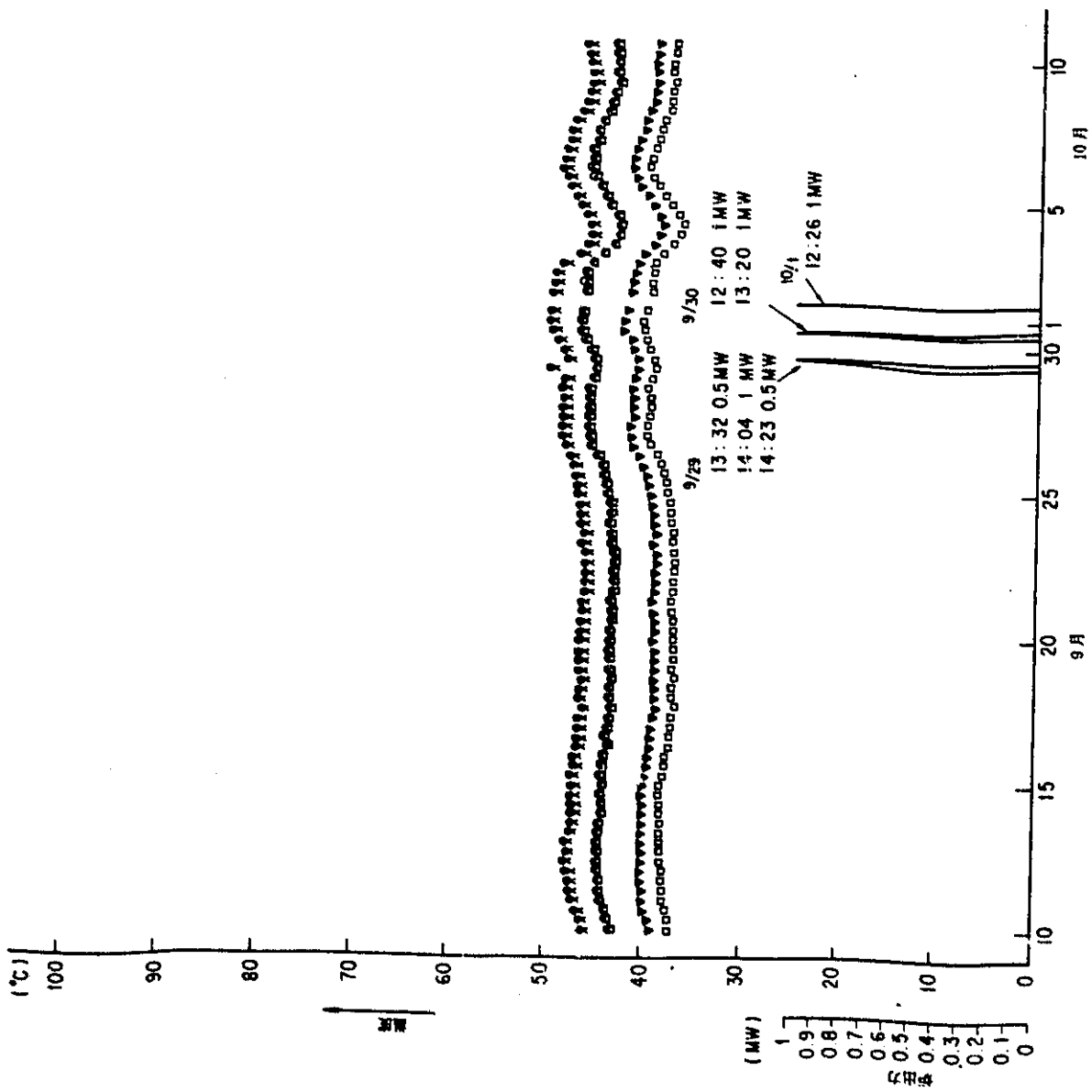


Fig 5.2(II) Chart of Graphite Shield Temperature (I)

6 0 3 — E F — J — B F D

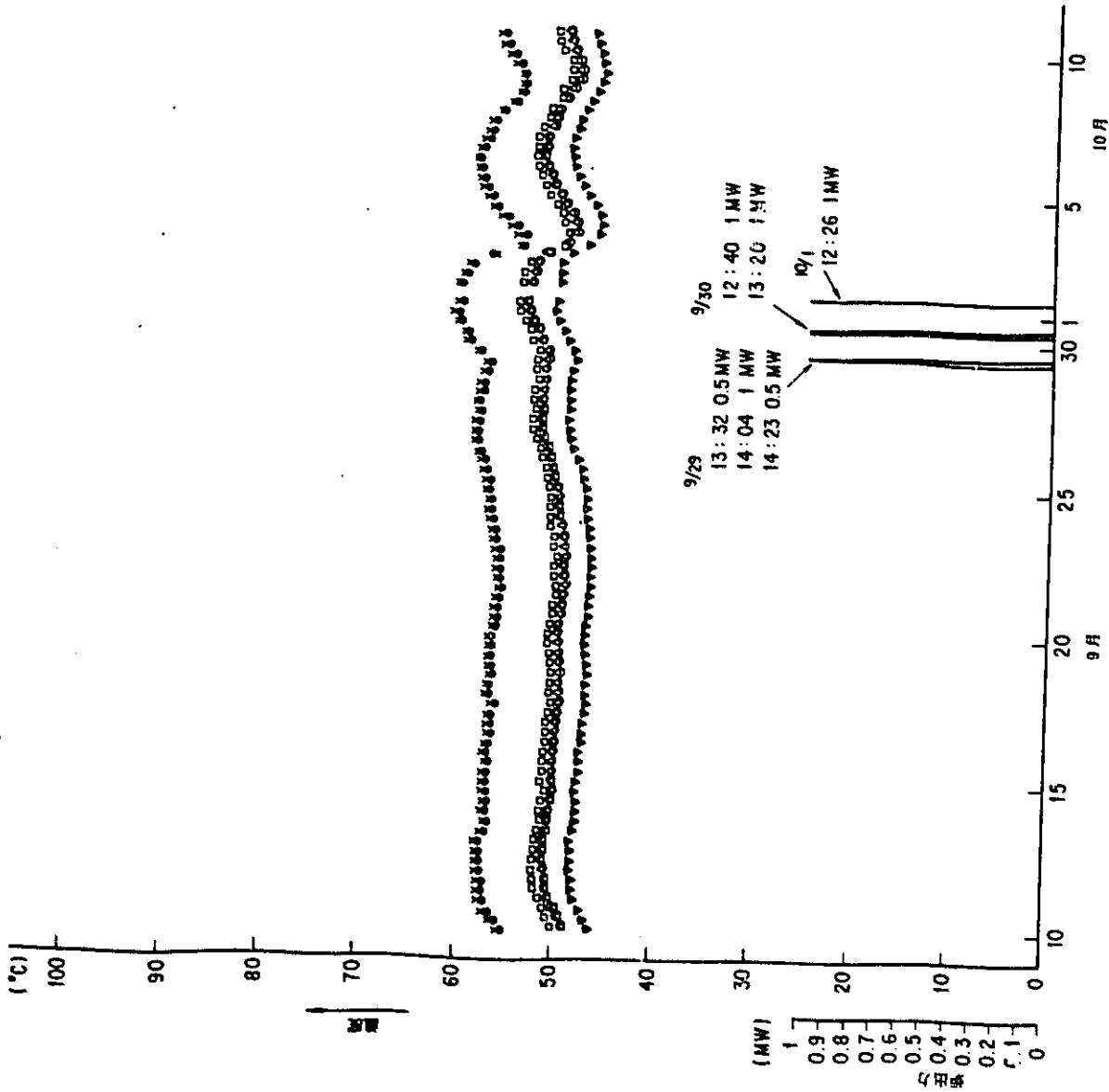


Fig 5.2(2) Chart of Reactor Vessel Temperature

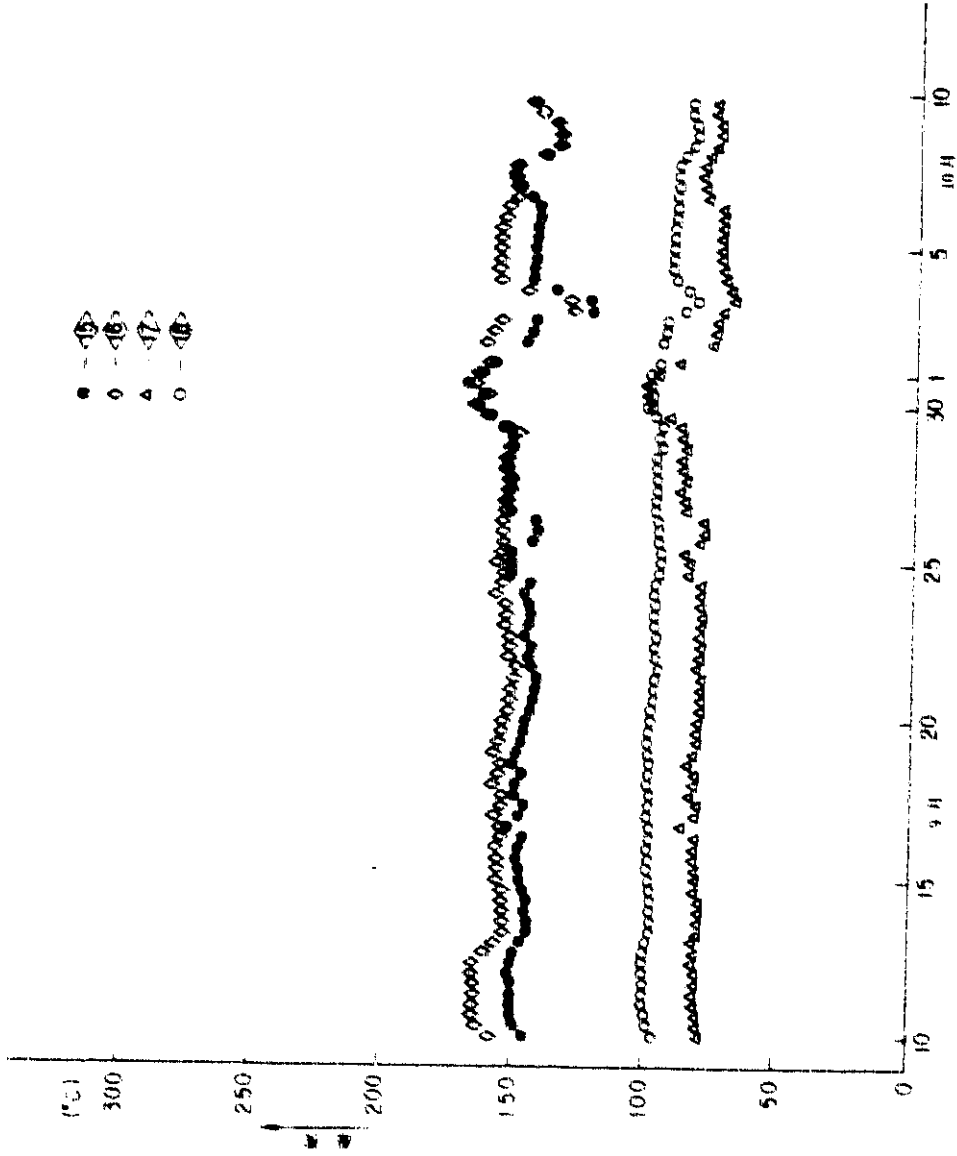


Fig 5.3 Chart of Reactor Vessel Temperature Vessel

第6章 考 察

6.1 炉心未臨界度と中性子計数率の対応

Table 5.1～5.3に示された中性子計数率と制御棒位置から、炉心未臨界度と中性子計数率を対応付けた。

本試験に先立ち、調整棒2本の制御棒校正が実施されているので、調整棒値及びS字カーブの結果を用いる。安全棒に関しては、第5サイクル開始前の制御棒校正^{<3>}以来、本試験迄、^{<4>}制御棒校正は実施されていない。そこで、安全棒値に対しては、第5サイクル開始前の制御棒校正結果を用いる。これ等のデータを Table 6.1～6.2 及び Fig. 6.1～6.2 に示す。

表 6.3 ～ 6.4 に、原子炉起動時の炉心未臨界度と、中性子計数率の対応を示す。同表に示した炉心未臨界度は、炉心の臨界点の測定データから250℃の等温炉心に規格化して算出したものである。

6.2 直接中性子と増倍中性子の割合

本試験で計測された中性子が、炉内で増倍された後の中性子計装に飛び込んできた割合と、中性子源から直接中性子計装に飛び込んできた割合を調べた。

即ち直接中性子は、炉心の反応度とは無関係に一定数ある。これに対し、増倍中性子は、ある近似内で

$$C = \alpha \frac{S}{1 - k_{eff}}$$

の式に従い、計測される。従って、全中性子計数率は

$$C_t = \alpha \frac{S_0}{1 - k_{eff,t}} + S_0 (1 - \alpha)$$

と成る。但し、ここで S_0 は、中性子源の強さ及び中性子検出器の効率を示し、 α は、発生中性子数に対し、増倍中性子と成る寄与の割合を示す。測定データを用い、最小二乗法により、 α の最確値を求めた結果を Table 6.5 に示す。

即ち、炉心 [7F1] に外部中性子源がある場合、Fig. 3.1 に示されている通り、ch. 2 及び ch. 3 位置に対する炉中心と外部中性子源の位置関係は、ほぼ等しい。従って、Table 6.5 に示される通り、炉内で発生した中性子の約 97% が ch. 2 及び ch. 3 に直接飛び込んでくることが理解される。これに反し、炉内燃料貯蔵ラック [R-11] に外部中性子源が置かれると、同表に示される通り、ch. 2, 3 位置には、発生中性子のうち約 60% が途中で増殖されず、直接飛んで行くと考えられる。

6.3 内部中性子源の強さ

Table 6.3 ~ 6.4 の中性子計数率と、Table 6.5 の α 値及び、Fig. 3.1 に示した幾何学的配置関係から、以下のことが云える。

炉内燃料貯蔵ラック [R-11] にある外部中性子源から発生した中性子は、深い未臨界度の炉心に於いては、増倍されることなく、炉心を通過し、中性子計装 ch. 2, 3 位置に到達する。炉心燃料の拡散係数の最大値は、炉心燃料であり、約 2 cm である。従って、炉内 (直径約 150 cm) を通過する中性子束は、ほとんど減衰してしまう。従って、外部中性子源がラック位置 [R-11] に装荷されている時に、中性子計装で計測された中性子は、すべて、炉内の燃料内の内部中性子源によるものであると考えられる。結局、この炉心状態では、外部中性子源なしで原子炉が起動できたと考えられる。

次式に示す様に、内部及び外部中性子源から発生した中性子の内炉内で増殖されず直接中性子計装で計測される分は、

$$\begin{array}{rcl} S_{IN} + S_{OUT} & = & 1.00 \quad \text{外部中性子源位置} \\ & & [7F1] \\ S_{IN} & = & 0.4 \quad [R-11] \end{array}$$

で示される。ここで S_{IN} は、内部中性子源の強さに、検出効率のかかったものであり、 S_{OUT} は、[7F1] にある外部中性子源の強さに、検出効率のかかった値である。

従って、外部中性子源が [7F1] に装荷されている時の直接中性子のうち、9.6% が外部中性子源によるものであることが判かる。このことは、第 5 章 5.4 で述べたように、9 月 12 日と 9 月 25 日の測定ステップ 1 の計数率の違いが、外部中性子源強度の減衰効果で説明付けられることから推定される。

なお、付録 1 に、外部中性子源引抜時の中性子計数率の予測を示している。予測では、1.0% の未臨界度で 2.6×10^3 cps 程度の計数率であるが、本試験では、0.8 cps (ch. 1) 及び 0.43 cps (ch. 2) 程度であった。予測と実測の違いは、炉心燃料が燃焼することにより生成する ^{242}Cm の α 崩壊に伴う (α, n) 反応による内部中性子源を考慮していなかったことによる。この ^{242}Cm による内部中性子源は、それ以外の内部中性子源に比べ、第 5 サイクル迄運転が進んだ「常陽」炉心では 1 ケタ程度大きいと云われている。⁽⁵⁾ 従って予測と実測の違いの原因の一つとしては、この ^{242}Cm の存在の無視が大きかったと考えられる。

Table 6.1 Maximum Insertion Rate and Control Rod Worth of Safety Rods

項目 制御棒	最大反応度付加率		制御棒価値	
	$\% \Delta k/k/sec$	$\% \Delta k/k/sec$	$\% \Delta k/k$	\$
SR1	4.89×10^{-3}	1.00×10^{-3} (2.05 mm/sec)	226	4.40
SR2	4.69×10^{-3}	9.61×10^{-3} (2.05 mm/sec)	223	4.34
SR3	4.88×10^{-3}	9.81×10^{-3} (2.01 mm/sec)	230	4.47
SR4	4.83×10^{-3}	9.76×10^{-3} (2.02 mm/sec)	226	4.40
判定基準	—	15.0×10^{-3} 以上	5.6/2体以上	—

()内は駆動速度である。

Table 6.2 FITTING RESULT OF DIFF. and ROD WORTH⁽³⁾

STROKE X	DIF.WORTH (RDK/K/HR)	ROD.WORTH (RDK/K)	DIF.WORTH (RDK/K/HR)	ROD.WORTH (RDK/K)
0	0.27892110E-03	0.0	0.23475257E-03	0.0
10	0.35183912E-03	0.31382986E-02	0.31628614E-03	0.27424874E-02
20	0.44317171E-03	0.78994906E-02	0.41631782E-03	0.63943886E-02
30	0.55069313E-03	0.12856819E-01	0.53133047E-03	0.11128416E-01
40	0.67865442E-03	0.18161479E-01	0.65967546E-03	0.17866345E-01
50	0.80723295E-03	0.25581323E-01	0.80046321E-03	0.24358379E-01
60	0.95237594E-03	0.34343660E-01	0.95108198E-03	0.33189341E-01
70	0.11078884E-02	0.44639867E-01	0.11182852E-02	0.43489359E-01
80	0.12765270E-02	0.56525785E-01	0.12762288E-02	0.55336617E-01
90	0.14396455E-02	0.70071458E-01	0.14478388E-02	0.68853156E-01
100	0.16134495E-02	0.85332938E-01	0.16234575E-02	0.84386777E-01
110	0.17988948E-02	0.10235226E+00	0.18018342E-02	0.10143149E+00
120	0.19766818E-02	0.12115836E+00	0.19817866E-02	0.12034845E+00
130	0.21513589E-02	0.14176788E+00	0.21618291E-02	0.1406661E+00
140	0.23328229E-02	0.16418523E+00	0.23412739E-02	0.16358358E+00
150	0.25115098E-02	0.18848432E+00	0.25185118E-02	0.18788594E+00
160	0.26888888E-02	0.21448884E+00	0.26935285E-02	0.21395834E+00
170	0.28629412E-02	0.24216874E+00	0.28644982E-02	0.24174392E+00
180	0.30338336E-02	0.27165341E+00	0.30388445E-02	0.27122488E+00
190	0.31982485E-02	0.30281198E+00	0.31919842E-02	0.30234379E+00
200	0.33578895E-02	0.33559954E+00	0.33468258E-02	0.33584272E+00
210	0.35109938E-02	0.36994816E+00	0.34949875E-02	0.3692573E+00
220	0.36571448E-02	0.40578593E+00	0.36357855E-02	0.40491758E+00
230	0.37956585E-02	0.44306654E+00	0.37686664E-02	0.44194632E+00
240	0.39259791E-02	0.48168182E+00	0.38931458E-02	0.48026385E+00
250	0.40476173E-02	0.52155715E+00	0.40087812E-02	0.51978822E+00
260	0.41602855E-02	0.56268359E+00	0.41151866E-02	0.56040788E+00
270	0.42631142E-02	0.60472786E+00	0.42128338E-02	0.60285289E+00
280	0.43562353E-02	0.64783293E+00	0.42958489E-02	0.64641565E+00
290	0.44398249E-02	0.69181865E+00	0.43759719E-02	0.6909913E+00
300	0.45117639E-02	0.73658216E+00	0.44426396E-02	0.73218898E+00
310	0.45737475E-02	0.78291866E+00	0.44989176E-02	0.77284115E+00
320	0.46249783E-02	0.82982123E+00	0.45447852E-02	0.81262041E+00
330	0.46653412E-02	0.87748188E+00	0.45795538E-02	0.85167626E+00
340	0.46948888E-02	0.92129165E+00	0.46046488E-02	0.89003687E+00
350	0.47133384E-02	0.96234147E+00	0.46183747E-02	0.92774825E+00
360	0.47209524E-02	0.10155218E+01	0.46225674E-02	0.96493488E+00
370	0.47177825E-02	0.10677232E+01	0.46159849E-02	0.10053488E+01
380	0.47037839E-02	0.11098394E+01	0.45992173E-02	0.10382542E+01
390	0.46792838E-02	0.11567848E+01	0.45724611E-02	0.10748111E+01
400	0.46442188E-02	0.12033892E+01	0.45359889E-02	0.11159615E+01
410	0.45998497E-02	0.12496138E+01	0.44891423E-02	0.11615152E+01
420	0.45438228E-02	0.12953367E+01	0.44345284E-02	0.12114787E+01
430	0.44791488E-02	0.13404598E+01	0.43728722E-02	0.12644569E+01
440	0.44058142E-02	0.13848877E+01	0.42974353E-02	0.13204482E+01
450	0.43219838E-02	0.14285297E+01	0.42163653E-02	0.13786793E+01
460	0.42281975E-02	0.14712973E+01	0.41274726E-02	0.14393685E+01
470	0.41382827E-02	0.15131863E+01	0.40311588E-02	0.14918937E+01
480	0.40422843E-02	0.15538789E+01	0.39278753E-02	0.15368935E+01
490	0.39477815E-02	0.15935345E+01	0.38188958E-02	0.15748288E+01
500	0.37868844E-02	0.16328185E+01	0.37022558E-02	0.16088368E+01
510	0.36588688E-02	0.16692343E+01	0.35809821E-02	0.16404569E+01
520	0.35244117E-02	0.17051586E+01	0.34548838E-02	0.16796385E+01
530	0.33888141E-02	0.17397841E+01	0.33238758E-02	0.17135334E+01
540	0.32422948E-02	0.17728491E+01	0.31881878E-02	0.17461833E+01
550	0.30958273E-02	0.18045378E+01	0.30511813E-02	0.17773856E+01
560	0.29444888E-02	0.18347388E+01	0.29183888E-02	0.18071165E+01
570	0.27913448E-02	0.18634185E+01	0.27874271E-02	0.18358844E+01
580	0.26362224E-02	0.18905822E+01	0.26229822E-02	0.18624563E+01
590	0.24798483E-02	0.19161386E+01	0.24774885E-02	0.18879614E+01
600	0.23222945E-02	0.19401531E+01	0.23315564E-02	0.19128826E+01
610	0.21641378E-02	0.19625988E+01	0.21859882E-02	0.19345832E+01
620	0.20102528E-02	0.19834785E+01	0.20413815E-02	0.19587257E+01
630	0.18588633E-02	0.20028886E+01	0.18981289E-02	0.19754888E+01
640	0.17048798E-02	0.20209888E+01	0.17578883E-02	0.19838872E+01
650	0.15588881E-02	0.20369883E+01	0.16188875E-02	0.19848888E+01
660	0.14118887E-02	0.20517348E+01	0.14848886E-02	0.19788888E+01
670	0.12718157E-02	0.20651487E+01	0.13531678E-02	0.19648888E+01
680	0.11388881E-02	0.20771778E+01	0.12278188E-02	0.19448888E+01
690	0.10098883E-02	0.20875882E+01	0.11064822E-02	0.19188888E+01
700	0.88887888E-03	0.20973787E+01	0.99181288E-03	0.18858888E+01

Table 6.3 Neutron count Data and Subcriticality (1981.9.12)

ステップ	時刻	炉心未臨界度 (%Δk/k)	ch. 1 計数率 (cps)		ch. 2 計数率 (cps)	
			仮設 1	仮設 2	仮設 1	仮設 2
1	10:43	11.5 _a		103 ±1.0	503±0.70	463±0.68
2	11:23	9.23 _s		104 ±1.0	4.90±0.70	4.67±0.68
3	11:43	7.01 _a		106 ±1.0	5.18±0.72	5.60±0.75
4	12:39	4.69 _a		133 ±0.3	6.12±0.18	6.38±0.18
5	12:58	2.43 ₇		184 ±0.3	8.69±0.21	9.10±0.21
6	13:20	1.46 _s		259 ±0.5	11.8 ±0.3	12.3 ±0.4
7	13:32	1.38 _a		265 ±0.5	12.7 ±0.4	13.1 ±0.4
8	13:40	1.13 _a		30.7 ±0.6	14.7 ±0.4	15.4 ±0.4
9	13:48	0.94 _s		35.2 ±0.6	17.3 ±0.4	17.9 ±0.4
10	13:56	0.73 ₁		42.0 ±0.9	20.8 ±0.6	21.6 ±0.7
11	14:03	0.50 ₂		58.7 ±1.1	29.0 ±0.8	29.1 ±0.8
12	14:10	0.27 ₁		100 ±2	52.1 ±1.3	54.3 ±1.4
13	14:18	0.09 _s		237 ±5	125 ±4	129 ±4
14	14:50	0.0				

* 250℃規格化未臨界度

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

Table 6.4 Neutron Count Data and Subcriticality (1981.9.25)

ステップ	時刻	炉心 未臨界度 (%Δk/k)	ch. 1 計 数 率 (cps)		ch. 2 計 数 率 (cps)	
			仮 設 1	仮 設 2	仮 設 1	仮 設 2
1	10:20	114 _s	944 ±0.22	848 ±0.21	456 ±0.15	428 ±0.15
2	11:15	114 _s	0.715±0.032	0.712±0.032	0.425±0.025	0.423±0.025
3	13:40	919 _e	0.869±0.035	0.844±0.035	0.437±0.025	0.453±0.025
4	14:01	696 _e	0.703±0.032	0.673±0.031	0.439±0.025	0.449±0.025
5	14:17	466 _s	1.21 ±0.04	1.16 ±0.04	0.699±0.032	0.667±0.031
6	14:40	240 _s	3.00 ±0.07	3.01 ±0.07	1.17 ±0.05	1.61 ±0.05
7	15:07	142 _e	5.04 ±0.10	5.03 ±0.10	2.53 ±0.07	2.59 ±0.07
8	15:27	115 _s	5.45 ±0.10	5.49 ±0.11	2.83 ±0.08	2.96 ±0.08
9	15:39	1.09 _e	6.76 ±0.12	6.73 ±0.12	3.47 ±0.08	3.60 ±0.08
10	15:55	0.90 _s	8.24 ±0.17	8.17 ±0.17	4.88 ±0.13	4.41 ±0.12
11	16:04	0.69 _i	10.4 ±0.2	10.4 ±0.2	5.91 ±0.14	5.63 ±0.14
12	16:15	0.46 _s	15.6 ±0.3	15.6 ±0.3	8.05 ±0.2	8.34 ±0.2
13	16:24	0.23 _s	30.7 ±0.6	30.5 ±0.6	16.6 ±0.4	17.0 ±0.4
14	16:34	0.09 _e	72.2 ±0.9	72.1 ±0.8	37.9 ±0.6	39.4 ±0.6
15	16:57	0.03 _s	201 ±1	201 ±1	112 ±1	115 ±1
16	17:33	0.0				

* 250℃規格化未臨界度

等温係数 - 3.77×10^{-3} %Δk/k/℃ 使用

Table 6.5 Evaluated α Values

(単位 %)

測定日	ch. 1		ch. 2	
	仮設 1	仮設 2	仮設 1	仮設 2
9月12日	—	25	28	32
9月25日	41.	42	36.	32

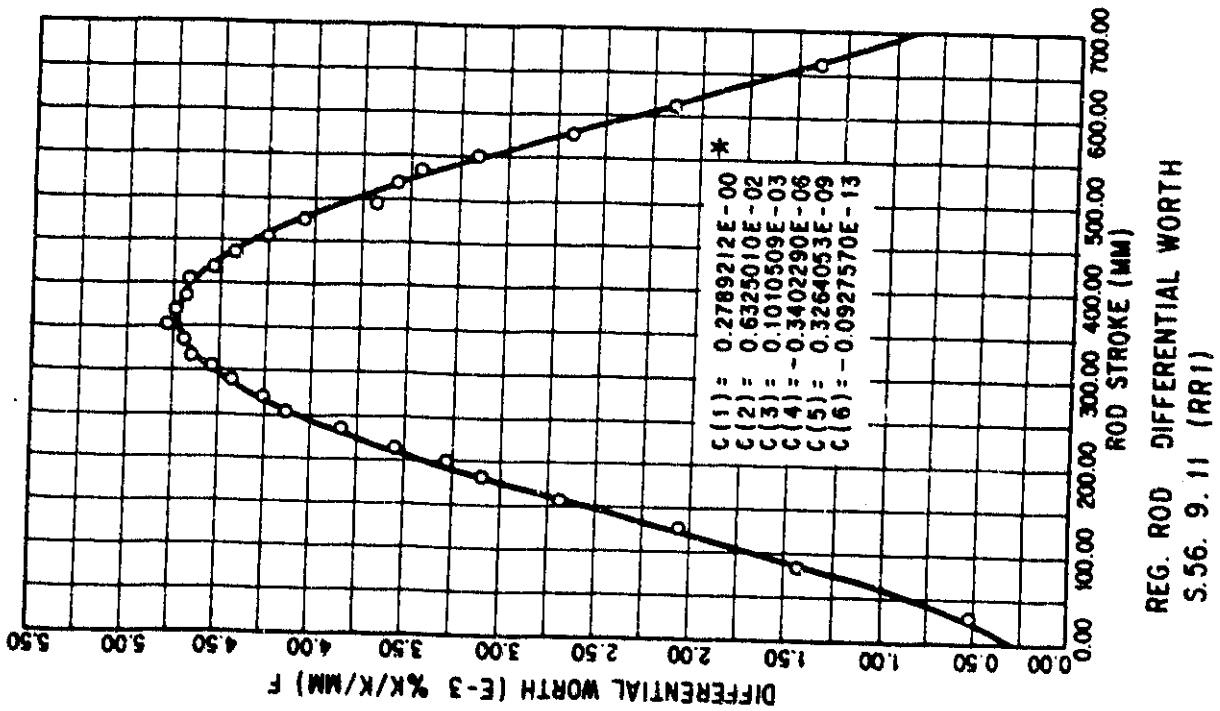
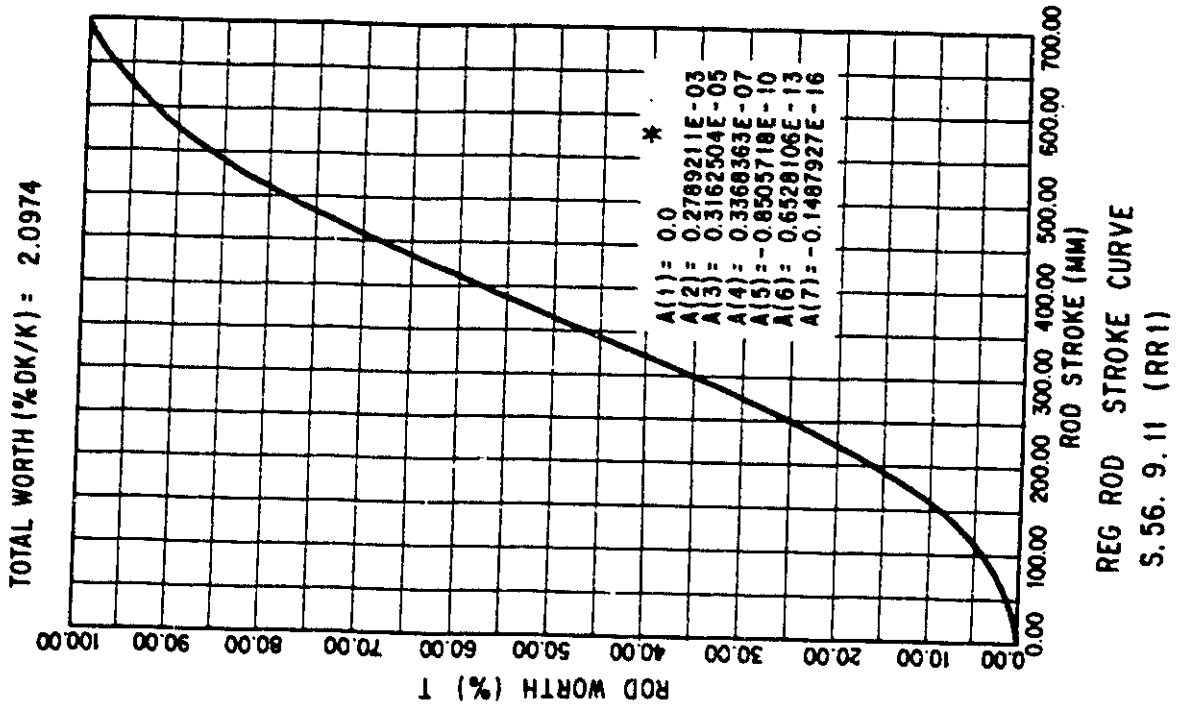
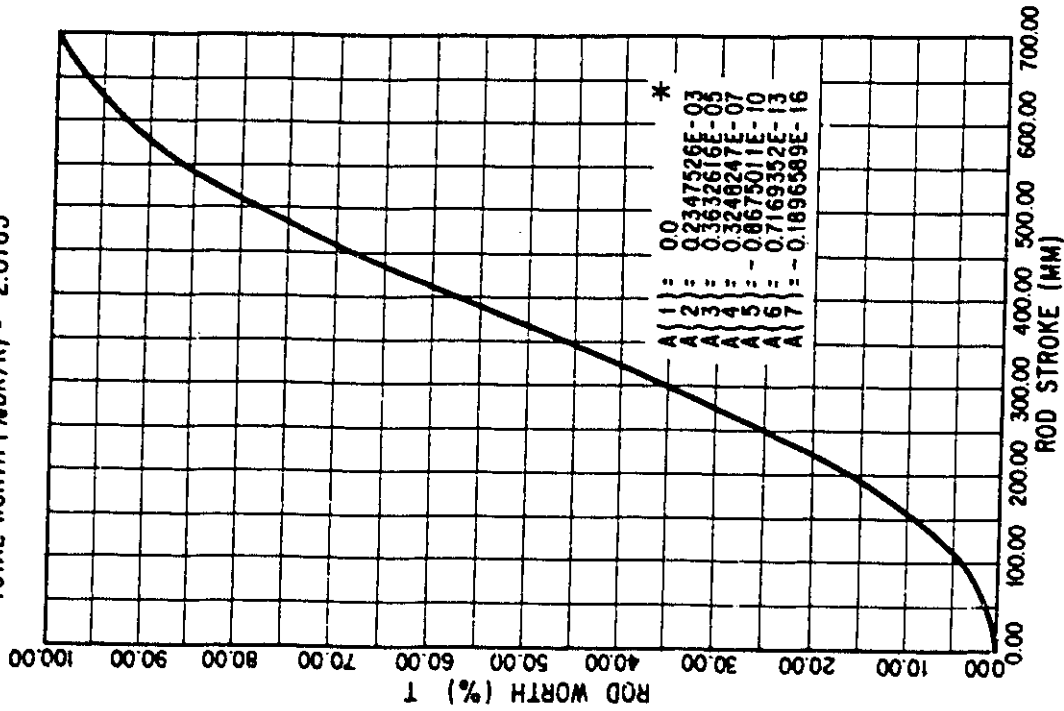


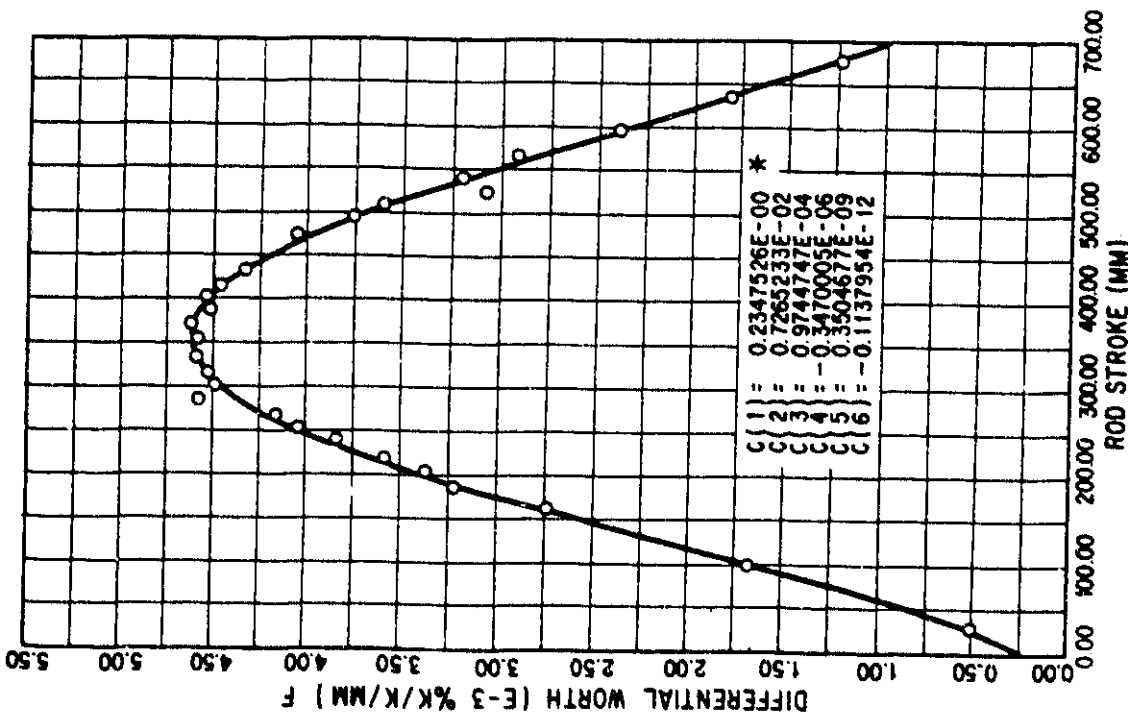
Fig. 6.1 Differential Curve and Stroke Curve of Regulation Rod No. 1. <3>

TOTAL WORTH (%DK/K) = 2.0763



* coefficients of series expansion

REG ROD STROKE CURVE
S. 56. 9. 11 (RR 2)



REG ROD DIFFERENTIAL WORTH
S. 56. 9. 11 (RR 2)

Fig. 6.2 Differential Curve and Stroke Curve of Regulation Rod No.2

第7章 結論とまとめ

本中性子源引抜起動試験は、緒言に示したように、(Sb-Be)外部中性子源を用いず、炉内燃料から発生している内部中性子源のみで、原子炉が起動できるかどうかを検討するために、実施した。

- (1) 外部中性子源がなくとも、炉内燃料から発生する内部中性子源によって、原子炉を起動することができた。このことは、第6章で述べたように、ラック内に置かれた外部中性子源から発生する中性子が、深い未臨界度の炉心に於いて、増倍されないという事実から説明づけられる。
- (2) 付録1に示された内部中性子源強度の炉心では、今回の外部中性子源引抜時(9月25日)の中性子計数率に比べ約1/30(ch.1)である。従って、本中性子計装(起動系)を用いても、本試験と同様の仮設チャンネルを用意し、十分な時間をかければ原子炉起動を行うことができる。
- (3) 本試験データの評価として、今後炉心計算を含んだ詳細な作業が必要である。なお「常陽」のMK-II炉心における内部中性子源強度の推定より、⁽⁶⁾最低上記付録1に示したMK-I炉心の内部中性子源強度と同程度の値が得られているので、MK-II炉心においても、外部中性子源なしで、原子炉を起動できるであろう。

謝 辞

本特殊試験を実施するにあたって、高速実験炉原子炉第一課の運転直長および直員の方々と、燃料取扱グループの方々には、多大なる御協力をいただきました。本試験の成功は、これ等の方々の労に大いに負っておりますので、ここに感謝の意を表させていただきます。

参 考 文 献

- <1> PNC SN941 79-112 「高速実験炉『常陽』性能試験報告書 - 核出力校正・出力分布(その1) - 」, 1979年7月, 山本寿, 関口善之 他
- <2> PNC SN941 79-179 「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, 石川真, 遠藤雅行 他
- <3> 技-56-170 「置換反応度測定のための制御棒校正」, 1981年9月14日, 網島幹泰
- <4> 技-56-227 「運転特性試験(制御棒特性) - 制御棒校正, 炉停止余裕, 過剰反応度 - 」, 1981年11月19日, 網島幹泰
- <5> NAIG 川島正俊 私 信
- <6> 技-56-120 「MK-II炉心臨界近接用特設核計装設置」, 1981年8月4日 鈴木惣十

付 録 1 特殊試験報告書

試 (5 6) - 6

作成 1981 年 8 月 25 日

承認		同意		確認		協 議		作 成	
								総括管理者	主任技術者
<u>特殊試験計画書</u>									
項 目	内 容								
試 験 の 名 称	中性子源引抜時原子炉起動実験								
試 験 目 的	外部中性子源が無い状態での原子炉臨界操作における起動計数率の応答を調べる。外部中性子源無しでの起動の可能性を、「常陽」MK-II炉心、「もんじゅ」の設計、運転へ反映させる。								
試 験 設 備 の 概 要	<p>① 原子炉起動設備 通常の原子炉起動と同じであり、安全棒4本全引抜調整棒2本で臨界調整を行なう。</p> <p>② 冷却材流量・温度制御設備 原子炉起動モードとし、原子炉入口Na温度は200°~250℃、一次Na流量は20%とする。燃料交換機は、据付のままとする。</p> <p>③ 中性子計数率測定設備</p>								
試 験 の 方 法	<p>起動系(ch. 1, 2)の信号をリニア・アンプに通し、計数率を測定する。</p> <p>① 外部中性子源装荷状態で、中性子計数率を測定する。尚、測定は以下に示す順番の測定点で実施する。 i) 安全棒4本、調整棒2本全挿入時 ii) 安全棒4本全引抜、調整棒2本全挿入時 iii) 臨界状態</p> <p>② 外部中性子源を炉内燃料貯蔵ラックへ移送する。</p> <p>③ 同状態で、①と同じ操作中の中性子計数率を測定する。</p> <p>④ 原子炉を停止する。</p> <p>⑤ 外部中性子源を、炉内定位置(7F1)にもどす。なお、臨界時の中性子カウント数は1.0×10^4 cps (ch. 2)である。</p>								

項 目	内 容
試験実施予定時期と 期間	1981年9月25日～28日
実 施 体 制	<p>性能試験管理要領に準じ、原子炉の運転は原子炉第一課の運転直が行ない、試験データの採取及び合図は技術課が行なう。</p> <p>尚、外部中性子源の炉内・燃料貯蔵ラック間移動は、原子炉第一課の燃取 Gr が行なうものとする。</p>
	<p>① 中性子源設計は、「もんじゅ」でも問題となっており、本試験の利用価値は高い。</p> <p>② 本試験の結果を評価することにより、「常陽」MK-II炉心の起動に対し、外部中性子源を用いないロジックを作り上げることを試みる。</p> <p>③ 本試験に於ける原子炉起動の安全性確保</p> <p>i) 運転監視コードによる臨界点の予測</p> <p>ii) i)を目安にし、外部中性子源を炉内に装荷した状態で、通常起動法により、臨界点の確認をする。</p> <p>iii) 外部中性子源引抜時は、ii)で確認された臨界点に対しNa入口温度補正、外部中性子源引抜効果補正等を加えた予測臨界点を目標にし、かつ添付資料に示す運転要領により、原子炉起動操作を行なう。</p>

資料 1

運 転 指 示 書

発行年月日 56年 2月 24日

課 長		運 管 Gr		担 当 Gr	
--------	--	--------------	--	--------------	--

件 名	原子炉起動時の 核計装監視等について				
--------	-----------------------	--	--	--	--

系統名： 制御設備 室No

期 間： S56. 2.24 ~

別添 無

内 容

「常陽」では起動系計数率が3 cpsに満たない場合「計数率低」のANNを出すと共に、制御棒引抜を阻止するインターロックが設けられている。

原子炉起動に当っては、本インターロックの主旨を十分考慮し、安易にバイパス操作を行なうことのないよう注意すること。

やむを得ずバイパスが必要になった場合には、別添の運用法に従がい、嚴重な当直長管理のもとに実施すること。

(備 考)

協 議				配 布 先	原 主 技	原 2 課	技 術 課	第 1 Gr	第 2 Gr	第 3 Gr	第 4 Gr	燃 取 Gr	運 管 Gr	中 制			
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

高速実験炉部原子炉第一課

原子炉起動時に於ける起動系核計装の運用

原子炉の起動時に、起動系計数率が 3 cps に達していない場合には、次の手順により操作を行なう。

1. 起動系のケーブル接続状態、各スイッチ類の位置、設定値等が正常であることを確認する。

〔確認方法〕

「運転前確認」および「起動前点検」が終了していることにより確認する。

2. 起動系検出器が動作していることを確認する。

〔確認方法〕

仮設計器を起動系のバッファアンプに接続して起動系検出器を全引抜、全挿入した状態での計数率を計測し、計数率に有意差のあることにより確認する。（尚、本確認に必要な仮設計器の接続、取扱等に関しては、当分の間、2課、技術課の指導のもとに実施する。）

3. 「起動系計数率低」による制御棒引抜阻止インターロックを直長指示によりバイパスする。
4. 安全棒引抜を開始する。

〔引抜時の注意〕

起動系の計数率に注意しながら、安全棒を順次引抜、安全棒4本の全引抜終了後、起動系計数率が、全制御棒挿入時に比し、増加していることを確認する。（起動系で増加が確認できない場合には、前述の仮設計器により確認する。）

5. 調整棒引抜を開始する。

〔引抜時の注意〕

(1) 調整棒引抜量

下記条件を守ること。

- (a) 調整棒引抜に伴う計数率増加が確認されない場合、計算により求めた臨界時調整棒引抜量の $1/2$ 以上は引抜かないこと。
- (b) 計数率増加が確認されたら逆増倍曲線の作成を開始し、本曲線による臨界予想点

までの調整棒引抜量の $\frac{1}{2}$ 以上は引抜かないこと。

(2) 計数率の監視

起動系計数率が3 cpsを越えるまでは、原則として仮設計器により計数率を監視しながら調整棒の引抜を行なうこと。

6. 通常の臨界操作

上記一連の操作により起動系計数率が3 cpsを越えたら、その時点でバイパスを解除し、以後は通常の臨界操作手順を行なう。

資 料 2

75MW第4サイクル起動前(81年3月11~13日)に実施した,制御棒引抜操作に伴う起動系計数率の変化を測定した。

結果をFig.1に示す。

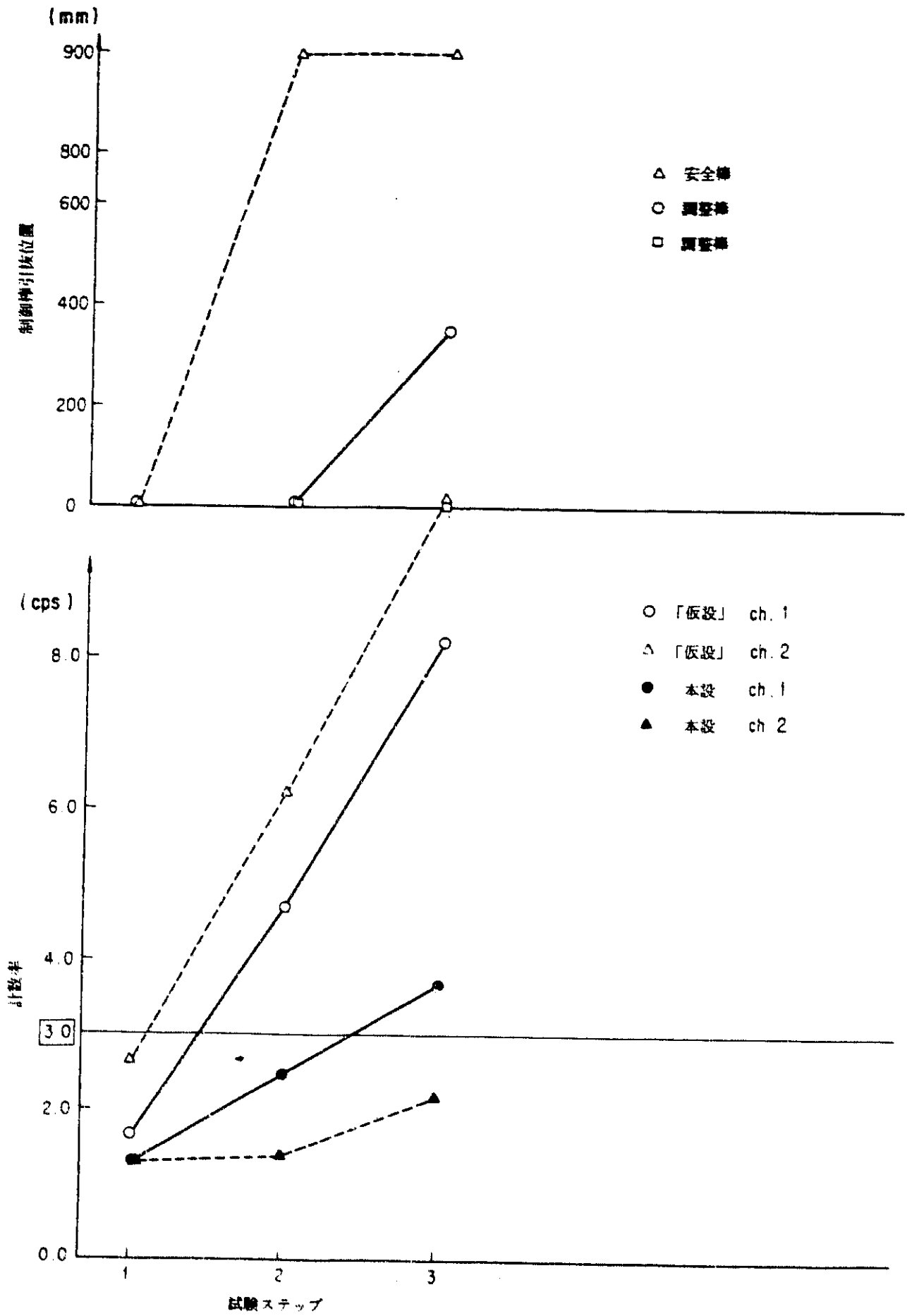


Fig. 1 75MW 第4サイクル起動前試験

資料 3 中性子源引抜時，起動系計数率予測

1) 第6サイクル炉心構成から予測される炉内・内部中性子源の予測

第5サイクルEOCの炉心燃料インベントリーにより

a) 自発核分裂による中性子数	2.58×10^7
b) $^{18}\text{O}(\alpha, n)$ 反応	6.18×10^6
	<hr/>
	3.20×10^7 (n/sec)

2) MK-I核出力校正による，中性子発生数と起動系応答

ch. 1

$$1.26 \times 10^{14} \Rightarrow 1.0 \times 10^4 \text{ cps}$$

3) 制御棒全挿入時 ($k_{\text{eff}} = 0.9$) の，内部中性子源による起動系応答の予測

$$2.6 \times 10 \text{ cps (ch. 1 \& 2)}$$

4) 臨界近接時 ($k_{\text{eff}} = 0.995$) の内部中性子源による起動系応答の予測

$$0.52 \text{ cps (ch. 1, 2)}$$

現実の炉心では，燃料燃焼に伴う Cm^{242} の生成による，内部中性子源及びラック位置 (R-11) にある，外部中性子源による中性子発生の影響があるので，上記の計数率は最小評価であろう。

仮設計器設置管理票 (中制控用) (信号取り出し)	申請	年月日	56年 9月 11日
		課	技 術 課

1. 区 分 (該当✓記入)

- (1) 安全保護系に関するもの
- (2) そ の 他

2. 計器設置または、信号取り出しを実施する理由

中性子源引抜起動試験のため

3. 系統名および内容

(1) 期 間 : 56年 9月 11日 ~ 56年 9月 26日 (復旧 ☉・不要)

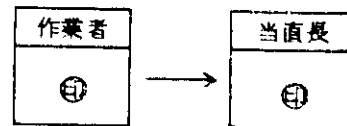
(2) 系 統 : _____ 系統

(添付資料 ☉・無)

取り出し端子番号	盤番号	継ぎ込み計器	設置場所	実施日時	復旧日時
核計装起動系 ch. 1 J 4'	403	タイミング・SCA	中 制	9/11 19:00	9/26 11:00
ch. 2 J 4'	"	"	"	9/11 19:00	9/26 11:00
ch. 1 J 4	"	スベクトロ・スコープ アンプ	"	9/11 19:00	9/26 11:00
ch. 2 J 4	"	"	"	9/11 19:00	9/26 11:00
				/ : /	/ : /
				/ : /	/ : /

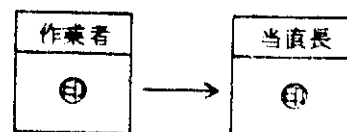
4. 作 業

上記作業終了しました。



5. 復 旧

上記復旧作業終了しました。



連官 依頼元

仮設計器設置 信号取り出し管理票(正)	申請	年月日	56年9月11日
		課	技 術 課

1. 区 分 (該当✓記入)

- (1) 安全保護系に関するもの
- (2) その他

2. 計器設置または、信号取り出しを実施する理由

中性子源引抜起動試験のため

3. 系統名および内容

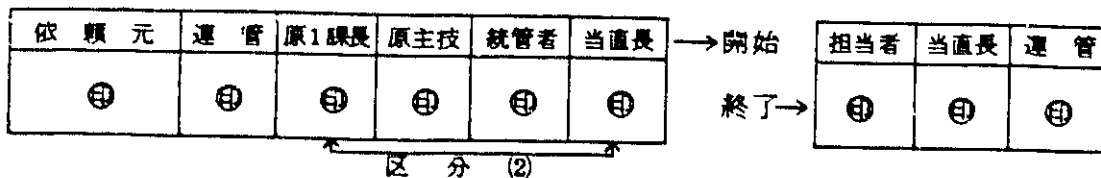
(1) 期 間 : 56年9月11日~56年9月26日 (復旧 ⊕・不要)

(2) 系 統 : _____ 系統

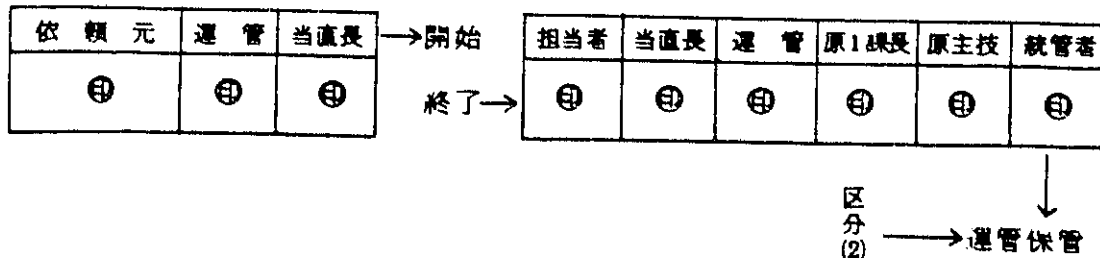
(添付資料 ⊕・無)

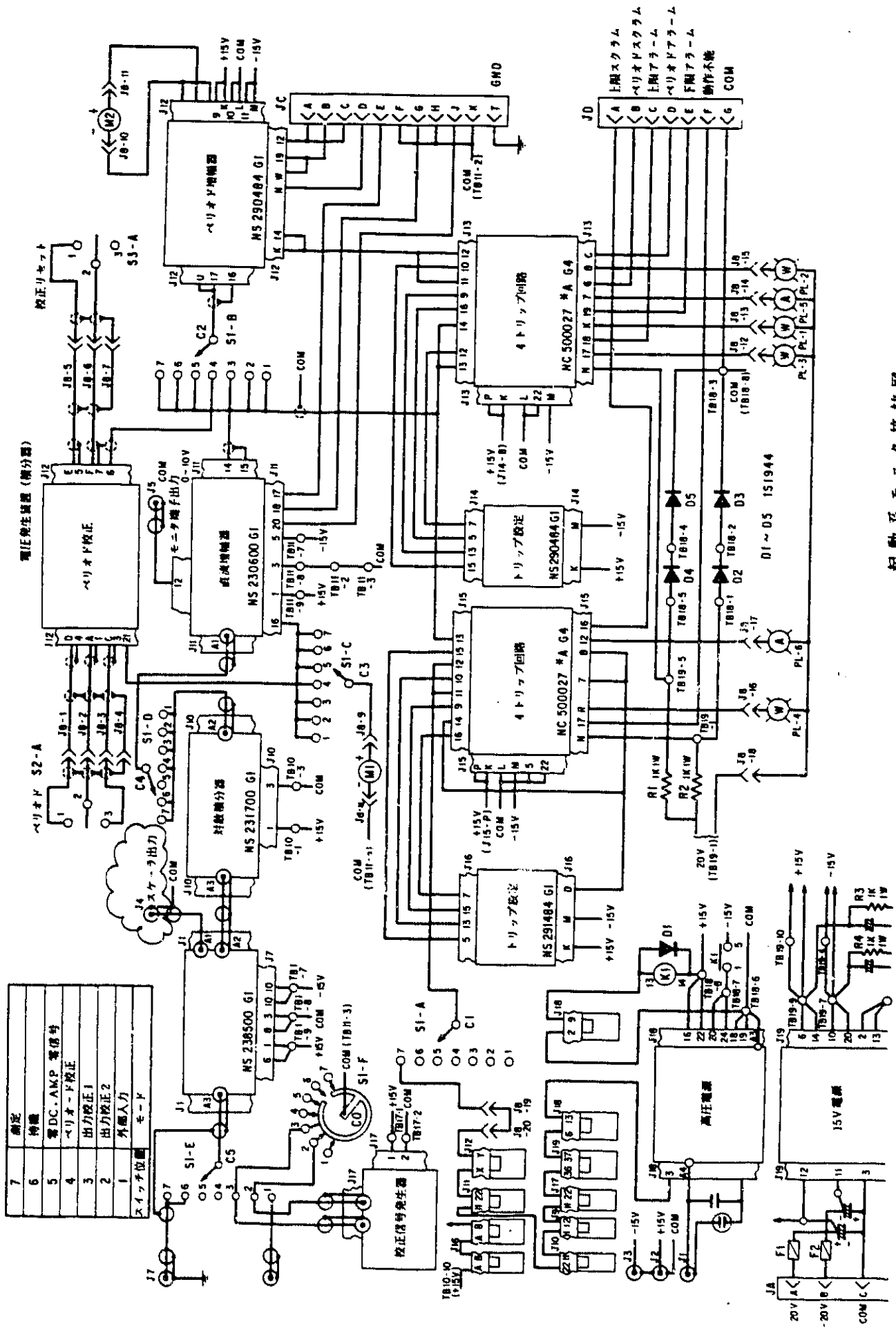
取り出し端子番号	盤番号	継ぎ込み計器	設置場所	実施日時	復旧日時
核計装起動系 ch.1J4'	403	タイミング・SCA	中制	9/11 19:00	9/26 11:00
ch.2J4'	"	"	"	9/11 19:00	9/26 11:00
ch.1J4	"	スワッチロ・スコピー アップ	"	9/11 19:00	9/26 11:00
ch.2J4	"	"	"	9/11 19:00	9/26 11:00
				/ : / :	/ : / :
				/ : / :	/ : / :

4. 承認・作業



5. 復 旧





起動系モニタ接続図

ジャンパー・リフト管理票 (中制用)
(仮設計器を含む)

依頼元 技 術 課

申請 56年 9 月 11 日

1. 区 分

- (1) 安全保護系に関するもの
- (2) その他

2. 系統名および内容

- (1) **ジャンパー**・リフト期間：56年 9 月 12 日～56年 9 月 12 日 ()
- (2) 系 統 名： 主冷却系統
- (3) **ジャンパー**・リフト理由および**ジャンパー**・リフト箇所 (添付資料 ④・無)
中性子源引抜起動試験のため。

(一次主冷却材流量 20% で「起動モード」運転)

" A, B, スクラム信号ジャンパ

ジャンパー ・リフト端子番号	盤番号	実施日時	Tag. No.	復旧日時
Z04 D10 P-1	401	9/12 11:00	93	9/12 15:17
" D11 "	"	9/12 11:00	68	9/12 15:17
Z07 D10 "	"	9/12 11:00	98	9/12 15:17
" D11 "	"	9/12 11:00	22	9/12 15:17
Z54 D10 "	402	9/12 11:00	104	9/12 15:17
" D11 "	"	9/12 11:00	148	9/12 15:17

3. 作 業

上記**ジャンパー**・リフト作業終了しました。

9 月 12 日 11 時～ 9 月 12 日 11 時 10

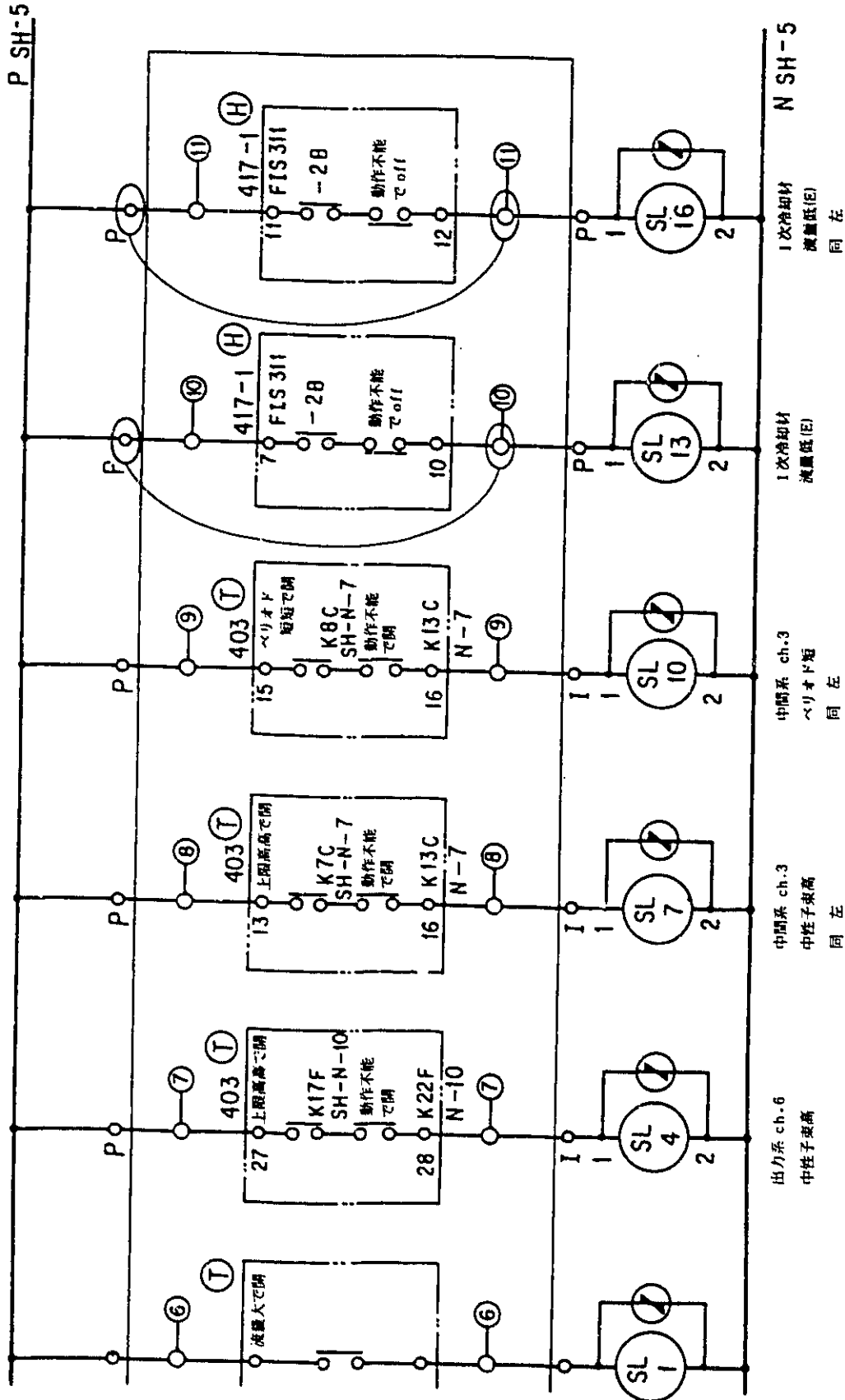
担当者	当直長
④	④

4. 復 旧

上記**ジャンパー**・リフト復旧作業を終了しました。

9 月 12 日 15 時～ 9 月 12 日 15 時 17

担当者	当直長
④	④



ロジックA入力信号(I)
KK-7900051 - 4
Z - 4

ジャンパー・リフト管理票 (正)
(仮設計器を含む)

依頼元 技 術 課

申請 56年 9 月 11 日

1. 区 分

- (1) 安全保護系に関するもの
- (2) そ の 他

2. 系統名および内容

- (1) **ジャンパー**・リフト期間：56年 9 月 12 日～56年 9 月 12 日 ()
- (2) 系 統 名： 主冷却系統
- (3) **ジャンパー**・リフト理由および**ジャンパー**・リフト箇所 (添付資料 ・無)
中性子源引抜起動試験のため。

(一次主冷却材流量 20% で「起動モード」運転)

A, B, スクラム信号ジャンパ

ジャンパー ・リフト端子番号			盤番号	実施日時	Tag. No	復旧日時
Z04	D10	P-1	401	9/12 11:00	93	9/12 15:00
"	D11	"	"	9/12 11:00	68	9/12 15:00
Z07	D10	"	"	9/12 11:00	98	9/12 15:00
"	D11	"	"	9/12 11:00	22	9/12 15:00
Z54	D10	"	402	9/12 11:00	104	9/12 15:00
"	D11	"	"	9/12 11:00	148	9/12 15:00

3. 承認・作業

作業時間 9 月 12 日 10 時～ 9 月 12 日 11 時 (直長記入)

依頼元	運管Gr	原1課長	原主技	統管者	担当者	当直長	担当者	当直長	依頼課長	原1課長	運管Gr
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

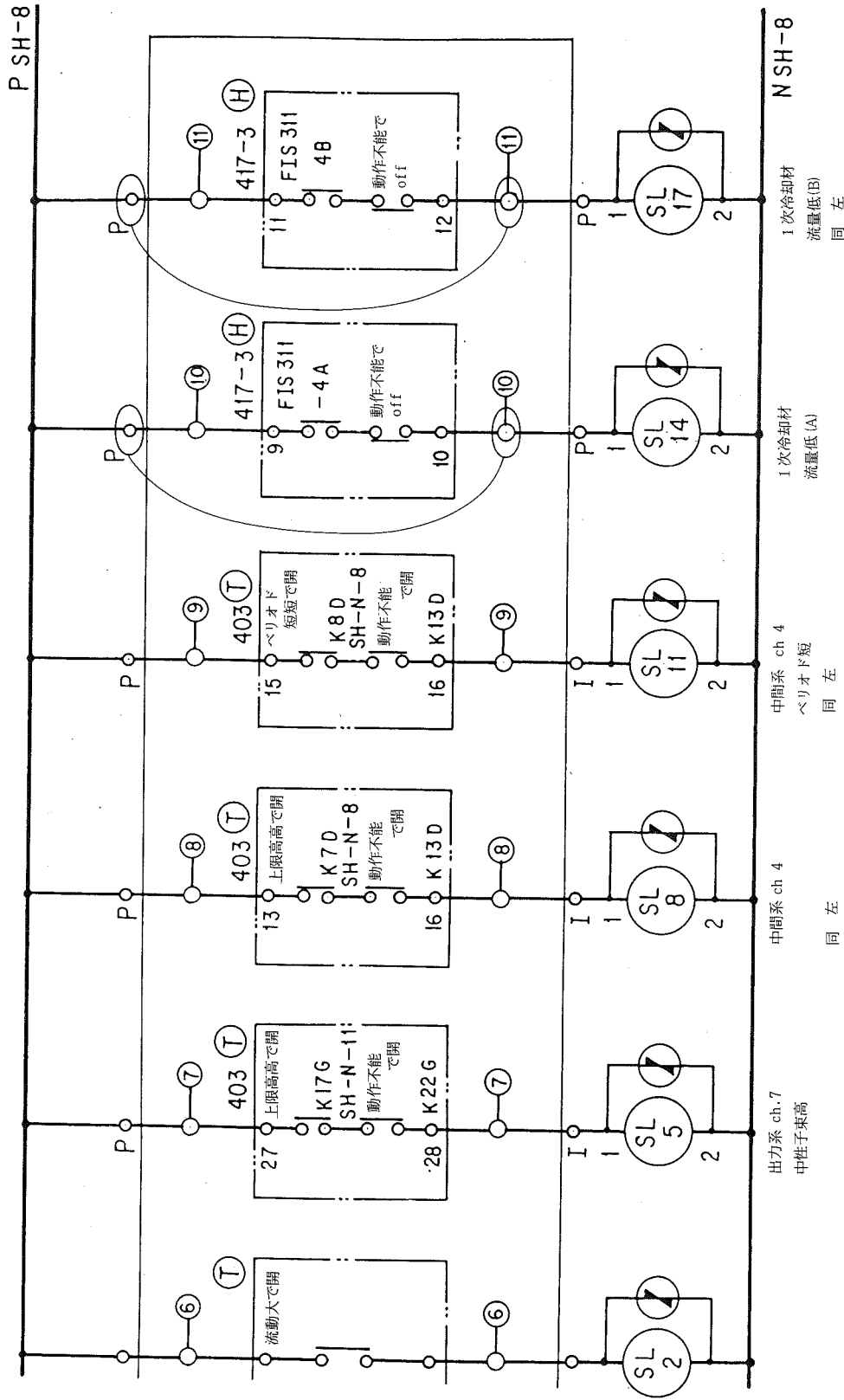
↑ 区分(2)のもの
↑ 作業開始
↑ 作業終了
↑ 依頼元

4. 復 旧

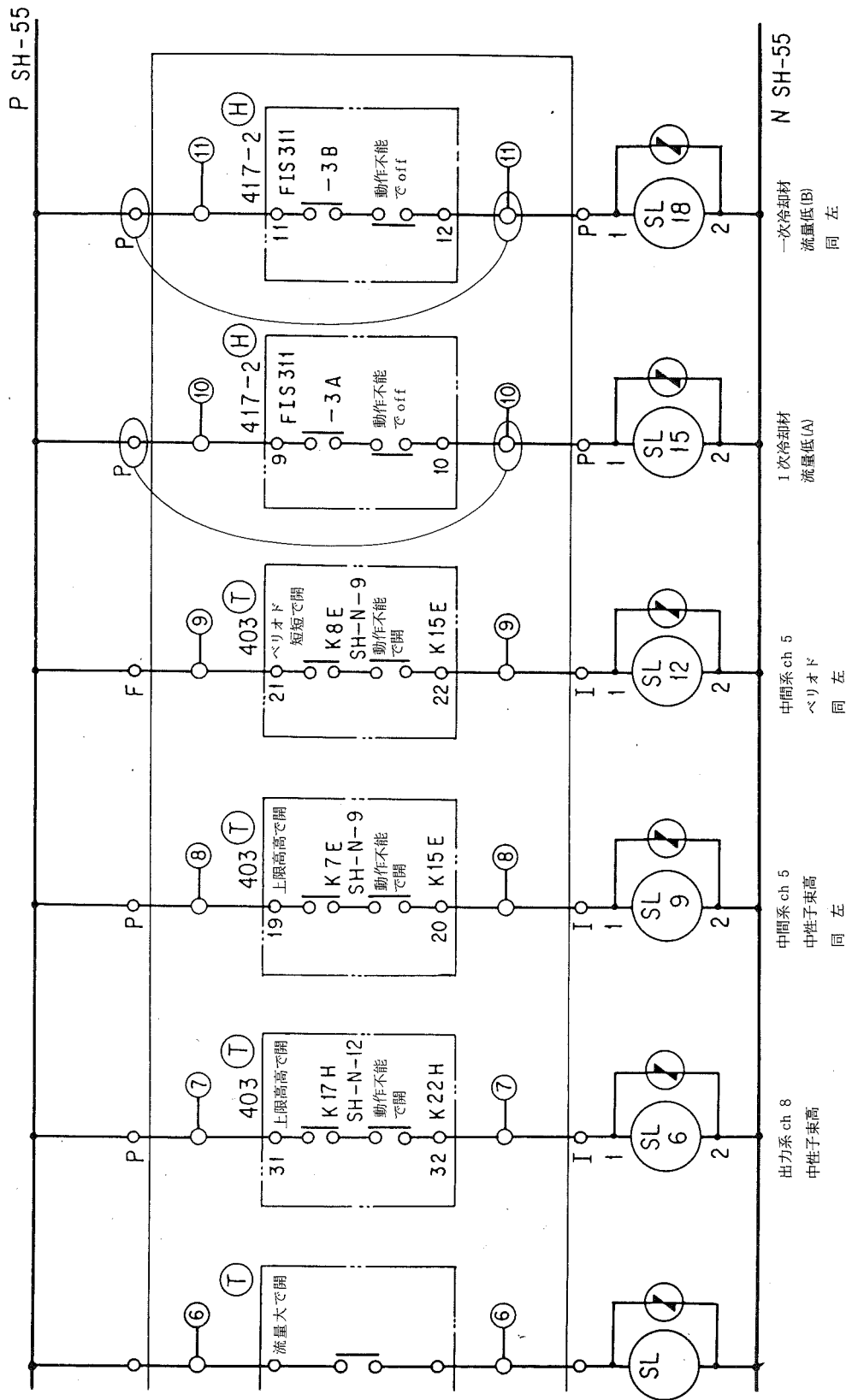
作業時間 9 月 12 日 13 時～ 9 月 12 日 13 時 17 (直長記入)

依頼元	運管Gr	原1課長	担当者	当直長	担当者	当直長	依頼元課長	原主技	統管者	原1課長	運管Gr
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

↑ 復旧作業開始
↑ 復旧作業終了
↑ 区分(2)のもの
↑ 保 管



ロジックA入力信号(4)
KK-7900051-7
Z-7



ロジックB入力信号(I)
KK-7900051 - 54
Z - 54

付 録 4 起動系計数基準について

(I) 経 緯

1. 当初設計時点の基本的考え方

制御棒（手順としてはまず安全棒）を引抜いて、炉心に反応度を印加する場合にはその反応度変化を中性子計数率の変化によってモニターする事を原則とした。

その為には制御棒操作前（制御棒6本全挿入時）に起動計の計数率が有意な値となっている事が必要であり、その値として、軽水炉等を参考として「3 cps」を設定した。

（注）「3 cps」の「3」という値自体には特に意味はなく、反応度変化に追従して有意な応答を示せばよい。

又、仮に「3 cps」の計数率があっても中性子源からの直接的な中性子のみを計数している状態では上記の目的からは意味がない。（検出器が生きている証拠にはなる）

2. 具体的設計事項

(1) 計測・制御系統設備

- ① 制御棒引抜きインターロック（中性子未低）を設け、その基準を「3 cps以上」とした。
- ② 起動計メーター出力目盛の最小値を1 cpsとし、以後、2 cps, 3 cps…とした。
- ③ 起動計の中性子検出器としてフィッション・チェンバーを選び、その検出効率のスペックを $0.1 \text{ cps} / n \cdot v$ とした。

(2) 炉心設計

上記(1)の③に基づき、炉心設計として起動計検出器位置での熱中性子束が $30 n \cdot v$ となるよう、中性子源の装荷位置やその強度等を決定した。

設計の結果は以下のとおりである。

- ① 中性子源の位置は7F1が最適^{*1}である。
- ② 中性子源の α 線源（Sb-Be型中性子源）強度として3,400 Ciあれば（7F1位置）起動計中性子位置中性子束 $30 n \cdot v$ が確保される。

*1〔7F1〕位置は炉心に対して検出器側である。検出器位置中性子の90%以上は中性子源からの直接中性子であり、その意味からは望ましくないが計数率確保を優先させた。

(3) 設計上の問題点

(1)及び(2)の設計を進めていく過程で以下の様な問題点が明らかになった。

- ① 東大「弥生」炉を使用したR&Dによってフィッション・チェンバーの検出効率が0.1 cps/n・u以下である強い可能性が判明した。(約1ケタ小さい可能性が生じた)
- ② 臨界近接時の炉心燃料がほとんどない状態では起動計で「3 cps」確保する設計は、困難であることがわかった。又、臨界近接時には、中性子源からの直接中性子ではなく増倍中性子の割合を出来るだけ大きくする事が望ましく、〔7F1〕位置は適当でない判断されるようになった。
- ③ 定検等での6ヶ月の停止規間を考慮することとしていたが、その為には原研JMTR炉での照射直後、又は「常陽」炉心での照射直後で27,200 Ciの α 線強度が必要となりその達成は困難と考えられた。

(注) 「常陽」炉心内での照射では50MW45日運転、15日停止のサイクルで7F1位置の場合、8,000～30,000 Ciと評価されていた。(実際上は停止期間は15日より長いのが普通で、75MW運転の通常サイクルで7～9,000 Ci程度と推定される。)

又、JMTR炉の照射では2サイクル照射の照射後2週間程度で15,000 Ci程度である。

3. 設計思想の一部変更

設計途中で判明した2の(3)の問題点をふまえ以下の様な対策、処置がとられた。

- (1) 臨界近接時は別扱いとし、性能試験の一部として B^{10} 、 BF_3 カウンター等の高成度の検出器を使用することとした。又、中性子源位置も〔5C2〕として炉心に対し、検出器を反対側に設置した。
- (2) 起動基準(3 cps以上)については性能試験結果をふまえて、1.に示した基本的考え方の範囲内で実際上の運用を検討することとした。

その為に以下の措置をとった。

- ① 計数率インターロック・バイパスキーを制御盤正面に設置した。
- ② 上記バイパスキーの他、制御棒引抜手順のインターロック(安全棒全引抜き後でなければ調整棒は抜けない)のバイパスキーも設置した。

—> 制御棒較正等のため

- ③ これらのバイパスキーは「準」通常操作用と考えられ、インターロックの設置は次の操作を慎重に行うことを勧告するシステムと解する事も可能である。

4. 性能試験結果による設計確認

性能試験中の中性子計数率データ (B^{10} , BF_3 等も含めて) の解析等によって以下の事が明らかになった。

- (1) 起動計に 3 cps 以上の計数率を与えるには 7~9,000 Ci の中性子源 r 線強度が必要^{*1}であり, JMTR 炉での照射は 1 サイクル以上となる。
- (2) 起動計フィッション・チェンバーの検出効率はディスクリレベルの調整によってかなり変動するが, 中間度との必要なオーバーラップを確保させると, (1)の事情はあまりかわらない。
- (3) B^{10} 及び BF_3 の計数率データもあわせて解析した結果, 3,400 Ci で 30 n·v 確保という炉心設計の結果は数倍の差異を与える事がわかった。

5. 最近の運用

最近では炉心の燃焼も進み, 炉心内の自発性核分裂や O^{18} の ($\alpha \cdot n$) 反応による中性子が中性子源として期待出来る状態になっている。

起動基準の運用については II. で示す運転要領改訂案のとおりであるが今回の 75 MW 等 4 サイクル (停止期間~7ヶ月) の起動時のデータを次葉に示す。

制御棒引抜操作に伴う反応度変化は, 仮設の計器によって, 中性子計数率の変化として十分モニターされており, 1. に示した基本的考え方は満足されている。

*1 50 MW 出力上昇試験時のデータでは α 線強度 13,800 Curi で ch. 1 で 4.7 cps, ch. 2 で 7.1 cps であった。

№ 2 - 2

測定者 サノ

起動系計数率データシート

測定日時:

1981年3月12日9時11分~9時55分

検出器位置	ch. 1	下端	制御棒位置	安全棒	全	下端
	ch. 2	下端		調整棒	全	下端

		起動系 ch. 1		起動系 ch. 2	
「仮設」	Discri Level Upper	10.0	volt	10.0	volt
	" Lower	2.0	volt	2.0	volt
	計測時間	30 / 43.5	min	30 / 43.5	min
バッファアンプ出力	カウント数	3008 / 4318	個	4749 / 6847	個
	計数率(±誤差)	1.67 (±0.0305) 1.65 (±0.0252)	cps	2.64 (±0.0383) 2.62 (±0.0317)	cps
「本設」	Amp 増幅率	(50×0.6=)	30 倍	(50×0.6=)	30 倍
	計測時間	30 / 43.5	min	30 / 43.5	min
	スケアラ出力 J4 端子	カウント数	1625 / 2343	個	449 / 633
	計数率(±誤差)	0.903 (±0.0224) 0.898 (±0.0185)	cps	0.249 (±0.0118) 0.243 (±0.0094)	cps

(備考)

ch. 1. 引抜挿入後

Na 温度	B02	炉入口 A	247 °C	起動系	ch. 1	1.2 cps
	B03	" B	247 °C		ch. 2	1.4 "
H-500 データ一覽	B04	炉出口 A	247 °C	中間系	ch. 3	35×10 ⁻⁴ "
	B05	" B	247 °C		ch. 4	8×10 ⁻⁴ "
Na 流量 (同)	B06	1次Aループ	1269 m ³ /h	制御盤統計装	ch. 5	45×10 ⁻⁴ "
	B07	" B "	1268 m ³ /h		上段:データ	下段:レコーダ

(9:10と9:52の平均)

№ 2 - 3

測定者 サノ

起動系計数率データシート

測定日時:

1981年3月12日10時50分~11時10分

検出器位置	ch. 1	下端	制御棒位置	安全棒	4本 上端
	ch. 2	下端		調整棒	2本 下端

		起動系 ch. 1	起動系 ch. 2
「仮 設」	Discri Level Upper	10.0 volt	10.0 volt
	" Lower	2.0 volt	2.0 volt
	計 測 時 間	15 / 17.65 min	15 / 17.65 min
バックアップ出力	カ ウ ン ト 数	4221 / 4975 個	5585 / 6582 個
	計 数 率 (± 誤 差)	469/470 (± 0.0722 / 0.0666) cps	621/622 (± 0.0830 / 0.0766) cps
「本 設」	Amp 増 幅 率	(50×0.6=) 30 倍	(50×0.6=) 30 倍
	計 測 時 間	15 / 17.65 min	15 / 17.65 min
	スケアラ出力 J4 端子	カ ウ ン ト 数	2264 / 2668 個
	計 数 率 (± 誤 差)	252/252 (± 0.0529 / 0.0488) cps	0.557/0.545 (± 0.0249 / 0.0227) cps

(備 考)

SR 4本上端子比 10 : 43
全CR 下端時との計数率比
(計測時間の多い方)

	ch. 1	ch. 2
仮設	2.85	2.37
本設	2.81	2.24

Na 温度	炉入口 A	249 °C	起動系	ch. 1	2.4 cps	
	" B	249 °C		ch. 2	2.5 "	
	H-500 テーマ電	炉出口 A		250 °C	ch. 3	35×10 ⁻⁴ %
		" B		250 °C	ch. 4	8 × 10 ⁻⁴ "
Na 流量 (m)	1次Aループ	1272 m ³ /h	中間系	ch. 5	4.5×10 ⁻⁴ "	
	" B "	1260 m ³ /h		制御盤核計装	1段	レコーダ

10 : 49 と 11 : 07 の平均

№ 2 - 4

測定者 サノ

起動系計数率データシート

測定日時:

1981年 3 月 12 日 11 時 46 分 ~ 11 時 59 分

検出器位置	ch. 1	下端	制御棒位置	安全棒	4本 上端
	ch. 2	下端		調整棒	RR1...350 RR2...下端

		起 動 系 ch. 1	起 動 系 ch. 2
「仮 設」	Discri Level Upper	1 0.0 volt	1 0.0 volt
	" Lower	2.0 volt	2.0 volt
	計 測 時 間	9 / 1205 min	9 / 1205 min
パフアンプ出力	カ ウ ン ト 数	4 4 5 7 / 5 9 4 6 個	5 4 3 4 / 7 2 7 4 個
	計 数 率 (± 誤 差)	8.25/8.22 (± 0.124 / 0.107) cps	10.1/10.1 (± 0.137 / 0.118) cps
「本 設」	Amp 増 幅 率	(50 × 0.6 =) 30 倍	(50 × 0.6 =) 30 倍
	計 測 時 間	9 / 1205 min	9 / 1205 min
	スケアラ出力 J4 端子	カ ウ ン ト 数	2 3 6 6 / 3 1 2 9 個
	計 数 率 (± 誤 差)	4.38/4.33 (± 0.090 / 0.0774) cps	0.930/0.916 (± 0.0415 / 0.0356) cps

(備 考)

RR1 引き抜けず。→やり直し。

RR2 350mm到達時刻 11:41
SR4 直上端との計数率比

ch. 1 ch. 2

仮設	1.75	1.62
本設	1.72	1.68

Na 温度	炉 入 口 A	250 °C	起動系	ch. 1	3.5 cps	
	" B	251 °C		ch. 2	3.8 "	
	H-500 データ一覧	炉 出 口 A	251 °C	中間系	ch. 3	"
		" B	251 °C		ch. 4	"
Na 流量 (同)	1次Aループ	170 m ³ /h	制御鏡核計装	ch. 5	"	
	" B "	1260 m ³ /h		上段:メータ	下段:レコーダ	

11:42と11:57の平均

付 録 5
技 術 課 メ モ

		資料 番号	技 - 55 - 242
題 目 「常陽」起動系計数率の基準及び運用について		分類 番号	11 - 99
		発行	昭和56年 2 月 5 日
<p>現在、原子炉の起動時には、起動系計数率が3 cps に達していないために制御棒引抜インターロックをバイパスしなければならない。しかし、従来この3 cps 基準またバイパス手順等について思想及び運用法が必ずしも明確ではなかった。本メモは、この問題について、本年1月23日に、原子炉第1課・2課・技術課・炉主任の4者が討議した結果をまとめたものである。</p> <p>[主要な結果]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 起動時に、起動系計数率が3 cps に達していない場合は、起動系に仮設計器（計測時間の増加により検出系の精度を上げたもの）を据付け、検出器自体が生きている事を確認した後、制御棒引抜インターロックをバイパスする。 2. 燃料交換後初の起動時には、調整棒引抜量に関して1/2, criteriaを採用する。 <p>[特記事項]</p> <p>本年3月の75 MW第4 cycleは、今まで経験していない長い停止期間後の起動となるので、充分慎重に起動操作を行なうこと。</p> <p style="text-align: right;">(別添 ㊟・無 20 ページ)</p>			
作 成	(炉心Gr) 山下・石川 (まとめ)	配 布 先	部長・次長
協 議	(原子炉1課) 堀米・青木・砂押・宇佐美 (原子炉2課) 楠 (炉主任) 谷山	(原1課) 課長・運営Gr・第1・第2・第3・第4 Gr	
承 認	㊟	(原2課) 課長・第4 Gr (照射課) 課長 (技術課) 課長・各Gr (炉主任) 谷山	
<p>コメント</p> <p style="text-align: center;">関連部所の御検討を御願い致します。</p>			

- 備 考： 1) 内容が1 ページ以上の場合は、要旨のみ記入し内容は別添とする。
2) 要旨は目的、結論を簡潔に記すこと。

§1 ま え が き

現在「常陽」を起動するためには、起動系計数率が ch. 1, ch. 2 の両者とも 3 cps 以上ある事がインターロックとなっており、3 cps に満たない検出器がある場合は「計数率低」のアラームを出して制御棒引抜きをロックするシステムとなっている。

しかし、現在までの運転実績を見ると、殆んど全ての起動時にどちらかのチャンネルが 3 cps に達しておらず、原子炉を起動するためには、制御棒引抜きのロックをバイパスする必要があった。

この「3 cps 基準」は、本来、原子炉起動時に検出系が生きていて、かつ、未臨界度の減少をつかまえられる事の証明となっているべきものであるが、現在まで、この基準の確立の思想及びロックバイパスの際の手順等については、必ずしも明確になっていたとは言い難い。

このような事情に加えて、次項に述べるように、MK-II 用の中性子源の工認において、起動系の計数率の規定値に対する論議が起きている。

以上のような事情から、「常陽」としても起動系の計数率の基準及びバイパス手順等について、思想及び実際の運用法について、早急に見解をまとめる必要があった。

本メモは、この問題について、81年1月23日に、原子炉1課・2課・技術課の3者で討議を行なった結果をまとめたものである。(原子炉主任技術者も出席した。)

§ 2 起動系の計数率基準に関する現状

2.1 問題の背景(資料1)

① MK-II用中性子源の工認ヒアリングにおいて、中性子源の中性子放出率の検査として、「起動系に規定値以上の計数率を与える事」とし、この規定値を工認に記載することが要求されている。現在、この数値を2 cpsとする事で交渉中だが(現在、「目標2 cps」で行きそう)場合によっては3 cpsとせざるを得ない。

また、このヒアリングの途中で、定検におけるSbの減衰及び、実際上の運用等について、疑問が出された。

- ② 炉心設計によれば、検出器感度0.1 cps/nv、中性子源〔7F1〕において必要な中性子源強度は3400 Ci (中性子放出数 8.16×10^{19} n/sec)である。
- ③ 実際のデータは、50 MW出力上昇試験開始時において、中性子源強度が13,800 Ciだったとき、ch. 1が4.7 cps、ch. 2が7.1 cpsであり、計算の方が26倍の過大評価だった。
- ④ 定格運転後の実績による計数率データは以下ようになった。
- 停止期間が長いと、安全棒を引抜いても約2 cps程度しかない。
 - 75 MW定格運転を続けても、ch. 2では3 cps未満である。(安全棒4本引抜時も3 cps未満。)
- ⑤ 75 MW定格第4 cycle開始時のch. 1, 2の平均計数率は0.4 cpsと予想される。

2.2 起動系の現状(資料2)

- ① 現状計装で全制御棒挿入時に3 cpsを確保する事は、ディスクリ電圧の変更により可能である。但し、中間系とのオーバーラップ(現在1デカードぎりぎり)がなくなる可能性がある。この時のS/N比は、多少悪くなるが問題となるほどではないと考える(Fig1参照。)
- ② 現在の起動系から別信号をとり、計測時間を増す事によって検出器が生きている事を証明することは可能である。ch. 1, 2ともバッファアンプを取り付けており、マルチチャンネルアナライザが取り付けられるようになっている。(Fig. 2参照。)
- ③ 検出器寿命については、工程において、100 MWで2年(設計照射量約 3×10^{18} nvt)とされている。この「2年」というのが、4~5 cycle/年なのか、必ずしも明確ではないが、原2課の見積りでは100 MW連続運転で2年間照射してもその照射量は、設計照射量の1/10程度にしかない。(検出器f/uxの挿入時/引抜時≒3(設計では10)を考

慮している。)しかし、余裕を見て、原2課では現在使用期間2年間を、検出器交換の基準として計画を進めている。

- ④ ディスクリ電圧は、低出力試験時に、 -50 mV で開始したが、その後中間系とのオーバーラップを充分にするため、 -100 mV に変更した。その後の定検においては、現状のセト値確認のみしか行なっていない。

2.3 原子炉起動時の運転基準の現状(資料3)

現状では、原子炉起動時の殆ど全ての場合、起動系計数率が3 cpsないために、ch. 1, ch. 2両方のバイパスを行なわざるを得ない。このバイパス及び起動の手順は、現在以下の様に行なっている。

① 起動前点検を行なう。

- 1) 計装回路電源の確認
- 2) 計装盤モードスイッチ位置(測定)
- 3) 計数率指示(安定性)、ペリオド指示(∞)
- 4) 中性子検出器位置・温度
- 5) 動作不能その他ANNの消灯

その他の関連事項として、

- 6) 炉停止余裕の確認
- 7) 炉心構成

- ② 以上により、核計装が正常であり、起動系(ch. 1, 2)の指示値が最小目盛(1 cps)以上ある事を確認した後、計数率低のバイパスを行なう。
- ③ 安全棒4本を引抜き、起動系の計数率を測定し、計数率が増加している事を確認する。
- ④ 調整棒1を350 mmまで引抜き、この段階から逆増倍曲線の作成を開始する。
- ⑤ 逆増倍曲線により臨界点を予測しながら、調整棒2を引抜き臨界を達成する。(計算値による臨界点も参考とする。)

§ 3. 起動系計数率に対する今後の基準及び運用法

(81年1月23日会議合意事項)

3.1 起動系計数率に対する基本的考え方

注)
起動系が原子炉起動時において果すべき役割は、ある程度の未臨界状態から以後、制御棒の引抜きに伴う未臨界度の減少を計数率の増加により表示できることである。

従って、現在の3 cps 未満による制御棒引抜きインターロックは、上記の条件を満足している事の一応の目安であり、この値自体は、本質的なものではない。

注) ここでいう「ある程度」とは、運転実績及び解析から導き出された未臨界度に十分な安全余裕を加えたものであり、制御棒6体全挿入時(現在約-20ドル)のような極端に深い未臨界状態ではない。

3.2 今後の原子炉起動における起動系の運用法

前項の基本的考え方を踏まえて、今後の原子炉起動においては、以下のような起動系計数率に関する運用を行なう。

[ステップ1]

起動前点検で、検出器自体が中性子束の増減により動作する事を確認する。

- ① 本来の起動前チェック項目を確認する。(2.3 ①1)~7)
- ② 仮設計器(2.2 ②参照。)を起動系のバッファアンプにつなぎ、検出器を全引抜・全挿入し、その計数率の比が約1/3になっている事を確認する。(検出系が正常な事の確認)

※ electronicは、起動前点検のアラーム設定で確認できる。

→しかし、全記の系はチェックでもよい。

オーバーラップしていない。

[ステップ2]

起動系計数率が3 cps ない場合は、ステップ1の結果から直長判断により、「起動系計数率低」による制御棒引抜きをバイパス(必要があればch. 1, 2共)する。

〔ステップ3〕

安全棒4本を引抜く。この時点で起動系の計数率が、全制御棒挿入時に比して、増加している事を確認する。(もし、本設の起動系で増加が確認できない場合は、前述の仮設計器により計数の増加を確認する。)

〔ステップ4〕

慎重に、調整棒を引抜き、臨界操作を行なう。

(内規)① 制御棒引抜に伴う起動系計数率の増加が確認されない限り、原則として、計算から予想される臨界までの調整棒引抜量の1/2以上は引抜かない(安全余裕約-2ドル)。

課長が運転指示書を作成する。

↓
直長判断の限界

② 起動系の応答が確認できたら、逆増倍曲線の作成を開始し、逆増倍曲線による臨界予想点が出た時点で、調整棒引抜基準を、①から、逆増倍による1/2 criteriaに切り換える。(初期炉心の燃料装荷と同じ思想による。)

③ 今までの一連の手順中で、本設の起動系計数率が3 cpsを越えるまでは、原則として、仮設計器により起動系計数率を確認する。本設がch.1・2の両者とも3 cpsを越えたら、必ずしも仮設計器を参照する必要はなく、通常の臨界操作手順でよい。

※注) 本項による運用は、主として、燃料交換等があった後、初めての原子炉起動時に対するものである。既に臨界実績があり、臨界点が正確に測定されている場合は、必ずしも、一連の手順を全て踏む必要はない。

3.3 作業工程・担当

1) 仮設計器の検討及び掘付

(2月中。原子炉2課と技術課。)

2) 1/23会議のメモ作成・配布(本メモ)

(2月上旬。技術課。)

3) 本メモの部内周知徹底・運転指示書作成

(2月中。原子炉1課運管Gr。)

4) ch.1・2のディスクリ電圧レベルに関して、最適化の検討を行ない、メモを部内に配布

(2 月中。原子炉 2 課。)

5) MK-Ⅱ 以後、または「もんじゅ」を踏まえて、中性子源〔 7 F 1 〕をラックに移した状態での原子炉起動試験の検討・実施（即ち、自発中性子のみでも原子炉起動ができるか。）

(MK-Ⅰ 炉の運転中。技術課。)

3.4 特記事項

本年 3 月の 75 MW 第 4 cycle 開始時においては、7 ヶ月の今まで経験していない長い停止期間（今までの最長は 4 ヶ月）後の起動であるため、中性子源の減衰（半減期 2 ヶ月）が著しく、第 1 回起動時は、充分慎重に行なう必要がある。

〔資料 1〕

S.56年 1月10日

技術課 山下

「常陽」における起動系の計数率基準について

— 「常陽」の中性子源問題 —

1. 問題の背景

- ① Mark II 用中性子源の工認ヒアリングにおいて、その機能試験の記載事項として明記する事が要求されている。
- 中性子源の中性子放出率の検査として「通常の起動系中性子検出器に規定値以上の計数率を与えること」を確認する。
 - 上記の「規定値」は工認に数値を記すこと。
→ 2 cps とすることで交渉中。
場合によっては 3 cps とせざるを得ない。
- ② 現在の定検期間における中性子源(Sb)の減衰がプラントにどの様に影響するかについての疑問が上記の工認ヒアリングの途中ででている。
- ③ 起動系の中性子源インターロックとして 3 cps 以上を保安規定に明記しているプラント(軽水炉?)が多く「常陽」に何の記載もないことを疑問とする意見が局内にある。

以上の背景から以下の可能性がある。

- (イ) 起動基準とその実際の運用について説明を要求される。
- (ロ) 定検後の(イ)の適用について説明を要求される。
- (ハ) 保安規定に(イ)を明記するよう要求される。
- (ニ) 定検後の起動に際して、実際上の(運転操作上の)不都合が起こる。

2. バックデータ

- ① 常陽の炉心設計結果は以下のとおり

検出器感度 0.1 cps/nv, 中性子源位置〔7F1〕を条件に,

3 cps 確保に必要な中性子源強度は

3400 Ci 又その時の中性子放出数は 8.16×10^8 n/s である。(制御棒全挿入)

(注) 上記の結果は 3400 Ci あれば最悪でも 3 cps 確保できるという意味である。

- ② 実際のデータは以下のとおり、ただし、感度0.1 cps/nvは必ずしも確認されていない。
又、中性子源強度 (Ci 数) の不確かさも大きい。(制御棒全挿入)

13800 Ci で	ch. 1 に 4.7 cps	} 50 MW出力上昇 試験時
	ch. 2 に 7.1 cps	

- 結論 1) 計算は2.6倍の過大評価(計数率について)
2) 3 cps 確実に確保するためにはJMTR炉2サイクル照射する必要がある。
(1サイクルではぎりぎりの可能性あり)

- ③ 定格運転後の計数率データを別紙に示す。

- 1) 停止期間が長いと安全棒を引抜いても～2 cps程度。(今回は今までより長い 4ヶ月→7ヶ月)
- 2) 75 MW定格運転をつづけてもch. 2では3 cps不可能。(安全棒をぬいても)
- 3) ch. 1, ch. 2の差の原因。ch. 2の安全棒引抜時応答がにぶい。

- ④ 今回の定検終了後の計数率予想

(ch. 1 と ch. 2 の平均で示す)

13800 Ci で～5.9 cps

75 MW第3サイクルEOCは(9/4) 3.6 cps → 8400 Ci

定検終了時まで6.3ヶ月 → 946 Ci

→ 0.4 cps

(注) ノイズ等によるゲタは考えない。

3. 技術上の検討事項

基本事項	項目	見通し or 問題点
1) 通常起動系で2～3 cps 確保する手段 (制御棒6本全挿入で)	<ul style="list-style-type: none"> ① 中性子源を必要な都度照射する。 ② 起動系の変更 ③ ディスクリ調整等 	<p>コスト, 工程, 輸送 工認変更 定検後はダメ</p>
2) 1)と同じ。ただし, 適用を変更する。	<ul style="list-style-type: none"> ① 調整棒引抜以後とする。 ② 反応度量との対応をつける (k>0.95以上でよいとする等) 	<p>定検後はもちろん, 通常時もくるしい。 むしろ5)とつながる? ⇒k<0.95まではめくらでC/Rを抜く。</p>
3) 2～3 cps は確保する。ただし, 特設チャンネル等でのモニタリングを考える。	<ul style="list-style-type: none"> ① 予備孔にB10orBF₃カウンター挿入 	<p>交換はたいへん</p>
4) 計数率基準の意味の検討	<ul style="list-style-type: none"> ① 検出器が生きていることの証明なら別手段がある? ② 起動系のうらからデータを取り, 時間でかせいで有意変化を検出する。 	
5) 担保要件としては中性子源は不用というロジックをつくる。	<ul style="list-style-type: none"> ① 初臨界以外はN/S不用(S・Fのみ)のロジックをつくる。(4)とも関係する) ② 長期停止で中性子源が1ケタ以上低下しても起動するとすれば実質上N/S不用と同じではないか。 	<p>実際の運転でN/Sなしでこまるのか, こまらないのか。 4)の②があればよいのか。</p>
6) その他	<ul style="list-style-type: none"> ① 検出器交換の頻度, 基準 ② N/Sの強度がどの程度なら(含む:0)反応度変化に対応する有意な計数率変化を見出しうるのか。(4)の②, 2)の②等) ③ もんじゅへの影響を考えること。 	<p>5)を本格的に考える?</p>

4. 作業の進め方

1) 部の基本方針の決定のための「案」の作成

A案：担保要件としての起動基準（数値）を確立し、守る。（N/Sは必要）

B案：初臨界を除き、担保要件としてのN/Sは不用としてロジックを作る。

問題点 A案は 0.05 cps 程度でもよい。

手段を確立する必要がある。（-700 Ci 程度）

（1年間停止までゆるす）

B案は 実際上の問題と説得力の問題がある。

2) 3の検討結果の整理

3) 1の(i)~(ii)がおこった時の作業としてあらかじめ行っておく事が可能でかつ望ましいものがあるか。

DISCRI LEVELの検討

81. 2. 18 ch2 (原子炉停止)

(1) ○UPPER は 10VOLTに固定 (使用機器)

○バッファアンプOUTPUTからの信号 ①ORTEC

TIMING SCA

MODEL455

②CANBERRA

DUAL COUNTER/TIMER

MODEL1776

②~1024ch までのカウント合計		LOWER LEVEL	
2824	154 ch	1.2 VOLT	3972 COUNTS / 100 sec
2660	166	1.3 VOLT	1040 "
2513	179	1.4 VOLT	560 "
2385	192	1.5 VOLT	380 "
2237	205	1.6 VOLT	326 "
2075	218	1.7 VOLT	342 "
1904	230	1.8 VOLT	301 "
1682	243	1.9 VOLT	280 "
1481	256	2.0 VOLT	309 "
750	320	2.5 VOLT	118 "
371	384	3.0 VOLT	58 "

(2) マルチャン (NAIG)

0~8VOLT, 1024ch, 3000sec count, 60% Dead time

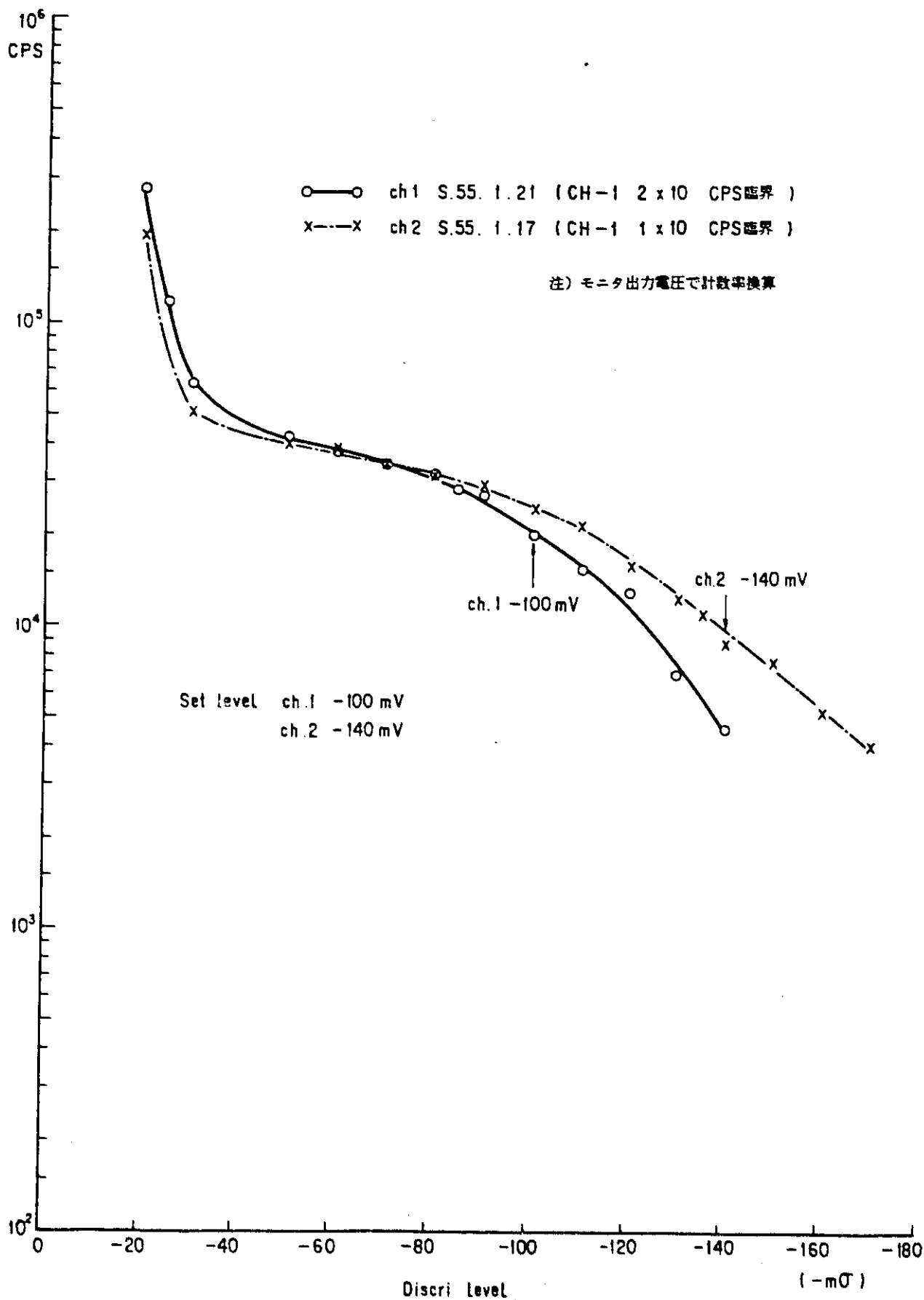


Fig.1 SRM-Discri Curve

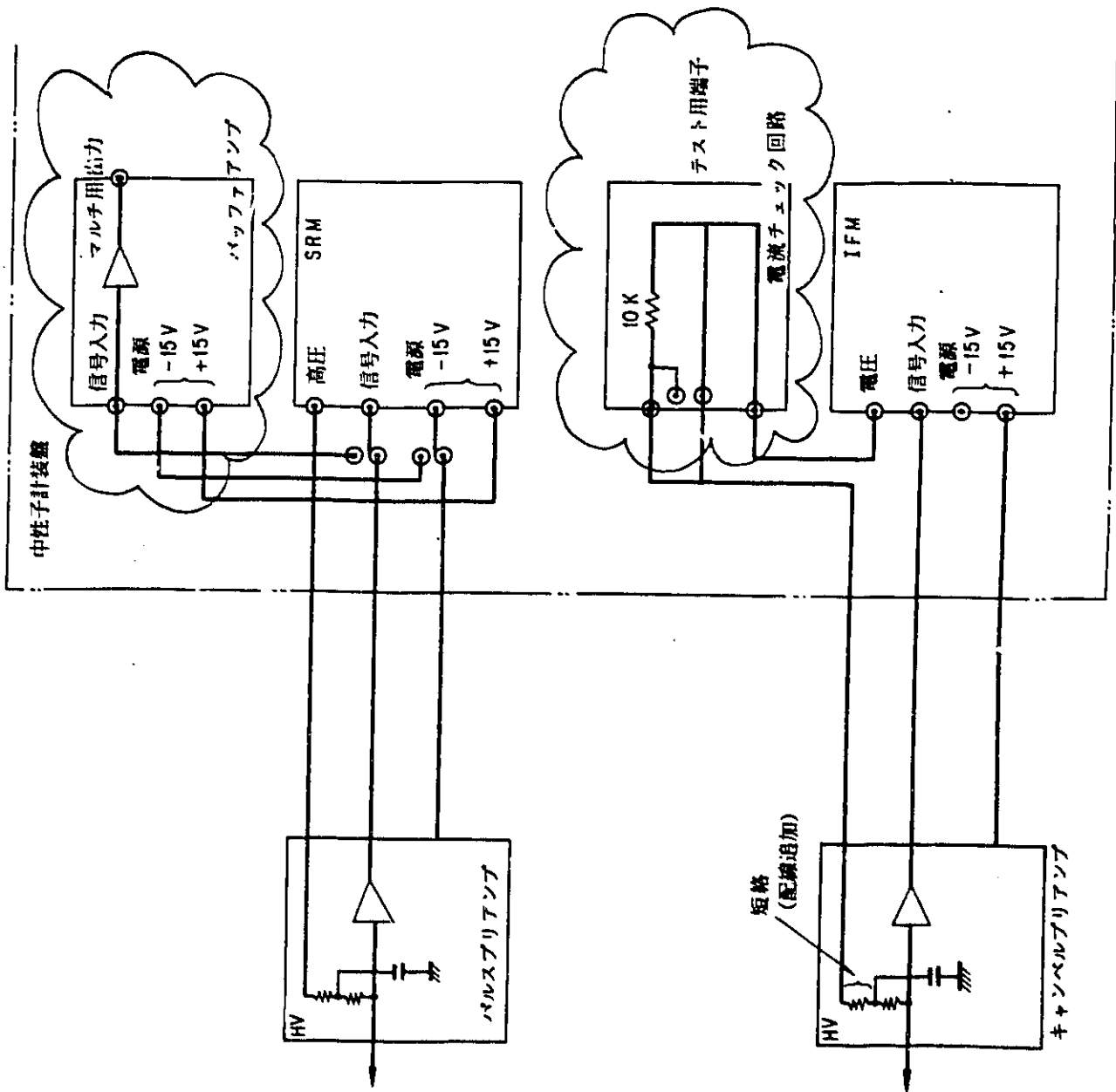


Fig.2 Circuit diagram of SRM and IRM

〔資料 3〕

起動系計数率基準打合せ資料

S 56. 1.2.2
原1. 運管Gr
青木

1. 現在の方法

原子炉起動時の起動系計数率は、ほとんどの場合 3 cps 以下であり、ch.1, ch.2, 共にバイパスしなければ、運転する事が不可能である。現在行なっているバイパス前の確認は、起動前点検として次の事項が行なわれている。

- (1) 計装回路電源の確認
- (2) 計装盤モードスイッチ位置(測定)
- (3) 計数率指示,(安定性), ペリオド指示(∞) (#423の指示記録計指示を含む)
- (4) 中性子検出器位置
- (5) " 温度
- (6) 動作不能, その他ANNの消灯。

その他, 関連事項として,

- (1) 炉停止余裕の確認(技術課の算数資料より 1 Rod Stuck 時の停止余裕と過剰反応度を確認している)
- (2) 炉心構成(前サイクルとの相違等)

以上により, 核計装が正常であり, 起動系(2本とも)の指示値が最小目盛(1 cps)以上あることを確認し, 計数率低のバイパスを行なっている。

その後の制御棒引抜きに当っては, まず, 安全棒4本を引抜く(250℃における 1 Rod stuck 0.98 停止余裕に近い)安全棒全数引抜きとなった時点で, 起動系の計数率を確認し, 計数率の増加をたしかめる。ある程度の増倍が確認されたら, 次のステップとして調整棒を 350 mm まで引抜く。また, この段階から, 逆増倍カーブを求め, 臨界点の予想を定めると共に計算値による予想臨界点を参考して, 制御棒操作を行なっている。

2. 起動系計数率低(3 cps)の適用変更の可能性

1) 3 cps の設定変更

起動系計数率低の設定は, 検出器固有のノイズ, 外部ノイズ影響及び計装系の持つ固有

ノイズ等による計数のゆらぎを考慮して、中性子による計数が確実に判別可能である最小値として定められたものである。従って、適用の変更には、検出器、計装計、外部ノイズ、 γ 線の効果等、すべてを含めたS・N比について再評価し、3 cps以下であっても、中性子検出の判別上支障の無い事を計測側から立証する必要がある。

2) 制御棒をある程度引抜くまでバイパスする。(例えばSR-4本引抜まで)本件については、定検後の起動時に適用不能となる。75 MW第1サイクル時では、SR 4本、RR 1本 350 mmまで引抜いても3 cpsに預っていない。

起動系計数率低、インターロックは、起動、すなわち制御棒引抜インターロックであり、制御棒がある程度引抜かれた時点で確認されたとしても、基本的解決策とはならず、制御棒引抜き前に何らかの方法で炉内に中性子が確実にある事を確認する必要がある。その意味で現在行なっているバイパス操作にも問題があると云える。

3. N. S 不要の証明

原1課としてはできない。

結 論

現状は前記の通りバイパスせずには原子炉起動不可。2課の検討結果3 cps確保が無理の場合および現在までバイパスして起動してきたことの説明としては、①波形を見ながら、②スケータを使用して確認しながら行なった。位しか思い当たらない。

7.5 MW 第1～第3サイクル期間中の起動系指示

ch1/ch2

時 期	制御棒全挿入	安全棒4本引抜	安全棒4本調整棒1本350mm	備 考
S56.1/18 7.5 MW 第1サイクル 起動前 1/21	1.3/1.5 cps	2.0~2.1 / 2.2~2.3 cps	2.6~2.8 / 2.3~2.8 cps	S54.8/23 原子炉停止後約5ヶ月経過
" 3/4 第1サイクル終了直後 3/7	3.5/2.0 cps	6.5~7 / 2.2~3 cps	-	第1サイクル 1/21~3/3
" 5/8 第2サイクル起動前 5/10	2~2.3/1.5 cps	4.0~4.5 / 2.0 cps	-	第2サイクル 5/10~6/18
" 7/14 第3サイクル起動前 7/17		8.0~8.5 / 2.7~3 cps	-	第3サイクル 7/17~8/29
" 8/30 第3サイクル終了時 9/2	5~5.2/2.4 cps	1.0~1.1 / 3.5~4 cps	-	
現 在	2.5/1.5 cps			

別紙

起動系計数率調査 (by 運転記録)

50MW第1 cycle B O C (1978.10.27)			
SR _{in} RR _{in}	(ch. 1)	1.8 cps	(ch. 2) 2.1 cps
SR _{out} RR _{in}		2.4	3.0
⊗ 50MW第1 cycle E O C (1978.12.11) ←停止直後			
SR _{in} RR _{in}		5.5	2.1
50MW第2 cycle B O C (1979. 1.12)			
SR _{in} RR _{in}		2.3	1.2
SR _{out} RR _{in}		3.3	1.3
⊗ 50MW第2 cycle E O C (1979. 2.26) ←停止直後			
SR _{in} RR _{in}		5.0	5.0
⊗ 75MW出力上昇 B O C (1979. 7. 3) (ch. 1 ↔ ch. 3 3/20~7/20までは使えず)			
SR _{in} RR _{in}		1.6	1.7
SR _{out} RR _{in}		2.6	2.4
75MW出力上昇 E O C (1979. 8.16)			
SR _{in} RR _{in}		3	2.5
SR _{out} RR _{in}		5.5	4
(1979.12.21~22) 小2検出器取替			
75MW第1 cycle B O C (1980. 1.21)			
SR _{in} RR _{in}		1.3	1.5
SR _{out} RR _{in}		2.0	2.2
75MW第1 cycle E O C (1980. 3. 9)			
SR _{in} RR _{in}		3.5	2.5
SR _{out} RR _{in}		6.9	2.8
75MW第2 cycle B O C (1980. 5. 8)			
SR _{in} RR _{in}		2.3	2.1
SR _{out} RR _{in}		4.5	3.0
⊗ 75MW第2 cycle E O C (1980. 6.24) ←停止直後			
SR _{in} RR _{in}		7	3.5

● 75MW第3 cycle BOC (1980. 7.15) ←停止直後						
SR _{in}	RR _{in}	(ch. 1)	4	cps	(ch. 2)	2.1 cps
SR _{out}	RR _{in}		8.5			2.7
75MW第3 cycle EOC (1980. 9. 4)						
SR _{in}	RR _{in}		5			2.2
SR _{in}	RR _{in}		10			3.5
<hr/>						
50MW出力上昇 BOC (1978. 4.17)						
SR _{in}	RR _{in}		2.5			2.7
SR _{in}	RR _{out}		-			-
50MW出力上昇 EOC (1978. 8.20)						
SR _{in}	RR _{in}		2.5			2.0
SR _{out}	RR _{in}		4.5			4.0

〔資料 2〕

起動系計数率基準打合せ資料

原子炉2課 第4Gr揃

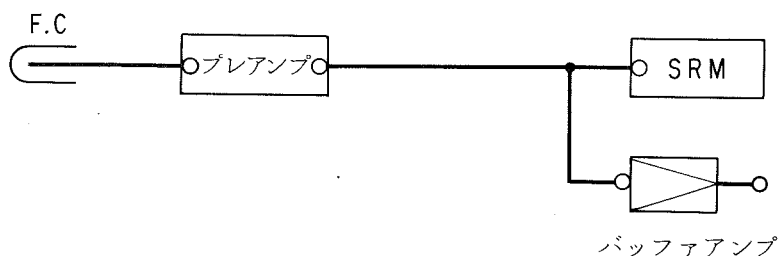
〔参考文献〕原2-(54)-23・22

(1) 現状計装でCR 6本挿入時3 cps確保の可能性

ディスクリ電圧の変更により可能。但しIRMとのオーバーラップ(約1デカード)の問題が出てくる。この時のS/Nは多少悪くはなるが問題となるほどではないと考える。(Fig.1参照。)

(2) 起動系から別信号をとり検出器が生きている等を証明する可能性の検討 ch. 2ともバッファアンプを取り付けておりマルチチャンネルアナライザが取り付けられるようになっている。

(Fig.2参照。)



(3) 検出器交換頻度の基準

工認では2年毎(100 MW 2年)とされている。

- 100 MW 2年の照射量(設計仕様 $\boxed{\text{約 } 3 \times 10^{18} \text{ nvt}}$)とされており, 低出力試験より, 75 MW 第6サイクル終了までの既設検出器(ch. 2を除く)の照射量はほぼ 10^{17} nvt となる。交換は工認と同じ2年で計画中(100 MWにて)

(4) ディスクリレベル決定の基準

低出力試験中は-50 nvで開始したが, IRMとのオーバーラップ等の問題が生じ, -100 nvに変更されている。定検においては現状のままのセット値確認のみとしている。

* DATA TABLE *

Comment 2. 18 81, M. ISHIFURU

3000sec

CH.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3000	907869	955331	3250	49527	88274	116606	136734	159786	172522
10	181209	163712	184017	152210	138116	111093	77572	39469	994198	946410
20	888548	829221	782933	689637	614439	532176	449902	361767	274351	176680
30	82516	983361	885950	784967	685184	584077	479443	383323	277478	180016
40	79529	983979	888577	792691	704917	614944	528764	442308	361923	283593
50	267440	133652	65561	27	935691	873057	818708	759692	706679	656905
60	610144	566511	523576	486211	448687	412410	380992	349817	324171	296779
70	272213	248948	228285	208639	190604	173320	158579	143717	130770	118819
80	108070	97325	88740	80000	72557	65031	59398	53313	47533	42393
90	38866	34926	31558	28112	24813	22352	19982	17950	15837	14022
100	12442	11226	10065	8876	8081	6975	6302	5530	4977	4274
110	3764	3330	3113	2617	2385	2013	1831	1587	1426	1264
120	1078	1007	966	766	646	592	490	462	378	332
130	307	247	255	200	165	170	131	119	97	98
140	86	60	67	62	58	42	43	30	23	37
150	20	30	23	18	17	30	15	17	19	15
160	15	8	8	13	11	7	15	19	9	14
170	13	10	13	10	11	8	12	13	12	4
180	6	12	10	13	13	14	16	10	13	9
190	9	15	26	18	17	12	12	11	10	15
200	14	12	15	12	11	11	16	15	13	12
210	12	9	14	17	9	13	19	20	16	1
220	19	16	17	23	16	17	13	9	11	12
230	16	15	23	15	23	15	23	14	12	21
240	21	22	14	7	16	18	17	17	18	17
250	13	22	16	16	14	16	16	7	19	15
260	13	15	15	13	13	23	13	15	13	16
270	18	7	13	14	13	15	9	19	16	10
280	8	10	22	11	12	11	11	14	12	12
290	13	14	8	17	12	10	10	12	10	15
300	12	16	12	16	8	10	12	8	7	7
310	8	8	7	12	8	10	13	11	8	6
320	13	7	7	10	10	10	11	3	9	7
330	8	9	12	5	3	6	8	10	11	7
340	16	13	8	9	6	11	7	7	6	7
350	8	8	12	11	9	6	5	1	9	8
360	6	9	8	8	6	3	5	7	6	3
370	7	4	3	2	5	8	5	9	4	3
380	6	3	9	5	5	7	4	1	3	7
390	4	4	5	5	7	9	8	3	2	5
400	2	5	3	2	2	3	2	7	7	2
410	4	3	4	9	2	5	6	2	2	1
420	4	3	0	5	2	6	0	4	3	5
430	2	7	4	3	3	3	5	2	4	1
440	3	2	5	5	2	2	1	4	4	4
450	4	2	3	1	2	4	1	0	1	2
460	2	2	2	2	0	3	3	2	2	1
470	3	2	2	3	2	2	5	1	1	1
480	3	2	6	1	0	0	1	4	2	0
490	1	2	1	4	2	1	1	1	0	1
500	1	2	2	0	2	3	2	0	3	0
510	3	3	0	1	2	0	0	1	2	4
520	0	0	3	0	2	1	4	2	1	1
530	0	2	2	2	2	0	2	3	0	2
540	1	1	4	2	1	3	3	0	3	5
550	0	0	1	0	1	2	2	5	4	2
560	2	3	0	3	1	2	1	0	2	1
570	3	1	1	1	0	1	0	1	0	0
580	1	1	0	0	0	2	0	1	1	1
590	1	0	3	0	3	0	1	0	1	3
600	0	1	2	1	1	1	0	0	1	0
610	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1
620	0	1	0	0	1	0	1	2	1	0
630	0	3	2	0	0	0	0	0	1	0
640	2	0	0	0	1	0	1	1	1	0
650	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
660	0	1	1	0	2	1	0	0	0	0
670	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
680	0	1	0	1	1	0	1	0	0	2
690	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
700	0	2	1	0	0	0	0	2	0	0
710	1	0	0	1	0	1	2	0	0	0
720	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0
730	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
740	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
750	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
760	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
770	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
780	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
790	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0

210	12	9	14	17	9	13	19	20	16	1
220	19	16	17	23	16	17	13	9	11	12
230	16	15	23	15	23	15	23	14	12	21
240	21	22	14	7	16	18	17	17	18	17
250	13	22	16	16	14	16	18	7	19	15
260	13	15	15	13	13	23	13	15	13	16
270	18	7	13	14	13	15	9	19	16	10
280	8	10	22	11	12	11	11	14	12	12
290	13	14	8	17	12	10	10	12	10	15
300	12	16	12	16	8	10	12	8	7	7
310	8	8	7	12	8	10	13	11	9	6
320	13	7	7	10	10	10	11	8	9	7
330	8	9	12	5	3	6	8	10	11	7
340	16	13	8	9	6	11	7	7	6	7
350	8	8	12	11	9	6	5	1	9	8
360	6	9	8	8	6	3	5	7	6	3
370	7	4	3	2	5	8	5	9	4	3
380	6	3	9	5	5	7	4	1	3	7
390	4	4	5	5	7	9	8	3	2	5
400	2	5	3	2	2	3	2	7	7	2
410	4	3	4	9	2	5	6	2	2	1
420	4	3	8	5	2	6	8	4	3	5
430	2	7	4	3	3	3	5	2	4	1
440	3	2	5	5	2	2	1	4	4	4
450	4	2	3	1	2	4	1	8	1	2
460	2	2	2	2	0	3	3	2	2	1
470	3	2	2	3	2	2	5	1	1	1
480	3	2	5	1	0	0	1	4	2	0
490	1	2	1	4	2	1	1	1	0	1
500	1	2	2	0	2	3	2	0	3	0
510	3	3	0	1	2	0	0	1	2	4
520	0	0	2	0	2	1	4	2	1	1
530	0	2	2	2	2	0	2	3	0	2
540	1	1	4	2	1	3	3	0	3	5
550	0	0	1	0	1	2	2	5	4	2
560	2	3	0	3	1	2	1	0	2	1
570	3	1	1	1	0	1	0	1	0	0
580	1	1	0	0	0	2	0	1	1	1
590	1	0	3	0	3	0	1	0	1	3
600	0	1	2	1	1	1	0	0	1	0
610	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1
620	0	1	0	0	1	0	1	2	1	0
630	0	3	2	0	0	0	0	0	1	0
640	2	0	0	0	1	0	1	1	1	0
650	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
660	0	1	1	0	2	1	0	0	0	1
670	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
680	0	1	0	1	1	0	1	0	0	2
690	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
700	0	2	1	0	0	0	0	2	0	0
710	1	0	0	1	0	1	2	0	0	0
720	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0
730	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
740	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
750	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
760	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
770	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
780	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
790	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
800	0	0	0	1	2	1	1	3	2	2
810	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0
820	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
830	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
840	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
850	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
860	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
870	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
880	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
890	0	0	1	3	2	3	0	3	1	0
900	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
910	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
920	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
940	0	1	0	0	3	0	0	0	0	2
950	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
970	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
980	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
990	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1
1000	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
1010	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
1020	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0