



JAEA-Technology

2006-050



JP0650670

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

Experimental Investigation of Melting Treatment of Nonflammable Solid Wastes in a Canister with a High-frequency Induction Furnace

小澤 達也 宮本 泰明 須藤 誠 青山 佳男
山口 大美

Tatsuya OZAWA, Yasuaki MIYAMOTO, Makoto SUTO, Yoshio AOYAMA
and Hiromi YAMAGUCHI

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

November 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAES
Technology
2006-050

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/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行つ
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
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
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

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

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

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

小澤 達也*・宮本 泰明・須藤 誠・青山 佳男・山口 大美

(2006年 10月 2日受理)

TRU廃棄物のうち、金属や非金属といった不燃性の雑固体廃棄物を対象とした減容処理プロセスのひとつとして、溶融固化処理技術があげられる。溶融固化処理技術はこれまでに、発電所から発生する低レベル放射性廃棄物などを対象として適用された例があるものの、種々の技術的課題を未だ有している。

溶融固化処理技術や関連工程について、これまでに行ってきました既存設備の調査及び概念設計の結果から抽出された技術的課題に関して、模擬廃棄物を使用した確証試験としてデータの取得や対策の検討を実施した。

本書はその試験結果についてまとめるとともに、技術的課題の検討状況について示したものである。

Experimental Investigation of Melting Treatment of Nonflammable Solid Wastes in a Canister with a High-frequency Induction Furnace

Tatsuya OZAWA*, Yasuaki MIYAMOTO, Makoto SUTO,
Yoshio AOYAMA and Hiromi YAMAGUCHI

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

(Received October 2, 2006)

Melting treatment is one of the volume reduction processes for nonflammable radioactive solid wastes. Though it is applied to the volume reduction process for the low-level radioactive wastes generated at nuclear power plants, it still has technical problems to be solved. The results of our previous investigation of existing melting treatment facilities and conceptual design of the melting treatment system for transuranic waste, made these technical problems clear. To solve them, we have been carrying out the experiments of melting treatment of the simulated transuranic wastes which are nonflammable solid wastes.

This report describes the progress in investigating these problems, as well as the results of recent experiments.

Keywords: TRU Wastes, Melting Treatment

*Cooperative Staff

目 次

1.はじめに	1
2.溶融固化処理技術の比較検討	1
3.溶融固化処理技術の確認試験	2
3.1 確認試験による確認項目と試験ケースの設定	2
3.2 確認試験の試験設備	3
4.確認試験の実施要領及び結果と確認項目に関する検討	7
4.1 か焼試験	7
4.1.1 試験の目的	7
4.1.2 試験条件	7
4.1.3 試験実施要領	7
4.1.4 試験結果	10
4.1.5 確認項目に関する検討	10
4.2 煙道閉塞対策試験	18
4.2.1 試験の目的	18
4.2.2 試験条件	18
4.2.3 試験実施要領	18
4.2.4 試験結果	21
4.2.5 確認項目に関する検討	30
4.3 アルミニウム溶融試験	32
4.3.1 試験の目的	32
4.3.2 試験条件	32
4.3.3 試験実施要領	32
4.3.4 試験結果	33
4.3.5 確認項目に関する検討	39
4.4 助剤量適正化試験	42
4.4.1 試験の目的	42
4.4.2 試験条件	42
4.4.3 試験実施要領	42
4.4.4 試験結果	45
4.4.5 確認項目に関する検討	56
4.5 標準溶融試験	63
4.5.1 試験の目的	63
4.5.2 試験条件	63
4.5.3 試験実施要領	63
4.5.4 試験結果	66
4.5.5 確認項目に関する検討	67

5. 溶融固化処理に関する課題	81
5.1 確証試験による確認内容	81
5.1.1 か焼処理能力（溶融炉）	81
5.1.2 煙道閉塞対策	81
5.1.3 投入装置健全性	81
5.1.4 溶湯液位測定方法	81
5.1.5 助剤投入量	81
5.1.6 各種廃棄物の溶融時間	82
5.1.7 アルミニウム溶融条件	82
5.1.8 溶湯サンプリング	82
5.1.9 固化体性状および成分	82
5.1.10 周辺温度	82
5.1.11 溶湯飛散状況	82
5.1.12 排ガス中の酸性ガス発生量	82
5.1.13 溶融炉内損耗状況	82
5.2 溶融固化処理の技術的課題	82
6. おわりに	88
参考文献	88

Contents

1 . Introduction	1
2 . Comparison of melting treatment technologies	1
3 . Experimental investigation of melting treatment	2
3. 1 Items to be investigated and experimental conditions	2
3. 2 Experimental equipment	3
4 . Experiment and experimental results	7
4. 1 Calcination	7
4. 1. 1 Purpose	7
4. 1. 2 Experimental condition	7
4. 1. 3 Experiment	7
4. 1. 4 Results	10
4. 1. 5 Discussions	10
4. 2 Choke of exhaust pipe	18
4. 2. 1 Purpose	18
4. 2. 2 Experimental condition	18
4. 2. 3 Experiment	18
4. 2. 4 Results	21
4. 2. 5 Discussions	30
4. 3 Melting treatment of Aluminum	32
4. 3. 1 Purpose	32
4. 3. 2 Experimental condition	32
4. 3. 3 Experiment	32
4. 3. 4 Results	33
4. 3. 5 Discussions	39
4. 4 Appropriate quantity of flux	42
4. 4. 1 Purpose	42
4. 4. 2 Experimental condition	42
4. 4. 3 Experiment	42
4. 4. 4 Results	45
4. 4. 5 Discussions	56
4. 5 Experiment under standard condition	63
4. 5. 1 Purpose	63
4. 5. 2 Experimental condition	63
4. 5. 3 Experiment	63
4. 5. 4 Results	66
4. 5. 5 Discussions	67

5 . Problems in the melting treatment of transuranic waste	81
5.1 Items to be confirmed by experiment	81
5.1.1 Treatment performance of calcination process	81
5.1.2 Choke of exhaust pipe	81
5.1.3 Functional check of charging device	81
5.1.4 Measurement of liquid level of molten materials	81
5.1.5 Appropriate quantity of flux	81
5.1.6 Time required for melting of various waste	82
5.1.7 Melting treatment of Aluminum	82
5.1.8 Sampling measures for analysis of molten materials	82
5.1.9 Physical and chemical properties of solidified waste	82
5.1.10 Measurement of temperature around the furnace	82
5.1.11 Scatter of molten materials around furnace	82
5.1.12 Amount of produced acid gases in the exhaust fumes	82
5.1.13 Damage to the furnace	82
5.2 Problems in the melting treatment of transuranic waste	82
6 . Conclusion	88
References	88

1. はじめに

現在、日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所では、所内で発生する廃棄物のうち、放射能濃度が比較的低い低線量 TRU 廃棄物を対象とした処理施設についての検討を実施している。この施設において採用が検討された減容処理プロセスのひとつとして、溶融固化処理技術がある。溶融固化処理技術に関しては、平成 16 年度より当時の日本原子力研究所が文部科学省からの受託事業として調査検討を実施し、溶融固化処理システムの概念設計を行うことにより、いくつかの技術的課題が示された¹⁾。示された課題には、実際の溶融試験を実施し、対策などを確認する必要があるものを含んでいる。今回、溶融固化処理技術に関する確証試験（以下 確証試験とする）を実施し、溶融固化処理技術に関する課題への対策を検討、確認した。

本書は、溶融固化処理技術に関する技術的課題やその対策案について、確証試験を通じて得られた結果を示すと共に、検討結果について整理したものである。

2. 溶融固化処理技術の比較検討

溶融固化処理は、金属や HEPA フィルタ、ガラス、廃機器類などを含む不燃物を対象に適用が考えられる。溶融固化処理の方式としてはいくつかあるが、不燃物はその材質や形状など多様な性状を有しており、対象物の制限が比較的少ない溶融方式の採用が必要となる。適用候補として考えられる溶融固化処理方式を表 2-1 に示す。

表 2-1 溶融処理方式及び導入事例¹⁾

溶融加熱方式			導入事例
加熱方式	炉型式		
高周波誘導加熱	内容器式	導電性キャニスター	関西電力(株) 美浜発電所 中国電力(株) 島根原子力発電所 中部電力(株) 浜岡原子力発電所 日本原子力発電(株) 東海発電所
		非導電性キャニスター	—
	炉底出湯型	バッチ処理方式	(独) 日本原子力研究開発機構 高減容処理施設 (金属溶融)
		連続処理方式	—
	傾動炉床式		(独) 日本原子力研究開発機構 高減容処理施設 (雑固体溶融)
	回転炉床式		日本原子力発電(株) 敦賀発電所

これらの技術について、TRU 廃棄物への適用性を考慮し検討した結果、TRU 廃棄物の特徴である“放射性核種の濃度分布が広く、 α 核種を含む”、“廃棄物の性状が多様である”といった点から、内容器式高周波誘導加熱方式が最も適していると判断した(図 2-1 参照)。そこで、溶融固化処理システムの概念設計においては内容器式高周波誘導加熱方式を採用し、技術的課題やその対策について示すと共に、必要となる調査や試験内容を検討した²⁾。

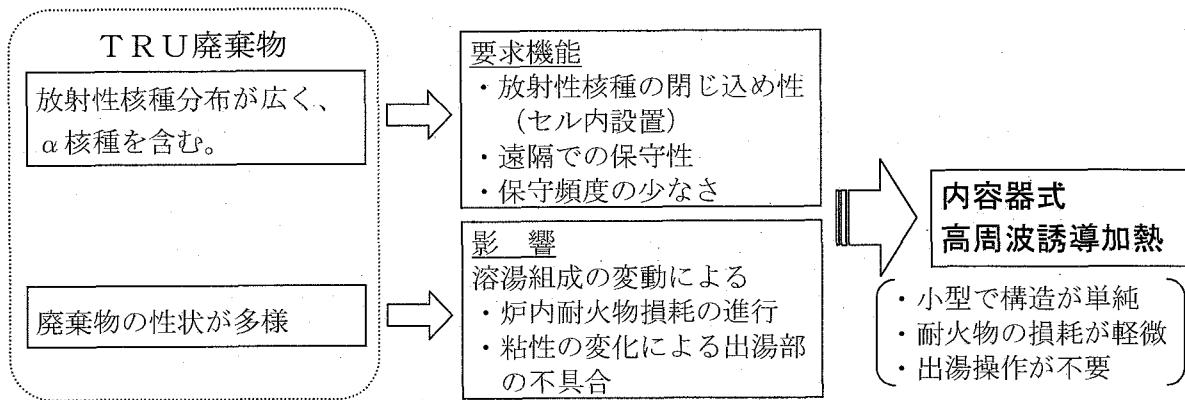


図 2-1 TRU 廃棄物への適用性検討結果

3. 溶融固化処理技術の確認試験

3.1 確証試験による確認項目と試験ケースの設定

内容器式高周波溶融炉による廃棄物の溶融固化処理システムの概念検討の結果、溶融固化処理技術には、未だ技術的課題が残されていることが明らかになり、溶融固化処理に関する各工程において課題が示された。それらの課題の中で、比較的必要性が高いと判断された項目について、対策の立案とその確認を目的として、確認試験を実施した。本確認試験において確認対象とした項目とその主な目的を表 3.1-1 に示す。

確認試験の実施に際しては、各項目を合理的に確認することを目的として、関連する項目や同時に確認可能な項目をまとめる形で表 3.1-2 に示す試験ケースを設定した。確認試験は、この試験ケースの中で条件を細分化して実施した。

表 3.1-1 確証試験の確認項目

No.	確認項目	主な目的
1	か焼処理能力	溶融炉への予投入による廃棄物のか焼処理の可否確認
2	煙道閉塞対策	低沸点金属溶融による煙道閉塞事象の再現と対策確認
3	投入装置健全性	高温に曝される投入装置の健全性確認
4	溶湯液位測定方法	廃棄物投入に関わる溶湯液面測定の有効性確認
5	助剤投入量	溶融助剤の種類、量の適正化及び低減化
6	各種廃棄物の溶融時間	廃棄物投入間隔に関わる溶融時間の確認
7	アルミニウム溶融条件	アルミニウム溶融時の合金化条件や固化体性状の確認
8	溶湯サンプリング方法	溶湯からのサンプル採取方法の検討
9	固化体性状及び成分	固化体の均一性、性状の確認
10	周辺温度	設計時データとして、キャニスタ周辺温度を測定
11	溶湯飛散状況	炉内やスリーブへの溶湯の飛散状態確認
12	排ガス中の酸性ガス発生量	設計時データとして、酸性ガス濃度を測定
13	溶融炉内損耗状況	ITV による監視可否と炉内損耗状態の確認

表 3.1-2 試験ケースと対象確認項目

ケース No.	試験ケース名称	使用設備	確認項目*
1	か焼試験（溶融炉）	実規模炉	1
2	煙道閉塞対策試験	小型炉	2
3	アルミニウム溶融試験	小型炉	7、9
4	助剤量適正化試験	小型炉	5、8
5	標準溶融試験	実規模炉	1、3～6、9～13

*表 3.1-1 の確認項目No.を示す。

3.2 確証試験の試験設備

確証試験には、非導電性キャニスタを用いた内容器式高周波誘導加熱溶融炉を使用した。本設備の溶融方式は、最初に金属を加熱溶融しその発熱を利用して金属以外の無機物を溶融する方式であり、導電性の放熱補償体（AI : Active Insulator 以下 AI リングとする）を使用する。³⁾特長としては以下の点などが挙げられる。

- ・キャニスタ自体は発熱性を必要としないためキャニスタ材質の選定自由度が大きい。
- ・AI リングにより、金属からの発熱のキャニスタ周方向への損失を抑制できる。

試験には、実規模炉と小型炉の 2 種類を使用することとした。要素技術の確立や、不確定性の比較的大きい試験項目は小型炉を用い、排ガス処理系などの周辺設備の性能確認等を含む項目については、実規模炉を用いることとした。実規模炉は、表 2-1 に示した導入事例と同等の大きさのキャニスタを使用するサイズである。なお、確証試験には、カワサキプラントシステムズ（株）及び美濃窯業（株）が試験用として保有する設備を使用した。

試験設備の仕様を表 3.2-1 に示す。また、キャニスタの外形図を図 3.2-1、炉の外形図を図 3.2-2 及び 3.2-3、実規模炉に付属する排ガス処理装置の系統図を、図 3.2-4 に示す。

表 3.2-1 確証試験 試験設備仕様

項目	実規模炉	小型炉
溶融炉	入力電源	3 φ, 400V, 680kVA
	出力	1kHz, 600kW
	加熱コイル	φ 680 × 850H mm (φ 680 × 425H × 2 台)
キャニスタ	炉本体外形寸法	φ 1,668 × 1,750H mm
	外形寸法	φ 550 × 803H mm
排ガス処理設備	容量	約 130L
	温度、流量	400°C, 200Nm ³ /h
主要機器	①アフターバーナ(1基)	—
	②冷却器(1基)	—
	③セラミックフィルタ(2基)	—
	④排風機(2基)	—
	⑤バグフィルタ(1基)	—

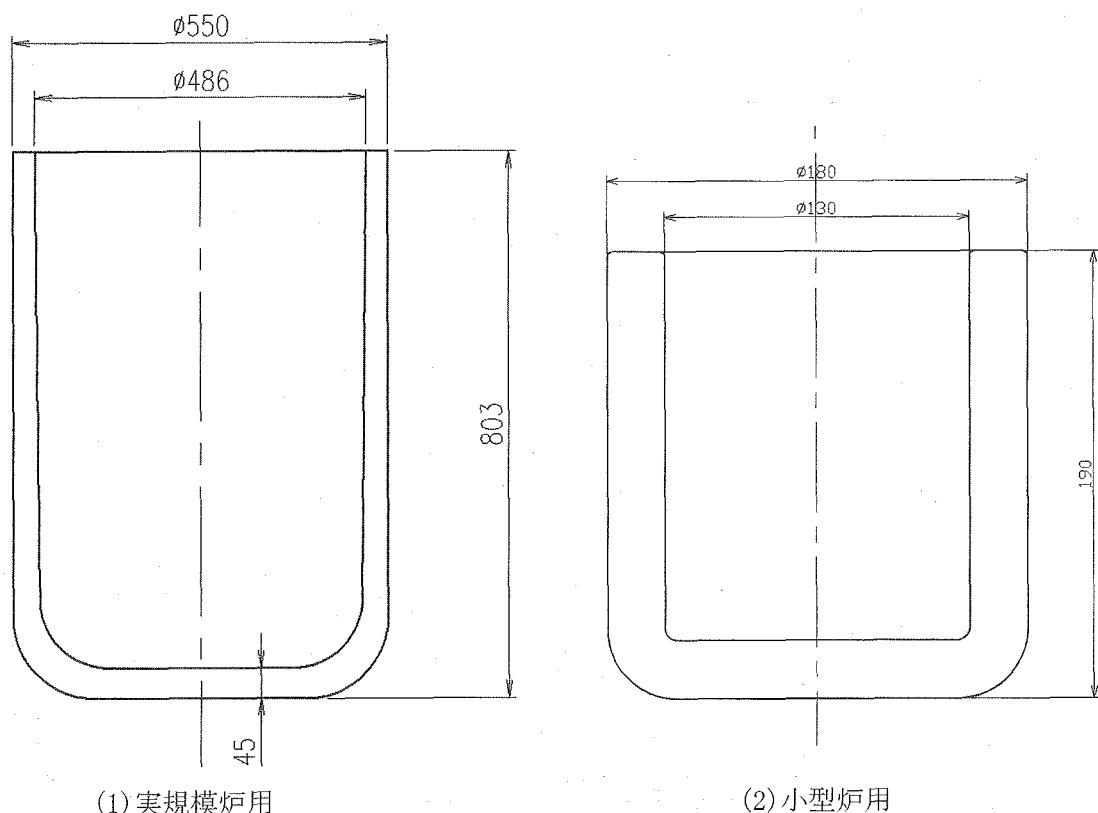


図 3.2-1 キヤニスタ外形容図

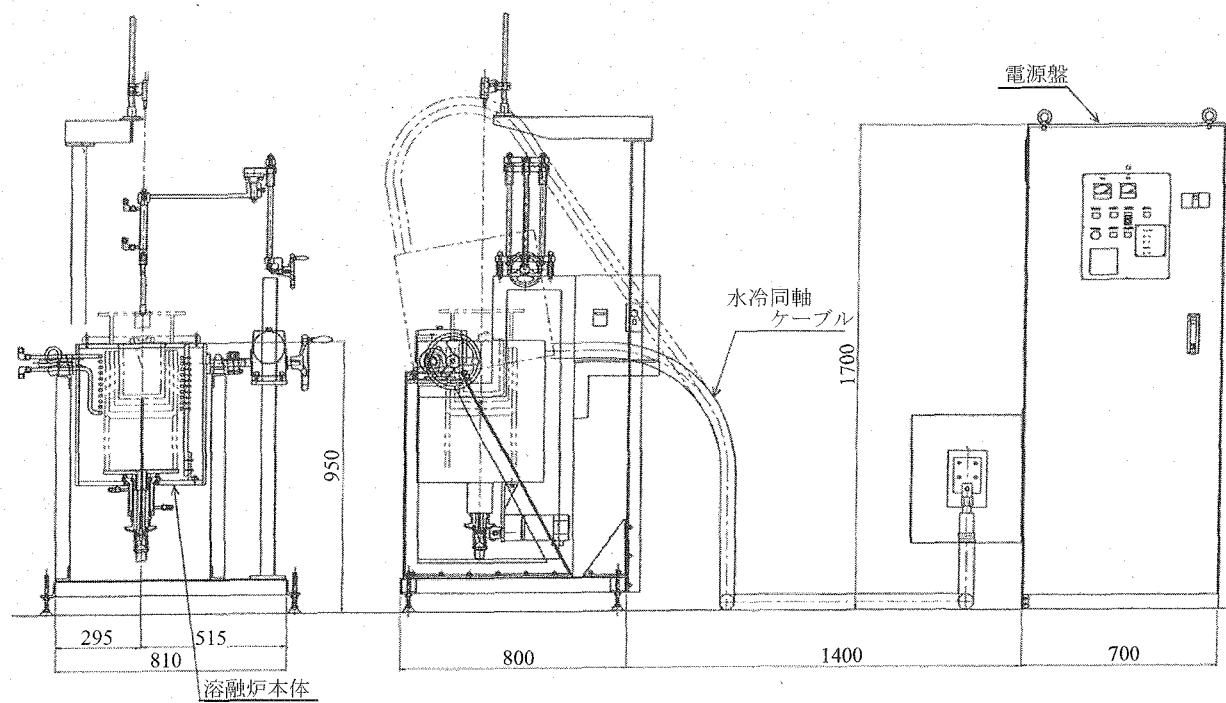


図 3.2-2 小型炉外形容図

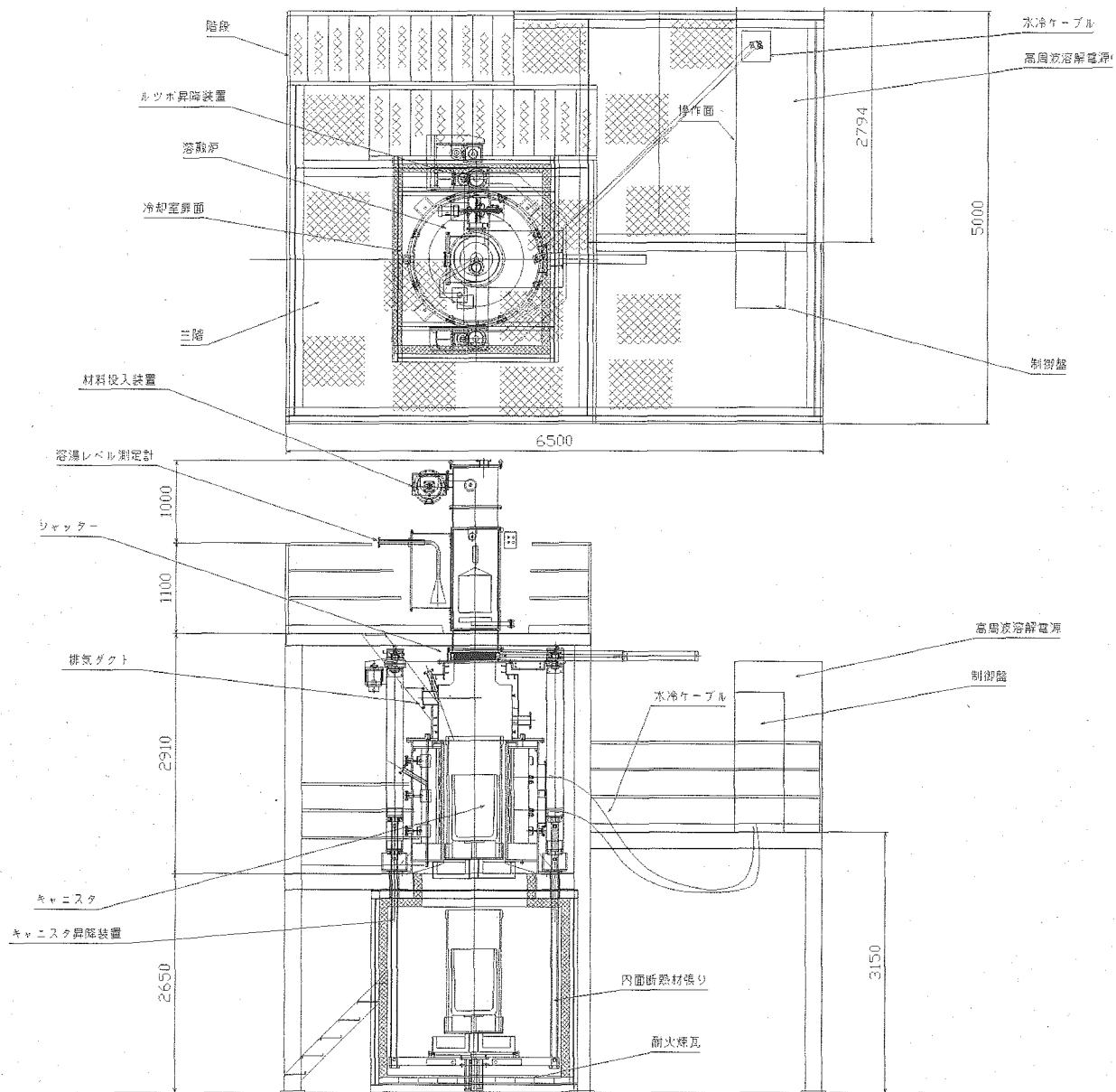
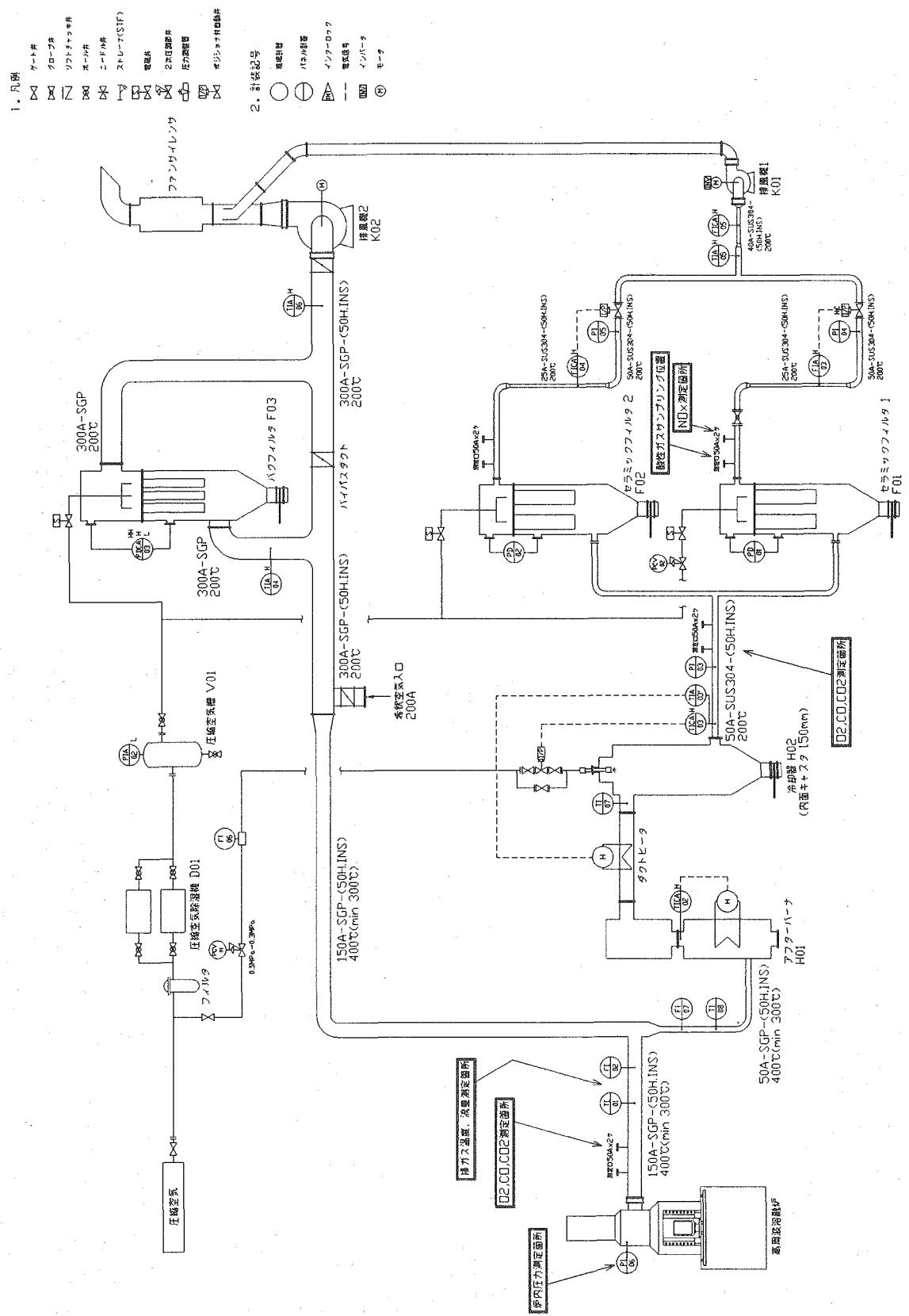


図 3.2-3 実規模炉外形図



4. 確証試験の実施要領及び結果と確認項目に関する検討

各試験の試験条件や実施要領及び結果、確認項目に関する検討内容について以下に示す。
なお、本書では試験における測定項目のうち主要なものを抜粋して示した。

4.1 か焼試験

4.1.1 試験の目的

廃棄物を溶融処理する際の、有機物等の分別除去を目的とした前処理に適用が考えられる“か焼処理”については、熱風加熱方式といった専用のシステムの導入が考えられるが、本試験では廃棄物を溶融炉へ予投入することにより、専用のか焼炉を用いることなく廃棄物に付随する有機物等を除去し、当該廃棄物を溶融処理可能な状態にすることが可能かを確認する。また本試験は、日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センターで計画が進められている固体廃棄物処理技術開発施設で導入予定の焼却溶融設備への反映を考慮して、諸条件を設定した。

4.1.2 試験条件

- 排ガス処理設備が付属する実規模炉を使用。
- 対象物の加熱は、焼却筒（金属製）の発熱による間接加熱。（図 4.1-1 参照）
- 炉内は空気雰囲気とするが、焼却筒内部への積極的な給気は行わない。
(焼却筒底部には隙間を設け、廃棄物下側からの空気流入が可能な構造とした)
- 焚却筒の大きさは、固体廃棄物処理技術開発施設で計画されている溶融炉規模を想定して定めた。
- 対象物の焼却筒内への投入は、予投入物を除き投入治具を用いる。（図 4.1-2 参照）

4.1.3 試験実施要領

- | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------|--|-------------|-------------------|--|---------|----------------------|-----------------|
| (1) 試験回数 | : 2 回 | | | | | | | | |
| (2) 対象物 | : 可・難燃物 (表 4.1-1、2 参照) | | | | | | | | |
| (3) 溶融炉出力 | : 50kW (燃焼状況に応じて上げる。但し最大 100kW) | | | | | | | | |
| (4) 処理温度 | : ~1000°C (焼却筒温度) | | | | | | | | |
| (5) 排ガス風量 | : 200m ³ /h | | | | | | | | |
| (6) 測定分析項目 | <table border="0"> <tbody> <tr> <td>a. 焚却筒温度 (測定箇所は図 4.1-1 参照)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>b. 排ガス温度・流量</td> <td rowspan="3">} 測定箇所は図 3.2-4 参照</td> </tr> <tr> <td>c. 排ガス成分 (O₂、CO、CO₂)</td> </tr> <tr> <td>d. 炉内圧力</td> </tr> <tr> <td>e. 熱しやく減量 (処理後の灰を対象)</td> <td>注¹⁾</td> </tr> </tbody> </table> | a. 焚却筒温度 (測定箇所は図 4.1-1 参照) | | b. 排ガス温度・流量 | } 測定箇所は図 3.2-4 参照 | c. 排ガス成分 (O ₂ 、CO、CO ₂) | d. 炉内圧力 | e. 熱しやく減量 (処理後の灰を対象) | 注 ¹⁾ |
| a. 焚却筒温度 (測定箇所は図 4.1-1 参照) | | | | | | | | | |
| b. 排ガス温度・流量 | } 測定箇所は図 3.2-4 参照 | | | | | | | | |
| c. 排ガス成分 (O ₂ 、CO、CO ₂) | | | | | | | | | |
| d. 炉内圧力 | | | | | | | | | |
| e. 熱しやく減量 (処理後の灰を対象) | 注 ¹⁾ | | | | | | | | |
| (7) 火格子形状 | : 1 回目 菱形 (メッシュ SW12×LW30.5)
2 回目 矩形 (メッシュ 2) | | | | | | | | |
| (8) 試験要領 | <ul style="list-style-type: none"> ①模擬廃棄物（予投入分）を焼却筒に装荷し、炉内に設置する。 ②溶融炉を起動し、模擬廃棄物の加熱、か焼処理を行う。 ③順次、模擬廃棄物を追加投入し、か焼処理を行う。 ④終了後、焼却灰の代表サンプルについて熱しやく減量を測定する。 | | | | | | | | |

注 1) 熱しやく減量とは、物質を強熱した時の質量の減少率であり、焼却灰などを再度加熱し、その前後の質量差を算出することで未燃分の量を示す。

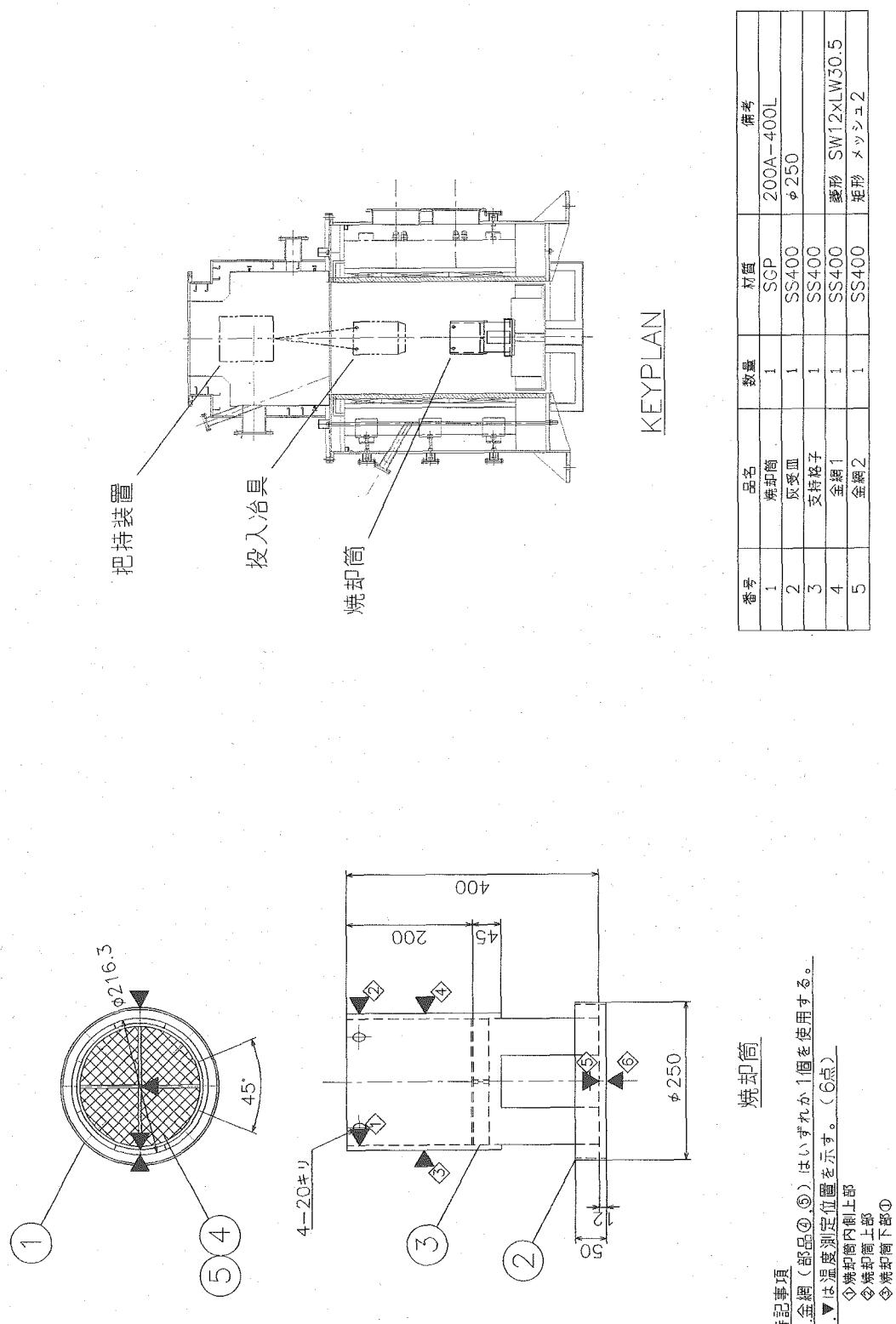


図 4.1-1 加熱試験 焼却筒外形図 及び 温度測定位置図

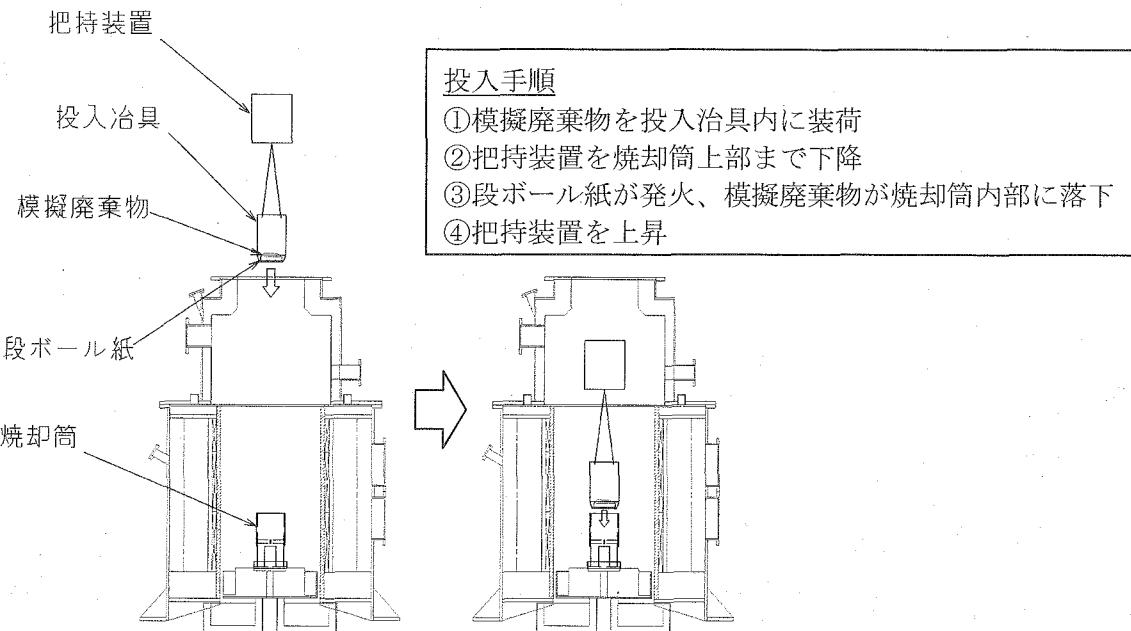


図 4.1-2 か焼試験 模擬廃棄物の焼却筒内への投入手順

表 4.1-1 か焼試験 1 対象物

投入時期	模擬廃棄物		重量(kg)	備考
初期装荷	PVC	シート(厚さ 0.3 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
追加投入	1 紙、布、木		0.5	
	2 酢酸ビニル	シート(厚さ 0.1 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	3 PVC	シート(厚さ 0.3 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	4 PE	ポリ容器	0.3	細断し PE 容器に装填
	5 ゴム(ネオプレン)	Oリング グローブ(厚さ 0.7 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	6 アクリル	板(厚さ 3.0 mm)	0.5	約 70×80 mm
	7 チャコールフィルタ		0.5	PE 容器に装填
	8 イオン交換樹脂		0.5	含水、PE 容器に装填
			計	4.3

表 4.1-2 か焼試験 2 対象物

投入時期	模擬廃棄物		重量(kg)	備考
初期装荷	イオン交換樹脂		0.1	焼却筒底に敷詰(4 mm厚)
追加投入	1 紙、布、木		0.5	
	2 酢酸ビニル	シート(厚さ 0.1 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	3 PVC	シート(厚さ 0.3 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	4 PE	ポリ容器	0.3	細断し PE 容器に装填
	5 ゴム(ネオプレン)	Oリング グローブ(厚さ 0.7 mm)	0.5	50 mm角 程度に細断
	6 アクリル	板(厚さ 3.0 mm)	0.5	約 70×80 mm
			計	2.9

4.1.4 試験結果

(1) か焼試験 1

① 試験実施状況

- ・炉出力は当初 50kW としたが、追加投入したチャコールフィルタの燃焼を図るため、75kW、100kW と順次出力を上げた。
- ・廃棄物の追加投入は既投入廃棄物の燃焼状況の目視確認と、排ガス中 CO₂ 濃度を目安にして実施した。

② 試験結果

各対象物の燃焼状況及び、か焼後の焼却筒や焼却灰の状態を表 4.1-3、5 に示す。

(2) か焼試験 2

① 試験実施状況

- ・炉出力は当初より 100kW とした。
- ・イオン交換樹脂はか焼に長時間を要するため予投入とし、加熱条件や空気との接触性改善のため、灰受け皿内に約 5 mm の厚さに敷いた。
- ・各廃棄物の追加投入は、か焼試験 1 を参考に定めた廃棄物ごとの燃焼必要時間経過後に、燃焼状況の目視確認と、排ガス中 CO₂ 濃度が 0.5% 以下であることを確認して行った。
- ・P E のか焼後、突き棒により焼却筒内に堆積した灰の除去を試みた。

② 試験結果

各対象物の燃焼状況、燃焼時間及びか焼後の焼却筒や焼却灰の状態について表 4.1-4、5 に示す。

(3) 焼却灰について

試験終了後、焼却筒及び排ガス処理設備の各装置から灰を回収し、その重量を測定した。また廃棄物が十分に灰化していることを確認するため、回収した灰の熱しやく減量測定を実施した。ただし、1 回目の試験では燃焼が十分に行われず、灰には多くの炭状のものを含んでいたため、熱しやく減量の測定は省略した。

各装置から回収した焼却灰重量と、熱しやく減量の測定結果を表 4.1-6 に示す。

4.1.5 確認項目に関する検討

(1) か焼処理能力（溶融炉）

① 模擬廃棄物燃焼状況

模擬廃棄物のうち、紙や布及び木、酢酸ビニル、ポリエチレン、アクリルは、いずれも炎をあげて燃焼する様子が確認された。CO の濃度は冷却器出口で 100ppm 以下であり、溶融炉によるこれらのか焼処理には大きな問題は見られない。

試験の実施前には、酸素不足による燃焼不良が懸念された。しかし、か焼処理中の排ガス中 O₂ 濃度は 16% を保っており、燃焼状況や焼却灰の熱しやく減量測定結果からも、十分な燃焼が行えたと判断される。か焼試験 1 の焼却灰には木材などが未燃状態で残っていたが、これはか焼試験 2 に比べ焼却筒温度が低かったことが原因であり、温度条件の改善や処理時間の調整により処理は可能と考えられる。

PVC やゴムについてもか焼は可能であるが、燃焼に伴い大量の黒煙が発生して視界が遮られ、炉内の観察が不可能となった。黒煙の発生時には、CO が大量に生じており、後段の排ガス処理設備への影響が大きくなる。従って PVC やゴムの処理に際しては、投入量の管理などにより、排ガス発生量の調整が求められる。

チャコールフィルタについては、出力を上げた場合でも燃焼は見られず、試験後の焼却灰にはほとんど原形のままの状態で残留していた（表 4.1-5 参照）。燃焼させるためには焼却筒の構造変更などにより、焼却温度をより高温とすることが有効と考えられる。しかし、焼却筒の健全性の観点や、他の対象物のか焼温度との差が大きくなることなど、課題が多い。従ってチャコールフィルタに関しては、直接溶融することが適当と思われる。

イオン交換樹脂は、その形状から火格子上でのか焼が行えないこと、また水分を多く含んでいることから、か焼試験 2において、焼却筒の灰受け皿に予投入した。その結果、か焼試験 1 で追加投入した際に見られた燃え残りはなかったことから、投入方法や投入量の調整、処理時間の確保により溶融炉によるか焼処理は可能と思われる。

②焼却灰の状況

焼却灰は焼却筒内の火格子上に堆積し、特にか焼試験 1 では火格子が閉塞した状態であった。か焼試験 2 では試験中に、試作した突き棒を投入装置に取り付け、灰を火格子下に落とすことを試みた。試験後に確認したところ、部分的には灰が除去されて火格子が露出しており、一定の効果は認められたものの、火格子に変形が生じた。今回使用した焼却筒の火格子は、焼却筒下部の支持格子に載せただけで端部を固定しておらず、強度が不足していたためと思われる。

追加投入の繰返し、及び燃焼条件の維持のためには、火格子上への灰の堆積防止が必要であり、突き棒の改良や、火格子の強度確保などが必要である。

1 回目と 2 回目の試験では、炉出力を変えたことから焼却筒で約 50°C、灰受け皿で約 200°C の温度差が生じ（図 4.1-3 参照）、より高温となったか焼試験 2 の方が短時間で、かつ燃え残りのない処理ができた。投入した廃棄物量に対する焼却灰の重量でも下記の通り、か焼試験 2 の方が大きな減重効果を得られた。

か焼試験 1 : 4,000g → 1,096g (約 1/4)

か焼試験 2 : 2,000g → 279g (約 1/10)

か焼試験 2 で回収した焼却灰の熱しやすく減量は 1% を下回っており（表 4.1-6 参照）、この点からも十分なか焼処理ができたと判断できる。従って廃棄物のか焼には、高温条件が望ましいと思われるが、その場合には廃棄物の投入時、短時間に大量の排ガスが発生することとなり、排ガス処理設備への影響を考慮する必要がある。

処理により飛散した焼却灰の多くはバグフィルタで回収されており（表 4.1-6 参照）、焼却灰が排ガス中に大量に飛散した様子が伺える。飛灰を減らす点からは排気風量の適正化（削減）が求められる。また、焼却筒周囲の台座上にも焼却灰の散在が見られた（表 4.1-3, 4 参照）。これは炉内の汚染につながるため、焼却筒下部の灰受け皿に対し、形状の工夫や容量を増やすなどの改良が必要である。

③まとめ

今回の試験結果から、高周波溶融炉内に設置した金属製の焼却筒により、廃棄物のか焼

処理を行える見通しを得た。処理可能な対象廃棄物として、紙や布及び木、酢酸ビニル、塩化ビニル、ポリエチレン、ゴム、アクリルがあげられる。イオン交換樹脂も、空気との接触性を確保し、処理時間を比較的長くすることで処理は可能と考えられる。このうち、塩化ビニルやゴムを処理する場合には腐食性ガスの発生が考えられ、排ガス系配管の腐食対策が必要となる。

焼却筒は、か焼対象物下側から空気を取り入れられる構造が有効と考えられる。実用にあたっては、処理量や炉形状を考慮した寸法決定が必要であり、以下の点に留意を要する。

- ・灰の堆積による燃焼不良を回避するため、火格子形状や灰を落とす方法の検討
- ・飛灰量の削減のため、廃棄風量の適正化
- ・灰の飛散防止のため、灰受け皿の形状改良と容量の確保
- ・処理対象物の投入方法の検討
- ・焼却灰の回収方法など取扱性を考慮した構造の最適化

また、今回実施した2回の試験の間では、溶融炉出力の違いにより焼却筒温度に差が生じた。（図4.1-3参照）特に焼却筒側面の上部及び下部における2回の試験の温度差は50°C程度であるのに対し、底面である灰受け皿において約200°Cと顕著であった。この温度差は対象物のか焼処理後の状態に関係しており、対象物の完全燃焼のために焼却筒底面を高温にすることが有効と考えられる。

表 4.1-3 か焼試験 1 模擬廃棄物の燃焼状況

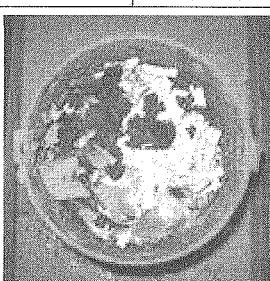
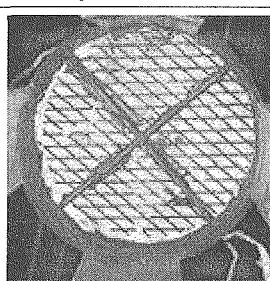
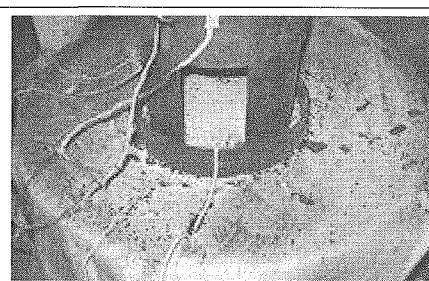
No.	模擬廃棄物	燃焼状況	備考
1	PVC	焼却筒温度が 700°C 程度になると黒煙が大量に発生し、炉内は確認不可となった。10 分程で黒煙が薄れ炎を伴う燃焼を確認。また CO の発生を確認した。	予投入
2	紙、布、木	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
3	酢酸ビニル	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
4	PVC	投入 2~3 分後、黒煙が発生し炉内確認不可となった。十数分で黒煙が薄れ、炎を伴う燃焼を確認。また CO 発生量の増加を確認した。	
5	PE	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
6	ゴム	投入直後、黒煙が発生し炉内確認が不可となった。5 分程で黒煙が薄れ、炎を伴う燃焼を確認。また CO 発生量の増加を確認した。	
7	アクリル	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
8	チャコール フィルタ	容器のポリエチレンは燃焼したが、チャコールフィルタの燃焼は確認できなかった。 炉出力を 100kW まで上げた所、炉出口の CO 濃度が約 200ppm 上昇したが、燃焼は確認できなかった。	
9	イオン交換樹脂	容器のポリエチレンは燃焼したが、イオン交換樹脂の燃焼は確認できなかった。	
試験終了 後状況	焼却筒	<ul style="list-style-type: none"> 焼却筒内には燃え残りを含む灰が堆積しており、火格子は閉塞していた。 焼却筒は表面が酸化し、酸化鉄と見られる小片が剥離して周囲に散乱していたが、変形や損傷はなかった。 	
	焼却灰	<ul style="list-style-type: none"> 焼却灰は、火格子上及び灰受け皿内に残っていたが、焼却筒周辺への飛散も認められた。 焼却灰には、不完全燃焼により炭化した木材や形状を留めたゴム、が残り、イオン交換樹脂も塊状のものは表面のみが炭化し、内部は未燃状態で残存していた。またチャコールフィルタは外見上元の状態で残っていた。 	
		  	
		<p>焼却筒内</p> <p>火格子（下から）</p> <p>焼却筒周辺</p>	

表 4.1-4 か焼試験 2 模擬廃棄物の燃焼状況

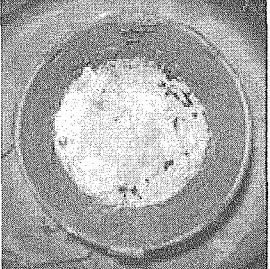
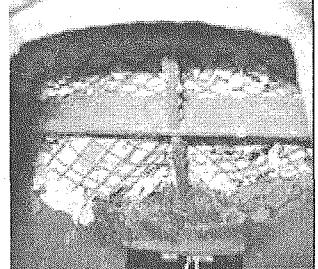
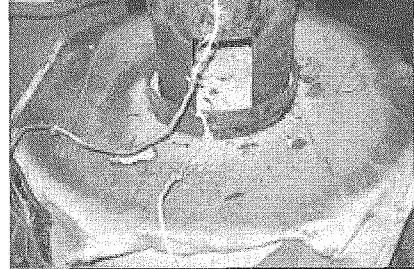
No.	模擬廃棄物	燃焼状況	備考
1	イオン交換樹脂	炎は確認できなかった。	予投入
2	紙、布、木	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
3	酢酸ビニル	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
4	PVC	投入2~3分後、黒煙が発生し炉内確認不可となった。 7~8分で黒煙が薄れ、炎を伴う燃焼を確認。またCO発生量の増加を確認した。	
5	PE	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	か焼後、突き棒による灰除去。
6	ゴム	投入直後、黒煙が発生し炉内確認が不可となった。3~4分程で黒煙が薄れ、炎を伴う燃焼を確認。 またCO発生量の増加を確認した。	
7	アクリル	燃焼状態は良好であり、視界を遮るようなガスの発生もなく、炉内状況の確認可能。	
試験終了後状況	焼却筒	<ul style="list-style-type: none"> 焼却筒内には灰が堆積したが、火格子の一部は露出しており、閉塞はしていなかった。 焼却筒は表面が酸化し、酸化鉄と見られる小片が剥離して周囲に散乱していた。焼却筒本体、受け皿には変形や損傷はなかったが、火格子は大きく変形していた。 	
	焼却灰	<ul style="list-style-type: none"> 焼却灰は、火格子上及び灰受け皿内に残っていたが、焼却筒周辺への飛散も認められた。 焼却灰は灰化しており、か焼試験1で見られた炭化状態の物は見られなかった。 	
		  	
		<p>焼却筒内 火格子（下から） 焼却筒周辺</p>	

表 4.1-5 かま庭試験 模擬廃棄物の燃焼状況 (1/2)

	紙・木・布	酢酸ビニル	PVC	ポリエチレン	ゴム
投入前					
燃焼時					
焼却灰					

注：白色の塊が未燃ゴム

表 4.1-5 か焼試験 模擬廃棄物の燃焼状況 (2/2)

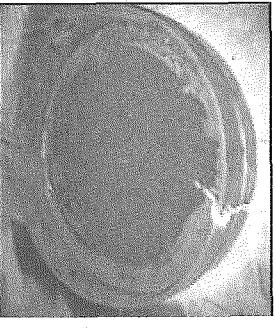
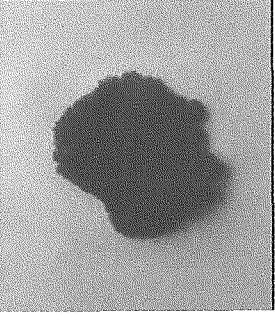
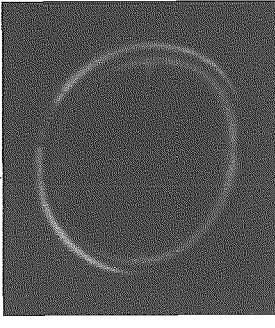
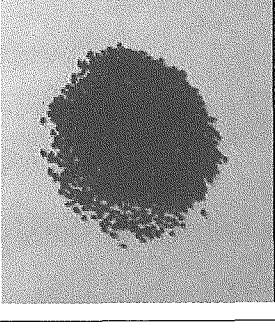
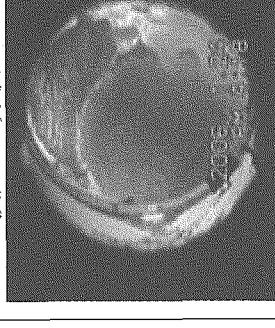
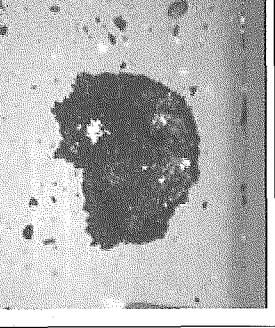
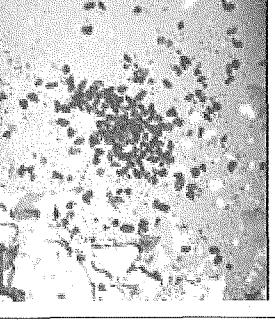
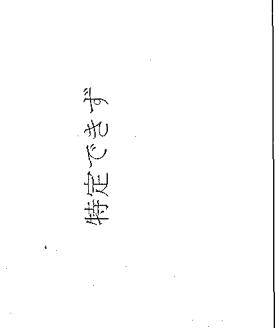
	アクリル	チャコールフィルタ	イオン交換樹脂
	投入前	追加投入 予投入	追加投入 予投入
投入前			
燃焼時			
焼却灰			 注：写真の下半分に有 燒却灰中に存在 (か焼試験 1) 特定できず
			 注：写真の上半分に有 燒却灰中に存在 (か焼試験 1) 特定できず

表 4.1-6 か焼試験 回収焼却灰重量及び熱しやく減量測定結果

No.	投入量 (g)	回収焼却灰重量 (g) 〔灰合計に占める割合(%)〕					熱しやく ^{*1} 減量	備考
		焼却筒	アフター バー	セラミック フィルタ	バグ フィルタ	合計		
1	4,300	531.9 [48.6]	7.1 [0.6]	16.0 [1.5]	540.5 [49.3]	1,095.5	—	熱しやく減量 測定は省略
2	2,900	78.1 [28.0]	7.1 [2.5]	4.1 [1.5]	189.9 [68.0]	279.2	灰受け皿 0.82% 焼却筒 0.54%	

*1 热しやく減量測定方法は、環整第95号(昭和52年)「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について」の別紙2、II項に準じて実施した。

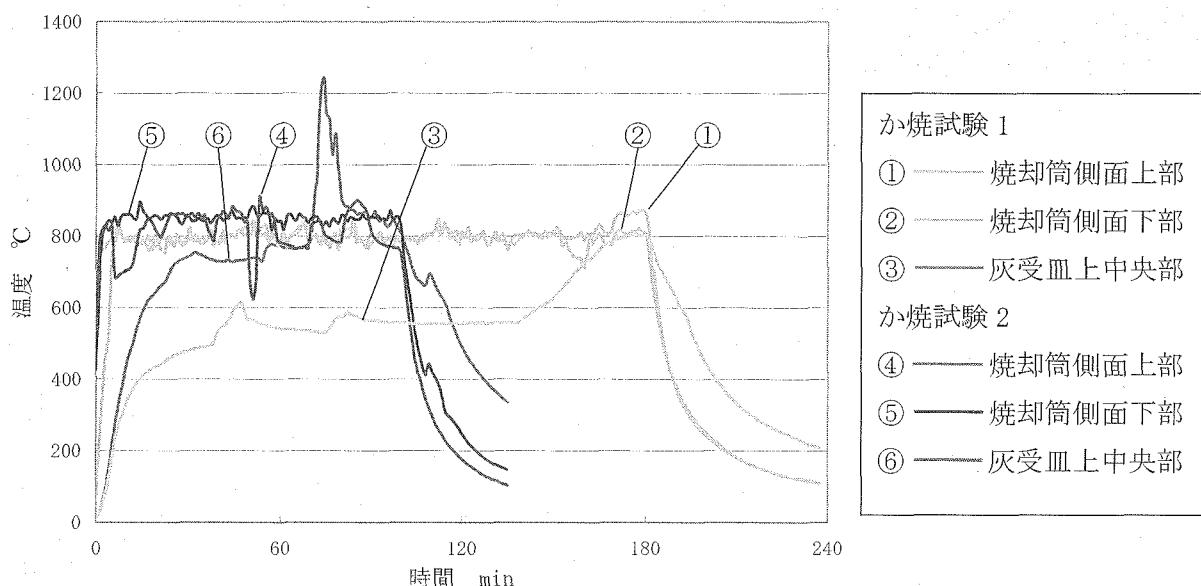


図 4.1-3 か焼試験 焼却筒温度の比較

4.2 煙道閉塞対策試験

4.2.1 試験の目的

廃棄物を対象とした既設の溶融炉や焼却炉において、廃棄物に混在する低沸点金属等が排ガス中に気化し、煙道内に付着することによって煙道閉塞が発生している事例がある。

低沸点金属は煙道閉塞の要因となるばかりでなく、溶融処理時には溶湯内への投入により突沸を生じる可能性がある。従って低沸点金属は、前処理において溶融不適物として分別、除去することが必要だが、完全な除去は困難である。

本試験では、溶融対象物に低沸点金属が混在した場合を想定して試験を実施した。はじめに低沸点金属の気化状況や煙道への付着状況を確認するための試験を行った。次にトラップ装置を煙道に設けて付着物を捕集する試験を行い、以降の設備への低沸点金属の飛散及び付着を防止する方法について検討した。

4.2.2 試験条件

- 本試験は小型炉に煙道を仮設して行った。(図 4.2-1)
- 仮設の煙道にはガラス管(曲がりを含む)を使用し、内部確認を可能とした。
- 低沸点金属は発熱源とする炭素鋼とともに炉内に予投入した。
- 対象とする金属種は、亜鉛、亜鉛と銅との合金である真鍮、亜鉛の反応物質である塩化亜鉛とした。
- ガラス管への付着量を増すため、対象物の炉内への投入量は実設備の状況に比べ多くなるよう設定したが、試験時のガラス管への付着状況により調整した。
- 鉛は、高い毒性を有し法規制により取扱いが難しいことから対象金属から除外した。
- 炉上部及び煙道のガラス管手前までは保温を設け、放熱を抑制した。

4.2.3 試験実施要領

試験はトラップ装置による捕集効果を確認するため、装置の設置前後に実施した。

—Phase1(トラップ装置設置前)—

- (1) 試験回数 : 6回(亜鉛3回、塩化亜鉛2回、真鍮1回 表4.2-1参照)
- (2) 対象金属種 : 亜鉛(粒状)
塩化亜鉛(粉末)
真鍮(粉末)
- (3) 測定分析項目 : a. キャニスタ底部温度もしくは炉内温度
b. 煙道内ガス温度(測定箇所は図4.2-1参照)
- (4) 試験要領 : ①対象金属を炭素鋼とともに炉内に装荷する。
②煙道(ガラス管)を設置する。
③溶融炉を起動し、温度上昇に伴う低沸点金属の気化状況や煙道への付着状況を確認する。
④終了後、炉内や煙道内各部への付着状況を確認する。

—Phase2(トラップ装置設置後)ー

- (1) 試験回数 : 4回 (亜鉛2回、塩化亜鉛2回)
- (2) 対象金属種 : 亜鉛 (粒状)
塩化亜鉛 (粉末)
※真鍮は、トラップ設置前の試験において、気化温度が高いことが判明したため、省略した。 (4.2.4(1)参照)
- (3) 測定分析項目 : a. 炉内温度
b. 煙道内ガス温度
- (4) 試験要領 : ①対象金属を炭素鋼とともに炉内に装荷する。
②煙道 (ガラス管、トラップ装置) を設置する。
③溶融炉を起動し、温度上昇に伴う低沸点金属の気化状況や煙道への付着状況を確認する。
④終了後、炉内や煙道内各部への低沸点金属の付着状況を確認する。

表 4.2-1 煙道閉塞対策試験
低沸点金属投入量

トラップ [*]	試験名称	投入量
設置前(Phase1)	亜鉛 1-1	500g
	亜鉛 1-2	50g
	亜鉛 1-3	50g
	塩化亜鉛 1-1	50g
	塩化亜鉛 1-2	100g
	真鍮 1-1	50g
設置後(Phase2)	亜鉛 2-1	50g
	亜鉛 2-2	50g
	塩化亜鉛 2-1	100g
	塩化亜鉛 2-2	100g

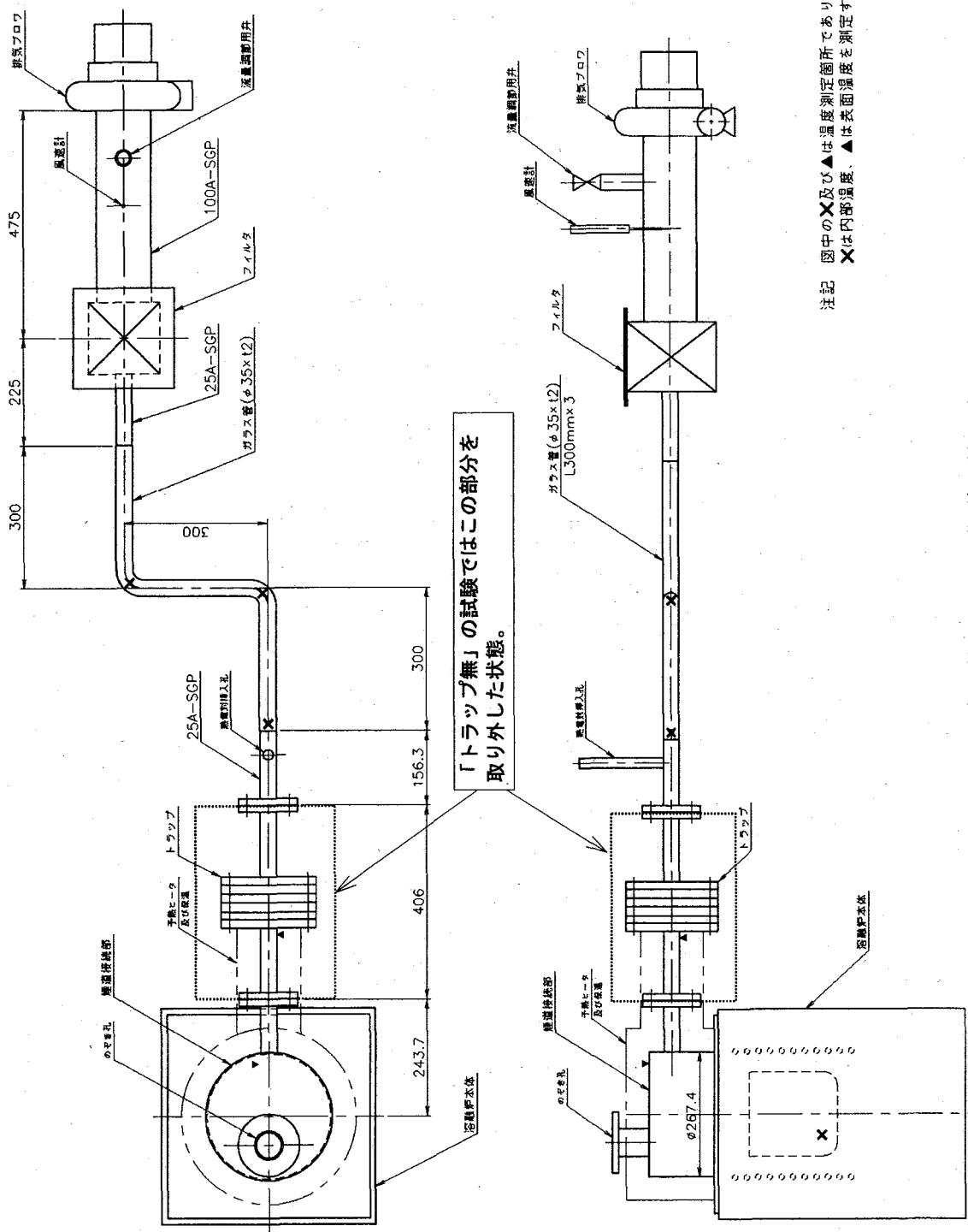


圖 4.2-1 煙道閉塞對策試驗 仮設煙道配管構成図

4.2.4 試験結果

各試験で投入した低沸点金属の量は表 4.2-1 に示す通りである。

(1) 対策前試験 (Phase1)

① 試験結果

1) 亜鉛 1-1 (500g)

加熱源となる炭素鋼をキャニスタ内に縦に並べて装荷後、亜鉛を投入して加熱した。

(図 4.2-2 参照)

炉内温度が亜鉛の沸点 (907°C) に近づいたと推定される時点で、煙道内に白煙が流れ、同時にガラス管内に白い粉末が付着した。この際、急激な排ガス量の増加により、炉の隙間から排ガスの漏出が生じた。炉を停止後、内部を確認したところ、亜鉛の残りとともに白い粉末が残存していた。

煙道のガラス管には、全体に亘り粉末の付着が見られ、エルボ付近では直管部分に比べ付着量が多い様子がみられた。

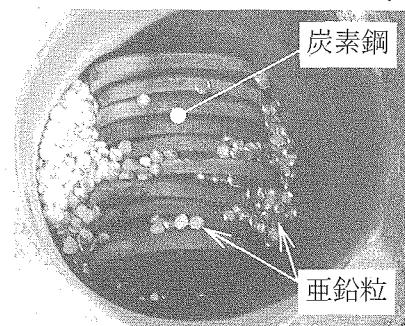


図 4.2-2 亜鉛 1-1
キャニスタ内装荷状態

2) 亜鉛 1-2 (50g)

本試験でも、炭素鋼と亜鉛のキャニスタ内への装荷は、亜鉛 1-1 と同様に行った。

亜鉛 1-1 と同様に、炉内温度が亜鉛の沸点近くまで上昇したところで急に白煙が煙道内に流れ、少量の白い粉末がガラス管に付着した。その後 1 分ほどで白煙は減少し、ガラス管にも特に変化が見られなかつたため炉を停止した。炉の内部を確認したところ、加熱源である炭素鋼上に白い粉末が残存し、炭素鋼周辺のキャニスタ底には、表面のみが白色となった亜鉛粒がほぼ原形のまま残存していた。

煙道のガラス管は、全体が薄い白色となり、エルボ付近では比較的大きな粒子が確認されたが、付着量はわずかであった。

3) 亜鉛 1-3 (50g)

本試験では炭素鋼の装荷に際し、亜鉛への加熱性を留意した。亜鉛はキャニスタ底面に敷いた鋼板上に載せ、周囲にも鋼板を配置した。

(図 4.2-3 参照)

試験開始後、亜鉛 1-1、1-2 と同様に急激な白煙の発生が生じた。この際、亜鉛 1-1 と同じく排気能力を超えたガス発生により、排気の炉外への漏出が生じたため試験終了とした。試験後は、煙道内、炉内とも白い粉末に覆われ、ガラス管の部位による付着状態の有意な差は確認できなかった。

ガラス管の入口側付近は、粉末の堆積により管の下半分が閉塞した状態であった。試験後のガラス管の状態を表 4.2-2 に示す。

炉内に投入した亜鉛はほぼ全量が気化したものと見られ、元の状態で残留しているものはなかった。

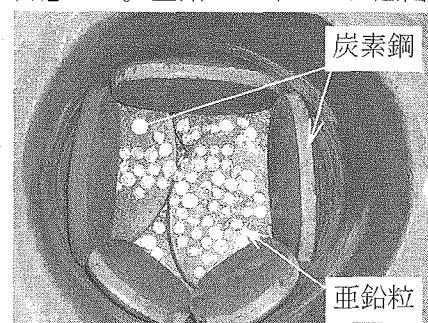


図 4.2-3 亜鉛 1-3
キャニスタ内装荷状態

4) 塩化亜鉛 1-1 (50g)

本試験では、炭素鋼のキャニスタ内への装荷は亜鉛 1-1 と同様とした。

炉内温度 400°C付近から徐々に白煙が生じ、約 650°Cを超えたところでその量が増加した。ガラス管には白色の粉末が薄く付着した状態となつたが、付着量はわずかであり、部位による差は確認できなかつた。また、付着した粉末は 10 数分後には潮解して確認できなくなり、ガラス管内面は水分が付着した状態となつた。

冷却後炉内を確認したところ粉末は確認されなかつたが、炉上部の接続筒内面には水分の付着が認められた。

5) 塩化亜鉛 1-2 (100g)

本試験ケースではガラス管への付着物量の増加を図り、炉内への塩化亜鉛の装荷量を 100g とした。また、炭素鋼の装荷は亜鉛 1-3 と同様とした。

白煙の発生状況は塩化亜鉛 1-1 と同様であった。白煙の量は塩化亜鉛 1-1 に比べて多く、ガラス管への粉末の付着量も増加し、特に第 1 エルボ付近への付着が顕著であった。白煙の発生が続く間試験を継続したところ、15 分程で付着物は潮解し、ガラス管は全体的に薄く黒ずんだ状態になつた。炉を停止し 2 時間程度冷却した後、ガラス管内には液体が溜まつていた。試験後のガラス管の状態を表 4.2-2 に示す。

炉内には粉末状のものは確認できなかつたが、炉上部の接続筒内面や煙道各部は、水分が付着して濡れた状態であった。

6) 真鍮 1-1 (50g)

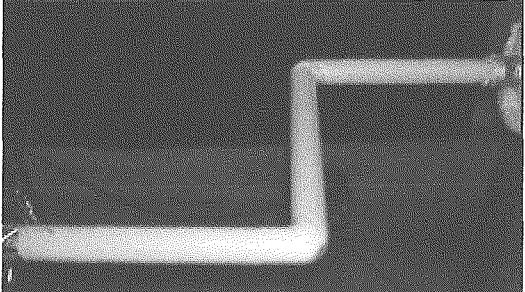
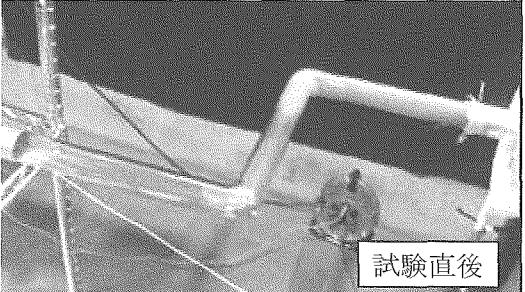
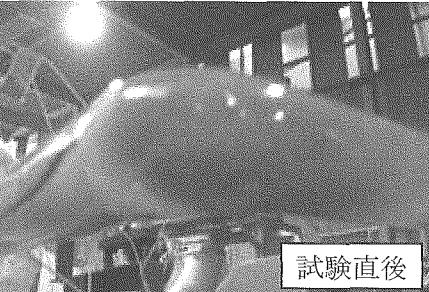
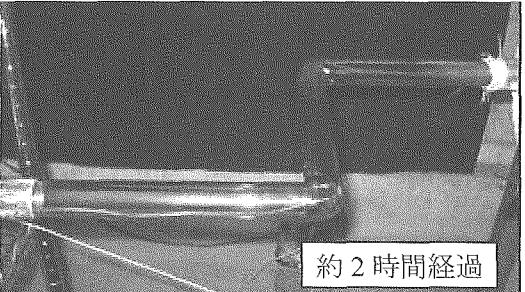
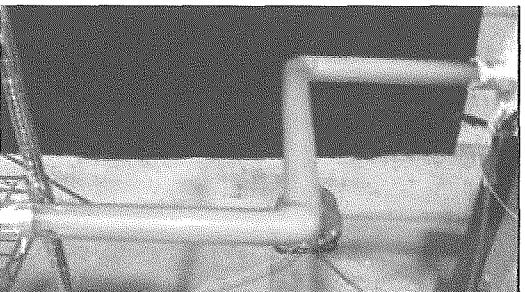
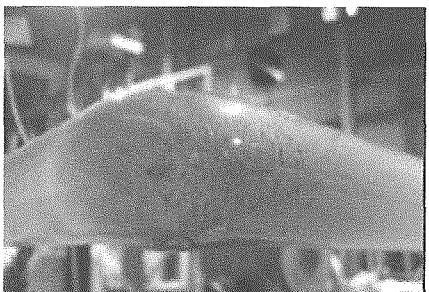
炭素鋼のキャニスタ内への装荷は、亜鉛 1-3 と同様とした。

真鍮は、亜鉛や塩化亜鉛が気化した温度付近まで加熱しても気化が見られず、より高温にする必要があつた。炉内温度を 1200°C近く（炉内の炭素鋼の状態からの推定）まで昇温したところ、ガラス管に黄色を帯びた白色粉末が付着する様子が確認されたが、その付着量は少量であった。装荷した真鍮を完全に気化させるにはさらに高温とする必要があつたが、仮設煙道接続部の構造上それ以上の昇温はできず、試験を終了した。

試験後、ガラス管には全体的に黄色を帯びた白色粉末が付着していた。付着量に関し部位による差はなかつた。

炉内を確認したところ、溶融固化した真鍮が残り、周囲の炭素鋼には白い粉末状の付着物が見られた。試験後のガラス管の状態を表 4.2-2 に示す。

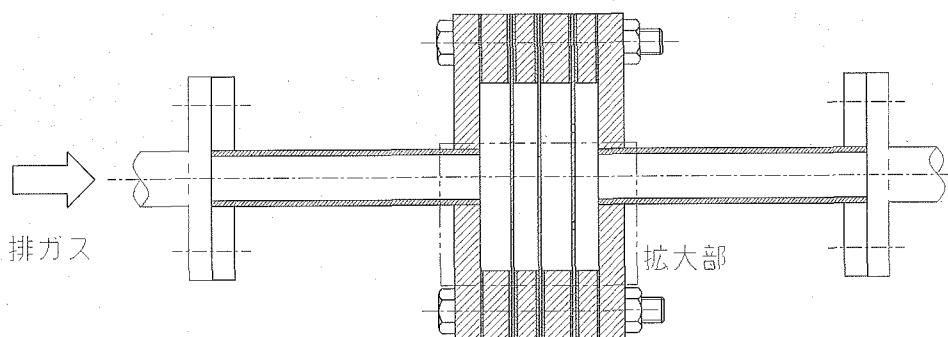
表 4.2-2 煙道閉塞対策試験 ガラス管への低沸点金属付着状況

条件	ガラス管全体	第1エルボ付近
亜鉛 1-3 (50g)	 <ul style="list-style-type: none"> 全面に付着(部位別の差なし) 	 <ul style="list-style-type: none"> 付着物は白色
塩化亜鉛 1-2 (100g)	 <p>試験直後</p> <ul style="list-style-type: none"> 全面に付着 第1エルボ付近への付着量 大 	 <p>試験直後</p> <ul style="list-style-type: none"> 付着物は黒色を帯びた白色
	 <p>約2時間経過</p> <ul style="list-style-type: none"> 全面が黒ずみ、濡れたような状態 	 <p>約2時間経過</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状の物質が溜まる
真鍮 1-1 (50g)	 <ul style="list-style-type: none"> 全面に付着 エルボ付近は、やや黒色を帯びる 	 <ul style="list-style-type: none"> 付着物は、黒色と黄色を帯びる

(2) 対策後試験 (Phase2)

① 試験実施状況

- ・煙道のガラス管手前にトラップを設置した。（図 4.2-1 参照）
- ・トラップは、細孔から排ガスを噴出させ、流速を高めた状態で板に当てることで排気中の粒子を付着、堆積させる構造とした。（図 4.2-4 参照）
- ・細孔部の流速は煙道配管での流速に対し 3 倍とした。（付着物の粒径などのデータがないため、試験的に設定）
- ・当て板距離は、細孔径の 3 倍とした。（2 次元自由噴流の場合、吹出し時の平均速度が衰えないポテンシャル・コアの長さは細孔径の 6 倍であり⁴⁾、それ以下とした）
- ・各試験に使用したトラップの細孔数、段数、当て板までの距離を表 4.2-3 に示す。
- ・トラップに対し、加熱や冷却は行わなかった。



トラップ全体図

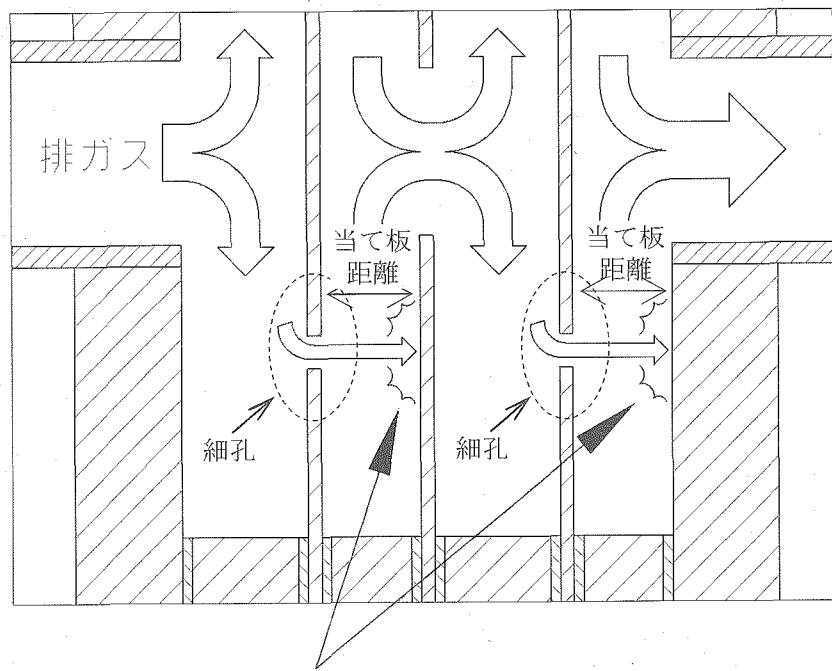


図 4.2-4 煙道閉塞対策試験 トラップ装置模式図

②試験結果

1)亜鉛 2-1 (50g)

白煙の発生から10分程でその量が減少したため、試験を終了した。トラップを設けたにも係わらず、トラップ下流のガラス管でも白い粉末の付着が確認された。ガラス管への付着量は、トラップ設置前に同条件で実施した亜鉛 1-3との比較でも有意な差は認められなかった。

試験後、トラップ内部を確認した結果を図4.2-5に示す。トラップ内部には全面に白い粉末が付着し、トラップ1段目の当て板には細孔の位置に円錐状に粉末が堆積した。2段目にも同様の堆積が始まっている様子が認められた。

2)亜鉛 2-2 (50g)

本試験ではトラップによる捕集量を増す目的で、亜鉛 2-1で8個としていた細孔の数を24個に増やして試験を実施した。細孔数の増加により細孔部の流速は下がるため、小径の粒子に対する捕集性能は低下すると考えられた。しかしながら、亜鉛 2-1の結果ではトラップ内部全体に付着物が見られ(図4.2-5参照)、低い流速でも粒子の捕集は可能と判断し、堆積させる部位を増すために細孔数を多くした。結果は細孔数が8個の場合との違いは認められず、トラップ下流のガラス管にも粉末が付着した。また、白煙の発生開始8分後にはトラップの閉塞が生じ、排ガスの流れが停止した。

トラップ内部を確認した結果を図4.2-6に示す。亜鉛 2-1と同様にトラップ内部には全面的に白い粉末が付着していた。トラップ1段目の当て板の細孔は、全て閉塞した状態であり、2段目の当て板には、排気が衝突する細孔の位置に盛り上がりが見られた。

3)塩化亜鉛 2-1 (100g)

亜鉛 2-1、2-2と同様に、トラップ下流のガラス管でも白煙の流れが見られた。しかし、その量はトラップなしの際より減少し、亜鉛を対象物とした場合に比べ、トラップの効果が認められた。白煙の発生開始後約10分で試験を終了した際には、トラップは閉塞した状態であった。トラップ内部を確認した結果を図4.2-7に示す。トラップの1段目には、細孔の位置に円錐状の堆積が見られ、これが成長して細孔を閉塞した状況が認められた。これ以外のトラップ内部に堆積物は確認されなかつたが、付着した塩化亜鉛の潮解によると思われる水分の付着が全体に見られた。なお、図4.2-7に示したトラップの開放点検は、塩化亜鉛の潮解前に確認するため、試験直後に実施したものである。

4)塩化亜鉛 2-2 (100g)

本試験では、トラップによる捕集量を増す目的で、細孔から当て板までの距離を排ガスの吹出し速度が衰えない範囲で長くした条件(15mmから28.5mm)に変更した。試験状況は塩化亜鉛 2-1と同様であり、最終的にトラップの閉塞が生じた。トラップ内部の状況も塩化亜鉛 2-1と同様であったが(図4.2-8参照)、細孔と当て板との距離を大きくしたことにより、円錐状の堆積物は多くなった。

表4.2-3 煙道閉塞対策試験 トラップ構造条件

低沸点金属投入量	細孔		段数	当て板距離
	径	数		
亜鉛 2-1 50g	5mm	8	2	15mm
亜鉛 2-2 50g	5mm	24	2	15mm
塩化亜鉛 2-1 100g	5mm	8	2	15mm
塩化亜鉛 2-2 100g	5mm	8	1	28.5mm

*トラップ構造は図4.2-4~8を参照。

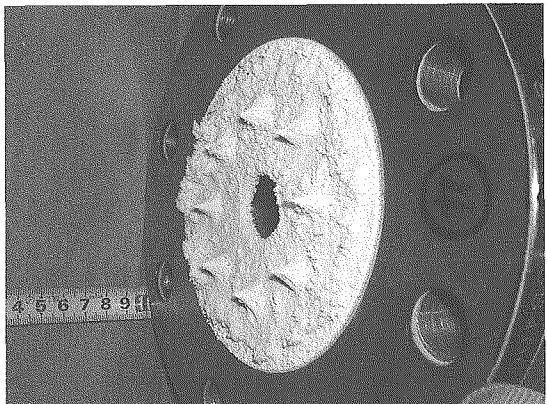
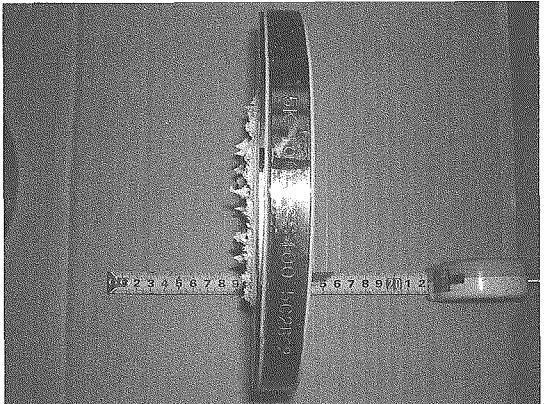
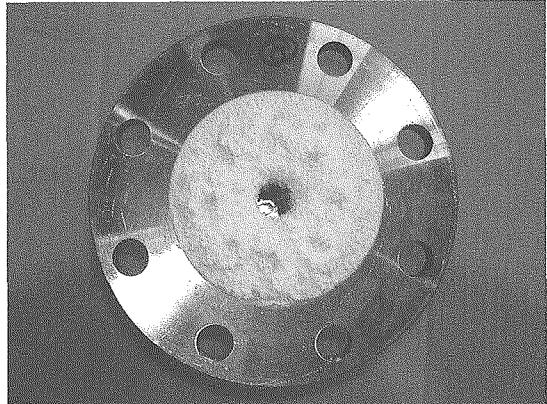
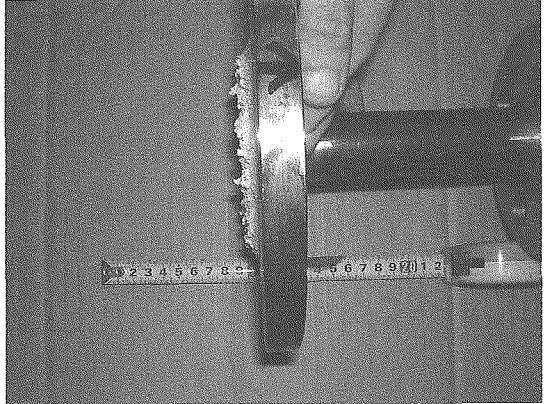
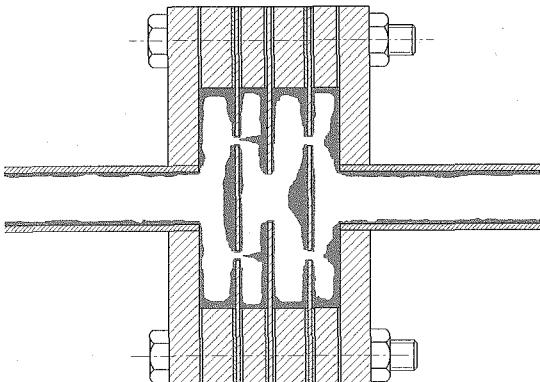
トラップ 1段目		
トラップ 2段目		
トラップ 内部状況		 <p>(青色部が付着物を示す)</p> <p>トラップ内部全体に白色の粉末が付着していた。</p>

図 4.2-5 煙道閉塞対策試験 トラップでの捕集状況 (亜鉛 2-1 50g)

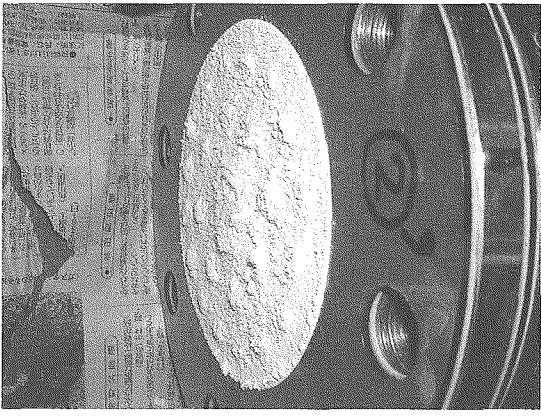
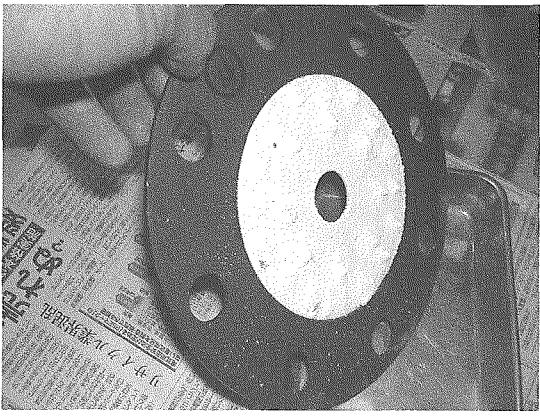
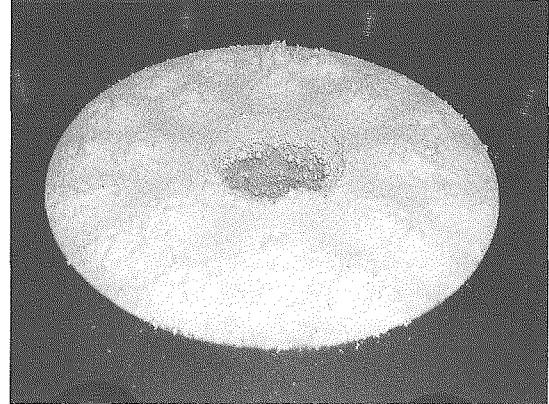
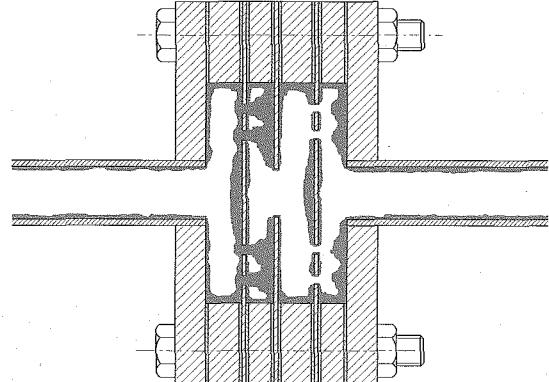
<p>トラップ1段目</p>  <p>24箇所の孔は全て閉塞していた。</p>	 <p>当て板への付着状況</p>
<p>トラップ2段目</p>  <p>当て板部には24個の盛り上がった部分が存在した。</p>	
<p>トラップ内部状況</p>  <p>(青色部が付着物を示す)</p> <p>トラップ開放時に堆積物は崩れたため詳細は不明だが、 本図のような状態となって閉塞したものと推測される。</p>	

図 4.2-6 煙道閉塞対策試験 トラップでの捕集状況（亜鉛 2-2 50g）

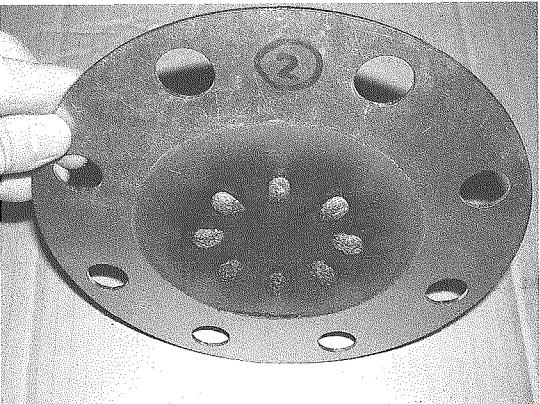
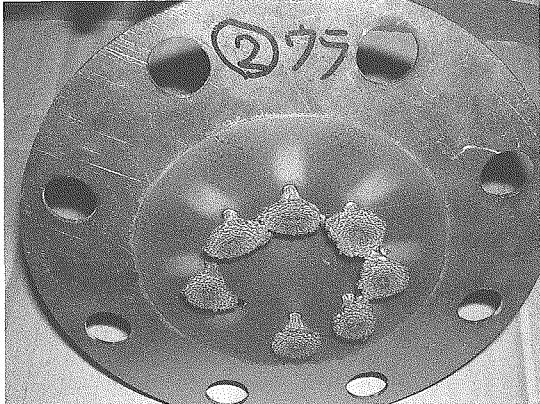
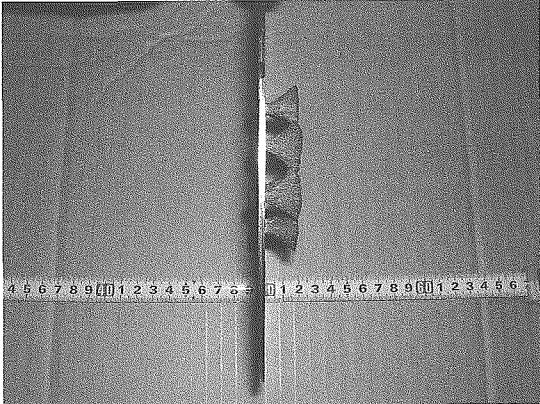
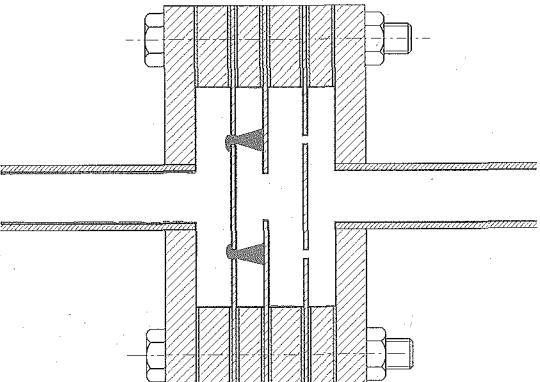
ト ラ ッ プ 1 段 目		
	8箇所の孔は全て閉塞していた。	孔を裏側から見た状態
		
真横から見た状態		
ト ラ ッ プ 内 部 状 況	 <p>(青色部が付着物を示す)</p> <p>当該閉塞部以外には、堆積は確認できない。</p> <p>ただし、全面に渡って水分が付着しているため、 塩化亜鉛が付着していたものと推測できる。</p>	

図 4.2-7 煙道閉塞対策試験 トランプでの捕集状況 (塩化亜鉛 2-1 100g)

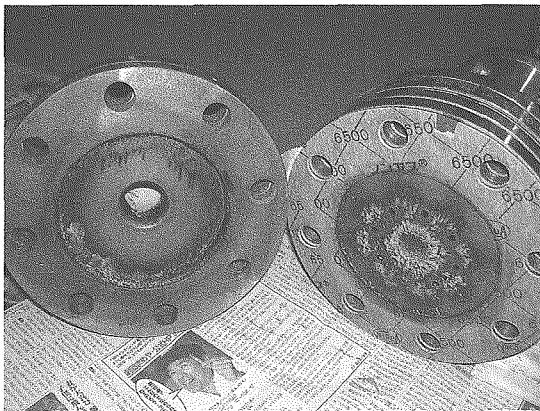
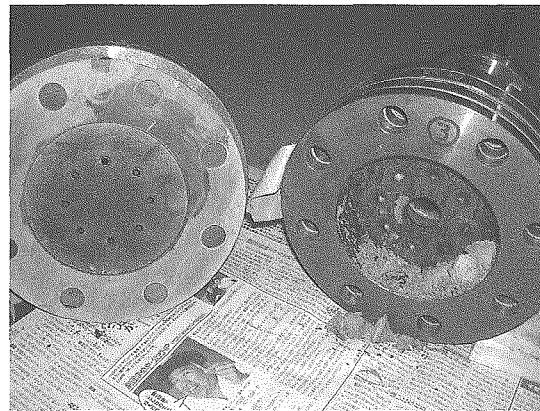
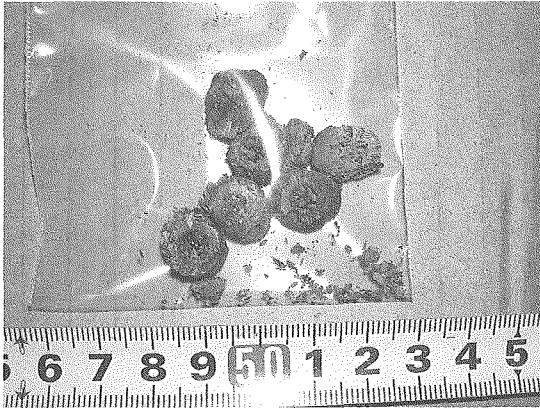
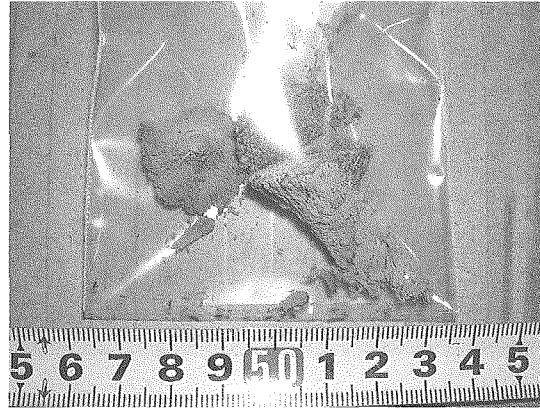
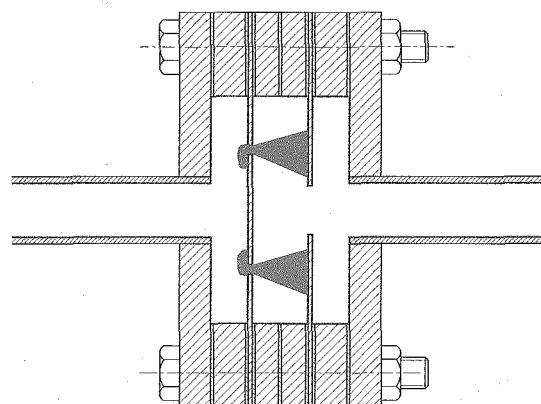
トラップ 1段目		
	8箇所の孔は全て閉塞していた。	孔を裏側及び当て板面
		
	孔入口側の付着物	孔出口側の堆積物
トラップ 内部状況	 <p>(青色部が付着物を示す)</p> <p>当該閉塞部以外には、堆積は確認できない。</p> <p>ただし、全面に渡って水分が付着しているため、 塩化亜鉛が付着していたものと推測できる。</p>	

図 4.2-8 煙道閉塞対策試験 トランプでの捕集状況 (塩化亜鉛 2-2 100g)

4.2.5 確認項目に関する検討

(1)煙道閉塞対策

①低沸点金属等の気化と煙道への付着状況

亜鉛を加熱し気化した際に、煙道内の各部分に付着が確認された白い粉末は、酸化亜鉛と思われる。酸化亜鉛は炉内にも残存していたことから、亜鉛は気化した直後に酸化したものと考えられる。

本試験では、温度による低沸点金属の付着状況の違いを確認するために、煙道のガラス管内3ヶ所の温度を測定したが有意な温度差を得られず、付着状況の違いは確認できなかった。一方で、排ガスの流れが衝突するエルボ部では直管部に比べ付着量が多い様子が見られた。

試験後の炉内確認においては、亜鉛、塩化亜鉛とも溶融炉上部の内面にも付着が確認された。このことから、低沸点金属の捕集方法を確立したとしても、炉内を含む捕集装置手前までの各部分への低沸点金属の付着は生じると考えられる。

塩化亜鉛は極めて高い潮解性を有しており、付着後に液体となる様子が確認された。炉の隙間から導入された空気中の水分と反応したためと思われる。今回は塩化亜鉛のみを加熱気化させたが、実際の施設においては塩化亜鉛の発生時には、同時に飛灰などの粒子状物質が排ガス中に混在する。塩化亜鉛の潮解により生じた液体はこれらの物質の煙道への付着を促進すると思われる。また配管の腐食原因にもなることから、塩化亜鉛の発生を抑えることは重要であり、塩化物と亜鉛との混在処理は極力避けるべきである。

また今回の試験において、金属と接触していない亜鉛が、試験後にもほぼ原形のまま炉内に留まっている事例があった。これは加熱源である金属と接触していなかったために十分に昇温しなかったことが原因である。このことは予投入物に低沸点金属が混入した場合、その状況によっては金属溶湯が形成されるまで炉内に残存し、溶湯に接触した瞬間に急激に気化する可能性を示唆しており、注意を要する。

②低沸点金属等の捕集方法

本試験において、付着物は煙道のエルボ付近に多く見られたため、衝突式の捕集方法を採用してトラップ装置を設けた。気化した低沸点金属の捕集は可能であったものの、全量を捕集することはできずトラップの下流でも付着物が確認された。また、トラップの細孔が目詰まりする事象も見られた。

今回対策後に亜鉛50gを対象として実施した亜鉛2-2を例にとると、トラップで捕集した酸化亜鉛の量は0.8gであり亜鉛0.64gに相当する。「溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」(JIS G 3302)によれば、これは溶融亜鉛めっき鋼板の約10~100cm²分の量にすぎない。また塩化亜鉛2-2における捕集量14gは、吸湿した水分重量を無視すれば亜鉛約7gに相当する。実機を想定した場合、これらの捕集量では不十分と考えられ、捕集方法の変更などによってトラップを改良し、捕集量を増すことが必要である。

本試験では、排ガスの流速や装置の大きさなどは試行的に決定したが、今後亜鉛などの低沸点金属の溶融処理対象物への混入量を想定し、トラップの保守頻度の設定などを基に捕集容量を定め、装置を設計する必要がある。また、トラップ内の付着物の除去あるいはトラップ装置を容易に交換する方法などについても検討を要する。

③まとめ

本試験において採用したトラップにより、排ガス中の気化した低沸点金属を捕集することは可能であった。ただし全量を捕集することはできず、煙道の閉塞対策としては不十分であった。今後、湿式や重力式あるいはそれらの組合せといったトラップ方式の見直しも含めて検討を進め、装置に改良を加え捕集効率を高めることで、煙道閉塞発生を防止できると思われる。実設備への採用には、

- ・排ガス中の捕集対象物質（低沸点金属、煤塵等）量の設定
 - ・保守頻度、捕集対象物量を考慮したトラップの捕集容量の設定
 - ・捕集した付着物の除去・回収あるいは交換などの保守方法の確立
- といった点について検討することが必要である。

4.3 アルミニウム溶融試験

4.3.1 試験の目的

アルミニウムは、処分後にその腐食によって水素ガスを発生するという問題があり、廃棄体とする際には、鉄との合金化といった安定化処理が必要である。これまでに溶融固化処理によるアルミニウムの安定化条件として、固化体となった鉄-アルミニウム合金中のアルミニウムの割合が40%以下であれば、合金の自然浸漬電位は鉄単体と同等であり、処分後の水素ガス発生は抑制されている⁵⁾。

鉄とアルミニウムを混合し、空気雰囲気下で溶融固化処理した場合には、アルミナの生成によりスラグが高融点化し、溶湯の流動性が低下することが考えられる。また溶融中にスラグ表層が固化し、廃棄物の追加投入に支障をきたすことも懸念される。

アルミニウムを多く含んだ廃棄物を溶融固化処理する場合には、含まない場合とは溶融状況や溶融固化体組成が異なるため、溶融固化体の性能評価を行う必要があると考えられる。

そこで本試験では、実際にアルミニウムの割合を変えた条件にて溶融試験を行い、溶融時の状況確認を実施するとともに、アルミニウムの割合による溶融固化体の性状の違いを確認し、アルミニウムの安定化を図るまでの条件について検討した。

4.3.2 試験条件

- ▶ 本試験は小型炉を使用した。
 - ▶ アルミニウム投入量は、合金中の割合が5%、10%、20%、40%となるようにした。また投入は追加投入とした。
 - ▶ 形状による影響比較の為、箔状アルミニウム（投入割合10%）により試験を行った。
 - ▶ 投入時期による影響比較の為、初期装荷条件（投入割合10%）で試験を行った。
 - ▶ 所定のアルミニウム量を投入し金属共々溶融した後は、溶湯表面からのアルミニウムの酸化を抑制する目的で、スラグ材1kgを投入した。
- $\left[\begin{array}{l} \text{スラグ材組成(wt\%)} \\ \text{CaO 23.2, Al}_2\text{O}_3 13.0, \text{SiO}_2 33.8, \text{MgO 2.3, SO}_3 < 0.1, \text{Na}_2\text{O 3.9, 有機分 15.6} \end{array} \right]$

4.3.3 試験実施要領

- (1) 試験回数 : 6回
- (2) アルミニウム割合 : 5%、10%、20%、40%
- (3) 測定分析項目 :
 - a. キャニスター底部外表面温度
 - b. 溶湯温度（熱電対を保護管に挿入して測定）
 - c. 溶融固化体（金属層）の成分分析
 - ・蛍光X線分析（島津製作所 LAB CENTER XRF-1700）
 - ・X線回折分析（スペクトリス PW3050）
 - d. 溶融固化体（金属層）の一軸圧縮強度（INSTRON 4208型）
- (4) 試験要領 :
 - ①初装荷金属（炭素鋼）をキャニスターに装荷し炉内に設置する。
(アルミニウム予投入の場合は同時にアルミニウムを装荷)
 - ②溶融炉を起動、初装荷金属を溶融し初期溶湯を形成する。
 - ③所定量のアルミニウムを追加投入する。
(アルミニウム予投入の場合を除く)

- ④アルミニウムの溶融後、所定量のスラグ材を追加投入する。
- ⑤冷却固化後、固化体を切断し、断面を観察する。
- ⑥溶融固化体（金属層）から試料を採取し、分析と測定を行う。

4.3.4 試験結果

表 4.3-1 に各試験で実際に投入した金属及びスラグの量と、金属に占めるアルミニウムの割合、アルミニウム形状などを示す

表 4.3-1 アルミニウム溶融試験 投入物量

試験条件 (アルミニウム割合)	投入量(g)		アルミニウム 割合 (実際)	アルミニウム 形状	投入時期	備考				
	金属									
	炭素鋼	アルミニウム								
5%	4,790	275	1,000	5.4%	部材	追加投入				
10%	4,540	480	1,000	9.6%	部材	追加投入				
20%	4,060	1,020	1,000	20.1%	部材	追加投入				
40%	3,110	2,070	900	40.0%	部材	追加投入				
10%(予投入)	4,545	495	1,000	9.8%	部材	予投入				
10%(箔状)	4,540	505	1,000	10.0%	箔	追加投入				

①試験実施状況

- ・アルミニウム、スラグの投入量は、1回あたり各約 500g、100g とし、複数回にわけて実施した。

②試験結果

各試験のアルミニウム溶融時点の状況写真を表 4.3-2 に、冷却固化後に切断した断面写真を表 4.3-3 に成分分析及び一軸圧縮強度測定の結果を表 4.3-4 に示す。

1) アルミニウム割合 5%

炭素鋼を加熱溶融し、溶湯生成後にアルミニウム材を投入した。アルミニウムは溶湯へ投入すると共に溶湯に浸漬している部分から溶融し、約 3 分で溶融した。その際、アルミニウムの酸化（アルミナ化）等による溶融不良などの状態は見られず、溶湯の流動性も良好であった。

溶融固化体の切断面を観察したところ、スラグ層と金属層の 2 層に分離していることを確認した。金属層は光沢を有し、組織の偏在などは見られなかった。

2) アルミニウム割合 10%

炭素鋼を加熱溶融し、溶湯生成後にアルミニウム材を投入した。アルミニウムは溶湯への投入後、約 2 分で溶融した。溶融状況において、アルミニウム割合 5% の場合と特に差異は認められなかった。

溶融固化体の切断面を観察した結果、アルミニウム割合 5% の場合と同様に 2 層に分離していたが、金属層へのスラグ混入が認められた。またスラグ層には空隙が比較的多く存在した。

3) アルミニウム割合 20%

炭素鋼を加熱溶融し、溶湯生成後にアルミニウム材を投入した。アルミニウムの投入は2回に分けて実施した。1回目の投入では投入後約3分、2回目は約2分で溶融した。アルミニウムを投入した時点で、溶融状況や溶湯の流動性にはアルミニウム割合5%や10%の場合との相違は見られなかった。ただし、アルミニウムの完全溶融後、AIリングが溶湯上に浮かず確認できない状態となった。また、その後投入したスラグ材は溶融するのに比較的長い時間を要した。

溶融固化体を切断したところ、溶融中に確認できなくなったAIリングは、金属層に埋め込まれた状態であった。またスラグと金属は2層を形成しているものの、金属層にはスラグの混入やひび割れの発生が認められた。スラグ層には金属層との境界に隙間ができるような形で大きな空隙が生じていた。

4) アルミニウム割合 40%

本試験では、後半に投入するスラグを効果的に加熱するために、AIリングの投入をスラグの追加投入中に行なった（他の試験では炭素鋼の溶融直後に投入）。

炭素鋼を加熱溶融し、溶湯生成後に4回に分けてアルミニウム材を投入した。各回ともアルミニウムの溶融状況に差は認められず、投入後約1分で溶融可能であった。溶湯の流動性も良好であり、アルミニウムの追加投入にも支障はなかった。ただし、アルミニウム溶融後にスラグ材を投入した際には、スラグ投入9回目(900g)で溶けにくい状態となり、また溶湯量が増えたことから、10回目のスラグ投入は実施しなかった。

溶融固化体を切断したところ、スラグ層と金属層の2層を確認した。しかし、金属層にはスラグの混入や、大きなひび割れが認められ、他のアルミニウム割合の固化体に比べ脆い状態であった。スラグ層は多くの空隙を有して膨張しており、AIリングはスラグ上に乗った状態であった。

5) アルミニウム割合 10% (予投入)

本試験では、金属に対し10%の割合のアルミニウムを炭素鋼と共に予投入（初装荷）して溶融試験を実施した。アルミニウムは溶融炉の運転開始約15分後に溶融した。その後約26分で炭素鋼が溶融し、金属溶湯を形成したが、アルミニウムを追加投入した場合に比べ溶湯の流動性は低い状態であった。

溶融固化体切断面の様子は同じアルミニウム量を追加投入した場合の固化体と同様であり、2層に分かれ金属層は光沢を有していた。

6) アルミニウム割合 10% (アルミニウム箔)

本試験では、投入するアルミニウムの形状による固化体性状の差異を確認するために、金属に対し10%のアルミニウムをアルミニウム箔の形状にて追加投入して溶融試験を実施した。炭素鋼を加熱溶融し、溶湯生成後にアルミニウム箔を投入した。アルミニウムは溶湯へ投入すると共に溶湯に浸漬している部分から溶融し、約3分で溶けた。溶融の状況としてはアルミニウム部材を投入した場合と同様、溶融不良などの状態は見られず、溶湯流動性も良好であった。

溶融固化体の断面は2層に分かれていたものの、アルミニウムを部材で供給した場合

に比べると金属層へのスラグの混入が多い状態であった。金属層自体は光沢を有しており、スラグ層の状態もアルミニウム形状による大きな違いは認められなかった。

表 4.3-2 アルミニウム溶融試験 溶融状況 (1/2)

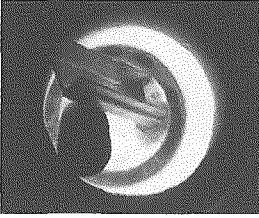
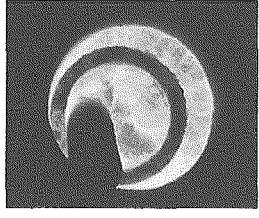
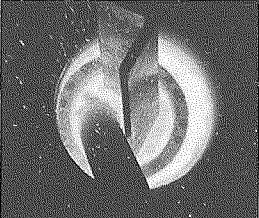
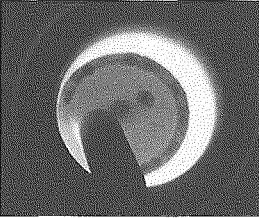
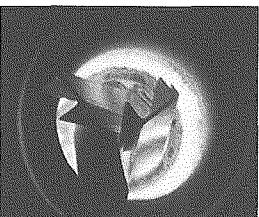
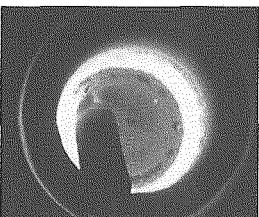
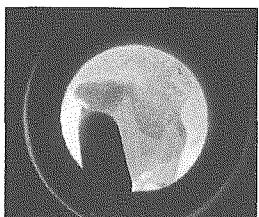
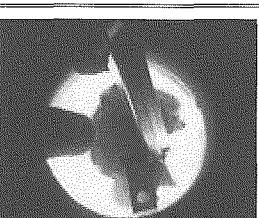
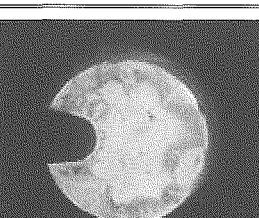
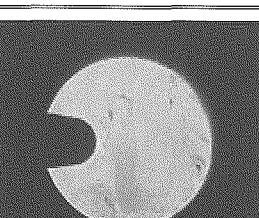
試験条件	状況写真及び観察内容			
アルミニウム 5 %				
アルミニウム量 275g				
アルミニウム 10 %				
アルミニウム量 480g				
アルミニウム 20 %				
アルミニウム量 1回目 510g 2回目 510g				
アルミニウム 40 %				
アルミニウム量 1回目 510g 2回目 500g 3回目 500g 4回目 560g				
投入状況(1回目) アルミニウムは溶湯に漬かっている部分から徐々に溶融。		溶融状況 投入1回目、約3分後に溶融。	溶融状況 投入2回目、約2分後に溶融。 AI リング埋没。	
投入状況(1回目) アルミニウムは溶湯に漬かっている部分から徐々に溶融。		溶融状況 投入1回目、約1分後に溶融。投入2回目、3回目も差異は無。	溶融状況 投入4回目、約1分後に溶融。 AI リング未投入。	

表 4.3-2 アルミニウム溶融試験 溶融状況 (2/2)

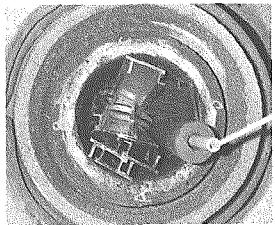
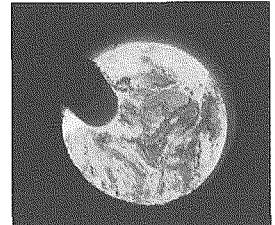
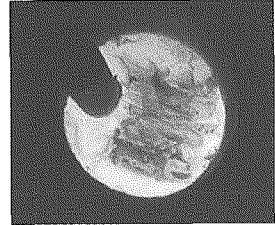
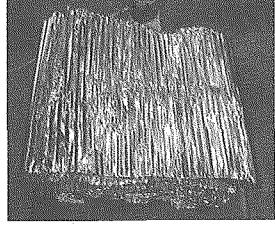
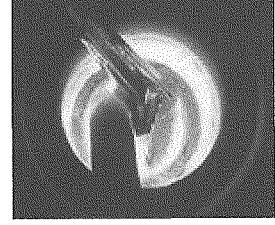
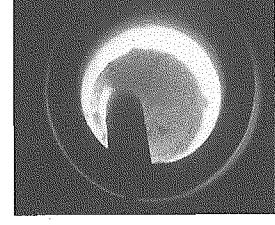
試験条件	状況写真及び観察内容		
アルミニウム 10% (予投入) アルミニウム量 495g			
	アルミニウム予投入状況 溶融炉運転開始 5 分後 アルミニウム溶け始め。	溶融状況 運転開始 15 分後 アルミニウム溶融。	溶融状況 運転開始 41 分後 金属溶融。 溶湯の流動性は低い。
アルミニウム 10% (箔形状) アルミニウム量 505g			
	投入したアルミニウム箔。	投入状況 アルミニウム箔は溶湯に漬かっている部分から徐々に溶融。	溶融状況 投入約 3 分後に溶融。

表 4.3-3 アルミニウム溶融試験 固化体切断面観察

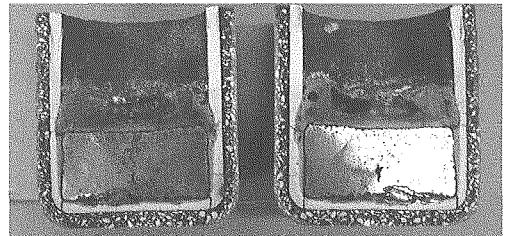
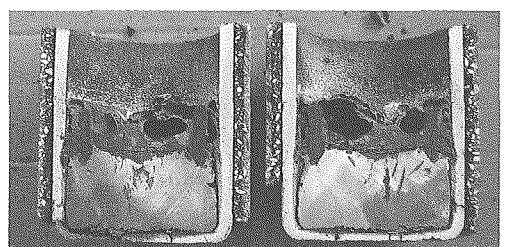
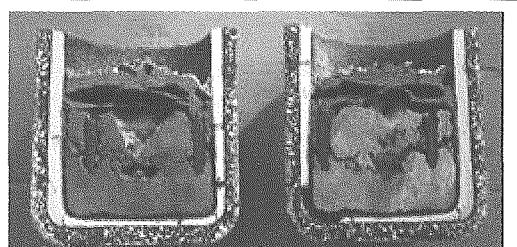
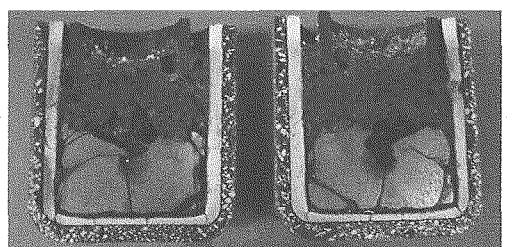
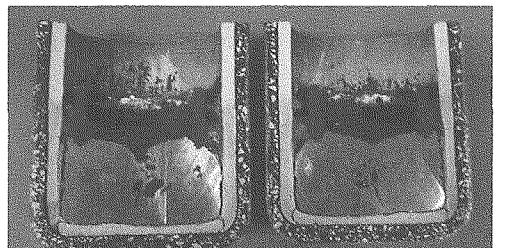
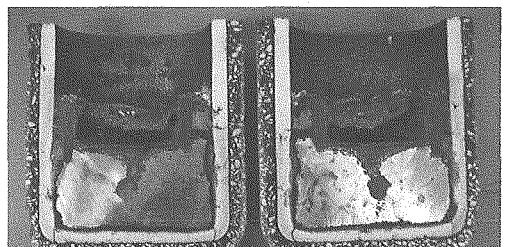
試験ケース及び観察内容	固化体の切断状況写真
アルミニウム 5 % <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み無し。 ・スラグ層には、～ϕ10mm 程の空隙有り。 	
アルミニウム 10 % <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み有り。 ・スラグ層には、空隙有り。 	
アルミニウム 20 % <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み有り。 ・金属層にはひび割れが発生。 ・スラグ層には、空隙有り。 ・AI リングは金属層に埋没。 	
アルミニウム 40 % <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み有り。 ・金属層にはひび割れが発生。 ・スラグ層全体に多数の細かな空隙有り。 ・AI リングはスラグ層上に乗った状態。 	
アルミニウム 10 % (予投入) <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み有り。 ・スラグ層には、空隙有り。 	
アルミニウム 10 % (箔形状) <ul style="list-style-type: none"> ・金属層は光沢を有す。 ・金属層へのスラグ巻込み有り。 ・スラグ層には、空隙有り。 	

表 4.3-4 アルミニウム溶融試験 溶融固化体金属層の分析測定結果

試験条件	実際の アルミニウム 投入割合	一軸圧縮強度 ^{*1}		蛍光X線分析(XRF)						成分分析		
		ヤング率 kN/cm ²	kgf/cm ²	組成 [wt%]			アルミニウム 割合 ^{*2}			特定物質		
				No.	Fe	Al	Si	O				
アルミニウム 5%	5.4%	176.2	17,971	1-1	91.1	2.4	4.1	1.0	2.5%	Fe		
アルミニウム 10%	9.6%	89.1	9,089	1-2	93.0	1.5	3.4	0.6	1.6%	Fe		
アルミニウム 20%	20.1%	46.0	4,695	2-1	85.5	9.0	2.8	1.7	9.6%	Al _{0.7} Fe ₃ Si _{0.3}	Al _{7.5} Fe ₂₅	
アルミニウム 40%	40.0%	3.9	399	2-2	85.7	9.3	3.0	1.1	9.8%	Al _{0.7} Fe ₃ Si _{0.3}	Al _{7.5} Fe ₂₅	
アルミニウム 10%(予投入)	9.8%	26.4	2,697	3-1	76.4	20.2	2.6	—	20.9%	AlFe ₃	Al _{7.5} Fe ₂₅	
アルミニウム 10%(箱形状)	10.0%	64.0	6,526	3-2	76.3	20.6	2.3	—	21.3%	AlFe ₃	Al _{7.5} Fe ₂₅	

*1: 一軸圧縮強度測定の試料寸法は、アルミニウム40%の場合は加工上の理由から 2.2×3.3×H4.3cm とし、それ以外は□1×H2cm とする。

*2: アルミニウム割合は Al/(Fe+Al) として算出

4.3.5 確認項目に関する検討

(1) アルミニウム溶融条件

① アルミニウムの割合による影響

1) 溶融状況

試験の結果、金属中（鉄+アルミニウム）におけるアルミニウムの割合が40%以下の範囲では、アルミニウムを含んだ溶融固化処理に支障は見られなかった。ただし、アルミニウムの割合を20%、40%とした際は溶湯の粘性が高くなり、後から投入したスラグ材の溶融に時間を要した。粘性が高くなった原因是、アルミナの生成により溶湯表面に生じたスラグ層の塩基度 ($\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$) が低かったため⁷⁾と考えられる。またアルミニウム割合20%の試験ではAIリングがスラグに埋没した状態となった。これも高い溶湯粘性が原因であったと考えられる。

2) 溶融固化体（金属層）の健全性

アルミニウムの割合を20%、40%とした溶融固化体において、金属層にひび割れが確認された。また金属層へのスラグの混入が生じスラグ中には大きなボイドが確認された。

一軸圧縮強度の測定結果は、低レベル放射性廃棄物の廃棄体に要求される技術基準 (15kgf/cm^2)⁶⁾に対しても、いずれの条件でも十分な強度を有していた。ただし、アルミニウムの割合が5%のときは約18,000 kgf/cm^2 であるのに対し、10%では約9,000 kgf/cm^2 、40%では約400 kgf/cm^2 であり、アルミニウム割合の増加に伴い強度が低下する傾向が見られた。（表4.3-4、図4.3-1 参照）

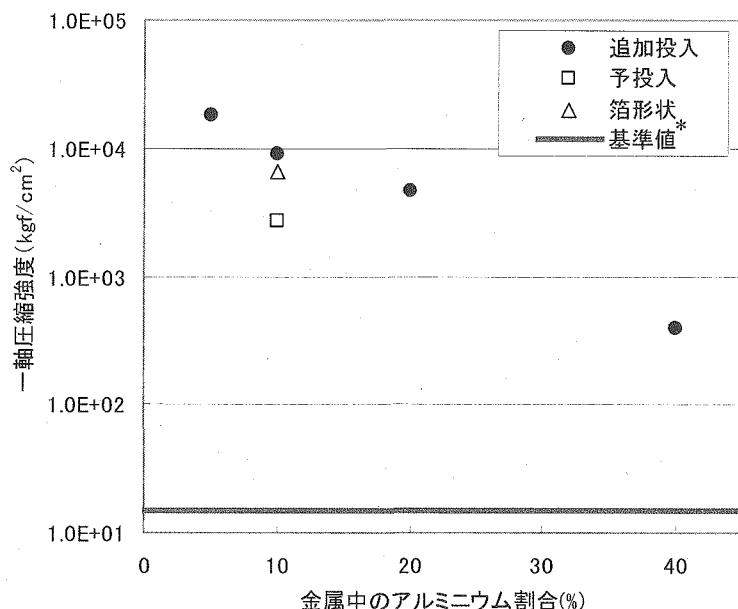


図4.3-1 アルミニウム溶融試験 一軸圧縮強度の比較

* 低レベル放射性廃棄物の廃棄体に要求される技術基準 (15kgf/cm^2) を示す。⁶⁾

3) アルミニウムの合金化

溶融固化体金属層の分析結果（表4.3-4参照）によれば、いずれの場合にも金属アルミニウムは検出されず、溶融固化処理によりアルミニウムは鉄と合金化したものと思われる。

アルミニウム割合5%の場合の蛍光X線分析結果では、金属中のアルミニウム割合は2.5%、1.6%であり、投入割合5%に比べ少ない結果であった。スラグ層への移行なども考えられるが、本試験ではアルミナるつぼを使用したことから、アルミナ量を評価対象としておらず、確認はできなかった。また同じく5%のケースではX線回折分析において、合金化したアルミニウムが特定できなかった。これはFeとFe-Al-Si合金のピーク

が近く、その重なりにより確認できなかったものと考えられる（図 4.3-2 参照）。一方で、Al 単体のピークも見られず（図 4.3-3 参照）、他の条件の分析結果と考え合わせれば、アルミニウムは合金化したものと推定される。

合金化した固化体金属層の状況については、いずれのケースにおいても 2 箇所からのサンプルの分析結果を比較すると大きな差は認められず、アルミニウム投入割合に係わらず、固化体金属層の組成分布は均一であったと思われる。

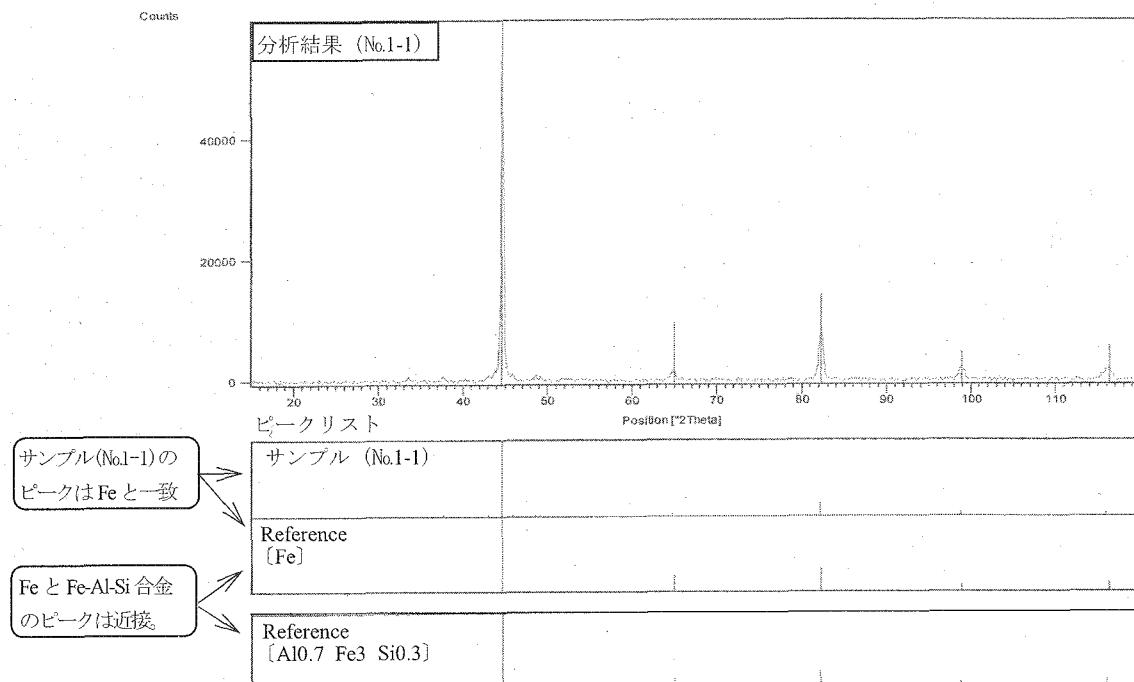


図 4.3-2 X 線回折分析結果(サンプル No.1-1)と Fe 及び Fe-Al-Si ピークとの比較

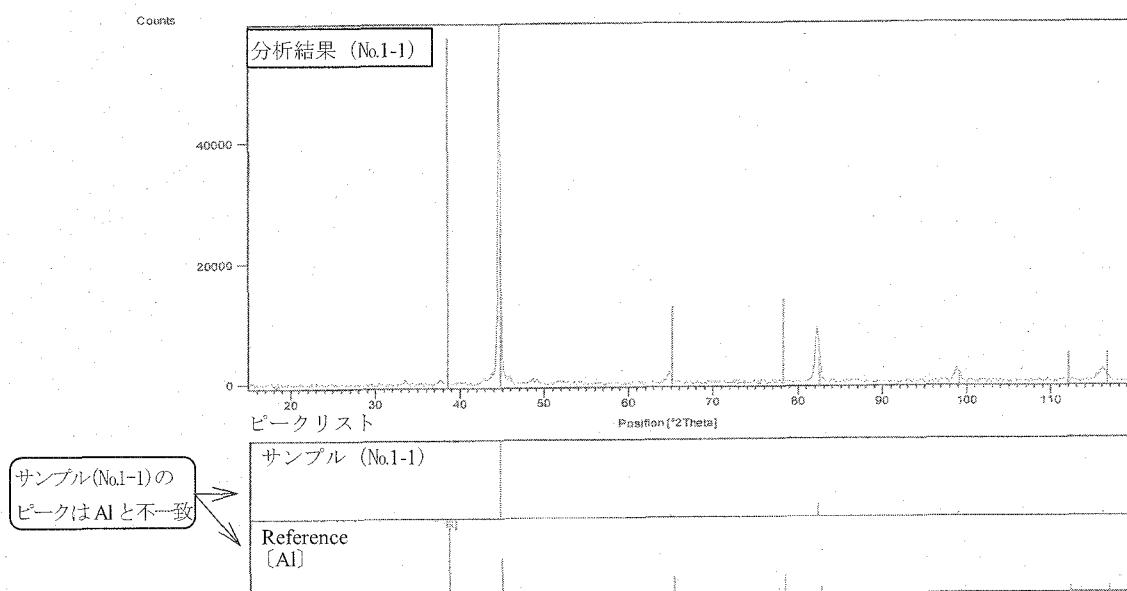


図 4.3-3 X 線回折分析結果(サンプル No.1-1)と Al ピークとの比較

②アルミニウムの投入時期による影響

アルミニウムの投入割合を同じ10%とし、追加投入した場合と予投入した場合の試験結果を比較すると、アルミニウムを予投入した場合には、追加投入時に比べ溶湯の流動性が低い状態が見られた。アルミニウムを予投入した場合、炭素鋼より先にアルミニウムが溶融するため、アルミニウムが鉄と合金化する前にアルミナ化が進み、その影響により溶湯の流動性が低下したと考えられる。

溶融固化体の切断面の状態や、成分分析の結果からは特に投入時期による相違は見られなかつたが、一軸圧縮強度については追加投入した場合の約 $9,000\text{kgf/cm}^2$ に対し予投入した場合の固化体の強度は約 $2,700\text{ kgf/cm}^2$ と30%程度であった。

③アルミニウムの投入形状による影響

アルミニウムの投入割合を同じ10%とし、部材を投入した場合と箔を投入した場合の試験を比較すると、投入時の溶け方や、溶湯の流動性に特に違いは認められなかつた。しかし溶融固化体の切断面の状態においては、金属層へのスラグの混入は、箔で投入した場合の方が多く見られた。

一軸圧縮強度の測定結果では、部材投入時の約 $9,000\text{kgf/cm}^2$ に比べ箔で供給した場合には約 $6,000\text{kgf/cm}^2$ であり、違いはあるものの基準との比較において、有意な差ではなかつた。また、分析結果はほぼ同様の組成成分を示した。この結果、アルミニウムの投入形状による溶融固化体性状への影響は限定的であると判断される。ただし、今回の試験では、廃棄物として想定しづらいことを理由に設定しなかつた、大きな塊状のものや粉末状のアルミニウムを処理する場合には、状態が異なる場合も考えられるため確認が求められる。

④アルミニウム溶融時の助剤使用

今回の試験においては、助剤としてのスラグを投入することなくアルミニウムを溶融することができた。ただし、アルミニウムを投入し完全溶融した後にはスラグを投入しており、溶融アルミニウムの空気との接触を防いだことで、アルミナの生成を抑制していたと考えられる。アルミニウムを予投入したケースでは溶湯流動性の低下が見られており、溶融アルミニウムと空気との接触時間が長くなるに従い、アルミナが生成し溶湯の流動性低下などの影響が生じるものと思われる。その場合には、助剤を必要とする状況が考えられるため、アルミニウムの溶融時には、アルミナ生成を抑制するような投入条件を設定することが重要である。

4.4 助剤量適正化試験

4.4.1 試験の目的

一般的な溶融炉の溶融温度は約1,500°Cである^①が、溶融対象となる廃棄物には融点が高いものが含まれており、それらを溶融する際は融点を下げる目的で助剤を適宜投入する必要がある。助剤の投入は、設備の運用コストや、溶融固化処理の減容効果に影響を及ぼすため、その適正化（最小化）が望まれる。

本試験では、助剤を要すると思われる代表的な廃棄物に対する助剤投入量の適正化について検討するとともに、廃棄物同士の組合せによる助剤投入量の低減を目指した。

また本試験において、溶湯からのサンプリング手法確立に向けて、試作したサンプリング治具によるサンプリングを行い、設備設計のための基礎データとする。

4.4.2 試験条件

- 本試験は小型炉を使用した。
- 初期溶湯の作製に用いる炭素鋼量は一定とする。
- 溶湯への不確定成分の混入を避けるため、溶湯の温度測定は行わない。
- 助剤を要する高融点の無機物系廃棄物として、HEPA フィルタ、ガラス、断熱材を対象とした。
- 助剤量の設定及び廃棄物の組合せ量検討に当たっては、融点1,500°Cを目標とし、スラグの主要3元系図 ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$) により検討した。
- サンプリングしたサンプルの代表性確認は、その成分分析結果を、投入した廃棄物から想定される固化体成分と比較することにより行った。

4.4.3 試験実施要領

- (1) 試験回数 : 7回（単体試験4回、廃棄物組合せ試験3回）
 - *サンプリングは、4.3項のアルミニウム溶融試験（アルミニウム割合10%）及びHEPA フィルタの単体試験にて実施
- (2) 検討対象 : HEPA フィルタ、ガラス、断熱材
- (3) 測定分析項目 :
 - a. キャニスタ底部外表面温度
 - b. サンプルの成分分析
 - 蛍光X線分析（島津製作所 LAB CENTER XRF-1700）
- (4) 試験要領 :
 - ①初装荷金属（炭素鋼）をキャニスタに装荷し、炉内に設置する。
 - ②溶融炉を起動、初装荷金属を溶融し、初期溶湯を形成する。
 - ③所定量の無機物及び助剤を追加投入する。
 - （溶融状況に応じ、助剤を追加する）
 - ④全ての投入及び溶融終了後、サンプリング治具により溶湯サンプル（金属層、スラグ層）を採取する。
 - ⑤サンプルの冷却固化後、成分分析を行う。

(5) 必要助剤量の検討

試験実施に先立ち、各模擬廃棄物の組成を基に、溶融試験で投入する助剤量について検討した。

① 廃棄物単独 (HEPA フィルタ、ガラス、断熱材)

以下の条件で検討を行った。

- ・模擬廃棄物の組成は Al_2O_3 、 SiO_2 が大部分を占めるため (表 4.4-1 参照)、他成分については考慮しない。
- ・模擬廃棄物の組成は代表組成であり、組成のばらつきがあると考えられるため、組成は $\pm 10\%$ 程度の幅にて検討する。
- ・ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系 3 元図を用い、融点が 1500°C 以下となるように助剤量を設定する。

表 4.4-1 試験で使用する模擬廃棄物の組成

模擬 廃棄物	組成 (wt%)			備 考
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
HEPA フィルタ	—	25.7	74.3	・HEPA フィルタの材質は 1 個あたりアルミニウム 2.6kg、 グラスファイバ 1.7kg。 (メーカから聴取) ・溶融時に アルミニウム全量 → Al_2O_3 グラスファイバ全量 → SiO_2 と仮定
ガラス	—	81.0	2.0	・その他 B_2O_3 13%, Na_2O 4%
断熱材	—	52.3	47.1	・メーカカタログより

はじめに、廃棄物に助剤を加えて溶融したときのスラグ組成を $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系 3 元図上で確認し、融点が 1500°C 以下になるような最小助剤量を算出した。また廃棄物の組成変動などを考慮した余裕を見込んだ助剤量を併せて設定した。

次に文献⁷⁾により、スラグ組成から溶湯の粘性を検討した。文献⁷⁾では、「100poise 以下であれば出湯に問題がない」とされているのに対し、上記検討で設定した助剤量では、ガラス溶融時に粘性が 2000poise 以上となることが考えられ (図 4.4-1 参照)、流動性の低下が懸念された。そこで、

ガラスの溶融試験時には溶湯の流動性を確認し、必要に応じて助剤の追加を行うこととともに、粘性を考慮した助剤量を設定し、試験に加えた。

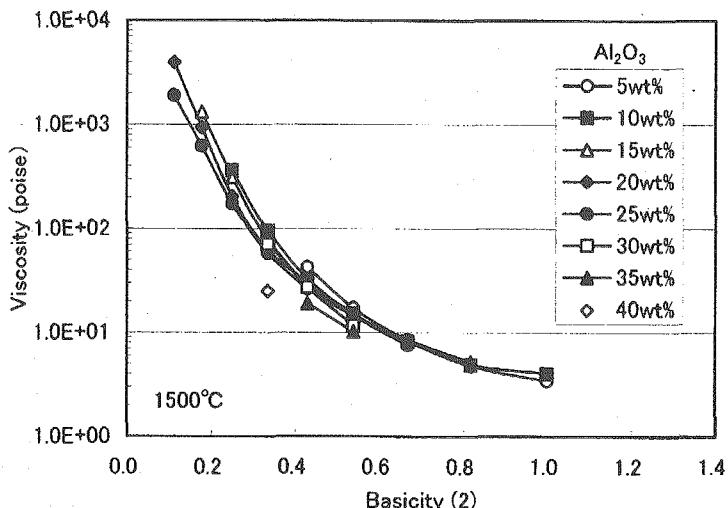


図 4.4-1 溶融スラグの塩基度と粘性の関係 ($1,500^\circ\text{C}$)⁷⁾
[Basicity (2)= $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$]

②廃棄物の組合せ (HEPA フィルタ、ガラス、断熱材)

本試験で対象とする模擬廃棄物の主成分は Al_2O_3 と SiO_2 であり、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系 3 元図から検討すると助剤としては $\text{CaO}100\%$ が最適と考えられる。図 4.4-2 は助剤を $\text{CaO}100\%$ として、廃棄物の組合せによる Al_2O_3 と SiO_2 の割合を変化させたときの助剤量に関する検討結果である。検討条件は前項①と同様である。

検討結果より、HEPA フィルタ、ガラス、断熱材のそれぞれの組成を考慮すると、断熱材+ガラス、HEPA+ガラスでは重量比 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 25 : 75$ の組成に、断熱材+HEPA では重量比 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 50 : 50$ の組成にすることが有効であるとの見通しを得た。

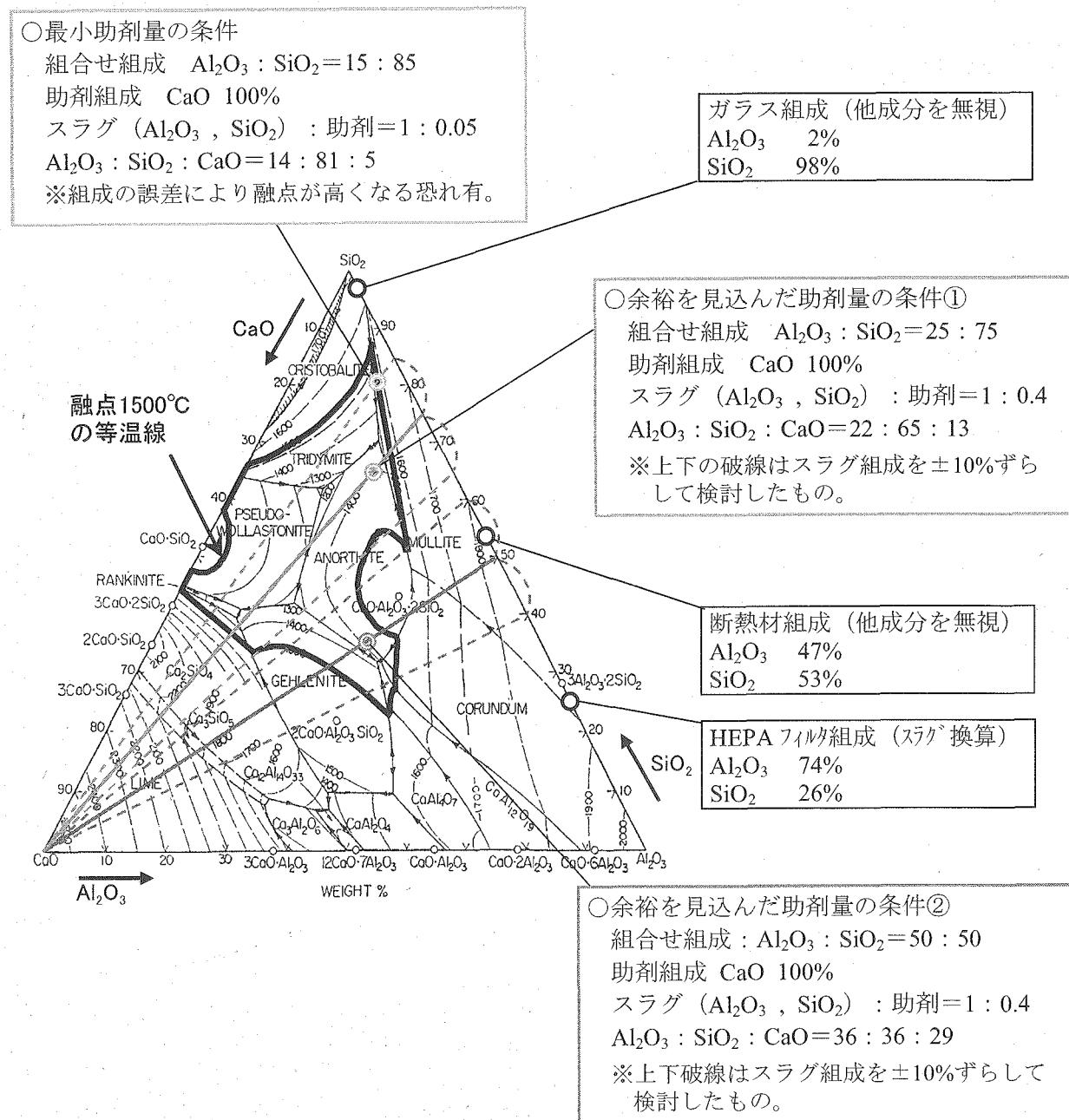


図 4.4-2 廃棄物の組合せた場合の助剤量の検討

4.4.4 試験結果

表 4.4-2 に各試験で実際に投入した廃棄物量、助剤量、溶融状況及び溶湯の物性について示す。溶湯物性は、投入物から推定される溶湯組成により図 4.4-1 と $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系 3 元図を用いて示したものである。ただし、キャニスターなどからの溶出成分については考慮していない。また各廃棄物単独及び各組合せでの溶融状況について、表 4.4-3~8 に示す。

(1) 試験結果

①HEPA フィルタ単体（表 4.4-3 参照）

事前の検討結果に基づき、最小助剤量、余裕を見込んだ助剤量の 2 条件で試験を行った。その結果いずれの場合も溶湯中心に、塊状となった溶け残りを生じ、助剤を追加したが反応性が悪く、溶融はほとんど進まなかった。次に、HEPA フィルタの投入量を 100g から 25g に減らして助剤の割合を大きくとれる条件を設定し、再度試験を実施した。

再試験は、余裕を見込んだ助剤量の条件と同じ助剤割合で行った。この条件で行った 2 回の試験では、溶融状況に違い（溶け残りの有無）が見られた。そこでその後の 2 回の HEPA フィルタの溶融時には、確実な溶融を図り、溶け残りが生じた際追加した助剤量を考慮した条件とした。その結果、HEPA フィルタを 100g とした場合でも、溶け残りはなく溶融が可能であった。このときの粘性は 20~30 poise と推定され、溶湯の流動性は良好であった。

②ガラス単体（表 4.4-4 参照）

事前検討に基づいた、最小助剤量、余裕を見込んだ助剤量の各条件で試験した結果、いずれの条件においても溶け残りは見られなかった。しかし、推定粘性が 300poise 以上と比較的高く、流動性が低い状態であったため助剤を追加した。その結果、助剤追加に伴い溶湯の流動性が向上した。3 回目には、事前に検討した溶湯粘性を考慮した助剤割合の条件にてガラスの溶融を行った。しかしながら、前の 2 回と同様に流動性が低い状態であったため、助剤を追加投入した。その結果推定粘性は 10poise 以下となり、溶湯の流動性が改善された。

③断熱材単体（表 4.4-5 参照）

事前検討による助剤量条件では、溶け残りが生じたが、助剤の追加により溶融は可能であった。次に助剤量の削減を期して、助剤組成を CaO 単体から SiO_2 との組合せに変更して断熱材の溶融を行った。溶け残りが生じたため助剤の追加を繰り返し、合計助剤量が 1 回目に溶融できた際の合計助剤量 40g と同量となったが、溶け残りが見られた。次に再度助剤組成を CaO 単体とし、1 回目の合計助剤量で溶融を行った結果、溶け残りはなかった。

しかしこの後、断熱材を 25g から 100g に増した上で、先の試験で溶融可能であった助剤量条件で 2 度の試験を実施した結果溶け残りが生じた。さらに助剤の追加を行ったが、溶け残りの断熱材は溶湯上に浮き、助剤及び溶湯との反応性が低くほとんど溶融は進まなかつた。

④組合せ試験 1 (HEPA フィルタ+ガラス)

試験時の状況を表 4.4-6 に示す。はじめに、事前検討を基に助剤量を設定して試験を実施した。HEPA フィルタとガラスとの組合せに対し、最小助剤量、余裕を見込んだ助剤量、

粘性を考慮した助剤量の3つの条件により、溶融試験を行った。いずれの条件でも溶け残りはなかったが、溶湯の流動性が低い状態が見られ、このときの各条件における推定粘性は、それぞれ2000poise以上、60poise、20poiseであった。その後、いずれの場合も助剤の追加を行った結果推定粘性は10~20poiseに低下し、溶湯の流動性が向上した。

⑤組合せ試験2(HEPA フィルタ+断熱材、ガラス+断熱材)

試験時の状況を表4.4-7、8に示す。はじめに行ったHEPA フィルタと断熱材についての最小助剤量の組合せでは、断熱材が溶け残り、助剤20gを追加しても溶融状況の改善は見られなかった。これは断熱材単独での溶融時と同様に、溶け残りの断熱材が溶湯に浮いた状態となり、反応が進まなかつたためと考えられる。

次に行なったガラスと断熱材の組合せにおける最小助剤量の条件でも、断熱材の溶け残りが生じた。しかし、助剤を30g追加した結果溶融は可能であった。本条件においては、断熱材量が45gと少ないため、上記の条件に比べて断熱材体積に対する表面積比が大きく、断熱材と溶湯及び助剤との反応性が改善されたと思われる。

⑥組合せ試験3(HEPA フィルタ+ガラス、ガラス+断熱材、HEPA フィルタ+断熱材)

本試験では、先に実施した2回の組合せ試験の結果に基づき、廃棄物の組合せに対し、最適と思われる助剤量の条件にて試験を行なった。(表4.4-6~8参照)

HEPA フィルタとガラスの組合せでは、組合せ試験1で追加投入した助剤量を考慮し、HEPA フィルタ51g、ガラス49g、助剤(CaO)58gの条件とした。その結果、溶け残りは見られず溶融可能であった。

HEPA フィルタと断熱材の組合せでは、断熱材単独の溶融試験の状況などから、断熱材が溶け残ることが予想された。そこで、断熱材の溶湯や助剤との反応性を向上し、溶融を促進する目的で断熱材を約2~3cmに細断して投入した。助剤量は、組合せ試験2で投入した全助剤量を考慮した割合(HEPA フィルタ3g、断熱材47g、助剤(CaO)30g)とした。その結果、さらに10gの助剤追加が必要であったものの、溶融可能であった。

ガラスと断熱材の組合せについても、組合せ試験2で投入した全助剤量を考慮し、ガラス55g、断熱材45gに対し、助剤(CaO)を75g投入した。その結果、溶け残りは見られず、溶融することができた。

表 4.4-2 助剤量適正化試験 投入廃棄物および助剤量と溶融状況

		廃棄物重量(g)			助剤量(g)			追加助剤量(g) ^{*1}			溶湯物性 ^{*3}			備考
		HEPA フィルタ	ガラス	断熱材	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	溶融 ^{*2}	粘性 (poise)	融点 (°C)		
廃 棄 物 単 独	HEPA フィルタ	100	—	—	18	74	—	30	—	×	40~50	1,500	最小助剤量	
	HEPA フィルタ	100	—	—	52	78	—	30	30	×	30~40	1,500	余裕見込	
	HEPA フィルタ	25	—	—	13	20	—	—	—	○	40~50	1,500		
	HEPA フィルタ	25	—	—	13	20	—	5	10	○	20~30	1,500		
	HEPA フィルタ	50	—	—	34	51	—	—	—	○	20~30	1,400		
	HEPA フィルタ	100	—	—	68	101	—	—	—	○	20~30	1,400		
	ガラス	—	101	—	—	7	10	—	30	○	40~50	1,300	最小助剤量	
	ガラス	—	101	—	—	12	12	—	30	○	30~40	1,400	余裕見込	
	ガラス	—	102	—	—	41	—	—	90	○	~10	1,500	粘性考慮	
	断熱材	—	—	25	—	10	12	—	—	○	—	1,900	余裕見込	
廃 棄 物 組 合 せ	断熱材	—	—	25	—	8	12	—	—	○	—	1,800		
	断熱材	—	—	25	—	40	—	—	—	○	—	1,900		
	断熱材	—	—	100	—	160	—	—	—	○	—	1,900		
	断熱材	—	—	100	—	160	—	—	—	○	—	1,900		
	HEPA+ガラス	10	90	—	—	5	—	—	50	○	10~20	1,500	最小助剤量	
	HEPA+ガラス	20	80	—	—	15	—	—	40	○	10~20	1,400	余裕見込	
	HEPA+断熱材	52	49	—	—	48	—	—	10	○	10~20	1,400	粘性考慮	
3 ガラス+断熱材	HEPA+ガラス	6	—	94	—	41	—	—	20	×	10~20	1,500	最小助剤量	
	HEPA+ガラス	—	55	45	—	45	—	—	30	○	~10	1,500	最小助剤量	
	HEPA+断熱材	—	55	45	—	75	—	—	—	○	~10	1,400		
	HEPA+断熱材	3	—	47	—	30	—	—	10	○	~10	1,500		

*1：追加助剤量は、追加助剤の合計量を示す。(実際には数回分けて投入している場合あり)

*2：廃棄物・助剤及び追加助剤を加えた際の溶融状況を示す。(○=溶融、×=溶融せず)

*3：投入物組成から溶湯組成を推定し、粘性は図4.4-1により、融点はAl₂O₃-CaO-SiO₂の3元図から求めた。なお、断熱材溶融時の粘性は、図4.4-1のデータ範囲から逸脱しているため、ブランクとした。

表 4.4-3 助剤量適正化試験 HEPA フィルタの溶融状況(1/2)

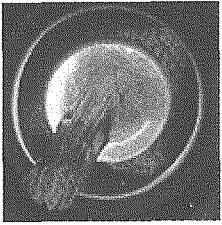
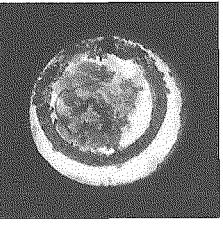
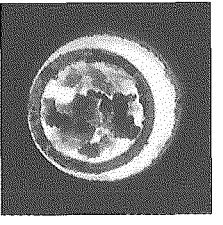
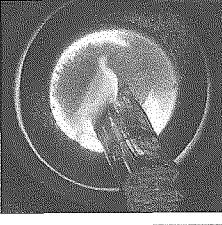
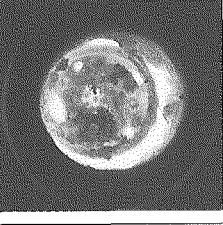
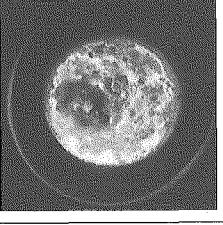
助剤量条件	溶融状況		
<p>●最小助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 100g ・助剤 SiO₂ 18g CaO 74g ・追加助剤 SiO₂ 30g <p>[10 分後 30g]</p>			
	<u>投入直後</u>	<u>投入 10 分後</u> 中心に溶け残り。	<u>投入 15 分後</u> 助剤追加するが溶 融せず。
<p>●余裕を見込んだ助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 100g ・助剤 SiO₂ 52g CaO 78g ・追加助剤 SiO₂ 30g CaO 30g <p>[13 分後 各 10g] [19 分後 各 10g] [25 分後 各 10g]</p>			
	<u>投入直後</u>	<u>投入 10 分後</u>	<u>投入 30 分後</u> 助剤追加するが、 表面に硬い膜が張 った状態。

表 4.4-3 助剤量適正化試験 HEPA フィルタの溶融状況(2/2)

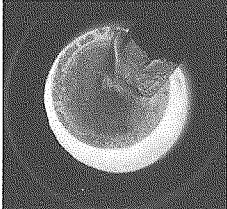
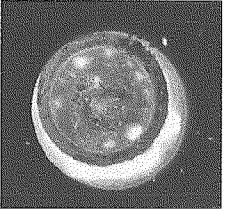
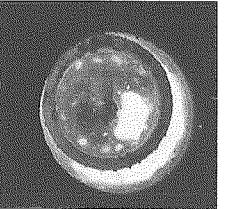
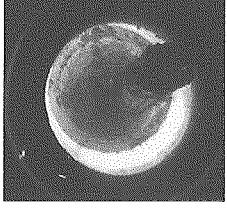
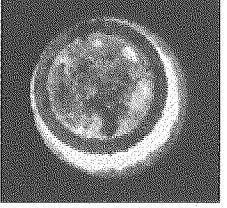
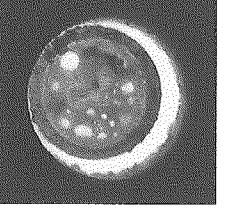
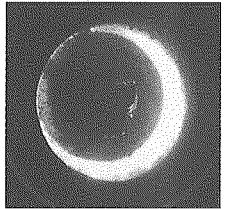
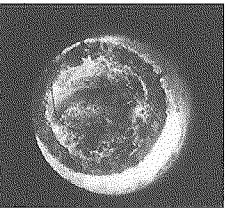
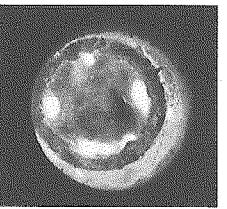
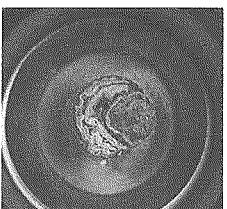
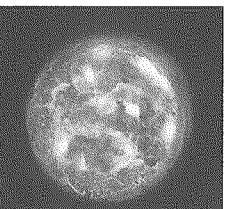
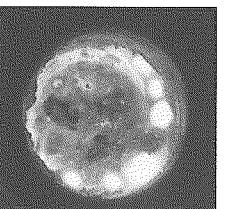
助剤量条件	溶融状況		
	投入直後	投入 5 分後	投入 8 分後 溶融。
●助剤割合増加 ・HEPA フィルタ 25g ・助剤 SiO ₂ 13g CaO 20g			
●助剤割合増加 ・HEPA フィルタ 25g ・助剤 SiO ₂ 13g CaO 20g ・追加助剤 SiO ₂ 5g CaO 10g 〔15 分後 CaO10g〕 〔28 分後 SiO ₂ 5g〕			
●助剤割合増加 ・HEPA フィルタ 50g ・助剤 SiO ₂ 34g CaO 51g			
●助剤割合追加 ・HEPA フィルタ 100g ・助剤 SiO ₂ 68g CaO 101g			

表 4.4-4 助剤量適正化試験 ガラスの溶融状況

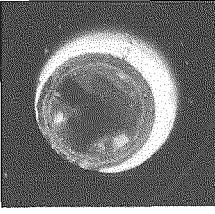
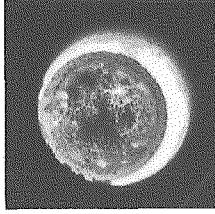
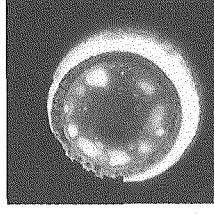
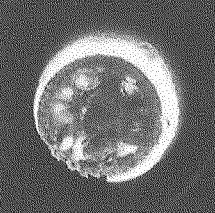
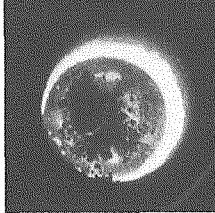
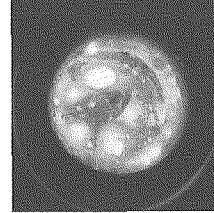
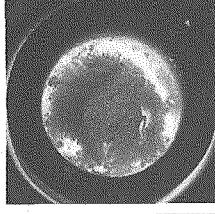
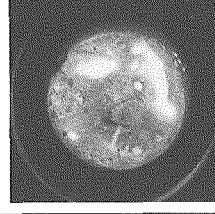
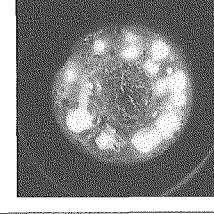
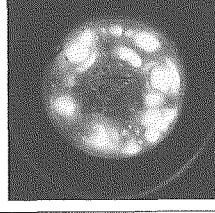
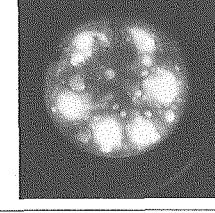
助剤量条件	溶融状況								
<p>●最小助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス 101g ・助剤 Al_2O_3 10g CaO 7g ・追加助剤 CaO 30g <table border="1" style="margin-left: 10px;"> <tr> <td>7 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>11 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>15 分後</td> <td>10g</td> </tr> </table>	7 分後	10g	11 分後	10g	15 分後	10g			
7 分後	10g								
11 分後	10g								
15 分後	10g								
<p>●余裕を見込んだ助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス 101g ・助剤 Al_2O_3 12g CaO 12g ・追加助剤 CaO 30g <table border="1" style="margin-left: 10px;"> <tr> <td>8 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>11 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>15 分後</td> <td>10g</td> </tr> </table>	8 分後	10g	11 分後	10g	15 分後	10g			
8 分後	10g								
11 分後	10g								
15 分後	10g								
<p>●粘性を考慮した助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス 102g ・助剤 CaO 41g ・追加助剤 CaO 90g <table border="1" style="margin-left: 10px;"> <tr> <td>8 分後</td> <td>30g</td> </tr> <tr> <td>13 分後</td> <td>30g</td> </tr> <tr> <td>20 分後</td> <td>30g</td> </tr> </table>	8 分後	30g	13 分後	30g	20 分後	30g			
8 分後	30g								
13 分後	30g								
20 分後	30g								
									
	<p>投入 20 分後 中心部に膜。周辺 の粘性は高い。 助剤追加投入。</p>	<p>投入 25 分後 助剤追加により溶 融。溶湯の流動性 も有。</p>							

表 4.4-5 助剤量適正化試験 断熱材の溶融状況

助剤量条件	溶融状況		
●余裕を見込んだ助剤量 ・断熱材 25g ・助剤 CaO 10g ・追加助剤 CaO 30g 10 分後 5g 15 分後 5g 19 分後 5g 24 分後 5g 29 分後 5g 33 分後 5g			
●助剤組成変更 ・断熱材 25g ・助剤 SiO ₂ 8g CaO 12g ・追加助剤 CaO 20g 6 分後 5g 9 分後 5g 11 分後 10g			
●助剤割合増加 ・断熱材 25g ・助剤 CaO 40g			
●助剤割合増加 ・断熱材 100g ・助剤 CaO 160g ・追加助剤 CaO 40g 25 分後 20g 34 分後 20g			

表 4.4-6 助剤量適正化試験 HEPA フィルタ+ガラスの溶融状況

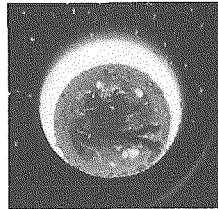
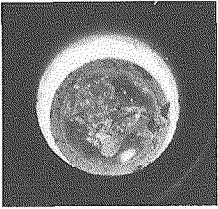
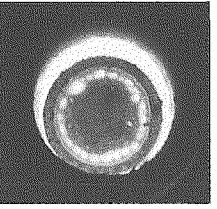
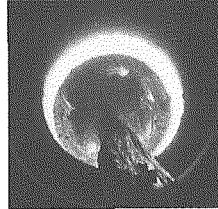
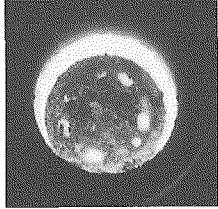
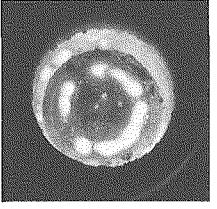
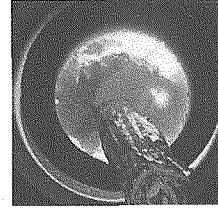
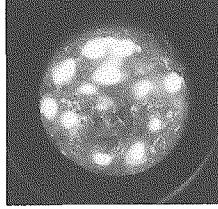
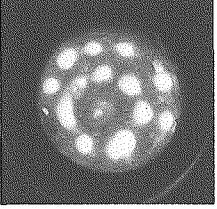
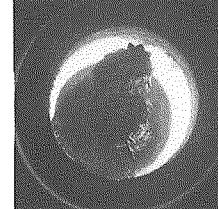
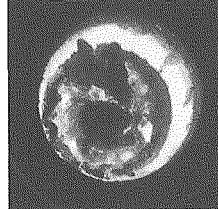
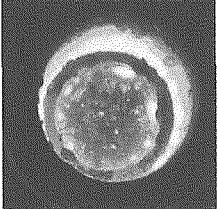
助剤量条件	溶融状況												
<p>●最小助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 10g ・ガラス 90g ・助剤 CaO 5g ・追加助剤 CaO 50g <table border="0"> <tr> <td>6 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>10 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>15 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>20 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>25 分後</td> <td>10g</td> </tr> </table>	6 分後	10g	10 分後	10g	15 分後	10g	20 分後	10g	25 分後	10g			
6 分後	10g												
10 分後	10g												
15 分後	10g												
20 分後	10g												
25 分後	10g												
<p>●余裕を見込んだ助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 20g ・ガラス 80g ・助剤 CaO 15g ・追加助剤 CaO 40g <table border="0"> <tr> <td>8 分後</td> <td>20g</td> </tr> <tr> <td>15 分後</td> <td>10g</td> </tr> <tr> <td>20 分後</td> <td>10g</td> </tr> </table>	8 分後	20g	15 分後	10g	20 分後	10g							
8 分後	20g												
15 分後	10g												
20 分後	10g												
<p>●粘性を考慮した助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 52g ・ガラス 49g ・助剤 CaO 48g ・追加助剤 CaO 10g <table border="0"> <tr> <td>13 分後</td> <td>10g]</td> </tr> </table>	13 分後	10g]											
13 分後	10g]												
<p>●最適条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 51g ・ガラス 49g ・助剤 CaO 48g 													

表 4.4-7 助剤量適正化試験 ガラス+断熱材の溶融状況

助剤量条件	溶融状況		
<p>●最小助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス 55g ・断熱材 45g ・助剤 CaO 45g ・追加助剤 CaO 30g <p>$\begin{bmatrix} 22 \text{ 分後} & 20\text{g} \\ 28 \text{ 分後} & 10\text{g} \end{bmatrix}$</p>			
<p>●最適条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス 55g ・断熱材 45g ・助剤 CaO 75g 			

表 4.4-8 助剤量適正化試験 HEPA フィルタ+断熱材の溶融状況

助剤量条件	溶融状況		
<p>●最小助剤量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 6g ・断熱材 94g ・助剤 CaO 41g ・追加助剤 CaO 20g <p>$\begin{bmatrix} 26 \text{ 分後} & 10\text{g} \\ 32 \text{ 分後} & 10\text{g} \end{bmatrix}$</p>			
<p>●最適条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEPA フィルタ 3g ・断熱材 47g ・助剤 CaO 30g ・追加助剤 CaO 10g <p>$\begin{bmatrix} 21 \text{ 分後} & 10\text{g} \end{bmatrix}$</p>			

⑦サンプリング

図 4.4-3 に示すサンプリング治具を使用して、アルミニウム溶融試験（アルミ 10%）及び HEPA フィルタ単体溶融の各試験時、対象物溶融後にサンプル採取を行った。

サンプルは、サンプリング治具の 2 つサンプリング孔の間にスラグ層、金属層の界面がくるように治具を溶湯内に挿入し、約 1~2 分経過後、引き上げることで採取した。比重の違いにより治具下側には金属、上側にスラグのサンプルが採取できた。

治具の溶湯からの引き上げ時、治具表面には溶湯の付着が見られたが、溶湯の垂れや糸を引くといった、治具の移送に支障をきたす事象はなかった。（図 4.4-4 参照）

サンプリング治具は、一方はサンプリング孔を上に向けた状態、もう一方は立てた状態で自然放冷した。いずれの場合も、治具のサンプリング孔からの溶湯の流出はなく、採取したサンプルは治具内で速やかに固化した。

冷却後、サンプリング治具を割り、金属とスラグの各サンプルを取り出した。サンプリング治具の主成分は酸化物 (SiO_2) であり、金属サンプルは治具から容易に脱離することが可能であったが、スラグサンプルは治具に固着しており、分離には比較的手間を要した。（図 4.4-5、6 参照）

得られたサンプルは成分分析を行い、投入物から想定される固化体組成との比較を行った。（表 4.4-9、10 参照）

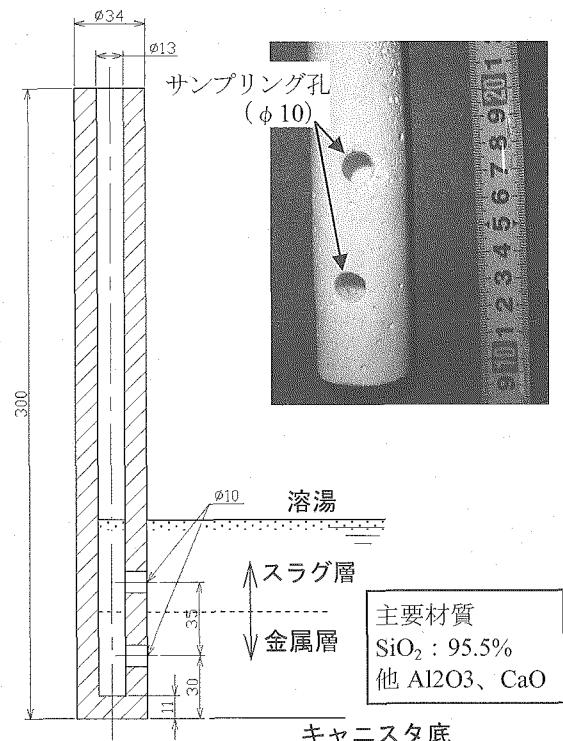


図 4.4-3 サンプリング治具外形

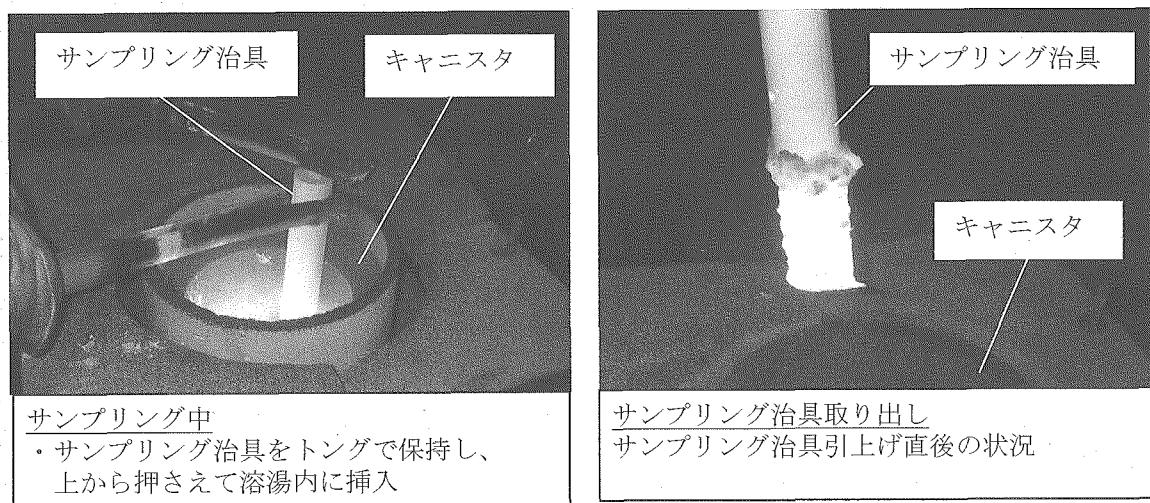


図 4.4-4 サンプリング試験 サンプリング状況

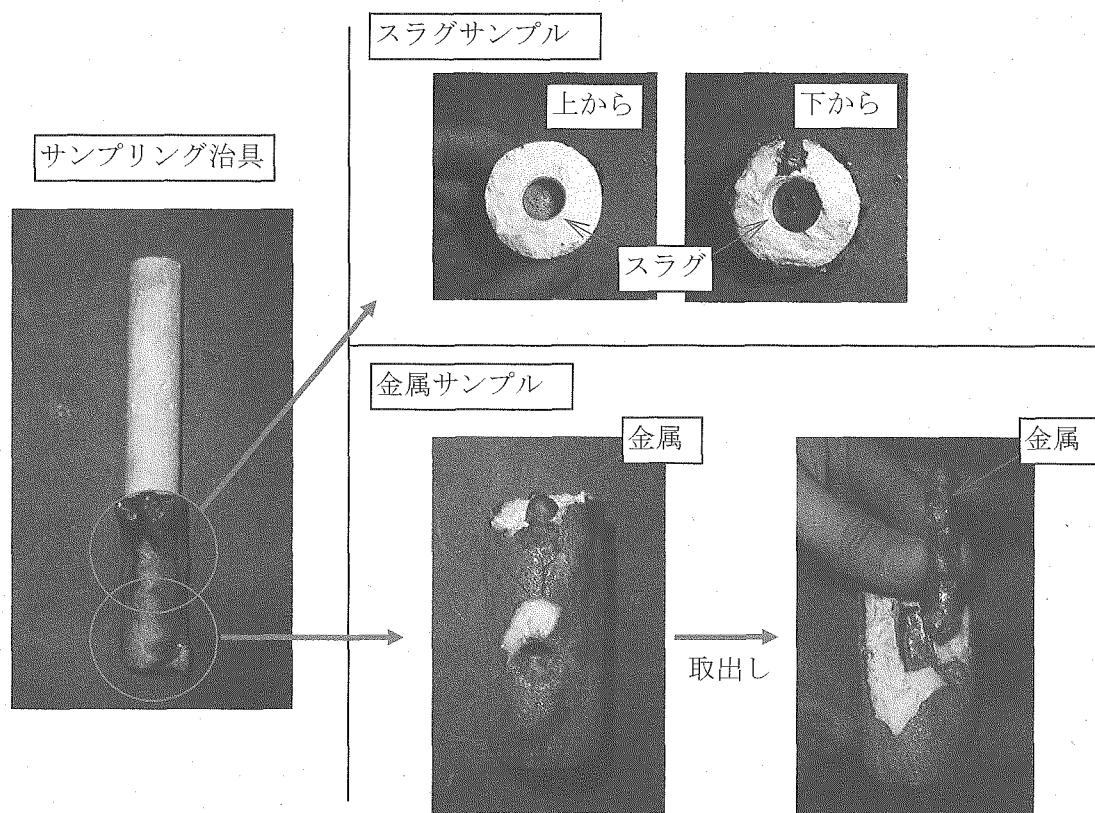


図 4.4-5 アルミニウム溶融試験(10%)時サンプル取り出し状況

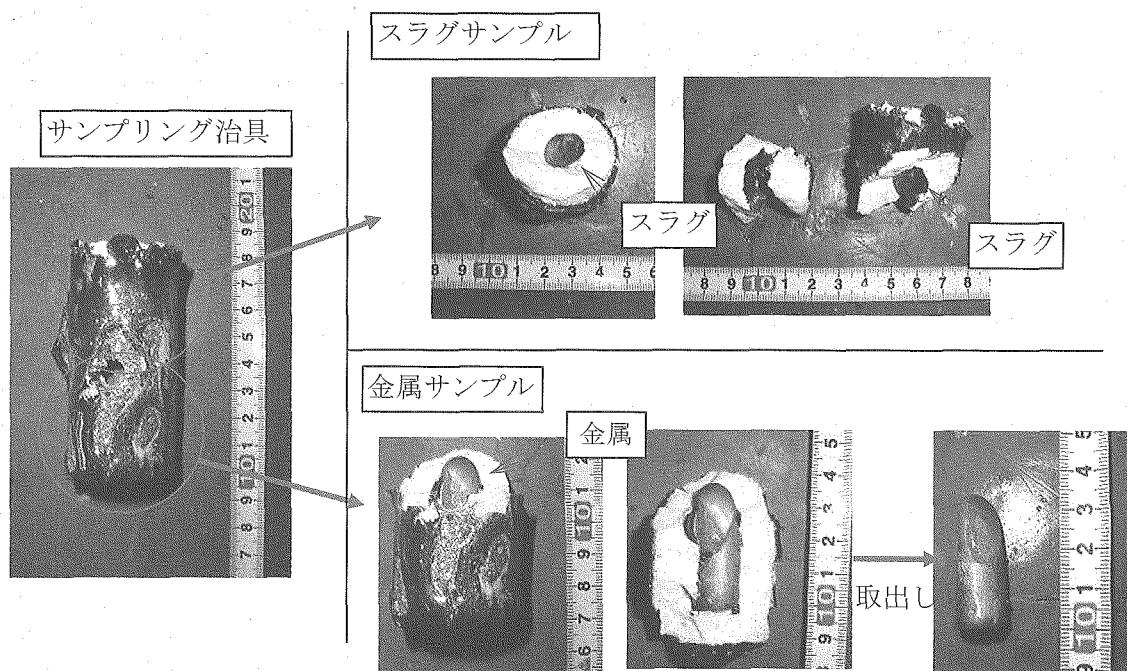


図 4.4-6 助剤量適正化試験(HEPA フィルタ単体)時サンプル取り出し状況

表 4.4-9 サンプリング試験 金属サンプル分析結果及び予想組成との比較

サンプル採取 対象試験		金属層組成 (wt%)				
		Fe	Al	Si	Mn	P
アルミニウム溶融試験 (アルミニウム 10%)	予想組成 ^{*1}	90.1	9.9	—	—	—
	分析結果	86.9	10.5	2.3	0.2	0.1
助剤量適正化試験 (HEPA フィルタ単体)	予想組成 ^{*1}	100	—	—	—	—
	分析結果	95.7	—	3.4	0.6	0.2

*1：投入物のうち炭素鋼は Fe100%、アルミニウムは Al 100%とした。

表 4.4-10 サンプリング試験 スラグサンプル分析結果及び予想組成との比較

サンプル採取 対象試験		スラグ層組成 (wt%)									
		CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	BaO	MnO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
アルミニウム溶融試験 (アルミニウム 10%)	予想組成 ^{*1}	27.5	15.4	49.5	4.6	2.7	—	—	—	—	—
	分析結果	23.3	35.8	34.0	4.3	2.3	—	—	—	0.2	0.1
助剤量適正化試験 (HEPA フィルタ単体)	予想組成 ^{*2}	34.7	29.6	34.3	0.9	0.5	—	—	—	—	—
	分析結果	24.2	42.4	29.8	1.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1

*1：投入物のうちスラグには有機分(15.6%)を含む。

*2：表 4.4-2 の投入物に加え、試験後にスラグ層のかさ上げのために追加したスラグ材及び CaO を考慮。スラグ材には、有機分(15.6%)を含む。

4.4.5 確認項目に関する検討

(1) 助剤投入量

本項目については HEPA フィルタ、ガラス、断熱材の各単体及びそれぞれを組合せた溶融試験を実施し、助剤量について検討した。また、その結果に基づいた廃棄物組合せと助剤量により、実規模炉を用いた標準溶融試験の中で溶融試験を行い、助剤量設定の妥当性を確認した。(4.5.5 項(4)参照)

①HEPA フィルタ溶融に対する助剤量

試験前に行った検討において、余裕を見込んで設定した助剤量では溶け残りが生じ、助剤量を約30%増すことで溶融は可能であった。このことから、廃棄物組成から Al₂O₃-CaO-SiO₂ の3元系図に基づいて助剤量を検討する場合には、必要な助剤量に対し、余裕を大きく考慮する必要があることが示唆された。

本試験により確認したHEPA フィルタに対する所要助剤量は表4.4-11の通り HEPA フィルタ 100g に対し、CaO 101g、SiO₂ 68g であった。またこの条件にて形成されたスラグは、それぞれの組成から Al₂O₃ 35%、CaO 31%、SiO₂ 33% となり、このときの粘性は 20~30 poise、融点は約 1400°C と見込まれる。(図4.4-6 参照)

本試験の中で、追加投入まで含めた投入助剤量がほぼ同じ割合であるにも係わらず溶融状況に違いが生じた（表4.4-12参照）。溶け残りが生じた際には、助剤を後から追加投入しており、先に投入したHEPAフィルタが塊状となっていたために、助剤との反応性が低下していたことが原因と考えられる。また、HEPAフィルタの溶け残りは溶湯上に浮いた状態となり、溶融スラグ中の成分との反応も進まなかつたことが考えられる。従って助剤の投入は対象とするHEPAフィルタと同時にを行い、かつHEPA全体に均一に作用するように行うことが重要と思われる。

②ガラス溶融に対する助剤量

ガラスはその主成分が SiO_2 であり溶湯の塩基度が低くなる傾向があり、溶湯の流動性が低い様子が見られ助剤の追加を要した。溶湯の流動性が低い場合、金属層からのスラグ層への伝熱不足や、廃棄物の追加投入に支障をきたす恐れなどが考えられる。従って助剤量の設定にあたっては、溶融後の溶湯組成を推定し、粘性を低く抑えることが必要である。

ガラスを対象とした本試験においては、3回の追加投入ガラスの合計304gとそれに対する助剤の全量（CaO 210g、 Al_2O_3 22g）を溶融した最終の溶湯は、粘性10poise以下となり流動性が良好であった。従ってガラス溶融時の所要助剤量としては、その時点の組成となる助剤割合とし、ガラス100gに対し、CaO 71g、 Al_2O_3 8gとした（表4.4-11参照）。このときのスラグ組成は、 Al_2O_3 6%、CaO 44%、 SiO_2 50%であり、粘性は10poise以下、融点は約1500°Cとなる（図4.4-7参照）。

③断熱材溶融に対する助剤量

断熱材の溶融試験では、25gの断熱材溶融に要した助剤割合の条件で、断熱材を100gとした際に溶け残りを生じた。またこのときには、助剤を追加しても溶融できない状態であった。これは、断熱材量を増したことで断熱材の塊が大きくなつたことが関係すると思われる。断熱材の溶融は、断熱材と溶湯とが接触する境界部分で生じるため、断熱材の塊が大きくなつた場合、体積に対するその面積比の減少により反応性が低下すると考えられる。

後述する廃棄物組合せ試験において実施した、断熱材とHEPAフィルタとを組合せた溶融試験の中では、断熱材を細断して投入したところ、断熱材が95wt%を占める条件であつたにも係わらず、比較的少ない助剤量（HEPAフィルタ+断熱材 計50gに対し、CaO40g）で溶融が可能であった。これは断熱材と溶湯との接触性を改善した効果によるものと考えられ、断熱材は細断し、助剤と混合して投入することが必要と考えられる。

なお、投入物から推定した溶湯組成による試験時の融点は約1900°Cとなった（表4.4-2参照）。これは、溶融を進めるために投入した助剤（CaO）により組成が偏ったためであるが、実際には過剰な助剤が断熱材の溶融に寄与せずに残存していた可能性や、断熱材組成のばらつきや、キャニスターからの溶出成分などの影響により融点が低かった可能性などが考えられる。

断熱材に対する所要助剤量は、HEPAフィルタとの組合せ時の助剤量が適切と判断し、表4.4-11の通り、断熱材100gに対し、CaO 80gとした。その際のスラグ組成は Al_2O_3 26%、CaO 45%、 SiO_2 29%となる。このときの粘性は10poise以下、融点は約1600°Cとなる（図4.4-8参照）。1500°Cの溶融温度からは逸脱しているが、上記と同様に断熱材実際の溶湯組成からずれていると考えられる。

表 4.4-11 試験結果に基づく個々の廃棄物に対する所要助剤量

溶融対象物		助剤組成(%)			助剤量(g)			備考
名称	重量(g)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
HEPA フィルタ	100	60	40	—	101	68	—	169
ガラス	100	90	—	10	71	—	8	79
断熱材	100	100	—	—	80	—	—	80 要細断

注：溶融対象物の重量を 100g とした。

表 4.4-12 HEPA フィルタ溶融時助剤量の比較

HEPA フィルタ 重量(g)	投入助剤量(g)						溶融 ^{*1} 状況	備考		
	初期		追加		合計					
	SiO ₂	CaO	SiO ₂	CaO	SiO ₂	CaO				
100	52	78	30	30	82	108	×	表 4.4-2 参照		
100	68	101	0	0	68	101	○			

*1 : HEPA フィルタ、助剤及び追加助剤を加えた際の溶融状況を示す。 (○=溶融, ×=溶融せず)

④助剤投入量の減容効果に対する影響

今回の試験を通じてHEPAフィルタ、ガラス、断熱材に対して設定した助剤量は、溶融対象物の重量に対し少くない（表4.4-11）。特にHEPAフィルタに関しては投入重量100gに対して169 g の助剤が必要となっており、溶融処理の目的である減容効果の低下が懸念される。しかしHEPAフィルタと断熱材について、表4.4-11に示した助剤量を加えて溶融した場合の減容比を算出すると、それぞれ 1/25、2/25程度と推定され、助剤を加えての溶融処理により十分な減容効果が期待される。（ガラスについてはその元の形状（かさ密度）により減容比が大きく異なるため省略）

⑤廃棄物の組合せによる助剤量の低減

廃棄物の組合せによる助剤量の低減について試験を行い、検討した。廃棄物の組合せは「HEPA フィルタとガラス」、「ガラスと断熱材」、「HEPA フィルタと断熱材」とした。

1) HEPA フィルタ+ガラスの組合せ

HEPA フィルタとガラスの組合せ条件を変えて、最小助剤量、余裕を見込んだ助剤量、粘性を考慮した助剤量の3条件により溶融試験を行った。粘性を考慮した条件では、粘性が約20poiseとなるように助剤量を設定していたにも係わらず、いずれの場合も溶湯流動性の低い状態となり助剤の追加を要した。粘性を考慮した条件でも、溶湯の流動性が低い状態となった理由としては、キャニスターなどからの溶出成分の影響により、実際の溶湯組成と推定組成に違いがあったことなどが考えられる。

本試験における追加助剤を含めた助剤量と、それぞれの条件で各溶融対象物を単独で溶融した場合に要する助剤量とを比較し、減少率を算出した（表4.4-13参照）。

その結果、いずれの条件でもHEPA フィルタとガラスを組合せることにより、各廃棄物を単独で溶融する場合に比べ、助剤量を減らせることを確認した。最も効果的な組合せ条件は、Al₂O₃ : SiO₂の重量比が50 : 50とする組合せであり、約50%の低減が可能で

あった。HEPAフィルタとガラスとを組合せた場合の適正な助剤量は、この条件に従うものとし、HEPAフィルタとガラス各50gに対し、CaO 58gとした。このときのスラグの組成は、図4.4-9に示す通り Al_2O_3 33%、CaO 33%、 SiO_2 34%であり、融点約1500°C、粘性は約20poiseと推定される。

表 4.4-13 HEPA フィルタとガラスの組合せ条件による助剤の減少効果

組合せ条件			単独溶融時 ^{*1} 助剤量(g)			組合せ時 ^{*1} 助剤量(g)		*2 減少率	
	$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$ (重量比)	投入量(g)	HEPA フィルタ	ガラス	合計	事前検討	試験結果		
最小助剤量	85:15	10	90	17	71	88	5	55	38%
余裕見込み	75:25	20	80	34	63	97	15	55	43%
粘性を考慮	50:50	51	49	86	39	125	48	58	54%

*1：単独溶融時の各廃棄物に対する助剤組成と量は表 4.4-11 参照。

組合せ時の助剤組成は、CaO 100% とする。

*2：減少率(%) = (1-組合せ時助剤量(試験結果)／単独溶融時の助剤量合計) × 100

2) ガラス+断熱材の組合せ

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ の 3 元系図により検討した助剤設定での溶融では断熱材が溶け残り、助剤の追加を要した。これは断熱材単独で溶融した場合と同様に、断熱材の反応性に起因するものと考えられる。従って断熱材は細断し、助剤との反応を促進することが適當と考えられる。本試験の結果からの適正助剤量は、追加助剤を含んだ助剤量とし、ガラス 55g、断熱材 45g に対し、CaO 75g とした。このときスラグの組成は、図 4.4-10 に示す通り Al_2O_3 13%、CaO 45%、 SiO_2 41% であり、融点 1400°C、粘性は 10poise 以下と推定される。

3) HEPA フィルタ+断熱材の組合せ

本試験では、断熱材を細断して投入した。このときの助剤量設定は、HEPA フィルタ 3g、断熱材 47g の組合せに対し、CaO 40g であり、投入物に基づくスラグ組成は Al_2O_3 28%、CaO 44%、 SiO_2 28% となり、融点は 1600°C、粘性は 10poise 以下となる（図 4.4-11 参照）。溶融温度が 1500°C の範囲を逸脱しているが、これは断熱材単独の溶融時と同様に、ここでは HEPA フィルタや断熱材の組成のばらつきや、キャニスターなどからの溶出成分を見込んでいないため、実際のスラグ組成とのずれが生じたためと考えられる。

4) 廃棄物組合せの効果

表 4.4-14 に HEPA フィルタ、ガラス、断熱材をそれぞれ単独で溶融した場合と、組合せて溶融した場合で必要とした助剤量を比較し、減少率を算出した結果を示す。今回確認したいずれの組合せにおいても助剤の減少効果が得られている。しかし、断熱材を含む 2 つの組合せでは、減少率は 6% であり助剤の減少効果は限定的である。ただし、この 2 つの組合せにおける助剤の必要量は、断熱材を細断せずに投入した際の結果に基づいて設定している。従って、断熱材を細断した場合にはより少ない助剤量で溶融することが可能と思われ、減少効果の向上が期待される。

今回組合せに用いたHEPAフィルタ、ガラス、断熱材から溶融時に生成が考えられる主なスラグ成分としては、 Al_2O_3 と SiO_2 のみである。そのため、助剤として CaO が必要となつたが、 CaO を生成する廃棄物を溶融対象物とすれば、その廃棄物との組合せが助剤量の低減に有効と考えられる。

表 4.4-14 溶融対象物の組合せによる助剤の減少効果

組合せ	投入量(g)			単独溶融時の助剤量(g) ^{*1}				組合せ時 ^{*1} 助剤量(g)	*2 減少率
	HEPA フィルタ	ガラス	断熱材	HEPA フィルタ	ガラス	断熱材	合計		
HEPA フィルタ + ガラス	51	49	—	86	39	—	125	58	54%
ガラス + 断熱材	—	55	45	—	43	36	79	75	6%
HEPA フィルタ + 断熱材	3	—	47	5	—	38	43	40	6%

*1：単独溶融時の各廃棄物に対する助剤組成と量は表 4.4-11 参照。

組合せ時の助剤組成は、 CaO 100% とする。

*2：減少率(%) = $(1 - \text{組合せ時助剤量} / \text{単独溶融時の助剤量合計}) \times 100$

⑥まとめ

今回行った試験結果により、HEPAフィルタ、ガラス、断熱材あるいはこれらを組合せて溶融する場合の助剤量を設定した。試験実施前には、投入物から推定した溶湯組成が $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ 系3元図において融点1500°C以下となるように助剤量を検討した。しかし試験の結果、融点のみではなく溶湯の粘性を低く抑える(30poise以下程度)ような助剤設定が必要であった。また、断熱材に関してはその反応性を向上させるために細断を要することが確認された。

溶融処理時の助剤量を減らすことは、設備の運用コスト低減にも有効であり減容効果の点からも必要である。今回、廃棄物の組み合わせにより助剤量を低減できる可能性について見通しを得たが、今後、より適した助剤組成の設定や、廃棄物及び助剤の投入方法の改善など、さらに必要助剤量を減らす方策について検討することは、溶融固化処理の適用に際し有効と考えられる。

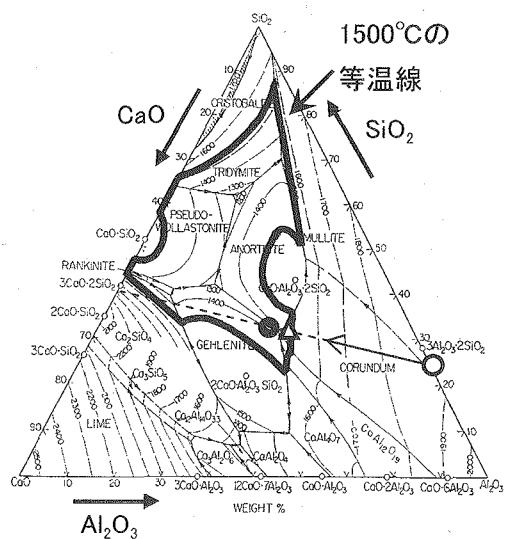


図 4.4-6 HEPA フィルタに対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

- : HEPA フィルタのスラグ換算組成
[Al_2O_3 74%, SiO_2 26%]
- △ : 助剤量検討結果
助剤 $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 60 : 40$
HEPA フィルタ起源スラグ : 助剤 = 1 : 0.85
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 40 : 32 : 28$
- ◎ : 試験結果
助剤 $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 60 : 40$
HEPA フィルタ起源スラグ : 助剤 = 1 : 1.1
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 35 : 33 : 31$

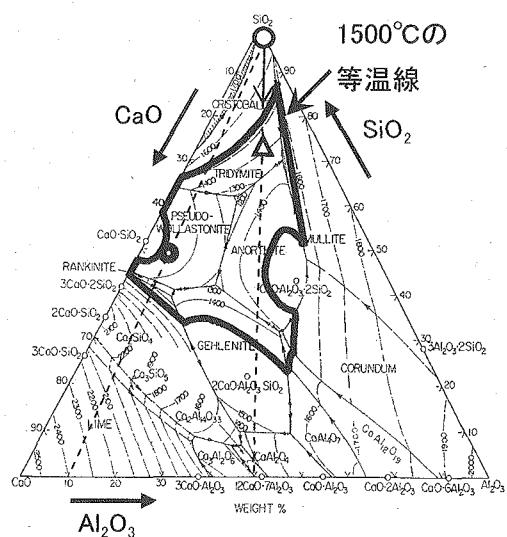


図 4.4-7 ガラスに対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

- : ガラスのスラグ換算組成
[Al_2O_3 2%, SiO_2 98%]
- △ : 助剤量検討結果
助剤 $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 50 : 50$
ガラス($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ のみ) : 助剤 = 1 : 0.3
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 14 : 75 : 12$
- ◎ : 試験結果
助剤 $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 90 : 10$
ガラス($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ のみ) : 助剤 = 1 : 0.95
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 6 : 50 : 44$

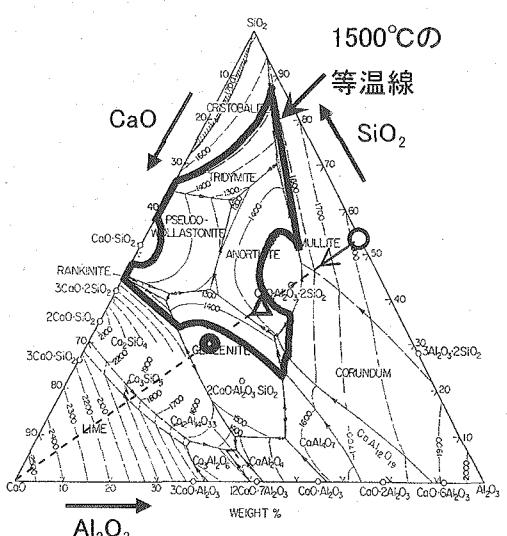


図 4.4-8 断熱材に対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

- : 断熱材のスラグ換算組成
[Al_2O_3 47%, SiO_2 53%]
- △ : 助剤量検討結果
助剤 $\text{CaO} = 100\%$
断熱材($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ のみ) : 助剤 = 1 : 0.4
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 34 : 38 : 29$
- ◎ : 試験結果
助剤 $\text{CaO} = 100\%$
断熱材($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ のみ) : 助剤 = 1 : 0.8
 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 26 : 29 : 45$

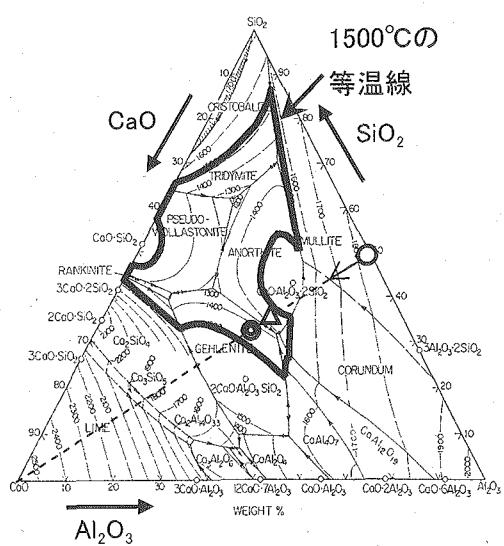


図 4.4-9 HEPA フィルタ+ガラスの組合せに対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

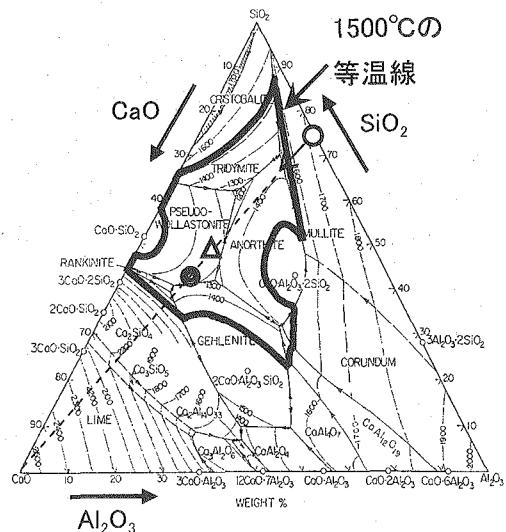


図 4.4-10 ガラス+断熱材の組合せに対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

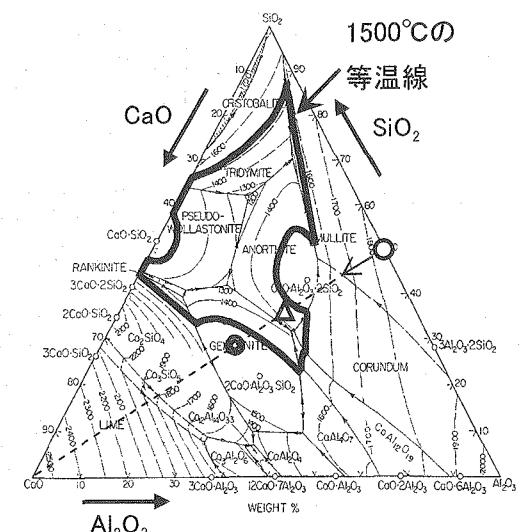


図 4.4-11 HEPA フィルタ+断熱材の組合せに対する助剤量（事前検討結果及び試験結果）

○ : HEPA フィルタとガラスの組合せの組成

[Al_2O_3 50%, SiO_2 50%]

△ : 助剤量検討結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.4

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 36 : 36 : 29$

○ : 試験結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.5

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 33 : 34 : 33$

○ : ガラスと断熱材の組合せの組成

[Al_2O_3 25%, SiO_2 75%]

△ : 助剤量検討結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.5

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 16 : 50 : 33$

○ : 試験結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.83

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 13 : 41 : 45$

○ : HEPA フィルタと断熱材の組合せの組成

[Al_2O_3 50%, SiO_2 50%]

△ : 助剤量検討結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.4

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 36 : 36 : 29$

○ : 試験結果

助剤 $\text{CaO}=100\%$

スラグ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) : 助剤 = 1 : 0.78

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaO} = 28 : 28 : 44$

4.5 標準溶融試験

4.5.1 試験の目的

標準溶融試験では、実規模炉を使用した溶融試験の実施を通じて、他の試験にも関連した設定値や項目の確認を行うと共に、溶湯液面測定の有効性や、投入間隔時間の確認、溶融固化体の均一性といった種々の設計データの取得を目的として試験を実施した。

(以下 a～j)

- a. か焼処理後廃棄物の溶融処理が可能であることの確認。
- b. 高温に曝される投入装置などの機器健全性の確認。
- c. 廃棄物投入に係わる溶湯液面測定方法の有効性確認。
- d. 溶融助剤量などの設定の妥当性の確認。
- e. 廃棄物投入間隔に係わる各廃棄物の溶融時間の確認。
- f. 溶融固化体の均一性及び強度の確認。
- g. 溶融時、溶融後のキャニスタ周辺温度の測定。
- h. スリーブや炉内への溶湯飛散（付着）状態の確認。
- i. 溶融時の排ガス中の酸性ガス濃度の測定。
- j. ITV を用いた炉内監視及び炉内損耗状態把握の可否の確認。

4.5.2 試験条件

- 本試験は、実規模炉を使用した。
- 本試験では、以下の 3 試験を実施した。
 - ①標準溶融試験 1：炭素鋼とスラグ材のみ溶融。固化体の均一性などを確認
 - ②標準溶融試験 2：無機物の組合せに対する助剤量設定の確認と酸性ガスの分析
 - ③標準溶融試験 3：か焼処理後の灰及び焼却筒を含んだ溶融、酸性ガスの分析
- 溶融炉の出力は、投入物量に応じて事前に設定し、そのパターンに従って運転した。
- 追加投入可否の判断は、あらかじめ設定した時間の経過後、炉内の目視確認により行った。
- 対象物の投入は、インナーバスケットによるが、スラグ材などバスケットの網目より小さな物の投入は、紙袋に入れてインナーバスケットに装荷した。
- 溶湯の実際の温度を確認するため、消耗型熱電対による溶湯温度測定を適宜行った。

4.5.3 試験実施要領

- (1) 試験回数 : 3 回
- (2) 対象物 : 炭素鋼、スラグ材、高融点無機物(HEPA フィルタ、ガラス、断熱材)、他 (表 4.5-1 参照)
- (3) 溶融炉出力 : 最大約 400kW
- (4) 溶融温度 : 約 1500°C
- (5) 排ガス風量 : 200m³/h
- (6) 測定分析項目 :
 - a. キャニスタ温度 (測定箇所は図 4.5-1 参照)
 - b. キャニスタ周辺雰囲気温度 (測定箇所は図 4.5-1 参照)
 - c. 排ガス温度、流量 (測定箇所は図 3.2-4 参照)
 - d. 排ガス成分 (O₂、CO、CO₂、NOx) (測定箇所は図 3.2-4 参照)

- e. 排ガス中の酸性ガス濃度（標準溶融試験 2、3 で実施）
 - ・SO_x、HCl（島津製作所 イオンクロマトグラフ HIC-6A）
 - ・HF（堀場製作所 複合形イオン電極 PW3050）
 - f. 炉内圧力
 - g. 溶湯液位
 - h. 追加投入物の溶融時間
 - i. スリープ及び炉内壁への飛散物量
 - j. 溶融固化体スラグ層の成分分析と一軸圧縮強度測定（1回目に実施）
 - ・蛍光 X 線分析（島津製作所 LAB CENTER XRF-1700）
 - ・一軸圧縮強度（INSTRON 4208 型）
 - k. 溶融固化体金属層の成分分析（標準溶融試験 1 で実施）
 - ・蛍光 X 線分析（島津製作所 LAB CENTER XRF-1700）
- (7) 試験要領
- ① 試験前後の比較を要する事項について、試験前の確認を行う。
 - ② 模擬廃棄物（予投入分）をキャニスタに装荷し炉内に設置する。
 - ③ 溶融炉を起動し、初期溶湯を形成する。
 - ④ 順次、模擬廃棄物を追加投入し、溶融処理を行う。
 - ⑤ 溶融中の諸データを取得する。
 - ⑥ 終了、冷却固化後、炉内の確認や溶湯液位の確認を行う。
 - ⑦ 溶融固化体のスラグ層、金属層から分析用試料を採取し、分析及び測定を行う。

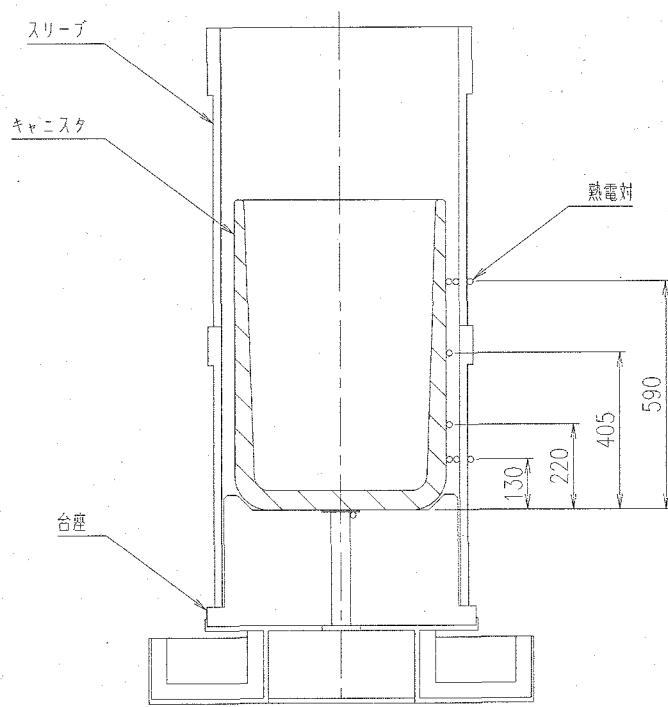


図 4.5-1 標準溶融試験 キャニスタ及び周辺温度測定位置図（熱電対設置位置図）

表 4.5-1 標準溶融試験 投入物一覧

		標準溶融試験 1		標準溶融試験 2		標準溶融試験 3	
		投入物・量	備考	投入物・量	備考	投入物・量	備考
初期 装荷	①	炭素鋼 50kg		炭素鋼 50kg チャコール F 0.1kg		炭素鋼 50kg 焼却筒含む 焼却灰 0.59kg	
	②	炭素鋼 50kg		炭素鋼 50kg		炭素鋼 50kg	
追加 投入	①	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 30kg HEPA 2.14kg ガラス 2.1kg 助剤 2.5kg	助剤設定確認 助剤・CaO	炭素鋼 10kg スラグ 20kg	
	②	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 30kg ガラス 0.76kg 断熱材 0.62kg 助剤 1.05kg	助剤設定確認 助剤・CaO	炭素鋼 10kg スラグ 20kg	
	③	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg チャコール F 0.1kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg	
	④	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg	
	⑤	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg	
	⑥	炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg		炭素鋼 10kg スラグ 20kg	排ガス採取
	⑦	炭素鋼 50kg		炭素鋼 30kg セラミック F 1kg 助剤 0.1kg	助剤・CaO	炭素鋼 50kg	
	⑧	炭素鋼 50kg		炭素鋼 30kg セラミック F 1kg 助剤 0.1kg	助剤・CaO	炭素鋼 50kg ゴム 50 g (フッ素ゴム)	排ガス採取
	⑨	炭素鋼 50kg		炭素鋼 50kg ゴム 0.1kg	排ガス採取 (エピクロロヒドリンゴム)	炭素鋼 50kg	
	⑩	炭素鋼 50kg	投入装置 動作不良	炭素鋼 50kg		炭素鋼 50kg	排ガス採取
	⑪			炭素鋼 50kg ゴム 0.1kg	排ガス採取 (フッ素ゴム)		

注 1) : 各試験とも追加投入の 1 回目と同時に AI リングを装荷した。

注 2) : スラグ材組成 (wt%) 【CaO 42.9、Al₂O₃ 14.5、SiO₂ 33.8、MgO 5.3、SO₃ 1.3、Na₂O 0.2】

4.5.4 試験結果

(1) 試験実施状況

- ・標準溶融試験1において、過熱による投入装置の動作不良が生じた。以降は、廃棄物の投入操作の合間に、ファンにより投入装置を空冷した。

(2) 試験結果

①標準溶融試験1（炭素鋼とスラグ材のみ溶融）

初期装荷の炭素鋼を溶融後、炭素鋼とスラグ材を同時投入し、順次溶融した。追加投入する際、前回投入分のインナーバスケットの一部が溶け残っている状態が見られる場合もあったが、順次投入操作を繰返すことで溶湯内へ押し込み、処理を継続した。

模擬廃棄物の投入、溶融中はITVによる目視確認において、スリープ上端を越えるような溶湯の飛散は見られなかった。最終の追加投入を行った後、投入装置（インナーバスケット把持装置）の動作不良が発生した。そのため、最終投入分の溶け残りに対する溶湯内への押し込みが行えず、インナーバスケットの上部リングと網の一部の溶け残りが生じた。

冷却固化後、固化体上面には溶け残りが残存し、キャニスタ側面には溶湯の付着が見られたが、ひび割れはなく固化体として健全な状態であった。

②標準溶融試験2（無機物を組合せた溶融）

助剤量適正化試験の結果（4.4項参照）をもとに、HEPAフィルタとガラス、ガラスと断熱材の組合せに助剤を加えて溶融を行い、廃棄物の組合せとそれに対する助剤量設定の妥当性を確認した。また溶融中の排ガスの分析を行い、スラグ材やゴムを投入した際の酸性ガスの発生状況を確認した。さらに、か焼試験において燃焼できなかったチャコールフィルタを溶湯に投入し、直接処理することを試みた。

初期装荷の炭素鋼を溶融後、炭素鋼とともにHEPAフィルタ、ガラス、助剤(CaO)を投入し、次に炭素鋼とともにガラス、断熱材、助剤(CaO)を溶融した。その後、表4.5-1の順序で追加投入を繰返した。標準溶融試験1と同様に、追加投入時には前に投入した分の溶け残りが見られたが、順次模擬廃棄物を投入することで溶融は可能であった。最終の追加投入後も、インナーバスケットの一部に溶け残りが見られ、投入装置による空のバスケットを使った溶湯内への押し込みを行った。その結果、最終的に溶け残りはなく、投入物は全て溶融した。

チャコールフィルタに関しては、予投入と追加投入により各100gずつ炉内に供給した。ITVにより、燃焼している様子が見られ約250ppm程度のCO濃度の上昇があった。ただし、冷却器出口の濃度は30ppm以下に抑えられ、燃焼による溶湯の飛散も見られず、溶融処理への影響は特に認められなかった。

追加投入⑨、⑪において、炭素鋼と共にゴム100gを投入し、投入直後から10分間、排ガスの分析を実施し、ガス中の酸性ガス(SO_x、HCl、HF)の平均濃度を算出した。結果を表4.5-2に示す。

冷却固化後のキャニスタにはひび割れもなく、健全であった。

③標準溶融試験3（か焼処理後の焼却灰及び焼却筒を含む溶融）

か焼試験に関連し、か焼後の焼却灰とか焼処理で使用した焼却筒を初期装荷して溶融を

行った。標準溶融試験 1 の起動時に比べ、炉出口において 400ppm 程度の CO 濃度の上昇が見られたが、冷却器出口の CO 濃度は 30ppm 以下であり、排ガス処理に影響はなく溶融が可能であった。その後、表 4.5-1 の順序で追加投入を行い、溶融を継続した。追加投入時には、先の 2 回の標準溶融試験と同様に溶け残りが見られた。最終の追加投入後、溶け残りを溶湯内に押し込む操作を実施したが、最終的にインナーバスケットの上部リングの一部が溶け残った。

本試験の中で、追加投入⑥、⑧、⑩の後の排ガス中の酸性ガス (SO_x、HCl、HF) の平均濃度を表 4.5-2 に示す。

冷却固化後の固化体は、上面にインナーバスケットの溶け残りがあるものの、キャニスターにひび割れはなく、健全であった。

表 4.5-2 標準溶融試験 排ガス中酸性ガス濃度分析結果

対象試験	測定時期	投入物		濃度(ppm)			備考
		名称	重量	SO _x	HCl	HF	
標準溶融試験 2	試験開始 30~20 分前	—	—	<1	0.6	<3	バックグラウンドとして測定
	追加投入⑨	炭素鋼 エピクロロヒドリソーム	50 kg 100 g	29	7.7	<3	
	追加投入⑪	炭素鋼 フッ素ゴム	50 kg 100 g	25	4.4	<3	
標準溶融試験 3	追加投入⑥	炭素鋼 高炉スラグ	10 kg 20 kg	150	5.9	<3	
	追加投入⑧	炭素鋼 フッ素ゴム	50 kg 50 g	190	8.0	<3	
	追加投入⑩	炭素鋼	50 kg	14	7.4	<3	

注：測定箇所は、排ガス冷却器出口（図 3.2-4 参照）

4.5.5 確認項目に関する検討

(1) か焼処理能力

か焼処理後の廃棄物の溶融固化処理を、標準溶融試験 3 において実施した。対象は、か焼後の焼却筒の他、焼却筒及び排ガス系各機器から回収した灰の全量とした。か焼試験で回収した灰には、燃焼が不十分で炭状のものも混在していたが、溶融処理において不具合を生じることはなかった。

また、チャコールフィルタは焼却筒ではか焼できなかった（4.1 項参照）ため、未処理のまま標準溶融試験 2 において、予投入及び追加投入することで処理を試みた。その結果、溶融処理に支障となるような点は認められなかった。従ってチャコールフィルタは、直接溶融処理することも可能と思われる。

ただし今回の試験では、焼却灰は約 600g、チャコールフィルタは 100g であり、他の溶融対象廃棄物に対し少量である。これらの投入時には CO 濃度の上昇などが確認されており、投入量が多い場合には排ガス処理への影響などが考えられる。また焼却灰については、か焼対象物によりその組成が変化するため、留意する必要がある。

(2) 投入装置健全性

投入装置は、廃棄物を装荷したインナーバスケットを炉内に投入するために使用する。

装置の外形図を図 4.5-2 に示す。

本装置の主要部は、炭素鋼部品により構成されている。装置は円筒形状をしており、内部のモータにより下端の爪を出し入れする。

爪は円周上 4箇所に設けてあり、この爪をインナーバスケット上部のリングに掛けることで、把持する。投入装置は、炉内のワイヤに吊り下げされ、モータにより昇降して廃棄物を投入する。

投入装置は、廃棄物を投入する際、溶湯からの輻射熱に曝されることや、投入時に生じる溶湯の飛沫が装置に付着することなどにより、その健全性が損なわれる恐れがある。そこで、試験前後に投入装置の目視確認を行い、有害な変形の有無や溶湯の付着状況について確認を行った。

試験前後において、有意な変形は認められず、また溶湯飛沫の付着も見られなかった。しかし、標準溶融試験 1において、最終の追加投入終了後に爪の開閉動作が行えない状態となった。これは、装置内部のモータ本体の動作不良によるものであり、冷却することにより復帰は可能であった。モータ内部のロータ等が熱により膨張することで回転の妨げとなつたことなどが原因として考えられる。なお、以降の試験では、投入の合間に投入装置の冷却を行ったところ、動作不良は生じなかつた。

以上より、投入装置の投入時の温度上昇は、鋼材部品の強度に影響を及ぼすほどのものではないと判断される。ただし、精密部品などは、部品の熱膨張による動作不良の発生が懸念され、電気部品については絶縁性の劣化なども予想される。したがつて、炉内に設置する装置については、電気部品の内蔵を避けるとともに駆動機構は単純な構造とし、機械部品の熱膨張に留意することが求められる。また、今回は 3 回の試験前後に確認を行つたが、実際にはより多くの加熱と冷却の繰り返しを受けるため、実機の材質選定、設計にあたつては耐熱性の他、熱疲労対策も必要である。

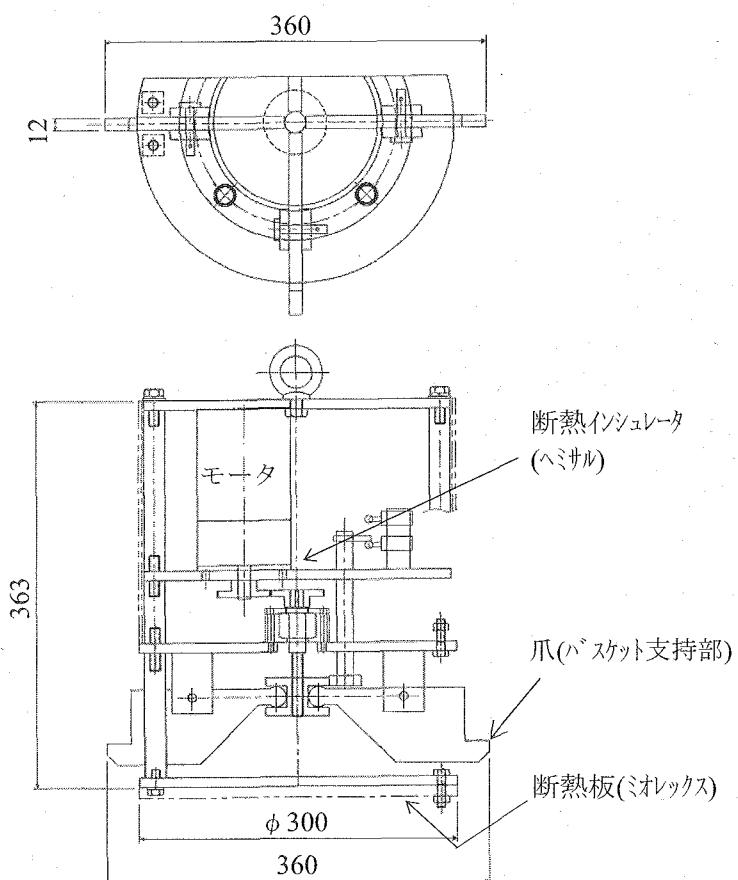


図 4.5-2 実規模炉 投入装置外形図

(3) 溶湯液位測定方法

試験で使用した溶融炉の溶湯液面計は、マイクロ波レベル計である。本レベル計の外形図を図 4.5-3、仕様を表 4.5-3 に示す。レベル計は炉内のキャニスター真上に設置し、溶湯液位を以下のように測定する。

- ①炉内に設置した空キャニスターの内側底面までの距離（以下、底面距離とする）を測定。
- ②溶融中（溶融後）に溶湯液面までの距離（以下、液面距離とする）を測定。
- ③底面距離と液面距離の差を溶湯液位として算出。

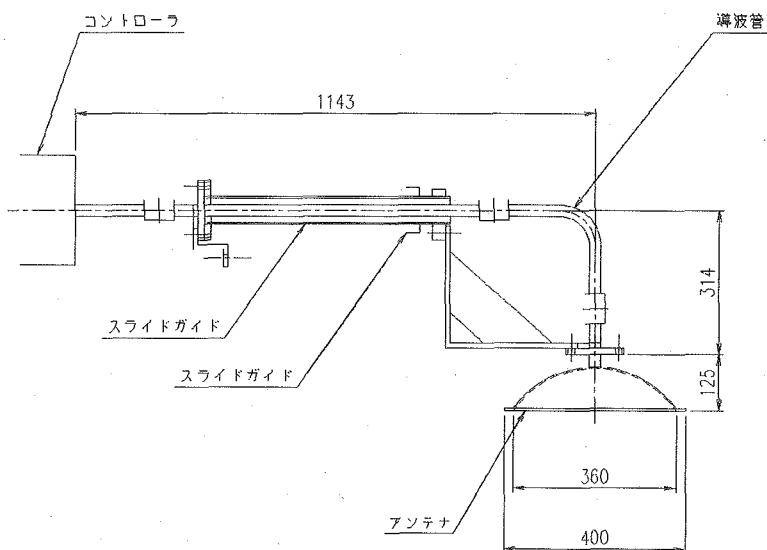


図 4.5-3 実規模炉 マイクロ波レベル計外形図

表 4.5-3 実規模炉 マイクロ波レベル計仕様

項目	仕様	
1. 形式	コントローラ	導波管付
	アンテナ	パラボラ形
2. 電源電圧		A C 100~240 V
3. 消費電力		約 15W
4. 仕様周波数		10GHz 帯
5. マイクロ波出力		0.3mW
6. 変調方式		FM-CW 方式
7. 信号処理方式		FFT 処理
8. 測定距離		最大 30m (検出物体 ^{※1} による)
9. 測定精度		±10mm ^{※2}
10. 応答時間		1秒
11. アンテナ	材質	SUS304
	外径	φ 360mm
12. 使用温度	コントローラ	-10~50°C
	アンテナ	-40~400°C
13. 重量	本体	約 8kg
	アンテナ	約 3kg

※1 金属板等を測定した場合に最大となる。

※2 レベル計単体の測定精度を示す。今回のシステムでは、伝送及び A/D 変換時の分解能により ±15mm となる。

溶湯液位の測定は、キャニスタから溶湯が溢れるのを防ぐために、投入物量を管理する目的で実施する。溶湯液位は基本的には投入物組成と重量からの想定により管理するが、その確認方法のひとつとして液位測定が位置づけられ、特に溶湯液面が高くなつた最終投入の前には液位の確認が求められる。

今回はマイクロ波レベル計による溶湯液位測定の妥当性を確認するために、標準溶融試験の中で、以下の4回の測定を行つた。

- ①空キャニスタの炉内設置時 : 底面距離の測定
- ②最後の追加投入前 : 液面距離の測定（最終投入による溶湯溢れ防止確認）
- ③最後の追加投入後 : 液面距離の測定（最終的な溶湯液位の確認）
*最終投入後30分経過後の保持運転終了時に実施
- ④約12時間の炉内冷却後 : 液面距離の測定（固化後の液位（固化体高さ）の確認）

炉内温度が低く、炉内への立ち入りが可能な①、④の測定では、比較のためにメジャーによる実測も実施した。表4.5-4に各測定結果を示す。レベル計による測定結果、実測結果のそれぞれから算出した溶湯液位を表4.5-5に示す。

測定結果を比較すると、レベル計の測定値と実測値との差は、空キャニスタの装荷時で最大9mm、12時間の固化体冷却後で最大26mmであった。冷却固化後の値はレベル計単体の計測誤差である±15mmを越えている。この要因として、レベル計の取り付け状態の影響が考えられる。今回使用した実規模炉では、スペースの関係でレベル計のアンテナを常設できず、測定時のみ設置している。アンテナ設置状態の違いは、溶湯面へのマイクロ波の当たり方に影響するため、誤差の原因となる。正確な測定を行うためには、アンテナを常設し、常に同じ条件で測定を行う必要がある。

溶湯液位の測定結果（表4.5-5）では、標準溶融試験3において最終投入前の液位が最終投入後の液位よりも高く、また標準溶融試験2では最終投入前液位が、他の試験時と比較して極端に低い値となっている。これらの原因としては、前述したアンテナの取り付け状態による影響に加えて、溶湯面の溶け残りの影響が考えられる。測定対象に突起物が存在すると測定誤差が増加するため、精度の良い測定を行うためには溶け残りをできる限り少なくすることが必要である。

表 4.5-4 標準溶融試験 溶湯液位測定結果 単位(mm)

対象試験	測定時期	測定項目	レベル計 測定値	実測値	差	備考
標準溶融試験 1	①キャニスタ 装荷時	a 底面距離	3,147	3,150	3	
		b キャニスタ高さ	—	803	—	
		c 内面高さ	—	757	—	
		d キャニスタ底厚さ	—	46	—	b-c
	②最終投入直前	e 液面距離	2,593	—	—	
	③最終溶融後	f 液面距離	2,584	—	—	
	④12 時間冷却後	g 液面距離	2,575	2,590	15	
		h キャニスタ高さ	—	805	—	
		i 縁～固化体表面	—	195	—	
		j 固化後の液位	—	564	—	h-(d+i)
標準溶融試験 2	①キャニスタ 装荷時	a 底面距離	3,141	3,150	9	
		b キャニスタ高さ	—	803	—	
		c 内面高さ	—	756	—	
		d キャニスタ底厚さ	—	47	—	b-c
	②最終投入直前	e 液面距離	2,746	—	—	
	③最終溶融後	f 液面距離	2,587	—	—	
	④12 時間冷却後	g 液面距離	2,581	2,607	26	
		h キャニスタ高さ	—	803	—	
		i 縁～固化体表面	—	201	—	
		j 固化後の液位	—	555	—	h-(d+i)
標準溶融試験 3	①キャニスタ 装荷時	a 底面距離	3,147	3,152	5	
		b キャニスタ高さ	—	802	—	
		c 内面高さ	—	755	—	
		d キャニスタ底厚さ	—	47	—	b-c
	②最終投入直前	e 液面距離	2,521	—	—	
	③最終溶融後	f 液面距離	2,569	—	—	
	④12 時間冷却後	g 液面距離	2,569	2,587	18	
		h キャニスタ高さ	—	803	—	
		i 縁～固化体表面	—	164	—	
		j 固化後の液位	—	592	—	h-(d+i)

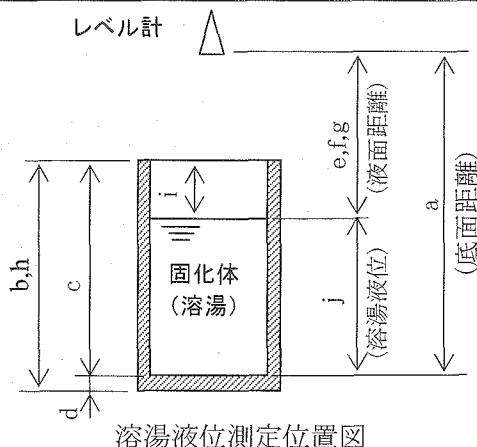


表 4.5-5 標準溶融試験 溶湯液位測定結果の比較

単位(mm)

対象試験	測定時期	溶湯液位				レベル計 と実測の 最大差	
		予定 ^{*1} (参考)	レベル計 ^{*2} 計算値	実測値 ^{*3}			
				レベル計 位置基準	キャニス タ底基準		
標準 溶融試験 1	②最終投入直前	555	554	—	—	—	
	③最終溶融後	594	563	—	—	—	
	④12 時間冷却後	594	572	560	564	12	
標準 溶融試験 2	②最終投入直前	554	395	—	—	—	
	③最終溶融後	593	554	—	—	—	
	④12 時間冷却後	593	560	543	555	17	
標準 溶融試験 3	②最終投入直前	555	626	—	—	—	
	③最終溶融後	594	578	—	—	—	
	④12 時間冷却後	594	578	565	592	14	

*1：予定の液位は、投入物の組成と量から推定した値を示す。

*2：レベル計計算値は、表 4.5-4 より②a-e, ③a-f, ④a-g として算出した。

*3：実測値のレベル計位置基準は表 4.5-4 より a-g で算出、固化後の液位は j を示す。

(4) 助剤投入量適正化

助剤量適正化試験の結果（4.4 項参照）に基づいた廃棄物の組み合わせと助剤量条件に従い、廃棄物量を増して標準溶融試験 2 で溶融試験を行い、助剤量設定の妥当性を確認した。

HEPA フィルタとガラスの組み合わせでは、HEPA フィルタ 2.14kg、ガラス 2.1kg に対し助剤 (CaO) 2.5kg を加えて溶融し、支障なく溶融処理を行なうことができた。

ガラスと断熱材では、ガラス 0.76kg、断熱材 0.62kg に対し、助剤 (CaO) 1.05kg の条件で、溶融可能であった。この際、断熱材は細断した上で投入した。

以上より、助剤量適正化試験による助剤量設定により HEPA フィルタ、ガラス、断熱材といった無機物の溶融が可能であることを確認した。ただし、4.4.5 項でも述べたように、助剤投入時には、助剤と廃棄物との反応性の確保が重要であり、単純に重量のみで管理できない点に留意し、細断などの前処理を検討する必要がある。

(5) 各種廃棄物の溶融時間

廃棄物の投入間隔の指標とするために、標準溶融試験において溶融時間を測定し、各廃棄物の溶融時間を確認した。実際の設備運用では、次の投入を行うと判断した時点では、既に投入準備は完了していることになるが、本試験では投入可と判断した後に投入準備を行った。従ってここでは、投入準備時間（投入可と判断後、投入を開始するまでの時間）を除いた時間について評価した。

廃棄物の種類（組合せ）によるそれぞれの溶融時間を表 4.5-6～8 に示す。

炭素鋼 10kg 及びスラグ 20kg の組合せでの溶融時間は、平均で約 14 分であり最大では約 16 分であった。また、HEPA フィルタや断熱材及びガラスなどと炭素鋼と共に溶融し

た場合の溶融時間の平均も約 14 分となった。

一方、炭素鋼のみを投入した場合の溶融時間の平均は約 10 分（最大約 12 分）であった。

金属を単独で溶融する場合に比べ、金属と金属以外の無機物とを組み合わせた場合には溶融時間が長くなった。一方、金属以外の無機物の投入量や種類による溶融時間の違いは特にみられず、投入時間の管理においては、金属単体の投入か、金属以外の無機物を含む組合せでの条件かといった点が重要であることが示唆された。ただし、今回の試験で確認できた条件は限定的であり、投入物の重量や形状により異なる可能性は残る。

実際の溶融固化処理における追加投入は、設備の処理能力¹⁾を確保する観点から 120 分程度の間に実施する必要があり、投入物の組合せについて考慮が求められる。

表 4.5-6 標準溶融試験
炭素鋼とスラグの溶融時間

試験 No.	投 入 順	投入物 (kg)	溶融時間(分)	
			投入～ 次投入	準備 除く
1	①	炭素鋼 10	15.7	14.3
	②	スラグ 20	15.0	14.0
	③		16.9	16.0
	④		16.9	13.8
	⑤		16.9	15.7
	⑥		15.5	14.5
2	③	炭素鋼 10	14.8	13.5
	④	スラグ 20	15.1	13.7
	⑤		15.4	14.0
	⑥		15.7	14.4
3	①	炭素鋼 10	14.2	13.5
	②	スラグ 20	15.0	14.1
	③		15.2	14.2
	④		17.5	14.6
	⑤		15.1	14.0
	⑥		14.8	13.9
			平均	15.6
				14.3

表 4.5-7 標準溶融試験
炭素鋼と模擬廃棄物の溶融時間

試験 No.	投 入 順	投入物 (kg)	溶融時間(分)		
			投入～ 次投入	準備 除く	
2	①	炭素鋼 10	16.7	13.4	
		HEPA 2.14			
		ガラス 2.1			
		助剤 2.5			
②	炭素鋼 30		16.2	13.8	
	断熱材 0.62				
	ガラス 0.76				
	助剤 1.05				
⑦	炭素鋼 30		14.8	13.7	
	セラミックフィルタ 1.0				
	助剤 1.0				
⑧	炭素鋼 30		15.6	14.2	
	セラミックフィルタ 1.0				
	助剤 1.0				
			平均	15.8	
				13.8	

表 4.5-8 標準溶融試験
炭素鋼の溶融時間

試験 No.	投 入 順	投入物 ¹⁾ (kg)	溶融時間(分)		
			投入～ 次投入	準備 除く	
1	⑦	炭素鋼 50	11.5	8.6	
	⑧		16.1	15.3 ²⁾	
	⑨		16.3	11.4	
2	⑨	炭素鋼 50	11.5	10.1	
	⑩		13.5	12.2	
3	⑦	炭素鋼 50	12.0	9.4	
	⑧		10.3	9.4	
	⑨		12.3	10.1	
			平均	15.8	
				10.2	

*1:ゴム 50g を同時投入した場合もあるが、溶融時間への影響は皆無と判断した。

*2:把持治具の確認のため、時間を要した。
平均時間の算出時は除いた。

(6) 固化体性状及び成分

標準溶融試験1の溶融固化体を対象に、金属層及びスラグ層から試料を採取し、スラグについては組成分析と一軸圧縮強度測定、金属については組成分析を行った。

①スラグの一軸圧縮強度

測定用試料の採取位置を図4.5-4に示す。固化体のスラグ層6ヶ所より試料を採取し、 $\square 1 \times 2\text{cm}$ に整形した上で一軸圧縮強度測定を行った。その結果を表4.5-9に示す。

低レベル放射性廃棄物の均一・均質固化体に要求される技術基準によれば一軸圧縮強度は 15kg/cm^2 以上とある⁶⁾。今回の測定結果は、多少のばらつきは見られるもののいずれの試料もこの値と比較して1桁以上高い強度を示しており、固化体として十分な強度を有していると判断できる。

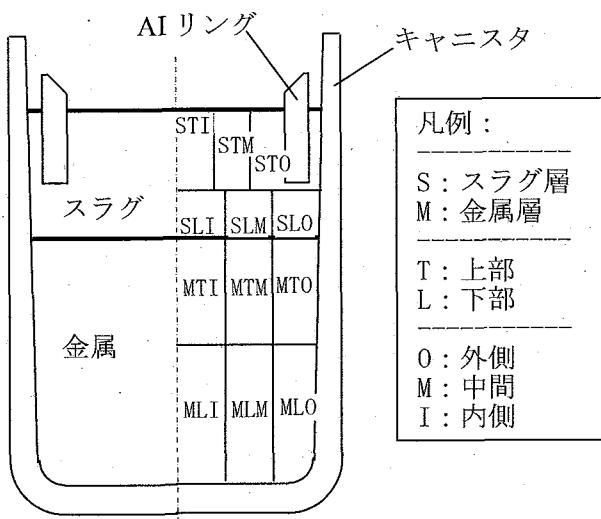


表4.5-9 標準溶融試験1
溶融固化体スラグ層 一軸圧縮強度

試料採取位置	一軸圧縮強度	
	kN/cm^2	kgf/cm^2
STO 上部外側	6.9	699
STM 上部中間	6.0	613
STI 上部内側	6.0	614
SLO 下部外側	8.7	891
SLM 下部中間	3.9	396
SLI 下部内側	6.4	654

図4.5-4 標準溶融試験1
溶融固化体分析試料 採取位置図。

②金属・スラグの組成分析

分析に供した試料は、図4.5-4に示した金属層及びスラグ層のそれぞれ6ヶ所から採取した。各試料について、蛍光X線分析した結果を表4.5-10、11に示す。

金属層、スラグ層ともそれぞれの分析結果によれば、部位による組成の違いは0.5%以下であり、各層の組成は均一であるといえる。

今回、分析対象とした固化体は、炭素鋼とスラグ材のみを投入して溶融固化したものであったが、実際の設備では雑多な廃棄物を対象とするため、その組成によっては溶湯の流動性が低下することも考えられる。その場合には溶湯の搅拌が不十分となり、固化体組成が不均一となる可能性があるため、特異な廃棄物の組合せの際にはその組成に基づいて、溶湯粘性を確認し、流動性を保つべきである。

表 4.5-10 標準溶融試験 1
溶融固化体スラグ層 成分分析結果

試料採取位置	スラグ層の組成(wt%)					
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	SO ₃	MnO
ST0 上部外側	33.8	19.3	38.1	5.7	0.9	0.7
STM 上部中間	33.8	19.2	38.1	5.7	0.9	0.7
STI 上部内側	33.5	19.3	38.6	5.6	0.9	0.7
SL0 下部外側	34.1	19.1	38.1	5.6	0.9	0.7
SLM 下部中間	33.8	19.1	38.3	5.6	0.9	0.7
SLI 下部内側	33.7	19.2	38.5	5.6	0.9	0.7
平均	33.8	19.2	38.3	5.6	0.9	0.7

表 4.5-11 標準溶融試験 1
溶融固化体金属層 成分分析結果

試料採取位置	金属層の組成 (wt%)					
	Fe	Si	Cr	Mn	Ni	S
MTO 上部外側	97.1	0.8	0.8	0.6	0.4	0.1
MTM 上部中間	97.0	0.8	0.8	0.7	0.4	0.2
MTI 上部内側	96.8	0.8	1.0	0.7	0.5	0.2
ML0 下部外側	96.9	0.8	0.9	0.7	0.5	0.2
MLM 下部中間	97.0	0.8	0.9	0.7	0.5	0.2
MLI 下部内側	96.9	0.8	0.9	0.7	0.4	0.2
平均	96.9	0.8	0.9	0.7	0.4	0.2

(7) 周辺温度

溶融炉や溶融直後の固化体を扱う機器の設計時データとして、溶融固化処理時のキャニスタ温度及びキャニスタ周辺温度（スリーブの温度）の測定を実施した（図 4.5-1 参照）。測定は溶融中に加え、溶融試験終了後の冷却固化時（炉内での自然放冷、排ガス系は停止状態）にも継続して行った。

溶融中には、スリーブ内側で最大約 1,200°C、外側でも約 700°Cまで昇温していることが確認された。キャニスタ底部では 1,500°Cを超えた場合もあり、炉内構造物の材質選定には留意を要する。

3 回の標準溶融試験における冷却中のキャニスタ温度の、平均及び冷却経過時間との関係を図 4.5-5 に示す。時間経過に伴い冷却速度は低下し、外挿すれば 24 時間後には 100 °C程度まで温度が下がることが見込まれる。今回は炉内での自然放冷で、換気のない条件下冷却した結果であり、送風の実施など冷却条件の改善により、より速やかな冷却も可能と考えられる。

実機においては設備の稼動効率を上げる必要などから、溶融処理終了後30分程度で、キャニスタをスリーブ共々冷却室に搬送する必要がある。今回の試験結果によれば溶融処理終了直後は、スリーブ外側でも650°Cを越える温度であった。従って、冷却室への搬送設備や冷却室の設計にあたっては、スリーブからの輻射熱を考慮した温度条件の設定が必要である。

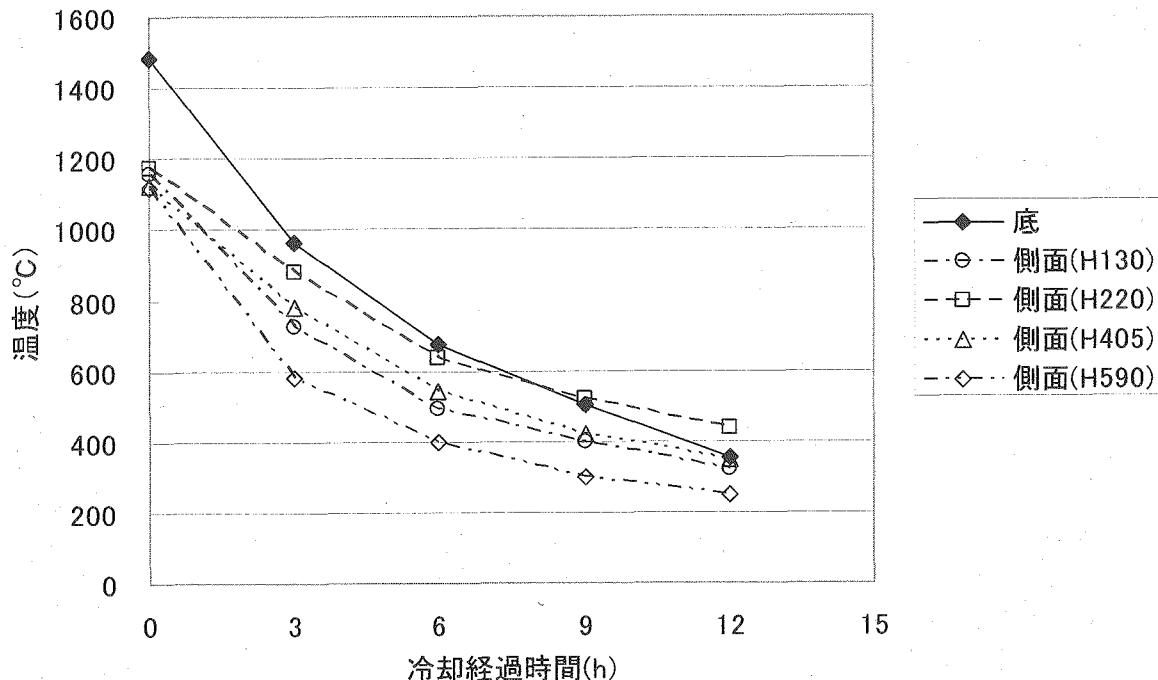


図 4.5-5 標準溶融試験 冷却時キャニスタ温度

- 1) 温度は標準溶融試験3回の各測定値の平均を示す。
- 2) 炉の電源OFFを冷却開始とした。

(8) 溶湯飛散状況

溶融処理を行なった際の炉壁やスリーブへの溶湯の付着状況を観察し、設備設計時に対策の必要性について確認した。

標準溶融試験において、各試験前後に炉内の目視確認を行った。炉内各部の名称を、図4.5-6に、確認結果を表4.5-12に示す。確認の結果、いずれの場合も炉壁に数mm大の付着物が観察されたものの、炉の運転に支障を及ぼすようなものではなかった。また標準溶融試験2、3では、炉の上部にあたる接続筒部分において、10個程度の付着物が観察された。

試験中の炉内観察では、消耗型熱電対を用いた溶湯温度の直接測定時を除けば、スリーブを越えるような溶湯の跳ね上がりは確認されていない。試験で使用した消耗型熱電対は、製鋼時などに一般的に使用されるものであり、その保

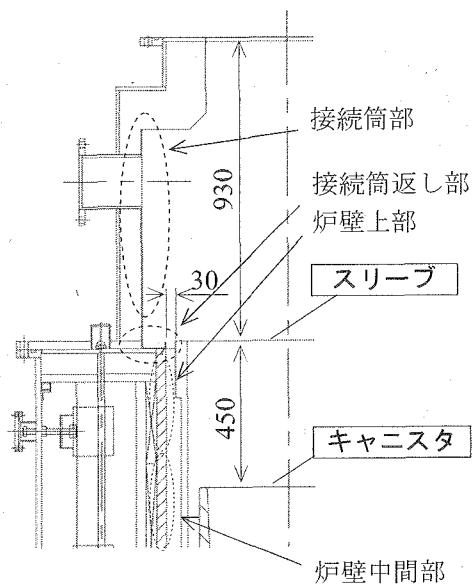


図 4.5-6 実規模炉 炉内各部名称

護管は紙製である。そのため、消耗型熱電対を溶湯に浸漬した際には、紙の燃焼により溶湯の飛散が生じ、測定後にも保護管部分の燃焼が継続した。従って、炉壁や接続筒への溶湯付着は、この溶湯温度の測定作業が原因であったと考えられる。

この溶湯温度の直接測定は、実機においては行わないことから、実際上は炉壁への溶湯付着はほとんど発生しないものと思われる。一方で、炉壁への溶湯付着が消耗型熱電対の紙製保護管の燃焼によって生じたと考えられることから、燃焼性のある廃棄物が投入物に混入した場合には、溶湯飛散の原因となる可能性があることが示された。

なお、接続筒返し部には飛灰が堆積していた。堆積量は3回の各試験でそれぞれ約61g、23g、38gであり、長期間の運用においては除去方法を考慮しておくことが必要である。

また、飛灰の量は廃棄物性状により異なることが予想されるため、実廃棄物を対象とした場合の各部への飛灰の移行挙動・付着状況・堆積量を試験により確認する必要がある。

次にスリープへの溶湯付着について表4.5-13に示す。スリープはキャニスタの外側に炉壁を保護する目的で設置されており、上下2段の分割構造となっている。下部スリープはキャニスタ開口より下部に位置するため、直接の付着物は上部に比べれば少ないものの、上部スリープに付着し垂れた溶湯の付着が見られた。いずれの試験においても、上部スリープには多くの溶湯付着が認められ、スリープが炉壁への溶湯付着を防止し、炉壁の長寿命化に有効に作用することを示している。

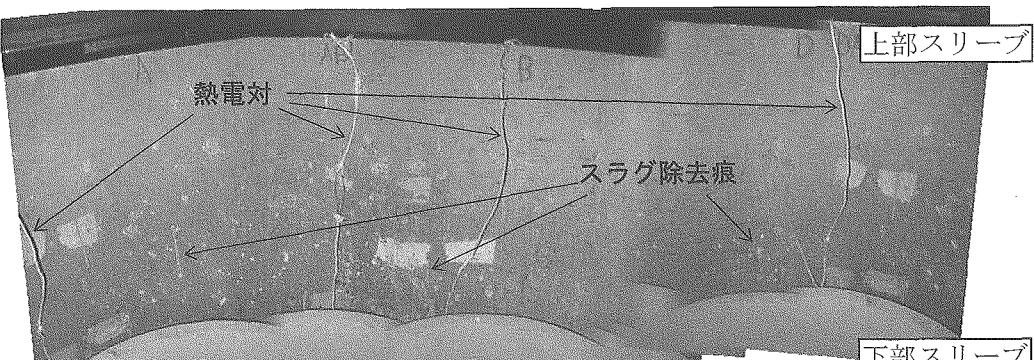
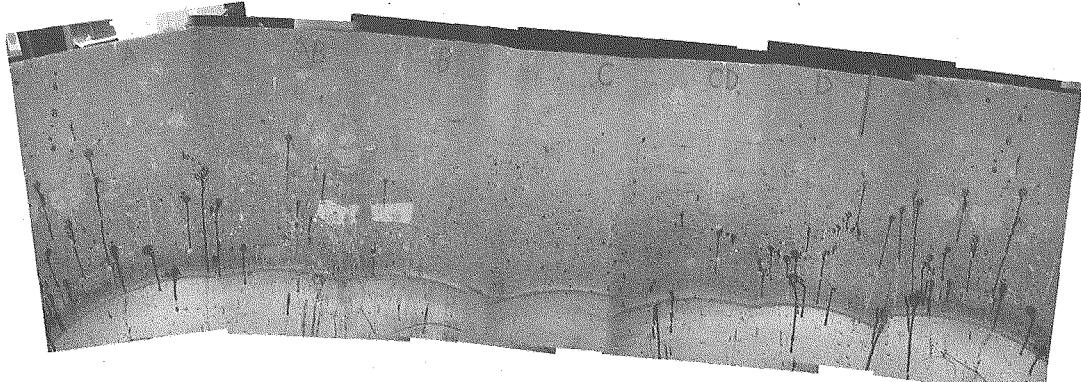
以上より、スリープを設置した現在の溶融炉構造、廃棄物投入方法で溶融処理を行なった場合には、炉壁や接続筒などの炉内構造物への溶湯付着はほとんど発生しないとの見込みを得られた。

今後は、スリープへの付着物や接続筒返し部の堆積物の除去方法の検討が必要である。また、溶湯付着による影響を含めスリープの耐久性についての確認を求められる。

表4.5-12 標準溶融試験試験前後の炉壁への溶湯付着状況

付着部位	試験No.		
	1	2	3
接続筒部	5mm大×1個 2mm大×1個	3~10mm大×10数個	1~3mm大×9個
炉壁	上部	3mm大×2個 W5×L20mm×1個	なし
	中間部	なし	1mm大×1個
備考	1.付着部位については、図4.5-6参照のこと。		

表 4.5-13 標準溶融試験 3 試験前後の炉内スリーブへの溶湯付着状況

試験実施前	
試験実施後	
備考	<p>1.写真は標準溶融試験 3 の試験前後のスリーブを示す。</p> <p>2.下部スリーブには、直接の溶湯付着のほか、上部スリーブからの垂れが認められる。</p>

(9) 排ガス中酸性ガス発生量

標準溶融試験 2 及び 3 の試験実施時に模擬廃棄物投入に合わせて排ガスをサンプリングし、酸性ガス (SOx, HCl, HF) の発生量（濃度）を測定した。（表 4.5-2 参照）

①硫黄酸化物 (SOx) の発生量について

標準溶融試験3の追加投入⑥と⑧において、200ppm程度の発生が認められた。これは、スラグ材に、1%程度含まれる硫黄分が原因と考えられる。追加投入⑧では、スラグ材を投入していないが、追加投入⑥で投入したスラグ材の影響により、硫黄酸化物が生成したものと思われる。フッ素ゴムにも不純物として硫黄が含まれる可能性があるが、同じくフッ素ゴムを投入した際に30ppm以下であった。従って硫黄酸化物の発生は、スラグ成分に起因するものと考えられる。

エピクロロヒドリンゴムやフッ素ゴム、炭素鋼を投入した場合には、SOxの発生量は30 ppm以下であったが、溶融対象物に硫黄分を含む場合には、その発生量の増加が見込まれる。実設備においては、硫黄分を含む廃棄物の混入も考えられるため、対応を要する。

②塩化水素 (HCl) の発生量について

エピクロロヒドリンゴムを加えた場合を含め、今回の測定では投入した廃棄物の種類に係わらず、塩化水素の濃度は10ppmを上回ることはなかった。エピクロロヒドリンゴムを投入した場合には、燃焼時間を10分とすればその投入量 (100g) から、0.145 Nm³/hの塩

化水素の発生が見込まれ、排ガス流量は約200 Nm³/hであることから、塩化水素の平均濃度は約730ppmと推定された。しかしながら実際には約8ppmであり、他の廃棄物投入時の差異は見られなかった。これは、高い反応性を有する塩化水素が、排ガス処理機器や配管内部に付着したことや、排ガス中に含まれる酸化物などのダスト、セラミックフィルタの捕集物などと反応したことなどが理由として考えられる。

③フッ化水素(HF)の発生量について

フッ素ゴムを投入した場合にはその組成に基づいた計算により、燃焼時間10分、投入量50gの条件からフッ化水素の発生量は0.251 Nm³/hとなり、平均濃度は約1,260ppmと推定された。しかし、試験の結果、フッ化水素はいずれの場合にも3ppm未満であった。フッ化水素も高い反応性を有しているため、塩化水素と同様に機器や配管への付着や、排ガス中ダストなどとの反応が考えられる。

④まとめ

今回の試験では、塩化水素、フッ化水素の発生量は投入物からの推定に対しわざかであった。これは排ガスのサンプリングを行うための既設のノズルが、排ガス処理機器の下流であったために、溶融炉からノズルまでの途中の機器内でこれらのガスが反応したことによると思われる。塩化水素やフッ化水素は配管の腐食原因ともなるため、その発生状況には注意を払う必要があり、発生直後(炉近傍)と煙道下流との濃度の比較などにより発生状況及び機器との反応状況について、詳細な検討が必要である。

(10) 溶融炉内損耗状況

溶融炉内の炉壁などの損耗状況を、炉外に設けたITVカメラにより監視可能か確認し、また、実際の炉内損耗の進行について確認した。

①ITVによる炉内監視可否

試験に用いた溶融炉に設置された炉内監視用のITVは、キャニスター内の溶融状況の確認を主たる目的としたものである。本ITVでは炉壁の確認はできないが、炉内の視認性を確認する点で参考とした。

炉外からの炉内確認は覗き窓を通して行うが、溶融処理の繰返しにより覗き窓のガラスには煤などが付着するため、良好な視界は期待できない。また、炉内には光源がないため、炉内の確認には照明が必要である。さらに、炉外から監視する場合には視野が炉内のごく一部に限定されることになり、炉壁の確認方法としては不十分である。

今回の試験で炉壁への溶湯付着状況などの確認を行っているが、これは人が炉内に立ち入って実施したものである。この際小さな付着物などが確認されているが、その際に撮影した写真からは判別ができないことから、ITVを炉内に搬入しても、小さな異常発生を確認することは難しいと思われ

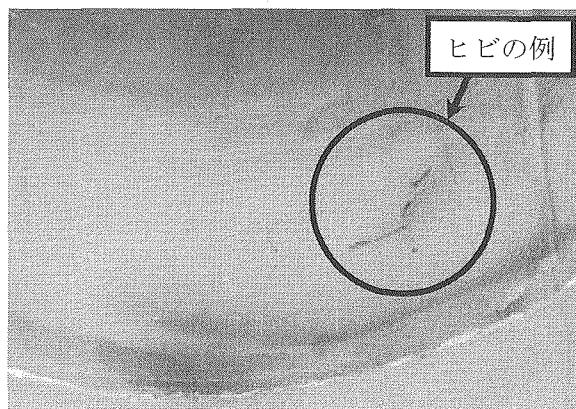


図 4.5-7 炉内確認時 撮影例
(標準溶融試験 1 実施前)

る。ただし、図4.5-7に示したような比較的大きな異常箇所（図中のひびは縦約15cm）については、ITVカメラによる監視が可能であり、溶融炉の運用上、点検する目的としては十分有用である。従って、設備設計にあたっては、ITVカメラを炉内に搬入し、炉壁各部を監視できるような装置の設置が望まれる。

②炉内損耗状況

本確証試験では、実規模炉は溶融処理で3回、か焼処理で2回の運転を行った。その後行った目視確認の結果、これらの運転に伴う溶融炉の損耗は認められなかった。可・難燃物を扱ったか焼試験により、すす等の付着は見られたが、運転に支障を及ぼすものではなかった。また溶湯の付着もあったが、いずれも容易に除去が可能であった。

今回行った確証試験は試験回数（運転回数）が少なく、溶融炉の損耗についての評価には不十分であり、できるだけ実運用に即した形で運転を重ね、炉壁などの状況を確認することが必要と考えられる。特に溶湯の付着は、炉壁の健全性に影響を及ぼすことも懸念されることから、確認は重要と思われる。

5. 溶融固化処理に関する課題

今回実施した各試験により、確認した点について示すとともに、新たに生じた課題を含め、溶融固化処理に関する技術的課題について示す。

5.1 確証試験による確認内容

確認試験の実施内容及び、各試験を通じて確認した内容等については、4章に述べた通りであるが、改めて表3.1-1の確認項目について以下にまとめる。

5.1.1 か焼処理能力（溶融炉）

- ・高周波溶融炉に金属製の焼却筒を設置することで、紙や布及び木、酢酸ビニル、塩化ビニル、ポリエチレン、ゴム、アクリルの焼却は可能。イオン交換樹脂も空気の供給条件の確保により焼却可能である。
- ・チャコールフィルタの焼却筒による焼却処理は不可能であった。
- ・焼却筒構造は、下部より空気を取り入れる構造が有効である。
- ・焼却筒温度が、焼却状況に大きく関係する。
- ・未燃分を含む焼却灰であっても、予投入による溶融処理は可能である。

5.1.2 煙道閉塞対策

- ・亜鉛は沸点近くで急激に気化し、その直後に酸化亜鉛となって炉内や煙道に付着する。
- ・塩化亜鉛は気化後、粉末状で煙道などに付着するが、空気中の水分により潮解し液体を生じる。これにより、排ガス中の粒子の付着や配管の腐食を促す懸念がある。
- ・真鍮の気化は1200°C程度の高温で生じる。溶湯との接触による急激な気化を考慮する必要がある。
- ・亜鉛（酸化亜鉛）、塩化亜鉛とも、排ガスの流れが衝突する配管エルボ部などへの付着量が増す傾向が見られた。
- ・衝突式のトラップ装置により、亜鉛、塩化亜鉛を堆積させ捕集することは可能であった。
- ・実設備への設置には、トラップ方式の見直しを含め捕集容量、捕集効率の向上を要する。

5.1.3 投入装置健全性

- ・試験前後において、有意な変形や、溶湯の付着等はなかった。
- ・炉内設置設備には電気部品の使用を避けるとともに、単純な機構を採用し、部品の熱膨張に留意を要する。

5.1.4 溶湯液位測定方法

- ・マイクロ波レベル計により、高温の溶湯液位測定は可能である。
- ・測定精度確保には、レベル計設置状態の安定と、溶湯面の溶け残りの低減が必要である。

5.1.5 助剤投入量

- ・HEPA フィルタ、ガラス、断熱材に対する助剤量を確認した。
- ・HEPA フィルタとガラスとの組合せにより助剤量を低減することは可能であり、無機物の組合せによる助剤量低減の見通しを得た。
- ・助剤量の検討にあたっては、融点のほか溶湯の粘性を低く抑えることが必要である。
- ・溶融対象物は細断して投入することが望ましく、特に断熱材については細断が必要である。

5.1.6 各種廃棄物の溶融時間

- ・炭素鋼単体（50kg）の溶融時間は約10分であり、金属以外の無機物との組合せでは、約14分であることを確認した。

5.1.7 アルミニウム溶融条件

- ・アルミニウム割合が40%までの条件で、アルミニウムの合金化を確認できた。
- ・アルミニウム割合が10%の条件で、アルミニウムの形状や投入方法（追加投入、予投入）に係わらず溶融固化は可能であるが、溶湯の流動性を考慮した投入方法とする必要がある。
- ・アルミニウム割合の増加に伴い、固化体の一軸圧縮強度は低下する。

5.1.8 溶湯サンプリング

- ・試作したサンプリング治具により、スラグ層、金属層からのサンプル採取は可能であった。

5.1.9 固化体性状および成分

- ・固化体は、スラグ層、金属層共に低レベル放射性廃棄物の固化体に要求される技術基準に對し、十分な強度を有する。
- ・組成分析の結果、金属層、スラグ層とともに、組成は均一であった。

5.1.10 周辺温度

- ・溶融固化処理直後後の固化体を取扱う機器（冷却室、搬送設備など）の設計に資する温度データを取得した。

5.1.11 溶湯飛散状況

- ・炉壁への溶湯の飛散、付着はわずかであることを確認した。
- ・スリーブには比較的多くの付着物が確認され、スリーブが炉壁の保護に有効であることを確認した。

5.1.12 排ガス中の酸性ガス発生量

- ・硫黄分を含む廃棄物を溶融した場合に、SO_xの発生が見込まれる。
- ・塩化水素、フッ化水素の発生量は予想より低い結果となり、排ガス中のダストや機器及び配管に付着したものと推測される。発生状況及び付着状況について詳細な検討を要する。

5.1.13 溶融炉内損耗状況

- ・炉外に設置したITVによる、炉壁の溶湯付着やひび発生の確認は困難であった。
- ・溶融試験3回、か焼試験2回の実施による、炉内の損耗はなかった。

5.2 溶融固化処理の技術的課題

今回の確証試験により、溶融固化処理に係わるいくつかの課題について、対応策に関する確認や運用条件及び設備設計に資するため種々のデータを取得することができた。一方で、試験により新たに生じた課題や、今回の試験では十分なデータが得られなかつた点などもあり、各処理工程についての課題とその確認状況を表5-1に示す。

表5-1にあげた課題の多くは、実際の設備設計時において考慮し対応を図ることが可能である。試験等による確認を要するものとしては、

- ・前処理作業の効率化のためのか焼処理に関する諸課題

- ・溶融処理工程における溶湯からのサンプリング方法に関する項目
- ・排ガス処理工程における煙道閉塞や酸性ガス発生に関する項目
- ・実際に近い条件での試験の反復による運転データの蓄積

などがあげられる。煙道閉塞に関する項目については、廃棄物を加熱する焼却処理やか焼処理にも共通するものであり重要と考えられる。また、これまでの試験では性状が比較的明らかな模擬廃棄物を使用しており、実際に近い条件にて試験を繰返すことにより溶融固化処理の諸条件の確認や運用方法の確立を図ることは、設備の合理性向上や安全性確保の点において有効である。

今後、廃棄物の減容処理プロセスとして溶融固化処理を適用するためには、ここで述べた技術的課題についての試験、検討を行う必要がある。

表5.1 技術的課題に対する確証試験要否一覧表 (1/4)

大分類 小分類 No.	課題 項目	対策案	問題点など	試験実施*		確認状況	備考
				実施済	実施要		
受 入 工程	1-1 ドラム缶開缶前の内容物の確認 伝票等による内容物の確認 非破壊(×線等)による内容物の確認			-	-	設備設計時の対応	
	1-2 高線濃廃棄物の確認方法 伝票等による内容物の確認			-	-	既存技術の適用	
	1-3 高核分裂性核種含有廃棄物の確認 伝票等による内容物の確認			-	-	設備設計時の対応	
	1-4 有害物質含有廃棄物の確認 伝票等による内容物の確認			-	-	設備設計時の対応	
	1-5 处理不適と判定された廃棄物の対応方法 (返却、貯蔵、処分)			-	-	設備設計時の対応	
	2-1 梱包材や、廃棄物に付随する有機物の効率的な除去 か焼処理(熔融炉) か焼対象物の決定 焼却管構造の最適化 (灰受け皿の改良、灰堆積防止など) 處理対象物の装荷方法や投入管理条件の明確化(排ガス発生量も関連) 空気量(排気風量)の適正化 (灰飛散防止、設備合理化) か焼対象物の決定 か焼処理(か焼炉)	か焼処理(熔融炉)	材質毎の燃焼可否確認実施 廃棄物への適用性確認未実施	○	○		
				-	-	設備設計上の考慮と確認を要する	
				-	-	設備設計上の考慮と確認を要する	
				-	-	設備設計上の考慮と確認を要する	
				-	○	熱風加熱方式によるか焼処理、確認済 別途検討中	
	2-2 前処理・分別作業の作業員への負荷軽減 前処理	自動分別装置の採用 分別対象と分別装置の選択・決定 か焼処理		-	-	適用不可と判断	
	2-3 有害物質複合廃棄物の判別・除去の方法 前処理			-	-	2-1参照	
	2-4 低沸点金属の判別・除去の方法 前処理			-	-	溶融設備能力を明確にした上で対応検討	
	2-5 投入容器(バスケット)への収納の高効率化(高密度化) 前処理	かさ密度の低い廃棄物に対する圧縮処理 細断処理による収納量の増加 塵埃の発生 設置スペース増大 投入容器形状の最適化		-	-	2-3に同じ	
	2-6 水分、油分の除去方法(内包する分を含む) 前処理	予加熱による蒸発・乾燥 溶融炉への受入条件の明確化		-	-	設備設計時の対応	
	2-7 廃棄物から除去した油分の処理 前処理	吸着剤への吸着後、別設備にて焼却処理		-	-	設備設計時の対応	
	2-8 内包された高線濃廃棄物対策 前処理			-	-	設備設計時の対応	
	2-9 内包された高核分裂性核種含有廃棄物対策 (臨界対策を含む) 前処理			-	-	設備設計時の対応	

* - 試験実施 不要(設計対応等)
 ○: 試験実施 (今回実施)
 △: 試験実施 (優先度高)
 ▲: 試験実施 (優先度低)

表5.1 技術的課題に対する確認試験要否一覧表 (2/4)

大分類 小分類 No.	課題 項目	対策案	問題点など	試験実施*		確認状況	備考
				実施済	実施要		
前処理	2-10 高線量廃棄物混入による前処理時の想定外の被曝	受入エリアの遮蔽付加		-	-	設備設計時の対応	
	2-11 分別作業時のグローブ損傷、手指のけが	前処理作業の自動化、省力化		-	-	2-1参照	
供給	3-1 廃棄物供給時の炉内負圧の維持	2重ゲートによる炉内圧維持		-	-	既存技術の適用	
	3-2 高温にさらされる投入装置機器の健全性確保	耐熱材料の使用		○	△	現状の材質(炭素鋼)でも、有意な影響は無	
	3-3 廃棄物追加投入による浴湯の飛散	廃棄物の投入による時間の短縮化		○	-	運転を繰返した場合の確認は不足	
	3-4 重量物投入時のキャニスター等損傷防止	バスケットによる沈降投入	バスケットの溶け残りが発生する場合がある。	○	△	廃棄物の種類による溶融時間データを取得済	
	3-5 助剤投入方法の効率化	溶湯レベルによる廃棄物投入量の制御		○	-	押し込み等の溶け残り防止の検討確認要	
	4-1 廃棄物溶融状態の確認方法 (追加投入間隔の設定)	バスケットによる沈降投入		○	-	マイクロ波レーベル計の有効性確認済	
	4-2 助剤の種類と必要量の最適化	投入容器への充填重量の制限		-	-	測定精度向上には、設置方法の改善など必要	
	4-3 確実な合金化のためのアルミニウム溶融方法	廃棄物ごとの所要助剤量の把握		-	-	バスケットでの投入によりキャニスター損傷は無	
	4-4 溶融	廃棄物組み合わせによる助剤量低減		-	-	制限重量内でのバスケット健全性は確認済	
		廃棄物ごとの溶融時間の確認		-	-	バスケットへの装荷重量は既に制限設定済	
		目標確認の指標設定		○	○	HEPA、ガラス、断熱材に対する助剤量確認済	
		高融点廃棄物(アルミナを含む)に対する助剤の種類と必要量の最適化		○	△	助剤量低減の見込みを確認要	
		確実な合金化のためのアルミニウム溶融方法	アルミの投入条件の把握	○	○	他の組み合せ例について確認要	
		溶鋼サンブラーの改良	スラグ層、金属層の2層の溶湯への適用性	-	-	投入物条件による溶融時間の指標確認済	
		治具によるサンプリング	スラグ層、金属層の2層の溶湯への対応	○	○	さらに多くの条件での確認要	
		4-4 溶湯のサンプリング方法	溶湯組織の違いによる溶湯飛散を懸念し不採用	-	-	アルミの投入割合や、形状等の条件を確認済	
			サンプラーの燃焼による溶湯飛散を懸念し不採用	○	○	実規模での確認要	
			サンプラーの燃焼によるサンプリング可を確認済	-	-	サンプラーの燃焼による溶湯飛散を懸念し不採用	
			治具の取扱いによるサンプリング可を確認済	○	○	サンプラーの燃焼によるサンプリング可を確認済	
			治具の取扱方法の確立	-	-	治具の取扱、サンプルの移送などに課題有	
			溶湯組織の違いによる溶湯飛散を懸念し不採用	-	-	溶湯への挿入位置制御など、設計時対応要	
			サンプルの代表性	○	○	投入物からの想定組成との比較実施済	
			サンプルの取扱い(汚染拡大防止など)	-	-	国化体分析結果との確認要	
			サンプル分析時間の短縮と費用の削減	-	-	設備設計時の対応	
				-	-	8-2参照	

* 一 試験実施 不要(設計対応等)
 ○ 試験実施 済 (優先度高)
 △ 試験実施 要 (優先度中)

表5.1 技術的課題に対する確認試験要否一覧表 (3/4)

大分類 小分類	課題項目	対策案	問題点など	試験実施*		確認状況
				実施済	実施要	
溶融	4-5 溶融固化体の均一性の確認 試運転等による確認	試運転等による確認		○	-	標準的な確認条件でのデータ取得要 標準的な条件でのデータ取得要
	4-6 放射性核種残存率、分布の確認 試運転等による確認	試運転等による確認		-	○	核種移行に関する確認要
	4-7 スラグ発泡対策(スラグ発泡成分の確認) 付着・混入した水分の急激な膨張による キャニスター破損、溶湯の飛散	有害成分の除去、試運転等による確認 前処理における予加熱による水分等の除去 キャニスター破損時の為の溶湯受けを設置		-	-	AUリングによるスラグ面の放熱抑制により、 発泡抑制確認済
	4-8 溶湯の飛散防止			-	-	2-6参照
	4-9 炉内耐火物への放射性核種付着の防止			-	-	設備設計時の対応
	5-1 固化体からの放熱によるセル・G/Bへの悪影響 冷却	冷却ボックス内での冷却		○	-	スリーブによる炉壁保護確認済 溶湯温度の直接測定がない、寒冷条件での溶湯 飛散、付着状況確認要
	5-2 溶融物搬送中の安全対策 冷却	キャニスターの転倒防止		-	-	付着物の人手による除去は可能 遠隔での除方法について設計対応要
	6-1 系統放射能除去係数の取得 6-2 ルテニウム、ヨウ素等の対策(フィルタ性能)	溶融炉 フィルタの除去係数に関する コールドトレーサ試験		-	-	影響の有無など確認要
				○	-	設計時対応のための溶融固化処理直後の キャニスター周辺温度データ取得済
処理工程 排ガス処理	6-3 低沸点金属等による煙道内の閉塞 燃焼	煙道内への付着条件の解明 トラップ装置の設置		-	-	設備設計時の対応(既存のフィルタ適用) 煙道閉塞原因特定に向け、再現試験を実施した が、付着条件等確認できず、 燃焼、焼却処理など共通
		捕集対象物質量の設定、捕集必要量の設定 (低沸点金属混入量の想定など)		○	○	燃焼物への混入割合からの設定要 保守頻度に対する設計上の考慮も必要
		トラップ装置の捕集効率向上 (装置構造の改良)		-	○	試作トランプ装置による捕集は可能 捕集装置、捕集効率の向上が必要
		トランプ装置の保守方法確立 (捕集物の回収方法など含む)		-	-	捕集した物質の回収方法などを含む、装置の 保守方法設計上の考慮要
		前処理による低沸点金属の除去		-	-	完全な除去は期待できず、別途対応が必要
		炉内に堆積する飛灰の回収除去 6-4 アフターバーナー、フィルタ等で回収される 灰の処理	各部への飛灰付着量、堆積量確認 前工程に戻し、廃棄物と共に溶融固化	○	△	接続箇所への飛灰堆積確認 試験を反復し実施物の場合の状況確認要
	6-5 スクラバで回収される雨水の処理	セメント固化	水溶性放射性物質の含有量、セメント固化阻害物質 の低減対策、セメント固化体数	-	-	固化への影響確認のため、成分分析が必要 試験設計時の対応

* -: 試験実施 不要(設計対応等)
 ○: 試験実施 済 (今回実施)
 △: 試験実施 要 (優先度高)
 ▲: 試験実施 要 (優先度低)

表5.1 技術的課題に対する確認試験要否一覧表 (4/4)

大分類 小分類 No.	課題 項目	対策案	問題点など	試験実施*		確認状況	備考
				実施済	実施要		
排ガス処理工程	6-6 酸性ガス(HF、HCl、SO _x)による腐食対策	耐腐食性材料の使用 コーラルドスポットの防止構造		○	○	設計時の大気検討のためガス発生状況の確認試験を実施したが、配管等への付着により発生量の確認不可	か焼却炉など共通
	6-7 廃セラミックフィルタの処理	ドラム缶に収納し、直接充填固化	放射能測定方法	(○)	-	設備設計時の対応	溶融可能であることは確認済
充圧工程化	7-1 ドラム缶内に空隙のないモルタルの充填	流动性の高いモルタル使用		-	-	既存技術の適用	
	7-2 セメント固化阻害物質対策	有害成分の除去		-	-	設備設計時の対応	
検査	8-1 分析対象放射性核種の選定	処分の観点から必要な核種の確定		-	-	処分に関する検討状況の確認要	
	8-2 離測定放射性核種の分析方法			-	-	測定方法に関する検討状況の確認を要する	
保守	9-1 各設備、機器の損耗進行の確認方法	ITVによる目視確認		○	-	炉外ITVによる目標確認は不可と判断	設計時の大気要
	9-2 遠隔保守構造及び保守方法の妥当性確認	試運転等による損耗進行速度の確認 モックアップ試験による確認、シミュレーション等の援用		-	△	試験回数が少く、確認不足。 部分的な加速試験などによる検討を要する	設備設計時の対応後、モックアップ試験実施が望ましい
運用	9-3 遠隔保守性能確認			-	-	9-2参照	
	9-4 寿命(保守必要性)判定方法の確立	必要なセンサ類の設置、判定基準の作成		-	-	9-1の結果にもとづき、検討を要する	
その他	10-1 運転コストの削減	自動設備導入による作業員の削減 剤剤使用量の低減		-	-	適用不可と判断	
	10-2 発生系統の異なる廃棄物処理によるクロスコンタミネーションの回避	設備立ち上げ、停止等の効率化		○	-	3-5参照	
その他	10-3 運転員の負荷軽減	設備の複系統化 ストリーブ等の系統毎の使い分け	コストの増加	-	-	廃棄体化する際のクロスコンタミネーションの許容範囲により、検討を要する	
	10-4 既存設備と運動した運用方法の策定	遠隔による運用状態の把握、運転自動化 既存設備の運用に合わせた運転の実施	運転状態の把握方法、運転員が行う判断等の自動化策の検討	-	-	設備設計時の対応	
その他	11-1 溶融固化体からの溶出特性	溶融試験体によるデータ取得		-	-	現状、処分後の評価において、固化体の種類に応じて溶融固化体の製作条件について検討状況を確認する。	
	11-2 輸送・貯蔵開閉設備、処分場設備仕様に關する制約事項の確認	最大廃棄体重量等の設定		-	-		
	11-3 設備、運転、処分コストの総合評価	溶融処理の適用合理性確認		-	-	設備設計時の対応	

* 一: 試験実施 不要(設計対応等)
 ○: 試験実施 準備(優先度高)
 △: 試験実施 要(優先度低)

6. おわりに

溶融固化処理は、原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、金属や廃機器類といった不燃物を対象とした減容処理方法として導入されている。しかしながら、TRU 廃棄物を対象とした溶融固化処理システムの検討を進める中で、溶融固化処理に関連する工程において技術的な課題があげられた。

今回、その課題の中で比較的必要性が高いと判断された項目について、その対策の立案や確証を目的として確証試験を実施した。また、試験により新たに生じた検討事項を含め、溶融固化処理に関する課題を整理した。

溶融固化処理に関しては未だ改善すべき課題を残している。実際に溶融固化処理設備の計画を進める際には、さらに実規模炉を用いた試験を繰返して諸データを蓄積し、設計に資することが必要である。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所：“平成16年度 超ウラン核種を含む放射性廃棄物の発生量低減等に関する調査検討 成果報告書”，(2005.3)
- 2) 日本原子力研究所：平成17年度 超ウラン核種を含む放射性廃棄物の発生量低減等に関する調査検討 成果報告書”，(2005.9)
- 3) 河口一郎ら：“放射性廃棄物高周波溶融システムの開発”，原子力 energy, 48, 10, p64-67, (2002.10)
- 4) N.ラジャラトナム：“噴流”，森北出版, p1-3, (1981)
- 5) (財) 原子力環境整備センター：“低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について（各種固体状廃棄物）”，(1996.7)
- 6) (財) 原子力環境整備センター：“放射性廃棄物ポケットブック”，(1999)
- 7) 日本原子力研究所：“雑固体廃棄物の溶融固化体製作条件に関する調査検討”，JAERI-Review2000-033 (2001.2)

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	メートル毎秒	m/s
加速	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	メートル毎秒	m^{-1}
密度(質量密度)	キログラム每立法メートル	kg/m^3
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア每平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア每メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル每立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ每平方メートル	cd/m^2
屈折率	(数の)1	1

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1}=1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2}=1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
圧力、応力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率、放熱	ジュール	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
電荷、電気量	ワット	W	J/s
電位差(電圧)、起電力	クロン	C	$s \cdot A$
静電容量	ボルト	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
電気抵抗	アーチューム	F	C/V
コンダクタンス	シーメンス	S	V/A
磁束密度	エーバ	Wb	A/V
インダクタンス	ヘンリ	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	Wb/m^2
光度	ルーメン	lm	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq	Wb/A
吸収線量、質量エネルギー	グレイ	Gy	K
ギー分与、カーマ			$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量、周辺線量当量	シーベルト	Sv	J/kg
方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量			$m^2 \cdot s^{-2}$

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。
- (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
のモーメン	ニュートンメートル	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン每平方メートル	rad/s ²	$m^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット每平方メートル	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール每キログラム	J/(kg·K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エントロピー	毎ケルビン		
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール每キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット每メートル每ケルビン	W/(m·K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン每立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン每平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード每メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg \cdot s^{-4} \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^2$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンントロピー	ジュール每モル	J/(mol·K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	ビン		
照射線量(X線及びγ線)	クーロン每キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量	グレイ	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² ·sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h = 60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000) \text{ rad}$
リットル	L	$1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3$
トン	t	$1 t = 10^3 \text{ kg}$
ネーパ	Np	$1 Np = 1$
ベル	B	$1 B = (1/2) ln 10 (Np)$

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1 eV = 1.60217734(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1 u = 1.6605402(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$
天文単位	ua	$1 ua = 1.49597870691(30) \times 10^{11} \text{ m}$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1 海里=1852m
ノット	ト	1 ノット=1 海里每時=(1852/3600)m/s
アール	ル	$1 a = 1 dam^2 = 10^2 m^2$
ヘクタール	ha	$1 ha = 1 hm^2 = 10^4 m^2$
バル	bar	$1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 1000 hPa = 10^5 Pa$
オングストローム	Å	$1 Å = 0.1 nm = 10^{-10} m$
バーン	b	$1 b = 100 fm^2 = 10^{-28} m^2$

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 erg = 10^{-7} J$
ダイナ	dyn	$1 dyn = 10^{-5} N$
ポア	P	$1 P = 1 dyn \cdot s/cm^2 = 0.1 Pa \cdot s$
ストーカス	St	$1 St = 1 cm^2/s = 10^{-4} m^2/s$
ガウス	G	$1 G = 10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe = (1000/4\pi) A/m$
マクスウェル	Mx	$1 Mx = 10^{-8} Wb$
スチール	sb	$1 sb = 1 cd/cm^2 = 10^4 cd/m^2$
ホタル	ph	$1 ph = 10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal = 1 cm/s^2 = 10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1 rad = 1 cGy = 10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem = 1 cSv = 10^{-2} Sv$
X線単位	IX unit	$1 IX unit = 1.002 \times 10^{-4} nm$
ガンマ	γ	$1 \gamma = 1 nT = 10^{-9} T$
ジャンスキ	Jy	$1 Jy = 10^{-26} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fm	$1 fermi = 1 fm = 10^{-15} m$
メートル系カラット	Torr	$1 metric carat = 200 mg = 2 \times 10^{-4} kg$
ト標準大気圧	atm	$1 Torr = (101.325/760) Pa$
カリ	cal	$1 atm = 101.325 Pa$
ミクロ	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$