

JNC TJ9420 2005-007

# ガス炉用窒化物燃料製造システム検討

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2004年2月

富士電機システムズ株式会社

JNC-TJ9420-2005-007

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

2004年2月

ガス炉用窒化物燃料製造システム検討  
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

戸澤 克弘\* 山田 裕之\* 尾崎 博\* 中野 正明\*

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**

窒化物燃料の臨界安全上の寸法制約を評価し、酸化物燃料に比べ機器直径で数 mm の縮小が必要であることを明らかにした。また、複数設置する必要のある機器については、2列に配置するものとし、被覆生成装置については中心間距離を 1.8m 以上、その他の機器については 1.0m 以上確保する必要があることを示した。

窒化物燃料の TiN 被覆生成装置の処理容量増大を狙い 10kgHM/バッチで 3 バッチ /日の設備概念をレファレンスとして想定し、機器仕様を設定した。

各機器について、機器寸法検討結果より得られた機器当たりの処理能力をもとに、

バッチ当たりの要求処理量を考慮して、必要機器数および系統構成を算出した。

多數の機器から構成される被覆生成装置、真球度判定装置等は、機器ごと保守エリアに搬送してメンテナンスを行うものとし、それ以外の機器はマスタスレイブマニピレータによるメンテナンスを行うものとしてセル配置を行った。

**(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、プランケット燃料からの廃液・廃ガス回収系を除いた、建設費、運転費を評価した。その結果、建設費総額の 23%が主工程設備費、28%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、38%が建電換費、11%が新燃料貯蔵設備費である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

\* : 富士電機システムズ株式会社

February. 2004

Study of the Coated Particle Nitride Fuel Fabrication Facility  
for He Gas Cooled Reactor

(Document Prepared by Other Organization, Based on the Trust Contract)  
(Survey Document)

K. Tozawa\*、H. Yamada\*、H. Ozaki\*、M. Nakano\*

### Abstract

Coated particle nitride fuel fabrication facility for Helium gas cooled reactor on the Feasibility Study for FBR and Related Fuel Cycle 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 coated particle fuel fabrication plant concept

Criticality evaluation of the coated particle nitride fuel fabrication facilities was performed. The result of the evaluation made clear to require the reduction of the diameter of facilities by a few mm. TiN coaters in the particle coating process running three batch operation in a day and large capacity coater, 10kg/HM/batch, were settled to satisfy the plant capacity. Required numbers of equipments and system configuration was settled based on process capacity from the result of study of components. Cell arrangements are settled by following policy. Large number of equipment, likely TiN coaters and sphericity determination equipments, are maintained after conveyed to maintenance area, and other equipments are maintained by master-slave manipulators in hot cell.

#### (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 excepting for waste gas and waste liquid recover systems of blanket fuel has been estimated. Following result are taken. Main process equipment cost occupies 23% of construction cost. Cost of radioactive waste treatment process, analysis process, maintenance facilities, instrumentation facilities and utility, occupy for 28% of construction cost. Cost of building, electrical equipment and ventilating system occupy for 38% of construction cost. New fuel storage facility occupy for 11% of construction cost.

---

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

JNC Liaison ; 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 .....	1-2
1.4 研究体制 .....	1-2
1.5 研究工程 .....	1-2
 2. 燃料製造プラントの概念の調査 .....	2. 1. 1-1
2.1 設計条件の検討 .....	2. 1. 1-1
2.1.1 設計条件の整理 .....	2. 1. 1-1
2.1.2 臨界評価 .....	2. 1. 2-1
2.2 燃料製造機器の概念検討 .....	2. 2. 1-1
2.2.1 被覆生成装置の検討 .....	2. 2. 1-1
2.3 燃料製造プラントの概念調査 .....	2. 3. 1-1
2.3.1 全体機器構成・仕様の検討 .....	2. 3. 1-1
2.3.2 セル配置、建屋構成の検討 .....	2. 3. 2-1
 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
 5. 参考文献 .....	5-1
 添付資料2.1.2-1 湿式ゲル化法の検討との比較 .....	添2. 1. 2-1
添付資料3.1-1 物質収支（主工程） .....	添3. 1-1
添付資料3.1-2 物質収支（被覆生成工程） .....	添3. 1-5
添付資料3.1-3 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量 .....	添3. 1-6
添付資料3.1-4 HTTR燃料製造における検査項目 .....	添3. 1-15
添付資料3.1-5 試験検査項目 .....	添3. 1-17
添付資料3.1-6 He冷却被覆粒子窒化物燃料炉心の燃料組成 .....	添3. 1-20

## 表目次

頁

表 1-1 「ガス炉用窒化物燃料製造システム検討」の研究工程 .....	1-3
表 2. 1. 1-1 検討対象とする被覆粒子燃料及び集合体条件 .....	2. 1. 1-3
表 2. 1. 1-2 (1/2) 被覆粒子燃料製造設備機器主工程機器の基本構成（基本構想）	2. 1. 1-4
表 2. 1. 1-2 (2/2) 被覆粒子燃料製造設備機器主工程機器の基本構成（基本構想）	2. 1. 1-5
表 2. 1. 2-1 解析対象 .....	2. 1. 2-9
表 2. 1. 2-2 組成 (1/3) .....	2. 1. 2-10
表 2. 1. 2-2 組成 (2/3) .....	2. 1. 2-11
表 2. 1. 2-2 組成 (3/3) .....	2. 1. 2-12
表 2. 1. 2-3 解析結果一覧表（単ユニット計算） .....	2. 1. 2-13
表 2. 1. 2-4 臨界安全から決まる機器寸法 .....	2. 1. 2-14
表 2. 2. 1-1 検討対象とする被覆粒子燃料及び被覆生成装置条件 .....	2. 2. 1-6
表 2. 2. 1-2 被覆生成装置の構成と必要基數の関係 .....	2. 2. 1-7
表 2. 3. 1-1 炉心燃料粒子ライン機器数の設定 .....	2. 3. 1-10
表 2. 3. 1-2 ブランケット粒子ライン機器数の設定 .....	2. 3. 1-11
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） .....	3. 1-3
表 3. 1-2 主工程の液体廃棄物発生量と排出量 .....	3. 1-4
表 3. 1-3 気体廃棄物処理量まとめ（回収・再利用分含む） .....	3. 1-5
表 3. 1-4 気体廃棄物発生量と排出量 .....	3. 1-6
表 3. 1-5 機器廃棄物（固体廃棄物）(1/2) .....	3. 1-7
表 3. 1-5 機器廃棄物（固体廃棄物）(2/2) .....	3. 1-8
表 3. 1-6 燃料製造時の検査に伴う発生廃棄物 .....	3. 1-9
表 3. 1-7 TRU 移行量 .....	3. 1-10
表 3. 2-1 建屋容積の試算結果 .....	3. 2-3
表 3. 2-2 消耗品使用量の試算結果 .....	3. 2-3
表 3. 2-3 運転員の人員計画 .....	3. 2-4
表 3. 2-4 鉄筋重量の試算 .....	3. 2-5
表 3. 2-5 コンクリート重量の試算 .....	3. 2-6

## 図目次

	頁
図 2. 1. 1-1 被覆粒子燃料集合体概念	2. 1. 1-6
図 2. 1. 1-2 燃料製造フロー	2. 1. 1-7
図 2. 1. 1-3 窒化物燃料製造設備プロセスフローダイヤグラム	2. 1. 1-8
図 2. 1. 2-1 窒化物燃料製造設備構成	2. 1. 2-15
図 2. 1. 2-2 円筒体系 (Cd 有り) の解析モデル	2. 1. 2-16
図 2. 1. 2-3 円筒体系 (Cd 無し) の解析モデル	2. 1. 2-17
図 2. 1. 2-4 複数ユニットの解析モデル	2. 1. 2-18
図 2. 1. 2-5 ユニット間の水密度と中性子増倍率の関係	2. 1. 2-19
図 2. 1. 2-6 ユニット配列のピッチと中性子増倍率の関係 (2 列配列)	2. 1. 2-19
図 2. 1. 2-7 ユニット配列のピッチと中性子増倍率の関係 (4 列配列)	2. 1. 2-20
図 2. 2. 1-1 HTTR 被覆生成装置 (流動床方式) 概念	2. 2. 1-8
図 2. 2. 1-2 ガスディストリビュータ概念	2. 2. 1-8
図 2. 2. 1-3 被覆生成装置概念図	2. 2. 1-9
図 2. 3. 1-1 窒化物被覆粒子燃料製造設備プロセスフロー	2. 3. 1-8
図 2. 3. 1-2 全体系統構成	2. 3. 1-9
図 2. 3. 2-1 被覆粒子燃料製造設備配置図 (立面断面図)	2. 3. 2-2
図 2. 3. 2-2 被覆粒子燃料製造設備配置図 (3F 平面図)	2. 3. 2-3
図 2. 3. 2-3 被覆粒子燃料製造設備配置図 (2F 平面図)	2. 3. 2-4
図 2. 3. 2-4 被覆粒子燃料製造設備配置図 (1F 平面図)	2. 3. 2-5
図 2. 3. 2-5 被覆粒子燃料製造設備配置図 (B1F 平面図)	2. 3. 2-6

## 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 FBR が選定されており、その燃料の候補概念として、窒化物被覆粒子燃料が設定されている。この窒化物被覆粒子燃料の燃料製造システムについては、過去の検討事例において HTTR 燃料製造システムを参考として概略のプラント概念の設定と被覆工程を加えることによる経済性への影響評価が行われているが、HTTR 用酸化物燃料の条件をベースとしているため、窒化物燃料としての臨界安全性や、遠隔自動によるセル概念については十分に評価されていない。したがって、こうした面から窒化物燃料についてのより詳細な検討を行う必要がある。

### 1.1 研究目的

窒化物被覆粒子燃料の燃料製造システムについて、安全性等を考慮して機器当りの処理能力の検討を行い、年間生産量 200tHM/y に対応した機器数を求めると共に、遠隔自動運転に対応した機器のセル内配置について検討し、プラント概念を示すことを目的とする。合わせてシステム特性評価として廃棄物発生量および建設費・運転費を試算する。

### 1.2 研究項目

#### (1) 燃料製造プラントの概念の調査

年間生産量 200tHM/年とする窒化物被覆粒子燃料製造システムについて、臨界安全性等を考慮して機器寸法等を評価することにより、機器当たりの処理能力を設定し、必要機器数を算出する。また、遠隔自動化を考慮した製造機器およびセル配置の概念を構築する。

##### (i) 燃料製造機器の概念検討

乾燥装置以降の燃料製造装置の臨界安全評価を行い、臨界安全の観点から適切な装置寸法および機器配置間隔を設定する。

また、HTTR の被覆生成装置の仕様を参考に、TiN の被覆生成装置の概念検討を行う。検討においては、臨界安全性および HTTR の被覆生成装置の処理能力に準拠して、機器能力を設定するものとする。

上記の検討結果より得られた機器当たりの処理能力をもとに、バッチ当たりの要

研究工程计划表 I-1 の記載内容を。

### I.5 研究工程

方策概要。

本研究は、機械設計の基礎知識と実験結果から、富士電機による大規模会社

### I.4 研究体制

本研究は平成 15 年 5 月から 5 年間で実施する。

### I.3 研究期間

#### ② 調査費

##### ① 建設費（設備費、建屋建設費、工事料工手料費等）

見積書を。

式、設備費、建屋費、工事料工手料費用を明記すれば、以下の項目を考慮して機器の概念設計書と比べて内訳量を計算する（經濟性評価を行ふ）。經濟性評価を行ふ。

#### (ii) 經済性の評価

種類毎に見積書を。また、分析软件で TRU 行量比の評価を行ふ。

主工程、分析、保守補修に対する需要量を算出する際の要素物質、気体、液体、固体の要素物

#### (i) 要素物質生量の評価

#### (2) 以下に示す評価に関する一つの評価

担当者と工技室、各課内自動化運転部と保守補修室との連携を図る。

及び工事料工手料費等を含めた建築費の概念設計の明記が求められる。各課内配管

機械製造機器の検討が必要となる、機器の内訳量を行なう機械集合体組立・検査

#### (ii) 機械製造工場の概念調査

実地調査を考慮して、必要機器数を算出する。

表1-1 「ガス炉用塗化物燃料製造システム検討」の研究工程

平成15年							平成16年		
5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
キックオフ	検討計画打ち合わせ	検討条件等の整理（中間報告）	装置概念及び機器構成の具体化（中間報告）	配置、廃棄物量評価、経済性評価（中間報告）	最終報告	報告書ドraft版提出	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。

#### 2.1.1 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。

##### (1) 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ヘリウムガス冷却高速増殖炉の燃料集合体の構造概念を図 2.1.1-1 に、基本仕様を表 2.1.1-1 に示す。集合体構造図は平成 12 年度から平成 13 年度で寸法が大きく変更されているが、平成 13 年度概念では詳細構造は不明のため、平成 12 年度と同様にコンパートメントとハンドリングヘッド／エントランスノズル等の組立はボルトにより接合する方式を前提とする。

##### (2) 燃料製造設備の基本構想

サイクル機構殿提示の燃料製造設備基本構想に基づき、整理した。燃料製造フローを図 2.1.1-2 に示す。還元工程までは酸化物振動充填法のプロセスと同等である。窒化物燃料に転換する炭素熱還元工程、燃料核に被覆を形成する燃料被覆工程、セラミクス集合体の組立が必要な集合体組立工程が異なる工程となる。集合体組立工程については、集合体の構成部品の概念等は不確定のため、建屋配置等の検討用に要求機能とサイズのみを概略検討するものとする。

全体プロセスフローダイヤグラムを図 2.1.1-3 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集合体組立て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

検討のスタート条件となる、JNC 殿の検討に基づく、各設備における燃料製造設備の機器数を表 2.1.1-2 に示す。これらの機器数は先行検討における臨界評価に基づき設定された基準であり、炉心燃料については後述の臨界評価によりサイズ制限を見直した上で、再度機器数等を設定するものとする。

また、ブランケット燃料については、集合体仕様が同一であり、軸方向と径方向で系列を分離する必然性がないことから、ブランケット燃料については軸方向と径方向の分離は要求条件とはせず、配置を含めた全体構成の検討において設定するものとした。

表 2.1.1-1 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		HTTR の被覆粒子 燃料 (参考)	備考
	炉心燃料	ブランケット燃料		
1. 燃料仕様				
燃料材料	窒化物 (N-15、 100%濃縮) PuN/UN/MA	窒化物 (N-15、 100%濃縮) UN/MA	酸化物 UO <sub>2</sub>	
被覆粒子径	1.94mm	1.9mm	920 μm	
燃料核	1.5mm	1.6mm	600 μm	
被覆層第1層厚さ	120 μm	60 μm	60 μm	
組成	40%低密度 TiN (バッファ層)		低密度 PyC 層	
被覆層第2層厚さ	100 μm	80 μm	30 μm	
組成	100%密度 TiN (強度層)		高密度 PyC 層	
被覆層第3層厚さ	—	—	25 μm	
組成	—	—	SiC 層	
被覆層第4層厚さ	—	—	45 μm	
組成	—	—	PyC 層	
2. 集合体仕様				
材料	コンパートメント : 高結晶性 SiCf/SiC コンポジット  その他 (ハンドリングヘッド等) : SiC 焼結体		—	文献(9) JNCTY9400 2002-074
集合体全長	3930mm		—	
集合体配列ピッチ	222.3mm (対面間距離相当)		—	
コンパートメント 内管／外管内径	84/201mm		—	
コンパートメント 内管／外管肉厚	4/4mm		—	
被覆粒子充填率	60%		—	
3. 燃料装荷量／燃 交 (kgHM)	内側炉心 : 6947 外側炉心 : 5415	径方向 : 14826 軸方向 : 4252	—	
4. Pu 富化度 (w%)	内側炉心 : 17.1 外側炉心 : 22.6	0	—	
5. MA 添加率	1.2%	0	—	
6. 燃料製造設備生 産量	200tHM/y		0.4tHM/y (プラン ト)、1.5tHM/y (被 覆装置)	
7. 年間操業日数	200 日 (1 日 24 時間)		? (1 日 8 時間)	
8. 製造量／日	1111kgHM/d		?	
U (kgHM/d)	内側炉心 : 202 外側炉心 : 146	径方向 : 522 軸方向 : 156	?	
Pu (kgHM/d)	内側炉心 : 42 外側炉心 : 43	0	—	

表 2.1.1-2 (1/2) 被覆粒子燃料製造設備機器主工程機器の基本構成（基本構想）

## サイクル機構段提示

製造量t/Fu(FeHM/d)	運転形態	機器有效容量(L/回)	炉心内側燃焼			炉心外側燃焼		
			機器處理量 <sup>a)</sup> (L/h) <sup>b)</sup>	系統數(台)	機器數合計	瞬時處理量(kg/h) <sup>c)</sup>	系統數	機器數合計
濃化度調整液更入槽	バッチ	6500 /4500(1日分、3時)	6500 2	1	2	4200 (0日分、1時)	2	1
滴下液混合槽	バッチ(3hr)	185 250	1	2	.2	175 (12時間分)	1	1
滴下液混合槽内筒ホーリ	バッチ(3hr)	15 250	1	1	1	15 (12時間分)	1	1
滴下液共沸槽	バッチ(3hr)	80 250	4	1	4	175 8 IPa : 900 (6時間分)	3	1
洗浄装置	バッチ(6hr) <sup>d)</sup>	97 2450 IPa : 1250	4	2	8	蒸沸水: 750 IPa : 900 (6時間分)	3	2
乾燥装置	バッチ(3hr)	80 31	4	2	.3	350 120 (3時間分)	3	2
乾燥ケル球航行槽		160	4	1	.4	120 (2時間分)	3	1
乾燥ケル球航行槽送装置								
培焼炉	連続(3hr)	26	4	1	4	120 (2時間分)	1	2
培焼球航行槽		32	50	2	1	2 (2時間分)	40 (2時間分)	1
還元炉	連続(3hr)	26	50	1	1	40 (2時間分)	1	1
還元球航行槽		32	360	2	1	220 (24時間分)	1	2
放熱還元炉	バッチ(24hr)	21 <sup>e)</sup>	360 (24時間分)	2	1	220 (24時間分)	1	2
墨化還元球航行槽		32	300	2	1	220 (24時間分)	1	1
再還元炉	連続(3hr)	26	38	1	1	30 (12時間分)	1	1
焼結炉	連続(12hr)	62 <sup>f)</sup>	150	1	1	120 (12時間分)	1	1
焼結球航行槽		32	300 (12時間分)	1	1	120 (12時間分)	1	1
分級装置	分级装置			1	1	同上	1	1
分级装置	分级装置			1	1	同上	1	1
液槽生辰装置	バッチ(24hr)	10 (24時間分)	300 (14日分)	1	30 (14日分)	30 (24時間分)	1	24
液槽粒子捕捉装置判定装置				1	25 (14日分)	25 (14日分)	1	24
液槽粒子捕捉装置				1	25 (14日分)	25 (14日分)	1	24
中間貯蔵庫液槽粒子		2.3	4200 (14日分)	1	162 集合体2本/日	3360 (14日分)	1	130
燃料集合体組立装置					400			200
燃料集合体打取床								

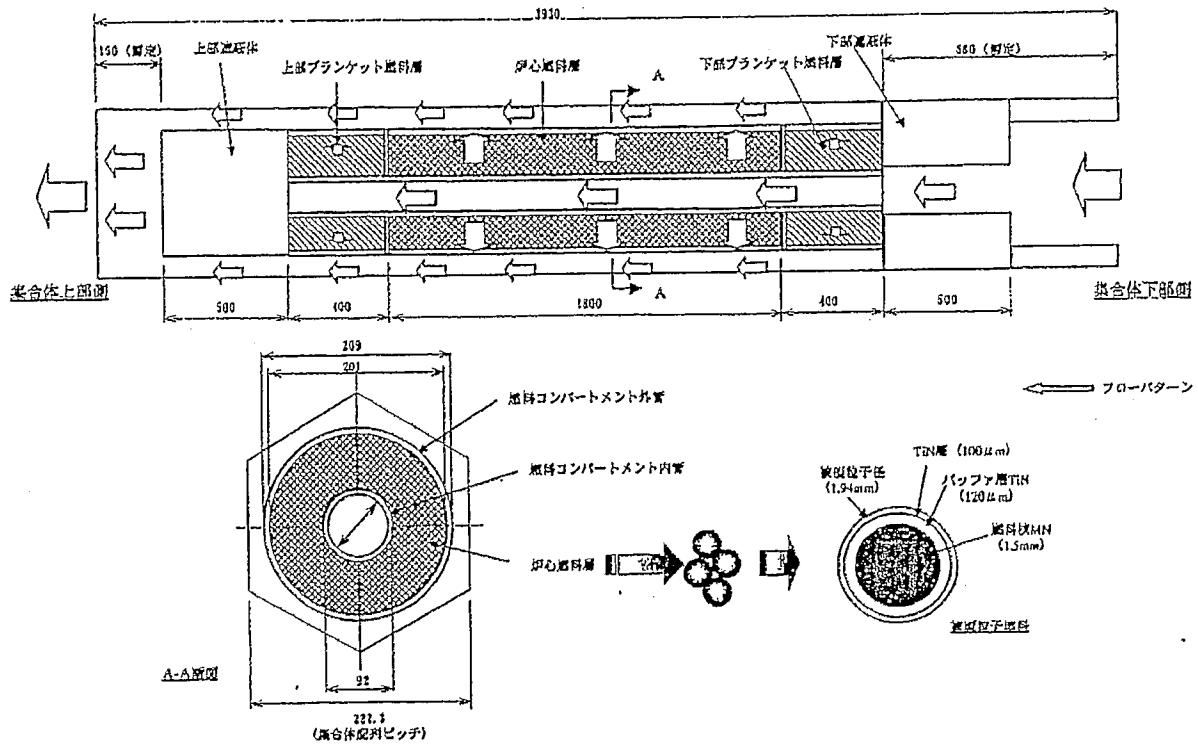
<sup>a)</sup>: 水洗浄及U IPA洗浄含む。  
<sup>b)</sup>: 特記無きは3時間分。

## サイクル機構設提示

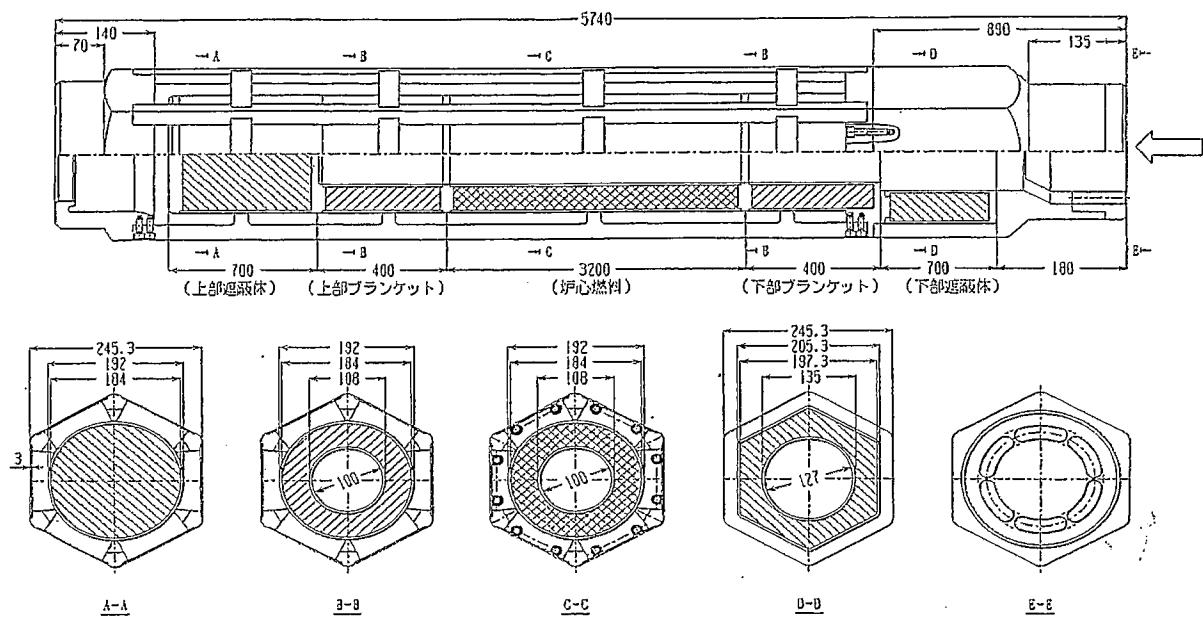
表 2.1-2 (2/2) 被覆粒子燃料製造設備機器主工場機器の基本構成 (基本構想)

製造量/t/Pu(KgHM/d)	径方向フランジ外燃料				軸方向フランジ外燃料			
	522/0		56/0		522/0		56/0	
機器名称	運転形態	機器有効容量(L/回)	系統機器数合計(1/ハッチ)	機器数合計(1/ハッチ)	系統処理量(kg/h/シグ)	機器数合計(1/ハッチ)	系統処理量(kg/h/シグ)	機器数合計(1/ハッチ)
富化度調整液受入槽 滴下混合槽	バッチ	21000 (0回/1系統)	15400 (0回/1系統)	2	1	2 (0回/1系統)	4900 (0回/1系統)	径方向用と共に用
滴下混合槽連続槽	バッチ(3hr)	800/250	625	1	1	1	190	1
滴下混合槽連続槽	バッチ(3hr)	40	625	1	1	1	190	1
滴下液供給槽	バッチ(3hr)	160	625	4	4	16	190	2
滴下・熱成槽	バッチ(6hr)*1	97 IPA : 3200	97 IPA : 3200	4	5	20 洗浄水 : 6550 (6時間分)	190 洗浄水 : 6550 (6時間分)	2
乾燥装置	バッチ(3hr)	120	1200	4	5	20 洗浄水 : 6550 (6時間分)	350	2
乾燥アーリ球形槽	連続(3hr)	31	390	4	1	4 洗浄水 : 6550 (6時間分)	120	2
乾燥アーリ球形槽送装置	連続(3hr)	26	390	2	3	6 洗浄水 : 6550 (6時間分)	120	2
乾燥炉	連続(3hr)	32	100	2	1	2 洗浄水 : 6550 (6時間分)	30	1
乾燥球形槽	連続(3hr)	26	100	2	1	2 洗浄水 : 6550 (6時間分)	30	1
還元炉	連続(24hr)	30*2	760	1	3	3 (24時間分)	230	1
炭素還元炉	連続(24hr)	32	650	1	2	2 (24時間分)	200	1
還元球形槽	連続(3hr)	26	25	1	1	1 (12時間分)	25	1
再還元炉	連続(12hr)	62*3	330	1	1	1 (12時間分)	100	1
再還元球形槽	連続(12hr)	32	75	1	1	1 (12時間分)	22	1
分級装置	バッチ(24hr)	10	660 (24時間分)	1	66	66 (24時間分)	200	1
真球度判定装置	バッチ(24hr)			1	1	1	20 1000φ(反応槽直径Φ50φ)×800H、バッチ処理量を10kgHM基とする。	
分級装置	バッチ(24hr)			1	1	1	1	
分級生成装置	バッチ(24hr)			1	1	1	1	
中間貯蔵槽(被覆粒子)				1	1	1	1	
中間貯蔵槽(被覆粒子)				1	356	356 (14日分)	2800 (14日分)	108 108
燃料集合体組立装置				1	1	1	1	1
燃料集合体貯蔵庫				1	1	1	1	1

\*: 水洗浄及CIP洗浄含む。  
\*: 特記無きは3時間分。



a. 平成 13 年度構造（主要寸法）



b. 平成 12 年度構造（参考）

図 2.1.1-1 被覆粒子燃料集合体概念

(出典：JNC TY9400 2002-074 ヘリウムガス冷却高速炉の炉心・燃料設計検討（被覆粒子型燃料炉・ピン型燃料炉）2001年度報告（研究報告）<sup>(9)</sup>

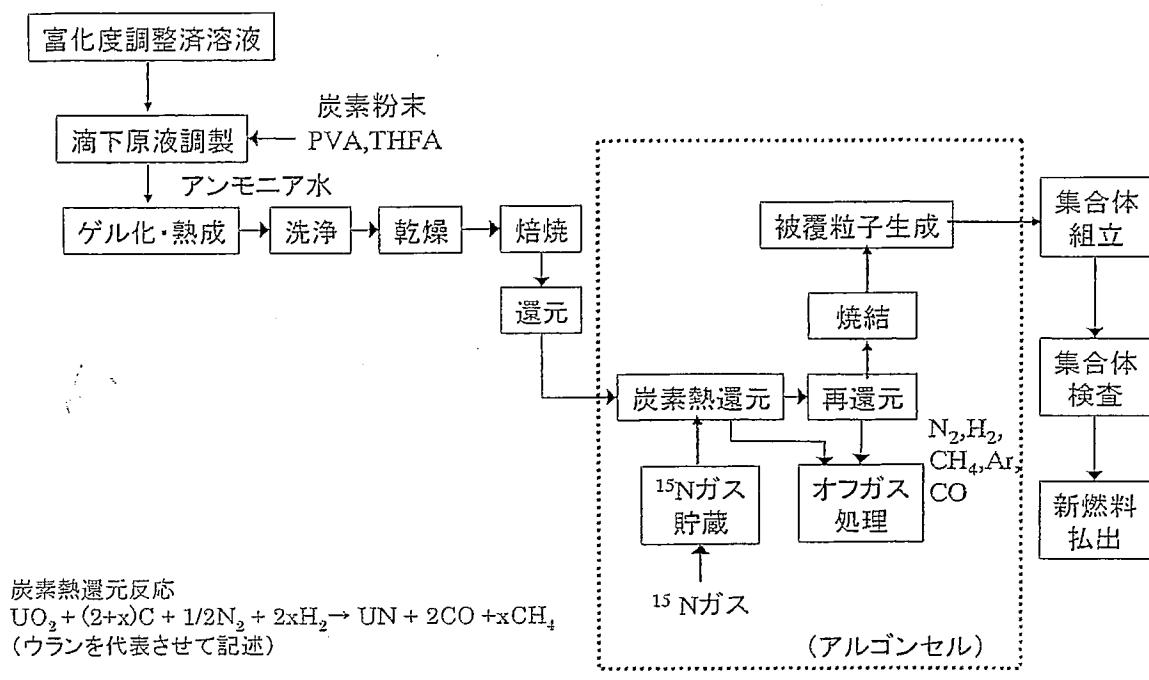
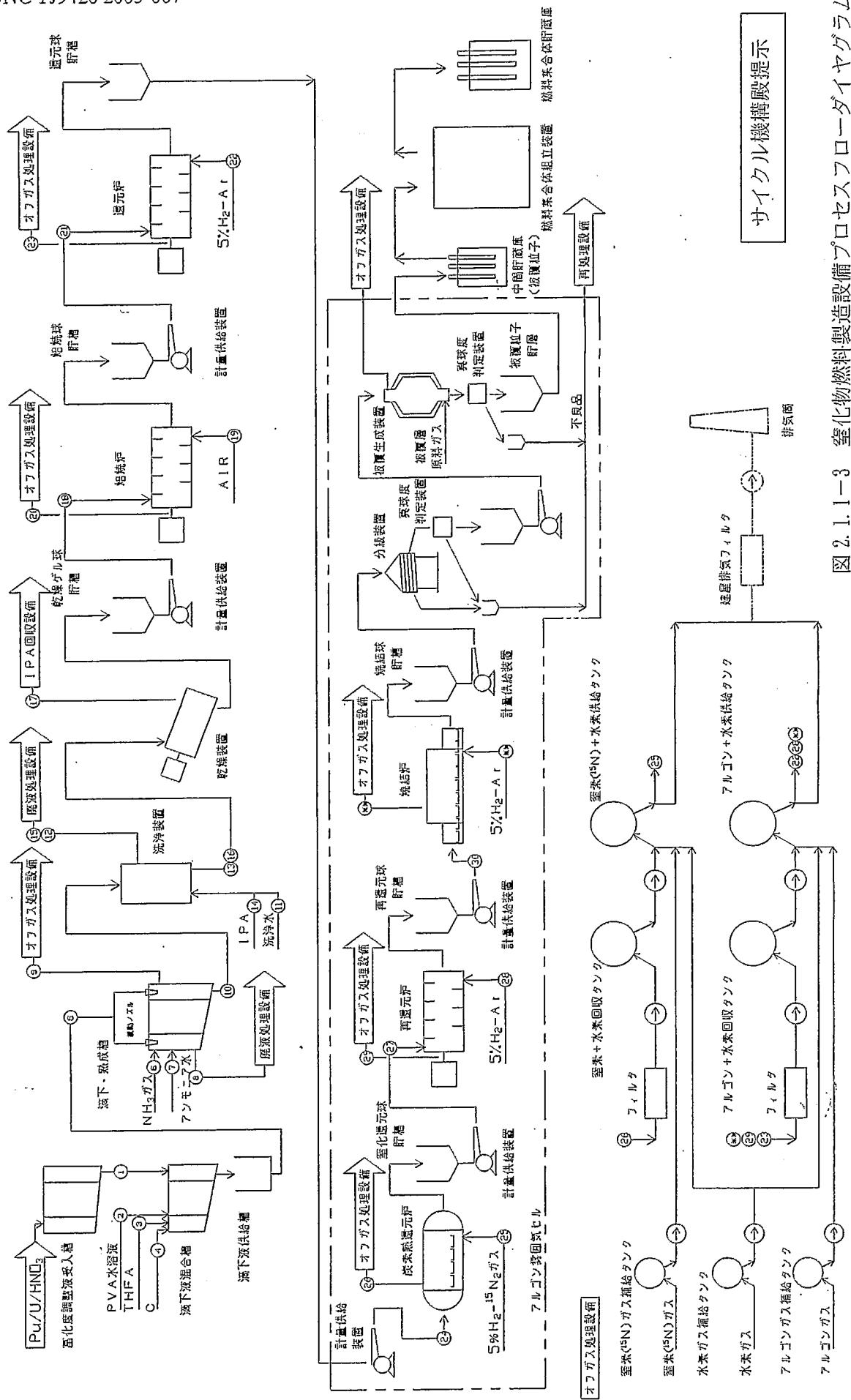


図 2.1.1-2 燃料製造フロー

サイクル機構殿提示



2. 1. 1-8

## 2.1.2 臨界安全評価

乾燥装置以降の燃料製造装置の臨界安全評価を行い、臨界安全の観点から適切な装置寸法を設定する。

### (1) 臨界安全評価基準

中性子増倍率が 0.95 以下とする。

中性子増倍率はモンテカルロ法による解析により求めており、モンテカルロ法に伴う標準偏差の 3 倍を含めて上記制限を満足するものとする。

### (2) 評価対象設備

評価対象とする設備を図 2.1.2-1(a) に示す。乾燥装置以降の設備を評価対象とする。

単一ユニットに対して解析評価により臨界安全評価基準を満たす寸法等の条件を設定する。複数ユニットが存在する場合には、それぞれが十分離れており相互作用が無視できる距離を確保する。

### (3) 評価条件、方法

#### (i) 解析コード、ライブラリ

解析コードは MCNP を用いた。また、核データライブラリは JENDL-3.3 ベースの MCNP 用ライブラリを用いた。

#### (ii) 解析モデル全般

##### (a) 燃料組成

燃料のプルトニウム富化度、プルトニウム同位体組成は、包絡的に評価が厳しくなる条件として次の値を使用した。

Pu 富化度 Pu / (U+Pu+Ma) 30wt%

Pu 同位体組成 Pu-239/Pu-240/Pu-241=60/20/20 wt%

U 濃縮度 0.3wt%

MA、FP 無視

##### (b) 燃料領域

燃料領域は均質と仮定する。なお、容器内の燃料領域には、浸水することは想定しないものとした。

##### (c) 容器

各設備の燃料を収納している容器は、ステンレス鋼製を想定している。一般に

臨界安全評価で行うような容器の周囲に水反射体を設けた評価の場合、容器肉厚が薄い状態では中性子の吸収効果が生じる。したがって、ここでは保守的に容器を無視して評価した。なお、容器が厚い場合には水反射体の場合より反射効果が大きくなり、中性子増倍率が高くなる可能性があるが、その効果が表れる肉厚は50mm以上であり、本設備で想定している範囲外である。

ただし、容器外側に Cd 吸収体を設置する場合には、ステンレス容器をモデル化したほうが厳しくなるため、厚さ 10.0mm として評価した。したがって、この場合の機器の容器肉厚は 10.0mm 以下とする必要がある。

#### (d) 反射体

通常、単一ユニットの臨界安全評価では、単一ユニットの周囲に十分な反射体を巻いたモデルを設定して行う。ここでは、容器の外側には十分な反射体として厚さ 30cm の水（密度 1.0g/cm<sup>3</sup>）を設けた。

#### (e) 境界条件

水反射体の外側は真空境界とした。

円筒体系について、軸方向は保守的に無限大に体系が続いているものとして反射境界条件を用いてモデル化した。図 2.1.2-2 に体系図を示す。

平板体系については、上下方向には水反射体、水平方向には反射境界条件を用いて無限に続いているものとした。図 2.1.2-3 に体系図を示す。

#### (f) 温度

すべて 300K とした。これは、臨界評価上厳しい条件である。

### (iii) 解析対象（解析ケース）

上記の評価対象設備に記載したように設備は多岐にわたるが、燃料球の種類や形状について保守的な臨界安全評価になるよう包絡して解析対象を設定した。解析対象を表 2.1.2-1 に示す。また、各燃料球、その他物質組成を表 2.1.2-2 に示す。

#### (a) 乾燥装置、乾燥ゲル球貯蔵、焙焼炉

乾燥装置、乾燥ゲル球貯蔵については臨界安全上厳しくなるので円筒容器の外部に Cd 吸収体を設置するものとした。焙焼炉は Cd 吸収体がない円筒容器とした。燃料球は乾燥ゲル球とし、ADU、Pu(OH)<sub>4</sub>、PVA、THFA を合わせてかさ密度 2.0g/cm<sup>3</sup>、含有水はそれに対して 5wt%とした。

(b) 焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽

焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽については、焙焼球 ( $UO_3/PuO_2$ ) と還元球 ( $UO_2/PuO_2$ ) の状態があるが、重金属密度が大きくなるものとして還元球を評価対象とし、円筒容器内にあるものとした。還元球は、 $UO_2/PuO_2$  のかさ密度を  $4.0\text{g/cm}^3$  とし、含有水はそれに対して 5wt%とした。

(c) 炭素熱還元炉、焼結炉

炭素熱還元炉および焼結炉は、トレー状であり、解析では無限平板体系とした。燃料球は、還元球、窒化還元球、焼結球があるが、重金属密度が大きくなる窒化還元球として解析評価した。

焼結により、燃料球は収縮し、理論密度の 98%程度になると考えられるが、ここでは保守的に 100%理論密度とし、球の最密充填率を 74vol%とした。UN、PuN の理論密度はそれぞれ  $14.32$ 、 $14.22\text{g/cm}^3$  であるが、ここでは大きいほうの値  $14.32\text{g/cm}^3$  とした。したがって、UN/PuN のかさ密度は  $14.32 \times 0.74 = 10.6\text{g/cm}^3$  となる。含有水はこの値に対して 5wt%を想定した。また、他に炭素が存在していることになる。

(d) 窒化還元球貯槽、焼結球貯槽、再還元炉、再還元球貯槽

これらの装置は円筒形状であり、燃料球としては、窒化還元球、焼結球、再還元球、被覆球がある。ここでは重金属密度が大きくなる条件として、窒化還元球貯槽、焼結球貯槽については窒化還元球を、再還元炉、再還元球貯槽については再還元球を解析対象とした。燃料球のかさ密度は炭素熱還元炉、焼結炉と同様に  $10.6\text{g/cm}^3$  とした。含有水はこの値に対して 5wt%を想定した。

(e) 被覆層生成装置

被覆層生成装置は臨界評価上厳しい結果となって、流動床であることを考慮すると設備容量が少なくなり、要求される量を処理するためには、基数を極めて多くする必要があると予想される。そこで、この設備においては、上記の各設備で行っているような寸法管理ではなく、質量管理により未臨界を確保する。ただし、機器の单一故障または単一誤操作を考慮して、いわゆるダブルバッチ状態を想定して、機器容量としては文献(7)に記載の仏国のお安全係数（計算の不確定性を考慮した  $k_{eff}$  値に乘じる安全係数）をもとにし、未臨界が確保される量の 0.43 倍とする。

解析は、臨界評価上厳しくなるように、球状の再還元球燃料領域の周りに水反射体があるとした。

(f) 複数ユニットの評価

ここでは次の場合について検討する。

① 2ユニットでの評価

検討対象のうち、被覆層生成装置以外の装置については、セル内で2ユニットが存在する。セル相互には遮蔽材があるため、中性子の干渉はない。したがって、2ユニットの場合について検討する。ユニット間の距離は、建屋の概念検討を踏まえて1mとした。

② 多数ユニットでの評価

被覆層生成装置は、セル内でも多数存在する。ここでは、臨界評価上厳しい炉心燃料を対象として、正方配列で2列に無数並んだ場合及び機器数が増加した場合に想定される4列のケースについて検討する。2列配列の体系を図2.1.2-4に示す。4列配列においても同様に列方向を4列として外側に水反射体を考慮した体系である。この体系でピッチを変化させて、未臨界が確保されるようとする。

解析条件は、單一ユニットで臨界安全基準を満たす、つまり中性子増倍率が0.95である状態で、互いに見込む立体角が大きくなる条件として、体積が大きい設備を対象とする。複数ユニットの周囲には單一ユニットでの評価と同様に水反射体を設けて評価する。

(4) 解析結果、評価

表2.1.2-3に解析結果を示す。

この表から、臨界安全基準である中性子増倍率が0.95となる寸法を求め、機器の製造公差、腐食等を考慮し10mmの余裕を確保して機器寸法を設定する。

(i) 乾燥装置、乾燥ゲル球貯槽

乾燥装置、乾燥ゲル球貯槽はCd吸収体が有る円筒容器であり、臨界安全基準となる容器内径は157mmとなった。したがって、機器寸法を内径147mmとする。

添加した炭素（有機溶媒中の炭素を除く）による影響は、ケース1-3、1-4を比較すると中性子増倍率の差で0.0068であり、ケース1-1、1-2から内径が中性子増倍率に与える感度を求める0.003977△k/mmとなり、炭素が添加されていることによ

り内径で  $0.0068/0.0039977=1.7$ 、すなわち、約 2mm 小さくなっていることになる。

(ii) 焙焼炉

焙焼炉は、Cd 吸収体が無い円筒容器であり、臨界安全基準となる内径は 129mm である。したがって、機器寸法として内径を 119mm 以下とする。

添加した炭素（有機溶媒中の炭素を除く）による影響は、ケース 2-4、2-5 を比較すると中性子増倍率の差で 0.0057 であり、ケース 2-1、2-2 から内径が中性子増倍率に与える感度を求める 0.00440  $\Delta k/\text{mm}$  となり、炭素が添加されていることにより内径で  $0.0057/0.00440=1.3$ 、すなわち、約 1mm 小さくなっていることになる。

(iii) 焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽

焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽は、Cd 吸収体が無い円筒容器であり、臨界安全基準となる内径は 229mm である。したがって、機器寸法として内径を 219mm 以下とする。

ケース 3-1 とケース 3-4 を比較すると、炭素を添加したことにより、直径で約 50mm 小さくなっていることがわかる。

(iv) 炭素熱還元炉、焼結炉

炭素熱還元炉、焼結炉は Cd 吸収体がない焼結球を評価対象としたトレー状の平板体系であり、臨界安全基準となる厚さは 32mm である。ここでも円筒体系と同様に 10mm の余裕を確保して、トレーでの燃料球の積み上げ高さを 22mm 以下とする。ケース 4-3 とケース 4-6 を比較することにより、炭素を添加した影響はほとんどないことがわかる。

(v) 窒化還元球貯槽、焼結球貯槽

窒化還元球貯槽、焼結球貯槽は焼結球を収納した Cd 吸収体が無い円筒形状であり、臨界安全基準となる内径は 109mm である。したがって、機器寸法として内径を 99mm 以下とする。

添加した炭素の影響により、次項と比較して 10mm 程度小さくなっている。

(vi) 再還元炉、再還元球貯槽

これらの装置について、前項との相違は、炭素がない再還元球を対象としていることである。臨界安全基準となる内径は 118mm である。したがって、機器寸法として内径を 108mm 以下とする。

## (vii) 被覆層生成装置

表に示すケース 7-1 から 7-3 により、中性子増倍率が 0.95 となる球の直径は 192mm となり、臨界安全基準となる質量に 0.43 倍の係数を見込む条件から、臨界質量は 15.9kg となった。

## (viii) 含水率の影響

以上の結果は燃料の含水率は 5wt%と想定している。含水率をゼロにすると次のような影響がある。

含水率 5%から 0%にした場合の

中性子増倍率に与える効果  $\Delta k$

①焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽	-0.068
②炭素熱還元炉、焼結炉	-0.051
③窒化還元球貯槽、焼結球貯槽	-0.144
④再還元炉、再還元球貯槽	-0.139

含水率が小さくなると、中性子の減速効果が低くなり、中性子増倍率が小さくなる。また、含水率が中性子増倍率に与える効果は、①、②の方が③、④よりも小さくなっている。これは燃料密度が小さいことによると思われる。

5%を超える含水率を想定する必要がある場合には、さらに機器寸法を小さくする必要がある。

## (ix) 複数ユニットの評価

焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽は単一ユニットの体積が大きく、中性子の相互干渉の影響が大きいと考えられることから 2 ユニットの場合の評価対象とし、単一ユニットにおいて臨界安全基準となる内径(229mm)を用いて解析評価を行った。

一方、2列および4列で無数に並ぶ場合の評価対象である被覆生成装置には、質量管理が適用されるために臨界安全上の直径制限は存在しない。よって、暫定的に焙焼球貯槽と同じ内径(229mm)を用いることとし、解析評価を行った。

なお、2.2.1 節においては、製造能力上の観点から被覆生成装置の内径を 200mm と設定しており、上記の仮定は保守的な評価条件となっている。

## (a) 2 ユニットの場合

図 2.1.2-5 の○印に、2 ユニットが中心間距離 1m の位置にある場合について、ユニット間の空間の水密度と中性子増倍率の解析結果を示す。この図より、中心

間距離 1m 以上を確保していれば、臨界安全が確保される。なお、水密度  $1\text{g}/\text{cm}^3$  の場合が、単一ユニットに相当する。

(b) 多数ユニットの場合

図 2.1.2-6 に、2列に無限数配列された場合について、それぞれのユニットの中心間距離を変えた場合の中性子増倍率を示す。ユニット間の空間は真空の場合であり、1.8m 以上の距離を確保しておれば、臨界安全が確保される。なお、この場合のユニット間の空間での水密度を変化させた場合の中性子増倍率を図 2.1.2-5 の●印に示す。

図 2.1.2-7 には4列に無限配列された場合について、それぞれのユニットの中心間距離を変えた場合の中性子増倍率を示す。2列の場合と同様にユニット間の空間は真空の場合であり、臨界安全を確保するためにはかなり厳しく 3.4m 以上の距離を確保する必要がある。この場合 4列では約 15.6m 必要（壁との距離も臨界ピッチ並とした場合）で2列に分けて間に 1.5m のコンクリート遮蔽壁を入れた場合には約 13m 程度となることから、4列の場合には、間に遮蔽壁を入れて 2つのセルに分割する方が得策である。

以上のように、複数ユニットの場合には、ユニット間の水密度が  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  の場合は各ユニットが独立しており、単一ユニットと同じ結果となる。水密度がゼロ（空気相当）の場合には、ユニット間の距離により中性子増倍率が変化するため、単一ユニットでの値よりも小さくするように距離を保つ必要がある。水密度が 0 より大きく  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  より小さい状態では、中性子増倍率は小さくなる。

(5) まとめ

臨界安全から定められる機器の寸法制限を表 2.1.2-4 にまとめる。また、ユニット間は、被覆層生成装置については2列までとし、中心間距離 1.8m 以上、それ以外については 1.0m 以上の間隔を確保する。

湿式ゲル化法の検討の場合と比べて、炭素が追加されることにより、減速効果によって厳しくなる傾向にある。しかし、有機溶媒成分がある乾燥ゲル球の場合には、ある程度減速された状態であり、炭素の添加効果は小さい。一方、還元球以降の工程では添加される炭素の影響は大きくなるが、水反射体を設けて臨界評価しており、水反射体の影響が小さい内径の大きな体系で、より大きな炭素の添加効果が現れている。また、炭素熱還元とその後の再還元の後では、炭素は減少あるいはなくなるが、窒化

物となって重金属密度が大きくなることにより臨界寸法が厳しい結果となっている。

臨界安全上は被覆層生成装置は形状管理では処理能力上は非常に厳しい条件となるが、質量管理を行うことで、機器容量を大きくし、全体の設備物量の削減可能性があると考えられる。

ただし、質量管理を行う場合には、その前後の機器を含めてインターロックにより確実に質量制限が担保できるような対応を行うこと、さらに、記録確認等が必要である。

また、含水率は評価上 5wt%としたが、これよりも大きくなると厳しい結果となり、機器寸法を小さくする必要があるため、5wt%以下になるようにする必要がある。

表 2. 1. 2-1 解析対象

## (a) 単一ユニットの評価

	形状	Cd 有無	装置名	燃料形態	評価上の燃料形態
1	円筒	有	乾燥装置	洗浄済みゲル球 乾燥ゲル球	乾燥ゲル球
			乾燥ゲル球貯槽	乾燥ゲル球	
2	円筒	無	焙焼炉	乾燥ゲル球 焙焼球	乾燥ゲル球
3	円筒	無	焙焼球貯槽	焙焼球	還元球 ( $UO_2/PuO_2+C$ )
			還元炉	焙焼球 還元球	
			還元球貯槽	還元球	
4	平板	無	炭素熱還元炉	還元球 窒化還元球	窒化還元球 ( $UN/PuN+C$ )
			焼結炉	窒化還元球 焼結球	
5	円筒	無	窒化還元球貯槽	窒化還元球	窒化還元球 ( $UN/PuN+C$ )
			焼結球貯槽	焼結球	
6	円筒	無	再還元炉	焼結球 再還元球	再還元球 ( $UN/PuN$ )
			再還元球貯槽	再還元球	
7	球	無	被覆層生成装置	再還元球 被覆球	再還元球 ( $UN/PuN$ )

## (b) 複数ユニットの評価

	形状	Cd 有無	装置名	燃料形態	評価上の燃料形態
8	円筒	無	焙焼球貯槽	焙焼球	還元球 ( $UO_2/PuO_2+C$ )
			還元炉	焙焼球 還元球	
			還元球貯槽	還元球	

表 2. 1. 2-2 組成 (1/3)

乾燥ゲル球			
条件	ADU (kg/d)	191.4	
	Pu(OH) <sub>4</sub> (kg/d)	55.2	
	PVA (kg/d)	25.5	
	THFA (kg/d)	590.5	
	C (kg/d)	0	
	Pu/(U+Pu) (wt%)	30	
	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2	
	水密度 (wt%)	5.0	
設定値	ADU重量 (g/mol)	626.111	Pu(OH) <sub>4</sub> 重量 (g/mol)
	100gHMに対する混合物重量 (g)		307.662
	ADU	92.059	Pu(OH) <sub>4</sub>
	PVA	12.265	THFA
			426.854
	ADU+Pu(OH) <sub>4</sub>		
	U密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.3280	Pu密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	U-235	2.52099E-06	Pu-239
	U-238	8.27227E-04	Pu-240
	O-16	4.31699E-03	Pu-241
	N-15	8.29748E-04	H-1
	PVA (g/cm <sup>3</sup> )	0.0575	
	C-12	1.57211E-03	O-16
	H-1	3.14423E-03	
	THFA (g/cm <sup>3</sup> )	1.3307	
	C-12	3.92577E-02	O-16
	H-1	7.85155E-02	
	水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.1	
	水原子数密度		H-1
			6.68734E-03
	炭素 (g/cm <sup>3</sup> )	0.0000	O-16
	H-1合計	9.30789E-02	
	O-16合計	2.41498E-02	C-12合計
	合計	1.600713E-01	

表 2.1.2-2 組成 (2/3)

還元球			
条件	UO <sub>2</sub> (kg/d)	165.6	
	PuO <sub>2</sub> (kg/d)	84.7	
	C (kg/d)	57.7	
	Pu/(U+Pu) (wt%)	30.0	
	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	4.0 UO <sub>2</sub> PuO <sub>2</sub> だけのかさ密度	
	水密度 (wt%)	5.0	
設定値	UO <sub>2</sub> の重量 (g/mol)	270.0315	PuO <sub>2</sub> の重量 (g/mol)
	100gHMに対する混合酸化物の重量 (g)		271.6406
	U密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.4689	Pu密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	混合酸化物の原子数密度		1.0581
	U-235	1.89768E-05	Pu-239
	U-238	6.22697E-03	Pu-240
	O-16	1.78096E-02	Pu-241
	水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.2	
	水原子数密度		H-1 1.33747E-02
			O-16 6.68734E-03 H <sub>2</sub> O中のOのみ
	O-16合計	2.44970E-02	
	C密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.92209	C-12原子数密度
	合計密度	5.12209	合計原子数密度
窒化還元球			
条件	UN (kg/d)	155.2	
	PuN (kg/d)	45.7	
	C (kg/d)	28.8	
	Pu/(U+Pu) (wt%)	30.0	
	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	10.6 UNPuNだけのかさ密度 理論密度14.32に最密充填率74vol%を掛けて算出	
	水密度 (wt%)	5.0	
設定値	UNの重量 (g/mol)	253.0418	PuNの重量 (g/mol)
	100gHMに対する混合窒化物の重量 (g)		254.6509
	U密度 (g/cm <sup>3</sup> )	6.9810	Pu密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	混合窒化物の原子数密度		2.9918
	U-235	5.36586E-05	Pu-239
	U-238	1.76073E-02	Pu-240
	N-15	2.51791E-02	Pu-241
	水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.53	
	水原子数密度		H-1 3.54429E-02
			O-16 1.77215E-02
	C密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.5196	C-12原子数密度
	合計密度	12.64956	合計原子数密度
			1.797811E-01

表 2.1.2-2 組成 (3/3)

再還元球			
条件	UN (kg/d)	155.2	
	PuN (kg/d)	45.7	
	C (kg/d)	0	
	Pu/(U+Pu) (wt%)	30	
	かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	10.6 UNPuNだけのかさ密度 理論密度14.32に最密充填率74vol%を掛けて算出	
設定値	水密度 (wt%)	5	
	UNの重量 (g/mol)	253.0417559	PuNの重量 (g/mol)
	100gHMIに対する混合窒化物の重量 (g)		254.6508583 106.288771
	U密度 (g/cm <sup>3</sup> )	6.9810	Pu密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	混合窒化物の原子数密度		2.9918
	U-235	5.36586E-05	Pu-239
	U-238	1.76073E-02	Pu-240
	N-15	2.51791E-02	Pu-241
	水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.53	H-1
	水原子数密度		O-16
	C密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.0000	C-12原子数密度
	合計密度	11.13000	合計原子数密度
			1.035227E-01
容器 SUS304			
Cd 吸収体が無い場合：無視した（水反射体とした）。			
Cd 吸収体がある場合：以下の通り。			
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7.93		
組成 (wt%)	C-12	0.08	
	Si-28	1.00	
	Mn-55	2.00	
	P-31	0.045	
	S-32	0.03	
	Ni-58	9.25	
	Cr-52	19.00	
	Fe-56	68.595	
水反射体			
設定値	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.0	
計算値	水原子数密度	H-1 O-16	6.68734E-02 3.34367E-02
カドミウム吸収体			
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	8.65		
存在比 (at%)	Cd-106	1.25	
	Cd-108	0.89	
	Cd-110	12.49	
	Cd-111	12.80	
	Cd-112	24.13	
	Cd-113	12.22	
	Cd-114	28.73	
	Cd-116	7.49	

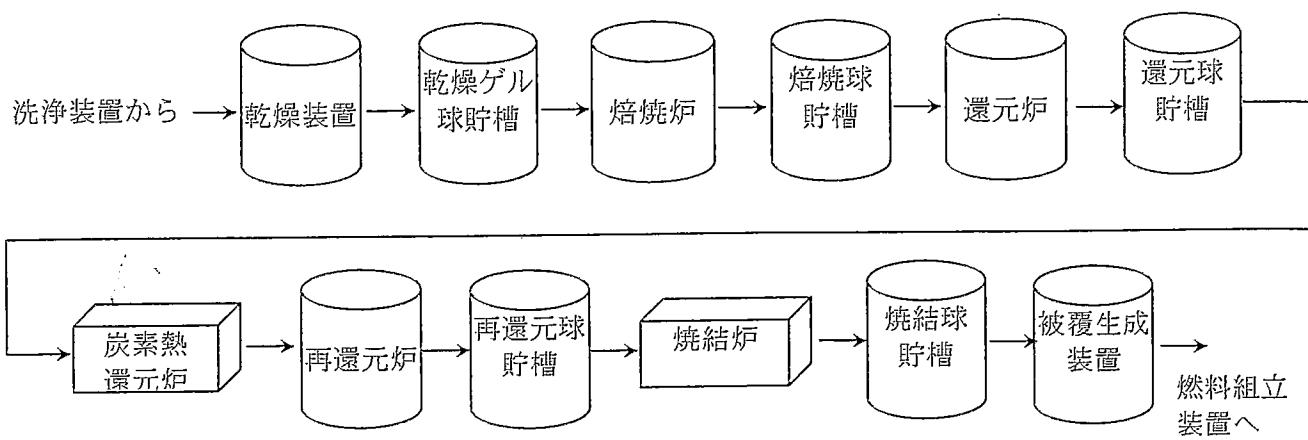
表 2.1.2-3 解析結果一覧表（単ユニット計算）

ケース	形状	容器	Cd の有無	球種	含水率	炭素の 有無*	直径・厚 さ (cm)	中性子 増倍率 $k_{eff}$	標準偏差 $\sigma$	評価結果 $k_{eff} \pm 3\sigma$
乾燥装置、乾燥ゲル球貯槽										
1-1	円筒	SUS	有	乾燥ゲル球	5%	有	16.3	0.96851	0.00093	0.9713
1-2	円筒	SUS	有	乾燥ゲル球	5%	有	15.0	0.91722	0.00080	0.9196
1-3	円筒	SUS	有	乾燥ゲル球	5%	有	15.7	0.94330	0.00091	0.9460
1-4	円筒	SUS	有	乾燥ゲル球	5%	無	15.7	0.93658	0.00088	0.9392
1-5	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	有	15.7	1.04189	0.00088	1.0445
焙焼炉										
2-1	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	有	12.3	0.91562	0.00275	0.9239
2-2	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	有	14.0	0.98957	0.00305	0.9987
2-3	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	有	12.8	0.93906	0.00088	0.9417
2-4	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	有	12.9	0.94320	0.00083	0.9457
2-5	円筒	水	無	乾燥ゲル球	5%	無	12.9	0.93716	0.00095	0.9400
焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽										
3-1	円筒	水	無	還元球	5%	無	27.9	0.95526	0.00074	0.9575
3-2	円筒	水	無	還元球	5%	有	27.9	1.03269	0.00078	1.0350
3-3	円筒	水	無	還元球	5%	有	23.0	0.94900	0.00071	0.9511
3-4	円筒	水	無	還元球	5%	有	22.9	0.94647	0.00086	0.9491
3-5	円筒	水	無	還元球	0%	有	22.9	0.87818	0.00078	0.8805
炭素熱還元炉、焼結炉										
4-1	平板	水	無	窒化還元球	5%	有	9.3	1.23490	0.00226	1.2417
4-2	平板	水	無	窒化還元球	5%	有	4.3	1.01256	0.00239	1.0197
4-3	平板	水	無	窒化還元球	5%	有	3.2	0.94295	0.00079	0.9453
4-4	平板	水	無	窒化還元球	5%	有	3.3	0.95067	0.00073	0.9529
4-5	平板	水	無	窒化還元球	0%	有	3.2	0.89166	0.00088	0.8943
4-6	平板	水	無	再還元球	5%	無	3.2	0.94546	0.00077	0.9478
4-7	平板	水	無	窒化還元球	0%	有	4.2	0.94293	0.00057	0.9446
窒化還元球貯槽、焼結球貯槽										
5-1	円筒	水	無	窒化還元球	5%	有	11.0	0.95431	0.00073	0.9565
5-2	円筒	水	無	窒化還元球	5%	有	10.9	0.94784	0.00075	0.9499
5-3	円筒	水	無	窒化還元球	0%	有	10.9	0.80374	0.00074	0.8060
5-4	円筒	水	無	窒化還元球	0%	有	14.4	0.93560	0.00215	0.9421
5-5	円筒	水	無	窒化還元球	0%	有	15.2	0.96111	0.00250	0.9686
5-6	円筒	水	無	窒化還元球	0%	有	14.6	0.94447	0.00077	0.9468
再還元炉、再還元球貯槽										
6-1	円筒	水	無	再還元球	5%	無	10.9	0.90529	0.00080	0.9077
6-2	円筒	水	無	再還元球	5%	無	11.9	0.94787	0.00078	0.9502
6-3	円筒	水	無	再還元球	5%	無	11.8	0.94308	0.00087	0.9457
6-4	円筒	水	無	再還元球	0%	無	11.8	0.81263	0.00068	0.8147
6-5	円筒	水	無	再還元球	0%	無	15.6	0.93999	0.00249	0.9475
6-6	円筒	水	無	再還元球	0%	無	15.7	0.93891	0.00076	0.9412
6-7	円筒	水	無	再還元球	0%	無	15.8	0.94328	0.00074	0.9455
被覆層生成装置										
7-1	球	水	無	再還元球	5%	無	18.0	0.91285	0.00261	0.9207
7-2	球	水	無	再還元球	5%	無	19.0	0.94067	0.00106	0.9439
7-3	球	水	無	再還元球	5%	無	20.0	0.97065	0.00110	0.9740

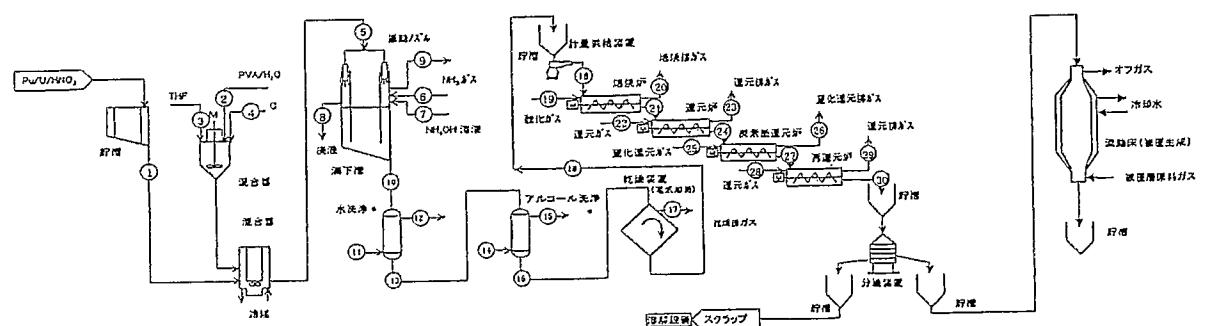
\* PVA、THFA 中の炭素を除く。

表 2.1.2-4 臨界安全から決まる機器寸法

	設備	容器 形状	Cd 吸収体 の有無	評価上の 球種	寸法等の制限	炭素添加の 効果
1	乾燥装置、乾燥ゲル球貯槽	円筒	有	乾燥ゲル球	内径 147mm 以下	直径約 2mm の縮小
2	焙焼炉	円筒	無	乾燥ゲル球	内径 119mm 以下	直径約 1mm の縮小
3	焙焼球貯槽、還元炉、還元球貯槽	円筒	無	還元球	内径 219mm 以下	直径約 50mm の縮小
4	炭素熱還元炉 焼結炉	平板	無	窒化還元球	厚さ 22mm 以下	1mm 以下
5	窒化還元球貯槽、焼結球貯槽	円筒	無	窒化還元球	内径 99mm 以下	直径約 9mm の縮小
6	再還元炉 再還元球貯槽	円筒	無	再還元球	内径 108mm 以下	—
7	被覆層生成装置	球	無	再還元球	質量 15.9kg 以下	



(a) 検討対象設備と体系



(b) 設備全体図

図 2.1.2-1 窒化物燃料製造設備構成

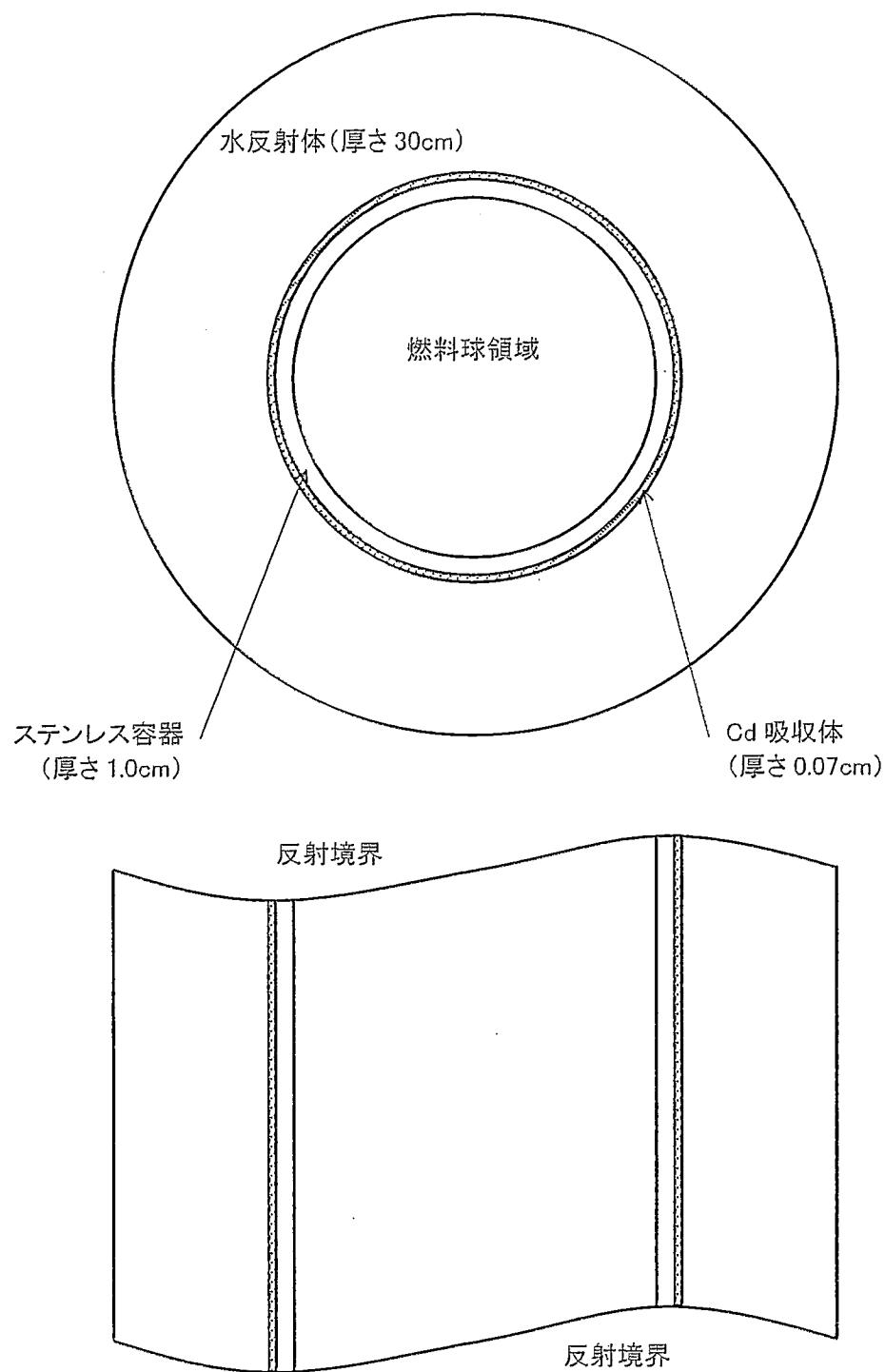


図 2.1.2-2 円筒体系 (Cd 有り) の解析モデル

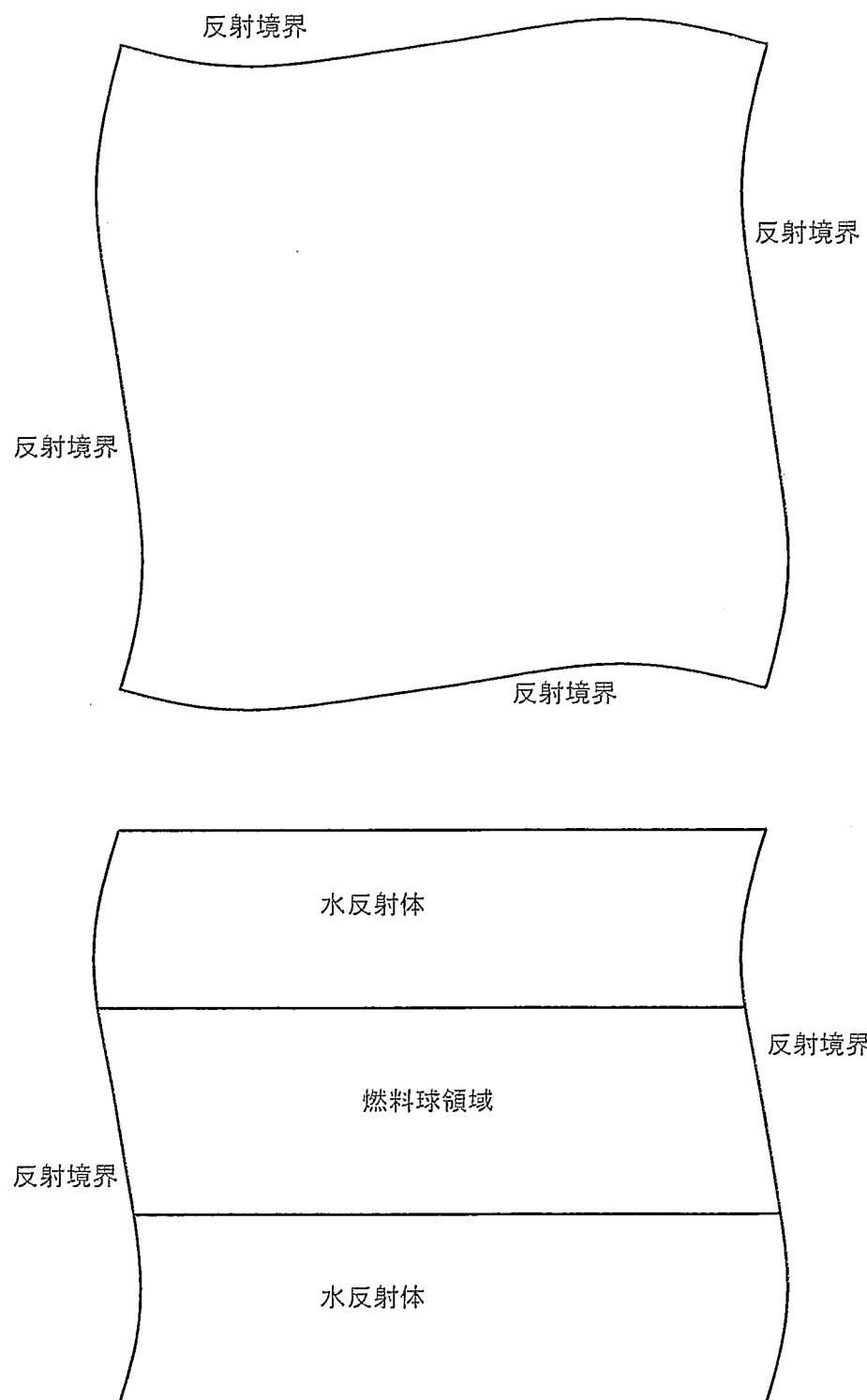
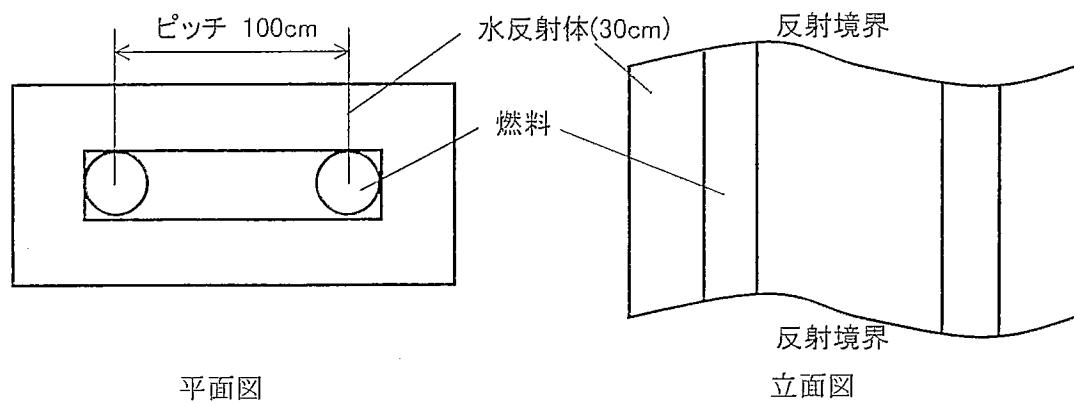
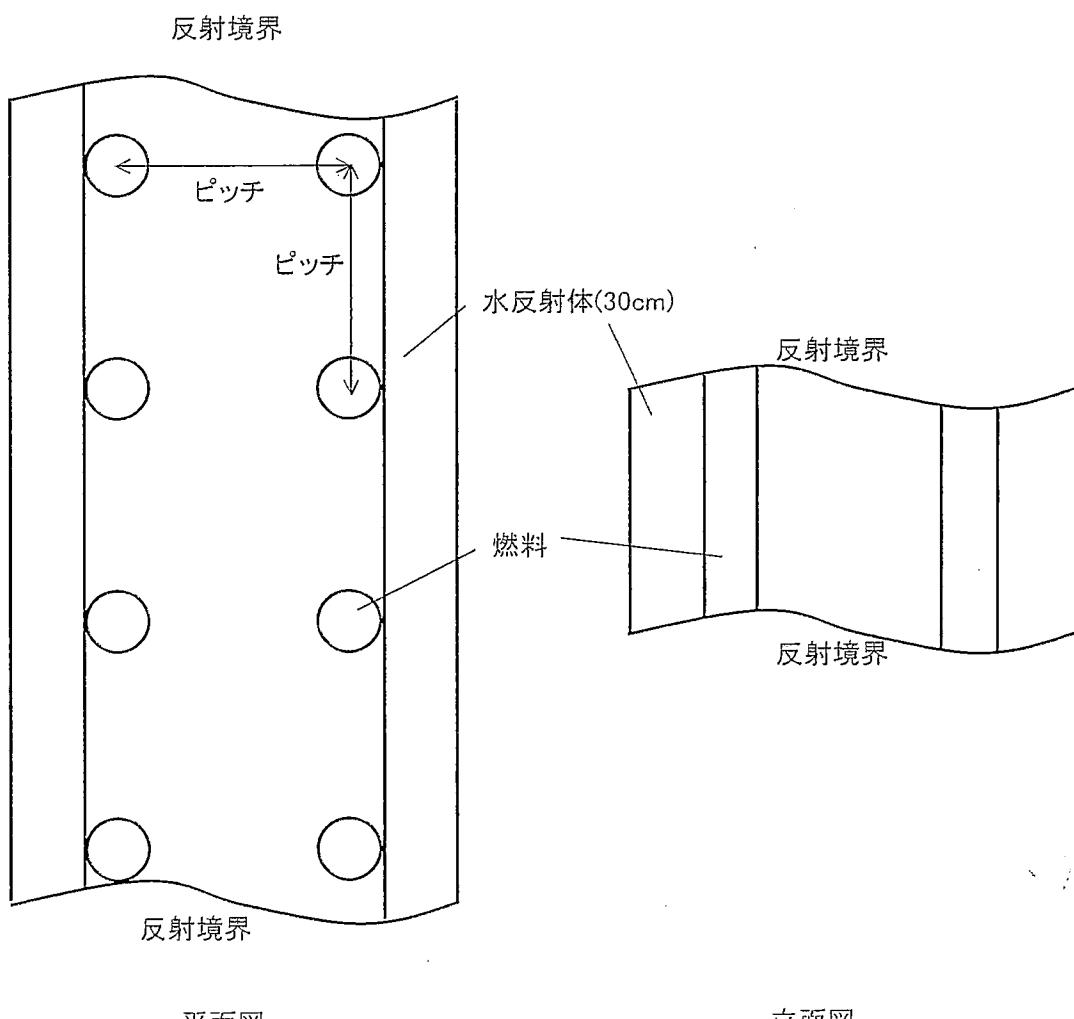


図 2.1.2-3 平板体系 (Cd 無し) の解析モデル



(a) 2体貯蔵の解析モデル



(b) 2列複数貯蔵の解析モデル

図 2.1.2-4 複数ユニットの解析モデル

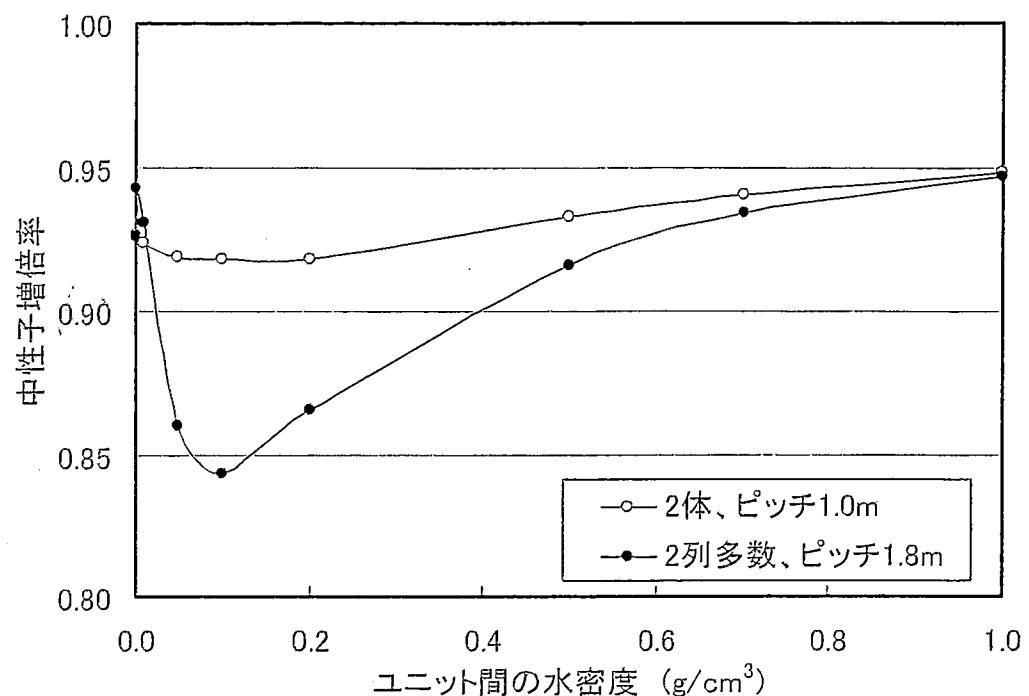


図 2.1.2-5 ユニット間の水密度と中性子増倍率の関係

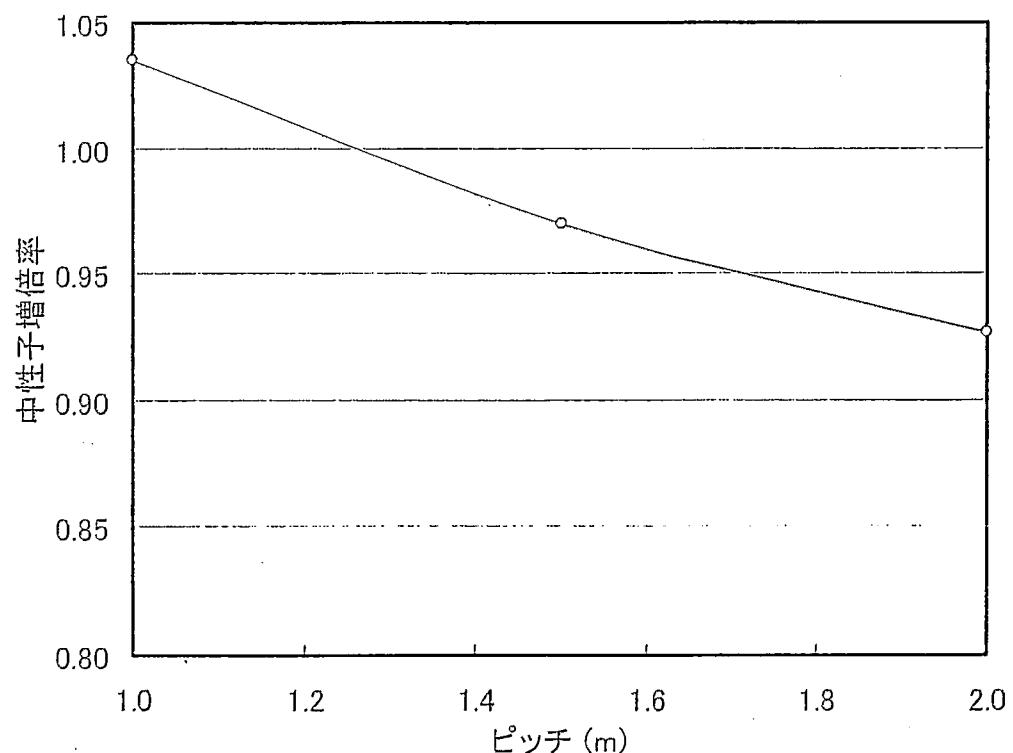


図 2.1.2-6 ユニット配列のピッチと中性子増倍率の関係（2列配列）

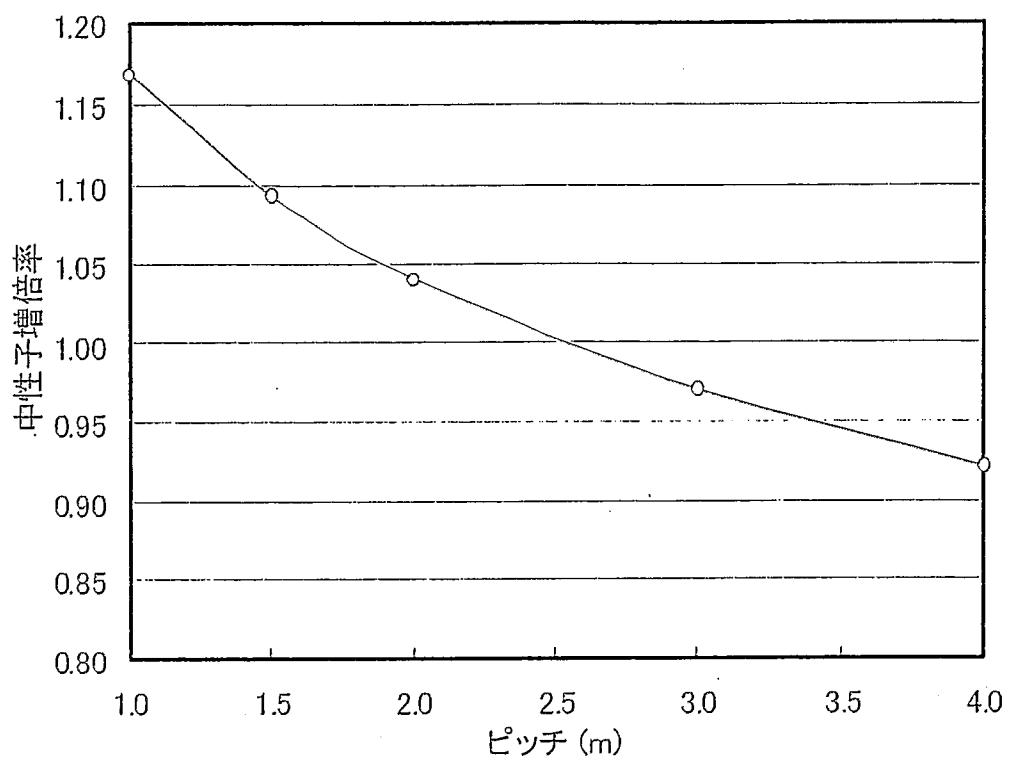


図 2.1.2-7 ユニット配列のピッチと中性子増倍率の関係 (4列配列)

## 2.2 燃料製造機器の概念検討

被覆粒子窒化物燃料の燃料製造プラント特有の設備である、被覆生成装置概念について基本概念の設定を行った。なお、酸化物振動充填法のプロセスと異なる工程のうち、炭素熱還元工程機器については、サイクル機構段より提示の仕様を参考に 2.3 項においてシステム構成と合わせて検討した。

### 2.2.1 被覆生成装置の検討

#### (1) 被覆生成装置の概要

被覆生成装置は焼結装置で生成した焼結球の外表面を TiN により 2 層に被覆し、被覆球とする装置である。TiN の被覆は、高温ガス炉の SiC 被覆で実績のある流動床方式蒸着炉により高温化学蒸着（CVD）法により被覆層を蒸着することと想定した。図 2.2.1-1 には HTTR の被覆生成装置概念図<sup>(1)</sup>を示す。

#### (2) 被覆生成装置の系統数の検討

TiN 被覆生成についての反応速度の情報は得られていないことから、HTTR の被覆生成装置の処理能力を参考に設定する。表 2.2.1-1 に本検討の被覆粒子燃料と HTTR 燃料の比較を実施を示す。HTTR の被覆生成装置の仕様は以下と推定される。

- ・概略の寸法：約  $\phi 1m \times$  高さ約 2m（推定）
- ・処理能力：プラントトータルで 1500kgU／年（2 ライン）<sup>(2)</sup>
- 1 バッチで最大 4.4 kgU 処理／日（8 時間：推定）<sup>(3)</sup>

- ・被覆生成装置容器内径： $\phi 200mm$ <sup>(3)</sup>
- ・被覆生成装置運転：高温連続運転可能（上部粒子装荷、下部重力取り出し）<sup>(4)</sup>

流動床方式では被覆が均一に生成されるには流動が安定した噴流条件となる必要があるため、処理可能なバッチ量は被覆生成装置容器内径寸法に比例すると想定される。また、1 日 1 バッチでは 8 時間処理と考えられるが、実機では高温連続運転を可能とできるならば、24 時間連続運転することで 3 バッチ運転も可能と考えられる。

一方、被覆生成装置の臨界評価結果から、単純に無限円筒で形状制限した場合、炉心燃料の被覆生成装置容器内径寸法は  $\phi 108mm$  に制限され、処理能力は HTTR の被覆生成装置に比例して低下すると考えられる。このため、質量制限に変更することで、臨界制限上は 15.9kg 以下の炉心燃料の処理を考慮する。なお、過去の評価事例としては、

将来開発により 10kgHM/バッチまで処理能力向上の可能性ありとの想定がなされた例<sup>(3)</sup>がある。また、ブランケットでは上記の臨界制限がないことから、HTTR の被覆生成装置並み、またはそれ以上の処理能力が期待できる。

また、被覆処理の観点からは HTTR では合計 4 層（低密度 PyC バッファ層 60  $\mu\text{m}$ 、高密度 PyC 層 30  $\mu\text{m}$ 、SiC 層 25  $\mu\text{m}$ 、PyC 層 45  $\mu\text{m}$ ）160  $\mu\text{m}$  のガス構成を変更した被覆を行うことに比べ、TiN 被覆では同一ガス組成で 2 層（低密度 TiN バッファ層 120  $\mu\text{m}$ 、高密度 TiN 層 100  $\mu\text{m}$ ）220  $\mu\text{m}$  であり、被覆層の厚さは厚いが、ガス切り替えの手間はない。また、水素の爆発防止のため、必要量より窒素量を増加させた状態で水素と混合させているため、その分反応速度が低下する可能性もある。

ただし、いずれにしても TiN 自体の蒸着速度についての情報がないことから処理時間についてはパラメータとせざるをえない。

以上の条件を考慮した上で、内側炉心燃料、外側炉心燃料、ブランケット燃料、それぞれ別ライン構成で製造することを前提に処理能力を想定した。ブランケットについては軸方向及び径方向で仕様が同等のため、合わせて処理できるものとした。要求処理量を満足するための機器数を表 2.2.1-2 に整理して示す。ここで、設備容量のパラメータとしては以下を想定した。

- ①HTTR 延長条件：1 バッチ／日の処理条件とし、4.4kgHM/バッチ処理したケース
- ②3 バッチ化 A：3 バッチ／日が可能と想定し、4.4kgHM/バッチ処理したケース
- ③3 バッチ化 B：3 バッチ／日が可能と想定し、10kgHM/バッチまで処理能力向上が可能としたケース（基準条件）
- ④3 バッチ化 C：3 バッチ／日が可能と想定し、15.9kgHM/バッチまで処理能力向上が可能としたケース
- ⑤蒸着速度低下ケース：10kgHM/バッチまで処理能力向上が可能だが、処理速度が低下し、1 バッチ／日となることを想定したケース
- ⑥は TiN の蒸着速度情報がないことから処理能力が十分增加できない場合のパラメータである。

①の HTTR 燃料条件では 257 基の被覆生成装置が必要であり、炉心燃料側では装置の貯蔵ピッチを 1.8m 以上確保する必要があることから物量、スペースとも非常に大きくなり、現実的ではない。一方、3 バッチ化した②のケースでは 86 基と大きく低減できる。将来的な容量増加開発の可能性を考慮した③、④のケースではそれぞれ、39 基、

26 基と容量増加に比例して基数が低減する。一方、TiN の蒸着速度が制限となって、処理能力の低下を想定した⑤のケースでは 114 基となる。

基準としては文献にて想定されている将来の開発<sup>(3)</sup>を期待して、③のケースを想定した。なお、設計上の基数としては、連続運転時にメンテナンスをしないことを想定して、各系統毎に 2 割の余裕を見込むものとする。その場合には基準ケースで 48 基となる。

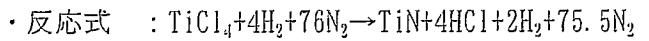
一方、パラメータとして評価した⑤が想定上は大容量化しても厳しいため、このケースを経済性評価におけるインパクト評価対象ケースとする。

### (3) 被覆生成装置

本検討及びサイクル機構殿より提示のガス条件等に基づき、基本的な装置サイズを設定し、機器概念図を作成する。

#### (i) 被覆生成装置のガス条件

サイクル機構殿より提示された被覆条件から、水素の爆発防止を前提に N<sub>2</sub> ガス (N-15 を 100% 濃縮) で 5% に希釈した以下の反応式により 1100℃ の温度条件で被覆する。



・ガス流量 : TiCl<sub>4</sub> 128.8Nm<sup>3</sup>/d, H<sub>2</sub> 515.4 Nm<sup>3</sup>/d, N<sub>2</sub> 9791.9 Nm<sup>3</sup>/d

なお、この条件では N<sub>2</sub> ガスの大部分はキャリアガスとして安定した被覆時の流動体系を形成することに使われることとなる。この場合の流量は合計で 10436.1Nm<sup>3</sup>/d = 7.2NL/min となる。これは HTTR の被覆生成装置の SiC 被覆条件時の 7.5L/min と近い流量である。対象粒子径が HTTR (0.92mm) の約 2 倍 (1.9mm~1.94mm) となり、被覆生成装置のポイントとなるガスディストリビュータ部分の構造が類似の構造とした場合には HTTR の被覆生成装置よりも大きな流量が必要になると想られる。ただし、上記の流量は 24 時間連続してガスを流した場合の流量であり、実際には 1 日あたりの被覆処理時間はそれより短くなることから実際の被覆処理時流量は大きくなると予想されるため、被覆生成装置の基本構造は変えない前提で検討する。

## (ii) 被覆生成装置基本構造

被覆生成装置の基本構造は図 2. 2. 1-1 の HTTR 被覆生成装置をベースとして設定した。すなわち、被覆容器は円筒状で下端部が円錐状に絞られており、ガスを供給混合するガスディストリビュータと接続されている。被覆容器の外側にはヒータパネルが設置され、被覆容器全体を 1100°C に維持する。ヒータパネルの外側には保温材を設置し、最外周に冷却ジャケットを設けて表面温度を制限している。ヒータ内面へ貫通して温度計が設置されており、これにより被覆容器温度を制御する。

被覆対象粒子はガスを流した状態で上部から投入され、被覆された後、ガスの停止によりガスディストリビュータを通って下部に重力落下により排出される<sup>(5)</sup> バッチ運転である。ただし、HTTR 被覆生成装置では粒子投入後予熱、冷却後取り出したものと想定される。それに対して、本装置では 24 時間 3 バッチ運転とするため、粒子投入後の温度保持のために上部に予熱容器を、取出の後の冷却等の時間を並列で行うために下部に冷却容器を設けた。

高温ガス炉用の被覆生成装置の調査から、ガスディストリビュータ部分のメンテナンス頻度を増加させないために、図 2. 2. 1-2 のように熱分解ガスとキャリアガスは被覆容器直前まで混合しないように、かつ被覆容器内でのみ反応温度に達するような構成とすることが要求されている<sup>(6)</sup>。本装置でも同様に  $TiCl_4$  と  $H_2$  及び  $N_2$  は混合させず、 $H_2$  と  $N_2$  は水素爆発防止の観点から混合した状態でガスディストリビュータに供給するものとした。

以上の想定を元に図 2. 2. 1-3 のとおり、被覆生成装置構造を設定した。主要仕様は以下のとおりである。

- ・方式：流動床方式
- ・運転温度：1100°C
- ・加熱方式：ヒータパネル加熱
- ・運転方式：24 時間 3 バッチ連続運転（基準ケース）

24 時間 1 バッチ運転（インパクト評価対象ケース）

- ・処理容量：10kgHM／バッチ（基準ケース、インパクト評価対象ケース）
- ・基数：48 基（基準ケース：必要容量に 20% の余裕を考慮した設計値）

内訳 内側炉心燃料 11 基

外側炉心燃料 9 基

プランケット燃料 28 基  
：137 基（インパクト評価対象ケース）

内訳 内側炉心燃料 30 基  
外側炉心燃料 24 基

プランケット燃料 83 基

・装置本体

主要寸法：外径約 1m×高さ 2m

主要材質：グラファイト

・ディストリビュータ

主要材質：グラファイト

(4) 今後の検討課題

窒化物被覆粒子燃料の被覆生成装置についての今後の検討すべき課題は以下のとおりである。

① TiN 被覆反応速度の及び反応効率の試験的な確認

まずははじめに、TiN 被覆反応速度については十分な情報がなく、現状想定している反応式での反応速度データや反応効率の基礎的なデータ取得を行う必要がある。

② 高密度及び低密度層の生成方法の検討

被覆方法に関して、高温ガス炉用燃料では使用ガスを変えることで形成している、高密度層と低密度層について、TiN の被覆においてどのような方法で形成できるかを検討した上で、被覆条件をパラメータとして試験的に確認する必要がある。

③ 流動床体系での TiN 被覆形成条件の確認と処理量増大検討

TiN 被覆反応速度データに基づき、流動床の安定的な流動条件と被覆層の形成条件をガス流動試験により明確にし、大型化による処理量増大の対応可能性についてデータを取得した上で、被覆生成装置概念を具体化する必要がある。

④ ガスディストリビュータの検討

従来、被覆生成装置のメンテナンス頻度の制約となっているガスディストリビュータについて、上記流動試験を反映するとともに、200 日間の連續運転にメンテナンスを不要とする、または、容易にメンテナンスが可能な構造を検討する必要がある。

表 2.2.1-1 検討対象とする被覆粒子燃料及び被覆生成装置条件

項目	本検討の対象燃料		HTTR の被覆粒子燃料 (参考)	備考
	炉心燃料	プランケット 燃料		
1. 燃料条件				
燃料材料	窒化物 (N-15、 100%濃縮) PuN/UN/MA	窒化物 (N-15、 100%濃縮) UN/MA	酸化物 UO <sub>2</sub>	
被覆粒子径	1.94mm	1.9mm	920 μm	
燃料核	1.5mm	1.6mm	600 μm	
被覆層第1層厚さ	120 μm	60 μm	60 μm	
組成	40%低密度 TiN (バッファ層)		低密度 PyC バッファ層	
生成反応式	$TiCl_4 + 2H_2 + 0.5N_2 \rightarrow TiN + 4HCl$		$C_3H_6 \rightarrow 3C + 3H_2$ (Ar ガスを キャリアガス)	
被覆層第2層厚さ	100 μm	80 μm	30 μm	
組成	100%密度 TiN (強度層)		高密度 PyC 層	
生成反応式	$TiCl_4 + 2H_2 + 0.5N_2 \rightarrow TiN + 4HCl$		$C_3H_6 \rightarrow 3C + 3H_2$ (Ar ガスを キャリアガス)	
被覆層第3層厚さ	—	—	25 μm	
組成	—	—	SiC 層	
生成反応式	—	—	$CH_3SiCl_3 + H_2 \rightarrow$ $SiC + 2.5H_2 + 1.5Cl_2$	
被覆層第4層厚さ	—	—	45 μm	
組成	—	—	PyC 層	
生成反応式	—	—	$C_3H_6 \rightarrow 3C + 3H_2$ (Ar ガスを キャリアガス)	
2. 被覆生成装置条件				
被覆生成装置容器 内径	200mm	200mm	200mm	
処理容量/バッチ	(検討対象)	(検討対象)	4.4kgHM/バッチ	文献(2)
処理時間/バッチ	(検討対象)	(検討対象)	8 時間	文献(3)

表 2. 2. 1-2 被覆生成装置の構成と必要基数の関係

ケース	処理バッチ数／日	1日の処理量／基*1 (kgHM/d)	処理に必要な被覆生成装置数(基) *5			
			内側炉心 *2	外側炉心 *3	ブランケット *4	合計
① HTTR 延長条件	1	炉心 : 4.4 ブランケット : 4.4	57 (69)	44 (53)	156 (188)	257 (310)
② 3 バッチ化	3	炉心 : 13.2 ブランケット : 13.2	19 (23)	15 (18)	52 (63)	86 (104)
③ 3 バッチ化処理量増大 (10kgHM/バッチ : 基準ケース)	3	炉心 : 30 ブランケット : 30	9 (11)	7 (9)	23 (28)	39 (48)
④ 3 バッチ化処理量最大 (15.9kgHM/バッチ)	3	炉心 : 47.1 ブランケット : 47.1	6 (8)	5 (6)	15 (18)	26 (32)
⑤ 蒸着速度低下 (10kgHM/バッチ、基準ケースの処理速度 1 / 3 : インパクト評価対象ケース)	1	炉心 : 10 ブランケット : 10	25 (30)	20 (24)	69 (83)	114 (137)

\*1: 処理容量は被覆生成装置の処理速度により決まると想定

\*2: 内側炉心要求処理量 : 246.5kgHM/d

\*3: 外側炉心燃料要求処理量 : 190.9kgHM/d

\*4: ブランケット燃料要求処理量 : 684.9 kgHM/d

\*5: ( ) 内は連続運転を考慮した場合にメンテナンスなしで運転することを想定して 1.2 倍余裕をみた設計用の設定値

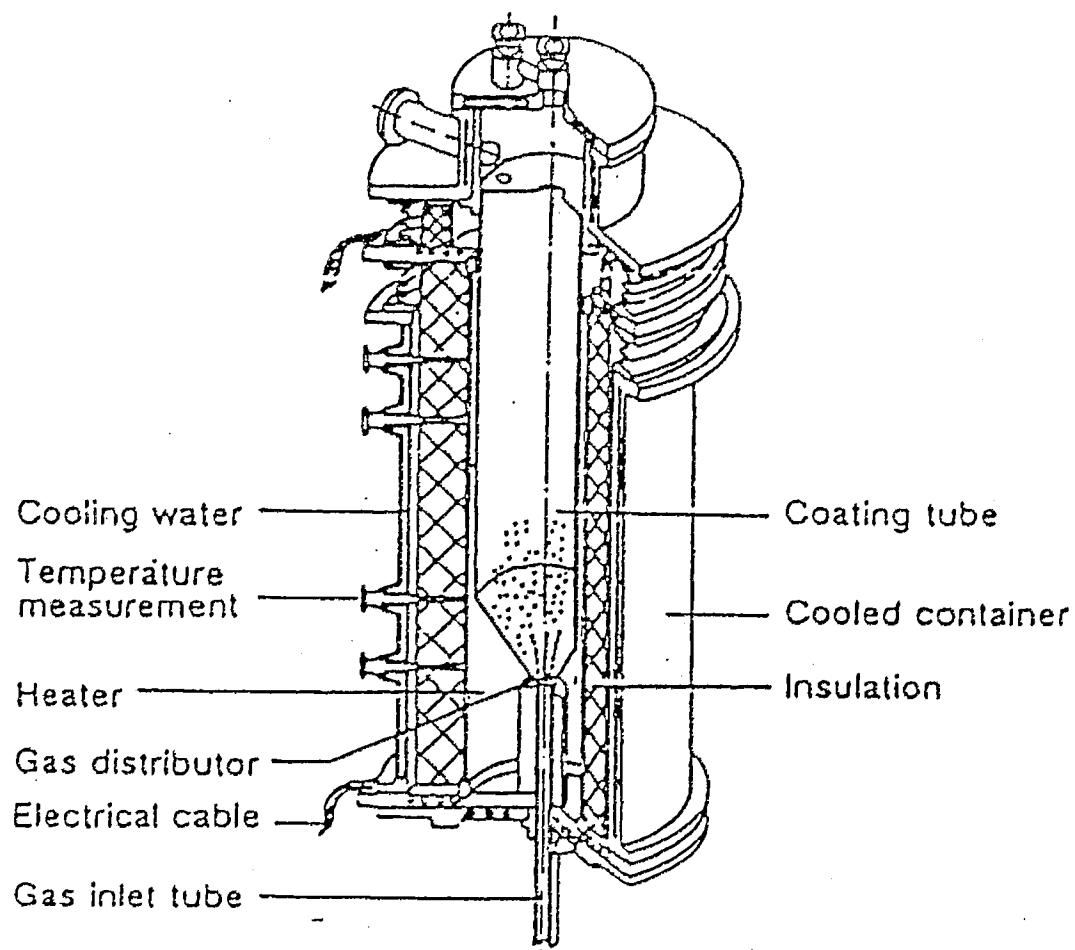


図 2.2.1-1 HTTR 被覆生成装置（流動床方式）概念<sup>(1)</sup>

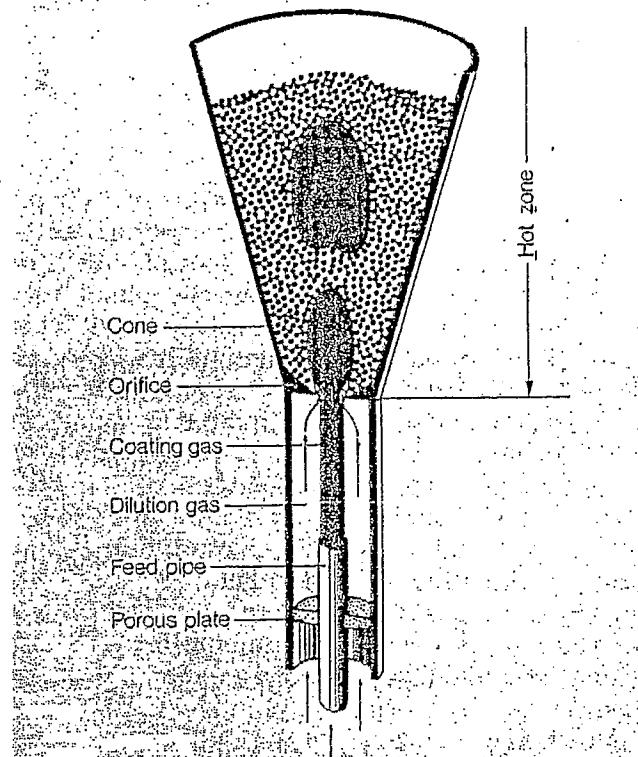


図 2.2.1-2 ガスディストリビュータ概念<sup>(4)</sup>

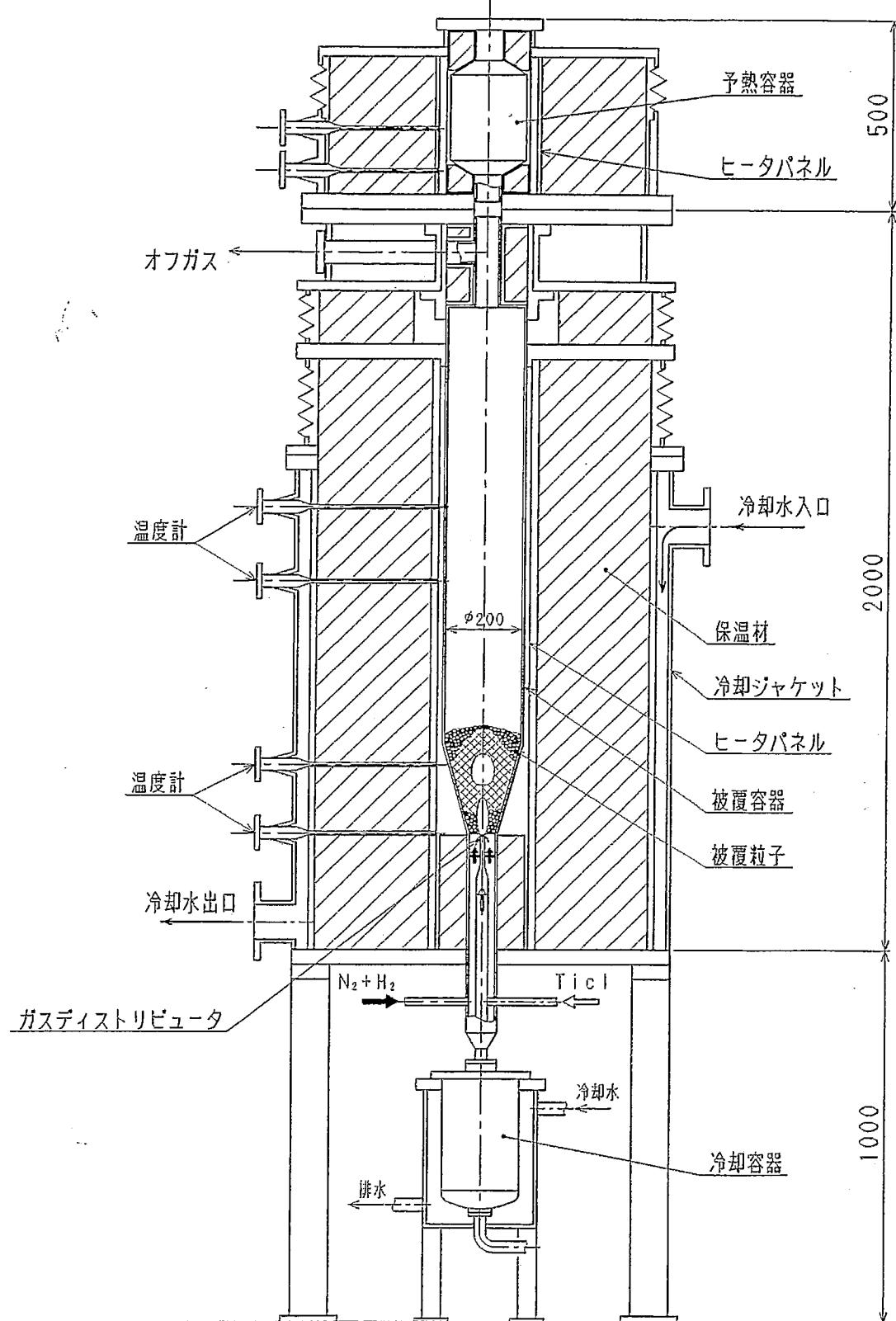


図 2.2.1-3 被覆生成装置概念図

## 2.3 燃料製造プラントの概念調査

### 2.3.1 全体機器構成・仕様の検討

#### (1) 概要

「2.1 設計条件の検討」及び「2.2 燃料製造機器の概念検討」でまとめた基本プロセスフロー、臨界条件の評価結果等を受けて、窒化物被覆粒子燃料製造設備の全体構成をまとめる。

#### (2) 検討結果

##### (i) 全体プロセスフローの検討

別途行った検討条件をベースに、合理的な物流が可能となるプロセスフローを検討した。検討結果を、図 2.3.1-1 に示す。主要な考慮事項等は、以下のとおりである。

- ① 基本的には、できる限り重力落下による移送が可能なようにするものとするが、重力落下のみでは建屋の必要階高が大きくなるため、必要に応じて上階に移送する。
- ② 上記の方針により、乾燥処理が終了した後の乾燥ゲル球は移送用の貯槽に入れた状態で培焼炉までクレーンで吊り上げる。また、完成した被覆粒子は、気流搬送により中間貯蔵庫に移送する。
- ③ 炭素熱還元炉（工程）から被覆生成装置（工程）までは、アルゴンガス雰囲気セル中に機器を設置とするものとし、セルへの物流による開口を最小化とともに、雰囲気分離を容易とできるよう、配管を介した原料の移送を採用した。

##### (ii) 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 2.3.1-1 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、2.1 項で整理した先行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ニウム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 6500L、外側炉心燃料で 4500L であり、先行設計の条件 (6300L) 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、機器数については先行設計と同様、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 250L と、先行設計の条件 (185L) と大きな差はないことから、臨界上の制約 (胴径) 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・熟成槽については、内側燃料の条件で約 3 倍、外側炉心燃料で約 2 倍の容量が必要である。滴下・熟成槽の機能上、単純に容器を大きくすることで処理能力が比例的に増加すると言いにくい（試験が必要）ことから、同等のサイズのものを容量比にあわせて設けることとした。

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燃料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、機器サイズは臨界上の制約に合わせて調整している。

(d) 乾燥装置

乾燥装置は、洗浄後の燃料球を 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、臨界上の制約に合わせて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、先行設計に比べて内側燃料の条件で約3倍、外側炉心燃料で約2倍の容量が必要である。厳しい臨界上の制約より、機器単体での容量増大は見込めないことから、機器単体の処理容量（容器有効容量）は先行設計と同等とした上で、臨界上の制約に合わせて機器サイズの見直しを行った。

培焼球貯槽は、单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、先行設計に包絡されるため、機器設計としては先行設計と同等容量として臨界条件に合わせて機器サイズの見直しを行った。

還元球貯槽は单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、培焼炉で処理済の培焼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

炭素熱還元炉は、先行設計に比べて内側燃料の条件で約3倍、外側炉心燃料で約2倍の容量が必要である。臨界上の制約はあるものの、もともとコンパクトな機器であることから機器単体での容量増大を見込むこととし、内側、外側ともに同一仕様で2基構成とすることとした。なお、臨界上、トレーの熱さが制約されるが、トレーの幅及び長さの増加により必要な容量を確保することとした。

窒化還元球貯槽は、单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、機器有効容量を先行設計の半分まで落とした上で、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、先行設計に包絡されるため、機器設計としては先行設計と同等容量として臨界条件に合わせて機器サイズの見直しを行った。

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、先行設計に包絡されるため、機器設計としては先行設計と同等容量として臨界条件に合わせてトレーサイズの見直しを行った。

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、機器有効容量を先行設計の半分まで落とした上で、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ない（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、「2.2 燃料製造機器の概念検討」における検討のうち、基準条件の基數、機器サイズを採用した。

(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) 中間貯蔵庫（被覆粒子）

貯蔵ピッチは、燃料集合体貯蔵庫と同等と設定した。1 ラックの収納容器のサイズについては、焼結球の条件と同等とした。

(o) 燃料集合体組立装置

1 日あたりの処理容量が内側炉心燃料の条件で 2 体、外側炉心燃料の条件で 1 体と小さく、既存の燃料集合体組立装置の処理容量にも包絡されることか

ら、1基構成とした。なお、集合体組立装置は、ねじ止め構造等の採用により振動充填法と機能的に大きな差はなく、同等の寸法条件で設置可能なものとした。

(p) 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と暫定した。

(iii) ブ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、ブ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2.3.1-1に示す。ブ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、軸方向と外側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項で整理した先行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先行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、機器容量は先行設計と同等、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、先行設計の機器容量より、本設備の必要容量にあわせて機器数を増加させた。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、先行設計の機器容量より、本設備の必要容量にあわせて機器数を増加させた。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、先行設計に比べて約9倍の容量が必要であるが、もともとコンパクトな機器であることから、炉心燃料用と同等までの機器単体での容量増大を見込むこととし、4基構成とすることとした。

窒化還元球貯槽は、单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が、ラインあたり2基の炭素熱還元炉からの受入を行うことから、貯槽の容量を2倍としてラインあたり2槽で順次受け入れる方式とした。

(i) 再還元炉、再還元球貯槽

再還元炉の処理条件は、先行設計に包絡されるが、ブランケット燃料を2ライン構成とする方針で2基構成として機器サイズの見直しを行った。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

焼結炉の処理条件は、先行設計に包絡されるが、ブランケット燃料を2ライン構成とする方針で2基構成として機器サイズの見直しを行った。

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。

(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。

(n) 中間貯蔵庫（被覆粒子）

炉心燃料の欄に記載のとおりである。

(o) 燃料集合体組立装置

炉心燃料の欄に記載のとおりである。

(p) 燃料集合体貯蔵庫

炉心燃料の欄に記載のとおりである。

(iv) 全体構成の設定

(ii) 及び(iii) 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 2.3.1-2 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、プランケット 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ができた。

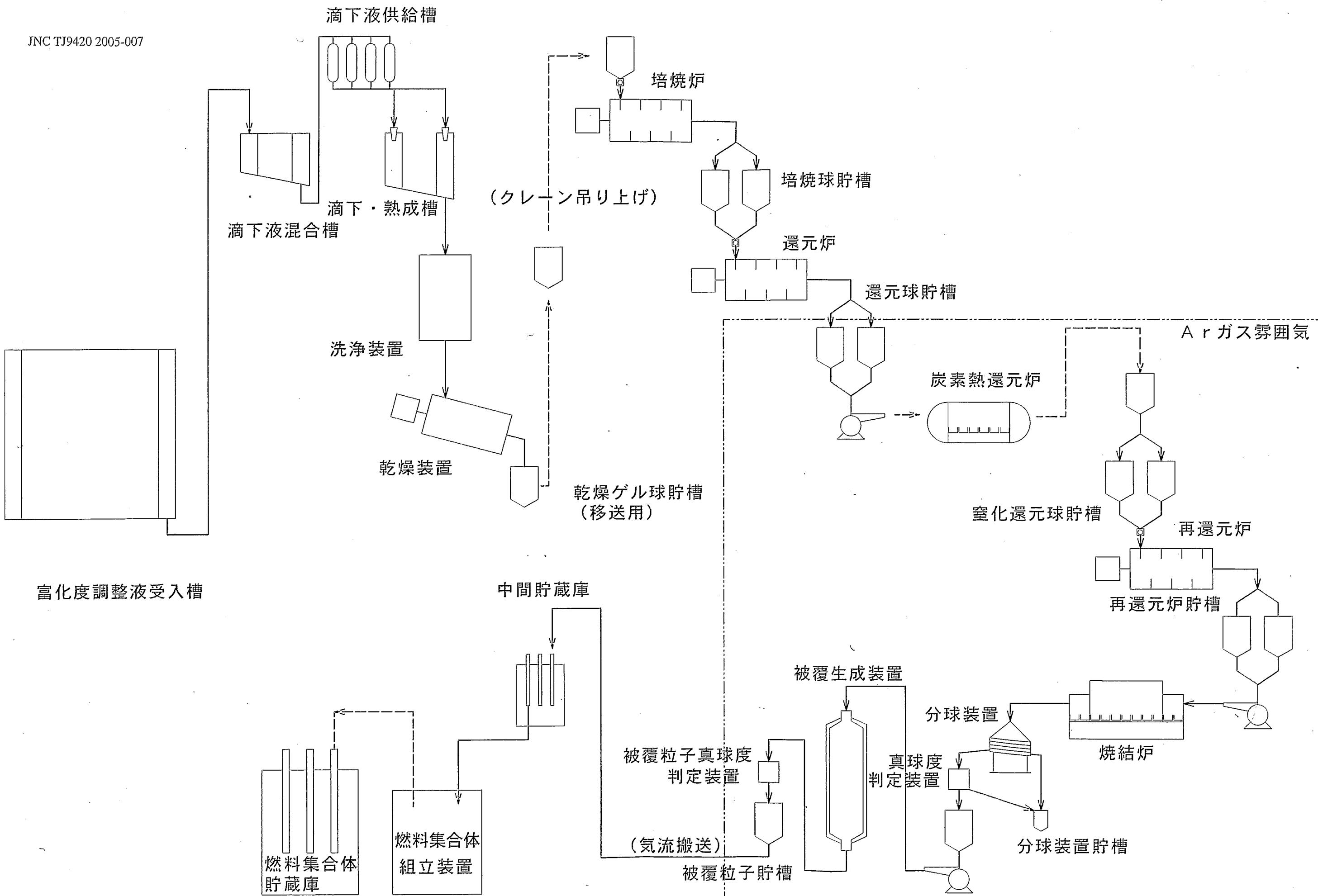


図 2.3.1-1 窒化物被覆粒子燃料製造設備プロセスフロー図

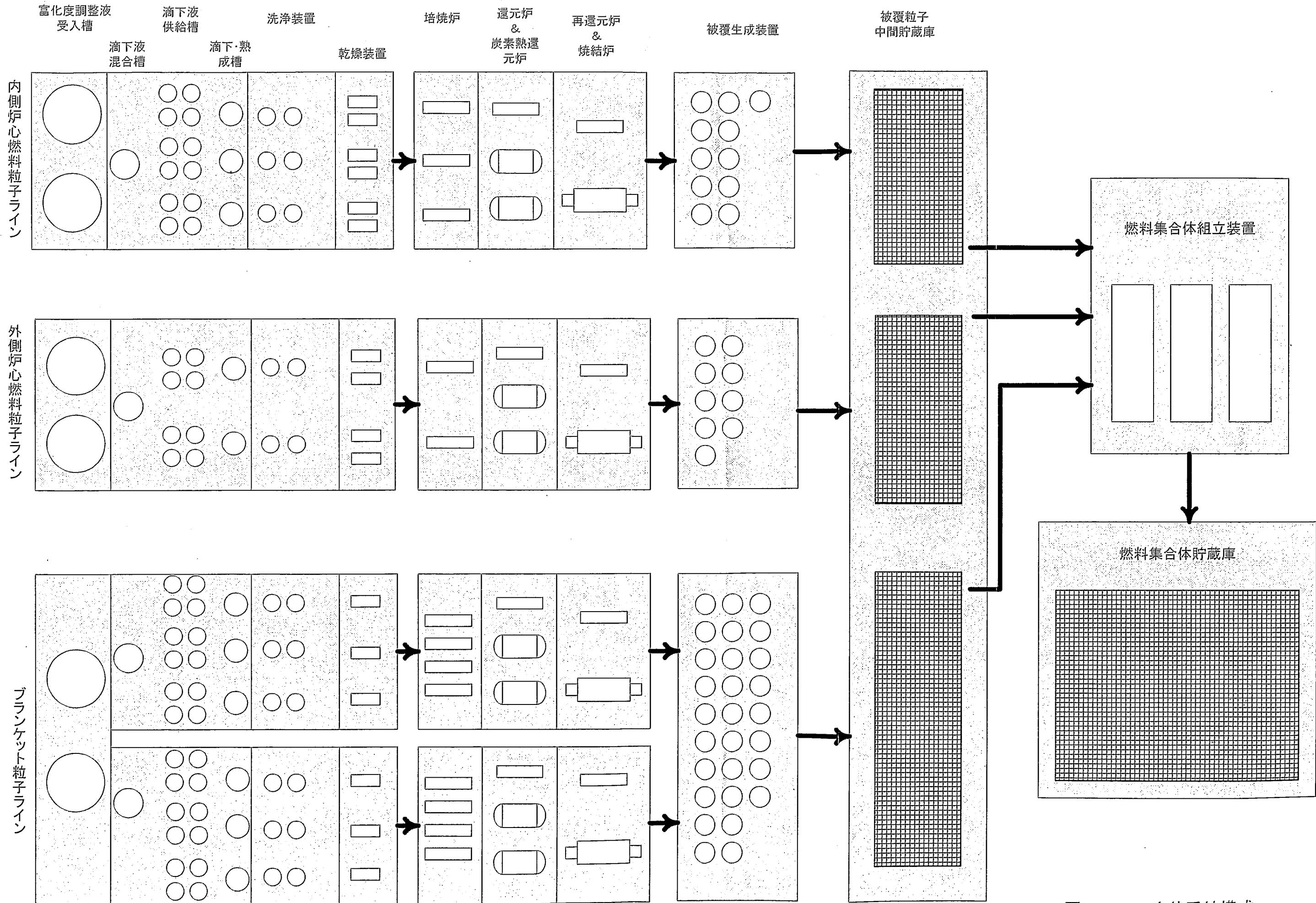


図2.3.1-2 全体系統構成

表2.3.1-1 炉心燃料粒子ライン機器数の設定

機器名	基準条件(先行設計)		内側炉心条件		外側炉心条件		機器有効容量 (1基分)	機器型式	機器サイズ	臨界条件	備考
	運転方式	機器有効容量 (1基分)	必要処理量 (パッチ又は3時間あたり)	機器基數	必要処理量 (パッチ又は3時間あたり)	機器基數					
富化度調整液受入槽	パッチ、次パッチ分の受入・切替		6300L×2 (7日分)	2	4200L×2 (7日分)	2	内:6500L 外:4500L	円環槽 (Cd吸収体付)	φ5000*h5000 (貯蔵部幅85) 外側のh3500	幅85以下 (Cd吸収体付)	
滴下液混合槽	パッチ(3h)	185L	250L	1	175L	1	250L	円環槽 (Cd吸収体付)	φ1000*h1000 (貯蔵部幅85)	幅85以下 (Cd吸収体付)	必要容量にあわせて大型化(性能には影響しない)
滴下液供給槽	パッチ(3h)	15L	250L	12	175L	8	25L	円筒容器 (Cd吸収体付)	φ260*h500	内径261以下 (Cd吸収体付)	滴下・熟成槽数の4倍(ノズルが4箇所/基)
滴下・熟成槽	パッチ(3h)	80L	250L	3	175L	2	90L	円環槽 (Cd吸収体付)	φ600*h600 (貯蔵部幅85)	幅85以下 (Cd吸収体付)	性能上、サイズは変えないが、約10%の能力向上を期待
洗浄装置	パッチ(6h)	97L	洗浄水:2450 IPA:1250L	6	洗浄水:1750 IPA:900	4	100L	円筒容器 (Cd吸収体付)	φ260*L2400	内径261以下 (Cd吸収体付)	運用上、滴下・熟成槽の基数の2倍必要
乾燥装置	パッチ(3h)	80L	460kg	6	350kg	4	50L	横置き円筒型 (Cd吸収体付)	φ145*L3200	内径147以下 (Cd吸収体付)	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
乾燥ゲル球貯槽 (移送用)	培焼炉1基分のパッチ 移送	31L (75kg)	160kg	3	120kg	2	31L (75kg)	円筒容器 (Cd吸収体付)	φ145*h2000	内径147以下 (Cd吸収体付)	培焼炉と同基数、同じ処理容量とした
培焼炉	連続(3h)	26L (65kg)	160kg	3	120kg	2	26L (65kg)	横置き円筒型	φ115*h4500	内径119以下	(基準条件の容量とサイズが整合しない) 径の縮小にあわせて長さで補正
培焼球貯槽	還元炉1基分のパッ ファ・切替運転	32L (190kg)	50kg	2	40kg	2	32L (190kg)	円筒容器	φ200*h1300	内径219以下	
還元炉	連続(3h)	26L (90kg)	50kg	1	40kg	1	26L (90kg)	横置き円筒型	φ215*h4500	内径219以下	(基準条件の容量とサイズが整合しない) 径の縮小にあわせて長さで補正
還元球貯槽	炭素熱還元炉1基分 のパッチ移送	32L (180kg)	360kg (24h分)	4	280kg (24h分)	4	32L (180kg)	円筒容器	φ200*h1300	内径219以下	
炭素熱還元炉	パッチ(24h)	21L (115kg)	360kg (24h分)	2	280kg (24h分)	2	32L (180kg)	トレー型	トレー 20*2000*800	トレー厚22以下	トレー厚の縮小にあわせて、長さと幅で補正
窒化還元球貯槽	炭素熱還元炉1基分 のパッファ・切替運転	32L (225kg)	300kg (24h分)	8	240kg (24h分)	8	14L (100kg)	円筒容器	φ95*h2000	内径99以下	径縮小で容量削減 配置高さの制約を考慮して基数増加
再還元炉	連続(3h)	26L (180kg)	38kg	1	30kg	1	10L (70kg)	横置き円筒型	φ105*h2000	内径108以下	径縮小で容量削減 元々持っている余裕で吸収
再還元球貯槽	再還元炉1基分のパッ ファ・切替運転	32L (225kg)	38kg	2	30kg	2	14L (100kg)	円筒容器	φ95*h2000	内径108以下	
焼結炉	連続(12h)	62L (440kg)	150kg (12h分)	1	120kg (12h分)	1	39L (280kg)	トレー型	トレー厚20	トレー厚22以下	トレー厚が薄くなるが、元々持っている余裕で吸収
焼結球貯槽	焼結炉1基分のパッ ファ・切替運転	32L (225kg)	150kg (12h分)	4	120kg (12h分)	4	14L (100kg)	円筒容器	φ95*h2000	内径99以下	径縮小で容量削減 配置高さの制約を考慮して基数増加
分球装置		100kg/h	150kg (12h分)	1	120kg (12h分)	1	100kg/h				
真球度判定装置		0.5kg/h	150kg (12h分)	25	120kg (12h分)	20	0.5kg/h				
分球装置貯槽		32L	150kg (12h分)	4	120kg (12h分)	4	14L (100kg)	円筒容器	φ95*h2000	内径99以下	焼結球貯槽と同一条件
被覆生成装置	パッチ(8h) 3パッチ/日	10kgHM /パッチ	300kg (24h分)	11	240kg (24h分)	9	10kgHM/ パッチ	円筒容器	φ200*h2000	質量制限 15.9kgHM以下	基準条件ベース
被覆粒子真球度判定裝 置		0.5kg/h/ 台	300kg (24h分)	25	240kg (24h分)	20	0.5kg/h				
被覆粒子貯槽	12時間分貯蔵	32L (225kg)	150kg (12h分)	4	120kg (12h分)	4	14L (100kg)	円筒容器	φ95*h2000	内径99以下	
中間貯蔵庫(被覆粒子)	14日分貯蔵	3.9L (27kg)	4200kg (14日分)	160	3360kg (14日分)	130	3.9L (27kg)	貯蔵ラック	φ50*h2000 ピッチ400		
燃料集合体組立装置			2体/日	1	1体/日	1					
燃料集合体貯蔵庫	1年分貯蔵		400体 (1年分)	1式	200体 (1年分)	1式		貯蔵ラック	ピッチ400		

表2.3.1-2 ブランケット粒子ライン機器数の設定

機器名	基準条件(先行設計)		ブランケット球条件		機器有効容量 (1基分)	機器型式	機器サイズ	備考
	運転方式	機器有効容量	必要処理量(パッチ 又は3時間あたり)	機器基数				
富化度調整液受入槽	パッチ		20300L×2 (7日分)	2	21000L	円筒容器	φ 3000*h3200	
滴下液混合槽	パッチ(3h)		815L	2	420L	円筒容器	φ 1100*h950	
滴下液供給槽	パッチ(3h)	40L	815L	24	40L	円筒容器	φ 260*h850	滴下・熟成槽数の4倍(ノズルが4箇所/基)
滴下・熟成槽	パッチ(3h)	160L	815L	6	160L	円環槽	φ 600*h600	
洗浄装置	パッチ(6h)	97L	洗浄水:8250 IPA:4150	12	100L	円筒容器	φ 260*L2400	運用上、滴下・熟成槽の基数の2倍必要
乾燥装置	パッチ(3h)	120L	1550kg	6	210L	横置き円筒型	φ 260*L4000	運用上、滴下・熟成槽と同数必要
乾燥ゲル球貯槽 (移送用)	培焼炉1基分のパッチ移 送	31L (75kg)	510kg	8	31L (75kg)	円筒容器	φ 145*h2000	培焼炉と同基数、同じ処理容量とした
培焼炉	連続(3h)	26L (65kg)	510kg	8	26L (65kg)	横置き円筒型	φ 115*h4500	
培焼球貯槽	還元炉1基分のバッファ・ 切替運転	32L (105kg)	130kg	4	40L (130kg)	円筒容器	φ 200*h1300	
還元炉	連続(3h)	26L (85kg)	130kg	2	26L (85kg)	横置き円筒型	φ 215*h4500	
還元球貯槽	炭素熱還元炉1基分の パッチ移送	32L (175kg)	990kg (24h分)	4	90L (495kg)	円筒容器	φ 300*h1300	
炭素熱還元炉	パッチ(24h)	21L (115kg)	990kg (24h分)	4	45L (245kg)	トレー型	トレー 30*2000*800	トレーサイズ拡大(面積は炉心燃料用と同じ)
窒化還元球貯槽	炭素熱還元炉1基分の バッファ・切替運転	32L (225kg)	850kg (24h分)	4	60L (430kg)	円筒容器	φ 200*h2000	
再還元炉	連続(3h)	26L (180kg)	110kg	2	10L (70kg)	横置き円筒型	φ 105*h2000	
再還元球貯槽	再還元炉1基分のバッ ファ・切替運転	32L (225kg)	97kg	4	14L (100kg)	円筒容器	φ 95*h2000	
焼結炉	連続(12h)	62L (530kg)	430kg (12h分)	2	39L (270kg)	トレー型	トレー厚さ20	
焼結球貯槽	焼結炉1基分のバッファ・ 切替運転	32L (225kg)	430kg (12h分)	4	60L (430kg)	円筒容器	φ 200*h2000	
分球装置		100kg/h	430kg (12h分)	1	100kg/h			
真球度判定装置		0.5kg/h/台	430kg (12h分)	72	0.5kg/h			
分球装置貯槽			430kg (12h分)	2	60L (430kg)	円筒容器	φ 200*h2000	
被覆生成装置	パッチ(8h) 3パッチ/日	10kgHM/パッ チ	860kg (24h分)	28	10kgHM/パッ チ	円筒容器	φ 200*h2000	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	0.5kg/h/台			
被覆粒子貯槽	12時間分貯蔵	60L (430kg)	430kg (12h分)	2	60L (430kg)	円筒容器	φ 200*h2000	
中間貯蔵庫(被覆粒子)	14日分貯蔵	3.9L (27kg)	12040kg (14日分)	450	3.9L (27kg)	貯蔵ラック	φ 50*h2000 ピッチ400	
燃料集合体組立装置		1体/日	1体/日	1	1体/日			
燃料集合体貯蔵庫	1年分貯蔵	200体 (1年分)	200体 (1年分)	1式	200体 (1年分)	貯蔵ラック	ピッチ400	

備考:ブランケット燃料粒子ラインは、2系統より構成する

### 2.3.2 セル配置、建屋構成の検討

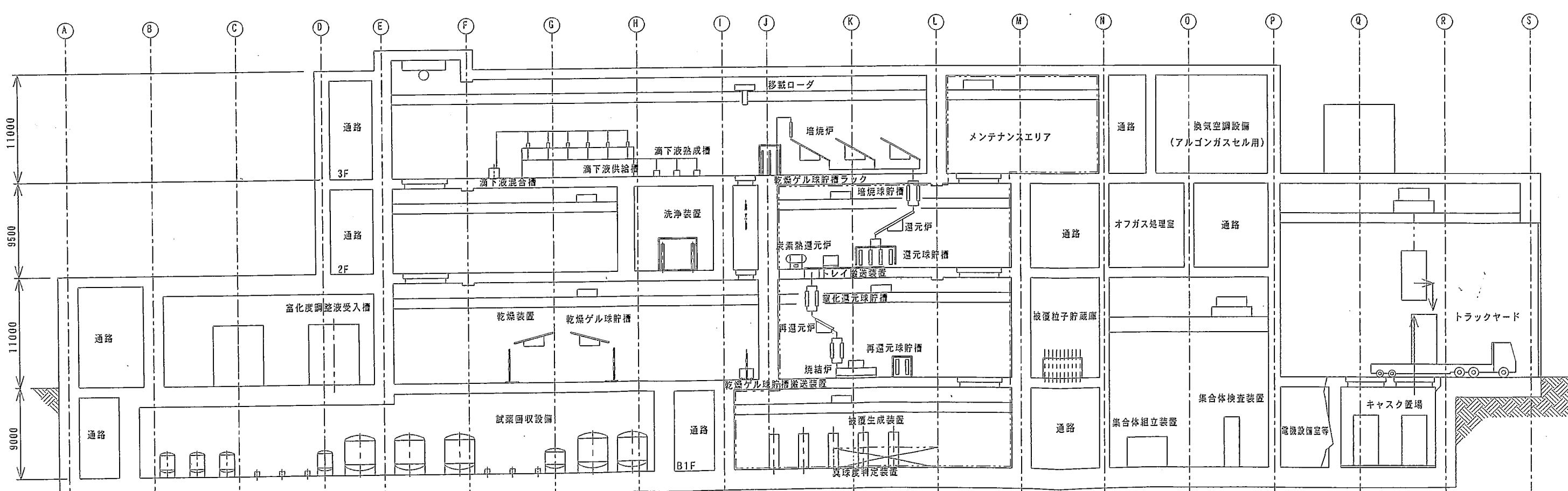
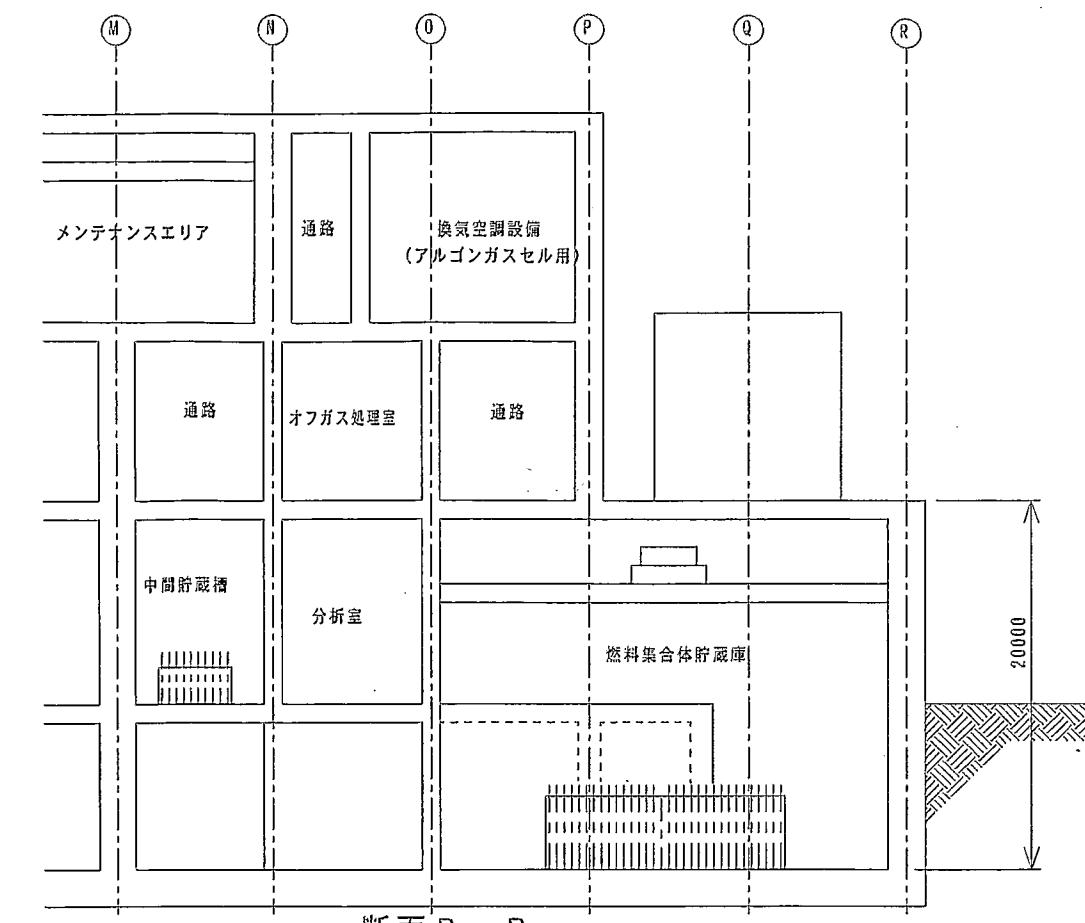
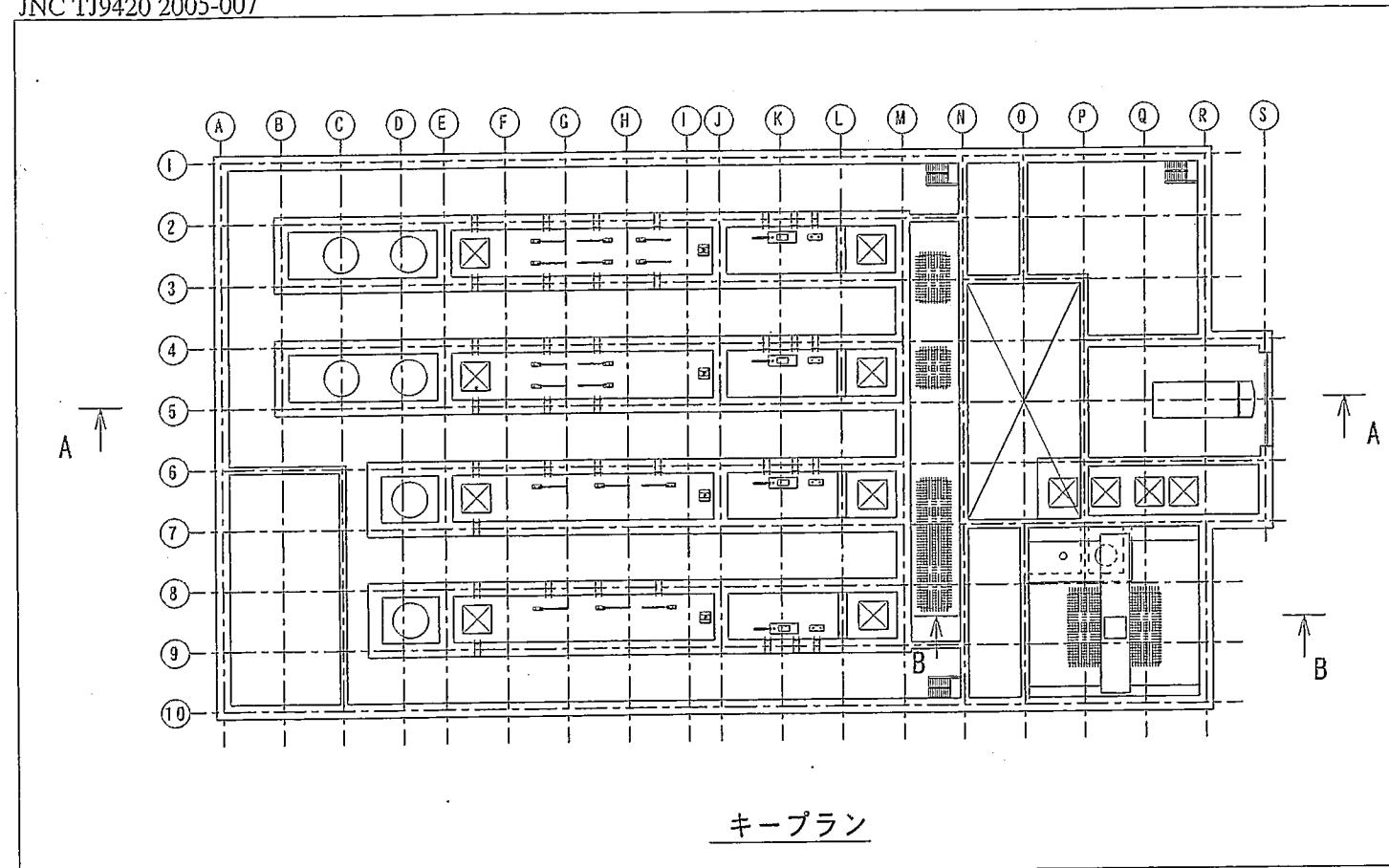
#### (1) 概要

2.3.1 節の検討結果を受けて、建屋全体配置計画を行った。検討結果を、図 2.3.2-1 (立面図)、図 2.3.2-2 (3 F) 平面図、図 2.3.2-3 (2 F)、図 2.3.2-4 (1 F) 及び図 2.3.2-5 (B 1 F) 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、ブランケット燃料ライン(1) 及びブランケット燃料ライン(2) の4系統構成とする。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 廃液処理設備及び試薬回収設備は、最下層(B 1 F)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、今回の検討では、先行設計との比較の観点から、B 1 Fの廃液処理設備及び試薬回収設備は、炉心燃料に対応する分のみを配置している。
- ⑥ 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。
- ⑦ 燃料要素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えるようにするものとする。



□: 印範囲は Ar ガスセルを示す。

図 2.3.2-1 被覆粒子燃料製造設備配置図（立面断面図）

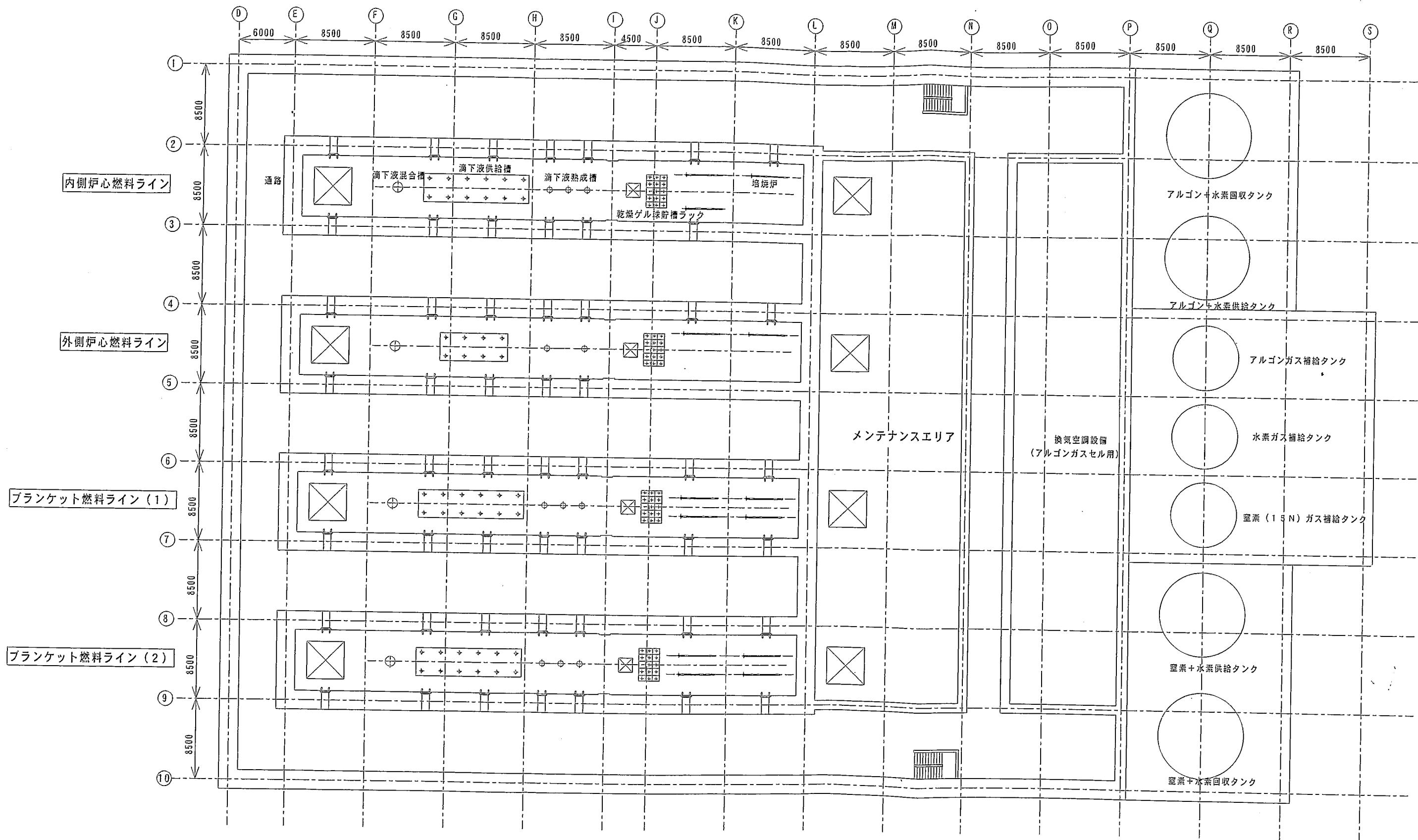


図2.3.2-2 被覆粒子燃料製造設備配置図 (3F平面図)

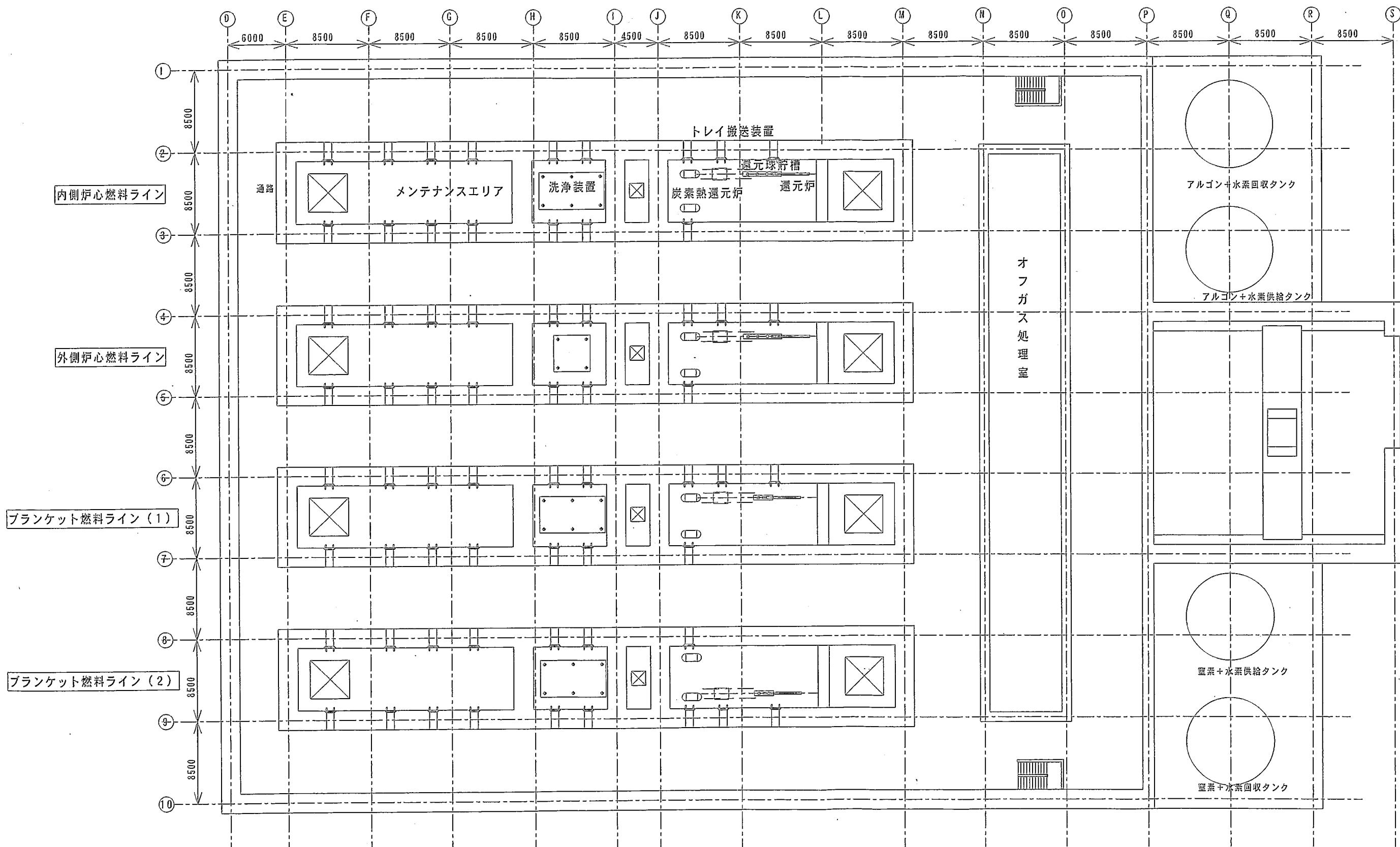


図2.3.2-3 被覆粒子燃料製造設備配置図（2F平面図）

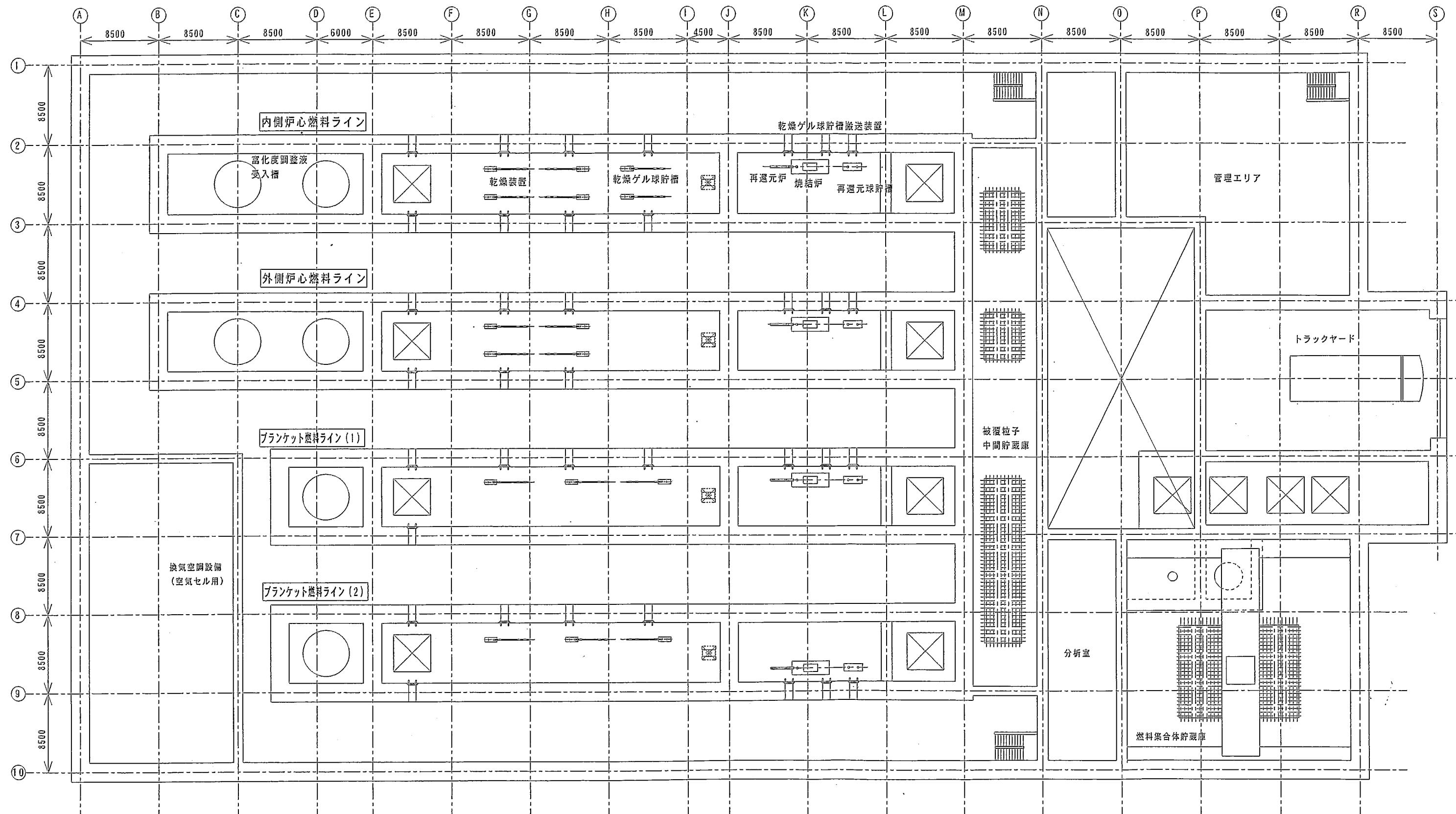
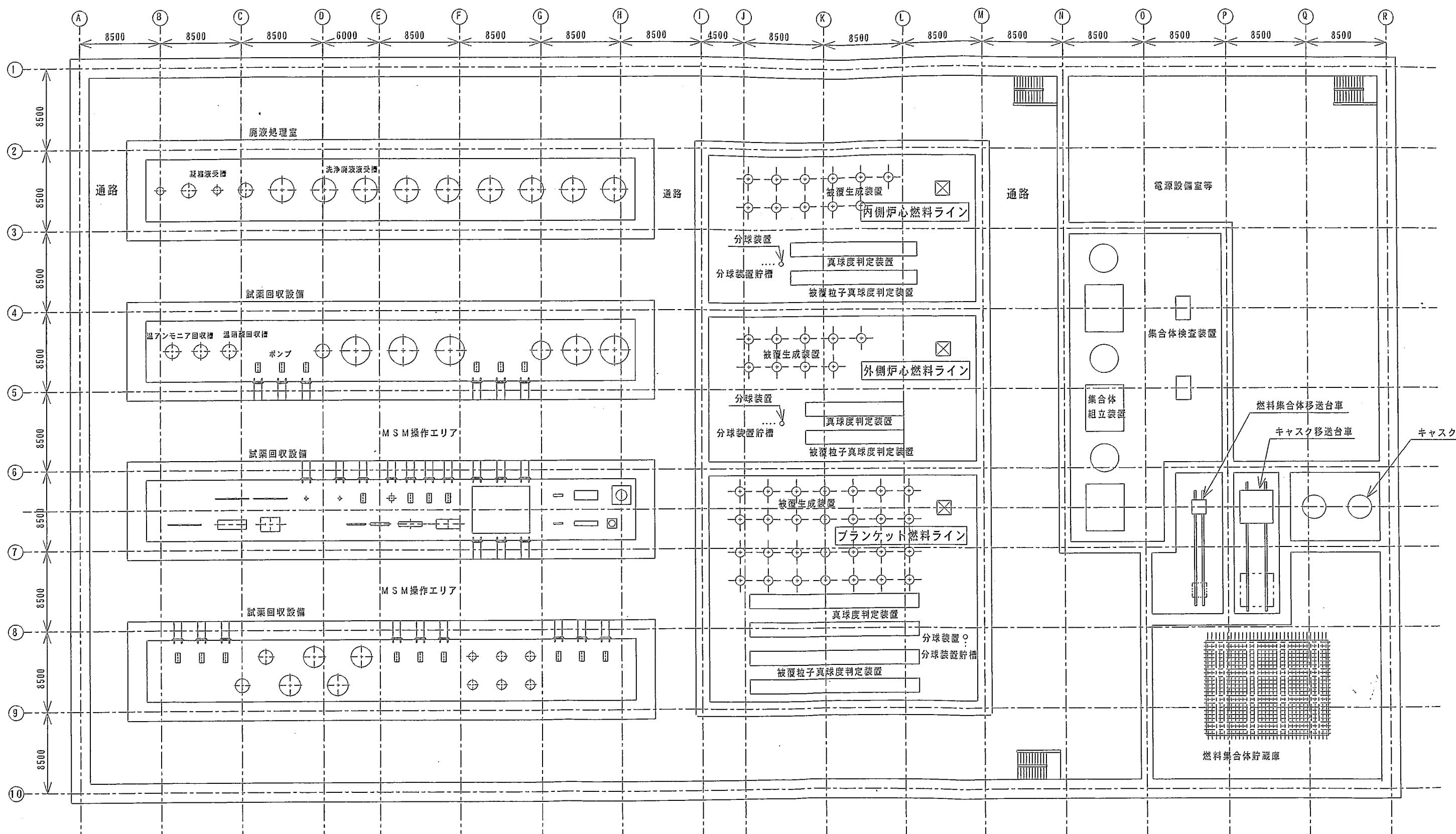


図2.3.2-4 被覆粒子燃料製造設備配置図 (1F 平面図)



備考：廃液処理室、試薬回収設備は炉心燃料用のもののみを示している。

(プランケット燃料用は別途同等の施設を設けるか、燃料用の容量を

増大して共用することになる)

図2.3.2-5 被覆粒子燃料製造設備配置図 (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

主工程においては液体及び気体廃棄物量を評価した。主工程についてはサイクル機構殿より提示頂いた物質収支（添付資料 3.1-1, 2）を元に整理した。

表 3.1-1 に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 65.4t/d、IPA 水溶液が 25.0t/d となり、合計が 90.4t/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。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。回収系の回収率は 100%と想定した。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のみである。

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 62000Nm<sup>3</sup>/d、乾燥系排ガスが約 51000 Nm<sup>3</sup>/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 10500Nm<sup>3</sup>/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液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+H<sub>2</sub>ガス及び Ar+H<sub>2</sub>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

固体廃棄物には機器の保守補修により発生する中・低レベル廃棄物と、製造工程の燃料の分析サンプリング時の破壊分析により発生する高レベル廃棄物がある。

保守補修による固体廃棄物発生量はサイクル機構殿より提示頂いた各種機器での交換頻度データ（添付資料 3.1-3）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。年間発生総重量としては約 12t/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炉心燃料の非密封セル機器が約 710t、ブランケット燃料の非密封セル機器他が約 500t、非放射性機器廃棄物が約 160t となった。ブランケット燃料の非密封セル機器他については廃液及び廃ガス回収系のうち炉心燃料分のみを考慮している。ブランケット燃料分の廃液及び廃ガス回収系まで考慮するとブランケット燃料の非密封セル機器他は約 600t となる。

### (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、サイクル機構段より提示の HTTR 製造時の分析（添付資料 3.1-4, 5）に基づき、破壊分析を摘出し、表 3.1-4 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<sup>⑦</sup>。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 1588.4g/d であり、1 年間では  $1588.4\text{g}/\text{d} \times 200\text{d} = 317680\text{g} = 317.68\text{kg}/\text{年}$  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 1.89g/d となった。

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	内側炉心燃料	外側炉心燃料	プランケット燃料	合計
滴下槽	NH <sub>3</sub>	458.6	331.5	1539.3	2329.4
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	46.2	33.4	155.2	234.8
	H <sub>2</sub> O	1375.8	994.4	4617.9	6988.1
洗浄装置	NH <sub>3</sub>	133.0	128.7	82.5	344.2
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	195.2	158.1	464.9	818.2
	H <sub>2</sub> O	10171.7	7456.7	32970.7	50599.1
培焼炉 (凝縮水)	NH <sub>3</sub>	28.9	20.9	97.2	147.0
	H <sub>2</sub> O	771.7	559.7	2568.7	3900.1
含硝安アンモニア水合計		13181.1	9683.4	42496.4	65360.9
洗浄装置	IPA	2514.2	1817.2	8438.8	12770.2
乾燥装置 (凝縮水)	IPA	1272.3	919.5	4270.2	6462.0
	H <sub>2</sub> O	1138.8	823.1	3822.3	5784.2
IPA 水溶液合計		4925.3	3559.8	16531.3	25016.4
還元炉 (凝縮水)	H <sub>2</sub> O	15.3	11.0	51.3	77.6
総合計		18121.7	13254.2	59079.0	90454.9

表 3. I-2 主工程の液体廃棄物発生量と排出量 単位 : kg/d

設備	成分	発生量	回収の有無	排出量
滴下槽	NH <sub>3</sub>	2329.4	○	0
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	234.8	○	0
	H <sub>2</sub> O	6988.1	○	0
洗浄装置	NH <sub>3</sub>	344.2	○	0
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	818.2	○	0
	H <sub>2</sub> O	50599.1	○	0
培焼炉 (凝縮水)	NH <sub>3</sub>	147.0	○	0
	H <sub>2</sub> O	3900.1	○	0
含硝安アンモニア水合計		65360.9		0
洗浄装置	IPA	12770.2	○	0
乾燥装置 (凝縮水)	IPA	6462.0	○	0
	H <sub>2</sub> O	5784.2	○	0
IPA 水溶液		25016.4		0
還元炉 (凝縮水)	H <sub>2</sub> O	77.6	×	77.6
総合計		90454.9		77.6

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：Nm<sup>3</sup>/d

設備	成分	内側炉心燃料	外側炉心燃料	ブランケット燃料	合計
滴下槽*1	NH <sub>3</sub>	17.3	13.5	47.5	78.3
乾燥装置*2	IPA	474.2	342.7	1591.6	2408.5
	H <sub>2</sub> O	1417.2	1024.3	4756.5	7198.0
培焼炉*1	CO <sub>2</sub>	933.0	674.4	3131.7	4739.1
	O <sub>2</sub>	1211.1	875.4	4065.1	6151.6
	N <sub>2</sub>	9112.5	6586.2	30585.3	46284.0
	NH <sub>3</sub>	38.0	27.5	127.7	193.2
	H <sub>2</sub> O	960.4	696.5	3196.7	4853.6
還元炉*2	H <sub>2</sub>	19.0	13.7	63.8	96.5
	Ar	722.4	522.2	2424.8	3669.4
	H <sub>2</sub> O	19.0	13.7	63.8	96.5
炭素熱還元炉*2	H <sub>2</sub>	185.3	143.5	515.5	844.3
	N <sub>2</sub>	4390.4	3399.6	12212.6	20002.6
	CH <sub>4</sub>	23.2	17.9	64.4	105.5
	CO	46.3	35.9	128.9	211.1
再還元炉*2	Ar	2641.2	2045.1	7346.8	12033.1
	CH <sub>4</sub>	69.5	53.8	193.4	316.7
焼結炉*2	Ar+H <sub>2</sub>	760.5	549.6	2552.5	3862.6
被覆生成装置*3	HCl	163.1	126.5	225.8	515.4
	H <sub>2</sub>	81.6	63.2	112.9	257.7
	N <sub>2</sub>	3078.5	2387.5	4261.4	9727.4
合計		26363.7	19612.7	77668.7	123645.1

\*1 : アンモニア系排ガス 62299.8 Nm<sup>3</sup>/d\*2 : 乾燥系排ガス 50844.8 Nm<sup>3</sup>/d\*3 : 塩素系排ガス 10500.5 Nm<sup>3</sup>/d

表 3.1-4 気体廃棄物発生量と排出量 単位 : Nm<sup>3</sup>/d

設備	成分	発生量	回収の有無	排出量	備考
滴下槽*1	NH <sub>3</sub>	78.3	×	78.3	
乾燥装置*2	IPA	2408.5	○	0	凝縮後液体廃棄物 処理系で回収
	H <sub>2</sub> O	7198.0	○	0	
培焼炉*1	CO <sub>2</sub>	4739.1	×	4739.1	
	O <sub>2</sub>	6151.6	×	6151.6	
	N <sub>2</sub>	46284.0	×	46284.0	
	NH <sub>3</sub>	193.2	×	193.2	
	H <sub>2</sub> O	4853.6	×	4853.6	
還元炉*2	H <sub>2</sub>	96.5	○	0	
	Ar	3669.4	○	0	
	H <sub>2</sub> O	96.5	×	96.5	
炭素熱還元炉*2	H <sub>2</sub>	844.3	○	0	
	N <sub>2</sub>	20002.6	○	0	
	CH <sub>4</sub>	105.5	×	105.5	
	CO	211.1	×	211.1	
再還元炉*2	Ar	12033.1	×	12033.1	
	CH <sub>4</sub>	316.7	×	316.7	
焼結炉*2	Ar+H <sub>2</sub>	3862.6	○	0	
被覆生成装置*3	HCl	515.4	×	515.4	
	H <sub>2</sub>	257.7	○	0	
	N <sub>2</sub>	9727.4	○	0	
合計		123645.1		75578.1	

\*1 : アンモニア系排ガス 62299.8 Nm<sup>3</sup>/d\*2 : 乾燥系排ガス 12762.9 Nm<sup>3</sup>/d\*3 : 塩素系排ガス 515.4 Nm<sup>3</sup>/d

表3.1-5 機器廃棄物(固体廃棄物)(1/2)

JNC TJ9420 2005-007

機器名称	機器個数	機器全重量 [kg]	廃止措置時重量 [kg]	部品	部品個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計重量 [kg]	今回の仕様に合わせて見直しましたは追加			
									交換間隔 [年]	整備物重量 [kg/年]	総重量 [kg/年]	備考
電化度調整液受入槽	6	9500	38000	供給バルブ	1	10	10	220	10	1	132	各系統2基づつで交互に使用
滴下液混合槽	4	1400	2800	Pu/U供給バルブ	1	10	10	440	10	1	336	
滴下液供給槽	4	1400	1400	PAV供給バルブ	1	10	10	440	10	1	336	
滴下液供給槽	4	1400	1400	THFA供給バルブ	1	10	10	440	10	1	336	
滴下液供給槽	4	1400	1400	排出バルブ	1	10	10	440	10	1	336	
滴下液供給槽	4	1400	1400	ポンプ	2	200	400	800	5	1	336	
滴下液供給槽	44	200	4000	供給バルブ	1	10	10	30	10	1	132	
滴下液供給槽	44	300	7200	移送バルブ	1	10	10	10	10	1	198	
滴下液供給槽	11	200	6000	アンモニア供給バルブ	1	10	10	102	10	1	198	
滴下液供給槽	11	500	3000	排出バルブ	1	10	10	80	5	1	198	
滴下液供給槽	11	500	3000	滴下ノズル	4	20	80	5	16	1	198	
滴下液供給槽	11	500	3000	バイブレータ	4	20	80	5	16	1	198	
洗浄装置	22	400	4000	洗浄水入口バルブ	1	10	10	30	10	1	66	
洗浄装置	22	400	4000	IPANバルブ	1	10	10	10	10	1	66	
乾燥装置	13	3000	15000	回転モータ	1	5	5	50	10	1	65	
乾燥装置	13	6000	48000	駆動部	1	15	15	10	10	1	65	
乾燥装置	13	6000	48000	供給バルブ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	供給バルブ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	送台車駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	走行駆動装置	1	15	15	60	5	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	モータ	1	10	10	20	10	1	65	
乾燥装置	13	3000	15000	昇降駆動装置	1	15</td						

今回の仕様に合わせて見直しましたは追加

機器名稱	機器個数	停止措置時重量 [kg]	部品	部品個数	部品重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年] (年・基)	総重量 [kg/年]	備考
分球装置貯槽	10	150	200 供給バルブ 排出バルブ	10	10	10	20	10	10	20	乾燥ガル球貯藏と同等と想定
被覆生成装置	48	1000 1000 1000	20000 テイストリピータ 28000 供給バルブ 排出バルブ ヒータ 保温材 温度計	10 2 2 200 30 6	10 10 10 200 30 5	10 10 10 200 30 30	465 10 20 200 30 30	10 10 10 5 5 3	10 2 2 40 40 10	480	基準条件ベースで設定 ディストリビュータ交換頻度は 流動床の事例を参考に設定
気流搬送装置	6	1000 1000	40000 ノズル駆動部 20000 ブロワ 供給弁 ロータリーフィーダ 2250 振動モータ 3600 振動体 200 供給バルブ 500 排出バルブ 交換不要	1 1 6 1 1 1 1 1	5 20 10 15 10 10 10 10	5 20 10 90 20 10 10	2175 5 5 5 30 5 5 30	1 5 5 3 5 5 2	5 4 2 30 2 1	246	乾燥ガル球貯藏と同等と想定
被覆粒子真球度判定装置	17	50 50	150 2000 テイストリピータ 250 500 供給バルブ 37000 交換不要	1 1 1	10 10 10	10 10 10	20 20 10	5 5 10	10 1 1	468	乾燥ガル球貯藏と同等と想定
被覆粒子貯槽	10	150 250	105000 一式								
被覆粒子中間貯槽	10	50	12000 一式								
燃料集合体組立装置	3	35000	89000 交換不要								
集合体検査装置	3	4000	108000								
燃料集合体貯蔵庫	1	89000									
アンモニア廢液処理系	1	15100	15100 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	2 2 3 1	10 10 100 10	10 10 300 10	240 120 300 10	10 10 5 10	12 2 60 10	94	PFDより暫定
IPA廢液処理系	1	27700	27700 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	7 7 3 4	10 10 300 10	10 10 300 10	140 140 300 10	10 10 5 10	7 7 60 10	84	全重量は湿式ガル化設備物量を 流量比の0.6乗則で補正(0.689倍) プランケット合計すると2.0倍(44倍)
中濃度廃液処理系	1	10800	10800 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	4 4 4 4	10 10 100 10	10 10 400 10	80 80 40 10	0 0 5 10	4 4 80 10	98	PFDより暫定
ガス処理系	1	5600 17900	5600 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ 17900 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	4 4 4 4 6 3	10 10 100 10 10 100	10 10 400 10 10 300	80 80 40 10 60 10	0 0 5 10 6 5	4 4 80 10 6 60	82	全重量は湿式ガル化設備物量を 流量比の0.6乗則で補正(1.16倍) プランケット合計すると1.96倍(53t)
電析系	1	20000	49000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ 49000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	6 6 3 3 6 3	10 10 100 10 10 100	10 10 200 10 10 200	120 120 200 10 10 200	10 10 5 10 10 10	6 6 60 10 10 40	104	PFDより暫定
窒素+水素供給タンク	2	200000	400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ 400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	10 10 10 10 10 10	10 10 100 10 10 100	10 10 200 10 10 200	20 20 200 10 10 200	10 10 5 10 10 10	10 10 40 10 10 40	84	PFDより暫定
AI+水素回収タンク	2	200000	400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ 400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	10 10 10 10 10 10	10 10 100 10 10 100	10 10 200 10 10 200	20 20 200 10 10 200	10 10 5 10 10 10	10 10 40 10 10 40	84	PFDより暫定
AI+水素供給タンク	2	200000	400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ 400000 供給バルブ 排出バルブ ポンプ フィルタ	10 10 10 10 10 10	10 10 100 10 10 100	10 10 200 10 10 200	20 20 200 10 10 200	10 10 5 10 10 10	10 10 40 10 10 40	84	PFDより暫定
合計		1,384,040								11,748	

\*1: 機器重量は上段が炉心燃料用、中段がブランケット燃料用またはその他セル用、下段が非放射性産葉物、ブランケット燃料用またはその他セル用セメント燃料からの廃及び廃ガス回収系は含まない。

単位: kg

：機器重量及び磨耗力ス回収系は貯蔵庫に上段小炉は貯蔵庫に及ぶ。

燃料用

单位:kg

爐心燃燒用裝置重量：711,020  
平皿重量：  
kg

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
		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 * 2
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	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	48.81	37.8	135.6 9.5
燃料核 0/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 3.2
被覆粒子被覆層厚さ	溶媒浸漬またはシンクフロー	3 サンプル／被覆燃料粒子ロット	48.81	37.8	135.6 17.2
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 171.8
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 171.8
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 28.6
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	904 114.5
被覆粒子強度	ボイントクラッシャング	30 粒子／濃縮度	488.1	378	1356 171.8
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、燃料核粒子ロット 15kgHM として内側炉心 16.27 ロット/d、外側炉心 12.6 ロット/d、プランケット 45.2 ロット/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/cm<sup>3</sup>、被覆粒子比重 14g/cm<sup>3</sup> 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/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* <sup>1</sup>	TRU g/d
溶液系（滴下液）	内側炉心	300	$1.04 \times 10^{-3}$	0.31
	外側炉心	300	$1.07 \times 10^{-3}$	0.32
	プランケット	300	0	0
燃料核	内側炉心	2.5	$9.51 \times 10^{-3}$	0.02
	外側炉心	1.9	$9.34 \times 10^{-3}$	0.02
	プランケット	8.3	0	0
被覆粒子	内側炉心	154.1	$4.49 \times 10^{-3}$	0.69
	外側炉心	119.4	$4.41 \times 10^{-3}$	0.53
	プランケット	402.2	0	0
合計		1588.4	—	1.89

\* 1 : 添付資料 3.1-1 の物質収支に基づき算出した値。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。

ただし、プランケット燃料については TRU (MA) 量がないことを前提とした。

### 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。その結果は以下のとおりである。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                   | : | 0.23 |
| ② 周辺設備費                    | : | 0.28 |
| (廃棄物処理・分析・保守補修・計装・ユーティリティ) |   |      |
| ③ 建電換費                     | : | 0.38 |
| ④ 新燃料貯蔵設備費                 | : | 0.11 |

##### (ii) 運転費

- |        |   |        |
|--------|---|--------|
| ① 消耗品費 | : | 0.01/年 |
| ② 運転員費 | : | 0.02/年 |

さらに、2.2.1 項でパラメータ評価を行うものとした被覆装置のインパクト評価対象ケース（1バッチ／日）として、被覆装置が 48 基から 137 基になったときの影響について評価検討を行った。

検討評価項目は、被覆装置の基数が増加したときの被覆工程のコストと基数増加に伴うセル容積の増加に伴うコストの影響とする。

建屋容積の増加に関しては、レファレンスの建屋容積に対して基数増加の場合、容積が凡そ 2 倍になることから、建・電・換での試算容積 ( $377,706 \text{ m}^3$ ) に増加分を加算して試算した。以下に評価結果を示す。

	レファレンス	評価対象ケース	影響
被覆装置基数の増加	0.01 (48基)	0.04 (137基)	0.03 (89基)
建屋容積の増加	0.38 (377,706m <sup>3</sup> )	0.4 (377,706 + 20,655m <sup>3</sup> )	0.02 (20,655m <sup>3</sup> )
合計			0.05

建屋容積増分 :  $20,655\text{m}^3 = (4.5+8.5 \times 3)^L \times (8.5 \times 9)^D \times 9^H$

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 <sup>3</sup> )
B 1 F	76.5	138	9	95,013
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				377,706

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 250 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
THFA (テトラヒドロフルフラルアルコール)	約 4,500 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
H <sub>2</sub> +Ar ガス (5% H <sub>2</sub> 濃度)	約 1,000 Nm <sup>3</sup> /d	JNC 殿設計条件に基づく
TiCl <sub>4</sub> (四塩化チタンガス)	約 150 Nm <sup>3</sup> /d	JNC 殿設計条件に基づく
C (炭素粉末)	約 350 kg/d	JNC 殿設計条件に基づく
<sup>15</sup> N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> ガス (5% H <sub>2</sub> 濃度)	約 1,000 Nm <sup>3</sup> /d	JNC 殿設計条件に基づく
H <sub>2</sub> ガス	約 100 Nm <sup>3</sup> /d	使用量は各混合ガスの使用量に 5%濃度を考慮し算出
SiC コンポジット	約 68,000 kg/体	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、5人で80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 2 m  
 比重 7.85 g/cc  
 鉄筋算出係数 0.025

	縦 m	横 m	高さ m	縦側面 m <sup>2</sup>	横側面 m <sup>2</sup>	合計 m <sup>2</sup>	重量 ton
建屋鉄筋総重量							38,530.45
B1F合計重量							13,931.00
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
床	76.5	138				10,557.0	4,144
廃液処理室セル	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	463
試薬回収設備セル(4-5間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	463
試薬回収設備セル(6-7間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	463
試薬回収設備セル(8-9間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	463
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
プランケット被覆生成セル	25.5	30.0	9.0	459.0	540.0	999.0	392
集合体組立検査セル	34.0	17.0	20.0	1,360.0	680.0	2,040.0	801
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
プランケット乾燥セル1	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
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	294
プランケット乾燥セル2	8.5	38.5	11.0	187.0	847.0	1,034.0	406
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	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
2F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
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	254
プランケット洗浄セル1	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
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	254
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	254
プランケット洗浄セル2	8.5	13	9.5	161.5	247.0	408.5	160
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	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
3F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
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	574
プ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 <sup>2</sup>	横側面 m <sup>2</sup>	合計 m <sup>2</sup>	重量 ton
建屋コンクリート総重量							421,040.98
B 1F 合計重量							152,264.97
外壁	76.5	138	9.0	1,377.0	2,484.0	3,861.0	16,564
天井	76.5	138				10,557.0	45,290
床	76.5	138				10,557.0	45,290
廃液処理室セル	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	5,058
試薬回収設備セル (4-5間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	5,058
試薬回収設備セル (6-7間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	5,058
試薬回収設備セル (8-9間)	8.5	57.0	9.0	153.0	1,026.0	1,179.0	5,058
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
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							100,235.85
外壁	76.5	138	9.0	1,377.0	2,484.0	3,861.0	16,564
天井	76.5	138				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
2 F 合計重量							136,356.58
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
3 F 合計重量							32,183.58
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 FBR 燃料の候補概念である窒化物被覆粒子燃料の燃料製造システムについて窒化物燃料の被覆粒子燃料の製造技術の調査を行い、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

窒化物燃料の臨界安全上の寸法制約を評価し、酸化物燃料に比べ機器直径で数 mm の縮小が必要であることを明らかにした。また、複数設置する必要のある機器については、2列に配置するものとし、被覆生成装置については中心間距離を 1.8m 以上、他の機器については 1.0m 以上確保する必要があることを示した。

窒化物燃料の TiN 被覆生成装置の処理容量増大を狙い 10kgHM/バッチで 3 バッチ／日の設備概念をレファレンスとして想定し、機器仕様を設定した。

各機器について、機器寸法検討結果より得られた機器当たりの処理能力をもとに、バッチ当たりの要求処理量を考慮して、必要機器数および系統構成を算出した。

多数の機器から構成される被覆生成装置、真球度判定装置等は、機器ごと保守エリアに搬送してメンテナンスを行うものとし、それ以外の機器はマスタスレイブマニピレータによるメンテナンスを行うものとしてセル配置を行った。

##### (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、ブランケット燃料からの廃液・廃ガス回収系を除いた建設費、運転費を評価した。その結果、建設費総額の 23%が主工程設備費、28%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、38%が建電換費、11%が新燃料貯蔵設備費との試算結果が得られた。

## 5. 参考文献

- (1) 福田、小川、金子：高温ガス炉用被覆粒子燃料の開発、第25回（平成4年度）日本原子力学会賞・核燃料賞記念講演（I）、（1992）
- (2) N. Kitamura, K. Watarumi, et al. : Present Status of Initial Core Fuel Fabrication for the HTTR, IAEA-TECDOC-988 High temperature gas cooled reactor technology development, Proceedings of Technical Committee meeting held in Johannesburg, South Africa, p13-15 (1996. 11)
- (3) 武井正信、片西昌司ほか：高温ガス炉ガスタービン発電システム（GTHTR300）の燃料サイクルコストの検討、JARI-tech2002-089、(2002. 11)
- (4) E. Zimmer, E. Barnert, P Naefe, and H. D. Ringel : Equipment for Remote production of Coated Particles, Proc. Conf. Remote System Technology, p a105～a108 (1980)
- (5) K. Sawa et al : Fabrication of the First-Loading Fuel of the High Temperature Engineering Test Reactor, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 36, No. 8, p683-690 (1999. 8)
- (6) (財) 原子力安全研究会 核燃料施設臨界安全管理編集委員会：実務テキストシリーズ No. 2 「核燃料の臨界安全」 昭和 59 年 12 月、p42-44
- (7) N. Kitamura et al. : Present status of initial core fuel fabrication for the HTTR, IAEA-TEC-DOC-988, P373-383, 1997
- (8) Akira Kohyama et al. : Advanced SiC/SiC Ceramic Composites: Developments and Applications in Energy Systems, Ceramic Transactions, volume 144
- (9) JNC TY9400 2002-074 ヘリウムガス冷却高速炉の炉心・燃料設計検討（被覆粒子型燃料炉・ピン型燃料炉）2001年度報告（研究報告）

## 添付資料 2. 1. 2-1 湿式ゲル化法の検討との比較

湿式ゲル化法での検討は、富化度調整液、乾燥ゲル球、還元球を対象としていた。本検討は、乾燥ゲル球、還元球、窒化還元球、再還元球を対象としている。したがって、乾燥ゲル球、還元球の円筒体系について比較することができる。

以下のように、有意な差はないことがわかった

	湿式ゲル化 検討	本検討
1. 乾燥ゲル球 Cdなし	内径 13.1cm	ケース 2-2 : 内径 15.7cm で $k_{eff}=1.0445$ ケース 2-5 : 内径 12.9cm で $k_{eff}=0.9400$ 線形補間すると、 $k_{eff}=0.95$ となるのは約 13.2cm であり、左記と一致している。
2. 乾燥ゲル球 Cd有り	内径 16.3cm	ケース 1-3 : 内径 15.7cm で $k_{eff}=0.9392$ となり、中性子増倍率に対する内径の感度を仮に 1. の値と同じであるすると、 $k_{eff}=0.95$ となるのは直径 16.0cm であり、直径で約 0.3cm の差がある。反射体、SUS モデル化（組成データ等）の影響もあると考えられ、大きな差ではないと言える。
3. 還元球 Cdなし	内径 27.9cm	ケース 3-1 (Cなしのケース) : 内径 27.9cm で $k_{eff}=0.9575$ 左記の結果とほぼ一致している。

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)

表4-5 錫化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(爐心外側燃料)

表4-6 窒化物被覆粒子燃料物質收支計算結果(径方向ブランケット燃料)

表4-7 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料)

## 添付資料3.1-2 物質収支(被覆生成工程) : サイクル機構殷提示資料

表3-4 被覆層生成反応物質収支計算結果(1日当たり)

	内側燃料			外側燃料			アラカルト(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) Kg/d	214.7	44.6	155.2	45.7	554.9	850E-04	165.8			
燃料核の半径(r i) m		7.50E-04		7.50E-04		9.70E-04		9.90E-04		
被覆層までの半径(r o) m		9.70E-04				1.77E-09		2.57E-09		
燃料核の体積(v i) m <sup>3</sup>		1.77E-09				2.06E-09		1.49E-09		
被覆層の体積(v o) m <sup>3</sup>		2.06E-09				14.32	14.22	14.32		
燃料核の比重(d i)		14.32				5.43		5.43		
被覆層(TiN)の比重(d o)		5.43				2.53E-05	2.51E-05	3.68E-05		化学大辞典・共立出版による
燃料核の重量(w i) Kg/個		2.53E-05				1.12E-05		8.10E-06		
被覆層の重量(w o) Kg/個		1.12E-05				6.13E+06	1.82E+06	1.51E+07	4.50E+06	
被覆粒子個数(N) 個/d		8.48E+06		1.77E+06		68.5	20.3	122.0	36.5	
被覆層TiN重量(W o) Kg/d		94.7		19.8						
被覆層TiN消費量 Kg/d						361.8				
<hr/>										
被覆層生成反応式	TiCl <sub>4</sub>	+ 2H <sub>2</sub>	+ 0.5N <sub>2</sub>	→ TiN	+ 4HCl	: Nは15Nとする	HCl	36.45	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
分子量	TiCl <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	TiN	62.9		23.0		30.0	
		1.897	2.0	30.0		5.75				
反応モル数 [モル]		5.75	11.5	2.88		361.8		838.6		理論反応量ベース
1-テトライ量・廃棄物量 Kg/d		1091.1	23.0	86.3		—				
1-テトライ量・廃棄物量 Mn <sup>3</sup> /d		128.8	257.7	64.4		—	515.4			
被覆層生成反応式	TiCl <sub>4</sub>	+ 4H <sub>2</sub>	+ 76N <sub>2</sub>	→ TiN	+ 4HCl	+ 75.5N <sub>2</sub>	: 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
1-テトライ量・廃棄物量 Kg/d		1091.1	46.0	13114.1		361.8		838.6	23.0	13027.8
1-テトライ量・廃棄物量 Mn <sup>3</sup> /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(TiCl<sub>4</sub>) 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 3.1-3 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量：サイクル機構毎提示資料

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(1/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]
混合槽		8		混合槽	Pu/U供給バルブ PVA供給バルブ THFA供給バルブ 排出/攪拌バルブ ポンプ	1 1 1 1 2	10 10 10 10 200	10 10 10 10 400	440	10 10 10 10 5	1.0 1.0 1.0 1.0 80.0	872.0
供給槽		72		供給槽	供給バルブ 移送バルブ 排出バルブ	1 1 1	10 10 10	10 10 10	30	10 10 10	1.0 1.0 1.0	216.0
反応槽		8		反応槽(大)	アンモニア供給バルブ 排出バルブ 滴下ノズル(大) バイブレータ	1 1 4 4	10 10 0.5 20	10 10 2 80	102	10 10 0 5	1.0 1.0 0.0 16.0	252.0
				反応槽(小)	アンモニア供給バルブ 排出バルブ 滴下ノズル(小) バイブレータ	1 1 4 4	10 10 0.5 20	10 10 2 80	102	10 10 0 5	1.0 1.0 0.0 16.0	16.0
洗浄槽		24		洗浄槽	洗浄水入口バルブ IPAバルブ 排出バルブ	1 1 1	10 10 10	10 10 10	30	10 10 10	1.0 1.0 1.0	72.0
乾燥装置		24		乾燥装置	回転モータ 駆動部 供給バルブ 排出バルブ 減圧弁	1 1 1 1 1	5 15 10 10 10	5 15 10 10 10	50	10 10 10 10 10	0.5 1.5 1.0 1.0 1.0	120.0
乾燥ゲル貯槽		68		乾燥ゲル貯槽	排出バルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	20	10 10	1.0 1.0	136.0
焙焼炉		12		焙焼炉	計量供給装置 計量供給装置 計量供給装置 ヒータ 保温材 回転モータ 駆動部 供給バルブ 空気バルブ	2 2 2 1 1 1 1 1 1	2 10 3 200 30 5 15 10 10	4 20 6 200 30 5 15 10 10	300	10 5 10 5 5 10 10 10 10	0.4 4.0 0.8 40.0 6.0 0.5 1.5 5.0 1.0	708.0
顆粒貯槽		16		顆粒貯槽	供給バルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	20	2 2	5.0 5.0	160.0
還元炉		8		還元炉	計量供給装置 計量供給装置 計量供給装置 ヒータ 保温材 回転モータ 駆動部 供給バルブ 空気バルブ	2 2 2 1 1 1 1 1 1	2 10 3 200 30 5 15 10 10	4 20 6 200 30 5 15 10 10	300	10 5 10 5 5 10 10 10 10	0.4 4.0 0.6 40.0 6.0 0.5 1.5 5.0 1.0	472.0
顆粒貯槽		16		顆粒貯槽	供給バルブ 排出バルブ	1 1	10 10	10 10	20	2 2	5.0 5.0	160.0
焼結炉		8		焼結炉	耐火材料 ビーム駆動部 油圧シリンダ ヒータ 還元ガス供給 排気弁	2 2 2 8 1 1	200 10 40 40 10 10	400 20 320 320 10 10	4720	10 5 3 10 10 10	40.0 4.0 106.7 1.0 1.0	7621.3
気流移送		8		気流移送	ノズル駆動部 プロワ 供給弁 ロータリフィー	1 1 1 1	5 20 10 15	5 20 10 15	50	10 10 10 5	0.5 2.0 1.0 3.0	52.0

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(2/9)

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(3/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	棄葉重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]	
端栓溶接装置	1000	6	6000	端栓供給ロボット	モータ	16	5	80	1121.1	5	16.0	1367.8	
					シリンドラ	4	5	20		5	4.0		
					ギアボックス	4	5	20		5	4.0		
				治具供給装置	ペアリング	68	0.2	13.6		5	2.7		
					回転ジョイント	16	2	32		5	6.4		
					ハッキン	16	0.1	1.6		2	0.8		
				端栓側チャック	回転台	4	10	40		5	8.0		
					モータ	1	5	5		5	1.0		
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0		
					ペアリング	8	0.3	2.4		5	0.5		
				燃料ピン側チャック	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0		
					モータ	5	5	25		5	5.0		
					ギアボックス	5	5	25		5	5.0		
				加圧装置	ペアリング	30	0.3	9		5	1.8		
					回転ジョイント	5	2	10		5	2.0		
					モータ	5	5	25		5	5.0		
					ギアボックス	5	10	50		5	10.0		
					ペアリング	30	0.3	9		5	1.8		
					回転ジョイント	5	5	25		5	5.0		
					ハンドリング装置	ハッキン	25	0.1	2.5		2	1.3	
					モータ	5	5	25		5	5.0		
					シリンドラ	10	10	100		5	20.0		
					ギアボックス	5	5	25		5	5.0		
					ペアリング	50	0.2	10		5	2.0		
					回転ジョイント	5	2	10		5	2.0		
					モータ	40	0.1	4		2	2.0		
					ギアボックス	1	5	5		5	1.0		
				真空ポンプ	ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4		
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0		
					ハッキン	22	0.1	2.2		2	1.1		
					ポンプ	1	200	200		5	40.0		
					ヒータ	1	20	20		5	4.0		
					モータ	1	5	5		5	1.0		
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0		
					ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4		
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0		
					ハッキン	22	0.1	2.2		2	1.1		
					ポンプ	1	200	200		5	40.0		
				Heポンプ	ヒータ	1	20	20		5	4.0		
					モータ	1	5	5		5	1.0		
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0		
					ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4		
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0		
					ハッキン	22	0.1	2.2		2	1.1		
					ポンプ	1	200	200		5	40.0		
密度測定装置	500	16	8000	駆動装置	モータ	1	5	5	122.4	5	1.0	391.7	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0		
					ペアリング	6	0.3	2.4		5	0.5		
				ア線検出装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0		
					ア線測定器	10	10	100		5	20.0		
除染装置	500	16	8000	ハンドリング装置	モータ	4	5	20	176.4	5	4.0	564.5	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0		
					ペアリング	16	0.3	4.8		5	1.0		
					回転ジョイント	2	5	10		5	2.0		
					回転台	2	10	20		5	4.0		
					モータ	2	5	10		5	2.0		
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0		
					ペアリング	16	0.3	4.8		5	1.0		
					回転ジョイント	2	5	10		5	2.0		
					モータ	4	5	20		5	4.0		
					ギアボックス	4	5	20		5	4.0		
					ペアリング	44	0.2	8.8		5	1.8		
					回転ジョイント	4	2	8		5	1.6		

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(4/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔		総重量 [kg/年]
										年	kg/年・基	
H-リーグ試験装置	500	16	8000	パレット搬入・排出機	モータ シリンダ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン	1 1 1 10 1 4	5 10 10 3 5 0.1	5 10 10 3 5 0.4	224.4	5 5 5 5 5 2	1.0 2.0 2.0 0.6 1.0 0.2	728.7
				蓋開閉機構	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン	1 1 6 1 2	5 5 0.2 2 0.1	5 5 1.2 2 0.2		5 5 5 5 2	1.0 1.0 0.2 0.4 0.1	
				粗引排気機構	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン	1 1 6 1 6	5 5 0.2 2 0.1	5 5 1.2 2 0.6		5 5 5 5 2	1.0 1.0 0.2 0.4 0.3	
				本排気機構	ポンプ モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン ポンプ	1 1 1 1 1 1	50 5 5 0.2 2 0.1 100	50 5 5 1.2 2 0.6 100		5 5 5 5 5 5	1.0 1.0 0.2 0.4 0.3 20.0	
端栓溶接部検査装置	500	3	1500	パレット移送装置	モータ シリンダ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン	1 5 1 18 1 20	5 10 10 0.3 5 0.1	5 50 10 5.4 5 2	273.4	5 5 5 5 2 5	1.0 10.0 2.0 1.1 1.0 1.0	165.3
				パレット搬入・搬出機	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント パッキン	1 1 8 1 20	5 10 0.3 5 0.1	5 10 2.4 5 2		5 5 5 5 2	1.0 1.0 0.5 1.0 1.0	
				燃料ビン昇降装置	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント モータ	1 1 6 1 1	5 10 0.2 5 5	5 10 1.2 5 5		5 5 5 5 5	1.0 2.0 0.2 1.0 1.0	
				燃料ビンハンドリング	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント モータ	1 1 6 1 1	5 10 0.2 5 5	5 10 1.2 5 5		5 5 5 5 5	1.0 2.0 0.2 1.0 1.0	
				燃料ビン回転装置	モータ ギアボックス ペアリング 回転ジョイント モータ	1 1 6 1 1	5 10 0.2 5 5	5 10 1.2 5 5		5 5 5 5 5	1.0 2.0 0.2 1.0 1.0	
				X線発生装置	回転台 X線測定器	1 1	5 100	5 100		5 5	2.0 20.0	

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(5/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]
ワイヤ巻付装置	1000	5	5000	パレット移送装置	モータ	1	5	5	597.0	5	1.0	620.4
					シリンド	5	10	50		5	10.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	18	0.2	3.6		5	0.7	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	20	0.1	2		2	1.0	
				燃料ピンハンドリング	シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ペアリング	8	0.2	1.6		5	0.3	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
				燃料ピン移送装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	16	0.2	3.2		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
				燃料ピン回転装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.2	1.2		5	0.2	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					回転台	1	10	10		5	2.0	
				燃料ピンチャック装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.2	1.2		5	0.2	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
ワイヤハンドリング					シリンド	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	2	0.2	0.4		5	0.1	
					パッキン	4	0.1	0.4		5	0.1	
ワイヤ移送装置					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	5	5		5	1.0	
					ペアリング	8	0.2	1.6		5	0.3	
					回転ジョイント	1	2	2		5	0.4	
ワイヤ切断装置					シリンド	6	10	60		5	12.0	
					パッキン	24	0.1	2.4		2	1.2	
				溶接装置	シリンド	4	10	40		5	8.0	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
				燃料ピンハンドリング	シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ペアリング	8	0.2	1.6		5	0.3	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
				燃料ピン移送装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	16	0.2	3.2		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
ピッチ測定装置					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	8	0.2	1.6		5	0.3	
				燃料ピンハンドリング	シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ペアリング	8	0.2	1.6		5	0.3	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	
				燃料ピン移送装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					シリンド	4	10	40		5	8.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	16	0.2	3.2		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	16	0.1	1.6		2	0.8	

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(6/9)

機器名称	機器重量 [kg]	回数	総重量 [kg]	ユニット	部品	回数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	交換物重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]
燃料ビン総合検査装置	2000	5	10000	パレット移送装置	モータ	1	5	5	418.6	5	1.0	421.6
					シリンド	5	10	50		5	10.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
				ペッド移送装置	ベアリング	18	0.3	5.4		5	1.1	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	20	0.1	2		2	1.0	
				燃料ビン昇降装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				外観テーブル移送装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
				ITVカメラ移送装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
				燃料ビン昇降装置	ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
				Y線テーブル移送装置	ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	6	0.2	1.2		5	0.2	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
				Yスキャニング	ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
				Yスキャニング移送	ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				Yスキャニング	Y線測定器	1	5	5		5	2.0	
				Yスキャニング移送	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
				燃料ビン昇降装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	6	0.2	1.2		5	0.2	
				重量テーブル移送装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
				重量測定昇降装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
				ハンドテーブル移送	ベアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
				燃料ビンハンドリング	ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				ITVカメラ移送装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
				燃料ビン昇降装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
				ベッド移送装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ベアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(7/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年・基】	総重量 [kg/年]
燃料ビン洗浄装置	500	5	2500	パレット移送装置	モータ	1	5	5	1024.4	5	1.0	1031.9
					シリンド	5	10	50		5	10.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	18	0.3	5.4		5	1.1	
				パレット搬入・搬出装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					バッキン	20	0.1	2		2	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					シリンド	1	10	10		5	2.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	10	0.3	3		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					バッキン	4	0.1	0.4		2	0.2	
				蓋開閉機構	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					バッキン	2	0.1	0.2		2	0.1	
				シャワー洗浄機構	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					バッキン	6	0.1	0.6		2	0.3	
				蒸気洗浄機構	ポンプ	1	200	200		5	40.0	
					モータ	2	5	10		5	2.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	12	0.3	3.6		5	0.7	
					回転ジョイント	2	5	10		5	2.0	
					バッキン	12	0.1	1.2		2	0.6	
					ポンプ	2	200	400		5	80.0	
				乾燥装置	ヒータ	1	2	2		5	0.4	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.3	1.8		5	0.4	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					バッキン	6	0.1	0.6		2	0.3	
					ポンプ	1	200	200		5	40.0	

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(8/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]
集合体組立て装置	3000	3	9000	パレット移送装置	モータ	1	5	5	1959.7	5	1.0	1182.8
					シリンド	5	10	50		5	10.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
				パレット移送装置	ペアリング	18	0.3	5.4		5	1.1	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					パッキン	20	0.1	2		2	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	8	0.3	2.4		5	0.5	
				燃料ピン移送装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	3	5	15		5	3.0	
					シリンド	2	10	20		5	4.0	
					ギアボックス	3	10	30		5	6.0	
					ペアリング	16	0.3	4.8		5	1.0	
				燃料ピン整列移送装置	回転ジョイント	3	5	15		5	3.0	
					パッキン	8	0.1	0.8		5	0.2	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	8	0.5	4		5	0.8	
				燃料ピン吸着移送装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	8	5	40		5	8.0	
					シリンド	5	10	50		5	10.0	
					ギアボックス	3	10	30		5	6.0	
					ペアリング	37	0.5	18.5		5	3.7	
					回転ジョイント	8	5	40		5	8.0	
					パッキン	50	0.1	5		2	2.5	
				ラッパ管移送装置	ポンプ	5	200	1000		5	200.0	
					モータ	11	5	55		5	11.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	42	0.5	21		5	4.2	
					回転ジョイント	11	5	55		5	11.0	
				集合体移送装置	モータ	3	5	15		5	3.0	
					シリンド	2	10	20		5	4.0	
					ギアボックス	3	10	30		5	6.0	
					ペアリング	20	0.5	10		5	2.0	
					回転ジョイント	3	5	15		5	3.0	
				集合体挿入装置	パッキン	8	0.1	0.8		2	0.4	
					モータ	6	5	30		5	6.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	23	0.5	11.5		5	2.3	
				集合体ベッド起倒装置	回転ジョイント	6	5	30		5	6.0	
					モータ	6	5	30		5	6.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	23	0.5	11.5		5	2.3	
				溶接装置移送装置	回転ジョイント	6	5	30		5	6.0	
					モータ	6	5	30		5	6.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	23	0.5	11.5		5	2.3	
				溶接装置回転装置 及び溶接部移送装置	回転ジョイント	6	5	30		5	6.0	
					モータ	4	5	20		5	4.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	21	0.5	10.5		5	2.1	
					回転ジョイント	4	5	20		5	4.0	
					回転台	1	10	10		5	2.0	

表4 ゲル化振動充填燃料製造工程からの廃棄物発生量(9/9)

機器名称	機器重量 [kg]	個数	総重量 [kg]	ユニット	部品	個数	単位重量 [kg]	部品重量 [kg]	単機合計 [kg]	交換間隔 [年]	廃棄物重量 [kg/年・基]	総重量 [kg/年]
集合体検査装置	500	3	1500	集合体保持用下部	モータ	2	5	10	426.0	5	2.0	255.6
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	24	0.5	12		5	2.4	
				集合体保持用チャック	回転ジョイント	8	5	40		5	8.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.5	3		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				幅・曲がり・振れ測定	回転台	1	10	10		5	2.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	10	0.5	5		5	1.0	
				幅・曲がり・振れ測定	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	2	5	10		5	2.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	20	0.5	10		5	2.0	
				外観検査装置	回転ジョイント	2	5	10		5	2.0	
					モータ	2	5	10		5	2.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	20	0.5	10		5	2.0	
					回転ジョイント	2	5	10		5	2.0	
				幅・曲がり・振れ測定	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	12	0.5	6		5	1.2	
				溶接ビード高さ	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				測定用前後装置	モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	10	0.5	5		5	1.0	
				溶接ビード高さ	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				測定装置	モータ	2	5	10		5	2.0	
					ギアボックス	2	10	20		5	4.0	
					ペアリング	20	0.5	10		5	2.0	
					回転ジョイント	2	5	10		5	2.0	
				溶接ビード高さ	モータ	1	5	5		5	1.0	
				測定用昇降装置	ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	12	0.5	6		5	1.2	
				全長測定回転装置	回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	6	0.5	3		5	0.6	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
				全長測定昇降装置	回転台	1	10	10		5	2.0	
					モータ	1	5	5		5	1.0	
					ギアボックス	1	10	10		5	2.0	
					ペアリング	12	0.5	6		5	1.2	
					回転ジョイント	1	5	5		5	1.0	
合計	14000	373	83000			3194		13765.2	13765.2		2762.977	18842.3

## 添付資料 3.1-4 HTTR 燃料製造における検査項目：サイクル機構殿提示資料

第1表 HTTR 燃料製造における検査項目 (1/2)

出典:Safety criteria and quality control of HTTR fuel, Nuclear Engineering and Design 203(2001)

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	(3 ~ 10%) JAERI-M 92-079 P.50	核設計	γスパッタ法及びγ線スペクトロメータ解釈	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/サンプル) /燃料核ロット
密度*2	10.63±0.26(g/cm <sup>3</sup> )	核設計	質量測定法	3 サンプル /燃料核ロット
O/U レシオ*1	2.0	照射性能	質量測定法	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	エミシヨンスペクトロメータ解釈	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	光学的粒子サイズ解析(PSA)法、X線ジラフ法又は全被覆粒子測定法	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 <sup>3</sup> ) 第2層 : 1.88+0.10,-0.05(g/cm <sup>3</sup> ) 第3層 : ≥3.20(g/cm <sup>3</sup> ) 第4層 : 1.85+0.10,-0.05(g/cm <sup>3</sup> )	照射性能	記載無し	JAERI-M 92-079 P.3
光学的異方性因子*1	≤1.03(OPTAF in high density PyC)	照射性能	第1層 : 光学的粒子サイズ解析 第2層 : X線ジラフ法 第3層 : X線ジラフ法 第4層 : X線ジラフ法	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)
直径*2	920+50、-30(μm)	核設計	JAERI-M 92-079 P.3, 10 による 光学的粒子サイズ解析	JAERI-M 92-079 P.3, 10 による 1 サンプル (5 粒子/サンプル) /濃縮度
外観*2		照射性能	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	振動台(ふるい)による選択	1 サンプル (200 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	全被覆粒子	1 サンプル /濃縮度
強度*3		照射性能		30 粒子 /濃縮度

\*1:必須(Compulsory)

\*2:1-サ 要求(Optional)  
\*3 : ベンダ - 要求(品質コントロール)

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
燃料コンパクト				
$^{235}\text{U}$ 濃縮度*3		アセスメント	マスクアート及び線スペクトロメータ解析	1サブ% 濃縮度
U含有量*2		核設計	ア線スペクトロメータ解析	全燃料コンパクト
O/Uレシオ*1	2.0	照射性能	幾何学量法	3サブ% 燃料コンパクト IAEI-M-92-079 P.10
黒鉛粉末*3		照射性能	比重 不純物、グレイシティ、水分濃度	1サブ% 黒鉛粉末ロット
バインダー*3		照射性能	内容物、灰、不純物	1サブ% バインダーロット
露出ワラン割合*1	$\leq 1.5 \times 10^{-4}$	照射性能	燃性及燃焼性	2サブ% 燃料コンパクトロット
SiC破損割合*1	$\leq 1.5 \times 10^{-3}$	照射性能	燃性及燃焼性	3サブ% 燃料コンパクトロット
充填割合*2	$30 \pm 3\text{(vol.\%)}$	核設計	重量及び計算	3サブ% 燃料コンパクトロット
マトリックス密度*1	$1.70 \pm 0.05\text{(g/cm}^3\text{)}$	照射性能	重量及び計算	3サブ% 燃料コンパクトロット
寸法(外径/内径(高さ))*2	$26.0 \pm 0.1/10.0 \pm 0.1/39.0 \pm 0.5\text{(mm)}$	熱流動設計	マイクロメータ	全燃料コンパクト
外観*2		照射性能	目視	10% 燃料コンパクトロット IAEI-M-92-079 P.10
マークング		アセスメント	目視	全燃料コンパクト
(圧縮)強度*3	$\geq 4900\text{(N)}$	照射性能	幾何学量法	3サブ% 濃縮度
断面*2		照射性能	燃性及燃焼性	1サブ% 被覆コンパクトロット
不純物*2	$\leq 5\text{(ppm Equivalent boron content)}$	核設計	ミニヨンスペクトロメータ解析	1サブ% 濃縮度
燃料棒				
ワラン含有量	$188.58 \pm 5.66\text{(g/U)}$		測定された燃料コンパクトからの計算	
全長	$577 \pm 0.5\text{(mm)}$			
燃料コンパクト力りん長	$\geq 544$		計算	
表面汚染			スマヤ検査	

\*1:必須(Compulsory)  
 \*2:「」:要求(Optional)  
 \*3:「」:要求(品質コントロール)

表 5-1 (1/3) 試驗檢查項目

工程	検査対象	検査項目	検査方法	検査頻度	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		
滴下液混合	滴下液	粘性 U・Pu濃縮度 O/Uレシオ 不純物(有機) 不純物(金属)	粘性計(インライン) マスベクトル及びア線スペクトル分析 酸化重量法 ガスクロマトグラフ分析 ICP-AES	連続 1試料/製造バッチ 1試料/原料サンプル 1試料/製造バッチ 1試料/製造バッチ	○ ○ ○ ○ ○					- 240 120 30 240	
滴下・熟成	燃料核	直径 真球度 密度	光学的計測 光学的計測 水銀浸漬	1試料/製造バッチ	○ ○ ○					30 30 60	
	アンモニア廃液	U濃度 Pu濃度 Am濃度 NO3濃度 不純物(有機) 不純物(金属)	電位差滴定法 電位差滴定法 ア線スペクトル分析 イオンクロマトグラフ分析 ガスクロマトグラフ分析 ICP-AES	1試料/製造バッチ				○ ○ ○	30 30 60 30 30 240		
洗浄	洗浄廃液(水)	U濃度 Pu濃度 Am濃度 pH NO3濃度 不純物(有機) 不純物(金属)	電位差滴定法 電位差滴定法 ア線スペクトル分析 pH計(インライン) イオンクロマトグラフ分析 ガスクロマトグラフ分析 ICP-AES	1試料/製造バッチ 連続 1試料/製造バッチ		○		○ ○ ○	30 30 60 - 30 30 240		
	洗浄廃液(IPA)	U濃度 Pu濃度 Am濃度 NO3濃度 不純物(有機) 不純物(金属)	電位差滴定法 電位差滴定法 ア線スペクトル分析 イオンクロマトグラフ分析 ガスクロマトグラフ分析 ICP-AES	1試料/製造バッチ				○ ○ ○	30 30 60 30 30 240		
乾燥	乾燥ゲル球	含水率	近赤外線式(インライン)	連続			○			-	
焙焼	焙焼球	含水率 直径 真球度 表面観察 内部観察 比表面積 密度 かさ密度 粒度分布 含水率 O/M 不純物濃度 有機物濃度 重量	近赤外線式(インライン) 光学的計測 光学的計測 光学的計測 セラモガラフ 低温物理吸着法 定容積膨張法(乾式) JIS準拠 レーザ回折・散乱法 水分吸着法 酸化還元重量法 ICP-AES ガスクロマトグラフ分析 ロードセル(インライン)	連続 1試料/製造バッチ 連続	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		○		- 30 30 30 600 30 30 30 30 30 120 240 30 -		
	焙焼排ガス	NH3濃度							○	NH3+CO2+O2+N2+H2O	
還元	還元球	直径 真球度 表面観察 内部観察 比表面積 密度 かさ密度 粒度分布 含水率 O/M 有機物濃度 重量	光学的計測 光学的計測 光学的計測 セラモガラフ 低温物理吸着法 定容積膨張法(乾式) JIS準拠 レーザ回折・散乱法 水分吸着法 酸化還元重量法 ガスクロマトグラフ分析 ロードセル(インライン)	1試料/製造バッチ 連続	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○				30 30 30 600 30 30 30 30 30 120 30 -		
	還元排ガス	水素濃度	水素濃度計	連続		○				H2+Ar+H2O	

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	セモグラフ		○				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	レザ回折・散乱法		○				30		
		含水率	水分吸着法		○				30		
		O/M	酸化還元重量法		○				120		
		不純物濃度	ガスクロマトグラフ分析		○				30		
		有機物濃度	ロードセル(インライン)		○				-		
		重量			連続						
	窒化還元排ガス	15N濃度				○				N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +CO	
		CH <sub>4</sub> 、CO濃度						○			
再還元	再還元球	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	セモグラフ		○				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	レザ回折・散乱法		○				30		
		含水率	水分吸着法		○				30		
		O/M	酸化還元重量法		○				120		
		不純物濃度	ICP-AES		○				240		
		有機物濃度	ガスクロマトグラフ分析		○				30		
		重量	ロードセル(インライン)		○				-		
	再還元排ガス	水素濃度	水素濃度計		連続	○			-	H <sub>2</sub> +Ar+CH <sub>4</sub>	
		CH <sub>4</sub> 濃度	ガスクロマトグラフ分析					○			
焼結	焼結球	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	セモグラフ		○				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	レザ回折・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		
		有機物濃度	ガスクロマトグラフ分析		○				30		
		重量	ロードセル(インライン)		○				-		
		真球度	分級装置		○				-		
	焼結排ガス	水素濃度	水素濃度計	連続	○				-	H <sub>2</sub> +Ar	

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線ラジオフレンス、金相	3試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					600	
		被覆層密度	浮遊沈殿法他	3試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					600	
		光学的異方性因子	ボーリングショットメータ	1試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					600	
		外観	光学的計測	1試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					30	
		直徑	光学的計測	1試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					30	
		断面組織	セグメント法	3試料/被覆製造バッチ	<input type="radio"/>					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	<input type="radio"/>					600	
		重量	ロードセル(インライン)	連続	<input type="radio"/>					-	
		真球度	分級装置	全数	<input type="radio"/>					-	
		原料ガス	塩化カルシウム濃度 15N濃度			<input type="radio"/>					TiCL4+15N2 +H2
組立	排ガス	15N濃度				<input type="radio"/>					
		塩酸濃度							<input type="radio"/>		
		燃料体	材料検査 外観、構成部品 寸法 表面汚染	材料製造記録との照合 目視及び光学的計測 光学的計測 スミヤ法	1試料/製造バッチ 全数 全数 全数	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			5 10 10 30	
		還元ガス 再還元ガス 焼結ガス	水素濃度	水素濃度計	連続	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		- - -	H2+Ar
オフガス処理設備	還元ガス	15N濃度				<input type="radio"/>					<sup>15</sup> N2+H2

## 添付資料 3.1-6 He 冷却被覆粒子窒化物燃料炉心の燃料組成：サイクル機構段提示資料

表(a)-1 He冷却被覆粒子窒化物燃料炉心 平衡炉心初期の組成重量 (全炉心燃料)  
 燃料組成：(a) 高速炉多重リサイクル TRU+ランプFP (単位: kg)

核種	内側炉心	外側炉心	炉心計	径方向 ブランケット	軸方向 ブランケット	計
U-235	78.8	64.8	143.6	264.8	62.2	470.5
U-236	8.0	4.0	12.0	10.9	6.0	28.9
U-238	36535.4	26743.8	63279.3	102113.8	28838.0	194231.1
U合計	36622.2	26812.6	63434.8	102389.6	28906.1	194730.5
Np-237	41.8	45.3	87.1	2.2	1.3	90.6
Pu-238	133.2	131.2	264.4	0.3	0.5	265.2
Pu-239	5177.1	5144.3	10321.4	1102.0	424.8	11848.1
Pu-240	3408.3	3435.7	6843.9	54.9	46.8	6945.6
Pu-241	468.7	437.8	906.5	5.5	13.5	925.5
Pu-242	400.3	408.6	808.9	0.2	1.5	810.6
Pu合計	9587.6	9557.5	19145.1	1162.8	487.1	20795.0
Am-241	224.7	232.2	476.9	0.5	1.2	478.6
Am-242m	6.9	5.3	12.2	0.0	0.0	12.3
Am-243	106.0	107.3	213.3	0.0	0.3	213.6
Am合計	337.5	354.8	702.4	0.5	1.5	704.5
Cm-242	6.3	4.4	10.6	0.0	0.1	10.7
Cm-243	0.4	0.2	0.6	0.0	0.0	0.6
Cm-244	97.2	95.3	192.5	0.0	0.1	192.6
Cm-245	9.5	6.5	16.0	0.0	0.0	16.0
Cm合計	113.4	105.3	219.7	0.0	0.2	219.9
計	46702.6	36886.6	83589.2	103555.2	29396.2	216540.5
Pu-239+Pu-241	5645.8	5582.1	11227.9	1107.4	438.3	12773.6
ランプ化FP	3182.2	2107.3	5289.6	239.5	199.8	5728.3

(備考： 原子炉熱出力： 2400MWt 運転サイクル長：18.7か月 燃料交換バッチ数：7バッチ)

表(a)-2 He冷却被覆粒子窒化物燃料炉心 平衡炉心末期の組成重量 (全炉心燃料)  
 燃料組成：(a) 高速炉多重リサイクル TRU+ランプFP (単位: kg)

核種	内側炉心	外側炉心	炉心計	径方向 ブランケット	軸方向 ブランケット	計
U-235	68.3	59.3	127.6	250.4	54.9	432.9
U-236	10.0	5.1	15.2	14.2	7.5	36.9
U-238	35843.3	26419.0	62262.3	101651.7	28563.4	192477.4
U合計	35921.7	26483.4	62405.1	101916.4	28625.8	192947.2
Np-237	39.2	43.0	82.2	3.0	1.7	86.9
Pu-238	139.9	136.8	276.7	0.4	0.9	278.0
Pu-239	5056.9	4972.1	10028.9	1443.1	540.1	12012.1
Pu-240	3434.2	3444.5	6878.6	81.6	64.9	7025.2
Pu-241	475.8	433.5	909.3	8.9	19.8	938.0
Pu-242	400.5	407.6	808.1	0.4	2.5	810.9
Pu合計	9507.2	9394.4	18901.6	1534.5	628.1	21064.2
Am-241	230.9	264.3	495.2	1.0	2.0	498.2
Am-242m	8.8	7.0	15.7	0.0	0.1	15.8
Am-243	107.0	107.8	214.8	0.0	0.5	215.3
Am合計	346.6	379.0	725.7	1.0	2.6	729.3
Cm-242	7.4	5.2	12.6	0.0	0.1	12.7
Cm-243	0.6	0.3	0.8	0.0	0.0	0.8
Cm-244	95.7	92.3	188.0	0.0	0.2	188.1
Cm-245	12.0	8.3	20.3	0.0	0.0	20.3
Cm合計	115.6	106.1	221.6	0.0	0.3	222.0
計	45930.2	36406.0	82336.2	103454.9	29258.4	215049.6
Pu-239+Pu-241	5532.7	5405.6	10938.2	1452.0	559.8	12950.1
ランプ化FP	3959.3	2590.3	6549.6	342.5	282.8	7174.9

(備考： 原子炉熱出力： 2400MWt 運転サイクル長：18.7か月 燃料交換バッチ数：7バッチ)

表(3)-3 He冷却 被覆粒子 硝化物燃料炉心 平衡炉心装荷燃料の組成重量 (1回の燃料交換当たりの装荷量)  
 燃料組成:(a) 高速炉多重リサイクル TRU+隨伴FP (単位:kg)

核種	内側炉心	外側炉心	炉心計	径方向 プランケット	軸方向 プランケット	計
U-235	16.6 (0.3%)	11.9 (0.3%)	28.6	44.5 (0.3%)	12.8 (0.3%)	85.8
U-236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U-238	5526.2	3962.0	9488.2	14781.9	4239.0	28509.2
U合計	5542.9	3973.9	9516.8	14826.4	4251.8	28595.0
Np-237	7.3	7.5	14.9	0.0	0.0	14.9
Pu-238	16.2 (0.4%)	16.6 (0.4%)	32.8	0.0	0.0	32.8
Pu-239	(57%) - 795.2	816.1 (54%)	1611.3	0.0	0.0	1611.3
Pu-240	471.8 (0.1%)	484.2	956.0	0.0	0.0	956.0
Pu-241	63.2	64.9	128.1	0.0	0.0	128.1
Pu-242	57.3	58.8	116.2	0.0	0.0	116.2
Pu合計	1403.6	1440.6	2844.3	0.0	0.0	2844.3
Am-241	29.4	30.2	59.6	0.0	0.0	59.6
Am-242m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Am-243	14.7	15.1	29.8	0.0	0.0	29.8
Am合計	44.1	45.3	89.3	0.0	0.0	89.3
Cm-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cm-243	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cm-244	14.7	15.1	29.8	0.0	0.0	29.8
Cm-245	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cm合計	14.7	15.1	29.8	0.0	0.0	29.8
計	7012.6	5482.4	12495.1	14826.4	4251.8	31573.3
Pu-239+Pu-241	858.4	881.0	1739.3	0.0	0.0	1739.3
ランプ化FP	1115	87.0	198.5	0.0	0.0	198.5

(備考: 原子炉熱出力: 2400MWt 運転サイクル長: 18.7か月 燃料交換パッテ数: 7パッテ)

表(3)-4 He冷却 被覆粒子 硝化物燃料炉心 平衡炉心取出燃料の組成重量 (1回の燃料交換当たりの取出量)  
 燃料組成:(a) 高速炉多重リサイクル TRU+隨伴FP (単位:kg)

核種	内側炉心	外側炉心	炉心計	径方向 プランケット	軸方向 プランケット	計
U-235	6.2	6.4	12.6	30.1	5.5	48.1
U-236	2.1	1.1	3.2	3.3	1.5	8.0
U-238	4834.1	3637.2	8471.3	14319.9	3964.5	26755.6
U合計	4842.4	3644.7	8487.1	14353.2	3971.5	26811.7
Np-237	4.7	5.3	9.9	0.8	0.4	11.2
Pu-238	22.9	22.2	45.1	0.2	0.4	45.6
Pu-239	674.9	643.9	1318.8	341.1	115.3	1775.2
Pu-240	497.7	493.0	990.7	26.7	18.2	1035.6
Pu-241	70.3	60.6	130.8	3.5	6.3	140.6
Pu-242	57.4	57.9	115.3	0.2	1.0	116.5
Pu合計	1323.2	1277.5	2600.7	371.7	141.0	3113.4
Am-241	35.6	42.2	77.8	0.5	0.8	79.1
Am-242m	1.9	1.6	3.5	0.0	0.0	3.5
Am-243	15.7	15.6	31.3	0.0	0.2	31.5
Am合計	53.2	59.5	112.6	0.5	1.0	114.2
Cm-242	1.1	0.8	2.0	0.0	0.0	2.0
Cm-243	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2
Cm-244	13.2	12.1	25.3	0.0	0.1	25.3
Cm-245	2.5	1.8	4.3	0.0	0.0	4.3
Cm合計	16.9	14.3	31.7	0.0	0.1	31.8
計	6240.3	5001.8	11242.0	14726.2	4114.1	30082.3
Pu-239+Pu-241	745.2	704.5	1449.6	344.6	121.5	1915.8
ランプ化FP	888.6	570.0	1458.5	103.0	83.1	1644.5