

共同研究報告書
金属燃料リサイクルシステムの設計評価
(平成12年度)
(研究報告)



2001年12月

核燃料サイクル開発機構
(財)電力中央研究所

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

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

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

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

共同研究報告書
金属燃料リサイクルシステムの設計評価
(平成12年度)
(研究報告)

藤岡綱昭^{*1} 岡村信生^{*1} 星野康史^{*2} 西村友宏^{*3} 田中健哉^{*2} 田中博^{*4}
横尾健^{*5} 塚田毅^{*5} 尾形孝成^{*5} 倉田正輝^{*5} 坂村義治^{*5} 土方孝敏^{*5}
飯塚政利^{*5} 木下賢介^{*5} 太田宏一^{*5} 井上正^{*5}

要旨

核燃料サイクル開発機構と電力中央研究所は金属燃料の高速増殖炉サイクルの実用化に向けた調査研究を行っている。本研究では金属燃料の大型高速増殖炉 (Na 冷却炉、炉出力 1,500MWe、燃焼度 150GWd/t、増殖比 1.2) を想定し、再処理、燃料製造する金属燃料リサイクルプラントを検討した。プラント処理量は 50tHM/年 (使用済炉心燃料 39tHM/年 (軸方向プランケット燃料 10tHM/年を含む)、使用済径方向プランケット燃料 11tHM/年) とその 4 倍とした 200tHM/年とした。さらに、全体プラントの概念を明らかにするために、主要工程の電解精製や射出成型などの検討のほかに、オフガス処理、廃棄物処理、ユーティリティなどの主な付帯設備も検討した。

金属燃料リサイクルプラント設計の結果、50tHM/年プラントは、主建屋 (再処理、燃料製造) が地下 1 階、地上 3 階 (52.5m x 101m x 31m) で、この容積は、約 16.4 万 m³ となった。200tHM/年プラントは、主建屋 (再処理、燃料製造等) が地下 1 階、地上 3 階 (132.5m x 101m x 31m) で、この容積は、約 45.0 万 m³ となった。200tHM/年プラントの主建屋の容積は、50tHM/年プラントの約 2.7 倍となった。また、プラントの経済性検討の結果、建設費が 50tHM/年プラントに対して約 1530～約 1780 億円となり、200tHM/年プラントに対して約 3740～約 4260 億円となった。この建設費に操業費を考慮した金属燃料リサイクルプラントの単価は、50tHM/年プラントに対して 54～59 万円/kgHM、200tHM/年プラントに対して 34～37 万円/kgHM となった。これらのプラントの単価は、いずれも目標 (59 万円/kgHM*) を達成することができた。

(*) 酸化物燃料処理単価の目標値は 43 万円/kgHM である。一方、金属燃料処理単価の目標値は、酸化物燃料の炉の発電量 (約 3,850Mwe・年) と金属燃料の炉の発電量 (約 5,308Mwe・年) との割合 1.4 を補正し、酸化物燃料処理単価目標値の約 1.4 倍である 59 万円/kgHM とした。

本報告書は、平成 11～12 年度、核燃料サイクル開発機構と(財)電力中央研究所との共同研究により実施した成果である。

*1 大洗工学センター システム技術開発部 再処理システムグループ

*2 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

*3 大洗工学センター システム技術開発部 再処理システムグループ (原電からの派遣者)

*4 元 大洗工学センター システム技術開発部 再処理システムグループ (原電からの派遣者)

*5 (財)電力中央研究所 金属燃料・乾式リサイクルプロジェクト

Study of Design and Evaluation on Metal Fuel Recycle Plant

Japan Nuclear Cycle Development Institute(JNC)

Tsunaaki Fujioka Nobuo Okamura Yasushi Hoshino Tomohiro Nishimura
Kenya Tanaka Hiroshi Tanaka

Centeral Research Institute of Electric Power Industry(CRIEPI)

Takeshi Yokoo Masatoshi Iizuka Takanari Ogata Masaki Kurata
Yoshiharu Sakamura Takatoshi Hijikata Tosinari Iizuka Kensuke Kinoshita
Hiroyuki Ota Tadashi Inoue

Abstract

The feasibility study on commercialized metal fuel fast reactor cycle system is being progressed in Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) and Centeral Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI). In this research, we examined the metal fuel recycling plant (reprocessing and fuel fabrication) which it dealt with the spent metal fuel from the large-scale fast breeder reactor (sodium-cooled reactor, power 1,500MWe, burn-up 150GWd/t, breeding ratio 1.2). The capacity of the metal fuel recycling plant was 50t-HM/y (core fuel: 39tHM/y (contains axial blanket fuel: 10tHM/y), radial blanket fuel: 11tHM/y) and 200t-HM/y which is four times of that. The studied equipments were not only the electrorefining, the injection casting, et al. in the main process, but also the equipments of off-gas treatment, waste treatment, utilities, et al. in the added process to clear the whole aspect of the plant. And the rationalization of the plant was examined. As the result of the plant design, the volume of the main building(reprocessing and fuel fabrication) was 164,000m³ in a floor of underground~the three floors above ground (52.5m × 101m × 31m) for 50tHM/ y plant. And the volume of the main building(reprocessing and fuel fabrication) was 450,000m³ in a floor of underground~the three floors above ground (101m × 132.5m × 31m) for 200tHM/ y plant. The volume of the main building of the 200tHM/y plant was 2.7 times of the 50tHM/ y plant. As a result of the roughly economic evaluation of these plants, the construction cost of the plant was 153 ~178 billion yen for the 50tHM/year plant, and was 374~426 billion yen for 200tHM/y plant. Furthermore, the unit price taken into consideration of the construction cost and the operating cost of the metal fuel recycling plant was 0.54~0.59 million yen /kgHM for 50tHM/year plant and was to 0.34~0.37million yen /kgHM for the 200tHM/y plant. The unit price of these plants was less than 0.59million yen /kgHM, and it could attain the target value.^(*)

^(*)The target unit price of the oxide fuel recycling plant was 0.43 million yen /kgHM. On the other hand, the amount of generation electricity (5,308MWe-y) for the metal fuel reactor is bigger than it for the oxide fuel reactor (3,850MWe-y) by 1.4 times. Therefore the target unit price for metal fuel recycling plant was set up with 0.59million yen /kgHM of 1.4 times in case of the oxide fuel recycling plant.

This work is a joint study between Japan Nuclear Cycle Development Institute(JNC) and Centeral Research Institute of Electric Power Industry(CRIEPI)

目 次

1.はじめに	1
2.研究計画	1
2.1 研究目的	1
2.2 研究内容	1
2.3 研究体制及び期間	2
2.4 研究工程	2
3.設計方針	2
3.1 プラントの設計条件	2
3.2 達成目標	4
4.燃料、炉心設計	8
4.1 炉心概念	8
4.2 燃料仕様と炉心配置	8
4.3 炉心特性	8
5.プロセス設計	14
5.1 全体プロセス	14
5.2 主なプロセスの物質収支	14
5.3 各設備の検討	16
5.3.1 燃料貯蔵設備	16
5.3.2 燃料受入れ設備	16
5.3.3 前処理設備	16
5.3.4 再処理設備	17
5.3.5 燃料製造設備	20
5.3.6 新燃料払出し設備	24
5.3.7 新燃料貯蔵設備	24
5.3.8 廃棄物処理設備	25
5.3.9 オフガス処理設備	28
5.3.10 アルゴンセル浄化・冷却設備	29
5.3.11 その他の主要な設備	29
6.機器設計	44
6.1 燃料貯蔵設備	44
6.2 燃料受入れ設備	44
6.3 前処理設備	44
6.4 再処理設備	45
6.5 燃料製造設備	46
6.6 燃料払出し設備	48
6.7 新燃料貯蔵設備	48
6.8 廃棄物処理設備	48
6.9 オフガス処理設備	50

6.10 アルゴンセル浄化・冷却設備	50
6.11 その他の主要な設備	50
7. 施設設計	77
7.1 計量管理方法	77
7.1.1 入量計量・出量管理方法の検討	77
7.1.2 MBA 及び KMP の設定	77
7.2 運転・保守方針	78
7.2.1 運転	78
7.2.2 保守	78
7.3 セル・建屋内配置設計	78
8. 200 t HM/y プラントの検討	102
8.1 処理容量アップの考え方と主要な設備機器	102
8.2 セル・建屋内配置	103
9. 経済性評価	110
9.1 再処理の経済性	110
9.2 燃料製造の経済性	110
9.3 燃料サイクルの経済性	111
10. システム評価	115
10.1 システム設計の考え方及び技術的成立性	115
10.2 目標の達成度	116
10.2.1 安全性	116
10.2.2 資源有効利用性	116
10.2.3 環境負荷低減性	117
10.2.4 核拡散抵抗性	118
11. まとめ	121
12. 参考文献	122

表 目 次

表 3. 2. 1 放射性廃棄物等の区分	6
表 4. 1. 1 金属燃料炉心の基本仕様と主要特性	10
表 4. 2. 1 金属燃料の燃料要素と集合体の仕様	10
表 4. 3. 1(1/2) 1 パッч (燃料交換) 当りの装荷、取出し重金属量 (単位 kg)	11
表 4. 3. 1(2/2) 50 t HM/年換算の装荷、取出し重金属量 (単位 kg)	11
表 5. 2. 1 50 t HM/年金属燃料リサイクル施設主要工程物質収支表 (単位: kg/日)	30
表 5. 2. 2 50 t HM/年金属燃料リサイクル施設各元素の製品、環境放出、廃棄物への移行率	31
表 5. 3. 1 50 t HM/年金属燃料リサイクル施設の主要な放射性廃棄物の発生量	32
表 5. 3. 2 50 t HM/y 施設と軽水炉用湿式再処理施設のオフガス発生量の比較	33
表 5. 3. 3 アルゴンセル内雰囲気ガスの制限値と運転管理値	33
表 6. 1 解体・前処理から燃料製造までのメイン設備の主な機器の仕様	51
表 6. 2(1/18)~(18/18) 各設備の主な機器の仕様	52~67
表 7. 1. 1 施設の入量計量方法の検討	80
表 7. 1. 2 施設の流れの KMP 案	81
表 7. 1. 3 施設の在庫の KMP 案	82
表 7. 2. 1 各設備の運転員数	83
表 8. 1. 1 200 t HM/年施設の主要機器の概略仕様	104
表 9. 1. 1 再処理設備建設費の内訳	112
表 9. 1. 2 再処理設備操業費の内訳	112
表 9. 2. 1 燃料製造設備建設費の内訳	113
表 9. 2. 2 燃料製造設備操業費の内訳	113
表 10. 1. 1 金属燃料リサイクルプロセスの技術課題 システム設計の考え方	119
表 10. 1. 2 金属燃料リサイクルプロセスの技術課題 技術的成立性	120

図 目 次

図 2.1 「金属燃料リサイクルシステムの設計評価」の工程	2
図 3.2.1 放射性廃棄物等の区分	7
図 4.2.1 炉心燃料の要素および集合体の概略構造図	12
図 4.2.2 径方向ブランケット燃料の要素および集合体の概略構造図	12
図 4.2.3 金属燃料炉心の配置 (3,900MWt)	13
図 5.1.1 金属燃料リサイクルシステムのフロー図	34
図 5.2.1 金属燃料リサイクルシステム主要工程の物質収支フロー図	35
図 5.3.1 前処理工程のフロー図	36
図 5.3.2 電解分離工程のフロー図	37
図 5.3.3 炉心燃料処理における電解精製槽内塩の組成と発熱量の推移	38
図 5.3.4 径ブランケット燃料処理における電解精製槽内塩の組成と発熱量の推移	39
図 5.3.5 燃料製造工程のフロー図	40
図 5.3.6 射出成型（燃料スラグ製造）回りの物質収支	41
図 5.3.7 TRU 抽出、塩処理工程のフロー図	42
図 5.3.8 ドロス処理工程のフロー図	43
図 6.4.1 電解精製槽の概略構造図	68
図 6.4.2 陽極バッソット内せん断燃料 (U, Pu, MA) の陰極への流れ図	69
図 6.4.3 電解精製槽の臨界検討モデル概略図	70
図 6.4.4 陰極処理装置の概略構造図（固体陰極処理装置の例）	71
図 6.5.1 射出成型装置の概略構造図	72
図 6.5.2 ピンプロセッサーの概略構造図	73
図 6.5.3 Na ボンディング装置の概略構造図	74
図 6.8.1 パイロコンタクタの概略構造図	75
図 6.8.2 ゼオライトカラムの概略構造図	76
図 7.1.1 金属燃料リサイクル施設の MBA および KMP 案	84
図 7.1.2 金属燃料リサイクル施設の MBA 計画図	85
図 7.2.1 前処理設備の運転概要と運転要員	86
図 7.2.2 再処理設備（電解分離）の運転概要と運転要員	87
図 7.2.3 燃料製造設備の運転概要と運転要員	88
図 7.3.1 前処理セル (Ar セル) 内の主要機器の配置	89
図 7.3.2 再処理設備電解分離セル (Ar セル) 内の主要機器の配置	90
図 7.3.3 燃料製造設備ピン製造セル (Ar セル) 内の主要機器の配置	91
図 7.3.4 50 t HM/年施設の全体配置図 (平面図)	92
図 7.3.5 50 t HM/年施設の全体配置図 (立面図)	93
図 7.3.6 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図 (地下1階)	94
図 7.3.7 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図 (1階)	95
図 7.3.8 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図 (2階)	96
図 7.3.9 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図 (3階)	97

図 7.3.10 50 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（屋上）	98
図 7.3.11 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（地下1階）	99
図 7.3.12 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（1階）	100
図 7.3.13 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（2階）	101
図 8.2.1 200 t HM／年施設の全体イメージ図（平面図）	105
図 8.2.2 200 t HM／年施設の全体イメージ図（立面図）	106
図 8.2.3 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（地下1階）	107
図 8.2.4 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（1階）	108
図 8.2.5 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（2階）	109
図 9.3.1 金属燃料リサイクルプラントの燃料サイクル単価	114
図 9.3.2 金属燃料リサイクルプラントの各設備が建設費に占める割合	114

1. はじめに

高速増殖炉（FBR）サイクル実用化戦略調査研究の一環として、金属燃料の大型高燃焼度炉心の使用済み燃料を対象に、50 t HM/y 規模（1,500Mwe 級金属燃料高速増殖炉の 3.54 基分）の金属燃料リサイクルプラントについて、再処理設備、燃料製造設備などの主要設備の概略設計を行い、セル、建屋の施設規模を明らかにするとともに、プラントの物量及び経済性を概略評価した。検討対象の設備は、使用済み燃料の貯蔵、受入れ、前処理（解体、せん断など）、再処理（電解分離）、燃料製造、新燃料の払出、貯蔵の主要な設備に加えて、TRU 還元抽出、塩処理などの廃棄物処理、オフガス処理、ユーティリティなどの設備も含めた。プラントの設計にあたっては、米国 ANL で開発実績のある電解精製、射出成型等の技術を用いることとし、電力中央研究所におけるこれまでのプロセスフロー構築に関する R & D の成果をもとにした。主要なプロセスからの廃棄物発生量、廃棄物処理プロセス、固化体形態なども検討した。さらに、200 t HM/y 規模の金属燃料リサイクルプラントについては、50 t HM/y プラントの設計設備機器に基づき、容量アップさせた設備の概略検討を行い、セル、建屋のイメージ等を明らかにし、経済性を概略評価した。さらに今後の金属燃料リサイクル技術の開発課題を摘出した。

2. 研究計画

2.1 研究目的

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構と略す）と電気事業者が協力して実施する FBR サイクル実用化戦略調査研究においては、各種の燃料リサイクル技術の比較評価のために、最新の知見に基づいてリサイクルシステムの設計評価を行うこととしている。

本研究は、その一環として、高速増殖炉の使用済み金属燃料などを電解精製法による乾式技術で再処理し、射出成型法によって高速増殖炉金属燃料を製造するリサイクルプラントの概略設計を行い、その経済性、環境負荷低減性、核不拡散性、炉との整合性などの評価を行う。さらに、経済性において軽水炉と比肩し得る FBR サイクルの構築、実用化に向けた金属燃料乾式リサイクル技術の研究開発計画をまとめ、開発推進の判断に資することを目的とする。

2.2 研究内容

これまでに（財）電力中央研究所（以下、電中研と略す）で実施された金属燃料リサイクルシステムの設計結果を参考に、最新の技術的知見を反映し、FBR サイクル実用化戦略調査研究における設計要求を満たす金属燃料リサイクル施設の概略設計をまとめ、物量、廃棄物量、コストなどの評価を行う。また、金属燃料乾式リサイクル技術の研究開発計画をまとめる。

主な実施項目は、以下に示す通りである。

- ① システム設計条件の設定
- ② プロセス設計
- ③ 主要機器、装置、施設の概略評価

- ④ プラントシステムの検討
- ⑤ システム総合評価

2.3 研究体制及び期間

本研究は、サイクル機構と電中研において、平成 11 年度から平成 12 年度にかけて共同研究として実施したものである。

2.4 研究工程

本共同研究の実施工程は、図 2.1 に示す通りである。

図 2.1 「金属燃料リサイクルシステムの設計評価」の工程

項目/年度	平成 11 年度	平成 12 年度
①システム設計条件の設定	—	
②プロセス設計	—	
③主要機器、装置、施設の概略評価	—	
④プラントシステムの検討		—
⑤システム総合評価		—

3. 設計方針

プラントの基本仕様及び各種の前提条件は、サイクル機構と電気事業連合会が協力して実施している「FBR サイクル実用化戦略調査研究」におけるものをベースに設定した。また、達成目標についても同様に「FBR サイクル実用化戦略調査研究」での考えに沿って設定した。

3.1 プラントの設計条件

(1) プラント設計の範囲

プラント設計の範囲は、主に、使用済み燃料の貯蔵、受入れ、前処理（解体、せん断など）、再処理（電解分離）、燃料製造、新燃料の払出、貯蔵の主要な設備とした。また、これらの主要な設備に加えて、TRU 還元抽出、塩処理などの廃棄物処理、貯蔵、オフガス処理、分析、ユーティリティ、保守などの付属設備についても概略検討範囲とした。

(2) プラントの規模

将来のサイクルプラントの立地においては、規模の小さなプラントを炉と近接させるコロケーション型の場合と比較的規模の大きいサイクルプラントのみを集中立地する場合が想定される。そこで、本設計研究では、比較的小さな規模の 50 t HM/y プラント (1,500Mwe 級金属燃料高速増殖炉の 3.54 基分) と、スケール効果が把握できる比較的大きな 200 t HM/y プラントの 2 ケースについて検討を行った。ここで、HM は炉に装荷する新燃料の総量である。なお、具体的なプロセスの設計とそれに基づく機器、セル配置、施設の設計は 50 t HM/y プラントのみ行った。200 t HM/y プラントについては、容量比に応じた機器数の増加に關

して検討し、その結果をもとにセル配置等の検討を行い、施設概念を得た。

(3) プラントへの受入れ使用済燃料

受入れ使用済み燃料は、次の条件とし、集合体及びピン数、燃料組成などの詳細については、炉心設計値をもとに設定した。

- ・ 燃焼度： 約 15 万 MWd/t (炉心平均)
- ・ 冷却期間： 炉からの取出し後 4 後冷却

(4) プラントの FP 除染性能

「FBR 燃焼 再処理・燃料製造」の多重リサイクルを繰り返したとしても、製品（新燃料）中への FP 混入率が炉心性能に過大な影響を及ぼさないものとし、このための暫定的な制限値を、新燃料中の FP 割合を $\leq 2\text{wt\%}/\text{HM}$ とした。

(5) 払出し再処理製品

払出し再処理製品は、次の条件とした。炉心増殖比 1.2 の条件の場合、燃料製造に必要な Pu 量を上回る余剰 Pu が生じることになる。これについては、別途 施設内での保管が必要となるが、今回、その検討については本設計研究の対象外とした。

- ・ FP の混入率： $2\text{wt\%}/\text{HM}$ 程度（暫定値）以下
- ・ 炉心の増殖比： 1.2

(6) 機器設計の条件

各機器・系統は定格処理量の達成に最低限必要なものとし、特に安全設備としての要求がない限り、予備機の設置、及び系統の多様性の確保については考慮しないこととした。運転性については、装荷/取出、移送を考慮した設計とした。また、これらを含む操業時間を考慮した。定型的な操作は、遠隔・自動とし、目視を含むモニタリングを行うものとした。一方、保守・補修性については、移送も含めて手動で行うものとし、必要と想定される作業スペースやマスタースレーブマニピュレータ (MSM)などを設けた。ただし、今回、保守・補修作業の具体化は行わなかった。プラント設計にあたっては、これまでの R&D 実績から十分に技術的成立性の見通しがある範囲で各装置の性能を設定した。また、原則として、これまでの再処理施設、燃料製造施設の設計に適用された基準に準拠した。

(7) 耐震設計

電解精製槽などの機器設備等は、内蔵する放射性物質の性状、量に応じて、耐震クラス分類を行う設計とした。

(8) 運転に必要なバッファー

使用済み燃料の貯蔵設備及び新燃料の貯蔵設備は、1 年間の処理量に相当する貯蔵容量を持つものとした。さらに、使用済燃料受入れ設備、新燃料払出し設備は 2 週間分の処理量に相当する一時保管容量を持つものとした。これらのプラントの設計条件は次の通りとした。

- ① 主建屋に隣接した別建屋方式とする。
- ② 保障措置の観点から、受入ルートと払出ルートは独立させる。

また、放射性廃棄物の貯蔵設備は、1 年間の発生量に相当の放射性廃棄物（高

レベル、低レベル、TRU 廃棄物など) を保管できる容量を持つものとした。

(9) プラント設計の条件

プラント設計の条件は、次の通りとした。

- ① 主建屋は、再処理、燃料製造の一体化設備とする。また、廃棄物処理・貯蔵設備なども主建屋内に設置する。
- ② 排気筒を設け、その高さは 150m (六ヶ所再処理施設と同じ) と想定した。
- ③ 管理棟や廃液海洋放出管は検討対象外とした。

3.2 達成目標

(1) 安全性

軽水炉再処理施設と同等あるいはそれ以上の安全性、信頼性の確保の目標に対して、次の方針とする。

- ① 原則として、現行の再処理施設、燃料製造施設に適用される法令、規格、基準、指針類等に準拠した設計であること。
- ② 化学的に活性な物質、毒性の強い物質、高温下での物質の取扱い等においては、その安全上の特徴に十分に配慮した設計であること。
- ③ 受動的安全機能の導入や、運転操作の簡素化、自動化、運転制御系の高度化により安全裕度を高めること。
- ④ 安全上重要な設備は、動的機器に单一故障を仮定しても、安全機能が確保できる設計とする。
- ⑤ 予備機は、原則として設けないこととする。
- ⑥ 臨界設計は、電解精製槽など、臨界上、有意な核物質を含むものを取り扱う容器、装置については、質量管理等を適用する設計とする。燃料受入れ貯蔵については、形状寸法管理を適用した設計とする。
- ⑦ 火災・爆発の防止のために、ナトリウムや粉末金属燃料を扱う機器、装置等については、アルゴンセル内にて取り扱う設計とする。
- ⑧ 閉じ込めの機能(漏洩の防止等含む)として、電解精製槽などの放射性物質を収納する機器等の使用材質は、使用条件に合わせて適切な材料を選定し、要求される容器区分に合わせた溶接、検査を想定した設計とする。また、放射性物質を内蔵する機器等は、セル等にて閉じ込める設計とする。
- ⑨ 機器の運転・保守・補修について、安全上重要な施設は、運転中、停止時に安全機能を失うことなく安全機能を確認するための試験、検査ができ、安全機能維持を健全に維持するための適切な保守、修理ができる設計とする。
- ⑩ 電源喪失に対する考慮として、外部電源の喪失に対して、安全上重要な機能を維持するために、独立 2 系統の非常用所内電源設備を設ける設計とする。

(2) 経済性

FBR の本格的実用化段階で、FBR サイクルシステムとして軽水炉サイクルシステムに比肩しうる経済性を有する経済性向上の目標に対して、次の方針とする。

- ① FBR の本格的実用化段階で、FBR リサイクルシステムとして軽水炉リサイクル

システムと競争可能な経済性を有する燃料サイクル費を達成していること。

- ② ここで、FBR の建設費は、軽水炉並（20万円/kWe）を目標に開発が進められていることを踏まえ、単位発電量当たりの FBR の燃料サイクル費を軽水炉と比べて同等以下とすることを目標とする。
- ③ この経済性目標を達成するため、プロセスを出来るだけ簡素化し、また設備・機器をコンパクト化するとともに、施設の建設期間の短縮化を図ることにより、建設費の削減を図ること。さらに、遠隔・自動化、高速処理が可能で、機器故障率の十分低い設備・機器を備えた施設とする。
- ④ プラント稼働率は、設計及び運転実績に乏しい現状を考慮して、暫定的に 200 日/y として設計する。
- ⑤ 経済性評価においては、施設の建設費、稼働費などを算出する。

(3) 資源の有効利用性

ウラン、プルトニウム等の核分裂性物質を高い回収率で回収し再利用できる目標に対して、ウラン資源を有効活用できるように、回収ロスの低減を図った施設とする方針とした。ここでのウラン、TRU の回収率（廃棄物側に移行しない割合）としては、99%以上を目標とした。

(4) 環境負荷低減性

施設から排出される放射性廃棄物を低減し環境に対する負担を小さくする目標に対して、次の方針とする。

施設からの放射性廃棄物の発生量と放射能低減と、放射性廃棄物の管理及び処理・処分のし易さに配慮したプロセスであること。将来的には、放射能レベルの高低、含まれる放射性物質の種類等の多様性を十分踏まえた適切な区分管理と、区分に応じた合理的な処理処分を行っていく必要性は認識されており、本設計研究においては、この原子力バックエンド対策専門部会の報告書「現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方について」（平成 10 年 10 月 16 日）を参考として、表 3.2.1、図 3.2.1 のような放射性廃棄物の区分案を暫定的に仮定し検討を行う。なお、廃棄物は通常操業時の主プロセスから発生するものを対象とした。但し、分析関係などの廃棄物は除いている。

(5) 核拡散抵抗性

各プロセスにおいて純粋なプルトニウムが単独に存在する事がないように、次の方針とする。

- ① 核不拡散性が高いこと。そのため、燃料サイクルの各プロセスにおいて、純粋なプルトニウムが単独に存在する事がない設計とする。
- ② 核物質防護及び保障措置の対応を考慮した設計とすること。
- ③ 査察対応における査察期間の短縮化と査察の合理化が図れる設計とする。

表3.2.1 放射性廃棄物等の区分

区 分	主な要件等	廃棄体種類	処分方式	備 考
1 高レベル 廃棄物	再処理廃液等 (発熱制限2.3kW/固化体以下)	ガラス固化体	深地層処分	
2 TRU 廃棄物	α 放射能 $1.11 \times 10^9 \sim 10^{12} \text{Bq/t}$ $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{15} \text{Bq/t}$ 未満 ^{*1}	プラスチック 固化+セメント充填固化 体、またはセメント固化体	深地層処分	*1 未確定
3 高 $\beta \gamma$ 廃棄物	α 放射能 $1.11 \times 10^9 \text{Bq/t}$ 未満 $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{13} \sim 10^{15} \text{Bq/t}$ ^{*2}	プラスチック 固化+セメント充填固化 体、またはセメント固化体	浅地層処分 (50~100m)	*2 未確定
4 低レベル 廃棄物	α 放射能 $1.11 \times 10^9 \text{Bq/t}$ 未満 $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{13} \text{Bq/t}$ 未満 ^{*3}	セメント固化 体	浅地層処分 (数m)	*3 現行政令 濃度上限値
5 非放射性 廃棄物	クリアランスレベル 10^6Bq/t 未満 ^{*4} (IAEA案 TECDOC-855、1996年)	—	—	*4 IAEAの現 状案であり、 確立されてい ない

注)高 $\beta \gamma$ 廃棄物:原子炉施設から発生した低レベル放射性廃棄物のうち現行の政令濃度上限値を超えるもの

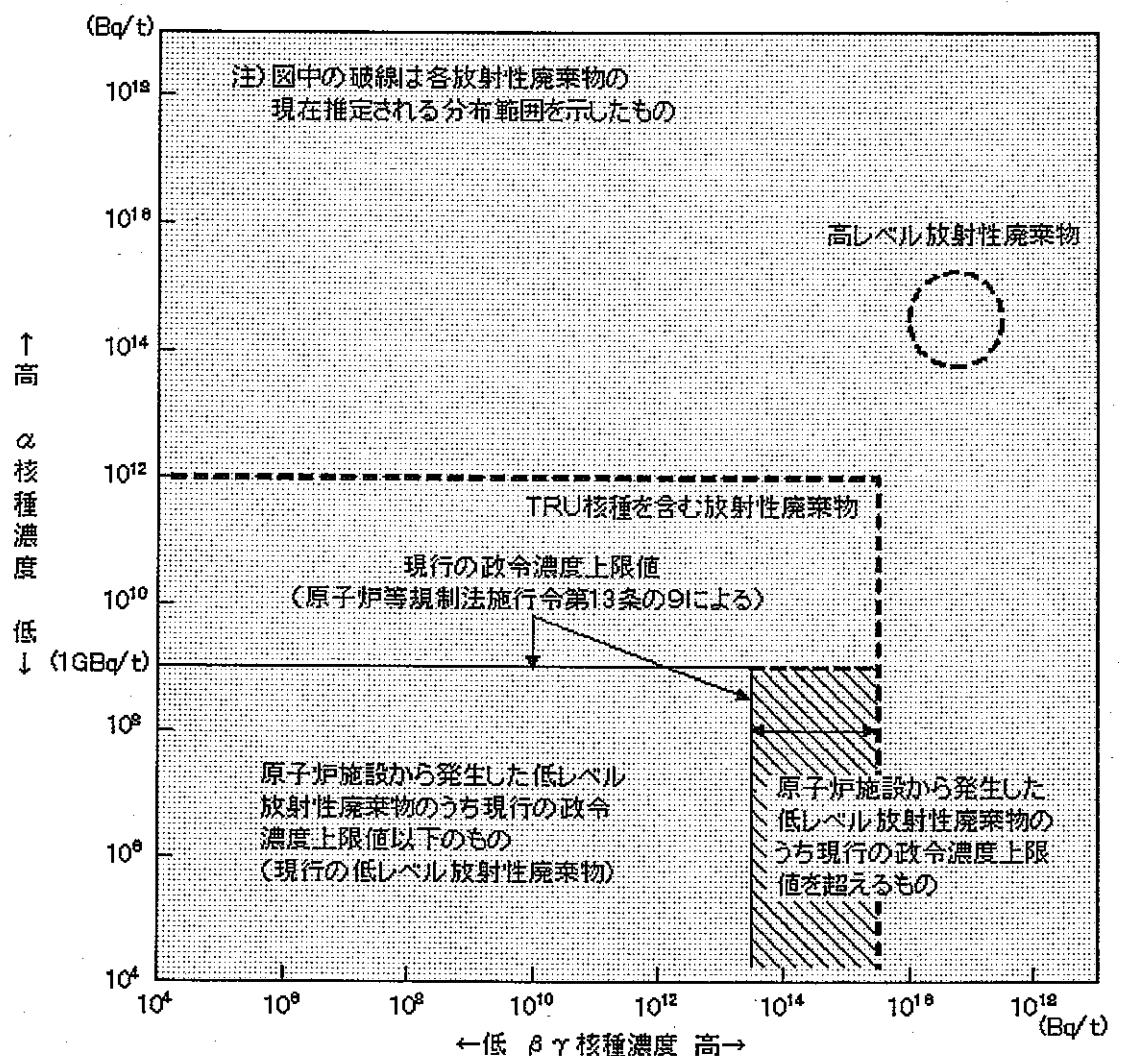


図3.2.1 放射性廃棄物等の区分

出典：原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会「現行の政令濃度上限値を越える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方について」（1998）

4. 燃料、炉心設計

4.1 炉心概念

1,500MWe 高燃焼度の金属燃料炉心の基本仕様を表 4.1.1 に示す。金属燃料リサイクルプラントは、この表 4.1.1 に示す仕様の金属燃料炉心⁴⁻¹⁾から取出される使用済みの軸方向ブランケット燃料を含む炉心燃料とブランケット燃料を再処理、燃料製造の対象とする。

4.2 燃料仕様と炉心配置

良好な燃焼特性と適性なボイド係数、低圧損を実現するため、炉心燃料には太径ピンのバンドル集合体を用い、炉心部を 85cm と短尺化した。炉心燃料及び径方向ブランケット燃料の要素、燃料集合体の仕様を表 4.2.1 に示す。燃料要素・集合体の軸方向の概略構造、及び、各部の構造材重量を図 4.2.1、図 4.2.2 に示す。ここで、プレナム長及び被覆管肉厚は、寿命末期において FP ガス圧または燃料-被覆管機械的相互作用 (FCMI) による寿命分数和 (CDF) が <1.0 となるように設定した。炉心の配置は図 4.2.3 に示す通り、富化度 2 領域（内側炉心 (IC)、外側炉心 (OC)）の均質配置として出力分布の空間/時間的な平坦化をはかった。径方向ブランケット燃料 (RB) は 1 層とした。遮へい部までの炉心外接円径は約 6 m である。なお、上下の軸方向ブランケット燃料 (AB) の長さは、これらの仕様のもとで増殖比=1.2 を達成できるように調節した結果である。

4.3 炉心特性

主要な炉心特性は、核熱流力設計、及び燃料の健全性評価によって得られた平衡リサイクル時の値で、表 4.1.1 に示してある。ここではリサイクルプラントの仕様を考慮して、使用済み炉心燃料中の全重金属元素が炉外滞在期間 3 サイクル中 (60 ヶ月) に回収率 99% で回収され、新燃料として炉心に再装荷されることを想定した。また、重金属に随伴する希土類 FP 量については、リサイクルによる除染係数を一律に 10 とした。新燃料組成の算出にあたっては、リサイクル時に内側/外側炉心燃料及び軸方向ブランケット燃料が一括して処理されるものとし、その平均組成をもとに富化度を調整した。炉心部で燃焼するプルトニウムの補償分としては、ブランケット部で生成したプルトニウムを用いた。これらの結果、主にプルトニウムに伴ってリサイクルされる MA の新燃料中での割合 (Zr を含む全燃料物質に対する割合) は内側/外側炉心でそれぞれ 0.4/0.5 wt%、希土類 FP は 0.3/0.3 wt% となった。なお、後述するように、実際には還元抽出工程での回収率は各アクチニド元素で若干の差があり、また分配係数をもとに評価した希土類 FP の除染係数は 10 より大きくなつた。このため、製造工程から払い出される新燃料中の MA 及び希土類 FP の割合は、内側/外側炉心で 0.3/0.4wt% 及び 0.1/0.1wt% となつた。ブランケット燃料も含めた全燃料物質に対する割合で見ると、MA は 0.2wt%、希土類 FP は 0.06wt% である。ただし、これを考慮して炉心を再設計することは今回の設計では行わなかつた。この炉心のバッチあたり装荷重金属の総量は、表 4.3.1 に示す通り、23.55tHM となり、年間に換算すると 14.13 t HM/年となる。し

たがって、処理容量 50tHM/y のリサイクルプラントにおいては 3.54 基分、すなわち約 5,307Mwe・年の発電量（酸化物燃料炉心の場合、50tHM/y に相当する発電量は約 3,850Mwe・年）に相当する処理を行うことになる。処理容量 200 t HM/y 規模のプラントの検討においては、この 4 倍の量を処理することとした。

処理容量 50 t HM/y のプラントにおけるこの使用済み燃料の量を表 4.3.1 に示すが、炉心燃料とブランケット燃料を合わせた重金属の受入れ量は 45.2 t HM/y、FP は約 4.8 t HM/y、平均燃焼度は約 9.6% である。軸方向ブランケット燃料も含む炉心燃料には、重金属が 34.4 t HM/y、FP が 4.7 t HM/y あり、径方向ブランケット燃料には、重金属が 10.7 t HM/y、FP が 0.1 t HM/y ある。この表から、内側炉心燃料では、取出し Pu フィッサイル量が装荷量を上回ることがわかる。一方、外側炉心燃料では、炉内滞在中に Pu フィッサイルが減少するが、これは軸方向ブランケット燃料における生成成分の一部で十分に補償できる程度の量である。

表 4.1.1 金属燃料炉心の基本仕様と主要特性

項目	仕様
<仕様>	
熱出力	3 900 MWt
電気出力*1	1 500 MWe
運転サイクル長さ	20ヶ月 (稼働率=91%)
炉心取出平均燃焼度	1.5万MWd/t
被覆管最高温度	≤650°C
冷却材出入口温度	≥355/510°C
最大線出力	≤500W/cm
バンドル圧損	≤2.0kgf/cm ²
炉心配置	富化度2領域均質
増殖比	≥1.20
原子炉停止系	主・後備2系統
<特性>	
炉心高さ	85 cm
炉心等価直径	440 cm
燃料交換バッチ数 (炉心/径プランケット)	4/4
サイクル当たりの燃料交換体数	
内側炉心/外側炉心/径プランケット	約69/35/20体
U組成	
U234/U235/U236/U238 =	
0.06/0.01/0.03/99.9 (wt.%)	
Pu富化度 (内側/外側) *2	12.3 / 17.2 wt.%
Pu組成	
Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242 =	
1.0/68.0/26.0/2.5/2.5 (wt.%)	
新燃料中のMA割合 (内側/外側)	0.4 / 0.5 wt.%
MA組成	
Np237/Am241/Am242m/Am243/Cm243/Cm244/CM245 =	
13.0/52.5/1.5/18.0/0.2/12.0/2.8 (wt.%)	
新燃料中の希土類FP混入量 (内側=外側)	0.3 wt.%
燃焼反応度	-0.13% Δk/k
炉心平均出力密度 (BOEC)	2.98 W/cm ³
炉心平均線出力 (BOEC)	3.04 W/cm
炉心部Naボイド反応度 (EOEC) *3	約8.75 \$

*1: 出口温度510°C、熱効率38.5%と設定 (530°C、熱効率40%では1,560MWe)

*2: Pu/(HM+RE) = Pu/(U+Pu+MA+RE)

*3: ダクト内冷却材の全ボイド (拡散計算値、未補正)

表 4.2.1 金属燃料の燃料要素と集合体の仕様

項目	炉心燃料	径方向プランケット
燃料集合体		
燃料要素本数	331本	127本
燃料要素配列ピッチ	9.95mm	16.02mm
全長	4600mm	4600mm
ラッパ管		
材質	PNC-FMS	PNC-FMS
内対面幅	183.7mm	183.7mm
外対面幅	191.7mm	191.7mm
肉厚	4.0mm	4.0mm
スペーサ		
型式	ワイヤ	ワイヤ
材質	PNC-ODS	PNC-ODS
ワイヤ径	1.39mm	1.21mm
ワイヤ巻付ピッチ	約250mm	約250mm
燃料要素		
全長	2670mm	2670mm
スラグ長	850mm	1150mm (850mm)
炉心燃料	150/150mm	(150/150mm)
軸方向プランケット燃料 (上/下)		
上部ガスプレナム長さ	1450mm	1450mm
型式	一体密封型	一体密封型
炉心燃料部		
型式	中実スラグ	中実スラグ
材質	ウラン・プルトニウム・ジルコニウム合金	ウラン・ジルコニウム合金
スミア密度	75.0% TD	85.0% TD
MA/FP混入率制限値 (目安値)	—	—
軸方向プランケット燃料部		
型式	中実スラグ	中実スラグ
材質	ウラン・ジルコニウム合金	ウラン・ジルコニウム合金
スミア密度	75.0% TD	85.0% TD
MA/FP混入率制限値 (目安値)	—	—
被覆管		
材質	PNC-ODS	PNC-ODS
外径	8.5mm	14.8mm
内径	7.5mm	13.8mm
肉厚	0.5mm	0.5mm

表 4.3.1(1/2) 1 パッチ (燃料交換) 当りの装荷、取出し重金属量 (単位 kg)

(1,500MWe炉心、燃料交換サイクル=20ヶ月、取出量は4年冷却後の値)

	内側炉心 燃焼度 装荷量	外側炉心 燃焼度 取出量	軸プラ 燃焼度 装荷量	径プラ 燃焼度 取出量	合計 取出量
	158GWd/t	133GWd/t	27GWd/t	10GWd/t	
U	7915.0	6391.0	3727.5	3223.0	21587.0 18835.0
U -234	4.7	3.1	2.2	1.8	2.6 9.7
U -235	0.8	0.7	0.4	0.4	2.2 2.7
U -236	2.4	1.9	1.1	1.0	1.5 5.7
U -238	7907.1	6385.0	3723.8	3220.0	21565.4 18815.0
Pu	1123.8	1180.0	785.8	680.0	202.5 2379.2
PU-238	11.2	10.9	7.9	7.7	0.1 18.9
PU-239	764.2	769.8	534.3	425.2	191.6 1298.5 1670.7
PU-240	292.2	324.8	204.3	201.6	10.3 496.5 566.3
PU-241	28.1	46.3	19.6	26.4	0.4 47.7 75.6
PU-242	28.1	28.8	19.6	19.1	0.0 47.7 48.1
MA	33.8	31.7	23.8	22.7	0.6 56.0
NP-237	4.4	4.6	3.1	2.9	0.5 8.9
AM-241	17.7	11.5	12.5	10.0	0.0 21.7
AM-242M	0.5	0.6	0.4	0.5	0.0 1.1
AM-243	6.1	7.1	4.3	4.7	0.0 11.8
CM-242	0.0	0.9	0.0	0.5	0.0 1.4
CM-243	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0 0.2
CM-244	4.1	5.8	2.9	3.4	0.0 0.1
CM-245	0.9	1.1	0.7	0.6	0.0 0.2
重金属計	9072.6	7602.7	4537.0	3925.7	5051.1 21270.2
集合体数	69	69	35	35	20 123 123
要素数	22839	22839	11420	11420	36735 36735

表 4.3.1(2/2) 50 t HM/年換算の装荷、取出し重金属量 (単位 kg)

(50t/y換算処理量 = 5307 MWe・年分)

重金属計	19259.0	16138.9	9631.0	8333.4	10267.9	9957.3	10842.1	10722.3	50000.0	45151.9
(炉心部装荷量計)					28890	(ブランケット部装荷量計)			21110.0	
FP取出量					(炉心+軸ブランケット部計)			4726.8	117.2	4843.9
アルカリ金属FP								526.1	13.6	539.7
アルカリ土類FP								268.7	6.5	275.1
希土類FP								1353.0	32.3	1385.4
貴金属FP								870.7	20.8	891.6
ハロゲンFP								47.3	1.2	48.5
希ガスFP								653.9	16.6	670.5
その他FP								1007.0	26.1	1033.2
集合体数	146.5	73.2	-	-				41.4	261.1	
要素数	48482	24241	-	-				5257	77980	

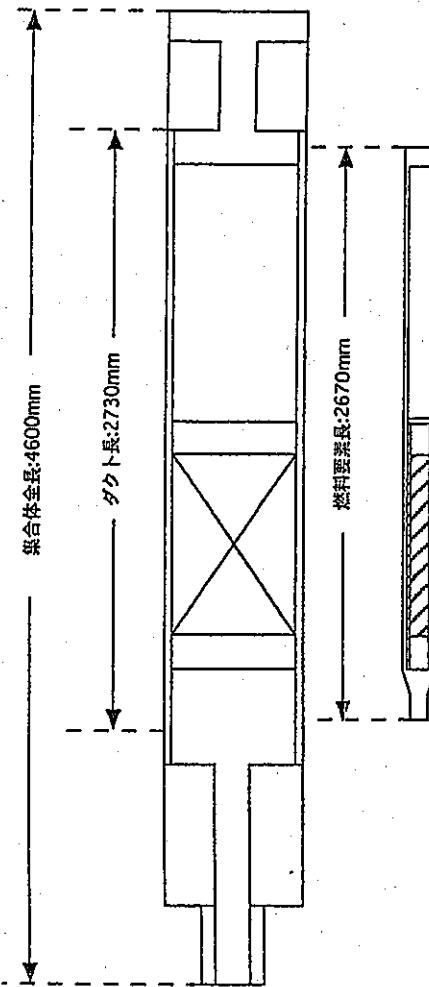


図 4.2.1 炉心燃料の要素および集合体の概略構造図

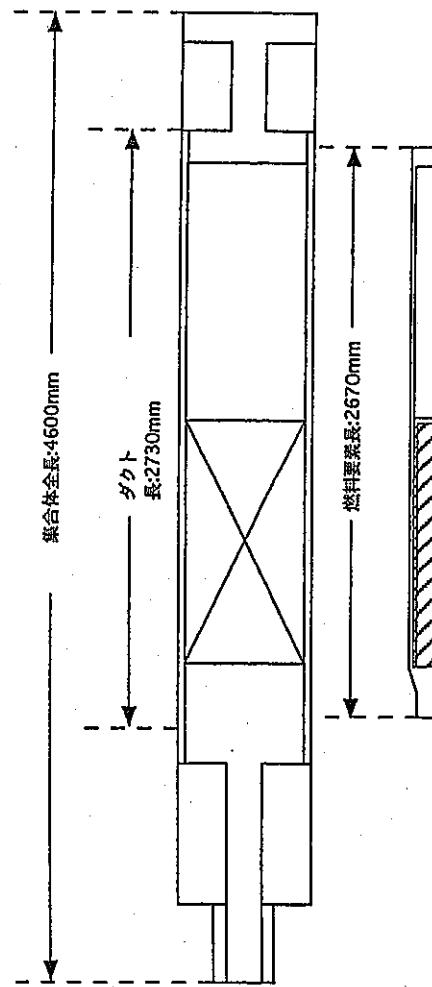


図 4.2.2 径方向ブランケット燃料の要素および集合体の概略構造図

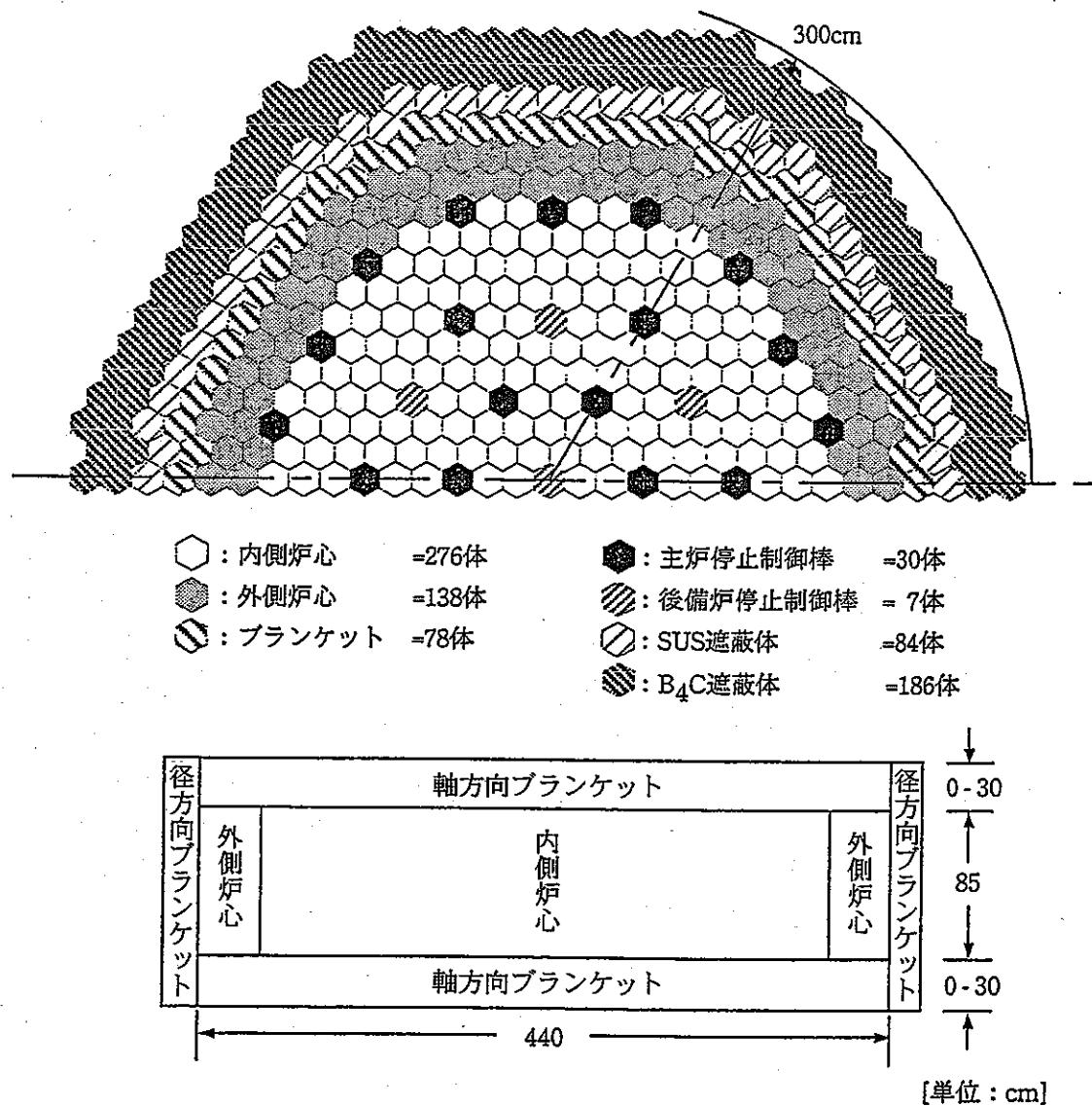


図 4.2.3 金属燃料炉心の配置 (3,900MWt)

5. プロセス設計

5.1 全体プロセス

本章では、50 t HM/y 金属燃料リサイクルプラントの全体プロセスの概要について説明する。全体プロセスの概略の主要フロー図を図 5.1.1 に示す。燃料貯蔵設備、燃料受入れ設備は、原子炉から使用済燃料を一時貯蔵した後、再処理のために一時保管する。前処理設備（解体・せん断設備）は、集合体解体工程、せん断工程、ボンドナトリウム除去工程などからなり、使用済燃料を再処理設備の電解精製槽へ装荷できる形態とする。再処理（電解分離）設備は、FP 除染し、重金属を陰極に回収する電解精製工程、電解精製後の陰極析出物から付着物等を除き重金属を得る陰極処理工程などからなる。燃料製造設備は、再処理した重金属を富化度調整後、射出成型し、新燃料ピンを製造する燃料ピン製造工程、燃料ピンから燃料集合体を作成する集合体組立工程などからなる。新燃料払出し設備、新燃料貯蔵設備は、この燃料製造製品である新燃料を払出すために一時保管し、再び原子炉に装荷するために一時貯蔵する。その他の設備として廃棄物処理設備などがある。廃棄物処理設備は、廃棄物の低減化、合理化などを狙って、次の通り特徴のあるプロセスとした。

- ① TRU の回収率を高めるための TRU 還元抽出・塩処理工程などでは、電解精製槽の溶融塩から TRU を還元抽出した後、再酸化して電解精製槽に戻すプロセスとする。この再酸化で用いる塩素はセル外から $CdCl_2$ の形で供給することとし、セル内では塩素ガスは使用しない方式とする。
- ② TRU 還元抽出済の FP は浴塩の一部とともにゼオライトに吸収させる。
- ③ 使用済ゼオライトはガラス結合ソーダライトとして固化（人工鉱物固化）する。このときの添加ガラスは、廃棄物の低減のために、射出成型で用いた廃モールドや廃ボンド Na を酸化物に転換したものを利用する。
- ④ 黒鉛るつぼを用いる各工程では、るつぼ内面に一定量の U 酸化物ドロスが生じるものと想定し、ドロス処理工程を設け、この U を $ZnCl_4$ を用いて UCl_3 の形で回収し、電解精製槽に戻すプロセスとする。
- ⑤ 使用済黒鉛るつぼは、廃棄物低減のために、焼却処理する。

前処理設備、燃料製造設備は、設備合理化などの観点から、1 系列設備とし、炉心燃料と径方向ブランケット燃料を交互に処理する方式（以下、キャンペーン操業という）とした。再処理設備は、炉心燃料と径方向ブランケット燃料をそれぞれ別々の系統で処理する 2 系列設備とした。廃棄物処理設備の TRU 還元抽出・塩処理工程などは 1 系列設備とした。なお、図 5.1.1 に示したものに加え、各工程から発生するオフガスを処理する設備、分析設備、冷却水や冷水などを供給するユーティリティ設備などの設備を設ける。

5.2 主なプロセスの物質収支

50 t HM/y 金属燃料リサイクルプラントの主要プロセスのフロー図を図 5.2.1 に示す。このフロー図に基づき作成した物質収支を表 5.2.1、表 5.2.2 に示す。この

全体物質収支の要点について以下に、説明する。

- ① 使用済燃料のインベントリー量は、重金属約 45.2 t HM/y、FP 約 4.8 t HM/y であり、各燃料の内訳は次の通りである。
 - ・ 炉心燃料：重金属 34.4 t HM/y、FP 4.7 t HM/y
 - ・ 径方向ブランケット燃料：重金属 10.7 t HM/y、FP 0.1 t HM/y
- ② 製品の新燃料のインベントリー量は、重金属 50 t HM/y（そのうち、MA 0.2%、FP 0.1%）であり、各燃料の内訳は次の通りである。その他、Zr 約 5.6 t/y（全燃料物質の 10wt%）、ボンド Na 約 1.1 t/y、被覆管、ダクトなどの部材量約 9.4 t/y がある。
 - ・ 炉心燃料 39.2 t HM/y（炉心内側燃料 19.3 t HM/y、炉心外側燃料 9.6 t HM/y、軸方向ブランケット燃料 10.3 t-U/y）
 - ・ 径方向ブランケット燃料 10.8 t-U/y
- ③ 使用済燃料中 FP のうち希ガスは、前処理設備（せん断工程、ボンド Na 除去工程）からのオフガスとして排気筒から排気される。
- ④ 使用済燃料中の貴金属、その他の金属 FP は、電解精製工程で Cd プール中に残留し、この Cd を取り出し、Cd 蒸留処理し、廃棄物側へ移行する。但し、Zr（非 FP の Zr も含む）は、10%が電解精製により回収され、新燃料に利用されるものとする。
- ⑤ アルカリ金属、アルカリ土類、ハロゲン及び大部分の希土類元素は、TRU 還元抽出・塩処理工程で分離され人工鉱物廃棄物側へ移行する。但し、一部の希土類元素は電解精製にて重金属とともに回収されリサイクルされる。
- ⑥ 重金属は、TRU 還元抽出工程などを設置し、実験値などに基づき高回収率で回収するものとする。
- ⑦ プラント全体の重金属のロスは、次のロス分を考慮して 1%程度とする。
 - ・ 再処理設備でのハル付着残存の重金属のロスは、米国 ANL の FCF (Fuel Conditioning Facility 以下 FCF という) での実績をもとに、電解精製処理における陽極での重金属の溶解率 99.5% から、0.5% 程度とする。
 - ・ 廃棄物設備での廃棄物塩などに残存する重金属のロスは極めて小さい値 ($\leq 0.01\%$) にとどまる。
 - ・ 燃料製造設備の重金属のロスは、最終製品のモールド外部に付着する約 0.5wt% が廃棄物とする。
- ⑧ 増殖比を 1.2 と設定したために、Pu は約 970kg/y と余剰となる。この余剰 Pu は、陰極処理工程から払い出し、一定量の U を含むインゴットとして保管する。したがって、U、Pu とともに析出した Zr 及び MA と希土類 FP の一部も同伴するのでこれらも含めて保管される。
- ⑨ U 供給量は、炉心での燃焼の補償分に保管分を加えた約 6.5 t/y とする。
- ⑩ Zr の補充量は廃棄物側への移行に相当する分として約 0.85 t/y とする。
- ⑪ 燃料製造工程から払い出される新燃料中の MA 及び希土類 FP の割合は、それぞれ 0.3wt%、0.1wt% である。
- ⑫ 全核種の平均で見た希土類 FP の除染係数は約 35 である。

5.3 各設備の検討

5.3.1 燃料貯蔵設備

燃料貯蔵設備は、発電プラントから送られた使用済燃料集合体を一時貯蔵する設備である。この貯蔵容量は1年分、すなわち集合体262体分（炉心燃料（軸方向プランケット燃料含む）220体、径方向プランケット燃料41体）としている。

5.3.2 燃料受入れ設備

燃料受入れ設備は、燃料貯蔵設備より、集合体を取り出し、必要に応じて、燃料受入れ一時保管ピットで一時保管した後に、前処理設備へ移送する。このピットの容量は、プラントの処理容量及び移送用機器の故障時復旧時間（約2週間）を考慮して、集合体20体分としている。

5.3.3 前処理設備

前処理設備（解体・せん断設備）は、図5.3.1に示すように、集合体解体工程、ワイヤ除去工程・せん断工程及びボンドナトリウム除去工程からなる。本設備は、せん断時の燃料物質粉体の発生が少なく、装置内のクリーンアップの負担が比較的小さいことと各工程機器の処理能力に比較的余裕があることから、1系統の設備機器とし、炉心燃料と径方向プランケット燃料を交互に処理するキャンペーン操業運転としている。本設備の機器はアルゴンセル内に設けられる。

(1) 集合体解体工程

集合体解体工程は燃料集合体のエントランスノズル及びハンドリングヘッドを除去した後に、ラッパ管を切断し、燃料ピンを取り出す。取り出された燃料ピンは、内側/外側炉心燃料及び径方向プランケット燃料ピン毎にまとめてバッファに保管してワイヤ除去工程に送られる。本工程では、ラッパ管などの廃棄物は収集機によって収集し、廃棄物処理設備に送る。本工程設備は、万一燃料ピンが破損した場合ボンドナトリウムの漏れにも対応できるよう、アルゴンセル内に設ける。必要処理量（炉心燃料の場合、220体/200日=1.1体/日、径方向プランケット燃料の場合、41体/200日=0.2体/日）に対して、解体処理能力は、従来機の実績をもとに、1基の集合体解体機で、約2時間/体としている。

(2) ワイヤ除去工程

ワイヤ除去工程は燃料ピンせん断工程の前に燃料ピンに付けられたスペースワイヤを除去し、再処理設備に持ち込まないようにする。除去されたスペースワイヤは収集し、廃棄物処理設備に送る。必要処理量（炉心燃料の場合1.1体/日、径方向プランケット燃料の場合0.2体/日）に対して、ワイヤ除去処理能力は、1基のワイヤ除去機とし、炉心燃料ピンの場合約5.8時間/体、径方向プランケット燃料の場合約2.7時間/体としている。

(3) せん断工程

せん断工程は複数本の燃料ピン（炉心燃料ピン18本分、径方向プランケット燃料ピン5本分）をパレットに装荷し、送り出しながら、炉心燃料ピンは約10mm

程度⁵⁻¹⁾に、径方向プランケット燃料は約30mm程度に、せん断し、せん断片(燃料物質の詰まった部分、及びプレナム部下端のボンドナトリウムが詰まった部分)をシート経由、電解精製用の陽極バスケットへ装荷するものである。燃料装荷の陽極バスケットはボンドナトリウム除去工程へ送られる。プレナム部、下部端栓部は分配機により廃棄物收缶機に回収し、廃棄物処理設備へ送る。オフガスはフードにより捕集し、オフガス処理設備に導く。希ガスFPは総量の90%がここで回収されるものとする。必要処理量(炉心燃料の場合1.1体/日、径方向プランケット燃料の場合0.2体/日)に対して、せん断処理能力は、従来機の実績をもとに、処理能力は、せん断機1基とし、炉心燃料の場合約8.7時間/体、すなわち2.6体/日、径方向プランケット燃料の場合約5.5時間/体、すなわち約4.4体/日としている。

(4) ボンドナトリウム除去工程

ボンドナトリウム除去工程は、電解精製槽で使用する溶融塩(KCl-LiCl共晶塩)中にナトリウム(Na)が添加されると融点が上昇するので、燃料物質とともに再処理設備へ送られるボンドNaの量を低減させる。ボンドNaの除去は、Na除去の原理は減圧蒸留によるものとし、その条件はアルゴン気流中(減圧下)、500°Cで、下記の除去率の達成に5時間を要するものとする。本工程では、初期Na量の90%のNaが本工程で回収され、Na回収量は、炉心燃料分が4.36kg/日、径方向プランケット燃料分が0.66kg/日となる。このNa除去処理時に発生するオフガスはオフガス処理設備に導かれる。Naはオフガス処理設備にコールドトラップを設け、そこで回収して廃棄物処理設備(人工鉱物固化工程)へ送る。また、蒸発せずに滴下するNaは回収皿を設け、回収し、廃棄物処理設備へ送る。希ガスは、燃料物質中に残留する100%(総量の10%)が回収され、揮発性FPは総量の50%が回収されるものとする。Na中溶解FPについても総量の5%がここで回収されるものとする。必要処理量(炉心燃料の場合1.1体/日、径方向プランケット燃料の場合0.2体/日)に対して、処理能力は、上記の蒸留時間約5時間に昇温、降温時間も考慮して4バッチ/日(1バッチサイズ8陽極バスケットとすれば、32陽極バスケット/日(4バッチ分))で、1基のボンドNa除去装置とし、炉心燃料では1.74体(576ピン)/日、径方向プランケット燃料では1.26体(160ピン)/日としている。

再処理設備(電解精製工程)では、後述するように21炉心燃料陽極バスケット/日、及び、6径方向プランケット燃料陽極バスケット/日が処理されるので、本工程からは、これに応じた量を供給できる。但し、前処理設備側と、再処理設備側の運用を考慮して、再処理設備側に、陽極バスケットを保管するバッファを設けるものとする。

5.3.4 再処理設備

再処理設備(電解分離設備)は、図5.3.2に示すように、電解精製工程、陰極処理工程からなる。電解精製工程では、電解精製槽1基あたりの処理容量が臨界等の観点から制限されるため、50tHM/yの処理を行うには複数の電解精製

槽が必要となる。炉心燃料及び径方向プランケット燃料の処理は、燃料組成が大きく異なるために、キャンペーン操業は行なわず、それぞれに専用の電解精製槽を設け、平行して処理することとした。炉心燃料と径方向プランケット燃料を電解精製に用いる溶融塩は、後述する廃棄物処理設備の TRU 還元抽出・塩処理工程によって定期的にリサイクルされる。また、の一部はドロス処理工程から供給される。これらの設備機器はアルゴンセル内に設けられる。

以下に各工程について説明する。

(I) 電解精製工程

本工程は FP を除去し重金属を回収するためのものである。せん断片が入った陽極バスケットと陰極を電解精製槽に装荷し、溶融塩（浴塩）として KCl-LiCl 共晶塩を用いて温度 500°C にて電解精製する。U 回収には固体陰極を、U-Pu-MA 回収には液体 Cd 陰極を用いる。1 つの陽極バスケットに入れるせん断片の燃料組成と装荷量は、炉心燃料の場合、U9.8kg、Pu1.5kg、FP 約 1kg で、0.054 体 (18 ピン)、径方向プランケット燃料の場合 U9.8kg、Pu0.4kg、FP<<0.1kg で、0.039 体 (5 ピン) とする。このように、炉心燃料と径方向プランケット燃料とでは、Pu、FP 濃度が大きく異なるために、それぞれ、専用の電解精製槽で処理する。

陽極の電位は、重金属及び Zr が溶解するが被覆管やバスケットは溶解しない程度に保つ。燃料被覆管からの溶解率はこれまでの実績を考慮し次のように設定する。

- a. 重金属 : U、Pu、MA は、それぞれ 99.5%、99.9%、99.9%。⁵⁻²⁾
- b. Na 及びアルカリ金属 FP、アルカリ土類元素 FP、希土類元素 FP は 100% 溶解。
- c. 貴金属 FP は 10% がハルに残留、90% が Cd プールに落下。
- d. Zr の挙動については根拠となるデータが少なく、一部は、不純物と反応して ZrO₂ を生成する可能性があるが、今回の設計では、80% が中に溶解して固体陰極及び Cd 陰極で回収され、10% が陽極バスケットにハルと共に残留し、10% が Cd プールに移行する。⁵⁻³⁾

陰極の性能については、これまでの実績を参考に、固体陰極の場合、電流 170A で 20 時間の電解により約 10kg/陰極のウランを回収⁵⁻⁴⁾、また、Cd 液体陰極の場合、約 50kg の Cd を装荷して重金属を 10w/o まで回収、すなわち、電流密度 0.2A/cm² で 20 時間の電解により約 5.8kg/陰極の重金属を回収⁵⁻⁵⁾できるものである。電解精製運転は次の通りで、液体陰極への電解の開始時における中の U と Pu の濃度比は約 1:4 とし、析出物中の比率もほぼこれに従うとした。

- a. 炉心燃料 : 1 サイクル 4 日間の電解精製運転で、はじめの 3 日間は固体陰極への U 回収 (約 10kgU/陰極) で、との 1 日は Cd 液体陰極への U、Pu、MA 回収 (約 1.1kgU-4.5kgPu, MA/陰極)
- b. 径方向プランケット燃料 : 1 サイクル 10 日間の電解精製運転で、はじめの 9 日間は固体陰極への U 回収 (約 12kgU/陰極) で、との 1 日は Cd 液体陰極への U、Pu、MA 回収 (約 1.1kgU-4.5kgPu, MA/陰極)

また、希土類元素、MA の分離係数は下記の通り設定したが、これらは陰極中

で Pu が PuCd_6 を生成し、かつその他の元素が固相としては析出しない場合の分離係数と、仮想的に全元素が液体 Cd 中で固相を生成しないで分配するとした時の分離係数の平均である⁴⁷⁾。

- $\text{Np} : 1$
- $\text{Am+Cm} : 2.6$
- 希土類元素グループ 1 (Ce, Pr, Nd, Pm, 重希土類元素) : 30
- 希土類元素グループ 2 (La, Gd) : 100
- 希土類元素グループ 3 (Y, Sm, Eu) : 非常に高い値 (∞)

塩は、複数サイクルの操業を行う間（キャンペーンという）継続して使用するが、次のいずれかの条件に達した時点で TRU 還元抽出・塩処理工程へ移送して FP を除去して再生する。

- a. FP の蓄積による電解精製槽発熱量が制限値 15kW に達した場合。（この制限値は自然放熱にて槽表面温度が 200°C 程度以下に保つことを条件として、自然放熱除熱の簡易評価をもとに設定）
- b. 電解精製槽内中ボンド Na の蓄積により、融点が制限値に達した場合。
(NaCl は LiCl-KCl 塩中に 10mol%まで許容できるとした。1,250kg の塩中では約 58kg 以下となる)

定常的な操業時における電解精製槽中の組成と発熱の推移の評価結果を図 5.3.3、図 5.3.4 に示す。これをもとに、次の通り、塩、Cd プール処理の頻度を設定した。なお、Cd プールは発熱核種である Rh と Sb が蓄積し、これらの発熱量が上記の制限に達した場合には、Cd の 90%を取り出して Cd 蒸留装置にて蒸留を行い、精製 Cd を電解精製槽に払い戻すとともに、貴金属 FP、Zr 等は固体廃棄物処理設備へ送られる。

- a. 炉心燃料用電解精製槽：塩及び Cd プールは、発熱制限により 1 回/20 サイクル (80 日) の頻度で処理を行う。
- b. 径方向ブランケット燃料用電解精製槽：Cd プールは発熱制限により、1 回/16 サイクル (160 日)、すなわち 1 回/年の頻度で処理を行う。塩は Na 蓄積制限の点からは、1 回/128 サイクルすなわち 1 回/8 年の頻度で処理を行う。

電解精製槽には、TRU 還元抽出・塩処理工程で除去された活性元素 FP (アルカリ金属、アルカリ土類、希土類元素) に相当する補充分として UCl_3 を加えるが、この UCl_3 は、一部をドロス処理工程から、残りは外部から供給する。また、 KCl-LiCl のロス分も補給する。

処理済陽極バスケットは、高速回転などで付着塩を除去し、ハルを取り出し後に前処理設備へ戻される。取り出したハルは廃棄物処理設備に送られる。回収物は陰極毎に取り出して、冷却後、陰極処理工程に送られる。

炉心燃料の場合、必要処理量 1.1 体/日 (211 体/200 日) に対して、処理能力は、陽極バスケット内燃料の溶解と陰極への析出処理時間を陰極回収速度 (約 20 時間/陰極) にハンドリングなどを考慮して 1 日とすれば、1 基当たり 3 陽極バスケット/基の処理槽で、7 基分として、1,134 体 (378 ピン) /日となる。一

方、径方向プランケット燃料の場合、必要処理量 0.2 体/日 (41 体/200 日) に対して、処理能力は、陽極バスケット内燃料の溶解と陰極への析出処理時間を 1 日とすれば、1 基当たり 3 バスケット/基の処理槽で、2 基分として、0.234 体 (30 ピン) /日となる。

電解精製槽内 Cd プールの処理を行う Cd プール蒸留装置については、使用頻度が少ないとから 1 基とする。

(2) 陰極処理工程

本工程は、電解精製工程の陰極析出物を熱処理して付着物を除いて燃料物質インゴットを得て、これを燃料製造設備側に送るものである。また、この過程で、燃料物質の成分分析を行い、計量管理、品質管理のためのデータを得る。

電解精製工程からの固体陰極析出物と液体 Cd 陰極析出物は、別々に陰極処理を行う。固体陰極析出物は塩が付着した状態で供給されるので、真空熱処理にて塩蒸留、燃料物質溶解を行う。また、液体 Cd 陰極析出物は Cd との混合物に塩が付着している状態で供給されるので、真空熱処理にて Cd 蒸留、塩蒸留、燃料物質溶融を行う。得られた燃料物質インゴットは必要に応じて一時保管した後、燃料製造設備へ送る。

蒸発回収された Cd は電解精製工程へ戻し、再使用される。塩はドロスとともに廃棄物処理設備（ドロス処理工程）へ送られる。

固体陰極処理の場合、電解精製工程で得られる固体陰極数は、炉心燃料が $3 \times 7 \times 3 = 63$ 個/4 日、径方向プランケット燃料が $3 \times 2 \times 9 = 54$ 個/10 日であり、必要処理数は 21.2 個/日となるのに対して、処理能力は、処理時間が装荷、取り出し及び昇温、冷却のすべての操作を含むものとし、FCF の実績を考慮して、1 日/バッチであることから、処理量 6 陰極 (約 60kgHM) /日・基の処理装置 4 基を設け、24 個/日となる。一方、液体 Cd 陰極処理の場合、Cd 陰極の必要処理数は 5.9 個/日 (炉心燃料 $3 \times 7 \times 1 = 21$ 個/4 日、径方向プランケット燃料 $3 \times 2 \times 1 = 6$ 個/10 日) となるのに対して、処理能力は、処理時間が 1 日/バッチであることから、処理量 1 陰極 (約 5.5kgHM) /日・基の処理装置 6 基を設け、6 個/日となる。ここで、処理量 1 陰極 (約 5.5kgHM) は、臨界安全の観点から制限している。

5.3.5 燃料製造設備

本設備は、図 5.3.5 に示すように、燃料ピン製造工程と集合体組立工程からなる。燃料ピン製造工程はアルゴンセル内に設置され、陰極処理工程で得られた燃料物質インゴットと、新 U 金属 (燃焼補償分)、ならびに新 Zr (ロス補償分) を原料として、炉心燃料仕様に応じて富化度調整された U-Pu-10wt%Zr 合金スラグ、及び径プランケット燃料用の U-10wt%Zr 合金スラグを射出成型し、ボンド Na とともに被覆管に充填して端栓溶接を行う。ここで、炉心燃料スラグには、U、Pu とともに回収された MA、及びこれに付随する RE が若干量含まれる。集合体組立工程は空気セルとし、ワイヤ巻き付けなどを行って燃料ピンを完成し、ピン束・ダクト・エントランスノズル・ハンドリングヘッドなどから燃料集合体を組立てた上で、必要に応じて設備内のピットで一時保管した後に、新燃料

貯蔵設備へ払い出す。射出成型を主体とする金属燃料の製造工程では、燃料粉体を扱わないのでセル内が汚染する可能性は小さい。そこで、炉心燃料と径プランケット燃料を同じセルで、装置を兼用してキャンペーン操業によって製造するものとした。

(1) 燃料ピン製造工程

本工程では、まず、陰極処理工程で得た U-Zr 金属と U-Pu-Zr (-MA-RE) 金属インゴット、及び新 U、Zr を用いて、富化度仕様に応じた原料を準備し、これを射出成型用のるつぼに装荷する。ここで、陰極処理工程からのインゴットは必要に応じてバッファに保管されているものとする。また、後述のヒール、スクラップも原料の一部として用いる。なお、富化度調整において、Pu 同位体効果の補正是等価フィッサイル法によるものとする。原料をるつぼに入れ、高温にて射出成形し、モールド下端部を溶湯に浸漬し、鋳込み、モールドを引き上げ、冷却し取り出す。原料の装荷、及び部品の交換などの準備作業から、射出済みのモールドを冷却して取り出し、クリーンアップなどの後処理作業を完了するまでに約 8 時間を要するものとする。すなわち、3 バッチ/日の処理が可能である。射出成型時に、モールドに鋳込まれずるるつぼに残る燃料物質（ヒール）は、毎回るつぼを取り出して回収する。なお、ヒールのうち一定量（製品重金属量の約 3%、すなわち、るつぼ装荷重金属量の約 1.5% に相当する U）はるつぼコーティング材と反応し UO_2 となっていると想定する。この部分は機械的に分離して、ドロス回収工程へ送るものとする。回収ヒールは適当なサイズに分割し、射出成型の原料へと戻す。ピンプロセッサでの検査で仕様を満たさないスラグは、スクラップとして回収する。また、燃料ピン組立装置の検査で不合格となったピンの燃料スラグもスクラップとする。この際には、端部を切断してスラグを抜き出し、被覆管は固体廃棄物処理工程へ、ボンド Na は人工鉱物固化工程へ送る。スクラップスラグは適当な長さに切断し、長さ調節のための切り落とし片とともに射出成型の原料へと戻す。除去されたモールドは廃棄物処理設備へ送られる。この際、モールド（主に外面）に付着している燃料物質も廃棄物となる。このロス分を製品重金属量の 0.5% と想定する。現状の技術レベルを考慮して設定した各段階における歩留りを図 5.3.6 に示す。製品に対する重量比で、ヒールが約 60%、スクラップはリーク検査不合格分も含めて約 40% 生じるものとする。したがって、射出成型全体での歩留りは約 50% であり、射出成型の必要量は最終的な製品量の約 2 倍となる。ピンプロセッサでの所要時間は、寸法検査、重量検査を含めて 2 分/本（720 本/日）とする。燃料ピン組立装置での所要時間も、リーク検査、表面汚染検査を含めて 2 分/本とする。

処理能力については次の通りである。

200 日の操業で製造する炉心燃料は、363.7 本/日（72,723 本/200 日）、内訳は内側炉心 242.4 本/日（48,482 本/200 日）、外側炉心 121.2 本/日（27,273 本/200 日）、径プランケット燃料は、26.3 本/日（5,257 本/200 日）である。ピンプロセッサ、燃料ピン組立装置は、上述のように 1 基あたり最大 720 本/日の処理能力を有しており、必要処理量に対して大きな余裕がある。一方、射出成型

装置では臨界制限があり、1基あたりの処理能力が限られるため、複数基を設けることが必要となる。原料の富化度調整については、射出成型における1バッチの処理時間8時間内で十分に可能であると考える。すでに述べたように、本工程ではキャンペーン操業を採用したため軸プランケット燃料スラグ、内側炉心燃料スラグ、外側炉心燃料スラグ、径プランケット燃料スラグの必要数を順次製造することになる。しかし、この場合、プランケット燃料スラグを製造する間、陰極処理及びヒール&スクランプ処理から供給されるPuを含む合金原料を保管しておく必要がある。また、集合体に組立てられるまでの間、製造されたスラグを保管しておくことも必要となる。したがって、設備合理化の観点からは、これらの保管量が小さくなるようにスラグ製造手順を設定することが望ましい。具体的には、合金原料の保管量低減のためには、炉心燃料スラグとプランケット燃料スラグを極力短い間隔で交互に製造することが有効であり、製品スラグの保管数低減のためには、できるだけ集合体単位で各スラグを製造することが望ましいことになる。炉心燃料用の射出成型装置では、1バッチあたりのPuの装荷量を1つのCd陰極分(1陰極処理バッチ)、すなわち約4.5kgとした。これは臨界安全性に関する点から、制限量約5.5kgに対して余裕のある値である。一方、軸方向/径方向プランケット燃料ピンの射出においては、臨界安全性の観点からの制限はないが、原料やモールドパレットのハンドリング等を考慮して装荷重金属量/バッチを50-60kgとしている。これらの装荷重金属量と、燃料ピン重量から、バッチあたりの射出成型能力は次のようになる。

射出成型諸元 1/バッチ	内側炉心	外側炉心	軸プランケット	径プランケット
a. 装荷重金属量 (kg)	36.6	26.2	50.0	55.0
b. モールド長さ (mm)	550	550	550	550
c. スラグ長さ (mm)	425	425	450	383
(ピンあたりスラグ数)	2	2	2/3	3)
d. 射出分/装荷量 (%)	約70	約70	約70	約70
e. 製品/装荷量 (%)	約50	約50	約50	約50
f. スラグ製品本数	90	66	119	36
g. 相当燃料ピン数	45	33	178	13
h. 相当集合体数	0.136	0.100	0.538	0.104
i. 必要バッチ数/体	7.35	10.00	1.86	9.67
(必要集合体数/200日)	146.5	73.2	219.7	41.4)
j. 必要バッチ数/200日	1077	732	408	440

上述の射出成型装置の能力は、所定のスラグ数(集合体数)を製造するのに、内側炉心燃料ピン1,077バッチ/200日、外側炉心燃料ピン732バッチ/200日、軸プランケット燃料408バッチ/200日、径プランケット燃料440バッチ/200日、合計2,657バッチ/200日の処理が必要となる。また、前述のように、各射出成型装置では3バッチ/日の操業が可能である。したがって、射出成型装置

を5基設け、最大処理容量を3,000バッチ/200日としている。集合体単位で製品スラグを得、かつ、極力短いサイクルで炉心燃料スラグとプランケットスラグの製造を交互に行う目安として、各集合体の本数比（内側：外側：径プラ＝146.5:73.2:41.4～6:3:2）に基づいて、それぞれ6体、3体、2体、計11体を製造するキャンペーンを考える。同一仕様スラグのみを同時に射出するという制限から、5基×1バッチ（8時間＝1/3日）を操業の単位とすれば、これらの集合体の製造に要する期間は次の通り8日間となる。

キャンペーン例	径プランケット→	軸プランケット→	外側炉心→	内側炉心
a. バッチ数	20	20	30	50
b. 操業日数	4/3	4/3	2	10/3
c. 最大製造可能集合体数	2.08	10.76	3	6.8
d. 実際の製造集合体数	2	9	3	6
e. 実際の製造ピン数	254	2979	993	1986

200日間にこのキャンペーンを25サイクル行うこととすれば、内側/外側炉心燃料及び径プランケット集合体の製造能力は、それぞれ150体、75体、50体となり必要数が満たされる。このキャンペーン例では、8日間に80バッチのPuを含む合金原料の射出が行われる。この原料の約半量、すなわち約40バッチ分が陰極処理製品である。（陰極処理工程では約6バッチ分/日、8日間では48バッチ分のCd陰極処理製品が得られるが、このうち約20%の8バッチ分は余剰分として保管されることになる。）そして、8日間キャンペーンのうちプランケット燃料スラグの製造期間が約1/3であることから、 $40/3=13.3$ バッチ分のCd陰極処理製品（約60kg-Pu、約73kg-HM）、及び同様に考慮したヒール&スクラップ分（約60kg-Pu、平均Pu富化度14%を仮定して約428kg-HM）を、最低限必要なPuを含む合金原料の保管量の目安とできる。但し、実際には、富化度調節の観点からこの数倍の陰極処理製品の保管が必要となることもあり得る。これらの保管にあたっては、合金を適当な大きさに分割した上で、臨界を防止できる体系をとる（ラックを設ける）必要がある。Puを含まないU合金については、陰極処理製品の保管はほとんど不要であるが、やはり数バッチ分のヒール&スクラップの保管は必要と考えられる。一方、製品スラグについては、軸プランケット燃料分の保管は必要であるが、炉心燃料分についてはほとんど保管の必要はないことになる。但し、実際の運用上はPu製品スラグも1～2体分程度を保管することが必要となり得ると考えられる。その場合には、臨界の防止が考慮されたラックを設けるものとする。臨界防止のための合金塊の処理を考えると、Pu合金原料の保管の負担は比較的大きいであろう。一方、一定量の製品スラグの保管は不可決である。そこで、より短いキャンペーンを組み、原料の保管量を低減することがより合理的となることも考えられる。ピンプロセッサでの所要時間は2分/本であるので、実質稼働率を考慮して炉心燃料用に2基、軸プラ及び径プラ用に各1基、合計4基を設ける。また、組立

にも 2 分/本を要するので、炉心燃料用及びプランケット燃料用に各 1 基の組立装置を設ける。製造された燃料ピンは、リーク検査・表面汚染検査に送られる。検査は多数本をまとめて行うものとし、検査装置は炉心燃料用及びプランケット燃料用に各 1 基を設ける。なお、ここでの不合格品はせん断工程へ戻すものとする。

(2) 集合体組立工程

設備は 1 系列であり、キャンペーン操業の燃料ピン製造工程から供給される燃料ピンをもとに順次集合体を組立てる。Na ボンディング装置では、円筒容器中に 200 本程度の燃料ピンをまとめて装荷し、200~500°C に加熱して所定の時間加振する。これにより、スラグと被覆管の間にボンド Na を均一に分布させる。処理後は、Na 凝固時のひけ巣発生防止のためにピン下端部から上方に順次冷却する。燃料ピン検査装置では、全長、外径、曲がりについて全数検査を行う。不合格ピンはせん断工程へと戻すべきである。但し、この段階での不合格率はごく小さいものと考え、今回の設計ではこの分はマテリアルバランスに取り入れなかった。また、ボンド欠陥の検査（スラグ位置、Na 中ボイド、Na 液面高さなど）のために、渦電流探傷及び X 線観察を行う。ここで不合格となったピンについては、再度 Na ボンディングを行う。ワイヤラッピング及び集合体組立における処理は、従来の酸化物燃料におけるものと同様である。検査済の燃料ピンについては、集合体組立までの待ち時間を考慮して、1~2 体分を保管できるラック（臨界防止を考慮）を設ける。

処理能力については、装荷/取り出しなどの作業を含めても Na ボンディングに要する時間は 8 時間程度であると仮定し、1 日あたり 3 パッチの操業を行うものとする。したがって、1 基の装置で必要量（約 400 ピン/日）を処理できることになる。ピン検査、及びワイヤラッピングについては、約 2 分/本を要するものとし（最大 720 本/日）、これも各 1 基の装置を設けることとする。ピン束の製作、ダクト・遮へい・エントランスノズル・ハンドリングヘッドの溶接などを行う集合体組立装置の処理能力は、1 体/半日程度を期待できることから、1 基とする。

5.3.6 新燃料払い出し設備

本設備は、検査に合格した燃料集合体を燃料払い出し一時保管ピットにて一時保管し、燃料貯蔵設備に払出すための設備であり、このピットの容量は、プラントの処理容量及び移送用機器の故障時復旧時間（約 2 週間）を考慮して、製品の燃料集合体 20 体分としている。

5.3.7 新燃料貯蔵設備

燃料貯蔵設備は、製品の新燃料集合体を発電プラントに払い出すまで、一時貯蔵する設備である。この貯蔵容量は 1 年分、すなわち製品の新燃料集合体 262 体分としている。

5.3.8 廃棄物処理設備

本設備は、TRU 還元抽出・塩処理工程、陰極処理工程、ドロス処理工程、人工鉱物固化工程、及び各工程からの固体廃棄物を処理する工程などからなる。本設備の TRU 還元抽出・塩処理工程などはアルゴンセル内に設けられる。なお、このほかに、低・中・極低レベルの放射性廃液処理工程などもあるが、ここでは割愛している。

(1) TRU 還元抽出・塩処理工程

TRU 還元抽出・塩処理工程工程は、図 5.3.7 に示すように、電解精製工程から使用済浴塩を受け取り、使用済塩から向流多段抽出器により、TRU を還元抽出し、ゼオライトカラムにて中 FP を除去した後、この還元された TRU を酸化剤 CdCl_2 を含む塩化物により再酸化する。また、TRU 還元抽出のために還元剤 (Cd-Li-K) の供給などを備える。また、セル外には TRU を再酸化するために酸化剤の製造などを備える。

TRU 還元抽出の性能は、分離係数のデータベース⁵⁻⁶⁾をもとに、本工程で抽出、回収されずにロスとなる Am (Cm) が全処理量（使用済燃料中の全量）の 0.5% となるように抽出段数を 3 段とした。各元素の本装置における U、Np、Pu、Am (Cm)、RE (Nd 等)、RE (La, Gd) の回収率は、それぞれ、99.996%、99.89%、99.79%、99.65%、20%、5% となる。

ゼオライトカラムの性能、すなわち各元素の吸蔵率は、3 価のアクチニド (U、Pu、Np、Am、Cm) と希土類 (Y、Nd、La 等) が 98%、2 価のアルカリ土類 (Sr、Ba) と希土類 (Eu、Sm) が 95%、アルカリ金属 (Cs など) 95% であり、Li、K、Na は吸蔵されない。

炉心燃料用電解精製槽 (7 基) からは、80 日間の電解精製キャンペーン終了毎に、使用済み 1,870kg (約 1,200L) が TRU 還元抽出工程側に払い出される。これは向流多段抽出器にて 1 バッチ当たり 624kg の塩を抽出処理するとすれば、21 バッチ分となる。径方向ブランケット燃料用電解精製槽 (2 基) からは 1280 日間の電解精製キャンペーン終了毎に 6 バッチ分の使用済が発生するので、これらを TRU 還元抽出、塩処理する。今回の設計ではこの量が操業中に平均して発生するものとする。これは各電解精製槽の運転を適切にコントロールし、かつ使用済塩受槽によって調節を行うことで可能と考える。この想定によると、1 系統の TRU 還元抽出・塩処理工程工程で、炉心燃料用電解精製槽使用済塩の必要処理時間約 3.8 日 (約 90 時間) / バッチ以下に対して、1 バッチの処理時間は、TRU 還元抽出約 17 時間、再酸化処理約 5 時間、 CdCl_2 製造約 10 時間、ゼオライトカラム処理：約 12 時間で、合計約 44 時間/バッチとなる。

径方向ブランケット燃料用電解精製槽 (2 基) からの使用済塩は、213 日/バッチの処理時間となるが、これは、200 日/y 操業後に対応可能である。なお、TRU 還元抽出と、再酸化及び CdCl_2 製造を平行して行えるように、系内には 2 バッチ分の Cd (9.4t) を保有する。

(2) ドロス処理工程

本工程では、図 5.3.8 に示すように、陰極処理と射出成型で発生するドロス

(主成分は UO_2) と陰極処理で回収される LiCl-KCl 塩を受け入れ、 $ZrCl_4$ 、金属 Zr を添加して、ドロスを次の反応により 3 倍の塩化物に調整する⁴⁻⁸⁾。



調整した塩化ウランは、LiCl-KCl とともに電解精製工程に戻す。塩化処理にはドロス塩化槽を用い、塩と ZrO_2 の分離は遠心分離機によって行う。必要処理量は、電解精製工程へ戻す UCl_3 換算で 1 日あたりの 15.1kg (LiCl-KCl 48.5kg) に対して、1 基の塩化槽により温度 500°C で 5 時間の処理を行うものとする。

(3) 人工鉱物固化工程

本工程は、TRU 還元抽出・塩処理工程から出る使用済塩を吸蔵したゼオライトを人工鉱物固化処理するものである。塩化物はホウケイ酸ガラスへの溶解度が極めて低いため、使用済塩を吸蔵したゼオライトをそのままガラス固化することは困難と考えられる。ガラス固化法を適用するためには、ゼオライト中の塩を酸化物に転換することが必要となるが、これは経済的な方策ではないと考える。このため、今回の設計では、ANL 及び電力中央研究所で研究されている人工鉱物固化（ガラス結合ソーダライト化）の技術を適用した⁵⁻⁸⁾。

添加するガラスフリットとして、燃料ピン製造工程からのモールド廃棄物のを用いることとした。実際には、 B_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Li_2O 、 ZnO 等を外部から加えて成分を調整する必要が生じるが、ここではモールドのシリカのみを添加した。また、Na を酸化した Na_2O もガラスフリットの一部として用いることとした。Na 量は、10% 以下とした。使用済塩吸蔵ゼオライトとこれらのガラスフリットを封入した缶を HIP (Hot Isostatic Press、以下 HIP という) 処理し、その処理後の缶は、さらに廃棄物保管容器に封入して、廃棄物として貯蔵する。

使用済ゼオライトは、炉心燃料用電解精製槽の塩の処理により 80 日間に $7 \times 3 = 21$ 本（年間；200 日操業では 52.5 本）、径方向プランケット燃料用電解精製槽の塩の処理より 1280 日間に $2 \times 3 = 6$ 本（年間に 0.9 本）発生するので、HIP において、約 3.74 日に 1 本の使用済ゼオライトを処理することになる。

(4) 高放射性固体廃棄物処理・貯蔵設備

高放射性固体廃棄物処理工程では、解体・せん断設備、電解精製設備から払い出されたラッパ管等集合体部材、スペーサワイヤ、ハルを受入れ、計量した後、セメント充填して封缶、表面汚染検査を行う。これらの処理ために専用のセルを設け、1 系統（各 1 基）の工程とする。貯蔵設備は、人工鉱物固化工程及び高放射性固体廃棄物処理工程から発生する人工鉱物固化体、ラッパ管等構造体入り長ドラム缶、ハル缶、ワイヤ収集缶、セメント固化体を受入れ、ラック方式の貯蔵方法にて、1 年分一時貯蔵する。次の a～f に主要な廃棄物の処理法を説明する。また、これらの固化体の発生量を表 5.3.1 に示す。

高放射性固体廃棄物処理工程から移送台車を用いて貯蔵庫エリアに廃棄物（缶）を搬入し、受け入れる。貯蔵エリアは、廃棄物用缶の形状によって貯蔵エリアを分別しており、長ドラム缶、ハル缶、ワイヤ収集缶、コンクリート固化体の各々のエリアに、クレーンを用いて定置し貯蔵を行う。

a. ラッパ管等集合体処理

解体・せん断設備の廃棄物収缶機より払い出されたラッパ管等構造体、及び端栓、プレナム部は圧縮減容後、長ドラム缶に入れ、計量し、封缶装置にて蓋を取付ける。長ドラム缶は、表面汚染検査した後、移送台車に載せて高放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送する。ラッパ管等集合体部材の発生量は、

73.0t/yである。SUSの密度を 7.9g/cm^3 とし圧縮後のかさ密度をこの約1/2の 4g/cm^3 と仮定すると $18.3\text{m}^3/\text{y}$ となり、固化体発生量は、200Lドラム換算で92本/yとなる。また、端栓、プレナム部の発生量は16.8ton/yである。SUSの密度を 7.9g/cm^3 とし圧縮後のかさ密度をこの約1/2の 4g/cm^3 と仮定すると $4.2\text{m}^3/\text{y}$ となり、固化体発生量は、200Lドラム換算で21本/yとなる。この廃棄物はセメント固化処理することも考慮する。

b. ハル処理

電解精製装置より払い出されたハルをハル缶に入れ・計量し、洗浄後圧縮減容する。減容後、所定の容器に入れ、封缶装置にて蓋を取り付ける。表面汚染検査した後、移送台車に載せて高放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送する。ハル発生量は4.36t/yである。SUSの密度を 7.9g/cm^3 とし圧縮後のかさ密度をこの約1/2の 4g/cm^3 と仮定すると1,090Lとなり、固化体発生量は、200Lドラム換算で6本/yとなる。この廃棄物はセメント固化処理することも考慮する。

c. Cd蒸留残渣処理

電解精製槽のCdプールの蒸留処理により発生する貴金属FPを含む残渣の発生量は1.9t/yである。残渣の密度を 10g/cm^3 とすると、 $0.19\text{m}^3/\text{y}$ となり、固化体発生量は、200Lドラム換算で1本/y程度となる。なお、セメント固化または、洗浄後容器へ封入して保管する。この廃棄物はセメント固化処理することも考慮する。

d. 人工鉱物固化処理

人工鉱物固化工程は、上記(3)にて説明しているが、整理すると、廃棄物発生量は21.5ton/yであり、ガラスとして廃棄物である Na_2O 約1.8t/y、モールド廃棄物シリカ約10t/yを添加し、固化処理する。HIPの減容比約2を考慮し、人工鉱物固化体発生量は、150Lドラム換算で約92本/yとなる。

e. るつぼ処理

陰極処理装置、射出成型装置から払い出される廃棄グラファイトるつぼは、破碎機にて細かくした後、焼却処理する。若干量ではあるが、Cd陰極に用いるベリリアるつぼは、破碎処理した後、ドラム缶に入れ、計量し、これにセメント、砂、混和材及び水を加えてセメント固化装置にて混合し、ドラム封缶装置にて蓋を取り付ける。ドラム缶は、表面汚染検査した後、移送台車に載せて高放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送する。るつぼは、陰極処理用るつぼと射出成型るつぼを合わせて11.7t/yあり、200日/yで焼却処理することで、焼却能力は1基の約60kg/日となる。わずかに発生する焼却灰はセメント固化する。

f. モールド、ドロスの処理

廃棄モールドのうち、人工鉱物固化に用いる分を除いた廃棄物発生量は約3.0t/yであり、粉碎処理にて約 $4.0\text{m}^3/\text{y}$ とし、セメント固化する。この固化体発生量は、200Lドラム換算で40本/y程度となる。またドロス処理工程から払い出される廃棄物発生量は約2.6t/y($0.5\text{L}/\text{y}$)となり、同様に、セメント固化する。この固化体発生量は、200Lドラム換算で6本/y程度となる。セメント固化処理能力は1基の約1本/日となる。

(5) 低放射性固体廃棄物処理、貯蔵工程

各設備で発生する低放射性固体廃棄物は、性状(可燃物、難燃物、金属類、その他雜固体)に応じて分別され、除染、封缶後、払い出されるものとする。本工

程では、これらを収集し、次の通り処理する。これらの設備は、1系統の機器、装置を設置する。低放射性固体廃棄物は原則として200Lドラムに収納されるものとする。

- a. 可燃物・難燃物：各設備から集められた可燃物・難燃物は焼却される。焼却灰はドラム缶に集められ、移送台車によって低放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送される。
- b. 金属類：各設備から集められた金属類は、高圧圧縮装置により圧縮・減容される。圧縮された金属類は、ドラム缶に再充填されてチャンバより取り出される。その後、汚染検査、蓋の取付けを行って、移送台車によって低放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送される。
- c. その他雑固体：その他雑固体廃棄物については、特に処理は行われず、各設備で発生した状態で移送台車に載せられ、低放射性固体廃棄物一時貯蔵設備へ移送される。

これらの貯蔵容量は1年分としており、ドラム缶に封缶された形態で受入れ、貯蔵するもので、低放射性固体廃棄物（ドラム缶）は移送台車を用いて作業員により本設備に搬入され、本設備へ受け入れられた廃棄用ドラム缶は、リフターなどの揚重機器を用いて本設備の貯蔵ラックに収め貯蔵する。

5.3.9 オフガス処理設備

オフガス処理設備は、各種オフガス処理工程及びアルゴンセル净化設備の2つの設備から構成される。

(1) 各種オフガス処理工程

本工程では、せん断設備、電解精製設備から発生するオフガスを、微粒子及び揮発性、準揮発性物質（Cs、ヨウ素）、トリチウムを除去処理した後、排気筒から排気処理する。また、塩素ガス液化・分離後に放出されるアルゴンガスをHEPA フィルタの上流に接続し、処理後放出する。本施設から発生する Kr-85、C-14、H-3 の量と、800 t HM/y 規模の軽水炉用湿式再処理施設からの放出量との比較 (HMton 当たりに換算) を表 5.3.2 に示す。Kr-85 は軽水炉用湿式再処理施設より 1.5 倍大きいが同オーダーである。軽水炉用湿式再処理施設の全ての気体廃棄物による実効線量当量は 0.017 mSv/y (Kr-85 は 3.3×10^{17} Bq/y 放出) と極めて小さい。したがって、本施設では除去設備は不要である。C-14 も同オーダーであり、除去設備は不要とした。H-3 は全放出量が同オーダーであるが、1 HMton 当たりの放出量を同等以下にするものとすると除去設備が必要となる。

(2) CdCl₂ 製造槽塩素ガスリサイクル工程

本設備は、CdCl₂ 製造槽で使用した塩素ガスの余剰分から不要なものを除去・分離して、再度 CdCl₂ 製造槽へ供給するためのものである。CdCl₂ 製造槽からの余剰塩素ガスは回収しタンクに貯蔵する。すなわち、オフガス中から不純物を除去し、塩素を液化、貯蔵してから、塩素を再利用するプロセスを採用した。塩素ガス液化法は、高圧法（常温 × 10 atm 程度）、中圧法（約 0°C × 4 atm 程度）、低圧法（約 -40°C × 1 atm 程度）が考えられるが、今回、低圧法（1 atm 程度）を計画している。塩素ガスには塩中に含まれるヨウ素などが同伴する可能性があるので、ヨウ素を除去する。その後、CdCl₂ 製造槽からの回収塩素ガスと統合する。除去したヨウ素は再度 250°C 程度に加熱し、オフガス処理設備へ送られ処理する。統

合オフガスは、微量な水分（水蒸気）が含まれるので、これを除去するために硫酸洗浄処理を計画している。水分除去後のオフガスを-40℃程度に冷却し、ガス中の塩素を液化して回収する。この際、塩素以外にオフガスに含まれるアルゴンガスの沸点は-180℃程度なので、液化塩素の方へは移行しない。回収後の液化塩素はポンベ等に貯蔵する。貯蔵した塩素ガスは、再度気化して、TRU 還元抽出・塩処理工程の CdCl₂ 製造槽に供給し、反応に寄与しなかった塩素は、本設備に回収する。

5.3.10 アルゴンセル净化・冷却設備

アルゴンセル净化・冷却設備はセル雰囲気をセル内装置運転に適切な状態に維持する。セル雰囲気を循環し、その間に酸素、水分、窒素を除去する。除去成分は酸素、水分、窒素である。それぞれの制限値/運転管理値を表 5.3.3 に示す。制限値は、FCF での設計値を考慮して、水分 100ppm、酸素 100ppm、窒素 1000ppm としている。また本設備は、アルゴンセル内アルゴンをセル外に設けた冷却装置に通し、セル内電解精製槽、陰極処理装置などの機器から発生する発熱分冷却し、セル内に戻す循環運転によりアルゴンセル内温度を一定に維持する。

5.3.11 その他の主要な設備

その他の主要な設備として、分析設備、ユーティリティ設備、保守設備などがある。分析設備は、プロセス運転管理、製造燃料の品質管理、計量管理などのためのもので、対象機器などから試料をサンプリングし、分析室まで移送し、分析するものある。分析時には廃液などの廃棄物が発生するのでこれを処理する必要がある。ユーティリティ設備は、安全系と一般系の冷却水系、冷水系、圧縮ガス系があり、アルゴンガスの供給、蒸気の供給に関する設備などがある。

保守設備は、各セルに、保守のためのインセルクレーンとパワーマニピュレータをセル内に設置している。遮蔽壁にはマスタースレーブマニピュレータを設置し、単独又は協調の作業によって保守する。また、保守要員が立入困難なセルについては、パワーマニピュレータを 2 基設置し、万一眼に故障した場合でもメンテナンスが可能となるようにした。セル内外との取合いは、台車及びインセルクレーンにより行うこととしている。

表 5.2.1 50 t HM/年金属燃料サイクル施設主要工程物質収支表（単位：kg/日）

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
機器名		ボンド Na 除去槽	電解精製槽			陰極処理装置			電解 精製槽	塩処理系	セオライト カラム	
形態	使用済 燃料	ボンド Na	浴塩調整 用 UCl ₃ *	固体陰極 析出物	液体 Cd 陰 極 析出物	廃棄物 (ハル、 その他)	金属 U	U-TRU 合金	ドロス* (酸化物)	使用済 浴塩	再生浴塩 (電解精 製槽へ)	塩吸蔵 セオライト
U	199.96	-	15.07	207.74	6.27	1.00	201.51	5.94	6.56	4.26	4.26	-
Np	0.10	-	-	-	0.10	-	-	0.99	0.01	0.05	0.05	-
Pu	25.13	-	-	-	25.08	0.03	-	24.33	0.75	12.00	11.98	0.02
Am+Cm	0.61	-	-	-	0.60	-	-	0.58	0.02	0.86	0.86	-
ALM	2.70	1.35	-	-	-	-	-	-	-	1.41	0.06	1.35
ALE	1.38	0.14	-	-	-	-	-	-	-	1.30	0.06	1.24
希土類 1	1.02	-	-	-	-	-	-	-	-	1.06	0.04	1.02
希土類 2	0.93	-	-	-	0.01	-	-	0.01	-	0.99	0.06	0.92
希土類 3	4.98	-	-	-	0.24	-	-	0.23	0.01	6.00	1.26	4.74
NM	7.83	0.30	-	-	-	7.52	-	-	-	-	-	-
HG	0.24	0.12	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.12
ボンド Na	5.58	5.02	-	-	-	-	-	-	-	5.12	4.56	0.56
Zr	27.77	-	-	19.32	2.90	5.56	18.74	2.81	0.67	-	-	-

* ドロス処理工程で U を UCl₃ で回収し、電解精製槽に浴塩調整用 UCl₃ として戻す。

希土類 1 : Y, Sm, Eu (アルカリ土類金属と似た挙動をする希土類元素)

希土類 2 : La, Gd

希土類 3 : Ce, Pr, Nd, Pm 他

表 5.2.2 50 t HM/年金属燃料リサイクル施設各元素の製品、環境放出、廃棄物への移行率

元素名	製品側		環境放出		廃棄物		その他
	ウラン製品 移行率	TRU製品 移行率	大気放出側 移行率	海洋放出側 移行率	ガラス固化 体移行率	深地中並廃 棄物移行率	
H	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-01	1.00E-09	0.00E+00	0.00E+00	9.00E-01
C	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	1.00E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ALM	Rb	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Cs	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
ALE	Sr	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	9.50E-01	5.00E-02
	Ba	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	9.50E-01	5.00E-02
RE	Y	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	1.00E+00	0.00E+00
	La	0.00E+00	2.34E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.77E-01	0.00E+00
	Ce	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Pr	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Nd	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Pm	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Sm	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	1.00E+00	0.00E+00
	Eu	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	1.00E+00	0.00E+00
	Gd	0.00E+00	2.34E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.77E-01	0.00E+00
	Tb	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Dy	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Ho	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
	Er	0.00E+00	7.83E-02	1.00E-13	1.00E-09	9.22E-01	0.00E+00
NM	Zr	6.96E-01	1.04E-01	1.00E-15	1.00E-09	1.00E-01	1.00E-01
	Mo	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-07	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Tc	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-07	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Ru	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Rh	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Pd	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Ag	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-15	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
CC	Cd	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-13	1.00E-09	8.50E-01	1.50E-01
	In	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	8.60E-01	1.40E-01
	Ge	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Sn	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	As	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
	Sb	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	9.00E-01	1.00E-01
HG	Se	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	8.50E-01	1.50E-01
	Te	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-05	1.00E-09	8.50E-01	1.50E-01
NG	Br	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-02	1.00E-09	5.67E-01	4.30E-01
	I	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-02	1.00E-09	5.67E-01	4.30E-01
AC	Kr	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	1.00E-09	0.00E+00	0.00E+00
	Xe	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	1.00E-09	0.00E+00	0.00E+00
AC	U	9.63E-01	3.24E-02	1.00E-13	1.00E-09	1.13E-06	5.00E-03
	Np	0.00E+00	9.87E-01	1.00E-13	1.00E-09	1.17E-02	1.00E-03
	Pu	0.00E+00	9.98E-01	1.00E-13	1.00E-09	7.56E-04	1.00E-03
	Am	0.00E+00	9.62E-01	1.00E-13	1.00E-09	3.74E-02	1.00E-03

注 ALM:アルカリ金属 ALE:アルカリ土類金属 RE:希土類 NM:貴金属 CC:カドミウム HG:ハゲン NG:希ガス AC:アクチノイド

表5.3.1 50 t HM/年 金属燃料リサイクル施設の主要な放射性廃棄物の発生量

種類	発生量 (t/年)	処理法	固化体 (体/年)	備考
集合体部材	73.0 (t/年)	圧縮・容器封入	92 (体/年)	200Lドラム缶使用
端栓、プレナム部	16.8 (t/年)	圧縮・容器封入	21 (体/年)	200Lドラム缶使用
ハル	4.4 (t/年)	圧縮・容器封入	6 (体/年)	200Lドラム缶使用
Cd蒸留残渣 (NM)	1.9 (t/年)	容器封入	1 (体/年)	200Lドラム缶使用
るつぼ (陰極処理用、射出成型のるつぼ)	11.7 (t/年)	焼却	—	発生する焼却後の灰は、固化処理
モールド (一部)	3.0 (t/年)	セメント固化	40 (体/年)	200Lドラム缶使用
塩吸蔵ゼオライト	22.5 (t/年)	人工鉱物固化	92 (体/年)	150Lドラム缶使用
モールド (一部)	10.0 (t/年)			
廃ボンドNa	1.0 (t/年)			
ドロス	2.6 (t/年)	セメント固化	6 (体/年)	200Lドラム缶使用

表 5.3.2 50tHM/y 施設と軽水炉用湿式再処理施設のオフガス発生量の比較

核種	本施設からの発生量 (炉取出後、4年冷却) [Bq/y/HMton]	軽水炉用湿式再処理施設か らの放出量* [Bq/y/HMton] *
Kr-85	6.0×10^{14}	4.1×10^{14}
C-14	$4.2 \times 10^{10}**$	6.2×10^{10}
H-3	$2.9 \times 10^{13}***$	2.4×10^{12} (排気) 2.3×10^{13} (海洋放出)

*出典；六ヶ所再処理施設事業指定申請書添付書類 七。

**燃料中の不純物窒素量がごく少ないので、酸化物燃料リサイクル施設の
1/10とした。

***RETF 安全審査同様、発生するトリチウムの半分は再処理されるものと仮定。

表 5.3.3 アルゴンセル内雰囲気ガスの制限値と運転管理値

	制限値 (ppm)	運転管理値 (ppm) *
水分	100**	50
酸素	100**	50
窒素	1000***	500

* 制限値の半分を管理値とした。

** FCF での設定値に合わせた。

*** 還元剤の Li の劣化を防ぐため制限する。

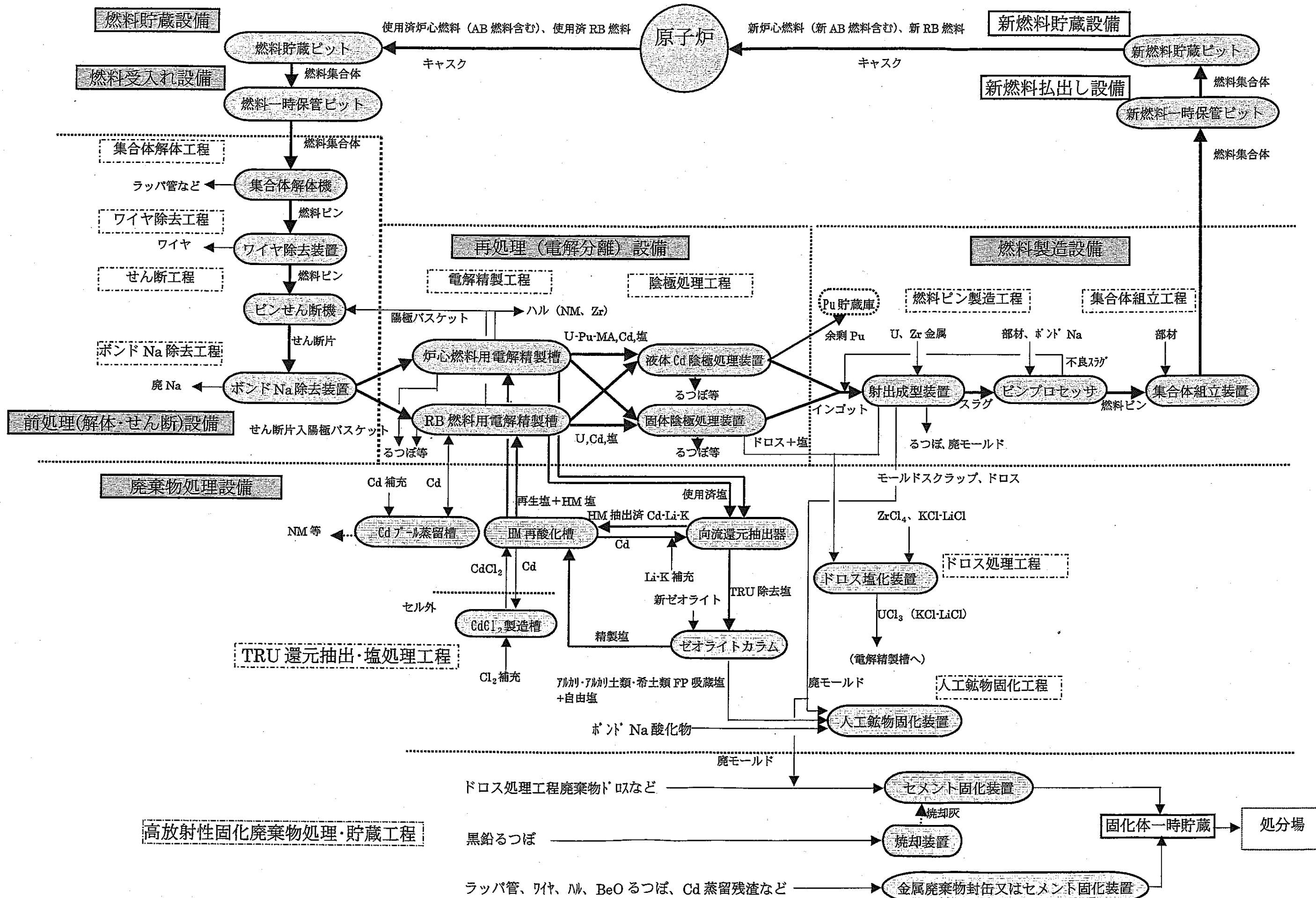


図 5.1.1 金属燃料リサイクルシステムのフロー図

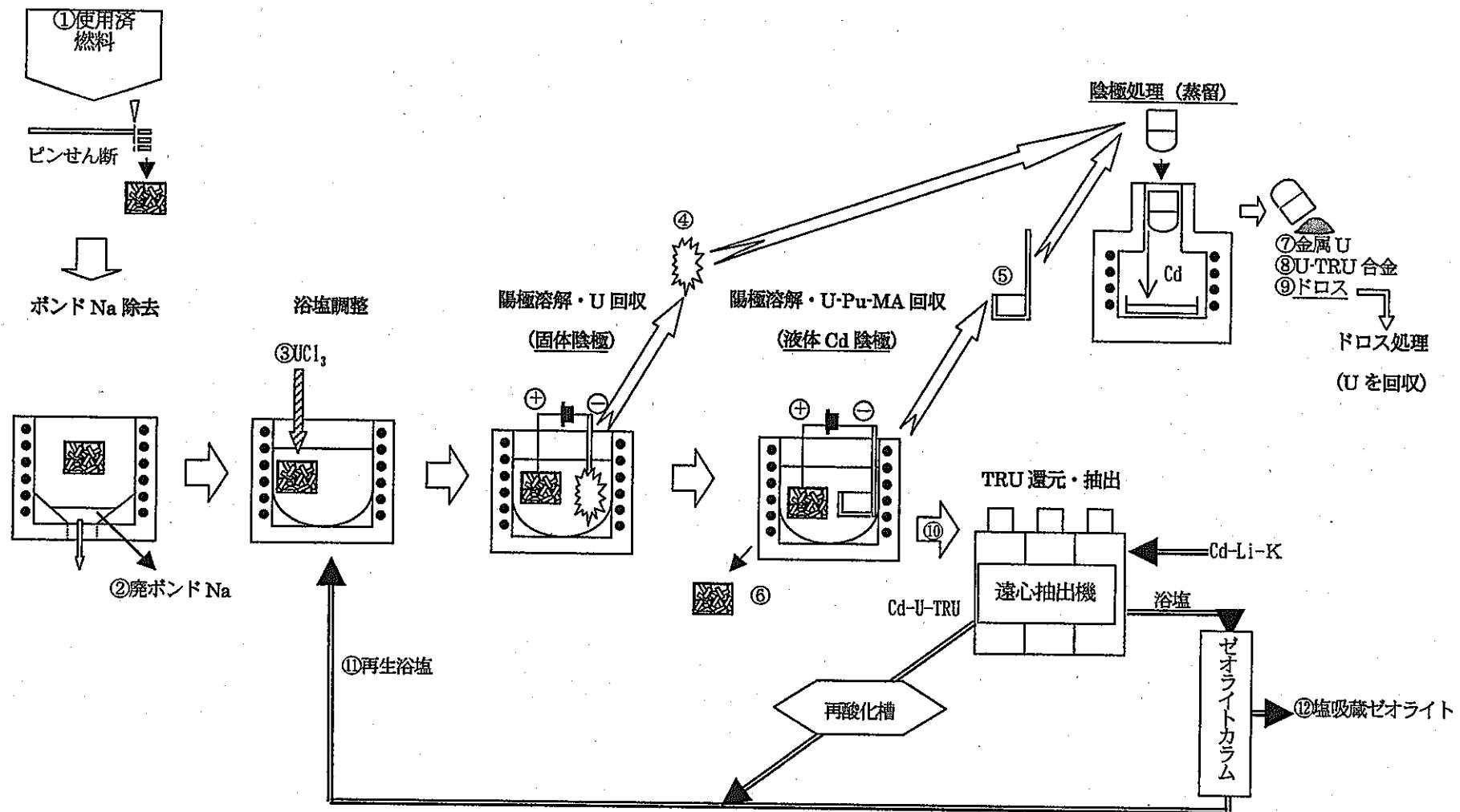


図 5.2.1 金属燃料リサイクルシステム主要工程の物質収支フロー図

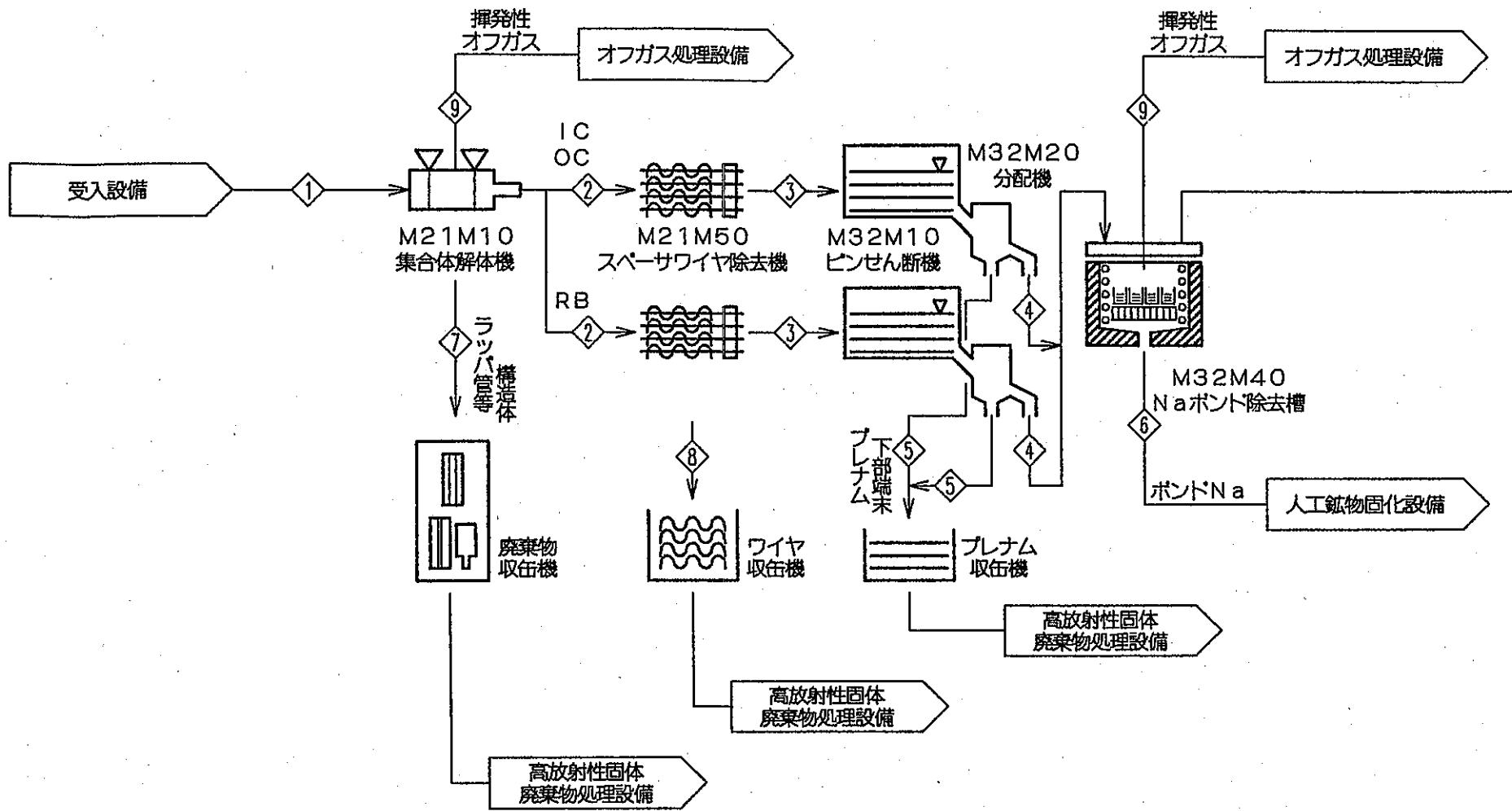


図 5.3.1 前処理工程のフロー図

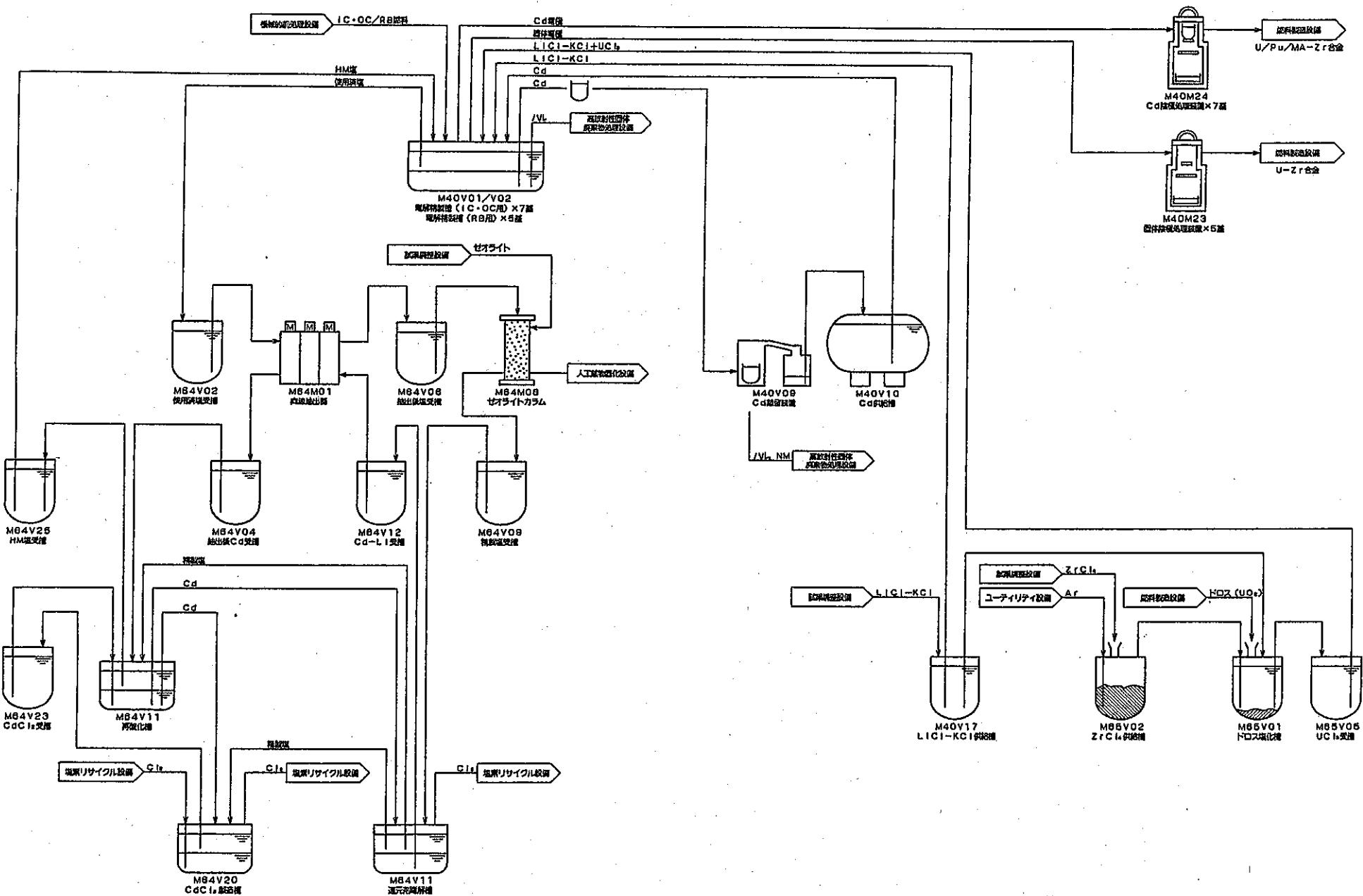


図 5.3.2 電解分離工程のフロー図

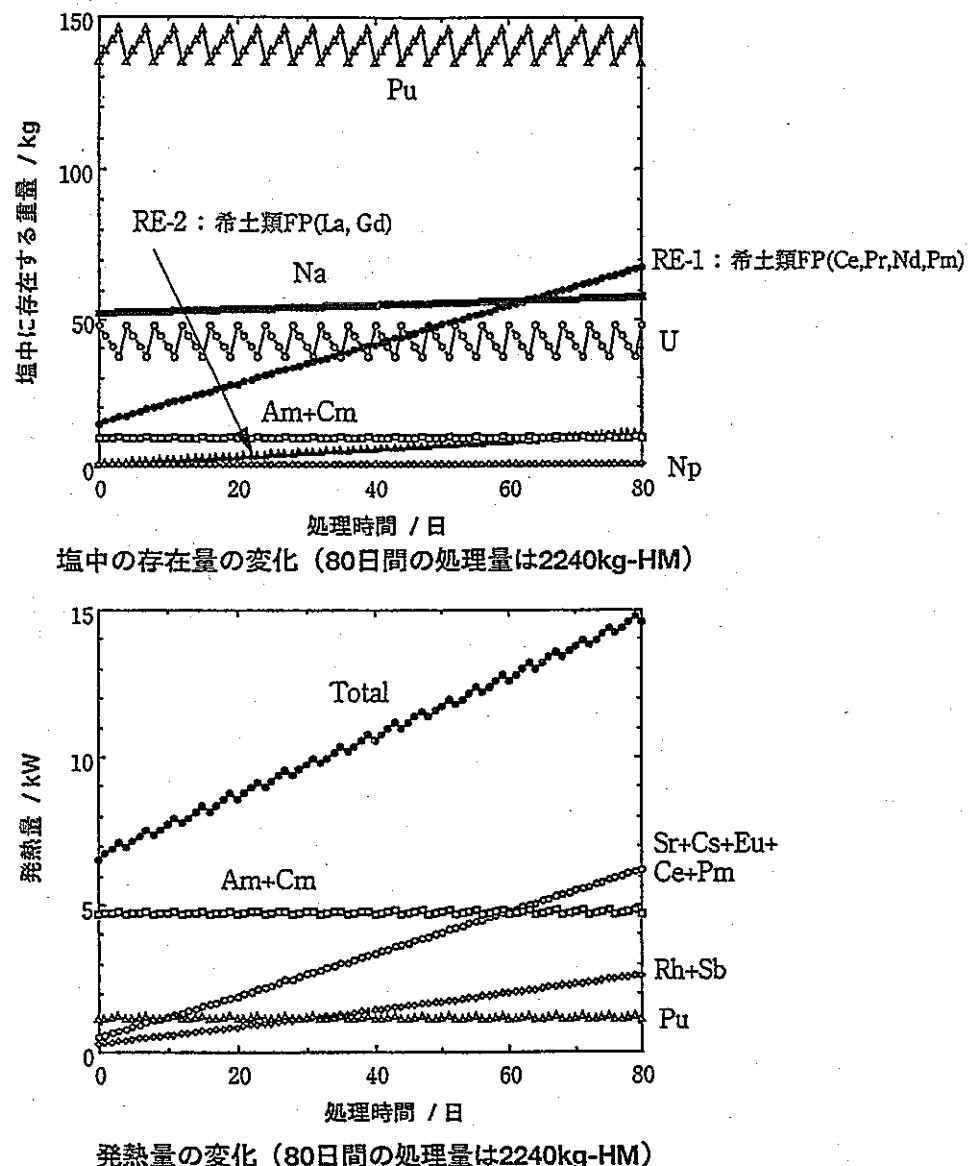


図 5.3.3 炉心燃料処理における電解精製槽内塩の組成と発熱量の推移

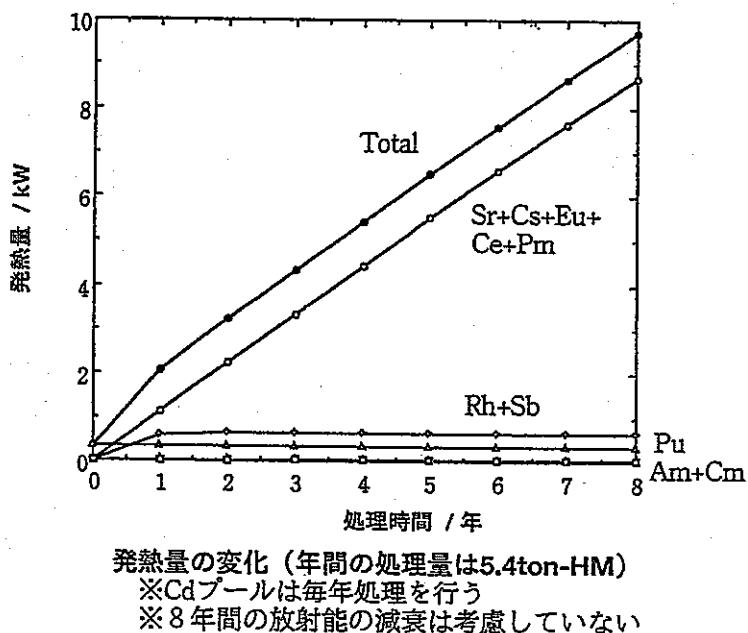
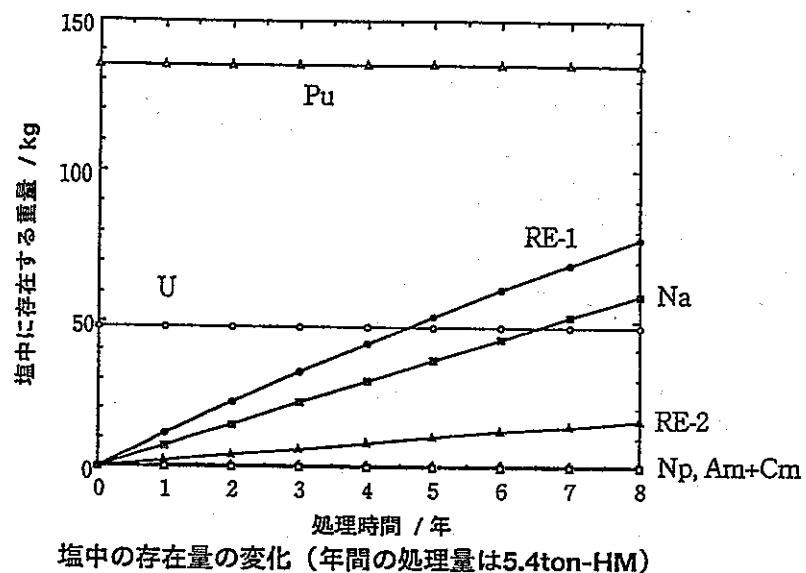


図 5.3.4

径プランケット燃料処理における電解精製槽内塩の組成と発熱量の推移

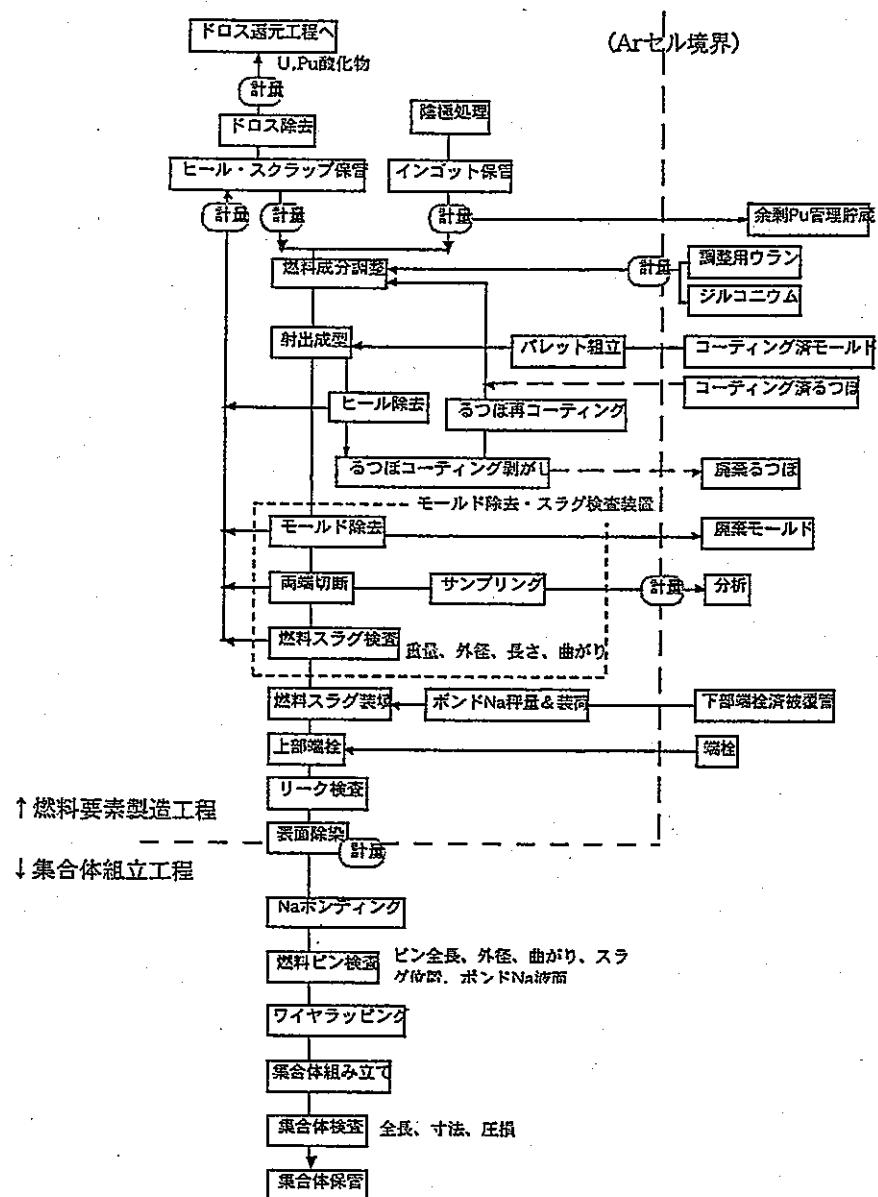


図 5.3.5 燃料製造工程のフロー図

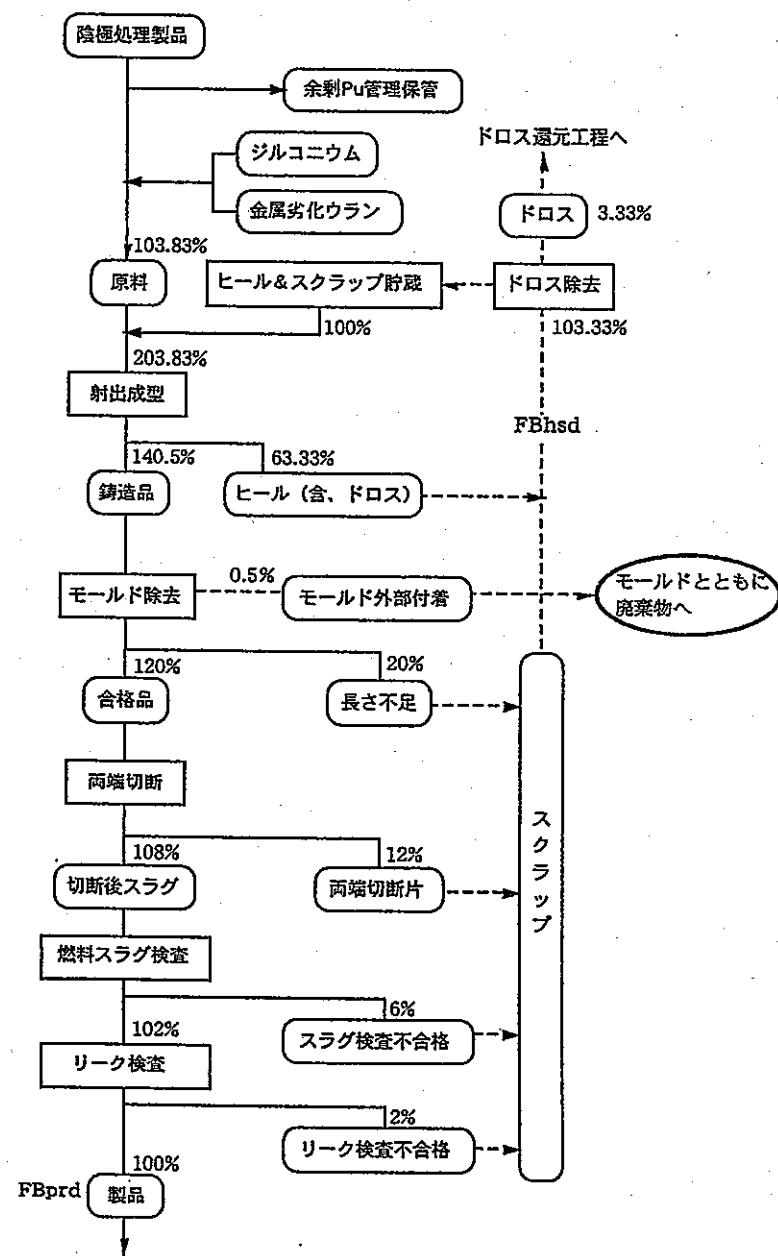
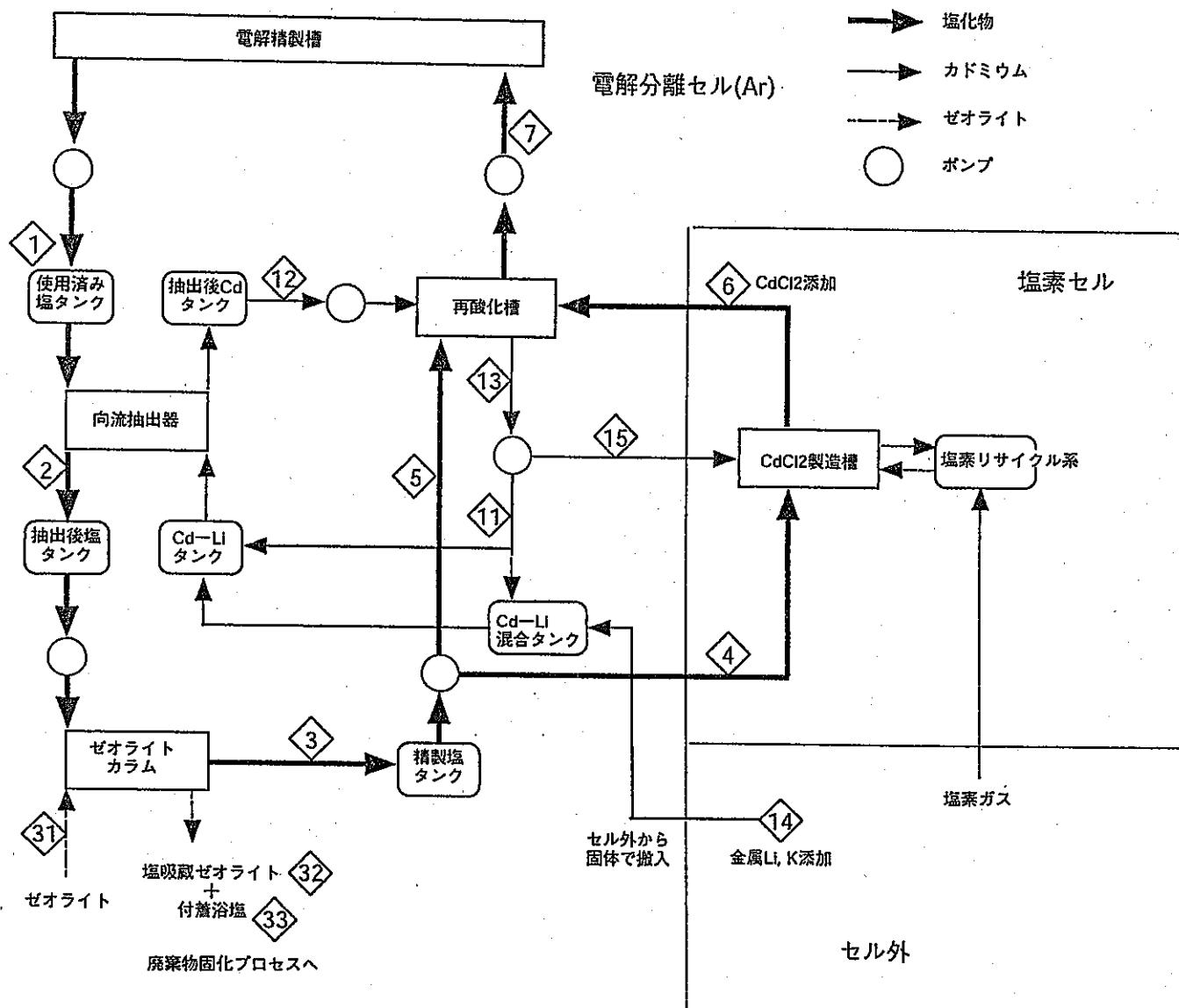


図 5.3.6 射出成型（燃料スラグ製造）回りの物質収支



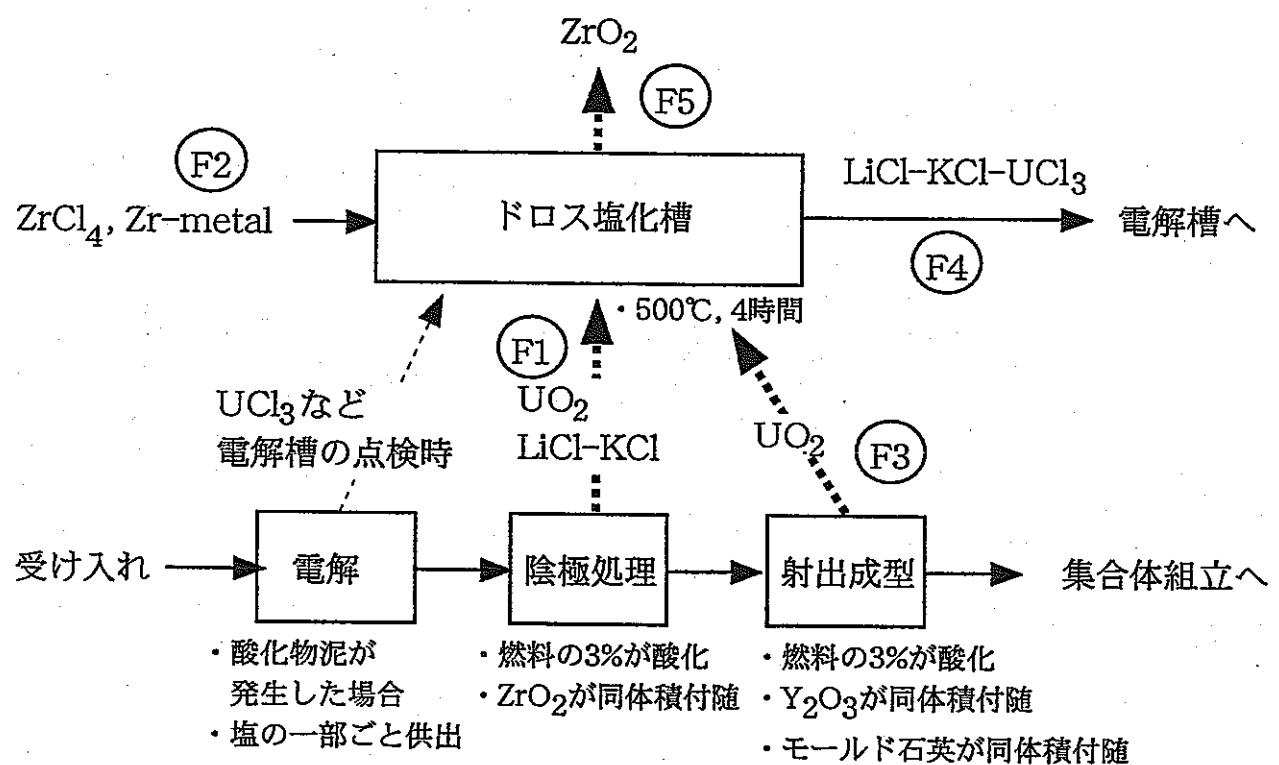


図 5.3.8 ドロス処理工程のフロー図

6. 機器設計

5章のプロセス設計をもとに、50 t HM/y プラントの主要設備の主な機器について、概略検討し、性能、大きさなどの概略仕様を定めた。全体プロセスのうち、メインの設備機器の性能、主要材質、運転温度、圧力、基数などの仕様を表6.1に示す。また、主要な各設備の主な機器の性能、機器数などの概略仕様を表6.2(1/18)～表6.2(18/18)に示す。7章では、これらの設計機器などに基づき、セル、建屋の概略検討を行っている。主要な各設備の機器設計の概要について、次に説明する。

6.1 燃料貯蔵設備

燃料貯蔵設備の主な機器の概略仕様を表6.2(1/18)に示す。燃料貯蔵ピットは、乾式貯蔵とし、ピット内の燃料集合体の貯蔵配列は正方格子とし、その収納ピッチは臨界安全を考慮し実効増倍係数 K_{eff} (以下、 K_{eff} と言う) が0.95以下となるように650mmとした。この貯蔵ピットは貯蔵容量263体(1年分貯蔵)とし、このピッチに基づき、長さ約20m、幅約14m、高さ約6mとした。これらの機器の主要材質は、クレーンの炭素鋼を除き、全てステンレス鋼である。

6.2 燃料受入れ設備

燃料受入れ設備の主な機器の概略仕様を表6.2(2/18)に示す。燃料一時保管ピットは貯蔵ピット同様に乾式保管とした。この保管ピットは、貯蔵容量20体分とし、燃料貯蔵設備と同一のピッチで、長さ約4m、幅約3m、高さ約6mとした。これらの機器の主要材質は、クレーンの炭素鋼を除き、全てステンレス鋼である。

6.3 前処理設備

(1) 集合体解体機、ワイヤ除去装置、ピンせん断機、ボンドNa除去装置

前処理設備の主要機器は、集合体解体機、ワイヤ除去装置、ピンせん断機、ボンドNa除去装置がある。これらの前処理設備の主な機器の概略仕様を表6.1及び表6.2(3/18)に示すが、次にこれらの表に基づき説明する。集合体解体機は、機械式で、その性能が約2時間/集合体のものを1基とする。この解体機は、幅約5mm、長さ約13mm、高さ約3mmの大きさのものである。ワイヤ除去装置は、くし型刃を用いたピン押出式で、その性能が炉心燃料集合体の場合約5.8時間/体、径方向プランケット燃料の場合約2.7時間/体のものを1基とする。ピンせん断機は、垂直列せん断機械式で、その性能が炉心燃料集合体の場合せん断ピッチ約10mmとし約8.7時間/体、径方向プランケット燃料集合体の場合せん断ピッチ約30mmとし約5.5時間/体のものを1基とする。このピンせん断機は、幅約3mm、長さ約13mm、高さ約2mmの大きさのものである。

これらの機器は、アルゴンセル内雰囲気の負圧、温度で使用される。

ボンドNa除去装置は、電気加熱式で、その性能が炉心燃料集合体の場合1.74体/日、径方向プランケット燃料集合体の場合1.26/日のものを1基とする。負圧で温度約500°Cの条件下、約5時間の熱処理にて、燃料ピン内のボンドNaを揮発蒸発除去し、ほとんどのNaを回収できるものとする。以上の機

器の本体材質はステンレス製としている。

6.4 再処理設備

再処理設備の主要機器は、電解精製槽、陰極処理装置などがある。この再処理設備の主な機器の概略仕様を表6.1及び表6.2(4/18)に示すが、次にこれらの表に基づき説明する。

(1) 電解精製槽^{6-1), 6-2), 6-3)}

電解精製槽は、電気加熱式で陽極バスケット3極、陰極3極（固体陰極と液体Cd陰極との取り替え方式）、攪拌機などのアセンブリーを設置している。電極数は、ANLのFCFでは1基あたり陽極バスケット2極、陰極2極であるが、基数を削減するために、1基あたりの処理量を増大させ、陽極バスケット3極、陰極3極としている。電解精製槽は炉心燃料用と径方向プランケット燃料用とがあるが、同様の構造としており、底部には貴金属FPなど溶解しないものの回収のために深さ約100mmのカドニウムプール（約520kg）を設け、その上に塩約1,250kgが装荷される。陽極バスケットと陰極は同心円上に交互に配置し、運転中は中心に設けた攪拌機により適宜回転させ、浴塩の均一性を保つ。

陽極バスケットは、せん断燃料約10kgHM/バスケットを装荷できる容量とし、鉄製で十字型のカゴとする。陽極バスケットのせん断燃料中Uなどが陰極に移動する流れ図を図6.4.2に示すが、固体陰極は、鉄製の棒（50mmφ）とし、析出したデンドライト成型のためのスクレーパ、受け皿を備える。液体Cd陰極は、内径約240mm、深さ約140mmのBe0るつぼとし、約50kgカドニウムを装荷する。カドニウムも30rpm程度で攪拌する。固体陰極へのU回収時の電流効率はFCF実績から56%～85%程度（理論値338A·hr/kgUに対して400～600A·hr/kgU）、液体Cd陰極へのPu回収速度は基礎試験結果から約280gPu/h・陰極（Pu約100%回収の陰極電流密度約40mA/cm²ベース）を考慮し、炉心燃料用電解精製槽は、性能が1基あたり10kgU/20h・極×3極のものを7基とし、径方向プランケット燃料用電解精製槽は、性能が1基あたり約5.8kgHM(U-Pu-MA)/20h・極×3極のものを2基とする。

これらの電解精製槽は、炉心燃料用と径方向プランケット燃料用とも同一構造としており、概略構造図を図6.4.1に示すが、外径約2.4m、高さ約4mの大きさのものである。電解精製槽は、3つの陽極バスケット、3つの陰極アセンブリー、攪拌装置等が入る内径とし、カドニウム層、溶融塩層（固体陰極の析出部の高さ考慮）、カバーガスの気相部、遮蔽蓋、電極ハウジング、回転/上下駆動装置を考慮した高さとしている。高純度アルゴンを槽内気相部へ供給し、槽内気相部をアルゴン雰囲気とする。この槽内カバーガスはオフガス処理側にバージするが、このオフガス中にはカドニウムが含まれているので、槽付属カドニウムトラップを設け、カドニウムを除去する。ANLのFCFなどの運転経験から、陽極バスケットにスクレーパを設け、陽極の電気の短絡を最少にする等の改良をしている。臨界安全に関しては、径方向プランケット燃料用電解精製槽より多くのPu量を取り扱う炉心燃料用電解精製槽の条件が厳しい。この炉心燃料用電解精製槽について、図6.4.3のように、電解精製槽の臨界安全検討モデルを検討し、

一例であるが、槽内の液体Cd陰極るつぼにはほぼ一杯のプルトニウム（Pu239）17.8kg/陰極が析出した条件とし、さらに、陽極バスケット内にせん断片燃料（56.8kg/陽極）が充填されていることを想定した場合でも、 K_{eff} が0.95以下になることを確認した。

これらの電解精製槽の温度、圧力は、それぞれ約500°C、微負圧（セル内圧力より若干負圧）としている。この温度は、溶融塩LiCl-KClの共析溶融塩温度約360°Cに、Na混入やFPによる融点の上昇および電解速度を考慮し、余裕をみた値に設定している。なお、この負圧の運転については、アルゴンセル内雰囲気ガスの槽内への混入防止など今後詰める必要がある。

電解精製槽の本体材質は、鉄と溶融塩との化学反応による腐食はほとんど無視できると考えられることから、炭素鋼またはFCFの電解精製槽において使用実績のあるクロムーモリブデン鋼などが考えられる。

(2) 陰極処理装置^{6-1), 6-3)}

陰極処理装置は、固体陰極処理装置と液体Cd陰極処理装置とがある。

固体陰極処理装置は、誘導加熱式で、その性能が60kgU（6極分）/バッチ・日のものを4基とする。固体陰極処理装置では、各電解精製槽で得られる陰極析出物をるつぼに装荷し、塩蒸留、燃料物質溶融を行い、インゴットを得る。このるつぼはグラファイトで、使用前にZrO₂コーティングを施したものである。熱処理条件は、塩蒸留で温度約950°C、圧力約10torr、燃料物質（U）溶融で温度約1370°C、圧力約600torrである。

液体Cd陰極処理装置は、誘導加熱式で、その性能が、臨界安全に関し、るつぼへの電解精製後液体Cd陰極の燃料物質装荷量を5.5Kg（²³⁹Pu）以下とし、5.5kgHM（1極分）/バッチ・日のものを6基とする。液体Cd陰極処理装置では、各電解精製槽で得られたカドニウムとの混合物に塩が付着した液体Cd陰極るつぼから、Cd蒸留、塩蒸留、燃料物質溶融を行い、インゴットを得る。熱処理条件は、Cd蒸留で温度約600°C、圧力約30torr、塩蒸留で温度約950°C、圧力約10torr、燃料物質（U-Pu-MA）溶融で温度1000°C、圧力約600torrである。

固体陰極処理装置の概略図を図6.4.2に示すが、固体陰極処理装置は外径約1.9m、高さ約5.4m、液体Cd陰極処理装置は外径約1.3m、高さ約2.4mである。

臨界安全に関しては、固体陰極処理装置よりPu量を取り扱う液体Cd陰極処理装置の条件が厳しい。この液体Cd陰極処理装置について、装荷量を1Cd陰極1バッチ分の5.5kgHM（そのうちPuは4.5kg）としているが、一例として、燃料融体及びインゴットは凹みの数に応じた複数個には分割せず、一塊りと想定した場合でも、 K_{eff} が0.95以下になることを確認した。これらの機器本体の材質は、高温カドニウムの耐食性も考慮し、非Ni系ステンレス製としている。また、陰極析出物を装荷するるつぼ材はグラファイトとしている。

6.5 燃料製造設備

燃料製造設備の主な工程は、燃料ピン製造工程、集合体組立工程がある。燃

料製造設備の主な機器の概略仕様を表 6.1 及び表 6.2(5/18)に示す。次にこれらの表に基づき説明する。

(1) 燃料ピン製造工程

燃料ピン製造工程の主要な装置は、射出成型装置、ピンプロセッサ、燃料ピン組立装置、および各種物質の装荷/取出、一時保管のための装置がある。

(i) 射出成型装置

射出成型装置は、るつぼに装荷した原料を容器にセットして、装置内は大気圧程度の高純度アルゴンガスでバージし、誘導加熱により約1,400°Cまで昇温し、溶融し、次に、装置内を1Torr程度に減圧した上でモールド下端部を溶湯に浸漬し、圧力を大気圧程度に戻して鋳込んだ後、モールドを引き上げ、200°C程度まで冷却し、燃料スラグを得るものである。この装置の概略図を図6.5.1に示すが、外径約0.7m、高さ約1.6mである。その他の仕様は、装置の主要材質がステンレス鋼である。プラントに必要な装置数は、50tHM/yプラントの5基に対し、200tHM/yプラントでは20基である。燃料物質インゴットを装荷するるつぼは、内径220mm、内側深さ120mm（径プランケット用は、310mmΦ×120mmH）とする。るつぼ材はグラファイトとし、使用の都度Y₂O₃コーティングを施す。るつぼ自体は10回の使用に耐えるものとする。射出成型装置の臨界安全に関して、プルトニウムの臨界質量を参考に、1つのるつぼでの取扱いプルトニウム量を約5.5kg以下として設計した。臨界安全に関しては、るつぼには、一例であるが、液体Cd陰極処理装置の臨界安全性確認と同様に、組成が全てPu239の1Cd陰極分の5.5kgHMを装荷の条件とし、さらに劣化Uがかさ密度60%であるつぼ一杯まで装荷されたと想定した場合でも、K_{eff}が0.95以下になることを確認した。

(ii) ピンプロセッサ

ピンプロセッサは、鋳造されたスラグからのモールドの除去、スラグ長さの調整（両端の切断）、検査までを自動的に連続して行う装置である。モールドの除去は、ロールの間を通過させることによって行う。切断はせん断による。長さを調整されたスラグの全数に対して、重量、外径、長さ、曲がりの検査を行う。外径は2方向の直径をスラグ全長にわたって測定する。ピンプロセッサの概略仕様を他の主要機器と共に表 6.1 に、概略図を図 6.5.2 に示す。この装置数は1基である。その他の仕様は、主要材質がステンレス鋼であり、運転温度は室温、運転圧力はセル内圧である。

(iii) 燃料ピン組立装置

燃料ピン組立装置は、所定の量のNa塊が装填された下部端栓溶接済みの被覆管に、所定本数のスラグを挿入し、上部端栓を溶接してリーク検査、表面汚染検査を行い、合格したピンを集合体組立工程へ送る。燃料ピン組立装置の概略図を図 6.5.3 に示すが幅約2m、長さ約6m、高さ1.5mのものである。この装置数は1基である。その他の仕様は、主要材質がステンレス鋼であり、運転温度は室温、運転圧力はセル内圧である。

(2) 集合体組立工程

集合体組立工程の主な装置は、Naボンディング装置、ワイヤラッピング装置、

燃料ピン検査装置、集合体組立装置、および燃料ピン、集合体の装荷・取出、一時保管のための装置がある。

(i) Na ボンディング装置

Na ボンディング装置の概略図を図 6.5.4 に示す。Na ボンディング装置は、縦型振動方式であり、概略仕様としては、寸法約 $1,000\phi \times 3,500H$ 、主要材質がステンレス鋼、運転温度は $200\sim 500^{\circ}\text{C}$ 、運転圧力はセル内圧程度である。1 基当りの処理能力は約 12 時間/バッチ (200 本/バッチ) であり、装置数は 1 基である。

(ii) ワイヤラッピング装置、燃料ピン検査装置

ワイヤラッピング装置は、1 基当りの処理能力が 2 分/本である。また、燃料ピン検査装置は 1 基当りの処理能力が 90 分/バッチ (25 本/バッチ) である。これらの装置はそれぞれ 1 基である。ワイヤラッピング装置は幅 2m、長さ 5m、高さ 2m のもので、燃料ピン検査装置は幅 2.5m、長さ 5m、高さ 2m のものである。主要材質はステンレス鋼、運転温度と運転圧力はそれぞれ室温、セル内圧である。

(iii) 燃料集合体組立装置

燃料集合体組立装置の仕様を表 6.1 に示す。装置数は 1 基である。燃料集合体組立装置は、幅 2m、長さ 8m、高さ 2m のものである。運転温度は室温、運転圧力はセル内圧である。この装置の主要材質はステンレス鋼である。

6.6 新燃料払出し設備

新燃料払出し設備の主な機器の概略仕様を表 6.2 (6/18) に示す。燃料一時保管ピットは、貯蔵容量 20 体分で、燃料受入れ設備のピットと同一の長さ約 4m、幅約 3m、高さ約 6mとした。この主要材質は、クレーンの炭素鋼を除き、全てステンレス鋼である。

6.7 新燃料貯蔵設備

新燃料貯蔵設備の主な機器の概略仕様を表 6.2 (7/18) に示す。本設備では、新燃料貯蔵ピットのほかに、冷却用の機器、燃料貯蔵クレーン、移送台車、燃料集合体認識装置、キャスク取扱い関連の機器がある。製燃料貯蔵ピットは貯蔵容量 1 年分の 263 体とし、燃料貯蔵設備のピットと同一の長さ約 20m、幅約 14m、高さ約 6 mとした。これらの機器の主要材質は、クレーンの炭素鋼を除き、全てステンレス鋼である。

6.8 廃棄物処理設備

廃棄物処理設備は、TRU 還元抽出/塩処理工程、ドロス処理工程、人工鉱物固化工程、高放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程、低放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程などからなる。低・中・極低レベルの放射性廃液処理工程などの機器もあるが、ここでは割愛している。廃棄物処理設備関係の主な機器の概略仕様を表 6.1、表 6.2 (8/18)～表 6.2 (12/18) に示す。次にこれらの表に基づき説明する。

(1) TRU還元抽出・塩処理工程

主な機器の概略仕様を表6. 1及び表6. 2(8/18)に示す。

向流式多段遠心抽出器はパイロコンタクタ⁶⁻⁴⁾と呼ばれ、電解精製槽から払い出される高温の使用済塩の重金属（アクチニド）をCd-Liによって還元抽出して回収する。3段の抽出器（約100cc/1段×3段）とし、運転温度500°Cとする。使用済塩、Cd-Liの流量は、それぞれ約400cc/分、約600cc/分とした。3段の抽出器のU、Np、Pu、Am（Cm）、RE（Ndなど）、RE（La、Gd）の回収性能は、LiCl-KClの実験等に基づき、それぞれ、99.996%、99.89%、99.79%、99.65%、20%、5%とした。このパイロコンタクタの概略図を図6. 8. 1に示す。

ゼオライトカラム⁶⁻⁵⁾は、TRU還元抽出済塩を連続通液処理し、塩中のアルカリ、アルカリ土類及び希土類FP塩をゼオライトに吸着させて除去する。1本が径約35cm、長さ約100cmのカラムを3本直列した構成のゼオライトカラム1式とした。その容量は約280Lで、運転温度は530°Cとした。このゼオライトカラムの各元素の除去性能は、ANLの基礎試験実験に基づき、3価アクチニド（U、Pu、Np、Am、Cm）、希土類（Y、Nd、Laなど）では98%2価アルカリ土類（Sr、Ba）、希土類（Eu、Sm）、アルカリ金属（Csなど）では95%とした。ゼオライトカラムの概略図を図6. 8. 2に示す。ゼオライトカラムは、電解精製槽の浴塩量を考慮して、3バッチ分処理できる容量のものを1基設けている。これらの機器本体の材質はステンレス製である。

また、電気加熱式再酸化槽1基、酸化剤（CdCl₂）製造槽1基などがある。これらの機器の材質は、ステンレス鋼である。

(2) ドロス処理工程

主な機器の概略仕様を表6. 2(9/18)に示す。

主要な機器はドロス塩化処理槽1基、遠心分離機またはフィルター式などがある。これらの機器の材質は、ステンレス鋼である。

(3) 人工鉱物固化工程

主な機器の概略仕様を表6. 2(10/18)に示す。

主要な機器としては計量器2基、V型ミキサー1基、ブレンダー1基、熱間等方加圧式の人工鉱物固化装置⁶⁻⁶⁾（ガラス結合ソーダライト化）1基、Na酸化装置1基などがある。人工鉱物固化装置の材質は、超硬合金である。他の機器の材質は、ステンレス鋼である。人工固化貯蔵庫は、空冷式で、収納体数約160体のもの一式としている。空冷ファン3基、キャニスタ搬送クレーン1基も設ける。

(4) 高放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程

本工程の主な機器の概略仕様を表6. 2(11/18)に示す。

設備機器は移送台車1基、HASW缶貯蔵ラック一式（長ドラム約100缶、ハル缶他約100缶収納ラック）などからなる。

(5) 低放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程

本工程の主な機器の概略仕様を表6. 2(12/18)に示す。

設備機器は、乾留ガス化式焼却炉（急冷塔、セラミックフィルタ、HEPA フィ

ルタ、アルカリスクラバ、送風機等含む) 1基、高圧3軸圧縮装置1基、セメントガラス固化装置1基、セメントガラス固化装置1基などを設ける。低放射性固体廃棄物は、処理後、原則として200Lドラムに収納される。また、貯蔵関係の設備機器は、LASW缶取扱装置一式、LASW缶貯蔵ラック一式(200Lドラム缶約250缶収納ラック)などがある。LASW缶取扱い装置の材質は、ステンレス鋼である。

6.9 オフガス処理設備

オフガス処理設備は、オフガス処理工程、CdCl₂製造槽塩素ガスリサイクル工程などからなる。主な機器の概略仕様をそれぞれ表6.2(13/18)、表6.2(14/18)に示す。

(1) 各種オフガス処理設備

本工程の主な機器の概略仕様を表6.2(13/18)に示す。主要な機器としては、HEPAフィルタ6基、Cs/Ru吸着塔2基、酸化触媒塔2基、トリチウム除去装置1基、水分除去塔2基、ヨウ素吸着塔2基、送風機などがある。これらの流量は約10Nm³/hである。これらの機器の主要な材質はステンレス鋼である。

(2) CdCl₂製造槽塩素ガスリサイクル工程

本工程の主な機器の概略仕様を表6.2(14/18)に示す。

主要な機器としては、CdCl₂製造槽オフガス冷却器1基、HEPAフィルタ1基、脱湿装置1基、脱湿塔1基、デミスター1基、塩素凝縮装置1基などがある。これらの機器の主要な材質は、ハステロイ鋼である。

6.10 アルゴンセル净化・冷却設備

本設備の主な機器の概略仕様を表6.2(15/18)に示す。

主要な機器としては、セル净化については、容量約3,600m³/hの酸素除去装置1基、水分除去装置1基、窒素除去装置1基、送風機5基、真空ポンプ2基などである。また、セル内アルゴンの冷却については、容量約190,000m³/hのHEPAフィルタ1基、セル冷却熱交換器2基、セル冷却送風機2基、アルゴンガスボンベ(67L)50基などがある。これらの機器の主要な材質は、ステンレス鋼である。

6.11 その他の主要な設備

その他の主要な設備として、分析設備、ユーティリティ設備、保守設備などがある。これらの設備の主な機器の概略仕様を表6.2(16/18)～表6.2(18/18)に示す。ユーティリティ設備については、冷却水、冷水、圧縮ガス、ガス供給、蒸気供給関係の主要機器についてまとめている。

表 6.1 解体・前処理から燃料製造までのメイン設備の主な機器の仕様

機器名称	概略機器仕様					
	形式	性能	主要材質	運転温度	運転圧力	基数
集合体解体機	機械式	2h /集合体(集合体単位処理)	SUS	セル内温度	セル内圧	1
ピンせん断機	テ-ブル方式	・炉心燃料(ピッヂ単位処理) ; 約 8.7h/体 (18 本/ピッヂ×1 ピッヂ/約 30 分) ・径方向ブランケット燃料 ; 約 5.5h/体 (5 本/ピッヂ×1 ピッヂ/約 15 分)	SUS	セル内温度	セル内圧	1
ボンド Na 除去装置	電気加熱式	ボンド Na 回収率 : 初期量の約 90% ・炉心燃料 ; 約 1.74 体/日 ・径方向ブランケット燃料 ; 約 1.26 体/日	SUS	約 500°C	負圧	1
電解精製槽(炉心燃料)	電気加熱式	(3 陰極+3 陽極)/ピッヂ×4 日サイクル処理 1 サイクルにて、1 極当たり、3 日で固体陰極による U 回収(約 10kgU/回×3 回)、1 日で液体 Cd 陰極による U-Pu-MA 回収(約 6kg)。	炭素鋼 又は Cr-Mo 鋼 など	約 500°C	負圧	7
電解精製槽(径ブランケット燃料)	電気加熱式	(3 陰極+3 陽極)/ピッヂ×10 日サイクル処理 1 サイクルにて、1 極当たり、9 日で固体陰極による U 回収(約 12kgU/回×9 回)、1 日で液体 Cd 陰極による U-Pu-MA 回収(約 6kg)。				2
固体陰極処理装置	誘導加熱式	60kgU/ピッヂ×1 ピッヂ/日	炭素鋼 又は 非 Ni ステンレス鋼 など	約 1370°C	負圧 (10Torr)	4
液体 Cd 陰極処理装置	誘導加熱式	5.5kgHM/ピッヂ×1 ピッヂ/日		約 1000°C	負圧 (10Torr)	6
TRU 還元抽出器	向流遠心式	3 段抽出器 電解精製槽 1/3 基分の塩浴量/ピッヂ ×ピッヂ/17h	SUS	約 500°C	微圧	1
セオライトカム	直列多段式	3 シリーズカム 電解精製槽 1/3 基分の塩浴量/ピッヂ ×ピッヂ/19h	SUS	約 540°C	微圧	1
射出成型装置	誘導加熱式	内側炉心燃料スラグ 製造時 36.6kg(180 本)/ピッヂ×1 ピッヂ/8h 外側炉心燃料スラグ 製造時 26.2kg(238 本)/ピッヂ 軸方向'ラジカルスラグ' 製造時 50kg(166 本)/ピッヂ 径方向'ラジカルスラグ' 製造時 55kg(72 本)/ピッヂ	SUS	約 1400°C	負圧 (1 Torr)	5
ピッヂロセッサ	自動連続式	2 分/本 (スラグ単位処理)	SUS	室温	セル内圧	1
燃料ピッヂ組立装置	自動連続式	2 分/本 (燃料ピッヂ単位処理)	SUS	室温	セル内圧	1
燃料集合体組立装置	押込式	12h/集合体 (集合体単位処理)	SUS	室温	セル内圧	1

表 6.2 (1/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；燃料貯蔵設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基 数	
キャスクレーン	レール走行式	定格荷重約 110 t	1	
キャスク架台	ラック式	キャスク 2 体収納	1	
キャスク移送台車	レール走行式	定格荷重約 100 t 処理量 0.24 キャスク/日 (キャスク昇降機能付き)	1	
キャスク蓋洗浄槽	超音波 洗浄式	容量約 80L 処理量 0.24 キャスク/日	1	
燃料取扱クレーン	レール走行式	定格荷重約 5 t	1	
燃料缶架台	ピット内ラック式	収納 8 缶	1	
燃料缶開缶・洗浄装置	超音波 洗浄式	集合体処理量 1.4 体/日 洗浄時間約 7 時間／燃料缶 1 体	1	
集合体認識装置	縦型	集合体処理量 1.4 体/日 架台・照明装置・ITV 等一式	1	
燃料缶外面洗浄装置	超音波 洗浄式	集合体処理量 1.4 体/日 洗浄時間約 4h／燃料缶 1 体	1	
燃料缶検査装置	縦型	集合体処理量 0.3 体/h 表面線量率測定・表面汚染密度測定装置一式	1	
燃料缶架台	ピット内ラック式	収納 8 缶	1	
燃料移送台車	レール走行式	定格荷重約 600kg	1	
燃料貯蔵クレーン	レール走行式	定格荷重約 3 t	1	
燃料貯蔵ピット	ラック式	集合体貯蔵能力 263 体（1年分） 20mL×14mW×6mH	1	乾式 貯蔵
給気ユニット	横置バグ型	風量約 60,000m ³ /h (プロフィルタ、粗フィルタ、HEPA フィルター、冷却コイル)	2	
排気フィルタユニット	縦置バグイン バグアウト角型	風量約 30,000m ³ /h (プロフィルタ、HEPA フィルター)	4	
送風機	遠心式	風量約 60,000m ³ /h	2	
排風機	遠心式	風量約 60,000m ³ /h	2	

表 6.2 (2/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；燃料受入れ設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
燃料移送台車	レール走行式	定格荷重約 600kg	1	
燃料移送クレーン	レール走行式	定格荷重約 3t	1	
燃料集合体認識装置	縦型	ITV 画像認識機能	1	
燃料一時保管ピット	ラック式	集合体貯藏能力 20 体 (送風機能付き) 4mL×3mW×6mH	1	乾式 貯蔵

表 6.2 (3/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：前処理（解体・せん断）設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
集合体解体機	鋸式	処理能力 約 2h/集合体 約 13m × 約 5m × 約 3mH (電動バンドリ、回転鋸、冷却用プロアなど含む)	1	機械方式のほかに、YAGレーザ方式も考えられる
燃料ピン分配機	箱形	取扱いピン 331 本	1	
スペーササイク除去機	ピン押出式	集合体処理能力 ・ 炉心燃料のとき 約 5.8h/体 ・ 径方向ブランケット燃料のとき 約 2.7h/体 (ピン受、ピン送りテーブル、中間ピン受、ピン押出機など含む)	1	
ピンせん断機	テーブル式	処理能力 ・ 炉心燃料のとき 約 8.7h/体 (約 2.6 体/日) ・ 径方向ブランケット燃料のとき 約 5.5h/体 (約 4.4 体/日) (ピンテ-ブリ、ギヤ、油圧エリットなど含む)	1	
分配器	容器回転式	せん断片振分排出機能	1	
バ'スケットケーブル	電動式	XYZ 移動 (一体型バ'スケット含む)	1	
ドレム収缶機	エアリング式	処理量 (最大) 10 体分	1	
Na ボ'ント 除去槽	減圧加熱式	処理能力 約 6h/バ'ッヂ ・ 炉心燃料のとき 約 1.74 体/日 ・ 径方向ブランケット燃料のとき 約 1.26 体/日	1	
廃棄物収納缶機	ドラム収缶式	処理能力 約 0.03 体/h (2 体/回) (収集容器、駆動装置、反転機など含む)	1	HASW 処理関係

表 6.2 (4/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：再処理（電解精製）設備

機器名称	概略仕様			備考
	形式	主要性能	基数	
電解精製槽	電気加熱式	電解性能 ・ 固体陰極 10KgU/20h・極×3極/基 ・ 液体陰極 5.8KgU/20h・極×3極/基 容量 2700L/基 2.4mφ×4mH	9	炉心燃料用 7基 径方向ブランケット燃料用 2基
陽極パック置架台	ラック式	仮置容量 陽極パック 6個分	9	
固体陰極仮置架台	ラック式	仮置容量 固体陰極 6個分	9	
Cd 陰極仮置架台	ラック式	仮置容量 Cd 陰極 6個分	9	
陽極アソブリ組立装置	把持式	処理能力 1極分/h (27個/日)	2	
Cd 陰極組立装置	把持式	処理能力 1極分/h (27個/4日)	1	
Cd 蒸留装置	電気加熱式	Cd 蒸留機能 容量約 700L	1	
Cd 供給槽	電気加熱式	容量約 200L	1	
Cd 排出ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
Cd 供給ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
Cd 移送ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
UCl ₃ 供給ポンプ	遠心式	流量約 10L/h	9	
ハル取出装置	反転式	処理能力 1極分/h	1	
使用済塩抜出ポンプ	遠心式	流量約 300L/h	9	
LiCl-KCl 供給槽	電気加熱式	容量約 3,100L	1	
LiCl-KCl ポンプ	遠心式	流量約 1000L/h	1	
HM 塩供給ポンプ	遠心式	流量約 300L/h	1	
固体陰極用析出物回収装置	移動式		1	
Cd 陰極用取出装置	反転式	塩除去装置含む	1	
るつぼ貯蔵庫	ラック式	貯蔵るつぼ数 ・ 固体陰極用 8個 (2日分) ・ 液体陰極用 12個 (2日分)	1	
固体陰極処理装置	誘導加熱式	処理性能 (真空蒸留) 6極分 (60kgHM) /日・基 1.9mφ×5.4mH	4	
Cd 陰極処理装置	誘導加熱式	処理性能 (真空蒸留) 1極分 (5.5kgHM) /日・基 1.3mφ×2.4mH	6	
真空装置	ローリー型	フィルタ付き	10	
インゴット回収装置	反転式		2	
U インゴット貯蔵庫	ラック式	貯蔵容量約 470kg (2日分)	1	
U-Pu インゴット貯蔵庫	ラック式	貯蔵容量約 72kg (2日分)	1	
回収塩るつぼ仮置ラック	ラック式	回収塩るつぼ数 8個 (10L/個)	1	
Cd 貯蔵庫	ラック式	貯蔵 Cd るつぼ数 10個 (10L/個)	1	
るつぼメンテナンス装置	エット式	ドロップ回収装置含む	1	

表 6.2 (5/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；燃料製造設備

機器名称	概略仕様			備考
	形式	主要性能	基数	
U-Pu-Zr 合金受入貯蔵庫	ラック式	貯藏能力約 400kg (11 日分)	1	
U-Zr 合金受入貯蔵庫	ラック式	貯藏能力約 470kg (2 日分)	1	
U 金属受入貯蔵庫	ラック式	貯藏能力約 1t (50 日分)	1	
新 Zr 受入貯蔵庫	ラック式	貯藏能力約 900kg (1 年分)	1	
燃料成分調整装置	固定式 ロボット型	秤量センサ付き	1	
モールドパレット組立装置	縦型	処理能力約 15 パレット/日	1	
射出成型装置	ラック型	処理能力(最大) 約 55kg/バッチ 0.7mφ × 16mH	5	
アキュムレータ	横置容器	容量約 200L	5	
真空ポンプ	ロータリー式	排気能力約 300L/分	5	
圧縮機	遠心式	圧縮ガス供給能力約 300L/分	5	
冷却器	フィン型空冷式		5	
ドロス除去装置	回転ブラシ式		1	
ヒール除去装置	反転式	ヒールブレーカ装置	1	
ピンプロセッサ	自動調整方式	モールド除去、両端せん断、燃料スラグ 検査、処理能力約 720 本/日	1	
IC ヒートクリップ貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 214kg (2 日分)	1	
OC ヒートクリップ貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 107kg (2 日分)	1	
AB ヒートクリップ貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 114kg (2 日分)	1	
RB ヒートクリップ貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 120kg (2 日分)	1	
IC 燃料スラグ一時貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 1040 本	1	
OC 燃料スラグ一時貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 560 本	1	
RB 燃料スラグ一時貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 162 本	1	
AB 燃料スラグ一時貯蔵庫	ラック型	貯藏能力約 36,415 本	1	
燃料ピン組立装置	自動連続方式	処理能力約 720 本/日 (約 2min/本) 6m × 2m × 1.5mH	1	
リーク検査装置	リークガス検出方式	処理能力約 720 本/日	1	
表面除染装置	アルコール洗浄方式	処理能力約 720 本/日 (約 2min/本)	1	
Na ポンディング装置	縦型振動方式	処理能力約 720 本/日	1	
燃料ピン検査ユニット	横型	処理能力約 720 本/日	1	
ワイヤラッピング装置	自動巻付式	処理能力約 720 本/日 (約 2min/本)	1	
燃料ピン総合検査装置	ITV 確認方式	処理能力約 720 本/日	1	
洗浄装置	温水洗浄式	処理能力約 720 本/日 (約 2min/本)	1	
燃料ピン一時貯蔵庫 (炉心燃料)	ラック型	貯蔵本数約 1440 本 (2 日分)	1	
燃料ピン一時貯蔵庫 (プランケット燃料)	ラック型	貯蔵本数約 356 本 (2 日分)	1	
燃料ピン移送装置	レール走行式	積載荷重約 300kg	1	
燃料集合体組立装置	押込み式	処理能力約 12h/集合体 8m × 2m × 2mH (バンドル組立、ラッパ管組立)	1	
燃料集合体検査装置	ITV 確認方式	処理能力約 12h/集合体 (光学変位計)	1	
分析用サンプリング装置	ロボット式	サンプリング機能	1	

表 6.2 (6/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：新燃料拡出し設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基數	
燃料移送クレーン	レール走行式	定格荷重約 3t	1	集合体組立設備と共用
燃料一時保管ピット	ラック式	集合体貯蔵能力 20 体 4mL×3mW×6mH	1	
送風機	遠心式	風量 4,000m ³ /h	2	
冷却器	角型		2	
フィルタ-	角型	プレフィルタ、HEPA フィルタ-各 1 段	2	
燃料集合体認識装置	縦型	1.42 体/日 ITV 画像認識	1	
燃料移送台車	レール走行式	定格荷重約 600kg	1	

表 6.2 (7/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：新燃料貯蔵設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基數	
製品燃料貯蔵ピット	ラック式	集合体貯蔵能力 263 体 (1 年分) 20mL×14mW×6mH	1	
給気ユニット	横型パンク型	プレフィルタ、粗フィルタ、HEPA フィルタ、水冷コイル	2	
排気フィルタ-ユニット	縦型パーゲインジ 外型	プレフィルタ、HEPA フィルタ	4	
送風機	遠心式	風量約 59,200m ³ /h	2	
排風機	遠心式	風量約 59,200m ³ /h	2	
燃料貯蔵クレーン	レール走行式	定格荷重約 3t	1	
燃料移送台車	レール走行式	定格荷重約 600kg	1	
燃料取扱クレーン	レール走行式	定格荷重約 5t	1	
燃料集合体認識装置	縦型	処理量約 1.3 体/日 集合体保持架台、照明装置、ITV	1	
燃料缶架台	ラック式	容量約 2.5t	1	
燃料缶開缶装置	縦型	処理量約 1.3 体/日	1	
キャスク移送台車	レール走行式	処理量約 0.24 キャスク/日 定格荷重約 100t	1	
キャスククレーン	レール走行式	定格荷重約 110t	1	

表 6.2 (8/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；廃棄物処理設備；TRU 還元抽出・塩処理工程

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
向流抽出器	多段遠心式	3段抽出器 性能 ・回収率；Pu99.79%, Am (Cm) 99.65%, Np99.89%, U99.996%, RE5%~20% ・処理量 630kg 塩/パッチ 1.5mL×0.5mW×1mH	1	
使用済塩受槽	電気加熱式	容量約 900L	1	
使用済塩供給ポンプ	定量式	流量約 300cc/分	1	
抽出後 Cd 受槽	電気加熱式	容量約 800L	1	
抽出後 Cd 供給ポンプ	遠心式	流量約 450 L/h	1	
抽出後 塩受槽	電気加熱式	容量約 900L	1	
抽出後 塩供給ポンプ	定量式	流量約 110 L/h	1	
セオライトカラム	直列3段式	性能 ・セオライト吸蔵率；アクチノト (U, Pu, Np, Am, Cm), 希土類 (Y, Nd 等) 98%, アルカリ 土類 (Sr 等), 希土類 (Eu, Sm) 95%, アル カリ金属 (Cs 等) 95% ・処理量 400L 抽出塩/パッチ 容量約 280L (3段カラム) 3.5mL×3mW×2.5mH	1	
精製塩受槽	電気加熱式	容量約 900L	1	
精製塩受槽供給 ポンプ	遠心式	流量約 300L/h	1	
Cd-Li-K 受槽	電気加熱式	容量約 800L	1	
Cd-Li-K 供給ポンプ	定量式	流量約 500cc/分	1	
HM 再酸化槽	電気加熱式	高温 CdCl ₂ 接触反応酸化機能 容量約 1900L	1	
Cd 金属払出ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
Cd 金属払出ポンプ	遠心式	流量約 500L/h	1	
CdCl ₂ 製造槽	電気加熱式	容量約 110L	1	
CdCl ₂ 払出ポンプ	遠心式	流量約 50L/h	1	
CdCl ₂ 供給ポンプ	遠心式	流量約 50L/h	1	
CdCl ₂ 受槽	電気加熱式	容量約 80L	1	
HM 塩払出ポンプ	定量式	流量約 300L/h	1	
HM 塩受槽	電気加熱式	容量約 900L	1	

表 6.2 (9/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；廃棄物処理設備；ドロス処理工程

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
ドロス塩化槽	電気加熱式	容量約 200L	1	
ZrCl ₂ 供給槽	電気加熱式	容量約 70L	1	
LiCl-KCl 供給ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
UCl ₃ 抽出ポンプ	遠心式	流量約 100L/h	1	
UCl ₃ 受槽	電気加熱式	容量約 320L	1	

表 6.2 (10/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；廃棄物処理設備；人工鉱物固化工程

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
計量器	ホッパ - フィーダ 付き秤量器	容量約 500L	2	
V型ヒートミキサー	V型	容量約 500L	1	
コンプレンダ -	コンプレンダ -	容量約 1 m ³	1	
ホッパ -	フィーダ 付き	容量約 150L	1	
計量器	昇降機付き 秤量器	計量質量約 500Kg	1	
搬送機	ベルトコンベア式	ベルト巾 60cm	1	
溶接装置	TIG 自動式	自動溶接	1	
真空ポンプ	油回転ポンプ	容量約 150L/分	1	
HIP 装置	熱間等方加 圧装置	処理能力約 2 本 (固化体) /日 (100 本 (150L 缶) /年) 加圧力約 165MPa / 温度約 900°C 5mL × 3mW × 4mH	1	
Na 酸化装置	ガスバブル式	酸素分圧制御式酸化処理	1	
塩固化体貯蔵庫	レール走行式	貯蔵容量 110 体	1	貯 蔵 関 係
空冷ファン	ラック式	風量約 20,000m ³ /h	3	

表 6.2 (11/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：高放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程

機器名称	概略仕様			備考
	形式	主要性能	基数	
移送台車	自走式	定格荷重約 0.4 t	1	
ドラム缶開缶装置	自動式	処理量約 2 缶/h	1	
セメントガラス貯留槽	サイロ式	容量約 10m ³	1	
水計量タンク	円筒式	容量約 300L	1	
セメントガラス固化装置	混練注入式	処理量約 1 本/日 (150 本 (200L) /年)	1	
ドラム缶クレーン	自走式	定格荷重約 3ton	1	
蓋溶接装置	自動 TIG 溶接式	処理量約 2 缶/h 溶接	1	
表面汚染検査装置	スピア式	処理量約 2 缶/h	1	
移送台車	自走式		1	貯蔵 関係
HASW 缶取扱クレーン	自走式	定格荷重約 3ton	1	
HASW 缶貯蔵ラック	ラック方式	貯蔵容量 ・ 長ドラム缶 100 缶 ・ 標準ドラム缶 (ハリ缶他) 100 缶	1	

表 6.2 (12/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；低放射性固体廃棄物処理・貯蔵工程

機器名称	概略仕様			備考
	形式	主要性能	基数	
投入装置	ベルコンペア式	処理量約 3t/h	1	
焼却炉	乾留ガス化式	処理量約 500Kg/バッチ (8.5 h/バッチ) 5mL×3mW×7mH	1	
急冷塔	円筒式	容量約 300L	1	
バケフィルタ	逆洗式	処理量約 1 本/日 (150 本 (200L) /年)	1	
移送台車	手動式	定格荷重約 1.5 t	1	
HEPA フィルタユニット	密閉交換式	2段3列	2	
アルカリカバ	円筒式	自動溶接	1	
吸着塔	充填式	活性炭充填	2	
助燃油供給槽	円筒式	容量約 1m ³	1	
排風機	遠心式	風量約 4,000m ³ /h	2	
燃焼空気プロア	遠心式	風量約 2,000m ³ /h	1	
スクリューバイ液循環ポンプ	遠心式	流量約 0.5m ³ /分	1	
NaOH 供給タンク	円筒式	容量約 15m ³	1	
NaOH 供給ポンプ	マグネット式	流量約 30L/分	1	
廃液受槽	円筒式	容量約 2m ³	1	
廃水ポンプ	遠心式	流量約 0.1m ³ /分	1	
ローラコンベア	電動式	負荷荷重約 500Kg/m	1	
高圧圧縮装置	3軸圧縮方式	処理量約 2 缶/h 圧縮荷重約 2,000 t 5mL×5mW×5mH	1	
廃棄物取扱装置	把持クレーン	定格荷重約 1.5 t	1	
パレット製造装置	シリカ-圧縮式	1.5mL×3mW×3.5mH	1	
セメントガラスサイロ	貯留式	容量約 7.6m ³	1	
水計量タンク	円筒式	容量約 24L	1	
セメントガラス固化装置	混練注入式	処理量約 240L/h 2mL×2mW×3.5mH	1	
ドーム封缶装置	TIG 溶接式	自動方式	1	
ドーム缶クレーン	自走式	定格荷重約 1.5 t	1	
表面汚染検査装置	スピナ式		1	
るっぽ粉碎装置	3軸圧縮方式	圧縮荷重約 100 t	1	
LASW 缶取扱装置	フォークリフト式	荷重約 1.5 t	1	LASW 貯蔵
LASW 缶貯蔵ラック	ラック式	貯蔵能力 250 缶 (200L/缶ペース)	1	

表 6.2 (13/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称；オフガス処理工程

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
HEPA フィルタ	HEPA 式	流量約 10Nm ³ /h 上流フィルタ - FP 除去性能 DF=1000 下流フィルタ - FP 除去性能 DF=100	4	
Cs/Ru 吸着塔	充填式	流量約 10Nm ³ /h (シリカゲル剤充填) Cs/Ru 性能 DF=100	2	
酸化塔	触媒式	流量約 10Nm ³ /h (シリカゲル担体 CuO 触媒充填)	2	
トリチウム除去装置	PSA 式	流量 10Nm ³ /h (送風機、水分除去塔、 真空ポンプ、凝縮器など含む) トリチウム除去性能 DF=10	1	
ヨウ素吸着塔	充填式	流量 10Nm ³ /h (銀系吸着剤充填) ヨウ素除去性能 DF=10	2	
HEPA フィルタ	HEPA 式	流量約 13Nm ³ /h FP 除去性能 DF=100	2	
送風機	ルーツ式	流量約 13Nm ³ /h	2	

表 6.2 (14/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称 ; CdCl₂ 製造槽 塩素ガスリサイクル工程

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
CdCl ₂ 製造槽 ガス冷却器	二重缶管熱交換式	冷却能力 0.8kcal/h (ガス流量約 80m ³ /h 500°C)	1	
HEPA フィルタ	HEPA 式	円筒容器収納	1	
除湿装置	スカラバ式	ガス流量約 32Nm ³ /h	1	
脱湿塔	充填塔	ガス流量約 32Nm ³ /h (循環ポンプ、硫酸供給槽等含む)	1	
塩素凝縮装置	冷却式	冷凍機冷却液化・塩素除去機能 (塩素ガス除去塔(ゼオライト系吸着剤吸着塔)、凝縮器、プロセスなど含む)	1	
塩素ポンベ	ポンベ式	JIS 標準 40L	4	
塩素蒸発器	ラインヒータ		1	

表 6.2 (15/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：アルゴンセル浄化・冷却設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
酸素除去装置	PSA式	流量約3,600m ³ /h 入口/出口酸素濃度 50ppm/15ppm (送風機、真空ポンプなど含む)	1	
水分除去装置	PSA式	流量約3,600m ³ /h 入口/出口酸素濃度 50ppm/~0ppm	1	
窒素除去装置	PSA式	流量約3,600m ³ /h 入口/出口酸素濃度 500ppm/~50ppm (送風機、真空ポンプなど含む)	1	
HEPA フィルタ	トイ式	標準フィルタ(120枚)	1	
セル冷却用送風機	遠心式	風量190,000m ³ /h	2	
セル冷却用熱交換器	Uチューブ式	1,100KW (190,000m ³ /h)	2	
セル排気真空ポンプ	スクリュ式	600m ³ /h	2	
アルゴンガスボンベ	ポンベ式	JIS標準67L	50	

表 6.2 (16/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：分析設備

機器名称	概 略 仕 様			備考
	形式	主要性能	基数	
分析装置	遠隔操作式 など	<ul style="list-style-type: none"> ・ K 吸収端蛍光 X 線分析装置 ・ 分光度計 ・ ICP 分光分析計 ・ γ スペクトロメータ ・ 水分計 ・ 粒度分布測定器 ・ 熱重量分析装置 ・ 全 α 測定器 ・ 全 β 測定器 ・ 全 γ 測定器 ・ α スペクトロメータ ・ 質量分析計 ・ 付ソーダ ・ その他 	一式	
グローブボックス	豎置型	角型	4	
フード	豎置型	角型	8	
高放射性分析廃液受槽	豎置角型	容量約 10L	1	
中放射性分析廃液受槽	豎置角型	容量約 80L	2	
低放射性分析廃液受槽	豎置角型	容量約 80L	2	
分析廃液受槽	豎置角型	容量約 20L	1	

表 6.2 (17/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：ユーティリティ設備（冷却水・冷水設備、圧縮空気/ガス供給設備、蒸気設備関係）

機器名称	概略仕様			備考
	形式	主要性能	基数	
(冷却水設備)				
冷却塔ユニット	密閉式	冷却能力約 2.5×10^6 Kcal/h (送風機、ポンプ含む)	2	安全系
冷却水循環ポンプ	遠心式	容量約 $540\text{m}^3/\text{h}$	4	
冷却水圧力調整槽	円筒式	容量約 500L	2	
冷却塔ユニット	密閉式	冷却能力約 1.2×10^6 Kcal/h (送風機、ポンプ含む)	1	
冷却水循環ポンプ	遠心式	容量約 $255\text{m}^3/\text{h}$	2	一般系
(冷水設備)				
冷凍機	圧縮式	冷凍能力約 620USRt	2	安全系
冷水循環ポンプ	遠心式	容量約 $360\text{m}^3/\text{h}$	4	
冷水圧力調整槽	円筒式	容量約 500L	2	
冷凍機	圧縮式	冷凍能力約 182USRt	2	
冷水循環ポンプ	遠心式	容量約 $100\text{m}^3/\text{h}$	2	一般系
冷水圧力調整槽	円筒式	容量約 5000L	1	
(圧縮空気/ガス供給)				
空気圧縮機	レシプロ式	流量約 $600\text{m}^3/\text{h}$	2	計装用
脱湿器	吸着塔	流量約 $600\text{m}^3/\text{h}$	2	
空気槽	円筒式	容量約 5000L	1	
バッファ槽	円筒式	容量約 3600L	1	
プレフィルタ	カートリッジ式	流量約 $600\text{m}^3/\text{h}$	2	
アフターフィルタ	カートリッジ式	流量約 $600\text{m}^3/\text{h}$	2	
空気圧縮機	レシプロ式	流量約 $480\text{m}^3/\text{h}$	2	一般用
脱湿器	吸着塔	流量約 $480\text{m}^3/\text{h}$	2	
空気槽	円筒式	容量約 5000L	1	
バッファ槽	円筒式	容量約 3600L	1	
プレフィルタ	カートリッジ式	流量約 $480\text{m}^3/\text{h}$	2	
アフターフィルタ	カートリッジ式	流量約 $480\text{m}^3/\text{h}$	2	
液化アルゴン貯槽	真空ジャケット式	容量約 15m^3	2	Ar 関係
アルゴン圧縮機	レシプロ式	流量約 $35\text{Nm}^3/\text{h}$	2	
(蒸気設備)				
蒸気ボイラー	多管貫流式	性能約 $500\text{kg}/\text{h}$	2	
蒸気発生器	熱交換式	性能約 2.3×10^5 Kcal/h	1	
凝縮器	熱交換式	性能約 2.0×10^5 Kcal/h	2	
凝縮水受槽	円筒式	容量約 3m^3	2	
凝縮水受ポンプ	遠心式	流量約 $1\text{m}^3/\text{h}$	4	

表 6.2 (18/18) 各設備の主な機器の仕様

設備名称：保守設備

機器名称	概 略 仕 様		備考
	主要性能	基数	
天井クレーン	定格荷重 約 100 t	1	一部、他の表の設備仕様にも重複して記載している。 (概算数)
天井クレーン	定格荷重 約 5 t	1	
インセルクレーン	定格荷重 約 100 t	1	
インセルクレーン	定格荷重 約 5 t	4	
インセルクレーン	定格荷重 約 4 t	2	
インセルクレーン	定格荷重 約 3 t	10	
パワーマニピュレータ	定格荷重 約 5 t	1	
パワーマニピュレータ	定格荷重 約 3 t	10	
パワーマニピュレータ	定格荷重 約 1 t	2	
マニピュレータ		104	
ホイスト	定格荷重 約 3 t	31	
台車		15	

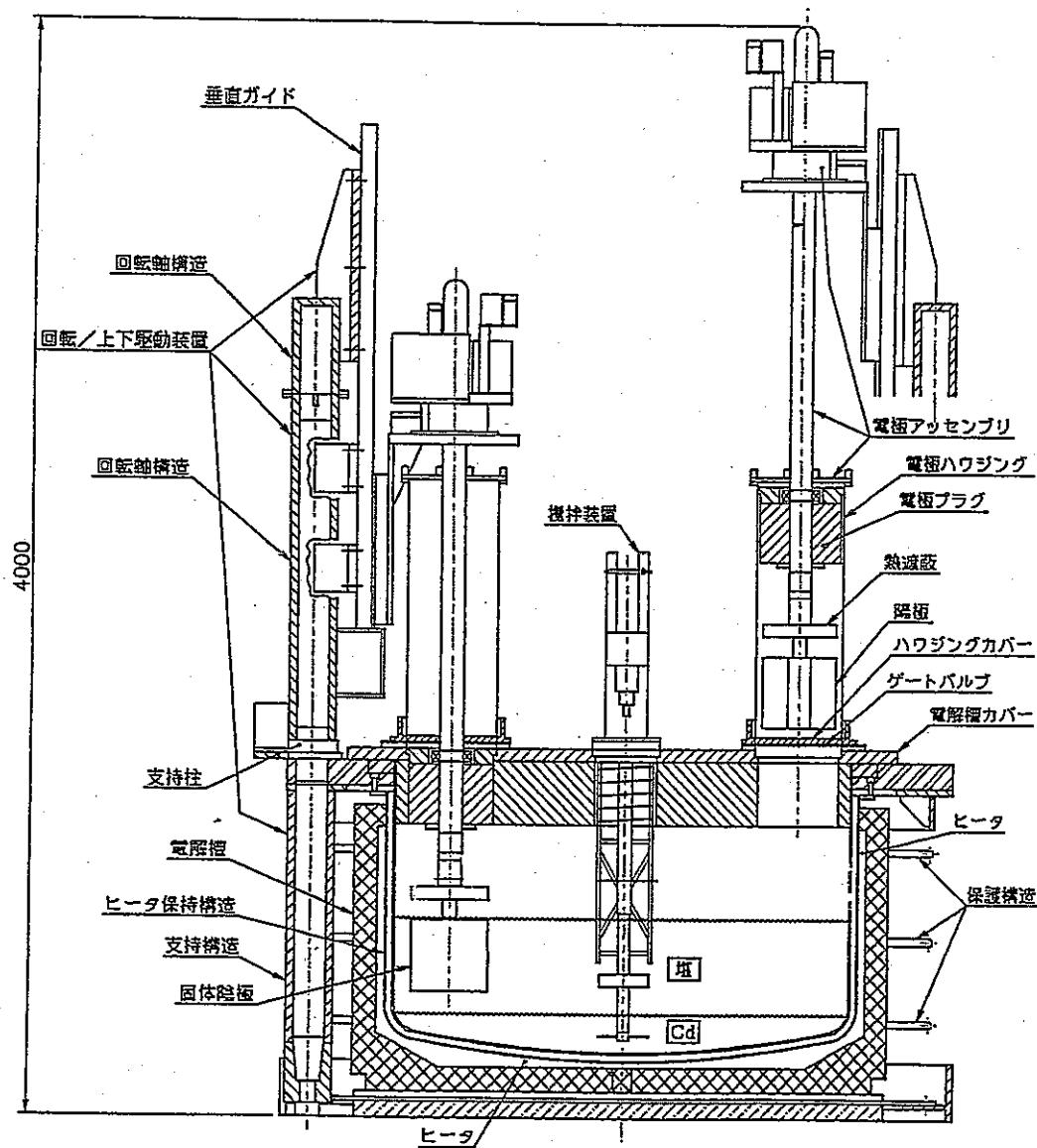
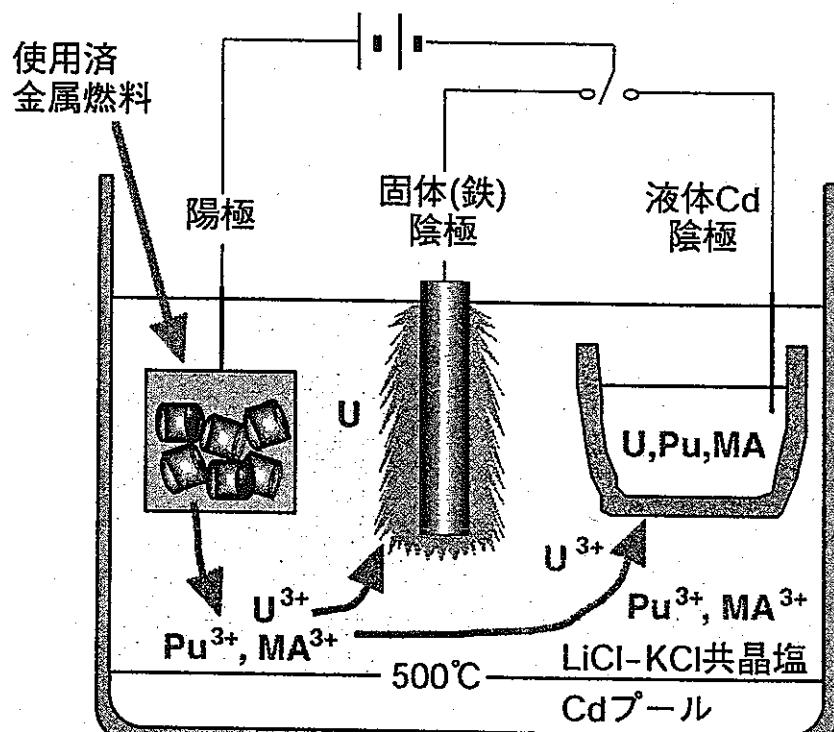


図 6.4.1 電解精製槽の概略構造図



MA: minor actinides (Np,Am,Cm)

図 6.4.2 陽極バッカット内せん断燃料 (U,Pu,MA) の陰極への流れ図

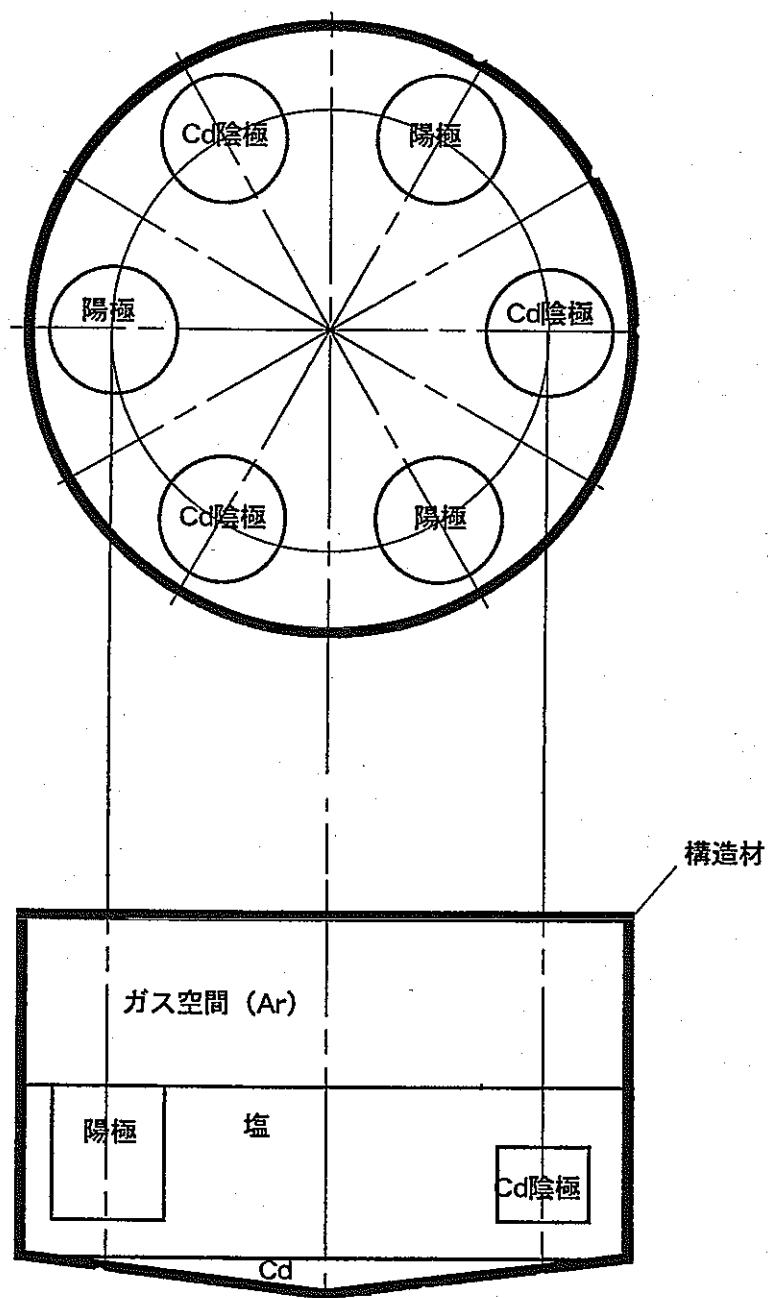


図 6.4.3 電解精製槽の臨界検討モデル概略図

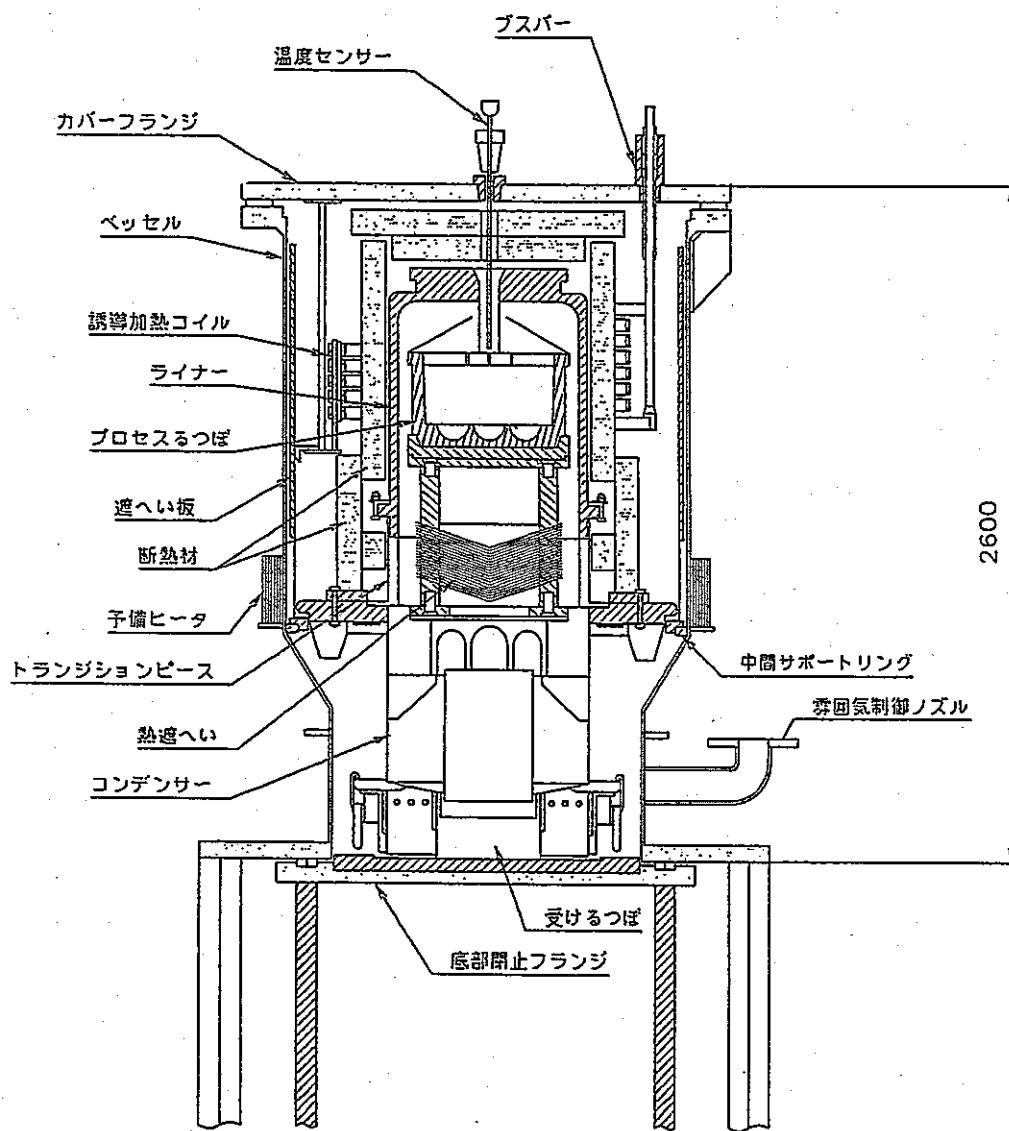


図 6.4.4 陰極処理装置の概略構造図（固体陰極処理装置の例）

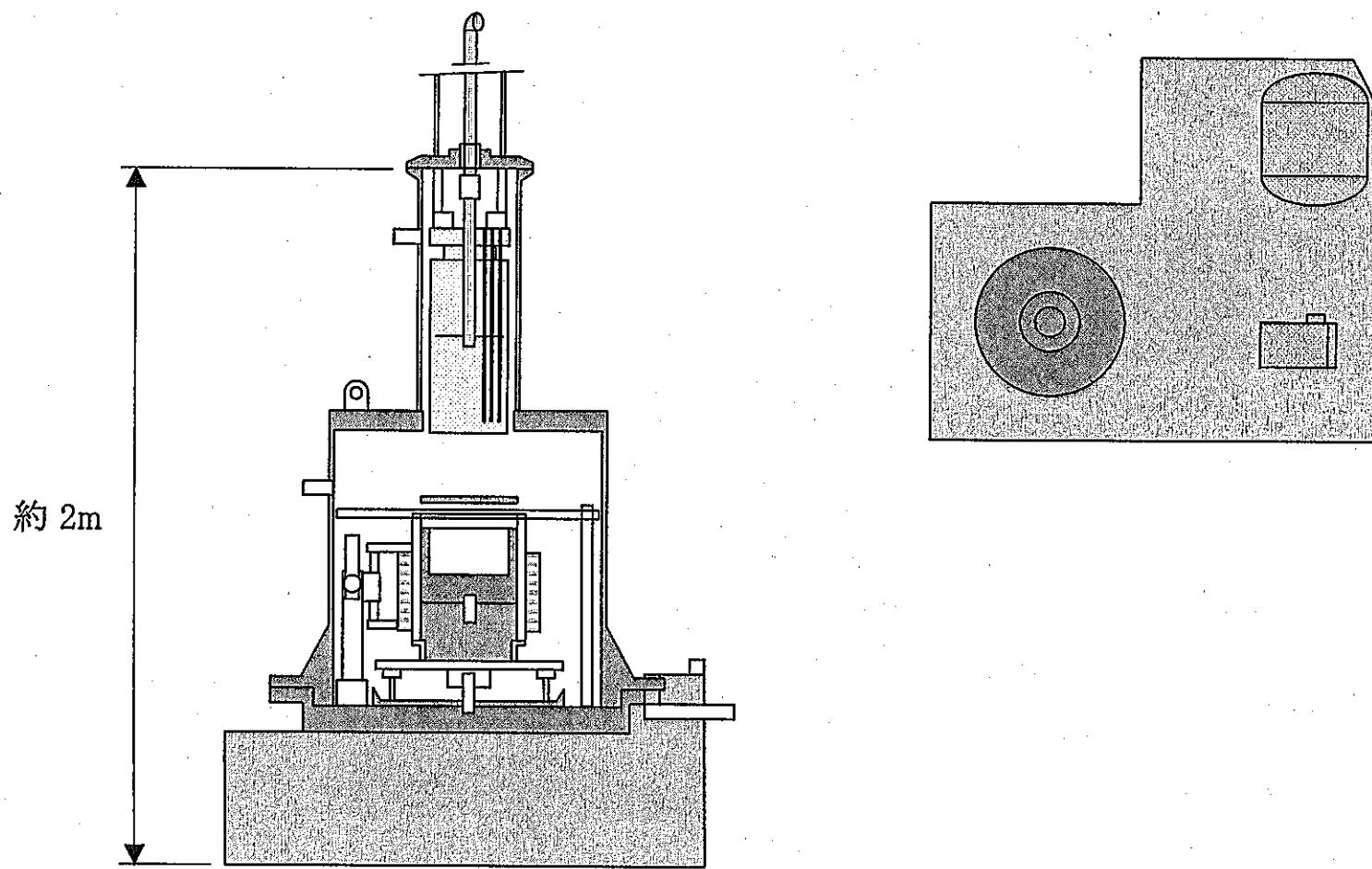


図 6.5.1 射出成型装置の概略構造図

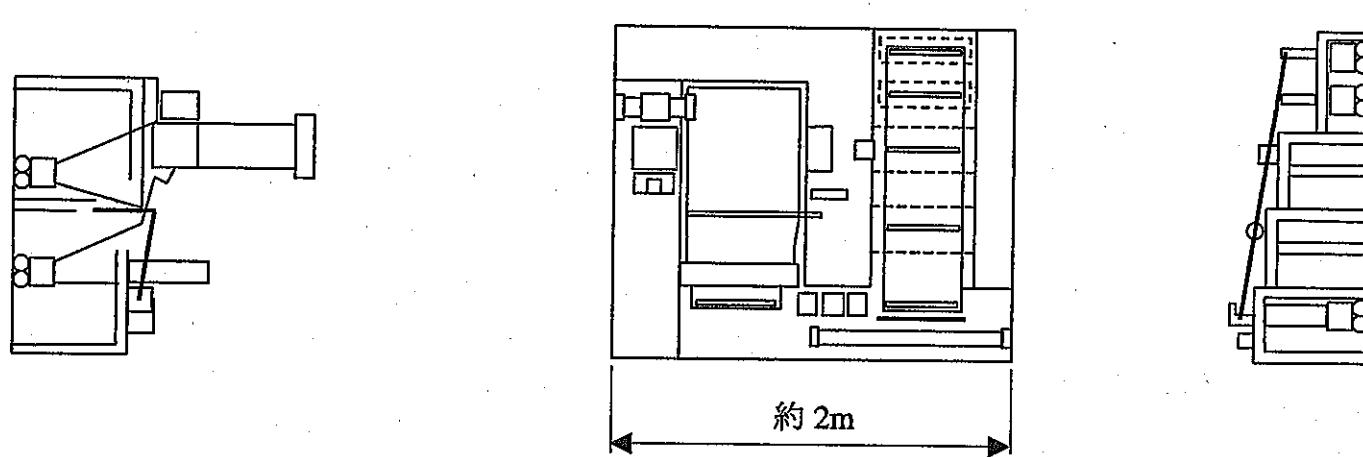


図 6.5.2 ピンプロセッサーの概略構造図

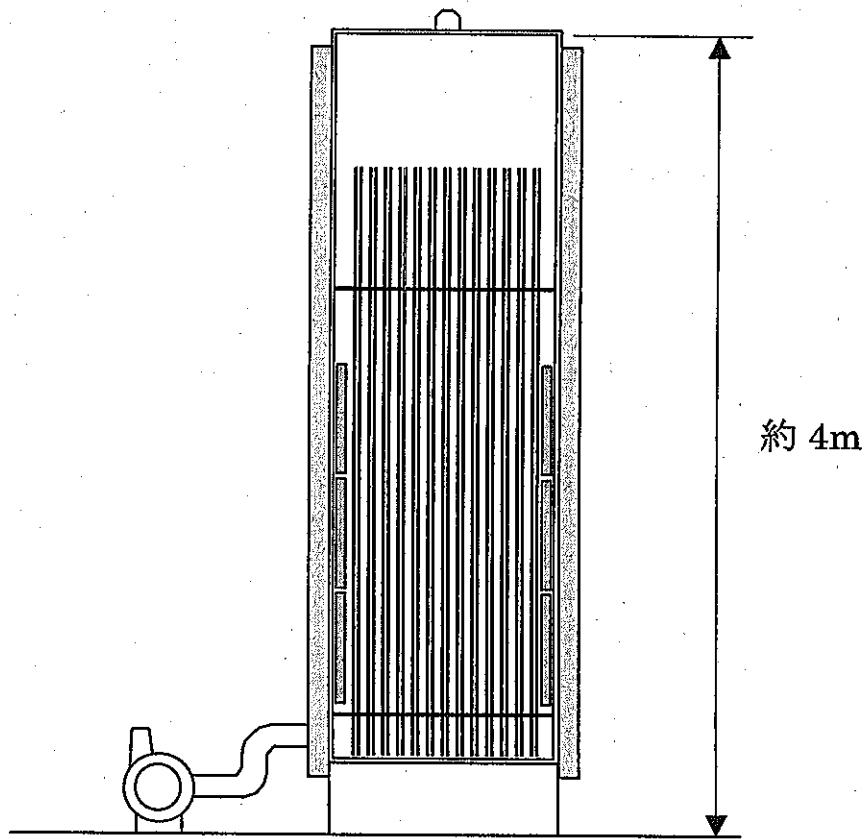


図 6.5.3 Na ボンディング装置の概略構造図

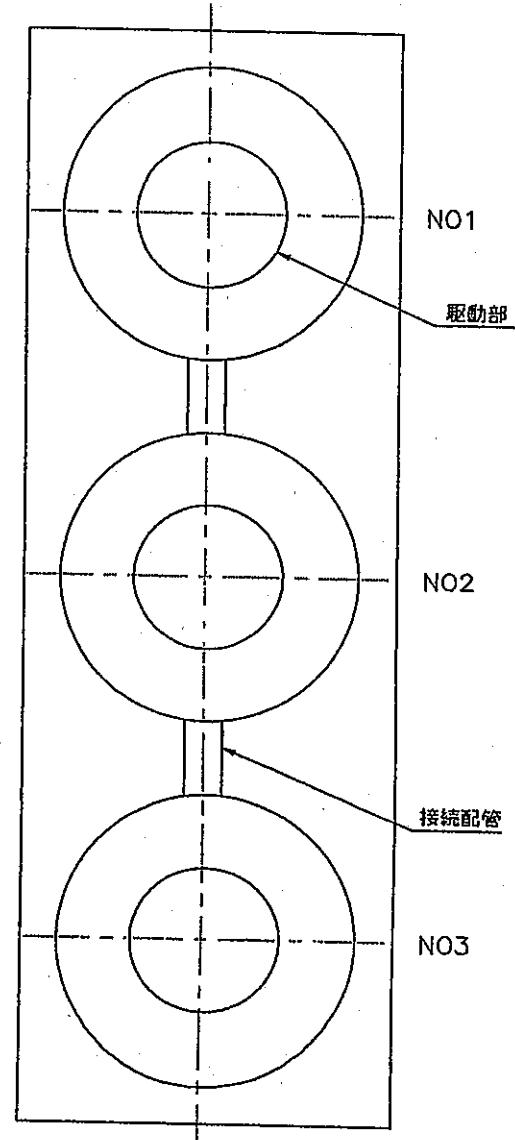
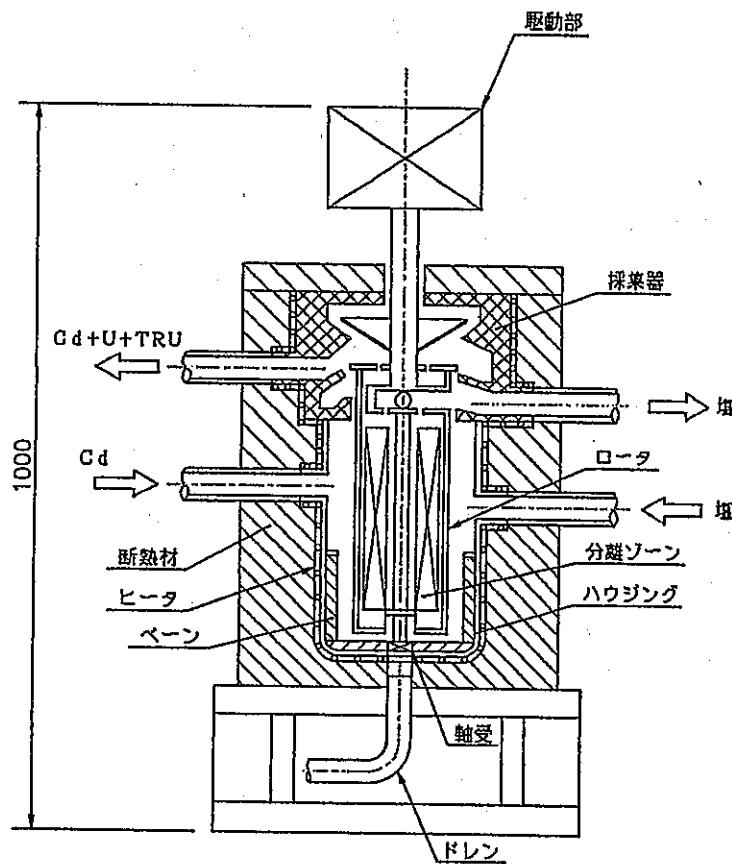


図 6.8.1 パイロコンタクタの概略構造図

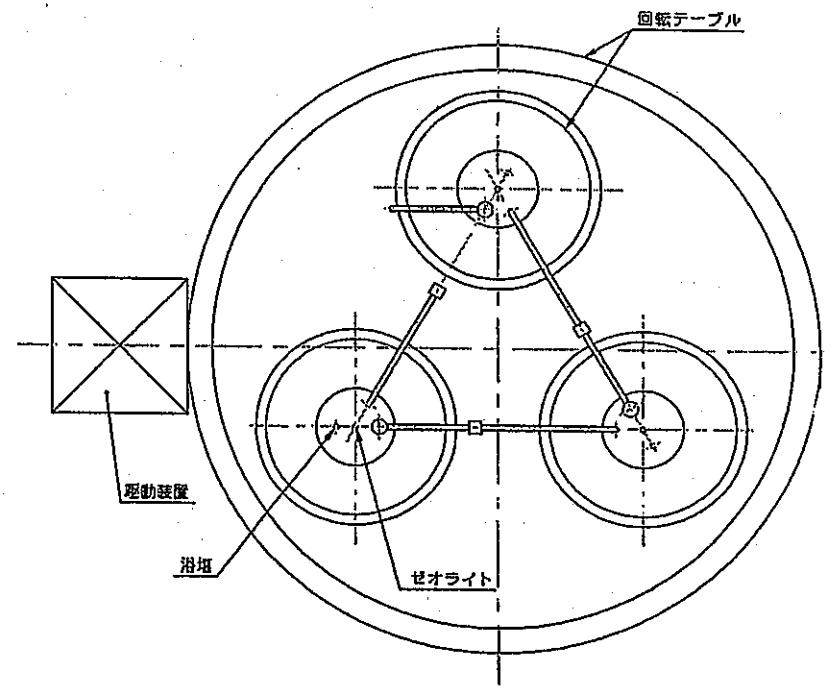
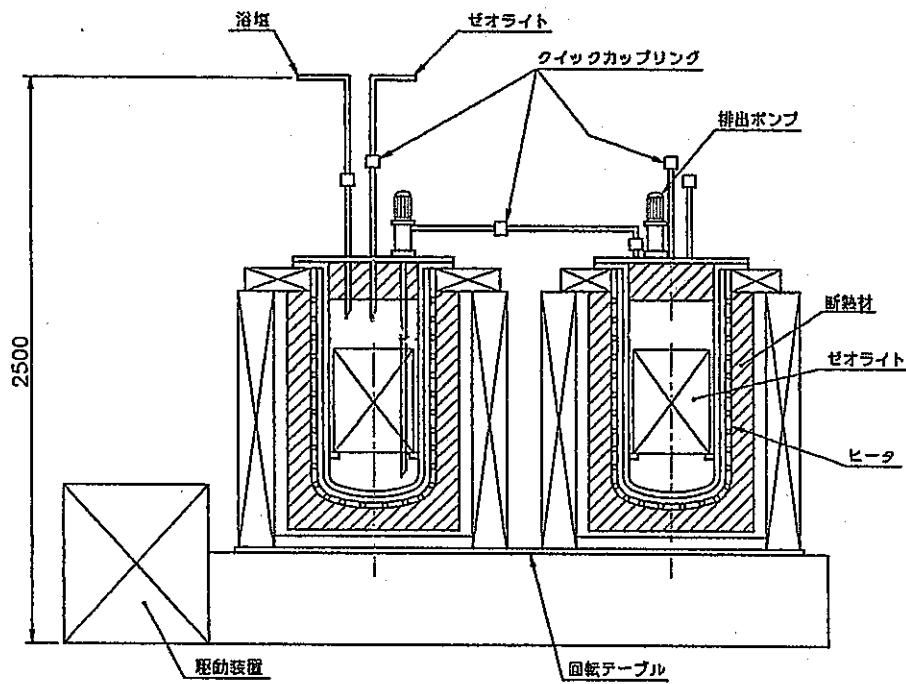


図 6.8.2 ゼオライトカラムの概略構造図

7. 施設設計

7.1 計量管理方法

本節では、本施設における計量管理方法を検討し、物質収支区域 (MBA)、主要測定点 (FKMP, IKMP) を設定し、MBA 計画図としてまとめた。ここで、MBA、KMP の定義は、次の通りである。

(a) 物質収支区域 (MBA ; Material Balance Area) :

IAEA の保障措置目的の物質収支を算出するため、その区域の内へ又は外への核物質の移転毎にその量を量定し、必要に応じ、その区域における核物質の実在庫を定められた手続きに従って量定することができる施設内又は施設外の区域のこと。

(b) 主要測定点 (KMP ; Key Measurement Point) :

主要測定点 KMP は、次の FKMP と IKMP とがあり、核物質が、その移動又は在庫を量定するために測定することができるよう状態に置かれる箇所である。従って主要測定点には、物質収支区域における入口、出口（測定済廃棄物の出口を含む）及び貯蔵箇所を含む。

(b-1) FKMP (Flow Key Measurement Point) : 流れの主要測定点。通常の施設運転時に測定を行うため、MBA 内に設けられた KMP をいう。

(b-2) IKMP (Inventory Key Measurement Point) : 在庫の主要測定点。実在庫調査を行うため、MBA 内に設けられた KMP をいう。

7.1.1 入量計量・出量管理方法の検討

湿式再処理施設での入量計量は、燃料が均一に溶解した計量槽内の液を分析することで行われる。一方、乾式リサイクルでは、均一に溶解した液がないことから独自の入量計量法を選定する必要がある。入量計量法は KMP の設定に影響する。入量計量としては、前処理又は再処理側で行うが、次の方程式が考えられる。

- ① 非破壊測定方式
- ② 燃焼計算+代表せん断ピンサンプリング方式
- ③ 溶融塩電解精製槽計量方式
- ④ 同位体相関方式
- ⑤ その他（専用入量計量槽追加方式）

これらの比較検討の結果を表 7.1.1 に示す。いずれの方式も課題を有しており何らかの検討、開発、実証が必要であるが、金属燃料リサイクルプラントとしては、①非破壊測定方式、米国 ANL が FCF において採用している②、④が有効なものと考えられる。但し、これらの方法は、今後、入量管理システムの開発、実証などが必要である。

また、出量管理としては、燃料製造設備側の射出成型工程において射出成型スラグの組成分析と重量測定により行うことが考えられる。

7.1.2 MBA 及び KMP の設定

本施設の MBA 及び KMP 案を図 7.1.1 に示す。本案では各 MBA 内での核物質の管理を以下のように行うことを想定した。これらに基づき、KMP を含めた MBA 計画図を図 7.1.2 に示す。

(1) MBA-1

MBA-1 は使用済燃料受入れと入量計量の区域である。この区域での核物質の管理は、燃料集合体単位での員数確認と非破壊測定での計量による。原子炉から取り出され冷却された使用済燃料集合体は、図 7.1.1 の FKMP の①を通って MBA-1 に受入れる。この時の受入管理は、燃料集合体番号による。非破壊測定装置にて上述の入量計量を行った後、FKMP の②を通して主工程区域に払い出す。

(2) MBA-2

MBA-2 は本施設の再処理作業の主工程（溶融塩電解、陰極析出物の処理、TRU 還元抽出/塩処理等の電解分解設備）区域、燃料製造工程（金属燃料の富化度調整、射出成型、燃料ピン組立、燃料集合体組立等の設備）区域、廃棄物処理工程区域及び分析室の区域である。MBA-2 への受入れ量は、FKMP の②で入量計量されたものである。燃料成分調整用原料については FKMP の⑤で重量及び化学分析にて行われる。また MBA-2 からの払出し量は、燃料については射出成型スラグの組成分析値と重量測定値から算出し、図 7.1.1 の FKMP の④で新燃料集合体の番号及び員数の確認にて行われる。分析済試料は FKMP の⑥で全量測定により行う。電解精製装置にて発生するハル及びゼオライトを固化した廃棄物は、FKMP の⑦にて非破壊分析後、保管設備に払い出す。

(3) MBA-3

MBA-3 は新燃料集合体の一時保管の区域である。MBA-1 での受入れ燃料と同じく、この区域での核物質の管理は、新燃料集合体単位での員数確認による。図 7.1.1 の FKMP の④は新燃料集合体の払出しであり、FKMP の③で確定した値である。上述の FKMP での測定に加えて各 MBA では IKMP にて在庫確認が行われる FKMP、IKMP の案をそれぞれ表 7.1.2、表 7.1.3 にまとめた。

7.2 運転・保守方針

7.2.1 運転

50tHM/y プラントの施設においては、すべてのセル内機器の基本操作およびマテリアルハンドリングは、原則としてマスタースレーブによる手動操作とする。この前提のもとに、各設備の運転フローを定めた。その運転フロー図を図 7.2.1 ~ 図 7.2.3 に示す。運転員数の合計は、前処理（受入れ・解体・せん断）設備 5 名、再処理設備（電解分離）9 名、燃料製造 15 名で、合計 29 人程度となった。ただし、ここでは直接の操作と監視に関わる者のみを算出した。すなわち、管理者、分析要員、間接人員など、現段階で算出が難しい要員は含めていない。

7.2.2 保守

本施設では、保守頻度および放射能レベルを考慮して、各セルを完全遠隔保守、遠隔・直接保守併用、直接保守、非交換に分類する。ただし、完全遠隔保守セルでも、セル内機器の一部の直接保守を可能とするため、隣接して保守セルを設ける。

7.3 セル・建屋内配置設計

5 章、6 章にて検討したプロセス設計、機器設計、および上述の運転・保守の

方針にもとづいて、50tHM/y 金属リサイクルプラントの主要セル及び建屋内の配置設計を行った。主なセル内の主要機器の概略配置を図 7.3.1～7.3.3 に示す。電解分離セルには、電解精製槽、陰極処理装置、向流抽出器、ゼイライトカラムなどを設ける。また、燃料製造設備ピン製造セルには、射出成型装置、ピン組立装置などを設ける。これらのセル配置をベースにした建屋内配置図を図 7.3.4～7.3.10 に示す。建屋形状は建屋の総規模をコンパクトにする観点から、分散型とはせず、再処理設備と燃料製造設備の主要設備、付帯設備、ユーティリティ設備等共用設備（一部を除く）を同一建屋内に配置する方式（単一建屋型）とした。

再処理設備と燃料製造設備などの機器等を設けた主建屋は、地下 1 階・地上 3 階の幅約 52.5m、長さ約 101m、高さ約 31m となり、その容積は、約 16.4 万 m³ となった。再処理設備関係の主工程セル容積は、受入・前処理セルが Ar セルで約 3,100m³、電解分離セルが Ar セルで約 5,300m³ で、合計約 8,400m³ となった。燃料製造設備関係の主工程セル容積は、燃料ピン密封前までのピン製造セルが Ar セルで、約 3900m³、燃料ピン密封後の集合体組立/取出セルが空気セルで、約 2,600 m³ で、合計約 6,500m³ となった。

一方、使用済/新燃料貯蔵建屋については、図 7.3.8～図 7.3.11 示す配置図となる。建屋の規模は、地下 1 階・地上 2 階で、幅約 58m、長さ約 54.6m、高さ約 26m となり、容積は約 8.2 万 m³ となった。

表 7.1.1 施設の入量計量方法の検討

手法	概念／特徴	課題等	評価
① 非破壊測定方式	燃料からのガンマ線又は中性子線等の放射線を測定することにより核物質量及び同位体組成を求める。 中性子, ガンマ線などの自発放射線を測定するパッシブ中性子法と中性子による誘導核分裂などの誘導放射線を測定するアクティブ中性子法がある。	破壊分析法に比べると測定時間は短いが精度が落ちる。現状の破壊分析法の精度は 0.05~0.3% であるが, 非破壊分析法では 1~3% である。 精度向上が課題である。	左記のように精度を約 1 衍向上させるための検討が必要である。下記の他方式と組み合わせて精度の補正を行うことも考えられる。
② 燃焼計算 + 代表せん断ピンサンプリング方式	燃料要素中央部のせん断片を代表としてサンプリング分析し, 燃焼計算結果を補正する。 ANL が FCF にて採用の方式である。	計算の補正で精度がどれだけ向上するかを評価する必要がある。 また, FCF では燃料要素を 1 本づつせん断しているのでサンプリング可能であるが, 商用施設では燃料要素を数本まとめてせん断するのでサンプリング装置の工夫が必要である。	商用施設では燃料要素中央部のせん断片であることの検証が求められると考える。現実的には困難である。
③ 溶融塩電解槽計量方式	溶融塩電解槽での塩中の Pu,U をサンプリング分析する。	Pu,U が塩へ 100% 溶解することが前提となるが陽極溶解するので金属燃料では成立しない。	採用不可
④ 同位体相関方式	希ガス FP 等の量との相関から Pu,U の量を定める。	初期濃縮度等の影響を受けるので高精度を実証する必要がある。	希ガス FP の同位体相関は集合体単位で計測できるため 1 % 程度の精度が実験的に得られれば将来適用の可能性はある。

表 7.1.2 施設の流れの KMP 案

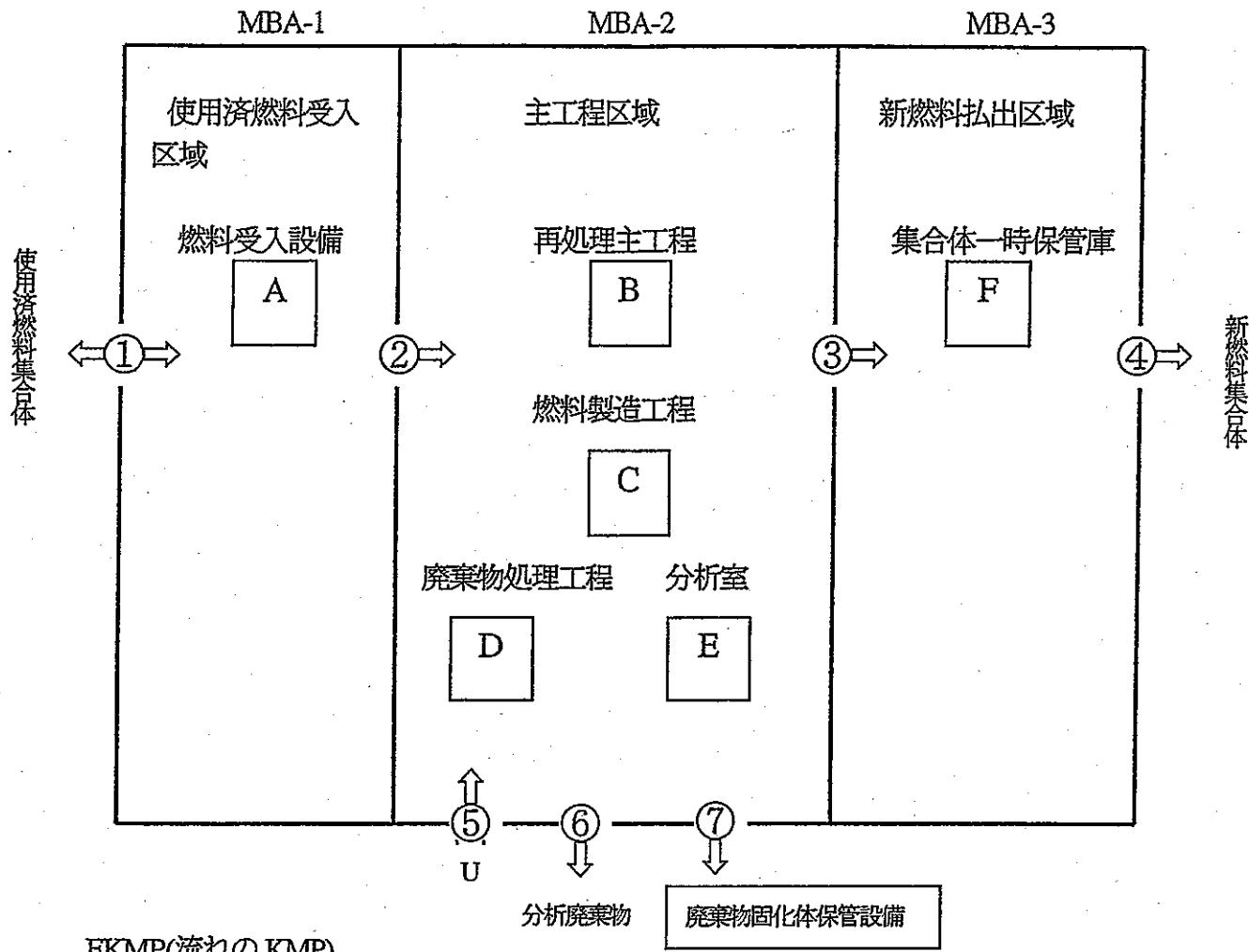
物質収支区域	FKMP	核物質の性状	測定の目的	測定方法
MBA-1	1	燃料集合体	員数確認	計数・目視
MBA-1	2	燃料集合体又はピン	含有量確定	非破壊分析
MBA-2	3	燃料集合体	含有量確定／員数確認	化学分析及び重量測定／計数・目視
MBA-3	4	同上	員数確認	計数・目視
MBA-2	5	金属 U	含有量確定	化学分析及び重量測定
MBA-2	6	分析済試料 (固体,液体)	同上	同上
MBA-2	7	廃棄物固化体(樹脂固化体)／ハル廃棄物	同上	非破壊分析

表 7.1.3 施設の在庫の KMP 案

物質収支区域	IKMP	核物質存在場所	核物質の性状	測定の目的	測定方法
MBA-1	A	燃料受入設備セル	燃料集合体	員数確認	計数・目視
	B	溶融塩電解槽	塩,金属	含有量確定	化学分析及び重量測定
	C	金属受入貯蔵庫	金属インゴット	同上	同上
		劣化 U 貯蔵庫	同上	同上	同上
MBA-2		燃料ピン一時保管庫	燃料ピン	員数確認	計数・目視
		燃料要素一時保管庫	燃料要素	同上	同上
	D	燃料集合体組立装置	燃料集合体	同上	同上
	E	樹脂固化装置	金属	含有量確定	化学分析及び重量測定
	F	分析室	固体,液体	同上	化学分析及び重量測定
MBA-3		燃料集合体一時保管庫	燃料集合体	員数確認	計数・目視

表7.2.1 各設備の運転員数

主な設備	主な運転項目	運転員数(人/年)	
		50tHM/年	200tHM/年
前処理設備	・解体関係 ・廃棄物収納関係 ・燃料バッファー対応関係 ・ワイヤ除去関係 ・ピンせん断関係 ・その他	約5	約6
電解分離設備 (再処理)	・電解精製関係 ・抽出(HM回収)関係 ・固体陰極処理関係 ・Cd陰極処理関係 ・その他	約9	約34
燃料製造設備	・富化度調整関係 ・射出成型関係 ・モールド除去・スラグ検査関係 ・燃料ピン組立関係 ・除染関係 ・Naボンディング関係 ・燃料ピン検査関係 ・ワイヤートラッピング関係 ・集合体組立関係 ・その他	約15	約54
合 計		約29	約94



FKMP(流れの KMP)

- ① 使用済燃料の受入及び払い出し
- ② 使用済燃料集合体の計量と主工程区域への移動
- ③ 新燃料集合体の払出区域への移動
- ④ 新燃料集合体の払い出し
- ⑤ 新燃料成分調整用原料の受入
- ⑥ 分析済試料(核物質)の払い出し
- ⑦ 廃棄物固化体の払い出し

IKMP(在庫の KMP)

- A 使用済燃料貯蔵区域の在庫
- B 再処理主工程に含まれる核物質
- C 燃料製造工程に含まれる核物質
- D 廃棄物処理工程に含まれる核物質
- E 分析室内の核物質
- F 新燃料払出区域の在庫

図 7.1.1 金属燃料リサイクル施設の MBA および KMP 案

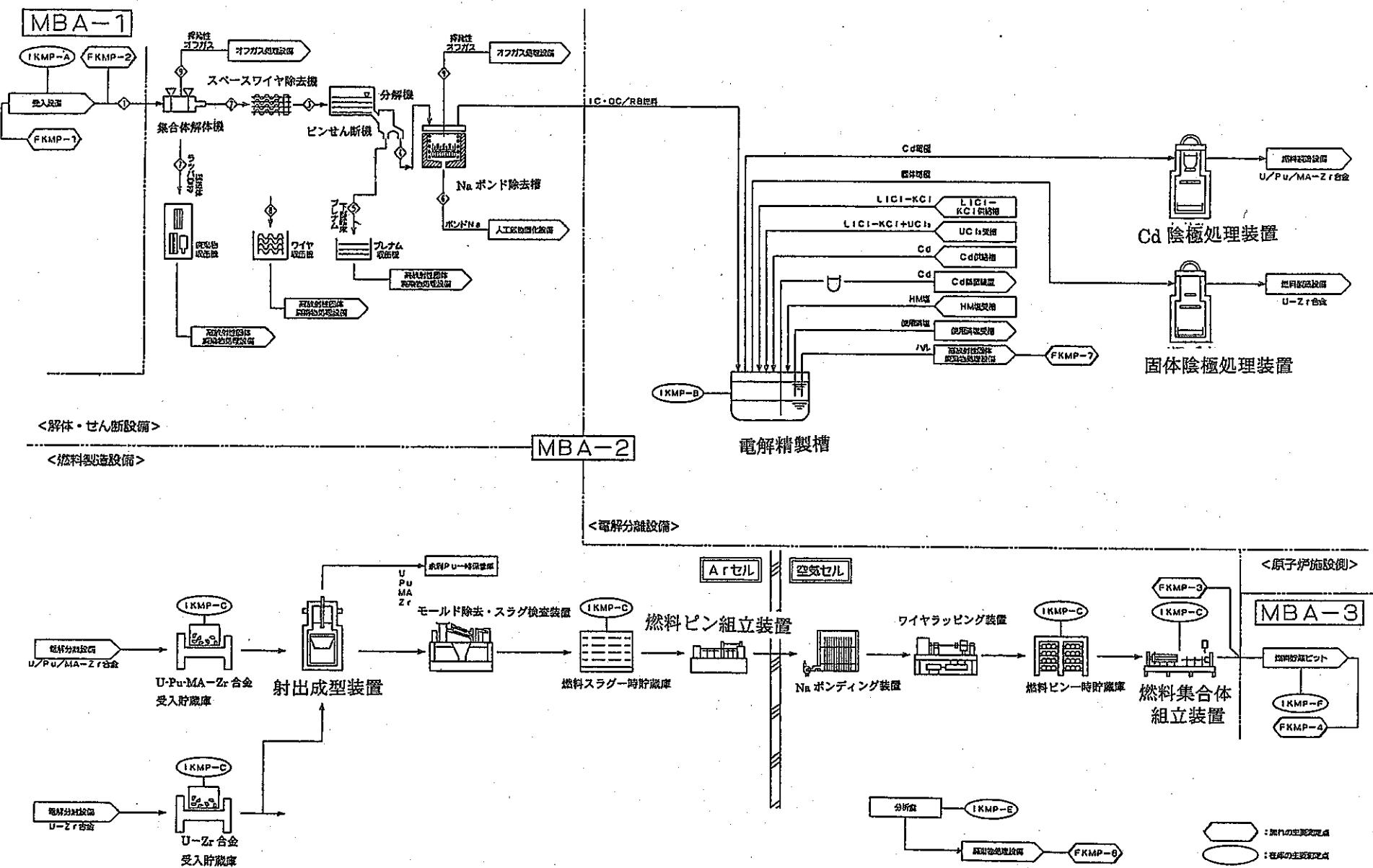


図 7.1.2 金属燃料リサイクル施設の MBA 計画図

主要な運転流れ図	運転概要	安全管理	その他
<p>(セル内)</p> <p>廃棄物収缶機 (長ドラム)</p> <p>集合体構造物(廃棄物)</p> <p>ワイヤ (スベーパー)</p> <p>人工鉱物固化設備へ払出し</p>	<p>(集合体受入れは受入設備) 解体 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 1名(200ton の場合も 1名)</p> <p>廃棄物収缶機 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 1名(200ton の場合も 1名)</p> <p>燃料バッファ 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 1名(200ton の場合も 1名)</p> <p>ワイヤ除去機 ピンせん断機 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 1名(200ton の場合 2名)</p> <p>分配器 (自動運転) プレナム缶収缶機 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 0名</p> <p>バスケットテーブル 自動運転 運転監視(I TV) 運転要員 0名</p> <p>クレーン 手動運転 運転監視(I TV) 運転要員 1名(200ton の場合 1名)</p> <p>運転要員小計 5名 (200ton の場合 6名)</p>	<p>集合体受渡確認 せん断(解体)状況確認</p> <p>ピン種類確認</p> <p>扉開閉確認</p>	

図 7.2.1 前処理設備の運転概要と運転要員

主要な運転流れ図	運転概要	安全管理	その他
<p>■ : 対象物質 → : 主プロセスフロー □ : 装置、容器又は機器 → : その他のフロー ▲ : サンプリング又は秤量 (A)は計量管理、(P)はプロセス運転管理</p>	<p>通常運転時に必要な運転員数を記載する。 施設全体の運転の流れが分かるように機器単位で記載する。</p>	<p>運転員数 9名／勤 (200tonの場合34名) 内訳) ○ 内は200tonの場合 勤務精銳： 4名 (16) HM回収： 1名 (2) 障害処理： 4名 (16)</p> <p>重鉛精製機 9基 各電極3個、毎日取出し (1勤当たり9個取出し)</p> <p>向流抽出器 1基</p> <p>固体陰極 Cd陰極用取出し装置 固体折出物 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 金属U</p> <p>液体Cd陰極 Cd陰極用受槽 Cd-U-Pu 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 U-Pu-MA合金</p> <p>溶解化槽 HM塩化物 抽出後Cd受槽 Cd-HM 抽出後HM受槽 HM塩受槽</p> <p>ハル ハム ゼオライトカラム 使用済液槽 Cd-HM</p> <p>サンプリング(A) 秤量(A,P) サンプリング(P)</p>	
<p>Aセル</p>	<p>運転員数 9名／勤 (200tonの場合34名) 内訳) ○ 内は200tonの場合 勤務精銳： 4名 (16) HM回収： 1名 (2) 障害処理： 4名 (16)</p> <p>重鉛精製機 9基 各電極3個、毎日取出し (1勤当たり9個取出し)</p> <p>向流抽出器 1基</p> <p>固体陰極 Cd陰極用取出し装置 固体折出物 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 金属U</p> <p>液体Cd陰極 Cd陰極用受槽 Cd-U-Pu 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 U-Pu-MA合金</p> <p>溶解化槽 HM塩化物 抽出後Cd受槽 Cd-HM 抽出後HM受槽 HM塩受槽</p> <p>ハル ハム ゼオライトカラム 使用済液槽 Cd-HM</p> <p>サンプリング(A) 秤量(A,P) サンプリング(P)</p>	<p>運転員数 9名／勤 (200tonの場合34名) 内訳) ○ 内は200tonの場合 勤務精銳： 4名 (16) HM回収： 1名 (2) 障害処理： 4名 (16)</p> <p>重鉛精製機 9基 各電極3個、毎日取出し (1勤当たり9個取出し)</p> <p>向流抽出器 1基</p> <p>固体陰極 Cd陰極用取出し装置 固体折出物 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 金属U</p> <p>液体Cd陰極 Cd陰極用受槽 Cd-U-Pu 陰極処理るつぼ 陰極処理装置 U-Pu-MA合金</p> <p>溶解化槽 HM塩化物 抽出後Cd受槽 Cd-HM 抽出後HM受槽 HM塩受槽</p> <p>ハル ハム ゼオライトカラム 使用済液槽 Cd-HM</p> <p>サンプリング(A) 秤量(A,P) サンプリング(P)</p>	

図 7.2.2 再処理設備（電解分離）の運転概要と運転要員

主 要 な 運 転 流 れ 図	運転概要	安全管 理	その 他
<p>■ : 対象物質 □ : 装置、容器又は機器 □---□ : サンプリング又は秤量</p> <p>(A)は計量管理、(P)はプロセス運転管理</p>	<p>通常運転時に必要な運転員数を記載する。 施設全体の運転の流れが分かるように機器単位で記載する。</p>	運転員数 15名／勤 (200tonの場合54名) 内訳 () 内は200tonの場合	臨界管理を含む
<p>Arセル</p> <p>ジルコニウム → インゴット</p> <p>金属劣化ウラン → 射出成型るっぽ (秤量(A.P.))</p> <p>射出成型装置 (サンプリング(P.))</p> <p>ヒール → スラグ</p> <p>ドロス除去 (モールド除去・スラグ検査装置(P.A.))</p> <p>モールド (モールド除去・スラグ検査装置(P.A.))</p> <p>スクラップ → 合格スラグ (モールド)</p> <p>ボンドNa → 燃料ビン組立装置 (秤量(P.))</p> <p>燃料ビン組立装置 (リーケ検査装置 (秤量(P.)))</p> <p>燃料ビン</p> <p>Arセル</p> <p>空気セル</p> <p>機器移送ロック</p> <p>表面除染装置</p> <p>Naボンディング装置</p> <p>燃料ビン総合検査装置</p> <p>ワイヤーラッピング装置</p> <p>燃料集合体組立装置</p> <p>燃料集合体検査装置</p> <p>燃料集合体一時保管</p>	<p>運転員数 15名／勤 (200tonの場合54名) 内訳 () 内は200tonの場合</p> <p>空化度調整: 2名 (8名) 装荷量の質量管理</p> <p>射出成型装置: 5基, 3名 (20基, 10名)</p> <p>モールド除去・スラグ検査装置: 1基, 1名 (4基, 4名)</p> <p>燃料ビン組立装置: 1基, 1名 (4基, 4名)</p> <p>除染: 1名 (4名)</p> <p>Naボンディング装置: 1基, 1名 (4基, 4名)</p> <p>燃料ビン総合検査装置: 1基, 2名 (4基, 8名)</p> <p>ワイヤーラッピング装置: 1基, 2名 (4基, 8名)</p> <p>集合体組立装置: 1基, 2名 (2基, 4名)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 運転員数 15名／勤 (200tonの場合54名) 内訳 () 内は200tonの場合 空化度調整: 2名 (8名) 装荷量の質量管理 射出成型装置: 5基, 3名 (20基, 10名) モールド除去・スラグ検査装置: 1基, 1名 (4基, 4名) 燃料ビン組立装置: 1基, 1名 (4基, 4名) 除染: 1名 (4名) Naボンディング装置: 1基, 1名 (4基, 4名) 燃料ビン総合検査装置: 1基, 2名 (4基, 8名) ワイヤーラッピング装置: 1基, 2名 (4基, 8名) 集合体組立装置: 1基, 2名 (2基, 4名) 	検査を含む

図 7.2.3 燃料製造設備の運転概要と運転要員

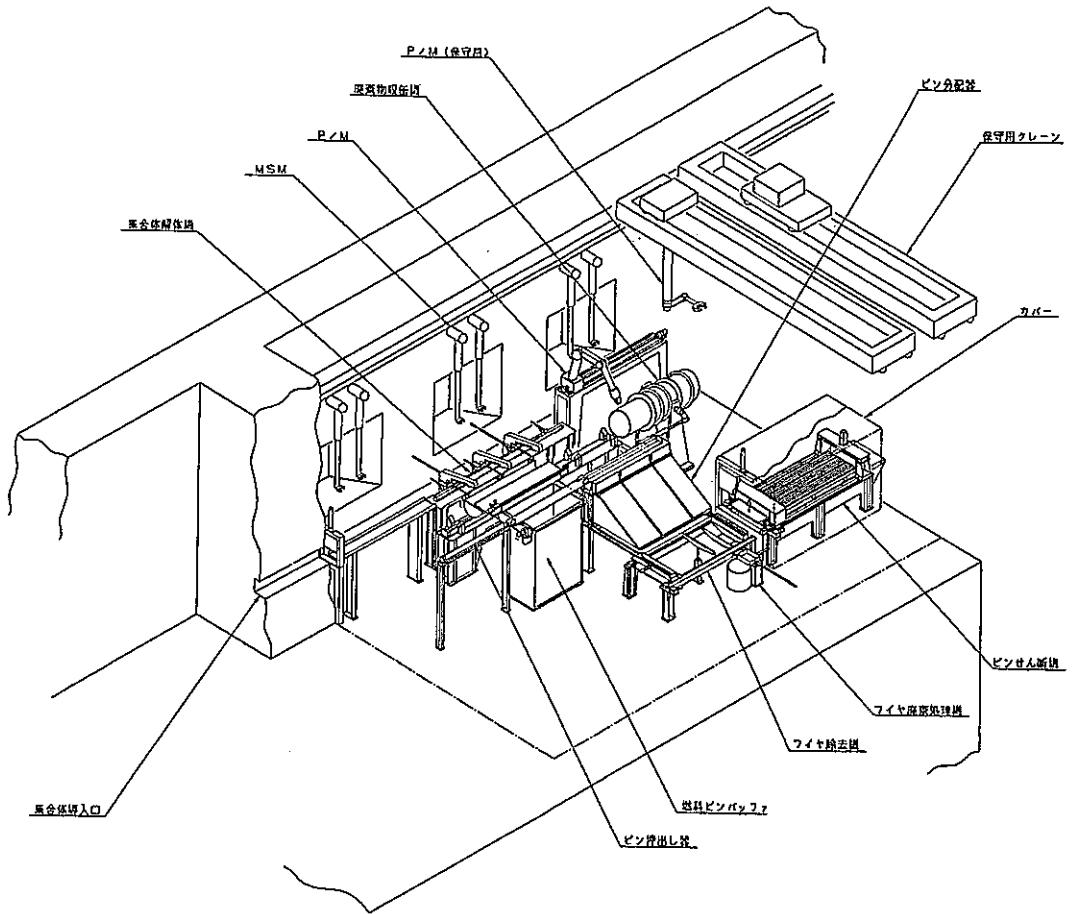


図 7.3.1 前処理セル (Ar セル) 内の主要機器の配置

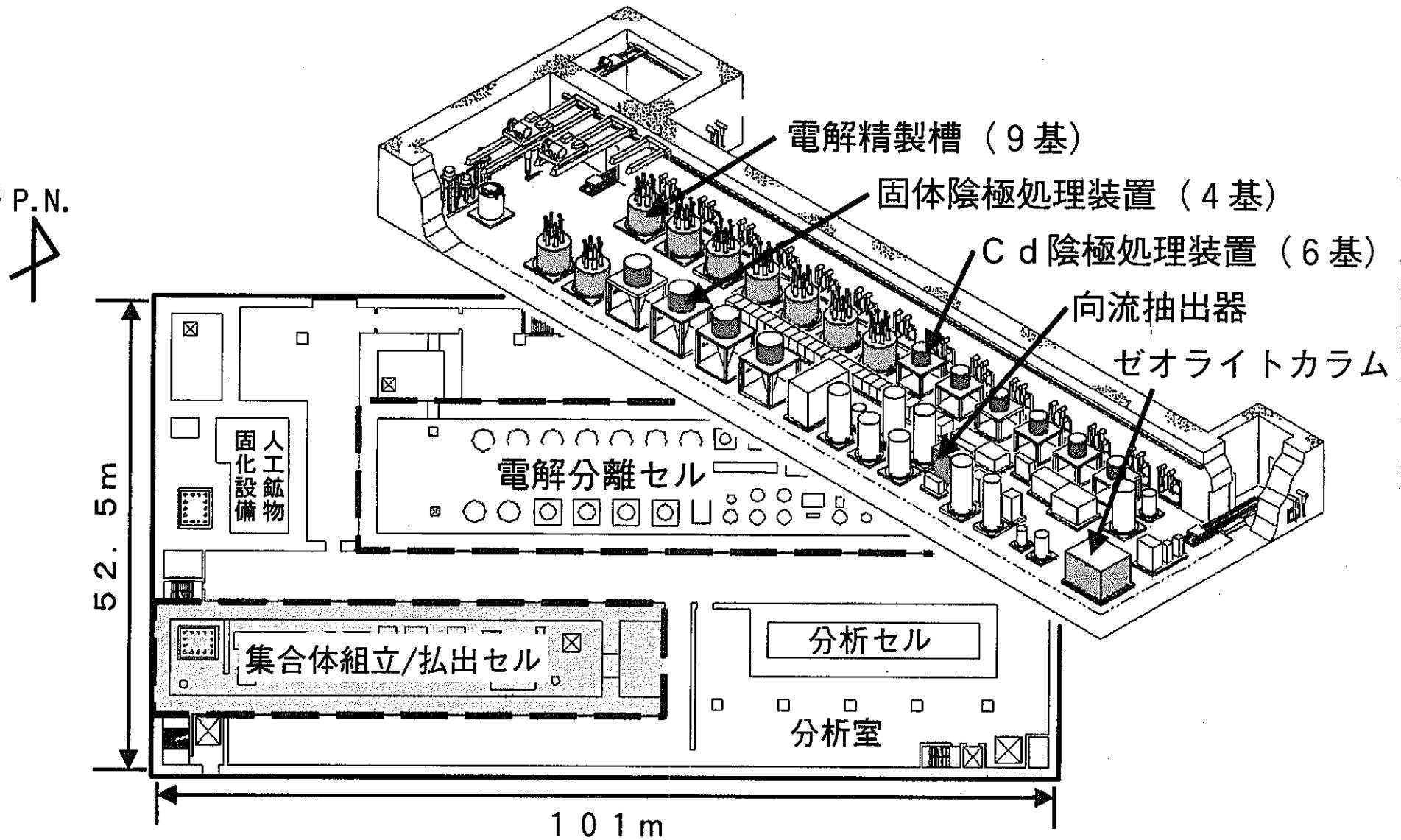


図 7.3.2 再処理設備電解分離セル（Ar セル）内の主要機器の配置

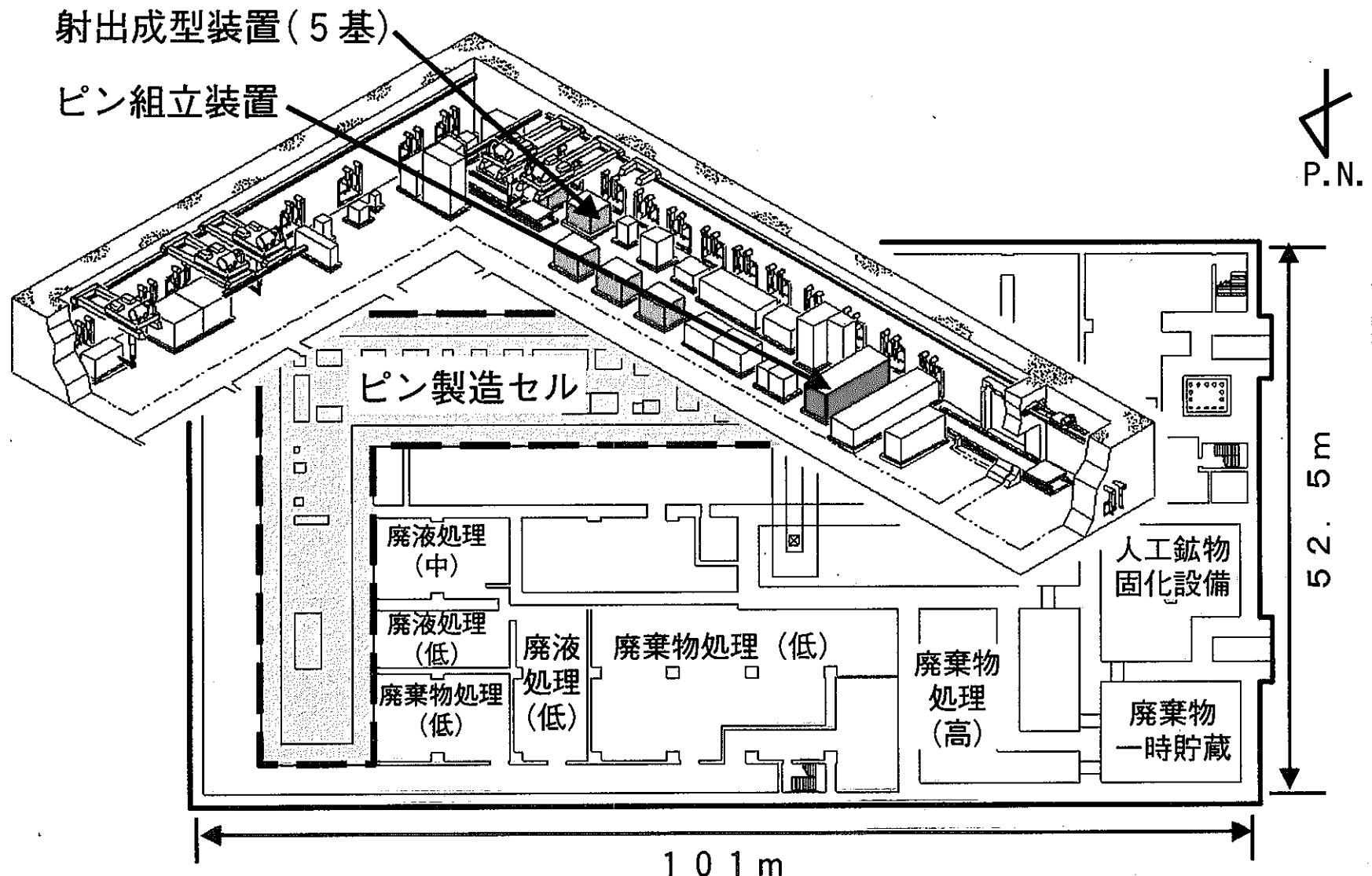


図 7.3.3 燃料製造設備ピニ製造セル (Ar セル) 内の主要機器の配置

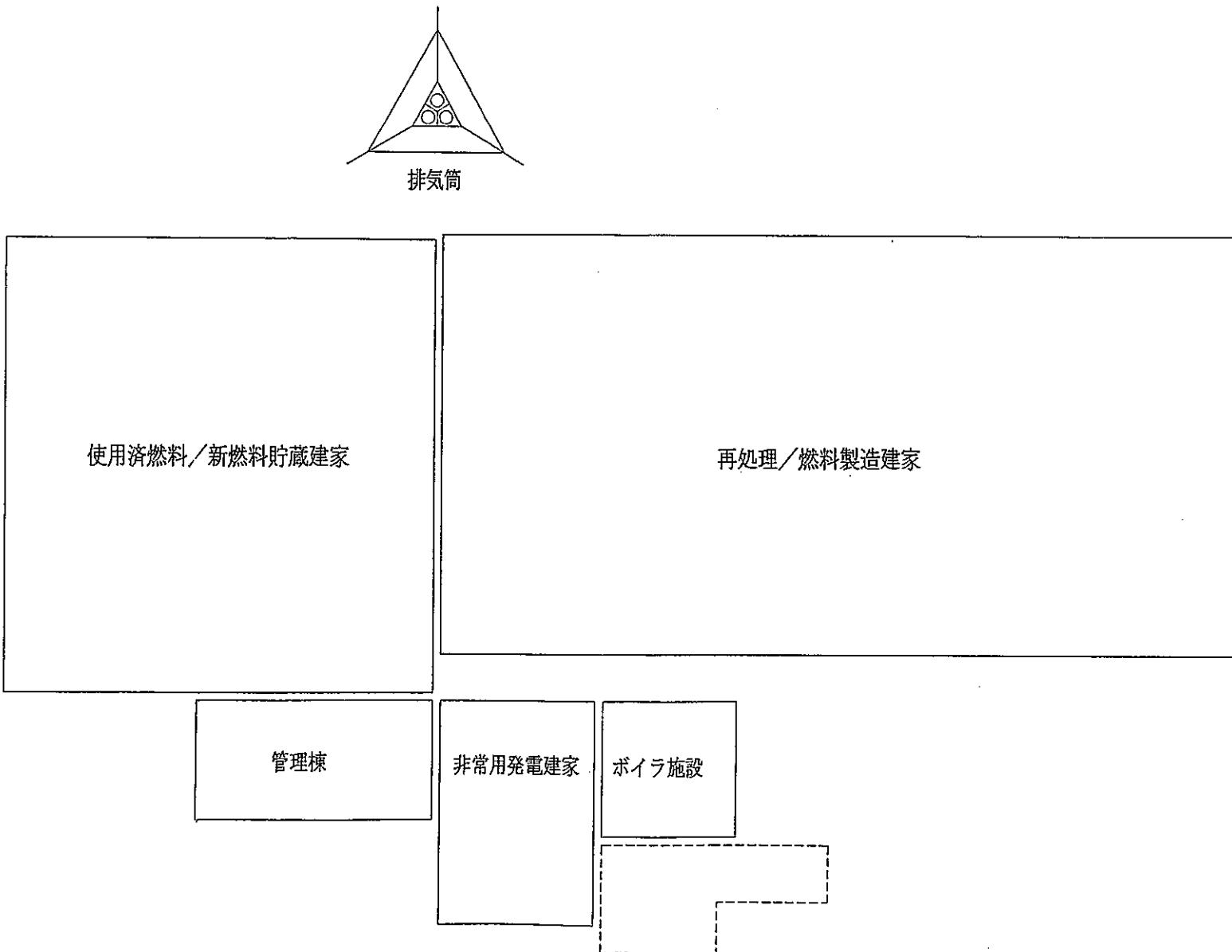


図 7.3.4 50 t HM／年施設の全体配置図（平面図）

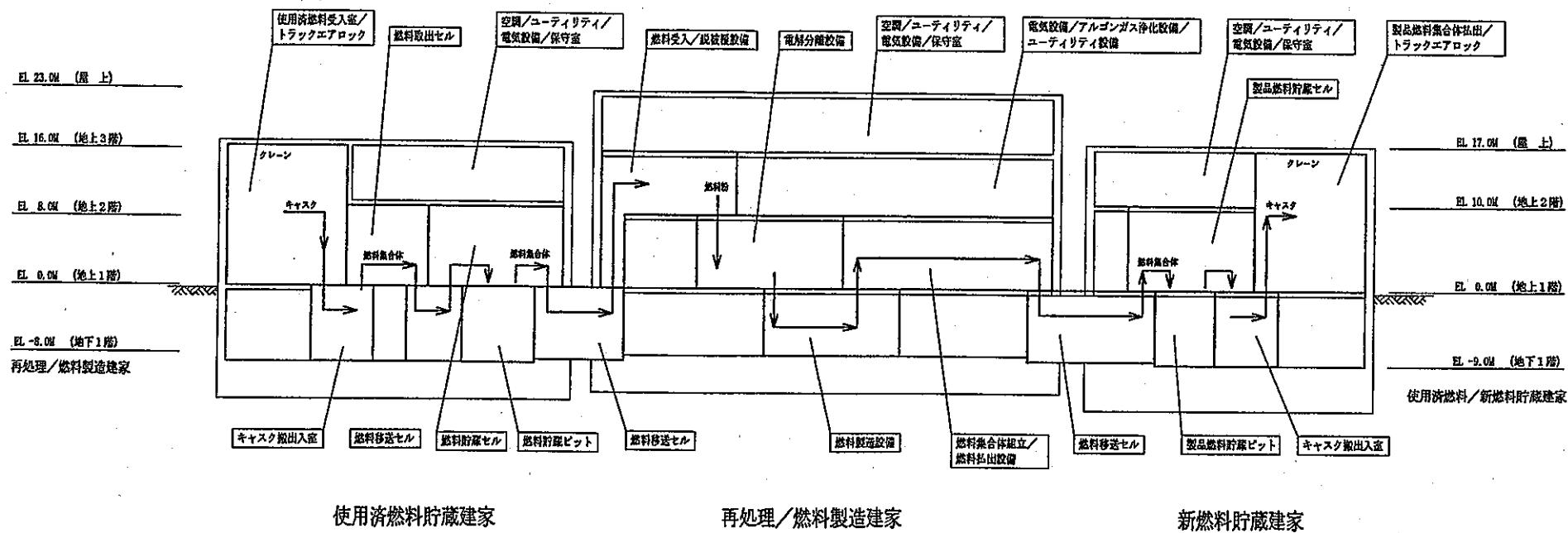


図 7.3.5 50 t HM/年施設の全体配置図（立面図）

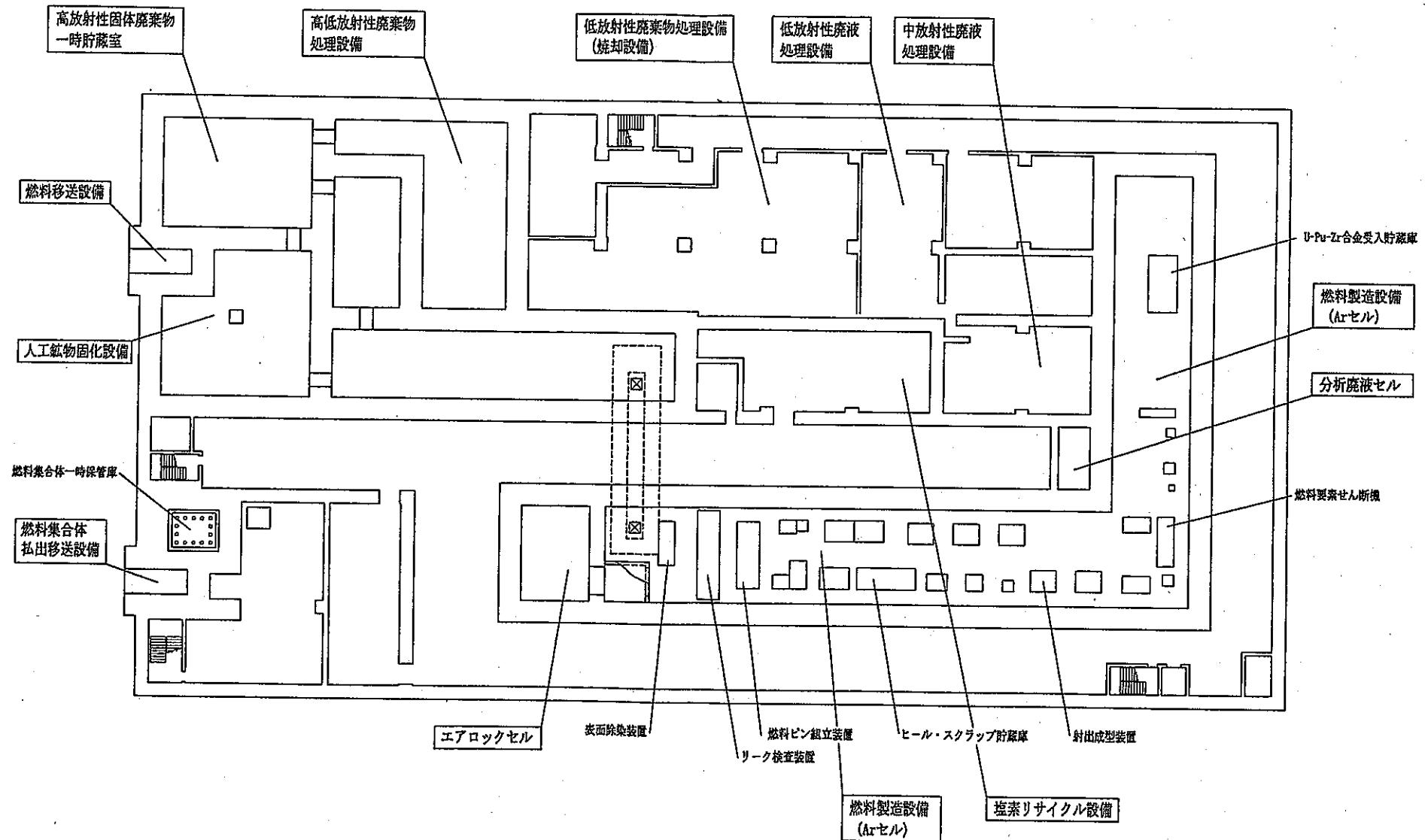


図 7.3.6 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（地下 1 階）

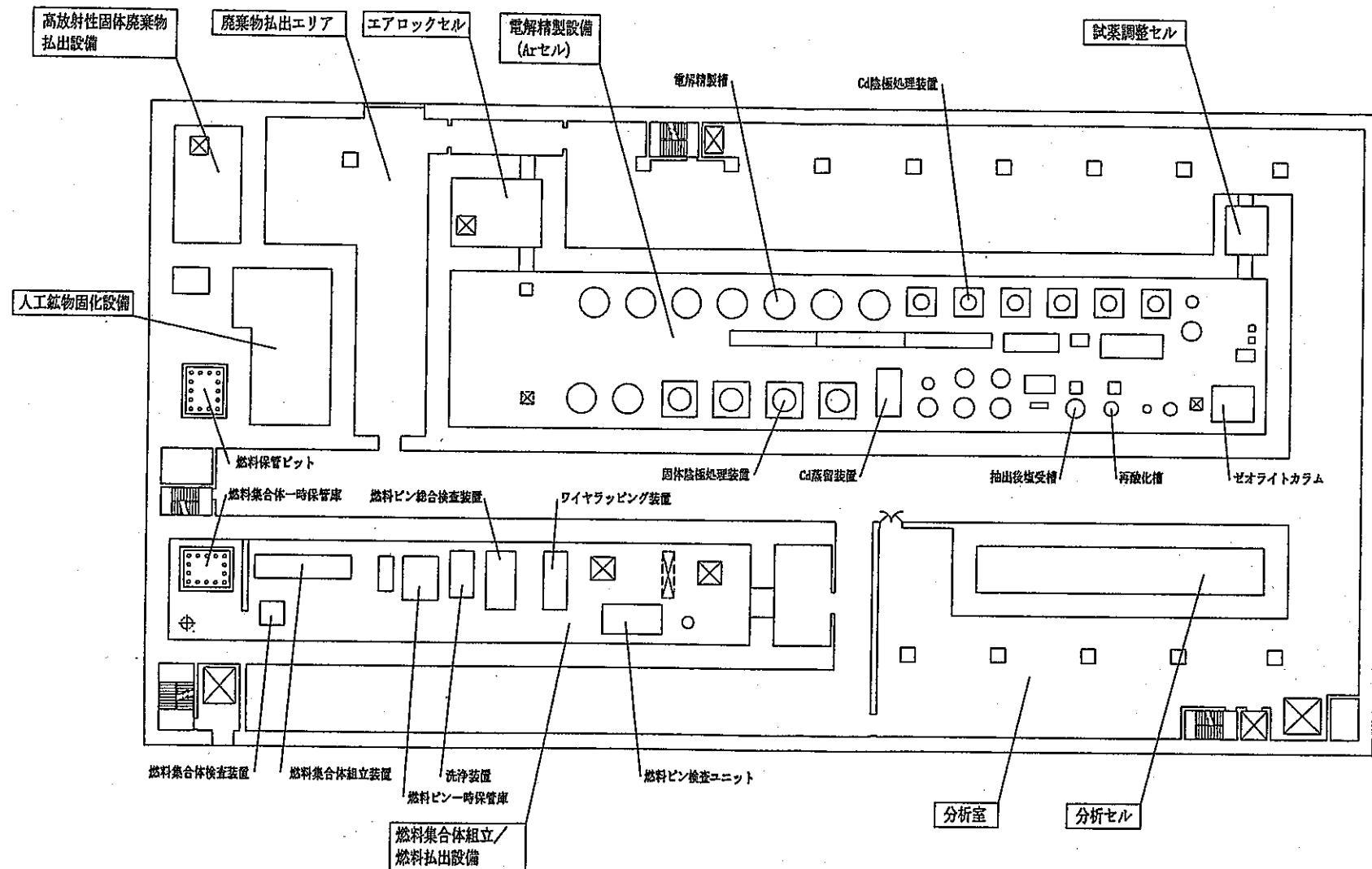


図 7.3.7 50 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（1階）

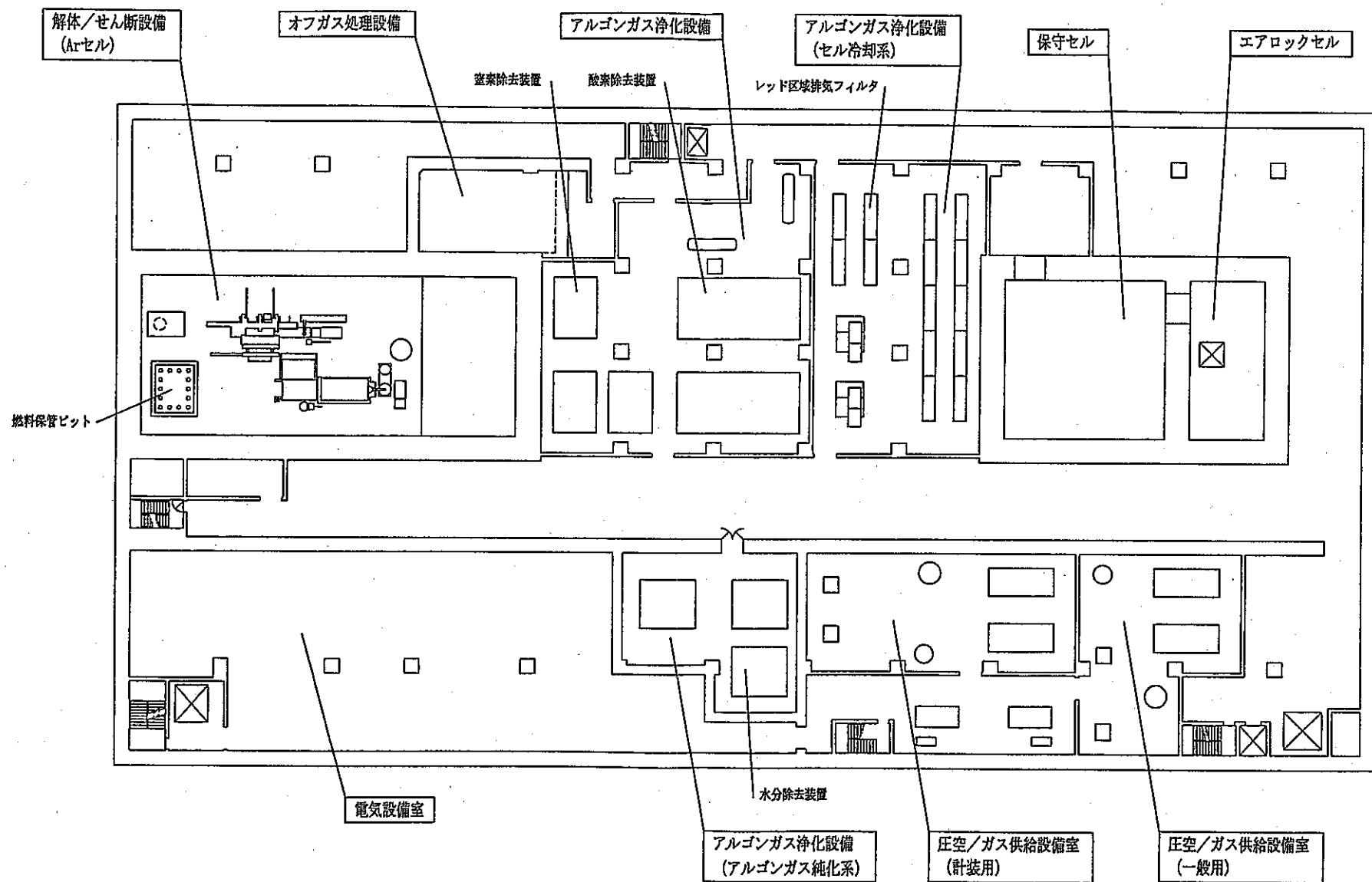


図 7.3.8 50 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（2階）

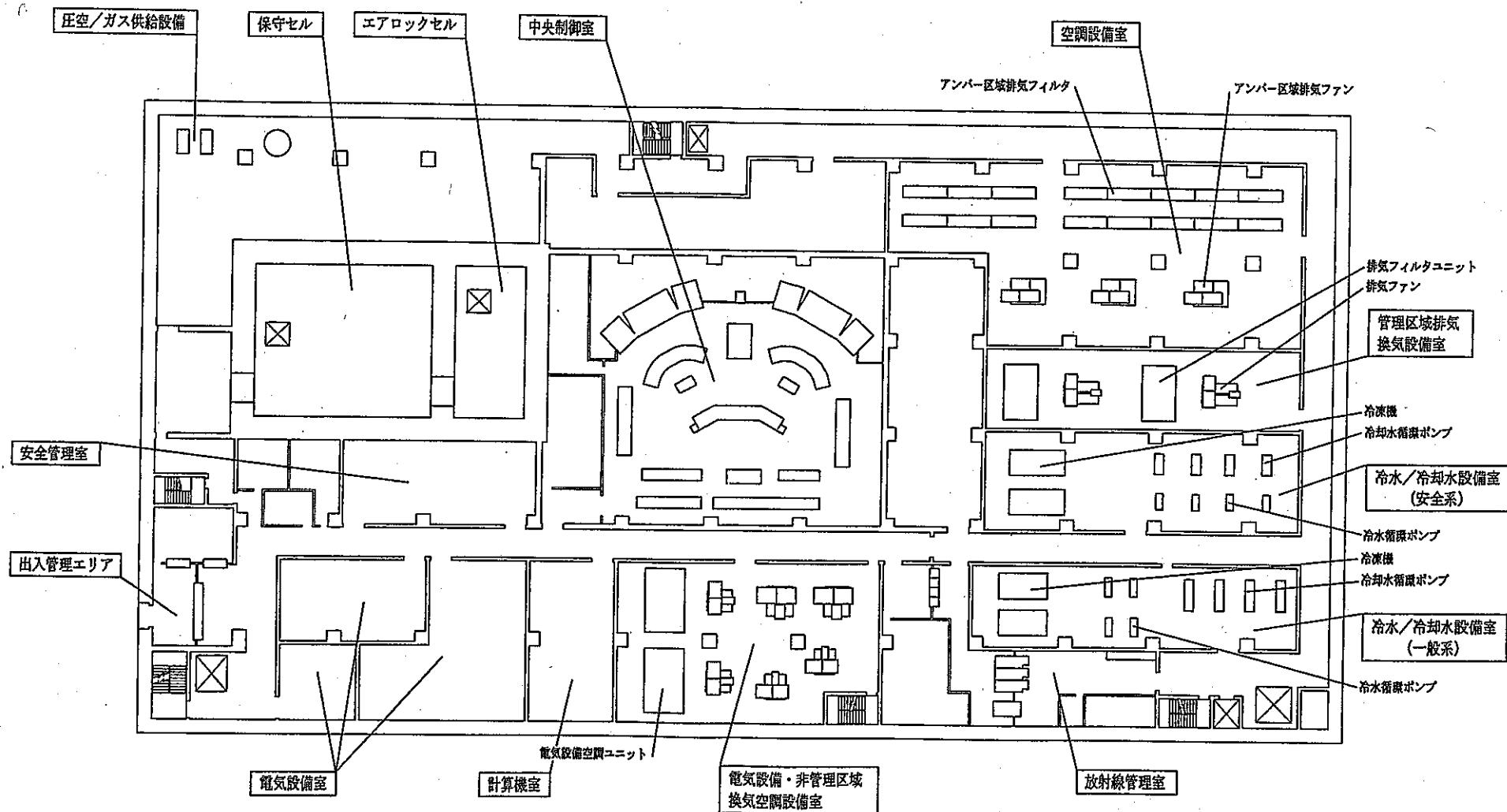


図 7.3.9 50 t HM/年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（3階）

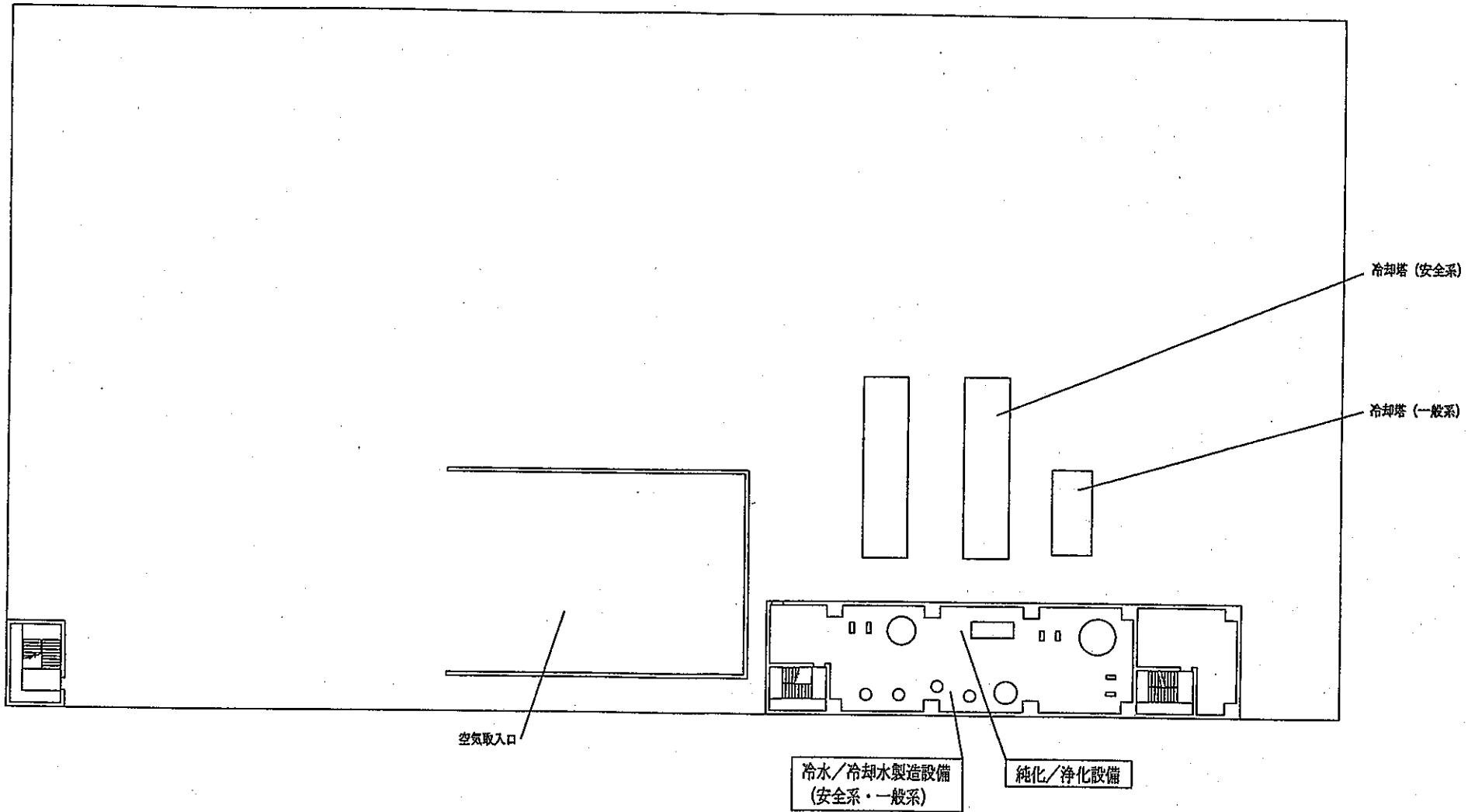


図 7.3.10 50 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（屋上）

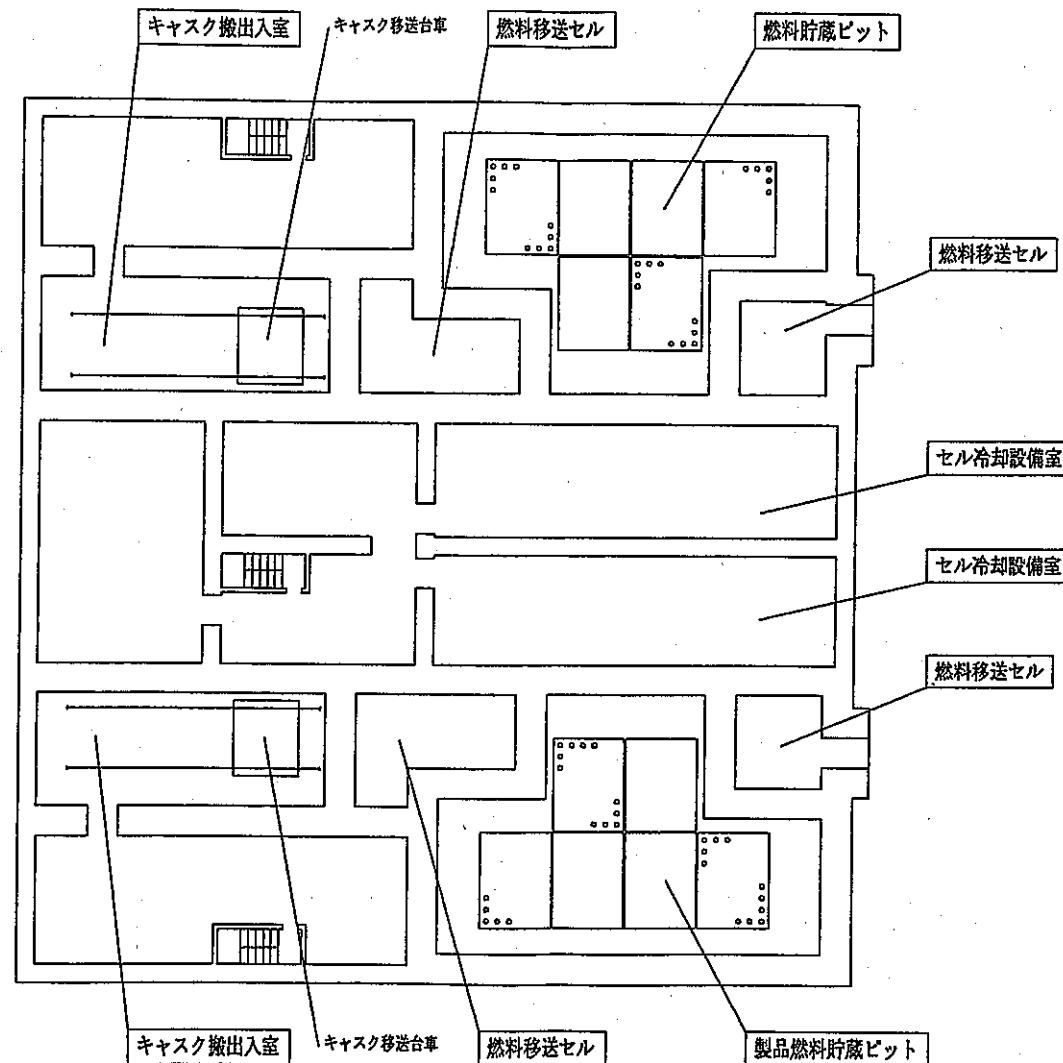


図 7.3.11 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（地下1階）

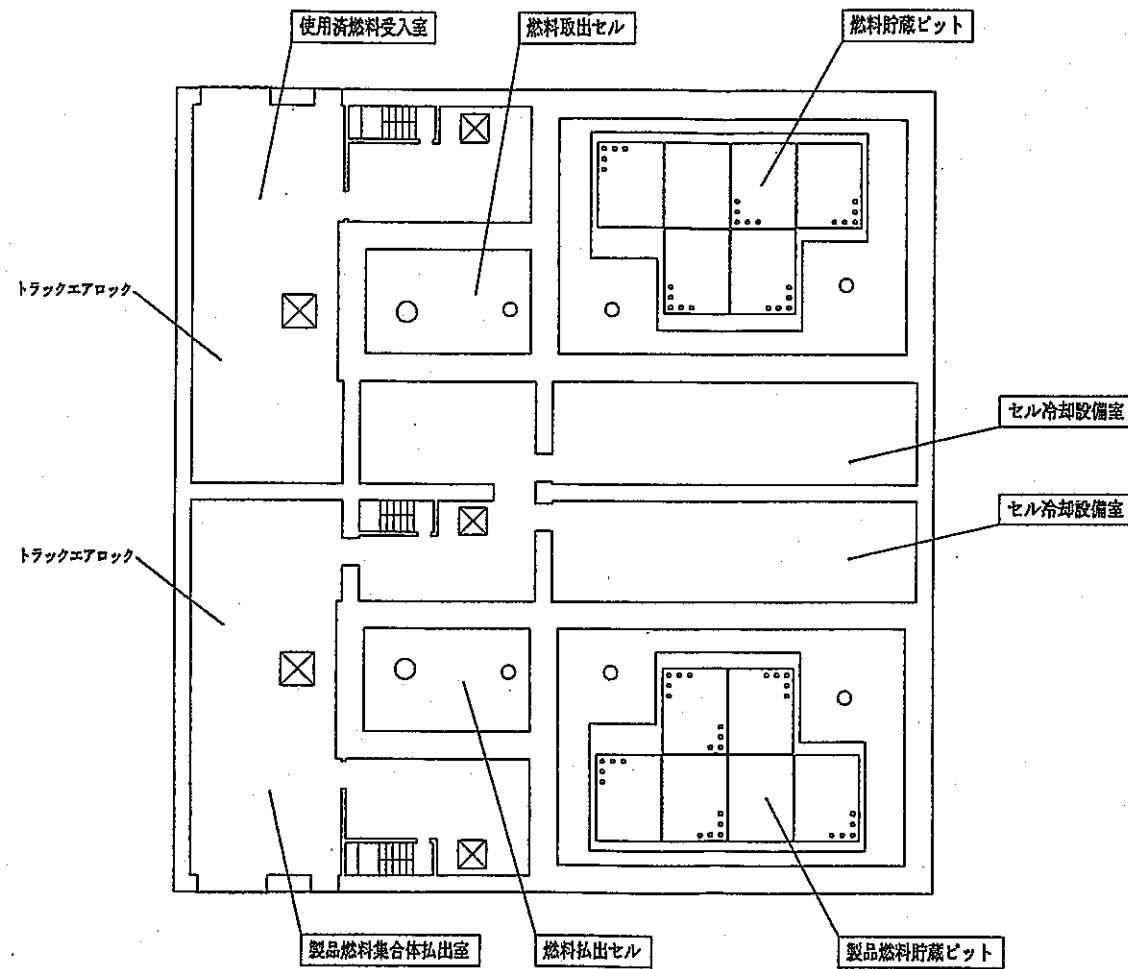


図 7.3.12 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（1階）

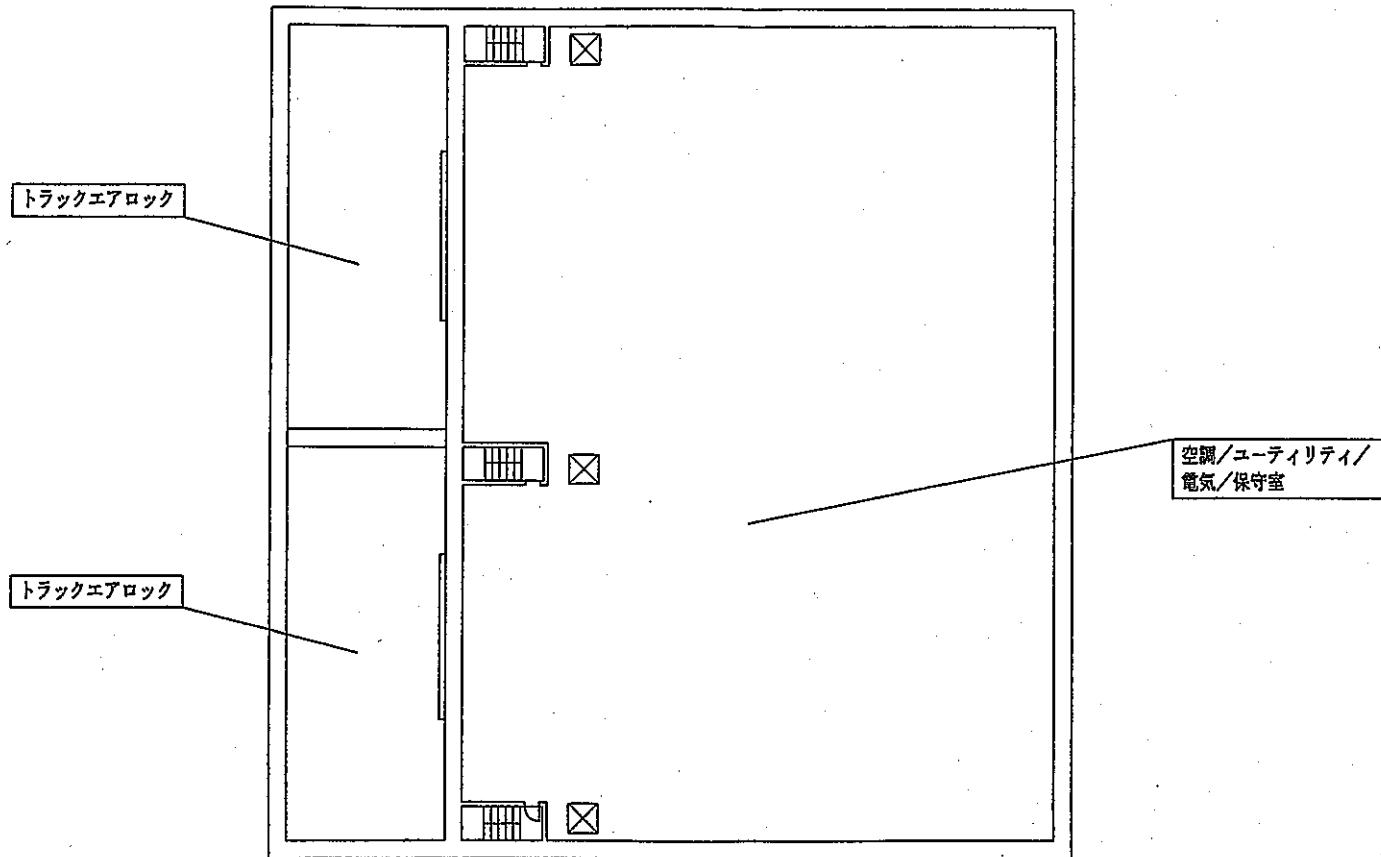


図 7.3.13 50 t HM／年施設の燃料貯蔵建屋の配置図（2階）

8. 200 t HM/y プラントの検討

8.1 処理容量アップの考え方と主要な設備機器

5 章、6 章において、50 t HM/y 金属燃料リサイクルプラントの設計検討を行つたが、200 t HM/y 金属燃料リサイクルプラントの主な設備と工程の概念は、基本的には、50 t HM/y プラントの概略系統図と同様なものである。200 t HM/y プラントの主要設備機器は、50 t HM/y プラントの設計設備機器に基づき、200 t HM/y プラントの設備機器に容量アップさせることとした。プラント処理容量アップに関する設計の主な考え方は次の通りである。この考え方に基づき、代表的な設備機器の概略仕様を検討した。200 t HM/y プラントの代表的な設備機器の概略仕様を表 8.1.1 に示す。

(1) 燃料貯蔵設備

燃料貯蔵ピットは、50 t HM/y プラントの使用済燃料の集合体数（263 体）の 4 倍である 1052 体を貯蔵できる容量としている。

(2) 燃料受入れ設備

燃料一時保管ピットは、50 t HM/y プラントにおいて貯蔵体数 20 体であり、この 4 倍の 80 体を貯蔵できる容量とした。

(3) 前処理設備

前処理設備は、50 t HM/y プラントにおいて比較的余裕のある機器、装置の数になっており、かつ 200 t HM/y プラントに見合った機器、装置規模および基數とした。解体装置は 1 基とし、（スペースワイヤ除去機、ピンせん断機、ボンド Na 除去装置などは 1 系列から 2 系列とし、これらの機器を 1 つのセルに収納する設計とした。

(4) 再処理設備

50 t HM/y プラントの配置設計の結果から、50 t HM/y プラントの電解分離セル内にこれ以上の機器、装置を増設することは、電解精製設備の Ar セルの建屋内での取り扱いやマテリアルハンドリング等を考慮し、困難なために、この 50 t HM/y プラントの電解分離セルを 1 つのモジュールとする考え方とし、200 t HM/y プラントの場合には、この 4 つのモジュールとする。電解精製槽、陰極処理装置などの機器、装置の数は、原則 50 t HM/y プラントの 4 倍とした。TRU 還元抽出、ゼオライトカラム、再酸化、塩処理関係の設備は、上記の 4 つの電解分離セルのモジュールに 50 t HM/y プラントの設備機器を 1 つずつ設けるものとして、機器、装置の数は原則として 4 倍とした。

(5) 燃料製造設備

電解精製設備と同様、50 t HM/y プラントの電解分離セルを 1 つのモジュールとする考え方とし、200 t HM/y プラントの場合には、4 モジュールとし、射出成型装置などの機器、装置の数は原則 50 t HM/y プラントの 4 倍とした。

(6) 新燃料払出し設備

燃料一時保管ピットの貯蔵体数は、50 t HM/y プラントにおいて 20 体であり、この 4 倍の 80 体とした。

(7) 新燃料貯蔵設備

新燃料貯蔵ピットは、50 t HM/y プラントの燃料集合体数（263 体）の 4 倍である 1052 体を貯蔵できる容量としている。

(8) オフガス処理設備

200 t HM/y プラントのオフガスの発生量を 50 t HM/y プラントの 4 倍とし

て、装置容量を決めた。機器容量の増加等により、機器数は、50 t HM/y プラントと同じとした。

(9) アルゴンセル浄化・冷却設備

アルゴンセル冷却流量はセル内機器放熱量に比例し、アルゴンセル浄化流量はセル容積に比例する。これらの流量を 50 t HM/y プラントの 4 倍となるものとして、酸素除去装置、水分除去装置、窒素除去装置、セル冷却送風機、熱交換器などの機器、装置の数は、原則 50 t HM/y プラントの 4 倍とした。

8.2 セル・建屋内配置

8.1 項の 50 t HM/y プラントからの設備の処理容量アップの考え方をベースに、主要な設備機器の仕様を決め、概略検討した 200 t HM/y プラントのセル、建屋内配置を図 8.2.1～8.2.5 に示す。200 t HM/y プラントの再処理設備と燃料製造設備は、50 t HM/y プラントと同様に、同一建屋とした。

主建屋の再処理設備と燃料製造設備のセルの容積については、再処理設備では、受入・前処理セル (Ar セル) が 10,400m³、電解分離セル (Ar セル) が 21,100m³ で、合計約 31,500m³ となり、また、燃料製造設備では、燃料ピン密封前までの工程の燃料製造セル (Ar セル) が 24,000m³、燃料ピン密封後の工程の燃料集合体組立・払出しセル (空気セル) が 12,500m³ となり、合計 36,500m³ となった。

この主建屋は、地下 1 階・地上 3 階で、幅約 132.5m、長さ約 101m、高さ約 31m の規模となり、主建屋容積は約 45 万 m³ となった。

燃料貯蔵設備と新燃料貯蔵設備の建屋は、地下 1 階・地上 2 階で、幅約 96m、長さ約 56m、高さ約 26m の規模となり、この建屋の容積は約 14 万 m³ となった。

表 8.1.1 200 t HM／年施設の主要機器の概略仕様

機器名	50 t /y 施設 機器数 (処理容量×処理時間)	200t/y 施設 機器数 (処理容量×処理時間)	備考
集合体解体機	1基 (集合体単位×2h/体)	1基 (集合体単位×2h/体)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の余剰能力にて対応
ピンせん断機	1基 (50m/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	2基 (50m/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の余剰能力と基數増加にて対応
ボンド Na 除去槽	1基 (7陽極/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 5h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	2基 (7陽極/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 5h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の余剰能力と基數増加にて対応
ドライバー燃料用 電解精製槽	7基 (3陽極・3陰極/バッチ× 4日サイクル運転)	28基 (3陽極・3陰極/バッチ× 4日サイクル運転)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の基數増加にて対応
径方向ブランケット用 電解精製槽	2基 (3陽極・3陰極/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 10日サイクル運転)	8基 (3陽極・3陰極/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 10日サイクル運転)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の基數増加にて対応
固体陰極処理装置	4基 (60kgU/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 1 $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ /日)	16基 (60kgU/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 1 $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ /日)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の基數増加にて対応
Cd 液体陰極処理装置	6基 (6kgHM/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 1 $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ /日)	24基 (6kgHM/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ × 1 $\text{h}^{\frac{1}{2}}$ /日)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の基數増加にて対応
TRU 抽出器 (パイロコンタクタ)	1基 (電解槽 1/3 基分浴塩量 × 17h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	4基 (電解槽 1/3 基分浴塩量 × 17h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	50 t /y 施設ではセルに1基設けており、200t/y 施設では4つセルとしたため、各セル毎に、50 t /y 施設の機器を1基/セル設け、合計4基とした。
ゼオライトカラム	1基 (電解槽 1/3 基分浴塩量 × 19h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	4基 (電解槽 1/3 基分浴塩量 × 19h/ $\text{h}^{\frac{1}{2}}$)	200t/y 施設は 50 t /y 施設機器の基數増加にて対応

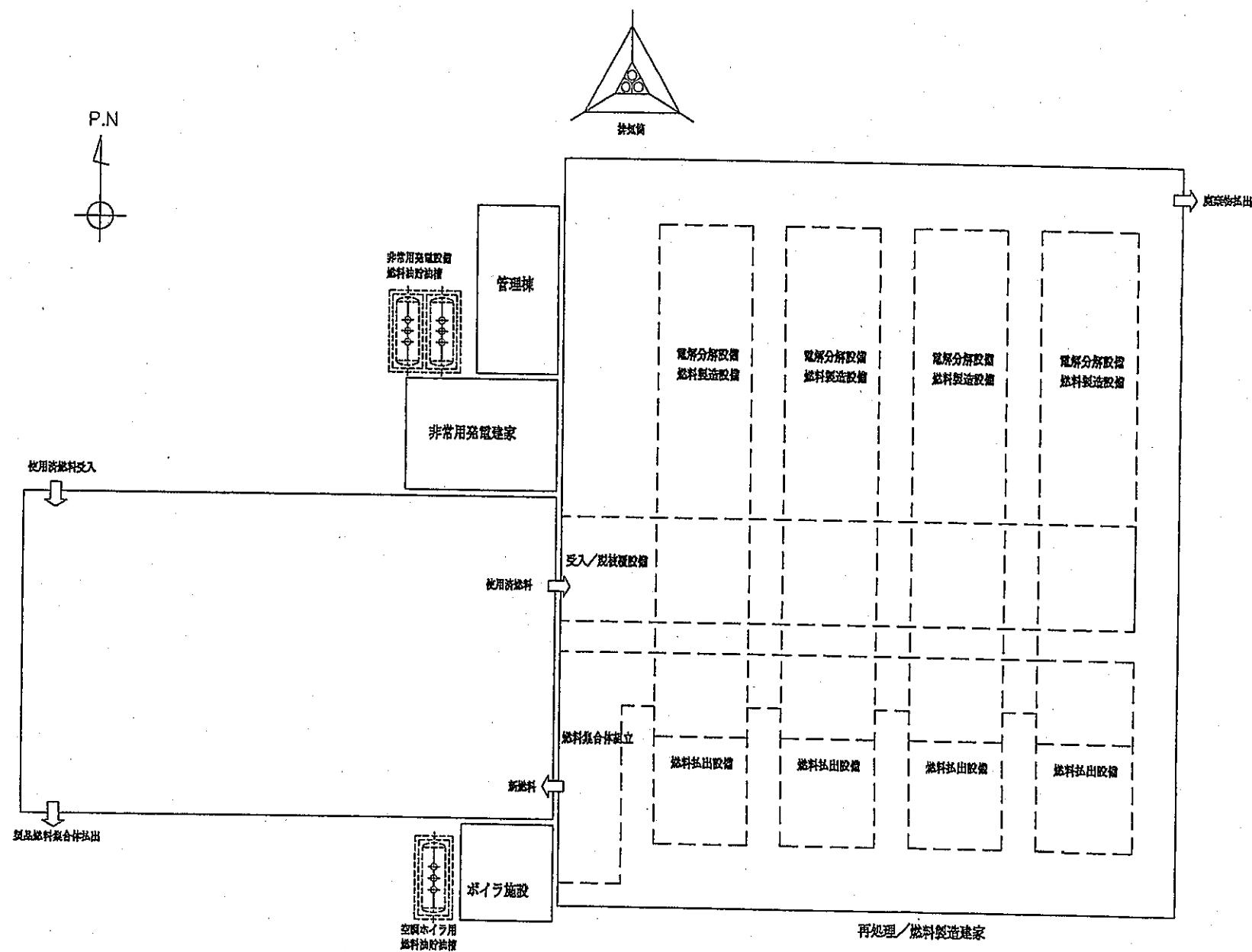


図 8.2.1 200 t HM/年施設の全体イメージ図（平面図）

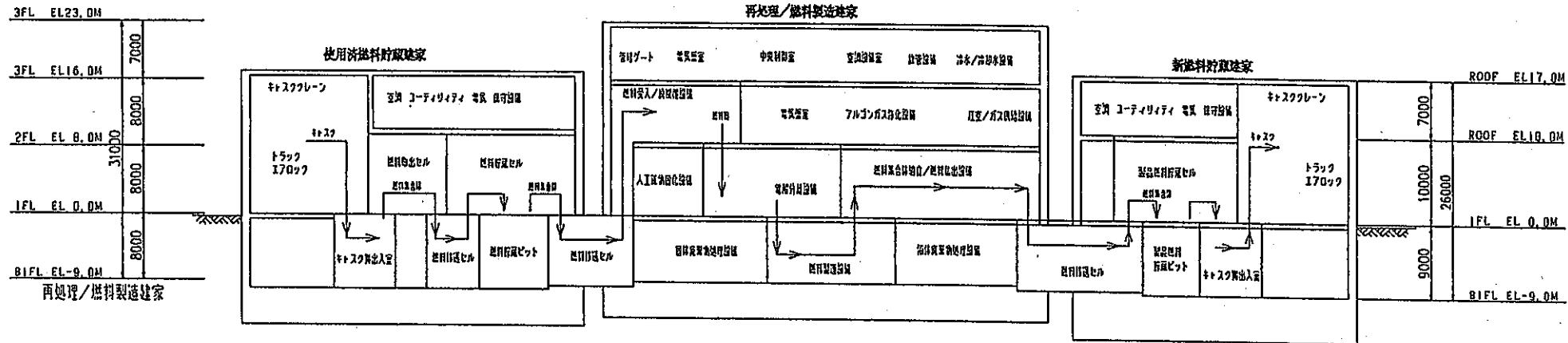


図 8.2.2 200 t HM／年施設の全体イメージ図（立面図）

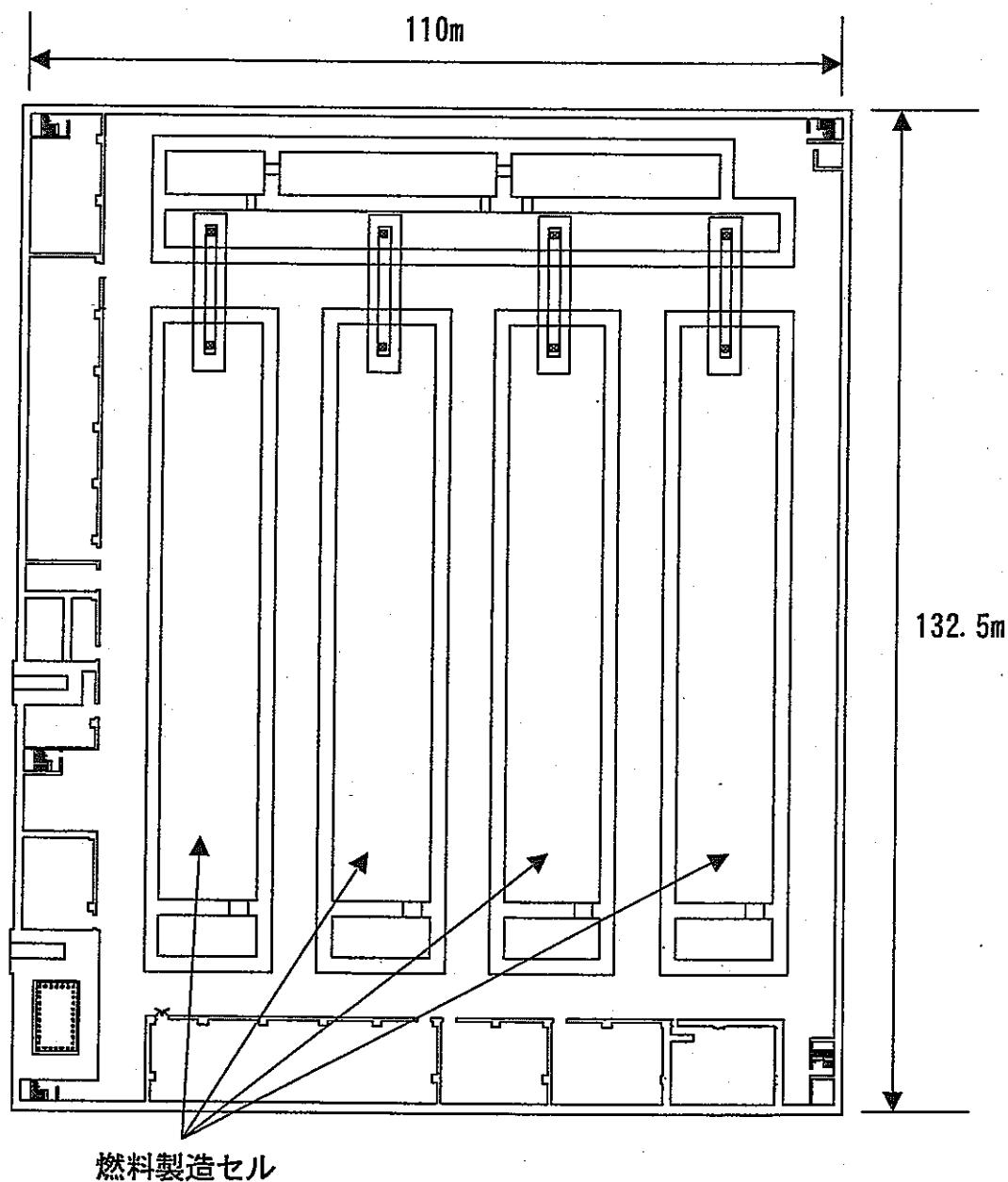


図 8.2.3 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（地下1階）

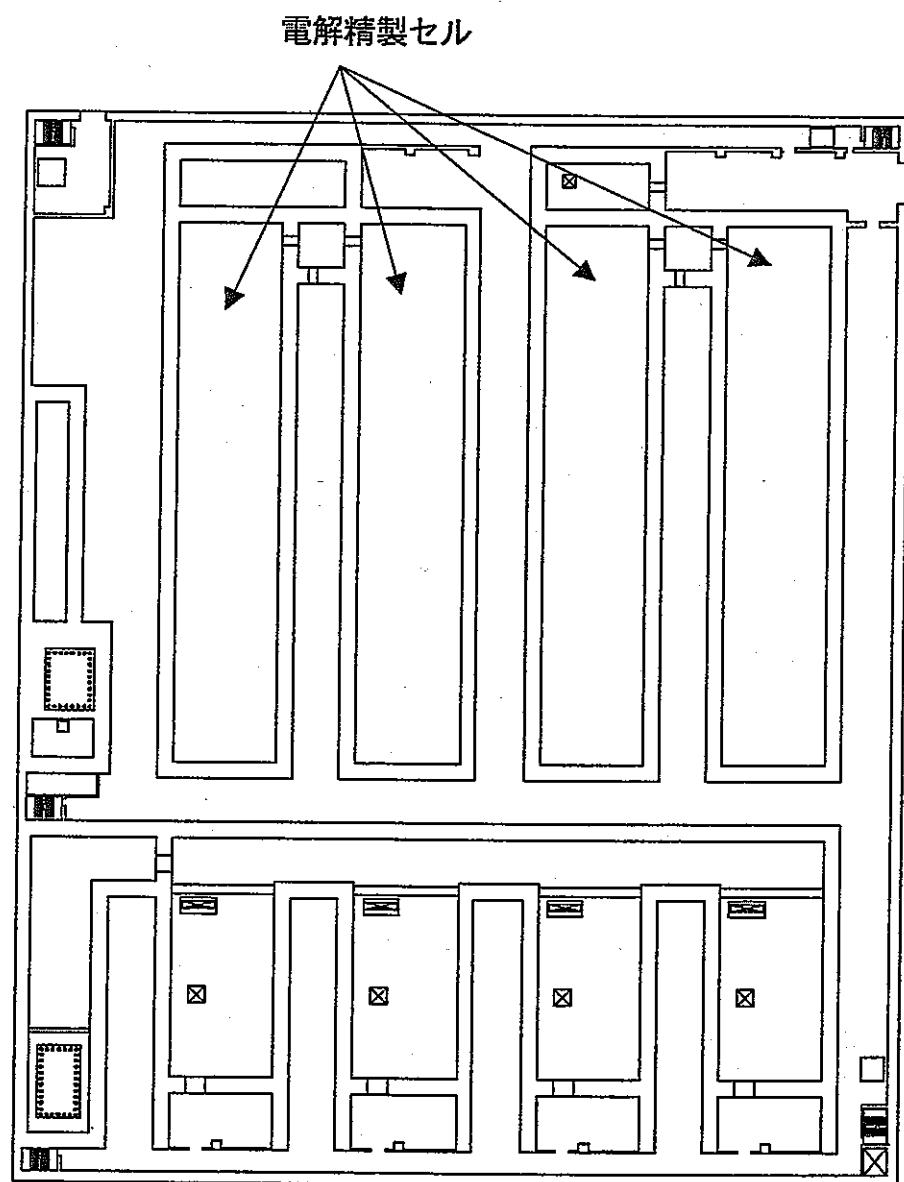


図 8.2.4 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（1階）

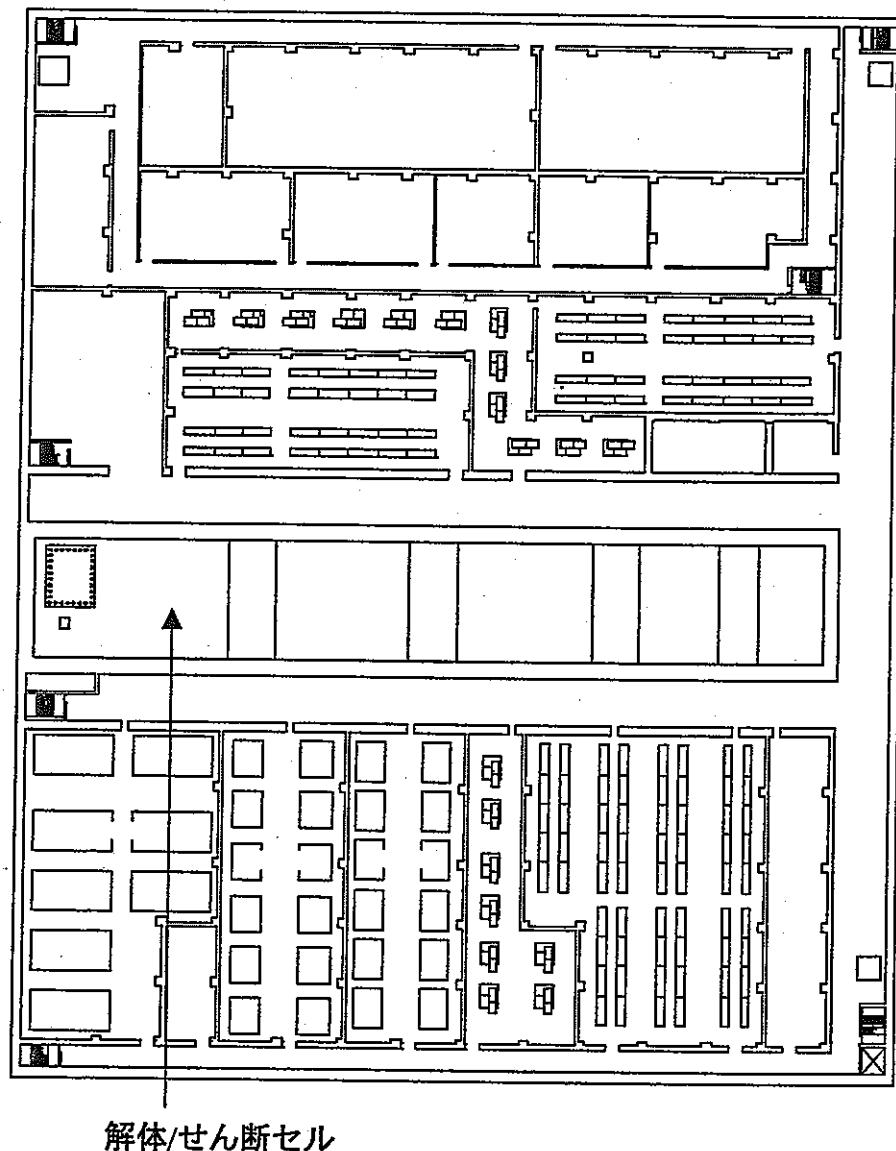


図 8.2.5 200 t HM／年施設の再処理・燃料製造建屋の配置図（2階）

9. 経済性評価

金属燃料サイクルの達成すべき経済性の目標値は、軽水炉燃料サイクルのコストを参考に、相当する炉発電量を考慮して設定した。すなわち、酸化物燃料リサイクルプラントの場合、相当する炉発電量が3,850MWe-年ベースで、燃料サイクルの目標単価は43万円/kgHM（再処理、燃料製造の単価は、それぞれ27万円/kgHM、16万円/kgHM）であるが、金属燃料リサイクルプラントの場合、相当する炉発電量が5,300MWe-年であり、これらの炉発電量の比1.4で補正し、燃料サイクルの目標単価を59万円/kgHM（再処理、燃料製造の単価は、それぞれ37万円/kgHM、22万円/kgHM）とした。なお、今回の設備設計においては再処理と燃料製造とが一体化されたプラントであるが、経済性評価は、再処理と燃料製造とに分けて検討する。この区分にあたって、建屋やユーティリティなどの再処理と燃料製造の共用付帯設備などは、便宜上、主工程の比率をもとに再処理と燃料製造とに配分した。5章から8章において設計した50tHM/yと200tHM/yの金属燃料リサイクルプラントに基づき、燃料サイクルの経済性について概略評価した。

9.1 再処理の経済性

プラントの再処理に関わる建設費を表9.1.1に示す。この建設費は、主工程設備、付帯設備（廃棄物処理・貯蔵設備）、建屋の占める割合が大きく、50tHM/yプラントの場合880～1,128億円、200tHM/yプラントの場合2,480～2,995億円となった。一方、プラントの再処理に関わる操業費を表9.1.2に示すが、この操業費は、機器交換費、人件費の占める割合が大きく、50tHM/yプラントの場合約93億円/y、200tHM/yプラントの場合約232億円/yとなった。操業費の人件費のうち、付帯設備の員数については、主工程の運転員数に対する比率を設定して見積もった。その結果、要員数は50tHM/yプラントで約249人、200tHM/yプラントでは約320人と見積もられ、これに対応する人件費は50tHM/yプラントで約22億円/y、200tHM/yプラントで約30億円/yとなった。また、機器交換費は、人件費より大きく、50tHM/yプラントで約35億円/y、200tHM/yプラントで約107億円/yとなった。

以上の建設費及び操業費から見積もった再処理の単価は、50tHM/yプラントの場合28～33万円/kgHM、200tHM/yプラントの場合18～21万円/kgHMとなった。

9.2 燃料製造の経済性

プラントの燃料製造に関わる建設費を表9.2.1に示す。この建設費は、付帯設備、建屋、主工程設備などの占める割合が大きく、50tHM/yプラントの場合約655億円、200tHM/yプラントの場合約1,263億円となった。一方、プラントの燃料製造に関わる操業費は、表9.2.2に示すように、人件費などの占める割合が大きく、50tHM/yプラントの場合約69億円/y、200tHM/yプラントの場合約136億円/yとなった。

上記の建設費及び操業費から見積もった燃料製造の単価は、50tHM/yプラントの場合約26万円/kgHM、200tHM/yプラントの場合約15万円/kgHMとなった。な

お、ここでは、燃料集合体の部材費として5万円/kgHMを想定し、見積もっている。

9.3 燃料サイクルの経済性

以上の再処理、燃料製造に関する建設費、操業費の概略評価の結果から、金属燃料サイクルの単価は、50 t HM/y プラントの場合 54~59 万円/kgHM、200 t HM/y プラントの場合 33~36 万円/kgHM であることがわかった。燃料サイクルの単価は、図 9.3.1 に示すように、50 t HM/y プラントの場合は、目標値(59 万円/kg-HM)にかなり近づいているが達成可能と考えられ、200 t HM/y プラントの場合は、この目標値を達成することが十分可能であることがわかった。

燃料サイクルの単価は、目標値を達成することがわかったが、さらに、合理化の余地があると考えられる。

燃料サイクルの単価をさらに下げる方策としては、建設費に関しては、プラント全体の各設備などの建設費に占める割合を図 9.3.2 示すように、主要設備が最も大きく、次に付帯設備が大きいことから、電解精製槽や陰極処理装置の処理速度を上げることによる機器数削減、付帯設備の合理化などが考えられ、また、操業費に関しては、機器交換費、人件費が大きなウエイトを占めることから、機器数削減による運転要員数の削減、機器寿命の延長の見直しによる機器交換頻度の低減、操業シミュレーションによる人員配置の最適化、工程自動化による要員数の削減などが考えられる。

今後、設備合理化、操業費低減の観点から、プラントの詳細設計を行い、プラントの経済性向上を図っていくことが重要と考えられる。

表 9.1.1 再処理設備建設費の内訳

設 備 名	再処理設備の建設費（億円）	
	プラント規模 50 t HM/y	プラント規模 200 t HM/y
使用済燃料貯蔵設備	120～147	238～277
受入・前処理設備	43～60	76～96
主工程設備（再処理設備関係）	226～313	963～1215
付帯設備	廃棄物処理・貯蔵設備	167～232
	分析設備	9～12
	保守・補修設備	45～62
	計装制御設備	58～81
	ユーティリティ設備	30～42
建屋（電気・換気設備を含む）	180	410
合 計	880～1128	2480～2995

表 9.1.2 再処理設備操業費の内訳

操業費項目	再処理設備の操業費（億円/y）	
	プラント規模 50 t HM/y	プラント規模 200 t HM/y
人件費	22.4	28.8
機器交換費	34.5	107.4
定期検査費	8.0	24.0
消耗品費等	9.0	25.0
ユーティリティ費	4.7	11.6
事業税	2.3	5.9
一般管理費	11.8	29.5
合 計	92.7	232.2

表 9.2.1 燃料製造設備建設費の内訳

設 備 名	燃料製造設備の建設費（億円）	
	プラント規模 50 t HM/y	プラント規模 200 t HM/y
主工程設備（燃料製造設備関係）	90	310
新燃料貯蔵設備	99	167
付帯設備	258	405
建屋（電気・換気設備を含む）	208	381
合 計	655	1263

表 9.2.2 燃料製造設備操業費の内訳

操業費項目	燃料製造設備の操業費（億円/y）	
	プラント規模 50 t HM/y	プラント規模 200 t HM/y
人件費	27.0	36.0
機器交換費	12.0	23.3
定期検査費	2.5	5.0
消耗品費等	12.8	39.3
ユーティリティ費	4.2	10.9
事業税	2.0	4.6
一般管理費	8.8	17.2
合 計	69.3	136.3

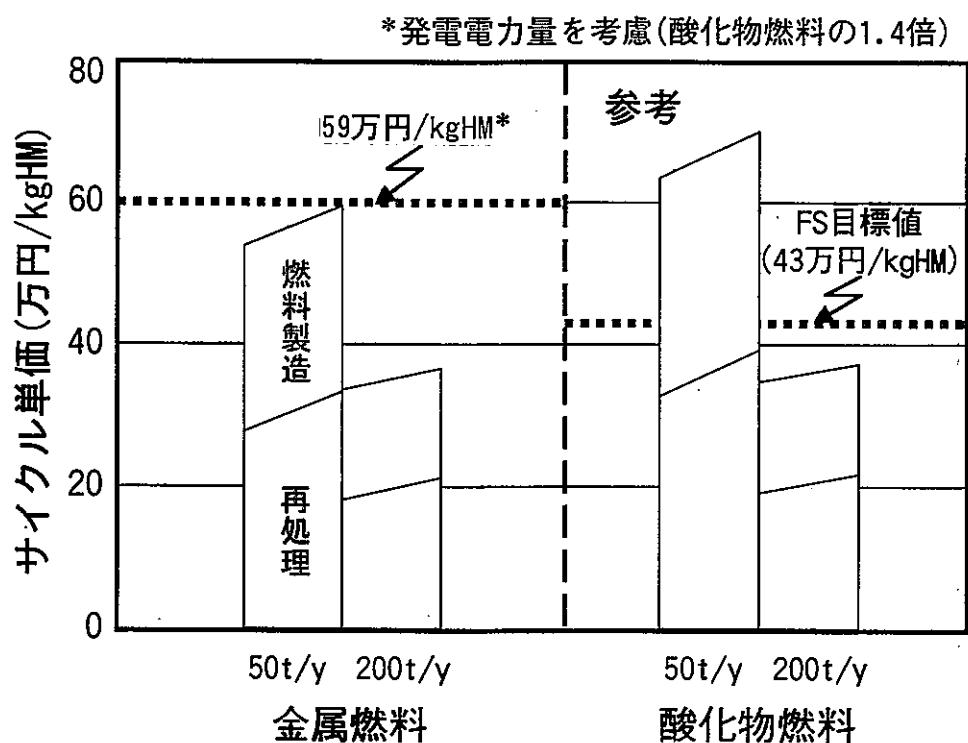


図 9.3.1 金属燃料リサイクルプラントの燃料サイクル単価

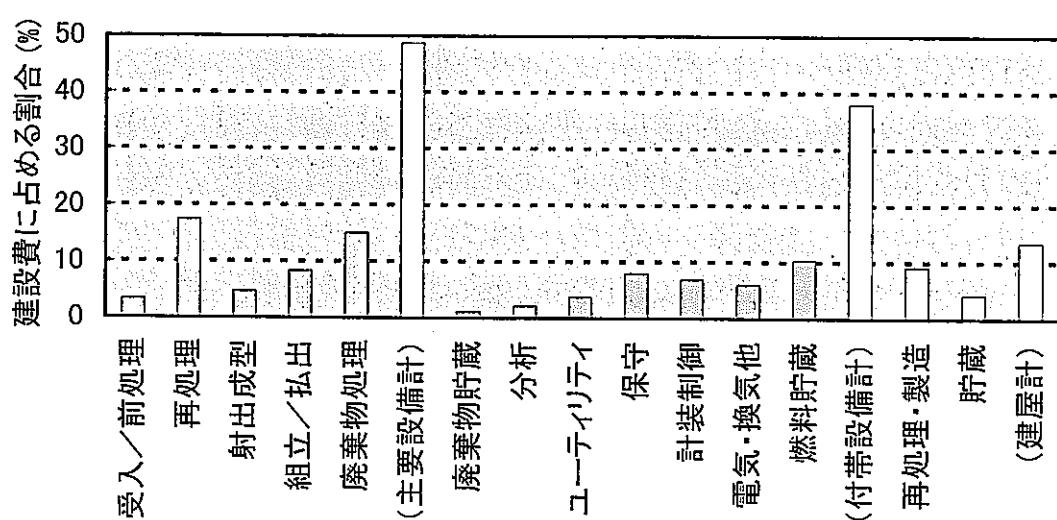


図 9.3.2 金属燃料リサイクルプラントの各設備が建設費に占める割合

10. システム評価

本章では、システム設計の考え方の妥当性、及び適用技術の現状レベルについて検討し、今後の技術課題を抽出した結果をまとめた。さらに、3.2章で述べた達成目標の充足度についてまとめた。

10.1 システム設計の考え方及び技術的成立性

リサイクルプラントとしてのシステム設計が適切になされているかという観点から、以下に示す項目について確認した。その結果、表 10.1.1 に示す評価と技術課題を得た。

a. プロセス設計の充足性

プラントの物量や性能評価が可能な程度に具体的なプロセス設計（及び機器・装置設計）がなされているか。

b. 臨界安全管理

各機器について、様々な運転状況を考慮し、適切な保守側の想定をしたうえで臨界安全制限を定めているか。

c. 計量管理

有効な方針、及び具体的方法がとられているか。また、分析等を含めて、計量管理システムが設計に取り込まれているか。

d. 機器、系統の信頼性

通常運転の範囲内での、稼働率またはスループットの確保、あるいは品質の保証のために、機器/系統の分離や多重化（複数の系列を持つなど）の必要性、適切なバッファの設定などが考えられているか。

e. 運転、保守技術

運転、保守の手順と具体的な操作法が十分に検討されているか。（マニピュレータ、クレーンなどの設計を含む）

f. セル、建屋内配置

機器、系統の設計や、運転、保守手順などに照らして、通常の操業を行う上で無理のない配置となっているか。

また、各要素技術の成立性について、次の点を確認した。その結果、表 10.1.2 に示す評価と技術課題を得た。

a. 原理・基礎データについて

主たる工程を構成する各プロセスについて、原理確認や基礎データ取得の状況をチェックした。これが不十分な場合、単に将来のR&D課題として済ませることはできない。すなわち、今後の設計評価において、次のいずれかの対応をとる必要があると考える。

- ① 成立性が見通せる原理に基づいた代替プロセスを考案し併記すること
- ② 現状を反映した工学的対応（プロセス・機器設計、またはプロセス付加）

b. 想定した工学性能の妥当性について

各ピン技術について、現状で取得されているデータやノウハウに照らして、

機器・装置の設計や設定性能が妥当であるか検討した。実績を上回る特性が想定されており、将来のR & Dによる高性能化や合理化についての見通しが十分でない場合には、やはり、現状での見通しに即したプロセス・機器設計への改訂、またはプロセス付加などの対応が必要になる。

想定した工学性能の妥当性について、表 10. 1. 2 にまとめたが、この要点は以下の通りである。

- ① 臨界安全管理：現状では、実際の装置運転経験がほとんどないため、臨界制限を検討するための適切な保守側設定が困難である。今後、各種の設計検討を進めていくうえで、考え方の統一を図る必要がある。
- ② 計量管理：今回の検討では、燃料の非破壊分析による入量管理が可能であるとして MBA 計画図を作成した。これが認められない場合には、電解精製槽における適切なサンプリングによって入量計量を行う技術を開発する必要がある。
- ③ 溶融塩や液体金属の機器間移送の実証が必要である。
- ④ セル雰囲気管理：不純物による UO₂ や ZrO₂ の発生量の評価とその処理法開発が課題である。
- ⑤ ボンド Na の処理、固化に関する実績データが乏しく、設計上の不確かさが大きい。現状では、燃料中のボンドは回収不可能と想定する必要があるかも知れない。使用済み Na に残留する Cs 等アルカリ金属を粗分離して Na を回収し、ボンド材として再利用することも考える必要がある。
- ⑥ 陰極処理及び射出成型などで、るつぼ材寿命やるつぼ材からの製品の機械的な回収については、工学的に十分な評価ができるデータが少ない。
- ⑦ ゼオライトカラムの性能 (FP の除去、容量) に関するデータが乏しいため、設計上の不確かさが大きい。
- ⑧ 人工鉱物固化体の性能に関するデータが十分ではない。

10. 2 目標の達成度

第 3 章に述べた達成目標のうち、その達成度について、経済性は前章で述べた。ここでは、その他の目標の達成度についてまとめた。

10. 2. 1 安全性

現行の安全審査指針「再処理施設安全審査指針」などに準拠した検討を行った。安全性に関して、金属電解法プロセスの特徴的なものとして、①高温の溶融塩の使用が上げられる。また、機器・施設の特徴として、②電解精製槽等の電極、電解析出物、るつぼ等出入れ時の槽内開放時などの閉じ込め対策、③質量管理、形状管理などによる臨界安全の確保、④Na、金属燃料による火災・爆発防止、⑤塩素ガスのセル内漏洩対策などが上げられる。

- ① 高温の溶融塩の使用については、電解精製槽の材質として、実績のあるクロム-モリブデン鋼などを用いており、この寿命は長いと考えられる。今後、電解精製槽材質の耐久試験に基づく評価が必要である。
- ② 電解精製槽等の電極、電解析出物、るつぼ等出入れ時の槽内開放時など閉

じ込め対策については、電解精製槽等の電極、電解析出物、陰極処理装置におけるつぼ等出入れによる槽内開放においても、槽内の圧力は、セルより低くする方向で検討している。今後、万一、槽内放射性物質が漏洩しても、セル内での負圧維持及びセル側からのオフガス中放射性物質の除去等により、閉じ込め機能が維持できるように具体的な設計、評価を行う必要がある。

③ 質量管理、形状管理などによる臨界安全の確保については、質量管理にて臨界安全が確保されている。特に、一部の主要な機器については、通常運転時の臨界安全評価（一例）を行い、問題ないことを確認している。今後、詳細な臨界安全に関する検討が必要である。なお、FCF では、臨界に至る可能性のある起因事象を質量異常、形状異常等の因子に分解し、各因子を発生頻度の観点から、通常運転範囲とそのほかに、希な事象（unlikely event）と非常に希な事象（extremely unlikely event）に分類し、これらの重ね合わせで、臨界が発生すると想定し、これらが同時に発生しても臨界に至らない解析評価をしている。すなわち、二重偶発発生の原理に基づき、通常運転時のプロセス条件をベースに、種々の異常モードを想定し、発生頻度の観点から、一例として、臨界安全解析を行っている。今後、さらに体系的な臨界安全解析を行う必要がある。

④ Na、金属燃料による火災・爆発防止については、Na、粉末の金属燃料の火災・爆発防止のために、Na、金属が雰囲気と接触する設備機器は、アルゴンセル内に設置しており、火災・爆発は防止できる。

⑤ 塩素ガスを扱う機器は、セル内に設けない設計としている。

今後、再処理施設の安全審査指針案の検討を行うとともに、耐震等の設計、事故防止、事故拡大防止等を考慮した機器・施設設計、安全解析・評価等を行っていく必要がある。

10.2.2 資源有効利用性

5章に述べたように、U, Pu, MA すべての重金属元素について回収率は 99%以上であり、目標は達成されている。

10.2.3 環境負荷低減性

(1) 環境放出量

Kr-85、C-14、H-3 のオフガス発生量は、表 5.3.2 にまとめたように、六ヶ所再処理施設からの放出量とほぼ同程度であり、特段の除去設備を設けることなく放出できると考える。

(2) 廃棄物

高放射性廃棄物の固化体発生量は、表 5.3.1 に示した通りである。ここでは、塩廃棄物を人工鉱物化したことが特徴であるが、従来のガラス固化体とした場合と比較して、廃棄物量が大幅に増加することはないと言える。

(3) MA 及び FP の回収性

MA 及び FP の回収性については、前述の通り、回収率は 99%以上である。

10. 2. 4 核拡散抵抗性

金属電解法においては、手順の変更や若干のプロセスの追加で U、MA、FP などの不純物が同伴しない純粹な Pu を回収することは困難である。特に、自発核分裂する Cm が混在するので、Pu の核分裂連鎖反応前に中性子を放出し、急激な連鎖反応を妨害することから、兵器への転用は困難である。また、核燃料物質は、セル内で取り扱われ、放射線レベルが高いことから、アクセスが困難であり、悪意のある持ち出しが困難である。計量管理に関しては、再処理工程の前後において、入量・出量の計量を行う設計としているが、入量計量方法の確立などが課題である。

表10.1.1 金属燃料リサイクルプロセスの技術課題－システム設計の考え方－

カテゴリ	評価及び問題点	影響(インパクト)	今後の評価に向けた提案
プロセス設計の充足性	<p>全般的に現在得られるデータをもとに裕度のある設計をしている。 但し、次の課題が上げられる。</p> <p>(1)ゼオライトカラムに関しては、その性能の評価が十分でなく、塩廃棄物量に影響を及ぼす可能性がある。</p> <p>(2)電解、陰極処理、射出成型などの、ルツボの再利用のための処理や寿命の評価は、廃棄物量にインパクトをもつために、試験に基づく評価が必要である。</p>		
臨界安全管理	現在の臨界安全量の設定の仕方で妥当か。		臨界安全量については、乾式法として統一的に評価する必要がある。
計量管理	全量溶解による入り量管理は現実的でない。各工程における計量管理についてもサンプリングのみで代表性を保証することがむずかしい。		その手法の検討とともに、乾式における計量管理の概念を構築することが必要である。
機器/系統の信頼性	多くの工程は複数機器からなっており、単器の工程で稼働率がむやみに高く設定されている部分はない。		
運転/保守技術	ロボットによる作業は装置内の定型作業のみで、他は人力としている点は確度は高いが、経済性向上の点で考慮の余地がある。	<p>機器間の作業にもロボットを導入することにより、さらにコスト低減を図れる可能性がある。</p> <p>但し、使用済みロボットは廃棄物となるので、廃棄物処理などのインパクトを考慮する必要がある。</p>	機器内作業以外へのロボットの適応性とコストへのインパクトを検討し、ロボット作業と人力作業の割り振りの最適化を図る。
セル/建屋配置	現実的で無理のない配置を設定していると思われる。		

表10.1.2 金属燃料リサイクルプロセスの技術課題 技術的成立性

工程名(内容)	問題点	影響(波及効果)	当面の方策	解決方策・課題
集合体解体/せん断	分析に基づいた入量管理が難しい。	計量管理	(本プロセス設計における計量管理の考え方を明示する。)	
	燃料ビンにはNaボンドが含まれるので、このビンをせん断するため、せん断刃交換回数が増加する可能性がある。	廃棄物発生量	(現在の設定値の妥当性を再検討)	試験にもとづく廃棄物量評価を実施する。
ボンドNa除去	Naとともに除去されるFPの挙動や割合が明らかになっていない。	物質収支、浴槽リサイクル回数 (廃棄物発生量)		FPのNaへの混入割合を明らかにする。
	Naの廃棄量が多い。NaとFPの一括ガラス固化の条件が実証されていない。	廃棄物発生量		(Na廃棄) Naの酸化法の確立が必要である。固化発生量の評価のために、ガラス固化試験により必要な条件、マトリックス量を明らかにする。 (Na再利用) Naのリサイクル法を検討する。このためNaからのFP除去やNaの精製プロセスを検討する。
電解精製	陽極において所定の陽極溶解速度でU、Puを99.5%以上、塩中に溶解できるかどうか確認する必要がある。	機器数		電解試験(溶解試験)を実施し、速度や限界を示す。
	固体陰極、Cd陰極の回収速度の実証が必要である。	機器数		固体陰極、Cd陰極の回収速度の実証のための試験を実施する。
	電解工程におけるZrの挙動が不明確である。またZrO ₂ 、UO ₂ 等の電解槽での沈殿の発生量、処理法が未確定である。	物質収支、運転フロー、廃棄物発生量	現状で考えられる処理方法を挙げ、プロセスフローに反映する。	Zrの挙動を確認する。酸化物の処理法を検討/確立する。
	臨界量や発熱を考慮した設計のロジックを確立する。	機器数、陰極数、運転フロー	(現状の臨界の考え方を明示する。 臨界量を再検討する。)	
	Cd陰極からの取りだし方法等実現可能か(るっぽ材料にはペリリアを使うとした場合、るっぽをひっくり返して軽く叩くだけで本当にCd-合金が簡単に取り出せるか)。	運転フロー、廃棄物発生量		実条件で試験を実施する。
TRU還元抽出(MA回収)	(パイロコンタクターを採用するとして) 安定した運転は可能か。装置寿命はどの程度か。	機器設計、廃棄物発生量		機器を作製して実証試験を行う。他の抽出方法も検討する。
	選元剤最適の制御方法、抽出の過剰/不足が生じた場合の運転フローが十分検討されていない。	運転フロー		上記試験で影響を検討し、必要に応じて処理フローを再検討する。
	塩処理プロセスを単純化するための検討を行う。		(金属性リチウム、塩素ガスを外部から導入し、電解しないプロセスの検討)	
塩処理(ゼオライトカラム)	吸着率、選択性の確認が必要である(Csが設定通り選択性に吸着するのか。付着塩の量はどのていどか)。	廃棄物発生量	吸着率や選択性を確認する試験を行い、FPの回収率や浴槽の廃棄率を評価する。 (平成12年度に試験実施)	
	カラムの組み方、ゼオライトの装荷/取りだし方法等の設計情報が不足している。	機器設計、運転フロー		(プロセスとして成立しうるFP吸着が可能として) 装置の最適化のための試験研究、設計を行う。
還元剤/酸化剤リサイクル	Li電解槽、CdCl ₂ 製造槽の寿命(るっぽ、容器)の評価が必要である。	機器設計、廃棄物発生量	(現在の設定値の妥当性を再検討)	機器を作製して実証試験を行う。
	多段抽出、塩処理、還元剤/酸化剤リサイクルにおける塩、金属の移送は可能か。	廃棄物発生量、運転フロー		溶融塩や液体金属の移送法について検討し、実証を行う。
陰極処理	るっぽの寿命や、再利用のための処置方法が明確になっていない。	廃棄物発生量、運転フロー	(現在の設定値の妥当性を再検討)	機器を作製して実証試験を行う。
	塩とCdの効率良い回収は実現できるか。	機器設計、運転フロー、廃棄物発生量		機器を作製して実証試験を行う。
	臨界安全量の考え方は問題ないか。	機器数	(現行の臨界の考え方を明示する。 臨界量を再検討する。)	
	昇温時におけるサンプリングの対応が出来ていない。	機器設計	サンプリング手法を検討し、機器設計へ反映する。	
射出成型	るっぽの寿命や、再利用のための処置方法が明確になっていない。	廃棄物発生量、運転フロー	(現在の設定値の妥当性を再検討)	機器を作製して実証試験を行う。
	モールドの破損や落下に対する対応が考慮されていない。	機器設計	これらを考慮した機器設計を行う。	
ドロス処理(塩素化)	廃ZrO ₂ の分離回収法、処理法が明確ではない。	物質収支、運転フロー、廃棄物発生量	現在の知見の範囲で、ZrO ₂ の廃棄方法、あるいはリサイクルプロセスを示す。	ZrO ₂ リサイクル法を検討する。

11. まとめ

核燃料サイクル開発機構と電力中央研究所は金属燃料の高速増殖炉サイクルの実用化に向けた調査研究を行っている。本研究では、金属燃料の大型高速増殖炉(Na冷却炉、炉出力 1,500MWe、燃焼度 150Gwd/t、増殖比 1.2)を想定し、再処理、燃料製造する金属燃料リサイクルプラントを検討した。プラント処理量は 50tHM/年(1,500Mwe 級金属燃料高速増殖炉の 3.54 基分)とその 4 倍の 200tHM/年とした。さらに、全体プラントの概念を明らかにするために、主要工程の電解精製や射出成型などの検討のほかに、オフガス処理、廃棄物処理、ユーティリティなどの主な付帯設備も検討した。

金属燃料リサイクルプラント設計の結果、50 t HM/年プラントについては、主建屋(再処理、燃料製造等)が地下 1 階、地上 3 階 (52.5m x 101m x 31m)で、この容積は約 16.4 万 m³となった。200 t HM/y プラントについては、主建屋(再処理、燃料製造等)が地下 1 階、地上 3 階 (132.5m x 101m x 31m)で、この容積は約 45 万 m³となった。200 t HM/y プラントの主建屋の容積は、50 t HM/年 プラントの約 2.7 倍程度となった。

また、経済性の検討の結果、金属燃料リサイクルプラントの建設費は、50 t HM/y プラントに対して約 1530～約 1780 億円となり、200 t HM/y プラントに対して約 3740～約 4260 億円となった。この建設費に操業費を考慮した金属燃料リサイクル プラントの単価は、50 t HM/y プラントに対して 54～59 万円/kgHM、200 t HM/y プラントに対して 34～37 万円/kgHM となった。これらの燃料サイクルの単価は、いずれも目標(59 万円/kgHM*)を達成できることがわかった。

(*) 酸化物燃料処理単価の目標値は 43 万円/kgHM である。一方、金属燃料処理単価の目標値は、酸化物燃料の炉の発電量(約 3,850Mwe・年)と金属燃料の炉の発電量(約 5,308Mwe・年)との割合約 1.4 を補正し、酸化物燃料処理単価目標値の約 1.4 倍である 59 万円/kgHM とした。

12. 参考文献

- (4-1) T. Yokoo, et al., "A design on the FBR metal fuel and core for the commercial application", submitted to J. Nucl. Sci. Technol.
- (5-1) E. J. Karell, et al., "Electro-metallurgical treatment of oxide spent fuels", Proc. GLOBAL99, 1999, Jackson Hole, U.S.A.
- (5-2) R. W. Benedict, J. R. Krsul, R. D. Mariani, K. Park and G. M. Teske, "Small-scale irradiated fuel electrorefining", Proc. GLOBAL'93, Vol. 2, p. 1333, Sep. 12-17, 1993
- (5-3) S. X. Li, R. D. Mariani, T. J. Battisti and R. S. Hest, "Initial results for the electrochemical dissolution of spent EBR-II fuel", Proc. 3rd Topical Meeting on DOE Spent Nuclear Fuel and Fissile Materials Management, Vol. 2, p. 655, Sept. 8-11, 1998
- (5-4) T. C. Totemeier and R. D. Mariani, "Morphologies of uranium and uranium-zirconium electrodeposits", J. Nucl. Mater., 250, 131 (1997)
- (5-5) Argonne National Laboratory, CMT Annual Technical Report 1993, ANL94/15, p. 88, 1994
- (5-6) Y. Sakamura, T. Inoue, O. Shirai, T. Iwai, Y. Arai and Y. Suzuki, "Studies on Pyrochemical Reprocessing for Metallic and Nitride Fuels: Behavior of Transuranium Elements in LiCl-KCl / Liquid Metal Systems", Proc. of Int. Conf. on Future Nuclear Systems GLOBAL '99, Jackson Hole, U.S.A., Aug. 29-Sept. 3, 1999
- (5-7) 坂村, 加藤, 倉田, 森山、『長半減期核種の乾式分離技術の開発-LiCl-KCl共晶塩中における金属塩化物と酸化物イオンの反応-』電力中央研究所報告 T96073, 平成9年6月
- (5-8) C. Pereira, M. A. Lewis and J. P. Ackerman, "OVERVIEW OF MINERAL WASTE FORM DEVELOPMENT FOR THE ELECTROMETALLURGICAL TREATMENT OF SPENT NUCLEAR FUEL", Proc. of DOE Spent Nuclear Fuel & Fissile Material Management, Reno, NV, June 16-20, 1996
- (6-1) G. R. Choppin, et al., "Electrometallurgical techniques for DOE Spent Fuel Treatment -FINAL REPORT-", pp28~44, National Academy Press, USA, 2000
- (6-2) J. E. Herceg, K. J. Belcher, et al. : "Engineering and Acquisition of Equipment for Electrometallurgical Treatment of Spent Nuclear Fuel", Proc. ICONE8, ICONE-8541, 2000
- (6-3) A. R. Brunsvold, et al. :"Design and Development of a Cathode Processor for Electrometallurgical Treatment of Spent Nuclear Fuel", Proc. ICONE8, ICONE-8702, 2000
- (6-4) L. S. Chow, J. K. Basco, J. P. Ackerman, T. R. Johnson. :"Continuous Extraction of Molten Chloride Salts with Liquid Cadmium Alloys", Proc. GLOBAL'93, pp1080 ~1085, 1993
- (6-6) K. M. Goff, et al. "Electrometallurgical Treatment Demonstration at ANL-WEST", Proc. of the Embedded Topical Meeting on DOE Spent Nuclear Fuel and Fissile Material Management", pp58~64, 2000