

「ふげん」取替（第28回製造分）

燃料集合体の製造

— 燃料要素加工・燃料集合体組立 —

(業務報告)

1999年4月

核燃料サイクル開発機構
東 海 事 業 所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

核燃料サイクル開発機構 東海事業所
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Information Section,
Administration Division,
Tokai Works,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-33 Muramatu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1999

(◎)

1999年4月

「ふげん」取替（第28回製造分）燃料集合体の製造

— 燃料要素加工・燃料集合体組立 —

(業 務 報 告)

※1

沢山 武夫

※1

肥田野 強

※1

大森 修二

※2

水津 祐一

要 旨

本報告書は、第28回取替用 MOX 燃料集合体の加工組立工程に係わる製造実績、製品の品質、特記事項等についてまとめたものである。

第28回取替用燃料集合体の製造は、平成10年1月22日に下部端栓溶接を開始し、集合体官庁検査を平成11年2月5日に受検、合格して終了した。製造量は、燃料要素で282本、燃料集合体で10体であり、製造收率は、燃料要素、燃料集合体とも100%であった。

※1 プルトニウム燃料センター 製造加工部 加工課

※2 プルトニウム燃料センター 製造加工部 設計評価 Gr.

目 次

| | |
|--------------------|-----------|
| 第1章 はじめに | 1 |
| 第2章 製造仕様 | 2 |
| 2. 1 燃料集合体の構造 | 2 |
| 2. 2 燃料要素の構造 | 2 |
| 第3章 製造方法 | 7 |
| 3. 1 製造工程概要 | 7 |
| 3. 2 燃料要素加工工程 | 7 |
| 3. 3 燃料集合体組立工程 | 8 |
| 第4章 試験・検査項目 | 21 |
| 4. 1 溶接施行試験 | 21 |
| 4. 2 燃料要素の試験・検査項目 | 22 |
| 4. 3 燃料集合体の試験・検査項目 | 24 |
| 第5章 製造実績 | 26 |
| 5. 1 製造期間及び製造量 | 26 |
| 5. 2 製造收率 | 26 |
| 5. 3 官庁検査実績 | 26 |
| 5. 4 物質収支 | 26 |
| 5. 5 核物質収支 | 26 |
| 第6章 試験・検査結果 | 31 |
| 6. 1 溶接施行試験結果 | 31 |
| 6. 2 燃料要素検査データ | 31 |
| 6. 3 燃料集合体検査データ | 31 |
| 第7章 特記事項 | 41 |
| 第8章 おわりに | 42 |
| 謝辞 | 43 |

第1章 はじめに

ふげん第28回取替用MOX燃料集合体は、ふげん発電所の第29回サイクルの運転に使用するものである。

第28回取替燃料の加工組立は平成10年1月に開始したが、安全性総点検で摘出された使用許可申請との齟齬など、許認可を要する改善必要箇所について燃料製造を中断して、プルトニウム燃料第二開発室の変更申請手続きを行うこととなり、5月から約6ヶ月間加工組立も中断した。このため、ふげん発電所の第29回サイクルの運転に間に合わせるために燃料製造スケジュールは厳しい状況であったが、休日出勤などで対応し、平成11年3月に炉サイトへ燃料を出荷し、炉の運転に間に合わせることができた。

第2章 製造仕様

2.1 燃料集合体の構造

「ふげん」燃料集合体は、図2.1に示すように内層4本、中間層8本、外層16本の燃料要素28本を同心円上に束ねたものである。燃料要素相互の間隔は上部及び下部タイプレートと12個のスペーサによって保持されている。12個のスペーサは、中間層と外層の間に位置する4本のスペーサタイロッドにより固定される。中間層8本（タイロッド燃料要素）は、上部及び下部タイプレートに連結固定されている。上部及び下部タイプレートの側面円周上には、それぞれリング型の案内バネが設けられている。

2.2 燃料要素の構造

燃料要素は、燃料ペレットをジルカロイ-2製の被覆管に規定長さ充填し、両端部を下部端栓及び上部端栓で密封したものである。燃料要素の内部は、1気圧のヘリウムガスで満たされている。内層、中間層、外層の燃料要素の構造をそれぞれ図2.2、図2.3、図2.4に示す。FPガスによる過度の内圧上昇を抑えるため、プレナムが上下に設けられている。下部プレナム側には、押え板付下部プレナムスプリング、アルミナ断熱ペレットが、上部プレナム側には押え板付上部プレナムスプリング、天然ウランペレット、アルミナ断熱ペレットが充填されている。

燃料要素内のペレットは、表2.1に示す富化度のものが充填されている。

表2.1 「ふげん」燃料ペレットの富化度

| 内層・中間層 | 外層 |
|------------------------|------------------------|
| 2.27w/o (Pu+U Fissile) | 1.84w/o (Pu+U Fissile) |

M 連図面
(REFERENCE)

タイロッド部スペーサ支持構造詳細図

D-D' 断面

燃料体縮尺図

方位マーク位置

方位マーク位置

A-A' 断面

B-B' 断面 燃料要素断面

C-C' 断面

12 番
(MARK)

来歴 (CHANGE)

日付
(DATE)

氏名
(NAME)

による

MEMO NO.

1) 離合体の組立は別途定める「射出機組立」「射出機作業標準」に基づいて実施すること。
2) 離合体番号、離合装置番号及び組立記録を記載すること。
3) 離合体の洗浄は、別途定める「洗浄機組立」に基づき実施すること。
4) 離合体の曲がりは3mm以下、ねじれは5mm以下とする。
5) 離合体の直径（上部タイフレート、スペーサー部を除く）はハサミケージ等を用いて測定し112.9mm以下とする。（ただし、開閉260mm部分は112.2mm以下とする。）
6) 離合装置間隔は1.7mm以上とする。ただし、上下端部は1.6mm以上とする。
7) スペーサータイロッドの組立は、離合体下部側（下部タイフレート）よりA-B1-B2-B3-B3-B3-B3-B3-B2-B4-C-13本組合せの順度とす。

| | | |
|------------------|-----------|----|
| 17 ロックナット | SUS304 | 16 |
| 16 バネカバー (B) | SUS304 | 28 |
| 15 バネカバー (A) | SUS304 | 28 |
| 14 ロッドスプリング | インコネル-X | 28 |
| 13 A-99(B1) | SUS304 | 4 |
| 12 A-99(B1) (C) | Zry-2 | 4 |
| 11 A-99(B1) (B4) | Zry-2 | 4 |
| 10 A-99(B1) (B3) | Zry-2 | 28 |
| 9 A-99(B1) (B2) | Zry-2 | 8 |
| 8 A-99(B1) (B1) | Zry-2 | 4 |
| 7 A-99(B1) (A) | Zry-2 | 4 |
| 6 スペーサ | インコネル-718 | 12 |
| 5 燃料要素 (内層) | | 4 |
| 4 燃料要素 (中間層) | | 6 |
| 3 燃料要素 (外層) | | 16 |
| 2 上部タイフレート | | 1 |
| 1 下部タイフレート | | 1 |

图2.1 燃料集合体

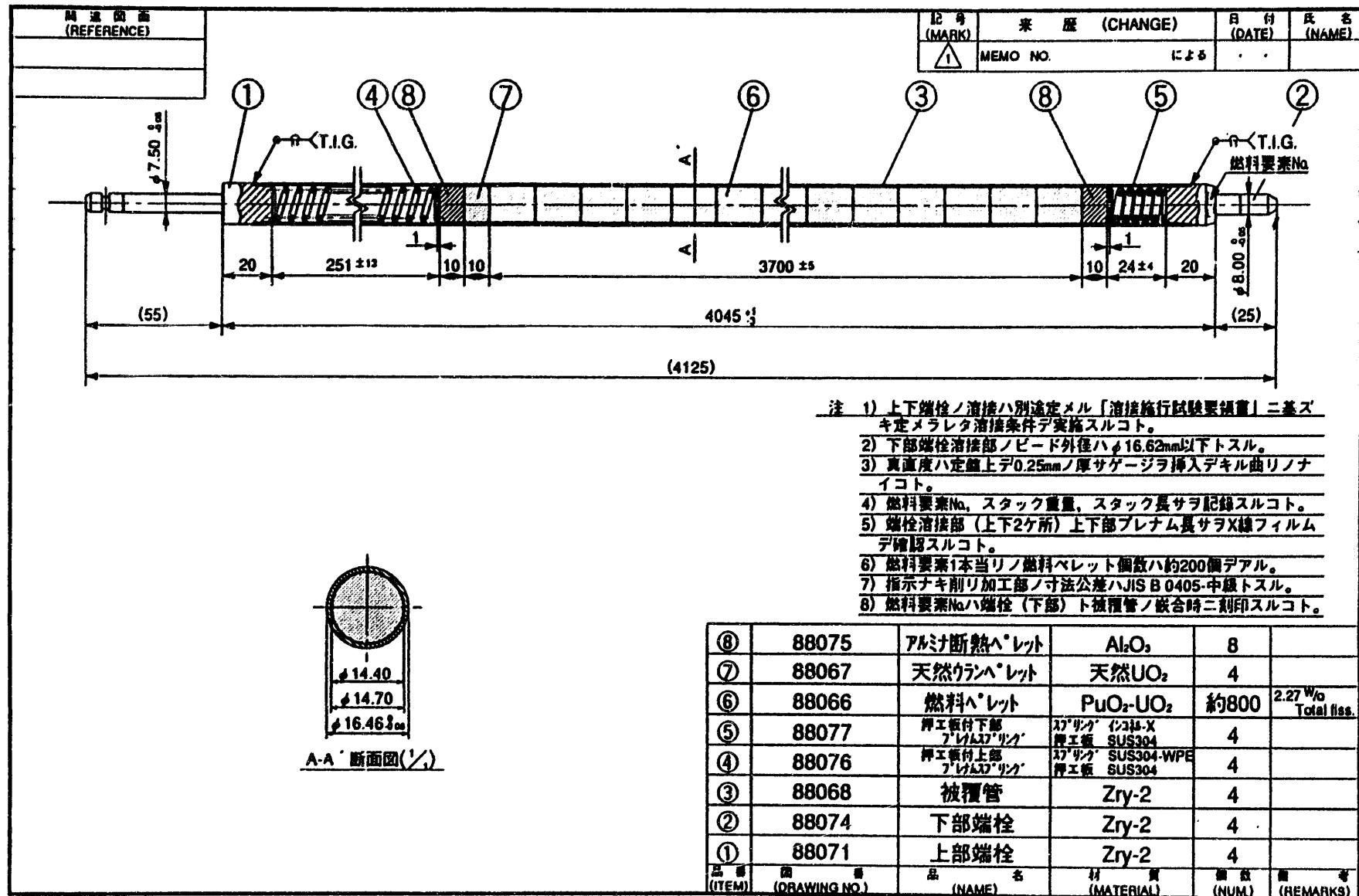


図2.2 燃料要素(内層)

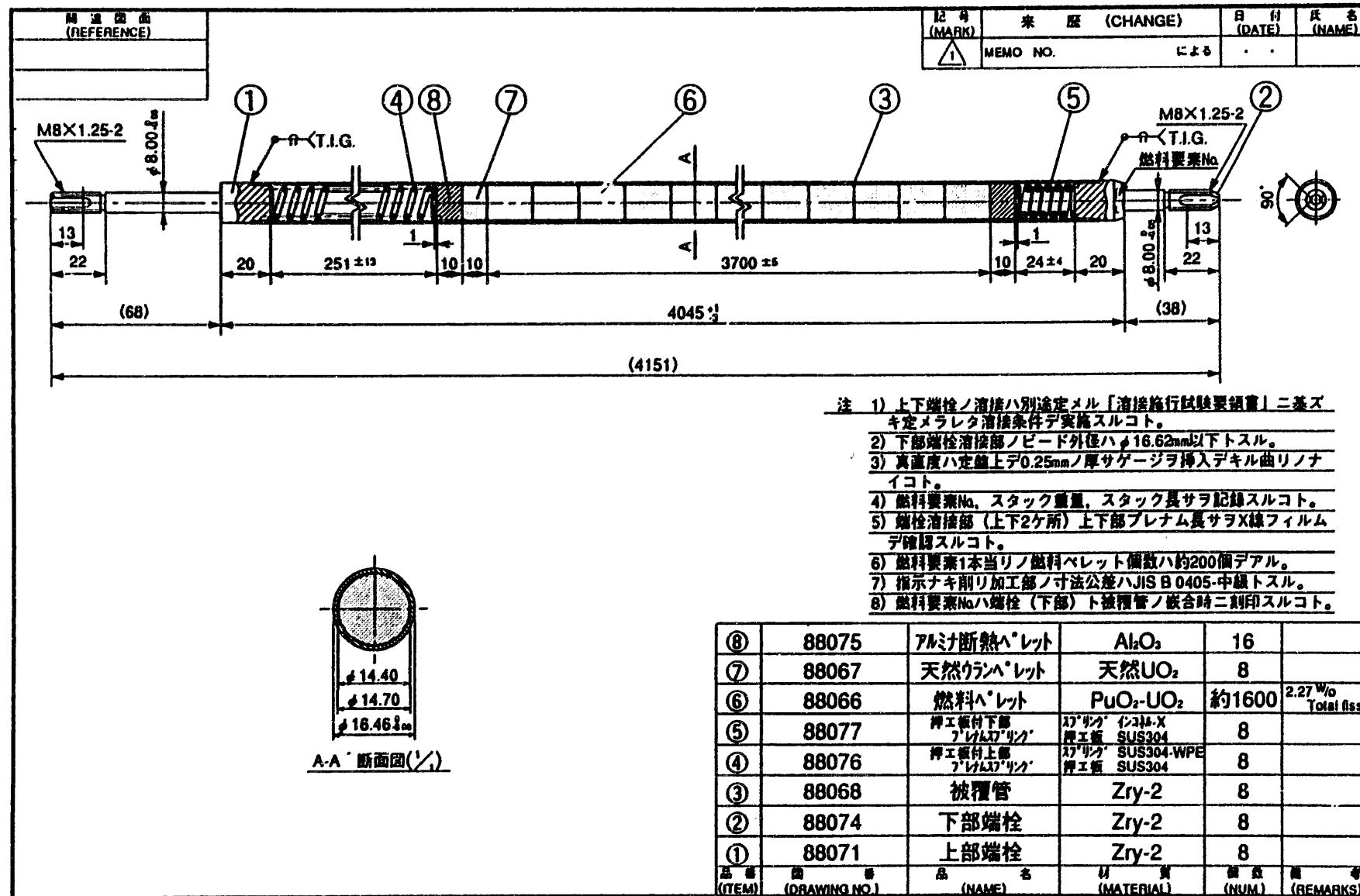


図2.3 燃料要素（中間層）

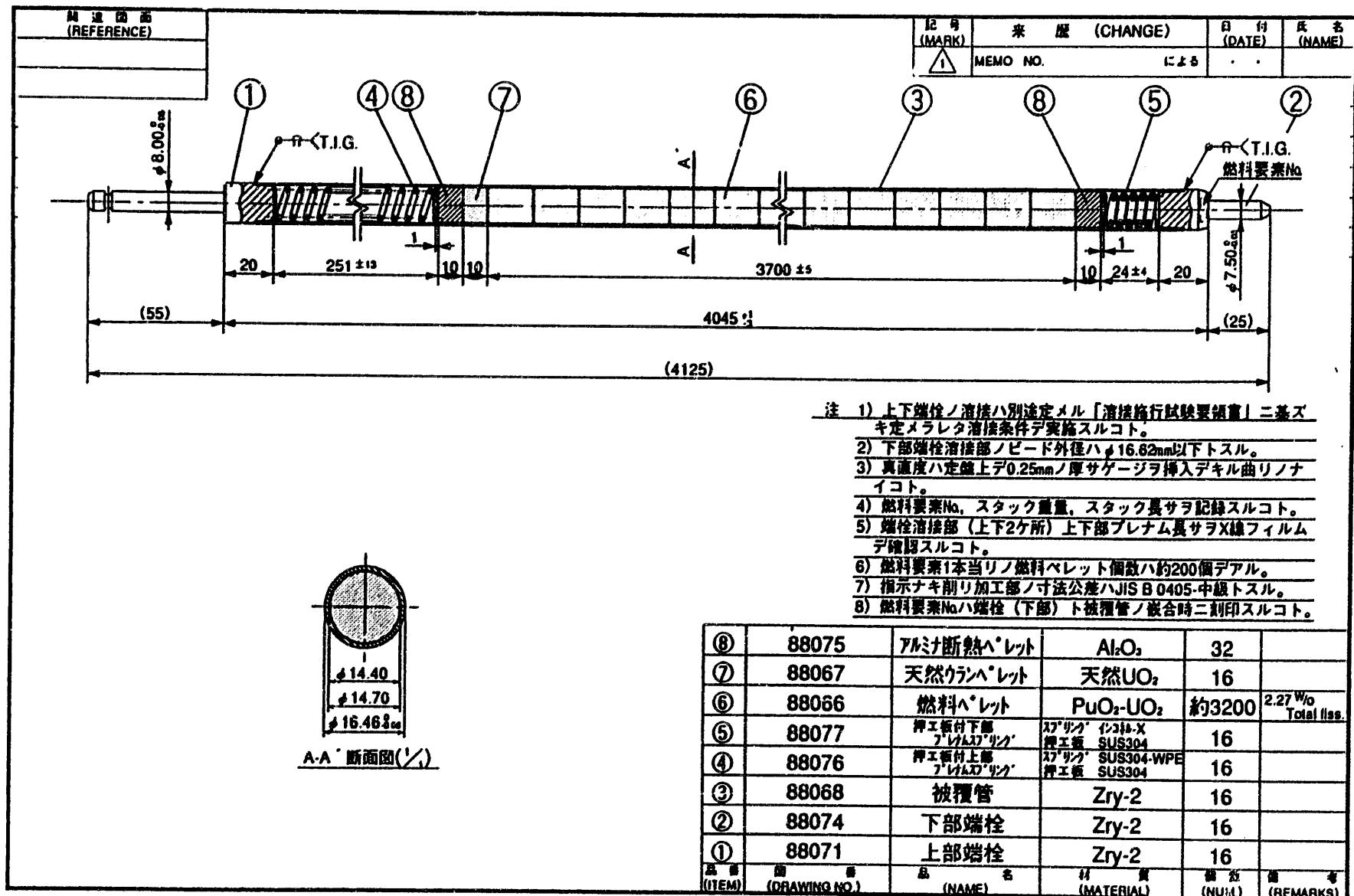


图2.4 燃料要素(外层)

第3章 製造方法

3.1 製造工程概要

燃料要素加工工程及び燃料集合体組立工程のフローシートを図 3.1 及び図 3.2 に示す。また、加工組立工程の設備配置図を図 3.3 に、機器仕様を表 3.1 に示す。

3.2 燃料要素加工工程

3.2.1 部材の受け入れ

検査に合格した燃料要素及び燃料集合体部材は、製造計画に合わせて燃料要素加工工程に受け入れる。被覆管については、定尺切断加工（規格 4023^{+1}_{-3} mm）を行った後、さらに社内検査を行い燃料要素加工工程に受け入れる。

3.2.2 下部端栓溶接

燃料要素番号を刻印した下部端栓と被覆管を、専用の溶接装置を使用し、ヘリウムガス雰囲気中で TIG 溶接する。溶接は、あらかじめ溶接施行試験で確認された条件で行う。溶接作業は、溶接作業者認定基準に基づいて認定を受けた者だけが行うことができる。

溶接雰囲気管理項目は、到達真空度、リーク率、酸素濃度、露点及びヘリウムガス純度である。下部端栓溶接入熱プログラムを図 3.4 に示す。

3.2.3 管口マスク取付け

ペレット充填時に被覆管の管口部が汚染するのを軽減するため、管口マスクを取り付ける。管口マスクは、熱収縮チューブによって被覆管に固定される。管口マスク取付け状態を図 3.5 に示す。

3.2.4 ペレット保管

ペレット製造工程からペレットに並べられたペレットを、移送トンネルを通してペレット保管装置内の保管棚に受け入れる。受け入れたペレットはペレット搬送装置（ローラコンベア、水平搬送装置、エレベータ）に移し、ペレット充填工程に搬送する。保管棚へのペレットの受け扱いは、スタッカークレーンによって行う。

3.2.5 ペレット充填

ペレット充填装置にセットしたペレットから搬送機構により自動的にペレットが送り出され、ペレットの個数、スタック長の測定、調整及びスタック重量の測定が行われる。その後、ペレットは管口マスクを取り付けた下部端栓付被覆管内に充填する。

ペレット保管及びペレット充填工程の装置配置図を3.6に示す。

3.2.6 管口部除染

ペレット充填後の被覆管の管口部は汚染されているので、管口部除染室に設置したオープンポートボックス内で管口部の除染を行う。除染にはアルコールを湿らせたガーゼ及び綿棒を使用する。管口部除染後、燃料要素内の汚染が飛散しないように、管口部に仮端栓を取り付ける。仮端栓の取り付け状態図を図3.7に示す。

3.2.7 脱ガス

仮端栓付きの燃料要素を脱ガス・上部端栓溶接装置の脱ガスチャンバ内に挿入する。脱ガスチャンバ内には、最大で24本の燃料要素が収容可能である。チャンバ内に燃料要素を入れ内部を真空・加熱して、脱ガスを行う。

3.2.8 上部端栓溶接

燃料要素の一部（上部端栓取付側）を脱ガスチャンバから溶接チャンバに挿入する。仮端栓を外し、押え板付上部プレナムスプリングを燃料要素内に入れ、上部端栓を被覆管に圧入する。あらかじめ溶接施行試験で確認された条件の下、ヘリウムガス雰囲気中でTIG溶接する。溶接作業は、溶接作業者認定基準に基づいて認定を受けた者だけが行うことができる。

溶接雰囲気管理項目は、到達真空度、リーク率、酸素濃度、露点及びヘリウムガス純度である。上部端栓溶接入熱プログラムを図3.8に示す。

3.2.9 表面除染

上部端栓溶接が終了した燃料要素を、脱ガスチャンバと連結しているオープンポートボックスに搬入し、表面除染と汚染検査を行う。燃料要素表面をアルコールで湿らせたリング状のフェルトで除染した後、スミヤロ紙で汚染検査を行い、表面汚染が基準値未満であることを確認する。これらの除染及び汚染検査作業は、表面除染装置により、半自動的に行われる。燃料要素をオープンポートボックスから搬出した後、溶接部の固着汚染を測定する。

3.3 燃料集合体組立工程

燃料集合体組立装置概略図を図3.9に示す。

3.3.1 スケルトン組立

下部タイプレートを専用の治具で固定した後、4本のスペーサタイロッドをねじ込む。

初めのスペーサをスペーサタイロッドに挿入し、所定の位置に固定治具でセットする。それ以降、順次スペーサタイロッドとスペーサを交互に配置し、固定する。スケルトン組立終了後、スペーサ間隔寸法及び外観検査を実施する。

3.3.2 内層・中間層・外層組立

下部タイププレートと燃料要素の下部端栓の肩部が密着するように、内層燃料要素4本を1本ずつ下部タイププレートに挿入し、その後、燃料要素間隙及び外観を検査する。中間層、外層についても同様に下部タイププレートへの挿入、燃料要素間隙及び外観の検査を実施する。圧縮ガスを吹き付け、組立中に発生した金属粉を除去する。

3.3.3 上部タイププレート組立

各燃料要素にロッドスプリング及びバネカバーを組み込む。上部タイププレートのスペーサタイロッド回転防止ネジの向きをスペーサタイロッドの向きに合わせる。方位マークを確認し、上部タイププレートを組み込む。中間層燃料要素のロックナットを締め、下部側のロックナットをかしめる。

3.3.4 燃料集合体洗浄

燃料集合体に付着している油脂、ゴミ等を洗浄水（洗剤及び純水）により洗浄する。洗浄は、洗浄筒内で行う。洗浄中は洗浄水を循環させ、洗浄水の電気抵抗値が規定値以上になるまで洗浄を続ける。洗浄筒より取り出した後、不活性ガス吹き付け及び真空乾燥により燃料集合体を乾燥させる。洗浄工程の系統図を図3.10に示す。

3.3.5 ロックナットのかしめ

ロックナットのゆるみを防止するため、治具を用いて上部側ロックナットをかしめる。

3.3.6 工程管理項目

燃料集合体組立作業については表3.2、燃料集合体洗浄作業については表3.3に示す工程管理を行う。

表3.1 機 器 仕 様

| 機 器 名 | 工 程 名 | 数 量 | 概 略 仕 様 | G. B 番号 |
|------------------|---------------------|-----|--|-----------|
| 下部端栓溶接装置 | 下部端栓溶接 | 1 式 | ・ T I G 自動溶接機 | |
| 被覆管保管棚 | 下部端栓溶接 | 1 式 | ・ 最大収納数： 256 本 (16本／棚×16棚) | * |
| ペレット搬送装置 | ペレット製造- ペレット充填工程間移送 | 1 式 | ・ 最大積載量： パレット 9 枚 (ペレット 25 個 × 4 列 / ペレット) | T - 4 |
| ペレット保管装置 | ペレット充填 (ペレット保管) | 1 式 | ・ 最大保管数： パレット 170 枚 (5列 × 34段) | A - 5 - 1 |
| ペレット保管棚 | | | ・ 自動収納・取り出し | |
| スタッカクレーン | | | | |
| ペレット充填装置 | ペレット充填 | 1 式 | | A - 5 - 2 |
| ペレット搬送装置 | | 1 | ・ 最大積載パレット数： 1 枚 | |
| スタッツ長測定装置 | | 1 | ・ 最小目盛： 0.01 mm | |
| 秤量装置 | | 1 | ・ 最小目盛 0.1 g | |
| 作業台車 | | 1 | ・ 最大積載ピンパレット数： 2 枚 | * |
| 被覆管保管棚 | ペレット充填 | 1 式 | ・ 最大収納数： 256 本 (16本／棚×16棚) | * |
| 管口部除染装置 | 管口除染 | 1 式 | | O P - 5 |
| 作業台車 | | 1 | ・ 最大積載パレット数： 2 枚 | * |
| 放射線測定器 | | 1 | ・ Z n S 検出器 | * |
| 脱ガス・ 上部端栓溶接装置 | 脱ガス・ 上部端栓溶接 | 1 式 | | A - 6 |
| 脱ガス装置 | | 1 | ・ 真空加熱乾燥方式 ・ 最高加熱温度 ・ 到達真空度 ・ バレル収納方式 | |
| 上部端栓溶接装置 | | 1 | ・ T I G 自動溶接機 | |

表3.1 機 器 仕 様 (つづき)

| 機 器 名 | 工 程 名 | 数 量 | 概 略 仕 様 | G. B 番号 |
|-----------------|----------------|-----|------------------------------|---------|
| 表面除染装置 | 表面除染 | 1式 | | OP-2 |
| 搬送装置 | | 1 | ・軸方向及び横方向搬送 | |
| 除染装置 | | 1 | ・フェルトリングチャック方式 | |
| 作業台車 | | 1 | ・最大積載パレット数：3枚 | * |
| 放射線測定器 | | 2 | ・ZnS検出器 | * |
| 燃料集合体洗浄装置 | 燃料集合体洗浄 | 1式 | | * |
| 洗浄筒 | | 1 | ・槽容積 0.1 m ³ | |
| 純水槽 | | 1 | ・槽容積 0.3 m ³ | |
| 洗剤液槽 | | 1 | ・槽容積 0.3 m ³ | |
| 温水槽 | | 1 | ・槽容積 0.3 m ³ | |
| 純水再生装置 | | 1 | ・イオン交換 | |
| 廃液貯槽 | | 1 | ・槽容積 3.5 m ³ | |
| 燃料集合体 組立検査装置 | 燃料集合体組立 | 1式 | | * |
| | | 1 | ・最大積載本数：16本 | |
| | | 1 | ・タイプレート固定機構 | |
| | | 1 | ・スペーサ固定機構 | |
| | | 1 | ・ギャップ測定機構 | |
| 燃料要素貯蔵棚 | 管口除染 | 1台 | ・貯藏能力：80本 (8本×10段/棚) | * |
| | 脱ガス・ 上部端栓溶接 | 1台 | ・貯藏能力：120本 (12本×10段/棚) | * |
| | 燃料集合体組立 | 1台 | ・貯藏能力：480本 (12本×10段/棚×4棚) | * |

* G. B (グローブボックス) 外

表3.2 燃料集合体組立工程管理項目

| 検査項目 | 規格 | 検査方法 | |
|---------------------|---|--------|--------------|
| | | 方法 | 抜取数 |
| 1. 組部材の健全性 | 傷が無いこと | 目視 | 全数 |
| 2. 下部タイプレート固定 | 1) ボス面が定盤に対して直角であること 2) 方位マークを所定の位置に合わせる | 定規 | 全数 |
| | | 目視 | 全数 |
| 3. スペーサタイロッドのネジ込み | 1) 充分ネジ込まれていること 2) スペーサタイロッドの組番号を間違えないこと | 目視 | 全数 |
| 4. スペーサの固定 | 1) スペーサのNoを下部タイプレートの方位マークの位置に合わせること | 目視 | 全数 |
| 5. 燃料要素の確認 | 燃料要素のNoを確認すること | 目視 | 全数 |
| 6. 挿入力 | 100kg以下 | チャート記録 | 全数 |
| 7. 上部タイプレート固定 | 1) 方位マークを下部タイプレートの位置に合わせる | 目視 | 全数 |
| 8. 上部タイプレート 挿入位置 | 1) 全長 438.0 ± 0.5mm | ゲージ法 | 全数 |
| | 2) 傾き 0.05mm以下 | ゲージ法 | 全数 |
| 9. 燃料要素間隔 | 1) 1.80mm以上(上・下部タイプレートと隣接するスパン) 1.60mm以上 | GO-NO法 | A～Lスパン 全数 |

表3.3 燃料集合体洗浄工程管理項目

| 検査項目 | 規格 | 検査方法 | |
|--------------------------|---|---------|-----|
| | | 方法 | 抜取数 |
| 1. N ₂ ガス吹きつけ | 1) 標準値 | 圧力計 | 全数 |
| 2. 洗剤濃度 | 1) 5 vol %以下 | 容量計 | 全数 |
| 3. 洗浄水温度 | 1) 80 ± 5°C以下 | 温度計 | 全数 |
| 4. 高純水 | 1) 10 ⁵ Ω・cm以上 | 電気抵抗測定器 | 全数 |
| 5. 表面清浄度 | 1) 表面は清浄で油脂、酸化物、切り粉、ごみ、ほこり等の有害な付着物がないこと | 目視 | 全数 |

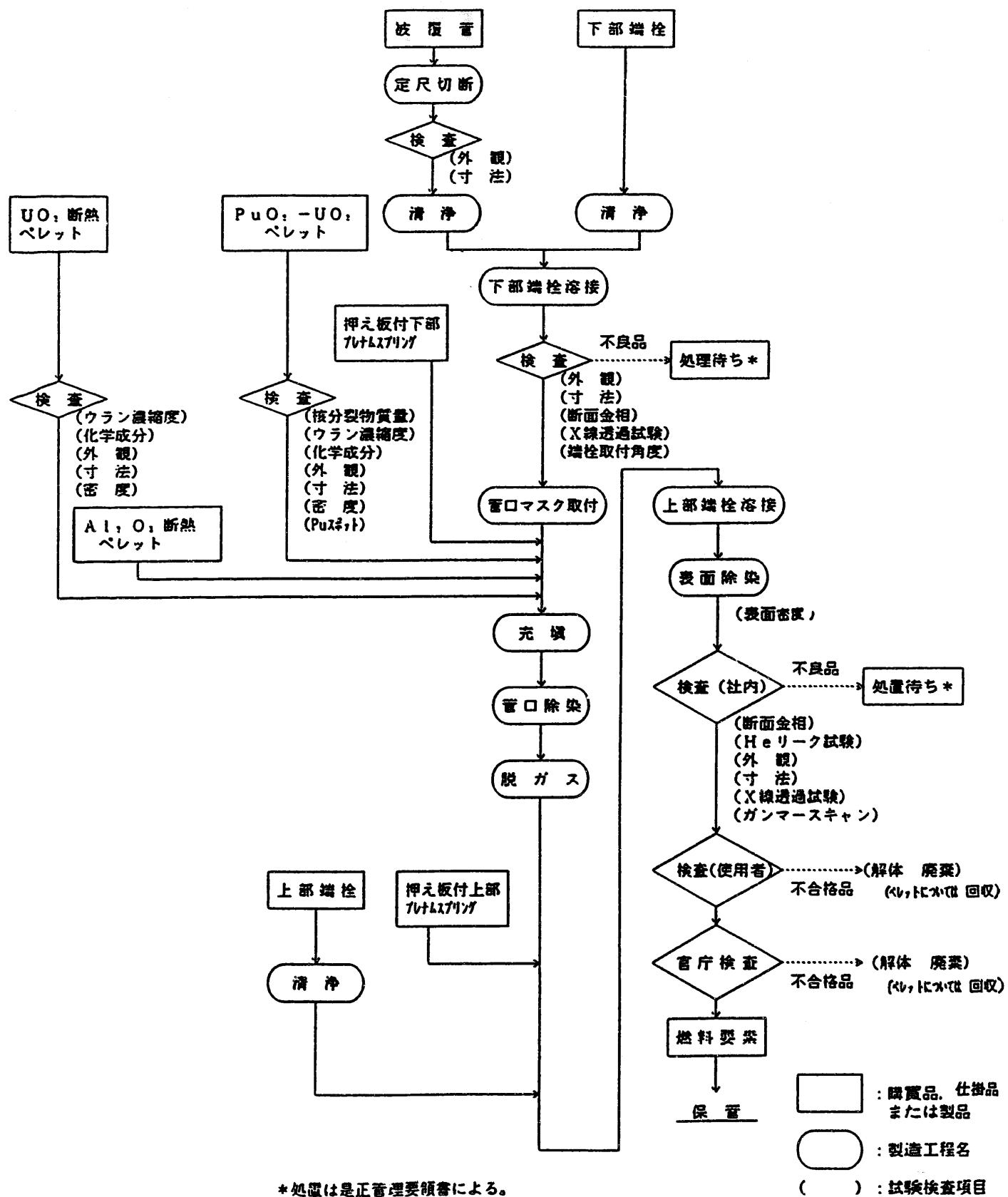


図3.1 燃料要素加工工程フロー

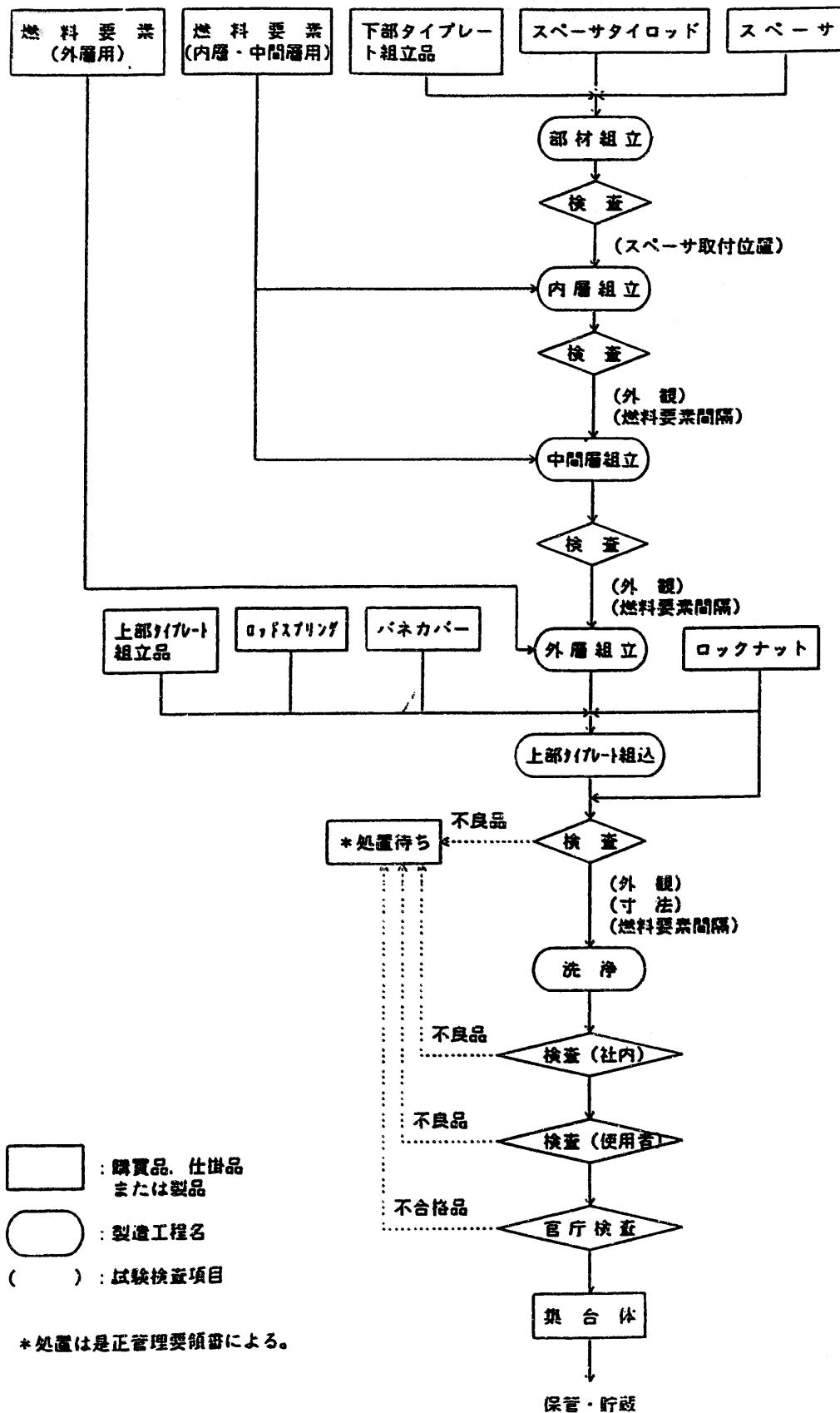


図3.2 燃料集合体組立工程フロー

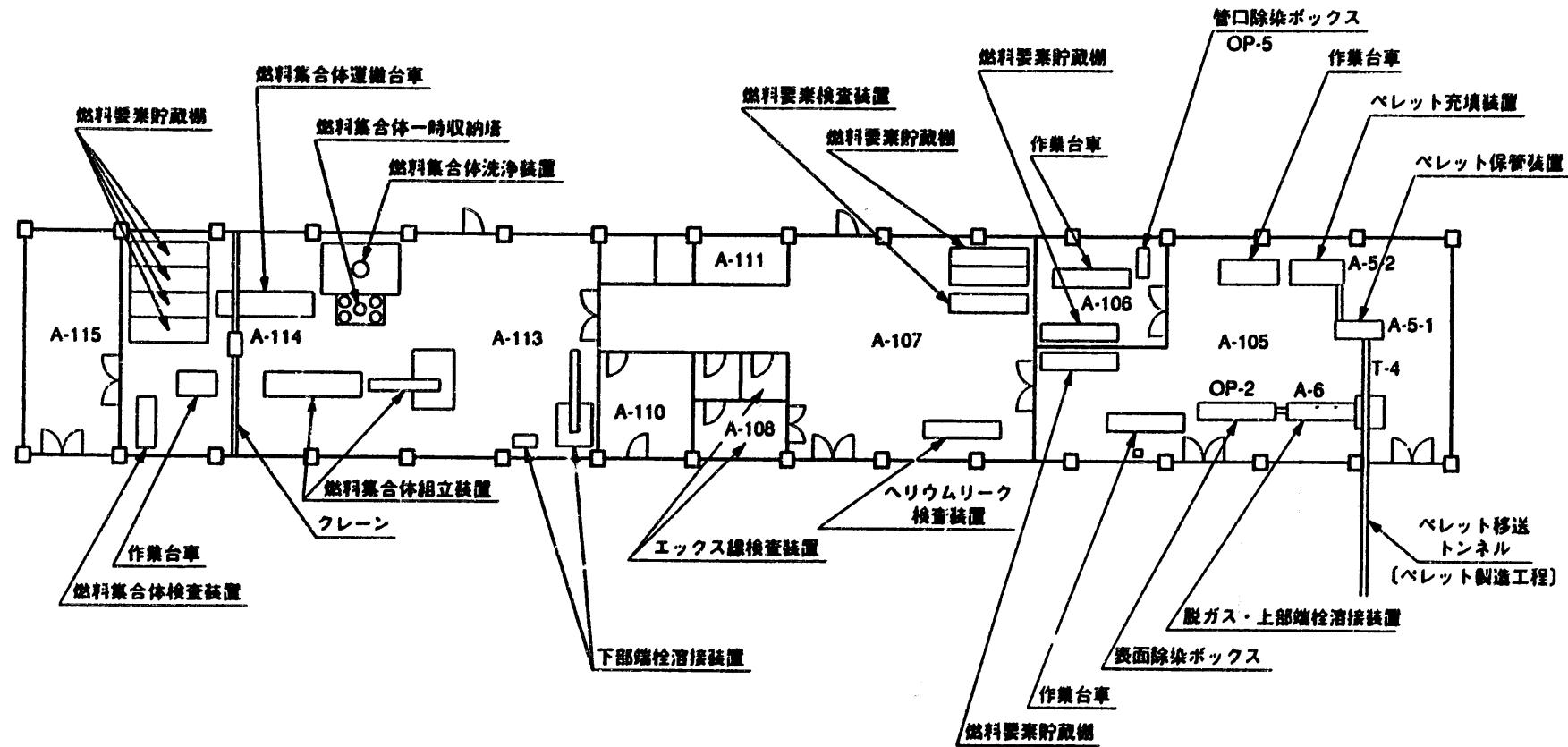


図3.3 燃料要素加工工程及び燃料集合体組立工程の設備配置図 (ATRライン)

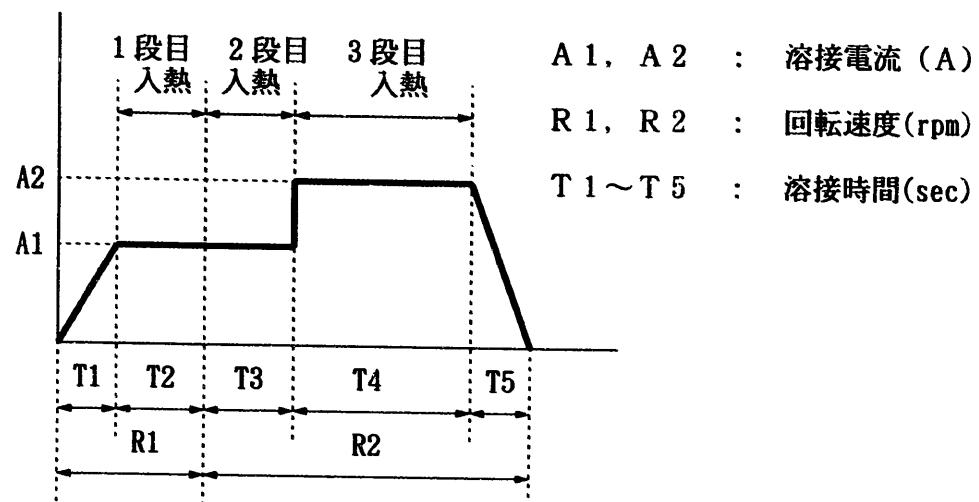


図 3.4 下部端栓溶接入熱プログラム

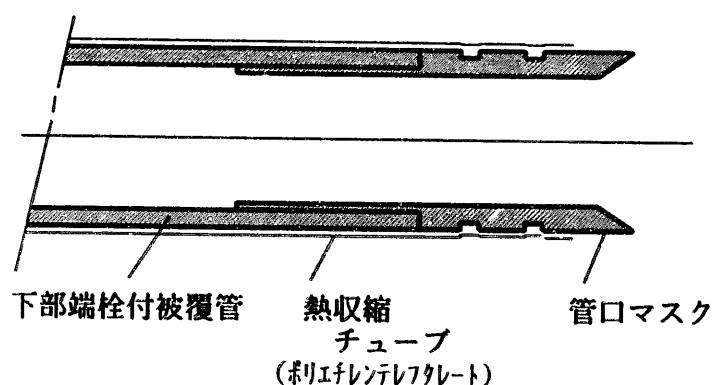


図 3.5 管口マスク取付け状態図

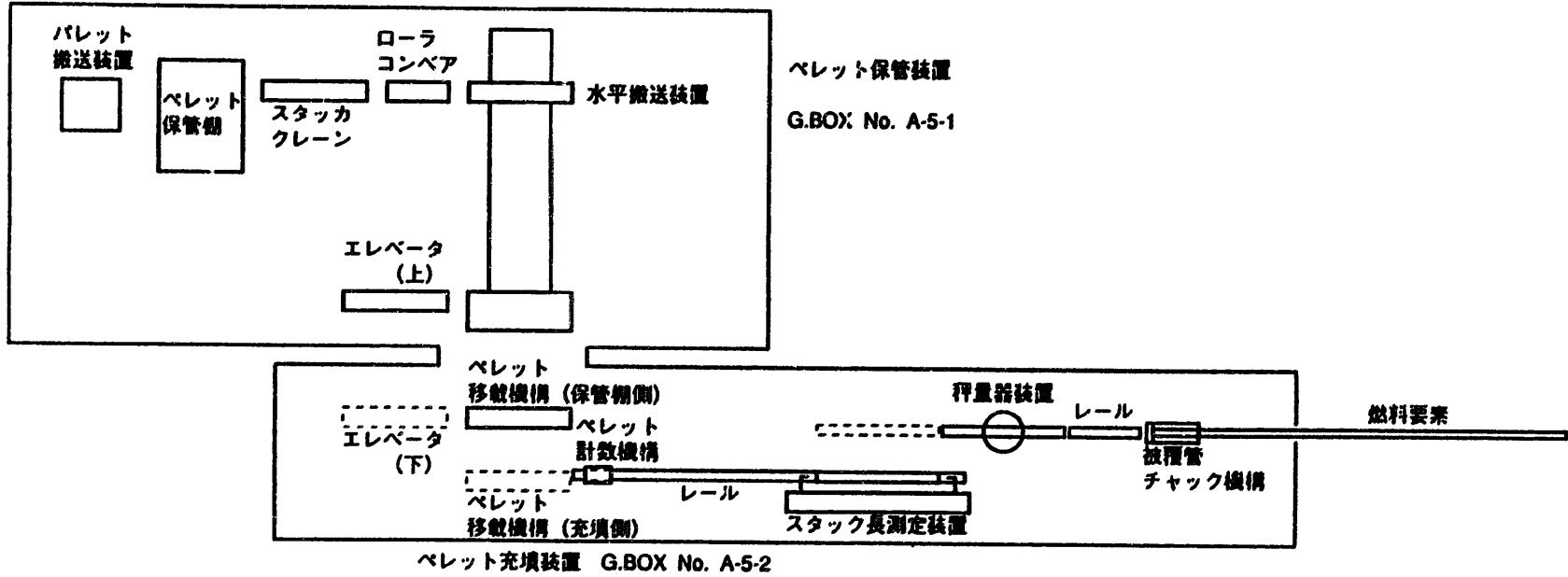


図3.6 ペレット充填工程の装置配置図（平面図）

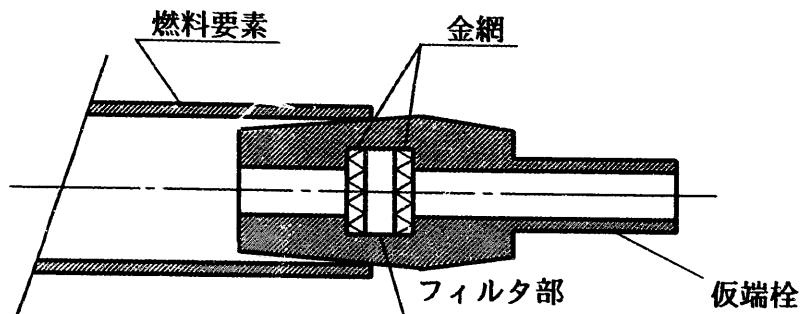


図3.7 仮端栓取付け状態

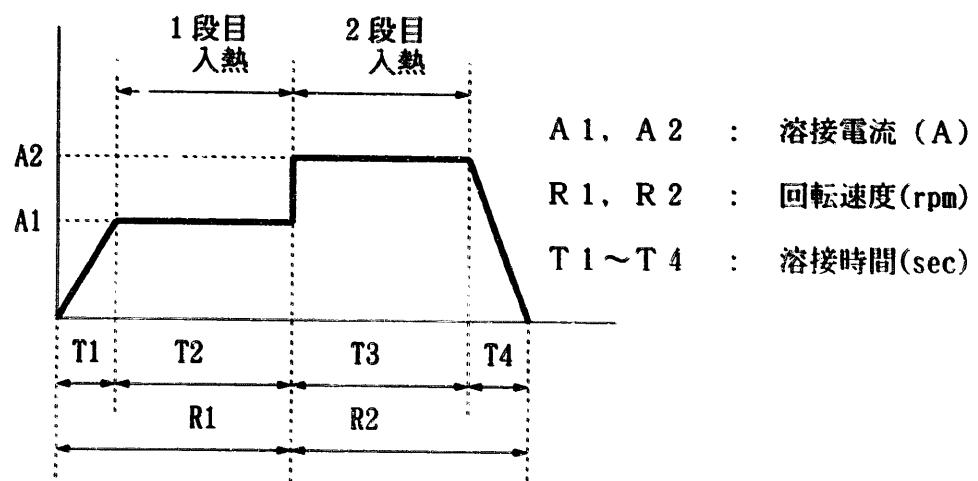


図3.8 上部端栓溶接入熱プログラム

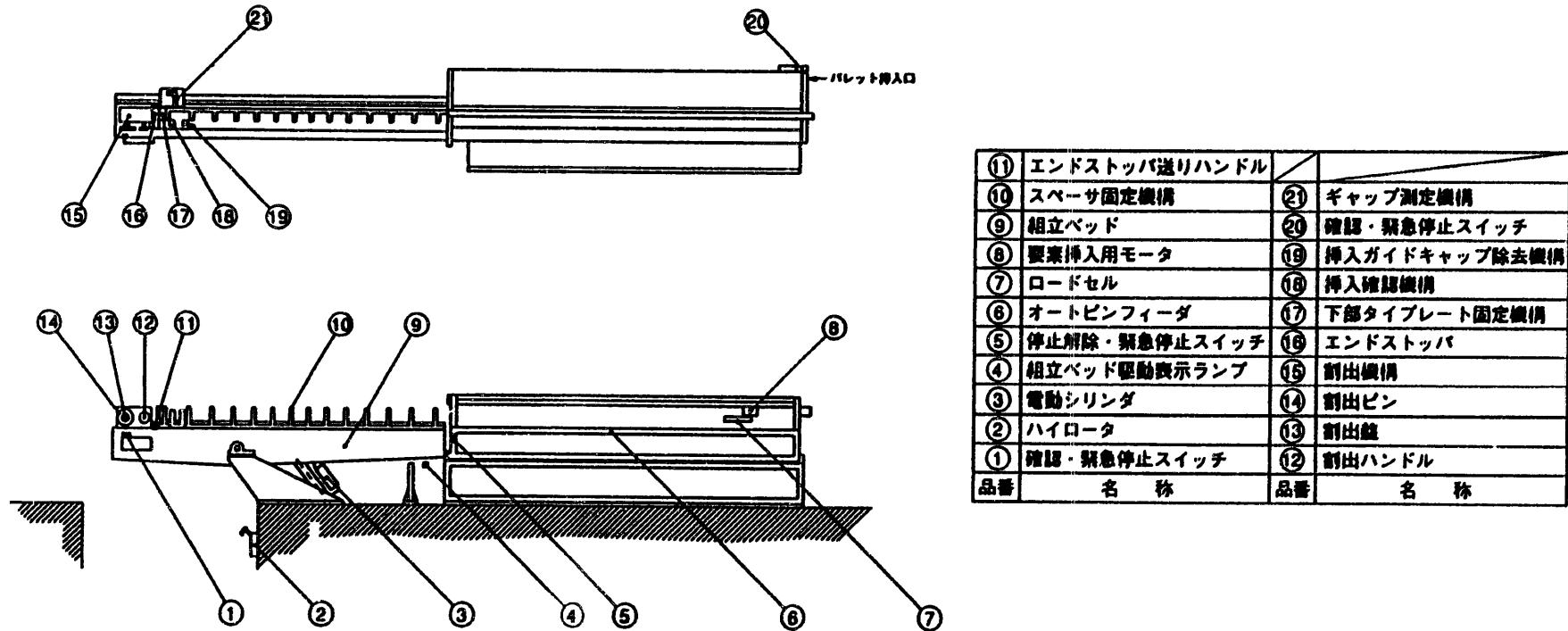


図3.9 燃 料 集 合 体 組 立 装 置 概 略 図

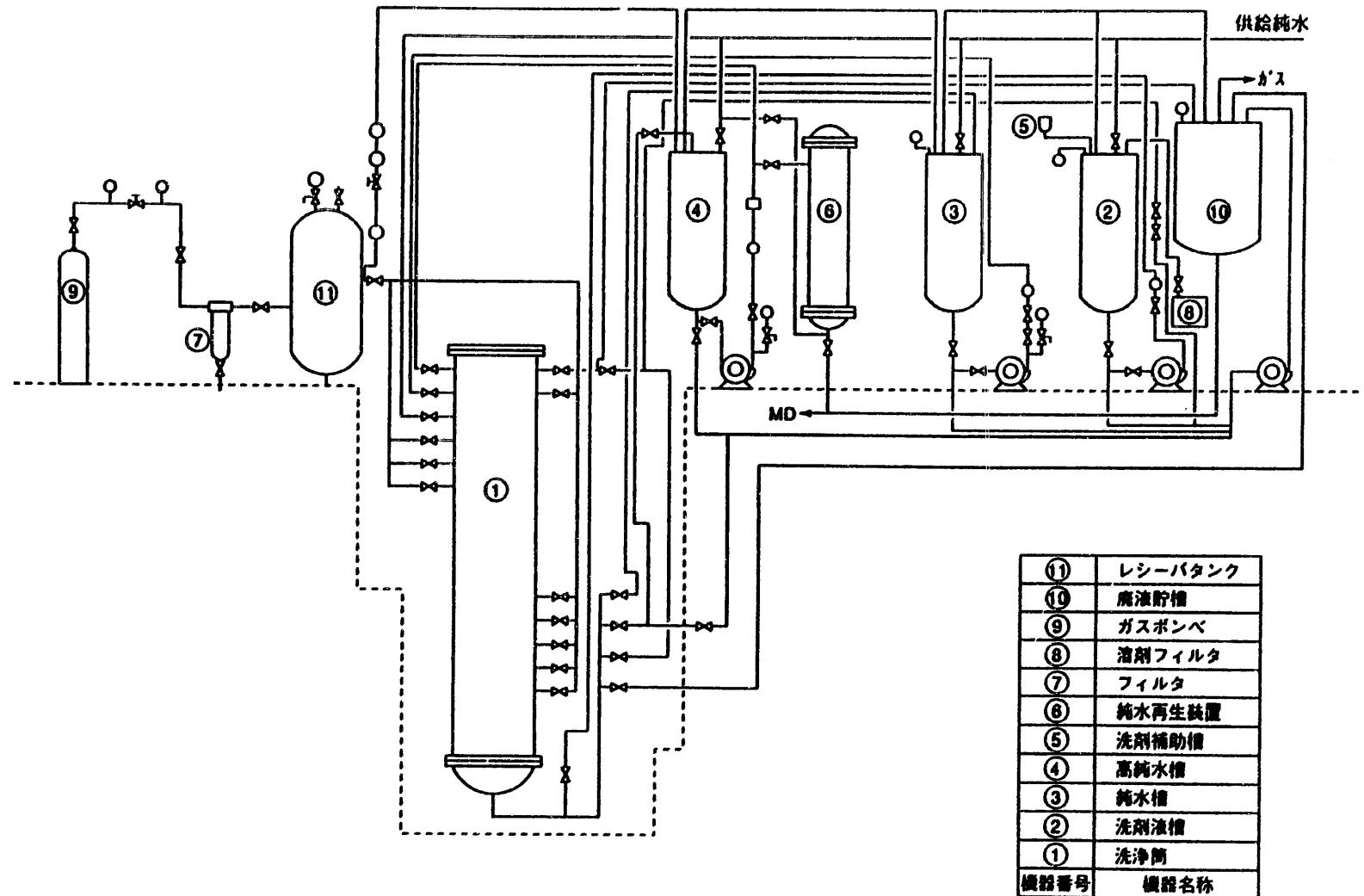


図3.10 洗浄工程系統図

第4章 試験・検査項目

4.1 溶接施行試験

溶接条件を確認するために行う下部端栓及び上部端栓溶接施行試験の内容を表4.1に示す。

表4.1 下部端栓及び上部端栓溶接施行試験の内容

| 試験検査項目 | 判定基準 | 試験検査方法 | 試験検査担当 | 試験本数 | 備考 |
|--------|--------------------------------|---|-----------------------------|------|--|
| 非破壊検査 | 1. 溶接部外観 | (1) 溶接部に著しい着色がないこと ^{*1} (2) アンダーカットは深さ70μm以下とする (3) ピンホール等の欠陥深さは70μm以下とし割れがないこと (4) ビード幅は均一であること (5) ビード外径 ^{*2} | 目視 目視 目視 目視 ゲージ | 20本 | ^{*1} あらかじめ定めた限界見本と比較する ^{*2} 下部端栓についてのみ16.62mm φ以下 |
| | 2. X線透過試験 | (1) 端栓溶接部に存在する白点・黒点は0.4mm φ以下とする (2) 溶け込み量は、被覆管肉厚の90%以上とする。 | X線透過法(直角2方向撮影) | | |
| 破壊検査 | 3. 引張試験(室温) | 破断荷重が16672N以上であること | 引張試験法 | 3本 | ^{*3} あらかじめ定めた限界見本と比較する |
| | 4. 内圧破裂試験(室温) | 破裂圧力が50.1MPa以上であること | 内圧加圧法 | | |
| | 5. 耐食試験 | 溶接部表面に著しい白色または、褐色の酸化物が付着しないこと ^{*3} | オートクレーブ法(目視) | | |
| | 6. 断面金相試験 アンダーカット 溶け込み不足 | 被覆管肉厚の10%以下であること 溶け込み量は被覆管最小肉厚の90%以上とする | 顕微鏡法 | | |

4.2 燃料要素の試験・検査項目

燃料要素に対する試験・検査方法の及び判定基準を表 4.2 に示す。

表 4.2 試験・検査の方法及び判定基準 (燃料要素)

| 区分 | 項目 | 判定基準 | 管理方法 | | 記録 | 備考 |
|--------|-----------|--|--------------------------|----|-----|--|
| | | | 方法 | 頻度 | | |
| 充填 | 燃料有効長さ | 長さ 重量 | 3700±5.0mm 約 6200g | 全数 | 測定値 | |
| 溶接部健全性 | 外観検査 | 著しい着色のないこと アンダーカットは肉厚の 10%以下であること ピンホール等で有害な欠陥または割れのないこと 溶接ビード幅は均一であること | 肉眼観察法 (限界見本との比較) | 全数 | 合否 | 燃料要素の溶接を開始する前に、溶接施行試験を実施する。溶接施行試験は条件を変更しない限り製造キャンペーン毎に1回以上及び年1回以上行う。 |
| | X線透過試験 | 溶接部の白点、黒点は $\phi 0.4\text{mm}$ 以下とする。 溶け込み不足のないこと。 その他有害な異常がないこと。 | X線透過法 (直角2方向撮影フィルム観察) | 全数 | 合否 | |
| 表面密度 | ルーズ汚染密度 | 0.004Bq/cm ² 以下 | スミヤ法 | | | 上部端栓溶接部のビード部分についてのみ調べる。 |
| | 固着汚染密度 | 10Bq/溶接ビード以下 | 直接 α 線測定法 | 全数 | 測定値 | |
| 漏洩検査 | ヘリウムリーク試験 | 3.0×10^{-9} Pa·m ³ /sec (STP) 以下 | ヘリウムリーク法 | 全数 | 測定値 | 燃料要素ヘリウムリーク検査標準 |

| | | | | | | |
|---------|----------|---------------------------------------|----------------------------|-----|-----|--|
| 外観検査 | 燃料要素健全性 | 表面は清浄で、油脂酸化物等異物の付着がないこと。 | 肉眼観察法 (限界見本との比較) | 全 数 | 合 否 | |
| | | 打痕等の欠陥は深さ $70\text{ }\mu\text{m}$ 以下 | | | | |
| | | 長いすりきず等は深さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下 | | | | |
| | | 有害な割れのないこと。 | | | | |
| 寸法検査 | 上部プレナム長さ | $251.0 \pm 13.0\text{ mm}$ | 肉眼観察法およびスケール | 全 数 | 測定値 | |
| | 下部プレナム長さ | $24.0 \pm 1.0\text{ mm}$ | 肉眼観察法およびスケール | | 測定値 | |
| | 真直度 | 0.25 mm 未満 | 定盤法 | | 合 否 | |
| | ビード外径 | $\phi 16.62\text{ mm}$ 以下 | リングゲージ法 | | 合 否 | |
| 富化度識別検査 | 内層燃料要素 | 核分裂物質量 2.27wt\% | 富化度識別装置及び肉眼観察法 (端栓形状確認) | 全 数 | 合 否 | |
| | 中間層燃料要素 | 2.27wt\% | | | | |
| | 外層燃料要素 | 1.84wt\% | | | | |
| 構成確認検査 | 内部構成確認 | 各構成部材が所定どおり取付けられていること。 | X線透過法 | 全 数 | 合 否 | |
| | 外部構成確認 | 各構成部材が所定どおり取付けられていること。 | 肉眼観察法 | | | |

4.3 燃料集合体の試験・検査項目

燃料集合体に対する試験・検査方法の及び判定基準を表4.3に示す。

表4.3 試験・検査の方法及び判定基準(燃料集合体)

| 区分 | 項目 | 判定基準 | 管理方法 | | 記録 | 備考 |
|------|-------------|--|---------------------|----|-----|----|
| | | | 方法 | 頻度 | | |
| 外観検査 | 燃料要素組立状態 | 燃料要素の配列、部品取付が製造図面どおりであること。 | 肉眼観察法 | 全数 | 合否 | |
| | 部材取付状態 | ロックナットは十分かしめられていること。 | 肉眼観察法 (限界見本との比較) | | | |
| | 表面の損傷 | 外表面に有害な割れ、きず等がないこと。 | 肉眼観察法 (限界見本との比較) | | | |
| | 刻字の確認 | 燃料集合体の種類および番号が刻字されていること。 | 肉眼観察法 | | | |
| | 表面清浄度 | 表面は清浄で油脂、酸化物等で有害な付着物がないこと。 | 肉眼観察法 | | | |
| 寸法検査 | 全長 | $4,388^{+1}_{-5}$ mm | 巻尺 | 全数 | 測定値 | |
| | 外径 | $\phi 112.9$ mm 以下 | マイクロメータまたはレーナー測定法 | 全数 | 測定値 | |
| | 内層燃料要素間ギャップ | 1.7 mm 以上 | スキマゲージ | 全数 | 合否 | |
| | スペーサ取付位置 | 下部タイプレートより各スペーサ下端までの長さ 407.5 ^{+4.0} _{-3.0} mm 827.5 ^{+4.0} _{-3.0} mm 1,167.5 ^{+5.0} _{-3.0} mm 1,427.5 ^{+5.0} _{-3.0} mm 1,687.5 ^{+5.0} _{-3.0} mm 1,947.5 ^{+5.0} _{-3.0} mm 2,207.5 ^{+5.0} _{-4.0} mm 2,467.5 ^{+5.0} _{-4.0} mm 2,727.5 ^{+6.0} _{-4.0} mm | 巻尺 | 全数 | 測定値 | |

| | | | | | | |
|--------|----------|--|---------|----|-----|--|
| | スペーサ取付位置 | $2,987.5^{+6.0}_{-4.0}$ mm $3,327.5^{+6.0}_{-5.0}$ mm $3,697.5^{+6.0}_{-5.0}$ mm | 巻尺 | 全数 | 測定値 | |
| | スペーサ傾き | ≤ 3 mm | 巻尺 | 全数 | 測定値 | |
| | 曲がり | ≤ 3 mm | トランシット法 | 全数 | 測定値 | |
| | ねじれ | ≤ 5 mm | トランシット法 | 全数 | 測定値 | |
| 構成確認検査 | 構成確認 | 各構成部材が所定どおり取付けられていること。 | 肉眼観察法 | 全数 | 合否 | |

第5章 製造実績

5.1 製造期間及び製造量

下部端栓溶接、ペレット充填、上部端栓溶接及び燃料集合体組立における各工程別の製造期間及び製造量を表 5.1 に示す。

5.2 製造収率

下部端栓溶接、燃料要素加工（ペレット充填～表面除染）及び燃料集合体組立における各工程別の製造収率を表 5.2 に示す。

5.3 官庁検査実績

科学技術庁、通商産業省による使用前検査を行い、受検結果は全数合格であった。科学技術庁検査実績を表 5.3 に示す。

5.4 物質収支

燃料要素 280 本分の製造物質収支を図 5.1 に示す。

5.5 核物質収支

ペレット受け入れから、ペレット充填工程までの核物質収支を図 5.2 に内層・中間層（高富化燃料）、外層（低富化燃料）別に示す。

表 5.1 各工程別の製造期間及び製造量

| 工程 項目 | 下部端栓溶接 | ペレット充填 | 上部端栓溶接 | 燃料集合体組立 |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 製造開始日 | H10.1.22 | H10.2.2 | H10.2.13 | H10.12.7 |
| 製造終了日 | H10.10.15 | H10.12.11 | H10.12.15 | H11.1.26 |
| 製造量 | 282本 | 282本 | 282本 | 10体 |

表 5.2 各工程別の製造収率

| 工程 項目 | 下部端栓溶接 | 燃料要素加工 | 燃料集合体組立 |
|----------|--------|--------|---------|
| 製造数 | 282本 | 282本 | 10体 |
| 社内検査合格数 | 282本 | 282本 | 10体 |
| 社内検査不合格数 | 0本 | 0本 | 0体 |
| その他 | 0本 | 0本 | 0体 |
| 収率 | 100% | 100% | 100% |

表 5.3 科学技術庁検査一覧表

| 回 数 | 受検日付 | 検 査 対 象 |
|-----|-----------|--|
| 第1回 | H9.12.11 | 被覆管 端栓 (上部端栓 内層用) (上部端栓 中間層用) (上部端栓 外層用) (下部端栓 内層用) (下部端栓 中間層用) (下部端栓 外層用) |
| 第2回 | H10.1.30 | ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 二酸化ウラン断熱ペレット |
| 第3回 | H10.2.27 | ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット |
| 第4回 | H10.3.27 | ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット |
| 第5回 | H10.10.23 | ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 燃料要素 (内層・中間層) |
| 第6回 | H10.10.29 | スペーサ タイプレート (上部) タイプレート (下部) |
| 第7回 | H10.12.4 | ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 燃料要素 (外層) |
| 第8回 | H11.1.20 | 燃料要素 (外層) |
| 第9回 | H11.2.5 | 燃料集合体 |

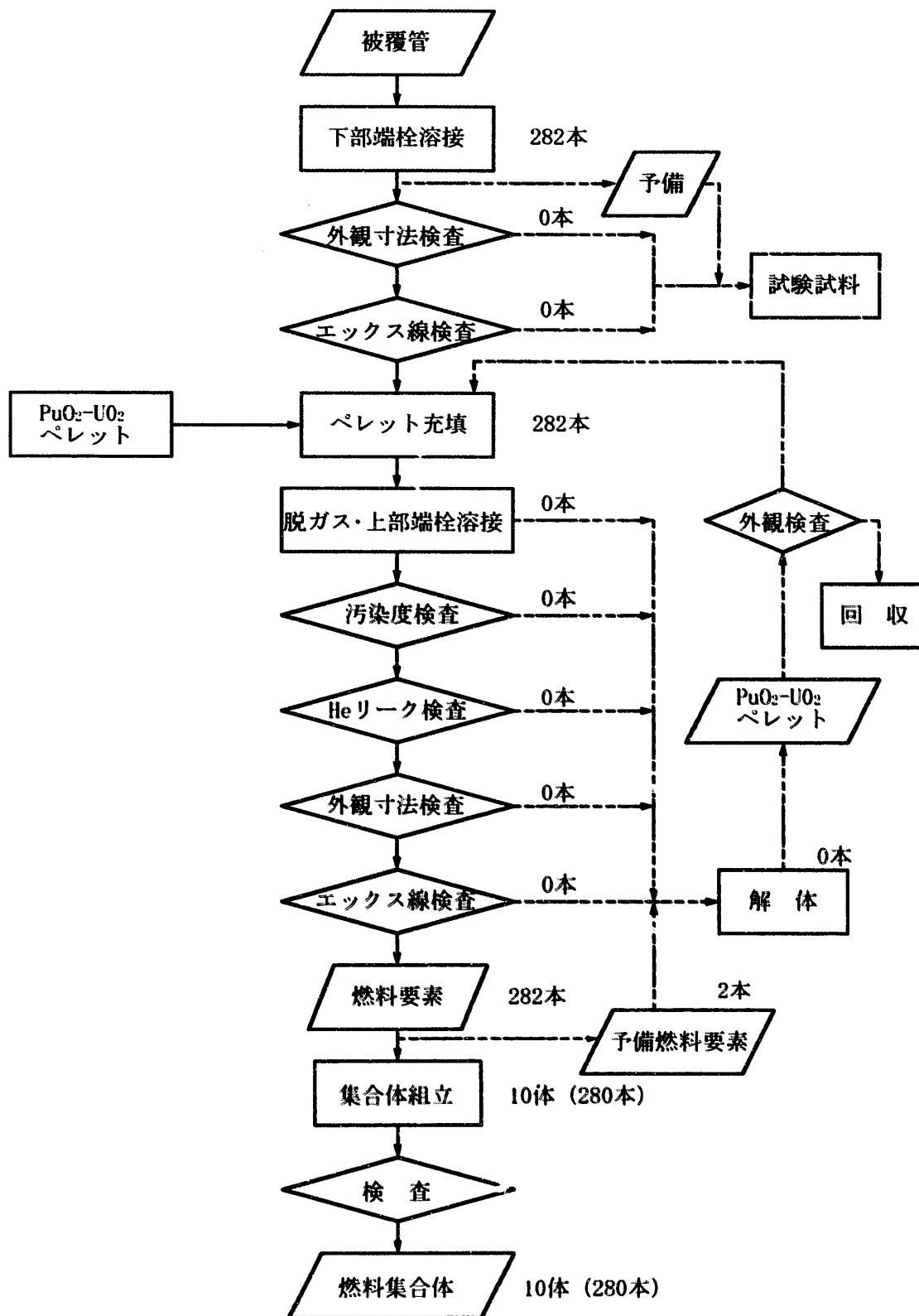


図5. 1 燃料製造物質収支

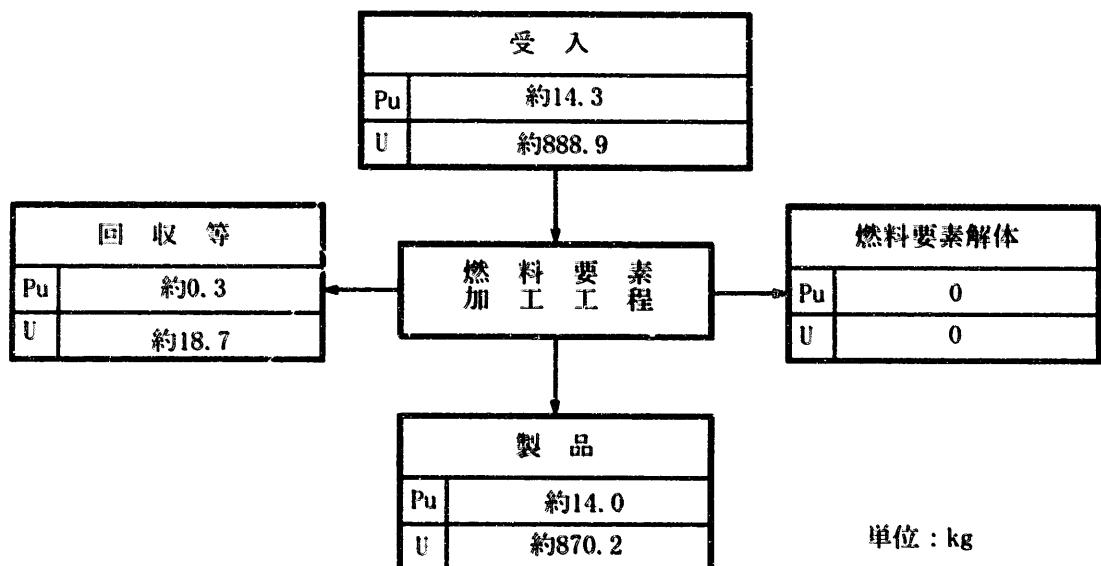
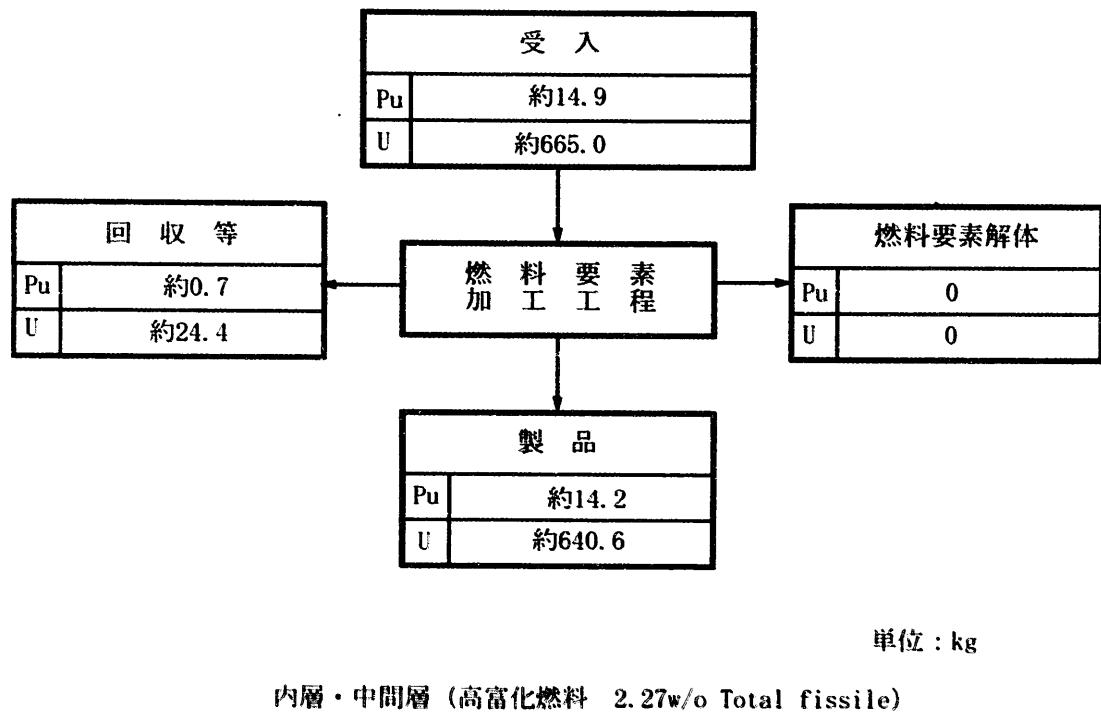


図5. 2 核物質収支図

第6章 試験・検査結果

6.1 溶接施工試験結果

下部端栓溶接施工試験及び上部端栓溶接施工試験の結果を、それぞれ表 6.1、表 6.2 並びに表 6.3 に示す。

なお、上部端栓溶接施工試験は溶接施工試験要領書に基づき、最初に施工した溶接施工試験の有効期間が 1 年を超えることから施工試験を 2 回実施した。

6.2 燃料要素検査データ

被覆管長さ、下部端栓取付け角度、スタック長、スタック重量、汚染度（高富化）、汚染度（低富化）、上部端栓取付け角度、肩間長さのヒストグラムを図 6.1～図 6.8 に示す。

6.3 燃料集合体検査データ

燃料集合体全長（下部タイプレート下面から上部タイプレートのハンドリングヘッド頂上部までの距離）、燃料集合体曲がり、燃料集合体ねじれのヒストグラムを図 6.9～図 6.11 に示す。

表 6.1 下部端栓溶接施行試験結果

| 溶接施工試験申請書 No. | | A-28-YK-1 | 溶接施工実施日 | | H9. 12. 4 | |
|---------------|-------|-----------|----------------|----------------|-----------|--------|
| 試料番号 | 非破壊検査 | | 破壊検査 | | | |
| | 溶接部外観 | X線透過試験 | 内圧破裂試験 | 引張試験 | 耐食性試験 | 断面金相試験 |
| 判定基準 | ※ | ※ | 50.1 MPa 以上 | 16,672 N 以上 | ※ | ※ |
| 28L-01 | 合格 | 合格 | | 25,606 | | |
| 28L-02 | 合格 | 合格 | 96.0 | | | |
| 28L-03 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-04 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28L-05 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28L-06 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-07 | 合格 | 合格 | | 25,869 | | |
| 28L-08 | 合格 | 合格 | 98.0 | | | |
| 28L-09 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-10 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28L-11 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28L-12 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-13 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-14 | 合格 | 合格 | | 23,182 | | |
| 28L-15 | 合格 | 合格 | 94.5 | | | |
| 28L-16 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-17 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28L-18 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28L-19 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28L-20 | 合格 | 合格 | | | | |

* 判定基準は、表 4.1 下部端栓及び上部端栓溶接施行試験の内容を参照。

表 6.2 上部端栓溶接施行試験結果（1回目）

| 溶接施行試験申請書 No. | | A-28-YJ-1 | 溶接施行実施日 | | H9. 12. 8 | |
|---------------|-------|-----------|----------------|---------------|-----------|--------|
| 試料番号 | 非破壊検査 | | 破壊検査 | | | |
| | 溶接部外観 | X線透過試験 | 内圧破裂試験 | 引張試験 | 耐食性試験 | 断面金相試験 |
| 判定基準 | ※ | ※ | 50.1 MPa 以上 | 16,672N 以上 | ※ | ※ |
| 28U-01 | 合格 | 合格 | | 23,605 | | |
| 28U-02 | 合格 | 合格 | 100.5 | | | |
| 28U-03 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-04 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-05 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-06 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-07 | 合格 | 合格 | | 26,960 | | |
| 28U-08 | 合格 | 合格 | 98.5 | | | |
| 28U-09 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-10 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-11 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-12 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-13 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-14 | 合格 | 合格 | | 26,718 | | |
| 28U-15 | 合格 | 合格 | 97.5 | | | |
| 28U-16 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-17 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-18 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-19 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-20 | 合格 | 合格 | | | | |

※ 判定基準は、表 4.1 下部端栓及び上部端栓溶接施行試験の内容を参照。

表 6.2 上部端栓溶接施行試験結果（2回目）

| 溶接施行試験申請書 No. | | A-28-YJ-2 | 溶接施行実施日 | | H10.10.20 | |
|---------------|-------|-----------|---------------|---------------|-----------|--------|
| 試料番号 | 非破壊検査 | | 破壊検査 | | | |
| | 溶接部外観 | X線透過試験 | 内圧破裂試験 | 引張試験 | 耐食性試験 | 断面金相試験 |
| 判定基準 | ※ | ※ | 50.1MPa 以上 | 16,672N 以上 | ※ | ※ |
| 28U-21 | 合格 | 合格 | | 22,540 | | |
| 28U-22 | 合格 | 合格 | 96.0 | | | |
| 28U-23 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-24 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-25 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-26 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-27 | 合格 | 合格 | | 26,613 | | |
| 28U-28 | 合格 | 合格 | 96.5 | | | |
| 28U-29 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-30 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-31 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-32 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-33 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-34 | 合格 | 合格 | | 26,532 | | |
| 28U-35 | 合格 | 合格 | 96.0 | | | |
| 28U-36 | 合格 | 合格 | | | 合格 | |
| 28U-37 | 合格 | 合格 | | | | 合格 |
| 28U-38 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-39 | 合格 | 合格 | | | | |
| 28U-40 | 合格 | 合格 | | | | |

※ 判定基準は、表 4.1 下部端栓及び上部端栓溶接施行試験の内容を参照。

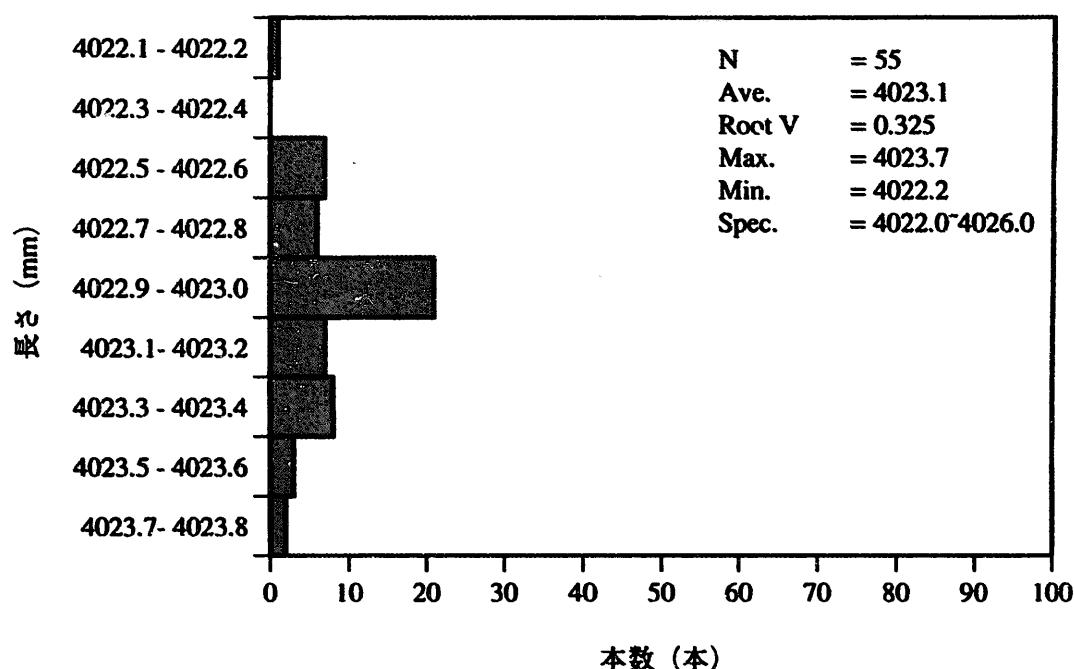


図6.1 被覆管長さ

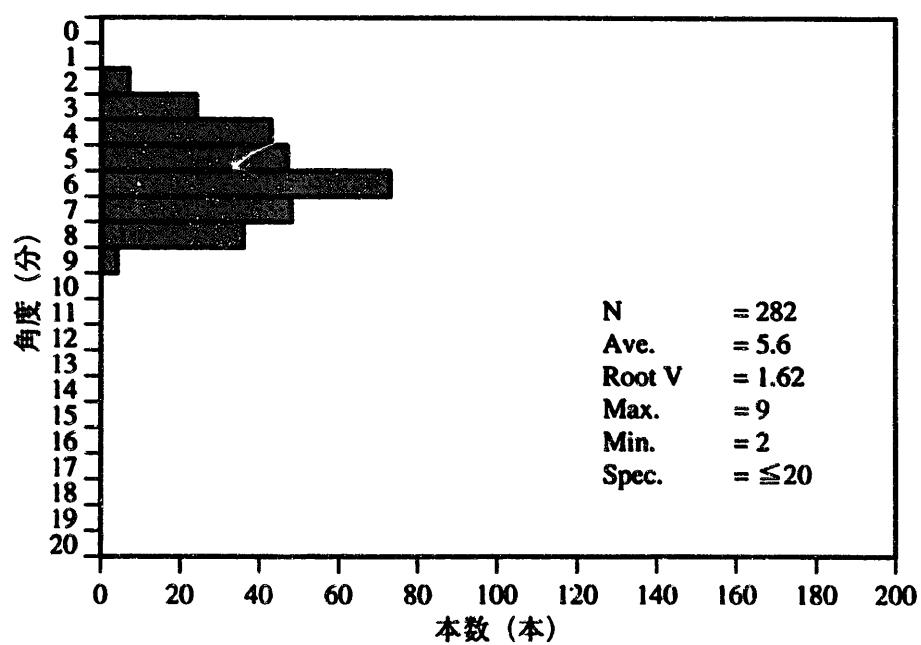


図6.2 下部端栓取付け角度

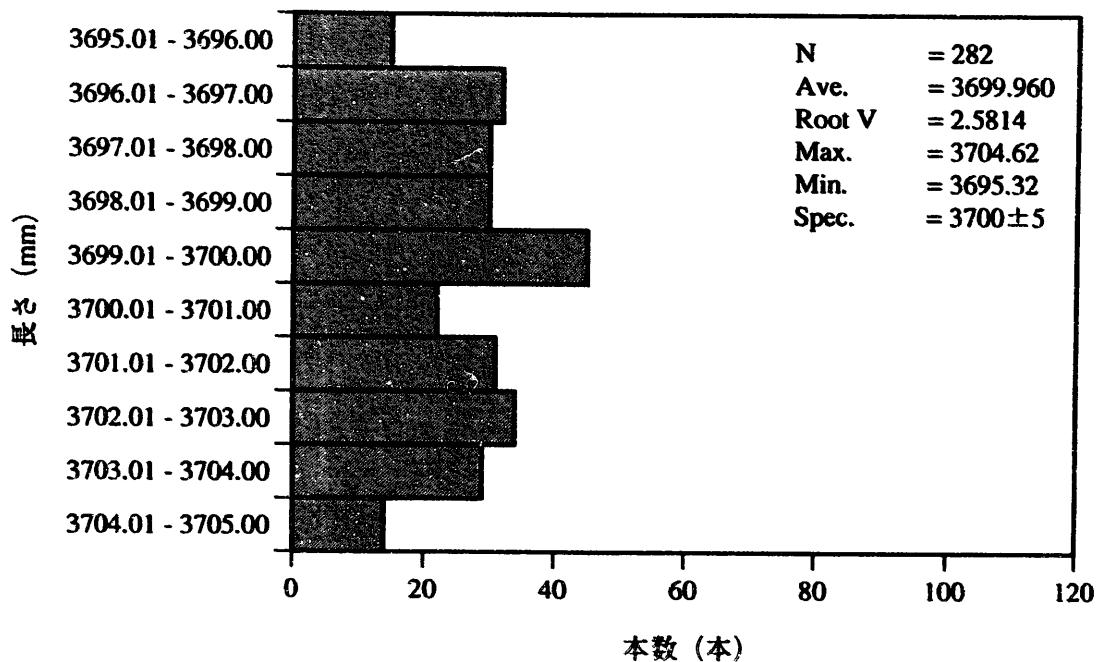


図6.3 スタック長

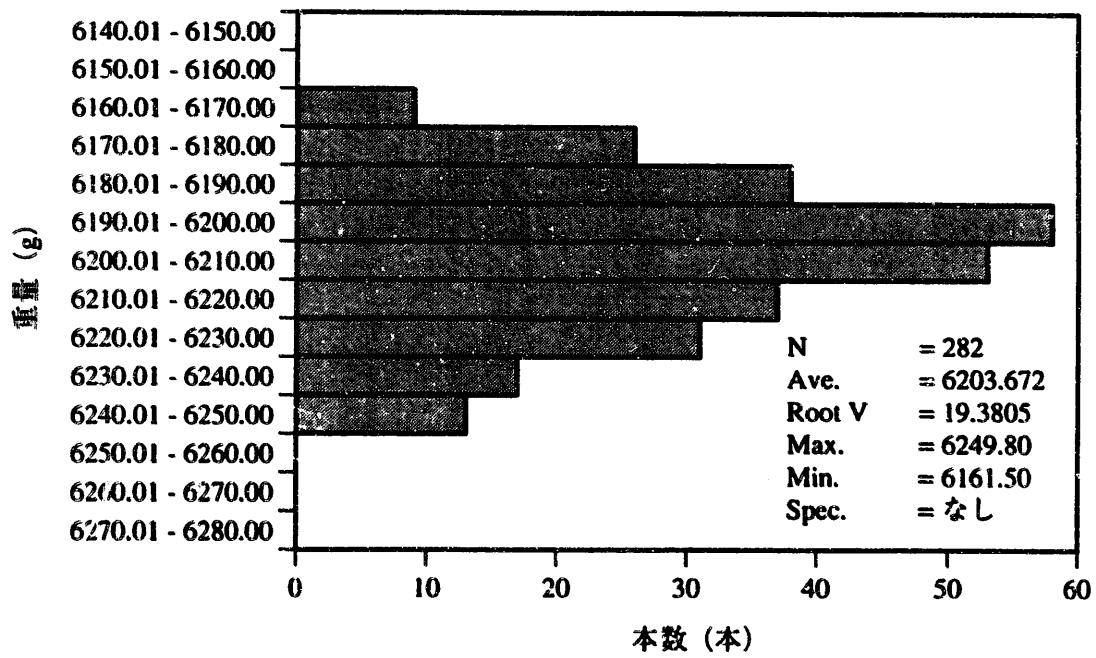
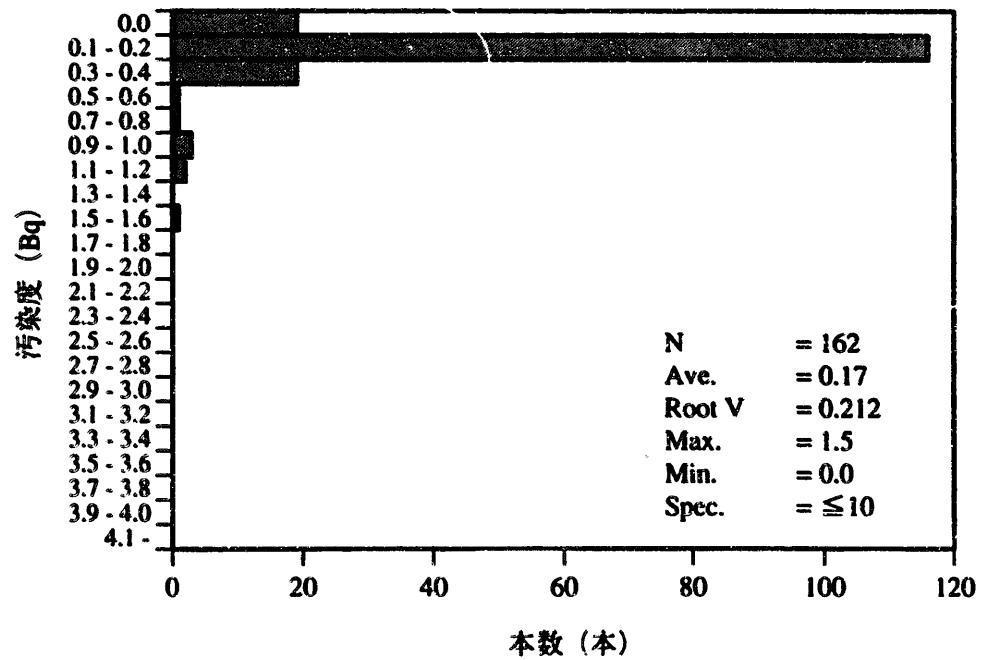
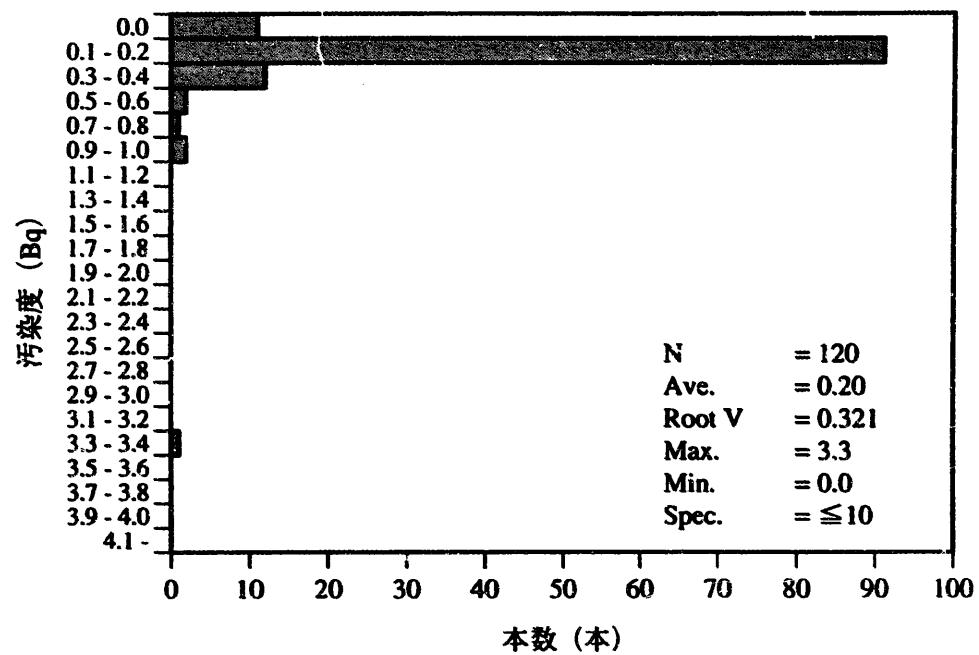


図6.4 スタック重量



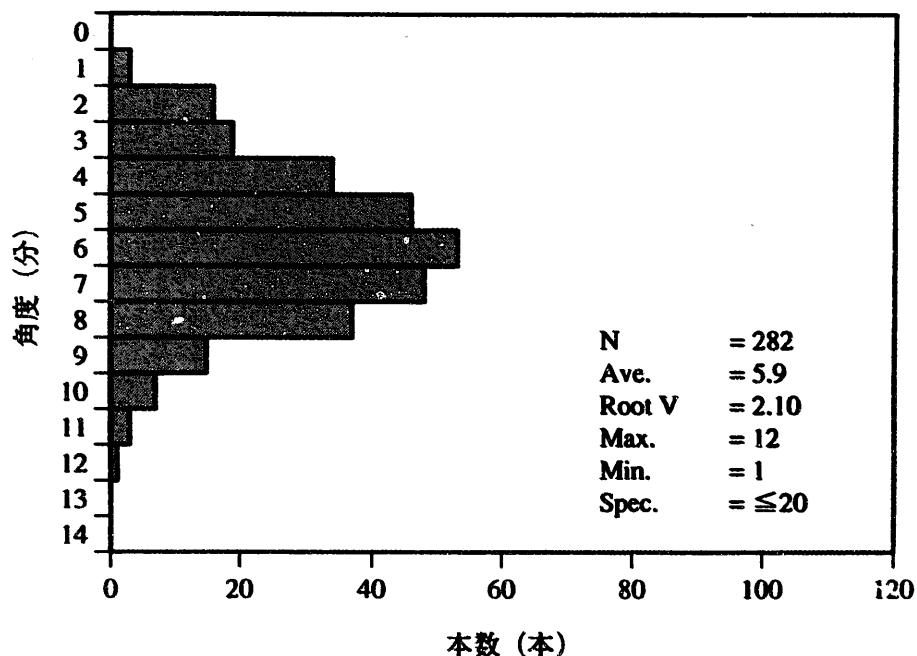


図6.7 上部端栓取付け角度

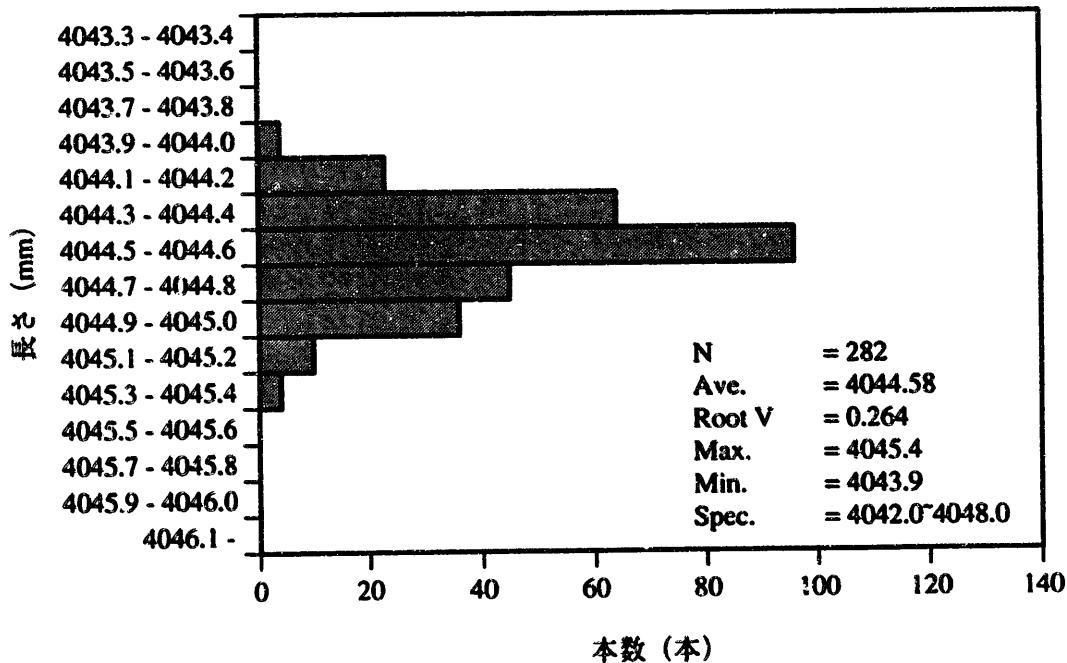


図6.8 肩間長さ

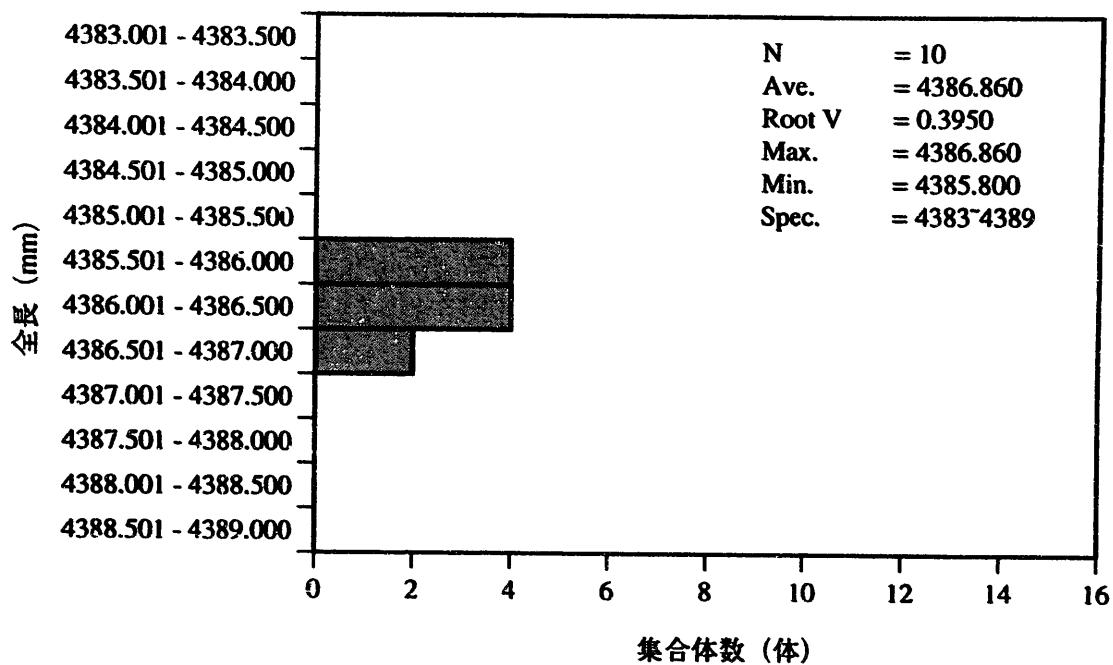


図6.9 燃料集合体全長

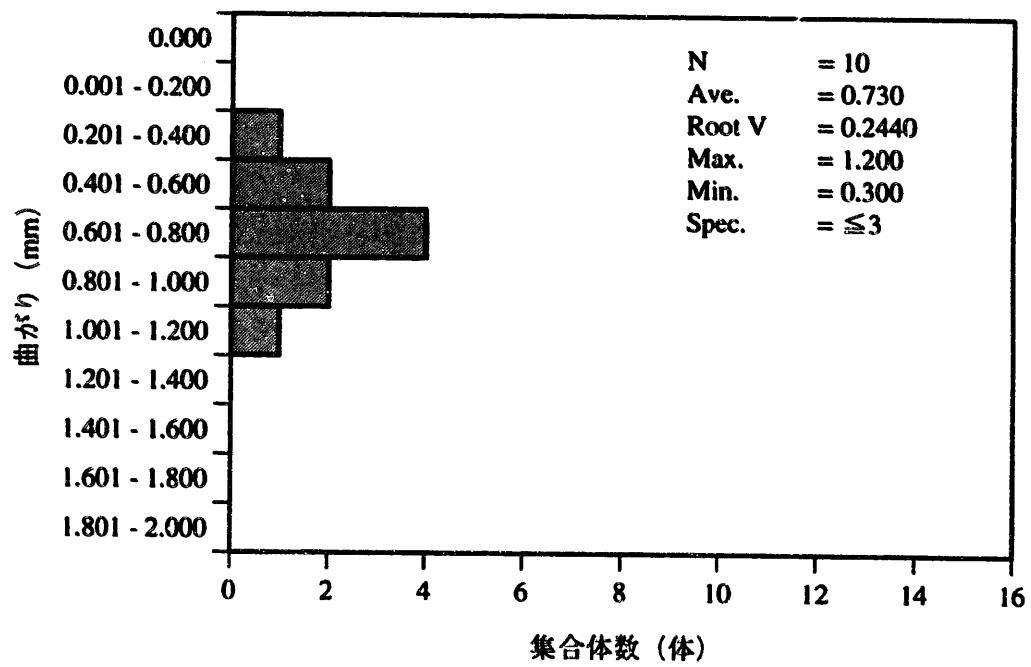


図6.10 燃料集合体曲がり

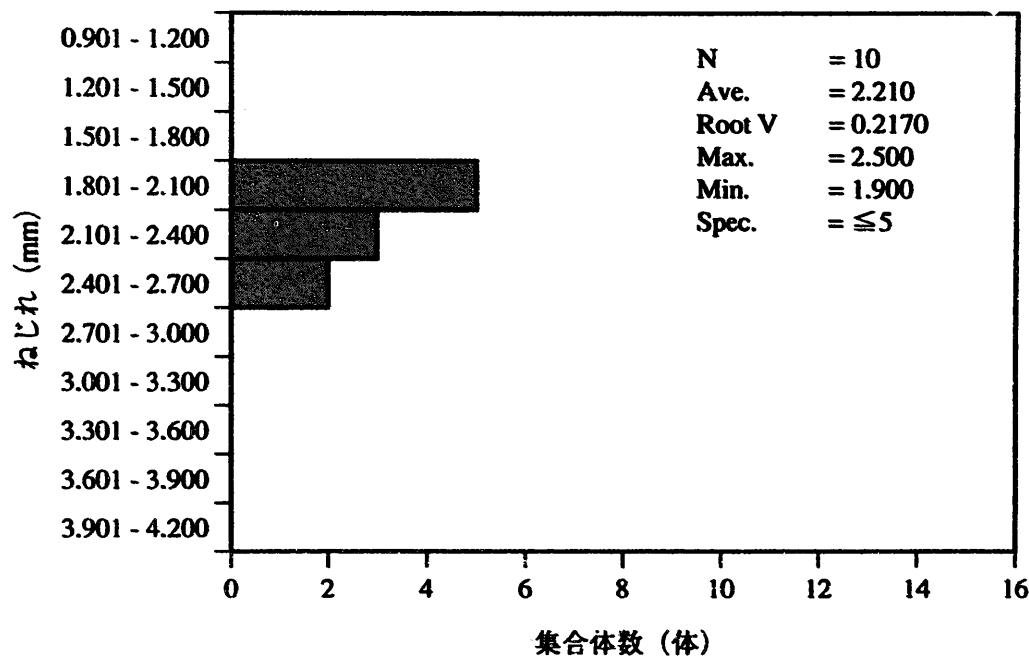


図6.11 燃料集合体ねじれ

第7章 特記事項

1) 表面密度の算出方法の変更

(1) 概要

科学技術庁の担当官より、表面密度の測定方法について最新のJISに基づくようにとの指導があり、変更を行った。

(2) 放射線表面汚染の測定方法(JIS Z 4504-1993)

変更後の算出式を次に示す。

$$A = \frac{N}{\epsilon_i \times F \times S \times \epsilon_s \times 60}$$

A : 表面密度 (Bq/cm²)

N : 計数率 (cpm)

ϵ_i : 機器効率=0.8

F : ふき取り効率=0.5

S : ふき取った面積=2090 (cm²)

ϵ_s : 線源効率=0.25

なお、変更前の算出式は以下のとおりであった。

$$A = \frac{N}{\epsilon}$$

A : 表面密度 (dpm/燃料要素)

N : 計数率 (cpm)

ϵ : 計数効率

第8章 おわりに

- (1) 製造期間は、平成 10 年 1 月 22 から平成 11 年 1 月 26 日までであった。
- (2) 燃料要素 282 本、燃料集合体 10 体を製造した。
- (3) 収率は、下部端栓溶接工程で 100%，燃料要素加工工程で 100%，燃料集合体組立工程で 100% であった。

謝 辞

検査データを提供して頂いたプルトニウム燃料センター技術部品質保証室の燃料検査チームのみなさんに深く感謝いたします。