



高レベル放射性廃液ガラス固化 プラントの現状

佐々木 憲明 檜原 英千世
山本 正男

東海事業所技術部

資料番号: 56-3

Present Status of the High-Level
Liquid Waste Vitrification Plant

Noriaki Sasaki Hidechiyo Kashiwara
Masao Yamamoto
(Fuel Cycle Technology Development
Division, Tokai Works.)

動燃事業団は、高レベル放射性廃液のガラス固化プラントを建設するため、試験研究の成果を逐次取り入れながら昭和55年度以来概念設計、基本設計、詳細設計を行い、昭和60年現在合理化を目的とした調整設計を実施している。このプラントは(1)ガラス熔融炉として液体供給式直接通電セラミックノルターを採用し、(2)固化セルに大型セルを用いて全面遠隔保守方式を取り入れ、このため(3)プロセス機器をユニット化してラックに組み込んでいるほか、(4)大型セルの換気システムとして低風量換気システムを採用するなどの特徴を持つ施設である。本資料ではこのようなプラントの概要のほか、海外のガラス固化施設の現状等について紹介した。

Key Words: High-level Liquid Waste, Vitrification Plant, Design Specification, Liquid-fed Joule-heated Ceramic Melter, Remote Technology, Vitrification Process, Low Flow Ventilation System, Rack System, International Co-operation.

1. はじめに

高レベル放射性廃液の固化処理に関する技術開発の方策は、主に昭和51年6月に原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会によって策定された基本方針、及びその後、55年12月と59年8月に見直された新しい研究開発計画に定められている。その主要内容は次のとおりである。

- (1) 固化処理技術開発は、ホウケイ酸ガラスによる固化処理に重点を置く。
- (2) 動燃において1990年代前半の運転開始を目途に技術実証のための固化プラントを建設する。
- (3) 官民の研究機関の協力の下に動燃が中心的な役割を担う。

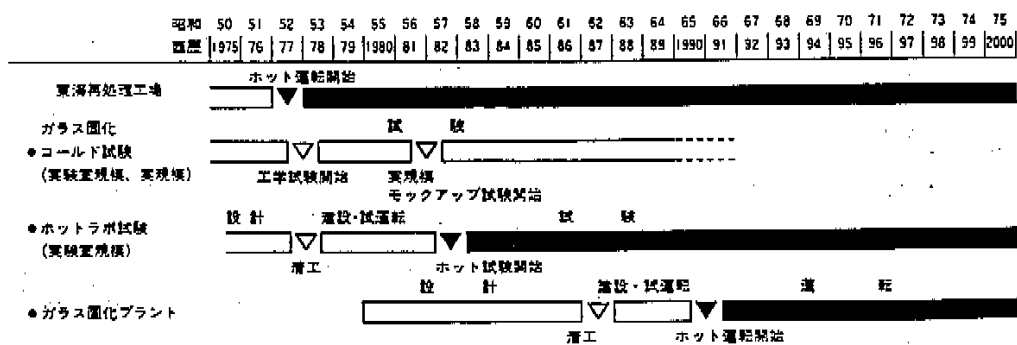
動燃事業団では、このような原子力委員会の方針に従い、大学、国立試験研究機関及び民間企業の協力を得て昭和50年以来数多くの試験検討を進めてきた。特に、昭和56年度からはプロセス開発のための実規模のロールドモックアップ試験を、また昭和

57年12月からは高レベル放射性物質研究施設(CPF)にて東海再処理工場の実高レベル放射性廃液を用いたホットガラス固化試験を実施しているし、さらにガラス組成の開発、ガラス物性の評価、ガラス固化体の保管技術、安全性試験など極めて広範囲な技術開発を行ってきた。

ガラス固化プラントについては、上述のような試験の成果を逐次取り入れながら昭和55年以来概念設計、基本設計、詳細設計を行い、昭和60年現在は合理化を目標とした調整設計を実施しているところであり、昭和62年度の着工、昭和65年度の試運転開始、昭和66年度の運転開始を目標に最終的な検討を進めている段階にある。

ここでは、このように設計を進めているガラス固化プラントの概要を紹介するとともに、海外におけるガラス固化プラントの現状などについても概説する。なお表1は、高レベル放射性廃棄物の処理に関する開発スケジュールを示したものである。

表1 高レベル放射性廃棄物の処理技術開発スケジュール



(注) ガラス固化体の貯蔵・処分についても、原子力委員会の方針に沿って技術開発を進めている。

2. ガラス固化プラントの概要

2.1 目的

ガラス固化プラントは、東海事業所再処理工場の高放射性廃液貯槽に貯蔵されている廃液を安定で取扱いが容易な形態にするため、ホウケイ酸ガラスに固化処理し保管する施設であって、ガラス固化技術の実証（技術の高度化、改良を含む）を行うことを目的として設置するものである。

2.2 スケジュール

昭和62年度着工、65年度試運転開始、66年度運転開始を目標としている。

2.3 主要仕様

本プラントでは、ガラス溶融方式として「液体供給式直接通電セラミックメルター方式」を採用している。1日当りの高レベル放射性廃液の処理量は最大0.7m³で、体積が110～120ℓのガラス固化体を年間最大140本製造する能力を有する施設である。ガラス固化体保管時の冷却は強制空冷方式で行い、ガラス固化体温度が450℃を超えないようにしている。

ガラス固化処理する高レベル放射性廃液は、設計上の標準として、Burnup 28,000MWD/MTU、Power 35MW/MTU、U濃縮度4%の燃料を炉取出し後0.5年で再処理し、その後5年間冷却したものと設定している。廃液最大発生量は1m³/MTU、標準量は0.5m³/MTUとしている。

製造するガラスはホウケイ酸ガラスであり、廃棄物含有量は標準25wt%（20～30%までの変動も可とする）としている。このとき使用消費燃料ウラン1トン当り約300kgのガラスが発生し、これを1本の容器

（キャニスター）に注入する。製造時の標準の放射能と発熱量は、1本当りそれぞれ約 4×10^5 Ci、約1,400 Wである。キャニスターはSUS304L製である。

ガラス固化を行う固化セルには大型セルを採用し、その内部の機器等の保守には全面遠隔保守方式を取りいれている。このため固化セル内のプロセス機器をユニット化してラックに組み込んでいる。

大型の固化セルの換気には低風量換気方式（low flow ventilation system）を採用している。

固化プラントで発生する廃棄物のうち、気体廃棄物は処理後排気筒より大気中へ放出、液体廃棄物は処理後再処理施設へ移送、固体廃棄物（高・低レベル）は施設内で一時保管後再処理施設へ移送することとしている。

本プラントの最大の特徴をまとめると次のようになる。

- (1) 液体供給式直接通電セラミックメルターを採用していること。
- (2) 固化セルに大型セルを採用していること。
- (3) 固化セルに全面遠隔保守方式を採用していること。
- (4) プロセス機器をユニット化しラックに組み込んでいること。
- (5) 大型の固化セルの換気システムとして低風量換気システムを採用していること。

なお、これらの特徴については後に説明する。

2.4 ガラス固化プロセスの概要

ガラス固化プロセスは、直接通電ガラス溶融法に基づくものである。直接通電ガラス溶融法は、溶融ガラスに交流電流を通電することにより発生するジ

ジュール熱を熱源として利用する方法で、一般ガラス工業界では大規模に使われている技術である。高レベル放射性廃液は、前処理された後ガラス原料とともに連続的にガラス溶融炉へ供給されて溶融される。

ガラス固化プロセスは主に次のような工程から成り立っている。

- (1)受入工程
- (2)前処理工程
- (3)ガラス溶融工程
- (4)キャニスターハンドリング工程
- (5)オフガス処理工程
- (6)固化パッケージ保管工程
- (7)廃液処理工程

図1は主要工程のブロックフローである。

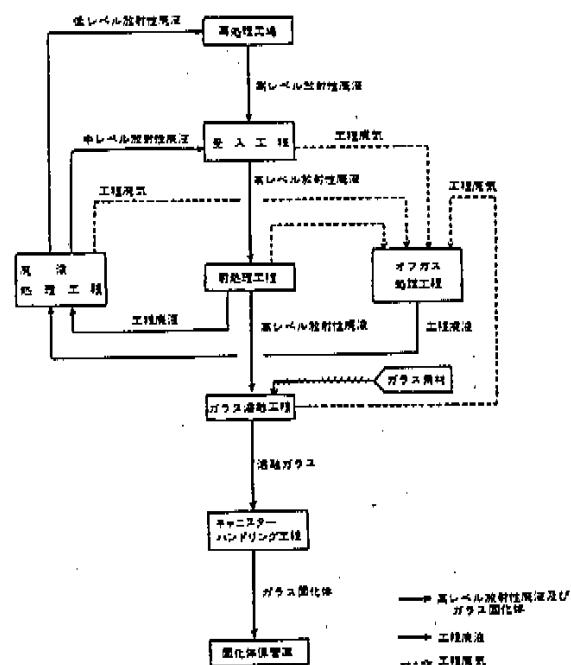


図1 主要工程ブロックフロー

(1)受入工程

高レベル放射性廃液を固化プラントの受入槽に受入れる工程である。受入れ頻度は1週間に1度程度で、その度に廃液をサンプリングし、元素分析を行う。廃液処理工程の濃縮液は受入れ槽にリサイクルされる。

(2)前処理工程

高レベル放射性廃液の組成調整又は濃縮を行う工程である。組成の調整は、ガラス組成を管理値に適

合させるために行われるもので、主としてナトリウム塩が添加される。濃縮は、ガラス溶融炉へ供給する水分量を少なくし、炉の負荷を軽減してガラス溶融速度を確保するために行われるものである。ガラス溶融炉への廃液の移送は2段エアリフトを用いて行われる。不溶解成分の過剰な析出を防止してエアリフトの定量供給性を確保するために、廃液は0.5m³/MTU相当まで濃縮される。濃縮はバッチ操作である。

図2は、前処理工程概略図である。受入工程とともに示してある。

従来から、動燃ではガラス溶融炉からのルテニウムの揮発を防止することを目的として、硝酸による脱硝技術を開発してきた。しかし、ルテニウムの揮発量及びオフガス処理機器の性能を測定した結果、脱硝は行わなくても十分処理できる見通しが得られたので、現在ではこれを採用しないこととしている。

(3)ガラス溶融工程

1) ガラス組成と基本物性

表2は、代表的ガラス組成とガラスの基本物性をまとめたものである。ガラス中への廃棄物含有量は標準で約25wt% (うちF.P.成分は10wt%) (酸化物換算) である。

2) ガラス原料及び廃液の供給

ガラス原料の形態は、ガラス繊維を円柱状に成形したカートリッジと呼ばれるものである (寸法: 70mmφ×70mm²)。繊維の径は約10μmで、長繊維、短繊維のいずれからでも作ることができる。この原料をガラ

表2 ガラス組成及びガラスの基本物性の例

ガラス組成の例	
ガラス原料	(75) (wt%)
SiO ₂	43~47
B ₂ O ₃	14
Li ₂ O	3
ZnO	3
Al ₂ O ₃	3.5~5
BaO	0~3.5
廃棄物 (25)	
核分裂生成物	10
Na ₂ O	10
その他	5
ガラスの基本物性の例	
密度 (室温)	2.7~2.8g/cm ³
熱伝導率 (室温)	約0.9w/m℃
熱膨張率	約80~90×10 ⁻⁷ /℃
転移点	500℃前後
軟化点	600℃前後
ヤング率 (室温)	約8×10 ¹⁰ N/m ²
ポアソン比 (室温)	約0.25
浸出率 (蒸留水中、1日、粒径250~420μmの試料)	2×10 ⁻⁵ g/cm ² ・day (100℃) 4×10 ⁻⁷ g/cm ² ・day (25℃)

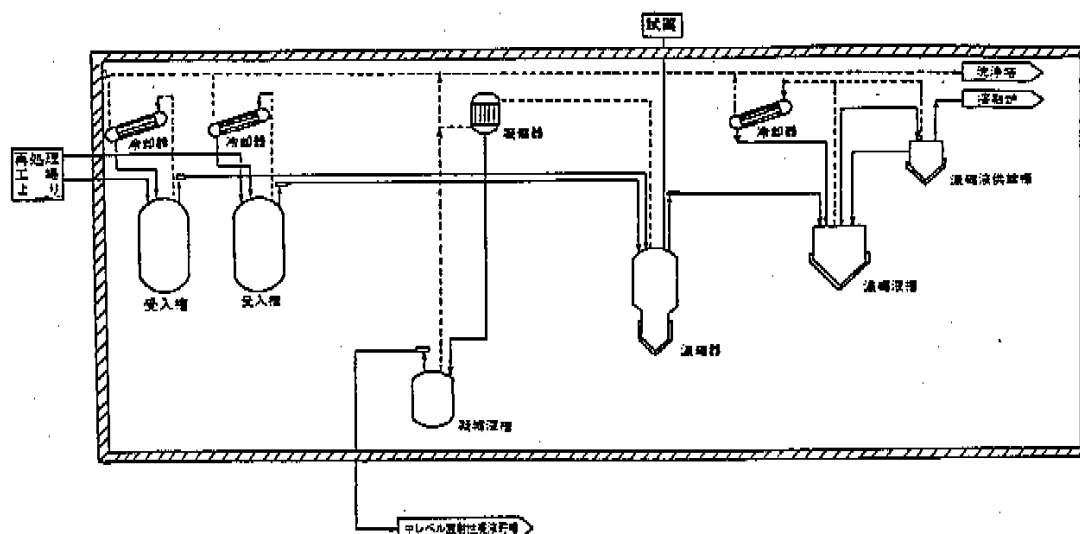


図2 受入・前処理工程概略図

ス溶融炉に連続的に供給し、溶融炉の直前にエアリフトで供給される廃液を浸み込ませて炉内へ落下させる。廃液の最大保持容量は約4 ml/gであり、十分な性能を持っている。このような原料の特徴は次のとおりである。

- ① ガラス繊維原料のフィルター作用により、オフガス系に飛び出す粉塵量を著しく低減できる。
- ② 原料同士が互いに重なり合い、ガス抜き用のスペースが常に確保されるので、廃液の乾燥、仮焼、溶融時に発生するガスが安定に放出される。
- ③ 廃液が直接溶融炉内壁（レンガ）に接触しないので、内壁に与える熱衝撃が軽減できる。

上述のような形態のガラス原料は最初、英国Harwell研究所のW.H.Hardwickらによって提案された。動燃はこれを改良し、直接通電ガラス溶融炉に適用したものである。

なお、ガラス原料の形態として粉末状、ビーズ状のものもすでに開発を終え、その供給技術も試験済みである。

3) ガラス溶融炉

ガラス溶融炉は、セラミックで構築されており外側はステンレーシングにより密封されている。廃液を液体のまま溶融炉へ供給するので、通常「液体供給式直接通電セラミックメルト炉」と呼ばれる。図3にその概略を示す。溶融炉の起動及び再起動時には、炉上部に設置した間接加熱装置（SiCヒーター）により通電が可能となるまで内部のガラスを加熱する。図3に示すガラスビーズ供給配管は、起動

時に熱上げ用ガラスビーズ（ガラス固化体と同組成）を供給するためのものである。

溶融炉の耐火物としては、接液部に耐食性に優れた電鍍クロムレンガを、その外側にムライト質レンガを、断熱層としてキャストブル材料を、そしてレンガの熱膨張による熱応力の緩和と保温性向上のためにセラミックファイバーボードを組合せて使用している。これらは、炉の耐震性を確保するために特殊な方法で組み上げられている。電極をはじめとする接液部金属材料は、インコネル690である。

ガラスの溶融温度は、1,100～1,250℃程度に制御される。通常時の制御方法は電力制御である。電極の腐食速度を低く抑えるために、電極は空冷するとともに表面電流密度が所定値を超えないように設計、制御される。

溶融炉には、液面レベルを検出するために抵抗検知式レベルゲージが設けられている。

溶融ガラスは、炉底部の高周波加熱ノズル（フリーズバルブ方式）から容器（キャニスター）にバッチ的に流下される。流下速度は約150kg/hrであり、約2時間で300kgが注入される。

炉の設計寿命は5年である。使用期間中は、定期的に内部が遠隔にて検査される。

なお、直接通電セラミックメルト炉の特徴は次のとおりである。①大容量化が可能、②寿命が長い、③溶融温度が高く、高品質のガラスが製造できる、④キャニスターハンドリング工程

図4に工程フローを示す。

溶融炉の流下ノズルが加熱され、ガラスがキャニ

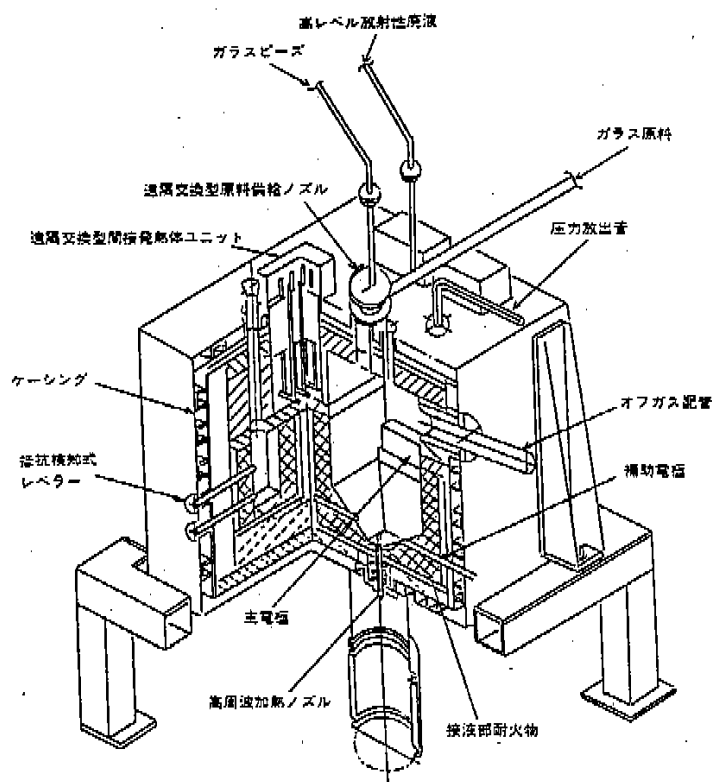


図3 ガラス溶融炉の概略

スターに注入される。注入中、台車上のロードセルによりガラス量が計測され、所定量(約300kg)で注

入が終了する。

2-3時間そのままの状態で溶融ガラスを注入し

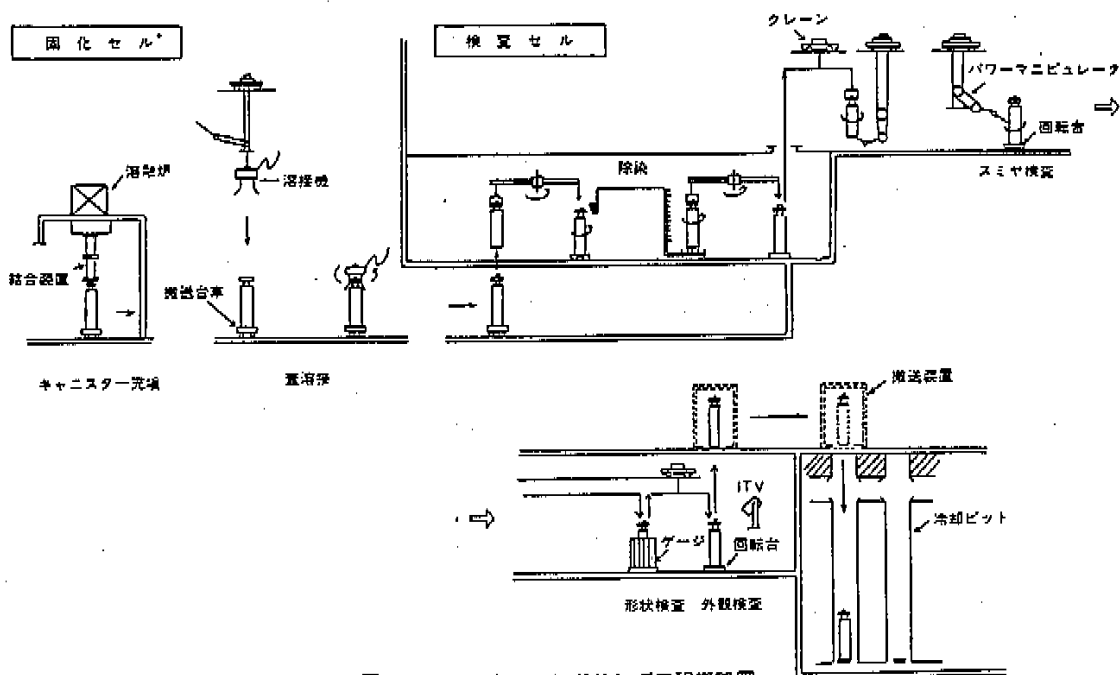


図4 キャニスターハンドリング工程概略図

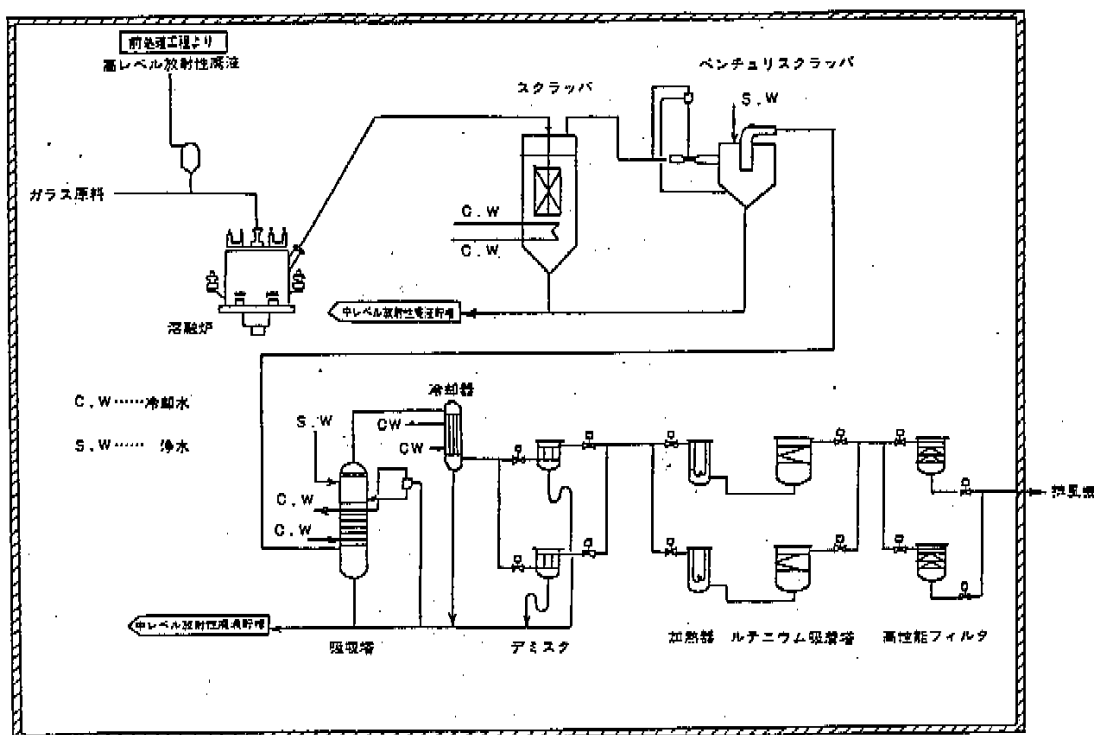


図5 オフガス処理工程概略図（溶融炉系のみ）

たキャニスターは冷却された後、台車ごと溶融炉下から引き出され、台車上に搭載した状態で蓋がマニピュレータによりキャニスターに設置される。TIG溶接機により蓋がキャニスターに溶接された後、溶接部外観が検査される。

蓋溶接後、固化パッケージはしばらく放冷された後、除染装置内で除染される。除染は、高圧水スプレーとワイヤブラシを組合せて行われる。除染が終了した後、スミヤ検査法による固化パッケージの表面汚染検査、異常変形の有無の検査、識別番号の照合及び外観検査が行われる。その他、非破壊検査（CT法）も将来的には実施可能である。

検査を終えた固化パッケージは、搬送装置内に吊り上げられた後、保管庫の冷却ビットへ収納される。

固化パッケージが施設外へ搬出される際には、これが冷却ビットから搬送装置内へ吊り上げられた後検査セルへ搬入され、搬出前検査が行われる。検査後は、固化パッケージは輸送キャスクに収納され、所定の検査が行われた後トラックロックから施設外へ搬出される。

(5) オフガス処理工程

図5に工程フローを示した。

ガラス溶融炉からの廃気は、スクラップ、ペンチュリスクラップ、吸収塔、デミスタ、ルテニウム吸着塔、フィルタで洗浄、吸着、ろ過等の処理がされた後、排風機を介してさらにルテニウム吸着塔、ヨウ素吸着塔、フィルタで吸着、ろ過等が行われる。

デミスタはガラス繊維のエレメントを組み込んだ高性能なものである。ルテニウム吸着塔にはシリカゲルが用いられている。

廃液の受入工程、前処理工程、並びに廃液処理工程の中レベル放射性廃液処理系からの廃気は洗浄塔、冷却器、デミスタ、ルテニウム吸着塔、フィルタで洗浄、吸着、ろ過等の処理が行われ、排風機を介して、溶融炉からの廃気と合流される。

このようなオフガス処理工程において特に留意している所は、サブミクロン粒子、ミスト及び揮発性ルテニウムを除去するために高性能の機器を導入したことである。これにより、高い除染係数を達成することが可能となった。従って、放出する気体廃棄物中に含まれる放射性物質の量は、環境に影響を及ぼさない程度に十分おさえることができる。

(6) 固化パッケージ保管工程

製造した固化パッケージは保管庫内に設置されて

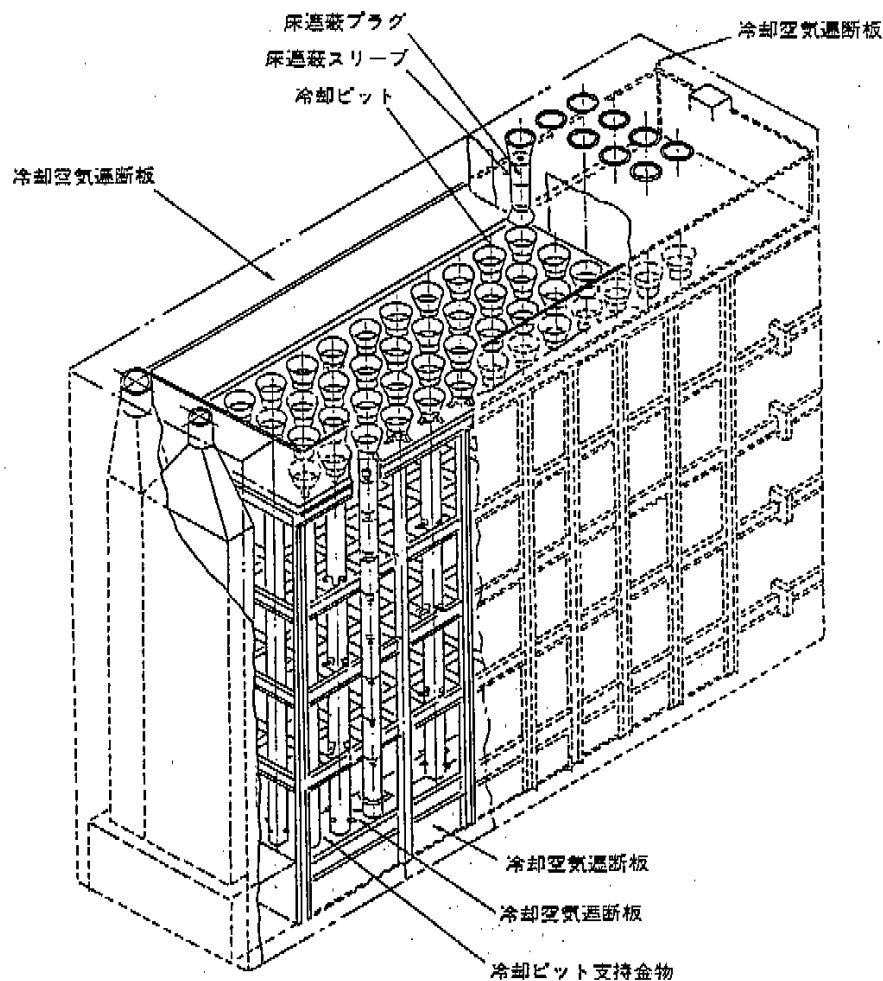


図6 保管庫概略図

いる円筒形の冷却ビット内に保管される。冷却空気は施設内アンバー区域から取り入れられ、入気フィルタを通過後ダクトを流れ、下部プレナムを経て冷却ビットの下部より固化パッケージを冷却しながら上昇する。その後、上部プレナム部、排気用ダクト、排気フィルタを経て排気筒から放出される。

冷却ビットは4行13列の配置で、52本設けられる。このうち、1行13列13本の冷却ビットは将来閉サイクル冷却試験が可能となるようにされる予定である。

図6は、保管庫の概略図である。

(7) 廃液処理工程

前処理工程、オフガス処理工程などのほか、固化パッケージ等の除染及び分析作業により発生する2次廃液は、蒸発濃縮処理が施される。濃縮液は受入

槽へリサイクルされ、凝縮液は再処理施設へ移送される。

2.5 建屋の概要

本プラントの建屋は、鉄骨鉄筋コンクリート造りで、その建築面積は約3,300m²である。本プラントの地下部分は主にセル構造となっており、放射性物質を扱う工程のほとんどを収納している。地上部分は主に各種サービス設備及び補助設備となっている。

建屋の地下2階には、中央に受入工程、前処理工程、ガラス熔融工程、キャニスターハンドリング工程(一部)、オフガス処理工程(一部)及び廃液処理工程(一部)の機器を収納する固化セルが設置され、これに隣接して、低中レベル廃液等の貯槽セル、蒸発缶

セル、固化体保管庫などが設置されている。

地下1階には、固化パッケージを検査する検査セル、溶融炉サービス室、操作室などがある。

1階には、分析セル、固化体搬送室、トラックロック、機器補修室、玄関ホールその他多くの部屋がある。

2階、3階には、排気フィルタ室、排気機械室、給気フィルタ室その他が配置されている。

2.7 遠隔保守^(注)

本プラントでは、(1)施設利用率の大巾向上、(2)作業員の放射線被曝量低減化、(3)2次廃棄物発生量の低減化を目的として、主として固化セル内機器等に関して全面遠隔保守方式が採用されている。

ガラス固化プロセス機器がモジュール化され、こ

れが標準サイズのラックに配置される。ラックは大型セルの壁面にそって2列に配置される。ラックの寸法は底面が3 m×3 m、高さ6.5 mである。図7はその代表例で、重量は20トン未満である。ラック内及びラック相互間の機器等は遠隔継手を介して配管やケーブルで接続されている。図8に固化セルの概念図を示す。操作具として、インセルクレーン、天井走行ブリッジに搭載された両腕型サーボマニピュレータなどが設置され、これらによりラック内機器のセル内での現位置保守、補修、交換が可能となっている。さらに必要な場合には、遠隔継手を脱着することによりラック本体の交換が短期間でできるので、予備ラックや予備機器を大巾に減らし、コンパクトな設計となっている。さらに、一部の壁貫通プラグは、インセルクレーンを用いて遠隔で交換可能

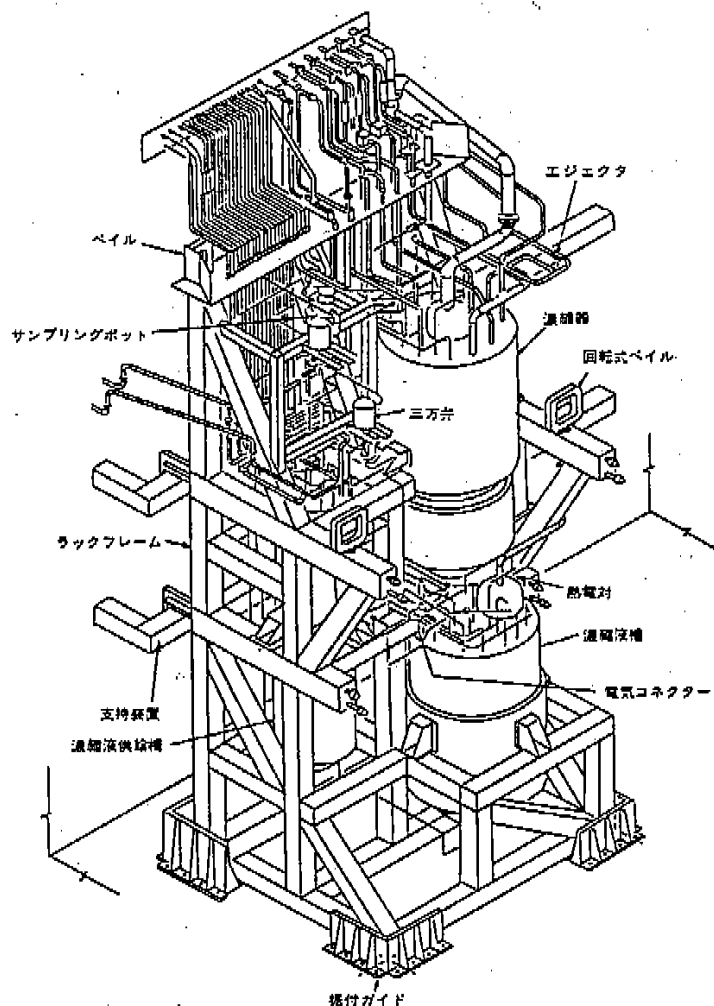


図7 ラックの代表例

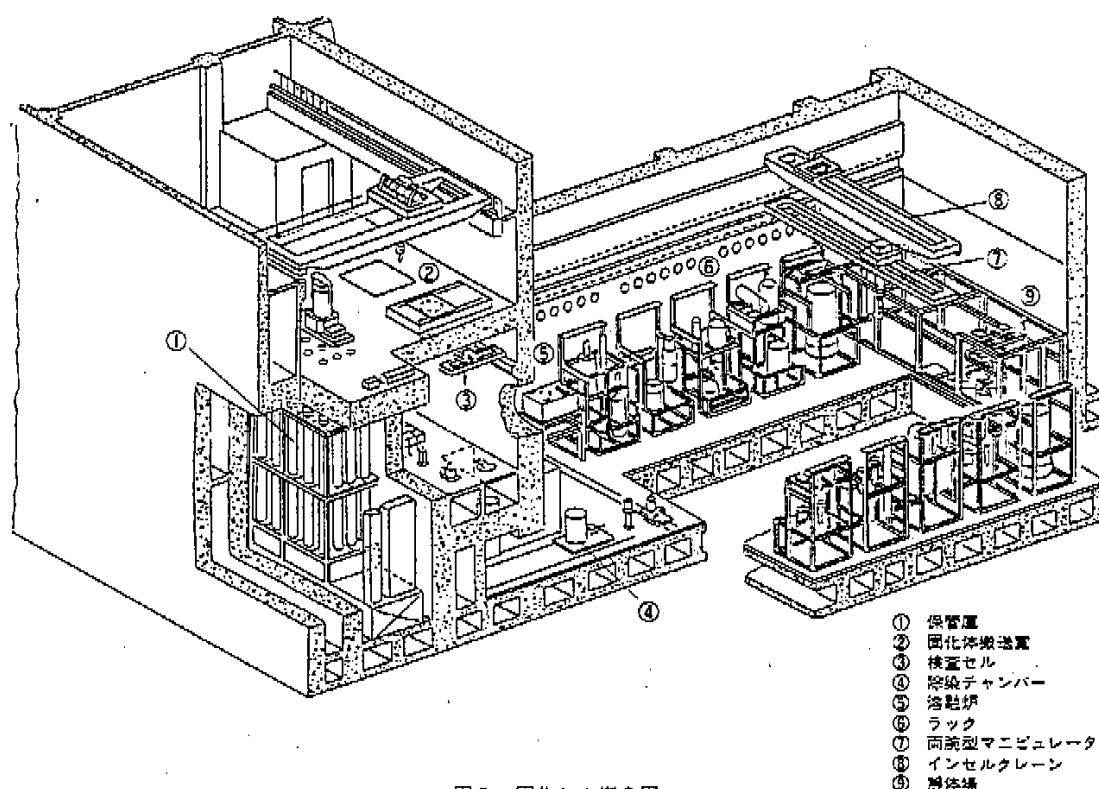


図8 固化セル概念図

となっている。

大型の固化セルには内部観察用遮蔽窓が少数しか設けられていない（キャニスターの蓋溶接作業用及びガラス溶融炉等の大型機器の解体作業用に限られている）。TVシステムが主要な視覚機能である。

インセルクレーン等の保守を行うために、固化セル上部にリベアホストが設けられている。

表3は、固化セル遠隔保守の基本項目をまとめたものである。

（注）

遠隔保守技術についての詳細は、榎原英千世「核燃料サイクル施設用遠隔保守技術の開発」動燃技報No49、1984、3、P.61～75を参照されたい。

2.7 固化セルの換気と温度制御

2.3節で述べたように、本プラントの大型の固化セルには低風量換気システムが採用されている。これは、固化セルの容積が極めて大きく、通常の回数の換気はインセルフィルターの容量上現実的でないためである。このため、固化セルは高い気密性が確保できるように設計されている。セル内空気は、ガラ

ス固化主プロセスのオフガス処理系にインテークされて処理される。

なお、セル内空気は、ラック上に配置されたインセルクーラーにより温度制御される。

表3 固化セル遠隔保守の基本項目

- | |
|---|
| 1. ラック方式（ラック、ジャンパー、遠隔徒歩） |
| 2. 遠隔保守機器
（サーボマニピュレータ、インセルクレーン、リベアホスト等） |
| 3. 遠隔保守を支援する機器・設備
a. 照明、ITV、マイク、等等のセル付属設備
b. 治工具類
c. 機器補修資 |
| 4. 型貫通プラグ方式 |

2.8 安全性

本プラントの設計については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく他、必要に応じて国内関係法令等に定める諸基準に準拠している。

耐震については、主要構造物について十分な強度、

表4 動燃のガラス固化プロセスと高周波加熱金属製ガラス溶融炉法との比較
(プロセス上の特徴と開発状況について)

	セラミックメルター方式	高周波加熱金属製ガラス溶融炉方式 (フランスで主に開発)
1. 前処理	(1) 廃液の濃縮及び結晶化 (高レベル廃液を約500t/M T U相当まで濃縮。 再処理工場での濃縮まで濃縮されれば濃縮操作は不要。) ・濃縮槽(炭素材質)・温度110℃以下・回転なし。 ・スチーム加熱	(1) ロータリーキルンによる濃縮 ・キルン材質: ウラナス65・入口部110℃、出口部520℃。 ・電気ヒーター加熱 ・長さ3.5m、外径0.27m・回転部有り。
2. ガラス溶融炉	(1) 造形供給式置換式セラミックメルター (金属ケーシング付) ・積込部レンガ・電熱クロムレンガ。 ・ガラス原料・ガラス融液を円筒型に成型。 ・置換供給方式・円筒型ガラス原料に、メルター直前でしみ込ませる。 ・溶融温度1100℃~1250℃ ・電機・インコネル690 (標準式) ・外寸法2m×2m×2m程度 (角型) (2) 寿命 ・実稼働時間 24000時間以上 (設計条件) (3) 処理能力 ・大量処理が可能 (最大104kgガラス/hrの施設が米国D W P Fに建設中)。 (4) ガラス原料の特徴・吸粉抽出量少・安定な溶融 ・異種な大量供給性	(1) 加熱加熱式金属製メルター ・メルター材質・インコネル601。 ・ガラス原料・フレック状。廃液とは別の供給口から供給。 ・溶融温度1100℃~1150℃ ・外寸法0.35m×長さ1.7m。 (2) 寿命 ・実稼働時間 2000時間程度とされる。 (最寿命化を考えているとの情報もあり) (3) 処理能力 ・一つの溶融炉で25kgガラス/hr (ロタリーキルンと組合せ)。 ・大量処理には多系列化で対応
3. オアガス処理系への の搬送の飛び出し	(1) 飛び出し量 ・メルターのD/F=330以上 (不揮発性成分)	(1) 飛び出し量 ・メルターとキルンの合計のD/F=18~34 (不揮発性成分)
4. オアガス処理 システム	(1) 機器の組合せ (主プロセス) (メルター) → スクラバー・コンデンサー → ベンチュリースクラバー → NOx吸収塔 (多孔板式) → 高性能ミストエリミネーター → ヒーター → 炭素層 → フィルター → ブロー	(1) 機器の組合せ (主プロセス) (ロタリーキルン) → スクラバー・コンデンサー → 固形吸着 (バブルキャップ型) → 洗淨塔 (バブルキャップ型) → フィルター → ブロー
5. ガラス固化 ライン数	(1) 800トン/年ベースの再処理工場 ・2ライン又は1ライン	(1) 800トン/年ベースの再処理工場 ・3ライン
6. 主プロセスセル	(1) 大型統合セル方式 (廃液受入れ、前処理、ガラス溶融、キャニスターへのガラス注入、 置換及び廃メルターの解体を同一セル内で実施。)	(1) 小型分割セル方式 (ガラス溶融セル、廃メルター解体セル、キャニスター へのガラス注入、置換セルに分割)
7. 保管方式	(1) 主プロセスは全面通風方式 (槽類や機器類をモジュールユニット化し、ラックに組み込む。 (西独のF E M O方式と同じ)	(1) ユニット解体交換方式
8. 現時点の開発状況	日本、米国、西独 (ベルギーと協力)、カナダ、イギリス、中国で開発が進められている。日本では、動燃が140トン/年ベースの建設を目前に昭和53年より工学規模試験を開始。56年からは実規模モックアップ試験が進められている。57年からは、実規模のホット試験も実施中。140トン/年ベースの施設は、62年に竣工、66年にホット運転開始の予定。 米国ではウエストバレー再処理工場及びバランナリバー工場に大規模ガラス固化施設を建設中。ハンフォードでは、工学規模のホット試験中。 西独 (ベルギー) では、実規模施設 (P A M E L Aプラント) が建設され、60年10月にホット運転開始。	フランスで開発が進められた。イギリスで導入の予定。 昭和53年より、マルタールにおいてホット運転開始。現在までにガス炉で再処理廃液約670m ³ 処理し、約1100コンテナを搬送。 現在800トン/年ベースの2施設 (R-7、T-7) を建設中。 (R-7: 主としてガス炉燃料用) (T-7: 主として軽水炉燃料用) より高温でガラスを溶融するため、A V H法とは異なる新しいメルターを開発中。

剛性及び耐力を確保するとともに、耐震設計上の施設別重要度を、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から分類している。

被曝、事故、誤操作・故障等の防止策についても東海再処理工場等の実績を踏まえ十分な対策が施されている。

放射性物質の漏洩防止、万一の漏洩に対する対策も立てられている。槽類の材料にはステンレス鋼あるいはチタンが用いられ、施工の際には、材料、溶接などについて厳重な品質管理が行われる。槽類を収容するセルには、万一槽類から廃液が全量漏出して

も十分収容できる容量のステンレス鋼製ライニングが設置される。万一の漏洩はセルのビット部に設けられる液面計で監視され、回収可能となっている。槽類の冷却系は、冷却器を介して1次系と2次系に分離されている。

本プラント特有の事項として挙げることができ、る溶融ガラスの漏洩防止については、図3に示した構造図からもわかるように十分な対策がとられている。即ち、溶融炉は耐火物の組積構造で炉体が構築され、その外側が金属性ケーシングで覆われている。溶融ガラスが耐火物の目地、裂け目などから外

側にしみ出した場合でも、溶融ガラスは耐火物中で冷えて固まってしまう。溶融ガラスがキャニスタに注入される際には、溶融炉とキャニスタの間が結合装置により結合されているので、溶融ガラスがセル内に飛散するようなことはない。

2.9 高周波加熱金属製ガラス溶融炉プロセスとの比較

以上に述べてきたガラス固化技術を、主にフランスで開発されている方法（A V Hプロセス）とプロセス及び開発状況の面から比較した結果を表4にまとめた。結果の要点は次のとおりである。

- (1) セラミックメルタープロセスには、セル内にA V Hプロセスのような機械的回転部がなく、従って保守の面で有利である。
- (2) セラミックメルターはA V Hと比較して溶融温度が高く、従って高品質のガラスを作製できる可能性が大きい。
- (3) セラミックメルターの方が寿命が長い。
- (4) セラミックメルタープロセスは大容量化が可能である。このため商業用プラントにおいて、固化ライン数を少なくすることができる。
- (5) オフガス処理系へ飛び出す微粉の量は、A V Hプロセスより少なく、しかもサブミクロン粒子やミストに対する高性能な除塵機器を採用している。
- (6) 大型セルによる全面遠隔保守方式の方がプラントの稼働率が高くなる可能性が大きい。
- (7) 耐震面においても、セラミックメルターは低温のステンレス鋼ケーシングにより構造強度を保持しているが、A V Hはメルター構成金属（インコネル601）の融点に近い温度で使用しているため構造強度面、特に耐震強度については十分な検討を要すると思われる。

3. 商業用ガラス固化プラントの概念

我が国における再処理事業化に関しては、1995年頃を目途に商業用再処理工場の運開が検討されているところである。第2章で紹介したガラス固化技術は、商業用としても十分成立するものと考えられるので、どのようなガラス固化施設になるのか、その概念を検討してみた。

商業プラント（処理能力800トン／年）における固化施設は、再処理施設の一部として主工程施設及び固化体貯蔵施設と隣接し、効果的な運転が計られる

よう設備されるものとした他、次の考えを基本とした。

(1) 直接通電セラミックメルターの採用

固化の方式としてセラミックメルターを採用した。この方式は第2章で紹介したガラス固化プラントに採用しているものである。

(2) 系統数は2系統とする。

800トン／年相当廃液を2系統で処理することとした。即ち1系列は400トン／年規模である。セラミックメルターは容量アップに対する制約が少ないので、一系統で800トン／年規模の処理

表5 商業プラントの基本仕様の例

項 目	基 本 仕 様
1 固化処理能力	使用溶融料 800T/年相当 (廃油濃度発生量0.6M/Tで480M/年) 使用溶融料 4MTの再処理により発生する高レベル廃液を1日で処理する能力を有する。 (二系列)
2 年間稼働日数	200日/年 (250日稼働可能)
3 使用溶融料	濃度 45,000 MWd/T 冷却期間 4 年
4 ガラス	ホウケイ酸ガラス
5 ガラス体積/1キャニスタ	150 t
6 処理方法	組成調整
(1) 前処理設備	直接通電セラミックメルター
(2) ガラス溶融設備	TIG溶接による密封
(3) キャニスタハンドリング設備	
7 二次廃棄物処理	
(1) 気体廃棄物	処理後、再処理主工程施設より搬出する。
(2) 液体廃棄物	主工程側にて処理
(3) 固形廃棄物	主工程側へ搬出
8 保守方式	ラック方式による全面遠隔保守方式 (大型セル)
9 再処理主工程施設との共用	(1) 燃費、事務所、更衣室等 (2) ユーティリティ、供給設備 (3) 二次廃液処理設備 (4) 分析設備 (5) 溶融液排気設備 (6) 保安設備、非常用発電機等 (7) 出入管理設備 (8) 放射線管理設備 (9) ランドリー設備 (10) 固形廃棄物処理・貯蔵設備
敷 地	
(1) 敷地面積	約2,900㎡
(2) 階 高	地下1階、地上2階
(3) 延床面積	7,800㎡
(4) 建築規模	地上約75mL×37mW×14mH

も可能であるが、ここでは施設の完全停止は行わないという考えから2系列とした。

予備系については、ラック方式による遠隔保守により短時間で交換が可能であることから、これを設けないこととした。

(3) 大型セル方式の採用

主プロセス機器はすべてこの大型セル内に配

置した。

(4) 遠隔保守技術の採用

ラック方式による遠隔保守で計画した。

表5は、商業プラントの基本仕様をまとめたものである。図9は固化プロセスのブロックフローであり、一方図10は固化セルの平面図である。施設は極めてコンパクトなものになっている。

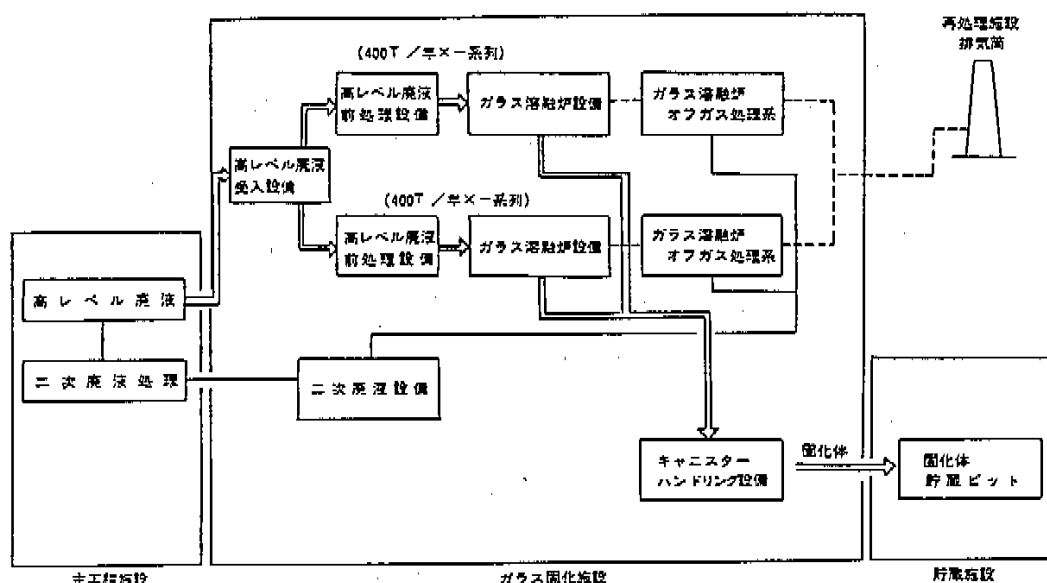


図9 商業プラントの固化プロセスブロックフロー図の例

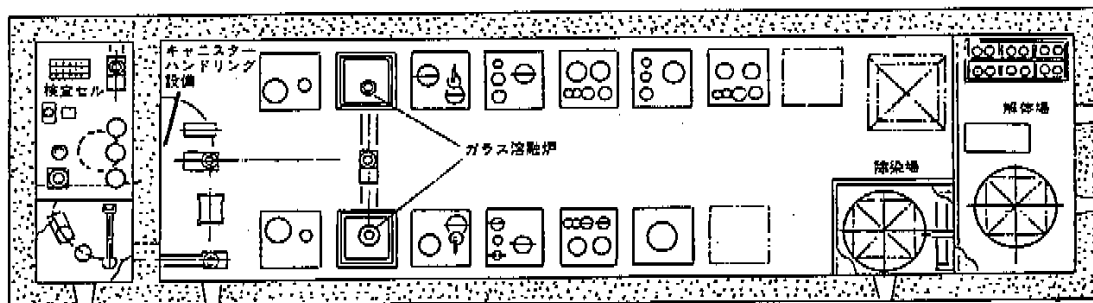


図10 固化セル平面図の例

4. 海外におけるガラス固化施設の現状

表6に各国のガラス固化施設の概要をまとめた。世界各国のガラス固化技術は大きく3つのグループに分けることができる。即ち、

- (1) 米国、西ドイツ、ベルギー、日本の他、英国、中国、カナダなどで開発中の直接通電セラミックメルトアッププロセス
- (2) フランスで開発されたAVM (AVH) プロ

セス

- (3) インド、イタリアで開発中の半連続式ポットガラス固化法あるいはライジングレベル法
- それぞれの技術はすでに実用化あるいは実証化の段階にある。以下に米国、西ドイツ、ベルギー、フランス、イギリスの現状を概説する。

(1) 米国

米国では現在、2つの実用規模のガラス固化施設

表5 各国の主な高レベル放射性廃液ガラス固化施設

国名	施設又はプロジェクト名	ガラス溶融法	ガラス製造能力 (Kg/hr)	メルター運転又は固化体の製造実績	備 考
米 国	RLFCM (PNL)	LFCM 法	15	'84より、放射性核種をドーブしたガラスの製造開始	・米国のLFCMの開発運転実績 コールド'73~'84、ホット(大型)'84~
	SRL	LFCM 法	3 Kg/バッチ	'79よりホット運転開始	
	HWVP	LFCM 法	45	設計研究中	'85より概念設計、'93より運転開始予定
	WVDP	LFCM 法	45	コールドテスト	・'84よりコールドテスト、'89よりホット運転開始予定
	DWPF	LFCM 法	104	施設建設中	・'89よりホット運転開始予定
西ドイツ	PAMELA	LFCM 法	30.5	・本プロジェクトのため、KfK及びDWKの工学試験で100トン以上のコールドガラス製造	・本プラントは'81着工、'84コールド試験、'85 10月より、ホット運転開始、ベルギーモル に建設
	WA-350 再処理 プラント用ガラス 固化施設	LFCM 法	31	・コールド試験施設をKfKに建設中、'86より モックアップ試験予定	
フランス	AVM	AVM 法	15	・'78よりホット運転中	・すでに870m ³ の廃液を処理し、約1100本の 固化体を製造。
	R7	AVH 法	25	・施設建設中	・UP2再処理プラント用ガラス固化施設、 '91年より運転の予定
	T7	AVH 法	25	・施設建設中	・UP3再処理プラント用ガラス固化施設、 '88年より運転の予定
英 国	WVP	AVH 法	25	・'83に仏から技術導入、'80年代末ホット運 転予定	・AVH方式の導入が決まっているが、LFCMの 開発が続けられている。
インド	WIP	半連続式ホット ガラス固化法	4	・'85よりホット運転開始	-
日 本	ETF/MTF	LFCM 法	8~13	・'77より運転開始 ・純流下ガラスは115トン	
	CPF	LFCM 法	3/バッチ	・'82よりホット運転開始	
	ガラス固化プラ ント	LFCM 法	約9	・設計/R&D中	・'87より建設、'91よりホット運転予定

RLFCM (Radioactive Liquid Fed Ceramic Melter)
PNL (Pacific Northwest Laboratory)
SRL (Savannah River Laboratory)
DWPF (Defense Waste Processing Facility)
PAMELA (Pilotanlage Mol zur Erzeugung lagerfähiger Abfälle)
AVH (Atelier de Vitrification La Hague)
ETF (Engineering Test Facility)

CPF (Chemical Processing Facility)
LFCM (Liquid Fed Ceramic Melter)
HWVP (Hanford Waste Vitrification Plant)
WVDP (West Valley Demonstration Project)
AVM (Atelier de Vitrification Marcoule)
WIP (Waste Immobilization Plant)
MTF (Mock-up Test Facility)

が建設中あるいはコールド試運転中であるほか、ホットの工学規模メルターが運転中である。すべて、直接通電セラミックメルター方式である。

ワシントン州ハンフォードのバッチルバシフィクノースウェスト研究所(PNL)では、1984年よりホットセル内で工学規模のセラミックメルターが運転されている。ニューヨーク州のウェストバレー再処理工場では、1966~1972年の間に行われた再処理で発生している高レベル放射性廃液をガラス固化する施設としてWVDPが建設され、現在コールド試運転が行われているところである。機器の性能、遠隔操作性が確認された後、ホット施設として追加工事が行われ、1989年よりのホット運転が予定されている。

サウスカロライナ州のサバンナリバー工場では、軍

事廃液をガラス固化するための施設としてDWPFの建設が進められている。1985年7月現在建築は約7%が終了した段階であり、1989年にホット運転の開始が予定されている。この施設は極めて大きなもので、ガラス製造能力は104kg/hrである。サバンナリバーではすでに1979年より、ホットラボにて小型セラミックメルターの運転が行われ、物性評価や処分の研究用ホットガラスの作製に用いられている。

その他、ハンフォードの再処理工場用ガラス固化施設として、HWVPが設計中である。

(2) 西独/ベルギー

西ドイツでは1976年以来カールスルーエ原子力センター(KfK)にて、直接通電セラミックメルターを開発し、現在ベルギーのモルにPAMELAプラントが建設されている。このPAMELAプラントは、モ

ルの再処理工場に貯蔵されている高レベル放射性廃液 (LEWC) 64m³の処理を通じて直接通電セラミックメルター技術の実証を行うことを目的としている。PAMELAプラントのホット運転は1985年10月に開始された。

バックカースドルフに建設が決まった商業用再処理工場WA-350用のガラス固化技術は直接通電セラミックメルター方式であり、現在KfKにてコールドのモックアップ試験施設が建設中である。これは1986年に試験が開始される予定である。

(3) フランス

フランスでは、1969年にバッチプロセスであるPIVERパイロットプラントが稼動した後、1978年からは工業規模のAVMプラントのホット運転が行われている。AVMでは主としてガス炉燃料再処理廃液がガラス固化され、現在まで廃液が約870m³処理されてガラス固化体が約1,100本製造されている。

現在は、800トン規模の2つの再処理工場UP2-800、UP3プラント用に、R7、T7と呼ばれるガラス固化施設の建設が進められている。これらはいずれも、AVMをスケールアップしたものである。

なお、フランスにおいてはより高温溶融可能なガラス溶融炉の開発も進められている。

(4) イギリス

イギリスでは古くから、FINGALプロセス及びそれをスケールアップしたHARVESTプロセスと呼ば

れたライジングレベル式ガラス固化技術の開発が進められたが、セラフィールドに建設中の再処理プラントTHORP (処理量1,200トン/年) 用ガラス固化施設WVPとしては、フランスのAVHプロセスが導入された。このため、従来から開発されてきたライジングレベル式ガラス固化は中断された。しかし、次世代を目指して、直接通電式セラミックメルターの開発がHarwell研究所にて行われている。

この他、中国においてもセラミックメルターの開発が行われようとしている。中国は、フランスで開発されたPIVER法 (AVMの前に開発されたプロセス) により試験を行ってきているが、溶融能力が低いことからセラミックメルターに注目しているものである。

カナダでは、スプレー仮焼器と組み合わせてセラミックメルターの開発が進められている。

以上に述べたように、世界的には直接通電セラミックメルター方式に基づくガラス固化技術の開発国が多く、近い将来この技術が世界の趨勢になるものと考えられる。

5. 外国との国際協力

ガラス固化技術の開発、あるいはガラス固化プラントの設計を進めるに当たって、動燃では外国と多くの協力を行ってきている。

表7は、ガラス固化技術開発に関連して実施して

表7 外国との協力関係

	協 定 先	協 定 分 野	開始時期	協 力 関 係
1	(1) KfK (西ドイツ)	高レベル放射性廃棄物管理 及び再処理の分野における 協力協定	1981年 (S.56年) 2月	- 高レベル放射性廃棄物管理の研究開発分野における情報交換及び協定 - 高レベル液体廃棄物の固化処理 - 高レベル固化廃棄物の特性評価 - 高レベル廃棄物管理システムにおける遠隔操作 - 専門家交換制度 1981年、83年、85年 PNC-KfK (各1名) 1982年、84年 KfK-PNC - 高レベル廃棄物管理会議 (1回/年) の開催 1981年、83年、85年 於 KfK 1982年、84年 於 PNC
	(2) DWK (西ドイツ)		1985年 3月	- 遠隔保守技術についての情報交換 - PAMELAプラントへの専門家の派遣、 - パワーマニピュレーターの貸与
2	D O E (米 国)	廃棄物管理分野の協力 (日本高温炉協定に基づく高レベル 廃棄物管理ワーキンググループ)	1980年 (S.55年) 11月	- ガラス固化及びTRU廃棄物について専門家会議の開催 - 固化体評価、地層処分等の分野において専門家の交換 - PNL 駐在 1984年、1985年～ - セバシナリバー研究所とも専門家の交換について交渉中
3	D O E (米 国)	遠隔技術協力 (日本高温炉協定に基づく高レベル 廃棄物管理ワーキンググループの協力テ ーマ)	1980年 (S.55年) 11月	- 協力項目 - 両施設サーボマニピュレーターの仕様に関する情報交換 - 高品位テレビジョンシステムの共同評価研究 - テレビジョンシステムの耐放射線性研究に関する情報交換 - 放射線地図の交換 - 信号伝送技術の情報交換 - マン・マシン・インターフェースの共同研究 (専門家派遣) - マニピュレータシステムの比較評価研究 (専門家派遣) - 遠隔技術専門家会議
4	中 国	科学技術庁科学者交流制度	1985年 10月	- ガラス固化体の物性評価、処分研究 - ガラス固化プロセス開発

表8 高レベル廃液ガラス固化プラントについての外国からの設計レビュー

契約先	期間	レビュー内容
REMOTEC Oak Ridge, USA	1982年(5.57年) 7月～10月	固化プラント基本設計に対するレビュー ・設計コンセプト、プロセス及び機械デザイン、レイアウト、運転コンセプト、保守コンセプト、換気システム等に対するレビュー REMOTEC案(大型遠隔セル)の作成
NUKEM	1982年(5.57年)8月～ 1983年(5.58年)1月	固化プラント基本設計のプロセス評価 ・プロセス材料、高レベル廃液移送、ガラス供給システム、二次廃液供給システム及び機械性能、オフガス処理システム及び機械性能、放射性減衰システム及び機械性能、サンプリングシステム、予備の考え方、固化体の保管及びハンドリング、キャニスターハンドリング機構、遠隔操作、安全設計
DOE Battelle PNL, West Valley USA	1983年(5.58年)4月～ 1983年(5.58年)11月	ガラス溶融設備の設計評価 ・メルター形状と運転、オフガスコントロール、遠隔デザインと保守、電機、高レベル放射性廃液とフリットの供給システム、流下システム、スタートアップ/再スタート技術

いる国際協力の内容を示したものである。米国、西ドイツを中心に、1980年以来、専門家会議の開催、情報交換、専門家交換を積み重ねてきている。さらに1985年10月からは、科学技術庁科学者交流制度により中国との協力も開始されている。

表8は、ガラス固化プラントの設計を進めるに当たって受けた設計レビューの内容である。

以上のような国際協力を通じて、近年、直接通電ガラス溶融に関する技術が大きく進展してきたし、共通技術を相互に共有することができるようになった。今後の一層の協力を期待するところである。

6. おわりに

以上に、動燃が設計を進めてきたガラス固化プラントの概要、海外における現状などを紹介した。核燃料サイクルを確立する上でガラス固化技術は必須

のものであるし、さらに、商業規模の再処理施設の設計が検討されている状況を考えると、ガラス固化プラントの果たすべき役割は重大である。安全で経済的にも優れたガラス固化技術の実証に向かって、多くの方々のご協力を受けてきたが、今後も各方面のご支援をお願いする次第である。

本資料の中では、ガラス固化体の貯蔵や処分については全く触れなかった。原子力委員会の基本方針では、30～50年間程度冷却のために貯蔵した後、地下数百メートルより深い地層(深地層)へ処分することとし、2,000年頃にその技術の実証を目指すことが目標となっている。動燃はこれらの技術開発に対しても中心的機関と位置づけられており、各界のご協力の下でガラス固化と含わせて一層の進展を期待したい。