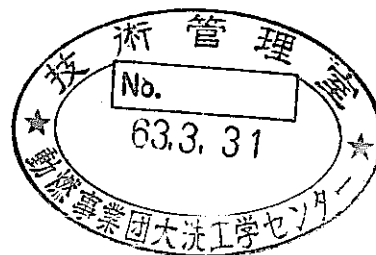


# 「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体(PFB031)の照射後試験(1)

— 集合体及び燃料要素の非破壊試験 —



1988年2月

| 技術資料コード                             |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| 開示区分                                | レポートNo.           |
|                                     | PNC TN9410 88-194 |
| この資料は 図書室保存資料です<br>閲覧には技術資料閲覧票が必要です |                   |
| 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室           |                   |

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

燃料材料開発部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

## 「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体(PFB031)の照射後試験(1)

— 集合体及び燃料要素の非破壊試験 —

実施責任者 田地 弘勝\*

報告者 小泉 敦裕\* 平澤 久夫\*

### 要 旨

「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体(PFB031)の健全性の確認及び照射初期の挙動を把握することを目的に照射後試験を実施した。試験は、外観検査を始めとする集合体試験、コンパートメント試験、さらにX線ラジオグラフィ等のピン試験を行った。

本集合体は、MK-II第12'(出力上昇時燃料組成変化測定試験)サイクルで照射されたものであり、その燃焼度はコンパートメント平均で約80 MWd/tである。

本試験の結果は以下のとおりである。

- (1) 集合体試験、コンパートメント試験、ピン試験の結果から、本集合体の健全性を確認した。
- (2) X線ラジオグラフィの結果から、「もんじゅ」仕様ピンに中心空孔が観察された。

---

\*大洗工学センター燃料材料開発部照射燃料集合体試験室(FMS)

## 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. まえがき .....                  | 1  |
| 2. B型特殊燃料集合体(PFB 031)の概略 ..... | 2  |
| 3. 照射条件 .....                  | 3  |
| 4. 照射後試験計画 .....               | 4  |
| 5. 試験結果 .....                  | 5  |
| 5.1 集合体試験 .....                | 5  |
| 5.1.1 外観検査 .....               | 5  |
| 5.1.2 X線ラジオグラフィー .....         | 5  |
| 5.1.3 解 体 .....                | 5  |
| 5.2 集合体部材試験 .....              | 5  |
| 5.2.1 ラップ管ガンママスクャン .....       | 5  |
| 5.3 コンパートメント試験 .....           | 5  |
| 5.3.1 外観検査 .....               | 5  |
| 5.3.2 X線ラジオグラフィー .....         | 6  |
| 5.3.3 解 体 .....                | 6  |
| 5.4 ピン試験 .....                 | 6  |
| 5.4.1 外観検査 .....               | 6  |
| 5.4.2 X線ラジオグラフィー .....         | 6  |
| 5.4.3 重量測定 .....               | 6  |
| 5.4.4 ガンママスクャン .....           | 7  |
| 5.4.5 パンクチャテスト .....           | 7  |
| 5.5 モニタ類の採取 .....              | 7  |
| 6. 結果の検討 .....                 | 8  |
| 6.1 集合体の健全性 .....              | 8  |
| 6.2 照射初期の挙動 .....              | 8  |
| 7. ま と め .....                 | 9  |
| 8. 参考文献 .....                  | 10 |

## List of Tables

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Table I   | Reference Table of Parts Number of Compartment ..... | 11 |
| Table II  | Fabrication Data of Fuel Pins .....                  | 12 |
| Table III | Subassembly Irradiation Conditions .....             | 13 |
| Table IV  | Pins Irradiation Conditions .....                    | 14 |
| Table V   | Results of Core Fuel Stack Length Change .....       | 15 |
| Table VI  | Results of Pin Weighing .....                        | 16 |

## List of Figures

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Fig. 1  | Schematic Drawing of the Subassembly and its Compartment (PFB031) .....        | 17 |
| Fig. 2  | Structure of Compartment .....   | 19 |
| Fig. 3  | In-Reactor Location of the Subassembly .....                                   | 21 |
| Fig. 4  | History of Reactor Power .....   | 22 |
| Fig. 5  | Flow Diagram of Postirradiation Examination of the Sub-assembly (PFB031) ..... | 23 |
| Fig. 6  | Pins Selected for the Examination .....  | 24 |
| Fig. 7  | Radial Distribution of Gamma Ray Intensity ( $^{58}\text{Co}$ , 0.811MeV) .    | 25 |
| Fig. 8  | Axial Distribution of Gamma Ray Intensity (Pin No. A602).....                  | 26 |
| Fig. 9  | Gamma-Ray Spectroscopy .....   | 27 |
| Fig. 10 | Specimen Holders in Compartments .....   | 28 |

## List of Photographs

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Photo. 1 | Surface Condition of the Subassembly .....  | 29 |
| Photo. 2 | Surface Condition of the Wrapper Tube .....   | 31 |
| Photo. 3 | X-ray Radiography of the Subassembly .....  | 33 |
| Photo. 4 | Condition of the Outer Surface of the Compartment and<br>Installation Condition of the Contents in Compartment .... | 35 |
| Photo. 5 | Installation Condition of the Fuel Pin Bundle and the<br>Content of Fuel Pins in Compartment .....                  | 37 |
| Photo. 6 | Specimen Holder without Cap and one with Cap .....  | 39 |

## 1. ま え が き

照射燃料集合体試験室（以下 FMS という）では、現在までに B 型特殊燃料集合体 4 体について照射後試験を実施してきた<sup>1)~4)</sup>。今回受入れた B 型特殊燃料集合体「PFB 031」は、出力上昇時の新燃料の組織変化を測定し、「もんじゅ」出力上昇時燃料温度評価コードである DIRAD コードを検証するために照射されたものである<sup>5)</sup>。また、CMIR 試験の温度評価精度を向上させるため、ステンレス鋼の  $\gamma$  発熱検定用データを得ることも照射試験の目的である<sup>6)</sup>。

FMS での照射後試験の目的は、高出力上昇速度（0.4 %/min）下における燃料ピンの健全性を確認すること、及び照射初期の挙動を把握することである。

## 2. B型特殊燃料集合体(PFB031)の概略

B型特殊燃料集合体(PFB031)は、Fig.1に示すようにハンドリングヘッド、ラッパ管、エントランスノズル、軸心管、コンパートメント及びコンパートメント支持機構等から構成されている。軸心管は正六角形断面のラッパ管の中央に配置され、コンパートメントがこの軸心管のまわりに等間隔に6体配置されている。そのうち2体のコンパートメントには燃料ピンが装荷され、4体のコンパートメントには $\gamma$ 発熱検定用のTED温度モニタのホルダが装填されている。各コンパートメント内の装荷状況をTable Iに示す<sup>7)</sup>。

コンパートメントNo.211はB2Mの予備用コンパートメントであり、「もんじゅ」仕様のB3M用のピン5本が装荷されている。コンパートメントNo.011はB0Jの予備用コンパートメントであり、「常陽」仕様のB0Jの予備ピン2本、B1Jの予備ピン1本が、感度校正用集合体用ダミーピン1本、FFDL試験用集合体用ダミーピン1本とともに装荷されている。各ピンの製造時データをTable IIに示す<sup>8),9)</sup>。計装用コンパートメントNo.C21, C22, C23, C24の4体は、CMIR-2用のコンパートメントであり、TED温度モニタを収納したホルダ7個が各コンパートメント軸方向に装填されている。Fig.2に計装用コンパートメントの構造を示す。なお、その他の集合体部材は、B3Mの予備用のものである。



### 3. 照 射 条 件

B型特殊燃料集合体(PFB 031)は、昭和61年11月7日に「常陽」MK-II炉心内ラック位置(R-23)に装荷された。その後同年11月8日にラッパ管のE面が炉心中心を向く方向で炉心装荷位置1A1に装荷され、同年11月13日及び14日の第12'(出力上昇時燃料組成変化測定試験(MPR))サイクルの間照射された。その後同年11月18日にラック位置(R-18)へ移送され、同年12月11日に炉外へ取り出された<sup>10)</sup>。Fig. 3に第12'サイクルの炉心構成と「PFB 031」の装荷位置を示す<sup>11)</sup>。

第12'サイクルでは、原子炉熱出力は、50 MWまで通常の出力量上昇速度(約0.1%/min)で上昇され、50 MWから100 MWまでは2.1 hrにわたり0.4%/minで上昇された。その後、100 MWで3.05 hr出力が保持された。停止操作では、50 MWまでは制御棒が連続的に挿入され、その後通常の出力量降下速度に戻された。原子炉熱出力の履歴をFig. 4に示す。

「PFB 031」の到達燃焼度はコンパートメント平均で約80 MWd/t、最大中性子照射量は約 $1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ )である。Table IIIに集合体の照射条件を、Table IVにピンの照射条件を示す<sup>12)</sup>。

## 4. 照射後試験計画

B型特殊燃料集合体（PFB 031）は、第12'サイクル終了後炉心より取り出され、燃料貯蔵ラックで冷却された後、昭和61年12月24日にキャスクにて照射燃料集合体試験施設（FMF）に搬入された。なお、搬入時に缶内水の分析を実施したが、異常と思われるF・P・核種は認められず、 $\alpha$ 放射能濃度は検出限界以下であった。

試験項目及び着目点は、以下のとおりである。

### 1) 集合体試験

- ① 外観検査 ..... 表面状況の観察  
外形形状変化の有無確認
- ② X線ラジオグラフィ ..... コンパートメント装荷状況の確認
- ③ 解体 ..... H/Hロックナット緩めトルクの測定  
コンパートメント引抜力の測定

### 2) 集合体部材試験

- ① ラップ管ガンマスキャン ..... 炉心方向の推定

### 3) コンパートメント試験

- ① 外観検査 ..... 表面状況の観察  
外形形状変化の有無確認
- ② X線ラジオグラフィ ..... ピン束、モニタ類の装荷状況の確認
- ③ 解体 ..... 上部キャップ緩めトルクの測定  
ピン束引抜力の測定

### 4) ピン試験

- ① 外観検査 ..... 表面状況の観察  
外形形状変化の有無確認
- ② X線ラジオグラフィ ..... ピン内部状況の確認
- ③ 重量測定 ..... 重量変化の有無確認
- ④ ガンマスキャン ..... 軸方向及び径方向のF・P・分布の確認
- ⑤ パンクチャテスト ..... ピン内圧、ガス組成及びガス放出率の測定

試験後、6本のピンについて試料採取を行った。その後、金相試験等のために、切断試料を技術開発室（ADS）及び照射燃料試験室（AGS）に搬出した。また、TED温度モニタのホルダ、ドシメータを照射材料試験室（MMS）に搬出した。

PIEのフローをFig. 5に示す。また、ピン試験をFig. 6に示す。

## 5. 試験結果

### 5.1 集合体試験

#### 5.1.1 外観検査

外観写真を Photo. 1 に示す。

##### (1) 形状変化

目視観察上は、外形形状に変化は認められなかった。

##### (2) 表面状況

B, D, F 面の稜付近に軸方向の傷が観られた。B 面の傷を Photo. 2 に示す。その他には特異な傷、変色等は認められなかった。

#### 5.1.2 X線ラジオグラフィ

集合体内部への異物の混入、コンパートメント装荷状況の異常、その他集合体構成部材の配置の異常等は観察されなかった。

X線写真を Photo. 3 に示す。

#### 5.1.3 解体

比較的容易に解体が実施できた。ロックナット緩めトルクは 50 kg·cm であり、ハンドリングヘッドの正味引抜力は 6 kg、コンパートメント引抜力は最大 1.0 kg であった。また、ロックナット解除後にロックピンが格子内に入ったままであった。

### 5.2 集合体部材試験

#### 5.2.1 ラップ管ガンマスキャン

コンパートメント取り出し後の集合体からラップ管試料を切り出し、周方向の  $\gamma$  線強度分布を  $\gamma$  スキャン装置で測定した。得られた結果から最大の周方向強度分布を示す方向を求めた結果、実験炉部側で推定した炉心推定方向とほぼ一致した。Fig. 7 に  $^{58}\text{Co}$  の周方向強度分布を示す。図より、最大強度方向は約  $46^\circ$  (ラップ管 E 面側) であり、径方向ピーキング係数は 1.070 であった。

### 5.3 コンパートメント試験

#### 5.3.1 外観検査

全コンパートメントに、縦方向の浅い傷や黒変色が観察されたが、腐食、変形等は観られなかった。また、フラックスモニタ管にも異常は観られなかった。Photo. 4 にコンパートメン

トNo.A6C1の0°方向の外観写真を示す。

### 5.3.2 X線ラジオグラフィ

コンパートメント全数及びフラックスモニタ管の計7本について、X線写真を撮影した。Photo. 4に内容物の装荷状況を示すが、いずれも正規の配列であり、コンパートメント構造物の設計の妥当性が確認された。

### 5.3.3 解体

ピンの挿入されているコンパートメントNo.A6C1, A6C4について解体を行った。この際、キャップネジ部は、MS マニプレータにより容易に緩めることができた。また、コンパートメントからのピン束の引抜力は最大0.5kgであり、ほぼ自重で引き抜くことができた。

## 5.4 ピン試験

### 5.4.1 外観検査

タイロッドに装荷された状態で、燃料ピンの目視観察及び写真撮影を実施した。Photo. 5にコンパートメント内に装荷されていたピン束の外観写真を示す。ピン表面には、縦方向の浅い傷が観られ、黒変色の観察されたピンもあったが、全ピンとも変形、曲りは観察されなかった。なお、ラッピングワイヤのゆるみは観られなかった。

### 5.4.2 X線ラジオグラフィ

全ピンのX線写真を撮影した。Photo. 5にこの写真を示す。

中心空孔が「もんじゅ」仕様のA601～A605ピンの炉心中央部に観察された。Table Vに、燃料スタック長の測定結果を示す。燃料スタック長変化は-0.8～0.9mm程度であった。

また、燃料ピン全ピンにスプリング長の減少(へたり)がみられたが、「もんじゅ」仕様のA601～A605ピンについては数mmの減少がみられ、「常陽」仕様のピンよりも減少量は大きかった。

これは、「もんじゅ」仕様ピンと「常陽」仕様ピンでプレナムスプリングの構造が異なるためと考えられる。

その他1mm以上のペレット間ギャップもみられず、内部状況に異常は認められなかった。

### 5.4.3 重量測定

燃料ピン全ピンの照射前後の重量変化は、-0.2～0.0gの範囲にあり、有意差(±0.4g)を超えるものはなかった。測定結果をTable VIに示す。

#### 5.4.4 ガンマスキャン

A602 ピンの軸方向スキャンを実施した。軸方向 F.P. 核種及び放射化核種の計数率分布を測定した結果を Fig. 8 に示す。F.P. 核種の分布に異常は認められず、燃料が健全に燃焼したことが推定される。また、 $^{137}\text{Cs}$  についても軸方向への顕著な移動は認められない。

$^{106}\text{Rh}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ , Gross  $\gamma$  による軸方向ピーキング係数は、それぞれ 1.14, 1.16, 1.15 であり、「MAGI」による計算結果 1.166 と大体一致する。

また、軸方向位置 710 mm でのスペクトル測定結果を Fig. 9 に示す。この図で、通常は認められる  $^{134}\text{Cs}$  が認められないが、これは燃焼度が低いため二次核反応 ( $^{133}\text{Xe} \rightarrow ^{133}\text{Cs}(n, \gamma) ^{134}\text{Cs}$ ) 生成核種である  $^{134}\text{Cs}$  の生成量が少ないためと考えられる。

A602 ピンについては、横断面 F.P. 核種及び放射化核種分布の測定も実施したが、生成量が少ないため鮮明な画像が得られず、中心空孔の有無は判断できなかった。

#### 5.4.5 パンクチャテスト

A602 ピンについてピン内ガス圧測定及びガス分析を実施した。測定結果は、ピン内容積 18.3 cc, ピン内ガス圧 781 Torr - STP, ピン内ガス量 18.9 cc - STP であった。また、ガス分析では Kr は検出されず、Xe は 6.40 % 検出された。A602 ピンにはタグガスキャプセルが装荷されていることから、タグガスがピン内に拡散した時のピン内ガス圧を計算により求めると、PIE により測定したピン内ガス圧とほぼ等しい。よって、本装置の検出感度以下のガス放出であると推定される。

### 5.5 モニタ類の採取

#### (1) TED 温度モニタホルダ

計装用コンパートメント 4 体から、TED 温度モニタのホルダ計 28 個を取り出した。ホルダの ID と装荷位置を Fig. 10 に示す。また、C-24-6 のホルダにはキャップが付いていなかった。これを Photo. 6 にキャップのあるホルダと並べて示す。

#### (2) エントランスノズル部ドシメータ

モニタ (刻印 No. DS31) は問題なく取り出すことができ、外観上も特に異常は認められなかった。

#### (3) フラックスモニタ管内モニタ類

フラックスモニタ管より、温度モニタ、スペーサ、ドシメータ、タグガスキャプセルを取り出した。装荷位置は、製造時の検査記録と一致していた。一部のモニタに黒色の変色が認められたが、その他特異な傷等は認められなかった。ドシメータ (刻印 No. D231), タグガスキャプセル (刻印 No. 8) 以外は、廃棄した。

## 6. 結果の検討

### 6.1 集合体の健全性

集合体に関しては、一部に傷も観察されたが変形、破損等は認められず、外観は良好であった。コンパートメントに関しても、縦方向の浅い傷や黒変色は観察されたが、変形、破損等外観上異常は観られなかった。また、装荷状況も正常であった。

また、集合体搬入時の缶内水分析結果で異常の認められなかったこと、及びピン重量測定で有意な重量変化のなかったことから、燃料ピンの健全性が確認された。

燃料ピンの内部状況についても、X線ラジオグラフィーの結果その内部配列に異常は認められなかった。

燃料ピンの燃焼については、ガンマスキャンの結果から燃料の出力分布を示す<sup>95</sup>Zr等が炉心燃料部の軸方向に連続的なカーブを描いていることから、炉内での健全な燃焼が推定される。

これらのことから、B型特殊燃料集合体(PFB 031)は炉内で健全な状態であったことが確認された。

### 6.2 照射初期の挙動

X線ラジオグラフィーの結果から、「もんじゅ」仕様のピンに中心空孔が観察された。「PFB 031」は、わずか2日にわたる照射期間であるが、中心空孔が観察されたのは線出力が約390W/cmと大きく、燃料中心温度が約2160℃と高いためである。一方、CEDARコードによれば「常陽」仕様のピンにも100MW到達3時間め頃から中心空孔が生じ始める<sup>11)</sup>とされているが、X線ラジオグラフィーでは観察されなかった。

また、燃料スタック長の測定では、Table Vのスタック長の変化量をペレットロット別に整理すると、ロットNo.TBM-11が0～0.9mm、TBM-12が-0.8mm、TBJ-003が0.2～0.3mmとなりロットにより差があるように見受けられる。また、ロットNo.TBM-11の中でみると、被覆管-ペレットギャップが大きいほどスタック長変化量が多い。この理由としてはギャップ幅が燃料温度に影響し、温度の違いが燃料組織変化(焼きしまり等)に差を生じさせたことが考えられる。

## 7. ま と め

「常陽」MK-II第12'（出力上昇時燃料組成変化測定試験）サイクルで照射されたB型特殊燃料集合体（PFB031）の照射後試験を実施した。2日間にわたり照射されたもので、その燃焼度はコンパートメント平均で約80 MWd/tである。

本試験の結果は以下のとおりである。

- (1) 集合体試験, コンパートメント試験, ピン試験の結果から, 本集合体の健全性を確認した。
- (2) X線ラジオグラフィーの結果から, 「もんじゅ」仕様のピンに中心空孔が観察された。

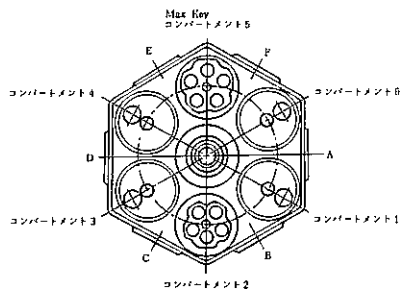
## 8. 参 考 文 献

- 1) 浅賀他：「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体 ( Fab. No. PFB 000 ) の照射後試験(1)  
PNC I941 85 - 01, 1985年1月
- 2) 浅賀他：「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体 ( PFB 010 ) の照射後試験(1)  
PNC I9410 86 - 011, 1986年2月
- 3) 小泉他：FFDL 炉内試験用集合体 ( F1B ; PFB 011 ) の照射後試験(1)  
PNC I9410 86 - 016, 1986年8月
- 4) 小泉他：「常陽」MK-II B型特殊燃料集合体 ( PFB 020 ) の照射後試験(1)  
印刷予定
- 5) MK-II第2次照射計画策定WG：「常陽」MK-II利用燃料照射試験計画-第2次照射試験計画案-  
PNC I2410 86 - 003, 1986年2月
- 6) MK-II第2次照射計画策定WG：「常陽」MK-II炉心材料照射計画(案)-炉心材料照射用反射体 CMIR-1, 2, 3, 4 -  
PNC I9080 86 - 001, 1986年10月
- 7) 実験炉部：B4M TEDの製造データ・照射データ  
照射後試験関連データ支給票 61-JY支-72
- 8) 東海事業所：高速実験炉「常陽」照射用炉心特殊燃料要素 II型照射用B型特殊燃料要素の製造報告  
PNC ZN843 - 84 - 05, 1984年4月
- 9) 東海事業所：「常陽」照射用炉心特殊燃料集合体B0J, B1Jの製造報告書  
PNC SN841 - 82 - 72, 1982年12月
- 10) 実験炉部：「常陽」払出し燃料等の添付データ  
JF - 61 - 09
- 11) 実験炉部：「常陽」照射試験サイクル報(第13サイクル)  
PNC SN9360 87 - 001, 1987年12月
- 12) 実験炉部：B4M及びINTAの照射情報(その2)  
照射後試験関連データ支給票 62-JY支-24



Table I Reference Table of Parts Number of Comprtment

| 集合体番号        | PFB 031M*9 | コンパートメント |                    | 上部キャ<br>ップ番号 | 温度<br>モニタ<br>番号 | ピ<br>ン<br>タイロッド<br>番号 | 燃料要素 |    | 試料ホルダ |             |   |        | T E D |       |   |       |  |  |
|--------------|------------|----------|--------------------|--------------|-----------------|-----------------------|------|----|-------|-------------|---|--------|-------|-------|---|-------|--|--|
|              |            | 位置       | 番号<br>Fab<br>(PIE) |              |                 |                       | 位置   | 番号 | 番号    |             |   |        | 番号    |       |   |       |  |  |
| ラッパ管番号       | 1005*9     |          |                    |              |                 |                       |      |    |       |             |   |        |       |       |   |       |  |  |
| ハンドリングヘッド 番号 | 1008*9     | 1        | C21*6<br>(A6C3)    | C21*6        | —               | C21*6                 | —    | —  | 1     | C-21-1      | 6 | C-21-6 | 1     | Y-36  | 6 | Y-41  |  |  |
| エントランスノズル 番号 | 1008*9     |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | C-21-2      | 7 | C-21-7 | 2     | Y-37  | 7 | Y-42  |  |  |
| ロックナット 番号    | —          |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | C-21-3      |   |        | 3     | Y-38  |   |       |  |  |
| フラックスモニタ番号   | 9*9        | 2        | 011*7<br>(A6C4)    | 7*7          | —               | 7*7                   | —    | —  | 4     | C-21-4      |   |        | 4     | Y-39  |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 5     | C-21-5      |   |        | 5     | Y-40  |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 1     | F 2062*1    |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | B 0 J 02 *2 |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | B 0 J 04 *2 |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 4     | B 1 J 25 *3 |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            | 5        | F 1328*4           |              |                 |                       |      |    |       |             |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            | 3        | C 22*6<br>(A6C5)   | C 22*6       | —               | C 22*6                | —    | —  | 1     | C-22-1      | 6 | C-22-6 | 1     | Y-43  | 6 | 1M-15 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | C-22-2      | 7 | C-22-7 | 2     | 1M-5  | 7 | 1M-16 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | C-22-3      |   |        | 3     | 1M-7  |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 4     | C-22-4      |   |        | 4     | 1M-8  |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 5     | C-22-5      |   |        | 5     | 1M-12 |   |       |  |  |
|              |            | 4        | C 23*6<br>(A6C6)   | C 23*6       | —               | C 23*6                | —    | —  | 1     | C-23-1      | 6 | C-23-6 | 1     | 1M-21 | 6 | 1M-49 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | C-23-2      | 7 | C-23-7 | 2     | 1M-22 | 7 | 1N-17 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | C-23-3      |   |        | 3     | 1M-23 |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 4     | C-23-4      |   |        | 4     | 1M-27 |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 5     | C-23-5      |   |        | 5     | 1M-30 |   |       |  |  |
|              |            | 5        | 211*8<br>(A6C1)    | 31*8         | 211*8           | 123*8                 | —    | —  | 1     | B 3 M 02*5  |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | B 3 M 05*5  |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | B 3 M 09*5  |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 4     | B 3 M 25*5  |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 5     | B 3 M 26*5  |   |        |       |       |   |       |  |  |
|              |            | 6        | C 24*6<br>(A6C2)   | C 24*6       | —               | C 24*6                | —    | —  | 1     | C-24-1      | 6 | C-24-6 | 1     | 1N-18 | 6 | 1N-33 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 2     | C-24-2      | 7 | C-24-7 | 2     | 1N-20 | 7 | 1N-35 |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 3     | C-24-3      |   |        | 3     | 1N-23 |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 4     | C-24-4      |   |        | 4     | 1N-24 |   |       |  |  |
|              |            |          |                    |              |                 |                       |      |    | 5     | C-24-5      |   |        | 5     | 1N-31 |   |       |  |  |



\*1 感度校正用集合体用ダミーピンと同等  
 \*2 B 0 J 予備ピン  
 \*3 B 1 J 予備ピン  
 \*4 FFDL 試験用集合体用ダミーピン  
 \*5 B 3 M 用ピン

\*6 CMIR-0 と同等品 (CMIR-2 用)  
 \*7 B 0 J 予備用コンパートメント  
 \*8 B 2 M 予備用コンパートメント  
 \*9 B 3 M 予備用コンパートメント

Table II Fabrication Data of Fuel Pins

| コンパートメント<br>No (PIE) | ピン No |       | 被覆管内径<br>(mm) | ペレット外径<br>(mm) | ペレット<br>スタック長<br>(mm) | プレナム<br>有効容積<br>(cc) | ペレット-被覆管<br>ギャップ幅<br>( $\mu$ m) | タグガス<br>キャプセルの<br>有, 無 |
|----------------------|-------|-------|---------------|----------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|
|                      | PIE   | Fab   |               |                |                       |                      |                                 |                        |
| A6C1                 | A601  | B3M02 | 5.559         | 5.379          | 552.16                | 16.814               | 180                             | 有                      |
|                      | A602  | B3M05 | 5.557         | 5.373          | 552.64                | 16.810               | 184                             | 有                      |
|                      | A603  | B3M09 | 5.549         | 5.389          | 553.09                | 16.596               | 160                             | 有                      |
|                      | A604  | B3M25 | 5.553         | 5.418          | 550.51                | 12.291               | 135                             | 有                      |
|                      | A605  | B3M26 | 5.554         | 5.419          | 551.46                | 12.280               | 135                             | 無                      |
| A6C4                 | A606  | F2062 |               |                |                       |                      |                                 |                        |
|                      | A607  | B0J02 | 4.804         | 4.620          | 545.3                 | 7.883                | 184                             | 無                      |
|                      | A608  | B0J04 | 4.794         | 4.620          | 548.1                 | 7.727                | 174                             | 無                      |
|                      | A609  | B1J25 | 4.799         | 4.620          | 548.1                 | 10.801               | 179                             | 無                      |
|                      | A610  | F1328 |               |                |                       |                      |                                 |                        |

Table III Subassembly Irradiation Conditions

集合体番号 PFB031 (B4M)

| サ イ ク ル                 |               |            | 12'                                  |       |       |  |  |  |  |
|-------------------------|---------------|------------|--------------------------------------|-------|-------|--|--|--|--|
| 装 荷 位 置                 |               |            | 1 A 1                                |       |       |  |  |  |  |
| ピンタイプ (コンパートメント番号)      |               |            | II型(5)                               | I型(2) |       |  |  |  |  |
| 燃 焼 度                   | ポイント最大        |            | MWD/T                                | 80.5  | 82.1  |  |  |  |  |
|                         | コンパートメント平均    |            | MWD/T                                | 69.9  | 71.4  |  |  |  |  |
| 中 性 子 照 射 量             | En ≥ 0.1 Mev. | ポイント最大     | × 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup> | 0.985 | 0.943 |  |  |  |  |
|                         |               | コンパートメント平均 | × 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup> | 0.821 | 0.786 |  |  |  |  |
|                         | Total         | ポイント最大     | × 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup> | 1.453 | 1.391 |  |  |  |  |
|                         |               | コンパートメント平均 | × 10 <sup>20</sup> n/cm <sup>2</sup> | 1.231 | 1.178 |  |  |  |  |
| 線 出 力                   | BOC           | ポイント最大     | W/cm                                 | 379   | 323   |  |  |  |  |
|                         |               | コンパートメント平均 | W/cm                                 | 326   | 279   |  |  |  |  |
|                         | EOC           | ポイント最大     | W/cm                                 | 379   | 323   |  |  |  |  |
|                         |               | コンパートメント平均 | W/cm                                 | 326   | 279   |  |  |  |  |
| 被覆管最高温度                 | BOC           |            | °C                                   | —     |       |  |  |  |  |
|                         | EOC           |            | °C                                   | —     |       |  |  |  |  |
| 燃料最高温度                  | BOC           |            | °C                                   | —     |       |  |  |  |  |
|                         | EOC           |            | °C                                   | —     |       |  |  |  |  |
| 集合体出口温度                 | BOC           |            | °C                                   | 406   |       |  |  |  |  |
|                         | EOC           |            | °C                                   | 406   |       |  |  |  |  |
| ピーキング係数                 | BOC           | 径 方 向      | —                                    |       |       |  |  |  |  |
|                         |               | 軸 方 向      | —                                    | 1.166 |       |  |  |  |  |
|                         | EOC           | 径 方 向      | —                                    |       |       |  |  |  |  |
|                         |               | 軸 方 向      | —                                    | 1.166 |       |  |  |  |  |
| 冷却材流量                   | BOC           |            | kg/sec                               | 3.98  |       |  |  |  |  |
|                         | EOC           |            | kg/sec                               | 3.98  |       |  |  |  |  |
| 備 考 径方向ピーキング係数は考慮していない。 |               |            |                                      |       |       |  |  |  |  |

Table IV Pins Irradiation Conditions

| Pin No |        | 最高燃焼率                                 | 最大中性子照射量<br>( $\times 10^{20} \text{ n/cm}^2$<br>( $E \geq 0.1 \text{ MeV}$ )) | 最高線出力<br>(W/cm) | 最高被覆管温度<br>(肉厚中心)( $^{\circ}\text{C}$ ) | 最高燃料中心温度( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|--------|--------|---------------------------------------|--|-----------------|---|--------------------------------|
| PIE    | Fab    | ( $\times 10^{-3} \text{ atom } \%$ ) |  |                 |   |                                |
| A 601  | B3M02  | 8.58                                  | 0.987  | 385.7           | 613                                     | 2156                           |
| A 602  | B3M05  | 8.51                                  | 0.979  | 382.5           | 612                                     | 2146                           |
| A 603  | B3M09  | 8.54                                  | 0.982  | 383.6           | 612                                     | 2149                           |
| A 604  | B3M25  | 8.59                                  | 0.988  | 386.0           | 613                                     | 2157                           |
| A 605  | B3M26  | 8.60                                  | 0.989  | 386.4           | 613                                     | 2159                           |
| A 607  | B0J 02 | 8.57                                  | 0.933  | 309.1           | 542                                     | 1879                           |
| A 608  | B0J 04 | 8.74                                  | 0.951  | 315.5           | 551                                     | 1914                           |
| A 609  | B1J 25 | 8.68                                  | 0.945  | 313.4           | 551                                     | 1905                           |

Table V Results of Core Fuel Stack Length Change

| PIE No. | Fab No. | スタック長<br>PIE (mm) | スタック長<br>Fab (mm) | スタック長変化量<br>PIE-Fab (mm) | スタック長変化率<br>(PIE-Fab)/<br>Fab (mm) | ペレットロットNo. | 被覆管-ペレット<br>ギャップ ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------|---------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|
| A 601   | B3M02   | 552.9 $\pm$ 0.5   | 552.2             | 0.7                      | 0.13                               | TBM-11     | 180                                |
| A 602   | B3M05   | 553.5 $\pm$ 0.5   | 552.6             | 0.9                      | 0.16                               | " 11       | 184                                |
| A 603   | B3M09   | 553.1 $\pm$ 0.5   | 553.1             | 0                        | 0                                  | " 11       | 160                                |
| A 604   | B3M25   | 549.7 $\pm$ 0.5   | 550.5             | -0.8                     | -0.15                              | " 12       | 135                                |
| A 605   | B3M26   | 550.7 $\pm$ 0.5   | 551.5             | -0.8                     | -0.15                              | " 12       | 135                                |
| A 607   | B0J 02  | 545.3 $\pm$ 0.5   | 545.3             | 0.2                      | 0.04                               | TBJ-003    | 184                                |
| A 608   | B0J 04  | 548.3 $\pm$ 0.5   | 548.1             | 0.2                      | 0.04                               | " -003     | 174                                |
| A 609   | B1J 25  | 548.4 $\pm$ 0.5   | 548.1             | 0.3                      | 0.05                               | " -003     | 179                                |

Table VI Results of Pin Weighing

| PIE No | Fab No   | 重 量 (g) |       |           |
|--------|----------|---------|-------|-----------|
|        |          | PIE     | Fab   | PIE - Fab |
| A 601  | B 3 M 02 | 349.1   | 349.3 | - 0.2     |
| A 602  | B 3 M 05 | 349.3   | 349.5 | - 0.2     |
| A 603  | B 3 M 09 | 351.1   | 351.1 | 0.0       |
| A 604  | B 3 M 25 | 384.6   | 384.7 | - 0.1     |
| A 605  | B 3 M 26 | 382.8   | 382.9 | - 0.1     |
| A 607  | B 0 J 02 | 248.1   | 248.2 | - 0.1     |
| A 608  | B 0 J 04 | 248.5   | 248.7 | - 0.2     |
| A 609  | B 1 J 25 | 225.4   | 225.4 | 0.0       |

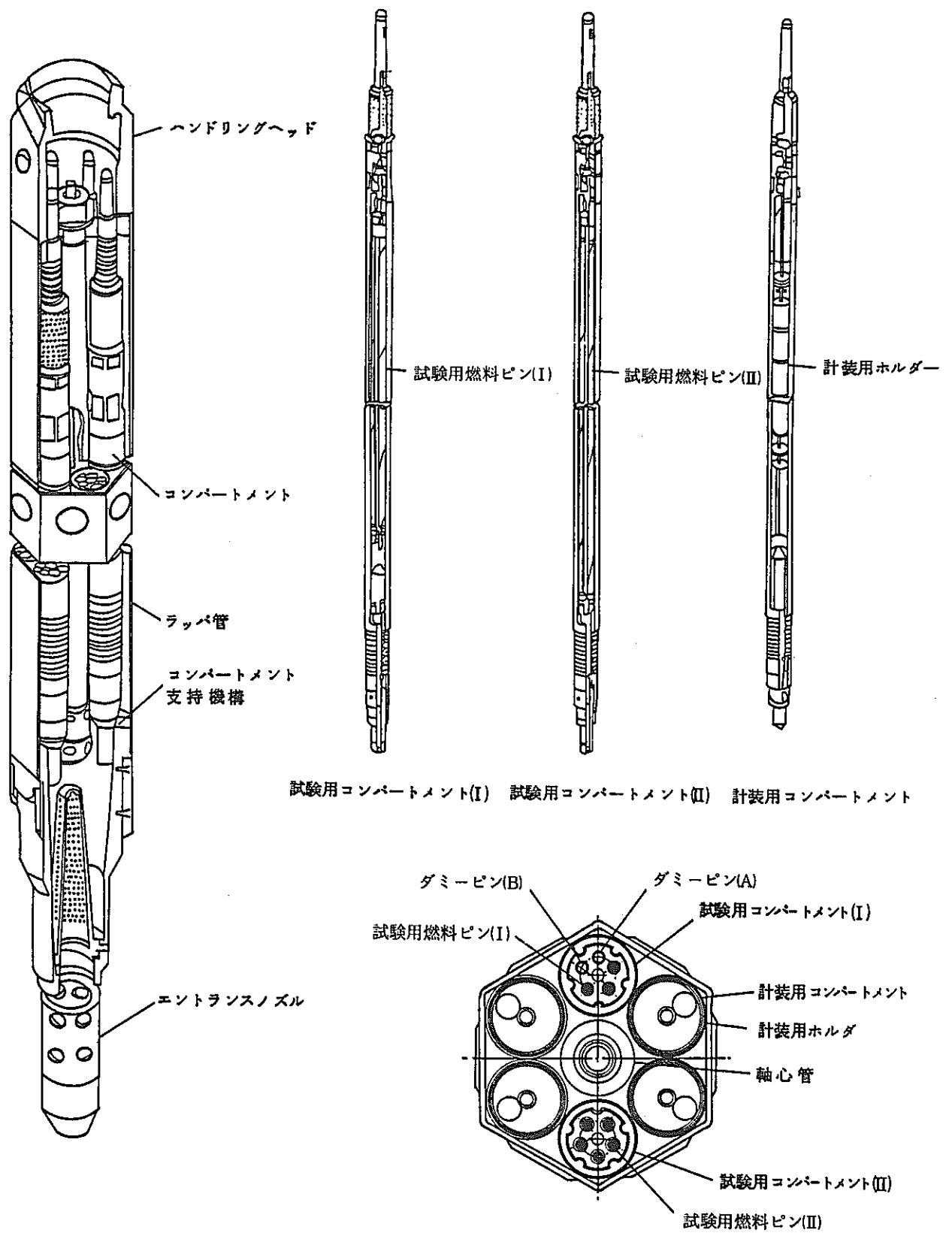


Fig.1 Schematic Drawings of the Subassembly and its Compartment ( PFB 031 )

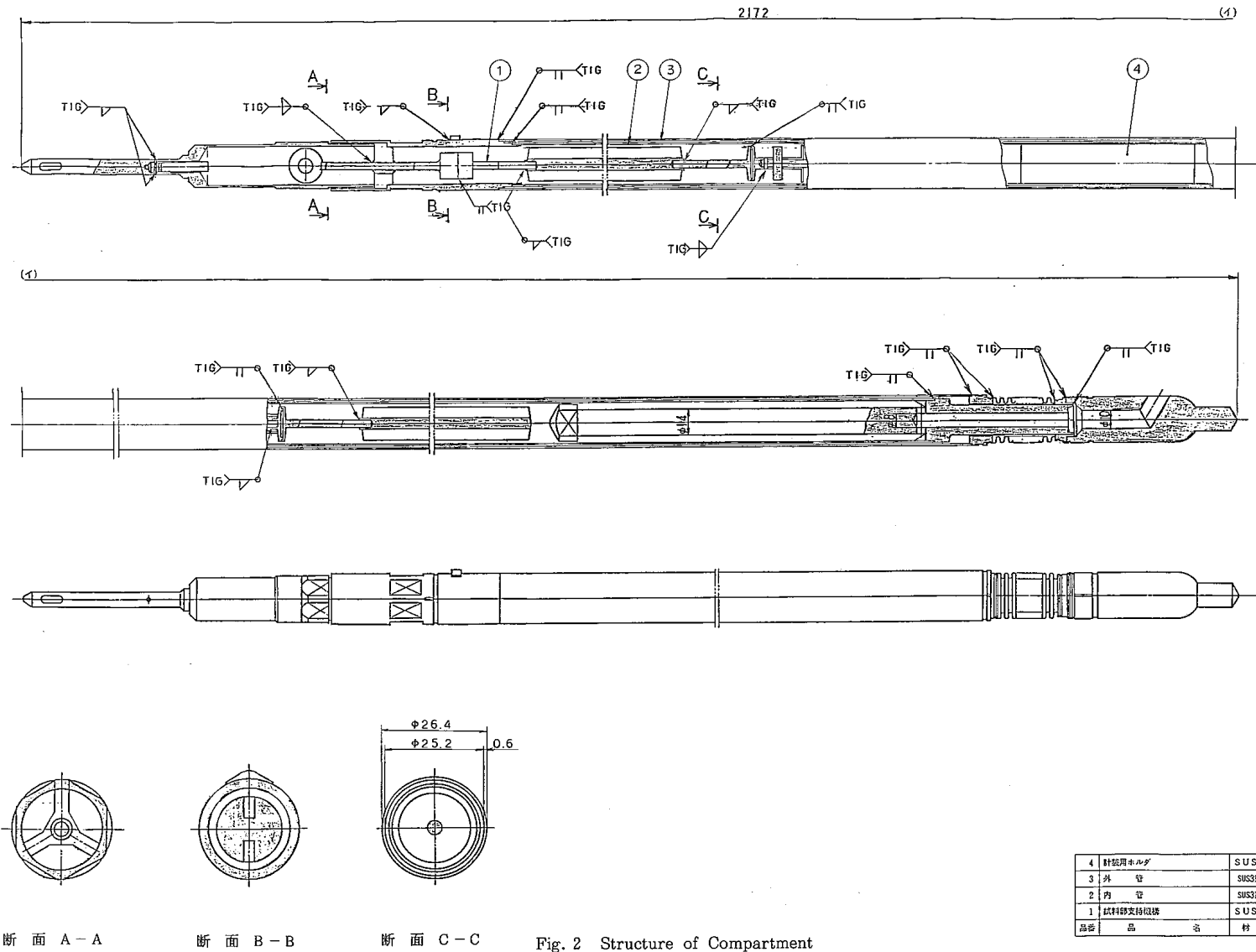
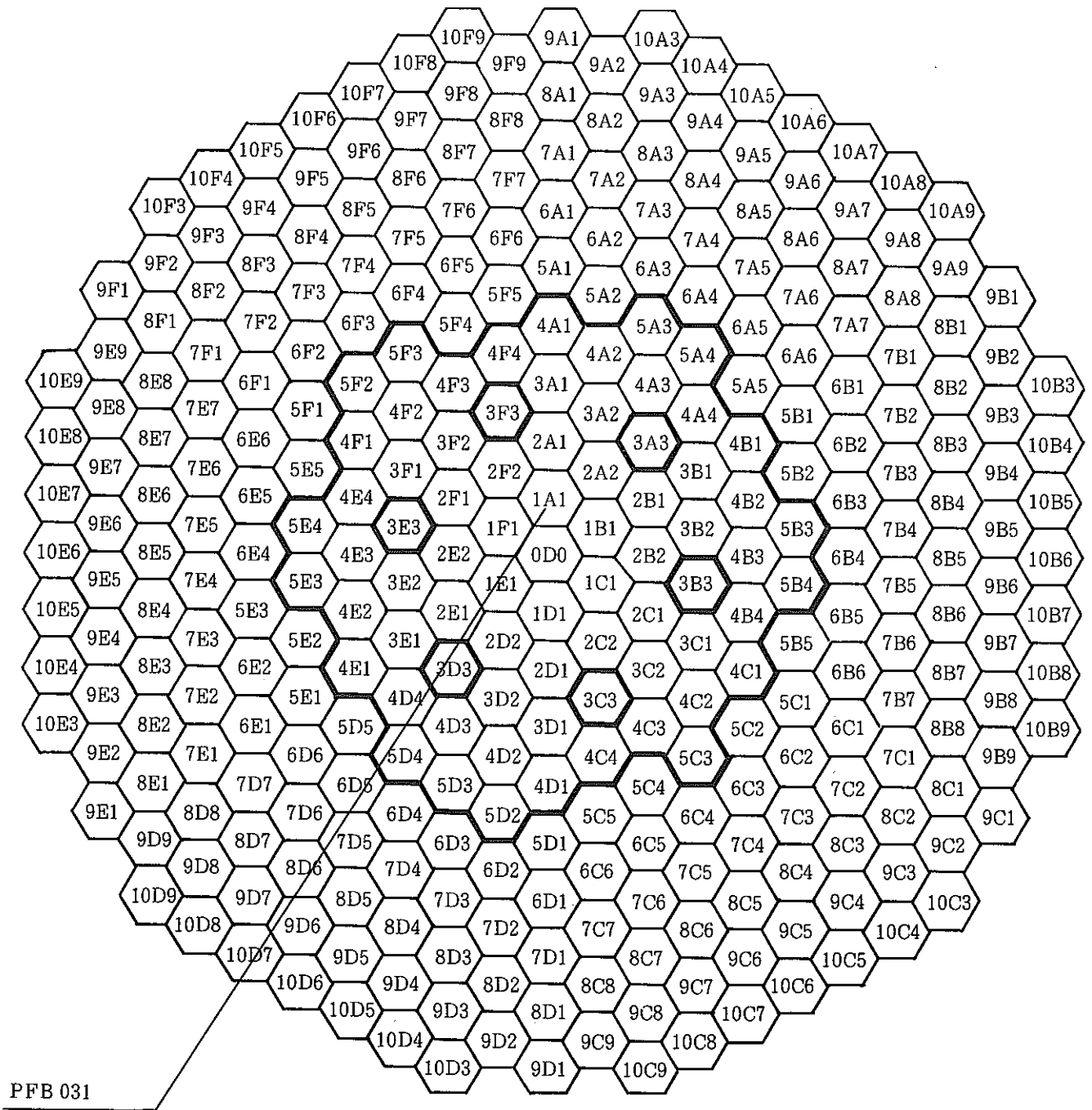


Fig. 2 Structure of Compartment





第 12' サイクル (MPR 照射試験) 炉心構成

Fig. 3 In-Reactor Location of the Subassembly

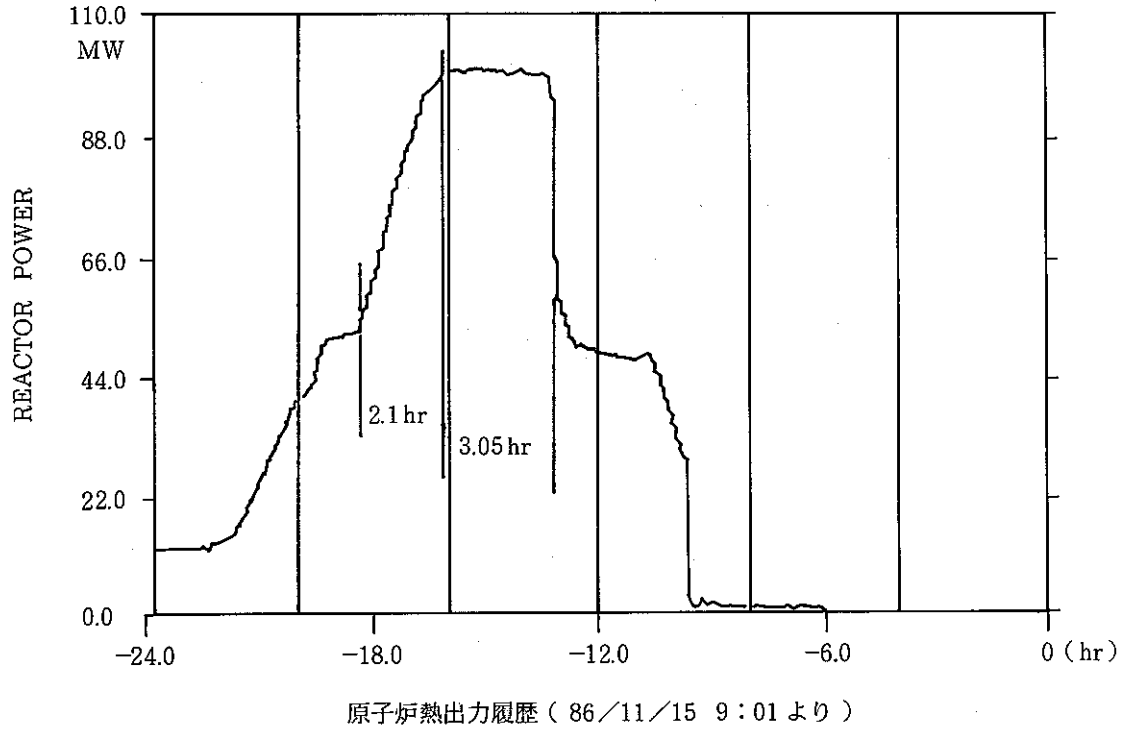


Fig. 4 History of Reactor Power

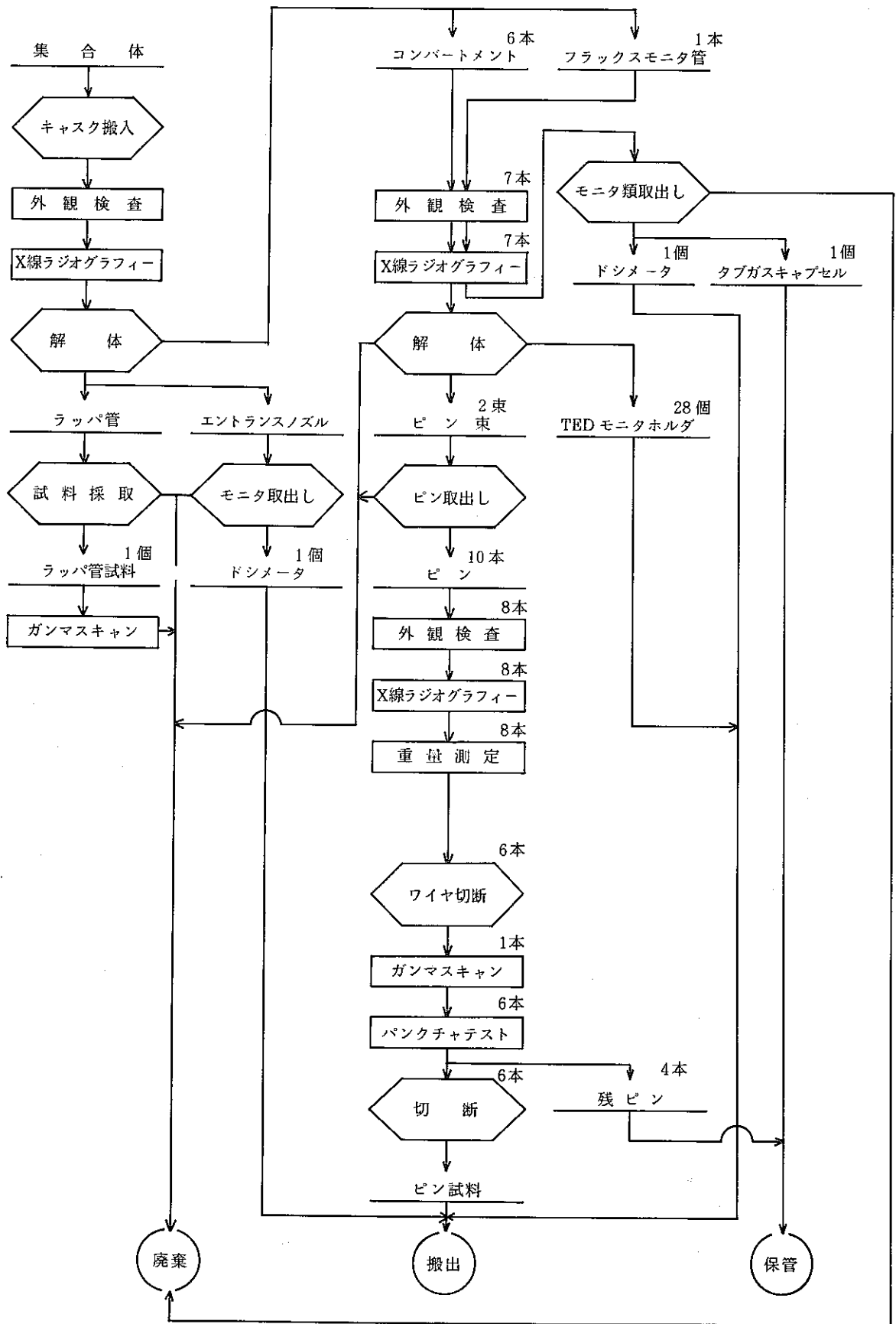


Fig. 5 Flow Diagram of Postirradiation Examination of the Subassembly (PFB 031)

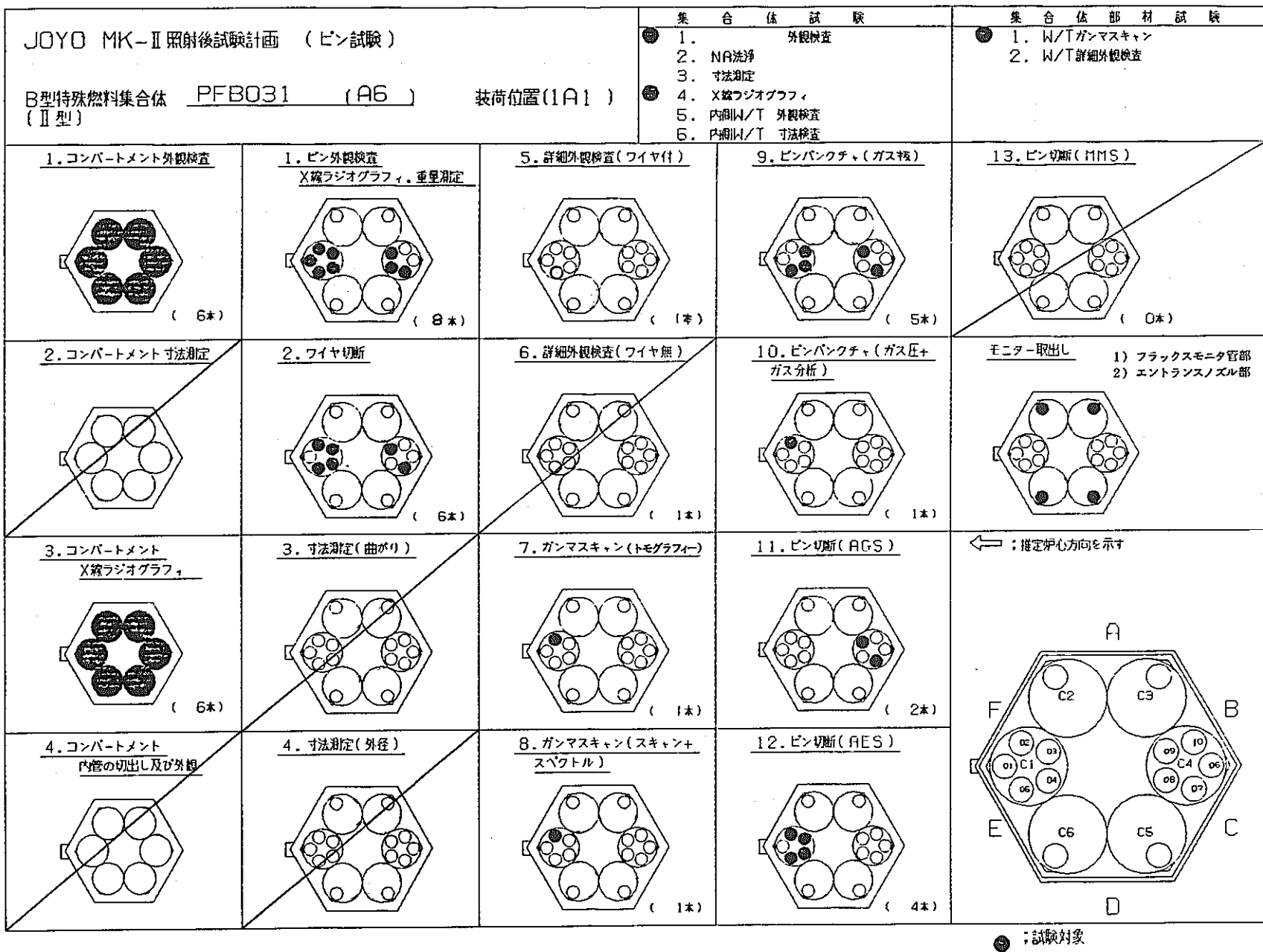


Fig.6 Pins Selected for the Examination

|                    |                             |                          |       |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------|
| S/A NO. (FAB) :    | PFB031                      | ANGLE OF MAX RATE (DEG): | 45.62 |
| S/A NO. (PIE) :    | A6WH2                       | MAX COUNT RATE (CPS):    | 4.68  |
| AXIAL POS. (MM) :  | 1391.5<br>{from E/N Bottom} | AVERAGE COUNT RATE(CPS): | 4.37  |
| COOLING TM (DAYS): | 100                         | PEAKING FACTOR :         | 1.070 |
| COLL. WIDTH(MM) :  | 1.40                        |                          |       |
| OP NO. :           | 6048-6048                   |                          |       |

CORRECTED

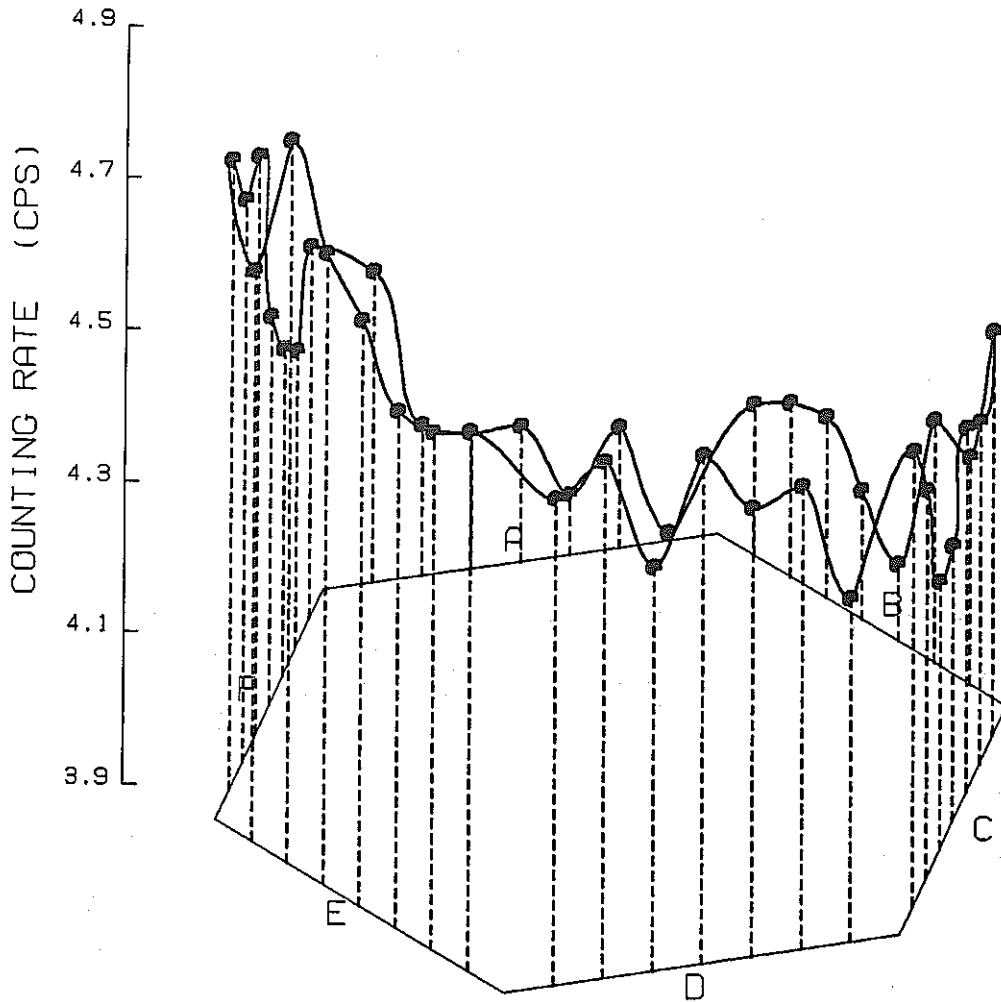


Fig. 7 Radial Distribution of Gamma Ray Intensity  
(<sup>58</sup>Co, 0.811 MeV)

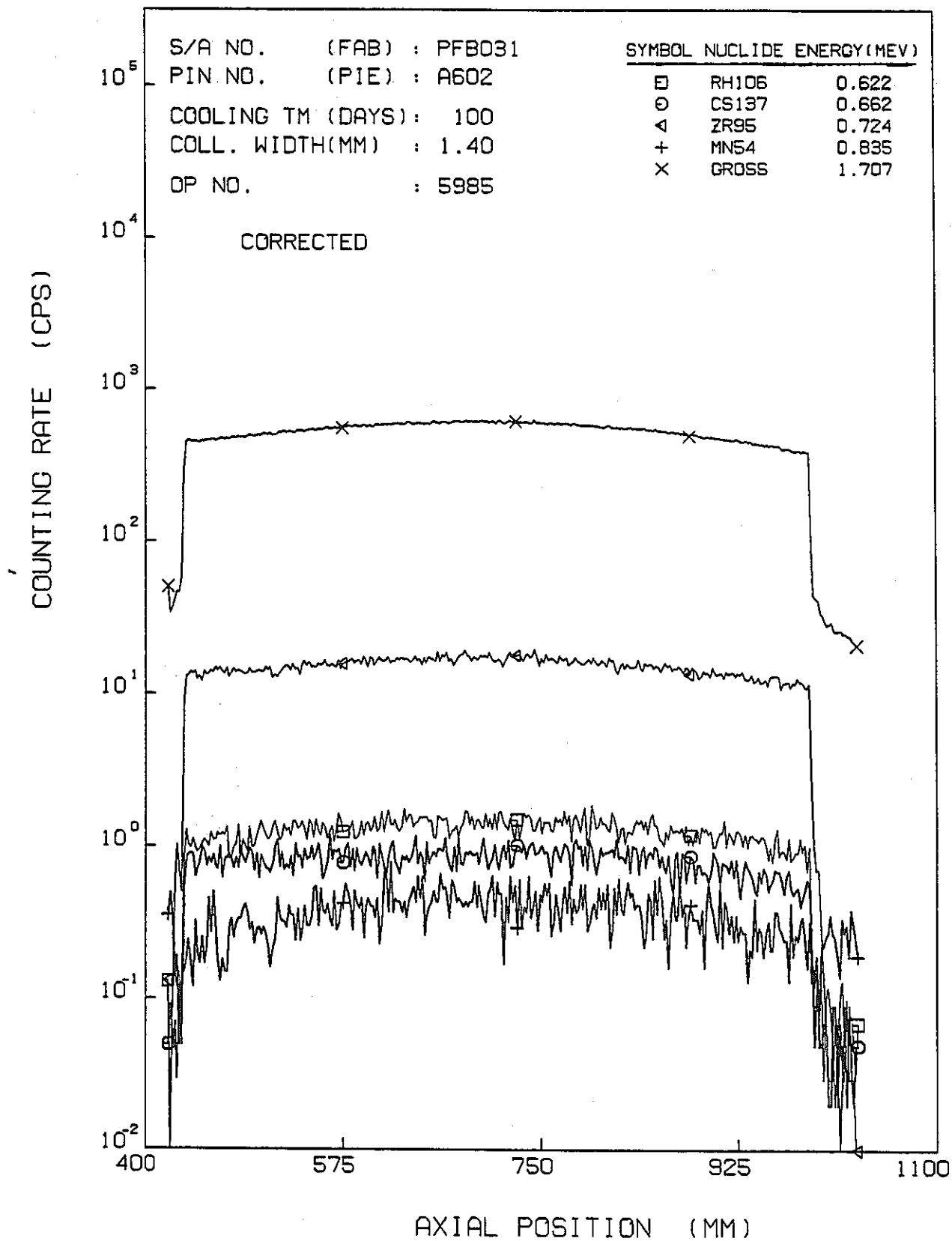


Fig. 8 Axial Distribution of Gamma Ray Intensity (Pin No A 602)

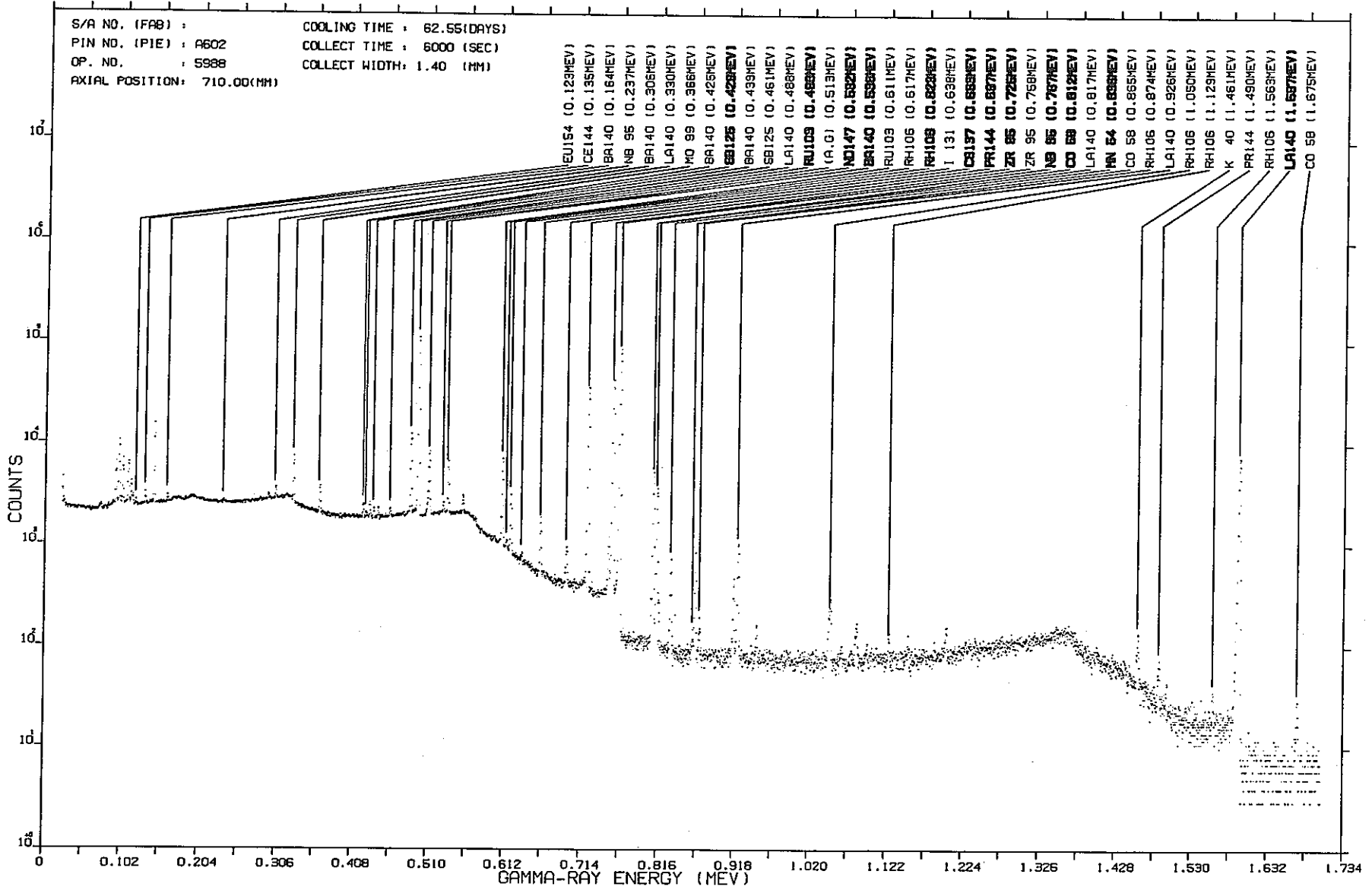


Fig. 9 Gamma - Ray Spectroscopy

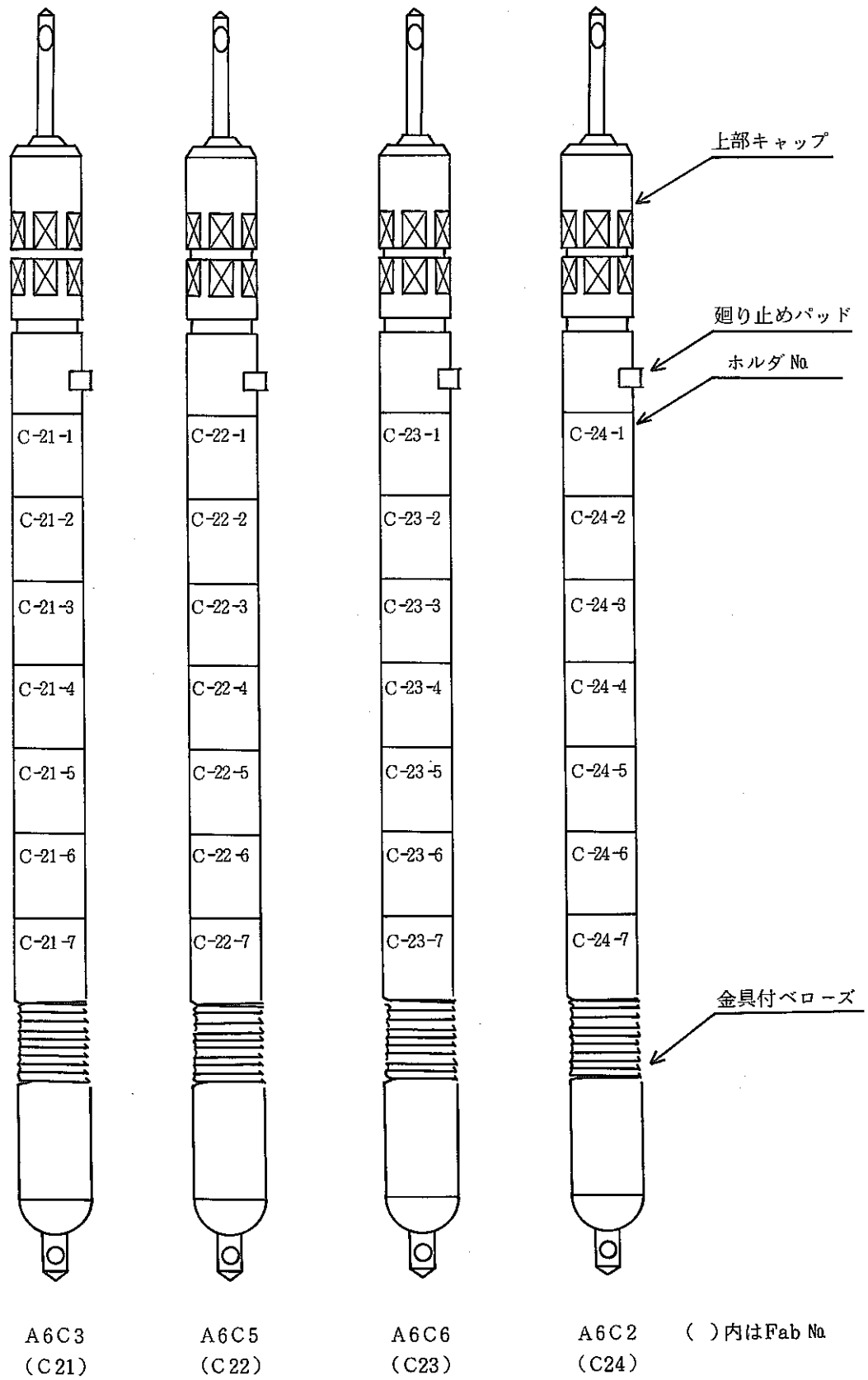
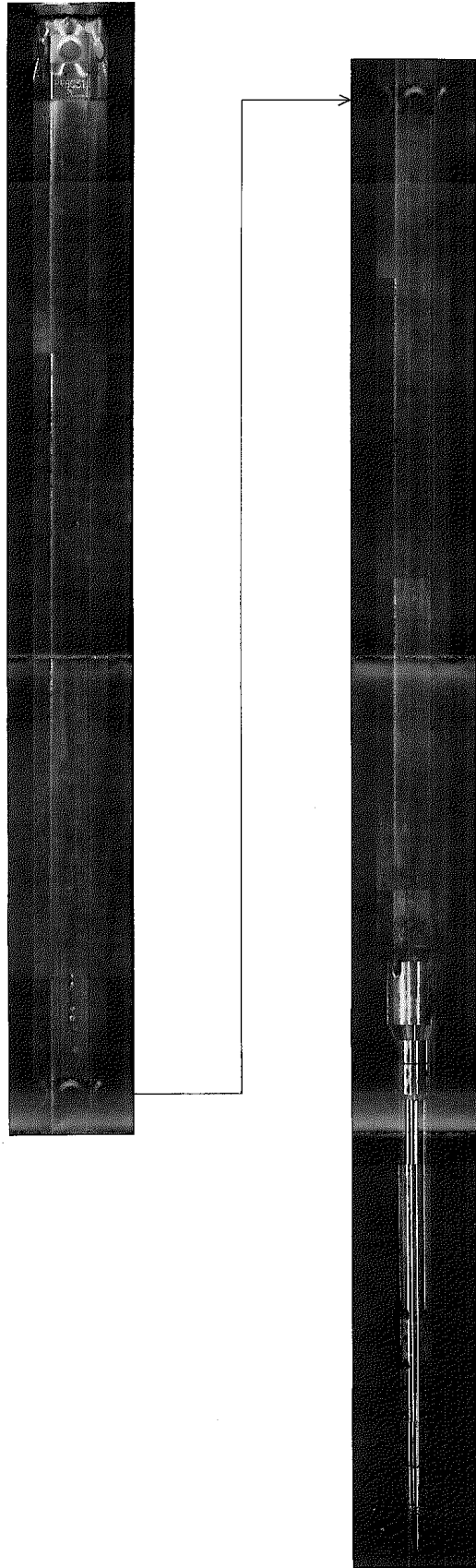


Fig. 10 Specimen Holders in Compartments



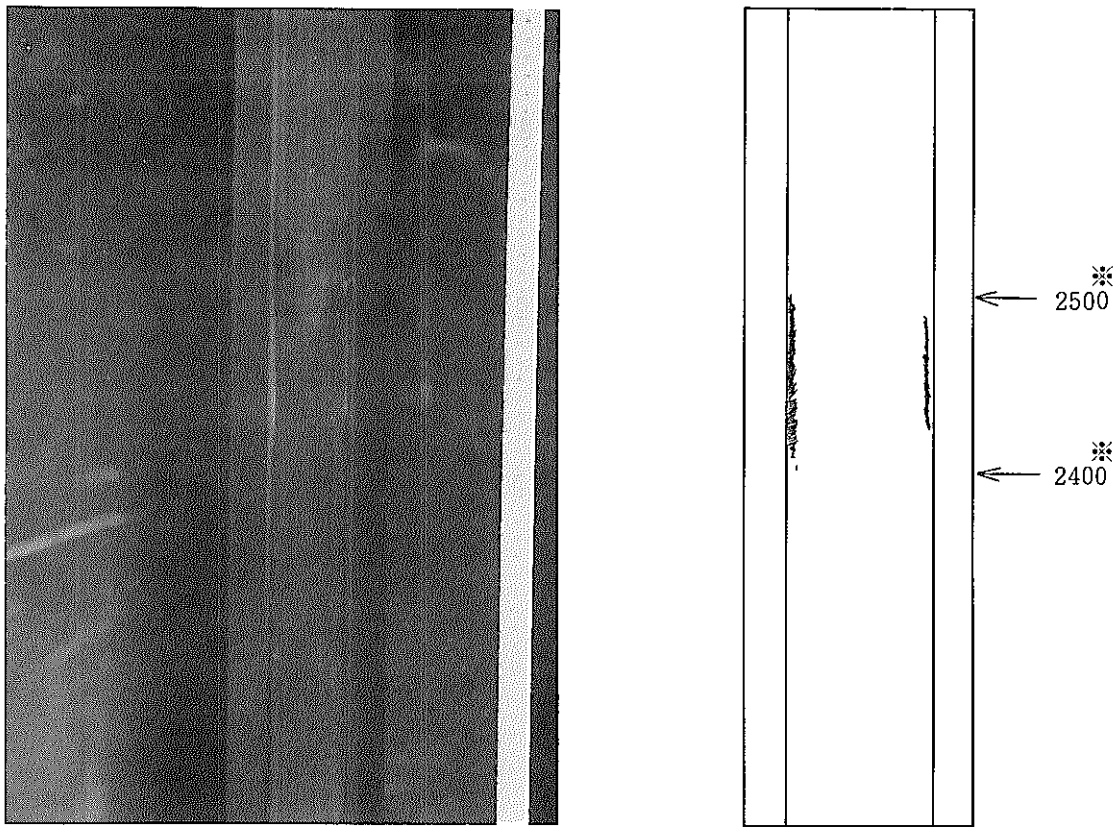


(before)

FACE **F**

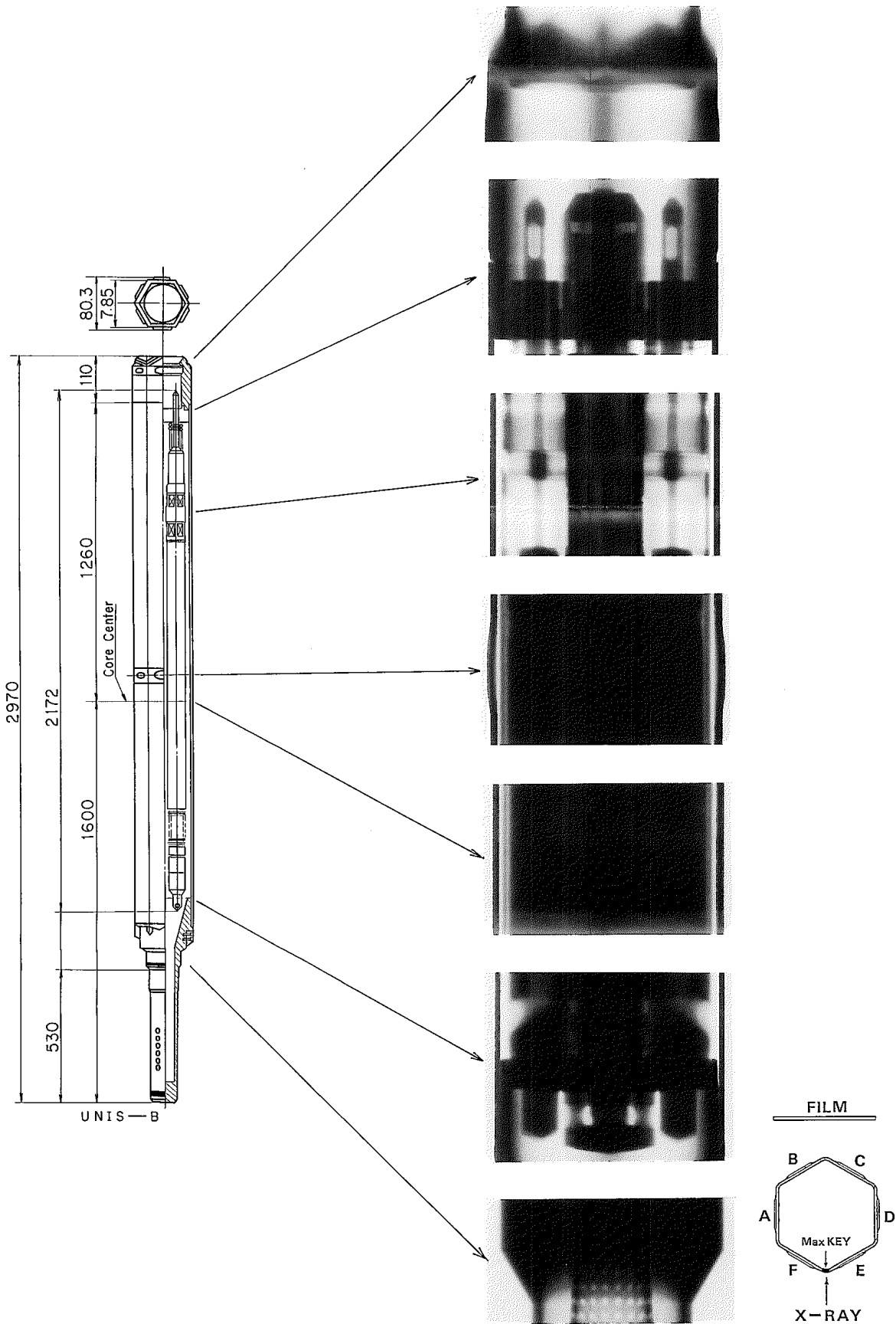
**F871010**

Photo. 1 Surface Condition of the Subassembly



※ S/A 下端からの位置

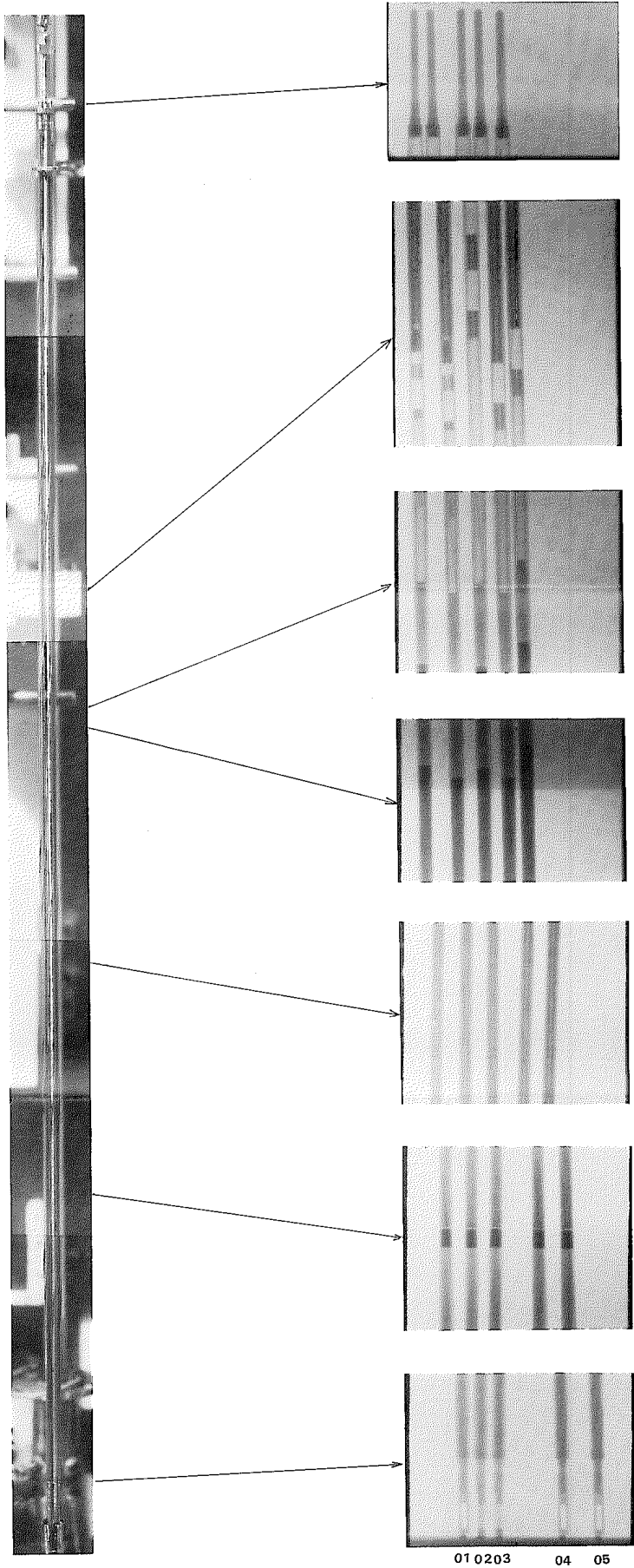
Photo. 2 Surface Condition of the Wrapper Tube



— 33 ~ 34 —

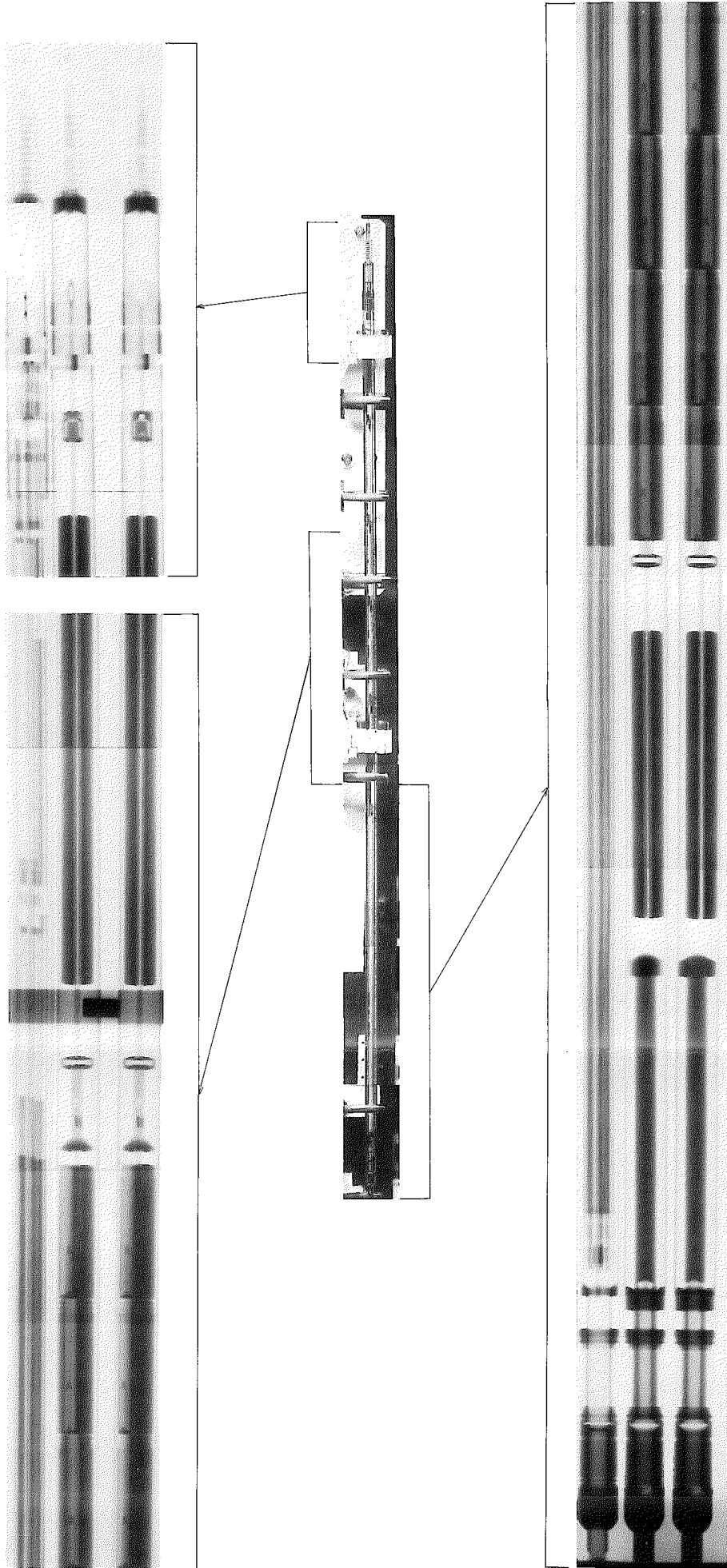
# F872007

Photo. 3 X-ray Radiography of the Subassembly



**F884002**

Photo. 4 Condition of the Outer Surface of the Compartment and Installation Condition of the Contents in Compartment



**F884003**

Photo. 5 Installation Condition of the Fuel Pin Bundle and the Content of Fuel Pins in Compartment

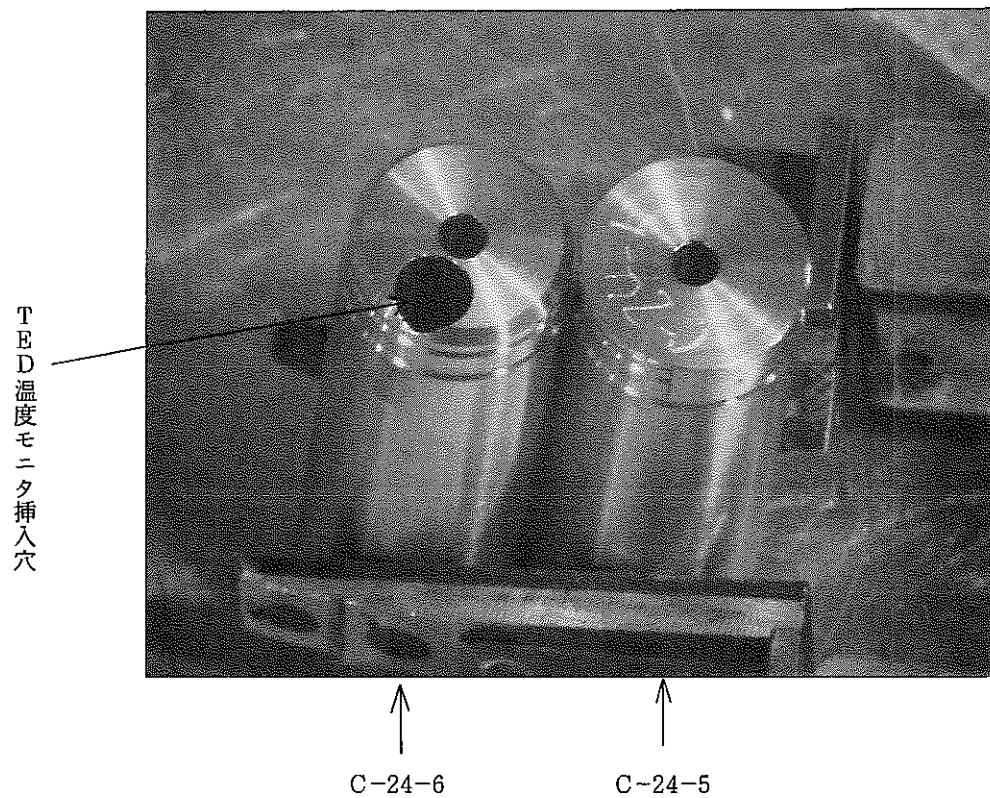


Photo. 6 Specimen Holder without Cap and one with Cap