

JAERI-M

5410

JMTRC実験による燃料試料発熱量(Q_{CF})
推定技術の分析(#3 ~ #14サイクル)

—付 Q_{CF} , Q_{cal} , Q_{GEN} 比較一覧表—

1973年10月

材料試験炉部 計画課

(19) 燃料燃焼材料燃焼による放射能の増大

(19) 燃料燃焼材料燃焼による放射能の増大

(19) 燃料燃焼材料燃焼による放射能の増大

(19) 燃料燃焼材料燃焼による放射能の増大

(19) 燃料燃焼材料燃焼による放射能の増大

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.

JMTRC実験による燃料試料発熱量(Q_{CF})推定
技術の分析 (# 3 ~ # 14 サイクル)

日本原子力研究所大洗研究所
材料試験炉部計画課
(1973年9月13日受理)

JMTRでは燃料試料の発熱量を2つの方法で予測している。1つは核計算によるもの Q_{cal} で、他の1つはJMTRCにおける実験(CF先行試験)によるもの Q_{CF} である。現在原子炉の運転に当って発熱量の推定精度向上が強く望まれており、このため2つの推定値について現状の分析・精度向上の方策検討を行なった。

先ず前半で#14サイクル当時の Q_{CF} 推定技術の概要についてまとめ(Q_{cal} 推定技術については別にまとめたものがある)、後半でデータの分析を行なった。

今回は実際に照射を開始した#3サイクルから#14サイクル迄のデータについて Q_{CF} に主眼をおいて Q_{cal} との比較と言う形で実施した。

なお比較に当っては Q_{CF} については#14サイクル時点の技術で再評価し、 Q_{cal} については1核分裂当りの発熱量などの数値を統一したものを使用した。

Technical Status of the Linear Heat Rating Estimation
with JMTRC Critical Facility

Project Engineering Section,
Division of JMTR Project, Oarai, JAERI

(Received September 13, 1973)

The linear heat ratings (w/cm) of fissionable specimens in the Japan Materials Testing Reactor (JMTR) are estimated by two approaches; one is experimental, with critical facility JMTRC, and the other is calculational.

The experimental approach is first reviewed at the technical status of the JMTR #14 operation cycle.

Accuracies of the experimental approach (Q_{CF}) are then discussed in comparison with the calculational (Q_{cal}) for #3~#14 cycle of the operation.

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. Q_{CF} 推定技術の現況 | 3 |
| 2.1 Q_{CF} の算出方法 | 3 |
| 2.2 燃料ペレット内熱中性子束分布 | 11 |
| 2.3 ループ燃料試料の発熱量推定 | 17 |
| 2.4 燃料試料の B_4C による模擬について | 19 |
| 2.5 炉雑音解析法による JMTRC の出力測定 | 22 |
| 2.6 JMTR 本体の熱出力値とノイズ法による出力測定値の関係 | 31 |
| 2.7 Foil 横分法 (ノイズ法との比較を含む) | 44 |
| 3. 発熱量推定技術に関する検討 | 48 |
| 3.1 評価値の検討 | 48 |
| 3.2 照射孔による Q_{cal}/Q_{CF} の傾向について | 49 |
| 3.3 キャプセルによる傾向 | 49 |
| 3.4 CF 炉出力 (P_{CF}) 測定法について | 49 |
| 3.5 B_4C 模擬について | 51 |
| 3.6 ウラン濃縮度と Q_{cal}/Q_{CF} について | 51 |
| 3.7 Gd 入り試料について | 52 |
| 3.8 Pu 入り試料について | 52 |
| 3.9 長期照射されるキャプセルの発熱量推移 | 53 |
| 3.10 ループ試料の発熱量比較 | 55 |
| 4. まとめ | 69 |
| むすび | 71 |
| 謝 辞 | 73 |
| 5. [付録] Q_{CF} 、 Q_{cal} 総括一覧表 | 74 |
| 5.1 表のよみ方 | 74 |
| 5.2 第1表の各欄の内容 | 74 |
| 5.3 第2表の各欄の内容 | 75 |
| 5.4 第3表の各欄の内容 | 76 |
| 第1表 試料発熱量 (推定値) 一覧 | 77 |
| 第2表 Q_{CF} 関係参考値 | 80 |
| 第3表 Q_{cal} 関係参考値 | 81 |
| 第4表 キャプセル別 Q_{cal} 、 Q_{CF} 一致度 | 86 |

図表目次

| | | |
|--------------|--|----|
| Table 1-1 | Q_{cal} と Q_{CF} の一致度 | 1 |
| Table 2.1-1 | ^{235}U 核分裂当りの放出エネルギー | 5 |
| Table 2.2-1 | $(\sum_a \cdot d/2)$ をパラメータとした補正係数 α, β …… | 13 |
| Table 2.5-1 | 中性子核反応別の平均回教と関与中性子数 | 22 |
| Table 2.5-2 | ノイズ法炉出力計の直線性 | 27 |
| Table 2.5-3 | ノイズ法とフォイル法による炉出力の比較 | 27 |
| Table 2.6-1 | ノイズ法出力測定条件 | 33 |
| Table 2.6-2 | 熱出力-ノイズ法出力比 | 33 |
| Table 2.6-3 | #1サイクル 熱出力-核出力比 | 34 |
| Table 2.6-3' | 同上 " " " | 34 |
| Table 2.6-4 | #2サイクル " " " | 35 |
| Table 2.6-5 | #9サイクル " " " | 36 |
| Table 2.6-5' | 同上 " " " | 36 |
| Table 2.6-6 | #10サイクル " " " | 37 |
| Table 2.6-7 | #11サイクル " " " | 38 |
| Table 2.6-8 | #12サイクル " " " | 39 |
| Table 2.7-1 | ノイズ法・フォイル法出力一覽 | 47 |
| Table 3.6-1 | 濃縮度と Q_{cal}/Q_{CF} との関連 | 52 |
| Table 3.10-1 | ループ試料の発熱量 | 55 |
| 第1表 | 試料発熱量(推定値)一覽 | 77 |
| 第2表 | Q_{CF} 関係参考値 | 80 |
| 第3表 | Q_{cal} 関係参考値 | 81 |
| 第4表 | キャプセル別の Q_{cal}/Q_{CF} | 86 |
| Fig. 1-1 | 装荷試料が熱中性子束分布に与える影響例 | 2 |
| Fig. 2.1-1 | 測定点の例 | 7 |
| Fig. 2.1-2 | ξ の算出法 | 7 |
| Fig. 2.1-3 | 燃料ピン表面放射化分布の例 | 8 |
| Fig. 2.1-4 | 周方向放射化分布の例 | 8 |
| Fig. 2.1-5 | 濃縮度をパラメータとしたDip factor(Dp) | 9 |
| Fig. 2.1-6 | ペレット径をパラメーターとしたDip factor | 10 |
| Fig. 2.2-1 | 微濃縮(細径, 太径)燃料内の熱中性子束分布 | 14 |
| Fig. 2.2-2 | 可燃性汚物入り燃料内の熱中性子束分布 | 15 |
| Fig. 2.2-3 | 試料内中性子束分布表示因子と記号の定義 | 16 |
| Fig. 2.4-1 | UO_2 試料および B_4C 模擬試料中の径方向中性子束分布 | 21 |
| Fig. 2.5-1 | バンドパスフィルタの特性 | 29 |
| Fig. 2.5-2 | ノイズ法炉出力測定の直線性と再現性 | 30 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Fig. 2.6 - 1 | # 1 サイクル 熱出力-核出力比 | 40 |
| Fig. 2.6 - 2 | # 2 サイクル 熱出力-核出力比 | 40 |
| Fig. 2.6 - 3 | # 3 サイクル " " " | 41 |
| Fig. 2.6 - 4 | # 10 サイクル " " " | 41 |
| Fig. 2.6 - 5 | # 1.1 サイクル " " " | 42 |
| Fig. 2.6 - 6 | # 1.2 サイクル " " " | 42 |
| Fig. 3. - 1 | 各キャプセル Q_{cal}/Q_{CF} の変遷 (修正前) | 56 |
| Fig. 3. - 2 | 同上 (修正後) | 57 |
| Fig. 3. - 3 | フォイル法を基準とした各キャプセルの Q_{cal}/Q_{CF} (修正前) | 58 |
| Fig. 3. - 4 | 炉出力 (P_{CF}) 測定法の評価 | 59 |
| Fig. 3. - 5 | 照射孔別の Q_{cal}/Q_{CF} | 60 |
| Fig. 3. - 6 | 減縮度・富化度と Q_{cal}/Q_{CF} の関連 | 61 |
| Fig. 3. - 7 | 67F-1G の経過 | 62 |
| Fig. 3. - 8 | 67F-2G の経過 | 62 |
| Fig. 3. - 9 | 67F-5G の経過 | 63 |
| Fig. 3. - 10 | 67F-13G の経過 | 63 |
| Fig. 3. - 11 | 67F-14G の経過 | 64 |
| Fig. 3. - 12 | 67F-24G の経過 | 64 |
| Fig. 3. - 13 | 67F-31G の経過 | 65 |
| Fig. 3. - 14 | 67F-33G の経過 | 65 |
| Fig. 3. - 15 | 68F-5P の経過 | 66 |
| Fig. 3. - 16 | 68F-6P の経過 | 66 |
| Fig. 3. - 17 | 69L (F)-5P の経過 | 67 |
| Fig. 3. - 18 | 1 サイクル照射キャプセルの発熱量推定値 | 68 |
| Fig. 4. - 1 | Q_{CF} 推定のプロセス | 72 |

—— 作業の分担 ——

このまとめに用いた基礎のデータのうち Q_{CF} 関係は核技術係*、 Q_{cal} 関係は運転計画係*
によって得られたものである。そのほかの作業分担は下記のようなのである。

| | |
|------------------------------|-----|
| 各サイクル、各キャプセルの Q_{cal} の洗出し | 小山田 |
| 各試料の概略、NMの状況、 Q_{CF} の洗出し | 石塚 |
| 各数値の再確認 | 田中 |
| 上記データの作表と比較検討 | 端穂 |

また、 Q_{CF} 推定技術の現況については

| | | |
|------------------------------------|---|----|
| 2.1 Q_{CF} の算出方法 | } | 瀬崎 |
| 2.2 燃料ペレット内中性子束分布 | | |
| 2.3 ループ試料の発熱量推定 | | 近藤 |
| 2.4 燃料試料の B_1C 模擬について | | 石塚 |
| 2.5 ノイズ法による炉出力 (P_{CF}) 測定法 | } | 寺田 |
| 2.6 本体出力 / CF出力 比について | | |
| 2.7 フォイル積分法による炉出力 (P_{CF}) 測定法 | | 石塚 |

の各メンバーに提出を求めた資料をもとにして端穂がまとめたものである。

* このまとめが開始された時期の計画課の構成は次のようである。

計画課長 神原 忠則

課長代理 端穂 綺

核技術係

運転計画係

係長 石塚 宏
近藤 育郎
作出 孝
瀬崎 勝二
寺田 博海
武田 勝彦
伊藤 治彦

係長 小山田 文郎
田中 利幸
安藤 弘栄
飯田 正

1. はじめに

JMTRのような、小型の原子炉では各サイクルによってその特性が大巾に変化する。特に熱中性子束分布の変化は著しく(Fig 1-1 参照)、毎サイクルが全く別の炉心であると考えるのが妥当である。すなわち、JMTRでは原子炉の中に照射物を挿入すると言う感覚はもはや適当でなく、照射物と燃料(燃料要素は各サイクル毎に全数または半数(#12サイクル以降)が新しいものにとりかえられる)とを組合わせて新しい炉心を組上げると考えた方がよい。

一方原子炉の運転に当っては照射物(ひいては原子炉)の安全確保および精度の良い照射のために照射物(燃料試料)の発熱量の推定が必要である。

これらの関連からJMTRでは各サイクル毎に炉心配置案をさだめ、核計算、JMTRCによる模擬実験(CF先行試験)の2つの方法を用いて試料発熱量(Q)の推定を行なっている。

JMTRは45年8月よりの30MW照射(#3~#11サイクル)を経て46年10月(#12サイクル)から50MWの照射を開始した。これまで発熱量の推定法については常時改良を加えつつ現在に至っているが、2つの推定発熱量(Q_{cal} と Q_{CF})の間の一致度を#3~#9サイクルの延べ41キャプセルについて見るとTable 1-1のような分布をなしている。

Table 1-1 Q_{cal} と Q_{CF} の一致度(#3~#9サイクル)

| Q_{cal} と Q_{CF} のばらつき | 比 率 |
|----------------------------|-----|
| ±10% 以内 | 46% |
| ±10~20% | 37% |
| ±20~40% | 15% |
| ±40% 以上 | 2% |

(47, 8, 20付 理事会資料; 神原)

Table 1-1 から見る限り発熱量の推定法は両推定法の持つ本質的な不確定さを考慮すれば83%が±20%の精度内にあることから全体的にはまずまず妥当と言うべきであろう。しかし一方、2つの推定値が40%以上もくい違い試料の存在はたとえそれが1ヶでも運転のGO/NO-GO決定の上で問題となって来る。

本資料はこのような背景のもとで現在迄の発熱量推定の状況を総括・検討し、発熱量推定に誤差を生ずる原因の追跡計画を立てることを目標としたものである。基本的な方針としては先ず Q_{CF} 算出法に焦点をあて、その結果もしくは進捗によって Q_{cal} 計算法をみなおす方法をとることにした。

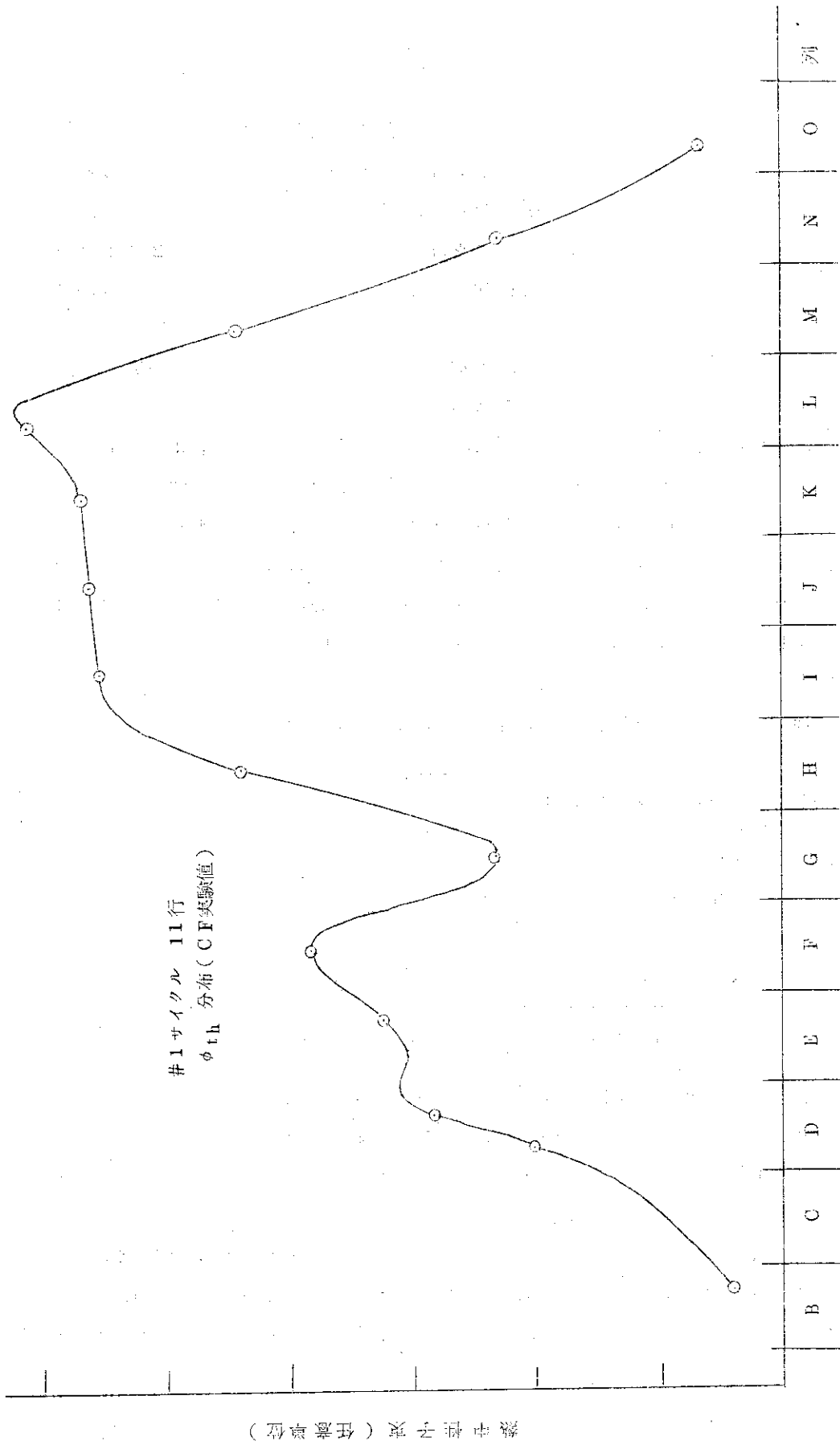


Fig. 1-1 装荷試料が熱中性束分布に与える影響例
 (E列およびG列に吸収の大きい試料が挿入されている)

2. Q_{CF} 推定技術の現況

この節では #3 ~ #1.4 サイクルの期間で開発された Q_{CF} 推定法の現状についてまとめたものである。すでに現時点では更にいくつかの改良が行なわれているが、これについては近い将来にまたまとめる予定である。

この節の内容は次のようである。

- 2.1 Q_{CF} 算出方法
- 2.2 燃料ペレット内熱中性子束分布
- 2.3 ループ燃料試料の発熱量推定
- 2.4 燃料試料の B_4C による模擬について
- 2.5 ノイズ法による炉出力の測定
- 2.6 ノイズ法出力→熱出力 換算係数
- 2.7 ノイズ法出力、フォイル積分法出力の比

2.1 Q_{CF} の算出方法

はじめに

材料試験炉臨界実験装置 (JMTRC) では、本体模擬炉心を構成し熱中性子束を測定して JMTRC 本体における燃料試料の発熱量 (Q_{CF}) を算出する。

以下に実験の手順を追って Q_{CF} の算出過程を述べる。

2.1.1 模擬炉心の構成

JMTRC 各サイクルの炉心配置は、各試料の照射条件を満すべく決定するが、この実験的手法として模擬照射試料 (Nuclear Mockup キャプセル = NM) を製作し、これを JMTRC の炉心に装荷する。模擬の程度は炉物理的特性値 ($\Sigma_a, \xi \Sigma_s$ 等) が $\pm 10\%$ の範囲内にあることを目安とし、計装など特殊なもの、不必要なものは省略している。核燃料については本物と同一の試料を用いるか、又は中性子速度 2200m/sec における Σ_a が等価となる様な $B_4C-A\theta_2O_3$ 混合物で代用する。

2.1.2 測定

模擬照射試料に Au, Dy, Cu 等の放射化箔を取付けて、その放射化量を測定することにより熱中性子束密度を求める。測定点は次の考えに従って選定される。

- i) 縦方向熱中性子束最大点及びその値を測定する。
- ii) 径方向中性子束分布推定のため熱中性子束の勾配を測定する。
- iii) 特殊な試料については、ピン内熱中性子束分布を測定する。
- iv) キャプセル外筒での熱中性子束を測定する。

熱中性子束の絶対値は Au の放射化量絶対値とカドミ比を測定して求めるが、全測定点についてカドミ比を求めると測定箔の数が 5 ~ 6 倍に増加するので大部分の測定点については、Dy

又はCuにより熱中性子束の相対測定のみを行う。相対値から絶対値への換算は標準点において求めた係数を用いて行う。Fig. 2.1-1 に代表的な測定点の例を示す。

照射時の炉出力は約10 watt, 照射時間は約2時間である。

計測は ^{198}Au については $\beta-\gamma$ 同時計数により絶対値を求め, ^{165}Dy , ^{64}Cu については, NaI(Tl) シンチレーターまたはGM管により相対測定を行う。

2.1.3 データ処理

1) Dy 相対値からAu・ $(1 - \frac{1}{\text{Rcd}})$ 絶対値への換算係数(ϵ)の算出

Dyの相対値からAuのカドミ比(Rcd)を補正した絶対値への換算係数(ϵ)はFig. 2.1-2に示すグラフより求めるが,算出精度を良くするために縦方向のカドミ比がほぼ一定とみなせる50~250mmの範囲の面積を比較する。即ち

$$\epsilon = \frac{\left(1 - \frac{1}{\text{Rcd}}\right) \int_{50}^{250} \text{Au}(Z) dZ \quad [\text{dps/mg}]}{\int_{50}^{250} \text{Dy}(Z) dZ \quad [\text{cps/mg}]} \quad (1)$$

を炉心内数点で算出し,平均値を求めて当該サイクル*の ϵ とする。

この方法の妥当性についてはAuのカドミ比が2(燃料領域における値)~10(反射体4層目における値)の範囲で ϵ の偏差が0.5%程度しかなく,かつ明確な場所依存性もみられないことによって確認している。

2) 燃料表面の箔放射化量分布

燃料ピン表面に貼付けたDyの照射直後における単位重量当りの放射化量をFig. 2.1-3に示す。これより縦方向最大点がわかる。

燃料ピンの表面に鉢巻状に巻いたAuの周方向放射化量をFig. 2.1-4に示す。これより周方向最大点がわかり縦方向測定点がこの方向と一致していない場合はピンの回転補正をして,ピン表面最大放射化量 A_{max} とその反対側の値 A_{min} を決定する。

3) 燃料ピン内熱中性子束密度分布の表示因子(D_p)の決定

D_p は UO_2 試料についてあらかじめ横孔ピン実験により ^{235}U 濃縮度とピン径をパラメータとしてFig. 2.1-5, 6に示すような値を得ている。通常はこのグラフより D_p を読み取るが,これらのデータが適用できない試料については適宜試料に径方向貫通孔をもちけたいわけの横孔ピン試料とすることにより D_p を測定する。

2.1.4 Q_{CF} の算出

Q_{CF} は次式により計算する。

$$Q_{\text{CF}} = E_f \cdot \sum_f \bar{\phi}_{\text{max}} \cdot S \cdot \frac{P}{P_{\text{CF}}} \cdot (1 + \epsilon) \cdot \delta + Q_\gamma \quad (2)$$

* ϵ の値は測定器のセッティングによる影響を受けるので当該サイクル以外への使用には注意を要する。

以下にこの式に現れた諸量についてのべる。

- 1) E_f = 核分裂当りの放出エネルギーで ^{235}U については Table 2.1-1 に示す値を使用する。

Table 2.1-1 ^{235}U 核分裂当りの放出エネルギー
(G.R.Keepin, Physics of Neutron Kinetics,
Addison-Wesley, P.13, (1964))

| 項 目 | エネルギー (MeV) |
|---------------------------|----------------------------------|
| (a) 軽い核分裂生成物の運動エネルギー | 99.8 ± 1 |
| (b) 重い核分裂生成物の運動エネルギー | 68.4 ± 0.7 |
| (c) 核分裂により放出する中性子の運動エネルギー | 4.8 |
| (d) 核分裂と同時に放出するγ線のエネルギー | 7.5 |
| (e) 核分裂生成物のβ崩壊による放出エネルギー | 7.8 |
| (f) 核分裂生成物のγ崩壊による放出エネルギー | 6.8 |
| 計 | 195.1 / (a), (b), (c)のみ 176.4 |

E_f 値はキャプセルの様試料の体系が小さい場合には中性子やγ線のエネルギーは試料の発熱にはほとんど寄与しないから表中(c), (d), (f)を除いた176.4MeVを使用し, OWL-2等試料が大きな集合体となる場合には195.1MeVを使用する。なお, 炉内γ線の寄与はγ加熱(Q_γ)として別途考慮する。

- 2) Σ_f = 燃料試料の核分裂断面積

$$= \sigma_{fU^{235}} \cdot \rho_{UO_2} \cdot \frac{N_0}{M} \cdot \frac{E}{100}$$

ただし

- $\sigma_{fU^{235}}$ = ^{235}U の核分裂断面積 (577.1 barn — BNL-325, 2nd ed., Sap.2, 1965 より)
- ρ_{UO_2} = UO_2 の密度 (検査成績書より引用)
- N_0 = アボガドロ数
- M = UO_2 の分子量
- E = ^{235}U 濃縮度 (%) (検査成績書より引用)

- 3) $\bar{\phi}_{\max}$ = 最大発熱点でのピン内平均熱中性子束密度

$$= \phi_{\max} \times \alpha$$

ここで

ϕ_{\max} = 最大発熱点の最大熱中性子束密度

$$= \frac{A_{\text{U}} \left(1 - \frac{1}{R_{\text{cd}}}\right)}{N \sigma_{A_{\text{U}}} \left\{1 - \exp(-\lambda_{A_{\text{U}}} t_i)\right\}}$$

ただし

$$\begin{aligned} A_u \left(1 - \frac{1}{R_{ed}}\right) &= \text{最大発熱点における Au のカドミ比を考慮した単位重量当り崩壊数} \\ &= D_y (\text{最大発熱点の } D_y \text{ の計数値}) \times \xi \end{aligned}$$

なお、 $A_u \left(1 - \frac{1}{R_{ed}}\right)$ の値は、 A_u 値および Au の R_{ed} 値を実際に測定して求めることもある。

$$\begin{aligned} N &= \text{単位重量当りの } ^{197}\text{Au} \text{ 原子数} \\ \sigma_{Au} &= ^{197}\text{Au} \text{ の放射化断面積 (98.8 barn)} \\ \lambda_{Au} &= ^{198}\text{Au} \text{ の崩壊定数} \\ t_i &= \text{照射時間} \end{aligned}$$

一方

α = 熱中性子束の勾配及びピン内熱中性子束密度分布の補正值

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2}C\right) (1 + D_p)$$

ただし

C = 熱中性子束勾配の補正

で燃料ピン内熱中性子束分布を2次曲線と仮定した場合

$$C = (A_{max} - A_{min}) / A_{max}$$

D_p = dip factor (Fig. 2.2-1 参照)

4) その他の諸量

S = 燃料ピンの断面積

$$= \frac{1}{4} \pi D^2, \quad D = \text{燃料ペレット外径 (検査成績書より引用)}$$

P = 本体炉出力 (熱収支法により測定した原子炉熱出力)

$P_{CF} = \text{JMTRC 炉出力 (炉雑音法により測定した原子炉出力)}$

ϵ = 熱外中性子による核分裂の寄与を含める場合の補正係数、核計算コード UGMG, THERMOS, PDQ, により計算する。

δ = 「JMTRC → 本体」換算時の補正係数

$Q_\gamma = \gamma$ 加熱 (実験値より算出する)

以上で燃料試料の最大発熱点の発熱量 Q_{CF} [watt/cm] が得られる。

(瀬崎)

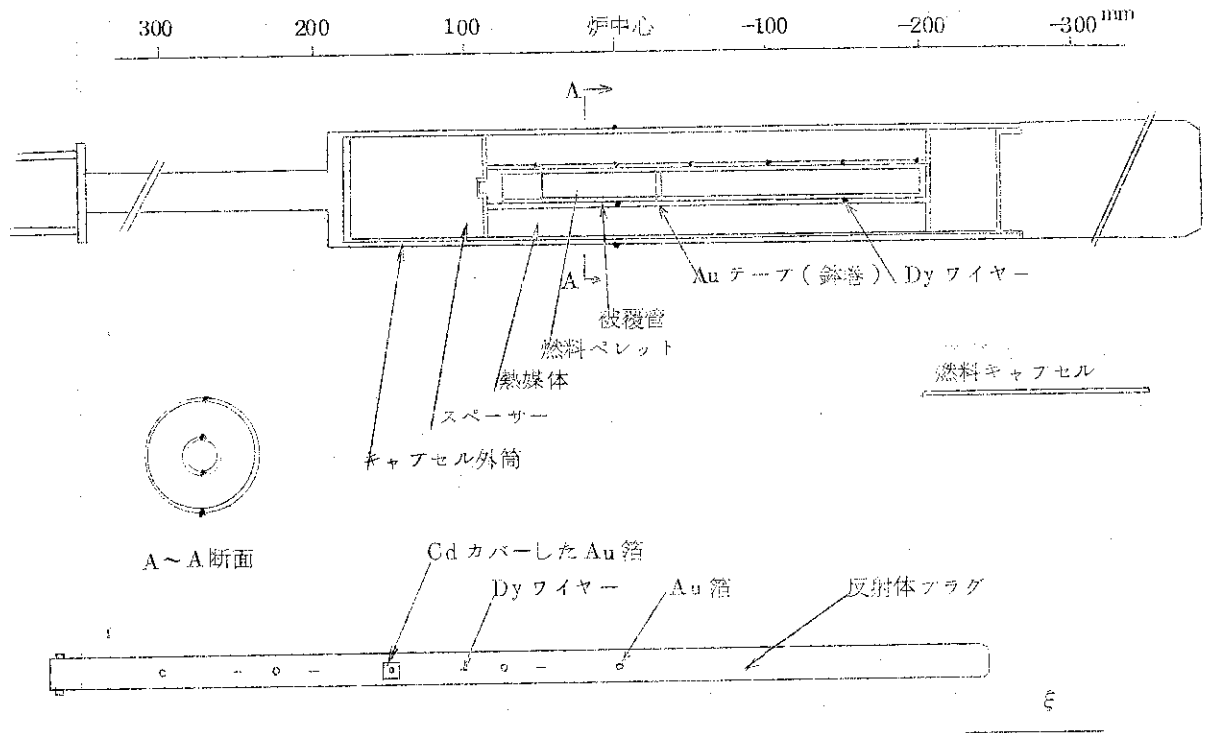


Fig. 2.1 - 1 測定点の例

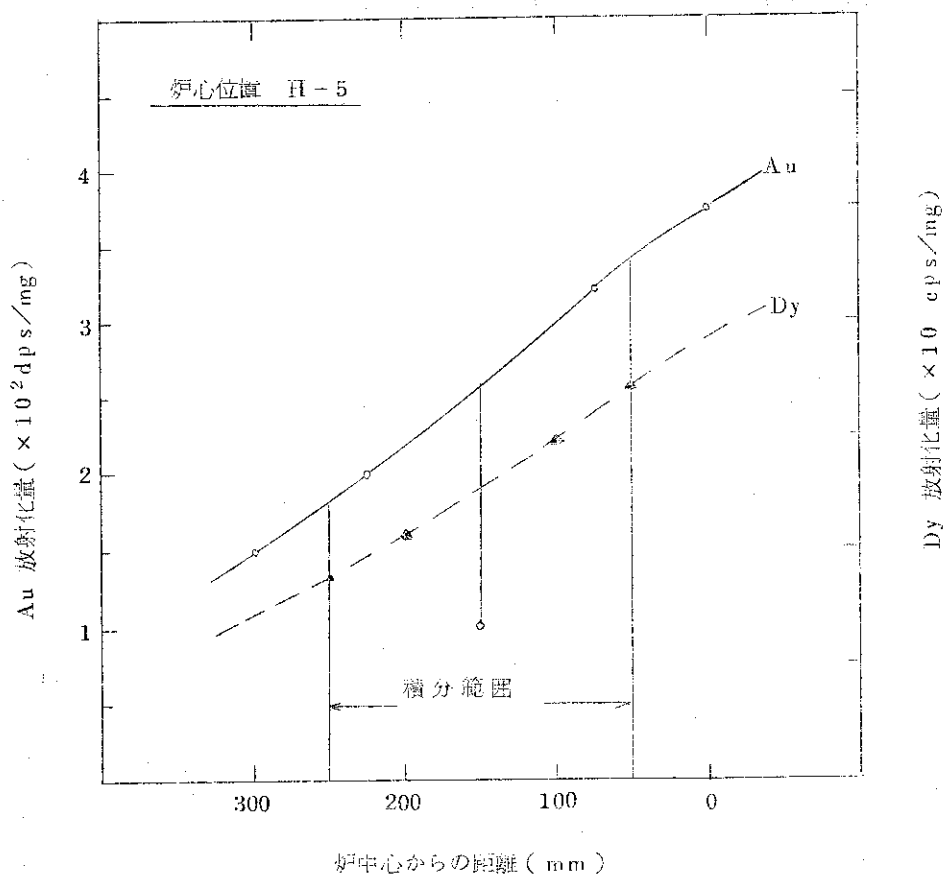


Fig. 2.1 - 2 ξ の算出法

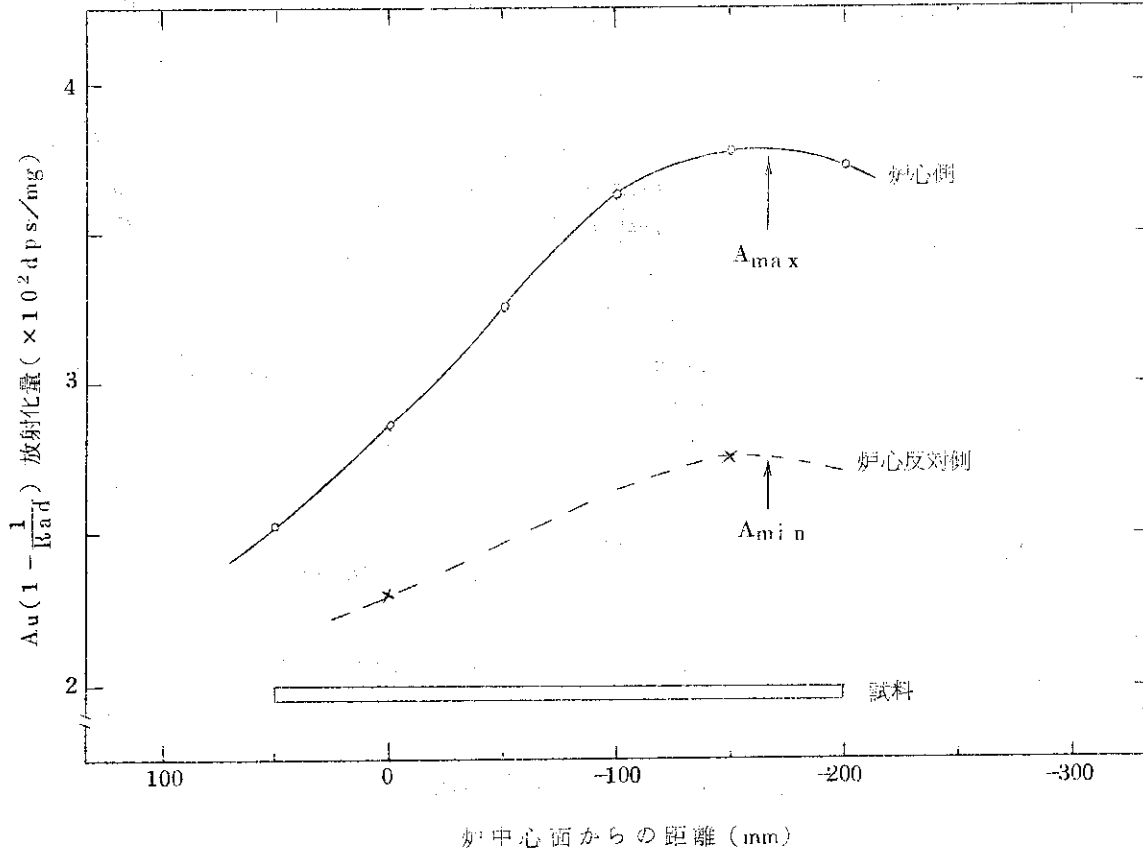


Fig. 2.1 - 3 燃料ピン表面放射化分布の例

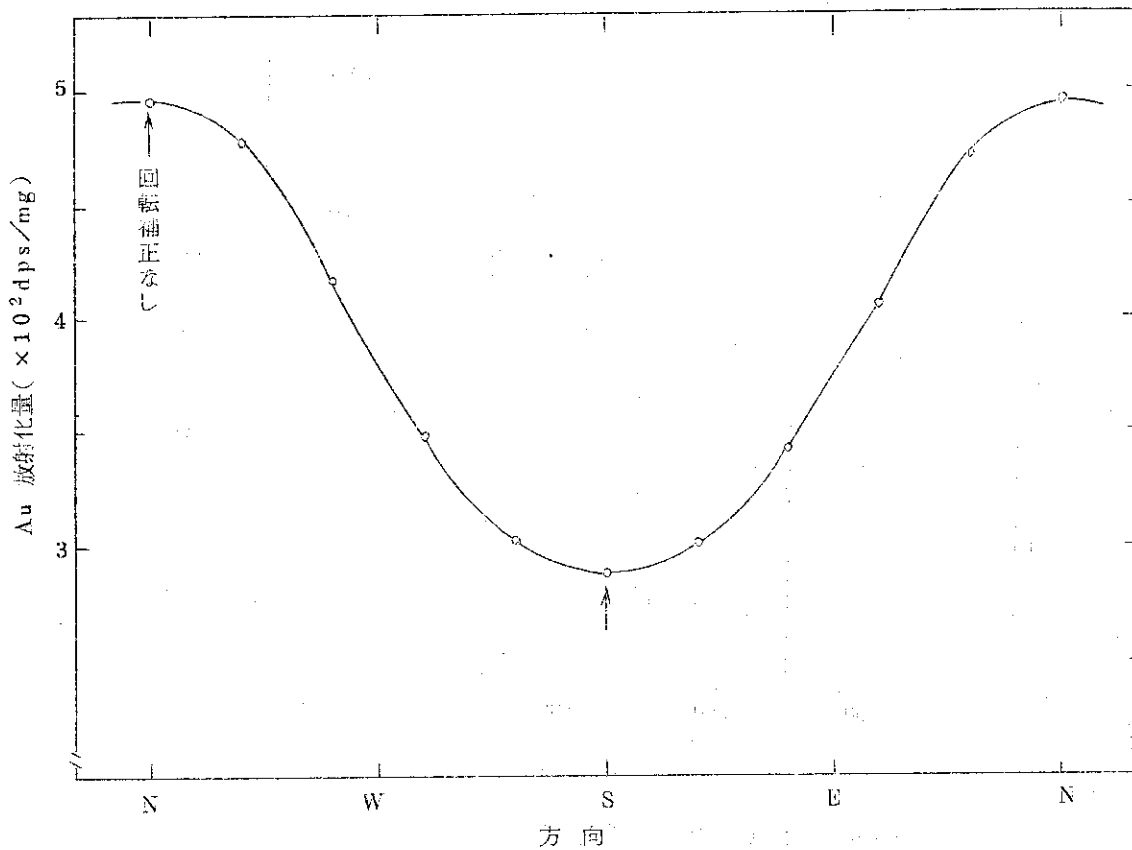


Fig. 2.1 - 4 燃料ピン表面周方向放射化分布の例

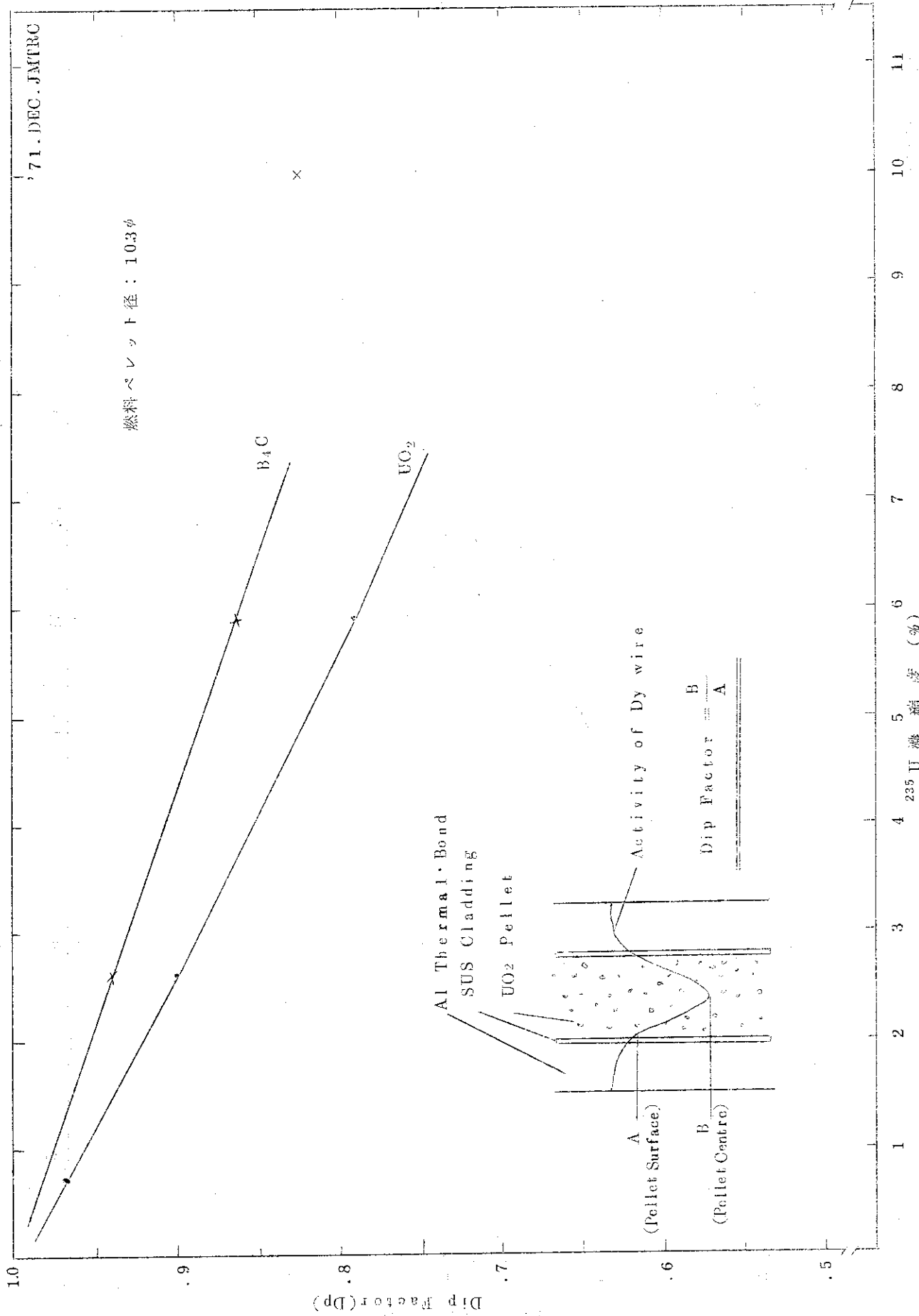


Fig. 2.1 - 5 235U 燃焼度をパラメータとしたDip factor (Dp)

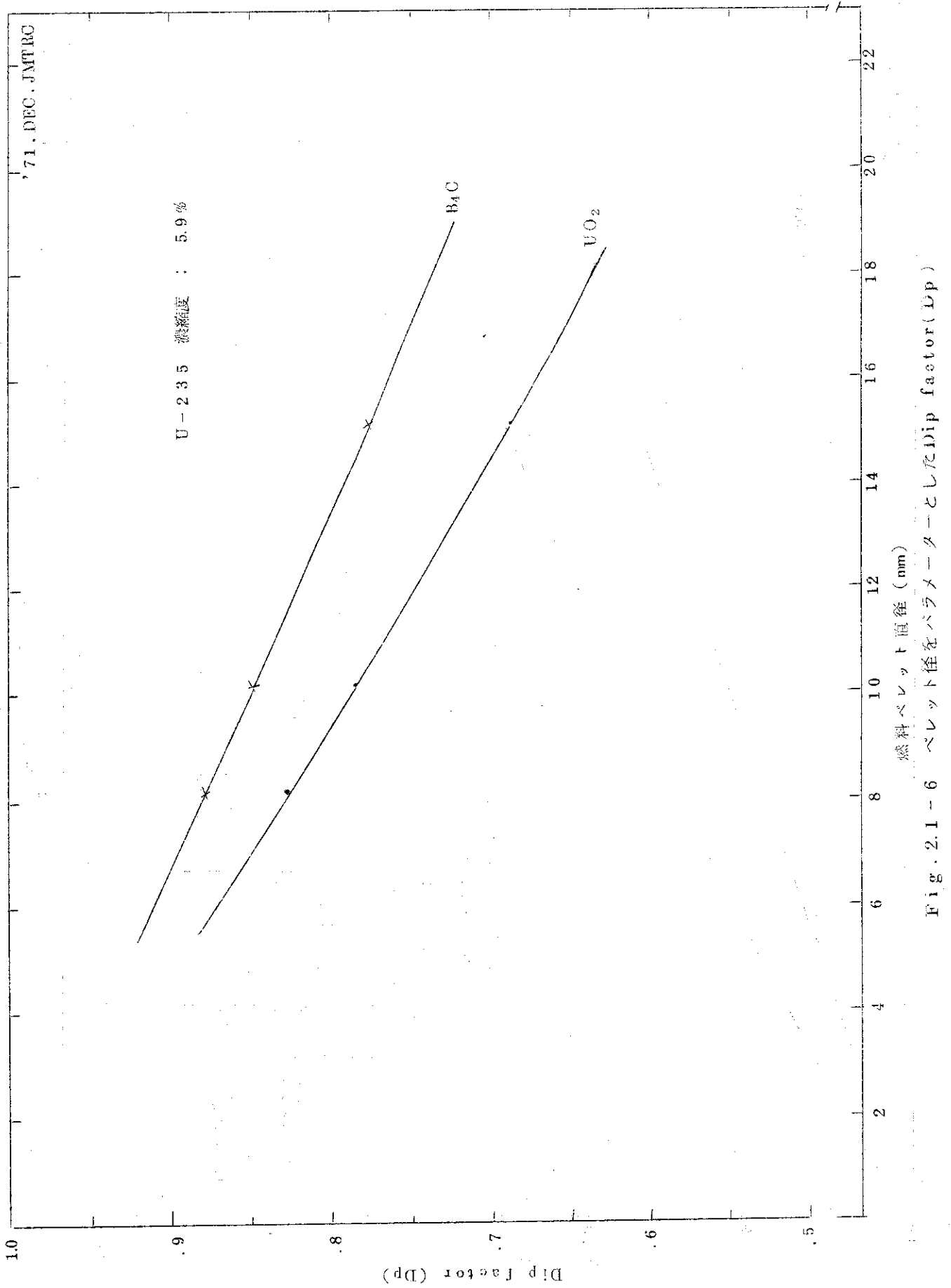


Fig. 2.1-6

2.2 燃料ペレット内熱中性子束分布

はじめに

JMTRCにおける Q_{OF} 測定では燃料被覆管の表面における熱中性子束を測定し、燃料ペレット内部の熱中性子束分布は、横孔ピン実験の結果を利用している。一般に燃料ペレット内の熱中性子束 $\phi(r)$ はベッセル関数を用いて次式で表わされる。

$$\phi(r) = A I_0 \left(\frac{\Sigma_a}{D} \cdot r \right) \quad (1)$$

I_0 は 0 階第 1 種の変形ベッセル関数で次式の様に展開される。

$$I_0(x) = J_0(i, x) = 1 + \frac{x^2}{2^2} + \frac{x^4}{2^2 \cdot 4^2} + \frac{x^6}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} + \dots$$

これから、 $\phi(r)$ は $\Sigma_a \cdot r$ の大きさに応じて、2 次式又は 4 次式で近似可能であることがわかる。すなわちペレット内部の分布を表示するためには、ペレット表面の熱中性子束の他に 2 次曲線では 1 つ、4 次曲線では 2 つの因子を試料の種類に応じて決定すれば良いことになる。以下に横孔ピン実験の結果からこの近似の妥当性を述べる。

2.2.1 曲線フィッティング

横孔ピン実験では UO_2 を使用し、 ^{235}U 濃縮度とペレット径をパラメーターに取った。このうち代表的な試料についての実験値を Fig. 2.2-1~2 に示す。実線は実験値でペレット表面を 1 に規格化してある。点線は 2 次曲線、一点鎖線は 4 次曲線でフィットしたものである。これから天然又は微濃縮、あるいは細径の試料については 2 次曲線で、高濃縮または可燃性毒物入りあるいは太径の試料については 4 次曲線で十分な精度で曲線フィット出来ることがわかる。

2.2.2 内部分布補正項の計算

1) ペレット内熱中性子束を表示する因子と記号の定義

曲線にフィットする場合、ペレット内熱中性子束を表示する因子として (ペレット表面を 1 に規格化し) ペレット中心 ($r=0$) の値を Dip factor (D_p)、半径の半分の点 ($r = \frac{d}{4}$) の値を Half Dip factor (D_h) と定義し、2 次曲線の場合はペレット表面の値と D_p 、4 次曲線の場合はさらに D_h を使用する。Fig. 2.2-3 に、表示因子と記号の定義を示す。

2) 2 次曲線フィットした場合のペレット内平均熱中性子束

ペレット単位長さ当たりで体積積分した熱中性子束は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \int_V \phi dV &= \frac{\pi d^2}{8} (\phi_{\max} + \phi_{\min}) - \int_0^{2\pi} \int_0^{D/2} (b - ar^2) r \cdot dr \cdot d\theta \cdot \frac{d}{D} \\ &= \frac{\pi d^2}{8} (\phi_{\max} + \phi_{\min}) - \frac{\pi D d}{4} \left(b - \frac{a D^2}{8} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

境界条件より係数 a , b を求めると

$$a = \frac{4 - \Delta \phi}{D^2} \quad , \quad b = \Delta \phi = \frac{d}{D} \phi_c (1 - D_p) \quad (4)$$

(4)を(3)に代入して

$$\begin{aligned} \int_V \phi dV &= \frac{\pi d^2}{8} (1 + D_p) \left(1 - \frac{C}{2}\right) \phi_{\max} \\ &= \frac{\pi d^2}{4} \phi_{\max} \cdot \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

ただし

$$\alpha \equiv \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} C\right) (1 + D_p) \quad (6)$$

この α をペレット内熱中性子束分布補正係数とする。

3) 4次曲線フィットした場合のペレット内平均熱中性子束
2次曲線と同様に

$$\begin{aligned} \int_V \phi dV &= \frac{\pi d^2}{8} (\phi_{\max} - \phi_{\min}) - \int_0^{2\pi} \int_0^{D/2} (b - ar^2 - er^4) r \cdot dr \cdot d\theta \cdot \frac{d}{D} \\ &= \frac{\pi d^2}{8} (\phi_{\max} - \phi_{\min}) - \frac{\pi d D}{4} \left(b - \frac{a D^2}{8} - \frac{e D^4}{48}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

境界条件より係数 a , e , b を求めると

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{4d}{3D^3} \phi_c (16Dh - 15Dp - 1) \\ e &= \frac{64d}{3D^5} \phi_c (3Dp - 4Dh + 1) \\ b &= \frac{d}{D} \phi_c (1 - D_p) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8)を(7)に代入して

$$\begin{aligned} \int_V \phi dV &= \frac{\pi d^2}{72} \phi_{\max} \left(1 - \frac{1}{2} C\right) (5 + 16Dh - 3Dp) \\ &= \frac{\pi d^2}{4} \phi_{\max} \cdot \beta \end{aligned} \quad (9)$$

ただし

$$\beta \equiv \frac{1}{18} \left(1 - \frac{1}{2} C \right) (5 + 16 D_h - 3 D_p) \quad (10)$$

この β をペレット内熱中性子束分布補正係数とする。

2.2.3 実例による精度の検討

Fig. 2.2-1 ~ 2 の例について α , β の値を比較し, Table 2.2-1 に示す。

Table 2.2-1 $\Sigma_a \cdot d/2$ をパラメータとした補正係数 α, β

| 燃料ペレット | (A) | (B) | (C) | (D) |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| C | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D_p | 0.968 | 0.789 | 0.676 | 0.176 |
| D_h | 0.976 | 0.835 | 0.727 | 0.270 |
| α | 0.492 | 0.447 | 0.419 | 0.294 |
| β | 0.492 | 0.444 | 0.406 | 0.244 |
| α, β の差 (%) | 0 | 0.7 | 3.2 | 20.4 |
| $\Sigma_a \cdot \frac{d}{2}$ | 0.58 | 3.78 | 7.10 | 34.0 |

これから, $\Sigma_a \cdot d/2$ の値が約4迄は2次曲線でフィッティングしても真値からの差は1%以下であり, $\Sigma_a \cdot d/2$ が4以上となる場合は, 4次曲線でフィッティングすべきであることがわかる。

(瀬崎)

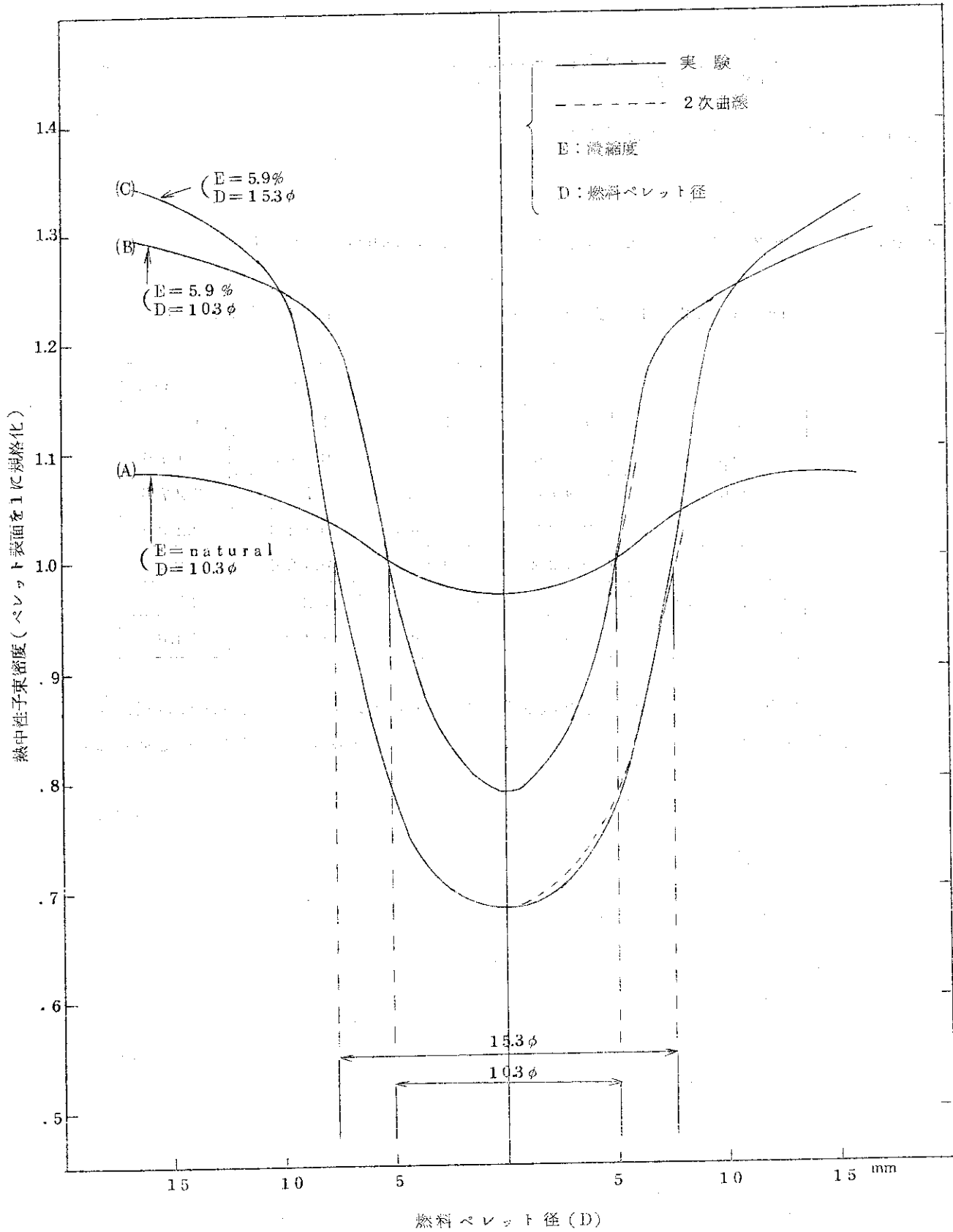


Fig 2.2-1 微濃縮(細径, 太径) 燃料内の熱中性子束分布

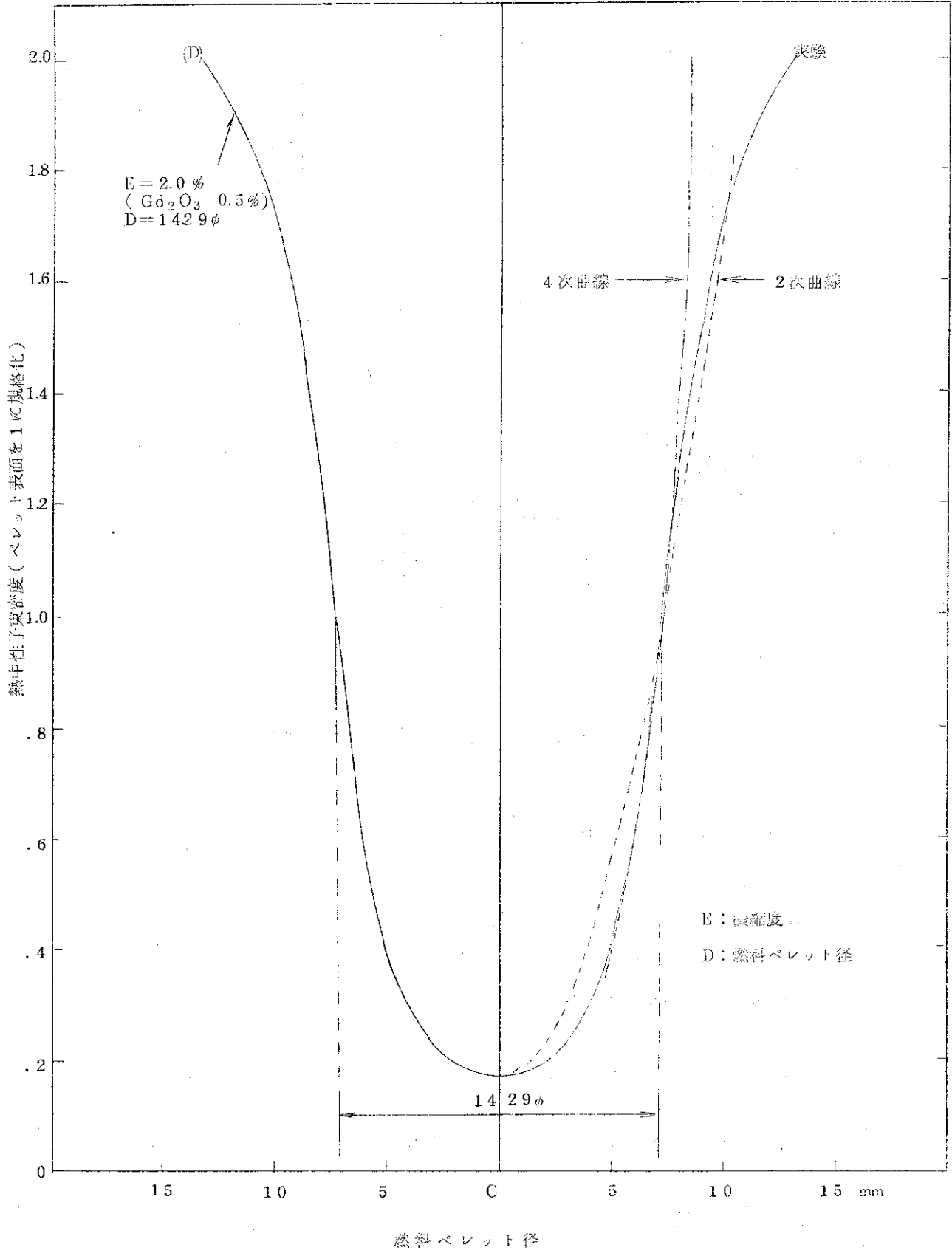
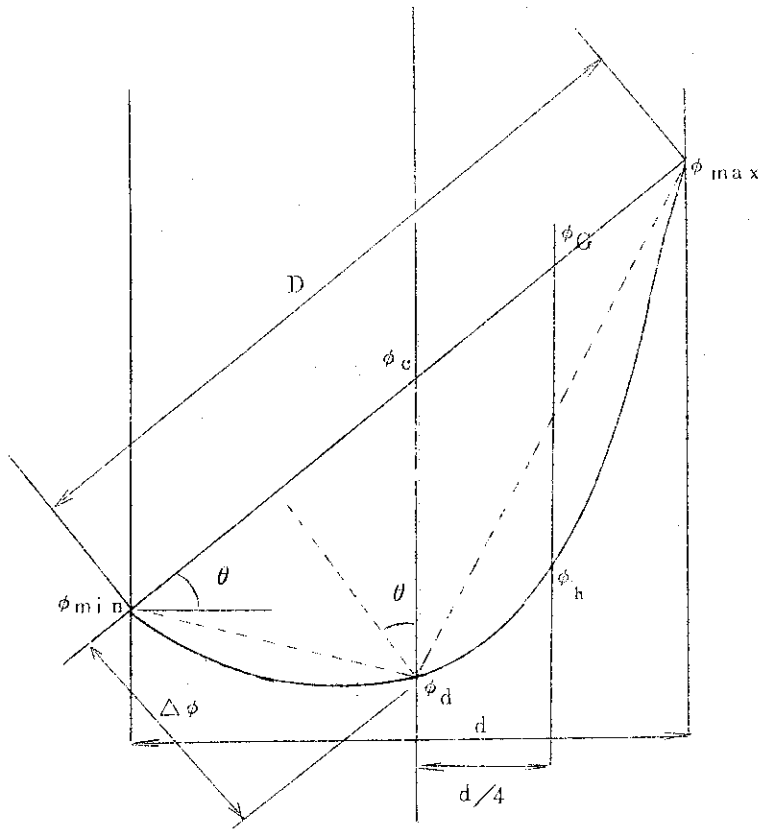


Fig 2.2 - 2 可燃性毒物入り燃料内の熱中性子束分布



燃料ペレット表面最大中性子束勾配 $C = \frac{\phi_{\max} - \phi_{\min}}{\phi_{\max}}$

Dip Factor $D_p = \frac{\phi_d}{\phi_c}$

Half Dip Factor $D_h = \frac{\phi_h}{\phi_G}$

$$\phi_{\min} = \phi_{\max} (1 - e)$$

$$\phi_c = \phi_{\max} \left(1 - \frac{e}{2} \right)$$

$$\phi_d = \phi_c \cdot D_p = \phi_{\max} \left(1 - \frac{e}{2} \right) D_p$$

$$\cos \theta = \frac{d}{D}$$

Fig 2.2-3 試料内中性子束分布表示因子と記号の定義

2.3 ループ燃料試料の発熱量推定

2.3.1 はじめに (ループ試料の特殊性)

1) 位置が固定している

ループ燃料試料の濃縮度(又は富化度)は燃料設計の1つのポイントであるが、通常その決定段階ではキャプセル試料を含めた炉心配置の決定はあり得ないので、照射中性子束については、当然ある値が仮定される。従って当該サイクルの照射キャプセル等が確定した後の炉心配置調整に当たっては、上記仮定の中性子束の実現が一つの要因となるが、キャプセル配置の調整によってこれを行うことはキャプセル個々の照射仕様との両立性からみて容易ではなく、この種のループに対する中性子束調整機能の必要性が痛感される。

2) bundle 形式の試料が多い

ループ挿入状態での燃料体の核定数算出のモデル化は一般に困難であることから、試料付近の中性子束の計算による推定は不正確である。更に燃料ピン毎の照射中性子束の、計算による推定法は確立されておらず、従って最大線発熱の推定は不可能に近い。また更に反射体領域での被照射物としての燃料体は、その受ける中性子の非等方性のため計算での扱いが更に困難となる。従ってループ試料の発熱推定は本質的に実測データ(方法論の如何を問わず)に依存することになる。

3) 試料中の核分裂性物質の量が多い。

キャプセルの場合、燃料試料の量は一般に少ないので照射中性子に対する試料自体の寄与は小さく、吸収一方の B_4C との代替が成り立つと考えられるが、ループ試料では、例えばOWL-1性能試験用燃料(2.4% E.R. UO_2 , 10.5φ-9.5φ SUS 被覆×6本)に対し B_4C 模擬により中性子束推定を行なうとセル平均で7%過小評価という計算がある。(核メモ-100)更に、4格子を占有するOWL-2ではこの傾向は益々助長され、71LF-9J(#14サイクル照射2.0, 5.0, 10%濃縮 UO_2)に関する2次元拡散計算では、 B_4C 模擬では約20%中性子束を低く見積るという結果が出ている。

この様に比較的多量の核分裂性物質を含むループ試料の発熱推定をCFに於て実験的にを行うには、本照射と同一の試料が望ましい。

以上述べたループ試料の特殊性によりこれらの発熱量(Q_{CF})推定に当たっては種々工夫が要求される。

以下に#3~#14サイクルの間に照射されたループ試料についてその Q_{CF} 推定法のあらましを述べる。

2.3.2 #4サイクルOWL-1性能試験用燃料の場合

本試料をCFに挿入し、燃料ピン表面にフラックスモニタを取付けて各燃料ピンについて周方向中性子束分布とその相対比を測定した。長さ方向については6本の燃料ピンのうち2本を選んで中性子束分布を測定した。測定及びデータ処理法の概要は以下の通り。

- 1) 燃料ピン表面: Dy ワイヤ(周方向, 長さ方向分布)
- 2) 炉内管表面: Au箔
- 3) ベレット内中性子束分布: 横孔ピン実験よりの外挿により推定

- 4) 熱外中性子による発熱寄与分：二次元拡散計算 (PDQ) による。
- 5) フィッションあたりの放出エネルギー：200MeV (6本 bundle 型のため γ 線及び中性子のエネルギーの全量を燃料ピンが互いに吸収し合うものとする。)
- 6) flux depression のうち被覆管 (SUS) による分は THERMOS による計算値を使用

2.3.3 #12 サイクル OWL-1 試料 69L-5P の場合

本試料又は同等試料を CF で使用することが出来なかったため、試料と熱中性子吸収が同じになるように混合した $B_4C-A\theta_2O_3$ 粉末模擬試料を用いた。但し試料部の寸法形状は本試料と同じとした。測定及びデータ処理の概要を以下に示す。

- 1) 燃料ピン縦方向分布の測定：Dy ワイヤ
- 2) 燃料ピン周方向分布の測定：Au 箔
- 3) 燃料ピン内 flux depression: 横孔ピン実験値よりの外挿
- 4) 熱外中性子効果：PDQ による計算
- 5) 1 フィッション当りの放出エネルギー：176MeV
(2本 bundle のためキャプセル試料と同等の扱い)

2.3.4 #14 サイクル OWL-2 試料 71LF-9J の場合

28本 bundle UO_2 約 1.9 kg, 2.0~10%濃縮の燃料試料に対して、同一寸法、等価熱中性子吸収の $B_4C-A\theta_2O_3$ 粉末使用の核的モックアップを CF に挿入し、中性子束分布を測定した。

- 1) 各燃料ピン - 100mm の位置の周方向中性子束分布の測定を Dy により行う。これはピン毎の発熱分担の評価に使用する。
- 2) Dy ワイヤと金箔とを数ヶ所同位置に貼付け、中性子束絶対値への換算に使う。
- 3) 5本の燃料ピンを選んで長さ方向の中性子束分布を Dy ワイヤにより測定、ピーキング係数として使用。
- 4) 燃料ピン内 flux depression は横孔ピン実験値から外挿。
- 5) B_4C 使用のため本試料より flux level が低くなる効果は核計算 (EQ-3) により評価。
- 6) 熱外中性子による発熱量補正は計算値を利用
- 7) 以上の結果最も条件のきびしい燃料ピン (#11ピン) の最大発熱量が設計限界をこえることが判明し、この燃料ピンはステンレス棒に変更した。このため最大発熱を示す燃料ピンは #10ピンに移動した。

第2表(巻末)のQ評価値は#10ピンについて行なったものである。

2.4 B₄C による燃料試料の模擬について

燃料試料ピンの模擬体としてB₄C 粉末とAl₂O₃ 粉末の混合物が用いられている。第1表中 N・Mの項でB₄C とあるもの、また試料内容の概要の項で括弧のあるものが、この模擬体を用いていることを示している。この模擬試料は次の考え方にもとづいて採用されたものである。

(1) 試料ピン発熱量はピン内部およびその周辺の熱中性子束分布によって定まる。このため、模擬試料によって本物と同等の熱中性子束分布を実現させる場合には、速中性子発生源としての Σ_f の対応はあまり問題とならず、熱中性子吸収断面積 Σ_a を等価とするより考慮すればよい。

このため速度2200m/Sの熱中性子に対する吸収断面積を対応させることにしている。

(2) ²³⁵Uの Σ_a はかなり大きいので、模擬体も Σ_a の大きいBをB₄C 粉末の形で用い、試料の $\Sigma_a V$ (Vは試料の体積)と等価の値を与える量のB₄Cを、吸収断面積のきわめて小さいAl₂O₃粉末によって増量し、体積をあわせて用いる。

(3) 熱中性子の領域では²³⁵Uの σ_a は $1/v$ 特性に近い($g=0.978$)ため、 $1/v$ 特性のBとの対応の差異は小さい。

上記の考えによる模擬試料と本物との対応の例をFig 2.4-1 およびFig 2.1-5~6に示す。Fig 2.4-1はピン内外の熱中性子束分布(Dyの放射化による測定)、Fig 2.1-5はピン中の熱中性子束のDepressionを示す値Dpと減縮度との関係、Fig 2.2-6はDpとピン直径との関係である。

これらから下記の事柄が認められる。

(1) B₄C中の熱中性子束のDepressionはUO₂のそれより小さい。すなわちB₄Cに対するDpは、これに対応するUO₂のDpより大きい。(Dpの定義Fig 2.2-3参照)

(2) B₄CおよびUO₂におけるDpの差は、減縮度の小さい場合(1%内外)では2%内外で、ほとんど問題とならないが、減縮度が増すと差も増大する。減縮度5.9%においては、Dpの差は10%程度に達している。

(3) Dpの差は試料ピンの半径にも関連し、半径が増せば差も増加する。

一方、ピン内の中性子束分布を二次曲線で近似した場合(ほとんどが、この近似で議論できる)、ピンの発熱量は $1+Dp$ に比例する。(§2.1.4参照) このためDpの差が発熱量におよぼす影響は、Dp自体の差ほどは大きくない。Fig 2.1-5から推定して10%減縮近傍のDpは0.7程度であるため、Dpの差が15%ほどあったとしても、発熱量の差異は、その半分の6%程度となる。減縮度が小さければ差はさらに少ない。したがって発熱量推定の上からはDpの差異はあまり問題ではなく、むしろその近傍の熱中性子束の絶対値の対応の方が重要であるが、これに関する実験的検討はまだ行なわれていない。*

* 核計算の結果は実験とは逆の傾向を示している。(核メモ-102)

** Fig 2.4-1およびFig 2.1-5~6の測定結果は、12本の燃料要素からなる(うち2本は制御棒フロア)炉心の中央に設けた照射孔において求められたものである。

この体系では試料の核分裂の有無が、実効増倍率に大きく影響し、UO₂試料の場合とB₄C模擬体の場合とで、制御棒臨界位置が異なる。このため体系内の中性子束分布が現実の体系とは大巾に異なっており、熱中性子束絶対値の比較は行なえなかった。

1) B₄C 粉末の粒度の影響について

UO₂ と B₄C とでの D_p の差異については次に述べるように主に B₄C の粒度に起因するのではないかと考えられている。

すなわち、Fig. 2.4-1 および Fig. 2.1-5~6 に示す測定を実施した時に用いられた B₄C は、直径 44~74 μ の粗い粒を乳鉢ですりつぶしたものであって、直径 10 μ 内外のものが多い。(A₂O₃ は直径 0.07 μ 程度のきわめて細かいものである。) ホウ素は熱中性子吸収断面積がきわめて大きいため、中性子の吸収は粒の表面積に関係すると考えられ、B₄C 単位重量あたりの中性子吸収量は、粒が大きいと減少することになる。

現在は直径 2 μ 程度の細かい B₄C が用いられており、あまり問題はないと考えられるが、粒度の効果に関する実験的確認はまだ行われていない。

2) B₄C による Pu 試料の模擬について

B₄C による燃料試料の模擬は熱領域での断面積が類似している ²³⁵U に対しては有効であると考えられるが、1/v 特性を有さない ²³⁹Pu に対しては適当でない。#10-2 サイクルにおける 67-23G は Pu 入り試料であるが、その模擬体に B₄C が用いられているのは止むを得ない事情のためである。したがってこれに対する測定結果の信頼度はかなり低いと考えられる。

(石塚)

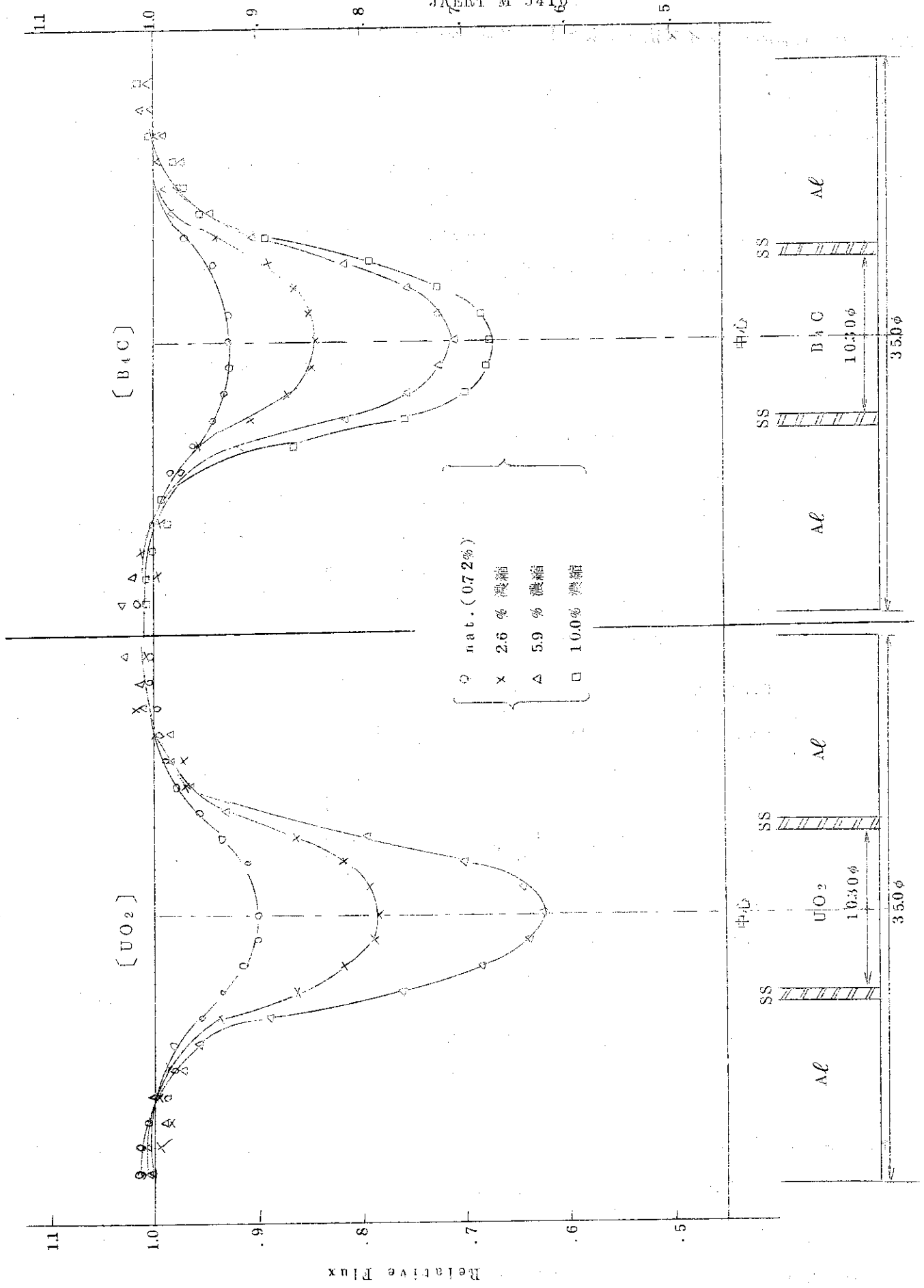


Fig. 2.4-1 UO₂ 燃料およびB₄C 模擬試料中の径方向中性子束分布

2.5 炉雑音解析法（ノイズ法）による JMTRC の出力測定

2.5.1 まえがき

炉内における中性子の核反応は確率的に起っており、また核分裂によって生ずる中性子の数は、2～3個で平均値（ $\bar{\nu}$ ）のまわりに分布している。これらによって、中性子束密度は、臨界状態でも微少なゆらぎをもっている。これを原子炉雑音と称し、これを観測・解析すれば炉内における確率現象や炉物理的な状態・定数を推定することが出来る。ここでは、炉雑音解析により、臨界実験装置（JMTRC）の出力の絶対測定を行った方法と結果について報告する。なお本文の一部は JAERI-memo 4276 の要約である。

2.5.2 炉雑音の理論

炉内において発生または消滅する中性子数のバラツキは Schottky の式を応用すると

$$\langle |S_0|^2 \rangle = 2 \sum_i q_i^2 \bar{m}_i \quad (1)$$

で表わされる。ここで

- $\langle |S_0|^2 \rangle$: 発生または消滅する中性子数のバラツキの大きさ
- q_i : 核反応 i （吸収，発生，もれ等）によって生まれる中性子数
- m_i : 毎秒炉内で起る核反応 i の平均回数

原子炉では発生，吸収およびもれが主たる中性子核反応である。もれと吸収を消滅と考えすべての核反応を消滅と発生の2つにまとめれば、次表を得る。

Table 2.5-1 中性子核反応別の平均回数と関与中性子数

| 核反応 (i) | \bar{m}_i | q_i |
|---------|--|-----------|
| 消滅 | $\frac{N}{\ell} \cdot \frac{A}{A+F}$ | -1 |
| 発生 | $\frac{N}{\ell} \cdot \frac{F}{A+F} p_\nu$ | $\nu - 1$ |

ただし

- N : 炉内の全中性子数
- ℓ : 平均の即発中性子寿命
- A : 消滅の巨視的断面積
- F : 発生（核分裂のみ）の巨視的断面積
- p_ν : ν 個の即発中性子を発生する確率

また、臨界条件は

$$\frac{\bar{\nu} F}{A + F} = 1 \quad (2)$$

Table 2.5-1 の値と(2)式の条件を(1)式に代入すると

$$\langle |S_0|^2 \rangle = \frac{2N}{\ell} \frac{\bar{\nu}^2 - \bar{\nu}}{\bar{\nu}} \quad (3)$$

を得る。

1点モデルの動特性方程式

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\ell} N + \sum \lambda_i C_i + S \quad (4)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta}{\ell} N - \sum \lambda_i C_i \quad (5)$$

を参照すると、 N の変動が微少な場合

$$\left(\frac{N}{\ell} \right) \Delta \rho + \Delta S = 0 \quad (6)$$

なる関係を得る。ここで $\Delta \rho$ 、 ΔS はそれぞれ反応度、中性子源の微少変動である。これより、 $\langle |S_0|^2 \rangle$ に等価な反応度のゆらぎ $\langle |\rho|^2 \rangle$ は

$$\langle |\rho|^2 \rangle = \left(\frac{\ell}{N} \right)^2 \langle |S_0|^2 \rangle$$

(3)式より

$$\langle |\rho|^2 \rangle = \frac{2\ell}{N} \frac{\bar{\nu}^2 - \bar{\nu}}{\bar{\nu}} \quad (7)$$

原子炉の出力を P [watt] とすると、炉内の全中性子数は

$$N = 3.1 \times 10^{10} \times \bar{\nu} \times \ell P \quad (8)$$

従って (7)式は

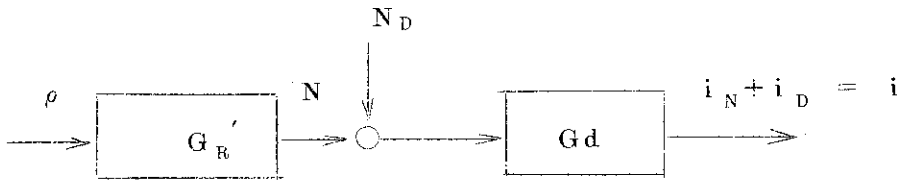
$$\langle |\rho|^2 \rangle = \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \frac{\bar{\nu}^2 - \bar{\nu}}{\bar{\nu}^2} \quad (9)$$

$$\left(\bar{\nu}^2 \approx \sum_{\nu=1}^{\infty} \nu^2 p_{\nu} \right)$$

以上より、反応度のゆらぎ $\langle |\rho|^2 \rangle$ は原子炉出力に反比例する。従って $\langle |\rho|^2 \rangle$ のゆらぎによる炉内の中性子数のゆらぎ(炉雑音)の大きさを知れば原子炉出力を求めることが出来る。

2.5.3 炉雑音の測定

1) 炉雑音の検出



- G_R' : 原子炉の伝達関数 (N/ρ)
- G_d : 検出器の伝達関数 (\bar{i}^2/N)
- i_N : 検出器出力のうち炉雑音成分
- i_D : 検出器出力のうち検出器雑音成分

ここで \bar{i}_N^2 が炉雑音に関する情報を含んでいる。即ち

$$\begin{aligned} \bar{i}_N^2 &= |G_d|^2 \cdot \langle |N|^2 \rangle \\ &= |G_d|^2 \cdot |G_R'|^2 \cdot \langle |\rho|^2 \rangle \end{aligned}$$

$|G_R|$ を全中性子数 N で規格化すると

$$\bar{i}_N^2 = i_0^2 \cdot |G_R|^2 \cdot \langle |\rho|^2 \rangle \quad (|G_d| = i_0/N)$$

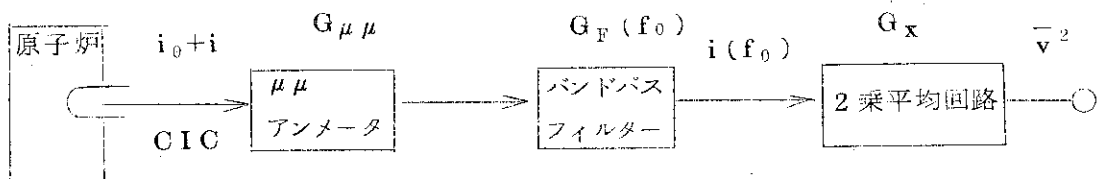
検出器雑音成分 \bar{i}_D^2 は

$$\bar{i}_D^2 = 2q_0 i_0$$

で q_0 は検出器内で中性子が ^{10}B と反応して生じる電荷である。

$$\begin{aligned} \bar{i}^2 &= \bar{i}_N^2 + \bar{i}_D^2 \\ &= i_0^2 \cdot |G_R|^2 \cdot \langle |\rho|^2 \rangle + 2q_0 i_0 \\ &= i_0^2 \cdot |G_R|^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \cdot \frac{\bar{v}^2 - \bar{v}}{\bar{v}^2} + 2q_0 i_0 \quad (10) \end{aligned}$$

2) 炉出力 P [W] の測定



炉雑音を測定するには上図のような測定系を設け、雑音成分の2乗平均を求める。

$$\bar{v}^2 = \int_0^\infty |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot \bar{i}^2 df$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^{\infty} |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot (i_0^2 \cdot |G_R|^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \cdot \frac{\sqrt{v^2 - \bar{v}}}{v^2} + 2q_0 i_0) df \\
 &= i_0^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \cdot \frac{\sqrt{v^2 - \bar{v}}}{v^2} \int_0^{\infty} |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot |G_R|^2 \cdot df \\
 &\quad + 2q_0 i_0 \int_0^{\infty} |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot df \tag{11}
 \end{aligned}$$

となる。ここで

$$I_1 = \int_0^{\infty} |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot |G_R|^2 \cdot df \tag{12}$$

$$I_2 = \int_0^{\infty} |G_F|^2 \cdot |G_{\mu\mu}|^2 \cdot |G_X|^2 \cdot df \tag{13}$$

とおけば

$$\bar{v}^2 = i_0^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \cdot \frac{\sqrt{v^2 - \bar{v}}}{v^2} \cdot I_1 + 2q_0 i_0 I_2 \tag{14}$$

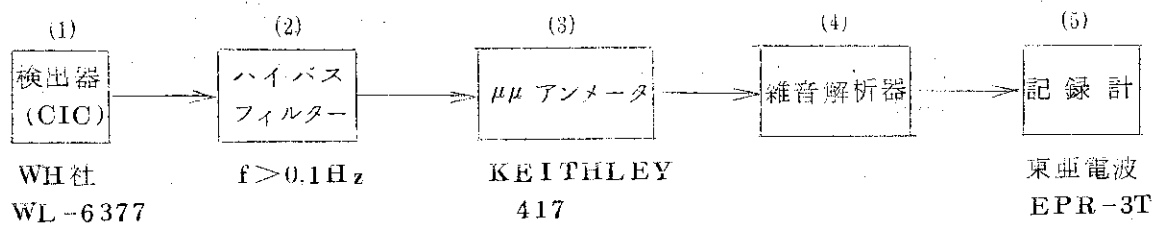
$$P = \frac{i_0^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10} \times P} \cdot \frac{\sqrt{v^2 - \bar{v}}}{v^2} \cdot I_1}{\bar{v}^2 - 2q_0 i_0 I_2} \tag{15}$$

$$= \frac{i_0^2 \cdot \frac{2}{3.1 \times 10^{10}} \cdot \frac{\sqrt{v^2 - \bar{v}}}{v^2} \cdot G_R(f_0)^2}{\bar{i}_N^2} \tag{16}$$

となり、 \bar{i}_N^2 が求めれば、研出力 P (W) は (16) 式で与えられる。

2.5.4 測定方法

1) 測定系の概要



中性子検出器 (1)

γ補償型電離箱を用いている。

ハイパスフィルタ (2)

検出器出力から直流成分を除き、雑音成分のみを取り出すために設ける。カットオフ周波数は 0.1Hz である。

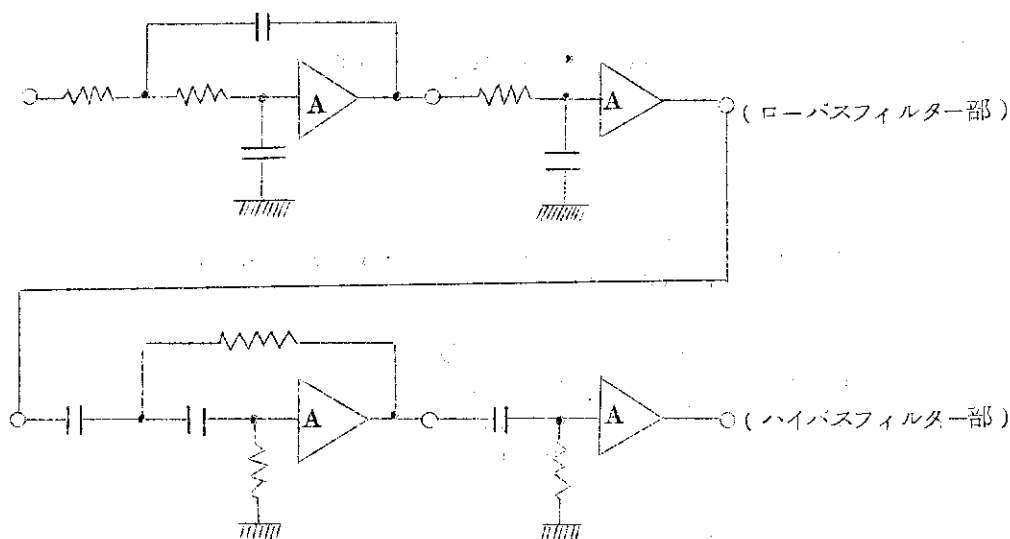
$\mu\mu$ アンメータ (3)

検出器出力電流の雑音成分は rms 値で 10^{-10}A 程度であるから、増幅しなければならぬ。

雑音解析器 (4)

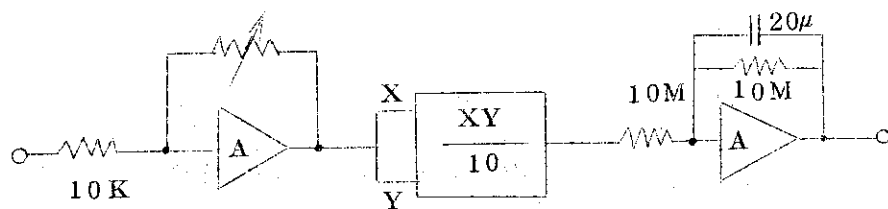
バンドパスフィルタと2乗則平均回路とが主要部分である。バンドパスフィルタは雑音成分のうち、ある周波数帯域の成分のみを取出すためのものである。2乗則平均回路は、バンドパスフィルタを通過した雑音成分の2乗平均値を求めるものである。

i) バンドパスフィルタの構成



上図のような構成の active-filter を用いており、出力測定には、炉雑音のスペクトルを検討した結果、中心周波数 4Hz のフィルタを用いている。その特性を Fig. 2.5-1 に示す。

ii) 2乗則平均回路の構成



上図のように掛算器を用いた2乗回路と平滑回路とによって構成されている。

記録計 (5)

2乗平均回路は 200sec の時定数を持っているために解析器の出力値として安定する

までの様子およびその後の変動を記録させておき、平均値を確認する。

2) 出力 P [W] の測定手順

- (1) 中性子検出器の動作テスト
- (2) 雑音解析器各部の動作テスト
- (3) i_0 (中性子検出器の直流分の電流) 測定
- (4) \bar{i}^2 (中性子検出器の雑音成分) 測定
- (5) 出力 P [W] の算出

2.5.5 測定結果

1) 直線性および再現性の確認

JMTRCの#10, 11サイクル模擬炉心は、ほぼ同一の炉心と見なせるので、これらの炉心におけるノイズ法による出力測定の結果から直線性および再現性を確認する。結果を Table 2.5-2 および Fig 2.5-2 に示す。

Table 2.5-2 ノイズ法炉出力計の直線性

| 出力測定値 | Extra CIO 電流値 | 炉心 | 検出器位置 | 測定月・日 |
|-------------------------|-------------------------|---------|-------|-------------|
| 1 5.64 [Watt] | 2.08×10^{-7} A | #10サイクル | PQ-78 | S.46. 5. 13 |
| 2 6.20×10^{-1} | 2.32×10^{-8} | " | " | 5. 19 |
| 3 5.42 | 2.00×10^{-7} | #10-2 | " | 6. 22 |
| 4 5.55 | 2.01×10^{-8} | #11 | " | 6. 30 |
| 5 2.20 | 7.95×10^{-8} | " | " | 7. 2 |
| 6 2.25 | 8.56×10^{-8} | " | " | " |
| 7 2.18×10^{-1} | 6.90×10^{-9} | " | " | " |

Fig 2.5-2 からわかるように、0.5W~10Wの範囲で、直線性、再現性ともに $\pm 5\%$ の精度内で良い結果を示している。

2) foil 積分法による出力測定値との比較

Table 2.5-3 ノイズ法とフォイル法による炉出力の比較

| 実験年.月.日 | 炉心 | ノイズ法出力(A) | foil 法出力(B) | A/B |
|---------------|-----------|-----------|-------------|------|
| 1 S.46. 5. 13 | #10-1サイクル | 5.64 [W] | 6.42 [W] | 0.88 |
| 2 6. 22 | #10-2 | 5.42 | 6.23 | 0.87 |
| 3 6. 30 | #11 | 5.55 | | |
| 4 8. 26 | #12 | 7.38 | 12.1 | 0.61 |
| 5 9. 21 | #12-2 | 8.00 | 13.5 | 0.59 |
| 6 11. 8 | #13 | 8.46 | 10.0 | 0.85 |
| 7 12. 1 | #14 | 9.34 | 11.0 | 0.85 |

Table 2.5-3においてA/Bの値は、#12サイクルのデータを除いて、JAERI-memo 4276の第4表の値と良い一致を示している。このことからノイズ法とfoil積分法とは、一定のfactorを考慮して、ほぼ一致していると言える。このfactorについては現在検討を進めている。

2.5.6 検討

ノイズ法による炉出力測定法については、以上の結果を得ているが、JMTR本体の熱出力値との対応については、10%~20%の差異が系統的に現われている*。この差の原因については

- (1) JMTR本体とCF炉心の模擬性の問題
- (2) 一点モデルの動特性の近似性の問題
- (3) 使用している雑音解析器の精度の問題

が考えられる。

(1)および(2)については、理論的な検討を進めており、今後、明確になって行くものと思われる。

(3)については、

- i) $\mu\mu$ アンメータの利得校正
- ii) バンドパスフィルターの利得校正
- iii) i_0 (中性子検出器の直流成分) 測定の方法
- iv) 臨界状態での制御棒操作(外乱となる。)
- v) 雑音成分(\bar{i}^2) のサンプリング(グラフの読みとり方)

などに留意して測定を行えば、バラツキの少ない測定が可能である。

* これについては§2.6に述べる。

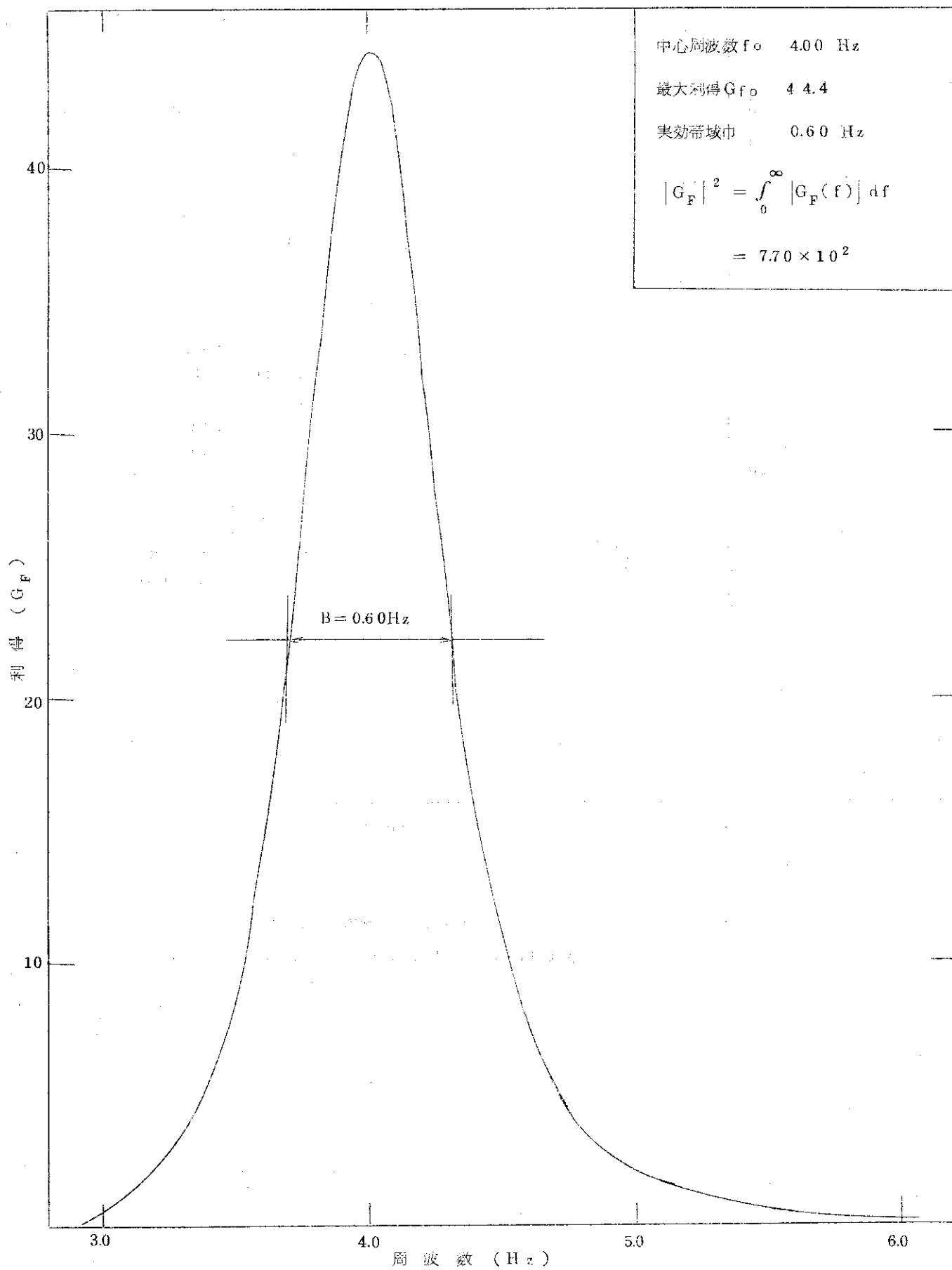


Fig 2.5 - 1 バンドパスフィルタの特性

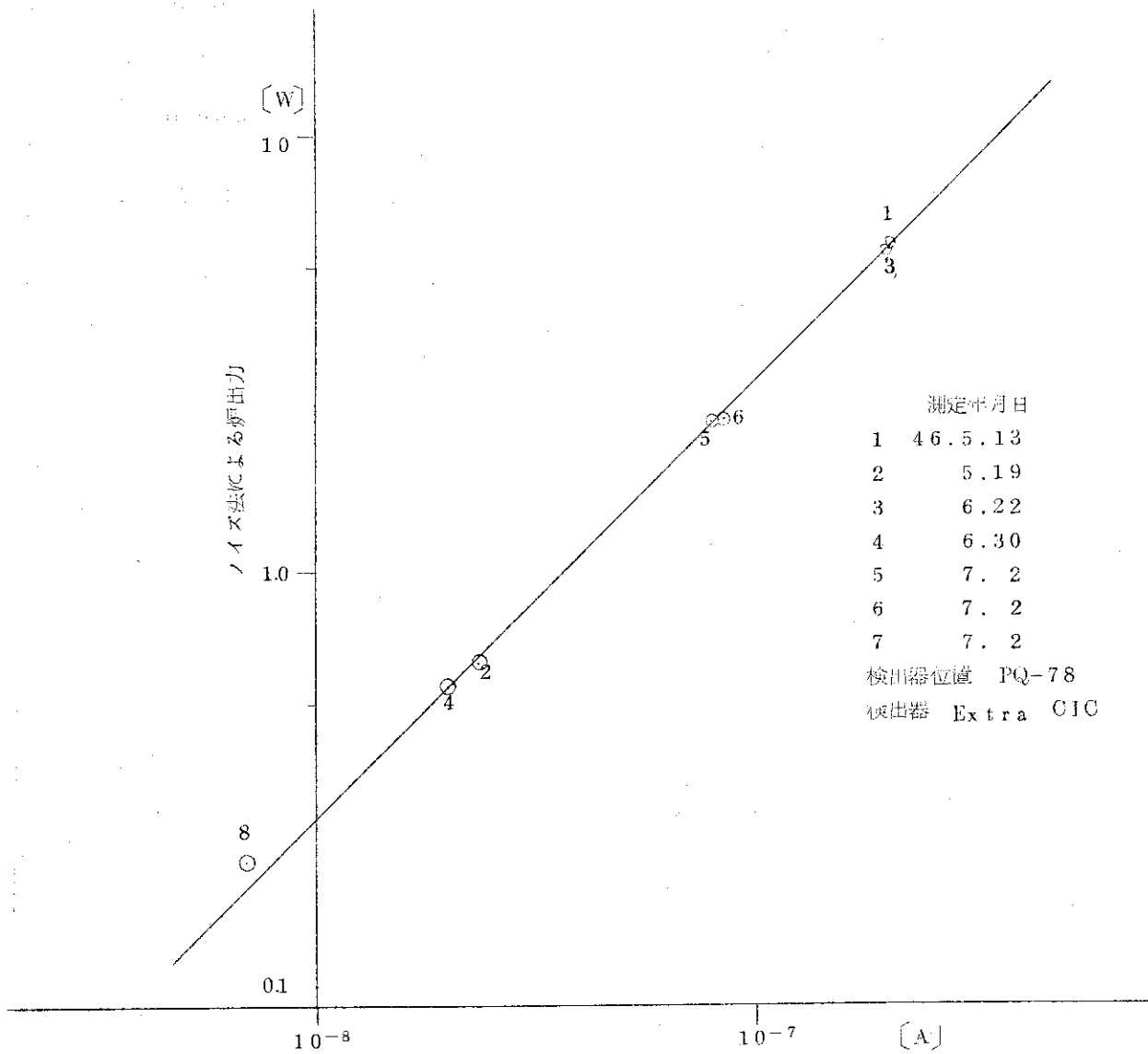


Fig 2.5-2 ノイズ法炉出力測定の直線性と再現性
(#10cy, #11cy CF模擬炉心)

2.6 JMTR本体の熱出力値とノイズ法による出力測定値の関係

2.6.1 はじめに

JMTRの出力値は、中性子検出器による核計装出力計(核出力)と冷却水流量および炉心出入口温度差からのプロセス計装出力計(熱出力)とにより測定されている。JMTRでは核計装出力値が一定になるような自動制御系が設けられており、炉心外に置かれた中性子検出器位置の熱中性子束が一定に保たれる。一般に核出力計と熱出力計との指示は必ずしも一致させてはないが同一検出器位置についてもサイクル期間中およびサイクル毎に変化する。

この原因としては

- I) 中性子検出器の感度変化
- II) 炉心配置の差
- III) 冷却水温度変化
- IV) 炉心の燃焼
- V) 炉心のXe濃度分布変化

が考えられる。このうちIII), IV), V) はサイクル期間中の変化であるが、これらは制御棒位置の差として現われるので、各パラメータについてその効果を評価しておけば、熱出力値をノイズ法測定時の状態での値に補正する事が可能である。本メモでは、この補正された熱出力値とノイズ法出力値との間に、なお系統的な差が存在することについて述べる。

2.6.2 熱出力とノイズ法出力の比

ここでは、熱出力/ノイズ法出力の求め方について述べる。

熱出力計は低出力では作動せず、一方ノイズ法は低出力でしか保証されていないので両方のデータを同一条件で測定することができない。そこで高出力で熱出力を、低出力でノイズ法出力を測定し、核出力計の直線性を信頼して両者の関係を求める方法をとる。

1) 核出力とノイズ法出力の比 (R_1)

JMTRを核出力200Wで臨界に保ち、この状態であらかじめ炉心内に設けた中性子検出器(Extra-CIC)によってノイズ法出力を求める。これによって核出力とノイズ法出力の比 R_1 が求められる。すなわち

$$R_1 = \frac{\text{核出力}}{\text{ノイズ法出力}}, \quad (\text{炉心温度 } T, \text{ 制御棒位置 } x)$$

2) 制御棒位置の補正 $R(x)$

一方高出力において熱出力と核出力との比を求める必要があるがこれについてはTable 2.6-3~8に示すように炉心温度33℃に換算された形で求められている。これを制御棒位置との関係で示したのがFig 2.6-1-6である。Fig 2.6-1, 2, 3, および6にそれぞれノイズ法測定のおこなわれた制御棒位置を示してある。この制御棒位置に対応する $R(x)$ はグラフを外挿することによってもとめられる。すなわち

$$R(x) = \frac{\text{熱出力}}{\text{核出力}}, \quad (\text{炉心温度 } 33^\circ\text{C}, \text{ 制御棒位置 } x)$$

3) 炉心温度の補正

核出力一定で運転した場合の熱出力と炉心温度（炉心入口温度）の関係が求められており次のように表すことができる。

$$P(T) = P(T_0) \{ 1 - \alpha(T - T_0) \}$$

α = 温度係数

T, T_0 = 炉心温度

この関係は核出力一定で運転したときのものであるから次のように書きなおすことが可能である。

$$\left[R(x) \right]_T = \left[R(x) \right]_{T_0} \{ 1 - \alpha(T - T_0) \}$$

4) 以上の各種補正によって熱出力とノイズ法出力との比は

$$\left\{ \frac{\text{熱出力}}{\text{ノイズ法}} \right\} = R_1 \cdot R_x \{ 1 - \alpha(T - T_0) \}$$

で求めることができる。

2.6.3 測定データ

Table 2.6-1 にノイズ法出力測定条件を、Table 2.6-2 にその結果を示す。Table 2.6-3 ~ 8 には炉心温度 33°C に補正した熱出力/核出力を示した。Fig. 2.6-1 ~ 6 はこれら $R(x)$ と制御棒位置との関係を示したものである。

Table 2.6 - 1. ノイズ法出力測定条件

| | 核出力 | ノイズ法出力 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | $R_1 = \frac{\text{核出力}}{\text{ノイズ法出力}}$ |
|------|---------|---------|-----------|----------|--|
| #1cy | 100 [W] | 100 [W] | 18.0 [°C] | 370 [mm] | 1.000 |
| 2 | 200 | 285 | 21.0 | 446 | 0.702 |
| 9 | 200 | 307 | 26.6 | 381 | 0.651 |
| 12 | 200 | 256 | 24.1 | 451 | 0.781 |

Table 2.6 - 2. 熱出力ーノイズ法出力比

| | R_1 | $R(x)$ | $\frac{\text{熱出力}}{\text{ノイズ法出力}}$ |
|------|-------|--------|------------------------------------|
| #1cy | 1.000 | 1.02 | 1.17 |
| 2 | 0.702 | 1.41 | 1.10 |
| 9 | 0.651 | 1.50 | 1.03 |
| 12 | 0.781 | 1.42 | 1.27 |

Table 2.6-3 #1サイクル熱出力-核出力比(原子炉入口温度33°C補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 SH-1, 3 | 補正熱出力 (33°C) | 補正熱出力 核出力 |
|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------|--------------|
| 30.0 [HW] | 32.3 [MW] | 23.0 [°C] | 440 [mm] | 29.8 [MW] | 0.994 |
| 30.0 | 31.6 | 27.0 | 440 | 30.1 | 1.003 |
| 30.0 | 31.4 | 27.0 | 464 | 29.9 | 0.997 |
| 5.0 | 6.2 | 7.0 | 483 | 5.1 | 1.020 |
| 10.0 | 12.3 | 10.0 | 494 | 10.3 | 1.033 |
| 30.0 | 30.6 | 27.0 | 502 | 29.1 | 0.972 |
| 20.0 | 24.2 | 16.0 | 513 | 21.2 | 1.060 |
| 30.0 | 32.6 | 26.0 | 559 | 30.8 | 1.027 |
| 30.0 | 29.0 | 27.0 | 564 | 27.6 | 0.921 |
| 30.0 | 32.0 | 27.0 | 592 | 30.5 | 1.016 |
| 30.0 | 27.2 | 34.0 | 605 | 27.4 | 0.914 |
| 30.0 | 26.7 | 35.0 | 627 | 27.2 | 0.905 |
| 30.0 | 24.6 | 44.0 | 655 | 27.1 | 0.902 |
| 30.0 | 30.7 | 26.0 | 666 | 29.0 | 0.967 |
| 30.0 | 24.7 | 44.0 | 705 | 27.2 | 0.906 |
| 30.0 | 27.3 | 26.0 | 705 | 25.8 | 0.860 |
| 30.0 | 30.0 | 25.0 | 709 | 28.1 | 0.938 |

熱出力計のオフセット値 0 [MW]

温度係数 α 0.83%/°C

$$\text{補正熱出力 [MW]} = \frac{\text{熱出力計値} - \{\text{オフセット値}\}}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T: 原子炉入口温度 [°C]

Table 2.6-3' #1サイクル熱出力-核出力比

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|----------|----------|-----------|----------|-------|--------------|
| 5.0 [MW] | 5.9 [HW] | 14.0 [°C] | 372 [mm] | 5.10 | 1.019 |
| 5.0 | 5.7 | 20.0 | 398 | 5.14 | 1.029 |
| 10.0 | 12.0 | 13.0 | 399 | 10.3 | 1.029 |
| 5.0 | 5.2 | 22.0 | 432 | 4.8 | 0.953 |
| 20.0 | 22.5 | 20.0 | 460 | 20.3 | 1.015 |
| 10.0 | 10.0 | 31.0 | 476 | 9.8 | 0.984 |
| 20.0 | 22.0 | 19.0 | 495 | 19.7 | 0.985 |
| 5.0 | 6.0 | 9.0 | 472 | 5.0 | 1.001 |
| 10.0 | 11.0 | 15.0 | 540 | 9.57 | 0.957 |
| 20.0 | 20.7 | 22.0 | 555 | 20.8 | 1.040 |

Table 2.6 - 4 # 2 サイクル熱出力-核出力比 (原子炉入口温度 33°C 補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | 補正熱出力 | 補正熱出力 / 核出力 |
|----------|----------|-----------|----------|-------|-------------|
| 5.0 [MW] | 8.0 (MW) | 17.0 [°C] | 446 (mm) | 7.1 | 1.412 |
| 5.0 | 8.0 | 19.5 | 452 | 7.2 | 1.439 |
| 14.8 | 23.0 | 24.0 | 464 | 21.4 | 1.446 |
| 20.0 | 29.5 | 30.0 | 479 | 28.8 | 1.439 |
| 20.0 | 29.0 | 32.0 | 494 | 28.3 | 1.415 |
| 26.5 | 36.0 | 34.5 | 498 | 36.5 | 1.376 |
| 26.0 | 35.0 | 34.5 | 527 | 35.4 | 1.363 |
| 25.5 | 34.5 | 34.0 | 549 | 34.8 | 1.364 |
| 26.2 | 34.5 | 33.9 | 562 | 34.8 | 1.327 |
| 25.5 | 34.0 | 33.2 | 575 | 34.1 | 1.336 |
| 25.0 | 32.0 | 34.0 | 580 | 32.3 | 1.291 |
| 25.0 | 32.0 | 34.0 | 596 | 32.3 | 1.291 |
| 25.0 | 31.3 | 33.0 | 616 | 31.3 | 1.252 |
| 25.0 | 32.0 | 32.5 | 638 | 31.9 | 1.275 |
| 25.0 | 31.0 | 32.5 | 660 | 30.9 | 1.235 |
| 24.5 | 30.0 | 32.5 | 704 | 29.9 | 1.219 |
| 24.5 | 29.0 | 33.0 | 779 | 29.0 | 1.184 |
| 25.0 | 28.5 | 33.5 | 800 | 28.6 | 1.145 |

熱出力計のオフセット値 0 [MW]

温度係数 α 0.83 % / °C

$$\text{補正熱出力 [MW]} = \frac{\text{熱出力計値} - [\text{オフセット値}]}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T: 原子炉入口温度 [°C]

Table 2.6-5 #9サイクル熱出力-核出力比(原子炉入口温度33C補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|----------|----------|----------|---------|----------|--------------|
| 15.0(MW) | 25.0(MW) | 37.0(°C) | 406(mm) | 26.9(MW) | 1.793 |
| 15.0 | 24.8 | 38.0 | 417 | 26.9 | 1.794 |
| 15.0 | 24.0 | 38.0 | 431 | 26.1 | 1.739 |
| 15.0 | 24.2 | 38.0 | 443 | 26.3 | 1.753 |
| 16.0 | 24.0 | 38.0 | 451 | 26.1 | 1.630 |
| 16.3 | 25.0 | 37.3 | 482 | 27.0 | 1.654 |
| 16.3 | 25.0 | 37.3 | 491 | 27.0 | 1.654 |
| 16.3 | 24.7 | 37.4 | 502 | 26.7 | 1.636 |
| 16.3 | 24.5 | 36.9 | 512 | 26.4 | 1.617 |
| 16.3 | 24.5 | 36.4 | 523 | 26.2 | 1.610 |
| 16.8 | 25.0 | 36.2 | 534 | 26.7 | 1.590 |
| 16.8 | 24.8 | 36.2 | 546 | 26.5 | 1.578 |
| 16.8 | 23.7 | 35.2 | 560 | 25.2 | 1.498 |
| 18.0 | 25.0 | 35.5 | 574 | 26.6 | 1.475 |
| 19.5 | 27.0 | 36.5 | 590 | 28.8 | 1.479 |
| 19.5 | 26.5 | 36.5 | 608 | 28.3 | 1.452 |
| 20.5 | 27.2 | 38.5 | 630 | 29.5 | 1.441 |
| 20.5 | 26.9 | 37.7 | 657 | 29.0 | 1.416 |
| 21.2 | 27.2 | 38.0 | 690 | 29.4 | 1.388 |
| 21.0 | 26.9 | 34.1 | 746 | 28.2 | 1.341 |
| 19.7 | 25.0 | 32.2 | 800 | 25.8 | 1.311 |

熱出力計のオフセット値 - 1.0 [MW]

温度係数 α 0.83%/°C

$$\text{補正熱出力 [MW]} = \frac{\text{熱出力計値} - [\text{オフセット値}]}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T: 原子炉入口温度(°C)

Table 2.6-5' #9サイクル熱出力-核出力比(原子炉入口温度33C補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|---------|----------|----------|---------|----------|--------------|
| 7.5(MW) | 11.0(MW) | 27.5(°C) | 386(mm) | 11.5(MW) | 1.530 |
| 10.0 | 14.7 | 29.0 | 386 | 15.2 | 1.520 ←ファン起動 |
| 12.5 | 19.3 | 30.5 | 390 | 19.9 | 1.591 |
| 15.0 | 22.5 | 31.0 | 394 | 23.1 | 1.541 |

Table 2.6 - 6 #10 サイクル熱出力-核出力比 (原子炉入口温度 33°C 補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 SH-1,3 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|--------------|
| 10.0 [MW] | 16.0 [MW] | 32.5 [°C] | 386 [mm] | 16.9 [MW] | 1.693 |
| 14.9 | 23.7 | 37.5 | 399 | 25.7 | 1.722 |
| 16.3 | 25.5 | 40.0 | 411 | 28.1 | 1.726 |
| 16.3 | 25.5 | 40.2 | 423 | 28.2 | 1.729 |
| 16.3 | 25.5 | 40.2 | 436 | 28.2 | 1.729 |
| 16.3 | 25.0 | 40.2 | 443 | 27.7 | 1.696 |
| 16.3 | 25.0 | 40.0 | 459 | 27.6 | 1.693 |
| 16.3 | 25.0 | 40.0 | 468 | 27.6 | 1.693 |
| 16.6 | 25.0 | 40.0 | 476 | 27.6 | 1.663 |
| 16.6 | 24.8 | 40.0 | 484 | 27.4 | 1.650 |
| 16.6 | 24.8 | 40.0 | 494 | 27.4 | 1.650 |
| 17.2 | 25.0 | 39.8 | 503 | 27.6 | 1.602 |
| 17.2 | 24.6 | 39.7 | 513 | 27.1 | 1.576 |
| 17.2 | 25.0 | 39.5 | 523 | 27.5 | 1.598 |
| 17.2 | 24.6 | 39.2 | 534 | 27.0 | 1.569 |
| 17.2 | 24.2 | 39.0 | 546 | 26.5 | 1.542 |
| 17.1 | 24.0 | 39.5 | 558 | 26.4 | 1.545 |
| 17.4 | 24.0 | 39.9 | 574 | 26.5 | 1.524 |
| 19.6 | 27.0 | 41.0 | 563 | 30.0 | 1.530 ←出力変更 |
| 19.6 | 27.0 | 41.0 | 576 | 30.0 | 1.530 |
| 19.8 | 26.8 | 40.5 | 590 | 29.6 | 1.497 |
| 20.0 | 26.8 | 40.5 | 609 | 29.6 | 1.482 |
| 20.0 | 26.5 | 41.8 | 630 | 29.7 | 1.483 |
| 21.0 | 27.0 | 41.2 | 655 | 30.0 | 1.431 |
| 21.0 | 27.0 | 40.0 | 685 | 29.7 | 1.416 |
| 21.0 | 26.7 | 39.8 | 730 | 29.4 | 1.398 |
| 22.0 | 27.0 | 40.3 | 800 | 29.8 | 1.355 |

熱出力計のオフセット値 -1.0 [MW]

温度係数 α 0.83%/°C

$$\text{補正熱出力 [MW]} = \frac{\text{熱出力計値} - \{\text{オフセット値}\}}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T : 原子炉入口温度 [°C]

Table 2.6 - 7 #11 サイクル熱出力-核出力比 (原子炉入口温度 33°C 補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|----------|----------|-----------|----------|----------|--------------|
| 5.0 [MW] | 7.1 [MW] | 28.5 [°C] | 385 [mm] | 7.8 [MW] | 1.562 |
| 10.0 | 15.0 | 32.0 | 392 | 16.0 | 1.600 |
| 10.0 | 15.0 | 33.0 | 398 | 16.0 | 1.600 |
| 10.0 | 15.5 | 33.3 | 410 | 16.5 | 1.654 |
| 15.0 | 23.2 | 36.0 | 418 | 24.8 | 1.655 |
| 16.2 | 24.9 | 36.5 | 424 | 26.7 | 1.647 |
| 16.2 | 25.0 | 36.5 | 438 | 26.8 | 1.653 |
| 16.2 | 24.5 | 36.5 | 445 | 26.3 | 1.621 |
| 16.2 | 24.5 | 36.5 | 461 | 26.3 | 1.621 |
| 16.2 | 24.5 | 35.9 | 478 | 26.1 | 1.613 |
| 16.2 | 24.2 | 36.0 | 486 | 25.8 | 1.595 |
| 17.0 | 25.0 | 36.4 | 496 | 26.8 | 1.574 |
| 17.0 | 25.0 | 35.6 | 515 | 26.6 | 1.563 |
| 17.0 | 25.0 | 35.0 | 529 | 26.4 | 1.555 |
| 17.0 | 25.0 | 34.5 | 541 | 26.3 | 1.549 |
| 17.7 | 25.0 | 34.8 | 551 | 26.4 | 1.491 |
| 17.7 | 25.0 | 36.0 | 568 | 26.7 | 1.506 |
| 19.1 | 26.8 | 36.2 | 584 | 28.6 | 1.495 |
| 19.2 | 26.5 | 35.2 | 603 | 28.0 | 1.459 |
| 19.2 | 26.2 | 36.9 | 620 | 28.1 | 1.464 |
| 19.6 | 26.4 | 37.0 | 639 | 28.3 | 1.446 |
| 19.7 | 26.0 | 37.2 | 670 | 28.0 | 1.420 |
| 20.0 | 26.5 | 34.2 | 712 | 27.8 | 1.389 |
| 20.8 | 26.5 | 32.5 | 800 | 27.4 | 1.317 |

←出力変更

←出力変更

熱出力のオフセット値 - 1.0 [MW]

温度係数 α 0.83%/°C

$$\text{補正熱出力 [MW]} = \frac{\text{熱出力計値} - \text{〔オフセット値〕}}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T: 原子炉入口温度 [°C]

Table 2.6 - 8 #12 サイクル熱出力 - 核出力比 (原子炉入口温度 33°C 補正)

| 核出力計 | 熱出力計 | 原子炉入口温度 | 制御棒位置 SH-1,3 | 補正熱出力 | 補正熱出力 核出力 |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|--------------|
| 10.0 (MW) | 16.5 (MW) | 21.0 (°C) | 457 (mm) | 14.1 (MW) | 1.410 |
| 14.9 | 23.5 | 23.8 | 466 | 20.9 | 1.403 |
| 15.0 | 22.7 | 24.9 | 483 | 20.3 | 1.356 |
| 15.9 | 23.7 | 25.5 | 490 | 21.4 | 1.344 |
| 18.0 | 26.2 | 25.5 | 493 | 23.7 | 1.318 |
| 21.5 | 30.4 | 27.0 | 497 | 28.0 | 1.303 |
| 21.5 | 30.4 | 28.0 | 504 | 28.2 | 1.313 |
| 27.3 | 37.5 | 32.0 | 519 | 36.2 | 1.326 |
| 27.3 | 37.1 | 32.2 | 536 | 35.9 | 1.314 |
| 28.8 | 37.6 | 32.2 | 583 | 36.4 | 1.262 |
| 28.8 | 37.4 | 32.1 | 598 | 36.1 | 1.255 |
| 29.3 | 37.2 | 32.2 | 635 | 36.0 | 1.227 |
| 29.3 | 36.9 | 32.0 | 660 | 35.6 | 1.215 |
| 30.0 | 37.6 | 32.0 | 660 | 36.3 | 1.210 |
| 30.0 | 37.3 | 32.0 | 691 | 36.0 | 1.200 |
| 30.0 | 37.2 | 32.0 | 691 | 35.9 | 1.197 |
| 30.5 | 37.4 | 32.0 | 737 | 36.2 | 1.187 |
| 30.5 | 37.3 | 32.0 | 737 | 36.0 | 1.180 |
| 30.5 | 37.1 | 32.5 | 737 | 36.0 | 1.179 |

3

熱出力計のオフセット値 1.0 (MW)

温度係数 α 0.83%/°C

$$\text{補正熱出力 (MW)} = \frac{\text{熱出力計値} - [\text{オフセット値}]}{1 - \alpha (T - 33.0)}$$

T : 原子炉入口温度 (°C)

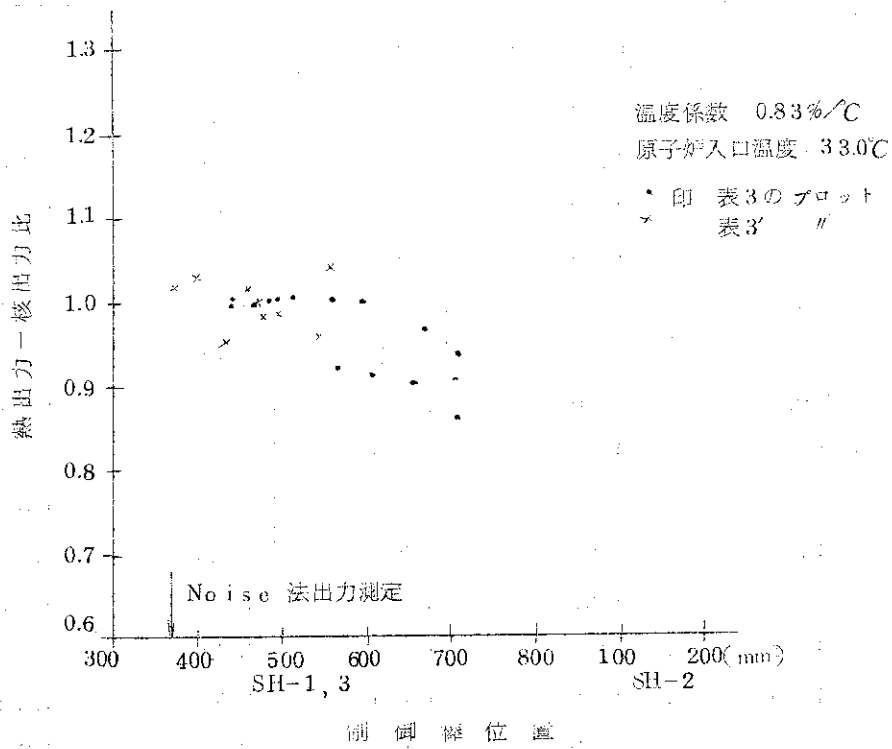


Fig. 2.6 - 1 #1サイクル熱出力-核出力比

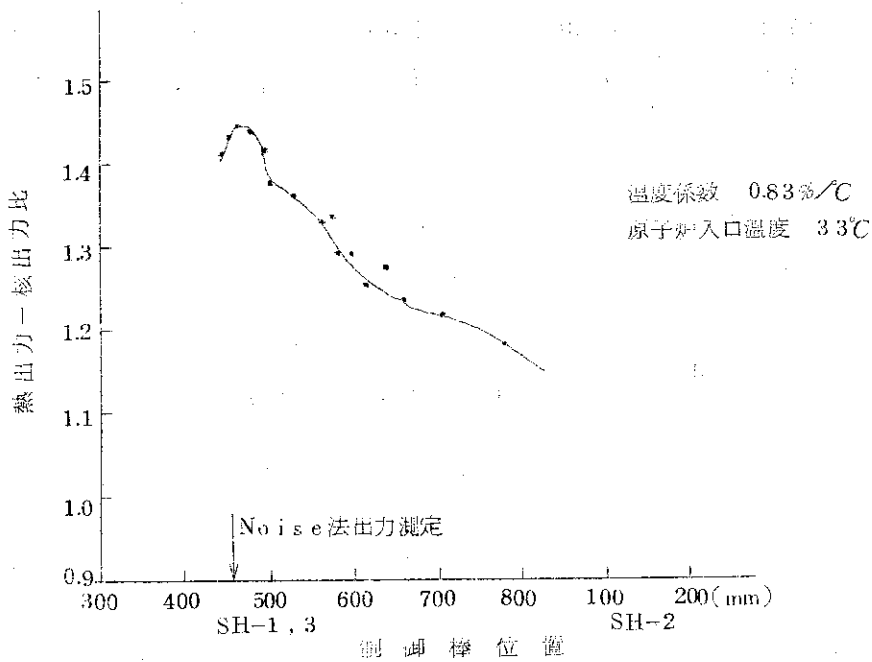


Fig. 2.6 - 2 #2サイクル熱出力-核出力比

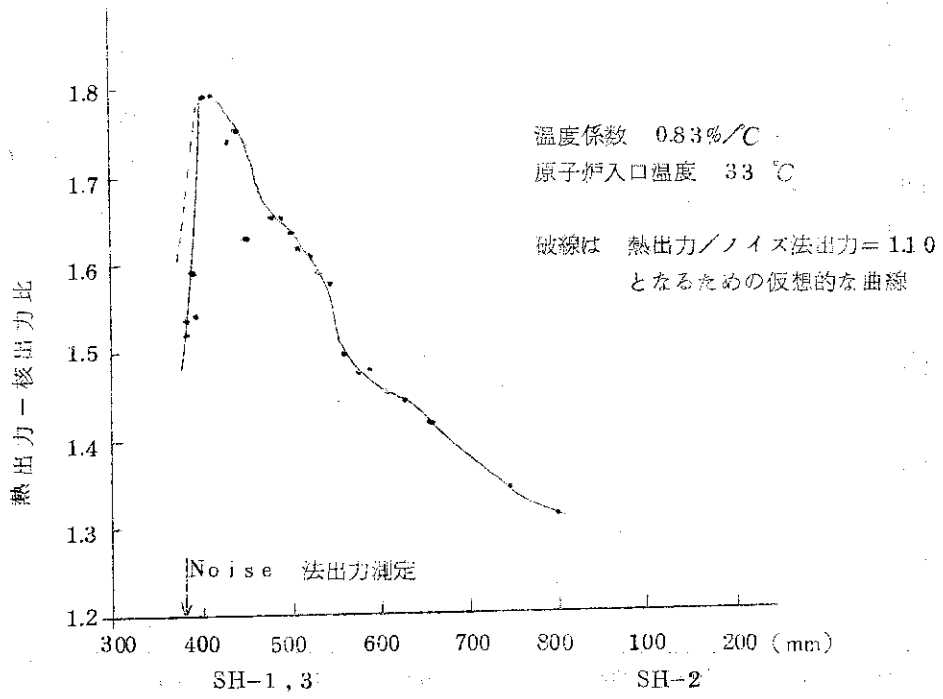


Fig. 2.6 - 3 # 9 サイクル熱出力-核出力比

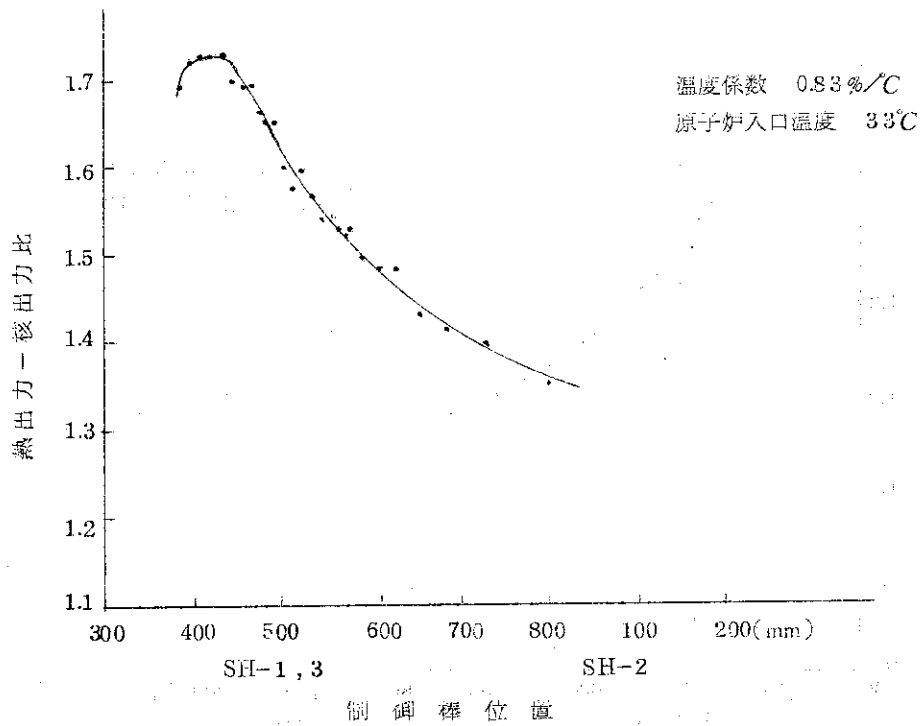


Fig. 2.6 - 4 # 10 サイクル熱出力-核出力比

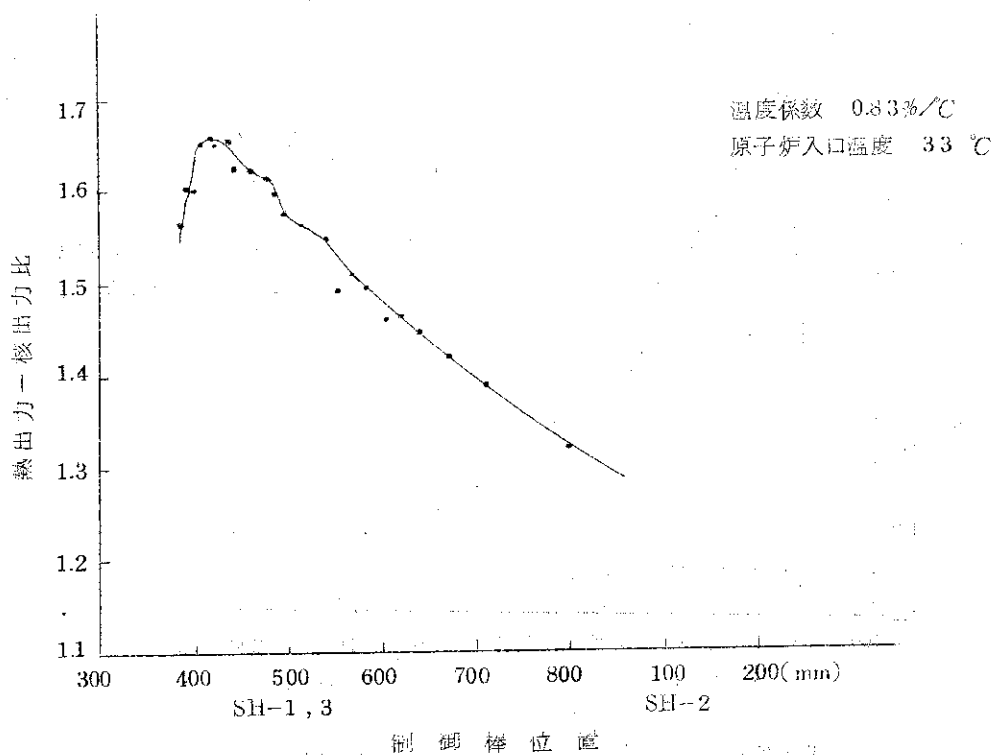


Fig. 2.6 - 5 # 11 サイクル熱出力-核出力比

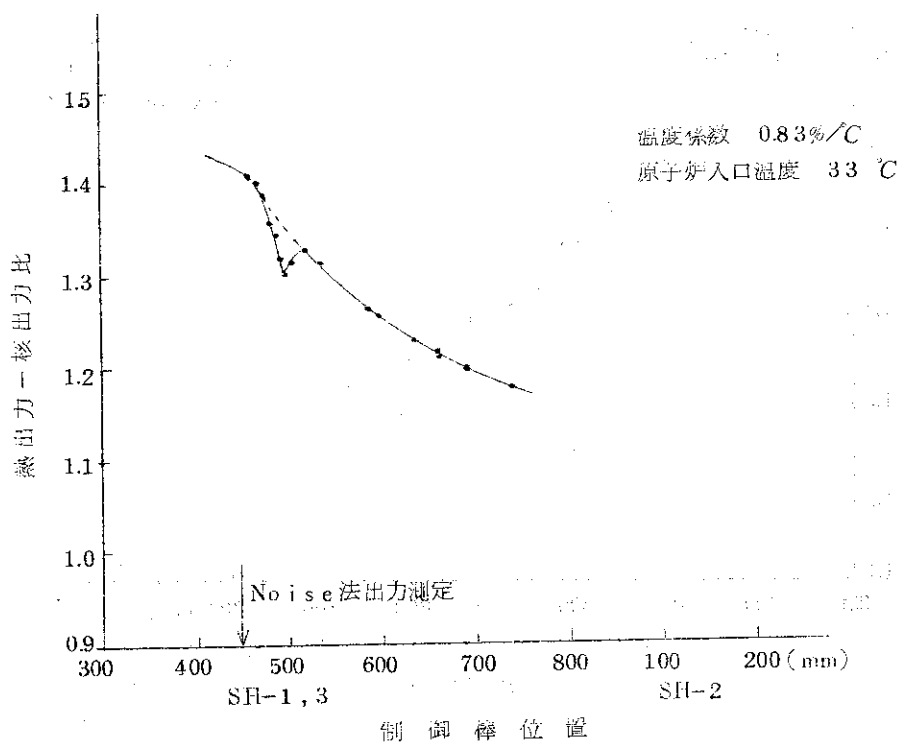


Fig. 2.6 - 6 # 12 サイクル熱出力-核出力比

2.6.4 検討

熱出力-ノイズ法出力の対応測定は Table 2.6-1 に示すように 4 回行っている。これらのデータを § 2.6.2 に述べた方法によって整理した結果が Table 2.6-2 に示す値である。熱出力値を真とすれば、ノイズ法による出力測定法は、出力を 3~30% 程度小さく評価する傾向にある。しかし、Table 2.6-2 の結果は各サイクルによってバラツキをもっており、一定値に収束していない。このバラツキの原因と考えられるのは

- i) 温度係数 α の評価
- ii) 熱出力-核出力の比 $R(x)$ によるバラツキ
- iii) ノイズ法出力測定の問題点

がある。以下これらの要因について検討を行う。

1) 温度係数 α の評価 ($\alpha = 0.83\%/^{\circ}\text{C}$)

特性試験報告書(分冊 4, P 13)によれば、核出力一定で運転した場合、炉心入口温度が 10°C 変化すると熱出力は -8.3% 変化する。但し、熱出力が $40\sim 50\text{MW}$ では、 10°C について -5.8% 変化するという測定結果が得られている。更に特性試験(その 2)報告書「炉心温度変化に対する核計装の指示特性についての計算」(P 97, 付録)によれば炉心の ϕ_{th} 一定として炉心水温が 20°C から 50°C に変化した場合の検出器位置での $\phi_{th}(50^{\circ}\text{C})/\phi_{th}(20^{\circ}\text{C})$ として計算値(FOG, EQP-3, 2群の手計算) 1.25 を得ている。

この結果は、 $0.83\%/^{\circ}\text{C}$ と長く一致しているのでも、この値を用いてデータ処理している。しかし、各サイクルの炉心配置は異っており、各サイクル毎に α の値が多少変化していることも考えられる。しかし、この変動は、今問題にしているバラツキよりも、はるかに小さいと推定される。

2) $R(x)$ (制御棒位置の補正)によるバラツキ

各サイクルにおける $R(x)$ の値を Fig 2.6-1~6 に示す。この図を用いて、ノイズ法出力測定時の制御棒位置における $R(x)$ 値を求めないのであるが、図に示すように $R(x)$ は複雑な挙動をしており、外挿が難しい。このために外挿の精度が直接に、結果に影響を与える。#9 サイクル(Fig 2.6-3)の $R(x)$ の挙動は、SH-1,3 が 410mm の位置にあるときにピーク値を示している。このピークは #2 サイクル(Fig 2.6-2)でも現われている。ピークの存在確認のために #10; #11 サイクルのデータを Fig 2.6-4~5 に示した。これらには同様なピークが存在するが、その形は各サイクルで様々ではない。一方ピークの左側の測定値は出力上昇ステップの値であり、熱的に過渡状態にあると思われる。Table 2.6-2 において #9 サイクルの熱出力/ノイズ法出力が 1.03 と #1 サイクル、#2 サイクルの値と異なる原因はこの $R(x)$ にあると思われる。

Fig 2.6-3 のグラフに #9 サイクルの熱出力/ノイズ法が #2 サイクルと同じ 1.10 であったと仮定した時のカーブを破線で示した。#9 サイクルではノイズ法測定点が高めのカーブと異りピークの左側にあり、この部分の測定点が高めの過渡状態にあることを考慮すると説明のつく程度の誤差である。

#12 サイクルは第 II 期炉心であり、炉心が #1~11 サイクルとは大巾に変更されており、Fig 2.6-6 に示すように $R(x)$ の挙動は多少異っている。

3) ノイズ法出力測定の問題点

第1期炉心と第11期炉心の違いは、1点モデルの原子炉の伝達関数 (G_R) の項で次のように考慮している。

$$|G_R|^2 = \frac{1}{\beta^2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi f_0}{\alpha_C}\right)^2}$$

| | β | α_C | $ G_R ^2$ | |
|--------|---------|------------|--------------------|----------------------|
| 第1期炉心 | 0.0073 | 80 | 1.71×10^4 | $f_0 = 4 \text{ Hz}$ |
| 第11期 " | 0.0076 | 105 | 1.64×10^4 | |

Table 2.6 - 2において#12サイクルの熱出力ノイズ法出力比が大きくなっている原因として、上表の動特性パラメータの妥当性を検討する必要がある。また#1~#11サイクルの第1期炉心についても上表の値を一律に用いているので、各サイクル間のバラツキの原因となる可能性も考えられる。これらのパラメータによるバラツキの巾は、5%程度である。

2.6.5 結 論

熱出力ノイズ法出力 (G factor 補正後) 比は、本来は1.0であるべきものである。現在までの測定での比Rは、G factor 未補正で

$$R = 1.15 \pm 0.12$$

である。

第11期炉心 (第12サイクル) の熱出力ノイズ法出力比が、大き目の値になっているが、第1期炉心の結果のバラツキから考えると有意な差であるとは、断定は出来ない。G factor の評価作業のほか、Rがばらついた値を示す原因を今後測定を重ねて究明して行く必要があると考える。

(寺田)

2.7 FOIL積分法 (ノイズ法との比較を含む)

JMTRCの出力評価は、炉雑音法によって行なわれている。この測定結果はそのままJMTR定格出力における算出の基準となるので、きわめて重要である。したがって測定結果の妥当性を独立な他の方法でチェックすることとし、各サイクル先行試験で実施されている放射化法による相対出力分布測定結果を利用し、いわゆるFOIL積分法による出力をみちびいている。

FOIL積分法における問題点は次の二点であろう。

1) 測定点が一燃料要素あたり一点(中央)であるので、局所的な出力分布の変化はカバーできない。*

2) 現手法ではFOILの放射化断面積と、燃料である ^{235}U の核分裂断面積との値を 2200m/s の熱中性子に対する値で処理しているので、比較的スペクトルの硬い燃料領域での核分裂の評価が正確に行なわれない。

しかしながら各サイクルチェックという命題に対しては、炉心体系が大巾にかわることはないので、その出力分布の変動もあまり大きくはない(むしろ、そのように試料配置が考慮されるのであるが)。したがって上に述べた事柄に起因する誤差は、系統的なものとして処理できる。すなわち炉雑音法による測定結果とFOIL積分法による測定結果が一定の比を保てば、出力測定に問題ないということがいえるわけである。

これまでの測定によれば(Table 2.7-1参照)、炉雑音法による出力 P_N と、FOIL積分法による出力 P_F との関連は常に $P_N/P_F < 1$ ($= 0.9 \pm 20\%$ 程度)である。炉雑音法、FOIL積分法ともにその測定誤差(主として再現性)が $5 \sim 10\%$ 程度であって両者の比は、これら誤差を考慮した場合に、まず妥当と思われる範囲でバラついている。

発熱量 Q_{CF} は放射化法によって測定しているため、放射化量の絶対測定に誤まりがあっても、FOIL積分法による出力によって出力あたりの発熱量を評価した場合は、絶対測定の誤まりが相殺されて、かなり正確な評価を与えるが、これも一つのバックアップとみてよいであろう。

FOIL積分法による出力 P は下式によって算出されている。

$$P = E_f \cdot (1 + \epsilon) \cdot \frac{n_{Au} \left(1 - \frac{1}{R_{Cd}}\right)}{N_{Au} (1 - e^{-\lambda_{Au} t_i})} \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_{Au}} \cdot C \cdot \sum P_i$$

ここで

P : FOIL積分法による出力

E_f : 核分裂あたりの出力換算係数 ($= 3.2 \times 10^{-11} \text{ w} \cdot \text{s/fission}$)

ϵ : 熱外中性子による核分裂の割合

n_{Au} : 標準点の金箔絶対崩壊率 (dps)

R_{Cd} : 標準点の金箔のカドミウム比

N_{Au} : 金箔の原子数

λ_{Au} : ^{198}Au の崩壊定数 ($= 0.01072 \text{ hr}^{-1}$)

A_i : 出力測定のためのJMTRC運転時間 (hr)

σ_f : ^{235}U の核分裂断面積 ($= 577.1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$)

* 現在では、要素内の詳細出力分布の測定データが蓄積されているので、要素内一点の測定値と要素平均値との関連はかなり明確となっている。しかしながら当初からの炉雑音法との比較が、要素内中央の一点での軸方向分布を考慮した積分値をもってその要素の出力代表値とする方法によっているので、手法を一貫するため現在においてもこの方法を用いている。そして参考値として詳細分布を考慮した値を同時にみちびいている。

σ_{Au} : ^{197}Au 放射化断面積 ($= 98.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$)

C : 相対出力と核分裂数との換算係数

P_i : i 番目の燃料要素の相対出力

である。*

フォイル法出力について第2表(巻末)にデータがないサイクルは相対出力分布測定が行われなかったためFOIL積分法による出力算出が実施できなかったものである。また#11サイクルのデータがないのは、試料装荷状況が#10サイクルとほとんど変りなかったため出力分布測定を省略したためである。

* 上式について、それぞれ

$$\frac{n_{Au} \left(1 - \frac{1}{R_{Cd}} \right)}{N_{Au} (1 - e^{-\lambda_{Au} t_i})} \doteq \int_0^{Cd} \sigma_{Au}(E) \phi_0(E) dE$$

$$\frac{\sigma_f \int_0^{Cd} \sigma_f(E) \phi_0(E) dE}{\sigma_{Au} \int_0^{Cd} \sigma_{Au}(E) \phi_0(E) dE}$$

$$C \cdot \sum P_i \doteq \int_r N(r) f(r) dr$$

$$\phi_0(E) \cdot f(r) \doteq \phi(E \cdot r)$$

の関係をあてはめれば、出力をあらわす関係式

$$\begin{aligned} P &= E_f (1+s) \int_r \int_0^{Cd} N(r) \sigma_f(E) \phi(E \cdot r) dr \\ &= E_f \int_r \int_0^{\infty} N(r) \cdot \sigma_f(E) \cdot \phi(E \cdot r) dr \end{aligned}$$

がみちびかれる。 $\phi_0(E)$ は標準点での中性子束、 $f(r)$ は中性子束の空間分布の相対値、 $N(r)$ は ^{235}U の単位体積あたりの原子数、 E, r 、はそれぞれエネルギーと空間を示すインデックスである。

Table 2.7 - E ノイズ法, フォイル法出力一覽

S.46. 10. 4

| Date | サイクル | ノイズ法出力 P_N | | | Foil法出力 P_F | P_N/P_F ・出力比 η | | |
|------|--------|--------------|-------------|--------------|------------------|-----------------------|--------|-------|
| | | 旧 P_{N1} | 補正 P_{N2} | 新解析 P_{N3} | | 旧ノイズ法 | 補正ノイズ法 | 新ノイズ法 |
| S.46 | 14 | — | — | 9.34 | 10.2 | — | — | 0.92 |
| | 13 | — | — | 8.46 | 9.29 | — | — | 0.91 |
| | 12 | — | — | 8.00 | 8.4 | — | — | 0.95 |
| 826 | (12-前) | 7.38 | — | 7.38 | 8.71 | 0.847 | — | 0.847 |
| 6.30 | 11 | 8.59* | — | 5.55 | — | — | — | — |
| 6.22 | 10-2 | 8.38* | 5.98 | 5.42 | 6.23 | 1.35* | 0.960 | 0.870 |
| 5.13 | (10-1) | 8.72* | 5.87 | 5.64 | 6.42 | 1.36* | 0.914 | 0.879 |
| 3.4 | 9 | 9.4* | 6.56 | — | 8.28 | 1.14* | 0.792 | — |
| 119 | 8 | 10.5* | 6.45 | — | 7.57 | 1.39* | 0.852 | — |
| S.45 | | | | | | | | |
| 1223 | II-後 | 7.53 | 7.34 | — | 10.3 | 0.731 | 0.713 | — |
| 1215 | II-前 | 8.37 | 8.21 | — | 10.8 | 0.775 | 0.760 | — |
| 1118 | 7 | 9.57* | 7.14 | — | 7.54 | 1.270* | 0.947 | — |
| 1021 | 6 | 9.49* | 6.53 | — | 7.55 | 1.26* | 0.865 | — |
| 8.21 | 5 | 11.1** | — | — | 9.33 | 1.19** | — | — |
| 9.12 | 4 | 5.22** | — | — | — | — | — | — |
| S.43 | | | | | | | | |
| 1213 | (3') | 5.36 | — | — | 5.65 | 0.949 | — | — |
| 1223 | (3') | 2.82 | — | — | 3.51 | 0.803 | — | — |
| S.44 | | | | | | | | |
| 4.24 | 3 | 3.71 | — | — | 4.09 | 0.907 | — | — |

注) #11cy の Foil 法出力 () は, 正式な値ではなく, 参考程度である。

ノイズ法出力

旧 P_{N1} Q_{OF} 算出に用いた値で, *印は, S.45. 9. 9以降, 解析器の特性が変化したにもかかわらず (\bar{v}^2 回路の故障), もとの特性を使用して計算した数値。 ** は, \bar{v}^2 特性をアナコン解析によった。

補正 P_{N2} 解析器の特性として, $\int |G_F|^2 df$ (S.46. 6.) の, \bar{v}^2 特性に S.45. 9 の測定値を入れて計算した値である。

新解析 P_{N3} 新ノイズ解析器による測定値

Foil 法出力 中性子積分法によって求めた。#5サイクル~#12-前までは, CF実験メモ-224 によった。

出力比 η ノイズ法と Foil 法の炉出力比

3. 発熱量推定技術に関する検討

試料発熱量推定技術を評価するため#3～#14サイクルのデータを一覧表にまとめた。これは第1表～第4表として巻末(§5)にまとめてある。

この§3ではこの一覧表のデータをもとにいくつかの分析を行なうことにする。

3.1 評価値の検討

各キャプセルの Q_{cal}/Q_{CF} の経緯を#3～#14サイクルにわたって示したのがFig.3-1*である。

Fig.3-1から先ず67F-13G(4-5サイクル), 67F-19U(7サイクル), 67F-31G(9サイクル)が異常に高い Q_{cal}/Q_{CF} を示すことがわかる。

このうち67F-19Uは線出力が約30W/cmと非常に低く、このように低い発熱量については計算の妥当性に疑問がある。炉運転上も発熱量が小さくて全く問題とはならない。

67F-31Gは第1表のデータから見て明らかに Q_{CF} が異常であるがこの原因は次のように明らかとなった。当初67F-31Gの照射孔としてはM-4が予定されたが Q_{CF} が低すぎることからK-4に変更された。この変更に伴うCF再実験は行なわれなかったためデータとしてはM-4での値を核計算によって補正して使用し何等トラブルは起らなかった。その後転記中に“M-4位置”の但し書が脱落したため一見測定ミスのように観測されたものである***

67F-13Gについては Q_{cal} 評価に用いた核定数に係る単純ミスがあった。このミスは間もなく発見されたが第1表(巻末)には未修正**のまゝのもの示した。この修正を行なったデータをFig.3-10に破線で示した。

67F-24G

#10サイクルの Q_{CF} が異常である。調査の結果これはG-11位置でのデータであり***修正後の値は運転計画書中の比率によって得た。これにより $Q_{cal}/Q_{CF} = 0.92$ となった修正前後の様子をFig.3-12に示した。

68F-5P

#7サイクルのデータが異常である。これもF-12位置のデータのため修正後は $Q_{cal}/Q_{CF} = 0.88$ となる。修正前後の様子をFig.3-15に示した。

上記の評価ミスを修正したものをFig.3-2に示した。以後の検討はこの修正されたグラフによることにする。

* §3ではグラフの相互比較がひんぱんとなるためこの章全体の通し番号として巻末にまとめた。

** 最終的なチェックにおいてこの値は既に修正済のものであり従って67F-13Gに関するこの部分の記述はあやまりであることがわかった。

*** このように照射孔の混乱が起るのは生データからの再評価を行なったためであり、運転計画時には混乱は起っていない。

3.2 照射孔による Q_{cal}/Q_{CF} の傾向について

照射孔によって Q_{cal}/Q_{CF} の値に特定の傾向があるかどうかを見るためにまとめたのがFig. 3-5である。

この件については別の報告においてCFとJMTR本体との構造上の相違によって反射体領域における中性子勾配はCFの方が本体よりゆるやかなことがわかっている。このことは Q_{cal}/Q_{CF} の上では反射体3層目の方が反射体2層目より小さい値を示す(実際の中性子束密度が高いため Q_{CF} が高く求まる)傾向として現れる筈である。Fig. 3-5では第12行と第13行に関してはこの傾向が現れている。第4行と第3行についても大体同様である。N列とO列については極端な差が見られるがこれは0-9位置試料の特殊性(Pu入り)によるものを含んでいる。これらの3側面に反し西側面のE列とD列では逆の傾向のキャプセル2本(延べ4本)が見られる。しかし全体としては前記の傾向を否定する程のものではない。従って全体的にはCF模擬性の効果は Q_{cal}/Q_{CF} としてこの図に現れていると行うことができる。そのほかには定常的に一定の傾向(高or低)を示す照射孔として特定されるものはなく、各キャプセル(NMを含めて)の特性による効果の方が優勢である。

3.3 キャプセルによる傾向

第1表(巻末)の内容をキャプセル別にまとめなおしたものが第4表(巻末)である。

第4表およびFig. 3-2において見られる一般的な傾向としては、何サイクルかに亘って照射されるキャプセルはそのキャプセルによってほぼ一定の傾向(Q_{cal}/Q_{CF} について)を示すことがあげられる。

この原因としてまず考えられることは

- (1) N, Mの精度不良のためそのキャプセルが常にどちらかにかたよった Q_{CF} を与える。
- (2) 計算のモデル化が適当でないためそのキャプセルの Q_{cal} がかたよった値を与える。

のいずれかであるか現在の段階ではそのいずれであるかは結論出来ない。

その他に考えられる種々の効果(B_1C 模擬の効果, P_{CF} 測定精度の効果 etc)については別に検討してあるが、これらの諸効果を除いても上記(1)または(2)の効果は明瞭に一定の傾向として見られ計算方法および中性子束密度測定方法そのものの精度(偏差)はかなり良いことを暗示している。

3.4 CF炉出力(P_{CF})測定法について

当初 Q_{CF} と Q_{cal} または実際の発熱量との相違の最も大きい原因としてCFと本体との炉出力測定法(ノイズ法と熱収支法)の間の関係に疑問が持たれた。

このため両者の間の換算係数を求める実験もCFおよび本体を用いて実施された。

今回のこの比較検討では、(1)ノイズ法よりもフォイル積分法(中性子束積分法)の方が熱収支法による出力との比較に適しているのではないかと、(2)ノイズ法はこの用途に妥当であったかという点の検討を行なった。一方フォイル積分法の問題点は測定すべき放射化箔の数が多いため

とと先行試験の一部として現実性のあるフォイル数で十分な測定精度が得られるかどうかという点にあった。

Fig. 3-2 がノイズ法による Q_{CF} を用いた Q_{cal}/Q_{CF} , Fig. 3-3 がフォイル法による Q_{CF} を用いた Q_{cal}/Q_{CF} である。この両者を比較すればノイズ法による炉出力が安定していないとすることが出来る。しかし #3 ~ #6 サイクルは旧型のノイズ解析器 #7 ~ #9 サイクルは補正した旧解析器, #10 サイクル以降は新しい解析器によるものである。

各サイクルにおける炉出力測定法間の比較は Table 2.7-1 で見ることが出来る。またこれをもとにして各測定法のフォイル法に対する比をサイクル順にプロットしたものが Fig. 3-4 である。Fig. 3-4 において #3 サイクルのノイズ法出力は Table 2.7-1 に従って 3.71 W としてある。一方巻末の第 2 表ではノイズ法出力は 7.4 W と報告されているがこれを採用した場合を破線で示してある。

Fig. 3-4 から見る限り炉出力を 3.71 W とするのが (1) ノイズ法出力/フォイル法出力が ~ 0.9 となり他の例と一致する, (2) 旧解析器は #3 ~ #5 サイクル迄正常で #5 サイクル以降狂ったと考えると説明しやすい, の 2 点から妥当のようである。

しかし第 2 表において炉出力を 3.71 W と修正すると次のように矛盾を生じてくる。

Case 1 (現状): ノイズ法出力 = 7.4 W, フォイル法出力 = 4.09 W の場合 —— Fig. 3-4 点線に示すように他のデータと大巾に食いちがい, 特に η (ノイズ法出力/フォイル法出力) = 0.7 ~ 0.9 の値と全く一致しない。

Case 2: ノイズ法出力 = 3.71 W で従来の Q_{CF} は低すぎるとした場合 —— Fig. 3-4 の説明はよくつき $\eta \sim 0.9$ となるが一方 Fig. 3-9 で 67 F-5 G キャプセルの発熱が #3 サイクルだけ約 2 倍となって説明がつかないし Fig. 3-2 の Q_{cal}/Q_{CF} のグラフでも #3 サイクルだけ低すぎる値 (それぞれ 0.49, 0.51, 0.55, 0.49) となってしまふ*。

Case 3: ノイズ法出力 = 3.71 W で, Q_{CF} は正しい場合 —— Q_{CF} (フォイル法) が約 $1/2$ に小さくなって Q_{cal}/Q_{CF} (フォイル) = 0.96 ~ 1.14 となり他のサイクルとの一貫性 (Fig. 3-3) が失われる。

Case 4: 放射化箱の計測ミス (factor 2) があり, ノイズ法出力 = 7.4 W, フォイル法出力 = 8.18 W (4.09 W $\times 2$) であった場合 —— この場合 Q_{CF} (ノイズ法) は変わらないが Q_{CF} (フォイル法) が約 2 倍となり Case 3. と同じ矛盾が生ずる。

以上のことから炉出力 3.71 W と 7.4 W については factor 2 の単純ミスでは説明がつかない。また Q_{cal} についても Fig. 3-9 から見て大きなあやまりはないので現時点での判定は困難である。

Fig. 3-2 ~ 4 から見る所では大略次のようなことが結論できる。

(1) 旧解析器は不安定であった。この事はこの解析器の部品が焼損して以来電源部に由来すると思われる不安定を示したことと符合している。

(2) 補正した旧解析器のデータは Fig. 3-2 からも Fig. 3-4 からも妥当であると言える。

*同様にいずれの Case によっても P_{CF} の変化量が factor ~ 2 であるため, 現状の Q_{CF} が誤りとするのは説明がつかなくなる。したがって今後 Q_{CF} が約 2 倍に増える Case は考えないことにする。

この補正は解析器の基本的な特性にまで立戻った補正を行なっている。補正は相当の日時をさかのぼったものであるにもかかわらず、良い結果を与えており、当初の目的通り新ノイズ法のデータと同等に扱って差しつかえないことがわかる。ただし、補正ノイズ法が旧ノイズ法より安定していると言う事は出来ない。また#6サイクルのデータが低すぎるとして不採用にしたのは適当ではなかった。

一方 Fig. 3-4 において補正した値が一応安定して妥当な値を示すことはこの時期には旧解析器の動作も安定していたことを示す。このことは Fig. 3-2 においても#6サイクル以降安定しているように観察される。

(3) 新解析器の動作は安定しており、そのデータは補正した旧解析器のものとよく一致する。またその傾向はフォイル法によるものとも一致する。#13サイクルのデータがばらついてるのは評価手法の確立してないGd入り試料であるためである。Fig. 3-2で#14サイクルの Q_{cal}/Q_{CF} が~1.0附近に移動しているのは別の点に関する発熱量推定法の改良があったためである。

新ノイズ法は絶対値でもフォイル法と10%程度で一致しており(Fig. 3-4)相当に真に近い値を与えているものと期待される。

(4) フォイル法による P_{CF} 測定法は安定している。Fig. 3-3はフォイル法を基準とした Q_{cal}/Q_{CF} であるが、この図で Q_{cal}/Q_{CF} はほぼ安定し特に#3~#7サイクルの B_4C 模擬の効果(B_4C は Q_{CF} を高く見積る)もかなりはっきり観察される。

以上述べてきたことから新解析器は安定であり、安定に動作する解析器は妥当なデータを与えるので今後の P_{CF} 測定には毎サイクルの先行試験としては作業量の多すぎるフォイル法よりは新解析器を用いたノイズ法によるのが妥当であると結論される。

3.5 B_4C 模擬について

B_4C で模擬したキャプセルは#3~#7サイクルに多く、その後は殆んど B_4C 模擬は行なっていない。その理由はさきにも述べたように B_4C 模擬では Q_{CF} を高く見つもり特に高濃縮度では模擬不能であることがわかったからである。しかし Fig. 3-2では Q_{CF} を高く見つもるこの傾向は#3~#7サイクルの B_4C 模擬9キャプセルのうち7キャプセルについて明確には現れては居らず別の効果があることを示している。

#8サイクル以降の B_4C 模擬キャプセルは67F-3G, 67F-4G, 67F-8Gの3本のみで、この場合 Q_{cal}/Q_{CF} は他のものとはほぼ一致した。その理由は試料がすべてNat. UO_2 でピン径も10φまたは15φであってこれらについては本物との比較データによる補正が可能であったためである。

3.6 ウラン濃縮度と Q_{cal}/Q_{CF} について

ウラン濃縮度(ER)およびPu富化度と Q_{cal}/Q_{CF} の関係を示したのが Fig. 3-6である。

この図から見るとNat. Uについては大略1.0を中心に分布し、濃縮度が増すにつれて Q_{cal}/Q_{CF} が減少しているのが判る。この場合ER10%の試料はすべてループ試料で通常のキャプセルではないので一応除外して考えている。

Pu 入試料についても Nat U より低い Q_{cal}/Q_{CF} となり、富化度が高いものは更に低い Q_{cal}/Q_{CF} を示す傾向が予想される。

濃縮度に対する Q_{cal}/Q_{CF} の分布は Table 3.6-1 のようである。

Table 3.6-1 濃縮度と Q_{cal}/Q_{CF} との関連

| ER | Q_{cal}/Q_{CF} | | | |
|------|------------------|------|-------|-------------------|
| | max | min | 平均 | 標準偏差 (σ) |
| Nat | 1.43 | 0.56 | 0.936 | 0.213 |
| 1.5% | 1.16 | 0.50 | 0.802 | 0.157 |
| 2.5% | 0.75 | 0.60 | 0.664 | 0.050 |
| 3% | — | — | 0.64 | — |
| 20% | — | — | 0.55 | — |

3.7 Gd 入り試料について

Gd 入り燃料の特性調査のため、#5 サイクルに 1 本、#1-3 サイクルに 3 本計 4 本のキャプセルが照射された。通常、燃料試料の最大発熱はサイクル初期に現れるのに対し Gd 入り試料では Gd の燃焼につれて最大発熱が現れる。しかし Gd の燃焼特性が不明であったため Q_{cal} についてはサイクル初期の値を計算し、 Q_{CF} については Gd 燃焼ゼロの場合（前期）と Gd が完全に燃焼してしまったとした場合（後期）の 2 通りの評価を行なった。

67F-28G(5-6) については Gd の各アイソトープに関する核定数のとり方にミスがあったことが判明したが発熱量が小さいためそれ以上の検討は行っていない。

70F-16G については試料が二重構造で内と外で Gd の含有量等に差があるため計算のモデル化に大きな無理があった。このような問題の少ない 71F-1G, 71F-2G については大体他のキャプセルと同程度の Q_{cal}/Q_{CF} を示している。

3.8 Pu 入り試料について

Pu 入り試料については試料内中性子束分布についてのデータが未だ不十分である。データ収集のためのいわゆる“横孔ピン実験”が実施されたが、試料の特殊性から富化度・濃縮度・ピン径等について余り多くの組み合わせを作ることは出来なかった。

一方 Pu ではその核分裂断面積の形から中性子スペクトルのずれの効果は U の場合より大きく、これについて考慮する必要があるが各照射孔について、もしくはキャプセル径方向についての情報は不十分である。

これらのことから Pu 入り試料については U 試料に比べ精度不足が予想される。Fig. 3-2 において Pu 入り試料は 68F-3G(8), 68F-4G(8), 67F-36G(10-11), 67F-25G(10-11) の 4 キャプセルであるが前 3 者は明らかに他のキャプセルより低い Q_{cal}/Q_{CF} を示している。

3.9 長期照射されるキャプセルの発熱量推移

2 サイクル以上に亘って照射されるキャプセルについて各発熱量推定値 (Q_{CF} , Q_{cal} , Q_{GEN}) を比較することは各推定法の信頼度についての有効な指標を与えるものと期待される。

Fig. 3-7 ~ Fig. 3-17 にこれらの比較* を行なった。

[67F-1G]

Fig. 3-7 に示すように Q_{CF} と Q_{GEN} とは大きなへだたりを示す。 Q_{cal} は両者のほぼ中間的な値である。3 サイクルに亘る推定値の比較から #5 サイクルの Q_{CF} がミスをしている可能性が強い。各推定値の精度としてはごく大まかに $\pm 20\%$ 程度と考えられるが参考のため $\pm 10\%$ に当る偏差を #7 サイクルの Q_{CF} 値に付した。

[67F-2G]

Fig. 3-8 に示すように Q_{CF} が最も高い値を示す。 #5 サイクルについては3者は測定精度内で一致していると言えよう。 Q_{cal} , Q_{CF} とともに増加の傾向に対して Q_{GEN} のみが減少の傾向を示している。発熱量が高くないため試料の燃焼による発熱量低下では評価されていないがこれを考慮すると発熱量は3サイクルに亘ってほぼ一定かと思われる。従って #6 サイクルの Q_{CF} は評価ミスであり、 #7 サイクルの Q_{GEN} については例えば熱電対の劣化があったのではないかと推定される。

[67F-5G]

Fig. 3-9 に示すように Q_{CF} , Q_{cal} , Q_{GEN} はかなりよく一致している。図から見ると #4 サイクルの Q_{cal} , #6 サイクルの Q_{GEN} について評価ミスが予想されるがその量は小さい。

[67F-13G]

Fig. 3-10 には修正前および修正後**の Q_{cal} を併記した。 #5 サイクルについては Q_{CF} と修正 Q_{cal} はほぼ一致しているが #4 サイクルについては約 15% のずれが認められる。($\pm 20\%$ では一致している)

[67F-14G]

Fig. 3-11 にサイクル間の変遷を示した。3者はほぼ一致しており、試料の Burn-up を考慮に入れると更に一致度は良くなる。しかしここでの熱中性子束は低いため燃焼の効果はそれほど大きくはない。

[67F-24G]

Fig. 3-12 には修正前と修正後***の Q_{CF} を併記した。この図から見ると #11 サイクルの Q_{cal} が評価ミスしている可能性が大きい。全般的には Q_{GEN} と Q_{CF} および Q_{cal} との相違が大きすぎる。

* Q_{GEN} は熱電対位置のサイクル最大値である。従って最大点の起動時を示す Q_{CF} , Q_{cal} と直接の比較はできない。大まかには $Q_{GEN} \times 1.1$ と比べるのが良い。

** 核定数のミスを正した再計算による。(しかし先にも述べたようにこの修正は誤りである)

*** キャプセルを変更前および後の照射孔に配置した2通りの核計算を行ない、それぞれの熱中性子束の比で補正した。

$$\text{すなわち} \begin{cases} 67F-24G \cdots Q_{CF}(\text{補正}) = 747 \times \frac{295}{504} + 31 = 468 \text{W/cm} \\ 67F-31G \cdots Q_{CF}(\text{補正}) = 341 \times \frac{8.19(K-4)}{4.58(M-4)} + 7 = 618 \text{W/cm} \end{cases}$$

このようなキャプセルについては Burn-up 測定による検定が望まれる。 ^{137}Cs による Burn-up 測定値から概算すると (詳細検討は目下進行中) 大体 2.80 W/cm となり Q_{GEN} がより真の値に近いものと思われる。

〔67F-31G〕

Fig. 3-13 には修正前と修正後の Q_{CF}^{***} を併記した。この図から判断すると 3 者の変遷は妥当であるが、 Q_{CF} の絶対値は高すぎると判断される。 ^{137}Cs による Burn-up 測定 (概略値) では $\sim 310\text{ W/cm}$ となっている。

〔67F-33G〕

Fig. 3-14 には Burn-up の効果を考慮した Q_{CF} をも示した。その理由は Q が $\sim 600\text{ W/cm}$ とキャプセルの限界に近いので Q_{cal} についてはすでにこの効果を考慮しているからである。 Q_{CF} と Q_{cal} については $\# 8$ サイクルでやや Q_{CF} が高すぎる点はあるが大體一致している。しかし Q_{GEN} との一致は良くない。3 サイクルに亘る変遷は 3 者についてよく一致している。なお照射後試験の結果では中心熔融がみとめられ、実際の線発熱は Q_{CF} および Q_{cal} に近い 600 W/cm 程度と評価されている。

〔68F-5P〕

Fig. 3-15 には修正前および修正後* の Q_{CF} を併記した。また Q_{GEN} については上部ピンおよび下部ピンの 2 つの値を示したが、 Q_{CF} 、 Q_{cal} は高い方の Q_{GEN} (下部ピン) と比較されるべき性格のものである。

6 サイクルに亘る Q_{CF} 、 Q_{cal} 、 Q_{GEN} 3 者の変遷の様子は非常によく一致している。3 者の絶対値については Q_{CF} が最も高く、 Q_{GEN} が最も低く、 Q_{cal} がその中間と云う一般的な傾向を示している。

〔68F-6P〕

Fig. 3-16 に示したように Q_{CF} 、 Q_{cal} 、 Q_{GEN} 3 者の一致度は非常に悪い。このキャプセルは 68F-5P と類似のキャプセルで 68F-5P でも一致度は悪い。この 2 つのキャプセルが他に比べて特に評価のむずかしい点は見当たらないが何か共通の原因が予想される。

〔69L(F)-5P〕

これは OWL-1 試料であるため、実際にループ出力として全発熱量が得られる。この全発熱量に対して CF 実験によって得られる発熱分布曲線を用いることによって実測値と考えると良い Q を得ることができる。Fig. 3-17 にはこの Q 値も併記した。

Q_{cal} はこの Q 値にかなり近く、 Q_{CF} はこれよりかなり高い。

この試料ではかなりの Burn-up が予想されるが、この Burn-up 効果を考慮に入れると Q_{CF} 、 Q_{cal} 、ループ出力による Q の 3 者のサイクル間の変化はよく一致している。

〔その他のキャプセル〕

以上 Fig. 3-7~17 によって Q_{CF} 、 Q_{cal} (場合により Q_{GEN} も) 間の関係を直線的に見る事が出来た。このため 1 サイクルのみ照射されたキャプセルについても類似のグラフを作成した。これが Fig. 3-18 である。この中には $\# 14$ サイクルから開始された 2 サイクル以上のキャ

$$* Q_{\text{CF}}(\text{補正}) = 718 \times \frac{255(H-13)}{455(F-12)} + 13 = 415\text{ W/cm}$$

プセルも含めてある。

このグラフでGd入り試料とPu入り試料を除いては Q_{CF} 、 Q_{cal} の一致度はかなり良いことがわかる。

3.10 ループ試料の発熱量比較

ループ試料についてはループ熱出力が測定可能である。ガンマ発熱(Q_γ)の評価、試料内の出力分布の評価等の問題があるにしても Q_{cal} 、 Q_{CF} の信頼度の評定に有効である。ループ試料についての比較表をTable 3.10-1に示す。

Table 3.10-1 ループ試料の発熱量

| 試料 | サイクル | CF実験値 | 計算値 | ループ出力 |
|------------|------|---|-------------------------|--|
| OWL-1 特性試験 | 4 | $194\text{kW} + \gamma$ | $161\text{kW} + \gamma$ | $147\text{kW} (= 122\text{kW} \times \frac{30\text{MV}}{24.8\text{MV}})$ |
| 69L-5P | 12 | total — 1077W/cm | — 703W/cm | 737kW 672W/cm |
| 同上 | 13 | total $104\text{kW} + \gamma$ $1088(\text{N}), 1142(\text{S})$ | — 743W/cm | 70kW 660W/cm |
| 71LF-9J | 14 | total 514kW #10ピン 572 | 553 544 | 410kW — |

注 分母は特定ピンの最大線出力(W/cm)

このTable から計算のモデル化がむずかしいループ試料についても計算値の方が測定値に近い傾向にある。

試料内の出力分布はCF実験で、全発熱量は核計算でと言うように長短相補なり方策も一つの方法である。

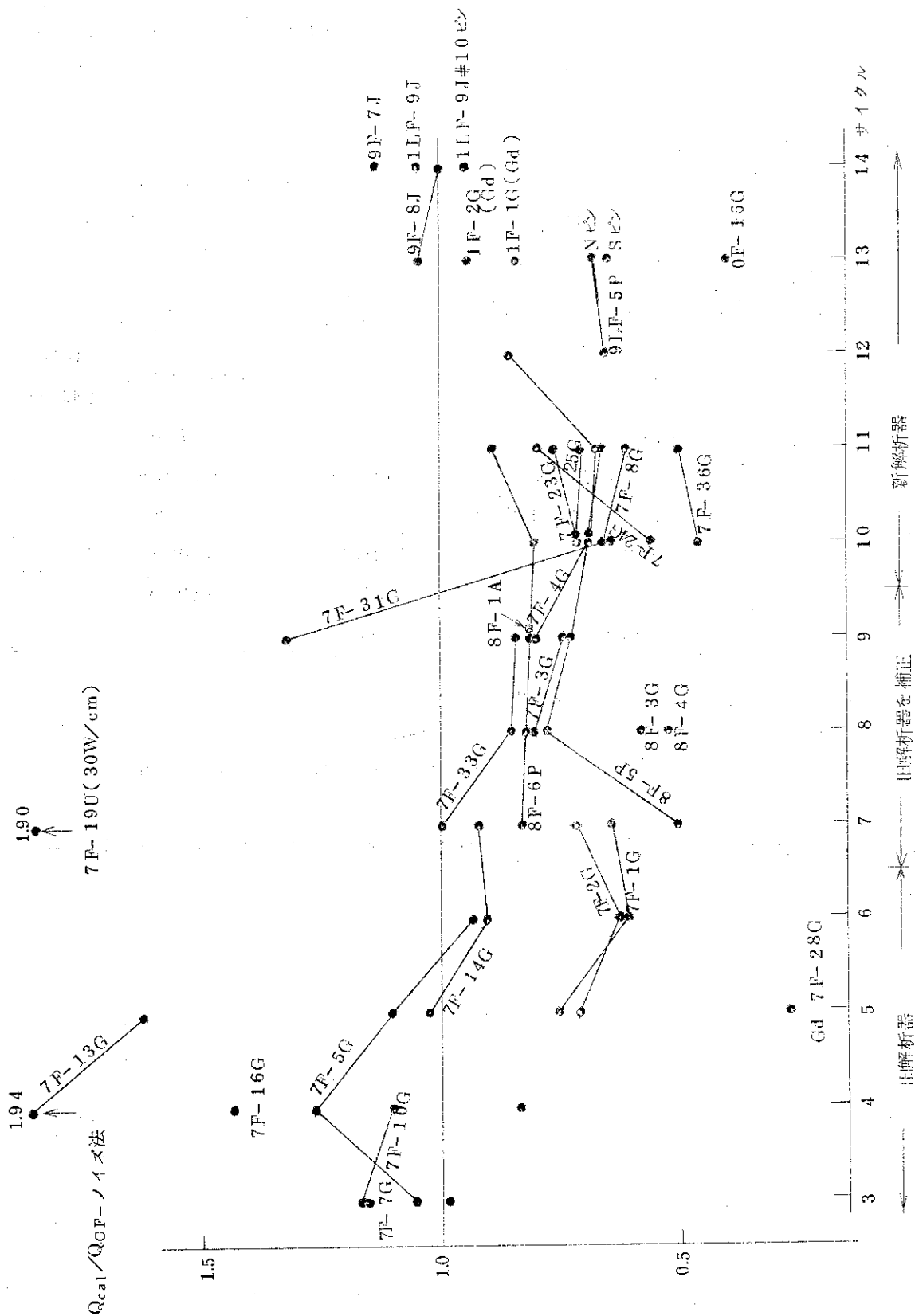


Fig. 3-1 各キャプセル Q_{cal}/Q_{CF} の変遷 (修正前)

67F-19U

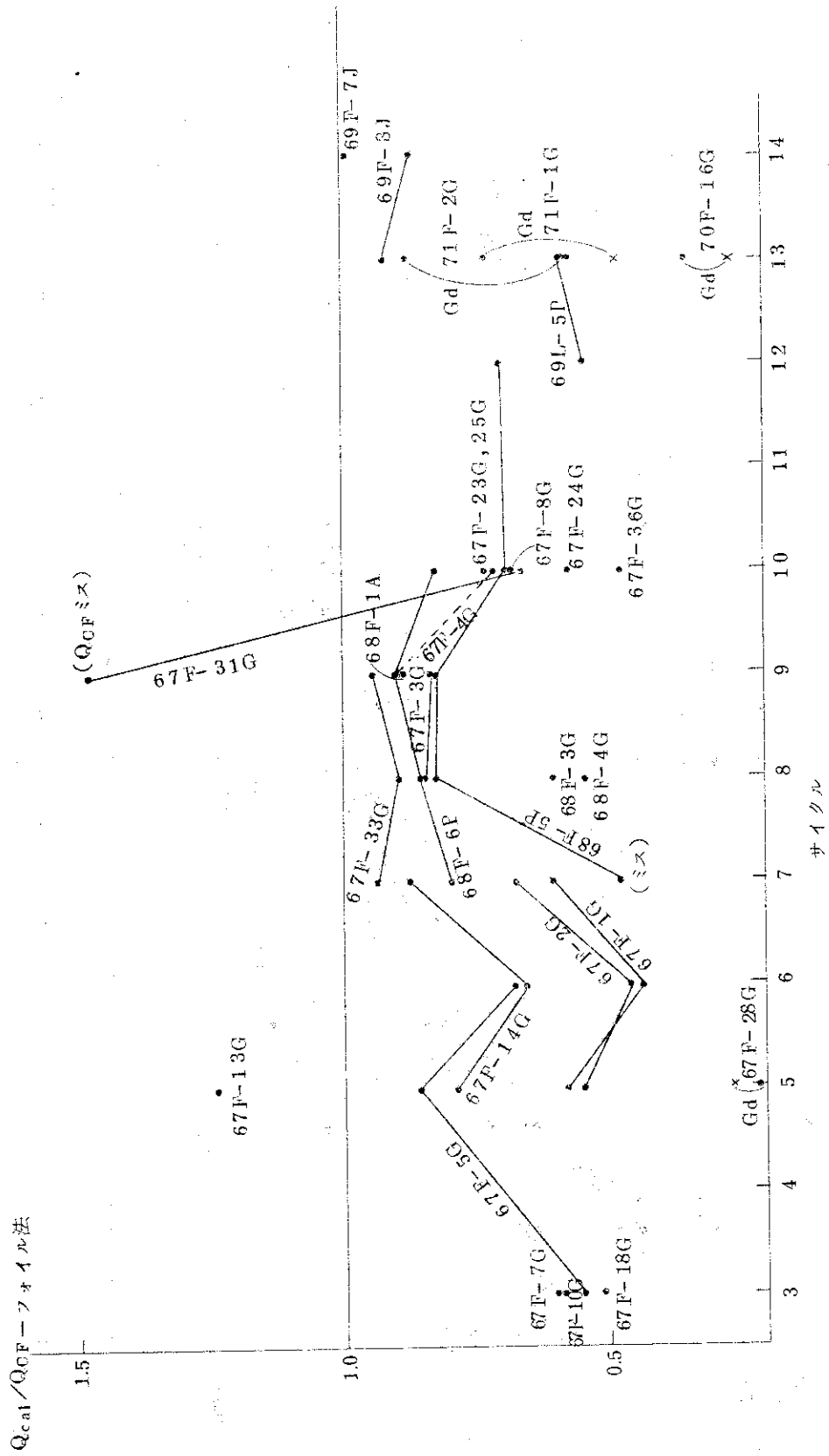


Fig. 3-3 フォイル法を基準とした各キャプセルの Q_{cal}/Q_{CF} (修正前)

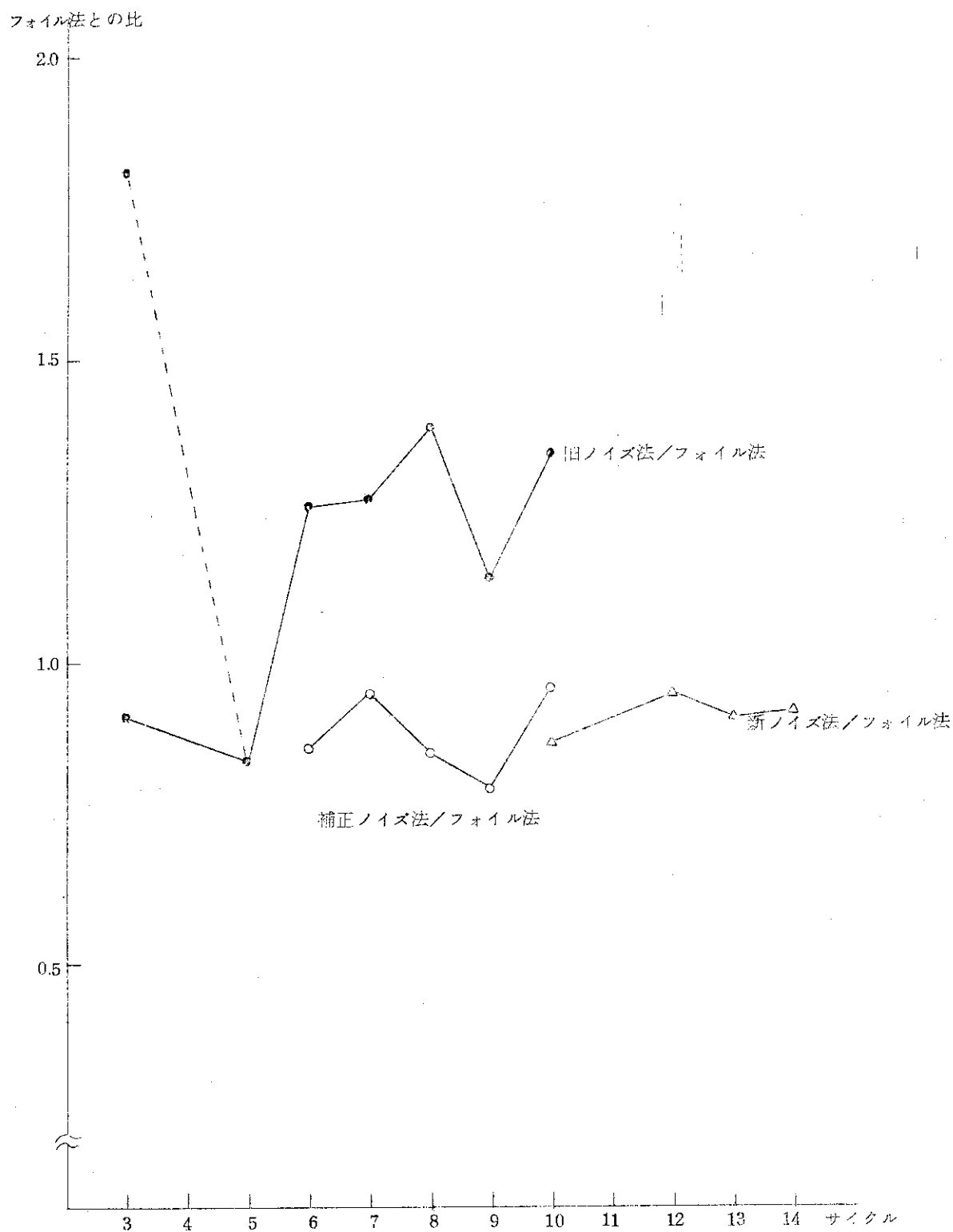
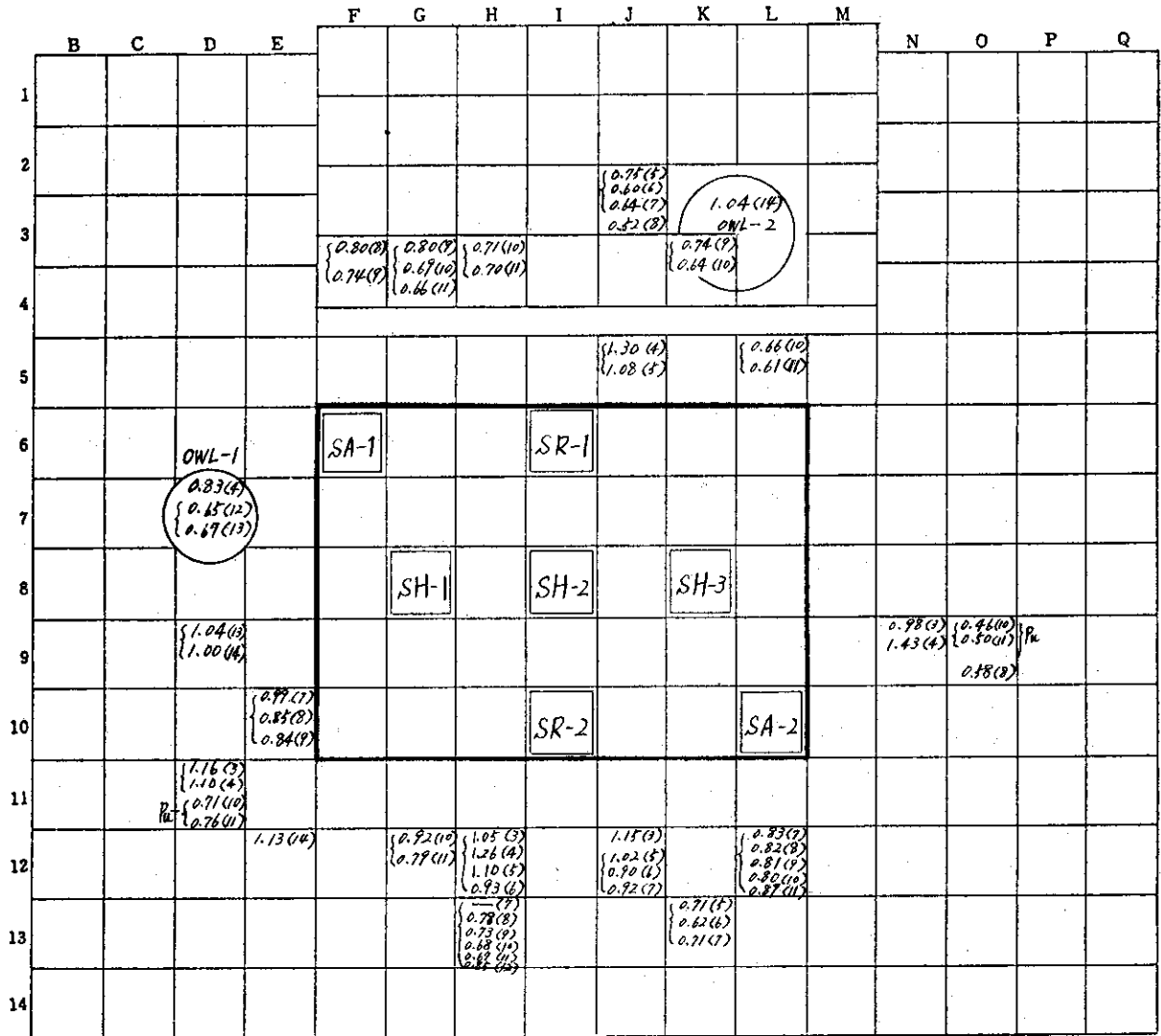


Fig. 3-4 炉出力 (P_{CF})測定法の評価 (フォイル法との比)



(注) Gd 入り試料, 微発熱試料は除外した。
 Pu 印は Pu 入試料
 { で結んだものは連続照射のキャプセルである。

Fig 3 - 5 照射孔別の Q_{cal}/Q_{cF}

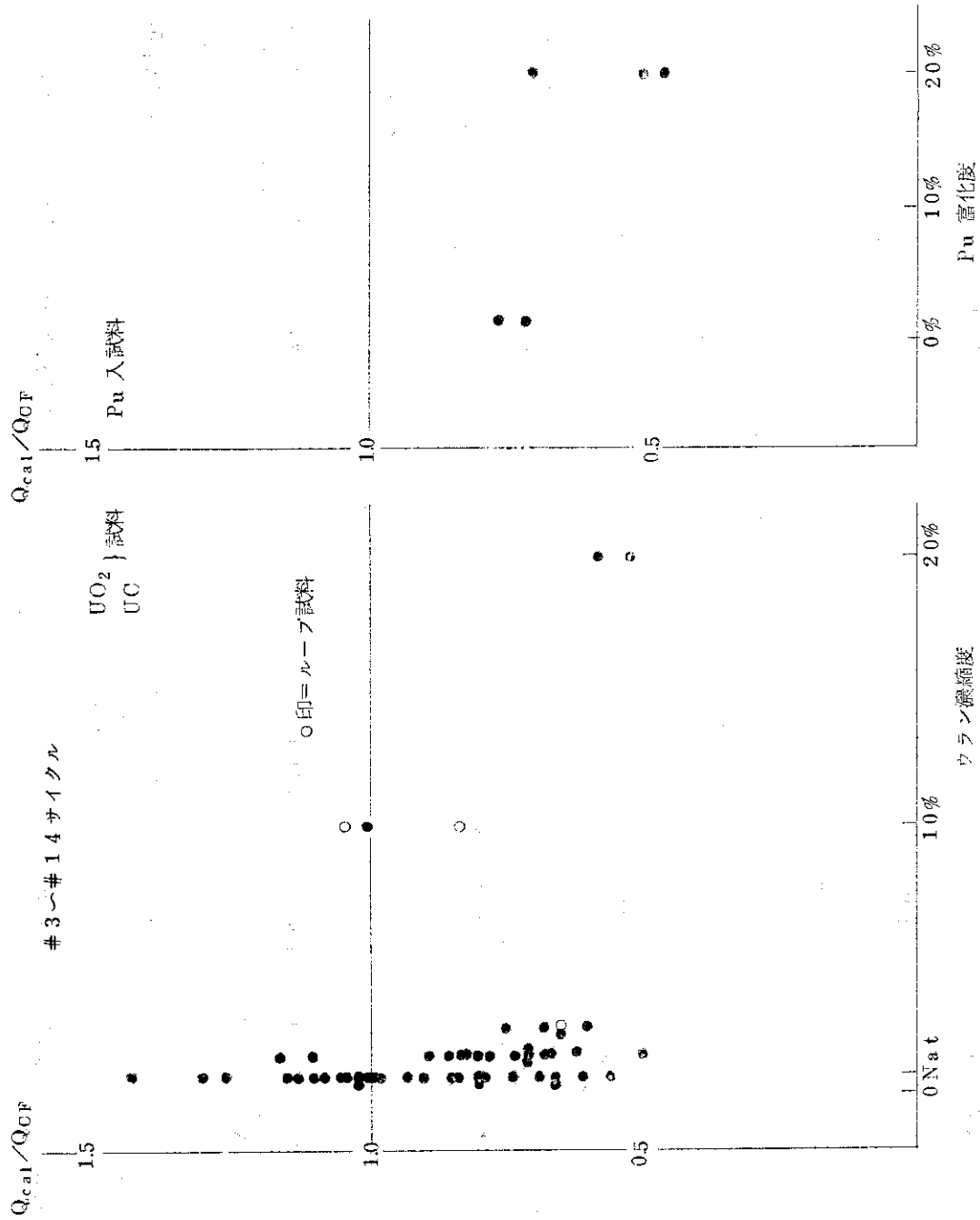
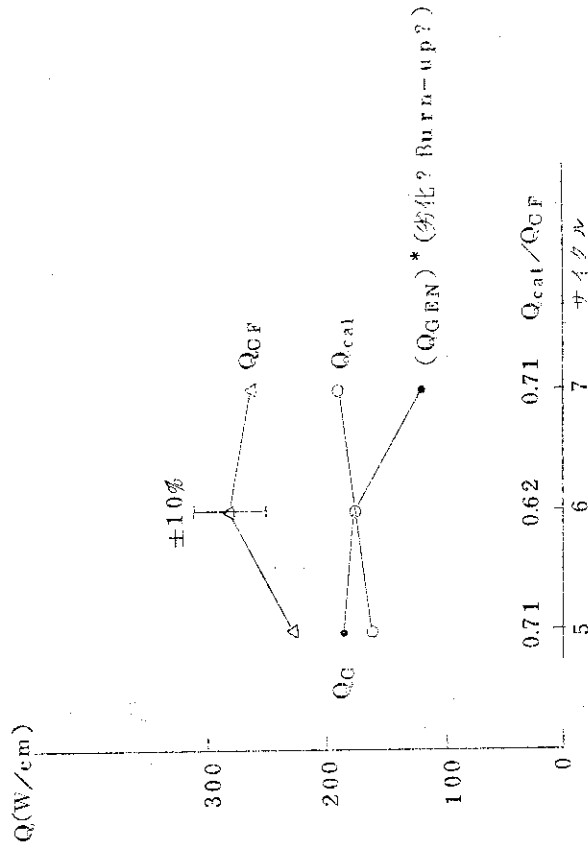


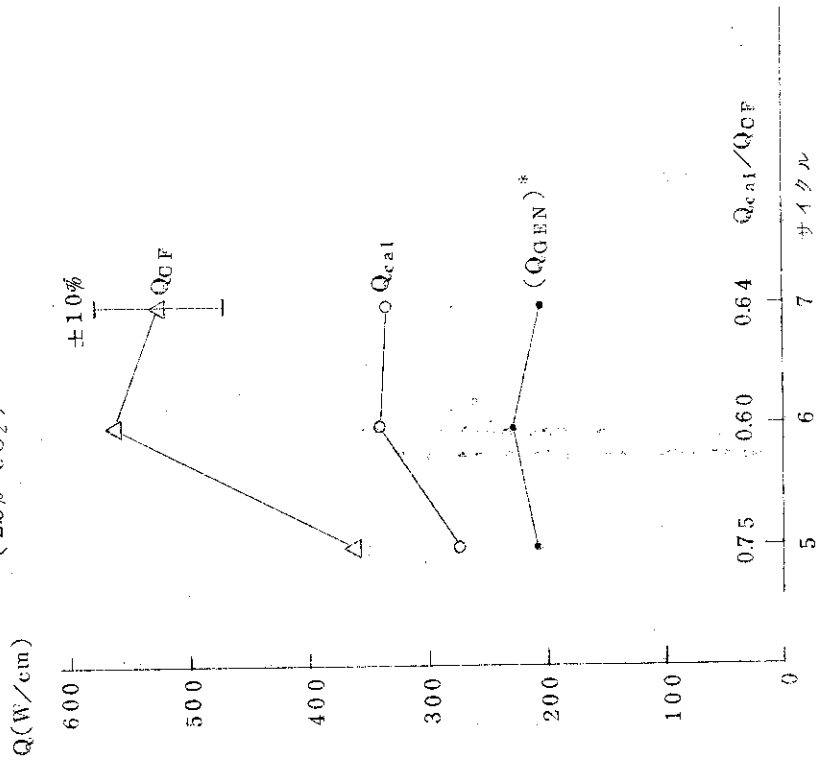
Fig. 3-6 濃縮度・富化度と Q_{eai}/Q_{CFP} の関連

67F-2G K-13
(15% UO₂ B₄C)



*本文 p53 の脚注をみよ

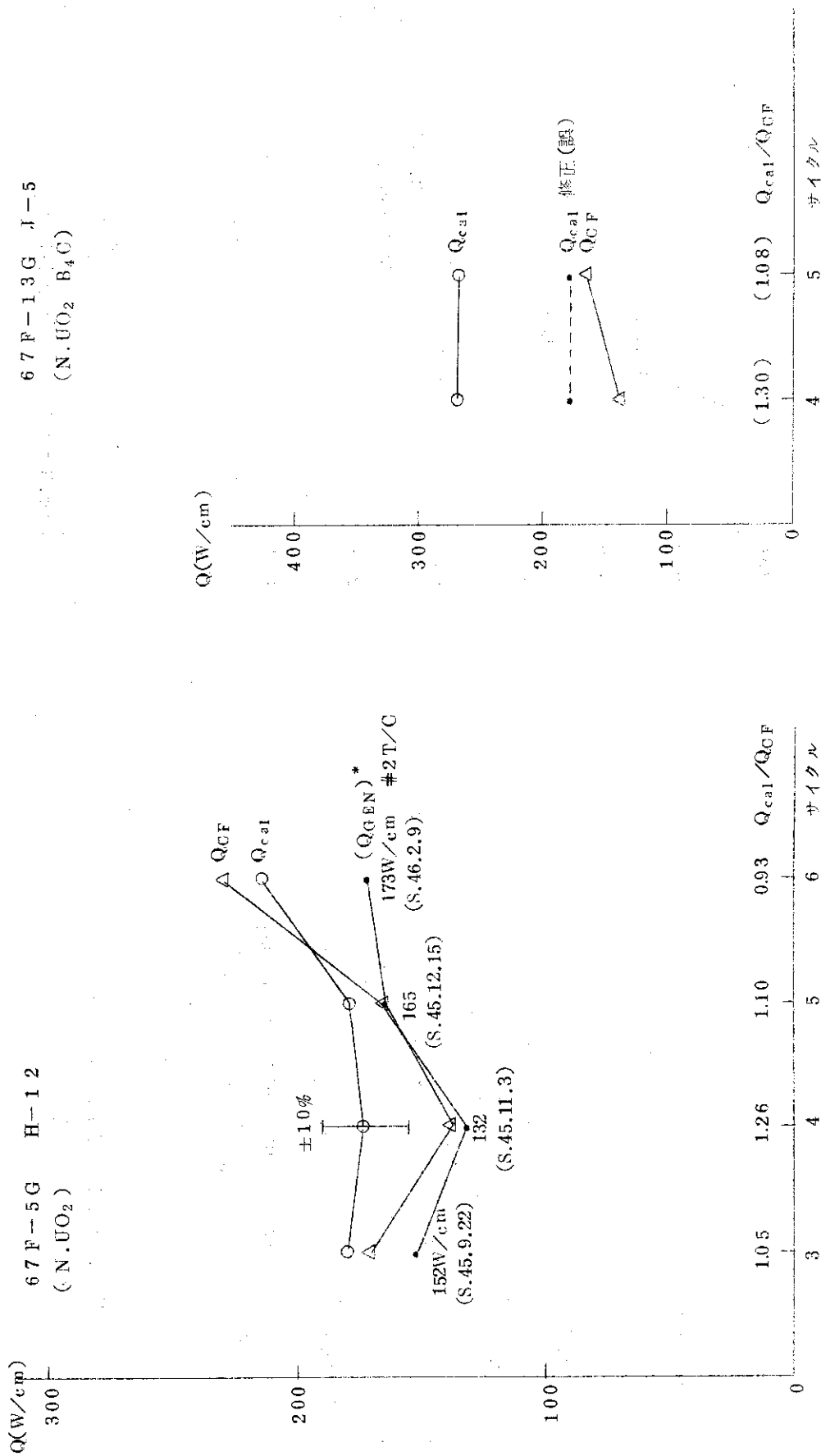
67F-1G J-3
(25% UO₂)



*本文 p53 の脚注をみよ

Fig. 3-3 67F-2Gの経過

Fig. 3-7 67F-1Gの経過

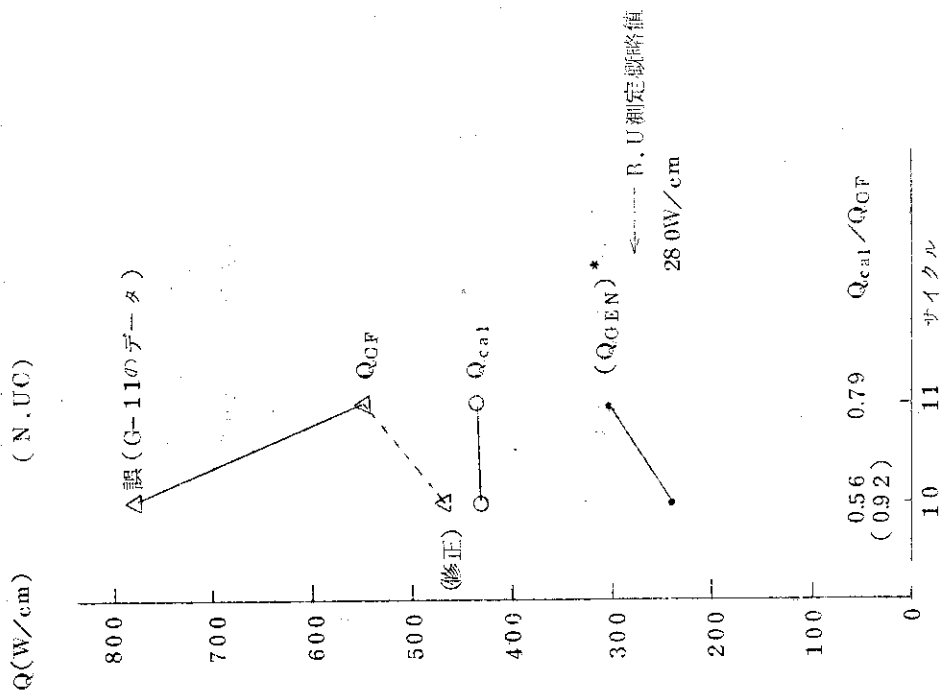


* 本文 p 53 の脚注をみよ

Fig. 3-9 67F-5Gの経過

Fig. 3-10 67F-13Gの経過

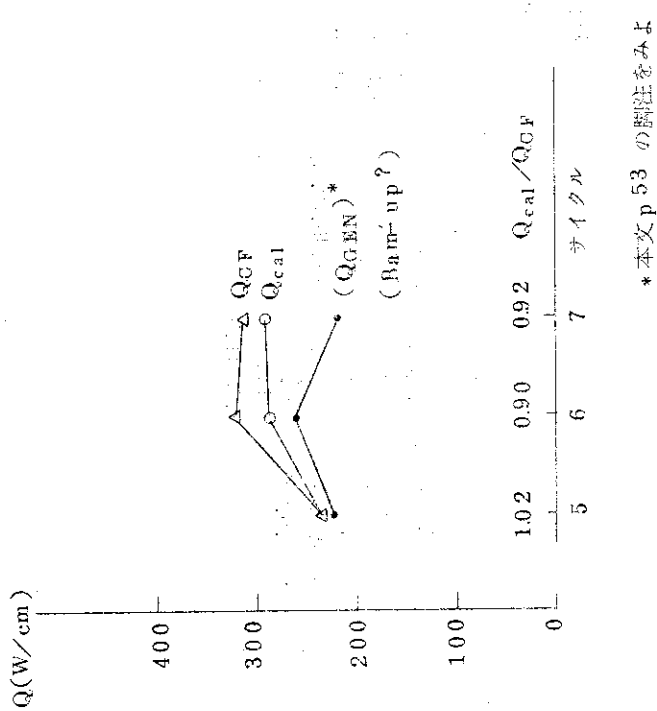
67F-24G G-12
(N,UC)



* 本文 p 53 の脚注をみよ

Fig. 3-12 67F-24G の経過

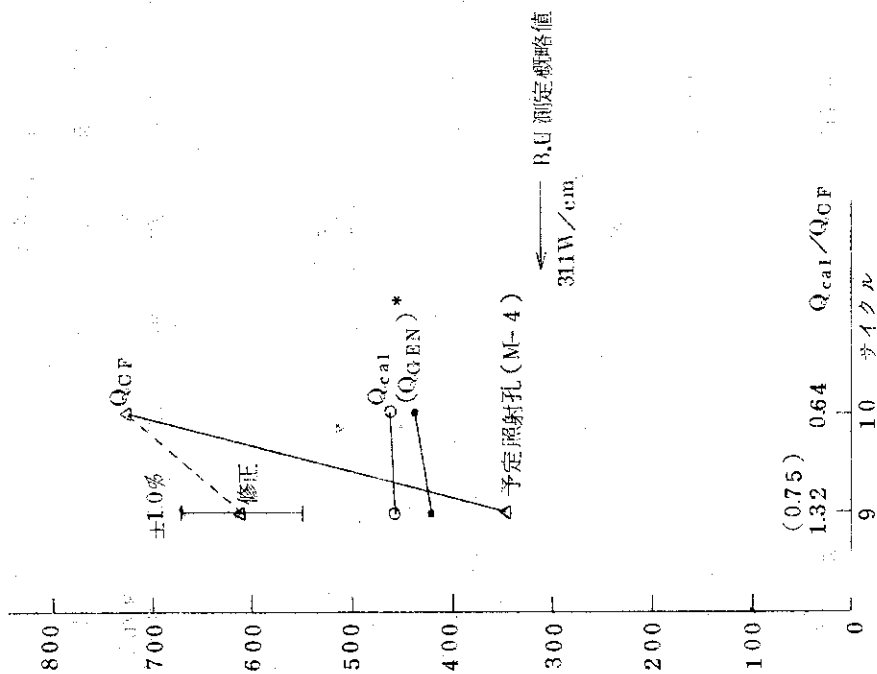
67F-14G J-12
(N, UO₂ B₄C)



* 本文 p 53 の脚注をみよ

Fig. 3-11 67F-14G の経過

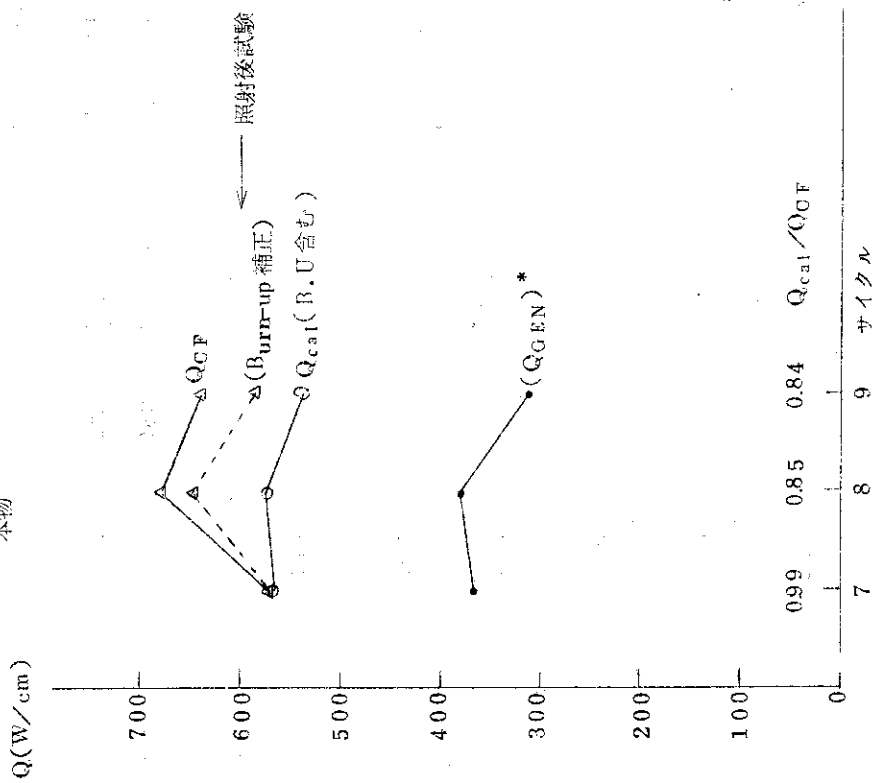
67F-31G K-4
(2.5% UC)



* 本文 p 53 脚注をみよ

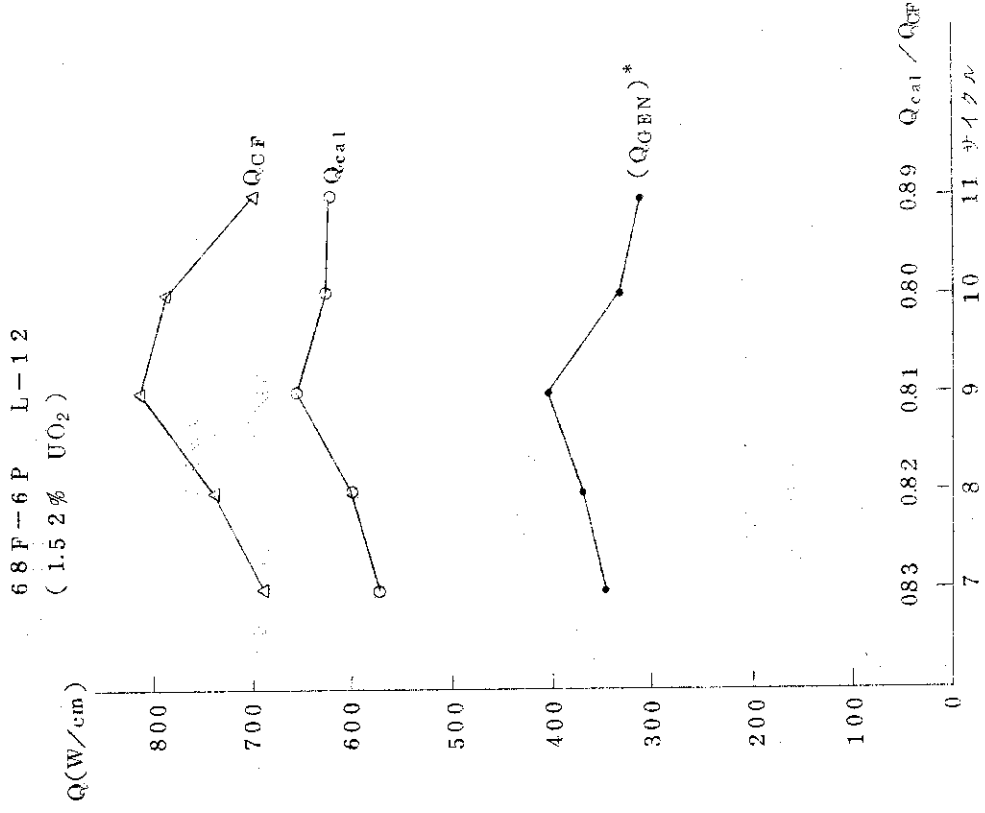
Fig. 3-13 67F-31G の経過

67F-33G E-10
(N₂UO₂)
本物

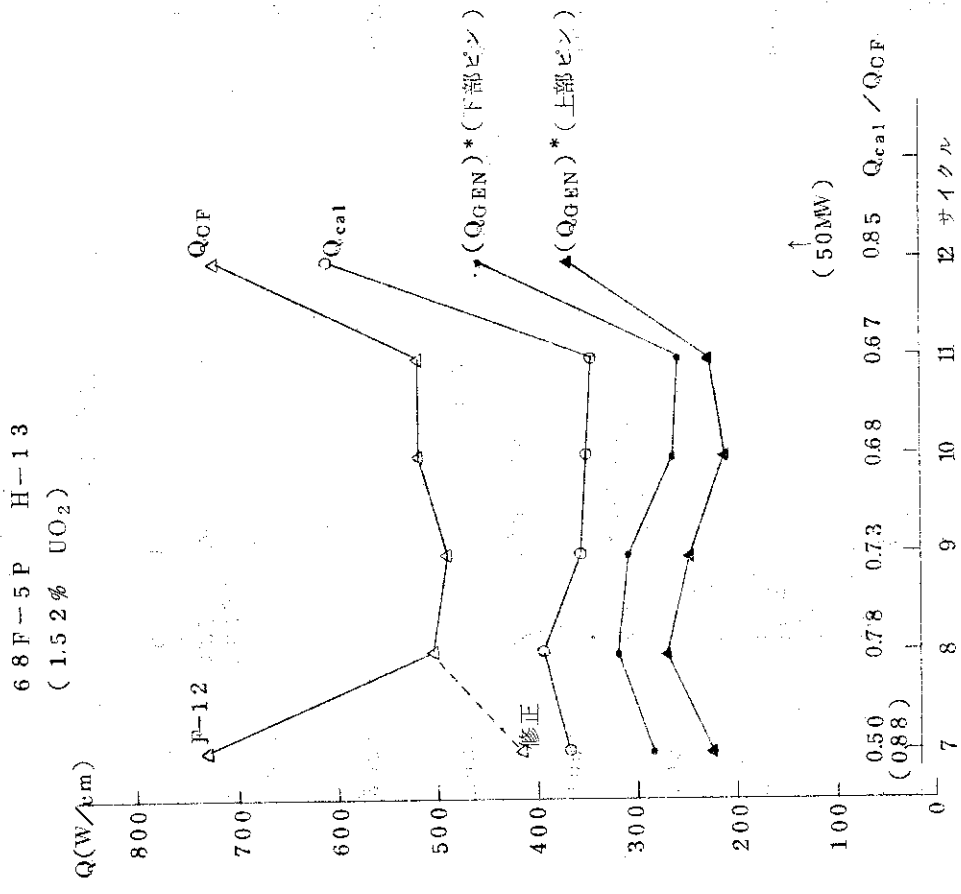


* 本文 p 53 の脚注をみよ

Fig. 3-14 67F-33G の経過



* 本文 p 53 の脚注をみよ



* 本文 p 53 の脚注をみよ

Fig. 3-16 68F-6P の経過

Fig. 3-15 68F-5P の経過

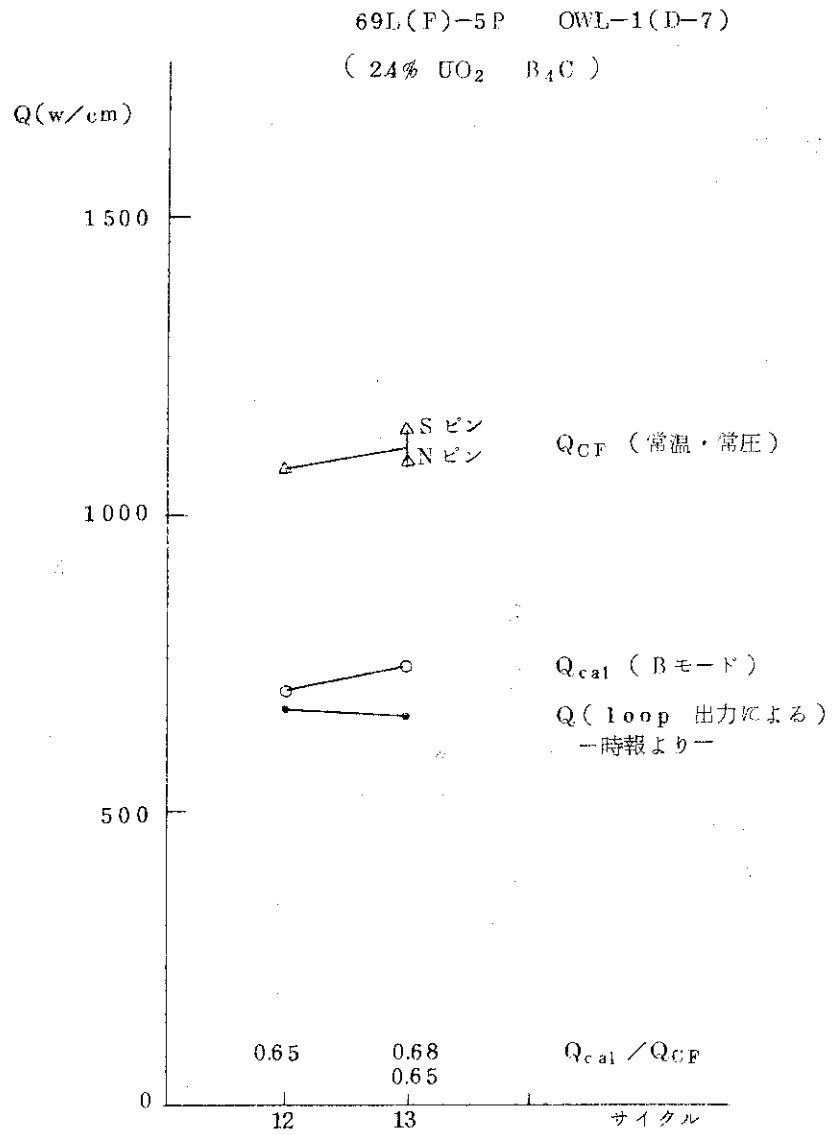


Fig. 3-17 69LF-5P の経過

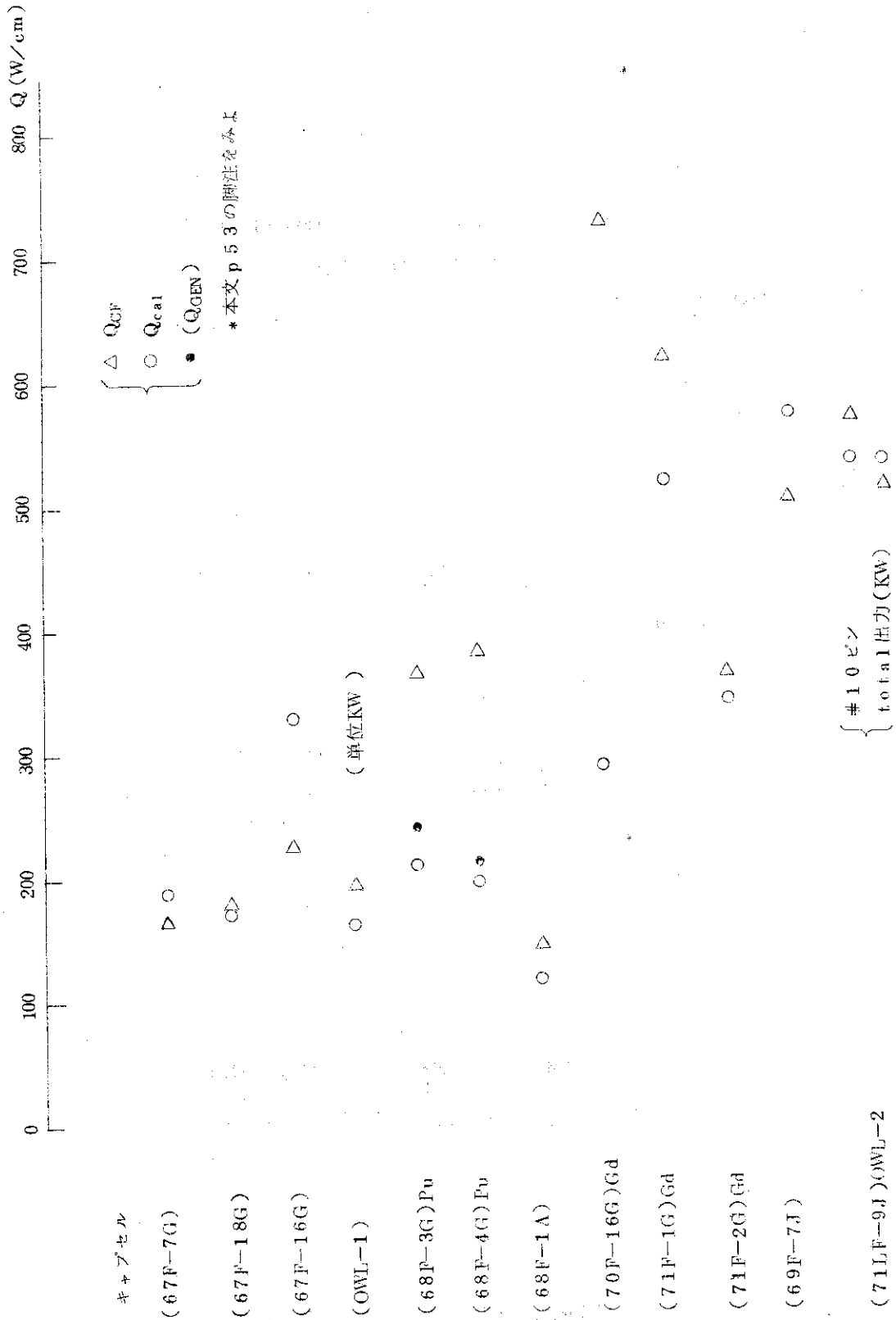


Fig. 3-18 I サイクル照射キャプセルの発熱量推定値

4. ま と め

※3サイクル～※14サイクルで照射された35本(延べ74本)のキャプセルについて Q_{CF} , Q_{cal} の総括を行ない、現状の分析と今後の改良策を検討した。作業の主力は2つの発熱量推定値の一致度の追求に置いた。誤差をもたらす因子が多すぎて判断に苦しむケースもあったが結果としては有益な指針を得る事が出来た。

先ず Q_{cal}/Q_{CF} の形で両者の一致度を表すと次のような値を示している。

$$Q_{cal}/Q_{CF} = \begin{cases} 0.838 \pm 0.208 (\sigma) \cdots (\text{Gd 入試料, 微少発熱試料を除く全平均}) \\ 0.855 \pm 0.203 (\sigma) \cdots (\text{Pu 入試料, Gd 入試料, 微少発熱試料を除く全平均}) \end{cases}$$

現状では発熱量推定の精度として Q_{CF} , Q_{cal} とそれぞれ $\pm 20\%$ を目標としているので上記の数値は満足すべきものである。しかし現実には推定の精度不足が痛感されて居り、このことは推定精度の目標を $\pm 10\%$ 程度にまで上げるべきことを示している。

今後の方向としては先ず Q_{cal}/Q_{CF} を一定の値に収れんさせることが第1であり、これによって次の作業のまとをしぼることができる。

Q_{CF} と Q_{cal} の関係については大略 $Q_{CF} > Q_{cal}$ の傾向が認められた。実際の発熱量との関係については予測値はこれとほぼ等しいケースとこれより高いケースがあるが、実際の発熱が評価できたケースについてそれが予測値より高かった例はなかった。

Q_{GEN} は一般的には Q_{CF} , Q_{cal} より低い傾向にあるが最近再計算されたケースでは Q_{CF} , Q_{cal} にかなり近い値を示したものもある。現時点で結論を出すのは適当でないと考えられる。 $Q_{CF} > Q_{cal} > Q_{GEN}$ の傾向を示す好例が Fig. 3-15 に示した 68F-5P の例である。 Q_{CF} , Q_{cal} , Q_{GEN} は各サイクルに亘ってほぼ安定した変遷を示し、3者の間に何等かの系統的なずれの原因が存在する可能性を示している。

67F-13G のケースについては核定数のあやまりを修正して妥当な値になったとされていたが総括作業の最終段階でもう一度確認した結果やはり説明のつかない差がある事がわかった。この原因究明は時間の関係もあり現時点では完了していない。

本分析でわかったように特に誤差の大きい試料は、微少発熱試料、Gd 入試料それに Pu 入試料である。微少発熱試料は安全上問題がなく、また照射の目的が発熱量にはない試料でもあるので特に現時点で発熱量推定に力を注ぐ必要性は少ない。Gd 入り試料については Gd の燃焼特性が不明なため時々刻々の発熱推移は評価できないのが現状である。しかし燃焼ゼロの時点または完全燃焼の時点いずれかについては CF 実験値と一致すべき性格のものである。初期の Gd 入り試料については NM として同位体比の異なる Gd を入れたものが提出されるなど初歩的なミスもあったが現状では大休他の試料と同程度に一致するようになって来た。Pu 入り試料については試料内中性子束分布の評価に問題が残っている。種々のパラメーターについて横孔ピン実験を行いたいところであるが試料の特殊性から極度の気密性が要求され横孔ピンの工作がむずかしい。したがって試料内中性子束分布は核計算により評価し 2~3 の代表的なケース

について実験によって核計算の妥当性を確認すると言う方策が最も实际的である。このほか、Pu 入り試料については熱外中性子スペクトルの影響が大きい。各照射孔位置およびキャプセル内部のスペクトルについては目下鋭意評価につとめているがその評価精度の向上は直接発熱量推定精度の向上につながっている。そのほか特殊な試料としては被覆粒子燃料が ± 16 サイクルに照射されることになるが、これら特殊試料については一般的に第1回には多少推定精度が劣り、経験を積むに従って精度が向上する傾向にある。したがってこれらについては本来ならばこれを予測し、これに対する技術を整備して照射申込みを待つと言った余裕のある態度をとるべきであろう。

本分析は Q_{CF} と Q_{cal} の一致度を、主として Q_{CF} の側から検討したものであるが、発熱量推定の目的はあくまで実際の発熱量をいかに精度よく予測するかにある事は明らかである。実際の発熱量を知る為のデータとして現在のところ最も信頼のおけるのは burn-up 測定によるものである。この方法の欠点はデータを得られるのが時期的にかなり遅くなること、予想値との比較には照射履歴、制御棒位置の効果、試料の burn-up など各種の補正が必要なことである。しかしこの欠点にもかかわらずこの方法で期待される精度は他の方法に比べて極めて高いと信じられるので burn-up 測定に対する期待は大きい。

これに対しループ試料では照射中にループ出力として全発熱量が得られる。ガンマ加熱分の評価、ピン毎の出力分担、ピン縦方向のピーキング係数、中性子温度(あるいはスペクトル)の影響、ループ出力測定法など評価誤差の入りやすい点はあるが、このループ出力は推定値評価の極めてよい指針となる。

照射中の温度測定データを利用した Q_{GEN} については今回の分析では補助的に扱った。しかし各サイクル間での発熱量の推移については熱電対の劣化等がない限り極めてよい指標となる。これを基準にして Q_{CF} または Q_{cal} の評価ミスを判定することができ、 Q_{CF} 、 Q_{cal} の評価値の分散の程度を知ることも出来る。

一方、 Q_{GEN} はループ試料を除き照射中に得られる唯一の発熱量の指標である。したがってこれについても現在の技術レベルによる再評価およびその結果とこの総括表との対比は極めて有益であると思われる。巻末第2表・第3表にそれぞれ Q_{GEN} と比較出来る性格の Q_{CF} および Q_{cal} を示したのはこのためである。

燃料試料の B_4O 粉末による模擬については十分粒度の小さいものを使用すれば微濃縮・細径の試料については十分な精度で模擬出来ることがわかった。しかし高濃縮・太径の試料およびPu入り試料については誤差が大きく代替品としては不適當である。これに加えて模擬の様子についても実験では Q_{CF} を大きく見積る方向、核計算ではその逆の方向と相異なる結果が得られておりこの点の解明も急がねばならない。

JMTRC自体の模擬性(JMTRとの構造的な相違)については現状では反射体第4層目を除き補正は行なっていない。しかし反射体の水比の違いは当初の予想より影響が大きいことがわかった。したがって推定値の精度が向上するにつれてこの補正が必要となって来る。例えば近い将来には各サイクルについてそれぞれJMTRの定数およびJMTRCの定数による核計算を行ない各照射孔の比によって Q_{CF} を補正する方法もとられることになろう。

Q_{CF} 推定作業の中で最も不確実な要素を含むのはCF実験値からJMTR本体50MW時へ

の換算係数である。CFの出力を $\sim 5\text{ W}$ とすると 50 MW はその 10^7 倍であるのでこの間に誤差が入りやすい。

JMTR 本体でのノイズ法実験からは第II期炉心について補正係数 1.27 と云う値を得ているが、一方熱中性子束の比較測定ではCFと本体 16 MW では 1.0 （補正の必要なし）と云う値を得ている。また別にノイズ法におけるG-factorは仮想的な一点モデルではじめて 1.0 であり現実の体系ではこれからずれて来る筈でありこれらの間の説明は未だついていない。

したがってこの補正係数については今後なるべく多くの方法で追及する必要がある。

次に重要なのはCF炉出力 P_{CF} の測定精度である。例えばFig. 3-4に見られるように炉出力の測定ミスがあれば正しい Q_{CF} は望み難い。1ヶの放射化箱の計測ミスであれば他のデータから十分な精度で修正が可能の場合もあるが、炉出力の場合フォイル法のデータによる修正では十分な精度は期待できずあくまで大きなミスの防止と云う範囲にとどまっている。

また本分析では特にふれなかったが放射化箱の測定精度が要求されるのは当然である。放射化箱の測定には、(1) Dy, Cuなどの相対測定と、(2) Auによる絶対測定の2つの面がある。(1)については従来はGM管による β 線測定で行っていたが、これは試料の形状や測定の幾何学的条件の影響を受けやすいので全面的にシンチレーション計数方式に改めた。(2)の絶対測定については $\beta-\gamma$ 同時計数法を用いているが測定器のセッティングをミスして全く誤ったデータを得た経験に基づきその後はゲルマニウム検出器による γ 線定量測定でバックアップする方式とした。データ処理に使用する数値として $\beta-\gamma$ 同時計数法による結果をとる事については従来通りである。

この分析結果にもとづいて Q_{CF} 推定精度向上の方策として次のような方法をとることにした。基本方針としては、① Q_{CF} 算出のプロセスを各部分に分解し各部分についてミスをしていないかを出来る限り独立な2つ以上の方法によって確認するとともにその部分の精度を徹底的に追及する。一方、②いくつかのプロセスを経る事は誤差の増大をまねくため、より直接的な方法の開発につとめる、と云う事になる。 Q_{CF} 算出のプロセスをFig. 4-1に示した。この図の中でフィッシュンフォイル法と ϕ_{th} -本体/CF比実験が②のより直接的な方法の例である。

む す び

今回の分析にあたっては発熱量推定技術の初期のものと中期のものが混在しては有意な結論が出ないと判断し、 Q_{CF} については#14サイクル当時の技術レベルで再評価を行なった。従って相当の期間をさかのぼって当時の生データの妥当性の検討も必要となり、予想以上の時間を費してしまった。これに引続いて#15サイクル以降のデータについても分析を行なう予定であるがこの作業は今回にくらべかなり楽になるものと思っている。

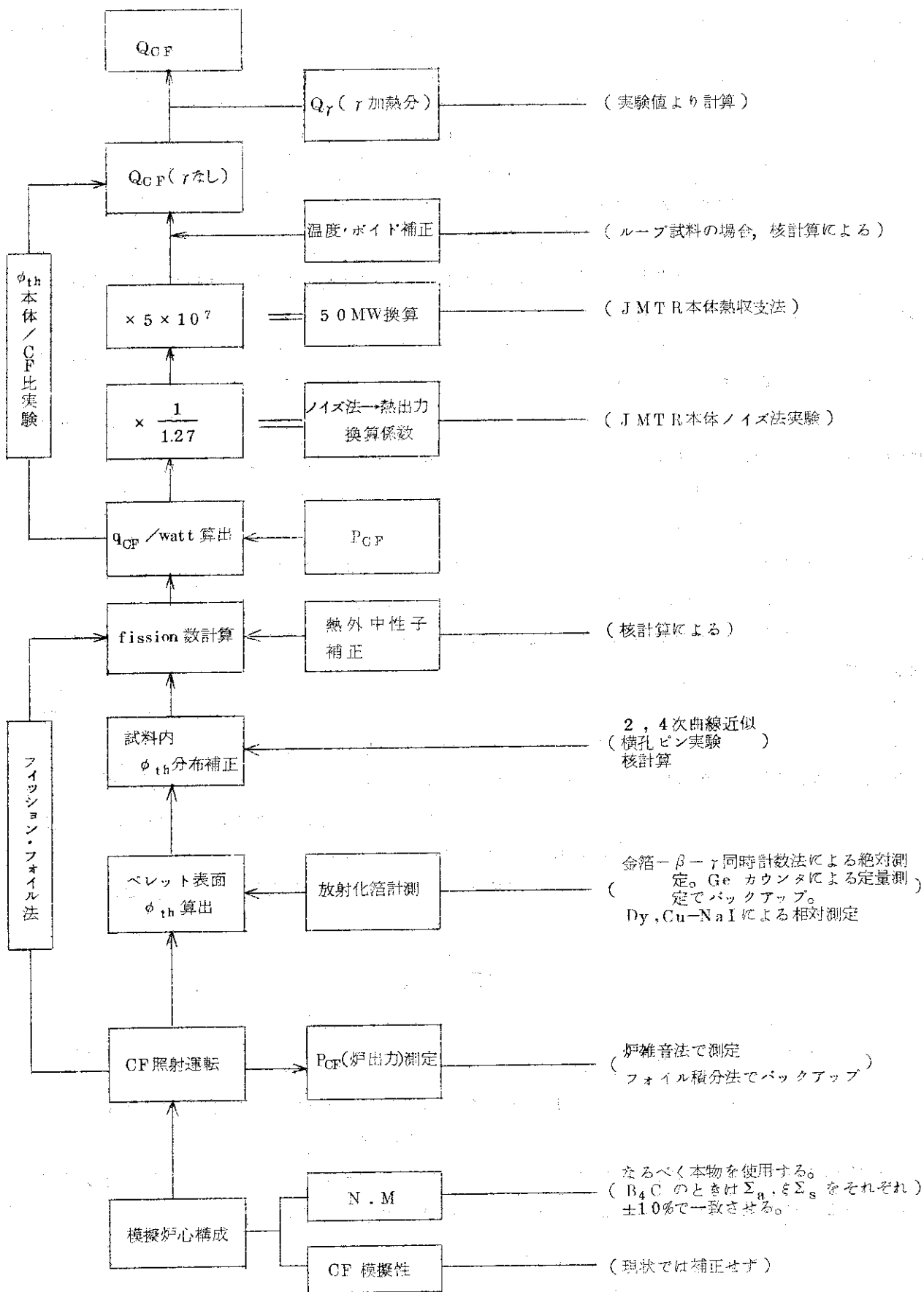


Fig.4-1 Q_{CF}推定のプロセス

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、終始試料発熱量推定技術の重要性を指摘され激励を頂いた八剣達雄部長、野村末雄次長に深く感謝します。

またQ_{GEN}のデータについて照射第1課長大内信平、同代理八巻治恵の両氏および照射第1課の各担当者の手をわずらわした。ここに感謝の意を表します。

5. [付録] Q_{CF} , Q_{cal} 総括一覧表

内 訳

- 第1表 試料発熱量(推定値)一覧
- 第2表 Q_{CF} 関係参考値
- 第3表 Q_{cal} 関係参考値
- 第4表 キャプセル別の Q_{cal}/Q_{CF}

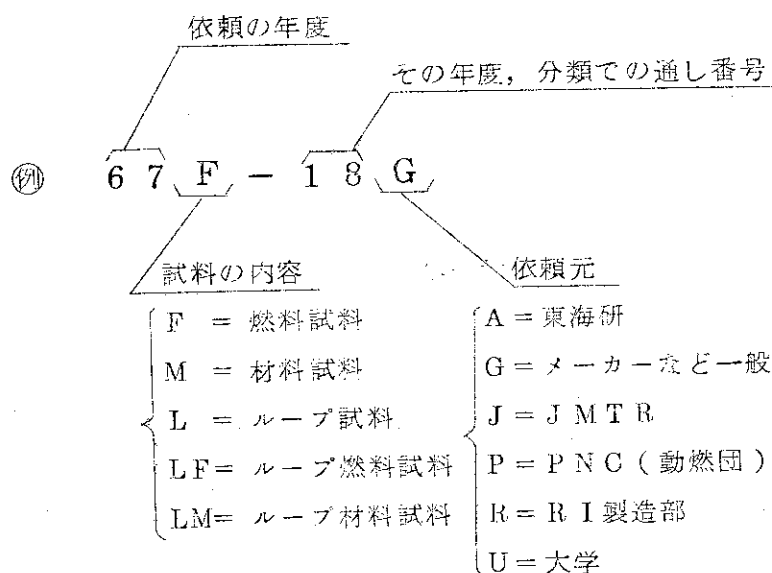
5.1 表のよみ方

発熱量推定の概況は第1表で見ることが出来る。第2表および第3表は、第1表で用いられる各数値の算出またはチェックに必要なデータを記載したもので夫々第2表が Q_{CF} 関係、第3表が Q_{cal} 関係である。第4表はキャプセル別に各サイクルの Q_{cal}/Q_{CF} をまとめたものである。本表に現われる主要な事項(術語)については §2 を参照されたい。

5.2 第1表の各欄の内容

第1欄: 運転サイクル

第2欄: キャプセル番号。これは下図のようなルールに従って命名されている。



第3欄: 照射サイクル数。従ってたとえば4とあれば当該サイクルを含めてその前後4サイクル同一キャプセルが照射されている。ただし同じ4サイクルでも第I期炉心(3~11サイクル)と第II期炉心(12サイクル以降)とでは照射目数は大きく変わってくる。

第4欄: Nuclear Mock-up (NM)として本物と殆んど変わらないものを用いたか B_4C によって模擬したかの別を示す。

第5欄: 照射孔の位置(番地)

第6欄: 照射孔の種別で反射体1層目(1), 反射体2層目(2), 反射体3層目(3), 燃料領域(F)

の別を示す。

- 第7欄：第2表のデータから現時点で最も正しいと思われる方法を用いて（必要ならば再計算して）算出した Q_{CF} （CF実験によって求めた推定発熱量）である。この欄ではノイズ法で求めたCF出力を基準として計算している。表中（）つきで示した数値は新解析器と対応のつかない時代の旧ノイズ法で求めたCF出力を基準としており（3～5サイクル）、新解析器と対応のつけられる旧解析器でのデータ（補正ノイズ法—6～10サイクル）および新解析器でのデータ（新ノイズ法—10～14サイクル）と区別している。
- 第8欄：第7欄のための参考データとして示したもので、この場合放射化箔積分法で求めたCF出力を基準にして計算している。
- 第9欄：核計算の手法で求めた推定発熱量 Q_{cal} であるが Q_{CF} と直接比較出来るようにするため炉出力をステップ状に最大出力へ上昇したと仮定した場合の起動時の発熱量に換算してある。実際にはこぶとり運転と俗称している出力上昇手順によって発熱の起動時ピーキングを防止する様にしているのでこの欄に示された状態は起らない。
- 第10～12欄：計算およびCF実験による2つの推定発熱量の一致度を見るために Q_{cal}/Q_{CF} の比を示したものである。各欄はそれぞれ新ノイズ法（補正ノイズ法を含む）、放射化箔積分法、旧ノイズ法を基準としたそれぞれの Q_{CF} に対応する値である。
- 第13～15欄：こぶとり運転をした場合の、熱電対（T/C）挿入位置での発熱量を示す。第15欄の Q_{GEN} というのは炉運転時の熱電対温度実測値から計算コードGENGTCを用いて計算（照射1課担当）した発熱量である。
- 第16欄：試料内容の概略を示す。（）つきで示したものはNMとして B_4C を用いたもの、（）なしは実際に核燃料物質を使用したことを示す。

5.3 第2表の各欄の内容

- 第1～2欄：第1表の場合と同じ。
- 第3欄：各サイクル実施時に運転計画書に記載された Q_{CF} （但しガンマ発熱分および熱外中性子寄与分を含まず）。単位はループ試料totalを除きwatt/cm。
- 第4欄：同上ガンマ発熱分および熱外中性子寄与分を含めた Q_{CF} 。
- 第5欄：各サイクル当時計算に用いた単位核分裂当りの発熱量。当時は安全側をとって200 MeV/fissionを採用していたが現在では透過力が大で試料内では発熱に寄与しない分を除外した176 MeV/fissionに統一している。但し系の大きいループ試料については196 MeV/fissionを採用している。
- 第6欄：熱外中性子の寄与を含める場合の換算係数。例えば1.054とあれば熱中性子寄与分を1.00として熱外中性子の寄与が0.054であることを示す。
- 第7欄：JMTR本体の出力は熱出力で、JMTRCの出力はノイズ法で測定される。この欄は両者の換算係数を示す。この値は第I期炉心（3～11サイクル）では1.12、第II期炉心（12サイクル以降）では1.27と求められている。すなわちJMTRCの出力を本体と同じ熱出力の物差しで表示するとすればノイズ法で測定した出力に

1.12 または 1.27 を乗ずる必要がある。従って Q_{CF} については次式のようになる。

$$Q_{CF} = (CF \text{ 内での発熱量}) \times \frac{\text{本体出力 (熱出力)}}{CF \text{ 出力 (ノイズ法)} \times (1.12 \text{ または } 1.27)}$$

なお、同欄の(未),(済)はサイクル当時の Q_{CF} (3 又は 4 欄)算出時にこの係数の補正が済んでいるか否かを示す。

第 8 ~ 9 欄: CF の出力 (watt) でノイズ法 (8 欄) および放射化箔積分法 (9 欄) で求めたもの。なお、ノイズ法で旧, 補正, 新とあるのは夫々旧解析器によるもの, 旧解析器で求めたものを新解析器での値に補正したもの, 新解析器によるものを示す。

第 10 欄: 現在試料中での中性子束の分布は 2 次曲線に近似している。第 3 ~ 6 サイクルではこれを折線で近似していたので当時の生データを用いて再計算を行なった。従ってこの欄に再計算とあるキャプセルの補正済み Q_{CF} (第 14 欄) は第 2 表のデータのみでは導けない。

第 11 欄: 各種の補正を施し現時点* で最も正しいと思われる発熱推定値 (起動時, ガンマ発熱分を含まない値)。

第 12 欄: こぶとり運転を行なった場合の Q_{CF} (γ なし) のサイクル中最大値, 通常の場合最大値はサイクル初期にあらわれる。

第 13 欄: ガンマ線による発熱量

第 14 ~ 15 欄: 第 11 ~ 12 の値に対しガンマ発熱分 (13 欄) を加えたもので最終的な Q_{CF} の値である。

第 16 欄: こぶとり運転を行なった場合の熱電対位置 (必ずしも最大発熱位置ではない) でのサイクル中最大発熱量。

5.4 第 3 表の各欄の内容

第 1 ~ 2 欄: 第 1 表, 第 2 表に同じ。

第 3 ~ 4 欄: 計算による推定発熱量, 但しセル (unit cell) 全体について平均した値として得られている。第 3 欄はサイクル当時の発表値, 第 4 欄は単位核分裂当り 176 MeV 発熱として換算した値。

第 5 欄: 軸方向発熱分布を考慮してセル平均 Q_{ca1} から軸方向最大の点での Q_{ca1} を得るための係数。

第 6 欄: 起動時の Q_{ca1} からサイクル中最大値を得るための係数。係数 = 1.00 とすることは起動時にサイクル中の最大値になることを示す。

第 7 欄: こぶとり運転と俗称されている運転方式を採用した場合に発熱量が減少する割合。試料発熱量は原子炉起動の極く初期に大きなピークを示す。このピーク発熱を軽減するため炉出力を一挙に全出力 50 MW にあげることをせず例えば 40, 45 MW 等のステップにおいて Xe の燃焼を待つような運転方式を採る。これを JMTR ではこぶとり運転と呼んでいる。

第 8 ~ 13 欄: 第 2 表に準ずる (説明省略)。

* #14 サイクル当時の意である。

第1表 試料発熱量(推定値)一覽(1)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
|----------|-----------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|--------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|----|----|----|----|--|
| サイ クル | キ ャ プ セル 番 号 | 照 射 サ イ ク ル 数 | NM | 照 射 孔 位 置 | 種 別 | 補 正 Q _{CP} ($\frac{W}{h}$) | 補 正 Q _{CP} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | 試 料 内 容 の 概 略 | | | | | |
| | | | | | | ノ イ ズ 法 基 準 ($\frac{W}{h}$) | フ ィ ル 法 基 準 ($\frac{W}{h}$) | ($\frac{W}{h}$) | ノ イ ズ 法 ($\frac{W}{h}$) | フ ィ ル 法 ($\frac{W}{h}$) | 補 正 Q _{CP} ($\frac{W}{h}$) | 補 正 Q _{CP} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | Q _{cal} ($\frac{W}{h}$) | | | | | | |
| 3 | 67F-5G | 4 | B, C | H-12 | 2 | (170) | 328 | 175 | ノイズ法 | 0.55 | 105 | ノイズ法 | 105 | 105 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 1 | " | J-12 | 2 | (164) | 315 | 188 | " | 0.60 | 115 | " | 115 | 115 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 2 | " | D-11 | 2 | (244) | 481 | 282 | " | 0.59 | 116 | " | 116 | 116 | (15% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 1 | " | N-9 | 2 | (177) | 342 | 173 | " | 0.51 | 98 | " | 98 | 98 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| 4 | 67F-5G | 4 | B, C | H-12 | 2 | (138) | - | 174 | ノイズ法 | - | 126 | ノイズ法 | 126 | 126 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 2 | " | D-11 | 2 | (215) | - | 236 | " | - | 110 | " | 110 | 110 | (15% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 2 | " | J-5 | 1 | (139) | - | 270 | " | - | 194 | " | 194 | 194 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 1 | " | N-9 | 2 | (228) | - | 326 | " | - | 143 | " | 143 | 143 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | E-10 | 1 | - | - | 99 | " | - | - | " | - | - | (19U注1) | | | | | |
| " | " | 1 | " | F-11 | 1 | - | - | - | " | - | - | " | - | - | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 1 | 本 物 | D-7 | 2 | (825+T) | - | - | " | - | - | " | - | - | 9935% UO ₂ | | | | | |
| 5 | 67F-1G | 3 | B, C | J-3 | 3 | (366) | 486 | 275 | ノイズ法 | 0.57 | 0.83 | ノイズ法 | 0.83 | 0.83 | (25% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | K-13 | 3 | (229) | 301 | 162 | " | 0.54 | 0.71 | " | 0.71 | 0.71 | (15% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 4 | " | H-12 | 2 | (164) | 213 | 180 | " | 0.85 | 110 | " | 110 | 110 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 2 | " | J-5 | 1 | (166) | 217 | 270 | " | 1.24 | 161 | " | 161 | 161 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | J-12 | 2 | (233) | 302 | 237 | " | 0.78 | 102 | " | 102 | 102 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | E-10 | 1 | - | - | - | " | - | - | " | - | - | (19U注1) | | | | | |
| " | " | 2 | 本 物 Gd | N-9 | 2 | (158補) | 196 | 42 | " | 0.21 | 0.27 | " | 0.27 | 0.27 | Gd ₂ O ₃ Nat UO ₂ | | | | | |
| " | " | 2 | 本 物 Gd | N-10 | 2 | (128補) | 162 | 54 | " | - | - | " | - | - | Gd ₂ O ₃ Nat UO ₂ | | | | | |
| 6 | 67F-1G | 3 | B, C | J-3 | 3 | 564 | 792 | 341 | (0.41) | 0.43 | 0.50 | (0.41) | 0.50 | 0.50 | (25% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | K-13 | 3 | 283 | 393 | 176 | (0.43) | 0.45 | 0.52 | (0.43) | 0.52 | 0.52 | (15% UO ₂) | | | | | |
| " | " | 4 | " | H-12 | 2 | 231 | 319 | 214 | (0.64) | 0.67 | 0.93 | (0.64) | 0.93 | 0.93 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | J-12 | 2 | 321 | 442 | 289 | (0.62) | 0.65 | 0.90 | (0.62) | 0.90 | 0.90 | (Nat UO ₂) | | | | | |
| " | " | 3 | " | E-10 | 1 | - | - | 108 | " | - | - | " | - | - | (19U注1) | | | | | |
| " | " | 2 | 本 物 Gd | N-9 | 2 | - | - | 44 | " | - | - | " | - | - | Gd ₂ O ₃ Nat UO ₂ | | | | | |
| " | " | 2 | 本 物 Gd | N-10 | 2 | - | - | 54 | " | - | - | " | - | - | Gd ₂ O ₃ Nat UO ₂ | | | | | |

↑ () 又はNM代表物使用

第1表 試料発熱量(推定値)一覽(2)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----------|-----------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|---|---|-----------------------------------|--|----|----|----|----|----|----|
| サイ クル | キャ プセル 番号 | 照 射 サ イ クル 数 | N.M. | 照 射 孔 位 置 種 別 | 補 正 Q _{cal} (二次曲線近似) | 補 正 Q _{cal} (相動時) | Q _{cal} (相動時) | ノ イ ズ 法 | フ ィ ル 法 | フ ィ ル 法 旧 ノ イ ズ 法 | Q _{cal} 最大値 (コ ア ト リ 時 % 位 置) | Q _{cal} (% 位 置) | 試 料 内 容 の 概 略 | | | | | | |
| 7 | 67F-1G | 3 | B ₄ C | J-3 3層目 | 526 | 558 | 336 | 0.64 | 0.60 | 0.86 | 283 | 205 | (3% UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | " | K-13 3 | 266 | 281 | 188 | 0.71 | 0.67 | 0.95 | 138 | 120 | (15% UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | " | J-12 2 | 312 | 334 | 292 | 0.92 | 0.87 | 1.23 | 226 | 219 | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | " | N-10 2 | 31 | 32 | 59 | 1.90 | 1.84 | 2.55 | - | - | 19U 注1 | | | | | | |
| " | " | 3 | 本物 | E-10 1 | 571 | 604 | 563 | 0.99 | 0.93 | 1.33 | 538 | - | Nat UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 3 | " | H-13 3 (P-12 731) | 415 | 775 | 368 | 0.50 | 0.47 | 0.67 | 263 | 250 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | 68F-5P | 6 | " | L-12 2 | 688 | 728 | 574 | 0.88 | 0.79 | 1.11 | 399 | 347 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 5 | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | | | | | | |
| 8 | 67F-3G | 2 | B ₄ C | F-4 2 | 280 | 268 | 224 | 0.80 | 0.84 | 1.30 | 171 | 160 | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | 本物 | E-10 1 | 677 | 647 | 575 | 0.85 | 0.89 | 1.38 | 444 | 350 | Nat UO ₂ | | | | | | |
| " | 68F-3G | 1 | " | O-9 3 | 365 | 348 | 210 | 0.58 | 0.60 | 0.84 | 169 | 220 | 20% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 1 | " | J-3 3 | 382 | 365 | 197 | 0.52 | 0.54 | 0.85 | 159 | 190 | 20% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 6 | " | H-13 3 | 507 | 484 | 396 | 0.78 | 0.82 | 1.27 | 272 | 260 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 5 | " | L-12 2 | 738 | 706 | 602 | 0.82 | 0.85 | 1.33 | 402 | 370 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | | | | | | |
| 9 | 67F-3G | 2 | B ₄ C | F-4 2 | 251 | 224 | 185 | 0.74 | 0.83 | 1.06 | 141 | 146 | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | " | G-4 2 | 280 | 250 | 225 | 0.80 | 0.90 | 1.15 | 171 | 148 | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | 本物 | K-4 2 (M-4 348) | 618 | 310 | 458 | 1.32 | (1.48) | (1.89) | 363 | 422 | 2.5% UC | | | | | | |
| " | " | 3 | " | E-10 1 | 636 | 567 | 533 | 0.74 | 0.84 | 1.20 | 410 | 337 | Nat UO ₂ | | | | | | |
| " | 68F-1A | 1 | B ₄ C | J-12 2 | 145 | 131 | 117 | 0.81 | 0.89 | 1.16 | - | - | (Nat UC, UC ₂) | | | | | | |
| " | " | 6 | 本物 | H-13 3 | 491 | 437 | 359 | 0.73 | 0.82 | 1.05 | 245 | 250 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 5 | " | L-12 2 | 814 | 726 | 656 | 0.81 | 0.90 | 1.16 | 440 | 405 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | | | | | | |
| 10-2 | 67F-4G | 3 | B ₄ C | G-4 2 | 356 | 347 | 246 | 0.69 | 0.71 | 1.07 | 186 | 150 | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 2 | " | L-5 1 | 465 | 454 | 309 | 0.66 | 0.68 | 1.02 | - | - | (Nat UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 2 | " | D-11 2 | 596 | 581 | 424 | 0.71 | 0.73 | 1.10 | 321 | 320 | (25W/o PuO ₂ -UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 2 | 本物 | G-12 2 (G-11 778) | 468 | 759 | 432 | 0.56 | (0.57) | (0.87) | 330 | 240 | Nat UC | | | | | | |
| " | " | 2 | 8F3G UO ₂ | M-4 2 | 581 | 566 | 412 | 0.92 | 0.71 | 1.10 | 335 | 265 | (20W/o PuO ₂ -UO ₂) | | | | | | |
| " | " | 3 | 本物 | K-4 2 | 727 | 709 | 466 | 0.64 | 0.66 | 0.99 | 459 | 435 | 2.5% UC | | | | | | |
| " | " | 2 | 8F4G UO ₂ | O-9 3 | 673 | 656 | 311 | 0.46 | 0.47 | 0.71 | 251 | 265 | (20W/o PuO ₂ -UO ₂) | | | | | | |
| " | 68F-5P | 6 | 本物 | H-13 3 | 520 | 507 | 352 | 0.68 | 0.69 | 1.05 | 241 | 215 | 152% UO ₂ | | | | | | |
| " | " | 5 | " | L-12 2 | 787 | 768 | 628 | 0.80 | 0.82 | 1.24 | 420 | 335 | 152% UO ₂ | | | | | | |

() 又は本物

第2表 Q_{CF} 関係参考値 (1)

| 1 サイクル 順 | 2 キャセル番号 | 3 Q _{CF} (当時) Q _{CF} (epi公) 公 称 | 4 当時 M _{CF} /fission | 5 epi 補正係数 | 6 熱/ノイズ 補正係数 | 7 ノイズ 補正係数 | 8 P _{CF} (W) ノイズ法 ファイブ法 | 9 ビン分布 近似法 | 10 補正済Q _{CF} (1本L) 起 動 時 | 11 補正済Q _{CF} (1本L) 起 動 時 | 12 Q _T | 13 補正済Q _{CF} 起 動 時 | 14 補正済Q _{CF} 起 動 時 | 15 補正済Q _{CF} 起 動 時 | 16 Q _{CF} 起 動 時 | 17 |
|----------------|-------------|---|-------------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|---|------------------|---|---|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 67F-5G | 186 | 200 | 1084 | 112(未) | 旧74 (NH3.717) | 409 | 2次曲線再計算 | 154 | 170 | 16 | 170 | 164 | | | |
| | | 188 | 200 | 1086 | | | | | 147 | 164 | 17 | 164 | | | | |
| | | 274 | 200 | 1028 | | | | | 231 | 244 | 13 | 244 | | | | |
| | | 183 | 200 | 1044 | | | | | 161 | 177 | 16 | 177 | | | | |
| 4 | 67F-5G | 187 | 200 | 1084 | 112(未) | 旧B22 | — | 2次曲線再計算 | 122 | 138 | 16 | 138 | | | | |
| | | 335 | 200 | 1030 | | 平均性 アナコン による。 | | | 202 | 215 | 13 | 215 | | | | |
| | | 172 | 200 | 1088 | | | | | 118 | 139 | 21 | 139 | | | | |
| | | 321 | 200 | 1023 | | | | | 201 | 228 | 27 | 228 | | | | |
| | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 760 | 200 | 1108 | 112(未) | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 179KW | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 67F-11G | 516 | 200 | 1046 | 112(未) | 旧111 | 933 | 2次曲線再計算 | 360 | 366 | 6 | 366 | | | | |
| | | 255 | 200 | 1043 | | 平均性 アナコン による。 | | | 216 | 229 | 13 | 229 | | | | |
| | | 212 | 200 | 1052 | | | | | 148 | 164 | 16 | 164 | | | | |
| | | 184 | 200 | 1074 | | | | | 147 | 168 | 21 | 168 | | | | |
| | | 282 | 200 | 1069 | | | | | 208 | 233 | 25 | 233 | | | | |
| | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 181 | 200 | 2044 | 112(未) | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 170 | 200 | 1587 | | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 548 | 200 | 1037 | 112(未) | 旧949 | 755 | 2次曲線再計算 | 558 | 564 | 6 | 564 | | | | |
| | | 247 | 200 | 1042 | | (補正65%) (不採用) | | | 270 | 283 | 13 | 283 | | | | |
| | | 205 | 200 | 1045 | | | | | 215 | 231 | 16 | 231 | | | | |
| | | 266 | 200 | 1059 | | | | | 296 | 321 | 25 | 321 | | | | |
| | | 89 | 200 | 1044 | | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 209 | 200 | 2006 | | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 162 | 200 | 1618 | | | | | — | — | — | — | — | — | — | — |

△—(2次曲線, 176 MeV.)

第2表 Q_{CF} 関係参考値 (2)

| 1 サイクル名 | 2 キャプセル番号 | 3 Q _{CF} (当時) | | 4 公称 | 5 当時 MeV | 6 epi 修正係数 | 7 熱/ノイズ 修正係数 | 8 POF (W) | | 9 ビン内分布 近次法 | 11 修正済Q _{CF} (7全L) | | 13 QT | 14 補正済Q _{CF} 起動時 | 15 サイクル最大 | 16 Q _{CF} (6位置) | 17 |
|------------|--------------|---------------------------|-------|---------|-------------|------------------|--------------------|--------------|-------|-------------------|--------------------------------|--------|----------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|----|
| | | Q _{CF} | epi | | | | | ノイズ法 | ファイナ法 | | 起動時 | サイクル最大 | | | | | |
| 7 | 67F-1G | 476 | 500 | | 200 | 1037 | 112(米) | 19957 | 754 | 2次曲線 | 520 | 6 | 526 | | 402 | | |
| | " | 231 | 253 | | 200 | 1039 | " | 補正714 | " | " | 253 | 13 | 266 | | 183 | | |
| | " | 261 | 301 | | 200 | 1057 | " | " | " | " | 291 | 25 | 316 | | 249 | | |
| | " | F10 | 19 | 30 | 200 | 1044 | " | " | " | " | 21 | 10 | 31 | | 21 | | |
| | " | 498 | 543 | | 200 | 1041 | " | " | " | " | 546 | 25 | 571 | | 544 | | |
| | " | (F-12, 658) | (695) | | 200 | 1034 | " | " | " | " | (718) | 13 | (731) | | 284 | | |
| | " | 596 | 655 | | 200 | 1038 | " | " | " | " | 402 | 36 | 415 | | 484 | | |
| | " | 6P | | | 200 | 1038 | " | " | " | " | 652 | 36 | 688 | | 484 | | |
| 8 | 67F-3G | 201 | 222 | | 200 | 1040 | 112(米) | 19105 | 757 | 2次曲線 | 267 | 13 | 280 | | 214 | | |
| | " | 489 | 535 | | 200 | 1043 | " | 補正645 | " | " | 652 | 25 | 677 | | 521 | | |
| | " | 273 | 286 | | 200 | 1038 | " | " | " | " | 362 | 3 | 365 | | 295 | | |
| | " | 285 | 299 | | 200 | 1038 | " | " | " | " | 379 | 3 | 382 | | 309 | | |
| | " | 373 | 399 | | 200 | 1035 | " | " | " | " | 494 | 13 | 507 | | 348 | | |
| | " | 527 | 585 | | 200 | 1041 | " | " | " | " | 702 | 36 | 738 | | 492 | | |
| 9 | 67F-3G | 202 | 224 | | 200 | 1045 | 112(米) | 1994 | 828 | 2次曲線 | 238 | 13 | 251 | | 192 | | |
| | " | 218 | 250 | | 200 | 1085 | " | 補正656 | " | " | 267 | 13 | 280 | | 214 | | |
| | " | (M-4, 290) | (310) | | 200 | 1044 | " | " | " | " | (341) | 7 | (348) | | 492 | | |
| | " | 520 | 568 | | 200 | 1044 | " | " | " | " | 611 | 25 | 636 | | 490 | | |
| | " | 86 | 114 | | 200 | 1237 | " | " | " | " | 120 | 25 | 145 | | - | | |
| | " | 409 | 438 | | 200 | 1038 | " | " | " | " | 478 | 13 | 491 | | 338 | | |
| | " | 664 | 727 | | 200 | 1040 | " | " | " | " | 778 | 36 | 814 | | 550 | | |
| 10-2 | 67F-4G | 282 | 295 | | 200 | 1076 | 112(米) | 19838 | 623 | 2次曲線 | 343 | 13 | 356 | | 244 | | |
| | " | 345 | 387 | | 200 | 1049 | " | 補正598 | " | " | 440 | 25 | 465 | | - | | |
| | " | 484 | 495 | | 200 | 1014 | " | 新 5.42(採用) | " | " | 571 | 25 | 596 | | 408 | | |
| | " | (G-11, 564) | (646) | | 200 | 1091 | " | " | " | " | (747) | 31 | (778) | | 317 | | |
| | " | 454 | 479 | | 200 | 1051 | " | " | " | " | 437 | 2 | 468 | | 496 | | |
| | " | 568 | 600 | | 200 | 1044 | " | " | " | " | 579 | 7 | 581 | | 523 | | |
| | " | 534 | 554 | | 200 | 1033 | " | " | " | " | 720 | 2 | 727 | | 415 | | |
| | " | 401 | 430 | | 200 | 1039 | " | " | " | " | 671 | 13 | 673 | | 319 | | |
| | " | 594 | 652 | | 200 | 1040 | " | " | " | " | 507 | 36 | 520 | | 473 | | |
| | " | 6P | | | 200 | 1040 | " | " | " | " | 751 | 36 | 787 | | 473 | | |

△ (2次曲線, 176 MeV.)

第2表 Q_{CF} 関係参考値 (3)

| サイ クル No | 2 キャ プセル 番号 | 3 Q _{CF} Q (1, epjなし) 公 務 | | 4 MeV/fission | 5 epj 修正係数 | 6 熱 修正係数 | 7 熱 ノイズ 修正係数 | 8 P _{CF} (W) | | 9 近似法 2次曲線 | 10 補正済 Q _{CF} (7なし) | | 11 補正済 Q _{CF} サイクル最大 | 12 Q _Y | 13 補正済 Q _{CF} サイクル最大 | 14 補正済 Q _{CF} サイクル最大 | 15 Q _{CF} (ϕ_0 位置) | 16 | 17 |
|----------------|----------------------|--|-------|------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|-------|------------------|---------------------------------|-------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|----|----|
| | | ノイズ法 | ファイラ法 | | | | | 起動時 | 停止時 | | | | | | | | | | |
| 11 | 67F-4G | 275 | 309 | 200 | 1076 | 112(未) | 旧859 | ノイズ法 | ファイラ法 | 2次曲線 | 360 | 373 | 258 | 13 | 373 | | | | |
| " | " | 377 | 420 | 200 | 1049 | " | 新555 | " | " | " | 480 | 505 | | 25 | 505 | | | | |
| " | " | 507 | 539 | 200 | 1014 | " | | " | " | " | 625 | 650 | 452 | 25 | 650 | | | | |
| " | " | 391 | 458 | 200 | 1091 | " | | " | " | " | 519 | 550 | 374 | 31 | 550 | | | | |
| " | " | 454 | 479 | 200 | 1051 | " | | " | " | " | 580 | 582 | 501 | 2 | 582 | | | | |
| " | " | 539 | 570 | 200 | 1053 | " | | " | " | " | 691 | 693 | 423 | 2 | 693 | | | | |
| " | " | 401 | 430 | 200 | 1041 | " | | " | " | " | 507 | 520 | 318 | 13 | 520 | | | | |
| " | " | 524 | 582 | 200 | 1042 | " | | " | " | " | 664 | 700 | 469 | 36 | 700 | | | | |
| 第II期炉心(50MW) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-2 | 68F-5P | 858 | 912 | 176 | 1037 | 127(未) | 新800 | ノイズ法 | ファイラ法 | 2次曲線 | 700 | 722 | | 22 | 722 | | | | |
| " | " | 478 | | 176 | 1060 | " | | " | " | " | | 中止 | | | | | | | |
| " | " | 1151 | 1353 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 1018 | 1077 | | 59 | 1077 | | | | |
| 第III期炉心 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 69F-8J | 458 | 527 | 176 | 1060 | 127(未) | 新846 | ノイズ法 | ファイラ法 | 2次曲線 | 382 | 424 | | 42 | 424 | | | | |
| " | " | 523 | 912 | 176 | 1374 | " | | " | " | " | 674 | 730 | | 56 | 730 | | | | |
| " | " | 911 | 1308 | 176 | 1268 | " | | " | " | " | 887 | 938 | | 20 | 938 | | | | |
| " | " | 601 | 782 | 176 | 1191 | " | | " | " | " | 926 | 943 | | 13 | 943 | | | | |
| " | " | 1030 | 1326 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 325 | 364 | | 59 | 364 | | | | |
| " | " | 347 | 426 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 501 | 513 | | 59 | 513 | | | | |
| " | " | 594 | 720 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 1029 | 1088 | | | 1088 | | | | |
| " | " | 1163 | 1366 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 1063 | 1142 | | | 1142 | | | | |
| " | " | 1224 | 1435 | 176 | 1124 | " | | " | " | " | 104 | 104+ | | | 104+ | | | | |
| " | " | 117KW | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第IV期炉心 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 69F-7J | 535 | 624 | 176 | 1052 | 127(未) | 新934 | ノイズ法 | ファイラ法 | 2次曲線 | 443 | 504 | | 61 | 504 | | | | |
| " | " | 453 | 528 | 176 | 1073 | " | | " | " | " | 383 | 425 | | 42 | 425 | | | | |
| " | " | 560 | | 196 | 128 | " | | " | " | " | 564 | 572 | | 8 | 572 | | | | |
| " | " | 495KW | | 196 | 128 | " | | " | " | " | 498 | 514KW | | 16KW | 514KW | | | | |

△(2次曲線, 176MeV.)

第3表 Qcal 関係参考値 (1)

| 1 サイ クル | 2 キャプセル番号 | 3 Qcal(セル平均) 当 時 | | 4 178MeV/f 線量 (W/cm ²) | 5 軸方向ビーム 中心(C ₀) キック(C ₀) | 6 サイクル中ビーム キック(C ₀) 係 数 | 7 コブトリ 係 数 | 8 Qcal(77°) | | 9 Qcal(77°) (サイクル最大) | 10 Q7 | 11 Qcal | | 12 Qcal (サイクル最大) | 13 Qcal (T/Q位置) | 14 |
|---------------|--------------|------------------------|----------------------|---|--|--|------------------|----------------|-------|----------------------------|----------|------------|----------|------------------------|-----------------------|----|
| | | (W/cm ²) | (W/cm ²) | | | | | (起動時) | (起動時) | | | (起動時) | (サイクル最大) | | | |
| 3 | 67F-5G | 117 | 105 | 155 | 10 | 1.1/1.18 | 163 | 171 | 163 | 163 | 16 | 179 | | | | |
| | 7G | 122 | 110 | 155 | 10 | | | 171 | | | 17 | 188 | | | | |
| | 10G | 295 | 265 | 112 | 11.0 | | | 269 | | | 13 | 282 | | | | |
| | 18G | 111 | 101 | 155 | 10 | | | 157 | | | 16 | 173 | | | | |
| 4 | 67F-5G | 114 | 102 | 155 | 10 | 1.1/1.18 | 158 | 223 | 158 | | 16 | 174 | | | | |
| | 10G | 245 | 220 | 112 | 11.0 | | | 223 | | | 13 | 236 | | | | |
| | 13G | 181 | 163 | 153 | 10 | | | 249 | | | 21 | 270 | | | | |
| | 16G | 215 | 193 | 155 | 10 | | | 299 | | | 27 | 326 | | | | |
| | 20U | 70 | 63 | 147 | 10 | | | 93 | | | 6 | 99 | | | | |
| | 21G | 78 | 7 | - | 10 | | | | | | 15 | | | | | |
| | OWL-1性能試験 | 151 | - | - | 1.185 | 10 | 161 | 161 | | | - | 161+7 | | | | |
| 5 | 67F-1G | 200 | 180 | 151 | 10.1 | 1.1/1.18 | 269 | 149 | 269 | | 6 | 275 | | | | |
| | 2G | 107 | 96 | 155 | 10 | | | 149 | | | 13 | 162 | | | | |
| | 5G | 118 | 106 | 155 | 10 | | | 164 | | | 16 | 180 | | | | |
| | 13G | 181 | 163 | 153 | 10 | | | 249 | | | 21 | 270 | | | | |
| | 14G | 153 | 137 | 155 | 10 | | | 212 | | | 28 | 237 | | | | |
| | 20U | - | - | - | 10 | | | - | | | - | - | | | | |
| | 28G | 12 | 11 | 155 | 10 | | | 17 | | | 25 | 42 | | | | |
| | 35G | 12 | 11 | 155 | 10 | | | 17 | | | 37 | 54 | | | | |
| 6 | 67F-1G | 249 | 224 | 151 | 10.1 | 1.1/1.18 | 335 | 163 | 335 | | 6 | 341 | | | 342 | |
| | 2G | 117 | 105 | 155 | 10 | | | 163 | | | 13 | 176 | | | 159 | |
| | 5G | 143 | 129 | 155 | 10 | | | 198 | | | 16 | 214 | | | 213 | |
| | 14G | 189 | 170 | 155 | 10 | | | 264 | | | 25 | 289 | | | 286 | |
| | 20U | 73 | 66 | 155 | 10 | | | 102 | | | 6 | 108 | | | 102 | |
| | 28G | 13 | 12 | 155 | 10 | | | 19 | | | 25 | 44 | | | 42 | |
| | 35G | 12 | 11 | 155 | 10 | | | 17 | | | 37 | 54 | | | 34 | |

第3表 Qcal 関係参考値 (2)

| 1 サイ クル | 2 キャプセル番号 | 3 Qcal (セル平均) | | 4 軸方向に 170MeV/1 換算 246 (W/cm ²) | 5 軸方向に ヤング(C ₁) ヤング(C ₂) | 6 ダイヤクサビ ヤング(C ₁) ヤング(C ₂) | 7 コアトリ 係 数 | 8 Qcal (7ナツ) | | 9 Qcal (最大) | 10 Q _T (W/cm ²) | 11 Qcal | | 12 Qcal (ダイヤクサビ最大) | 13 Qcal (T/C位置) | 14 | 15 |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|------------------|-----------------|--------|----------------|--|------------|--------|-----------------------|-----------------------|----|----|
| | | 当 時 (W/cm ²) | 換 算 (W/cm ²) | | | | | (起動時) | (7ナツ時) | | | (起動時) | (7ナツ時) | | | | |
| 7 | 67F-1G | 151 | 221 | 1.51 | 1.51 | 1.01 | 1.1/1.18 | 330 | 336 | | 13 | 336 | 283 | | | | |
| | " | 126 | 113 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 175 | 188 | | 13 | 188 | 138 | | | | |
| | " | 192 | 175 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 267 | 292 | | 25 | 292 | 226 | | | | |
| | " | 36 | 32 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 49 | 59 | | 10 | 59 | - | | | | |
| | " | 386 | 347 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 538 | 563 | | 25 | 563 | 538 | | | | |
| | 68F-5P | 255 | 229 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 355 | 368 | | 13 | 368 | 263 | | | | |
| | " | 386 | 347 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 538 | 574 | | 36 | 574 | 399 | | | | |
| 8 | 67F-3G | 153 | 137 | 1.54 | 1.54 | 1.0 | 1.1/1.18 | 211 | 224 | | 13 | 224 | 171 | | | | |
| | " | 395 | 355 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 550 | 575 | | 25 | 575 | 444 | | | | |
| | 68F-3G | 150 | 135 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 207 | 210 | | 3 | 210 | 169 | | | | |
| | " | 141 | 127 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 194 | 197 | | 3 | 197 | 159 | | | | |
| | " | 275 | 247 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 383 | 396 | | 13 | 396 | 272 | | | | |
| | " | 409 | 365 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 566 | 602 | | 36 | 602 | 402 | | | | |
| 9 | 67F-3G | 125 | 112 | 1.54 | 1.54 | 1.0 | 1.1/1.18 | 172 | 185 | | 13 | 185 | 141 | | | | |
| | " | 153 | 137 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 212 | 225 | | 13 | 225 | 171 | | | | |
| | " | 328 | 295 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 451 | 458 | | 7 | 458 | 363 | | | | |
| | " | 365 | 328 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 508 | 533 | | 25 | 533 | 410 | | | | |
| | 68F-1A | 66 | 59 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 92 | 117 | | 25 | 117 | | | | | |
| | " | 248 | 223 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 346 | 359 | | 13 | 359 | 245 | | | | |
| | " | 445 | 400 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 620 | 656 | | 36 | 656 | 440 | | | | |
| 10-2 | 67F-4G | 167 | 150 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | 1.1/1.18 | 233 | 246 | | 13 | 246 | 166 | | | | |
| | " | 204 | 183 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 284 | 309 | | 25 | 309 | | | | | |
| | " | 291 | 261 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 399 | 424 | | 25 | 424 | 321 | | | | |
| | " | 290 | 262 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 401 | 432 | | 31 | 432 | 330 | | | | |
| | " | 299 | 268 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 410 | 412 | | 2 | 412 | 335 | | | | |
| | " | 334 | 300 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 459 | 466 | | 7 | 466 | 459 | | | | |
| | " | 224 | 202 | 1.53 | 1.53 | 1.0 | | 309 | 311 | | 2 | 311 | 251 | | | | |
| | 68F-5P | 244 | 219 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 399 | 352 | | 13 | 352 | 241 | | | | |
| | " | 425 | 382 | 1.55 | 1.55 | 1.0 | | 522 | 628 | | 36 | 628 | 420 | | | | |

第3表 Q_{cal} 関係参考値 (3)

| 1 サイト クル | 2 キャプセル番号 | 3 Q _{cal} (セル平均) 当時 (W/セル) | 4 輻方向平均 176MeV/n 質量 (W/セル) | 5 輻方向平均 ヤング(C ₁) | 6 サイト中心 ヤング(C ₂) | 7 コフトリ 係数 | 8 Q _{cal} (7ナツ) | | 9 QT (W/セル) | 10 Q _{cal} | | 11 Q _{cal} (T/C位置) | 12 Q _{cal} (サイト最大) | 13 Q _{cal} (T/C位置) | 14 |
|----------------|-------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------|-------------------|------------------------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| | | | | | | | (起動時) | (サイト最大) | | (起動時) | (サイト最大) | | | | |
| 11 | 67F-4G | 166 | 151 | 155 | 10 | 11/118 | 234 | | 13 | 247 | 181 | | | | |
| | 8G | 204 | 183 | 155 | 10 | | 284 | 25 | 25 | 309 | | | | | |
| | 23G | 342 | 307 | 153 | 10 | | 470 | 25 | 25 | 495 | 384 | | | | |
| | 24G | 293 | 264 | 153 | 10 | | 404 | 31 | 31 | 435 | 314 | | | | |
| | 25G | 296 | 266 | 153 | 10 | | 407 | 2 | 2 | 409 | 333 | | | | |
| | 36G | 253 | 227 | 153 | 10 | | 347 | 2 | 2 | 349 | 284 | | | | |
| | 68F-5P | 240 | 216 | 155 | 10 | | 335 | 13 | 13 | 348 | 240 | | | | |
| | 6P | 422 | 379 | 155 | 10 | | 587 | 36 | 36 | 623 | 421 | | | | |
| II 炉心 (5 OMW) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-2 | 68F-5P | - | 380 | 155 | 10 | 11/118 | 589 | 22 | 22 | 611 | | | | | |
| | 69F-8J (中止) | - | - | - | 10 | | - | - | - | - | | | | | |
| | 69L-5P(SM) | - | 424 | 152 | 10 | | 644 | 59 | 59 | 703 | | | | | |
| | total | - | - | - | 10 | | - | - | - | - | | | | | |
| 13 | 69F-8J | - | 264 | 152 | 10 | 11/118 | 401 | 42 | 42 | 443 | | | | | |
| | 70F-16G | - | 154 | 152 | 10 | | 234 | 56 | 56 | 290 | | | | | |
| | 71F-1G | - | 328 | 152 | 10 | | 499 | 20 | 20 | 519 | | | | | |
| | 2G | - | 216 | 152 | 10 | | 328 | 13 | 13 | 341 | | | | | |
| | 69L-5P | - | 441 | 155 | 10 | | 684 | 59 | 59 | 743 | | | | | |
| | total | - | - | - | 10 | | - | - | - | - | | | | | |
| 14 | 69F-7J | - | 336 | 152 | 10 | 11/181 | 511 | 61 | 61 | 572 | | | | | |
| | 8J | - | 252 | 152 | 10 | | 384 | 42 | 42 | 426 | | | | | |
| | 71LF-9J #10² | - | 427 | 134 | 10 | | 528 | 8 | 8 | 536 | | | | | |
| | 71LF-9J(total) | - | - | - | 10 | | 521KW | 16KW | 16KW | 537KW | | | | | 8E-10 |

第4表 キャプセル別のQcal/QOP一致度 (1)

| キャプセル番号 | 濃度 W% | 試料寸法 | 照射孔 | 絶方向位置 | Qcal/QOP | N.M |
|---------|------------------|--|------|-------|-----------------------------------|-----|
| 67F-1G | 29.46 (A) | 1503φ ×1041 | J-3 | 0 | 11 075(6) 11 060(6) | B,C |
| 67F-2G | 1.49 (A) | 1504φ ×1047 | K-13 | -67 | 11 071(6) 11 062(6) 071(7) | B,C |
| 67F-3G | N.U (A) | 1502φ ×150.0 | F-4 | 0 | 0.80(8) 0.74(9) | B,C |
| 67F-4G | N.U (A) | 1512φ ×299.4 | G-4 | -9 | 0.80(9) 0.69(9) 0.66(9) | B,C |
| 67F-5G | N.U (A) | 9899φ ×300.0 | H-12 | -10 | 11 105(8) 11 126(4) | B,C |
| 67F-7G | N.U (A) | ① 1004φ ×100.02 ② 1004φ ×100.02 ③ 1004φ ×100.00 | J-12 | ③ +5 | 11 093(6) 11 115(8) | B,C |
| 67F-8G | N.U (A) | 99φ ×150.02 | L-5 | -8 | 0.66(9) 0.61(9) | B,C |
| 67F-10G | 15178 (A) | 1504φ ×150.03 | D-11 | +202 | 11 116(8) 11 110(4) | B,C |
| 67F-13G | N.U (Canada) | 80φ ×119.5 | J-5 | 0 | 11 134(6) 11 161(6) | B,C |
| 67F-14G | N.U (Germany) | 125φ ×299.2 | J-12 | +4 | 11 102(6) 11 090(6) 0.92(7) | B,C |
| 67F-16G | N.U (A) | 1252φ ×150.10 | N-9 | +1 | 11 143(4) | B,C |

| キャプセル番号 | 濃度 W% | 試料寸法 | 照射孔 | 絶方向位置 | Qcal/QOP | N.M |
|---------|--|------------------|------|-------|-------------------------------|--------------------------|
| 67F-18G | N.U (Canada) | 1020φ ×120.39 | N-9 | -27 | 11 098(8) | B,C |
| 67F-19U | N.U Th | 微量 | N-10 | - | 1.90(7) | B,C |
| 67F-20U | N.U Th | 微量 | E-10 | - | - (6) - (6) - (6) | B,C |
| 67F-21G | N.U (Canada) | 800φ ×99.80 | F-11 | -132 | - (6) | B,C |
| 67F-23G | 25PuO ₂ | 10.0φ ×100 | D-11 | +1 | 0.71(9) 0.76(9) | B,C |
| 67F-24G | N.U (Canada) | 125φ ×120 | G-12 | 0 | 0.92(9) 0.79(9) | 本物 |
| 67F-25G | 20PuO ₂ | 55φ ×100 | H-4 | +1 | 0.71(9) 0.70(9) | 8F-3G UO ₂ |
| 67F-28G | 0.713 (A) 1.45 Gd ₂ O ₃ | 1243φ ×200 | N-9 | 0 | 11 027(6) - (6) | 本物 Gd入 |
| 67F-31G | 25 (A) | 990φ ×120 | K-4 | 0 | 0.74(9) 0.64(9) | 本物 |
| 67F-33G | N.U (A) | 124φ ×120 | E-10 | 0 | 0.99(7) 0.85(8) 0.84(9) | 本物 |
| 67F-35G | N.U (A) 1.01 Gd ₂ O ₃ | 1250φ ×200 | N-10 | +1 | - (6) - (6) | 本物 Gd入 |
| 67F-36G | 20PuO ₂ | 55φ ×100 | O-9 | +1 | 0.46(9) 0.50(9) | 8F-4G UO ₂ |
| 68F-3G | 20 | 55φ ×100 | O-9 | +1 | 0.58(8) | 本物 |

第4表-2 キャプセル別のQ_{cal}/Q_{CF}一致度 (2)

| キャプセル番号 | 濃縮度 w/o | 試料寸法 | 照射孔 | 縦方向位置 | Q _{cal} /Q _{CF} | N・M |
|---------|------------|-------------|------|------------|---|-----|
| 68F-4G | 20 | 55φ ×100 | J-3 | +1 | 0.52(8) | 本物 |
| 68F-5P | 15119 | 160×2 | H-13 | +98 -98 | 0.88 (0.50)(7) 0.78(9) 0.73(9) | 本物 |
| 68F-6P | 15119 | 160×2 | L-12 | +98 -98 | 0.83(7) 0.82(8) 0.81(9) | 本物 |
| 69F-7J | 0.715 | 151 | E-12 | -7 | 0.80(9) 0.89(9) | 本物 |

| キャプセル番号 | 濃縮度 w/o | 試料寸法 | 照射孔 | 縦方向位置 | Q _{cal} /Q _{CF} | N・M |
|---------|---------------------------|-------|-------|-------------------|-----------------------------------|-----------|
| 69F-8J | 0.715 | 100×2 | D-9 | +87 -180 | 中止時 1.04(9) 1.00(9) | 本物 |
| 69LF-5P | 2.403 | 750 | OML-1 | 0 | 0.65(9) 0.68 0.65(9) | B・C |
| 70F-16G | 12 Gd:2 20 0.5 12 4 | 100×3 | H-12 | +140 0 -170 | 0.40(9) | 本物 Gd入 |
| 71F-1G | 812 Gd | 200 | E-13 | 0 | 0.84(9) | Gd入 本物 |
| 71F-2G | 812 Gd | 200 | N-13 | -11 | 0.94(9) | Gd入 本物 |
| 71LF-9J | 2.510 | 750 | OML-2 | 0 | 1.04(9) | B・C |
| OML-1 | 9.935 | 750 | OML-1 | 0 | 0.83(4) | 本物 |