

JAERI-Tech

97-072



JRR-3Mでの岩石型プルトニウム  
燃料の照射試験

1998年1月

山田忠則・相沢雅夫・白数訓子

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1998

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 日立高速印刷株式会社

## JRR-3Mでの岩石型プルトニウム燃料の照射試験

日本原子力研究所東海研究所安定化プルトニウム燃料・燃焼法研究特別チーム

山田 忠則・相沢 雅夫<sup>†</sup>・白数 訓子

(1997年12月11日受理)

JRR-3Mのベリリウム反射体領域の垂直照射孔において、岩石型プルトニウム燃料試料の照射試験を原子炉運転4サイクル（平成7年1月23日から10月13日）に亘って行った。岩石型プルトニウム燃料試料は、トリア系化合物及びジルコニア系化合物をそれぞれディスク状に加圧成形し燃料ピンに収めてある。それぞれの燃料ピンは、キャップセル内に3段に分けて配置した。各段の目標試料温度を600°C（上段）、800°C（下段）、1000°C（中段）となるように設計した。

本報告書は、照射キャップセルの設計・製作及び照射試験の結果得られた試料の照射温度、中性子束に関する測定データをまとめたものである。

Irradiation test of Plutonium Rock-like Fuel Sample at JRR-3M

Tadanori YAMADA, Masao AIZAWA<sup>+</sup>, Noriko SHIRASU

Excess Plutonium Disposition Fuel Research and Development Team  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 11, 1997)

The Irradiation test of plutonium rock-like fuel sample for four reactor operation cycles (from January to October 1995) has been performed in the irradiation hole of Japan Research Reactor No.3 (JRR-3M) beryllium reflector region. Plutonium rock-like fuel samples consists of two oxide systems of  $\text{PuO}_2\text{-ThO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  and  $\text{PuO}_2$ -stabilized  $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ . They were fabricated by making use of conventional MOX fuel facilities. The fuel pins were arranged respectively to 3 locations in the capsule. Target temperature of sample in each locations were designed to 600 °C (Top), 800 °C (Bottom) and 1000 °C (Middle) respectively. In irradiation test, temperature of sample on middle location in capsule was controlled to 1000 °C at 20 MW reactor power.

In this paper, design and fabrication of irradiation capsule, result of irradiation tests for temperature and neutron fluxes in capsule are described.

Keywords : Plutonium Rock-like Fuel, Irradiation Capsule, Mixed Gas Temperature Control, JRR-3M, Thermal Neutron Flux, Fast Neutron Flux, Irradiation Hole

---

+ Department of Research Reactor

## 目 次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| まえがき .....              | 1  |
| 1. 照射キャップセルの設計・製作 ..... | 1  |
| 1.1 構造設計 .....          | 1  |
| 1.2 熱設計 .....           | 2  |
| 1.3 強度設計 .....          | 2  |
| 1.4 計測制御 .....          | 2  |
| 1.5 反応度の推定 .....        | 2  |
| 1.6 キャップセルの組立 .....     | 2  |
| 2. 照射試験 .....           | 11 |
| 2.1 照射試験の概要 .....       | 11 |
| 2.2 照射孔の特性 .....        | 11 |
| 2.3 キャップセル温度制御装置 .....  | 12 |
| 2.4 照射履歴 .....          | 12 |
| 3. 中性子照射量の評価 .....      | 24 |
| 3.1 热中性子照射量の評価 .....    | 24 |
| 3.2 高速中性子照射量の評価 .....   | 25 |
| 4. 考 察 .....            | 31 |
| あとがき .....              | 31 |
| 謝 辞 .....               | 31 |
| 参考文献 .....              | 32 |

## Contents

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....                                    | 1  |
| 1. Design and Fabrication of Irradiation Capsule..... | 1  |
| 1.1 Structure and Configuration.....                  | 1  |
| 1.2 Thermal Design .....                              | 2  |
| 1.3 Strength Design.....                              | 2  |
| 1.4 Instrumentations and Controle Methods.....        | 2  |
| 1.5 Estimation of Reactivity .....                    | 2  |
| 1.6 Fabrication of Capsule .....                      | 2  |
| 2. Irradiation Test .....                             | 11 |
| 2.1 Out line of Irradiation Test .....                | 11 |
| 2.2 Characteristics of Irradiation Hole.....          | 11 |
| 2.3 Temperature Controle Facility of Capsule .....    | 12 |
| 2.4 History of Irradiation Test.....                  | 12 |
| 3. Evaluation of Neutron Fulence.....                 | 24 |
| 3.1 Evaluation of Thermal Neutron Fulence.....        | 24 |
| 3.2 Evaluation of Fast Neutron Fulence .....          | 25 |
| 4. Discussion .....                                   | 31 |
| Conclusion .....                                      | 31 |
| Acknowledgments .....                                 | 31 |
| References .....                                      | 32 |

## まえがき

現在、日本の核燃料サイクルにおいては、プルトニウムは計画生産され軽水炉及び高速炉の燃料として使用されることになっており、利用の透明度は非常に高い。しかし、世界的には、21世紀初めに利用が不透明な軽水炉級分離プルトニウムが120～200トン蓄積されるとして大きな問題となっている。また、核軍縮により約10年間で戦略核の解体が進められ、その際に取り出される約100トンの高純度Pu-239は、20～30年の間に核変換するか廃棄物として処分されることが期待されている。その方法については、核不拡散性、環境安全性及び経済性から世界的に検討が進められているが、まだ決め手がないのが現状である。原子力エネルギー利用の観点からは、このプルトニウムは計画外のものであり、核爆弾への再利用を避けるために完全に核変換することが望ましい。われわれは、この問題に対応するため特別チームを発足し、プルトニウムを効率よく燃焼し使用済み燃料は安定な廃棄物としてそのまま直接処分できる燃料及び原子炉システムの開発の検討を進めている<sup>1)</sup>。燃料としてはトリウム系化合物及びジルコニア系化合物の岩石型プルトニウム燃料の開発研究を進めており、今回、JRR-3Mベリリウム反射体領域の垂直照射孔において照射試験を実施した<sup>2)</sup>。本報告書は、照射キャップセルの設計・製作及び照射試験の結果得られた照射温度及び中性子束等の測定結果をまとめたものである。

## 1. 照射キャップセルの設計・製作

## 1.1 構造設計

本照射試験に用いたキャップセル（以下 BRF-24H キャップセルという）の全体構成図を Fig. 1.1 に、岩石型プルトニウム燃料（以下 ROX 燃料という；Rock-like Oxide Fuel）試料を収めた Nb-1% Zr 製の燃料ピンの組立図を Fig. 1.2 に示す。キャップセルの形状は、照射孔径及び炉心領域の高さから外筒の寸法を外形φ40mm、本体部の長さを約95cmとした。キャップセルの構造は、外筒、内筒の2重気密構造とし、外筒と内筒間のギャップはキャップセル温度を制御するための混合ガス温度制御層とした。外筒及び内筒には、それぞれ SUS 304 及び SUS 316 を使用した。ROX 燃料試料を収めた燃料ピンは、モリブデン製の試料ケースに収納し2本づつ3段に分けて内筒内に収め1気圧のヘリウムガスを封入して密封してある。各段に配置した ROX 燃料試料の仕様を Table 1.1 に、使用したプルトニウムの同位体比を Table 1.2 に示す。各段の照射目標温度を達成するために中段、下段部の内筒と試料ケース間にそれぞれ2重及び1重の反射筒を配置した。また、キャップセル長手方向への断熱のため試料ケースの上下端及び各段の試料ケース間に反射板を配置した。これら反射筒、反射板には Nb-1% Zr を用いた。

## まえがき

現在、日本の核燃料サイクルにおいては、プルトニウムは計画生産され軽水炉及び高速炉の燃料として使用されることになっており、利用の透明度は非常に高い。しかし、世界的には、21世紀初めに利用が不透明な軽水炉級分離プルトニウムが120～200トン蓄積されるとして大きな問題となっている。また、核軍縮により約10年間で戦略核の解体が進められ、その際に取り出される約100トンの高純度Pu-239は、20～30年の間に核変換するか廃棄物として処分されることが期待されている。その方法については、核不拡散性、環境安全性及び経済性から世界的に検討が進められているが、まだ決め手がないのが現状である。原子力エネルギー利用の観点からは、このプルトニウムは計画外のものであり、核爆弾への再利用を避けるために完全に核変換することが望ましい。われわれは、この問題に対応するため特別チームを発足し、プルトニウムを効率よく燃焼し使用済み燃料は安定な廃棄物としてそのまま直接処分できる燃料及び原子炉システムの開発の検討を進めている<sup>1)</sup>。燃料としてはトリウム系化合物及びジルコニア系化合物の岩石型プルトニウム燃料の開発研究を進めており、今回、JRR-3Mベリリウム反射体領域の垂直照射孔において照射試験を実施した<sup>2)</sup>。本報告書は、照射キャップセルの設計・製作及び照射試験の結果得られた照射温度及び中性子束等の測定結果をまとめたものである。

## 1. 照射キャップセルの設計・製作

## 1.1 構造設計

本照射試験に用いたキャップセル（以下 BRF-24H キャップセルという）の全体構成図を Fig. 1.1 に、岩石型プルトニウム燃料（以下 ROX 燃料という；Rock-like Oxide Fuel）試料を収めた Nb-1% Zr 製の燃料ピンの組立図を Fig. 1.2 に示す。キャップセルの形状は、照射孔径及び炉心領域の高さから外筒の寸法を外形 ø 40mm、本体部の長さを約 95cm とした。キャップセルの構造は、外筒、内筒の2重気密構造とし、外筒と内筒間のギャップはキャップセル温度を制御するための混合ガス温度制御層とした。外筒及び内筒には、それぞれ SUS 304 及び SUS 316 を使用した。ROX 燃料試料を収めた燃料ピンは、モリブデン製の試料ケースに収納し2本づつ3段に分けて内筒内に収め1気圧のヘリウムガスを封入して密封してある。各段に配置した ROX 燃料試料の仕様を Table 1.1 に、使用したプルトニウムの同位体比を Table 1.2 に示す。各段の照射目標温度を達成するために中段、下段部の内筒と試料ケース間にそれぞれ2重及び1重の反射筒を配置した。また、キャップセル長手方向への断熱のため試料ケースの上下端及び各段の試料ケース間に反射板を配置した。これら反射筒、反射板には Nb-1% Zr を用いた。

## 1.2 熱設計

熱設計では、照射孔（垂直照射孔 BR-1）の特性測定値から燃料試料の核分裂発熱量、キャプセル構造材のガンマ発熱率を推定しキャプセル発熱量を求めた。これを基にキャプセル外表面の熱伝達率を  $25,800 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、冷却水温度を  $42^\circ\text{C}$  として、円筒一次元伝熱計算によりキャプセル内温度分布を求め照射時の目標温度が達成できるように熱媒体、反射筒、試料ケース等の内径、外形寸法を決定した。Table 1.3 に原子炉出力 20MW における各段の発熱量及びヘリウムガス 100 % の時のキャプセル各部の設計温度を示す。

## 1.3 強度設計

強度設計では、熱設計の結果及び予想される照射試験条件から内筒及び外筒について、内圧応力、熱応力、延性破壊、クリープ破壊強度、熱疲労の発生についての応力評価を行い充分な強度を有していることを確認した。これらの結果を Table 1.4 に示す。

## 1.4 計測制御

本キャプセルには、温度測定のために 8 本のクロメルーアルメル熱電対が計装されている。それぞれの測温位置は、燃料ピン被覆管先端部の熱電対挿入孔に各段 1 本づつ合計 3ヶ所、各段試料ケースの燃料ピン収納孔内側に溝を設けて各段 1 本づつ合計 3ヶ所、外筒と内筒間の熱媒体内の上部、下部に各 1 本づつ合計 2ヶ所である。なお、内筒内に挿入する熱電対は、外筒内上部プレナム部でセラミックシール気密端子を介し、キャプセル本体上部に導かれる。これは、熱電対の被覆管が破損した場合、核分裂生成物が被覆管内を通ってキャプセル外に漏洩するのを防ぐためである。キャプセルの温度制御方式は、外筒と内筒間のギャップ層に流すガスの混合比を調節して行うもので、本キャプセルでは、熱伝導率の大きいヘリウムガスと小さな窒素ガスの混合比を調節してキャプセル内に供給し、キャプセル温度を調節する。また、各段の試料ケース内に、熱中性子束及び高速中性子束測定用のフルエンスモニタとして、石英管に封入した Co-Al 合金及び Fe 金属ワイヤを挿入してある。

## 1.5 反応度の推定

BRF-24H キャプセルの主な構成材質は、SUS304、SUS316、Nb-1% Zr 等で Fe、Cr、Ni、Nb が主成分である。これらの元素の吸収反応度には大きな違いがないこと及びこれらの元素を主成分とするキャプセルに関しては数多くの照射経験があることから、過去の実測値を基にキャプセル部品の重量比から反応度を推定した。この結果、本キャプセルの吸収反応度を  $0.3 \% \Delta k/k$  と推定した。

## 1.6 キャプセルの組立

BRF-24H キャプセルの製作及び検査は、原研工作課において実施した。Photo. 1.1 及び Photo.

1.2 に組立前のキャプセル部品及びキャプセル完成時の写真を示す。内筒及び外筒の各端栓部の密封は電子ビーム溶接で行った。また、熱電対の引き出し部の密封は、内筒端栓部ではニクロブレーゼロー付け、外筒端栓部では銀ロー付けにより密封した。各密封部の漏洩検査はヘリウムリーク試験により行い、いずれも  $1 \times 10^{-8}$  atm・cc/sec 以下であることを確認した。熱電対及び温度制御用配管は、キャプセル本体の上部に取り付けた計装管内を導き、更に計装管の上端に取り付けた接続ユニットに接続した。この接続ユニットは、キャプセルを炉内に装荷した後、炉頂に設置してある計測制御装置側の接続ユニットと接続するものである。完成したキャプセルは表面汚染検査を行い  $0.04\text{Bq}/\text{cm}^2$  以下であることを確認した。

Table 1.1 Outline of ROX fuel pins

| 照射位置 | 燃料ピン<br>No. | 組成  | ディスク重量<br>(g) | PuO <sub>2</sub> 重量<br>(mg) |
|------|-------------|-----|---------------|-----------------------------|
| 上段   | 3           | Th系 | 0.1602        | 31.69                       |
|      | 7           | Zr系 | 0.1608        | 37.04                       |
| 中段   | 2           | Th系 | 0.1535        | 30.37                       |
|      | 6           | Zr系 | 0.1538        | 35.43                       |
| 下段   | 1           | Th系 | 0.1793        | 35.47                       |
|      | 4           | Zr系 | 0.1474        | 33.96                       |

Table 1.2 Isotopic ratio of Plutonium in ROX fuel

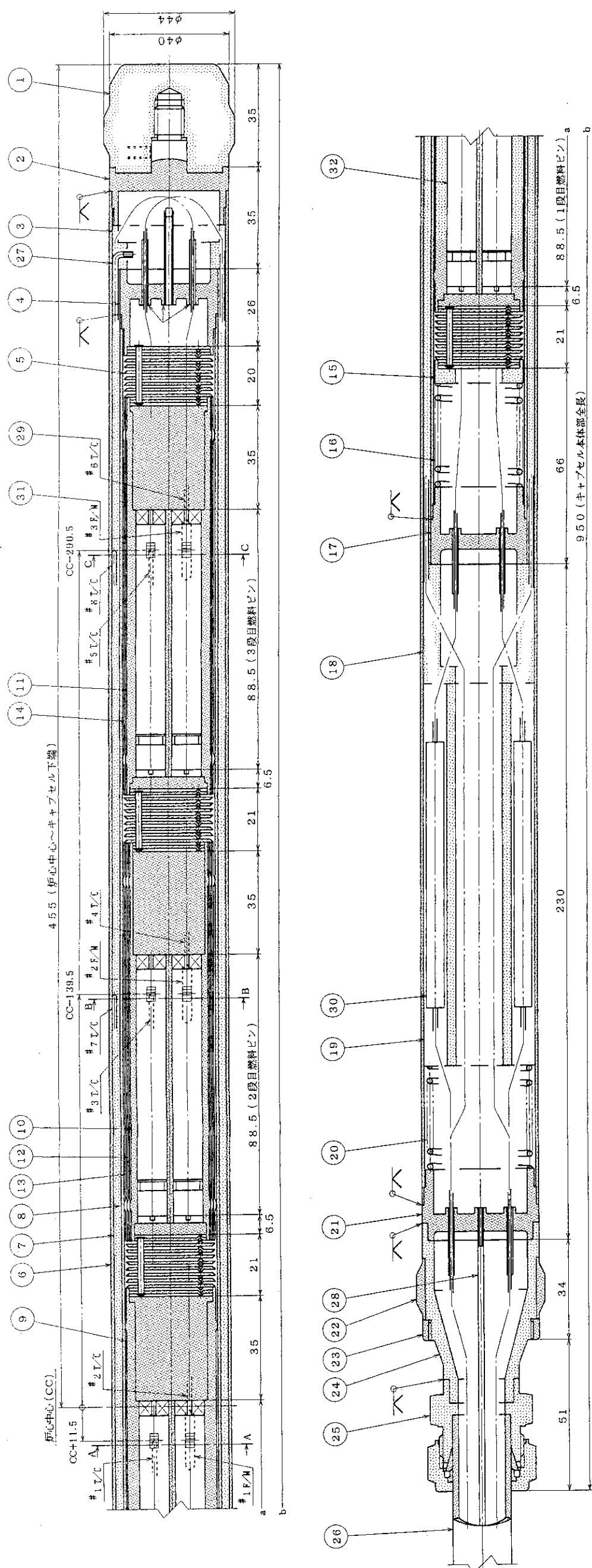
| 同位体    | 同位体比(at%) |
|--------|-----------|
| Pu-238 | <0.01     |
| Pu-239 | 94.33     |
| Pu-240 | 5.27      |
| Pu-241 | 0.40      |
| Pu-242 | <0.01     |

Table 1.3 Results of thermal design for BRF-24H capsule

|  |      | 1段目       | 2段目 | 3段目  | 〈計算条件〉   |
|--|------|-----------|-----|------|--|
| ペレット核分裂発熱 (W)  |      | 141       | 175 | 161  |  |
| キャプセル線出力 (W/cm)                                      |      | 245       | 346 | 286  | (1) 原子炉出力 : 20MW<br>(2) 混合ガス割合<br>・Heガス : 100%<br>・窒素ガス: 0 % |
| キャ<br>プ<br>セ<br>ル<br>各<br>部<br>の<br>設<br>計<br>温<br>度 | 燃料ピン | 中心温度 (°C) | 686 | 1109 | 900  |
|  |      | 外面温度 (°C) | 593 | 993  | 793  |
|  | 反射筒  | 内面温度 (°C) | —   | 857  | —  |
|  |      | 外面温度 (°C) | —   | 856  | —  |
|  | 反射筒  | 内面温度 (°C) | —   | 700  | 681  |
|  |      | 外面温度 (°C) | —   | 698  | 679  |
|  | 内 筒  | 内面温度 (°C) | 435 | 478  | 465  |
|  |      | 外面温度 (°C) | 427 | 468  | 455  |
|  | 熱媒体  | 内面温度 (°C) | 304 | 334  | 324  |
|  |      | 外面温度 (°C) | 283 | 310  | 301  |
|  | 外 筒  | 内面温度 (°C) | 62  | 66   | 64   |
|  |      | 外面温度 (°C) | 49  | 52   | 50   |

Table 1.4 Results of strength design for BRF-24H capsule

|        |   | 応 力 評 価 基 準   | 応力 (MPa)              | 内 筒    | 外 筒    |
|--------|---|---------------|-----------------------|--------|--------|
| 延性破壊   | 内圧応力 ( $\sigma_p$ ) < 許容応力 ( $\sigma_a$ )             | $\sigma_p$    | 5.82                  | 3.70   |        |
|        |   | $\sigma_a$    | 105.91                | 138.27 |        |
| クリープ破壊 | クリープ破壊許容応力 ( $\sigma_{ac}$ ) > $\sigma_p$             | $\sigma_{ac}$ | 105.91                | —      |        |
| 熱 疲 労  |   |               | $\sigma_t$            | 26.39  | 36.37  |
|        | $\sigma_p + \text{熱応力} (\sigma_t) < 3 \cdot \sigma_a$ |               | $\sigma_t + \sigma_p$ | 32.21  | 40.07  |
|        |   |               | $3 \cdot \sigma_a$    | 317.73 | 414.81 |



| 品番 | 部品名            | 個数   | 材質                   | 備考 | 品番 | 部品名    | 個数 | 材質      | 備考           |
|----|----------------|------|----------------------|----|----|--------|----|---------|--------------|
| 31 | 燃料ビン (CC)      | 4.55 | (炉心中心～キャップセル下端)      |    | 16 | スプリング  | 1  | インコネル   |              |
| 32 | 燃料ビン           | 6    |                      |    | 15 | スペーサー  | 1  | SUS304  |              |
| 33 | フルエンスモータ (F/M) | 3    |                      |    | 14 | 反射筒    | 1  | Nb-1%Zr | 3段目用         |
| 34 | 熱電対端子          | 6    |                      |    | 13 | 反射筒    | 1  | Nb-1%Zr | 2段目用         |
| 35 | 熱電対 (T/C)      | 8    | JIS Type K シース外径φ1.6 |    | 12 | 反射筒    | 1  | Nb-1%Zr | 2段目用         |
| 36 | 混合ガス排出管        | 1    | SUS304 φ1×φ2×t0.5    |    | 11 | 試料ケース  | 1  | Mo      | 3段目用         |
| 37 | 混合ガス導入管        | 1    | SUS304 φ1×φ2×t0.5    |    | 10 | 試料ケース  | 1  | Mo      | 2段目用         |
| 38 | 計装パイプ          | 1    | A1050 φ1.6×φ2.0×t2   |    | 9  | 試料ケース  | 1  | Mo      | 1段目用         |
| 39 | スウェーブロック総手     | 1    | SUS316               |    | 8  | 内筒     | 1  | SUS316  | φ3.3×φ3.1×t1 |
| 40 | アダプタ           | 1    | SUS304               |    | 7  | 熱媒体    | 1  | SUS304  |              |
| 41 | 押サエナット         | 1    | SUS304               |    | 6  | 外筒     | 1  | SUS304  | φ4.0×φ3.8×t1 |
| 42 | スベード           | 1    | A1050                |    | 5  | 反射板    | 4  | Nb-1%Zr |              |
| 43 | 外筒上部端栓         | 1    | SUS304               |    | 4  | 内筒下部端栓 | 1  | SUS316  |              |
| 44 | スプリング          | 1    | インコネル                |    | 19 | スペーサー  | 1  | A1050   |              |
| 45 |                |      |                      |    | 18 | スペーサー  | 1  | A1050   |              |
| 46 |                |      |                      |    | 17 | 内筒上部端栓 | 1  | SUS316  |              |

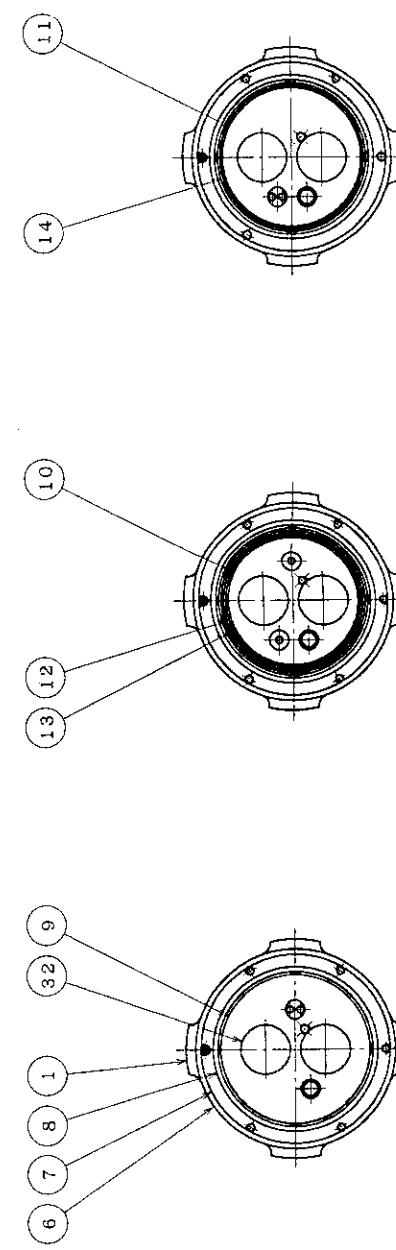
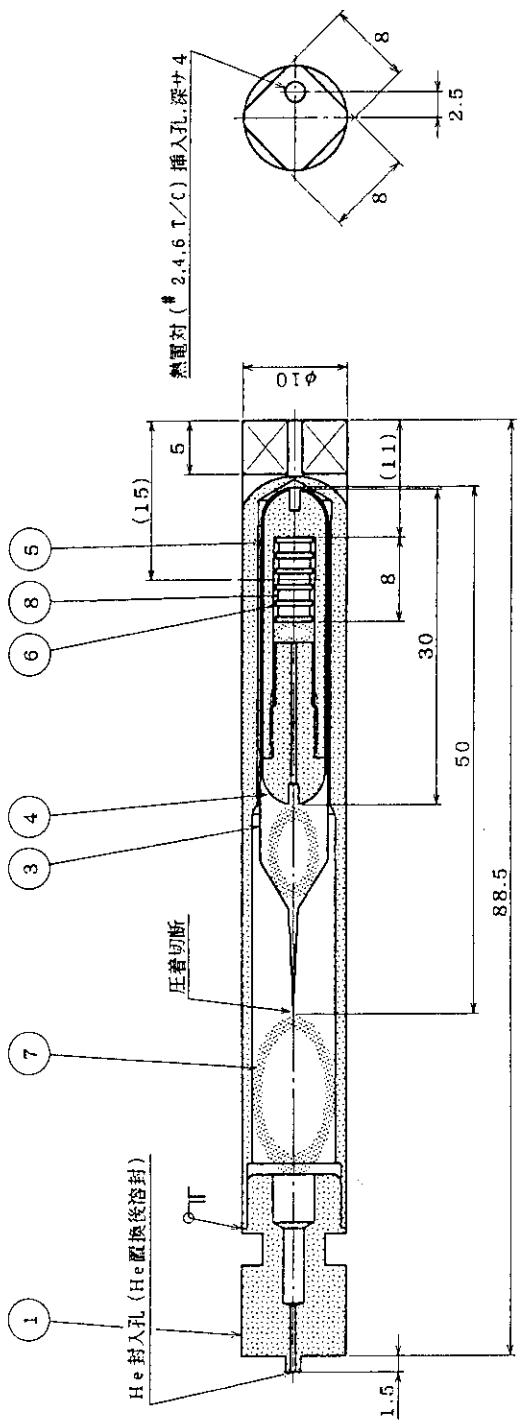


Fig. 1.1 Construction drawing of BRF-24H capsule



|    |          |    |         |   |
|----|----------|----|---------|---|
| 8  | 試料ベレット   | 5  | Pu 燃料   | $\phi 3 \times t 1$                     |
| 7  | 緩衝材      |    | アルミニウム  |   |
| 6  | スペーサ     | 6  | Nb-1%Zr | $\phi 3.5 \times t 0.5$                 |
| 5  | ベレットケース  | 1  | Nb-1%Zr | $\phi 6 \times \phi 4 \times t 1$       |
| 4  | ベレットケース蓋 | 1  | Nb-1%Zr |   |
| 3  | 白金ケース    | 1  | 白金      | $\phi 6.6 \times \phi 6.2 \times t 0.2$ |
| 2  | 被覆管      | 1  | Nb-1%Zr | $\phi 1.0 \times \phi 6.8 \times t 1.6$ |
| 1  | 端栓       | 1  | Nb-1%Zr |   |
| 品番 | 部品名      | 個数 | 材質      | 備考                                      |

Fig. 1.2 Construction drawing of fuel pin

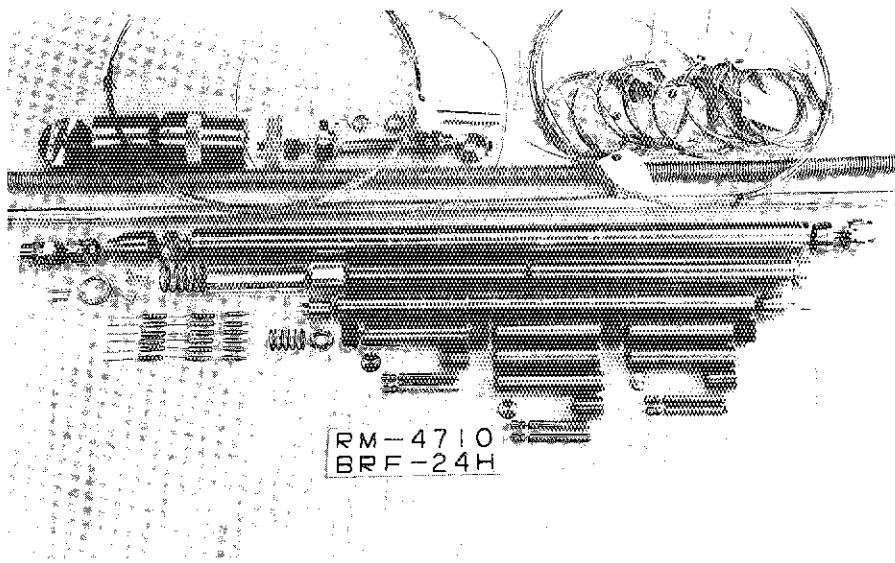


Photo. 1.1 Overview photograph of BRF-24H capsule parts

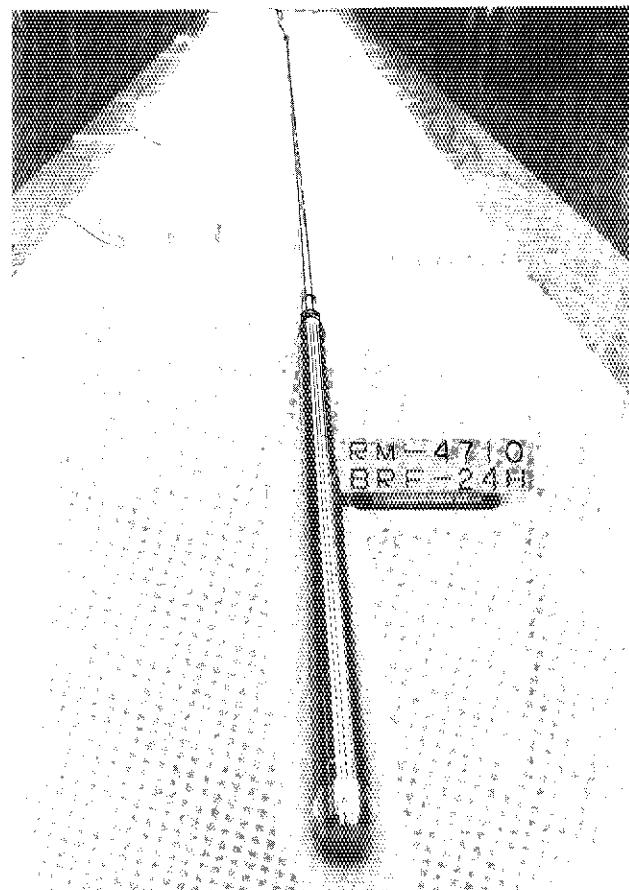


Photo. 1.2 Overview photograph of BRF-24H capsule assembly

## 2. 照射試験

### 2.1 照射試験の概要

JRR-3 M は、1サイクルを5週間として年間7サイクルの運転を実施している。1サイクルのうち第1週目は燃料交換、照射試料の交換及び余剰反応度の測定等連続運転に必要な準備を行い、第2週目の月曜日に原子炉を起動し第5週目金曜日まで26日間(20MW換算 601.5時間)の連続運転を行っている。

BRF-24H キャプセルの照射試験は平成6年度第7サイクル(平成7年1月23日開始)から平成7年度第3サイクル(平成7年10月13日終了)までの4サイクルに亘って行われた。照射設備は、炉心ベリリウム反射体領域の垂直照射孔 BR-1 を用い、キャプセルの温度計測及び温度制御は、混合ガス温度制御装置を使用して行った。Fig. 2.1 に照射試験設備の全体構成図を示す。

先ず、完成したキャプセルは炉室内に搬入後、外観・寸法検査及び計装線の導通・絶縁検査等を行い異常の無いことを確認した後炉内に挿入した。続いて、原子炉出力 10KW の低出力運転を行い炉心に与える反応度が制限値以内であることを確認した(実測値: 0.3 %△ k/k)。炉内でのキャプセルは照射筒内に着座し、原子炉一次冷却水の流れによる振動を防ぐため、原子炉プール内に設置してあるキャプセル支持クランプで固定されている。キャプセルから引き出された計装線及び温度制御用配管は、炉頂に設置してある接続ユニットを介し、炉外の計測制御装置及び混合ガス制御ユニットに接続した。この際、キャプセル内に空気が混入するため、混合ガス導入管よりヘリウムガスを供給して空気を排出し、原子炉起動に備えた。これは、原子炉運転中における放射性アルゴンガスの生成及びキャプセル部材の高温度下での酸化を防止するために必要な作業である。

通常、原子炉の出力上昇は各ステップ(100KW、200KW、2MW、10MW、15MW、18MW)毎に5分間以上保持し安定した後、異常のないことを確認してから次の出力まで上昇させる。従って、起動から定格出力 20MW 到達までは約4時間を要し、キャプセル温度も各出力ステップ毎に上昇する。本キャプセルでは、20 MW到達後、混合ガス温度制御装置により更に照射目標温度まで昇温した。

### 2.2 照射孔の特性

JRR-3 M 炉心部は、Fig. 2.2 に示すように格子板に自立する26体の標準型燃料要素、6体の制御棒吸収体付フォロワー型燃料要素、5体の照射筒要素及びベリリウム反射体から構成されている。これを取り囲むように二重円筒形の重水タンクが設置されている。このため、この重水タンクは、反射体の役目と共に高速中性子を減速させ最大の熱中性子束を利用できる場を提供している。Fig. 2.3 に平衡炉心時の BR-1 照射孔内の特性値を示す。これは、検出器(金箔・ニッケル板)を取り付けた模擬キャプセルを挿入して測定した中性子束分布で、余弦分布となっている。最大値は、炉心より約 20cm 下方の位置にあり、最大熱中性子束は、 $1.9 \times 10^{14} n/cm^2 \cdot sec$ 、最大高

速中性子束は  $5.5 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  である<sup>3)</sup>。今回の BRF-24H キャプセルの挿入位置は、中段部試料位置が、ほぼピーク位置となっている。

### 2.3 キャプセル温度制御装置

BRF-24H キャプセルの温度制御に用いた混合ガス温度制御法は、キャプセル内に設けた伝熱ギャップ層の熱抵抗を変化させ、キャプセルの温度制御を行う方式である。熱抵抗を変化させる方法として熱伝導率の大きいヘリウムガスと小さな窒素ガスを混合させガスの熱伝導率を調整する。この方式は、安定した制御が行い易いこと及び再現性が得やすい利点を有し、長期間の照射を行うものに対して照射試験の継続が容易で広く軽水炉、高速炉等の燃料照射試験に用いられている。Fig. 2.4 にキャプセル温度制御設備系統図を示す。混合ガス温度制御装置は、ヘリウムガスと窒素ガスの混合比を調整し、キャプセルに供給する混合ガス制御ユニットとキャプセル温度の記録及び温度制御を行う計測制御装置から構成されている。

原子炉起動時には、混合ガスの割合はヘリウムガス 100 %となっており、原子炉出力 20MW 到達後、窒素ガスの割合を徐々に増加させてキャプセル温度を目標温度まで昇温させる。本キャプセルでは、中段部試料の燃料ピン先端部に近接する位置に挿入した熱電対を用いて中段部試料温度を約 1000 °C に保つ温度制御を行った。

### 2.4 照射履歴

照射試験は、原子炉運転 4 サイクルに亘って行った。Table 2.1 に各サイクルの原子炉運転時間を示す。4 サイクルに亘る全照射時間は、原子炉出力 20MW 換算で約 2330 時間であった。各サイクルにおけるキャプセルの温度記録を Table 2.2 及び Fig.2.5 ~ Fig.2.8 に示す。ここで各サイクル共中段部試料の温度は、 $996 \pm 10$  °C を維持しているが、上段部及び下段部試料については、運転時間の経過と共に上昇或いは下降している。この原因是、中性子束分布が余弦分布となっており、運転の経過と共に中性子束のピーク位置が上方にシフトすることによる。ROX 燃料試料の温度は、熱電対の温度指示値に熱電対の接触熱抵抗を考慮した値を加算して推定した。この結果を Table 2.2 及び Fig. 2.9 に示す。

Table 2.1 Results of reactor operation time

| 原子炉運転サイクル   | 20MW到達日時         | 停止日時              | 20MW換算運転時間    |
|---|------------------|-------------------|---------------|
| R 3 - 0 6 - 0 7   | 平成7年1月23日, 15:00 | 平成7年2月17日, 16:30  | 601.5 時間      |
| R 3 - 0 7 - 0 1※  | 平成7年7月10日, 15:00 | 平成7年8月4日, 16:30   | 597.87 時間     |
| R 3 - 0 7 - 0 2   | 平成7年8月17日, 15:00 | 平成7年9月8日, 16:30   | 529.5 時間      |
| R 3 - 0 7 - 0 3   | 平成7年9月18日, 15:00 | 平成7年10月13日, 16:30 | 601.5 時間      |
| ※ 原子炉計画外停止 : H. 7. 7. 11, 18:22<br>原子炉再起動(20MWT到達) : H. 7. 7. 11, 22:00 |                  |                   | 合計 2330.37 時間 |

Table 2.2 Temperature record of BRF-24H capsule irradiated in JRR-3M

| 燃料ビン |            | R3-06-07サイクル |     | R3-07-01サイクル     |                  | R3-07-02サイクル     |                  | R3-07-03サイクル     |                  |
|------|------------|--------------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 照射位置 | 熱電対<br>No. | 熱電対<br>挿入位置  | No. | 熱電対指示<br>温度 (°C) | 試料推定※<br>温度 (°C) | 熱電対指示<br>温度 (°C) | 試料推定※<br>温度 (°C) | 熱電対指示<br>温度 (°C) | 試料推定※<br>温度 (°C) |
| 上段   | 7          | 外側           | ①   | 535～592          | —                | 600～680          | —                | 585～655          | —                |
|      | 3          | 中心部先端        | ②   | 545～610          | 638～703          | 610～690          | 703～783          | 595～665          | 688～758          |
| 中段   | 6          | 外側           | ③   | 855～870          | —                | 860～875          | —                | 860～880          | —                |
|      | 2          | 中心部先端        | ④   | 875～887          | 991～1003         | 870～890          | 986～1006         | 880～890          | 996～1006         |
| 下段   | 1          | 外側           | ⑤   | 645～710          | —                | 630～660          | —                | 645～690          | —                |
|      | 4          | 中心部先端        | ⑥   | 645～710          | 752～817          | 615～650          | 722～757          | 630～680          | 737～787          |
|      |            | 熱媒体          |     | ⑦                | 310              | —                | 310              | —                | 335              |
|      |            | —            |     | ⑧                | 290              | —                | 290              | —                | 300              |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|      |            |              |     |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

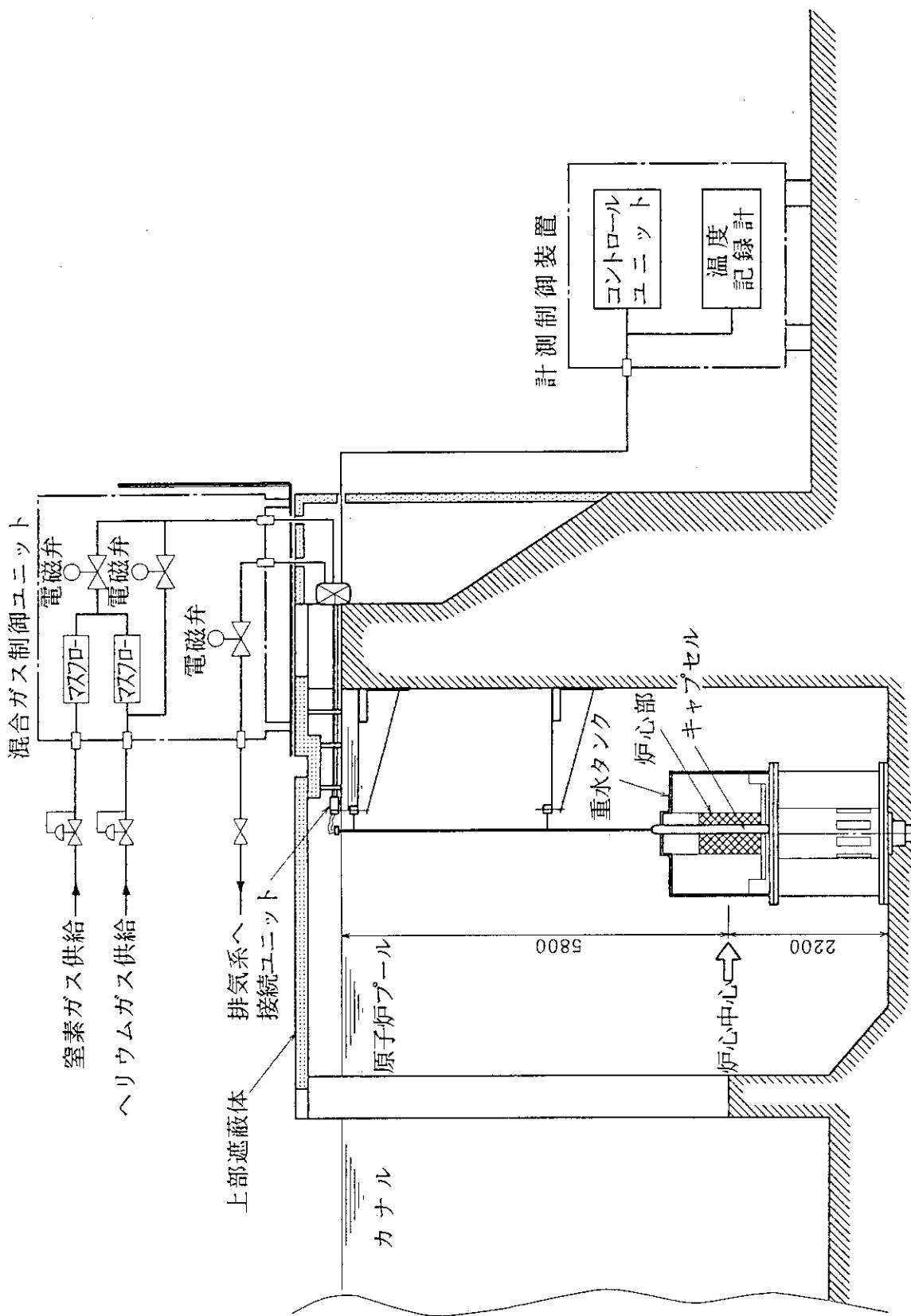


Fig. 2.1 Schematic diagram of Capsule irradiation facility.

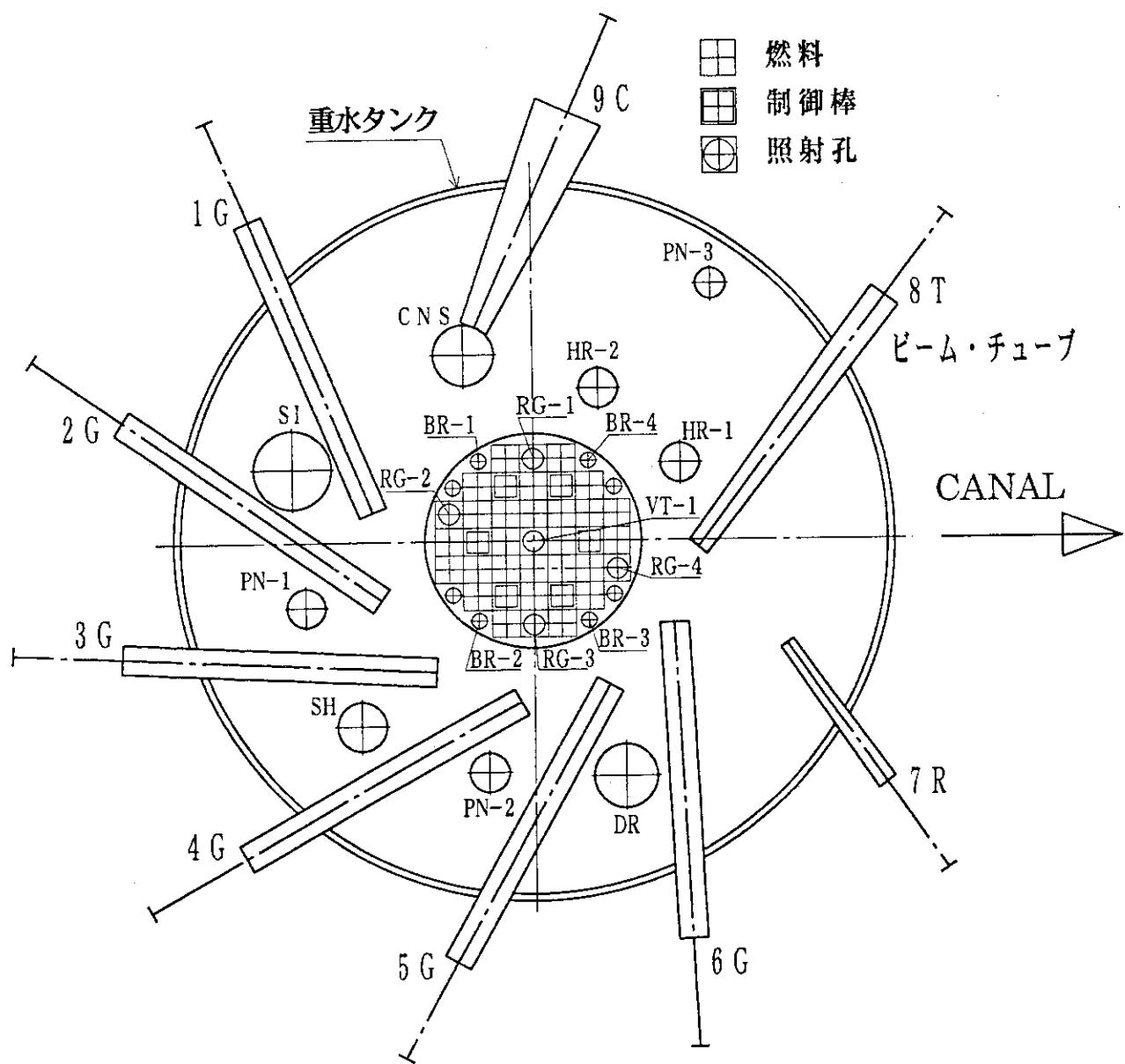


Fig.2.2 Irradiation holes arrangement in JRR-3M

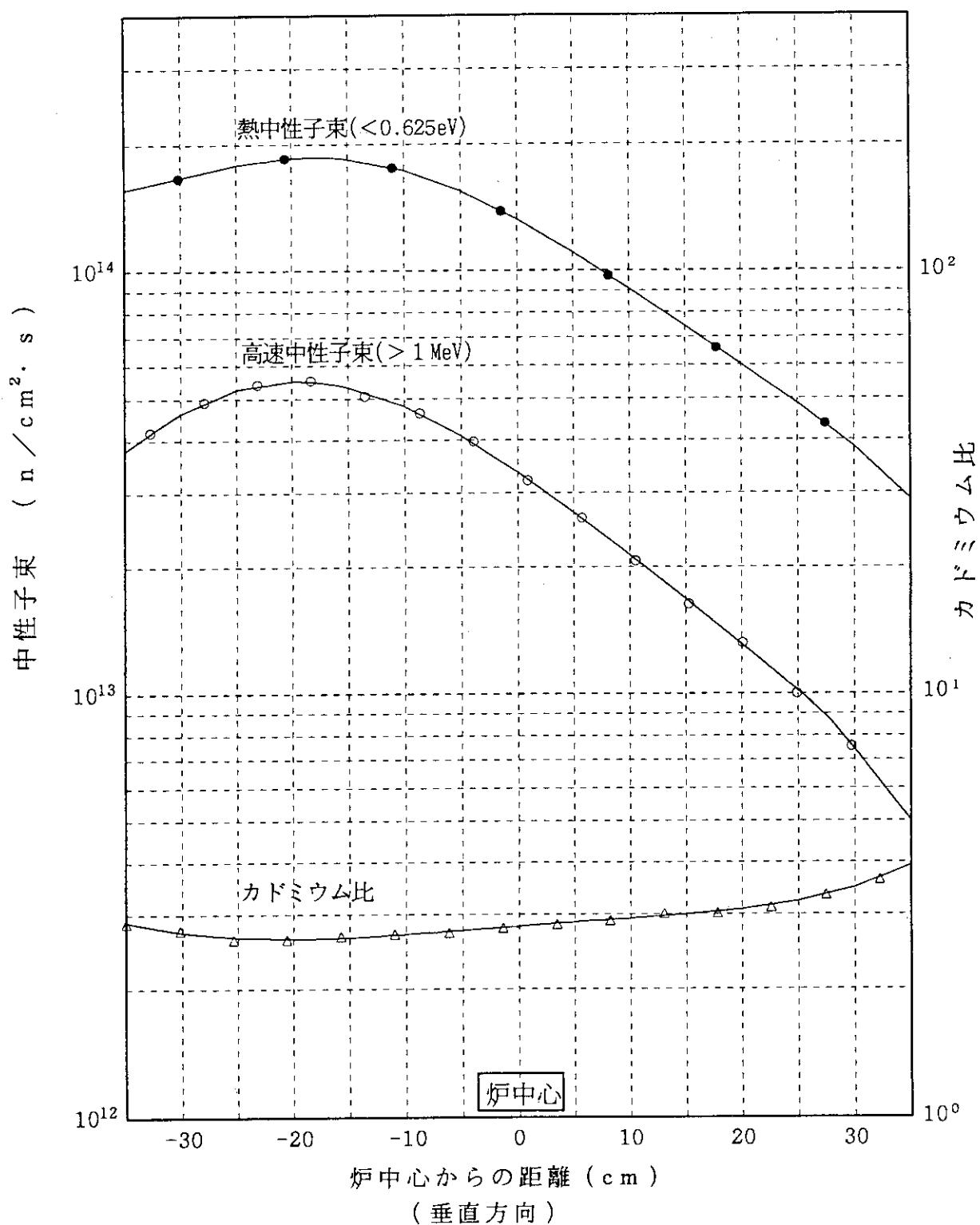


Fig.2.3 Distribution of neutron flux for BR-1 irradiation hole

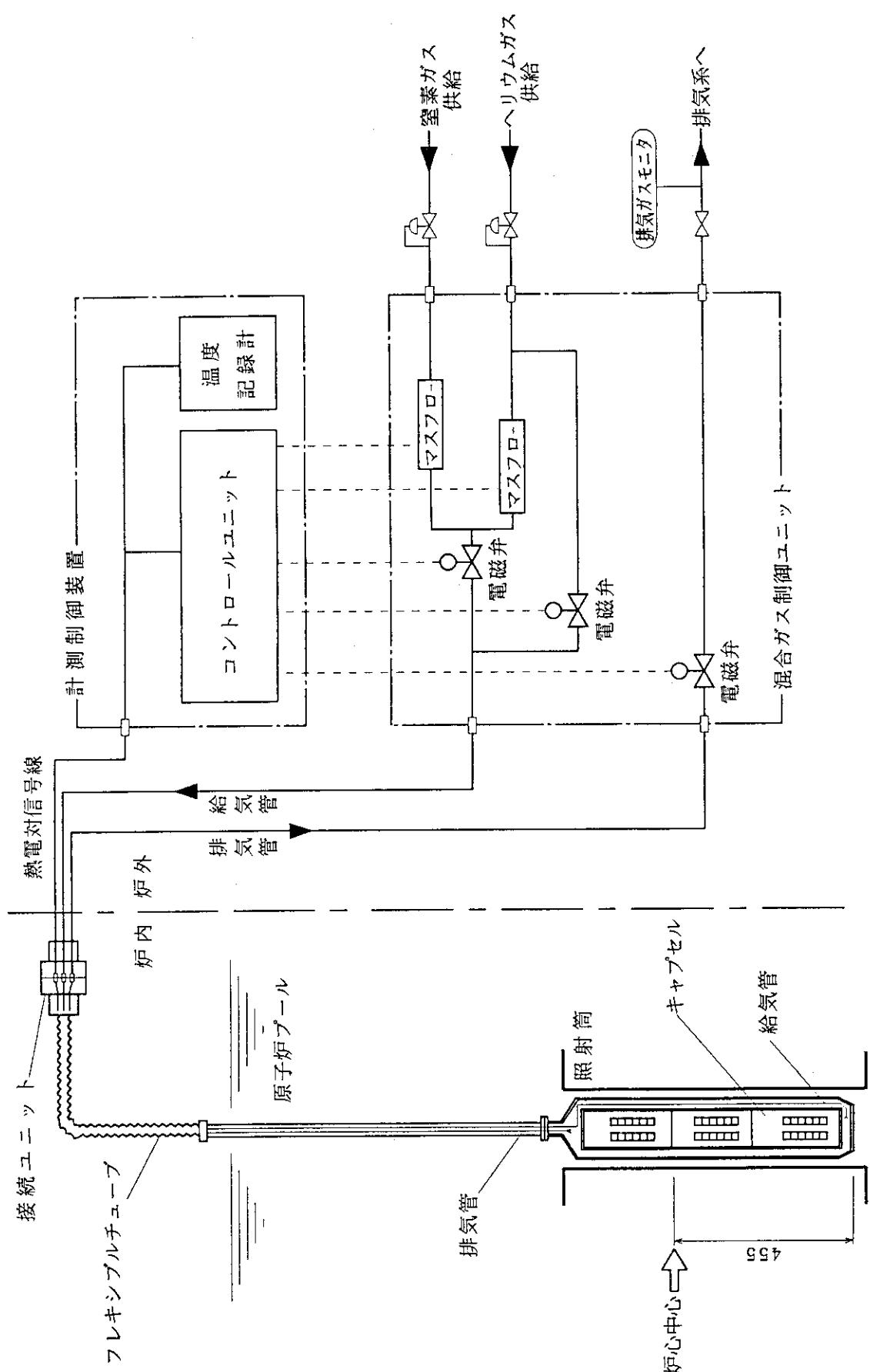


Fig. 2.4 Schematic diagram of mixed gas temperature control system

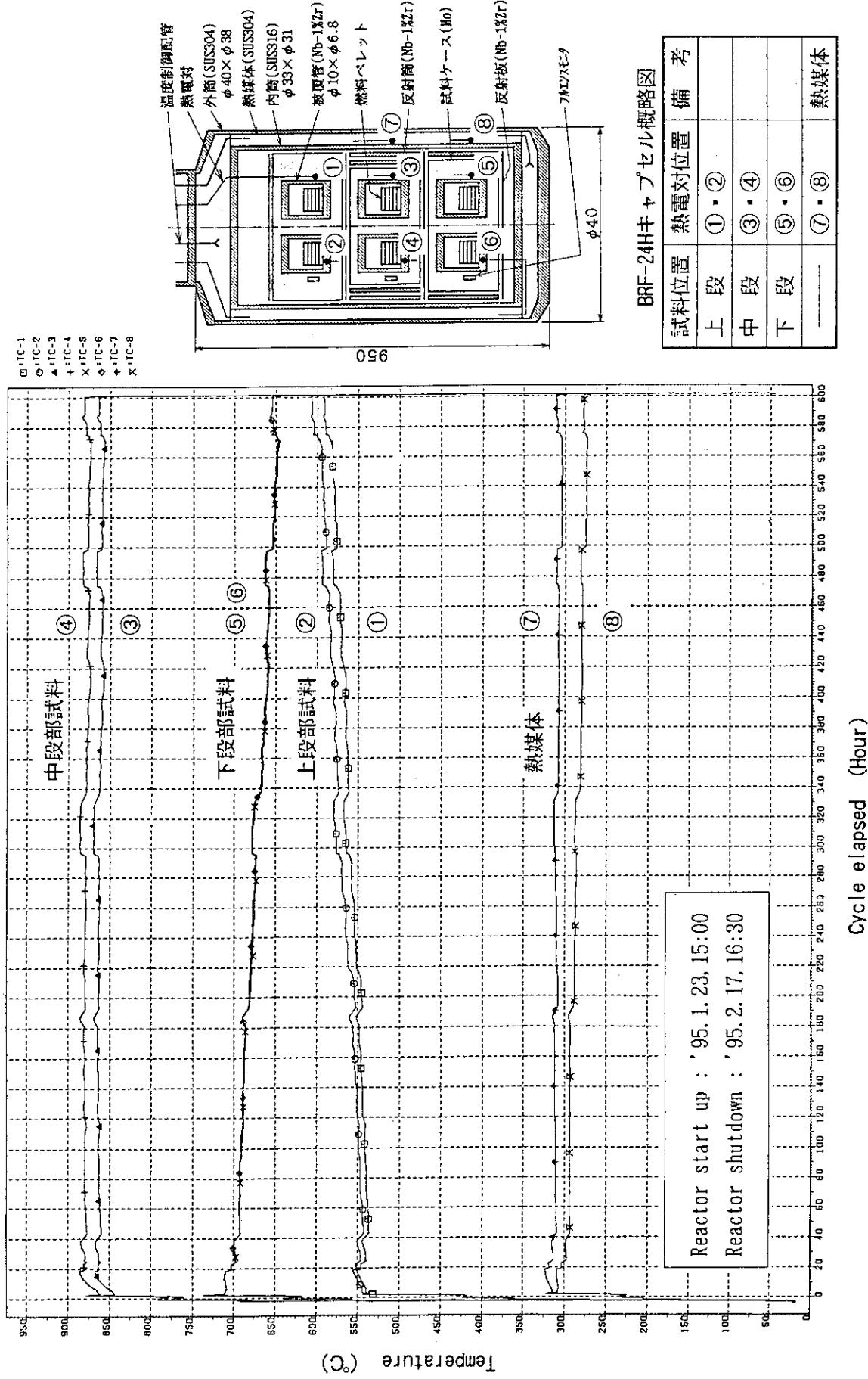


Fig. 2.5 Tempererature record of BRF-24H capsule irradiated in JRR-3M (The first cycle : R3-06-07)

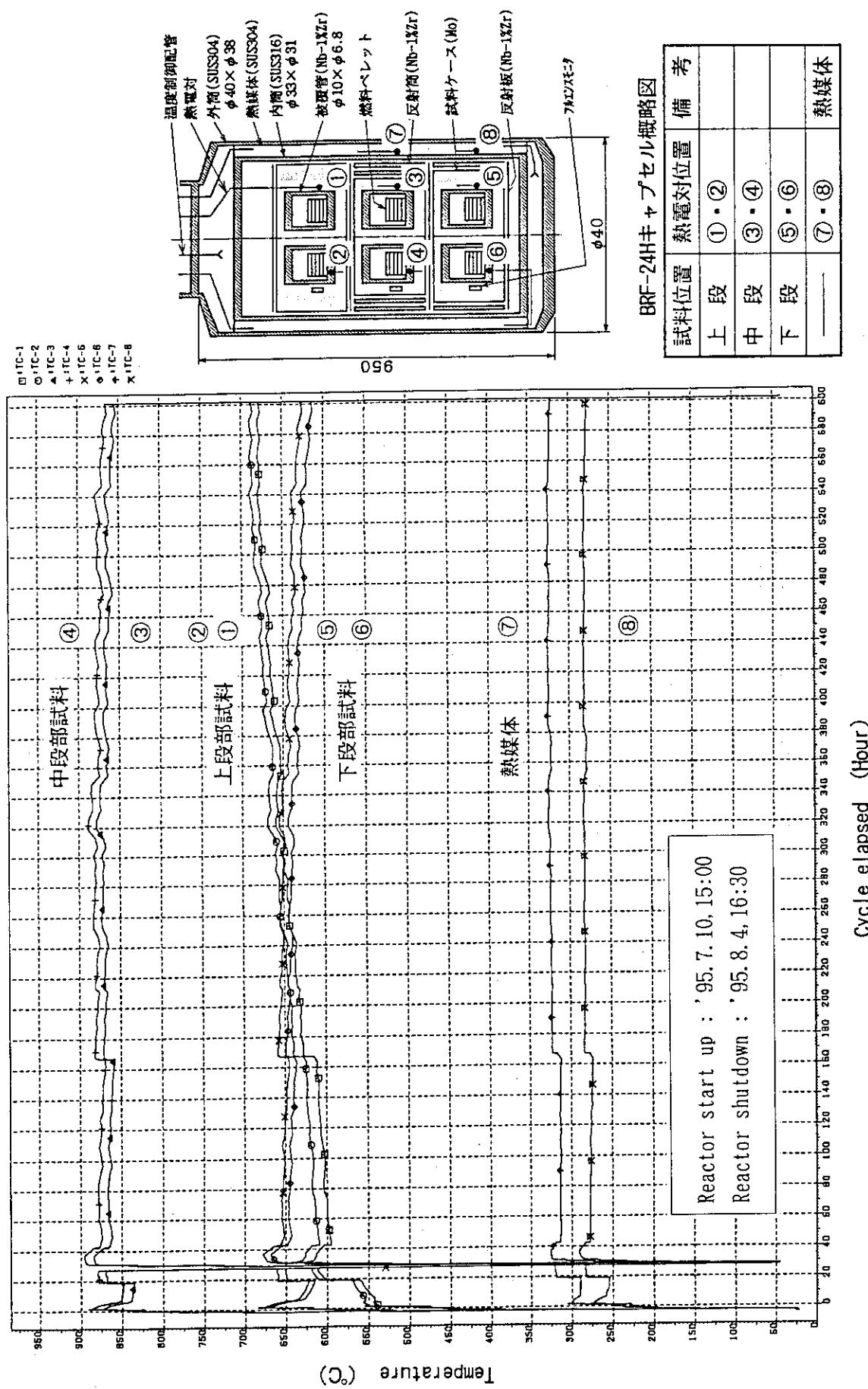


Fig. 2. 6 Tempereture record of BRF-24H capsule irradiated in JRR-3M (The 2nd cycle : R3-07-01)

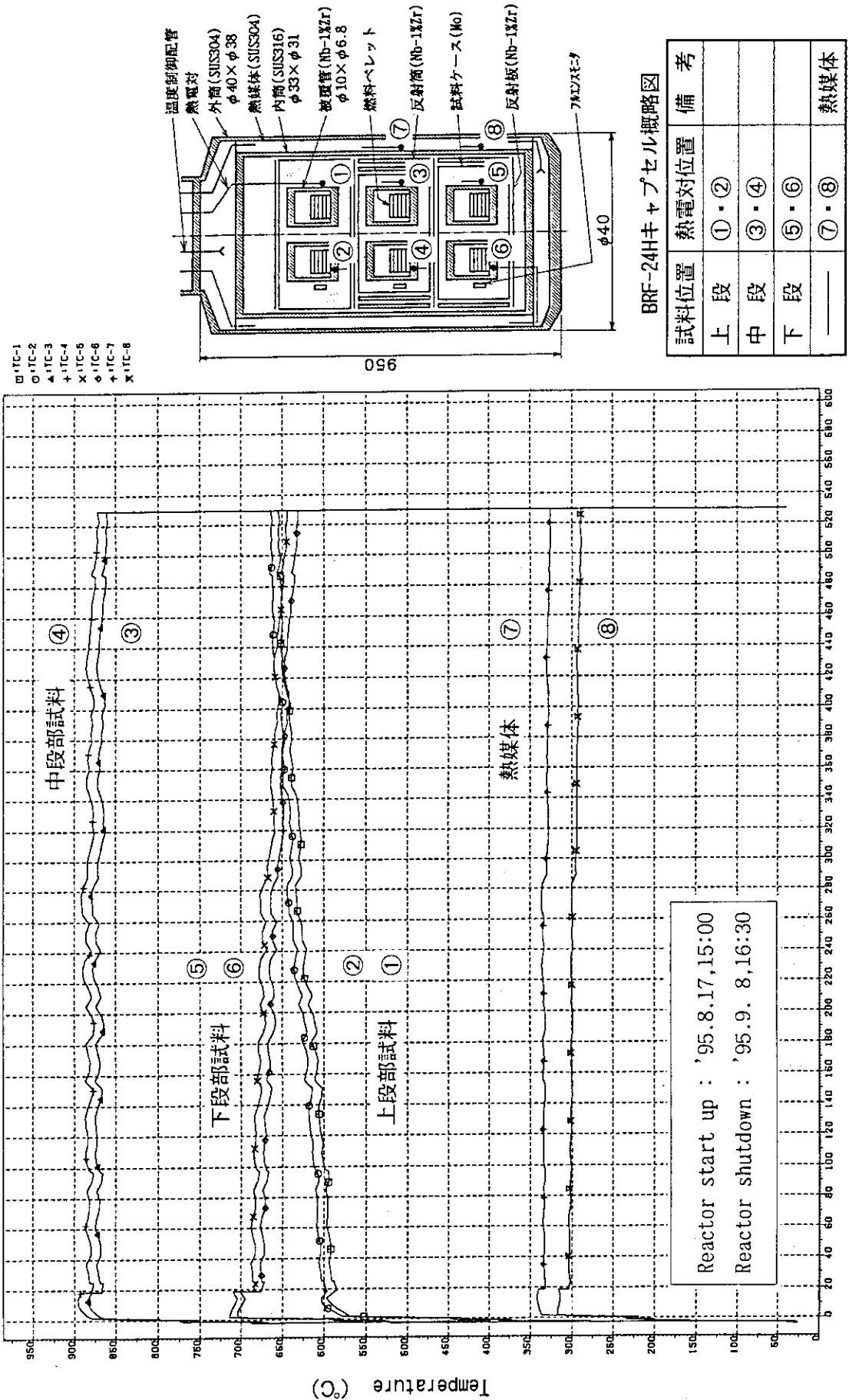


Fig. 2.7 Tempereture record of BRF-24H capsule irradiated in JRR-3M (The 3rd cycle : R3-07-02)

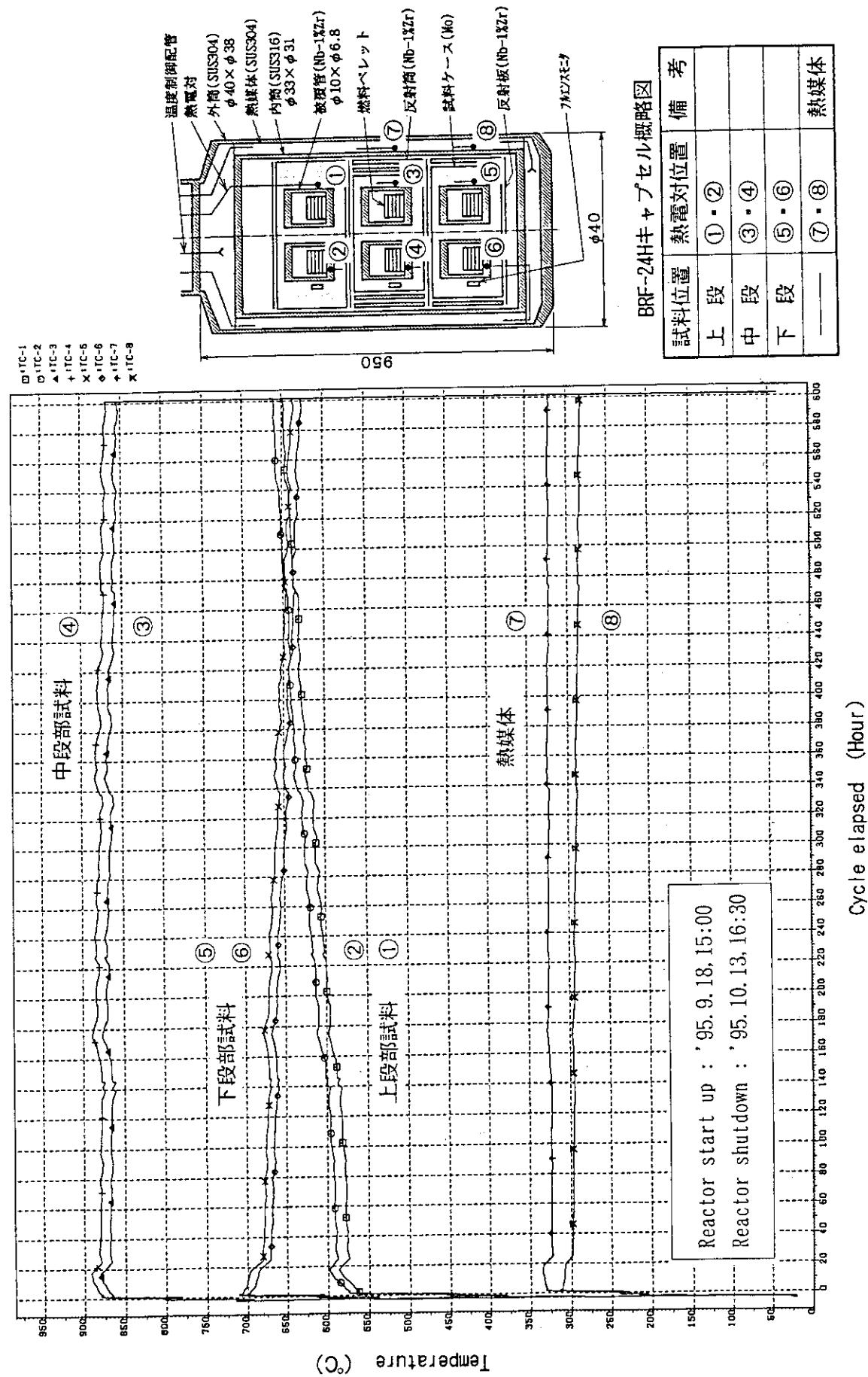


Fig. 2. 8 Tempererature record of BRF-24H capsule irradiated in JRR-3M (The 4th cycle : R3-07-03)

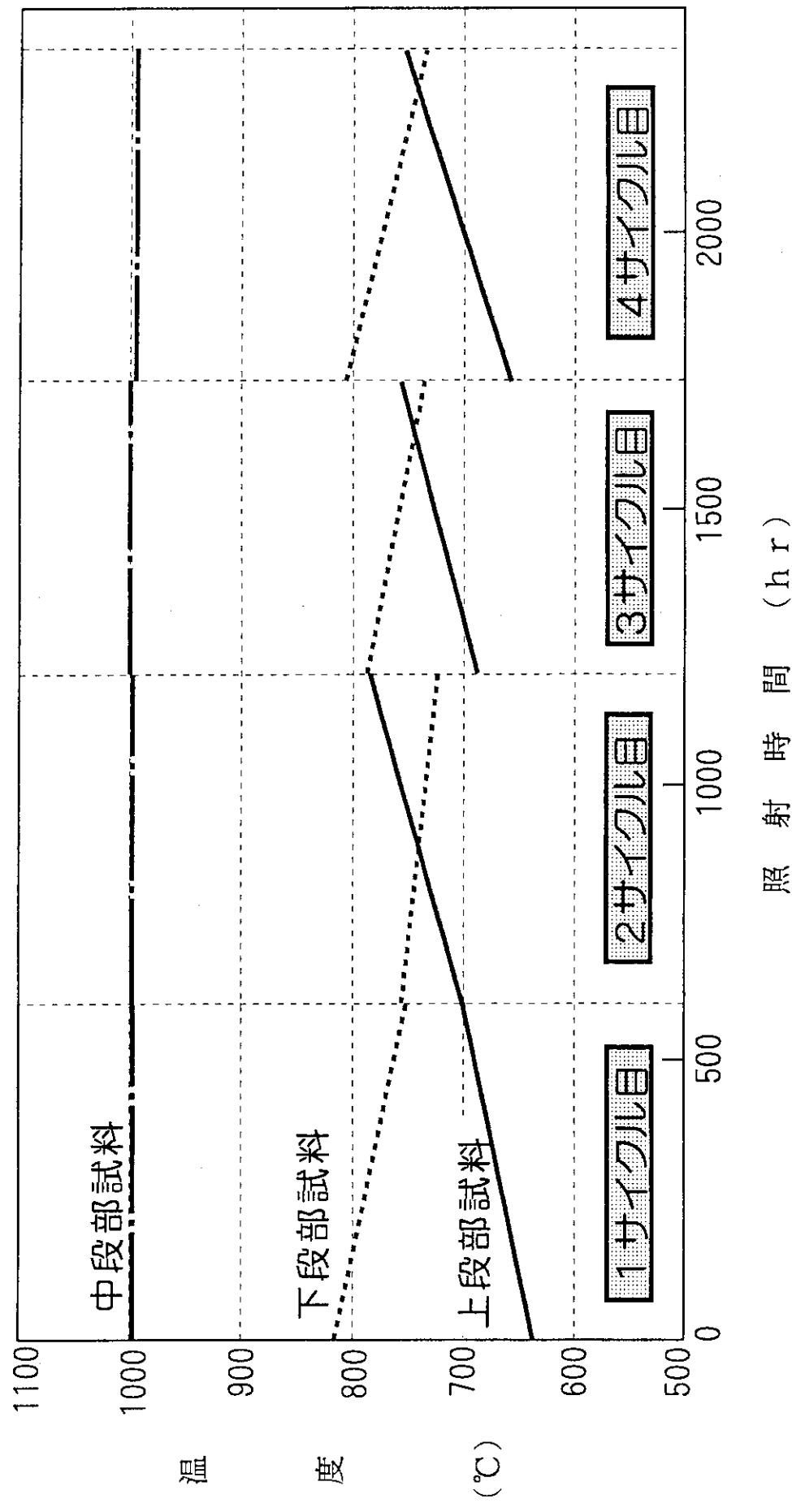


Fig. 2.9 Estimation temperature of fuel samples in BRF-24H capsule

## 3. 中性子照射量の評価

## 3.1 熱中性子照射量の評価

## (1) 熱中性子束の測定

Al-Co ワイヤをモニターとして用い、 $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$  反応によって生ずる Co-60 の生成量をゲルマニウム検出器で測定し、 $\gamma$ 線分析の定量結果から次式で熱中性子束を算出した。測定結果を Fig. 3.1 に示す。

$$\phi_{th} = \frac{1}{N_o \cdot W} \times \frac{R_f}{\sigma_s} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{K}{\epsilon \cdot Y} \times \frac{\lambda \cdot t_m}{1 - \exp(-\lambda \cdot t_m)} \div \sum_{i=1}^4 \frac{1 - \exp(-\lambda \cdot t_i)}{\exp(\lambda \cdot t_i)}$$

ここで

$N_o$  : Co 1 g 中の原子数 ( $1.022 \times 10^{22}$ )

$W$  : Co の重量 (g)

$\sigma_s$  : 全エネルギー群に対する Co-59 の実効断面積 (barn)

$R_f$  : 全エネルギー群の中性子束に対する熱中性子束の比

$\alpha$  : Co 中の Co-59 の存在比 (1.0)

$K$  : Co-60 (1.173Mev) の  $\gamma$ 線計数率 (cps)

$\epsilon$  : 1.173Mev の  $\gamma$ 線の計数効率 (Fig. 3.4 参照)

$Y$  : Co-60 (1.173Mev) からの  $\gamma$ 線放出率 (0.999)

$\lambda$  : Co-60 の崩壊定数 ( $4.1698 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ )

$t_m$  : 試料の計測時間 (sec)

$t_i$  : 試料の照射時間 (sec)

$t_d$  : 試料の冷却時間 (sec)

## (2) Co-59 の全エネルギー群の中性子束に対する実効断面積および熱中性子束の比

$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$  反応の実効断面積  $\sigma_s$  および全エネルギー群の中性子束に対する熱中性子束の比  $R_f$  は、サーマルカットオフエネルギーを 0.602 ev とすると次式で表される。

$$\sigma_s = \frac{\int_0^\infty \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_0^\infty \phi(E) dE} \quad , \quad R_f = \frac{\int_0^{0.602 \text{ eV}} \phi(E) dE}{\int_0^\infty \phi(E) dE}$$

従って、

$$\frac{R_f}{\sigma_s} = \frac{\int_0^{0.602 \text{ eV}} \phi(E) dE}{\int_0^\infty \phi(E) \sigma(E) dE} \quad \text{となる。}$$

ここで、 $\phi(E)$ は、中性子スペクトル、 $\sigma(E)$ は、 $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$  反応の微視的実効断面積であり、中野が SRAC により求めた<sup>4</sup>。中性子スペクトルは、SRAC コードシステムに内蔵されている衝突確率法に基づく格子計算モジュール PIJ を用い、試料の 72 群スペクトルを求めた。 $\phi(E)$ 、 $\sigma(E)$ の計算結果を Fig. 3.2 に示す。これから、 $R_f / \sigma_s$  の値を次式により算出した。

$$\frac{R_f}{\sigma_s} = \frac{\sum_{i=36}^{\infty} \phi_i}{\sum_{i=1}^{\infty} \phi_i \cdot \sigma_i} = 0.0375 \text{ (barn}^{-1})$$

### (3) 热中性子照射量

热中性子照射量  $\Phi_{th}$  は、热中性子束と 20MW での実効運転時間から次式で算出される。

$$\Phi_{th} = \phi_{th} \cdot T$$

ここで

$\phi_{th}$  : 热中性子束 ( $n/cm^2 \cdot sec$ )

$T$  : 20MW での実効運転時間 (2330 時間)

各段の試料部に挿入したモニターの受けた照射量を Fig.3.3 に示す。

## 3.2 高速中性子照射量の評価

### (1) 高速中性子束の測定

鉄ワイヤーをモニターとして用い、 $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$  反応によって生ずる  $^{54}\text{Mn}$  の生成量をゲルマニウム検出器で測定し、 $\gamma$  線分析の定量結果から次式で高速中性子束を算出した。測定結果を Fig. 3.1 に示す。

$$\phi_f = \frac{1}{N_0 \cdot W} \times \frac{1}{\sigma_{10}} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{K}{\epsilon \cdot Y_i} \times \frac{\lambda \cdot t_m}{1 - \exp(-\lambda \cdot t_m)} \div \sum_{i=1}^4 \frac{1 - \exp(-\lambda \cdot t_i)}{\exp(\lambda \cdot t_i)}$$

ここで

$N_0$  : Fe 1 g 中の原子数 ( $1.0785 \times 10^{22}$ )

$W$  : Fe の重量 (g)

$\sigma_{10}$  : 速中性子束に対する Fe-54 の実効断面積<sup>5</sup> (0.0825 barn)

( $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$  反応断面積と核分裂スペクトルから求めた 1 Mev 以上の実行断面積。なお、 $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$  反応のしきいエネルギーは、約 1 Mev である)

$\alpha$  : Fe 中の Fe-54 の存在比 (0.0584)

$K$  : Mn-54 (0.835Mev) の  $\gamma$  線計数率 (cps)

$\epsilon$  : Mn-54 (0.835Mev) の  $\gamma$  線計数効率 (Fig. 3.4 参照)

$Y_i$  : Mn-54 (0.835Mev) の  $\gamma$  線放出率 (0.9998)

$\lambda$  : Mn-54 の崩壊定数 ( $2.567 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

$t_m$  : 試料の計測時間 (sec)

$t_i$  : 試料の照射時間 (sec)

$t_c$  : 試料の冷却時間 (sec)

## (2) 高速中性子照射量

高速中性子照射量  $\Phi_f$  は、高速中性子束と 20MW での実効運転時間から次式で算出される。

$$\Phi_f = \phi_f \cdot T$$

ここで

$\phi_f$ : 高速中性子束 ( $n/cm^2 \cdot sec$ )

$T$  : 20MW での実効運転時間 (2330 時間)

各段の試料部に挿入したモニターの照射量を Fig. 3.3 に示す。

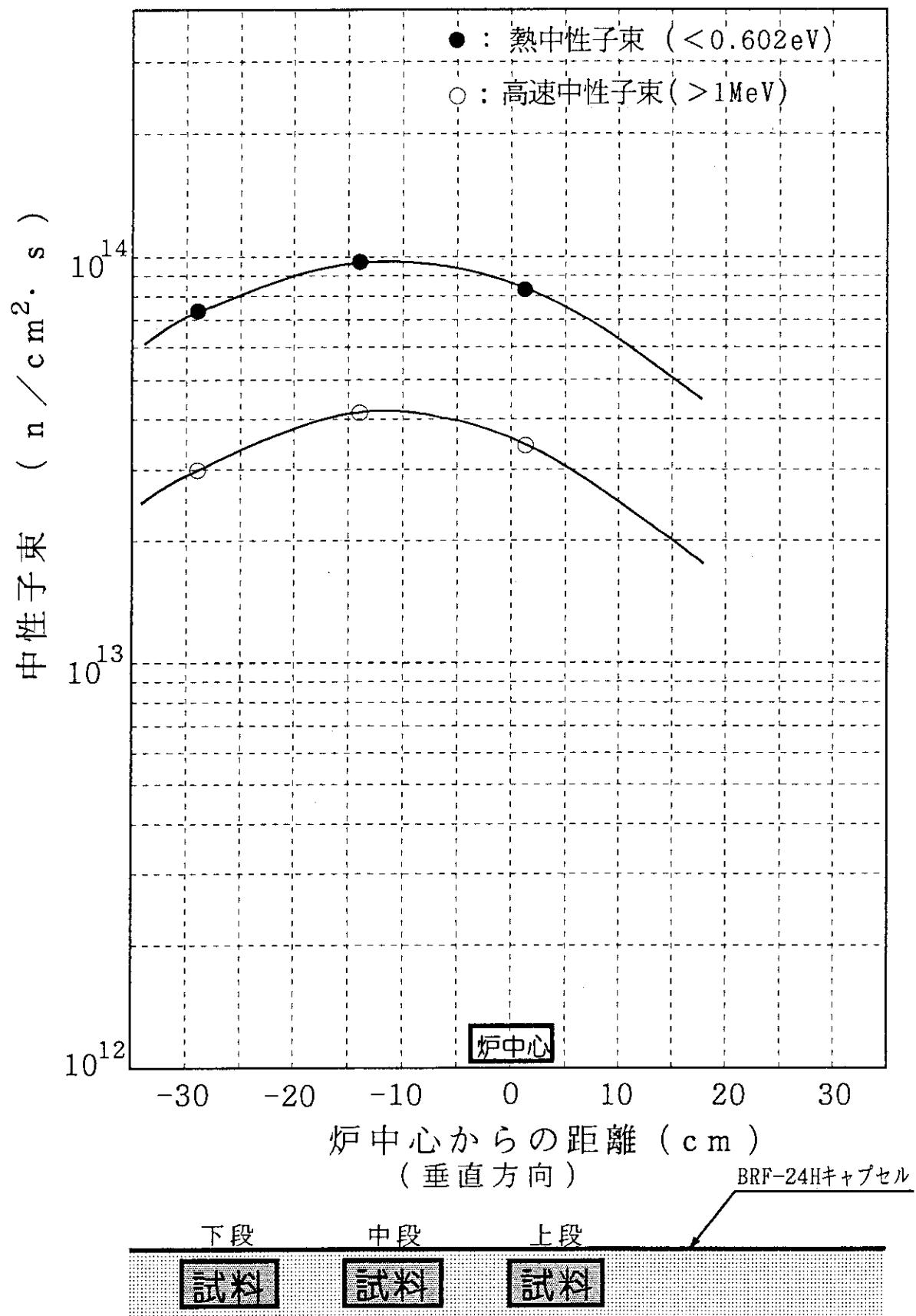


Fig.3.1 Distribution of neutron flux in BRF-24H capsule

Co-59 Microscopic Absorption Cross Section Calculated by SRAC-PIJ with Fine Geometry (IGT=11), 2nd Case (temp=1000 C),  
Temp of Cal: Co-59=1140K , Pu=1270K  
Neutron Spectra of Co-59 Flux Monitor Position

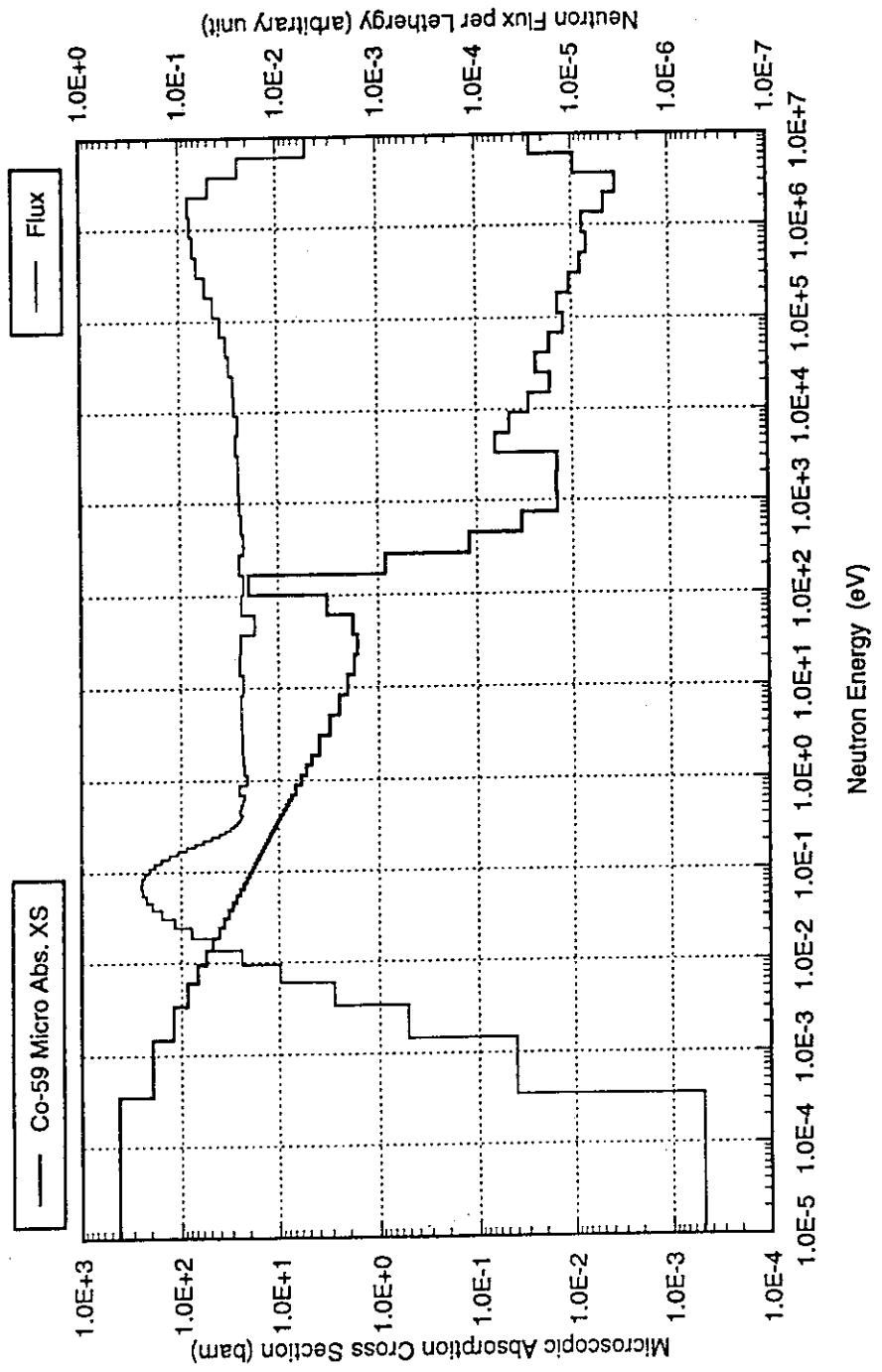


Fig.3.2 Microscopic Absorption Cross Section and Neutron Energy Spectrum of Cobalt Fluence Monitor (文献 4)より転載)

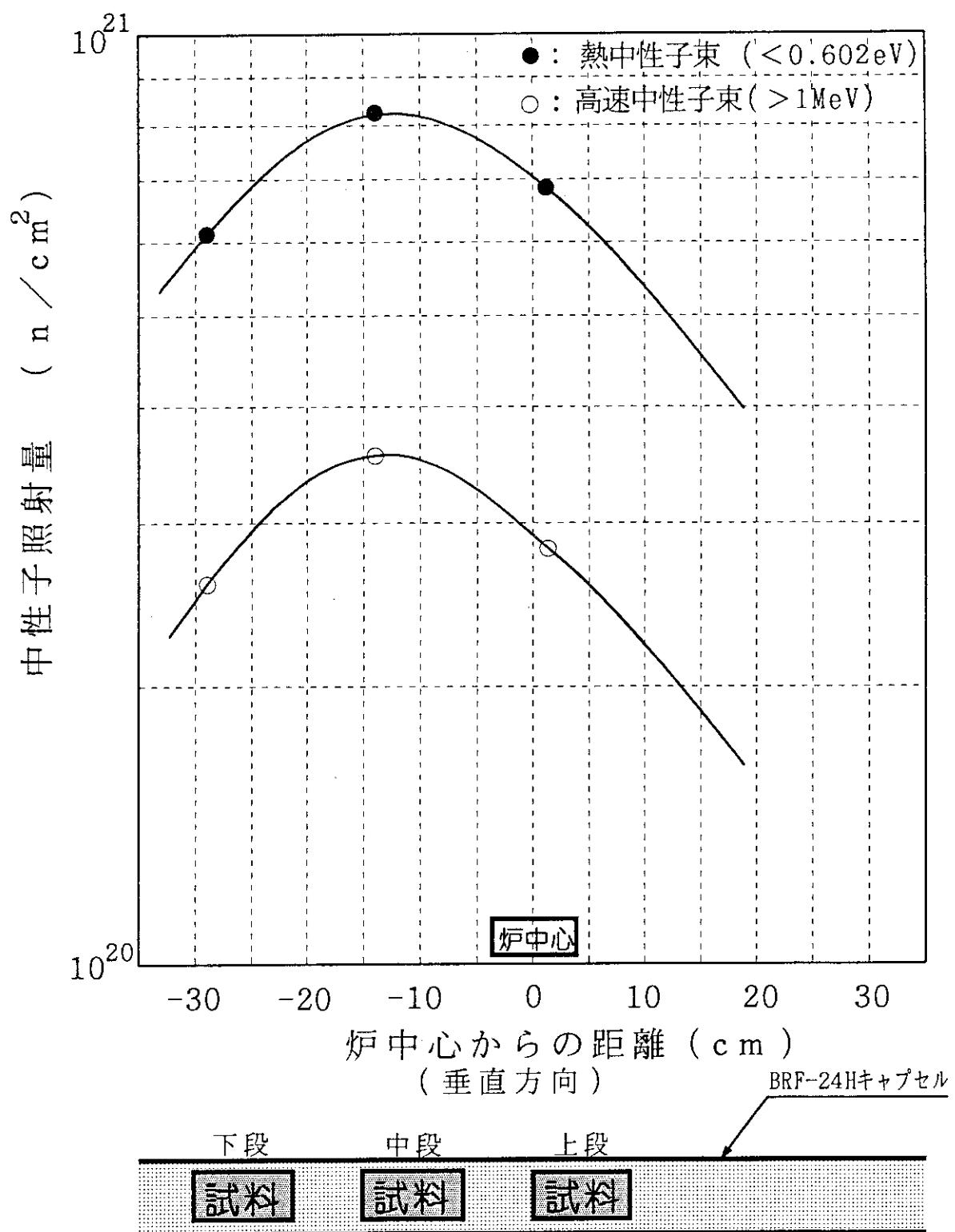


Fig.3.3 Distribution of neutron fluence in BRF-24H capsule

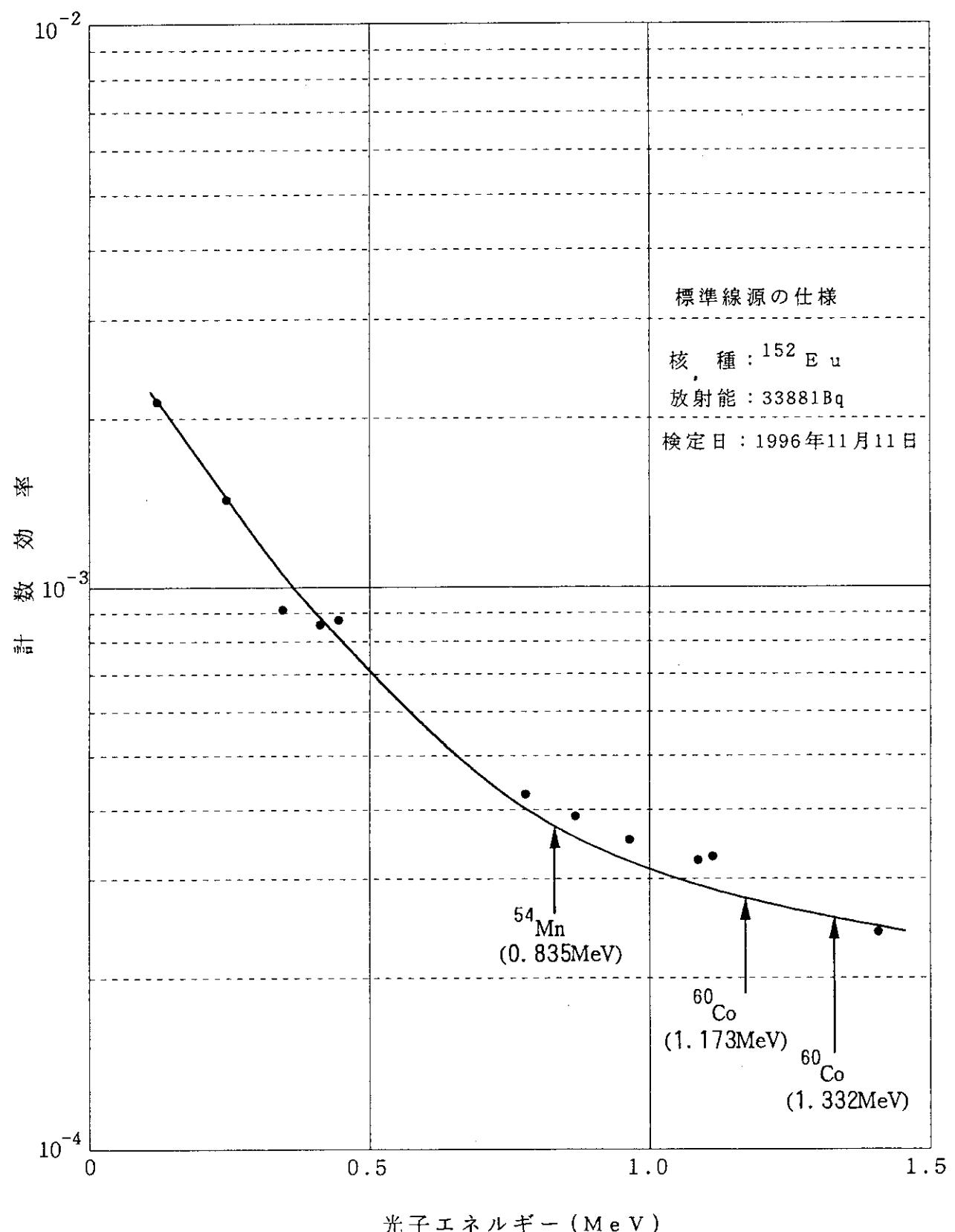


Fig. 3.4 Counting efficiency of Ge detector

#### 4. 考察

ROX 燃料試料の照射温度について、中段部においては目標の 1000 °Cを達成されたが、上段部及び下段部については照射時間の経過と共に上昇あるいは下降する温度履歴となった（上段部：640 ~ 780 °C、下段部：820~720°C）。これは、炉心の垂直方向の中性子束分布が余弦分布となっていいるため原子炉の運転経過に伴い制御棒の位置が上昇し、中性子束のピーク位置が上方にシフトすることと併せ混合ガス温度制御層が一系統のため、中段部の温度を一定に制御した場合、上段部及び下段部の温度が中性子束の変動に伴い変化したものである。これに対応する方法としては、混合ガス温度制御層を各段に設け各段の温度を単独に制御する方法、又はヒータ制御による方法あるいは、これらの組み合わせによる方法が考えられる。しかし、いずれもキャップセルの構造が複雑になることから、照射中のトラブルの可能性が高まる。従って、必要とする照射温度の精度との関係から構造を決定する必要がある。

#### あとがき

本照射試験は、ROX 燃料一軽水炉燃焼システムの開発研究の第Ⅰ期計画として軽水炉における照射条件を目標に FP の燃料マトリックスでの安定性の評価を行うために実施し、照射温度については、ほぼ所期の目標を達成することができた。

第Ⅱ期計画では、燃料照射研究を中心に燃料製造法、燃料照射挙動と両立性、燃料設計等の要素技術開発を行うため、平成 9 年度に濃縮ウラン燃料ペレットを詰めた燃料ピンを組み込んだ照射キャップセルを製作し、平成 10 年度から照射試験を行う計画である。

#### 謝 辞

本照射試験の実施に際し、多くの皆様からの多大なご協力とご指導を戴きました。照射キャップセルの製作を担当して戴いた技術部工作課の諸氏に、原子炉の運転及び照射設備の運転を担当して戴いた JRR-3 管理課及び研究炉利用課の諸氏に深く感謝致します。また、Co-59 の熱中性子に対する実効断面積の評価についてご協力いただいた本特別チームの中野佳洋氏に深く感謝致します。

## 4. 考察

ROX 燃料試料の照射温度について、中段部においては目標の 1000 °Cを達成されたが、上段部及び下段部については照射時間の経過と共に上昇あるいは下降する温度履歴となった（上段部：640 ~ 780 °C、下段部：820~720°C）。これは、炉心の垂直方向の中性子束分布が余弦分布となっていいるため原子炉の運転経過に伴い制御棒の位置が上昇し、中性子束のピーク位置が上方にシフトすることと併せ混合ガス温度制御層が一系統のため、中段部の温度を一定に制御した場合、上段部及び下段部の温度が中性子束の変動に伴い変化したものである。これに対応する方法としては、混合ガス温度制御層を各段に設け各段の温度を単独に制御する方法、又はヒータ制御による方法あるいは、これらの組み合わせによる方法が考えられる。しかし、いずれもキャップセルの構造が複雑になることから、照射中のトラブルの可能性が高まる。従って、必要とする照射温度の精度との関係から構造を決定する必要がある。

## あとがき

本照射試験は、ROX 燃料一軽水炉燃焼システムの開発研究の第Ⅰ期計画として軽水炉における照射条件を目標に FP の燃料マトリックスでの安定性の評価を行うために実施し、照射温度については、ほぼ所期の目標を達成することができた。

第Ⅱ期計画では、燃料照射研究を中心に燃料製造法、燃料照射挙動と両立性、燃料設計等の要素技術開発を行うため、平成 9 年度に濃縮ウラン燃料ペレットを詰めた燃料ピンを組み込んだ照射キャップセルを製作し、平成 10 年度から照射試験を行う計画である。

## 謝 辞

本照射試験の実施に際し、多くの皆様からの多大なご協力とご指導を戴きました。照射キャップセルの製作を担当して戴いた技術部工作課の諸氏に、原子炉の運転及び照射設備の運転を担当して戴いた JRR-3 管理課及び研究炉利用課の諸氏に深く感謝致します。また、Co-59 の熱中性子に対する実効断面積の評価についてご協力いただいた本特別チームの中野佳洋氏に深く感謝致します。

## 4. 考察

ROX 燃料試料の照射温度について、中段部においては目標の 1000 °Cを達成されたが、上段部及び下段部については照射時間の経過と共に上昇あるいは下降する温度履歴となった（上段部：640 ~ 780 °C、下段部：820~720°C）。これは、炉心の垂直方向の中性子束分布が余弦分布となっていいるため原子炉の運転経過に伴い制御棒の位置が上昇し、中性子束のピーク位置が上方にシフトすることと併せ混合ガス温度制御層が一系統のため、中段部の温度を一定に制御した場合、上段部及び下段部の温度が中性子束の変動に伴い変化したものである。これに対応する方法としては、混合ガス温度制御層を各段に設け各段の温度を単独に制御する方法、又はヒータ制御による方法あるいは、これらの組み合わせによる方法が考えられる。しかし、いずれもキャップセルの構造が複雑になることから、照射中のトラブルの可能性が高まる。従って、必要とする照射温度の精度との関係から構造を決定する必要がある。

## あとがき

本照射試験は、ROX 燃料一軽水炉燃焼システムの開発研究の第Ⅰ期計画として軽水炉における照射条件を目標に FP の燃料マトリックスでの安定性の評価を行うために実施し、照射温度については、ほぼ所期の目標を達成することができた。

第Ⅱ期計画では、燃料照射研究を中心に燃料製造法、燃料照射挙動と両立性、燃料設計等の要素技術開発を行うため、平成 9 年度に濃縮ウラン燃料ペレットを詰めた燃料ピンを組み込んだ照射キャップセルを製作し、平成 10 年度から照射試験を行う計画である。

## 謝 辞

本照射試験の実施に際し、多くの皆様からの多大なご協力とご指導を戴きました。照射キャップセルの製作を担当して戴いた技術部工作課の諸氏に、原子炉の運転及び照射設備の運転を担当して戴いた JRR-3 管理課及び研究炉利用課の諸氏に深く感謝致します。また、Co-59 の熱中性子に対する実効断面積の評価についてご協力いただいた本特別チームの中野佳洋氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 室村、他, "岩石型プルトニウム燃料・燃焼法の現状", 日本原子力学会「1997年春の年会」要旨集第Ⅱ分冊G 45, 日本原子力学会 (1997) .
- 2) 山田, 他, "JRR-3Mでの照射試験", 日本原子力学会「1997年春の年会」要旨集第Ⅱ分冊 G 49, 日本原子力学会 (1997) .
- 3) 落合康明,他 私信
- 4) 中野,他, "JRR-3 での岩石型 Pu 燃料照射実験の燃焼解析手法の検討", JAERI-Research(97-051)
- 5) "Handbook on Nuclear Activation Cross-Sections", International Atomic Energy Agency,  
VIENNA,1974