

放射性廃棄物処理技術の開発

Development of Radioactive Waste Treatment Technique

原子力発電所から発生する放射性廃棄物は、処分法が未定のためドラム缶に充てんされて、暫定的に発電所施設内に貯蔵されている。発電量の増加とともに貯蔵ドラム缶数も増加しつつあるため、それを低減すべく諸施策が検討されてきている。これに対応して、廃棄物の発生量の低減と発生した廃棄物の減容安定化処理技術の開発に取り組み、特に多様な最終処分にも対応可能な状態に処理することを基本とした処理システムを開発した。

本稿では、特に多種廃棄物を乾燥ペレット化する「一元化処理技術」、及び廃棄物を安定固化する「セメントガラス固化技術」を中心に廃棄物処理新技術の概要について述べる。

菊池 恂* Makoto Kikuchi

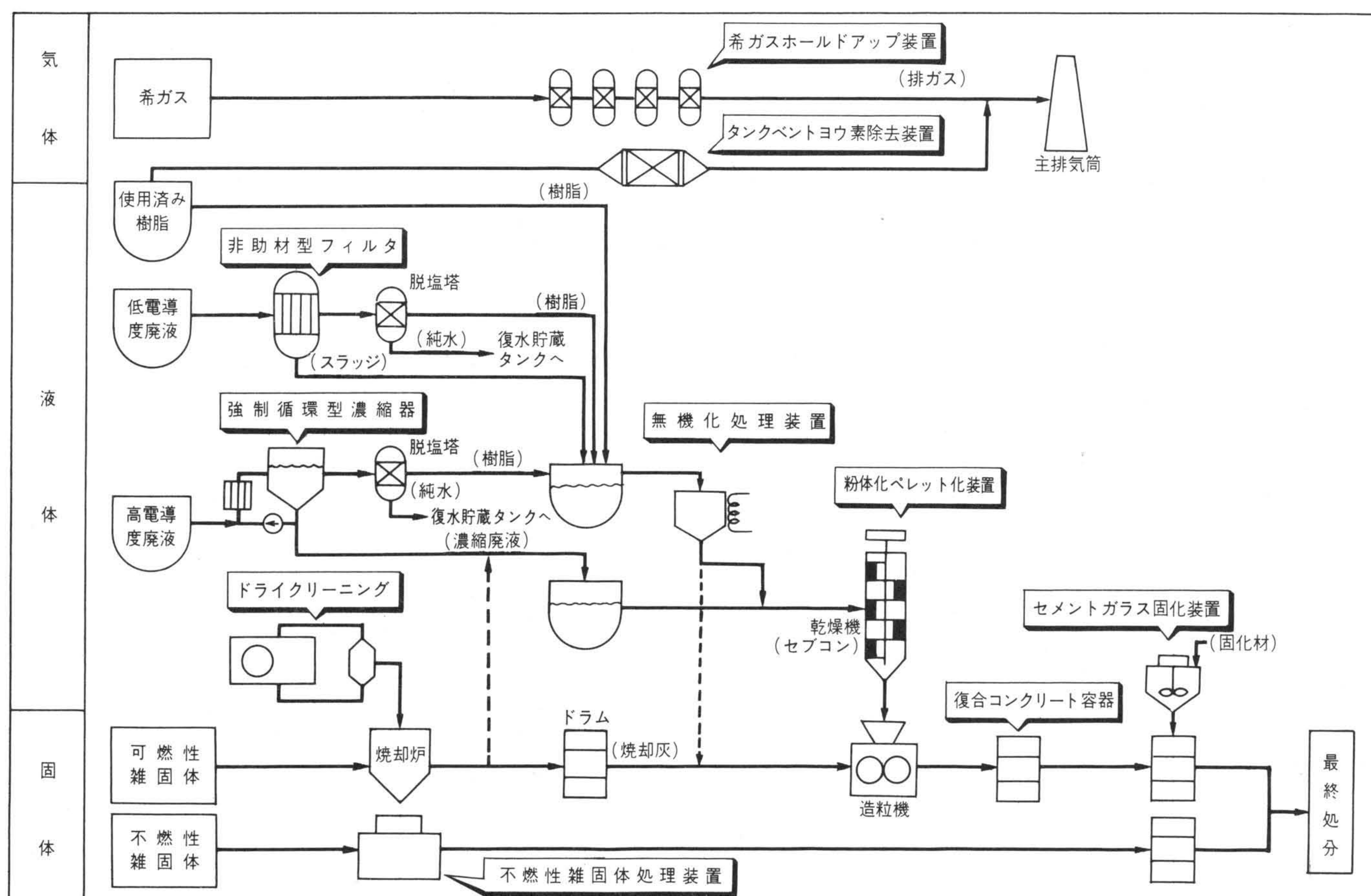
雨宮 滋** *Shigeru Amamiya*

遊佐英夫*** Hideo Yusa

1 緒言

原子力発電所で発生する放射性廃棄物は、気体・液体・固体に大別されるが、その形態及び性状に応じて適切な処理が行なわれている。図1に原子力発電所の放射性廃棄物処理の主要プロセスを示すが、日立製作所では、原子力プラントメーカーとして発生源である一次冷却系の放射能低減技術から発生廃棄物の貯蔵処分技術に至るまでのトータル処理システ

ムの確立を図っている。特に、環境への放出放射能低減、廃棄物の発生量低減、発生廃棄物の最大減容、最終処分への柔軟な対応性などを基本方針として、各廃棄物処理技術の開発を進めている。表1に主要開発技術を示すとともに、その中で特徴のある技術について以下に概要を述べる¹⁾。



注：略語説明 ヤブコン(遠心薄膜乾燥機)

図1 放射性廃棄物処理プロセスの概要 廃棄物は気体、流体、固体別に性状に応じて処理されている。その主要処理技術も合わせて示す。

* 日立製作所日立工場 理学博士

** 日立製作所日立工場

*** 日立製作所エネルギー研究所 工学博士

表1 放射性廃棄物処理技術の開発状況 日立製作所の廃棄物処理技術の研究開発の代表例を示す。

装置名	対象廃棄物	開発目的			特徴
		放出低減	廃棄物低減	信頼性向上	
1. 希ガスホールドアップ装置	空気抽出器系排ガス	●	—	—	活性炭吸着による大幅な放射能低減
2. ヨウ素フィルタ	タンクベントガス	●	—	—	高性能銀アルミナ吸着材による耐湿性、耐不純物性の向上
3. ドライクリーニング装置	衣類など	●	●	—	溶剤の浄化、再利用による除染効率向上、二次廃棄物低減
4. 濃縮装置	高電導度廃液	—	●	●	チタン製負圧強制循環方式による耐食性向上
5. 無機化処理装置	使用済み樹脂、スラッジ	—	○	—	熱分解法による処理温度の低減、二次廃棄物低減
6. 粉体化ペレット化装置	濃縮廃液 使用済み樹脂 スラッジ、焼却灰	—	●	—	単一装置による多種廃棄物の一括減容
7. 固化装置	固体廃棄物	—	○	○	耐久性、経済性に優れた無機固化材(セメントガラス)
8. 固化容器	固体廃棄物	—	○	○	耐久性、耐水性に優れた複合コンクリート容器
9. 非助材型フィルタ	低電導度廃液	—	●	—	SUS焼結金属チューブ(ポラスチューブフィルタ)を母材に使用
10. フロン除染装置	工具、ヘルメットなど	—	●	—	不活性溶剤の使用による二次廃棄物低減
11. 電解研磨除染装置	金属廃棄物	—	○	—	中性塩交番法による除染効率向上、二次廃棄物低減
12. 高圧縮減容装置	不燃性雑固体	—	●	—	金属、保温材、フィルタなどの広範な廃棄物の高減容

注：●(開発済み)、○(開発中)

(1) 放出放射能低減

原子力プラント導入当初、原子力の環境対策が重要視され、環境に放出される放射能を実現可能なレベルまで下げるという観点から、主に気体・液体廃棄物について処理技術の開発・改善が進められてきた。主な具体例は、下記のとおりである。

- (a) 排ガス処理系への希ガスホールドアップ装置
- (b) 廃棄物処理系タンクベントヨウ素除去フィルタ

(2) 固体廃棄物発生量低減

放射性廃棄物の最終処分のためには、ドラム缶などの容器内に安定に固定化する必要がある。この固体廃棄物の処分については、現在我が国では海洋投棄と陸地処分の両面から検討が進められているが、当面は発電所施設内での暫定貯蔵とせざるを得ず、そのため固体廃棄物発生量の低減が不可欠である。これに対して廃棄物の発生量を低減すること、発生した廃棄物を最終処分技術に適応可能な状態に処理することの二方針に沿って、処理・処分技術開発を進めてきた。主な具体例は下記のとおりである。

- (a) 廃棄物発生量の低減
 - (i) 低電導度廃液処理用非助材型フィルタ
 - (ii) ドライクリーニング装置
 - (iii) 除染装置

その他一次系の水質改善、復水脱塩器の性能向上など、発生源の改良も進められている。

- (b) 発生廃棄物の減容
 - (i) 濃縮廃液、使用済み樹脂などの多種廃棄物の粉体化、ペレット化装置
 - (ii) 不燃性雑固体廃棄物の圧縮減容処理装置
 - (iii) 使用済み樹脂及びスラッジの無機化処理技術

以上述べた事項のほかに、運転性・信頼性・保守性・安全性の向上、被ばく低減などの観点から、諸設備の改良が図られている。また更に、長期安定性と高減容性に優れた最終処分用固化技術の開発も進めている。

ここでは特に廃棄物処理システムの主要開発課題である減容固化処理技術について以下に詳細に述べる。

2 減容固化処理技術

放射性廃棄物の減容固化処理技術は、最終処分技術と不可分であることを念頭に開発に取り組んでいる。すなわち、廃

棄物の施設内外の貯蔵から海洋・陸地処分に至るまで多様化する貯蔵、処分法に十分対応できるように長期間にわたって安定した固化体物性をもつことを基本とし、かつ高い減容性が得られる固化処理技術の開発を進めている。その具体的な開発方針を以下に述べる。

- (1) 高減容比の確保→乾燥粉体化ペレット固化
 - (a) 廃棄物の乾燥粉体化及び造粒化処理による減容
 - (b) 安定造粒体による中間貯蔵(最終処分への柔軟な対応可能)
- (2) 固化体物性の長期安定性確保→無機固化体
 - (a) 有機廃棄物の無機化処理
 - (b) 無機固化材による固化
 - (c) 無機容器への固化

3 乾燥減容化技術

日立製作所の減容処理技術は、プラントから発生する濃縮廃液や、使用済み樹脂などの全廃棄物を単一装置により一括処理するものである²⁾。この一元化造粒処理システムのフローを図2に示す。

3.1 プロセスの概要

各廃棄物は、貯蔵タンクで必要に応じて放射能減衰を図った後、遠心薄膜乾燥機(以下、セブコンと略称する。)で乾燥粉体とする。

なお、粉体化処理に先立ち有機廃棄物である使用済み樹脂などは熱分解などにより無機物へ前処理することも可能である。

セブコンから生成された粉体は、造粒機でアーモンド状又は円筒状のペレットに成形される。ペレットはドラム缶などの容器に入れた後、固化材を注入した状態、又はペレットの状態最終処分時まで施設内に保管(中間貯蔵)される。

なお、本システムでは造粒機を経ず粉体の状態で固化(粉体固化)することも可能である。

3.2 主な特徴

本システムの主な特徴を以下に述べる。

- (1) 高減容性
廃棄物ドラム缶発生量を、従来のセメント固化法に比較して平均で約 $\frac{1}{5}$ (濃縮廃液で約 $\frac{1}{10}$)に減少でき、暫定貯蔵・最終処分いずれの場合にも有利である。
- (2) 最終処分対応への柔軟性
最終処分方法がどのように決定されても、固化材の選択が

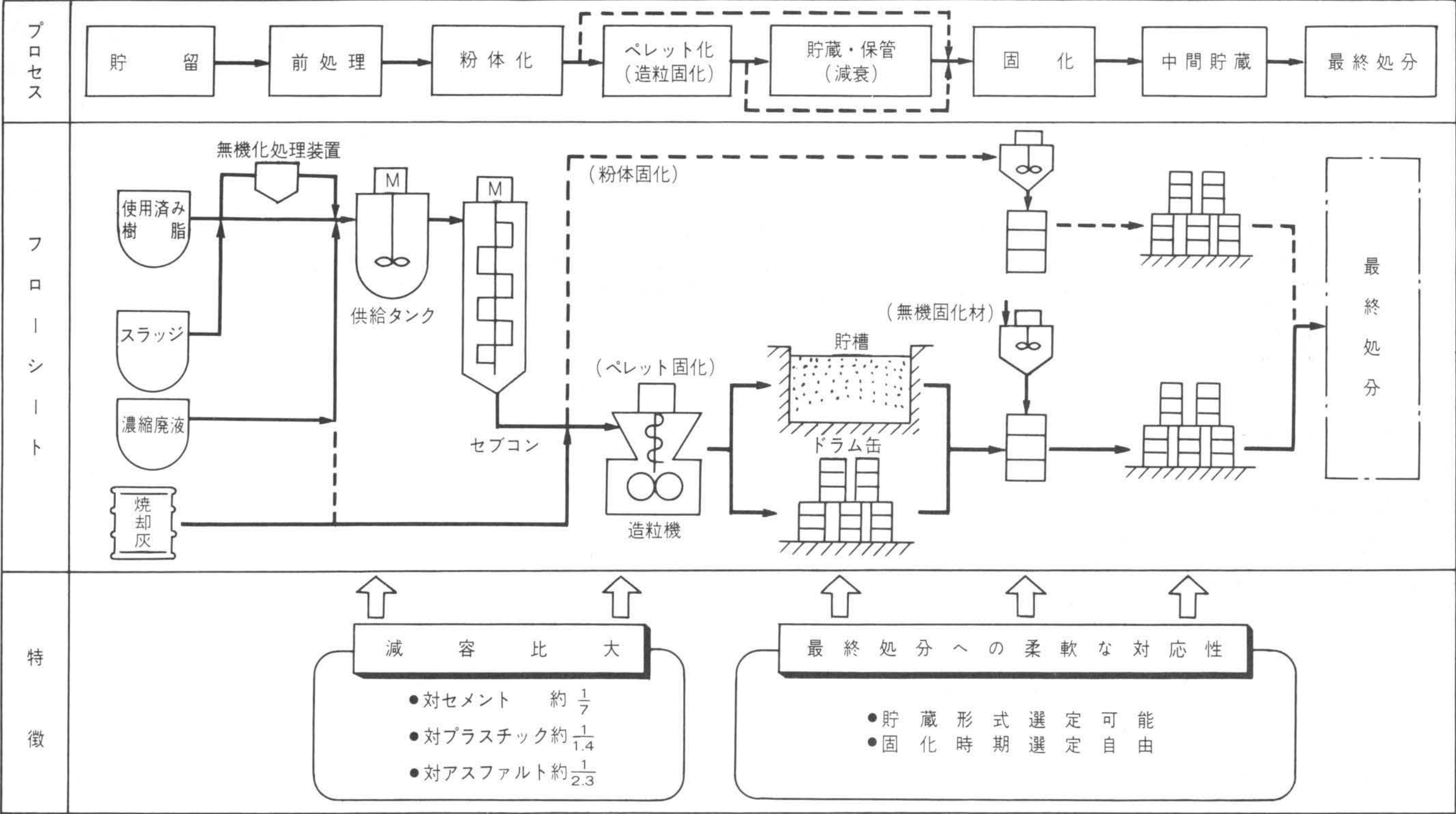


図2 一元化造粒システムのフローシート 多種廃棄物を単一装置により、一括造粒処理システムの概要と特徴を示す〔減容比はBWR(沸騰水型原子炉)廃棄物の場合を示す〕。

可能など技術的、経済的に容易に対応できる柔軟性をもっている。

(3) システムの簡素化

多種多様な廃棄物を単一装置を用いて一括処理するため、システムの簡素化が図れる。

(4) 実証技術の採用

本システムの主要技術は、各種パイロットプラント(図3参照)で技術的課題を解決した³⁾上、実廃棄物を用いてその性能を確認している。なお、濃縮廃液を対象とした実プラントは、昭和59年6月に運開する予定である。

4 貯蔵処分用固化技術

放射性廃棄物の処分形態としては、海洋投棄及び陸地処分の両面から検討が進められているが、いずれの場合でも固化体の長期安定性が重要視される。これに対応して廃棄物を無機固化材(セメントガラス)により無機容器(複合コンクリート容器)内に固化する無機固化処理技術の開発に取り組んでいる。

4.1 特徴

(1) 固化材の特徴(セメントガラス)

セメントガラス固化材は、ガラスの成分であるケイ酸ソーダにセメントを配合し、ガラスのち密性とセメントの強度を合わせもった特性をもつ。天然産の原料を用いているため低価格であるとともに、長期耐久性に優れている。また更に、無機材であるため耐火性、強度、耐水性をもっているとともに化学的にも安定である。

(2) 容器の特徴(複合コンクリート容器)

複合コンクリート容器は、コンクリートに複合材を含浸させ薄肉化を図るとともに、強度、耐水性を向上させている。無機材であるため耐腐食性に優れるとともに、形状も従来の丸形ドラム缶サイズだけでなく、貯蔵スペース効率の良い1m³角型容器も製作可能である。これらの無機固化材、無機容器

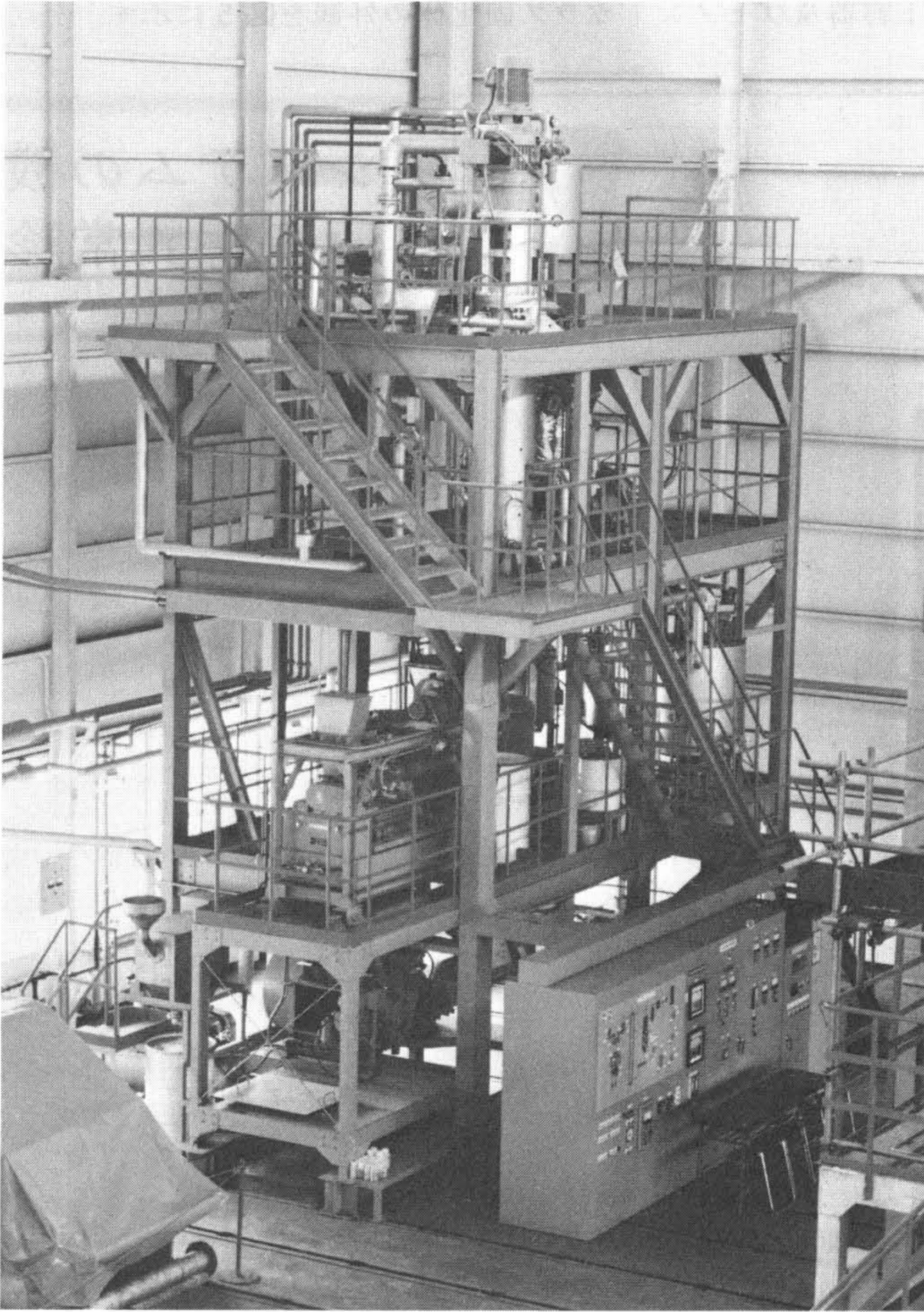


図3 一元化造粒処理パイロットプラント 実用規模パイロットプラントによる各種実証試験で、性能確認が行なわれる。

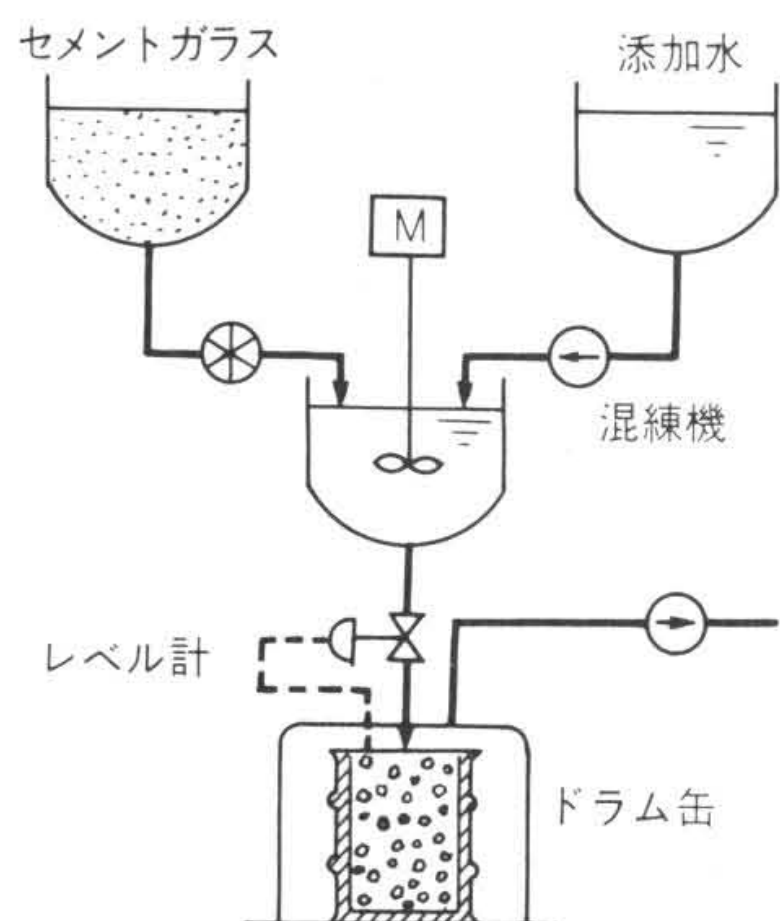


図4 セメントガラス固化システムの概要 ペレット固化の場合はセメントガラスを注入するだけでよく、廃棄物の混練が不要となるため、機器の保守が容易となる。

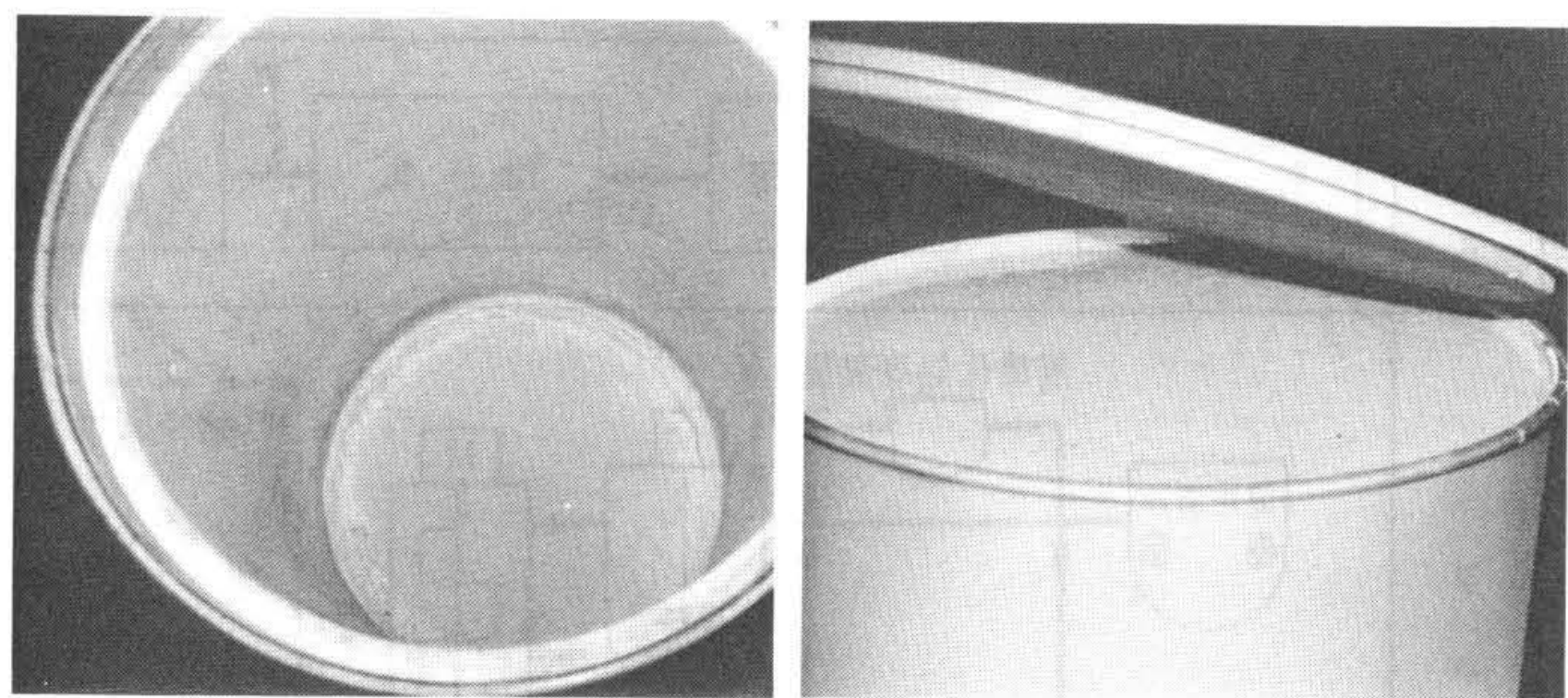
に有機廃棄物の無機化技術をも加えて全無機固化体の作製が可能となる。

4.2 固化システム

廃棄物の固化技術としては、粉体と固化材を直接混練して固化する粉体固化も可能であるが、減容性、システムの簡略性などからペレット固化が有利である。

ペレットの固化システムフローを図4に示すが、粉末状のセメントガラス固化材と添加水とを所定量混練した後、既にペレットが充てんされている容器に注入するだけでペレット間の空隙に浸透し、ボイドのない均一な固化体を生成することができる。硬化反応では、成分元素のシリカ、カルシウムなどの無機元素が3次元の強固な網目構造を形成する。

なお本システムでは、廃棄物との混練操作がないため、固化装置は基本的には非汚染機器として取り扱うことが可能であり、洗浄などの除染・点検が容易である。複合コンクリート容器及びセメントガラス固化体の外観を図5に示す。



(a) 複合コンクリート容器

(b) セメントガラス固化体

図5 容器及び固化体の外観(200l規模) 無機固化体により、長期耐久性の向上が図れる。

5 結 言

原子力発電所で発生する放射性廃棄物の発生量の低減と、発生した廃棄物の減容処理技術の開発について紹介した。とりわけ多種廃棄物を乾燥・ペレット化する「一元化処理技術」によってドラム缶発生本数の大幅低減が可能であり、更に「無機固化処理技術」により固化体の長期安定性の確保が可能となる。

参考文献

- 1) 雨宮, 外: 放射性廃棄物減容処理技術の動向, 日立評論, 64, 8, 573~578(昭57-8)
- 2) 遊佐, 外: 原子力発電所廃棄物の一括減容処理, 日本原子力学会誌, 24, 10, 770~774(1982)
- 3) M.Kikuchi, et al.: Drying and Pelletizing of Nuclear Power Plant Radioactive Wastes, Proc. Symp. on Waste Management '82, Tucson, 601(1982)

論文抄録

システムの機能に関する知識を用いた原子炉異常診断の試み

日立製作所 元田 浩・山田直之
計測と制御 22-9, 791~796 (昭58-9)

通常、プラントの診断には診断に関する何らかのモデルが必要である。このモデルは多くの場合、異常事象の波及に関するものであり、原因と結果の因果関係に関する知識を表現したものと考えられる。

このような知識を用いた問題解決技法に知識工学と呼ばれているものがある。この手法の特徴は、知識と推論を分離し、知識に基づく論理の組立てにより推論を行ない問題解決を支援することである。知識は断片的に記述すればよいため修正が容易で、ノウハウや経験を問題解決に生かせるという利点がある。

プラント診断では、このような因果関係に関する知識を多数集めることで効率の良い診断が可能であるが、知識にないことに対しては無力である。診断に必要な知識は対象システムの機能(構造や特性)から演繹的な推論によって導き出せるので、機能に関する知識を直接推論に用いれば、因果

関係の形に知識を整理する必要はない。そのためは、推論による知識の生成が必要となるが、定理の自動証明などでよく用いられている述語論理を用いた導出原理が適用できる。

以上のような考えを用いて原子力プラントの診断を試みた。すべての知識は述語論理の命題の形式で記述する。例えば構造を示す例として、ポンプCの第1出力が検出器Aの第2入力に接続されているという知識は、 $(\text{conn}(\text{output } 1C)(\text{input } 2A))$ という命題で、二つの入出力点が接続されていればそれらの値は同じであるという知識は、 $(\text{if}(\text{and}(\text{conn } \$x \$y)(\text{true}(\text{value } \$x \$z) \$t))(\text{true}(\text{value } \$y \$z) \$t))$ という命題で記述する。ここで $\$x$ などは変数を表わす。特性に関する知識も同様に述語論理の命題として表現できるが、命題の解釈に数値計算が必要になる。このように知識の使い方に関する知識(メタ知識と呼ばれ

ている。)も命題として与える。

これらの知識を用いて、診断は次の4ステップのプロセスを経て実施される。ステップ1: 異常を示した検出器が本来示すべき値を推定する。ステップ2: 検出器の値がそうならなかったという事実から、検出された異常の原因となり得る機器を論理的に選定する。ステップ3: 観測データの矛盾性をチェックすることによってステップ2の候補を更に選別する。ステップ4: ステップ3で候補が一つに絞れない場合に、冗長系を構成する機器の切換えや開度の調節可能な弁の開度変更などの新たなテストを発生し、結果を評価し原因を同定する。

原子力プラントの給水系の故障診断に適用し、このような方法により異常検知からテスト発生、評価までの一連の思考過程を推論により計算機で実施することが原理的に可能であることを示した。