



TN241 71-31

区分変更	
変更後資料番号	71
決裁年月日	平成13年7月31日

東京大学高速中性子源炉

弥 生

研 修 報 告 書



昭和46年6月

高速増殖炉開発本部

(研修参加者)

動力炉・核燃料開発事業団

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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

第 1 章	序	1
第 2 章	研 修 日 程	2
第 3 章	研 修 業 務	4
§ 3. 1	予備チャンネルの整備	4
§ 3. 2	臨界近接実験	4
§ 3. 3	制御棒校正実験	4
第 4 章	総 括	5

添 付 資 料

- A 予備チャンネルの整備
- B 臨界近接実験
- C 制御棒校正実験
- D 研修期間中の作成資料
- E 試験計画関係東大側作成資料

第 1 章 序

東海村に建設された東京大学高速中性子源炉「弥生」の臨界試験にあたって、臨界試験の研修を目的として、FBR開発本部のメンバーが同試験に参加した。

本報告書は、この臨界試験の研修内容に関するものである。本文においては、研修日程、及び研修業務の概要をのべ、研修内容の詳細は添付資料にまとめた。又、研修期間中に動燃メンバーの作成した資料、及び同期間に入手した東大側作成資料も、参考資料として添付した。

短い研修期間ではあったが、多くの関係者の御指導と御配慮により、貴重な成果をうることができた。本報告書の内容は、研修メンバー全員の努力の結果であるが、報告書としてのとりまとめは、福田が担当した。

研 修 者 氏 名

高速実験炉開発本部

野	本	昭	二
小	杉	久	夫
谷	山		洋
吉	田	恭	二 郎
小	林		一
寺	垣	鉄	雄
前	田	清	彦
松	野		清
中	本	香	一 郎
福	田		達

第 2 章 研 修 日 程

研修日程及び業務内容は次の通りである。東京における東大関係者との打合せも含めて記載した。

月 日	場 所	業 務	参 加 者 氏 名
1. 9 土	東 京	研修内容打合せ	野本, 小杉, 谷山, 福田
1. 19 火	東 京	同 上	野本, 谷山, 前田, 福田
2. 10 水	東 海	「弥生」炉見学	野本, 谷山, 前田, 寺垣, 松野, 中本, 福田
2. 18 木	東 京	研修内容打合せ	野本, 吉田, 寺垣, 小林, 前田 小杉, 谷山, 松野, 中本, 福田
2. 26 金	東 海	「弥生」炉見学	吉田, 小杉, 小林
3. 10 水	〃	機能試験参加	福田
3. 11 木	〃	試験計画, 日程打合せ	野本, 吉田, 福田, 前田
3. 16 火	〃	○臨界近接手順検討 ○シーケンス調査	前田, 福田
3. 17 水	〃	同 上	前田
3. 18 木	〃	○ 同 上 ○制御棒較正手順検討	前田, 寺垣, 福田
3. 19 金	〃	○制御棒較正検討会 ○スケジュール等打合せ	小林, 寺垣, 前田 小杉, 谷山, 福田
3. 23 火	〃	制御棒較正手順作成	前田, 福田
3. 24 水	〃	同 上	前田, 小林, 福田, 小杉, 谷山, 野本
3. 25 木	〃	○試験計画 ○予備チャンネル } 打合せ	前田, 小林, 吉田, 野本 小杉, 谷山, 福田
3. 29 月	〃	予備チャンネル整備	谷山, 前田, 福田
3. 30 火	〃	同 上	谷山, 前田, 福田
3. 31 水	〃	同 上	松野, 前田, 福田

月 日	場 所	業 務	参 加 者 氏 名
4. 1 木	東 海	○予備チャンネル整備 ○試験計画打合せ	松野, 前田, 福田
4. 2 金	〃	予備チャンネル整備	福田
4. 3 土	〃	同 上	福田
4. 6 火	〃	臨界近接演習	谷山, 前田, 中本
4. 7 水	〃	○臨界近接演習, 予備チャンネル整備 ○臨界近接演習反省会	吉田, 前田, 谷山, 福田
4. 8 木	〃	○予備チャンネル整備 ○臨界近接開始	前田, 谷山, 松野, 中本, 福田, 小杉
4. 9 金	〃	臨界近接	野本, 小杉, 寺垣, 前田 松野, 中本, 谷山
4. 10 土	〃	同 上	野本, 小杉, 寺垣, 小林, 前田 松野, 中本, 谷山, 福田
4. 11 日	〃	同 上	野本, 小杉, 寺垣, 小林, 前田 松野, 中本, 谷山, 福田
4. 15 木	〃	○スケジュール打合せ ○制御棒較正資料作成	野本, 前田, 福田
4. 16 金	〃	出力仮較正	福田
4. 20 火	〃	制御棒較正実験	谷山, 福田
4. 21 水	〃	同 上	谷山, 寺垣, 前田, 福田
4. 22 木	〃	同 上	谷山, 寺垣, 前田, 福田
4. 28 水	〃	同 上	前田, 小林, 福田
4. 29 木	〃	同 上	前田, 小林
5. 14 金	〃	○スケジュール打合せ ○制御棒較正実験データ調査	福田
5. 26 水	〃	制御棒較正試験報告会	小杉, 谷山, 前田, 福田

第3章 研 修 業 務

東大炉における研修業務の具体的内容としては、次の3テーマにまとめることができる。

1. 予備チャンネルの整備
2. 臨界近接実験
3. 制御棒較正実験

このほかに、東大炉の建設及び試験に関連して、機能試験、運転訓練への参加、及び出力仮較正実験立会等をあげることができる。

§ 3.1 予備チャンネルの整備

臨界近接及び制御棒較正のため予備チャンネル4系統が設けられたが、このうちから、BF₃ 1系統、³He 2系統の整備をPNCグループが担当した。具体的には、①検出器の位置決定、②スペクトル測定 ③ディスクリ・ノイズ決定 ④バックグラウンド・ノイズスペクトル測定 ⑤dead timeの測定 ⑥バックグラウンド計数測定 ⑦基準カウント測定等の作業を行ない、測定可能な状態に整備した。作業内容の詳細は、添付資料Aにまとめた。

実際に測定系回路機器に熟達したメンバーがほとんどいなかったこと、構成機器が与えられたもので、その特性の把握、取扱操作に習熟するのに時間を要したこと、などの理由から、3系統全部の整備完了までにかかなりの時間がかかったが、東京大学研究室の方々の御指導により整備作業をおえることができた。

§ 3.2 臨界近接実験

今迄の原子炉の場合と同様の手順で、臨界近接実験が行なわれたが、この際、上記予備チャンネル3系統の計測、及び計数データの処理に、PNCメンバーが分担参加した。

臨界近接実験は、4月8日夕方の基準カウントの計数から開始され、4月10日17時46分、濃縮ウラン24.870kg(93%濃縮)で臨界に到達したことが宣言された。近接実験の状況、各検出器の計数などの詳細は添付資料Bにまとめた。

§ 3.3 制御棒較正実験

制御棒較正実験が、今回の研修における中心テーマであり、試験要領、手順書、データシートの作成並びに実験データの解析、報告書の作成をすべてPNCが担当した。実験の実施は、原子炉の運転をとまなうものであり、東大の責任で行なわれたが、計数値の測定

などはPNCメンバーも分担担当した。これらの詳細は、添付資料Oにまとめた。この添付資料Oは、制御棒校正試験報告書として、東大へ提出したものと同一内容である。

FOA等での試験方法を十分参考にして、試験要領を作成したこともあって、東大-PNC全メンバーの協力により、初期の目的を達成することができた。

第4章 総 括

研修の成果をふりかえる時、参加者の過去の経験、現在の業務によってさまざまなものがあると考えられるが、次のようにまとめることが出来るであろう。

1. デスク・ワーク中心の業務に対し、実地に測定機器を取扱うことができて、中性子検出装置系統の問題点に接し、測定系を理解することができた。
2. 臨界近接実験に参加し、近接の手順、臨界確認、組織体制を実地に理解することができた。
3. 制御棒校正実験に参加し、校正の方法、測定方法、解析方法などを実習することができた。
4. 出力仮校正に立会い、マイクロ核分裂計数管の測定系、特性、校正方法を学ぶことができた。
5. 熱中性子炉と異なる高速炉の炉物理特性を理解することができた。
6. 制御棒シーケンス、制御棒操作、核計装機器の構成等、原子炉制御盤に関し、実際の内容に接することができて、運転、保守、試験の立場から問題点を明らかにすることができた。

これらの総体の結論として、「常陽」特性試験の準備をすすめてゆくにあたり、各分野での問題の焦点を把握することができたことは貴重な成果として強調することができさるであろう。

おわりに、本研修にあたり、御多忙にもかかわらず、御指導、御協力をいただいた、東京大学安教授、古橋助教授はじめ関係者すべての方々に、深く感謝の意を表わして結びとします。

添 付 資 料 A

予 備 チ ャ ン ネ ル の 整 備

第 1 章	予備検出器の概要	8
§ 1. 1	構 成	8
§ 1. 2	配 置 の 決 定	8
§ 1. 3	整 備 の 概 要	8
第 2 章	特 性 測 定	9
§ 2. 1	プ ラ ト ー 特 性	9
§ 2. 2	ディスクリ・レベルの決定	9
§ 2. 3	dead time (分解能) の測定	1 0
§ 2. 4	バックグラウンドの測定	1 0
表	第 1 表 ~ 第 3 表	1 1
図	第 1 図 ~ 第 5 図	1 3

第1章 予備検出器の概要

§ 1.1 構 成

臨界近接実験及び制御棒較成実験のため、中速中性子柱（運転位置C）に、予備中性子検出器（Extra channel）が4系統仮設された。これらの系統構成の概要を第1図及び第1表に示す。

PNC 研修グループは、これらのうち、BF₃-2, He-1, He-2 の3系統の整備を担当した。本報告書は、整備状況の概要をまとめたものである。

§ 1.2 配置の決定

臨界近接における中性子の増倍に確実に応答できるよう、基準状態（C₀ 濃縮ウラン未装荷）での計数が2～3 cps程度となることを目標に、検出器の配置を決定した。当初は、検出器の感度が低く、パラフィン等で囲んで中性子計数をふやす必要があるのではないかと予想されたが、実際には、かなり計数率が多くなり、むしろ、遠ざけるのに苦勞する状況であった。

最終的には、第1表（配置図は添付資料C第7図）に記載した位置に設定したが、各実験孔に半分程ぬきだした位置で固定した。それでも、He-1 では17 cps 程度もあり、目標をはるかに上回る値で妥協せざるをえなかった。

§ 1.3 整備の概要

各系統の整備作業としては、プラート特性の測定（高圧電圧の決定）、ディスクレベルの決定（スペクトル測定）、dead time の測定及び全条件設定状態でのバックグラウンド測定があげられる。以下に、これらの作業の概要を記すが、作業は一直線で進行したのではなく、一つの条件を設定すると他の特性が変わってくるという状況でかなり試行錯誤的な色彩が強く、しかも現場でのデータが確実に記録されているとも限らないので、最終状態での系の特性を正確にまとめていないのではないかと懸念される。

第2章 特性測定

§ 2.1 プラトー特性

中性子検出器にかかる高圧電源の設定電圧の変化に対して、有効な中性子の計数が安定であるように、設定電圧を決定する必要がある。このため設定電圧をかえて、中性子を計数し、中性子計数率が一定の部分（プラトー）をさがして設定電圧を決定する。

しかし、このプラトー特性は、次節にのべるディスクリ・レベルと関連してディスクリ・レベルが異なると変化する。他方、ディスクリ・レベル決定の基礎となるパルス・ハイト・スペクトルも設定電圧によって変ってくる。従って、両方のパラメータを適当に調節して、もっとも望ましい状態に設定しなければならない。

第2図にディスクリ・レベルの違いによるプラトー特性の変化を示す。第3図に、設定電圧の違いに対するパルス・ハイト・スペクトルの違いを示す。第4図に、最終的なプラトー特性を示す。この結果から、次の通り設定電圧を決定した。

BF_3-2	1850V
$\text{He}-1$	1900V
$\text{He}-2$	1900V

§ 2.2 ディスクリ・レベルの決定

中性子の反応による有効なパルスから、雑音パルスを分離するため、Main Amp の出たあとにディスクリ・レベルを設定する。このレベルをこえたパルスだけが、あとのScalerに入っていく。雑音をcutするためには高いレベルに設定することが望ましいが、他方有効な中性子パルスもcutすることとなり計数感度が悪くなる。又、プラトー特性もせまくなり、高圧電源の変動に対して、有効計数が敏感に変動して不安定になる可能性がある。

これらを総合的に考慮してディスクリ・レベルを決定した。第5図に、パルス・ハイト・スペクトルとディスクリ・レベルの関係を示す。最終的な設定値は次の通りである。

BF_3-2	1.00
$\text{He}-1$	2.40
$\text{He}-2$	2.10

尚、 BF_3-2 系は、その後Single channel Analyzerを交換したので、その場合

の設定レベルは 0.94 とした。(パルス・ハイト・スペクトルに対する関係は変らない。)

§ 2.3 dead time (分解能) の測定

double pulse generator で発生させたパルスを Pre Amp の Input 側に入れて、Pre Amp 以降の dead time (分解能) を測定した。double pulse generator のパルス波形は三角波であるが、これを Pre Amp に入れ、Pre Amp からの Out Put 波形が実際の中性子反応パルスと同形となるよう調整した。まず、single pulse を入れて scaler で計数する。次に、一定時間間隔をおいた double pulse を入れて scaler で計数する。時間間隔をせばめてゆくと、ある時点から scaler の計数が、single pulse の場合の計数を下廻るようになる。この時の時間間隔をもって、系統の dead time とした。

測定結果を第 2 表に示す。この結果から、各系統の dead time (Pre Amp 以降) を次の通りと推定した。

BF ₃ 系	4 μ sec
He 系	3.5 μ sec

§ 2.4 バックグラウンド測定

全系の条件を決定後、バックグラウンドの測定を行なった。測定データを第 3 表にまとめたが、かなりのばらつきがみられる。原子炉施設各系統の調整中であつたこと、エア・ロックの開閉が行なわれたことなどにより、ノイズが不規則に入ったのではないかと推定される。Pulse Height Analyzer により監視をつづけたが、これには明らかにノイズと考えられる高い Pulse を認めることは出来なかった。Pulse Height Analyzer の応答が遅いためかと考えられる。従つて、このノイズを cut するために、ディスクリ・レベルを変更することはしなかった。

第 1 表 予備中性子検出系の構成

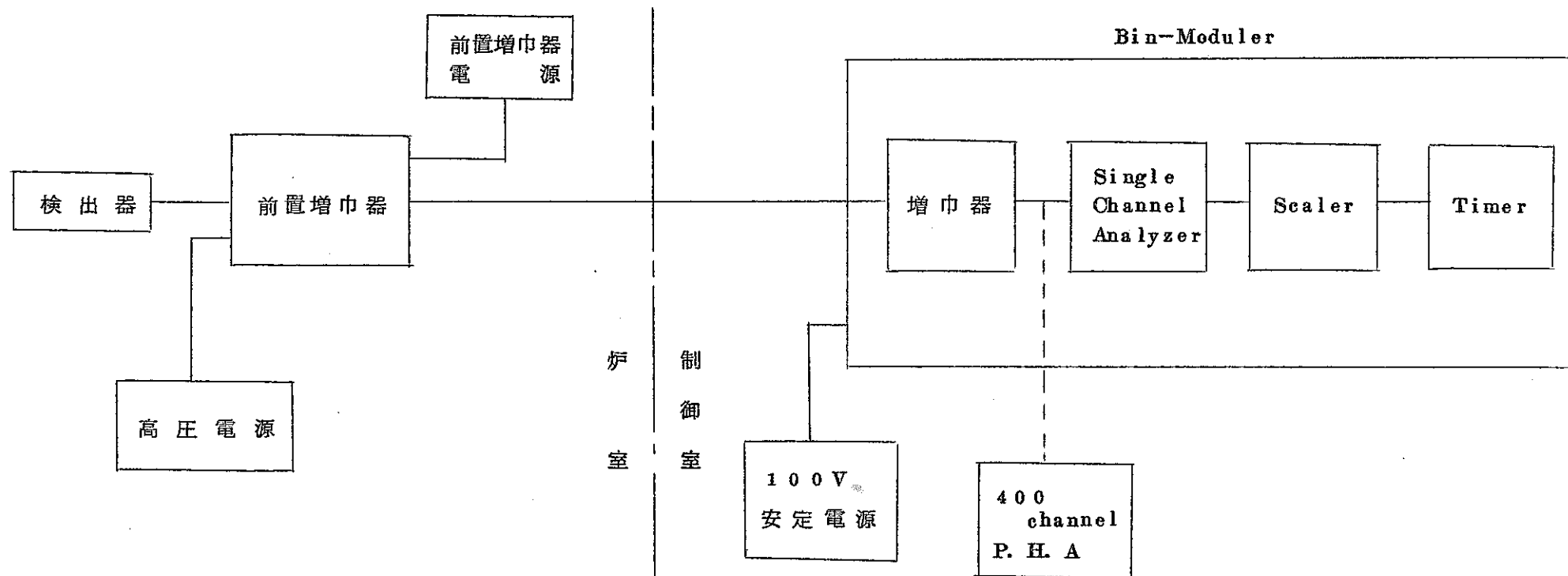
系 統	BF ₃ -1	BF ₃ -2	³ He-1	³ He-2
取 付 位 置	水平実験孔 № 3 8	水平実験孔 № 4 9	垂直実験孔 № 4 0	垂直実験孔 № 4 8
中 性 子 検 出 器	三 菱 電 機 ND-8534-30 № 7 3 8	左 同 № 7 3 9	Texas Nuclear model 9341 SN2390	左 同 SN1959
高 圧 電 線	神 戸 工 業 12T015	左 同	東 京 原 子 HV6020	左 同
前 置 増 幅 器	神 戸 工 業 PA-200 gain:×11	神 戸 工 業 PA-20 gain:×11	東 京 原 子 703-1B №110007 gain:×10	東 京 原 子 703-1B №110014 gain:×10
前 置 増 幅 器 電 源	ナショナル乾電池 3V×3	左 同	Power Supply +24V	左 同
ア テ ニ ュ エ ー タ	使 用	使 用	な し	な し
Bin-Moduler	東 京 原 子	左 同	左 同	左 同
増 幅 器	東 京 原 子 Linear Amp 704-1	左 同	東 京 原 子 Multimode Amp 704-3B	左 同
Single channel Analyzer	東 京 原 子 Pulse Height Analyzer 706-1	東 京 原 子 Pulse Height Selector 705-1	東 京 原 子 Timing Single channel Analyzer 706-2	左 同
Scaler Timer	東 京 原 子 Scaler-Timer 711-2	左 同	大 阪 電 波 MPS-1256 MPS-1250	左 同
整 備 担 当	東 大	動 燃	動 燃	動 燃

第 2 表 Dead Time の 測 定

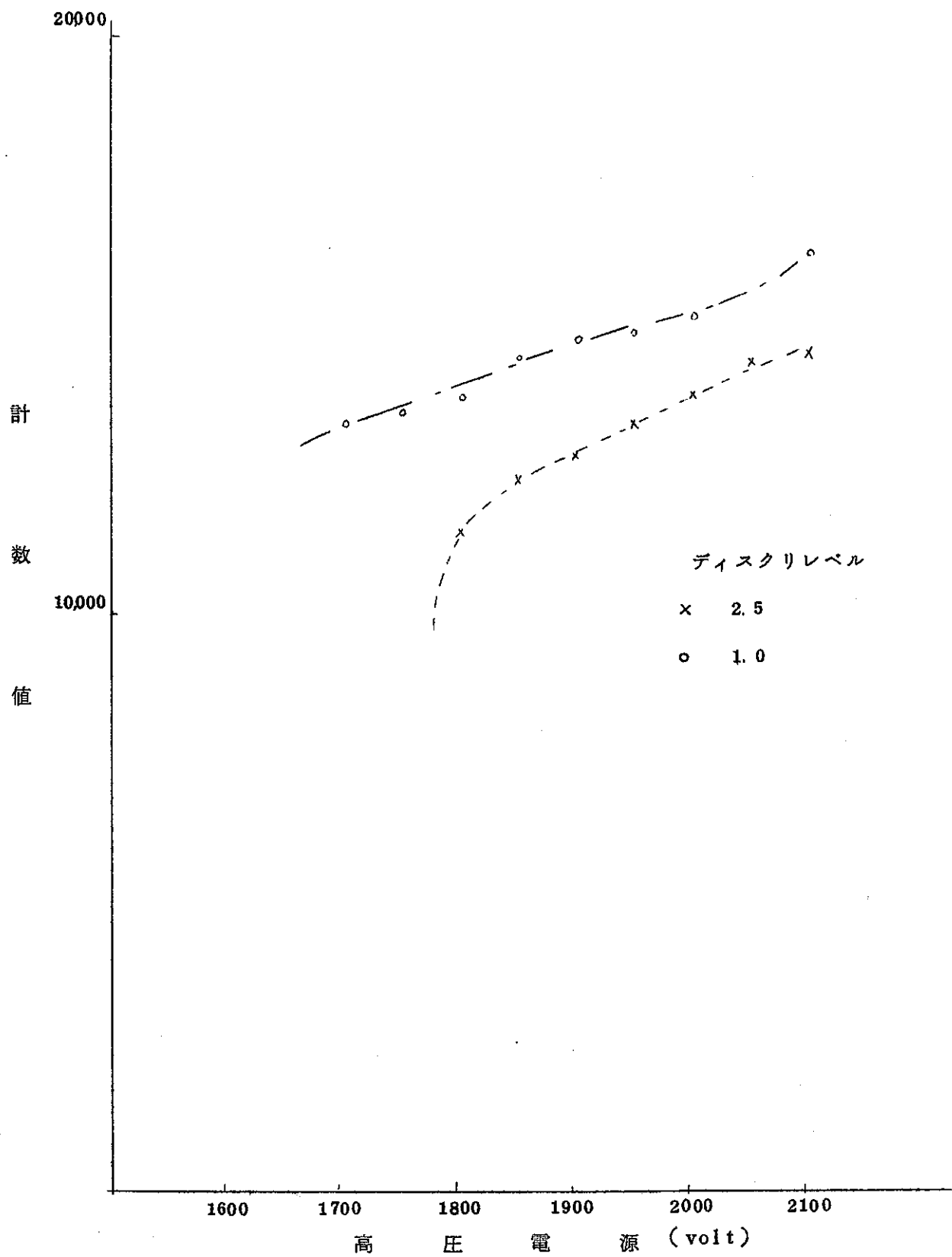
BF ₃ 系		He ³ 系	
パルス間隔	計 数	パルス間隔	計 数
Single Pulse	9,153	Single Pulse	9,094
4 μ sec	18,279	4 μ sec	18,094
3.5 μ sec	18,280	3 μ sec	16,860
3 μ sec	9,143	2 μ sec	16,270
2.5 μ sec	9,142		
2 μ sec	9,143		

第 3 表 バック・グラウンドの測定

BF ₃ - 2		He - 1		He - 2	
計測時間	計 数 率	計測時間	計 数 率	計測時間	計 数 率
5 分	55.8cpm	60分	5.6 cpm	60分	9.8 epm
5	43.6	5	75.8	41	2.0
5	0.4	7	65.9	7	2.1
500秒	13.4	5	46.2	5	0.2
500	2.2	5	1.4	5	1.4
320	0.9	10	37.0	10	0.5
		5	13.6	5	0.6
		30	42.7	30	0.9



第1図 予備中性子検出系の構成



第 2 図 ディスクリ・レベルとプラトー特性

電 圧

高 圧 電 源 と

大 阪 大 学 工 学 部 電 気 工 学 科

高 圧 電 源

1000V

1500V

計
数
値

10⁴

10³

10²

100

200

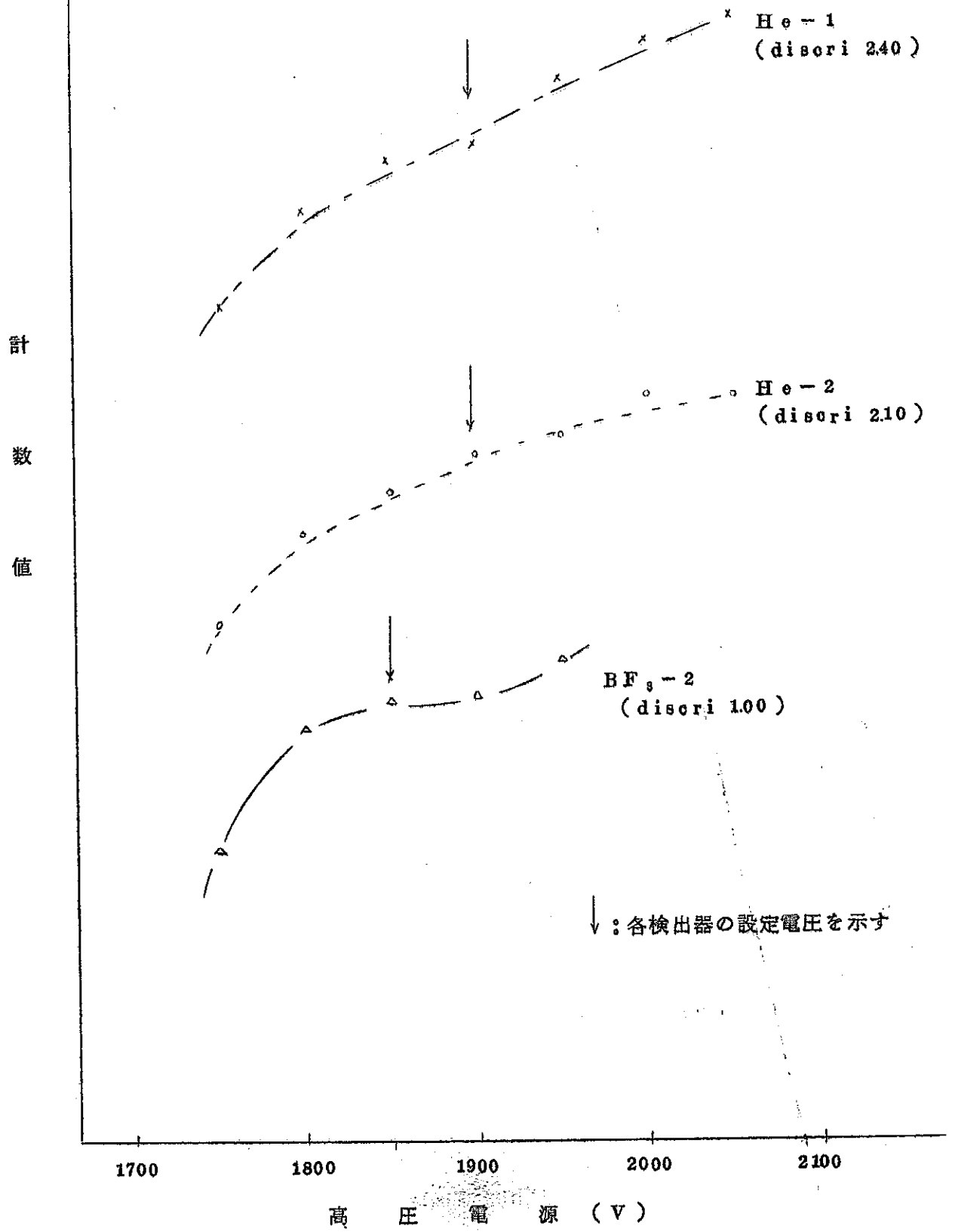
300

400

500

大 阪 大 学 工 学 部 電 気 工 学 科

第 4 図 プ ラ ト - 特 性



第 5 圖

パルス・ハイト・スペクトルと

ディスクリ・レベル

△ BF₃-2

× He-1

○ He-2

↓ : ディスクリ・レベルを示す

計
数
値

50

100

150

200

250

300

パルス・ハイト・チャンネル

添 付 資 料 B

臨 界 近 接 実 験

第 1 章 臨界近接の準備	2 0
§ 1. 1 燃 料 要 素	2 0
§ 1. 2 中 性 子 源	2 0
§ 1. 3 中 性 子 検 出 器	2 1
§ 1. 4 組 織	2 1
第 2 章 臨 界 近 接	2 2
§ 2. 1 炉 心 構 成 の 目 標	2 2
§ 2. 2 臨 界 近 接 手 順	2 3
§ 2. 3 中 性 子 増 倍 の 計 測	2 3
第 3 章 臨 界 位 置	2 4
表 第 1 表 ~ 第 6 表	2 5
図 第 1 図 ~ 第 7 図	3 1

第1章 臨 界 近 接 の 準 備

§ 1.1 燃 料 要 素

「弥生」の燃料要素は、炉心燃料及びブランケット燃料からなる。それぞれの仕様は次の通りである。

(1) 炉 心 燃 料

燃料要素A, B, Cからなり、いずれも濃縮ウランである。

材 質	金属ウラン
濃 縮 度	93 w/o U^{235}
形 状	円柱状
被 覆 材	SUS-27 0.7mm
寸 法 A	124 ϕ mm $\times$ 40 mm
B	124 ϕ mm $\times$ 49 mm
C	124 ϕ mm $\times$ 71 mm
厚 さ	1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 10 mm, 16 mm, 20 mm 各1枚 5 mm 各2枚
密 度	18.6 g/cm ³

(2) ブランケット燃料

材 質	金属ウラン
濃 縮 度	0.4 w/o U^{235}
寸 法	333 ϕ mm (外径) $\times$ 133 ϕ mm (内径) $\times$ 386 mm
被 覆 材	SUS-27 0.7 mm (内面), 5 mm (外面), 10 mm (端面)
密 度	18.8 g/cm ³

§ 2.1 中 性 子 源

起動用の中性子源として、次の人工中性子源が使用される。

種 類	Am-Be
強 度	5×10^6 n/sec

§ 1.3 中性子検出器

「弥生」には、正規の核計装として、起動系、対数出力系、線型出力系各2系統が設けられているが、この他に臨界近接用として、予備中性子検出器4系統が仮設された。各系統の概要は次の通りである。

系 統 数	検 出 器	設 置 場 所	略 称
起 動 系 2	U^{235} 核分裂計数管	炉心集合体	FC-1, 2
対数出力系 2	γ 補償型 ^{10}B 電離箱	同 上	
線型出力系 2	同 上	同 上	CIC-1, 2
予 備 系 2	BF_3 計数管	中速中性子柱	
		水平実験孔 № 3 8	BF_3-1
		〃 № 4 9	BF_3-2
同 2	He^3 計数管	垂直実験孔 № 4 0	$He-1$
		〃 № 4 8	$He-2$

各検出器の配置は、添付資料Cの第7図にまとめてある。又、予備系の詳細な構成及び整備内容は、添付資料Aにまとめた。

§ 1.4 組 織

臨界近接実験は、次の組織で実施された。



PNC 研修グループは、計測担当（予備系）及びデータ処理担当のグループに参加して、業務を分担した。

第2章 臨 界 近 接

§ 2.1 炉心構成の目標

超過反応度 1.1% の炉心を構成することを目標とし、これを次のように配分して、各制御棒に分担させる。

$$\begin{array}{ll} \text{機械的固定部分} & 0.7\% \frac{\Delta K}{K} \text{ (シム棒 1 : } 50 \text{ mm)} \\ \text{手動制御可能部分} & 0.4\% \frac{\Delta K}{K} \left(\begin{array}{l} \text{シム棒 2 : } \frac{1}{4} \text{ 挿入, 調整棒 : 全引抜} \\ \text{又は} \\ \text{シム棒 2 : } \frac{1}{2} \text{ 挿入, 調整棒 : } \frac{1}{2} \text{ 挿入} \end{array} \right) \end{array}$$

(注) カッコ内は、制御棒の反応度(計算値)から推定した位置である。

反応度(計算値)	安全ブロック	$4\% \frac{\Delta K}{K}$
	シム棒 1	0.8%
	安全棒 1, 2	各 0.6%
	シム棒 2	0.4%
	調整棒	0.3%

この配分の根拠は、運転位置による超過反応度の差(C位置とB位置(反射体なし)との差が $0.6\% \frac{\Delta K}{K}$)を機械的固定部分に負担させ、出力上昇にともなう反応度変化(ゼロ出力から全出力まで $0.3\% \frac{\Delta K}{K}$)を手動制御可能部分に分担させたことによる。

燃料装荷の際には、前部遮蔽体鉛ブロックはとりはずしておく。この反応度は $0.2\% \frac{\Delta K}{K}$ と推定されている。又、C燃料1mm板1枚の反応度も $0.2\% \frac{\Delta K}{K}$ と推定されているので、まず、シム棒1 : 50 mm, その他の制御棒全挿入(手動制御可能部分の超過反応度なし)の炉心で臨界とすることを目標として臨界を行なう。このあと、次の手順をへて、最終的にC位置における $1.1\% \frac{\Delta K}{K}$ 超過反応度炉心を構成する。

1. シム棒1 : 50 mm, 他の制御棒全挿入 — 超過反応度 $0.7\% \frac{\Delta K}{K}$

推定臨界量 29.6 Kg (E. U)

2. C燃料1mm板1枚追加(質量係数測定)

シム棒1 : 50 mm, 調整棒 : $\frac{1}{2}$ 挿入 — 超過反応度 $0.9\% \frac{\Delta K}{K}$

3. 前部遮蔽体鉛ブロック装着

シム棒1 : 50 mm, 調整棒 : $\frac{1}{2}$, シム棒2 : $\frac{1}{2}$ 挿入 — 同 : $1.1\% \frac{\Delta K}{K}$

§ 2.2 臨界近接手順

超過反応度 $0.7\% \Delta K/K$ の炉心(シム棒 1 : 50 mm, 他の制御棒全挿入)の臨界量は、濃縮ウラン 29.6 Kg と推定されるので、これに対し、次の手順で燃料装荷を行なう。

ステップ	装荷量	装荷量計	実 際 の 内 容
1	A 燃料 8.930 Kg	8.930 Kg	A 燃料
2	B 燃料 7.656 Kg	16.586 Kg	B 燃料
3	C 燃料 6.113 Kg 8 mm, 20 mm ピン	22.699 Kg	C 燃料 20 mm, ピン
4	C 燃料 3.466 Kg 16 mm	26.165 Kg	C 燃料 8 mm, 2 mm
5	C 燃料 1.568 Kg 5 mm, 2 mm	27.733 Kg	C 燃料 24.418 Kg 16 mm (8 mm, 2 mm をとる)
6	C 燃料 1.099 Kg 5 mm	28.832 Kg	C 燃料 24.870 Kg 2 mm
7	C 燃料 0.414 Kg 4 mm (2 mm をとる)	29.246 Kg	
8	C 燃料 0.452 Kg 2 mm	29.698 Kg	

濃縮ウラン炉心燃料装荷に先立って、A燃料、B燃料には、天然ウラン製ダミー燃料が、C燃料には劣化ウラン燃料が装荷されており、これらを順次、上の手順で濃縮ウランと交換してゆく。

§ 2.3 中性子増倍の計測

燃料装荷は、各ステップとも、全制御棒(シム棒 1 を除く)全引抜で行なった。装荷後、C位置において、制御棒を安全ブロック、安全棒 1, 安全棒 2, シム棒 2, 調整棒の順に挿入し、中性子の増倍を測定する。制御棒の各状態に対応して、制御棒パターン A ~ F と呼ぶ。

制御棒パターン A シム棒 1 : 50 mm, 他は全引抜

制御棒パターン F シム棒 1 : 50 mm, 他は全挿入

各ステップの各制御棒パターンについて、ダミー燃料装荷の炉心での中性子計数(基準計数)に対する逆増倍比 C_o/C_i を計算し、グラフに示して、最小臨界量を推定する。

実際の臨界近接は、46年4月8日午後5時から開始された。第1日は、基準カウンターの計数を行なった。第2日から濃縮ウラン燃料の装荷が始まり、ステップ4まで行なったが、臨界量が小さくなることが推定されたためステップ3から当初の手順よりも装荷量を減らして装荷した。(§2.2参照)第3日のステップ6で臨界となることが確実に推定された。

46年4月11日17時46分濃縮ウラン装荷量24.870Kgで、制御棒を順次挿入した結果、調整棒51mmで臨界に到達したことが宣言された。

各ステップ、各制御棒パターンでの各検出器の計数値及び逆増倍比を第1～6表及び第1～6図に示した。第7図には、FC-2検出器について制御棒パターンA～Fの逆増倍比をまとめた。

第3章 臨 界 位 置

臨界到達確認後、遮蔽ブロックをとりつけて臨界位置を確認した。その後炉心を、運転位置BおよびAにうつして臨界位置を確認するとともに、反射体の効果を調べた。

これらの結果は次のとおりである。

運 転 位 置		シム棒 1	シム棒 2	調整棒	安全棒 1,2 安全ブロック
C	鉛ブロックなし	50 mm	200 mm	51 mm	200 mm
	鉛ブロックあり	50 mm	146 mm	0 mm	200 mm
B	反 射 体 あ り	85 mm	152 mm	0 mm	200 mm
	反 射 体 1 枚	85 mm	200 mm	31 mm	200 mm
	反 射 体 な し	130 mm	147.2 mm	0 mm	200 mm
A		85 mm	154.5 mm	0 mm	200 mm

これらの炉心の超過反応度は、制御棒較正の結果求められた(添付資料C参照)

第1表 臨界近接計測データ

制御棒パターンA

上段：計測値(A, 又はC/100 sec) 下段：C₀/C_i

(シム棒1:50mm, その他は全引抜)

ステップ (E.U.装荷量%)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He ³ -1	He ³ -2
0	$0.93 \times 10^{-18} \text{A}$	$1.2 \times 10^{-18} \text{A}$	3090/100S	281.6/100S	9720/100S	1670/100S	17364/100S	3914/100S
1 (8.930)	1.2×10^{-18} 0.7750	1.316×10^{-18} 0.9119	429.8 0.7189	394.0 0.7147	1288.8 0.7542	372.3 0.4486	2190.3 0.7926	513.0 0.7630
2 (16.586)	1.5×10^{-18} 0.6200	1.95×10^{-18} 0.6154	642.7 0.4808	554.0 0.5083	1943.7 0.5024	521.3 0.3204	3029.0 0.5733	732.0 0.5347
3 (20.952)	2.0×10^{-18} 0.4650	2.55×10^{-18} 0.4706	856.7 0.3607	807.7 0.3486	2636.3 0.3687	726.7 0.2298	3901.7 0.4450	1047.7 0.3736
4 (23.150)	2.425×10^{-18} 0.3835	3.15×10^{-18} 0.3810	1182.0 0.2614	1086.7 0.2591	3376.0 0.2879	966.0 0.1729	4787.3 0.3627	1330.7 0.2941
5 (24.418)	2.85×10^{-18} 0.3263	3.65×10^{-18} 0.3288	1414.0 0.2185	1272.7 0.2213	4056.0 0.2396	1103.0 0.1514	5677.7 0.3058	1657.3 0.2362
6 (24.870)	3.0×10^{-18} 0.3100	4.1×10^{-18} 0.2927	1543.0 0.2003	1415.3 0.1990	4607.7 0.2110	1278.0 0.1307	6007.7 0.2890	1795.0 0.2181

第2表 臨界近接計測データ

制御棒パターンB

(シム棒1: 50mm, 安全ブロック: 全挿入)
その他は全引抜

上段: 計測値(A又はC/100sec) 下段: Co/Ci

ステップ (E.U装荷量)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He ³ -1	He ³ -2
0	$0.85 \times 10^{-18} \text{ A}$	$1.2 \times 10^{-18} \text{ A}$	296.5	270.6	816.0	219.4	1696.2	373.6
1 (8.930)	1.15×10^{-18} 0.7391	1.4×10^{-18} 0.8571	451.6 0.6566	394.3 0.6863	1218.8 0.6695	402.3 0.5454	2184.7 0.7764	486.7 0.7676
2 (16.586)	1.6×10^{-18} 0.5313	2.075×10^{-18} 0.5783	721.7 0.4108	635.3 0.4259	2147.2 0.3800	632.0 0.3472	3202.3 0.5297	815.7 0.4279
3 (20.952)	2.25×10^{-18} 0.3778	2.9×10^{-18} 0.4138	1187.3 0.2497	1083.0 0.2499	3427.7 0.2381	1027.7 0.2135	4762.7 0.3561	1362.0 0.2743
4 (23.150)	3.15×10^{-18} 0.2698	4.05×10^{-18} 0.2963	1853.7 0.1600	1685.3 0.1606	5251.3 0.1554	1493.0 0.1470	6777.0 0.2503	2090.3 0.1787
5 (24.418)	3.95×10^{-18} 0.2152	6.0×10^{-18} 0.2000	2783.3 0.1065	2407.7 0.1124	7588.7 0.1075	2184.0 0.1005	9554.7 0.1775	3036.3 0.1230
6 (24.870)	4.9×10^{-18} 0.1735	6.6×10^{-18} 0.1818	3400.8 0.08719	2951.8 0.09167	9504.3 0.08586	2764.3 0.07937	11269.0 0.1505	3682.0 0.1015

第3表 臨界近接計測データ

制御棒パターンC

シム棒1:50mm

安全ブロック, 安全棒1:全挿入

その他 全引抜

上段:計測値(A又はC/100sec) 下段:Co/Ci

ステップ (E.U装荷量)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF _s -1	BF _s -2	He ³ -1	He ³ -2
0	0.90×10^{-13} A	1.2×10^{-13} A	298.2	267.2	825.2	205.0	1672.0	365.6
1 (8.930)	1.175×10^{-13} 0.7660	1.575×10^{-13} 0.7619	434.5 0.6863	385.0 0.6940	1211.0 0.6814	409.3 0.5009	2208.7 0.7570	496.3 0.7367
2 (16.586)	1.7×10^{-13} 0.5294	2.15×10^{-13} 0.5581	698.7 0.4268	739.3 0.3614	2164.0 0.3813	673.3 0.3045	3316.7 0.5041	843.3 0.4335
3 (20.952)	2425×10^{-13} 0.3711	3.2×10^{-13} 0.3750	1232.3 0.2420	1213.0 0.2203	3668.0 0.2250	1086.3 0.1887	5051.7 0.3310	1451.0 0.2520
4 (23.150)	3625×10^{-13} 0.2483	4.67×10^{-13} 0.2570	2164.3 0.1378	1962.3 0.1362	6051.3 0.1364	1747.0 0.1173	7808.3 0.2141	2372.3 0.1541
5 (24.418)	5.2×10^{-13} 0.1731	7.3×10^{-13} 0.1644	3518.3 0.08475	3297.3 0.08104	9866.0 0.08364	2851.3 0.07190	12265.3 0.1363	3930.3 0.09302
6 (24.870)	6.6×10^{-13} 0.1364	9.3×10^{-13} 0.1290	4680.7 0.06371	4315.0 0.06192	13608.0 0.06064	3897.7 0.0526	15700.7 0.1065	5199.7 0.0703

第4表 臨界近接計測データ

制御棒パターンD

(シム棒1: 50mm)

(安全ブロック, 安全棒1, 2 全挿入
その他 全引抜)

上段: 計測値 (A又はC/100sec) 下段: Co/Ci

ステップ (E.U装荷量)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He ³ -1	He ³ --2
0	0.93×10^{-13} A	1.2×10^{-13} A	2840/100S	2674/100S	8348/100S	2210/100S	17074/100S	3464/100S
1 (8.930)	1.175×10^{-13} 0.7915	1.55×10^{-13} 0.7742	424.5 0.6690	387.3 0.6904	1203.0 0.6939	394.3 0.5605	2227.7 0.7664	489.3 0.7080
2 (16.586)	1.7×10^{-13} 0.5471	2.175×10^{-13} 0.5517	729.7 0.3892	699 0.3826	2212.7 0.3733	650.0 0.3400	3399 0.5023	906.7 0.3820
3 (20.952)	2.65×10^{-13} 0.3509	3.45×10^{-13} 0.3478	1409.3 0.2015	1310.7 0.2040	3996.7 0.2089	1190.6 0.1856	5483.3 0.3114	1541.7 0.2247
4 (23.150)	4.35×10^{-13} 0.2138	5.75×10^{-13} 0.2087	2686.7 0.1057	2358.3 0.1134	7344.3 0.1137	2154.6 0.1026	9475.7 0.1802	2964.7 0.1168
5 (24.418)	7.8×10^{-13} 0.1192	1.11×10^{-13} 0.1081	5608.3 0.05064	4966.0 0.05385	15251.3 0.05474	4377.3 0.05049	18759.0 0.09102	6008.0 0.05766
6 (24.870)	12.7×10^{-13} 0.07323	18.0×10^{-13} 0.06667	9426.3 0.03013	8284.7 0.03228	26539.3 0.03146	7602.0 0.02907	30597.7 0.05580	10193.7 0.03398

第 5 表 臨 界 近 接 計 測 デ ー タ

上段：計測値（A又はC/100SEC） 下段：Co/Oi

制御棒パターンE

（シム棒1：50mm

安全ブロック，安全棒1,2,シム棒2：全挿入

その他：全引抜

ステップ (E. U装荷量)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He ³ -1	He ³ -2
0	$0.85 \times 10^{-13} \text{ A}$	$1.15 \times 10^{-13} \text{ A}$	2673/100S	2598/100S	815.6/100S	171.3/100S	1702.8/100S	352.4/100S
1 (8.930)	1.2×10^{-13} 0.7083	1.6×10^{-13} 0.7188	439.7 0.6079	386.3 0.6725	1180.0 0.6912	392.0 0.4776	2251.3 0.7564	500.3 0.7044
2 (16.586)	1.8×10^{-13} 0.4722	2325×10^{-13} 0.4946	743.0 0.3598	733.3 0.3543	2289.8 0.3562	681.3 0.2748	3513.7 0.4846	892 0.3951
3 (20.952)	3025×10^{-13} 0.2810	3.775×10^{-13} 0.3046	1580.0 0.1692	1433.7 0.1812	4411.0 0.1849	1263.6 0.1482	6096.0 0.2793	1753.3 0.2010
4 (23.150)	5.55×10^{-13} 0.1532	7.15×10^{-13} 0.1608	3396. 0.07871	3062.7 0.08483	9358.0 0.08716	2721.0 0.06880	11956.7 0.1424	3752.0 0.09392
5 (24.418)	15.5×10^{-13} 0.05484	1925×10^{-13} 0.05974	11208.3 0.02385	10086.3 0.02576	30469.0 0.02677	8698.3 0.02152	36681.0 0.04642	12180.0 0.02893
6 (24.870)	$99. \times 10^{-13}$ 0.008586	118×10^{-13} 0.00975	65293.0 0.00409	58324.0 0.00445	185212.7 0.00440	52269.3 0.00358	20065.0 0.00851	69352.0 0.00508

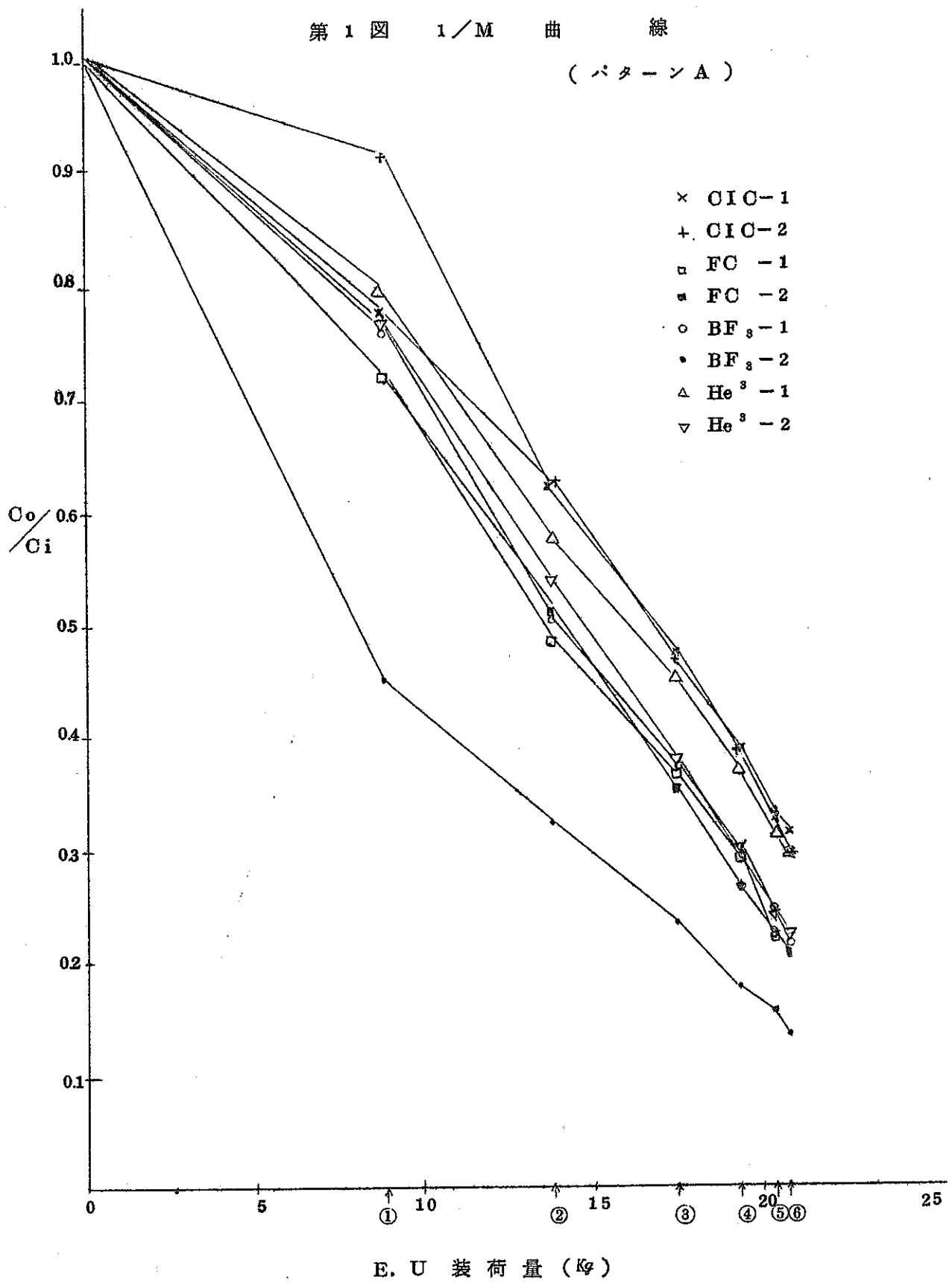
第 6 表 臨 界 近 接 計 測 デ ー タ
上段：計測値（A又はC/100SEC） 下段：Co/Ci

制御棒パターンF
(シム棒1:50mm)
(その他:全挿入)

ステップ (E. U装荷量)	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BFs-1	BFs-2	He ³ -1	He ³ -2
0	0.85×10 ⁻¹³ A	1.2 ×10 ⁻¹³ A	2646/100S	2634/100S	7944/100S	1634/100S	17088/100S	3490/100S
1 (8.930)	1.18×10 ⁻¹³ 0.7203	1.58×10 ⁻¹³ 0.7595	451.8 0.5857	371.7 0.7086	1243.3 0.6389	381.1 0.4287	2293.3 0.7451	526.3 0.6631
2 (16.586)	1.85×10 ⁻¹³ 0.4595	2.35×10 ⁻¹³ 0.5106	762.7 0.3469	749.3 0.3515	2353.3 0.3376	699.3 0.2337	3610.0 0.4734	921.0 0.3789
3 (20.952)	3.15×10 ⁻¹³ 0.2698	4.15×10 ⁻¹³ 0.2892	1680.0 0.1575	1572.3 0.1676	4796.3 0.1656	1395.3 0.1171	6658.0 0.2567	1859.3 0.1877
4 (23.150)	6.6 ×10 ⁻¹³ 0.1288	9.6 ×10 ⁻¹³ 0.1250	4598.7 0.05754	4112.3 0.06405	12620.7 0.06294	3630.0 0.04501	15827.7 0.1080	4998.3 0.06982
5 (24.418)			23210.7 0.00114	20851.9 0.00126	62520.0 0.00127	18486.5 0.00088	65272.3 0.0026177	23746.2 0.00147
6 (24.870)								

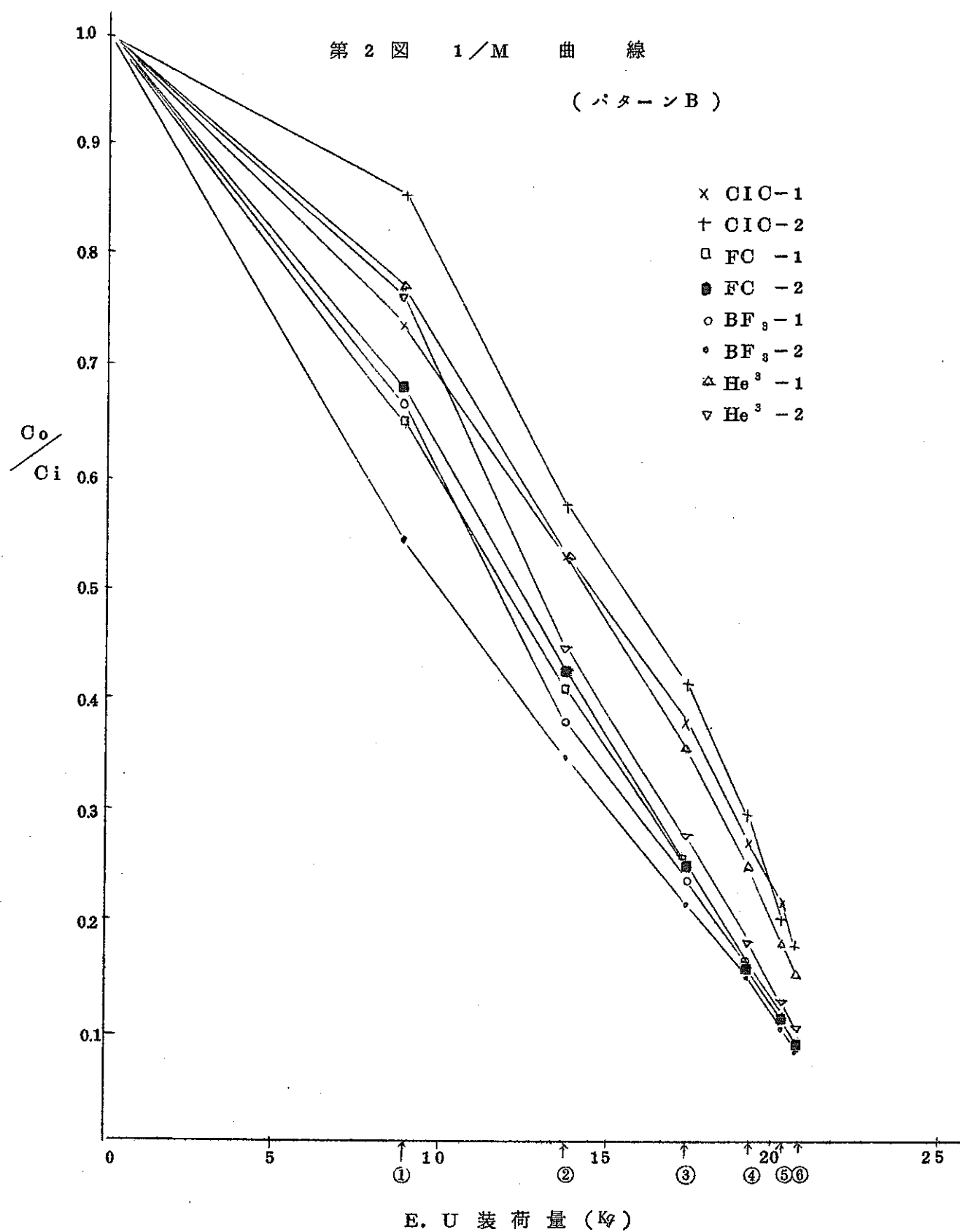
第 1 図 1/M 曲 線

(パターン A)



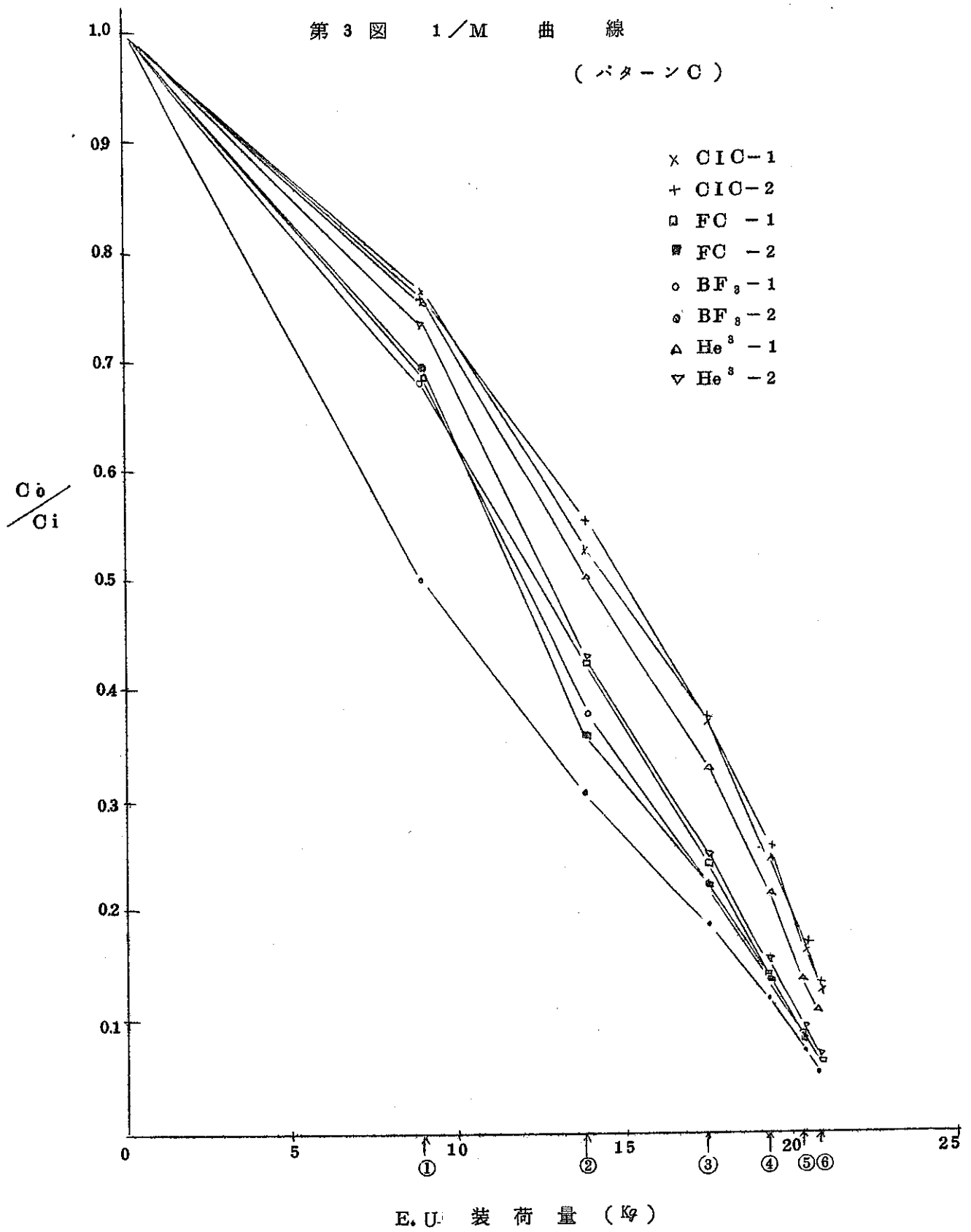
第 2 図 $1/M$ 曲 線

(パターン B)



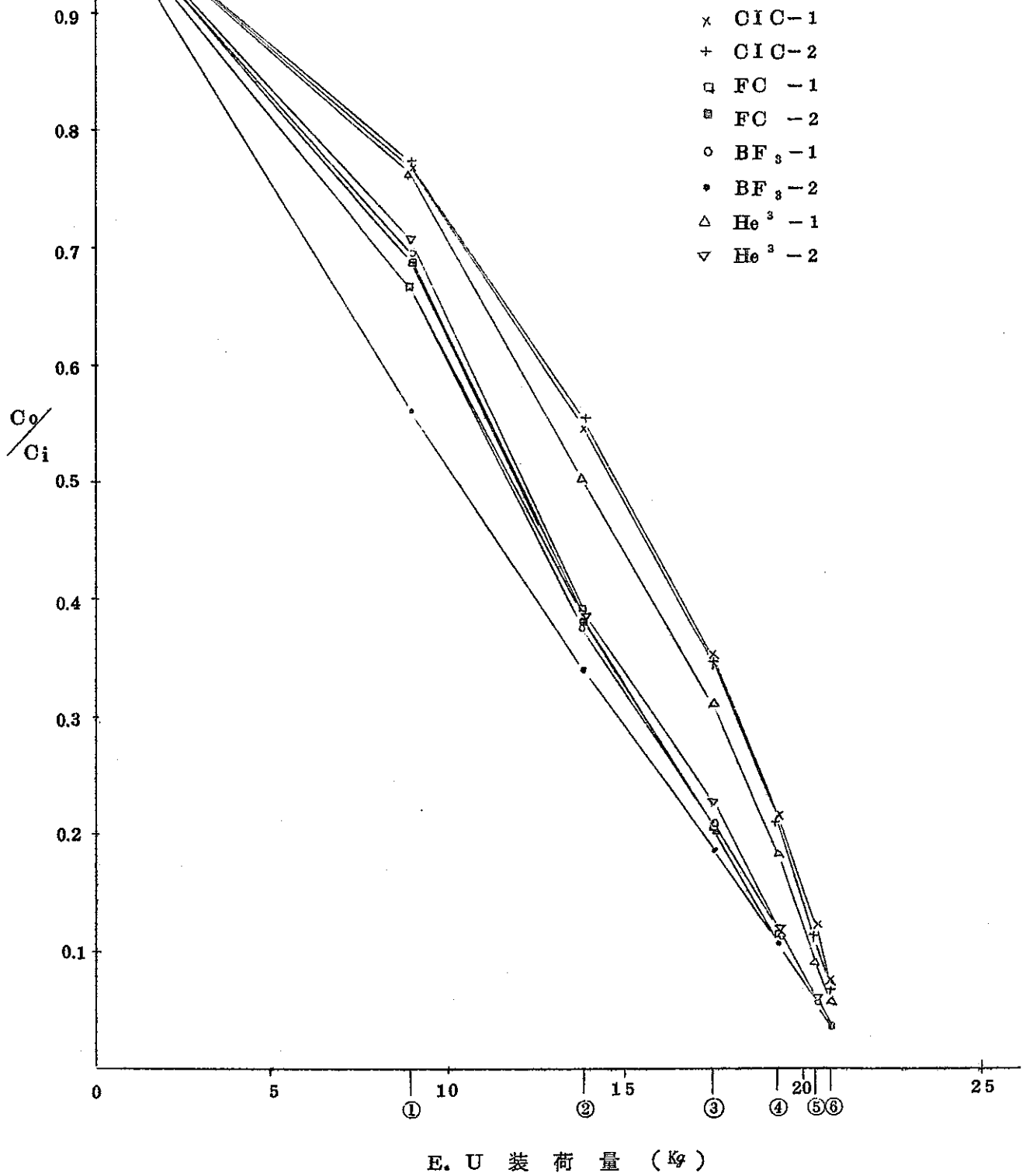
第 3 図 1/M 曲 線

(パターン C)



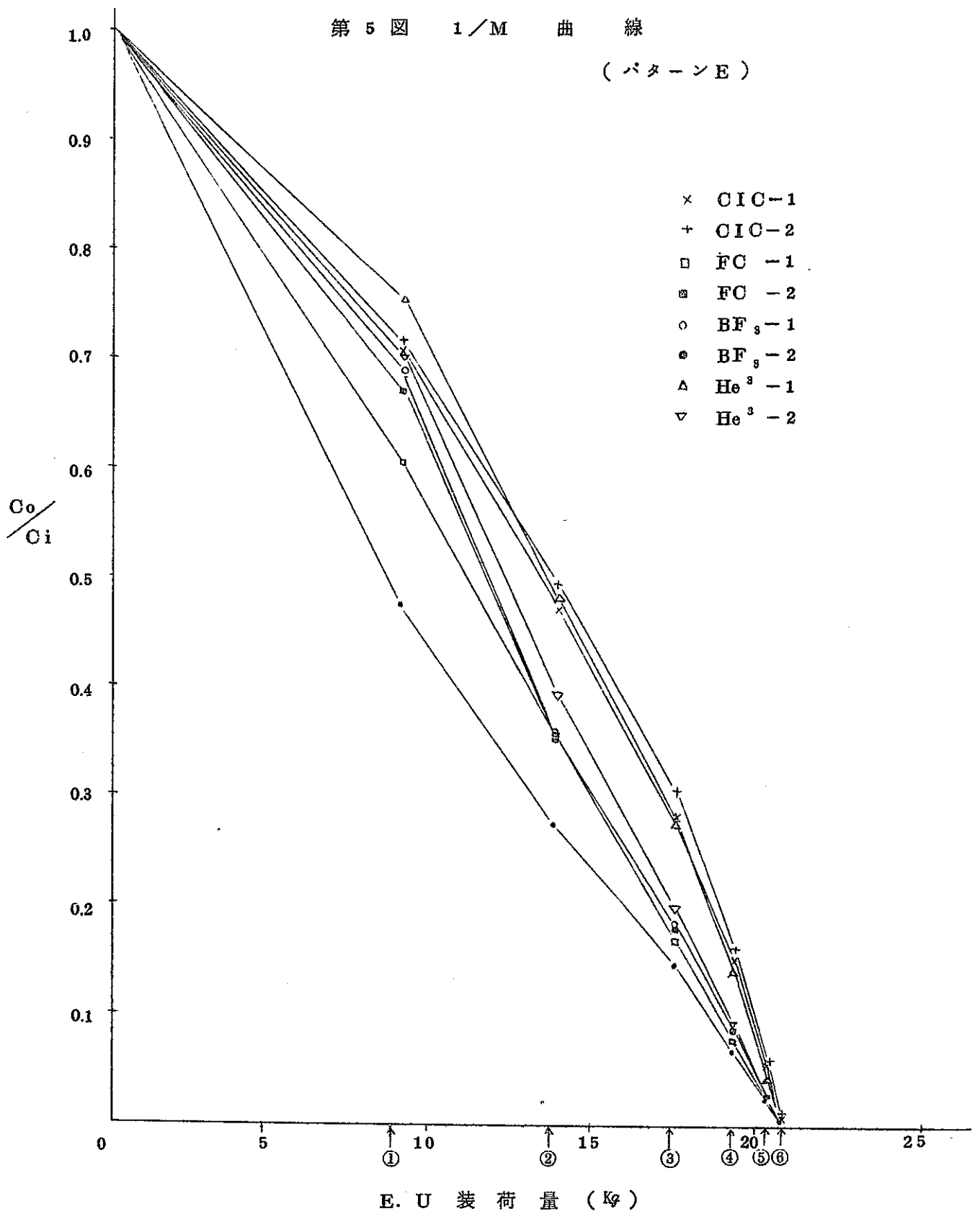
第 4 図 1/M 曲 線

(パ タ ー ン D)



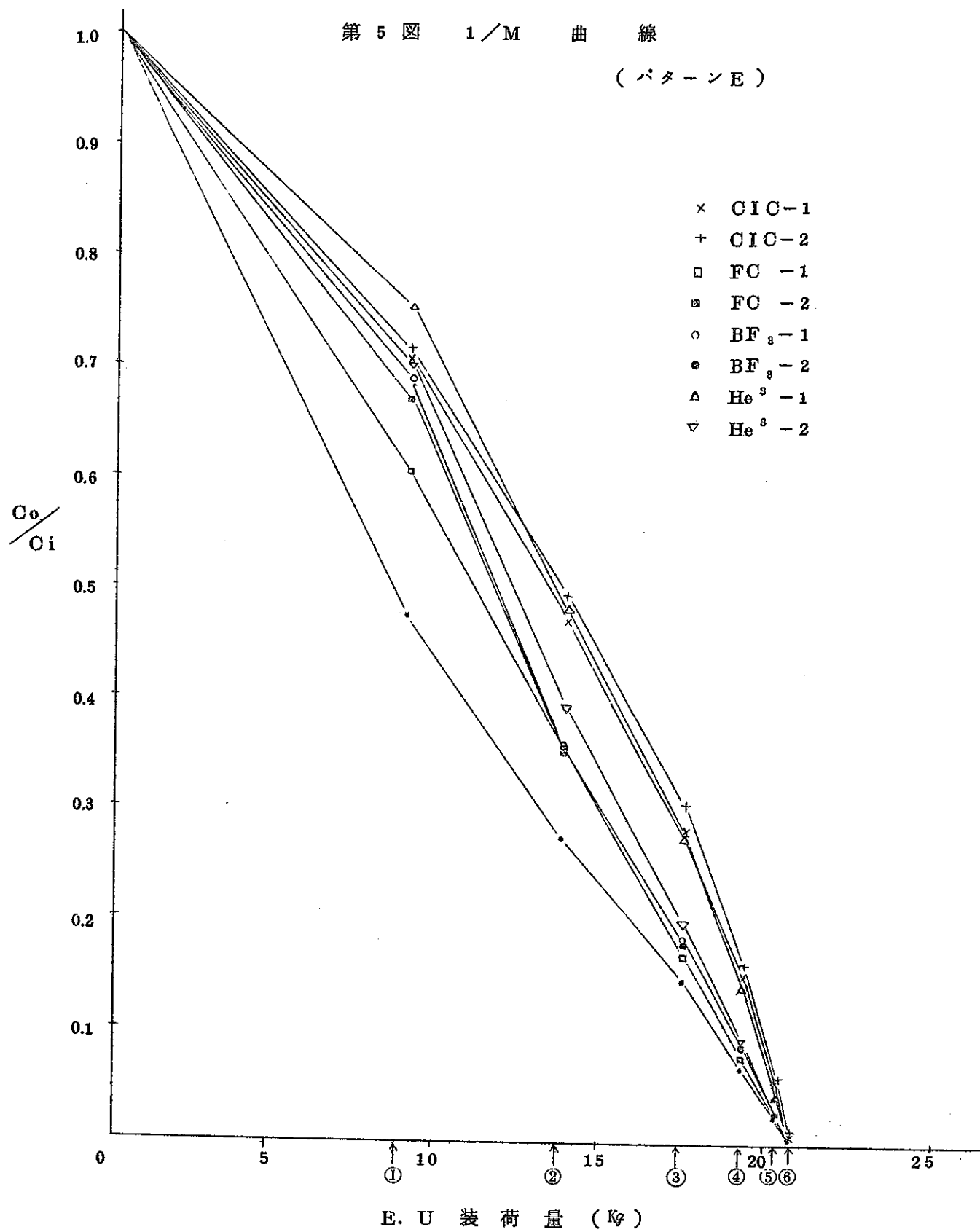
第 5 図 1/M 曲 線

(パターン E)



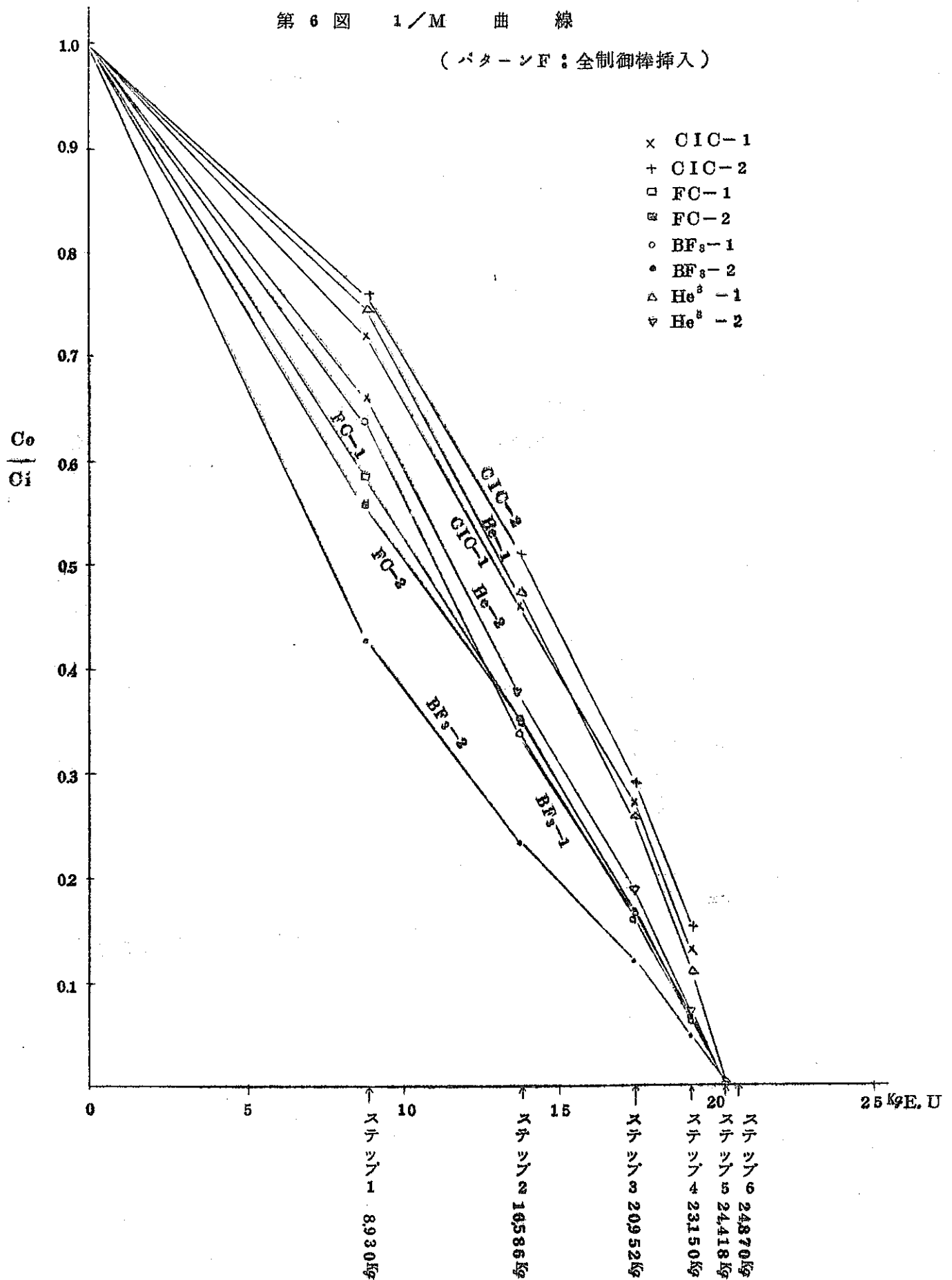
第 5 図 1/M 曲 線

(パター ン E)



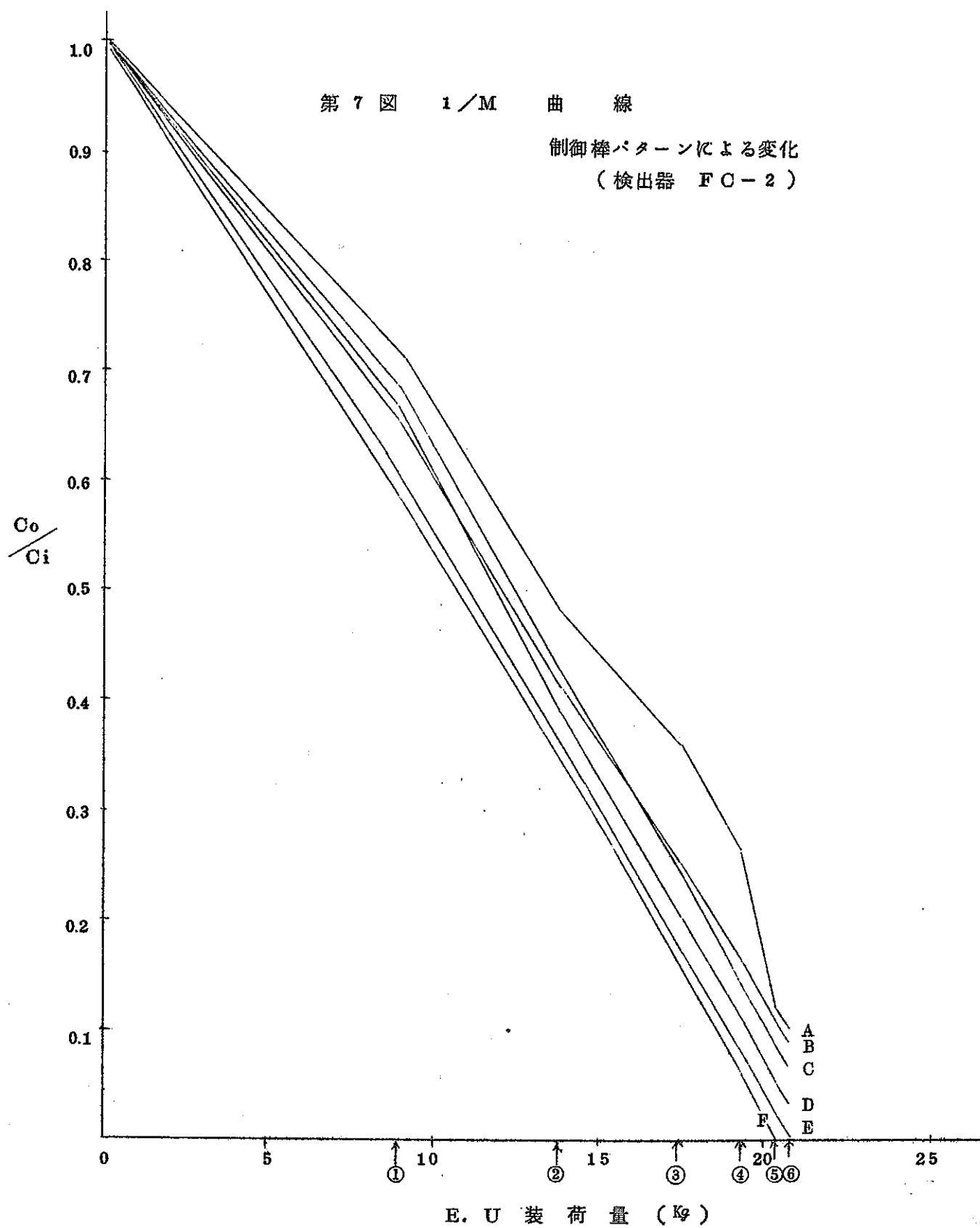
第 6 図 $1/M$ 曲 線

(パターン F : 全制御棒挿入)



第 7 図 $1/M$ 曲 線

制御棒パターンによる変化
(検出器 FC-2)



添 付 資 料 C

制 御 棒 較 正 実 験 報 告 書

目 次

第 1 章	制御棒校正の目的と概要	4 0
§ 1. 1	制御棒の構成	4 0
§ 1. 2	検出器の構成	4 0
§ 1. 3	制御棒校正の目的と測定方法	4 1
第 2 章	制御棒校正の方法	4 2
§ 2. 1	ペリオド法	4 2
§ 2. 2	比較法	4 3
§ 2. 3	未臨界法	4 3
§ 2. 4	落下法	4 4
§ 2. 5	使用した検出器	4 5
第 3 章	各制御棒の校正方法と測定結果	4 6
§ 3. 1	各制御棒の校正方法	4 6
§ 3. 2	ペリオド法による測定	4 6
§ 3. 3	比較法による測定	4 7
§ 3. 4	未臨界法による測定	4 8
§ 3. 5	落下法による測定	4 9
§ 3. 6	臨界近接時の測定データの解析	4 9
§ 3. 7	A 位置における制御棒校正	4 9
第 4 章	結果の検討と総括	5 0
§ 4. 1	測定結果の検討	5 0
§ 4. 2	結 論	5 1
§ 4. 3	お わ り に	5 1
付 章	落下法による制御棒校正	5 3
§ 1.	計 算 の 概 要	5 3
§ 2.	測定データの解析	5 3
§ 3.	誤 差 の 評 価	5 4
表及び図	図 1 図 2 図 3 図 4 図 5 図 6 図 7 図 8	
第 1 表 ~ 第 4. 8 表		5 7
第 1 図 ~ 第 8 図		7 5

第 1 章 制御棒校正の目的と概要

§ 1.1 制御棒の構成

東京大学中性子源炉「弥生」の制御棒は、安全ブロック 1 本、安全棒 2 本、シム棒 2 本、調整棒 1 本の計 6 本から構成される。主なる仕様は次の通りであり、いずれも燃料を囲むブランケット部に設けられている。

制御材の材質	金属ウラン
被覆材	SUS-27 厚さ 0.7 mm
駆動ストローク	200 mm
寸法	安全ブロック 120 mm ϕ $\times$ 102 mm L
	安全棒 (2 本) 55 ϕ $\times$ 233 L
	シム棒 1 60 ϕ $\times$ 233 L
	シム棒 2 45 ϕ $\times$ 233 L
	調整棒 40 ϕ $\times$ 233 L

これらのうち、シム棒 1 は炉心停止位置による反応度差を調整するために用いられ、常時は所定の位置に機械的に固定される。スクラム動作を行なうのは安全ブロックと安全棒 (2 本) であり、臨界保持操作はシム棒 2 と調整棒で行なわれる。6 本の制御棒とも、炉心から完全に引抜かれた状態が最も負な反応度を与え、炉心に全挿入されると最も reactive となる。したがって、制御棒位置指示も、全引抜状態が 0 mm、全挿入状態が 200 mm となる。常時は、安全ブロック、安全棒 (2 本) は全挿入の状態で運転され、炉の過剰反応度はシム棒 1, 2 及び調整棒で吸収される。

§ 1.2 検出器の構成

正規の核計装は、起動系、対数出力系、線型出力系から構成され、いずれも炉心集合体にすえつけられている。このほかに、特性測定用として、予備チャンネルを、中速中性子柱の実験孔に設置した。これら各系統の概要は次の通りである。(第 7 図参照)

系 統 名	数	検 出 器	設 置 場 所	略 称
起 動 系	2	核分裂計数管	炉心集合体	FC-1 FC-2
対 数 出 力 系	2	CIC電離箱	炉心集合体	
線 型 出 力 系	2	同 上	同 上	CIC-1 CIC-2
予 備 チ ャ ン ネ ル	4	BF ₃ 計数管	水平実験孔 No. 38	BF ₃ -1
			同 No. 49	BF ₃ -2
		³ He 計数管	垂直実験孔 No. 40	He-1
			同 No. 48	He-2

上記の検出器のうち、予備チャンネル4系統は中速中性子柱実験孔に設けられたため、運転位置0の実験に関与するだけで、その他の運転位置では使用できなかった。

§ 1.3 制御棒校正の目的と測定方法

§ 1.1 にのべたように、6本の制御棒が設けられているが、これらの制御棒の校正（等価反応度の測定）の目的は、大要次の3項にわけられる。

- (1) 反応度測定用校正曲線の作成
- (2) 超過反応度の測定
- (3) 原子炉停止余裕（スクラム余裕）の測定

これらの目的に対応する制御棒は、(1)については調整棒とシム棒2，(2)については調整棒、シム棒2及びシム棒1，(3)については安全棒1，安全棒2，安全ブロックである。(1)及び(2)の測定のためには、ベリオド法及び比較法を採用し臨界状態での測定を行なった。他方、(3)に関しては、未臨界法及び落下法を採用して未臨界状態での測定を行なった。基本的にはこのように分類できるが、各制御棒の測定には、適宜複数の方法を組合せて精度の向上をはかった。これらの詳細は第3章にまとめられる。

第2章 制御棒較正の方法

§ 2.1 ペリオド法

(1) 概 要

臨界状態の炉に正の反応度を与えると、炉の出力は上昇を始める。最初の過渡状態をすぎると、一定のペリオドで上昇する。このペリオドを測定することにより、炉に付加された正の反応度を求める。

(2) 解析式

一定のペリオド T_p と、正の反応度 P とは、次の逆時間方程式で関係づけられる。

$$P = \frac{\ell}{k_{eff} \cdot \beta \cdot T_p} + \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T_p}$$

P : 正の反応度 (\$) \quad \beta : 実効遅発中性子割合

ℓ : 中性子寿命 (sec) \quad β_i : 第 i 群の実効遅発中性子割合

k_{eff} : 実効増倍率 \quad $(\sum_{i=1}^6 \beta_i = \beta)$

T_p : ペリオド (sec) \quad λ_i : 第 i 群遅発中性子の崩壊定数

$\ell, \beta, \beta_i, \lambda_i$ の数値は次の通りである。

$$\ell = 2.1 \times 10^{-8} \text{ (sec)} \quad \beta = 0.00725$$

$$\lambda_1 = 3.872 \text{ (sec }^{-1} \text{)} \quad \beta_1 = 0.000240$$

$$\lambda_2 = 1.397 \quad \beta_2 = 0.001034$$

$$\lambda_3 = 0.3107 \quad \beta_3 = 0.002932$$

$$\lambda_4 = 0.1155 \quad \beta_4 = 0.001332$$

$$\lambda_5 = 0.0317 \quad \beta_5 = 0.001461$$

$$\lambda_6 = 0.0127 \quad \beta_6 = 0.000251$$

したがって、実質的には、逆時間方程式の第1項は無視される。

(3) 測定方法

運転状態から線型出力系のレンジを2回(1デガード)きりかえて、測定しようとする制御棒を挿入し正の反応度を与える。出力が上昇し始めるので、線型出力系2チャンネルの指示計を監視し、指示が30%→60%及び40%→80%となる時間をストップ・ウォッチで測定する。他方、記録計を監視し指示が10%, 20%……, 70%, 80%を経過する時間を測定する。これを半対数方眼紙にプロットして、直線でfitさ

せ増倍時間を求める。これらの測定値を平均して出力が2倍となる増倍時間 T_D を求め、これからペリオドを算出する。

$$(T_p = \frac{T_D}{\ln 2})$$

§ 2.2 比較法

(1) 標準ストローク法

ペリオド法により既に較正された一定ストロークを、標準ストロークとし、これを較正しようとする制御棒と置換えてゆくことにより、2本同時に較正される。

(2) 単純置換法

既に較正された制御棒と、較正しようとする制御棒を単純に置換えることにより較正する。

§ 2.3 未臨界法

(1) 概要

中性子源(強さ: S)の挿入された未臨界状態の炉心では、炉の出力レベル P と未臨界の実効増倍率 k_{eff} とは、次の式で与えられる。

$$P = \frac{S}{1 - k_{eff}}$$

今、既知の未臨界度($1 - k_{eff}$)における出力を P_0 、未知の未臨界度($1 - k_{eff}$)での出力を P とすると、次の式により、未知の未臨界度と既知の未臨界度が結びつけられる。

$$1 - k_{eff} = \frac{P_0}{P} (1 - k_{eff}^0)$$

既知の未臨界度としては、ペリオド法又は比較法により較正されたストロークを使用する。出力レベルの変化は、中性子束分布の形状が変わらないと仮定すれば、各検出器の計数値から求められる。

(2) 未臨界度の計算方法

ペリオド法(又は比較法)によって ρ_0 と較正されたストロークを基準にとると、未知の未臨界度 ρ は次式で与えられる。

$$\rho = \frac{P_0}{P} \times \rho_0$$

この式は、未臨界度が小さい場合は問題ないが、未臨界度が大きくなると誤差を生ずる。この場合、次の方法で、 ρ_0 から ρ を求める。

$$\begin{aligned} k_{eff}^0 &= \frac{1}{1 + \beta \rho_0} & 1 - k_{eff} &= \frac{P_0}{P} (1 - k_{eff}^0) \\ \Rightarrow \rho &= \frac{1 - k_{eff}}{k_{eff}} \times \frac{1}{\beta} = \frac{P_0}{P - (P_0 - P) \beta \rho_0} \times \rho_0 \end{aligned}$$

ここで $\rho_0, \rho : (\$)$ $\beta = 0.00725$

初めの方法を単純法、後者を k_{eff} 法とよんで区別することとする。

§ 2.4 落 下 法

(1) 概 要

臨界状態に負の反応度を与えると、炉の出力は低下し始める。この低下の傾向は、与えられた反応度により異なるので、低下してゆく状態の出力を測定して、負の反応度を求める。

(2) 解 析 式 (P 53 付章参照)

臨界状態にステップ状に負の反応度を与えてのちの炉の出力は、次の式で与えられる。

$$N(t) = N_0 \times \frac{k_{eff} \cdot \beta}{k_{eff} \cdot \beta + \Delta K} \times \sum_{i=1}^6 \left\{ \frac{\beta_i}{\beta} \exp \left[-\lambda_i \left(1 - \frac{k_{eff} \cdot \beta}{k_{eff} \cdot \beta + \Delta K} \cdot \frac{\beta_i}{\beta} \right) \right] \times (1 - e^{-\lambda_i T}) \right\}$$

N_0 : 臨界状態の出力

$\Delta K = 1 - k_{eff}$ 投入された負の反応度

T : 臨界状態の保持時間

今臨界状態を十分長く ($T \rightarrow \infty$) とすると $1 - e^{-\lambda_i T} \rightarrow 1$ となって無視できる。式を整理し、 $N(t)$ を t_1 から t_2 まで積分すると次の式がえられる。

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} N(t) dt &= \frac{N_0}{1 + x} \sum_{i=1}^6 \frac{\mu_i}{a_i} [e^{-a_i t_1} - e^{-a_i t_2}] \\ a_i &= \lambda_i \left(1 - \frac{\mu_i}{1 + x} \right) & \mu_i &= \frac{\beta_i}{\beta} \\ x &= \frac{\Delta K}{k_{eff} \cdot \beta} (\$) \end{aligned}$$

臨界状態の出力 N_0 と、負の反応度を投入後 t_1 から t_2 までの全計数 $\int_{t_1}^{t_2} N(t)dt$ を測定し、その比を求めると負の反応度が求められる。

(3) 校正曲線 (第8図)

予め負の反応度 α をパラメータとして、 N_0 と $\int_{t_1}^{t_2} N(t)dt$ との関係を求めた。積分の範囲としては、 $t_1 = 10$ 、 $t_2 = 70$ を採用した。 β_i 、 λ_i はベリオド法で使った値と同じである。

α (%)	0.1	0.5	0.8	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
$R = \frac{\int_{10}^{70} N(t)dt}{N_0}$	6.42	4.43	3.60	3.21	2.06	1.52	1.00	0.536

α と $\frac{1}{R}$ をプロットすると直線になるので、一次式でfittingさせ次の換算式がえられた。

$$\alpha = 5.81 \times \frac{N_0}{\int_{10}^{70} N(t)dt} - 0.814$$

(4) 測定方法

臨界状態で10分以上($T \sim 360$ で最大の半減期の遅発中性子に対して $e^{-\lambda_i T} \sim 0.01$ となる)保持したのち、測定しようとする制御棒を急速に(スクラム)引抜く。引抜後、10秒たってから1分間中性子を計数して $\int_{10}^{70} N(t)dt$ を求める。

§ 2.5 使用した検出器

(1) ベリオド法

線型出力系(CIO)2チャンネルを使用した。

(2) 比較法

臨界状態を確認するために線型出力系を監視しただけである。

(3) 未臨界法、落下法

起動系(FC)2チャンネル及び予備チャンネルのBF₃検出器、³He検出器各2チャンネルの計6チャンネルを使用した。

第 3 章 各制御棒の較正方法と測定結果

§ 3.1 各制御棒の較正方法

炉心運転位置の位置における臨界制御棒位置は次の通りである。

調整棒	シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブロック	シム棒 1
0.3 1	1 4 5	2 0 0	2 0 0	2 0 0	5 0

運転上の反応度変化（出力上昇，実験物等）は，調整棒，シム棒 2 で吸収され，運転位置の変更にもともなう反応度変化はシム棒 1 で捕償される。他方，スクラム時の反応度は安全棒 1，2 及び安全ブロックで保証される。これらの点を考慮して，まず，調整棒，シム棒 2 を組合せてベリオド法により較正し反応度曲線を作成した。次に，このベリオド法による較正値を標準値として，安全棒 1，安全棒 2，シム棒 1 を組合せ，比較法により較正した。これらの測定の結果，反応度測定用較正曲線と超過反応度が求められた。

他方，安全棒 1，安全棒 2，安全ブロックについては，ベリオド法の測定データを基礎として未臨界法により未臨界度を測定するとともに，落下法によりスクラム時の投入負反応度を測定して，スクラム停止余裕を求めた。それぞれの測定方法における具体的な制御棒の組合せは，以下の各節にのべる。

§ 3.2 ベリオド法による測定

- (1) まず，調整棒を全引抜（0.3 1）から 2 5.1 7 まで挿入して正の反応度を与え，増倍時間を測定した。測定が終わったら，シム棒 2 を 1 4 5 から引抜き，1 7 0 の位置で再び臨界状態にもどした。この増倍時間が 8 0.7 秒で投入反応度は 8.1 5 % であった。この結果，調整棒の 0.3 1 ～ 2 5.1 7，シム棒 2 の 1 4 5 ～ 1 7 0 のストロークが 8.1 5 % と較正された。引続きこの組合せで測定を行ない，シム棒 2 が全引抜に至る迄測定した。この時の調整棒の位置は 1 6 3.9 5 であり，2 0 0 までの残りのストロークは 1 回の測定で較正した。
- (2) 次に，再び調整棒：0.3 1，シム棒 2：1 4 5 の臨界位置にもどした。シム棒 2 の 2 0 0 までのストロークは，安全棒 1 と組合せて，2 段にわけベリオド法により較正した。
- (3) 以上の方法で，調整棒，シム棒 2 の全ストロークが較正されたが，その結果を第 1 表及び第 2 表に示す。グラフに図示したのが第 1 図である。全ストロークの等価反応度は，

調整棒が 8 4.3 ϕ , シム棒 2 が 8 9.7 ϕ となった。

§ 3.3 比較法による測定

- (1) まず、比較法の標準ストロークとしてシム棒 2 の 1 4 6 ~ 2 0 0 を採用した。このストロークをベリオド法により較正した結果 1 0.1 2 ϕ という値がえられたが、この値は § 3.2.(2) の測定結果とよく一致した。(第 2 表)
- (2) 最初に、安全棒 2 とシム棒 1 を組合せて測定した。まず、臨界状態からシム棒 2 を 1 4 6 から 2 0 0 まで挿入するとともに、安全棒 2 を 2 0 0 から 1 5 1 まで引抜き再度臨界とした。次に、シム棒 2 を 2 0 0 から 1 4 6 まで引抜くとともに、シム棒 1 を 5 0 から 6 2 まで挿入し臨界とした。この結果、安全棒 2 の 1 5 1 ~ 2 0 0 及びシム棒 1 の 5 0 ~ 6 2 のストロークが、シム棒 2 の標準ストローク 1 0.1 2 ϕ と等価として較正された。以下この手順をくり返し、安全棒 2 全引抜、シム棒 1 全挿入に至る迄測定を行なった。
- (3) 安全棒 2 の全引抜付近、シム棒 2 の全挿入付近は、標準ストロークの等価反応度とびったり一致しないので、調整棒と組合せて較正した。シム棒 2 : 2 0 0 , 安全棒 2 : 2 5 , シム棒 1 : 1 5 8 の臨界位置のうち、シム棒 2 を 1 4 6 まで引抜いた際、シム棒 1 を 2 0 0 まで挿入し、更に調整棒を全引抜から 5.1 まで挿入して臨界とした。次に、この状態から、シム棒 2 を 2 0 0 まで挿入した際は、安全棒 2 を全引抜まで引抜くとともに、調整棒を 5.1 から 7.1 まで挿入して臨界とした。
- (4) 次に、シム棒 2 : 1 4 6 , 安全棒 1 : 2 0 0 , 安全棒 2 : 2 7 の臨界位置から、(2) と同様シム棒 2 の標準ストロークを用いて、安全棒 1 の較正を安全棒 2 と組合せて行なった。安全棒 1 の全引抜付近は、調整棒と置換えて較正した。
- (5) シム棒 1 の機械的固定位置 5 0 から全引抜までのストロークは、調整棒と単純に置換えて較正した。
- (6) 以上の測定結果を第 3 表 (安全棒 1) , 第 4 表 (安全棒 2) , 第 5 表 (シム棒 1) にまとめた。又、第 1 図に図示した。安全棒 1 全ストロークの等価反応度は 1 0 6.4 ϕ , 安全棒 2 は 1 1 2.1 ϕ , シム棒 1 は 1 3 1.6 ϕ となった。
- (7) § 3.2 , § 3.3 の測定結果から、O 運転位置での超過反応度は次の通りの値がえられた。

調整棒	0 ~ 200	8 4.3	} 9 4.4 ∅ 操作可能部分
シム棒 2	145 ~ 200	10.1	
シム棒 1	50 ~ 200	100.1	 機械的固定部分

§ 3.4 未臨界法による測定

- (1) 基準反応度として、シム棒 2 の 127.5 ~ 146.5 を採用した。未臨界法の測定の場合は、臨界状態に対して中性子源が挿入されるので、この反応度を補正する必要がある。中性子源挿入状態での臨界点は、中性子源出力レベルから 1 デカード出力をあげて調べた。測定結果は、シム棒 2 で 139 であり、従ってシム棒 2 の 127.5 ~ 139 のストロークが基準反応度となる。この反応度は、ベリウド法による校正曲線から 5.6 ∅ となる。
- (2) まず、安全棒 1 を全挿入から 40 づつ引抜いて未臨界度を測定し、ついで安全棒 2 についても同様に 40 づつ引抜いて測定した。更に、安全棒 1 と安全棒 2 の同時引抜に關し、全引抜での状態を測定した。
- (3) 安全ブロックの等価反応度は、全挿入近傍を細かく動かして測定しながら、全引抜までの全ストロークを校正した。更に、安全ブロックに安全棒 1、安全棒 2、シム棒 2 を組合せて、スクラム停止余裕、全停止余裕を求めた。尚、この測定では基準反応度のストローク（シム棒 2 : 127.5）を挿入した状態で各制御棒の未臨界度を測定したので、えられた未臨界反応度から、基準反応度分を差引いて補正した。
- (4) 未臨界法測定における各検出器の計数値を第 6 ~ 9 表にまとめた。各検出器の計数値から求めた計数比は、検出器によって差がみられる。これは、炉心、中性子源、測定制御棒、検出器の相対位置関係によるものと思われるが、安全ブロックの場合を除いて、全検出器の計数比を単純に平均した。安全ブロックを引抜いて未臨界度を測定する場合は、炉心を囲むブランケット部の大きな部分が欠けるため、この方向の中性子束分布は大きく歪むこととなる。この影響をうけて、安全ブロック側の検出器（CIC-1, CIC-2, He-1）は、安全ブロック引抜時の計数値が相対的に大きく、未臨界度を過小に評価することとなるので、この 3 チャンネルの計数値は、平均操作の対象から除き、残りの 5 チャンネルの平均をもって未臨界度を評価した。

以上の平均計数比から、未臨界反応度を整理したのが、第 10, 11 表である。第 2 図に安全ブロックの反応度曲線を示した。

§ 3.5 落下法による測定

- (1) 臨界状態からスクラムにより、安全棒 1、安全棒 2、安全ブロックをそれぞれ 1 本ずつ急速に引抜いて測定した。更に、安全棒 1 と安全棒 2、安全棒 1、安全棒 2 及び安全ブロックの組合せについても測定を行なった。測定結果は、第 12 表の通りである。

§ 3.6 臨界近接時の測定データの解析

- (1) 臨界近接の際、燃料装荷毎に各制御棒（シム棒 1 を除く）の挿入引抜を行なって計数値の増倍を測定した。この計数比から単純未臨界法により各制御棒の未臨界等価反応度を求めることができる。基準反応度としてベリウド法により較正した調整棒の値（8.4 ϕ ）を用いて整理したのが、第 13 表である。

§ 3.7 A 位置における制御棒較正

- (1) 運転位置 A における制御棒較正も同様の方法で行なった。

A 位置における臨界位置は、次の通りである。

調整棒	シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブロック	シム棒 1
0.35	154.5	200	200	200	85

- (2) 調整棒とシム棒 2 とを組合せて、ベリウド法により較正した結果が、第 14 表（調整棒）、第 15 表（シム棒 2）にまとめられている。全ストロークの等価反応度は 8.47 ϕ 及び 9.12 ϕ であり、C 位置における較正データとほとんど同じである。（第 1, 2 表）
- (3) シム棒 1 は、(2) で較正した調整棒又はシム棒 2 と単純に置換えることにより比較法で較正した。第 16 表の通りであり、C 位置での較正值と全く同じ値がえられた。

調整棒、シム棒 2、シム棒 1 の較正值をまとめて第 3 図に示した。

- (4) 以上のデータから A 位置での超過反応度は次の通りとなる。

調整棒	0 ~ 200	8.47 ϕ	} 9.22 ϕ 操作可能部分
シム棒 2	154.5 ~ 200	7.5	
シム棒 1	85 ~ 200	6.66	機械的固定部分

- (5) 安全棒 1、2、安全ブロックのスクラム停止余裕は落下法により求めた。A 位置では予備チャンネルが使用できないので、起動系のみで測定した。スクラム後の減衰状況を測定するため、出力をタイム・アナライザーに記憶させた。測定結果を第 17 表及び第 4 図に示す。

第4章 結果の検討と総括

§ 4.1 測定結果の検討

- (1) 制御棒校正（等価反応度の測定）の測定結果を評価検討するにあたって注意すべき点は、実験誤差の評価と、制御棒相互の干渉効果の検討であろう。
- (2) 実験誤差の評価としては、いわゆる物理実験の場合と異なり、工学的試験の場合は、いくつかの測定方法を組合せて行なうことにより総合的に評価検討することが行なわれる。
- (3) まず、ペリオド法による測定については、位置指示計の精度、増倍時間の測定精度のほかに、臨界状態において平衡状態が実現されているかどうかが問題となる。ここでは、これらの評価は特に行なう余裕がないので省略するが、一つの参考としては、C位置及びA位置での測定データを比較して評価することができる。第1表と第14表、第2表と第15表を比較して理解されるように、運転位置での反応度差は全く認められず、両者の差は測定精度と考えることが出来るが、全ストロークで高々2%と考えられる。
- (4) 比較法の測定で誤差に影響を及ぼすのは、位置指示計の精度のほか、臨界状態の確認精度であろう。ここでも(2)と同様、C位置とA位置での測定結果の比較であるが、第5表と第16表のシム棒1の校正データから理解されるように全く一致しており、きわめて精度の高いことが推定される。
- (5) ペリオド法、比較法は臨界状態を保持することが基本点であるため、全ストロークを校正する場合、他のいずれかの制御棒との入れかえにもなう相互干渉効果が問題となる。この点の厳密な評価は困難であるが、大略の傾向は、第1、3及び5図の反応度曲線から考えることが出来る。各制御棒の反応度積分曲線は、対称ではなく、全引抜近傍では立上りが強く、全挿入近傍では勾配がねてきている。これは、制御棒の移動ストロークが燃料有効部に対し対称でないためと考えられる。しかし、全体的な傾向として、校正途中での制御棒の入れかえにもなう歪が認められないので、相互干渉は存在したとしても小さなものと推定される。従って、校正曲線を使用する際、他の制御棒位置に対し神経質になる必要はないと考えられる。（第5図に相対反応度曲線をまとめて図示した）
- (6) 未臨界法の測定では、検出器の位置による影響が大きくあらわれる。これは、中性子源が局在することと、測定制御棒が局所的に移動するためであり、厳密な解析を行なう

のには一点近似法の式を用いることは出来ないが、ここでは、各検出器間のバラツキは測定誤差として処理することとした。詳細な誤差評価は行なっていないが、最も大きい場合で $\pm 10\%$ 程度と考えられる。安全棒1，安全棒2単独の未臨界法の測定データはベリオド法のデータと比べて低目に出ているが、この原因として一つは臨界時の測定データが、未臨界時の測定データにそのまま延長出来るかどうかという疑問が残ることと、他の要因として測定時の状態確認精度の問題がある。安全棒1，2の測定の際は、長時間の臨界保持ののち、未臨界状態の測定にうつったため、遅発中性子の影響が大きく残って定常状態に至らないうちに計測を行ない、未臨界度を低目に評価したことが考えられる。尚、第8，9表の測定では、この点を考慮して未臨界の深い状態から臨界状態にむけて測定をすすめたので、遅発中性子の影響による誤差は少ないものと推定される。

誤差の原因として、このほかに、基準反応度自体の精度があげられる。安全棒1，2の未臨界法と比較法の較正值の比は、いずれも0.87であり、しかも全ストロークの相対反応度曲線を同一グラフに図示すると(第6図)曲線の傾向もよく一致しているので、基準反応度に誤差の原因を求めることは十分考えられる。この基準反応度は、シム棒2の位置指示から、第1図のグラフによって等価反応度を求めたが、位置指示計の精度、グラフの読取精度を考えると $\pm 0.5\%$ 程度の誤差が入ることは考えられる。基準反応度の誤差と測定時の過渡的条件を考慮すると、未臨界法による測定データが、比較法に比べて13%程度小さく出たことはいかなるものである。

未臨界法によって大きい反応度を測定する場合は、基準反応度を大きくとるとともに、位置指示精度の精確な調整棒を採用すべきであろう。又この基準反応度を直接ベリオド法で測定することが望ましい。

(7) 落下法の測定では、使用した解析式への疑問が明らかとなった。安全棒1本の落下法測定データは、比較法による較正データに比しきわめて小さい値となったが、安全棒2本+安全ブロックの測定結果は未臨界法の値に近づいている。このことから、使用した式は投入反応度の小さい場合には成り立たない近似式ではないかと推定される。解析式の導出過程が明らかでないため検討ができないが、他の原子炉においても同様の問題に直面したと伝えられている。

これについては、その後、動特性方程式を直接数値的に解いて、投入反応度と中性子束減衰比との関係を求めて、測定データから投入反応度を推定することとした。結果の詳細はP 53以降の付章にまとめたが、この方式による反応度は第12，17表にあわ

せて記載した。

§ 4.2 結 論

以上の検討をもとに測定結果を整理したのが第18表である。

調整棒及びシム棒2は、ベリウド法の測定データを較正值として採用した。安全棒1, 2, シム棒1の全ストロークの反応度も、ベリウド法にもとづく比較法の測定データを較正值とした。これらの較正值をもとに、各運転位置における操作可能な超過反応度(調整棒+シム棒2の引抜部分)を、次の通り確認する。

超過反応度(操作可能部分) O位置 0.94%

 A位置 0.92%

原子炉の停止余裕(スクラム停止余裕, 全停止余裕)は、未臨界法又は落下法の測定データが対象となるが、未臨界法は基準反応度に疑問の残ること、落下法は計測器によるバラツキの大きいことから、確定した値を決めることは困難であり、“ある値以上”という表現をとる方が妥当であろうと考えられる。

原子炉停止余裕

スクラム停止(安全棒1, 2, 安全ブロック) 4.8%以上

全停止(シム棒1以外の全制御棒) 5.3%以上

§ 4.3 お わ り に

本実験は、多数の関係者の努力により有益な成果をうることができた。

特に、御指導と御協力をいただいた東京大学 安教授、古橋助教授初め、東京大学関係者すべての方々に深く感謝の意を表わしたい。

付 章 落下法による制御棒較正

既に述べた通り (P. 51 (7)), 落下法測定 of データ処理において解析式に問題のあることが明らかとなった。このため, 動特性方程式を直接数値計算で解くことにより, 投入反応度と中性子束減衰の関係を求めてデータ処理を行なうこととした。以下に, その結果をまとめる。

§ 1. 計算の概要

数値計算に使用したコードは, AIREK-III であり, 基本方程式は次の通りである。

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\ell} \times N(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta \cdot f_i}{\ell} \times N(t) - \lambda_i C_i(t)$$

この式で, 遅発中性子群は 6 群とし, λ_i , β , ℓ の値は既出の値 (P. 42 § 2.1 (2)) を使用した。計算条件は, $t \leq 0$ で $\frac{dN}{dt} = \frac{dC_i}{dt} = 0$ とし, $t = 0$ において, ステップ状に負の反応度が投入された後の中性子束の減衰を計算した。この場合, 実験条件と対応させるため, AIREK-III コードの一部を改良し, 反応度投入後 t_1 から t_2 までの減衰中性子束を数値積分 (梯形法) により積分した。

計算結果を第 8 図に示す。積分時間は $t_1 = 10 \sim t_2 = 70$ とした。数値計算の結果とあわせて, 解析式による減衰比もプロットした。尚, $x = 1$ 近傍のグラフは拡大して右下に示してある。又, 積分時間 $t_1 = 5 \sim t_2 = 35$ の計算結果も, 左上にのせた。

§ 2 測定データの解析

第 8 図の数値計算結果から, 既に行なった実験データを整理しなおすと次ページの通りとなる。

炉心位置	測定制御棒	測定時間(秒)	$\frac{N_0}{\int N dt}$	反応度(数値解)			反応度(近似式)
				平均	最大	最小	
C	SR-1	10~70	0.171	1.06\$	1.1\$	0.8\$	0.18\$
	SR-1	10~70	0.189	1.05	1.1	0.9	0.17
	SR-1	5~35	0.206	1.04	1.1	1.0	—
	SR-2	10~70	0.176	1.08	1.2	0.9	0.21
	SR-1 SR-2	10~70	0.336	2.07	2.3	1.6	1.14
	SB	10~70	0.670	4.01	4.2	3.8	3.08
	SR-1, 2 SB	10~70	0.927	5.50	6.1	5.0	4.57
A	SR-1	10~70	0.161	1.01	—	—	0.12
	SR-2	10~70	0.161	1.01	—	—	0.12
	SR-1, 2 SB	10~70	1.001	5.92	—	—	5.00

(注) 数値解反応度で、平均は全検出器の測定データを平均して求めたものであり、最大、最小は各検出器の測定データの最大値、最小値から求めたものである。

§ 3. 誤差の評価

(1) 数値解法からくる誤差

微分方程式を数値計算として解く場合は、時間変数をとびとびにとるための誤差が当然入ってくると考えられる。この誤差の評価は、数学的には確立した方法があることと思われるが、ここでは、時間間隔を変えることにより、計算結果の相違を調べて評価した。

時間間隔 Δt を0.02(秒), 0.05, 0.1, 0.5の4通りに変えて、負反応度投入後の中性子束減衰を計算し、 $\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt$ ($t_1=10$, $t_2=70$) と $N(99.0)$ を比較した。負反応としては、 $\alpha=1.0$, 1.0.0(\$)の2通りについて調べた。結果は次表の通りである。(初期条件 $N(0)=1.0$) 各欄の下段は、 $\Delta t=0.1$ での値に対する差を、 $\Delta t=0.1$ での値で除した相対誤差である。

Δt	$x = -1.0 \$$		$x = -1.0 \$$	
	$\int_{10}^{70} N(t) dt$	$N(9.0)$	$\int_{10}^{70} N(t) dt$	$N(9.0)$
0.02 ^秒	0.5867905 -0.0494%	0.0019059 -0.0315%	6.227783 -0.0404%	0.026377 -0.0265%
0.05	0.5868988 -0.0309%	0.0019061 -0.0210%		
0.1	0.5870803	0.0019065	6.230301	0.026384
0.5	0.5885818 +0.2558%	0.0019463 +2.0876%	6.267647 +0.5994%	0.026945 +2.1534%

この結果から $\Delta t = 0.02 \sim 0.1$ ではほとんど差のないことが認められる。真値そのものは求めることが出来ないが、 $\Delta t = 0.1$ の計算結果を用いても、誤差は0.1%以下であろうと推定される。

(2) 測定時間からくる誤差

落下法では、スクラム後10秒間ストップウォッチで経過時間を測定してから、手動により計数を開始する。この間の時間が誤差として入ってくる。又、制御棒スクラムによる負反応度の投入は、厳密にはステップ状ではなく、250 msecの遅れをとまって挿入されるので、ステップ状を条件とした解析に対し誤差の原因となる。

これについては、積分時間の範囲を $t_1 = 9 \sim t_2 = 69$ 、又は $t_1 = 11 \sim t_2 = 71$ に変えて $\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt$ を求め、 $t_1 = 10 \sim t_2 = 70$ の標準値と比較して誤差を評価した。標準値($t_1 = 10 \sim t_2 = 70$)における積分中性子束と反応度の関係の勾配から、測定開始時間の誤差にともなう測定反応度の誤差への影響を求めることが出来る。結果は次表の通りであり、測定開始時刻の±1秒のズレに対して、算出反応度で高々5%以下の誤差となることが理解出来る。

投入 反応度 ρ	測定時間	$\frac{N_0}{\int N(t) dt}$	$\frac{N_0}{\int_{10}^{70} N(t) dt}$ (標準)	$\frac{\Delta(\frac{N_0}{\int N(t) dt})}{\Delta \rho}$	$\frac{\Delta \rho}{\rho}$
-1.0 \$	9~69	0.15588	0.160506	0.16209	-2.85%
	11~71	0.16514			+2.86

-5.0 \$	9~69	0.810534	0.840623	0.17216	-3.50 %
	11~71	0.870722			+3.50
-1.0	4~34	0.189918	$\int_5^{35} \frac{N_0}{N dt}$ 0.197756	0.17843	-4.39

従って、計数開始時刻のズレ、ステップ状反応度投入からのズレなどにもなる反応度測定への誤差の影響は小さく、測定検出器相互間の差異（一点近似法への疑問）の中に含まれてしまうので、一点近似の動特性方程式を使用している限り、無視出来る問題といえよう。

(3) 近似式と数値解法との比較

第8図にみられる通り、数値解法で求めた投入反応度と中性子束減衰比との関係は、近似解析式（P44, §2.4）からえられる関係と比べ、きれいな平行移動となっている。同じ中性子束減衰比に対し、反応度は約1 \$の差となる。投入反応度が10 \$程度であれば、このズレは10 %となるが測定反応度が1 \$近くの場合100 %の誤差となり近似解析式を使用すること自体疑問である。

これらの比較検討は興味ある問題であるが、近似解析式の導出根拠が不明なので、ここではこれ以上検討することはしない。

(4) 減衰曲線の比較

1.0 \$ 及び 6.0 \$ の負反応度を投入した場合における中性子束減衰の計算結果を、A位置における落下法測定データと比較した。（第4図参照）SR-2の測定結果（推定反応度1.01 \$）に1.0 \$の計算値を、SR-1, 2, SBの測定結果（推定反応度5.92 \$）に6.0 \$の計算値を、×印でプロットした。いずれも反応度投入直後を除いて、測定データのバラッキの範囲内でよく一致していることを示している。反応度投入直後の差異は、マルチチャンネルのゲート時間のズレ、スクラム遅れ時間などによることも考えられるので、これから直ちに遅発中性子減衰定数の妥当性を論ずることは困難である。

第 1 表 調 整 棒 の 較 正 (ペリオド法)

ステップ	較正ストローク	増倍時間 (秒)	ペリオド (秒)	反 応 度 (ϕ)	累積反応度 (ϕ)	置換制御棒	そ の 他 の 制 御 棒
1	0.31→ 25.17	80.72	116.48	8.15	8.15	シム 2 127.5~145	安 全 棒 1 全挿入 安 全 棒 2 全挿入 シ ム 棒 1 50 mm 安全ブロック 全挿入 (全挿入=200 mm)
2	25.17→ 50.45	49.38	71.25	11.90	20.05	107.5~127.5	
3	50.45→ 75.21	35.50	51.23	15.05	35.10	85.0~107.5	
4	75.21→ 90.06	64.13	92.53	9.77	44.87	70.5~ 85.0	
5	90.06→ 99.82	115.23	166.27	6.07	50.94	61.0~ 70.5	
6	99.82→120.30	47.85	69.05	12.16	63.10	40.5~ 61.5	
7	120.30→140.15	68.85	99.35	9.24	72.34	21.0~ 40.5	
8	140.15→163.95	92.80	133.91	7.27	79.61	0 ~ 21.0	
9	163.95→199.99	156.70	226.12	4.66	84.27		
	全ストローク				84.3 ϕ		

第2表 シム棒2の校正（ベリウド法）

ステップ	校正ストローク	増倍時間 (秒)	ベリウド (秒)	反応度 (%)	累積反応度 (%)	置換制御棒	その他の制御棒
1	0 → 21.0	(注)		7.27	7.27	調整棒 140.15~163.95	安全棒1 200 mm 安全棒2 200 シム棒1 50 安全ブロック 200
2	21.0 → 40.5			9.24	16.51	120.30~140.15	
3	40.5 → 61.0			12.16	28.67	99.82~120.30	
4	61.0 → 70.5			6.07	34.74	90.06~99.82	
5	70.5 → 85.0			9.77	44.51	75.21~90.06	
6	85.0 → 107.5			15.05	59.56	50.45~75.21	
7	107.5 → 127.5			11.90	71.46	25.17~50.45	
8	127.5 → 145.0			8.15	79.61	0.31~25.17	
9	145.0 → 170.0	101.65	146.68	6.74	86.35	安全棒1 161.0 ~200.0	調整棒 0.33 安全棒2 200 シム棒1 50 安全ブロック 200
10	170.0 → 200.0	224.38	323.77	3.38	89.73	151.0 ~161.0	
参考	146.0 → 200.0	61.18	88.28	10.12		比較法標準ストローク	安全棒1,2,安全ブロック 200 シム棒1 50
	全ストローク				89.7%		

(注) ステップ1~8は、調整棒により正の反応度を付加した場合の補償棒として校正した。

第3表 安全棒1の校正（比較法）

ステップ	校正ストローク	反応度 (%)	累積反応度 (%)	置換制御棒	その他の制御棒	
1	0 → 12.0	5.2	5.2	調整棒 0~17.5	安全棒2 166.5	シム棒1, 2, 安全ブロック 200
2	12.0 → 32.0	10.12	15.32	シム棒2 146~200	166.5	調整棒 0 シム棒1 200 安全ブロック 200
3	32.0 → 49.0	10.12	25.44	146~200	139.5	
4	49.0 → 63.0	10.12	35.56	146~200	122	
5	63.0 → 76.0	10.12	45.68	146~200	108	
6	76.0 → 88.5	10.12	55.80	146~200	95	
7	88.5 → 101.0	10.12	65.92	146~200	83	
8	101.0 → 115.0	10.12	76.04	146~200	70.5	
9	115.0 → 130.0	10.12	86.16	146~200	58	
10	130.0 → 150.5	10.12	96.28	146~200	44	
11	150.5 → 200.0	10.12	106.40	146~200	27	
			106.4%			

第4表 安全棒2の校正（比較法）

ステップ	校正ストローク	反応度 (%)	累積反応度 (%)	置換制御棒	その他の制御棒	
1	0 → 25.0	1 0.1 2 0.8	1 0.9 2	シム棒2 146 ~ 200 調整棒 5.1 ~ 7.1	シム棒1 200	安全棒1, 安全ブロック 200
2	25.0 → 42.5	1 0.1 2	2 1.0 4	シム棒2 146 ~ 200	1 5 8	安全棒1 200 安全ブロック 200 調整棒 0.33
3	42.5 → 57.0	1 0.1 2	3 1.1 6	146 ~ 200	1 3 8.5	
4	57.0 → 70.0	1 0.1 2	4 1.2 8	146 ~ 200	1 2 4	
5	70.0 → 81.0	1 0.1 2	5 1.4 0	146 ~ 200	1 1 3	
6	81.0 → 93.0	1 0.1 2	6 1.5 2	146 ~ 200	1 0 2	
7	93.0 → 104.5	1 0.1 2	7 1.6 4	146 ~ 200	9 2	
8	104.5 → 117.5	1 0.1 2	8 1.7 6	146 ~ 200	8 2	
9	117.5 → 131.5	1 0.1 2	9 1.8 8	146 ~ 200	7 2	
10	131.5 → 151.0	1 0.1 2	10 2.0 0	146 ~ 200	6 2	
11	151.0 → 200.0	1 0.1 2	11 2.1 2	146 ~ 200	5 0	
	全ストローク		11 2.1 %			

第5表 シム棒 1 の 較 正 (比較法)

ステップ	較正ストローク	反 応 度 (ϕ)	累積反応度 (ϕ)	置 換 制 御 棒	そ の 他 の 制 御 棒	
1	0 → 25.0	1 2. 8	1 2. 8	調整棒 48.0~ 69.5	安全棒 1 200 安全棒 2 200 安全ブロック 200	
2	25.0→ 50.0	1 8. 7	3 1. 5	0 ~ 48.0		
3	50.0→ 62.0	1 0. 1 2	4 1. 6 2	シム棒 2 146 ~200	安全棒 2 1 5 1	調 整 棒 0.3 3 安全棒 1 200 安全ブロック 200
4	62.0→ 72.0	1 0. 1 2	5 1. 7 4	146 ~200	1 3 1. 5	
5	72.0→ 82.0	1 0. 1 2	6 1. 8 6	146 ~200	1 1 7. 5	
6	82.0→ 92.0	1 0. 1 2	7 1. 9 8	146 ~200	1 0 4. 5	
7	92.0→102.0	1 0. 1 2	8 2. 1 0	146 ~200	9 3	
8	102.0→113.0	1 0. 1 2	9 2. 2 2	146 ~200	8 1	
9	113.0→124.0	1 0. 1 2	1 0 2. 3 4	146 ~200	7 0	
10	124.0→138.5	1 0. 1 2	1 1 2. 4 6	146 ~200	5 7	
11	138.5→158.0	1 0. 1 2	1 2 2. 5 8	146 ~200	4 2. 5	
12	158.0→200.0	1 0. 1 2 - 1. 1	1 3 1. 6 0	シム棒 2 146 ~200 調整棒 5.1 ~ 0	2 5. 0	安全棒 1, 安全ブロック 200
	全ストローク		1 3 1. 6 ϕ			

第6表 未臨界法測定データ (1/4)

制御棒位置	計 数 率 C_i と 計 数 比 C_0 / C_i							平均計数比 C_0 / C_i
	C I C - 1	C I C - 2	F C - 1	F C - 2	B F ₃ - 2	H e - 1	H e - 2	
シム棒2 (*) 1 2 7.5	2.33×10^{-11}	2.42×10^{-11}	1.87×10^5	1.65×10^5	1.07×10^5	4.83×10^5	1.62×10^5	(基準計数率) C_0
安全棒1 (**) 1 6 0	2.81×10^{-11}	3.00×10^{-11}	2.28×10^5	2.03×10^5	1.31×10^5	5.82×10^5	1.99×10^5	0.8 1 9
	0.8 2 9	0.8 0 7	0.8 2 0	0.8 1 3	0.8 1 7	0.8 3 0	0.8 1 4	
1 4 0	1.07×10^{-11}	1.13×10^{-11}	8.73×10^4	7.73×10^4	5.08×10^4	2.39×10^5	7.83×10^4	2.1 1
	2.1 8	2.1 4	2.1 4	2.1 3	2.1 1	2.0 2	2.0 7	
1 2 0	5.00×10^{-12}	5.24×10^{-12}	4.55×10^4	3.97×10^4	2.63×10^4	1.26×10^5	4.07×10^4	4.2 0
	4.6 6	4.6 2	4.1 1	4.1 6	4.0 7	3.8 3	3.9 8	
8 0	2.30×10^{-12}	2.48×10^{-12}	2.05×10^4	1.82×10^4	1.20×10^4	5.92×10^4	1.89×10^4	9.1 0
	10.1 3	9.7 6	9.1 2	9.0 7	8.9 2	8.1 6	8.5 7	
4 0	1.60×10^{-12}	1.62×10^{-12}	1.38×10^4	1.20×10^4	7.98×10^3	3.93×10^4	1.24×10^4	1 3.6 5
	14.5 6	14.9 4	13.5 5	1 3.7 5	1 3.4 1	12.2 9	13.0 6	
0	1.33×10^{-12}	1.33×10^{-12}	1.15×10^4	9.85×10^3	6.53×10^3	3.29×10^4	1.02×10^4	1 6.4 5
	17.5 2	18.2 0	16.2 6	16.7 5	16.3 9	14.6 8	15.3 8	
(*) 調整棒 : 0, シム棒 1 : 5 0 安全棒 1, 2, 安全ブロック : 2 0 0								
(**) 調整棒 : 0, シム棒 1 : 5 0, シム棒 2 : 1 4 6.5 安全棒 2, 安全ブロック : 2 0 0								

第 7 表 未 臨 界 法 測 定 デ ー タ (2 / 4)

制御棒位置	計 数 率 C_i と 計 数 比 C_o/C_i							平均計数比 C_o/C_i
	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BFs-2	He-1	He-2	
シム棒 2 (*) 127.5	2.33×10^{-11}	2.42×10^{-11}	1.87×10^5	1.65×10^5	1.07×10^5	4.83×10^5	1.62×10^5	(基準計数率) C_o
安全棒 2 (**) 160	2.88×10^{-11}	3.08×10^{-11}	2.35×10^5	2.09×10^5	1.35×10^5	5.94×10^5	2.04×10^5	
	0.809	0.786	0.796	0.789	0.793	0.813	0.794	
120	4.95×10^{-12}	5.18×10^{-12}	4.41×10^4	3.96×10^4	2.57×10^4	1.24×10^5	4.00×10^4	0.797
	4.71	4.67	4.24	4.17	4.16	3.90	4.05	
80	2.23×10^{-12}	2.40×10^{-12}	1.97×10^4	1.78×10^4	1.15×10^4	5.69×10^4	1.78×10^4	4.27
	10.45	10.08	9.49	9.27	9.30	8.49	9.10	
40	1.48×10^{-12}	1.58×10^{-12}	1.29×10^4	1.18×10^4	7.61×10^3	3.80×10^4	1.17×10^4	9.45
	15.74	15.32	14.50	13.98	14.06	12.71	13.85	
0	1.25×10^{-12}	1.28×10^{-12}	1.06×10^4	9.82×10^3	6.40×10^3	3.13×10^4	9.72×10^3	14.31
	18.64	18.91	17.64	16.80	16.72	15.43	16.67	
安全棒 1 (***) 安全棒 2 0	7.5×10^{-13}	7.5×10^{-13}	5.89×10^3	5.27×10^3	3.54×10^3	1.75×10^4	5.85×10^3	17.26
	31.07	32.27	31.75	31.31	30.23	27.60	27.69	
(*) 調整棒: 0 シム棒 1: 50 安全棒 1, 2, 安全ブロック: 200								
(**) 調整棒: 0 シム棒 1: 50 シム棒 2: 146.5 安全棒 2, 安全ブロック: 200								
(***) 調整棒: 0 シム棒 1: 50 シム棒 2: 146.5 安全ブロック: 200								

第 8 表 未 臨 界 法 測 定 デ ー タ (3 / 4)

制 御 棒 位 置				計 数 率 C _i と 計 数 比 C _o /C _i								平均計数比 C _o /C _i
シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブ ロック	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He-1	He-2	
127.5	200	200	200	2.20×10 ⁻¹¹	2.35×10 ⁻¹¹	1.79×10 ⁵	1.59×10 ⁵	2.88×10 ⁵	1.16×10 ⁵	4.66×10 ⁵	1.57×10 ⁵	(基準計数率) C _o
"	"	"	199	1.20×10 ⁻¹¹	1.26×10 ⁻¹¹	9.78×10 ⁴	8.59×10 ⁴	1.57×10 ⁵	6.28×10 ⁴	2.66×10 ⁵	8.62×10 ⁴	1.84
				1.83	1.87	1.83	1.85	1.83	1.85	1.75	1.82	
"	"	"	198	5.1×10 ⁻¹²	5.35×10 ⁻¹²	4.50×10 ⁴	3.96×10 ⁴	7.30×10 ⁴	2.94×10 ⁴	1.27×10 ⁵	4.02×10 ⁴	3.96
				4.31	4.39	3.98	4.02	3.95	3.95	3.67	3.91	
"	"	"	197	3.5 ×10 ⁻¹²	3.75×10 ⁻¹²	3.15×10 ⁴	2.79×10 ⁴	5.10×10 ⁴	2.06×10 ⁴	9.07×10 ⁴	2.85×10 ⁴	5.63
				6.29	6.27	5.68	5.70	5.65	5.63	5.14	5.51	
"	"	"	195	2.2 ×10 ⁻¹²	2.3 ×10 ⁻¹²	1.95×10 ⁴	1.71×10 ⁴	3.16×10 ⁴	1.28×10 ⁴	5.65×10 ⁴	1.77×10 ⁴	9.10
				10.00	10.22	9.18	9.30	9.11	9.06	8.25	8.87	
"	"	"	190	1.38×10 ⁻¹²	1.41×10 ⁻¹²	1.15×10 ⁴	9.83×10 ³	1.84×10 ⁴	7.44×10 ³	3.36×10 ⁴	1.02×10 ⁴	15.68
				15.94	16.67	15.57	16.18	15.65	15.59	13.87	15.39	
"	"	"	180	9.0 ×10 ⁻¹³	9.3 ×10 ⁻¹³	7.19×10 ³	6.36×10 ³	1.16×10 ⁴	4.81×10 ³	2.17×10 ⁴	6.48×10 ³	24.62
				24.44	25.27	24.90	25.00	24.83	24.12	21.47	24.23	
(＊) その他の制御棒位置 調整棒：0，シム棒 1：50												

第 9 表 未 臨 界 法 測 定 デ ー タ (4 / 4)

制 御 棒 位 置				計 数 率 C _i と 計 数 比 C _o / C _i								平均計数比 C _o / C _i
シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブ ロック	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF ₃ -1	BF ₃ -2	He-1	He-2	
127.5	200	200	200	2.20×10 ⁻¹¹	2.35×10 ⁻¹¹	1.79×10 ⁵	1.59×10 ⁵	2.88×10 ⁵	1.16×10 ⁵	4.66×10 ⁵	1.57×10 ⁵	C _o
#	#	#	150	6.0 ×10 ⁻¹³	6.3 ×10 ⁻¹³	4.33×10 ³	3.80×10 ³	7.14×10 ³	2.89×10 ³	1.39×10 ⁴	4.10×10 ³	4 0.3 9
				36.67	37.30	41.34	41.84	40.34	40.14	33.53	38.29	
#	#	#	100	4.8×10 ⁻¹³	5.1 ×10 ⁻¹³	3.24×10 ³	2.75×10 ³	5.28×10 ³	2.24×10 ³	1.08×10 ⁴	3.03×10 ³	5 4.2 5
				45.83	46.08	55.25	57.82	54.55	51.79	43.15	51.82	
#	#	#	0	4.50×10 ⁻¹³	4.8 ×10 ⁻¹³	2.73×10 ³	2.36×10 ³	4.57×10 ³	1.81×10 ³	9.53×10 ³	2.60×10 ³	6 4.0 9
				48.89	48.96	65.57	67.37	63.02	64.09	48.90	60.38	
#	0	#	0	3.90×10 ⁻¹³	4.50×10 ⁻¹³	2.34×10 ³	2.01×10 ³	3.87×10 ³	1.57×10 ³	8.20×10 ³	2.29×10 ³	7 4.4 9
				56.41	52.22	76.50	79.10	74.42	73.89	56.83	68.56	
#	0	0	0	3.45×10 ⁻¹³	4.05×10 ⁻¹³	2.06×10 ³	1.79×10 ³	3.43×10 ³	1.39×10 ³	7.16×10 ³	2.00×10 ³	8 4.3 3
				63.77	58.02	86.89	88.83	83.97	83.45	65.08	78.50	
0	0	0	0	3.3 ×10 ⁻¹³	3.7 ×10 ⁻¹³	1.90×10 ³	1.67×10 ³	3.21×10 ³	1.26×10 ³	6.64×10 ³	1.88×10 ³	9 0.9 4
				66.67	63.51	94.21	95.21	89.72	92.06	70.13	83.51	
その他の制御棒位置 調整棒：0，シム棒 1：50												

第 10 表 安全棒 1, 2 の 較 正 (未臨界法)

制 御 棒 位 置						計 数 比 Co/Ci	未 臨 界 度 (単純法) (ϕ)	未 臨 界 度 (keff法)		
調整棒	シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブ ロック	シム棒 1			1 - keff	ρ_i (ϕ)	
0	127.5	200	200	200	50	1.00	5.6	0.0004058		(基準反応度)
0	146.5	160	200	200	50	0.819	4.59	0.000332	4.59	安 全 棒 1 92.7 ϕ
		140				2.11	11.82	0.000856	11.82	
		120				4.20	23.52	0.001704	23.55	
		80				9.10	50.96	0.003693	51.12	
		40				13.65	76.44	0.005539	76.83	
		0				16.45	92.12	0.006675	92.69	
0	146.5	200	160	200	50	0.797	4.46	0.000323	4.46	安 全 棒 2 97.3 ϕ
			120			4.27	23.91	0.001732	23.94	
			80			9.45	52.92	0.003835	53.10	
			40			14.31	80.14	0.005807	80.56	
			0			17.26	96.66	0.007004	97.29	
0	146.5	0	0	200	50	30.27	169.51	0.012284	171.54	安 全 棒 1 + 2 171.5 ϕ
0	146.5	200	200	200	50	← 臨 界 位 置				

第 11 表 安全ブロックの校正, 安全棒 1, 2, 安全ブロックの停止余裕

制 御 棒 位 置						計 数 比 Co/Ci	未 臨 界 度 (単純法) (ϕ)	未 臨 界 度 (keff法)		
調整棒	シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブ ロック	シム棒 2			1-keff	ρ (ϕ)	
0	127.5	200	200	200	50	1.00	5.6	0.0004058		(基準反応度)
0	127.5	200	200	199	50	1.84	10.30	0.000747	10.31	安全ブロック 3.6\$ (*)
				198		3.96	22.18	0.001607	22.20	
				197		5.63	31.53	0.002285	31.58	
				195		9.10	50.96	0.003693	51.12	
				190		15.68	87.81	0.006363	88.33	
				180		24.62	137.87	0.009991	139.19	
				150		40.39	226.18	0.016390	229.84	
				100		54.25	303.80	0.022015	310.49	
				0		64.09	358.90	0.026008	368.31	
0	127.5	0	200	0	50	74.49	417.14	0.030228	429.93	安全棒1+安全ブロック 4.2\$ (*)
0	127.5	0	0	0	50	84.33	472.25	0.034221	488.74	全スクラム停止余裕 4.8\$ (*)
0	0	0	0	0	50	90.94	509.26	0.036903	528.52	全 停 止 余 裕 5.3\$
0	146.5	200	200	200	50	← 臨 界 位 置 (*) 基準反応度分を差引いて補正した。				

第 1 2 表 停 止 余 裕 の 測 定 (落 下 法)

上段 AIREK-Ⅲコード
下段 () 内近似解析式

(*) 測定制御棒	測定データ及び計数比 上段左下: No (臨界時計数率 cps) 下段: No/N 上段右下: N (落下後10秒後から1分間の全計数)						平均計数比	反応度
	FC-1	FC-2	BF _s -1	BF _s -2	He-1	He-2		
安全棒 1	11312 / 64007	9985 / 53899	16571 / 99507	6992 / 40136	22364 / 169857	8617 / 56121	0.171	1.06\$ (0.18)
	0.177	0.185	0.167	0.174	0.132	0.154		
安全棒 1	1025 / 6127	893 / 5114	1584 / 9754	660 / 3836	2775 / 18901	900 / 5383	0.167	1.05 (0.17)
	0.167	0.175	0.162	0.172	0.147	0.167		
安全棒 2	11262 / 60483	9919 / 53660	16306 / 96007	6956 / 39062	22300 / 163031	8573 / 53830	0.176	1.08 (0.21)
	0.186	0.185	0.170	0.178	0.137	0.159		
安全棒 1 安全棒 2	980 / 2830	860 / 2494	1515 / 4659	634 / 1845	2659 / 9906	861 / 2691	0.336	2.07 (1.14)
	0.346	0.345	0.325	0.343	0.268	0.320		
安全ブロック	971 / 1370	843 / 1248	1492 / 2302	624 / 894		852 / 1370	0.670	4.01 (3.08)
	0.708	0.676	0.648	0.698		0.622		
安全棒 1 安全棒 2 安全ブロック	959 / 931	838 / 897	1493 / 1720	620 / 636		837 / 1007	0.927	5.50 (4.57)
	1.030	0.934	0.868	0.974		0.831		
(**) 安全棒 1	1011 / 4831	884 / 4223	1559 / 7647	653 / 3103		882 / 4414	0.206	1.04
	0.209	0.209	0.204	0.210		0.200		

(*) 臨界制御棒位置						(**) この測定のみ	
調整棒	シム棒 2	安全棒 1	安全棒 2	安全ブロック	シム棒 1	N (落下後 5 秒後から 30 秒間の全計数)	
0	146.5	200	200	200	50		

第 13 表 未臨界法による制御棒効果の検討 (臨界近接ステップ5)

測定 パターン	計 数 値 (上 段) と 未 臨 界 度 (下 段)								平 均 未臨界度	各制御棒の 効 果	各制御棒の 等価反応度
	CIC-1	CIC-2	FC-1	FC-2	BF _s -1	BF _s -2	³ He-1	³ He-2			
A	0.285×10 ⁻¹²	0.365×10 ⁻¹²	1414.0	1272.7	4056.0	1103.0	5677.7	1657.3		安全ブロック 3.6747	\$ 3.24
	5.4386	5.2740	7.9267	7.9251	7.5121	7.8860	6.4605	7.3493	7.7198		
B	0.395	0.60	2783.3	2407.7	7588.7	2184.0	9554.7	3036.3		安全棒 1 0.9486	0.84
	3.9241	3.2083	4.0270	4.1892	4.0151	3.9827	3.8391	4.0115	4.0451		
C	0.52	0.73	3518.3	3297.3	9866.0	2851.3	12265.3	3930.3		安全棒 2 1.0881	0.96
	2.9808	2.6370	3.1857	3.0590	3.0883	3.0506	2.9906	3.0990	3.0965		
D	0.78	1.11	5608.3	4966.0	15251.3	4377.3	18759.0	6008.0		シム棒 2 1.0084	0.89
	1.9872	1.7342	1.9985	2.0311	1.9978	1.9871	1.9554	2.0273	2.0084		
E	1.55×10 ⁻¹²	1.925×10 ⁻¹²	11208.3	10086.3	30469.0	8698.3	36681.0	12180.0		調 整 棒 0.9513	0.84
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
F			232107.	208519.	625200.	184865.	652723.	237462.			調整棒を84 ¢として求め た。
			0.048289	0.04871	0.048735	0.047052	0.056197	0.051292	0.04875		

第 1 4 表 調 整 棒 の 較 正 (ペリオド法)

A 位 置

ステップ	較正ストローク	増 倍 時 間 (秒)	ペ リ オ ド (秒)	反 応 度 (%)	累 積 反 応 度 (%)	置 換 制 御 棒	その他の制御棒
1	035→ 25.22	8 1.3 5	1 1 7.3 9	8.0 9	8.0 9	シム棒 2 133.1~154.4	安全棒 1 200 安全棒 2 200 安全ブロック 200 シム棒 1 85
2	25.22→ 50.31	5 0.7 5	7 3.2 3	1 1.6 6	1 9.7 5	1 12.5~133.1	
3	50.31→ 75.44	3 4.0	4 9.1	1 5.4 7	3 5.2 2	8 9.5~1 12.5	
4	75.44→100.28	3 0.5 3	4 4.0 5	1 6.6 3	5 1.8 5	6 5.5~ 8 9.5	
5	100.28→125.31	3 6.7 5	5 3.0 3	1 4.6 9	6 6.5 4	4 1.8~ 6 5.5	
6	125.31→150.34	5 8.9 3	8 5.0 3	1 0.4 1	7 6.9 5	1 8.8~ 4 1.8	
7	150.34→199.98	8 5.6 0	1 2 3.5 2	7.7 7	8 4.7 2		
(参考)	150.34→188.30	1 0 0.8 8	1 4 5.5 6	6.7 9		0 ~ 18.8	
	全ストローク				8 4.7 %		

第 15 表 シ ム 棒 2 の 較 正 (ペリオド法)

A 位置

ステップ	較正ストローク	増倍時間 (秒)	ペリオド (秒)	反応度 (%)	累積反応度 (%)	置換制御棒	その他の制御棒
1	0 → 18.8			6.79	6.79	調整棒 150.34~188.30	安全棒 1 200 安全棒 2 200 安全ブロック 200 シム棒 1 85
2	18.8 → 41.8			10.41	17.20	125.31~150.34	
3	41.8 → 65.5			14.69	31.89	100.28~125.31	
4	65.5 → 89.5			16.63	48.52	75.44~100.28	
5	89.5 → 112.5			15.47	63.99	50.31~75.44	
6	112.5 → 133.1			11.66	75.65	25.22~50.31	
7	133.1 → 154.4			8.09	83.74	0.35~25.22	
8	154.5 → 200	90.0	129.87	7.45	91.19		
	全ストローク				91.2%		

(注) ステップ1~7は、調整棒により正の反応度を付加した場合の補償棒として較正した。

第 16 表 シ ム 棒 1 の 較 正 (比較法)

A 位置

ステップ	較正ストローク	反 応 (ϕ)	累積反応度 (ϕ)	置 換 制 御 棒	そ の 他 の 制 御 棒
1	0 → 25.0	13.0	13.0	調整棒 100.28~122.50	シ ム 棒 2 153.5 安 全 棒 1 200 安 全 棒 2 200 安全ブロック 200
2	25.0 → 47.4	16.6	29.6	75.44~100.28	
3	47.4 → 65.0	15.5	45.1	50.31~75.44	
4	65.0 → 77.0	11.7	56.8	25.22~50.31	
5	77.0 → 85.0	8.1	64.9	0.36~25.22	
6	85.0 → 93.5	8.1	73.0	シム棒2 133.0 ~154.5	調 整 棒 0 安 全 棒 1 200 安 全 棒 2 200 安全ブロック 200
7	93.5 → 105.0	11.7	84.7	112.5 ~133.0	
8	105.0 → 122.1	15.5	100.2	89.5 ~112.5	
9	122.1 → 146.3	16.6	116.8	65.5 ~89.5	
10	146.3 → 200	14.7	131.5	41.8 ~65.5	
	全ストローク		131.5 ϕ		

第 17 表 停 止 余 裕 の 測 定 (落 下 法)

A 位 置

測 定 制 御 棒	臨 界 時 計 数 率 N _o (cps)	落 下 後 10 秒 後 か ら 1 分 間 の 全 計 数 N	$\frac{N_o}{N}$	反 応 度 (%)
安 全 棒 1	2 5 7 2 2	1 5 9, 5 4 8	0.1 6 1	1.0 1 (0.1 2)
安 全 棒 2	4 6 7 0 5	2 8 9, 4 7 3	0.1 6 1	1.0 1 (0.1 2)
安 全 棒 1 安 全 棒 2 安全ブロック	1 7 3 5 7	1 7, 3 4 5	1.0 0 1	5.9 2 (5.0 0)

↑ 上段 AIREK-IIIコード
下段 ()内近似解析式

(注 1) 検出器: FC-1

(注 2) 臨界制御棒位置

調 整 棒	0	安 全 棒 1	200
シ ム 棒 2	154.5 mm	安 全 棒 2	200
シ ム 棒 1	85 mm	安全ブロック	200

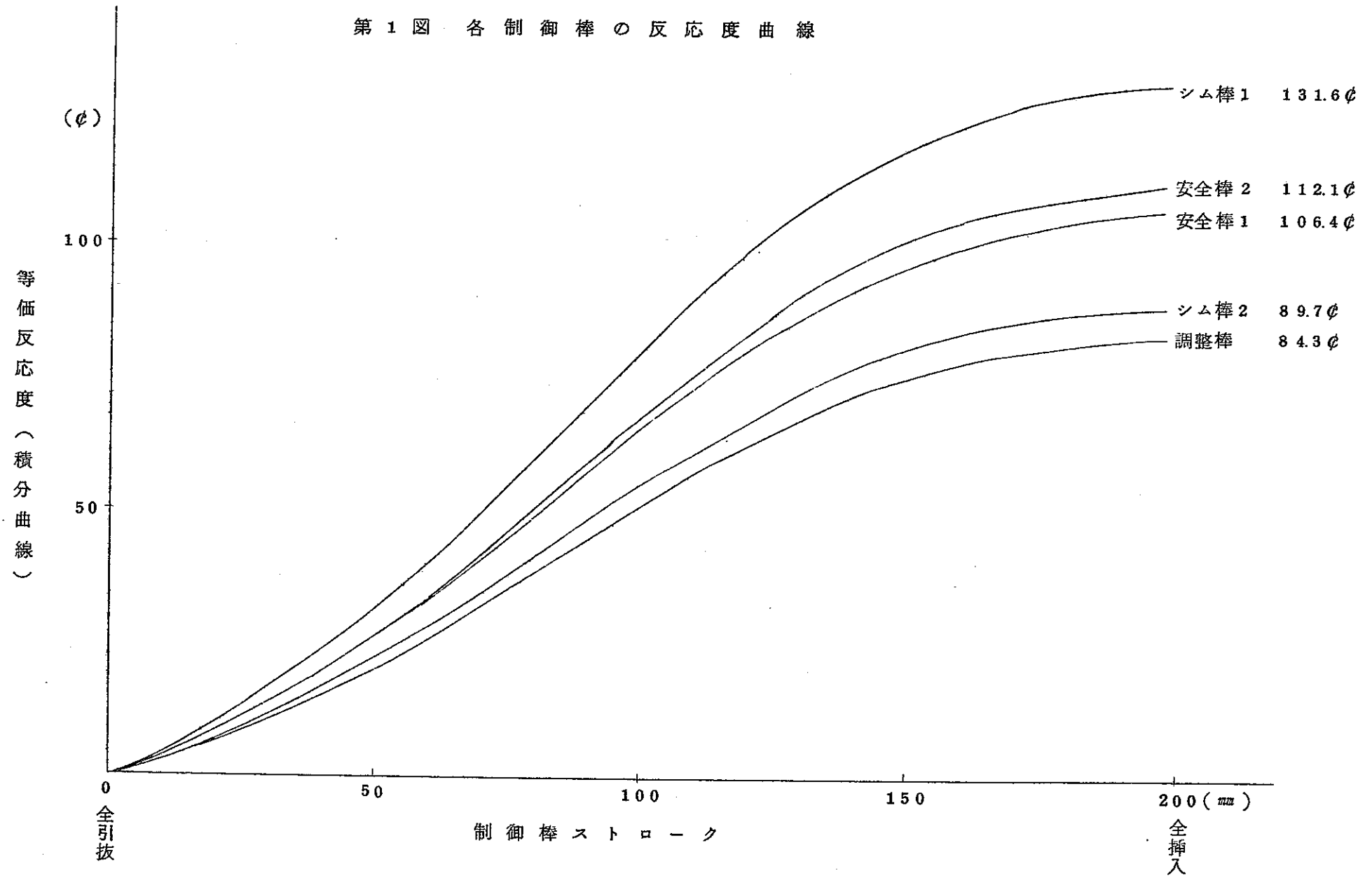
第 18 表 制御棒等価反応度測定データ総括表

制 御 棒	測 定 デ ー タ (\$)					最 良 値 (\$)
	ペリオド法	比 較 法	未 臨 界 法	落 下 法	(臨界近接)(*)	
調 整 棒	0.84 (0.85)**				0.84	0.84
シ ム 棒 2	0.90 (0.91)**				0.89	0.90
安 全 棒 1		1.06	0.93	1.05 (1.01)**	0.84	1.06
安 全 棒 2		1.12	0.97	1.08 (1.01)**	0.96	1.12
シ ム 棒 1		1.32 (1.32)				1.32
安 全 ブ ロ ッ ク			3.63	4.01	3.24	≥ 3.6
安 全 棒 1 安 全 棒 2			1.72	2.07		≥ 1.7
安 全 棒 1 安 全 ブ ロ ッ ク			4.24			≥ 4.2
安 全 棒 1 , 2 安 全 ブ ロ ッ ク			4.83	5.50 (5.92)**		≥ 4.8
安 全 棒 1 , 2 シム棒2, 安全ブロック			5.28			≥ 5.3

(*) 臨界近接時の各検出器の計数データから未臨界法(単純法)により推定した値である。
基準反応度として調整棒=0.84\$を用いた。

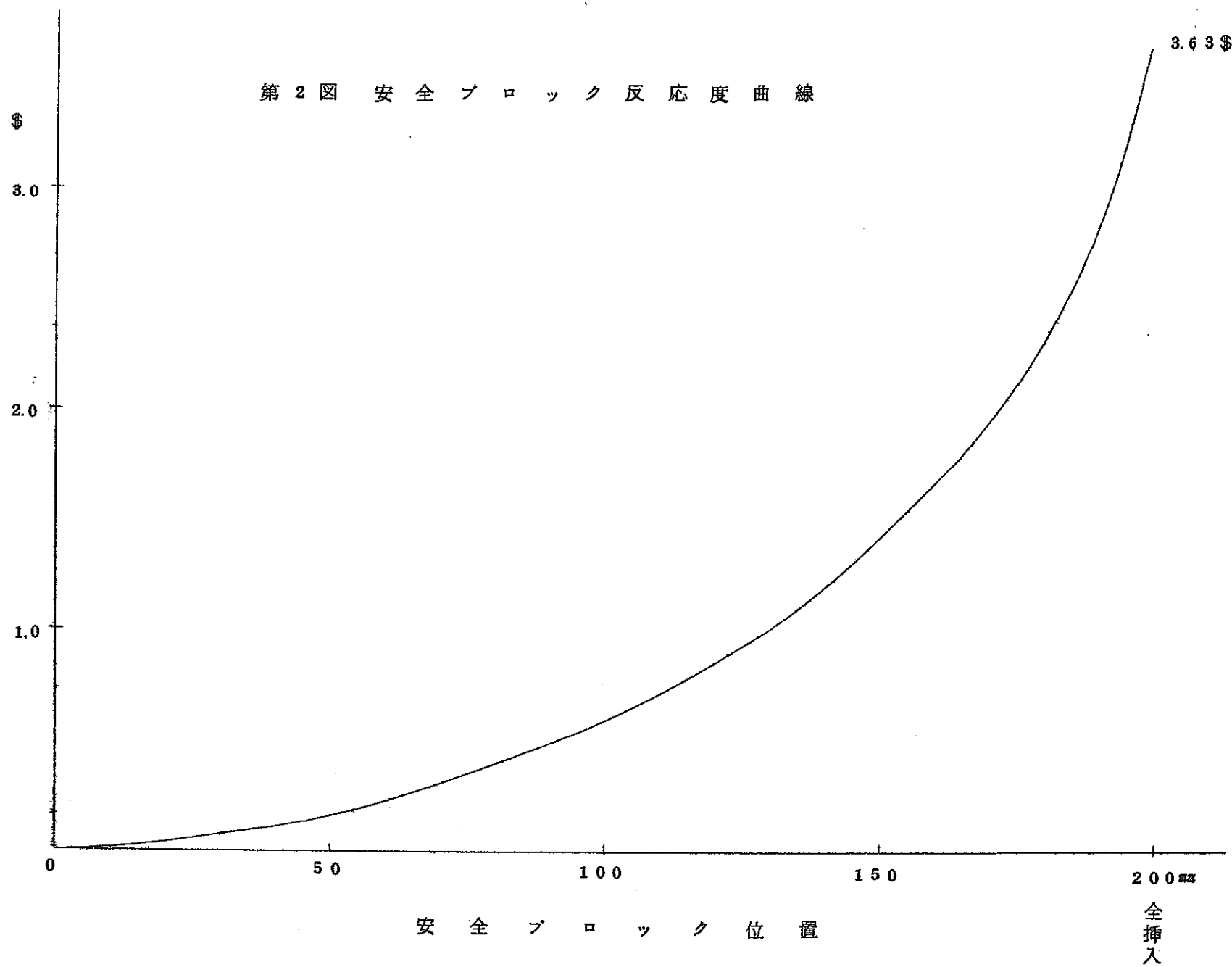
(**) カッコ内のデータは、A位置での測定結果を示す。

第 1 図 各 制 御 棒 の 反 応 度 曲 線

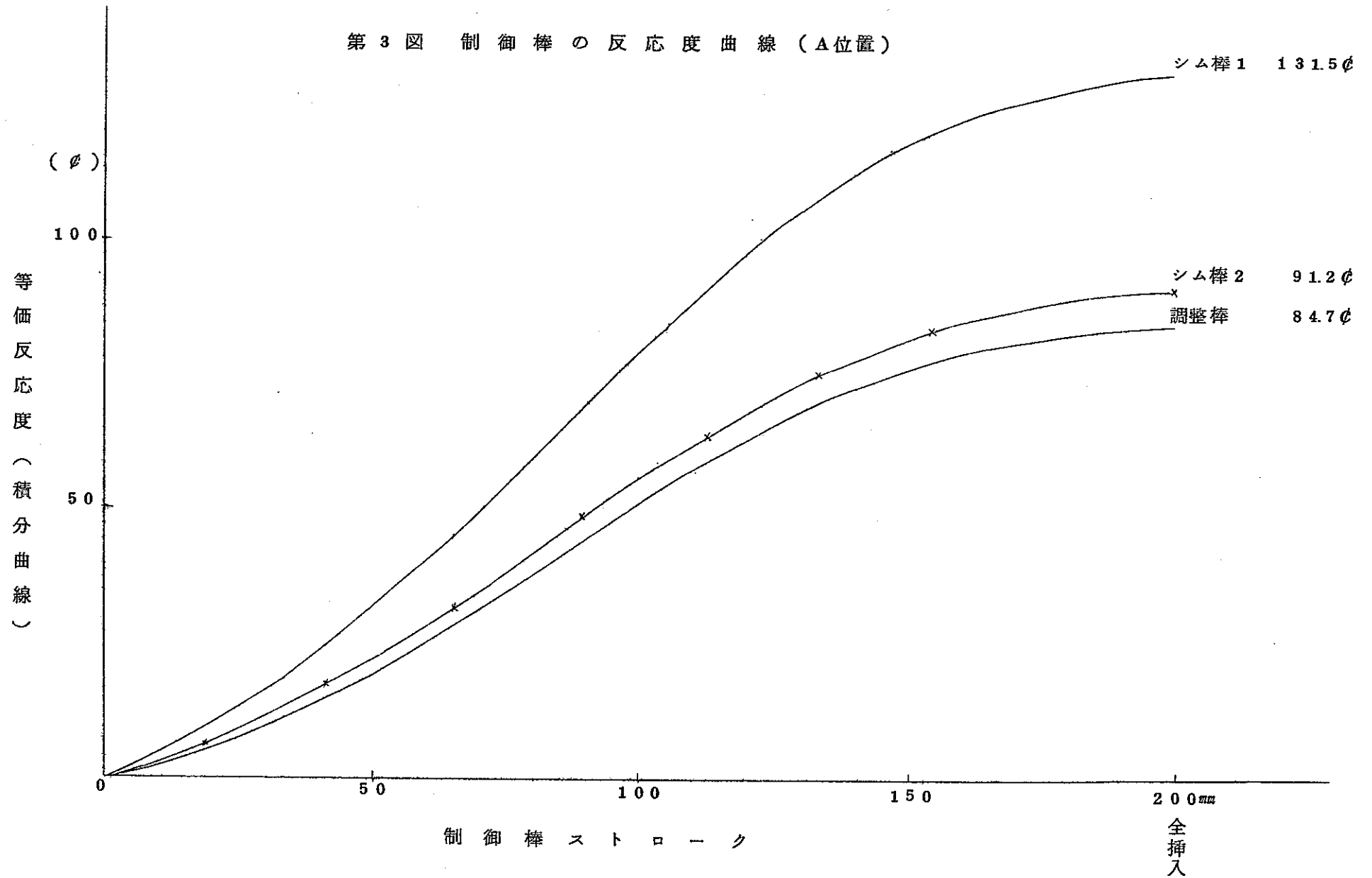


第 2 図 安 全 プ ロ ッ ク 反 応 度 曲 線

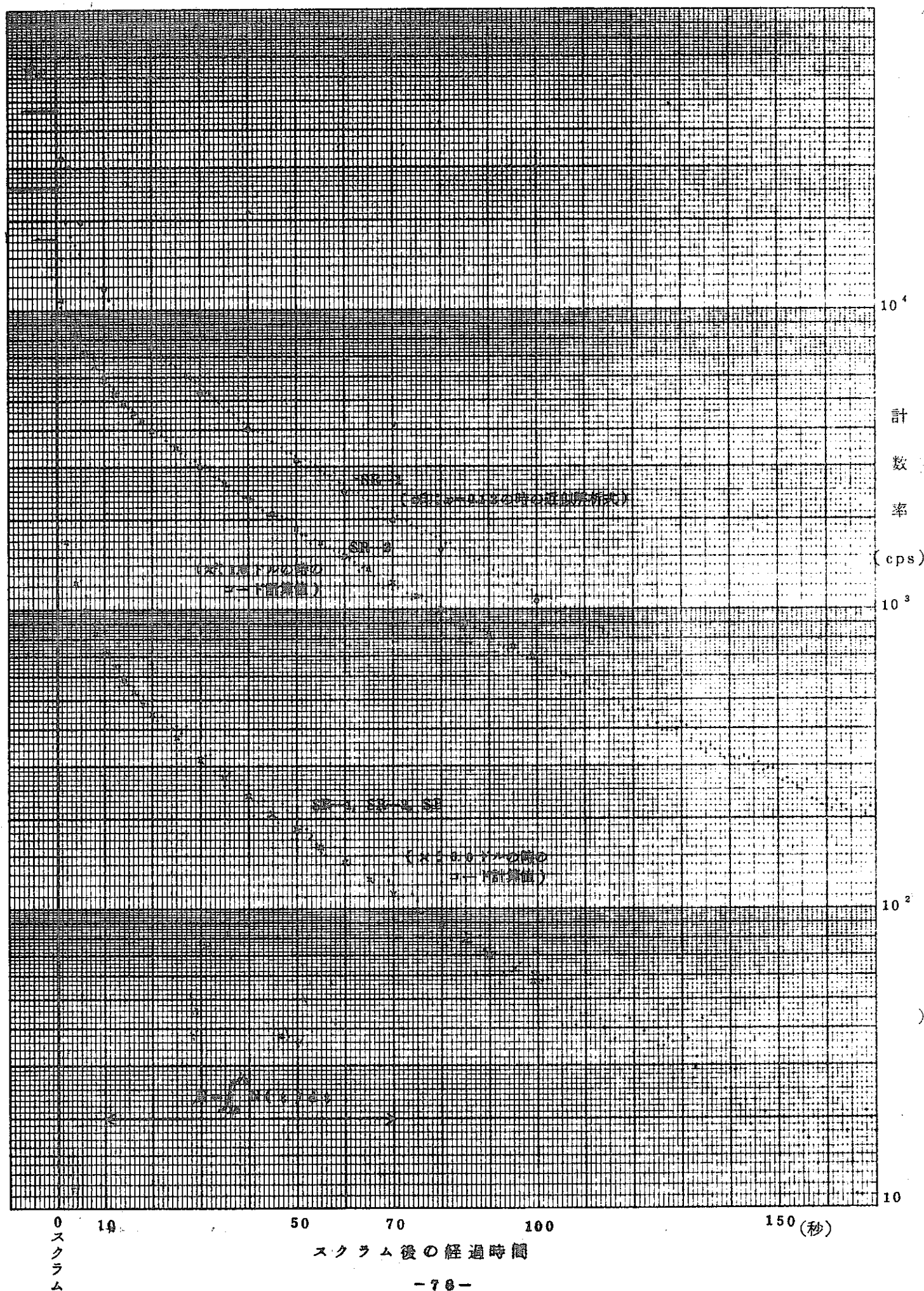
等価反応度 (積分曲線)



第 3 図 制御棒の反応度曲線 (A位置)

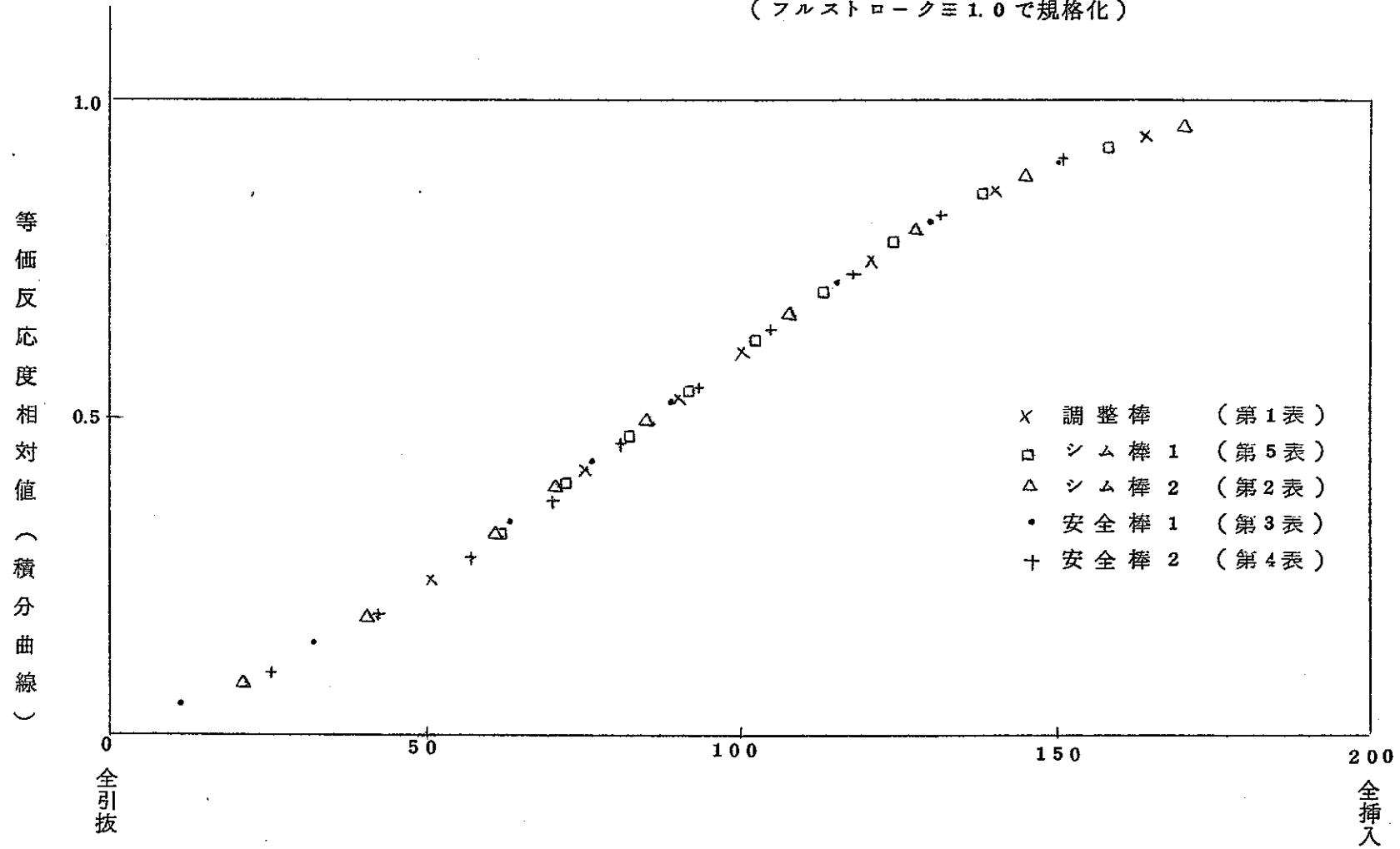


第4表 落下法によるスクラム停止余裕の測定

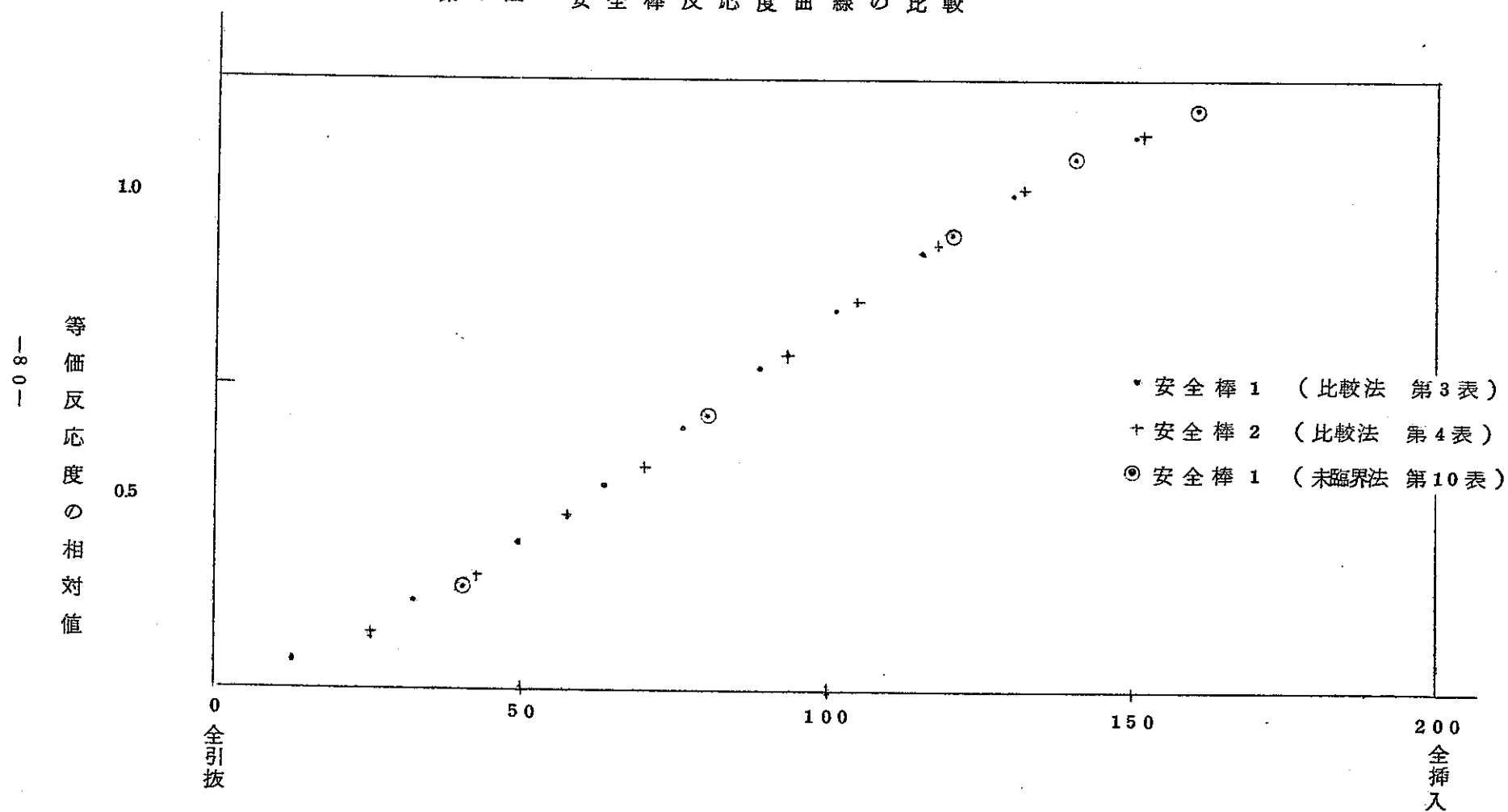


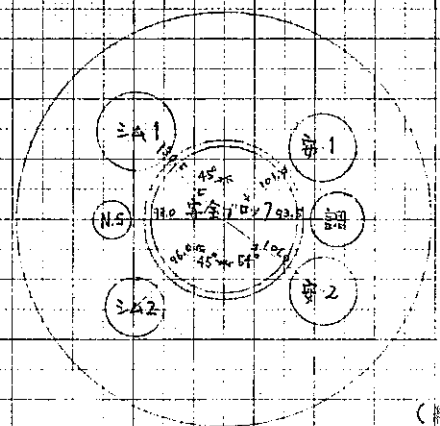
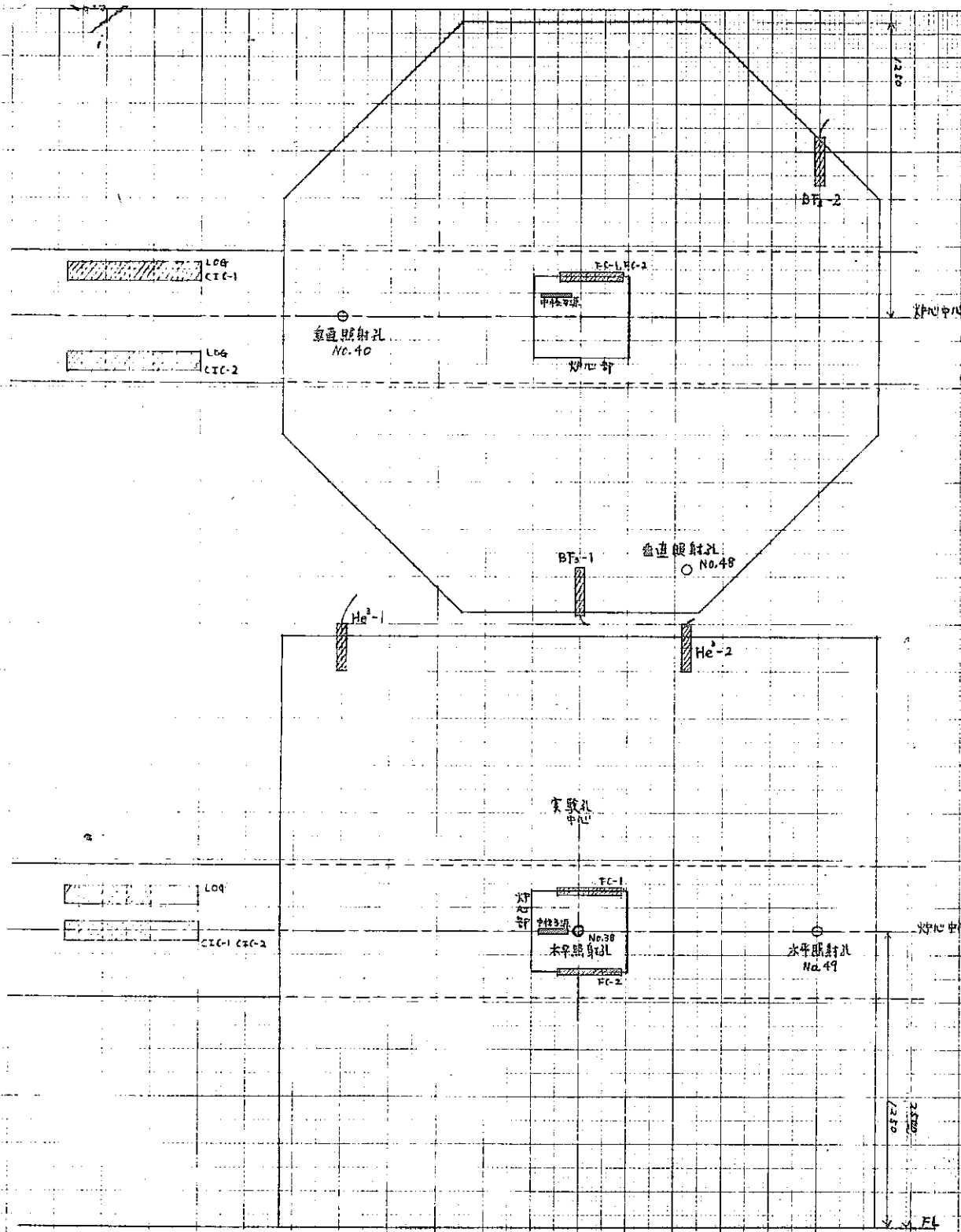
第 5 図 各制御棒反応度の相対曲線

(フルストローク≒1.0で規格化)



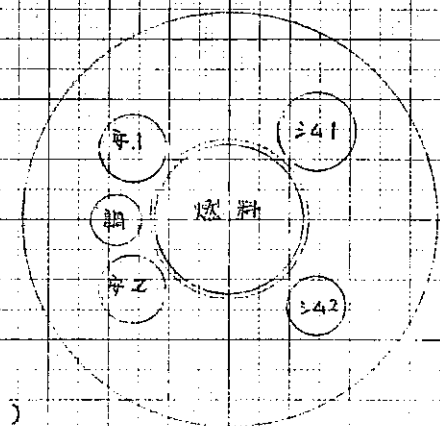
第 6 図 安全棒反応度曲線の比較



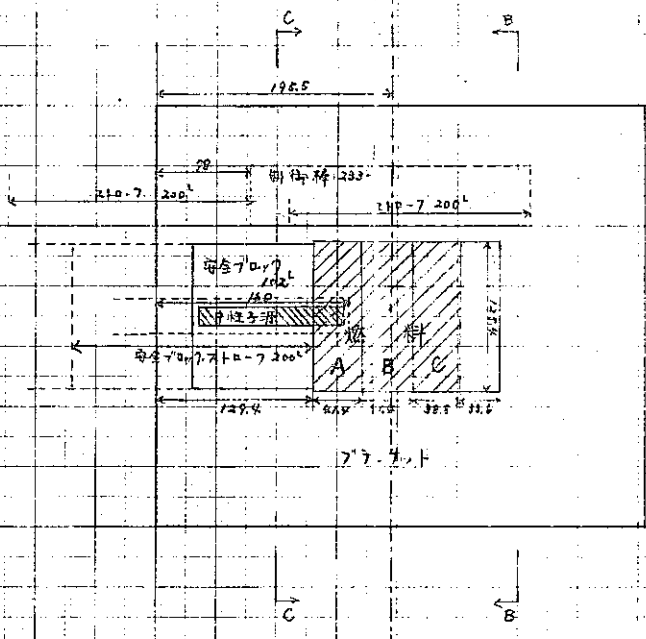


C - C 断面图

(縮尺 $\frac{1}{5}$)



B - B 断面图

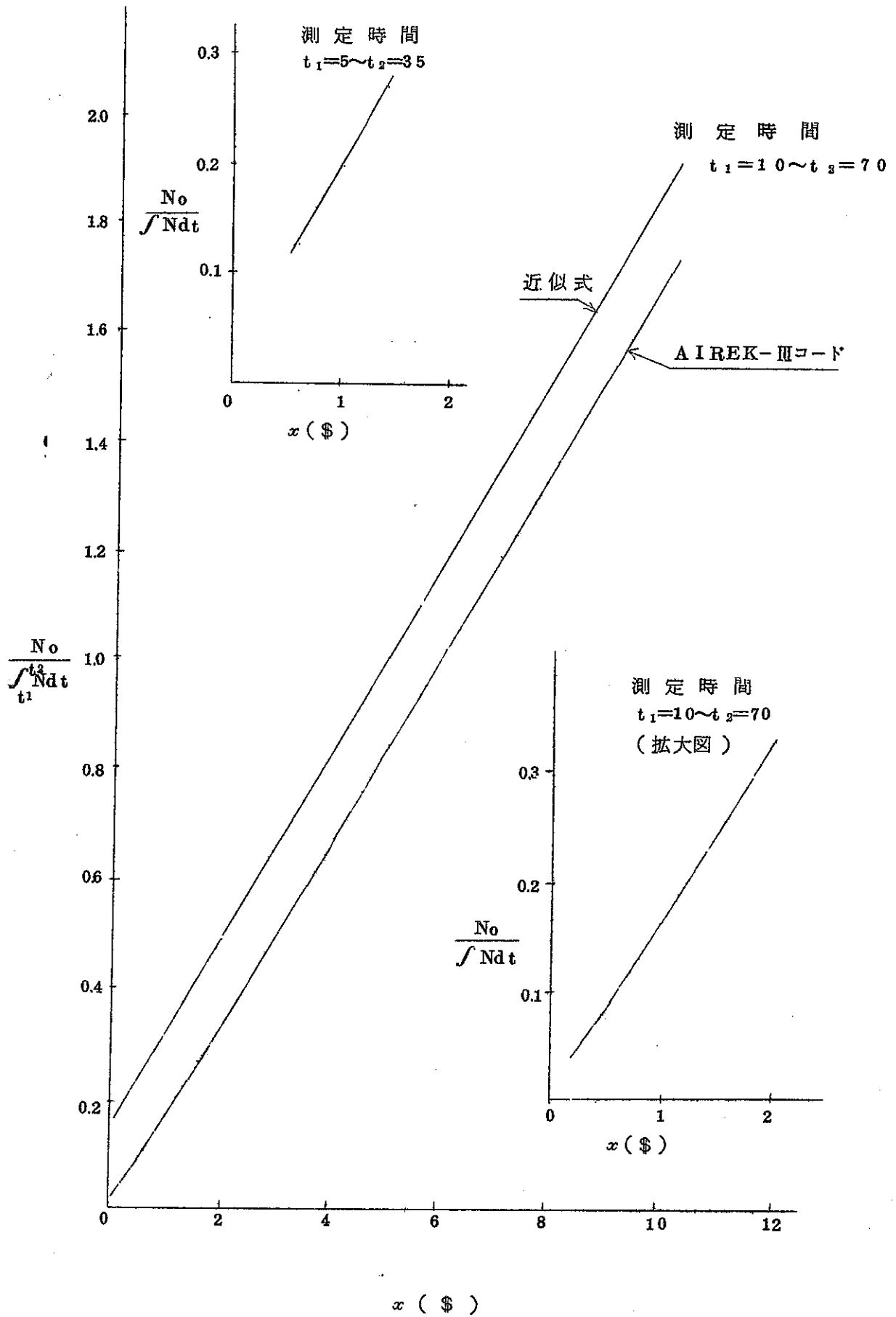


炉心部詳細 (縮尺 $\frac{1}{5}$)

中性子源本体
120Lx14φ

第 7 图 中速中性子源核出部等位置圖 (縮尺 $\frac{1}{20}$)

第 8 図 落下法測定の中性子束減衰比



添 付 資 料 D

研 修 期 間 中 の 作 成 資 料

作 成 資 料 リ ス ト

1. 東大炉スケジュール その他(4 6. 3. 1 3)	8 5
2. 東大炉のスケジュールと担当作業(4 6. 3. 2 0)	8 7
3. 東大炉準備状況(4 6. 4. 5)	8 9
4. 東大炉状況報告(4 6. 4. 1 7)	9 2
5. 東大炉制御棒操作インターロック図表	9 3
6. 制御棒較正方法メモ	9 8
7. 臨界近接手順へのコメント	1 0 1
8. 未臨界法による較正	1 0 2
9. 落下法により測定	1 0 4
10 制御棒較正手順一覧表(4 6. 3. 2 3)	1 0 6
11 制御棒較正の測定作業(4 6. 3. 3 1)	1 0 8
12 中性子源の反応度効果の測定(4 6. 4. 1 4)	1 0 9
13 未臨界法による制御棒効果の検討(4 6. 4. 1 4)	1 1 0
14 制御棒較正(速報)(4 6. 4. 1 6)	1 1 2
15 制御棒較正実験スケジュール(4 6. 4. 1 5)	1 1 3
16 制御棒較正手順(ペリオド法)(4 6. 4. 1 9)	1 1 5
17 制御棒較正手順(未臨界法による安全棒の較正)(4 6. 4. 1 9)	1 1 7
18 落下法較正曲線(4 6. 4. 2 1)	1 1 8

1. 東大炉スケジュール その他

東大炉臨界試験の準備状況及びスケジュールは、別添資料の通りとなっています。

- (1) 局立会は予定通り進んでいる。次回は3月18, 19日の予定。

燃料は古河中研で立会(3/22)ののち現地へ搬入される。

- (2) 3月20～27日の模擬運転、臨界近接演習の具体的内容は不明。

- (3) 臨界試験は3月30日開始、30日はA, B燃料装荷、31日から4月1日にかけてC燃料を装荷し臨界に到達する予定。

- (4) 東大のメンバーは検収、局立会に追われており、臨界近接、制御棒校正手順はPNCにまかしていると推察される。

- (5) 以上の状況を考えて、次週以降のPNCメンバーの出張予定を決めた。ただし、22日以降の内容は仮案であり、東大の作業内容がはっきりした段階で再度検討したい。

- (6) 3月18日に、PNCメンバーで、手順案の検討会を行なう。

注意事項

東大施設内ではPNCメンバーは次のことに留意して下さい。

- (1) 全員にバッジが渡されるので、守衛所で入門票を書く必要はない。
- (2) 動燃グループ室が2階に割当てられている。この鍵は朝守衛さんから受取って、毎日帰る時に施錠の上、守衛さんに返す。
- (3) 最後に退出する時は、施錠、電灯、水道、タバコ、空調、ガラス戸等の確認をすること。
- (4) 17時30分以降仕事を続ける時は時間外勤務届を庶務へ提出のこと(3時迄)
- (5) 昼食は原研食堂利用可能、手続について掲示に注意のこと。
- (6) 3/16～19は桜屋旅館予約済(2名分)、追加は申出て下さい。

東大高速中性子源炉「弥生」臨界工程と動燃参加予定表

		10	11	12	13	⑭	15	16	17	18	19	20	⑳	21	22	23	24	25	26	27	㉑	22	23	24	25	26	27	㉓	29	30	31	4/1	2	3	④	5	6	7	8	9	10	⑪	12	13	14
		水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	
原子炉本体		(据付検査済)																																											
集合体駆動機構																																													
制御棒駆動機構		局立																																											
冷却装置																																													
気送管		掘											付											気密作動試験																					
中性子源		入荷																						局立取付																					
核プロセス計装		局立																						局立																					
制御盤		局立																						局立																					
燃料 A・B													T立											局立																					
燃料 C																								T立																					
ダミー C													T立											局立取付																					
カウント試験		予備チャン整備 東大											試験(100mci) T立局立																																
模擬運転																																													
臨界近接演習																																													
〃 実験																																													
動燃グループ													臨界近接・制御棒校正準備											△>																					
A	福田																							大洗																					
	谷山																							大洗																					
	松野																																												
B	前田																																												
	寺垣												大洗																																
	小林																																												
	中本																																												
	吉田																																												
	小杉																																												
	野本																																												

T立 東大立会
局立 原子力局立会

2. 東大炉のスケジュールと担当作業

3月19日東大と打合せを行ない、別紙の通りのスケジュールで進めたいとの説明を受けた。全体的に工程が遅れており、臨界近接は4月9～10日となっている。

<模擬運転>

東大とメーカーで行なう。制御盤操作、シーケンスの理解のために有効と考えられるので、PNCメンバーも参加させてもらうこととした。

<勉強会>

臨界近接手順を始め、各試験計画について全員の勉強会を随時行なう。PNCも参加する。第1回の3月25日(木)は朝9時からの予定。PNCからは代表が出席し、その内容をもち返って、3月27日(土)PNC第4会議室で、PNCグループの勉強会を行なう。

<PNC担当作業>

(1) 制御棒校正手順の作成

第0次案を作成して、3月19日にPNCメンバーの検討会を行なった。東大へもメモを渡してあり、25日の勉強会で説明する。基本方針が確定したら、このあと詳細手順書、データシートを作成する。

(2) 予備チャンネルの設定作業

3チャンネル($\text{BF}_3:1$, $^3\text{He}:2$)の設定、調整、測定をPNCに依頼された。全系の調整は東大本郷グループが担当しており、終ってからPNCが現場据付を行なう。23日に現場据付方法を検討し、必要器材の手配を行なう。29日の週一杯で設定、調整を完了する必要あり。この週は、前田、福田のほか、平均1名の助勢をお願いしたい。

「弥生」臨界試験スケジュール

	3 月												4 月										
	20	21	(22)	23	24	25	26	27	(28)	29	30	31	1	2	3	(4)	5	6	7	8	9	10	(11)
冷 却 装 置	修正			検査					炉室清掃			局立											
気 送 管			据付	検査																			
中 性 子 源	とりつけ																						
核 計 装	カウント検査				安定性チェック																		
中 核 A. B	東大立会		局立										搬入										
中 核 C	//		//										搬入										
ダミ燃料組込																							
模 擬 運 転										総合機能試験													
臨 界 近 接 演 習																							
臨 界 近 接 実 験																							▽
勉強会(手順打合)						第1回							第2回										臨界
(PNC担当作業)																							
制御棒校正手順作成																							
予備チャンネル設定作業																							
PNCグループ勉強会								第4															
野 本																							
吉 田																							
小 杉																							
谷 山																							
福 田																							
小 林																							
寺 垣																							
前 田																							
松 野																							
中 本																							
(○印旅館必要)																							
旅館必要人数											3	2	3					1	2	2	4	5	
予 約 東海クラブ												(3)	(3)					(室数)1	1	1	2	3	
梅屋旅館											3												

3. 東大炉準備状況報告

§ 全体状況

- 4月1日付東大作成資料「臨界実験の日程等に関する若干の変更」にもとづいて進められていますが、いくつか補足並びにその後の変更を記します。
- 6日の局立会は、1日に繰上って終了しました。このため、6日の臨界実験演習は9時から始まり、7日前半に終了する予定。
- 全体的スケジュールとして、当初4月末までに低出力試験を終了し、連休中に燃料の封じ込み作業（古河もち帰り）を行なう予定であったが、臨界実験開始が遅れたので、この予定は延期される。（4月末完了のため試験内容をへらすことはしない）従って、制御棒校正、反応度測定などが連休以降に続行される可能性あり。
- O停止位置での測定が16日で終了するかどうかは、19日の打合せて決定する。
- 臨界実験でのPNC側分担は、次の通り登録しました。

計算、公報グループ 前田（リーダー 秋山助手）

予備チャンネルグループ

BF ₃ - No. 2	谷山	} とりまとめ 谷山	} リーダー 永井助手
³ He - No. 1	松野		
³ He - No. 2	中本		

交替要員

その他のメンバー

4月9日は9時集合です。

§ 制御棒校正

- 各種測定のためのシーケンス・バイパスは可能であることを確認しました。
- 落下法測定のための1本ずつの切り離しも可能。
- これらの操作は、東大が担当する。
- 校正作業に必要な人員を積算しました。PNCから何名参加するかを決定して、14日の打合せて分担を決めます。

ベリオド法	10名
未臨界法	8名
比較法	1名
落下法	8名

制御棒操作，シーケンス・バイパス操作は除く。

- 中性子源の反応度効果を測定したいとの提案があり，制御棒校正の一環として行なうことしました。

§ 予備チャンネル整備

先週1週間の作業の内容及び pending 事項は次の通りです。

§ 注意事項

- (1) BF₃ - №2 Pre Amp の電源 (バッテリー) は，へたりやすいので，たえず電圧チェックをし早目に交換すること。
- (2) ³He - №2 高圧電源の100 volt台のダイヤルにがたが生じているので，ダイヤルの指示がずれることあり。設定電圧に注意のこと。空まわりが始まったら，六角ドライバを借りてしめつけて下さい。
- (3) BF₃の炉室-制御室 cable のうち№5は接触不良のため№6を使用しています。
- (4) BF₃ - №2 の Main Amp の Inputには，attenuator をつけてPre Amp からの信号をいれています。

§ 既に行なった調整作業

- (1) 検出器の設定位置の検討。実際に炉心を停止位置Vに移して計数をした結果，当初予想したよりもきわめて計数が高く，一番遠い照射孔の最上端にHe を挿入しました。これでもまだ60 cps程あるので，更に調整を要します。
- (2) 3チャンネルとも，discr level の設定，plateau 特性の測定，dead timeの測定，バックグラウンドの測定を行ないました。
- (3) discr level を高くすると，ノイズは切れますが，plateau 曲線がずれてきて立上り部分にひっかかることがわかりましたので，現在はむしろかなり discr level をさげています。
- (4) dead time は ³He で3.5 μsec, BF₃で4μsec まで分離できることをdouble pul-

serで確認しました。(Pre Amp の Input 以降)

§ 問題点と pending 作業

- (1) 現在の設定 level(discrimi)では、かなりノイズの入ることがバックグラウンドの測定でわかりました。特に ^3He - Mg 1 にけんちよで、次に BF_3 - Mg 2 に入ります。純粹のバックグラウンドは、0.1 cps以下と推定されます。
- (2) ノイズ cutのため discrimi をもう少しあげる必要が生ずるかもしれません。4月6～7の訓練のデータで検討したいと思います。
- (3) ^3He の計数調整にカドミ板を使う案があり手配してありますが、その効果は未確認です。5日にやってもらうよう東大に依頼してあります。その結果によって、最終的に検出器配置をきめます。

§ 旅館の手配

4月6日～11の間、次の通り予約してあります。

東海クラブ別館和室

4月6日	1室	谷山
7日	1室	谷山, 福田
8日	1室	谷山, 松野
9日	2室	谷山, 松野, 小杉, 中本
10日	3室	谷山, 松野, 小杉, 中本, 平山,

4. 東大炉状況報告

○ 4月15日 実験計画打合せ

- (1) 15～16日及び来週以降の実験計画に関し確認した。(別項)
- (2) "未臨界法による制御棒効果の検討" "中性子源の反応度効果の測定" (PNC作成) に関し説明, 討論を行なった。

○ 4月16日

- (1) 鉛ブロックをつみこんだ炉心で, 臨界確認を行なった。

中性子源挿入状態 シム2 100 mm, 調整棒 53 mm

中性子源引抜状態 シム2 100 mm, 調整棒 58 mm

- (2) マイクロFCにより, 仮出力較正を行なった。

CIC-1 (記録計 赤)	1.25×10^{-10} A	0.41×10^{-9} A
CIC-2 (緑)	1.31×10^{-10}	0.417×10^{-9}
LOG	10^{-10}	4×10^{-10}
FC-1	9,418. cps	33,157 cps
FC-2	8,413.	30,285
BF ₃ -1	1,945.	6,834
He-1	19,308.	44,764
He-2	7,319.	20,653
出力(仮較正值)		1.05 w

- (3) 上記の出力レベル上昇の際, 上昇時間を測定して, 調整棒の等価反応度を評価した。
(別添メモ参照)

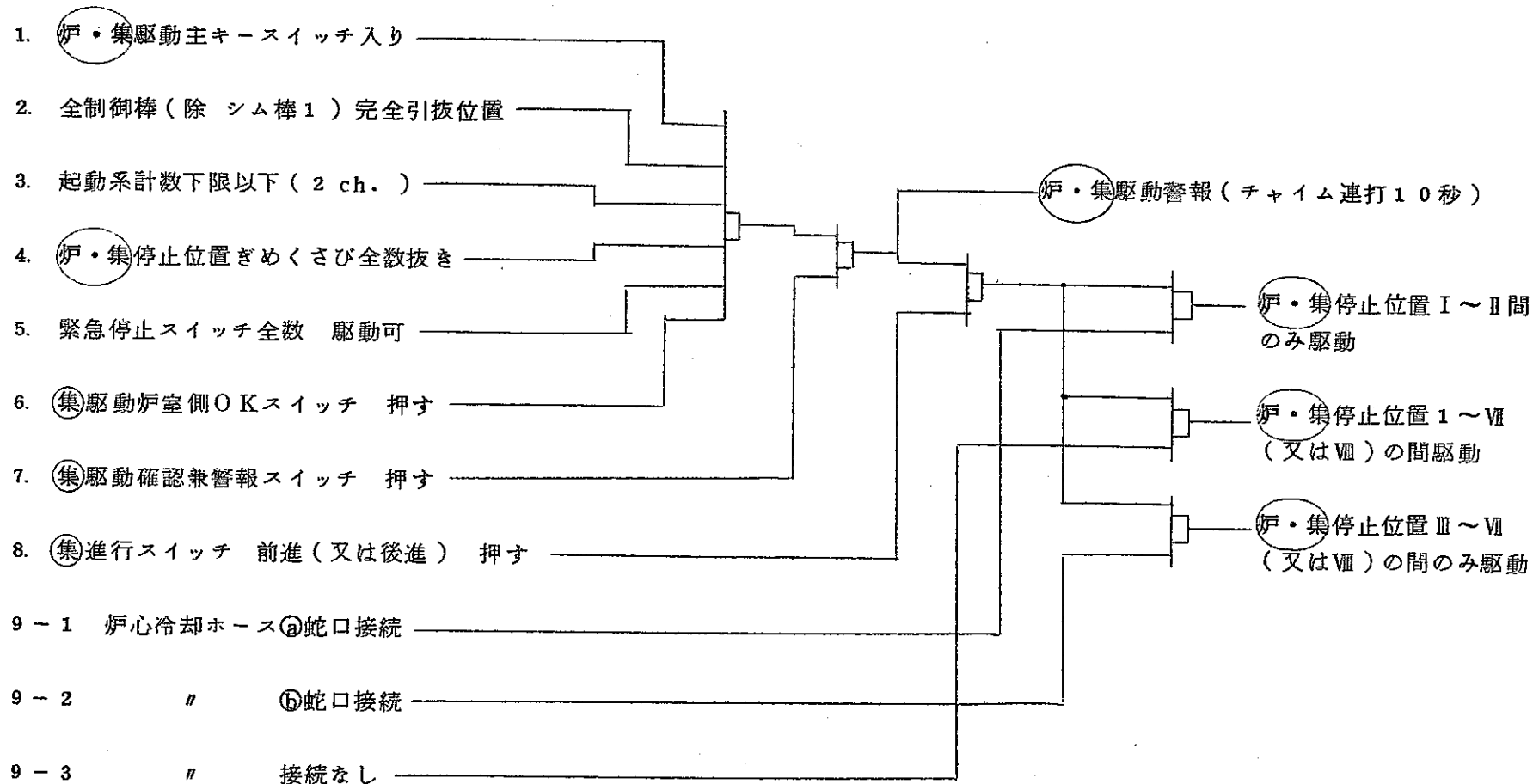
○ 今後のスケジュール

4月20日(火)	(午後から)	} C停止位置 制御棒較正
21日(水)	(朝から)	
22日(木)	(朝から)	
27日(火)	炉心移動	
28日(水)	B位置での臨界確認, A位置での臨界確認	
29日(木)	A位置での制御棒較正,	
30日(金)	予備日	

5月10日(日) 午後 打合せ(今後の実験内容, スケジュール等)

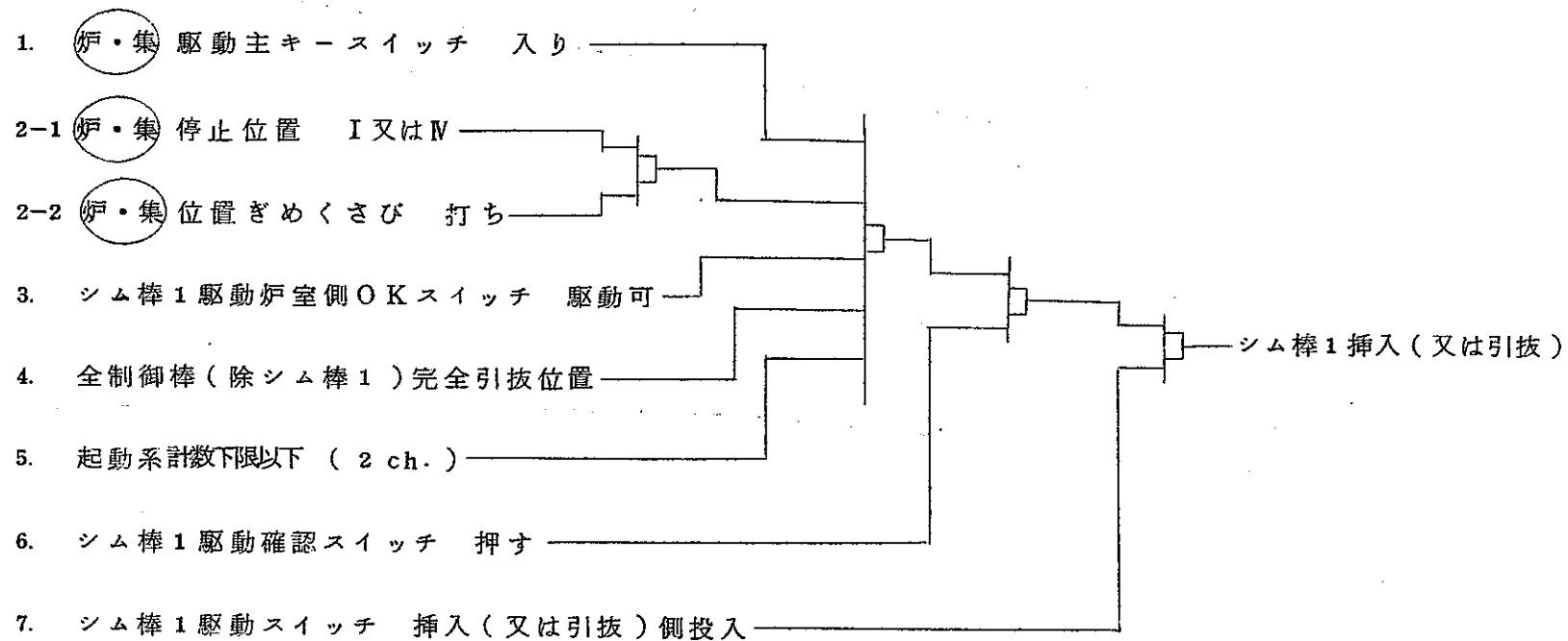
5. 東大炉制御棒操作インターロック図表

1. 炉心集合体駆動インターロック

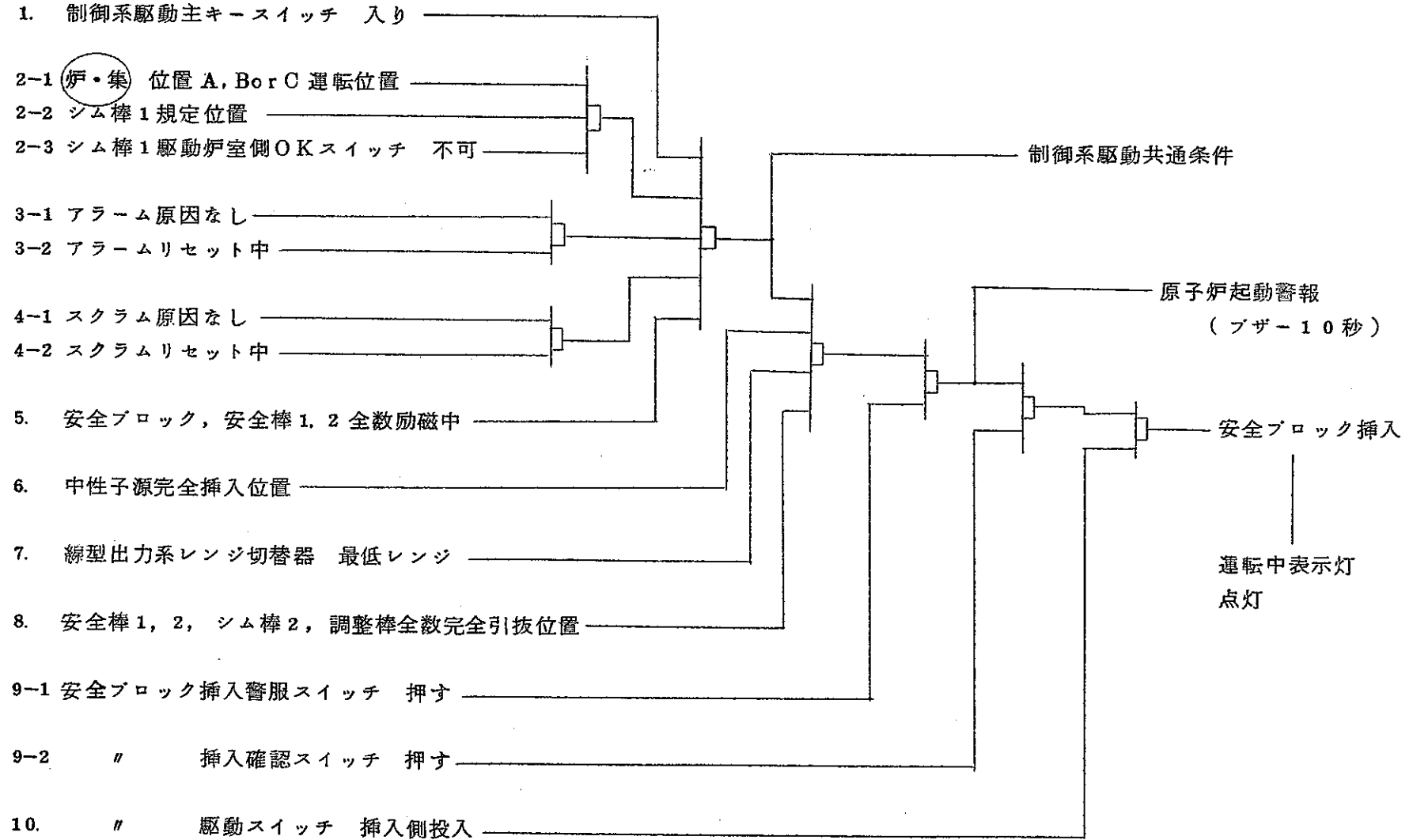


炉・集 : 炉心集合体
 集 : 集合体

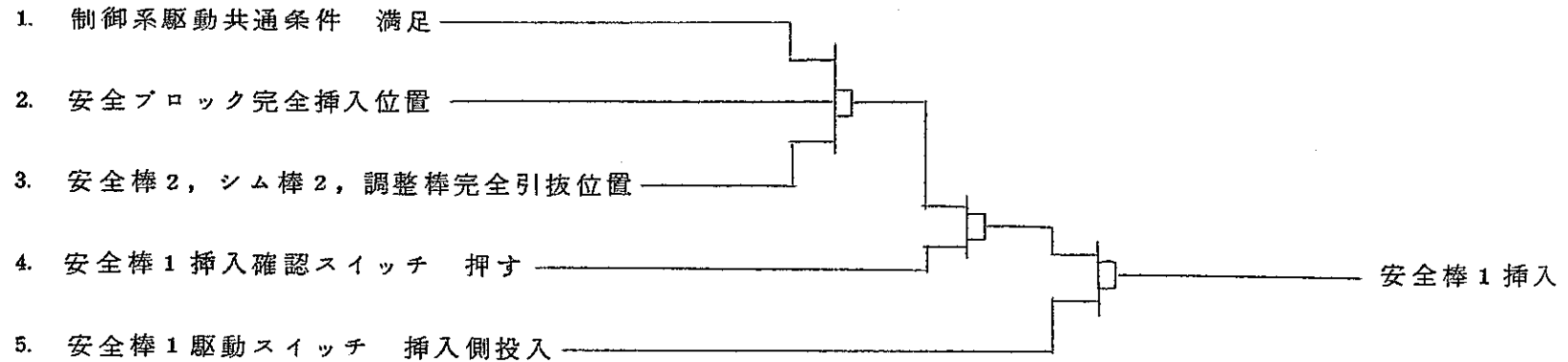
2. シム棒1 駆動インターロック



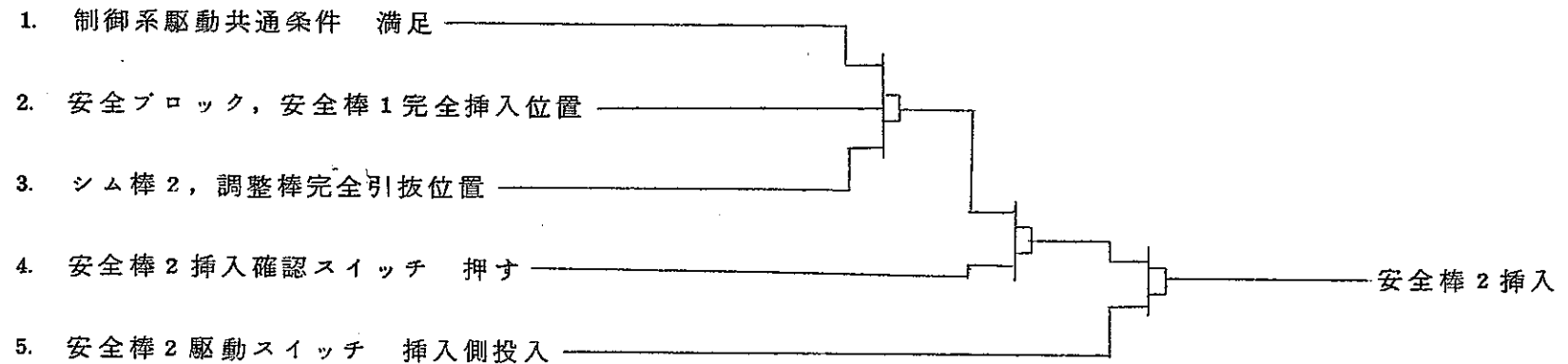
3. 安全ブロック挿入インターロック



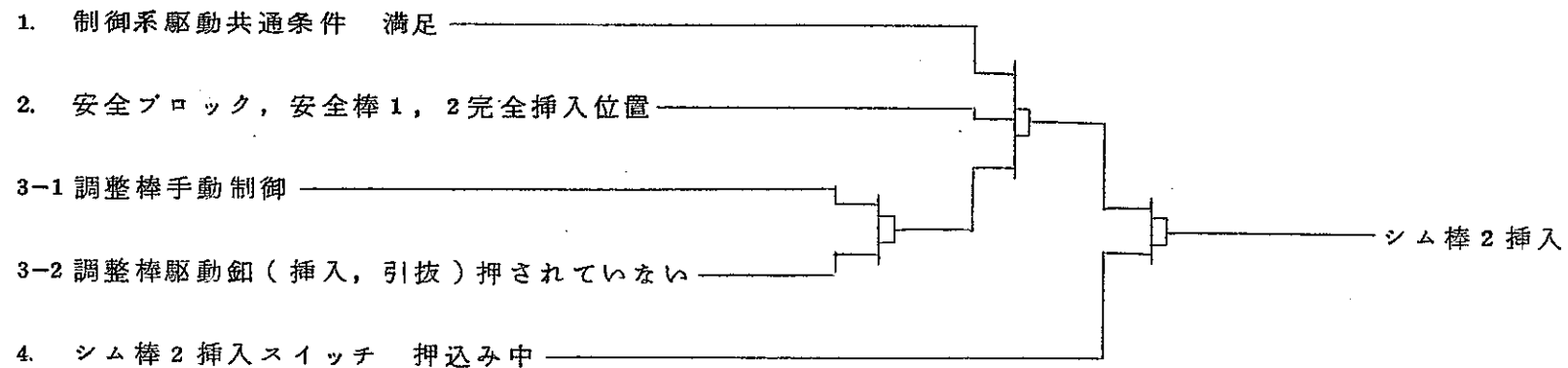
4. 安全棒 1 挿入インターロック



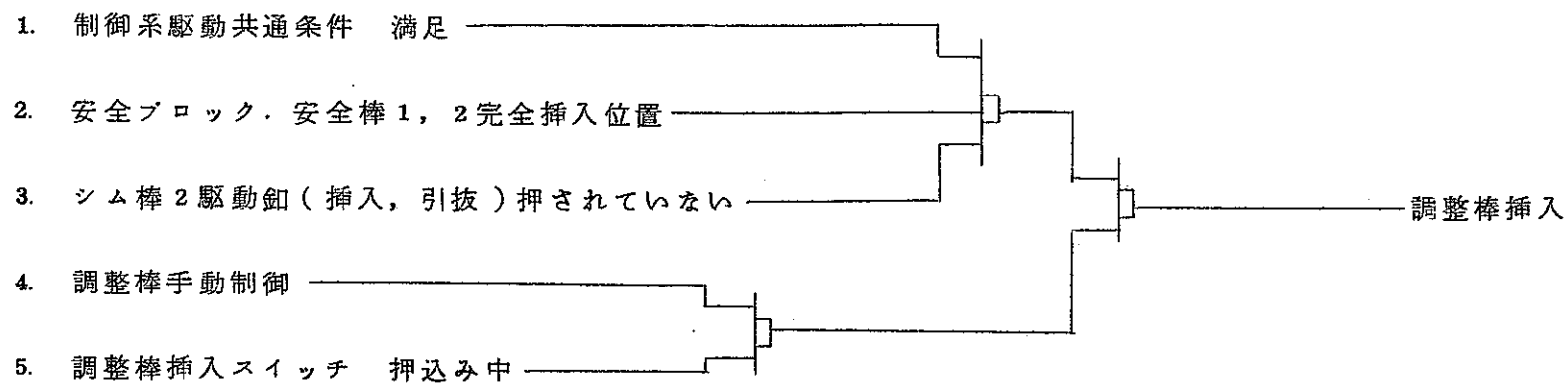
5. 安全棒 2 挿入インターロック



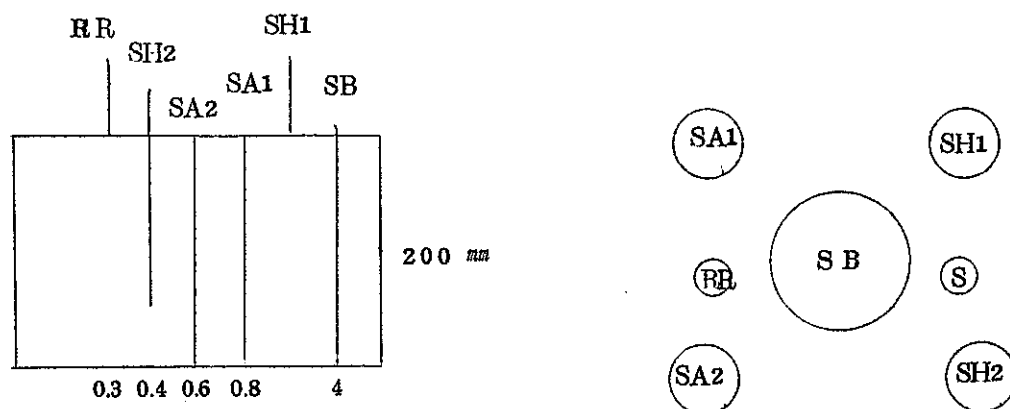
6. シム棒 2 挿入インターロック



7. 調整棒挿入インターロック



6. 制御棒較正方法メモ



1. SH2とRRを組合せて、ベリオド法により較正する。

SB SA1 SA2, 全挿入, SH1, RR 全引抜 SH2 中途位置

- ① RR 全引抜から挿入 (Δk) ベリオド測定

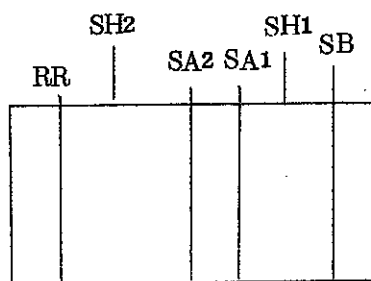
SH2 臨界位置から引抜 臨界にもどす

- ② RR 臨界位置から挿入 ベリオド測定

SH2 臨界位置から引抜 臨界にもどす

これをくり返して、SH2 全引抜又はRR 全挿入に達したら終了

SH2 の挿入部分の全ストローク又はRRの全ストロークの測定が出来る。



SH2, RR いずれかの残りのストロークは、短かければ、外挿により推定する。困難な場合は、SA1, 又はSA2 と置換て、RRを上限まで較正する。

2. SH2とSA1との組合せて、ベリオド法により較正する。

SB SA1 SA2 全挿入 SH1 RR 全引抜 SH2 中途

- ① SH2 臨界位置から挿入 ベリオド測定

SA1 全挿入から引抜 臨界にもどす

これをくりかえして、SH2 全挿入まで較正する。

以上でRRとSH2の全ストロークの較正がベリオド法でできる。

3. SA2 とSH1 を組合せて、置換法により較正

SB SA1 SA2 全挿入, SH1 RR 全引抜, SH2 中途

- ① SH2 の較正ストロークを標準ストロークとし、この反応度をSA2 及びSH1 にうつしかえる。

SH2 臨界位置から標準ストロークを挿入し

SA2 全挿入から引抜いて臨界とする

- ② SH2 最初の臨界位置にもどし

SH1 全引抜から挿入して臨界とする

- ③ SH2 臨界位置から標準ストロークを挿入し

SA2 臨界位置から引抜いて、臨界とする。

以上、②③のStep をくり返し、SA2 全引抜となる迄行なり

4. SA1 とSH1との組合せて置換法

3の方法で残ったSH1 のストロークとSA1 を組合せ、SH2 の標準ストロークとの置換法で較正をつづける。

- ① SH2 臨界位置から標準ストローク挿入

SA1 全挿入から引抜いて臨界とする。

- ② SH2 最初の臨界位置にもどし

SH1 3で終了した位置から挿入して臨界とする。

上記の①②をくり返し、SH1 を上限まで較正する。

5. SA1, SA2 の組合せて置換法

4の方法で残ったSA1 のストロークは全引抜にあるSA2 と組合せて、SH2 の標準ストロークにより較正する。

以上の3, 4, 5により、SA1, SA2, SH1の較正が出来る。この結果、過剰反応度(臨界位置から全挿入までのストロークの反応度SH1+SH2+RRの総和)が求められる。

未臨界法による反応度測定

臨界状態 SB, SA1, SA2 全挿入 SH1, 全引抜 SH2 中途

① SH2 全引抜 計 数

(SH2 の挿入部分の反応度は既知)

② SA2 全引抜 計 数

③ SA1 全引抜 計 数

④ SB $\frac{3}{4}$ 計 数

⑤ $\frac{1}{2}$ "

⑥ $\frac{1}{4}$ "

⑦ 全引抜 "

SH2, SA1, SA2 の較正は、ベリオド法と置換法で測定されているので①, ②, ③のデータから、その値を再確認するとともに、あわせて相互干渉検出器効果を調べる。必要ならば、臨界状態から、SA2 のみ、SA1 のみ全引抜の計数もとる。

以上のデータをベースとして、SB の反応度を④～⑦で較正する。

落下法による反応度測定

臨界状態は上と同じ

① SA2 のみ スクラムで引抜

② SA1 のみ "

③ SA1 + SA2 のみ "

④ SB のみ "

⑤ SA1 + SA2 + SB "

積分法により測定する。

上記の2方法の較正データを比較検討して正式の未臨界度を決定する。

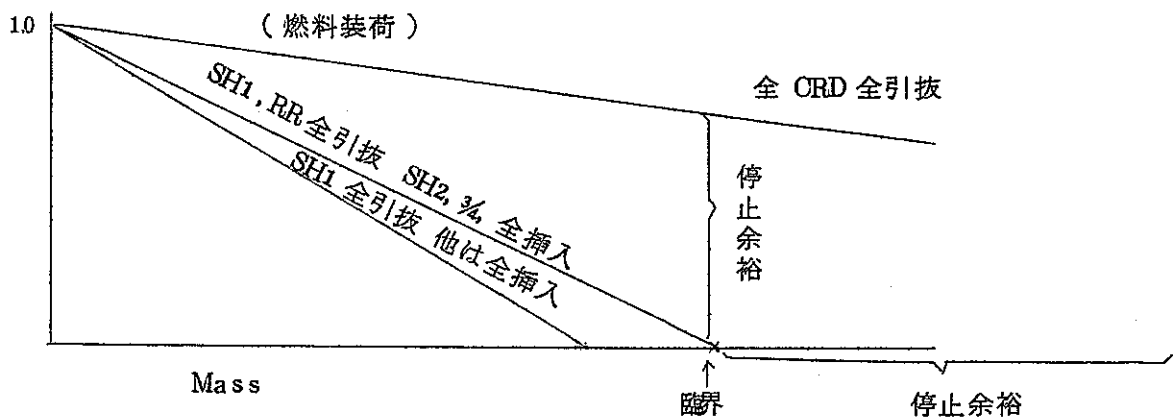
7. 臨界近接手順へのコメント

- ① 1.1 % 余剰反応度の炉心を構成することが目的か。

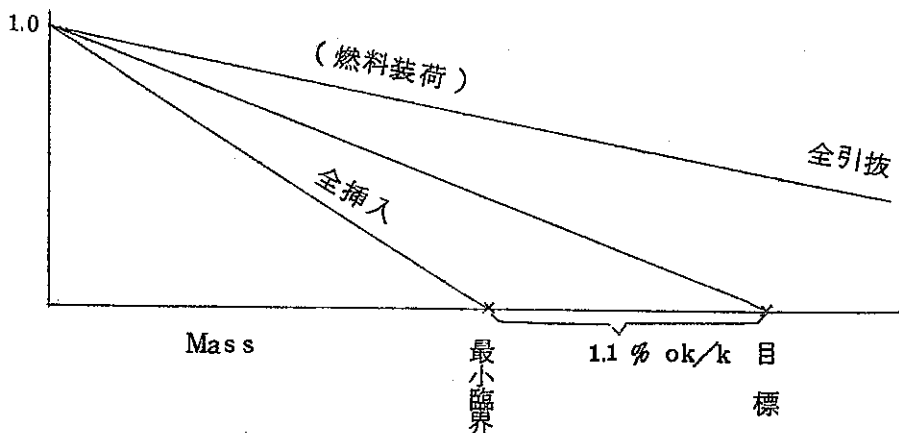
あるいは、SH1, RR全引抜 SH2 ¾ 挿入の位置で臨界とすることが目的か。

- ② C位置臨界ののち、A位置又はB位置にうつして臨界とするのに、同じ制御棒位置で臨界となるよう新たに燃料を追加するのか。それとも、燃料は追加せず、制御棒を挿入して臨界とするのか、この場合どの制御棒をどこまで挿入するのか。

- ① 余剰反応度の測定はあとから行なう場合



- ② 1.1 % $\Delta k/k$ を目標とする場合



- イ この場合は、全制御棒全挿入で臨界近接を行ない、まず、最小臨界量を確定する。
- ロ 調整棒で臨界位置をさがし、臨界確認する。この引抜かれている部分はベリオド法により、較正する。
- ハ 次に、全制御棒全引抜で、最小単位の燃料を装荷する、計数は行なう。
- ニ SB, SH1, SA1, SA2, SH2, の順で慎重に挿入する。
調整棒を最後に挿入して、臨界位置を確認する。
- ホ ㊸と㊹の臨界位置の差が追加燃料の余剰反応度に相当する。このストロークをベリオド法で較正して、Kexを求める。
- ヘ ㊸㊹㊺をくり返して、燃料追加毎に引抜かれストロークの較正を行なって、最新の余剰反応度をえる。
- ト RRが全引抜近くで（次の燃料追加をカバーしえないと推定される時）臨界となった場合は、SH1を引抜いて、RRが全挿入付近で臨界となるよう制御棒を入れかえる。
- チ この点から再び㊸～㊺をくり返す、（この場合 SH1は㊸で決った臨界位置でとめる）、再びRRが全引抜近くとなったらSH1を引抜いて入れ替えを行なう。
- リ この方法で、積算された余剰反応度。1.1%Δk/kとなる迄、燃料を追加する。
以上の結果、1.1%Δk/k余剰反応度をもつ炉心が構成されるとともに、余剰反応度測定と、引抜かれた部分の制御棒較正があわせてえられる。

問題点 燃料がactiveとなるので、燃料装荷に支障はないか。

8. 未臨界法による較正

○ 1点近似の動特性方程式

$$\frac{dP}{dt} = \frac{k(1-\beta)-1}{\ell} P + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i + S \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{k\beta_i}{\ell} P - \lambda_i C_i \quad (i=1, 2, \dots, 6) \quad (2)$$

定常状態の条件

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dC_i}{dt} = 0$$

(2)式を i について Sum up して, (1)式に加えると

$$\frac{k-1}{\ell} P + S = 0$$

$$\therefore P = \frac{S\ell}{1-k}$$

1 点近似から検出器の計数率 C は出力 P に比例するとして

$$C = \frac{A}{\delta k}$$

ただし: $\delta k = 1 - k$ (未臨界度)

A : 中性子源強さ, 即発中性子寿命, 検出器の効率により決まる定数

◦ 即知の負の反応度 δk_0 を与えて計数 C_0 をえる, 次に, 更に未知の負の反応度 δk_i を加えて, 計数 C_1 をうる。

$$C_0 = \frac{A}{\delta k_0}$$

$$C_1 = \frac{A}{\delta k_0 + \delta k_i}$$

$$\therefore \delta k_i = \delta k_0 \times \left(1 - \frac{C_0}{C_1} \right)$$

◦ 既知の負の反応度 δk_0 を与えて計数 C_0 をえる。次にこれを除いて別に未知の反応度 δk_i を挿入して計数 C_1 をうる。

$$C_0 = \frac{A}{\delta k_0}$$

$$C_1 = \frac{A}{\delta k_i}$$

$$\therefore \delta k_i = \delta k_0 \times \frac{C_0}{C_1}$$

9. 落下法による測定

○臨界状態にある原子炉で、急激に負の反応度を与えた後の中性子束の減衰は、次の式で与えられる。

$$N(t) = N_0 \frac{k\beta}{k\beta + \Delta k} \sum_i \mu_i e^{-\alpha_i t} (1 - e^{-\lambda_i T}) \quad (A)$$

$$\alpha_i = \lambda_i \left(1 - \frac{k\beta\mu_i}{k\beta + \Delta k} \right)$$

N_0 : 臨界状態 ($t < 0$) での中性子束

T : " での運転時間

$$\mu_i = \beta_i / \beta$$

$$r = \beta_{eff} / \beta$$

$$k = 1 - \Delta k$$

○今 ($1 - e^{-\lambda_i T}$) の項が無視しうるほど十分長い時間臨界状態で運転したのち、負の反応度を加えたとする。

(λ_i は 6 群の場合の最小値が 0.0124 sec^{-1} なので $T > 372 \text{ sec}$ ($\lambda_i T > 4.61$) であれば $e^{-\lambda_i T} < 0.01$ となる)

又、負の反応度をドル単位であらわして X とすると

$$X = \frac{\Delta k / k}{r\beta}$$

これらを考慮すると A 式は次のようになる

$$N(t) = N_0 \frac{1}{1+X} \sum_i \mu_i e^{-\alpha_i t}$$

$$\alpha_i = \lambda_i \left(1 - \frac{1}{1+X} \right)$$

○積分法による測定方法

負の反応度を加えてのち、 t_1 から t_2 (測定時間 $\Delta t = t_2 - t_1$) の間、中性子束を測定して、その全計数と、臨界時の計数との比を R とすると

$$R = \frac{\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{1+X} \sum_i \frac{\mu_i}{\alpha_i} [e^{-\alpha_i t_1} - e^{-\alpha_i t_2}]$$

$$\alpha_i = \lambda_i \left(1 - \frac{1}{1+X}\right)$$

$\lambda_i \mu_i$ は既知であるから、 R の値から加えられた負の反応度 X (ドル) が求められる。
 実際には、 X は、implicit に式の中に入っているので、予め、 X と R の関係をグラフ (表) に作成しておく必要がある。

○ 具体的方法

t_1 及び t_2 として、 $t_1 = 10$, $t_2 = 70$ ($\Delta t = 60 \text{ sec}$) をとる、 T としては 10 分程度と考える。

運転レベルは、検出器の計数として、

① N_0 が飽和しないこと

② $\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt$ が統計的にバラツキのない値であること

を上限、下限の条件として、決める必要がある。

10. 制御棒校正手順一覧表

番 号	方 法	調 整 棒	シム 2	安全棒 2	安全棒 1	安 全 ブロック	シム 1 ・	メ モ
A-1	ベリオド法	✂	⬆	全挿入	全挿入	全挿入	全引抜	調整棒で Δk を与えて、シム2で補償する 調整棒全挿入又はシム2全引抜で終了
A-1-1	"	✂	⬆	全挿入	全挿入	全挿入	中途 挿入	A-1が調整棒全挿入で終了した場合 調整棒とシム1を入れ替えてA-1をつづ ける。
A-1-2	"	✂	全引抜	⬆	全挿入	全挿入	全引抜	A-1がシム2全引抜で終了した場合 安全棒2で補償し、調整棒全挿入までつづ ける。
A-2	"	全引抜	✂	全挿入	⬆	全挿入	全引抜	シム2で Δk を与え、安全棒2で補償する シム2全挿入で終了
B-1	置 換 法	全引抜	⬇ ⬆	↑	全挿入	全挿入	↓	シム2の標準ストロークを挿入し安全棒 と入れかえ、シム2をもとにもどしてシ ム1と入れかえる
B-2	"	"	⬇ ⬆	全引抜	↑	全挿入	↓	シム1の残りを安全棒1と組合せる
B-3	"	"	⬇ ⬆	↓	↑	全挿入	全挿入	安全棒1の残りを安全棒2と組合せる
C-1	未臨界法	全引抜	全引抜	全挿入	全挿入	全挿入	全引抜	シム2の代わりに、安全棒1又は安全棒2 を引抜いて計数することも考えられる。
C-2	"	"	"	全引抜	"	"	"	シム2+安全棒1又は安全棒1+安全棒 2の組合せも考えられる。
C-3	"	"	"	"	全引抜	"	"	
C-4	"	"	¾挿入	全挿入	全挿入	¾引抜	全引抜	既知反応度引抜時の計数C-1～3 をベースとして校正する
C-5	"	"	"	"	"	¾引抜	"	
C-6	"	"	"	"	"	¾引抜	"	

番 号	方 法	調 整 棒	シム 2	安全棒 2	安全棒 1	安 全 ブロック	シム 1	メ モ
C-7	未臨界法	全引抜	3/4挿入	全挿入	全挿入	全引抜	全引抜	同 上
C-8	"	"	"	全引抜	全引抜	"	"	
D-1	落 下 法 (積 分 法)	全引抜	3/4挿入	スクラム	全挿入	全挿入	全引抜	
D-2	"	"	"	全挿入	スクラム	"	"	
D-3	"	"	"	"	全挿入	スクラム	"	
D-4	"	"	"	スクラム	スクラム	全挿入	"	
D-5	"	"	"	"	"	スクラム	"	
臨 界		全引抜	3/4挿入	全挿入	全挿入	全挿入	全引抜	(推定臨界位置)
推定等価反応度		0.3	0.4	0.6	0.6	4	0.8	($\% \Delta k / k$)

1 1. 制御棒校正の測定作業

較 正 方 法	測 定 器	作 業	人 員	メ モ
ベ リ オ ド 法	C I C の出力 線 型 出 力 記 録 計 " 指 示 計	○ 記録計の指示確認 ○ 指示計 2,3 0 → 6 0 測定 ○ " 時間測定 ○ " 4 0 → 8 0 " ○ " 同 記 録 ○ 半対数グラフプロット ○ 指示計 1, 3 0 → 6 0 時間測定 ○ 計 算 ○ " 4 0 → 8 0 " ○ 制御棒位置記録	1 0 名	ストップウォッチ 5 個
未 臨 界 法	FC, BF ₃ , ³ He の計数	○ FC 1 の計数 ○ ³He 2 の計数 ○ " 2 " ○ 計 算 ○ BF₃ 1 " ○ 制御棒位置記録 ○ BF₃ 2 " ○ ³He 1 "	8 名	中性子源挿入
比 較 法	臨 界 確 認	○ 制御棒位置記録	1 名	
落 下 法	FC, BF ₃ , ³ He の計数	○ 時間測定 ○ ³He 1 の計算 ○ FC 1 の計数 ○ ³He 2 " ○ FC 2 " ○ 計 算 ○ BF₃ 1 " ○ BF₃ 2 "	8 名	ストップウォッチ 1 個

○ 上記人員には、制御棒操作、シーケンスバイパス操作は含まない。

12. 中性子源の反応度効果の測定

中性子源の挿入、引抜にともなう反応度効果を、以下にのべる方法で測定する。

〔基本的方法〕

中性子源挿入時、及び引抜時の臨界位置（シム 2 又は調整棒）を測定し、その差の等価反応度を、別に測定した制御棒校正曲線から読みとる。

〔測定上の問題点〕

中性子源レベルの出力で、中性子源挿入状態の臨界位置を精確に測定することは、困難な問題であるが、次の漸近的方法で測定することとしたい。

- 測定に使用する制御棒を全引抜から挿入してゆく場合、5 mm 毎に停止し、出力の静定した状態での各チャンネルの計数を読みとる。
- これを繰返して臨界に近づけるが、臨界近傍に至る時点では、制御棒の挿入間隔を 1 mm 毎として、静定出力の計数を測定する。
- 制御棒が臨界位置をこえると、出力は静定せず一定ペリオドで上昇を始めるので、その直前の制御棒位置をもって、中性子源挿入状態の臨界位置とする。
- 必要ならば、挿入間隔を 0.5 mm 又は 0.1 mm 間隔として測定精度をあげる。

〔測定手順〕

鉛ブロック組込後の再起動時に測定する。

- 1 所定の順序で各制御棒を挿入する。
- 2 最後の調整棒を挿入する際、5 mm 毎に停止して、出力を静定させ各チャンネルの計数を測定する。
- 3 臨界に近くなったら、1 mm 毎に停止して計数を測定する。
- 4 状況により、0.5 mm 又は 0.1 mm 毎に停止して、計数を測定する。調整棒を停止しても出力が静定せず、臨界超過になっていると判断されたら、挿入を止める。
- 5 次に、中性子源を引抜き、調整棒を操作して、引抜状態での臨界位置を確認する。
- 6 （中性子源が負の反応度をもっている場合）上記 5. で確認した臨界位置から、4. 迄で求めた挿入状態の臨界位置まで調整棒を挿入し、ペリオド法により、このストロークの等価反応度を校正する。
- 7 （正の反応度の場合）別に求める校正曲線を使用する。

以上で全測定を終了する。

1.3. 未臨界法による制御棒効果の検討

- 臨界近接試験の際各チャンネル計数データから、制御棒効果の検討を行なった。
- 解析の方法は、未臨界法を用い、次式によった。

$$\delta k_i = \frac{C_E}{C_i} \delta k_E \quad (i = A, B, C, D)$$

$\delta k = 1 - k_{eff}$: パターン A ~ E の未臨界度

C : パターン A ~ E での計数値

- パターン E の未臨界度の測定は行なわれていないので、この未臨界度をベースとした相対的な値がえられるにすぎない。
- この計算を、燃料装荷のステップ 5 及び 6 について行なった。
- 次ページ以下の表にまとめてある。8 チャンネルのデータのうち、OIC-1.2 及び He-1 は他のチャンネルと差がみられるので、この 3 チャンネルを除いて、残りの 5 チャンネルの計数から求めた未臨界度を平均した。
- この平均値から、A ~ B, B ~ C … の差を求めて、それぞれのパターンで挿入された制御棒の効果とした。この値を、シム 2 を 1.0 として規格化したのが、各表の最右欄の値である。
- ステップ 5, 6 について、各制御棒の効果 (シム 2 = 1.0 とした) は、きわめてよく一致しており、かなり信頼出来るものと推測される。ただし、計算による推定反応度の相対比とは、大きく違っているようである。
- 8 チャンネルの計数値のバラツキは、炉心部、中性子源、測定制御棒、検出器の相対位置関係によるものと考えられる。特に除外した 3 チャンネルは、中性子源に対し back geometry にあることに注意したい。更に安全ブロックの側にあるので、その移動にともなう flux 分布の変動を大きく受けているものと考えられる。今後の測定に注目したい。

(臨界近接ステップ 6)

測 定 パターン	計 数 値 (上 段) と 未 臨 界 度 (下 段)								平 均 未臨界度	各制御棒 の 効 果	同 左 (シム 2 を 1.0 とした値)
	C I C - 1	C I C - 2	F C - 1	F C - 2	B F ₃ - 1	B F ₃ - 2	³ He - 1	³ He - 2			
A	0.3×10^{-12}	0.41×10^{-12}	15430	14153	46077	12780	60077	17950	40651	安全ブロック 21413	3.614
	33000	28780	42316	41210	40196	40899	33301	38636			
B	0.49	0.66	34008	29518	95043	27643	112690	36820	19238	安 全 棒 1 5.673	0.957
	20204	17879	19199	19759	19487	18909	17754	18835			
C	0.66	0.93	46807	43150	136080	38977	15700.7	5199.7	13565	安 全 棒 2 6.640	1.121
	15000	12688	13949	13517	13611	13410	12742	13338			
D	127	180	94263	82847	265393	76020	30597.7	10193.7	6925	シム棒 2 5.925	1.0
	7795	6556	6927	7040	6979	6876	6539	6803			
E	9.9×10^{-12}	1.18×10^{-12}	652930	583240	1852127	522693	2000650	693520	1.0	パターン E の 未臨界度 1.0	
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			

14. 制御棒較正（速報）

- 4月16日，出力較正の際，出力レベルを1レンジ上昇させたが，その時の上昇勾配から，調整棒の反応度測定を行なってみた。

臨界位置	シム2	100 mm
	調整棒	58.0 mm
較正ストローク	調整棒	58.0 mm → 62.0 mm

出力上昇時間 線型出力系の指示で

1.5倍となるのに，3分16.3秒

これから，送時間方程式で，反応度を求めた結果

$$\rho = 2.33 \%$$

- 今，調整棒の全ストローク200 mmで，反応度のきき方が正弦分布になると仮定すると，X mm迄挿入した時の反応度は次の式であらわされる。

$$\rho(X) = \rho_0 \left[\frac{X}{200} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{\pi}{100} X \right]$$

ただし， ρ_0 ：全ストローク 200 mmの等価反応度

これから，反応度付加率は

$$\frac{d\rho}{dx} = \rho_0 \left[\frac{1}{200} - \frac{1}{200} \cos \frac{\pi}{100} X \right]$$

- 上の測定データを使って

$$X = 60 \text{ mm (58} \rightarrow 62 \text{ の中間) で } \frac{d\rho}{dx} = \frac{2.33}{4} \text{ } \%/ \text{mm}$$

を代入すると

$$\rho_0 = 91.7 \%$$

となる。これに， $\beta = 0.725$ を用いて換算すると

$$\rho_0 = 0.66 \% \Delta k/k$$

- 中性子源の反応度

中性子源挿入臨界 53 mm

引抜 58 mm

反応度付加率が，上記のデータを使えるとして，

$$\rho_{N.S} = (58 - 53) \times \frac{2.33}{4} \approx 3.0$$

○ 参考データ

β_i	λ_i
0.00022	0.0127 S ⁻¹
0.00127	0.0317
0.00115	0.1155
0.00255	0.3107
0.00090	1.397
0.00021	3.872
(0.0063)	

15. 制御棒校正実験スケジュール

(1) シム棒2と調整棒

方法 ペリオド法

所要時間 1回に10%程度の校正を行なうとして，全ストロークを4～5回で終る。

1回の測定に15分とみて，余裕をとって約2時間

(2) 安全棒1と安全棒2

方法 未臨界法，基準反応度として，(1)で校正したシム棒2又は調整棒の一部を使用する。

組合せ (i) 安全棒1

(ii) 安全棒2

(iii) 安全棒1と安全棒2の組合せ(相互干渉をみる)

所要時間 (i) 測定点 20mm毎に全ストロークで10点

(ii) 1点の計数に100秒×3回

(iii) 以上の組合せで余裕をとって3.5時間

(3) 安全棒 1 安全棒 2, シム棒 1

方法 比較法, 基準反応度として, (i)で較正したシム棒 2 又は調整棒の一部を使用する。

組合せ 安全棒 1 安全棒 2, シム棒 1 を適宜組合せて 3 本の全ストロークを較正する。

所要時間 (i) 基準反応度を約 10% とすると, 安全棒の全ストロークは 10 回にわけられる。

(ii) 1 回の確認に 2 分とすると, 3 本の組合せで余裕をとって 1.5 時間

(4) 安全ブロック

方法 未臨界法, 基準反応度は(i)による。

所要時間 (i) 全挿入付近を細かくとるとして, 全ストロークで 25 点測定する。

(ii) 1 点の計測に 100 秒×3 回

(iii) 余裕をとって, 2.5 時間

(5) 安全棒 1, 安全棒 2, 安全ブロック

方法 落下法

組合せ (i) 3 本をそれぞれ独立に 3 ケース

(ii) 2 本ずつ組合せて 3 ケース

(iii) 3 本の組合せ 1 ケース

所要時間 1 ケースに 0.5 時間として, 3.5 時間

(6) スケジュール

上記の積算推定所要時間から, 次のように進める。

第 1 日 (1) 及び (2) の中途迄

第 2 日 (2) の残り及び (3), (4)

第 3 日 (5) 及び予備

1.6. 制御棒校正手順（ペリオド法）

(1) 臨界確認

- シム2 全引拔で，調整棒を挿入し臨界位置を求める。（中性子源を引抜き，C I C指示で 1.5×10^{-10} A とする）
- 制御棒を入れ替え，調整棒全引拔で，シム2 で臨界とする。
- 臨界を確認して，制御棒位置，C I C指示値を記録（データ・シート）

(2) 測定

- C I Cのレンジを2段（1デカード）きりかえる。
- 調整棒を mm まで挿入し，正の反応度を投入する。記録
- 出力上昇経過を測定
 1. 記録計の線が，10，20，30，40，50，60，70，80，90% を経過する時間を測定記録 3名（経過確認，時計，記録）
 2. 指示計（C I C-1）により，30%→60%，40%→80% の2倍になる時間を測定記録 1名（ストップウォッチ 2個）
 3. 指示計（C I C-2）について，同様の測定記録 1名
- 90%経過後，レンジを1段きりかえ
- シム2 を引抜き，測定前の出力レベルにもどして臨界に保つ
- 静定確認後，臨界位置を記録

(3) 計算

- 10～90%の経過時間を半対数グラフにプロットして，直線でfitしその勾配から2倍になる時間を読みとる。
- 指示計で測定したdoubling time とあわせて平均時間を出す。
- 炉周期 T_p とdoubling time T_D の関係（ $T_p = \frac{T_D}{0.693}$ ）から T_p を求めこれを逆時間方程式に入れて，反応度を算出する。

(4) 以上の手順をくり返して，調整棒全ストロークを測定する。

調整棒の測定ストローク

- 1回の測定は，約10℃程度を対象とする。

- 計算では、約400となっているので、4回にわければよいが、初めは安全のため、5回にわけた部分を挿入する。第2回目からはその結果により決定する。
- 全ストローク200mmがS字カーブの反応度分布をもつとして、等価に4等分又は5等分すると、次の間隔となる。

4等分	5等分	10等分
0 ~ 75 mm	0 ~ 65 mm	0 ~ 55 mm
75 ~ 100	65 ~ 90	55 ~ 65
100 ~ 125	90 ~ 110	~
125 ~ 200	110 ~ 135	
	135 ~ 200	

逆時間方程式

$$\rho = \frac{\ell}{k T_p} \times \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T_p}$$

$$\ell = 2.1 \times 10^{-8} \text{ sec}$$

$$\beta = 0.00725$$

β_i	λ_i
2.40×10^{-4}	3.872
10.34×10^{-4}	1.397
29.32×10^{-4}	0.3107
13.32×10^{-4}	0.1155
14.61×10^{-4}	0.0317
2.51×10^{-4}	0.0127

(「弥生」設置許可申請書)

17. 制御棒校正手順（未臨界法による安全棒の校正）

(1) 臨界確認

- シムと調整棒のベリオド法による校正が終わったら、再び調整棒全引拔で、シム2により臨界とする。臨界位置確認

(2) 基準反応度の挿入（データ・シート 1/2）

- シム2を臨界位置から 20 mm 迄引抜く。（このストロークの等価反応度 ρ_0 は、ベリオド法の測定から既にわかっている）
- 中性子源を挿入。出力静定後、各チャンネルで計数、記録

(3) 未知反応度の挿入（データシート 2/2）

- 安全棒1を、20 mm 毎に引抜き、静定後計数、記録
- 安全棒1が全引拔となったら、再び全挿入にもどす。
- 安全棒2を、20 mm 毎に引抜き、計数、記録
- 安全棒2が全引拔となったら、再び全挿入にもどす。
- 安全棒1と2を、gang で20 mm 毎に引抜き、計数、記録

(4) 計算方法

A 単純法

基準反応度の計数 C_0

未知反応度の計数 C_i

$$\text{未知反応度 } \rho_i = \frac{C_0}{C_i} \rho_0$$

B 別 法

$$\text{基準反応度挿入時の } k_{eff}^0 = \frac{1}{1 + \beta \rho_0} \quad (\rho_0 : \$ \text{単位})$$

$$\text{未知反応度挿入時の } k_{eff}^i = \frac{C_0}{C_i} (1 - k_{eff}^0)$$

$$\text{未知反応度 } \rho_i = \frac{1 + k_{eff}^i}{k_{eff}^i} \times \frac{1}{\beta} \quad (\$)$$

18. 落下法較正曲線

積分法により制御棒較正を行なうための較正曲線を作成した。

$$R = \frac{\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{1+X} \sum_i \frac{\mu_i}{\alpha_i} (e^{-\alpha_i t_1} - e^{-\alpha_i t_2})$$

$$\alpha_i = \lambda_i \left(1 - \frac{\mu_i}{1+X} \right)$$

$$t_1 = 10 \quad t_2 = 70$$

$X(\%)$ をパラメータとして R をプロットすると図のようになり X と $\frac{1}{R}$ の関係が一次式で近似できる。

$$\frac{1}{R} = 0.172 X + 0.14$$

$$X = \frac{5.81}{R} - 0.814 \quad (\%)$$

参 考

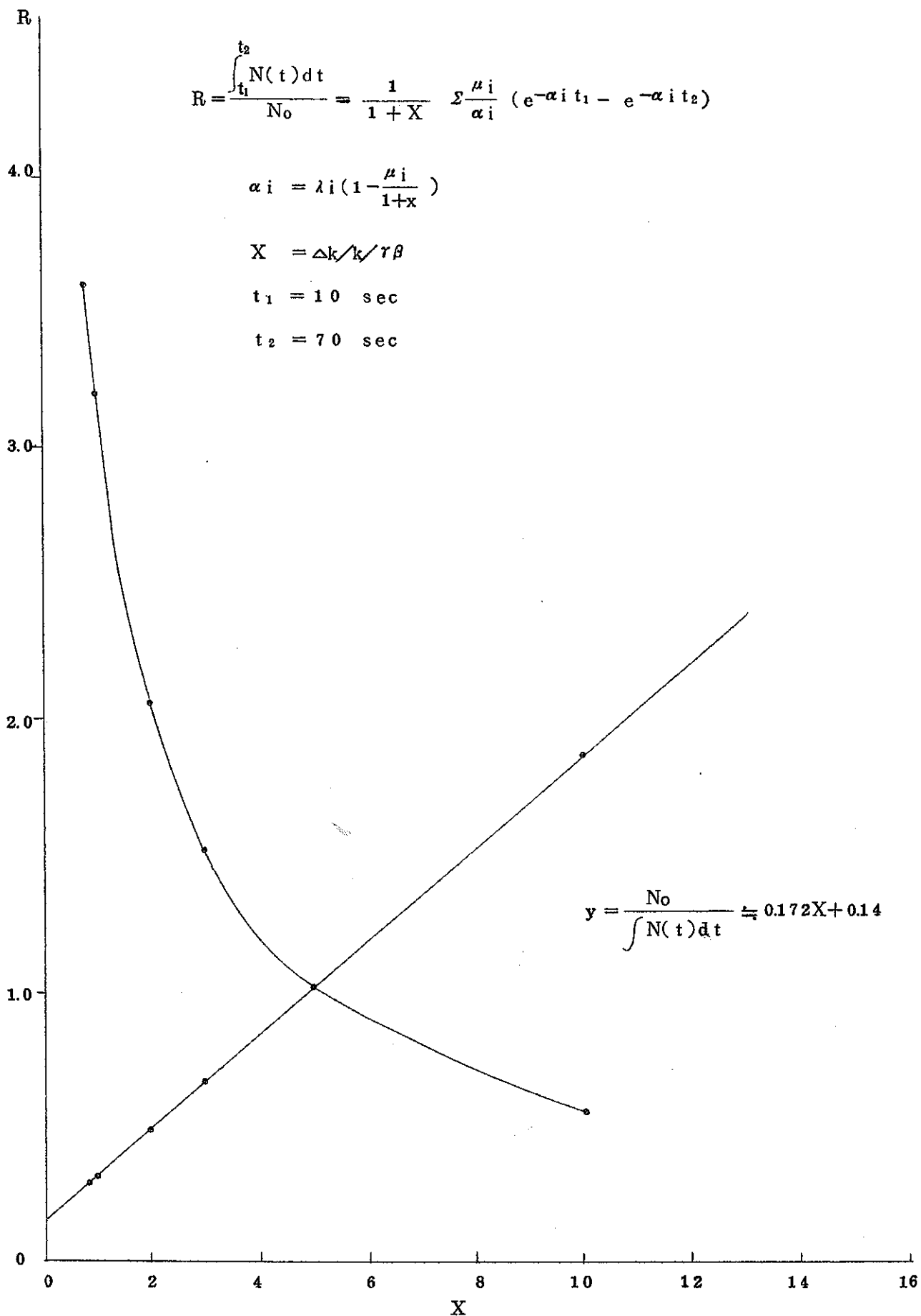
X	R
0.8	3.60
1.0	3.21
2.0	2.06
3.0	1.52
5.0	1.00
10.0	0.536

β_i	λ_i
0.00022	0.0127 sec ⁻¹
0.00127	0.0317
0.00115	0.1155
0.00255	0.3107
0.00090	1.397
0.00021	3.872

β_i, λ_i

「弥生」設置許可申請書より。

ただし、 β_i は、total が
0.0063 となるように処理した
値である ($r = 1.0$ となる)
本計算では β_i/β が使われるの
で、結果への影響はない。



添 付 資 料 Ⅱ

試 験 計 画 関 係 資 料

(東 大 側 作 成 資 料)

臨界近接実験時の燃料装荷順序の標準案(1970.8.12)

「弥生」臨界実験に関するメモ(1971.2.18)

東大炉「弥生」臨界工程(3/1~4/6)

1971.3.10 計測制御系統施設使用前検査手順

工程表(3/19~4/15)

「弥生」臨界工程(3/24~4/10)

臨界近接手順案(1971.3.25)

臨界実験時の人の配置案(1971.3.25)

臨界実験の日程等に関する若干の変更(1971.4.1)

調整棒およびシム棒2の等価質量カーヴの作成について(1971.4.10)

μ -Fission Counter による仮出力較正(71-4-15)

鉛遮蔽ブロックの反応度効果および出力仮較正の手順について(1971.4.15)

原子炉実験予定表(1971.4.15)

制御棒較正の手順について(1971.4.18)

質量係数その他について(1971.4.22)

4月第5週原子炉実験予定手順(1971.4.23)

出力仮較正(4/16)

常陽臨界実験参加者名簿

(以上はいずれもコピーのため、高速実験炉建設部で保管する)