

# 原子燃料サイクル関連技術の開発

## Development of Technology Related to Nuclear Fuel Cycle

我が国ではエネルギー資源に乏しいことから、原子力発電でのウランの有効活用と原子力による電力の供給安定を高めるため、プルトニウムなど回収資源の利用体制の確立を目指している。プルトニウムなどの有効利用のためには、再処理及び回収資源の利用技術の開発が重要である。再処理については、現在、動力炉・核燃料開発事業団が210 t/年規模の再処理工場を稼働させている。また、日本原燃サービス株式会社が大型商用再処理工場(800 t/年)の建設を推進している。一方、回収資源の有効利用については、将来の本格的利用に備えて官民が一体となり技術の蓄積を図っている。

日立グループは政府諸機関など各方面の指導を得てこれらの技術を開発しており、再処理についてはプラントの長期安定的運転確保のために、高耐食性技術の開発に力を注いでいる。また、回収資源の有効利用については、混合酸化物燃料の利用技術を開発中であり、高速増殖炉用燃料製造の主要設備を製作し納入した。

下里 與\* Atou Shimozato  
 遊佐英夫\*\* Hideo Yusa  
 正岡 功\*\*\* Isao Masaoka  
 斎藤正之\*\*\*\* Masayuki Saitō  
 山崎 均\*\*\*\*\* Hitoshi Yamasaki

### 1 緒 言

原子力がエネルギー源として主要な役割を占めるようになり、原子燃料サイクルの確立が重要となっている。日立グループでは政府諸機関、電力会社、動力炉・核燃料開発事業団などの指導を仰ぎながら、ウラン濃縮、使用済み燃料再処理、混合酸化物燃料製造などの原子燃料サイクル技術の開発を進めている。特に、原子燃料サイクルバックエンドの実実施計画が具体化しつつある現在、日立グループでは、より経済性及び信頼性の高いサイクルの完結を求めて、使用済み燃料の再処理、プルトニウム及び回収ウランの利用方法について検討し関連設備の技術開発を推進しており、以下にその概要を述べる。

### 2 原子燃料サイクルバックエンドへの取組み

我が国の原子力発電設備容量は、昭和61年は約2,500万kWであったが、昭和65年には3,400万kW、昭和75年度には6,200万kWに増加するものと予想されている<sup>1)</sup>。それに伴って、発電によって発生する使用済み燃料の累積量は、昭和61年度は約4,900 t・Uであったが、昭和65年には7,800 t・U、昭和75年には2万t・Uになるものと予想されている。

これらの使用済み燃料は、エネルギーセキュリティの点から原則として国内で再処理し、回収されるプルトニウム及びウランは再利用することが国の基本方針となっている。これらの使用済み燃料は、一部が既に稼働中の動力炉・核燃料開

発事業団東海再処理工場で処理されている。また、昭和70年代初の運転開始を目標に、青森県六ヶ所村には年間処理能力800 t・Uの民間第一再処理工場(以下、日本原燃サービス株式会社再処理工場と言う。)の建設計画が、日本原燃サービス株式会社によって推進されている。基本的には従来と同じプロセス<sup>\*1)</sup>が用いられるが、大量生産技術として実績のある最新技術を採用するとの方針に基づき、主工程施設についてはフランスのSGN社などの海外技術の導入が決定され、現在、基本設計が実施されている。これらの海外技術については、国内に定着化させることが重要との判断に基づき、国及び電力会社を中心となり技術確証試験を推進しており、日立グループもこれに参画している。

使用済み燃料の再処理によって回収するプルトニウムは、高速増殖炉で利用することが効率的であるが、高速増殖炉の実用化までの間、新型転換炉及び軽水炉での混合酸化物燃料(以下、MOX燃料と言う。)としての利用(以下、プルサーマルと言う。)によりプルトニウム取扱い技術の蓄積を図り、利用体制を早期確立することが望まれている。高速増殖炉用MOX

\*1) 使用済み燃料をせん断後硝酸によってウラン、プルトニウムなどを溶出させ、溶媒によって回収するピュレックス法プロセスを言う。

\* 日立製作所原子力事業部 \*\* 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所日立研究所 工学博士 \*\*\*\* 日立製作所日立工場 \*\*\*\*\* バブコック日立株式会社呉研究所

燃料の製造と実証は、現在、動力炉・核燃料開発事業団で高速実験炉「常陽」について行われているが、日立グループは先ごろ、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用のプルトニウム燃料製造施設の主要設備を納入している。

また、軽水炉でのプルトニウムの利用は、現在、小数体規模での実証試験が行われているが、今後、実用規模での実証を経て本格利用する計画が推進されている。

一方、再処理によって発生する回収ウランは、プルトニウムと同様軽水炉などに再装荷することが考えられる。日立グループでは、昭和75年以降の本格利用に向けて開発を進めている。

### 3 日立グループにおける再処理技術の開発

#### 3.1 開発経緯

日立グループは、昭和45年ごろから再処理オフガス処理設備の開発に着手してきたが、図1の研究開発工程に示すように、昭和56年ごろからは環境放出放射能低減技術の開発として、「排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究」及び大型化技術開発として「減圧蒸発装置確証調査」を日本原燃サービス株式会社から受託して本格的に再処理技術の開発に参画してきた。また、動力炉・核燃料開発事業団からは東海再処理工場・溶解槽補修技術の開発をはじめとする各種研究開発を受託し、再処理設備のプロセス、材料の開発などを実施して基盤技術の確立に努めてきた。

現在は、これらの再処理基盤技術をもとに、日本原燃サービス株式会社再処理工場に対する日立グループ分担予定設備の技術確立に力を入れている。特に、腐食環境の把握と材料

選択にかかわる技術開発が最大の課題と考え、原子力関係部門の主力をこれに傾注している。

#### 3.2 従来の主な開発技術

##### (1) 排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究

使用済み燃料のせん断時及び溶解時に発生するオフガス中には、NOxとヨウ素が含まれている。このオフガスは大気に放出する前にオフガス処理系で、NOx及びヨウ素を除去する。

従来、オフガス処理系は、NaOH洗浄塔によりヨウ素などの除去を行う湿式プロセスが一般的であったが、ヨウ素含有廃棄物の発生量を低減できる技術の開発が進められてきた。

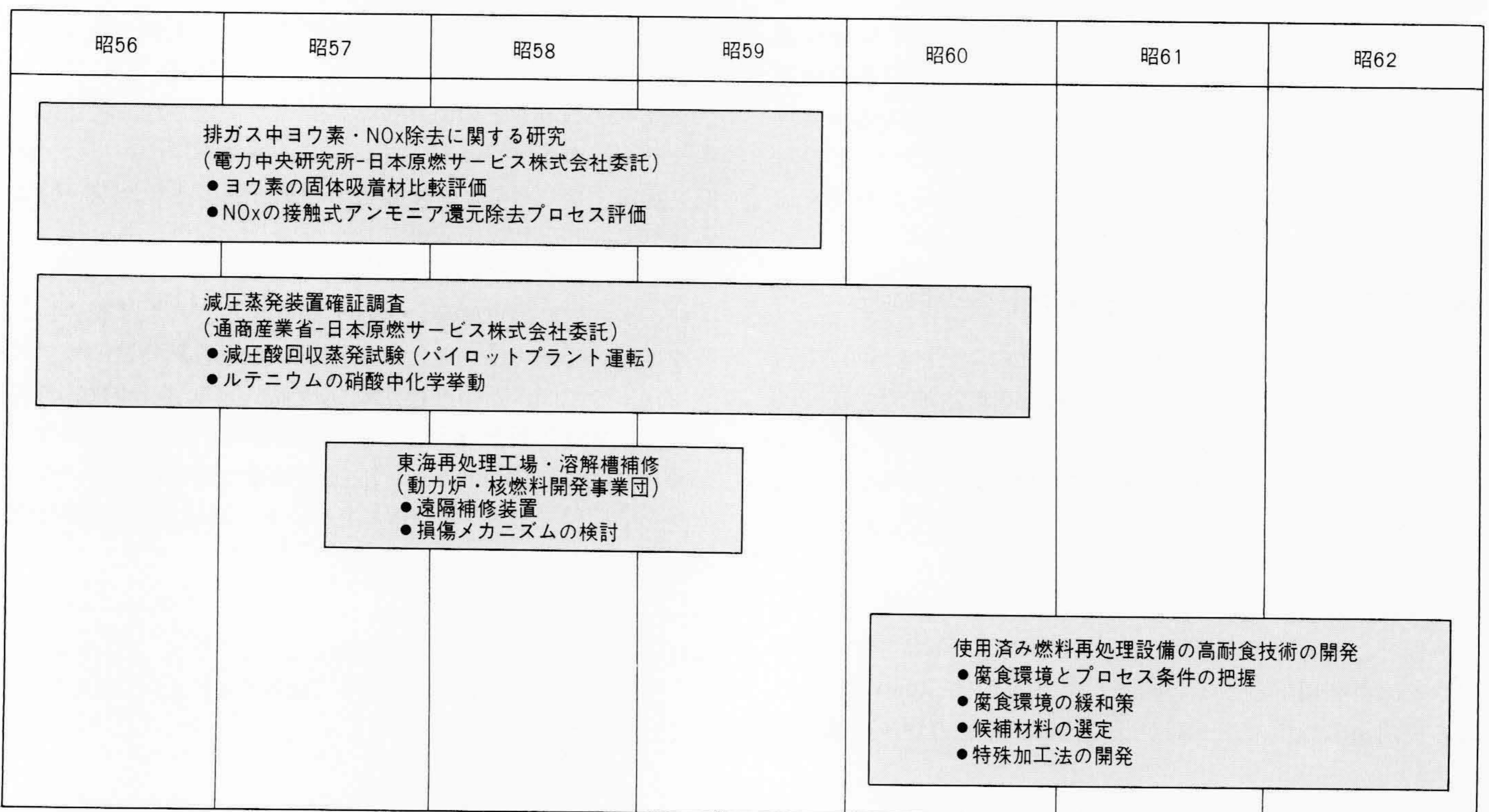
日立グループは、原子力発電所用にヨウ素吸着材の開発を行い、火力発電所用にNOx接触分解法の開発を行ってきた。それらの技術を適用して、日本原燃サービス株式会社の委託で「排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究」を実施し、次の成果を得て、乾式オフガス処理システムの概念確立の見通しを得ている。

- (a) NOx除去率 $\geq 99\%$
- (b) 各種ヨウ素吸着材の性能の比較
- (c) 銀添着ヨウ素吸着材のヨウ素除染率 $\geq 10^3$

##### (2) 減圧蒸発装置確証調査

蒸発により硝酸を回収するプロセスは、常圧下で行う方式と減圧下で行う方式がある。常圧下では硝酸の沸点は約120℃となり、腐食条件が厳しく、蒸発缶には高クロムニッケル鋼などの高耐食性材料が採用されている。

一方、減圧下では硝酸の沸点が下がり、腐食条件が緩和でき、材料の信頼性を高くすることができる。日立グループは、日揮株式会社、昭和電工株式会社とともに、日本原燃サービ



注：略語説明 NOx(窒素酸化物)

図1 再処理技術に関する研究開発工程 日立グループは昭和56年ごろから本格的に再処理技術の研究開発に取り組んでいる。

ス株式会社から実機の約 $\frac{1}{4}$ 規模の減圧酸回収装置の設計・製作・据付け及び確証試験<sup>10)~14)</sup>を受託し、次の成果によって減圧酸回収プロセスは、十分適用可能な技術であるとの見通しを得ている。

- (a) 減圧下での蒸留特性及びプロセスの安定性の確認、及び自動制御運転の見通しの把握

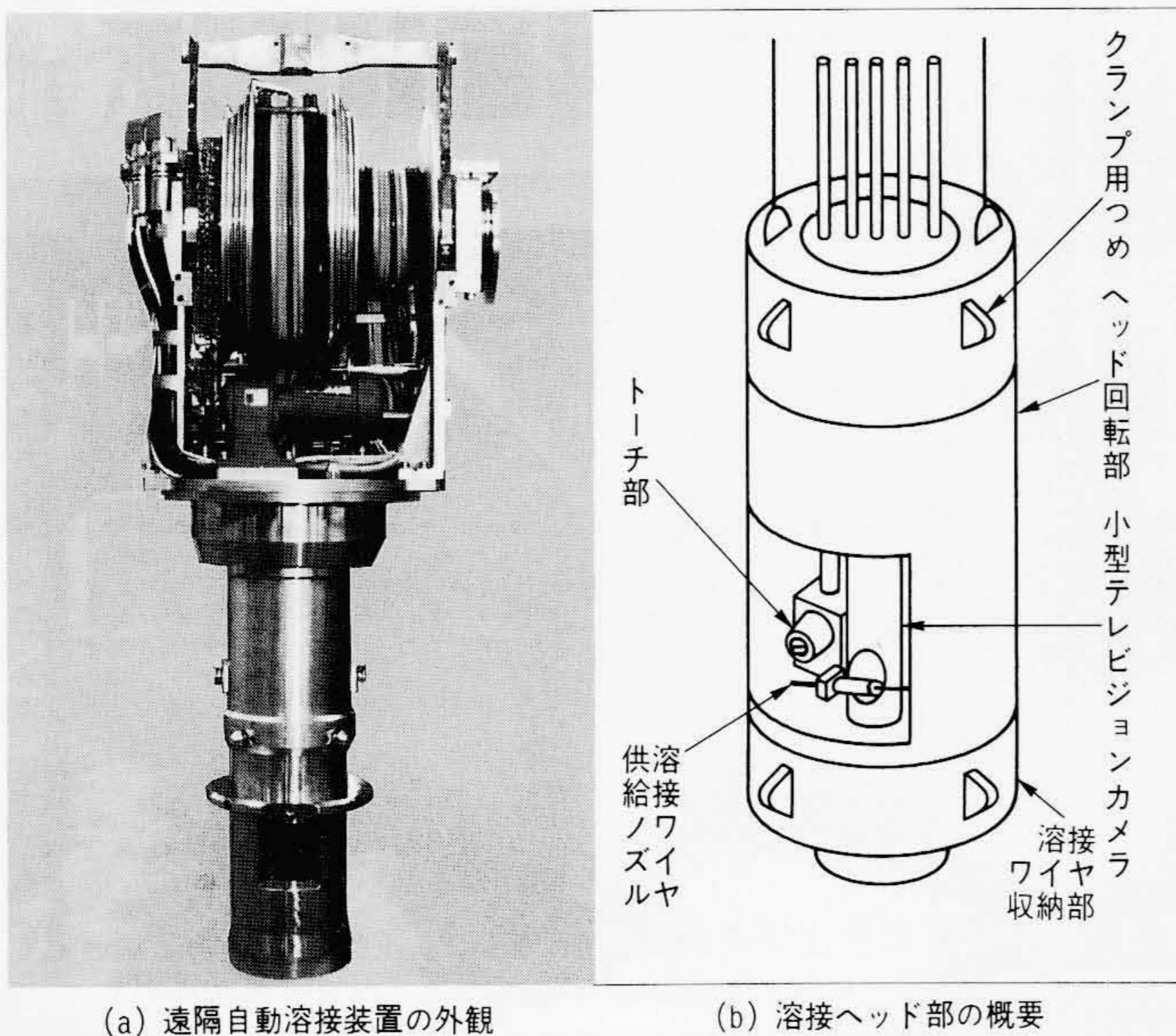


図2 遠隔自動溶接装置の全体外観 (a)図に本溶接装置の外観を、(b)図に溶接ヘッドの概要を示す。上部は電気ケーブル、空気、水用ホースなどの巻取り用ドラムと溶接ヘッド昇降ワイヤ巻取りドラムで構成される。溶接ヘッドは、下部の保護円筒内部に収納されている。

- (b) システム全体の除染係数=約 $10^7$
- (c) 常圧下に比較して減圧(低温)下では、腐食速度を遅くできることの確認

(3) 溶解槽補修技術の開発

溶解槽の補修用として、日立グループでは動力炉・核燃料開発事業団の指導のもとに、ペリスコープ、研磨装置、溶接装置(図2参照)、液体浸透探傷試験装置、空中・水中兼用テレビジョンカメラ及び超音波探傷試験装置から成る6種類の補修ロボットを製作し納入した<sup>15)~17)</sup>。

本補修ロボットの適用により、高放射線下の補修作業が成功裏に終了し、溶解槽はその後順調に稼動を続けている。

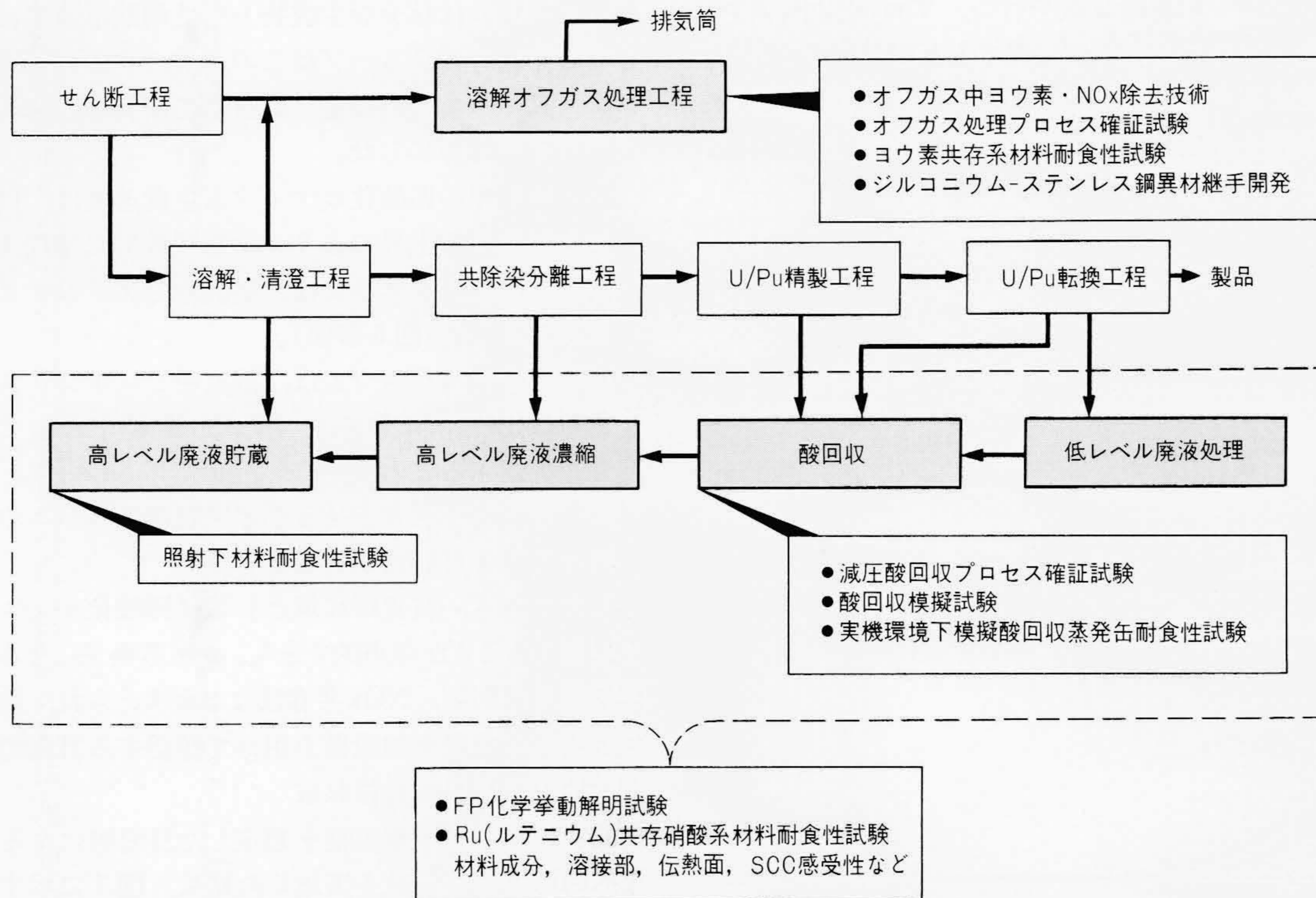
3.3 再処理設備の高耐食技術開発

日本原燃サービス株式会社再処理工場を対象とした日立グループの再処理技術開発項目を、プロセスフローとともに図3に示す。

再処理工場では、腐食を促進する塩類を含む硝酸溶液及びヨウ素を含むオフガスを取り扱うため腐食環境が厳しく、設備の長期信頼性確保のためには使用材料の適正な選定が重要な課題である。

このために、日立グループでは分担設備の各プロセスでの腐食環境の把握と設備の材料選定にかかわる高耐食技術開発を最重要課題として、次の項目に注意して技術開発を進めている。

- (a) 腐食環境とプロセス条件の把握
- (b) 腐食環境の緩和策
- (c) 候補材料の選定
- (d) 特殊加工法の開発



注：略語説明 FP(Fission Product：核分裂生成物)、SCC(Stress Corrosion Crack：応力腐食割れ)

図3 日立グループにおける再処理技術の開発 日立グループでは再処理主プロセスのうち溶解オフガス処理、高レベル廃液濃縮貯蔵及び酸回収工程にかかわる高耐食技術確立に重点をおいて開発を進めている。

### 3.3.1 オフガス処理プロセス

#### (1) ヨウ素共存系材料耐食性試験

溶解オフガス処理プロセスは、ヨウ素を含む湿潤腐食環境にあり、孔食の発生しやすい環境である。ステンレス鋼の孔食感受性に及ぼすヨウ素濃度、材質、雰囲気の影響について試験を行い次の結果を得た。

- (a) ヨウ素を含む湿潤気相中でのステンレス鋼の孔食は材料表面に発生する液滴中のヨウ素濃縮に依存していること。
- (b) ステンレス鋼の耐孔食性は、クロム及び特にモリブデンの含量が高いほど向上すること。
- (c) 硝酸、NO<sub>x</sub>の存在は孔食の発生を抑制すること(図4参照)。

これらの腐食試験については更に長時間の試験を進めており、材料成分の影響、NO<sub>x</sub>共存による孔食抑制効果の定量的な把握を行っている。

#### (2) オフガス処理プロセス確認試験

乾式オフガス処理システムについては、前章で述べたようにその基礎性能を確認したが、日本原燃サービス株式会社再処理工場の実機プラントに近い条件下でのNO<sub>x</sub>吸収、ヨウ素再追出しなどの湿式前処理システムについて、 $\frac{1}{50}$ 規模のプロセス試験装置により性能確認試験を実施中である。

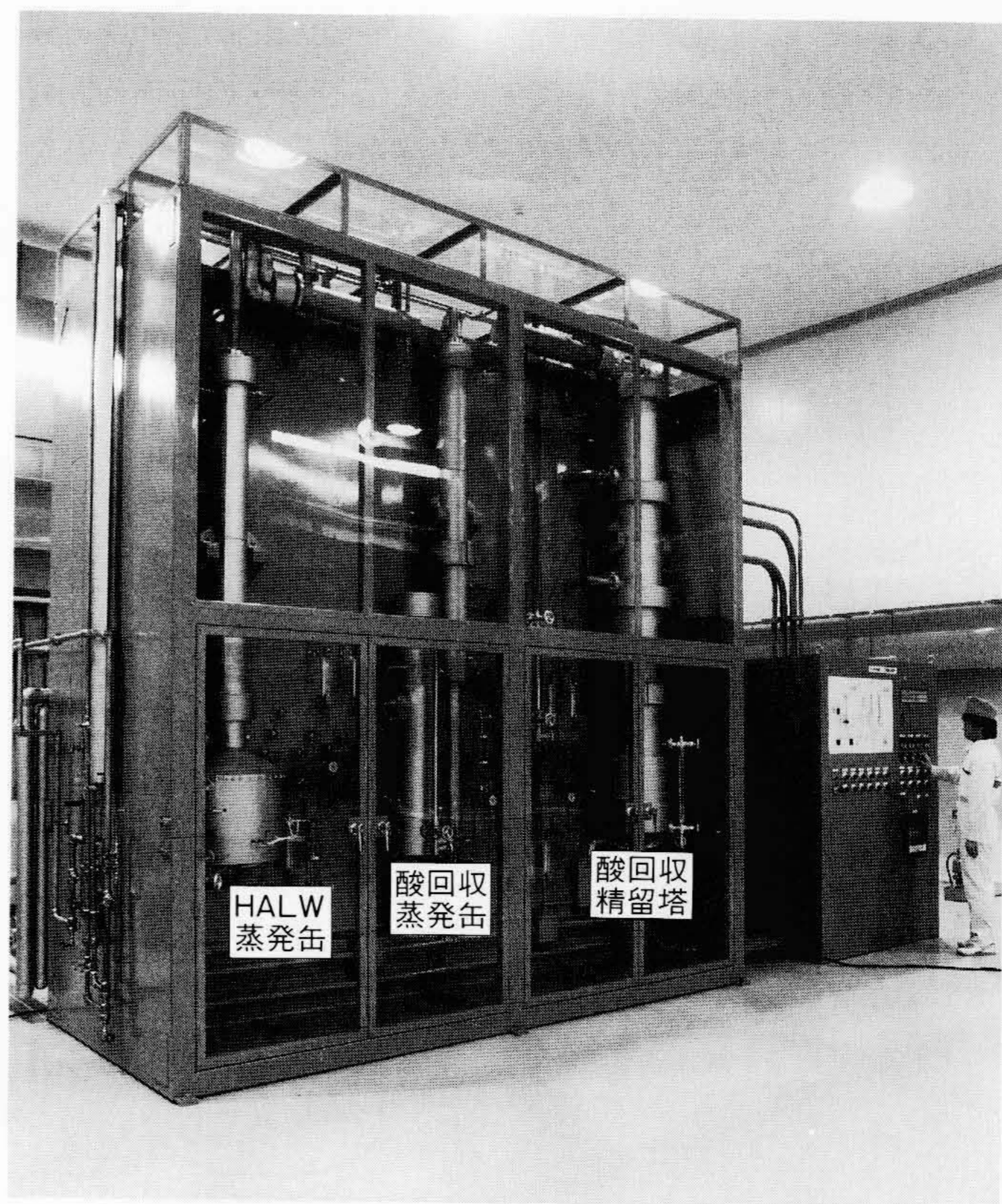


図5 核分裂生成物化学挙動実験設備 本装置は、高レベル廃液濃縮貯蔵及び酸回収プロセスを模擬したもので、プロセス中の核分裂生成物の化学的挙動を解明する目的で昭和62年度に完成したものである。

### 3.3.2 硝酸廃液処理プロセス

#### (1) プロセス環境の把握

高レベル廃液濃縮及び酸回収工程のような硝酸廃液処理プロセスでは、機器が核分裂生成物を含む高濃度硝酸環境下におかれることから、材料の高耐食性を確保すること、あるいは腐食環境を緩和することが必要となる。

このため11規模のガラス製蒸発実験装置で高レベル廃液濃縮及び酸回収プロセスの模擬試験を行い、プロセス中の核分裂生成物の挙動と材料の腐食環境に関する基礎データを得た。現在、この研究成果を確認するため、図5に示す401規模のステンレス製核分裂生成物化学挙動解明実験設備によって実験を進めている。

#### (2) ルテニウム共存硝酸系材料耐食性試験

ルテニウムは核分裂生成物として硝酸溶液中に多量に存在している。日立グループはこのルテニウムの挙動、特にステンレス鋼への腐食の影響に着目して研究を進め、現在までに次の点を明らかにした。

- (a) 硝酸中の四酸化ルテニウム生成速度は、硝酸濃度の増加及び温度の上昇により、指数関数的に増加すること。
- (b) 四酸化ルテニウムは、硝酸中でステンレス鋼の腐食を促進すること(図6参照)。
- (c) 四酸化ルテニウムは、溶液中でステンレス鋼表面に黒色の酸化物(二酸化ルテニウムと推定)となって析出し、腐食を促進すること。
- (d) 還元剤を共存させるなどで四酸化ルテニウムの生成を防止できる可能性があること。

したがって、腐食緩和策としては四酸化ルテニウムの生成を抑制することが効果的であり、減圧蒸発法による温度低下、硝酸濃度の制御、NO<sub>x</sub>共存法などが考えられ、前述の核分裂生成物化学挙動実験設備を用いて確認する計画である。

#### (3) 照射下材料耐食性試験

高レベル廃液貯蔵工程を想定した放射線による腐食促進効果への影響調査実験を実施した結果、図7に示すように模擬液中では腐食を促進するという結果<sup>23)</sup>を得た。更に、これについては、前述の核分裂生成物化学挙動実験設備に付属した照射下腐食環境測定装置により、核分裂生成物の価数変化など

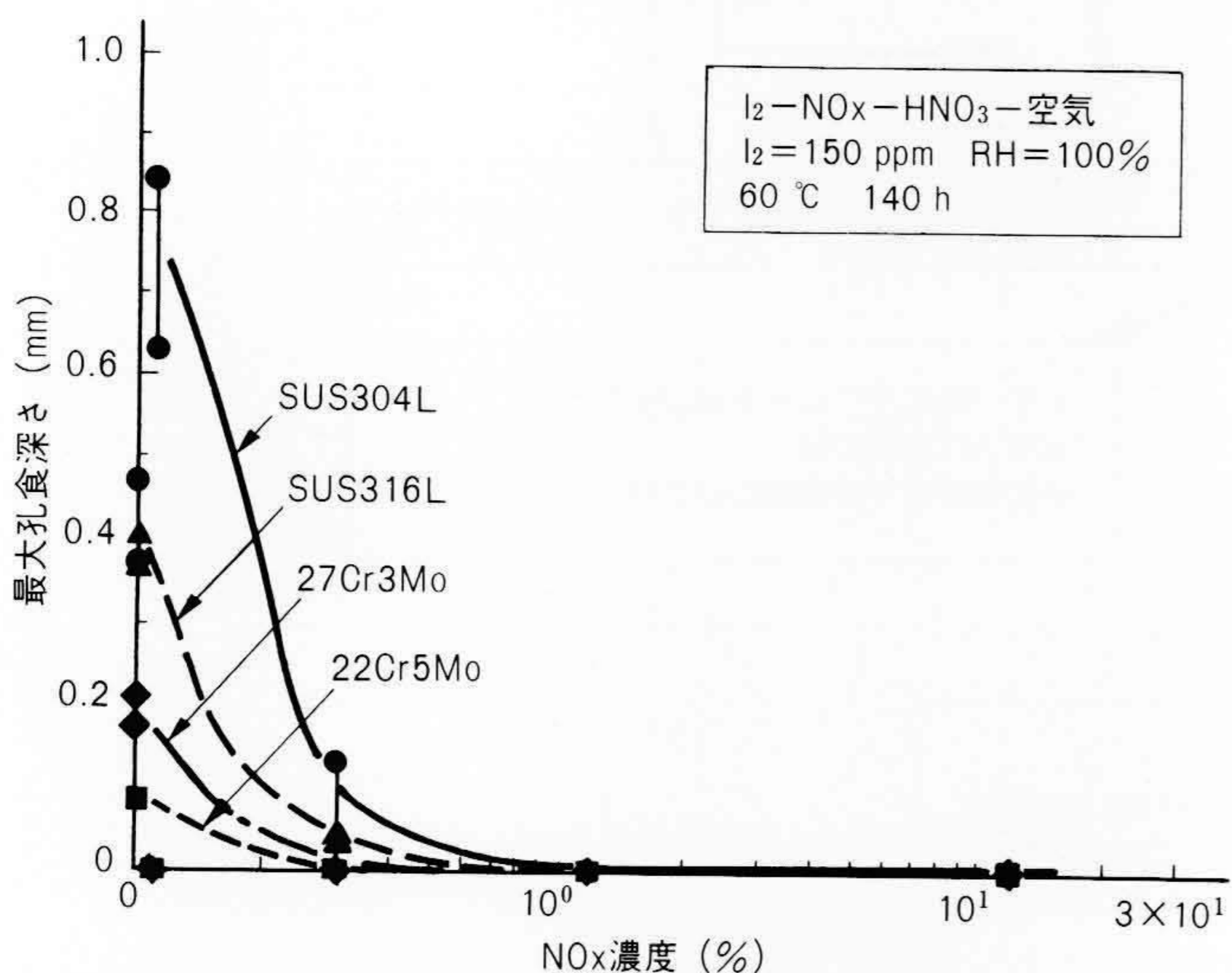


図4 NO<sub>x</sub>増加による腐食緩和効果 ステンレス鋼のヨウ素による孔食は、NO<sub>x</sub>の濃度が増加すると軽減する。

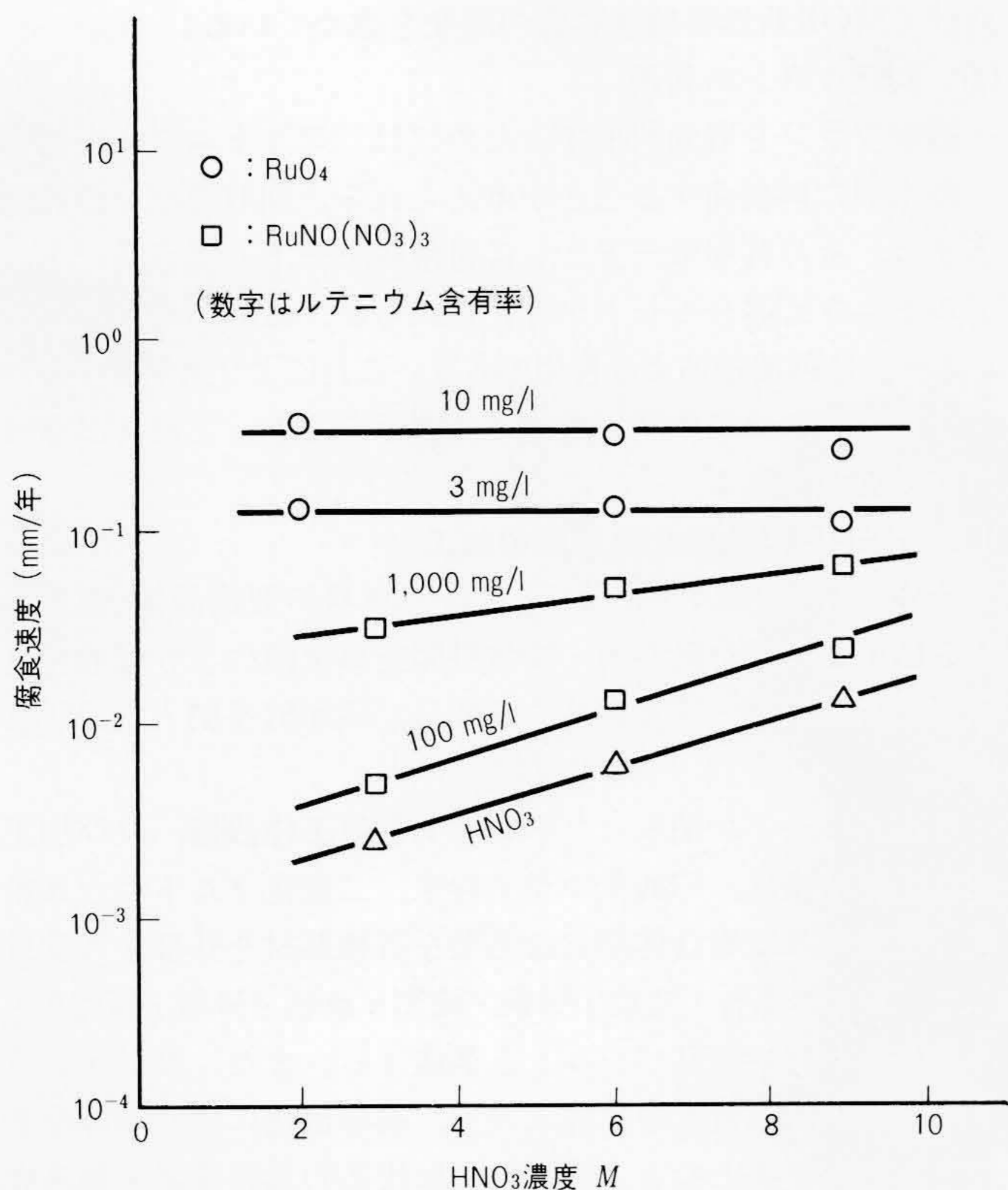


図6 Ru含有硝酸中でのSUS304Lの腐食速度 RuはRuO<sub>4</sub>の化学形態として硝酸中に含まれるとき、ステンレス鋼の腐食に大きく影響する。

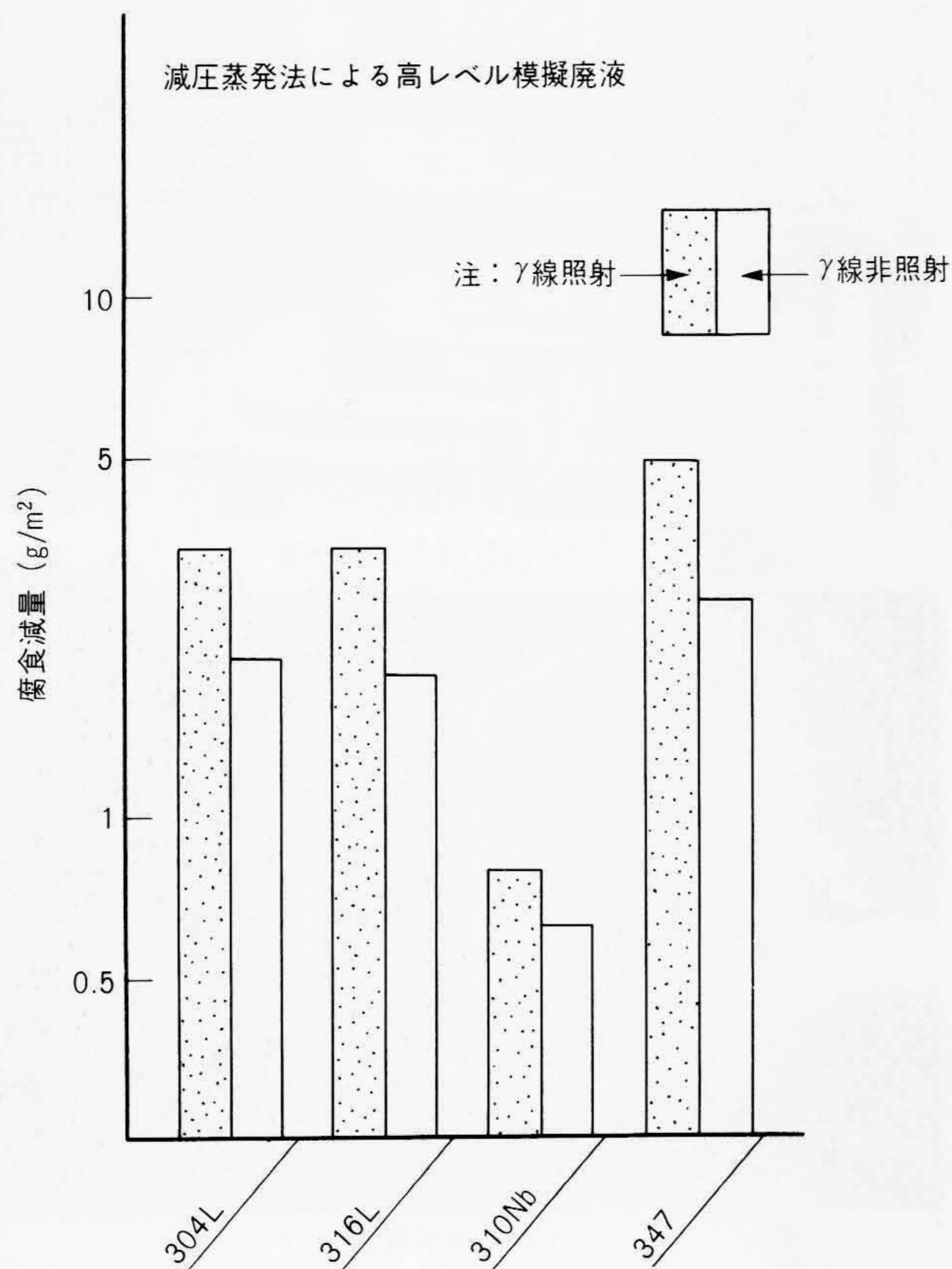


図7 高レベル模擬廃液中でのγ線のステンレス鋼への腐食促進効果 高レベル模擬廃液中では、放射能照射による腐食促進効果がある。

の挙動を把握し、その理由を解明する計画である。

(4) 実機模擬環境下酸回収蒸発缶耐食性試験

材料の耐食性を把握し、実機での信頼性を確認するためには、実機を模擬した腐食環境条件下での長時間腐食試験が必要である。このために図8に示す実機模擬環境下酸回収蒸発缶耐食性試験設備を用い、減圧下での長時間運転を行う。本設備では蒸発缶の伝熱管部、管及び管板接合部などの沸騰伝熱面を主体に実機加工・運転条件下での腐食挙動を確認する。更に、再処理プロセス環境を模擬可能な低ひずみ速度引張試験装置、単軸引張試験装置などにより高温・高濃度硝酸中での応力腐食割れ挙動を確認できる設備を設け、研究を進めている。

3.3.3 ジルコニウム-ステンレス鋼異材継手

腐食環境の厳しい機器に、耐食材料であるジルコニウムを採用する計画がある。したがって、ステンレス鋼製配管との接続部には異材継手が必要となる。日立グループ及び旭化成工業株式会社では、強度・耐食性ともに優れたジルコニウム-ステンレス鋼異材継手を共同で開発し、実用化の見通しを得た。その試作品外観を図9に示す。本異材継手については

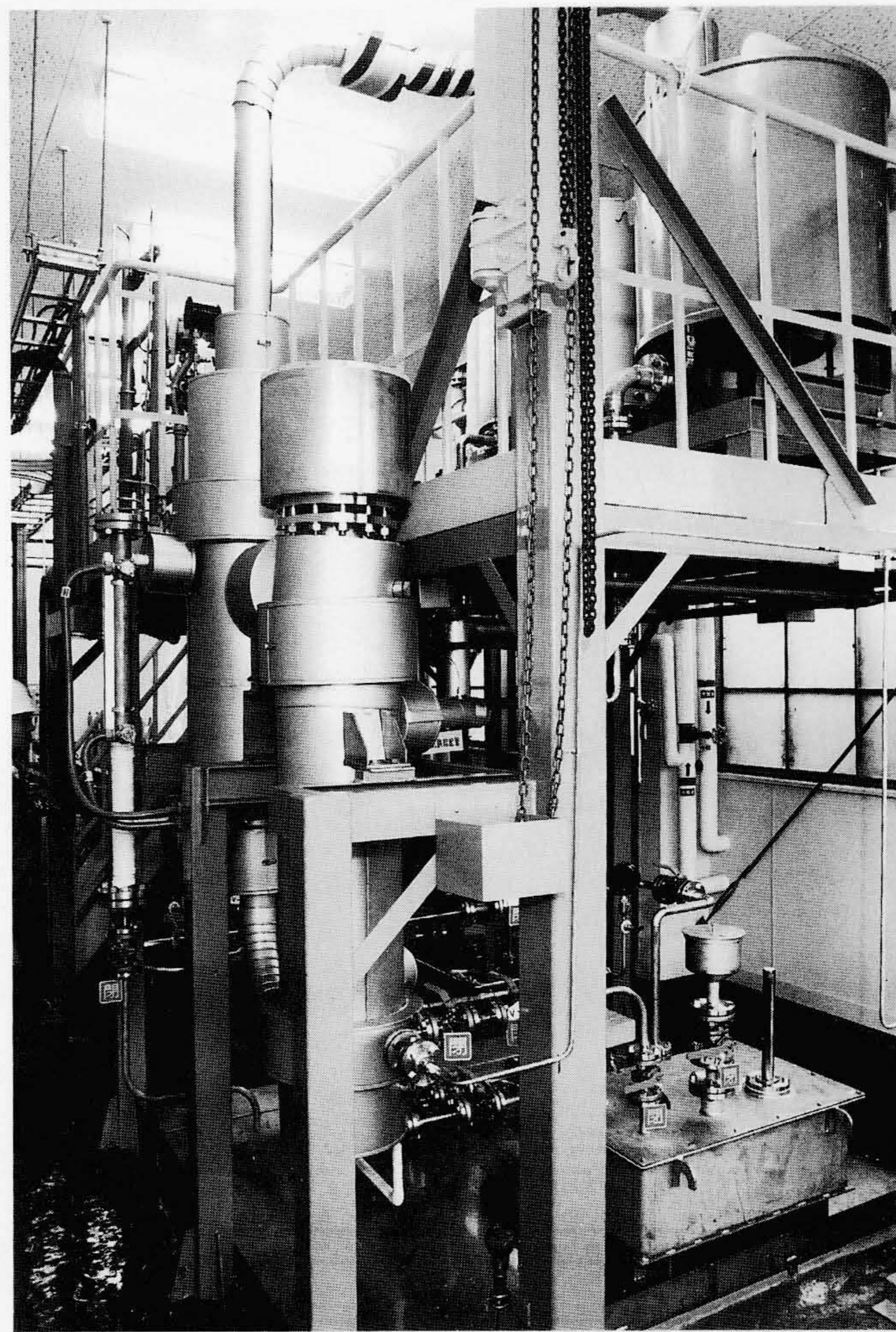


図8 実機模擬条件下酸回収蒸発缶耐食性試験設備 本装置は、実機加工、運転条件下での酸回収工程機器の腐食挙動を確認する目的で、昭和61年度に製作したものである。

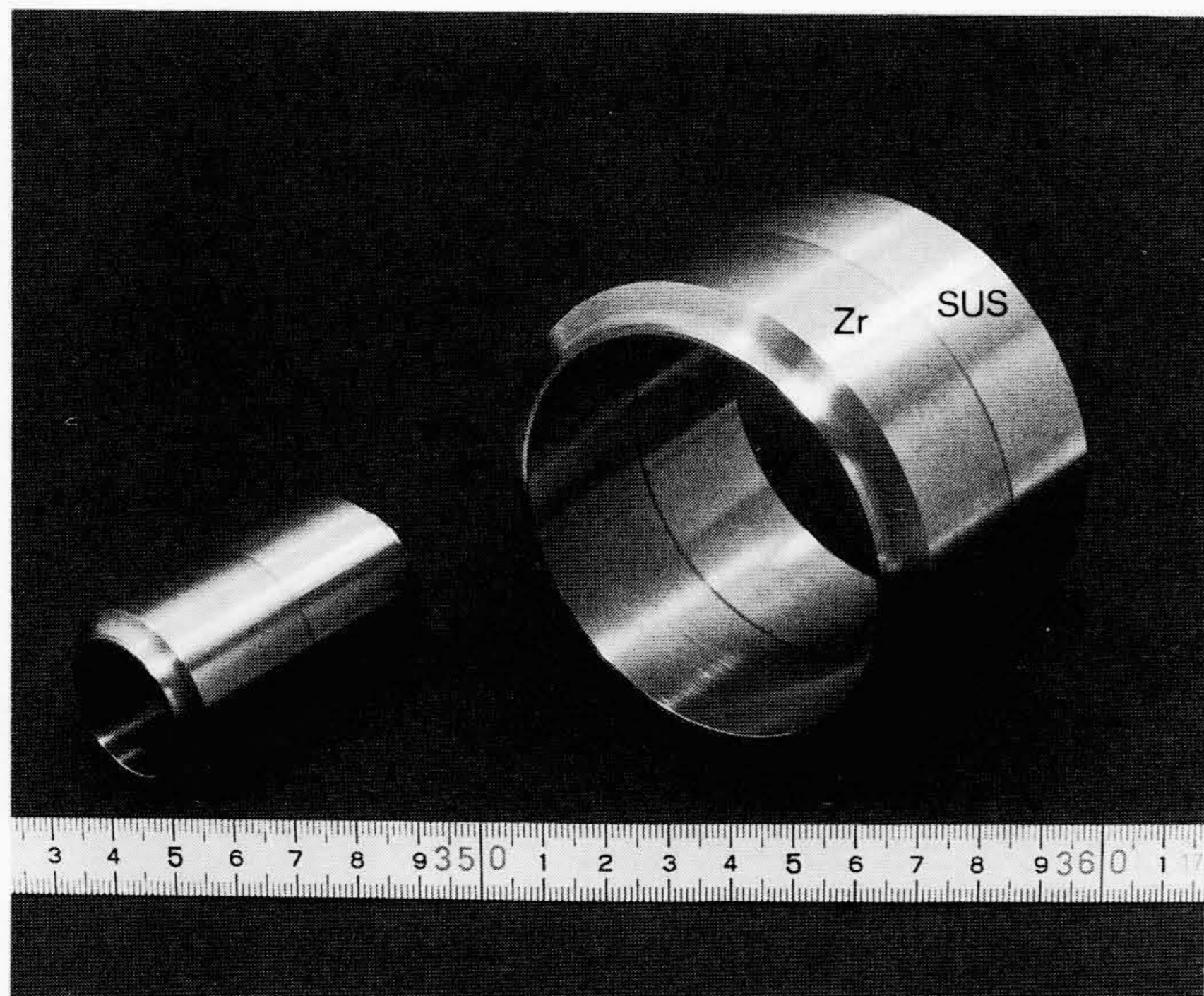


図9 ジルコニウム-ステンレス鋼異材継手 日立グループでは中間材にTa(タンタル)を用いた爆発接合により、強度・耐食性に優れたジルコニウム-ステンレス鋼異材継手を開発し、実用化の見通しを得た。

更に広範な耐食性確認試験を行い、信頼性の確認を行う計画である。

#### 4 回収エネルギー資源の利用技術

##### 4.1 プルサーマル及び回収ウランの利用

###### (1) プルサーマル炉心燃料

軽水炉でのプルトニウム利用は、軽水炉ウラン燃料と同様、熱中性子(サーマル ニュートロン)によるプルトニウムの核分裂を利用することからプルサーマルと呼ばれており、既存の軽水炉で利用できることを特徴としている。

プルトニウムの中性子吸収断面積が大きいことから、MOX燃料を炉心に装荷するとウラン燃料装荷炉心に比べて、炉心の特性が変化する。しかしBWRでは、その特徴である十字型制御棒及び炉心の出力密度が低いことにより炉心特性への影響を小さくできるため、現行の設備を変更することなく、燃料棒をすべてMOX燃料とした燃料を全炉心に装荷できる見通しも得ている。

プルサーマルについては、その特性の技術的確認及びMOX燃料の加工、取扱い経験の蓄積を図る観点から、小数体規模及び実用規模での実証段階を経て本格利用へと進めることが計画されている。

###### (2) プルサーマル燃料加工技術

商業用再処理工場の運転開始などに併せ、プルトニウムの軽水炉による本格利用を図るため、プルサーマル用MOX燃料加工技術の確立を図る必要がある。

プルサーマル用MOX燃料体は、ウラン燃料に比べ放射線量率が高く、量産時の燃料体組立では遠隔化と自動化を図り、従事者が受ける放射線量を低減させ得る状態で燃料体と燃料棒とを取り扱うことが必要である。そのため、燃料集合体組立装置などの検討を行っている。また、実用規模実証計画に

向けてMOX新燃料輸送容器の開発を進めている。

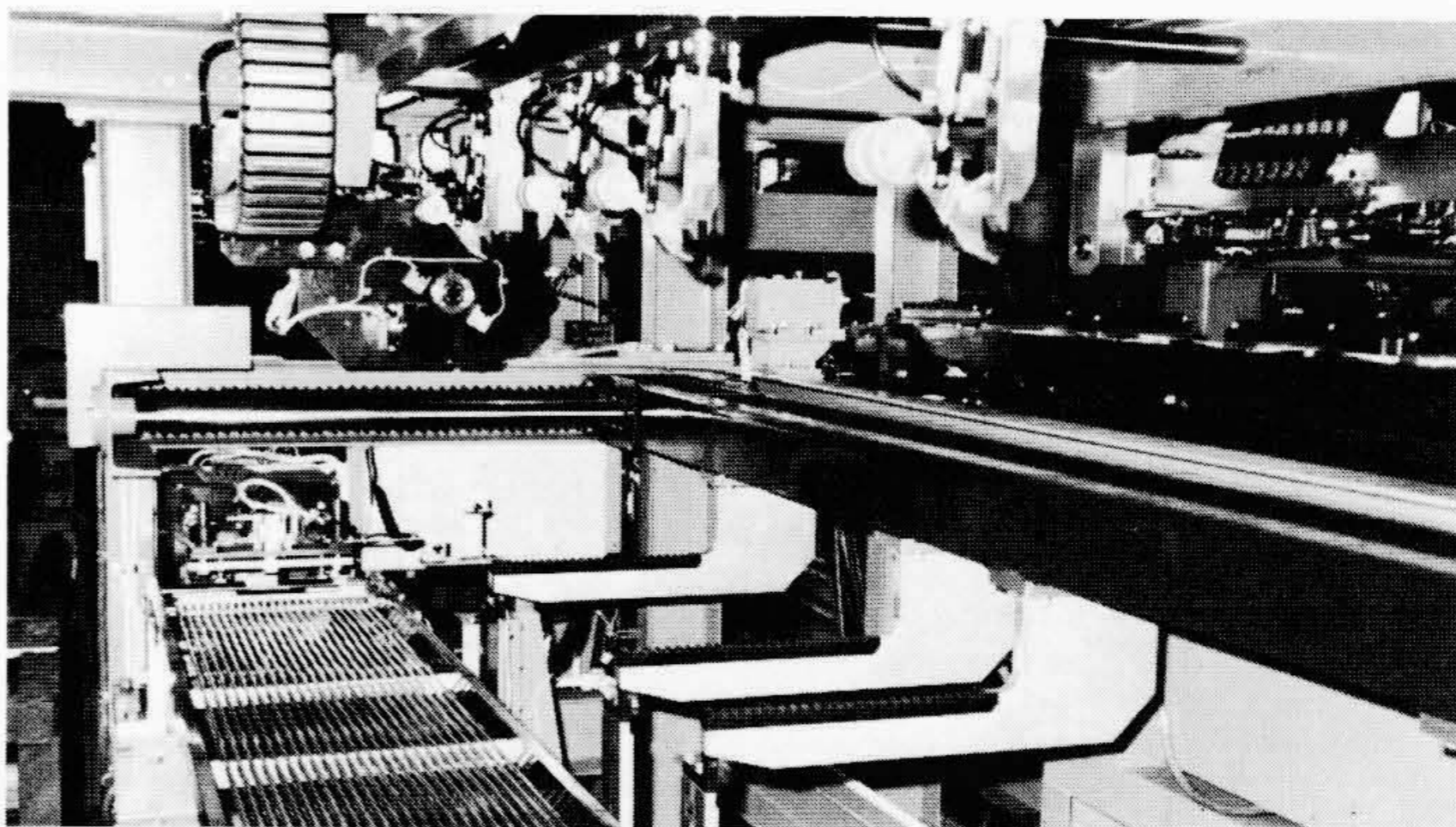
###### (3) 回収ウランの利用

回収ウランを有効利用するためには、プルトニウムと同様に軽水炉に再装荷することが考えられる。回収ウランの利用方法は、その利用モードとして再濃縮モード、混合モード、プルトニウム混合モードが考えられるが、最も利用効率の高いモードは再濃縮による利用であり、これにより天然ウラン、ウラン濃縮の分離作業の節約が可能となるが、これらは今後の検討課題である。

##### 4.2 FBR用混合酸化物燃料の加工

FBR(高速増殖炉)用プルトニウム燃料の製造設備(製造能力5 tMOX/年)が動力炉・核燃料開発事業団により建設されたが、日立グループもこれに参画し、昭和61年納入を完了した<sup>26)</sup>。

日立グループが納入したペレット製造工程設備、及び加工組立工程設備は、二酸化ウラン粉末、二酸化プルトニウム粉末、添加剤及び集合体組立に必要な各種部材を外部から受け入れ、粉末の混合・造粒・分級・成型・焼結・研削・脱ガス・各種検査を行い製品ペレットを製造する。また、製品ペレットは更に燃料被覆管中に挿入の上、端栓溶接により端部を密封され燃料要素となる。最終的には複数の燃料要素を組み合わせ燃料集合体として製品化され、使用まで貯蔵・保管される。本設備の特徴は、被ばく低減、生産性向上、信頼性向



(a) 加工組立工程設備



(b) 粉末保管設備

図10 FBR用PFPPF設備(例) 日立製作所では、FBR燃料製造技術開発施設建設のうちペレット製造工程と加工組立工程の主工程を担当した。

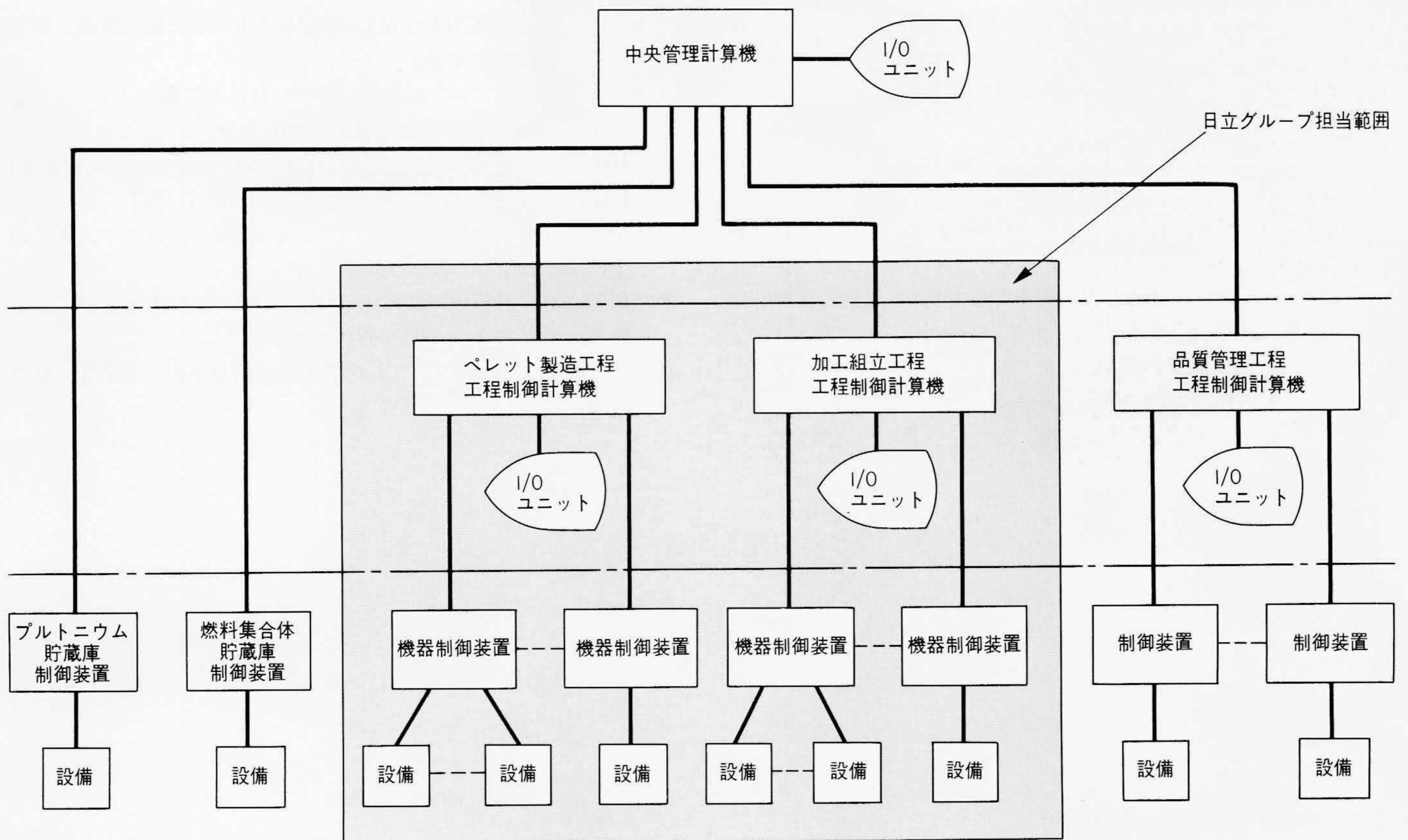


図11 FBR用PFPF設備の主要工程制御システム概念 工程内の各設備を機器制御装置によって制御し、各工程を工程制御計算機で制御し、更に中央管理計算機で統括する。

上のため、各設備機器が遠隔自動運転されることである。制御システムとしては、各工程設備機器が工程制御室に設置されている工程制御計算機により制御される各機器ごとの制御装置(シーケンサ)により動作し、各工程制御計算機は、中央管理計算機で統括される3階層の大規模な高度分散型制御システムが採用された。設備の一例を図10に、また制御システムの概念を図11に示す。

## 5 結 言

原子燃料サイクルのうちバックエンドサイクルに当たる再処理、及びその再処理によって回収されるプルトニウムとウランの利用について、その現状を概論的に述べてきた。

我が国のエネルギー事情を考えると、原子燃料サイクルを確立することはますます重要になってきている。

日立グループはこれまで、政府諸機関、電力会社及び動力炉・核燃料開発事業団など関係各位からの指導を受け、原子力設備の研究開発、建設に従事してきた。この間、自主技術開発に加え海外メーカーの技術も導入し、技術力の向上に努めてきた。今後も日立グループは原子力プラントメーカーとして、原子燃料サイクルの確立のために、更に積極的に取り組む考えである。

## 参考文献

- 1) 総合エネルギー調査会：原子力部会報告書「原子力ビジョン」、昭和61年7月
- 2) 小沢，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(I)，原子力学会「昭和59年会」
- 3) 近藤，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(II)，原子力学会「昭和59年会」
- 4) 小沢，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(III)，原子力学会「昭和60年会」
- 5) 大田，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(IV)，原子力学会「昭和60年会」
- 6) 近藤，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(V)，原子力学会「昭和60年会」
- 7) 麓，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(VI)，原子力学会「昭和60年会」
- 8) 広瀬，外：排ガス中ヨウ素・NOx除去に関する研究(VII)，原子力学会「昭和60年会」
- 9) 加藤，外：原子燃料再処理プロセス技術の開発，日立評論，68，6，479～484(昭61-6)
- 10) 中井，外：減圧酸回収プロセス確証試験(I)，原子力学会「昭和60分科会」
- 11) 林，外：減圧酸回収プロセス確証試験(II)，原子力学会「昭和60分科会」
- 12) 岩本，外：減圧酸回収プロセス確証試験(III)，原子力学会「昭和60分科会」
- 13) 橋本，外：減圧酸回収プロセス確証試験(IV)，原子力学会「昭和60分科会」

- 14) 加藤, 外: 原子燃料再処理プロセス技術の開発, 日立評論, **68**, 6, 479~484(昭61-6)
- 15) 舛井, 外: 濃縮ウラン溶解槽の遠隔補修(1), 原子力学会「昭和60年会」
- 16) 大谷, 外: 濃縮ウラン溶解槽の遠隔補修(2), 原子力学会「昭和60年会」
- 17) 河原, 外: 原子燃料再処理工場遠隔保守技術の開発, 日立評論, **68**, 4, 337~340(昭61-4)
- 18) 塚上, 外: ヨウ素含有湿潤気相中でのステンレス鋼の腐食特性(1), 原子力学会「昭和62秋の大会」
- 19) 広瀬, 外: 酸回収工程模擬試験, 原子力学会「昭和62秋の大会」
- 20) 笹平, 外: 再処理硝酸溶液中での8価のルテニウムの生成速度の測定, 原子力学会「昭和62年会」
- 21) 矢野倉, 外:  $\text{HNO}_3\text{-RuO}_4$ におけるステンレス鋼の腐食, 原子力学会「昭和62年会」
- 22) 庄司, 外: ルテニウム含有硝酸中における数種のステンレス鋼の耐食性, 原子力学会「昭和62秋の大会」
- 23) Hirose, et al.: Implication of Ruthenium in the Acidic Liquid Evaporation Processes RECOD87(1987)
- 24) 小沼, 外: 再処理設備用のステンレス鋼/ジルコニウム異材継手, 原子力学会「昭和62秋の大会」
- 25) 西村, 外: 溶解オフガス中の $\text{NO}_x$ 吸収, ヨウ素除去に関する研究, 原子力学会「昭和62秋の大会」
- 26) 一ノ瀬, 外: プルトニウム燃料製造設備(PFPF)の開発, 日立評論, **70**, 1, 30(昭63-1)



## 画像認識によるフロック監視に関する研究(Ⅱ) —フロック形成特性の計測と評価—

久留米広域上水道企業団 一木博幸・日立製作所 馬場研二  
水道協会雑誌 56-8, 48~56 (昭62-8)

浄水場での凝集・沈殿プロセスを管理するためには、形成された凝集粒子(フロック)の粒径分布や密度を知ることが重要であるが、これまで実プラントでこれらをオンライン計測した例は知られていない。

既に著者らは、前報で画像認識技術を適用することによりフロック画像をオンライン計測する手法を提案した。本論文では、実プラントでフロック粒径分布を実測し、その計測条件及び分布特性を明らかにするとともに、フロック密度と沈降性との関連を明らかにした。

1画面当たり200~400個のフロックを1~15画面画像処理してフロック粒径分布の統計的特性を調べた結果、粒径分布は対数正規分布に適合することを明らかにした。こ

の結果は、Rajagopalのモデルによれば凝集現象を確率過程とみなしてよいことを示唆する。また、母集団から粒径分布の統計的な特徴量を推定するには、10画面以上が必要であることを見いだした。

フロック形成を最も容易に制御できる操作因子は凝集剤注入量であるので、これを操作してフロック形成特性及びフロック物性を調べた。その結果、幾何平均径は凝集剤注入量によって変化するが、幾何標準偏差は凝集剤注入量に依存しない現象を見いだした。このことは、フロックの平均的な大きさを凝集剤注入量の操作によって制御できることを意味する。したがって、フロックの画像監視結果を凝集剤注入制御に反映できることを示唆する。

しかし、凝集・沈殿プロセスでは、単にフロックを成長させるだけでなく、沈降性に優れたフロックを形成させることが必要である。そこで、フロック全体の平均的な密度を評価するために、画像計測値に基づいて計算したフロック体積と懸濁質の重量とを使用して平均有効密度を推定した。平均有効密度の推定値は実測値とほぼ一致することを確認した上で、沈殿池でのフロックの沈降性を考察した。

その結果、凝集剤が必要以上に注入された場合には、密度が低いフロックが形成されてその中で低速領域に分布するフロックが沈殿池から流出することが示唆された。このことから、フロックの密度の管理が重要であることが示された。