

# 放射性廃棄物処理設備の軽量化 (スリムラド)

## Advanced Radioactive Waste Treatment System (Slim-Rad)

原子力発電所から発生する放射性廃棄物(ラドウエスト)処理については、我が国への導入以来、放出低減・信頼性向上・発生量低減・減容・安定化の基本的方針に基づき種々改良・新技術開発がなされ、国産技術として定着したと考えられる。廃棄物処理の最近の焦点は、原子力発電経済性向上ニーズと固体廃棄物の最終処分対応である。これに呼応して、廃棄物発生源であるプラント上流側設備の改善による廃棄物発生量・放射能低減を含め、運転実績に基づく廃棄物処理設備設計条件の適正化・廃棄物処理新技術の適用により処理設備の大幅な軽量(スリム)化、固体廃棄物量の大幅低減・長期安定処理化を図っており、以下にスリムラドウエスト処理システム(スリムラドと言う。)を中心に廃棄物処理技術について述べる。

堀内 進\* *Susumu Horiuchi*  
 菊池 恂\*\* *Makoto Kikuchi*  
 吉川涼三\* *Ryōzō Kikkawa*

### 1 緒 言

原子力発電所で発生する気体状、液体状、固体状の放射性廃棄物は各々それらの種類、性状に応じて適切な処理が行なわれている。日立製作所では総合プラントメーカーとしての立場から、原子力発電所での放射性廃棄物処理システム及びその構成要素技術について、以下の基本方針に基づき開発を進め現在に至っている。

- (1) 環境への放出放射能低減
- (2) 設備信頼性の向上
- (3) 廃棄物発生量の低減
- (4) 発生廃棄物の最大減容
- (5) 最終処分への対応

特に固体廃棄物については、現在各サイト内に貯蔵保管されているが、最終処分の動向として、サイト外低レベル廃棄物貯蔵施設への集中管理化移行が国の方針のもと、関係機関、

電力会社、メーカーなどで具体化されつつあり、固化体本数低減、長期健全性への要求がますます重要となっている。日立製作所ではこれらの動きにいち早く対応するため、図1に示すように放射性廃棄物の一元化処理(ペレット固化)技術、無機固化材(セメントガラス)による無機容器(複合コンクリート容器)への固化技術開発に早くから取り組み、電力共通研究などを通じて既に実用化している。

一方、原子力プラント全体の改良標準化、合理化推進の動きの中で、放射性廃棄物処理システムについても十年余りにわたり蓄積された運転実績と水処理・燃料などの改善成果を反映し、先の基本方針に加え下記に重点を置いて設備のスリム化を図っている。

- (1) 上流側を含めた廃棄物発生量の低減及び設備の軽量化
- (2) 新技術採用による総合的な廃棄物処理方式の合理化

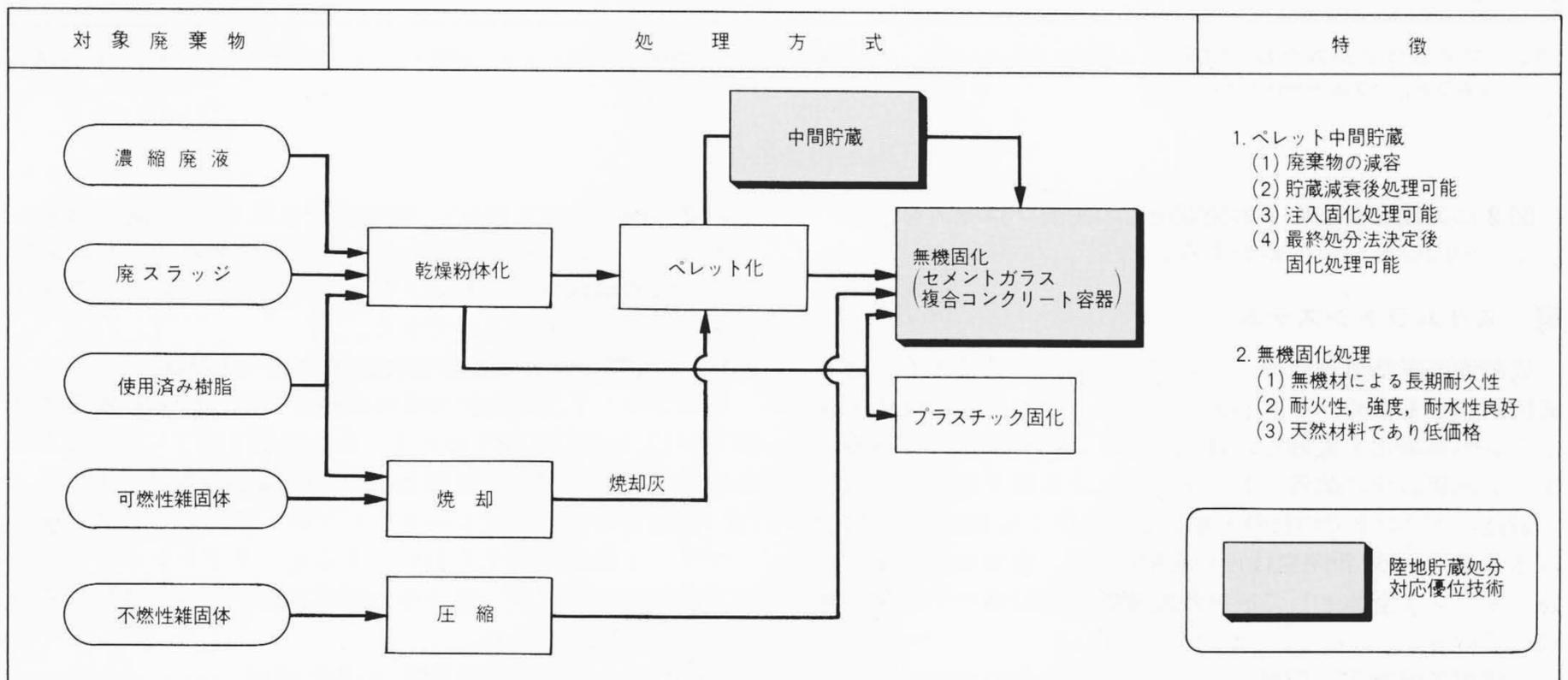


図1 最終処分対応基本フロー図 日立製作所では将来のサイトほか陸地低レベル廃棄物貯蔵施設での集中管理化に対応し、廃棄物の最も有効な減容と長期安定性に優れた無機固化技術を柱に実用化している。

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所日立工場 理学博士

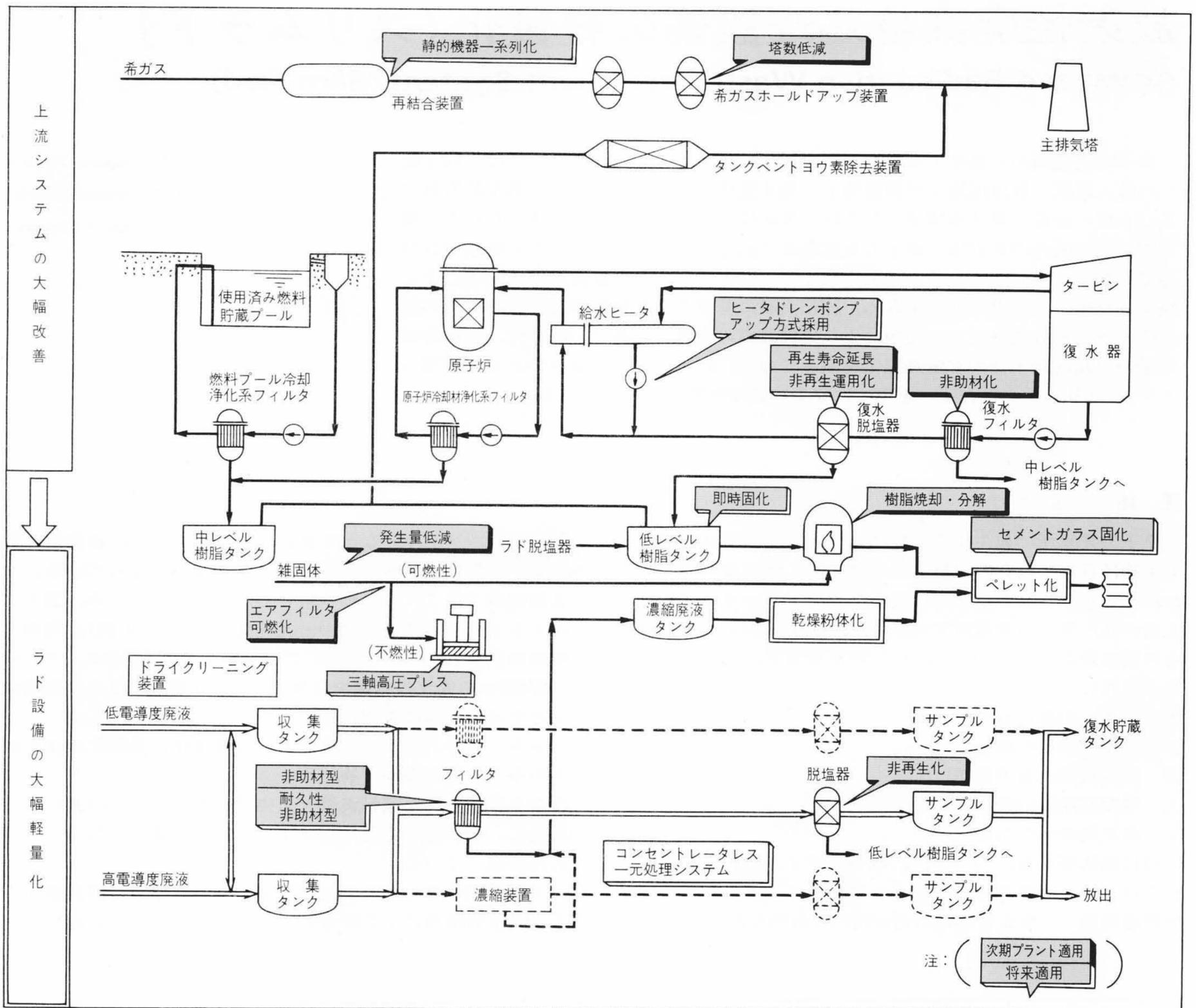


図2 スリムラドシステムの概要 先行機運転実績の反映、上流設備の改善、実証新技術の採用により、次期プラント、将来プラント向けに大幅に合理化したスリムラドシステムを計画している。

図2に次期改良型原子力発電所での主要プロセスを示し、以下その内容について紹介する。

## 2 スリムラドシステム

放射性廃棄物処理設備については、前述の背景のもとに上流側設備をも含め、下記の観点から総合的処理の高度化・システムの簡素化を実施し、設備のスリム化を推進している。

- (1) 上流側設備の改善・新技術適用による総合的合理化設計  
最近のプラントでの材料・水質改善及び上流側設備(特に給復水設備)への最新開発技術の適用により、廃棄物発生量を低減しプラント全体として放射性廃棄物処理設備の小型化を推進している。
- (2) 放射性廃棄物処理処分への最新開発技術の適用  
放射性廃棄物処理設備に、最新開発技術を適用することにより、発生廃棄物の最大減容の確保、最終処分への対応、信頼性向上などを可能にしている。
- (3) 最新稼動プラント運転実績反映による合理化  
改良標準化初号機東京電力株式会社納め福島第二原子力発

電所2号機の運転実績から、廃棄物発生量・比放射能の低減、機器・システム信頼性確保などの良好な成果が得られ、廃棄物処理設備構成機器の基数・容量など設計条件の一段の適正化・合理化を図ることができた。

### 2.1 上流側設備改善と廃棄物処理設備への影響

将来プラント上流側設備概略仕様を従来のBWR(沸騰水型原子炉)と比較して表1に示す。主な特徴は以下に述べるとおりであり、廃棄物処理設備との相関関係を図3に示す。

- (1) 低圧ヒータ・高圧ヒータドレンポンプアップ方式の採用  
プラント熱効率向上を目的とするヒータドレンポンプアップ方式の採用により、復水浄化設備容量が半減し使用済み樹脂発生量が低減される。
- (2) CF(復水浄化系汚過装置)の非助材化  
CFは従来、粉末樹脂プリコート形を適用してきたが、非助材形の中空糸膜を採用することにより、CF使用済み樹脂の発生がなくなり、プラントの樹脂貯蔵設備の縮小が可能となる。中空糸膜フィルタは電力共通研究などを通じて開発を進め、実液試験によって、処理性能、差圧上昇特性、逆洗性など良

表1 上流側設備の比較 上流側設備, 特にタービン系, 復水浄化系が改善され, 廃棄物発生条件が緩和されることにより, 廃棄物処理設備は $\frac{1}{3}$ に軽量化・小型化され, かつ運転管理が大幅に軽減される見通しである。

| No. | 項目         | 改良標準型BWR                           | 将来プラント                             | 備考                       |
|-----|------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1   | タービン系      | カスケード方式                            | 低圧ヒータ, 高圧ヒータドレンポンプアップ方式            | 復水浄化系設備容量低減              |
| 2   | 復水浄化系      | 粉末樹脂プリコート形<br>ろ過器<br>+<br>再生式混床脱塩器 | 非助材形中空糸膜<br>ろ過器<br>+<br>非再生運用混床脱塩器 | 使用済み粉末樹脂発生抑止<br>再生廃液発生抑止 |
| 3   | 原子炉冷却材浄化系  | 粉末樹脂プリコート形<br>ろ過器                  | 同 左                                | -                        |
| 4   | 燃料プール冷却浄化系 | 粉末樹脂プリコート形<br>ろ過器                  | 同 左                                | -                        |

好な結果が得られている。中空糸膜は焼却設備などでの処理が必要となる。

(3) CD(復水浄化系脱塩器)の非再生運用化

最近のプラントでの主復水器海水リークの低減, タービン系材料改善による復水中の溶解性不純物低減の実績, 及び樹脂の経年劣化の状況から, CDは数年間薬品再生なしでも十分なイオン交換能力を保持できることに着目して, 非再生運用を採用している。これにより, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>などの再生薬品廃液の発生を抑止し, 後述する廃液の濃縮装置の廃止が可能となった。

2.2 スリムラドシステムの適用技術と特徴

スリムラドシステムを構成する各要素技術を表2に示す。廃棄物処理でも最新技術の適用・設計条件の適正化による設備の軽量化を図っている(次期プラントへ適用が決定しているものも多い)。以下に適用技術・設計方針の面から, スリムラドシステムの特徴点を述べる。

- (1) 気体系……機器・系統合理化によるコンパクト化
  - (a) 再結合装置への高性能金属触媒の採用(装置小型化)
  - (b) 脱湿装置の廃止
  - (c) 希ガス放出率低減による活性炭量・吸着塔塔数削減—燃料改善成果(実績)により希ガス漏えい率を従来設計の $\frac{1}{3}$ とし, 希ガス保持時間条件を緩和
  - (d) 再結合装置・フィルタなど静的機器の多重化廃止
- (2) 液体系……コンセントレータレス処理システム
  - (a) 濃縮装置の廃止……上流側CDの非再生運用化により再生廃液発生が抑止され, 床ドレン・分析室ドレンを低電導度廃液同様に, 非助材形ろ過処理+脱塩処理を行ない濃縮装置を廃止する。
  - (b) 低電導度・高電導度廃液処理済み水回収・放出設備の統合……プラント全体としての廃液比放射能低減
- (3) 固体系……安定固化・最大減容処理システム
  - (a) 大容量使用済み樹脂貯蔵設備の廃止又は容量削減……上流側給復水設備の改善による廃棄物発生量の大幅低減
  - (b) 使用済み樹脂焼却減容処理採用……ドラム缶発生本数低減・固化装置容量削減
  - (c) ペレット セメントガラス, 複合コンクリート容器固化の採用……最終処分対応の長期安定・減容固化

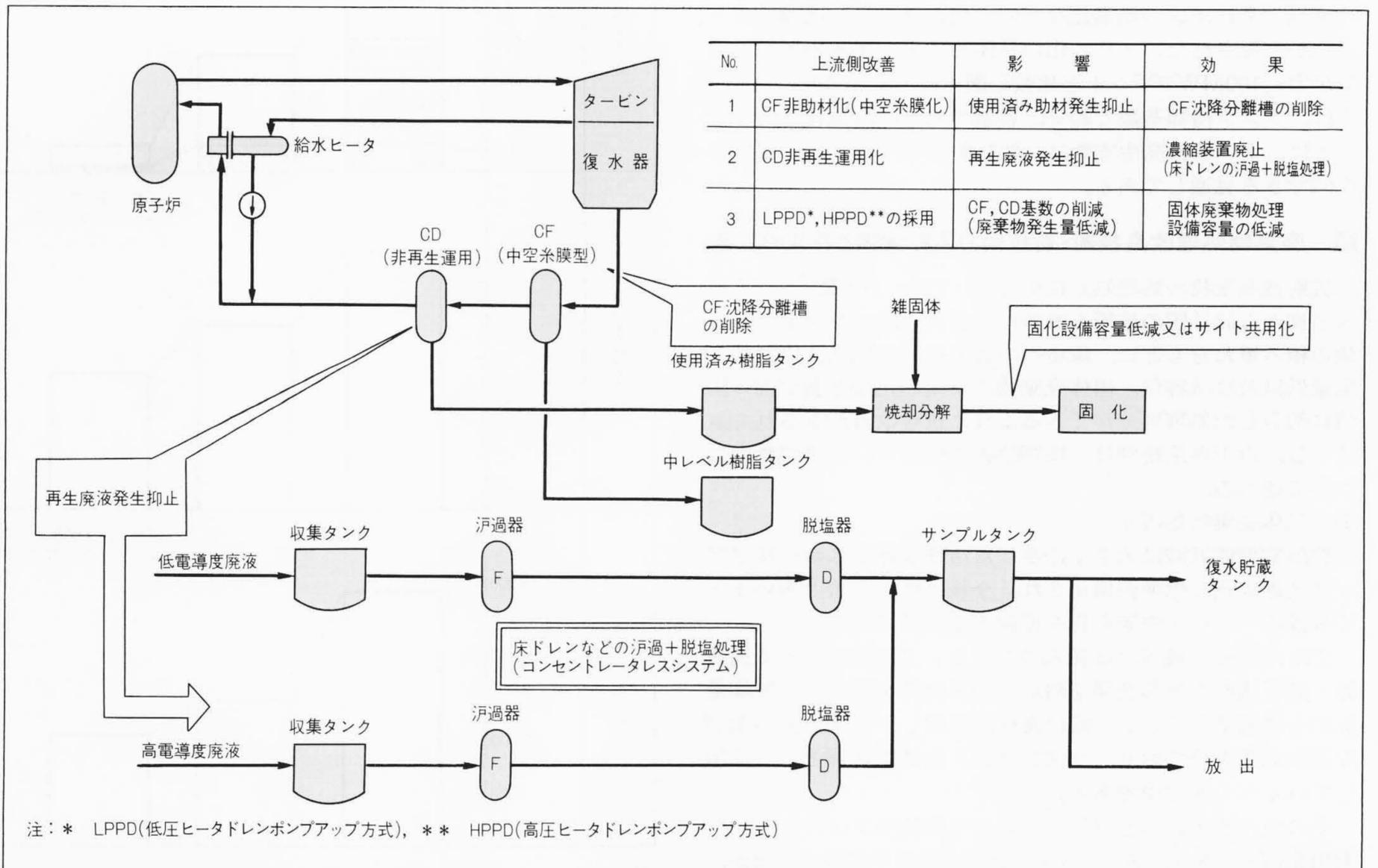


図3 上流側設備と廃棄物処理設備の相関関係 上流側設備, 特に給復水設備と廃棄物処理設備は不可分な関係にあり, 将来プラントではプラント全体で水処理の高度化・設備の軽量化を図り, 廃棄物処理設備のスリム化を実現している。

表2 スリムラドシステム構成主要要素技術の採用状況と効果 スリムラドシステムでは、上流側設備と放射性廃棄物処理設備双方に多くの新技術を適用し、設備費・運転費の低減・ドラム缶低減を図っている。

| 基本方針          | 対応技術               | 採用状況      |                      | 効果    |       |        | 備考             |
|---------------|--------------------|-----------|----------------------|-------|-------|--------|----------------|
|               |                    | 改良標準化プラント | 将来プラント               | 設備費低減 | 運転費低減 | ドラム缶低減 |                |
| 1. 放出放射能低減    | (1) 希ガスホールドアップ装置   | ○         | ○                    | ○*    | -     | -      | 塔数低減           |
|               | (2) タンクベントヨウ素除去装置  | ○         | ○                    | -     | -     | -      | -              |
|               | (3) ドライクリーニング装置    | ○         | ○                    | ○     | ○     | -      | -              |
| 2. 設備信頼性向上    | (1) 高耐食廃液濃縮器       | ○         | (○)<br>(チタン製・インコネル製) | -     | ○     | -      | -              |
|               | (2) 金属触媒式再結合器      | -         | ○                    | ○     | -     | -      | -              |
| 3. 廃棄物発生量低減   | (1) 非助材型フィルタ       | -         | ○                    | ◎     | ○     | ◎      | 使用済み樹脂貯蔵設備容量低減 |
|               | (2) ヒータドレンポンプアップ方式 | -         | ○                    | ○     | ○     | ○      | 復水浄化系設備容量低減    |
|               | (3) 復水浄化系脱塩器非再生運用化 | -         | ○                    | ○     | -     | ○      | 再生廃液発生抑止       |
|               | (4) 高電導度廃液の滲過+脱塩処理 | -         | ○                    | ◎     | ○     | ○      | 脱塩器非再生化が前提     |
| 4. 発生廃棄物の最大減容 | (1) 粉体化・ペレット化装置    | -         | ○                    | -     | -     | ○      | -              |
|               | (2) 樹脂焼却・分解        | -         | ○                    | -     | ○     | ◎      | -              |
|               | (3) 不燃性雑固体高圧プレス    | -**       | ○                    | -     | ○     | ◎      | -              |
|               | (4) エアフィルタ可燃化      | -         | ○                    | -     | ○     | ○      | -              |
| 5. 最終処分への対応   | (1) セメントガラス固化      | -         | ○                    | -     | -     | ○      | 無機素材による安定固化    |
|               | (2) 複合コンクリート容器     | -         | ○                    | -     | -     | -      |                |

注：◎(特に効果の大きいものを示す。) \* 希ガスホールドアップ塔塔数低減効果あり。 \*\* 高圧プレスは開発済み技術である。

(d) 不燃物・難燃物減容技術の採用……不燃物・難燃物の発生量比率上昇の傾向に対して、エアフィルタの可燃化(減容比約 $\frac{1}{100}$ )、高圧プレス(減容比約 $\frac{1}{4}$ )の適用により大幅減容を図る。

2.3 スリムラドシステムの効果

前述の基本方針に従い、廃棄物発生量低減、コンセンレータレス処理システム確立、廃棄物の長期安定化・最大減容の実現、系統構成の簡素化などの成果が得られ、設備のスリム化が実現された。スリム化の具体的効果を従来の標準的電気出力1,100MWプラントと比較し図4に示す。スリムラド設備は、タンク槽類基数で約 $\frac{2}{3}$ 、容量で約 $\frac{1}{2}$ に軽量化されるとともに、ドラム缶発生本数は、約100本/年・ユニット程度に低減できる見通しである。

3 廃棄物処理改良技術・新技術の運転実績と将来の展望

放射性廃棄物の処理処分技術については、BWRプラント導入当初から諸外国の技術を参考にしながら、プラント運転経験の積み重ねをもとに、環境への放出放射能低減、廃棄物発生量低減及び減容化、固体廃棄物の安定固化など我が国の国情に適合した処理処分ができるように技術改善がなされてきている。以下各系統別に、技術改善の内容及び今後の動向について述べる。

(1) 気体廃棄物処理系

放出放射能低減に大きく寄与した活性炭希ガスホールドアップ装置は既に標準装備化され、今後は燃料改善とあいまって装置のいっそうの適正化を推進する方針である。

また、再結合装置には従来のセラミック触媒に代わる高性能・低圧損形の海绵金属を用いた金属触媒を開発し、触媒量を約 $\frac{1}{6}$ に低減している。既に実機に適用し、1年以上の順調な運転成果を得ており、今後プラントに標準仕様として採用していくべく検討中である。

その他、放出低減を目的とするヨウ素除去フィルタも開発実用化済みであり、タンクベント処理への標準装備化のほか、再処理分野への適用も検討中である。

(2) 液体廃棄物処理系

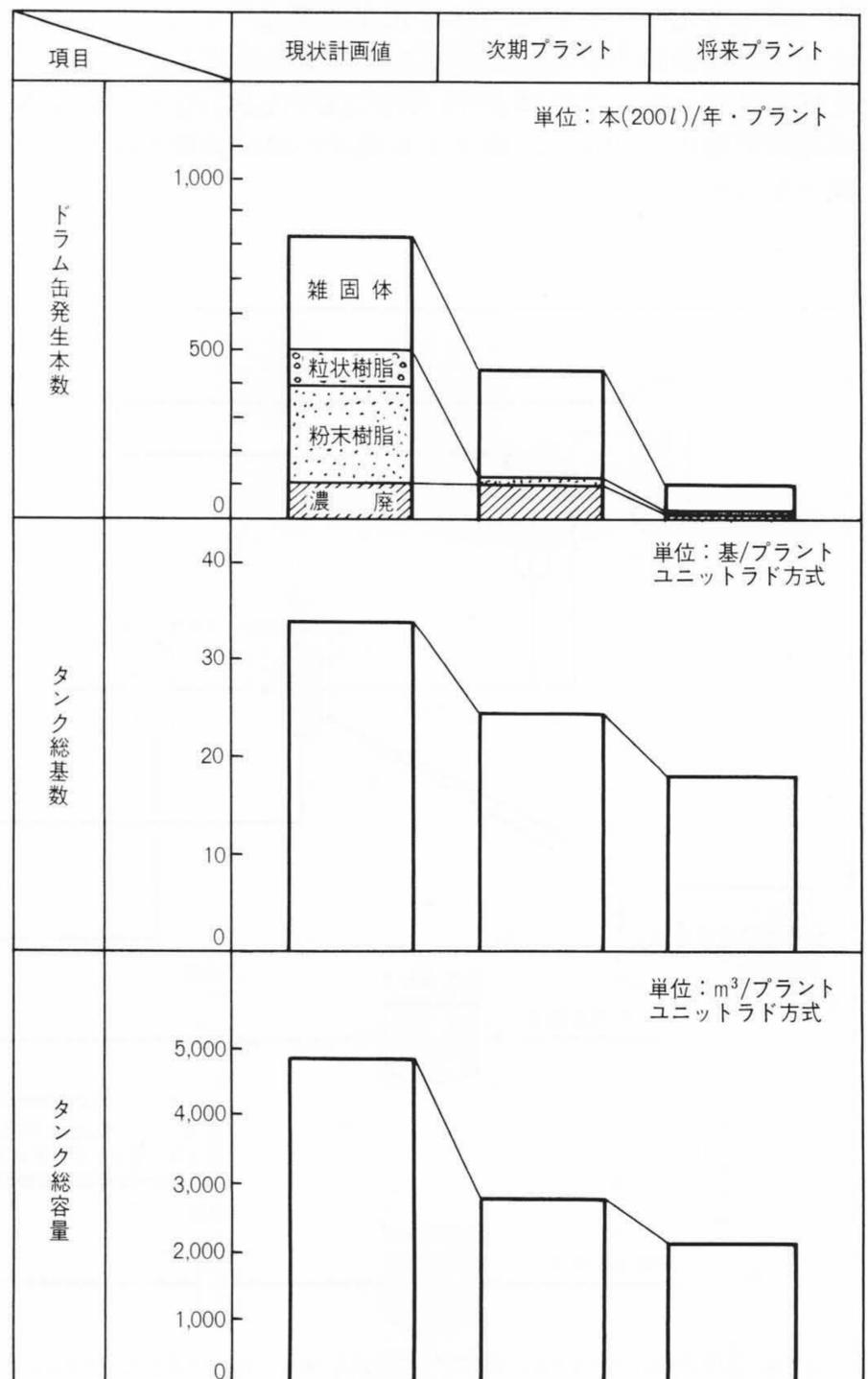


図4 スリムラドシステムの効果 放射性廃棄物処理設備のスリム化により、ドラム缶発生本数は約100本/年・プラントに大幅低減され、また設備容量も大幅に低減可能である。

廃棄物発生量低減を目的とする非助材形フィルタとして、中空糸膜フィルタ、焼結金属ポーラスチューブフィルタを開発しており、今後は濾材の性能安定性・耐久性の点からの改善、実機適用を図る方針である。

廃棄物低減・放出低減を目的としたドライクリーニング装置については、いち早く開発実用化し実機で順調な運転成果を得ている。現在まではカバーオール主体であるが、今後は適用範囲の拡大を図ることを検討中である。ドライクリーニングの採用によって、従来液体廃棄物処理系からの主要な放射能放出源であった洗濯排水は、比放射能が約 $\frac{1}{10}$ に大幅に低減されるため、今後はシャワ排水・ストームドレンなど極低比放射能廃液との一括簡易処理の合理的設計の実施を検討中である。

また、従来構造材腐食などで問題が多かった濃縮装置に関しては、システム面で強制循環・負圧運転の採用、材料面でチタン・ニッケル基合金の採用を既に実機適用している。長いプラントで8年間の順調な運転実績が得られている。今後のプラントでは、水質実績の蓄積によってシステム・材料の組み合わせの適正化を図っていく方針である。

### (3) 固体廃棄物処理系

固体廃棄物処理は最近の廃棄物管理の主要テーマであり、発生廃棄物の減容・安定固化の観点から技術改善、技術開発が著しい。濃縮廃液・使用済み樹脂についてはペレット固化、プラスチック固化などが実用化されており、更に最終処分への対応に優位な無機質のセメントガラス固化技術を開発し、実用化段階にある。可燃性雑固体廃棄物については、焼却設備が既に標準装備化されており、使用済み樹脂への焼却処理拡大が実用化されつつある。不燃性雑固体廃棄物処理は、最終処分への対応上、現状では低圧ベラによるドラム詰めあるいは原形保管されているが、技術的には減容を目的とした高圧プレスや、廃棄物のすそ切り対応を目的とした除染技術などが実用化レベルにある。今後は新規プラント・既設プラントの別なく、特に最終処分の基準化の動向に応じて安定化、高減容などの観点から、上述の諸技術の適用、更には標準化が図られると考えられる。

以下に特徴的な要素技術を摘出し解説する。

#### (1) 粉体化・ペレット化技術

BWRでは、濃縮廃液を対象として廃液中の固形物を乾燥粉体化し、ペレットに造粒する技術を東京電力株式会社納め福島第一原子力発電所環境施設として既に実機適用し、1年余り順調に運転を継続しており、従来のセメント固化方式と比較し約 $\frac{1}{8}$ の減容効果が得られている。今後更に、PWR(加圧水型原子炉)プラントや再処理分野への適用も検討を進めている。東京電力株式会社福島第一原子力発電所環境施設の外観を図5に示す。

#### (2) 使用済み樹脂焼却技術

従来焼却設備は、可燃性雑固体だけを処理対象としていたが、最近では減容の観点から樹脂の焼却技術が注目され実用化されつつある。

#### (3) 無機固化技術(セメントガラス固化)

放射性廃棄物を最終処分する際、特に陸地処分の場合長期間にわたって固化体が健全性を維持することが重要である。これにこたえるために、ピラミッドをはじめ、岩石などの無機材建造物の耐久性に着目し、経年劣化の少ない無機質で高分子網目構造を形成するセメントガラスを固化素材とする無機固化技術を、次項(4)で解説する複合コンクリート容器とともに、電力共通研究などを通じて開発実用化した。セメントガラスの主成分は、天然産の酸性白土、ポルトランドセメントなどである。セメントガラス固化体は岩石粘土などに近い性質をもっており、物性の長期安定性、不燃性など、陸上施設貯蔵に適しているとともに、天然素材のため経済的にも優れている。システムの概要を図6に示す。特にペレット固化では、廃棄物との混練が不要であること、セメントガラスが水洗可能なことから、混練部保守が格段に容易となる。また素材性質から、防爆・作業衛生安全などへの配慮も不要となり、設備面での軽量化が図れる点も長所である。

#### (4) 複合コンクリート容器

複合コンクリート容器は、通常のパルトランドセメントを骨材及び鋼繊維で補強し、更に含浸材で組織をち密化し、容器としての諸物性(強度、耐食性、耐水性など)を向上させたものであり、陸地処分用容器として優れた特性をもっている。形状も従来の円筒ドラム缶サイズだけでなく、貯蔵スペース

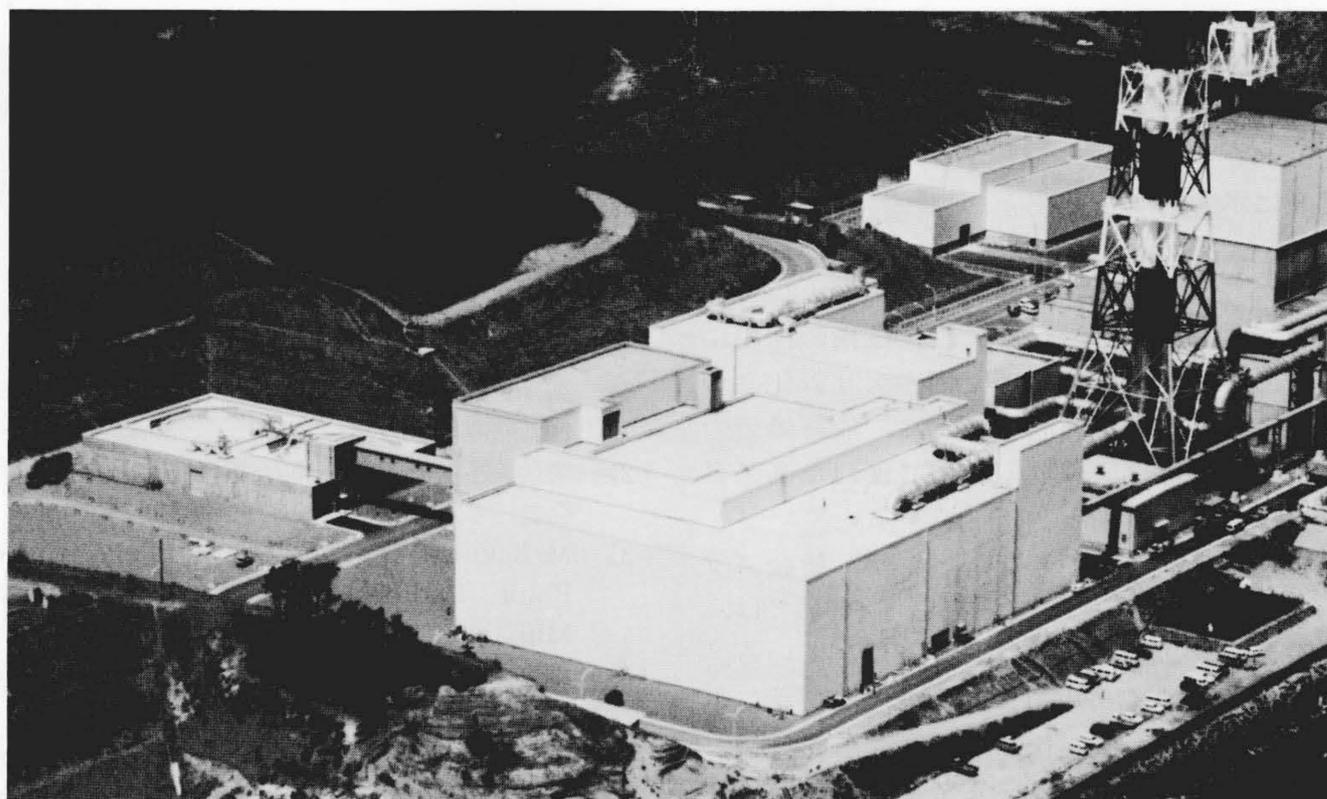


図5 東京電力株式会社納め福島第一原子力発電所環境施設の外観 濃縮廃液を乾燥粉体化、造粒化する廃棄物処理設備として、我が国で初めて実用化され、昭和59年6月完成した。

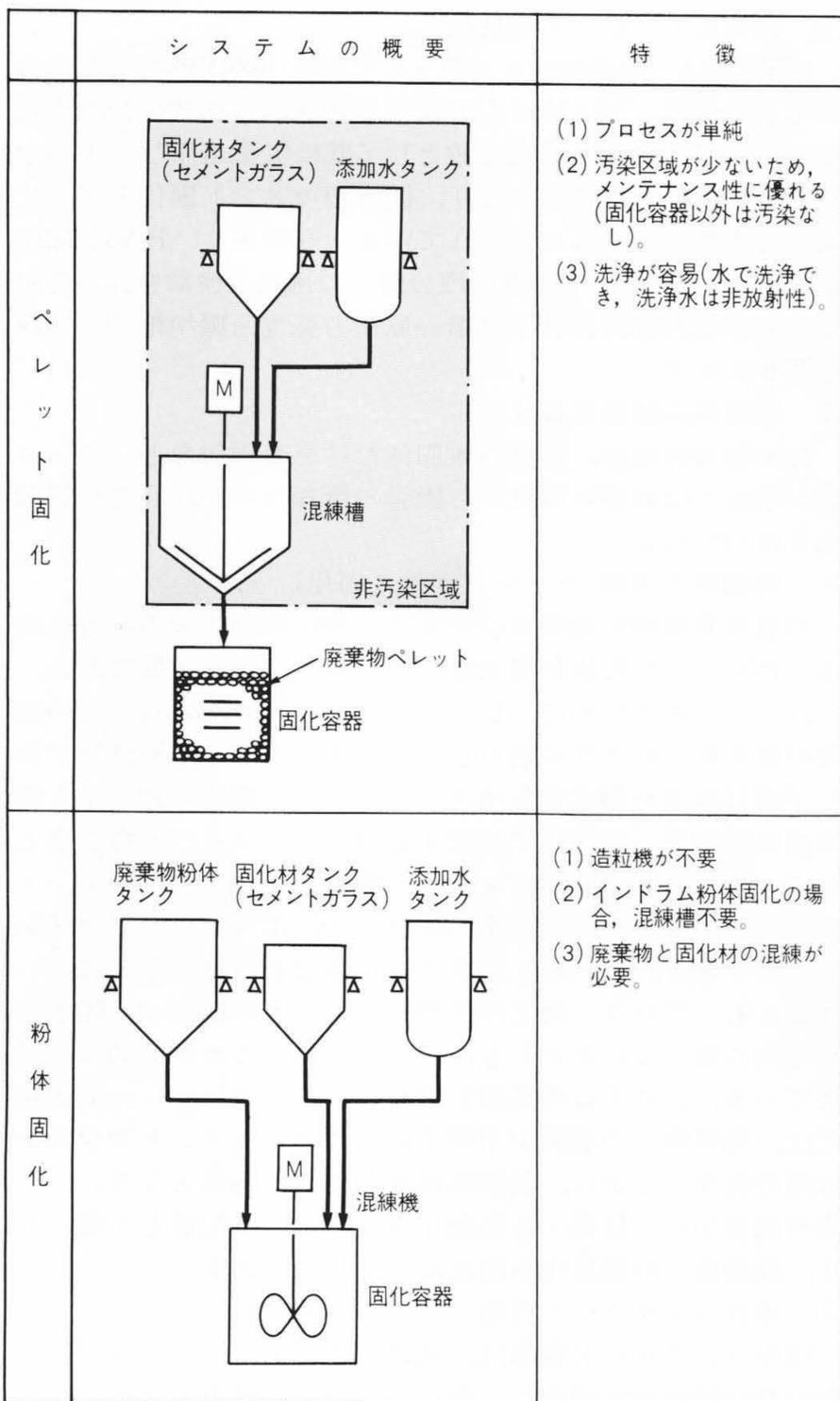


図6 セメントガラス固化システムの概要 ペレット固化・粉体固化共に実用化段階にある。特にペレット固化の場合、廃棄物との混練が不要であるため固化材注入系を非汚染機器として取り扱うことができ、保守・点検、洗浄が非常に容易となる。

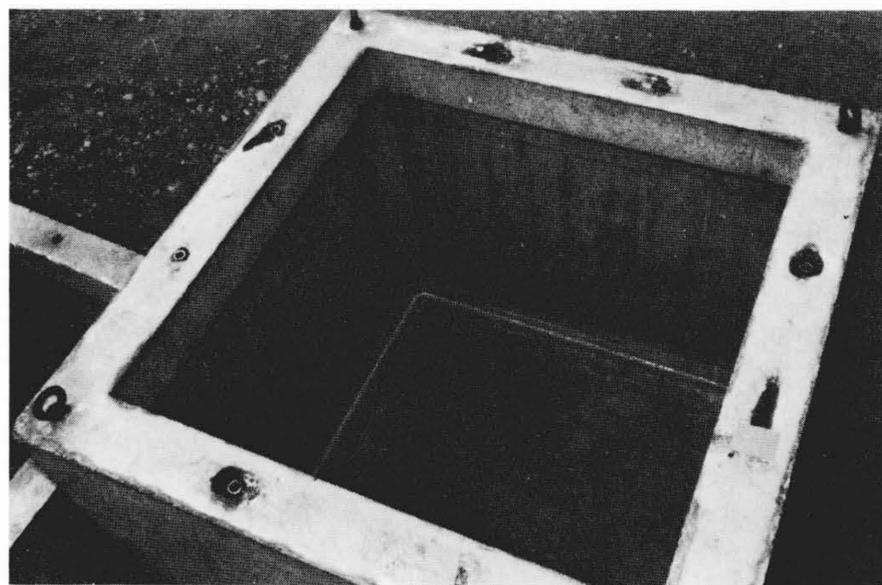


図7 複合コンクリート容器の外観(1 m³角形) 無機容器を使用することにより、長期耐久性の向上が図れる。また、角形容器は、従来のドラム缶に比べ貯蔵効率が良い(必要貯蔵スペースはドラム缶の1/2)。

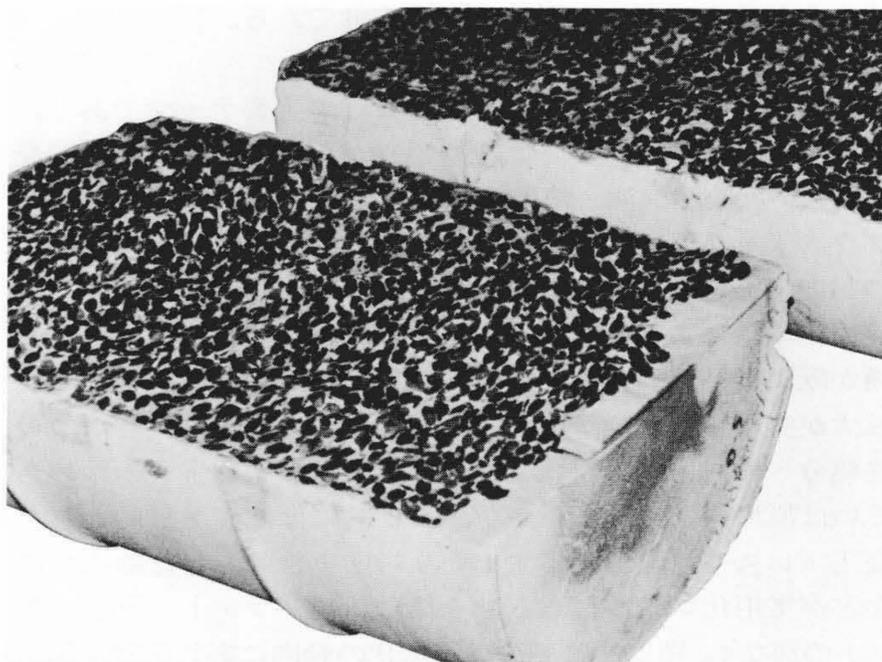


図8 セメントガラス固化体の断面の外観(200l規模) BWR濃縮廃液ペレットを、セメントガラスで固化した固化体の断面を示す。ペレットの間にセメントガラスが十分充てんされているのが分かる。

効率の良い角形容器も製作可能である。1 m³角形容器の外観を図7に、容器内にペレットをセメントガラスで安定化した固化体の断面を図8に示す。

#### 4 結 言

プラント全体としての合理化、新技術、改良技術の採用による将来プラントでの放射性廃棄物処理設備のスリム化について紹介した。設備全体の合理化達成とともに、最終処分動向が見えてきた現状で減容性、長期安定性に優れた高減容無機固化技術の完成は大きな特長と言える。

紙面の都合で、本論文では言及できなかったが、総合プラントメーカーの総合技術力を生かし運転、監視、制御面では、光多重伝送・総合デジタルシステムなどを適用している。更に、新素材の適用・運転サイクルの長期化など、プラント全体を考えた廃棄物処理設備の適正化、運転コストの低減、安全性・信頼性の向上を推進していく考えである。

終わりに、本設備の研究開発及び合理化検討に多大な御指

導をいただいた国内各電力会社殿をはじめ関係各位に対し、深く謝意を表わす次第である。

#### 参考文献

- 1) 菊池, 外: 放射性廃棄物処理技術の開発, 日立評論, 66, 4, 297~300(昭59-4)
- 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)
- 4) 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)
- 5) S. Horiuchi, et al.: Development of Drying and Pelletizing Technique for Radioactive Waste, IAEA-SR-57/16, Oct. (1981)