

「ふげん」取替（第32回及び第32回その2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）

2001年11月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部又は一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

「ふげん」取替（第32回及び第32回(その2)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)

沢山 武夫*1 関 信夫*1 大森 修二*2
大野 耕一*1 河合 俊輔*1

要 旨

本報告書は、「ふげん」第32回取替用及び第32回取替用(その2)MOX 燃料集合体の加工組立工程に係わる製造実績、製品の品質等についてまとめたものである。

「ふげん」第32回取替用燃料集合体の製造は、平成12年9月4日に下部端栓溶接を開始し、集合体官庁検査を平成13年7月19日に受検、合格して終了した。製造量は、燃料要素で424本、燃料集合体で15体であり、製造収率は、燃料要素加工工程で99.1%、燃料集合体組立工程で100%であった。

「ふげん」第32回取替用(その2)燃料集合体の製造は、平成13年4月9日に下部端栓溶接を開始し、集合体官庁検査を平成13年11月22日に受検、合格して終了した。製造量は、燃料要素で254本、燃料集合体で9体であり、製造収率は、燃料要素加工工程で98.8%、燃料集合体組立工程で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 保安全管理部 危機管理整備室

The Fabrication of FUGEN 32nd and 32nd (Part2) Replacing Fuel Assembly
— *Fuel Element Fabrication · Fuel Assembly Assembling* —

TAKEO Sawayama*1, NOBUO Seki*1, SHUJI Omori*2
KOUICHI Oono *1, SHUNSUKE Kawai*1

Abstract

This is the report about product quantity, product quality that Japan Nuclear Cycle Development Institute produced the Fugen 32nd and 32nd (Part2) replacing fuel elements and fuel assemblies in TOKAI WORKS (fabrication process : lower end plug welding, fuel pellet loading, upper end plug welding, assembling).

The first process of 32nd replacing fuel assembly fabrication, that is lower end plug welding, was begun on September 4, 2000, and those fuel assemblies were inspected by METI¹⁾ on January 19, 2001.

The quantity of product was 424 fuel elements or 15 fuel assemblies, and the fabrication yield was 99.1% on fuel elements and 100% on fuel assemblies.

And the first process of 32nd (Part2) replacing fuel assembly fabrication, that is lower end plug welding, was begun on April 9, 2001, and was finished when those fuel assemblies were inspected by METI¹⁾ on November 22, 2001.

The quantity of product was 254 fuel elements or 9 fuel assemblies, and the fabrication yield was 98.8% on fuel elements and 100% on fuel assemblies.

1) Ministry of Economy, Trade and Industry

*1 Fuel Assembling Section, Plutonium Fuel Fabrication Division, Plutonium Fuel Center
*2 Emergency Planning Section, Safety Administration Division

目 次

1. はじめに	1
2. 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
3. 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	9
4. 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
5. 製造実績	26
5. 1 製造期間及び製造量	26
5. 2 製造収率	26
5. 3 官庁検査実績	26
5. 4 燃料要素収支	26
6. 試験・検査結果	32
6. 1 溶接施行試験結果	32
6. 2 燃料要素検査データ	32
6. 3 燃料集合体検査データ	32
7. おわりに	49
謝 辞	50

1. はじめに

「ふげん」第32回取替用及び第32回取替用その2燃料集合体は、ふげん発電所の第33回サイクルの運転に使用するものである。

「ふげん」第32回取替燃料の加工組立は平成12年9月に開始し、予定されていた燃料集合体15体の組立を平成13年6月に終えた。また、「ふげん」第32回取替(その2)燃料の加工組立は平成13年4月に開始し、予定されていた燃料集合体9体の組立を平成13年10月に終えた。

2. 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プレートに連結固定されている。上部及び下部タイプ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、アルミナ断熱ペレット、天然ウラン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)

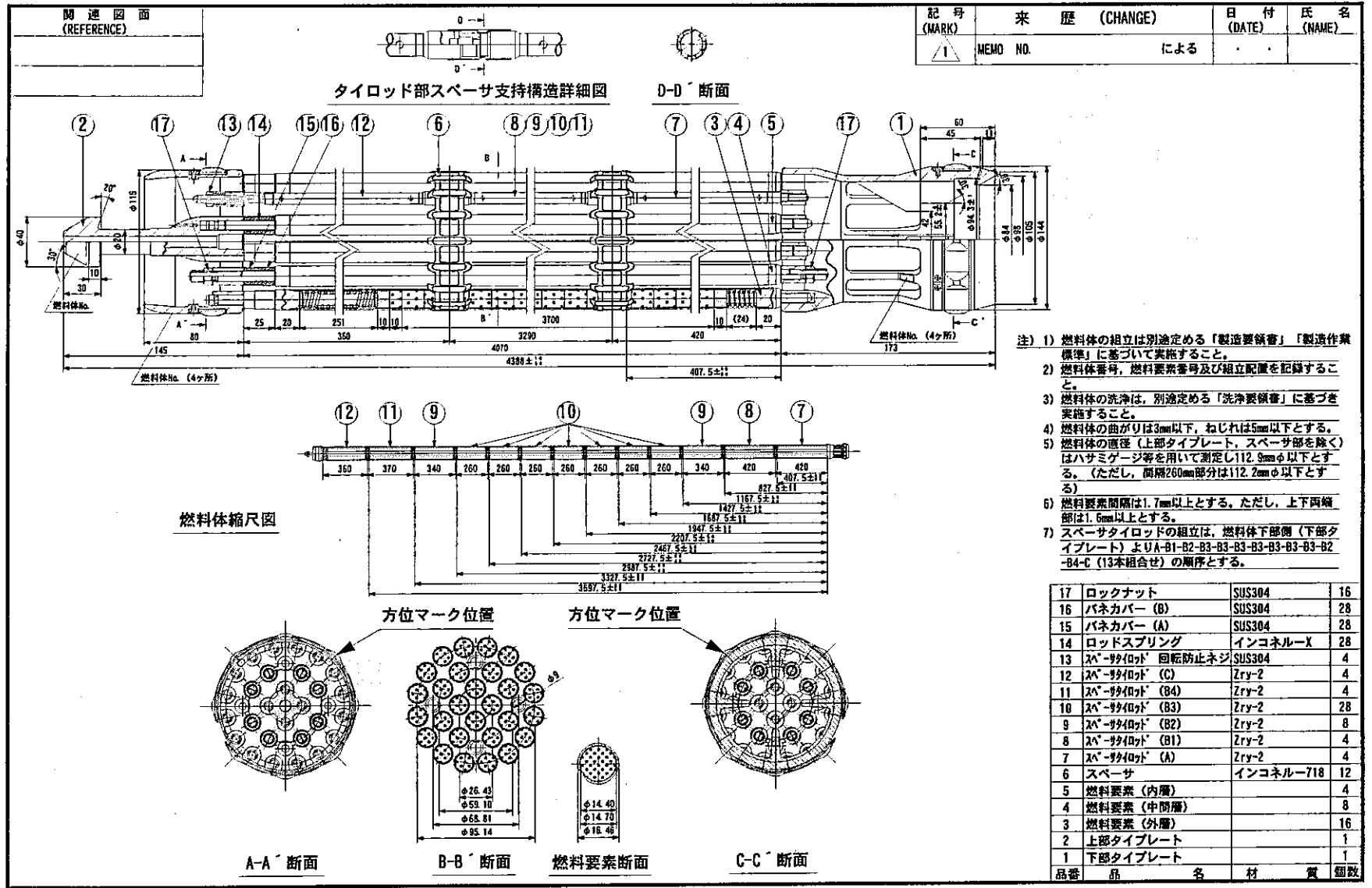
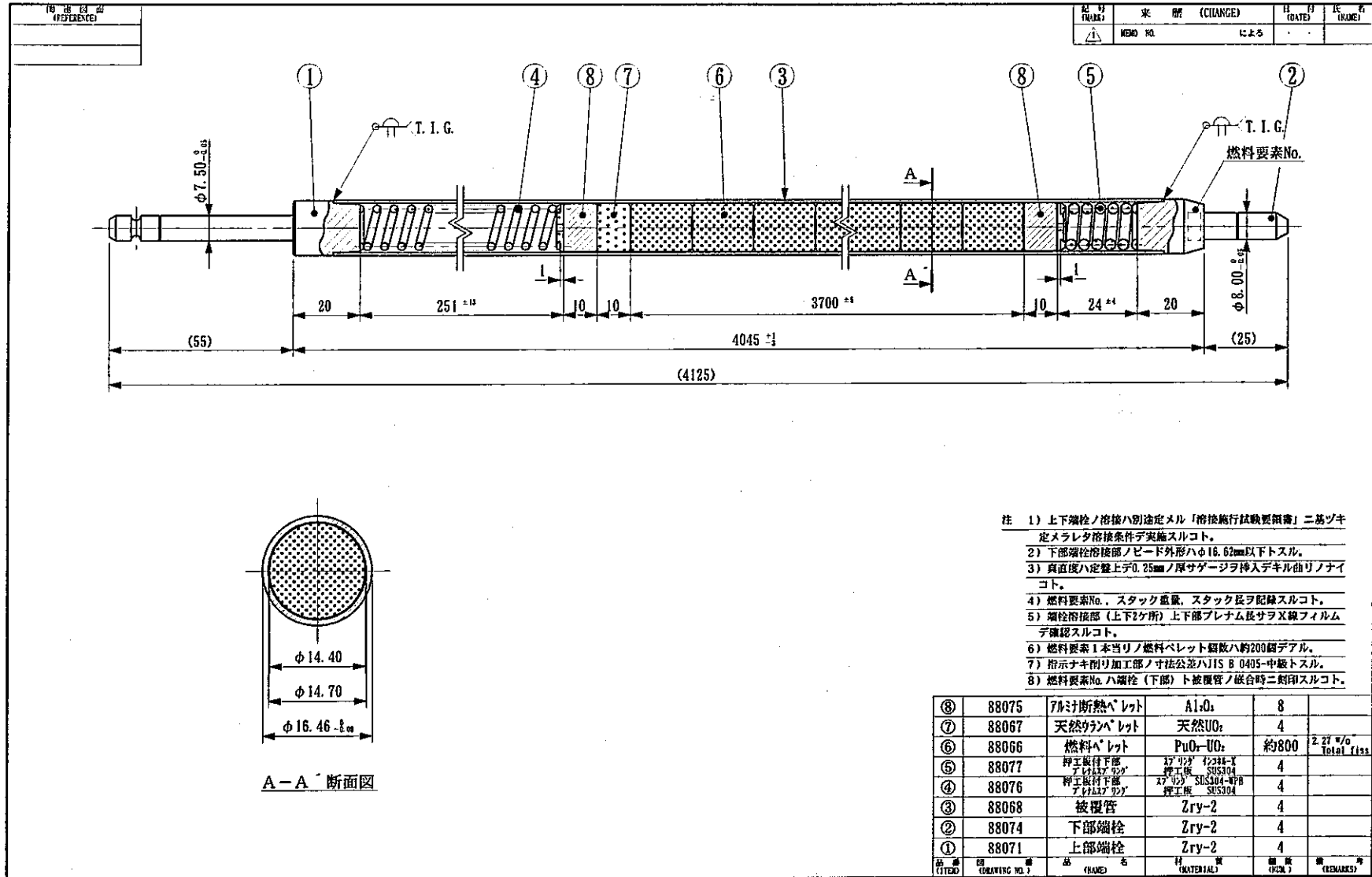


図2.1 燃料集合体



注 1) 上下端栓ノ溶接ハ別途定メル「溶接施行試験要領書」ニ基ツキ定メラレテ溶接条件ヲ実施スルコト。
 2) 下部端栓溶接部ノビード外形ハφ16.62mm以下トスル。
 3) 真直度ハ定盤上テ0.25mmノ厚サゲージヲ挿入デキル曲リノナイコト。
 4) 燃料要素No.、スタック重量、スタック長さ記録スルコト。
 5) 端栓溶接部(上下2ヶ所)上下部プレナム長サラX線フィルムヲ確認スルコト。
 6) 燃料要素1本当リノ燃料ベレット個数ハ約200個デアル。
 7) 指示ナキ附リ加工部ノ寸法公差ハJIS B 0405-中級トスル。
 8) 燃料要素No.ハ端栓(下部)ト被覆管ノ嵌合時ニ刻印スルコト。

図2.2 燃料要素 (内層)

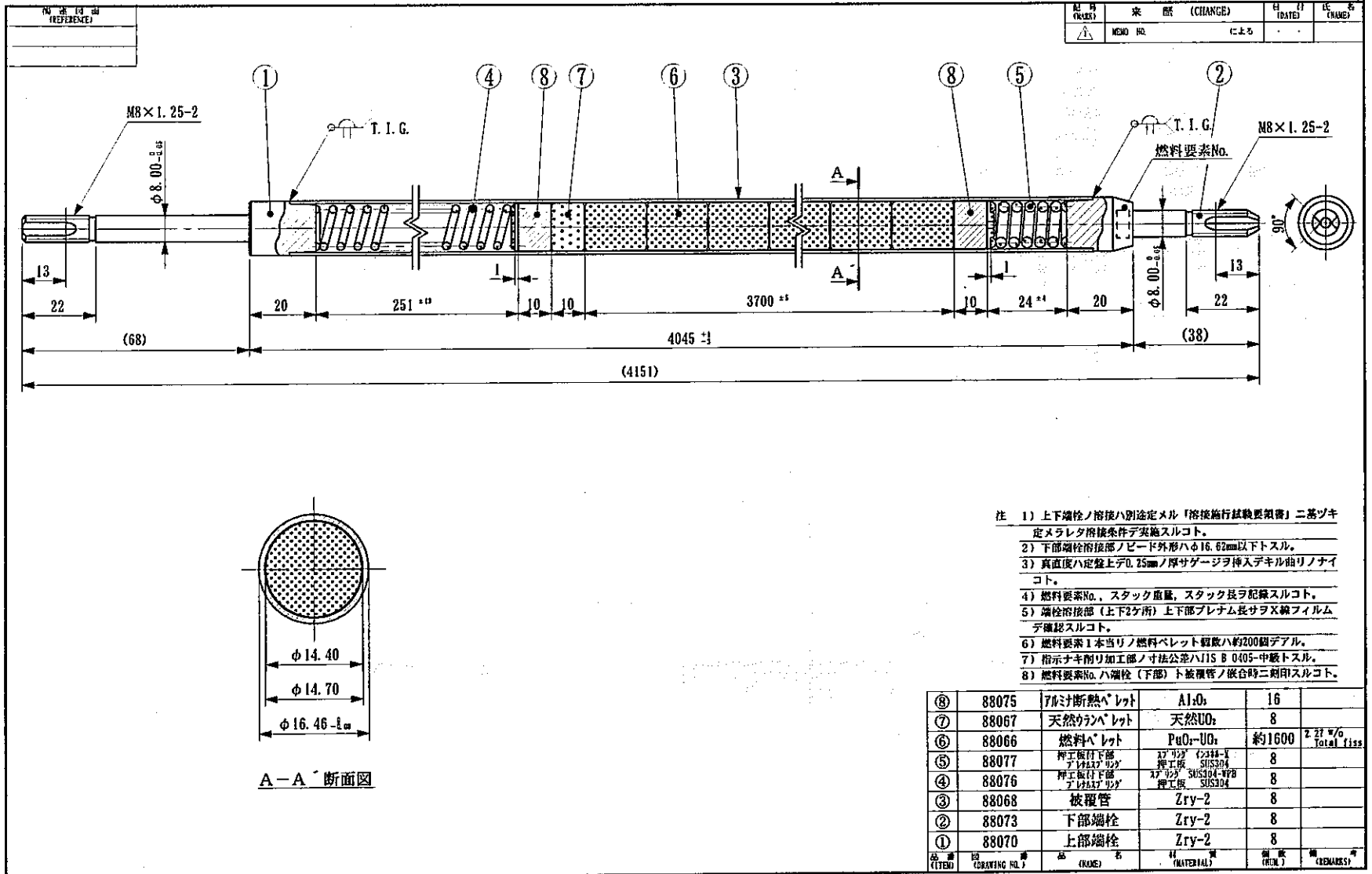
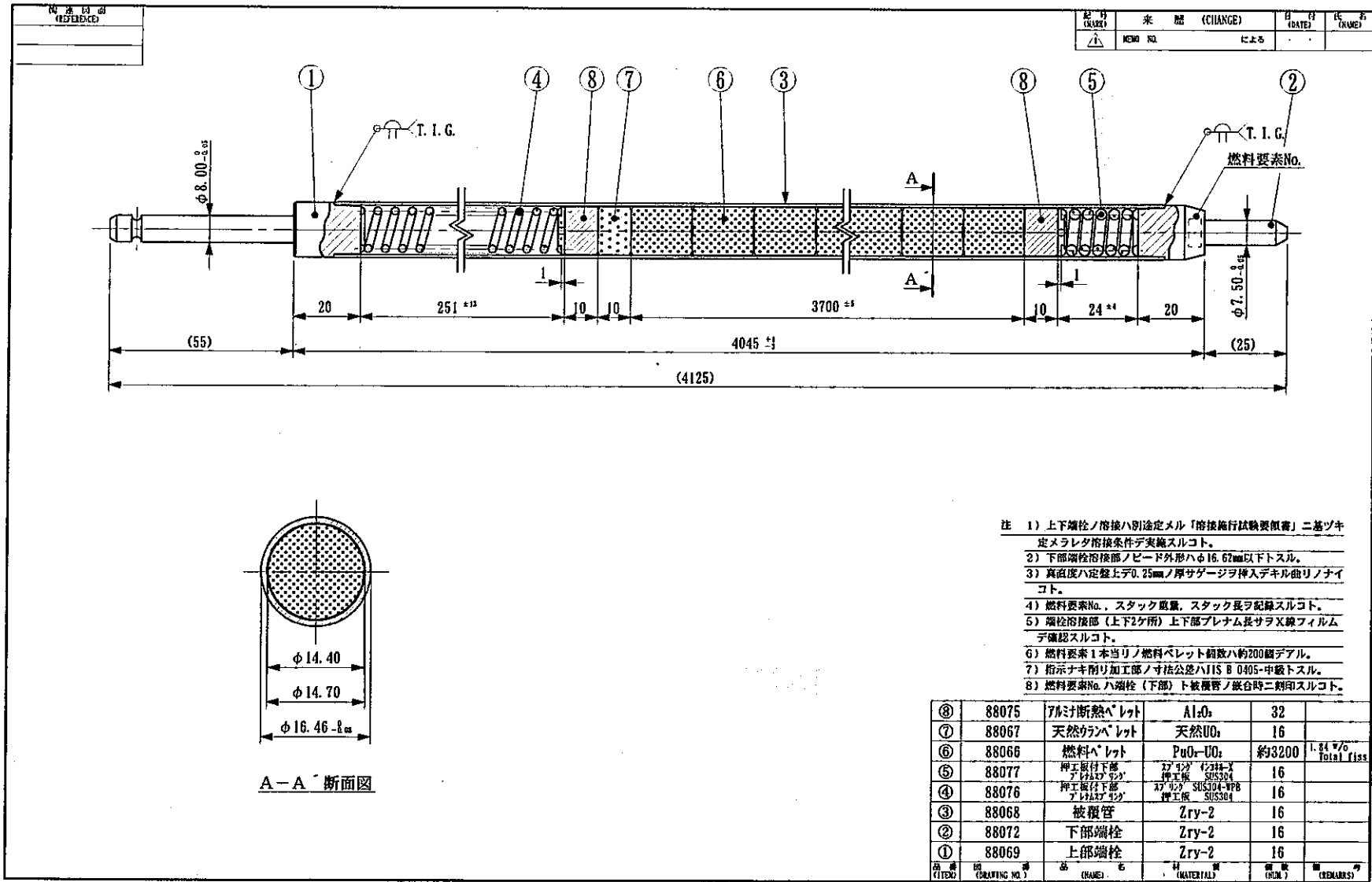


図2.3 燃料要素 (中間層)



- 注 1) 上下端栓ノ溶接ハ別途定メル「溶接施行試験要領書」ニ基ツキ定メラレタ溶接条件ヲ実施スルコト。
 2) 下部端栓溶接部ノヒード外形ハφ16.62mm以下トスル。
 3) 真直度ハ定盤上テ0.25mmノ厚サゲージヲ挿入デキル曲リノナイコト。
 4) 燃料要素No.、スタック重量、スタック長ヲ記録スルコト。
 5) 端栓溶接部(上下2ヶ所)上下部ブレナム長サヲX線フィルムヲ確認スルコト。
 6) 燃料要素1本当リノ燃料ベレット個数ハ約200個デアル。
 7) 指示ナキ削リ加工部ノ寸法公差ハJIS B 0405-中級トスル。
 8) 燃料要素No.ハ端栓(下部)ト被覆管ノ接合時ニ刻印スルコト。

品番 (ITEM)	図番 (DRAWING NO.)	品名 (NAME)	材質 (MATERIAL)	個数 (QTY)	備考 (REMARKS)
⑧	88075	アルミ断熱ベレット	Al ₂ O ₃	32	
⑦	88067	天然ウランベレット	天然UO ₂	16	
⑥	88066	燃料ベレット	PuO ₂ -UO ₂	約3200	1. #4 w/o Total fiss
⑤	88077	押入板付下部アルミ管	27 #2 42244-X 押入板 SUS304	16	
④	88076	押入板付下部アルミ管	A7 #2 SUS304-WPB 押入板 SUS304	16	
③	88068	被覆管	Zry-2	16	
②	88072	下部端栓	Zry-2	16	
①	88069	上部端栓	Zry-2	16	

図2.4 燃料要素 (外層)

3. 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部材及び燃料集合体部材を、製造計画に合わせて燃料要素加工工程に受け入れた。被覆管については、定尺切断加工（規格 $4023 \pm_{3.0}^{1.0}$ mm）を行った後、社内検査を行い燃料要素加工工程に受け入れた。

3.2.2 下部端栓溶接

燃料要素番号が刻印された下部端栓を被覆管に勘合させ、下部端栓溶接装置を用いて TIG 溶接を行った。溶接は、溶接作業管理要領書で資格認定を受けた者が、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行った。

溶接雰囲気管理項目は、到達真空度、リーク率、酸素濃度及び露点である。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

ペレット充填時の被覆管管口部の汚染を軽減するため、管口マスクを熱収縮チューブを用いて被覆管に取付けた。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た。保管棚へのペレットの受け払いにあたっては、スタッカークレーンを使用した。受け入れたペレットは、ペレット搬送装置（ローコンベア、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した。

3.2.5 ペレット充填

ペレット充填装置において、ペレットの個数計数、スタック長の測定・調整及びスタック重量の測定を行った後、ペレットを管口マスク・下部端栓付被覆管内に充填した。ペレット保管及びペレット充填工程の装置配置図を図 3.6 に示す。

3.2.6 管口部除染

ペレット充填後の被覆管管口部は汚染されているため、管口部除染室に設置したオープンポートボックス内において、アルコールを湿らせたガーゼ及び綿棒を用いて管口部の除染を行い、その後、燃料要素内の汚染が飛散しないよう管口部に仮端栓を取付けた。仮端栓の取付け状態図を図 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し、内部を 6.7×10^{-2} Pa 以下、約 200℃として 3 時間保持して脱ガスを行った。

3.2.8 上部端栓溶接

燃料要素の先端部（上部端栓溶接側）を脱ガスチャンバから溶接チャンバに挿入し、仮端栓を外した後、押え板付上部プレナムスプリング及び上部端栓を燃料要素内に圧入して TIG 溶接を行った。溶接は、溶接作業管理要領書で資格認定を受けた者が、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行った。

溶接雰囲気管理項目は、到達真空度、リーク率、酸素濃度及び露点である。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出し、アルコールで湿らせたリング状のフェルトを用いて燃料要素の表面を除染した。スミヤろ紙を用いた汚染検査を実施後、表面汚染が基準値未満であることを確認した上で、オープンポートボックス外へ搬出し、溶接部固着汚染の測定を行った。

なお、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。

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

専用の治具で燃料集合体組立装置に固定された下部タイプレートに、4本のスペーサタイロッドをねじ込んだ後、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固定した。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・固定し、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した。

3.3.2 内層・中間層・外層組立

下部タイ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本ずつ下部タイプレートに挿入し、その後、燃料要素間隔及び外観検査を行った。中間層、外層についても同様に下部タイプレートに挿入し、燃料要素間隔及び外観検査を行った。全層挿入完了後、中間層燃料要素（タイロッド燃料要素）下部側にロックナットを取り付け、当該ロックナットを専用治具によりかしめた。

3.3.3 上部タイプレート組立

各燃料要素の上部端栓にロッドスプリング及びバネカバーを取付けた後、上部タイプレートのスペーサタイロッド回転防止ネジ向きをスペーサタイロッド向きに合わせ、方位マーク位置を確認の上、上部タイプレートの組み込みを行った。上部タイプレート組み込み後、中間層燃料要素上部側にロックナットを取付け、燃料集合体全長及び傾きが規定値を満たすよう、当該ロックナットの締め付け・調整を行った。

3.3.4 燃料集合体洗浄

洗浄筒内において、洗浄水（洗剤及び純水）を用いて燃料集合体に付着している油脂・ゴミ等を洗浄した。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た。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た。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

中間層燃料要素のゆるみを防止するため、専用治具を用いて上部側ロックナットをかしめた。

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：ペレット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		
ペレット保管棚			・ 最大保管数：ペレット170枚 (5列×34段)	A-5-1
スタッカークレーン			・ 自動収納・取り出し	
ペレット充填装置	ペレット充填	1 式		A-5-2
パレット搬送装置		1	・ 最大積載パレット数：1枚	
スタック長測定装置		1	・ 最小目盛：0.01mm	
秤量装置		1	・ 最小目盛：0.1g	
作業台車		1	・ 最大積載パレット数：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		OP-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	・ バレルチャンバ方式 ・ 最高加熱温度 340℃ ・ ストック量 24本	
上部端栓溶接装置		1	・ T I G 自動溶接機 ・ 定格二次電流 300A	

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 0.1m ³			
純水槽		1	・槽容積 0.3m ³			
洗剤液槽		1	・槽容積 0.3m ³			
温水槽		1	・槽容積 0.3m ³			
純水再生装置		1	・イオン交換			
廃液貯槽		1	・槽容積 3.5m ³			
燃料集合体 組立検査装置		燃料集合体組立	1 式			※
燃料要素供給装置			1		・最大積載本数：16本	
組立装置			1		・組立ベッド 5m×0.4m×1.0m ・圧力 686kPa	
燃料要素貯蔵棚	管口除染	1 台	・貯蔵能力：80本 (8本×10段/棚)	※		
	脱ガス・ 上部端栓溶接	1 台	・貯蔵能力：120本 (12本×10段/棚)	※		
	燃料集合体組立	1 台	・貯蔵能力：480本 (12本×10段/棚×4棚)	※		

※グローブボックス外

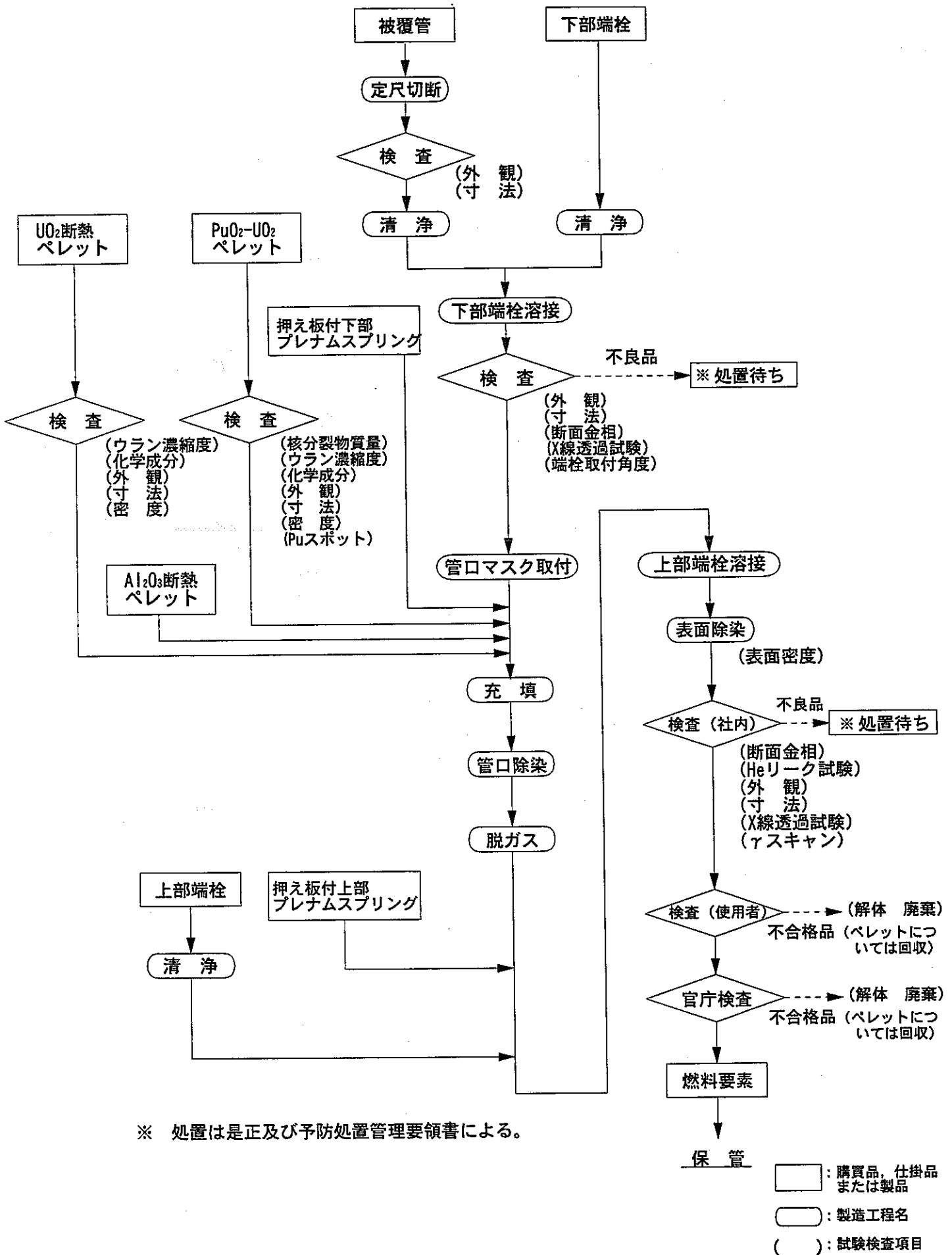


図3.1 燃料要素加工工程フロー

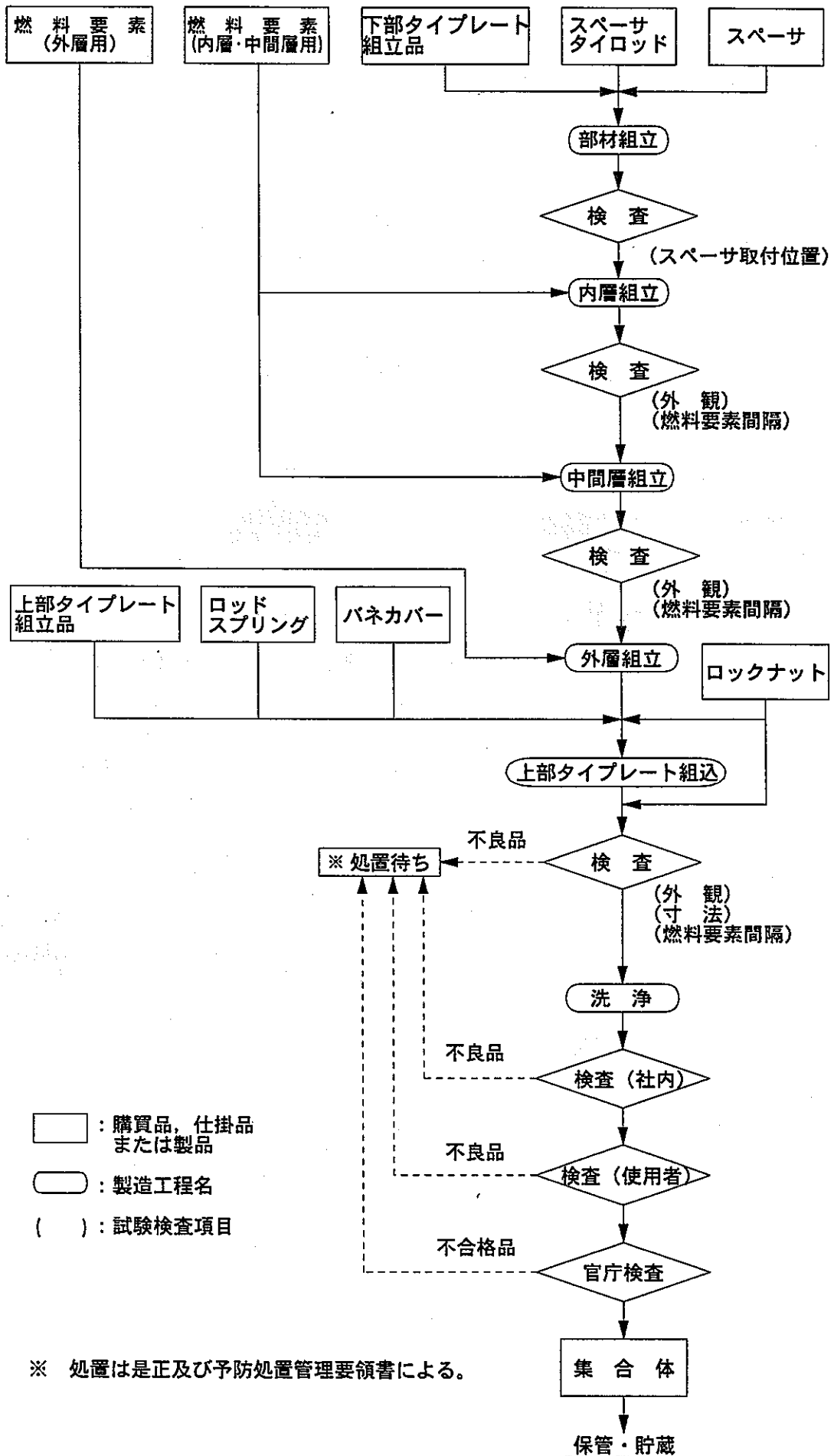


図3.2 燃料集合体組立工程フロー

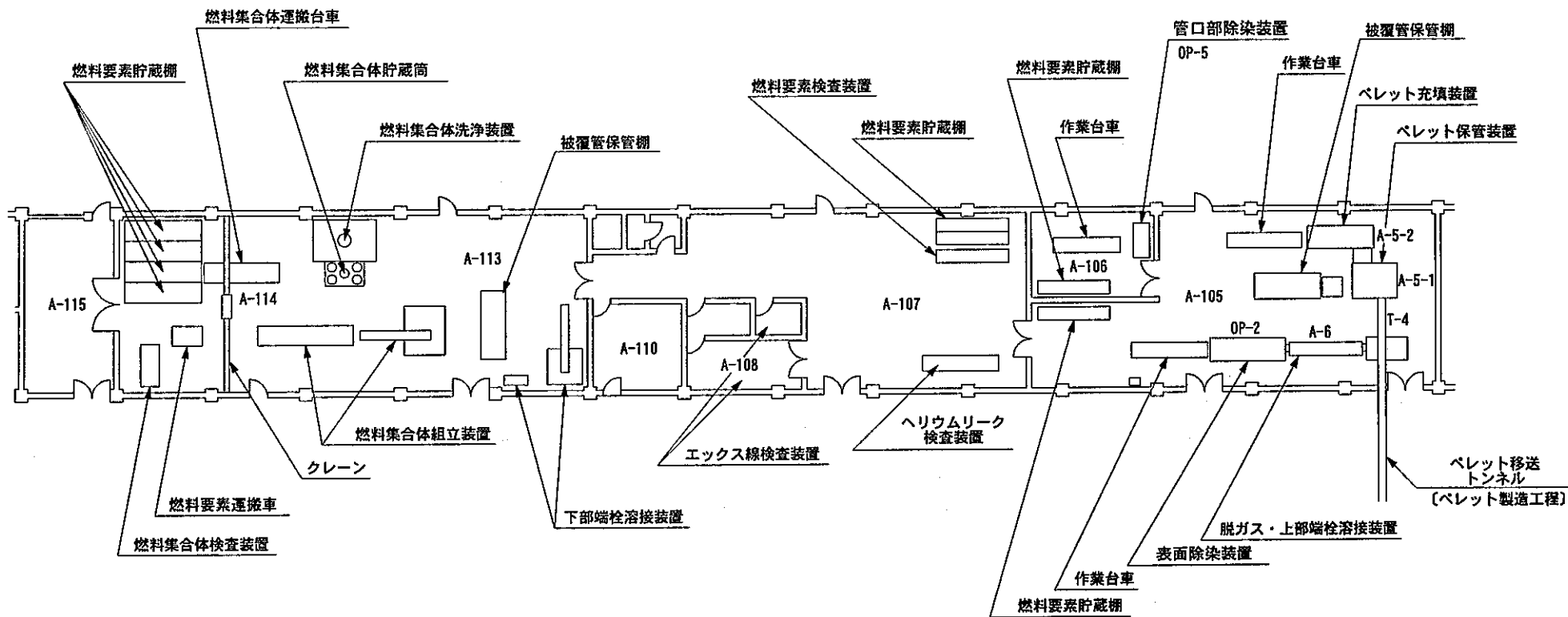


図3.3 燃料要素加工工程及び燃料集合体組立工程の設備配置図 (ATRライン)

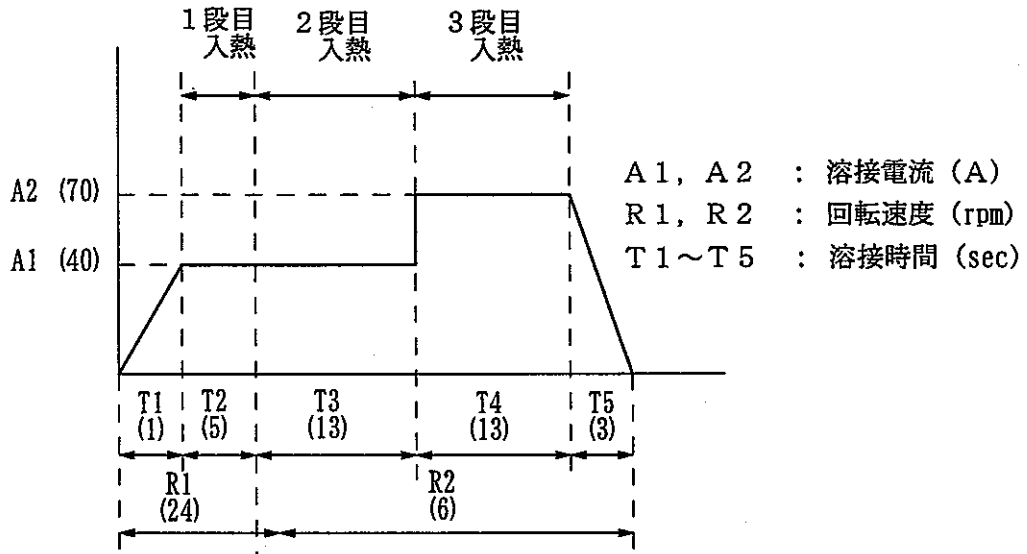


図3.4 下部端栓溶接入熱プログラム

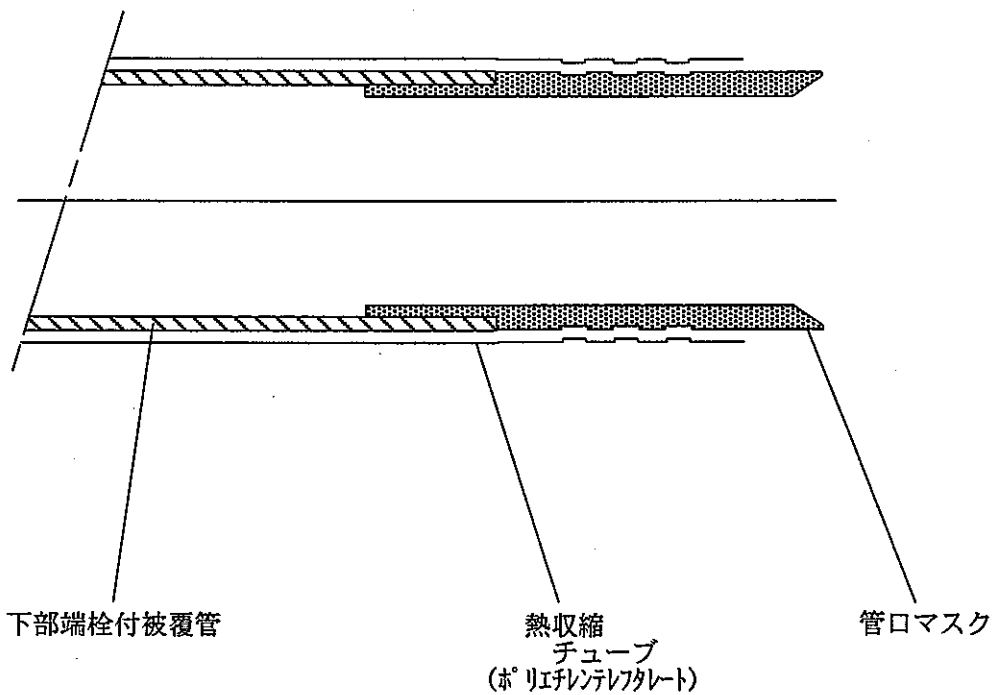


図3.5 管口マスク取付け状態図

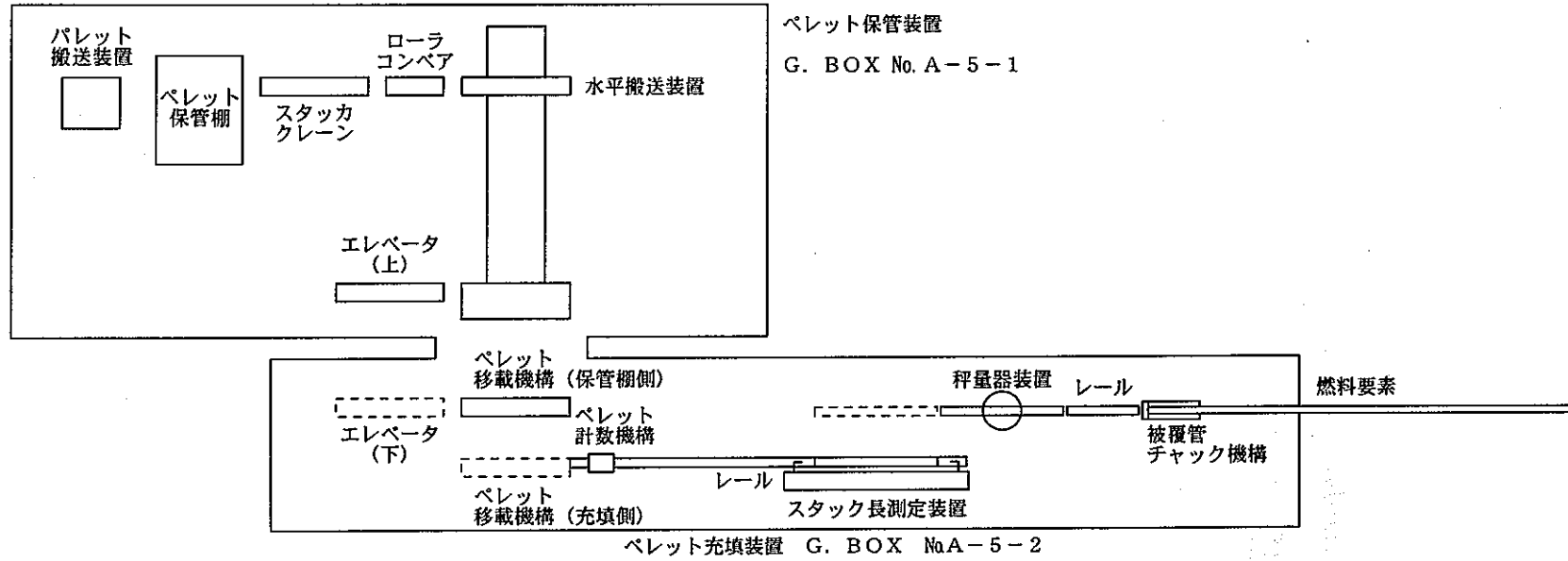


図3.6 ペレット充填工程の装置配置図(平面図)

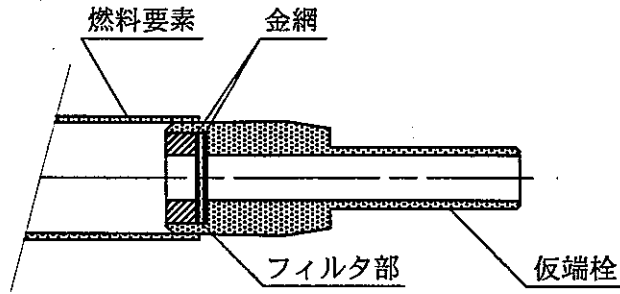


図3.7 仮端栓取付け状態

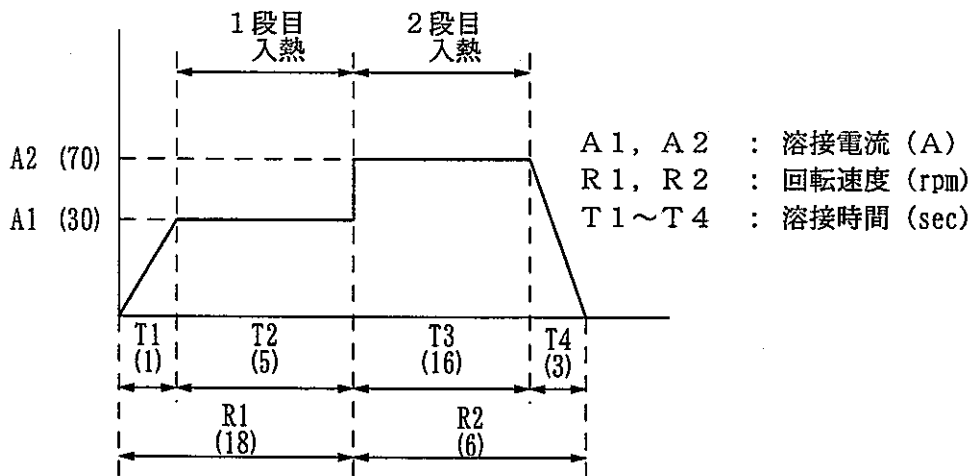
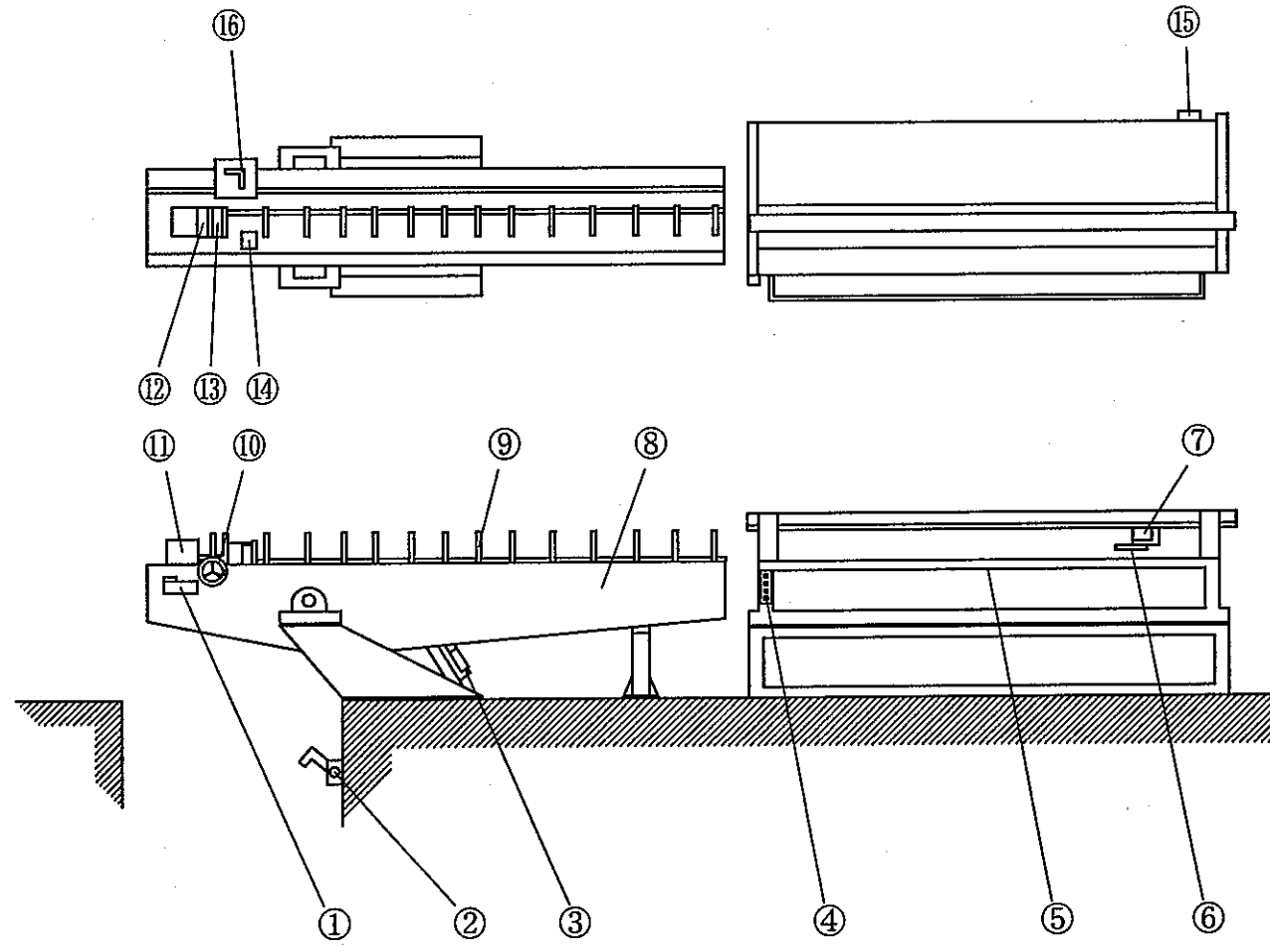
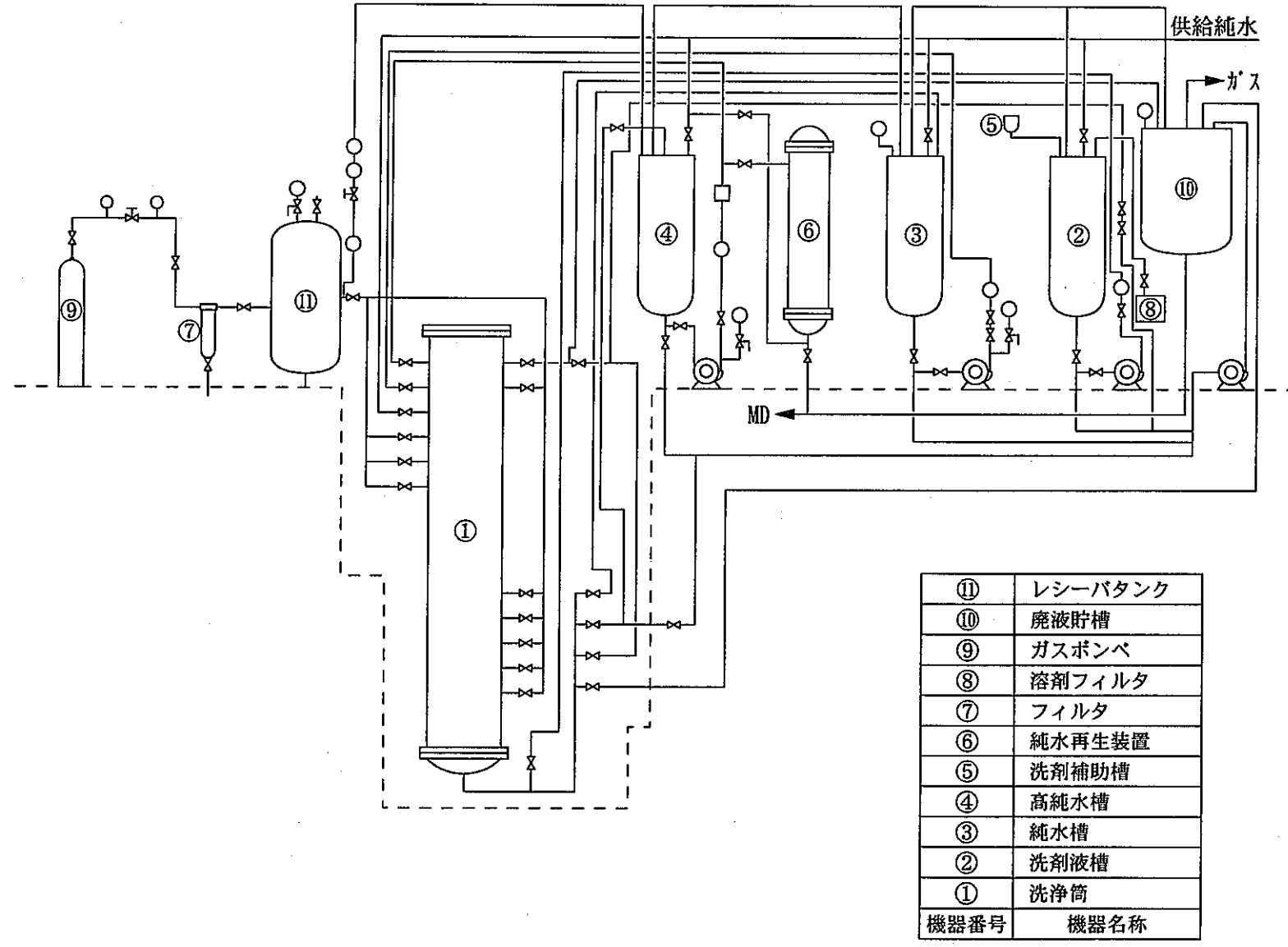


図3.8 上部端栓溶接入熱プログラム



⑧	組立ベツト	⑩	エンドストップ送りハンドル
⑦	燃料要素挿入用モータ	⑨	スペーサ固定機構
⑥	ロードセル	⑧	組立ベツト
⑤	オートソフイーダ	⑦	燃料要素挿入用モータ
④	Vローラ上昇下降スイッチ	⑥	ロードセル
③	パワーシリンダ	⑤	オートソフイーダ
②	ハイロータ	④	Vローラ上昇下降スイッチ
①	非常停止・解除	③	パワーシリンダ
		②	ハイロータ
		①	非常停止・解除
⑬	下部タイププレート固定機構	⑫	エンドストップ
⑭	ガイドキャップ除去機構	⑪	割出機構(エンコーダ)
⑮	パレットタッチ送りスイッチ	⑩	エンドストップ送りハンドル
⑯	キャップ測定機構	⑨	スペーサ固定機構
品番	名称	品番	名称

図3.9 燃料集合体組立装置概略図



⑪	レシーバタンク
⑩	廃液貯槽
⑨	ガスポンベ
⑧	溶剤フィルタ
⑦	フィルタ
⑥	純水再生装置
⑤	洗剤補助槽
④	高純水槽
③	純水槽
②	洗剤液槽
①	洗浄筒
機器番号	機器名称

図3.10 洗浄工程系統図

4. 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 70 μ m 以下とする。 (3) ピンホール等の欠陥深さは 70 μ m 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	品質保証室	20 試料	*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)	品質保証室		
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	品質保証室	各試験について、非破壊検査品よりそれぞれ 3 本抜取	
	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	品質保証室		
	5. 腐食試験	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。	オートクレーブ法(目視)	品質保証室		
	6. 断面金相試験 アンダーカット 溶け込み深さ	 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	品質保証室		

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 3700±5.0mm	マグネタル	全数	測定値				
表面密度	ルーズ汚染密度	0.004Bq/cm ² 以下	拭取法	全数	測定値	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						
漏洩検査	ヘリウムリーク試験	3.0×10 ⁻⁹ Pa・m ³ /sec 以下	ヘリウムリーク法	全数	測定値				
X線透過試験	溶接部欠陥	溶接部の溶け込みは被覆管肉厚の90%以上であること。 被覆管肉厚保証は被覆管肉厚の90%以上であること。 溶接部に割れが確認されないこと。 溶接部の白点、黒点はφ0.35mm以下であること。	目視 (直角二方向撮影フィルム観察)	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1年間に1回以上行う。			
	構造寸法	上部フレーム長さ 251.0±13.0mm 下部フレーム長さ 24.0± ^{1.0} / _{3.0} mm					目視及びスケール (一方向撮影フィルム観察)	全数	合否
	部品の状態	上・下部押え板付フレームスプリング、アルミ断熱ペレット、UO ₂ 断熱ペレットが製造図面どおりに充填されていること。							

表 4.2 試験・検査の方法及び判定基準（燃料要素）つづき

区分	項目	判定基準	管理方法		記録	備考
			方法	頻度		
外観検査	溶接部健全性	著しい着色のないこと。 アング-カットは 70 μ m 以下であること。 ピンホール等の欠陥の深さは 70 μ m 以下とし、割れがないこと。 ビード巾は均一であること。	目視 (限界見本との比較)	全数	合否	
	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。 打痕等の欠陥は深さ 70 μ m 以下であること。 長いすりきず等は深さ 10 μ m 以下であること。				
寸法検査	肩間長さ	4045.0 \pm ^{1.0} / _{3.0} mm	マグネシウム	全数	測定値	下部端栓溶接部のみ測定する。
	端栓取り付け角度	20°以下	端栓取付角度測定器		測定値	
	真直度	0.25mm 未満	定盤法		合否	
	ビード外径	ϕ 16.62mm 以下	リングゲージ法		合否	
富化度識別検査	内層燃料要素	核分裂物質質量 2.27wt%	富化度識別装置	全数	合否	
	中間層燃料要素	2.27wt%				
	外層燃料要素	1.84wt%				

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	燃料集合体組立状態	燃料要素の配列、部品取付が製造図面どおりであること。 ロックナットは十分かしめられていること。 燃料要素と下部タイプレートに隙間がないこと。 打痕等の欠陥は深さ70 μ m以下であること。 長いすりきず等は深さ10 μ m以下であること。 燃料集合体番号が刻字されていること。	組立記録の確認(目視検査)	全数	合否	
	集合体健全性	表面は清浄で油脂、酸化物、切り粉、ごみ、ほこり等で有害な付着物のないこと。	目視			
寸法検査	全長	4388 \pm ^{1.0} _{5.0} mm	巻尺		測定値	
	クラスタ部外径	ϕ 112.9mm以下	マイクロメータ法		測定値	ただしスペーサ間隔260mmの部分については ϕ 112.2mm以下とする。
	燃料要素間隔	1.7mm以上 (上・下部タイプレートに隣接するクラスタ部では1.6mm以上)	スキマゲージ	全数	合否	最外周燃料要素間隔にのみ適用する。

表 4.3 試験・検査の方法及び判定基準（燃料集合体）つづき

区 分	項 目	判定基準	管 理 方 法		記 録	備 考
			方 法	頻 度		
寸法検査	スペーサ取付位置	下部タイププレートより各スペーサ下端までの長さ	巻 尺		測定値	
		407.5 ± $\begin{smallmatrix} 4.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		827.5 ± $\begin{smallmatrix} 4.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		1167.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		1427.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		1687.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		1947.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 3.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		2207.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 4.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		2467.5 ± $\begin{smallmatrix} 5.0 \\ 4.0 \end{smallmatrix}$ mm				
		2727.5 ± $\begin{smallmatrix} 6.0 \\ 4.0 \end{smallmatrix}$ mm				
			全 数			
	スペーサ傾き	3.0mm 以下	巻 尺			
	曲がり	3.0mm 以下	トランシット法			
	ねじれ	5.0mm 以下	トランシット法			

5. 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, 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収率を表 5.2 に示す。

5.3 官庁検査実績

経済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。「ふげん」第32回取替官庁検査一覧を表 5.3.1 に, 「ふげん」第32回取替(その2)官庁検査一覧を表 5.3.2 に示す。

5.4 燃料要素収支

「ふげん」第32回取替燃料要素 425 本分の燃料要素収支を図 5.1.1 に, 「ふげん」第32回取替(その2)燃料要素 254 本分の燃料要素収支を図 5.1.2 に示す。

表 5.1 各工程別の製造期間及び製造量

	項目	工程			
		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
第32回製造	製造開始日	H12.9.4	H12.10.3	H12.10.10	H13.5.7
	製造終了日	H12.11.21	H13.4.18	H13.4.24	H13.6.21
	製造数	425本	424本	424本	15体
第32回その2製造	製造開始日	H13.4.9	H13.5.18	H13.5.25	H13.9.3
	製造終了日	H13.5.24	H13.7.30	H13.8.3	H13.10.19
	製造数	254本	254本	254本	9体

表 5.2 各工程別の製造収率

	項目	工程		
		下部端栓溶接	燃料要素加工	燃料集合体組立
第32回製造	製造数	425本	424本	15体
	社内検査合格数	424本	421本	15体
	社内検査不合格数	1本	3本	0体
	その他	0本	0本	0体
	収率	99.8%	99.3%	100%
第32回その2製造	製造数	254本	254本	9体
	社内検査合格数	254本	251本	9体
	社内検査不合格数	0本	3本	0体
	その他	0本	0本	0体
	収率	100%	98.8%	100%

表 5.3.1 「ふげん」 第 32 回取替 官庁検査一覧表

回数	受付日付	検査対象
第 1 回	H12. 6.21	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	H12. 8.11	被覆管 (繰越品) 端栓 (上部端栓 外層用) (繰越品) (下部端栓 内層用) (繰越品) (下部端栓 中間層用) (繰越品) (下部端栓 外層用) (繰越品)
第 3 回	H12. 9.29	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 ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (繰越品)
第 4 回	H12.11. 2	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット
第 5 回	H12.12.21	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (繰越品)
第 6 回	H13. 2. 9	スペーサ タイプレート (上部) タイプレート (下部)
第 7 回	H13. 2.23	燃料要素 (内層, 中間層) 燃料要素 (繰越品)
第 8 回	H13. 3.23	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット 燃料要素 (外層) 燃料要素 (繰越品) スペーサ (繰越品)
第 9 回	H13. 5.16	燃料要素 (外層)
第 10 回	H13. 7.19	燃料体

表 5.3.2 「ふげん」第 32 回取替(その 2) 官庁検査一覧表

回数	受付日付	検査対象
第 1 回	H13. 2. 9	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	H13. 2.23	被覆管 (繰越品) 端栓 (上部端栓 外層用) (繰越品) (下部端栓 内層用) (繰越品)
第 3 回	H13. 5.16	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 ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (繰越品)
第 4 回	H13. 6.13	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット (繰越品)
第 5 回	H13. 6.22	スペーサ タイプレート (上部) タイプレート (下部)
第 6 回	H13. 6.27	ウラン・プルトニウム混合酸化物焼結ペレット
第 7 回	H13. 7.27	燃料要素 (内層, 中間層) 燃料要素 (繰越品)
第 8 回	H13. 8.31	燃料要素 (外層) 燃料要素 (繰越品) スペーサ (繰越品)
第 9 回	H13.11.22	燃料体

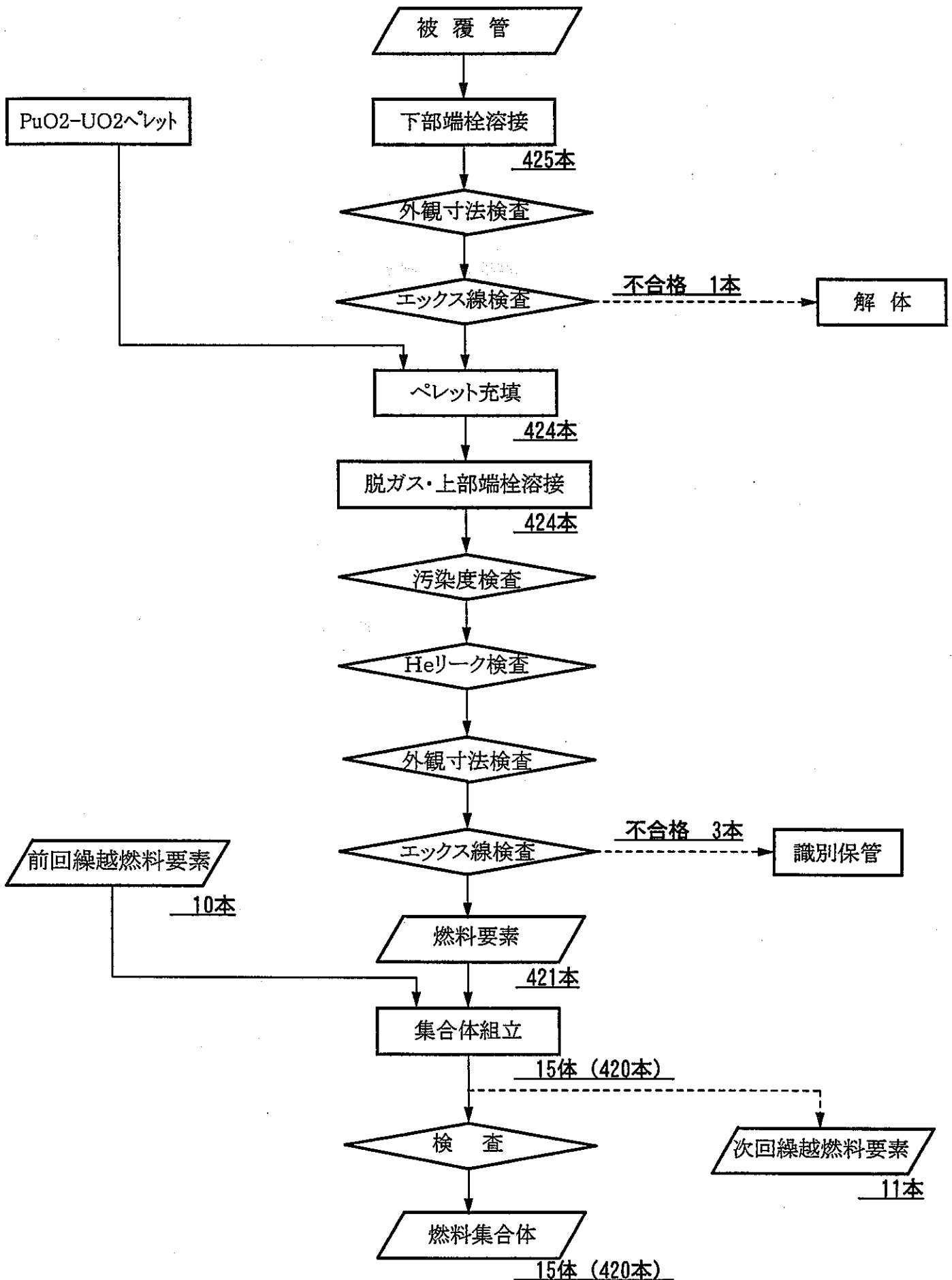


図5.1.1 「ふげん」第32回取替燃料要素収支

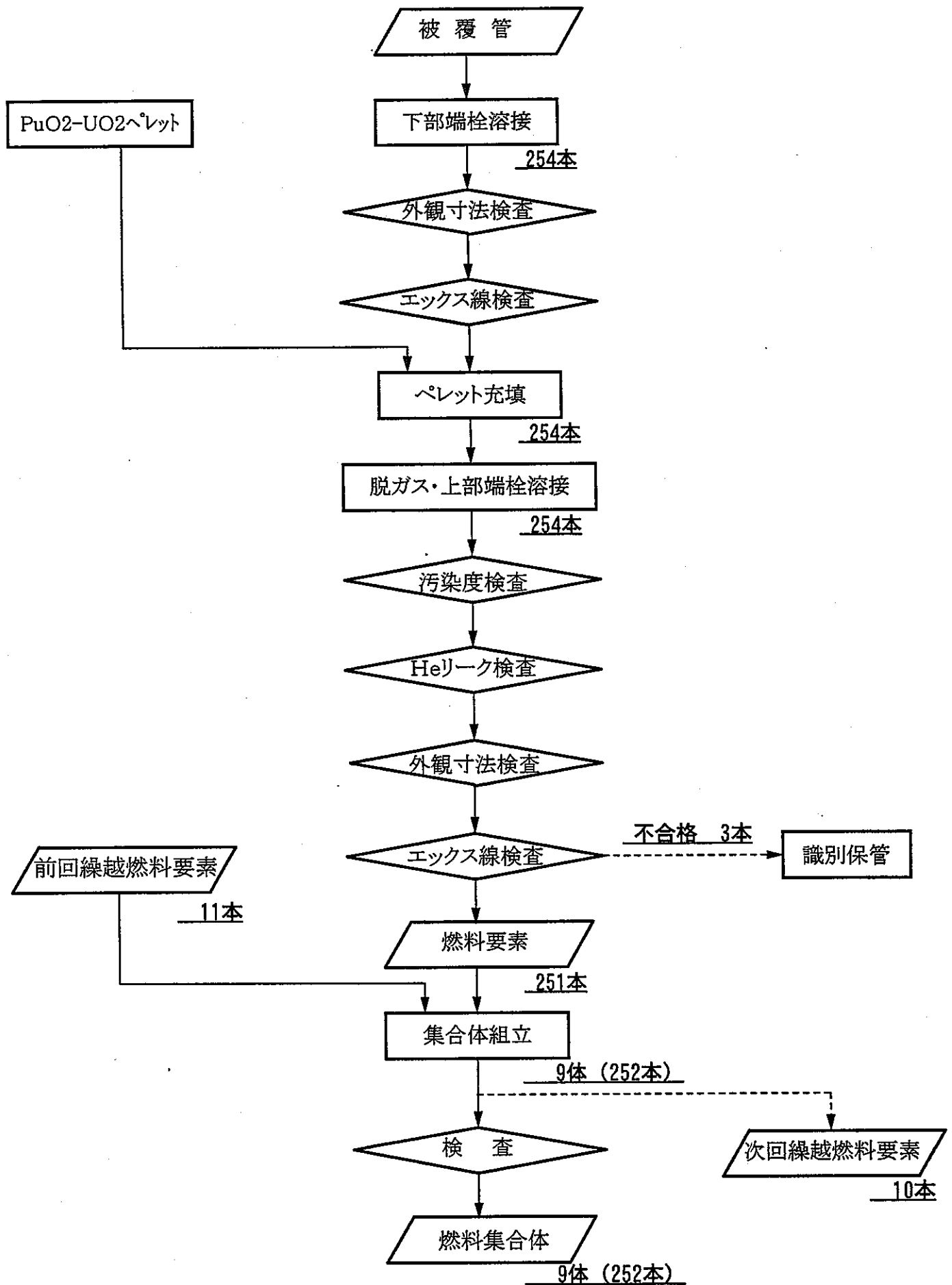


図5. 1. 2 「ふげん」第32回取替(その2)燃料要素収支

6. 試験・検査結果

6.1 溶接施行試験結果

下部端栓溶接施行試験及び上部端栓溶接施行試験の結果を、「ふげん」第32回取替については表 6.1.1, 表 6.1.2 に、「ふげん」第32回取替(その2)については表 6.2.1, 表 6.2.2 に示す。

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, FIX 汚染 (高富化), FIX 汚染 (低富化), 上部端栓取付け角度, 肩間長さのヒストグラムを、「ふげん」第32回取替については図 6.1.1~図 6.1.8 に、「ふげん」第32回取替その2については図 6.2.1~図 6.2.8 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、「ふげん」第32回取替については図 6.1.9~図 6.1.11 に、「ふげん」第32回取替その2については図 6.2.9~図 6.2.11 に示す。

表 6.1.1 「ふげん」第 32 回取替下部端栓溶接施行試験結果

溶接施行試験申請書 No.		A-32-YK-1		溶接施行実施日		H12.7.13	
試料番号	非破壊検査		破壊検査				
	溶接部外観	X線透過試験	内圧試験 MPa	引張試験 N	耐食性 試験	断面金相 試験	
判定基準	※	※	50.1 以上	16,672 以上	※	※	
32L-01	合格	合格		26,656			
32L-02	合格	合格	93.5				
32L-03	合格	合格			合格		
32L-04	合格	合格				合格	
32L-05	合格	合格					
32L-06	合格	合格					
32L-07	合格	合格		26,311			
32L-08	合格	合格	93.5				
32L-09	合格	合格			合格		
32L-10	合格	合格				合格	
32L-11	合格	合格					
32L-12	合格	合格					
32L-13	合格	合格					
32L-14	合格	合格		24,555			
32L-15	合格	合格	93.0				
32L-16	合格	合格			合格		
32L-17	合格	合格				合格	
32L-18	合格	合格					
32L-19	合格	合格					
32L-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 6.1.2 「ふげん」 第 32 回取替上部端栓溶接施行試験結果

溶接施行試験申請書 No.		A-32-YJ-1		溶接施行実施日		H12. 8. 10	
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 MPa	引張試験 N	耐食性 試験	断面金相 試験	
判定基準	※	※	50.1 以上	16,672 以上	※	※	
32U-01	合格	合格		23,648			
32U-02	合格	合格	94.0				
32U-03	合格	合格			合格		
32U-04	合格	合格				合格	
32U-05	合格	合格					
32U-06	合格	合格					
32U-07	合格	合格		27,078			
32U-08	合格	合格	94.0				
32U-09	合格	合格			合格		
32U-10	合格	合格				合格	
32U-11	合格	合格					
32U-12	合格	合格					
32U-13	合格	合格					
32U-14	合格	合格		26,895			
32U-15	合格	合格	93.0				
32U-16	合格	合格			合格		
32U-17	合格	合格				合格	
32U-18	合格	合格					
32U-19	合格	合格					
32U-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 6.2.1 「ふげん」第 32 回取替(その 2)下部端栓溶接施行試験結果

溶接施行試験申請書 No.		A-32(2)-YK-1		溶接施行実施日		H13.2.20	
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 MPa	引張試験 N	耐食性 試験	断面金相 試験	
判定基準	※	※	50.1 以上	16,672 以上	※	※	
32L(2)-01	合格	合格					
32L(2)-02	合格	合格					
32L(2)-03	合格	合格		26,363			
32L(2)-04	合格	合格	91.0				
32L(2)-05	合格	合格			合格		
32L(2)-06	合格	合格				合格	
32L(2)-07	合格	合格					
32L(2)-08	合格	合格					
32L(2)-09	合格	合格					
32L(2)-10	合格	合格		26,688			
32L(2)-11	合格	合格	93.0				
32L(2)-12	合格	合格			合格		
32L(2)-13	合格	合格				合格	
32L(2)-14	合格	合格					
32L(2)-15	合格	合格					
32L(2)-16	合格	合格					
32L(2)-17	合格	合格		23,288			
32L(2)-18	合格	合格	91.5				
32L(2)-19	合格	合格			合格		
32L(2)-20	合格	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 6.2.2 「ふげん」第 32 回取替(その 2) 上部端栓溶接施行試験結果

溶接施行試験申請書 No.		A-32(2)-YJ-1		溶接施行実施日		H13.3.22	
試料番号	非破壊検査		破壊検査				
	溶接部外観	X線透過試験	内圧破壊試験 MPa	引張試験 N	耐食性 試験	断面金相 試験	
判定基準	※	※	50.1 以上	16,672 以上	※	※	
32U(2)-01	合格	合格		23,525			
32U(2)-02	合格	合格	95.5				
32U(2)-03	合格	合格			合格		
32U(2)-04	合格	合格				合格	
32U(2)-05	合格	合格					
32U(2)-06	合格	合格					
32U(2)-07	合格	合格		26,450			
32U(2)-08	合格	合格	94.0				
32U(2)-09	合格	合格			合格		
32U(2)-10	合格	合格				合格	
32U(2)-11	合格	合格					
32U(2)-12	合格	合格					
32U(2)-13	合格	合格					
32U(2)-14	合格	合格		26,712			
32U(2)-15	合格	合格	93.0				
32U(2)-16	合格	合格			合格		
32U(2)-17	合格	合格				合格	
32U(2)-18	合格	合格					
32U(2)-19	合格	合格					
32U(2)-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。

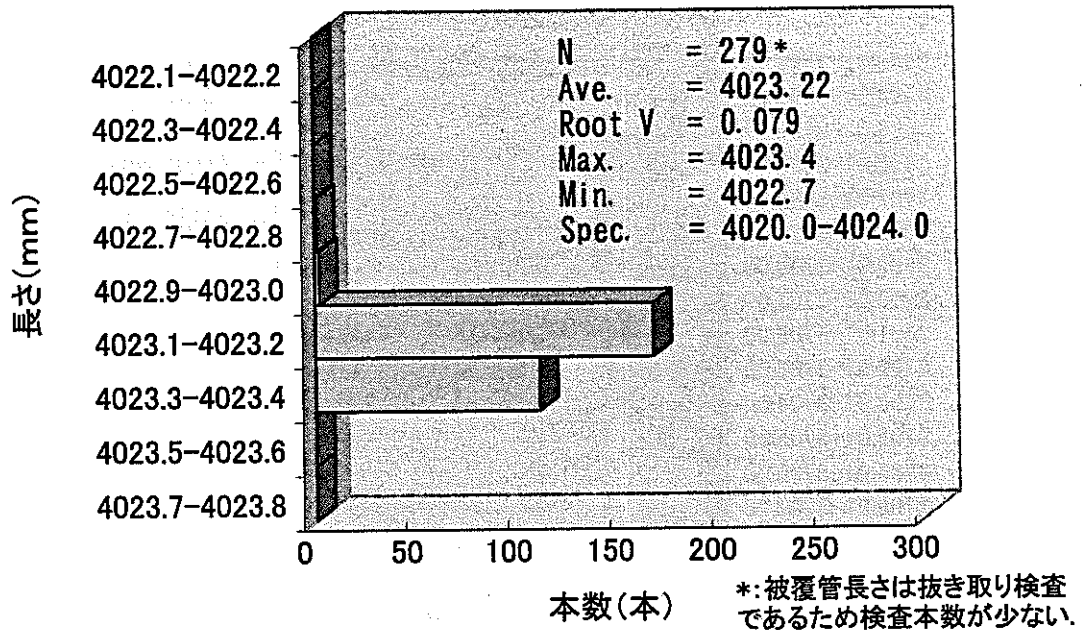


図6. 1. 1 第32回被覆管長さ

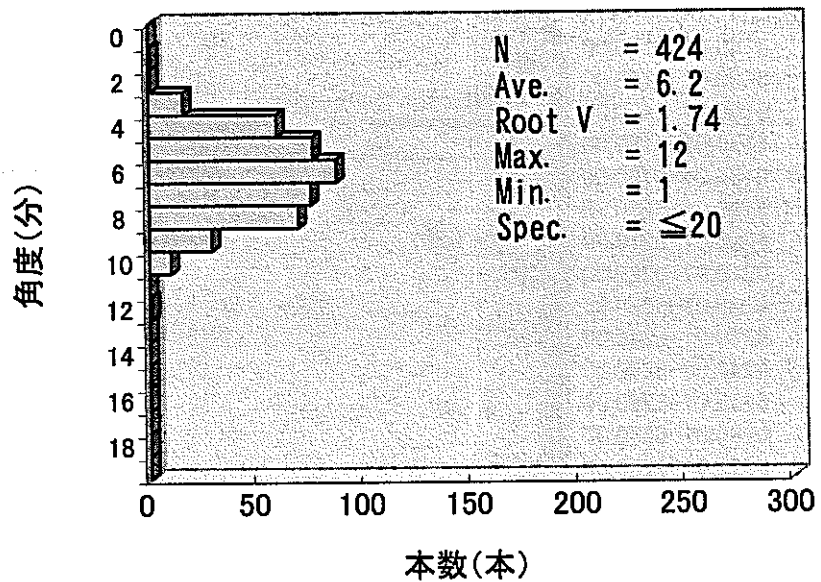


図6. 1. 2 第32回下部端栓取付角度

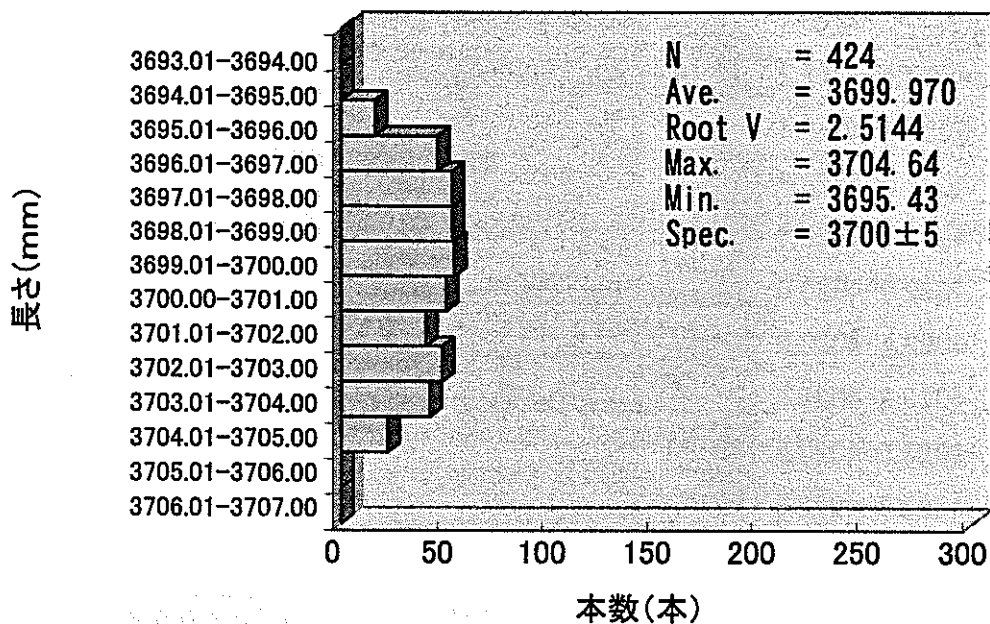


図6. 1. 3 第32回スタック長

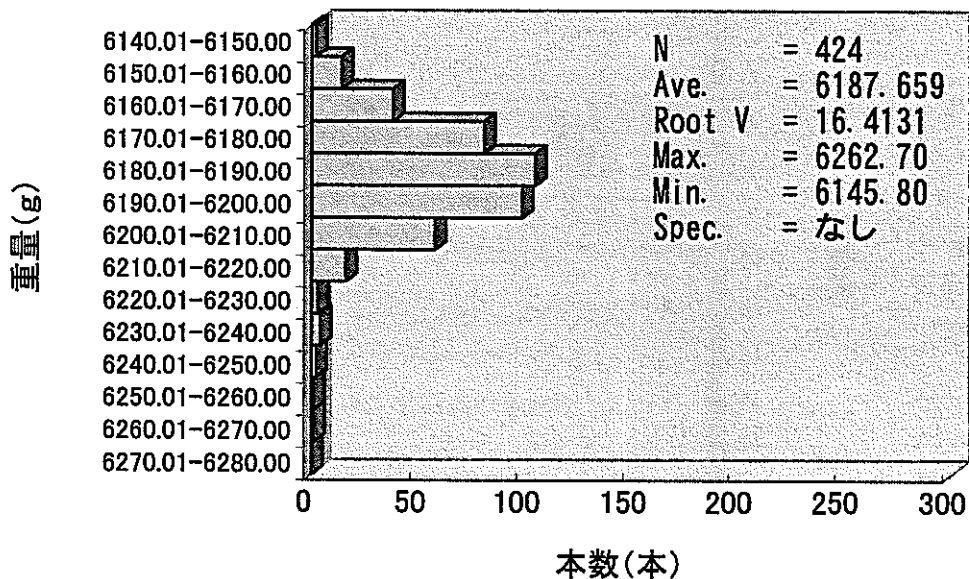


図6. 1. 4 第32回スタック重量

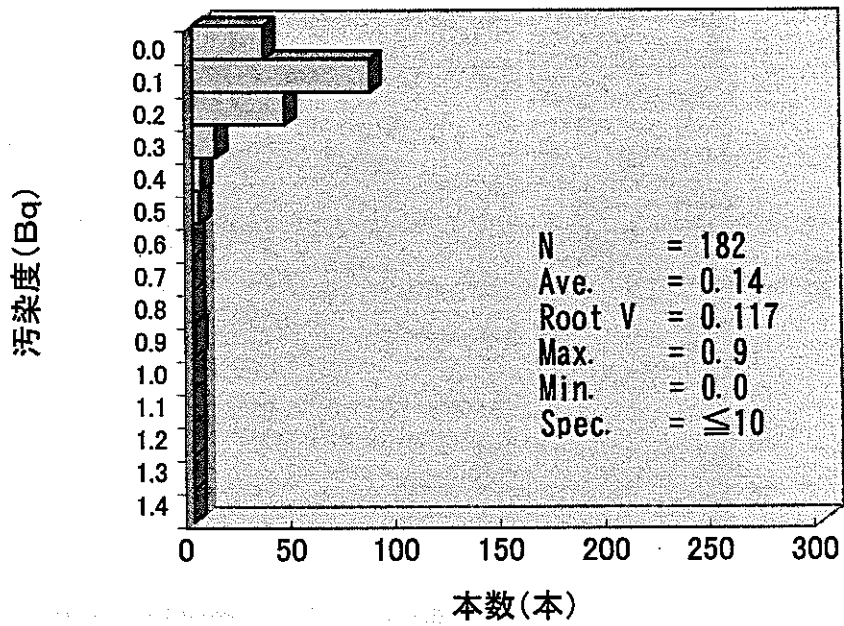


图6. 1. 5 第32回FIX污染(高富化)

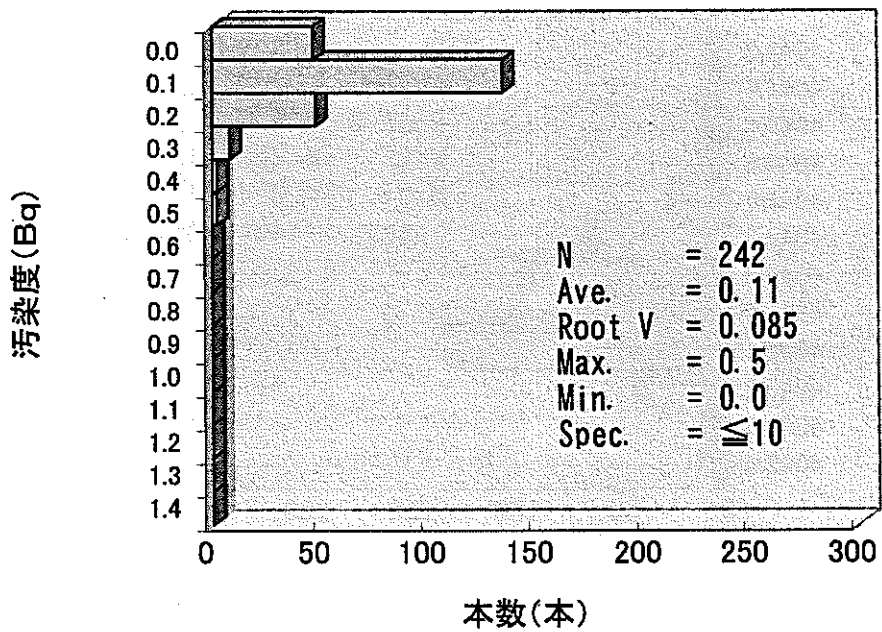


图6. 1. 6 第32回FIX污染(低富化)

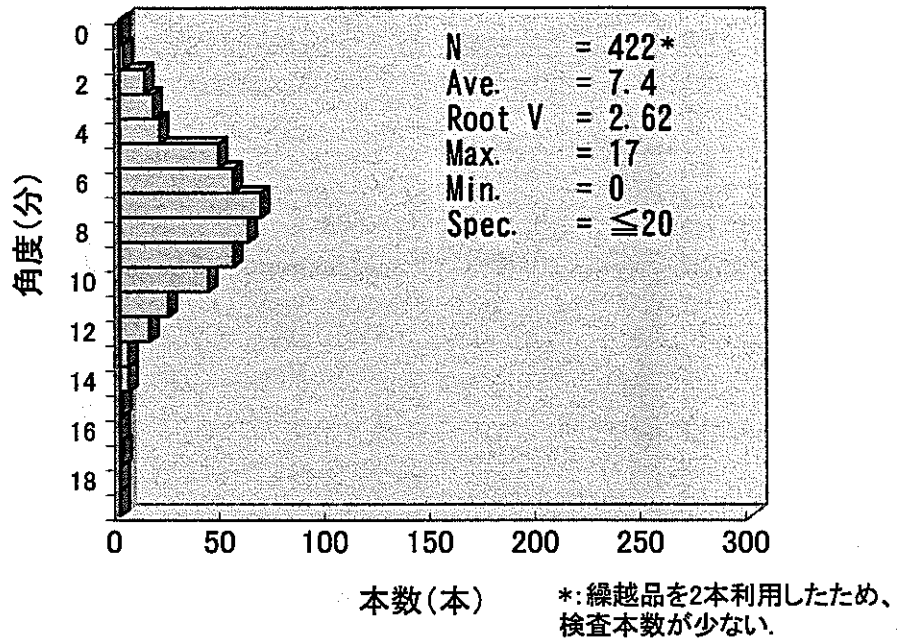


図6. 1. 7 第32回上部端栓取付角度

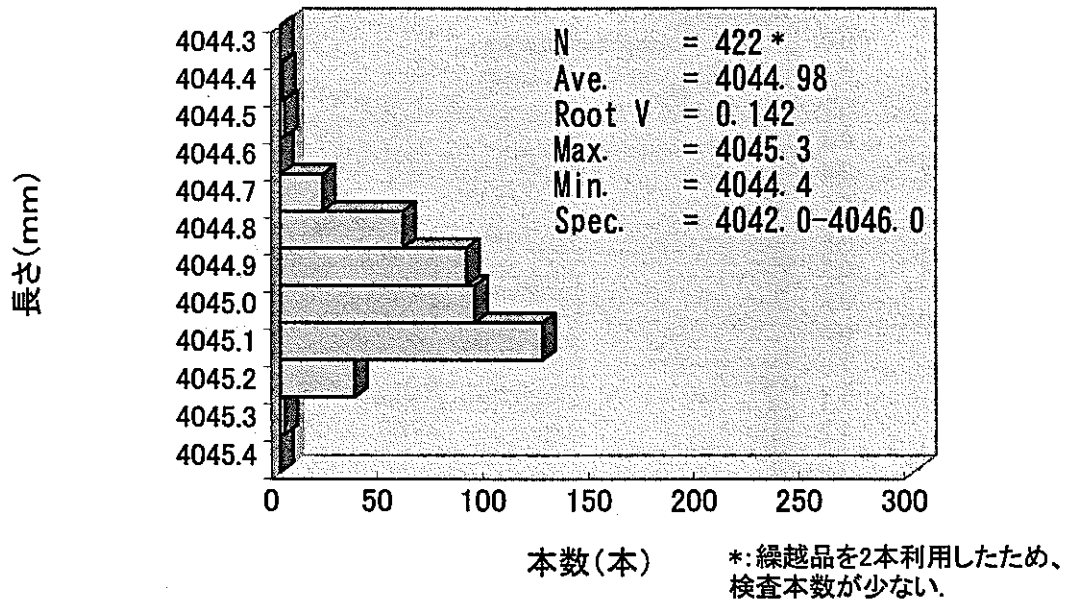


図6. 1. 8 第32回肩間長さ

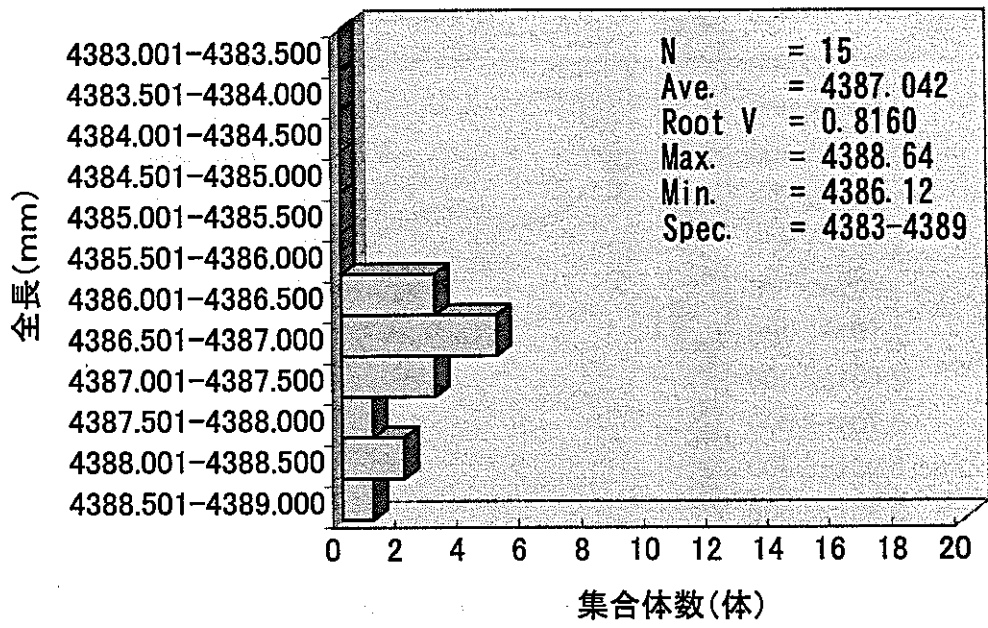


図6. 1. 9 第32回燃料集合体全長

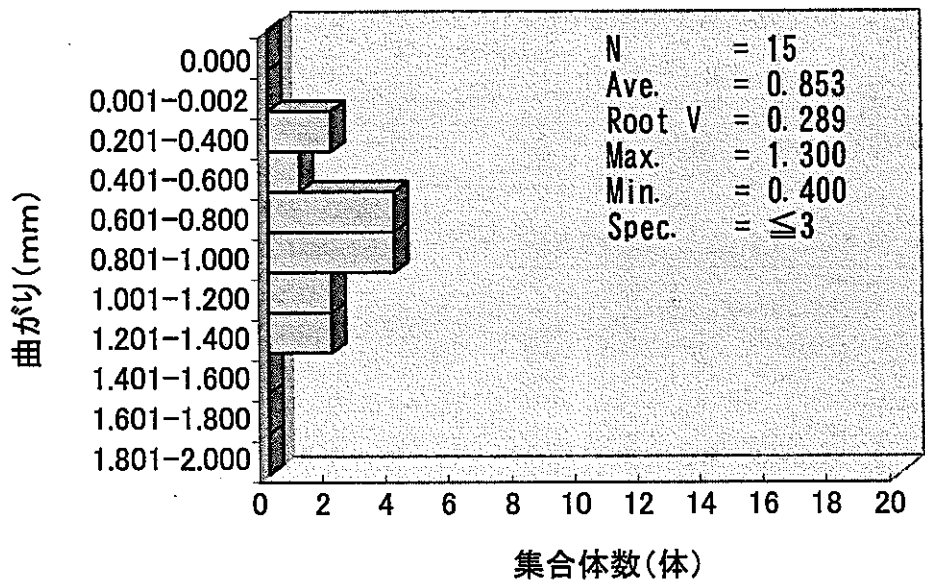


図6. 1. 10 第32回燃料集合体曲がり

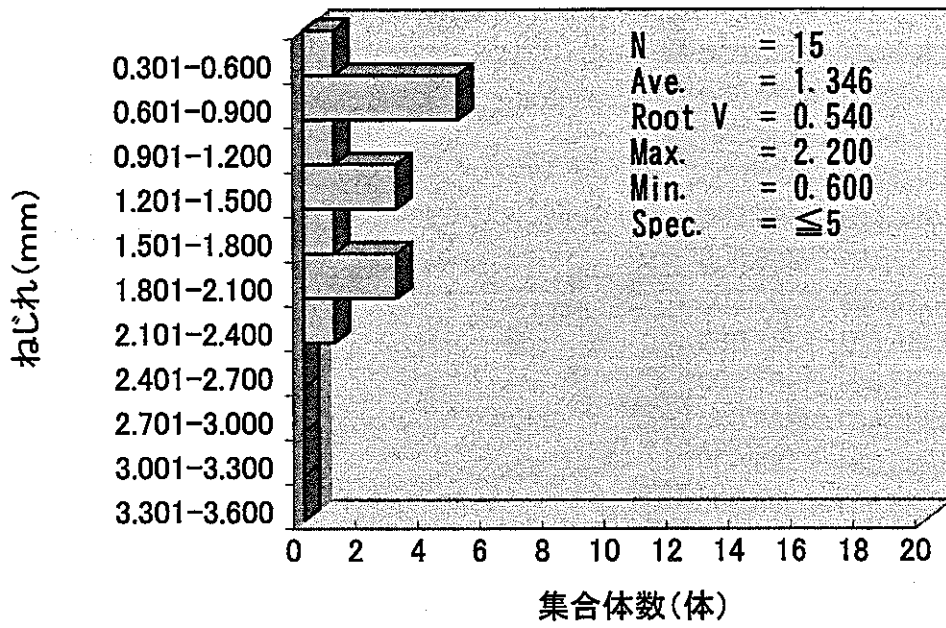


図6. 1. 11 第32回燃料集合体ねじれ

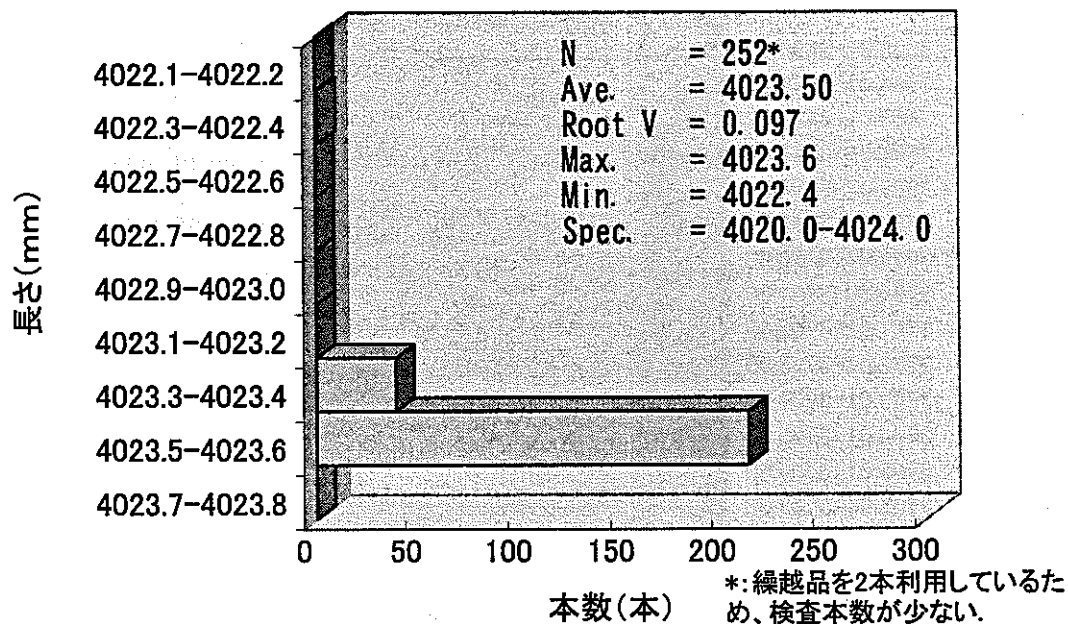


図6. 2. 1 第32回(その2)被覆管長さ

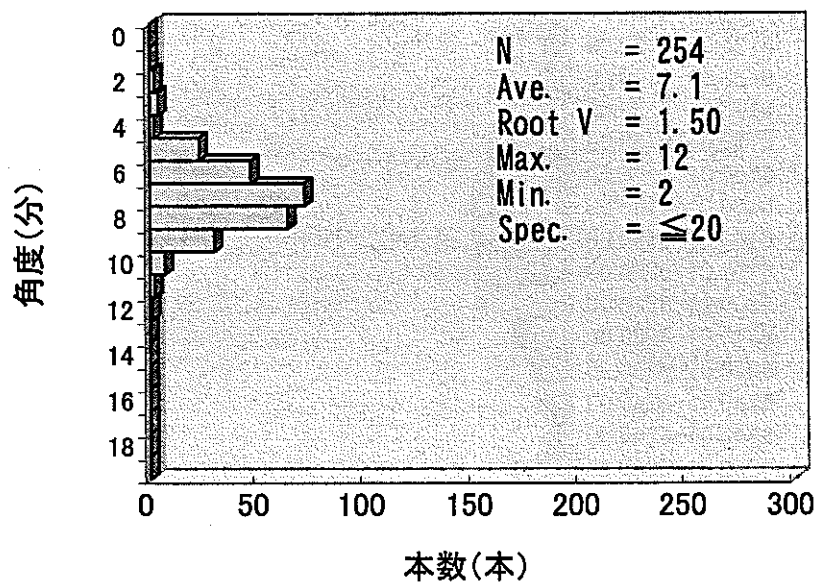


図6. 2. 2 第32回(その2)下部端栓取付角度

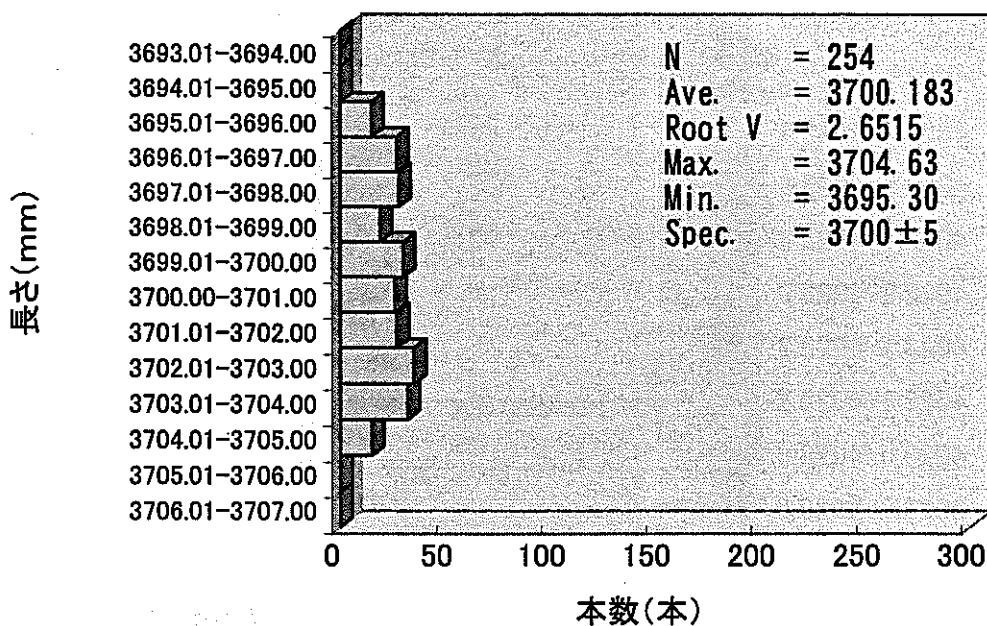


図6. 2. 3 第32回(その2)スタック長

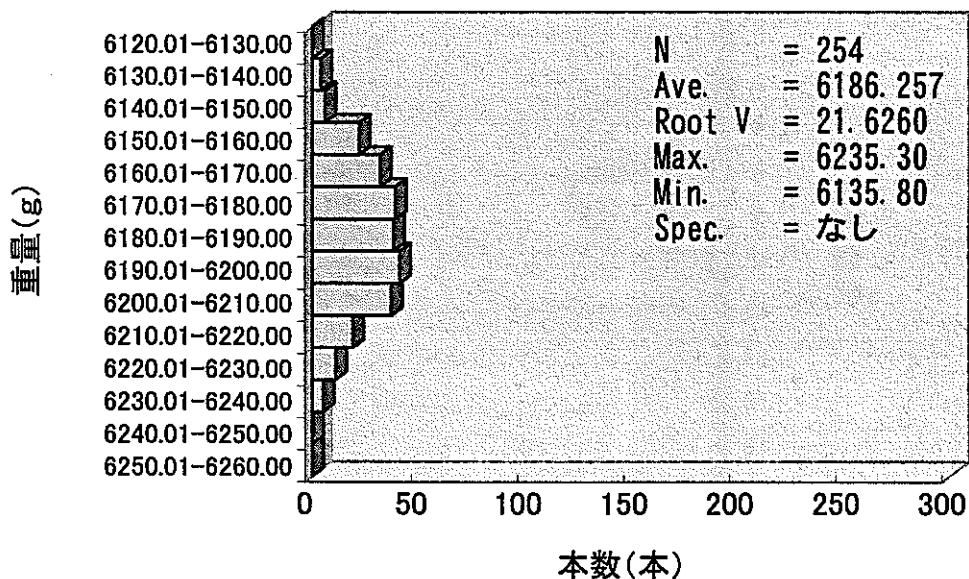


図6. 2. 4 第32回(その2)スタック重量

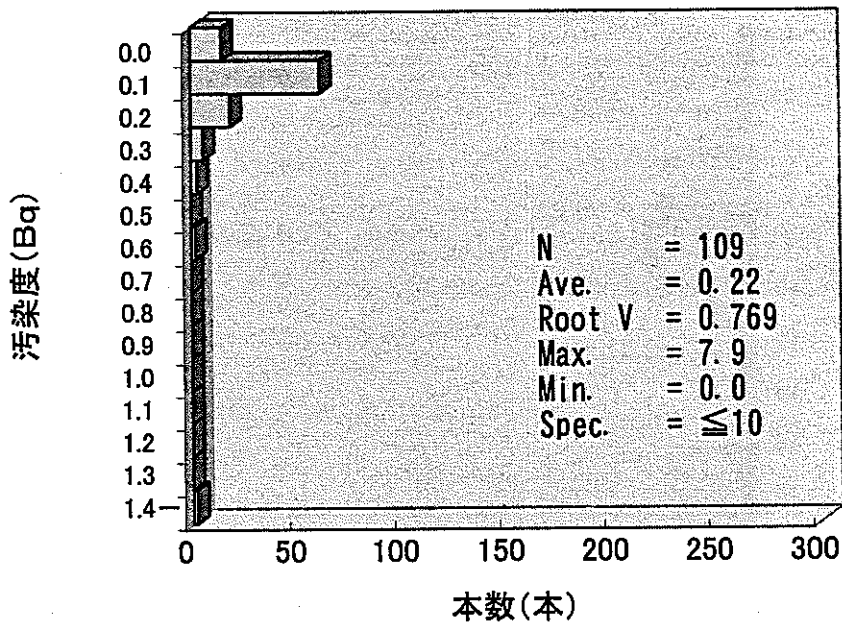


図6. 2. 5 第32回(その2)FIX汚染(高富化)

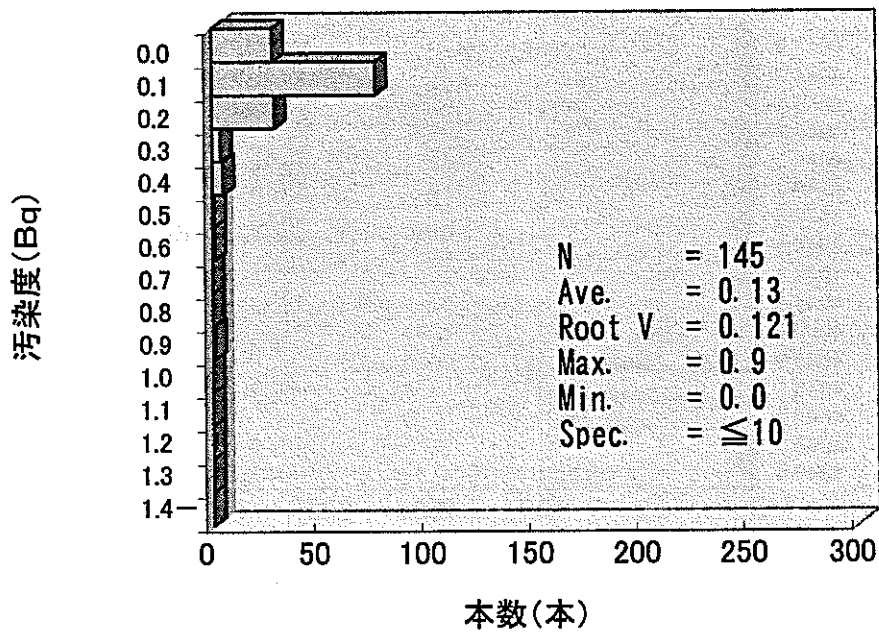


図6. 2. 6 第32回(その2)FIX汚染(低富化)

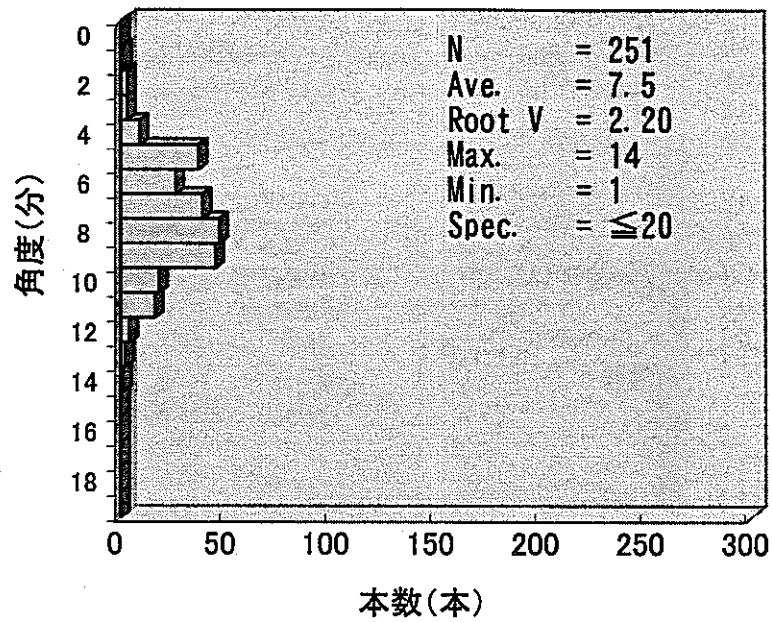


図6. 2. 7 第32回(その2)上部端栓取付角度

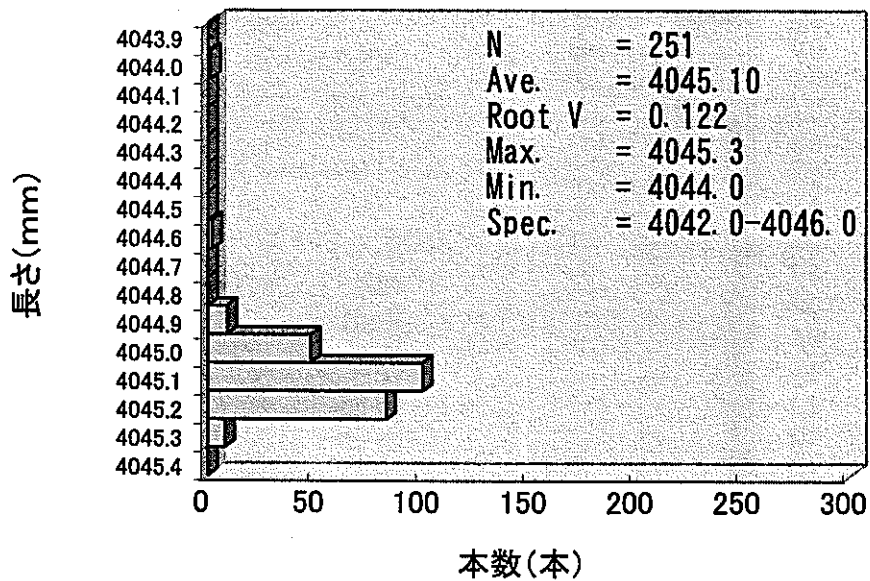


図6. 2. 8 第32回(その2)肩間長さ

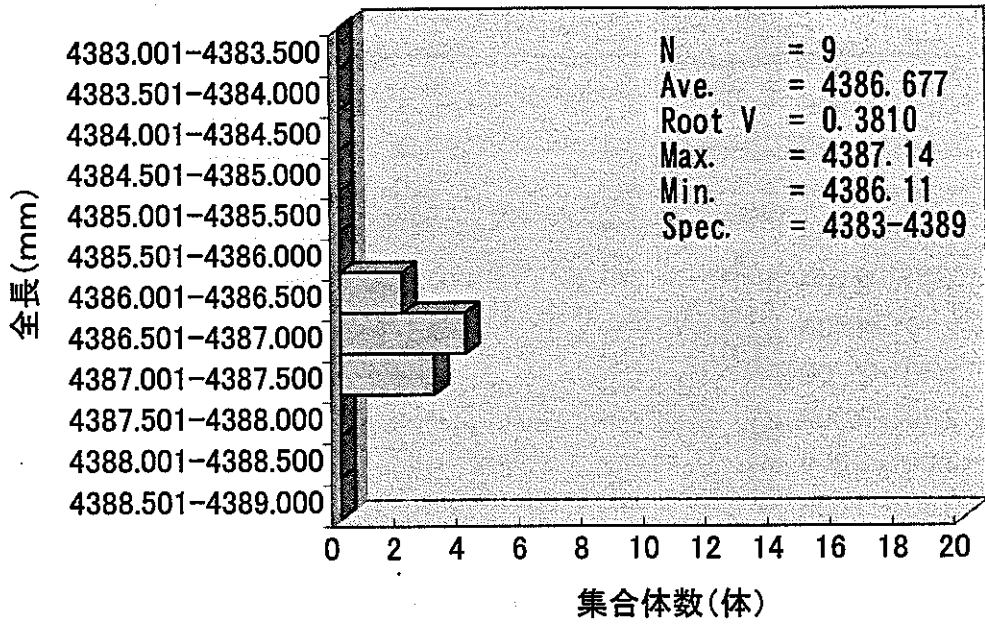


図6. 2. 9 第32回(その2)燃料集合体全長

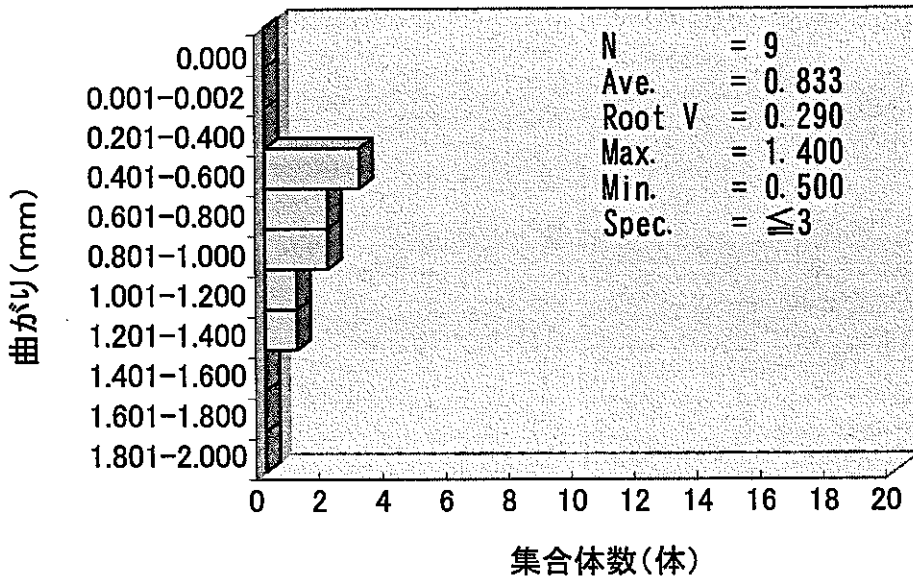


図6. 2. 10 第32回(その2)燃料集合体曲がり

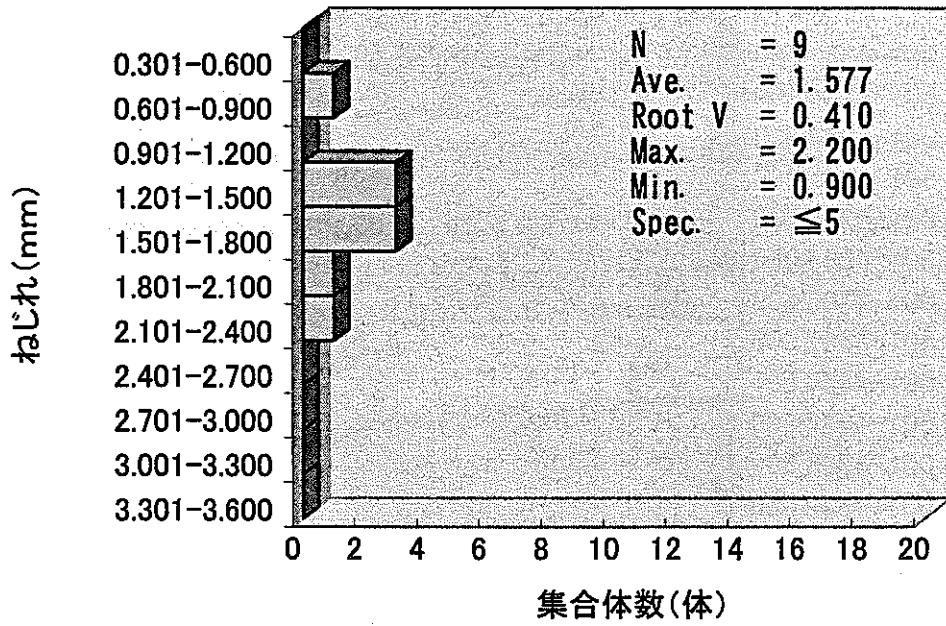


図6. 2. 11 第32回(その2)燃料集合体ねじれ

7. おわりに

- (1) 製造期間は、第32回取替用燃料集合体の製造が平成12年9月4日から平成13年6月21日まで、第32回取替用その2燃料集合体の製造が平成13年4月9日から平成13年10月19日までであった。
- (2) 第32回取替用燃料集合体の製造において燃料要素424本、燃料集合体15体を製造した。また、第32回取替用その2燃料集合体の製造において燃料要素254本、燃料集合体9体を製造した。
- (3) 収率は、第32回取替用燃料集合体の製造において下部端栓溶接工程で99.8%、燃料要素加工工程で99.3%、燃料集合体組立工程で100%であり、第32回取替用その2燃料集合体の製造において下部端栓溶接工程で100%、燃料要素加工工程で98.8%、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検査課のみなさんに深く感謝いたします。