

乾式リサイクルシステム物流システムの構築  
(研究報告)

2000年4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

Inquires 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)

2000

## 乾式リサイクルシステム物流システムの構築 (研究報告)

掛樋 熱\*、吉氏崇浩\*\*\*、戸澤克弘\*  
松本俊一\*、田中健哉\*\*

### 要 旨

本研究は、従来の Purex 再処理法—ペレット加工法と異なるシステム概念の乾式リサイクルシステム（乾式再処理—射出成型（金属燃料）、振動充填（酸化物燃料）加工法）における操業性評価に係るものである。乾式リサイクルシステムは、工程機器で処理した燃料（使用済み燃料、リサイクル燃料中間製品、リサイクル燃料製品）を固体の形で次の工程へ移送するバッチ処理システムである。このため、工程間の燃料移送はハンドリングロボットを用いて自動化された物流システムで行う。

本研究では、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）の金属燃料プロセスを例に、乾式プロセスのロボットによる自動化操業システムについて、ロボットの必要機能、ロボットと工程機器の相互の操作性、動作・移送時間等の観点でシステム評価を行った。評価は、プロセス機器、機器動作、プロセス移送物及びハンドリングロボット機能の現実化したモデルをシミュレーションコードに組み込んで、ロボットによるプロセス操業をシミュレーションする、バーチャルエンジニアリング手法を適用して行い、ロボットによる乾式プロセス物流操作の現実性を示した。またプロセス設計、技術開発の進捗による、より実際的で、合理的な乾式システムの物流システム構築の課題を摘出して示した。

---

\* 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

\*\* 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

\*\*\*原子力システム株式会社

DESGIN STUDY OF PYROCHEMICAL PROCESS OPERATION  
BY USING VIRTUAL ENGINEERING MODELS

I. KAKEHI\*, T. YOSHIUJI\*\*\*, K. TOZAWA\*,  
T. MATSUMOTO\*, K. TANAKA\*\*

ABSTRACT

This report describes accomplishment of simulations of Pyrochemical Process Operation by using virtual engineering models. The pyrochemical process using molten salt electrorefining would introduce new technologies for new fuels of particle oxide, particle nitride and metallic fuels. This system is a batch treatment system of reprocessing and re-fabrication, which transports products of solid form from a process to next process. As a result, this system needs automated transport system for process operations by robotics.

In this study, a simulation code system has been prepared, which provides virtual engineering environment to evaluate the pyrochemical process operation of a batch treatment system using handling robots. And the simulation study has been conducted to evaluate the required system functions, which are the function of handling robots, the interactions between robot and process equipment, and the time schedule of process, in the automated transport system by robotics.

As a result of simulation of the process operation, which we have designed, the automated transport system by robotics of the pyrochemical process is realistic. And the issues for the system development have been pointed out.

---

\* Reprocessing System Engineering Group, System Engineering Technology Division  
\*\* Fuel Fabrication System Engineering Group,  
\*\*\* Nuclear Energy System Inc.

## 目 次

第1章 緒言 .....	1-1
1. 1 研究の目的 .....	1-1
1. 2 技術的背景と研究内容 .....	1-1
1. 3 成果の概要 .....	1-1
第2章 シミュレーションコードシステムの作成 .....	2-1
2. 1 コードの概略説明 .....	2-1
第3章 物流システムのモデル化 .....	3-1
3. 1 乾式リサイクルシステムの概念 .....	3-1
3. 2 工程および工程毎の機器構成 .....	3-1
3. 3 工程機器 .....	3-1
3. 3. 1 電極保管ラック .....	3-1
3. 3. 2 電解装置 .....	3-1
3. 3. 3 電極取扱い装置（析出物分離工程） .....	3-2
3. 3. 4 るつば保管ラック .....	3-2
3. 3. 5 蒸留装置 .....	3-2
3. 3. 6 組成調整装置 .....	3-2
3. 3. 7 空モールド保管ラック .....	3-3
3. 3. 8 射出成型装置 .....	3-3
3. 3. 9 モールド保管ラック .....	3-3
3. 3. 10 ピンプロセッサ（加工工程） .....	3-3
3. 4 工程機器間の移送 .....	3-4
3. 5 ハンドリングロボット .....	3-5
3. 5. 1 ハンドリングロボットの分類と適用性 .....	3-5
3. 5. 2 ハンドリングロボットの選定 .....	3-5
3. 5. 3 るつばのハンドリング .....	3-6
3. 6 レイアウトおよび工程の流れ .....	3-6
3. 6. 1 レイアウト及び移送 .....	3-6
3. 6. 2 工程の流れ .....	3-6
3. 6. 3 ハンドリングロボットの移送順位決定ロジック .....	3-6

3. 7 シミュレーション条件および結果 .....	3-7
3. 7. 1 初期条件 .....	3-7
3. 7. 2 シミュレーション結果 .....	3-7
第4章 物流システムの評価 .....	4-1
4. 1 評価 .....	4-1
4. 2 課題 .....	4-1
4. 2. 1 るつぼの専用容器収容、取り出し .....	4-1
4. 2. 2 高速ハンドリングロボット .....	4-2
4. 2. 3 システム構築 .....	4-3
第5章 まとめ .....	5-1
参考文献 .....	5-2

## 図表リスト

表 2-1 cimstation stream 概要 .....	2-3
表 3-1 ハンドリングロボットの分類 .....	3-8
表 3-2 シミュレーション結果（パターンⅠ） .....	3-9
表 3-3 シミュレーション結果（パターンⅡ） .....	3-11
表 4-1 るつば専用容器関連予備的検討 .....	4-4
図 3-1 乾式リサイクルシステムフロー .....	3-13
図 3-2 乾式リサイクルシステム物流システム基本計画図 .....	3-14
図 3-3 溶融塩電解工程機器構成 .....	3-15
図 3-4 析出物分離工程機器構成 .....	3-16
図 3-5 蒸留工程（カソードプロセッサ）機器構成 .....	3-17
図 3-6 射出成型工程機器構成 .....	3-18
図 3-7 加工工程の機器構成（モールド仮おき） .....	3-19
図 3-8 加工工程の機器構成（ピンプロセッサ） .....	3-20
図 3-9 電極保管ラック .....	3-21
図 3-10 電解装置 .....	3-22
図 3-11 電極取り扱い装置 1 .....	3-26
図 3-12 電極取り扱い装置 2 .....	3-30
図 3-13 るつば保管ラック .....	3-35
図 3-14 蒸留装置 .....	3-36
図 3-15 BI 組成調整装置 .....	3-39
図 3-16 C 組成調整装置 .....	3-48
図 3-17 空モールド保管ラック .....	3-58
図 3-18 射出成型装置 .....	3-59
図 3-19 モールド保管ラック .....	3-63
図 3-20 ピンプロセッサ（加工工程） .....	3-64
図 3-21 陽極 .....	3-66
図 3-22 固体陰極 .....	3-67
図 3-23 Cd 陰極 .....	3-68
図 3-24 HM, U 精製るつば .....	3-69
図 3-25 C, BI 射出るつば .....	3-70
図 3-26 C, BI モールド .....	3-71
図 3-27 ハンドリングロボット .....	3-72
図 3-28 るつば専用容器 .....	3-75

図 3-29 全体レイアウト	3-76
図 3-30 移送ロボットによる電極移送の様子	3-78
図 3-31 移送ロボットによるるつぼ専用容器移送の様子	3-79
図 3-32 モノの動線（ハンドリングロボットによる移送）	3-80
図 3-33 ハンドリングロボットの移送順位決定ロジック	3-81
図 3-34 初期条件パターン I	3-83
図 3-35 工程時間（初期条件：パターン I）	3-84
図 3-36 工程時間（初期条件：パターン II）	3-86

## 第1章 緒言

### 1. 1 研究の目的

本研究の目的は、乾式リサイクルシステムの物流システム(処理工程間の燃料移送)を構築、評価することである。そのため、物流シミュレーションコードシステムを作成する。

### 1. 2 技術的背景と研究内容

乾式システムは、主として米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）やロシア原子炉科学研究所（RIAR、デミトロフグラード研究所）で開発されている溶融塩電解再処理を中心とするリサイクルシステムである。ANL の方法は金属燃料リサイクルプロセスで、加工方法として射出成型法を用いる。RIAR の方法は酸化物燃料リサイクルプロセスで、加工方法として振動充填法を用いる。これらは従来の Purex 再処理法、ペレット加工法の概念を打破して、経済性、環境負荷低減、核不拡散性等のリサイクル特性向上を期待するものとして我が国でも研究中のものである。

上記の乾式リサイクルシステム（乾式再処理とそれにつながるリサイクル加工）は、工程機器で処理した燃料（使用済み燃料、リサイクル燃料中間製品、リサイクル燃料製品）を固体の形で次の工程へ移送するバッチ処理システムである。このため、工程間の燃料移送はハンドリングロボットを用いて自動化された物流システムで行う。本研究は、上記 ANL の金属燃料プロセスを例に、ロボットによる自動化操業システムについて、ロボットの必要機能、ロボットと工程機器の相互の操作性、動作・移送時間等のシステム評価を、バーチャルエンジニアリング手法を適用して行うものである。

### 1. 3 成果の概要

本研究によって、以下の検討結果及び結論を得た。

- (1) 3次元汎用物流シミュレータ「cimstation stream」を利用して、評価に必要な機能を加えて、乾式プロセスの現実化したモデルを組み込んだシミュレーションコードシステムを作成した。
- (2) 作成したシミュレーションコードシステムは、以下の機能をもつ。
  - ①プロセス機器、ハンドリングロボットの動作及び動作時間のシミュレーション。
  - ②着目した処理バッチ製品について、物流動作及び時間をトレースする（ロボットの

移送動作)。

③プロセス機器のレイアウト、レイアウト図の作成（レイアウト図、機器図は3次元CADとのデータ授受ができる）。

④プロセス機器、ロボット、移送容器等の情報をコードのライブラリとして組み込む。

⑤プロセス機器、ロボット動作の制御ロジックをコードのライブラリとして組み込む。

⑥以下の画面表示、出力、保存。

- ・工程時間表（ガントチャート）
- ・レイアウト図
- ・ライブラリ情報（機器図、仕様）
- ・シミュレーション結果の動画

⑦GUI（グラフィックユーザインターフェイス）によるシミュレーション操作。

(3) 乾式プロセスの機器を3次元CAD図で作成し、機器、機器動作部及びロボット操作を現実化したモデルとして、シミュレーションコードに組み込んだ。

(4) 乾式プロセス自動化操業の現実性、必要なロボット機能、ロボットと工程機器の相互の操作性（インターフェイス機器の必要性、必要なプロセス機器の自動化）、ハンドリング・移送時間の評価（どこの工程でどのくらいの待ち時間が生じるか、ロボットの必要基数）等の観点で、シミュレーションを行った結果、以下のことがわかった。

①シミュレーションは、電解工程から燃料ピン加工（燃料の充填、端栓溶接）までの金属燃料プロセスについて、プロセスセル内の物流シミュレーションについて行った（年間50t処理規模プラント）。

②プロセス機器、機器動作、プロセス移送物及びハンドリングロボット機能をシミュレーションコードに組み込んで、ロボット操作によるプロセス物流をシミュレーションした結果、全体的には、ロボットによる乾式プロセス物流操作に現実性があることを示した。適用したハンドリングロボット（移送ロボット）は、産業用として一般に良く用いられているテレスコープ軸とハンドリング用の手首と爪をもつコンセプトと性能である。

③シミュレーション結果は、プロセス機器のバランスのよい配置、仮おき場所の設置（ストックヤード）、ロボットと機器の分担等の設計により、待ち時間の少ない良好なプロセス機器の稼働率、ハンドリングロボットの稼働率を示した。

④ハンドリングロボット1基のみで操業させた結果、プロセスセルからの製品（完成

燃料ピン) 搬出の遅れは約 5 時間である(仮にロボット操作による工程の遅れがないとすると、24 時間毎に連続して、1 単位分(電解槽 4 基分)の製品が加工工程から搬出されるように、工程を組んでいる。これがロボット操作によって約 30 時間毎の搬出になる)。

⑤ただし、上記の結果は以下のようないくつかの前提をおいている。これらの前提はシミュレーション検討において、円滑な物流システムを構築する観点から、ハンドリングロボット(移送ロボット)と機器の分担を考えた結果として摘出したものである。

- ・蒸留装置、射出成型装置等において、るつぼの機器へのセッティングについてはそれぞれのプロセス機器に専用のロボットを設置することを仮定している。
- ・この専用ロボットは、るつぼ移送容器の蓋の開閉操作機能を有する。
- ・燃料の組成調整装置(Pu の富化度調整等を行う)、加工装置(被覆管への燃料の充填から端栓溶接までの加工を行う)等は自動化された工程装置を仮定しているが、これらについては実際の設計結果によるものではないが、そのコンセプトを示した。
- ・検査等の工程管理装置は、含んでいない。

(5) 乾式プロセスのロボットによる自動化操業をシミュレーションした結果、今後の課題として以下のことを摘出した。

①シミュレーションのサーベイ結果は、良好なプロセス機器の稼働率、ハンドリングロボットの稼働率を示したが、ロボット操作に係る時間は、年間のプラント処理能力を確保するために、工程処理時間の短縮化を要求することになる。この工程処理時間への影響についての実際は、プロセス設計の進捗によって実際的な各工程処理時間、プラントに与えられる年間稼動日数、ロボット操作に係る時間の短縮等を詰める必要がある。

②ロボット操作に係る時間の短縮については、ロボット基数あるいはロボットの高速化、また実際的な各工程処理時間(本研究では一部を除いて、各工程で一律 1 バッチ 24 時間処理としている)の評価による各工程の余裕時間のロボットへのタイムシェアリング等を行って、さらにロボット操作の最適化を行うことが可能であると考える。

③ロボットの高速化については、技術向上の期待のほか、移送物の軽量化がある。

④るつぼの機器へのセッティング及びるつぼ移送容器の蓋の開閉操作機能を有する専用ロボットの必要性は、このプロセスの特徴であり重要である。

⑤必要な自動化工程(燃料の組成調整装置、加工装置等)を抽出し、そのコンセプト

を示したが、その具体化が必要である。

⑥高温プロセスを扱うハンドリングに対する設計、移送中衝突予防、正確にアクセスするための制御方法等安全に係わる検討が必要である。

(6) 以上のように、ANL の金属燃料プロセスを例に、乾式プロセスのロボットによる自動化操業システムについて、ロボット－自動化工程－補助ロボットの連携による工程物流システム概念を構築した（補助ロボットについてはその役割を示したが、本研究ではバーチャル化はしていない）。そして、ロボットの必要機能、ロボットと工程機器の相互の操作性、動作・移送時間等のシステム評価を、バーチャルエンジニアリング手法を適用して行い、ロボットによる乾式プロセス物流操作に現実性があることを示した。また今後の課題を抽出して示した。

## 第2章 シミュレーションコードシステムの作成

### 2. 1 コードの概略説明

本システムは3次元汎用ラインシミュレータ cimstation stream(三井造船システム技研株式会社製、旧名：MiFactory)を利用して作成した。表 2-1 に cimstation stream の概要を示す。本システムは cimstation stream の基本特性を引き継いでおり、以下の事が可能である。

- (1) プロセス機器、ハンドリングロボットの動作及び動作時間のシミュレーション
- (2) 着目した処理バッチの製品について物流動作及び時間のトレース
- (3) プロセス内主要工程を含んだシミュレーション
- (4) 3次元 CA+情報に基づくプラントレイアウト図の作成
  - ・レイアウト図及び機器図情報の3次元 CADとのデータ授受
  - ・機器レイアウトは可変
- (5) 以下の機器のライブラリ組み込み
  - ・プロセス機器
  - ・ロボット
  - ・移送容器
- (6) 以下の動作のライブラリ組み込み
  - ・プロセス機器の動作／制御ロジックの組み込み
  - ・ロボット動作／制御ロジックの組み込み
- (7) ラックのライブラリ組み込み
- (8) 以下の項目について画面表示、出力、保存できる。
  - ・工程時間（図 3-35、図 3-36、表 3-2、表 3-3 参照）
  - ・レイアウト図
  - ・シミュレーション結果の動画
- (9) GUI（グラフィックユーザインターフェイス）によるシミュレーション操作

表 2-1 cimstation stream 概要 (1/2)

概要	<p>cimstation stream は、3次元バーチャル物流/FA シミュレーション構築環境である。cimstation stream を用いて配送センター、物流倉庫、生産工場、機械内物流等を精確に、またリアルにコンピュータ内に再現できる。コンピュータ内に正確でリアルな工場等の画像を生成するだけでなく、その構成要素である機器/設備の動きを再現し、それによって動かされるモノの流れを3次元的に可視化する。cimstation stream の機能により、広範囲の物流/FA 現象を'アーティング'なしで構築できる。cimstation stream は、汎用3次元バーチャルシミュレーション開発環境である SilTools を利用している。以下に、汎用3次元バーチャルシミュレーション開発環境 SilTools の主要機能と、cimstation stream として追加された主要機能を述べる。</p>
SilTools 主要機能	3次元形状モーリング プロック、球、円柱、円錐等の基本図形をメニューから簡単に作成できる。その他各種の曲線、曲面を作成できる。また、アーリアン演算によってモデルの subtract(差)、unite(和)、intersect(共通部分)ができる。
	CAD インタフェース 既存 CAD で作成した3次元モデルを取り込める。IGES、STEP、CATIA、UG、ProE、IDEAS、CADDs 等
	GUI ピルタ - シミュレーション固有のメニューをマウス操作で作成できる。各ボタンにセットするハンドラ(処理関数)は'アーティング'する。
	オブジェクト指向言語 Pascal に似たオブジェクト指向言語 SIL を使用する。クラスを使用しておけば、デバッグでの修正もそのクラスに関連する部分だけで済むので効率的な開発が可能である。
	インターフェース アーティングするのと同じ環境で、エディタで作成したアーティングをインターフェース上にマウスでカット&ペーストすることにより随時ロード/実行/デバッグが行え、モーリングとアーティングの両方の作業を並行して効率よく行うことができる。
	スケジューラ signal/wait 命令 エディタは作成した複数のタスク(時間を含む動作アーティング)をスタート・キューに start 命令で登録することにより、同時に実行させることができる。実行後に各タスクで発生するイベントは全てシステム側が管理します(即ち、予め作られたスケジュールでイベントが発生するのではない)。また、signal/wait 命令により協調動作が可能である。
	自動干渉チェック オブジェクトのペアを設定しておくだけでシステムが干渉チェックを自動的に行う。干渉は色/メッセージ/音等で知らせる。ニアミスと干渉のチェックを同時に起こすことができる。干渉チェックは静的(オブジェクト同士が静止しているとき)および動的(オブジェクトが動いているとき)のいずれも可能である。
	Quick Pick 作成され、グラフィックス・ウインドウに追加されたオブジェクトはすべて Quick Pick ウィンドウの2次元リストに表示される。マウスを使ってリスト構造を変更することにより、オブジェクトの階層構造を変更できる。各種メニューの使用中にオブジェクトを選択するときに、このリストを利用できる。
	ビジョン メニューによりカメラ・オブジェクトを作成でき、ボタンで視点をカメラに切り替えると、グラフィックス・ウインドウの視野はカメラのものになる。カメラは複数作成できる。また、カメラは他のオブジェクトと同じく移動させることができますのでウォームループが簡単に実現できる。
	ムービー、cine シミュレーション実行時にグラフィックス・ウインドウ内で起こったイベントをボタン一つでアニメーションとして録画したり、随時再生できる。アニメーション化されると、オブジェクトをロードしていない状態でも再生できる。プレゼンテーションのツールとしても簡便に利用できる。また、再生専用のリストが付属している。
	動作環境 Windows NT。推奨スペック: CPU Pentium II 400MHz 以上、メモリ: 256 以上

表 2-1 cimstation stream 概要 (2/2)

cimstation stream 主要機能	荷関連	荷定義	荷の形、色、大きさ、名前(種別)を定義する。
		リース	複数のリースから荷を発生ができる。発生パターン(開始時刻、終了時刻、分布)、数を指定できる。
		シンク	荷をシミュレーション世界から退場させることができる。
	機器タイプ 列関連 (オプション)	コンペア	コンペア形状/寸法、直線/円弧、最大荷数、送り速度/送り時間、一旦停止、自動連結
		保管施設	形状/寸法、棚数(列、番地、段)、サ-チバターン、ゾーニング分け、入庫時の荷識別、
		スタッカクレーン	形状/寸法、走行(高、中、低)速度/加速度、昇降速度/加速度、フォーク速度/加速度
		天井クレーン	形状/寸法、走行速度/加速度、横行速度/加速度、昇降速度/加速度
		フォークリフト	形状/寸法、前進/後退速度、コ-ナ-速度、フォーク上/下速度/加速度、回転速度
		ロボット	CimStation Robotics で作成したロボットが動く。
		ツールパス	ツール(工具、ロボットエンドエフェックタ)を作成し、編集し、動きを定義することができる。
		NC 工作機械	形状/寸法、動作定義を行うことができる。
		人間	新機器機能によって挙動を定義できる。
		無人搬送車	形状/寸法、前進/後退速度、コ-ナ-速度、荷台速度、荷台上下移動時間
	制御関連	新機器	ユーザーが新しい機器のモデル(形状)を作り、それに挙動を定義することができる。項目としては、荷が流れてくる機器の指定、荷を流す機器の指定、動作の定義から構成されますが、動作の定義は、予め用意された日本語の挙動定義文を編集することによってプロダクシングなしでユーザー手順通りに行うことができる。
		出庫命令	自動倉庫に対して、出庫命令(出庫する荷の種別、個数、出庫タイミング)を出す信号
		信号制御	機器から機器へ信号を伝える。
	シミュレーション制御	監視制御	機器の状態を監視して、その情報をもとに機器の状態遷移を制御する。
		シミュレーション	タイマー(シミュレーション時間)設定、グラフィックス更新時間等を設定し、シミュレーションを開始、一時停止、終了する。
	データ解析支援	データ解析	機器の稼働経過(稼働開始時刻、稼働終了時刻、稼働率時間、稼働率)をリストあるいはグラフ(円グラフ、棒グラフ)で出力する。
		カウント	リース、シンク、保管施設、出庫命令コントローラの荷の数情報等をグラフィックスウィンドウ内表示する。
	ユーティリティ	一般設定	リース、シンク、選択条件、カウント、制御信号、出庫命令、入庫セレクタ、機器キューリストをグラフィックスウィンドウ内表示/非表示する。シミュレーション忠実度、QuickPick 表示ヘルプを設定する。

### 第3章 物流システムのモデル化

#### 3. 1 乾式リサイクルシステムの概念

図3-1に乾式リサイクルシステム金属燃料プロセスを例にその概念を示す。

#### 3. 2 工程および工程毎の機器構成

乾式リサイクルシステムの以下の工程について物流システムをモデル化した。

図3-2に物流システム基本計画図を示す。

- ・溶融塩電解工程
- ・析出物分離工程
- ・蒸留工程
- ・射出成型工程
- ・加工工程

以下にそれぞれの工程を実現するための機器構成を示す。

- (1) 溶融塩電解工程機器構成を図3-3に示す。
- (2) 析出物分離工程機器構成を図3-4に示す。
- (3) 蒸留工程機器構成を図3-5に示す。
- (4) 射出成型工程機器構成を図3-6に示す。
- (5) 加工工程機器構成を図3-7および図3-8に示す。

#### 3. 3 工程機器

以下に、本システムの構成機器について、その寸法、形状、機能、挙動（機器動作及び対応する移送ロボット動作）を示す。

##### 3. 3. 1 電極保管ラック

陽極、陰極を保管する。

- (1) 電極保管ラック1（充填陽極用）を図3-9に示す。
- (2) 電極保管ラック2（空陽極用）の形状、寸法は図3-9と同一。
- (3) 電極保管ラック3（充填陽極用）の形状、寸法は図3-9と同一。
- (4) 電極保管ラック4（充填陽極用）の形状、寸法は図3-9と同一。
- (5) 電極保管ラック5（充填陽極用）の形状、寸法は図3-9と同一。
- (6) 電極保管ラック6（充填陽極用）の形状、寸法は図3-9と同一。

##### 3. 3. 2 電解装置

###### (1) 電解装置1

固体陰極、Cd陰極、陽極で構成され、第1系列の電解処理を行う。

図3-10に示す。

(2) 電解装置 2

固体陰極、Cd 陰極、陽極で構成され、第 2 系列の電解処理を行う。

形状、寸法は図 3-10 と同一。

(3) 電解装置 3

固体陰極、Cd 陰極、陽極で構成され、第 3 系列の電解処理を行う。

形状、寸法は図 3-10 と同一。

(4) 電解装置 4

固体陰極、Cd 陰極、陽極で構成され、第 4 系列の電解処理を行う。

形状、寸法は図 3-10 と同一。

3. 3. 3 電極取扱い装置（析出物分離工程）

(1) 電極取扱い装置 1

個体陰極に析出した原料を蒸留るつぼに収容する。図 3-11 に示す。

(2) 電極取扱い装置 2

Cd 陰極に析出した原料を蒸留るつぼに収容する。図 3-12 に示す。

3. 3. 4 るつぼ保管ラック

(1) るつぼ保管ラック 1

U 精製るつぼを保管する。図 3-13 に示す。

(2) るつぼ保管ラック 2

HM 精製るつぼを保管する。形状・寸法は図 3-13 と同一。

3. 3. 5 蒸留装置

(1) 蒸留装置 1

U 析出物（電解装置 1 と 2 の分）を精製する。図 3-14 に示す。

(2) 蒸留装置 2

U 析出物（電解装置 3 と 4 の分）を精製する。形状・寸法は図 3-14 と同一。

(3) 蒸留装置 3

HM 析出物（電解装置 1 と 2 の分）を精製する。形状・寸法は図 3-14 と同一。

(4) 蒸留装置 4

HM 析出物（電解装置 3 と 4 の分）を精製する。形状・寸法は図 3-14 と同一。

注) U : ウラン、HM : ウランとプルトニウムの合金

3. 3. 6 組成調整装置

(1) B1 組成調整装置

プランケット燃料用に原料の組成を調整し、射出るつぼに収容する。図 3-15 に示す。単体レベルでの詳細なシミュレーションを別途行っている。

後述3.7のシミュレーションでは簡単のために組成調整装置内の細かな動きは表現せず、単体レベルシミュレーションで得られた正確な結果を、処理に必要な時間経過として利用した。

(2) C組成調整装置

炉心燃料用に原料の組成を調整し、射出るつぼに収容する。図3-16に示す。

単体レベルでの詳細なシミュレーションを別途行っている。

後述3.7のシミュレーションでは簡単のために組成調整装置内の細かな動きは表現せず、単体レベルシミュレーションで得られた正確な結果を、処理に必要な時間経過として利用した。

注) BI: ブランケット燃料、C: 炉心燃料

3. 3. 7 空モールド保管ラック

(1) 空モールド保管ラック1

BI燃料用の空モールドを一時保管する。図3-17に示す。

(2) 空モールド保管ラック2

C燃料用の空モールドを一時保管する。形状・寸法は図3-17と同一。

3. 3. 8 射出成型装置

(1) 射出成型装置1

BI燃料をモールドに充填する。図3-18に示す。

(2) 射出成型装置2

同上。図3-18と同一。

(3) 射出成型装置3

C燃料をモールドに充填する。形状・寸法は図3-18と同一。

(4) 射出成型装置4

同上。形状・寸法は図3-18と同一。

3. 3. 9 モールド保管ラック

(1) モールド保管ラック1

BI燃料が充填されたモールドを一時保管する。図3-19に示す。

(2) モールド保管ラック2

C燃料が充填されたモールドを一時保管する。形状・寸法は図3-19と同一。

3. 3. 10 ピンプロセッサ(加工工程)

(1) ピンプロセッサ1

BI燃料を製作する。図3-20に示す。

(2) ピンプロセッサ 2

C 燃料を製作する。形状・寸法は図 3-20 と同一。

### 3. 4 工程機器間の移送

以下に、工程機器間をハンドリングロボットによって移送される移送物の概要を示す。

(1) 陽極

使用済み核燃料のせん断片の入ったバスケットを有する。電解装置に陽極として挿入され、使用済核燃料は電解精製される。概要を図 3-21 に示す。

(2) 固体陰極

固体の電極を有する。電解装置に陰極として挿入され、陽極より電解したウランを析出する。概要を図 3-22 に示す。

(3) Cd 陰極

Cd を含むるつぼを有する。電解装置に陰極として挿入され、陽極より電解したプルトニウム等を析出する。概要を図 3-23 に示す。

(4) HM 精製るつぼ

Cd 陰極への析出物を収容し、蒸留精製するためのるつぼである。概要を図 3-24 に示す。

(5) U 精製るつぼ

固体陰極への析出物を収容し、蒸留精製するためのるつぼである。形状・寸法は図 3-24 と同一。

(6) C 射出るつぼ

コア燃料の原料を収容するるつぼ。射出成型装置に渡り、モールドに溶融した燃料を射出成型するために使用される。概要を図 3-25 に示す。

(7) BI 射出るつぼ

ブランケット燃料の原料を収容するるつぼ。射出成形装置に渡り、モールドに溶融した燃料を射出成型するために使用される。形状・寸法は図 3-25 と同一。

(8) C モールド

コア燃料を成型するためのモールドの束(ガラス管の集まり)である。概要を図 3-26 に示す。

(9) BI モールド

ブランケット燃料を成型するためのモールドの束(ガラス管の集まり)である。形状・寸法は図 3-26 と同一。

ハンドリングロボットが扱うモノとしてはこれ以外に射出成形装置の胴がある。但し、この場合は射出成形装置内のハンドリングであり、また直接、胴を把持するのではなく、胴に固着されたモールドドライブをハンドリングすることにより間接的にハンドリングする。

### 3. 5 ハンドリングロボット

各工程機器間のモノの移送を行うシステムである。具体的には、全工程機器の状態を監視し、処理の終わった工程から、次の工程機器へと、陽極、固体陰極、Cd 陰極、HM 精製るつぼ、U 精製るつぼ、C 射出るつぼ、BL 射出るつぼ、C モールド、B1 モールドおよび射出成型装置胴を設定された優先順位ロジックに従って移送する。優先順位決定ロジックについては 3.6.3 で詳しく述べる。

#### 3. 5. 1 ハンドリングロボットの分類と適用性

表 3-1 に典型的なハンドリングロボットの一般的な分類と本システムへの適用性を示す。クレーン方式は荷重の制約がなく最も廉価であるが、玉掛けをするために別のシステムを必要とし作業も煩雑なので本システムには適さない。パワーマニピュレータ方式は高価であり荷重制限も考慮しなければならないという課題はあるものの、柔軟性に富み不定形業務にも適用できるという大きなメリットを持つ。不定形業務の多いメンテナンス作業等には不可欠な方式と考えられる。これをモノの移送にも使うべきかどうかは、その移送がどれくらい不定形な作業要素をもつか、およびモノの重量は最大どれほどかに依存する。ロボット方式はパワーマニピュレータ方式と比較し柔軟性の面でやや見劣りするものの、価格、荷重の点で魅力がある。本システムへの適用に当たっては、そのハンドリングの特性を十分考慮し、マニピュレータ方式、ロボット方式あるいはその折衷方式を採用するのが望ましい。

#### 3. 5. 2 ハンドリングロボットの選定

本システムで要求されるハンドリングパターンは比較的定型的なマテリアルハンドリングであり、その基本は把持して垂直に吊り上げ移送し吊りおろすという単純作業である。また被把持部の位置は予め決まっており、その形状も共通化／標準化が可能である。ハンドリング所要時間が物流システムの性能、ひいては乾式リサイクルシステム全体の性能を左右すること、また最大 300～400KG として扱う重量にかなりのばらつきがあることを考慮し、重量物迅速搬送ということに的を絞った移送ミッション追求型ロボットにすべきだと考える。水平の 2 自由度と垂直の 1 自由度に加え、モノの持つのためにはグリップ機能に加えて手首部の回転を備えた 5 自由度ロボットを選定

する。図 3-27 にその概要を示す。表 3-1 の分類ではマニピュレータ方式とロボット方式の丁度中間に当たる。このロボットは、ブリッジがレールの上をセルの通路に沿って動き、ブリッジの上のキャリッジが通路に直角方向に動き、キャリッジ上のテレスコープが垂直方向に動く。テレスコープの下端には 180 度回転する手首がついておりその先にグリップがついていてモノを把持する。これにより、大重量に対応できる高速なハンドリングシステムを実現する。作業効率化のために、ロボットのグリップは一種類とし移送物の被把持部はそれに適合するように設計する。

### 3. 5. 3 るつぼのハンドリング

るつぼ以外の装置間移送物体はそのままハンドリングロボットで扱えるが、るつぼ類、即ち精製るつぼと射出るつぼはそのままで運べない。るつぼが脆い材料でできていること、万が一るつぼを落としたり壊したりした場合は汚染事故につながることを考慮し、るつぼ移送は専用容器に入れて行うこととする。

専用容器の概要を図 3-28 に示す。但し、どのようにるつぼを専用容器に入れるか、また専用容器から取り出すかは、るつぼを使用する工程機器全体に共通の問題であり、また工程機器とハンドリングロボットの機能・役割分担の問題である。その機構および所要時間は今後の課題として、本シミュレーションではるつぼの専用容器への収容時間および取り出し時間は無視し、瞬時に行われると仮定する。また、るつぼ保管ラックでの専用容器からの出し入れは、容器に入れたままで保管するという前提に立つ。

## 3. 6 レイアウトおよび工程の流れ

### 3. 6. 1 レイアウト及び移送

全体レイアウトを図 3-29 に示す。また、移送ロボットによる移送の様子を図 3-30、図 3-31 に示す。

### 3. 6. 2 工程の流れ

工程の流れについての詳細は「3.3 機器モデル」の各機器の挙動として記述されている。ロボットによってモノが工程機器をどう渡り歩くかを示すため、具体的にモノの動きを追った軌跡（動線）を図 3-32 に図式的に示す。

### 3. 6. 3 ハンドリングロボットの移送順位決定ロジック

工程を終了してロボットによる移送を待っているモノは一般に複数存在する。ロボットはその中からあるロジックに従って処理していく必要があるが、その優先順位を誤ると、時間が著しく無駄になったり、さらには流れそ

のものが滞ってしまうこともありうる。これを厳密に最適化することは非常に難しい問題であり通常は基本方針と経験を織り交ぜて、運用上妥当と思われるロジックで対処している。本シミュレーションで採用するロジックを図 3-33 に示す。このロジックは後工程ほど優先的に処理する考え方をベースとしているが、精製るつぼ（空）を組成調整装置から搬出するのは射出るつぼの処理より優先させている（ID#5 が ID#6 と #7 よりも先にきている）。これは、空精製るつぼをるつぼ保管ラックにもっていかないと蒸留装置工程が滞ってしまう可能性があるからである。

### 3. 7 シミュレーション条件および結果

#### 3. 7. 1 初期条件

初期条件として、次の 2 つの典型的なケースを考える。

##### (1) パターン I（ターンキー条件）

初めて本システムを稼動する場合に相当するケース（以後ターンキー条件と仮称する）で、充填された陽極が取り込まれるのを待っている状態から開始する。図 3-34 に示すように後工程は全て準備万端整っているとしている。これによって定常状態があるのか、あるとすればどのように定常状態に至るかを観察する。

##### (2) パターン II（最悪渋滞条件）

最後の工程（具体的にはピンプロセッサ工程）が何らかの理由で滞り、全ての工程が後段の工程の滞るために滞っているという状態から開始する。後工程の滞りが解消されたら果たして渋滞は解消されるのか、解消されるとすればどのように解消されていくかを観察する。具体的な手法として、ピンプロセッサ工程に仮想的な障害条件を設定（ピンプロセッサの処理を停止）してパターン I と同じ初期条件でシミュレーションを行い、徐々に渋滞が顕著になって最後に全体が停止するまで待つ。停止後、仮想的な障害条件を除去して全体がどのように渋滞解消に向かうのかを観察する。

#### 3. 7. 2 シミュレーション結果

初期条件パターン I のシミュレーション結果の詳細を表 3-2 に示す。そのサマリを図 3-35 に示す。図 3-35 (1/2) では、工程機器の正味のプロセス時間（工程機器のハンドリングの時間を含めない正味のプロセス処理時間）とロボットハンドリングおよび工程機器の機構運動時間（ハンドリング時間）を加味した時間を対比させている。図 3-35 (2/2) では第 4 日目に焦点を当ててロボットが何時どの工程機器の仕事をしているかを具体的にプロットし、どこにロボットのボトルネックがあるかを簡単に検討できるようにしている。初期パターン II のシミュレーション結果の詳細を表 3-3 に示す。そのサマリを図 3-36 に示す。

表3-1 ハンドリングロボットの分類

方式	概要	荷重特性	価格	運用の柔軟性	リーチ	本システムへの適用性
クレーン方式	ワイヤ等の張力で荷を上下させる方式。シンプル。但し、水平方向の移動のためには、台車との組み合わせが必須。	ワイヤで吊るため大重量に容易に対応可能。	廉価。	一般に荷の把持(玉掛け)がネックとなる。人手によるか、別の手段を考える必要がある。	上下方向のリーチは問題無い。距離が大きくなてもシステム規模、価格に大きな影響はない。水平方向のリーチは、水平移動台車で対応する。	△
マニピュレーター方式	直行タイプも稀にあるが、通常多関節型で、人間の操作によって、エンドエフェクタを所定の位置に誘導し、且つ物を掴む等の作業を行う。	人力のみで作動させる場合は十数kgが限界であるが、パワーアシストを付けて高荷重の物をハンドリングすることもできる。(パワーマニピュレーター)	一般に非常に高価	最も柔軟な運用ができる。保守作業などの複雑な作業にも対応可能で、上記のクレーン方式の場合の玉掛けを行う事も可能である。	マニュピュレータ本体のみではリーチを大きくすると、対応できる荷重が小さくなり精度も落ちる。荷重が大きい時は水平方向移動のための上部ガーダーとの組み合わせが必要である。	○
ロボット方式	直行型	上部ガーダー(X, Y軸)はクレーンと同様の構造になる。Z軸に通常2~3自由度の回転軸及びエンドエフェクタを持つ	クレーンに次ぎ、大荷重に対応可能。基本的に受注生産でカスタマイズをするが、500kgタイプ程度であれば標準品もある。	一般に高価	柔軟性は少ないが、定型的なハンドリングおよび搬送作業には適する。ハンドリングされる側の被把持部とロボットのグリップを標準化することにより効率的なハンドリング・搬送システムを構築することができる。	左右は申し分ないが、上下方向は苦しい。テレスコ方式等でカバーする必要がある。
	多関節型	多数の関節部を持ち、関節の角度を変更して先端のエンドエフェクターの3次元位置および姿勢を変化させる。一般に関節の数(自由度)が6以上になると、任意の位置、方向にモノを扱える。	一般に大重量には向かない。(直立で最大400kg)関節部のトルクで重量を支えるため、腕が長くなればなるほど荷重負担は大となる。	一般に安価。	柔軟性は比較的少ない。直行タイプより更にティーチングは難しく、ロボットマニピュレーターが必要となる。繰り返し作業であって、作用点が事前に予想できる仕事に向く。	リーチと荷重は反比例の関係にある。直立…リーチ最小 400kgタイプ有 壁掛け…リーチ中間 300kg程度 天吊り…リーチ最大 150kg程度

表3-2 シミュレーション結果(パターン1) (1/2)

		工程機器の稼動開始／終了時刻											
		シミュレーション開始時刻:000H 単位: 時間											
工程機器	機器稼動	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	
		電解装置1	開始	0.61	13.20	27.03	39.58	53.60	66.17	79.19	91.74	104.76	117.70
			終了	12.61	25.20	39.03	51.58	65.60	78.17	91.19	103.74	116.76	
電解装置2	開始	0.84	13.91	28.43	41.36	55.88	68.72	82.03	94.56	108.39			
	終了	12.84	25.91	40.43	53.36	67.88	80.72	94.03	106.56	120.39			
電解装置3	開始	1.52	14.81	29.97	42.88	58.80	71.51	87.21	100.09	113.05			
	終了	13.52	26.81	41.97	54.88	70.80	83.51	99.21	112.09				
電解装置4	開始	1.70	15.71	31.41	43.86	60.37	72.82	89.03	101.48	116.68			
	終了	13.70	27.71	43.41	55.86	72.37	84.82	101.03	113.48				
蒸留装置1	開始	14.20	26.44	41.65	54.01	69.42	81.78	97.19	109.42				
	終了	26.23	38.47	53.68	66.05	81.45	93.81	109.23					
蒸留装置2	開始	15.41	27.69	42.58	56.58	70.18	85.55	98.00	115.32				
	終了	27.44	39.73	54.62	68.62	82.22	97.58	110.03					
蒸留装置3	開始	26.75	38.97	56.90	69.12	86.02	98.23	115.64					
	終了	38.78	51.00	68.94	81.15	98.05	110.27						
蒸留装置4	開始	28.73	41.01	58.22	70.43	87.50	99.73	116.97					
	終了	40.76	53.04	70.26	82.46	99.54	111.76						
射出成型装置1	開始	39.73	52.65	67.50	80.55	95.05	107.97						
	終了	51.73	64.65	79.50	92.55	107.05	119.97						
射出成型装置2	開始	39.87	52.80	67.64	80.69	95.19	108.11						
	終了	51.87	64.80	79.64	92.69	107.19	120.11						
射出成型装置3	開始	54.54	67.23	83.65	96.38	113.18							
	終了	66.54	79.23	95.65	108.38								
射出成型装置4	開始	54.67	67.36	83.78	96.51	113.31							
	終了	66.67	79.36	95.78	108.51								
ピンプロセッサ1	開始	52.24	58.37	64.97	71.15	80.14	86.38	92.89	98.96	107.55	113.73	120.28	
	終了	58.24	64.37	70.97	77.15	86.14	92.38	98.89	104.96	113.55	119.73		
ピンプロセッサ2	開始	66.82	72.91	79.56	85.79	95.97	102.06	108.71	114.90				
	終了	72.82	78.91	85.56	91.79	101.97	108.06	114.71					

注1) #1～#11は相当する機器毎の処理順位番号を示す。ピンプロセッサ1, 2の太枠については、電解装置1～4における1処理単位にあたる。

注2) 上記表に掲載した値は処理開始0～120時間までに限った値である。

工程機器の稼働率

	#1開始～#x終了までの平均稼働率		
	稼動(H)	分母(H)	稼働率
電解装置1	108	117.09	0.9224 #1～#10
電解装置2	108	119.53	0.9035 #1～#9
電解装置3	96	111.53	0.8608 #1～#9
電解装置4	96	114.98	0.8349 #1～#9
蒸留装置1	84.23	95.22	0.8846 #1～#8
蒸留装置2	84.25	99.91	0.8433 #1～#8
蒸留装置3	72.20	88.89	0.8122 #1～#7
蒸留装置4	72.20	88.24	0.8182 #1～#7
射出成型装置1	72	80.24	0.8973 #1～#6
射出成型装置2	72	80.24	0.8973 #1～#6
射出成型装置3	48	58.64	0.8186 #1～#5
射出成型装置4	48	58.64	0.8186 #1～#5
ピンプロセッサ1	60	68.04	0.8818 #1～#11
ピンプロセッサ2	42	48.08	0.8735 #1～#8

注3) 意味のある稼働率を出すため、以下のように考える。

- ・機器の1番目の稼動開始から、n番目の稼動開始までを対象時間として考慮する（これが分母となる）。分子は、その間の稼働時間累計である。
- ・上の例では、例えば電解装置1は#1の開始時点から#10の開始時点まで考慮する。備考はそれを示す。

表3-2 シミュレーション結果(パターン1) (2/2)

		電極取扱装置の稼動開始／終了時刻																単位：時間	
		シミュレーション開始時刻:000H								電極取扱装置の稼動開始／終了時刻								単位：時間	
		#1群				#2群				#3群				#4群					
機器稼動		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16		
工程機器	電極取扱装置1	開始	12.95	14.26	15.49	16.35	40.45	41.71	42.66	55.57	68.12	69.48	71.29	84.57	95.67	97.25	99.54	114.22	
		終了	13.75	14.98	16.07	16.42	41.2	42.12	43.24	55.64	68.99	69.89	71.87	84.64	96.9	97.67	100.26	114.28	
電極取扱装置2	開始	25.57	27.31	29	30.43	55.63	56.97	58.29	59.39	84.63	86.08	87.57	88.82	114.28	115.71	117.04	118.2		
	終了	26.35	28.27	29.84	31.29	56.45	57.74	59.01	60.25	85.42	87.07	88.34	89.44	115.19	116.56	117.92	118.72		

組成調整装置の稼動開始／終了時刻

		機器稼動			
		#1	#2	#3	
工程機器	BL組成調整装置1	開始	38.54	66.24	93.88
		終了	39.54	67.24	94.88
C組成調整装置2	開始	53.29	82.53	111.83	
	終了	54.29	83.53	112.83	

稼働率

	#1開始～#x終了までの平均稼働率		
	稼動(H)	分母(H)	稼働率
電極取り扱い装置1	8.34	101.33	0.0823
電極取り扱い装置2	12.94	93.15	0.1389
BL組成調整装置1	3	56.34	0.0532
C組成調整装置2	3	59.54	0.0504

注1) 分母:1番目の稼動開始から、n番目の稼動開始までの時間。

注2) 他の処理装置よりも処理時間が短いため、待ち時間が長くなっている。  
その結果稼働率が小さい。

表3-3 シミュレーション結果(パターンII) (1/2)

機器稼動 工程機器	工程機器の稼動開始／終了時刻																			
	シミュレーション開始時刻:000H 単位: 時間																			
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	
電解装置1 開始						95.88	108.43	124.27	136.83	151.54	164.1	179.27	191.83	206.46						
電解装置1 終了						107.88	120.43	138.27	148.83	163.54	176.1	191.27	203.83							
電解装置2 開始	-					97.33	110.11	127.61	140.13	156.25	168.8	181.9	194.42	208.79						
電解装置2 終了						109.33	122.11	139.61	152.13	168.25	180.8	193.9	206.42							
電解装置3 開始						98.87	111.33	129.37	141.86	157.93	170.4	185.87	198.34							
電解装置3 終了						110.87	123.33	141.37	153.86	169.93	182.4	197.87	210.34							
電解装置4 開始						99.85	112.3	130.8	143.25	159.36	171.8	187.69	200.16							
電解装置4 終了						111.85	124.3	142.8	155.25	171.36	183.8	199.69								
蒸留装置1 開始						95.18	107.41	123.88	136.12	151.21	163.44	178.94	191.2	206.13						
蒸留装置1 終了						107.21	119.45	135.92	148.15	163.24	175.47	190.98	203.2							
蒸留装置2 開始						98.63	108.88	125.34	137.56	152.29	164.54	180	192.3	207.43						
蒸留装置2 終了						108.86	120.91	137.38	149.59	164.33	176.58	192.03	204.3							
蒸留装置3 開始						85.49	107.7	125.04	137.28	155.33	167.56	184.84	197.1							
蒸留装置3 終了						107.53	119.73	137.07	149.32	167.36	179.59	196.87	209.1							
蒸留装置4 開始						96.95	109.18	127.23	139.44	156.88	169.13	186.16	198.5							
蒸留装置4 終了						108.98	121.19	139.26	151.47	168.92	181.16	198.2	210.6							
射出成型装置1 開始						92.81	105.9	120.92	133.54	149.55	162.27	176.81	189.54	204.55						
射出成型装置1 終了						104.8	117.9	132.92	145.54	161.55	174.27	188.81	201.54							
射出成型装置2 開始						92.95	106	121.06	133.89	149.69	162.41	176.95	189.68	204.69						
射出成型装置2 終了						105	118	133.06	145.69	161.69	174.41	188.95	201.68							
射出成型装置3 開始						93.08	106.2	122.8	135.49	152.79	165.49	182.55	195.39							
射出成型装置3 終了						105.1	118.2	134.8	147.49	164.79	177.49	194.55	207.39							
射出成型装置4 開始						93.21	106.3	122.93	135.62	152.92	165.82	182.68	195.52							
射出成型装置4 終了						105.2	118.3	134.93	147.62	164.92	177.82	194.66	207.52							
ピンプロセッサ1 開始	85.25	91.31	97.53	103.6	109.7	115.79	122.04	128.16	134.2	140.29	146.35	152.5	161.86	167.92	174.6	180.73	189.1	195.21	201.8	208.06
ピンプロセッサ1 終了	91.25	97.31	103.5	109.6	115.7	121.79	128.04	134.16	140.2	146.29	152.35	158.5	167.86	173.92	180.6	186.73	195.1	201.21	207.8	
ピンプロセッサ2 開始	85.35	91.41	97.63	103.7	109.8	115.89	122.14	128.28	135.08	141.13	147.76	154.1	165.08	171.17	177.84	183.94	194.9	200.96	207.7	
ピンプロセッサ2 終了	91.35	97.41	103.6	109.7	115.8	121.89	128.14	134.26	141.08	147.13	153.76	160.1	171.08	177.17	183.84	189.94	200.9	206.96		

注1) 上記表が示すシミュレーション開始時間については、定常状態からピンプロセッサ処理を停止して、約85時間後にシステム全体の処理が停止。速やかにピンプロセッサ処理を再開した時間を示している。

注2) 上記表の太枠については定常状態に戻った1処理単位を示す。

## 工程機器の稼働率

#1開始～#x終了までの平均稼働率	稼働(H)		
	稼働(H)	分母(H)	稼働率
電解装置1	96	110.58	0.861498 #7～#15
電解装置2	96	111.46	0.8612955 #7～#15
電解装置3	96	111.47	0.8612183 #7～#14
電解装置4	96	100.31	0.9570332 #7～#14
蒸留装置1	96.27	110.95	0.8676881 #5～#13
蒸留装置2	96.27	110.80	0.8688826 #5～#13
蒸留装置3	96.26	113.61	0.8472846 #5～#12
蒸留装置4	96.26	101.57	0.9477208 #5～#12
射出成型装置1	96	111.74	0.8591373 #3～#11
射出成型装置2	96	111.74	0.8591373 #3～#11
射出成型装置3	96	114.31	0.8398215 #3～#10
射出成型装置4	96	114.31	0.8398215 #3～#10
ピンプロセッサ1	114	122.81	0.9282632 #1～#20
ピンプロセッサ2	108	122.37	0.8825693 #1～#19

注3) 意味のある稼働率を出すため、以下のように考える。

- 機器のm番目の稼動開始から、n番目の稼動開始までを対象時間として考慮する(これが分母となる)。分子はその間の稼働時間累計である。
- 上の例では、例えば電解装置1は#7の開始時点から#15の開始時点まで考慮する。備考はそれを示す。

表3-3 シミュレーション結果(パターンII) (2/2)

電極取扱装置の稼動開始／終了時刻 シミュレーション開始時刻:000H										単位: 時間													
機器稼動		#2群			#3群			#4群			#5群			#6群			#7群						
工程機器	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	#22	#23	#24	#25	#26	#27
電極取扱装置1	開始				94.352	95.553	97.025	98.59	121.75	124	125.421	126.7	150.35	151.27	152.4	154.59	177.5	179	180.08	183.4747	205.2663	206.1872	208.196
	終了				94.831	96.283	98.016	98.657	122.73	124.8	126.245	126.77	150.92	152	153.8	154.68	178.7	179.62	180.51	183.5413	205.8353	207.0088	208.9747
電極取扱装置2	開始				94.41	95.61	97.08	98.64	123.95	125.87	128.4	129.83	153.76	155.51	156.98	158.4	183.53	184.9	186.23	187.48			
	終了				94.98	96.43	98.17	99.43	124.72	126.74	129.2	130.68	155	156.46	157.79	159.2	184.48	185.7	187	188.1			

組成調整装置の稼動開始／終了時刻 シミュレーション開始時刻:000H										稼動率				
機器稼動		#1開始～#x終了までの平均稼動率								参考				
工程機器	#1	#2	#3	#4	#5	稼動(H)	分母(H)	稼動率	備考					
BL組成調整装置1	開始	91.68	119.53	148.23	175.55	203.3				電極取り扱い装置1	12.1	114.62	0.105	#1～#27
	終了	92.68	120.53	149.23	176.55	204.3				電極取り扱い装置2	59.54	93.69	0.6355	#1～#23
C組成調整装置2	開始	91.92	121.65	151.61	181.38	210.7				BL組成調整装置1	5	112.6	0.0444	#1～#4
	終了	92.92	122.65	152.61	182.38					C組成調整装置2	4	90.46	0.0442	#1～#3

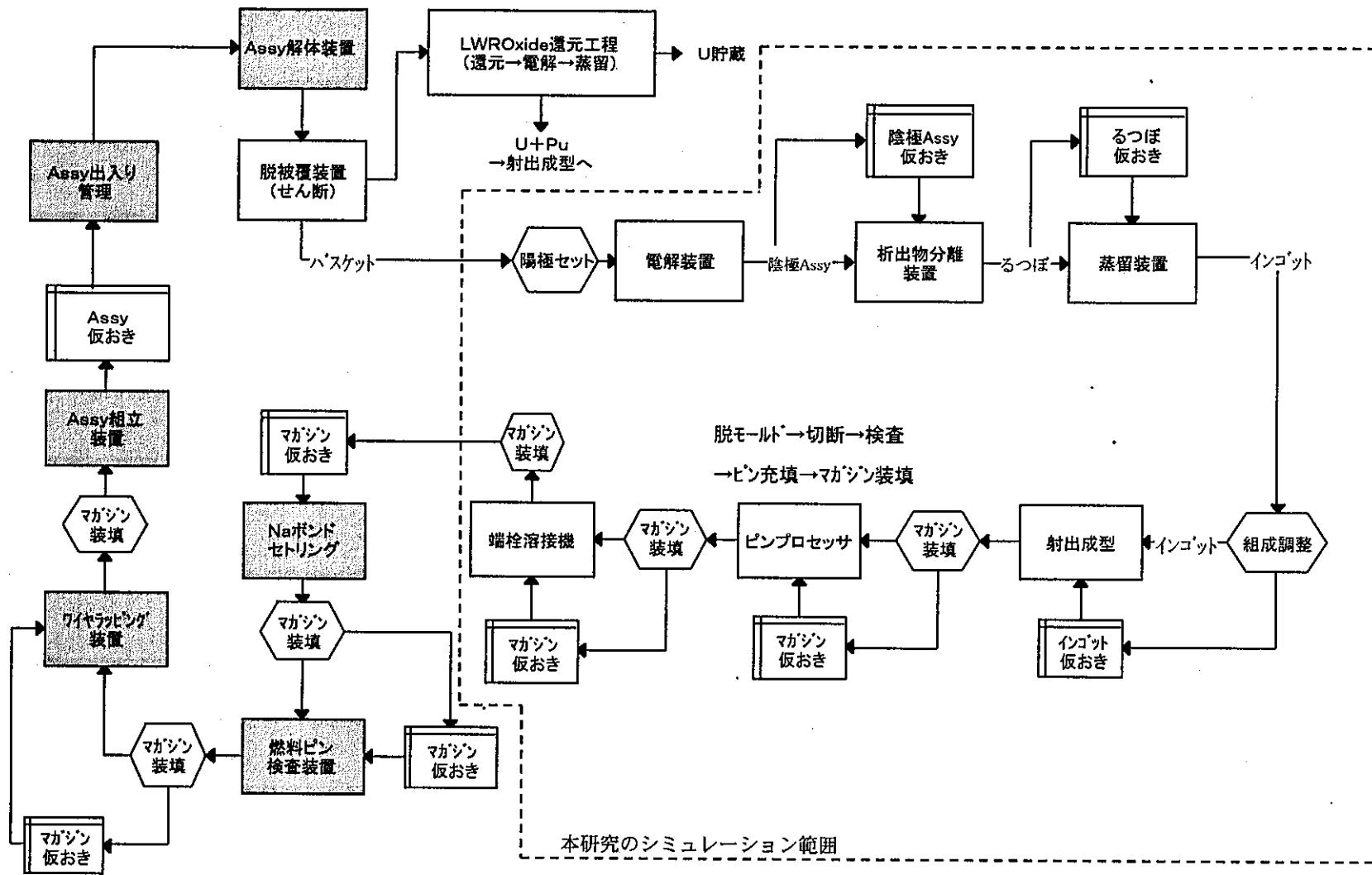


図 3-1 乾式リサイクルシステムフロー

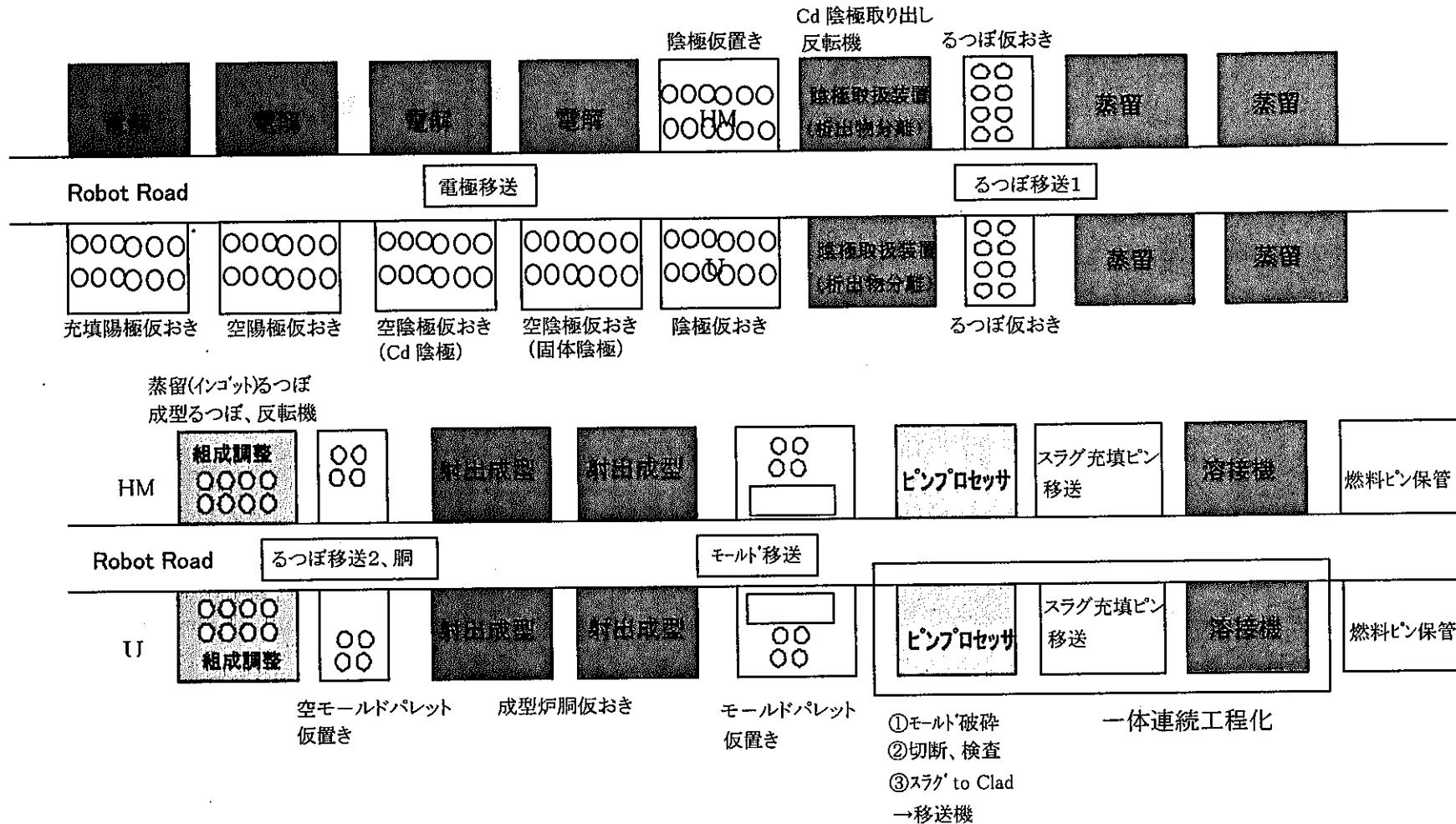


図 3-2 乾式リサイクルシステム物流システム基本計画図

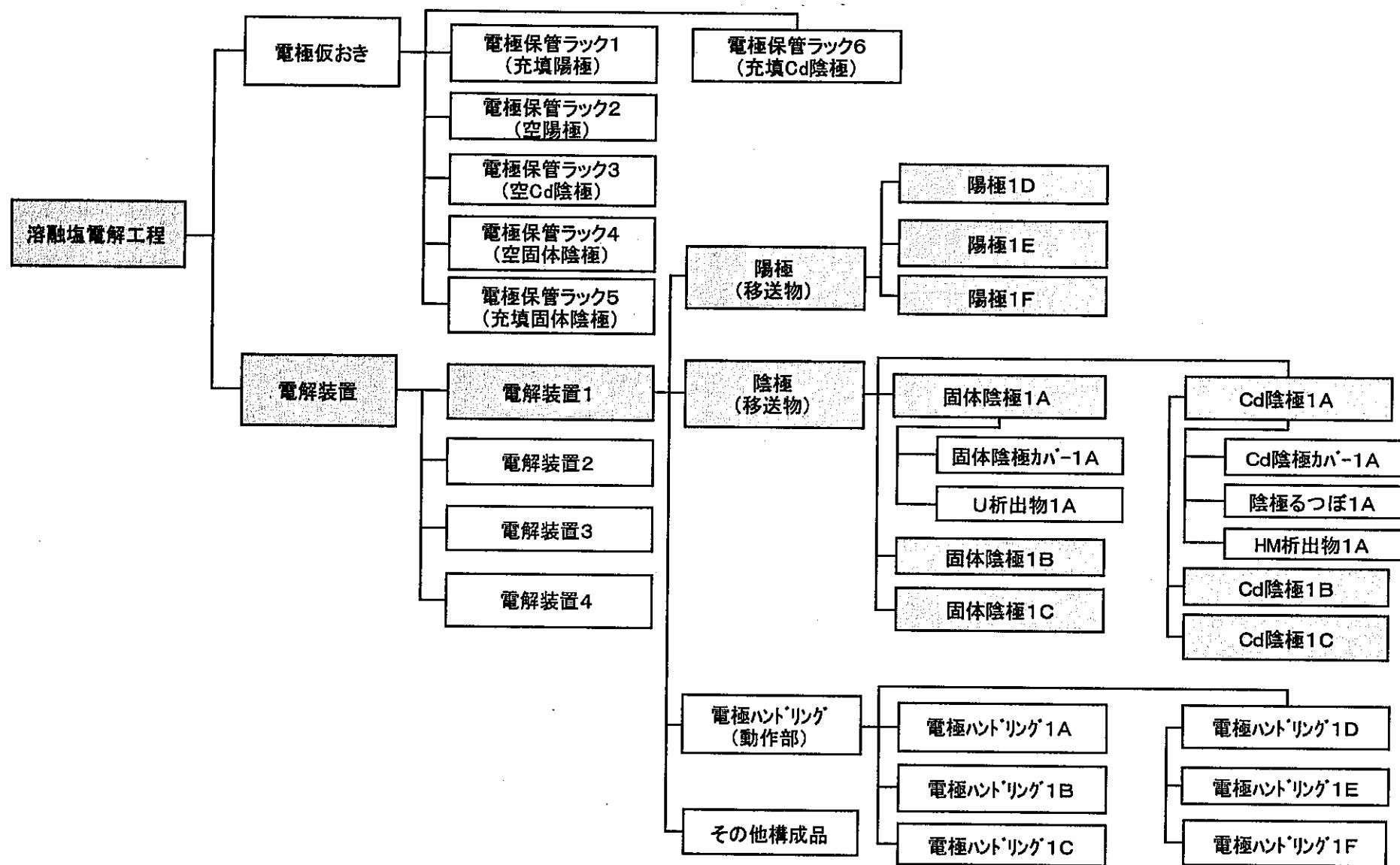


図3-3 溶融塩電解工程機器構成

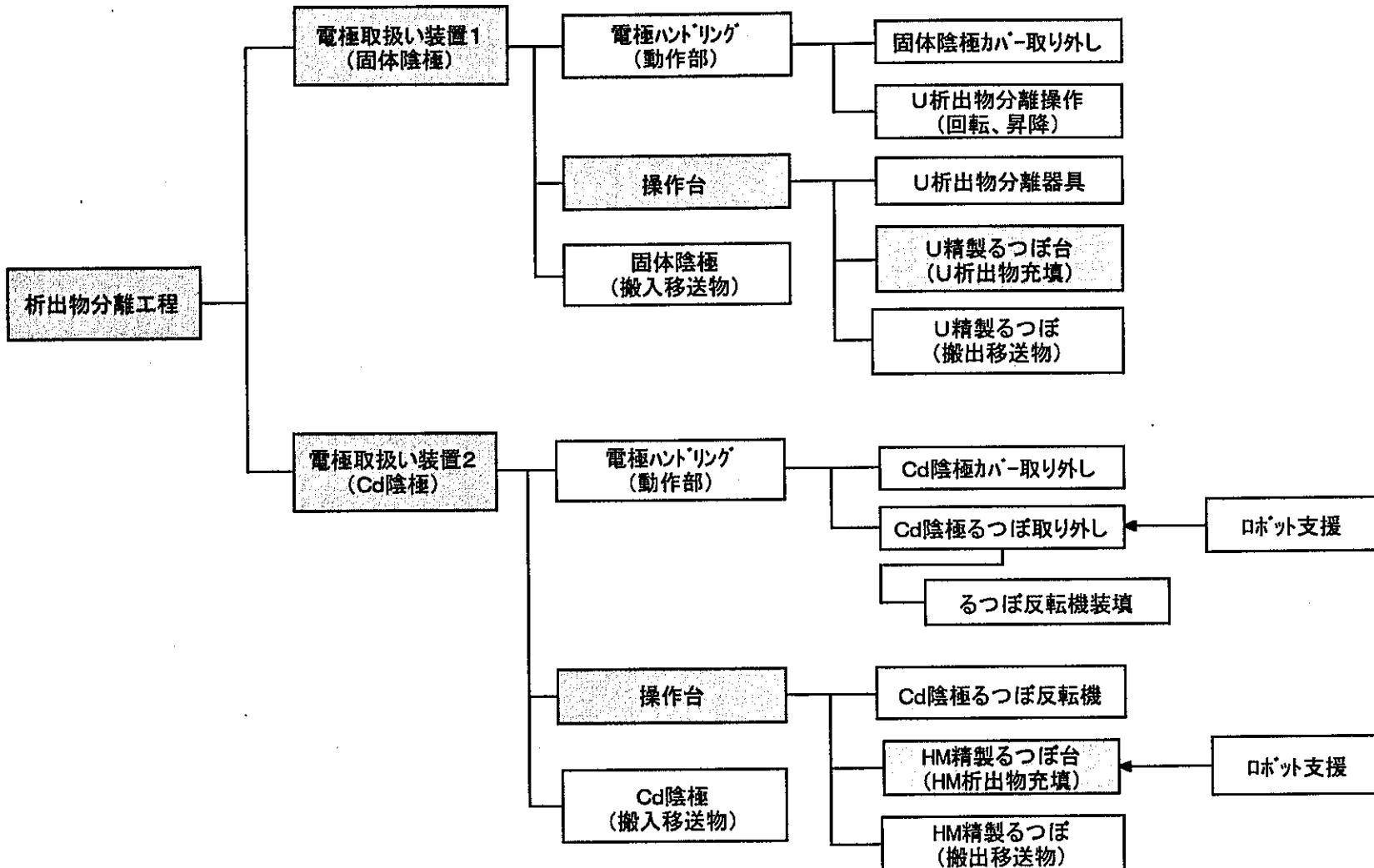


図3-4 析出物分離工程機器構成

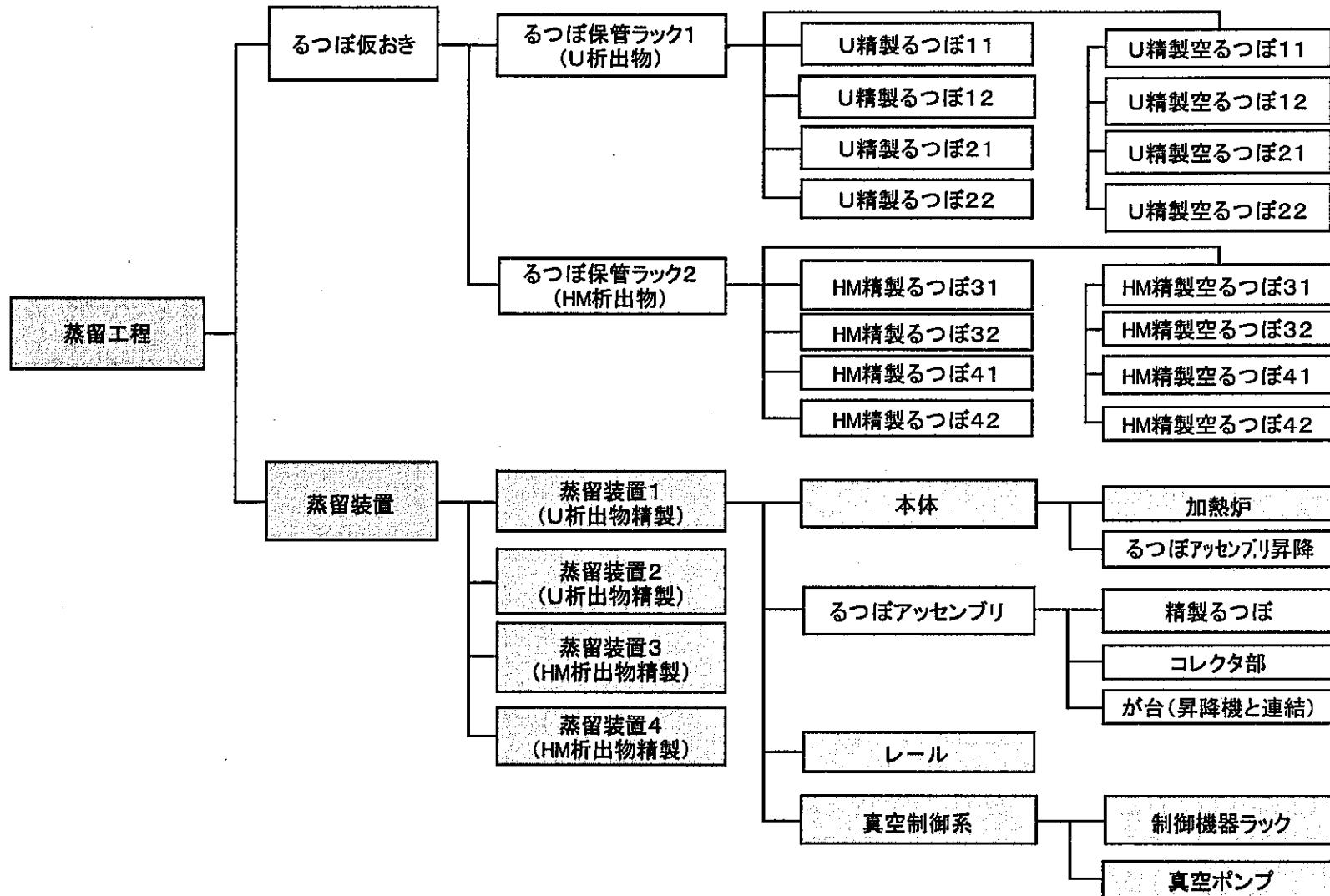


図3-5 蒸留工程(カソードプロセッサ)機器構成

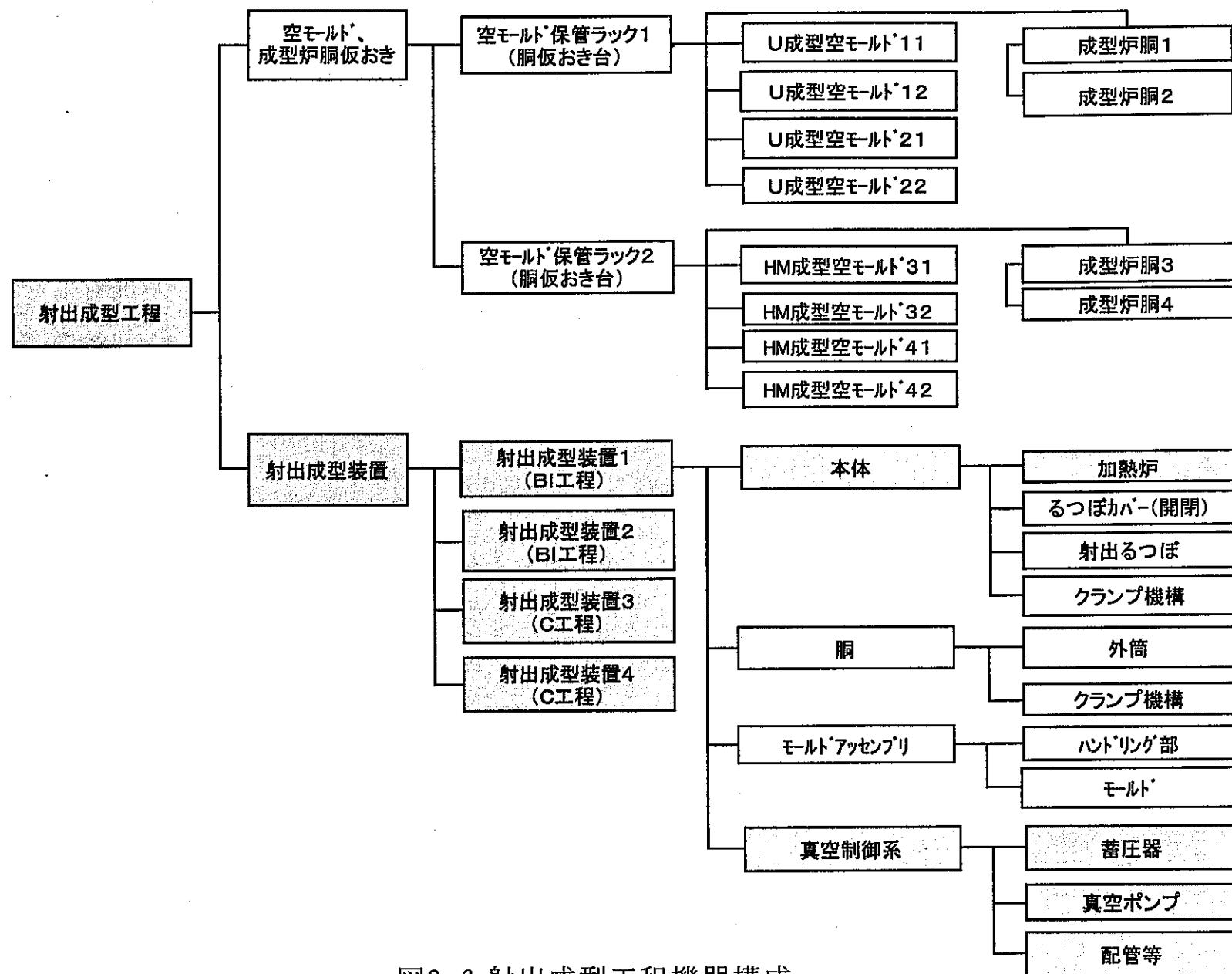


図3-6 射出成型工程機器構成

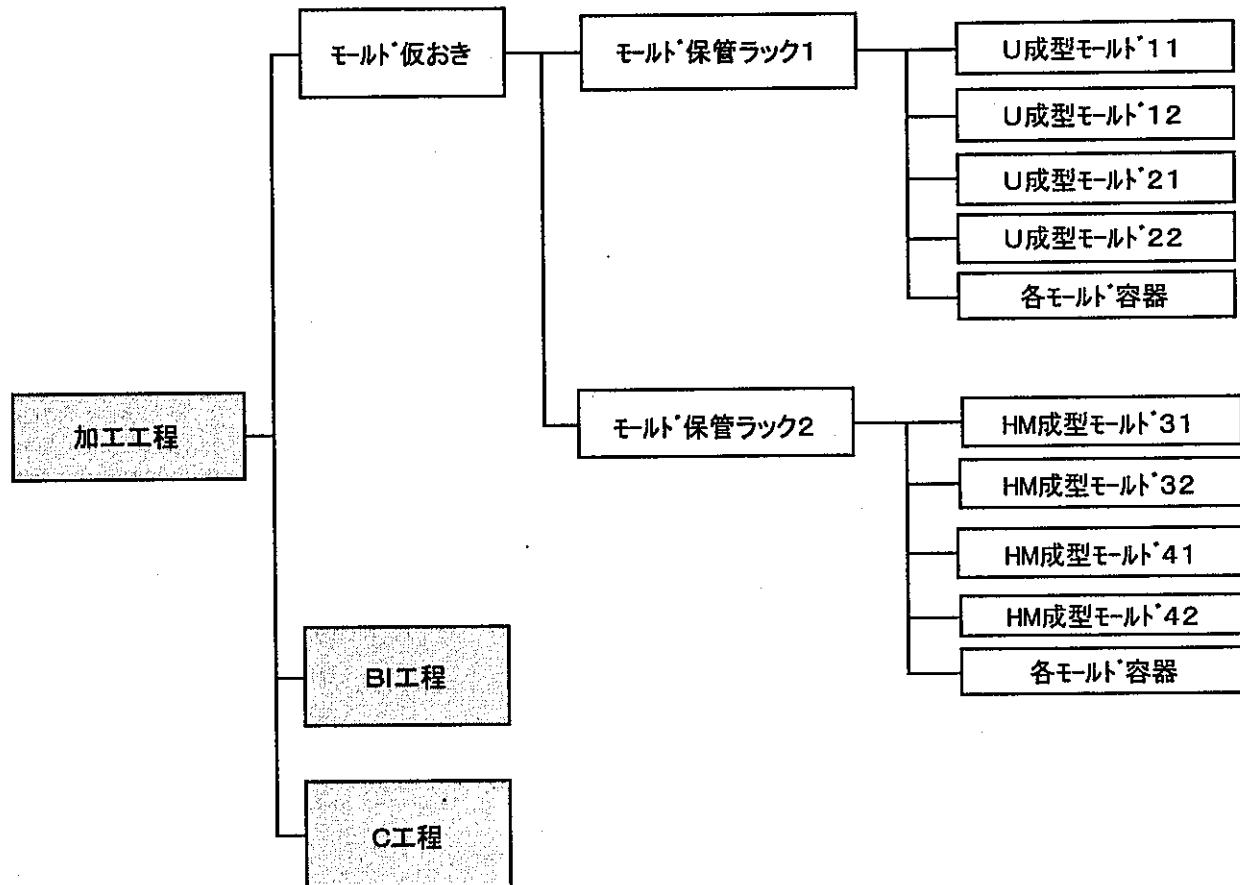


図3-7 加工工程の機器構成(モールド仮おき)

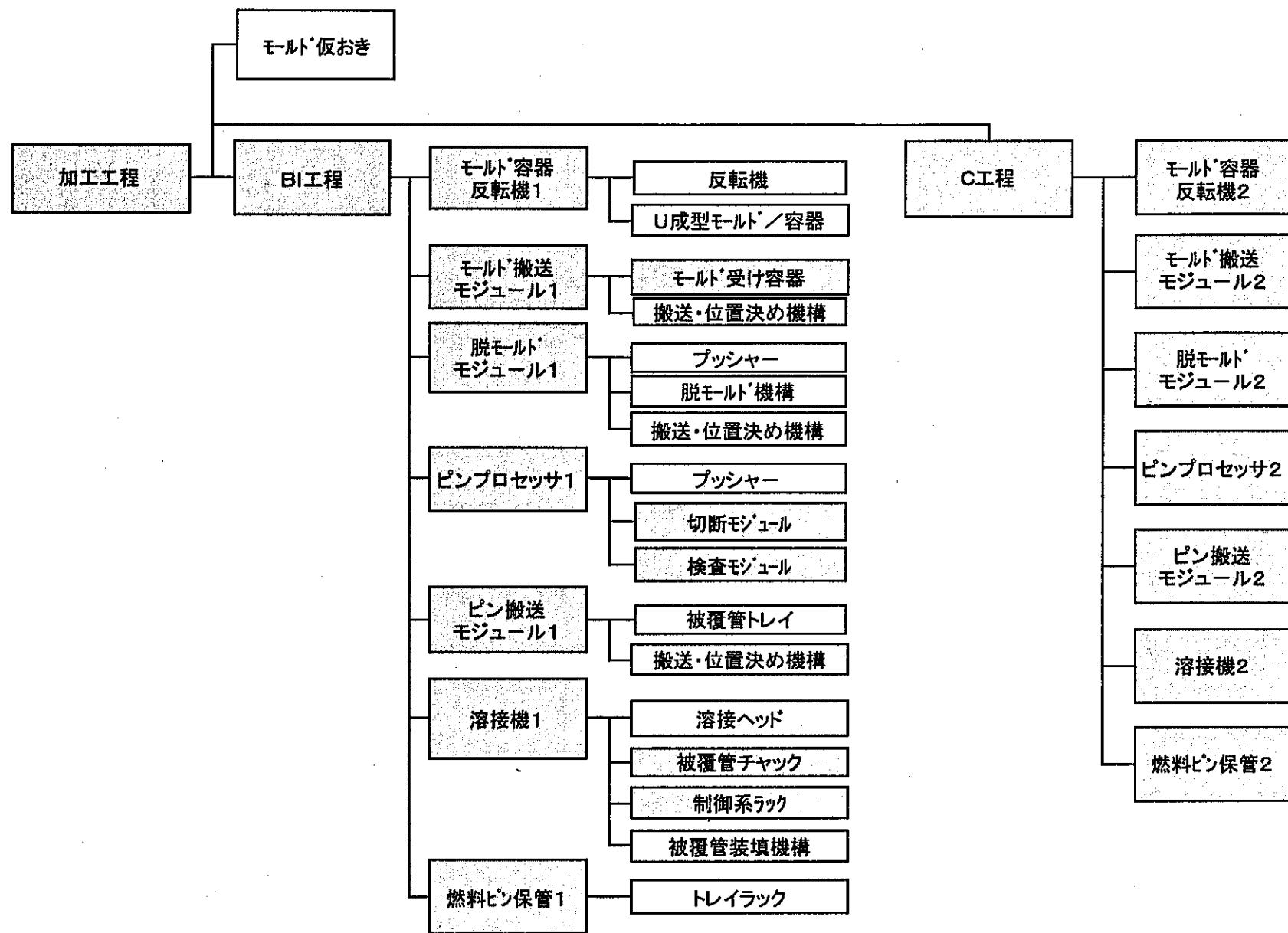


図3-8 加工工程の機器構成(ピンプロセッサ)

【機能】

電解装置に移送されるまで陽極、陰極(空、充填)を保管する。

【外形寸法】

W: 約 3,300mm

H: 約 2,200mm

D: 約 1,800mm

機構挙動: なし

注) W: 幅, H: 高さ, D: 奥行 以下同じ。

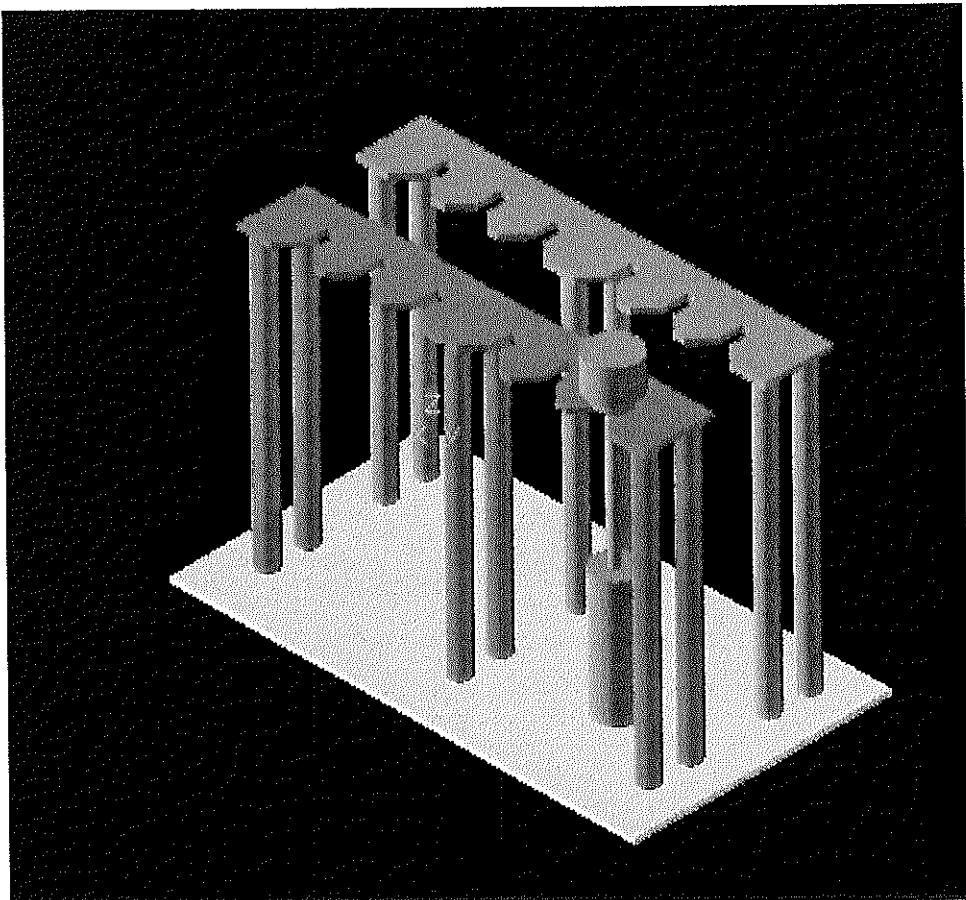


図 3-9 電極保管ラック

**【機能】**

陽極と固体陰極あるいはCd陰極を装着し  
使用済燃料を電解精製する。

**【外形寸法】**

W：約3,400mm

H：約3,400mm

D：約2,800mm

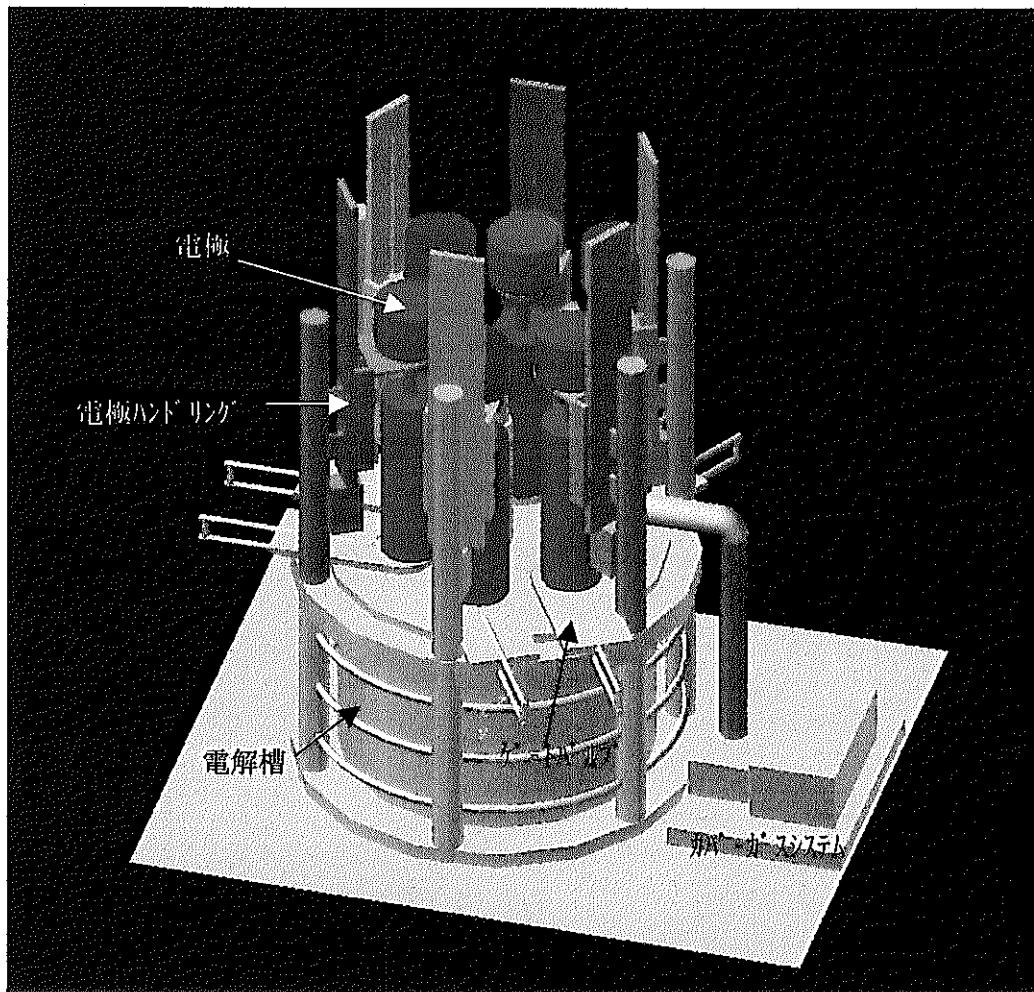
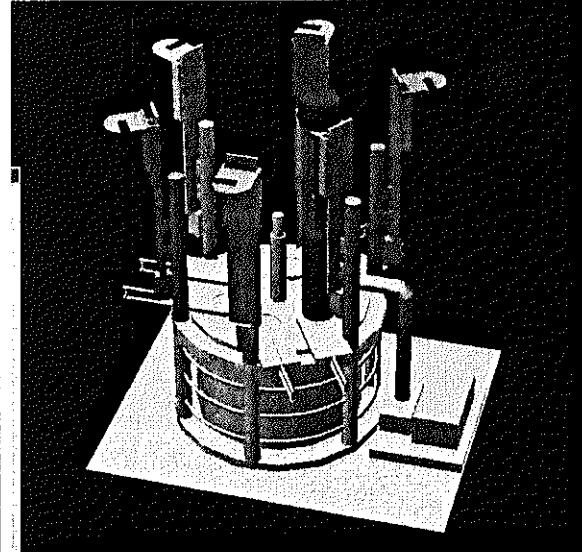


図3-10 電解装置 (1/4)

NO	機器挙動		搬送口ポット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
1	陽極の装着： 陽極 1D, 1E, 1F を電解装置に装着する。		ボットが陽極 1D を電極ハンドリング 1D まで搬入	
1.1	電極ハンドリング 1D がボットから陽極 1D を受け取り 電解槽の開口部位置直上まで回転。右図参照。	30 s		
1.2	固体陰極カバ - 1A が開口部の蓋シャッタに接するまで 電極ハンドリング 1D が下降する。	30 s		
1.3	電解槽の開口部の蓋シャッタがスライドオープンする。	30 s		
1.4	電極ハンドリング 1D が下降して陽極 1D を電解槽に 挿入。固体陰極カバ - 1A は電解槽上面でストップ。	30 s		
1.5	電極ハンドリング 1E と 1F が陽極 1E と 1F に対し、 1.1~1.4 と同様な操作を行う		ボットが当該電極 を当該ハンドリング まで搬入	
2	固体陰極の装着： 1 と同様にして固体陰極 1A, 1B, 1C を電解装置 に装着する。		ボットが当該電極 を当該ハンドリング まで搬入	

注) 電極番号、電極ハンドリング番号については図 3.2 の溶融塩電解工程機器構成参照。

図 3-10 電解装置 (2/4)

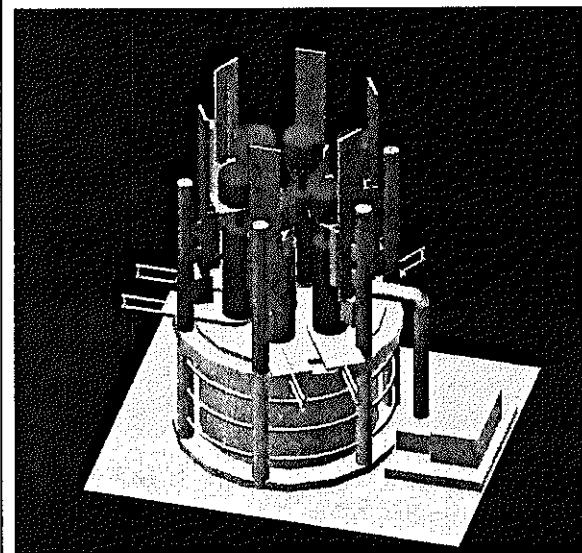
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
3	電解： 陽極と固体陰極を電解する。右図参照。	12 H		
4	固体陰極の搬出： 固体陰極 1A, 1B, 1C を電解装置から搬出する。			
4.1	電極ハンドリング 1A が上昇して固体陰極 1A を電解槽から引き抜く。	30 s		
4.2	電解槽の開口部のシャッタ-がスライド クローズする。	30 s		
4.3	電極ハンドリング 1A がロボット引き渡し位置まで回転。(ロボットが固体陰極 1A を引き取りに来るのを待つ)	30 s	ロボットが電極ハンドリング 1A から固体陰極 1A を受け取り搬出する。	
4.4	電極ハンドリング B と C が固体陰極 1B と 1C 対し、4.1~4.3 と同様な操作を行う		ロボットが当該ハンドリングから当該電極を受け取り搬出する。	

図 3-10 電解装置 (3/4)

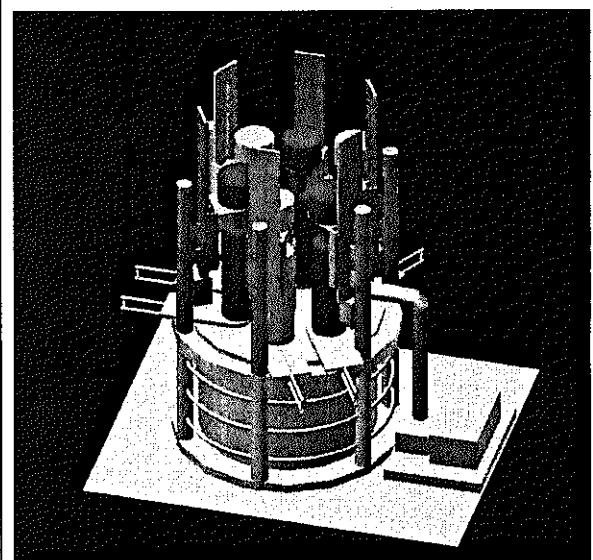
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
5	Cd 陰極の装着： 1と同様にして Cd 陰極 1A, 1B, 1C を電解装置に装着する。	—	ボットが当該電極を当該ハンドリングまで搬入	
6	電解： 陽極と Cd 陰極を電解する。右図参照。	12 H		
7	Cd 陰極の搬出： 4と同様にして Cd 陰極 1A, 1B, 1C を電解装置から搬出する。	—	ボットが当該ハンドリングから当該電極を受け取り搬出する。	
8	陽極の搬出： 4と同様にして陽極 1D, 1E, 1F を電解装置から搬出する。  (次のバッヂ受け入れ態勢)	—	ボットが当該ハンドリングから当該電極を受け取り搬出する。	

図 3-10 電解装置 (4/4)

**【機能】**

固体陰極に付着したU析出物を剥ぎ取る。  
具体的には、3本の固体陰極 XA, XB, XC  
(X=1,2,3,4) を順次装置に引き込んで析出  
物を剥ぎ取り、3本分の析出物を U 精製  
るつぼ X (X=1,2,3,4) に収容し、次プロセス  
に渡す。

**【外形寸法】**

W : 約 1700mm  
H : 約 3400mm  
D : 約 1700mm

注) 電極番号については図 3.2 の溶融塩電解  
工程機器構成参照。

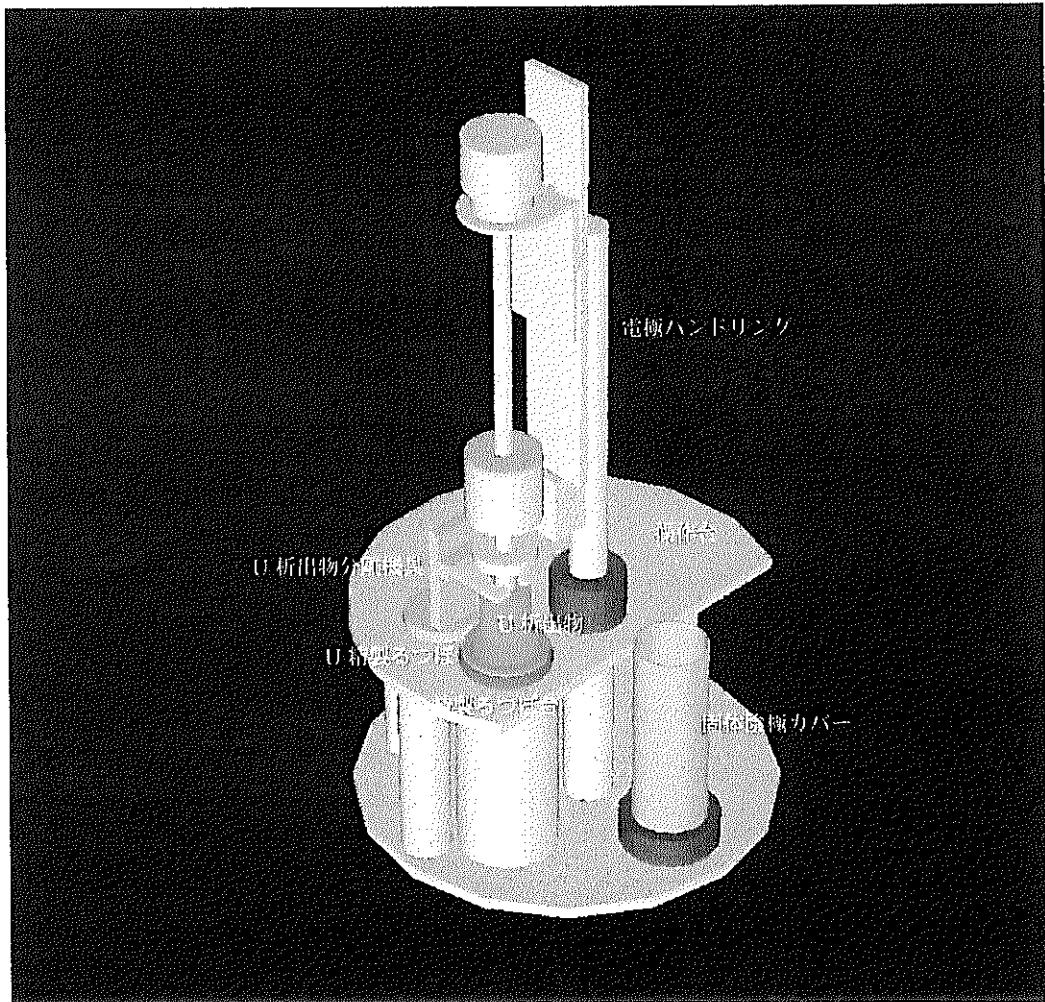
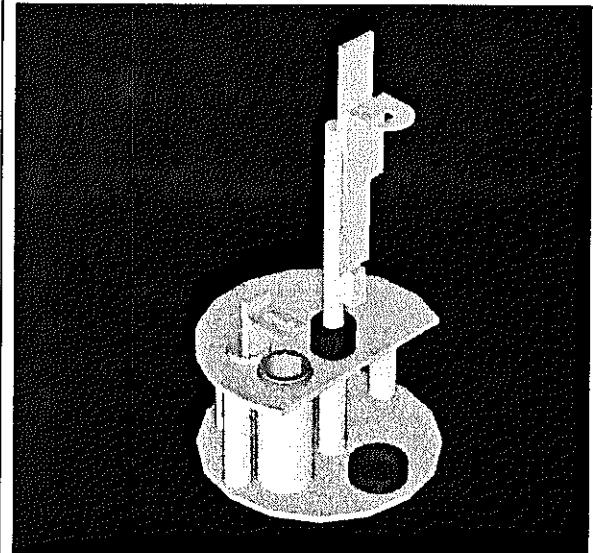


図 3-11 電極取り扱い装置 1(1/4)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1	初期状態： U 精製るつぼ： 装着  右図参照。		ロボットが固体陰極 1A を電極ハンドリングまで搬入。	
1.1	固体陰極 1A からの析出物剥ぎ取り： 固体陰極 1A から U 析出物を剥ぎ取り、U 精製るつぼに収容する。	30 s		
1.2	電極ハンドリングが U 析出物分離機具のついた操作台位置まで回転。	30 s		
1.3	電極ハンドリングが上昇して U 析出物を剥ぎ取り、U 精製るつぼに落とす。	60 s		
1.4	電極ハンドリングが定位置まで下降する。	30 s		

注) 電極番号については図 3.2 の溶融塩電解工程機器構成参照。

図 3-11 電極取り扱い装置 1 (2/4)

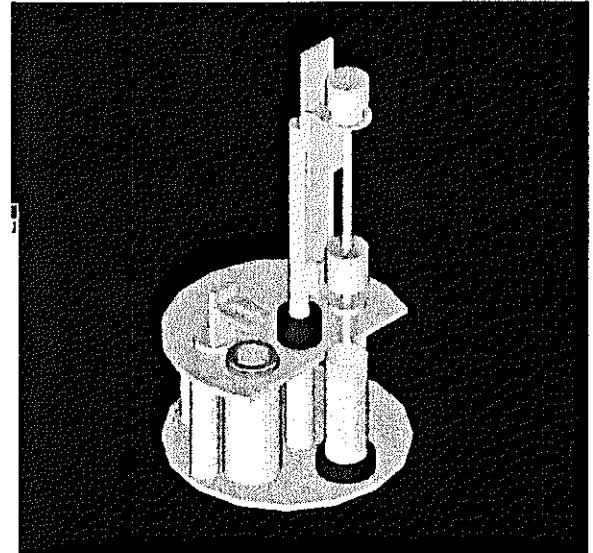
NO	機器挙動		搬送口ボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
1.5	電極ハンド・リング'が電極カバ'-の直上まで回転。 右図参照。	30 s		
1.6	電極カバ'-を固体陰極 1A に装着。	30 s	ボ'ットが電極ハンド・リン グから固体陰極 1A を受け取り搬出する。	
2	固体陰極 1B からの析出物剥ぎ取り： 固体陰極 1B から U 析出物を剥ぎ取り、U 精製る つぼに収容する。  1. と同様の動作を固体陰極 1B に対して行う。	30 s	ロボ'ットが固体陰極 1B を電極ハンド・リン グまで搬入。	
		—	ロボ'ットが電極ハンド・リン グから固体陰極 1B を受け取り搬出する。	
		—	ロボ'ットが固体陰極 1C を電極ハンド・リン グまで搬入。	

図 3-11 電極取り扱い装置 1 (3/4)

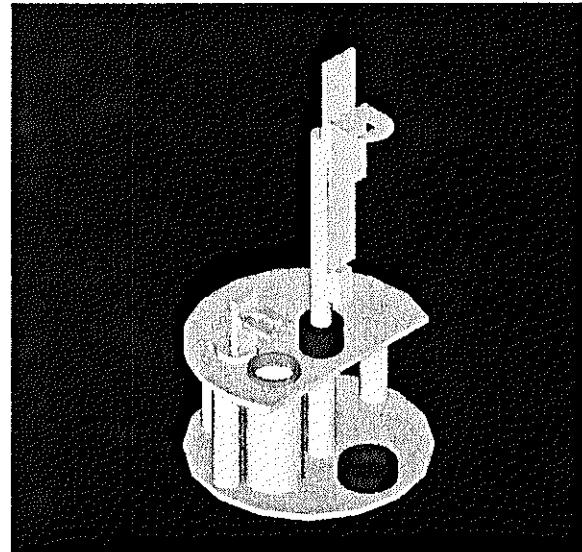
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
3	<p>固体陰極 1C からの析出物剥ぎ取り： 固体陰極 1C から U 析出物を剥ぎ取り、U 精製る つぼに収容する。</p> <p>1. と同様の動作を固体陰極 1C に対して行う。</p> <p>右図参照。</p> <p>(次のバッタ受け入れ態勢)</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>	<p>ボットが電極ハンドリングから固体陰極 1C を受け取り搬出す。</p> <p>ボットが U 精製るつぼを U 精製るつぼ台から搬出。</p> <p>ボットが空の U 精製るつぼを取り扱い装置の U 精製るつぼ台に装着。</p>	

図 3-11 電極取り扱い装置 1 (4/4)

### 【機能】

Cd 陰極るつぼに析出した HM 析出物を取り出す。具体的には、3 本の Cd 陰極 XAXB, XC (X=1,2,3,4) を順次装置に引き込んで Cd 陰極るつぼを反転し、3 本分の析出物を HM 精製るつぼ X (X=1,2,3,4) に収容し、次プロセスに渡す。るつぼ反転機は反転装置、反転装置移送装置から構成されており、Cd 陰極るつぼを反転し、析出物を取り出す機能を有する。

### 【外形寸法】

W : 約 1700mm

H : 約 3400mm

D : 約 1700mm

注) HM : U と Pu の合金。

電極番号については図 3.2 の溶融塩電解工程機器構成参照。

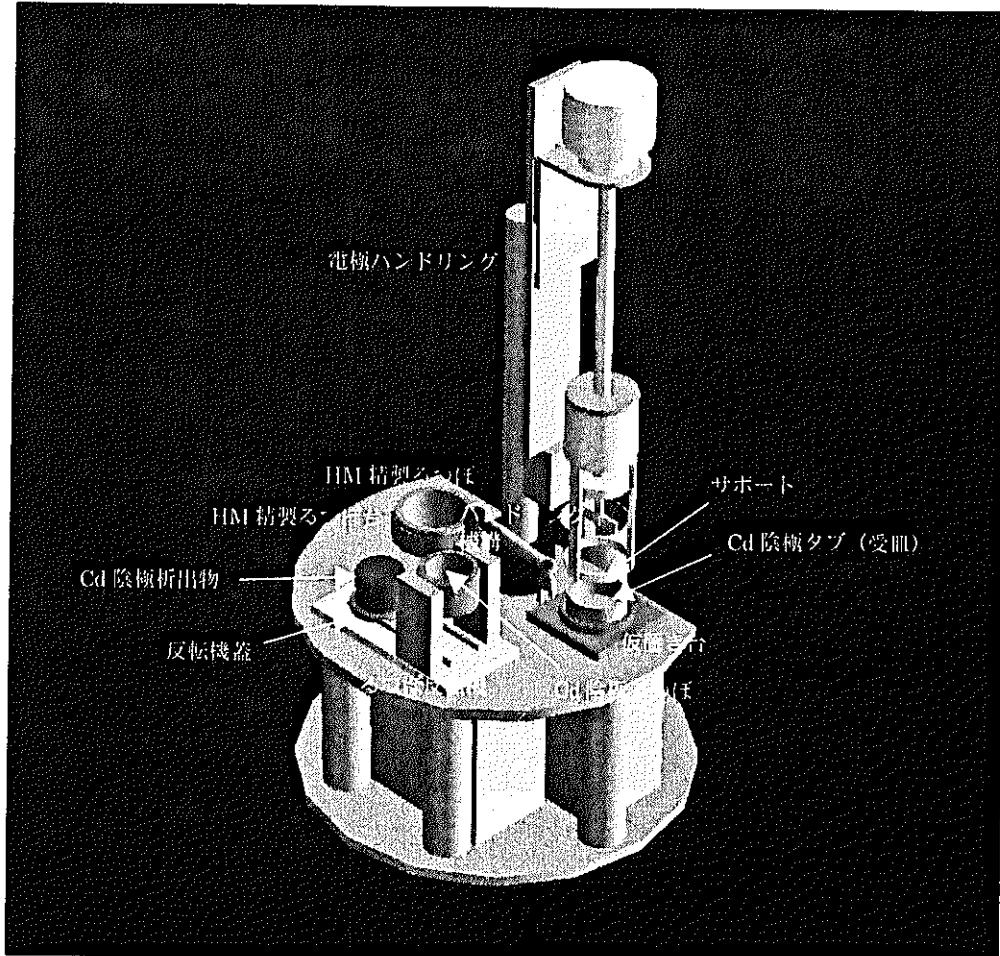
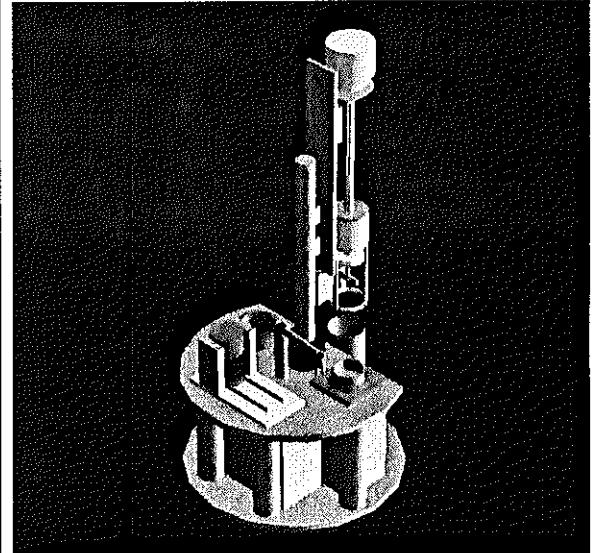


図 3-12 電極取り扱い装置 2 (1/5)

NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/速度		
1	<p>初期状態： HM 精製るつぼ： 装着  右図参照。</p> <p>Cd 陰極 1A からの析出物収容： Cd 陰極 1A から陰極るつぼ 1A を取り出し、反転して HM 析出物を HM 精製るつぼに収容する。</p>		ボットが Cd 陰極 1A を電極ハンド・リング まで搬入。	
1.1	電極ハンド・リング がボットから Cd 陰極 1A を受け取り、Cd 陰極 1A から Cd 陰極るつぼ 1A を取り外す。	30 s		
1.2	電極ハンド・リング が Cd 陰極るつぼ仮置き台直上まで回転。	30 s		
1.3	電極ハンド・リング が下降して、Cd 陰極るつぼの載ったタブを仮置き台に接触させる。	30 s		
1.4	電極のボットからタブの拘束を解除	30 s		

注) 電極番号については図 3.2 の溶融塩電解工程機器構成参照。

図 3-12 電極取り扱い装置 2(2/5)

NO	機器挙動	搬送口ポット 動作	概要図
	挙動記述		
1.5	電極ハンド'リング'が定位置まで上昇。	30 s	
1.6	電極ハンド'リング'が定位置（Cd 陰極か' -取り外し位置直上）まで回転。	30 s	
1.7	取り扱い装置 2 のハンド'リング' 機構が Cd 陰極るつぼを取り出し、るつぼ反転機に装填。	30 s	
1.8	取り扱い装置 2 のハンド'リング' 機構が反転機上のるつぼに蓋をする。	30 s	
1.9	反転機が直進(30s)、反転(30s)、下降(30s)して析出物を定位置に取り出して、上昇(30s)（右図参照）、反転(30s)、直進(30s)して元の位置（前項図参照）に戻る。（析出物は蓋の上）	180 s	
1.10	取り扱い装置 2 のハンド'リング' 機構が析出物を HM 精製るつぼに収容する。	30 s	
1.11	蓋はそのままの位置で待機。	0 s	
1.12	取り扱い装置 2 のハンド'リング' 機構が、Cd 陰極るつぼを仮置き台上のタ' に戻す。	30 s	

注) るつぼ反転機の機能については図 3-12(1/5)参照。

図 3-12 電極取り扱い装置 2(3/5)

NO	機器挙動		搬送ロボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
1.13	電極ハンドリング'が Cd 陰極るつぼ仮置き台上まで回転。(右図参照)	30 s		
1.14	電極ハンドリング'が Cd 陰極るつぼの入ったタ'の位置まで下降。	30 s		
1.15	電極に付属するサ' -トによりタ'を拘束。	30 s		
1.16	電極ハンドリング'が定位置まで上昇。	30 s		
1.17	電極ハンドリング'が定位置 (Cd 陰極カ' -取り外し位置直上) まで回転。	30 s		
1.18	電極ハンドリング'が Cd 陰極 1A に Cd 陰極カ' - 1A を取り付ける。	30 s	ロボットが Cd 陰極 1A を電極ハンドリング'から搬出。 ロボットが Cd 陰極 1B を電極ハンドリング'まで搬入。	

図 3-12 電極取り扱い装置 2(4/5)

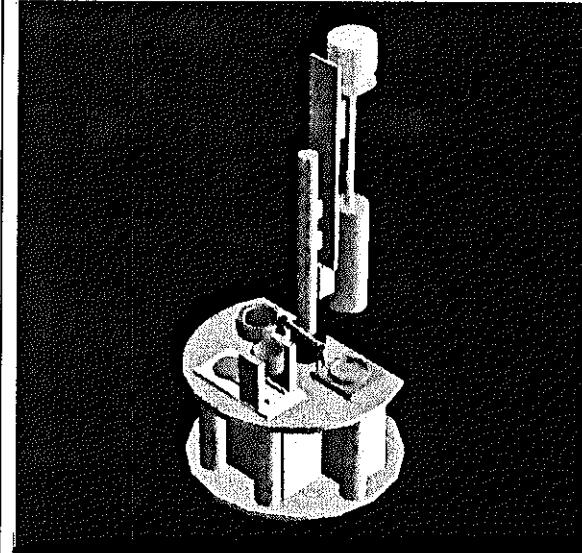
NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/速度		
2	Cd 陰極 1B からの析出物収容： 1と同様にして、Cd 陰極 1B から陰極るつぼ 1B を取り出し、反転して HM 析出物を HM 精製るつぼに収容する。	—	ロボットが Cd 陰極 1B を電極ハンドリングから搬出。  ロボットが Cd 陰極 1C を電極ハンドリングまで搬入。  ロボットが Cd 陰極 1C を電極ハンドリングから搬出。  ロボットが HM 精製るつぼ 1 を取り扱い装置 2 の HM 精製るつぼ台から搬出。	
3	Cd 陰極 1C からの析出物収容： 1と同様にして、Cd 陰極 1C から陰極るつぼ 1C を取り出し、反転して HM 析出物を HM 精製るつぼに収容する。右図参照。  (次のバッタ受け入れ態勢)	—	ロボットが HM 精製るつぼ 1 を取り扱い装置 2 の HM 精製るつぼ台に装着。	

図 3-12 電極取り扱い装置 2 (5/5)

**【機能】**

取り扱い装置 1 から来る U 析出物の収容された U 精製るつぼ 11, 12, 21, 22 を蒸留装置 1 および 2 に渡すまでの間保管とともに、蒸留装置 1 および 2 で精製処理を受け B1 組成調整装置に渡り空になって戻ってきた U 精製空るつぼ 11, 12, 21, 22 を取り扱い装置 1 に渡すまでの間保管する。  
(上記はるつぼ保管ラック 1 に関する機能であり、るつぼ保管ラック 2 は HM 精製るつぼの保管機能をもつ)

**【外形寸法】**

W : 約 1200mm  
H : 約 500mm  
D : 約 2200mm

機構挙動： なし

注) るつぼ番号については図 3.4 の蒸留工程機器構成参照。

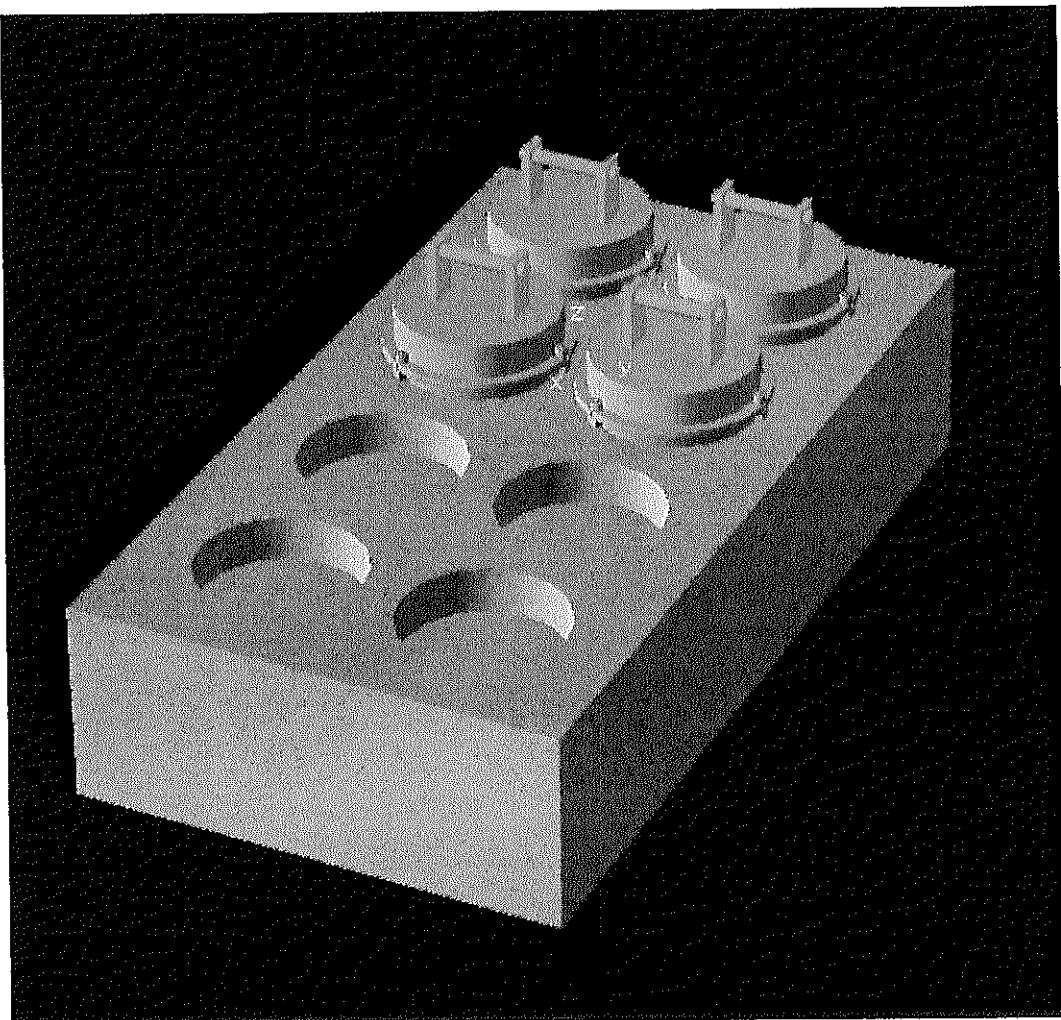


図 3-13 るつぼ保管ラック

**【機能】**

U析出物を蒸留精製する。具体的には  
U析出物の収容されたU精製るつぼ11  
(または12)を加熱炉に取り込み、蒸留  
精製してからるつぼを受け渡し位置まで  
移送する。  
(上記は蒸留装置1,2に関する機能。蒸留装置  
3,4はHM析出物を蒸留精製する。)

**【外形寸法】**

W: 約4400mm  
H: 約3600mm  
D: 約2600mm

注) るつぼ番号については図3.4の蒸留工程機器構成参照。

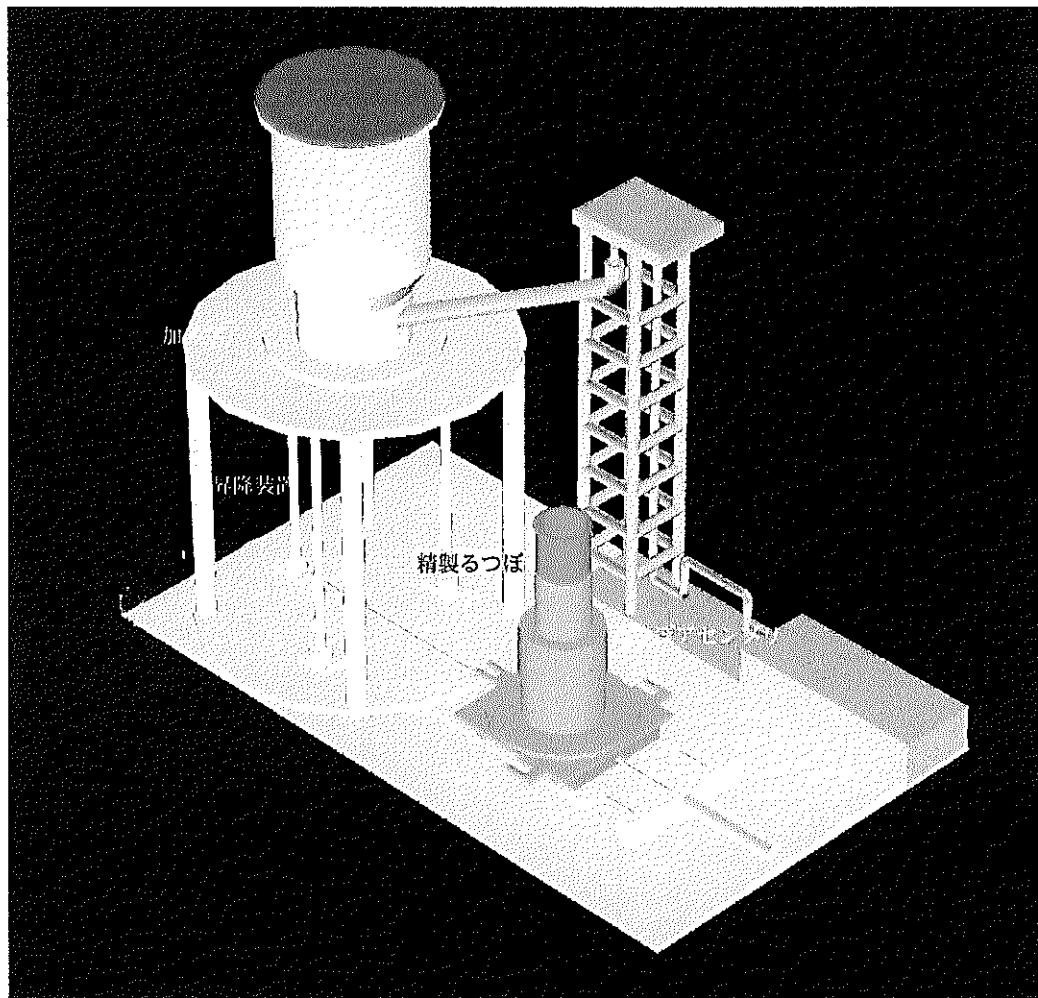


図3-14 蒸留装置 (1/3)

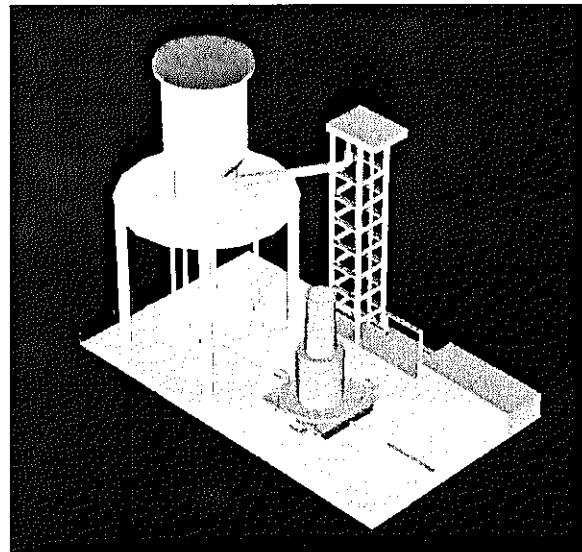
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1	<p>以下 U 蒸留精製を例にとり記述する。</p> <p>初期状態： U 精製るつぼ：未装着 右図参照。</p> <p>(U 精製るつぼがるつぼアセンブリに装着された)</p> <p>U 精製るつぼの加熱炉内収容： U 精製るつぼが装着されたるつぼアセンブリがレールを移動し、昇降装置で上昇し、るつぼが加熱炉に収容される。</p>	-	ボットが U 精製るつぼ 1 を蒸留装置 1 のるつぼアセンブリが台に装着。	
1.1	るつぼアセンブリがレールに沿って加熱炉の直下まで移動	30 s		
1.2	るつぼアセンブリが昇降装置によって加熱炉位置まで上昇。	30 s		
2	<p>U 蒸留精製： U 精製るつぼ内の塩を蒸発させて、U を精製する。</p>	12 H		

図 3-14 蒸留装置 (2/3)

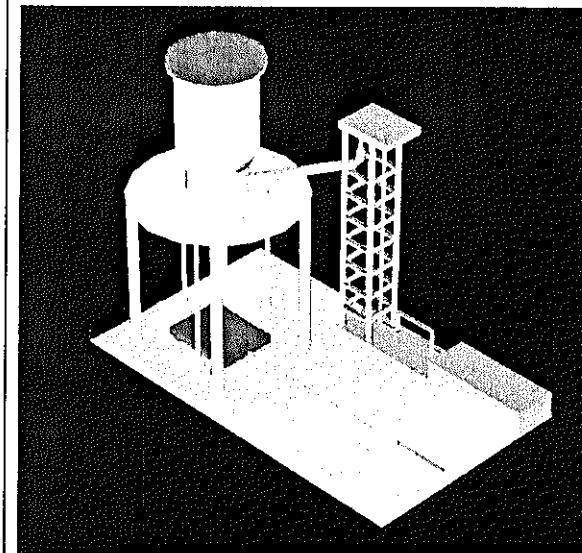
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
3	右図参照。  U 精製るつぼの加熱炉からの搬出： U 精製るつぼが装着されたるつぼアセンブリが昇降装置で下降レールを移動して初期位置に戻る。	—		
3.1	るつぼアセンブリが昇降装置によってレール位置まで下降。	30 s		
3.2	るつぼアセンブリがレールに沿って初期位置まで移動	30 s	ボットが精製 U の 収容された U 精製 るつぼ 1 を搬出 (B1 組成調整装置 へ 搬入する)	

図 3-14 蒸留装置 (3/3)

**【機能】**

プランケット燃料組成を調整する。具体的には(蒸留装置から出てきた) U精製るつぼのUと(組成調整装置保管の) Zrとを混ぜ、秤量・調整し、射出成型るつぼに組成調整されたプランケット燃料用原料を充填する。

**【外形寸法】**

W: 約 3900 mm

H: 約 2500 mm

D: 約 2200 mm

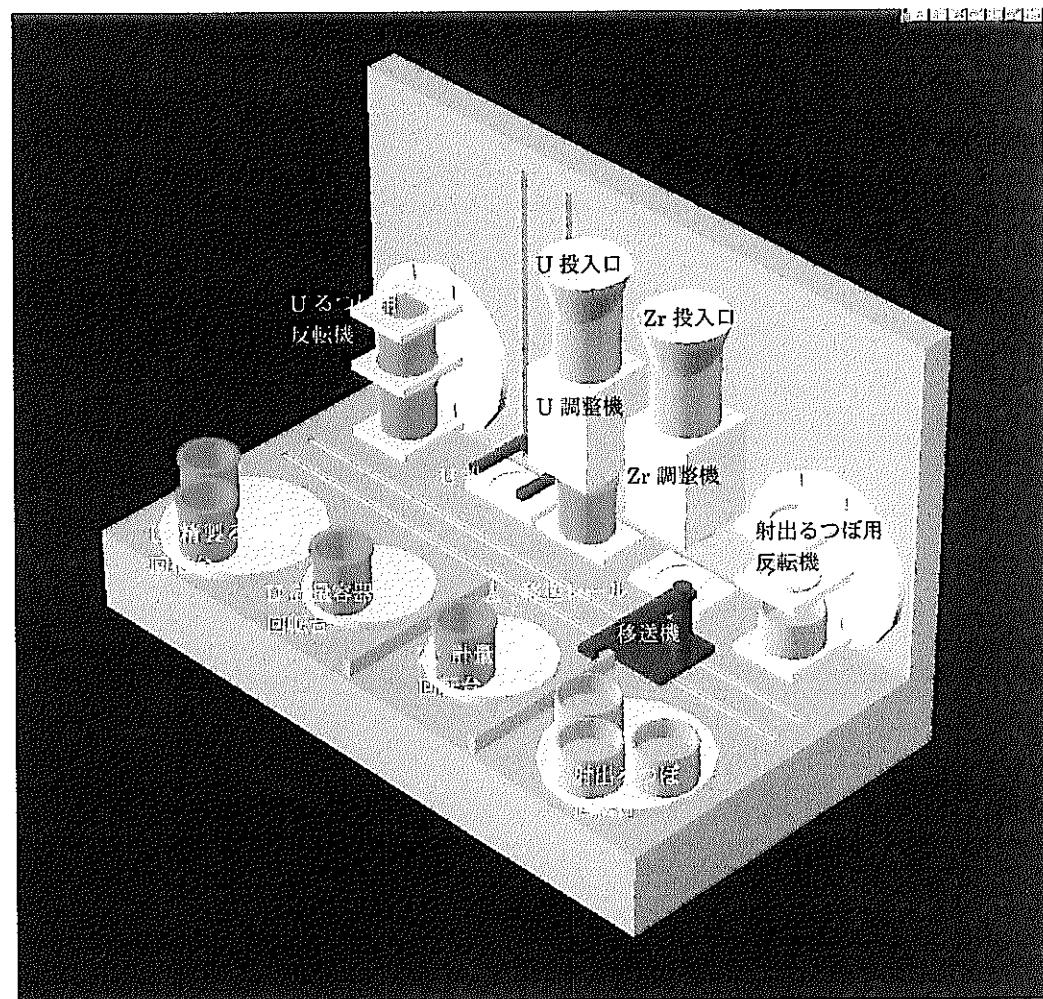


図 3-15 B1 組成調整装置 (1/9)

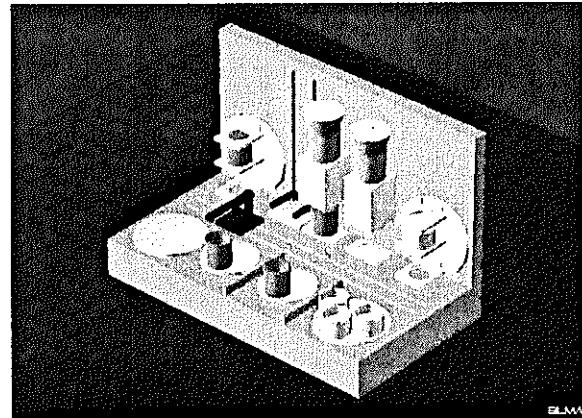
NO	機器挙動		搬送口ボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
	<p>初期状態：</p> <p>U 精製るつぼ： なし</p> <p>U 計量容器： 1 個： るつぼ回転台 1 個： 反転機(上)</p> <p>Zr 計量容器： 1 個： るつぼ回転台 1 個： U 調整機の下</p> <p>射出るつぼ(空)： 3 個： 回転台 1 個： 反転機(上)</p> <p>移送機： U るつぼハンドリング位置 右図参照。</p>		<p>ボットが(蒸留装置から)精製 U の収容された U 精製るつぼ(3 個)を搬入、U るつぼ回転台に装着。</p>	

図 3-15 BI 組成調整装置 (2/9)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1.	移送機が U るつぼを U 反転機にセットする。 (U 計量容器はすでにセットされている。)	—		
1.1	移送機が U るつぼを U 精製るつぼ回転台から取り上げ、反転機にセットする。	30 s		
2.	U 反転機が反転する。(U 計量容器が下に来る)	30 s		
3.	移送機が U 反転機の U 計量容器を取り出し、投入機にセットする。	30 s		
4.	投入機が U 計量容器を持ち上げ、U 投入口から内容物(精製 U)を投入し、下降する。 (Zr 計量容器がすでに U 調整機にセットされている)	—		
4.1	投入機が U るつぼを持ち上げる	30 s		
4.2	投入機が U るつぼを傾ける。 右図参照。	30 s		
4.3	投入機が下降する。	30 s		
5.	移送機が投入機から U 計量容器を取り上げ U るつぼ用反転機にセットする(もどす)。	30 s		

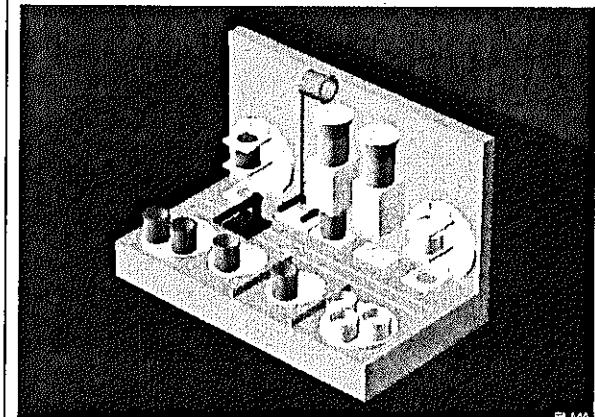


図 3-15 B1 組成調整装置(3/9)

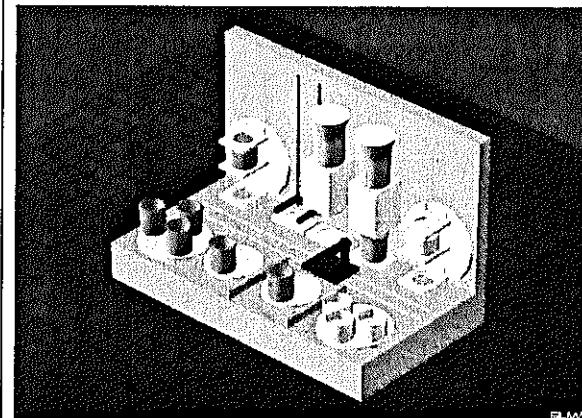
NO	機器挙動		搬送口ポット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
6.	U 反転機が反転する。(空 U るつぼが下に来る)	30 s		
7.	移送機が空の U るつぼを U るつぼ用回転台に戻す。	30 s		
8.	U るつぼ用回転台が 120 度か移転する。	30 s		
9.	U 調整機が下の計量容器に必要な量の U を収容する。	30 s		
10.	移送機が U 調整機の下の計量容器を Zr 調整機の下に移送する。	—		
10.1	移送機が計量容器をとりあげる。	30 s		
10.2	移送機が計量容器を Zr 調整機の下にセットする。  注) 移送機の移動速度。  右図参照。	30 s  10 cm/s		

図 3-15 Bl 組成調整装置 (4/9)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
11.	Zr 調整機が下の計量容器に必要量の Zr を収容する。	30 s		
12.	移送機が Zr 調整機の下の計量容器を射出るつぼ用反転機にセットする。	—		
12.1	移送機が Zr 調整機の下の計量容器を取り上げる。	30 s		
12.2	移送機が計量容器を射出るつぼ用反転機にセットする。  注) 移送機の移動速度。	30 s 10 cm/s		
13.	射出るつぼ用反転機が反転する。(射出るつぼが下に来る)。右図参照。	30 s		
14.	移送機が射出るつぼ用反転機から射出るつぼを取り出し、射出るつぼ回転台に移送する。	—		
14.1	移送機が射出るつぼを取り出す。	30 s		
14.2	移送機が射出るつぼを射出るつぼ回転台まで移送する。	30 s		

図 3-15 BI 組成調整装置 (5/9)

NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/速度		
15.	注) 移送機の移動速度。  射出るつぼ回転台が 90 度回転する。(空の射出るつぼが、移送機のハンドリング範囲に入る)	10 cm/s	30 s	
16.	移送機が空の射出るつぼを射出るつぼ回転台から取り上げ、射出るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
17.	射出るつぼ用反転機が反転(空の計量容器が下に来る)	30 s	—	
18.	移送機が、空の計量容器を、U 調整機の下まで移送する。	—		
18.1	移送機が射出るつぼ反転機から計量容器を取り上げる。	30 s		
18.2	移送機が計量容器を U 調整機の下にセットする。  注) 移送機の移動速度。  右図参照。	30 s  10 cm/s		

図 3-15 B1 組成調整装置 (6/9)

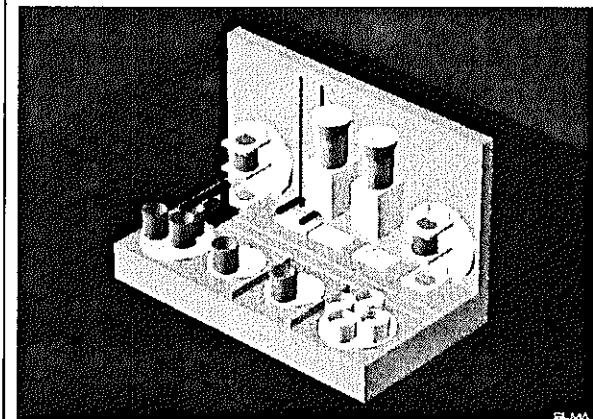
NO	機器挙動		搬送ロボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
19.	移送機が U るつぼハンド・リング 位置まで移動する。	10 cm/s	—	
20.	1.から 19.までの動作をさらに 2 回行う。 (3 個の U 精製るつぼ内の U は、全て U 調整 機へ投入されて、空となったるつぼは回転台 の上で当初の配置で並んでいる。射出るつぼ は 4 個のうち 3 個が充填されており、残りの つぼ（空）は、反転機の上部にセットされて いる。)	—	—	
21.	9.から 14.までの動作を行う。(4 個の射出 るつぼは全て充填されて回転台上にある)  右図参照。	—	—	

図 3-15 BI 組成調整装置 (7/9)

NO	機器挙動		搬送ロボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
	右図参照。		<p>ロボットが U 精製るつぼ回転台から(るつぼ保管ラック 1 に)3 個の空の U 精製るつぼを搬出する。</p> <p>ロボットが射出るつぼ回転台から(射出装置 1&amp;2 へ)2 個の充填射出るつぼを搬出する。(1 パッチ目)</p> <p>ロボットが(射出装置 1&amp;2 から)2 個の空の射出るつぼを搬入する。(1 パッチ目)</p> <p>ロボットが 2 パッチ目の動作をする。</p>	

図 3-15 BI 組成調整装置 (8/9)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
22.	移送機が射出るつぼハンドリング位置に移動する。	10 cm/s		
23.	移送機が空の射出るつぼを射出るつぼ回転台から取り上げ、射出るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
24.	射出るつぼ用反転機が反転する(空の射出るつぼが上に来る)	30 s		
25.	移送機が、空の計量容器を、U調整機の下まで移送する。  移送機が射出るつぼ反転機から計量容器を取り上げる。  移送機が計量容器をU調整機の下にセットする。  注) 移送機の移動速度。	—  30 s  30 s  10 cm/s		
26.	移送機がUるつぼハンドリング位置まで戻る。  右図参照。	10 cm/s		

図 3-15 BI 組成調整装置 (9/9)

**【機能】**

炉心燃料の組成を調整する。具体的には(蒸留装置から出てきた) HM 精製るつぼのインゴットと(蒸留装置から出てきた) U 精製るつぼの U と(組成調整装置保管の) Zr とを混ぜ、秤量・調整し、射出成型るつぼに組成調整された炉心燃料の原料を充填する。

**【外形寸法】**

W : 約 4900 mm

H : 約 2500 mm

D : 約 2200 mm

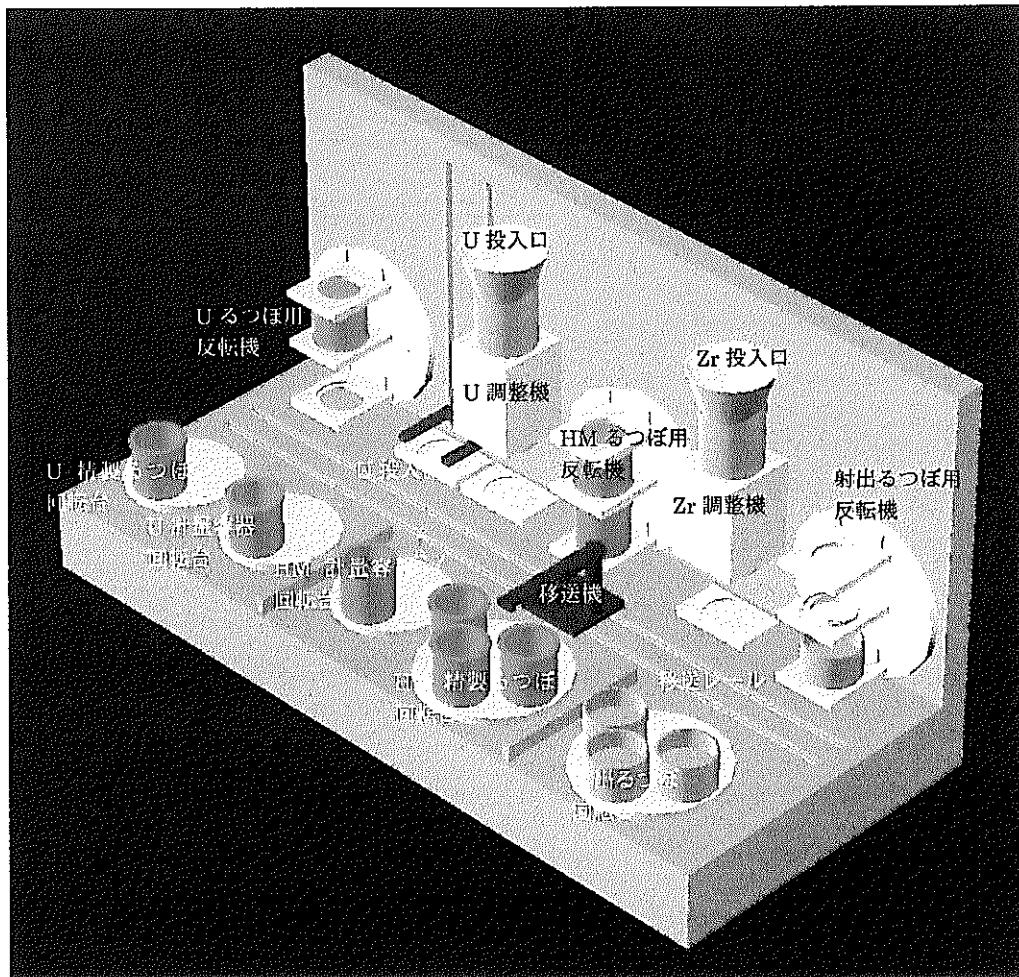


図 3-16 C 組成調整装置 (1/10)

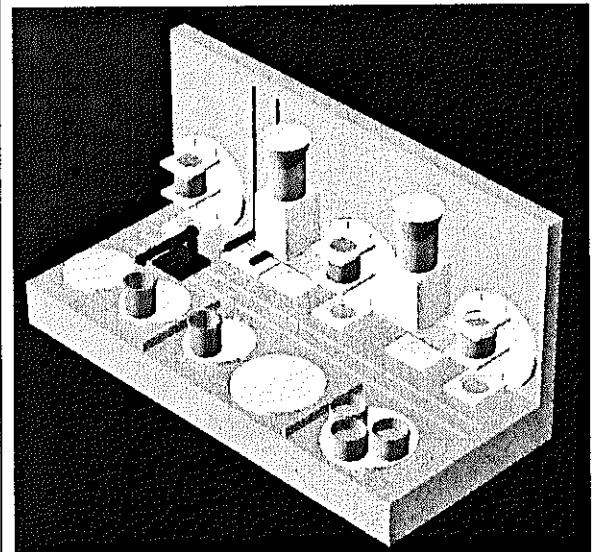
NO	機器挙動		搬送口ボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
	<p>初期状態：</p> <p>U 精製るつぼ：なし      HM 精製るつぼ：なし      U 計量容器：1個：るつぼ回転台          1個：反転機(上)      HM 計量容器：1個：るつぼ回転台          1個：反転機(上)      射出るつぼ(空)：3個：回転台          1個：反転機(上)      移送機：U るつぼハンドリング位置          右図参照。</p>		<p>ボットが(蒸留装置から)精製 U の収容された U 精製るつぼ(1個)を搬入、U るつぼ回転台に装着。</p> <p>ボットが(蒸留装置から)精製 HM の収容された HM 精製るつぼ(4個)を搬入、U るつぼ回転台に装着。</p>	

図 3-16 C 組成調整装置 (2/10)

NO	機器挙動		搬送口ポット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1.	移送機が U るつぼを U 反転機にセットする。	—		
1.1	移送機が U るつぼを U 精製るつぼ回転台から取り上げ、反転機にセットする。	30 s		
2.	U 反転機が反転する。(U 計量容器が下に来る)	30 s		
3.	移送機が U 反転機の U 計量容器を取り出し、投入機にセットする。	30 s		
4.	U 反転機が反転する。(空 U るつぼが下に来る)	30 s		
5.	移送機が空の U るつぼを U るつぼ用回転台に戻す。	30 s		
6.	移送機が HM るつぼハンド'リング'位置に移動する。	10 cm/s		
7.	移送機が HM 精製るつぼを HM 精製るつぼ回転台(の最寄り位置)から HM 精製るつぼを取り上げ、HM るつぼ用反転機にセットする。右図参照。	30 s		

図 3-16 C 組成調整装置 (3/10)

NO	機器挙動		搬送口ボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
8.	HM 反転機が反転する。(HM 計量容器が下に来る)	30 s		
9.	移送機が HM 反転機の HM 計量容器を取り出し、U 調整機の下にセットする。	30 s		
10.	投入機が U 計量容器を持ち上げ、U 投入口から内容物(精製 U)を投入し、下降する。	—		
10.1	投入機が U るつぼを持ち上げる	30 s		
10.2	投入機が U るつぼを傾ける。 右図参照。	30 s		
10.3	投入機が U るつぼの傾きを戻す。	30 s		
10.4	投入機が下降する。	30 s		

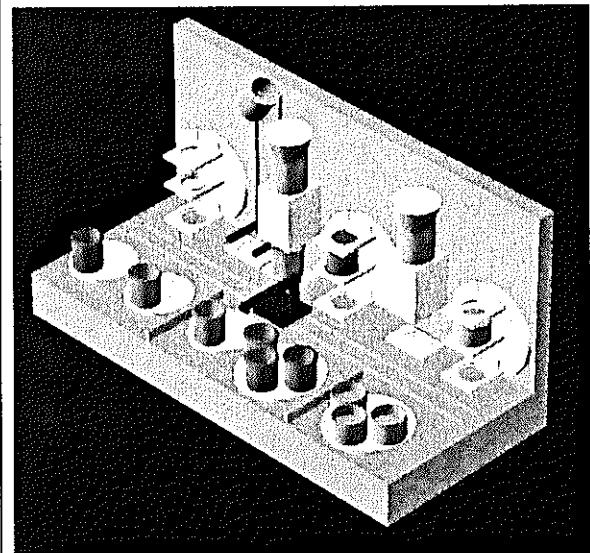


図 3-16 C 組成調整装置 (4/10)

NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
11.	U調整機から精製U(1/4分)がHM計量容器に投入される。	30 s		
12.	HMるつぼ用反転機が反転する。(空のHM精製るつぼが下に来る)	30 s		
13.	移送機がHM精製るつぼをHMるつぼ用反転機から取り出し、HM精製るつぼ回転台にセットする。	30 s		
14.	HM精製るつぼ回転台が90度回転する。(充填るつぼがハンド'リング'範囲内に入る)。右図参照。	30 s		
15.	移送機がHM計量容器をU調整機位置からZr調整機の下まで移送する。	—		
15.1	移送機がHM計量容器をU調整機位置から取り上げる。	30 s		
15.2	移送機が射出るつぼハンド'リング'位置まで移動する。	10 cm/s		
15.3	移動機がHM計量容器をZr調整機の下にセットする。	30 s		

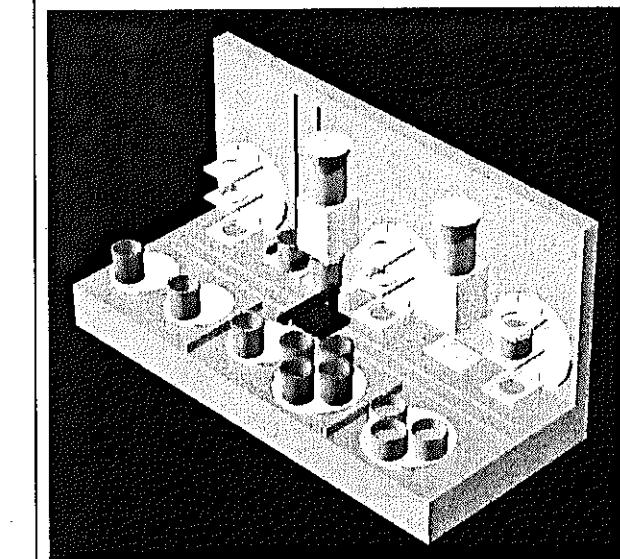


図 3-16 C 組成調整装置 (5/10)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
16.	Zr 調整機から Zr が HM 計量容器に投入される。	30 s		
17.	移送機が HM 計量容器を射出るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
18.	射出るつぼ用反転機が反転する。(射出るつぼが下に来る)。右図参照。	30 s		
19.	移送機が射出るつぼを射出るつぼ用反転機から取り出し、射出るつぼ回転台まで移送する。	30 s		
20.	射出るつぼ回転台が 90 度回転する。(空の射出るつぼが、移送機のハンドリング範囲に入る)	30 s		
21.	移送機が空の射出るつぼを射出るつぼ回転台から取り上げ、射出るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
22.	射出るつぼ用反転機が反転する。(空の HM 精製るつぼが下に来る)	30 s		

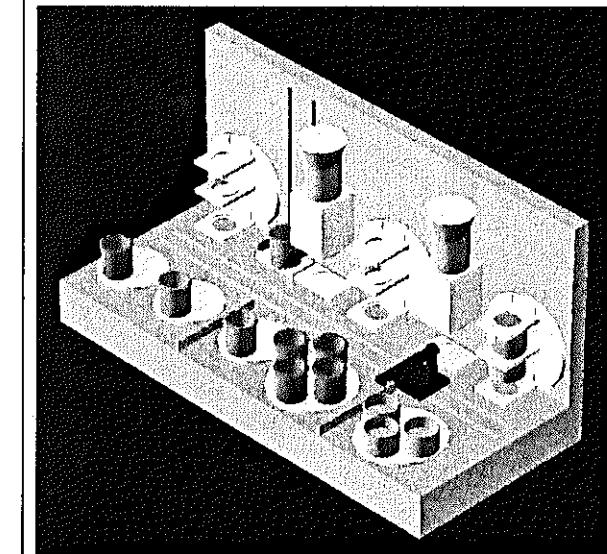


図 3-16 C 組成調整装置 (6/10)

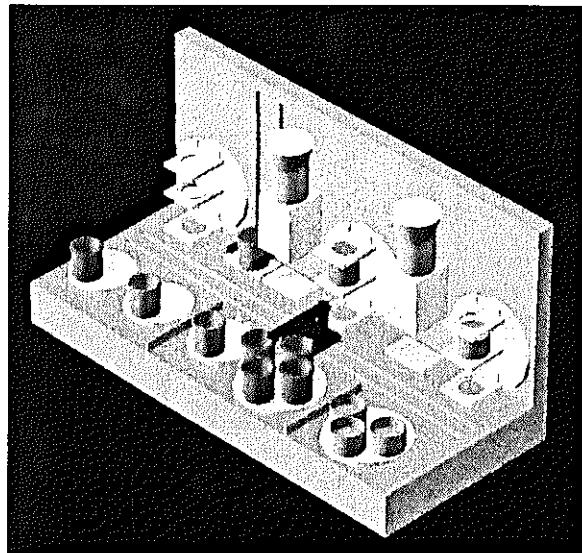
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/速度		
23.	移送機が、空の HM 計量容器を、射出るつぼ用反転機から取り出し、HM 精製るつぼ反転機にセットする。	—		
23.1	移送機が HM 計量容器を射出るつぼ用反転機から取り上出す。	30 s		
23.2	移送機が HM るつぼハンドリング位置まで移動する。	30 s		
23.3	移動機が HM 計量容器を HM るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
24.	HM るつぼ用反転機が反転する (HM 計量容器が上に行く)。右図参照。	30 s		
25.	7.項から 24.項までの手順 (但し 10.項は除く) を 2 回、繰り返す。(HM 精製るつぼ回転台上のるつぼは手前 3 個が空。射出るつぼ回転台上のるつぼは 3 個とも充填)	—		

図 3-16 C 組成調整装置 (7/10)

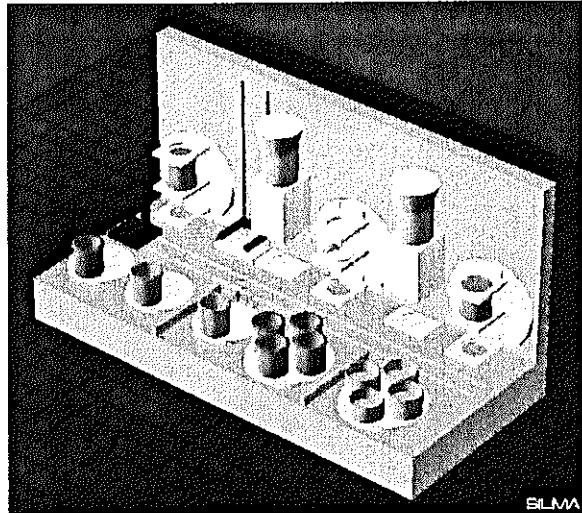
NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/速度		
26.	7.項から 20.項までの手順を行う（但し 10.項は除く）。 (HM 精製るつぼ回転台上のるつぼは 4 個全てが空。並びは吐'ットによる搬入時と同じ配列。射出るつぼ回転台上のるつぼは 4 個全て充填。並びは吐'ットによる搬入時と同じ)。	—		
27.	移送機が U るつぼハンド'リング' 位置まで移動する。	10 cm/s		
28.	移送機が U 投入機にある U 計量容器を取り上げ、U るつぼ用反転機に取り付ける。	30 s		
29.	反転機が反転する。(U 計量容器が上に来る) 右図参照。	30 s		

図 3-16 C 組成調整装置 (8/10)

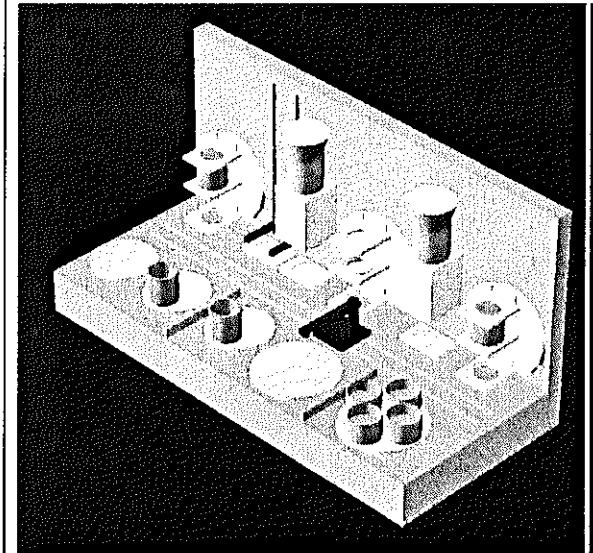
NO	機器挙動		搬送口ボット 動作	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度		
	右図参照。		<p>ボットが U 精製るつぼ回転台から(るつぼ保管ラック 1 に)1 個の空の U 精製るつぼを搬出する。</p> <p>ボットが HM 精製るつぼ回転台から(るつぼ保管ラック 2 に)4 個の HM 精製るつぼを搬出する。</p> <p>ボットが射出るつぼ回転台から(射出装置 3&amp;4 へ)2 個の充填射出るつぼを搬出する。(1 パッチ目)</p> <p>ボットが(射出装置 3&amp;4 から)2 個の空の射出るつぼを搬入する。(1 パッチ目)</p> <p>ロボットが 2 パッチ目の動作をする。</p>	

図 3-16 C 組成調整装置 (9/10)

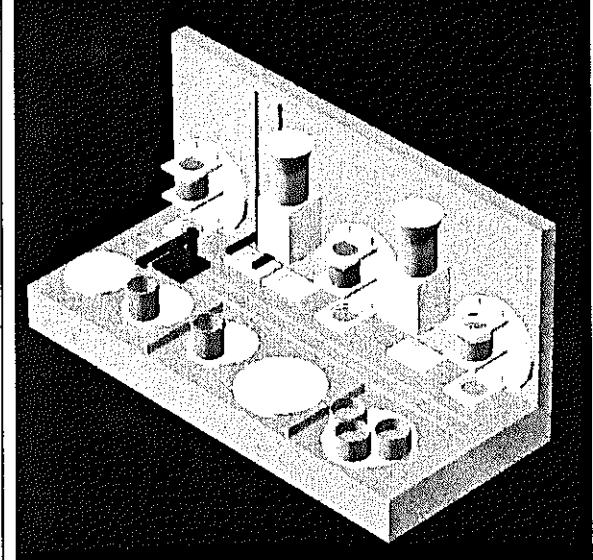
NO	機器挙動		搬送口ボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
30.	移送機が射出るつぼハンド'リング'位置に移動する。	10 cm/s		
31.	移送機が空の射出るつぼを射出るつぼ回転台から取り上げ、射出るつぼ用反転機にセットする。	30 s		
32.	射出るつぼ用反転機が反転する(空の射出るつぼが上に来る)	10 cm/s		
33.	移送機が、空のHM計量容器を、射出るつぼ用反転機から取り出し、HM精製るつぼ反転機にセットする。	—		
33.1	移送機がHM計量容器を射出るつぼ用反転機から取り上出す。	30 s		
33.2	移送機がHMるつぼハンド'リング'位置まで移動する。	10 cm/s		
33.3	移送機がHM計量容器をHMるつぼ用反転機にセットする。	30 s		
34.	HMるつぼ用反転機が反転する(HM計量容器が上に行く)。右図参照。			

図 3-16 C 組成調整装置 (10/10)

【機能】

射出成型装置 1 および 2 で充填されるべき空モールドを一時保管する。

(上記は空モールド保管ラック 1 の機能。

空モールド保管ラック 2 は射出成型装置 3 及び 4 に関する機能。)

【外形寸法】

W : 約 1300mm

H : 約 2500mm

D : 約 2000mm

機構挙動： なし

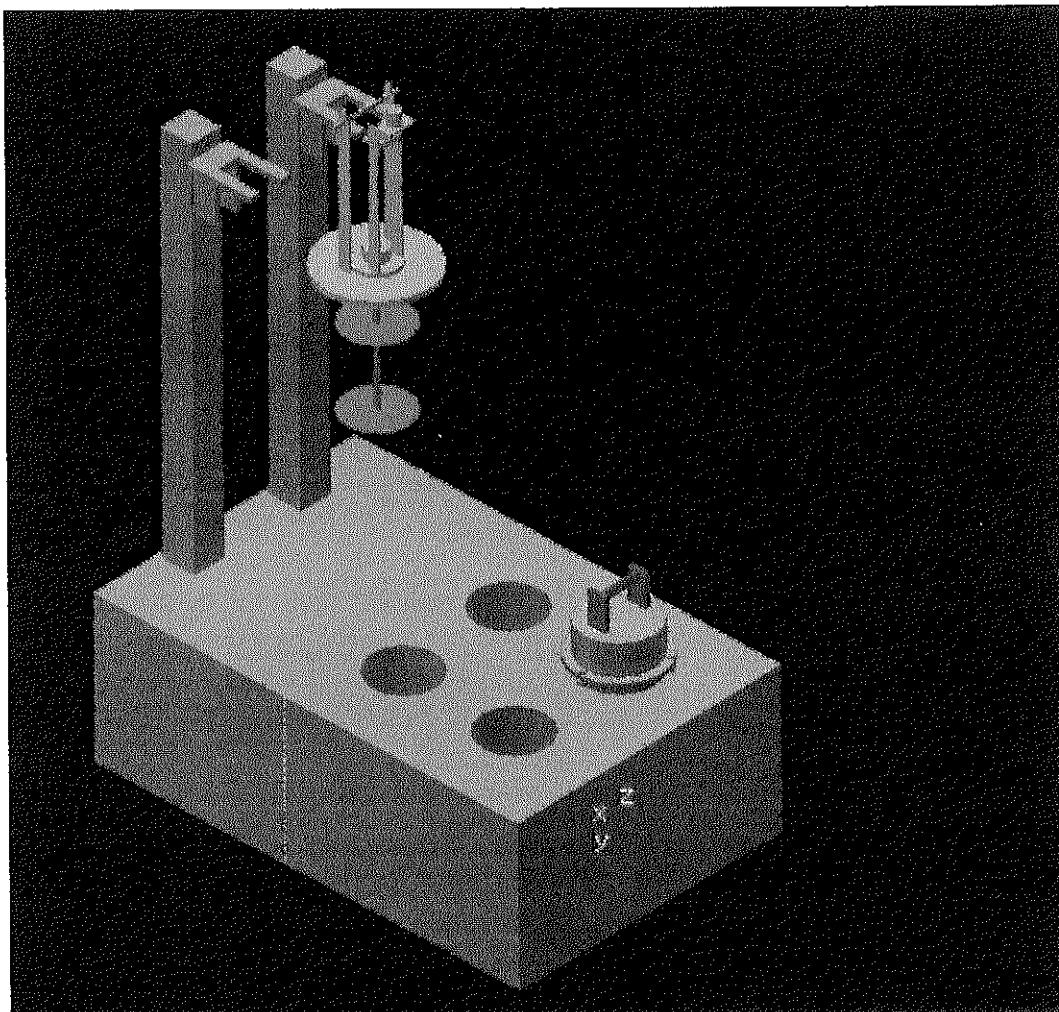


図 3-17 空モールド保管ラック

**【機能】**

アランカット燃料を成型する。具体的にはボットによって定位置に装填された U 成型るつぼ内の組成・重量調整された燃料を空モールドに射出成型する。

(上記は射出成型装置 1 及び 2 の機能。

射出成型装置 3 及び 4 は炉心燃料を成型する機能を有する。)

**【外形寸法】**

W : 約 2800mm

H : 約 2300mm

D : 約 3000mm

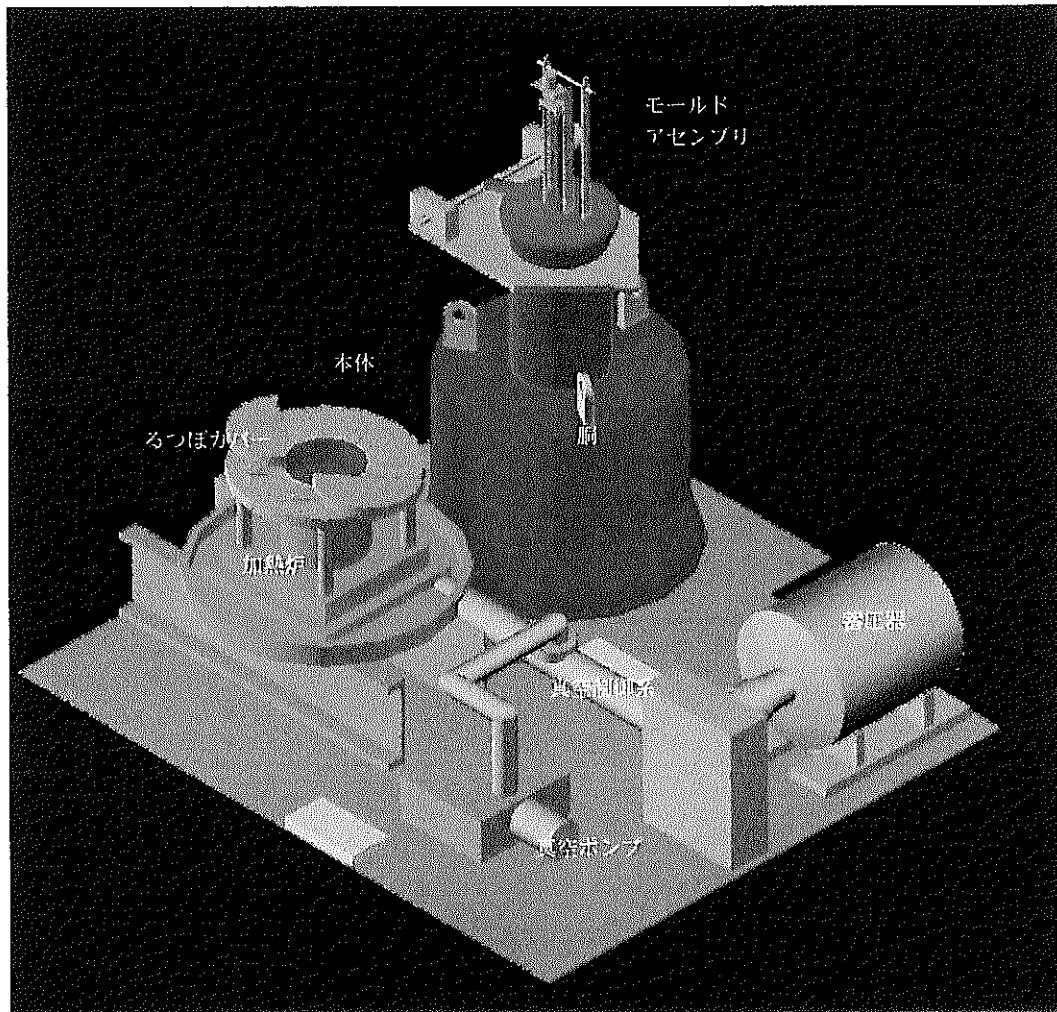


図 3-18 射出成型装置(1/4)

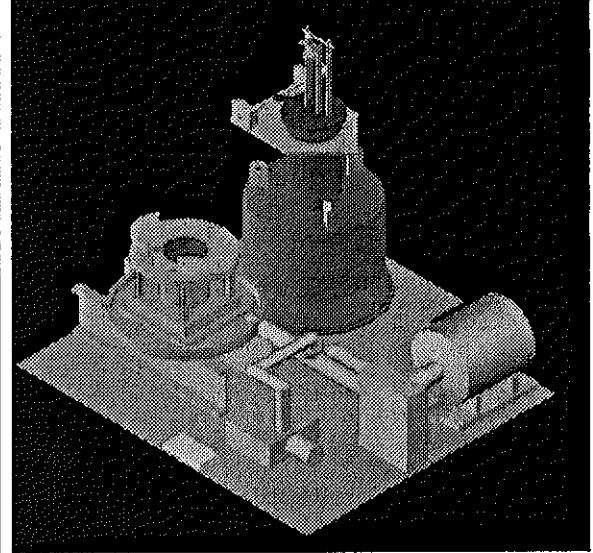
NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1	初期状態： 空モルト：胴部に装着 U成型るつぼ：未装着 本体胴部：仮置き位置  るつぼ挿入部のシャッターが開く  右図参照。	30 s	ボットがU成型るつぼを射出成型装置のるつぼ挿入部付近に搬送  (何らかの射出装置側メカとの協力によって)U成型るつぼを射出成型装置に挿入	
2	るつぼ挿入部のシャッターが閉じる	30 s	ボットが仮置きからモルトの付いた胴部を移送、本体にセットする。	
3	射出成型装置本体が胴部を固定	30 s		
4	射出成型	12 H		

図 3-18 射出成型装置 (2/4)

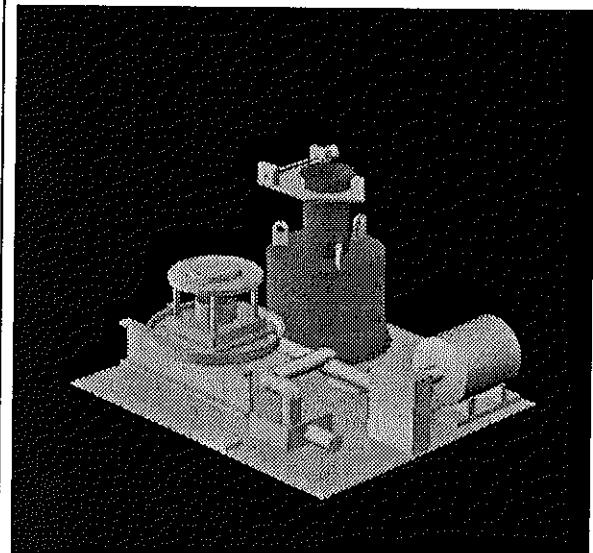
NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
5	射出成型装置本体が胴部の固定を解除	30 s	ロボットがモールドの付いた本体胴部を外し、胴仮置き位置まで移送する。	
6	胴部がモールドパレットの拘束を解除  右図参照。	30 s	ロボットが充填モールドを胴部から取り出し、モールド保管ラックへ移送	
7	胴部が空モールドパレットを固定	30 s	ロボットが空モールドを空モールド保管ラックから取り出し、仮置きにある本体胴部にセットする。	

図 3-18 射出成型装置 (3/4)

NO	機器挙動		搬送ロボット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
8	は挿入部のシャッターが開く	30 s	ロボットが射出成型装置内の空の射出るつぼを取り出し、Bl組成調整装置の射出るつぼ回転台に移送	
9	るつぼ挿入部のシャッターが閉じる  右図参照。	30 s		

図 3-18 射出成型装置 (4/4)

【機能】

射出成型装置 1 および 2 で充填されたモールドをピンプロセッサの処理までの間保管する。(上記はモールド保管ラック 1 の機能。モールド保管ラック 2 は射出成型装置 3 及び 4 に関する機能。)

【外形寸法】

W : 約 1300mm

H : 約 2500mm

D : 約 1500mm

機構挙動： なし

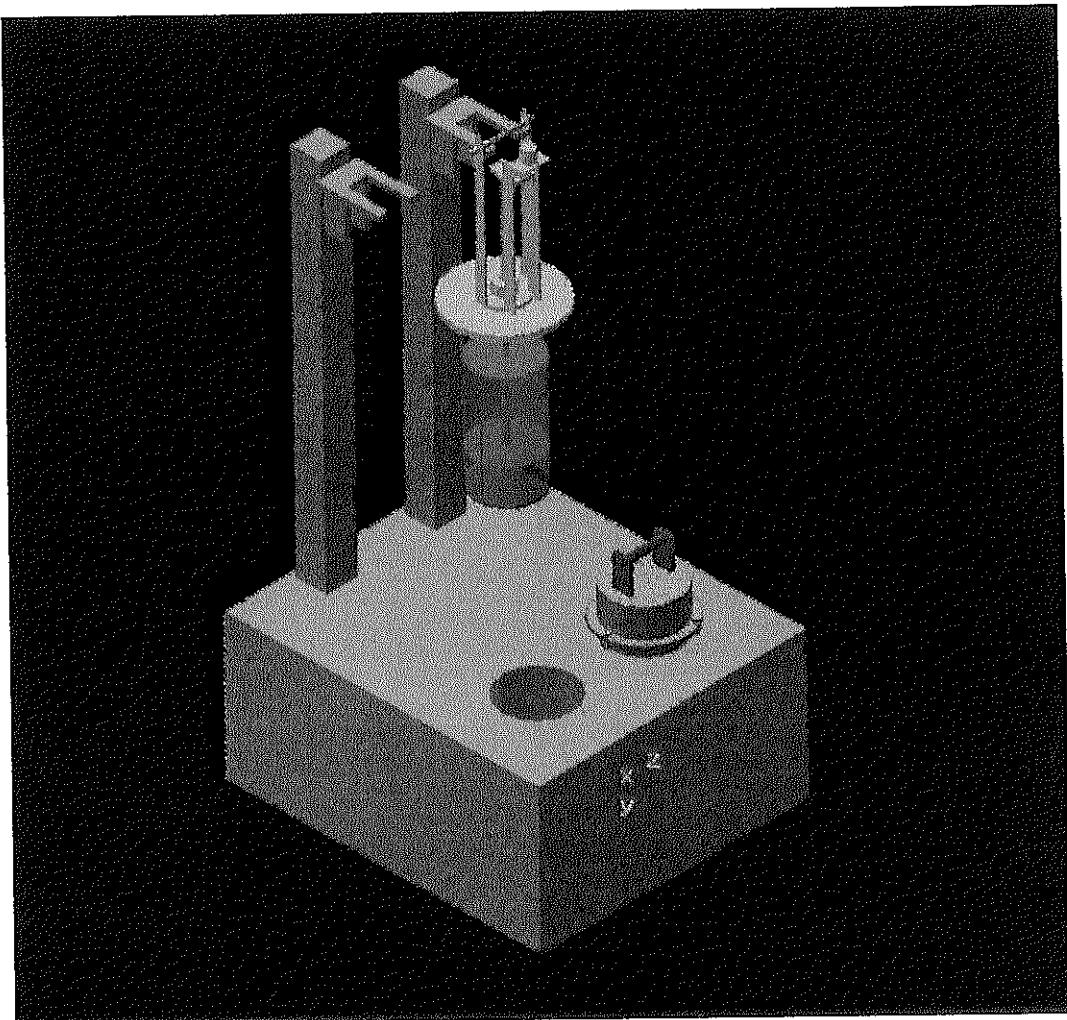


図 3-19 モールド保管ラック

**【機能】**

ブランケット燃料を製造する。具体的には吐出機によって搬入された Uモールドマガジンを受け取り、脱モールドし、定尺切断、検査したのち被覆管に充填し端部を溶接密閉する。  
(上記はピンプロセッサ 1 の機能。ピンプロセッサ 2 は炉心燃料を製造する機能を有する。)

**【外形寸法】**

W: 約 6700mm

H: 約 2300mm

D: 約 3200mm

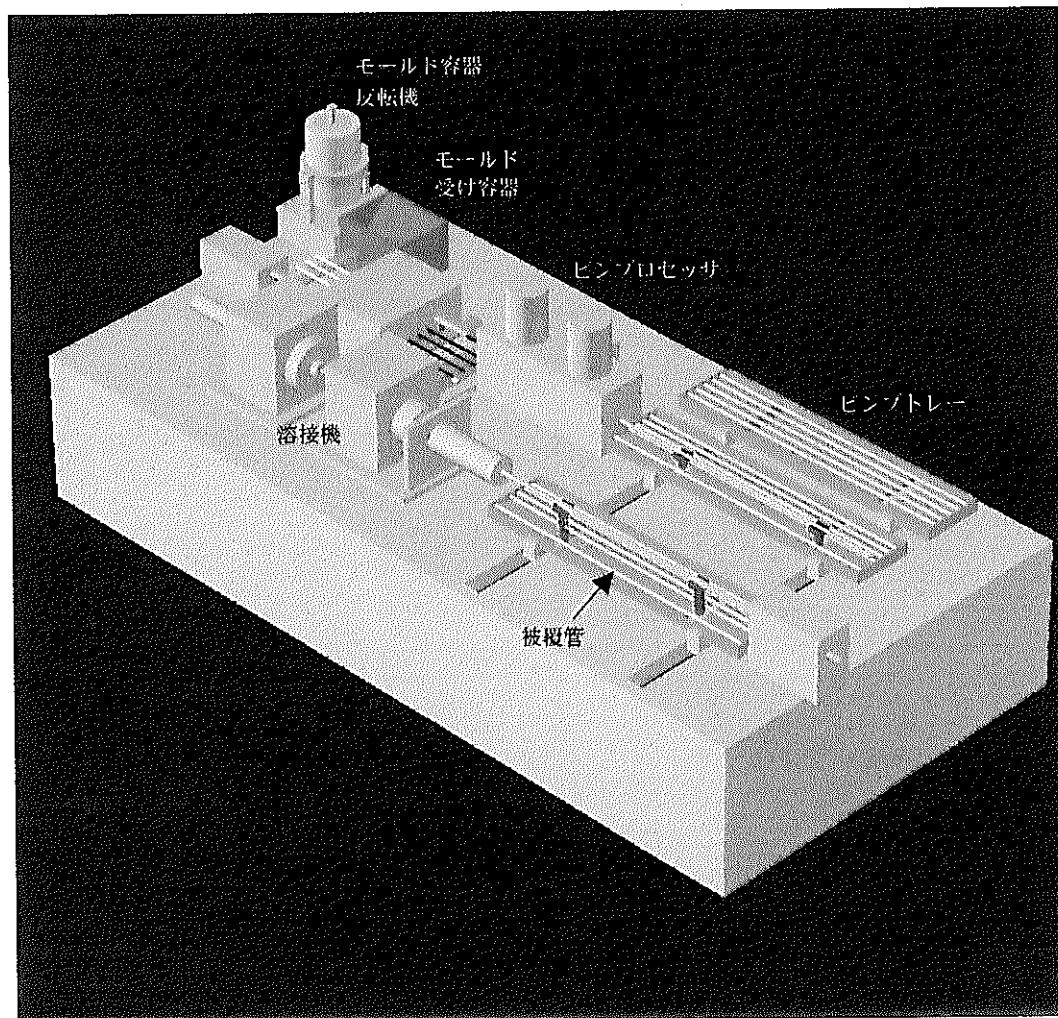


図 3-20 ピンプロセッサ(加工工程) (1/2)

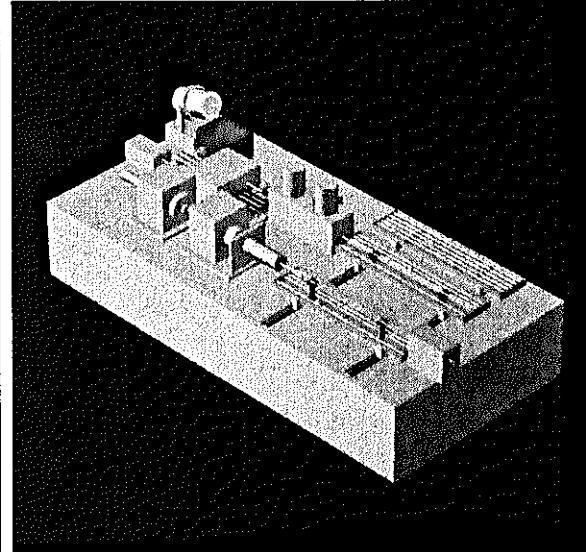
NO	機器挙動		搬送口ポット動作	概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度		
1.	モールド容器反転機が反転して、モールドを容器に入れる。右図参照。	30 s	ポットが充填されたモールドをモールド保管ラックから取り出し、モールド容器反転機にセット。	
2.	モールドを脱モールドモジュールに搬送する。	2. 及び 3.を 6H 続行 する。		
3.	被覆管に入ったモールドを溶接する。			

図 3-20 ピンプロセッサ(加工工程) (2/2)

【機能】

電解装置に挿入され、電解される。

【外形寸法】

W：約 300mm

H：約 2300mm

D：約 300mm

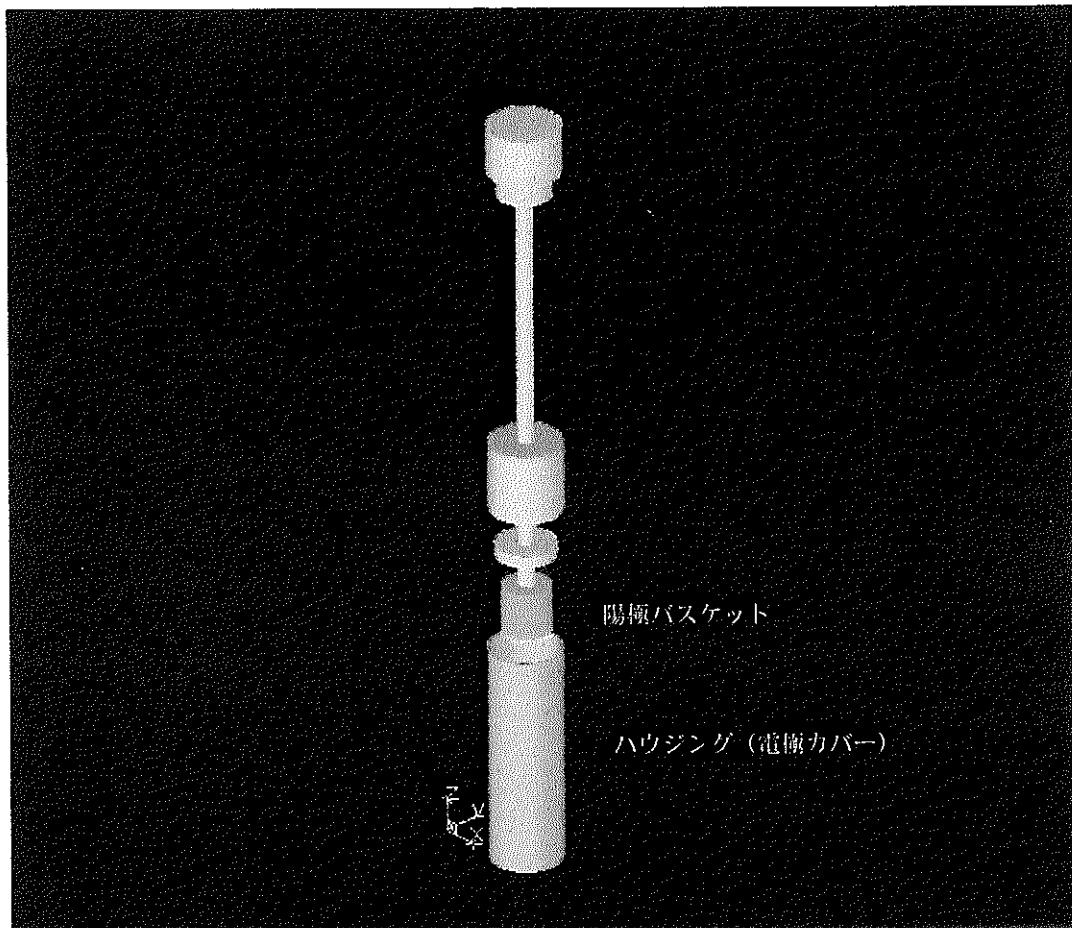


図 3-21 陽極

【機能】

電解装置に挿入され、ウランを析出する。

【外形寸法】

W：約 300mm

H：約 2300mm

D：約 300mm

機構挙動： なし

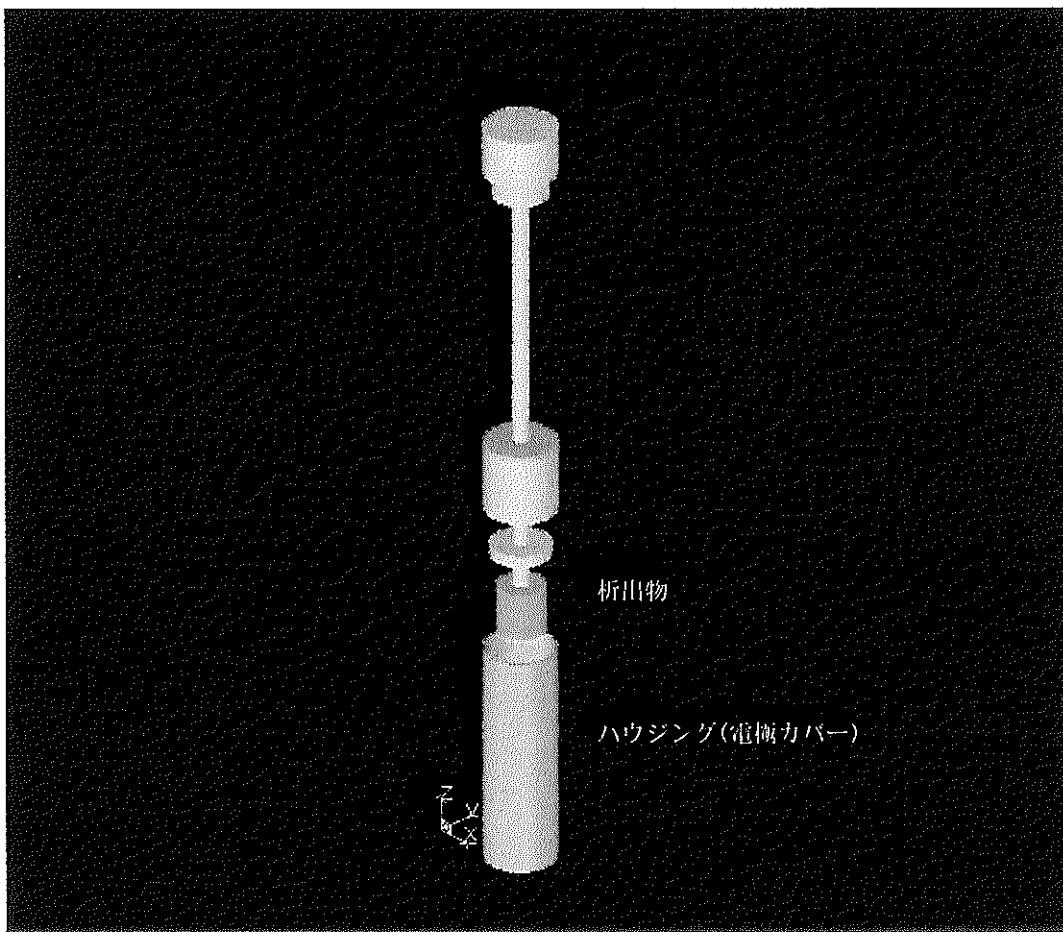


図 3-22 固体陰極

【機能】

電解装置に挿入され、HM を析出する。

【外形寸法】

W：約 300mm

H：約 2300mm

D：約 300mm

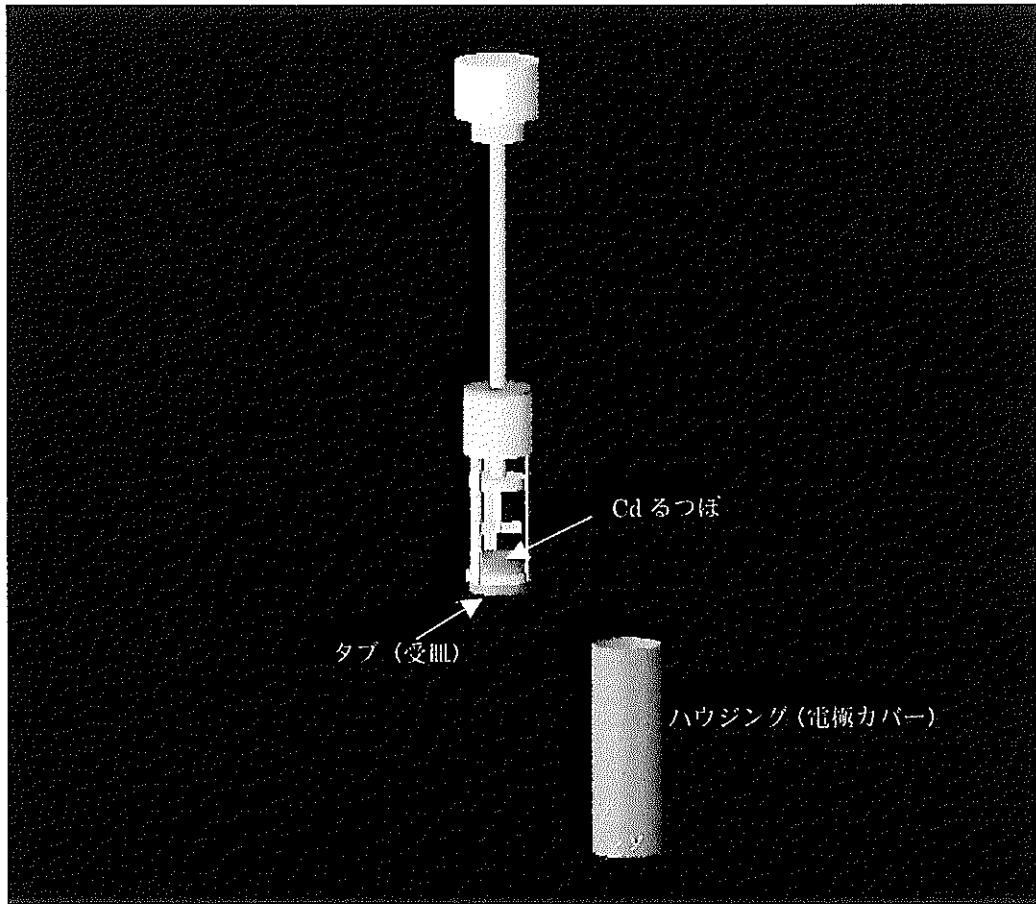


図 3-23 Cd 電極

【機能】

HM 又は U の精製物を収容する  
蒸留装置用るつぼ。

【外形寸法】

Φ : 約 300mm  
H : 約 300mm

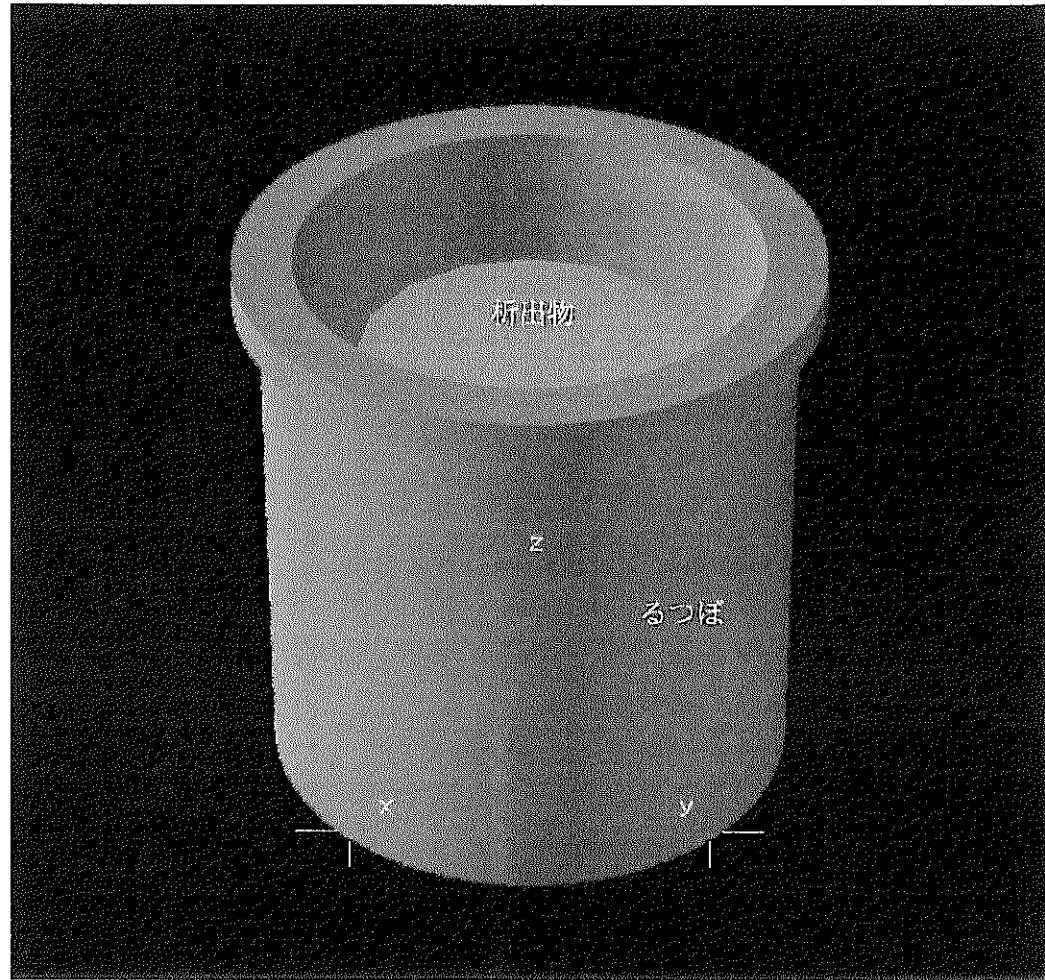


図 3-24 HM,U 精製るつぼ

【機能】

炉心又はブランケット燃料の原料を収容する  
射出成型装置用るつぼ。

【外形寸法】

Φ：約 300mm

H：約 300mm

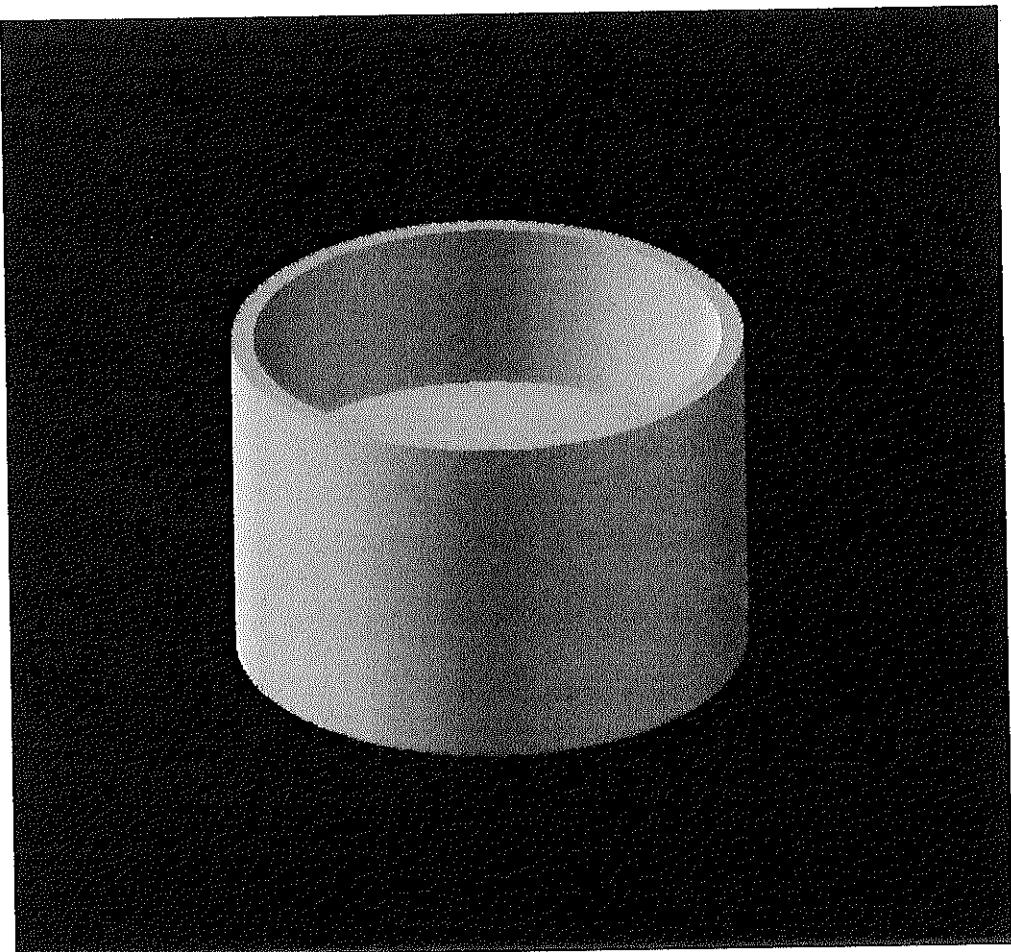


図 3-25 C,Bl 射出るつぼ

【機能】

炉心燃料又はブランケット燃料を成型するためのガラス管の集合。

【外形寸法】

W : 約 500mm

H : 約 1500mm

D : 約 500mm

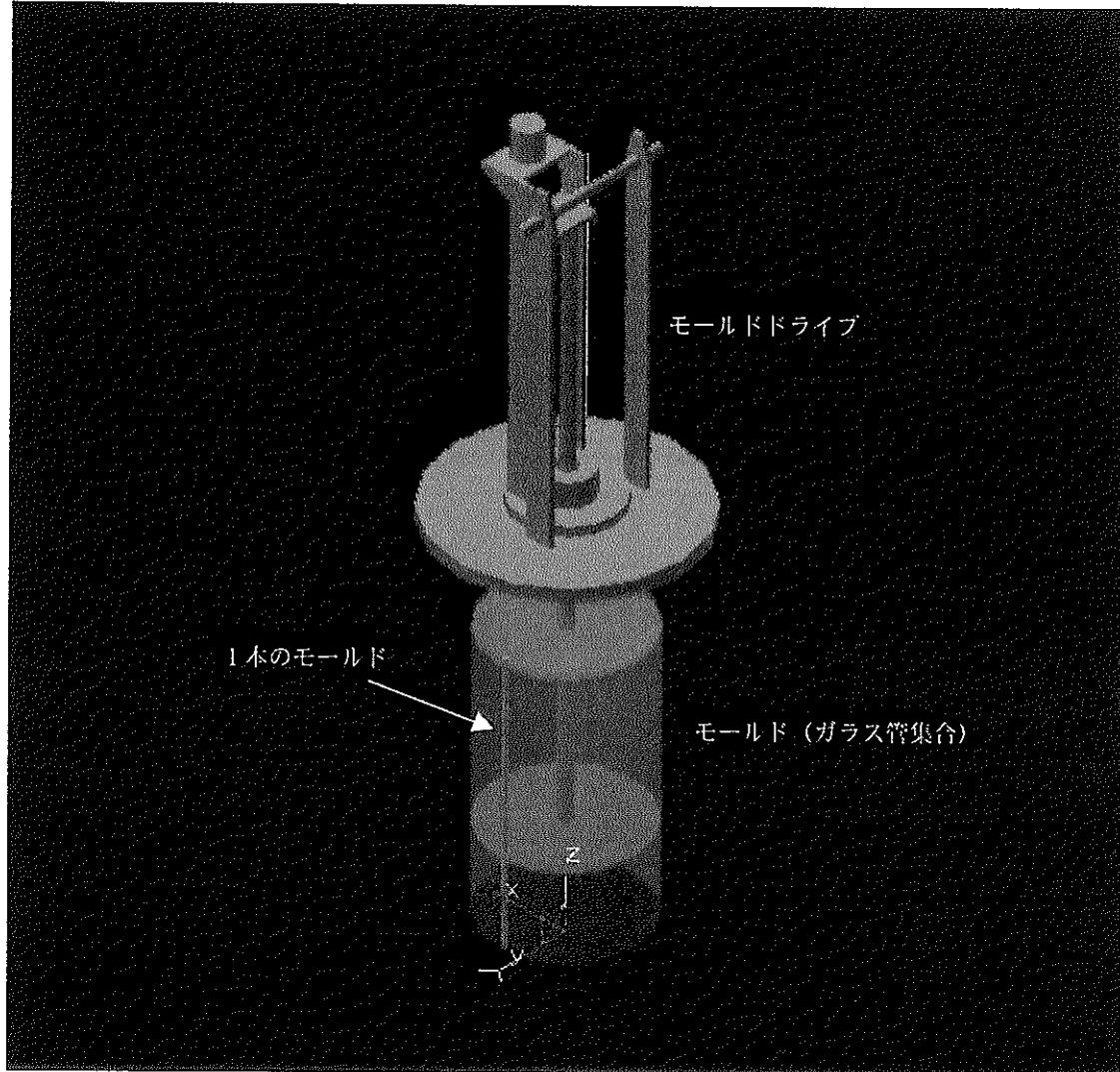


図 3-26 C,BI モールド

## 【機能】

工程機器間のモノの移送を行う。モノとしては、陽極、固体陰極、Cd 陰極、HM 精製るつば、U 精製るつば、C 射出るつば、BL 射出るつば、C モールド、B1 モールド、射出成型装置胴を対象とする。

## 【外形寸法】

レール： 長さ：約 60m

幅：約 7600mm

ブリッジ： W：約 2000mm

H：約 400mm

D：約 8000mm

キャリッジ： W：約 1600mm

H：約 100mm

D：約 1600mm

テレスコープ伸縮長：約 3200mm

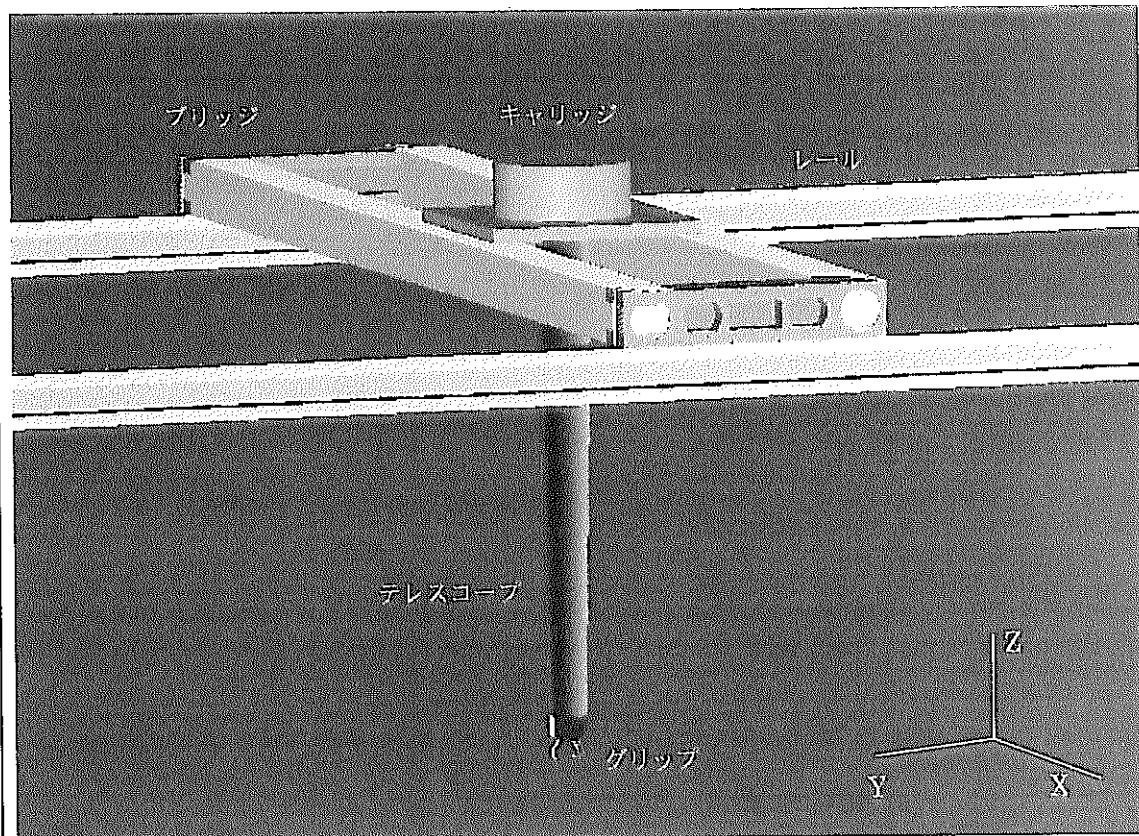
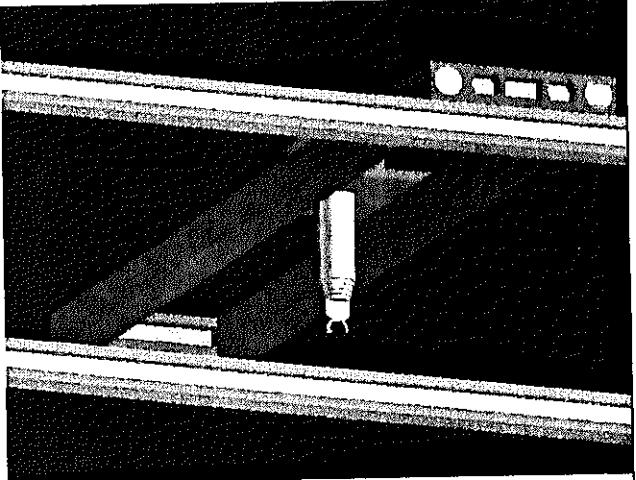


図 3-27 ハンドリングロボット (1/3)

NO	ロボット挙動		移送優先順位 決定ロジック	概要図
	挙動記述	所要 時間/ 速度/ 加速度		
1.	初期状態： プリッジ位置：レール端（電解装置側） キャリッジ位置：プリッジ中央 テレスコープ：最上点（最短） グリップ：開位置  右図参照。	*1 プリッジ の速度 加速度 は次： 12m/ min & 144m/ min <sup>2</sup>	移送優先順位 決定ロジック に照らして、 次に移送す べきモノ、 FROM 機器、 TO 機器が決 まる。	
1.1	(空クレーンが)FROM 機器位置へ移動。	*2 キャリッジ の速度 加速度 は次： 6m/ min & 72m/ min <sup>2</sup>		
1.2	プリッジが FROM 機器の横まで移動 (Y 方向) *1			
1.3	キャリッジが FROM 機器の真上まで移動 (X 方向) *2			
	テレスコープが把持位置まで下がる。*3			
2.	グリップが閉じて把持部を把持する。	10 s		

注) FROM 機器：ロボット移動時の出発位置, TO 機器：ロボット移動時の行先 (以下同じ)

図 3-27 ハンドリングロボット (2/3)

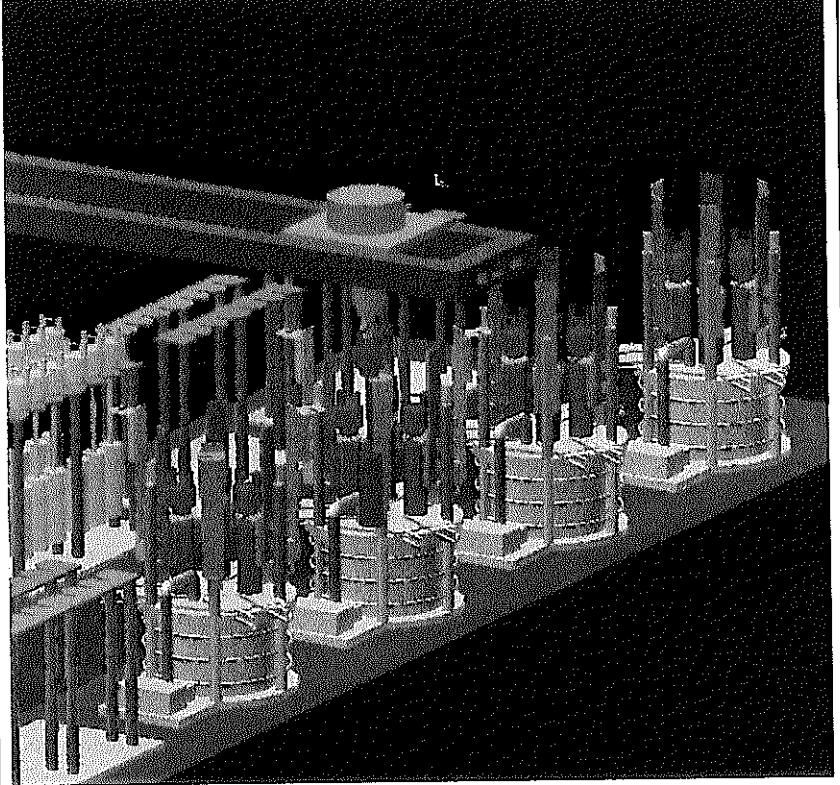
NO	ロボット挙動		概要図
	挙動記述	所要時間/ 速度/ 加速度	
3.	モノを TO 機器へ移送する。	*3	
3.1	テレスコープが最上点までモノを吊り上げる。 *3	テレスコ の速度 加速度 は次: 6m/ min & 72m/ min <sup>2</sup>	
3.2	キャリッジがブリッジの中央まで移動（X 方向）する。 *2		
3.3	ブリッジが TO 機器の横まで移動（Y 方向）する。 *1		
3.4	キャリッジが TO 機器の真上まで移動（X 方向） *2		
3.5	テレスコープが把持位置(把持部解放位置)まで下がる。 *3	10 s	
4.	グリップが開いて把持部を開放する。 右図参照。(陰極を電解装置電極ハンドリングにセットしている。)		
5.	テレスコープが最上点まで上昇する。 *3		
6.	キャリッジがブリッジの中央まで移動（X 方向）する。 *2		

図 3-27 ハンドリングロボット (3/3)

【機能】

ロボットで工程機器間を移送する場合に  
るつぼを入れて運ぶ。

【外形寸法】

射出るつぼ：

Φ：約 500mm

H：約 400mm

精製るつぼ：

Φ：約 400mm

H：約 500mm

機構挙動： なし

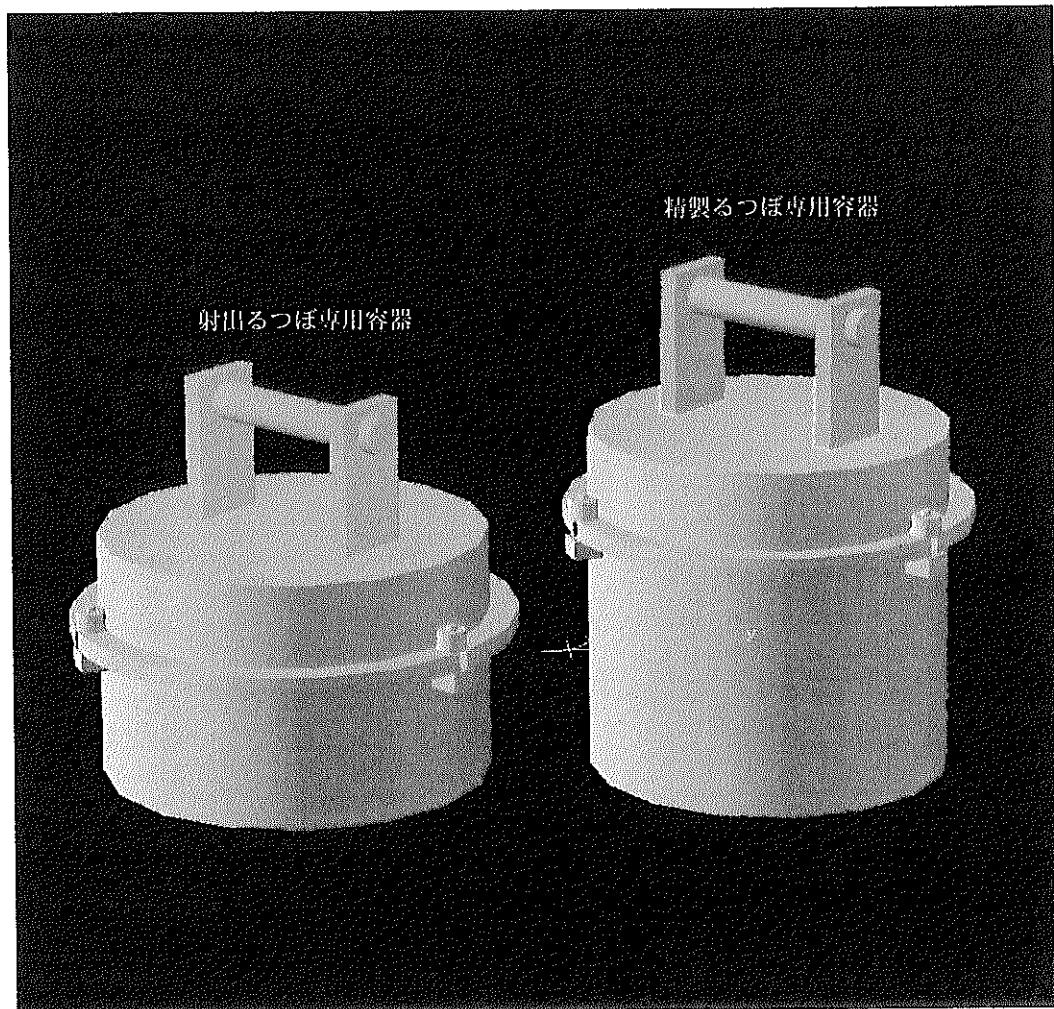


図 3-28 るつぼ専用容器

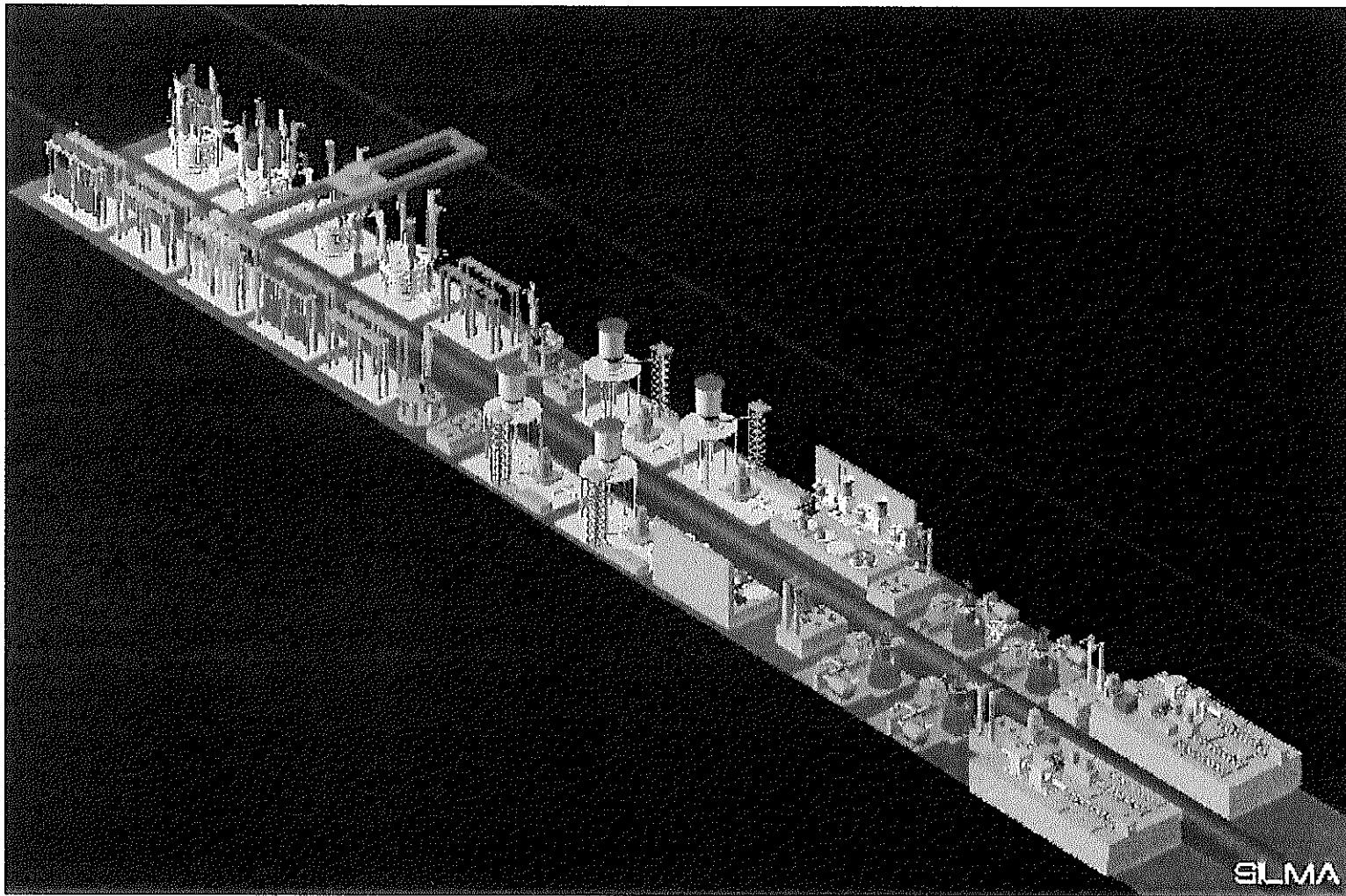
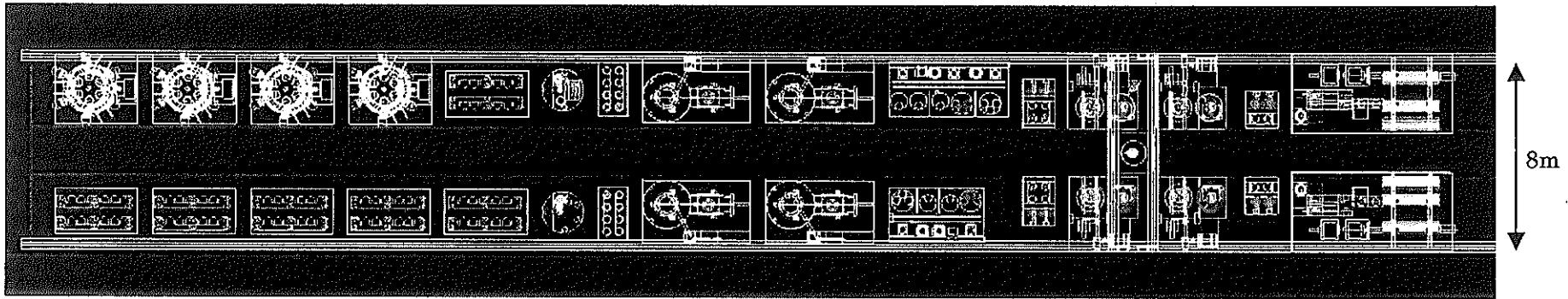
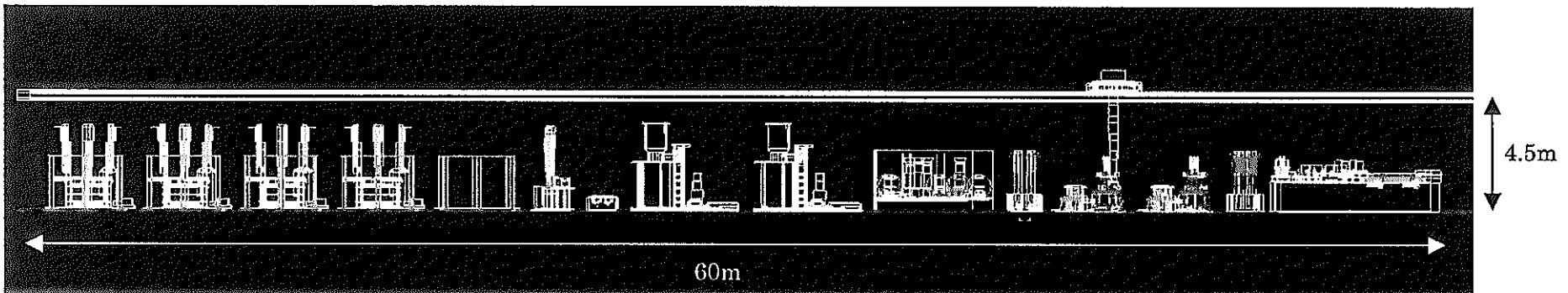


図 3-29 全体レイアウト (1/2)



平面図



立面図

図 3-29 全体レイアウト (2/2)

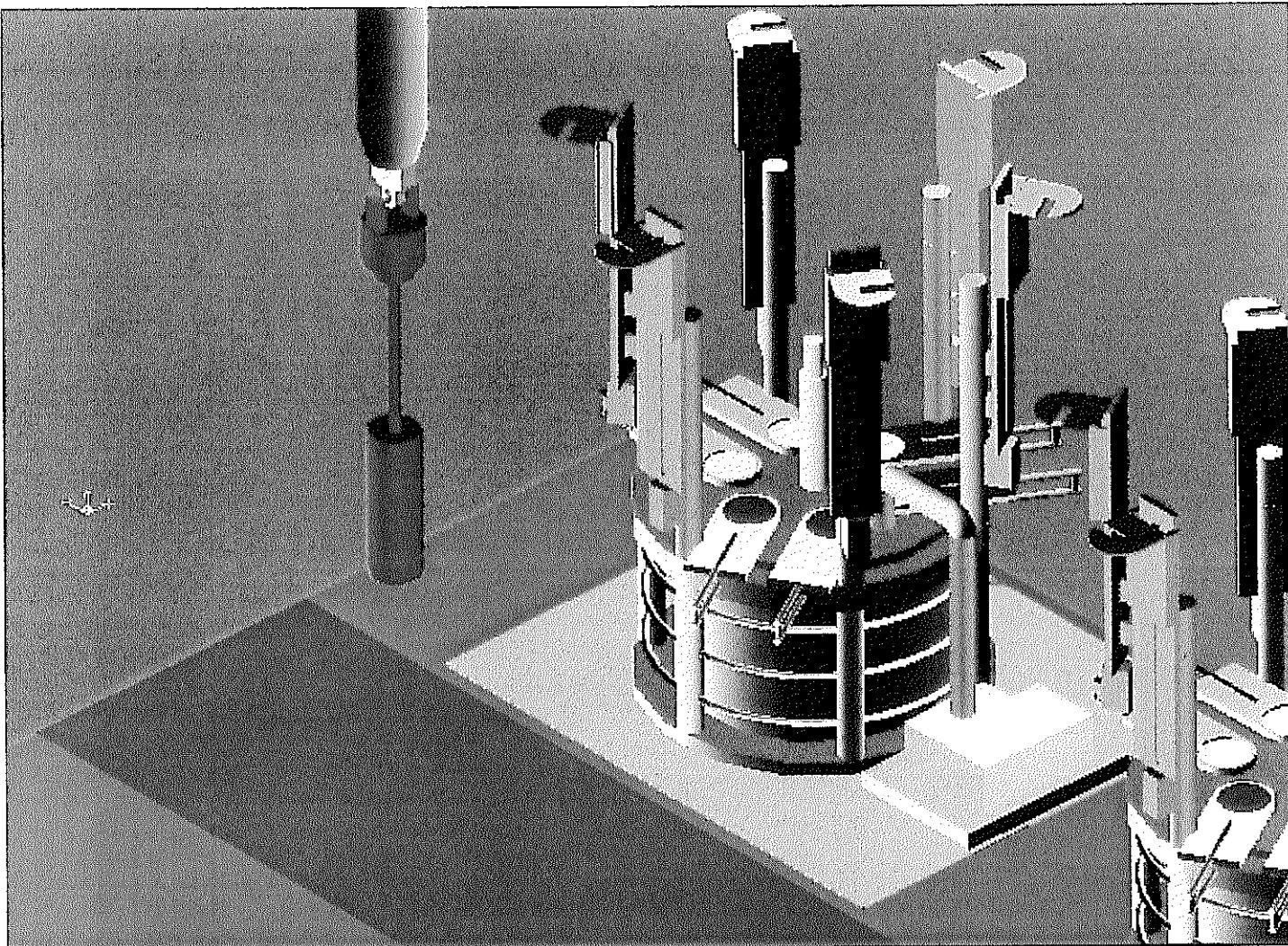


図 3-30 移送口ポットによる電極移送の様子

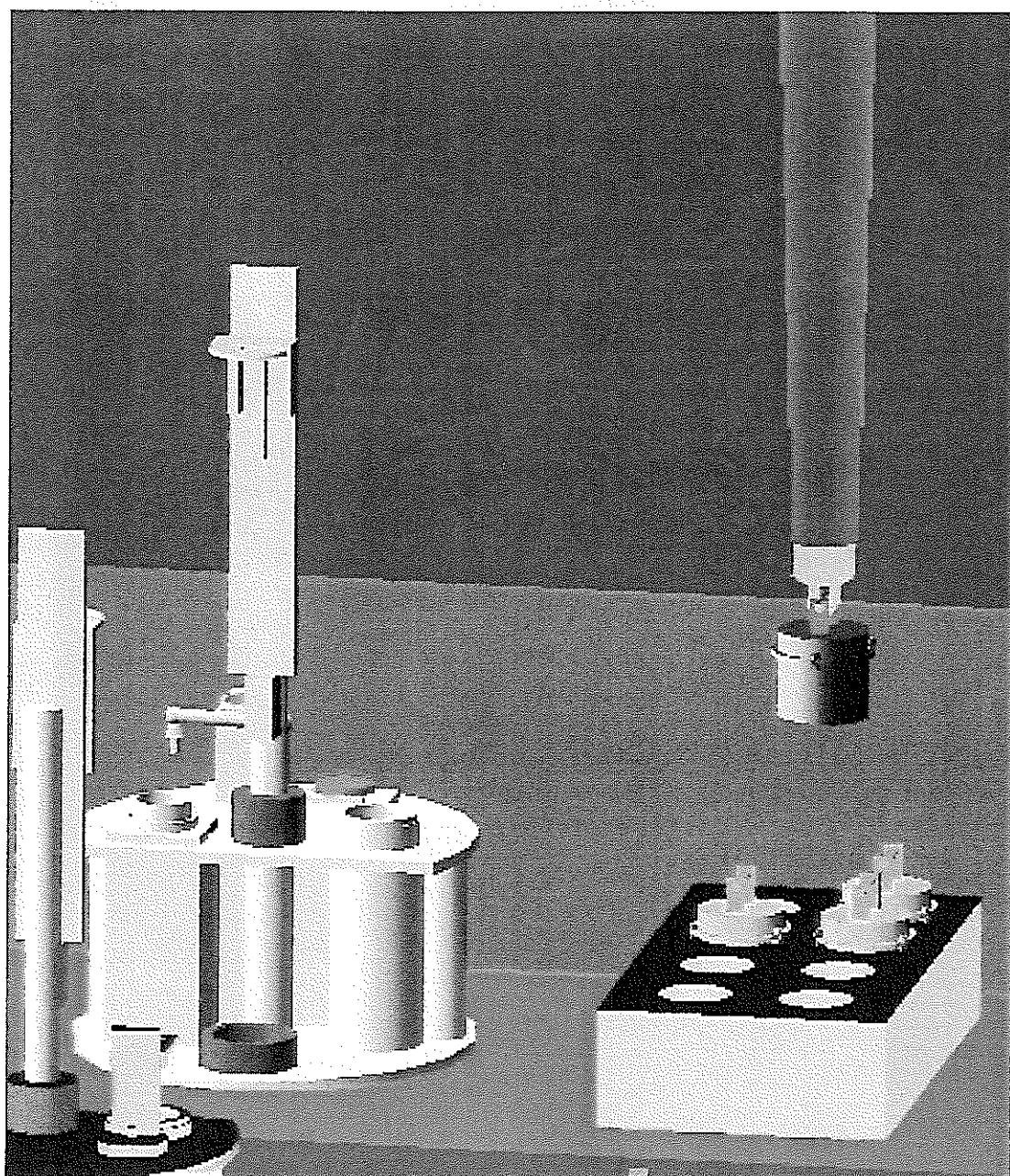


図 3-31 移送ロボットによるるつぼ専用容器移送の様子

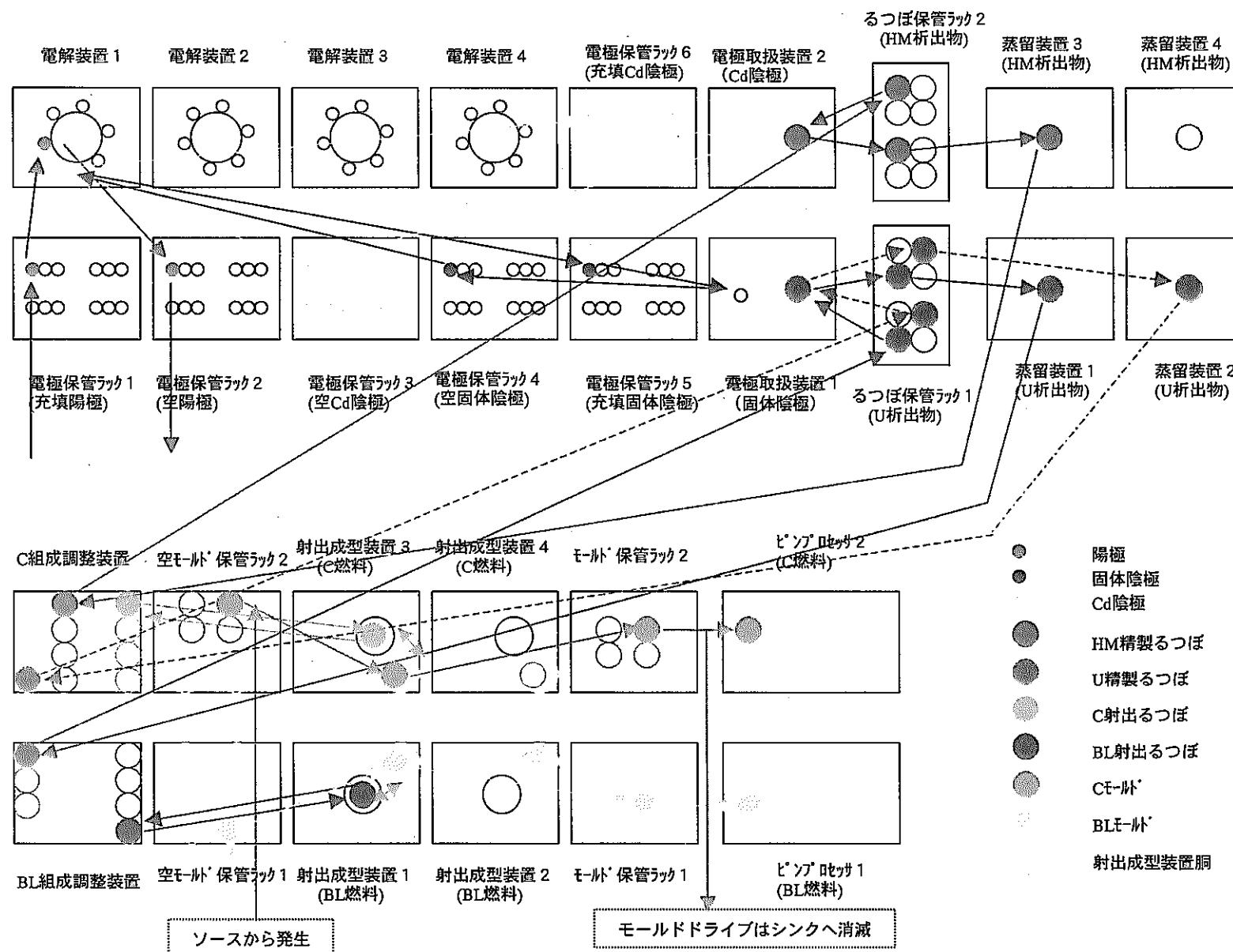


図3-32 モノの動線 (ハンドリング ポンプによる移送)

## 1. 前提/基本ルール

- (1) 全ての工程機器間移送物体は、行き先が固定されている（例えば、固体陰極 1A は電解装置 1 の電極ハンドリング 1A で扱われ、電極保管ラック 5 の#1 保管場所で保管され、電極取扱装置 1 を経由して電極保管ラック 4 の#1 保管場所へ戻る。るつぼも同様であり電極取扱装置 1 で充填された U 精製るつぼ 1 はるつぼ保管ラック 1 の決まった場所で保管され蒸留装置 1 に渡り、B1 組成調整装置へ行く。ここで U 精製るつぼ 2 は蒸留装置 2 を経てから、B1 ではなく C 組成調整装置に行く事に注意。）
- (2) 同系列の電極 3 本は、電解装置と電極保管ラックの間をセットで移送する（例えば固体陰極 1A、1B、1C のロボット移送は引き続けて行い、途中、別のモノの移送が割り込む事はない）。但し、電極保管ラックと電極取扱装置の間の電極移送に関しては、同系列の電極 3 本の移送の間に他の処理が割り込み可能（電極取扱装置における電極処理中、ロボットは他の処理を実行可能）。

## 2. 移送順位決定ロジック

一般に、工程機器 A から工程機器 B へのロボットによるモノの移送は、B が受け入れ準備 OK かつ A が出荷 OK の場合に限る。そのような条件を満足するモノは通常複数存在するので、優先順位をつける必要がある。

#	移送対象のモノ	出荷 OK 機器(FROM)	受け入れ準備 OK 機器(TO)	優先順位
1	モールド（充填） 	モールド保管ラック	ピンプロセッサ	1
2	モールド（充填） 	射出成型装置（モールドへの射出が済み、胴が分離され仮置きされた状態）	モールド保管ラック	2
3	射出成型装置の胴 	射出成型装置	胴仮置き（実は常に OK であるが）	3
4	モールド（空） 	空モールド保管ラック（実は常に OK であるが）	射出成型装置（仮置き上の胴から充填モールドが取り出された状態）	4
5	精製るつぼ（空） 	組成調整装置	るつぼ保管ラック（空るつぼ位置）	5
6	射出るつぼ（空） 	射出成型装置（モールドへの射出が済み、胴が分離され仮置きされた状態）	組成調整装置	6

注) 上記表のシンボルの意味については図 3-29 表記の凡例を参照のこと。

図 3-33 ハンドリングロボット移送 順位決定ロジック (1/2)

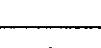
7	射出るつぼ (充填) 	組成調整装置	射出成型装置 (空るつぼが取り出された状態)	7
8	精製るつぼ (充填) 	蒸留装置	組成調整装置	8
9	精製るつぼ (充填) 	るつぼ保管ラック (充填るつぼ位置)	蒸留装置	9
10	精製るつぼ (充填) 	電極取扱装置	るつぼ保管ラック (充填るつぼ位置)	10
11	精製るつぼ (空) 	るつぼ保管ラック (空るつぼ位置)	電極取扱装置	11
12	陽極 (空) 	電解装置	電極保管ラック 2	12
13	陽極 (充填) 	電極保管ラック 1	電解装置	13
14	固体陰極 (空) 	電極取扱装置 1	電極保管ラック 4	14
15	固体陰極 (充填) 	電極保管ラック 5	電極取扱装置 1	15
16	固体陰極 (充填) 	電解装置 (1~4のいづれか)	電極保管ラック 5	16
17	固体陰極 (空) 	電極保管ラック 4	電解装置 (1~4のいづれか)	17
18	Cd 陰極	電極取扱装置 2	電極保管ラック 3	18
19	Cd 陰極	電極保管ラック 6	電極取扱装置 2	19
20	Cd 陰極	電解装置 (1~4のいづれか)	電極保管ラック 6	20
21	Cd 陰極	電極保管ラック 3	電解装置 (1~4のいづれか)	21

図 3-33 ハンドリングロット移送順位決定ロジック (2/2)

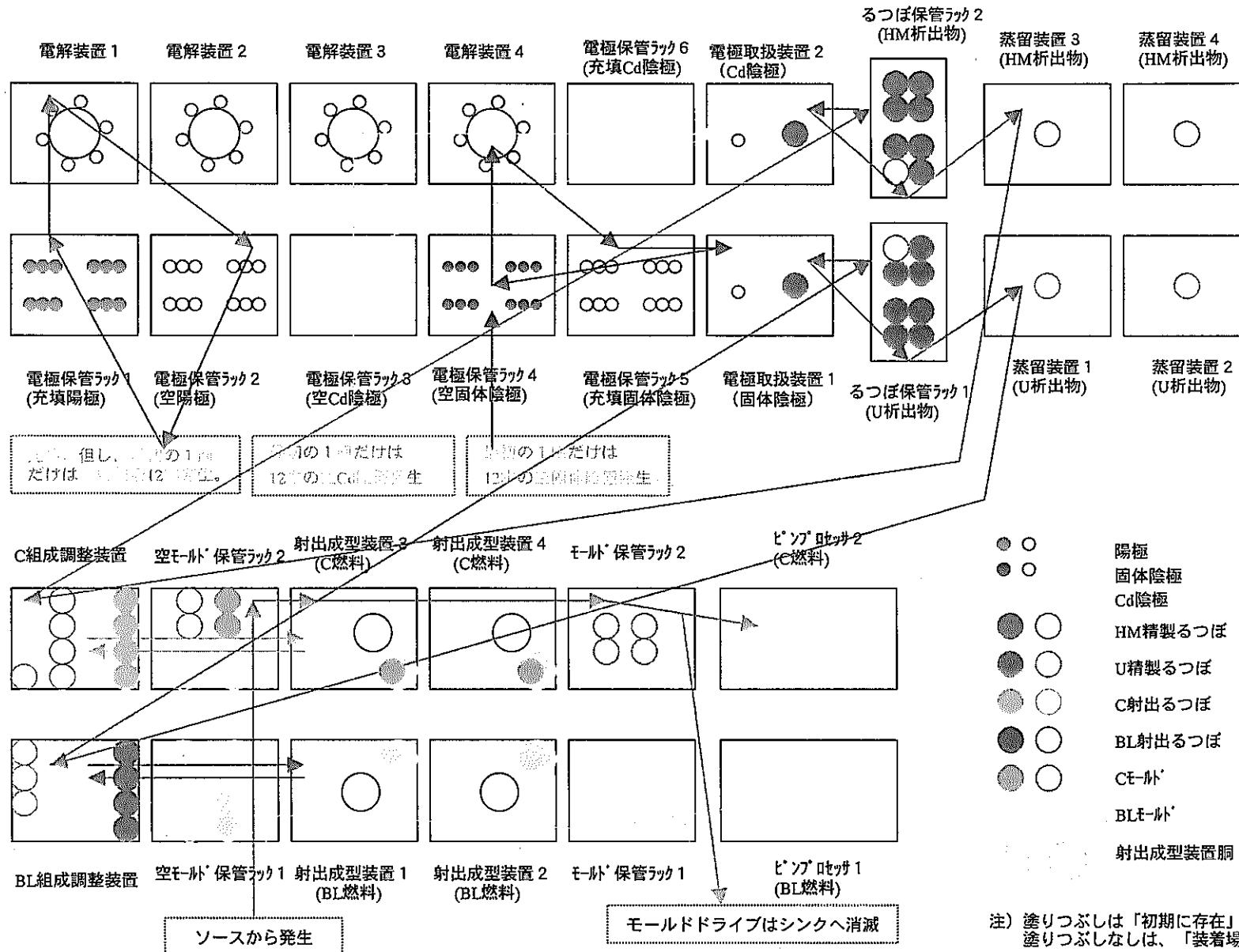
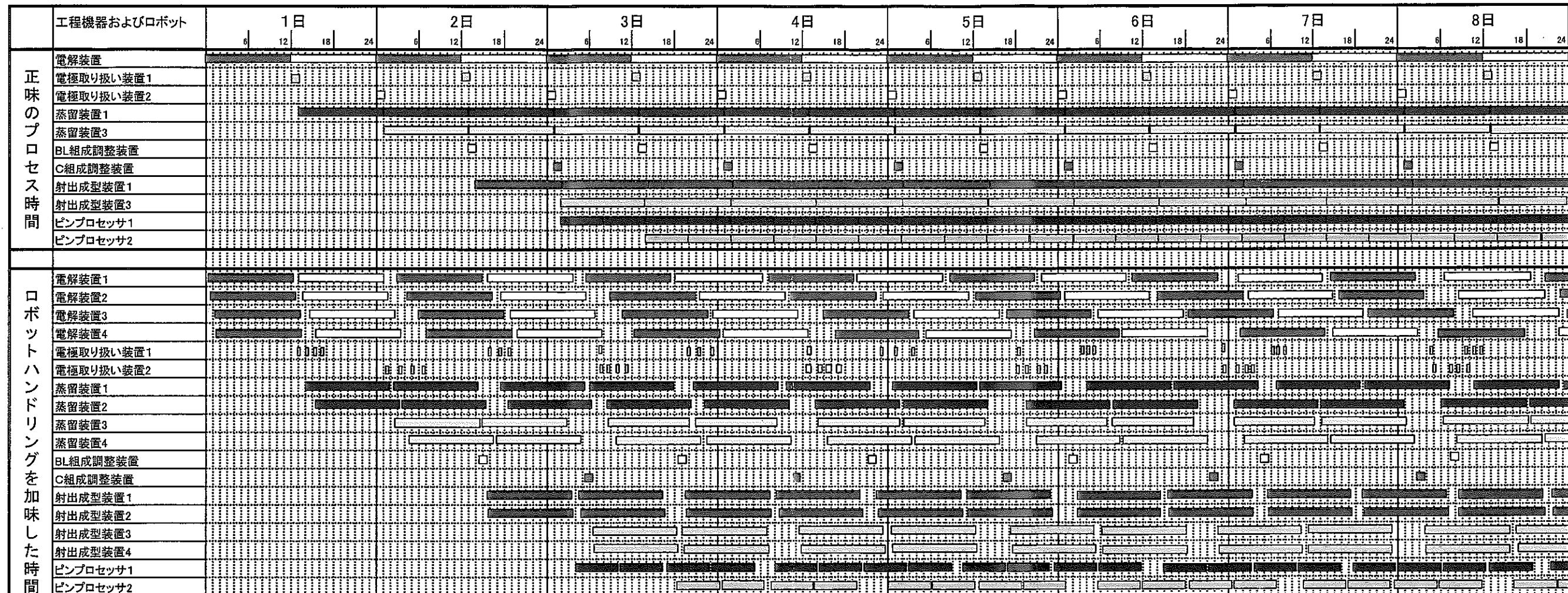


図3-34 初期条件 パターンI



#### プロセス機器移動(棒の左端から右端)の定義

電解装置：電解開始から終了まで(12H)。電解装置の電極ハンドリング部によるハンドリング等の機構動作時間はこの中に含めない。

蒸留開始から終了まで(12H)、るっぽアセンブリ等の機構動作時間はこの中に含めない。

3個の充填された山精製するつぼが揃ってから、4個の充填射出するつぼが射出するつぼ回転台上に準備されるまで。

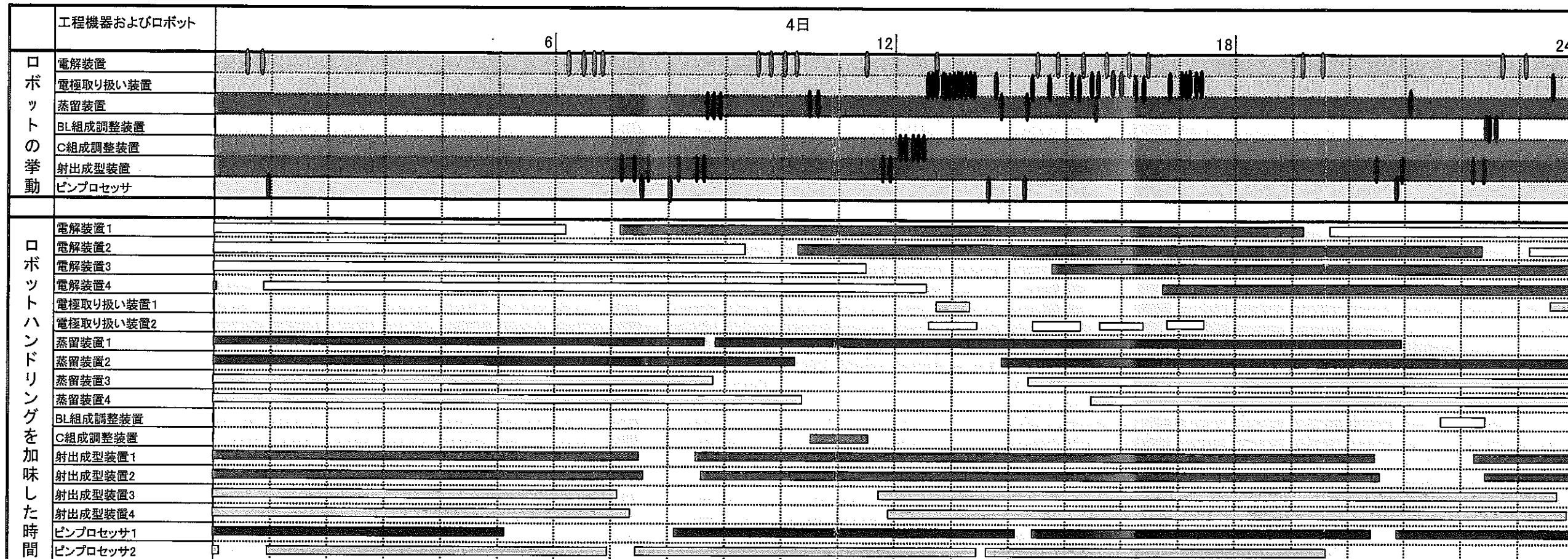
1個の充填されたHM積製るつぼと4個の充填されたHM積製るつぼが揃ってから、4個の充填射出するつぼが射出するつぼ回転台上に準備されるまで。

射出開始から射出終了まで(12H)、機構の動作時間はこの中に含めない。

ポンプロセスの正時時間(6H)。

ヒンク口をソリ： ヒンク口を人の正味時間の

図3-35 工程時間(初期条件:パターンI)(1/2)



ロボットの挙動 および の定義:

電解装置欄: ①保管ラックから電解装置への3本1セットの電極移送の開始時刻。②電解装置から保管ラックへの3本1セットの電極移送の開始時刻。但しマーク1個当たり3回の電極移送を表す。

電極取り扱い装置欄: ①空るつぼの戻り[保管ラックから]と電極搬入の開始時刻。②電極搬出と充填するつぼの戻し[保管ラックへ]の開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

蒸留装置欄: ①充填するつぼ搬入[保管ラックから]の開始時刻。②充填するつぼ搬出[組成調整装置へ]開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

BL組成調整装置欄: ①空るつぼの戻し[保管ラックへ]の開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

C組成調整装置欄: ①空るつぼの戻し[保管ラックへ]の開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

射出成型装置欄: ①充填するつぼ搬入[組成調整装置から]→胴移送の開始時刻。②胴移送→モールド搬出[保管ラックへ]→空るつぼの戻し[組成調整装置へ]の開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

ピンプロセッサ欄: ①モールドの搬入[保管ラックから]の開始時刻。但しマーク1個当たり1回の移送を表す。

図3-35 工程時間(初期条件:パターン I ) (2/2)

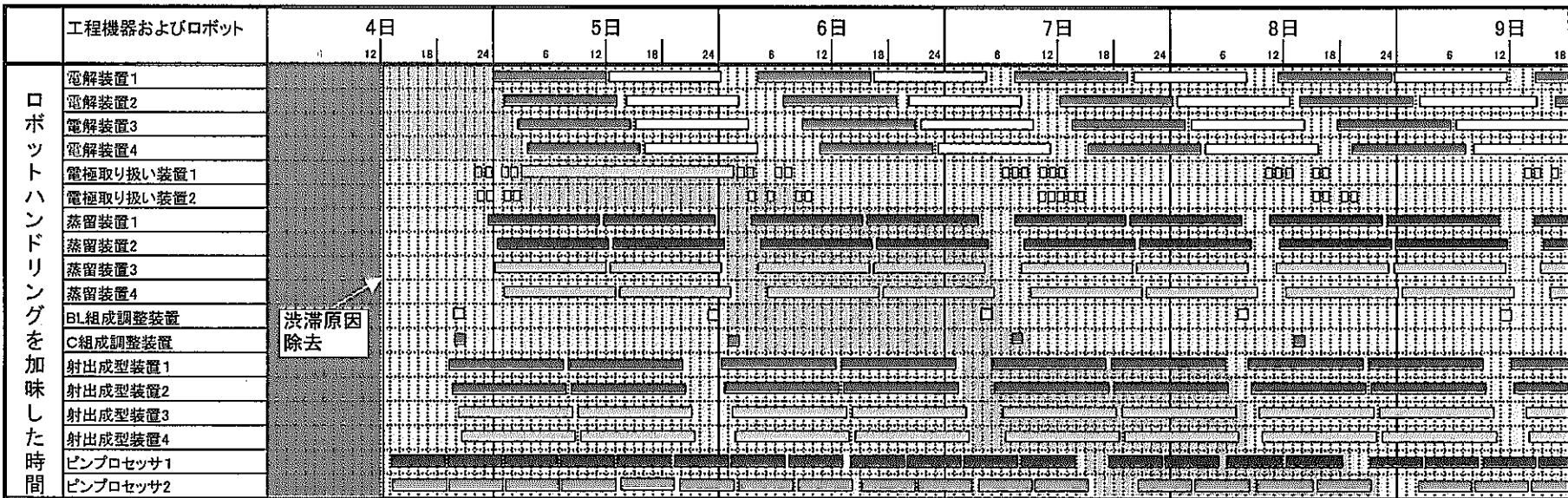


図3-36 工程時間(初期条件:パターンⅡ)

## 第4章 物流システムの評価

### 4. 1 評価

表3-2および図3-35に示される工程時間および稼働率から、本物流システムがターンキー条件で開始した場合、4日目頃から定常的な運行となり各工程機器もバランスよく稼働していることが分かる。即ち、電解装置、蒸留装置、射出成形装置、ピンプロセッサなどの重要機器はほぼ遊び時間なくフルに稼働している。これは本リサイクルシステムの工程機器がバランスよく配備され、機能および性能の配分が妥当であることを示している。図3-35(2/2)から分かるようにハンドリングロボットもシステムの無駄のない運用を支援しており、運用方式も含めた本物流システムの方向性は妥当であることを示している。表3-3および図3-36からは、設定された仮想障害（ピンプロセッサの処理を停止）によって、全システムが約4日で停止するが（前工程の処理を停滞するまで完了させる）、渋滞原因の除去後、本物流システムは渋滞を解消した後、半日のうちに定常状態に戻ることが確認できる。

のことから、本物流システムは機器故障等の何らかの原因が生じても速やかに元の状態に戻す能力を持った妥当なシステムといえる。

### 4. 2 課題

前節のように、本システムは工程機器およびハンドリング系がバランスよく統合された安定システムといえるが、それはいくつかの前提の上に立っている。その前提とは、るつぼの専用器収容ハンドリングがスムーズであることと、ハンドリングロボットが比較的高速であるということである。また、原料投入（充填陽極の投入）から製品（燃料ピン）の完成までの時間を短縮する必要がでた場合、ロボットの物流能力を上げる必要が出てくる。従って、課題として次が挙げられる。

#### 4. 2. 1 るつぼの専用容器収容、取り出し

るつぼをどうやって専用容器に入れるか、またどうやって出すかは大きな課題である。工程内容から言って、るつぼが絶対に裸にならなければならぬのは、蒸留装置と射出成形装置である。組成調整装置と電極取扱装置については工程という意味からは必ずしも裸にしなくともよいかも知れないが実装という実際問題から裸にする必要がある。即ち、前記4種の装置から出て行くときは専用容器に収容し、入ってくるときは専用容器から出す仕掛けが必要である。

ここで、蒸留装置、射出成形装置、電極取扱装置の3種類は一時に扱うのは一つのるつぼであるのに対し、組成調整装置では9個(C組成調整装置)とか7個(B1組成調整装置)を扱うことに注意する必要がある。即ち組成調整装置では、場合によってはるつぼ専用容器の保管・管理まで考慮する必要

がある。るつぼに関連した機器として他にるつぼ保管ラックがあるが専用容器から出して保管するか、入れたまま保管するかという選択がある。専用容器からの出し入れメカニズムに加え、もう一つの課題としてるつぼの運用がある。即ち、専用容器の数をいくらにするか、その運用をどうするかである。これらの課題の解決手段についての予備的な検討結果を表 4-1 に示す。結論としては、小型の（ハンドリングロボットの助けの要らない）自己完結した高信頼性の容器取扱メカニズムを考えるべきだろう。そのメカニズムは標準化することによって各機器に同じ設計、製作を適用してコストの削減を図るとともに、予備品の最小化、保守の容易性等によって、ライフサイクルコストを低減化することができよう。専用容器の数はるつぼの数よりも少なくできるかも知れないが運用がかなり難しくなることが予想される。専用容器は各るつぼに 1 個付属しているとして、主のるつぼが工程機器で処理を受けている間、その近くで待つという形をとるのが自然と考えられる。反面たくさんあるるつぼを扱う組成調整装置は、7 個とか 9 個とかるつぼの数だけの専用容器を保管・管理する機能が必要になる。

#### 4. 2. 2 高速ハンドリングロボット

工程時間の短縮化のためには、ハンドリングロボットには高速性が要求されるが、そのためには次の課題を解決しなければならない。（本研究では、特別な性能を期待しないで、産業用ロボットのハンドリング速度を設定している。）

##### (1) 被搬送物体の軽量化

高速搬送にとって、被搬送物体の重量軽減は重要である。重量が軽いほど軽量のロボットで済み、加減速も容易だからである。被搬送物体のうち最も重いのは電極と考えられるが材料、設計の工夫等による軽量化を図る必要がある。

##### (2) 自動化

本リサイクルシステムのハンドリングロボット運用はその使用頻度、要求される精度と誤操作のないようにすることからといって人手でやるのは実際的でない。必然的に自動化が追求されるだろうが安全設計は特に考慮しなければならない。本リサイクルシステムではハンドリングロボットが把持する部分の位置と形は予め決まっていると考えてよいが、その位置が微妙にずれていることは十分ありうるし、またロボットの経路にないはずのものがある可能性もある。あるはずのないものの対策としては、衝突予防システムが必須であろう。また、定位置からの微妙なずれへの対策としては、定位置の近傍までは高速で接近するとしても、近傍に近づいてからはゆっくり動き、把持部位置を直接センシングして、自分で確認しながら接近しモノを把持す

る仕組みが必要である。これらの衝突予防のための衝突予防センサー、把持部のセンサーは大きな要検討項目であり、それらの情報に基づき、ロボットをどう制御すればよいかも大きな課題である。また、今回のシミュレーションでは、ロボット先端を、360度回転プラス把持というシンプルなもので考えたが、少々のズレがあっても安全・確実にそのズレを吸収してしまう柔軟な成功率の高い把持のメカ、あるいは支援システムも課題としてあげた。

### (3) ロボットの複数化

ロボット搬送の高速化において、(1)、(2)項の努力に限界がある場合は、ハンドリングロボットを複数にする必要がある。図3-35(2/2)から分かるように、ロボットは時間的に均一な稼動をしているわけではなく、非常に暇な時と、仕事が立て込んでいる時がある。ロボットの複数化によって忙しい時の作業を分担することで、時間の短縮が期待できる。図3-35(2/2)からは、電極取扱装置にロボットの手間がかかっていること及び後工程に対する処置（ロボットは後工程をするために、数十mの距離を移動しなければならない）がロボット複数化に関して考慮のポイントになる。

## 4. 2. 3 システム構築

- (1) シミュレーションのサーベイ結果は、良好なプロセス機器の稼働率、ハンドリングロボットの稼働率を示したが、ロボット操作に係る時間は、年間のプラント処理能力を確保するために、工程処理時間の短縮化を要求することになる。この工程処理時間への影響についての実際は、プロセス設計の進捗によって実際的な各工程処理時間、プラントに与える年間稼働日数、ロボット操作に係る時間の短縮等を詰める必要がある。
- (2) ロボット操作に係る時間の短縮については、ロボット基数あるいはロボットの高速化、また実際的な各工程処理時間（本研究では一部を除いて、各工程で一律1バッチ24時間処理としている）の評価による各工程の余裕時間のロボットへのタイムシェアリング等を行って、さらにロボット操作の最適化を行うことが可能であると考える。
- (3) 必要な自動化工程（燃料の組成調整装置、加工装置等）を抽出し、そのコンセプトを示したが、その具体化が必要である。
- (4) 高温プロセスを扱うハンドリングに対する設計、移送中衝突予防、正確にアクセスするための制御方法等安全に係わる検討が必要である。

表 4-1 るつば専用容器関連予備的検討

要素 オプション	専用容器運用における工程機器とハンドリングボットの機能分担： ① ボットは専用容器を工程機器の定位装置に置くだけ。 ② ボットは専用容器からの出し入れハンドリングを手伝う。	工程機器のるつば専用機器ハンドリングボットの構成： ① 工程機器によつてまちまち ② 工程機器に標準的/共通的なハンドリングボックスムを使用する	るつば専用容器の数： ① るつばと同数であるつばと1対1の運用 (射出るつば用：8個) (精製るつば用：16個) ② るつば総数より少なくして専用容器を共用する。	総合評価および理由	
				評価	理由
オプション 1	②	—	—	×	・ハンドリングボットの物流効率を落とす ・ハンドリングボットに複雑なミッションを与えることになり高価となる。 ・ハンドリングボットが過度にクリティカルな機器となる。
				△	機器によりまちまちのハンドリング機構ではライザイクコストが高くつく 機器によりまちまちのハンドリング機構ではライザイクコストが高くつく 共通機器のメリット(ライザイクコスト)
オプション 2	①	①	①	▲	機器によりまちまちのハンドリング機器ではライザイクコストが高くつく 機器によりまちまちのハンドリング機器ではライザイクコストが高くつく 共通機器のメリット(ライザイクコスト)
				◎	と運用のシナリオ
オプション 3	①	②	②	○	共通機器のメリットあるが、るつば運用が複雑
				○	

## 第5章 まとめ

本研究では、ANL の金属燃料プロセスを例に、乾式プロセスのロボットによる自動化操業システムについて、ロボット－自動化工程－補助ロボットの連携による工程物流システム概念を構築した。そして、ロボットの必要機能、ロボットと工程機器の相互の操作性、動作・移送時間等のシステム評価を、プロセス機器、機器動作、プロセス移送物及びハンドリングロボット機能の現実化したモデルをシミュレーションコードに組み込んで、ロボットによるプロセス操業をシミュレーションする、バーチャルエンジニアリング手法を適用して行い、ロボットによる乾式プロセス物流操作に現実性があることを示した（補助ロボットについてはその役割を示したが、本研究ではバーチャル化はしていない）。またプロセス設計、技術開発の進捗による実際的な工程処理時間の反映等、より実際的で、合理的な乾式システムの物流システム構築の課題を抽出して示した。バーチャルエンジニアリング手法については、従来のように事象を抽象化して考えず、見えるまま、あるがままを仮想的に再現する。通常のアニメ等と違って、事象の因果関係を中心に含んでいるため、パラメータ等の変更だけいろいろなケースが検討でき、また拡張したり変更したりすることも比較的容易である。本研究の成果であるバーチャルシステムを活用して、さらにいろいろな検討をおこなうことができる。

また本研究は、三井造船株式会社（三井造船システム技研株式会社）にシミュレーション業務を委託した成果をまとめたものである。中田恒夫氏、楠谷正貴氏、他の方々のご尽力に謝意を表します。

## 参考文献

ANL 金属燃料プロセス機器については、以下の文献を参考にした。

- (1) Charles E. Stevenson "The EBR-II Fuel Cycle Story" ANS, 1987
- (2) 金属燃料サイクル技術研究専門委員会 「金属燃料サイクル技術」  
日本原子力学会, 1995
- (3) M.J. Lineberry, et al. "Status of IFR Fuel Cycle Demonstration"  
Global' 93, Sept. 1993, Seattle WA. USA
- (4) J.E. Battles, et al. "IFR Fuel Cycle"  
Proc. Amer. Power Conf., Chicago, IL. Apr., 1993
- (5) B.R. Westphal, et al "Salt Distillation Efficiencies for Cathode Processing spent  
Nuclear Fuel" Proc. 3rd Top. Mtg. DOE Spent Nuclear Fuel and Fissile Materials  
Management, Sept. 1998, Charleston, SC. USA
- (6) Ting-Shu Wu et al. "Structural Evaluation in the Design of Electrorefiner"  
ASME PVP-Vol.308 (1995)