

JNC TJ9420 2005-006

ガス炉用縦方向流冷却六角ブロック 燃料製造システムの調査

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2005年2月

富士電機システムズ株式会社

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
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)
2005

2005年2月

ガス炉用縦方向流冷却六角ブロック燃料製造システムの調査

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

戸澤 克弘^{*1} 山田 裕之^{*1} 尾崎 博^{*1} 鈴木 嘉浩^{*1}

要 旨

FBRサイクル実用化戦略調査研究の一環として、Heガス冷却FBR燃料の候補概念である窒化物被覆粒子燃料を六角ブロック集合体に分散させた燃料の燃料製造システムを対象として、プラント概念を示すこと及び、廃棄物発生量および経済性を評価することを目的として詳細検討を行った。その結果以下の成果を得た。

(1) 燃料製造プラント概念の調査

被覆粒子はTiNとSiCの2層の被覆を考慮して、物質収支、機器系統数、全体システム構成を検討した。その上で六角ブロックの製造方法としては炉心部は縦置き、プランケット部は横置きで被覆粒子を振動充填した後、ブロック枠にSiC蓋を接合する組立方式を設定し、対応する製造設備概念を具体化した。

燃料集合体は六角ブロックにエントランスノズル、ハンドリングヘッドをネジ止めする設備概念を具体化した。六角ブロックの検査項目を整理し、密度検査はX線CTによる方式とした。

試薬回収設備は湿式振動充填法の概念に基づき系統を具体化した。

(2) システム評価に関するデータの評価

主工程、分析、保守補修により発生する気体、液体、固体廃棄物を評価した結果、気体、液体廃棄物については試薬回収工程においてIPA、硝酸、アンモニア水を回収することで排出量を大幅に削減できる可能性が示された。

また、構築したプラント概念に対して経済性評価を行い、設備費、運転費などを評価した。その結果、建設費総額の22%が主工程建設費、34%が周辺設備（廃棄物処理・分析・保守補修・計装・ユーティリティ）費、34%が建・電・換費、10%が新燃料貯蔵設備費との試算結果が得られた。

本報告書は、富士電機システムズ株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

サイクル機構担当部課室；大洗工学センター システム技術開発部

燃料製造システムグループ

* 1 : 富士電機システムズ株式会社

February. 2005

Study of the Hexagonal Block Fuel Subassembly with Vertical Coolant Flow

Fabrication Facility for He Gas Cooled Reactor

(Report under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute)

K. Tozawa*, H. Yamada*, H. Ozaki*, Y. Suzuki*

Abstract

Hexagonal block fuel subassembly dispersing coated particle nitride fuel fabrication facility for Helium gas cooled reactor on the Feasibility Study for FBR fuel cycle systems has been investigated to reflect plant design considering detail effect of nitride fuel and remote handling and to evaluate waste production and plant cost. Results of the study are follows.

(1) Research for hexagonal block fuel fabrication plant concept

Material balance was settled considering with coated particle with TiN layer and SiC layer. System configuration was settled based on capacity and number of each equipments. Production method of the hexagonal block is hexagonal block flame capped SiC plate after vibration compaction in vertical position at core particle section and vibration compaction in horizontal position at blanket particle section. Production facility of the hexagonal block is embodied.

Fuel subassembly is made by the hexagonal block screwed shut with entrance nozzle and handling head. Inspection items of hexagonal block are picked up and density inspection method is settled in X-ray CT scanning.

Reagent recovery system is settled based on the system of sphere packing method.

(2) Data evaluation for system assessment

Radioactive gaseous waste, liquid waste, and solid waste in the main process, analysis process and maintenance process are evaluated. From the result, it made clear that radioactive gaseous waste and liquid waste are decreased by recovering IPA, nitric acid, ammonia water in reagent recovery process.

Cost of construction of the plant and operation cost have been estimated. Main process equipment cost occupies 22% of construction cost. Cost of radioactive waste treatment process, analysis process, maintenance facilities, instrumentation facilities and utility, occupy 34% of it. Cost of building, electrical equipment and ventilating system occupy 34% of it. New fuel storage facility occupies 10% of it.

This study was performed by Fuji Electric Systems Co., Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison Department ; Fuel Fabrication System Engineering Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center

*; Fuji Electric Systems Co., Ltd.

目 次

	頁
1. はじめに	1-1
1.1 研究目的	1-1
1.2 研究項目	1-1
1.3 研究期間	1-3
1.4 研究体制	1-3
1.5 研究工程	1-3
 2. 燃料製造プラントの概念の調査	2. 1-1
2.1 設計条件の検討	2. 1-1
2.2 物質収支の検討	2. 2. 1-1
2.2. 1 主工程の物質収支	2. 2. 1-1
2.2. 2 試薬回収設備の物質収支	2. 2. 2-1
2.3 主工程設備の検討	2. 3. 1-1
2.3. 1 機器系統数の検討	2. 3. 1-1
2.3. 2 六角ブロック製造設備の基本概念検討	2. 3. 2-1
2.3. 3 六角ブロック燃料集合体組立検査設備の基本概念検討	2. 3. 3-1
2.4 試薬回収設備の検討	2. 4-1
2.5 燃料製造プラントの概念調査（配置検討）	2. 5-1
 3. システム評価に関するデータの評価	3. 1-1
3.1 廃棄物発生量の評価	3. 1-1
3.2 経済性の評価	3. 2-1
 4. おわりに	4-1
 添付資料2. 2. 1-1 平成15年度物質収支（主工程）	添2. 2-1
添付資料2. 2. 1-2 平成15年度物質収支（被覆生成工程）	添2. 2-5
添付資料2. 2. 1-3 物質収支の考え方	添2. 2-6
添付資料2. 2. 1-4 六角ブロック燃料用炉心装荷量	添2. 2-10
添付資料2. 2. 2-1 試薬回収設備の概念調査	添2. 2-11
添付資料2. 3. 3-1 HTTR燃料製造における検査項目	添2. 3-1
添付資料2. 3. 3-2 平成15年度検討概念の試験検査項目	添2. 3-3
添付資料3. 1-1 平成15年度機器廃棄物検討結果	添3. 1-1
添付資料3. 1-2 平成15年度の燃料製造時の分析に伴う発生廃棄物評価結果	添3. 1-3

1. はじめに

FBR サイクル実用化戦略調査研究では安全性、経済性、環境負荷低減性等についてサイクルシステムの特性を評価している。その一環として、He ガス冷却高速炉が選定されており、その燃料の候補概念として、数種類の窒化物被覆粒子燃料が検討されている。平成 15 年度の燃料製造システム検討では、コンパートメント型概念についての製造システム構成と設備コストの評価を行った。本年度の検討では六角ブロック型概念について、製造システム構成と設備コスト評価を行う。

1.1 研究目的

前年度では窒化物被覆粒子燃料の製造技術の調査を行い、粒子燃料を SiC コンパートメントに充填した横方向流冷却コンパートメント燃料製造プラントの概念検討を行った。今年度は粒子燃料を SiC 六角ブロック内に分散させた縦方向流冷却六角ブロック燃料について検討を行い、プラント概念を示すことを目的とする。また、システム特性評価として廃棄物発生量および経済性について検討を行う。

1.2 研究項目

1.2.1 燃料製造プラントの概念の調査

年間生産量 200tHM/年とする縦方向流冷却六角ブロック燃料製造について概念検討を行う。取り扱う燃料が低除染の MA 含有窒化物燃料であることから安全性（臨界、火災など）に留意し、遠隔自動化を考慮した製造機器およびセル配置の概念について検討を行なう。

(1) 物質収支の検討

機構が提示する炉心（燃料）設計を基に、核燃料物質、試薬等の物質収支を検討する。

(2) 主工程設備の検討

(i) 機器系統数の検討

粒子燃料製造設備について、(1) 項で検討した物質収支および前年度の「ガス炉用窒化物燃料製造システムの調査」における機器仕様を基に機器系列数の検討を行う。

(ii) 六角ブロック製造設備の基本概念検討

サイクル機構殿より提示のプロセスに基づき六角ブロックを製造する六角ブロック製造設備について概念検討を実施する。

(iii) 六角ブロック集合体組立設備の基本概念検討

六角ブロックを集合体に組み立て・検査する集合体組立・検査設備について概念検討を実施する。

(ii)・(iii) 項の検討においては年間生産量に対応した機器の最適な処理能力設定および機器系列数とする。

(3) 試薬回収設備の検討

サイクル機構殿より提示の試薬回収プロセスに対応する試薬回収設備の概念検討を行う。検討においては処理量に対応した機器の最適な処理能力設定および機器系列数とする。

(4) 燃料製造プラントの概念調査（配置検討）

(2) および(3) 項の検討に基づき、前年度の「ガス炉用窒化物燃料製造システムの調査」における機器のセル内配置を見直す。セル内配置に当たっては安全性、セル内自動化運転および保守補修性について考慮する。

1.2.2 システム評価に関するデータの評価

(1) 廃棄物発生量の評価

主工程、分析、保守補修等により発生する廃棄物量を、気体、液体、固体の廃棄物種類毎に見積もる。また、分析に伴う TRU 移行量について評価を行う。

(2) 経済性の評価

機器の概念検討およびセル内配置設計に基づく経済性評価を行う。経済性評価では、設備費、建屋費、ユーティリティ使用量を明らかにし、以下の項目を考慮して見積もる。

- ・建設費（設備費、建屋建設費、ユーティリティ設備費等）
- ・運転費

1.3 研究期間

本研究は平成 16 年 9 月から平成 17 年 2 月に実施した。

1.4 研究体制

本研究は、核燃料サイクル開発機構殿との契約により、富士電機システムズ株式会社

が実施した。

1.5 研究工程

研究工程は表 1-1 のとおりである。

表 1-1 研究工程

The diagram illustrates a two-year project timeline from September of Heisei 16 to February of Heisei 17. The timeline is represented by a horizontal axis with vertical markers for each month. A large downward-pointing arrow on the left indicates the progression of time. Key milestones are marked with downward-pointing triangles (▼) and labeled as follows:

- 平成 16 年** (Heisei 16 Year)
 - 9月 ▼ キックオフ、検討条件等の整理
 - 10月 ▼ 各機器設備検討報告（中間報告）
 - 11月 ▼ 各機器設備検討、廃棄物評価報告（中間報告）
 - 12月 ▼ 報告書ドクトル版提出
- 平成 17 年** (Heisei 17 Year)
 - 1月 ▼ 報告書提出
 - 2月 ▼ 報告書提出

2. 燃料製造プラントの概念の調査

年間生産量 200tHM/年とする窒化物被覆粒子燃料製造プラントについて概念検討を行った。取り扱う燃料が低除染の MA 含有窒化物燃料であることから安全性（臨界、火災など）に留意し、遠隔自動化を考慮した製造機器およびセル配置の概念について検討を行なった。

2.1 設計条件の検討

被覆粒子窒化物燃料の燃料製造プラントの全体系統を明らかにするとともに、窒化物燃料の特有の成分条件での臨界評価を行い、主要な設計条件を設定する。

(1) 設計条件の整理

先行検討やサイクル機構殿より提示の基本構想等に基づき、対象とする燃料条件、生産能力、製造方法等の設計条件及び製造プロセスフローを整理する。

a. 窒化物被覆粒子燃料及び集合体等の基本設計条件

窒化物燃料製造の検討の前提となる六角ブロック燃料集合体の構造概念を図 2.1-1 に、基本仕様を表 2.1-1 に示す。

(2) 全体系統構成の設定

燃料製造フローを図 2.1-2 に示す。燃料被覆工程までは、平成 15 年度のコンパクトメント型燃料の検討結果と製造フロー上は同様であり、処理容量等が異なるのみである。六角ブロック燃料の製造装置が追加される工程となる。集合体組立も従来は振動充填であったが、本検討では六角ブロックを集合体に組立てる工程となるため、検討が必要である。

全体プロセスフローダイヤグラムを図 2.1-3 に示す。同図のプロセスフローダイヤグラムは 1 系統分の構成であり、この構成の系統が以下のとおり 3 種類ある。

- ①内側炉心燃料用ライン
- ②外側炉心燃料用ライン
- ③ブランケット燃料用ライン

上記のラインからはそれぞれ、以下のような組合せで六角ブロック製造工程で合流し燃料集合体が製造される。

- ・ 内側炉心燃料集合体：①と③
- ・ 外側炉心燃料集合体：②と③
- ・ 径方向ブランケット燃料集合体：③

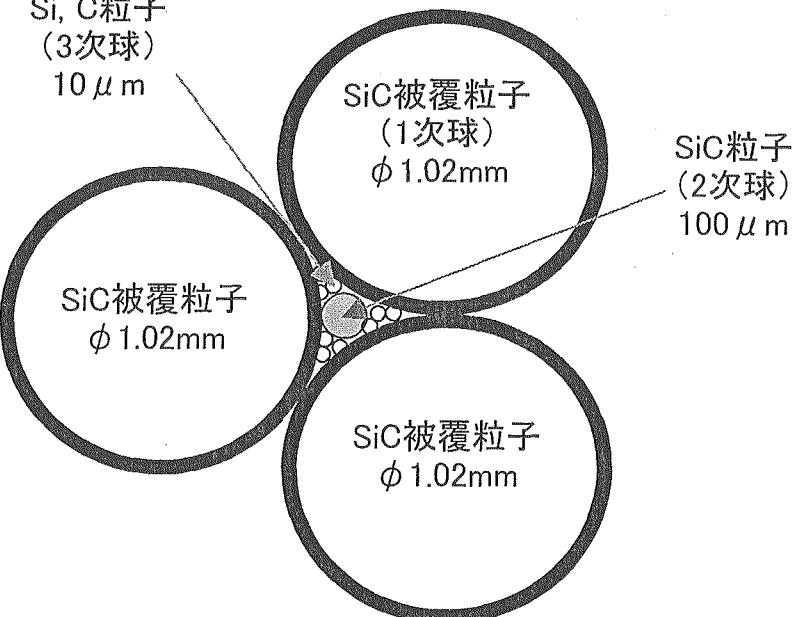
また、サイクル機構殿より提示の六角ブロック燃料の製造フローを図 2.1-4 に、六角ブロックに被覆粒子を振動充填する際のプロセスシートを表 2.1-2 に、振動充填後の SiC 蓋を接合する際のプロセスシートを表 2.1-3 に示す。六角ブロック燃料の炉心部分は、燃料製造設備外で製作された六角柱箱型の SiC 構造体に、窒化物燃料の TiN/SiC 被覆粒子 ($\phi 1.02\text{mm}$)、SiC 粒子 ($\phi 100\mu\text{m}$)、Si 及び C 粒子 ($\phi 10\mu\text{m}$) を順次振動充填することで空隙率を 20%以下とする。その上で、開口部に SiC 蓋を接合して、六角ブロック焼結装置で加熱することにより振動充填粒子の Si と C との反応焼結 (SiC マトリクス形成) と SiC 蓋の接合を同時に実施することで、六角ブロックを形成する。六角ブロックは炉心燃料部と上下プランケット燃料の 3 区画で構成されており、炉心部と軸方向プランケットを同時に製造する。これらの操作は全てセル内遠隔で行う方針である。

表 2.1-1 検討対象とする被覆粒子燃料及び集合体条件

項目	本検討の対象燃料 (六角ブロック燃料集合体)	コンパートメント燃料集合体 (H15 年度参考)	備考
炉心燃料	ブランケット燃料	炉心燃料	ブランケット燃料
1. 燃料仕様			
燃料材料	窒化物 PuN/UN/MAN	窒化物 PuN/UN/MAN	N-15、100%濃縮
被覆粒子径	1.02mm 0.86mm	1.02mm 0.93mm	1.94mm 1.5mm
燃料核	70 μm	35 μm	120 μm
被覆層第1層厚さ	50%低密度 TiN (バッファ層)	40%低密度 TiN (バッファ層)	60 μm
被覆層第2層厚さ	10 μm	100 μm	80 μm
組成	100%SiC 層	100%密度 TiN (強度層)	
2. 集合体仕様			
材料	六角ブロック : SiC 固相マトリクス/SiC 冷却管 その他 (ハンドリングヘッド等) : SiC 焼結体	コンパートメント : 高結晶性 SiC/SiC コンポジット その他 (ハンドリングヘッド等) : SiC 焼結体	
集合体全長	4300mm	3930mm	
集合体配列ピッチ	243.0mm (外対面間距離は 239.0mm)	222.3mm (外対面間距離相当)	
冷却管内径	15.0mm	84/201mm (コシバートメント内/外管径)	
冷却管肉厚	0.75mm	4/4mm (コシバートメント内/外管径)	
冷却管本数	61 本	—	
冷却管 P/D	1.96	—	
炉心高さ	900mm	1100mm	
ブランケット高さ(上部 ／下部)	300mm/300mm	400mm/400mm	
被覆粒子充填率	50%	60%	
3. 燃料装荷量／燃交 (kgHM)	内側炉心 : 4643 外側炉心 : 4091	径方向 : 7658 軸方向 : 8492	内側炉心 : 6947 外側炉心 : 5415
4. Pu 富化度(w%)	内側炉心 : 22.9 外側炉心 : 24.4	0	内側炉心 : 17.1 外側炉心 : 22.6
5. MA 添加率	1.5%	0%	1.0% 1.0%
6. 燃料製造設備生産量	200tHM/y	200tHM/y	
7. 年間操業日数	200 日 (1 日 24 時間)	200 日 (1 日 24 時間)	
8. 製造量／日 (原料投入量)	1111.1kgHM/d	1111kgHM/d	
U (kgHM/d)	内側炉心 : 171.8 外側炉心 : 145.2	径方向 : 323.2 軸方向 : 365.5	内側炉心 : 202 外側炉心 : 146
Pu (kgHM/d)	内側炉心 : 52.4 外側炉心 : 48.3	径方向 : 0 軸方向 : 0	内側炉心 : 42 外側炉心 : 43
MA (kgHM/d)	内側炉心 : 2.5 外側炉心 : 2.3	径方向 : 0 軸方向 : 0	内側炉心 : 2.5 外側炉心 : 1.9
9. 集合体生産体数／d	内側炉心 : 1.67 外側炉心 : 1.44	径方向 : 1.10 (軸方向 : 3.10)	内側炉心 : 2 外側炉心 : 1 (軸方向 : 3)

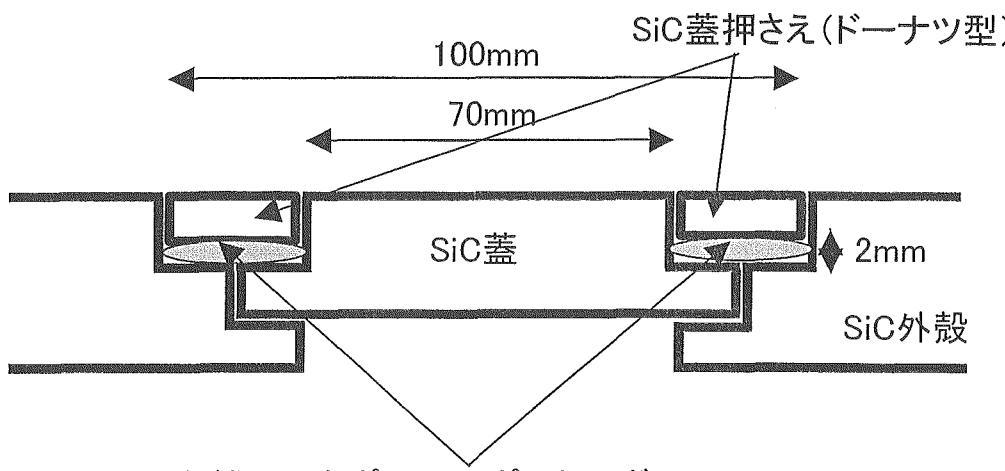
サイクル機構殿より提示

表 2.1-2 被覆粒子の六角ブロック内への振動充填時のプロセスシート

プロセスシート	
工程	SiC 振動充填 & 反応焼結
施工対象	SiCマトリックス空隙
施工量	<p>SiC被覆粒子(1次球) 振動充填で気孔率40%(充填率60%) →SiC粒子(2次球) 振動充填で気孔率25%(充填率75%) →Si₃C粒子(3次球) 振動充填で気孔率20%(充填率80%) →反応焼結施工</p> <p>◎1ブロック当たりの材料使用量(1燃料集合体は5ブロック分) ブロック内体積: 4450cm³ →SiC被覆粒子(1次球) 充填個数: 8010000個 (直径Φ1.02mm、SiC被覆厚10μm) →SiC粒子(2次球) 充填量: 2140g(直径Φ100μm、比重3.2g/cc) →Si₃C粒子(3次球) 充填量: 500g(直径Φ10μm、比重2.3g/cc) C粒子(3次球) 充填量: 220g(直径Φ10μm、比重2.2g/cc)</p>
化学反応	Si (溶融) + C → SiC (Ar雰囲気中)
温度	1450°C (1723K)
圧力	常圧
反応時間	1時間(1450°C保持)
プロセスガス組成	Ar(雰囲気)
流量比(mol/h)	
排ガス組成	
流量比(mol/h)	
備 考	
	

サイクル機構殿より提示

表 2.1-3 六角ブロックの SiC 蓋接合時のプロセスシート

プロセスシート	
工程	SiC PIP
施工対象	SiC外殻とSiC蓋の接合
施工量	<p>◎1燃料集合体当たりの材料使用量 (SiC蓋2箇所分)</p> <p>ポリカルボシラン充填量: $8g \times 2 = 16g$, (0.2752mol) $8cc \times 2 = 16cc$ (比重1g/cc)</p> <p>(充填口外形 $\phi 100mm$, 充填幅15mm, 充填高2mm $\times 2$)</p>
化学反応	$(C_2H_6Si)_n \rightarrow nSiC + nCH_4 + nH_2$
温度	1000°C(1273K)
圧力	常圧
焼成時間	3600s (1h)
プロセスガス組成	Ar
流量(mol/h)	11.008
排ガス組成	CH4 H2 SiC(結晶化) Ar
流量(mol/h)	0.2752 0.2752 0.2752 11.008
備 考	
 <p>SiC蓋押さえ(ドーナツ型)</p> <p>100mm</p> <p>70mm</p> <p>2mm</p> <p>SiC蓋</p> <p>SiC外殻</p> <p>有機ケイ素ポリマー(ポリカルボシラン)</p> <p>塗布後加熱接合</p>	

サイクル機構殿より提示

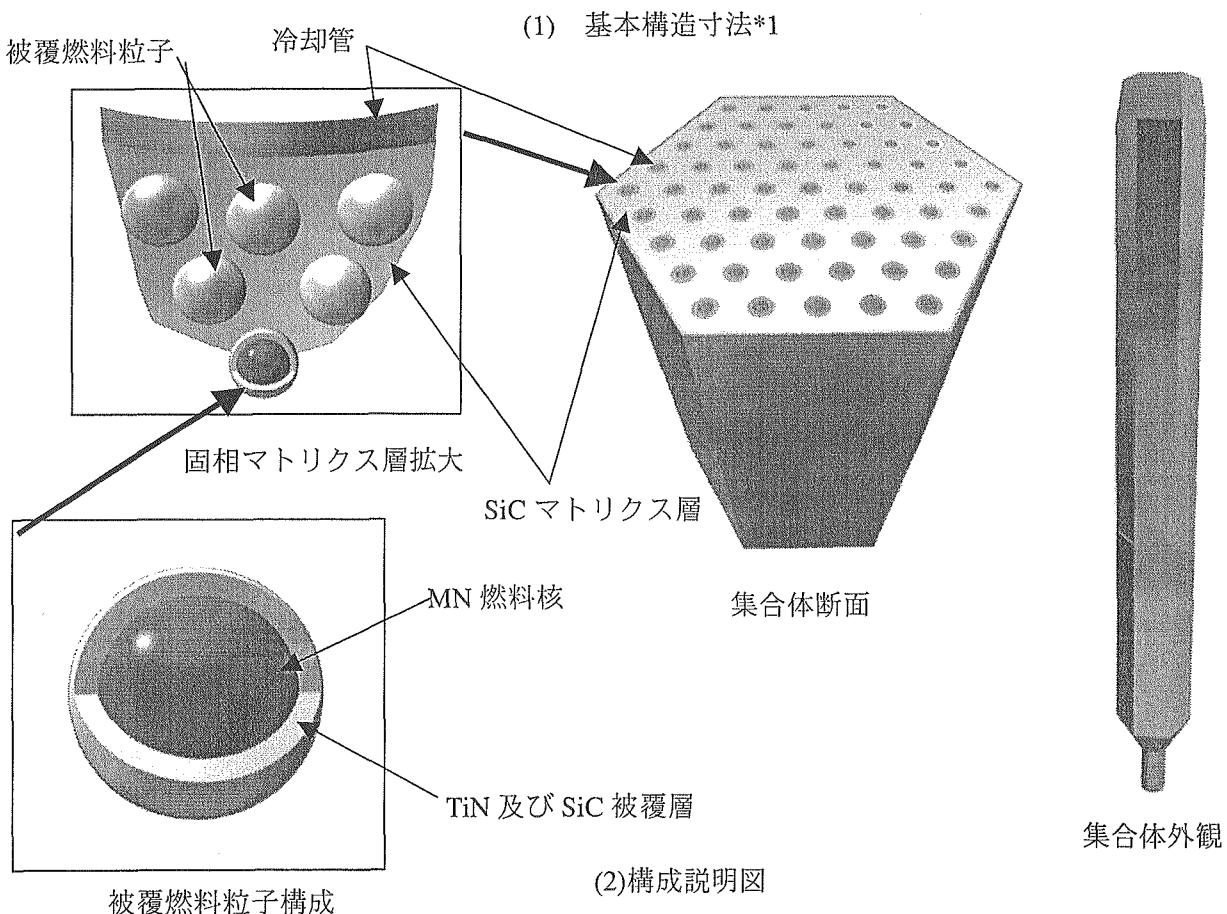
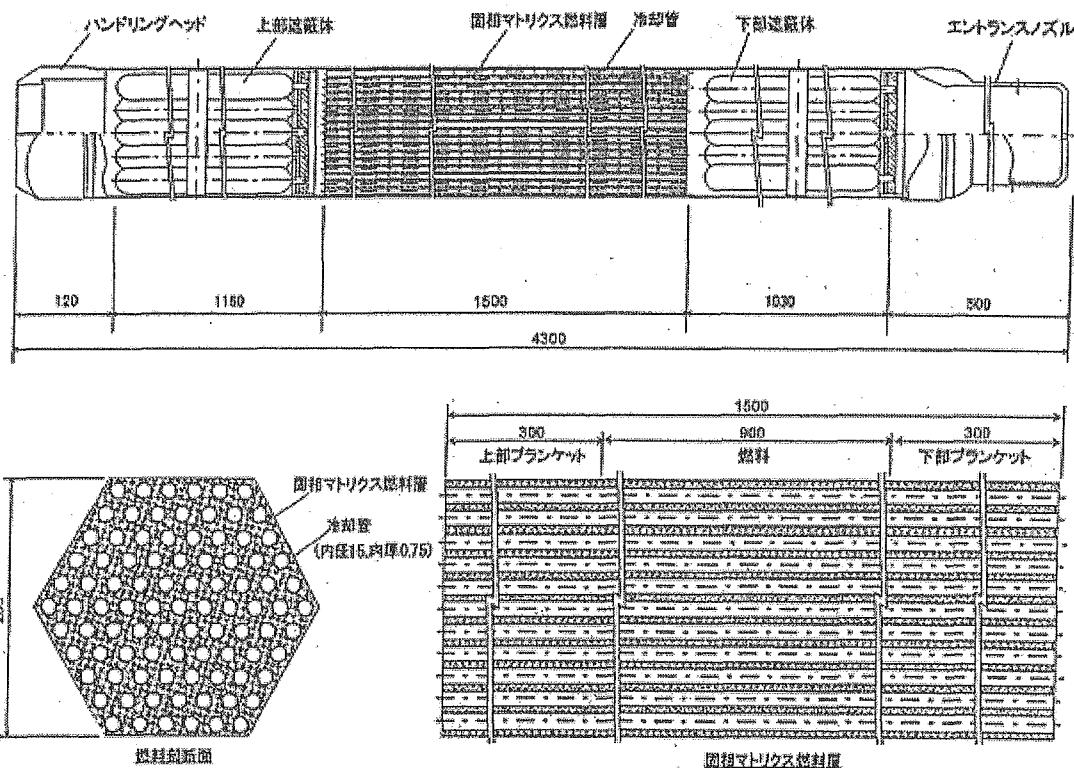
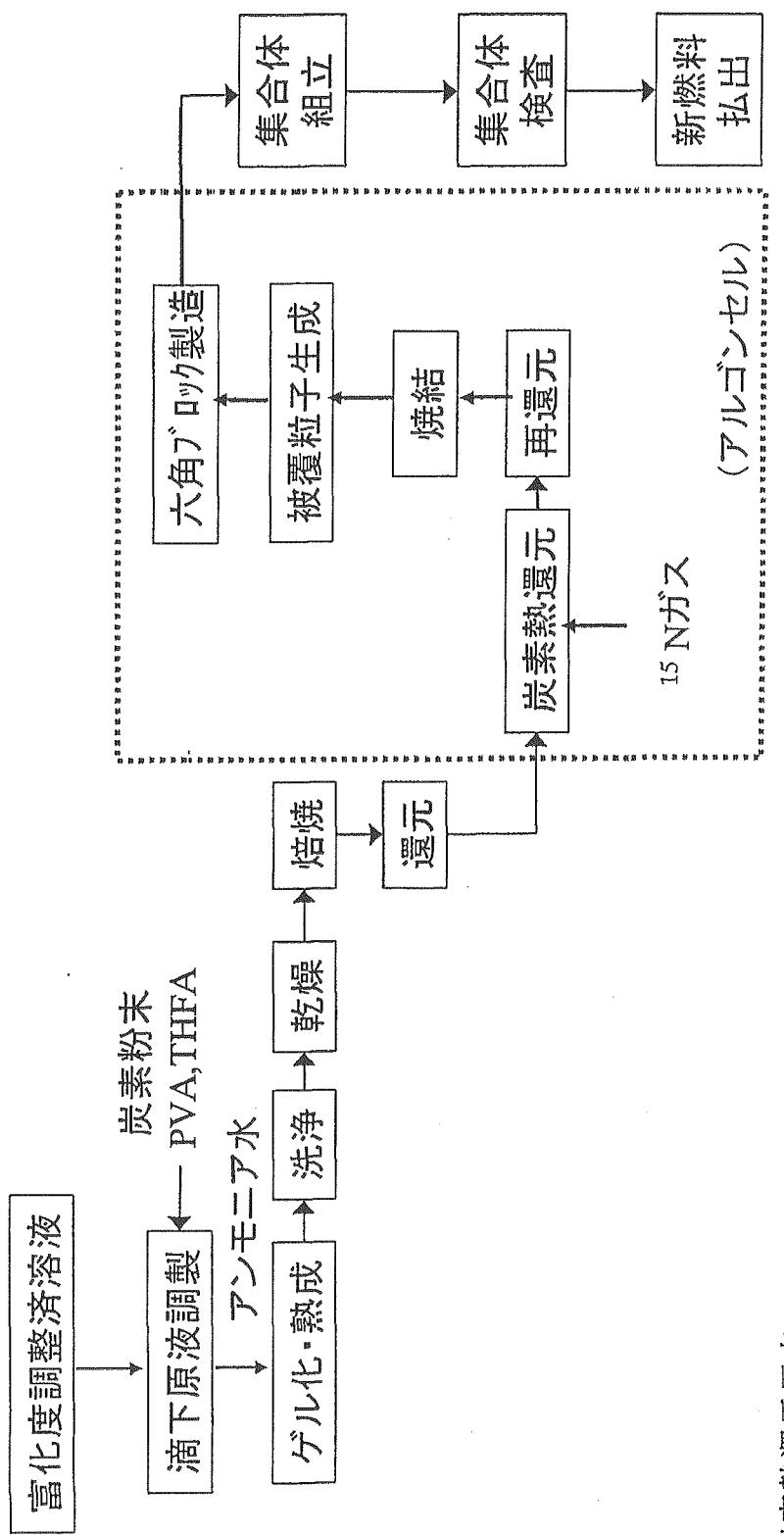


図 2.1-1 被覆粒子燃料集合体概念

*1 : (1)の冷却管数は設計条件と整合しておらず、(2)の冷却管数が正しい数である



炭素熱還元反応
 $\text{UO}_2 + (2+x)\text{C} + 1/2\text{N}_2 + 2x\text{H}_2 \rightarrow \text{UN} + 2\text{CO} + x\text{CH}_4$
 (ウランを代表させて記述)

図 2.1-2 燃料製造フロー

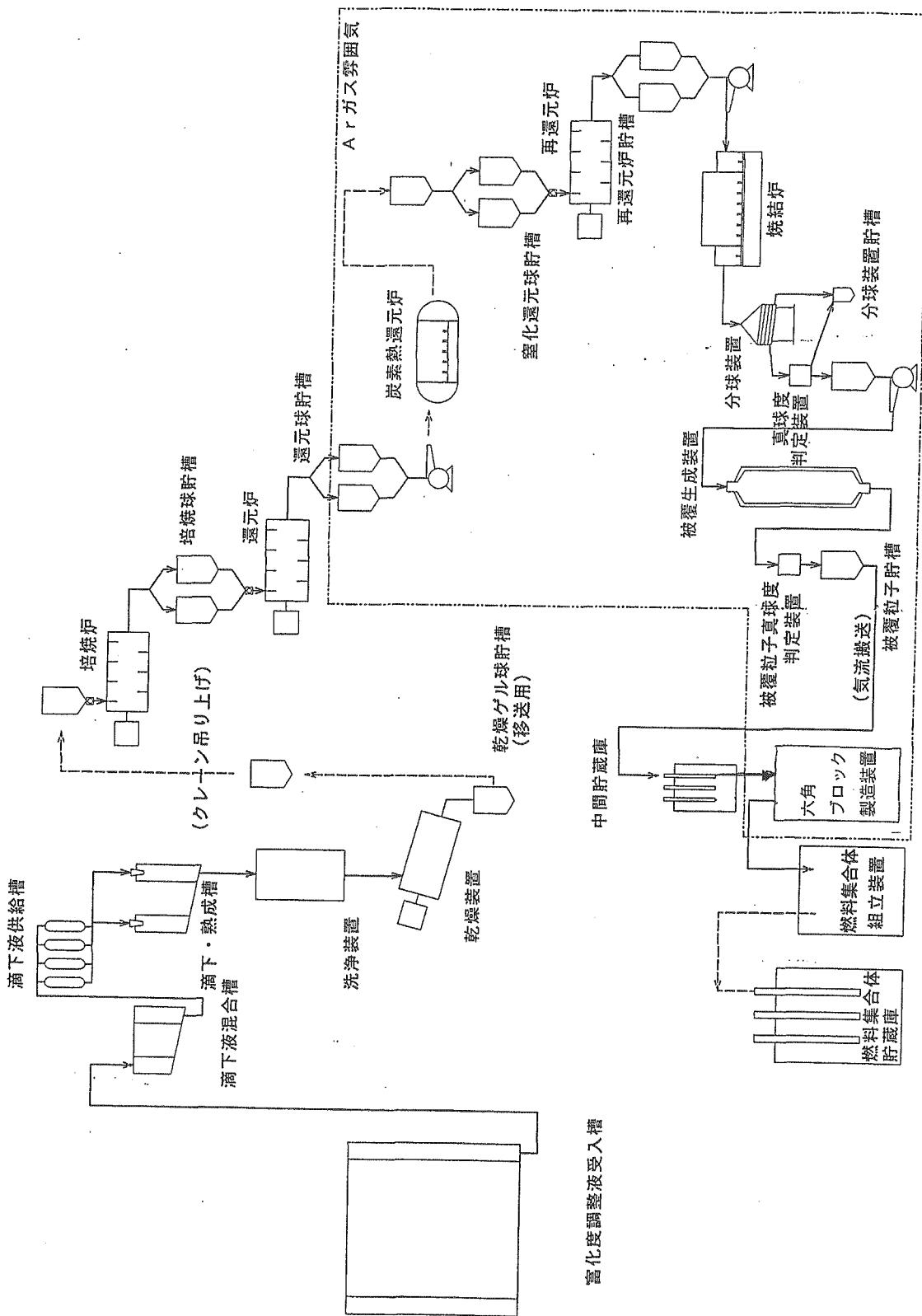


図 2.1-3 六角ブロック燃料製造設備プロセスフローダイヤグラム

サイクル機構殿より提示

六角ブロック燃料体 製作プロセス 被覆粒子運動充填 & 反応焼結マトリックス形成方式

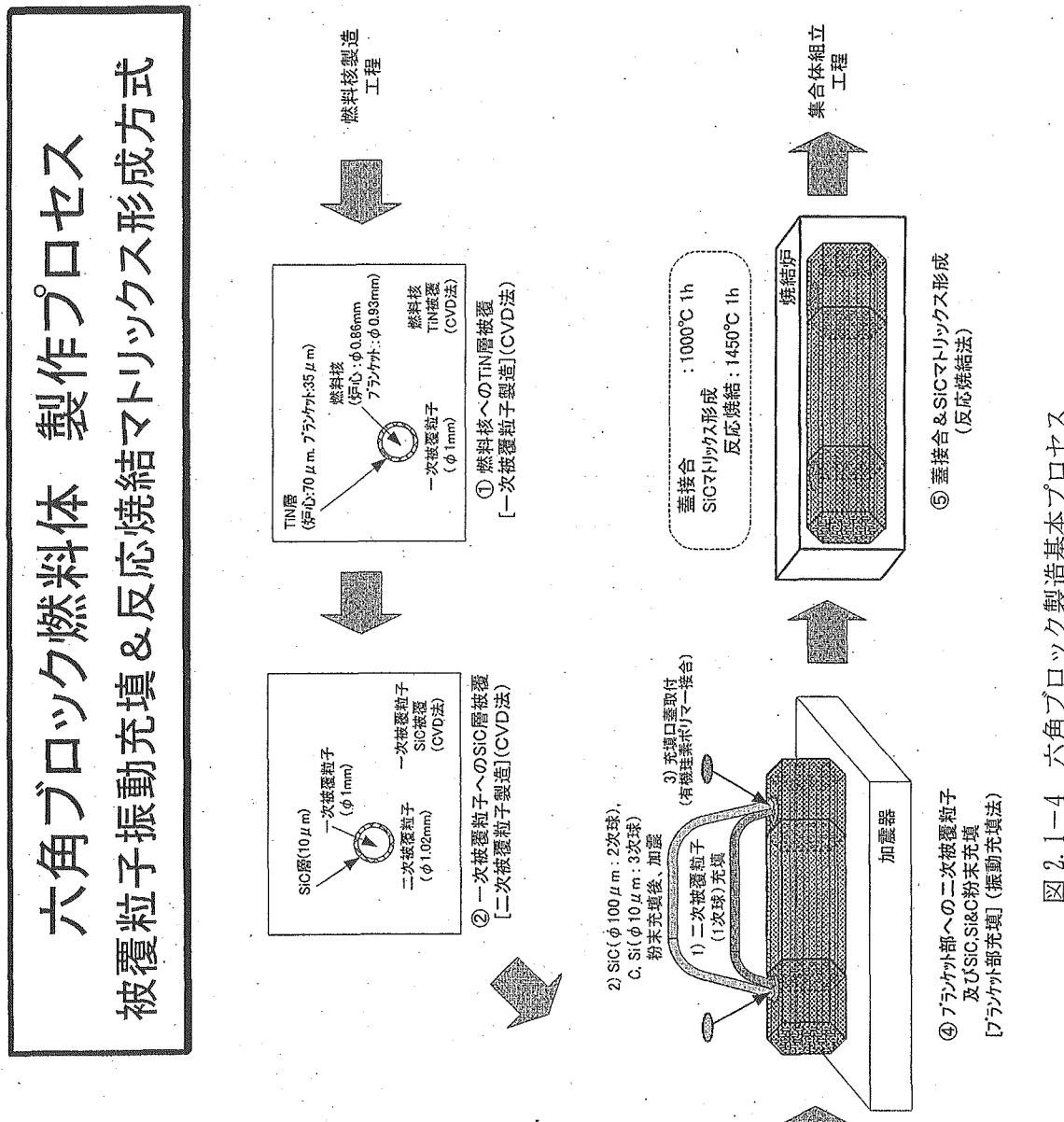
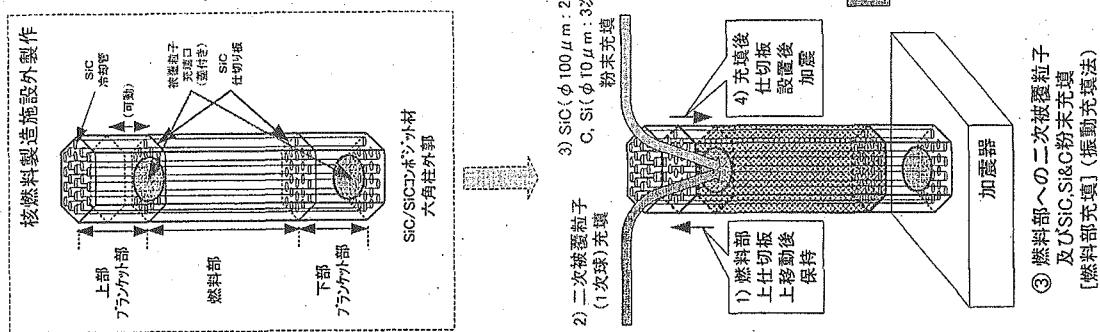


図2.1-4 六角ブロッケ製造基本プロセス

2. 2 物質収支の検討

サイクル機構殿より提示された炉心(燃料)設計及び前年度の「ガス炉用窒化物燃料製造システムの調査」向けに提示された物質収支の考え方を基に、核燃料物質、試薬等の物質収支を検討する。

2. 2. 1 主工程の物質収支

平成15年度の「ガス炉用窒化物燃料製造システムの調査」向けに提示された物質収支を添付資料2. 2. 1-1、2に示す。物質収支の考え方を添付資料2. 2. 1-3に示す。本検討条件となる六角ブロック燃料用炉心装荷量を添付資料2. 2. 1-4に示す。これらの資料に基づき以下を前提として、本年度の物質収支を検討した。

- ・各部反応式についてはサイクル機構殿提示の添付資料2. 2. 1-2に記載の式をそのまま用いた。
- ・必要生産量の核燃料毎の成分比は添付資料2. 2. 1-3 炉心装荷量1バッチの値を基に、1日分の総生産量を比例配分する。
- ・MAについてもNp, Cm, Amの合計量を基に比例配分する
- ・炉心装荷量に記載のないFPについてはU+Puの0.32%添加を想定する。
- ・不良率は10%として200tHMを200日で処理できる1日当たり生産量(初期投入量)1111.1kgHM/dと設定する。不良率の内訳はサイクル機構殿の指示により以下のとおり想定した。
- ・内訳：燃料核製造工程：8%

被覆工程：1%

六角ブロック製造工程：1%

集合体製造工程：0%

これらの考え方に基づき、表2. 2. 1-1に炉心装荷量1バッチの値を整理しなおした結果を示す。この結果から、必要生産量(投入量)を表2. 2. 1-2に示すとおり算出した。表2. 2. 1-3～5にはそれぞれ、被覆工程、六角ブロック製造工程及び集合体製造工程への投入量を示す。この必要生産量に基づき、物質収支を求めた結果を表2. 2. 1-6～9に内側炉心燃料、外側炉心燃料、径方向ブランケット燃料、軸方向ブランケット燃料の順に示す。

また、2層の被覆工程についてはTiN被覆工程の物質収支を表2. 2. 1-10に、SiC層の被覆工程の物質収支を表2. 2. 1-11に、六角ブロックのSiC蓋接合時の物質収支を表2. 2. 1-12

に示す。表 2. 2. 1-11 では廃ガス側で水素をアルゴンにより 5%以下に希釈する条件とした。ただし、水素はメチルトリクロロシラン(MTS)の反応制御用に添加することとされており、直接反応に寄与しないため、MTS と同一モル数と仮定した。表 2. 2. 1-12 では表 2. 1-3 に基づき集合体 4. 2 体／日の製造量で評価した。

これらの物質収支において整理された廃液量、廃ガス量が試薬回収設備の物質収支及び廃棄物量評価の検討条件となる。

表2.2.1-1 炉心初装荷量(1バッチあたりkgHM)

	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	合計
U	4091.8	3456.5	8703.2	7694.9	23946.4
Pu	1246.8	1150.6	0	0	2397.4
MA	58.8	54.1	0.1	0.1	113.1
合計	5397.4	4661.2	8703.3	7695	26456.9

年間生産量(kgHM) 200000

年間作動日数(日) 200

1日当り生産量(kgHM/d) 1111.1 (燃料核製造工程への原料投入量)

1020.4 (被覆工程への投入量)

1010.1 (六角ブロック製造工程への投入量)

1000.0 (集合体製造工程)

総不良率を10%と想定

・内訳:燃料核製造工程:8%

被覆工程:1%

六角ブロック製造工程:1%

燃料集合体組立検査工程:0%

表2.2.1-2 プラント生産量(原料投入量)(kgHM/d)

	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	合計
U	171.8	145.2	365.5	323.2	1005.7
Pu	52.4	48.3	0.0	0.0	100.7
MA	2.5	2.3	0.0	0.0	4.7
合計	226.7	195.8	365.5	323.2	1111.1

表2.2.1-3 プラント生産量(被覆生成工程投入量)(kgHM/d)

	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	合計
U	157.8	133.3	335.7	296.8	923.6
Pu	48.1	44.4	0.0	0.0	92.5
MA	2.3	2.1	0.0	0.0	4.4
合計	208.2	179.8	335.7	296.8	1020.4

表2.2.1-4 プラント生産量(六角ブロック製造工程投入量)(kgHM/d)

	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	合計
U	156.2	132.0	332.3	293.8	914.3
Pu	47.6	43.9	0.0	0.0	91.5
MA	2.2	2.1	0.0	0.0	4.3
合計	206.1	178.0	332.3	293.8	1010.1

表2.2.1-5 プラント生産量(燃料集合体組立検査工程投入量)(kgHM/d)

	内側炉心	外側炉心	軸ブランケット	径ブランケット	合計
U	154.7	130.6	329.0	290.8	905.1
Pu	47.1	43.5	0.0	0.0	90.6
MA	2.2	2.0	0.0	0.0	4.3
合計	204.0	176.2	329.0	290.9	1000.0
HM/体	122.52	122.51	106.14	265.34	
集合体数*1	1.67	1.44	3.10	1.10	4.20

*1:(体/d) 合計は内側炉心+外側炉心+径ブランケット(軸ブランケットは炉心の内数)

表2.2.1-6 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(炉心内側燃料)

表2.2.1-7 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(炉心外側燃料)

表2.2.1-8 窒化物被覆粒子燃料物質収支計算結果(径方向ブランケット燃料)

表2.2.1-9 窒化物被覆粒子燃料物質収支計算結果(軸方向ブランケット燃耗)

表2. 2. 1-10 TiN被覆層生成反応物質収支計算結果(1日当たり)

燃料材質	内側燃料			外側燃料			アラカルト(径方向)アランケット(軸方向)			備考
	UN	PuN	UN	PuN	UN	PuN	UN	PuN	UN	
燃料製造量(W) kg/d	157.8	48.1	133.3	44.4	335.7	296.8				
燃料製造量(W) kg/d	167.7	51.1	141.7	47.2	356.9	315.5				
燃料核の半径(r) m	4.30E-04		4.30E-04		4.65E-04					
被覆層までの半径(r0) m	5.00E-04		5.00E-04		5.00E-04					
燃料核の体積(v) m ³	3.33E-10		3.33E-10		4.21E-10					
被覆層の体積(v0) m ³	1.91E-10		1.91E-10		1.02E-10					
燃料核の比重(d) d ₁	14.32	14.22	14.32	14.22	14.32	14.22				
被覆層(TiN)の比重(d0)	5.43		5.43		5.43					
燃料核の重量(w) kg/個	4.77E-06	4.74E-06	4.77E-06	4.74E-06	6.03E-06					
被覆層の重量(w0) kg/個	1.03E-06		1.03E-06		5.56E-07					
被覆粒子個数(N) 個/d	3.52E+07	1.08E+07	2.97E+07	9.96E+06	5.92E+07	5.23E+07				
被覆層TiN重量(w0) kg/d	36.4	11.2	30.7	10.3	32.9	29.1				
被覆層TiN消費量 kg/d					150.6					

被覆層生成反応式	TiCl ₄ + 2H ₂ + 0.5N ₂ → TiN + 4HC 1 : Nは15Nとする			備考
	TiCl ₄	H ₂	N ₂	
分子量	189.7	2.0	30.0	HC 1
反応モル数 Kモル	2.39	4.8	1.20	62.9
ユーティリティ量・廃棄物量 Kg/d	454.3	9.7	35.9	2.39
ユーティリティ量・廃棄物量 Nm ³ /d	53.6	107.3	26.8	150.6
被覆層生成反応式	TiCl ₄ + 4H ₂ + 76N ₂ → TiN + 4HC 1 + 2H ₂ + 75.5N ₂ : Nは15Nとする			36.45
反応モル数 Kモル	2.39	9.6	182.00	9.6
ユーティリティ量・廃棄物量 Kg/d	454.3	19.3	5460.0	150.6
ユーティリティ量・廃棄物量 Nm ³ /d	53.6	214.6	4076.8	—

*1：理論上の反応では出発物質(TiCl₄) 1モルに対し水素2モルを要するので、水素を出発物質の4倍添加することは、理論上反応に必要な水素の2倍を添加することに相当する。

表2.2.1-11 SiC被覆層生成反応物質収支計算結果(1日当たり)

燃 料 材 質	内側燃料			外側燃料			ブランケット(径方向)ブランケット(軸方向)			備 考
	UN	PuN	UN	PuN	UN	PuN	UN	UN	UN	
燃 料 製 造 量 (W) kgHM/d	157.8	48.1	133.3	44.4	335.7	296.8				
燃 料 製 造 量 (W) kg/d	167.7	51.1	141.7	47.2	356.9	315.5				
TiN被覆層の半径(r) m	5.00E-04		5.00E-04		5.00E-04		5.00E-04			
SiC被覆層の半径(r0) m	5.10E-04		5.10E-04		5.10E-04		5.10E-04			
SiC被覆層の体積(V0) m ³	3.20E-11		3.20E-11		3.20E-11		3.20E-11			
被覆層(SiO)の比重(d0)	3.19		3.19		3.19		3.19			
被覆層の重量(W0) Kg/個	1.02E-07		1.02E-07		1.02E-07		1.02E-07			
被覆粒子個数(N) 個/d	3.52E+07	1.08E+07	2.97E+07	9.96E+06	5.92E+07	5.23E+07				
被覆層SiC重量(W0) Kg/d	3.6	1.1	3.0	1.0	6.0	6.0				
被覆層SiC消費量 Kg/d					20.2					

被覆層生成反応式	CH ₃ SiCl ₃ +H ₂			+19Ar			→ SiC +3HCl			備 考
	CH ₃ SiCl ₃	H ₂	Ar	SiC	HCl	H ₂	+H ₂	+19Ar		
分子量	150.3	2.0	39.9	40.1	36.45	2.0	2.0	Ar	39.9	
反応モル数 Kモル	0.50	0.50	9.60	0.50	1.51	0.50	0.50	Ar	9.60	
ヨーテリティ量・廃棄物量 Kg/d	75.5	1.0	383.5	20.2	55.0	1.0	1.0	Ar	383.5	
ヨーテリティ量・廃棄物量 Nm ³ /d	11.3	11.3	215.0	—	33.8	11.3	11.3	Ar	215.0	

より5%以下に希釈。水素必要量が不明(水素はMTSの反応制御用)たゞ、暫定でMTSと同一モル数とした。

2.2.1-9

表2.2.1-12 六角ブロックのSiC蓋接合時の物質収支(1日当たり)

被覆層生成反応式	C ₂ H ₆ Si +40Ar			→ SiC			+CH ₄ +H ₂ +40Ar			備 考
	C ₂ H ₆ Si	Ar	SiC	CH ₄	H ₂	Ar	Ar	Ar	Ar	
分子量	59.0	39.9	40.1	16.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	39.9
反応モル数 モル	1.16	23.12	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	23.12
ヨーテリティ量・廃棄物量 g/d	68.2	923.5	46.3	18.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	923.5
ヨーテリティ量・廃棄物量 Nm ³ /d	—	0.518	—	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.518

1集合体当たりのポリカルボシランは0.2752mol、アルゴンは11.008mol、4.2体／日製造

2. 2. 2 試薬回収設備の物質収支

サイクル機構殿より提示された、ゲル化顆粒燃料製造設備における試薬回収設備の概念調査結果を基に、本施設の主工程物質収支に対応した試薬回収設備の物質収支を検討する。

(1) プロセス構成と廃液発生量

「平成 15 年度 ゲル化顆粒燃料製造設備構成の調査」において実施された試薬回収設備の概念調査結果を添付資料 2. 2. 2-1 に示す。六角ブロック燃料製造システムの試薬回収プロセスの構成と各廃液発生量は、添付資料 2. 2. 2-1 に準じ、かつ以下に示す前提・想定条件を踏まえて検討した。

- ① 炉心燃料製造工程から排出される廃液については、廃液処理設備の円環槽で受け分析を行い、核燃料物質の濃縮度または濃度が規定値以下であることを確認した後、プランケット製造工程からの廃液と混合し、試薬回収設備へ送るものとする。
- ② 反応廃液は全量、試薬調整設備にてアンモニアガスを補充し再利用するものとし、試薬回収設備では処理しないものとする。
- ③ 水洗浄廃液は、洗浄水 5 倍容のうち最後の 2 倍容を次バッチの初めの洗浄水として再使用するものとし、試薬回収設備で処理する廃液は洗浄水 3 倍容と洗い流される物質 (NH_3 , NH_4NO_3 , PVA, THFA) とする。
- ④ 水洗浄廃液及びアルコール洗浄廃液への PVA と THFA の移行率は、反応廃液も含む 1 日当たりの廃液量約 74t の約 0.02% と想定する。
- ⑤ アルコール洗浄廃液中の水、アンモニア水、硝酸アンモニウム廃液量は、それぞれ「ゲル化顆粒燃料製造設備構成の調査」の表 2. 2-1 に示す発生量比と同じ 6.09%, 0.08%, 0.09% 相当発生するものと想定する。
- ⑥ 塩素及び窒素 15 は試薬回収設備では処理しないものとする。

以上の前提・想定条件を踏まえて検討を行った結果、プロセス構成は図 2. 2. 2-1 の通りとした。1 日当たりの各廃液発生量とその組成は、図 2. 2. 2-1 に示す廃液分類に従い表 2. 2. 1-6~9 に示す窒化物被覆粒子燃料物質収支を基に集計した結果、表 2. 2. 2-1 の通り水洗浄廃液が約 31t/d、アルコール洗浄廃液が約 13t/d、乾燥排ガス回収廃液が 12t/d、総量 56t/d となった。

(2) 試薬回収設備の物質収支

ゲル化顆粒燃料製造設備における試薬回収設備の概念調査結果（添付資料 2. 2. 2）に準じて検討を行った結果、物質収支は図 2. 2. 2-2～4 の通りとなった。最終的には、電気・電解透析処理により発生する廃液としてアルコール類を含む脱塩廃液（電気透析より）と、アンモニアを回収する際に発生する少量の硫酸ソーダを含む廃液（電解透析より）が発生し、総量は約 29 t /d となった。これは試薬回収設備で処理する前の廃液量 56t/d の約 52%に相当する。

表2.2.2-1 六角ブロツク燃料製造時の廃液発生量と組成(炉心及びブランケット総量)

流体名称	①水洗浄廃液 Mass量 (kg/d)	割合(%)	②アルコール洗浄廃液 Mass量 (kg/d)	割合(%)	③乾燥排ガス回収廃液 Mass量 (kg/d)	割合(%)
H ₂ O	29,335.9	96.09%	813.9	6.09%	5,672.7	47.25%
NH ₃ Aq	365.9	1.20%	10.0	0.08%	0.0	0.00%
NH ₄ NO ₃	817.0	2.68%	11.5	0.09%	0.0	0.00%
IPA	0.0	0.00%	12,517.3	93.67%	6,334.1	52.75%
PVA	5.0	0.02%	5.0	0.04%	0.0	0.00%
THFA	5.0	0.02%	5.0	0.04%	0.0	0.00%
合計	30,528.8	100.00%	13,362.8	100.00%	12,006.9	100.00%

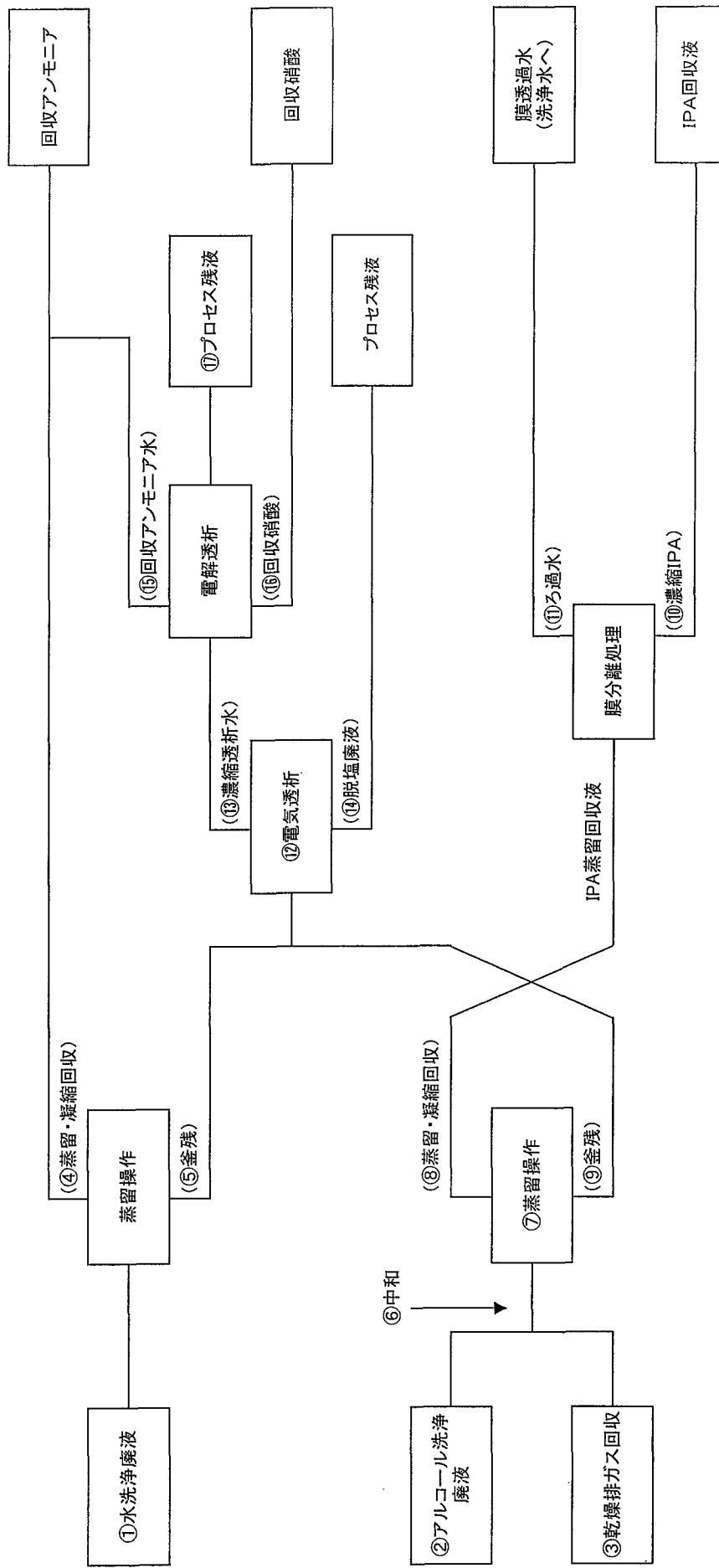


図2. 2-1 試薬回収処理系統図

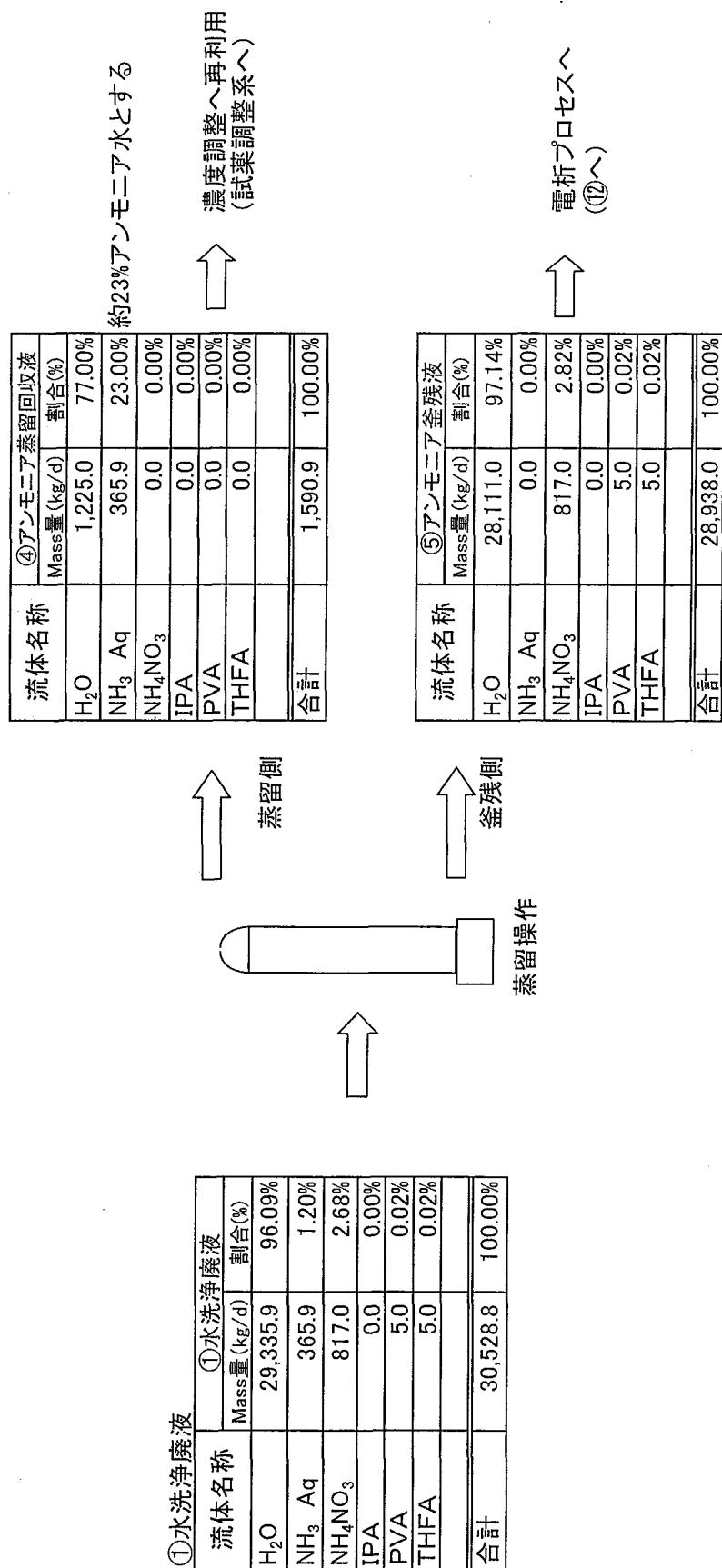


図.2.2.2-2 ①水洗浄廃液の蒸留操作物資収支

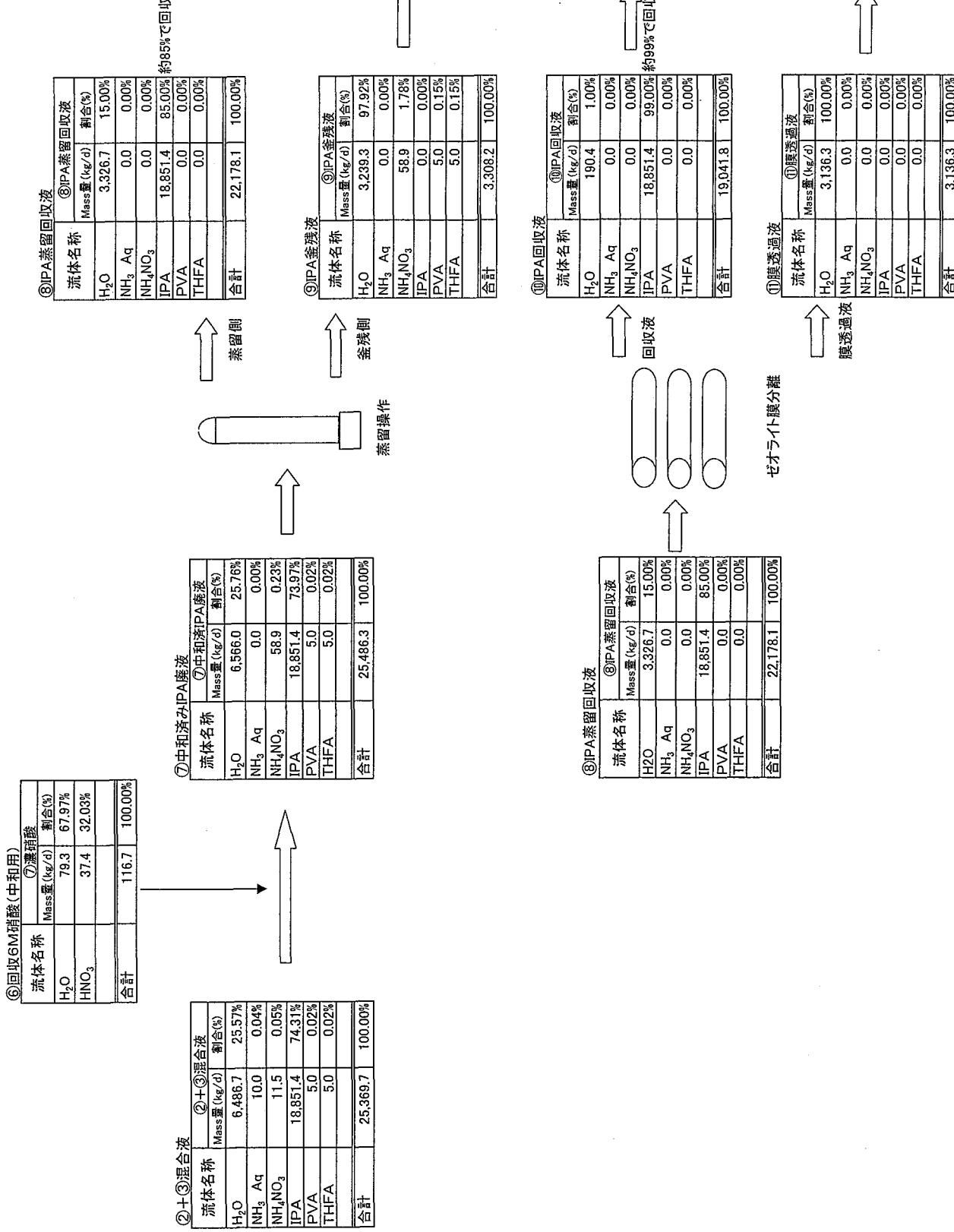


図2.2.2-3(②アルコール洗浄廃液+③乾燥排ガス回収廃液)混合液の複合処理物資収支

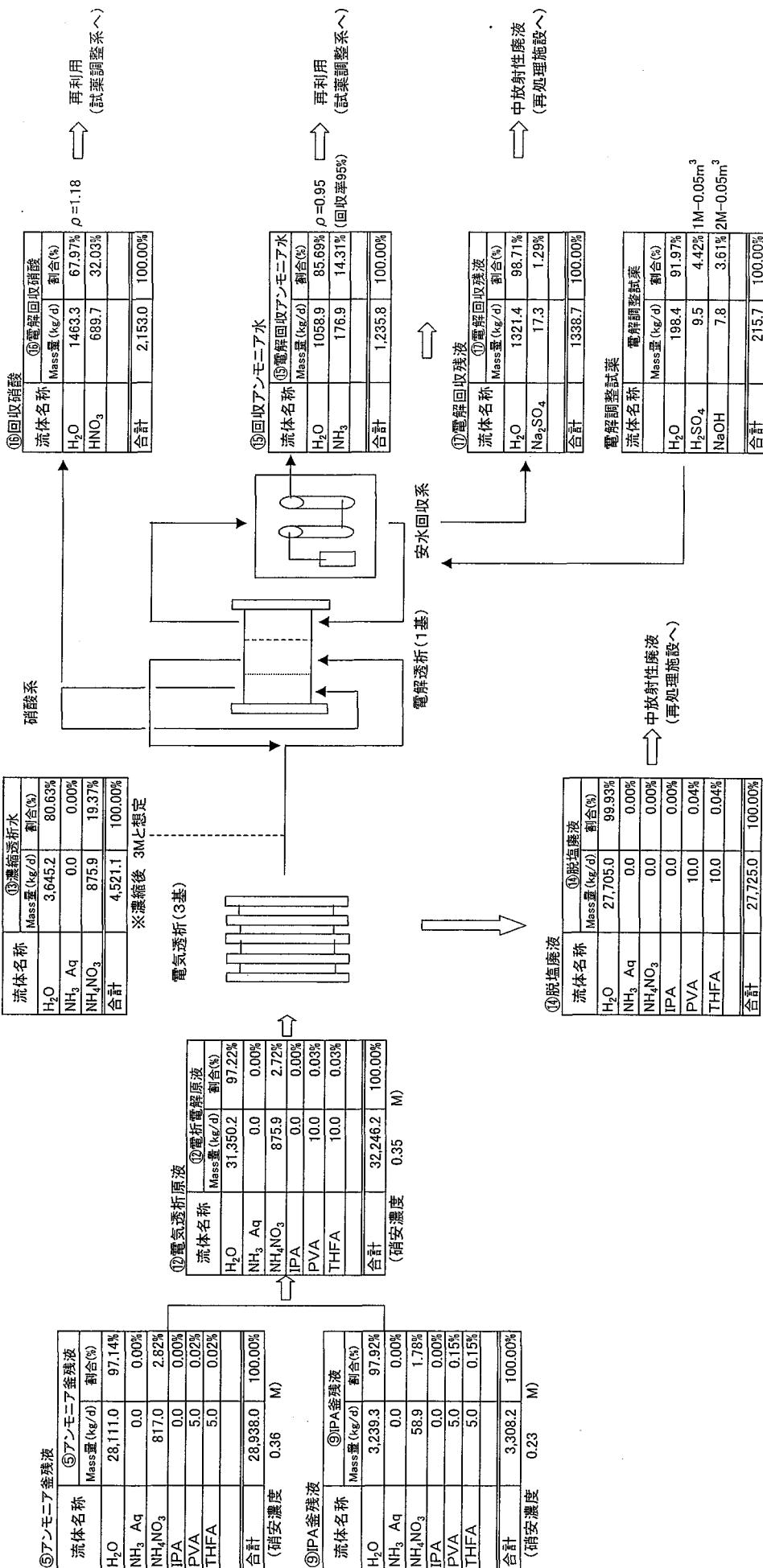


図2.2.2-4 電気透析及び電解透析プロセスの物資収支

2.3 主工程設備の検討

2.3.1 機器系統数の検討

(1) 概要

「2.1 設計条件等の検討」及び「2.2 物質収支の検討」で整理した基本プロセス及び核燃料物質量をベースとして、平成 15 年度に実施した「ガス炉用窒化物燃料製造システムの調査」における機器仕様を元に、各機器系列数の検討を行った。

(2) 評価用物量の整理

今回の検討のベースとした核燃料物質の算定結果と、その結果をベースに数値を安全サイドに丸めて設定した評価用物量を、表 2.3.1-1 に示す。

評価用に丸めるにあたっては、いたずらに大きな裕度をこの段階で見込むと合理化に向けた可能性を否定してしまうことから、10%弱を目安に設定した。

(3) 検討結果

a. 炉心燃料ライン機器の基数の設定

プロセスフローに基づき、炉心燃料ラインの各機器の基数を検討した。検討結果を、表 2.3.1-2 に示す。なお、内側炉心と外側炉心は、配置上の制約がない限りそれぞれ独立系統（合計 2 系統）とした。各機器の容量検討にあたっては、平成 15 年度に検討した各機器の容量を基準として、本システムで必要となる必要処理量を勘案すると共に、臨界上の制約から決まる機器の形状条件から機器の基数を割り当てていった。

以下に、各機器の機器数の設定の考え方を示す。

(a) 富化度調整液受入槽

富化度調整液受入槽は、臨界上の制約からカドミウム（中性子吸収体）を付けた上で最大幅 85mm 以下の円環槽とする必要がある。本設備の必要受入量は、内側炉心で 5040L、外側炉心燃料で 3680L であり、平成 15 年度の条件（6300 L）と優位な差はないことから、機器の有効容量に整合するよう高さ寸法の見直しを行った。なお、機器数については平成 15 年度設計と同様、運転中に次のバッチの溶液を受け入れられるよう、100%×2 基構成としている。

(b) 滴下液混合槽、滴下液供給槽、滴下・熟成槽

滴下液混合槽の必要処理容量は、処理量が大きい内側炉心燃料で 200L と、平

成 15 年度設計の条件（250L）と大きな差はないことから、臨界上の制約（円環部幅）を考慮した上で必要な有効容量が確保できる機器サイズに設定した。

滴下・熟成槽についても滴下供給槽と同様処理量に大きな差はなく、同等のサイズのものを同じ基数設けることとした。

滴下液供給槽は、1 基の滴下熟成槽あたり 4 箇所あるノズルに液を供給するものであることから、上記滴下・熟成槽の基数の 4 倍とした上で、臨界条件に合わせて若干のサイズの見直しを行った。

(c) 洗浄装置

洗浄装置は、滴下・熟成槽で処理された湿潤ゲル球を洗浄するものであり、滴下・熟成槽が 1 バッチ 3 時間で払い出すものを、1 バッチ 6 時間かけて洗浄処理を行うことから、機能上滴下・熟成槽の基数の 2 倍の基数が必要となる。その上で、機器サイズを容量にあわせて調整している。

(d) 乾燥装置

乾燥装置は、洗浄後の湿潤ゲル球を 1 バッチ 3 時間で乾燥処理するものであり、滴下・熟成槽及び洗浄槽の運転時間の比較より、滴下・熟成槽と同じ基数で十分である。ただし、容器の直径寸法に関わる臨界上の制約より、同じ基数とすると容器全高が非常に大きくなり（6m以上）、設置室の高さ寸法と整合しないため、容量を半分にして洗浄装置と同一の機器数とした。

(e) 乾燥ゲル球貯槽

乾燥ゲル球貯槽は、乾燥後のゲル球を受け入れると共に、次のステップの培焼炉に移送するための容器である。培焼炉の運転上、培焼炉と同じ数の輸送容器があれば十分であることから、機器数はこれに合わせた上で、機器サイズの見直しを行った。

(f) 培焼炉、培焼球貯槽

培焼炉は、平成 15 年度設計と容量的には包絡されることから、機器単体の処理容量（容器有効容量）は平成 15 年度設計と同等とした。

培焼球貯槽は、単基の容量としては次の工程の還元炉 1 基分の容量を持つと共に、次工程の還元炉への培焼球の連続供給が行えるよう、還元炉数の 2 倍の機器数が必要となる。

(g) 還元炉、還元球貯槽

還元炉の処理条件は、平成 15 年度設計に包絡されるため、機器設計としては

平成 15 年度設計と同等とした。

還元球貯槽は単基の容量としてはバッチ運転される次の工程の炭素熱還元炉 1 基分の容量を持つと共に、還元炉で処理済の還元球のバッファ貯蔵としての機能を持たせられるよう、炭素熱還元炉数の 2 倍の機器数とした。

(h) 炭素熱還元炉、窒化還元球貯槽

炭素熱還元炉の処理条件は、平成 15 年度設計に包絡されるため、機器設計としては平成 15 年度設計と同等とした。

窒化還元球貯槽は、単基の容量としてはバッチ運転される前工程の炭素熱還元炉 1 基分の容量を持つと共に、次工程の再還元炉への窒化還元球の連続供給が行えるよう、炭素熱還元炉数の 2 倍の機器数が必要となる。しかしながら、厳しい臨界上の制約から、上記機器数では容器全高が過大（4m、部屋に設置して還元炉から受け入れることを考慮すると 2m 程度が望ましい）となってしまうため、機器数は炭素熱還元炉の 4 倍とした。

(i) 再還元炉、再還元球貯槽

再還元炉の処理条件は、平成 15 年度設計に包絡されるため、機器設計としては平成 15 年度設計と同等とした。

再還元球貯槽は単基の容量としては再還元炉 1 基分の容量を持つと共に、再還元炉で処理済の再還元球のバッファ貯蔵としての機能を持たせられるよう、再還元炉数の 2 倍の機器数とした。なお、次工程の焼結炉の容量が大きいが、焼結炉は連続炉であり、再還元球貯層の切替運転により必要な原料の供給が可能である。

(j) 焼結炉、焼結球貯槽

焼結炉の処理条件は、平成 15 年度設計に包絡されるため、機器設計としては平成 15 年度設計と同等とした。

焼結球貯槽は単基の容量としては焼結炉 1 基分の容量を持つと共に、焼結炉で処理済の焼結球のバッファ貯蔵としての機能を持たせられるよう、焼結炉数の 2 倍の機器数が必要である。しかしながら、厳しい臨界上の制約から、上記機器数では容器全高が過大（4m、部屋に設置して還元炉から受け入れることを考慮すると 2m 程度が望ましい）となってしまうため、機器数は焼結炉の 4 倍とした。

(k) 分球装置、真球度判定装置、分球装置貯槽

分球装置及び真球度判定装置については、単体では臨界上の制約はあたらぬい（貯蔵・滞留部位がない）と考えて、処理能力に合わせて機器数を設定した。
分球装置貯槽については、焼結球貯槽と同一仕様に設定した。

(l) 被覆生成装置

被覆生成装置の条件については、平成 15 年度設計と同じ機器サイズ・容量として機器数の見直しを行った。

(m) 被覆粒子真球度判定装置、被覆粒子貯槽

前出の真球度判定装置、分球装置貯槽と同じ条件とした。

(n) 被覆粒子中間貯蔵庫

機器の容量、サイズは平成 15 年度設計と同じとし、容量にあわせて機器数の見直しを行った。

(o) 振動充填装置

内側炉心と外側炉心向けにそれぞれ 1 系統とする。なお、2. 3. 2 項の結果より、本装置は縦置き型装置と横置き型装置（反転機能付き）から構成される。

(p) 焼結装置

焼結装置は、2. 3. 2 項の検討の結果、一体あたり約 18 時間の処理時間を想定しており、1 基当たり 1 体強／日の処理能力としかならないことから、これに合わせて機器数を設定した。なお、内側炉心と外側炉心では区別しないこととした。

(q) 燃料集合体組立検査装置

燃料集合体組立検査装置は、平成 15 年度設計と同じ機器サイズ・容量として機器数を設定した。なお、内側炉心と外側炉心向けにそれぞれ 1 系統とした。

(r) 六角ブロック密度検査装置

燃料およびプランケット燃料共用で、1 系統とした。

(s) 燃料集合体貯蔵庫

燃料集合体の貯蔵ピッチについては、原型炉もんじゅの新燃料貯蔵施設や、炉システムの燃料取扱・貯蔵システムにおける新燃料の貯蔵ピッチを参考に、400mm（暫定）とした。

b. プランケット燃料ライン機器の基数の設定

プロセスフローに基づき、プランケット燃料ラインの各機器の基数を検討した。検討結果を、表 2. 3. 1-3 に示す。プランケット燃料については、軸方向と径方向ブ

ランケットでは粒子仕様が同じことから、軸方向と径方向との区分は行わないものとしたが、処理能力が内側炉心燃料に比べても約3倍と大きいことから、2系統で構成する方針とした。

各機器の容量検討にあたっては、2.1項で整理した平成15年度設計における各機器の容量を基準として、本システムで必要となる必要処理量を勘案した。なお、炉心燃料とは異なり、臨界上の制約がないことから、機能上許せる限りの機器の大型化により、必要基数の削減を図るものとした。

以下に、各機器の機器数の設定の考え方を示す。

(a) 富化度調整液受入槽

必要容量が確保できる円筒容器のサイズを設定した。機器数については、運転中に次のバッチの溶液を受け入れられるよう、 $100\% \times 2$ 基構成としている。

(b) 滴下液混合槽、滴下液供給槽、滴下・熟成槽

滴下液混合槽は、必要量が確保できるように容器サイズを設定した。滴下・熟成槽は、装置の大きさは機能確保の面から平成15年度設計と同等とした上で、必要容量を確保できるよう基数を増加させた。

滴下液供給槽の基数は、機能上滴下・熟成槽の4倍（ノズル数）とし、必要量が確保できる容器サイズを設定した。

(c) 洗浄装置

炉心燃料の欄に記載のとおりであり、機器容量は平成15年度設計と同等、機器数は滴下・熟成槽の2倍とした。

(d) 乾燥装置

炉心燃料の欄に記載のとおりであり、臨界上の制約がないことから、必要基数は滴下・熟成槽と同数とした。

(e) 乾燥ゲル球貯槽

培焼炉と同じ基数、処理容量とした。

(f) 培焼炉、培焼球貯層

培焼炉は、平成15年度設計の機器容量と同等とした。培焼球貯槽については炉心燃料の欄に記載と同じである。

(g) 還元炉、還元球貯層

還元炉は、平成15年度設計の機器容量と同等とした。還元球貯槽については炉心燃料の欄に記載と同じである。

(h) 炭素熱還元炉、窒化還元球貯槽

炭素熱還元炉は、平成 15 年度設計と同等とした。

窒化還元球貯槽については、炉心燃料の欄に記載と同じである。

(i) 再還元炉、再還元球貯槽

再還元炉は、平成 15 年度設計と同等とした。再還元球貯槽については炉心燃料の欄に記載と同じである

(j) 焼結炉、焼結球貯槽

焼結炉は、平成 15 年度設計と同等とした。

焼結球貯槽は单基の容量としては焼結炉 1 基分の容量を持つと共に、焼結炉数の 2 倍の機器数が必要である。

(k) 分球装置、真球度判定装置、分球装置貯槽

炉心燃料の欄に記載のとおりである。ただし、ここから先の系統については、細型のセル内には収まらず、比較的広い空間に配置する必要性があることから 1 ライン構成としている。

(l) 被覆生成装置

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、軸方向と径方向は仕様が一緒のため、区別はせずに同じ系統で処理する。

(m) 被覆粒子真球度判定装置、被覆粒子貯槽

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、軸方向と径方向は仕様が一緒のため、区別はせずに同じ系統で処理する。

(n) 被覆粒子中間貯蔵庫

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、軸方向と径方向は仕様が一緒のため、区別はせずに同じ系統で処理する。

(o) 振動充填装置

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、軸方向と径方向は仕様が一緒のため、区別はせずに同じ系統で処理する。

(p) 焼結装置

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、軸方向と径方向は仕様が一緒のため、区別はせずに同じ系統で処理する。

(q) 燃料集合体組立検査装置

炉心燃料の欄に記載のとおりである。但し、径方向ブランケット燃料のライ

ンのみとなる。

(r) 六角ブロック密度検査装置

炉心燃料の欄に記載のとおりであり、ブランケット燃料ライン専用装置は設けない。

(s) 燃料集合体貯蔵庫

炉心燃料の欄に記載のとおりである。

c. 全体構成の設定

a. 及びb. 項の検討結果を反映して、全体系統構成を検討した。検討結果を、図2.3.1-1に示す。同図に示すように、焼結炉までのラインは合計4ライン構成(内側炉心、外側炉心、ブランケット2系統)とし、被覆生成装置及び中間貯蔵庫については、粒子の種類に応じた3ラインに集約している。また、燃料集合体組立装置及び燃料集合体貯蔵庫については、さらに1系統に集約している。これにより、それぞれのラインのバランスが取れた構成とすることことができた。

表 2. 3. 1-1 核燃料物質の物質収支と評価に用いる想定物量

単位 : kg/日

	平成 16 年度「ガス炉用縦方向流れ冷却六角ブロック燃料製造システムの調査」での想定			平成 15 年度「窒化物被覆粒子燃料の燃料製造システム」での設定
	原料投入	被覆工程	ブロック製造	
内側炉心	226.7 (240)	208.2 (220)	206.1 (220)	300
外側炉心	195.8 (210)	179.8 (200)	178.0 (200)	240
ブランケット燃料	688.7 (700)	632.5 (650)	626.1 (640)	860
合計	1111.1 (1150)	1020.4 (1070)	1010.1 (1060)	1400

備考

本年度の想定の上段は、2.2 項による

下段(カッコ内)は、上記数値を大きい側に丸め数値であり、この値を機器容量設定に用いた。

表2.3.1-2 炉心燃料粒子ライン機器数の設定

<数値単位:mm>

分類	機器名	基準条件(平成15年度検討)				本年度検討結果						備考		
		臨界条件	機器型式	機器サイズ	機器有効容量(1基分)	内側炉心条件		内側炉心条件		外側炉心条件		機器サイズ	機器有効容量(1基分)	
原料投入	富化度調整液受入槽	幅85以下(Cd吸收体付)	円環槽(Cd吸收体付)	φ 5000*h5000 (貯蔵部幅85) 外側のh3500	内:6500L 外:4500L	6300L×2 (7日分)	2	5040L×2 (7日分)	2	3680L×2 (7日分)	2	φ 4000*h5000 (貯蔵部幅85) 外側のh3700	内:5200L 外:3800L	バッチ、次バッチ分の受入基数 外径の削減が可能
	滴下液混合槽	幅85以下(Cd吸收体付)	円環槽(Cd吸收体)	φ 1000*h1000 (貯蔵部幅85)	250L	250L	1	200L	1	155L	1	φ 850*h1000 (貯蔵部幅85)	200L	外径の削減が可能
	滴下液供給槽	内径261以下(Cd吸收体付)	円筒容器(Cd吸收体)	φ 260*h500	25L	250L	12	200L	12	155L	8	φ 230*h500	20L	滴下・熟成槽数の4倍(ノズルが4箇所/基) 径の削減が可能
	滴下・熟成槽	幅85以下(Cd吸收体付)	円環槽(Cd吸收体)	φ 600*h600 (貯蔵部幅85)	90L	250L	3	200L	3	155L	2	φ 600*h600 (貯蔵部幅85)	90L	オリジナル設計と同一仕様 性能面の差はない
	洗净装置	内径261以下(Cd吸收体付)	円筒容器(Cd吸收体)	φ 260*L2400	100L	洗净水:2450 IPA:1250L	6	洗净水:1960 IPA:1000L	6	洗净水:1550 IPA:790	4	φ 260*L2400	100L	運用上、滴下・熟成槽の基数の2倍必要 容量はオリジナル設計と同じ
	乾燥装置	内径147以下(Cd吸收体付)	横置き円筒型(Cd吸收体付)	φ 145*L3200	50L	460kg	6	370kg	6	310kg	4	φ 145*L3200	50L	運用上は滴下・熟成槽の基数と同数でかまわないが、臨界上容量が確保できないため機器数を増やした(2倍)
	乾燥ゲル球貯槽(移送用)	内径147以下(Cd吸收体付)	円筒容器(Cd吸收体)	φ 145*h2000	31L (75kg)	160kg	3	130kg	2	105kg	2	φ 145*h1750	26L (65kg)	培焼炉と同基数、同じ処理容量とした 高さの削減が可能
	培焼炉	内径119以下	横置き円筒型	φ 115*h4500	26L (65kg)	160kg	3	130kg	2	105kg	2	φ 115*h4500	26L (65kg)	オリジナル設計と同一仕様
	培焼球貯槽	内径219以下	円筒容器	φ 200*h1300	32L (190kg)	50kg	2	40kg	2	35kg	2	φ 200*h1300	32L (190kg)	還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 オリジナル設計と同一容量(培焼炉の容量をカバー)
	還元炉	内径219以下	横置き円筒型	φ 215*h4500	26L (90kg)	50kg	1	40kg	1	35kg	1	φ 215*h4500	26L (90kg)	オリジナル設計と同一仕様
	還元球貯槽	内径219以下	円筒容器	φ 200*h1300	32L (180kg)	360kg (24h分)	4	290kg (24h分)	4	250kg (24h分)	4	φ 200*h1100	32L (150kg)	炭素熱還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 長さの削減が可能(公称容量は変わっていない)
	炭素熱還元炉	トレー厚22以下	トレー型	トレー 20*2000*800	32L (180kg)	360kg (24h分)	2	290kg (24h分)	2	250kg (24h分)	2	トレー 20*1700*800	27L (300kg)	トレー長さの削減が可能
	窒化還元球貯槽	内径99以下	円筒容器	φ 95*h2000	14L (100kg)	300kg (24h分)	8	240kg (24h分)	6	210kg (24h分)	6	φ 95*h1600	10L (80kg)	炭素熱還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 長さ寸法の削減が可能(配置制約上2000が上限)
	再還元炉	内径108以下	横置き円筒型	φ 105*h2000	10L (70kg)	38kg	1	30kg	1	27kg	1	φ 105*h2000	10L (70kg)	オリジナル設計から臨界上の制約を考慮して径寸法削減
	再還元球貯槽	内径108以下	円筒容器	φ 105*h1700	14L (100kg)	38kg	2	30kg	2	27kg	2	φ 105*h500	4L (30kg)	再還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 高さ寸法の削減が可能
	焼結炉	トレー厚22以下	トレー型	トレー厚さ20	39L (280kg)	150kg (12h分)	1	120kg (12h分)	1	105kg (12h分)	1	トレー厚さ20	39L (280kg)	オリジナル設計から臨界上の制約を考慮してトレー径寸法削減
	焼結球貯槽	内径99以下	円筒容器	φ 95*h2000	14L (100kg)	150kg (12h分)	4	120kg (12h分)	4	105kg (12h分)	4	φ 95*h1200	8L (60kg)	焼結炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 高さ寸法の削減が可能
	分球装置				100kg/h	150kg (12h分)	1	120kg (12h分)	1	105kg (12h分)	1		100kg/h	
	真球度判定装置				0.5kg/h	150kg (12h分)	25	120kg (12h分)	20	105kg (12h分)	18		0.5kg/h	基数削減が可能
	分球装置貯槽	内径99以下	円筒容器	φ 95*h2000	14L (100kg)	150kg (12h分)	4	120kg (12h分)	4	105kg (12h分)	4	φ 95*h1200	8L (60kg)	焼結球貯槽と同一条件
被覆工程	被覆生成装置	質量制限 15.9kgHM以下	円筒容器	φ 200*h2000	10kgHM/ バッチ	300kg (24h分)	11	220kg (24h分)	8	200kg (24h分)	7	φ 200*h2000	10kgHM/ バッチ	基準条件ベース
	被覆粒子真球度判定装置				0.5kg/h	300kg (24h分)	25	220kg (24h分)	19	200kg (24h分)	17		0.5kg/h	
	被覆粒子貯槽	内径99以下	円筒容器	φ 95*h2000	14L (100kg)	150kg (12h分)	4	110kg (12h分)	2	105kg (12h分)	2	φ 95*h1200	8L (60kg)	焼結球貯槽と同一条件 バッファ不要であり、基数は半分
	被覆粒子中間貯蔵庫		貯蔵ラック	φ 50*h2000 ピッチ400	3.9L (27kg)	4200kg (14日分)	160	3080kg (14日分)	120	2800kg (14日分)	110	φ 50*h2000 ピッチ400	3.9L (27kg)	基数削減が可能
燃料組立貯蔵	振動充填装置							1.67体/日	1	1.44体/日	1		1.67体/日	
	焼結装置							3.11体/日	3				1.04体/日	内側炉心用と外側炉心用は共用する
	燃料集合体組立検査装置					2体/日	1	1.67体/日	1	1.44体/日	1		1.67体/日	
	六角ブロック密度検査装置					2体/日	1	4.2体/日	1				4.2体/日	内側炉心用、外側炉心用、プランケット燃料用で共用
	燃料集合体貯蔵庫		貯蔵ラック	ピッチ400		400体 (1年分)	1式	334体 (1年分)	1式	288体 (1年分)	1式	ピッチ400		内側炉心用と外側炉心用は貯蔵エリアを共用する

備考

- (1) 平成15年度条件の必要処理量及び機器基数は、内側炉心条件に対応するものである
(2) 備考中のオリジナル設計とは、平成15年度の検討で比較対照とした設計を指す

表2.3.1-3 ブランケット粒子ライン機器数の設定

<数値単位:mm>

分類	機器名	基準条件(平成15年度検討)				本年度検討結果			備考	
		機器型式	機器サイズ	機器有効容量 (1基分)	ブランケット球条件 必要処理量(パッチ又 は3時間あたり)	機器基数	ブランケット球条件 必要処理量(パッチ又 は3時間あたり)	機器基数		
原料投入	富化度調整液受入槽	円筒容器	φ 3000*h3200	21000L	20300L×2 (7日分)	2	16600L×2 (7日分)	2	φ 2700*h3000 17000L	径、高さの削減が可能
	滴下液混合槽	円筒容器	φ 800*h900	420L	815L	2	665L	2	φ 800*h800 350L	高さの削減が可能
	滴下液供給槽	円筒容器	φ 260*h850	40L	815L	24	665L	16	φ 260*h900 42L	滴下・熟成槽数の4倍(ノズルが4箇所/基)
	滴下・熟成槽	円筒容器	φ 600*h600	160L	815L	6	665L	4	φ 620*h600 180L	オリジナル設計の容器と同等サイズを狙い、4%の性能向上分は容器径を拡大
	洗净装置	円筒容器	φ 260*L2400	100L	洗净水:8250 IPA:4150	12	洗净水:6750 IPA:3400	8	φ 260*L2400 100L	運用上、滴下・熟成槽の基数の2倍必要
	乾燥装置	横置き円筒型	φ 260*L4000	210L	1550kg	6	1300kg	4	φ 260*L4000 210L	運用上、滴下・熟成槽と同数必要
	乾燥ゲル球貯槽 (移送用)	円筒容器	φ 145*h2000	31L (75kg)	510kg	8	420kg	8	φ 145*h1750 26L (65kg)	培焼炉と同基数、同じ処理容量とした
	培焼炉	横置き円筒型	φ 115*h4500	26L (65kg)	510kg	8	420kg	8	φ 115*h4500 26L (65kg)	オリジナル設計と同一仕様
	培焼球貯槽	円筒容器	φ 200*h650	20L (65kg)	130kg	4	110kg	4	φ 200*h600 18L (55kg)	還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 高さの削減が可能
	還元炉	横置き円筒型	φ 215*h4500	26L (85kg)	130kg	2	110kg	2	φ 215*h4500 26L (85kg)	オリジナル設計と同一仕様
	還元球貯槽	円筒容器	φ 300*h1300	90L (495kg)	990kg (24h分)	4	810kg (24h分)	4	φ 300*h1100 75L (415kg)	炭素熱還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 長さの削減が可能
	炭素熱還元炉	トレー型	トレー 30*2000*800	45L (245kg)	990kg (24h分)	4	810kg (24h分)	4	トレー 30*1700*800 40L (210kg)	炉心燃料用と同じ面積
	窒化還元球貯槽	円筒容器	φ 200*h2000	60L (430kg)	850kg (24h分)	4	700kg (24h分)	4	φ 200*h1700 50L (360kg)	炭素熱還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 長さの削減が可能
	再還元炉	横置き円筒型	φ 105*h2000	10L (70kg)	110kg	2	90kg	2	φ 105*h2000 10L (70kg)	炉心燃料用と同じ仕様
	再還元球貯槽	円筒容器	φ 200*h300	8L (60kg)	97kg	4	80kg	4	φ 200*h300 7L (50kg)	再還元炉一基分のバッファ・切替運転用の基数
	焼結炉	トレー型	トレー厚さ20	39L (270kg)	430kg (12h分)	2	350kg (12h分)	2	トレー厚さ20 39L (270kg)	炉心燃料用と同じ仕様
	焼結球貯槽	円筒容器	φ 200*h1100	33L (220kg)	430kg (12h分)	4	350kg (12h分)	4	φ 200*h1000 30L (200kg)	焼結炉一基分のバッファ・切替運転用の基数 長さの削減が可能
	分球装置			100kg/h	430kg (12h分)	1	350kg (12h分)	1	100kg/h	
	真球度判定装置			0.5kg/h	430kg (12h分)	72	350kg (12h分)	60	0.5kg/h	基数削減が可能
	分球装置貯槽	円筒容器	φ 200*h1100	33L (220kg)	430kg (12h分)	4	350kg (12h分)	4	φ 200*h1000 30L (200kg)	焼結球貯槽と同一条件
被覆工程	被覆生成装置	円筒容器	φ 200*h2000	10kgHM/バッ チ	860kg (24h分)	28	650kg (24h分)	22	φ 200*h2000 10kgHM/バッ チ	基準条件ベース
	被覆粒子真球度判定裝 置			0.5kg/h/台	860kg (24h分)	72	650kg (24h分)	56	0.5kg/h/台	基数削減が可能
	被覆粒子貯槽	円筒容器	φ 200*h1100	33L (220kg)	430kg (12h分)	2	325kg (12h分)	2	φ 200*h1000 30L (200kg)	焼結球貯槽と同一条件 バッファ不要であり、基数は半分
	中間貯蔵庫(被覆粒子)	貯蔵ラック	φ 50*h2000 ピッチ400	3.9L (27kg)	12040kg (14日分)	450	9100kg (14日分)	22	φ 200*h2000 62L (430kg)	臨界制約がないため径を拡大
燃料組立貯蔵	振動充填装置			1体/日	1体/日	1	1.1体/日	1		
	焼結装置						1.1体/日	1		
	燃料集合体組立検査裝 置			1体/日	1体/日	1	1.1体/日	1		
	六角ブロック密度検査裝 置			1体/日	1体/日	1				炉心燃料用と共に用する
	燃料集合体貯蔵庫	貯蔵ラック	ピッチ400	200体 (1年分)	200体 (1年分)	1式	220体 (1年分)	1式	ピッチ400 220体 (1年分)	

備考

- (1) 備考中のオリジナル設計とは、平成15年度の検討で比較対照とした設計を指す
(2) ブランケット燃料粒子ラインは、2系統より構成する

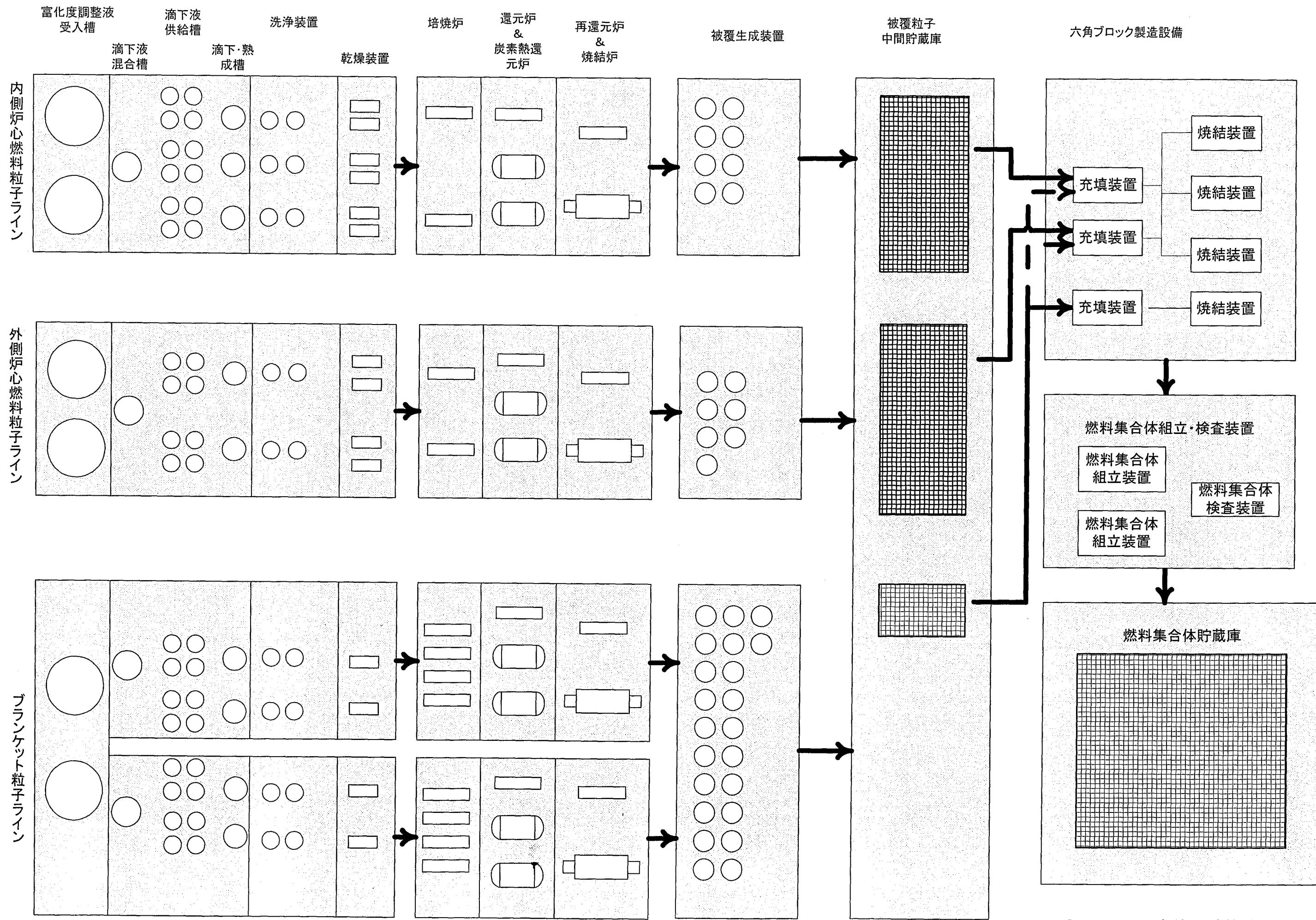


図2.3.1-1 全体系統構成

2.3.2 六角ブロック製造設備の基本概念検討

(1) 概要

本節では、サイクル機構段より提示された六角ブロック製造プロセス及び製造装置基本概念に基づき、セル内設置の基本要求機能の整理と、配置・物量評価に必要な基本概念及び外形寸法の設定を行った。

(2) 基本要求機能の整理

基本要求機能を整理して、表 2.3.2-1 に示す。

また、前提とした SiC 六角ブロックの枠構造を、図 2.3.2-1 に示す。

(3) 六角ブロック製造手順の検討

六角ブロックの充填手順を、図 2.3.2-2 及び以下に示す。

ステップ①

六角の枠を縦置きにした状態で受け入れ、上部の開口から炉心燃料粒子を受入れる。なお、あらかじめ、仕切り板のうちの上方（可動仕切り板）は、上部の開口の上まで引き上げておく。

ステップ②

振動充填により 1 次粒子を所定量まで投入する。

ステップ③

2 次粒子を弱加振させながら、所定量まで投入する。

ステップ④

ステップ①で上方に退避させておいた可動仕切り板を下げると共に、可動仕切り板が移動しないように固定する。

ステップ⑤

粒子充填部を板で拘束したまま振動を与え充填する。これにより、粒径の異なる粒子が分離することを防ぐ。

ステップ⑥

可動仕切り板を再度引上げる。

ステップ⑦

3 次粒子を弱加振させながら所定量まで投入する。

ステップ⑧

ステップ⑥で上方に退避させておいた可動仕切り板を下げると共に、可動仕切り板が移動しないように固定する。

ステップ⑨

粒子充填部を板で拘束したまま振動を与え充填する。これにより、粒径の異なる粒子が分離することを防ぐ。

ステップ⑩

全体を横倒しにし、上部プランケット粒子を投入する。

ステップ⑪

振動充填を行い、2次粒子、3次粒子が所定の容量入ることを確認してふたを装着する。なお、ふたが移送中に動かないよう、アタッチメントを取り付ける。

ステップ⑫

ステップ⑩、⑪と同様に、下部プランケット粒子を投入し、振動充填・ふたの装着を行い、アタッチメントを取り付ける。

(4) 製造設備基本概念の検討

製造手順に基づき、各設備の構造概念を具体化すると共に、取扱の手順を検討した。全体取扱手順を図 2.3.2-3 に示す。また、各機器の構造概念を、図 2.3.2-4~7 に示す。

a. 六角ブロック支持装置

六角ブロック支持構造の概念図を、図 2.3.2-4 に示す。パレット等で受入れられた枠構造を持ち上げ、振動充填装置に移送すると共に、振動充填装置上でも枠構造を支持するための機能を有している。また、振動充填後には、バッチ式の焼結炉に横置き状態で収納する。

振動充填は、縦置き型と横置き型の 2 種類があるため、本支持構造にもそれぞれの装置と取り合えるよう、取り付けフランジを設けている。

枠構造の固定は、六角の面内で固定する固定装置と、縦方向を固定する押し付け装置とから構成する。また、六角ブロック支持構造を縦置き及び横置き状態で吊るための吊具を設けている。

b. 振動充填装置（縦置き型）

縦置き型振動充填装置の概念図を、図 2.3.2-5 に示す。枠構造を立てた状態で

炉心燃料粒子を充填するための装置である。なお、枠構造の起立は、次の横置き型振動充填装置に設けた反転装置で対応する。

枠構造の組み込みは、セル内クレーンにより行い、枠構造の取り付けフランジ部で自動結合される。

炉心燃料粒子の投入は、自立式の充填ノズル／仕切り板固定装置で遠隔で行う。

その他、可動仕切り板を上下移動及び固定するための機能を有している。

c. 振動充填装置（横置き型：反転機能付き）

横置き型振動充填装置（兼燃料反転装置）の概念図を、図 2.3.2-6 に示す。本装置は、プランケット燃料を横置きで投入・振動充填するための装置であるとともに、燃料の支持部はトランニオン構造を有しており、縦置きでの充填の前に枠構造を起立する機能も有している。

d. 焼結装置

焼結装置の概念図を、図 2.3.2-7 に示す。本装置は、枠構造をバッチ方式で焼結する横置き型の炉であり、炉の上部のふたは自動で開閉し、枠構造を受入れてふたを閉止して焼結を行う。

加熱方式は内熱型とし、ヒータの周囲には耐高温性の断熱層を配置している。枠構造の支持は、一般のバッチ炉に比べて対象物が細長いため、連続炉に類似のレンガ製の台座とともに、台座にも加熱用のヒータを埋め込んで周方向の温度分布が出来ないようにしている。

なお、容器構造の外周には、冷却用のパイプを設置している。

表 2.3.2-1 六角ブロック製造設備の主要工程と前提条件、設備設計条件の整理

工程	前提条件等（確認事項）	設備設計上考慮すべき事項
受入・振動台上設定	<p>外枠は以下の状態で組み立てられている（別図参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 六角の枠と軸方向の仕切り板2枚（3区分）が接合されている。但し、1枚の仕切り板は可動式とする。 ② 冷却管が必要本数全て挿入されている ③ 六角の枠の一面の上部及び下部プランケット領域に、粒子充填用開口が設けられている ④ 六角の枠は、加振に対して十分な強度を有していると共に、振動台と固定（仕切り版位置でクランプ）出来ること 	<ul style="list-style-type: none"> ① 外枠を受け入れ、振動台上に1体固定できること ② 固定部は、枠材の製作誤差によるたわみを考慮してもクランプできること（クランプ力により六角の枠を破損しないこと）
振動充填	<p>振動充填は以下により行うものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 炉心燃料領域の粒子は縦置きで、充填し、プランケット燃料領域は横置きで充填する。 ② それぞれの領域ごとにSiC被覆粒子（1次球）を所定のレベルまで充填する。なお、プランケット燃料領域については、ラッパ状の受け治具をセットし、受け治具のレベルで制御する。 ③ 上記の状態で上下方向に加振する。加振により粒子の表面レベルが下降するが、このレベルはあらかじめ評価しておき、追加投入等は行わない。 ④ 引き続いて2次粒子、3次粒子を充填する。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 受け治具をセットできること。受け治具は振動により外れないよう、外枠に固定できること。 ② 受け治具に以下の4種類のノズルで定量充填できること。なお、充填状況はITVにより目視確認出来ること。 <ul style="list-style-type: none"> ・燃料粒子 ・プランケット粒子 ・2次粒子（共通） ・3次粒子（共通） ③ 加振機は、振動充填に必要な所定の加振力を得られること。また、縦置き状態、横置き状態の2種類の加振が可能のこと。 ④ 振動台上に飛散した粒子の回収が出来ること
蓋締め（振動台上にて）	<p>蓋締めは以下により行うものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 振動充填に用いた受け治具を取り外し、開口部の周辺に付着した粒子を除去する。 ② SiC蓋をセット後、有機珪素ポリマ（リング状）及びSiC蓋押さえを装着する ③ 脱落防止用のアタッチメントを各開口部回りに装着する 	<ul style="list-style-type: none"> ① SiC蓋及びSiC蓋押さえの表面が、外枠の表面から出っ張らないよう脱落用アタッチメントで支持できること ② このアタッチメントは、焼結炉に入れた際には取り外しできること
焼結装置受入・焼結	<p>以下により受入れるものとする</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 焼結装置はバッチ式とし、1体づつ焼結する。 ② 六角ブロックは、開口部を上面にして焼結する。 ③ 焼結条件は、アルゴンガス雰囲気、常圧下で、まず1000°Cまで昇温、1時間保持して、SiC蓋の接合を行い、引き続き1450°Cまで昇温、1時間保持してSiCマトリックス形成を行う ④ 焼結プロセス終了後は、出来る限り全体を均一な状態にしながら降温し、所定の温度まで下がった状態で六角ブロックを取出す。 ⑤ 上記により、昇温6時間、1000°C及び1400°Cでの保持（途中の昇温含む）4時間、降温8時間の運転を目標とする。この結果、1体当たりの所要時間は約18時間となり、1基1日あたり約1.3体の処理が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 焼結装置は、横置き上部插入方式（上蓋を開放して焼結対象を吊りこむ）を基本とする（暫定） ② 焼結装置には冷却装置を設け、冷却時間が過度にかかるないように出来るものとする。
六角ブロックの搬入・搬送		<ul style="list-style-type: none"> ① 六角ブロックの搬入（振動台への設置）、焼結装置への吊り込み・設置、焼結装置からの取出し・搬出は、上吊り・移送方式を基本とする ② 炉心燃料領域への充填のために、枠構造の起立機能を持たせること。

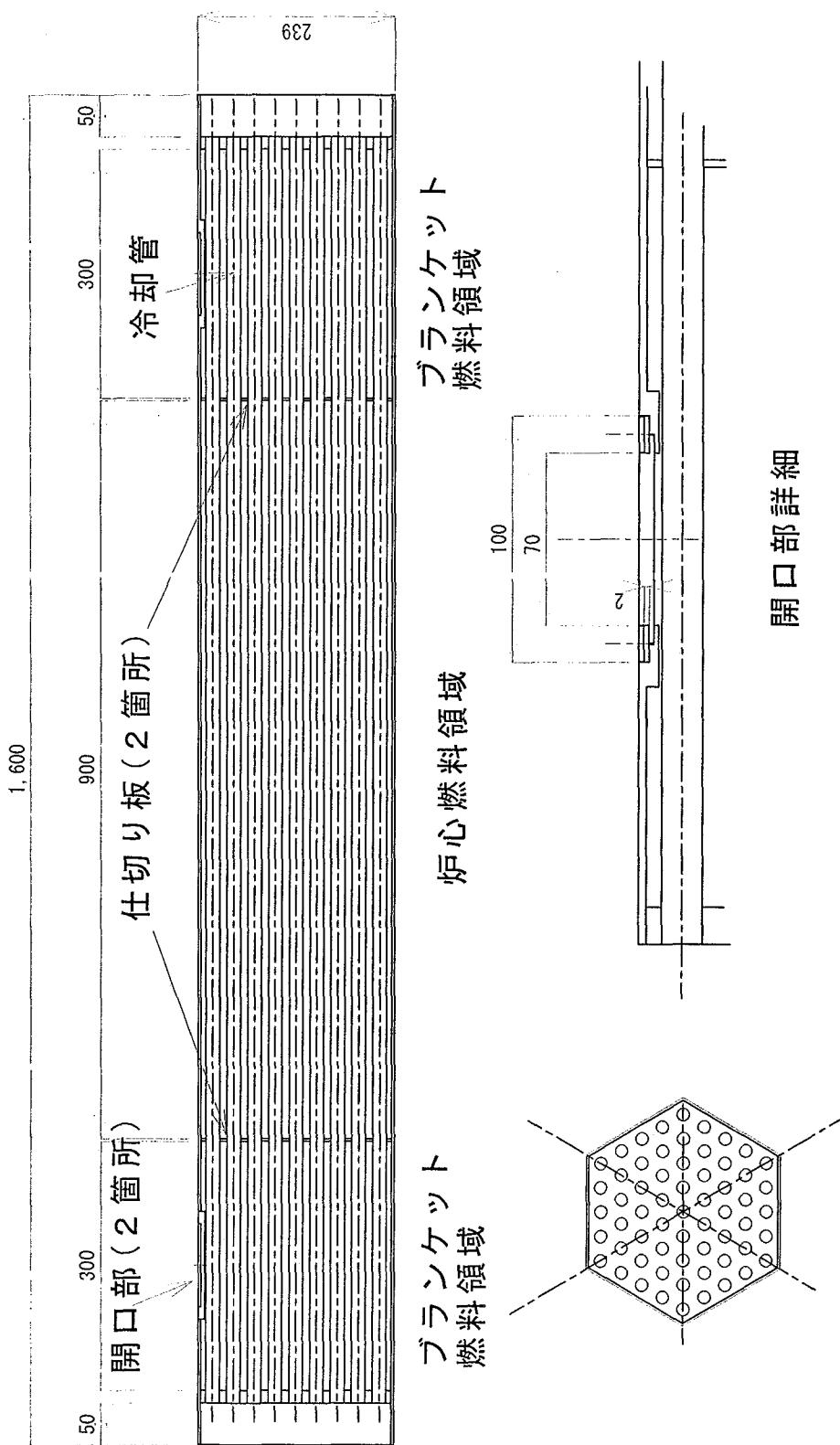
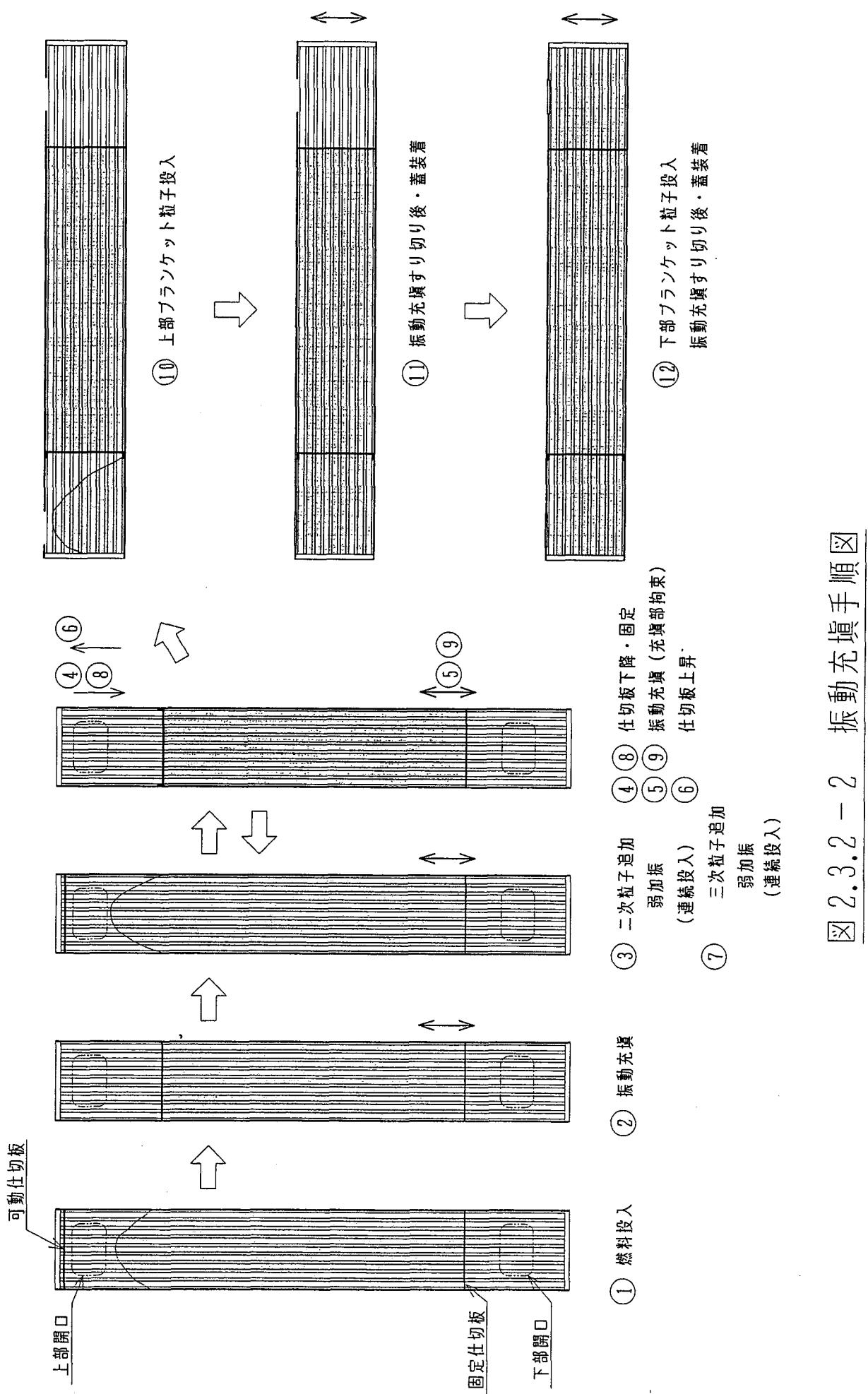


図2.3.2-1 受入状態の六角の枠



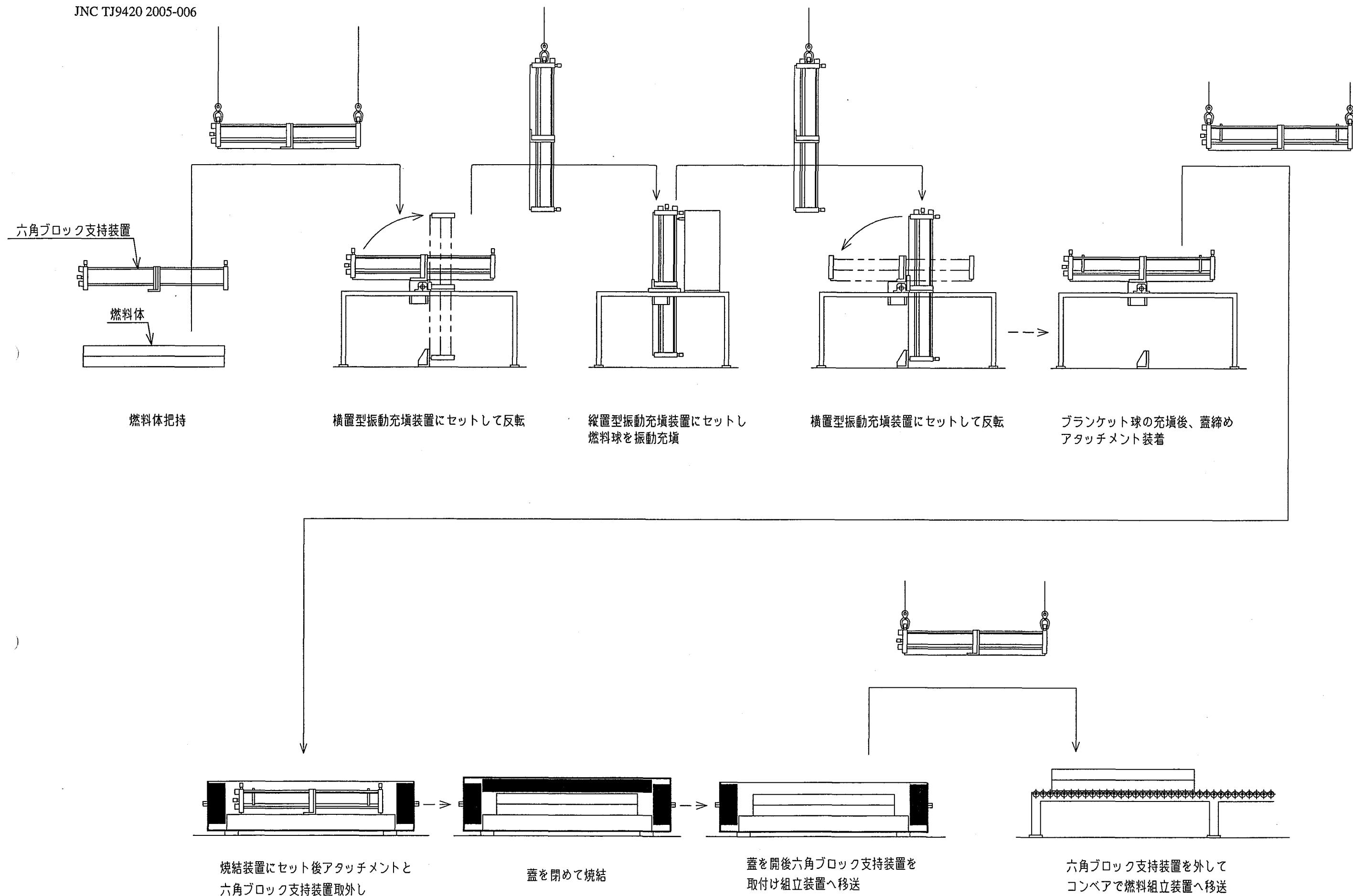


図2.3.2-3 全体フロー図

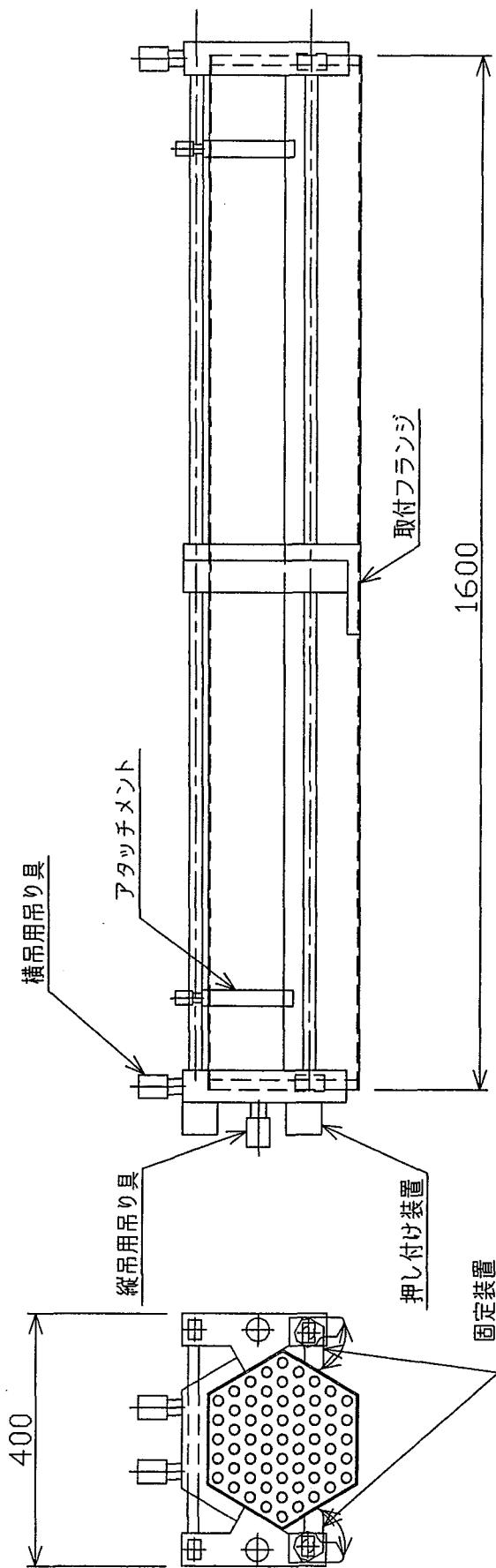


図2.3.2-4 六角ブロック支持装置概念図

充填用ノズル／仕切り板固定装置

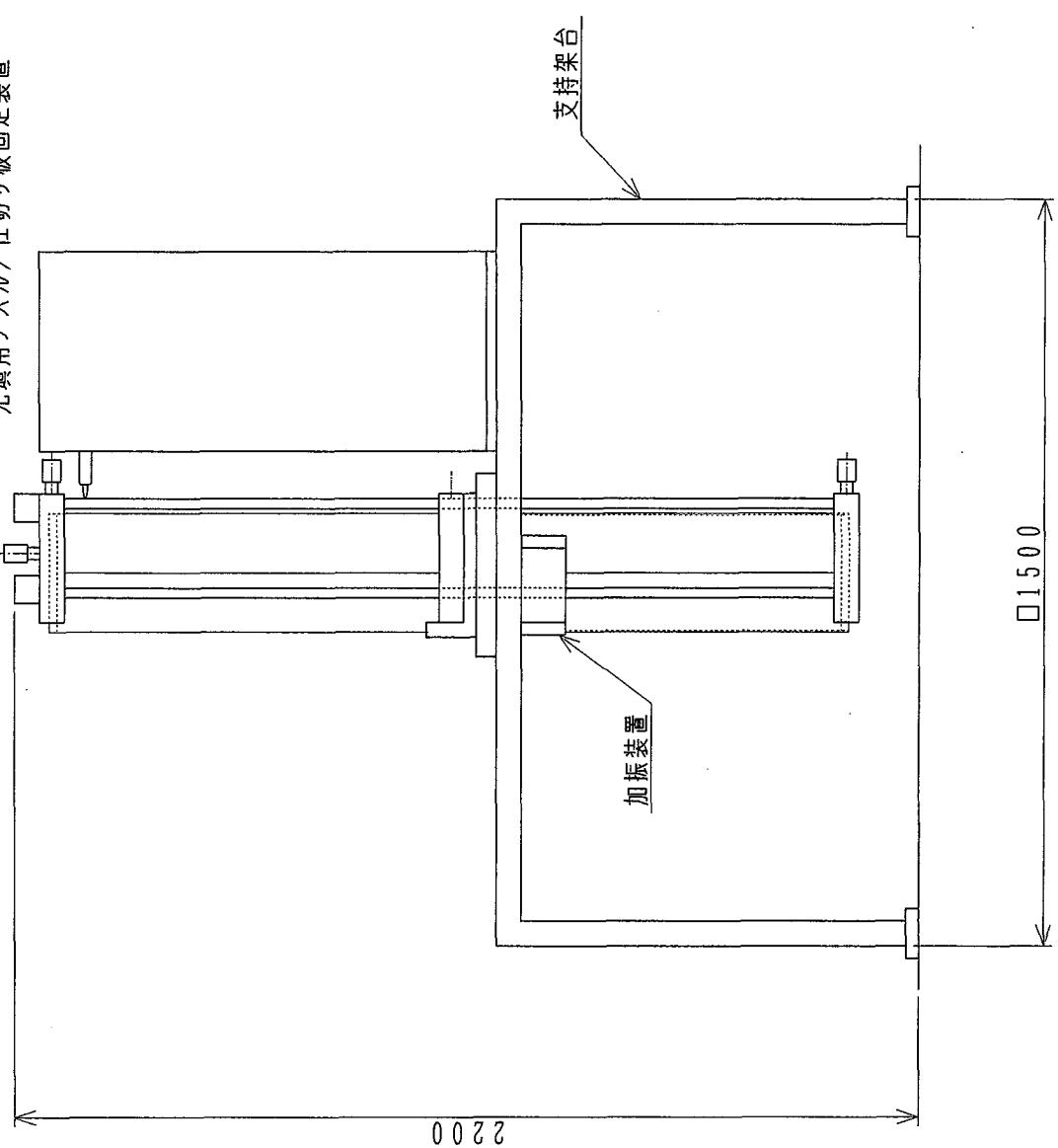


図 2.3.2-5 振動充填装置概念図（縦置き型）

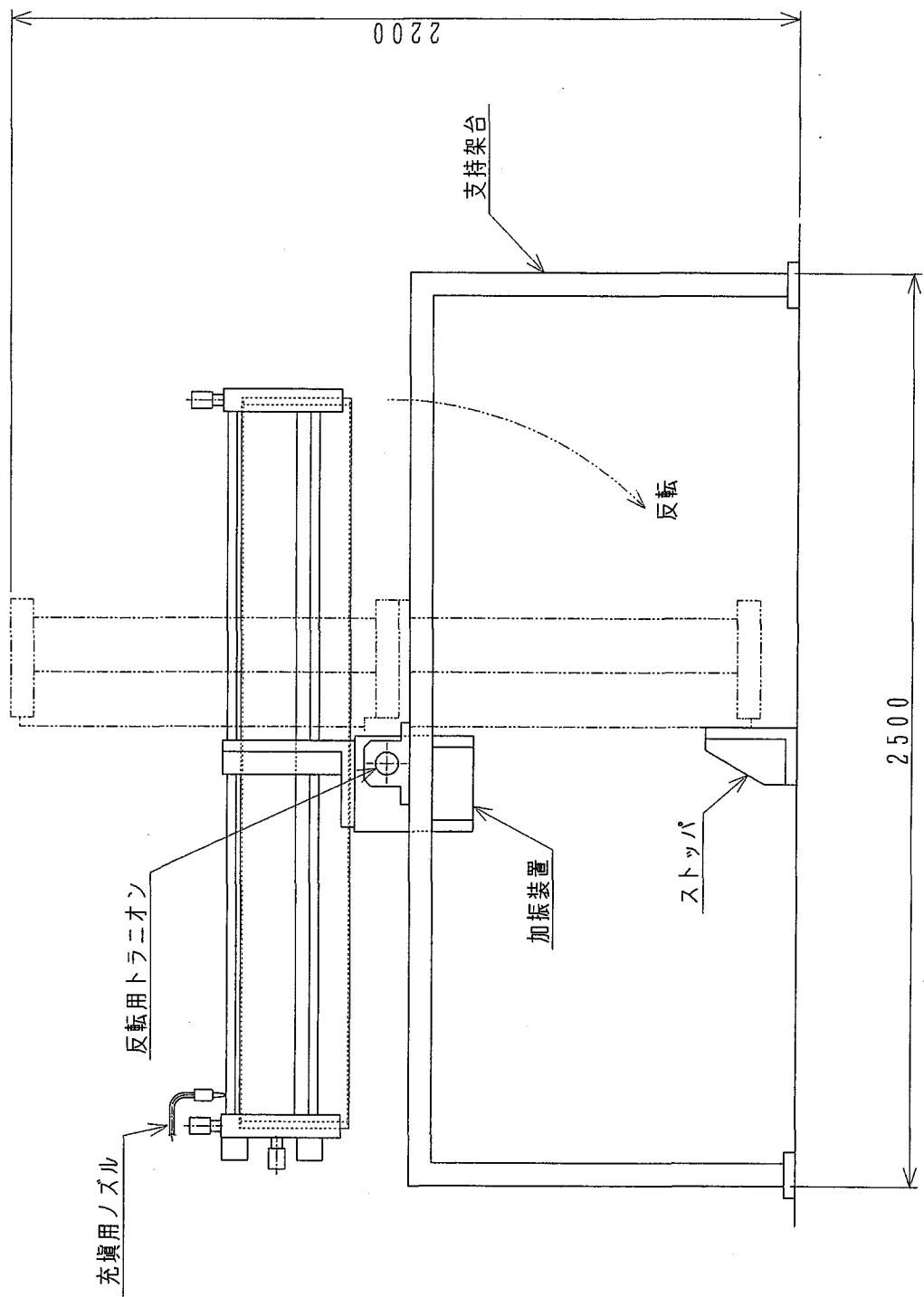


図 2.3.2-6 振動充填装置概念図（横置き型）

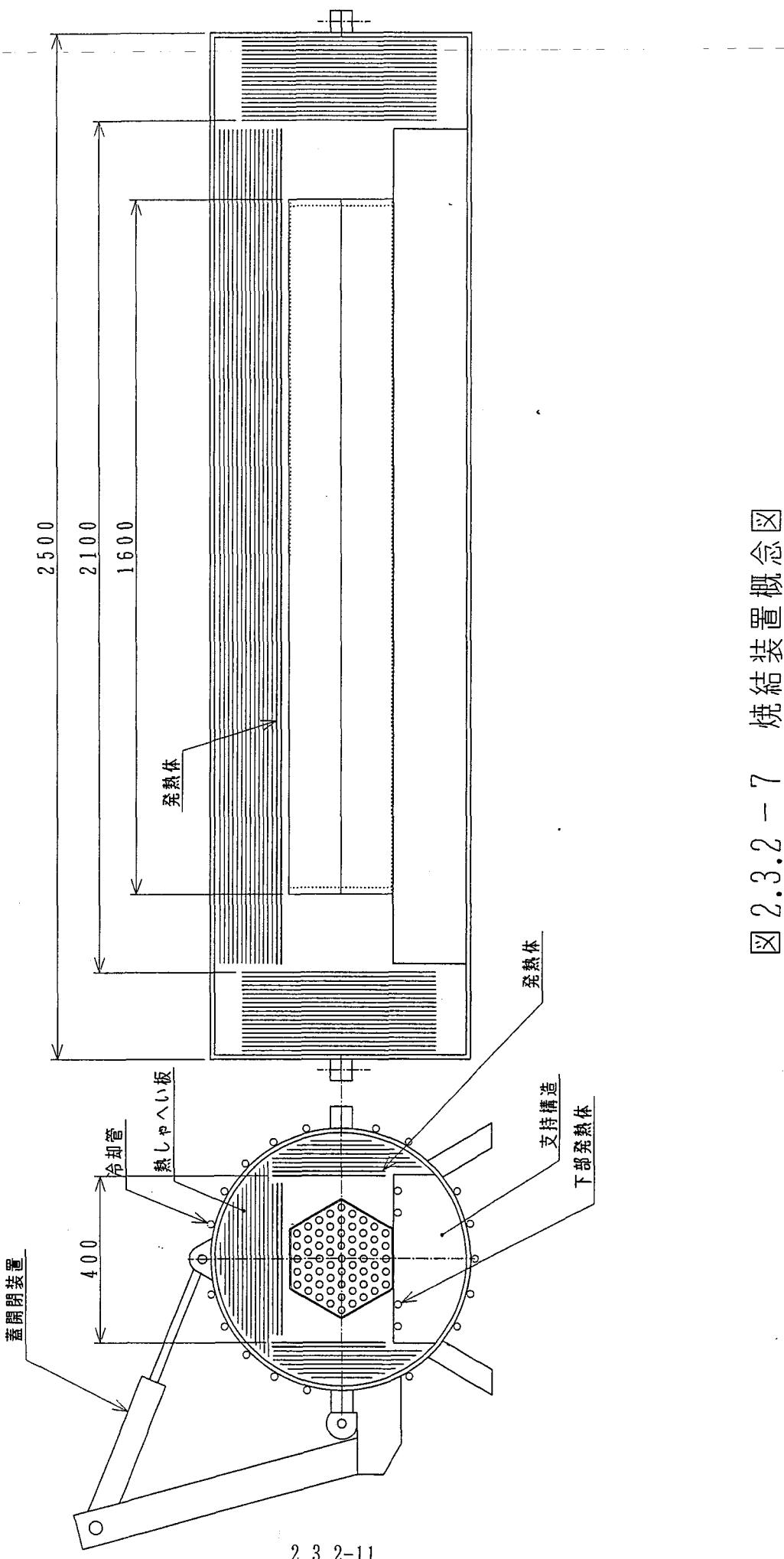


図 2.3.2-7 焼結装置概念図

2.3.3 六角ブロック燃料集合体組立検査設備の基本概念検討

六角ブロックを燃料集合体に組立検査する六角ブロック燃料集合体組立検査設備について要求機能の整理と配置・物量評価に必要なレベルの外形寸法設定を行う。

(1) 要求機能及び設計条件

六角ブロック燃料集合体組立設備は、六角ブロック製造設備から SiC マトリクス層に被覆粒子を分散させた六角ブロックを受け取り、ハンドリングヘッド、上部遮へい体、下部遮へい体及びエントランスノズルを接合し、集合体としての最終検査を行う設備である。検査完了後の燃料集合体は、燃料貯蔵庫に移送される。六角ブロックは低除染 MA 添加燃料のため、MA 及び Pu からの放射線が強く、遠隔での取扱が要求される。したがって、基本要求機能は以下のとおりとなる。なお、プランケット燃料集合体は MA を添加していないが、FP の混入も考慮が必要であり、炉心燃料集合体と同様の機器にて組み立てるものとする。

- ①六角ブロックに遠隔でハンドリングヘッド等を接合し、燃料集合体構造を組み立てられること。
- ②燃料集合体検査を遠隔で行えること
- ③六角ブロックを六角ブロック製造設備より搬送し、組み立てた燃料集合体を燃料集合体貯蔵庫に搬出できること
- ④取扱時の遮へいをセルのコンクリートにより確保できること
- ⑤万が一のセル内設備故障時には、燃料物質をセル外に搬出し、作業員の直接メンテナンスを可能とすること

設計条件は表 2.3.3-1 に示すとおりである。燃料集合体の組立時の条件としては、以下を想定する。

- ・六角ブロックとハンドリングヘッド、エントランスノズル等の接合はセラミクスネジにより行うものとする。
- ・上記の接合は遠隔で実施できるものとする。

以上の条件での集合体の組立フローを図 2.3.3-1 に示す。ハンドリングヘッドと上部遮へい体、エントランスノズルと下部遮へい体はそれぞれ、燃料製造設備外の部品工場で一体組立した上で、燃料製造設備のセル内に移送し、六角ブロックとセラミクスネジにより接合する。

また、燃料集合体の検査項目を表 2.3.3-2 に示す。従来の燃料では、集合体検査の前に燃料ピン状態の検査が行われているが、被覆粒子からブロックを成形するため、合わせて六角ブロックの検査項目についても記載した。HTTR 燃料での必須検査項目である、O/M レシオ、露出燃料割合及び被覆層破損割合（燃料コンパクトをサンプリングにより破壊検査）については本検討では除外する。その理由は以下のとおりである。

①O/M レシオ (N/M レシオ)

O/M レシオは窒化物燃料では N/M レシオに相当するが、酸化物燃料と異なり遊離した窒素 15 が炉内構造物に悪影響を及ぼさないと考えられること（酸化物燃料では遊離酸素が炉内構造物に悪影響を及ぼさないように酸素量の最小化の要求あり）、UN は融点まで不定比がほとんど現れないと（酸化物燃料では不定比性を示し、上記要求から製造プロセスの配慮で O/M レシオを小さくしているため管理項目としている）から、不要となる。

②露出燃料割合及び被覆層破損割合

HTTR では被覆層及び燃料コンパクトを 1 つのバリアとして想定していたため、被覆層破損率及び直接コンパクトから露出している燃料の割合を確認する必要があるが、本燃料では六角ブロック枠内に被覆粒子を入れる製法となっており、六角ブロックの外に直接露出する燃料粒子はないことからこれらの測定は不要である。

ただし、開発 R & D の中で本燃料集合体の被覆粒子破損の信頼性を確認してゆく必要がある。本項目については、今後の課題となる。

以上から燃料集合体検査としては以下の項目が対象となる。

- ①密度（空隙率）検査
- ②重量検査
- ③外観・構成部品検査
- ④寸法検査
- ⑤表面汚染検査
- ⑥材料検査

なお、表 2.3.3-2 に示すとおり⑥については記録照合であり、②は天井クレーンによる重量計測のため、専用設備により遠隔測定が必要なのは①、③～⑤となる。

(2) 六角ブロック燃料集合体組立検査設備概念の設定

以上の要求機能、検査項目の整理結果を基にして、六角ブロック燃料集合体組立検査設備概念を設定した。図 2.3.3-2 に全体設備概念を示す。表 2.3.3-3 には要求機能と対応する設備の関係を示す。図 2.3.3-3 に燃料集合体組立検査装置、図 2.3.3-4 に六角ブロック密度測定装置の概念を示す。集合体の組立検査の手順は以下のとおりである。

- ①六角ブロック搬送コンベアにより六角ブロックを六角ブロック製造設備から燃料集合体組立検査装置に移送する。
- ②燃料集合体組立検査装置では、ハンドリングヘッド／エントランスノズルをそれぞれの供給装置により六角ブロックに挿入し、遠隔ネジ締め機構でネジ締め固定する。
- ③燃料集合体組立検査装置の中で組み立てた集合体を起立回転機構に移動し、直立させた後、検査装置昇降機構と起立回転装置の組み合わせで、寸法検査、外観検査、表面汚染検査を行う。
- ④インセルクレーンによる六角ブロック密度測定装置への移送時に質量測定器で重量を測定する。
- ⑤六角ブロック密度測定装置でX線CTにより六角ブロック部の密度測定を行う。
- ⑥インセルクレーンと燃料集合体移送台車により、燃料集合体貯蔵庫に集合体を移送する。

なお、万が一の六角ブロック燃料集合体組立検査設備の故障時には、室内の六角ブロックまたは集合体を室外に搬出することにより対応する。六角ブロックについてはコンベアを逆方向に移送することで六角ブロック製造設備側に戻す。コンベアの故障で搬送が停止しないようにコンベア駆動系は多重化する。組立後の集合体についてはインセルクレーン、燃料集合体移送台車により搬送する。インセルクレーン、燃料集合体移送台車についても駆動装置のモータは多重化し、故障による搬送不能を防止する。

表 2.3.3-1 六角ブロック燃料集合体組立検査設備の設計条件

項目	炉心燃料	プランケット燃料	備考
1. 集合体仕様			
構成及び材料	<ul style="list-style-type: none"> ・六角ブロック : SiC 固相マトリクス/SiC 冷却管 ・ハンドリングヘッド : SiC 焼結体 ・エントランスノズル : SiC 焼結体 ・上部遮へい体 : SiC 焼結体 ・下部遮へい体 : SiC 焼結体 		
集合体全長	4300mm		
六角ブロック長	1500mm		
ハンドリングヘッド +上部遮へい体長	1270mm		ハンドリングヘッドと上部遮へい体は設備外で成形されセル内搬入
エントランスノズル +下部遮へい体長	1530mm		エントランスノズルと下部遮へい体は設備外で一體成形されてセル内搬入
集合体対面間距離	239.0mm		
被覆粒子充填率	50%		
2. Pu 富化度 (w%)	内側炉心 : 22.9 外側炉心 : 24.4	0	
3. MA 添加率	1.5%	0%	
4. 燃料集合体設備生産量	200tHM/y		
5. 年間操業日数	200 日 (1 日 24 時間)		
6. 製造量／日	1000kgHM/d		
7. 集合体生産体数／d	内側炉心 : 1.67 外側炉心 : 1.44	径方向 : 1.10 (軸方向 : 3.10)	
8. 六角ブロック燃料 集合体組立検査装置 雰囲気	空気		六角ブロック製造以降は 窒化物燃料が雰囲気に晒 される可能性は無く、空気 雰囲気とする

表 2.3.3-2 六角ブロック燃料集合体検査項目

対象物	検査項目	検査方法	頻度	検査目的	備考
六角ブロック	空隙率 (密度)	X線CT	全数	品質保証	HTTR コンパクトの測定項目（添付資料 2.3.3-1) X線CTにより六角ブロック内部の密度測定可能
燃料集合体	重量	クレーンでの荷重	全数	品質保証	Na炉燃料集合体計測項目
	材料検査	材料製造記録との照合	1試料／製造バッチ	品質管理	平成15年度JNC殿提示条件（添付資料 2.3.3-2)
	外観・構成部品	目視及び光学的計測(IVT)	全数	品質保証	同上
	寸法(ねじれ、まがり、全長、幅)	光学的計測	全数	品質保証	同上
	表面汚染	スミヤ法	全数	核管理	同上

表 2.3.3-3 六角ブロック燃料集合体組立検査設備の要求機構の設備概念の設定の考え方

要求機能	設備概念	設定の考え方及び取扱手順
六角ブロックの搬送	六角ブロック搬送コンベア (回転テーブル付き)	六角ブロック製造設備で横置きで製作された状態のまま水平搬送し、かつ、ブランケット、炉心燃料のそれぞれ異なる集合体組立装置で組立することから配置をコンパクトにできるコンベア搬送とした。六角ブロック製造設備との間は遮へい壁で仕切、炉心燃料用、ブランケット燃料用の集合体組立装置との間の移送は回転テーブルを組合わせるものとした。
六角ブロックとハンドリントラスノル接合	燃料集合体組立検査装置の以下の機構による ・遠隔ネジ締め機構 ・ブロック移送アーム ・ハンドリングヘッド供給装置 ・エントランスノズル供給装置	ピニ型燃料の集合体組立装置構成を基に、門型クレーンにより横行走行できる遠隔ネジ締め機構を組合せる。ブロック移送アームによりコンベアから移動した六角ブロックにハンドリングヘッド／エントラスノズルを差し込み、遠隔ネジ締め機構により接合する。
外観・部品構成検査、寸法検査、表面汚染検査	燃料集合体組立検査装置の以下の機構による ・集合体起立・回転機構 ・検査装置昇降機構 ・外観検査 ITV カメラ ・寸法検査部 (光学センサ) ・表面汚染検査部 (スミア)	基本的な考え方はピニ型燃料の燃料検査装置と同等の構成とする。 集合体を起立回転機構により直立させ、それぞれの検査装置を検査装置昇降機構により昇降させつつ、起立回転機構で集合体を回転させて集合体全体の検査を行う。
密度(空隙率)検査	六角ブロック密度測定装置 (X線CT装置)により測定する	X線CT装置の検査装置側に他の燃料のγ線の影響などが無いように区分した部屋に設置する。回転昇降機構とX線検査装置を組み合せた密度測定装置により測定する
重量測定	インセルクレーン上の質量測定装置	従来概念と同様に、集合体検査装置から密度測定装置への移送時にインセルクレーン上の質量測定装置により計測する。
集合体搬送	インセルクレーン(グリッパ付き) 燃料集合体移送台車	集合体製造設備室内の搬送はインセルクレーンにより行い、集合体製造設備室と集合体貯蔵庫間の移送は集合体移送台車で行うことで、万が一の集合体製造設備故障時の人との立ち入りが可能なよう相互の間の遮へいを確保しつつ移送する。

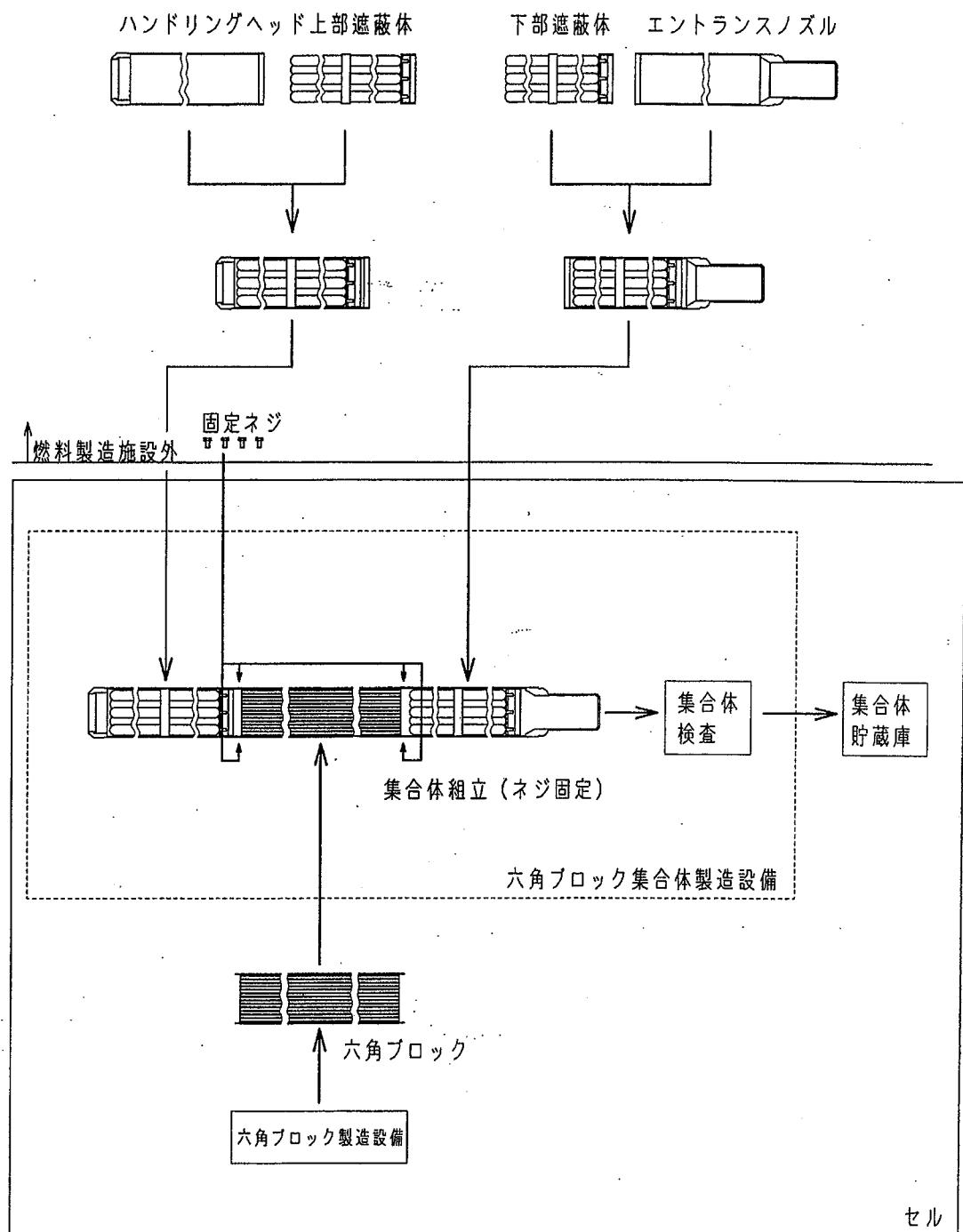


図 2.3.3-1 六角ブロック集合体組立フロー

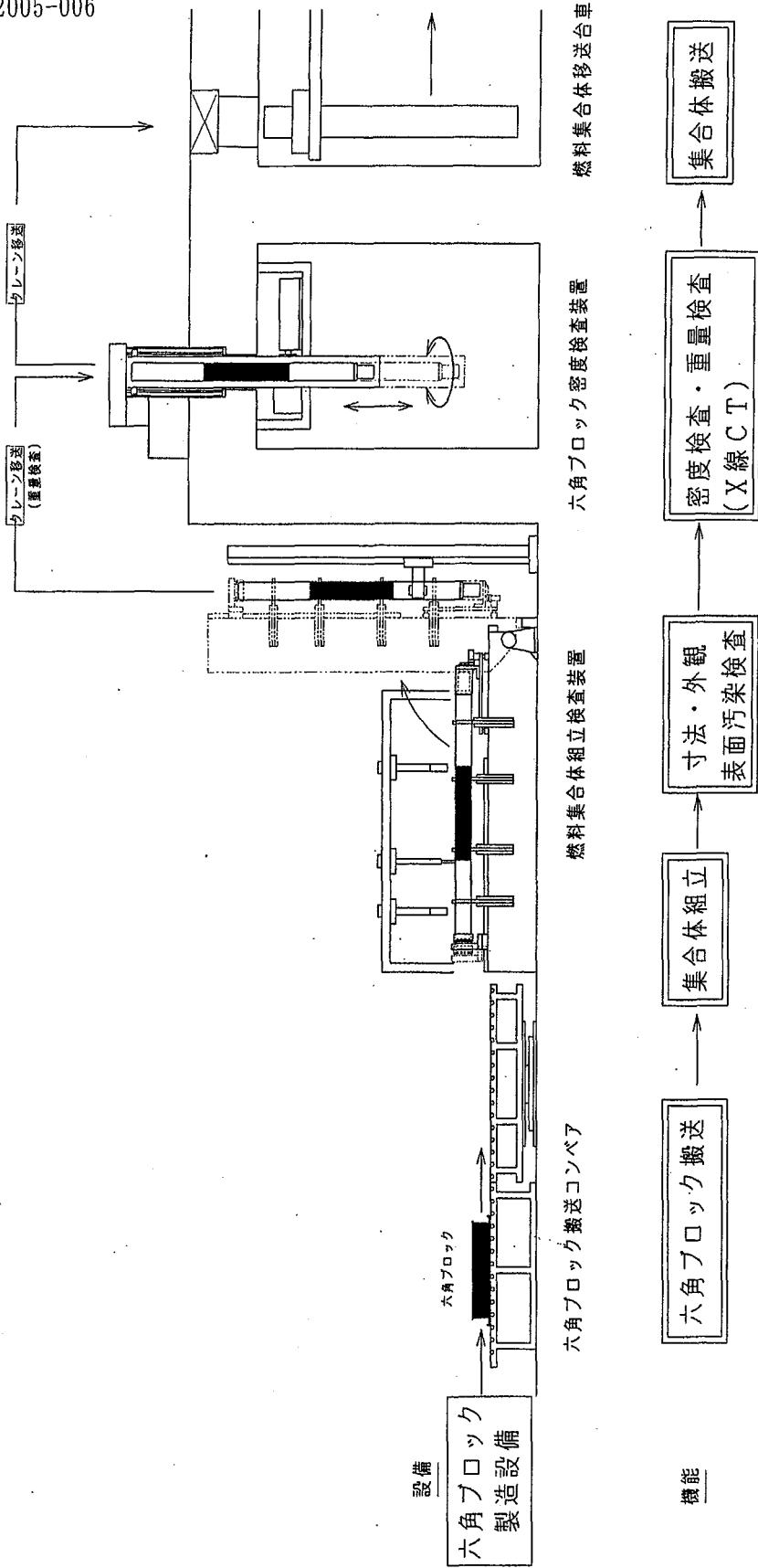


図 2.3.3-2 六角ブロック集合体組立検査設備 全体システム概念図

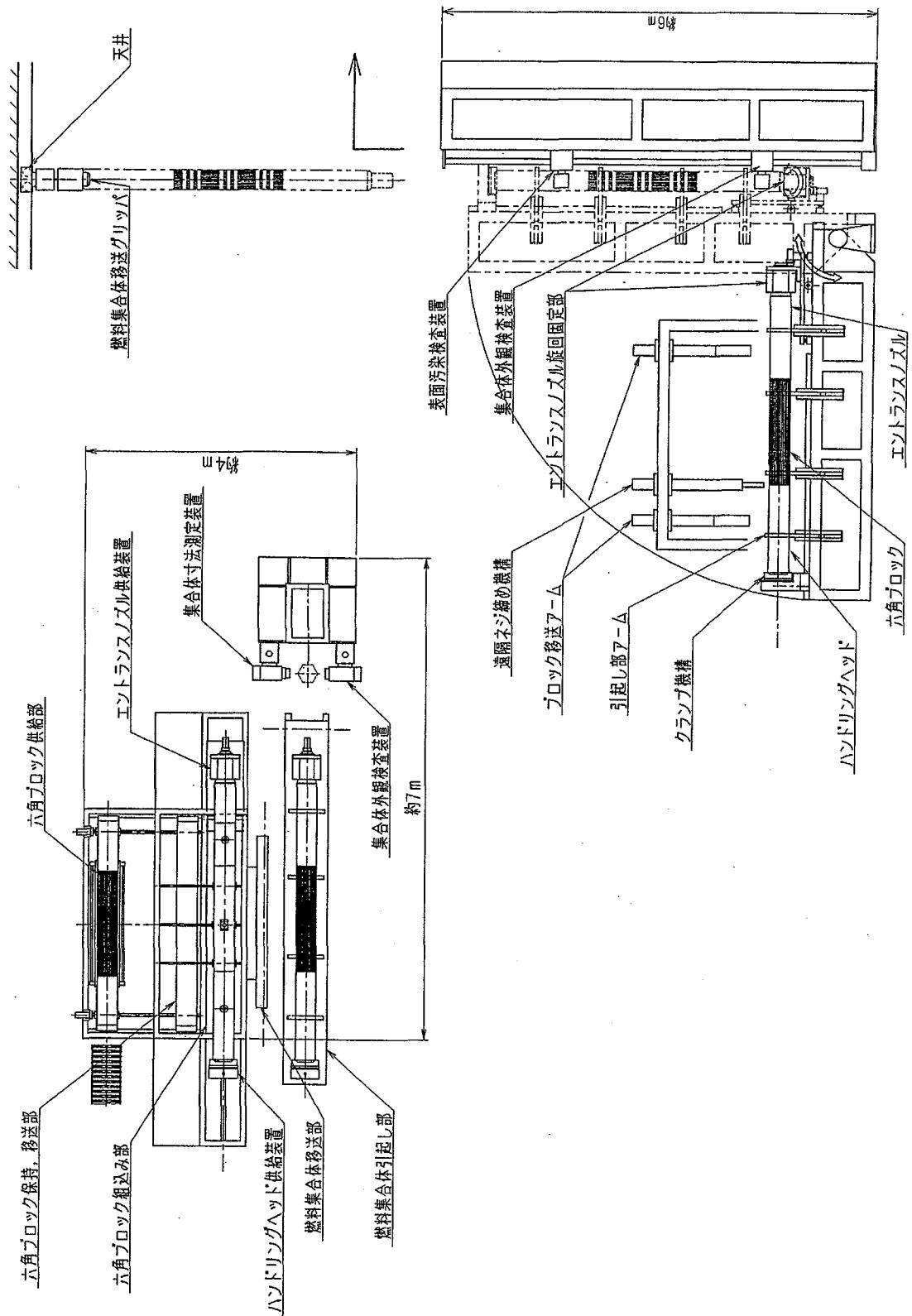


図 2.3.3-3 燃料集合体組立検査装置概念図

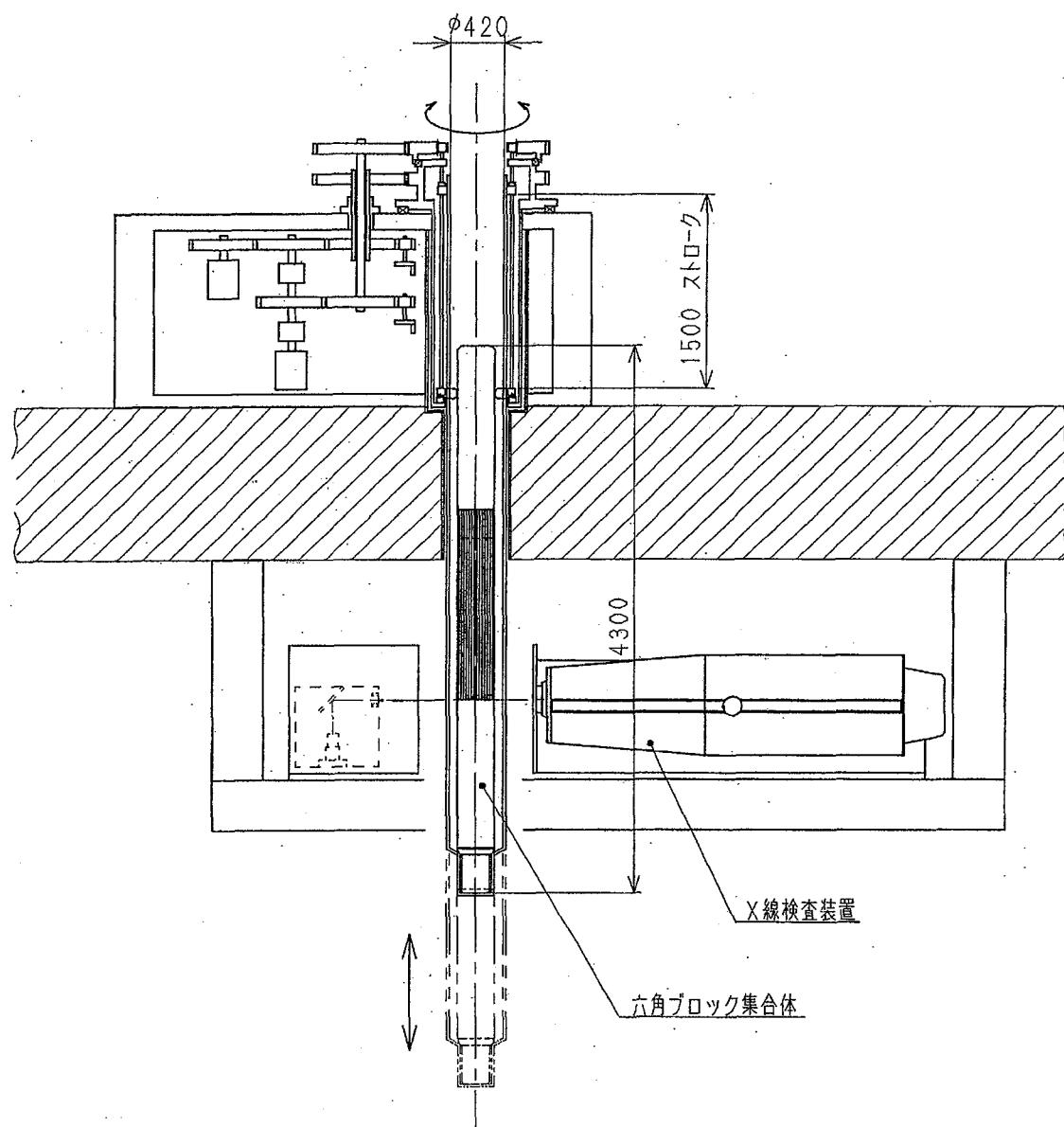


図 2.3.3-4 六角ブロック密度検査装置概念図

2.4 試薬回収設備の検討

サイクル機構殿より提示された、ゲル化顆粒燃料製造設備における試薬回収設備の概念調査結果を基に、本施設の物質収支に対応した試薬回収設備の機器構成を設定する。

「平成 15 年度 ゲル化顆粒燃料製造設備構成の調査」において実施された試薬回収設備の概念調査結果を添付資料 2.2.2-1 に示す。六角ブロック燃料製造システムの試薬回収設備機器構成は添付資料 2.2.2-1 に準じて設定した。系統構成及び機器仕様設定結果をそれぞれ図 2.4-1 系統構成図及び表 2.4-1 機器リストに示す。

系統構成は、大型機器であるゼオライト膜分離装置のみ処理量の増加に応じて台数を 1 台から 3 台に増やし、それ以外はゲル化顆粒燃料製造設備の系統構成と同じ構成・機器台数とした。各機器の重量は、機器リストに示す通り一律、流量比の 0.6 乗則に比例するものと仮定し算出した。機器サイズは、槽類については仕様に示す容量を満足するサイズに見直し、蒸留塔、凝縮器及び冷却器については直径が処理量比の 1/2 乗に比例するものとして設定した。

表2.4-1 試薬回収設備 機器リスト

工程	機器名称	型式	ゲル化顆粒燃料製造設備				六角ブロック燃料製造設備				備考(サイズ及び基数の考え方)
			仕様	サイズ	基数	重量t/基	仕様	サイズ	基数	重量t/基	
アンモニア蒸留	アンモニア蒸留原液受槽	豊型円筒槽	24 m3	Φ3000×4300H	2	3.5	36 m3	Φ3500×4300H	2	4.5	径拡大、1基予備
	蒸留塔 I	充填塔	21 t/d	Φ900×1800W×10000H	1	1.5	31 t/d	Φ1100×2200W×10000H	1	1.9	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とし、幅は直径の2倍とする
	凝縮器 I	多管式	4.6 t/d	伝熱面積 Φ1000×2500L	1	0.5	1.6 t/d	伝熱面積 Φ600×2500L	1	0.3	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	冷却器 I	多管式	16 t/d	伝熱面積 300A×2000L	1	0.1	29 t/d	伝熱面積 400A×2000L	1	0.1	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	アンモニア蒸留凝縮受槽	豊型円筒槽	5 m3	Φ2000×2000H	1	2.0	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.6	直径縮小
	アンモニア釜残受槽	豊型円筒槽	24 m3	Φ3000×4300H	1	3.5	36 m3	Φ3500×4300H	1	4.5	アンモニア蒸留原液受槽に同じ
	ポンプ I	遠心型	50 L/min	—	3	0.1	75 L/min	—	3	0.1	処理量比積算
	フィルタ I	精密ろ過	50 L/min	—	1	0.1	75 L/min	—	1	0.1	処理量比積算
IPA蒸留	IPA回収原液受槽	豊型円筒槽	10 m3	Φ2000×4000H	2	2.5	30 m3	Φ3500×3200H	2	4.8	径拡大・高さ縮小、1基予備
	蒸留塔 II	充填塔	8.2 t/d	Φ450×900W×6500H	1	0.5	25 t/d	Φ800×1600W×6500H	1	1.0	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とし、幅は直径の2倍とする
	凝縮器 II	多管式	7.3 t/d	伝熱面積 Φ600×2500L	1	0.3	22 t/d	伝熱面積 Φ1100×2500L	1	0.6	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	冷却器 II	多管式	0.9 t/d	伝熱面積 200A×1800L	1	0.1	3.3 t/d	伝熱面積 400A×1800L	1	0.2	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	IPA蒸留凝縮受槽	豊型円筒槽	10 m3	Φ2000×4000H	1	2.5	26 m3	Φ3500×3000H	1	4.4	径拡大・高さ縮小
	IPA釜残受槽	豊型円筒槽	5 m3	Φ2000×2000H	1	2.0	5 m3	Φ2000×2000H	1	2.0	—
	ポンプ II	遠心型	20 L/min	—	3	0.1	75 L/min	—	3	0.2	処理量比積算
	フィルタ II	精密ろ過	20 L/min	—	1	0.1	75 L/min	—	1	0.2	処理量比積算
精製 IPA	ゼオライト膜分離装置	真空ろ過型	7.3 t/d	6000W×5000D×3500H	1	10.0	22 t/d	6000W×5000D×3500H	3	10.0*	大型なので処理量比分、基数増加
	IPA受槽	豊型円筒槽	10 m3	Φ2000×4000H	1	2.5	26 m3	Φ3500×3000H	1	4.4	径拡大・高さ縮小
	膜分離ろ液受槽	豊型円筒槽	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	5 m3	Φ2000×2000H	1	1.9	径拡大
	ポンプ III	遠心型	50 L/min	—	2	0.1	150 L/min	—	2	0.2	処理量比積算
電析	電析分離受槽	豊型円筒槽	24 m3	Φ3000×4300H	2	3.5	36 m3	Φ3500×4300H	2	4.5	径拡大、1基予備
	電気透析装置	膜積層型	17 t/d	1000W×400D×2500H(100cell)	3	0.5	32 t/d	2000W×400D×2500H(100cell)	3	0.7	処理量比分幅増加
	濃縮液循環槽	豊型円筒槽	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	—
	電解透析装置	膜積層型	2.3 t/d	600W×400D×2500H(45cell)	1	0.3	4.5 t/d	1200W×400D×2500H(90cell)	1	0.4	処理量比分幅増加
	濃硝酸回収槽	豊型円筒槽	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	—
	濃アンモニア1次回収槽	豊型円筒槽	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	—
	濃アンモニア2次回収槽	豊型円筒槽	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	3.5 m3	Φ1500×2000H	1	1.5	—
	アンモニア放散器	充填塔	1.3 t/d	Φ500×1000	1	1.0	2.6 t/d	Φ800×1000	1	1.5	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	アンモニア回収器	充填塔	0.6 t/d	Φ500×1000	1	1.0	1.3 t/d	Φ800×1000	1	1.6	直径を $\sqrt{(処理量比)}$ 倍とする
	ポンプ IV	遠心型	50 L/min	—	1	0.1	100 L/min	—	1	0.2	処理量比積算
	ポンプ V	遠心型	20 L/min	—	2	0.1	40 L/min	—	2	0.2	処理量比積算
	ポンプ VI	ダイアフラム型	50 L/min	—	1	0.1	100 L/min	—	1	0.2	処理量比積算
	フィルタ III	精密ろ過	50 L/min	—	1	0.1	100 L/min	—	1	0.2	処理量比積算

*機器重量は、基数変更のない機器の場合、流量比の0.6乗則で補正した。

また、機器基数を変更している機器(ゼオライト膜分離装置にみ)は同重量とした。

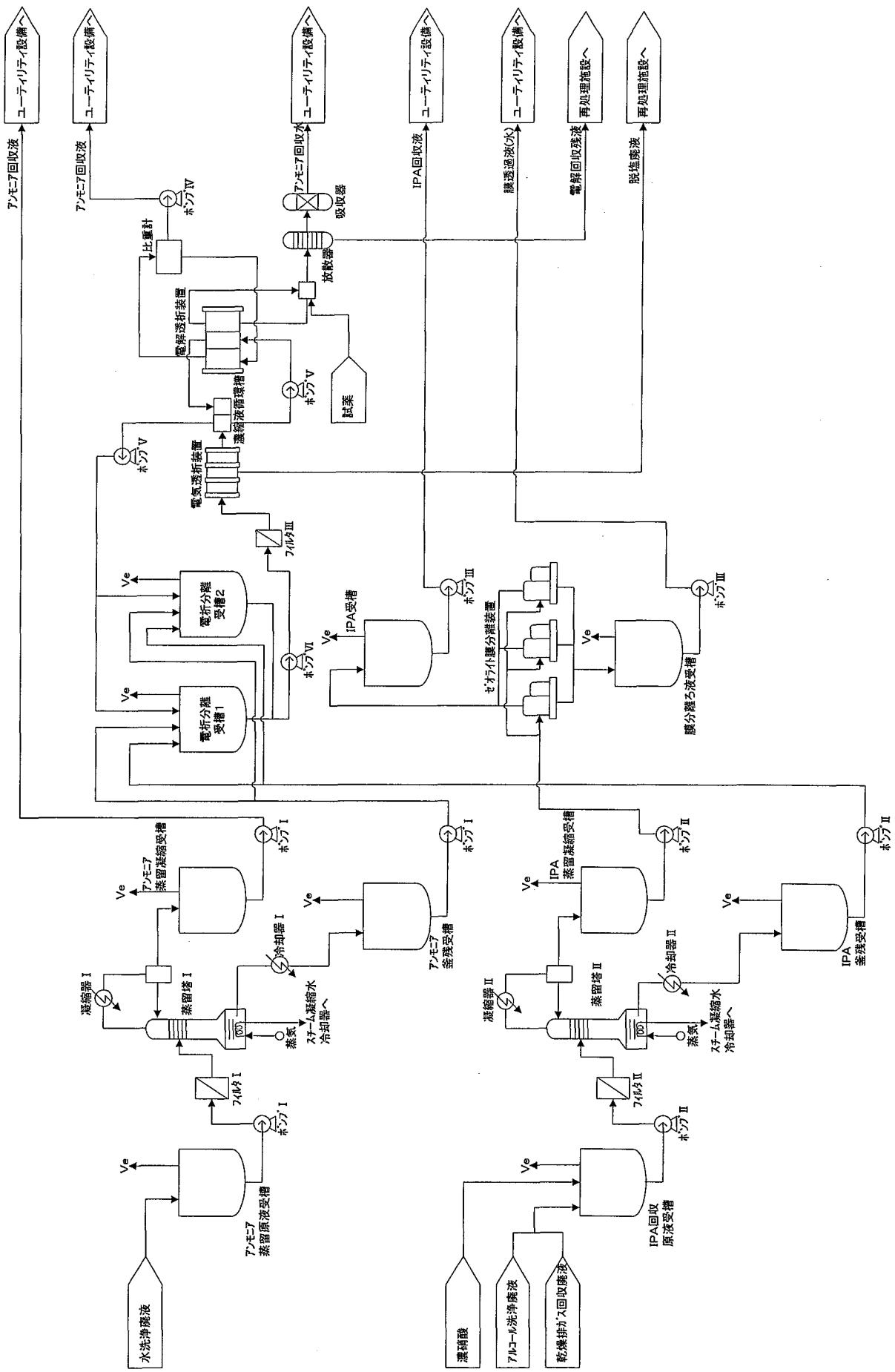


圖2. 4-1 試藥回收設備 系統構成圖

2.5 燃料製造プラントの概念調査（配置検討）

(1) 概要

燃料製造プラントの概念調査として、2.3項における主要工程設備の検討結果を受け、建屋全体配置計画を行った。検討結果を図2.5-1（立面図）、図2.5-2（3F）平面図、図2.5-3（2F）、図2.5-4（1F）及び図2.5-5（B1F）に示す。

(2) 検討結果

主要な考慮事項は以下のとおりである。

- ① 全体は、内側炉心燃料ライン、外側炉心燃料ライン、プランケット燃料ライン（1）及びプランケット燃料ライン（2）の4系統構成とする。
- ② 各種ユーティリティタンク類は、屋外に設置することで、建屋容積の削減を図るものとした。
- ③ それぞれのラインの構成機器は、うちのり約6mのセル内に配置し、セルの両面に設けたマスタスレーブマニプレータにより機器のメンテナンスが可能な配置とする。多数の機器から構成される被覆生成装置、真球度判定装置、振動充填装置、六角ブロック焼結装置等は、マスタスレーブでのメンテが難しいため、機器単位でメンテナンスエリアに移送して補修できる構成とする。
- ④ セルは、空気セルとアルゴンガスセルに分類され、比較的小型の機器から構成される空気セルについては、バルブ等の小型部品の補修が可能な共通メンテナンスエリアを設ける。焼結炉等の大型機器があるアルゴンガスセルについては、機器単位で移送して保修が可能な共通メンテナンスエリアを設ける。
- ⑤ 富化度調整液受入槽は1Fに配置し、3Fに設置した滴下液混合槽まではポンプにより移送するものとする。
- ⑥ 六角ブロック製造、燃料集合体組立検査、六角ブロック密度検査を経て燃料集合体移送台車の配置は、各物流を考慮した配置とする。
- ⑦ 被覆粒子中間貯蔵庫及び燃料集合体の貯蔵庫は、燃料種別によらず共通の貯蔵庫を用いることとし、貯蔵エリアの区分等により識別管理を行なえるようにする。
- ⑧ 廃液処理設備及び試薬回収設備は、最下層（B1F）で廃液が発生する側（空気セル側）に設置し、オフガス処理系は2Fのアルゴンガスセル側のスペースに集中配置している。なお、オフガス処理室に配置する機器の詳細検討は実施していないため、設置エリアを確保するのみとする。
- ⑨ 試薬回収設備は、アンモニア・IPA蒸留工程とIPA精製・電析工程に区分し、

試薬回収設備セルにそれぞれ配置する。

- ⑩ 試薬回収設備セル1内のアンモニア蒸留工程の蒸留塔Iは、高さが10mとなっているので、1階I-J通りに一部張り出させる配置とする。これに伴い、プランケット燃料ライン(2)の乾燥ゲル球貯槽をJ-L通りに集約し配置する。
- ⑪ 廃液処理設備については、プランケット燃料を考慮し、窒化物燃料製造設備に対して、セルを増加する。これに伴い、セルの配置を東西方向から南北方向にする。セルの増加分を西側にし、建屋容積の増加を最低限に押える。
- ⑫ 試薬回収設備室および廃液処理設備室は、セル室を接続し、ポンプ等の機器の保守は、(G-H)*(2-3)通りのハッチから2階のメンテナンスエリアへ機器を持ち込み行なうものとする。

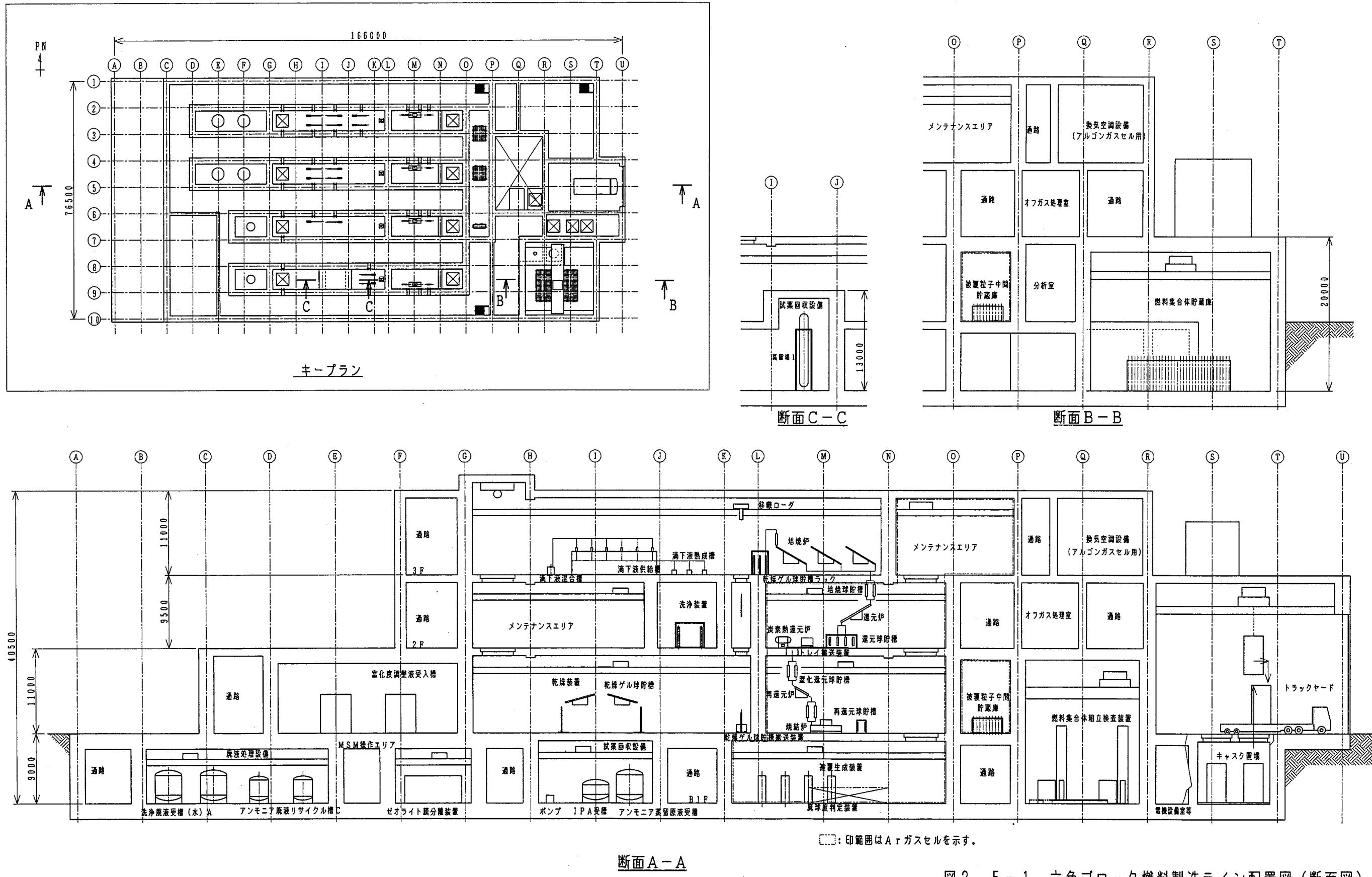
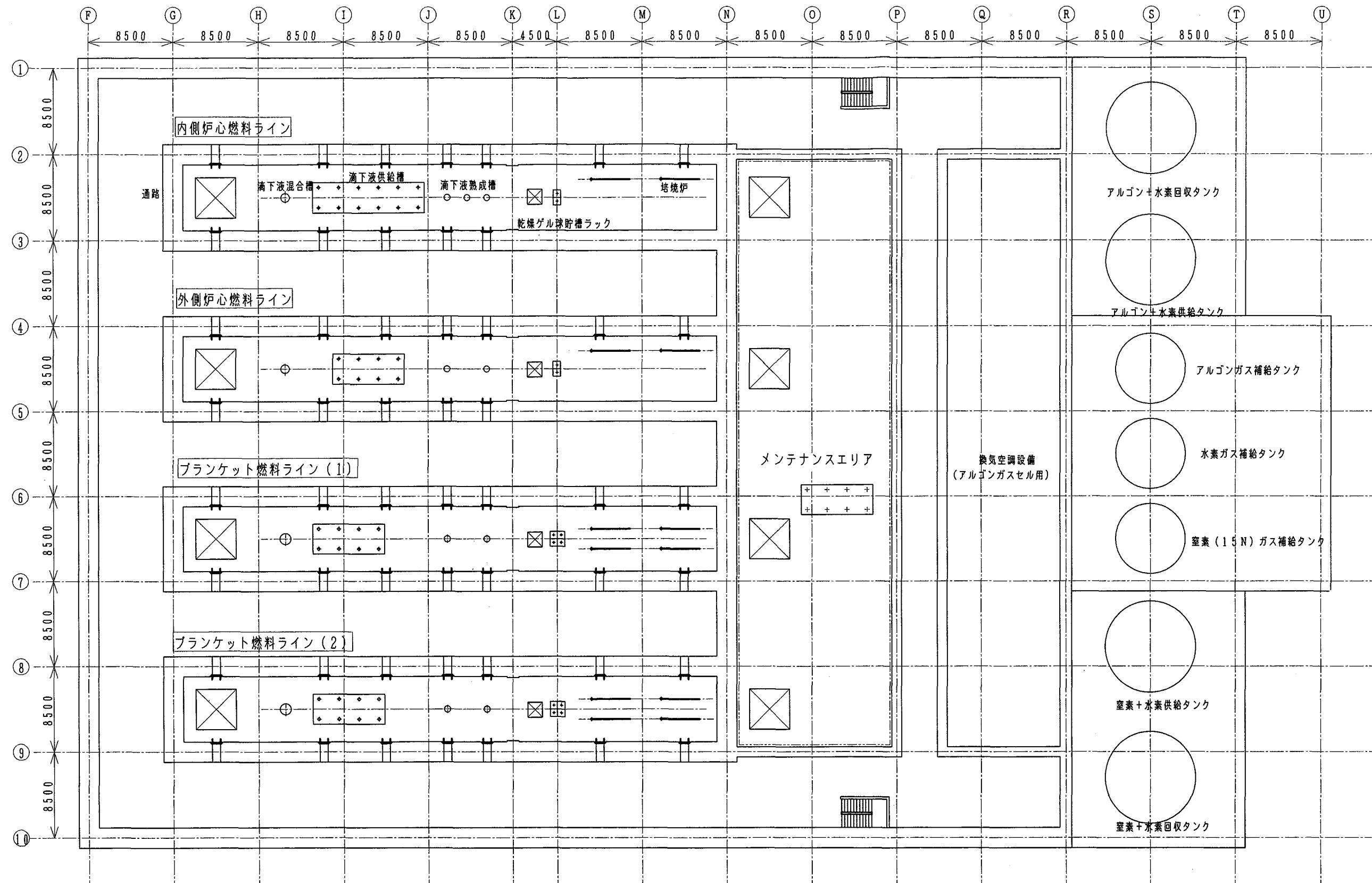


図2.5-1 六角ブロック燃料製造ライン配置図（断面図）



□: 印範囲は Ar ガス範囲を示す。

図 2.5-2 六角ブロック燃料製造ライン配置図 (3F 平面図)

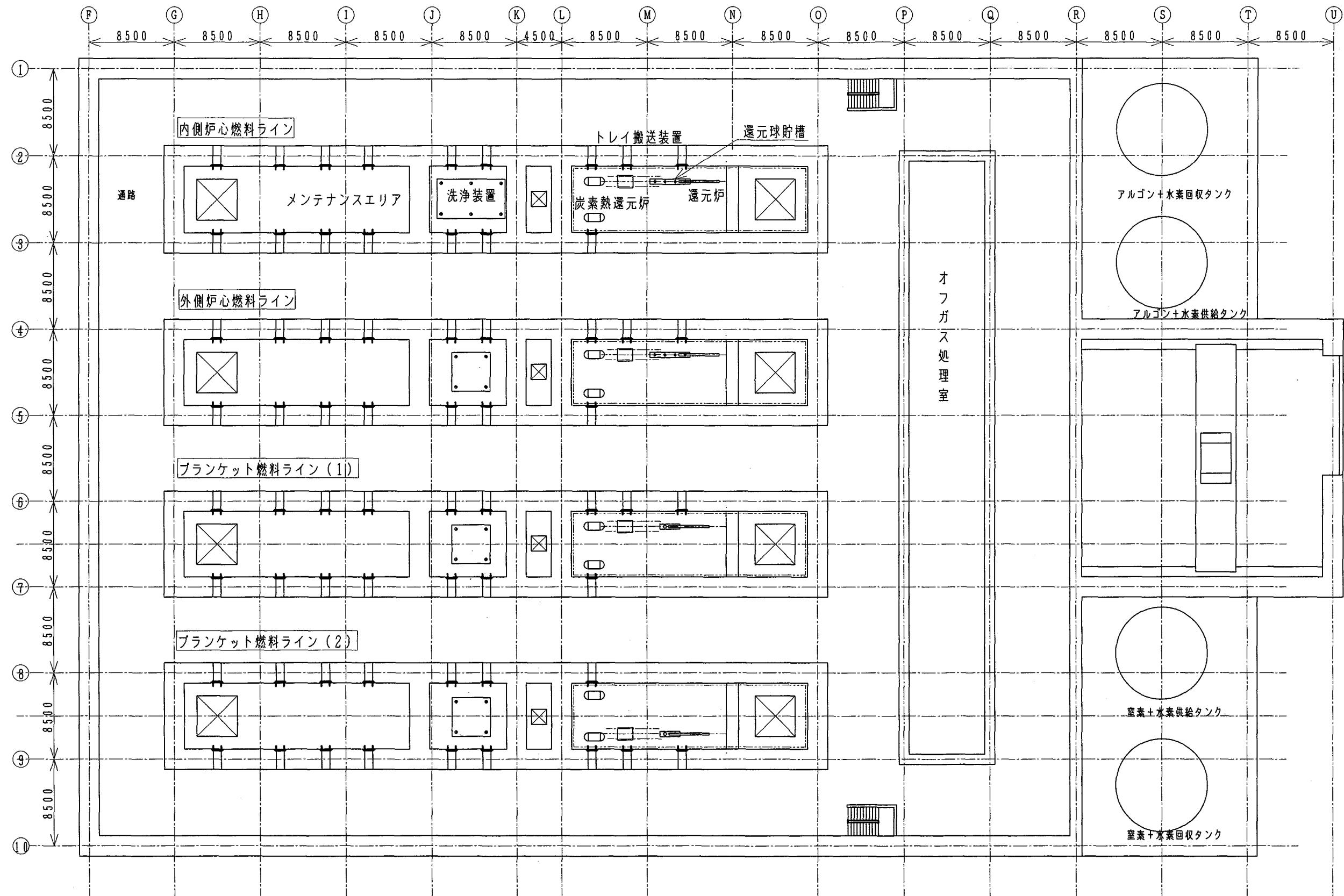
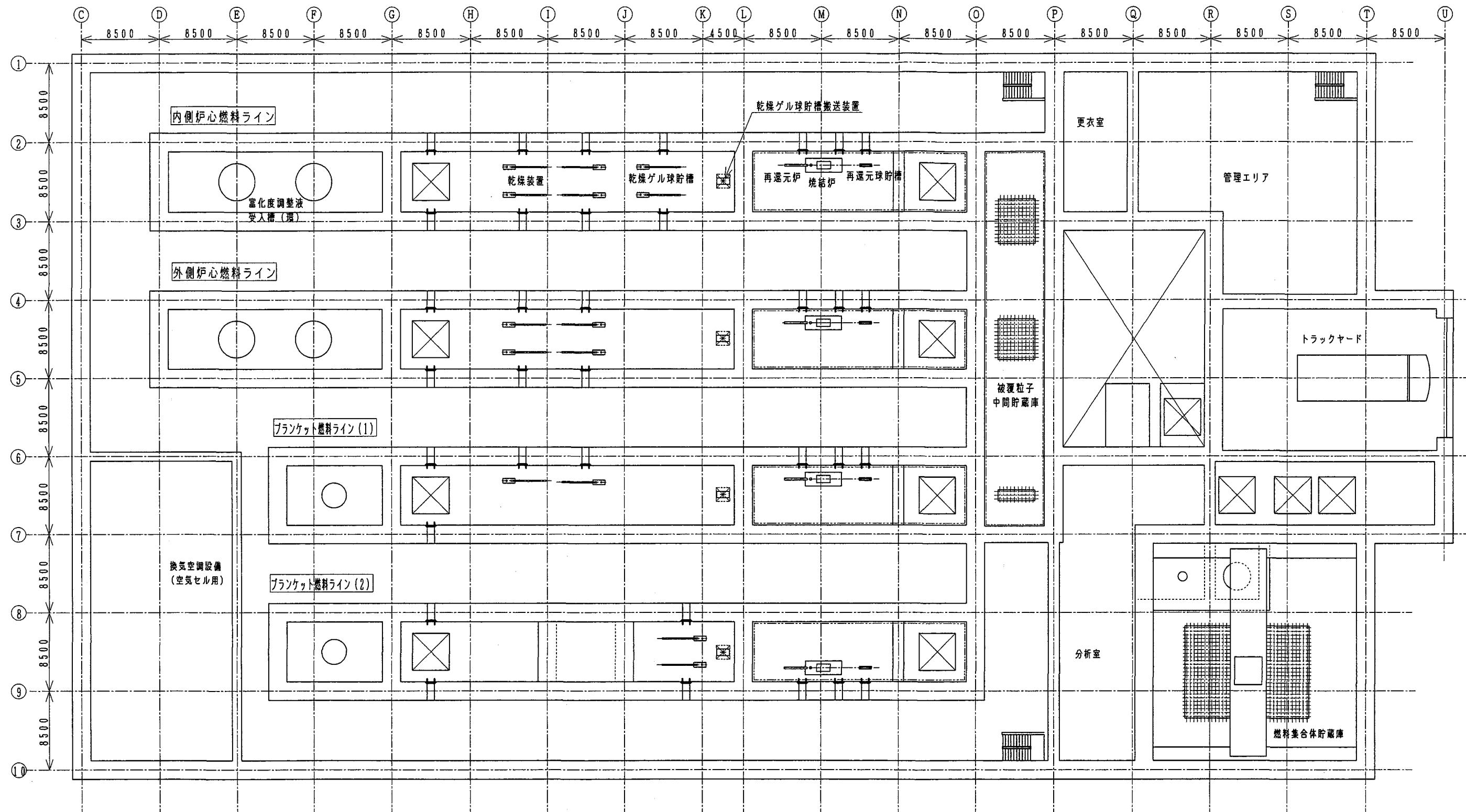


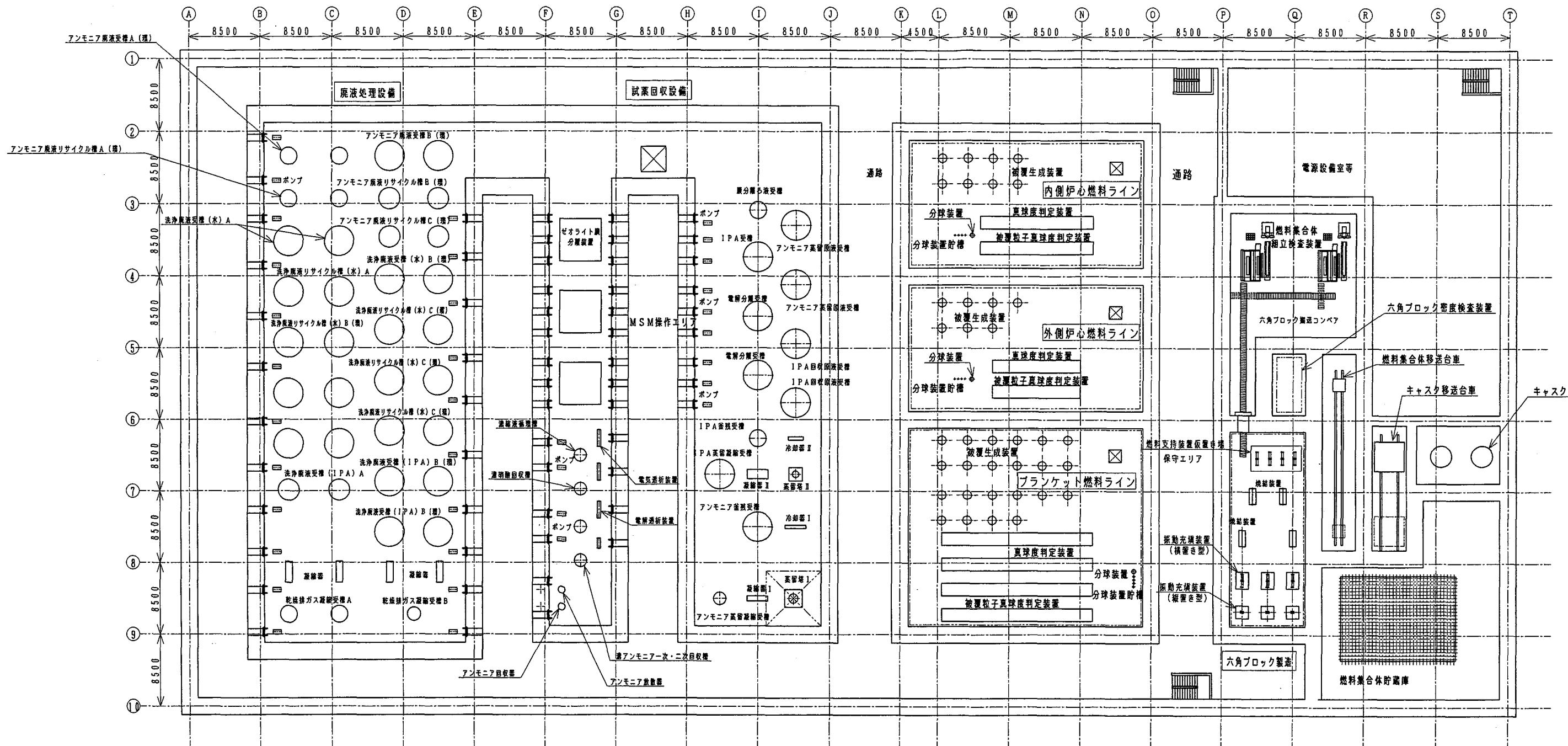
図 2.5-3 六角ブロック燃料製造ライン配置図 (2F 平面図)



□ : 印範囲は Ar ガス範囲を示す。

(環) : 円環槽を示す。

図 2.5-4 六角ブロック燃料製造ライン配置図 (1F 平面図)



: 印範囲は Ar ガス範囲を示す

(壇)：田壇櫓を示す。

図2.5-5 六角ブロック燃料製造ライン配置図（B1F平面図）

3. システム評価に関するデータの評価

システム特性評価に資するために廃棄物発生量および経済性の評価を行う。

3.1 廃棄物発生量の評価

(1) 液体廃棄物及び気体廃棄物

主工程の液体及び気体廃棄物量を評価した。2.2 項の物質収支の検討結果及び 2.4 項の試薬回収設備の検討結果を元に整理した。

表 3.1-1 に主工程の液体廃棄物をまとめて示す。回収されるものを含めて液体廃棄物処理系の処理容量となる液体廃棄物では含硝安アンモニア水が約 64.2t/d、IPA 水溶液が約 25.4t/d となり、合計が約 89.7t/d となった。なお、培焼炉の排ガスからの凝縮水は含硝安アンモニア水、乾燥装置(凝縮水)は IPA 水溶液に含めている。表 3.1-2 には回収分を除いた最終的な廃棄物となる液体廃棄物容量を示す。この場合には試薬であるアンモニア、IPA については蒸留濃縮回収により全量を回収するものとし、硝安についても硝酸とアンモニアに分離して全量回収する。含硝安アンモニア水及び IPA 水溶液中の水についてもアルコール洗浄水として再利用するものとした。液体廃棄物量としては主工程からの廃液を回収する試薬回収設備からの廃液量も追加している。以上から、主工程から排出される廃液のうち、最終的な液体廃棄物として放出されるのは、還元炉における凝縮水と試薬回収設備からの廃液を合わせて 29.0t/d となった。

表 3.1-3 に気体廃棄物をまとめて示す。回収されるものを含めて気体廃棄物処理系の処理容量となる気体廃棄物はアンモニア系排ガスが約 61000Nm³/d、乾燥系排ガスが約 50000Nm³/d に加えて、被覆生成装置から発生する本システム特有の塩素系排ガスが約 4800Nm³/d となった。表 3.1-4 には回収分を除いた最終的な廃棄物となる気体廃棄物容量を示す。気体廃棄物のうち、コストの高い N-15+H₂ ガス及び Ar+H₂ ガスについては回収再利用するものとし、100%回収すると仮定した。

これらの評価結果に基づき、液体廃棄物処理系及び排ガス処理系のコスト及びスペースを検討する。

(2) 固体廃棄物

保守補修による固体廃棄物発生量は平成 15 年度の固体廃棄物発生頻度データ（添

付資料 3. 1-1) に基づき、機器設備の追加及び仕様の見直しを反映して評価した。

表 3. 1-5 に機器交換により発生する固体廃棄物のデータをまとめた。固体廃棄物はセル内機器及び燃料等の付着に伴う放射性廃棄物となる機器に限定し、セル外に配置できる機器の交換部品については対象外とした。具体的には固体廃棄物処理設備、気体廃棄物処理設備、分析設備、計装・ユーティリティ設備は含まれていない。年間発生総重量としては約 15.7t/年程度と評価された。

なお、表 3. 1-5 には主要機器についての全重量（廃止措置時の廃棄物重量）も合わせて示している。廃止措置時の廃棄物量は合計で約 1565t、このうち炉心燃料の非密封セル機器が約 680t、ブランケット燃料の非密封セル機器他が約 645t、非放射性機器廃棄物が約 235t となった。

(3) 分析による高レベル廃棄物

分析中の破壊分析により発生する高レベル廃棄物については、平成 15 年度検討における分析内容（添付資料 3. 1-2）に基づき、整理した。破壊分析を摘出し、表 3. 1-6 のとおり摘出した。HTTR 燃料製造と同様に 1 ロットを最大 15kgHM としてサンプルすることとした。その結果、発生する燃料核及び被覆粒子の廃棄物量を合わせて表 3. 1-6 に示す。同表のとおり、分析廃棄物発生量は 949.2g/d であり、主に被覆粒子サイズの低減により平成 15 年度検討より約 60%程度に低減した。1 年間では $949.2\text{g}/\text{d} \times 200\text{d} = 189840\text{g} = 189.84\text{kg}/\text{年}$ となった。

(4) TRU 移行量評価

(3) 項の分析による高レベル廃棄物の評価結果に基づき、TRU の移行量を評価した。表 3. 1-7 に TRU の移行量をまとめて示す。同表より、TRU の高レベル廃棄物への移行量は 0.92g/d となった。移行量は平成 15 年度の検討の約 1/2 程度となっているが、主に、被覆粒子サイズが小さくなつたため、同じサンプル数ではサンプル側に移行する TRU の絶対量が低下したためである。

表 3.1-1 主工程の液体廃棄物処理量まとめ（回収・再利用分含む） 単位：kg/d

設備	成分	合計
滴下槽	NH ₃	2283.2
	NH ₄ NO ₃	230.2
	H ₂ O	6849.7
	PVA	5.0
	THFA	5.0
水洗浄装置	NH ₃	365.9
	NH ₄ NO ₃	817.0
	H ₂ O	49688.5
	PVA	5.0
	THFA	5.0
培焼炉（凝縮水）	NH ₃	147.0
	H ₂ O	3824.7
含硝安アンモニア水合計		64226.2
アルコール洗浄装置	IPA	12517.3
	H ₂ O	813.9
	NH ₃	10.0
	NH ₄ NO ₃	11.5
乾燥装置（凝縮水）	IPA	6334.1
	H ₂ O	5672.7
IPA 水溶液合計		25369.7
還元炉（凝縮水）	H ₂ O	77.6
総合計		89673.5

表 3.1-2 液体廃棄物発生量（含む試薬回収設備）と排出量 単位：kg/d

設備	成分	発生量	回収の有無	排出量
滴下槽	NH ₃	2283.2	○	0
	NH ₄ NO ₃	230.2	○	0
	H ₂ O	6849.7	○	0
	PVA	5.0	○	0
	THFA	5.0	○	0
洗浄装置	NH ₃	365.9	○	0
	NH ₄ NO ₃	817.0	○	0
	H ₂ O	49688.5	○	0
	PVA	5.0	○	0
	THFA	5.0	○	0
培焼炉 (凝縮水)	NH ₃	147.0	○	0
	H ₂ O	3824.7	○	0
含硝安アンモニア水合計		64226.2		0
洗浄装置	IPA	12770.2	○	0
	H ₂ O	813.9	○	0
	NH ₃	10.0	○	0
	NH ₄ NO ₃	11.5	○	0
乾燥装置 (凝縮水)	IPA	6462.0	○	0
	H ₂ O	5784.2	○	0
IPA 水溶液		25369.7		0
還元炉 (凝縮水)	H ₂ O	77.6	×	77.6
試薬回収設備	H ₂ O	27705.0	×	27705.0
脱塩廃液	PVA	10.0	×	10.0
	THFA	10.0	×	10.0
試薬回収設備	H ₂ O	1321.4	×	1321.4
電解回収残液	Na ₂ SO ₄	17.3	×	17.3
その他廃液*1		29038.4		29038.4
総合計		118634.3		29038.4

*1:回収しない廃液は再処理設備側にてまとめて廃棄物処理する

表 3. 1-3 気体廃棄物処理量まとめ（回収・再利用分含む）

単位 : Nm³/d

設備	成分	合計
滴下槽*1	NH ₃	77.5
乾燥装置*2	IPA	2360.8
	H ₂ O	7055.5
培焼炉*1	CO ₂	4645.2
	O ₂	6029.8
	N ₂	45367.4
	NH ₃	189.2
	H ₂ O	4759.6
還元炉*2	H ₂	94.7
	Ar	3596.8
	H ₂ O	94.7
炭素熱還元炉*2	H ₂	836.0
	N ₂	19804.3
	CH ₄	104.5
	CO	209.0
再還元炉*2	Ar	11913.9
	CH ₄	313.5
焼結炉*2*4	Ar+H ₂	3786.2
被覆生成装置*3 (TiN 被覆工程)	HCl	214.5
	H ₂	107.3
	N ₂	4049.9
被覆生成装置*3 (SiC 被覆工程)	HCl	33.8
	H ₂	11.3
	Ar	215.0
六角ブロック製造設備*2	CH ₄	0.026
	H ₂	0.026
	Ar	0.518
合計		115871.0

*1 : アンモニア系排ガス 61068.7 Nm³/d*2 : 乾燥系排ガス 50169.9 Nm³/d*3 : 塩素系排ガス 4632.4 Nm³/d

*4 : 焼結炉は還元炉と同様のガス流量と想定

表 3.1-4 気体廃棄物発生量と排出量 単位 : Nm³/d

設備	成分	発生量	回収の有無	排出量	備考
滴下槽*1	NH ₃	77.5	×	77.5	
乾燥装置*2	IPA	2360.8	○	0	凝縮後液体廃棄物 処理系で回収
	H ₂ O	7055.5	○	0	
培焼炉*1	CO ₂	4645.2	×	4645.2	
	O ₂	6029.8	×	6029.8	
	N ₂	45367.4	×	45367.4	
	NH ₃	189.2	×	189.2	
	H ₂ O	4759.6	×	4759.6	
還元炉*2	H ₂	94.7	○	0	
	Ar	3596.8	○	0	
	H ₂ O	94.7	×	94.7	
炭素熱還元炉*2	H ₂	836.0	○	0	
	N ₂	19804.3	○	0	
	CH ₄	104.5	×	104.5	
	CO	209.0	×	209.0	
再還元炉*2	Ar	11913.9	×	11913.9	
	CH ₄	313.5	×	313.5	
焼結炉*2	Ar+H ₂	3786.2	○	0	
(TiN被覆工程)	HCl	214.5	×	214.5	
	H ₂	107.3	○	0	
	N ₂	4049.9	○	0	
(SiC被覆工程)	HCl	33.8	×	33.8	
	H ₂	11.3	○	0	
	Ar	215.0	○	0	
六角ブロック製造設備*2	CH ₄	0.026	×	0.026	
	H ₂	0.026	○	0	
	Ar	0.518	○	0	
合計		115871.0		73952.6	

*1 : アンモニア系排ガス 61068.7 Nm³/d*2 : 乾燥系排ガス 12635.6 Nm³/d*3 : 塩素系排ガス 248.3 Nm³/d

表3.1-5 機器廃棄物（固体廃棄物）(1/2)

機器名称	機器 個数	機器全重 量 [kg/ 基]*1	廃止措置時重 量 [kg]	部品	部品個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	单機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物量 /年。 [kg/年。 基]】	総重量 [kg/年]	備 考	
												1	1
電化度調整液受入槽	6	7500	30400	供給バルブ ポンプ	1	10	10	220	10	1	132	各系統2基づつで交互に使用	
		2400	4400	排出バルブ	1	10	10	200	10	1	20	寸法比例で機器重量見直し	
滴下液混合槽	4	1190	2380	PVDF供給バルブ PAV供給バルブ TPEA供給バルブ 排出／攪拌バルブ ポンプ	1	10	10	440	10	1	336	寸法比例で機器重量見直し	
		630	1260		1	10	10	10	10	1			
					1	10	10	10	10	1			
滴下液供給槽	44	180	3600	供給バルブ 後送バルブ 排出バルブ	1	10	10	30	10	1	132	寸法比例で機器重量見直し	
		300	7200	排出バルブ	1	10	10	10	10	1			
					1	10	10	10	10	1			
滴下・熱成槽	9	1200	6000	アンモニア供給バルブ 排出バルブ 滴下ノズル 排出バルブ 噴射頭	1	10	10	102	10	1	162		
		500	2000	排出バルブ	1	10	10	10	10	1			
洗浄装置	22	400	4000	洗浄水入口バルブ PAバルブ	1	10	10	30	10	1	66		
		400	4800	排出バルブ	1	10	10	10	10	1			
乾燥装置	14	3000	30000	回転モータ 供給バルブ 24000	1	10	10	20	10	1	70	基數見直し	
				供給バルブ	1	10	10	10	10	1			
乾燥ゲル球貯貯装置	4	400	4000	搬送台車駆動装置 モータ	1	15	15	20	10	1	24	寸法比例で機器重量見直し	
		6000	24000	モータ	1	10	10	10	10	1			
移載ローダ	4	5000	10000	昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	1	15	15	60	10	1	48	各系統1基づつ	
		5000	10000	走行駆動装置	2	15	30	5	5	1			
インセルクレーン	32	10000	170000	昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	3	15	15	60	5	1	384	各系統4基×4、被覆生成セル2基 +シングル基、六角プロック2基 集合体製造・貯蔵セル各1基 廃液処理・試薬回収4基	
		10000	150000	走行駆動装置	2	15	30	5	5	1			
パワーマニピュレーター	21	3000	360000	昇降駆動装置 走行駆動装置 アーム機構 モータ	1	15	15	115	5	1	483	各系統4基×4+被覆生成セル3基 六角プロック1基 アルゴンメンテナンスセル1基	
		3000	27000	走行駆動装置	2	15	30	45	5	1			
マスターースレーブマニピュレータ	386	100	13600	アーム機構	5	5	25	5	5	1	158	配線検討結果に合わせ基數見直し	
キャスクレーン	1			昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	1	15	15	15	5	1			
培焼炉	13	3000	50000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ 空気バルブ 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	300	10	1	767	従来検討での抜け落ちを追加	
		3000	15000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ 空気バルブ 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	6	5	1			
還元炉	4	3000	6000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	300	10	1	236		
		3000	6000	ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	6	5	1			
トレイ搬送装置	4	1500	30000	搬送台車駆動装置 モータ	1	15	15	60	5	1	48	各セル1基	
		1500	30000	モータ	1	15	15	6	5	1			
炭素熱還元炉	8	2550	10200	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ 保溫材 N2バルブ 扉開閉装置 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	295	10	1	480	寸法比例で機器重量見直し 回転駆動部を除き還元炉同等 と仮定して暫定 バッヂ処理のため蓋開閉装置 追加	
		2550	10200	ヒータ 保溫材 N2バルブ 扉開閉装置 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	6	10	1			
塩化還元球貯槽	16	120	1440	供給バルブ	1	10	10	20	10	1	32	乾燥ゲル球貯藏と同等と想定して設定 寸法比例で機器重量、基數見直し	
		220	880	モータ	1	10	10	10	10	1			
再還元球貯槽	4	3000	6000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ ARバルブ 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	300	10	1	244	還元炉と同等と想定して設定	
		3000	6000	ヒータ 保溫材 回転モータ 駆動部 供給バルブ ARバルブ 供給バルブ ARバルブ 排出バルブ	2	10	20	6	10	1			
焼結炉	4	5600	112000	耐火材 ビーム駆動部 油圧シリンダ ヒータ ガス供給バルブ 排気弁	2	10	20	4760	5	1	3810.7		
		5600	112000	ヒータ ガス供給バルブ 排気弁	2	10	20	4000	10	1	404		
					2	10	20	320	10	1	106.7		
焼結球形槽	12	90	720	供給バルブ 排出バルブ	1	10	10	20	10	1	24	寸法比例で機器重量見直し	
		230	920		1	10	10	10	10	1			

表3.1-5 機器廃棄物（固体廃棄物）(2/2)

：平成15年度被覆粒子燃料製造から平成16年度六角ブロック燃料製造の仕様に合わせて見直しましたは追加												
機器名称	機器個数	機器全重量 [kg/ 基]*1	廢止措置時重 量 [kg]	部品	部品個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廻棄物量 /年・ [基]*1	総重量 [kg/年]	備考
分球装置	3	110	220	振動モータ	1	10	10	25	5	2	15	機器數見直し
		110	110	振動体	1	15	15	15	5	3		
真球度判定装置	98	50	1900	振動モータ	1	10	10	20	5	2	392	機器數見直し
		50	3000	振動体	1	10	10	10	5	2		
分球装置貯槽	12	90	720	供給バルブ	1	10	10	20	10	1	24	乾燥グレル球貯蔵と同等と想定
		230	920	排出バルブ	1	10	10	10	10	1		
被覆生成装置	37	1000	15000	ディストリビューター	1	10	10	390	1	10	370	機器數見直し ディスクトリビュータ交換頻度は 流動床の事例を参考に設定
		1000	22000	供給バルブ	2	10	20	10	10	2		
			20000	排出バルブ	2	10	200	200	10	2		
			230	保濕材	1	30	30	30	5	40		
				温度計	6	5	30	30	3	6		
気流搬送装置	6	1000	4000	ノズル駆動部	1	5	5	7765	1	5	96	誤記訂正
		1000	20000	プロワ	1	20	20	10	5	4		
			2000	供給弁	1	10	10	10	5	2		
				ロータリーフィーダ	1	15	15	15	3	5		
被覆粒子真球度判定装置	92	50	1800	振動モータ	1	10	10	20	5	2	368	
		50	2800	振動体	1	10	10	10	5	2		
被覆粒子貯槽	6	90	360	供給バルブ	1	10	10	20	10	1	12	寸法比例で機器重量見直し
		230	460	排出バルブ	1	10	10	10	10	1		
被覆粒子中間貯車	352	50	16500	交換不要								寸法比例で機器重量見直し
六角ブロック支待装置	4	200	600	押付け装置	2	15	30	40	5	6	32	六角ブロック製造設備検討結果 による
		200	200	アッチャメント	2	5	10	10	5	2		
振動充填装置（綱置き型）	2	1300	1500	振動モータ	1	10	10	120	5	2	48	六角ブロック製造設備検討結果 による
			1500	振動体	1	10	10	10	5	2		
				定量供給装置	1	50	50	50	5	10		
振動充填装置（横置き型）	2	1000	1000	振動モータ	1	10	10	170	5	2	68	六角ブロック製造設備検討結果 による
				反転装置	1	10	10	10	5	2		
				定量供給装置	1	50	50	50	5	10		
焼結装置	4	5000	15000	耐火材	1	4000	4000	4740	5	800	3803	六角ブロック製造設備検討結果 による
		5000	5000	蓋開閉装置駆動部	2	200	400	400	10	40		
				油圧シリンダ	2	10	20	20	5	4		
				発熱体	8	40	320	320	3	106.7	954	從来集合体組立装置と検査装置の 合計と同等と想定
燃料集合体組立検査装置	2	39000	39000	一式				2385.7	5	2		
六角ブロック密度検査装置	1	40000	40000	一式				426	5	2	85.2	從来集合体検査装置と同等と想定
六角ブロック搬送用コンベア	1	15000	15000	走行駆動装置	2	15	30	80	5	6	16	燃料集合体組立検査装置 検討結果を反映
				旋回駆動装置	4	5	20	20	5	6		
燃科集合体移送台車	1	10000	10000	走行駆動装置	1	15	15	25	5	3	5	從来検討での抜け落ちを追加
キャスク移送台車	1			走行駆動装置	2	5	10	10	5	2		
燃科集合体貯蔵庫	1	25000	25000	走行駆動装置	1	15	15	20	5	3	4	從来検討での抜け落ちを追加
		88000	88000	交換不要					5	1		
アンモニア廃液処理系	1	13100	13100	供給バルブ	12	10	120	240	10	12	94	全重量は湿式グレル化設備物量を 流量比の0.6乗則で補正
				排出バルブ	12	10	120	240	10	12		
				ポンプ	3	100	300	300	5	60		
				ボンベ	1	10	10	10	1	10		
IPA廃液処理系	1	39300	39300	供給バルブ	7	10	70	140	10	7	84	全重量は湿式グレル化設備物量を 流量比の0.6乗則で補正
				排出バルブ	3	100	300	300	5	60		
ガス処理系	1	9600	9600	ポンプ	1	10	40	80	10	4	8	PFDより暫定(塩素系廃ガス考慮) 全重量は被覆粒子燃科設備物量を 流量比の0.6乗則で補正(0.96倍) (ランケット考慮)
				排出バルブ	4	10	40	80	10	4		
重析系	1	15500	15500	供給バルブ	6	10	60	120	10	6	82	全重量は湿式グレル化設備物量を 流量比の0.6乗則で補正
				排出バルブ	6	10	60	120	10	6		
				ポンプ	3	100	300	300	1	10		
堀波処理設備	1	60000	60000	ボンベ	48	10	480	960	10	48	96	PFDより暫定
				排出バルブ	48	10	480	960	10	48		
窒素+水素回収タンク	2			供給バルブ	1	10	10	20	10	1	104	PFDより暫定
				排出バルブ	1	200	200	200	5	40		
				ポンプ	1	10	10	20	10	1		
				ボンベ	1	10	10	20	10	1		
アルゴン+水素回収タンク	2			供給バルブ	1	10	10	20	10	1	104	PFDより暫定
				排出バルブ	1	200	200	200	5	40		
				ポンプ	1	10	10	20	10	1		
				ボンベ	1	10	10	20	10	1		
アルゴン+水素供給タンク	2			供給バルブ	1	10	10	20	10	1	104	PFDより暫定
				排出バルブ	1	200	200	200	5	40		
				ポンプ	1	10	10	20	10	1		
				ボンベ	1	10	10	20	10	1		
合計		20000	1,559,990								15,749	

*1: 機器重量は上段が炉心燃料用、中段がプランケット燃料用またはその他セル用、下段が非放射性廃棄物、
単位: kg

炉心燃料用機器廃止措置時重量 680,320

プランケット燃料用機器廃止措置時重量 644,670

非放射性廃棄物重量 235,000

表 3.1-6 燃料製造時の分析に伴う発生廃棄物

分析項目	分析方法（破壊分析等）	サンプリング率	サンプル数(個) / d * 1		廃棄物量 g/d * 2
			内側炉心	外側炉心	
滴下液 U・Pu 濃縮度	マススペクトル及びγ線スペクトロ分析	1試料／製造バッチ	8	8	8
滴下液不純物(有機)	ガスクロマトグラ芬分析	1試料／製造バッチ	8	8	300
滴下液不純物(無機)	ICP-AES	1試料／製造バッチ	8	8	300
燃料核密度	水銀浸漬	3サンプル／燃料核ロット	45.33	39.15	137.7
被覆粒子被覆層厚さ	溶媒浸漬またはシンクフロート	3サンプル／被覆燃料粒子口ツト	41.64	35.97	125.9
被覆粒子密度第1層(TiN)	浮遊沈殿法等	3サンプル／分析ロット (10粒子／1サンプル以上)	416.4	359.7	1259
被覆粒子密度第2層(SiC)	浮遊沈殿法等	3サンプル／分析ロット (10粒子／1サンプル以上)	416.4	359.7	1259
被覆粒子光学的異方性因子	ポリゼーションフォトメータ	1サンプル(5粒子／サンプル)／濃縮度	69.40	59.95	209.8
被覆粒子断面	セラモグラフィ	1サンプル(20粒子)／被覆燃料粒子ロット	277.6	239.8	839.2
被覆粒子強度	ポイントクラッシング	30粒子／濃縮度	416.4	359.7	1259
合計					949.2

* 1 : 滴下液/燃料核製造量-内側炉心 226.7kgHM/d、外側炉心 195.8kgHM/d、ブランケット 688.7kgHM/d、被覆粒子製造量-内側炉心 208.2kgHM/d、外側炉心 179.8kgHM/d、ブランケット 629.5kgHM/d、燃料核ロット及び被覆粒子ロット 15kgHMとして以下のロット数から算出。

燃料核-内側炉心 15.11ロット/d、外側炉心 13.05ロット/d、ブランケット 45.91ロット/d
被覆粒子-内側炉心 13.88ロット/d、外側炉心 11.99ロット/d、ブランケット 41.97ロット/d

溶液系では1バッチ3時間で8バッチ/dから算出。

* 2 : 燃料核比重 14.3g/cm³、TiN 比重 5.2g/cm³、SiC 比重 3.22g/cm³より炉心燃料核 0.00476g/個、ブランケット燃料核 0.00602g/個、炉心被覆粒子 0.00538g/個、ブランケット被覆粒子 0.00640g/個から算出。溶液系では1サンプル10mLとして比重 1.25kg/Lより 12.5g/サンプルを想定して算出。

表 3.1-7 TRU 移行量

体 系		廃棄物量 g/d	廃棄物 中 の TRU の割合 ^{*1}	TRU g/d
溶液系 (滴下液)	内側炉心	300	1.19×10^{-3}	0.36
	外側炉心	300	1.29×10^{-3}	0.39
	ブランケット	300	0	0
燃料核	内側炉心	0.216	0.0110	0.002
	外側炉心	0.186	0.0117	0.002
	ブランケット	0.829	0	0
被覆粒子	内側炉心	8.8	9.64×10^{-3}	0.0849
	外側炉心	7.6	1.03×10^{-2}	0.0782
	ブランケット	31.7	0	0
合計		949.2	—	0.9171

* 1 : 物質収支に基づき総量中の TRU (MA) の割合を算出した値。被覆粒子は表 3.1-6 の * 2 に示す燃料核と被覆粒子の重量比から比例換算した。

3. 2 経済性の評価

(1) 経済性評価におけるデータの整理

経済性評価におけるデータの整理として、建屋容積、消耗品の使用量、運転員の人員計画及び廃止措置時に発生する鉄筋とコンクリートの物量を整理した。

建屋容積を表 3. 2-1、消耗品の使用量を表 3. 2-2、運転員の人員計画を表 3. 2-3、鉄筋重量の試算値を表 3. 2-4 及びコンクリート重量の試算値を表 3. 2-5 に示す。

(2) 経済性評価

経済性の評価として、燃料製造プラントの概念検討結果に基づき、設備費及び運転費を評価した。評価値は、窒化物燃料製造設備を基準値として、以下の考え方に基づき試算した。

項目名	試算方針
主工程設備	機器重量比、機器数比 新たに検討した設備は、類似設備の先行例に基づき試算
廃棄物処理・貯蔵	廃棄物発生量比
分析	分析項目数の比
保守補修	構成する機器数により試算
計装・ユーティリティ	機器数比
建・電・換	建屋容積比
新燃料貯蔵設備費	変更なし
消耗品費	本設計での必要量により試算 Ar ガスは全量回収するものとし 0 とする ^{15}N については、窒化物生成に必要な ^{15}N の量を決め、その量の回収率を 90% とし、10% を消耗量として供給するものとし試算
運転員費	変更なし

試算した結果は以下のとおりである。なお、評価値は、建設費の総額を 1.0 としたときの相対値として表している。

(i) 設備費

- ① 主工程設備費 : 0.215
- ② 周辺設備 : 0.344

(廃棄物処理・分析・保守補修・計装・ユーティリティ)

- ③ 建・電・換 : 0.341
- ④ 新燃料貯蔵設備費 : 0.100

(ii) 運転費

- ① 消耗品費 : 0.10/年
- ② 運転員費 : 0.02/年

表 3.2-1 建屋容積の試算結果

	縦 (m)	横 (m)	高さ (m)	建屋容積 (m ³)
B 1 F	76.5	163.5	9	112,570
1 F	76.5	138	11	116,127
1 F (トラックヤード 部)	25.5	8.5	11	2,384
2 F	76.5	112.5	9.5	81,759
2 F (トラックヤード 部)	25.5	8.5	9.5	2,059
3 F	76.5	95.5	11	80,363
合計				395,263

表 3.2-2 消耗品使用量の試算結果

項目	使用量	単価根拠
PVA (ポリビニルアルコール)	約 176 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
THFA (テトラヒドロフルオルアルコール)	約 4,068 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
Ar ガス	0 Nm ³ /d	Ar ガスは全量回収とする
TiCl ₄ (四塩化チタンガス)	約 54 Nm ³ /d (約 457 kg/d)	JNC 殿設計条件に基づく
C (炭素粉末)	約 336 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
¹⁵ N ₂	約 66 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
H ₂ ガス	約 1,130 Nm ³ /d	JNC 殿設計条件に基づく
SiC コンポジット	約 714 kg/d	文献(8)

文献(8) Akira Kohyama et al.: Advanced SiC/SiC Ceramic Composites: Developments and Applications in Energy Systems, Ceramic Transactions, volume 144, Fig.11

表 3.2-3 運転員の人員計画

項目	人数	備考
I. 通常運転人員計画	300名	
① 技術部門	30名	
② 運転部門	150名	通常運転は、5班3交替体制とし、30人/班とし、通常運転員と保守作業員で構成する
③ 品質保証(検査)部門	45名	
④ 放射線管理部門	40名	
⑤ 事務部門	35名	
II. 定検人員計画	400名	1年に1回実施し、8人で50日間を定期検査期間とする

表3. 2-4 鉄筋重量の試算

	壁厚さ m	2 m		縦側面 m ²	横側面 m ²	合計 m ²	重量 ton
	比重 7.85 g/cc	鉄筋算出係数 0.025					
建屋鉄筋総重量							40,578.32
B 1F 合計重量							15,978.87
外壁	76.5	163.5	9.0	1,377.0	2,943.0	4,320.0	1,696
天井	76.5	163.5				12,507.8	4,909
床	76.5	163.5				12,507.8	4,909
廃液処理セル1	64.5	8.5	9.0	1,161.0	153.0	1,314.0	516
廃液処理セル2	64.5	17.0	9.0	1,161.0	306.0	1,467.0	576
試薬回収設備セル1	51.0	10.0	9.0	918.0	180.0	1,098.0	431
試薬回収設備セル2	51.0	17.0	9.0	918.0	306.0	1,224.0	480
内側炉心被覆生成セル	17.0	30.0	9.0	306.0	540.0	846.0	332
外側炉心被覆生成セル	17.0	30.0	9.0	306.0	540.0	846.0	332
ブランケット被覆生成セル	25.5	30.0	9.0	459.0	540.0	999.0	392
六角ブロック製造セル	34.0	11.0	9.0	612.0	198.0	810.0	318
集合体組立検査セル	25.5	17.0	20.0	1,020.0	680.0	1,700.0	667
集合体貯蔵室	34.0	25.5	9.0	612.0	459.0	1,071.0	420
1F 合計重量							9,170.76
外壁	76.5	138	9.0	1,377.0	2,484.0	3,861.0	1,515
天井	76.5	138				10,557.0	4,144
内側炉心乾燥セル	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
内側炉心還元焼結セル	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	294
外側炉心乾燥セル	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
外側炉心還元焼結セル	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	294
ブランケット乾燥セル1	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
ブランケット還元焼結セル1	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	294
ブランケット乾燥セル2	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
ブランケット還元焼結セル2	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	294
分析室セル	25.5	8.5	11.0	561.0	187.0	748.0	294
集合体貯蔵室	34.0	25.5	9.0	612.0	459.0	1,071.0	420
トラックヤード	25.5	25.5	20.5	1,045.5	1,045.5	2,091.0	821
2 F 合計重量							12,479.83
外壁	76.5	95.5	9.5	1,453.5	1,814.5	3,268.0	1,283
天井	76.5	95.5				7,305.8	2,868
内側炉心メンテナンスセル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
内側炉心洗浄セル	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
内側炉心炭素熱還元セル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
外側炉心メンテナンスセル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
外側炉心洗浄セル	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
外側炉心炭素熱還元セル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
ブランケットメンテナンスセル1	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
ブランケット洗浄セル1	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
ブランケット炭素熱還元セル1	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
ブランケットメンテナンスセル2	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
ブランケット洗浄セル2	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
ブランケット炭素熱還元セル2	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	254
中間貯蔵セル	59.5	8.5	9.5	1,130.5	161.5	1,292.0	507
オフガス処理セル	59.5	8.5	9.5	1,130.5	161.5	1,292.0	507
3 F 合計重量							2,948.85
外壁	76.5	95.5	9.5	1,453.5	1,814.5	3,268.0	1,283
天井	76.5	95.5				7,305.8	2,868
内側炉心滴下液供給セル	8.5	55.5	11.0	187.0	1,221.0	1,419.0	557
外側炉心滴下液供給セル	9.5	55.5	11.0	209.0	1,221.0	1,441.0	566
ブランケット滴下液供給セル1	10.5	55.5	11.0	231.0	1,221.0	1,463.0	574
ブランケット滴下液供給セル2	12	55.5	11.0	264.0	1,221.0	1,496.0	587
メンテナンスセル	59.5	17	11.0	1,309.0	374.0	1,694.0	665

表3.2-5 コンクリート重量の試算

壁厚さ 2 m
 比重 2.2 g/cc
 コンクリート算出係数 0.975

	縦 m	横 m	高さ m	縦側面 m ²	横側面 m ²	合計 m ²	重量 ton
建屋コンクリート総重量							450,777.11
B1F合計重量							176,106.65
外壁	76.5	163.5	9.0	1,377.0	2,943.0	4,320.0	18,533
天井	76.5	163.5				12,507.8	53,658
床	76.5	163.5				12,507.8	53,658
廃液処理セル1	64.5	8.5	9.0	1,161.0	153.0	1,314.0	5,637
廃液処理セル2	64.5	17.0	9.0	1,161.0	306.0	1,467.0	6,293
試薬回収設備セル1	51.0	10.0	9.0	918.0	180.0	1,098.0	4,710
試薬回収設備セル2	51.0	17.0	9.0	918.0	306.0	1,224.0	5,251
内側炉心被覆生成セル	17.0	30.0	9.0	306.0	540.0	846.0	3,629
外側炉心被覆生成セル	17.0	30.0	9.0	306.0	540.0	846.0	3,629
プランケット被覆生成セル	25.5	30.0	9.0	459.0	540.0	999.0	4,286
六角ブロック製造セル	34.0	11.0	9.0	612.0	198.0	810.0	3,475
燃料集合体組立検査セル	34.0	17.0	20.0	1,360.0	680.0	2,040.0	8,752
集合体貯蔵室	34.0	25.5	9.0	612.0	459.0	1,071.0	4,595
1F合計重量							103,916.67
外壁	76.5	138.0	11.0	1,683.0	3,036.0	4,719.0	20,245
天井	76.5	138.0				10,557.0	45,290
内側炉心乾燥セル	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	4,436
内側炉心還元焼結セル	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	3,209
外側炉心乾燥セル	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	4,436
外側炉心還元焼結セル	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	3,209
プランケット乾燥セル1	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	4,436
プランケット還元焼結セル1	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	3,209
プランケット乾燥セル2	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	4,436
プランケット還元焼結セル2	8.5	25.5	11.0	187.0	561.0	748.0	3,209
分析室セル	25.5	8.5	11.0	561.0	187.0	748.0	3,209
集合体貯蔵室	34.0	25.5	9.0	612.0	459.0	1,071.0	4,595
トラックヤード	25.5	25.5	20.5	1,045.5	1,045.5	2,091.0	8,970
2F合計重量							138,570.22
外壁	76.5	95.5	9.5	1,453.5	1,814.5	3,268.0	14,020
天井	76.5	95.5				7,305.8	31,342
内側炉心メンテナンスセル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
内側炉心洗浄セル	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	1,752
内側炉心炭素熱還元セル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
外側炉心メンテナンスセル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
外側炉心洗浄セル	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	1,752
外側炉心炭素熱還元セル	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
プランケットメンテナンスセル1	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
プランケット洗浄セル1	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	1,752
プランケット炭素熱還元セル1	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
プランケットメンテナンスセル2	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
プランケット洗浄セル2	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	1,752
プランケット炭素熱還元セル2	8.5	25.5	9.5	161.5	484.5	646.0	2,771
中間貯蔵セル	59.5	8.5	9.5	1,130.5	161.5	1,292.0	5,543
オフガス処理セル	59.5	8.5	9.5	1,130.5	161.5	1,292.0	5,543
3F合計重量							32,183.58
外壁	76.5	95.5	11.0	1,683.0	2,101.0	3,784.0	16,233
天井	76.5	95.5				7,305.8	31,342
内側炉心滴下液供給セル	8.5	55.5	11.0	187.0	1,221.0	1,419.0	6,088
外側炉心滴下液供給セル	9.5	55.5	11.0	209.0	1,221.0	1,441.0	6,182
プランケット滴下液供給セル1	10.5	55.5	11.0	231.0	1,221.0	1,463.0	6,276
プランケット滴下液供給セル2	11.5	55.5	11.0	253.0	1,221.0	1,485.0	6,371
メンテナンスセル	59.5	17	11.0	1,309.0	374.0	1,694.0	7,267

4. おわりに

FBR サイクル実用化戦略調査研究の一環として、He ガス冷却 FBR 燃料の候補概念である窒化物被覆粒子燃料を六角ブロック集合体に分散させた燃料の燃料製造システムを対象として、プラント概念を示すこと及び、廃棄物発生量および経済性を評価することを目的として詳細検討を行った。その結果以下の成果を得た。

(1) 燃料製造プラント概念の調査

被覆粒子は TiN と SiC の 2 層の被覆を考慮して、物質収支を設定し、機器系統数の見直しを行い、全体システム構成を設定した。その上で六角ブロックの製造方法としては炉心部は縦置き、プランケット部は横置きで被覆粒子を振動充填した後、ブロック枠に SiC 蓋を接合する組立方式を設定し、対応する製造設備概念を具体化した。

燃料集合体は六角ブロックにエントランスノズル、ハンドリングヘッドをネジ止めする設備概念を具体化した。六角ブロックの検査項目を整理し、密度検査は X 線 CT による方式とした。

試薬回収設備は湿式振動充填法の概念に基づき系統を具体化した。

(2) システム評価に関するデータの評価

主工程、分析、保守補修により発生する気体、液体、固体廃棄物を評価した結果、気体、液体廃棄物については試薬回収工程において IPA、硝酸、アンモニア水を回収することで排出量を大幅に削減できる可能性が示された。

また、構築したプラント概念に対して経済性評価を行い、設備費、運転費などを評価した。その結果、建設費総額の 22%が主工程建設費、34%が周辺設備（廃棄物処理・分析・保守補修・計装・ユーティリティ）費、34%が建・電・換費、10%が新燃料貯蔵設備費との試算結果が得られた。

表4-4 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(炉心内側燃料)

表4-5 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(炉心外側燃料)

表4-6 窒化物被覆粒子燃料物質収支計算結果(径方向ブランケット燃料)

工程	物流番号	混合			反応・熟成				水洗净			アルコール洗净		乾燥		培焼		還元		炭素熱還元		再還元							
		Pu富化度 調整液 水溶液	PVA	THFA	炭素	滴下原液	反応ガス	反応液	反応排液	反応排ガス	湿润ゲル球	洗净水	洗净液	洗净液 ゲル球	乾燥排ガス	乾燥ゲル球	酸化ガス	培焼排ガス	培焼球 (UO ₃ /PuO ₂)	還元ガス	還元排ガス	還元球 (UO ₂ /PuO ₂)	窒化還元ガス (UN/PuN)	窒化還元球 (UN/PuN)	窒化還元ガス (UN/PuN)	再還元ガス (UN/PuN)	焼結球 (UN/PuN)		
U(メタル)	kg/d	522.0					522.0				522.0			522.0		522.0		522.0		522.0		522.0		522.0		522.0			
Pu(メタル)	kg/d	0.0					0.0				0.0			0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0			
MA(メタル)	kg/d	5.3					5.3				5.3			5.3		5.3		5.3		5.3		5.3		5.3		5.3			
UO ₂ ²¹	kg/d	592.2					592.2																						
ADU	kg/d																												
UO ₃	kg/d																												
UO ₂	kg/d																												
Pu ⁴¹	kg/d	0.0					0.0																						
Pu(OH) ₄	kg/d																												
PuO ₂	kg/d																												
M ⁴¹	kg/d	5.3					5.3																						
M(OH) ₄	kg/d																												
MO ₂	kg/d																												
FP	kg/d	1.7					1.7																						
UN	kg/d																												
PuN	kg/d																												
MAN																													
PVA	kg/d	91.1					91.1																						
THFA	kg/d		2,111.3				2,111.3																						
NH ₃ aq	kg/d																												
NH ₄ NO ₃ (内部)	kg/d																												
NH ₄ NO ₃ (外部)	kg/d																												
C	kg/d																												
IPA()	kg/d																												
HNO ₃	kg/d	94.1					94.1																						
NO ₃ ⁻	kg/d	279.8					279.8																						
H ₂ O(l)(内部)	kg/d	1,826.6	820.1				2,646.7																						
H ₂ O(l)(外部)	kg/d																												
IPA(g)	Nm ³ /d																												
H ₂ (g)	Nm ³ /d																												
Ar(g)	Nm ³ /d																												
CO ₂ (g)	Nm ³ /d																												
O ₂ (g)	Nm ³ /d																												
N ₂ (g)	Nm ³ /d																												
NH ₃ (g)	Nm ³ /d																												
H ₂ O(g)	Nm ³ /d																												
CH ₄	Nm ³ /d																												
CO	Nm ³ /d																												
Air	Nm ³ /d																												
5%He-Ar	Nm ³ /d																												
5%H ₂ -15N ₂	Nm ³ /d																												
合計	kg/d	2,799.6	911.3	2,111.3	159.5	5,981.7					5,549.4	4,860.0		6,905.5	24,897.8	25,805.8	5,997.5	9,784.8	6,497.1	9,285.2	3,054.7	794.4	759.3	641.9		562.2			
液体	l/d	2,134.1					4,979.6				36.6			36.6				12,448.9	8,266.1		4,887.5	29,807.6	31,648.4		1,965.2	1,965.2		5,954.1	5,805.3
流量	ガス	Nm ³ /d									36.6			36.6				比重0.786とする	比重大0.786とする			29,807.6	31,648.4		1,965.2	1,965.2		9,923.6	9,948.4
	固体	kg/d																5,997.5			3,054.7		794.4		759.3		641.9		

表4-7 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(軸方向ブランケット燃料)

添付資料2.2.1-2 平成15年度物質収支(被覆生成工程) : サイクル機構段提示資料

平成15年度検討被覆層生成反応物質収支計算結果(1日当り)

燃料材質	内側燃料			外側燃料			ブランケット(径方向)アシカット(軸方向)備考
	UN	PuN	UN	PuN	UN	UN	
燃料製造量(W) Kg/d	214.7	44.6	155.2	45.7	554.9	165.8	
燃料核の半径(r1) m		7.50E-04		7.50E-04		8.50E-04	
被覆層までの半径(r0) m		9.70E-04		9.70E-04		9.90E-04	
燃料核の体積(v1) m ³		1.77E-09		1.77E-09		2.57E-09	
被覆層の体積(v0) m ³		2.06E-09		2.06E-09		1.49E-09	
燃料核の比重(d1)	14.32	14.22	14.32	14.22	14.32	14.32	
被覆層(TiN)の比重(d0)		5.43		5.43		5.43	化学大辞典・共立出版による
燃料核の重量(w1) Kg/個	2.53E-05	2.51E-05	2.53E-05	2.51E-05	2.51E-05	3.68E-05	
被覆層の重量(w0) Kg/個	1.12E-05		1.12E-05			8.10E-06	
被覆粒子個数(N) 個/d	8.48E+06	1.77E+06	6.13E+06	1.82E+06	1.51E+07	4.50E+06	
被覆層TiN重量(W0) Kg/d	94.7	19.8	68.5	20.3	122.0	36.5	
被覆層TiN消費量 Kg/d				361.8			

被覆層生成反応式	TiCl4 + 2H2 + 0.5N2 → TiN + 4HCl : Nは15Nとする							備考
	TiCl4	H2	N2	TiN	HCl	H2	N2	
分子量								
反応モル数 [モル]	189.7	2.0	30.0	62.9	36.45	2.0	30.0	
1-テリティ量・残棄物量 Kg/d	5.75	11.5	2.88	5.75	23.0			理論反応量ベース
1-テリティ量・残棄物量 Nm3/d	1091.1	23.0	86.3	361.8	838.6			
1-テリティ量・残棄物量 Kg/d	128.8	257.7	64.4	—	515.4			
被覆層生成反応式	TiCl4 + 4H2 + 76N2 → TiN + 2HCl + 75.5N2 : Nは15Nとする							
反応モル数 [モル]	5.75	23.0	437.14	5.75	23.0	11.5	434.3	水素を窒素に対して5%希釈及び水素を出
1-テリティ量・残棄物量 Kg/d	1091.1	46.0	13114.1	361.8	838.6	23.0	13027.8	発物質(TiCl4)の4倍 ¹
1-テリティ量・残棄物量 Nm3/d	128.8	515.4	9791.9	—	515.4	257.7	9727.4	添加

*1 : 理論上の反応では出発物質(TiCl4) 1モルに対し水素2モルを要するので、水素を出発物質の4倍添加することは、理論上反応に必要な水素の2倍を添加することに相当する。

添付資料 2.2.1-3 物質収支の考え方（サイクル機構段提示資料）

化法、外部ゲル化法共現状ではこの様な大粒径粒子の製造経験はほとんどないことから昨年、燃料核製造技術に関する検討を実施しシステム設計および要素技術開発に関する課題内容について取りまとめ、解決見通しと裏付けとなるデータ取得時期を明らかにした¹⁾。

また、上流側工程の大部分は湿式ゲル化プロセス燃料製造システムと共に通する技術であり、そちらで得られた知見は最大限活用とする。

これらを踏まえ、本検討における基本プロセスでは、真球度の不良率が高くなる可能性はあるが、高温ガス炉で豊富な製造実績を有し、原料溶液の温度管理が内部ゲル化法よりも容易な、外部ゲル化法を採用とする。その他、従来の酸化物燃料による湿式ゲル化プロセスをベースに窒化物被覆粒子燃料製造に必要なプロセスを追加、見直した。

基本的な相違点は以下の通りである。

- ・混合器に原料炭素を混合するラインを追加。
- ・還元工程の後、酸化物燃料を窒化するための炭素熱還元炉及び関連して必要となる窒素リサイクル設備を追加。
- ・被覆設備及び燃料集合体組立設備を追加。

炭素熱還元工程より被覆粒子生成工程までは、窒化物の粒子を取扱うため、火災・爆発防止の観点からA r 雰囲気とする。

また、天然窒素中の存在比が0.36%の¹⁵Nを99.9%濃縮したものを使用する、と想定した。

(b) 物質収支

「フェーズⅡ中間 技術検討書」よりコピーした

製造する燃料は、内側および外側炉心燃料の各々につき中央部および上下部用として4種類、径方向及び軸方向ブランケット燃料用として2種類の計6種類ある。ただし、物質収支は、フェーズⅠのシステム設計結果をそのまま引用した。

(イ) 滴下液混合設備

滴下原液を混合する際は、濃度の高いポリビニルアルコール(PVA)水溶液にテトラヒドロフルフリルアルコール(THFA)を混合すると溶液が分離してしまうため、U/Pu混合溶液にPVA水溶液を混合し、その後THFAを加える手順とする。

- ・調整液の硝酸(HNO₃)濃度 : 0.7モル/リットル(再処理システムより受入)
- ・PVA 添加量 : 1.5wt%
- ・TFHA 添加量 : 40vol%

また窒化物燃料で必要となる炭素はこの工程で添加する。炭素の量は炭素熱還元設備での下記に示す反応式より決定される。

- ・ UO₂+3C+0.5N₂+2H₂→UN+2CO↑+CH₄↑
- ・ PuO₂+3C+0.5N₂+2H₂→PuN+2CO↑+CH₄↑

- ・炭素添加量 : 必要量の 2 倍

(口) 滴下・熟成設備

滴下ノズルから滴下・熟成槽までの空間は、アンモニアガスを流通しアンモニア雰囲気とする。滴下中の原液はアンモニアガスと反応し、液滴の周囲に薄い重ウラン酸アンモニウム(ADU)の殻を形成する。その殻の存在により、液滴がアンモニア水に落下した際の衝撃でゲル球が変形することを防止する。アンモニア雰囲気ガスと滴下原液との反応量は非常に少ないと考えられている。

滴下・熟成槽中のアンモニア水は、滴下原液を滴下した分だけオーバフローによって排液し、滴下ノズルとアンモニア水の液面との距離を一定に保つ様にする。

- ・滴下空間中のアンモニア雰囲気ガスの流量 : 反応必要量の 1/5
- ・滴下・熟成槽中のアンモニア水の液量 : 反応必要量の 10 倍
(必要反応量の 5 倍+オーバフロー 5 倍)

滴下熟成工程での反応は以下の通りである。

- ・ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 + 3\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow 0.5(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 + 1.5\text{H}_2\text{O}$
- ・ $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Pu}(\text{OH})_4 \downarrow + 4\text{NH}_4\text{NO}_3$

(ハ) 洗浄設備

- ・洗浄水量 : 滴下原液溶液の 5 倍
- ・洗浄時間 : 約 6 時間 (イソプロピルアルコール(IPA) および水洗浄含む)
- ・IPA の容積 : 滴下原液溶液の 2.5 倍
- ・乾燥設備に払い出される IPA の量 : 湿潤ゲル球を含むゲル粒子のかさ体積の 1.5 倍

(二) 乾燥設備

- ・乾燥圧力 : 0.04MPa(300mmHg)
- ・乾燥温度 : 60°C
- ・乾燥時間 : 約 2 時間

(ホ) 培焼設備

本設備では、乾燥設備より受入れた乾燥ゲル球を、内壁にらせん状の羽根がついたロータリーキルン型培焼炉に所定量を連続的に供給し空気中で培焼し、下記反応により ADU を UO_3 に、 $\text{Pu}(\text{OH})_4$ を PuO_2 にする。

- ・ $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7 \rightarrow 2\text{UO}_3 + 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ (熱分解)
- ・ $\text{Pu}(\text{OH})_4 \rightarrow \text{PuO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \uparrow$ (熱分解)
- ・供給する空気量 : 反応必要量(PVA および THFA の酸化反応分も含む)の 2 倍
- ・培焼温度 : 400°C
- ・培焼温度での保持時間 : 2 時間 (炉内での滞留時間は 3 時間)
- ・昇温速度 : 約 13°C / min

(ヘ) 還元設備

本設備では、培焼設備より受入れた培焼球(UO_3/PuO_2)を、ロータリーキルン型培焼炉に所定量を連続的に供給し $5\% \text{H}_2\text{-Ar}$ ガス中で還元し、下記反応により三酸化ウラン(UO_3)を二酸化ウラン(UO_2)に還元する。

- ・ $\text{UO}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{UO}_2 + \text{H}_2\text{O} \uparrow$
- ・ 供給する $5\% \text{H}_2\text{-Ar}$ 量 : 反応必要量の2倍
- ・ 還元温度 : 600°C
- ・ 還元温度での保持時間 : 2時間(炉内での滞留時間は3時間)
- ・ 昇温速度 : 約 $20^\circ\text{C}/\text{min}$

(ト) 炭素熱還元設備

本設備では、還元設備より受入れた還元球(UO_2/PuO_2)を水素/窒素(^{15}N)ガス雰囲気中約 1500°C にて(UN, PuN)に還元し、炭素熱還元球製品を得る。

- ・ $\text{UO}_2 + 3\text{C} + 0.5\text{N}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{UN} + 2\text{CO} \uparrow + \text{CH}_4 \uparrow$
- ・ $\text{PuO}_2 + 3\text{C} + 0.5\text{N}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{PuN} + 2\text{CO} \uparrow + \text{CH}_4 \uparrow$
- ・ 供給されている炭素量 : 必要量の2倍(滴下液混合工程)
- ・ 供給する $5\% \text{H}_2 - 95\% \cdot ^{15}\text{N}_2$ 量 : H_2 について必要量の5倍
 $^{15}\text{N}_2$ については、 H_2 を5%に希釈する量(H_2 のモル数の19倍)
- ・ 炭素熱還元温度 : 約 1500°C
- ・ 炭素熱還元温度での保持時間 : 約15時間(炉内での滞留時間は24時間)
- ・ 昇温速度 : 約 $20^\circ\text{C}/\text{min}$

(チ) 再還元設備

本設備では、炭素熱還元設備より受入れた炭素熱還元球(UN/PuN)の、過剰に添加した炭素を確実に除去し燃料核を完成させる。

- ・ $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 \uparrow$
- ・ 供給する $5\% \text{H}_2 - 95\% \text{Ar}$ 量 : H_2 について必要量の5倍
 Ar については、 H_2 を5%に希釈する量(H_2 のモル数の19倍)
- ・ 再還元温度 : 約 600°C
- ・ 再還元温度での保持時間 : 約2時間(炉内での滞留時間は3時間)
- ・ 昇温速度 : 約 $20^\circ\text{C}/\text{min}$

(リ) 焼結設備

得られた窒化物燃料を理論密度近くまで焼き固める焼結プロセス用の設備である。

供給する焼結ガスは還元設備と同じ $5\% \text{H}_2\text{-Ar}$ とし供給量も同量とする。本プロセスは化学変化を伴わないので、焼結排ガス量及び組成は供給ガ

スと同じとする。

- ・供給する 5%H₂-Ar 量 : 還元設備と同量
- ・焼結温度 : 1700°C
- ・焼結温度での保持時間 : 5 時間 (予熱 2 時間、焼結 5 時間、冷却 5 時間の 12 時間処理)

(ヌ) 被覆設備

被覆層は燃料粒子を保護し、発生 FP を閉じ込めるために燃料核の周囲に設けられ、材質は高温強度に優れ中性子吸収の小さい TiN (N は ¹⁵N とする)が想定されている。

この被覆層は密度の異なる 2 層にて構成される。

TiN 被覆層の主な生成反応式は以下の 3 つが想定される。

- ① 2TiCl₄ + (2+2/3)NH₃ → 2TiN + 8HCl↑ + 1/3N₂↑
- ② TiCl₄ + 2H₂ + 0.5N₂ → TiN + 4HCl↑
- ③ TiCl₄ + 3CH₄ + 0.5N₂ → TiN + 4HCl↑ + 3C + 4H₂↑

上記反応の内、②の反応では、ユーティリティとして窒素ガスを使用するので、¹⁵N の供給については燃料核生成に使用する窒素ガス(¹⁵N)系統と共に可能であり、本システムとして採用とする。

上記①に示す反応では、HCl が未反応のアンモニア (NH₃) と副反応して塩化アンモニウム(NH₄Cl)が生成され、排気系の低温部に凝固すると考えられることから検討対象より除外とした。

また③の反応では、ユーティリティとして窒素ガスを使用することは②と同様の利点であるが、もう一つの反応ガスであるメタン(CH₄)の爆発下限値が、②で使用する水素とほとんど変わらない状況では、付随して発生する炭素 (C) の除去対策が必要と想定される分、評価は②に比べ低いと判断した。

反応ガスとして水素及び窒素を使用する②の反応では、セル内での水素爆発を防止するため還元設備、炭素熱還元設備等と同様水素を希釈して供給する。

- ・ TiCl₄ + 2H₂ + 0.5N₂ → TiN + 4HCl↑
- ・ 供給する 5%H₂ - 95%N₂ 量 : H₂について必要量の 2 倍
N₂については、H₂を 5%に希釈する量
(H₂のモル数の 19 倍)
- ・ 被覆温度 : 約 1100°C (汎用化学反応計算コード
(Fact Sage)による最大反応効率温度点)
- ・ 処理時間 : 約 12 時間(炉内での滞留時間は 8 時間)

以上による物質収支計算結果を表 7.1.4 および表 7.1.5 に示す。後者は被覆粒子生成に関わる物質収支計算結果である。

またユーティリティの供給及び排出量を表 7.1.6 にまとめる。

添付資料 2. 2. 1-4 六角ブロック燃料用炉心装荷量

表 3.2-4 六角ブロック型燃料集合体概念 導入期(資源重視型)炉心
平衡サイクルにおける装荷燃料・取出燃料の重金属物質収支

装荷燃料、1バッチ当たりの燃料重量「kg」							
ELEMENT	内側炉心	外側炉心	炉心合計	軸ブランケット	径ブランケット	ブランケット合計	合計
U235	12.3	104	22.7	26.1	23.1	49.2	71.9
U236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U238	4079.5	3446.1	7525.6	8677.1	7671.8	16348.9	23874.5
U合計	4091.8	3456.5	7548.3	8703.2	7694.9	16398.1	23946.4
PU238	14.4	13.3	27.7	0.0	0.0	0.0	27.7
PU239	706.3	651.8	1358.1	0.0	0.0	0.0	1358.1
PU240	419.0	386.7	805.7	0.0	0.0	0.0	805.7
PU241	56.1	51.8	107.9	0.0	0.0	0.0	107.9
PU242	51.0	47.0	98.0	0.0	0.0	0.0	98.0
Pu合計	1246.8	1150.6	2397.4	0.0	0.0	0.0	2397.4
NP237	6.5	6.0	12.5	0.0	0.0	0.0	12.5
Np合計	6.5	6.0	12.5	0.0	0.0	0.0	12.5
AM241	26.1	24.1	50.2	0.0	0.0	0.0	50.2
AM242M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	13.1	12.0	25.1	0.0	0.0	0.0	25.1
Am合計	39.2	36.1	75.3	0.0	0.0	0.0	75.3
CM242	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
CM243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM244	13.1	12.0	25.1	0.0	0.0	0.0	25.1
CM245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cm合計	13.1	12.0	25.1	0.1	0.0	0.1	25.2
合計	5390.9	4655.2	10046.1	8703.3	7694.9	16398.2	26444.3
ランプ化FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ND143変換後	58.6	50.6	109.2	0.0	0.0	0.0	109.2
FP合計	58.6	50.6	109.2	0.0	0.0	0.0	109.2
取出燃料、1バッチ当たりの燃料重量「kg」							
ELEMENT	内側炉心	外側炉心	炉心合計	軸ブランケット	径ブランケット	ブランケット合計	合計
U235	3.8	4.0	7.8	12.3	17.2	29.5	37.3
U236	1.7	1.3	2.9	3.0	1.4	4.4	7.3
U238	3475.9	3018.9	6494.7	8057.7	7490.2	15547.9	22042.6
U合計	3481.3	3024.1	6505.4	8073.0	7508.7	15581.7	22087.2
PU238	21.6	19.5	41.0	0.7	0.1	0.7	41.8
PU239	542.2	500.6	1042.8	335.9	134.9	470.8	1513.5
PU240	414.2	380.3	794.5	67.9	12.5	80.4	874.9
PU241	66.1	56.7	122.8	10.6	1.4	12.0	134.8
PU242	48.1	44.2	92.4	1.1	0.1	1.2	93.5
Pu合計	1092.2	1001.3	2093.5	416.2	148.9	565.0	2658.5
NP237	4.1	4.0	8.1	1.4	0.3	1.7	9.8
Np合計	4.1	4.0	8.1	1.4	0.3	1.7	9.8
AM241	28.1	28.3	56.4	1.3	0.2	1.4	57.8
AM242M	2.5	2.2	4.6	0.1	0.0	0.1	4.7
AM243	14.1	12.8	26.9	0.1	0.0	0.1	27.0
Am合計	44.6	43.3	87.9	1.5	0.2	1.6	89.5
CM242	1.3	1.0	2.3	0.1	0.0	0.1	2.4
CM243	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3
CM244	16.1	14.3	30.3	0.0	0.0	0.0	30.3
CM245	3.1	2.5	5.6	0.0	0.0	0.0	5.6
Cm合計	20.6	17.9	38.5	0.1	0.0	0.1	38.6
合計	4642.8	4090.6	8733.4	8492.1	7658.1	16150.2	24883.6
ランプ化FP	756.2	572.3	1328.6	212.6	37.5	250.0	1578.6
ND143変換後	58.6	50.6	109.2	0.0	0.0	0.0	109.2
FP合計	814.8	622.9	1437.7	212.6	37.5	250.0	1687.8

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

2.2 試薬回収設備の概念調査

(1) プロセスフローの検討

施設の廃液処理の負担を軽減するため、粒子製造工程で発生する硝酸アンモニウム等を含有するアンモニア水及びイソプロピルアルコール水溶液からアンモニア及びイソプロピルアルコールをそれぞれ回収するととともに残留物を廃棄物として処理可能な形態にするための試薬回収設備の概念を調査した。

なお、試薬回収設備は、試験データなどに基づく主工程とは異なり、文献調査を中心とした実現性が高いと考えられるプロセスを選定・検討したものである。

a. 設計の前提条件

(a) 廃液中のウラン、プルトニウムについて

試薬回収工程に扱い出される溶液の臨界安全性について以下のとおりとする。

ゲル化顆粒燃料製造工程のメイン工程から排出される溶液について、バッファとなるベッセルにおける分析を行い、無限体系の臨界条件が適用できることを確認する。（核燃料物質中の核分裂性物質の濃縮度または濃度がある値以下であれば、その核燃料物質を無限に集積しても臨界にならない。この値を無限体系の臨界条件と呼ぶ（臨界安全ハンドブック）。臨界安全ハンドブックによれば、 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液（239Pu100%の条件）の推定臨界下限濃度は以下のとおりである。

$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液の推定臨界下限濃度（239Pu100%）：7.0 (g239Pu/リットル)

放射能濃度に換算すると、約 1.6×10^{10} (Bq/リットル) である。

なお、ゲル化工程におけるアンモニア廃液へのウラン、プルトニウムの「漏れ」については信頼性の高いデータはないが、上記数値に比較するとかなり小さいものと推定される。設備の設置場所としては、遮蔽セル内とする。

なお、臨界安全に関して、以下の2つの課題がある。

- ・ 試薬回収工程のプロセスで溶液が濃縮されることを見越しても上記 7.0gPu/リットルに余裕があるかどうか
- ・ 電解透析膜などへのスケーリングがどの程度であるか（①と関連させて検討が必要であり、定期的な部品交換、クリーニングなどが必要となる可能性がある）

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

(b) 主工程から発生する廃液の分類

処理フローの全体系統図（ブロックフロー）を図 2.2-1 に示す。また内側燃料、外側燃料のそれぞれの大粒径と小粒径毎に発生する廃液について分類し、1 日当たりの発生量とその組成を表 2.2-1 に示す。各々の処理フローを検討する上で

- ① 反応廃液（滴下・熟成槽）
- ② 水洗浄廃液（洗浄装置）
- ③ アルコール洗浄廃液（洗浄装置）
- ④ 乾燥排ガス回収廃液（乾燥装置とそれに続く乾燥排ガス凝縮器）

と呼称する（括弧内は発生装置）。但し①～③への PVA と THFA の移行率は 1 日当たりの廃液量約 25t の約 0.02% と想定した。

b. プロセスの選定

(a) プロセスの概要

1) アンモニア系廃液の処理プロセスの基本

工程の概要を以下に示す。

- ① 廃液中に存在するアンモニアを回収するために蒸留を行う。回収したアンモニアは回収アンモニア水として「ゲル化顆粒燃料製造設備」の試薬として利用する。
- ② 残液に対し、電気透析（硝酸アンモニウム成分の濃縮）と電解透析（硝酸アンモニウム成分分離）を組み合わせ、アンモニア、硝酸、水に分離する。
- ③ ②のアンモニアについては、回収アンモニア水として「ゲル化顆粒燃料製造設備」の試薬として利用する。電気透析、電解透析の脱塩水は廃液処理へ送られる（PVA,THFA を含む）。
- ④ ②の硝酸、水については回収酸と回収水として回収する。

2) アルコール系廃液の処理プロセスの基本

イソプロピルアルコール（IPA）については、IPA-水系の気液平衡では「共沸点」を持つため、通常の蒸留操作では効率の良い分離が実施できない。工程の概要を以下に示す。

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

- ① 蒸留により IPA 濃度を 85%程度まで濃縮する。
- ② 次に、パーベーパレーション法を採用して IPA をリサイクル可能となるまで濃縮処理を行う。回収したアルコールは「ゲル化顆粒燃料製造設備」の試薬として利用する。残液については回収水として回収する。
- ③ 釜残液については硝酸アンモニウムが含有されるため、a.アンモニア系廃液にある電気透析、電解透析プロセスにてアンモニア、硝酸、水に分離する。

(b) アンモニア水の回収

アンモニア水を蒸留回収する技術としては、蒸留操作により数%濃度のものを 20 数%程度まで濃縮させ凝縮回収し、これに更に液化アンモニアをガス化した純アンモニアガスを冷却しながら吸収させ、アンモニア水(conc.26%vol)を製造する技術が一般的に採用されている。

反応廃液から単独でアンモニア水を分離回収しようとすると場合には、既にアンモニア濃度が約 24%と高いので、蒸留操作を行ったとしても濃縮効果は薄いこと、硝酸アンモニウム分を分離するために、釜残側から 3 割程度のアンモニアを含有する数百 ppm 程度の水を抜き出す必要が発生することから、①反応廃液を単独で蒸留することは好ましくない。

②の水洗浄廃液はアンモニアの濃度は 2%程度と低いがその発生量は①反応廃液の 6 倍近い量が発生することから、①反応廃液用と②水洗浄廃液用に蒸留塔をそれぞれ 1 基づつ設置するよりも、両液を混合して 1 基で処理する方が経済的と判断される。

図 2.2-2 に混合廃液を蒸留処理した際の物質取扱を示す。アンモニアはほぼ全量、蒸留側へ移行し、硝酸アンモニウム及び蒸発温度が 178°C と高い THFA、高分子アルコールである PVA は全量、釜残側に移行する。蒸留蒸気は凝縮器にて回収された後、純アンモニアガスを吸収させ濃度調整を行った後に、反応プロセス用として再利用される。釜残側の硝酸アンモニウム溶液濃度は、0.3M 程度と比較的高い為、アンモニウムと硝酸を回収する必要があり、次の処理プロセスへ送液される。

(c) I P A の回収

アルコールである IPA を濃縮回収する方法としては、蒸留操作により回収する方法が一般的な回収方法であるが、IPA と水の気液平衡関係では約 90% (88°C) に共

沸点があるため、効率的な蒸留分離が実施できない。蒸留操作を用いて 95%以上を目指として回収するためには、第三成分をいれて共沸蒸留操作を行う方式などについての検討が必要であるが、その場合には複数の蒸留塔と分離器を設置する必要があり、通常の蒸留操作に比べて組成変動の影響を受けやすく操作が難しくなるものと推測される。一方、膜分離技術としてパーベーパレーション技術が開発されている。これはゼオライト膜を利用して水を選択的にろ過して高純度のアルコールを回収する技術である。¹⁾

処理対象となる廃液は③アルコール洗浄廃液と④乾燥排ガス回収廃液であるが、③アルコール洗浄廃液は比較的 IPA 濃度が高いため処理設備上の負荷は小さくてすむが、アンモニアや THFA や PVA のアルコール類が混入している。ゼオライト膜を用いた分離回収を行う場合、これらは膜の性能劣化因子となることが考えられる。特にアンモニアはゼオライトに対して強い吸着特性を有していることが知られており、膜分離操作前に除去しておくことが不可欠である。

一方、④乾燥排ガス回収廃液は、IPA と水のみの組成であるが IPA 純度が低く、ゼオライト膜分離実施上は（水を選択的に抜き出すので）、高濃度で回収するために多段の処理を必要とすることになる。

以上の問題点を解決する方策としては、③アルコール洗浄廃液と④乾燥排ガス回収廃液を混合した後、硝酸を添加してフリーのアンモニア成分を無くした状態で蒸留操作を行い揮発性の IPA は蒸留・凝集回収し、硝酸アンモニウムとアルコール類を釜残側へまず分離する。その後、ゼオライト膜により更に濃縮回収操作を行うことが、効率的な分離が達成でき設備設置の上でもコンパクトな設備になる。図 2.2-3 に中和、蒸留、膜分離操作による物質収支を示す。

③アルコール洗浄廃液と④乾燥排ガス回収廃液を混合し、硝酸を添加してフリーなアンモニア成分濃度を抑えて蒸発を抑える。この混合・中和操作により IPA 濃度は 75%程度となる。次いで、この IPA 廃液を蒸留操作することにより IPA 濃度が 85% 程度の蒸留・凝集回収液と釜残液とに分離する。IPA 蒸留回収液は、ゼオライト膜を用いたパーベーパライゼーション法により水と分離回収を行い濃度 99%程度の IPA として回収される。ゼオライト膜により透析された水分は、不純物をほとんど含まない水であることから顆粒燃料製造時のゲル洗浄水としての再利用が可能である。

(d) 硝酸アンモニウムからアンモニア水と硝酸の回収

硝酸アンモニウムは水質汚濁防止法の全窒素濃度制限の関係から、排水処理する前に規定濃度以下まで低減する必要がある。処理する方法としては再度、蒸留操作を行い、高濃度硝酸アンモニウム液として肥料（硝安）などの原料とする方法や、微生物より硝化、窒素化処理する方法等が考えられるが、原子力分野での実用化には適さない。現在、電気透析と電解透析プロセスによりアンモニア水と硝酸として回収するプロセスが実用化されており²⁾、回収したものは試薬として、再利用できるメリットを有している。なお、電気透析の代わりに単蒸留操作を前段に組み入れて硝酸アンモニア濃度を高めてから電解透析を行う方法や、電解透析を行ってからアンモニア水側を蒸留回収する方法も考えられるが、電解透析プロセスでは電解液中の残アルコール類は透析膜を通過しないことから、原理的には循環される液中で濃縮されることが考えられる。濃縮による電解能力の低下や、電解透析膜へのスケーリングなどの悪影響を防止する為に循環液から常に除去しておく必要がある。親水性のアルコールについては、イオン交換法や活性炭ろ過法では分離除去しにくく、分子サイズの違いからUF膜等による膜ろ過法による分離方法が一般的な処理方法であるが適当でない。（PVAはアルコール類と凝集性を示すことから、フィルタによる分離効果も期待できるが、濃度依存性や経時変化の影響が考えられるので、本検討では、凝集しないものと仮定する。）これに対し電気透析法も一種の膜分離法であり、アルコール類は膜を透過せず脱塩水側に移行することから、電気透析法を電解透析法の前に配置することで、硝酸アンモニア濃度を高める効果とアルコール類を取り除く2つの効果が期待される。

硝酸アンモニウムを含有する廃液は、①反応廃液+②水洗浄廃液の混合液を蒸留操作した際の釜残液（⑥釜残液と呼称）と、③アルコール洗浄廃液+④乾燥排ガス回収廃液のIPA回収前段で行う蒸留操作の際に発生する釜残液（⑩IPA釜残液と呼称）の2種類が発生する。⑥釜残液は、0.37M程度の濃度であり、⑩IPA釜残液は0.27M程度の濃度であるが、組成的に同じで⑩側の発生量が⑥の1/10程度であることから混合して処理することが良いと判断される。図2.2-4に電析・電解透析プロセスによる物質収支を示す。初期濃度0.34Mの硝酸アンモニウム液を総窒素量を0.4mM以下とする為には、脱塩としては3段の処理が必要と判断される。残アルコールは全量、脱塩水側に移行する。

濃縮された硝酸アンモニウム液は、電解透析により 6M 濃度の硝酸と 8M 濃度のアンモニア水として回収され、回収された硝酸とアンモニウム水はそれぞれ試薬調整系へ戻されて再び燃料製造工程の試薬として再利用される。

(e) 脱塩廃液他の処理方法

電気・電解透析処理により発生する廃液としては、アルコール類を含む脱塩廃液（電気透析より）とアンモニアを回収する際に発生する少量の硫酸ソーダを含む廃液（電解透析より）が発生する。これらについては、以下の処理が考えられる。

(ア) 燃料製造設備内での処理

(イ) 隣接する再処理施設に送液して処理

後者については、「中放射性廃液」としての以下の溶液量が再処理施設での負荷となる。

中放射性廃液量：約 15,200 kg/d

なお、試薬回収工程に供給される U, Pu, MA は、試薬回収工程処理原液から全量がこの廃液へ移行する。滴下・熟成、洗浄工程などの操作でのリーク（漏れ）についてはデータがないことから 1%と仮定すると、それぞれの 1 日当りの排出量は以下のとおりである。

- U : 約 3kg/d
- Pu : 約 1kg/d
- MA : 約 0.05kg/d

c. プロセスフローダイアグラム

試薬回収設備のプロセスフローダイアグラム（PFD）を図 2.2.2 に示す。

d. 物質収支

以上の処理フローの物質収支図は表 2.2-1, 図 2.2-3, 図 2.2-4, 図 2.2-5 に示したとおりである。

(2) 運転手順と保守の検討

廃液処理プロセスとしては、大きく分けると蒸留（蒸留塔又は蒸発管）操作とゼオライト膜分離操作、及び電気・電解透析膜分離操作の3つが主な運転操作である。装置操作毎に、運転操作及びトラブル対応方法について記載する。

a. 蒸留操作

蒸留操作については、一般産業においてかなりの稼働実績を有しており、本プロセスで検討した蒸留は単蒸留操作であることから複雑な制御は必要とせず、運転としては蒸留塔或いは蒸発缶への廃液の供給量と蒸気供給量を、炉体の温度を制御監視すると言う基本的な操作である。操業時間については熱効率上から、断続運転よりも24時間の自動運転により処理するものとする。蒸留塔自体は、駆動部分がなく炉本体の腐食などの経年劣化を定期的に測定しておくことで、トラブルを防止することができる。トラブルが発生しやすいと考えられるのは、①釜残側排出口でのスケーリングの蓄積、②底部蒸気管部分の腐食等であるがいずれも定期的な検査を行ってゆくことによりトラブルは未然に防ぐことが可能である。

b. ゼオライト膜分離操作¹⁾

ゼオライト膜分離操作では、ゼオライト膜の一方（透過液側）を真空ポンプにより負圧状態にして供給液側の水を選択的に膜透過させ透過蒸気として透過液側に蒸発させ、供給液側にIPAを濃縮しこれを分離回収する方法である。圧力制御と廃液の供給量を制御することにより自動運転が可能であり負圧維持して操業する観点から断続運転より24時間の連続運転が好ましいと判断される。

膜分離操作におけるトラブルとしては、膜の経年劣化破損や膜表面へのスケーリング蓄積などにより透過能力が低下する現象が考えられる。前者の事象よりも後者の事象の方が発生しやすく、透過圧力などを測定しておくことにより膜の交換時期を予測することは可能であるが、スケーリングの蓄積現象はある時点で急に進展することが多く、上流の顆粒燃料製造工程への影響を減らす為には、圧力損失などが問題ない段階でも、交換時期が来た段階で定期的に保守交換することが重要と考えられる。当然、予備品のモジュールを常時備えておくとともに、交換作業が容易な構造、治工具等を検討しておくことも重要である。真空ポンプは装置本体部やペアリング等の駆動部分の摩耗等が原因で性能が低下しやすいため、定期的な保守点検が必要である。

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

c. 電気・電解透析操作²⁾

電気・透析操作では、透析膜への供給流量と電圧を制御することにより自動運転が可能であり、電解装置では供給流量と電流を制御することにより自動運転が可能である。運転操業については、電解装置が回分式（液を循環させながら濃縮分離操作を行う）為、バッチ処理となるので、20時間程度の連続運転となるが、基本的には自動運転で処理することが可能である。尚、本装置の上流までは連続処理であるが、工程でバッチ処理となるため、電析前の原液貯槽は2基設置する必要がある。

電気・電解透析操作についても、膜分離操作であることから、膜の経年劣化損傷とスケーリング蓄積による透過能力の低下がトラブルとして考えられる。これらについても、所定の期間毎に交換することが、不意のトラブルによる運転停止を防止する上で重要である。付随する放散器、吸収塔は、駆動部分がないことから蒸留塔と同様に定期的な保守点検で、トラブルを防止することが可能である。

(参考文献)

- 1) 新潟大学ホームページ,<http://ito01.gs.niigata-u.ac.jp/> (膜による水とアルコールの分離,伊東助教授)
- 2) 環境研究 No.127 Page 21-26. 2002 「電気化学プロセスによる窒素含有核燃料廃液処理技術の開発」 沢他

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

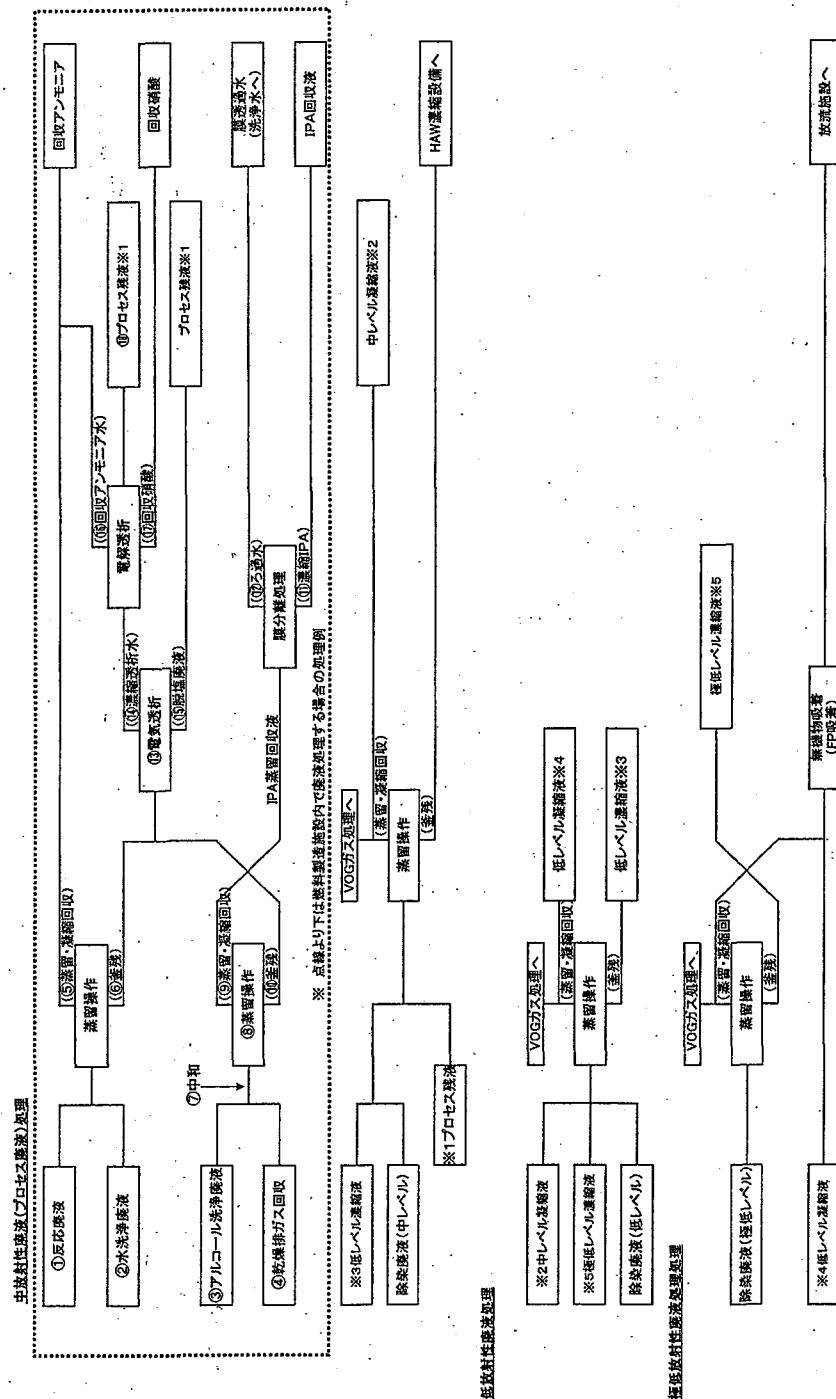


图2.2-1 廉液处理全体系统图

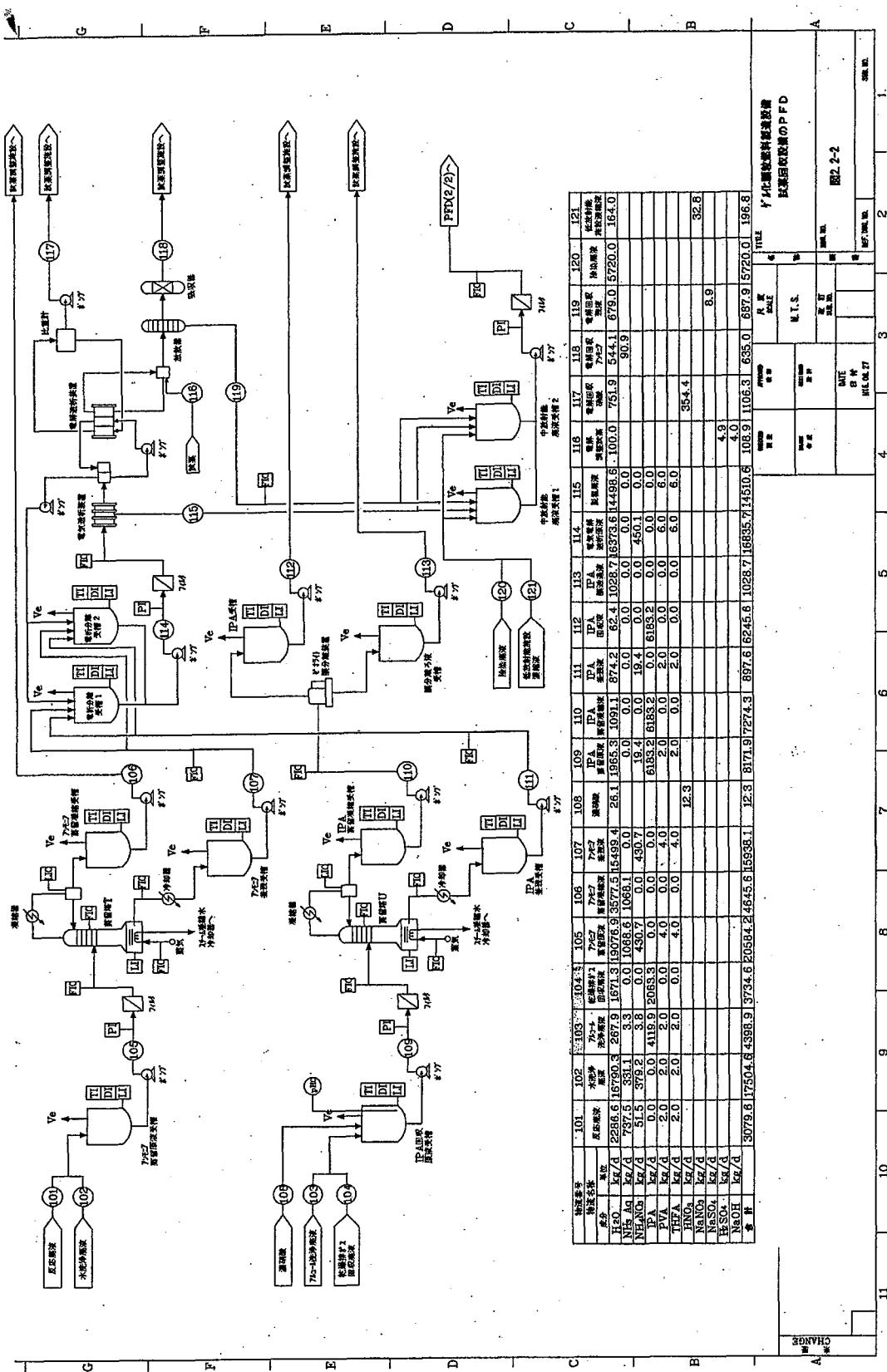


表 2.2-1 ゲル化試料（内側大小、外側大小）製造時廃液発生量と組成

液体名称	①反応溶液		②水洗浄廃液		③アルコール洗浄廃液		④乾燥排ガス回収溶液	
	Mass量(kg/d)	割合(%)	Mass量(kg/d)	割合(%)	Mass量(kg/d)	割合(%)	Mass量(kg/d)	割合(%)
H ₂ O	2,286.6	74.25%	16,790.3	95.92%	267.9	6.09%	1,671.3	44.75%
NH ₃ Aq	737.5	23.95%	331.1	1.89%	3.3	0.08%	0.0	0.00%
NH ₄ NO ₃	51.5	1.67%	379.2	2.17%	3.8	0.09%	0.0	0.00%
IPA	0.0	0.00%	0.0	0.00%	4,119.9	93.66%	2,063.3	55.25%
PVA	2.0	0.06%	2.0	0.01%	2.0	0.05%	0.0	0.00%
THFA	2.0	0.06%	2.0	0.01%	2.0	0.05%	0.0	0.00%
合計	3,079.6	100.00%	17,504.6	100.00%	4,398.9	100.00%	3,734.6	100.00%

※ ③のアルコール洗浄廃液へは 100L 程度の装置洗浄水が混入増加している。

添付資料 2.2.2-1 試葉回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

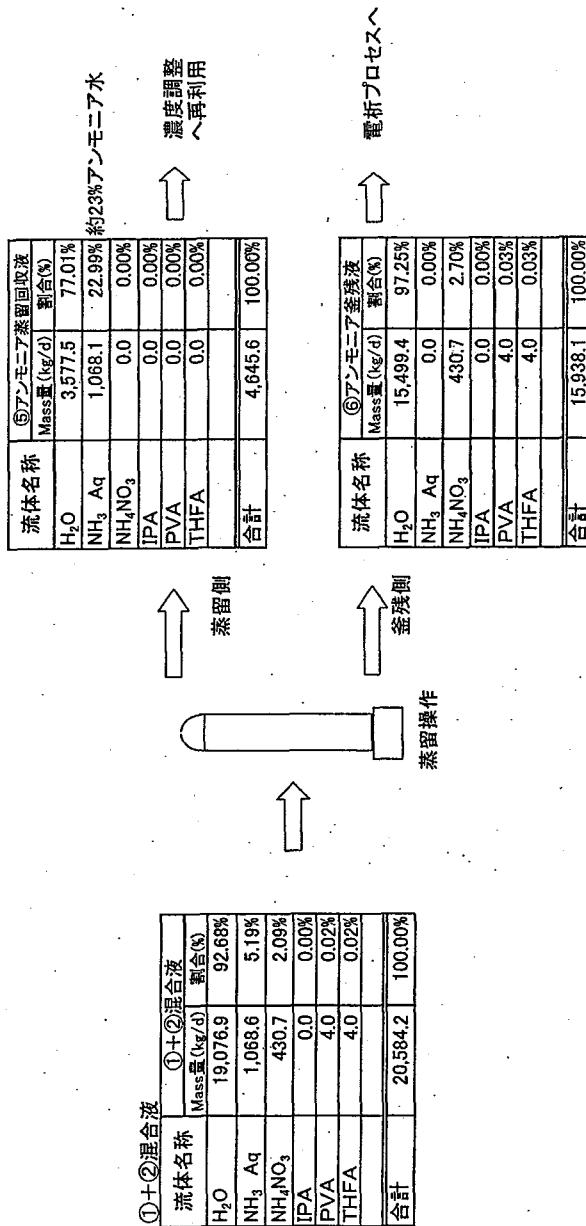


図.2.2-3 (①反応焼液+②水洗浄廃液) 混合液の蒸留操作物資取支

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構段提示資料

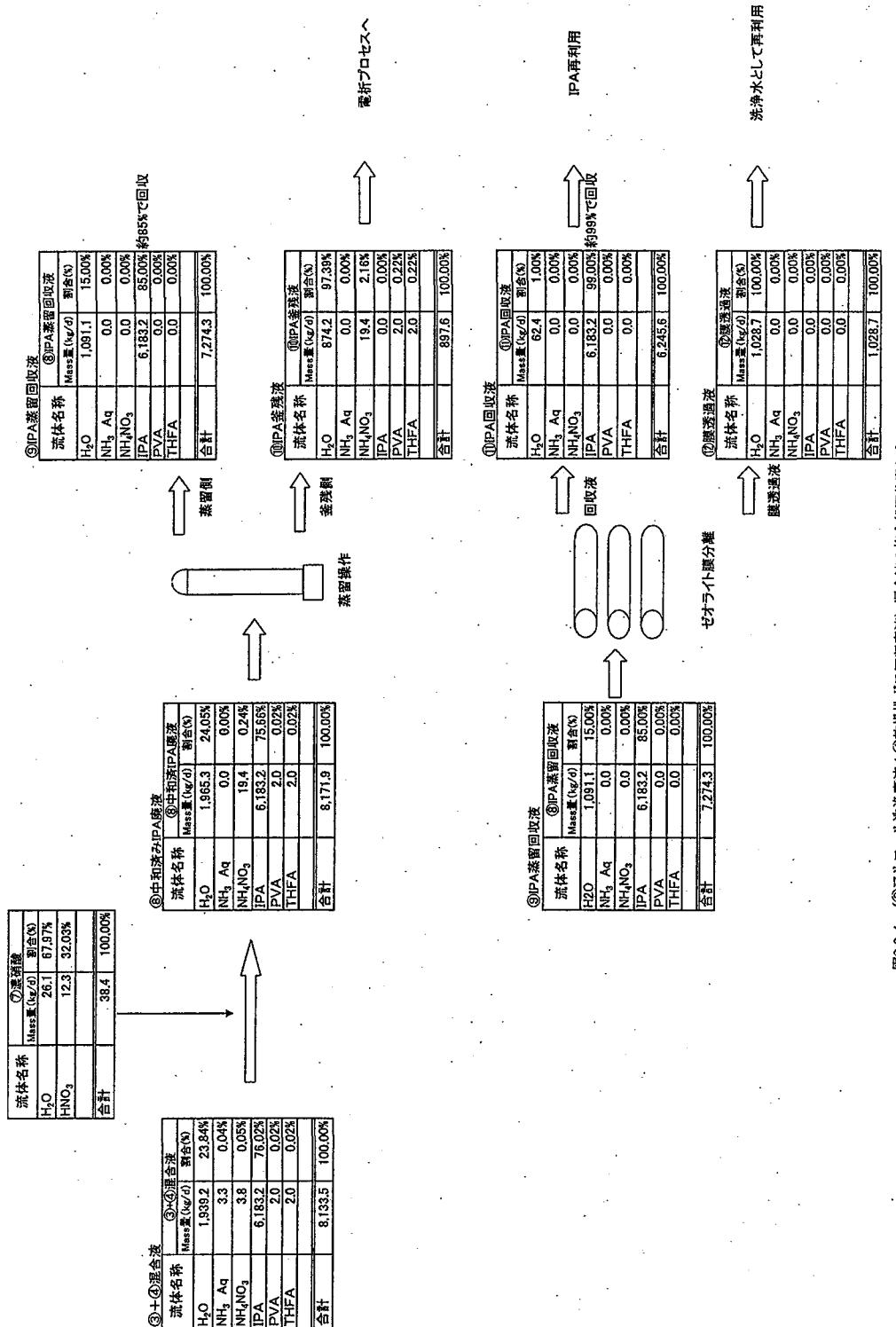


図2.2.4 (③アルコール洗浄溶液+④乾燥ガス回収槽) 混合液の複合処理物質取扱支

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構段提示資料

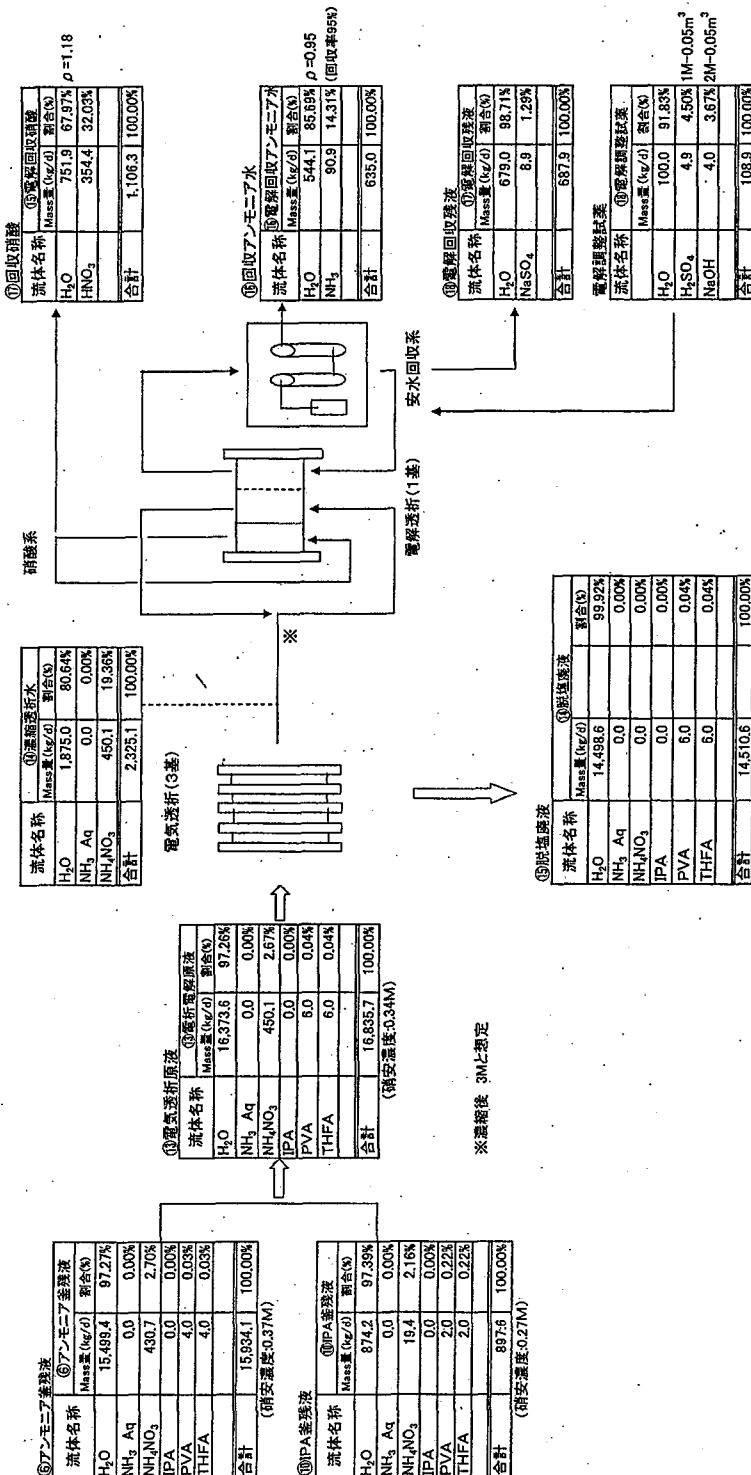


図2.2-5 電気透析及び電解透析プロセスの物資収支

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

表 2.4.2 付帯機器リスト (2/8)

設備名稱:中放射性(プロセス廃液)処理設備

No.	機器番号	機器名称	型式	仕様 (規格寸法、主要性能)	主要材質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	耐震 重要度 区分	重量 (ton)	備考
1	NH3蒸留	2 アンモニア蒸留原液受槽	堅型円筒型	24m ³ φ3000×4300H	SUS304L	常温	静水頭 A	3.5	1槽予備	
2		1 ポンプ1-1	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	
3		1 フィルタ1	精密ろ過	50L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1	
4		1 蒸留塔1	充填塔	φ900×1800W×1000H	SUS304L	100°C	大気圧	A	1.5	
5		1 液輸送器1	多管式	伝熱面積 φ1000×2500L	SUS304L	100°C	大気圧	A	0.5	
6		1 冷却器1	多管式	伝熱面積 300A×2000L	SUS304L	100°C	大気圧	A	0.1	
7		1 7m ³ 蒸留凝縮受槽	堅型円筒型	5m ³ φ2000×2000H	SUS304L	常温	静水頭 A	2		
8		1 アンモニア蒸留受槽	堅型円筒型	24m ³ φ3000×4300H	SUS304L	常温	静水頭 A	3.5		
9		1 ポンプ1-2	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	
10		1 ポンプ1-3	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

表 2.4-2 付帯機器リスト (3/8)

装置名称・中放射性(クロセス廃液)処理設備

No.	機器番号	風数	機器名称	型式	仕様 (概略寸法、主要性能)	主要材質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	耐震 重要部 区分	重量 (ton)	備考
11	IPA蒸留	2	IPA回収受槽	堅型円筒型	10m ³ φ2000×4000H	SUS304L	常温	静水頭	A	2.5	1相予備
12		1	ポンプII-1	遠心型	20L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	
13		1	フィルタII	精密ろ過	20L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1	
14		1	蒸留塔II	光導塔	Φ450×900W×6500H	SUS304L	100°C	大気圧	A	0.5	
15		1	凝縮器II	多管式	伝熱面積 Φ600×2500L	SUS404L	100°C	大気圧	A	0.3	
16		1	冷却器II	多管式	伝熱面積 200A×1800L	SUS404L	100°C	大気圧	A	0.1	
17		1	IPA蒸留凝縮受槽	堅型円筒型	10m ³ φ2000×4000H	SUS304L	常温	静水頭	A	2.5	
18		1	IPA金属性受槽	堅型円筒型	5m ³ φ2000×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	2	
19		1	水ポンプII-2	遠心型	20L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	
20		1	水ポンプII-3	遠心型	20L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	

表 2.4-2 付帯機器リスト (4/8)

装置名稱・中放射性(プロセス流液)処理設備

No.	機器番号	員数	機器名称	型式	仕様 (概略寸法、主要性能)	主要材質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	耐震 重量 [ton]	備考
21	IPA精製	1	セオナット液分離装置	真空ろ過型	6000W×5000D×3500H	SUS316	常温	~5torr	A	10
22		1	IPA受槽	堅型円筒型	10m ³ φ2000×4000H	SUS304L	常温	静水頭	A	2.5
23		1	膜分離ろ液受槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5
24		1	ポンプⅢ-1	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1
25		1	ポンプⅢ-2	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1
26	電析	2	電析分離受槽	堅型円筒型	24m ³ φ3000×4300H	SUS304L	常温	静水頭	A	3.5 1槽予備
27		1	ポンプⅣ-1	ダブルフランジ型	50L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1
28		1	ダブルIV	精密ろ過	50L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1
29		3	電気透析装置	複層型	1000W×400D×2,500H(100cell)	SUS304L	常温	0.2	A	0.5
30		1	濃縮液循環槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構段提示資料

表 2.4-2 付帯機器リスト (5/8)

設備名稱: 中放射性(プロセス純度)処理設備

No.	機器番号	員数	機器名称	型式	仕様 (断面寸法、主要性能)	主要材質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	荷重 重量 [ton]	備考
31	電折	1	ホーブN-2	造心型	20L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1
32		1	ホーブN-3	造心型	50L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1
33		1	電解透析装置	膜横隔壁型	600W×400D×2,500H (45cell)	SUS304L	常温	0.2	A	0.3
34		1	過硫酸回収槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5 ライニング構造
35		1	ホーブN-4	造心型	20L/min	SUS304L	常温	0.2	A	0.1
36		1	運アモニヤ1次回収槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5
37		1	運アモニヤ2次回収槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5
38		1	アモニヤ放散器	充填塔	φ500×1000	SUS304L	100°C	静水頭	A	1
39		1	アモニヤ吸収器	充填塔	φ500×1000	SUS304L	常温	静水頭	A	1

表 2.4-2 付帯機器リスト (6/8)

設備名稱: 中放射性(プロセス廃液)処理設備

No.	機器番号	員数	機器名称	型 式	(概略寸法、主要性能)	主 材 質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	耐 磨 量要部位 分	重 量 (ton)	備 考
40	中濃度	2	中放射能液体受槽	堅型円筒型	24m ³ φ3000×4300H	SUS304L	常温	静水頭 A	2.5	1槽予備	
41		1	ポンプV-1	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2 A	0.1		
42		1	フィルタV	精密ろ過	50L/min	SUS304L	常温	0.2 A	0.1		
43		1	送輸管	垂直サーモホル型	伝熱面積40m ² 2000×1600×6000H	Ti-5ta	100°C	大気圧 A	1		
44		1	送輸器	多管式	φ360×3000L	SUS304L	100°C	大気圧 A	0.5		
45		1	冷却器	2重管式	25A/40A×3000×200H	SUS304L	100°C	大気圧 A	0.1		
46		1	オフガス冷却器	2重管式	25A/40A×3000L	SUS304L	95°C	大気圧 A	0.1		
47		2	凝縮液受槽	堅型円筒型	24m ³ φ3000×4300H	SUS304L	常温	静水頭 A	2.5	1槽予備	
48		1	ポンプV-2	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2 A	0.1		
49		1	送輸液受槽	堅型円筒型	3.5m ³ φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭 A	1.5		

添付資料 2.2.2-1 試薬回収設備の概念調査：サイクル機構殿提示資料

表 2.4-2 付帯機器リスト (7/8)

設備名稱：中放射性（プロセス）廃液処理設備

No.	機器番号	員数	機器名稱	型式	仕様 (規格寸法、主要性能)	主要材質	運転温度 [°C]	運転圧力 [MPa]	耐震 重要度 分類	重量 (ton)	備考
50	中濃度	1	ポンプV-3	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	
51	V013D-1~2	1	ステール凝縮水槽	盤型円筒型	3.5m ³ Φ1500×2000H	SUS304L	常温	静水頭	A	1.5	
52	中濃度	1	ポンプV-4	遠心型	50L/min	SUS316	常温	0.2	A	0.1	

添付資料 2.3.3-1 HTTR 燃料製造における検査項目：サイクル機構段提示資料

第1表 HTTR 燃料製造における検査項目(1/2)

検査項目	仕様数値	検査目的	検査方法	サンプリング率
燃料核				
235U 濃縮度*2	(8~10%) JAERI-M 92-079 P.50	核設計	ラスパトリ及びγ線スペクトロメタ解析	1サンプル/濃縮度
直径*2	600±55(μm)	核設計	光学的粒子サイズ解析	1サンプル(100粒子)/燃料核ロット
真球度*1	≤1.2(95%信頼限界)	照射性能	光学的粒子サイズ解析	3サンプル(100粒子/ロット)/燃料核ロット
密度*2	10.63±0.26(g/cm ³)	核設計	水銀浸漬法	3サンプル/燃料核ロット
O/U レシオ*1	2.0	照射性能	炭化重量法	1サンプル/燃料核ロット
不純物*2	≤3(ppm Equivalent boron content)	核設計及び照射性能	ミニショバクトロ-ト-解析	1サンプル/濃縮度
被覆粒子				
被覆層厚さ*1	第1層 : 60±12(μm) 第2層 : 30±6(μm) 第3層 : 25+12、-0(μm) 第4層 : 45±6(μm)	照射性能	塗装層又は被覆層の厚さ 光学的粒子サイズ解析(PSA)法、X線ジンガ法又は塗装層	3サンプル/被覆燃料粒子ロット
密度*1	第1層 : 1.10±0.10(g/cm ³) 第2層 : 1.85+0.10,-0.05(g/cm ³) 第3層 : ≥3.20(g/cm ³) 第4層 : 1.85+0.10,-0.05(g/cm ³)	照射性能	記載なし 第1層 : 水銀 第2層 : 平均 第3層 : 平均 第4層 : 平均	JAERI-M 92-079 P.3 3サンプル/検査ロット(4g/1サンプル以上) 3サンプル/検査ロット(10粒子/1サンプル以上) 3サンプル/検査ロット(10粒子/1サンプル以上) 3サンプル/検査ロット(4g又は10粒子/以上)
光学的異方性因子*1	≤1.03(OPTAF in high density PyC)	照射性能	水銀	JAERI-M 92-079 P.3,10による
直径*2	920+50、-30(μm)	核設計	水銀	1サンプル(5粒子/ロット)/濃縮度
外観*2		照射性能	光学的粒子サイズ解析 目視	1サンプル(100粒子)/被覆燃料粒子ロット
断面*2		照射性能	水銀	1サンプル(2000粒子)/被覆燃料粒子ロット
真球度*1	≤1.2(95%信頼限界)	照射性能	振動台(ふるい)による選択	1サンプル/被覆粒子
強度*3		照射性能	水銀	30粒子/濃縮度

*1:必須(Compulsory)

*2:オプション(Optional)
*3:ベシダ-要求(品質コントロール)

*4:本体は破壊検査又はそれに準じる検査(製造工程へのフィードバック不可)を示す。

第1表 HTTR燃料製造における検査項目(2/2)

検査項目	仕様数値	検査目的	検査方法	サンプリング率
燃料コンバクト				
235U 濃縮度*3		アロセイントロ-ル	ガスベクタ及びγ線バトロメータ解析	1サンプル/濃縮度
U含有量*2		核設計	γ線バトロメータ解析	全燃料コンバクト
O/U レシオ*1	2.0	照射性能	標準重量法	3サンプル/燃料コンバクトロット JAERI-M 92-079 P. 10
黒鉛粉末*3		照射性能	比重、不純物、グリノサイク、水分濃度	1サンプル/黒鉛粉末ロット
バインダー*3		照射性能	内容物、灰、露点、不純物	1サンプル/バインダーロット
露出ウラン割合*1	$\leq 1.5 \times 10^{-4}$	照射性能	テクニカルアセスメント	2サンプル/燃料コンバクトロット
SiC 破損割合*1	$\leq 1.5 \times 10^{-3}$	照射性能	テクニカルアセスメント	9サンプル/燃料コンバクトロット
充填割合*2	30±3(vol.%)	核設計	重量及び計算	3サンプル/燃料コンバクトロット
マトリックス密度*1	1.70±0.05(g/cm ³)	照射性能	重量及び計算	3サンプル/燃料コンバクトロット
寸法(外径/内径/高さ)*2	26.0±0.1/10.0±0.1/39.0±0.5(mm)	熱流動設計	マイクロメータ	全燃料コンバクト
外観*2		照射性能	目視	10%/燃料コンバクト JAERI-M 92-079 P. 10
マークイング		アロセイントロ-ル	目視	全燃料コンバクト
(圧縮)強度*3	$\geq 4900(N)$	照射性能	圧縮	3サンプル/濃縮度
断面*2		照射性能	セラミックテスト	1サンプル/被覆コンバクトロット
不純物*2	$\leq 5(ppm\text{ Equivalent boron content})$	核設計	ミクロンバトロメータ解析	1サンプル/濃縮度
燃料棒				
ウラン含有量	188.58±5.66(gU)		測定された燃料コンバクトからの計算	
全長	577±0.5(mm)		計算	
燃料コアトスカ長	≥ 544		スミヤ検査	
表面汚染				

*1:必須(Compulsory)

*2:必須(Required)

*3:希望(Optional)

斜字体は破壊検査又はそれに準じる検査(製造工程へのフィードバック不可)を示す。

添付資料2.3.3-2 平成15年度検討概念の試験検査項目：サイクル機構殿提示資料

表 5-1 (1/3) 試驗檢查項目

添付資料2.3.3-2 平成15年度検討概念の試験検査項目：サイクル機構段提示資料

表5-1 (2/3) 試験検査項目

工程	検査対象	検査項目	検査方法	頻度	検査目的			分析時間 (min)	備考	
					品質保証	工程管理				
						品質管理	臨界	核管理	環境	
炭素熱還元	窒化還元球	直径	光学的計測	1試料/製造バッチ	○				30	
		真球度	光学的計測		○				30	
		表面観察	光学的計測		○				30	
		内部観察	セモ'ラフィ		○				600	
		比表面積	低温物理吸着法		○				30	
		密度	定容積膨張法(乾式)		○				30	
		かさ密度	JIS準拠		○				30	
		粒度分布	レーベ回折・散乱法		○				30	
		含水率	水分吸着法		○				30	
		O/M	酸化還元重量法		○				120	
再還元	再還元球	有機物濃度	ガスクロマトグラフ分析	連続	○				30	
		重量	ロードセル(オンライン)		○				-	
		15N濃度				○				N ₂ +H ₂ +CH ₄ +CO
		CH ₄ 、CO濃度					○			
		直徑	光学的計測		○				30	
		真球度	光学的計測		○				30	
		表面観察	光学的計測		○				30	
		内部観察	セモ'ラフィ		○				600	
		比表面積	低温物理吸着法		○				30	
		密度	定容積膨張法(乾式)		○				30	
焼結	焼結球	かさ密度	JIS準拠	1試料/製造バッチ	○				30	
		粒度分布	レーベ回折・散乱法		○				30	
		含水率	水分吸着法		○				30	
		O/M	酸化還元重量法		○				120	
		Pu含有率	酸化重量法		○				120	
		U含有率	酸化重量法		○				120	
		同位体組成	ICP-MS		○				240	
		MA濃度	α線スペクトル分析		○				60	
		FP濃度	ICP-AES		○				240	
		不純物濃度	ICP-AES		○				240	
焼結排ガス	焼結球	有機物濃度	ガスクロマトグラフ分析	連続 全数	○				30	
		重量	ロードセル(オンライン)		○				-	
		真球度	分級装置		○				-	
焼結排ガス	水素濃度	水素濃度計		連続	○				-	H ₂ +Ar

添付資料2.3.3-2 平成15年度検討概念の試験検査項目：サイクル機構殿提示資料

表5-1 (3/3) 試験検査項目

工程	検査対象	検査項目	検査方法	頻度	検査目的			分析時間(min)	備考	
					品質保証	工程管理				
						品質管理	臨界	核管理	環境	
被覆	被覆粒子	被覆層厚さ	光学的計測、X線ラジオグラフ、金相浮遊沈殿法他	3試料/被覆製造バッチ	○				600	
		被覆層密度	浮遊沈殿法他	3試料/被覆製造バッチ	○				600	
		光学的異方性因子	ポーラリゼーションフロトメータ	1試料/被覆製造バッチ	○				600	
		外観	光学的計測	1試料/被覆製造バッチ	○				30	
		直径	光学的計測	1試料/被覆製造バッチ	○				30	
		断面組織	セラミックラフィ法	3試料/被覆製造バッチ	○				600	
		破壊強度	ボイントクラシング法	1試料/被覆製造バッチ	○				600	
		重量	ロードセル(インライン)	連続			○		-	
		真球度	分級装置	全数	○				-	
原料ガス	原料ガス	塩化タン濃度 15N濃度			○ ○					TICL4+15N2 +H2
		排ガス	15N濃度 塩酸濃度		○			○		
組立	燃料体	材料検査	材料製造記録との照合	1試料/製造バッチ	○				5	
		外観、構成部品寸法	目視及び光学的計測	全数	○				10	
		表面汚染	光学的計測	全数	○			○	10	
			スミヤ法	全数	○				30	
オフガス処理設備	還元ガス 再還元ガス 焼結ガス	還元ガス	水素濃度	水素濃度計	連続	○ ○ ○			- - -	H ₂ +Ar
		再還元ガス								
		焼結ガス								
		窒化還元ガス	15N濃度			○				¹⁵ N ₂ +H ₂

機器名称	機器個数	機器全重量 [kg]	停止措置時重量 [kg]	部品	部品個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計重量 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物量 [kg/年]	備考	今回の仕様に合わせて見直しましたは追加				
												(年・基)	(kg/年)			
富化度調整液受入槽	6	9500 2600	38000 5200	供給バルブ 排出バルブ ポンプ	1 1 1	10 10 200	10 10 200	220 10 10	10 10 10	1 1 1	132 各系統2基づつで交互に使用					
滴下液混合槽	4	1400 700	2800 1400	PAV供給バルブ PAV供給バルブ THFA供給バルブ 排出／攪拌バルブ ポンプ	1 1 1 2	10 10 10 200	10 10 10 400	440 10 10 10	10 10 10 5	1 1 1 80	20 1 1 1	336				
滴下液供給槽	44	2000 300 7200	40000 4000 移送バルブ	供給バルブ アンモニア供給バルブ 排出バルブ 滴下ノズル バイブレータ	1 1 1 4	10 10 10 20	10 10 10 80	30 102 2 80	10 10 0 5	1 1 1 16	10 10 10 10	1 1 1 1	132			
滴下・熟成槽	11	1200 500	60000 30000	アンモニア供給バルブ 排出バルブ 滴下ノズル バイブレータ	1 1 4	10 10 0.5 20	10 10 2 10	102 10 2 80	10 10 0 5	1 1 0 16	10 10 10 10	1 1 1 1	198			
洗浄装置	22	400 400	4000 4800	洗浄水入口バルブ IPAVバルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	30 50	10 10	1 1	1 1	10 10	1 1	66		
乾燥装置	13	3000 6000	15000 2000	回転モータ 供給バルブ 排出バルブ 減圧弁	1 1 1	10 15 10	10 15 10	10 50	10 10	1 1	1 1	10 10	1 1	26		
乾燥ケル球貯槽搬送装置	4	1000 3000	15000 24000	駆動モータ 供給バルブ 排出バルブ	1 1	15 10	15 10	20 5	15 10	1 1	1 1	10 10	1 1	16 各系統1基づつ		
乾燥ケル球貯槽搬送装置	4	5000 5000	100000 100000	昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	1 2 3	15 15 15	15 30 15	60 30 15	5 5 5	3 6 3	3 6 3	5 5 5	3 3 3	324 各系統5基づつ+被覆生成セル3基、メンテナンスセル5基 燃料製造・貯蔵セル各1基		
移動ローダ	4	10000 10000	160000 110000	昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	1 2 3	15 15 15	15 30 10	60 30 10	5 5 5	3 6 3	3 6 3	5 5 5	3 3 3	460 各系統5基づつ		
インセクレーシン	27	100000 100000	160000 110000	昇降駆動装置 走行駆動装置 モータ	1 2 3	15 15 15	15 30 10	60 30 10	5 5 5	3 6 3	3 6 3	5 5 5	3 3 3	372 デル化並み		
パワーマニピュレーター	20	3000 3000	300000 300000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ	1 1 1	2 2 2	2 10 3	4 20 6	300 200 200	10 10 10	0.4 0.6 0.6	4 40 40	4 40 40	767		
マスタースレーブマニピュレーター	124	100 100	6200 6200	アーム機構	1	15	15	15	15	5	5	5 5	5 5	3		
培焼球貯槽	8	200 200	800 800	アーム機構	1	10	10	20	10	10	1 1	10 10	1 1	16		
還元炉	4	3000 3000	15000 24000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ	1 2 1	2 2 1	2 10 3	4 20 6	300 200 200	10 10 10	0.4 0.6 0.6	4 40 40	4 40 40	236		
トレー搬送装置	4	250 1500	1200 3000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ	1 1 1	10 10 10	10 10 10	20 10 10	20 10 10	1 1 1	1 1 1	10 10 10	1 1 1	20		
還元球形炉	10	200 250	1200 1000	供給バルブ 排出バルブ	1 1	15 10	15 10	60 20	15 10	1 1	1 1	10 10	1 1	16 各セル1基		
炭素熱還元炉	8	3000 3000	120000 120000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ	1 2 1	2 2 1	2 10 3	4 20 6	300 200 200	10 10 10	0.4 0.6 0.6	4 40 40	4 40 40	480 回転駆動部を除き還元炉同等と仮定して暫定化処理のため蓋開閉装置追加		
窒化還元球貯槽	12	150 250	1200 1000	扉開閉装置 供給バルブ	1 1	15 10	15 10	20	10	1 1	1 1	10 10	1 1	24 乾燥ゲル球貯蔵と同等と想定		
再還元炉	4	3000 3000	60000 60000	計量供給装置1 計量供給装置2 ヒータ	1 2 1	2 2 1	2 10 3	4 20 6	300 200 200	10 10 10	0.4 0.6 0.6	4 40 40	4 40 40	244 還元炉と同等と想定して設定		
再還元球貯槽	8	150 150	600 600	供給バルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	20	10	1 1	1 1	10 10	1 1	16		
焼結炉	4	56000 56000	112000 112000	耐火材 ビーム駆動部 油圧シリンダ ヒータ	2 2 8	4000 400 40	4000 200 320	4760 10 10	5 5 3	5 5 3	4 40 40	800 40 106.7	3810.7			
焼結球貯槽	8	150 250	600 1000	供給バルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	20	10	1 1	1 1	10 10	1 1	16		
分球装置	4	110 110	220 220	振動モータ	1 1	15 15	15 15	20	10	1 1	1 1	10 10	1 1	20		
真球判定装置	17	50 50	2250 3600	振動体	1 1	10 10	10 10	20	10	1 1	1 1	10 10	1 1	468		

表3.1-5 機器廢棄物(固体廢棄物)(2/2)

单位:kg

天然ガス用機器重量:	1,020
燃料燃焼装置重量:	3,020
非放射性廃棄物重量:	160,000

*2: ブランケット燃料用及びその他のセル用の機器廃止措置時重量にブランケット燃料からの廃液及び塵ガス回収系を含めると59742kgとなる。

添付資料 3.1-2 平成 15 年度の燃料製造時の分析に伴う発生廃棄物評価結果（サイクル機構段提示）

表 3.1-6 燃料製造時の分析に伴う発生廃棄物

分析項目	分析方法（破壊分析等）	サンプリング率	サンプル数（個またはサンプル）／ $d * 1$		廃棄物量 g/d * 2
			内側炉心	外側炉心、 プラント	
滴下液 U・Pu 濃縮度	マススペクトル及びγ線スペクトロ分析	1 試料／製造バッチ	8	8	8
滴下液不純物(有機)	ガスクロマトグラフ分析	1 試料／製造バッチ	8	8	8
滴下液不純物(無機)	ICP-AES	1 試料／製造バッチ	8	8	8
燃料核密度	水銀浸漬	3 サンプル／燃料核ロット	48.81	37.8	135.6
燃料核 O/U レシオ	酸化重量法	1 サンプル／燃料核ロット	16.27	12.6	45.2
被覆粒子被覆層厚さ	溶媒浸漬またはシンクフロート	3 サンプル／被覆燃料粒子ロット	48.81	37.8	135.6
被覆粒子密度第 1 層	浮遊沈殿法等	3 サンプル／分析ロット (10 粒子／1 サンプル以上)	488.1	378	1356
被覆粒子密度第 2 層	浮遊沈殿法等	3 サンプル／分析ロット (10 粒子／1 サンプル以上)	488.1	378	1356
被覆粒子光学的異方性因子	ポラリゼーションフォトメータ	1 サンプル (5 粒子／サンプル)／濃縮度	81.35	63	226
被覆粒子断面	セラモグラフィ	1 サンプル (20 粒子)／被覆燃料粒子ロット	325.4	252	904
被覆粒子強度	ポイントクラッシャー	30 粒子／濃縮度	488.1	378	1356
合計					1588.4

* 1：製造量内側炉心 244kgHM/d、外側炉心 189kgHM/d、燃料核ロット 678kgHM/d、燃料核系では 1 バッチ /d から算出、溶液系では 1 バッチ /3 時間で 8 バッチ /d から算出。
 * 2、燃料核比重 14.3g/cm³ より炉心燃料核 0.0379g/個、プランケット燃料核 0.0460g/個、炉心被覆粒子 0.08028g/個、プランケット被覆粒子 0.07542g/個から算出。溶液系では 1 サンプル 10mL として比重 1.25kg/L より 12.5g/L サンプルを想定して算出。