

# 乾式再処理における物流評価システムの構築

## —酸化物電解法プラントの特性評価—

(研究報告)



2002年7月

核燃料サイクル開発機構  
大洗工学センター

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)  
2002



# 乾式再処理プラントにおける物流評価システムの構築 -酸化物電解法プラントの特性評価- (研究報告)

岡村信生\* 戸澤克弘\* 佐藤浩司\*

## 要旨

乾式再処理ではプラントの操業に際して、低除染プロセス、バッチ式処理という特性からマテリアルハンドリング装置への依存度が大きい。そこで、プラントの処理能力に対する評価や物流を中心とした操業性の検討を行うための物流評価システムを構築した。この評価システムは、工程機器やマテリアルハンドリング装置の処理能力と、マテリアルハンドリング時に大きな制約を課すセル内機器の相対的な位置関係情報を基に構築できるので、詳細な機器図面やセル内機器配置図面の作成に至っていない乾式再処理プラントに対しても十分な評価を行うことが可能である。

実用化戦略調査研究のフェーズⅠで設計した年間稼働日数200日、年間処理量50tHMの酸化物電解法乾式再処理プラントを対象に、本評価システムを用いてプラントの処理量と特性について評価した。その結果、マテリアルハンドリングがプラント処理能力を左右する支配因子となり、このプラントの実質的な処理量は、設計値の88%程度であることが示された。また、処理量を改善するためには、工程機器の台数増加やボトルネックとなっている工程の優先的な処理等は有効な手立てとはならず、マテリアルハンドリングに要する時間の短縮化が最も効果的であることが分かった。

---

\* 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

# Development of the System for the Estimation of Materials Flow in Pyrochemical Reprocessing Plant

## -Characteristic Evaluation of the Oxide Electrowinning Plant-

Nobuo Okamura\* Katuhiro Tozawa\* Koji Sato\*

### Abstract

The operation of the plant with the non-aqueous reprocessing technology depends on the materials handling equipment closely. Because the value of decontamination factor of the products in the plant is low, treatment of nuclear materials requires remote operation technology. So the system for the evaluation of materials flow in the plant was built to evaluate the production ability of the plant and to check out the plant operation from the viewpoint of materials flow. The system is only based on information of the treatment abilities of materials handling machines and process installations and the arrangement of process installations in the reprocessing cell that influences a way to operate materials handling machines intensely. Therefore the system can be used to estimate the characteristics of non-aqueous plants that are not in detail design stage.

The amount of production and the characteristics of the oxide electrowinning plant (operation term 200days/year, plant capacity 50tHM/year in design) designed in Feasibility Study Phase1 were estimated using the system. The results show that the practical amount of production of the plant design is about 88% of the designed value. To increase the amount of production, it is more useful to speed up materials handling machine time than to install new installations or to give priority to conduct bottleneck processes. It is because materials handling influences the production ability of the plant deeply.

---

\* O-arai Engineering Center    System Engineering Technology Division  
Reprocessing System Engineering Group

# 目次

1	緒論	-----	1
2	物流評価システムの構築	-----	2
2.1	酸化物電解法プロセス	-----	2
2.2	酸化物電解法乾式再処理プラントのモデル化	-----	4
2.2.1	主工程セルの構成	-----	4
2.2.2	機器のセル内配置	-----	4
2.2.3	作業手順	-----	5
2.3	セル内のマテリアルハンドリング	-----	7
2.3.1	マテリアルハンドリングの種類	-----	7
2.3.2	マテリアルハンドリングの処理順序	-----	8
2.3.3	パワーマニピュレータの干渉問題の取り扱い	-----	8
2.4	設定パラメータと出力結果	-----	11
3	酸化物電解法乾式再処理プラントの物流解析と評価	-----	34
3.1	基準ケースの解析結果	-----	34
3.3.1	プラントの処理量	-----	34
3.3.2	機器の稼働率	-----	35
3.2	塩除去セルの改良	-----	36
3.3	燃料集合体解体セルと燃料処理セルの改良	-----	37
3.3.1	機器台数の影響	-----	37
3.3.2	工程処理時間の影響	-----	38
3.3.3	マテリアルハンドリング時間の影響	-----	39
3.3.4	作業時間の確率変動の影響	-----	40
3.3.5	マテリアルハンドリングの優先度の影響	-----	41
4	結論	-----	51
4.1	まとめ	-----	51
4.2	今後の計画	-----	52
	謝辞	-----	52
	参考文献	-----	52

## 図表リスト

図 2-1 酸化物電解法プロセス	12
図 2-2 酸化物電解法の乾式再処理プラントの主工程セル	13
図 2-3 燃料集合体解体セル内の機器配置	14
図 2-4 燃料処理セル内の機器配置	15
図 2-5 塩除去セル内の機器配置	16
図 2-6 燃料集合体解体セルの作業手順	17
図 2-7 燃料処理セルの作業手順	18
図 2-8 塩除去セルの作業手順	19
図 2-9 各セル内の移送経路	20
図 2-10 工程進捗状況を表すアニメーションのパソコン画面例	22

図 3-1 使用済燃料集合体の受入数(基準ケース)	42
図 3-2 プラントの処理量(基準ケース)	42
図 3-3 燃料集合体解体セルの機器稼働率(基準ケース)	42
図 3-4 燃料処理セルの機器稼働率 1/2(基準ケース)	43
図 3-5 燃料処理セルの機器稼働率 2/2 (基準ケース)	43
図 3-6 塩除去セルの機器稼働率(基準ケース)	43

表 2-1 燃料集合体解体セルの機器一覧	-----23
表 2-2 燃料処理セルの機器一覧	-----25
表 2-3 塩除去セルの機器一覧	-----27
表 2-4 燃料集合体解体セルのマテハン機器(PM、IC)の使用状況	-----29
表 2-5 燃料処理セルのマテハン機器(PM、IC)の使用状況	-----30
表 2-6 塩除去セルのマテハン機器(PM、IC)の使用状況	-----30
表 2-7 燃料集合体解体セルの移送機③(PM)の優先度と分担	-----31
表 2-8 燃料処理セルの移送機④(PM)の優先度と分担	-----32
表 2-9 塩除去セルの移送機⑥(PM)の優先度と分担	-----33
表 3-1 再処理プラントの主要機器の稼働率比較(基準ケース)	-----44
表 3-2 塩除去セルにおける機器台数の影響	-----44
表 3-3 基準ケース2の機器台数変更一覧	-----45
表 3-4 再処理プラントの主要機器の稼働率比較(基準ケース2)	-----45
表 3-5 機器台数の影響	-----46
表 3-6 工程の処理時間の影響	-----47
表 3-7 マテリアルハンドリング時間の影響	-----48
表 3-8 作業時間の確率変動の影響	-----49
表 3-9 マテリアルハンドリングの優先度の影響	-----50

## 1 緒論

現在、実施されている実用化戦略調査研究<sup>(1)</sup>(以下、FS: Feasibility Study)では、FBR 再処理システムとして湿式再処理だけではなく、除染係数は低いが高い経済性が期待できるといわれている乾式再処理も検討対象としている。

配管による物質移送を中心とする湿式再処理とは異なり、乾式再処理では溶融塩、液体金属、塩素ガス等の移送に配管が用いられることがあるが、脱被覆後の燃料粉や溶融塩から電解回収された析出物等の固体状の核物質については、容器に収納してパワーマニピュレータ(以下、PM と標記)等のマテリアルハンドリング装置により移送する。また、再処理機器での処理の前後に頻繁に実施される処理対象物の入った容器の据付等のバッチ式処理に起因する準備・後片づけ作業も、低除染プロセスであることからマテリアルハンドリング装置による遠隔操作が必要となる。このように乾式再処理ではプラントの操業に際して、マテリアルハンドリング装置への依存度が大きい。

このため、各工程機器が単独で必要な処理能力を有していても、マテリアルハンドリング装置による物質移送や処理前後の準備・後片づけ作業を速やかに行うことができなければ、待ち時間の増加により機器の稼働率が低下し、その結果、プラントの処理量が設計値を下回るという事態が生じる可能性がある。これを防止するためには、プラントの設計時において具体的な操業方法も考慮しておく必要がある。

そこで、FS のフェーズ I で設計された乾式再処理プラントを対象に、プラントの処理能力に対する評価や物流を中心とした操業性の検討を行うための物流評価システムを構築した。具体的には、この評価システムでは、主要機器やマテリアルハンドリング装置の機器台数、処理能力、処理時間等をパラメータとして物流解析を行うことにより、検討対象としたプラントの処理量の他に、ボトルネックとなる工程、仕掛品量、機器稼働率等の評価が行える。評価システム自体は、工程機器やマテリアルハンドリング装置の処理能力と、マテリアルハンドリング時に大きな制約を課すセル内機器の相対的な位置関係情報を基に構築されるため、詳細な機器図面やセル内機器配置図面の作成に至っていない乾式再処理プラントに対しても十分な評価をすることが可能である。ここでは、機器の位置情報については平面のデータで取り扱うため、機器配置の変更に対応して評価システムを修正することは容易である。

本報告書では、年間稼働日数 200 日、処理量 50tHM の酸化物電解法乾式再処理プラント<sup>(1)</sup>に対して構築した物流評価システムの概要とその解析結果について述べる。

## 2 物流評価システムの構築

MICRO ANALYSIS & DESIGN SIMULATION SOFTWARE、INC.製のMICRO SAINT Version 3.0 を用いて物流評価システムを構築した。このソフトを採用した理由は、各機器の位置情報を2次元データで取り扱うためモデルの構築や機器の配置変更に伴う修正が容易である一方で、位置情報を把握することによりマテリアルハンドリング装置間の空間的干渉を考慮できることである。またこのソフトは、工程の進捗状況について簡易なアニメーションで表示する機能があり、視覚的に物流を理解することが可能である。

本章においては、2.1と2.2で検討対象とした酸化物電解法プロセスの概要、酸化物電解法プラントの概要とそのモデル化について、2.3でマテリアルハンドリング装置の運転方法、2.4で評価システムの機能について述べる。

### 2.1 酸化物電解法プロセス

本報告書で評価の対象とした酸化物電解法を用いた乾式再処理プロセスについて、その概略を説明する(図 2-1 参照)。このプロセスでは、使用済燃料を溶融塩( $\text{NaCl}\cdot2\text{CsCl}$ )に溶解し、電解操作により  $\text{UO}_2$ 、MOX、TRU を回収し、最後に沈殿操作により溶融塩中に残留している FP を除去する。各工程の詳細について、以下に述べる。

#### ①脱被覆工程

ロール矯正法により被覆管内の燃料を粉碎した後、燃料ピンの中央部を切断して中身をハンマーで叩き出す。この機械式脱被覆法では、処理後の被覆管に有意な量の燃料が付着しているものと想定されるためハル洗浄を行う。

#### ②ハル洗浄工程

ハルを溶融塩中に浸漬させ、 $\text{ZrCl}_4$ を添加して付着している燃料を溶融塩中に溶出させて回収する。

#### ③同時電解工程

電解槽へ投入された燃料粉末を陽極として、主に  $\text{UO}_2$ を  $\text{UO}_2^{2+}$ として溶解させることにより、 $\text{UO}_2$ を選択的に回収する。[U製品 I の回収]

#### ④追加溶解工程

塩素ガスを吹き込むことにより、同時電解工程後に残留している燃料粉末を溶融塩中に溶解させる。この時、U は  $\text{UO}_2^{2+}$ として、Pu は  $\text{Pu}^{4+}$ として溶解する。

## ⑤NM(貴金属)除去電解工程

追加溶解直後に U、Pu の回収を実施すると、最も還元されやすい NM の混入が避けられないため、先に低電流で電解を行い選択的に溶融塩中から NM を除去する。

## ⑥MOX 電解工程

塩素ガス中に酸素ガスを混ぜて吹き込むことにより、 $Pu^{4+}$ の化学形態で溶解している Pu を  $PuO_2^{2+}$ に酸化させながら、固体陰極に  $UO_2$ 、 $PuO_2$  を同時に MOX として析出させる。[MOX 製品の回収]

## ⑦絞り電解工程

電解電流を絞りながら時間をかけて、溶融塩中に残留している U、Pu、MA を回収する。ここで回収されないアクチニド元素は、次工程⑧のリン酸沈殿工程で希土類と共に沈殿回収されて廃棄物となる。[TRU 製品の回収]

## ⑧リン酸沈殿工程

溶融塩を構成する Na、Cs と同じ割合のリン酸ナトリウムとリン酸セシウムを投入することにより、溶融塩中に残留している FP をリン酸塩の沈殿物として回収する(回収されたリン酸塩はリン酸ガラスへ添加される)。その後、リン酸塩の投入による溶融塩の增量分を余剰塩として廃棄する(この余剰塩は、酸化転換後、ホウケイ酸ガラスへ添加される)。その結果、溶融塩中で発生する崩壊熱の主要な因子である FP の Cs については、蓄積が回避され、ある一定濃度で飽和する。[リン酸ガラス固化体、ホウケイ酸ガラス固化体の廃棄]

## ⑨NM 分離洗浄工程

NM 除去電解工程で回収された電解析出物中には NM 以外に  $UO_2$  が混入しているため、両者の比重差を利用して水中で分離し、 $UO_2$  を回収する。[U 製品 II の回収、NM インゴットの廃棄]

⑦、⑧は溶融塩を精製する工程であり、溶融塩中の FP が蓄積してきた段階で実施される。よって、通常のバッチは①～⑥、⑨で構成されており、サイクルの最終バッチにおいてのみ①～⑨までの操作が一連して行われる。また、電解は電析対象物の濃度が高い領域で実施する方が効率を上げられるため、サイクルの初めに 1 バッチ分の使用済燃料を塩素化溶解により溶解しておく(浴塩調整)。この濃度の底上げを担うバックグラウンド分については③、⑤、⑥では回収されず、最終バッチの⑦、⑧にて TRU 製品または廃棄物としてシステムの外へ除去される。ハル洗浄工程における回収物は、バッチごとではなく次のサイクルが開始される直前の浴塩調整時に電解槽へ投入さ

れる。

このプロセスにおいて高レベル固化体として発生する廃棄体は、⑨の NM インゴット、⑧のリン酸塩を起源とするリン酸ガラス固化体と余剰塩を起源とするホウケイ酸ガラス固化体の 3 種類である。

## 2.2 酸化物電解法乾式再処理プラントのモデル化

### 2.2.1 主工程セルの構成

電解による燃料の再処理には溶融塩と塩素ガスを使用すること、また電解析出物の洗浄に水を使用することから図 2-2 に示すように、酸化物電解法の乾式再処理プラントでは、受け入れた使用済燃料の解体を行う燃料集合体解体セル、溶融塩電解による燃料精製を行う燃料処理セル、電解回収物から溶融塩を分離して燃料製造工程へ渡す再処理製品を作成する塩除去セルという 3 つのセルに主工程を分割している。その他にも、 $ZrCl_4$  を取り扱うために Ar 雰囲気にしなければならない工程が別途設置されているハル洗浄セルがあるが、主工程ではないため評価システムではモデル化の対象外とした。

セルは T 字型に配置され、専用の移送ハッチにより接続されている。燃料集合体解体セルでは、左上端から使用済燃料集合体を受け入れ、処理の進行に伴い時計回りにセル内を移送して、下端の移送ハッチより燃料処理セルへ燃料粉を払い出す。それ以降の 2 つのセルでは、処理対象物は基本的に上端から下端へと一方向に移送される。そして最終的に、再処理製品は、塩除去セルの左下端から燃料製造工程へと払い出される。

評価システムでは、使用済燃料受け入れについては特に制限を設けず、燃料集合体解体セルでの処理が追いつく限り燃料を受け入れるようにした。また、移送ハッチを介したセル間の物質移送においては、送り側のセルの貯蔵量に上限値を設定して、その値を超えないように次セルへ物質を移送するものとした。

### 2.2.2 機器のセル内配置

この年間処理量 50tHM の再処理プラントを構成する機器の一覧とその台数や処理時間を表 2-1～2-3 に、セル内における機器の配置状況を図 2-3～2-5 に示す。フェーズ I のシステム設計では、全ての機器の処理時間が設定されているわけではないため、未設定箇所については作業量を参考

にして決定した。その他のデータや機器の配置状況については、フェーズIの設計をそのまま用いた。これらの図表に示したデータを基準として、3章では評価システムを用いてパラメータサーベイを行いプラントの特性を評価した。

機器は秤量装置のように複数の工程で共通して使用されるもの以外は、基本的に処理対象物の移送順路に沿って配置されている。また、セルの両側に機器を配置することによって、セル中央部に物質移送のための空間を確保している。

各セルには、培塙交換や保守補修時の機器交換のために使用されるインセルクレーン(IC)が1基と、通常の物質移送や機器のマテリアルハンドリングに使用されるパワーマニピュレータ(PM)の2基が装備されている(図中にはICは示していない)。評価システムでは、PMは搬入口に近い方をPM(A)、搬出口に近い方をPM(B)と呼称して区別している。また、PMは待機時には図に示しているように、それぞれセルの両端のホームポジションに位置するものとし、セル中央部に留まることがないようにした。

### 2.2.3 作業手順

#### [燃料集合体解体セル]

燃料集合体解体セルの作業手順を図2-6に示す。本セルでは、使用済燃料集合体の受け入れから、電解処理用の燃料粉を作成してそれを燃料処理セルへと払い出すまでの作業を実施する。受け入れる使用済燃料集合体は、内側炉心、外側炉心、径プランケットの3種類である。これらを集合体受け入れハッチより搬入後、集合体解体装置によりラッパ管等の集合体部材と燃料ピンに分離する。

集合体部材は1体分ごとに搬送容器に収納して、核物質計量装置によりPuが付着していないことを確認後、一時貯蔵庫⑤へと搬送され廃棄物搬出ハッチよりセル外へ搬出される。燃料ピンについては、脱被覆装置へ移送後、ロール矯正法によりハルと燃料が分離される。ハルは燃料集合体1体分ごとにハル容器に収納され、ハル詰替装置で2分割された後、核物質計量装置で計測してから一時貯蔵庫⑥へと搬送されハル移送ハッチよりハル洗浄セルへと搬出される。

脱被覆後の燃料は、臨界安全上、内側・外側炉心は56kg(0.83集合体)ごとに、径プランケットは51kg(0.25集合体)ごとに分割して燃料粉容器へと収納される。これらに対しては、燃料粉混合装置を用いて均質化とサンプリングによる成分分析を行い、その後、秤量装置で重量を計測することに

よって核物質の絶対量を確定する。この一連の工程を本再処理プラントの入量計量とする。計量済の燃料粉は、一時貯蔵庫①、②、③において個別に保管された後、電解用燃料混合装置で内側炉心:外側炉心:径ブランケット=0.45:0.26:0.30 の割合で混合し、サンプリングにより成分を確認してから60kgごとに燃料粉容器へと収納する。更に、秤量装置で重量を計測後、一時貯蔵庫④へと移送され電解用燃料粉移送ハッチより燃料セルへと払い出される。

#### [燃料処理セル]

燃料処理セルの作業手順を図 2-7 に示す。本セルでは、均質化された燃料粉の受け入れから、電解により精製した析出物を粉碎して塩除去セルへと払い出すまでの作業を実施する。受け入れた燃料粉は、一時貯蔵庫⑦で貯蔵後、必要に応じて燃料粉容器収納装置で電解装置への投入用器具へ装着され、電解装置へと搬入される。

電解装置では、2.1 のプロセス説明で述べた同時電解から浴塩調整までの一連のプロセスが実施される。ここで回収された析出物は、Pu を含むものと含まないものを分けて取り扱う。Pu を含まない同時電解工程と NM 除去電解工程の回収物は、陰極収納容器ごと析出物粉碎装置①に移送され粉碎処理後、環状容器に収納され、秤量装置により重量を確認してから一時貯蔵庫⑧を経由して粉碎物移送ハッチより塩除去セルへと払い出される。ただし、NM 除去電解工程の析出物は、1 陰極当たり 4.1kg であり臨界安全上問題がないことから、後工程の塩除去処理の処理量に合わせるため析出物粉碎後に粉碎物詰替装置において 7 バッチ分をまとめて環状容器へ収納する。MOX 電解工程と絞り電解工程の回収物は、陰極収納容器ごと析出物粉碎装置②に移送され粉碎処理後、環状容器に収納されて秤量装置に移送される。後は、前述の U 系回収物と同様の手順で塩除去セルに払い出される。

坩堝の交換は、リン酸沈殿工程後に坩堝交換エリアへ電解装置ごと移送して実施される。溶融塩と共に坩堝は、廃棄物搬出ハッチより搬出される。リン酸沈殿除去済の溶融塩が入った新しい坩堝についても、このハッチを経由して搬入される。

#### [塩除去セル]

塩除去セルの作業手順を図 2-8 に示す。本セルでは、電解による回収物の受け入れから、付着溶融塩を除去した再処理製品を燃料製造工程へと払い出すまでの作業を実施する。粉碎物移送ハッチより回収物を受け入れて

一時貯蔵庫⑨で貯蔵後、溶融塩分離操作を行い、サンプリング装置と秤量装置により絶対量を確定してから一時貯蔵庫⑩を経由して顆粒移送ハッチより搬出される。溶融塩分離操作においても U 系回収物の Pu による汚染を避けるため、両者を区別して処理する。

MOX 電解と絞り電解起源の回収物は、塩分離装置①で水洗い後、乾燥装置①で乾燥させる。同時電解起源の回収物は、塩分離装置②と乾燥装置②を用いて処理される。NM 除去電解起源の回収物は、NM 分離装置により水洗いと比重差を利用した U、NM の分離を同時に実行し、U については乾燥装置②で処理する。分離された NM は 5 パッチ分ごとにまとめられて、一時貯蔵庫⑩から廃棄物搬出ハッチを経由してセル外へと搬出される。

## 2.3 セル内のマテリアルハンドリング

### 2.3.1 マテリアルハンドリングの種類

パッチ式処理と低除染プロセスに起因する遠隔操作というプラントの特性から、マテリアルハンドリングには物質移送と機器の設定・操作という 2 つの役割がある。物質移送とは主に処理対象物の工程(機器)間の移送のことであり、機器の設定・操作とは搬送容器の脱着等といった処理前後の準備・後片づけ作業のことである。

処理対象物を移送するときには、専用移送機を使用する場合と汎用移送機である PM を利用する場合がある。本プラントにある専用移送機とは、燃料集合体解体セルの集合体解体装置の前後にある移送機①、②のことである。これらは機器間の移送のみを実行し、再処理機器の設定・操作能力は有しない。PM を利用する移送の場合には、各セルに 2 基ずつ装備されている内のどちらを利用するかということについて予め検討しておく必要がある。本評価システムではセルを長手方向に 3 分割して、PM(A)のホームポジションに近い領域は PM(A)に、PM(B)のホームポジションに近い領域は PM(B)に、中央領域については両 PM に作業を分担することとした。各移送機の移送経路と分担については、図 2-9 に示す。

次に、評価システムにおける、機器の設定・操作に関わるマテリアルハンドリングの取り扱い方法について説明する。ここでは、再処理機器による作業時間を機器起動前、機器起動中、機器停止後の 3 領域に分割した。機器起動前とは、処理を行う前に処理対象物や処理後に必要となる受け入れ容器等の装置への着装操作を行う時間である。その他、受け入れ容器等の調達時間もこれに含む。機器起動中とは、処理対象物の処理を実行して

いる時間であり、通常この間、PM は解放される。但し、燃料粉容器収納装置や坩堝交換のように、処理作業自体に PM の補助が必要であると考えられるものについては PM を占有するものとする。機器停止後とは、不要となった部材を機器から外し、また処理済の燃料等を次工程へ移送するための時間である。作業終了後は、次工程への処理済燃料の移送を優先させ、機器の周辺に滞留しないようにした。更に、この操作が完了するまでは、該当する機器は次の処理を開始することが出来ないものとした。本評価システム内でモデル化した全ての機器におけるマテリアルハンドリング装置の使用状況や処理時間について、表 2-4～2-6 に示す。

### 2.3.2 マテリアルハンドリングの処理順序

操業時にはプラントの至る個所で PM によるマテリアルハンドリングを必要とするが、評価システムでは、それらを以下の 2 つの根拠を基に作業順序を決定し処理する。

第一の根拠はセル内における機器の幾何学的配置であり、これによって機器ごとに操作を担当する PM の種類が決定される。前節でも述べたように、PM(A)のホームポジションに近い機器に起因するマテリアルハンドリングは、PM(A)によって実行される。セルの中央領域では何れの PM も使用することが可能となっているが、PM が 2 基とも空いているときには、ホームポジションが該当機器から近い方の PM を優先的に使用するように設定した。

第二の根拠は工程の順序に関係する優先度であり、これにより作業を処理する順序が決定される。この優先度は、プラント全体の流れを考慮して設定されるものである。例えば、プラント操業開始時には上流に処理対象物が偏在するため上流の機器のマテリアルハンドリングを優先的に処理し、平衡状態に到達するにつれて下流を優先的に処理するように優先度は決められる。また、ボトルネックとなる工程を優先的に処理するために、その工程に起因するマテリアルハンドリングの優先度を高くすることも考えられる。

ここでは、本プラントのマテリアルハンドリングの処理順序について、表 2-7～2-9 に示すように設定した。

### 2.3.3 パワーマニピュレータの干渉問題の取り扱い

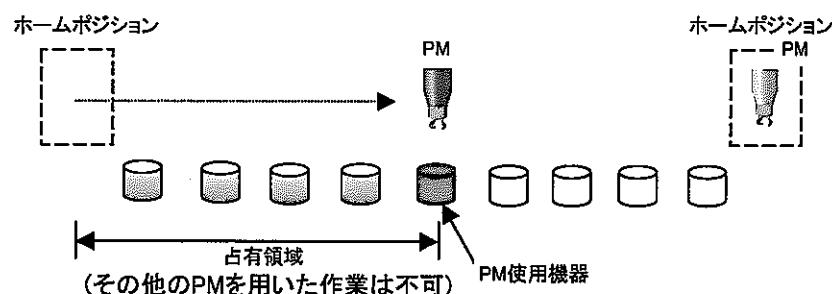
このプラントでは、同一セル内で 2 基の PM を用いて物質移送や機器の

設定等を実施する。そこで、PM 同士がお互いに交差(衝突)することがないように運転管理を行う必要がある。本評価システムでは、ある作業に PM が従事する場合には、作業開始から終了(ホームポジションへの帰還)までにその PM が移動する領域を全て封鎖し、作業中の PM が解放されるまでは、もう一方の PM の侵入を禁止するように設定している。実際には、作業中に封鎖した占有領域全体に PM が存在するわけではないため、作業の進行状況に応じて占有領域を更新することも考えられるが、この方法では、ヒューマンエラーの防止や PM にセンサー等を取り付けることによる衝突回避機構を考慮しなければならず、詳細な安全設計による裏付けが必要となる。そこで、本評価システムでは現実性を重視し、一連の作業中には占有領域を変更しないこととした。

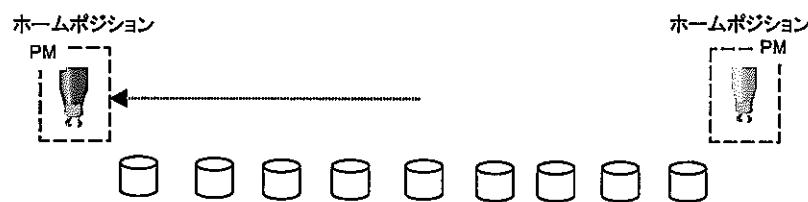
以下に、具体的に本評価システムで採用した干渉回避方法を説明する。

#### ケース 1:機器起動前(中)マテリアルハンドリング

マテリアルハンドリングのために PM を取得した機器から、PM のホームポジション間でのエリアを占有領域とする。処理作業に PM の補助が必要である機器(燃料粉容器収納装置等)については、機器の処理作業が終了するまでこの状態を維持する。

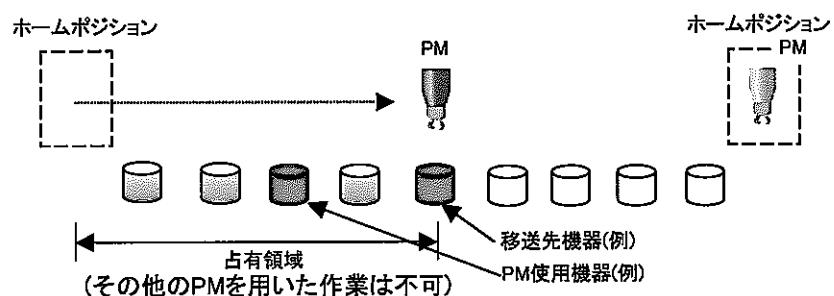


機器起動前マテリアルハンドリング、または処理作業が終了後、PM はホームポジションへ戻り、占有領域を開放する。

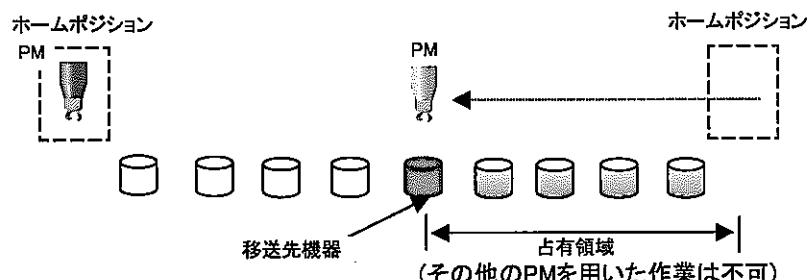


## ケース 2:機器起動後マテリアルハンドリング

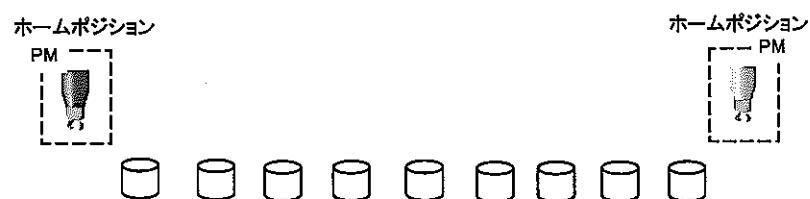
マテリアルハンドリングと処理対象物の次工程への移送のためにPMを使用する機器から、PMのホームポジションまでのエリアを占有領域とする。尚、PMを占有した機器よりも移送先の機器の方がホームポジションより離れている時には、移送先の機器からホームポジションまでを占有領域として再設定する。



処理対象物の移送後、移送先機器で直ぐに機器起動前マテリアルハンドリングを実施する時には、移送先機器からそれを担当するPMのホームポジションまでを占有領域として再設定する。



機器起動後マテリアルハンドリング、または移送先機器の機器起動前マテリアルハンドリングが終了後、PMはホームポジションへ戻り、占有領域を開放する。



通常、IC は保守・補修作業においてのみ使用されるが、燃料処理セルではサイクル間に実施される坩堝交換時にも使用される。IC と PM の干渉を回避するため、IC の作業時には全ての PM はホームポジションへ退避するよう設定した。これにより、坩堝交換を開始するための条件として IC と 2 基の PM が全て待機中であることが要求されるが、実際に稼働中のプラントにおいてそのような事象が発生する確率は低い。そこで、電解装置で坩堝交換が必要となったときには、IC、PM が空き次第、随時占有し、全てのマテリアルハンドリング装置を確保した時点で、坩堝交換作業を開始するように設定した。

## 2.4 設定パラメータと出力結果

本評価システムにおいて、機器配置等のモデルの変更をせずに入力する数値により変更が可能な設定パラメータと出力結果について示す。

### ●設定パラメータ

- ・機器台数
- ・工程処理時間
- ・PM 優先順位
- ・マテリアルハンドリング時間
- ・移送時間
- ・貯蔵庫搬出容量
- ・処理時間、移送時間等の時間に関する確率変動(ガンマ分布等)
- ・電解工程の 1 サイクルの構成バッチ数(浴塩精製の間隔)

### ●出力結果

- ・燃料集合体の受入数
- ・再処理製品の生産量
- ・装置の稼働率
- ・仕掛品量
- ・一時貯蔵庫の貯蔵量
- ・処理中の工程状況のアニメーション

出力結果の中の「処理中の工程状況のアニメーション」については、具体的な例を図 2-10 に示す。アイコン一覧に示すアイコンを用いて PM や装置間を移動する容器について、その現在地をリアルタイムでセル内の機器配置図に表示している。

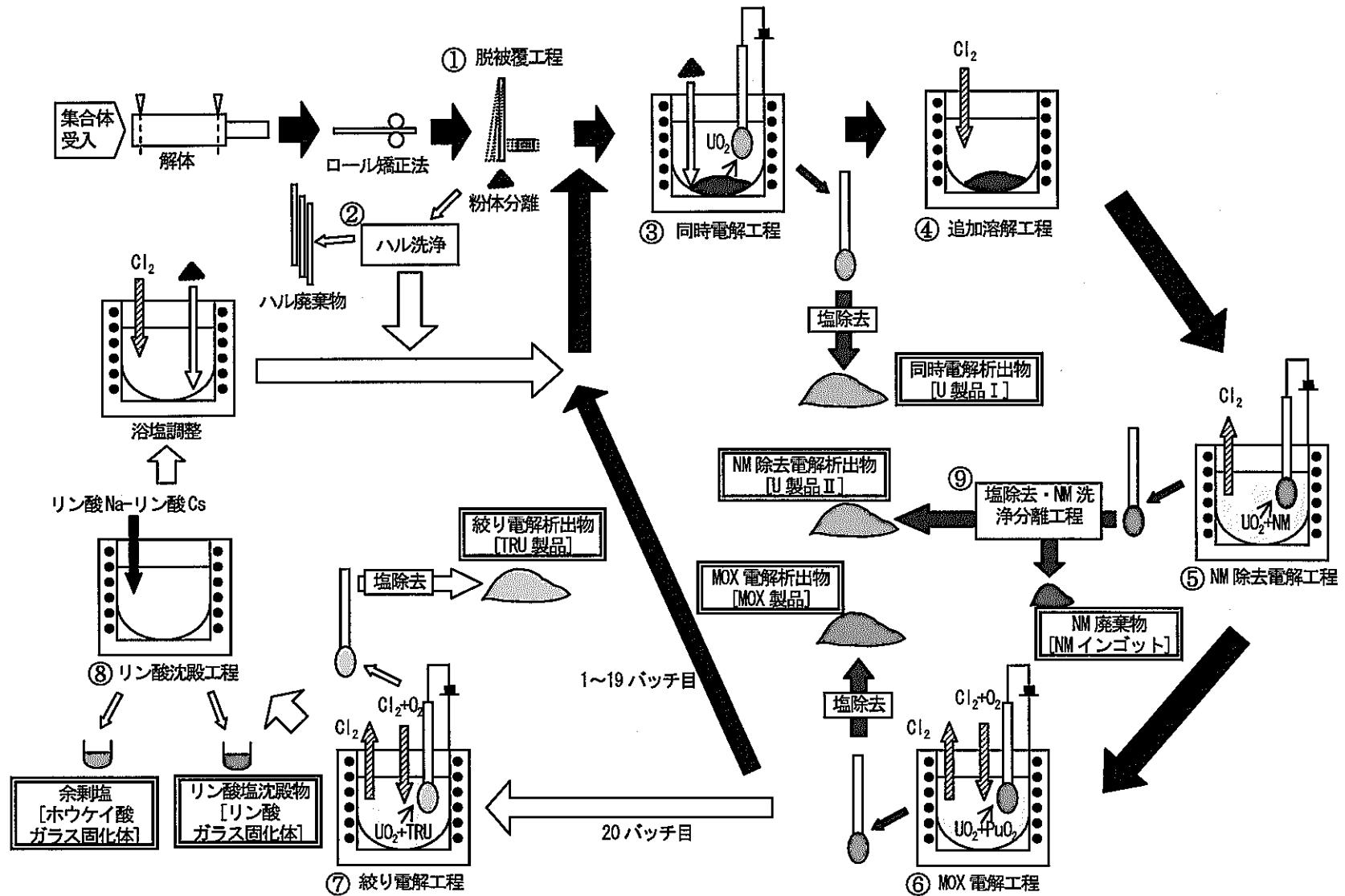


図 2-1 酸化物電解法プロセス

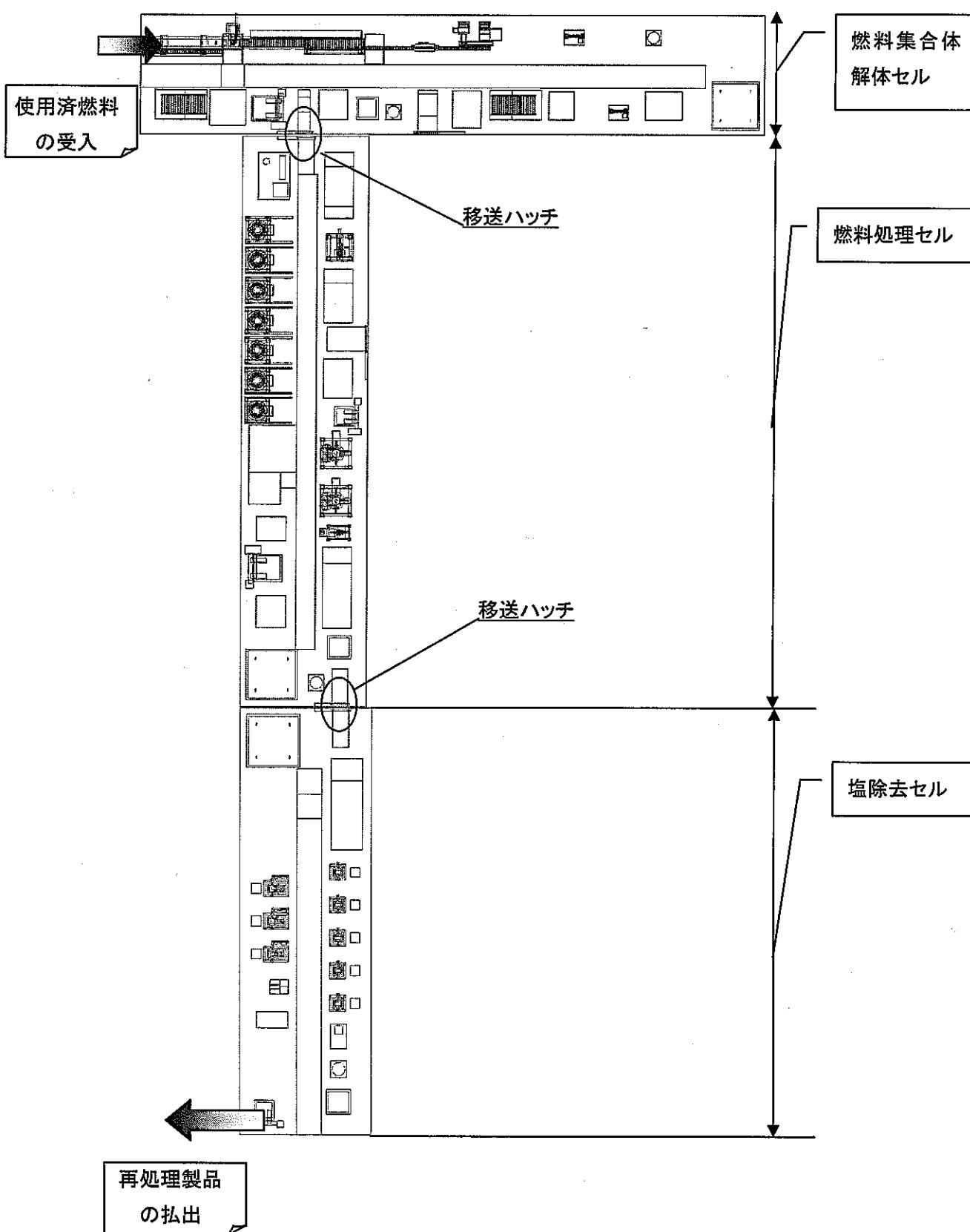


図 2-2 酸化物電解法の乾式再処理プラントの主工程セル

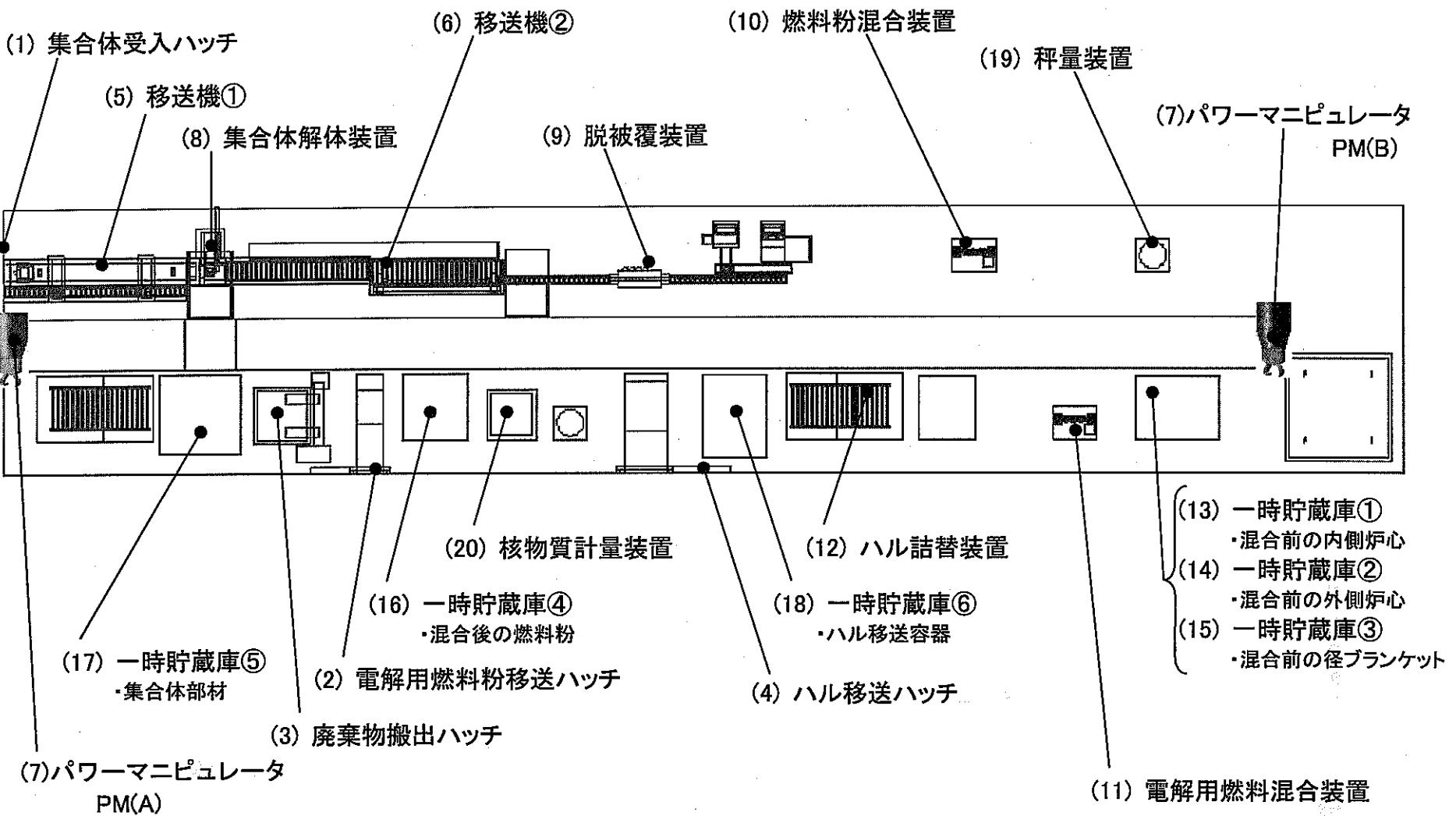


図 2-3 燃料集合体解体セル内の機器配置

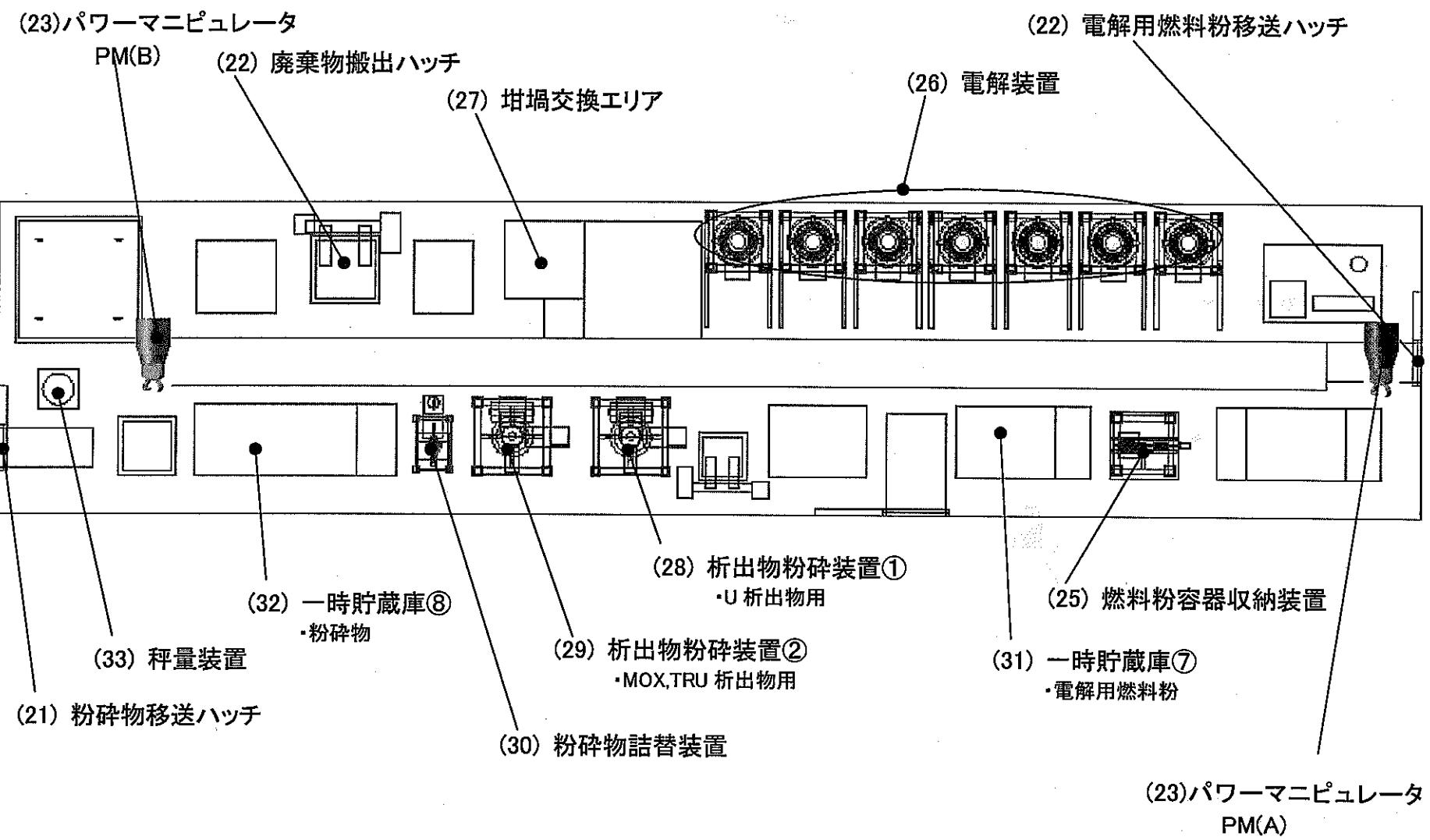


図 2-4 燃料処理セル内の機器配置

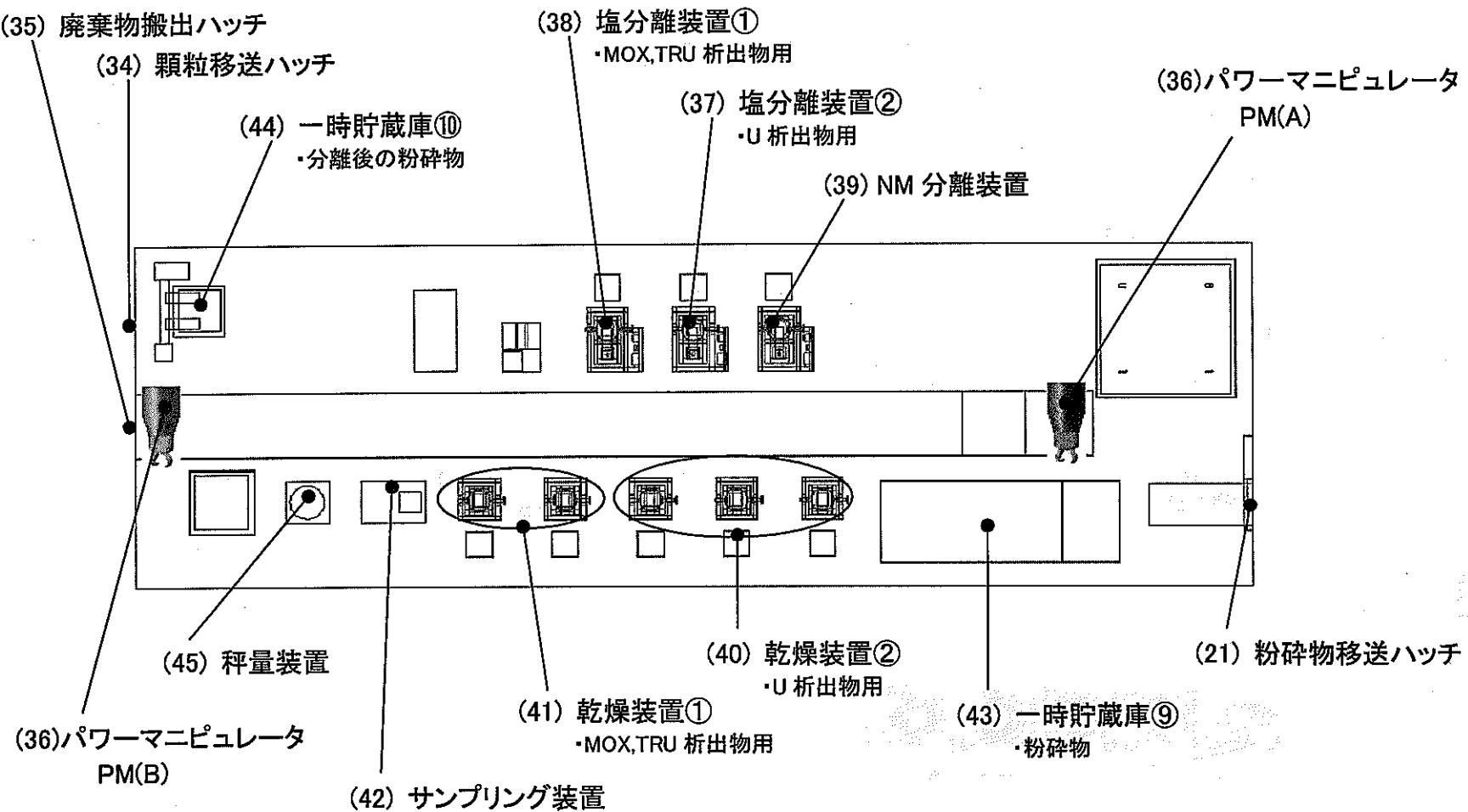


図 2-5 塩除去セル内の機器配置

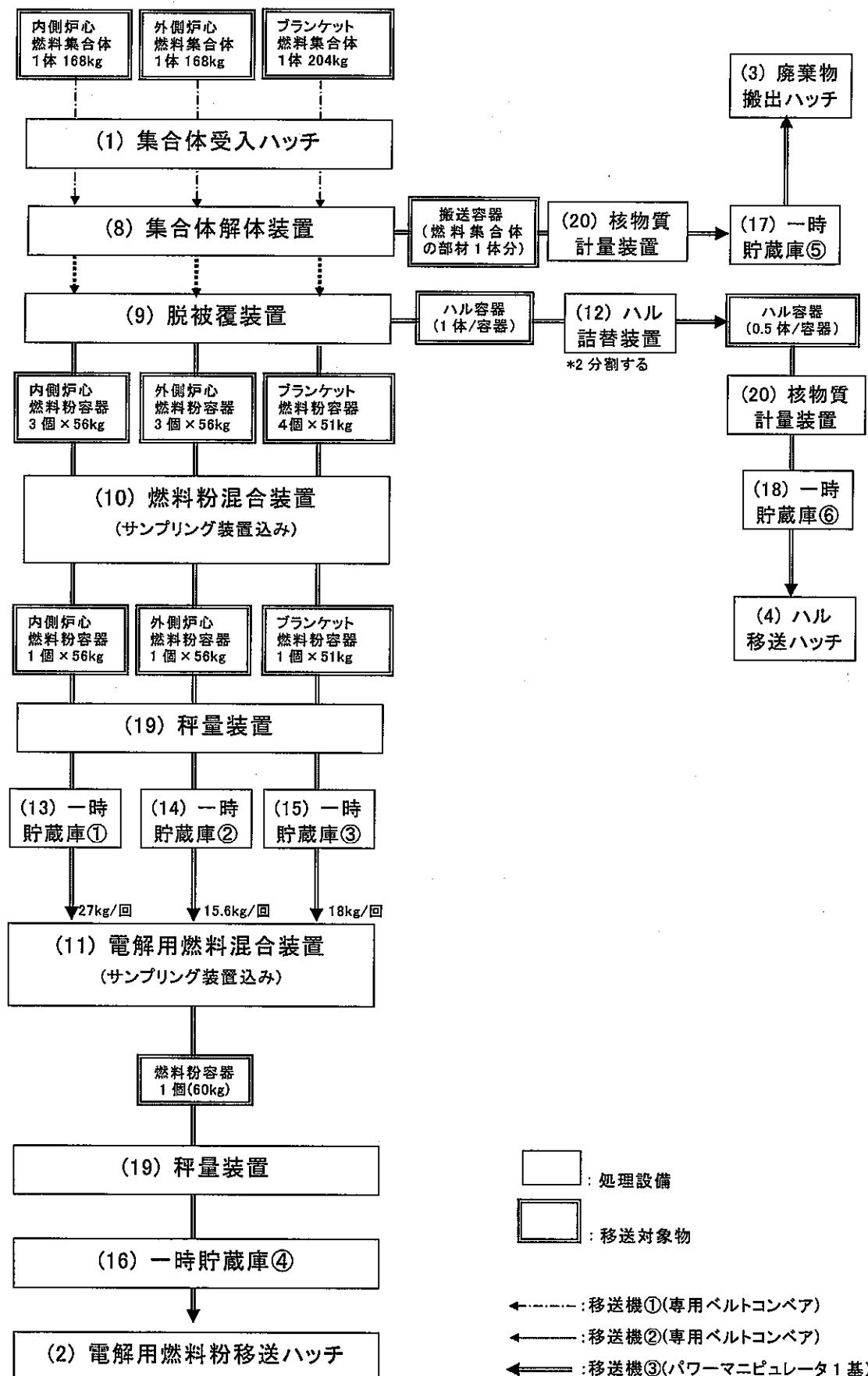


図 2-6 燃料集合体解体セルの作業手順

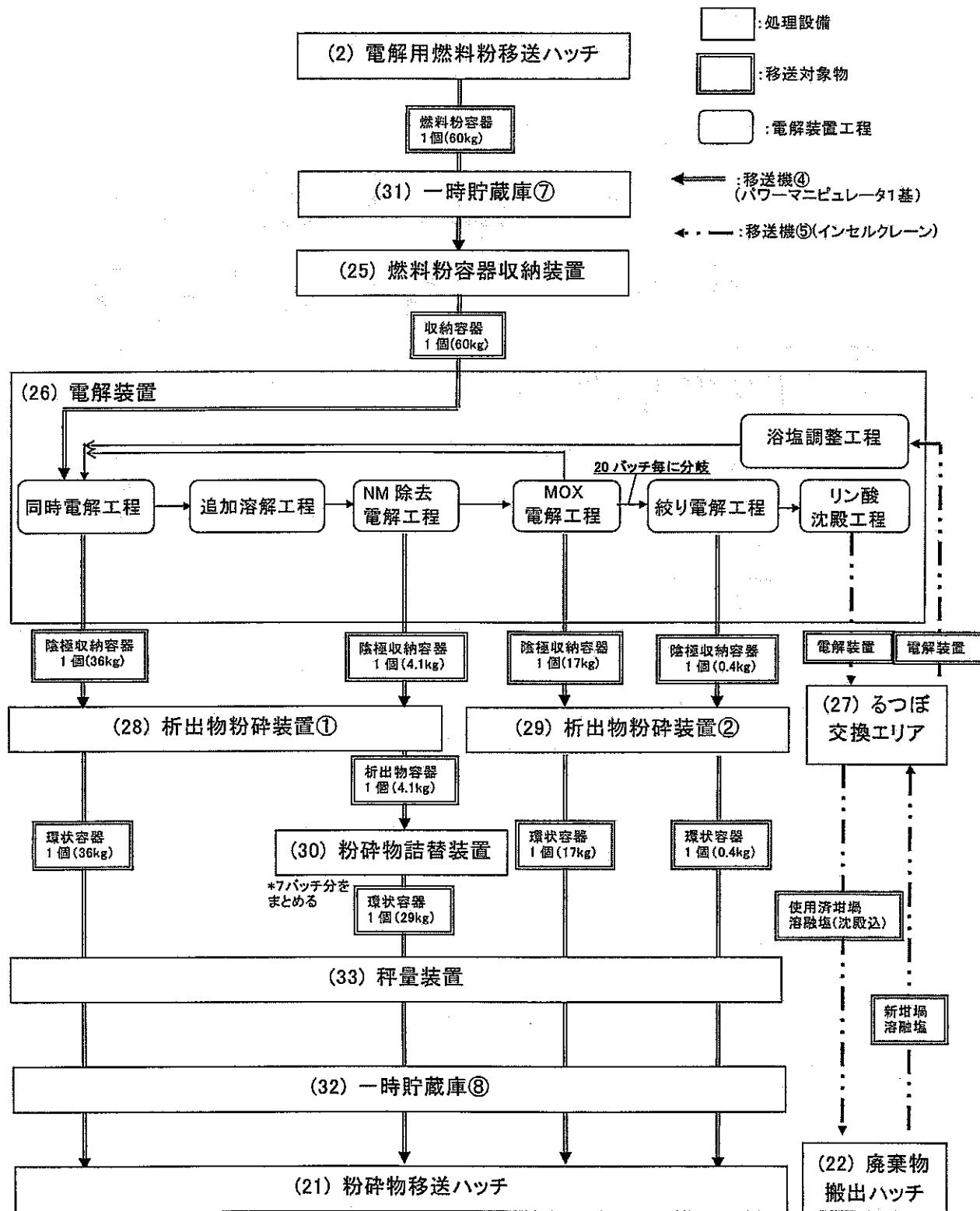


図 2-7 燃料処理セルの作業手順

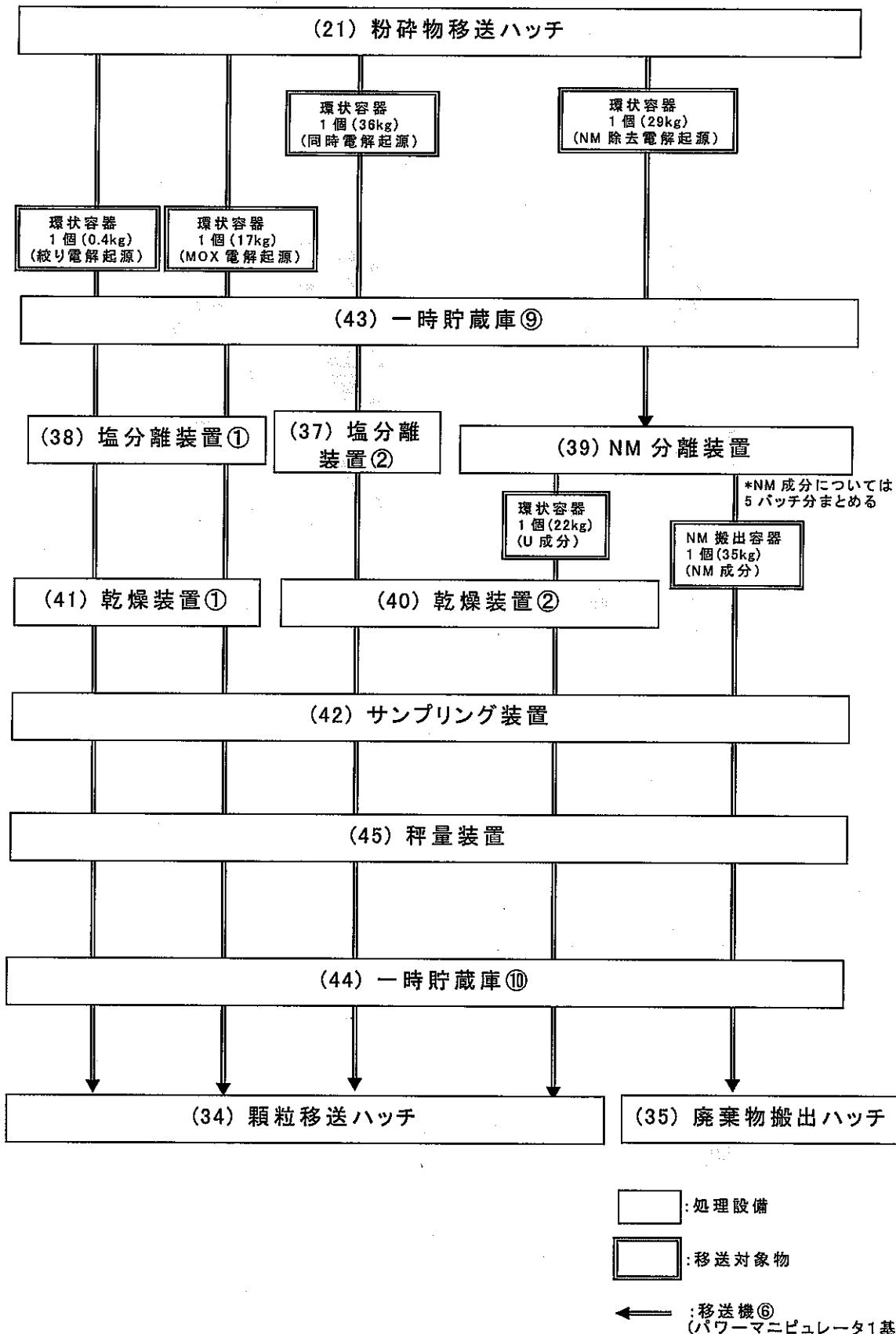
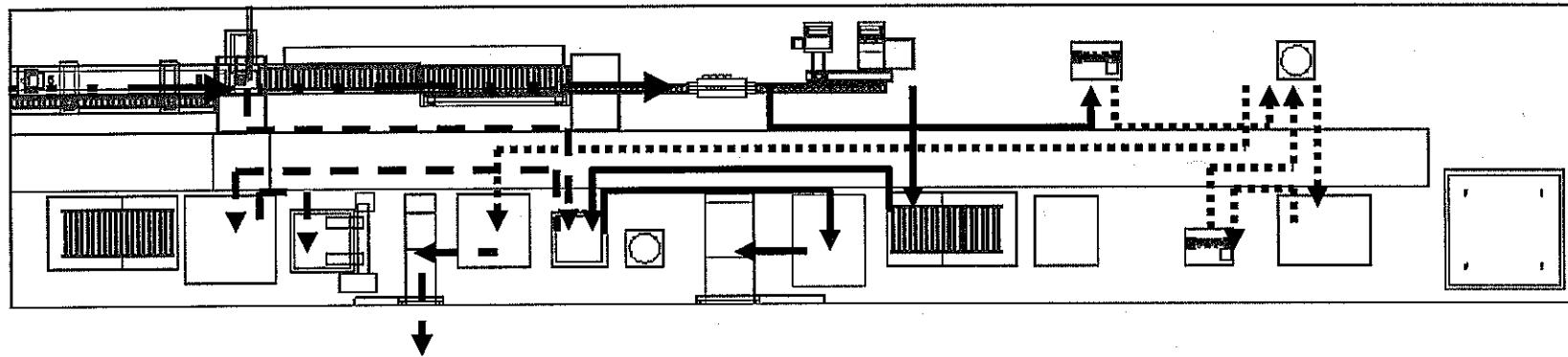
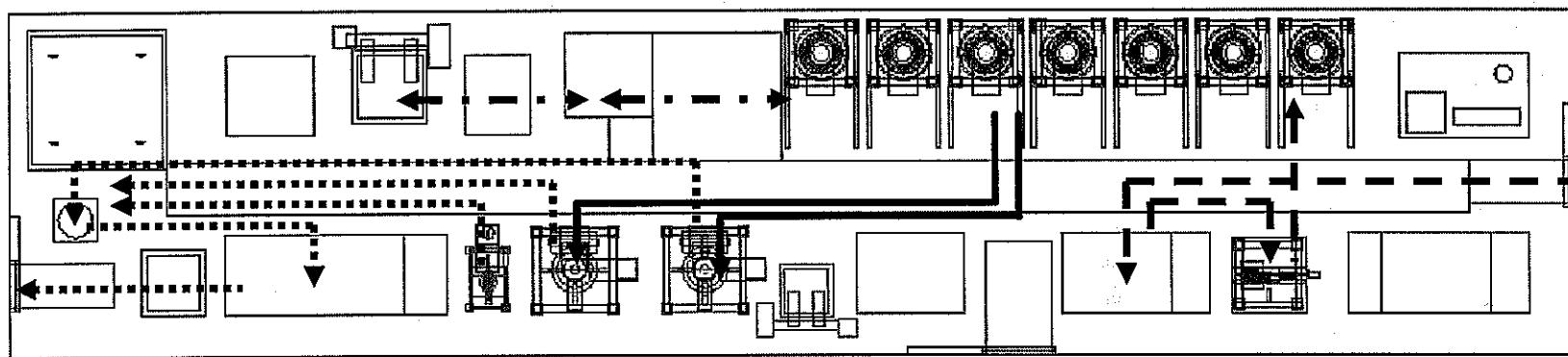


図 2-8 塩除去セルの作業手順

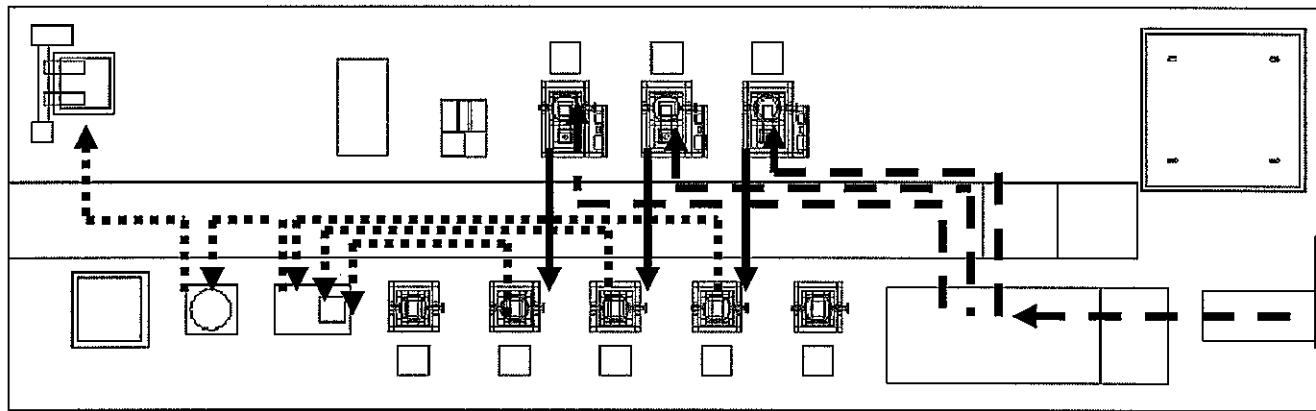
●集合体解体セル●



●燃料処理セル●



●塩除去セル●



- ① - - - PM(A)を使用
- ② ..... PM(B)を使用
- ③ — PM(A)、PM(B)の内、空いている方を使用
- ④ - · - IC、PM(A)、PM(B)を使用(坩堝交換)
- ⑤ — · - 専用移送機

図 2-9 各セル内の移送経路

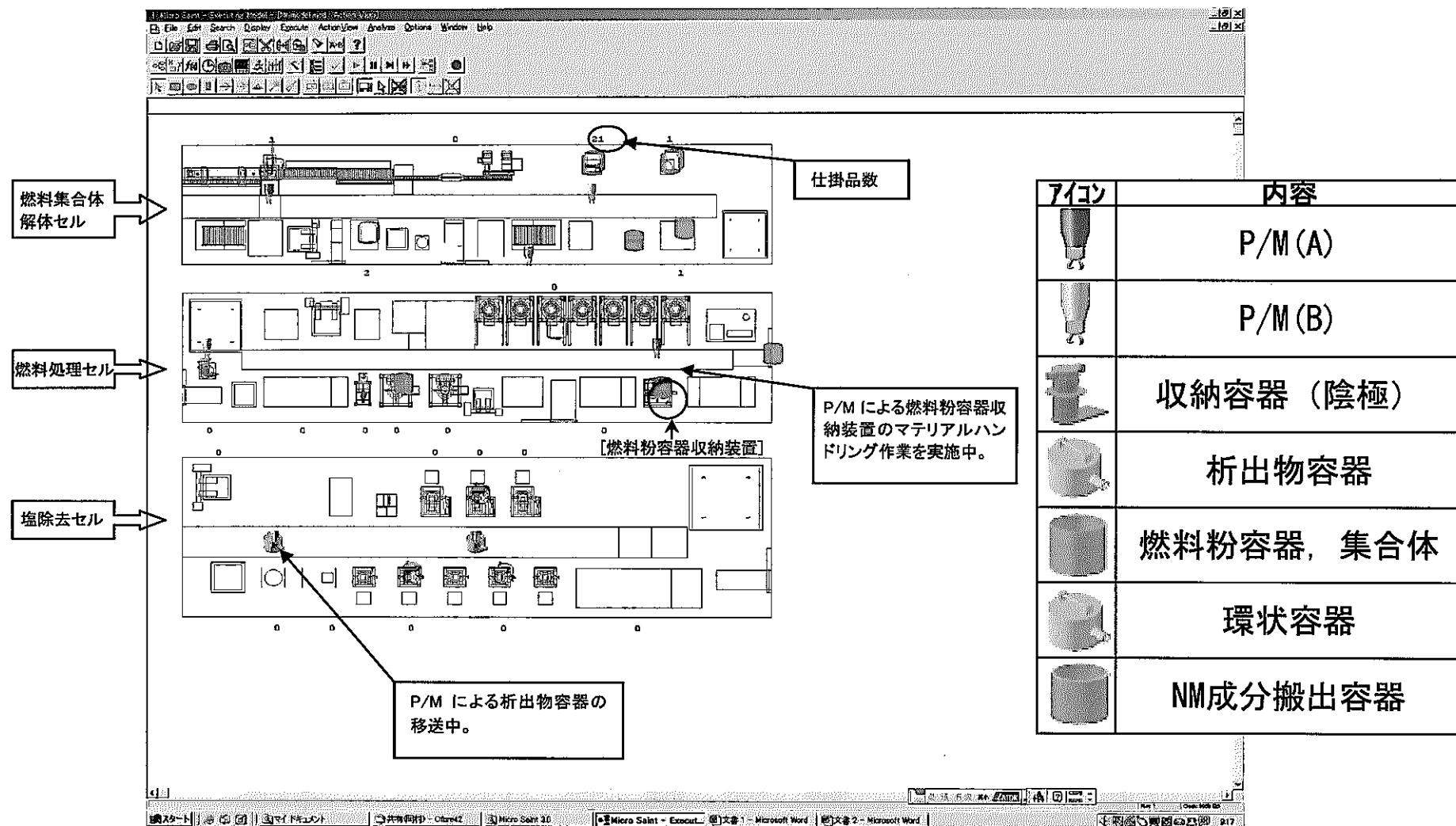


図 2-10 工程進捗状況を表すアニメーションのパソコン画面例

表 2-1 燃料集合体解体セルの機器一覧

機器名	機器仕様	機器台数	作業時間	備考
(1) 集合体受入ハッチ	集合体 [種類] ・内側炉心 168kg ・外側炉心 168kg ・径プラ 204kg	1 基	総計 10min [作業内容] ・ハッチを開く ・専用台車による集合体の搬入 ・移送機①への受け渡し ・ハッチを閉じる	電解用燃料混合装置における在庫量をもとに、内側炉心、外側炉心、径プランケット集合体のうち必要性の高いものを優先して搬入。
(2) 電解用燃料粉 移送ハッチ	燃料粉容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM)	1 基	総計 10min [作業内容] ・ハッチを開く ・専用台車による燃料粉容器の搬出 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因:次工程との関係、ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(3) 廃棄物搬出ハッチ	搬送容器 [内容] ・1集合体分の集合体部材	1 基	総計 10min [作業内容] ・ハッチを開く ・専用台車による搬送容器の搬出 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因:ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(4) ハル移送ハッチ	ハル容器 [内容] ・0.5集合体分のハル	1 基	総計 10min [作業内容] ・ハッチを開く ・専用台車によるハル容器の搬出 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因:次工程との関係、ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(5) 移送機①	集合体 [種類] ・内側炉心 168kg ・外側炉心 168kg ・径プラ 204kg	1 基	総計 10min [作業内容] ・集合体受入ハッチから集合体解体装置までの移送	専用ベルトコンベア。 集合体解体装置 1 基につき移送機①1 基を設置する。
(6) 移送機②	集合体 [種類] ・内側炉心 168kg ・外側炉心 168kg ・径プラ 204kg	1 基	総計 30min [作業内容] ・集合体解体装置から脱被覆装置までの移送	専用ベルトコンベア。 集合体解体装置 1 基につき移送機②1 基を設置する。
(7) 移送機③ (パワーマニピュレータ)	・燃料粉容器(電解用混合前) [内容物の種類] ・内側炉心 56kg ・外側炉心 56kg ・径プラ 51kg ・燃料粉容器(電解用混合後) [内容] ・燃料粉 60kg (56kgHM) ・搬送容器 [内容] ・1集合体分の集合体部材 ・ハル容器(ハル詰替前) [内容] ・1集合体分のハル ・ハル容器(ハル詰替後) [内容] ・0.5集合体分のハル	2 基	・機器稼働前 作業時間は操作装置毎に設定 [作業内容] ・必要な機材の調達 ・機材の装着 ・処理対象物の装荷 ・機器停止後 作業時間は操作装置毎に設定 [作業内容] ・機材の脱離 ・不必要的機材の撤去 ・処理対象物の次工程への移送 (搬出・移送ハッチの直前では、専用台車への搭載時間も含む)	パワーマニピュレータ(PM)は物質の移送以外に、各装置でのマテリアルハンドリングにも従事する。ハッチからの搬出では、PM は移送台車への搭載に使用する。2 基の PM は、セル内で交差しないように作動させる。 搬入側を PM(A)、搬出側を PM(B)と呼称する。
(8) 集合体解体装置	集合体 [種類] ・内側炉心 168kg ・外側炉心 168kg ・径プラ 204kg	1 基	総計 内側炉心・外側炉心:9hr、径プラ:7hr [作業内容] ・ラッパ管切断: 2hr/集合体 ・下部端栓切断(バンドル剪断): 1hr/集合体 ・スペーサワイヤ除去: [種類] ・内側炉心 5hr(=271 ピン × 1min) ・外側炉心 5hr(=271 ピン × 1min) ・径プラ 3hr(=169 ピン × 1min) ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr [内訳] ・機器起動前: 30min (搬送容器、搬送トレー装着。集合体設置。) ・機器停止後: 30min (搬送容器脱離と一時貯蔵庫までの移送。搬送トレーの脱離と移送機②への受け渡し。)	集合体解体後、集合体部材は搬送容器に格納して払い出し、燃料ピンは搬送トレーに載せて移送機②により脱被覆装置へ送られる。 装置停止後のマテリアルハンドリングでは、集合体解体部材を格納した搬送容器を一時貯蔵庫まで移送する時間も含む。
(9) 脱被覆装置	受入時 集合体 [種類] ・内側炉心 168kg ・外側炉心 168kg ・径プラ 204kg  抽出時 燃料粉容器 [内容物の種類] ・内側炉心 56kg ・外側炉心 56kg ・径プラ 51kg	1 基	総計 内側炉心・外側炉心:5.3hr、径プラ:4hr [作業内容] ・ロール矯正、ピン剪断、ふるい出し [種類] ・内側炉心 3.3hr(=271 ピン × 0.72min) ・外側炉心 3.3hr(=271 ピン × 0.72min) ・径プラ 2.0hr(=169 ピン × 0.72min) ・マテリアルハンドリング(PM): 2hr [内訳] ・機器起動前: 1hr (搬送トレー、燃料粉容器、ハル容器の装着。) ・機器停止後: 1hr (ハル容器の脱離とハル詰替装置前までの移送。搬送トレーの脱離と移送機②への受け渡し。燃料粉容器の脱離と燃料粉混合装置前への移送。)	ロール矯正からふるい出しまでの一連の作業は自動化されているものとした。ハルはハル容器へ格納して払い出し、燃料粉は燃料粉容器へ装荷する。 臨界制限よりバルクでの取扱量が 56kgHM 以下であることから燃料粉は、炉心では 3 等分(56kg 毎)、径プラでは 4 等分(51kg 毎)に分割して容器へ入れる。 装置停止後のマテリアルハンドリングでは、ハル容器をハル詰替装置まで移送する時間も含む。
(10) 燃料粉混合装置 (サンプリング装置込)	燃料粉容器 [内容物の種類] ・内側炉心 56kg ・外側炉心 56kg ・径プラ 51kg	1 基	総計 4hr [作業内容] ・混合処理: 2hr ・サンプリング・分析: 1hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr [内訳] ・機器起動前: 30min (燃料粉容器の装着。) ・機器停止後: 30min (燃料粉容器の脱離と秤量装置前への移送。)	-

(11) 電解用燃料混合装置 (サンプリング装置込)	燃料粉容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM)	1基	総計 5hr(4hr) 【作業内容】 ・混合処理: 2hr ・サンプリング・分析: 1hr ・マテリアルハンドリング(PM): 2hr(1hr) 【内訳】 ・機器起動前: 90min(連続処理の時には 30min) (燃料粉容器の装着。投入粉末の秤量。) ・機器停止後: 30min (燃料粉容器の脱離と秤量装置前への移送。)	3種類の粉末は、内側炉心:外側炉心:径プラ=0.45:0.26:0.30 の比で混合する。電解槽へ投入できる上限値 56kgHM(60kg)毎に分け直す。直前の一時貯蔵庫で 3種類の粉末の内、不足が生じた場合には処理を停止する。燃料粉補給の必要がないときには、機器堂前マテリアルハンドリングは 30min となる。
(12) ハル詰替装置	受入時 ハル容器 [内容] ・1集合体分のハル  払出時 ハル容器 [内容] ・0.5集合体分のハル	1基	総計 3.5hr 【作業内容】 ・ハル詰替処理: 2hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1.5hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (ハル容器の装着。) ・機器停止後: 60min (ハル容器の脱離と核物質計量装置前への移送。)	脱被覆装置から払い出されたハルを 2つの容器に詰め替える。
(13) 一時貯蔵庫①	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定)(不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定)(不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・次工程前への移送	秤量装置と電解用燃料混合装置の間に設置された内側炉心起源の燃料粉貯蔵庫である。
(14) 一時貯蔵庫②	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定)(不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定)(不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・次工程前への移送	秤量装置と電解用燃料混合装置の間に設置された外側炉心起源の燃料粉貯蔵庫である。
(15) 一時貯蔵庫③	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・次工程前への移送	秤量装置と電解用燃料混合装置の間に設置された径プランケット起源の燃料粉貯蔵庫である。
(16) 一時貯蔵庫④	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・搬出また移送ハッチの専用台車への搭載	秤量装置と電解用燃料粉移送ハッチの間に設置された燃料粉貯蔵庫である。 ハッチの前では、ハッチの開閉回数を減らすために纏めて搬出。移送機③の空いている時間を利用して搬出。
(17) 一時貯蔵庫⑤	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・搬出また移送ハッチの専用台車への搭載	核物質計量装置と廃棄物搬出ハッチの間に設置された集合体部材貯蔵庫である。 ハッチの前では、ハッチの開閉回数を減らすために纏めて搬出。移送機③の空いている時間を利用して搬出。
(18) 一時貯蔵庫⑥	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・搬出また移送ハッチの専用台車への搭載	核物質計量装置とハル移送ハッチの間に設置されたハル貯蔵庫である。 ハッチの前では、ハッチの開閉回数を減らすために纏めて搬出。移送機③の空いている時間を利用して搬出。
(19) 秤量装置	・燃料粉容器(電解用混合前) [内容物の種類] ・内側炉心 56kg ・外側炉心 56kg ・径プラ 51kg ・燃料粉容器(電解用混合後) [内容] ・燃料粉 60kg (56kgHM)	1基	総計 1.5hr 【作業内容】 ・秤量: 0.5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (燃料粉容器の装着。) ・機器停止後: 30min (燃料粉容器の脱離と一時貯蔵庫への移送。)	—
(20) 核物質計量装置	ハル容器 [内容] ・0.5集合体分のハル	1基	総計 1.5hr 【作業内容】 ・計測: 0.5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (ハル容器の装着。) ・機器停止後: 30min (ハル容器の脱離と一時貯蔵庫への移送。)	—

表 2-2 燃料処理セルの機器一覧

(2) 電解用燃料粉 移送ハッチ	燃料粉容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM)	1基	総計 20min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・専用台車による燃料粉容器の搬入 ・ハッチを閉じる ・マテリアルハンドリング(PM): 10min (一時貯蔵庫までの移送。)	必要に応じて搬入。
(21) 粉碎物移送ハッチ	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 29kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	1基	総計 10min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・専用台車による環状容器の搬出 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因: 次工程との関係、ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(22) 廃棄物搬出ハッチ	るつぼ (使用済溶融塩を含有)	1基	総計 10min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・るつぼの搬出入 ・ハッチを閉じる	るつぼ交換を行う度に、使用済るつぼの搬出と新るつぼの搬入を実施。
(23) 移送機④ (パワーマニピュレータ)	・燃料粉容器(電解槽投入前) 【内容】 ・燃料粉 60kg(56kgHM) ・陰極収納容器(析出物粉碎前) 【内容物の種類】 ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 4.1kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg ・環状容器(析出物粉碎後) 【内容物の種類】 ・同時電解析出物 36kg ・NM 除去回収物 29kg ・MOX 電解析出物 17kg ・絞り電解析出物 0.4kg ・析出物容器(析出物粉碎後) 【内容】 ・NM 除去析出物 4.1kg	2基	・機器稼働前 作業は操作装置毎に設定 【作業内容】 ・必要な機材の調達 ・機材の装着 ・処理対象物の装荷 ・機器稼働中 作業は操作装置毎に設定 【作業内容】 ・燃料粉容器収納装置の操作全般 ・るつぼ交換作業全般 ・機器停止後 作業は操作装置毎に設定 【作業内容】 ・機材の脱離 ・不必要的機材の撤去 ・処理対象物の次工程への移送 (搬出・移送ハッチの直前では、専用台車への搭載時間も含む)	パワーマニピュレータ(PM)は物質の移送以外に、各装置でのマテリアルハンドリングにも従事する。ハッチからの搬出では、PMは移送台車への搭載に使用する。2基のPMは、セル内で交差しないように作動させる。 搬入側をPM(A)、搬出側をPM(B)と呼称する。
(24) 移送機⑤ (インセルクレーン)	電解装置	1基	総計 10min 【作業内容】 ・電解装置の移動	インセルクレーン(IC)稼働時には、PMの使用は不可。電解装置を含む機器の交換や保守・補修のための機器移動に使用。
(25) 燃料粉容器収納装置	<u>受入時</u> 燃料粉容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM) <u>払出時</u> 収納容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM)	1基	総計 80min 【作業内容】 ・マテリアルハンドリング(PM): 80min 【内訳】 ・機器起動前: 30min (収納容器の装着。燃料粉容器の設置。) ・機器起動中: 20min (収納容器への燃料粉容器の装着。) ・機器停止後: 30min (収納容器の脱離と電解装置前への移送。)	燃料粉容器を収納容器に格納する作業を行う装置であるため、処理作業中もマテリアルハンドリングが必要となる。よって、作業中は移送機④(PM)を占有する。
(26) 電解装置 (電解精製)	<u>受入時</u> 収納容器 [内容] ・燃料粉 60kg(56kgHM) <u>払出時</u> 陰極収納容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 4.1kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	7基	総計 約 40hr 【作業内容】 ・同時電解工程: 6hr ・追加溶解工程: 6hr ・NM 除去電解工程: 3hr ・MOX 電解工程: 15hr ・絞り電解工程(20 パッチ毎に実施): 29hr ・リン酸沈殿工程(20 パッチ毎に実施): 4hr ・るつぼ交換(20 パッチ毎に実施) 2hr (るつぼ交換エリアの工程で、詳細な内訳を記載) ・浴塩調整(20 パッチ毎に実施): 6hr ・サンプリング・分析(処理工程毎に実施): 1hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・各工程開始前: 30min(MOX 電解のみ 1hr) (収納容器への陰極等の装着。収納容器の移送。収納容器の装着。) ・各工程終了後: 30min(MOX 電解のみ 1hr) (収納容器の脱離。収納容器の移送。収納容器から陰極等の脱離と析出物粉碎装置前への移送。)	燃料粉、電極、リン酸塩の装荷は、すべて収納容器を通して実施される。各工程前後では、必ず 30min のマテリアルハンドリング時間を必要とする(工程間では事実上、1 時間、運転が停止する)。更に、各工程の運転終了時にはサンプリング・分析を行うこととする。 絞り電解工程、リン酸沈殿工程、浴塩調整、るつぼの交換が 20 パッチ毎に行われる。浴塩調整は浴塩を初めて使用するときにも行うが、ここでは定常状態を再現することを目的としているため省略する。 るつぼ交換作業の時間については、るつぼ交換エリアの項目で考慮している。 全ての工程において、1 電解装置当たり 1 陰極を使用する。
(27) るつぼ交換エリア	電解装置	—	総計 2hr 【作業内容】 ・マテリアルハンドリング(PM、IC): 2hr 【内訳】 ・電解装置取外(PM) 20min ・電解装置移動(IC) 10min ・るつぼ取外(PM) 20min ・るつぼの搬出入と秤量操作(PM) 20min ・るつぼ据付(PM) 20min ・電解装置移動(IC) 10min ・電解装置据付(PM) 20min	本作業は、電解装置 1 基ずつで行うものとし、IC が稼働中のときには PM は使用不可となる。 るつぼの搬出入に関しては、廃棄物搬出ハッチ前までの作業を考慮している。ハッチの開閉と増堀の出し入れについては、廃棄物搬出ハッチの方で管理。
(28) 析出物粉碎装置①	<u>受入時</u> 陰極収納容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 4.1kg <u>払出時</u> 環状容器 [内容] ・同時電解回収物 36kg	1基	総計 1hr10min 【作業内容】 ・粉碎処理: 10min ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (収納容器の装着。環状容器または析出物容器の装着。) ・機器停止後: 30min (収納容器の脱離。環状容器の脱離と秤量装置前への移送。または析出物容器の脱離と粉碎物詰替装置前への移送)	Pu による汚染を避けるため、同時電解工程と NM 除去電解工程から発生する析出物と MOX 電解工程と絞り電解工程から発生する析出物を分けて取り扱うため 2 系統設置。 本装置は、前者の U 析出物用のものである。

	析出物収納容器 [内容] ・NM 除去回収物 4.1kg		送。)	
(29) 析出物粉碎装置②	<u>受入時</u> 陰極収納容器 [内容物の種類] ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg <u>送出時</u> 環状容器 [内容物の種類] ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	1 基	総計 1hr10min 【作業内容】 ・粉碎処理: 10min ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (収納容器の装着。環状容器または析出物容器の装着。) ・機器停止後: 30min (収納容器の脱離。環状容器の脱離と秤量装置前への移送。または析出物容器の脱離と粉碎物詰替装置前への移送。)	Pu による汚染を避けるため、同時電解工程と NM 除去電解工程から発生する析出物と MOX 電解工程と絞り電解工程から発生する析出物を分けて取り扱うため 2 系統設置。 本装置は、後者の MOX、TRU 析出物用のものである。
(30) 粉碎物詰替装置	<u>受入時</u> 析出物容器 [内容] ・NM 除去回収物 4.1kg <u>送出時</u> 環状容器容器 [内容] ・NM 除去回収物 29kg (NM 除去陰極 × 7 本)	1 基	総計 1.4hr 【作業内容】 ・詰替処理: 0.4hr(=200sec × 7 陰極) ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (析出物容器の装着。環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (析出物容器の脱離。環状容器の脱離と秤量装置前への移送。)	NM 除去電解で回収した 7 陰極分の析出物の投入が完了した時点での処理を行い NM 分離装置で使用される環状容器へと払い出す。
(31) 一時貯蔵庫⑦	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・次工程前の移送	電解用燃料粉移送ハッチと燃料粉容器収納装置の間に設置された電解用燃料粉貯蔵庫である。 集合体解体セルでの処理が停止したときを考慮して貯蔵する。
(32) 一時貯蔵庫⑧	—	—	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・搬出または移送ハッチの専用台車への搭載	秤量装置と粉碎物移送ハッチの間に設置された粉碎物貯蔵庫である。 ハッチの開閉回数を減らすために纏めて搬出。移送機③の空いている時間を利用して搬出。
(33) 秤量装置	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 29kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	2 基	総計 1.5hr 【作業内容】 ・秤量: 0.5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離と一時貯蔵庫への移送。)	—

表 2-3 塩除去セルの機器一覧

機器番号	機器名	台数	作業内容	備考
(21) 粉碎物移送ハッチ	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 29kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	1 基	総計 20min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・専用台車による環状容器の搬入 ・ハッチを閉じる ・マテリアルハンドリング(PM): 10min (一時貯蔵庫までの移送。)	必要に応じて搬入。
(34) 顆粒移送ハッチ	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物(U) 22kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	1 基	総計 10min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・専用台車による環状容器の搬出 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因:次工程との関係、ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(35) 廃棄物搬出ハッチ	NM 搬出容器 [内容] ・NM 除去回収物(NM) 35kg	1 基	総計 10min 【作業内容】 ・ハッチを開く ・専用台車による NM 搬出容器の搬入 ・ハッチを閉じる	必要に応じて搬出(判別要因:ハッチの開閉回数の低減、移送機の空き時間、一時貯蔵庫の容量)。
(36) 移送機⑥ (パワーマニピュレータ)	・環状容器(NM 分離装置前) [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物 29kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg ・環状容器(NM 分離装置後) [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg ・NM 除去回収物(U) 22kg ・NM 搬出容器(NM 分離装置後) [内容] ・NM 除去回収物(NM) 35kg	2 基	・機器稼働前 作業は操作装置毎に設定 【作業内容】 ・必要な機材の調達 ・機材の装着 ・処理対象物の装荷 ・機器停止後 作業は操作装置毎に設定 【作業内容】 ・機材の脱離 ・不必要的機材の撤去 ・処理対象物の次工程への移送 (搬出・移送ハッチの直前では、専用台車への搭載時間も含む)	パワーマニピュレータ(PM)は物質の移送以外に、各装置でのマテリアルハンドリングにも従事する。ハッチからの搬出では、PM は移送台車への搭載に使用する。2基の PM は、セル内で交差しないように作動させる。 搬入側を PM(A)、搬出側を PM(B)と呼称する。
(38) 塩分離装置①	環状容器 [内容物の種類] ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	1 基	総計 6hr 【作業内容】 ・塩分離処理: 5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離と乾燥装置前への移送。)	同時電解、NM 除去電解工程用と MOX 電解、絞り電解工程用の 2 系列を設置。 本装置は、後者の MOX、TRU 析出物用のものである。
(37) 塩分離装置②	環状容器 [内容] ・同時電解回収物 36kg	1 基	総計 6hr 【作業内容】 ・塩分離処理: 5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離と乾燥装置前への移送。)	同時電解、NM 除去電解工程用と MOX 電解、絞り電解工程用の 2 系列を設置。 本装置は、前者の U 析出物用のものである。
(39) NM 分離装置	受入時 環状容器 [内容] ・NM 除去回収物 29kg  払出時 環状容器 [内容] ・U 成分 22kg NM 搬出容器 [内容] ・NM 成分(5 パッチ) 35kg	1 基	総計 7hr 【作業内容】 ・水洗塩除去: 5hr ・機械分離: 1hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器と NM 搬出容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離と乾燥装置への移送。NM 搬出容器の脱離とサンプリング装置前への移送。)	分離された NM は、5 パッチ毎に纏めて払い出す。
(41) 乾燥装置①	環状容器 [内容物の種類] ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg	2 基	総計 8hr 【作業内容】 ・乾燥処理: 7hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離とサンプリング装置前への移送。)	同時電解、NM 除去電解工程用と MOX 電解、絞り電解工程用の 2 系列を設置。 本装置は、後者の MOX、TRU 析出物用のものである。
(40) 乾燥装置②	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物(U) 22kg	3 基	総計 8hr 【作業内容】 ・乾燥処理: 7hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器の脱離とサンプリング装置前への移送。)	同時電解、NM 除去電解工程用と MOX 電解、絞り電解工程用の 2 系列を設置。 本装置は、前者の U 析出物用のものである。
(42) サンプリング装置	環状容器 [内容物の種類] ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物(U) 22kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg NM 搬出容器 [内容] ・NM 除去回収物(NM) 35kg	1 基	総計 2hr 【作業内容】 ・サンプリング・分析: 1hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器または NM 搬出容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器または NM 搬出容器の脱離と秤量装置への移送。)	—

(43) 一時貯蔵庫⑨	-	-	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・次工程前への移送	粉碎物移送ハッチと乾燥装置や NM 分離装置の間に設置された塩付着粉碎物貯蔵庫である。燃料処理セルでの処理が停止したときを考慮して貯蔵する。
(44) 一時貯蔵庫⑩	-	-	総計 10min+ $\alpha$ (不定) 【作業内容】 ・貯蔵: $\alpha$ (不定) ・マテリアルハンドリング(PM): 10min 【作業内容】 ・搬出また移送ハッチの専用台車への搭載	秤量装置と顆粒移送ハッチや廃棄物搬出ハッチの間に設置された塩除去済の粉碎物貯蔵庫である。 ハッチの開閉回数を減らすために纏めて搬出。移送機③の空いている時間を利用して搬出。
(45) 秤量装置	環状容器 【内容物の種類】 ・同時電解回収物 36kg ・NM 除去回収物(U) 22kg ・MOX 電解回収物 17kg ・絞り電解回収物 0.4kg NM 搬出容器 【内容】 ・NM 除去回収物(NM) 35kg	1基	総計 1.5hr 【作業内容】 ・秤量: 0.5hr ・マテリアルハンドリング(PM): 1hr 【内訳】 ・機器起動前: 30min (環状容器または NM 搬出容器の装着。) ・機器停止後: 30min (環状容器または NM 搬出容器の脱離と一時貯蔵庫への移送。)	-

表 2-4 燃料集合体解体セルのマテハン機器(PM、IC)の使用状況

(1) 集合体受入ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(2) 電解用燃料粉移送ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(3) 廃棄物搬出ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(4) ハル移送ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(5) 移送機①	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(6) 移送機②	作業時間	—	30min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(8) 集合体解体装置	作業時間	30min	6~8hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(9) 脱被覆装置	作業時間	1hr	2~3.3hr	1hr
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(10) 燃料粉混合装置	作業時間	30min	3hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(11) 電解用燃料混合装置	作業時間	90min(連続時 30min)	3hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(12) ハル詰着装置	作業時間	30min	2hr	60min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(13) 一時貯蔵庫①	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(14) 一時貯蔵庫②	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(15) 一時貯蔵庫③	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(16) 一時貯蔵庫④	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(17) 一時貯蔵庫⑤	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(18) 一時貯蔵庫⑥	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(19) 料量装置	作業時間	30min	0.5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(20) 核物質計量装置	作業時間	30min	0.5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基

表 2-5 燃料処理セルのテハン機器(PM、IC)の使用状況

(2) 電解用燃料粉移送ハッチ	作業時間	—	10min	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(21) 粉碎物移送ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(22) 廃棄物搬出ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(25) 燃料粉容器収納装置	作業時間	30min	20min	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	PM 1基	PM 1基
(26) 電解装置 [同時電解工程]	作業時間	30min	7hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [自加溶解工程]	作業時間	30min	7hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [NM除云電解工程]	作業時間	30min	4hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [MOX電解工程]	作業時間	1hr	16hr	1hr
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [酸性電解工程]	作業時間	30min	30hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [ソルブ洗殿工程]	作業時間	30min	5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(26) 電解装置 [るっぽ交換]	作業時間	るっぽ交換エリアで作業時間を考慮		
	PM・IC の使用	30min	7hr	30min
(26) 電解装置 [浴塩調整]	作業時間	PM 1基	—	PM 1基
(27) るっぽ交換エリア	作業時間	20min	10min	20min
	PM・IC の使用	PM 1基	IC PM 1基	PM 1基 IC PM 1基
(28) 析出物粉碎装置①	作業時間	30min	10min	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(29) 析出物粉碎装置②	作業時間	30min	10min	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(30) 粉碎物詰管装置	作業時間	30min	0.4hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(31) 一時貯蔵庫⑦	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(32) 一時貯蔵庫⑧	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(33) 秤量装置	作業時間	30min	0.5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基

表 2-6 塩除去セルのマテハン機器(PM、IC)の使用状況

(21) 粉碎物移送ハッチ	作業時間	—	10min	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(34) 顆粒移送ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(35) 廃棄物搬出ハッチ	作業時間	—	10min	—
	PM・IC の使用	—	—	—
(36) 塩分離装置①	作業時間	30min	5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(37) 塩分離装置②	作業時間	30min	5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(39) NM 分離装置	作業時間	30min	6hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(41) 乾燥装置①	作業時間	30min	7hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(40) 乾燥装置②	作業時間	30min	7hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(42) サンプリング装置	作業時間	30min	1hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基
(43) 一時貯蔵庫⑨	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(44) 一時貯蔵庫⑩	作業時間	—	α(不定)	10min
	PM・IC の使用	—	—	PM 1基
(45) 秤量装置	作業時間	30min	0.5hr	30min
	PM・IC の使用	PM 1基	—	PM 1基

表 2-7 燃料集合体解体セルの移送機③(PM)の優先度と分担

機器、設備	1	11	10	11	PM(A)	
(8) 集合体解体装置	1	11	10	11	PM(A)	
(9) 脱被覆装置	2	10	9	10	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。	
(10) 燃料粉混合装置	3	6	5	6	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。	
(19) 秤量装置[電解用混合前]	4	5	4	5	PM(B)	
(13)～(15) 一時貯蔵庫①、②、③	5	4	3	4	PM(B)	電解用燃料混合装置内ホッパで、不足が発生した燃料の貯蔵庫を優先。 これらの一時貯蔵庫は、優先度指定時では同列に指定する。
(11) 電解用燃料混合装置	—	3	2	3	PM(B)	
(19) 秤量装置[電解用混合後]	—	2	1	2	PM(B)	
(16) 一時貯蔵庫④	—	1	11	1	PM(A)	燃料処理セルに滞留が発生するまでは最優先。それ以降は自身の滞留量増加までは優先度を下げる。
(17) 一時貯蔵庫⑤	10	13	13	13	PM(A)	
(12) ハル詰替装置	6	9	8	9	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。	
(20) 核物質計量装置[ハル計測]	7	7	6	7	PM(A)。	
(18) 一時貯蔵庫⑥	9	12	12	12	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。	
(20) 核物質計量装置[部材計測]	8	8	7	8	PM(A)。	

条件 1: 上流優先。ライン稼働開始から電解用燃料混合装置の稼働開始前まで適用。

条件 2: 下流優先。電解用燃料混合装置の稼働開始以降で、燃料処理セルの一時貯蔵庫⑦の燃料粉容器滞留数が 1 以下で適用。

条件 3: 下流優先。電解用燃料混合装置の稼働開始以降で、燃料処理セルの一時貯蔵庫⑦の燃料粉容器滞留数が 2 以上、一時貯蔵庫④の滞留数が 2 以下で適用。

条件 4: 下流優先。電解用燃料混合装置の稼働開始以降で、燃料処理セルの一時貯蔵庫⑦の燃料粉容器滞留数が 2 以上、一時貯蔵庫④の滞留数が 3 以上で適用。

表 2-8 燃料処理セルの移送機④(PM)の優先度と分担

機器、設備	上流	中流	下流	条件	備考
(22) 電解用燃料粉移送ハッチ	2	18	18	18	PM(A)
(31) 一時貯蔵庫⑦	3	17	17	17	PM(A)
(25) 燃料粉容器収納装置	4	16	16	16	PM(A)
(26) 電解装置[同時電解工程]	5	14	13	14	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[追加溶解工程]	9	13	12	13	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[NM 除去電解工程]	10	12	11	12	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[MOX 電解工程]	12	11	10	11	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[絞り電解工程]	—	10	9	10	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[リン酸沈殿工程]	—	9	8	9	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。
(26) 電解装置[浴塩調整工程]	1	15	14	15	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。電解工程の初期作業として実施。
(28) 析出物粉碎装置①[同時電解]	6	6	5	6	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。
(28) 析出物粉碎装置①[NM 除去]	11	5	4	5	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。
(28) 析出物粉碎装置②[MOX 電解]	—	4	3	4	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。
(28) 析出物粉碎装置②[絞り電解]	—	7	6	7	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。
(27) るつぼ交換エリア	—	1	1	1	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。要求が発生した時点で最優先(PMを2基とも占有)
(30) 粉碎物詰替装置	13	8	7	8	PM(B)
(33) 秤量装置	7	3	2	3	PM(B)
(32) 一時貯蔵庫⑧	8	2	15	2	PM(B) 塩除去セルに滞留が発生するまでは最優先。それ以降は自身の滞留量増加までは優先度を下げる。

条件 1: 上流優先。ライン稼働開始から電解装置が 7 基とも稼働開始するまで適用。

条件 2: 下流優先。電解装置が 7 基とも稼働開始以降で、塩除去セルの一時貯蔵庫⑨の環状容器滞留数が 1 以下で適用。

条件 3: 下流優先。電解装置が 7 基とも稼働開始以降で、塩除去セルの一時貯蔵庫⑨の環状容器滞留数が 2 以上、一時貯蔵庫⑧の滞留数が 2 以下で適用。

条件 4: 下流優先。電解装置が 7 基とも稼働開始以降で、塩除去セルの一時貯蔵庫⑨の容器滞留数が 2 以上、一時貯蔵庫⑧の滞留数が 3 以上で適用。

表 2-9 塩除去セルの移送機⑥(PM)の優先度と分担

機器、装置	上流優先度	下流優先度	運行時間	運行時間	運行時間	運行時間
(21) 粉碎物移送ハッチ	1	10	17	PM(A)		
(43) 一時貯蔵庫⑨	2	9	2	PM(A)		貯蔵庫内の滞留を抑制。
(38) 塩分離装置①	5	6	5	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。		
(37) 塩分離装置②	3	8	3	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。		
(39) NM 分離装置	4	7	4	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。		
(41) 乾燥装置①	7	4	7	PM(B)。PM(B)使用時は PM(A)。		
(40) 乾燥装置②	6	5	6	PM(A)。PM(A)使用時は PM(B)。		
(42) サンプリング装置	8	3	8	PM(B)		
(45) 秤量装置	9	2	9	PM(B)		
(44) 一時貯蔵庫⑩	10	1	1	PM(B)		下流セルがないため、稼働開始時以外は一時保管庫に貯蔵された製品は、直ぐに再処理製品として搬出される。

条件 1: 上流優先。ライン稼働開始から乾燥装置①、②がともに稼働開始するまで適用。

条件 2: 下流優先。乾燥装置①、②の稼働開始以降で、一時貯蔵庫⑨の環状容器の滞留数が 1 以下で適用。

条件 3: 乾燥装置①、②の稼働開始以降で、一時貯蔵庫⑨の環状容器滞留数が 2 以上で適用。

### 3 酸化物電解法乾式再処理プラントの物流解析と評価

本章では、構築した物流評価システムを用いて、酸化物電解法乾式再処理プラント(年間稼働日数 200 日、処理量 50tHM)の処理量等の解析を実施すると同時に、機器台数、工程の処理時間、マテリアルハンドリング時間、工程・マテリアルハンドリングに要する作業時間の確率変動、マテリアルハンドリングの処理順序の決定要因である優先度をパラメータとしてプラントの特性について評価した。

#### 3.1 基準ケースの解析結果

FS のフェーズ I の設計を基に設定した装置台数や処理時間等のパラメータ値(表 2-1~9 参照)を用いて、この再処理プラントの実質的な年間処理量や機器の稼働率等について評価を実施した。以後、これを基準ケースとして位置づける。上記の表には記載されていない設定パラメータである電解工程の 1 サイクルの構成バッチ数は 20 バッチとし、更に、工程・マテリアルハンドリングに要する作業時間には確率変動が発生しないものとした。また、使用済燃料の受け入れ方法については、操業開始直後では、内側炉心燃料→外側炉心燃料→径プランケット燃料の順に 1 体ずつ受け入れるが、燃料集合体解体セルの電解用燃料混合装置にまで燃料が流れた後では、一時貯蔵庫①、②、③における貯蔵量が最も少ないものを優先的に受け入れることとした。

##### 3.1.1 プラントの処理量

200 日間操業した時に、再処理プラントが受け入れた使用済燃料集合体数と搬出された再処理製品量の経時変化について、図 3-1、2 に示す。図 3-1 より、受け入れた各種類の燃料集合体数は、電解用燃料混合装置における混合比にほぼ一致していることが分かる。200 日間の受入量を重量へ換算すると、77tHM となる。図 3-2 より再処理製品については、U 製品、MOX 製品、TRU 製品の全てが連続的に搬出され、製品の種類による生産効率への偏りはなく、総生産量は 26tHM であった。システム設計では、この再処理プラントの年間処理量は 50tHM となっていることから、実質的なプラント処理能力が設計値の 52%程度であることが明らかとなった。しかし、この基準ケースのシミュレーションでは、フェーズ I のシステム設計において設定されていない機器の処理時間、PM の割り当て等については仮設定をした。また、PM の干渉回避については、現実性を重視した運用方法

を独自に採用した。そこで、次節の 3.2 以降でプラントの特性を評価するとともに処理量の向上についても検討し、仮設定の変更より設計値を満たすことが可能であるかどうかについて検討する。

また、シミュレーションでは、ボトルネックとなる工程で仕掛品の蓄積が発生した場合においても、上流の工程に余裕がある限り装置を稼働させたため、プラント全体では 51tHM もの仕掛品が蓄積した。主な蓄積個所は、燃料集合体解体セルの燃料粉混合装置、燃料処理セルの電解装置、塩除去セルの塩分離装置②であった。

### 3.1.2 機器の稼働率

各セルにおける積算平均した機器稼働率の経時変化を図 3-3~6 に示す。プラントの運転開始直後から稼働する燃料集合体解体セルの集合体解体装置の稼働率は、初期において最も高く、稼働日数が 20 日頃までは単調に低下するが、それ以後では一定となる。それ以外の全ての機器では、時間の経過とともに稼働率が上昇し、10~80 日程度で平衡状態に到達する。平衡状態までに要する時間は、下流に位置する機器の方が長くなっている。また、坩堝交換については、運転開始から 50 日を経たときに初めて実施されるが、その後も定常的に連続して行われる作業ではないため、運転期間中には 50 日周期で稼働率のピークが発生する。

プラント処理量の設計値を満たすためには、燃料集合体解体セルにおいては 1 日当たり 1.4 体の集合体を解体する必要がある。しかし、表 2-1 に示すように 1 日当たり集合体解体装置では 2.7~3.4 体、脱被覆装置では 4.5~6 体の処理が可能であり、両装置ともオーバースペックとなっている。そのため、稼働率はそれぞれ 67.7%、26.7% と低いが、200 日間で設計値の 1.5 倍の使用済燃料を受け入れている(表 3-1 参照)。また、仕掛品の発生から燃料集合体解体セルでは、燃料粉混合装置がボトルネックとなっていることが判明した。この装置の処理能力を考慮すると仕掛品を解消するためには、52.7% の装置稼働率を 75% 以上まで向上させる必要がある。しかし、マテリアルハンドリングを担当する PM(B) の稼働率が 86.9% と高いことからこの要求を満足するには、PM を占有するための優先度を引き上げることよりも、PM(A) によってマテリアルハンドリングが可能となる位置へ配置換えを行うことが有効であると考えられる。更に、下流において類似した処理を行う電解用燃料混合装置の前には仕掛品がないことから、現条件下ではこのセル内の物流量は、燃料粉混合装置のみにより制約されているものと判断できる。

燃料処理セルでは、電解装置がボトルネックとなっている。電解装置のマテリアルハンドリングはPM(A)が中心となり2基のPMにより実施されるが、PM(A)の稼働率が90.6%と高いことから、このセルで処理することが可能である量のほぼ上限に達しており、大幅な処理量増加は見込めないものと予想される。

塩除去セルにおいては、塩分離装置②がボトルネックとなっている。上流にもボトルネックとなる電解装置等があるため、塩分離装置②による処理量への直接的な影響を評価することはできないが、このセルの機器稼働率の低さを考慮するとU製品I、IIの生産量については改善の余地がある。

### 3.2 塩除去セルの改良(解析ケース1~4)

基準ケースでは設計値の52%であった年間処理量を改善するために、塩除去セル中の仕掛品量を減らすための方法を本節において検討した。

塩除去セルのPMの稼働率は31~33%であり、マテリアルハンドリング上の裕度が大きい。そこで、工程機器の台数の増加による年間処理量や機器稼働率への影響を評価し、その結果を表3-2(ケース1~3)に示す。表中の値は、基準ケースのものを100として規格化している。

対象とした装置は、仕掛品の量からボトルネックであると判断される塩分離装置②である。基準ケースにおいて1基であったものを3基に増加したケース2では、個々の装置の稼働率は低下するが、塩分離工程としての処理量は1.5倍となっている。また、塩分離装置②のマテリアルハンドリングはPM(A)が主になって実施するが、PM(A)が他の作業に従事している時にはPM(B)を使用することと、処理量の増加に伴いこのセルの最終工程であるサンプリング装置と秤量装置の稼働率が上がりPM(B)の使用頻度が増えたことから、PM(B)の稼働率が1.15倍に増加している。一方、他の作業が増した分、塩分離装置①、乾燥装置①の稼働率が若干低下し、MOX製品の生産量に影響を及ぼしている。TRU製品については、物量も少なくまた、約50日という長い間隔で電解装置から回収されるため、PMを1度占有できるか否かによって生産量が大きく左右され、系統だった傾向は見られなかった。

ケース2では、塩分離装置②の前の仕掛品は解消し、製品の生産量は1.28倍になったが、機器台数をこれ以上増やしてもプラント処理量は改善されないことが4基まで増設したケース3の結果から分かる。これは、上流のセルにもボトルネックとなる工程があり50tHM/yの処理能力を満たすだけの処理対象物が供給されないことと、更に下流の工程であるサンプリング装置の前に新たな仕掛品が発生したためである。

新たに発生した仕掛け品対策として、ケース 3 に対してサンプリング装置と秤量装置を 2 基へ増加したケース 4 の計算結果を表 3-2 に示す。サンプリング装置前の仕掛け品については解決したが、NM 分離装置の稼働率が低下し、全体の処理量はケース 2、3 と同等となった。

機器台数の増加は仕掛け品を解消することには有効であるが、PM の取り合いによる影響が複雑であるため、単純にはプラント処理量の増加へは繋がらない。本節で行った塩除去セルの機器台数の見直しにより、設計値の 64%まで年間処理量が改善された。

### 3.3 燃料集合体解体セルと燃料処理セルの改良

本節では、燃料集合体解体セルと燃料処理セルの処理量を改善することが目的である。従って、塩除去セルにおいては、物流の増加に伴い機器の処理能力の不足に起因する仕掛け品が生じないように、十分な余剰機器を設置したものを基準ケース 2 として、本節のサーベイ計算の比較基準とした。表 3-3 に変更した機器台数の一覧を、表 3-4 に主要機器稼働率の一覧を示す。本節のサーベイ計算では、塩除去セル内において有意な量の仕掛け品は発生しなかった。基準ケース 2 のプラント処理量は、前節で述べたとおり基準ケースの 1.28 倍の 33tHM/y である。

#### 3.3.1 機器台数の影響(解析ケース 5~8)

ボトルネックとなる工程は、燃料処理セルでは電解装置であり、燃料集合体解体セルでは燃料粉混合装置である。

基準ケース 2 では電解装置は 7 基であるが、これを 9 基に増加しても処理量は殆ど変化しなかった(表 3-5 のケース 7 参照)。これは、燃料処理セルでは PM の稼働率が既に高いため、機器台数を増加してもマテリアルハンドリングが追従できないことが原因となっている。実際に、ケース 7 では電解装置台数は約 1.3 倍となっているが、表 3-5 より稼働率が基準ケース 2 の 79%まで低下するため、電解工程における処理量は変化していないことが確認できる。一方、電解装置台数を 3 または 5 基に減らした表 3-5 のケース 5、6 では、PM に裕度が生じたため稼働率が上昇している。その結果、機器台数の減少率ほど電解工程の処理量は低下していない。機器の利用率ではなく処理量を最大にすることを目的と考えると、この燃料処理セルでは電解装置の最適な機器台数は 7 基であると判断できる。マテリアルハンドリング装置に裕度がない燃料処理セルでは、塩除去セルのような機器台

数の増加による処理量の改善は見込めない。

燃料粉混合装置と電解用燃料混合装置の機器台数を 1 基から 2 基へと増加したケース 8 について、計算結果を表 3-5 に示す。機器の増設により 2 つの混合装置では処理量が 1.1~1.3 倍へ増加したが、それに伴いマテリアルハンドリング時間が増えたため、同じセル内にある他の機器の稼働率が低下した。しかし、燃料粉混合装置前の仕掛品を解消することにより、燃料集合体解体セルとしての処理量は増加した。次のセルでは電解装置における処理量が飽和しているため、これらは燃料集合体解体セルの電解用燃料粉移送ハッチ直前の一時貯蔵庫④に貯蔵される。

### 3.3.2 工程処理時間の影響(解析ケース 9~11)

機器台数を増やすと同時期に実施しなければならないマテリアルハンドリングも増加することから、装置の待ち時間が長くなり稼働率を低下させる。そこで、工程処理時間の短縮による処理量の改善について検討する。

電解装置を 7 基から 9 基に増やしたケース 7 と比較するために、電解装置で実施される工程の処理時間を 7/9 へ短縮したケース 9 と、ケース 8 と比較するために燃料粉混合装置と電解用燃料混合装置の処理時間を 1/2 へ短縮したケース 10 の計算結果を表 3-6 に示す。ケース 9 では、電解装置の稼働率が基準ケース 2 の 7/9 倍となり、その他の機器の稼働率や処理量については変化がなく、ケース 7 と同様に処理量は改善されなかった。ケース 10 では装置台数を維持することによりケース 8 と比較して、集合体解体装置、脱被覆装置、核物質計量装置、ハル詰替装置の稼働率の低下が少ないことが確認された。プラントの処理量は、燃料処理セルにより制約されているため、変化はなかった。

坩堝交換時には 2 基の PM を占有するため、燃料処理セル内の他の作業へ及ぼす影響が大きいと予想された。そこで、この坩堝交換の作業時間を 120 分から 20 分へ大幅に短縮した場合についてシミュレーションを行った。その結果を表 3-6 のケース 11 に示す。坩堝交換時には他の作業へ及ぼす影響は大きいが、約 50 日という長い間隔を空けて実施されることから作業時間は全体の 1%にも満たないため、プラントの処理量への影響は殆どないことが分かった。

### 3.3.3 マテリアルハンドリング時間の影響(解析ケース 12~14)

ケース 12 では、燃料集合体解体セルの主要機器である脱被覆装置、燃料粉混合装置、電解用燃料混合装置、秤量装置における処理前後のマテリアルハンドリング時間を 20 分へ短縮化した。ケース 13 では、電解装置における処理前後のマテリアルハンドリング時間を一律 10 分とした。両ケースの計算結果を表 3-7 に示す。

ケース 12 では、全体的に燃料集合体解体セル内の機器の稼働率が上がった。特に、ボトルネックであった燃料粉混合装置の稼働率は 1.4 倍となり、仕掛品は 3 割程度減少した。次セルの電解装置がボトルネックとなっていることから、本セルにおいて処理量が増加した分だけ、燃料処理セルの直前にある一時貯蔵庫④内の貯蔵量が増加した。PM については、マテリアルハンドリング時間の短縮の効果が大きく、作業の数が増加したにもかかわらず稼働率は低下した。

ケース 13 では、ボトルネックであった電解装置の稼働率が改善されたことにより、燃料処理セルの処理量が増加した。電解装置の稼働率增加分と同じセルの下流にある工程の機器稼働率增加分がほぼ等しいことから、このセルの処理量は電解装置のみに依存していることが分かる。表 3-4 に示すように PM(A)の稼働率は、基準ケース 2 では 90.2%と高い値であったが、マテリアルハンドリング時間の短縮に伴い大幅に低下した。PM(B)は、析出物粉碎装置等の電解工程よりも下流の工程を主に担当しているため、処理量の増加に伴い稼働率は上昇した。尚、このケースでは、電解装置の直前にあった仕掛品はすべて解消した。

燃料処理セルの稼働率の改善により、燃料集合体解体セルがシステム全体のボトルネックとなったことから、ケース 12 とケース 13 の両方を合わせた条件で再度シミュレーションを実行した。結果については、ケース 14 として表 3-7 に示す。電解装置の稼働率は 1.3 倍まで増加したが、仕掛品が発生していることより処理量は上限に達しているものと判断できる。この時、プラント全体の処理量は、設計値の 88%まで改善された。機器台数、工程処理時間と比較してマテリアルハンドリング時間が、本プラントにおいて処理量改善のための重要な因子となっていることが明らかとなった。

### 3.3.4 作業時間の確率変動の影響(解析ケース 15~18)

マテリアルハンドリング装置を用いた物質移送や機器設定では、操作の失敗によるやり直し等があるため必ずしも予定されている時間通りに作業が終了するわけではなく、実際には作業時間は一定の幅で変動する。ここで、各機器間の物質移送をそれぞれの専用移送装置で行うような単純なシステムを例に、この変動の影響を考えてみる。ある機器において 5 分間の作業の遅れが生じると、それ以降の工程では予定通りの時間で作業が完了しても、全体としては 5 分間の遅れとなる。逆に、ある機器において 5 分間早く作業が終了しても、それ以降の工程で一斉に 5 分ずつ作業が早まらない限り、全体の作業時間が 5 分間短縮されることはない。要するに、早く作業をおえた機器は、結果的に 5 分間休むこととなる。このようにマテリアルハンドリング装置を用いたバッチ処理方式のプラントでは作業時間が分布を持つ時には、各工程における作業の遅れが蓄積しやすいという特長がある。

そこで、機器の処理時間とマテリアルハンドリング時間に確率的な変動を加え、プラントへの影響を評価した。使用した確率変動は、このような検討で一般的に用いられるガンマ分布に従うものとし、標準偏差は 20、40% の 2 種類とした。処理量と機器稼働率への影響に対する評価結果を表 3-8 に示す(ケース 15~18)。

ケース 15 と 16 の計算結果より、機器の処理時間が変動するときには、殆どの機器稼働率は低下している。特に、標準偏差が大きくなると稼働率の下落幅も大きくなる。ここで、製品の生産量への影響が小さいのは、現段階の評価システムでは仕掛品の量については制約を設けていないので、定常状態では全ての工程において少なからず仕掛品が存在するためである。ある工程で処理時間に遅れが発生しても、下流の工程は仕掛品を処理するため、処理時間の遅れによる影響は伝播しない。

マテリアルハンドリング時間を変動させたケース 17 と 18 では、機器の稼働率は低下していない。これは、片方の PM による作業に遅れが生じた時には、もう一方の PM によりそれを補うことができるためである。この再処理プラントでは、各機器間の移送を担当する PM は共用されていて、更に設定された優先度をもとに PM が能動的に作業を選別していくため、遅れの影響は小さなものになると考えられる。但し、プラント全体の仕掛品量については、1 割程度の増加が見られた。

### 3.3.5 マテリアルハンドリングの優先度の影響(解析ケース 19~23)

ここでは、基準ケース 2においてボトルネックとなっている工程のマテリアルハンドリングの優先度を上げ、プラントの処理量改善への効果を評価した。

ケース 19 では、燃料集合体解体セルでボトルネックとなっている燃料粉混合装置の優先度を最も高くし、その他の工程は下流優先とした。しかし、燃料粉混合装置の処理量の増加に伴い、次工程の電解用燃料混合装置での仕掛品が増えることが予想されるため、ケース 20 では燃料粉混合装置以降の工程は上流優先とした。また、ケース 21 では、燃料処理セルでボトルネックとなっている電解装置の優先度を最も高くし、その他の工程は下流優先とした。ケース 20 と同じ理由から、ケース 22 では電解装置以降の工程を上流優先とした。ケース 23 は、ケース 19、21 の条件を組み合わせたものであり、それぞれのセルにおいて燃料粉混合装置と電解装置の優先度を最も高くした。ケース 19~23 の計算結果を表 3-9 に示す。

5 ケースのシミュレーション結果の比較から、マテリアルハンドリングの優先度変更によるプラント処理量の改善効果はなかった。ボトルネックとなる工程の優先度を上げても、次工程の仕掛品量を増加させるだけであった。ケース 20、22 では、ボトルネックとなる工程以降を上流優先で処理したが、結果的に移送バランスが崩れて仕掛品の増加を招いた。以上のことより、マテリアルハンドリングの優先度は、起動時は上流優先、定常時は下流優先とすることが最適であると考えられる。また、ボトルネックの解消には、マテリアルハンドリングの優先度変更は殆ど効果を示さないことも判明した。

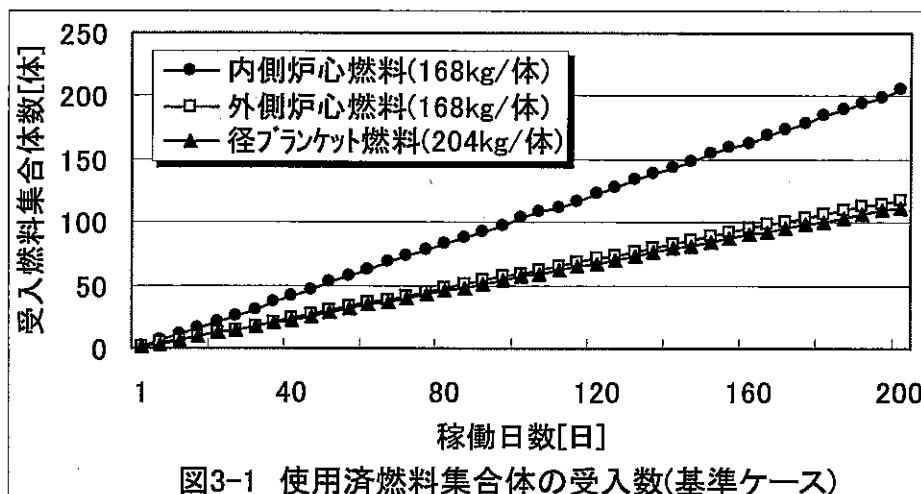


図3-1 使用済燃料集合体の受入数(基準ケース)

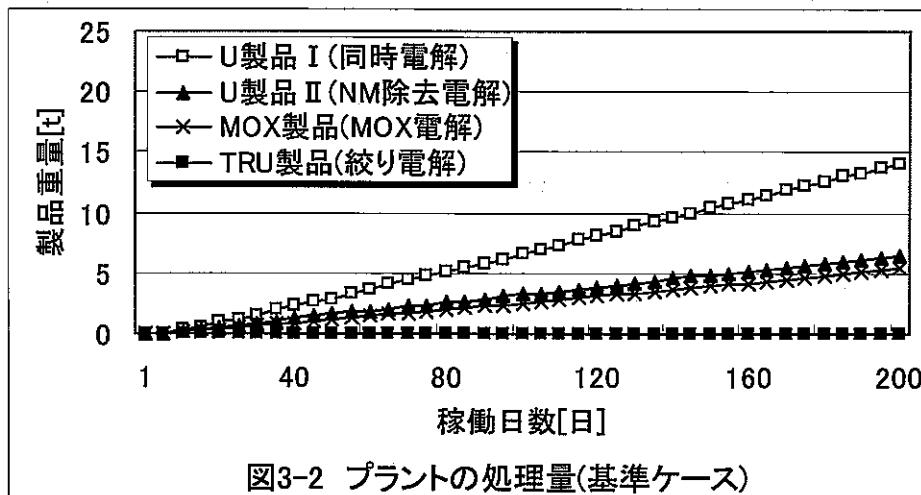


図3-2 プラントの処理量(基準ケース)

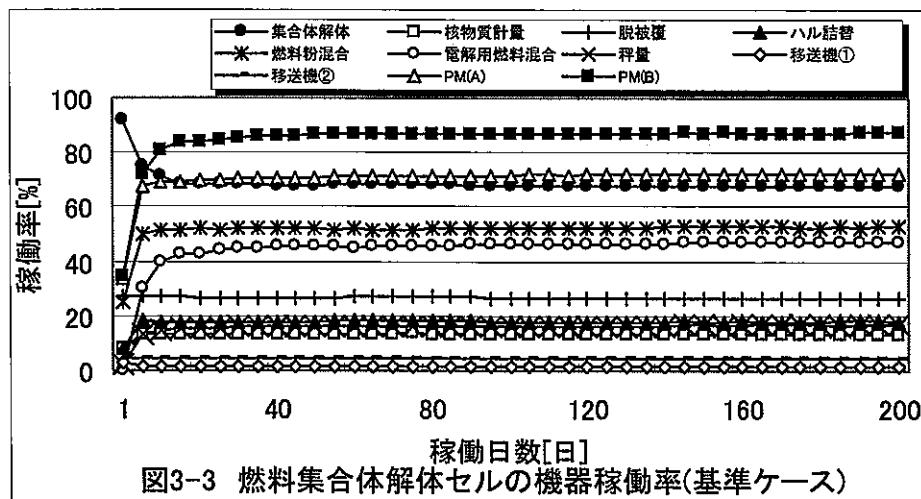


図3-3 燃料集合体解体セルの機器稼働率(基準ケース)

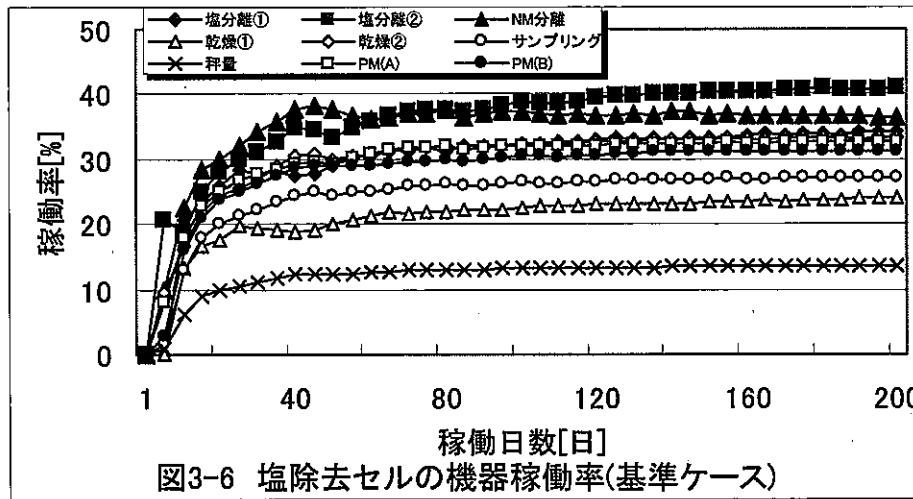
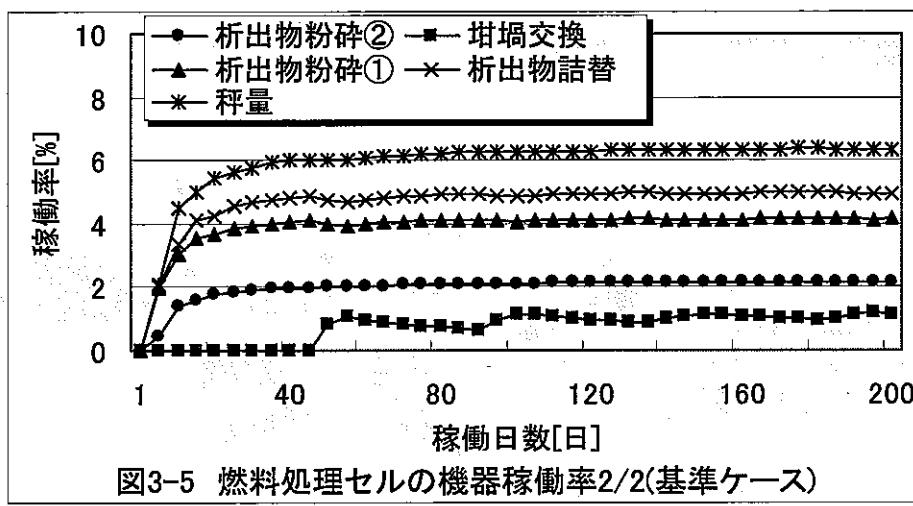
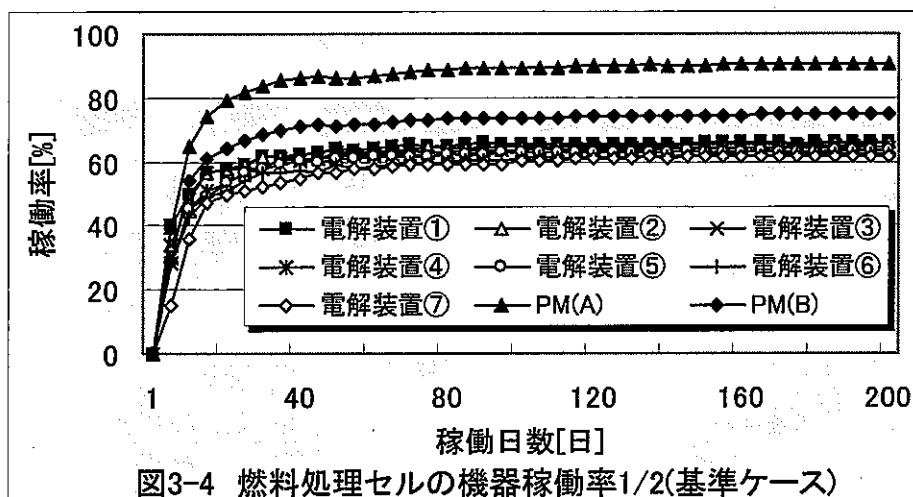


表 3-1 再処理プラントの主要機器の稼働率比較(基準ケース)

PM 稼働率	集合体 解体セル	PM(A) PM(B)	72.2 87.2	機 器 稼 働 率	燃 料 処 理 セ ル	(25) 燃料粉容器収納装置 (26) 電解装置 (28) 析出物粉碎装置① (29) 析出物粉碎装置② (30) 析出物詰替装置 (27) 帽端交換エリア (33) 秤量装置 (38) 塩分離装置① (37) 塩分離装置② (39) NM 分離装置 (41) 乾燥装置装置① (40) 乾燥装置装置② (42) サンプリング装置 (43) 秤量装置	5.1 64.0 4.2 2.2 5.0 1.2 6.4 34.4 41.0 36.4 24.1 33.3 27.2 13.6
	燃料 集合 体 解 体 セ ル	(8) 集合体解体装置 (9) 脱被覆装置 (10) 燃料粉混合装置 (11) 電解用燃料混合装置 (19) 秤量装置 (20) 核物質計量装置 (12) ハル詰替装置	67.7 26.7 52.7 47.0 16.6 13.5 18.0				

表 3-2 塩除去セルにおける機器台数の影響  
(基準ケースを100とする。)

製品の 生産量	U 製品 I	141	151	151	152
	U 製品 II	104	106	106	100
	MOX 製品	96	92	92	98
	TRU 製品	117	175	175	150
	総量	128	128	128	128
PM 稼働率	塩除去 セル	PM(A) PM(B)	105 113	107 115	107 115
機 器 稼 働 率	(38) 塩分離装置①	97	95	95	100
	(37) 塩分離装置②	70	51	38	38
	(39) NM 分離装置	104	107	107	100
	(41) 乾燥装置装置①	97	95	95	100
	(40) 乾燥装置装置②	125	133	133	130
	(42) サンプリング装置	113	117	117	58
	(43) 秤量装置	113	117	117	58

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があった箇所、または注目すべき箇所をマスキン  
グしてある。

表 3-3 基準ケース 2 の機器台数変更一欄

(38) 塩分離装置①	1	4
(37) 塩分離装置②	1	4
(39) NM 分離装置	1	2
(41) 乾燥装置①	2	7
(40) 乾燥装置②	3	7
(42) サンプリング装置	1	2
(43) 秤量装置	1	2

表 3-4 再処理プラントの主要機器の稼働率比較(基準ケース 2)

PM 稼働率	機器稼働率	集合体解体セル		燃料処理セル		塩除去セル	
		PM(A)	PM(B)	PM(A)	PM(B)	PM(A)	PM(B)
		72.6	86.9	90.2	75.5	46.0	30.3
機器稼働率	機器稼働率	(8) 集合体解体装置	67.7	(25) 燃料粉容器収納装置	5.2	(38) 塩分離装置①	8.7
		(9) 脱被覆装置	26.7	(26) 電解装置	64.0	(37) 塩分離装置②	15.6
		(10) 燃料粉混合装置	52.6	(28) 析出物粉碎装置①	4.2	(39) NM 分離装置	18.1
		(11) 電解用燃料混合装置	47.0	(29) 析出物粉碎装置②	2.2	(41) 乾燥装置装置①	6.9
		(19) 秤量装置	16.6	(30) 析出物詰替装置	5.0	(40) 乾燥装置装置②	18.5
		(20) 核物質計量装置	13.5	(27) 坂場交換エリア	1.2	(42) サンプリング装置	15.7
		(12) ハル詰替装置	18.0	(33) 秤量装置	6.4	(43) 秤量装置	7.8

表 3-5 機器台数の影響

(基準ケース 2 を100とする。)

製品の生産量		75	各5	101	101
PM稼働率	集合体 PM(A)	99	100	100	104
	解体セル PM(B)	100	100	101	108
	燃料処理 PM(A)	80	80	101	101
	セル PM(B)	63	83	101	100
	塩除去 PM(A)	57	91	100	100
	セル PM(B)	58	89	102	101
燃料集合体解体セル	(8) 集合体解体装置	100	100	101	92
	(9) 脱被覆装置	100	101	101	92
	(10) 燃料粉混合装置	99	100	100	67
	(11) 電解用燃料混合装置	99	100	100	57
	(19) 秤量装置	99	99	100	114
	(20) 核物質計量装置	100	101	101	92
	(12) ハル詰替装置	100	101	101	92
機器稼働率セル	(25) 燃料粉容器収納装置	99	100	97	98
	(26) 電解装置	130	119	79	101
	(28) 析出物粉碎装置①	56	85	101	101
	(29) 析出物粉碎装置②	56	85	101	101
	(30) 析出物詰替装置	56	85	101	101
	(27) 坩堝交換エリア	54	89	96	100
	(33) 秤量装置	56	85	101	101
塩除去セル	(38) 塩分離装置①	70	73	105	100
	(37) 塩分離装置②	56	84	101	101
	(39) NM 分離装置	39	99	98	102
	(41) 乾燥装置装置①	70	73	105	100
	(40) 乾燥装置装置②	50	89	100	101
	(42) サンプリング装置	52	88	100	101
	(43) 秤量装置	53	88	100	101

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があつた箇所、または注目すべき箇所をマスキン  
グしてある。

表 3-6 工程の処理時間の影響  
(基準ケース 2 を100とする。)

製品の生産量			100	100	100
PM稼働率	集合体	PM(A)	99	102	99
	解体セル	PM(B)	101	106	101
	燃料処理セル	PM(A)	100	101	101
	PM(B)	101	100	101	
	塩除去セル	PM(A)	101	99	101
	PM(B)	101	101	101	
燃料集合体解体セル	(8) 集合体解体装置	100	97	101	
	(9) 脱被覆装置	100	97	101	
	(10) 燃料粉混合装置	101	55	100	
	(11) 電解用燃料混合装置	101	55	100	
	(19) 秤量装置	101	110	100	
	(20) 核物質計量装置	100	97	101	
	(21) ハル詰替装置	100	97	101	
	(25) 燃料粉容器収納装置	99	101	100	
	(26) 電解装置	78	100	101	
	(28) 析出物粉碎装置①	101	100	101	
	(29) 析出物粉碎装置②	101	100	101	
機器稼働率セル	(30) 析出物詰替装置	101	100	101	
	(27) 坪堀交換エリア	100	100	17	
	(33) 秤量装置	101	100	101	
	(38) 塩分離装置①	105	105	97	
	(37) 塩分離装置②	101	100	101	
	(39) NM 分離装置	96	96	105	
塩除去セル	(41) 乾燥装置装置①	105	105	97	
	(40) 乾燥装置装置②	99	99	102	
	(42) サンプリング装置	100	99	102	
	(43) 秤量装置	100	99	102	

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があった箇所、または注目すべき箇所をマスキングしてある。

表 3-7 マテリアルハンドリング時間の影響  
(基準ケース 2 を100とする。)

製品の生産量			100	123	134
PM稼働率	集合体	PM(A)	94	100	84
	解体セル	PM(B)	92	101	83
	燃料処理セル	PM(A)	101	64	77
	PM(B)	100	113	121	
	塩除去セル	PM(A)	99	116	122
	PM(B)	102	120	134	
機器稼働率	燃料集合体解体セル	(8) 集合体解体装置	100	101	111
		(9) 脱被覆装置	101	101	111
		(10) 燃料粉混合装置	101	100	139
		(11) 電解用燃料混合装置	102	100	139
		(19) 秤量装置	101	100	139
		(20) 核物質計量装置	100	101	111
		(12) ハル詰着装置	100	101	111
	燃料処理セル	(25) 燃料粉容器収納装置	101	100	140
		(26) 電解装置	100	124	134
		(28) 析出物粉碎装置①	100	125	135
		(29) 析出物粉碎装置②	101	124	134
		(30) 析出物詰替装置	100	125	135
		(27) 坑堀交換エリア	100	121	125
		(33) 秤量装置	100	125	135
塩除去セル	(38) 塩分離装置①	101	149	145	
	(37) 塩分離装置②	100	124	130	
	(39) NM 分離装置	100	99	131	
	(41) 乾燥装置装置①	101	149	145	
	(40) 乾燥装置装置②	100	116	131	
	(42) サンプリング装置	100	120	134	
	(43) 秤量装置	100	120	134	

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があった箇所、または注目すべき箇所をマスキングしてある。

表 3-8 作業時間の確率変動の影響  
(基準ケース 2 を100とする。)

製品の生産量		96	98	99	100
PM 稼働率	集合体 PM(A)	101	102	102	99
	解体セル PM(B)	101	101	100	99
	燃料処理 PM(A)	99	99	97	96
	セル PM(B)	100	100	98	98
	塩除去 PM(A)	96	94	94	92
	セル PM(B)	101	100	100	99
燃料 集合 体 解 体 セ ル	(8) 集合体解体装置	102	101	105	107
	(9) 脱被覆装置	98	99	105	107
	(10) 燃料粉混合装置	99	95	101	100
	(11) 電解用燃料混合装置	101	96	101	100
	(19) 秤量装置	98	96	101	100
	(20) 核物質計量装置	98	97	105	107
	(12) ハル詰替装置	101	97	104	107
	(25) 燃料粉容器収納装置	97	92	101	100
	(26) 電解装置	98	95	100	101
	(28) 析出物粉碎装置①	94	91	100	101
	(29) 析出物粉碎装置②	95	91	100	101
	(30) 析出物詰替装置	98	92	100	101
機器 稼働 率 セル	(27) 坂堀交換エリア	100	89	100	100
	(33) 秤量装置	99	96	100	101
	(38) 塩分離装置①	107	110	106	110
	(37) 塩分離装置②	99	96	100	101
	(39) NM 分離装置	89	80	93	91
	(41) 乾燥装置装置①	105	108	105	110
	(40) 乾燥装置装置②	96	88	97	98
	(42) サンプリング装置	97	93	98	99
	(43) 秤量装置	98	91	98	99

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があった箇所、または注目すべき箇所をマスキングしてある。

表 3-9 マテリアルハンドリングの優先度の影響  
(基準ケース 2 を100とする。)

製品の生産量		100	54	70	70	72
PM稼働率	集合体 PM(A)	95	98	100	101	95
	解体セル PM(B)	104	107	101	100	104
	燃料処理セル PM(A)	100	50	93	91	92
	セル PM(B)	99	58	106	120	106
	塩除去セル PM(A)	99	59	84	71	86
	セル PM(B)	101	60	91	80	91
機器稼働率	(8) 集合体解体装置	99	97	100	101	99
	(9) 脱被覆装置	99	99	101	101	99
	(10) 燃料粉混合装置	134	126	100	100	131
	(11) 電解用燃料混合装置	93	93	100	100	93
	(19) 秤量装置	92	87	100	100	93
	(20) 核物質計量装置	99	97	100	101	99
	(12) ハル詰替装置	99	97	100	101	99
	(25) 燃料粉容器収納装置	93	44	100	100	93
	(26) 電解装置	100	54	110	111	10
	(28) 析出物粉碎装置①	100	55	79	112	81
	(29) 析出物粉碎装置②	100	54	111	84	110
	(30) 析出物詰替装置	100	55	100	112	111
	(27) 坪鍋交換エリア	100	46	100	100	100
	(33) 秤量装置	100	55	79	98	81
塩除去率	(36) 塩分離装置①	102	51	107	58	107
	(37) 塩分離装置②	100	55	47	59	51
	(39) NM 分離装置	98	59	115	114	113
	(41) 乾燥装置装置①	102	51	107	58	107
	(40) 乾燥装置装置②	99	56	69	77	71
	(42) サンプリング装置	100	55	86	80	87
	(43) 秤量装置	100	55	86	80	88

(注)パラメータを変えたことにより重要な変化があった箇所、または注目すべき箇所をマスクングしてある。

## 4 結論

### 4.1 まとめ

マテリアルハンドリング装置による物質移送を考慮した、プラントの運用性を評価するための物流評価システムを構築した。この評価システムを用いて、FS フェーズ I で設計された年間処理量 50tHM の酸化物電解法乾式再処理プラント設計について評価した結果、実質的な年間処理量は 26tHM と設計値を大きく下回った。そこで、機器台数、工程処理時間、マテリアルハンドリング時間等をパラメータとして処理量の改善策について検討したところ、マテリアルハンドリングに要する時間を短縮化すれば設計値の 88% の処理量を実現する可能性があることが分かった。但し、フェーズ I の設計では、プラント処理量を評価するに際して、必ずしも十分な評価情報が用意されていないため、本評価では機器の処理時間等については一部、仮設定をした箇所もある。また、マテリアルハンドリング装置同士の干渉回避については、現実性を重視して独自の運用方法でモデル化した。

パラメータサーベイ計算の結果から明らかとなった酸化物電解法再処理プラントの特性について以下にまとめる。

- ①機器台数の増加と工程処理時間の短縮化は、マテリアルハンドリング装置の稼働率が低いセルでのみ処理量の増加に繋がった。マテリアルハンドリング装置の稼働率が 75% を越えるセルでは、工程の処理能力を上げた分だけ機器稼働率が低下し、その効果を相殺した。
- ②作業時間が確率的に変動しても、マテリアルハンドリング装置が能動的に作業を選別し実行していくシステムでは無駄な待ち時間は発生し難いため、処理量への影響は少ない。
- ③プラント起動時には上流の工程を、平衡状態では下流の工程を優先的に処理する方法が、ボトルネックとなる工程を優先的に処理するよりも効率的である。
- ④マテリアルハンドリングに要する時間を短縮化することが、処理量改善に最も有効である。

酸化物電解法乾式再処理プラントでは、マテリアルハンドリング装置がプラント処理能力を決定する支配因子であり、マテリアルハンドリングの高速化が処理量改善に最も効果的であることが分かった。具体的な対応策としては、マテリアルハンドリング装置を物質移送用と容器の据え付け等を行う装

置設定用に分割し、装置設定用は装置単位で準備することが考えられる。

また、物質移送をマテリアルハンドリング装置に依存する以上、各セルの処理量には上限値が存在する。そのため、プラントを設計するときには、工程機器の稼働率が最も高くなる最適なサイズのセルを基本単位として、セルを複数設置することによりプラント処理量を調整していくことが重要であると考えられる。

## 4.2 今後の計画

今後は、プラントの特性評価のためのパラメータサーバイ計算だけではなく、仕掛品量を抑制したプラント運用等、より現実的な操業を視野に入れた評価をしていく予定である。また、セル内の機器配置についても最適なものを探討していく。

更に、マテリアルハンドリング装置に対して、どの程度の負荷を持った工程を一つのセルにまとめることが合理的であるかということ等、現設計に固執することなく大幅な設計改善を行う場合にも有用となる知見を得ていくことも重要である。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、多くの方々のご協力、ご助言を頂きました。

(株)タカハ都市科学研究所の平野直久氏、鶴岡英二氏、蔵田尚樹氏には、MICRO SAINT Version 3.0 の使用方法について指導していただき、また、物流評価システムの構築に際しても協力していただきました。

これらの諸兄に対し、ここに記して深く謝意を表します。

## 参考文献

- [1]田中博、河村文雄、掛樋勲他、”再処理システム技術検討書-実用化戦略調査研究(フェーズ I )成果報告-”JNC TY9400 2001-014(2001)