

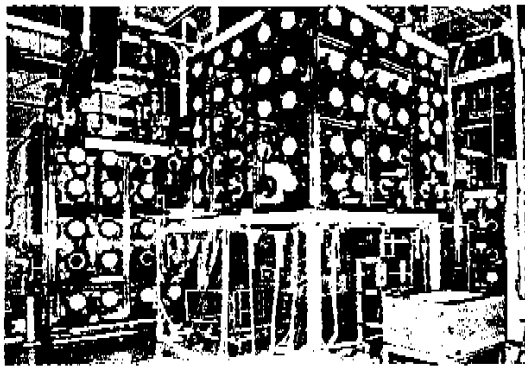


図4 コンテナバックイン用グローブボックス

2.2 実証試験方法

- (1) 対象物: MOX 燃料製造に伴って、発生した Pu 廃棄物のうち、約 20 トンを使用した。使用した廃棄物は、可燃物として紙、布、HEPA フィルタ、難燃物として PVC、ネオプレンゴム、金属・不燃物としてコンテナ収納金属廃棄物および焼却灰等である。
- (2) 前処理選別工程: 廃棄物保管容器表面の汚染検査を実施後、廃棄物を容器から取り出し、エアロック等を介して、GB に搬入する。廃棄物搬入エアロックシステムを図 2 (97 頁参照) に示す。

搬入した廃棄物は開袋し、可燃物、難燃物、不燃物および HEPA フィルタに選別後、可燃物については、袋詰し、HEPA フィルタについては切断後、ダンボール箱に詰め、難燃物については約 5 mm 角に細断処理する。これら前処理後の廃棄物は、GB またはシュータを介して焼却工程へ移送する。一方、コンテナ収納金属廃棄物については、コンテナバックイン用 GB を介して廃棄物を GB 内に搬入し、約 50

表 2 焼却設備運転条件

	焼却設備
廃棄物投入間隔	2.0kg/2分 (紙、布) 5.0kg/5分 (HEPA フィルタ)
温度 (°C)	一次室 800~900 二次室 900~1000 高温フィルタ 500~600
運転時圧力 (mmHgO)	-30~-40
排ガス流量 (Nm³/時)	7000~9000

mm 角に細断処理後、金属仮焼工程に移送する。コンテナ廃棄物バックインシステムおよびコンテナバックイン用 GB の概念を図 3 (97 頁参照)、図 4 に示す。

- (3) 可燃物焼却工程: 袋詰およびダンボール箱廃棄物は、2 分および 5 分の投入間隔で焼却炉に自動投入し、一次燃焼室温度 800~900°C、二次燃焼室温度 900~1000°C、高温フィルタ 500~600°C、炉内負圧 40 mmHgO の焼却条件で焼却した。焼却による減重比は廃棄物の焼却重量と焼却灰の重量比として求め約 1/17 を得た。また排ガス中の Pu 濃度については、HEPA フィルタの後で連続モニタリングした。可燃物焼却設備システムを図 5、運転条件を表 2 に示す。

- (4) 難燃物焼却工程: 約 5 × 5 mm 以下に細断処理された廃棄物は、炉内温度 600°C、炉内負圧 130 mmHgO の炉に空気と共に毎時約 5 kg で連続供給し、30%酸素富化空気と共に焼却した。難燃物焼却設備ブロックフローを図 6、運転条件を表 3 に示す。
- (5) 灰溶融工程: 焼却灰からのガス発生等による放電を極力押えるため、マイクロ波出力を 5~6 KW

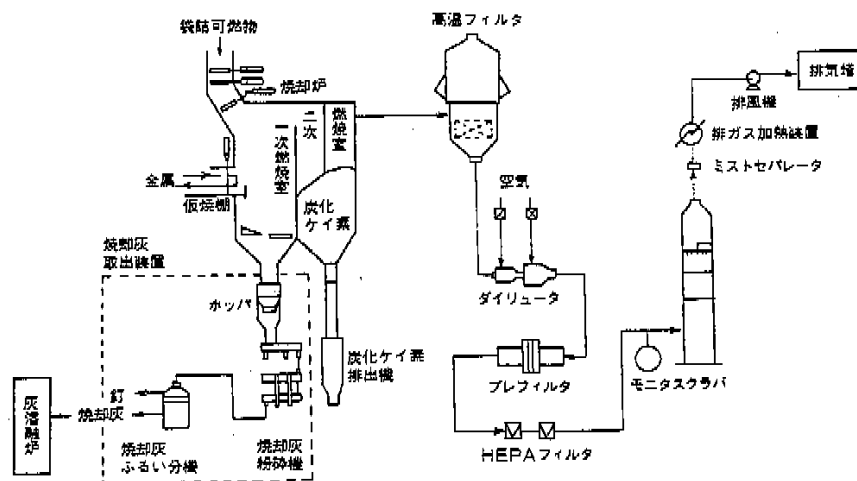


図5 可燃物焼却設備系統図

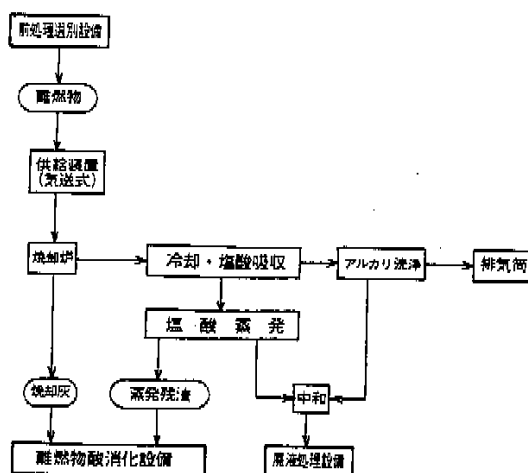


図6 難燃物焼却設備ブロックフロー

に調整しながら、毎時3～4 kgの速度で焼却灰を連続供給し溶融した。灰溶融設備系統図を図7、運転条件を表4（100頁参照）に示す。

また固化体の溶融状態等については、試験用小型固化体を別途作製し、表面観察、密度測定、組成元素分析等により確認した。

(6) 金属溶融工程:約5×5 cmに細断された金属廃棄物は、可燃物焼却設備の金属仮焼棚で表面付着ペイント等を仮焼除去後、毎時60kgの速度で溶融炉内、スラグ溶融プール中に投入し溶融した。金属溶融設備系統図を図8、運転条件を表5（100頁参照）

表3 難燃物焼却設備運転条件

	焼却設備
廃棄物投入間隔	4.5～5.5kg/h
温度 (°C)	600～800
運転時圧力 (mmH ₂ O)	130
排ガス流量 (Nm ³ /時)	110～120

に示す。

2.3 実証試験結果

2.3.1 Pu廃棄物性状

今回処理した可燃物カートンボックス約3,000個の内容物は図9（100頁参照）に示すとおりで、紙、布が92%を占め、さらにこのうち約500個について含水状態を調べてみると図9のように約60%が湿り気をもっていることがわかった。これら含水物は、GB内の定期的なクリーンアップおよびG、B解体時の内面除染等によって発生したものである。可燃物の含水状態に関する情報（データ）は、焼却時の火播操作等、焼却設備の焼却条件へ反映させ運転した。なお、今回使用した廃棄物の中には発生から約20年以上経過したものもあったが、梱包材であるPVCは変色はあったものの、破損等はなく、すべて健全であることを梱包材の表面汚染検査および目視検査により確認した。

2.3.2 焼却設備

(1) 可燃物焼却設備運転特性

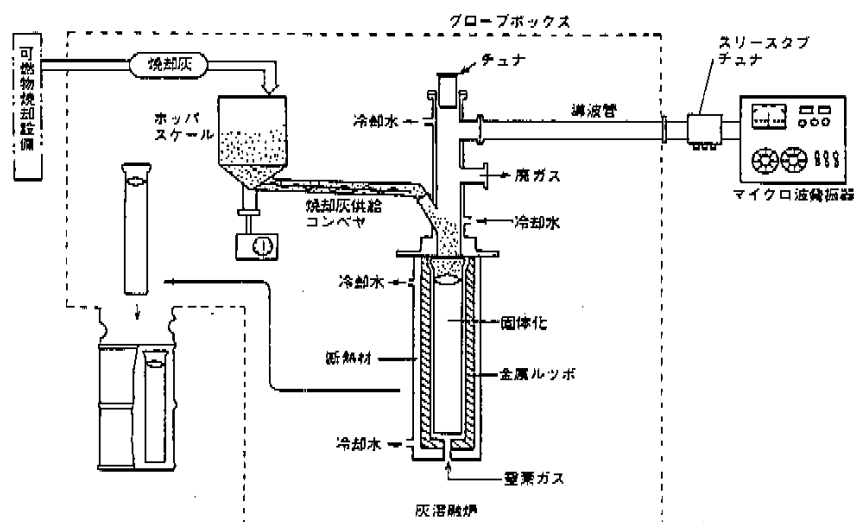


図7 灰溶融設備系統図

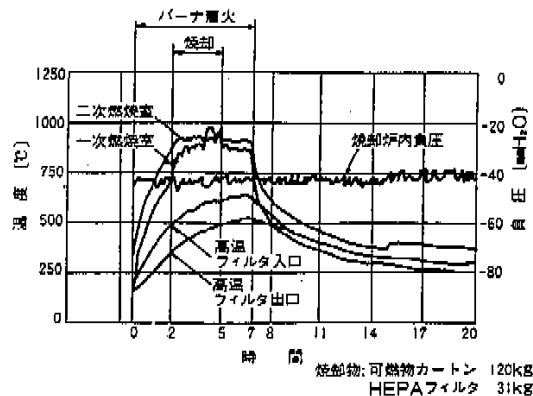


図10 可燃物焼却設備温度および負圧の経時変化

った。

2) 組成

紙、布等の可燃物と HEPA フィルタを混合焼却して得られた焼却灰成分元素の分析結果を図12、写真1に示す。このように混合焼却して得られた焼却灰の主成分元素は可燃物中の Si、Al、Ca の他、HEPA フィルタに含まれる Mg であった。PWTF では HEPA フィルタ単体での焼却は HEPA フィルタそのものの焼却性および MgO (M.P.2850℃) を多量に含む焼却灰のマイクロ波溶融炉での溶融性を考慮して可燃物との混焼法を、基本として運転を実施している。

3) 排ガス処理設備の除染性能

可燃物焼却炉排ガス処理工程出口での Pu 濃度は運転開始以来、ZnS シンチレーション式 α グラストモニタで連続測定監視しているが、これまで約20トン処理の測定結果はすべて検出限值 ($1.5 \times 10^{-10} \mu\text{Bq}/\text{cm}^2$ 週) 以下でこれら排ガス処理設備の除染性能は設計値を満足していることが確認されている。連続モニタの設置状況を表6 (102頁参照) に示す。

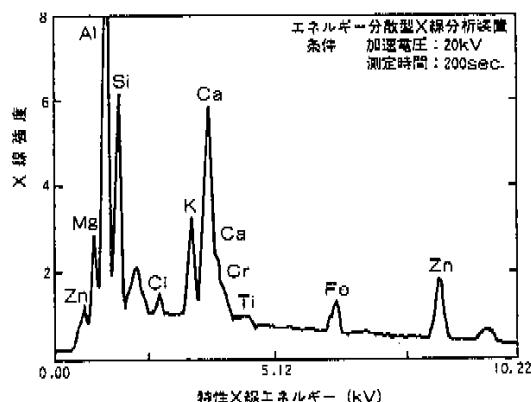


図12 焼却灰の元素分析

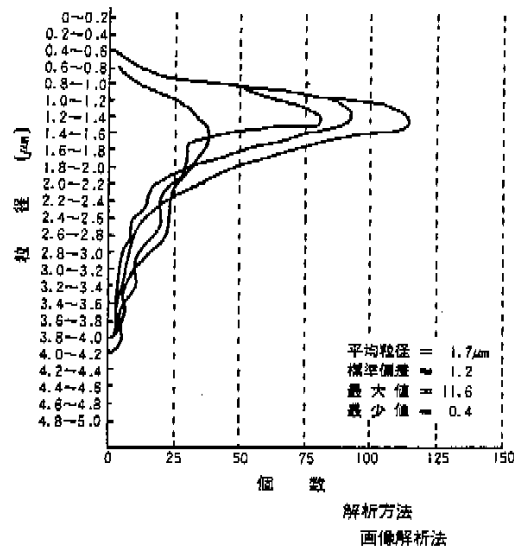
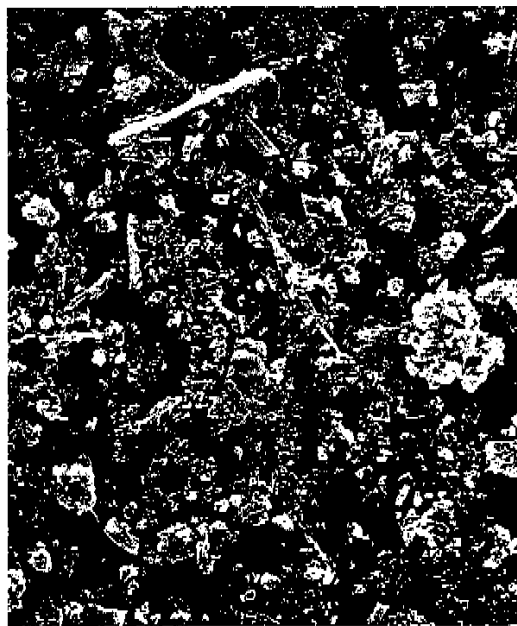


図11 焼却灰の粒度分布

2.3.3 難燃物焼却設備

難燃物の焼却については可燃物焼却工程および溶融工程と比較して排ガス処理系が複雑であるため、廃棄物の処理特性を事前に確認しておく必要があったこと、さらにホット運転等の実績がなかったこと等の理由で、実機設備において模擬廃棄物約1トン



写真は可燃物焼却灰(紙、布、木片および HEPA フィルタ)を粗砕機で粉砕したもの、粒径は約 $1 \mu\text{m}$ のものである

写真1 焼却灰のSEM像

表6 排ガス中のPuモニタリング結果

処理量 (累積)	Puモニタリング結果
100kg	検出限界値以下
1,000kg	同上
10,000kg	同上

Puモニタリング設備

ZnSagシンチレーション検出器

検出限界値 $1.5 \times 10^{-10} \mu\text{Bq}/\text{cm}^3 \cdot \text{週}$ 法令値 $2.2 \times 10^{-9} \mu\text{Bq}/\text{cm}^3 \cdot 3 \text{カ月}$

を使用し、廃棄物種別毎の混合割合に対応した処理条件を把握するための試験を行った。この結果PVC、ゴムテープ等の混合割合の変動に応じた焼却条件としてこれまでコールド試験で確認した90:10%の割合からさらにゴムテープを20~25%まで増加させても処理が可能であることを確認した。またPVC単体での処理およびネオプレンとの混合焼却についても（ネオプレン10~20%までは可能）酸素富化空気量の調整等により、運転が可能であることを確認した。

63年12月からは実廃棄物を使った実証試験で約1.5トン（2001ドラム缶換算で70本相当）の処理を行っている。この間 ①排ガス系へのミスト同伴量の低減を図るため、冷却能力の向上および廃ガス加熱ヒータの能力アップを図った。また ②約1週間連続運転によって蓄熱および昇温等の焼却炉運転特性を把握した。

定格運転時における排ガス処理系フィルタ差圧変動状況を図13に、また運転特性を図14に示す。

2.3.4 灰溶融設備

マイクロ波溶融法を用いた焼却灰等不燃性残渣を安定に溶融固化するためには、溶融固化体の密度に影響する焼却灰の初期投入量等の条件設定が重要となる。このため溶融炉内におけるマイクロ波伝送特性および整合特性を把握する必要があり、実運転に先立ち基本特性の把握を行った。

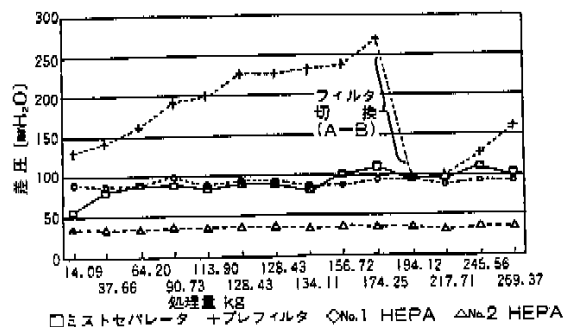


図13 排ガス処理系フィルタ差圧変動状況

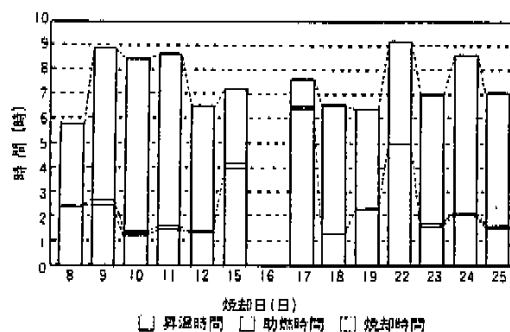


図14 難燃物焼却炉運転特性

(1) 炉内におけるマイクロ波伝送特性

マイクロ波を用いて被処理物を均質かつ高密度に溶融するためには、炉内に照射されるマイクロ波を電界強度が最大位置になるように整合（調整）する必要がある。本設備には、炉内に定在波を形成させるためのヘッドチューナ（炉体頂部に設置）と炉に形成される定在波を維持安定化させるためのスリースタブチューナ（導波管部に設置）がある。

(2) マイクロ波伝送モードと管内波長

本溶融炉は TE_{11} モード（底部で電界が最少となるモード）が炉内に形成されるような縦形給電方式となっている。溶融に際して炉内に形成されるマイクロ波伝送モードを確認するためには管内波長を測定

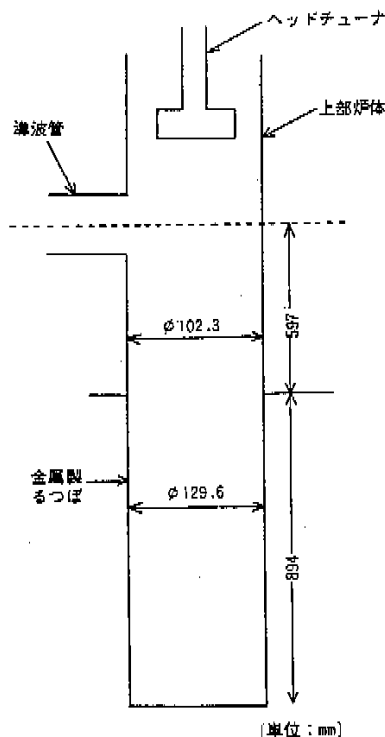


図15 マイクロ波溶融炉の概略構造

する必要がある。管内波長は熔融炉内のマイクロ波の伝送モードにより決まる（実機マイクロ波熔融炉の概略構造を図15に示す）。したがって、熔融炉内に形成されるマイクロ波伝送モードを TEn とした場合の管内波長 (λ_g) を図15の寸法をもとに計算すると管内波長 (λ_g) は式(1)で求めることができる。

$$\lambda_g = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda / \lambda_c)^2}$$

λ : 自由空間波長 $\lambda = 122.4\text{mm}$ (2450MHz の場合)

λ_c : 遮断波長

その計算の結果、マイクロ波炉体の管内波長として次の値を得た。

○上部炉体 (内径 $\phi 102.3\text{mm}$ の場合)

$$\lambda_g = 171.1\text{mm} \text{ (TE}_{11} \text{モード)}$$

○金属製ルッポ (内径 $\phi 129.6\text{mm}$ の場合)

$$\lambda_g = 146.9\text{mm} \text{ (TE}_{11} \text{モード)}$$

(3) 実機設備運転特性

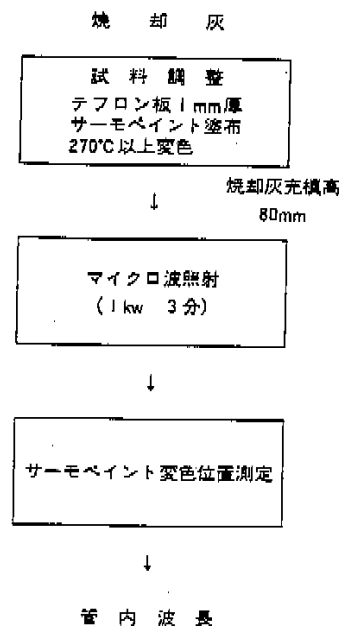
熔融炉は金属製容器（るつぼ）を収納する下部炉体とチューナ等を含む上部炉体等で構成され、共振型でチューナを調整することによって、マイクロ波エネルギーを金属るつぼ内焼却灰に集中印加できる構造となっている。（図7参照）

熔融固化体の密度に影響する焼却灰の投入量等の条件の決定にあたって実機設備特性を考慮する必要があるが、そのためにはるつぼ内に形成されるマイクロ波のるつぼ内での波長をもとめることが必要となる。このため管内波長の測定を行った。その方法と結果を以下に示す。

1) 管内波長測定方法と実測管内波長

金属るつぼ内に形成されるマイクロ波定在波の管内波長の測定方法を示したものを図16に示す。

表7 管内波長の測定手順



焼却灰等の熔融に使用される共振型熔融炉には底面で電界が最少となる TE モードと逆に磁界が支配的となる TM モードがある。PWTF においては矩形導波管から円筒形の共振器にマイクロ波が伝送されるとき最も安定し、かつ基本モードである TE モードが形成されるように設計、製作されている。この確認と焼却灰の初期投入量を決定するため、表7に示す手順で金属るつぼ内にサーモペイントを塗布したテフロン板に焼却灰を充填し、これにマイクロ波を照射すると、電界の強い

試験条件
るつぼ径: 129mm ϕ
マイクロ波照射電力: 1.2kW $\times$ 3分

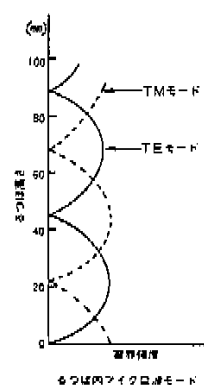
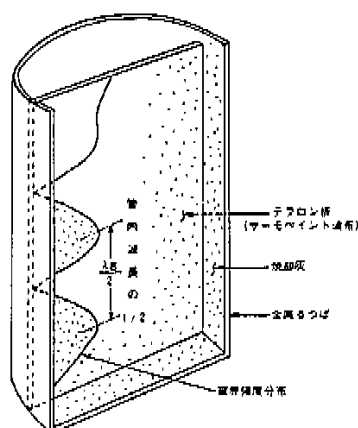


図16 管内波長の測定方法

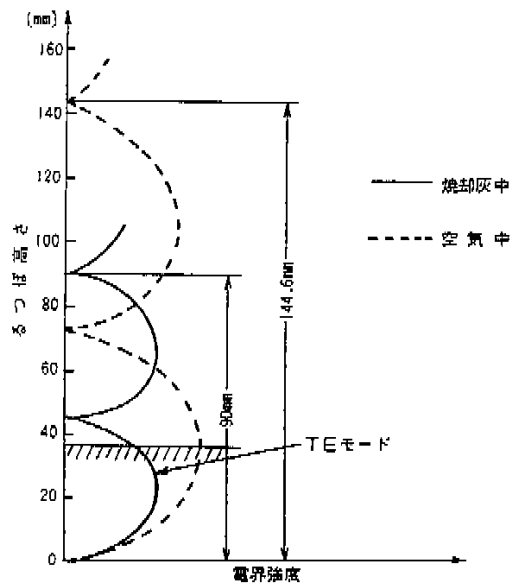


図17 管内波長測定結果

部分から変色が起こるので、その変色した2点間の距離を測定することにより管内波長をもとめた。この結果を図17に示す。この図から、PWTf実験機るつば129φmmでの焼却灰および空気中の管内波長はそれぞれ約90、145mmであることを確認するとともに、電界モードとしてTEモードが支

配的であることが確認された。この値は前述(2)でもとめた計算値と比較的よく一致するものである。さらに熔融開始時の焼却灰投入量としては、焼却灰の嵩密度(実験では0.6g/cm³)とるつば径より約400gとした。この数値はマイクロ波電界が最も強く分布する1/4管内波長高さよりも少し高くなる位置に相当し、るつば内に照射されるマイクロ波エネルギーを熔融面からの反射を押え、かつ効率的に焼却灰中に吸収させることが可能な値である。なお、マイクロ波の管内波長が焼却灰中で短くなるのは媒質によって比誘電率(ϵ)が異なるためである。

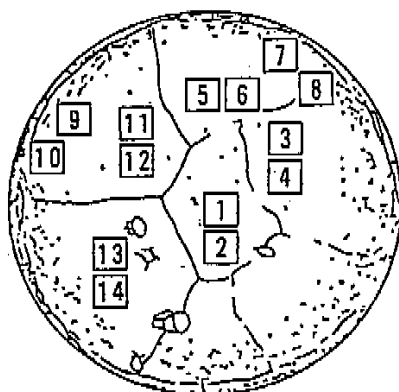
2) 熔融固化体特性

実験固化体の熔融状態は、同一条件で作製した試験用小型固化体を切断し、切断面の密度と気泡の巻込等の有無を観察した。切断面の密度は固化体断面から1cm試験体を採取し、これをアルキメデス法で測定した。その結果は表8のとおりで3.0前後と良好な熔融性を示していることが確認された。しかし金属のつば境界付近では、気泡の巻込みも観察され、密度の低下も認められた。この点に関しては、熔融固化体密度等の均質化等を目指したるつば形状等の評価試験を別途実施しているところである。

試験用小型固化体の断面写真を写真2に示す。

2.3.5 金属熔融設備

表8 切断面での密度



測定方法：アルキメデス法による

測定位置	密度 (g/cm ³)
1	3.05
2	2.96
3	2.99
4	2.96
5	2.94
6	2.84
7	2.32
8	2.11
9	2.29
10	2.83
11	3.01
12	2.96
13	3.02
14	2.95



溶融条件

マイクロ波: 5 ~ 6 KW

投入速度: 3 kg/hr

写真2 試験用小型固化体断面

切断面には溶融時に発生したと思われる気泡の巻き込みが観察されるが、全体としては密度 3 g/cm 前後の良好な溶融状態が確認できる。

(1) 金属廃棄物溶融特性

溶融物である金属鋳塊について、その溶融性を把握するため保護定盤と溶融金属との境界部の状態、金属鋳塊へのスラグ巻き込み、SUS 材と SS 材との境界層での溶融状態等を組織観察により確認したが、スラグ巻き込み等もなく良好な溶融性を示していた。金属鋳塊断面を写真3、実機金属鋳塊の外観を写真4に示す。

溶融時の運転特性については、被処理物中に Zn、Pb、Cd 等の低沸点金属が混入した場合、あるいは仮焼が不十分な為金属表面にペイント等が付着残存し

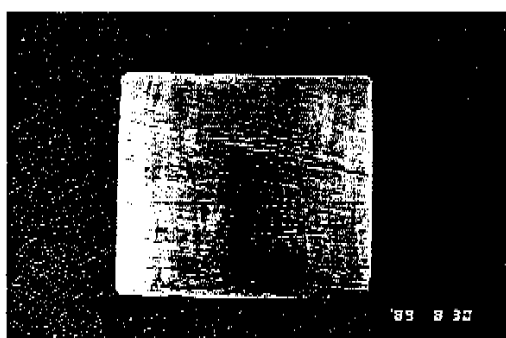


写真3 金属鉄塊断面

切断面写真には未溶融金属、スラグ等の巻き込みは認められず、良好な溶融状態が確認できる。

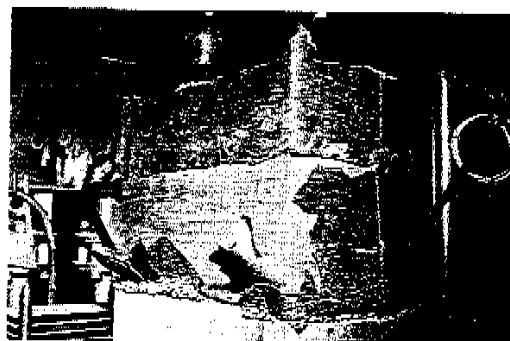


写真4 実機金属鋳塊外観

ている場合には、混入金属の除去および再仮焼等が必要である。すなわち、これら混入物がある場合には溶融スラグ中でこれらが瞬時に溶融または燃焼反応を呈しスラグの飛散あるいは燃焼ガスの発生を伴うからである。この点に関しては前処理段階での十分な選別が必要となる。

(2) 規定寸法外金属鋳塊の再着火継足溶融方法の確立

プロセス運転上の理由で標準寸法 (約 380×220×180mmH) を外れた金属鋳塊を保護定盤として利用するためには、溶融スタート時の金属の熱膨張による影響を抑え、未溶融状態のスラグを銅鋳型とそのスキ間に入れないような配慮が必要となる。この溶融方法を確立するため鋳型と規定寸法外鋳塊との間をスラグ溶融温度で溶け、かつ金属鋳塊等へ影響を与えない特殊充填材(セラミックファイバー断熱材)を見出し、これを使って間隙を埋め、着火、溶融運転が可能となる条件を確立した。その具体的方法を図18 (106頁参照) に示す。現在ではこの方法により、すべての規定寸法外鋳塊の継足溶融を可能にした。

2.3.6 廃棄物減容 (減重) 特性

可燃性廃棄物の焼却および得られた焼却灰のマイクロ波溶融による減容および減重率は、廃棄物の種別、性状、焼却条件等により異なる。Pu 廃棄物約 17 トンを処理し得られた減重率として、約 1/17 を確認した。減重率が小さいのは HEPA フィルタを混焼しているため、HEPA フィルタ母材であるガラス繊維およびアスベストが不燃物として残るためである。また、これら焼却、溶融を含めた減容率は貯蔵時の保管容器容積率で約 1/115 を得た。

これらの結果をまとめて表9 (106頁参照) に示す。

3. 関連技術開発

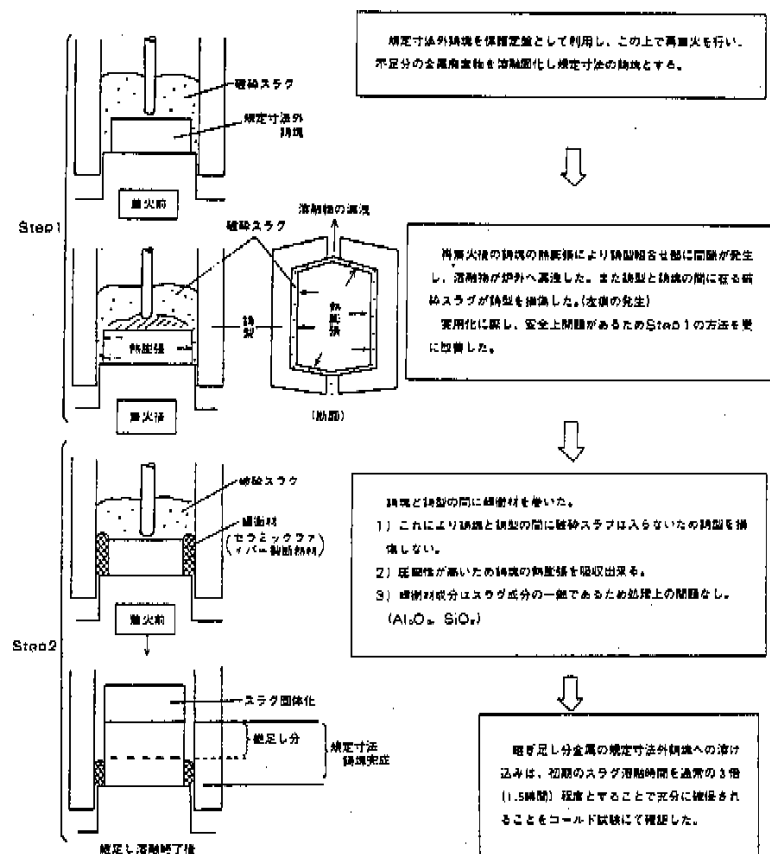


図18 燃え足溶融方法

PWTFは上述Pu廃棄物処理技術の実証試験を進める一方、さらに以下のような技術開発を進めて行く予定である。

3.1 減容安定化技術開発

実廃棄物の処理を通して焼却および溶融固化等の減容安定化処理技術について運転データおよび固化体評価データを集め、安全性、信頼性、経済性等を総合的に評価し、これら処理技術の実証を図るとともに、MOX燃料加工施設等で発生するPu廃棄物を受け入れ、処理するための前処理選別工程の自動化、廃ガス処理系改良等のプロセスの高度化技術開発を併せて実施する予定である。

3.2 TRU廃棄物管理技術開発

廃棄物中に含まれる極微量のTRU核種を測定するため、パッシブ線法に加えてアクティブ中性子法による測定評価技術開発ならびに発生から処理・貯蔵・処分に至る各段階での適切な廃棄物管理を行

うための区分管理システム開発を進める予定である。

3.3 固化体評価技術開発

減容安定化処理に伴って発生する固化体の長期健全性評価技術開発、ならびに処分時の浸出挙動把握のための処分環境を模擬した条件での浸出性、安定性、両立性の評価試験を実施する予定である。

表9 廃棄物減量・減容率

項目	処理方法	焼却処理	灰溶融
廃棄物処理量		17ton	1.1ton
プロダクト (焼却灰、人工鉱物)		1.1ton	52体
減重量		1/17	1
減容率			1/115

$$\text{減容率} = \frac{\text{処理後の固化体保管容器容積}}{\text{貯蔵時の廃棄物保管容器容積}}$$

4. まとめ

- (1) 実証試験で取り扱った、Pu 廃棄物の梱包材である、P.V.C の貯蔵・保管時における健全性が確認できた。
- (2) 可燃物焼却設備での可燃物と HEPA フィルタとの混合焼却条件、処理特性（減重率）を把握できた。また設備の包蔵性、運転時の炉内負圧の自動制御機能、および高温フィルタ等排ガス処理系での Pu に対する除染性能等が設計条件を十分満足するものであることが確認できた。
- (3) 難燃物焼却設備での難燃物の処理条件等を確認するとともに、定格運転時における排ガス処理系、運転特性を把握できた。
- (4) マイクロ波溶融設備における管内波長の測定精

果から焼却灰の最適溶融条件を把握した。

- (5) 規定寸法外金属鋳塊について、セラミックファイバーシートの使用による再着火および継足溶融方法の確立を図った。

以上のように PWTF において、Pu 廃棄物をそれぞれの処理プロセスにおいて安全に焼却、溶融等の減容、安定化処理ができることが確認された。

今後は各プロセスの運転データの体系化、固化体等の物性評価データ取得、さらにこれらデータ取得のための分析、測定装置の整備を図るとともに処理能力向上と施設全体の長期安定運転実現のための運転、保守支援システム構築等処理技術の高度化とプロセス評価のための実証データの蓄積を図って行く予定である。