

技術資料

近畿大学炉における原子炉運転特性の 計算機によるデータ集録と解析 (II)

三木良太, 伊藤哲夫,
杉田彰朗*, 宮島信昭*

Computer-Controlled Data Acquisition and Analysis System for Reactor Operating Characteristics in UTR-KINKI (II)

Ryota MIKI, Tetsuo ITOH, Akio SUGITA*
and Nobuaki MIYAJIMA*

(Received October 12, 1985)

1. はじめに

近畿大学炉 (UTR-KINKI) は熱出力 1.0W のいわゆるゼロ出力原子炉で, 各種の炉物理実験や学生の運転実験などにしばしば使用され, このため頻繁に起動, 停止, 出力変更が行なわれ, 炉心内部に検出器, 実験体系, 大型試料等を挿入して運転することが多いなど他の大学研究炉の運転パターンとは大きく異なっている。昭和56~59年度文部省科学研究費補助金, 特定研究(1)「原子炉の安全性向上に関する研究」の一部として, 研究用原子炉の安全性向上のための計算機利用の研究を進めるに当って, 近畿大学炉ではこの特異性に着目して炉運転特性に関するデータ集録と解析に重点をおくこととした。昭和56年度から開始した本研究においては, (1)原子炉運転特性と運転者の操作状況の記録と表示, (2)炉特性の監視と確認, (3)異常検出と異常診断, (4)運転者に対する指示と警告, (5)誤操作発生時あるいは異常発生時のデータ集録と解析, (6)記録情報のデータ・ベース化などを通じ, 計算機の利用による研究炉の安全性向上を目的として実施し, その成果の一部については既に発表したが¹⁾, 今回は原子炉運転特性記録のグラフ化処理プログラムを改良し, 一日の炉運転特性に関する合計8チャンネルのアナログ情報とスクラム信号発生による割り込みロジック入力

*理工学部原子炉工学科

を, A4用紙にまとめてグラフとして出力できるようにした。また正ペリオド法による反応度測定において, 線形出力計の集録データを計算機による解析する実用的プログラムを作成したので, 技術資料として報告する。

2. データ集録/解析システムの概要

近畿大学炉におけるデータ集録/解析システムの概要および集録の対象とする情報信号(核計装系統, 炉制御系統などのアナログ信号, スクラム系, 警報系, インターロック系などのステータス・ロジック信号および割り込みロジック信号)は, 昨年度の年報に発表したとおりで²⁾, その構成ブロック図を Fig. 1 に, また集録対象の情報信号のリストを Table 1 に示す。

3. 原子炉運転特性の記録とグラフ化

研究炉の運転に際しては, 運転に関する主要な事項を運転記録表に記入することが保安規定に定められており, また定常運転時には, 一定時間(近畿大学炉では1時間を越えない時間)ごとに記録表に所定の事項を記入することになっている。しかしながらこの運転記録表のみでは, 運転者の細かい操作状況や運転特性

Table 1 List of input signals from UTR-KINKI for data acquisition system.

1. 原子炉核計装系統			
起動系	レート・メータ	アナログ出力	1
中間出力系	Log N 計	*アナログ出力	1
	ペリオド計	*アナログ出力	1
線形出力系	ピコアンメータ	*アナログ出力	1
	レンジ切替SW	ロジック出力	1
安全系	% 出力計	*アナログ出力	2
2. 原子炉制御系統			
調整棒	位置指示計	*アナログ出力	1
	操作 S W	ロジック出力	2
シム安全棒	位置指示計	*アナログ出力	1
	操作 S W	ロジック出力	2
安全棒 (2)	位置指示灯	ロジック出力	2 × 2
	操作 S W	ロジック出力	1 × 2
サーボ系	% 偏差計	*アナログ出力	1
	手動・自動切替 S W	ロジック出力	1
制御棒電流	電流計	アナログ出力	3
クラッチ電流		ロジック出力	3
3. ステータス表示関係			
スクラム関係		*ロジック出力	8
警報関係		*ロジック出力	5
インターロック関係		*ロジック出力	4
4. その他の計器			
炉心温度計		アナログ出力	1
		ロジック出力	1
水質計		アナログ出力	2
5. 放射線モニター関係			
ガス・モニター		アナログ出力	1
ダスト・モニター (α)		アナログ出力	1
ダスト・モニター (β・γ)		アナログ出力	1
水モニター		アナログ出力	1
γ線エリア・モニター		アナログ出力	4
野警報		アナログ出力	1
		ロジック出力	9

*は既設分を示す。

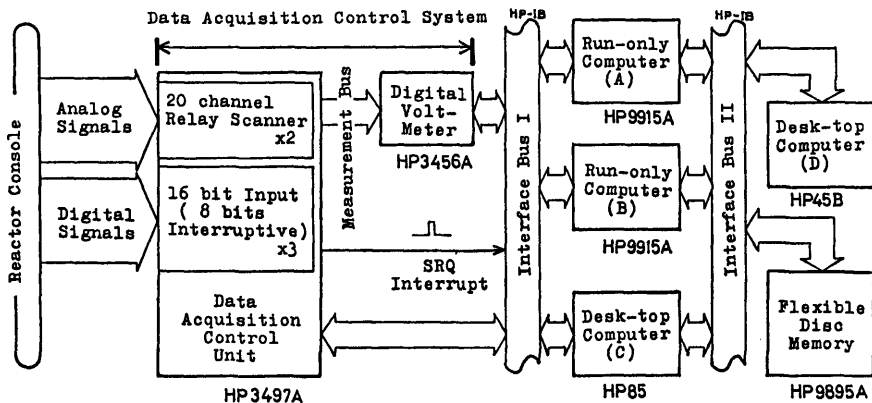


Fig. 1 Block diagram of data acquisition system.

の時間的な変化の様子などを詳細に知ることは困難である。計算機を用いたデータ集録・解析システムの採用により、集録したデータの処理を行なってグラフ化すれば、炉運転特性全般と操作状況を一目で把握することができ、日常の炉運転管理に極めて有用である。

Fig. 2~7 に、合計 8ch のアナログ情報とスクラム信号発生による割り込みロジック入力を、一日の運転終了後、A 4 用紙にグラフとして出力したものの代表的例を示す。1 段目は安全系 #1 と #2 の出力計(%), 2 段目左はサーボ偏差計(%), 右は線形出力計($10^{-11}A \sim 10^{-8}A$), 3 段目左は調整棒位置指示計(%), 右はシム安全棒位置指示計(%), 4 段目左はペリオド計(sec), 右はログ N 計(A) のそれぞれの出力で、横軸はデータ取り込み回数である。下欄に運転年月日、データ集録開始および終了時刻、記録一連番号、データ集録時間間隔を表示してある。

Fig. 2 は、最も一般的な単純照射のため 1W, 2 時間連続自動運転を行なった場合の運転特性グラフである。全運転経過を表示するために横軸が縮小されているが、中性子源挿入時の短ペリオドによるスクラム信号の発生 (×印), 安全棒 #1 と #2 の順次引き抜き後に、調整棒とシム安全棒を同時に引き抜き開始したこと、起動後約 12 分を経過した時点で中性子源を引き抜いたため生じたペリオド計の負側への偏れ、10mW の低出力自動運転と点検を経て、定格出力 1W の自動運転に入った状況がはっきりと示されており、従来の運転記録表に比べると遙かに的確に原子炉運転特性全体を把握することができる。また運転停止時の×印は、手動スクラムによって炉を停止させたことを示し、調整棒をスクラム発生後、手動で降下させたこともグラフ上で読み取ることができる。なおサーボ偏差計も±1%以内の変動で、正常にサーボ機構が動作していることが判る。

Fig. 3 は、検出器の較正のために、炉出力を 10mW, 100mW, 0.5W, 1W と段階的に変更して運転した場合のグラフで、低出力時の調整棒の上下動とサーボ偏差計の変動が特徴的である。なおバス・コントロール・プログラムによって炉運転特性の連続長時間データ集録が可能で、データ取り込みサイクルが 2.3sec の場合、フロッピー・ディスクを交換することなく約 20 時間連続集録ができる。炉運転特性のデータ集録において、どの程度まで短い取り込みサイクルを必要とするかについては、現在蓄積中のデータの解析から最終的に判断する予定である。異常発生時等の場合、短い取り込みサイクルを特定の 1 チャンネルに限定すれ

ば、現在使用中の機器で最短 0.17sec サイクルの集録が可能である。なおコンピュータのメモリーからフロッピー・ディスクへのデータ転送に際して、集録データをそのまま転送せずに、各チャンネル別に配列し直して転送するように処理しており、転送時間は若干長くなるが、オン・ラインのデータ解析時間を短縮できるよう配慮してある。

Fig. 4 は、正ペリオド法によってシム安全棒および調整棒の引き抜きによる反応度測定を行なった際のグラフで、ログ N 計にはほぼ直線的な上昇が認められる。正ペリオド法による反応度は、後述する解析プログラムを用いて精度良く算出できる。

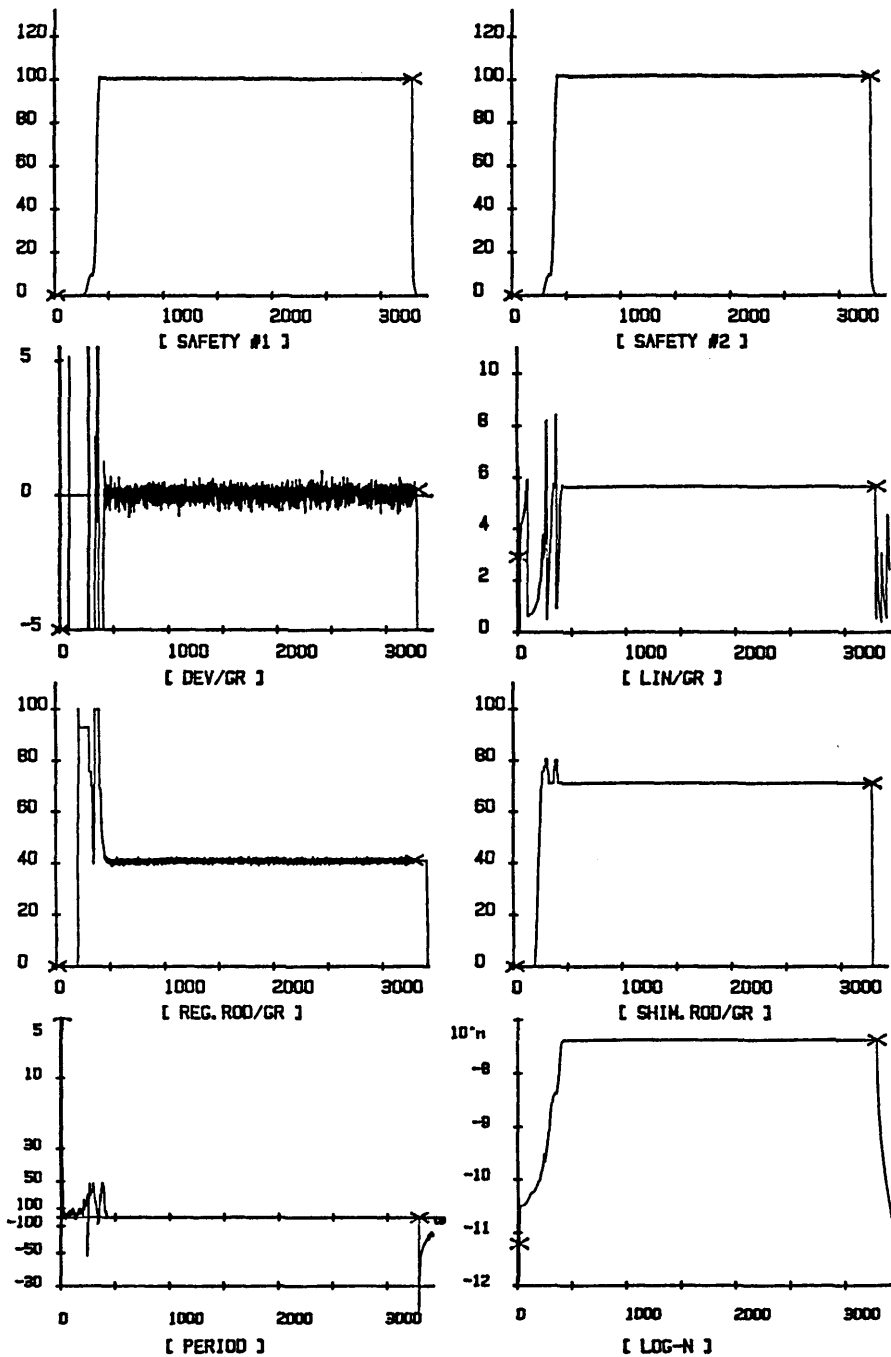
Fig. 5 は、10mW 自動運転時に、炉心に挿入されていた γ 線検出器を引き抜いた場合のグラフで、線形出力計とペリオド計の出力にはわずかな上下変動しか認められないが、サーボ偏差計が瞬間的に大きくプラス側に振れており、また投入された正の反応度を補償するため調整棒が急激に下降する様子が良く判る。

Fig. 6 は、1W 自動運転中に偶然に外部から落雷による電源ノイズが入り、異常な信号が捉えられた貴重なケースのグラフである。この場合も線形出力計にはごく小さな変化が記録されているに過ぎないが、サーボ偏差計と調整棒位置指示計の記録に明瞭な変動が示されている。この種の外部ノイズの集録データはこれまでのところわずか 1 例のみであるが、多くの炉運転データの処理・解析の経験を通じて、自動運転時の炉特性の変化はサーボ偏差計の出力に最も顕著に現れるので、“自動運転時の異常検出”に有望であると考えられる。

Fig. 7 は、炉がわずかに未臨界の時の運転特性のグラフで、中性子源を挿入したまま調整棒とシム安全棒を完全に引き抜いても、出力の上昇は極めてゆるやかで、中性子源を引き抜くとペリオド計はわずかにマイナス側に振れ、線形出力計とログ N 計が次第に下降していく様子が記録されており、炉が未臨界であることを示している。

4. ステータス・ロジック信号の集録

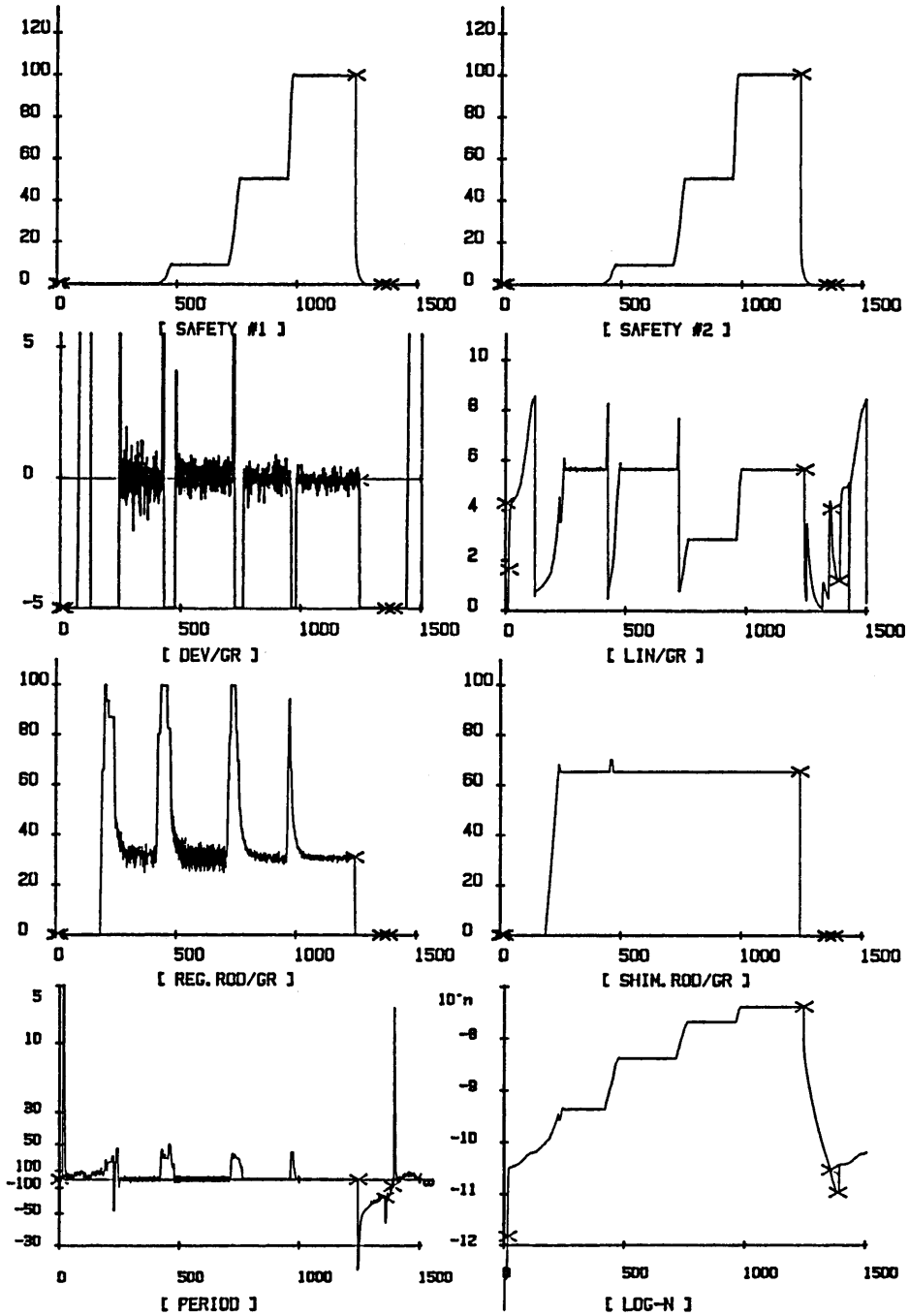
ステータス・ロジック信号は発生時に割り込みを行って、発生系統と発生時刻が記録される。スクラム信号や警報信号など異常状況の発生と特に関係の深い重要なステータス・ロジック信号発生時には、通常のデータ集録とは別個の集録プログラムに切り替えて集録



1985. 2. 1 START TIME 13: 37: 58
 END TIME 16: 0: 38

SERIAL No. 1366 - 1372
 INTERVAL TIME 2.5 sec.

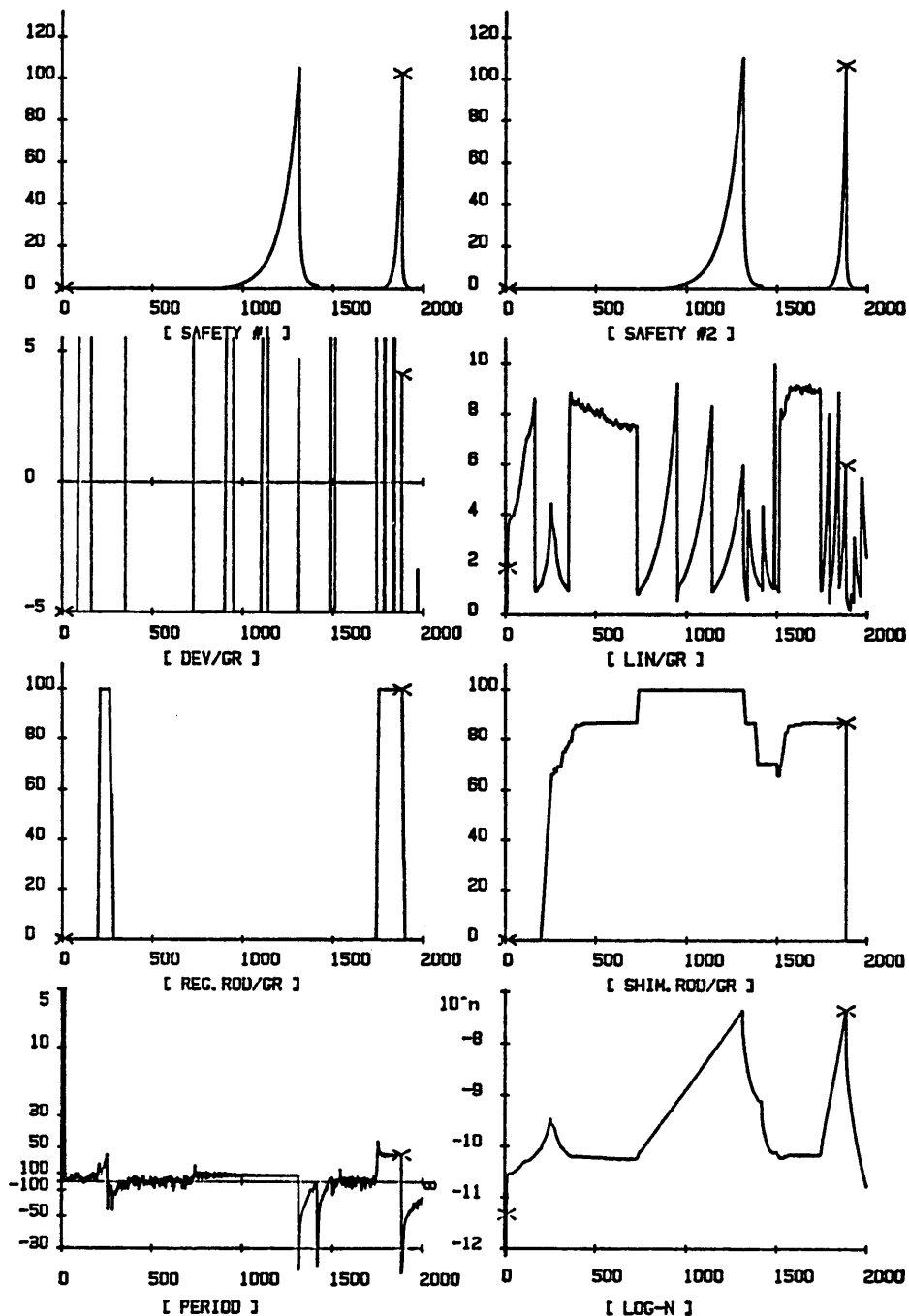
Fig. 2 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (A)
 (Normal, 1W-2hr continuous automatic, operation pattern)



1984. 9. 12 START TIME 10: 0: 55
 END TIME 11: 28: 6

SERIAL No. 1115 - 1117
 INTERVAL TIME 2.5 sec.

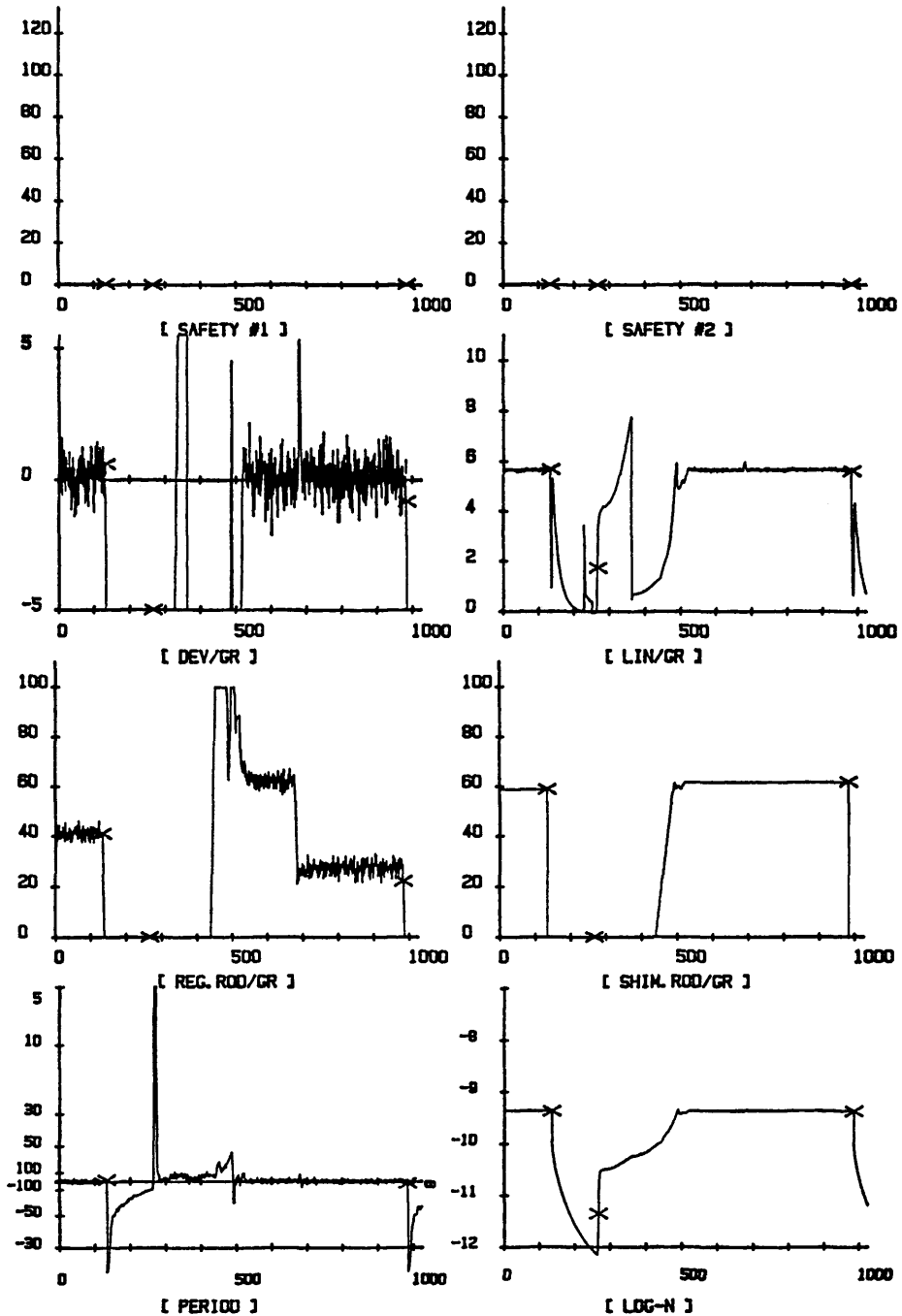
Fig. 3 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (B)
 (Step power increase for detector calibration)



1984. 2. 2 START TIME 14: 3: 9
END TIME 15: 19: 58

SERIAL No. 1409 - 1413
INTERVAL TIME 2.3 sec.

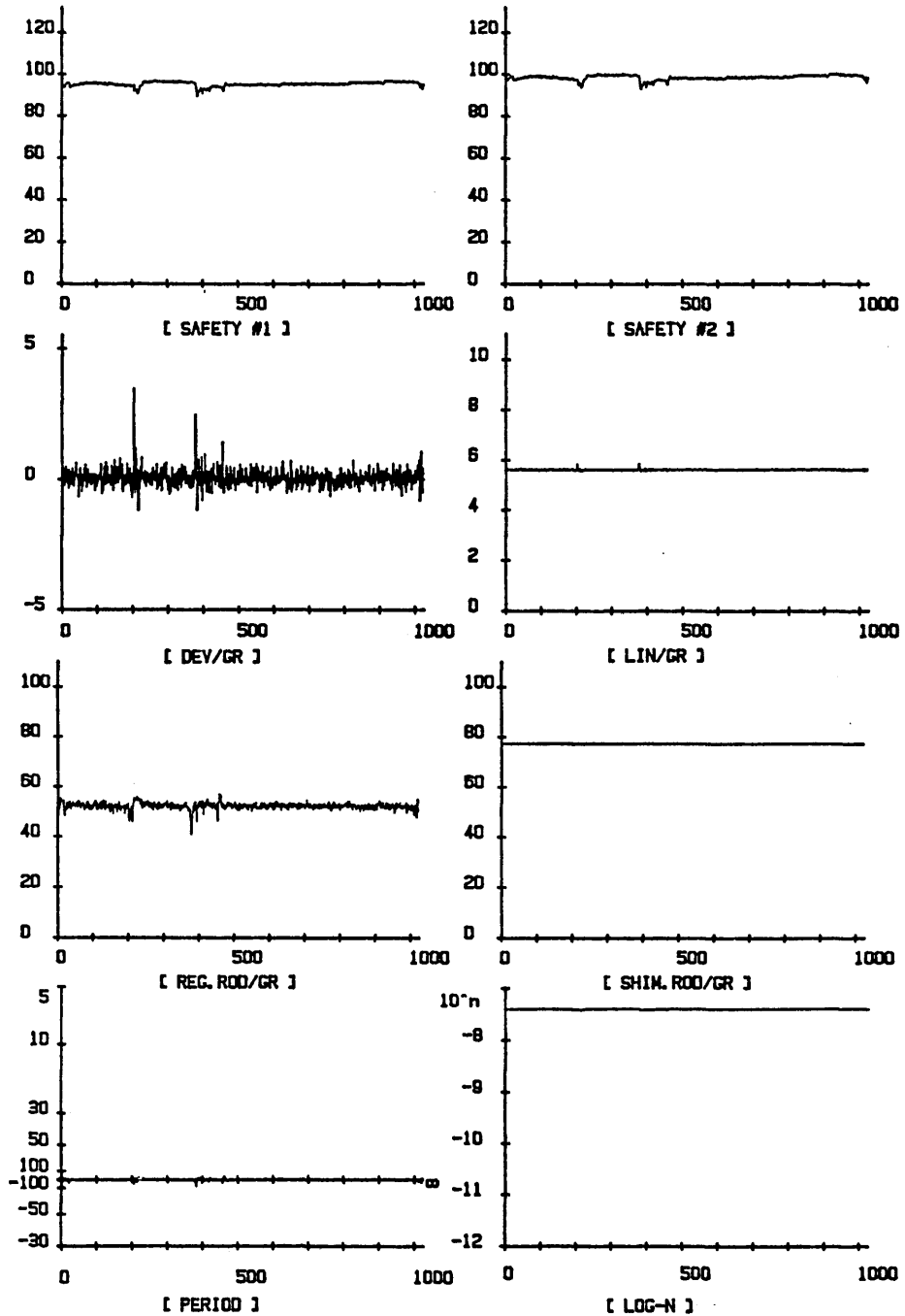
Fig. 4 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (C)
(Positive period method for shim-safety and regulating rod)



1984. 11. 24 START TIME 10: 41: 44
 END TIME 11: 24: 30

SERIAL No. 1347 - 1348
 INTERVAL TIME 2.5 sec.

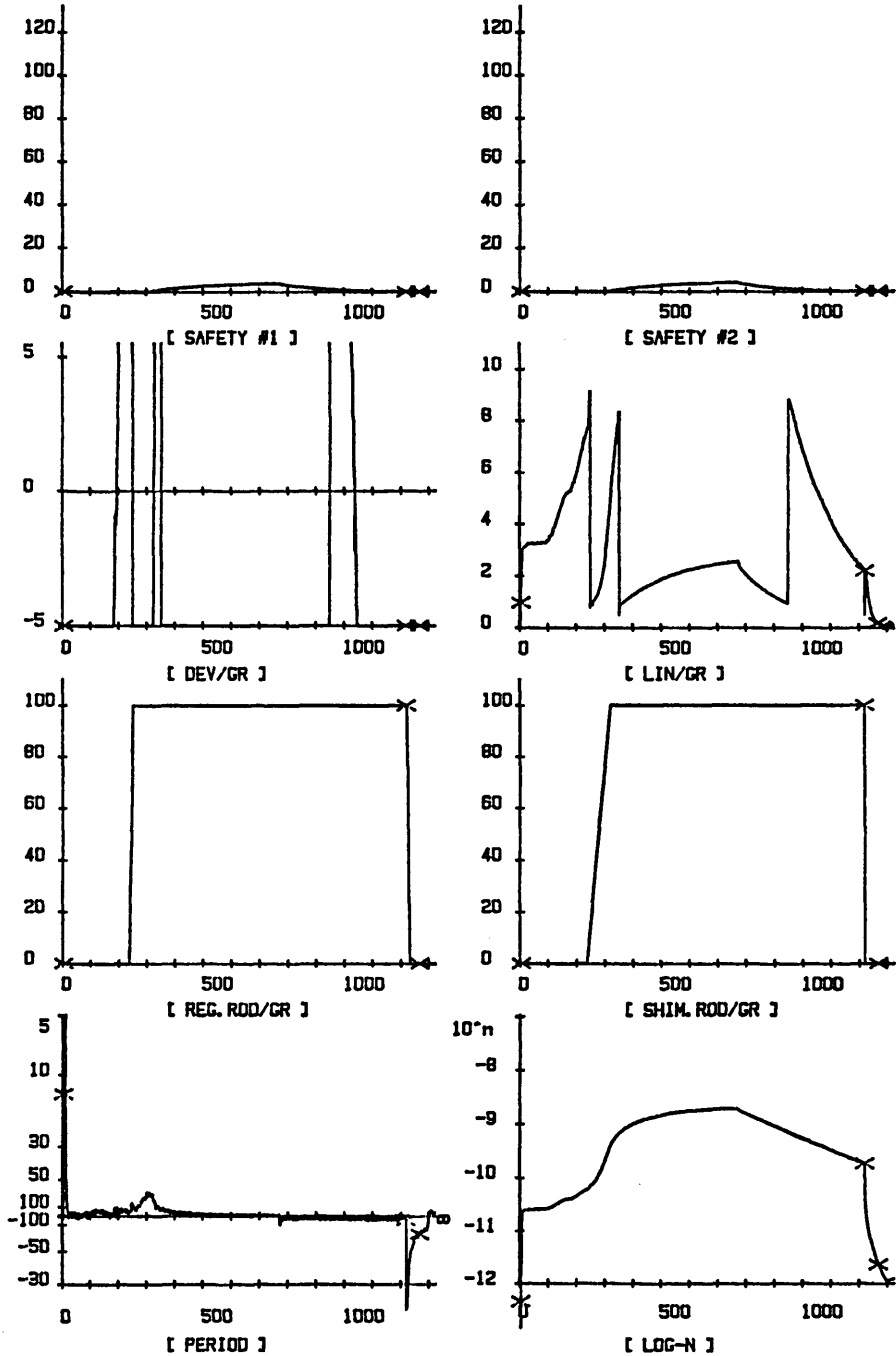
Fig. 5 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (D)
 (Withdraw of detector from core during automatic operation)



1984. 7.26 START TIME 13:11:27
END TIME 13:54: 7

SERIAL No. 7338 - 7339
INTERVAL TIME 2.5 sec.

Fig. 6 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (E)
(Effect of external noise during automatic operation)



1984. 10. 13 START TIME 10: 7: 13
 END TIME 11: 2: 28

SERIAL No. 1271 - 1273
 INTERVAL TIME 2.5 sec.

Fig. 7 Graph output of operating characteristics of UTR-KINKI. (F)
 (Sub-critical condition)

を行う。Fig. 2~7 に示した炉運転特性グラフ上では、中性子源挿入による短ペリオドおよび手動停止の際のスクラム発生点を単に×印により示した。これらのスクラム発生は異常状態によるものでないため、内容の表示を省略してあり、異常信号によるスクラムが発生した場合は、発生系統番号と発生時刻を表示する。現在のシステムでは、2つのステータス信号が120msec 以内の時間間隔で入った場合、ソフトおよびハード上の制約のため弁別できないが、130msec 以上では確実に弁別集録が可能である。通常は余り問題にならないが、異常発生時に重要な情報が欠けるおそれもあるので、この場合は2つ以上のステータス信号系の番号を16進法で表わした数の和が記録されるようにプログラムを変更した。また一旦割り込みが起るとその集録と処理に約 550msec を要し、集録プログラムを変更しない場合、再び集録サイクルの最初からスキャンしはじめるので、サイクル中のどの時点で割り込みが生じたかによって、約 0.6sec から 2.9sec のブランクができる。

5. 正ペリオド法による反応度測定への計算機利用

正ペリオド法による反応度測定は、原子炉の定期検査や定期自主検査などに際して行なわれる以外にも、近畿大学炉の利用形態においては高い頻度で実施される。通常の正ペリオド法では、線形出力計の指針の上昇速度をストップ・ウォッチによる倍加時間として測定し、ペリオドに換算して反応度を算出しており、定期検査における立会検査でも、この方法によることが検査要領書に定められている。

一方、原子炉運転特性の自動集録データを解析することによって、目視による正ペリオド法より精度の高い反応度測定が可能であると考えられるので、双方の測定を併行して実施し、それぞれの方法によって求めた反応度の差を定量的に検討した。近畿大学炉の場合、約 1.2~1.5mW の低出力で手動臨界をとってから、目的の御制御棒を引き抜いて正の反応度をステップ状に印加し、線形出力計の $10^{-10}A$ から $10^{-8}A$ のレンジにわたって 3→6, 4→8 ($10^{-8}A$ のレンジは 2

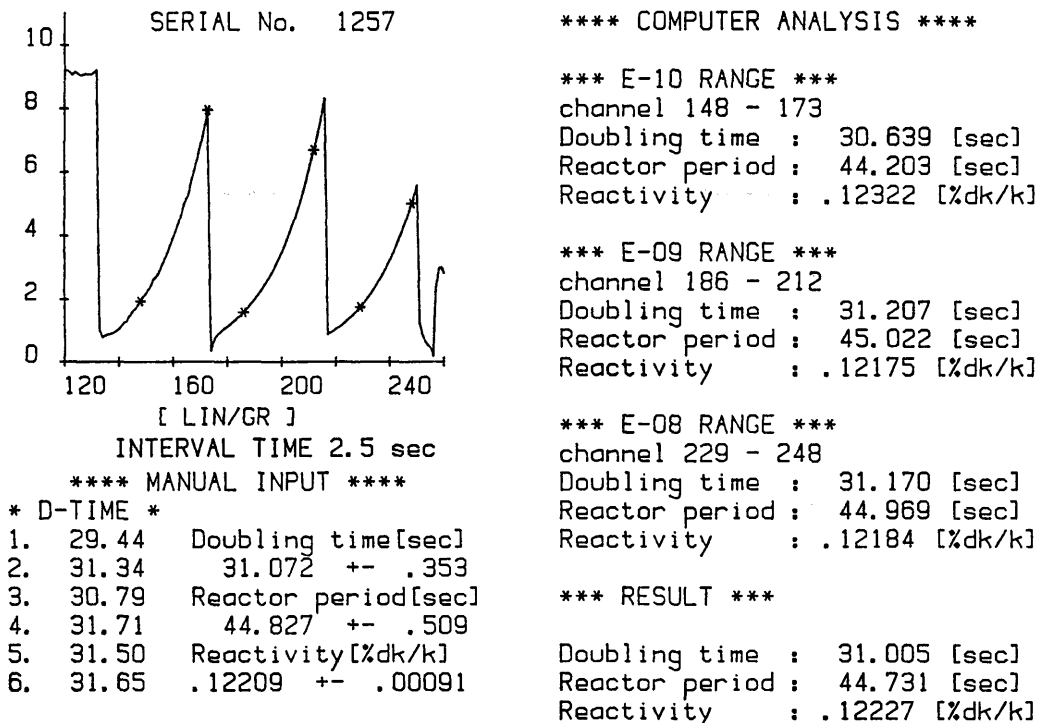


Fig. 8 Graph output of positive period method data for reactivity measurement.

→4)に上昇する倍加時間をストップ・ウォッチで測定し、その平均値からペリオドを求めて反応度を計算している。正ペリオド法による測定時の入力による測定結果の一例を Fig. 8 の左下部に示す。同図の左上部には、同時に自動集録システムに記録された線形出力計の出力をグラフとして示しており、このデータを解析して各レンジにおいて指数関数に最も良くフィットする範囲(グラフ上に×印で示す)から求めたペリオド及び倍加時間と算出した反応度を図の右側に示している。この場合、両者の差は $0.0002\% \delta k/k$ 以内で、ストップ・ウォッチによる測定の誤差より十分小さく、実用的に全く問題がない。これまで約40回にわたって双方の同時測定及び解析を行った結果、両者の差はすべて $\pm 0.0002\% \delta k/k$ 以内に収まっている。なお計算機によるデータ解析において、線形出力計のゼロ調整の不完全さが、解析結果に若干の影響を及ぼすことが明らかになり、起動前点検時に目視によるゼロ調整に加えて、ディジボルでゼロを合わせる必要が認められた。

6. ま と め

計算機によって制御される原子炉運転特性データ集録システムの導入により、近畿大学炉の運転特性の詳細な把握が可能となり、炉の日常の運転管理上非常に役立つことが今回発表したグラフ化プログラムによってはっきりと示された。また既に発表した臨界点の判定¹⁾のほか、正ペリオド法による反応度測定においても、集録データの解析によって実用的な誤差範囲で十分に利用しうることが確認された。更に自動運転時の

外部ノイズによる異常信号がサーボ偏差計の出力に顕著に現れ、自動運転時の異常診断に有望であることが判った。本研究の当初の目標はこれまでの成果によって一応達成されているが、今後は入力回路数の増加と併行して、更にシステム・コントロール・プログラムの改良を計ると共に、日常運転時のデータ蓄積を継続して行ない、研究炉の安全性向上に役立てたい。また異常信号の検出についても、実際の異常時の集録データを蓄積してその解析を行なう一方、人為的に異常信号を発生させた場合の集録データの解析について研究を進めており、それらの結果については次回に発表の予定である。

参 考 文 献

- 1) 三木良太他4名：UTR-KINKIにおける原子炉運転特性のデータ集録と解析(I)，近畿大学原子力研究所年報，Vol. 21，p.p. 29～36 (1984)
- 2) 三木良太他4名：近畿大炉における原子炉運転特性のオン・ライン/オフ・ライン・データ集録と解析，「原子炉の安全性向上のための計算機利用」短期研究会報告書 KURRI-TR-234，p.p. 114～120 (1983)
- 3) 三木良太，伊藤哲夫：近畿大炉における原子炉運転特性データ集録と解析(I)，日本原子力学会昭和58年秋の分科会，F-5 (1983)
- 4) 三木良太，伊藤哲夫：近畿大炉における原子炉運転特性データ集録と解析(II)，日本原子力学会昭和59年年会，C-23 (1984)