

# 「常陽」異状反応度監視システムの検証試験

## 「常陽」データ処理装置の機能試験

1980年8月

動力炉・核燃料開発事業団

## 「常陽」異常反応度監視システムの検証試験

## 「常陽」データ処理装置の機能試験

妹尾 誠<sup>\*</sup> 田村 誠司<sup>\*\*</sup> 坂口 俊英<sup>\*\*</sup>  
 大谷 秀二<sup>\*\*</sup> 村松 寿晴<sup>\*\*</sup>

## 要 旨

「常陽」データ処理装置のアプリケーション・プログラムの一部として納入された異常反応度監視システムの機能を検証するため、出力上昇試験の期間において検証試験を実施した。

検証試験は、出力上昇試験における各種外乱応答試験時に異常反応度監視システムを動作させ各種のデータを取ってシステムの機能を確認する方法によった。試験は下記の5項目について実施した。

- 1) 制御棒小反応度外乱投入試験
- 2) 炉出力変更試験
- 3) 原子炉入口冷却材外乱試験
- 4) 未知反応度投入試験
- 5) 50MW時連続監視

上記の5項目の試験に対し、それぞれ以下の結果を得た。(1)の試験に対しては、制御棒の位置信号取込み周期と核出力信号の取込み周期のいずれにより残留反応度が制御棒位置変化時に大きくなるという問題があった。(2)の試験については、約20MWの炉出力変化に対しても残留反応度が約2セント以内であり、かなり大きな炉出力変更に対しても対処できることがわかった。(3)の試験では、炉入口冷却材変化に対しては残留反応度はほぼ零で問題ないが、流量変化に対して反応度変化の推定が悪い。(4)の試験では、バイロシレータロッドによる未知反応度を投入し、約10%の精度でその未知反応度の値を推定できることが確認された。(5)の連続監視については、正常な通常運転において、残留反応度はほぼ2セント以内の値を示しており、異常反応度検出用判定値として約2.5セントが妥当と考えられる。

\* 大洗工学センター高速実験炉部、技術課（現 日立製作所、エネルギー研究所）

\*\* 大洗工学センター高速実験炉部、技術課

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

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

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

Anomaly Reactivity Monitoring by Data Reduction System in JOYO

Verification Results of Anomaly Reactivity Monitoring System

Makoto Senoh\*, Seiji Tamura\*\*,  
Hideaki Sakaguchi\*\*, Shuji Otani\*\*  
and Toshiharu Muramatsu\*\*

Abstract

Anomaly reactivity monitoring program which is one of functions of Joyo data reduction system was tested under various plant conditions during power ascension testing period. The program is based on a reactivity balance of measured reactivity and known reactivity, and is to detect unknown (or anomaly) reactivity.

As consequences of the testings, following results were obtained. For each change of power level and coolant temperature, reactivity change of more than 10¢ was induced, the program, however, indicated no trace of any anomaly reactivity. While for change of coolant flowrate of 20%, approximately 3¢ error reactivity was detected due to, probably, mismatch of thermal constants in the program. Through these testings, it was cleared that the modeling of the program is well simulating the reactor kinetics within 2¢ of error except for the change of flowrate. In normal operation, since flowrate is held constant, the error due to flowrate is insignificant.

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

(Hitachi Energy Research Lab., in present)

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

目 次

1. 概 要 .....	1
2. 「常陽」の異常反応度監視法 .....	2
2.1 反応度平衡 .....	2
2.2 各種反応度計算法 .....	3
2.2.1 動特性反応度 .....	3
2.2.2 制御棒反応度 .....	4
2.2.3 炉出力変動によるフィード・バック反応度 .....	5
2.2.4 原子炉入口冷却材外乱反応度 .....	9
2.2.5 燃焼反応度 .....	14
2.3 異常反応度検出法 .....	14
2.3.1 推定残留反応度算出法 .....	14
2.3.2 異常反応度の原因判定法 .....	16
3. 異常反応度監視プログラムの検証試験と結果 .....	19
3.1 制御棒小反応度投入試験 .....	19
3.2 炉出力変更試験 .....	19
3.3 原子炉入口冷却材外乱試験 .....	20
3.4 未知反応度投入試験 .....	21
3.5 50MW時連続監視 .....	23
4. 結 言 .....	41
5. 付 録 .....	42
5.1 プログラムの基本仕様 .....	42
5.2 プログラムのジェネラル・フロー .....	43
5.3 プログラムの操作方法 .....	51
5.3.1 プログラム用各種定数の設定 .....	51
5.3.2 プログラムの起動手順 .....	51
5.3.3 データのCRTおよびL/Pへの出力手順 .....	57

## 1. 概 要

原子炉の炉内異常検出の試みは世界的にも種々の方法が実験的に実施されている。米国においてもフェルミ炉においてMDA (Malfunction Detection Analyzer) と称する炉内の異常な反応度変化を検出するシステムを設けて試験的に実施している。

高速炉の場合、局所的流路閉塞は燃料ピンの溶融という重大事故につながるものであり、その早期検出法が考えられている。その代表的なものとしては、燃料集合体出口部に設けられたNa温度計の異常な振舞いを検出する方法、Naの沸騰と泡のつぶれに伴う音響発生をとらえる方法等が考えられているが、検出遅れ、検出感度等の点で実用に供する段階には至っていない。

我が国最初の高速実験炉「常陽」では、データ処理装置のアプリケーションプログラムの一部として、反応度平衡法をベースとする手法を「常陽」に適用した「異常反応度監視プログラム」を採用した。

本報告で述べる「異常反応度監視プログラム」は、データ処理装置で周期的に取込まれる原子炉周りのデータ（中性子束、調整棒位置、原子炉入口Na温度、流量等）から炉内における種々の反応度変化を計算し、炉内での何らかの異常あるいはプロセス計装系の異常に伴う反応度としてのアンバランスを検出して警報を発する機能を有している。また、反応度のアンバランスの要因を分析、判定して炉内に予測し得ないような異常が発生したのか、原子炉入口Na温度計が故障したのかが印字出力される。

第2章以降、「異常反応度監視プログラム」で演算している各種反応度の計算法、異常な反応度の検出法および50MW出力上昇における検証試験の結果およびプログラムの概要等について述べる。

## 2. 「常陽」の異常反応度監視法

### 2.1 反応度監視法

「常陽」の異常反応度監視法の基本となっているのは反応度平衡法であり、原子力工学の部門では良く知られた概念である。

ここで反応度平衡法について概略を述べておく。

原子炉は一点炉近似を用いれば、その動的な挙動は式(2.1)によって表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{\rho_{nk} - \beta}{\ell} n + \lambda_i C_i + S \\ \frac{dC_i}{dt} &= \frac{\beta_i}{\ell} n - \lambda_i C_i \quad (i=1 \sim 6) \\ \rho_{nk} &= \rho'_{rod} + \rho_{fb} + \rho_{in} + \rho_{bu} \end{aligned} \quad (2.1)$$

ただし、

- $n$  : 炉心全体の中性子数
- $\rho_{nk}$  : 動特性反応度 (臨界時:  $\rho_{nk} = 0$ )
- $\beta$  : 全遅発中性子生成割合 =  $\sum_{i=1}^6 \beta_i$
- $\ell$  : 中性子平均寿命 (S)
- $\lambda_i$  :  $i$  番目の先行核の崩壊定数 ( $S^{-1}$ )
- $C_i$  : 炉心全体の  $i$  番目の先行核数
- $S$  : 全中性子源から供給される中性子数
- $\beta_i$  :  $i$  番目の先行核が生成される割合
- $\rho'_{rod}$  : 制御棒による臨界点からの反応度変化量
- $\rho_{fb}$  : ある定常炉出力からの変化に伴うフィードバック反応度
- $\rho_{in}$  : 原子炉入口冷却材温度変化等の観測予測されうる外乱に伴う反応度変化
- $\rho_{bu}$  : 燃料の燃焼に伴う反応度変化

通常の何の異常もないと考えられる原子炉は式(2.1)の関係を保って運転されていると考えてよい(ただし、原子炉は空間依存性がなく1点で近似できるとみなされる場合)。つまり、式(2.1)の三番目の式は原子炉が正常である限り成り立っていると考えるのが反応度平衡法の基本的な考え方である。

「常陽」の異常反応度監視プログラムでは上記の反応度平衡法に基づいて式(2.2)で算出さ

れる残留反応度を監視している。

$$\rho_{res} = \rho_{nk} - \rho_{rod} - \rho_{fb} - \rho_{in} - \rho_{bu} + \rho_0 \quad (2.2)$$

ただし、

- $\rho_{res}$  : 残留反応度 (正常時は零となる量)
- $\rho_0$  : 残留反応度初期補正項

### 2.2 各種反応度計算法

#### 2.2.1 動特性反応度

「常陽」の炉心内中性子束の動的な挙動は一点炉近似の動特性方程式に従うと仮定すると時間  $t$  での中性子束と動特性反応度との関係は式(2.1)に示す連立微分方程式によって表わされる。

本異常反応度監視は、定格運転状態で実施することを前提としていることから、式(2.1)における中性子源の項は無視して考える。ここで、式(2.1)の先行核の微分方程式を変形し、変数変換を行うと式(2.2)が導出される。

$$\dot{\bar{n}} = \frac{\rho_{nk} - \beta}{\ell} \bar{n} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\ell} \xi_i \quad (2.2)$$

$$\dot{\xi}_i = -\lambda_i (\xi_i - n) \quad (i=1 \sim 6)$$

ただし、

$$\xi_i = \frac{\ell}{\beta_i} \lambda_i C_i$$

変数変換された式(2.2)の第2式にラプラス変換を適用し、整理すると

$$\xi_i(S) = \frac{\xi_{i0}}{S + \lambda_i} + \lambda_i \frac{n(S)}{S + \lambda_i} \quad (2.3)$$

となり、ここで式(2.3)の逆ラプラス変換をすると式(2.4)を得る。

$$\xi_i(t) = \xi_{i0} e^{-\lambda_i t} + \lambda_i \int_0^t n(\tau) e^{-\lambda_i(t-\tau)} d\tau \quad (2.4)$$

ここで、式(2.4)を式(2.2)に代入し、 $\beta_i/\beta = \gamma_i$ 、中性子束  $n$  が炉出力  $P$  に比例すると考えられるので、 $n = P(t)$ 、さらに式(2.2)の第2式の初期条件  $\xi_{i0} = P_0$  を適用す

ると式(2.5)が導かれる。

$$\rho'_{nk}(t) = 1 + \frac{\ell}{\beta} \frac{d}{dt} \left\{ \ell n P(t) \right\} - \frac{1}{P(t)} \sum_{i=1}^6 r_i \left\{ P(0) e^{-\lambda_i t} + \lambda_i \int_0^t P(\tau) e^{-\lambda_i(t-\tau)} d\tau \right\} \quad (2.5)$$

異常反応度監視では、ある時間周期で反応度計算を実施しており、あるサンプリング時刻と次のサンプリング時刻の間における出力変動の正確な挙動は知ることができないので、出力は指数関数的に変化するものと仮定し、時刻  $t_j \leq t < t_{j+1}$  における出力を

$$P(t) = P_j e^{\alpha_j(t-t_j)} \quad (2.6)$$

ただし、

$$\alpha_j = \ell n \left( \frac{P_{j+1}}{P_j} \right) / \Delta t_j, \quad \Delta t_j = t_{j+1} - t_j$$

で表わし、式(2.5)に代入すると式(2.7)を得る。

$$\rho'_{nkj} = 1 + \left( \frac{\ell}{\beta} \right) \alpha_{j-1} - \frac{1}{P_j} \sum_{i=1}^6 r_i (P_0 e^{-\lambda_i t} + \lambda_i I_{ji}) \quad (2.7)$$

$$I_{ji} = \int_0^{t_j} P(\tau) e^{-\lambda_i(t_j-\tau)} d\tau$$

$$= I_{j-1,i} e^{-\lambda_i \Delta t_{j-1}} + \frac{1}{\alpha_{j-1} + \lambda_i} (P_j - P_{j-1} e^{-\lambda_i \Delta t_{j-1}})$$

式(2.7)の動特性反応度  $\rho'_{nkj}$  はドル単位の反応度なのでセント単位の反応度は  $\rho_{nkj}$  は  $\rho_{nkj} = 100 \cdot \rho'_{nkj}$  によって算出される。

## 2.2.2 制御棒反応度

「常陽」では6本の制御棒が設けられているが、この内4本は安全棒と呼ばれ、定常出力運転状態では全引抜となっている。よって、炉心内反応度に影響を与えるのは2本の調整棒であり、時間的に変化する調整棒の位置を検出して反応度変化を算出する。

2本の調整棒の時刻  $t_j$  における位置をそれぞれ、 $Z_1(t_j)$ 、 $Z_2(t_j)$  とし、各調整棒の

反応度修正曲線が6次式の形で与えられている場合、炉心に付加されている反応度  $\rho'_{rod}$  は式(2.8)によって算出される。

$$\rho'_{rod} = \text{REG} \cdot \left[ f \{ Z_1(t_j) \} + f \{ Z_2(t_j) \} \right] \cdot (1 + C\bar{O}) \quad (2.8)$$

$$f \{ Z_1(t_j) \} = AZ_1(t_j)^6 + BZ_1(t_j)^5 + CZ_1(t_j)^4 + DZ_1(t_j)^3 + EZ_1(t_j)^2 + FZ_1(t_j) + G \quad (i=1, 2)$$

ただし、

REG : 調整棒1本当りの全反応度(%)

$f \{ Z_1(t_j) \}$  : 全引抜を1.0とする

C $\bar{O}$  : 干渉効果の最大値(干渉効果が正の場合、正の定数、干渉効果が負の場合は負の定数を用いる)(%)

A~G : 6次式フィッティング係数

## 2.2.3 炉出力変動によるフィードバック反応度

ここでいうフィードバック反応度は、炉出力が変動した場合の燃料のドップラー反応度、燃料、被覆材等の膨張反応度等の変化を一括したものである。

炉出力変動に伴う炉内各部の温度変化を詳細に解くことは演算時間、演算のためのプログラムステップ等が大となり、オンライン監視のためには上記の点を考慮した法が必要となる。そこで、本報告で述べる「常陽」の異常反応度監視プログラムでは、図2.1に示す温度計算モデルを適用し、炉心部および半径方向ブランケット部の2領域とした。さらに、各領域では熱伝達は燃料と冷却材との間で行われているというモデルに簡略化(計算時間短縮の観点から)し、被覆材の温度計算を省略した。

よって、炉心部および半径方向ブランケット部における熱伝達方程式は式(2.9)によって表わされる。

$$(V\rho C)_f \dot{T}_c = Q - SHh(T_f - T_c)$$

$$(AH\rho C)_c \dot{T}_c = SHh(T_f - T_c) - CW(T_{out} - T_{in}) \quad (2.9)$$

$$T_c = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$$

ただし、

$T_{out}$  : 炉心部または半径方向ブランケット部の出口冷却材温度

$T_{in}$  : 炉心部または半径方向ブランケット部の入口冷却材温度

異常反応度監視は定常状態からの開始を前提としており、フィードバック反応度の計算も定常状態からの変動分について求めるため、式(2.9)についても定常状態からの温度変動分について考え、式(2.10)を熱伝達方程式の基礎とする。

$$\begin{aligned} (V\rho C)_f \delta \dot{T}_f &= \delta Q - SHh(\delta T_f - \delta T_c) \\ (AH\rho C)_c \delta \dot{T}_c &= SHh(\delta T_f - \delta T_c) - 2CW_0 \delta T_c - C(T_{out,0} - T_{in,0}) \delta W \end{aligned} \quad (2.10)$$

ただし、

$W_0$  : 監視開始時の定常状態における冷却材重量

$T_{out,0}, T_{in,0}$  : 上記と同様の定常状態における炉心部または半径方向

ブラケット部出口および入口冷却材温度

炉出力の変動のみを考えたフィードバック反応度の計算の場合は、式(2.10)における $\delta W$ を零と考えればよい。

ここで、

$$\begin{aligned} \lambda'_1 &= \frac{SHh}{(V\rho C)_f}, & \lambda'_2 &= \frac{2CW + SHh}{(AH\rho C)_c}, & \alpha' &= \frac{SHh}{(V\rho C)_f} \\ \beta' &= \frac{SHh}{(AH\rho C)_c}, & r' &= \frac{1}{(V\rho C)_f} \end{aligned}$$

なる置き替えを行い、式(2.10)にラプラス変換を適用すると(2.11)が得られる。

$$\begin{aligned} (S + \lambda'_1) \delta T_f(S) &= r' \delta Q(S) + \alpha' \delta T_c(S) \\ (S + \lambda'_2) \delta T_c(S) &= \beta' \delta T_f(S) \end{aligned} \quad (2.11)$$

式(2.11)はSについての連立方程式となっており、燃料平均温度の変動分および冷却材平均温度の変動分は、式(2.12)の形に表わされる。

$$\begin{aligned} \delta T_f(S) &= \frac{r'(S + \lambda'_2)}{S^2 + (\lambda'_1 + \lambda'_2)S + \lambda'_1 \lambda'_2 - \alpha' \beta'} \delta Q(S) \\ \delta T_c(S) &= \frac{r' \beta'}{S^2 + (\lambda'_1 + \lambda'_2)S + \lambda'_1 \lambda'_2 - \alpha' \beta'} \delta Q(S) \end{aligned} \quad (2.12)$$

ここで、 $S^2 + (\lambda'_1 + \lambda'_2)S + \lambda'_1 \lambda'_2 - \alpha' \beta' = 0$ の2根を $r'_1, r'_2$ とすると、

$$\begin{aligned} r'_1 &= \frac{1}{2} - (\lambda'_1 + \lambda'_2) + \sqrt{(\lambda'_1 - \lambda'_2)^2 + 4\alpha'\beta'} \quad (< 0) \\ r'_2 &= \frac{1}{2} - (\lambda'_1 + \lambda'_2) - \sqrt{(\lambda'_1 - \lambda'_2)^2 + 4\alpha'\beta'} \quad (< 0) \end{aligned} \quad (2.13)$$

となり、式(2.12)と式(2.13)とよりラプラス逆変換が容易な形の式(2.14)が導びかれる。

$$\begin{aligned} \delta T_f(S) &= \frac{r'}{r'_1 - r'_2} \left( \frac{\lambda'_2 + r'_1}{S - r'_1} - \frac{\lambda'_2 + r'_2}{S - r'_2} \right) \cdot \delta Q(S) \\ \delta T_c(S) &= \frac{r' \beta'}{r'_1 - r'_2} \left( \frac{1}{S - r'_1} - \frac{1}{S - r'_2} \right) \cdot \delta Q(S) \end{aligned} \quad (2.14)$$

式(2.14)に逆ラプラス変換を行い時間領域の式に直すと、積分形式での式(2.15)が式(2.4)と同様に得られる。

$$\begin{aligned} \delta T_f(t) &= \frac{r'}{r'_1 - r'_2} \int_0^t \delta Q(\tau) \left\{ (\lambda'_2 + r'_1) e^{r'_1(t-\tau)} - (\lambda'_2 + \lambda'_2) e^{r'_2(t-\tau)} \right\} d\tau \\ \delta T_c(t) &= \frac{r' \beta'}{r'_1 - r'_2} \int_0^t \delta Q(\tau) \left\{ e^{r'_1(t-\tau)} - e^{r'_2(t-\tau)} \right\} d\tau \end{aligned} \quad (2.15)$$

炉内の温度に関係した反応度変化をもたらす要因としては、次の6つが考慮されている。

- |                        |            |
|------------------------|------------|
| (イ) 燃料のドップラ反応度係数       | $\alpha_D$ |
| (ロ) 燃料の膨張による反応度係数      | $\alpha_F$ |
| (ハ) 被覆材の膨張による反応度係数     | $\alpha_B$ |
| (ニ) 冷却材温度反応度係数         | $\alpha_C$ |
| (ホ) 構造材の膨張による反応度係数     | $\alpha_S$ |
| (ヘ) 炉心下部支持板の膨張による反応度係数 | $\alpha_P$ |

式(2.9)の温度計算からも明らかのように、温度変化は燃料平均温度および冷却材平均温度のみに関してしか求められていないため、上記の6項目の反応度は、それぞれ、ドロッパ反応度、燃料膨張反応度が燃料平均温度に依存し、被覆材膨張反応度、構造材膨張反応度

が炉心部および半径方向ブランケット部の冷却材平均温度に依存し、炉心下部支持板膨張反応度が炉心入口冷却材平均温度に依存すると仮定した。よって、 $\alpha'_1 = \alpha_D + \alpha_P$ 、 $\alpha'_2 = \alpha_R + \alpha_C + \alpha_S$  と置くと、フィードバック反応度  $\rho_{fb}(t)$  は、式 (2.16) によって与えられる。

$$\begin{aligned} \rho_{fb}(t) &= \frac{r'}{r'_1 - r'_2} \int_0^t \{ Q(\tau) - Q(0) \} \left[ \left\{ \alpha'_1 (\lambda'_2 + r'_1) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \alpha'_2 \beta' \right\} e^{r'_1(t-\tau)} - \left\{ \alpha'_1 (\lambda'_2 + \lambda'_2) + \alpha'_2 \beta' \right\} e^{r'_2(t-\tau)} \right] d\tau \\ &= \frac{KGR'}{r'_1 - r'_2} \int_0^t \{ P(\tau) - P(0) \} \left[ \left\{ \alpha'_1 (\lambda'_2 + r'_1) + \alpha'_2 \beta' \right\} e^{r'_1(t-\tau)} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \left\{ \alpha'_1 (\lambda'_2 + r'_2) + \alpha'_2 \beta' \right\} e^{r'_2(t-\tau)} \right] d\tau \end{aligned} \quad (2.16)$$

ここで、

$$A = \frac{KGR'}{r'_1 - r'_2}, \quad B' = \alpha'_1 (\lambda'_2 + r'_1) + \alpha'_2 \beta', \quad C' = \alpha'_1 (\lambda'_2 + r'_2) + \alpha'_2 \beta' \quad (2.17)$$

と置き直すと、

$$\rho_{fb}(t) = A \int_0^t \{ P(\tau) - P(0) \} \cdot \left\{ B' e^{r'_1(t-\tau)} - C' e^{r'_2(t-\tau)} \right\} d\tau \quad (2.18)$$

となり、式 (2.18) において、サンプリング時刻  $t_j$  における値  $\rho_{fb}^j$  は式 (2.19) によって求めることができる。

$$\rho_{fb}^j = A \left\{ B(11_j + 13_j) - C(12_j + 14_j) \right\} \quad (2.19)$$

$$11_j = 11_{j-1} e^{r'_1 \Delta t_j} + (P_j - P_{j-1}) e^{r'_1 \Delta t_j} / (\alpha_{j-1} - r'_1)$$

$$12_j = 12_{j-1} e^{r'_2 \Delta t_j} + (P_j - P_{j-1}) e^{r'_2 \Delta t_j} / (\alpha_{j-1} - r'_2)$$

$$13_j = \frac{P_0}{r'_1} (1 - e^{r'_1 t_j})$$

$$14_j = \frac{P_0}{r'_2} (1 - e^{r'_2 t_j})$$

ただし、初期値  $11_0$ 、 $12_0$ 、 $13_0$ 、 $14_0$  は零である。

## 2.2.4 原子炉入口冷却材外乱反応度

原子炉内部以外からの外乱によって炉内の反応度に影響を与える要因としては、原子炉入口冷却材の温度変化および冷却材の流量変化に伴って起こる冷却材平均温度および燃料平均温度の変化が考えられる。

以下、冷却材の流量が変わらないで温度だけが変化した場合と、冷却材の炉入口温度は変わらないで流量だけが変化した場合の2ケースについて反応度変化を計算する方法を述べる。

### (1) 原子炉入口冷却材温度外乱による反応度変化

原子炉の炉心下部入口冷却材温度変化が起こると、炉心部および半径方向ブランケット部の出口冷却材温度もほぼ瞬時（炉心部の冷却材の平均流速は約 4 m/S で、燃料部流路長は 1.4 m であることから約 0.4 秒で炉心部を流れ抜ける）に変化すると考えられる。また変化分だけに注目すれば、入口温度変化と出口温度は等しいとみてよいので、 $T_e = (T_{out} + T_{in}) / 2$  より、 $\delta T_e = \delta T_{in} = \delta T_{out}$  となる。

一方、燃料平均温度の変化  $\delta T_f$  は、ここでは炉出力変化はないと考えるので、式 (2.20) を解けばよい。

$$(V\rho C)_i \delta \dot{T}_f = -SHh (\delta T_f - \delta T_e) \quad (2.20)$$

式 (2.20) にラプラス変換を適用して式 (2.21) を導出した後、式 (2.21) に逆ラプラス変換を適用して  $\delta T_f(t)$  を求める。ただし、初期時間  $t=0$  において  $\delta T_f=0$  とする。

$$\delta T_f(S) = \frac{\alpha'}{S + \lambda'_1} \delta T_e(S) \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \delta T_f(t) &= \alpha' \int_0^t \delta T_e(\tau) e^{-\lambda'_1(t-\tau)} d\tau \\ &= \alpha' \int_0^t \delta T_{in}(\tau) e^{-\lambda'_1(t-\tau)} d\tau \end{aligned} \quad (2.22)$$

結局、炉心部入口冷却材温度変化によってもたらされる炉内反応度変化  $\rho_{in}^T$  は、式 (2.23) によって算出される。

$$\begin{aligned} \rho_{in}^T(t) &= \alpha_p \cdot \delta T_{in}(t) + \alpha'_2 \delta T_{in}(t) + \alpha'_1 \cdot \alpha \int_0^t \delta T_{in}(\tau) e^{-\lambda'_1(t-\tau)} d\tau \\ &= (\alpha_p + \alpha'_2) \cdot \delta T_{in}(t) + \alpha'_1 \alpha \int_0^t \delta T_{in}(\tau) e^{-\lambda'_1(t-\tau)} d\tau \end{aligned} \quad (2.23)$$

### (2) 原子炉入口冷却材流量外乱による反応度変化

原子炉入口の冷却材流量が変化した場合の炉内の冷却材平均温度、燃料平均温度の変化の計算は式 (2.10) の熱伝達方程式において発熱量の変動  $\delta Q$  を零として解けばよい。式



(2.12)の導出と同様にラプラス演算子Sを用いた伝達関数の形で書き表わすと式(2.24)となる。

$$\begin{aligned} \delta T_r(S) &= \frac{-\alpha' \beta''}{S^2 + (\lambda_1 + \lambda_2)S + \lambda_1' \lambda_2' - \alpha' \beta'} \delta w(S) \\ \delta T_o(S) &= \frac{-\beta''(S + \lambda_1)}{S^2 + (\lambda_1 + \lambda_2)S + \lambda_1' \lambda_2' - \alpha' \beta'} \delta w(S) \end{aligned} \quad (2.24)$$

ただし、

$$\beta'' = \frac{C(T_{out,0} - T_{in,0})}{(A H \rho C)_c}$$

式(2.24)は式(2.12)とほぼ同じ形をしており、ここでも式(2.16)の導出と同様の手順で式(2.25)を得ることができる。

$$\begin{aligned} \rho_{in}^W(t) &= \frac{-\beta''}{r_1' - r_2'} \int_0^t \{W(\tau) - W(0)\} \cdot \left[ \left\{ \alpha_1' \alpha' + \alpha_2' (\lambda_1 + \lambda_1') \right\} e^{r_1'(t-\tau)} \right. \\ &\quad \left. - \left\{ \alpha_1' \alpha' + \alpha_2' (\lambda_1 + \lambda_2') \right\} e^{r_2'(t-\tau)} \right] d\tau \end{aligned} \quad (2.25)$$

原子炉入口冷却材外乱による反応度変化は、温度外乱による反応度変化と流量外乱による反応度変化の重ね合せとして考え、 $\rho_{in}(t) = \rho_{in}^T(t) + \rho_{in}^W(t)$ とする。よって、

原子炉入口冷却材外乱による反応度変化は式(2.26)によって算出できる。

$$\begin{aligned} \rho_{in}(t) &= \rho_{in}^T(t) + \rho_{in}^W(t) \\ &= \alpha_2' \delta T_{in}(t) + \alpha_1' \alpha' \int_0^t \{T_{in}(\tau) - T_{in}(0)\} e^{-\lambda_1'(t-\tau)} d\tau \\ &\quad + \Lambda'' \int_0^t \{W(\tau) - W(0)\} \cdot \left\{ B'' e^{r_1'(t-\tau)} - C'' e^{r_2'(t-\tau)} \right\} d\tau \end{aligned} \quad (2.26)$$

ただし、

$$\Lambda'' = \frac{-\beta''}{r_1' - r_2'}, \quad B'' = \alpha_1' \alpha' + \alpha_2' (\lambda_1 + r_1'), \quad C'' = \alpha_2' \alpha' + \alpha_2' (\lambda_1 + r_2')$$

式(2.26)において、 $T_{in}(t)$ および $W(t)$ は、サンプリング間隔において変化がないと考え、 $t_j < t \leq t_{j+1}$ においては $t_j$ における測定値 $T_{in,j}$ 、 $W_j$ を用いる。よって、サンパ

リング時間 $t_j$ における反応度変化は、式(2.27)により算出される。

$$\begin{aligned} \rho_{in,j} &= \alpha_2' (T_{in,j-1} - T_{in,0}) + \alpha_1' \alpha' \left\{ I C 1_{j-1} - \frac{T_{in,j-1}}{\lambda_1'} e^{-\lambda_1' t_{j-1}} + \frac{T_{in,j-1}}{\lambda_1'} \right\} \\ &\quad + \Lambda'' \left\{ B'' \left\{ I W 1_{j-1} + \frac{W_{j-1}}{r_1'} e^{r_1' t_{j-1}} - \frac{W_{j-1}}{r_1'} \right\} \right. \\ &\quad \left. - C'' \left\{ I W 2_{j-1} + \frac{W_{j-1}}{r_2'} e^{r_2' t_{j-1}} - \frac{W_{j-1}}{r_2'} \right\} \right\} - \alpha_1' \alpha' \frac{T_{in,0}}{\lambda_1'} (1 - e^{-\lambda_1' t_j}) \\ &\quad + \Lambda'' W_0 \left\{ \frac{B''}{r_1'} (1 - e^{r_1' t_j}) - \frac{C''}{r_2'} (1 - e^{r_2' t_j}) \right\} \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$I C 1_0 = I W 1_0 = I W 2_0 = 0$$

なお、式(2.27)で用いている炉心部入口Na温度 $T_{in,j}$ の値は、炉心下部プレナムでのA、B両ループのNaの混合を考慮して式(2.28)に示す混合の式より求める。

$$(V \rho C)_p \dot{T}_{in} = C_{Na} \left\{ W^A T_{in}^B + W^B T_{in}^A - T_{in} (W^A + W^B) \right\} \quad (2.28)$$

ただし、

$(V \rho C)_p$  : 炉心下部プレナムの体積、Na密度、Naの比熱  
 $W^A, W^B$  : AループおよびBループからの流入Naの重量流量  
 $T_{in}^A, T_{in}^B$  : AループおよびBループからの流入Naの温度

炉容器入口のNa温度および流量変化による炉心入口部のNa温度変化は、炉容器入口Na温度変化のみによる炉心入口部のNa温度変化と流量変化のみによる温度変化に分けて考え、両者が同時に起った場合は重ね合せによって求める。

(i) 炉容器入口Na温度変化による炉心入口Na温度変化

定常状態からの変動分に対する方程式は式(2.29)によって与えられる。

$$\begin{aligned} (V \rho C)_p \delta \dot{T}_{in} &= C_{Na} \left\{ \delta W^A \cdot T_{in,0}^A + \delta W^B \cdot T_{in,0}^B - (\delta W^A + \delta W^B) T_{in,0} \right. \\ &\quad \left. + \delta T_{in}^A \cdot W_0^A + \delta T_{in}^B \cdot W_0^B - \delta T_{in} (W_0^A + W_0^B) \right\} \end{aligned} \quad (2.29)$$

式(2.29)を基礎式として、原子炉入口Na流量の変動を零とすれば原子炉入口Na温度の変動を表わす式が得られる。

$$(V \rho C)_p \delta \dot{T}_{in}^T = C_{Na} (\delta T_{in}^A \cdot W_0^A + \delta T_{in}^B \cdot W_0^B - \delta T_{in}^T \cdot W_0) \quad (2.30)$$

式 (2.30) において、サンプリング時間  $t_j$  と  $t_{j+1}$  の間における各プロセス量はサンプリング時間  $t_j$  における値に等しいとすると、式 (2.10) から式 (2.19) の導出過程と同様に式 (2.31) を導出することができる。

$$\begin{aligned} \delta T_{in,j}^A = & \beta_1' \left\{ \left( 15_{j-1} - \frac{T_{in,j-1}^A}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} \right. \\ & \left. + \frac{T_{in,j-1}^A}{\lambda_3'} - \frac{T_{in,0}^A}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \right\} \\ & + \beta_2' \left\{ \left( 16_{j-1} - \frac{T_{in,j-1}^B}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} - \frac{T_{in,j-1}^B}{\lambda_3'} \right. \\ & \left. - \frac{T_{in,0}^B}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \right\} \end{aligned} \quad (2.31)$$

ただし、

$$\beta_1' = \frac{C_{Na} W_0^A}{(V\rho C)_p}, \quad \beta_2' = \frac{C_{Na} W_0^B}{(V\rho C)_p}, \quad \lambda_3' = \frac{C_{Na} W_0}{(V\rho C)_p}$$

$$\begin{aligned} 15_j = & \int_0^{t_j} \delta T_{in}^A(\tau) e^{-\lambda_3'(t-\tau)} d\tau \quad 15_0 = 0 \\ = & \left( 15_{j-1} - \frac{T_{in,j-1}^A}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{T_{in,j-1}^A}{\lambda_3'} - \frac{T_{in,0}^A}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 16_j = & \int_0^{t_j} \delta T_{in}^B(\tau) e^{-\lambda_3'(t_j-\tau)} d\tau \quad 16_0 = 0 \\ = & \left( 16_{j-1} - \frac{T_{in,j-1}^B}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{T_{in,j-1}^B}{\lambda_3'} - \frac{T_{in,0}^B}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \end{aligned}$$

「常陽」の原子炉入口 Na 温度の検出器は炉容器から 28m の距離にあり、管径 12B の中を 1085.6 l/hr の冷却材が流れていることからその冷却材輸送遅れ時間は約 5 秒となる。この遅れ時間 5 秒は異常反応度監視プログラムの起動周期と同じであり、1 サンプル前の取込データを演算に使用する。

(ii) 炉容器入口 Na 流量変化による炉心入口 Na 温度変化

この場合の炉心入口部の Na 温度変化を表わす式は、式 (2.29) における  $\delta T_{in}^A$ 、 $\delta T_{in}^B$  を零とおいて得られる式 (2.32) によって表わされる。

$$\begin{aligned} (V\rho C)_p \delta T_{in}^W = & C_{Na} \left\{ \delta W^A \cdot T_{in,0}^A + \delta W^B \cdot T_{in,0}^B - (\delta W^A + \delta W^B) T_{in,0} \right. \\ & \left. - \delta T_{in}^W \cdot W_0 \right\} \end{aligned} \quad (2.32)$$

式 (2.32) から、式 (2.31) の導出と同様にラプラス変換、逆ラプラス変換を施して最終的に式 (2.33) を得る。

$$\begin{aligned} \delta T_{in,j}^W = & (\beta_3 - \beta_5) \left\{ \left( 17_{j-1} - \frac{W_{j-1}^A}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{W_{j-1}^A}{\lambda_3'} \right. \\ & \left. - \frac{W_0^A}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \right\} \\ & + (\beta_4 - \beta_6) \left\{ \left( 18_{j-1} - \frac{W_{j-1}^B}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{W_{j-1}^B}{\lambda_3'} \right. \\ & \left. - \frac{W_0^B}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \right\} \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\beta_3 = \frac{C_{Na} T_{in,0}^A}{(V\rho C)_p}, \quad \beta_4 = \frac{C_{Na} T_{in,0}^B}{(V\rho C)_p}, \quad \beta_5 = \frac{C_{Na} T_{in,0}}{(V\rho C)_p}$$

$$\begin{aligned} 17_j = & \int_0^{t_j} \delta W^A(\tau) e^{-\lambda_3'(t_j-\tau)} d\tau \quad 17_0 = 0 \\ = & \left( 17_{j-1} - \frac{W_{j-1}^A}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{W_{j-1}^A}{\lambda_3'} - \frac{W_0^A}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 18_j = & \int_0^{t_j} \delta W^B(\tau) e^{-\lambda_3'(t_j-\tau)} d\tau \quad 18_0 = 0 \\ = & \left( 18_{j-1} - \frac{W_{j-1}^B}{\lambda_3'} \right) e^{-\lambda_3' t_{j-1}} + \frac{W_{j-1}^B}{\lambda_3'} - \frac{W_0^B}{\lambda_3'} (1 - e^{-\lambda_3' t_{j-1}}) \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} W^A = & \rho^A \cdot F^A / 3600 & (\text{kg/S}) \\ W^B = & \rho^B \cdot F^B / 3600 & (\text{kg/S}) \\ \rho^A = & 951.4 - 0.239 \cdot T_{in}^A & (\text{kg/m}^3) \\ \rho^B = & 951.4 - 0.239 \cdot T_{in}^B & (\text{kg/m}^3) \end{aligned}$$

$$W = W^A + W^B \quad (\text{kg} / \text{S})$$

$$F^A, F^B : \text{Na の体積流量 (測定値)} \quad (\text{m}^3 / \text{hr})$$

以上を述べた結果から、原子炉入口冷却材外乱による炉心部および半径方向ブランケット部入口に流れ込む冷却材の温度変化  $\delta T_{in}$  は、(i)および(ii)の重ね合せで表わすことができ、式 (2.34) で示される。

$$\delta T_{in} = \delta T_{in}^T + \delta T_{in}^W \quad (2.34)$$

2.2.5 燃焼反応度

原子炉は、ある炉出力で一定の時間運転した場合、原子炉の余剰反応度の低下分はその炉出力の一定時間分の時間積分値に比例する。異常反応度監視プログラムでは、燃焼反応度  $\rho_{bu}$  ( $t_j$ ) は、プログラムのイニシャルスタート時点からの炉出力の積算値に燃焼係数を乗ずる式 (2.35) によって算出している。

$$\begin{aligned} \rho_{bu}(t_j) &= C_{bu} \int_0^{t_j} P(t) dt \\ &= \rho_{bu}(t_{j-1}) + C_{bu} \cdot P_j \cdot \Delta t_{j-1} \end{aligned} \quad (2.35)$$

ただし、

$$C_{bu} : \text{燃焼反応度係数} \quad (\text{\%} / \text{MW} \cdot \text{sec})$$

$$P_j : \text{サンプリング時刻 } t_j \text{ における炉出力} \quad (\text{MW})$$

2.3 異常反応度検出法

「常態」の異常反応度監視プログラムでは、残留反応度は式 (2.2) により求めており、監視の初期においては残留反応度  $\rho_{res}$  は補正項  $\rho_0$  により零とすることが可能である。しかし、長時間の監視の間には燃焼係数の微妙なずれ、熱的なモデルの実際の物理現象との差等の要因により実測残留反応度は零から次第にずれていき、有意な値を持つことが考えられる。

予測される炉容器内での反応度変化が 2.2 の各種反応度計算モデルによって充分な精度で求めることができる場合は式 (2.2) によって求めた残留反応度のみによって異常反応度の監視が可能である。

2.3.1 推定残留反応度算出法

前項で述べたように、実測残留反応度が零近似から次第にずれていくことによる異常反応度の誤検出を避ける為、次に述べる推定残留反応度を導入した。

反応度平衡計算を開始してから、式 (2.2) によって計算される30個の時系列データから時間的な反応度の推移を 1 次式よるとして、式 (3.36) によりフィッティングを行う。

$$D_1 = \sum_{k=1}^{30} \left\{ \Delta \rho_{res}^K - (aT_K + b) \right\}^2 \longrightarrow \text{Minimum} \quad (3.36)$$

また、各反応度  $\rho_i$  ( $\rho_1 = \rho_{rod}$ ,  $\rho_2 = \rho_{fb}$ ,  $\rho_3 = \rho_{1B}$ ,  $\rho_4 = \rho_{bu}$ ) の  $\rho_{res}$  への寄与 (感度に相当する量) を30個のデータによってフィッティングし、過去の30個のデータの特徴を次の30個の推定残留反応度の計算に反映させる。この感度係数も式 (3.36) と同様に式 (3.37) より求める。

$$D_2 = \sum_{k=1}^{30} \left\{ \Delta \rho_{res}^K - \sum_{i=1}^{30} \alpha_i \Delta \rho_i^K \right\}^2 \longrightarrow \text{Minimum} \quad (3.37)$$

ただし、

$$\Delta \rho_{res}^K : K=0 \text{ のときの残留反応度からの変化分}$$

$$\Delta \rho_i^K : K=0 \text{ のときの各反応度からの変化分}$$

$$T_K : K=0 \text{ のときの時刻からの経過時間}$$

$$\alpha_i : \text{各反応度に対する感度係数}$$

以上のフィッティング結果を用いて推定残留反応度  $\rho'_{res}$  は式 (3.38) によって求められる。

$$\rho'_{res}(T_{N+1}) = \rho'_{res}(T_N) + \sum_{i=1}^4 \alpha_i \Delta \rho_i(T_{N+1}) \quad (3.38)$$

$$\rho_{res}(T_N) = aT_N + b + \rho_{res}(0)$$

なお、フィッティングに用いた時系列データと推定残留反応度との関係を示したのが図 2.1 である。

結局、異常反応度監視では式 (2.2) によって算出される残留反応度と式 (3.38) によって算出される推定残留反応度の差が判定基準値より大かどうかによって検出する。

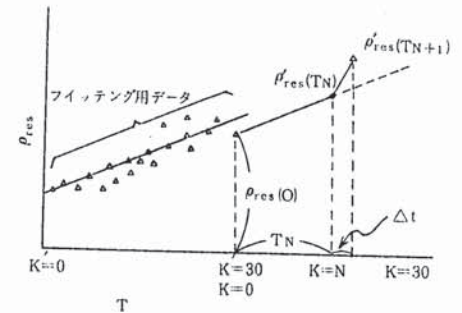


図 2.1 フィッティング用データと推定残留反応度の関係

$$\begin{aligned} |\rho_{res}(t_j) - \rho_{res}(t_j)| > \sigma & \dots\dots\dots \text{反応度異常} \\ |\rho_{res}(t_j) - \rho_{res}(t_j)| \leq \sigma & \dots\dots\dots \text{反応度正常} \end{aligned} \quad (3.39)$$

ただし、

$\sigma$ : 異常反応度検出用判定基準値 ( $> 0$ )

炉内の各反応度の予測モデルが実現象をよく表わしている場合（燃焼係数が実際の現象とよく合っている必要がある）は推定残留反応度を零とする異常反応度検出法を採用するのが望ましい。

一方データの統計的な変動による誤判定をさけるために統計的検出法も採用している。これは残留反応度の時間微分値の統計的な挙動から反応度異常の検出を行なうもので検出の基準となる時間微分値の分散  $\sigma_A^2$  は、残留反応度推定のためのフィッティングに用いた  $\rho_{res}^B$  の時間微分値から求め、また異常検出する時刻のデータを含めて過去30個のデータより分散  $\sigma_{B,j}^2$  を求め、これ等両分散  $\sigma_A^2$ 、 $\sigma_{B,j}^2$  の比より異常検出するものである。

つまり、分散を求めるための残留反応度  $\rho_{res}$  の時間微分値  $\delta\rho_{res}$  を

$$\delta\rho_{res}^K = \rho_{res}^K - \rho_{res}^{K-1}$$

によって定義し、分散  $\sigma_A^2$  は、30回の反応度計算が終了するごとに行ない、

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{k=1}^N (\delta\rho_{res}^K)^2 - \frac{\sum_{k=1}^N \delta\rho_{res}^K}{N} \right\}^2 \quad (2.40)$$

より求める。また検定用分散  $\sigma_{B,j}^2$  は、サンプリング時刻  $t_j$  におけるデータを含め過去30個のデータより、

$$\sigma_{B,j}^2 = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{k=j-29}^j (\delta\rho_{res}^K)^2 - \frac{\left( \sum_{k=j-29}^j \delta\rho_{res}^K \right)^2}{N} \right\} \quad (2.41)$$

を計算し、 $\sigma_{B,j}^2$  と  $\sigma_A^2$  の比  $f$  がある値（分散を求めた際のデータ数  $N$  を危険率  $\alpha$  によって決まる値）より大きい場合は異常となる。

### 2.3.2 異常反応度の原因判定法

異常反応度監視プログラムにおいて、異常な反応度を生じる原因としては、残留反応度計算に用いている各種プロセス量（調整棒位置、原子炉入口 Na 温度流量）の変化による当然予測されうる炉内の変化以外の炉内に反応度変化を生じさせる何らかの異常によるもの、残留反応度計算に用いる各種プロセス量の計測系に何らかの異常によるもの、あるいは残留反応度計算に用いている反応度計算モデルが実際の物理的な現象を十分に表わせないためによるものの3種類に分類して考えることができる。

本異常反応度監視プログラムでは、各プロセス量に定常状態からの有意な変化があったか

どうかを各残留反応度計算周期ごとに見ており、各プロセス量に有意な変化が認められない場合を“0”、有意な増加が認められた場合を“+1”、有意な減少が認められた場合を“-1”に対応させて図1に示す信号パターンを作っている。図2.1に示す4種類の信号パターンの間には「常陽」特有の物理的な因果関係があり、図2.1の右上表に示すように8種類の異常反応度発生要因を考えることができ、原因判定数NDが“±8”が前述の炉内の何らかの異常発生によるもの（中性子検出系 CH.6、CH.7、CH.8に異常が生じた場合にも同一の判定となる），“±1”、“±2”、“±4”がプロセス量の計測系の何らかの異常発生によるもの、“0”、“±6”、“±9”、“±12”反応度計算モデルが十分に正しくないことによるものの3種類に分類される。

上記3番目分類される反応度計算モデルの不正確さのために異常反応度が検出されるものは本来異常としては検出されるべきものではなく、反応度の計算モデルを実際の物理現象を正確に表現できるように修正されればこの種の異常は検出されなくなる性格のものである。

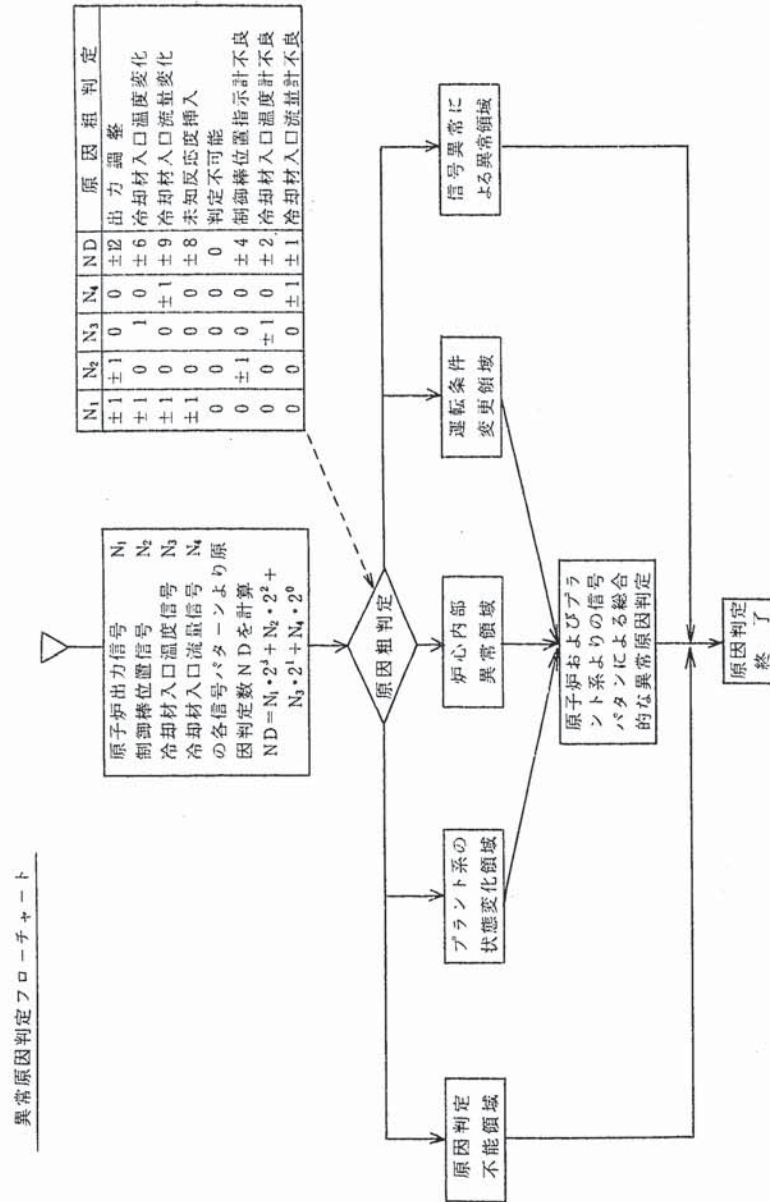


図 2.1 異常反応度発生原因判定フロー

### 3. 異常反応度監視プログラムの検証試験と結果

本報告の第2章で述べたように、異常反応度監視システムでは、調整棒引抜、挿入に伴う反応度変化、原子炉入口冷却材温度流量変化に伴う反応度変化、炉出力の変化に伴う反応度変化等あらかじめ予想される反応度変化をもたらす運転上の何らかの変化に対しては残留反応度は原理的に零となる。よって、実際に「常陽」の出力運転状態の変化する種々の条件において監視プログラムを実行させ、その性能を確認した。以下、その検証試験の結果とその結果についての検討内容について述べる。

#### 3.1 制御棒小反応度投入試験

本試験は、「常陽」の50MW定常出力運転状態における炉出力調整（2回/日）時の調整棒の小引抜（約1mm）に伴う異常反応度監視プログラムによる各種反応度変化の計算結果を調べたものである。

「常陽」では、熱出力50MWで一定運転した場合、1日について約1.5%の燃料の燃焼に伴う余剰反応度の減少がある。この余剰反応度の減少による熱出力の低下を補償するために調整棒1本を半日に1回約1mm引抜き操作が行われる。Fig. 3.1は、上記の出力調整の際の異常反応度監視プログラムによる時間的な各種反応度の演算結果をグラフにしたものである。

Fig. 3.1から明らかなように、調整棒#2の約2mmの引抜きに伴って炉出力Pが上昇し始め引抜と同時に動特性反応度に急変が見られる。動特性反応度は調整棒が引抜かれたと同時に付加された反応度相当の値を示すはずであるが、同図においてその値が小さいのはグラフで示した値が10秒間隔のもので、その最大値が示されていないためである。しかも、反応度の計算周期が5秒であることから、反応度を投入したタイミングとプログラムのデータ取込みタイミングが一致しないことがその一要因となっている。

Fig. 3.1の⑤のグラフは調整棒反応度（2本の調整棒の全挿入を零とし、全挿入からの引抜き量に相当する等価反応度の2本の合計を示している）の変化を示したもので、約1%の反応度が炉内に投入されたことを示している。この反応度外乱に対して、本報告での最も重要な監視量である残留反応度はFig. 3.1の④のグラフで示すように約0.5%のゆるやかな変化はしているが、予想される反応度外乱に対してはこのように残留反応度の大きな変化は現われない。この結論は本実験のように小反応度外乱に対しては明確なものとは言えないが、この後で述べる結果からそのことが裏付けられる。

#### 3.2 炉出力変更試験

Fig. 3.2は、「常陽」における炉出力50MW一定運転から40MWへの炉出力変更の際の異常反

応度監視プログラムによる監視結果を示したものである。同図において、①から④までの各グラフは、それぞれ調整棒等価反応度、炉出力（核計装計による指示値）、残留反応度、トップラール反応度（燃料平均温度変化から算出）を示している。炉内に約18%もの反応度が投入されたにもかかわらず、残留反応度の変化は最大で約1%であり、調整棒の反応度外乱に対しては実際の炉内での反応度変化の挙動を監視プログラムが良く予測していることがわかる。つまり、調整棒反応度に関しては6次式のフィッティング式が実際の反応度変化を良く表わしていると同時に、炉内のフィードバック反応度等の計算も比較的精度が良いと言える。

### 3.3 原子炉入口冷却材外乱試験

#### 3.3.1 原子炉入口冷却材温度外乱試験

「常陽」の場合、炉内における冷却材の温度反応度係数は負であるため、原子炉入口冷却材温度が上昇すると負の反応度が炉心に加わり、原子炉出力は低下する。A、B両ループの冷却材温度制御系の温度設定点を同時に5℃増加させた場合の異常反応度監視システムによる各種反応度変化の推定過程を示したのがFig. 3.3(1)、(2)である。このような原子炉入口冷却材温度の変化に対しては、④の残留反応度は零となるべきである。しかし、図から明らかのように、冷却材の温度外乱が入ってから5分後には約1～1.5セントの残留反応度が発生しており、炉内における実際の反応度変化の大きさを推定する反応度係数あるいは伝熱モデルに何らかの誤りのあることが予想された。

改めて反応度計算に用いた各種温度反応度係数、伝熱モデル等の見直しをした結果、原子炉炉心下部支持板の膨張反応度係数を考慮していないことがわかった。この炉心下部支持板の膨張は原子炉入口冷却材温度変化に対して直接的な影響を受けるものであり、上記の残留反応度の大きさを逆に炉心下部支持板の膨張反応度係数から補正し直してみると残留反応度はほぼ零となることが明らかとなった。

上記の炉心下部支持板膨張反応度効果を考慮できるよう異常反応度監視プログラムの修正を行なった。（昭和54年2月）後、原子炉入口冷却材温度を約15℃低下させる（原子炉出力は約50MWで一定保持）試験時に原子炉入口冷却材温度外乱に対する異常反応度監視システムの再検証を試みた。

Fig. 3.4(1)、(2)は約3時間にわたって続けられた原子炉入口冷却材温度変化時の各種反応度変化の計算値および原子炉出力等を示したものである。同図において、④の残留反応度は②の原子炉入口冷却材外乱による反応度変化が約11セントと比較的大きな変化にもかかわらず±1セント以内の変化にとどまっている。このことは、炉心下部支持板膨張反応度効果を考慮したことにより、炉心入口冷却材温度変化に対する炉内の反応度変化の推定計算が約±1セントの精度で実行できていることを裏付けるものでもある。

#### 3.3.2 原子炉入口冷却材流量外乱試験

原子炉入口冷却材外乱としては、3.3.1で述べた温度外乱の他に流量外乱が考えられる。Fig. 3.5はこの原子炉1次系冷却材流量の変化（80%流量から100%流量への変化）に対する異常反応度監視結果を示したものである。同図において、①は1次系のA、B両ループ合計の冷却材流量変化を示したものであり、②はその時の炉心入口冷却材温度をA、B両ループの原子炉入口冷却材温度の測定値から計算によって求めたものである。④で示す反応度は残留反応度で、炉心入口冷却材温度が約2～3℃の変化にもかかわらず約3セントを越す大きな変化となって表われている。この試験時においては、3.3.1で述べた炉心下部支持板の膨張反応度効果が考慮されてなく、残留反応度が零から逸脱する一要因となることが十分考えられるが、その大きさは、1セント未満である（炉心下部支持板膨張反応度係数は約0.2セント/℃）。Fig. 3.5の③は原子炉入口冷却材外乱に起因する炉内でのトータル反応度変化を計算したものであるが、この図からわかるように、流量変化にはほぼ比例して正の反応度変化を示している。この反応度変化は、原子炉入口冷却材温度変化によるものではないことは明らか（反応度変化の符号が逆）であり、この原因は流量が増加したことによる炉心部平均冷却材温度計算値の過大評価によるものと推定できる。

原因は流量変化に対する炉心部平均冷却材温度変化計算に用いる熱伝達率が正しくないためと考えられる。

### 3.4 未知反応度投入試験

異常反応度監視システムは、ここで述べる炉内での未知反応度を如何に高精度、高感度で検出するかに主眼を置いたものであり、この試験の結果が本監視システムの性能を決めるものとなる。未知反応度投入試験としては、炉内に正弦波状の小反応度を投入するパイルオシレータ試験（パイルオシレータによる反応度が異常反応度監視システムにとっては未知反応度として検出される）「常陽」の50MWから60MWへの出力上昇試験の機会に性能確認のためのデータを得ることができた。下記にその二つの試験時に得られた結果について述べる。

#### 3.4.1 パイルオシレータ試験

「常陽」のパイルオシレータ装置は、炉内のある集合体内の中性子吸収体を回転プラグ上に据付けた駆動機構によって回転させ、炉内に正弦波状の反応度外乱を与えるものである。パイルオシレータ試験は数Hzから0.001Hzまでの周波数範囲に渡って実施され、この試験時に合わせて異常反応度監視プログラムを起動し、0.01Hzから0.001Hzの4種類の周波数に対する未知反応度検出データを得ることができた（周波数が0.1Hzより高いものに対しては、異常反応度監視の周期が5秒であることと、データの印字間隔が10秒で固定であるためデータを得ることはできない）。

未知反応度投入用として使用するオシレータロッドの回転角度に対する等価反応度の計算

値および測定値はFig. 3.6に示す通りであり、約±3.5セントの反応度変化幅を持っていることがわかる。この試験では、上記の±3.5セントの正弦波状の反応度変化を未知反応度としてどの程度の精度で検出できるかが問題となる。異常反応度監視システムでは、0.01Hz～0.001Hzの間で4点の周波数に対して未知反応度検出を読み、Fig. 3.7からFig. 3.9に代表結果を示す。各図を参照して明らかになるように、未知反応度に相当する残留反応度はオシレータクロックの反応度測定値に非常に良く一致しているのが認められる。

Fig. 3.9において、破線の部分はラインプリンタによる印字出力の抜けた部分であって、計算機内処理としては結果は存在するものである。また、同図において、オシレータクロックの回転周波数が0.001Hzとかなり低周波の反応度変化にもかかわらず残留反応度の時間的な変化はかなり正確に正弦波状となっていることがわかる。

Fig. 3.10は、バイロオシレータ試験時にオシレータクロックによる炉心内投入反応度を異常反応度監視システムが未知反応度として検出し、カラーCRTに表示している状態を示したものである。

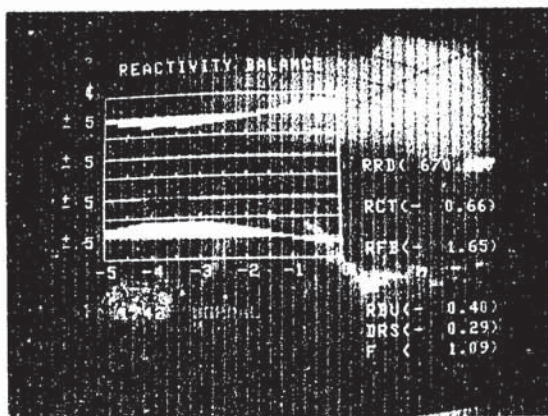


Fig. 3.10 CRT Display of Unknown Reactivity Detected by the Anomalous Reactivity Detection System

本試験の結果、バイロオシレータクロックによる未知反応度を約10%の精度で推定できることが確認された。この推定精度は現段階では十分と考える。

### 3.4.2 55MWから60MW出力上昇試験時未知反応度検出

バイロオシレータ試験時の既知の反応度を未知反応度として検出する精度確認試験の後、原子炉出力を55MWから60MWに上昇させる出力上昇試験の際、本異常反応度監視システムの本来の目的である全く未知の反応度を検出するという機会を得、そのデータを探ることに成功した。

Fig. 3.11(1)、(2)はその時の出力上昇過程における調整棒引抜反応度①、炉出力②、炉入口冷却材外乱反応度③、残留反応度④の挙動を示したものである。この図から、55MWの炉出力上昇の過程で約7Sもの負の反応度が未知反応度として炉内に加わったことを示しており、炉出力の上昇に比例して負の反応度が加わったというより、比較的不連続な形で反応度変化があった感じをうける。

この未知反応度の要因については、集合体の再設置に伴うものではないかという推測等があるが、明確な結論は得られていない。今後この面での解析が進めば、解析によって上記の未知反応度の時間的挙動を再現できる可能性がある。

### 3.5 50MW時連続監視

原子炉出力50MW一定運転において、残留反応度が最大どの程度まで変化する可能性があるかを調べるため異常反応度検出用判定値を大きな値とし、システムの連続運転を実施した。

上記の連続ランの結果、残留反応度は正常運転状態において、ほぼ2セント以内の変動であることが確認された。ただし、各サイクルにおいて入力する各種反応度計算用の定数にディペンデンスするため、2セント以上の変動が起る可能性が零ではない。

Fig. 3.12は約1時間にわたる実測残留反応度と推定残留反応度の挙動を示したものであり、残留反応度は平均的には約1セントを示していることがわかる。また、最大値は2セント以内を示していることが確認される。

推定残留反応度に関しては、実測した残留反応度から1次式フィッティングにより求めており1次式フィッティング係数を求める段階でマトリックスの縮退と考えられる現象により現実的でない推定残留反応度を計算する現象があることが認められた。このことから、異常反応度監視においては、推定残留反応度と実測残留反応度の差の絶対値で異常を検出する方法にはまだ検討の余地がありそうである。

- 24 -

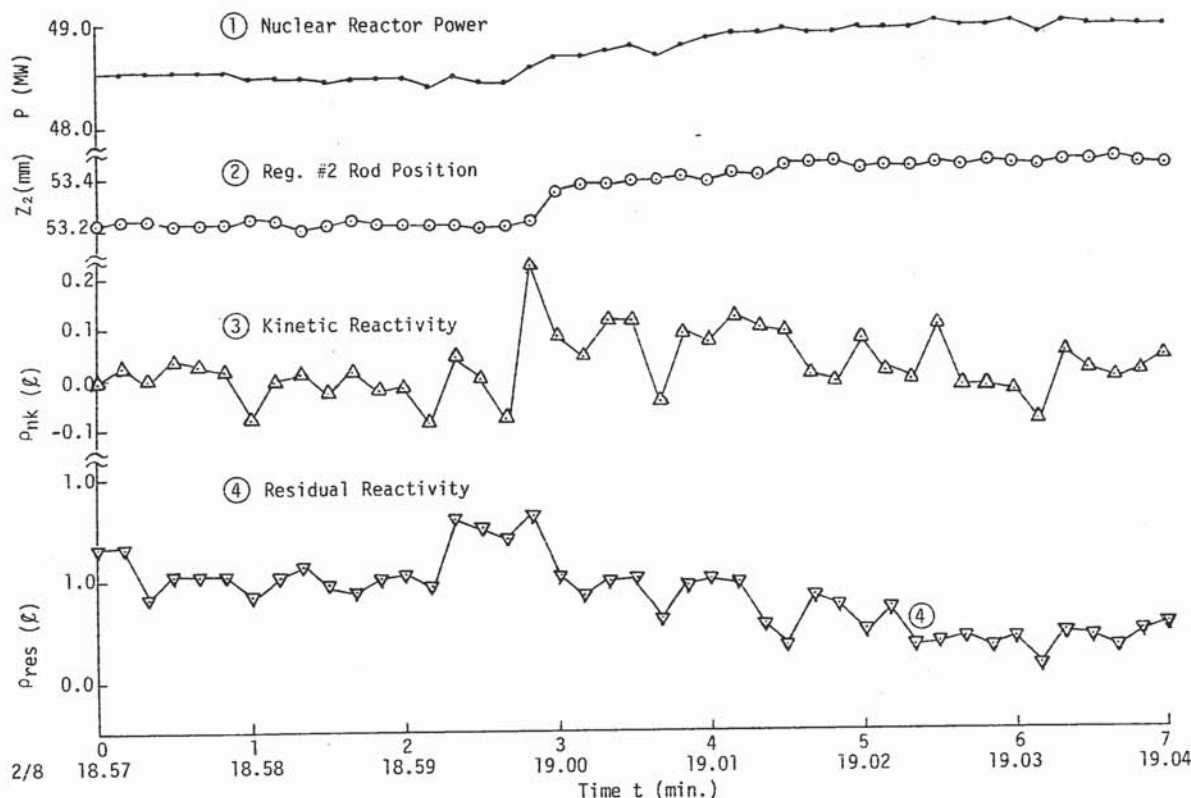


Fig. 3.1 Small Reactivity Change by Regulating Rod (1)

- 25 -

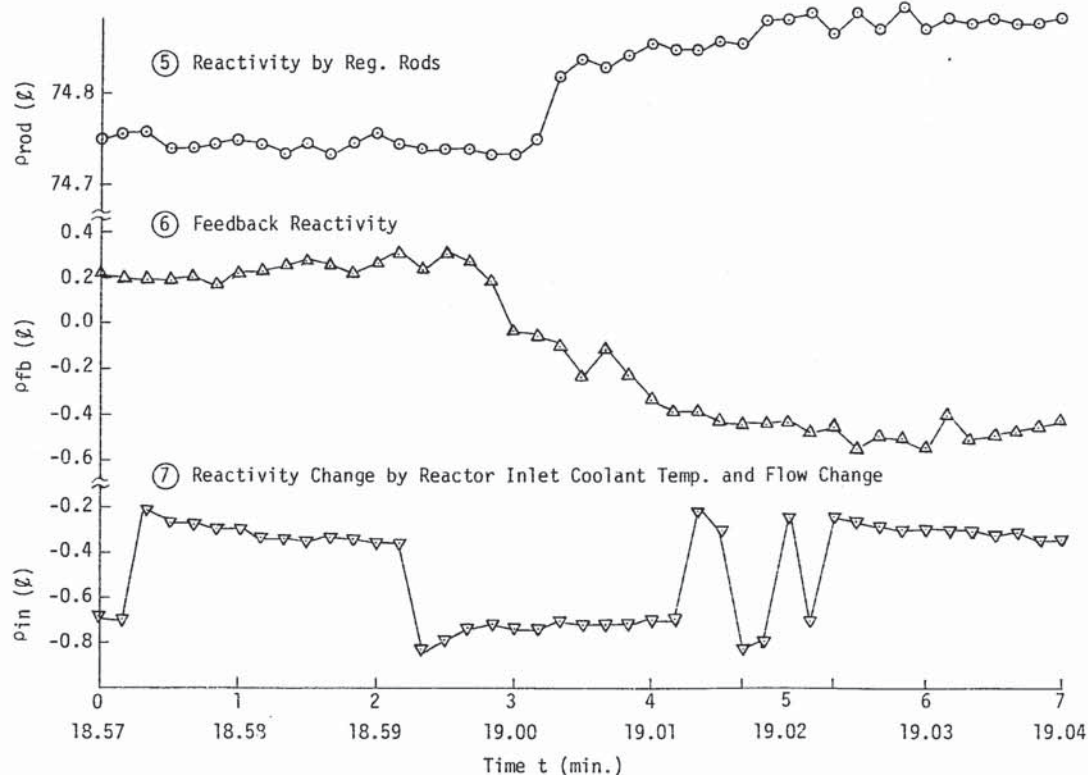


Fig. 3.1 Small Reactivity Change by Regulating Rod (2)



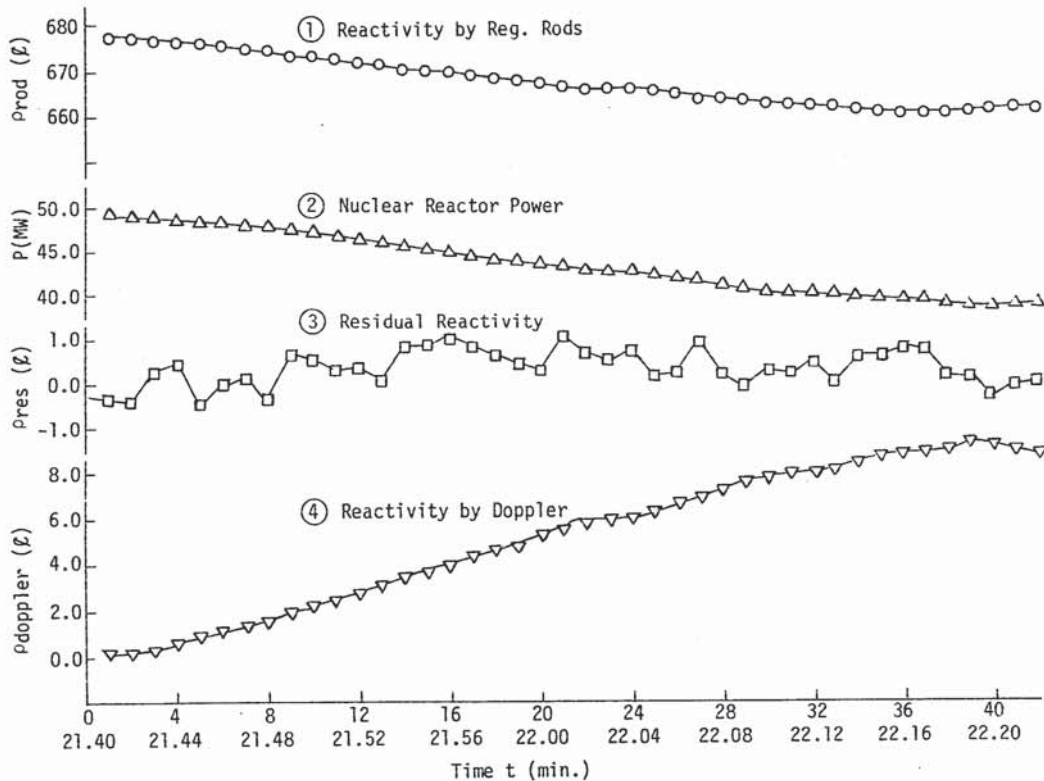


Fig. 3.2 Reactor Power Change (50MW → 40MW)

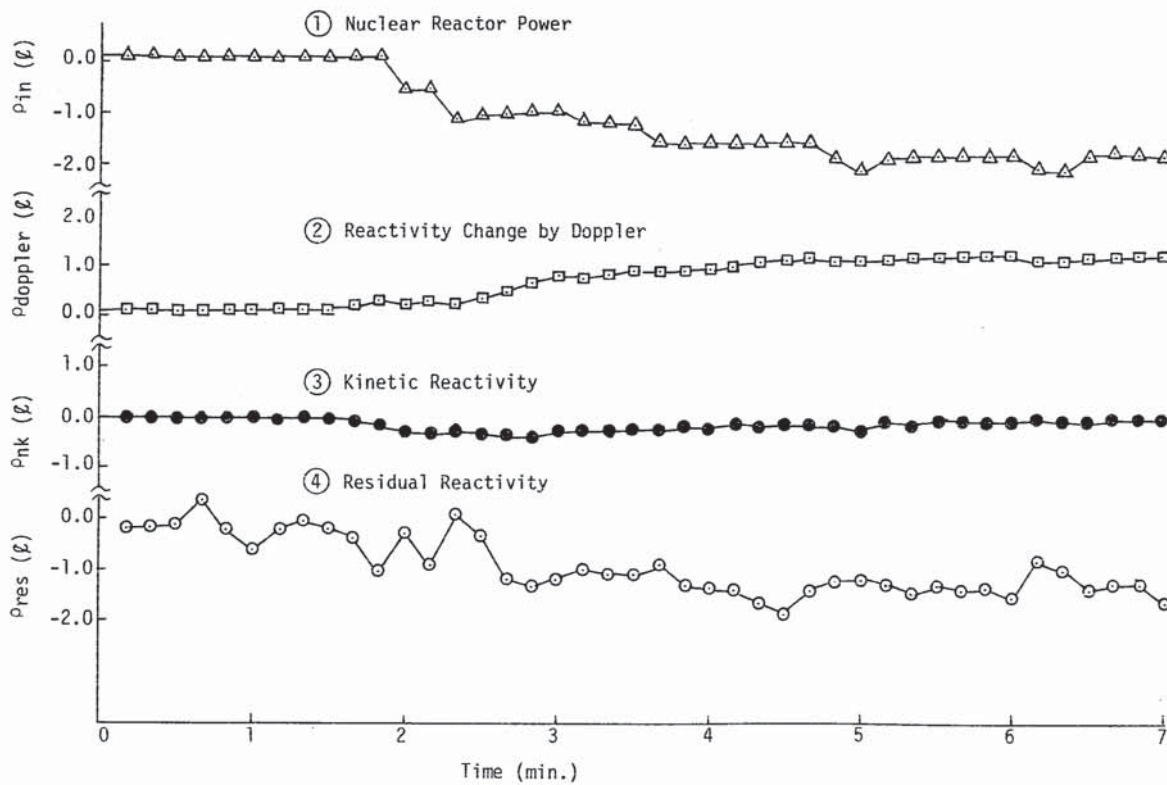


Fig. 3.3 Reactor Inlet Na Temp. Change (+5°C) (1)

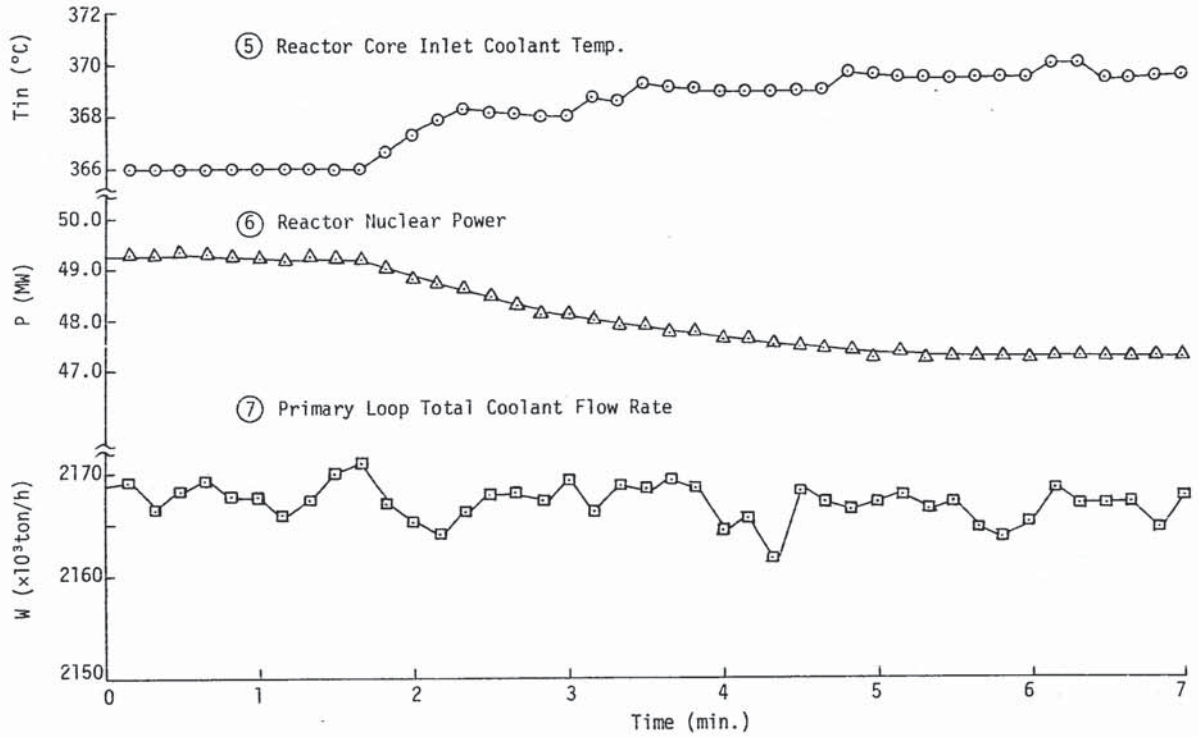


Fig. 3.3 Reactor Inlet Na Temp. Change (+5°C) (2)

- 28 -

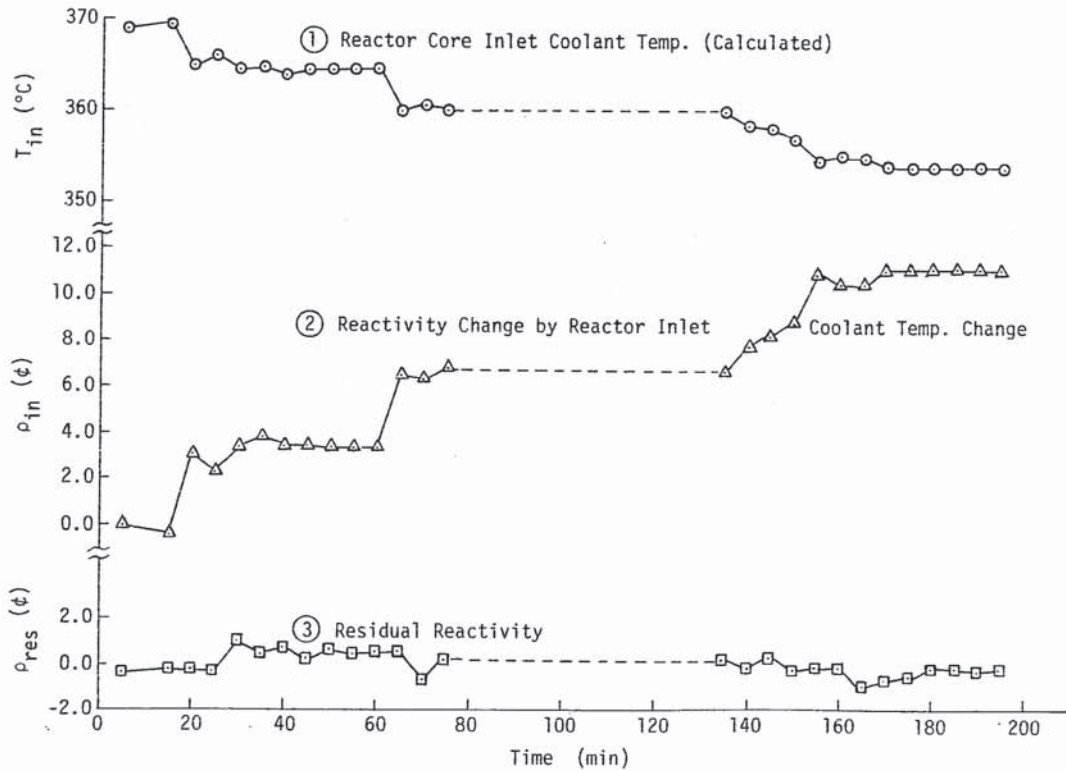


Fig. 3.4 Reactor Inlet Na Temp. Change (-15°C) (1)

- 29 -

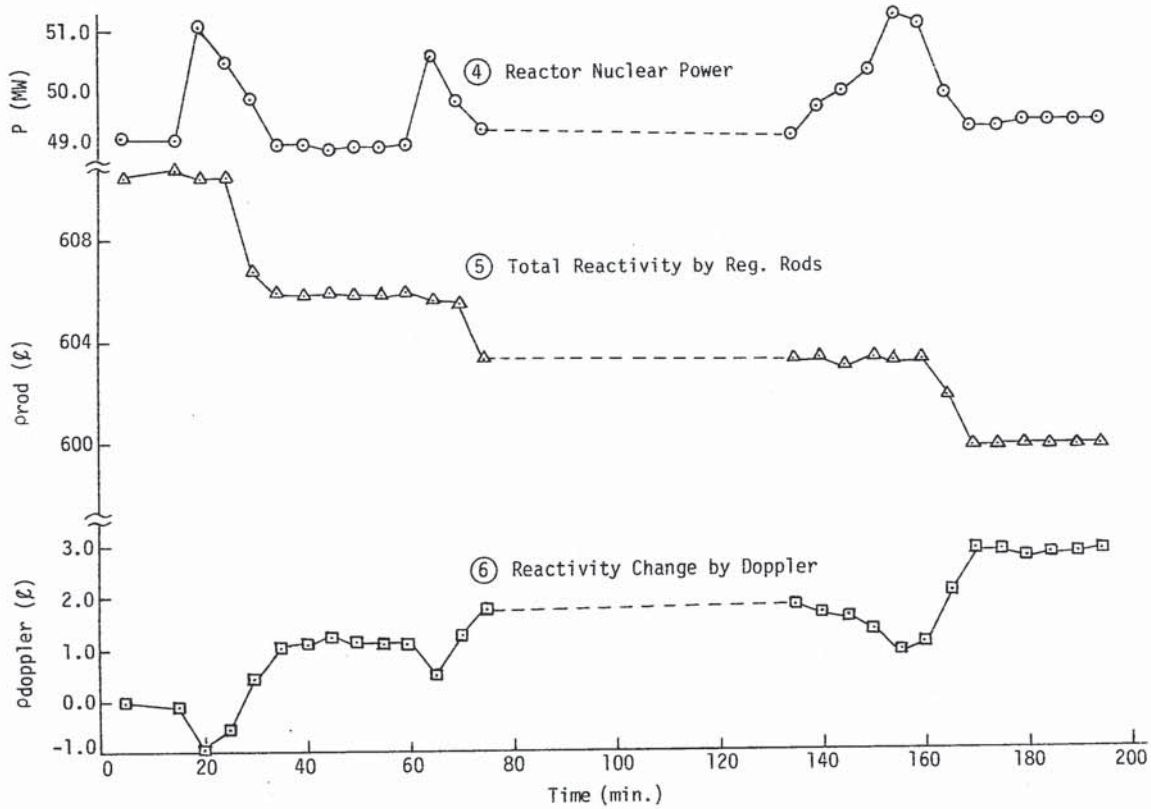


Fig. 3.4 Reactor Inlet Na Temp. Change (-15°C) (2)

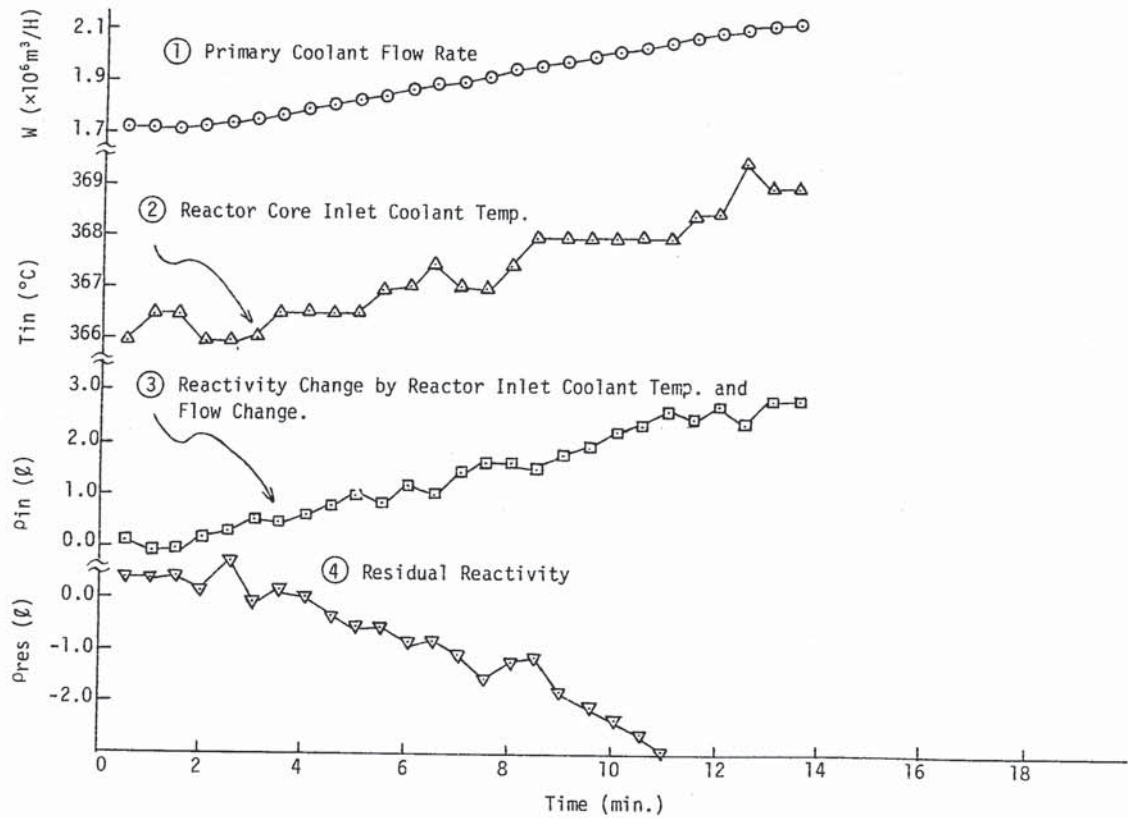


Fig. 3.5 Primary Coolant Flow Rate Change (80%→100%)

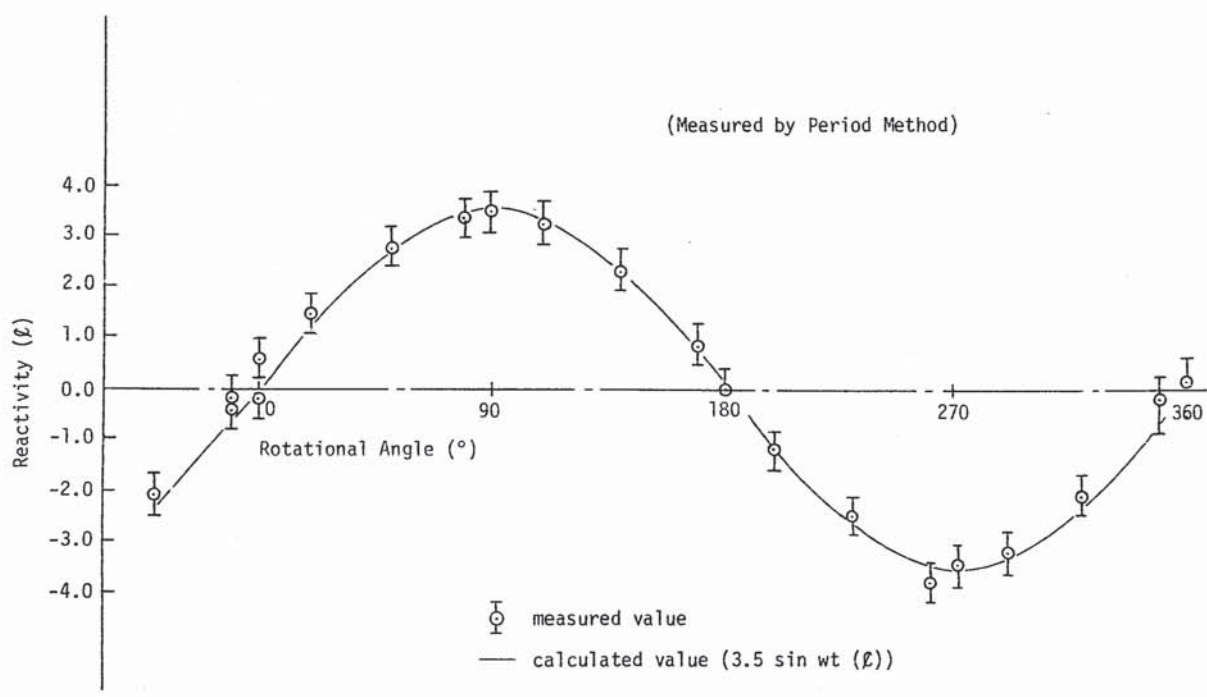


Fig. 3.6 Result of Oscillator Rod Worth Reactivity Measurement

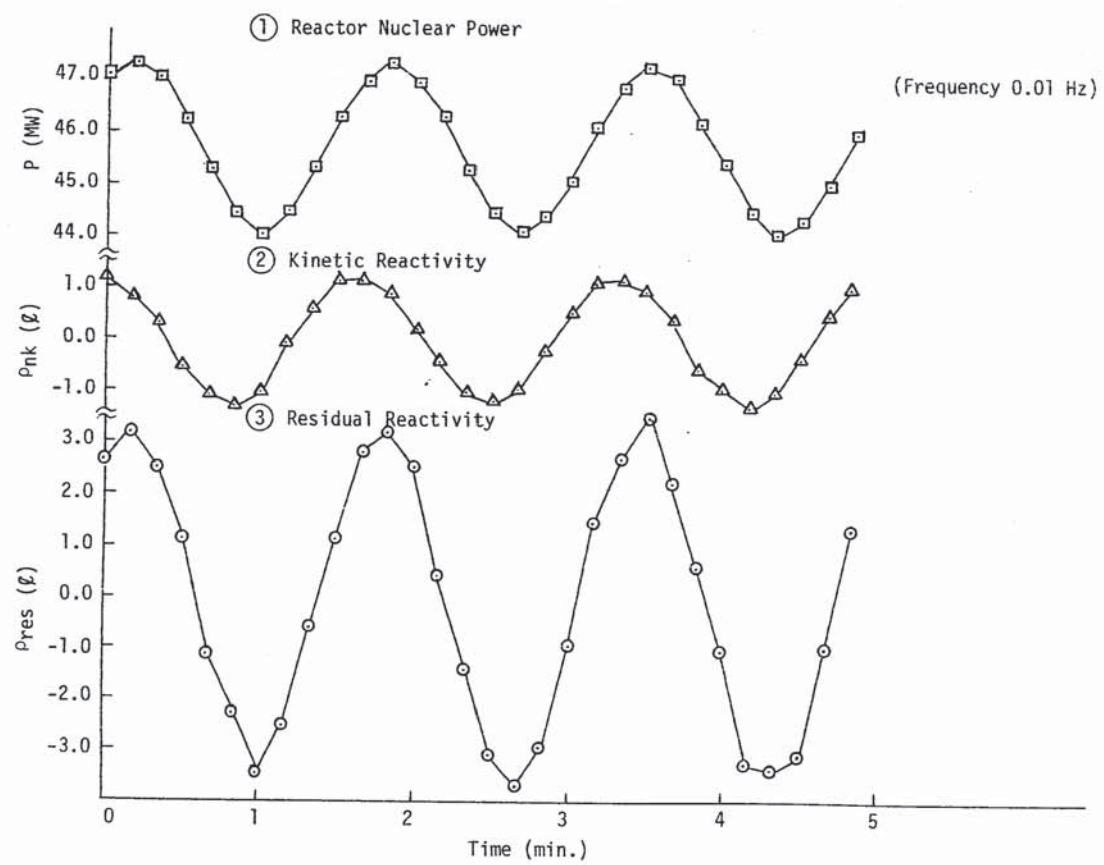


Fig. 3.7 Reactivity Changes for 0.01 Hz Oscillation Test (1)

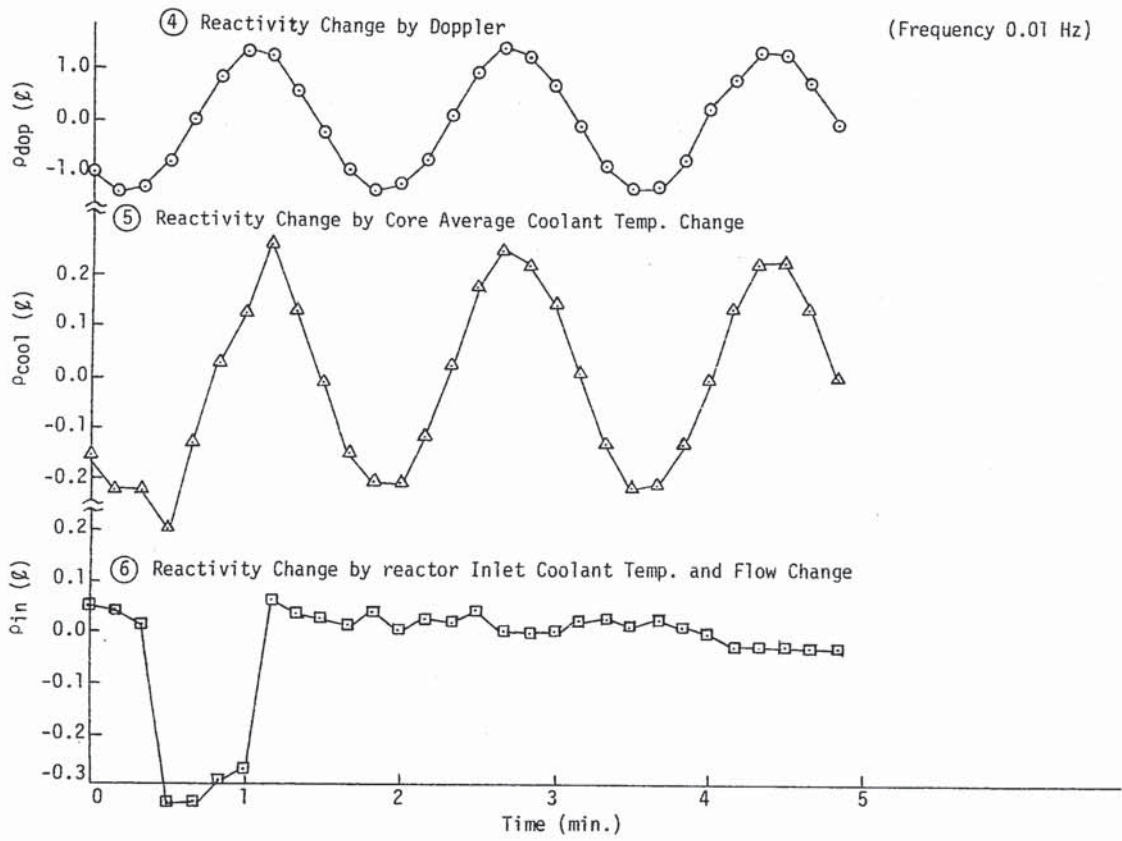


Fig. 3.7 Reactivity Changes for 0.01 Hz Oscillation Test (Z)

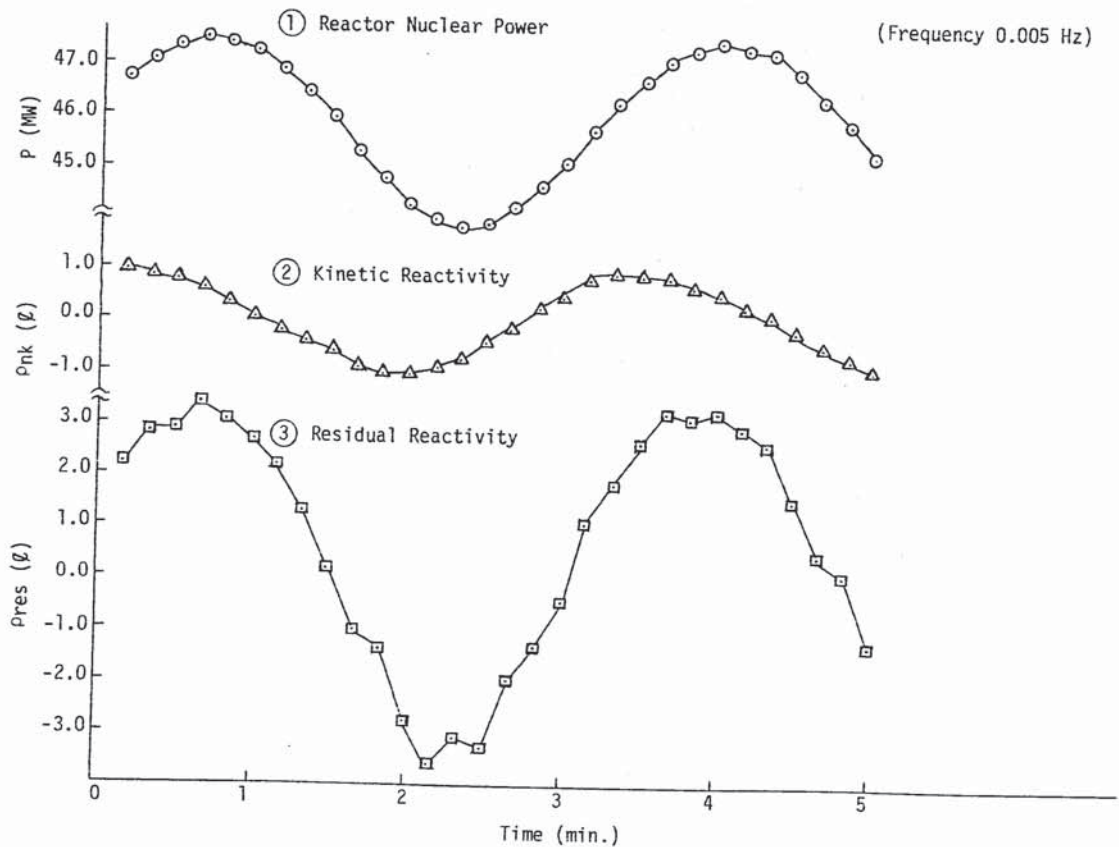


Fig. 3.8 Reactivity Changes for 0.005 Hz Oscillation Test

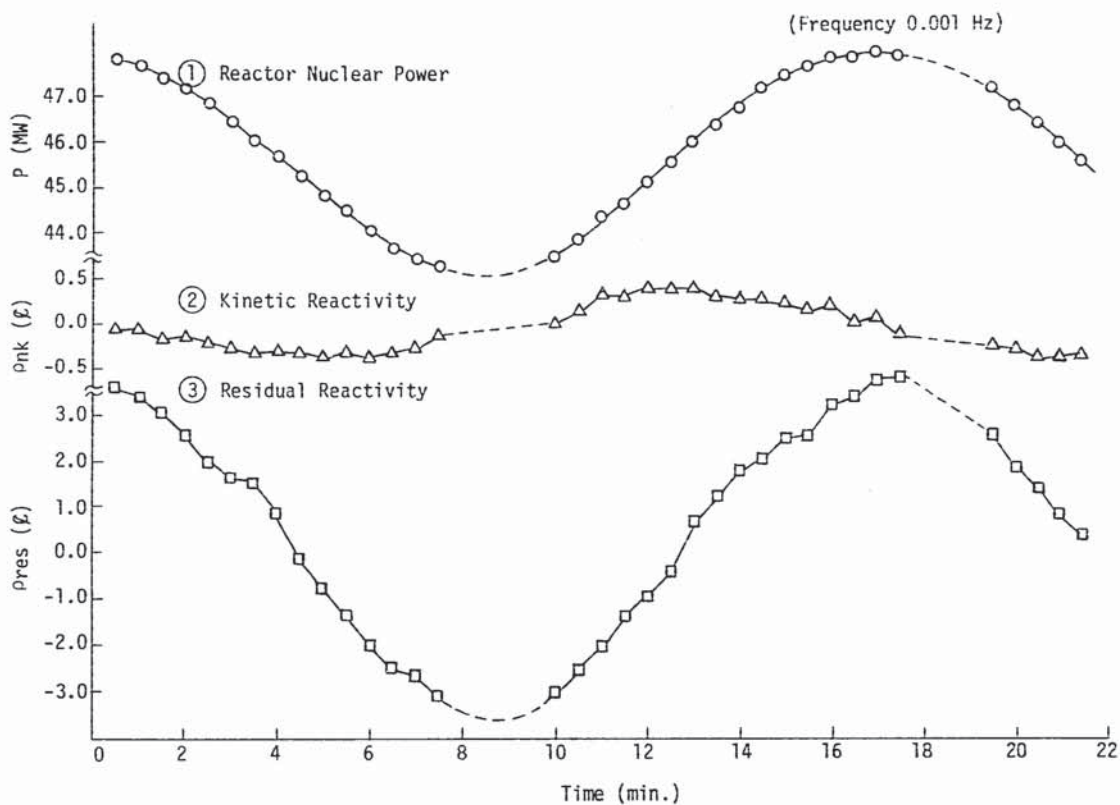


Fig. 3.9 Reactivity Changes for 0.001 Hz Oscillation Test (1)

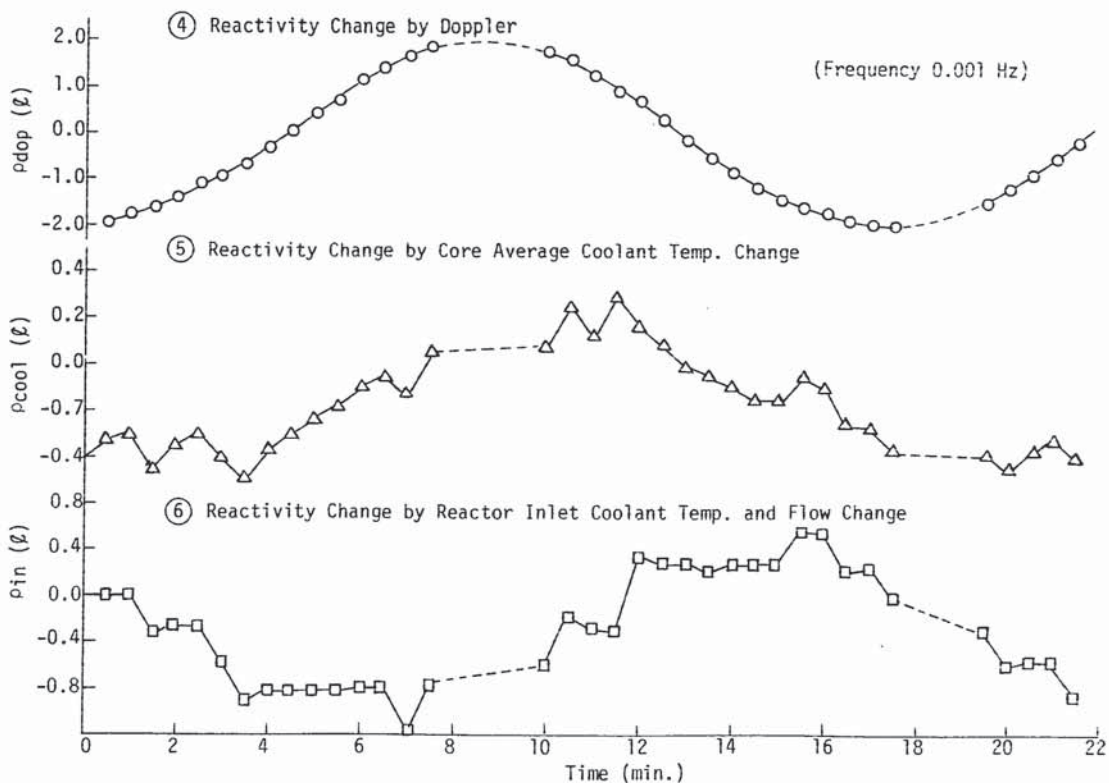


Fig. 3.9 Reactivity Changes for 0.001 Hz Oscillation Test (2)

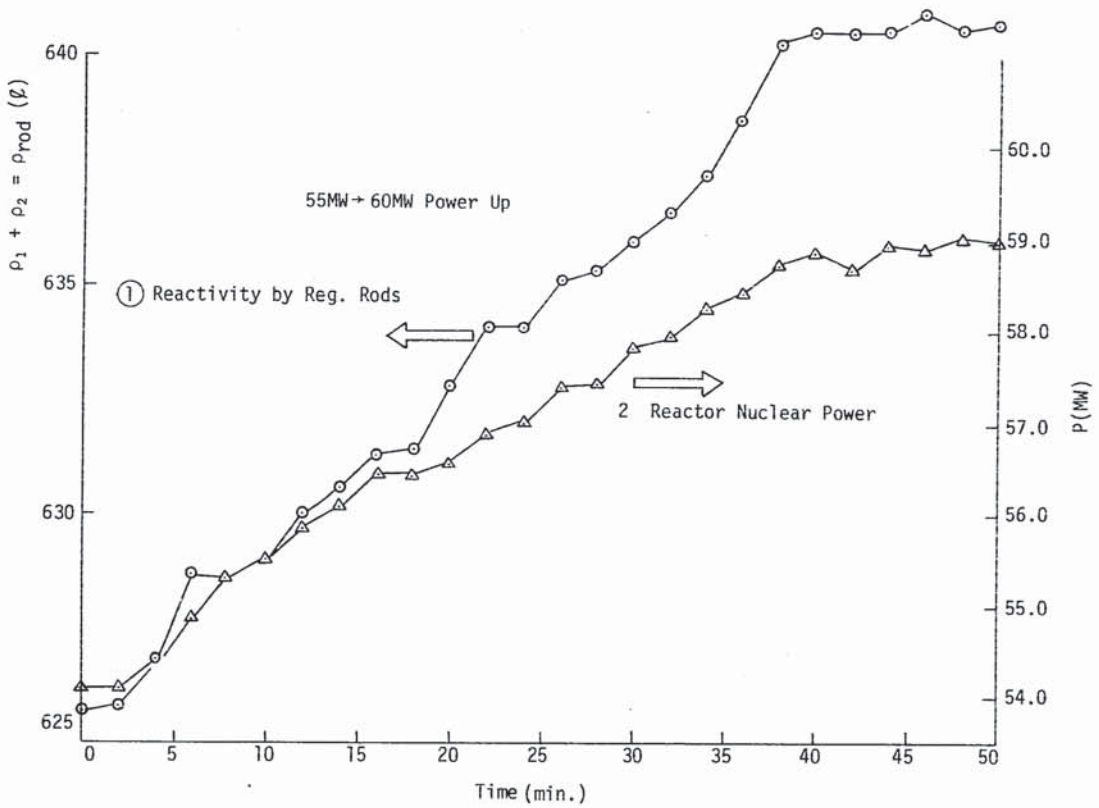


Fig. 3.11 Unknown Reactivity Detection at Power Up Test (1)

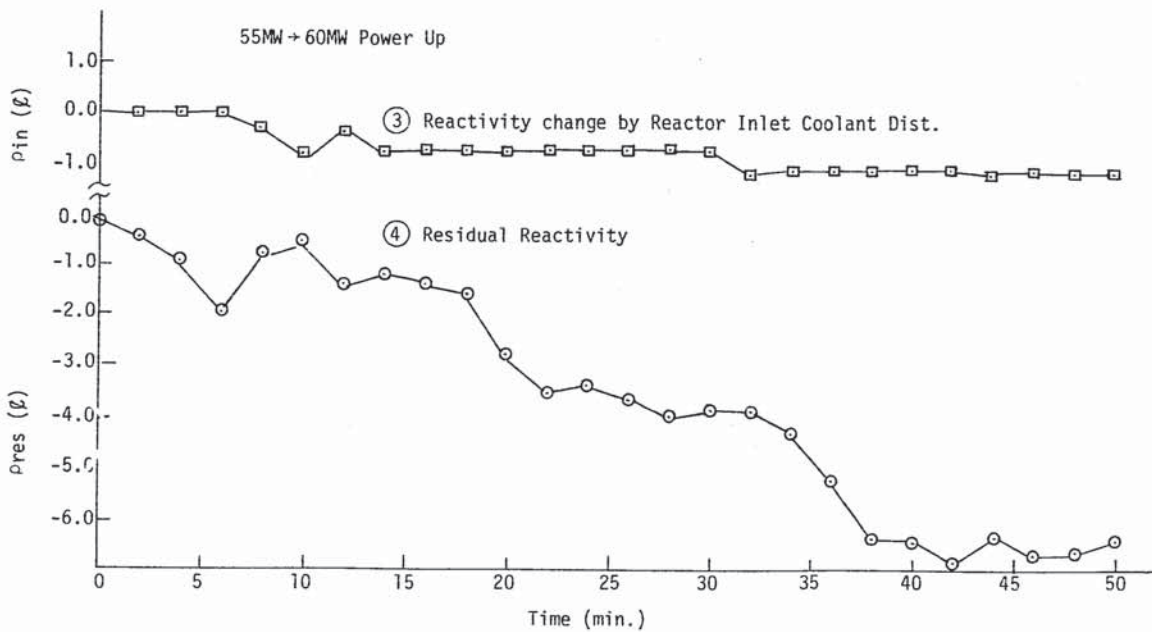


Fig. 3.11 Unknown Reactivity Detection at Power Up Test (2)

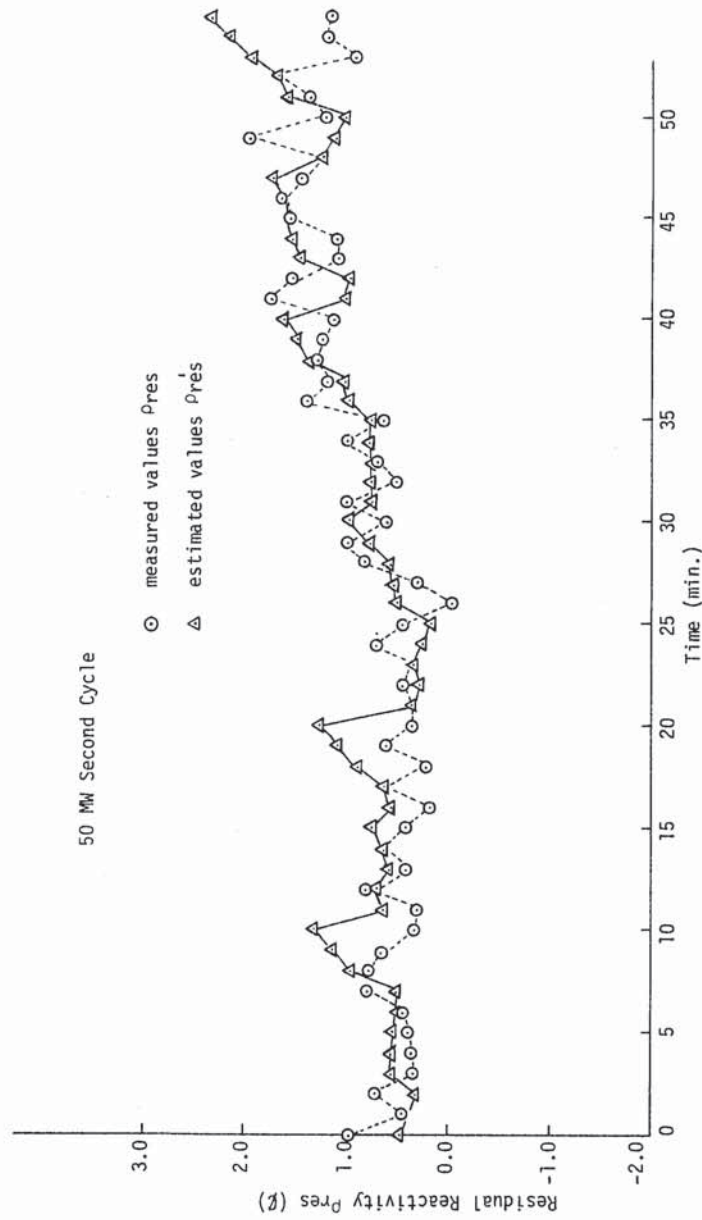


Fig. 3.12 Residual Reactivity

#### 4. 結 言

常陽のデータ処理システムの機能の一つである反応度バランスによる異常反応度監視機能を各種プラント状態において、検証試験を実施した。

この異常反応度監視は、制御棒位置、温度、流量等の測定値より算出される反応度（既知の反応度外乱）と中性子束変化より逆動特性方程式を解いて得られる炉心に投入された全反応度との比較により未知の反応度外乱の発生を監視するものである。従って運転中の制御棒位置の変化による出力変動、冷却材温度変化、流量変化等に対しては、異常反応度監視の指標とする残留反応度は零となるべきである。

試験結果、通常出力変更時（40 MW～50 MW）、冷却材温度変更時（ $\pm 5^\circ\text{C}$ ）では、残留反応度は1 $\beta$ 程であったが流量変化時（100～80%）では3 $\beta$ 程であった。流量変化に伴う誤差は、計算に使っている熱伝達率の誤差によるものと思われる。

一方、パイルオシレータ試験時の制御棒以外の吸収材による反応度変化試験の結果では、 $\pm 3.5\beta$ の未知反応度外乱に対して $\pm 0.4\beta$ の精度で検出できた。また、75 MWへの最初の出力上昇時の55 MWから60 MWへの移行時では、7 $\beta$ の負の異常反応度が検出された。

以上の試験を通じて、大きな流量変動時を除いて約 $\pm 2\beta$ の精度で異常反応度の検出が可能であることが確認された。しかし反応度変化の過渡時においては、各信号のサンプリング周期の違いにより一時的な誤差が生じる等の問題が残っている。



## 5. 付 録

## 5.1 プログラムの基本仕様

- 1) プログラム名称……………「REACT」
- 2) プログラム番号…………… PN = 29
- 3) プログラム格納  
ドラム・アドレス…………… DA = 10240 - 11263 (セクタアドレス)
- 4) プログラム実行  
コア・ブロック番号…………… CBN = 7
- 5) プログラム  
チェーンの個数…………… CHN = 10
- 6) プログラム容量…………… 約 16 kw
- 7) プログラム起動  
周期 …………… 5 秒

上記異常反応度監視プログラムの他に、各種反応度および異常反応度検出時のプロセス信号パターン、異常原因の表示をオン・デマンドで行なう補助プログラムがあり、下記に基本仕様を示す。

- 1) プログラム名称……………「ODCRT」
- 2) プログラム番号…………… PN = 50
- 3) プログラム格納  
ドラム・アドレス…………… DA = 6272 - 6671 (セクタアドレス)
- 4) プログラム実行  
コア・アドレス…………… CBN = 7
- 5) プログラム  
チェーンの個数…………… CHN = 3
- 6) プログラム容量…………… 約 6.4 kw
- 7) プログラム起動  
周期 …………… オペコンよりの表示要求により「REACT」プログラムで5秒周期で起動される。

## 5.2 プログラムのジェネラルフロー

異常反応度監視プログラムは定常状態での初期始動を前提としており、概略下記の手順を追って実行される。

- 1) 初期スタートのチェック
- 2) 初期スタートの場合の初期値設定
- 3) 炉心部の定常状態のチェック (10回変動なしの場合定常とする)
- 4) プロセス量の定常値の計算 (平均化処理, 30個の平均)
- 5) 温度変化計算用各種係数の計算
- 6) 各取込プロセス信号の"0" "+1", "-1"のパターン設定
- 7) 各部温度 (燃料平均, 冷却材平均) の変化分の計算
- 8) 各種反応度変化の計算
- 9) 残留反応度, 推定残留反応度, 残留反応度変化の分散等の計算
- 10) 異常反応度の検出
- 11) 異常原因の分析とメッセージタイプライタへの出力実行
- 12) CRT, L/Pへの出力データの編集

図1にプログラムのジェネラル・フロー・チャートを示す。

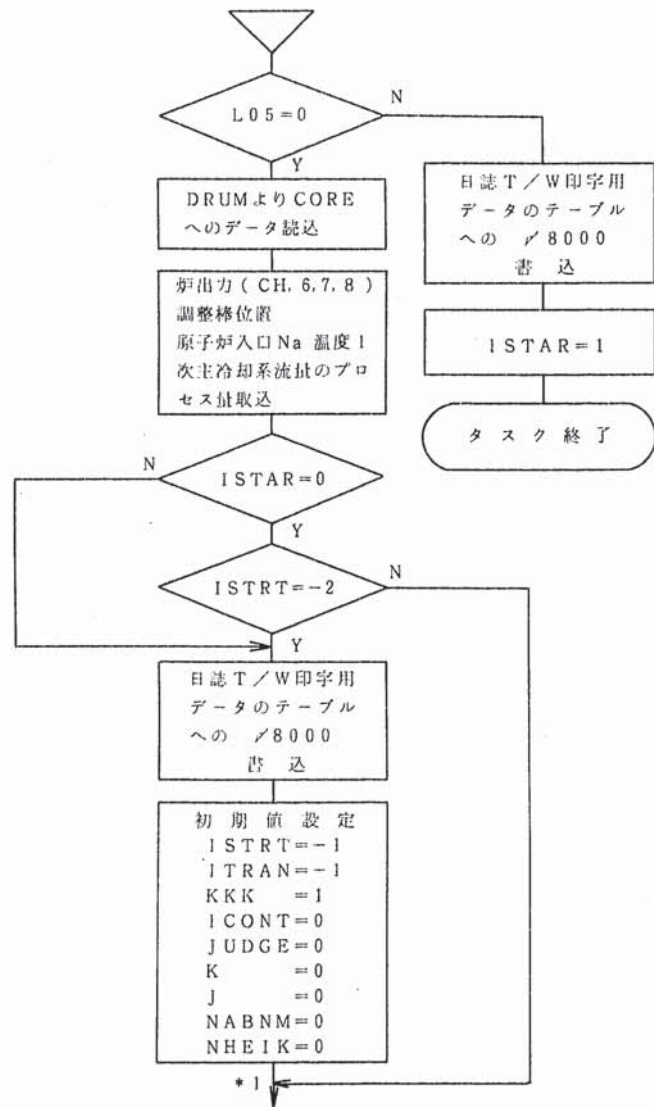
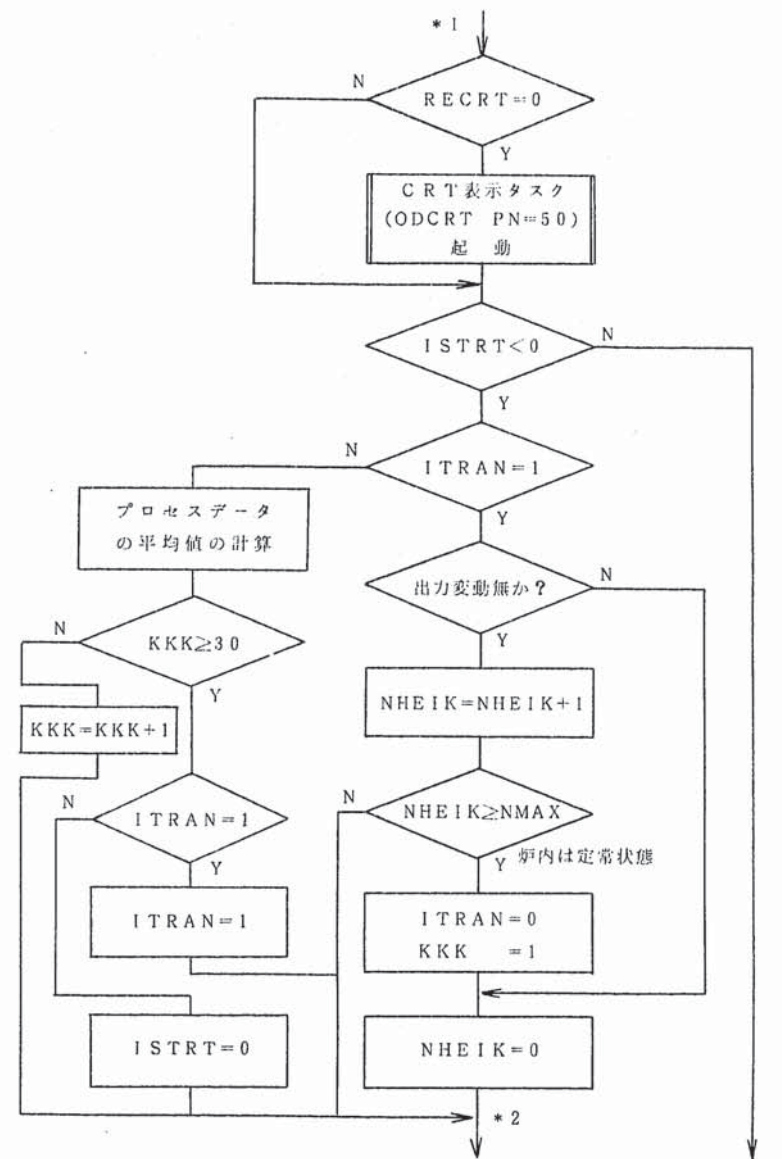
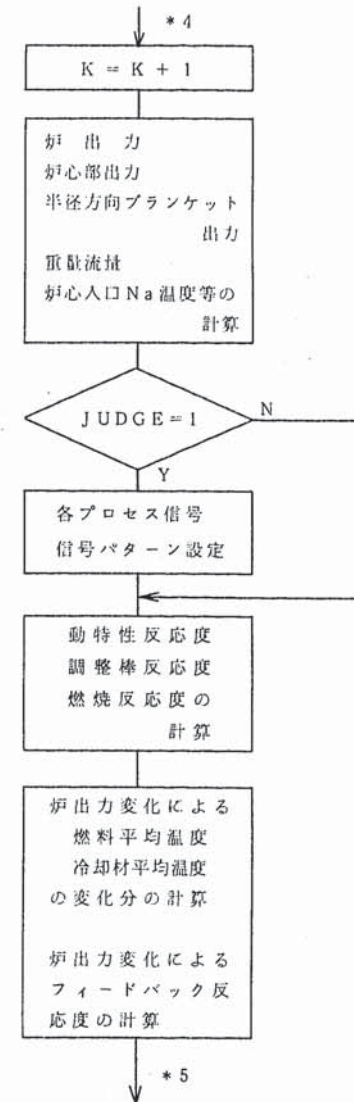
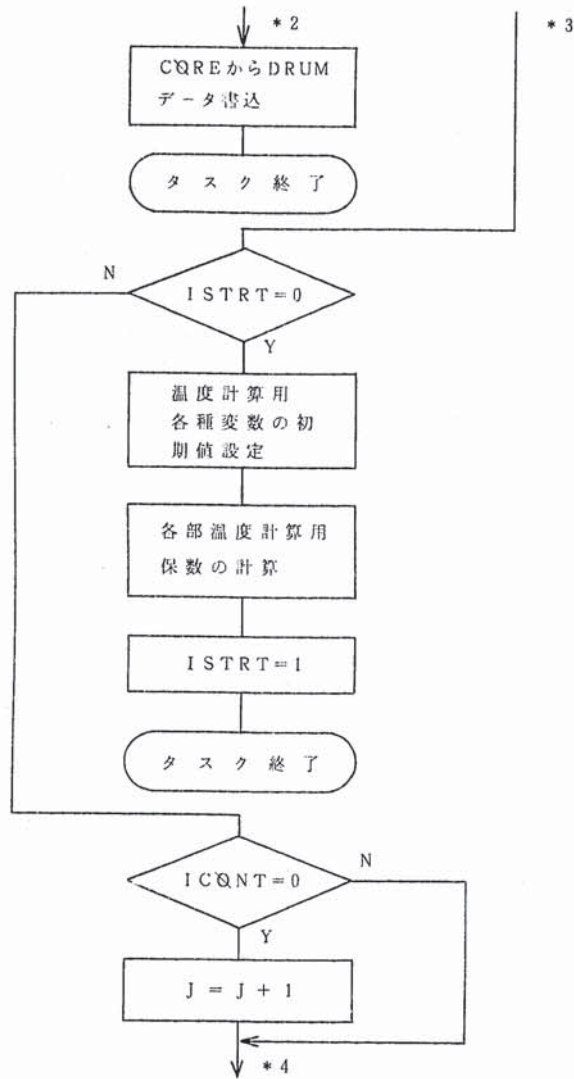
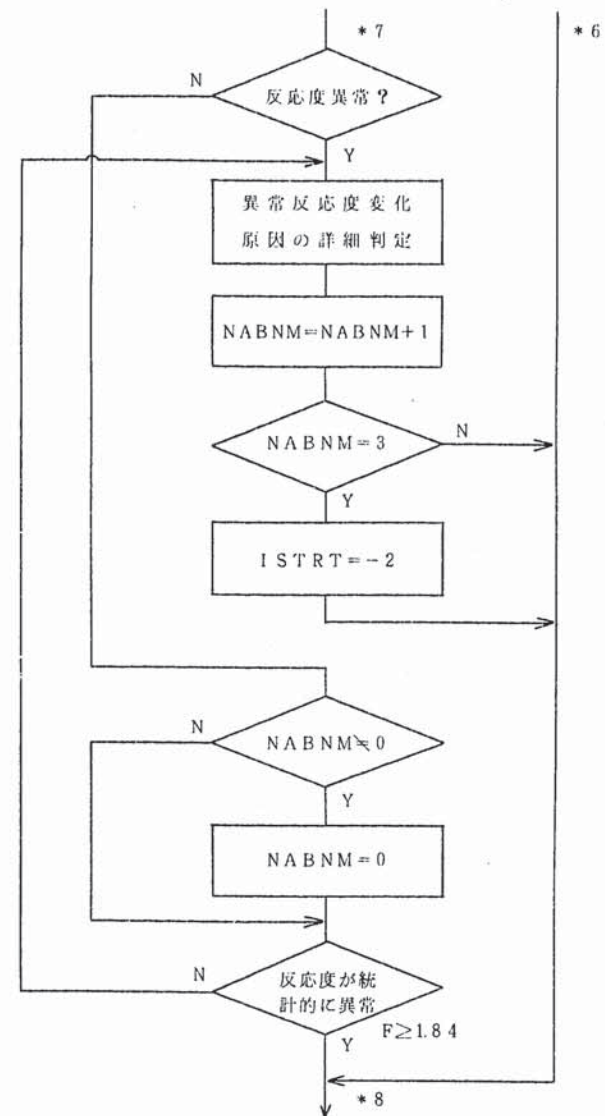
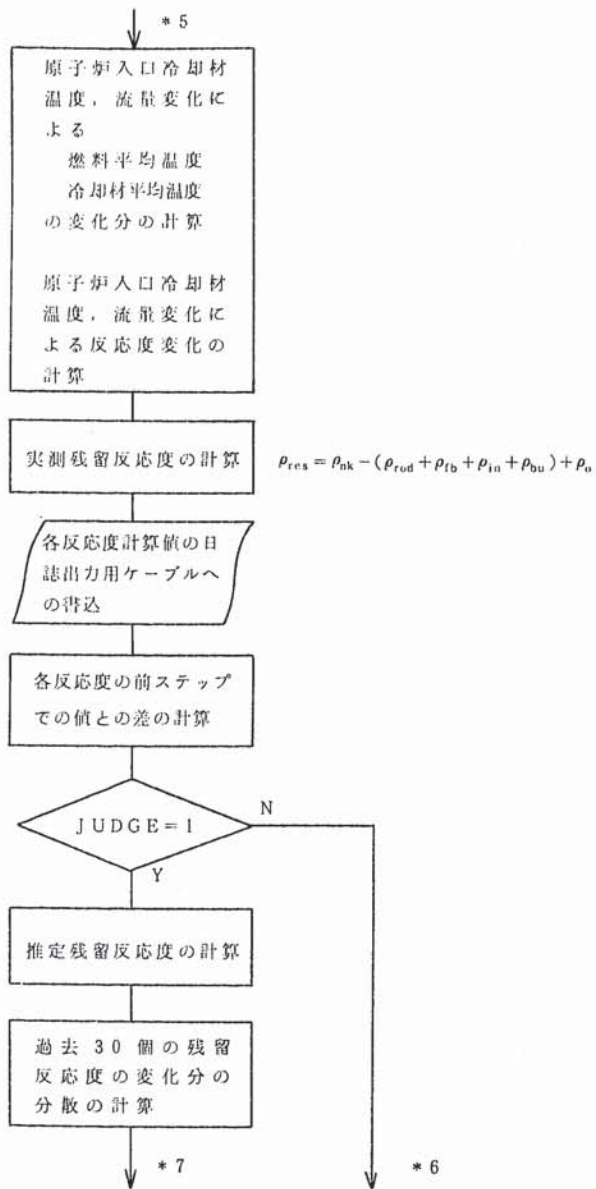
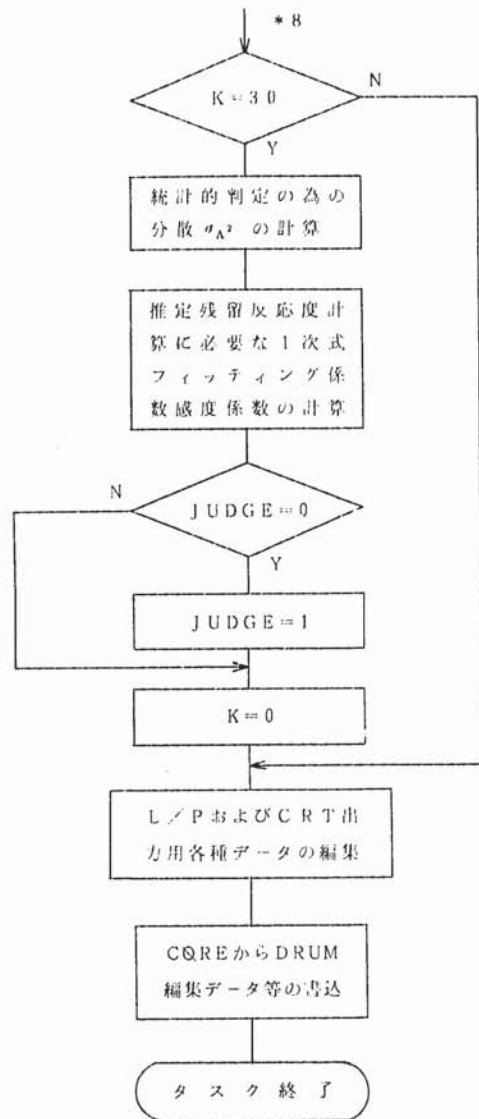


図1 異常反応度監視プログラムの処理手順フロー









### 5.3 プログラムの操作方法

#### 5.3.1 異常反応度監視プログラム用各種定数の設定

- 1) 各運転サイクル開始前に「JOYO運転監視コード」より出力される58枚のデータカード(図2のデータ・フォーマット参照)にコントロールカードを追加(図3, 図4を参照)し, III-DIC-350によりロードベースの紙テープを作成する。(紙テープ作成にはNPMSのシステムを使用のこと)
- 2) (1)で作成した紙テープをデータ処理装置(HIDIC-500)のPTR(Photo Tape Reader)により定数をドラムの決められたエリアにストアする。(PTRによる読み込みの手順は図5を参照)
- 3) 紙テープによる入力する定数以外の定数(表1に示す $\sigma_p$ ,  $\sigma_{z1}$ ,  $\sigma_{z2}$ 等の定数)を下記の手順により設定する。
  - a) 各プロセス量の標準偏差の3倍の値を, 定常状態における5分間程度の約60個のデータより計算する。
  - b) 求めた各値をH-500の浮動小数点の値から16進数の2ワードの値に変換するプログラムによりASRに印字させて求める(図6のASRの操作手順を参照のこと)。
  - c) b)で変換したデータを図7の手順に従ってデータの設定を行なう。

#### 5.3.2 プログラムの起動手順

- 1) 「L20」をデジタル表示し, 「0」となっていることを確認する。「L20」が「1」となっていると, 異常反応度監視に使用する炉出力として熱出力による値を用いることになる)。
- 2) 「L06」をデジタル表示し, その値をチェック(「L06」は異常反応度判定用定数であり, 適切な定数が設定されていない場合は, 修正する必要がある)し, 適切な値が設定されていない場合は, 入力点番号を「L06」に設定し, データ設定器に設定したい数値を設定し(「L06」の小数点位置は-3なので, データとしては2.0φを設定したい場合はデータ設定器の左端を+とし, 次に数値2000を設定し, 右端の値を-3とすると), オペコンの「データ設定ボタン」を押し, キースイッチを「ON」とし, 最後に「要求」スイッチを押し。
- 3) データ設定器に設定された値が正しく計算機に入ったことをデジタル表示により確認する。
- 4) 入力点番号「L05」を「1」より「0」にデータ設定する。「0」が設定されたことをデジタル表示により確認する。
- 5) 「L05」を「0」に設定して約6分後に異常反応度監視データのCRT出力, L/P出力の編集が開始される。また, 約9分後から異常反応度の5秒周期の検出が実行開始される。

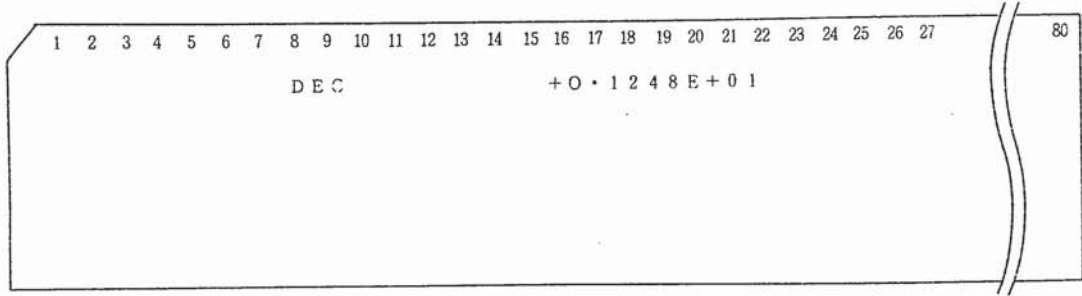


図2 異常反応度監視用定数カードのパンチ・フォーマット

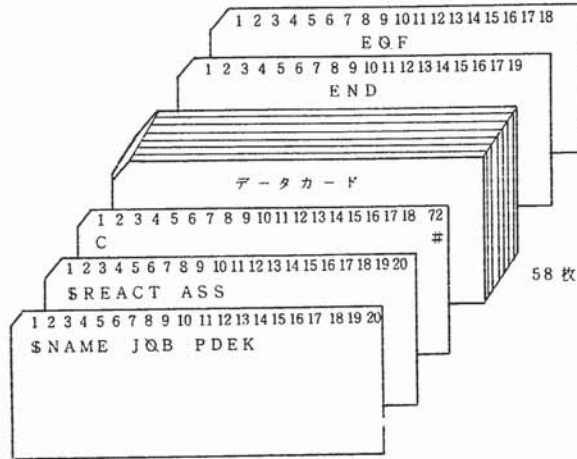


図3 紙テープ作成用カード配列

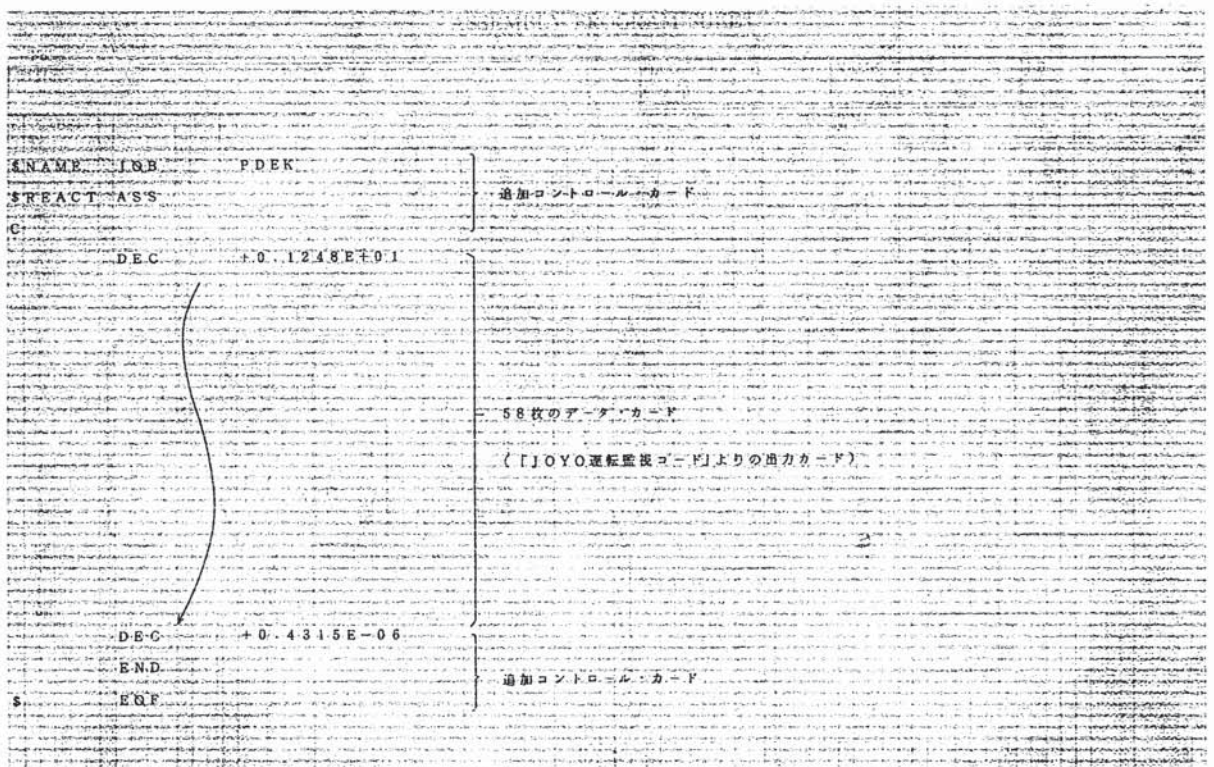


図4 紙テープ作成用アセンブリ・プログラム・フォーマット

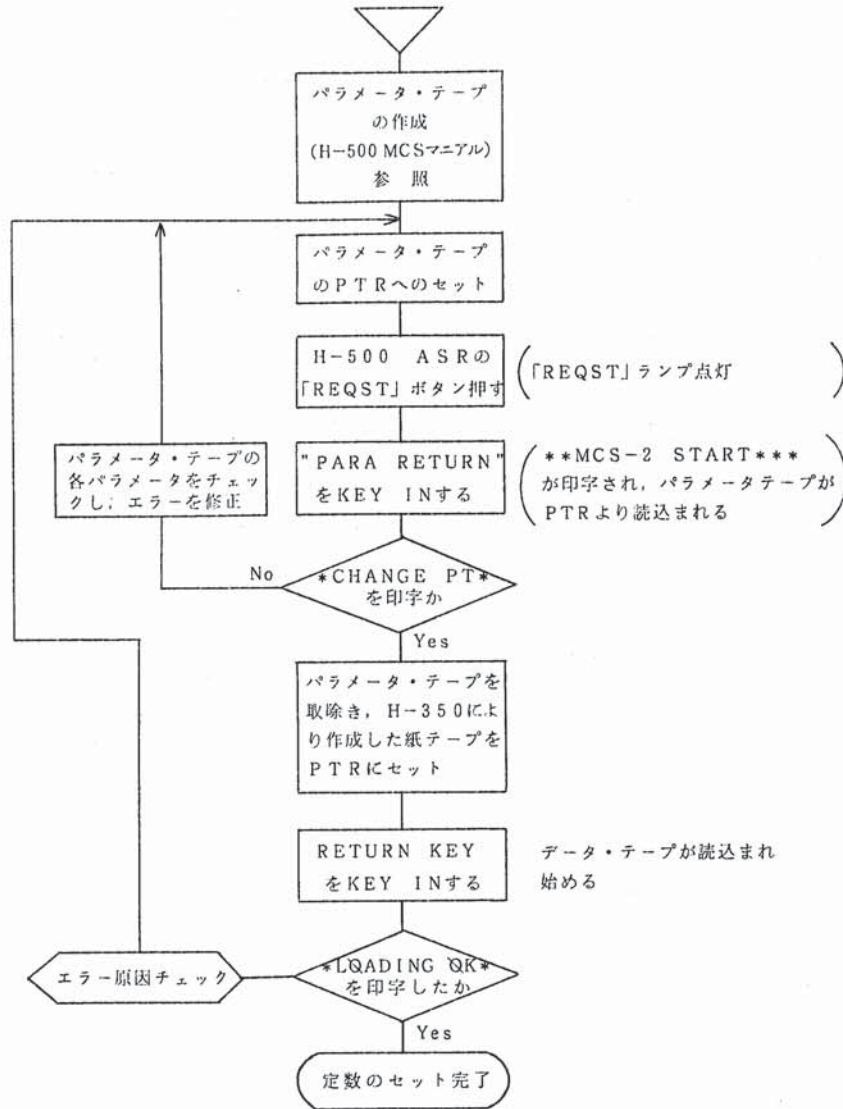


図5 データ・テープのPTRによる読み手順

「REQST」ボタン押す (ランプ点灯)

QUF9 (RE)  
OK!

(RE) --- (RETURN) KEY  
~~~~ キー・インする個所

\$!CHDT,FD! (RE)

変換された16進数

\$!CHDT,FL!10.0 (RE)

(EXA DECIMAL)

\* 10.0 CHANCF /44A0 ; /0000 \*

\$!CHDT,FL!5.6F-2 (RE)

\* 5.6F-2 CHANCF /30F5 ; /6041 \*

\$!FND (RE)

変換作業を終了したい場合にキー・インする

図6 浮動小数データの16進数への変換法

RDMP (RE)

NAMF=CDATA-P (RE)

相対アドレス (データの修正したい個所のアドレスをキー・インする)

PRINT ARFA=140 (RE)

D/44A4 C / 45A0:/45A0 (FEED)

図9のTBTCに対応する

D / 0000:/0 (FEED)

E / FFCC:/PFCC (FEED)

図9のALFSに対応する

F / CCCC (RE)

PRINT ARFA=(RE)

RDMP END

! 「REQST」ランプ消灯確認する

図7 各プロセス信号変動幅のドラムのストアの方法

TASK NAME = "REACT" PROGRAM NUMBER = 29  
 React Task Drum Memory Reference Table  
 } ODCRT PN = 50  
 } 下欄用いているドラムアドレス

| 17554 (16) | 17565 (16) | 17566 (32) | 17567 (48) | 17568 (64) | 17569 (80) | 17570 (96) | 17571 (112) | 17572 (128) | 17573 (144) | 17574 (160) | 17575 (176) | 17576 (192) | 17577 (208) | 17578 (224) | 17579 (240) | 17580 (256) | 17581 (272) | 17582 (288) | 17583 (304) | 17584 (320) | 17585 (336) | 17586 (352) | 17587 (368) | 17588 (384) | 17589 (400) | 17590 (416) | 17591 (432) | 17592 (448) | 17593 (464) | 17594 (480) | 17595 (496) | 17596 (512) | 17597 (528) | 17598 (544) | 17599 (560) | 17600 (576) | 17601 (592) | 17602 (608) | 17603 (624) | 17604 (640) | 17605 (656) | 17606 (672) | 17607 (688) | 17608 (704) | 17609 (720) | 17610 (736) | 17611 (752) | 17612 (768) | 17613 (784) | 17614 (800) | 17615 (816) | 17616 (832) | 17617 (848) | 17618 (864) | 17619 (880) | 17620 (896) | 17621 (912) | 17622 (928) | 17623 (944) | 17624 (960) | 17625 (976) | 17626 (992) | 17627 (1008) | 17628 (1024) | 17629 (1040) | 17630 (1056) | 17631 (1072) | 17632 (1088) | 17633 (1104) | 17634 (1120) | 17635 (1136) | 17636 (1152) | 17637 (1168) | 17638 (1184) | 17639 (1200) | 17640 (1216) | 17641 (1232) | 17642 (1248) | 17643 (1264) | 17644 (1280) | 17645 (1296) | 17646 (1312) | 17647 (1328) | 17648 (1344) | 17649 (1360) | 17650 (1376) | 17651 (1392) | 17652 (1408) | 17653 (1424) | 17654 (1440) | 17655 (1456) | 17656 (1472) | 17657 (1488) | 17658 (1504) | 17659 (1520) | 17660 (1536) | 17661 (1552) | 17662 (1568) | 17663 (1584) | 17664 (1600) | 17665 (1616) | 17666 (1632) | 17667 (1648) | 17668 (1664) | 17669 (1680) | 17670 (1696) | 17671 (1712) | 17672 (1728) | 17673 (1744) | 17674 (1760) | 17675 (1776) | 17676 (1792) | 17677 (1808) | 17678 (1824) | 17679 (1840) | 17680 (1856) | 17681 (1872) | 17682 (1888) | 17683 (1904) | 17684 (1920) | 17685 (1936) | 17686 (1952) | 17687 (1968) | 17688 (1984) | 17689 (2000) | 17690 (2016) | 17691 (2032) | 17692 (2048) | 17693 (2064) | 17694 (2080) | 17695 (2096) | 17696 (2112) | 17697 (2128) | 17698 (2144) | 17699 (2160) | 17700 (2176) | 17701 (2192) | 17702 (2208) | 17703 (2224) | 17704 (2240) | 17705 (2256) | 17706 (2272) | 17707 (2288) | 17708 (2304) | 17709 (2320) | 17710 (2336) | 17711 (2352) | 17712 (2368) | 17713 (2384) | 17714 (2400) | 17715 (2416) | 17716 (2432) | 17717 (2448) | 17718 (2464) | 17719 (2480) | 17720 (2496) | 17721 (2512) | 17722 (2528) | 17723 (2544) | 17724 (2560) | 17725 (2576) | 17726 (2592) | 17727 (2608) | 17728 (2624) | 17729 (2640) | 17730 (2656) | 17731 (2672) | 17732 (2688) | 17733 (2704) | 17734 (2720) | 17735 (2736) | 17736 (2752) | 17737 (2768) | 17738 (2784) | 17739 (2800) | 17740 (2816) | 17741 (2832) | 17742 (2848) | 17743 (2864) | 17744 (2880) | 17745 (2896) | 17746 (2912) | 17747 (2928) | 17748 (2944) | 17749 (2960) | 17750 (2976) | 17751 (2992) | 17752 (3008) | 17753 (3024) | 17754 (3040) | 17755 (3056) | 17756 (3072) | 17757 (3088) | 17758 (3104) | 17759 (3120) | 17760 (3136) | 17761 (3152) | 17762 (3168) | 17763 (3184) | 17764 (3200) | 17765 (3216) | 17766 (3232) | 17767 (3248) | 17768 (3264) | 17769 (3280) | 17770 (3296) | 17771 (3312) | 17772 (3328) | 17773 (3344) | 17774 (3360) | 17775 (3376) | 17776 (3392) | 17777 (3408) | 17778 (3424) | 17779 (3440) | 17780 (3456) | 17781 (3472) | 17782 (3488) | 17783 (3504) | 17784 (3520) | 17785 (3536) | 17786 (3552) | 17787 (3568) | 17788 (3584) | 17789 (3600) | 17790 (3616) | 17791 (3632) | 17792 (3648) | 17793 (3664) | 17794 (3680) | 17795 (3696) | 17796 (3712) | 17797 (3728) | 17798 (3744) | 17799 (3760) | 17800 (3776) | 17801 (3792) | 17802 (3808) | 17803 (3824) | 17804 (3840) | 17805 (3856) | 17806 (3872) | 17807 (3888) | 17808 (3904) | 17809 (3920) | 17810 (3936) | 17811 (3952) | 17812 (3968) | 17813 (3984) | 17814 (4000) | 17815 (4016) | 17816 (4032) | 17817 (4048) | 17818 (4064) | 17819 (4080) | 17820 (4096) | 17821 (4112) | 17822 (4128) | 17823 (4144) | 17824 (4160) | 17825 (4176) | 17826 (4192) | 17827 (4208) | 17828 (4224) | 17829 (4240) | 17830 (4256) | 17831 (4272) | 17832 (4288) | 17833 (4304) | 17834 (4320) | 17835 (4336) | 17836 (4352) | 17837 (4368) | 17838 (4384) | 17839 (4400) | 17840 (4416) | 17841 (4432) | 17842 (4448) | 17843 (4464) | 17844 (4480) | 17845 (4496) | 17846 (4512) | 17847 (4528) | 17848 (4544) | 17849 (4560) | 17850 (4576) | 17851 (4592) | 17852 (4608) | 17853 (4624) | 17854 (4640) | 17855 (4656) | 17856 (4672) | 17857 (4688) | 17858 (4704) | 17859 (4720) | 17860 (4736) | 17861 (4752) | 17862 (4768) | 17863 (4784) | 17864 (4800) | 17865 (4816) | 17866 (4832) | 17867 (4848) | 17868 (4864) | 17869 (4880) | 17870 (4896) | 17871 (4912) | 17872 (4928) | 17873 (4944) | 17874 (4960) | 17875 (4976) | 17876 (4992) | 17877 (5008) | 17878 (5024) | 17879 (5040) | 17880 (5056) | 17881 (5072) | 17882 (5088) | 17883 (5104) | 17884 (5120) | 17885 (5136) | 17886 (5152) | 17887 (5168) | 17888 (5184) | 17889 (5200) | 17890 (5216) | 17891 (5232) | 17892 (5248) | 17893 (5264) | 17894 (5280) | 17895 (5296) | 17896 (5312) | 17897 (5328) | 17898 (5344) | 17899 (5360) | 17900 (5376) | 17901 (5392) | 17902 (5408) | 17903 (5424) | 17904 (5440) | 17905 (5456) | 17906 (5472) | 17907 (5488) | 17908 (5504) | 17909 (5520) | 17910 (5536) | 17911 (5552) | 17912 (5568) | 17913 (5584) | 17914 (5600) | 17915 (5616) | 17916 (5632) | 17917 (5648) | 17918 (5664) | 17919 (5680) | 17920 (5696) | 17921 (5712) | 17922 (5728) | 17923 (5744) | 17924 (5760) | 17925 (5776) | 17926 (5792) | 17927 (5808) | 17928 (5824) | 17929 (5840) | 17930 (5856) | 17931 (5872) | 17932 (5888) | 17933 (5904) | 17934 (5920) | 17935 (5936) | 17936 (5952) | 17937 (5968) | 17938 (5984) | 17939 (6000) | 17940 (6016) | 17941 (6032) | 17942 (6048) | 17943 (6064) | 17944 (6080) | 17945 (6096) | 17946 (6112) | 17947 (6128) | 17948 (6144) | 17949 (6160) | 17950 (6176) | 17951 (6192) | 17952 (6208) | 17953 (6224) | 17954 (6240) | 17955 (6256) | 17956 (6272) | 17957 (6288) | 17958 (6304) | 17959 (6320) | 17960 (6336) | 17961 (6352) | 17962 (6368) | 17963 (6384) | 17964 (6400) | 17965 (6416) | 17966 (6432) | 17967 (6448) | 17968 (6464) | 17969 (6480) | 17970 (6496) | 17971 (6512) | 17972 (6528) | 17973 (6544) | 17974 (6560) | 17975 (6576) | 17976 (6592) | 17977 (6608) | 17978 (6624) | 17979 (6640) | 17980 (6656) | 17981 (6672) | 17982 (6688) | 17983 (6704) | 17984 (6720) | 17985 (6736) | 17986 (6752) | 17987 (6768) | 17988 (6784) | 17989 (6800) | 17990 (6816) | 17991 (6832) | 17992 (6848) | 17993 (6864) | 17994 (6880) | 17995 (6896) | 17996 (6912) | 17997 (6928) | 17998 (6944) | 17999 (6960) | 18000 (6976) |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| CDATA      | VFC        | RFC        | CFC        | SECC       | HEIC       | HC         | ANAC        | RNAC        | CNAC        | ALFWC       | ALFQC       | TOUTC       | ALFDC       | ALFFC       | ALFEC       | ALFSC       | ALFCC       | VP          | VFB         | RFB         | CFB         | SECB        | HEIB        | HB          | ANAB        | RNAB        | CNAB        | ALFWB       | ALFQB       | TOUTB       | ALFDB       | ALFFB       | ALFEB       | ALFCB       | BETA (1)    | BETA (2)    | ALFEB (3)   | ALFEB (4)   | ALFEB (5)   | ALFEB (6)   | ALFEB (7)   | ALFEB (8)   | ALFEB (9)   | ALFEB (10)  | ALFEB (11)  | ALFEB (12)  | ALFEB (13)  | ALFEB (14)  | ALFEB (15)  | ALFEB (16)  | ALFEB (17)  | ALFEB (18)  | ALFEB (19)  | ALFEB (20)  | ALFEB (21)  | ALFEB (22)  | ALFEB (23)  | ALFEB (24)  | ALFEB (25)  | ALFEB (26)  | ALFEB (27)  | ALFEB (28)  | ALFEB (29)   | ALFEB (30)   | ALFEB (31)   | ALFEB (32)   | ALFEB (33)   | ALFEB (34)   | ALFEB (35)   | ALFEB (36)   | ALFEB (37)   | ALFEB (38)   | ALFEB (39)   | ALFEB (40)   | ALFEB (41)   | ALFEB (42)   | ALFEB (43)   | ALFEB (44)   | ALFEB (45)   | ALFEB (46)   | ALFEB (47)   | ALFEB (48)   | ALFEB (49)   | ALFEB (50)   | ALFEB (51)   | ALFEB (52)   | ALFEB (53)   | ALFEB (54)   | ALFEB (55)   | ALFEB (56)   | ALFEB (57)   | ALFEB (58)   | ALFEB (59)   | ALFEB (60)   | ALFEB (61)   | ALFEB (62)   | ALFEB (63)   | ALFEB (64)   | ALFEB (65)   | ALFEB (66)   | ALFEB (67)   | ALFEB (68)   | ALFEB (69)   | ALFEB (70)   | ALFEB (71)   | ALFEB (72)   | ALFEB (73)   | ALFEB (74)   | ALFEB (75)   | ALFEB (76)   | ALFEB (77)   | ALFEB (78)   | ALFEB (79)   | ALFEB (80)   | ALFEB (81)   | ALFEB (82)   | ALFEB (83)   | ALFEB (84)   | ALFEB (85)   | ALFEB (86)   | ALFEB (87)   | ALFEB (88)   | ALFEB (89)   | ALFEB (90)   | ALFEB (91)   | ALFEB (92)   | ALFEB (93)   | ALFEB (94)   | ALFEB (95)   | ALFEB (96)   | ALFEB (97)   | ALFEB (98)   | ALFEB (99)   | ALFEB (100)  | ALFEB (101)  | ALFEB (102)  | ALFEB (103)  | ALFEB (104)  | ALFEB (105)  | ALFEB (106)  | ALFEB (107)  | ALFEB (108)  | ALFEB (109)  | ALFEB (110)  | ALFEB (111)  | ALFEB (112)  | ALFEB (113)  | ALFEB (114)  | ALFEB (115)  | ALFEB (116)  | ALFEB (117)  | ALFEB (118)  | ALFEB (119)  | ALFEB (120)  | ALFEB (121)  | ALFEB (122)  | ALFEB (123)  | ALFEB (124)  | ALFEB (125)  | ALFEB (126)  | ALFEB (127)  | ALFEB (128)  | ALFEB (129)  | ALFEB (130)  | ALFEB (131)  | ALFEB (132)  | ALFEB (133)  | ALFEB (134)  | ALFEB (135)  | ALFEB (136)  | ALFEB (137)  | ALFEB (138)  | ALFEB (139)  | ALFEB (140)  | ALFEB (141)  | ALFEB (142)  | ALFEB (143)  | ALFEB (144)  | ALFEB (145)  | ALFEB (146)  | ALFEB (147)  | ALFEB (148)  | ALFEB (149)  | ALFEB (150)  | ALFEB (151)  | ALFEB (152)  | ALFEB (153)  | ALFEB (154)  | ALFEB (155)  | ALFEB (156)  | ALFEB (157)  | ALFEB (158)  | ALFEB (159)  | ALFEB (160)  | ALFEB (161)  | ALFEB (162)  | ALFEB (163)  | ALFEB (164)  | ALFEB (165)  | ALFEB (166)  | ALFEB (167)  | ALFEB (168)  | ALFEB (169)  | ALFEB (170)  | ALFEB (171)  | ALFEB (172)  | ALFEB (173)  | ALFEB (174)  | ALFEB (175)  | ALFEB (176)  | ALFEB (177)  | ALFEB (178)  | ALFEB (179)  | ALFEB (180)  | ALFEB (181)  | ALFEB (182)  | ALFEB (183)  | ALFEB (184)  | ALFEB (185)  | ALFEB (186)  | ALFEB (187)  | ALFEB (188)  | ALFEB (189)  | ALFEB (190)  | ALFEB (191)  | ALFEB (192)  | ALFEB (193)  | ALFEB (194)  | ALFEB (195)  | ALFEB (196)  | ALFEB (197)  | ALFEB (198)  | ALFEB (199)  | ALFEB (200)  | ALFEB (201)  | ALFEB (202)  | ALFEB (203)  | ALFEB (204)  | ALFEB (205)  | ALFEB (206)  | ALFEB (207)  | ALFEB (208)  | ALFEB (209)  | ALFEB (210)  | ALFEB (211)  | ALFEB (212)  | ALFEB (213)  | ALFEB (214)  | ALFEB (215)  | ALFEB (216)  | ALFEB (217)  | ALFEB (218)  | ALFEB (219)  | ALFEB (220)  | ALFEB (221)  | ALFEB (222)  | ALFEB (223)  | ALFEB (224)  | ALFEB (225)  | ALFEB (226)  | ALFEB (227)  | ALFEB (228)  | ALFEB (229)  | ALFEB (230)  | ALFEB (231)  | ALFEB (232)  | ALFEB (233)  | ALFEB (234)  | ALFEB (235)  | ALFEB (236)  | ALFEB (237)  | ALFEB (238)  | ALFEB (239)  | ALFEB (240)  | ALFEB (241)  | ALFEB (242)  | ALFEB (243)  | ALFEB (244)  | ALFEB (245)  | ALFEB (246)  | ALFEB (247)  | ALFEB (248)  | ALFEB (249)  | ALFEB (250)  | ALFEB (251)  | ALFEB (252)  | ALFEB (253)  | ALFEB (254)  | ALFEB (255)  | ALFEB (256)  | ALFEB (257)  | ALFEB (258)  | ALFEB (259)  | ALFEB (260)  | ALFEB (261)  | ALFEB (262)  | ALFEB (263)  | ALFEB (264)  | ALFEB (265)  | ALFEB (266)  | ALFEB (267)  | ALFEB (268)  | ALFEB (269)  | ALFEB (270)  | ALFEB (271)  | ALFEB (272)  | ALFEB (273)  | ALFEB (274)  | ALFEB (275)  | ALFEB (276)  | ALFEB (277)  | ALFEB (278)  | ALFEB (279)  | ALFEB (280)  | ALFEB (281)  | ALFEB (282)  | ALFEB (283)  | ALFEB (284)  | ALFEB (285)  | ALFEB (286)  | ALFEB (287)  | ALFEB (288)  | ALFEB (289)  | ALFEB (290)  | ALFEB (291)  | ALFEB (292)  | ALFEB (293)  | ALFEB (294)  | ALFEB (295)  | ALFEB (296)  | ALFEB (297)  | ALFEB (298)  | ALFEB (299)  | ALFEB (300)  | ALFEB (301)  | ALFEB (302)  | ALFEB (303)  | ALFEB (304)  | ALFEB (305)  | ALFEB (306)  | ALFEB (307)  | ALFEB (308)  | ALFEB (309)  | ALFEB (310)  | ALFEB (311)  | ALFEB (312)  | ALFEB (313)  | ALFEB (314)  | ALFEB (315)  | ALFEB (316)  | ALFEB (317)  | ALFEB (318)  | ALFEB (319)  | ALFEB (320)  | ALFEB (321)  | ALFEB (322)  | ALFEB (323)  | ALFEB (324)  | ALFEB (325)  | ALFEB (326)  | ALFEB (327)  | ALFEB (328)  | ALFEB (329)  | ALFEB (330)  | ALFEB (331)  | ALFEB (332)  | ALFEB (333)  | ALFEB (334)  | ALFEB (335)  | ALFEB (336)  | ALFEB (337)  | ALFEB (338)  | ALFEB (339)  | ALFEB (340)  | ALFEB (341)  | ALFEB (342)  | ALFEB (343)  | ALFEB (344)  | ALFEB (345)  | ALFEB (346)  | ALFEB (347)  | ALFEB (348)  | ALFEB (349)  | ALFEB (350)  | ALFEB (351)  | ALFEB (352)  | ALFEB (353)  | ALFEB (354)  | ALFEB (355)  | ALFEB (356)  | ALFEB (357)  | ALFEB (358)  | ALFEB (359)  | ALFEB (360)  | ALFEB (361)  | ALFEB (362)  | ALFEB (363)  | ALFEB (364)  | ALFEB (365)  | ALFEB (366)  | ALFEB (367)  | ALFEB (368)  | ALFEB (369)  | ALFEB (370)  | ALFEB (371)  | ALFEB (372)  | ALFEB (373)  | ALFEB (374)  | ALFEB (375)  | ALFEB (376)  | ALFEB (377)  | ALFEB (378)  | ALFEB (379)  | ALFEB (380)  | ALFEB (381)  | ALFEB (382)  | ALFEB (383)  | ALFEB (384)  | ALFEB (385)  | ALFEB (386)  | ALFEB (387)  | ALFEB (388)  | ALFEB        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |





| TIME  | 推定残留反応度            | 実測残留反応度            | 動特性反応度        | 調整種反応度<br>(全挿入 零) | 炉出力変動による<br>フィードバック反応度 | 燃料平均温度の<br>変化による反応度 | 炉入口冷却材<br>外乱反応度 | 燃焼による反応度<br>(プログラム・スタート)<br>時点での値とする | 実測残留反応度<br>の統計的指標<br>$F=(\sigma_B^2/\sigma_A^2)$ |
|-------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
|       | E. RESID<br>(CENT) | M. RESID<br>(CENT) | RNK<br>(CENT) | RCR<br>(CENT)     | FEED BACK<br>(CENT)    | DOPPLER<br>(CENT)   | R. IN<br>(CENT) | BURN UP<br>(CENT)                    |                                                  |
| 9.57  | -1.1706E+00        | 1.1064E+01         | 9.9999E+01    | 8.3916E+02        | 0.0000E-01             | -9.4763E-02         | 1.8058E+01      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 1.0000E+02         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | -1.6507E-02         | -6.5032E-02     | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 1.0007E+02         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | -2.3706E-02         | -7.8603E-02     | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 1.0002E+02         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | -2.5482E-02         | -8.1337E-02     | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 1.0008E+02         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | -2.6659E-02         | -8.2804E-02     | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 9.9935E+01         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | -1.8685E-03         | 6.6150E-03      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.47 | -1.1706E+00        | 9.9927E+01         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 1.2709E-03          | 1.4016E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 1.0002E+02         | 9.9999E+01    | 8.3916E+02        | 0.0000E-01             | 2.4413E-03          | 1.6733E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 9.9891E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 2.9111E-02          | 1.0939E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 9.9880E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 3.3876E-02          | 1.1959E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 9.9982E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 1.9796E-02          | 1.8211E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 9.9967E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 1.4245E-02          | 3.2716E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.48 | -1.1706E+00        | 9.9982E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 7.9701E-03          | 1.8463E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.49 | -1.1706E+00        | 9.9906E+01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 2.6814E-02          | 9.4289E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.49 | -1.1706E+00        | 9.9825E+01         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 3.6207E-02          | 1.1670E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.49 | -1.1706E+00        | 9.9819E+01         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 3.8763E-02          | 1.2281E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9849E-01                                       |
| 10.49 | -6.0119E-03        | 1.2963E-01         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 2.1438E-02          | 5.1847E-02      | 0.0000E-01                           | 1.0000E+00                                       |
| 10.49 | -1.8028E-02        | 8.8317E-02         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 1.3670E-02          | 3.4518E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9991E-01                                       |
| 10.49 | -3.0044E-02        | 8.9904E-02         | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 1.2543E-02          | 3.2953E-02      | 0.0000E-01                           | 9.9999E-01                                       |
| 10.50 | -4.2060E-02        | -4.2724E-04        | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 3.7791E-02          | 1.2326E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9998E-01                                       |
| 10.50 | -5.4077E-02        | -5.9814E-03        | 9.9999E+01    | 8.3925E+02        | 0.0000E-01             | 4.1360E-02          | 1.3150E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9996E-01                                       |
| 10.50 | -6.6093E-02        | 4.6508E-02         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 4.2899E-02          | 1.3495E-01      | 0.0000E-01                           | 1.0000E+00                                       |
| 10.50 | -7.8109E-02        | 1.0327E-01         | 9.9999E+01    | 8.3921E+02        | 0.0000E-01             | 2.5013E-02          | 6.2394E-02      | 0.0000E-01                           | 1.0000E+00                                       |
| 10.50 | -9.0126E-02        | -6.7504E-02        | 9.9999E+01    | 8.3931E+02        | 0.0000E-01             | 4.2562E-02          | 1.3436E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9996E-01                                       |
| 10.50 | -1.0214E-01        | -1.7211E-02        | 9.9999E+01    | 8.3926E+02        | 0.0000E-01             | 4.5028E-02          | 1.4002E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9994E-01                                       |
| 10.51 | -1.1415E-01        | 2.3437E-02         | 9.9999E+01    | 8.3921E+02        | 0.0000E-01             | 4.6040E-02          | 1.4225E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9991E-01                                       |
| 10.51 | -1.2618E-01        | 3.7475E-02         | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 4.6834E-02          | 1.4399E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9999E-01                                       |
| 10.51 | -1.3819E-01        | -3.9245E-02        | 9.9999E+01    | 8.3920E+02        | 0.0000E-01             | 6.6615E-02          | 2.2074E-01      | 0.0000E-01                           | 9.9998E-01                                       |
| 10.51 | -1.5021E-01        | -5.8700E+01        | 3.6324E+01    | 8.3931E+02        | -5.1505E+00            | -2.1977E+00         | 2.4299E-01      | -2.8335E-06                          | 1.3025E+00                                       |
| 10.51 | -1.6223E-01        | -7.8499E+01        | 1.6475E+01    | 8.3926E+02        | -5.1513E+00            | -2.1939E+00         | 2.4888E-01      | -8.5007E-06                          | 9.8907E-01                                       |