技術報告**25. HTR 繰返しパルス運転のオンライン・データ処理**

稲垣清和*, 土井 彰*, 北口博司*

(1971年 7月2日 受理)

On-Line Data Processing for HTR Repetitive-Pulse Operation

By Kiyokazu INAGAKI, Akira DOI and Hiroshi KITAGUCHI

The single-pulse operation test on the Hitachi Training Reactor (HTR) has been expanded into the repetitive-pulse operation test. On-line data processing with the HITAC-10 digital mini-computer is developed to ensure safety of repetitive-pulse operation. The peak power, the reactor period, the released energy and the maximum temperature rise of fuel pellet and fuel cladding are computed by this system in short intervals of 30 ~ 60 sec from one power burst to the next. As the sheathed thermocouple is used for the measurement of fuel center temperature, its indication is corrected by the transfer function in the form of second order time lag.

I. 緒 言

酸化ウラン燃料を使った軽水減速原子炉の反応度事故現象を把握するための研究が種々の原子炉を使って進められている⁽¹⁾⁽²⁾。この1つとして HTR (Hitachi Training Reactor) を使って単発パルス運転の研究が続けてきた⁽³⁾。投入反応度 $1.20\% \Delta k/k$ までの実験で、Doppler 効果などによる反応度自己制御性を実証し⁽⁴⁾⁽⁵⁾、単発パルス運転から繰返しパルス運転へ進んだ。これらの実験には、多くのデータを処理しなければならないこと、安全性を重視することから電子計算機によるオンライン・データ処理、またはオンライン制御が取り入れられている⁽⁶⁾。HTR 繰返しパルス運転でも、ある反応度投入後、次の反応度投入までの短時間で先回の反応度投入時の測定データを整理し、安全に次の反応度投入へ進める必要がある。このため小型科学技術用計算機 HITAC-10 を導入し、オンライン・データ処理を実施した。このオンライン・データ処理システムは原子炉制御系とは独立しており、制御のための信号は別の計測回路から取っている。本報では、処理内容と処理結果について報告する。

II. 実験装置**1. 繰返しパルス炉**

HTR 繰返しパルス運転では、パルス制御棒(以下パルス棒と略称)の原子炉炉心からの引抜きと再挿入を30~60secの任意の設定時間間隔で、最高10回繰返すことができる。設定した回数の反応度投入が終了するまでは、原子炉制御棒(安全棒, 粗調整棒, 微調整棒)は落下させず、パルス棒駆動装置によってパルス棒の引抜きと挿入を繰返させる。パルス棒駆動機構を第1図に示す。繰返しパルス運転を始める前は上の引き金は開いており、下の引き金はパルス棒をくわえている。第1回目の反応度投入時は、あらかじめパルス棒位置設定用ハンドルで目的とする反応度が投入されるようにパルス棒の位置を決め、原子炉制御棒で臨界にした状態からパルス棒を引き抜く。第1回目のパルス棒挿入以後は、パルス棒を下限まで挿入した状態で次の反応度投入の時期を待つ。第2回目の反応度投入からは下の引き金は開いたままで、上の引き金の開閉によってパルス棒は上下に動く。そして、設定反応度投入回数、原子炉出力、原子炉周期、パルス運転時間のうち、1つでも制限値を越えて原子炉をスクラムさせたとき、下の引き金も閉じる。引き金が開いている状態を“1”閉じている状態を“0”として第2図にパルス棒の動作と引き金の状態を示す。

* (株)日立製作所 原子力研究所 (At. Energy Res. Lab., Hitachi Ltd.)

第1図 パルス棒駆動機構

第2図 パルス棒と引き金の動作

第3図にHTRパルス炉心を示す。モニタ燃料は密封容器内に温度計測燃料棒を1本入れたもので、その冷却水は炉心冷却水とは別系統になっている。計測燃料I, IIは燃料棒9本(3×3の配列)からなる燃料集合体と同じ構成で、計測燃料Iは9本のうち中央の、IIは炉心中心寄りの隅の1本の燃料をそれぞれ温度計測燃料棒と置き換えたものである。モニタ燃料、計測燃料I, IIの順に熱的、核的に厳しい条件下にある。パルス運転時には約20の計測点があるが、オンライン・データ処理に関係のある重要な計測点のデータを第4図に示す。温度は計測燃料IIのものである。対数炉出力は7線補償型電離箱からの出力電流を対数増幅器に通して得たものである。温度は熱電対を使って測定した。被覆管表面温度測定にはSUSシース入りクロメル・アルメル露出型で、心線0.2mmφ、シース外径1.0

- 燃料集合体
- × 反射体
- ① 安全棒-I
- ② 安全棒-II
- ③ 粗調整棒
- ④ 微調整棒
- ⑤ パルス棒
- ⑥ 計測燃料-I
- ⑦ 計測燃料-II
- ⑧ モニター燃料
- ⑨ 至圧カボイド測定要素
- ⑩ 炉心観測要素

第3図 HTR パルス炉心構成

mmφの熱電対を使い、燃料中心温度測定にはSUSシース入り白金・白金ロジウム13%接地型で、心線0.3mmφ、シース外径1.6mmφの熱電対を使った。第4図において、燃料中心温度の上昇が被覆管表面温度のそれと比べて緩やかであるが、これは熱電対が太く接地型であること、 UO_2 から熱電対への熱伝達が悪いことによって時間遅れが生ずるものと考えられる。

第4図 HTR パルス運転データの1例

2. HITAC-10

HITAC-10は小型科学技術用計算機で、1語は16ビット、サイクルタイムは1.4μsec/語である。HTRパルス運転のオンライン・データ処理に使ったHITAC-10の構成を第1表に示す。経時時計機構の最小時間間

第1表 HITAC-10 の構成

名 称	形 式	仕 様
処理装置	H-1610	基本拡張機構, 付加命令機構, 自動再スタート機構, 経時計機構, テープ読取制御機構, テープせん孔制御機構を含み, 記憶容量は8 K語である。
テープ読取機	H-8226-2	8単位テープ 500字/sec (50Hz), 600字/sec (60Hz)
テープせん孔機	H-8227-2	8単位テープ 110字/sec
データ・タイプライタ	H-9331-41FD	印字, テープ読取り, テープせん孔とも10字/sec
アナログ・データ処理装置	HP-1613-4	アナログ・インプット 16チャンネル $\pm 10V$ $10V = 1$ アナログ・アウトプット 2チャンネル $\pm 10V$ デジタル・インプット 2チャンネル "1" + 5~15V, "0" 0-5V デジタル・アウトプット 4チャンネル

隔は1 msecである。A-D 変換器の電圧最小分解能は10mV で、アナログ・データ処理装置のマルチプレクサによってアナログ入力部のチャンネルを選択して1個のデータを読み込むに要する時間は約70 μ sec である。

Ⅲ. 処理内容

オンライン・データ処理システムの構成は次のようになっている。

- (1) パルス棒引き抜き開始から2 sec 間データを読み込む。
- (2) 読み込んだデータを処理する。
- (3) 次の反応度投入までの間に処理結果をデータ・タイプライタに打ち出す。
- (4) 制限値を越えるものがあれば、それが何であるかを打ち出してベルを鳴らす。
- (5) 次にパルス棒が引抜かれるのを待つ。

全体のフローチャートを第5図に示す。以下これに沿って述べる。

1. パルス棒引き抜き判定とデータの読み込み

パルス棒引き抜き開始を時間の原点とするために、パルス棒が引き抜かれた時からデータを計算機に読み込み始める。第2図からわかるように、上と下の引き金の状態が“1”と“1”になったときにデータの読み込みを開始させ、“1”と“0”または“0”と“1”のときはデータの読み込みを待たせ、“0”と“0”になれば実験終了であるから計算機を止める。この“1”と“0”の状態は、それぞれの引き金が開いたときに出る10Vの電圧をアナログ・データ処理装置のデジタル入力部を通して計算機に入力し判別している。

第5図 オンライン・データ処理
フローチャート

アナログ入力部を通して読み込まれるデータは、計算時間を短くするために、第4図に示した対数炉出力、線形炉出力、計測燃料Ⅱの燃料中心温度と被覆管表面温度に限った。第4図からわかるように、2 sec 間の

データ読み込みで重要な現象は記憶できる。データの読み込み間隔は1 msecで、読み込み順序は炉出力、燃料中心温度、炉出力、被覆管表面温度の繰返しである。したがって、2 sec間で炉出力は1,000個の、燃料中心温度、被覆管表面温度はそれぞれ500個のデータが読み込まれる。炉出力のデータは、炉出力が1 MWになるまでは対数炉出力を、それ以後は線形炉出力を読み込む。アナログ入力部への入力電圧はA-D変換器で固定小数点表示に変換され、さらに浮動小数点表示に変換されて1個のデータは2語で記憶される。HITAC-10の8K語のメモリの使用状態を第6図に示す。このようにして2 sec間のデータ読み込みが完了すると、データ処理のサブルーチンに進んで計算を始める。計算内容を次に示す。

対数炉出力から	炉周期
線形炉出力から	最大炉出力とパルス棒引き からの時間、放出エネルギー
燃料中心温度から	熱電対の時間遅れ補正後の最 高燃料中心温度とその時間
被覆管表面温度から	最高被覆管表面温度とその時 間

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ON															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															

第6図 HITAC-10 メモリ使用状態

2. データ処理方法

(1) 炉周期計算サブルーチン

炉周期はパルス運転の投入反応度の大きさを決める重要なパラメータである。パルス運転時の炉出力の変化を説明する。原子炉にステップ状に過剰反応度が加えられると、中性子数は急激に指数関数的に増加する。それに伴って燃料や冷却材の温度が上昇し、 ^{235}U の濃縮度を適当に制限した水冷却原子炉では、まずDoppler効果、つづいてボイド効果などで中性子数の増加は抑えられる。したがって、炉出力の変化はパルス波形をとり、最大になるまでに指数関数的に上昇する領域がある。炉周期を T とすると、その領域での炉出力の変化は次式で表わされる。

$$P = P_0 \exp\left(\frac{t}{T}\right) \quad (1)$$

ここで、 P : 炉出力(MW), P_0 : 初期炉出力(MW),

t : 時間(sec)

(1)式の両辺の対数をとると、

$$\log_e(P) = \log_e(P_0) + \frac{t}{T} \quad (2)$$

対数炉出力は(2)式の左辺の形で計算機に読み込まれる。このデータを最小自乗法で直線近似し、その直線の勾配を a とすると炉周期 T は $1/a$ で与えられる。計算結果は msec 単位で表わされる。

(2) 最大炉出力計算サブルーチン

これはパルス運転時の最大炉出力とその時間を計算するサブルーチンである。計算の方法は線形炉出力の1番目のデータを最大値と仮定し、最大値から2番目のデータをひく。その結果が負であれば、最大値を2番目のデータと置き換えて、正であればそのまま最大値から3番目のデータをひく。このような操作を線形炉出力のデータ全部について繰返しして最大値を求める。炉出力が最大になる時間は、炉出力が最大になるまでの引き算の回数と対数炉出力のデータを読み込んだ回数の和に、炉出力のデータ読み込み周期2 msecをかけて求める。線形炉出力の増幅器は100MWで10Vの出力が得られるように利得が設定してあり、A-D変換器では10Vの入力信号が1のディジタル量に変換される。したがって最大値に100をかけると、MW単位で最大炉出力が求まる。

(3) 放出エネルギー計算サブルーチン

ここではパルス棒引き開始から2 sec 後までに放出されるエネルギーを計算する。時刻 t_0 までに放出されるエネルギー E は一般に次式で与えられる。

$$E = \int_0^{t_0} P(t) dt \quad (3)$$

本システムでは、放出エネルギーは線形炉出力だけから求めている。対数炉出力のデータ数を N とすると、線形炉出力のデータ数は $1,000-N$ であり、炉出力のデータ読み込み間隔は2 msecであるから、(3)式は次のように書ける。

$$E = \sum_{i=1}^{1000-N} P_i(w) \cdot \Delta t = 0.002 \sum_{i=1}^{1000-N} 100 \cdot P_i(v) \quad (4)$$

ここで、 $P_i(v)$ は線形炉出力の i 番目に読み込まれたデータで、 $P_i(w) = 100 \cdot P_i(v)$ である。 Δt はデータ読み込み間隔である。

(4) 被覆管表面温度計算サブルーチン

ここでは最大炉出力を求める場合と同様の処理をして、4 msec 間隔で読み込まれた被覆管表面温度のデータから、最高温度とその時間を計算する。記憶されている電圧データは次の近似式で温度の値に変換して

いる。

$$T_c = 24.4 \cdot V$$

ここで, T_c : 被覆管表面温度($^{\circ}\text{C}$)

V : 熱起電力(mV)

(5) 燃料中心温度計算サブルーチン

第Ⅱ章で述べたように, 燃料中心温度には実際の温度と測定される温度との間に時間遅れが生ずる。このサブルーチンでは, その時間遅れの補正をした後の最高燃料中心温度とその時間を求める。最高温度や時間を求める方法は最大炉出力の場合と同様である。ここでは熱電対の時間遅れの補正方法⁽⁷⁾について述べる。

燃料中心温度の測定には熱電対の強度を考慮して前述のように SUS シース入りの太いものを使っているの、0.1mmφの銅-コンスタンタンの熱電対素線を使った測定結果と比較した。この細い熱電対で測定した燃料中心温度と原子炉反応度事故解析コードによる燃料中心温度計算結果との比較を投入反応度が1.00%Δk/kのときについて第7図に示す。両者の立上りの勾配から, この熱電対の時定数は充分小さいことがわかる。そこでこの熱電対による測定結果を基準の入力側温度変化とし, 現在取り付けられている白金-白金ロジウム13%熱電対による測定結果を出力側の温度変化として, 両者の間の時間遅れを表わす伝達関数 $F(s)$ の形を次式に仮定した。

$$F(s) = K \frac{s^n}{1 + \tau_t s} \quad (6)$$

ここで, n : 次数, τ_t : 時間遅れを表わす時定数

K : ゲイン定数, s : 複素変数

第7図 0.1φ C-C 熱電対と計算(REACT=RII)との応答比較

次に出力側の温度変化を関数近似したものを Laplace 変換し, それを伝達関数で割算して入力側の温度変化の Laplace 変換形を求めた。それを Laplace 逆変換して時間関数の入力側温度変化を求め, それが基準とした入力側温度変化と一致するように伝達関数の次数,

時定数, ゲイン定数を決めた。2 次遅れで $\tau_1=0.450$, $\tau_2=0.150$ としたとき, 両者をよく一致させることができた。第8図に投入反応度 1.00%Δk/k のときの実測温度変化と, それを前述の伝達関数を使って補正した結果を示す。各投入反応度においてこのような補正計算をした。

第8図 パルス運転における高温点計測燃料の中心温度の実測値と補正値

オンライン・データ処理のプログラムでは第8図に示したような補正前後の温度の各間時での比をとり, それを補正係数として双曲線で近似して使っている。双曲線で近似した補正係数を代表的な投入反応度について第9図に示す。双曲線の式の形を次に示す。

$$Y = \frac{T_c(t)}{T_m(t)} = \frac{A}{t} + B \quad (7)$$

ここで, Y : 補正係数

$T_c(t)$: 真の温度, $T_m(t)$: 測定温度

t : 時間(sec), A, B : 係数

第9図 各投入反応度での実測値と真の燃料温度の補正係数

係数 A, B を炉周期の関数として決めると(7)式は任意の投入反応度の実験について使える。係数 A, B を炉周期の関数として(8), (9)式と第10図に示す。これは今までの実験データを関数近似して求めたものである。

$$A = \frac{34.6 + \sqrt{36.47T - 577.84}}{36.47} \quad (8)$$

$$B = T \cdot (0.002T - 0.122) + 1.677 \quad (9)$$

第10図 時間遅れ補正式の定数と炉周期との関係
関数近似の範囲は、繰返しパルス運転の計画から考えて炉周期が30~16.5 msec の間とした。このように炉周期が決まるとその投入反応度での補正係数が決まる。この補正係数を計算機に記憶させている燃料中心温度の値にかけて時間遅れの補正をする。

第9図からわかるように、時間が小さいときには補正係数の変化が大きいため、パルス棒引抜き直後の燃料中心温度にこの補正係数をかけ始めると大きな誤差を生ずる。このために、実測温度上昇が50°Cになったときから補正を始めている。50°Cから補正を始めるには、第9図において各投入反応度で50°Cに対応する補正係数をとる時間を決めておく。この時間と炉周期 T との関係を関数近似したものを次に示す。

$$t = 0.189T - 0.489 \quad (10)$$

ここで、 t : パルス棒引抜きから50°Cに対応する補正係数をとるまでの時間(sec)

補正計算では、まず、計算機内に記憶させた燃料中心温度の値の中から50°Cを越え始めるときの値をさがし出す。その値に(8),(9),(10)式の係数 A, B と時間 t を使って(7)式から決まる補正係数をかける。以下順に残りのデータの数だけ燃料中心温度の値に(7)式の時間 t を4 msec ずつ加算して補正係数を決めたものをかけて補正する。

読み込まれた燃料中心温度の入力電圧データは次式を使って温度の値に変換している。これは白金-白金ロジウム13%熱電対のJIS規格校正曲線を4区分して関数近似したものである。

$$\left. \begin{aligned} T_f &= 16.15V + 1.11 & (0 \leq T_f < 82.5) \\ T_f &= 53.582\sqrt{V} + 90.095 & (82.5 \leq T_f < 400) \\ T_f &= 86V + 116 & (40.0 \leq T_f < 900) \\ T_f &= 74.1V + 213 & (900 \leq T_f) \end{aligned} \right\} (11)$$

ここで、 T_f : 燃料中心温度(°C)

V : 熱起電力(mV)

燃料中心温度計算のサブルーチンをまとめたものを第11図に示す。

第11図 熱電対の時間遅れ補正のフローチャート

(6) 結果の打出しと安全性のチェック

前述のような処理をした結果はデータ・タイプライタに打ち出される。打出しは処理結果を早く知るために、1つの項目についての処理が終るごとに印字させている。処理結果は、あらかじめ設定しておいた各制限値と比較して制限値を超えるものがあれば、それが何であるかを打ち出してデータ・タイプライタのベルを鳴して警告する。たとえば、炉周期と燃料中心温度が制限値を越えたとすると、次のように打ち出してベルを鳴らす。

PERIOD ???
TEMP (FUEL) ???

オンライン・データ処理の段階では、制限値を越えるものがあっても上記のような打出しと警告だけでスクラム系へ信号は送らない。処理結果がすべて制限値内であれば次のように打ち出す。

ALL SAFETY GO AHEAD!

スクラム条件のいずれか1つでも満足してスクラムすると、次のように打ち出して計算機は止まる。

*** SCRAM ***

各制限値を次に示す。

炉出力	37 MW
炉周期	27 msec
放出エネルギー	12 MW・sec
燃料中心温度	1,400°C
被覆管表面温度	200°C

Ⅳ. 処理結果とその検討

繰返しパルス運転でオンライン・データ処理を実施したときの測定系のブロック線図を第12図に示す。

第12図 オンライン・データ処理ブロック線図

投入反応度 $1.00\% \Delta k/k$ 、繰返し間隔60sec、繰返し回数3回のパルス運転時の処理結果を第2表に示す。第4図はこの実験時の電磁オシログラフに記録されたデータである。第4図において、1点鎖線で示した時間(0.385sec)で炉出力が1 MWを越えている。前述のようにこの時間以前は対数炉出力のデータを、これ以後は線形炉出力のデータを計算機に読み込ませている。第2表において、計算結果の下に整数で打ち出されている数値は、その値になったときのパルス棒引抜きからの時間で、単位は msec である。() 内に示した値は人手でデータ・レコーダ、電磁オシログラフの記録から読み取った結果である。実験データによって少しは処理時間変るが、処理結果を打ち出して次のパルス棒引抜き待ちの状態になるまでの時間は約30 sec である。

以下、第2表においてオンライン・データ処理の結果と、() 内に示した人手によるデータ整理の結果と比較し検討する。

炉出力についてはその値、時間とも両者はよく一致している。炉周期についても両者はよく一致している。2回目の反応度投入から炉周期が大きくなっているが、これは先回の反応度投入によって炉心の温度が上昇しているために、負の温度係数が効いて過剰反応度が小さくなっているためである。放出エネルギーも両者はよく一致している。() 内の値は炉出力波形をグラフ用紙にトレースしてその重量から換算したものである。放出エネルギーは前述のように線形炉出力のデータだけから求めている。したがって、炉出力が1 MW になるまでの放出エネルギーは無視している。今回のパルス運転の1回目の反応度投入では、炉出力が1 MWになるまでに約0.03 MW・secのエネルギーが放出されている。これは線形炉出力データから算出された結果の約0.3%で、無視しても影響はない。次の反応度投入までの60 secで放出されたエネルギーは約20 MW・secであった。したがって、パルス棒引抜き開始後2 sec間で全体の約50%のエネルギーが放出されている。被覆管表面温度については、温度の値は

第2表 オンライン・データ処理結果の一例

() 内はデータ・レコーダ、電磁オシログラフの記録を整理した結果

** HTR REPETITIVE-PULSE OP. **

	PEAK POWER & TIME (MW)	PERIOD (MILLI S)	ENERGY (MW-S)	TEMP(CLAD) & TIME (C)	TEMP(FUEL) & TIME (C)
1ST PULSE	(32.5) 0.3173 E +02 528 (530)	(28.9) 0.2935 E +02	(9.7) 0.9802 E +01	(114) 0.1158 E +03 875 (800)	(770) 0.7656 E +03 1269 (1100)
	ALL SAFETY	GO AHEAD!			
2ND PULSE	(25.0) 0.2480 E +02 454	(42.91) 0.4291 E +02	(9.183) 0.9183 E +01	(116) 0.1181 E +03 1171	(740) 0.7311 E +03 1061
	ALL SAFETY	GO AHEAD!			
3RD PULSE	(23.5) 0.2294 E +02 464	(44.47) 0.4447 E +02	(9.085) 0.9085 E +01	(115) 0.1158 E +03 791	(740) 0.7311 E +03 1053
	ALL SAFETY	GO AHEAD!			

*** SCRAM ***

よく一致しているが、最高温度になった時間は約75 msec の差がある。この差については次に述べる2つの原因が考えられる。

- (1) 第4図からわかるように、被覆管表面温度は炉出力のように鋭いピークはなく、急激に上昇した後、ある温度で飽和状態になる性質があること。
- (2) データの読み込み周期が4 msec で炉出力の場合の2倍であること。

第2表に打ち出されている温度は上昇分であるので、この実験時の水温27°Cを加えたものが正しい温度である。燃料中心温度も温度の値はよく一致しているが、最高温度になった時間に約170 msec の差がある。第4図に、燃料中心温度の実測変化と、それを前述の伝達関数を使って補正した結果とを示した。170 msec の差については、被覆管表面温度の場合と同じような原因が考えられる。このほかに、実測温度上昇が50°Cを越えるときから補正を始めているが、低温時には温度が低いために S/N が小さくデータのバラツキが大きいので、ノイズのために補正を開始することがある。これも1つの原因と考えられる。

以上は1回目の反応度投入についての検討であるが、2回目以降の反応度投入では、反応度投入開始時の温度を基準にした温度変化が1回目の反応度投入時の温度変化と等しくなければこの補正は正しくない。第13図に1回目と2回目の反応度投入時の燃料中心温

度変化を示す。この図において、点線は2回目の反応度投入によるもので、初期温度は30°Cであった。2回目の反応度投入による温度変化を1回目の反応度投入時の最高燃料中心温度で規格化したものを○印で示した。これから1回目と2回目の反応度投入による温度変化は同じであることがわかる。したがって、同じ伝達関数を使える。

V. 結 言

原子炉パルス運転への計算機使用計画の第1段階として、オンライン・データ処理システムを開発した。今までの単発パルス運転では、1回のパルス運転から得られるデータの整理に約1 hr かかっていた。本システムの開発により、ある反応度投入後、次の反応度投入までの30~60 sec の短い時間に、原子炉の安全のためと実験目的に必要な情報を得て次の反応度投入に進むことができるようになった。

HTR パルス運転の研究は、日立製作所原子力研究所と東京原子力産業研究所とからなるHTR パルス運転グループによって進められている。本研究を進める際に、とくに東京原子力産業研究所の中瀬恒雄、村松邦博の両氏に測定系のハードウェアについて、清野英昭氏に熱電対の時間遅れの補正法について多くのご協力をいただいた。

— 参 考 文 献 —

- (1) GRUND, J.E.: IDO-17028, (1964).
- (2) LUMB, R.F., MACPHEE, J.: WNY-020, (1965).
- (3) KATO, H., IMAI, M., *et al.*: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **6** [11], 637 (1969).
- (4) IMAI, M., YAMADA, S., *et al.*: *ibid.*, **6** [2], 69 (1969).
- (5) KATO, H., IMAI, M.: *ibid.*, **6** [4], 15 (1969).
- (6) TAXELIUS, T.G.: IDO-17228, (1966).
- (7) 清野英昭, 他: 本会昭44年会, D29, (1969).
- (8) 西川元之, 他: 本会昭45炉物理・炉工学分科会, B36, (1970).

第13図 繰返しパルス運転の1回目と2回目との燃料中心温度の比較