

JAERI-M

6 6 6 1

J M T R 運 転 中 の 熱 中 性 子 束 変 動 の 評 価  
( 3 次 元 計 算 に よ る 解 析 )

1 9 7 6 年 8 月

永 岡 芳 春

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

J M T R 運転中の熱中性子束変動の評価  
( 3次元計算による解析 )

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

永 岡 芳 春

( 1976年7月14日受理 )

J M T R ( 50MW ) の運転中、中性子束は制御棒の移動、燃料の燃焼などにより大幅に変動する。照射物の発熱量を予測するため、運転中の照射孔での中性子束変動を知る必要がある。

これまで ( 第37サイクルまで ) 使われていた運転中の中性子束変動は、第2サイクルシュラウド実験 ( 運転初期に対して ) と二次元 ( R-Z ) モデルでの計算結果にもとづいて評価したものであった。今回照射物の発熱量予測に対する精度向上のため、運転中の熱中性子束変動について3次元計算で解析し、中性子束変動を評価した。

計算の結果、R-Zモデルでは考慮できなかった燃料要素と制御棒の配置が評価でき、そのため異なった中性子束の分布及び変動が把握できた。

今回の計算法は第2サイクルシュラウド実験結果で評価されほぼ妥当であることがわかった。

Evaluation of the JMTR Thermal Neutron Flux  
Variation during Operation  
(Analysis by Three-dimensional calculation)

Yoshiharu NAGAOKA

Division of JMTR Project, Oarai, JAERI)

(Received July 14, 1976)

In the JMTR(50 MW), the neutron flux variation during reactor operation is considerable due to control rods movement, fuel burn-up, and so on. Therefore, it is important to evaluate the flux variation for prediction of the linear heat generation in capsules.

The flux variation has so far been evaluated by means of the combined results of in-core experiment (beginning of the operation) and two-dimensional model (R-Z) calculation.

High accuracy in prediction of the linear heat generation is important, so refinement in evaluation of the flux variation is necessary.

The thermal neutron flux variation evaluated by three-dimensional calculation is described.

The results somewhat differ from those by two-dimensional calculation, because of the configurations of fuel elements and control rods which are not considered in the R-Z model. Validity of the calculational method is confirmed with the results of in-core monitor experiment.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 解析方法 .....	1
2.1 炉心計算モデル .....	1
2.2 制御棒引抜きモデル .....	1
3. 結果 .....	2
4. 検討 .....	2
5. 結論 .....	4
6. あとがき .....	4

## 図 目 次

図1 炉心モデル .....	5
図2 燃焼度と制御位置との関係 .....	6
図3 J M T R 炉心図 .....	7
図4.1 運転中の熱中性子束変動 ( I - 1 1 ) .....	8
図4.2         "         ( J - 9 ) .....	9
図4.3         "         ( N - 9 ) .....	10
図4.4         "         ( M - 8 ) .....	11
図4.5         "         ( O - 9 ) .....	12
図4.6         "         ( M - 1 1 ) .....	13
図4.7         "         ( M - 1 2 ) .....	14
図4.8         "         ( I - 1 2 ) .....	15
図4.9         "         ( I - 1 3 ) .....	16
図4.10        "         ( J - 1 1 ) .....	17
図4.11        "         ( J - 1 2 ) .....	18
図4.12        "         ( K - 1 0 ) .....	19
図4.13        "         ( K - 1 1 ) .....	20
図4.14        "         ( K - 1 2 ) .....	21
図5 熱中性子束分布 .....	22
図6 縦方向平均値に対するピーク値 .....	23
図7.1 炉運転中の中性子束変動 ( R - Z 計算, 反射体領域 ) .....	24
図7.2         "         ( SPD実測, E - 8 ) .....	25
図7.3         "         ( 3群と熱群の和, M - 8 ) .....	26
図7.4         "         ( TIC実測, I - 1 1 ) .....	27
図7.5         "         ( SPD実測, H - 7 ) .....	28
図7.6         "         ( R - Z 計算, 燃料領域 ) .....	29
図8 解析結果の運転計画への適用領域 .....	30

## 1. ま え が き

炉心内の中性子束は、炉の運転に伴う燃料の燃焼などにより、制御棒が引き抜かれ大巾に変動する。JMTRでは、中性子束変動を小さく押えるため制御棒引抜パターンが現在のように決定された。この引抜パターンによるサイクル中性子変動を知ることは、照射炉として重要な課題の一つでもある。

現在、試料発熱量の予測などに使用されている照射孔の中性子束変動因子は、JMTR運転開始当初に円筒形炉心モデルで2次元R-Z計算したもの<sup>\*</sup>である。その結果の妥当性は、JMTRC実験や第2サイクルシュラウド実験<sup>\*\*</sup>で評価されている。

今回、改めて計算した理由は、前に行われた炉心は第一期炉心についてのものであり、現在は炉心が若干異なる第二期炉心であること、これまで試料発熱量の予測に対する精度の向上がなされてきたことで中性子束変動因子についても見直す必要性が生じたこと、大型計算機が導入され記憶容量も多くとれること、などによる。それ故、現炉心に近いモデルで3次元拡散計算コード(CITATION)で解析することにした。以下は、その解析方法、結果などについてまとめたものである。

## 2. 解 析 方 法

### 2.1 炉心計算モデル

現炉心全体を3次元的に模擬することは、計算機の記憶容量の制約から困難であるため、図1(a)に示す1/4象限炉心モデルとすることにした。反射体領域のキャプセルの扱いについては、図のような各セルごとの核定数として扱った場合と、反射体領域を1, 2, 3層と均質とした核定数として扱った場合を2次元X・Yモデルで制御棒SH-2がINとOUTのケースでサーベイした結果、中性子束変動割合は同じという結果であった。したがって計算ゾーンを減らせることから各層均質核定数として扱うことにした。キャプセルの縦方向についても実際はそれぞれ長さ、形状、材質が異なる訳だが、図1(b)に示すように、図1(a)のキャプセルを層ごとに均質とした核定数が縦方向に一様であるとした。SR-2(微調整安全棒)の位置は、自動運転中は560~640mmの範囲を移動するが、計算モデルでは、サイクルを通し、600mmの固定位置とした。

### 2.2 制御棒引抜きモデル

制御棒の運転中の移動は、運転初期はXeなどの毒物効果のため急速に引抜かれ、その後は燃料の燃焼にともない徐々に引抜かれていく。その様子を示したのが図2である。図2は第2期炉心における過去の実績である。今回の解析での燃焼効果と毒物効果の計算中への導入は次の手順によった。

- (イ) 計算ケースでの制御棒位置の決定
- (ロ) 図2から計算ケースでの燃焼度(MWD)を求める

\* JAERI-memo 4130(公開) 運転中の中性子束変動解析, 田中ほか 1970年8月

\*\* JAERI-M 4706 JMTR運転中の照射中性子束変動の測定, 石塚ほか 1972年2月

## 1. ま え が き

炉心内の中性子束は、炉の運転に伴う燃料の燃焼などにより、制御棒が引き抜かれ大巾に変動する。JMTRでは、中性子束変動を小さく押えるため制御棒引抜パターンが現在のように決定された。この引抜パターンによるサイクル中性子変動を知ることは、照射炉として重要な課題の一つでもある。

現在、試料発熱量の予測などに使用されている照射孔の中性子束変動因子は、JMTR運転開始当初に円筒形炉心モデルで2次元R-Z計算したもの\*である。その結果の妥当性は、JMTRC実験や第2サイクルシュラウド実験\*\*で評価されている。

今回、改めて計算した理由は、前に行われた炉心は第一期炉心についてのものであり、現在は炉心が若干異なる第二期炉心であること、これまで試料発熱量の予測に対する精度の向上がなされてきたことで中性子束変動因子についても見直す必要性が生じたこと、大型計算機が導入され記憶容量も多くとれること、などによる。それ故、現炉心に近いモデルで3次元拡散計算コード(CITATION)で解析することにした。以下は、その解析方法、結果などについてまとめたものである。

## 2. 解 析 方 法

### 2.1 炉心計算モデル

現炉心全体を3次元的に模擬することは、計算機の記憶容量の制約から困難であるため、図1(a)に示す1/4象限炉心モデルとすることにした。反射体領域のキャプセルの扱いについては、図のような各セルごとの核定数として扱った場合と、反射体領域を1, 2, 3層と均質とした核定数として扱った場合を2次元X・Yモデルで制御棒SH-2がINとOUTのケースでサーベイした結果、中性子束変動割合は同じという結果であった。したがって計算ゾーンを減らせることから各層均質核定数として扱うことにした。キャプセルの縦方向についても実際はそれぞれ長さ、形状、材質が異なる訳だが、図1(b)に示すように、図1(a)のキャプセルを層ごとに均質とした核定数が縦方向に一様であるとした。SR-2(微調整安全棒)の位置は、自動運転中は560~640mmの範囲を移動するが、計算モデルでは、サイクルを通し、600mmの固定位置とした。

### 2.2 制御棒引抜きモデル

制御棒の運転中の移動は、運転初期はXeなどの毒物効果のため急速に引抜かれ、その後は燃料の燃焼にともない徐々に引抜かれていく。その様子を示したのが図2である。図2は第2期炉心における過去の実績である。今回の解析での燃焼効果と毒物効果の計算中への導入は次の手順によった。

- (イ) 計算ケースでの制御棒位置の決定
- (ロ) 図2から計算ケースでの燃焼度(MWD)を求める

\* JAERI-memo 4130 (公開) 運転中の中性子変動解析, 田中ほか 1970年8月

\*\* JAERI-M 4706 JMTR運転中の照射中性子束変動の測定, 石塚ほか 1972年2月

- (ハ) 燃焼度 (1.254 g/MWD) から各燃料要素の  $U^{235}$  減少量を求める。
- (ニ) 各燃料要素の核定数をセットする
- (ホ) 炉心計算を行い実効増倍率 (Keff) を求める。
- (ヘ) 毒物効果として  $K_{eff} \doteq 1.0$  になるように、各燃料要素の出力密度に比例する割合で熱群の吸収断面積 ( $\Sigma_a$ ) を増加する。
- (ト) 炉心計算を行い  $K_{eff} \doteq 1.0$  の結果を得る

上記の手順を計算ケースについて行う。計算ケースと図2から得た燃焼度 (MWD) を表1に示す。

(ニ)で燃料要素の縦方向の燃焼については、中心附近の早い燃焼が懸念されるが、縦方向に一樣に燃焼したとしても、中性子束分布へのそれによる影響は小さいものであり、縦方向に一樣な核定数を設定することにした。

解析は、4群拡散コード CITATION で行うこととし、熱群 0.6826 eV 以下は THERMOS-JMTR、高速群 0.6826 eV 以上は GGC-4 で核定数を求めた。また熱群の制御棒境界条件は  $C = 0.191$  を使用した。

### 3. 結 果

解析モデルのクリーン状態での臨界制御棒位置は、SH-2 IN, SR-600mm で SH-1, 3 525mm であり、実際の炉心臨界点と大差がなかった。

毎サイクルの炉心配置での中性子束分布などの炉心計算は2次元 X-Y 計算で SH-2 IN の状態で各照射孔の平均中性子束として得られるので、サイクル中で SH-2 IN の状態での縦方向平均熱中性子束が1になるように規格化し各計算ケースでの縦方向熱中性子束の変動を各照射孔について整理した。その結果を図4.1~4.1.4に示す。

SR位置を600mmから800mmに引抜いたときの附加反応度は計算では約0.66% $\Delta K/K$ であり、本体炉心実測の約0.7% $\Delta K/K$ とよく一致している。

なお、解析モデルでのメッシュの配分などにより要したメモリーは1ケースにつき約15万メモリーで計算機容量として約230kwであり、計算時間はCPUタイムで約5分であった。

1/4象限のうち熱中性子束変動のデータ整理を行った照射孔を図3中に示してある。

### 4. 検 討

解析結果よりサイクル中熱中性子束変動の特性について要約すると次のことが言える。なお、JMTR炉心は図3に示す方位に位置している。

- (1) 燃料領域の四孔照射孔における変動は、反射体領域照射孔における変動に比して大きい。
- (2) 反射体領域でも東(西)側と南(北)側とでは、縦方向中性子束分布及びその変動傾向が異なっている。
- (3) 東(西)側では、起動時からXeが飽和するSH-1, 3上限までが変動が大きく、それ以後は比



- (ハ) 燃焼度 (1.254 g/MWD) から各燃料要素の  $U^{235}$  減少量を求める。
- (ニ) 各燃料要素の核定数をセットする
- (ホ) 炉心計算を行い実効増倍率 (Keff) を求める。
- (ヘ) 毒物効果として Keff  $\approx$  1.0 になるように、各燃料要素の出力密度に比例する割合で熱群の吸収断面積 ( $\Sigma_a$ ) を増加する。
- (ト) 炉心計算を行い Keff  $\approx$  1.0 の結果を得る

上記の手順を計算ケースについて行う。計算ケースと図2から得た燃焼度 (MWD) を表1に示す。

(ニ)で燃料要素の縦方向の燃焼については、中心附近の早い燃焼が懸念されるが、縦方向に一樣に燃焼したとしても、中性子束分布へのそれによる影響は小さいものであり、縦方向に一樣な核定数を設定することにした。

解析は、4群拡散コード CITATION で行うこととし、熱群 0.6826 eV 以下は THERMOS-JMTR、高速群 0.6826 eV 以上は GGC-4 で核定数を求めた。また熱群の制御棒境界条件は  $C = 0.191$  を使用した。

### 3. 結 果

解析モデルのクリーン状態での臨界制御棒位置は、SH-2 IN, SR-600mm で SH-1, 3 525mm であり、実際の炉心臨界点と大差がなかった。

毎サイクルの炉心配置での中性子束分布などの炉心計算は2次元 X-Y 計算で SH-2 IN の状態で各照射孔の平均中性子束として得られるので、サイクル中で SH-2 IN の状態での縦方向平均熱中性子束が1になるように規格化し各計算ケースでの縦方向熱中性子束の変動を各照射孔について整理した。その結果を図4.1~4.1.4に示す。

S R位置を600mmから800mmに引抜いたときの附加反応度は計算では約0.66% $\Delta K/K$ であり、本体炉心実測の約0.7% $\Delta K/K$ とよく一致している。

なお、解析モデルでのメッシュの配分などにより要したメモリーは1ケースにつき約15万メモリーで計算機容量として約230kwであり、計算時間はCPUタイムで約5分であった。

1/4象限のうち熱中性子束変動のデータ整理を行った照射孔を図3中に示してある。

### 4. 検 討

解析結果よりサイクル中熱中性子束変動の特性について要約すると次のことが言える。なお、JMTR炉心は図3に示す方位に位置している。

- (1) 燃料領域の四孔照射孔における変動は、反射体領域照射孔における変動に比して大きい。
- (2) 反射体領域でも東(西)側と南(北)側とでは、縦方向中性子束分布及びその変動傾向が異なっている。
- (3) 東(西)側では、起動時からXeが飽和するSH-1, 3上限までが変動が大きく、それ以後は比

- (ハ) 燃焼度 (1.254 g/MWD) から各燃料要素の  $U^{235}$  減少量を求める。
- (ニ) 各燃料要素の核定数をセットする
- (ホ) 炉心計算を行い実効増倍率 (Keff) を求める。
- (ヘ) 毒物効果として  $K_{eff} \doteq 1.0$  になるように、各燃料要素の出力密度に比例する割合で熱群の吸収断面積 ( $\Sigma_a$ ) を増加する。
- (ト) 炉心計算を行い  $K_{eff} \doteq 1.0$  の結果を得る。

上記の手順を計算ケースについて行う。計算ケースと図2から得た燃焼度 (MWD) を表1に示す。

(ニ)で燃料要素の縦方向の燃焼については、中心附近の早い燃焼が懸念されるが、縦方向に一樣に燃焼したとしても、中性子束分布へのそれによる影響は小さいものであり、縦方向に一樣な核定数を設定することにした。

解析は、4群拡散コード CITATION で行うこととし、熱群 0.6826 eV 以下は THERMOS-JMTR、高速群 0.6826 eV 以上は GGC-4 で核定数を求めた。また熱群の制御棒境界条件は  $C = 0.191$  を使用した。

### 3. 結 果

解析モデルのクリーン状態での臨界制御棒位置は、SH-2 IN, SR-600mm で SH-1, 3 525mm であり、実際の炉心臨界点と大差がなかった。

毎サイクルの炉心配置での中性子束分布などの炉心計算は2次元 X-Y 計算で SH-2 IN の状態で各照射孔の平均中性子束として得られるので、サイクル中で SH-2 IN の状態での縦方向平均熱中性子束が1になるように規格化し各計算ケースでの縦方向熱中性子束の変動を各照射孔について整理した。その結果を図4.1~4.1.4に示す。

S R位置を600mmから800mmに引抜いたときの附加反応度は計算では約0.66% $\Delta K/K$ であり、本体炉心実測の約0.7% $\Delta K/K$ とよく一致している。

なお、解析モデルでのメッシュの配分などにより要したメモリーは1ケースにつき約15万メモリーで計算機容量として約230kwであり、計算時間はCPUタイムで約5分であった。

1/4象限のうち熱中性子束変動のデータ整理を行った照射孔を図3中に示してある。

### 4. 検 討

解析結果よりサイクル中熱中性子束変動の特性について要約すると次のことが言える。なお、JMTR炉心は図3に示す方位に位置している。

- (1) 燃料領域の四孔照射孔における変動は、反射体領域照射孔における変動に比して大きい。
- (2) 反射体領域でも東(西)側と南(北)側とでは、縦方向中性子束分布及びその変動傾向が異なっている。
- (3) 東(西)側では、起動時からXeが飽和するSH-1, 3上限までが変動が大きく、それ以後は比

較的小さい。

(4) 南側では、SR-2に近いほどピーク値が大きく、起動時から変動は小さい。

(5) 東(西)側では、SH-2が引抜かれるに従い全体として減少するのに対し、南側では単に減少せず増加したりしている。

以上のことから第一期炉心での解析と実測で明らかにされていない微調整安全棒(SR)の効果と南側の中性子束変動について追加計算し検討した。SRを自動制御棒として用いるため600mm位置で定置しているとき、中性子束が下方に突きだした形となりI-11(図4.1)に示すような影響を受ける。そこで、SH-2 INの状態ではSRを800mm(上限)に引抜いたときの分布が①'の点線で示した曲線であり、①の曲線と比較するとピーク位置は①'では炉中心であるのに対し①は炉中心から-30mm下方となり、吸収体の位置する+225mmから上方では極端に中性子束が歪み、炉中心から下方にその反動とも言える突き出しが現われている。ピーク値は1.31から1.39へと約6%増大する。同じく燃料領域J-9(図4.2)、東側反射体領域N-9(図4.3)で点線で示した①'がSRを800mmとした時の値であり、SR位置(I-10)より離れる程、突き出し現象は緩和されるが、ピーク位置はいずれも炉中心より約-30mmと下方に位置する。

次に南側の中性子束レベルは、東(西)側が全体としサイクルが進むにつれて低下しているのに対し、I-11(図4.1)を見るとサイクル後半では増加している。この現象は炉心配置と燃料の燃焼効果の影響として説明できる。すなわち、JMT炉心の燃料領域は正方形ではなく、東西側に2層多い長方形であるため、東(西)側と南側とでは図5に示すような中性子束分布をするからである。燃料の燃焼がないと仮定しSH-2を引抜いた場合には(実際には有得ないが)SH-2により周辺におしやられていた中性子束が炉中心に向かって歪みが回復され、反射体領域の中性子束が全体として減少し、その減少の割合が東(西)側の方が南側に比して大きい。これにサイクル後半での燃料の燃焼に伴い炉心全体の中性子束が増加する効果が加わり、南側ではサイクル初期よりサイクル後半では熱中性子束が増加するものと思われる。

図6は、SH-2 INの状態でのSRが600mmと800mmと第一期炉心でのSR 800mmのCF実験のピーク値の比較を行ったもので、実験値とよく一致しているのがわかる。またSR 600mmの影響がK-12の範囲までも及んでいるのもわかる。

第一期炉心での計算(2次元R-Z計算)と測定(第2サイクル特性試験に実施)のサイクル中変動と比較検討を行うことにする。

図7.1はR-Z計算での解析でBe 2層目に相当するもので、これまで反射体領域の熱中性子束変動として運転計画に使用していたものである。東(西)側については、N-9(図4.3)と比較すると全体的には約10%ほどの違いで大差がない。しかしSH-2がIN(図中①)と800mm(図中⑤)においては、R-Z計算ではピークが炉中心に位置している。これはSR 600mm位置を考慮できなかったことに起因しているものである。また、SHが200, 400, 600mm(図中②, ③, ④)では、今回の解析でのN-9位置において較べると中性子束分布が下方に突出した形となっているのは、R-Z計算では熱群の制御棒境界条件として $C=0.43$ の値を用いていたため、吸収体近くでは急な中性子束勾配となり、その影響が反射体領域まで現われているものと思われる。(今回の解析では再検討した値 $C=0.191$ を使用)

今回の解析結果の妥当性をチェックするために第2サイクルでSPD及びTICを用いて測定した変

動値との比較を行った。

図7.2は、第2サイクル特性試験でのE-8 (Be 1層)のSPDによる実測である。E-8に相当する今回解析のM-8 (図4.4)と比較するとサイクル中のピーク位置はほぼ一致している。またサイクル中の中性子束分布も上下端を除いてSH-2 800mm (⑤)が約7%の差がある以外は約3%以内でよく一致している。炉中心から+300mm以上と-300mm以下の上下端で、計算の方がゆるやかな減少となってSPDと違いが見られる。この違いは、炉心上下の水の領域による減速効果で熱中性子束が増えるためと、計算の熱群領域は0.6826 eV以下としているため、SPDのRhのResonanceのある1.26 eVの中性子が考慮されなかったためである。計算を3群と熱群の和(180 KeV以下)で示したのが図7.3でありSPD測定値と一致する。Rh SPDと比較する場合は計算のepi thermalも考慮した方が望ましいものと思われる。

図7.4は、I-11、図7.5はH-7の実測を示したものであるがデータのバラツキが大きく比較検討が難しいが全体の傾向としては、今回の解析と似通っている。図7.6にR-Z計算の燃料領域の変動を参考まで示した。

## 5. 結 論

以上の結果と検討により、今回行ったサイクル中の熱中性子束変動解析は、以前行った解析より一歩進んだものが得られ、今後の運転計画等への適用も妥当と思われる。しかし各照射孔それぞれの変動因子を用いることは繁雑となりやすい。そこで炉心を3領域に分け、今回の解析結果を採用した方がよいようである。すなわち図8に示すように①燃料領域の四孔照射孔については、J-9の結果、②東西側については、N-9、③南北側については、照射孔の位置により適宜採用する結果を決定する、である。なお、東西側でN-9を採用した理由は、図に示した領域内では、ほぼ5%以内の差に入るからである。

## 6. あとがき

計算機容量などの制約があり炉心全体の模擬については、少々問題があったかと思うが、今回の解析の結果は、今後の運転計画などへ役立つものと思われる。

終りに、本報告書をまとめるに当り、適切な助言を頂いた小山田課長代理と、計画課諸氏の御援助に感謝します。

動値との比較を行った。

図7.2は、第2サイクル特性試験でのE-8 (Be 1層)のSPDによる実測である。E-8に相当する今回解析のM-8 (図4.4)と比較するとサイクル中のピーク位置はほぼ一致している。またサイクル中の中性子束分布も上下端を除いてSH-2 800mm (⑤)が約7%の差がある以外は約3%以内でよく一致している。炉中心から+300mm以上と-300mm以下の上下端で、計算の方がゆるやかな減少となってSPDと違いが見られる。この違いは、炉心上下の水の領域による減速効果で熱中性子束が増えるためと、計算の熱群領域は0.6826 eV以下としているため、SPDのRhのResonanceのある1.26 eVの中性子が考慮されなかったためである。計算を3群と熱群の和(180 KeV以下)で示したのが図7.3でありSPD測定値と一致する。Rh SPDと比較する場合は計算のepi thermalも考慮した方が望ましいものと思われる。

図7.4は、I-11、図7.5はH-7の実測を示したものであるがデータのバラツキが大きく比較検討が難しいが全体の傾向としては、今回の解析と似通っている。図7.6にR-Z計算の燃料領域の変動を参考まで示した。

## 5. 結 論

以上の結果と検討により、今回行ったサイクル中の熱中性子束変動解析は、以前行った解析より一歩進んだものが得られ、今後の運転計画等への適用も妥当と思われる。しかし各照射孔それぞれの変動因子を用いることは繁雑となりやすい。そこで炉心を3領域に分け、今回の解析結果を採用した方がよいようである。すなわち図8に示すように①燃料領域の四孔照射孔については、J-9の結果、②東西側については、N-9、③南北側については、照射孔の位置により適宜採用する結果を決定する、である。なお、東西側でN-9を採用した理由は、図に示した領域内では、ほぼ5%以内の差に入るからである。

## 6. あとがき

計算機容量などの制約があり炉心全体の模擬については、少々問題があったかと思うが、今回の解析の結果は、今後の運転計画などへ役立つものと思われる。

終りに、本報告書をまとめるに当り、適切な助言を頂いた小山田課長代理と、計画課諸氏の御援助に感謝します。

動値との比較を行った。

図7.2は、第2サイクル特性試験でのE-8 (Be 1層)のSPDによる実測である。E-8に相当する今回解析のM-8 (図4.4)と比較するとサイクル中のピーク位置はほぼ一致している。またサイクル中の中性子束分布も上下端を除いてSH-2 800mm (⑤)が約7%の差がある以外は約3%以内でよく一致している。炉中心から+300mm以上と-300mm以下の上下端で、計算の方がゆるやかな減少となってSPDと違いが見られる。この違いは、炉心上下の水の領域による減速効果で熱中性子束が増えるためと、計算の熱群領域は0.6826 eV以下としているため、SPDのRhのResonanceのある1.26 eVの中性子が考慮されなかったためである。計算を3群と熱群の和(180 KeV以下)で示したのが図7.3でありSPD測定値と一致する。Rh SPDと比較する場合は計算のepi thermalも考慮した方が望ましいものと思われる。

図7.4は、I-11、図7.5はH-7の実測を示したものであるがデータのバラツキが大きく比較検討が難しいが全体の傾向としては、今回の解析と似通っている。図7.6にR-Z計算の燃料領域の変動を参考まで示した。

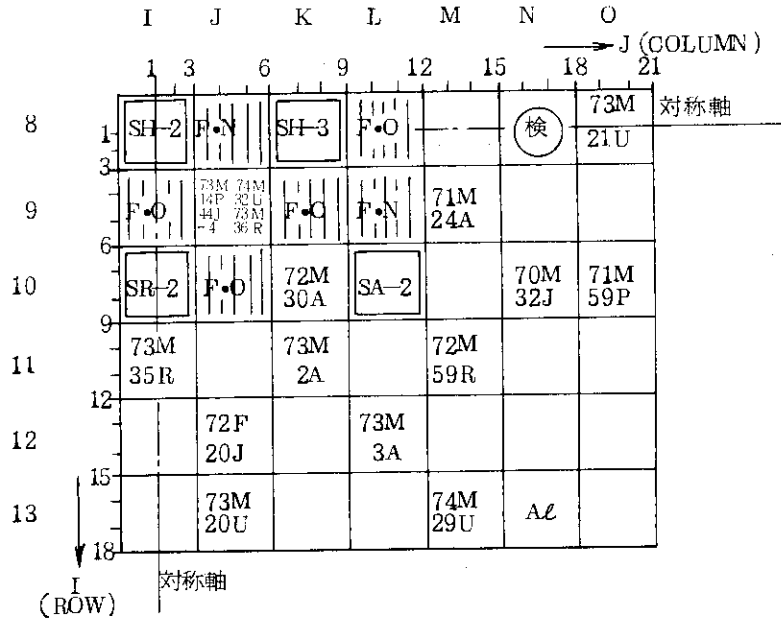
## 5. 結 論

以上の結果と検討により、今回行ったサイクル中の熱中性子束変動解析は、以前行った解析より一歩進んだものが得られ、今後の運転計画等への適用も妥当と思われる。しかし各照射孔それぞれの変動因子を用いることは繁雑となりやすい。そこで炉心を3領域に分け、今回の解析結果を採用した方がよいようである。すなわち図8に示すように①燃料領域の四孔照射孔については、J-9の結果、②東西側については、N-9、③南北側については、照射孔の位置により適宜採用する結果を決定する、である。なお、東西側でN-9を採用した理由は、図に示した領域内では、ほぼ5%以内の差に入るからである。

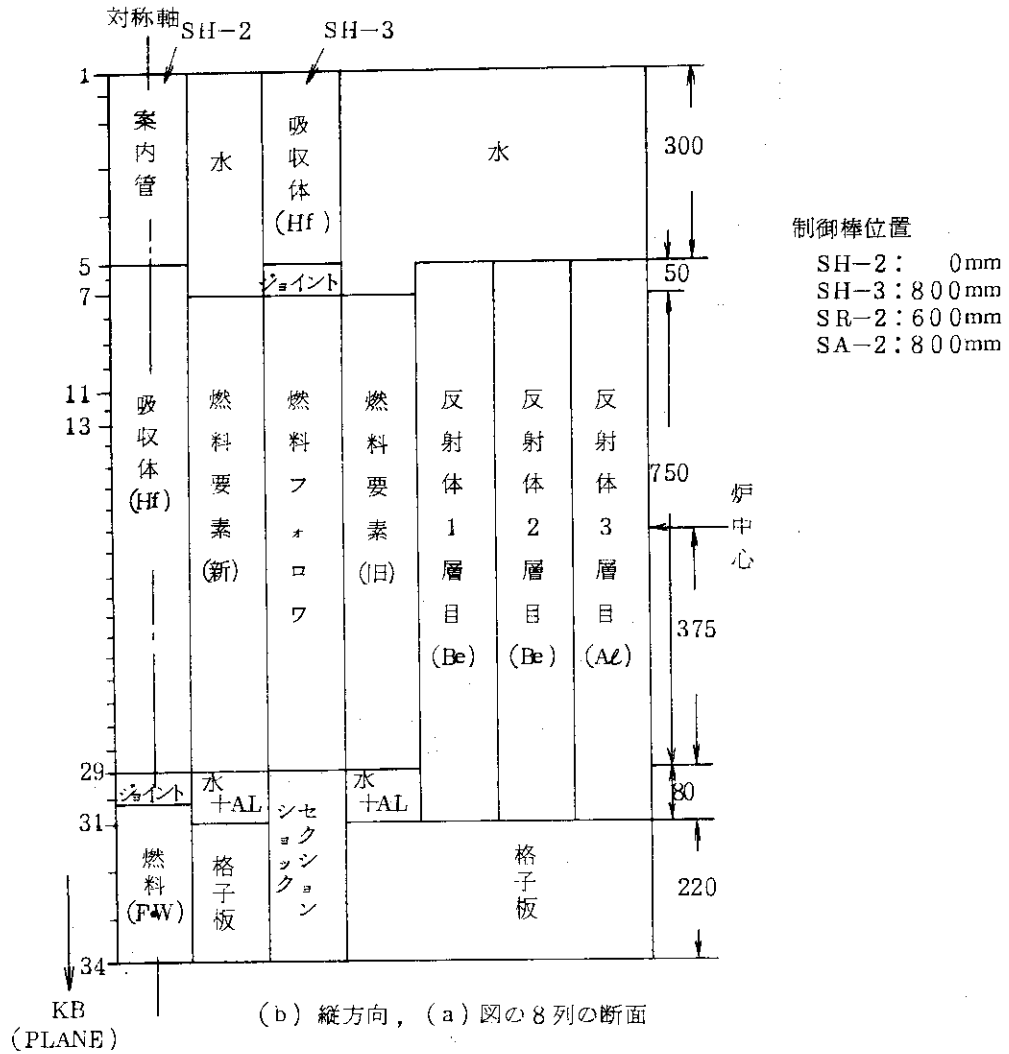
## 6. あとがき

計算機容量などの制約があり炉心全体の模擬については、少々問題があったかと思うが、今回の解析の結果は、今後の運転計画などへ役立つものと思われる。

終りに、本報告書をまとめるに当り、適切な助言を頂いた小山田課長代理と、計画課諸氏の御援助に感謝します。



(a) 1/4 象限, 平面



(b) 縦方向, (a) 図の 8 列の断面

図 1 炉心モデル

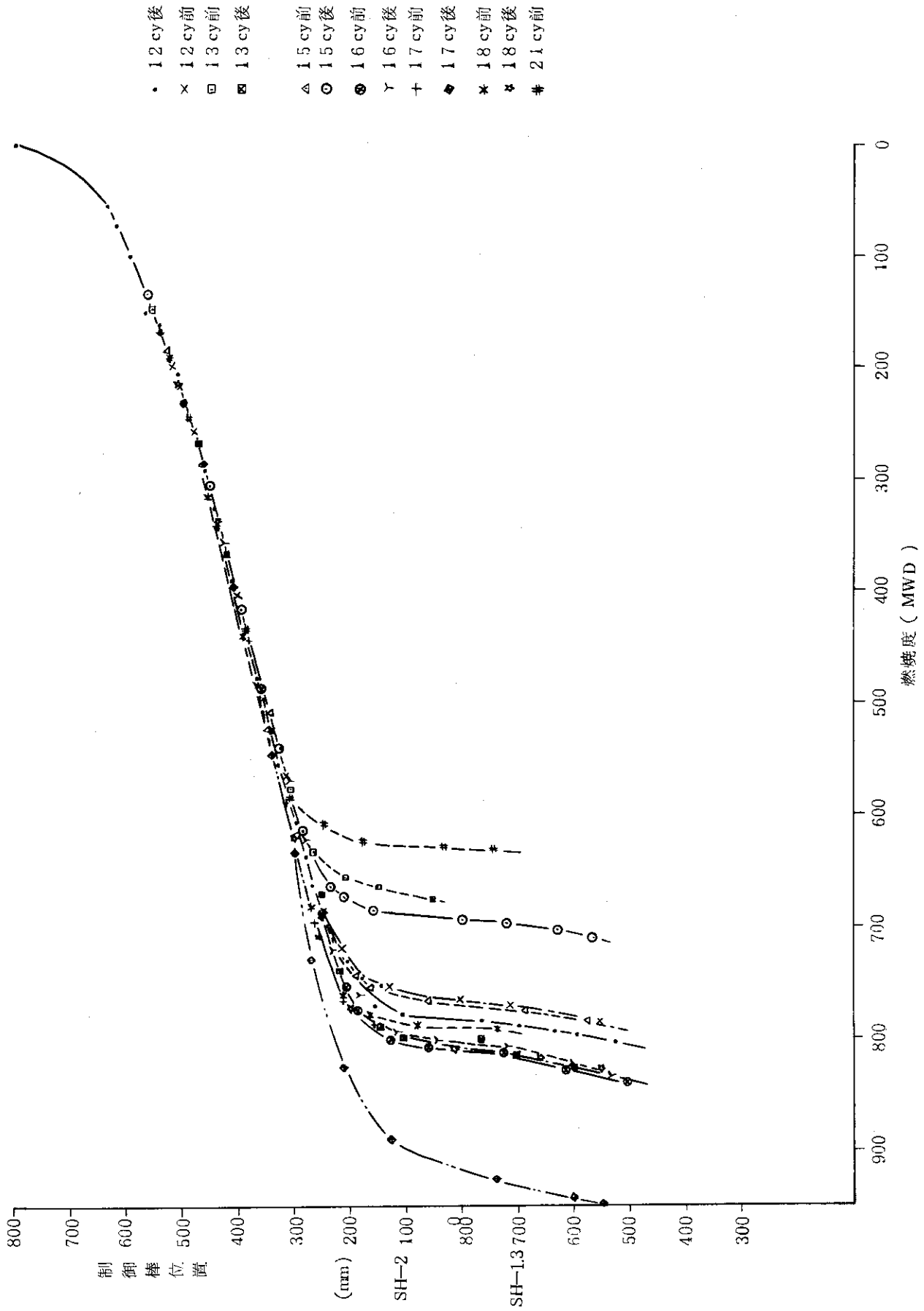


図2 燃焼度と制御棒位置との関係



表1 計算ケースと燃焼度

Case No	制御棒位置	燃焼度 MWD
1	起動時*	-
2	SH-2:IN(SH-1.3 800mm 上限)	20
3	SH-2:200mm	50
4	SH-2:400mm	350
5	SH-2:600mm	320
6	SH-2:800mm(上限)	100

\*今回の計算ではSH-1.3 525mm  
で臨界となった。

計 840

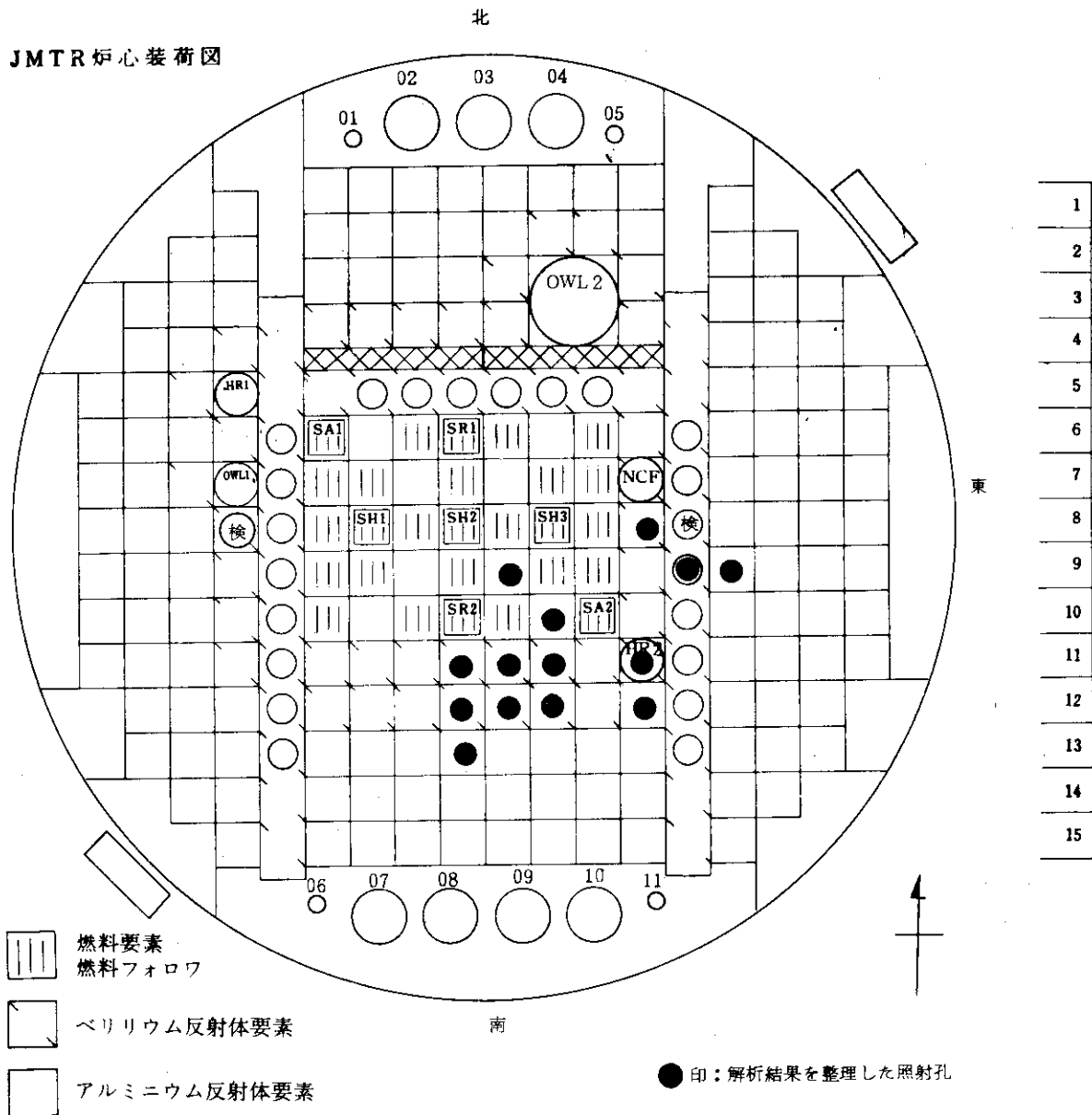
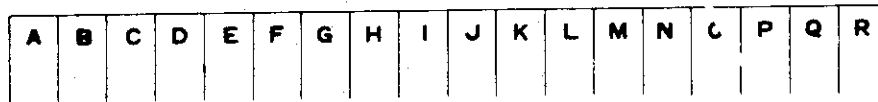


図3

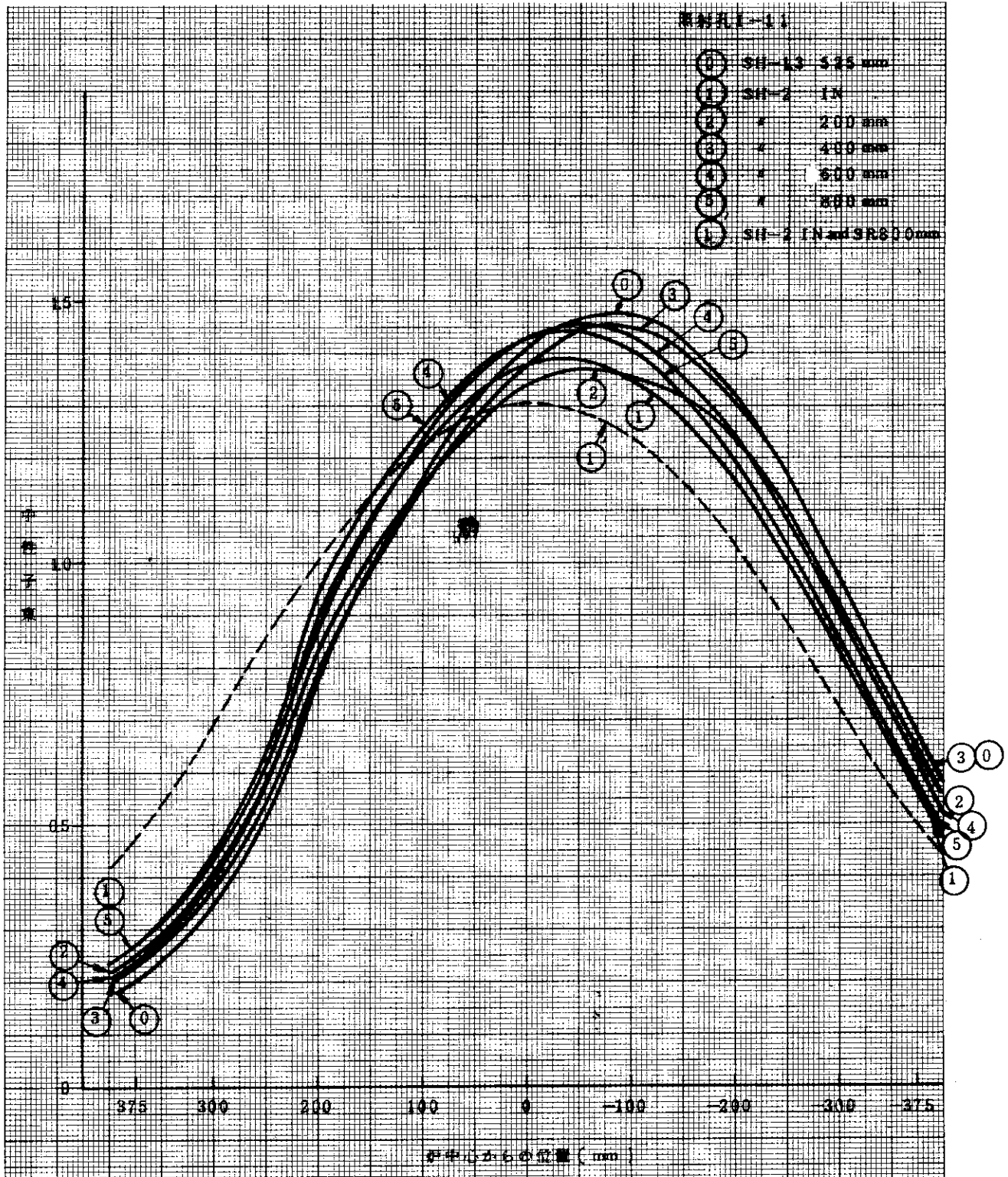


図 4.1 炉運転中の熱中性子束変動 (I-11)  
 (①の縦方向平均値が1になるよう規格化)

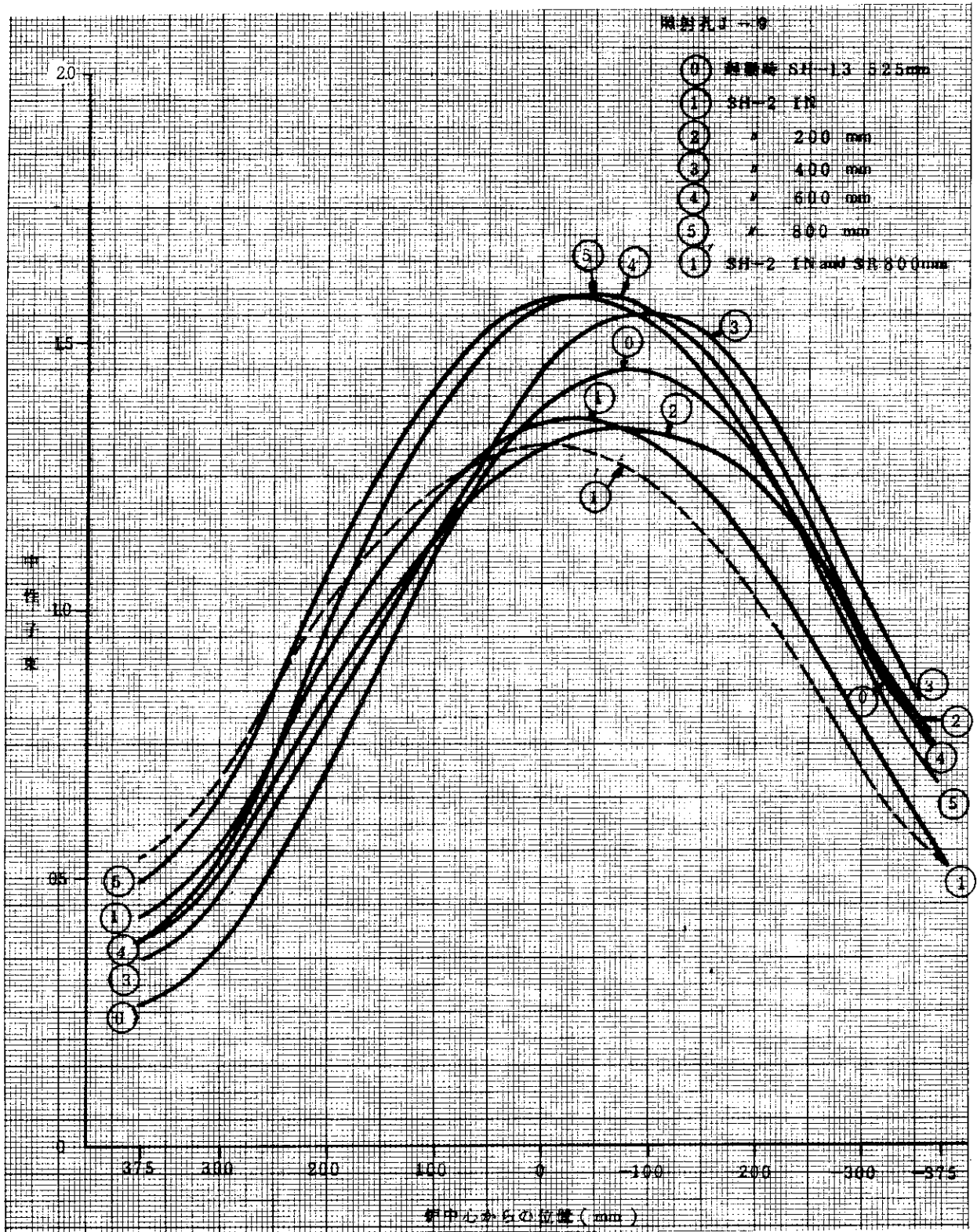


図 4.2 炉運転中の熱中性子束変動 (J-9)

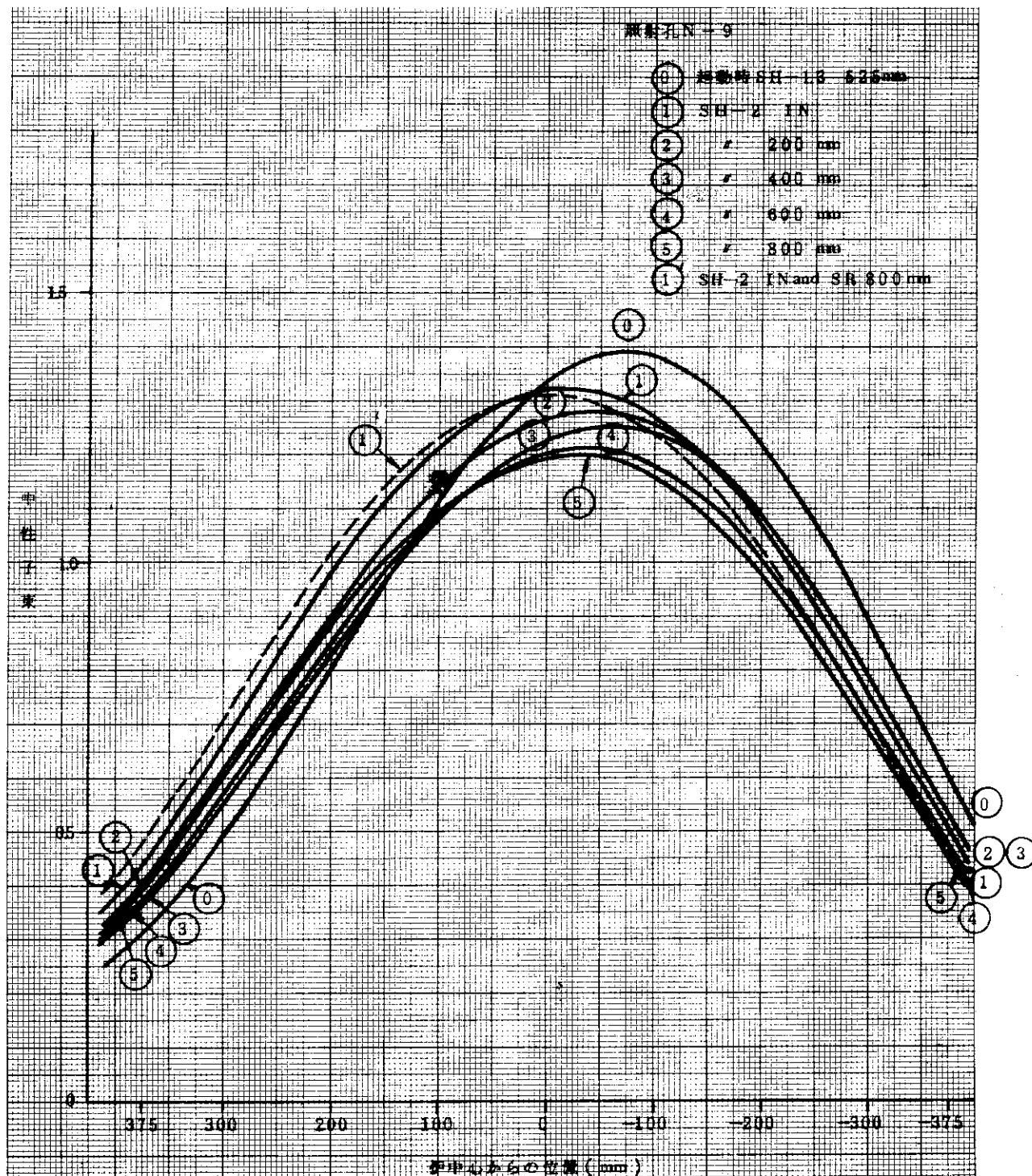


図 4.3 炉運転中の熱中性子束変動 (N-9)

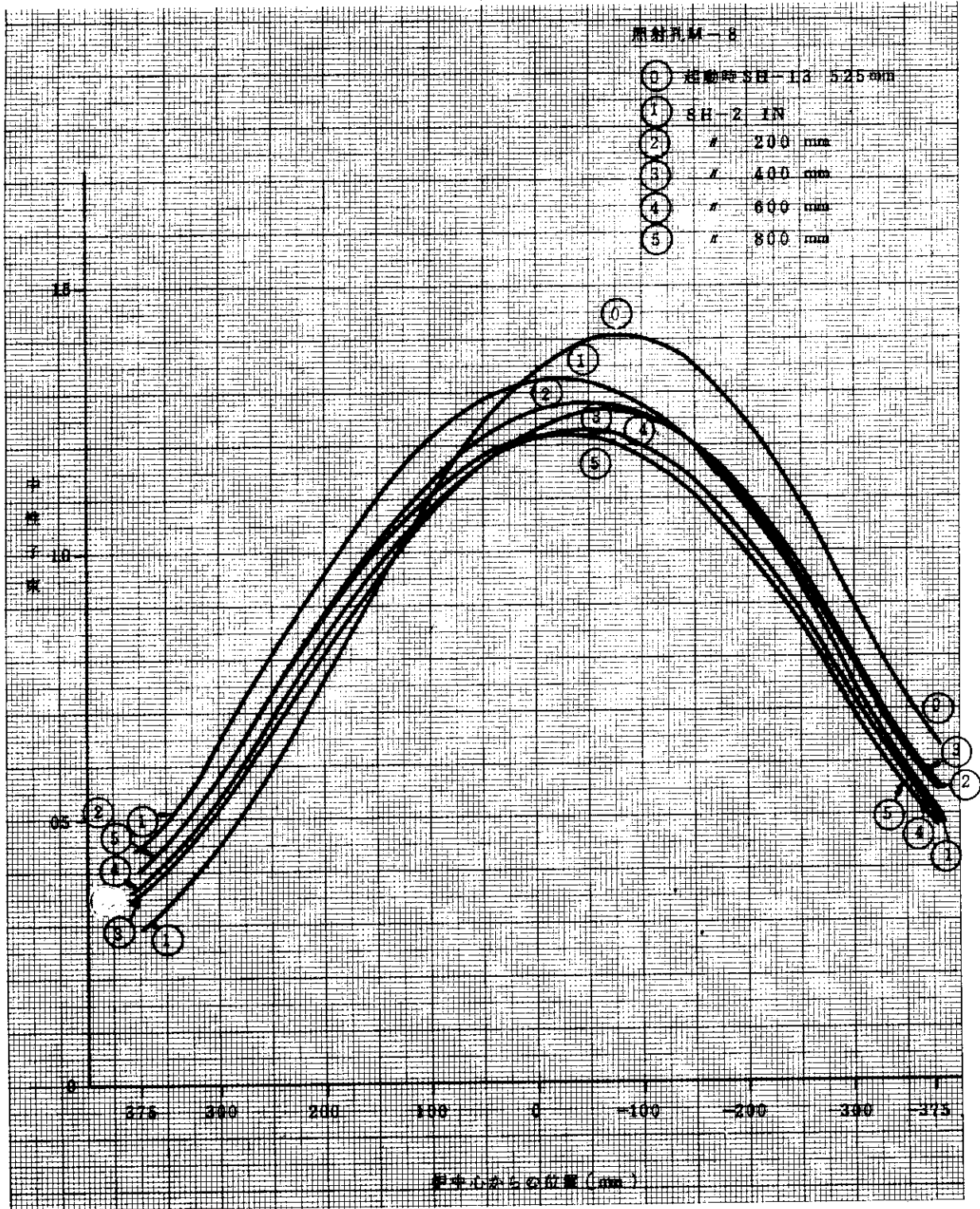


図 4.4 炉運転中の熱中性子束変動 ( M-8 )

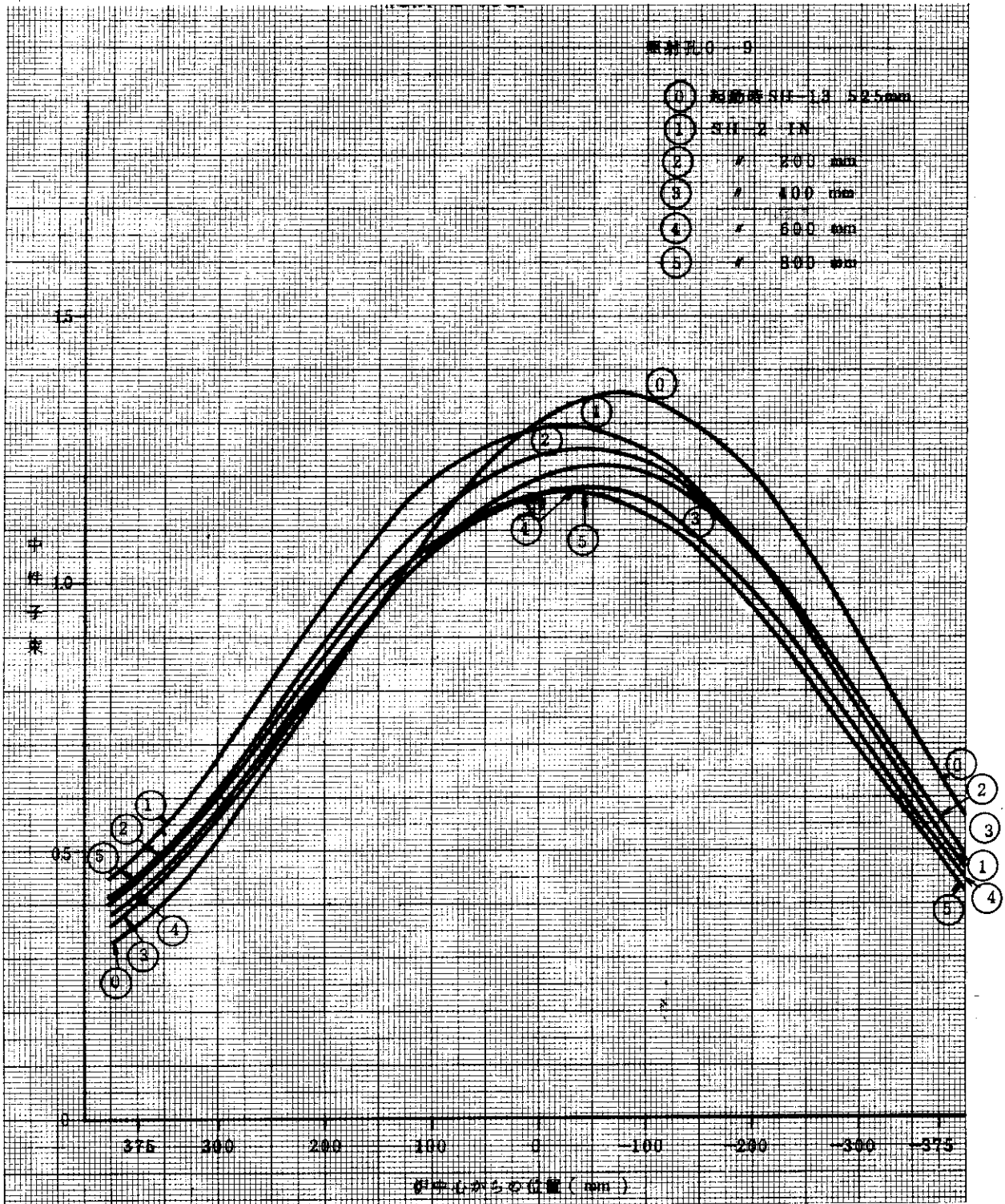


図 4.5 炉運転中の熱中性子束変動 (0-9)

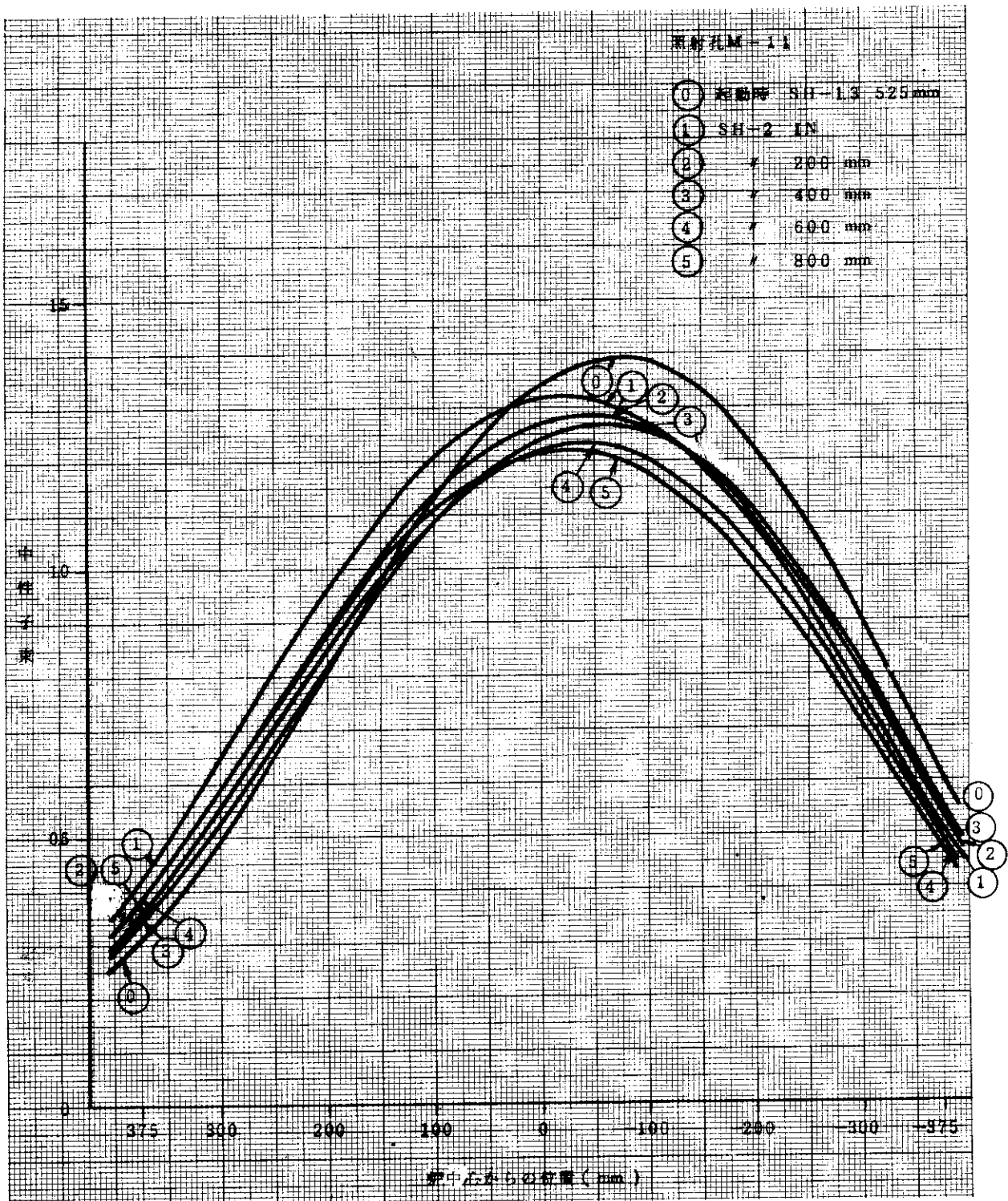


図 4.6 炉運転中の熱中性子束変動 (M-11)

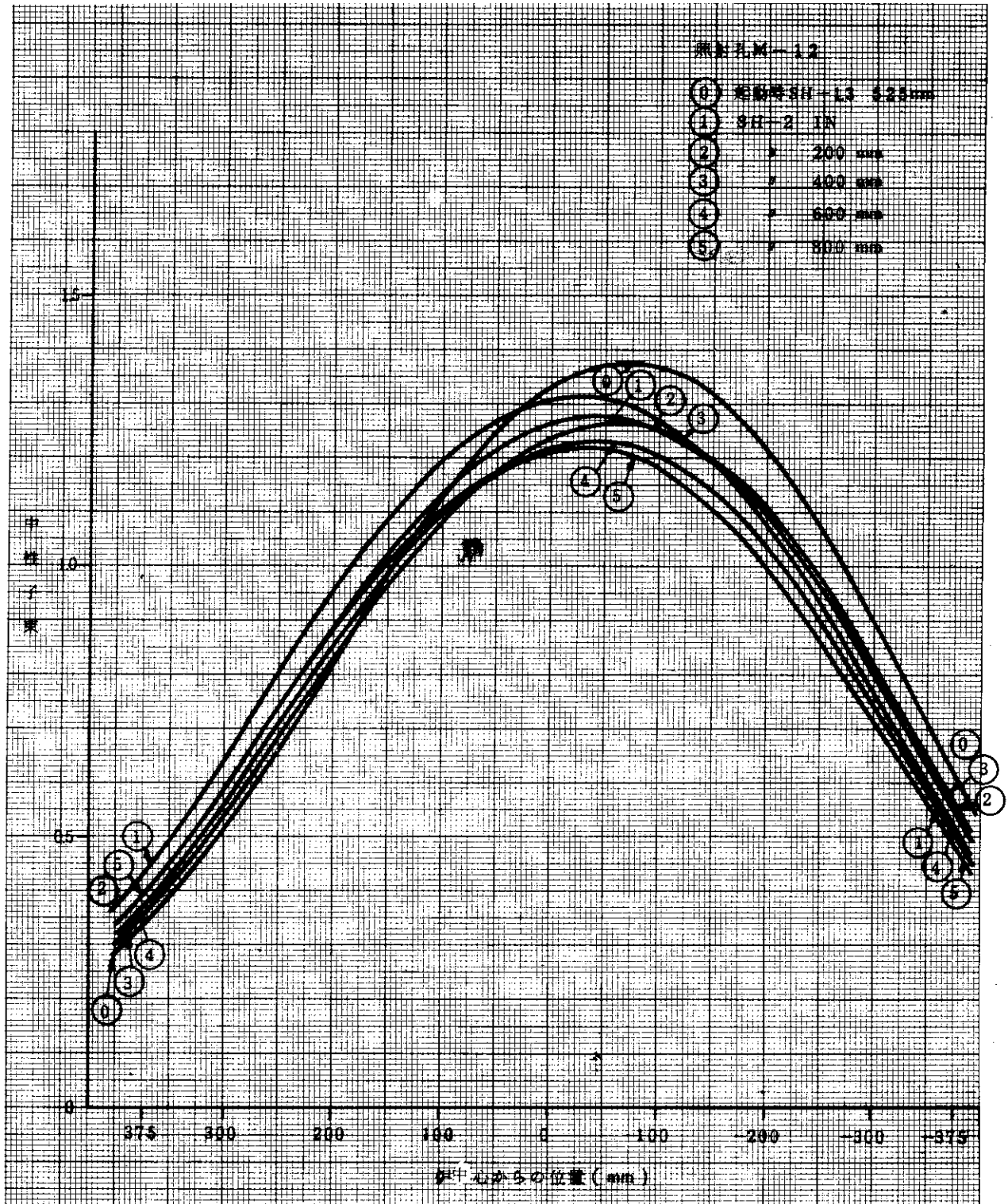


図 4.7 炉運転中の熱中性子束変動 (M-12)



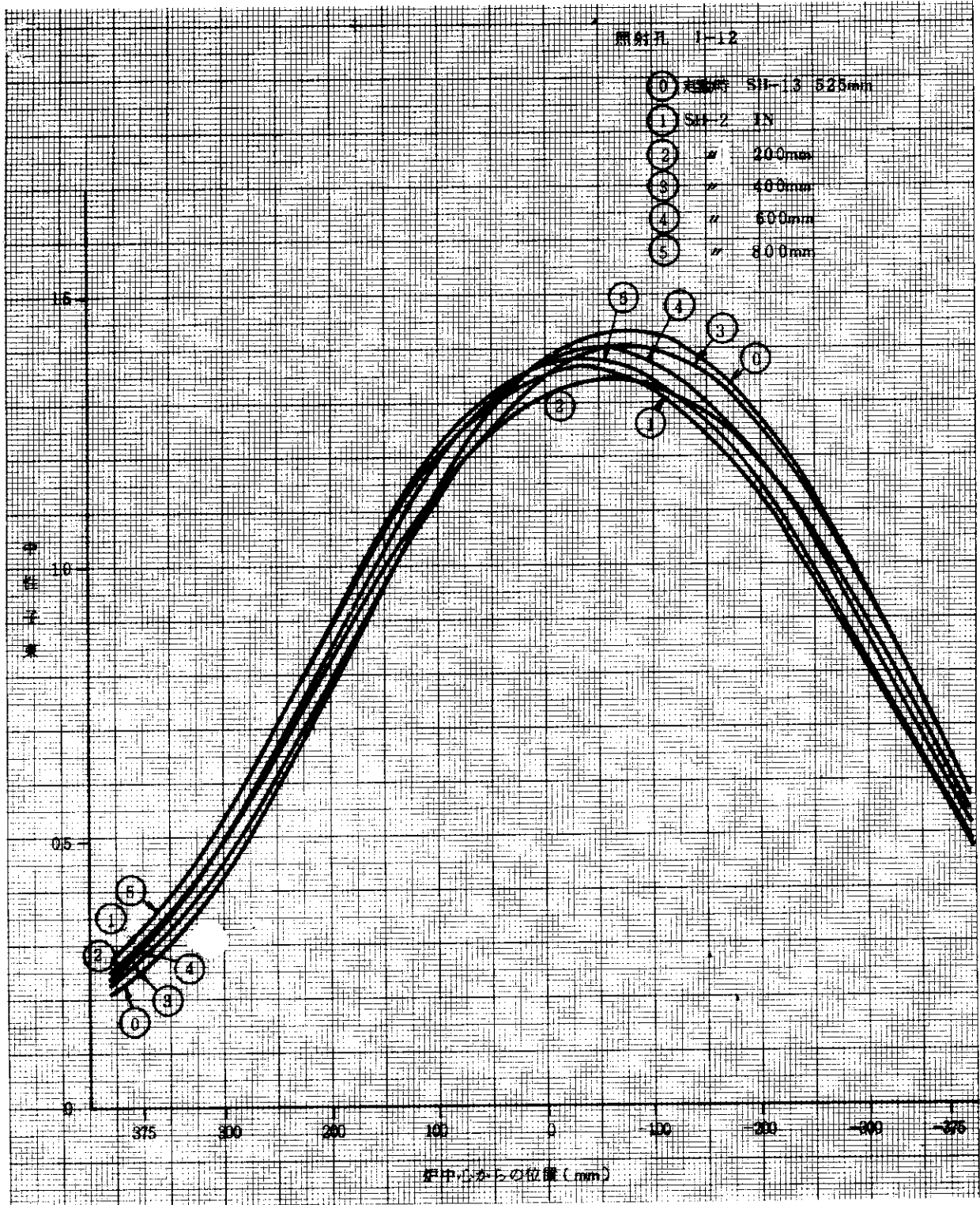


図4.8 炉運転中の熱中性子束変動 (1-12)

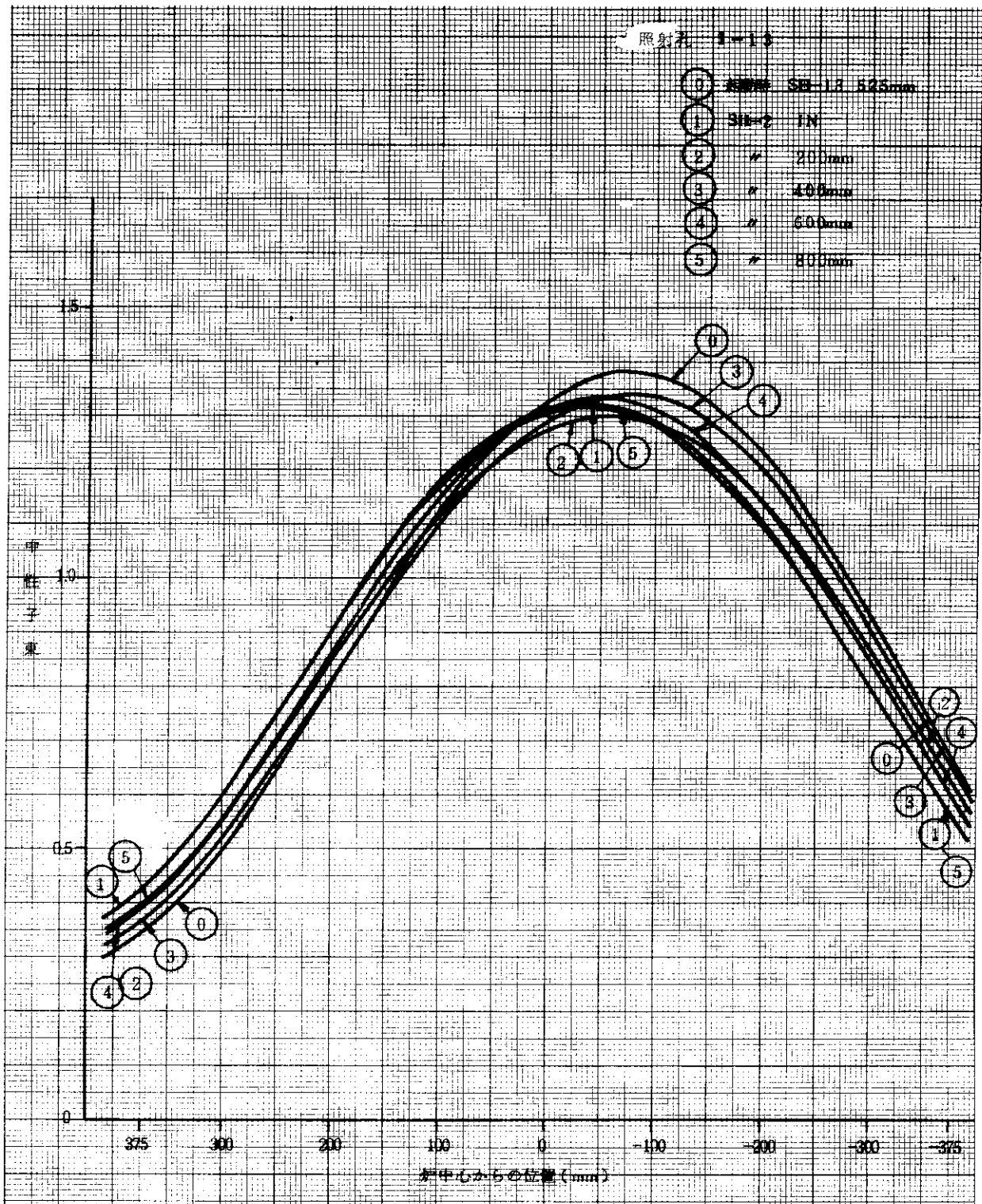


図 4.9 炉運転中の熱中性子束変動 (I-13)

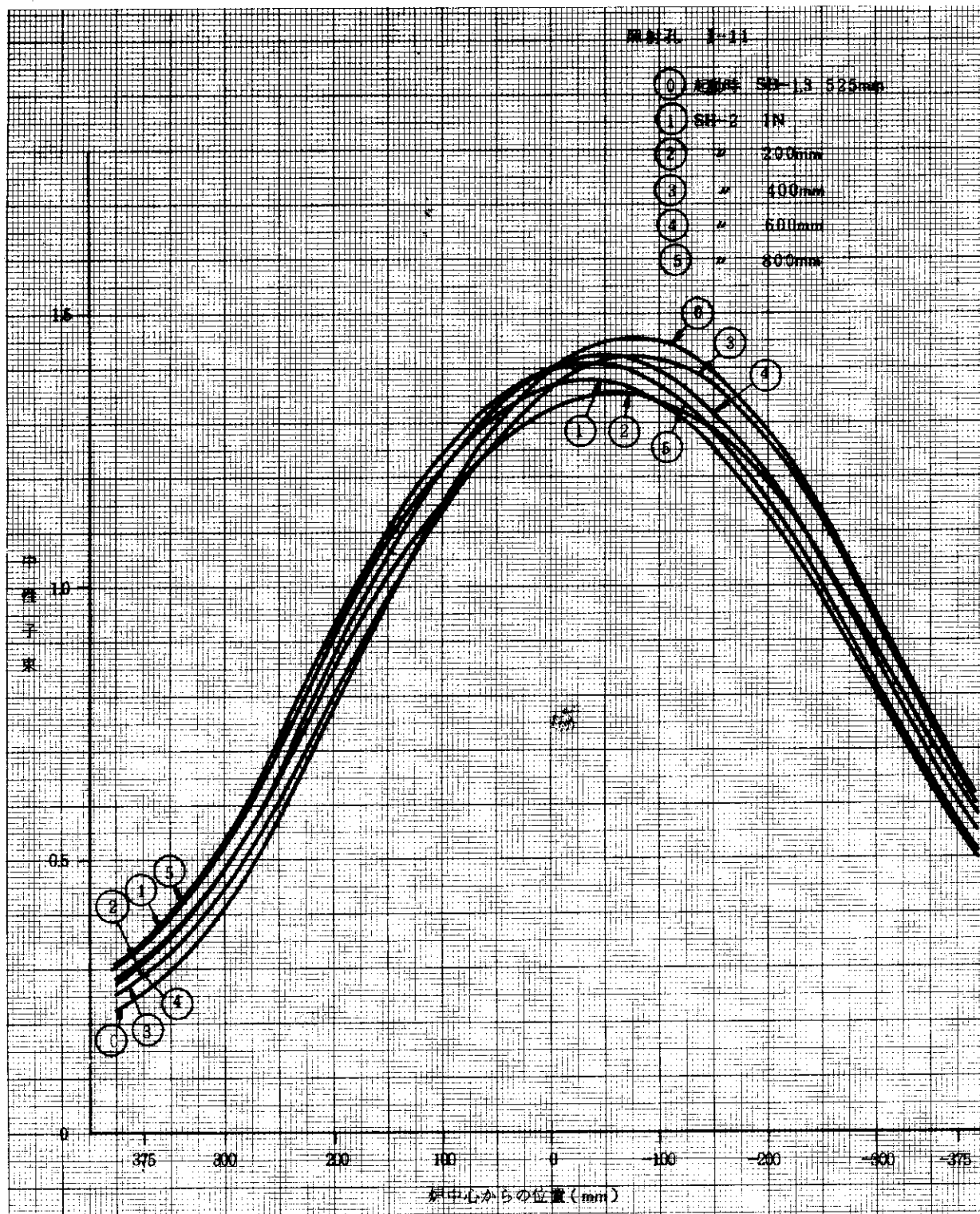


図 4.10 炉運転中の熱中性子束変動 (J-11)

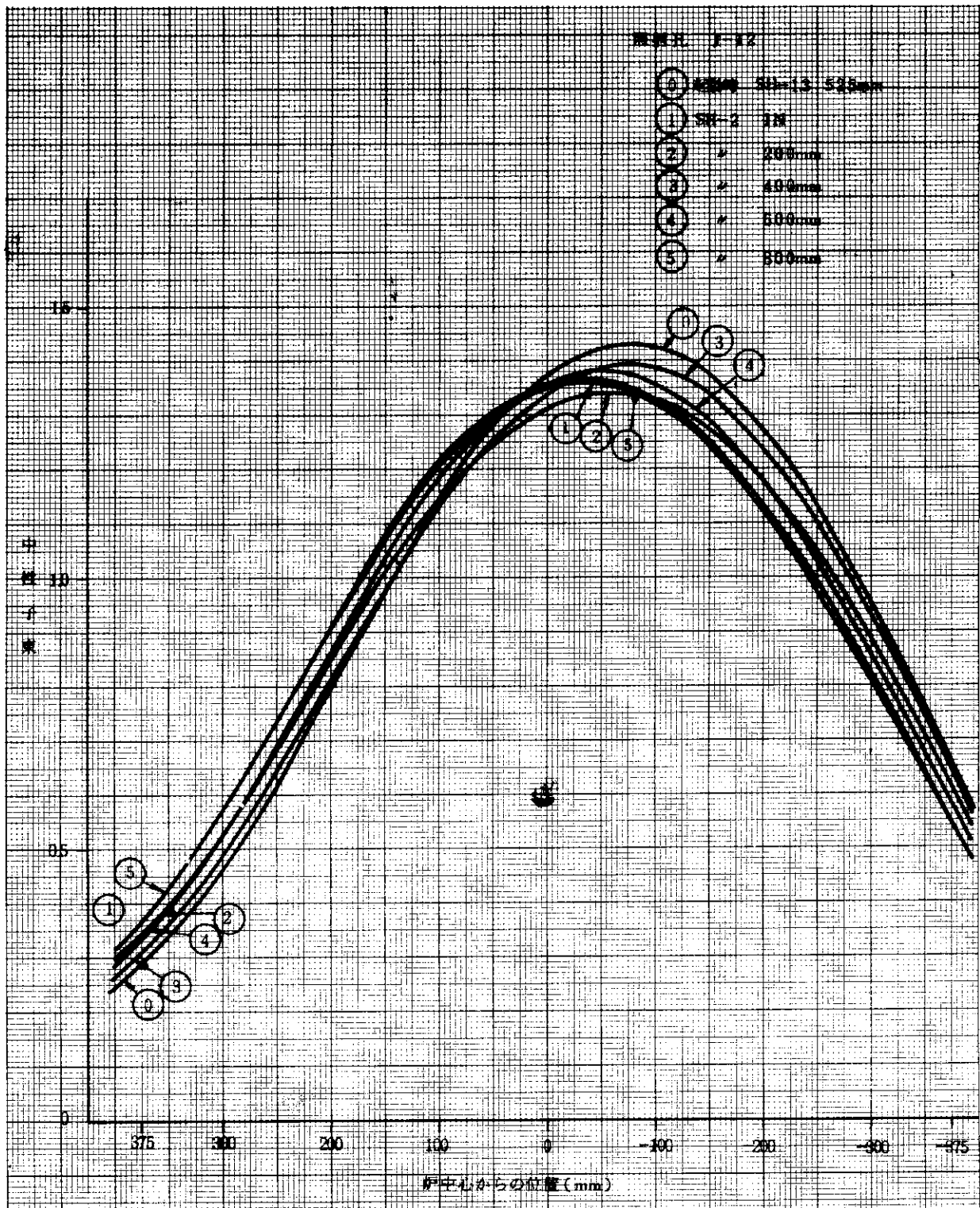


図 4.1.1 炉運転中の熱中性子束変動 (J-12)

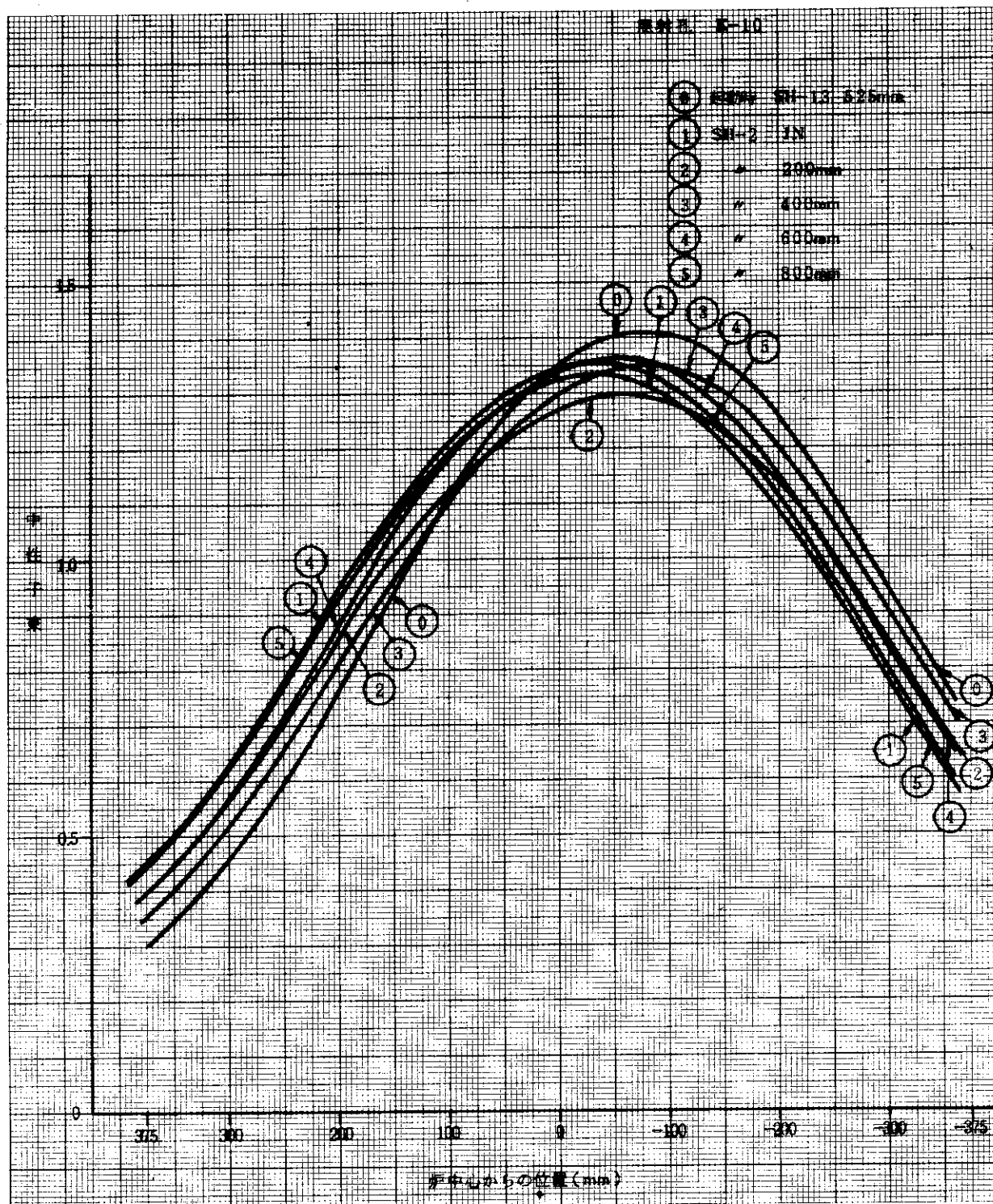


図 4.1 2 炉運転中の熱中性子束変動 ( K-10 )

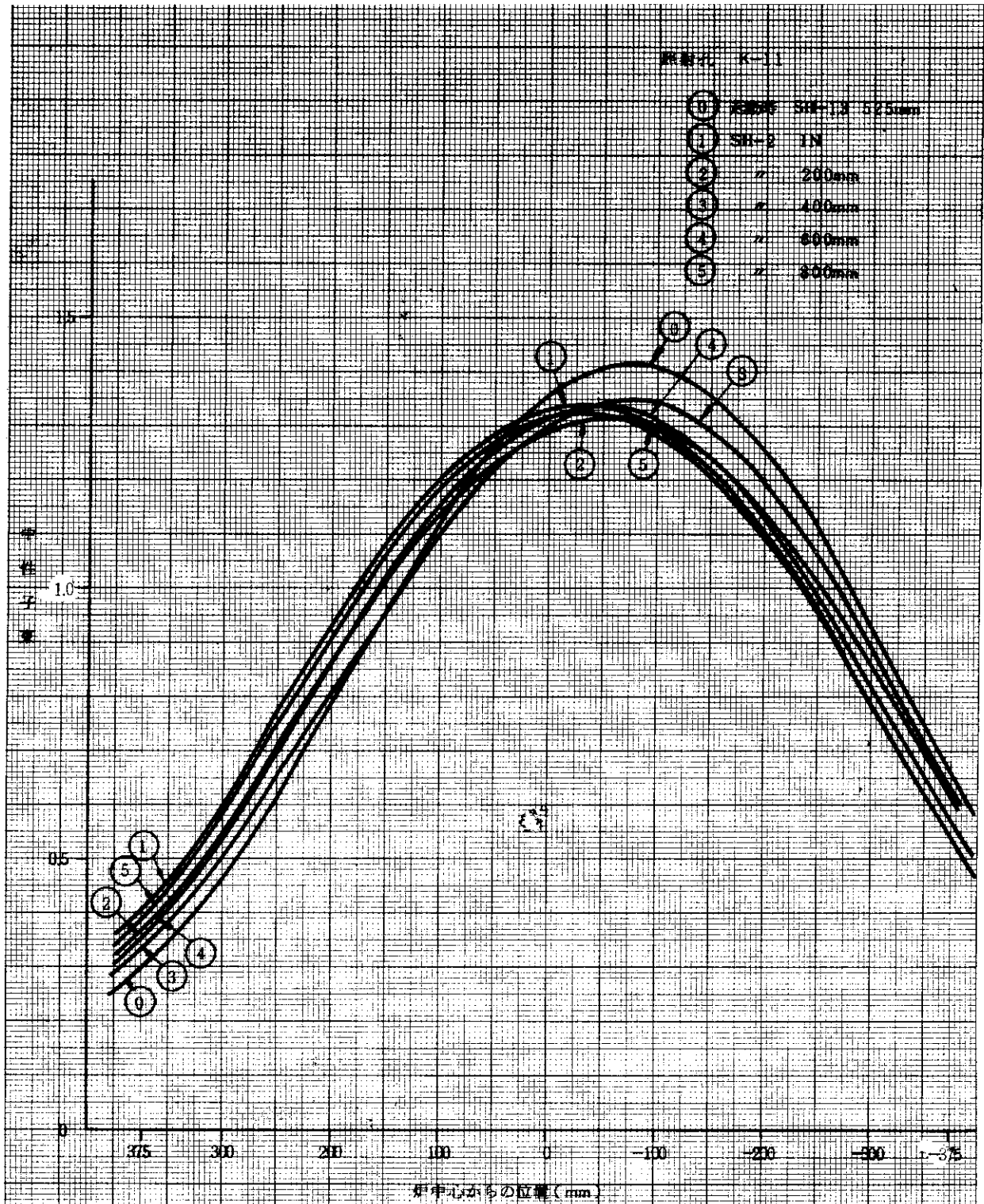


図 4.13 炉運転中の熱中性子束変動 ( K-11 )

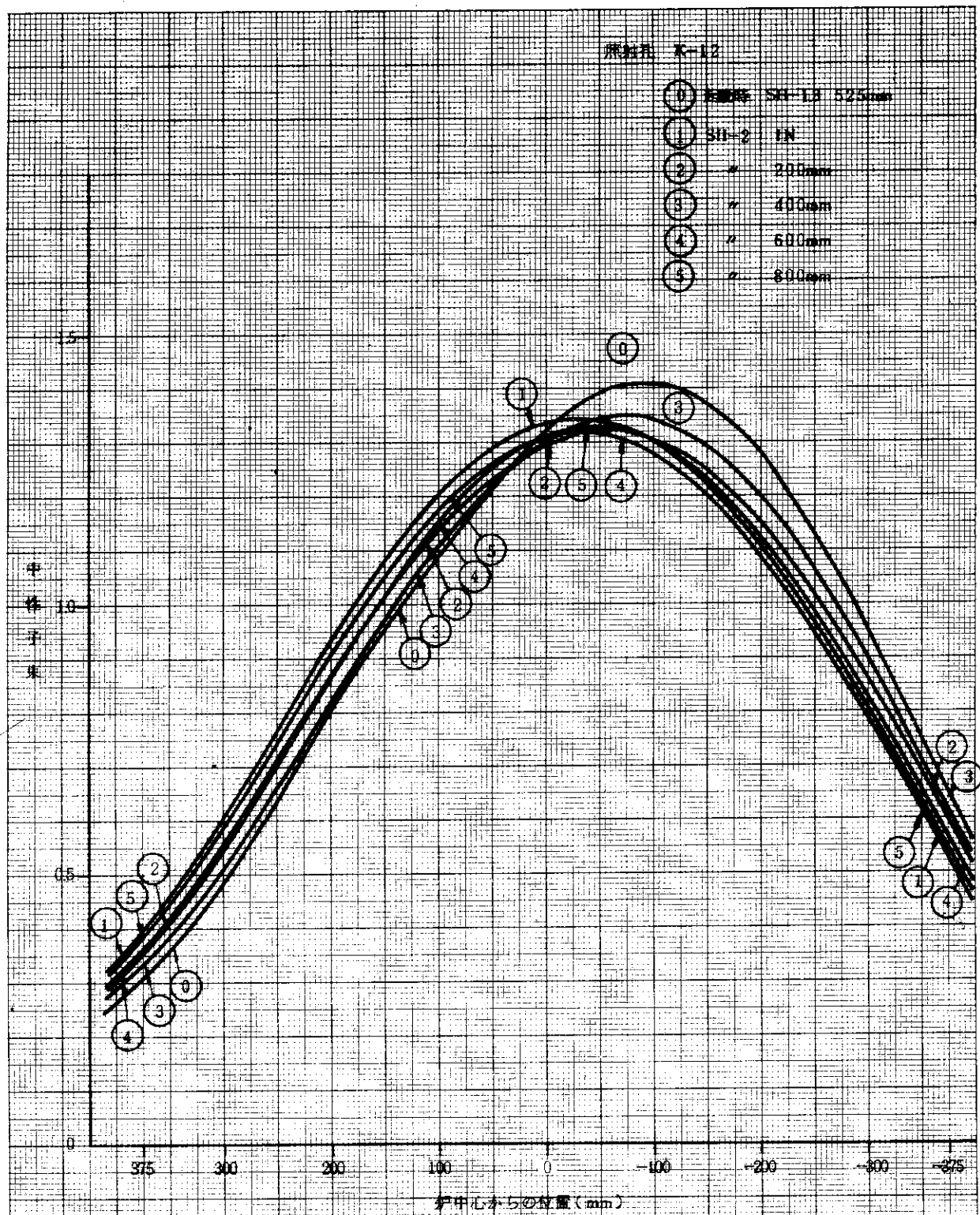


図 4.14 炉運転中の熱中性子束変動 (K-12)

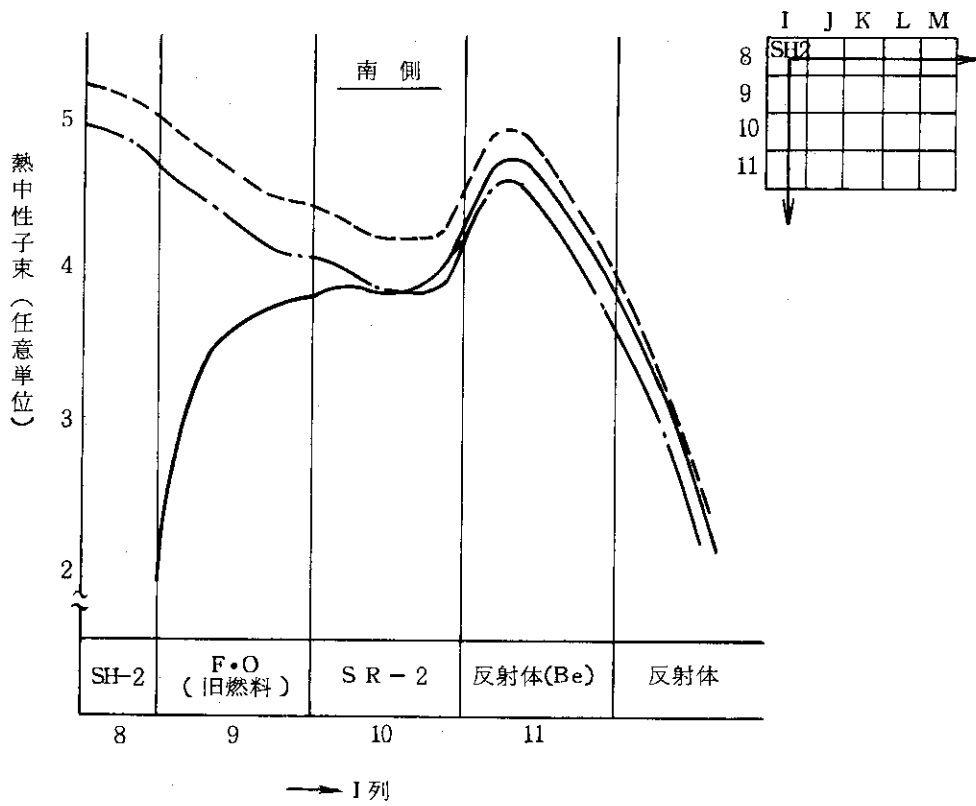
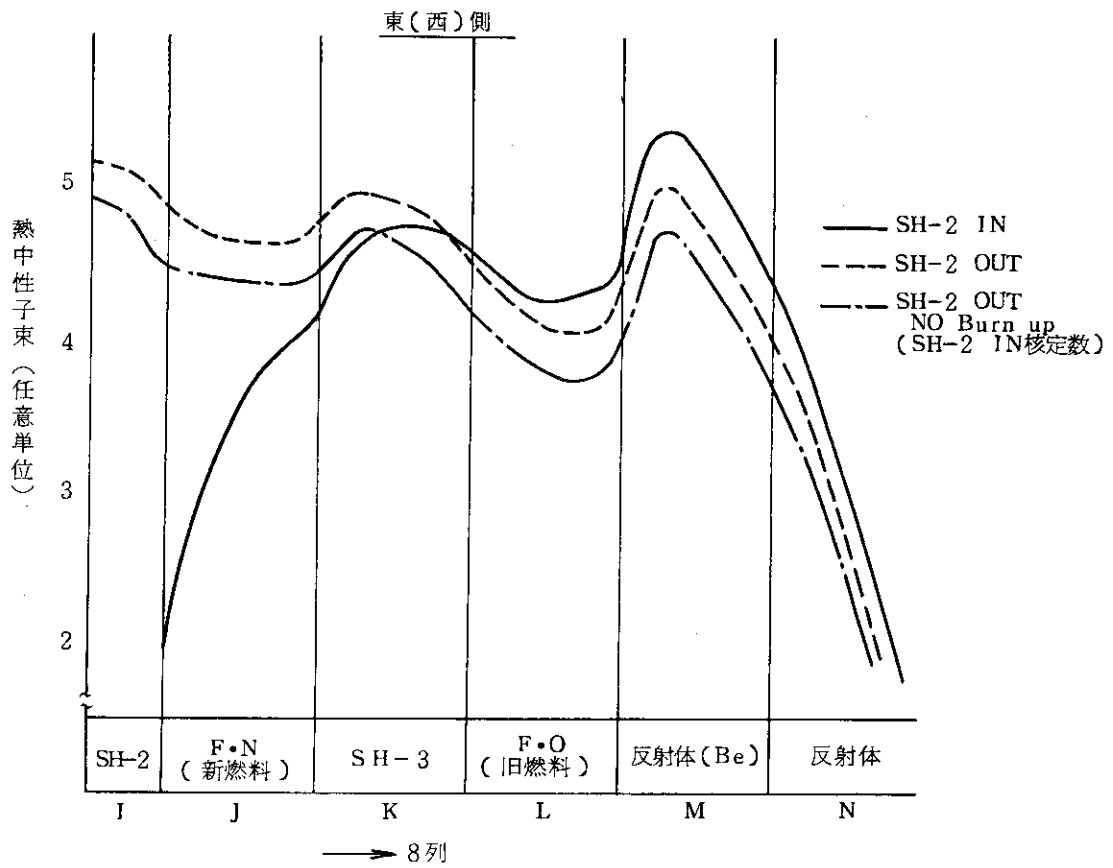


図5 熱中性子束分布 (Point flux)



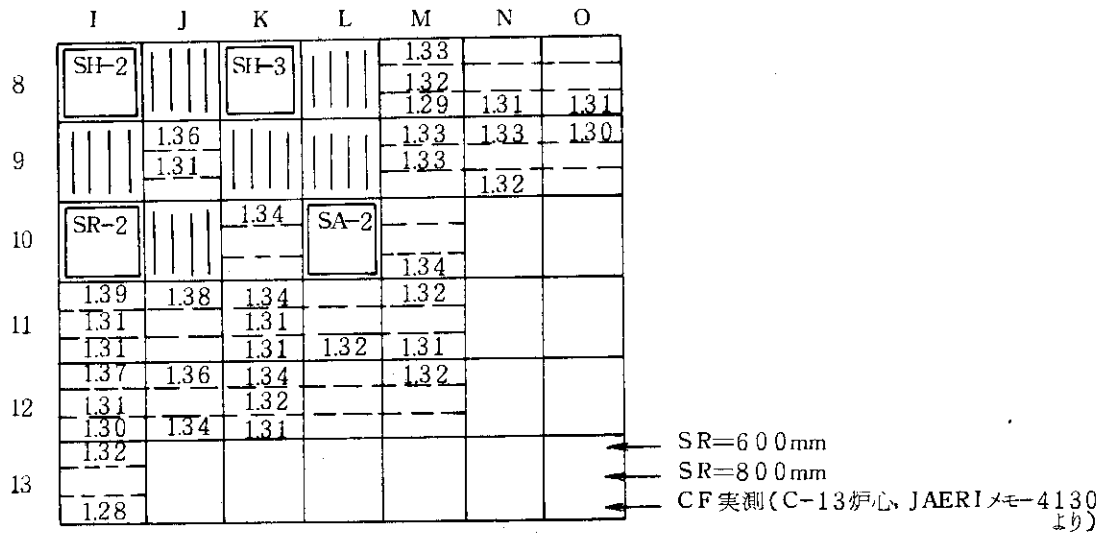


図6 縦方向平均値に対するピーク値  
(SH-2 IN 状態での)

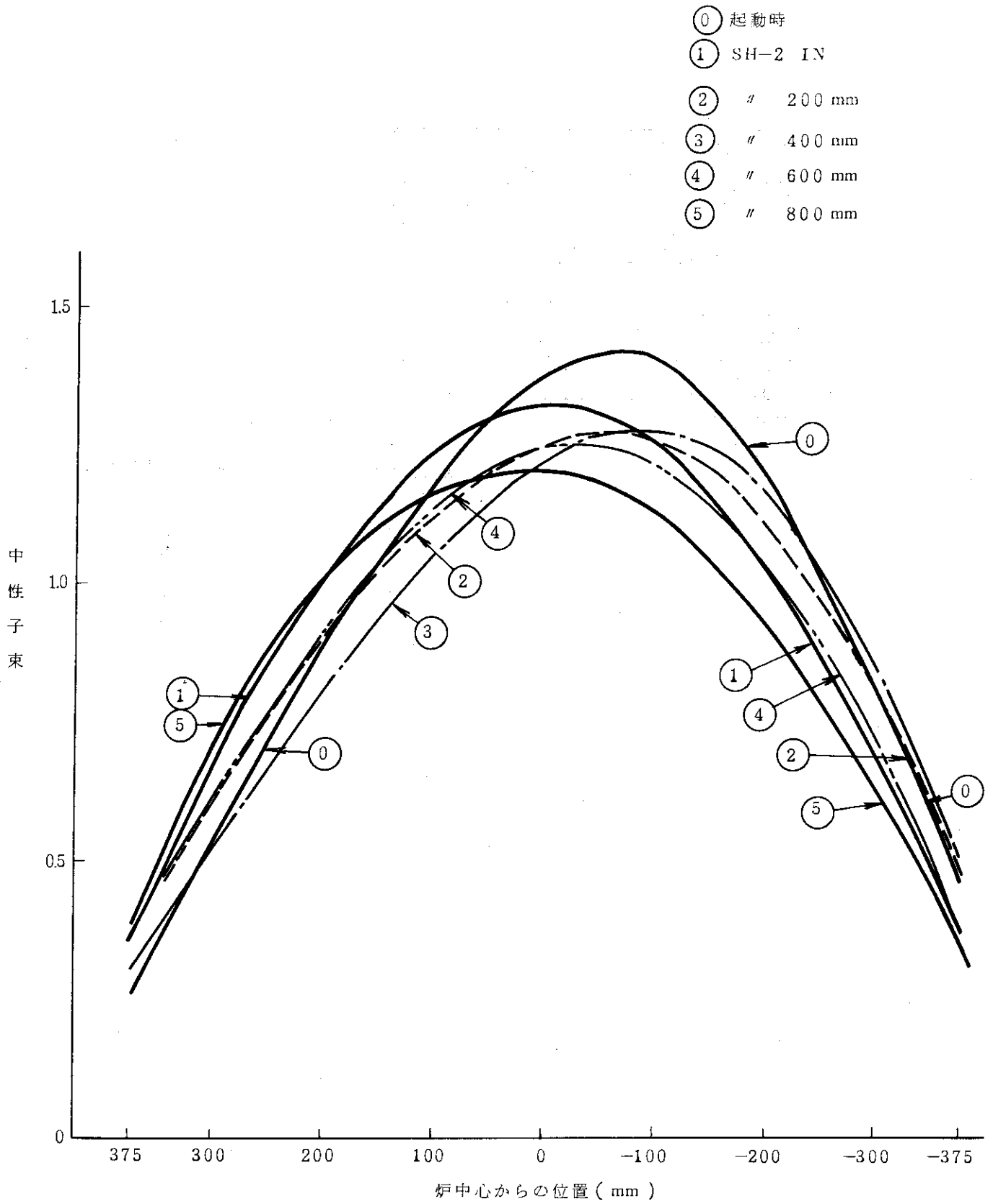


図 7.1 炉運転中の中性子束変動 (R-Z 計算, 反射体領域)

(①の縦方向平均値が1になるよう規格化)

- 照射孔E-8  
SPD測定値(第2サイクル)
- ① SH-1.3 531.0mm
  - ① SH-2 1N
  - ② " 196.6mm
  - ③ " 409.5mm
  - ④ " 561.8mm
  - ⑤ " 800 mm
  - ② " 283 mm

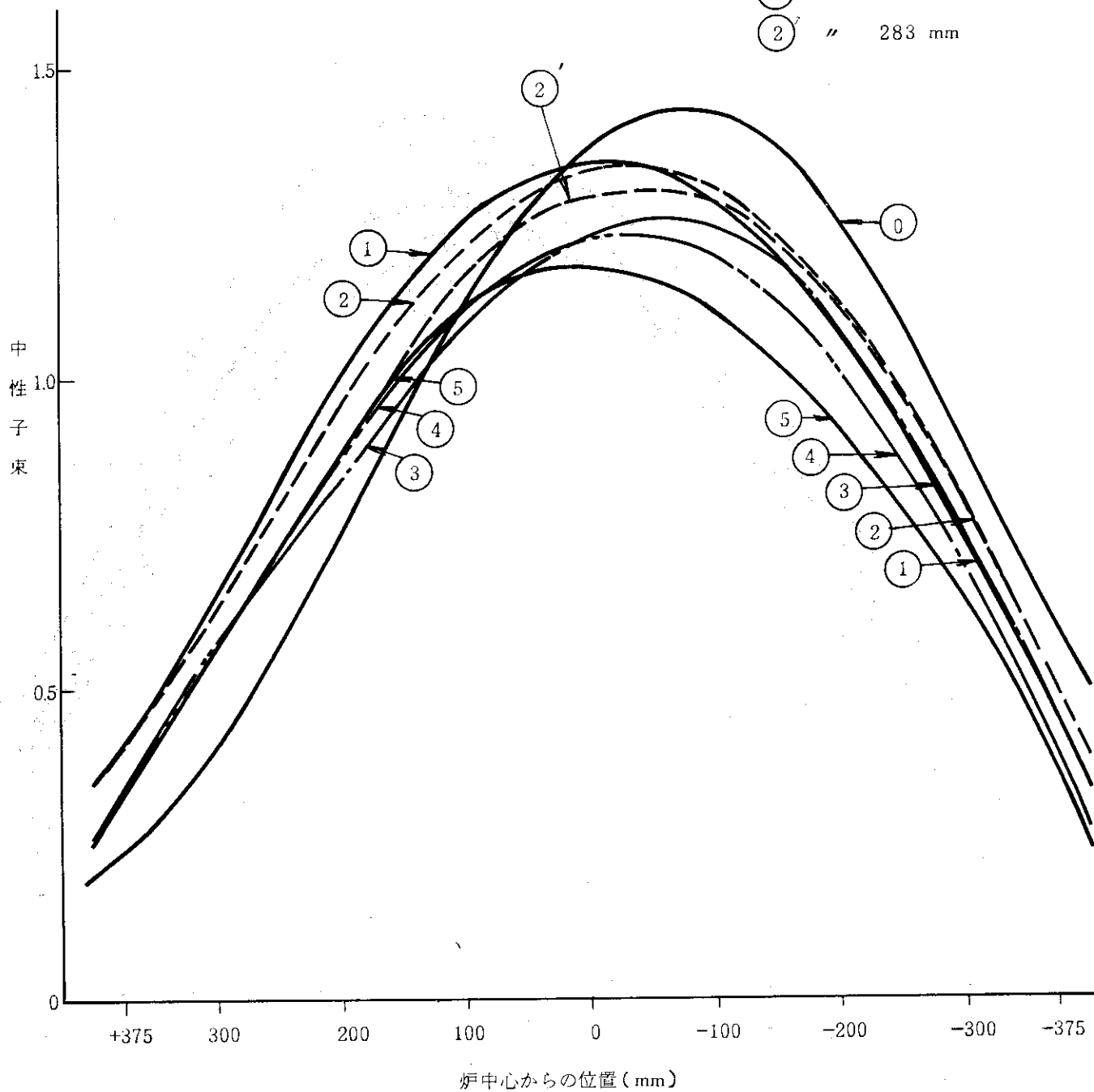


図 7.2 炉運転中の中性子束変動 (SPD実測, E-8)  
(①の縦方向平均値が1になるよう規格化)

照射孔 M-8

- ① 起動時 SH-1.3 525mm
- ② SH-2 IN
- ③ " 200mm
- ④ " 400mm
- ⑤ " 600mm
- ⑥ " 800mm

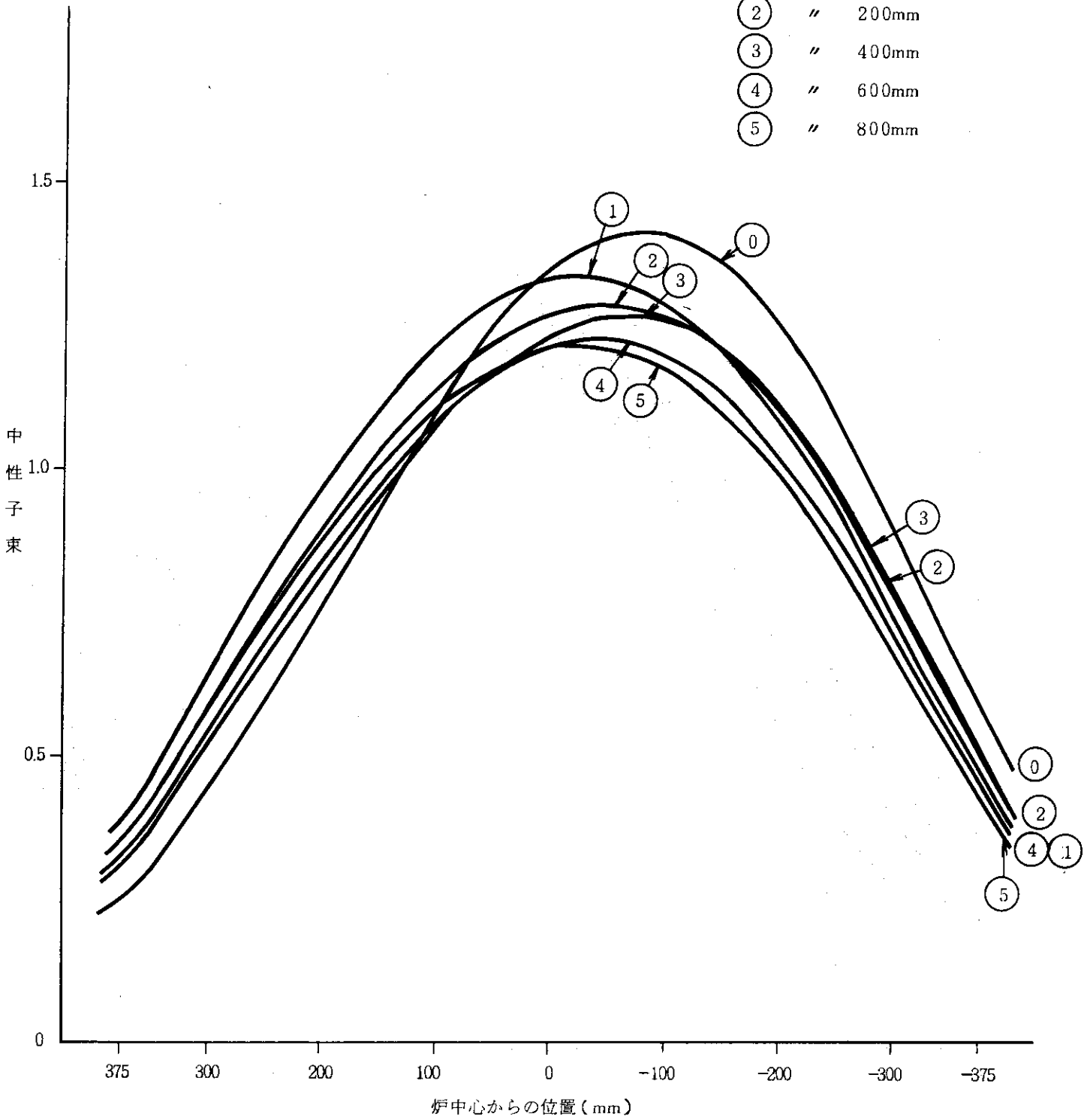


図 7.3 炉運転中の中性子束変動 (3群の和, M-8)

(①の縦方向平均値が1になるよう規格化)

照射孔 I-11

TIC 測定値(第2サイクル)

- ① SH-13 522.5mm
- ② SH-2 IN
- ③ " 283 mm
- ④ " 440 mm
- ⑤ " 613 mm
- ⑥ " 800 mm

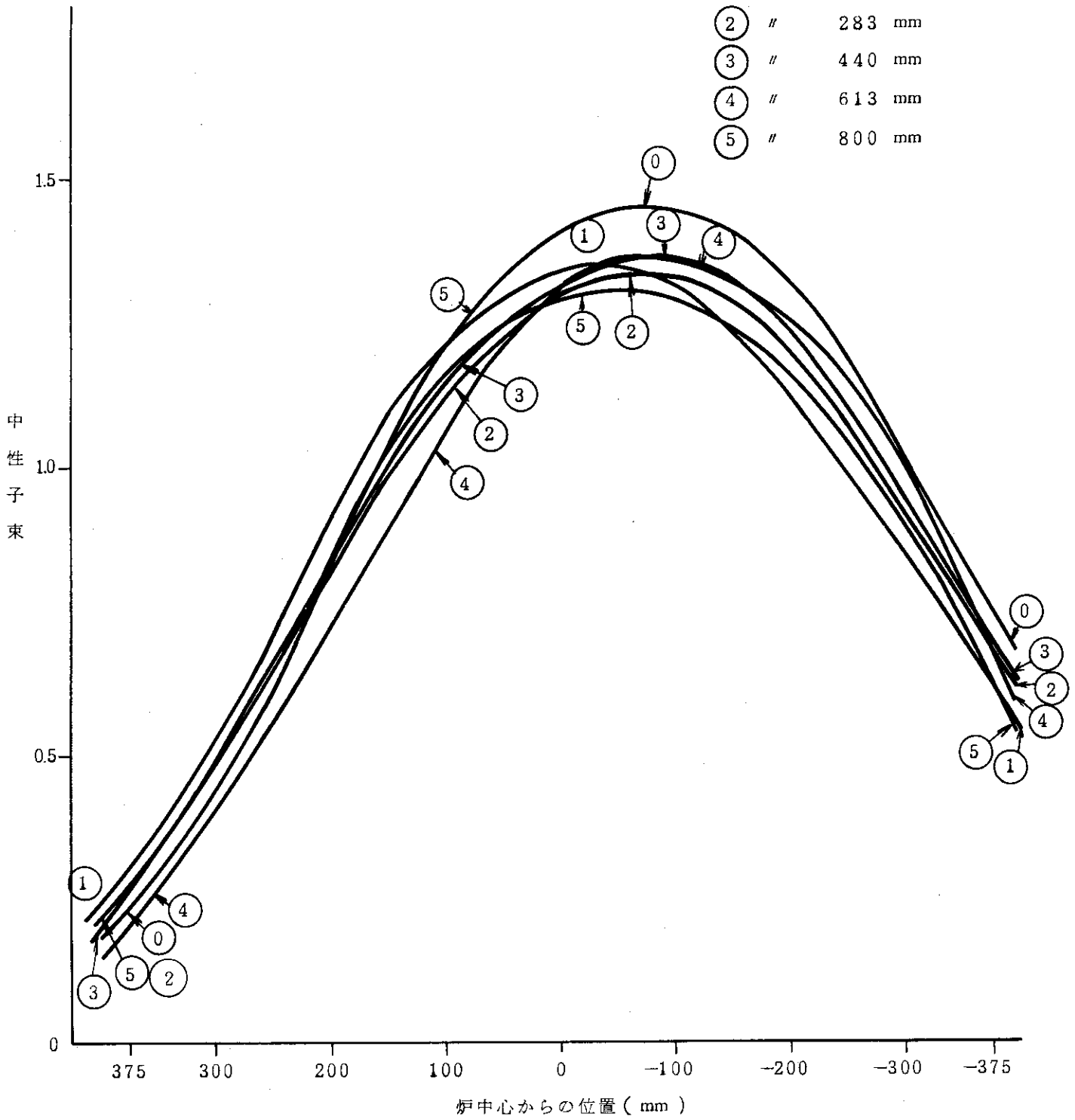


図 7.4 炉運転中の中性子束変動 (TIC 実測, I-11)

(①の縦方向平均値が1になるよう規格化)

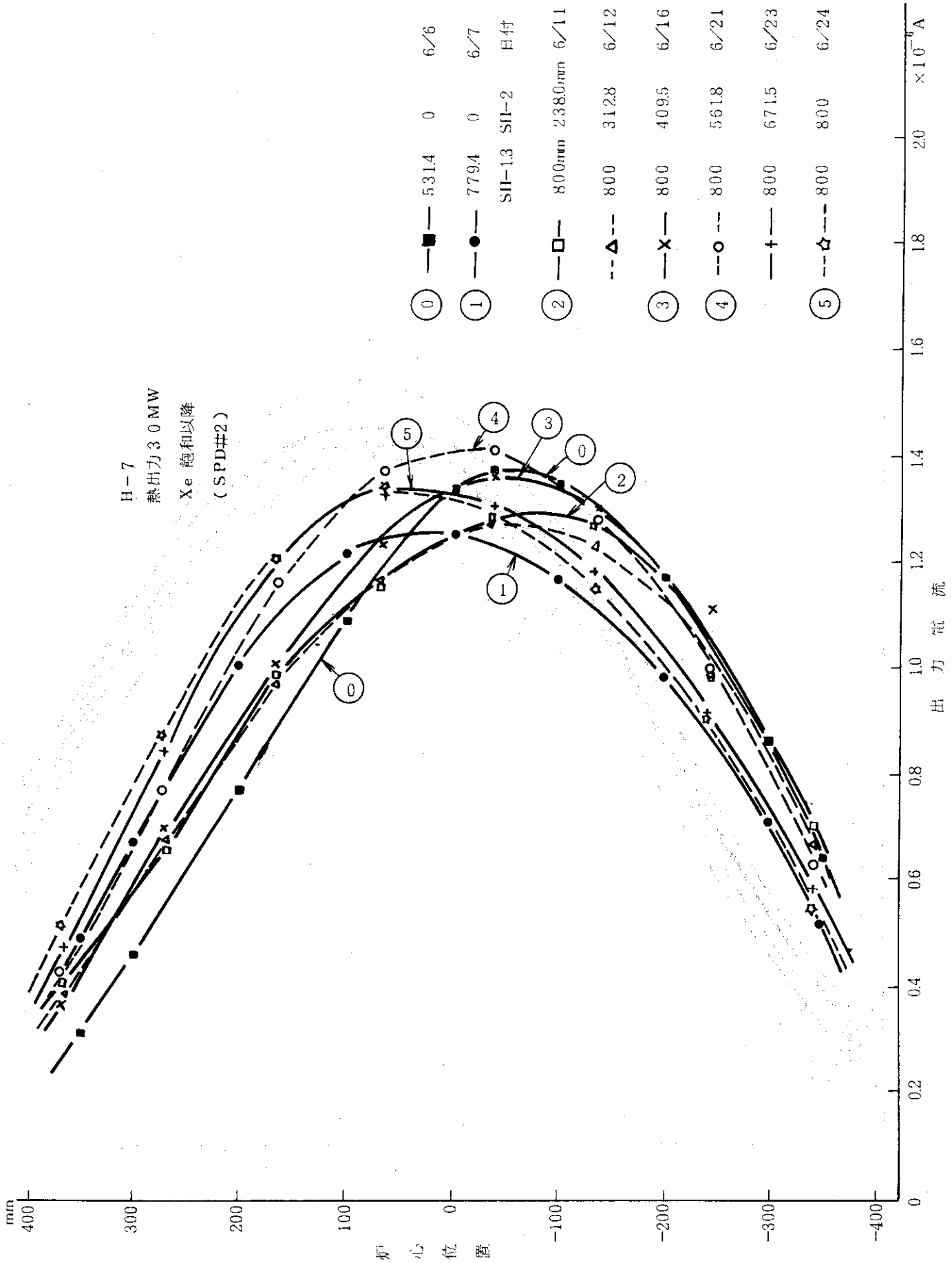


図7.5 炉運転中の中性子束変動 (SPD実測, H-7)

[第2サイクル測定SPD電流値で規格化していない]

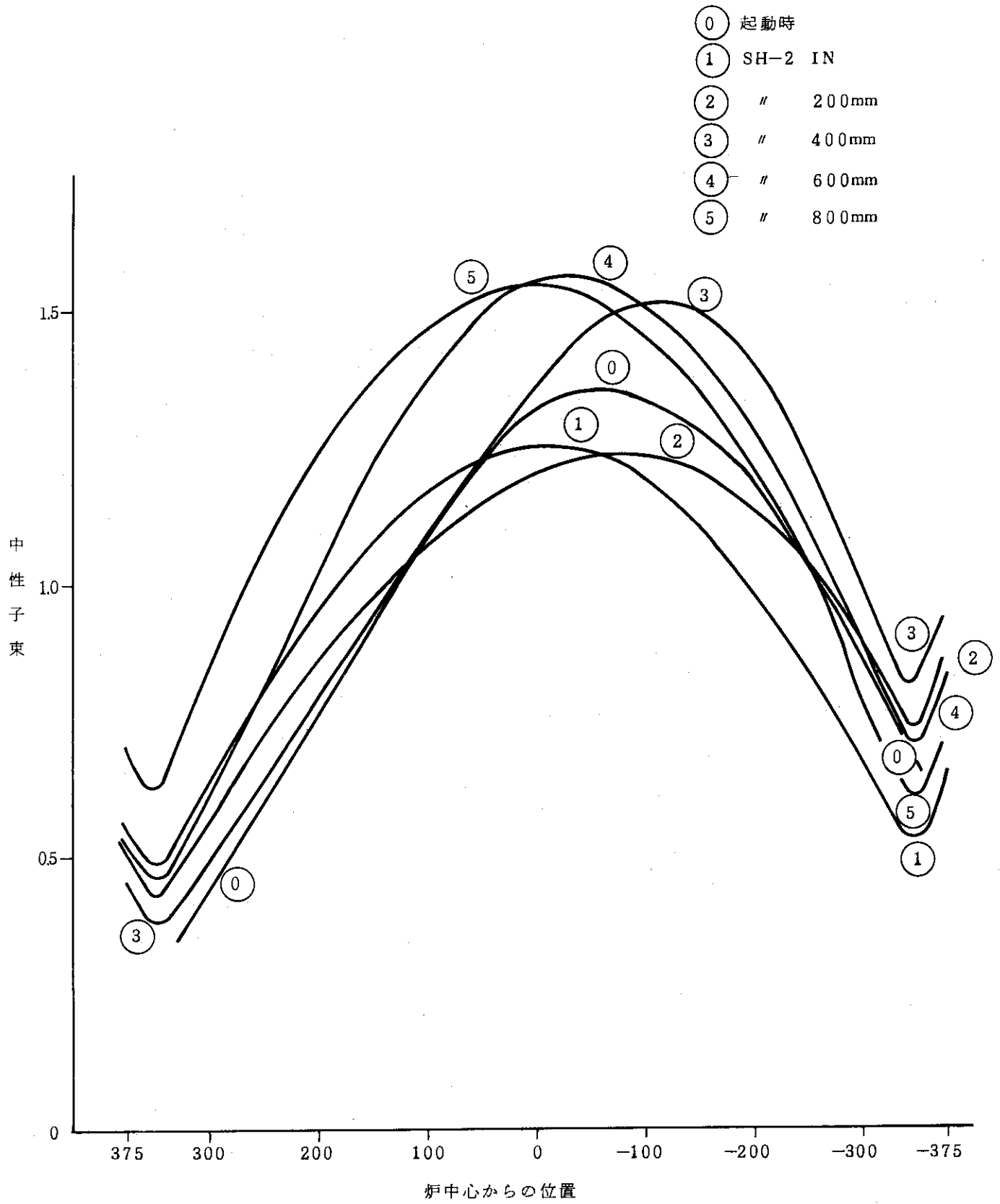


図 7.6 炉運転中中性子束変動 (R-Z 計算, 燃料領域照射孔)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

DATE: \_\_\_\_\_

記録者: \_\_\_\_\_

JMTR炉心装荷図

サイクルNo. \_\_\_\_\_ 月 日 ~ 月 日

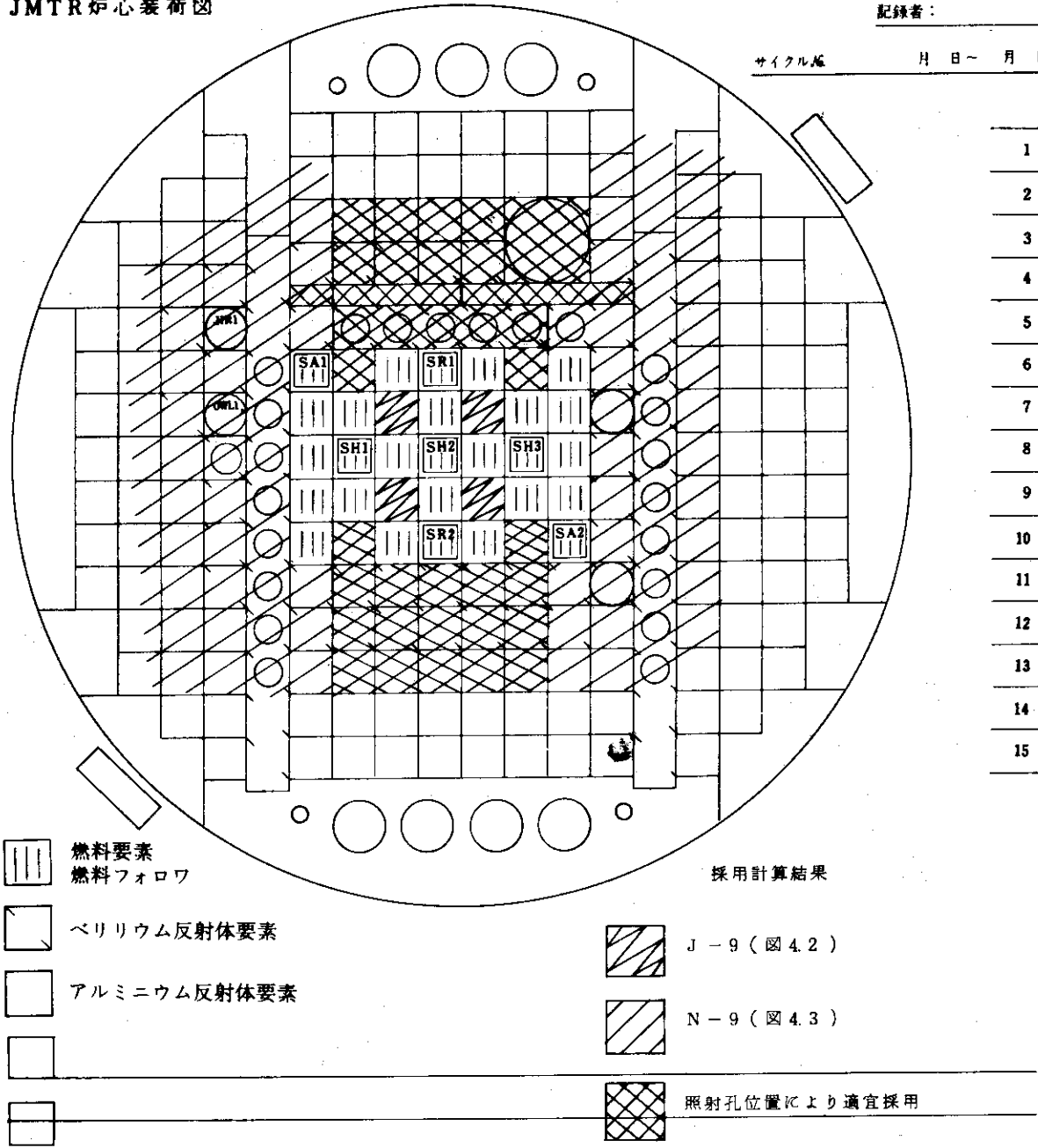


図 8 解析結果の運転計画への適用領域