



TRU廃棄物分別のための焼処理技術開発

Thermal Treatment for TRU Waste Sorting

佐々木 紀樹 青山 佳男 山下 利之

Toshiki SASAKI, Yoshio AOYAMA and Toshiyuki YAMASHITA

東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
環境技術管理部

Waste Management Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center

March 2009

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

TRU 廃棄物分別のためのか焼処理技術開発

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所
環境技術管理部

佐々木 紀樹、青山 佳男、山下 利之

(2009年1月5日 受理)

TRU 廃棄物の分別作業における破袋作業及び有害物除去作業の自動化による作業員の被ばく低減と運転コストの削減を目的として廃棄物を 500～700℃に加熱することにより梱包材と有害物の除去を行う「か焼処理」の技術開発を行った。

実験室規模の試験装置による処理試験により、廃棄物の梱包物はか焼処理によって除去されることが示された。また、除去が必要となるセルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物についても、か焼処理によって分解されることが示された。有害物である鉛、アルミニウムについては、か焼処理によって分離可能であるが、個別に回収するためには更なる技術開発が必要であることが示された。

試験結果に基づいて実処理装置の検討を実施し、鉛、アルミニウム、か焼灰の分離ができる回転ケージと水冷壁から構成されるロータリーキルンを考案した。また、排ガス系配管の塩化亜鉛による閉塞を防止するための水蒸気の添加、鉛及びアルミニウム回収装置の追加、か焼処理により爆発や異常燃焼の可能性があるスプレー缶等の検出・除去についての検討を行った。

以上の試験結果及び検討結果を基にか焼処理技術の実現に向けた今後の技術開発項目をまとめた。

Thermal Treatment for TRU Waste Sorting

Toshiki SASAKI, Yoshio AOYAMA and Toshiyuki YAMASHITA

Waste Management Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 5, 2009)

A thermal treatment that can automatically unpack TRU waste and remove hazardous materials has been developed to reduce the risk of radiation exposure and save operation cost. The thermal treatment is a process of removing plastic wrapping and hazardous material from TRU waste by heating waste at 500 to 700 °C.

Plastic wrappings of simulated wastes were removed using a laboratory scale thermal treatment system. Celluloses and isoprene rubbers that must be removed from waste for disposal were pyrolyzed by the treatment. Although the thermal treatment can separate lead and aluminum from the waste, a further technical development is needed to separate lead and aluminum.

A demonstration scale thermal treatment system that comprises a rotary kiln with a jacket water cooler and a rotating inner cage for lead and aluminum separation is discussed. A clogging prevention system against zinc chloride, a lead and aluminum accumulation system, and a detection system for spray cans that possibly cause explosion and fire are also discussed.

Future technology development subjects for the TRU waste thermal treatment system are summarized.

Keywords: Thermal Treatment, TRU Waste, Sorting, Unpacking, Lead, Aluminum

目次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. か焼処理による分別プロセスの開発項目の検討..... | 1 |
| 2.1 開発の目標..... | 1 |
| 2.2 東海固体廃棄物廃棄体化施設の基本フロー | 1 |
| 2.3 開発項目の設定 | 2 |
| 3. 試験方法 | 3 |
| 3.1 試験装置 | 3 |
| 3.2 試験手順 | 6 |
| 3.2.1 模擬廃棄物の作製..... | 6 |
| 3.2.2 基礎か焼試験装置によるか焼試験 | 8 |
| 3.2.3 熱風加熱式か焼試験装置によるか焼試験 | 9 |
| 4. 試験結果 | 11 |
| 4.1 破袋作業の自動化..... | 11 |
| 4.1.1 TG-DTA 分析 | 11 |
| 4.1.2 か焼処理試験 | 14 |
| 4.2 除去対象物の分別の自動化 | 16 |
| 4.2.1 セルロース系天然有機物及びイソプレン系天然有機物..... | 16 |
| 4.2.2 鉛..... | 17 |
| 4.2.3 アルミニウム | 18 |
| 4.3 安全性等の確保 | 21 |
| 5. 実用化に向けた検討..... | 22 |
| 5.1 分別作業の自動化..... | 22 |
| 5.2 安全性等の確保 | 24 |
| 5.2.1 火災、爆発の防止..... | 24 |
| 5.2.2 排ガス系配管閉塞の防止 | 24 |
| 5.2.3 廃棄体の技術基準..... | 25 |
| 5.3 か焼設備の概念検討..... | 26 |
| 6. 技術開発結果の総括と今後の開発項目 | 31 |
| 6.1 破袋作業の自動化..... | 31 |
| 6.2 有害物質分離作業の自動化..... | 31 |
| 6.3 安全性等の確保 | 31 |
| 7. おわりに | 32 |
| 参考文献 | 33 |

Contents

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Technology development plan | 1 |
| 2.1 Objectives | 1 |
| 2.2 Process flow of TWTF | 1 |
| 2.3 Technology development subjects | 2 |
| 3. Experimental | 3 |
| 3.1 Experimental setups | 3 |
| 3.2 Experimental procedures | 6 |
| 3.2.1 Simulated wastes | 6 |
| 3.2.2 Desktop thermal treatment vessel | 8 |
| 3.2.3 Laboratory scale thermal treatment system | 9 |
| 4. Results and Discussion | 11 |
| 4.1 Unpacking of wastes | 11 |
| 4.1.1 TG/DTA analysis | 11 |
| 4.1.2 Thermal treatment using laboratory scale thermal treatment system | 14 |
| 4.2 Sorting of wastes | 16 |
| 4.2.1 Celluloses and isoprenes | 16 |
| 4.2.2 Lead | 17 |
| 4.2.3 Aluminum | 18 |
| 4.3 Safety of thermal treatment system for TRU waste | 21 |
| 5. Results and Discussion | 22 |
| 5.1 Automation of sorting process | 22 |
| 5.2 Safety of the thermal treatment process | 24 |
| 5.2.1 Prevention of explosion and fire | 24 |
| 5.2.2 Prevention of clogging of off-gas treatment system | 24 |
| 5.2.3 Technical criteria for waste package | 25 |
| 5.3 Conceptual design of the thermal treatment system for TRU waste sorting ---- | 26 |
| 6. Subjects of future investigation | 31 |
| 6.1 Automation of unpacking process | 31 |
| 6.2 Automation of sorting process | 31 |
| 6.3 Safety | 31 |
| 7. Conclusions | 32 |
| References | 33 |

図表リスト

- 表 3.1 模擬廃棄物の金属組成、含有率及び重量
- 表 3.2 その他混入物の添加形態、比率及び重量
- 表 4.1 加熱時の単体試料の挙動
- 表 4.2 か焼処理後における鉛の分布
- 表 4.3 か焼処理後におけるアルミニウムの分布
- 表 4.4 亜鉛のオフガス系への移行率

- 図 2.1 東海固体廃棄物廃棄体化施設の基本フロー案
- 図 3.1 基礎か焼試験装置の概要
- 図 3.2 熱風加熱式か焼試験装置の概要
- 図 3.3 バッチ式ガス化炉外観写真
- 図 3.4 燃焼器外観写真
- 図 3.5 可燃性梱包材による梱包方法
- 図 3.6 難燃性梱包材による梱包方法
- 図 3.7 試験チャンバー内温度の例
- 図 3.8 装置内温度測定の例
- 図 4.1 窒素雰囲気下における梱包材の TG と DTA
- 図 4.2 空気雰囲気下における梱包材の TG と DTA
- 図 4.3 か焼処理後の炉内の様子
- 図 4.4 か焼処理後の炉内の様子
- 図 4.5 か焼処理後の炉内の様子
- 図 4.6 か焼処理後の炉内の様子
- 図 4.7 か焼処理後の HEPA フィルタの外観
- 図 4.8 か焼処理後の金属砕 HEPA フィルタの外観
- 図 4.9 木砕から染み出したタール状のもの
- 図 4.10 溶融してフィルタメディア表面に付着したアルミニウム
- 図 5.1 ロータリーキルン式か焼炉の構造概念
- 図 5.2 か焼処理システムブロックフロー図

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(原子力機構)は、核燃料サイクル工学研究所等より発生する低線量の TRU 固体廃棄物(グローブボックスで取扱える放射能濃度の TRU 雑固体廃棄物)の廃棄体化を行う東海固体廃棄物廃棄体化施設(TWTF)の検討を行っている。この TRU 固体廃棄物の廃棄体化処理プロセスの中で、減容・固化処理を行う前に梱包材を開梱して内容物を分別する分別作業が必要となるが、人手による分別は作業員への負荷が大きい。そこで、作業員への負荷軽減と作業の合理化による運転コストの削減を目的に、廃棄物を 500~700℃に加熱することにより梱包材と有害物質の除去を行う「か焼処理」の技術開発と TWTF への導入の検討を実施してきた。

か焼処理は、500~700℃に加熱された窒素又は空気によって廃棄物を加熱することにより、廃棄物を梱包している塩化ビニルシートやポリエチレン製の容器をガス化・除去するとともに、処分が禁止されている廃棄物中の有害物を除去する技術である。例えば、原子力施設で放射線の遮蔽用に広く使用されている鉛は、廃棄物中に含まれている可能性が高いが、有害物であり廃棄体化の前に除去する必要がある。鉛の融点は 327℃であることから、か焼処理によって容易に熔融・分別することができる。同様にアルミニウムは、セメント等のアルカリと反応して大量に水素を発生することから廃棄体化する前に除去する必要があるが、融点が 660℃と比較的低いことから、か焼処理で除去することができる。

本技術開発は、分別作業を手選別からか焼処理に替えることにより、作業を遠隔・自動化し、作業員の被ばくを低減するとともに運転コストの低減を図るものである。平成 16 年度より 4 年間実施したか焼処理技術開発の成果及び今後の開発課題を総括する。

2. か焼処理による分別プロセスの開発項目の検討

2.1 開発の目標

本技術開発項目の目標は、TRU 廃棄物の分別作業における破袋作業及び有害物除去作業の自動化による作業員の被ばく低減と運転コストの削減である。以下の節では、目標の達成に必要な開発項目の検討を行う。

2.2 東海固体廃棄物廃棄体化施設の基本フロー

図 2.1 に東海固体廃棄物廃棄体化施設の検討中の基本フローを示す。分別作業は、梱包材を取除いて内容物を取り出す破袋作業並びに廃棄物の中から処分が禁止されているもの及び後段の処理プロセスに悪影響を与えるものを除去する作業から構成される。

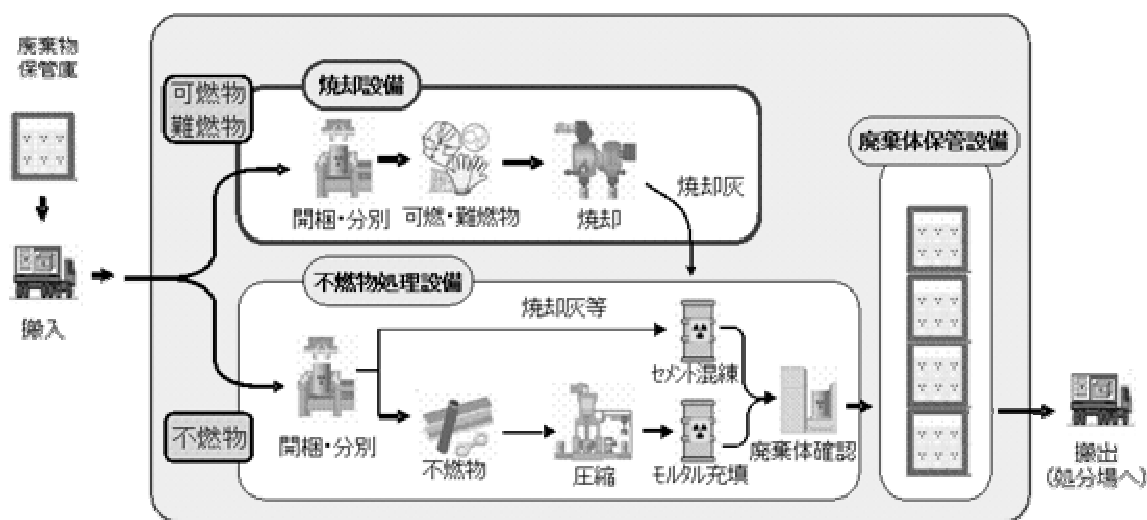


図 2.1 東海固体廃棄物廃棄体化施設の基本フロー案

2.3 開発項目の設定

本節では、破袋作業及び分別作業の自動化に必要な開発項目並びに開発する技術全体の安全性を確保するために必要な項目の検討を行う。

(1) 破袋作業の自動化に要求される性能

破袋作業は、目視で内容物が確認できるように廃棄物容器(又は梱包)から内容物を取り出す作業であり、自動化技術に要求される項目は、以下のものである。

- ① 梱包材が取り除かれていること
- ② 処理後でも金属の材質が目視で判定できること

(2) 分別作業の自動化に要求される性能

分別作業においては、廃棄物処理施設の健全性を損なう物質及び後段の処理プロセスに悪影響を与える物質を除去しなければならない。このうち、後段の処理プロセスに悪影響を与える物質については、減容プロセスとして熔融処理を採用する場合には低沸点金属や有機物の除去が必要となる。しかし、現時点では核燃料サイクル工学研究所から発生する低線量TRU固体廃棄物に対しては圧縮処理が採用される予定であることから、後段の処理プロセスへの影響という観点で除去しなければならない物質はない。埋設施設の健全性を損なう物質という観点で除去の対象となる主な物質は、発電所から発生する低レベル放射性廃棄物と同様にセルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物、アルミニウム、鉛の4種類と考えられる¹⁾。したがって、自動化技術に要求される項目は、以下のものである。

- ① セルロース系天然有機物及びイソプレン系天然有機物が除去又は分解されていること

- ② 鉛が単独で除去されていること
- ③ アルミニウムが単独で除去されていること又は酸化物等の安定な化合物に転換されていること

(3) 安全性等の確保

か焼処理は、500～700℃に有機物を含む廃棄物を加熱し、高温の可燃性ガスが多量に発生することから、火災及び爆発の防止が重要となる。特に、可燃性廃棄物と異なり、金属を含む廃棄物であることから、スプレー缶等の加熱を行うと爆発事故につながるおそれのある廃棄物を含んでいる可能性があり、これらの加熱禁止物を事前に検出して除去することは、安全性を確保する上で必須の条件となる。また、金属を加熱することから、金属溶融炉で知られている亜鉛等の揮発性元素による排ガス浄化設備の煙道閉塞が発生する可能性がある。

以上は、処理装置の安全性を確保するために必要な事項であるが、廃棄体自身の健全性という観点でも検討を行う必要がある。廃棄体の技術基準として確認しなければならない固型化材料、容器、一軸圧縮強度、放射能濃度等の項目のうち、か焼処理によって影響されるものは放射能濃度である。か焼処理によって揮発性核種が廃棄物から分離され排ガス系に移行すること及びか焼処理で分離されたアルミニウム、鉛に一部の核種が移行する可能性があることから、廃棄物に対して設定した核種組成がか焼処理によって大きく変動する可能性がある。したがって、か焼処理を行う場合には、予め廃棄体中の放射能濃度決定方法を検討しておく必要がある。

以上の安全性等の確保に必要な項目を以下にまとめる。

- ① 火災及び爆発の防止
- ② 加熱禁止物の事前除去
- ③ 廃棄体中の放射能濃度決定方法

3. 試験方法

3.1 試験装置

(1) 基礎か焼試験装置

HEPA フィルタ及び亜鉛めっき板のか焼処理特性を測定するための基礎試験は、図 3.1 に示す基礎か焼試験装置を用いて実施した。試験装置は、供給ガス(窒素ガス)、ガス流量調整器、電気炉、試験チャンバー、ガス回収部およびチャンバー内温度モニター一部から構成される。以下に装置の主な仕様を記す。

- ① 供給ガス種： 窒素、空気
- ② 供給ガス配管： OD:1/8 インチ、ID:2.18mm、SUS304 製、炉内に予熱コイルあり

- ③ 電気炉： 容量：6.2KW、ヒータ配置:上面を除く5面、炉内寸法：
420mmW×420mmD×520mmH
- ④ 排気ガス配管： OD:3/8 インチ、ID:6.35mm、SUS304 製、長さ:2m
電気炉出口付近を 650℃に加熱

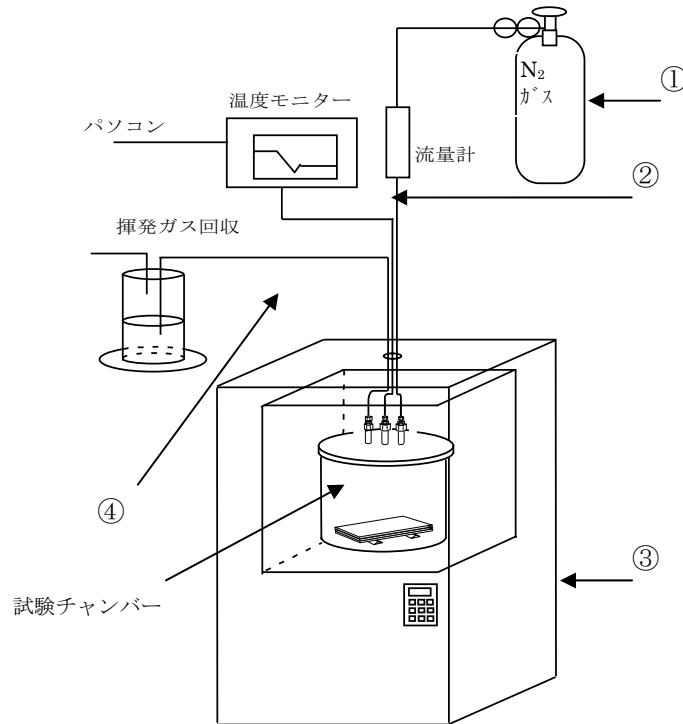


図 3.1 基礎か焼試験装置の概要

(2) 熱風加熱式か焼試験装置

か焼試験は、図 3.2 に示す熱風加熱式か焼試験装置を使用して実施した。バッチ式ガス化装置及び燃焼器の外観写真をそれぞれ図 3.3 及び図 3.4 に示す。この装置は、バッチ式ガス化炉内に廃棄物を装荷し、熱風を吹き込むことで加熱を行う。また、この装置ではか焼対象物をバッチ式ガス化炉内のケージに装荷してか焼処理を行うが、このケージを回転させて内容物の攪拌を行うことが可能となっている。

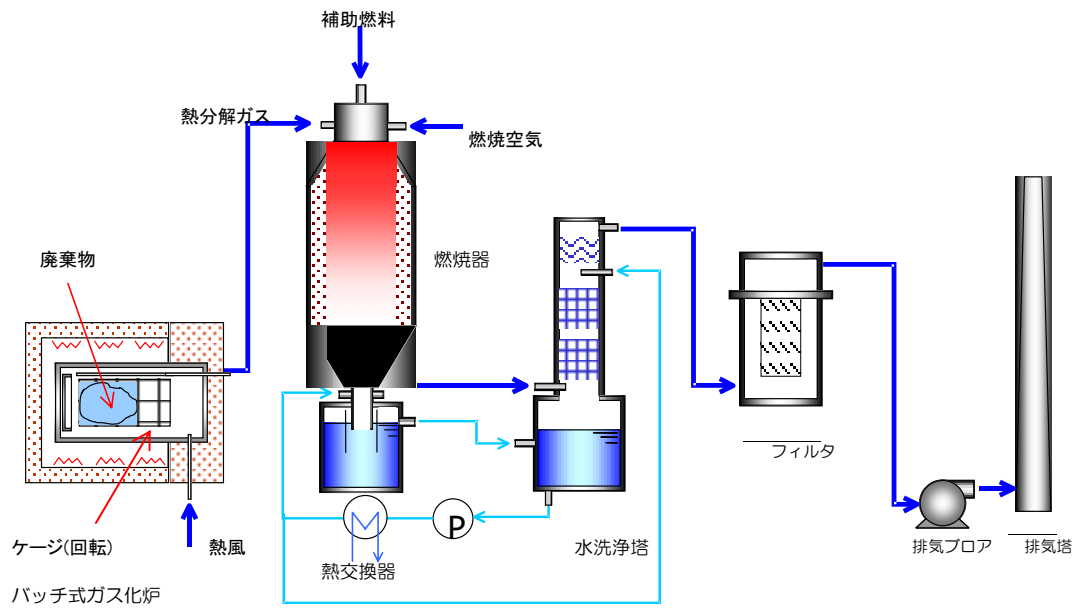


図 3.2 熱風加熱式か焼試験装置の概要

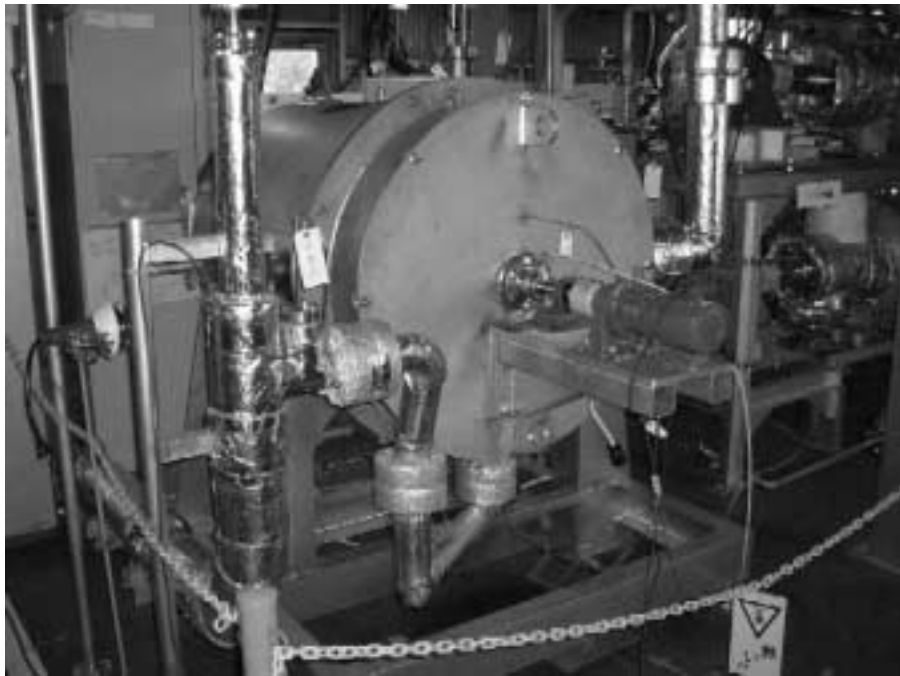


図 3.3 バッチ式ガス化炉外観写真



図 3.4 燃焼器外観写真

以下にバッチ式ガス化炉の主な仕様を記す。

- ① 最高使用温度： 700℃
- ② 加熱方式： 熱風及び外部ヒータ
- ③ 炉内雰囲気： 窒素、空気

3.2 試験手順

3.2.1 模擬廃棄物の作製

(1) 模擬廃棄物組成

模擬廃棄物の重量は、模擬廃棄物 1 個当たり、内容物及び梱包材重量を含めて 10kg を目標とした。梱包材の重量は、実際に機構に保管されている廃棄物を調査した結果、廃棄物の重量に対して約 7wt%であったため、本か焼試験においても当該割合に準ずることとした。模擬廃棄物中の金属は、表 3.1 に示す組成とした。

表 3.1 模擬廃棄物の金属組成、含有率及び重量

| 材質 | 形状等 | 含有率 | 重量 |
|-----|--------------------|---------|--------|
| SUS | 板材、配管 | 50 wt% | 5.0kg |
| SS | 板材、配管 | 35 wt% | 3.5kg |
| Al | 塊または板 | 5 wt% | 500g |
| Pb | 塊または線状 | 5 wt% | 500g |
| Zn | 真鍮ボルト及びナット、亜鉛メッキ鋼板 | 5 wt% | 500g |
| 合計 | | 100 wt% | 10.0kg |

- ・ SUS 及び SS の板状と配管の比率は、50:50 とする。
- ・ Al は、広く使用されている ADC12（ケイ素系アルミニウム合金）とする。

このほか、模擬廃棄物中に含むその他の混入物については、表 3.2 の組成とした。

表 3.2 その他混入物の添加形態、比率及び重量

| 材質 | 添加形態 | 比率 | 重量 |
|--------|-----------------------|--------|-----|
| オイル | 布に染み込ませ、ビニルで梱包 | 0.5wt% | 50g |
| グリース | 金属廃棄物に塗布 | 0.5wt% | 50g |
| 亜鉛メッキ材 | 板状 60mm×150mm 程度を 2 枚 | — | — |

(2) 模擬廃棄物の梱包

梱包材は、可燃性と難燃性の 2 種類とした。可燃性梱包は、キムタオル及び塩化ビニルで 1 次梱包し、ポリエチレン製のラジパックで 2 次梱包を行った。可燃性梱包材による梱包方法の概要を図 3.5 に示す。難燃性梱包は、キムタオル及び塩化ビニルで 1 次梱包し、更に塩ビ製の袋で 2 次梱包し、ガムテープにより当該塩ビ製の袋を補強した。難燃性梱包材による梱包方法の概要を図 3.6 に示す。

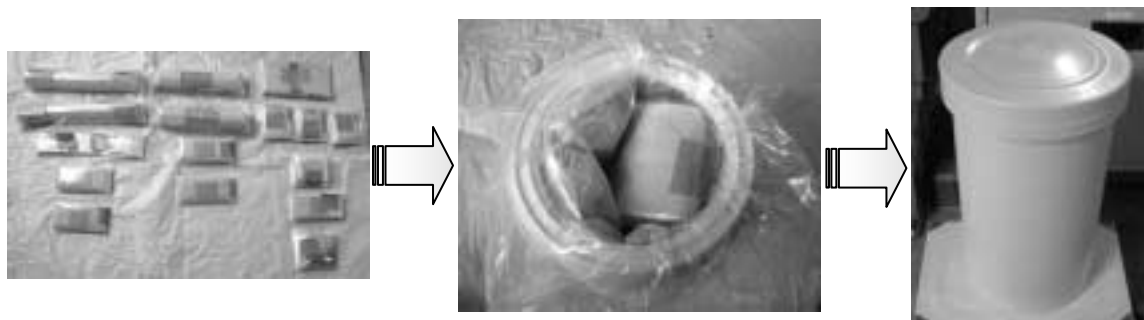


図 3.5 可燃性梱包材による梱包方法

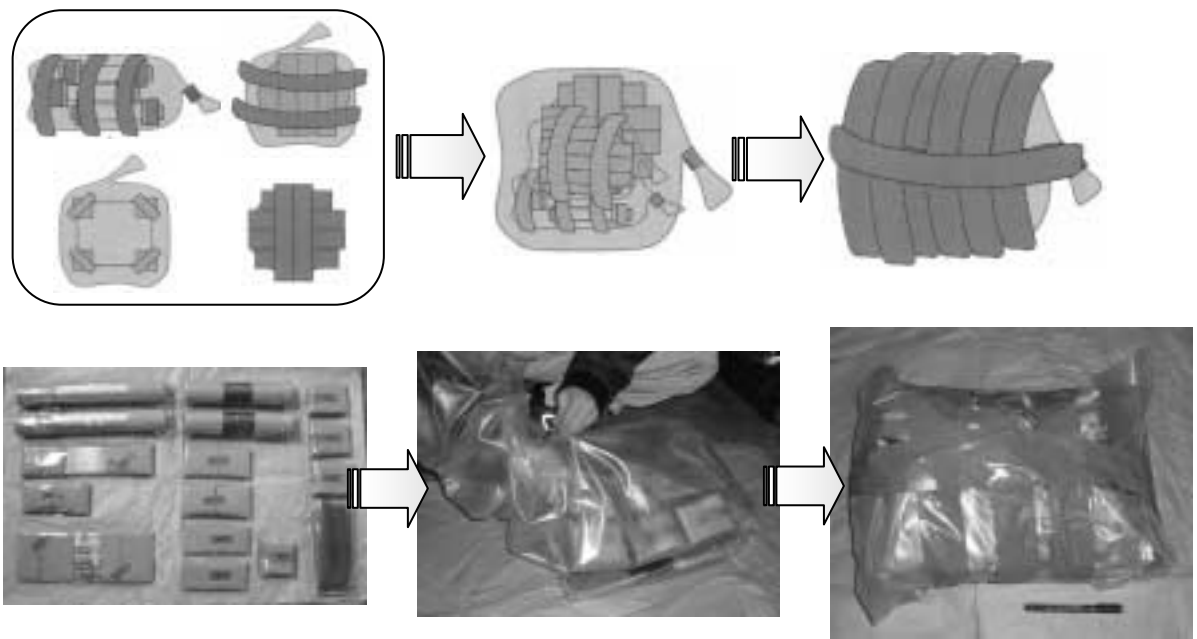


図 3.6 難燃性梱包材による梱包方法

3.2.2 基礎か焼試験装置によるか焼試験

図 3.1 の試験チャンバー内へ供試体を設置した後、窒素ガスをポンペより 100ml 毎分で供給した。十分にチャンバー内を窒素で置換した後(置換回数 20 回程度)、試験条件温度まで昇温させ指定時間保持した(昇温速度は、温度勾配最大 1000℃毎時を目指した。PID 温度制御のために設定温度付近では、温度勾配が緩やかになった。)。試験終了後、電気炉扉を開放して自然冷却した。試験チャンバーが 50℃以下に冷えたところで、試験チャンバーから供試体を取り出した。図 3.7 に試験中の試験チャンバー内の温度の例を示す。

亜鉛めっき板の処理試験においては、ガス出口に 2 N 硝酸 20ml を入れた洗浄ビンを設置し、排ガス中の亜鉛を捕集した。また、試験チャンバー、石英シャーレ、供試体スタンド及び排気管は、2 N 硝酸それぞれ約 200ml を用いて洗浄し、付着した亜鉛を回収した。

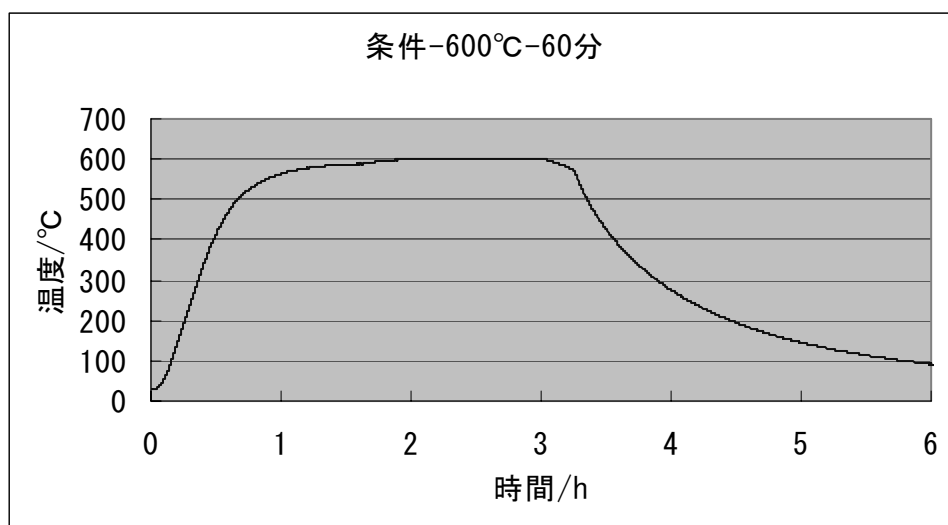


図 3.7 試験チャンバー内温度の例

3.2.3 熱風加熱式か焼試験装置によるか焼試験

バッチ式ガス化炉内に模擬廃棄物を装荷し、所定の昇温速度で昇温した。昇温時には、バッチ式ガス化炉内に窒素を供給し、無酸素状態でガス化処理を行った。最高設定処理温度に到達後、バッチ式ガス化炉内に5%もしくは10%の酸素を供給し、炉内残留炭化物の灰化処理を行った。本灰化処理は、炉内を最高設定処理温度に保持した状態で1時間行った。図3.8に装置内の温度測定の例を示す。

か焼処理によって梱包材等から発生したガスは、燃焼器において焼却処理を行った。燃焼器からの排ガスは、水スクラバで洗浄した後、排気ブロアを經由して排気塔より放出した。

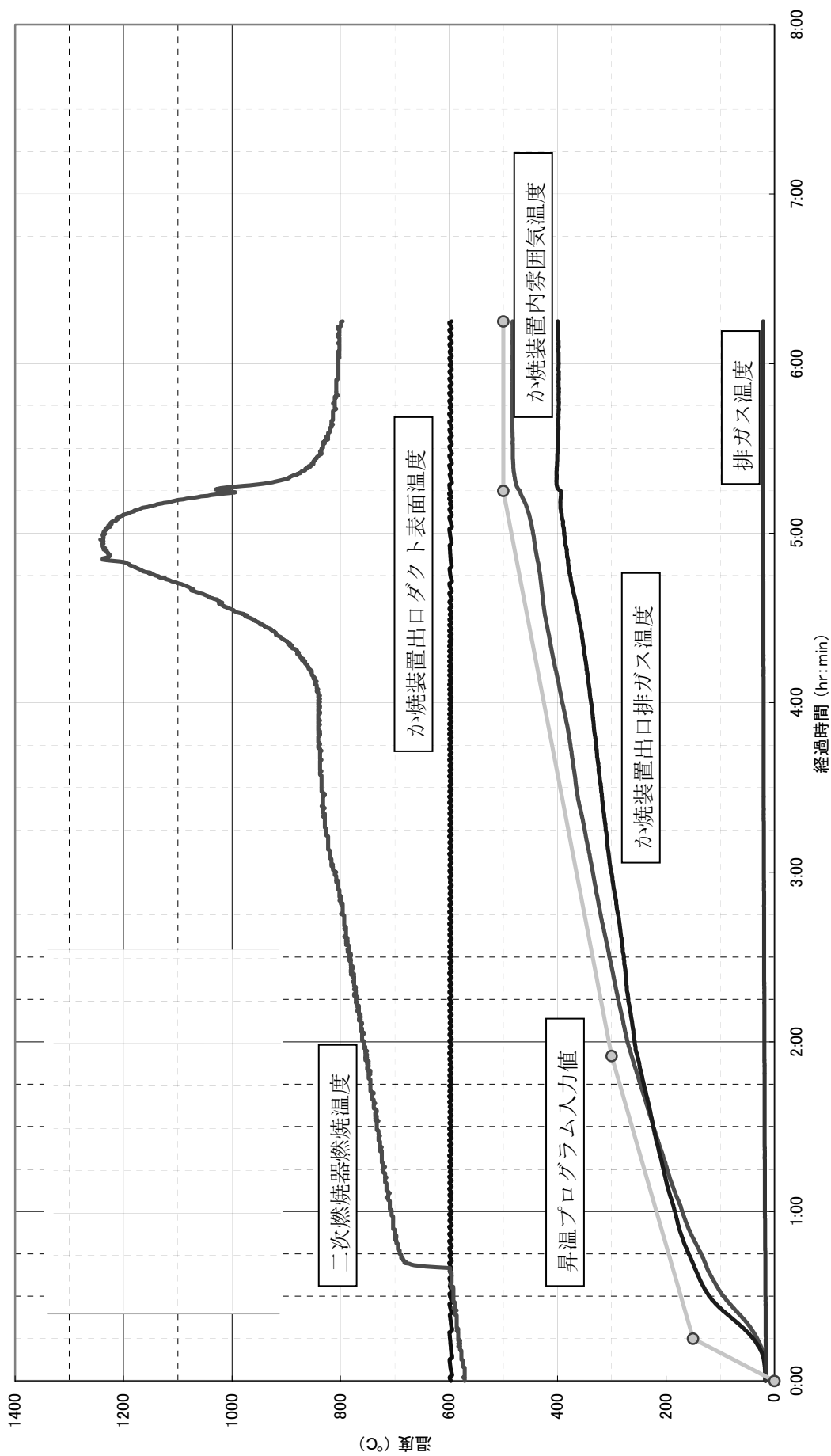


図 3.8 装置内温度測定の実例 (試料：模擬廃棄物、梱包材：可燃系、最高処理温度 500°C、灰化処理時供給酸素濃度：5%)

4. 試験結果

4.1 破袋作業の自動化

廃棄物を分別するためには、梱包材を除去して中身を取り出す必要がある(破袋作業)。ここでは、か焼処理による破袋作業の自動化を目指し、処理温度、雰囲気ガス等の最適化を行った。

4.1.1 TG-DTA 分析

か焼試験に先立って、梱包材の熱分解特性を把握するために示差熱重量同時測定(TG-DTA)分析を行った。試料は酢酸ビニル(酢ビ)、塩化ビニル(塩ビ)、ポリエチレン(PE)、ガムテープとし、それぞれについて窒素雰囲気、空気雰囲気下で測定した。昇温速度は20°C/minとし、600°Cまで昇温した後、30分間保持を基本とした。

図4.1に窒素雰囲気下におけるTGとDTA、図4.2に空気雰囲気下におけるTGとDTAを示し、表4.1に図4.1と図4.2からわかった試料の挙動をまとめた。

酢ビとPEは窒素雰囲気下では500°C以下で全てガス化し、空気雰囲気下では600°C以下で全てガス化した。塩ビは窒素雰囲気下でも空気雰囲気下でも500°Cまではほぼ同様の挙動を示し、共に10~15%の残渣が残るが、500~600°Cでは空気雰囲気下で重量減少が比較的早く進んだ。また、空気雰囲気下では600°C以下で全てガス化したが、窒素雰囲気下では600°Cで90分保持しても残渣が残った。ガムテープは窒素雰囲気下でも空気雰囲気下でも、300~500°Cの範囲で緩やかにガス化が進み重量は約30%まで減少したが、500°Cを超えるとガス化が滞り600°Cまで昇温しても約30%の残渣が残った。

以上の結果より、か焼処理においては、500°C以上に加熱することにより梱包材の大部分は除去されること及び残渣の量を減らすためには空気の導入が有効であることが推定された。

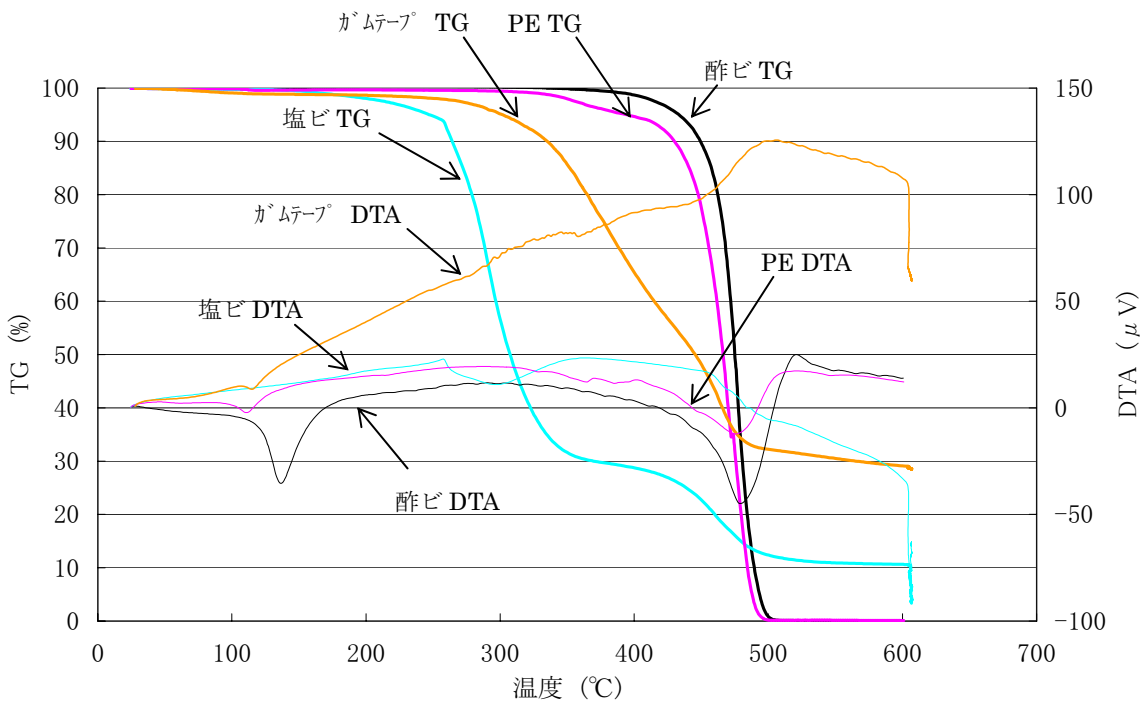


図 4.1 窒素雰囲気下における梱包材の TG と DTA

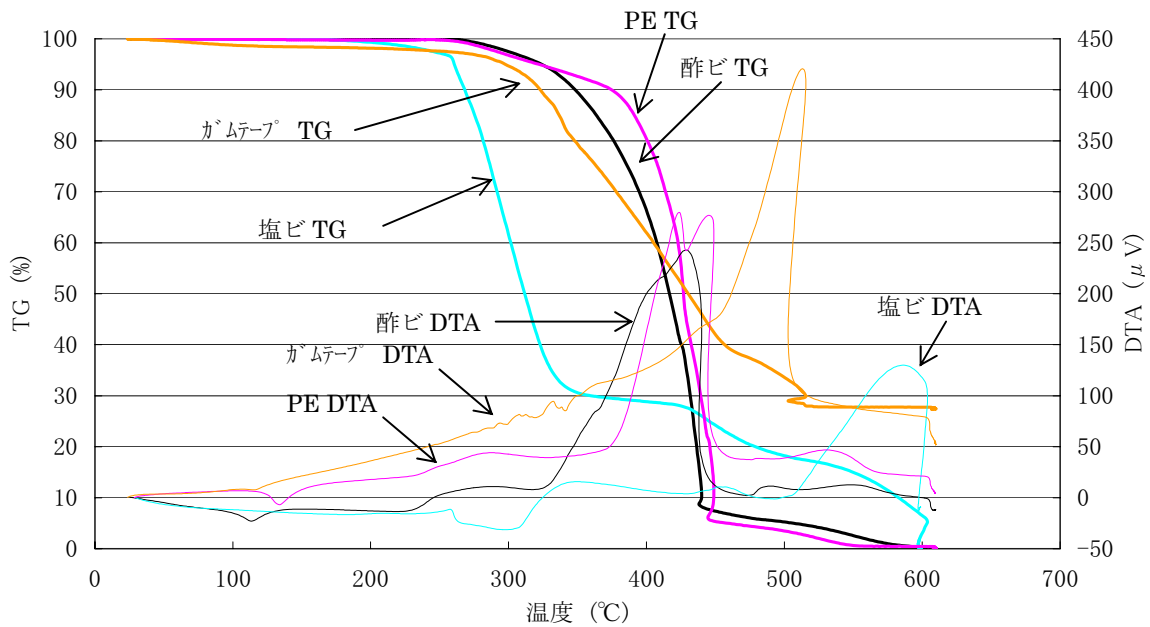


図 4.2 空気雰囲気下における梱包材の TG と DTA

表 4.1 加熱時の単体試料の挙動

| 雰囲気 | 試料 | 反応挙動 |
|-----|-------|--|
| 窒素 | 酢ビ | 約 130℃で融解し、400℃以上で急激に分解反応が進み 500℃以下で全てガス化した。 |
| | 塩ビ | 約 200℃から分解反応が徐々に進み、250～350℃で脱塩化水素反応により重量が急激に減少して約 350℃では約 30%になった。500℃までは緩やかに反応が進み重量は約 10%まで減少したが、この残渣は 600℃まで加熱してもほとんど反応せず、600℃で 90 分保持すると約 3%まで減少した。 |
| | PE | 約 110℃で融解し、400℃以上で急激に分解反応が進み 500℃以下で全てガス化した。 |
| | ゴムテープ | 300～500℃の範囲で緩やかに分解反応が進み重量は約 30%まで減少したが、500℃を超えると反応が滞り 600℃まで昇温しても約 30%の残渣が残った。 |
| 空気 | 酢ビ | 250℃を超えると酸化分解反応が進み、350～450℃で重量は急激に減少し、約 550℃で全て燃焼した。 |
| | 塩ビ | 室温～500℃までは窒素雰囲気下と同様の挙動を示すが、550～600℃でさらに反応が進み、全てガス化した。 |
| | PE | 250℃を超えると酸化分解反応が進み、350～450℃で重量は急激に減少し、約 550℃で全てガス化した。 |
| | ゴムテープ | 300～500℃の範囲で緩やかに分解反応が進み重量は約 30%まで減少したが、500℃を超えると反応が滞り 600℃まで昇温しても約 30%の残渣が残った。 |

4.1.2 か焼処理試験

図 3.2 に示した 熱風加熱式か焼試験装置を使用して模擬廃棄体のか焼試験を実施し、か焼処理により廃棄物梱包材の除去性能を確認した。試験は、「3.2 試験手順」にしたがって行った。試験パラメータは、処理温度及びケージ回転の有無とした。なお、設備設計のためには処理時間を決める必要があるが、処理時間を短くするために加熱速度を大きくすると、単位時間当たりの可燃性ガスの発生量が大きくなり、使用した装置の燃焼器の処理能力を上回る可燃性ガスが発生してしまうことから、今回の試験では処理時間をパラメータとしなかった。

(1) 処理温度依存性

図 4.3～5 に 500、600、700℃でか焼処理を行った結果を示す。図からわかるように、500、600、700℃のどの温度においても廃棄物は開梱されていることが確認された。また、開梱後に実施する廃棄物の分別工程において、その分別作業に支障をきたすような廃棄物表面の変化、梱包材の付着等は無く、目視判断による廃棄物の分類は可能であることが確認された。

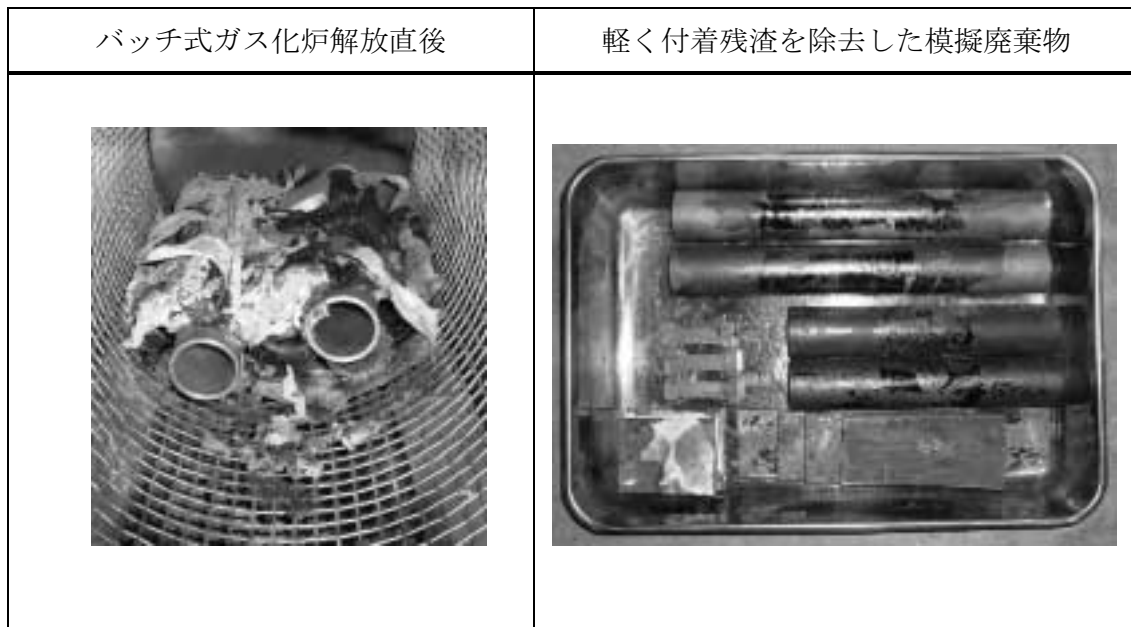


図 4.3 か焼処理後の炉内の様子 (試料：模擬廃棄物、梱包材：難燃系、最高処理温度：500℃、灰化処理時供給酸素濃度：10%)

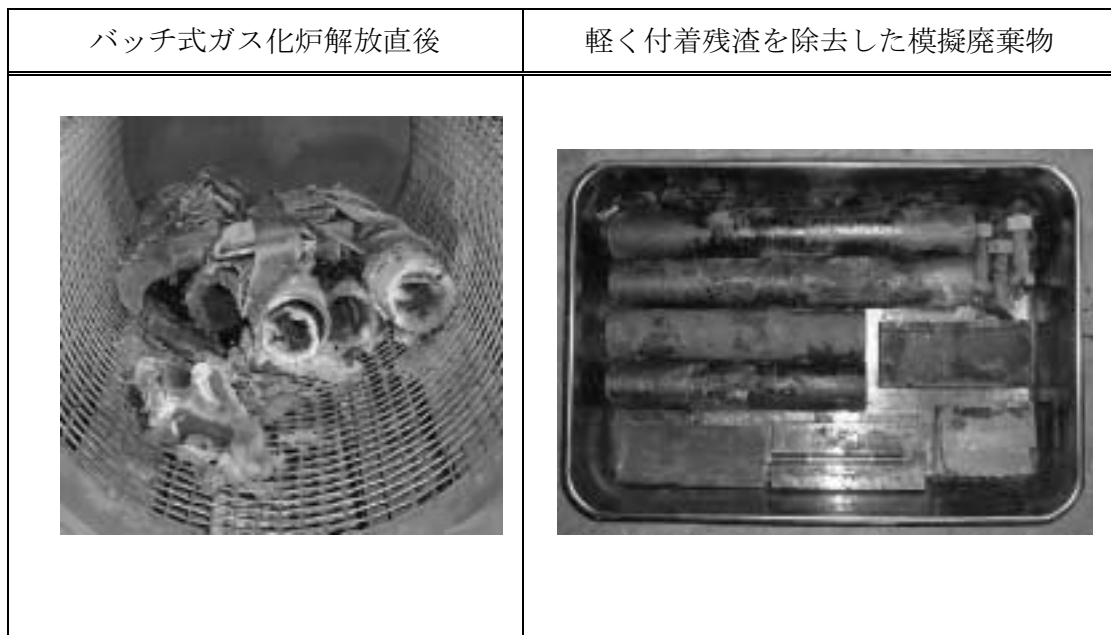


図 4.4 か焼処理後の炉内の様子（試料：模擬廃棄物、梱包材：難燃系、最高処理温度：600℃、灰化处理時供給酸素濃度：5%）

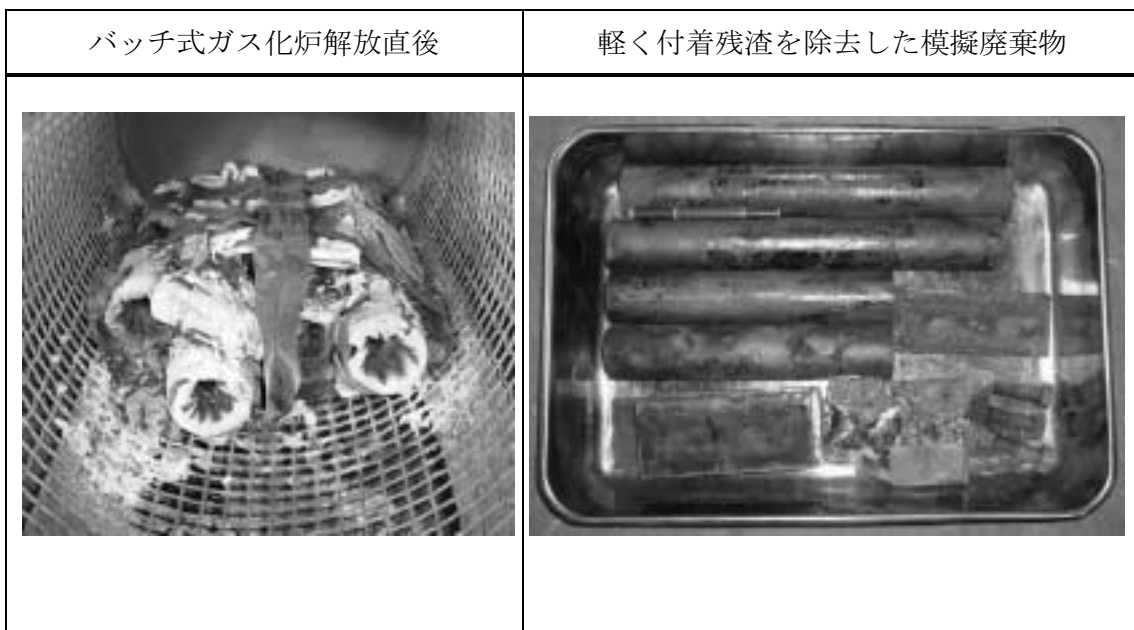


図 4.5 か焼処理後の炉内の様子（試料：模擬廃棄物、梱包材：難燃系、最高処理温度：700℃、灰化处理時供給酸素濃度：5%）

図 4.3～5 からわかるように、廃棄物は開梱されているものの、廃棄物と梱包材の残渣が分離されていないことから、バッチ式ガス化炉内のケージの回転により廃棄物を揺動することにより、梱包材を分離することを試みた。灰化处理時の 1hr の間にケージを 10min 毎に、30sec でケージが 1 回転する回転スピードで、

計 6 回転した。図 4.6 にケージを回転させた場合のか焼処理後の炉内の様子を示す。熱分解した梱包材が全てケージから落下し、金属のみがケージ内に残った。

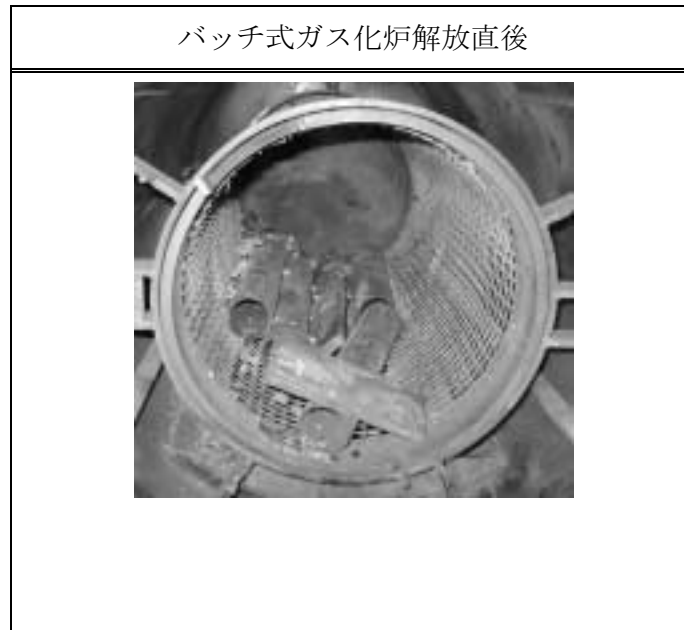


図 4.6 か焼処理後の炉内の様子（試料：模擬廃棄物、梱包材：難燃系、最高処理温度：600°C、灰化处理時供給酸素濃度：10%、灰化处理時にケージを回転）

4.2 除去対象物の分別の自動化

分別作業においては、埋設施設の健全性を損なう物質を除去しなければならない。廃棄物に含まれる主な除去対象物は、2.3.2 節で述べたように、セルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物、アルミニウム、鉛の 4 種類と考えられることから、これらの物質のか焼処理による分解又は分離性能の評価を行った。

4.2.1 セルロース系天然有機物及びイソプレン系天然有機物

不燃物系廃棄物に含まれる主なセルロース系天然有機物は、「3.2.1 模擬廃棄物の作製」で述べた廃棄物の梱包に使用しているキムタオル及び HEPA フィルタの木枠である。キムタオルについては、「4.1.2 か焼処理試験」において、500、600、700°C のどの温度においても炭化又は灰化されていることが確認された。イソプレン系天然有機物については、ラテックス製手袋が不燃系廃棄物に混入していることから、キムタオルと同様に熱風加熱式か焼試験装置を使用して 700°C でか焼処

理を行い、炭化又は灰化されていることが確認された。

HEPA フィルタの木枠については、図 3.1 に示した基礎か焼試験装置を用いて「3.2.2 基礎か焼試験装置によるか焼試験」の手順に従って処理試験を実施した。使用した HEPA フィルタは、忍足研究所 FMP-500-N である。処理温度をパラメータとし、400、500、700℃でそれぞれ 2 時間か焼処理を行った。処理結果の例として、500℃で 2 時間処理した結果を図 4.7 に示す。木枠は、400、500、700℃のどの温度においても中心まで炭化しており、セルロース系天然有機物はか焼処理によって分解されることが確認された。

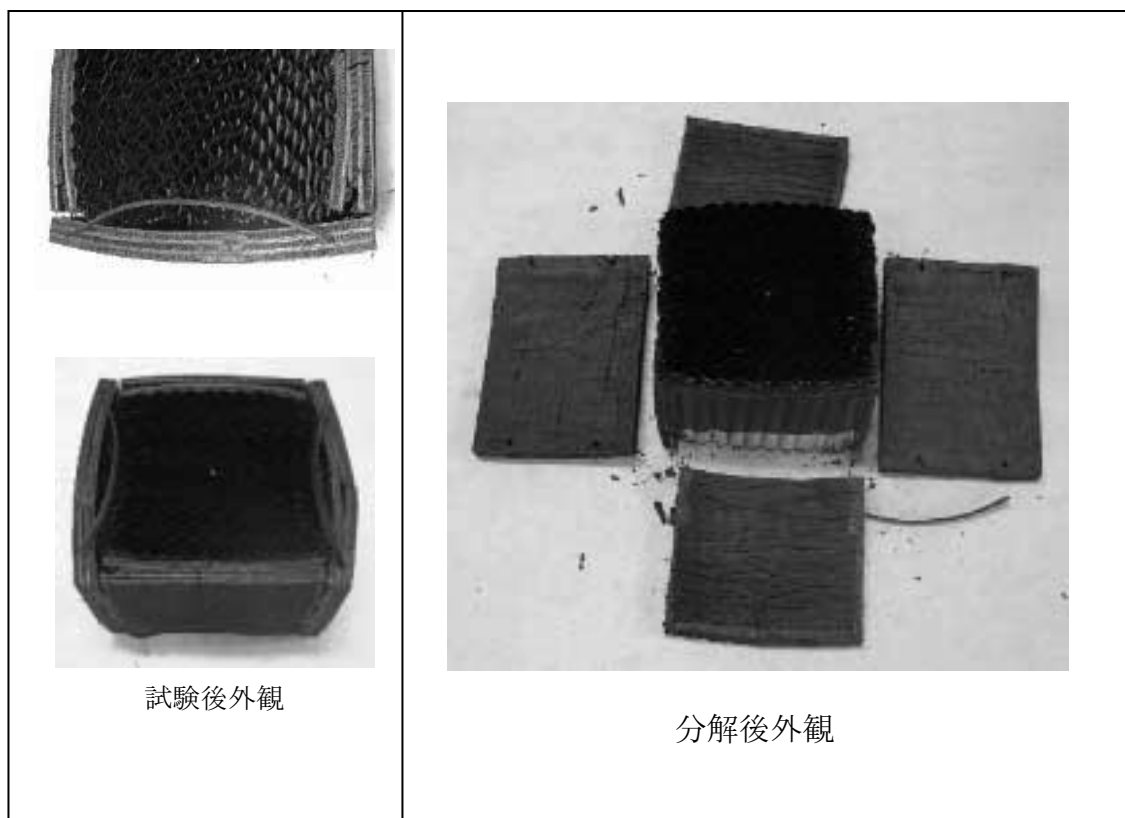


図 4.7 か焼処理後の HEPA フィルタの外観（処理温度：500℃、処理時間：2 時間）

4.2.2 鉛

鉛の融点は 327℃であり、か焼処理を行う 500～700℃では、融解してケージから落下し、廃棄物から分離されると考えられる。

か焼処理による鉛の除去特性を調べるため、「4.1.2 か焼処理試験」において模擬廃棄物中に 5wt%の鉛を加え、鉛の挙動を評価した。鉛が融解してケージから落下する

ことは明らかであったので、ケージの回転を止めて梱包材の熱分解物をケージ内に残すことにより、どの程度の鉛が梱包材の熱分解物に付着してケージ内に残るかの評価及び排ガス系に移行する鉛の割合の評価を行った。

表 4.2 に試験結果を示す。ケージの回転を止めたことにより 1～2 割の鉛が梱包材の熱分解物に付着してケージ内に残った。このことから、鉛を分離するためにはケージの回転により梱包材の熱分解物をケージから落とす必要があることがわかった。鉛の排ガス系への移行率については、表 4.2 からわかるように、数%の鉛が水洗浄塔で捕集されており、しかも処理温度が高くなるにつれて水洗浄塔へ移行する鉛の割合が増えている。水洗浄塔から発生する使用済み洗浄水を有害物として取り扱わずに済ませるためには、水洗浄塔の手前で排ガスから鉛を除去しておく必要がある。排ガスからの鉛除去の方法については、次章で検討を行う。

表 4.2 か焼処理後における鉛の分布

| 温度/℃ | 鉛の分布/wt% | | | | Total |
|------|----------|-------|------|------|-------|
| | ケージ | 炉底部トレ | 水洗浄塔 | フィルタ | |
| 500 | 11.0 | 73.1 | 2.7 | 0.0 | 86.8 |
| 600 | 24.3 | 76.0 | 3.3 | 0.0 | 103.6 |
| 700 | 6.7 | 93.2 | 5.0 | 0.0 | 104.9 |

4.2.3 アルミニウム

アルミニウムの融点は 660℃であり、鉛と同様にか焼処理によって融解してケージから落下し、廃棄物から分離されると考えられる。今回の試験では、電気器具等に広く使用されている ADC12(Al-Si-Cu 合金)を模擬廃棄物に 5wt%加えて処理を行った。

表 4.3 に試験結果を示す。ADC12 の融点は、500～600℃の間であることから、500℃のか焼処理では ADC12 の全てがケージ内に残った。また、アルミニウムは表面が酸化されるため、融点以上に加熱されても表面の薄い酸化被膜によって形状が保たれる。このため、今回のようにケージの回転を止めて廃棄物が静置された状態では、融点以上の温度で処理しても、ADC12 の大部分がケージ内に留まった。この

ことから、アルミニウムを分離するためには、鉛の場合と同様にケージの回転により廃棄物を揺動してケージから落とす必要がある。

表 4.3 か焼処理後におけるアルミニウムの分布

| 温度/°C | アルミニウムの分布/wt% | | | | Total |
|-------|---------------|-------|------|------|-------|
| | ケージ | 炉底部トレ | 水洗浄塔 | フィルタ | |
| 500 | 100.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.4 |
| 600 | 75.6 | 38.8 | 0.0 | 0.0 | 114.5 |
| 700 | 70.0 | 30.3 | 0.1 | 0.0 | 100.4 |

アルミニウムは、主に HEPA フィルタのセパレータとして使用されてきたことから、基礎か焼試験装置を用いてか焼処理試験を行い、アルミニウムの分離性能を確認した。試験は、「3.2.2 基礎か焼試験装置によるか焼試験」の手順に従って実施した。使用した HEPA フィルタは、忍足研究所 FMP-500-N(木枠)及び近藤工業 ILEU-180 である。処理温度をパラメータとし、400、500、700°C でそれぞれ 2 時間か焼処理を行った。

金属枠の HEPA フィルタについては、400°C 及び 500°C で処理した場合には、図 4.8 に示すようにセパレータを固定していた接着剤が熱分解し、容易にアルミニウムセパレータが分離できた。これに対し、木枠の HEPA フィルタについては、接着剤は熱分解したものの、木枠から染み出したタール状の物質(不燃化剤と推定される)によってフィルタメディアとアルミニウムセパレータがくっついてしまうため(図 4.9 参照)、アルミニウムセパレータの分離が、容易にはできなかった。したがって、木枠 HEPA フィルタのアルミニウムセパレータの処理については、今後の検討が必要である。また、700°C で処理した場合には、アルミニウムが溶融してフィルタメディア表面に付着し、アルミニウムの分離が非常に難しい状態となった(図 4.10 参照)。

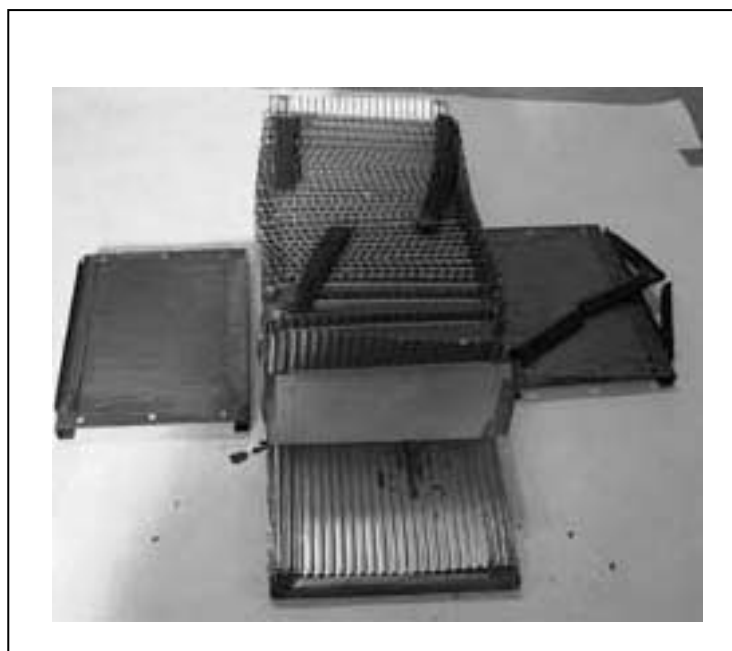


図 4.8 か焼処理後の金属枠 HEPA フィルタの外観
(処理温度：400℃、処理時間：2 時間)

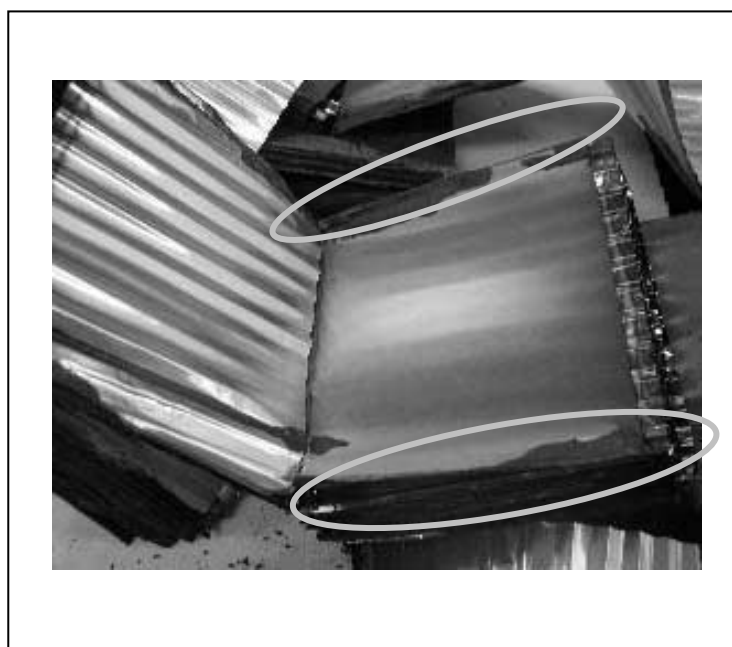


図 4.9 木枠から染み出したタール状のもの
(処理温度：400℃、処理時間：2 時間)

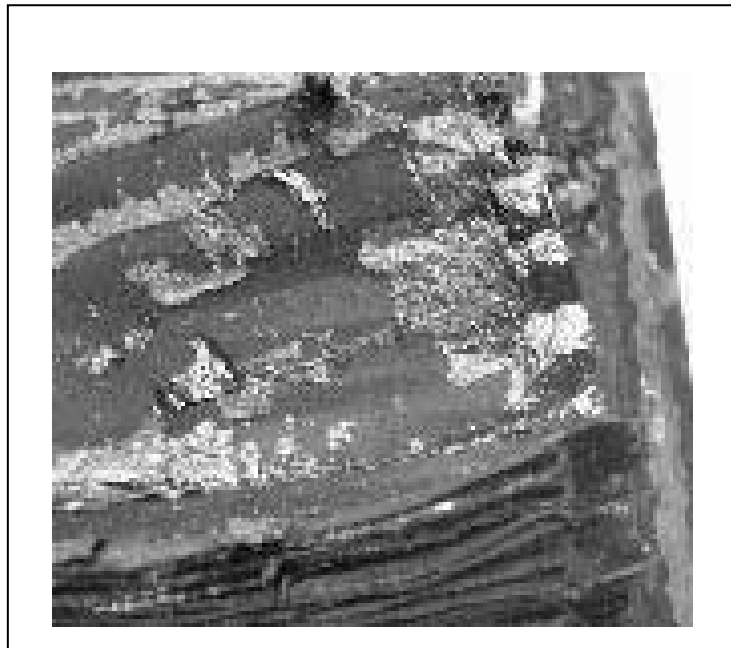


図 4.10 溶融してフィルタメディア表面に付着したアルミニウム（処理温度：700℃、処理時間：2 時間）

4.3 安全性等の確保

2.3.3 節で検討した安全性等の確保に必要な性能のうち、机上検討が難しい項目については、試験を実施してデータを取得した。

(1) オフガス系の閉塞防止

これまで焼却炉や溶融炉では、塩化亜鉛や塩化鉛によるオフガス系配管の閉塞が報告されていることから²⁾、亜鉛及び鉛の蒸発に関するデータを取得した。鉛の蒸発に関する試験結果については、既に 4.2.2 節で述べているので、ここでは亜鉛の蒸発についての試験結果について述べる。

試験は、HEPA フィルタ処理試験と同様に基礎か焼試験装置を用いて、「3.2.2 基礎か焼試験装置によるか焼試験」の手順に従って実施した。JIS-G3302 亜鉛めっき鋼板 Z27（板厚 1.2mm）を 40mm×60mm に切断した試料を用いて処理温度及び処理時間をパラメータとした試験を実施した。

試験結果を表 4.4 に示す。装置内の温度分布やガスの流れの不均一性のため、測定値が大きくゆらいでいるが、全体的な傾向として 500℃まではオフガス系への移行は

比較的小さく、2 時間処理を行っても移行率は 1%未満であるが、550℃から急激に増加している。か焼処理の温度条件は、アルミニウムを分離するためには少なくとも 600℃以上に加熱する必要があることから、全亜鉛量の 10%以上がオフガス系へ移行すると推定され、オフガス系へ亜鉛を除去する機構を取り付けることは必須であると考えられる。なお、実際の処理装置では、亜鉛は、塩化ビニルから発生した塩素と反応して塩化亜鉛となると予想され、今後ハロゲンの影響の評価が必要である。

表 4.4 亜鉛のオフガス系への移行率

| 処理時間 | 移行率/% | | | | |
|-------|-------|------|------|-------|------|
| | 450℃ | 500℃ | 550℃ | 600℃ | 650℃ |
| 30 分 | 0.02 | 0.62 | 1.54 | 5.02 | 12.2 |
| 60 分 | 0.17 | 0.66 | 7.97 | 9.16 | 9.08 |
| 120 分 | 0.01 | 0.01 | 7.67 | 15.02 | - |

5. 実用化に向けた検討

ここでは、2 章で挙げたか焼処理による分別プロセスの開発項目及び試験の実施によって新たに明らかになった検討項目について実用化に向けた机上検討を行う。

5.1 分別作業の自動化

2.3.2 節で述べたように 分別して除去しなければならない主なものは、セルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物、アルミニウム、鉛の 4 種類である。このうち、セルロース系天然有機物とイソプレン系天然有機物はか焼処理により分解することから、分別しなければならないものは、アルミニウムと鉛に限定される。

(1) アルミニウムと鉛の分離

か焼後は、「金属(次工程で圧縮処理)」「アルミニウム」「鉛」「か焼灰」に区分する必要がある。これまでの試験結果から、次工程で圧縮処理を行う金属とその他のもの(アルミニウム、鉛、か焼灰)は、か焼炉内の網の上で廃棄物を揺動させることにより分離できることが明らかになった。分離されたアルミニウム、鉛、か焼灰は、振動篩により篩分することで、か焼灰と塊状のアルミニウム、鉛を分離できる。残ったアルミニウムと鉛は一般的なアルミニウム磁選機(渦流選別)で分離できるものと考えられる。

か焼処理において熔融分離されたアルミニウムと鉛は、お互いに熔融状態で混合する可能性があることから、か焼処理装置にアルミニウムと鉛を分離する機構を付加する必要がある。アルミニウムと鉛の分別については、それぞれ融点が 660°C と 327°C であるため、か焼炉の運転温度(約 700°C) ではどちらも熔融状態であり、お互いに溶け合ってしまう。そこで、図 5.1 に示す水冷ジャケット型のロータリーキルン炉の検討を行った。炉壁は水冷ジャケットにより $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 程度に冷却されており、熔融して網から滴下した金属は、炉壁で冷却されて固化する。炉内は 300°C から 600°C へ徐々に温度が上昇していく温度分布になっていることから、融点の異なるアルミニウムと鉛はキルン内の異なった位置で熔融する。スクレイパを設けることで、炉壁表面に固まったアルミニウム及び鉛をかき取り炉外に排出することができる。

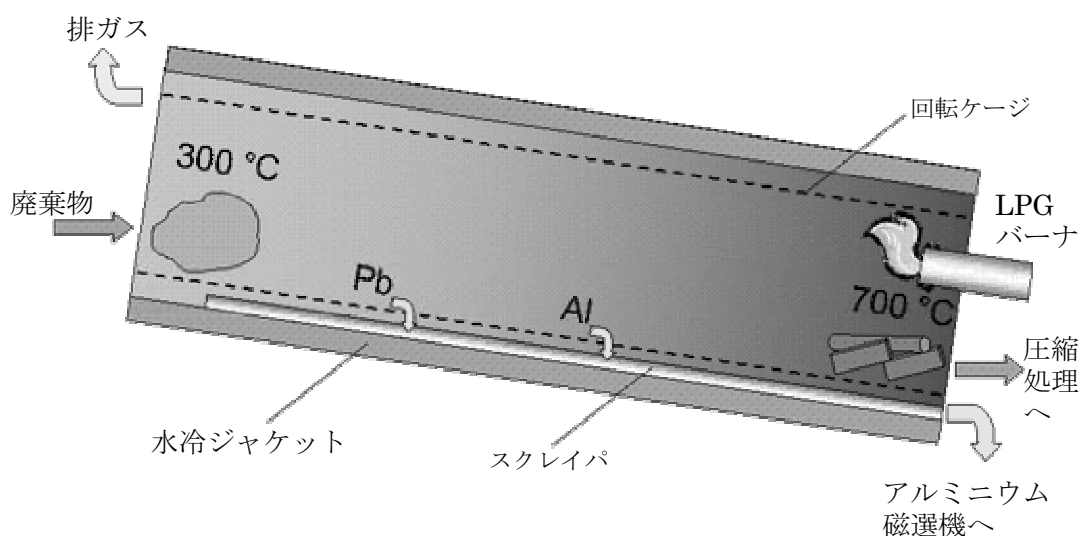


図 5.1 ロータリーキルン式か焼炉の構造概念

5.2 安全性等の確保

5.2.1 火災、爆発の防止

火災及び爆発の防止については、基本的には可燃物焼却炉と考え方が同じであるため、ここでは、可燃物焼却炉においてはほとんど発生する可能性のない、スプレー缶等の密閉容器の混入による爆発や異常燃焼の防止について検討する。

スプレー缶等の密閉された空間などを有する容器、水分の多い廃棄物、爆発性の物質を含む廃棄物については、爆発や異常燃焼を防ぐために、か焼炉に投入する前に排除しておく必要がある。PVC 袋の中を見るためには、X 線を用いた透視が考えられる。X 線による透視技術については、空港での荷物の検査等に使用されている技術と同じものであり、X 線を照射してその透過画像を解析する方法が用いられている。しかし、原子力機構が模擬廃棄物を用いて試験を行った結果では、厚い金属配管等の影に隠れると判別しにくくなる等、全ての状況で廃棄物の中身を X 線透過法によって判別できたわけではなかった。このような X 線透過法によって判別できない廃棄物については、CT スキャン装置による内容物確認に頼らざるを得ないと考えられる。三次元的に解析して画像表示するのが X 線 CT 装置 (CT スキャン装置) である。ただし、15ℓのポリ容器で測定時間に 50 分(分解能 2mm で縦方向にスキャン)を要するため、処理能力に問題がある。そこで、受入廃棄物に添付されている伝票の内容や X 線透視装置により疑わしいと考えられる内容物のみ CT スキャン装置にかけることで検査時間の削減を図ることとする。

5.2.2 排ガス系配管閉塞の防止

亜鉛等の揮発性元素は、廃棄物の加熱により蒸発し、排ガス処理設備の煙道に凝結して、煙道を閉塞させるなどの悪影響を及ぼすことが知られている。特に亜鉛については、PVC 等から発生した塩素ガスと反応して塩化亜鉛 (ZnCl_2) になり、潮解性があるために排ガス中の水分を吸収して粘性の高い固形物となり煙道に堆積する。

この問題については、潮解性のある塩化亜鉛でなく、酸化亜鉛 (ZnO) としてか焼炉内から排出できれば解決できると考えられる。

塩化亜鉛と酸化亜鉛の共存系において、塩素が HCl で存在していれば ZnO が安定になるが、Cl₂ ガスで存在している場合には、500℃以上で ZnCl₂ が安定となる。したがって、か焼炉内で塩素を塩化水素として存在させれば、亜鉛を酸化亜鉛として炉外

に排出することができると考えられる。塩素を塩化水素として存在させるためには、か焼炉内の反応系に水素を多く存在させれば良いと考えられる。そこで、か焼炉内に水蒸気を導入することによりか焼炉内反応系の水素分を上げて、塩素ガスを塩化水素に転換させる方法が考えられる。また、水蒸気の添加は、スス（未燃カーボン）の発生の低減といった効果も期待できる。

次にか焼炉内で発生した酸化亜鉛等のダスト及び揮発性物質を回収する設備について検討する。回収するものは、飛灰や酸化亜鉛等の粉末状の物質並び及びに塩化亜鉛、塩化鉛等の揮発性物質である。なお、塩化亜鉛については、先に述べたとおり、排ガス処理系での回収が容易になる形態（酸化亜鉛）に転換する技術を開発することが、設備負荷の軽減となる。

飛灰や酸化亜鉛は固体状の物質としてセラミックフィルタとHEPAフィルタで回収できる。ただし、排ガスの温度が飽和水蒸気以下まで下がり水滴が発生するとこれらの物質が煙道閉塞やフィルタ目詰まりの原因となることから、これら固体状の物質はか焼炉から排出されてすぐにフィルタで回収することが良いと考えられる。か焼炉出口の排ガス温度は800～900℃と考えられるため、炉出口にセラミックフィルタを設置し、ここでダストを一次回収する。

塩化亜鉛は、か焼炉出口の排ガス温度（800～900℃）では気体であるため、上記の炉出口のセラミックフィルタでは回収できない。焼却炉等の経験によると、塩化亜鉛は排ガス処理系の冷却塔の直後（排ガス温度200℃以下）で煙道内壁に堆積する。したがって、この塩化亜鉛が堆積する部分に一般焼却炉で使用されている煙道掃除装置（スクレイパ）を取り付けて、一定周期でスクレイパを作動させることで、煙道内への塩化亜鉛の蓄積を排除することができると考えられる。

排ガス系に移行する一部の鉛についても、亜鉛と同じ対策を採ることにより回収することができると考えられる。

5.2.3 廃棄体の技術基準

廃棄体の技術基準として規定されている項目は、固型化材料、容器、一軸圧縮強度、練り混ぜ性、有害な空隙、放射能濃度、表面汚染密度、健全性を損なう物質、耐埋設荷重、著しい破損、標識・表示であるが、これらの項目のうちか焼処理によって影響があるものは、放射能濃度のみである。

か焼処理により揮発性核種が廃棄物から分離され排ガス系に移行すること及び網で分離した灰、アルミニウム、鉛に一部の核種が移行する可能性があることから、未処理廃棄物に対して設定したスケーリングファクタ(SF)値や核種組成がか焼処理によって大きく変動する可能性がある。また、揮発性で SF 法のキー核種である Cs-137 はか焼処理によってその大部分が揮発してしまう可能性があり、測定下限値は、この揮発分を考慮しなければならないことから、か焼処理を行わない場合に比べて非常に大きな値になる可能性がある。このことにより廃棄物の放射能濃度の評価が保守的に成りすぎて、実際の放射能濃度よりもはるかに高い放射能濃度の廃棄物として扱わなければならないという非合理的な評価になるおそれがある。

TRU 廃棄物のうち、主に再処理工場から発生する $\beta\gamma$ 系廃棄物については、C-14、I-129 等の揮発性核種の相対重要度が高く、Cs-137 をキー核種としているため、処理における残存率の評価を行わなければならないが、化学形態によって残存率が異なる等、その評価は容易ではない。これに対し Pu 系廃棄物については、揮発性の Cs-137 を Key 核種としていないこと及び揮発性核種の相対重要度が低いことから、処理における揮発性核種の残存率を評価しなくてもよい可能性が高い。したがって、か焼処理は、対象を Pu 系に限定することにより、作業の合理化によるコスト削減のメリットを発揮できると考えられる。

5.3 か焼設備の概念検討

ここでは、これまで実施してきた試験結果及び検討結果よりか焼設備の概念検討を行う。

(1) 炉形式

試験はバッチ式の炉を用いて行ったが、実際の設備は図 5.1 に示した「ロータリーキルン式か焼炉」とする。

これまで実施した試験の結果から、下記の条件でか焼を行なうこととする。

- ① 1 段目に梱包材等の有機物の分解を行う 300～400℃のゾーンを設ける。また、その滞留時間は約 1 時間、雰囲気は窒素雰囲気とする。
- ② か焼後の可燃／難燃物を灰化するには、空気雰囲気中、700℃で約 1 時間滞留させることが必要であることから、2 段目に灰化を行う 700℃のゾーンを設ける。

また、灰を落とすために回転ゲージを 2rpm 程度で回転させる必要がある。

上記を実現するために、具体的には下記および図 5.1 に示した構造とする。

- ① 加熱ガス（LPG 燃焼ガス）と廃棄物は「向流」させる。（加熱ガスは、廃棄物の流れとは逆に、炉出口から導入し、炉入り口から排出する）
- ② 灰化ゾーン内に LPG と空気を導入し、炉内で燃焼させる。この時の空気比は 1 程度とし、導入された空気は灰化ゾーン内で燃焼に使われてしまい、か焼ゾーンには低酸素濃度の燃焼排ガスが流れるようにする。また LPG と空気の量でゾーンの長さを調整する。
- ③ 炉内はキルン内壁と回転ケージの 2 重円筒構造とする。また、各ゾーンの温度管理及びアルミニウムと鉛の固化を行なうために、キルン内壁に冷却水を流す。

(2) 保守性の向上

か焼炉は大型機器となるため、その保守性については十分配慮する必要がある。ロータリーキルンでは、耐熱・蓄熱などの熱特性を向上させるために、炉内に耐火物を構築するのが一般的である。しかし、耐火物の補修は削岩機などの重機器を用いた“はつり”作業や、築炉などの粉塵の舞う重作業となるために、放射線管理区域下での作業には適さない。したがって、耐火物を用いない構造にする必要がある。そのためには、炉壁を水冷ジャケット式にすることが良いと考えられる。水冷ジャケット式は抜熱量が多く、したがってエネルギーロスも大きいですが、長時間の使用により、炉内がセルフコーティング（廃棄物から発生するスラグやダストなどそれ自身の物質で炉内を覆うこと）されるために安定した耐熱層が形成されることも期待できる。また、最近では耐熱だけでなく断熱性能も有する塗料（断熱塗料）も実用されており、炉壁の腐食を軽減できるものと考えられる。

(3) か焼処理システム構成（ブロックフロー）

前項の、か焼処理システムに必要な機能と個別機器選定の検討結果に基づき、本システムの構成を図 5.2 のブロックフロー図にまとめた。

か焼処理プロセスは下記の 4 工程で構成するとした。

- ① 受入工程
- ② か焼処理工程

③ 排ガス浄化工程

④ 搬出工程

以下に各工程の流れを説明する。

① 受入工程

ドラム缶もしくはコンテナに収納された廃棄物を受入れ、か焼に不適切な廃棄物を分別し、か焼処理工程にバッグインする工程である。

1階で受入れた廃棄物は、処理バッファのために一時保管場所で保管し、バッグインやか焼炉への投入を重力で行えるように2階レベルまで荷揚げされる。取り出したPVC袋はまずオープンポートに挿入し、ここで内容物を概略確認するためにX線透視装置にかけられる。X線透視装置で、か焼不適物の存在が疑わしいとなった物については、より詳細な内容物検査のためにCTスキャンにかけられる。X線装置にかけてからCTスキャンにかけるのは、CTスキャンに廃棄物1個あたり約50分かかることから、検査時間の短いX線透視装置で全数確認し、少数をCTスキャンにかけるためである。CTスキャンで、か焼不適切と判断された廃棄物は、オープンポートから取り出してドラム缶やコンテナに収納して廃棄物の発生元に返却する。か焼が可能な廃棄物は自動でバッグインして、後続工程のか焼炉に投入する。

② か焼処理工程

受入工程から移送された廃棄物は、ダブルダンパーを經由してか焼炉に投入される。か焼炉の安全系には、異状燃焼が発生したときに備えて窒素ブロー置換が行えるように、液体窒素タンクと気化器の系統が接続されている。更に、か焼炉内の急激な圧力上昇に備えて、ガスサージタンクが接続されている。

廃棄物はか焼炉で、金属類(次工程で圧縮処理)と「か焼灰、アルミニウム塊、鉛塊の混合物」に仕分けられて排出される。また、HEPAフィルタの木枠は、か焼しても四角い枠形状が残ったままであるため、金属類と一緒に排出される。か焼により発生する分解・燃焼ガスは後続の排ガス浄化工程に排出される。

か焼炉から排出された、金属類とフィルタ木枠はそのままで寸法が大きく分別できないので、破砕機で軽破砕を行い、次に高磁力選別機で破砕した木枠と

金属に磁力分離する。

また、か焼炉から排出された「アルミニウム塊＋鉛塊＋か焼灰の混合物」は、まず振動篩で篩分し、か焼灰を分別する。続いて、アルミ磁選機でアルミ塊を選別し、鉛塊と仕分ける。

以上により、か焼工程で、金属類、フィル木枠（破砕物）、アルミ塊、鉛塊、か焼灰が分別されることになる。

③ 排ガス浄化工程

か焼炉から排出された分解・燃焼ガスは排ガス浄化工程で大気汚染防止法に基づく環境基準まで浄化される。また、放射性核種をフィルタで捕集する。

排ガス浄化工程は、酸化亜鉛等の粒子をトラップする Zn フィルタ(セラミックフィルタ)、二次燃焼器、急冷塔、煙道堆積物を除去するスクレイパ、セラミックフィルタ、HEPA フィルタ、アルカリスクラバ、吸引ブロワにより構成される。また、放出ガスは、放射能濃度および大気汚染防止法に従った放出ガス測定を行って排気塔から放出する。

アルカリスクラバの余剰水は、放射能濃度測定を行い、水質汚濁防止法に従った測定を行った後に、排水口から放流（海洋放流）する。

④ 搬出工程

搬出工程は、か焼および排ガス処理により発生した固体物質を所定の収納容器に入れてバッグアウトし搬出する工程である。

か焼後の金属類は、180ℓ容器に直接投入される。180ℓ容器はグローブボックスに投入口の部分だけ挿入されている。不燃物（金属類）を装填した後は、容器の投入口に蓋を置き密封する。密封後の周囲を除染し、汚染検査を行った後にバッグアウトする。

フィルタ木枠（破砕後）、アルミ塊、鉛塊、か焼灰は、PVC 袋で覆った 10ℓポリエチレン容器に直接収納し、PVC 袋をシールしてバッグアウトする。同様に排ガス浄化工程から発生した塩化亜鉛、酸化亜鉛、ダスト（飛灰）も 10ℓポリエチレン容器に直接収納し、PVC 袋を用いてバッグアウトする。

バッグアウトされた各容器は、それぞれ適切な次工程に搬出される。

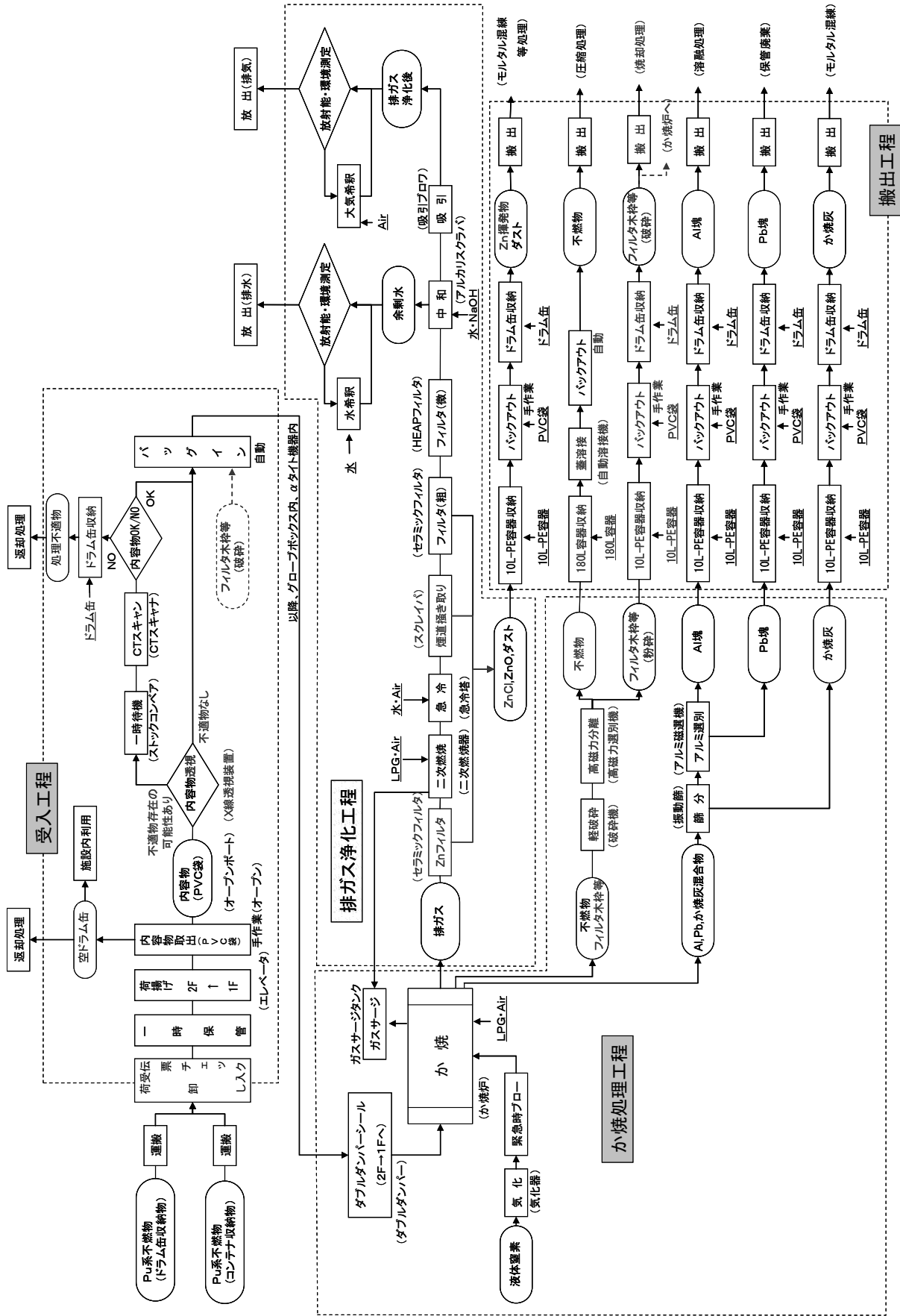


図 5.2 か焼処理システムブロックフロー図

6. 技術開発結果の総括と今後の開発項目

6.1 破袋作業の自動化

これまで実施してきた試験によって、破袋作業は問題なくできることが示された。ただし、実機として検討した連続処理用のロータリーキルンは、運転実績がないことから、計算機シミュレーションによる炉内挙動の推定と実規模に近い試験装置による運転経験が必要になる。

6.2 有害物質分離作業の自動化

除去が必要と予想されるセルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物、アルミニウム、鉛の4種類のうち、セルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物については、分解されることが示された。鉛については、基本的に分離回収が可能であるが、数%が排ガス系へ移行した。アルミニウムについては、木枠 HEPA フィルタからの分離が難しいことが示されたが、その他のものについては、分離可能であることが示された。試験では、鉛、アルミニウム、か焼灰の融着が見られたが、回転ケージと水冷壁から構成されるロータリーキルンとアルミニウム磁選機（渦流選別）によってこれらは分離できると考えられる。今後は、実規模に近いロータリーキルン型か焼炉の開発、排ガス系からの鉛回収、アルミニウム磁選機の性能確認、木枠 HEPA フィルタの処理方法の検討等が必要である。

6.3 安全性等の確保

(1) 火災、爆発の防止

机上検討では、加熱禁止物の検出・除去は、通常の X 線検査装置と X 線 CT 装置の組み合わせで対処可能という結論になったが、X 線 CT 装置が高価なこと及び1時間当たり1個を超える不適合廃棄物が発生すると対応できなくなることから、より安価で検査時間が短い装置の調査を行う必要がある。例えば、麻薬・プラスチック爆弾等の有機物の検出を行う後方散乱 X 線検査装置を用いれば、容易にスプレー缶を検出できる可能性がある。

(2) 排ガス系配管の閉塞防止

亜鉛めっき板を 600°C 以上に加熱すると全亜鉛量の 10% 以上がオフガス系へ移行した。水蒸気の添加や回収装置の追加によって排ガス系配管の閉塞は防止できると考えられるが、基本的に机上検討のみであることから、モックアップ装置等による水蒸気添加の効果の確認、ハロゲンの影響の評価、スクレイパの動作確認等を実施する必要がある。

(3) 放射性核種移行率の評価

か焼処理によって揮発性核種が廃棄物から分離され排ガス系に移行すること及びか焼処理で分離されたアルミニウム、鉛に一部の核種が移行する可能性があることから、廃棄物に対して設定した核種組成がか焼処理によって大きく変動する可能性がある。しかし、Pu 系廃棄物の処理系列のみにか焼を適用するのであれば、か焼処理による核種組成の変化はほとんどないと考えてよく、SF 適用の問題はないと考えられる。

(4) α タイト設備の検討

本処理装置はプルトニウムで汚染された廃棄物を取扱うことから、 α タイトの設備にする必要があり、可動部の密封、メンテナンスの方法等を検討しなければならない。

7. おわりに

TRU 廃棄物の分別作業における破袋作業及び有害物除去作業の自動化による作業員の被ばく低減と運転コストの削減を目的として廃棄物を 500～700℃に加熱することにより梱包材と有害物質の除去を行う「か焼処理」の技術開発を行った。以下にその結果をまとめる。

(1) か焼処理試験により以下のことが明らかになった。

- ① 破袋作業は、か焼処理によって問題なくできることが示された。
- ② セルロース系天然有機物、イソプレン系天然有機物については、か焼処理によって分解されることが示された。
- ③ 鉛については、分離回収が可能であるが、数%が排ガス系へ移行した。
- ④ アルミニウムについては、木枠 HEPA フィルタからの分離が難しいことが示されたが、その他のものについては、分離可能であることが示された。
- ⑤ 亜鉛めっき板を 600℃以上に加熱すると全亜鉛量の 10%以上がオフガス系へ移行した。

(2) 試験結果に基づく検討により以下のことが明らかになった。

- ① 鉛、アルミニウム、か焼灰の分離は、回転ケージと水冷壁から構成されるロータリーキルンとアルミニウム磁選機（渦流選別）によって可能であると考えられる。
- ② 水蒸気の添加や回収装置の追加によって排ガス系配管の塩化亜鉛による閉塞は防止できると考えられる。
- ③ 加熱禁止廃棄物の検出・除去は、通常の X 線検査装置と X 線 CT 装置の組み合わせで対処可能である。
- ④ 廃棄物に対して設定した核種組成がか焼処理によって大きく変動する可能性がある。しかし、Pu 系廃棄物の処理系列のみにか焼を適用するのであれば、か焼処理による核種組成の変化はほとんどないと考えてよく、SF 適用の問題はないと考えられる。

(3) 今後の主な開発項目は以下のものである。

- ① 連続処理用のロータリーキルンの計算機シミュレーションによる炉内挙動の推定と実規模に近い試験装置による運転経験
- ② アルミニウム磁選機の性能確認
- ③ 木枠 HEPA フィルタの処理方法の検討
- ④ 水蒸気添加による亜鉛の塩化物転換抑制並びに亜鉛化合物及び鉛化合物回収系の性能評価
- ⑤ X 線検査装置以外の方法によるスプレー缶検出の適用性評価

参考文献

- 1) 北海道電力, 東北電力, 東京電力, 中部電力, 北陸電力, 関西電力, 中国電力, 四国電力, 九州電力, 日本原子力発電: “充填固化体の標準的な制作方法”, (1996.12)
- 2) 小澤達也, 他: “内容器式高周波溶融炉による溶融固化処理技術に関する確証試験”, JAEA-Technology 2006-050 (2006.11)

This is a blank page.

