

廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する
研究開発(先行的処理手法及び分析手法に関する研究開発))

平成30年度成果

IHI

2019年 7月

株式会社 IHI

1. 研究の背景・目的
2. 目標
3. 開発のポイント
4. 本研究の実施項目
5. 実施スケジュールと実施体制図
6. 実施内容
 - ① ガラス組成開発
 - ② 廃棄物組成の変動等の影響確認
 - ③ 実用規模での**CCIM**運転性確認とシステム検討に必要なデータ取得
 - ④ 廃ガス処理設備及び供給系の検討
 - ⑤ 日本の規制への適用性検討
7. まとめ

1.研究の背景・目的

福島第一原子力発電所事故で発生した(もしくは将来発生する)主な廃棄物

汚染水処理二次廃棄物

- ゼオライト
(KURION、SARRY)
- スラッジ(AREVA、ALPS)
- 廃樹脂、吸着材(ALPS)

ガレキ / 伐採木等

- ガレキ(コンクリート、金属など)
- 伐採木(焼却灰)
- 土壌
- 可燃物(焼却灰)

燃料デブリ / 解体廃棄物(将来)

- 燃料デブリ
- 解体廃棄物

福島第一原子力発電所の廃棄物には、以下のような特徴が含まれる。

- 放射能レベルが高いため、保管・処分時に水分等が含まれると放射線分解による水素発生が懸念される。
- ゼオライト、スラッジ、廃樹脂等の多種多様な廃棄物が存在するとともに、今後の性状把握の進捗によっては廃棄物の組成が変動する可能性がある。
- 可燃物を含む廃棄物が存在する(処分に際しては、無機化しておくことが必要となる)。
- α 核種が含まれ放射能レベルが高いものが混在する(廃棄体に安定性が求められる可能性がある)。
- 多量の廃棄物が存在する(貯蔵・処分を考慮すると、可能な限り減容しておくことが必要となる)。
- 原子力発電所の運転時には発生しない廃棄物が存在する(新たな開発が必要となる) 等。

福島第一原子力発電所の廃棄物に対する処理技術を検討する場合、有機物の無機化、水素発生抑制、多種多様な廃棄物への対応、廃棄体の安定性、減容性が必要。

1.研究の背景・目的

- 本研究は、『ガラス固化技術』を福島第一原子力発電所の固体廃棄物の処理方法に適用することを目標とする。
- 同時に、ガラス固化を行う溶融炉として、多種多様な廃棄物への適用性が高く、減容性及び安定性が高い廃棄体を作製可能な『コールドクルーシブル誘導加熱炉(Cold Crucible Induction Melter:以下CCIM)』を用いることとする。



- 本研究では、汚染水処理等により発生する固体廃棄物を安全かつ合理的に保管・管理・処分できる廃棄体とすることを目的とする。
- 上記により、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、国内外の研究機関の英知を結集し当該廃棄物処理に取り組むことにより、我が国の科学技術の水準の向上に資する。

本研究は、福島第一原子力発電所汚染水処理等から発生する固体廃棄物を安定化、減容化し、安全かつ合理的に保管管理できる廃棄体とするために、以下を目標としている。

- CCIMを用いたガラス固化技術を福島第一原子力発電所の固体廃棄物の処理方法に適用する。
- 本技術が固体廃棄物の実用規模の処理に適用できる見通しを得る。



そこで、以下の要求事項に対する検討を実施し、適用の見通しを得ることとする。

- 先行的処理^(*1)の目的を踏まえた上で、福島第一原子力発電所の廃棄物に適したガラス組成を開発する。
 - ⇒ るつぼ規模により、CCIMによるガラス固化が可能なガラス組成を設定する。
- ガラス固化技術が固体廃棄物の実用規模の処理に適していることを評価する。
 - ⇒ 実用規模のCCIM試験装置による運転性及びガラス固化体の特性を確認するとともに、CCIMを用いたガラス固化プロセスを検討する。

(*1): 処分の技術的要件が決まる前に行う、処分を念頭に置いた、安定化、固定化のための処理方法。

3.開発のポイント(I ガラス組成開発)

低レベル廃棄物にガラス固化(「溶融ガラス化」)を導入する場合、要求事項は、操業性、廃棄体の安定性、減容性と考えられる。ガラス組成の選定においては、要求事項の中でもCCIMIにおける適用性を考慮する上で優先度が高いと考えられる操業性の観点から、絞り込みを行うものとする。

項目	要求事項
操業性	開発したガラス組成をCCIMIに適用する際には、以下の物性が基準値を満たすことが必要。 <ul style="list-style-type: none"> • <u>高温粘度</u> • <u>電気伝導度</u> <u>Cs等の揮発抑制の観点から、溶融温度は1200℃以下として、できるだけ低い温度を目指す。</u>
廃棄体の安定性	ガラス固化体の安定性を評価するため、以下の基準値を満たすこととしている。 <ul style="list-style-type: none"> • PCT-A試験によるB、Li、Na及びSiの規格化浸出量が2g/m²以下(参考値)^{※1,2}
減容性	ガラス固化体の本数を減らすためには、廃棄物充填率の向上が必要。 ※高温処理により、有機物の無機化、水分の除去を行うことで、処理を行わない廃棄物の状態に比べ、保管及び処分時の容量の大幅な減少が見込まれる。

※1: 廃棄体安定性は、参考として米国の基準を満たすガラスを選定する。

※2: PCT-A試験は標準的な方法により、米国の基準値を基にガラスの安定性を比較する目的で実施するものであり、処分時の安定性を評価する方法とは異なる。処分時のガラスの安定性の評価については、実施項目「②廃棄物組成の変動等の影響確認」の中の「浸出挙動の評価」の項で実施する。



<本年度の目標>

- 操業性の観点から、作製するガラス中に廃棄物成分の未溶融物がなく、CCIMIの運転に必要な基準値を満たすガラス組成とする。
- その上で、廃棄体の安定性(低い浸出率)、減容性(高い廃棄物充填率)を満足するガラス組成を選定する。

3.開発のポイント(溶融ガラス化技術の考え方)

	ガラス固化技術		溶融固化技術
	ガラス固化(従来)	溶融ガラス化	
概要	<p>廃棄物にホウ珪酸ガラスなどの所定のガラス原料を添加し、ガラス固化する方法</p>	<p>廃棄物自体に含まれる成分(例えば、SiO₂)などをガラス形成成分とすることで、添加物を最小限に抑えて、ガラス固化する方法</p>	<p>廃棄物を溶融し、スラグとして固化する方法</p>
減容性	<p>△ ※ガラス原料添加により、廃棄物充填率を一定に保つため、減容性は低い</p>	<p>○ ※安定性を確保できる範囲で、添加物量を最小限に抑制するため、減容性は比較的高い ※但し、廃棄物組成によって減容性は変動する</p>	<p>◎ ※添加物がないため、減容性が高い</p>
操業性	<p>◎ ※溶融ガラスの高温物性を一定範囲に管理できるため、加熱・流下(出湯)条件は毎回一定 ※但し、高レベル廃液の場合は、白金族管理が運転に影響</p>	<p>○ ※溶融ガラスの高温物性を決められた範囲内に管理できるため、加熱・流下(出湯)条件は大きく変動しない範囲で運転できる</p>	<p>△ ※廃棄物組成によって高温物性が異なるため、加熱・流下(出湯)条件を毎回設定する必要がある</p>
廃棄体安定性	<p>◎ ※ガラス固化後の組成が常に一定範囲に管理されるため、安定性に優れる</p>	<p>○ ※安定性を確保できる範囲で、添加物量を最小限に抑制することで安定性は比較的高い。但し、廃棄物組成によって安定性は変動する</p>	<p>△ ※廃棄物組成によってスラグ組成が決まるため、安定性は一定でない</p>

3.開発のポイント(Ⅱ Cs揮発対策)

ガラス固化等の高温処理では、Csを多く含む廃棄物に対して、Csの揮発が懸念される。以下の方法で対応する方針である。

➤ ガラス組成による対応(右図(a))

- 低温溶融によるCs揮発抑制対策の検討:
溶融温度を下げること((例)1200°C程度 ⇒1050°C程度)でCsの揮発を抑制する。
 ⇒低い溶融温度で目標となるガラスの物性を満足するガラス組成を選定
- 化学的観点からCs揮発抑制対策の検討:
ガラス化プロセスでのCsの反応挙動等の化学的観点から、Csの揮発を抑制する。
 ⇒反応挙動を考慮したガラス組成を選定

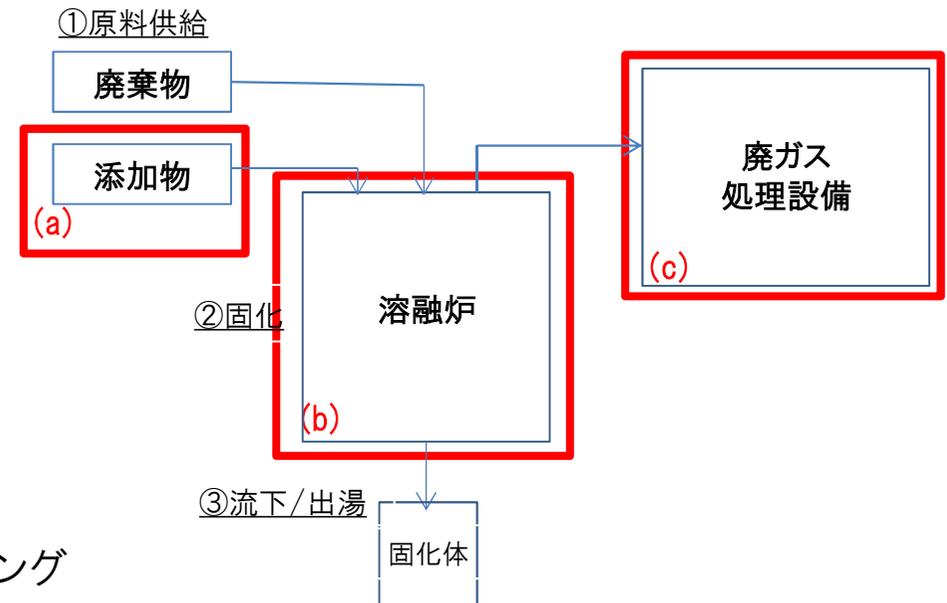
➤ CCIMの運転方法による対応(右図(b))

- 揮発抑制可能なCCIMの運転方法の検討:
 炉内の仮焼層(*1)及びホットスポットの形成状態、バブリング(*2)流量等、CCIMの運転をコントロールすることでCsの揮発を抑制する。

(*1:溶融炉上面に形成する低温の層、*2:空気等による炉内溶融ガラスの攪拌方法)

➤ 廃ガス処理設備の検討(右図(c))

- 廃ガス処理設備での揮発Csの回収:
揮発したCsについては、後段の廃ガス処理設備で確実に回収し、外部に放出しないシステムとする。



CCIMにおけるCs揮発対策の検討箇所

<本年度の目標>

- ガラス組成の検討によるCsの揮発抑制対策を進めると共に、廃ガス処理設備での回収について検討を進める。

3.開発のポイント(Ⅲ CCIM適用性確認)

CCIMの利点と課題、その確認・検討方法を以下に纏めた。

利点		確認・検討方法
①	ガラスの組成に拘わらず溶解可能	• 鉄リン酸ガラス等腐食性の高いガラス組成での運転性確認
②	仮焼層形成によりCs等の揮発抑制可能	• 運転方法(バブリング流量等)の変化に対する仮焼層形成状態等への影響確認
③	キャニスタ(容器)にガラスを高充填可能	• 容器への流下、流下量の管理方法の検討
④	容器が安価	• 容器への流下時のデータ取得及び容器の選定
⑤	<u>連続運転可能であり、処理能力が高い</u>	• <u>処理速度(廃棄物の種類毎の確認が必要)の確認</u>
⑥	<u>溶融炉内での溶融、ガラスと廃棄物の混合性が良い</u>	• <u>バブリングによる溶融・混合性の促進、流下ガラスの均一性確認</u>
⑦	<u>流下ガラスの分析が可能</u>	• <u>流下ガラスのサンプリング、流下ガラスの分析(組成等)</u>
課題		確認・検討方法
⑧-1	<u>スカル層^(*)管理のノウハウが少ない</u>	• <u>ガラス組成の変化とスカル層を形成した状態での溶融炉の運転状態の確認(廃棄物の種類毎の確認が必要)</u>
⑧-2		• 運転方法の確認
⑨	流下操作のため運転操作が難しい	• 流下操作の検討

*1: 炉壁を冷却することで炉壁と溶融ガラス間に形成する低温のガラス層

<本年度の検討項目>

⑤処理速度、⑥流下ガラスの均一性、⑦流下ガラスのサンプリング及び分析、⑧-1ガラス組成の変化とスカル層を形成した状態での溶融炉の運転状態の確認とともに、課題抽出を実施する。

今後、インベントリー評価の方法は、別途検討されていくものと考えられるが、CCIM等の流下方式を採用した場合、以下の手法で行うことも可能である。

➤ 溶融炉に投入する廃棄物組成のサンプリングと供給量からの評価

- 供給設備において、廃棄物のサンプリング分析を行い、溶融炉への供給量から溶融ガラス固化体のインベントリーを評価する。

⇒サンプリング分析のタイミング・頻度を検討する必要がある。

➤ 流下ガラスのサンプリング評価(流下方式のみ)

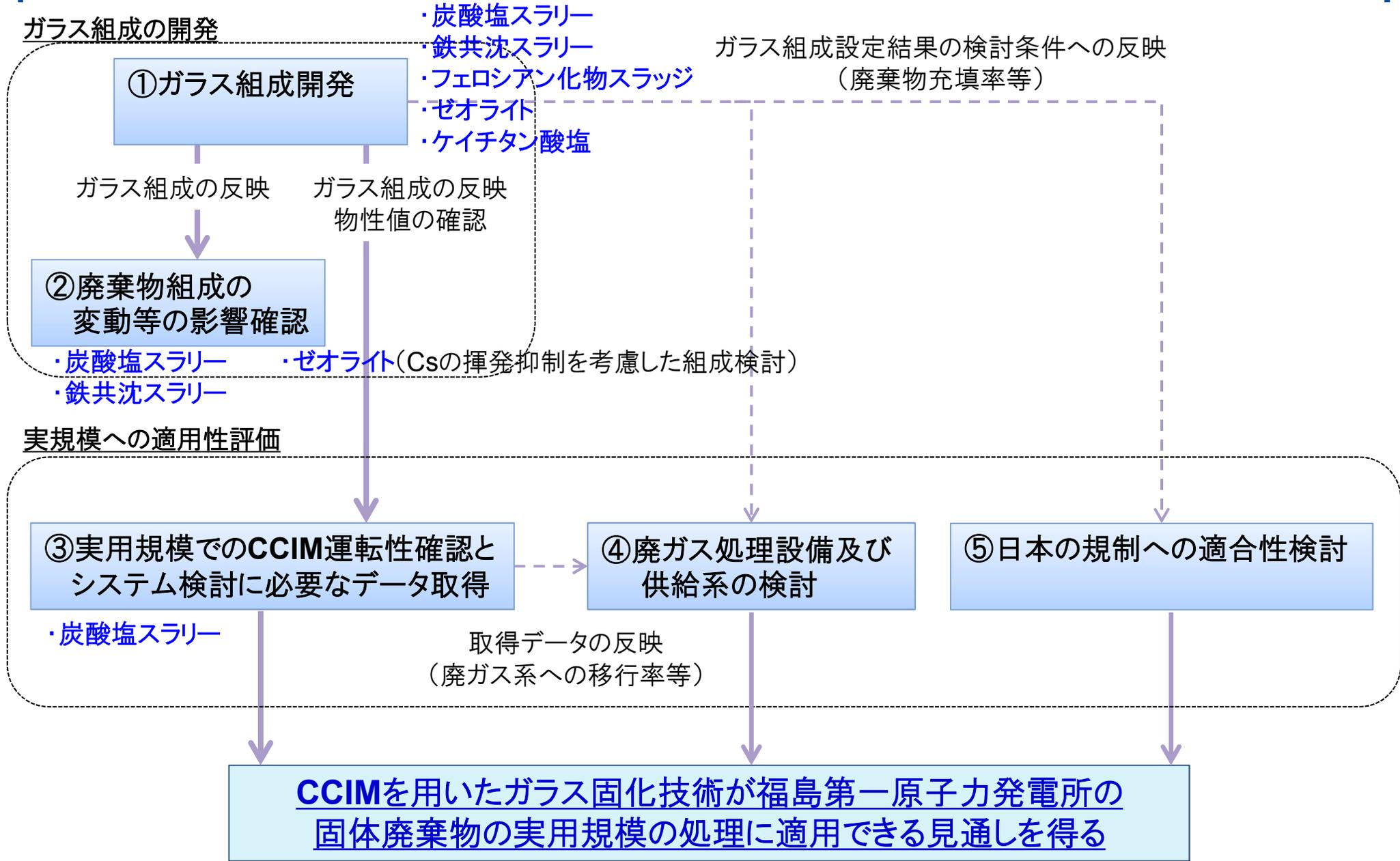
- 流下ガラスを定期的にサンプリング、抜き取り確認することにより、炉内及びガラス固化体内のインベントリー評価を行う。



<本年度の目標>

- 供給系の検討において、投入する廃棄物のサンプリング分析(ガラス固化運転(廃棄物供給開始～流下終了まで)毎等の分析頻度を想定)も考慮した廃棄物の投入形態の検討、設備検討等を実施する。
- 実用規模でのCCIM運転性確認にて、流下ガラスのサンプリングを行い、固化体組成の把握を実施する。

4.本研究の実施項目（I 実施フロー）



4.本研究の実施項目(Ⅱ 個別実施項目)

①ガラス組成開発

➤ 廃棄物の代表組成でガラス組成を検討し、るつぼ試験で物性・特性を確認

【実施内容】

- ガラス組成検討は、2016年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」で実施済みのため、同結果を反映し、以下を実施

◇ 組成評価及び組成調整、物性測定(高温粘度、電気伝導度)、浸出率の評価

【対象廃棄物】

- 対象廃棄物は以下のような汚染水処理等で発生する廃棄物より、放射能レベルや保管量の観点から処理のニーズが高いと考えられる5種類を選定
 - ◇ 第二セシウム吸着装置(SARRY)由来:ゼオライト、ケイチタン酸塩
 - ◇ 除染装置由来:フェロシアン化物スラッジ
 - ◇ 多核種除去設備(ALPS)由来:鉄共沈スラリー、炭酸塩スラリー

②廃棄物組成の変動等の影響確認

➤ るつぼ試験で廃棄物組成変動時のガラス化への影響評価

【実施内容】

- ①項のガラス組成開発結果を基にして、以下を実施

I: 廃棄物組成変動範囲におけるガラス固化の確認

II: 浸出挙動の評価

III: Cs揮発の抑制検討

【対象廃棄物】

I: 鉄共沈スラリー、炭酸塩スラリー

II: 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト、ケイチタン酸塩

III: ゼオライト

4.本研究の実施項目(Ⅱ 個別実施項目)

③実用規模でのCCIM運転性確認とシステム検討に必要なデータ取得

- 実用規模試験装置を用いて、廃棄物に対する処理能力、ガラス固化体の特性確認、核種成分(本年度はSr)の廃ガス系への移行率等を確認すると共に、CCIMの適用性の確認及び課題の抽出を行う(実施項目④に反映)。
- 課題が出た場合には、将来的に、対策検討に反映することが必要。例えば、移行率等に課題がある場合は、ガラス組成や運転条件(熔融温度、バブリング量など)の見直しを実施。
- 試験においては、運転管理において重要となるパラメータに着目し、運転性の評価を実施する。

【実施内容】

- 廃棄物形態を模擬した模擬廃棄物を用い、1ケースの実用規模試験を実施(模擬廃棄物として炭酸塩スラリーを選定し、①で検討したガラス組成を使用)
- 試験で作製したガラスは、圧縮強度、浸出率、ガラス化状態、結晶物/析出物を評価(サンプリングした流下ガラスを評価)

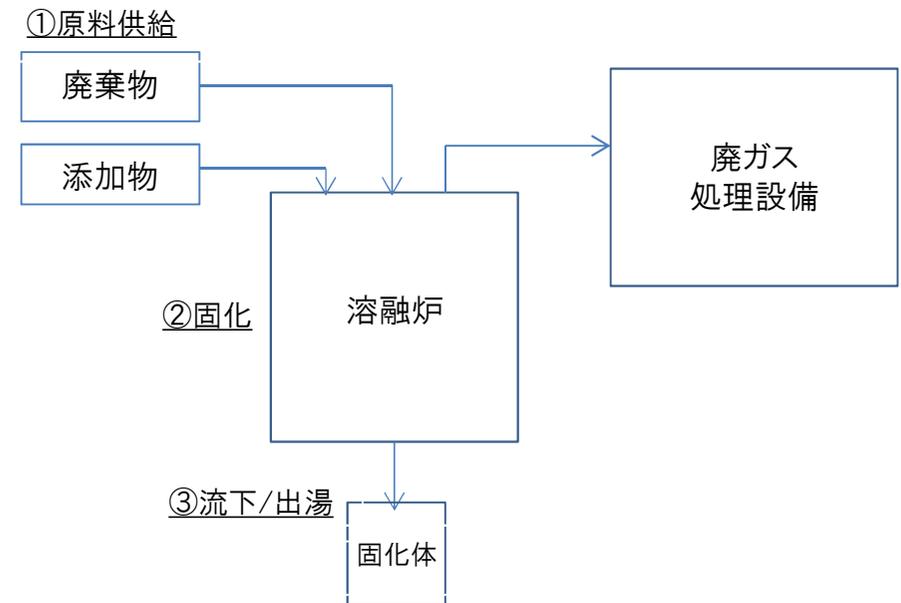
4.本研究の実施項目(Ⅱ 個別実施項目)

④ 廃ガス処理設備及び供給系の検討

- 福島第一原子力発電所の固体廃棄物に適した廃ガス処理設備及び供給系の概念検討を行う。
- 必要に応じて、CCIM実用規模試験の結果をフィードバックするとともに、本検討結果を運転方法に反映

【実施内容】

- 廃ガス処理設備の基本プロセス及びマテリアルバランスを検討するとともに、データ取得が必要な項目の抽出・整理、試験計画を作成
- 基本プロセス等の検討結果を基に、硫黄混合時等の脱硫装置等、一部産業炉で実績のある装置の調査及び適用性を検討
- 廃棄物形状に応じた廃棄物の供給系に関して、課題抽出とその対策検討



ガラス固化システムのイメージ図

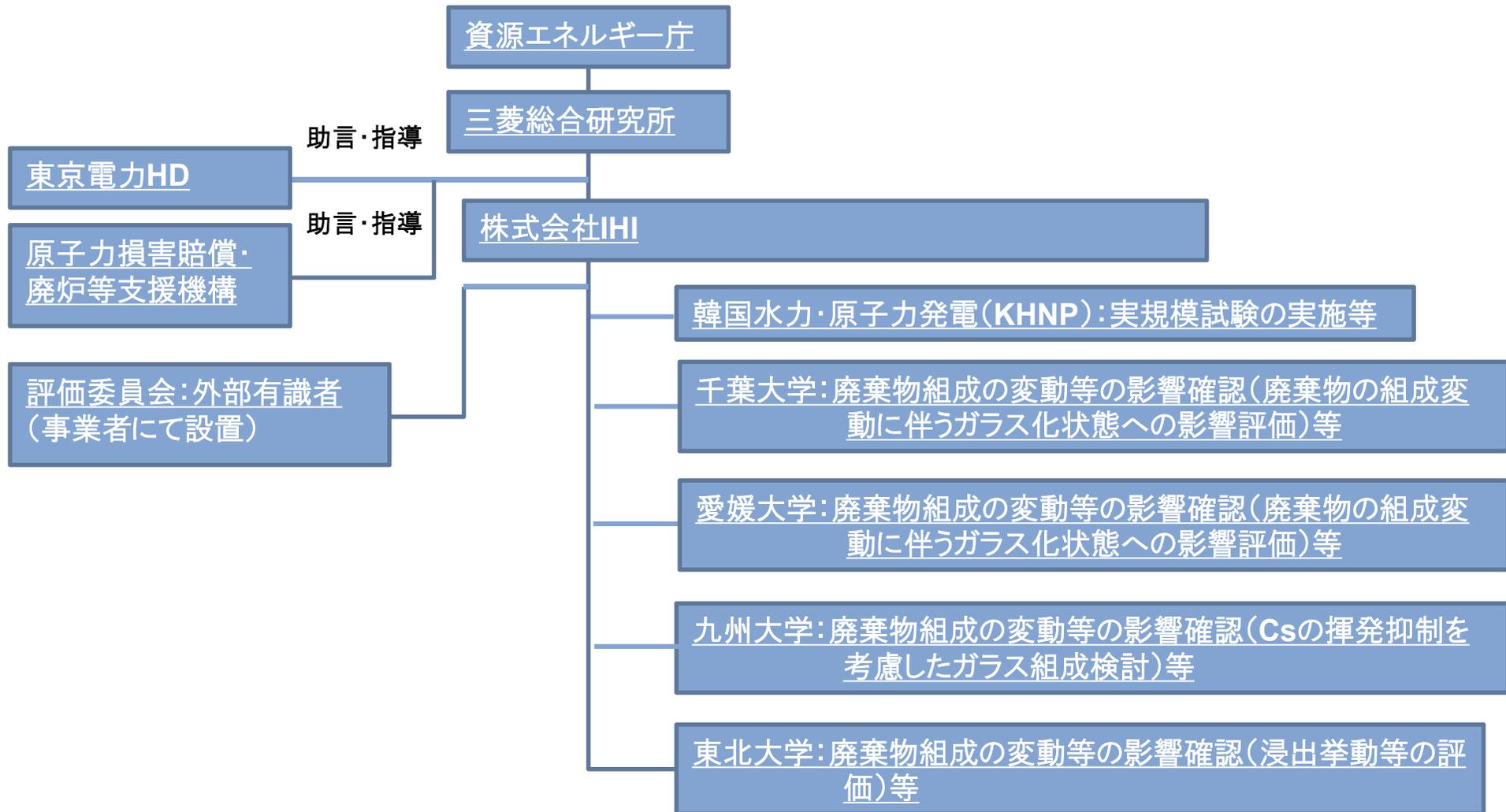
⑤ 日本の規制への適合性検討

- 韓国CCIMシステムを日本に導入するにあたり、耐震強度、事故時評価等、日本の安全評価、許認可対応等の観点で、導入時の課題を整理する。

【実施内容】

- CCIMを日本に導入する際の、安全評価、許認可対応等への課題を抽出・整理
- CCIMに関連する検討課題を抽出

5.実施スケジュールと実施体制(Ⅱ 実施体制)



6.実施内容 ①ガラス組成開発

目的

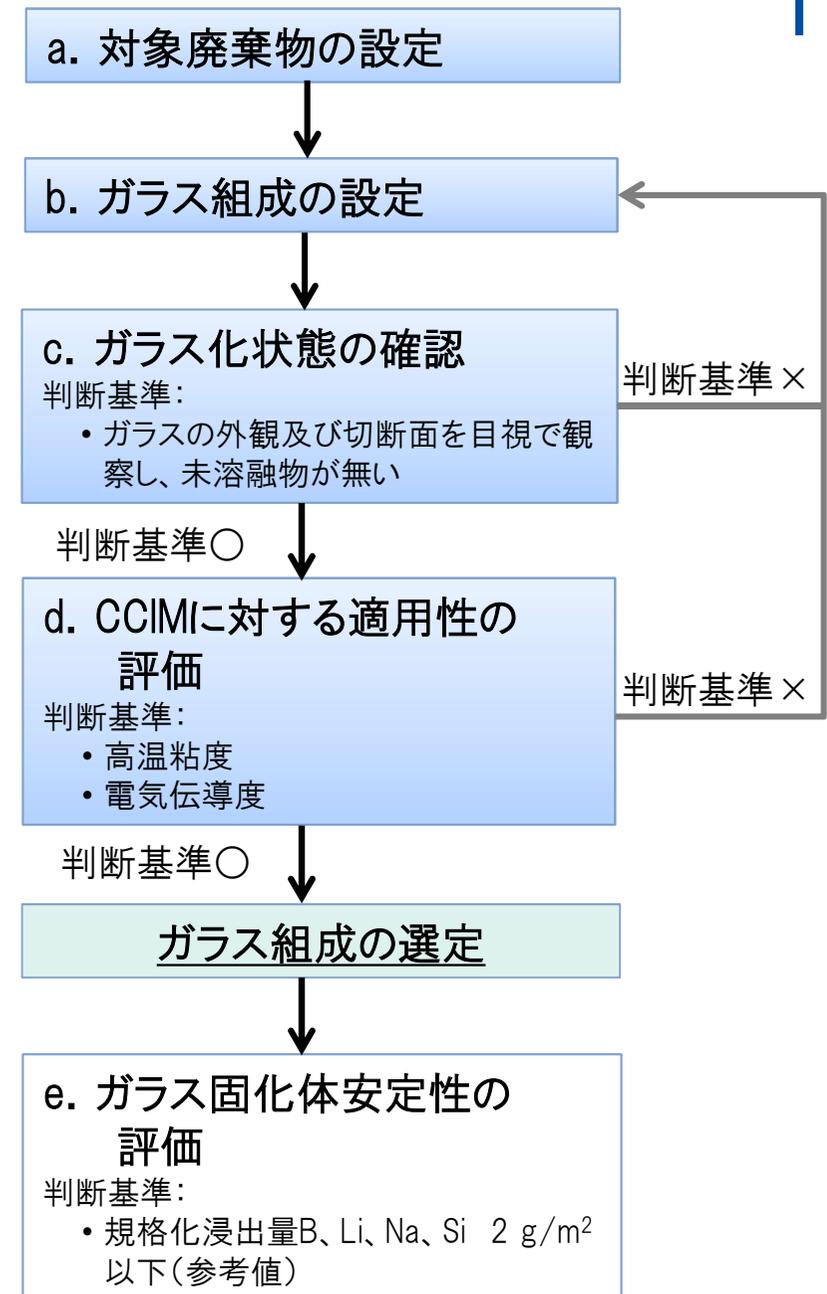
- 廃棄物組成に応じて、以下の3項目を満足するガラス組成を設定する。

目標

- 5種類の対象廃棄物に対して、ガラス化状態の確認及びCCIMIに対する適用性の評価項目の判断基準を満足するガラス組成を設定する。

項目	判断基準
ガラス化状態の確認	<ul style="list-style-type: none"> ガラスの外観及び切断面を目視で観察し、未溶融物が無い
CCIMIに対する適用性の評価(操業性)	溶融ガラス(加熱温度)に対し、 <ul style="list-style-type: none"> 高温粘度 電気伝導度 <u>Cs等の放射性核種の揮発抑制の観点から、溶融温度は1200℃以下として、できるだけ低い温度とする</u>
ガラス固化体安定性の評価(廃棄体の安定性)	<ul style="list-style-type: none"> PCT-A試験によるB、Li、Na及びSiの規格化浸出量が2g/m²以下(参考値)^{※1}

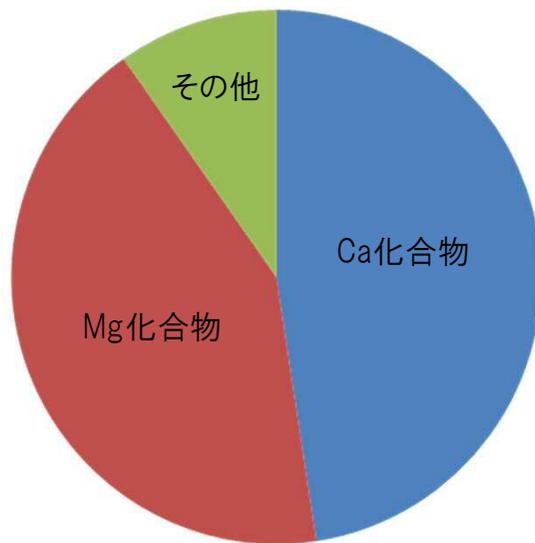
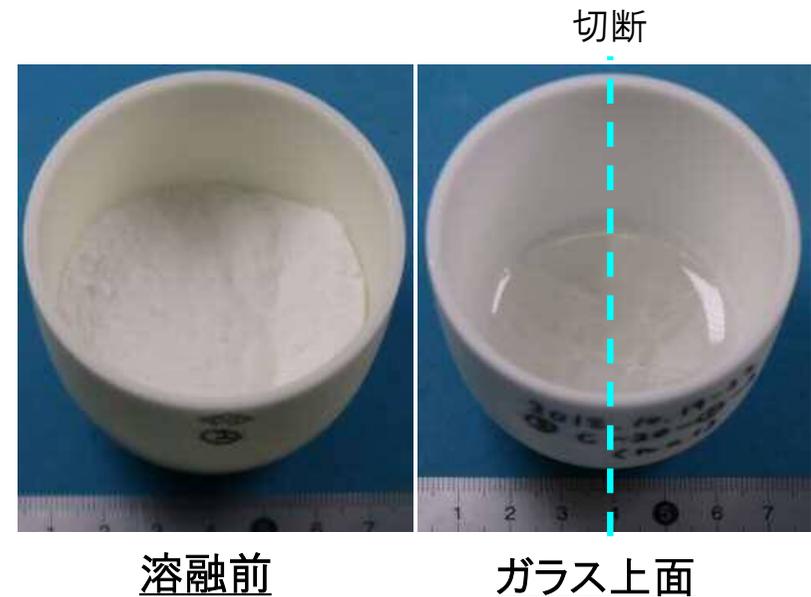
※1:米国の基準を基に設定。国内に低レベル廃棄物ガラス固化体の基準が無いいため、安定性の判断基準として採用した。



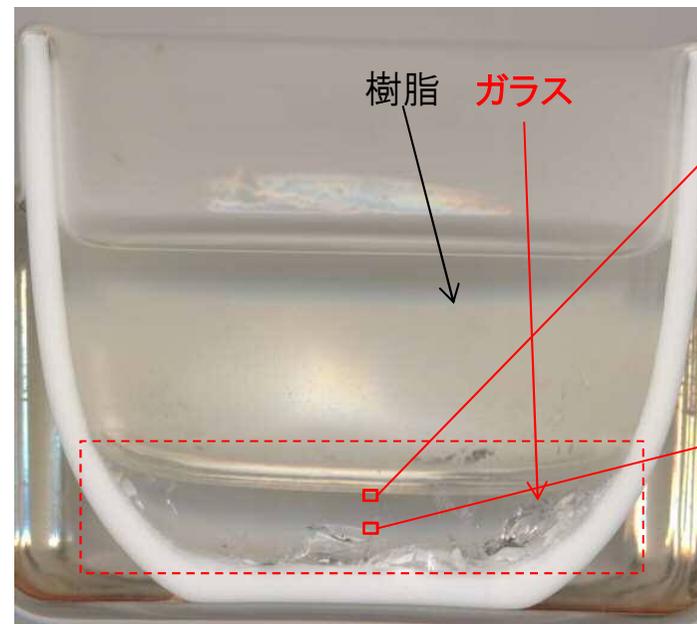
6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

【炭酸塩スラリー(廃棄物充填率20wt%)について】

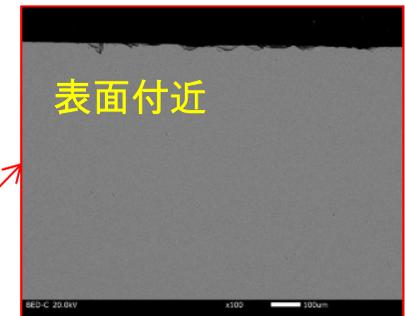
- るつぼを用いて、模擬廃棄物と添加物とを1200℃で溶融し、30gのガラスを作製した。
- るつぼで作製したガラスを、樹脂埋めした後、るつぼごとガラスを中心から半分に切断した。
- ガラスの上面及び切断面を目視で観察し、**未溶融物が無く、ガラス化状態が良好**であることを確認した。



模擬廃棄物組成



ガラス切断面



SEM(100倍観察)

6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

【鉄共沈スラリー(廃棄物充填率35wt%) (ホウケイ酸ガラス)について】

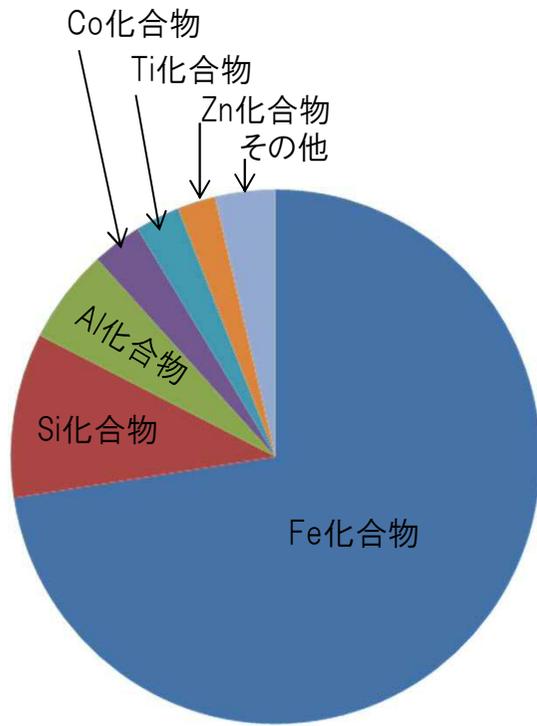
- るつぼを用いて、模擬廃棄物と添加物とを1200℃で溶融し、30gのガラスを作製した。
- 作製したガラスの上面及び切断面を目視で観察し、未溶融物が無く、ガラス化状態が良好であることを確認した。



溶融前

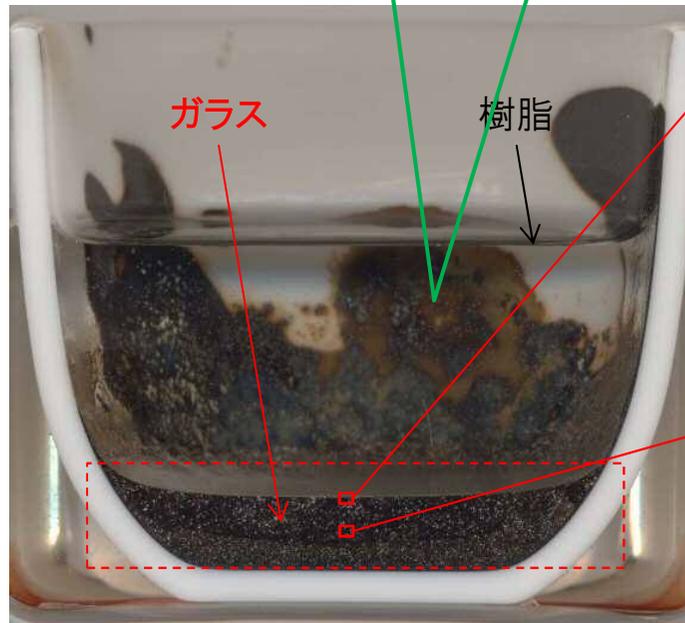


ガラス上面

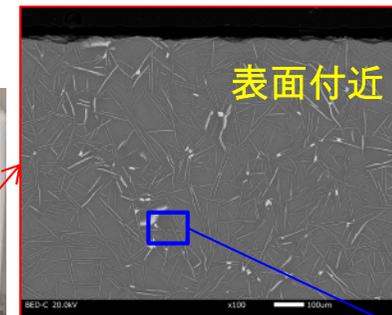


模擬廃棄物組成

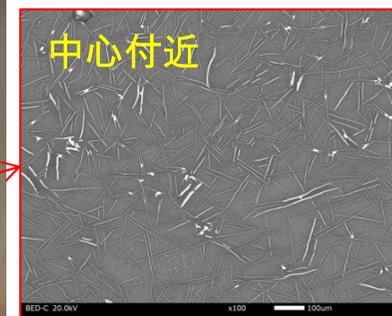
るつぼ壁面に見える黒色や茶色のものは、加熱中の吹き上がり物質等が付着した跡



ガラス切断面

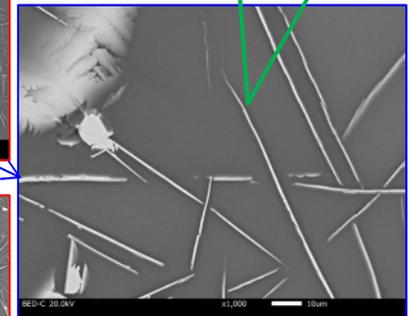


表面付近



中心付近

SEM(100倍観察)



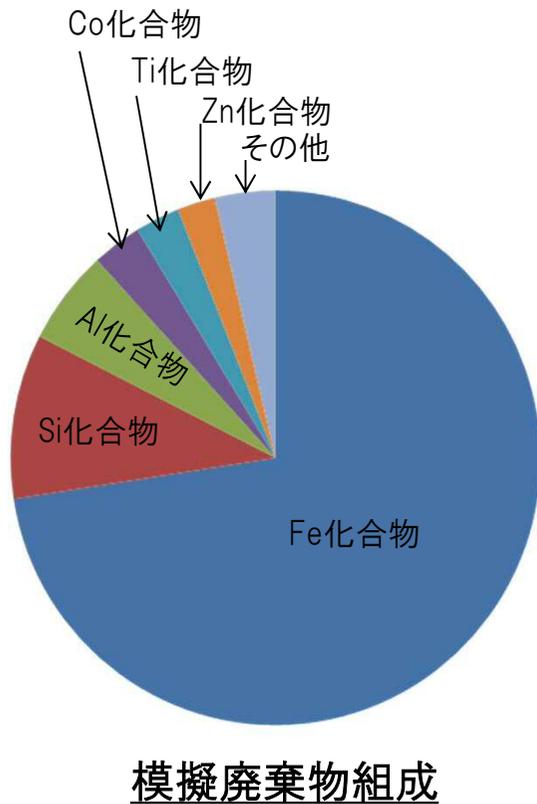
Feが主成分の針状の結晶(~百μm)

SEM(1000倍観察)

6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

【鉄共沈スラリー(廃棄物充填率47wt%)(鉄リン酸ガラス)について】

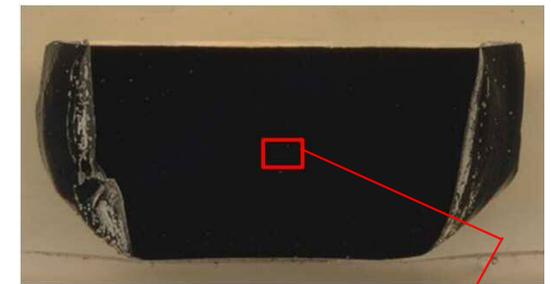
- 鉄共沈スラリーにリン(P)を添加し、鉄リン酸ガラスとしてガラス化試験を実施した。
- るつぼを用いて、模擬廃棄物と添加物とを1200℃で溶融し、200gのガラスを作製した。
- ガラスの上面及び切断面を目視で観察し、**未溶融物が無く、ガラス化状態が良好**であることを確認した。



溶融前



流し出し※1の様子



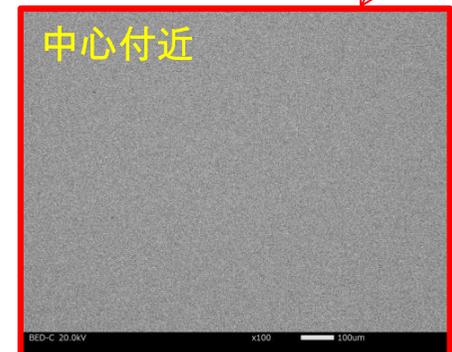
ガラス片切断面



流し出し後のるつぼ



ガラス上面



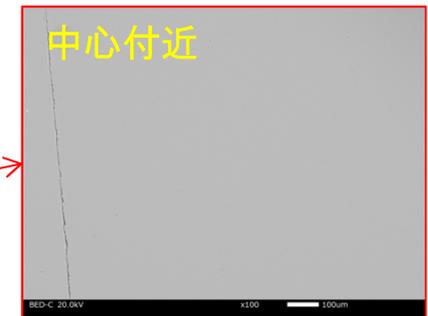
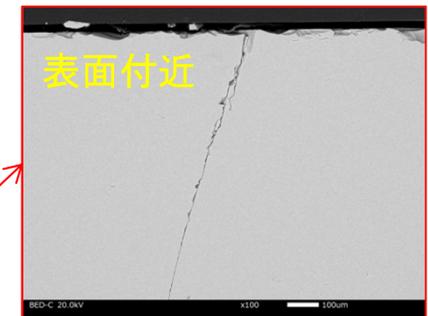
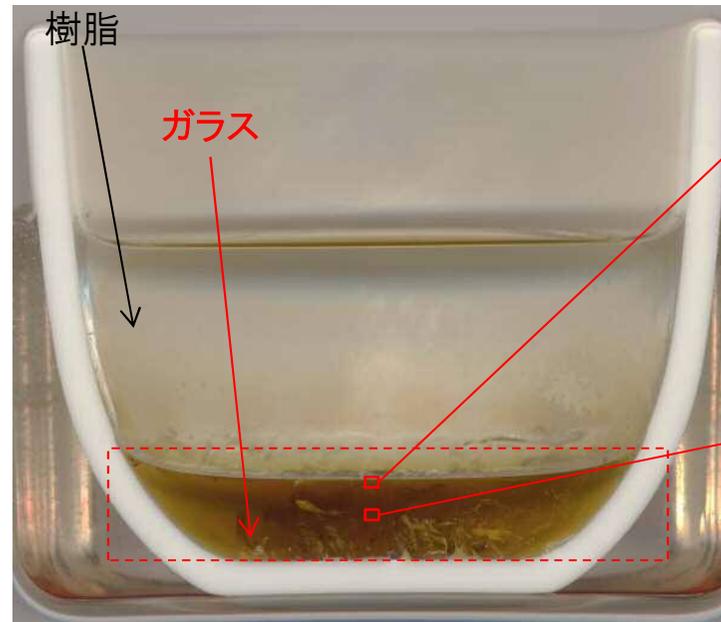
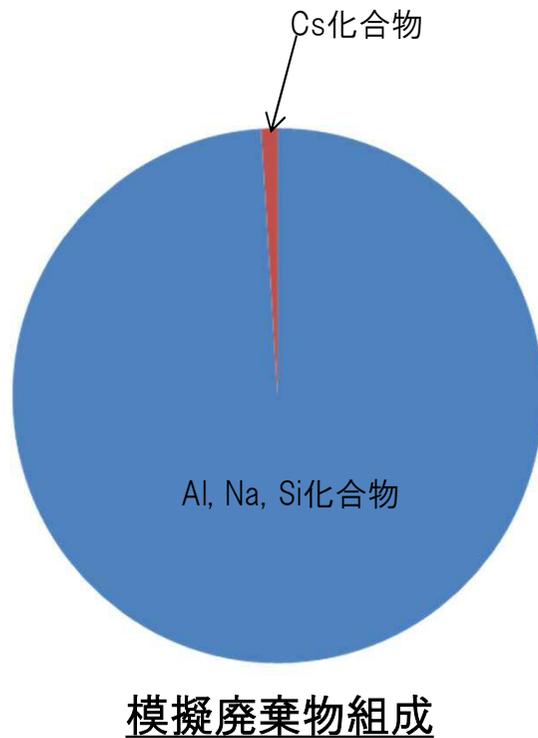
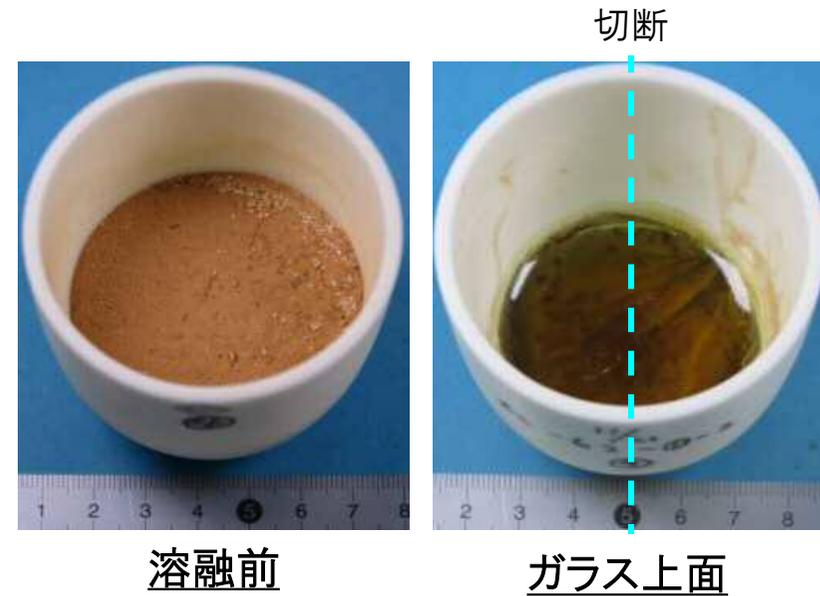
SEM(100倍観察)

※1:加熱中の廃棄物の吹き上がりにより、溶融物がるつぼから溢れることを防止するため、使用するるつぼサイズを大きくし、更に作製するガラス試料の厚みを確保するため、流し出しを行った。

6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

【ゼオライト(廃棄物充填率62wt%)について】

- るつぼを用いて、ゼオライトと添加物とを1050°Cで溶融し、30gのガラスを作製した。
- 作製したガラスの上面及び切断面を目視で観察し、未溶融物が無く、ガラス化状態が良好であることを確認した。



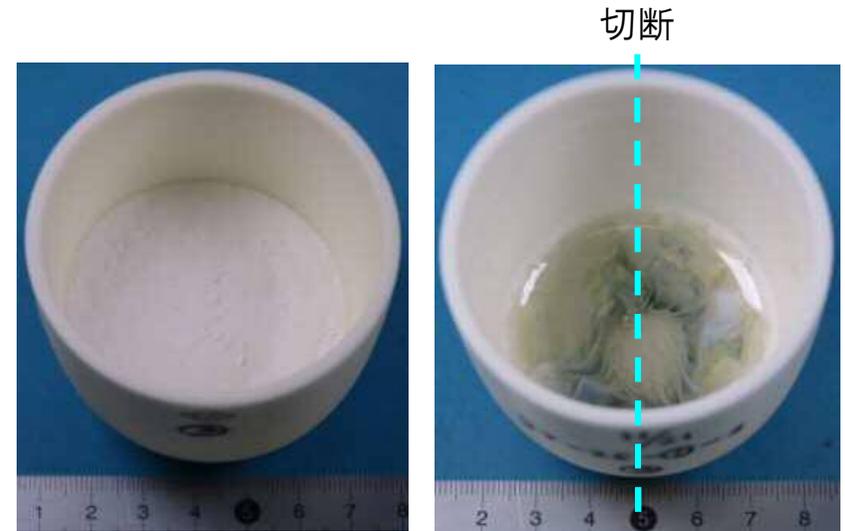
ガラス切断面

SEM(100倍観察)

6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

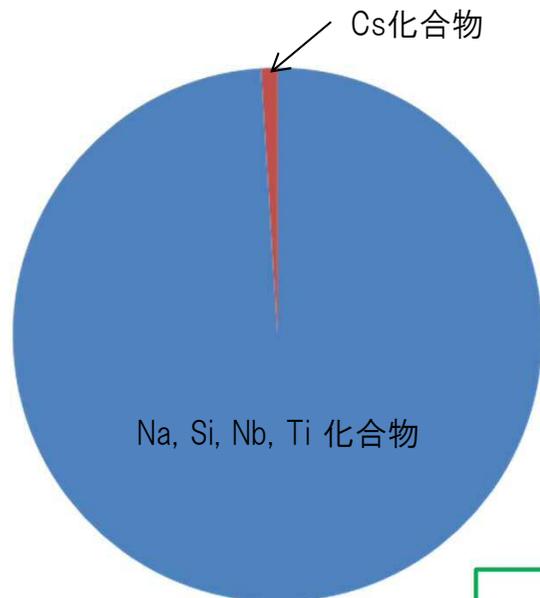
【ケイチタン酸塩(廃棄物充填率25wt%)について】

- るつぼを用いて、ケイチタン酸塩と添加物とを1200℃で溶融し、30gのガラスを作製した。
- 作製したガラスの上面及び切断面を目視で観察し、未溶融物が無く、ガラス化状態が良好であることを確認した。



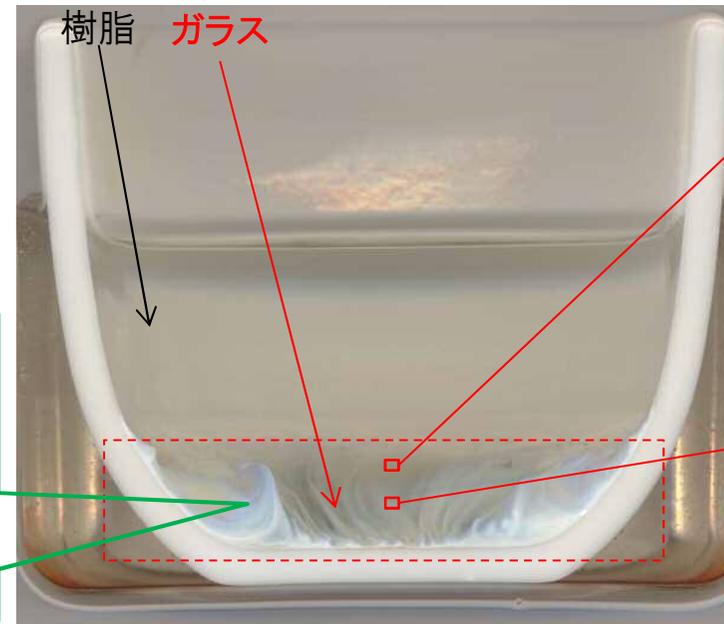
溶融前

ガラス上面



模擬廃棄物組成

• 白色のガラスは、透明なガラスよりアルミ濃度が高く、アルミナるつぼの溶出が原因であると考える。



ガラス切断面



SEM(100倍観察)

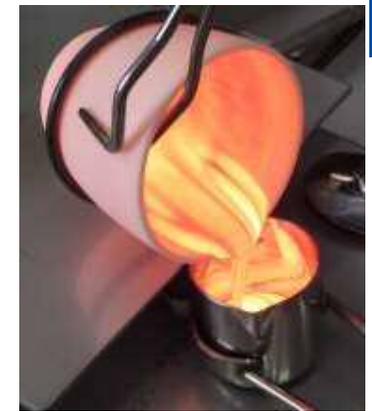
6.実施内容 ①ガラス組成開発(I ガラス化状態の確認)

【フェロシアン化物スラッジ(廃棄物充填率35wt%)(鉄リン酸ガラス)について】

- フェロシアン化物スラッジにリン(P)と鉄(Fe)を添加し、鉄リン酸ガラスとしてガラス化試験を実施した。
- るつぼを用いて、模擬廃棄物と添加物とを1200℃で溶融し、200gのガラスを作製した。
- ガラスの上面及び切断面を目視で観察し、未溶融物が無く、ガラス化状態が良好であることを確認した。



溶融前



流し出し※1の様子

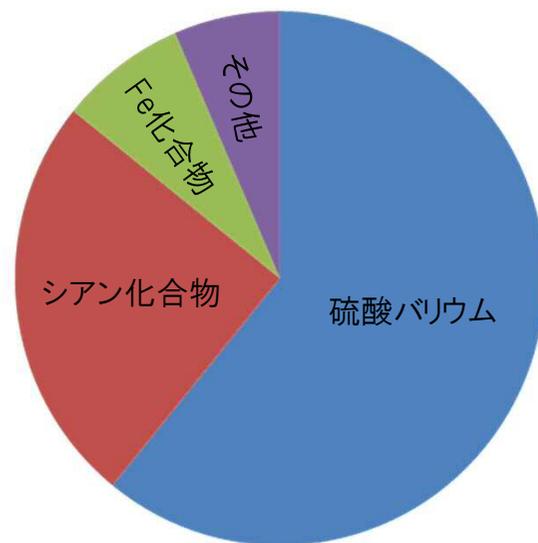


流し出し後のるつぼ



ガラス上面

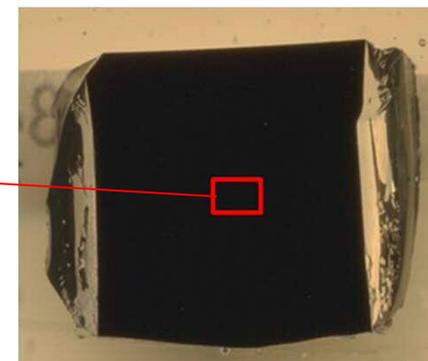
※1:加熱中の廃棄物の吹き上がりにより、溶融物がるつぼから溢れることを防止するため、使用するるつぼサイズを大きくし、更に作製するガラス試料の厚みを確保するため、流し出しを行った。



模擬廃棄物組成



SEM(100倍観察)



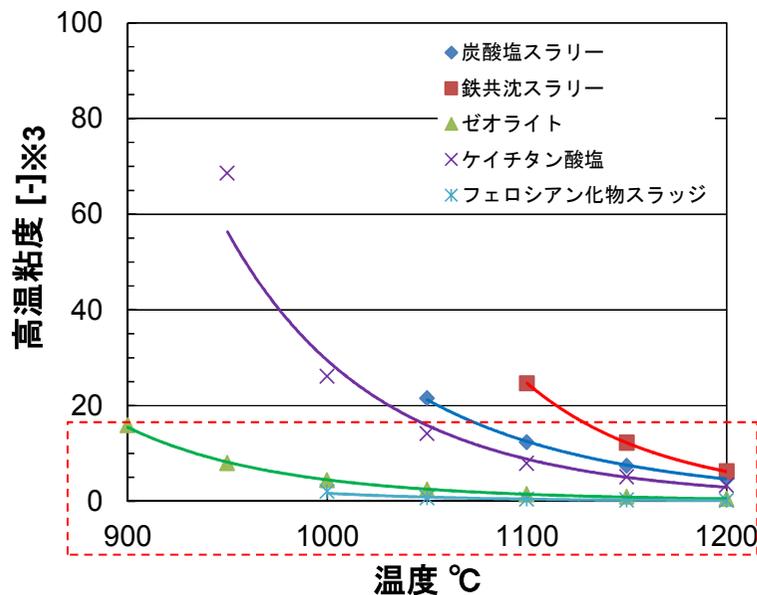
ガラス断面



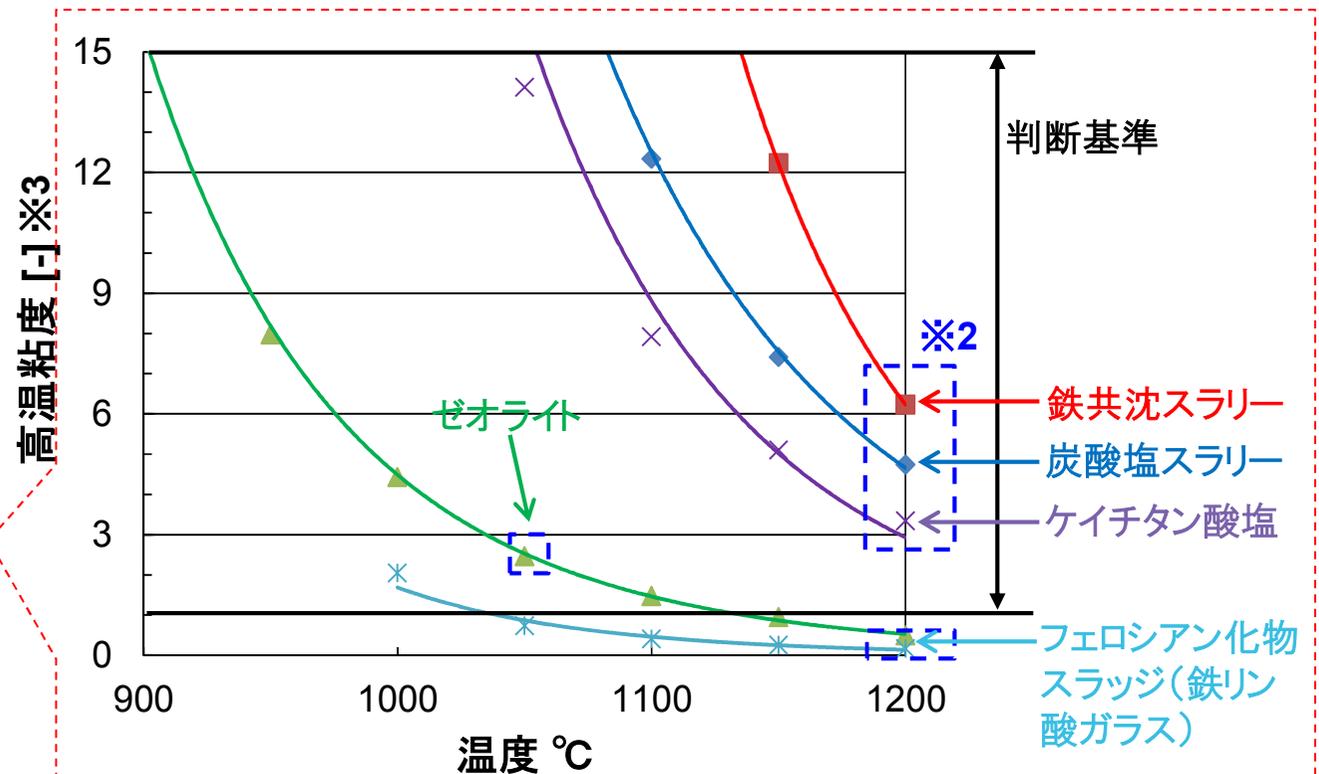
6.実施内容 ①ガラス組成開発(Ⅱ CCIMに対する適用性の評価) IHI

【高温粘度について】

- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト、ケイチタン酸塩及びフェロシアン化物スラッジのガラスについて高温粘度測定※1を実施した。
- 各溶融ガラス(炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー及びケイチタン酸塩は1200℃、ゼオライトは1050℃のガラス)の高温粘度が判断基準を満足することを確認した。
- 一方、フェロシアン化物スラッジの鉄リン酸ガラスについては、1200℃における高温粘度が低く、基準を下回ることを確認した。



高温粘度の測定結果



※1: 高温粘度測定は、るつぼ回転法を用いた。

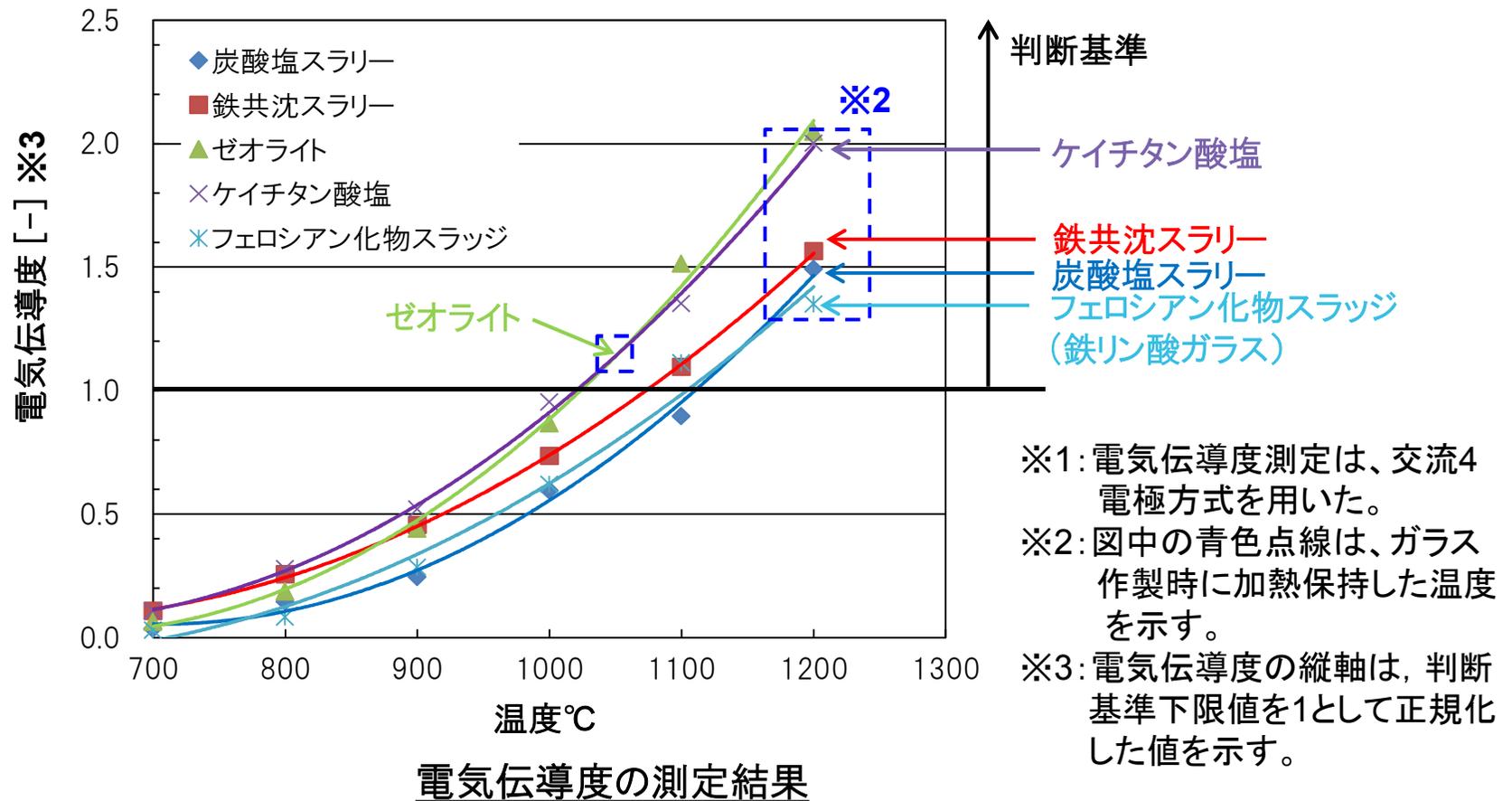
※2: 図中の青色点線は、ガラス作製時に加熱保持した温度を示す。

※3: 高温粘度の縦軸は、判断基準下限値を1として正規化した値を示す。24

6.実施内容 ①ガラス組成開発(Ⅱ CCIMに対する適用性の評価) IHI

【電気伝導度について】

- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ケイチタン酸塩及びフェロシアン化物スラッジのガラスについて電気伝導度測定※1を実施した。
- 各溶融ガラス(炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー及びケイチタン酸塩は1200℃、ゼオライトは1050℃のガラス)の電気伝導度が判断基準を満足することを確認した。



6.実施内容 ①ガラス組成開発(Ⅲ ガラス固化体安定性の評価) IHI

【規格化浸出量について】

- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト、ケイチタン酸塩及びフェロシアン化物スラッジのガラスについてPCT-A試験※1を実施した。
(参考として米国のWTPのLow-Activity Waste(LAW)ガラスへの要求事項(2g/m²以下)と比較した。)
- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ケイチタン酸塩及びフェロシアン化物スラッジのガラスの規格化浸出量は2g/m²以下であった。
- ゼオライトのガラスの規格化浸出量も、2g/m²と同オーダーに抑えられていることを確認した。

※1:PCT-A試験条件

ガラス粒径	75~150 μm
ガラス量	1.5g
浸漬液	純水
浸漬液量	15mL
浸漬容器	SUS304製
温度	90℃
浸漬期間	7day

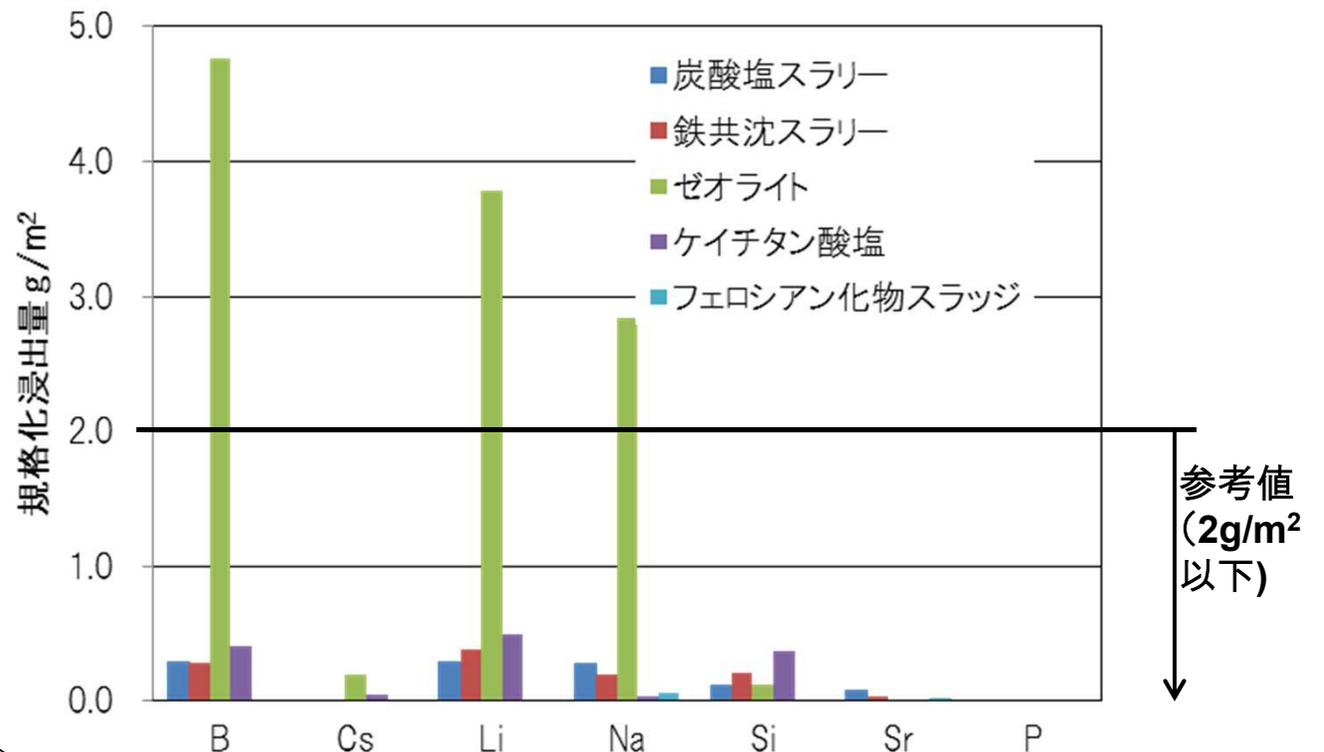


ガラス試料
(鉄共沈スラリー)



浸漬液投入後
(鉄共沈スラリー)

SUS製試験容器



PCT-A試験の規格化浸出量結果

※Cs、Sr、Pは参考として示す。

6.実施内容 ①ガラス組成開発(Ⅳ溶融ガラス化による減容効果) IHI

- 溶融ガラス化による廃棄物(廃棄体)の重量変化、容積変化を示す。なお、含水率は50wt%として計算した。
- 以下のとおり、溶融ガラス化により、減容効果が期待できる。

対象廃棄物	廃棄物充填率*1	減重率*1,2	減容率*1,3
炭酸塩スラリー (含水率50wt%の場合)	20wt%	1.6	0.8
鉄共沈スラリー (含水率50wt%の場合)	35wt%*4	1.1	0.7
ゼオライト (含水率50wt%の場合)	62wt%	0.7	0.4
ケイタン酸塩 (含水率50wt%の場合)	25wt%	1.7	1.0
フェロシアン化物スラッジ (含水率50wt%の場合)	35wt%	1.0	0.5

*1: 廃棄物充填率およびガラス固化体密度は、本開発で入手した値を用いた。また、嵩密度は仮定値を用いた

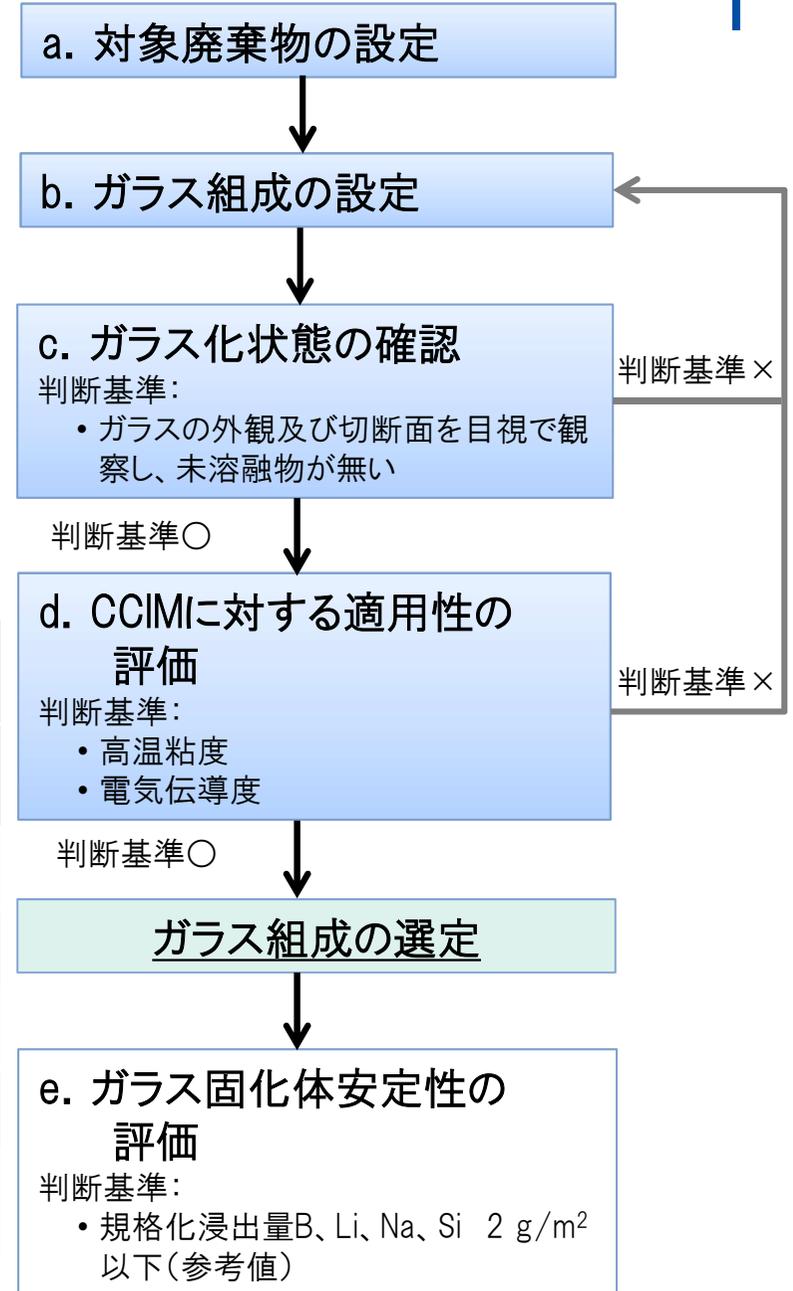
*2: 減重率 = 溶融ガラス固化体重量 / 廃棄物の重量 ※廃棄物の重量 = 廃棄物の体積 × 廃棄物嵩密度

*3: 減容率 = 溶融ガラス固化体容積 / 廃棄物の容積 ※溶融ガラス固化体容積(溶融ガラス固化体の重量 / 溶融ガラス固化体の密度)

*4: 鉄共沈スラリーはホウケイ酸ガラス及び鉄リン酸ガラスについて検討したが、表ではホウケイ酸ガラスの結果を記載した。

6.実施内容 ①ガラス組成開発(V 成果のまとめ)

- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト、ケイチタン酸塩及びフェロシアン化物スラッジのガラスについて、ガラス化状態が良好であることを確認した。この内、炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト及びケイチタン酸塩のガラスは、高温粘度及び電気伝導度の観点からCCIMに適用可能であることを確認した。
- 更に炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー及びケイチタン酸塩のガラスについて、PCT-A試験の規格化浸出量の観点からガラス固化体安定性が高いことを確認した。
- フェロシアン化物スラッジの鉄リン酸ガラスは、高温粘度が低く、判断基準を満足しないため、ガラス組成の調整が必要である。



廃棄物	c.ガラス化状態の確認	d.CCIMに対する適用性の評価		CCIMへの適用性	e.ガラス固化体安定性の評価 規格化浸出量(参考)
		高温粘度	電気伝導度		
炭酸塩スラリー	○	○	○	適用可	○
鉄共沈スラリー	○	○	○	適用可	○
ゼオライト	○	○	○	適用可	△
ケイチタン酸塩	○	○	○	適用可	○
フェロシアン化物スラッジ	○	×	○	ガラス組成の調整が必要	○

○: 基準値を満たす、△: 基準値などから若干外れる、×: 基準値などから大きく外れる

目的

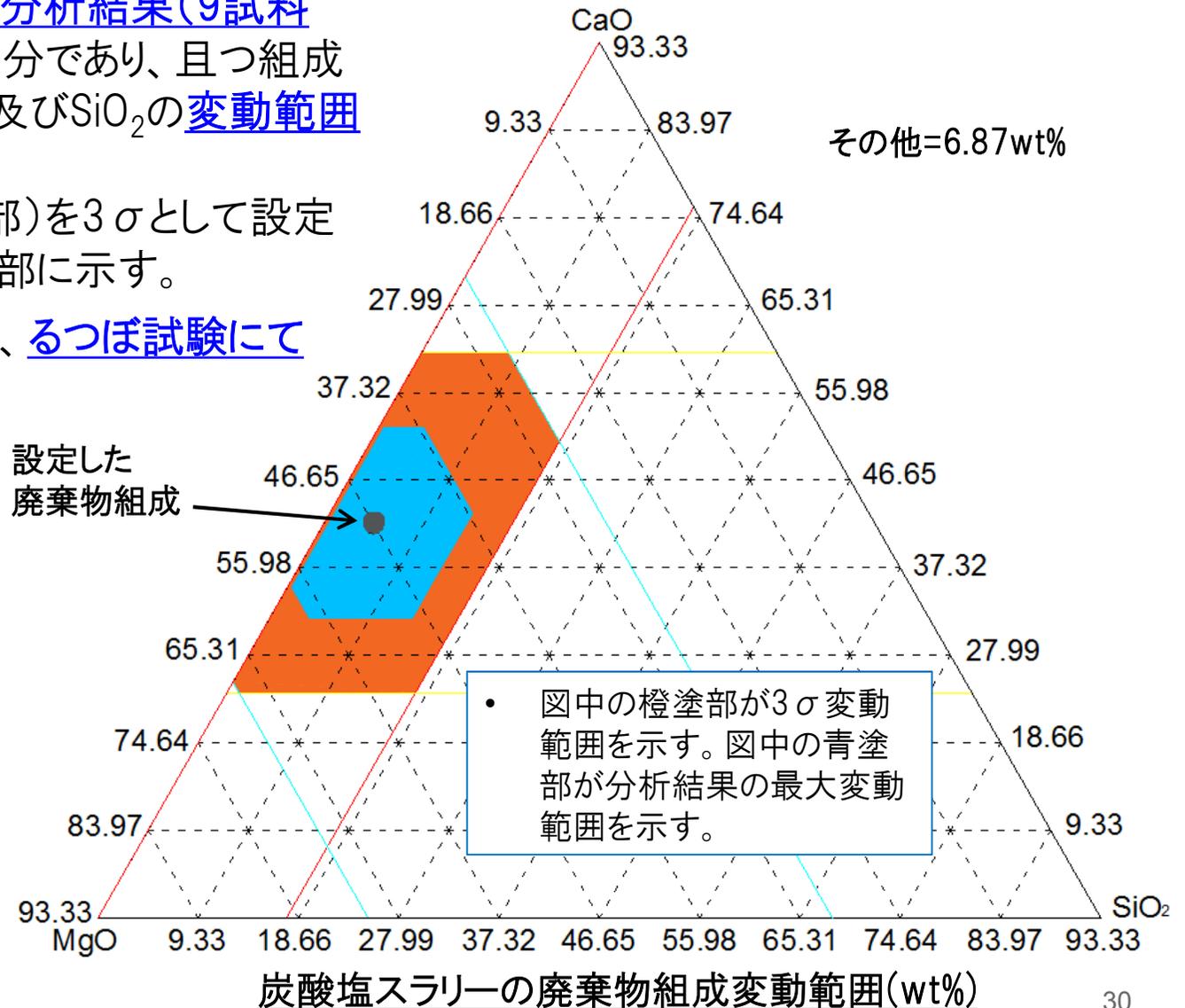
- I：炭酸塩スラリー及び鉄共沈スラリーは、廃棄物組成の変動が懸念されている。そのため、廃棄物組成が変動した場合のガラス化への影響を把握する。
- II：ガラス固化体処分時の安定性に係る基礎的なガラスの浸出特性や、ガラス構造の変化を評価する。
- III：揮発が懸念されているCsを高濃度に含有するゼオライトについて、ガラス化時におけるCsの揮発抑制方法をガラス組成の観点から検討する。

目標

実施事項	目標
I：廃棄物組成変動範囲におけるガラス固化の確認	<u>廃棄物変動範囲の設定</u>
	変動範囲におけるガラス固化の確認
	変動時の高温粘度、電気伝導度、規格化浸出量取得
II：浸出挙動の評価	ガラスの初期溶解速度の取得
	ガラス構造解析による構造変化確認
III：Cs揮発の抑制検討	ガラス熔融温度も考慮し、 <u>最適なガラス組成を評価</u>

6.実施内容 ②廃棄物組成の変動等の影響確認 (I 廃棄物組成変動範囲におけるガラス固化の確認)

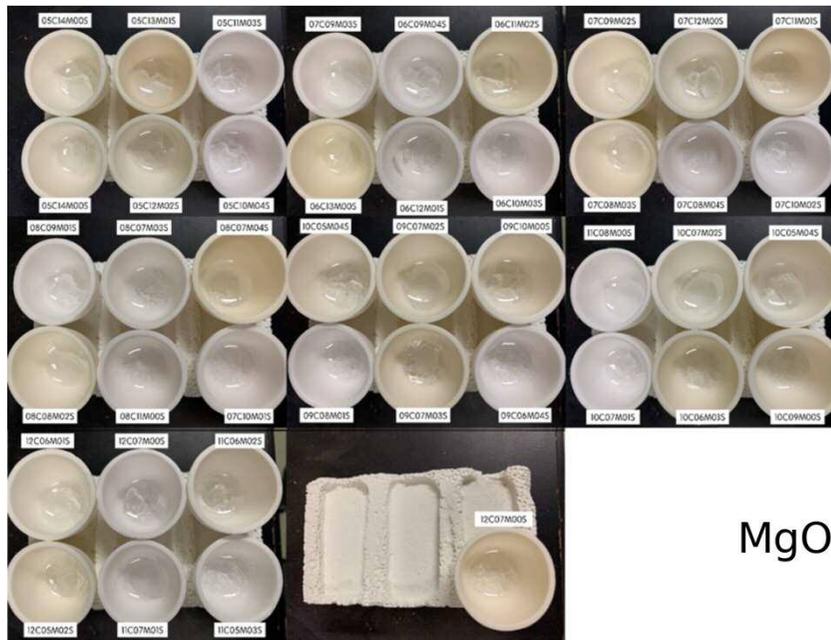
- 廃棄物組成の変動が懸念されている炭酸塩スラリー及び鉄共沈スラリーに対し、廃棄物組成の変動範囲を設定した。
- 炭酸塩スラリーは、実廃棄物の分析結果(9試料分)を基に、廃棄物中の主要成分であり、且つ組成変動が特に大きい、CaO、MgO及びSiO₂の変動範囲を設定
 - 最大変動範囲(右図の橙塗部)を3σとして設定
 - 分析結果の変動範囲を青塗部に示す。
- 3σの範囲の中の組成に対して、るつぼ試験にてガラス化の可否を確認する。
- 鉄共沈スラリーは、実分析結果が1試料であったことから、炭酸塩スラリーのMgOの3σを変動範囲として設定した。



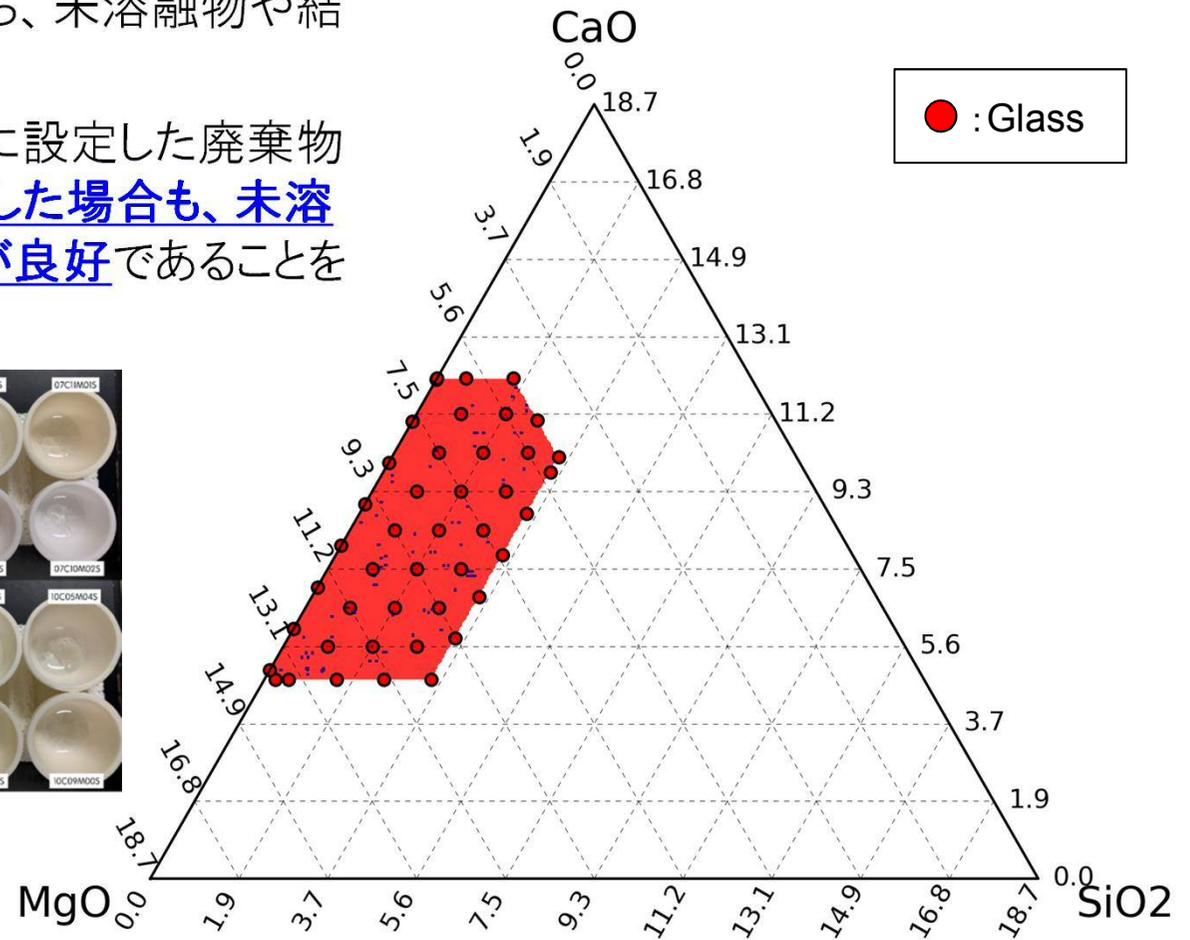
6.実施内容 ②廃棄物組成の変動等の影響確認 (I 廃棄物組成変動範囲におけるガラス固化の確認)

【炭酸塩スラリーについて】

- 廃棄物充填率20wt%のガラス組成に対し、廃棄物組成の最大変動範囲が $\pm 3\sigma$ の範囲で1200℃で加熱するガラス化試験を実施した。
- ガラス化状態は、外観の目視観察から、未溶融物や結晶等の有無を確認し評価した。
- 今回、廃棄物の9点の分析結果を基に設定した廃棄物組成においては、廃棄物組成が変動した場合も、未溶融物及び結晶が無く、ガラス化状態が良好であることを確認した。



るつぼガラス



ガラス中の廃棄物成分の変動範囲(wt%)
及びガラス化範囲

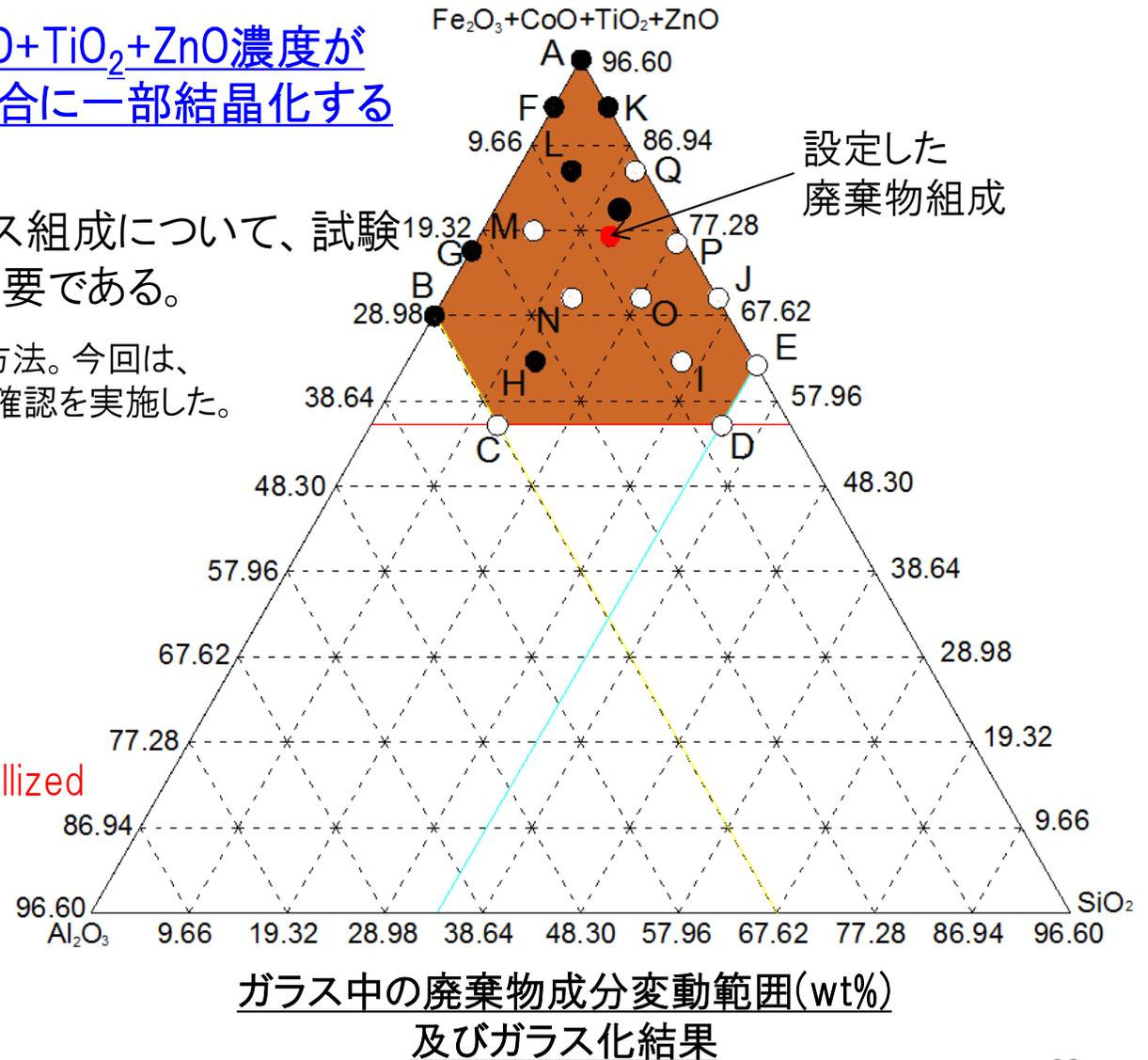
6.実施内容 ②廃棄物組成の変動等の影響確認 (I 廃棄物組成変動範囲におけるガラス固化の確認)

【鉄共沈スラリーについて】

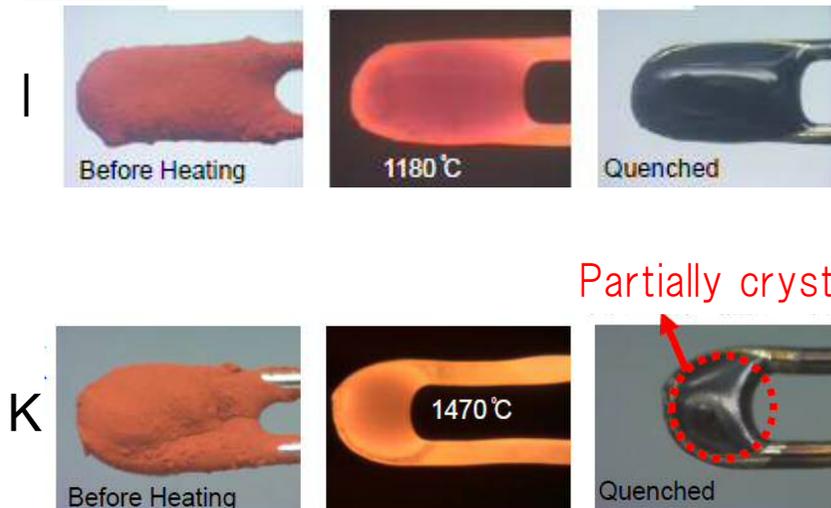
- 実分析結果が1試料であったことから、炭酸塩スラリーのMgOの3σを変動範囲として設定し、3σ範囲内について、HTC（ホットサーモカップル）法※1によりガラス化状態を確認した。
- 廃棄物組成変動の範囲内でFe₂O₃+CoO+TiO₂+ZnO濃度が高くなる場合と、Al₂O₃濃度が高くなる場合に一部結晶化する傾向を確認した。
- 一部結晶化する傾向が確認されたガラス組成について、試験規模を大きくして物性を含めた確認が必要である。

※1:少量の試料を熱電対の先端に載せ、加熱する方法。今回は、ガラス化の可否及びガラス化するための加熱温度の確認を実施した。

○:Glass
●:Partially crystallized (1200℃以上で加熱)



HTC法

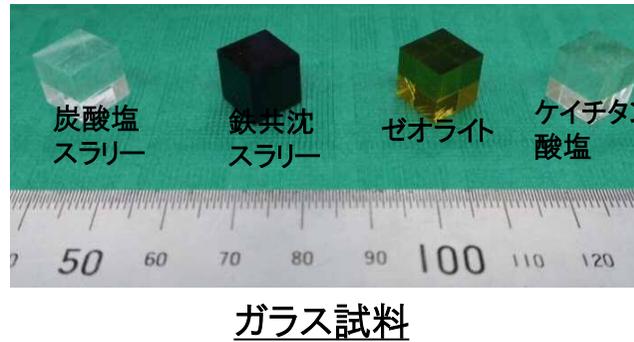
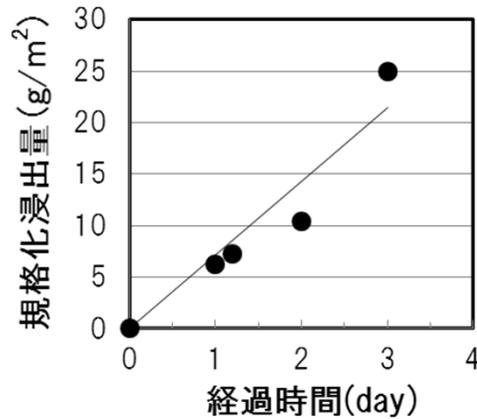


6.実施内容 ②廃棄物組成の変動等の影響確認 (Ⅱ 浸出挙動の評価、Ⅲ:Cs揮発の抑制検討)

【浸出挙動の評価】

- 炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、ゼオライト及びケイチタン酸塩に対し、pH9の溶液における **初期溶解速度^{※1}を取得した。**
- 初期溶解速度のpH依存性や温度依存性を取得することで、ガラスの溶解特性を評価することが可能である。

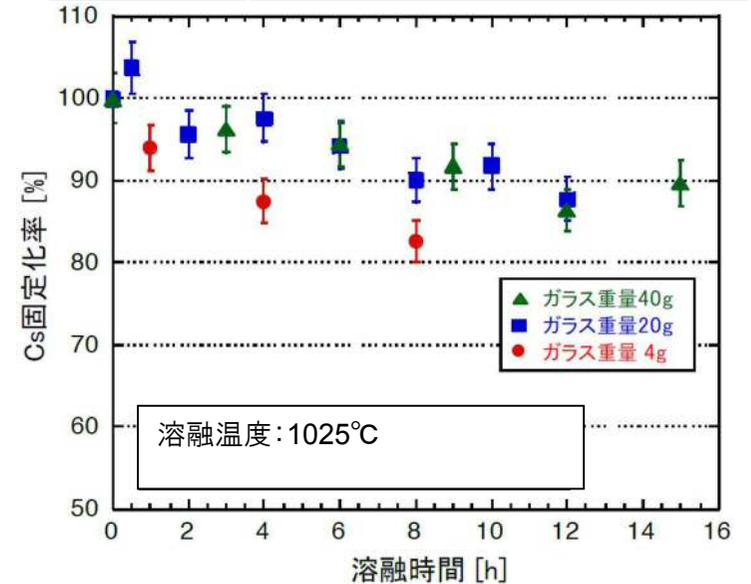
※1:ガラス固化体処分時の溶解段階の1つであり、ガラス固化体と地下水が接触し、線形的に溶解する初期段階のガラスの溶解速度とした



初期溶解の一例(炭酸塩スラリーガラス)

【Cs揮発の抑制検討】

- Csを高濃度に含有するゼオライトに対し、Cs揮発抑制を考慮し、添加成分及び添加量を変化させたるつぼ試験にてガラス化状態を確認した結果、**1025℃でガラス化できる組成が得られた。**
- るつぼ試験で作製したガラス中のCs濃度を分析し、投入したゼオライト中のCsの**95%以上をガラス中に固定化できる結果を得た。**
- 溶融時間に比例してCs固定化率^{※2}が低下し、ガラス重量が少ないほど、Cs固定化率が低下する傾向が得られた。



※2:(作製したガラス中のCs含有量)/(ガラス作製時に投入したCs量)

注:Cs濃度分析誤差により、計算上、Cs固定化率が100%を超えることがある

6.実施内容 ③実用規模でのCCIM運転性確認とシステム検討に必要なデータ取得

目的

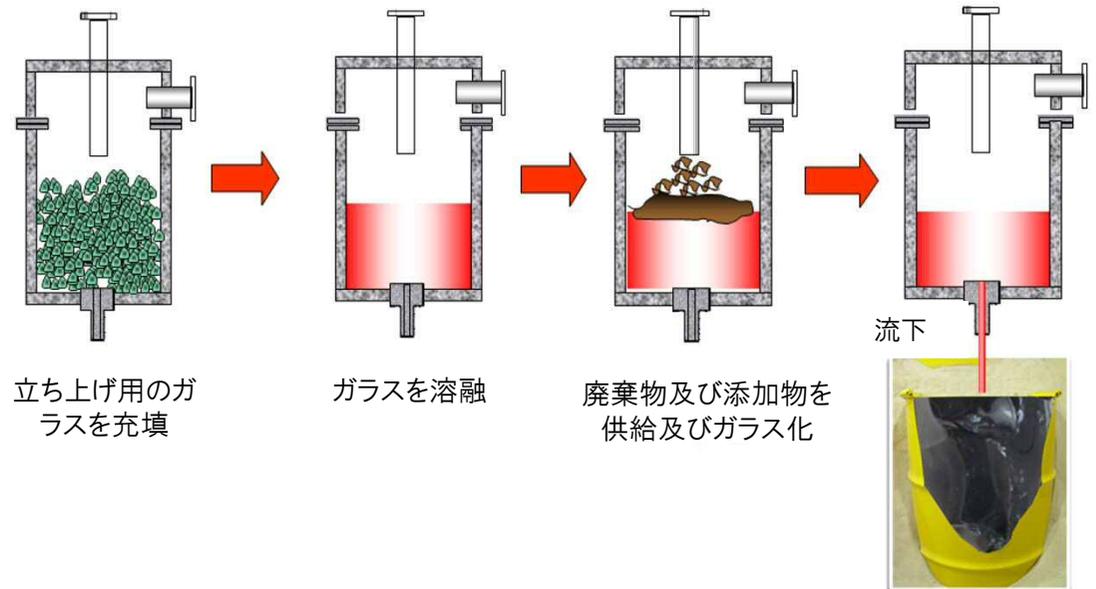
- CCIMを用いたガラス固化技術が福島第一原子力発電所の固体廃棄物の処理に適用可能であることを実用規模のCCIM試験装置を用いて評価する。
- 保管量が多く安定化する優先度が高いこと、及び、処理上の課題が多いと考えられる炭酸塩スラリーを選定し、炭酸塩スラリーの模擬廃棄物を用いた実用規模試験で適用性確認及び課題抽出を行う。

目標

- 本試験では炭酸塩スラリーに対し、実用規模のCCIMを用いたガラス固化試験を行い、**運転性の確認及び固化体性能の確認**を行う。
- 固化体性能の確認では、**現場への適用性の観点から、流下ガラスのサンプリングによるガラス組成確認**を行い、目標のガラス組成が作製できることを確認する。

実用規模試験における確認項目

運転性の確認項目	固化体の確認項目
<u>処理能力</u> の確認	固化ガラスの状態確認 (固化ガラスの組成、均質性、化学的安定性、圧縮強度)
<u>運転状態</u> の確認	
<u>流下性</u> の確認	
<u>模擬核種の移行率</u> の確認	



CCIMガラス固化プロセス

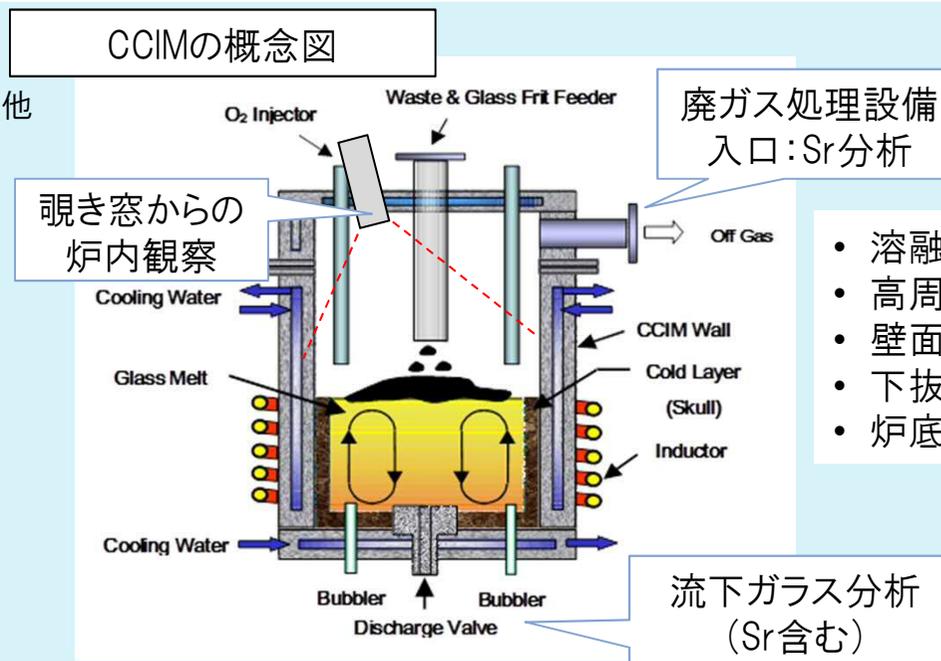
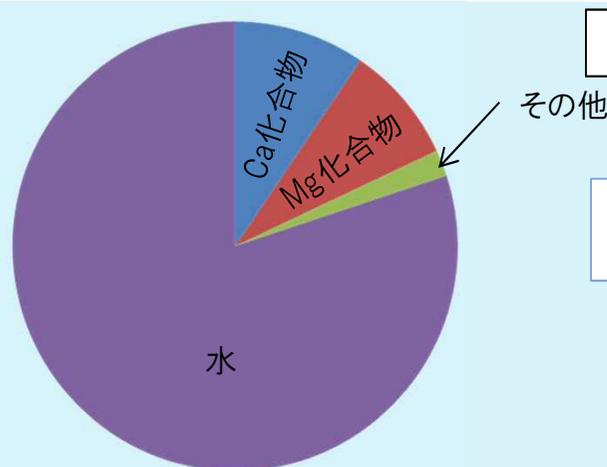
6.実施内容 ③実用規模でのCCIM運転性確認と

システム検討に必要なデータ取得(I 試験条件)

実用規模試験条件(対象廃棄物:炭酸塩スラリー)

処理能力の確認	目標の処理速度で溶融炉が運転可能であることを確認
運転状態の確認	運転中の炉内温度、投入電力・電流電圧、冷却水の温度等の変化を確認
流下性の確認	流下の様子を確認、流下ガラスをサンプリング
模擬廃棄物の移行率の確認	サンプリングした配管付着物及びHTF※1ダストより、溶融炉から廃ガス処理設備へのSrの移行率を算出
固化体性状の確認 (組成、均質性、化学的安定性、圧縮強度)	実用規模CCIMで作製した流下ガラスを分析し、固化体の性状確認を実施

※1:High temperature filter 高温フィルター



- 溶融温度(目標):1200℃以下
- 高周波加熱
- 壁面水冷冷却
- 下抜き流下
- 炉底からのバブリング

6.実施内容 ③実用規模でのCCIM運転性確認と

システム検討に必要なデータ取得(Ⅱ 処理能力の確認)

- 事前確認試験において、CCIMの立ち上げのために事前に投入したガラスについて、溶融開始時に十分に溶融が進みにくいことを確認した(ガラスの物性の影響)。
- 事前確認試験の結果を受け、ガラス組成を調整することで、スタートアップが可能であることを確認した。
- 実用規模試験では、スタートアップ後に、ガラス組成開発で検討したガラス原料及び模擬炭酸塩スラリーを数パターンの供給速度で供給し、仮焼層及びバブリングホール※1を維持し、安定的な運転状態を継続できることを確認した。
- 模擬炭酸塩スラリーの供給中においても、CCIMの炉壁を冷却する冷却水温度を一定に保つことができたことから、スカル層を維持し、運転することができたと判断した。

※1:ガラス表面におけるバブリング空気の出出口。

- 廃ガス処理系に移行したSrの移行率を、回収したダスト(配管付着物及びフィルタダストボックス)より評価した。
- 溶融炉出口におけるSrの移行率は約3%であった(移行率はシステム検討に反映)。

⇒ 模擬炭酸塩スラリーの供給速度を下げる等の運転方法を調整することで移行率を抑制することが可能

CCIMへ供給したSr:

- ・模擬廃棄物:431g
- ・立ち上げ用の敷きガラス:139.5g

配管付着及びフィルタダスト中のSr:

17.28g

Srの移行率:約3%
 $=17.28/(431+139.5)$



6.実施内容 ③実用規模でのCCIM運転性確認と

システム検討に必要なデータ取得(Ⅲ 固化ガラスの状態確認)

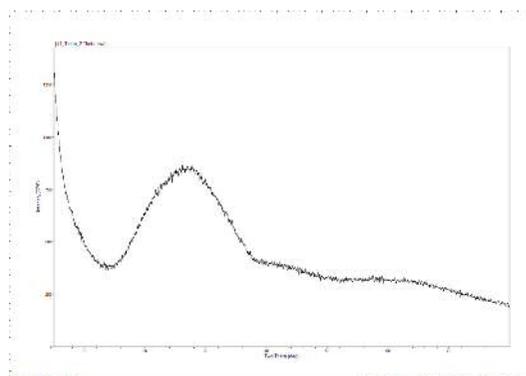
実用規模試験(ガラス固化体の分析)

➤ 作製したガラス固化体(流下ガラス)を評価し以下の結果を得た。

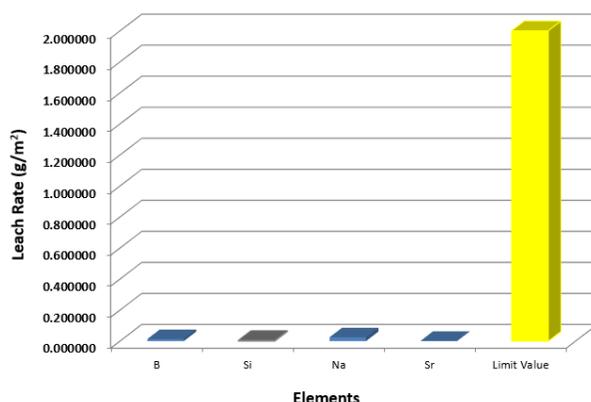
【ガラスの状態観察】XRDおよびSEM観察から結晶物がなく、均質な様子を確認

【耐浸出性】B, Si, Na, Srの規格化浸出量(PCT-A試験)が、米国のWTPのLow-Activity Waste (LAW)ガラスへの要求事項(2g/m²以下)であることを確認(0.0017~0.013g/m²)

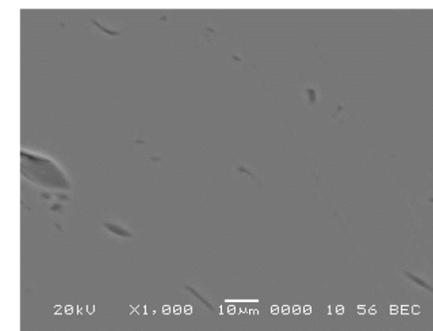
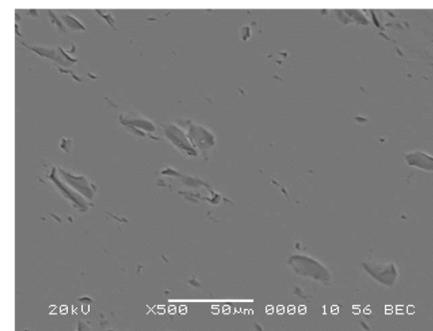
【圧縮強度】3回の測定を実施。約44MPa(6,408 psi)以上であることを確認



ガラスのX線解析(XRD)



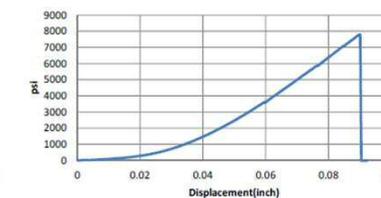
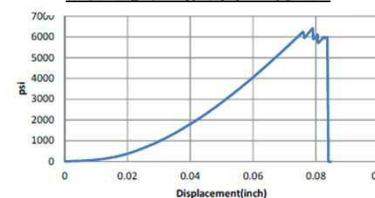
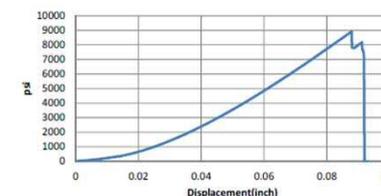
規格化浸出量(PCT-A試験)



(a) ガラスのSEM観察(左:×500、右:×1000)



測定後の試料の様子



一軸圧縮強度測定

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討：I 供給設備の検討 (目的、目標、実施項目)

目的

- CCIM を用いて福島第一原子力発電所の固体廃棄物をガラス固化するにあたり、保管・処分するうえで問題のないガラス固化体を製造するために、CCIMに廃棄物及び添加物を安定して供給するとともに、廃棄物及び添加物の組成及び供給量を管理できるようにする。

目標

- 福島第一原子力発電所の固体廃棄物、固体(粒状)、固体(粉体状)、スラリー状など、さまざまな形態の廃棄物がある。さらに廃棄物毎に組成や含有する放射エネルギーも異なる。一方、製造されるガラス固化体はCCIMに供給される廃棄物と添加物の組成や放射能濃度と供給量で決まる。これらのことから、廃棄物の形態に合わせた供給方法と供給量の管理方法を検討する。

実施事項

- 対象廃棄物毎の保管形状の把握
- 対象廃棄物の供給速度の設定
- 供給設備の概念検討
- 対象廃棄物毎の供給方法の概略検討

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討：I 供給設備の検討 (実施事項及び成果)

【対象廃棄物毎の保管状態の把握】

- 対象廃棄物(5種類)の保管状態を把握した。
 - ◇鉄共沈スラリー、炭酸塩スラリー :HICで保管中、今後、圧搾して脱水処理体として保管予定
 - ◇フェロシアン化物スラッジ :ピットに保管中、今後、圧搾して脱水処理体として保管され
と考えられる。
 - ◇ゼオライト、ケイチタン酸塩:SARRY容器等で保管中、含水状態で今後も保管され
と考えられる。
- 廃棄物は「脱水処理体」と「粒状ゼオライト」の2種類の形態と考えられる。

【対象廃棄物の供給速度の設定】

- ガラス製造速度を設定し、それに対する対象廃棄物の供給速度を検討した。
 - ◇対象廃棄物 :炭酸塩スラリー、鉄共沈スラリー、フェロシアン化物スラッジ、ゼオライト、
ケイチタン酸塩
- CCIMへの廃棄物毎の供給速度を設定した。
 - 脱水処理体 : 約40~50kg/h
 - スラリー : 約50kg/h
 - 粒状ゼオライト : 約30~50kg/h

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: I 供給設備の検討

(対象廃棄物及び添加物の供給速度の設定、供給設備の概念検討) **IHI**

【供給設備の概念検討】

- 検討した供給速度及び供給方法等に合わせ、主要機器の概略仕様を検討した。
対象廃棄物の供給方法について検討した。
廃棄物の形状に合わせた搬送や供給方法を設定した。

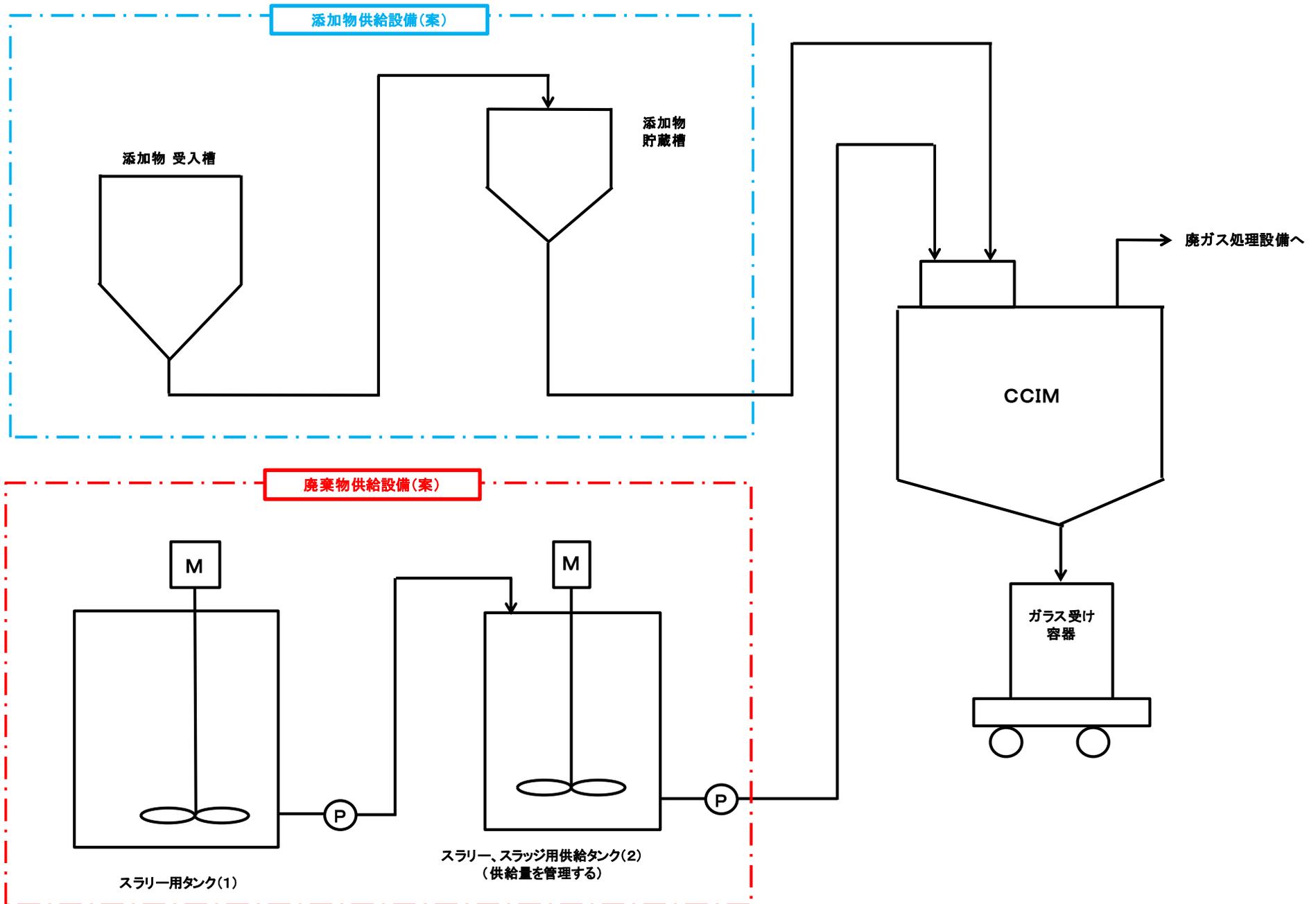
設定項目	設定	設定根拠
廃棄物の供給方法 (スラリー状)	スラリーポンプ	スラリーポンプ(スネークポンプ等)を用いて、移送や定量供給を行う。流動性を確保することで攪拌による均質性が担保できる。移送配管内の閉塞防止対策及び閉塞解除の対策が必要。
廃棄物の供給方法 (脱水処理体)	コンベア等の機械搬送	脱水処理体を粉砕したものをコンベア等の機械搬送を行う。流動性が劣ることから、CCIMIに供給する際に閉塞防止対策及び閉塞解除対策が必要。
添加物の供給方法	機械搬送、空送	カレット状に調製した添加物を空送や機械搬送で移送を行う。

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討：I 供給設備の検討 (実施事項及び成果)

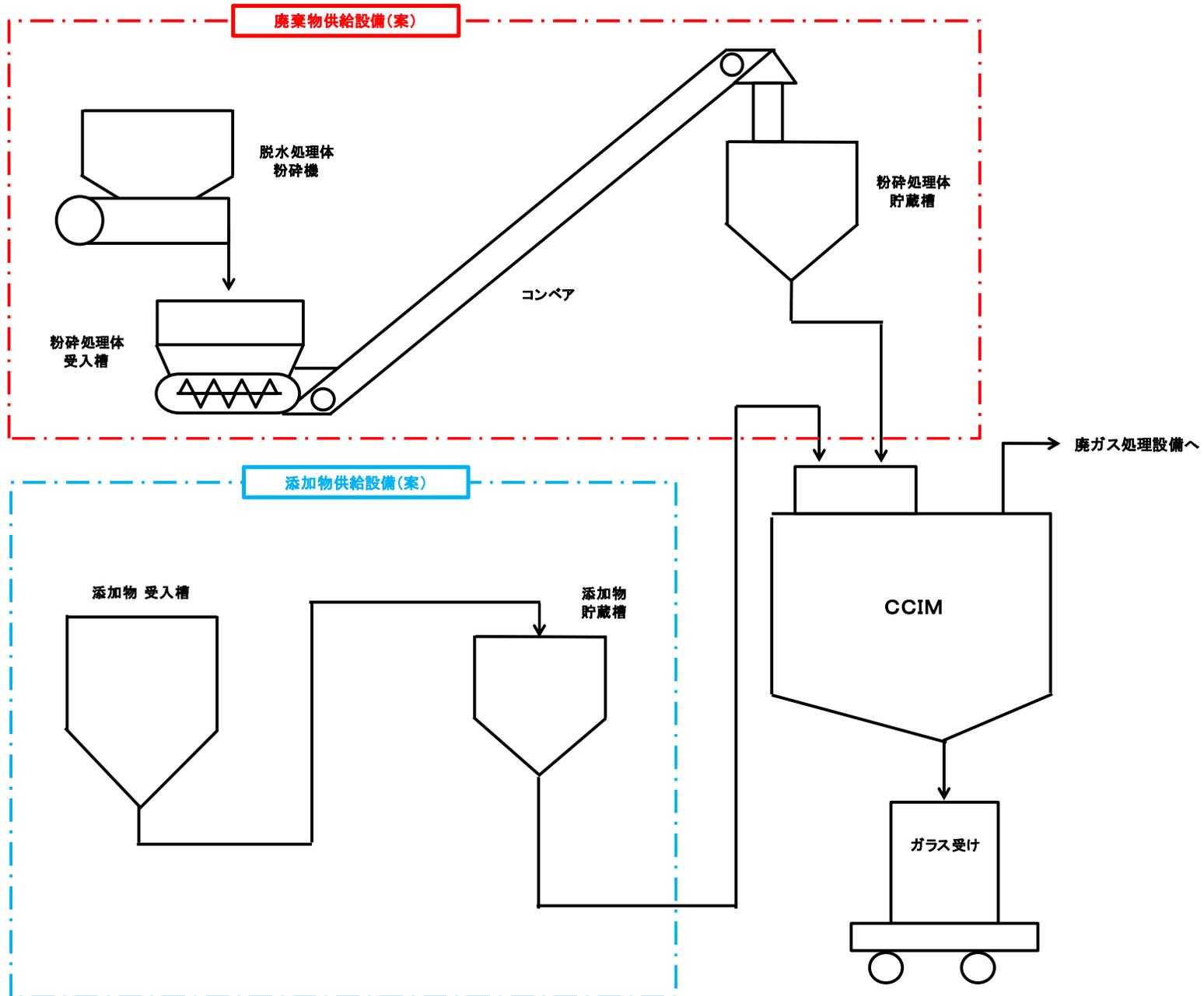
【対象廃棄物毎の供給方法の概略検討】

- 対象廃棄物の供給方法を検討した。
(廃棄物をスラリー状にして供給した場合と脱水処理体で供給した場合の2種類で検討した)
- ◇脱水処理体 : 鉄共沈スラリー、炭酸塩スラリー、フェロシアン化物スラッジ
- ◇スラリー状 : 鉄共沈スラリー、炭酸塩スラリー、フェロシアン化物スラッジ、ゼオライト、ケイチタン酸塩

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: I 供給設備の検討 (供給方法の概略検討:設備構成(案)(スラリー状の場合))



6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: I 供給設備の検討 (供給方法の概略検討:設備構成(案)(脱水処理体の場合))



6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討:Ⅱ 廃ガス処理設備の検討 (目的、目標)

目的

- CCIM を用いて福島第一原子力発電所の固体廃棄物をガラス固化するときに発生する廃ガスを安全に処理できるようにする。

目標

- 福島第一原子力発電所の固体廃棄物にはさまざまな組成のものがあり、CCIMでガラス固化する際に発生する廃ガスの成分は廃棄物毎で異なる。また、同時に揮発性の放射性核種も廃ガスとなる。
- 廃棄物毎に発生する廃ガス成分を検討し、それらに合った処理設備を検討する。

実施事項

- 廃棄物毎に発生する廃ガス成分の検討
- 廃ガス処理設備からの放出放射能基準の調査
- 廃ガス処理設備の概念検討

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: II 廃ガス処理設備の検討 (廃棄物毎に発生する廃ガス成分の検討)

- 対象廃棄物毎にガラス固化処理する際に発生する廃ガス成分を検討した。
なお、「Cl₂、HCl」は廃棄物に混入していると考えられる海水由来の成分。

対象廃棄物	放射性核種	有害物質	その他
炭酸塩スラリー	Cs、(Sr) 等	Cl ₂ 、HCl CO	CO ₂ 、H ₂ O
鉄共沈スラリー	Cs、(Sr) 等	Cl ₂ 、HCl	CO ₂ 、H ₂ O
フェロシアン化物 スラッジ	Cs、(Sr) 等	Cl ₂ 、HCl SO _x 、(HCN)	CO ₂ 、H ₂ O、N ₂
ゼオライト	Cs、(Sr) 等	—	H ₂ O
ケイチタン酸塩	Cs、(Sr) 等	—	H ₂ O

※HCNはCCIM内で高温分解されることから、実際には発生しない可能性がある。

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: II 廃ガス処理設備の検討 (廃ガス処理設備からの放出放射能基準の調査)

- 福島第一原子力発電所における放出放射能基準(放出放射能の制限値)の調査を行った。
以下の関係法令の調査を行い、周辺管理区域外への放出放射能の制限値を確認した。

[関係法令]

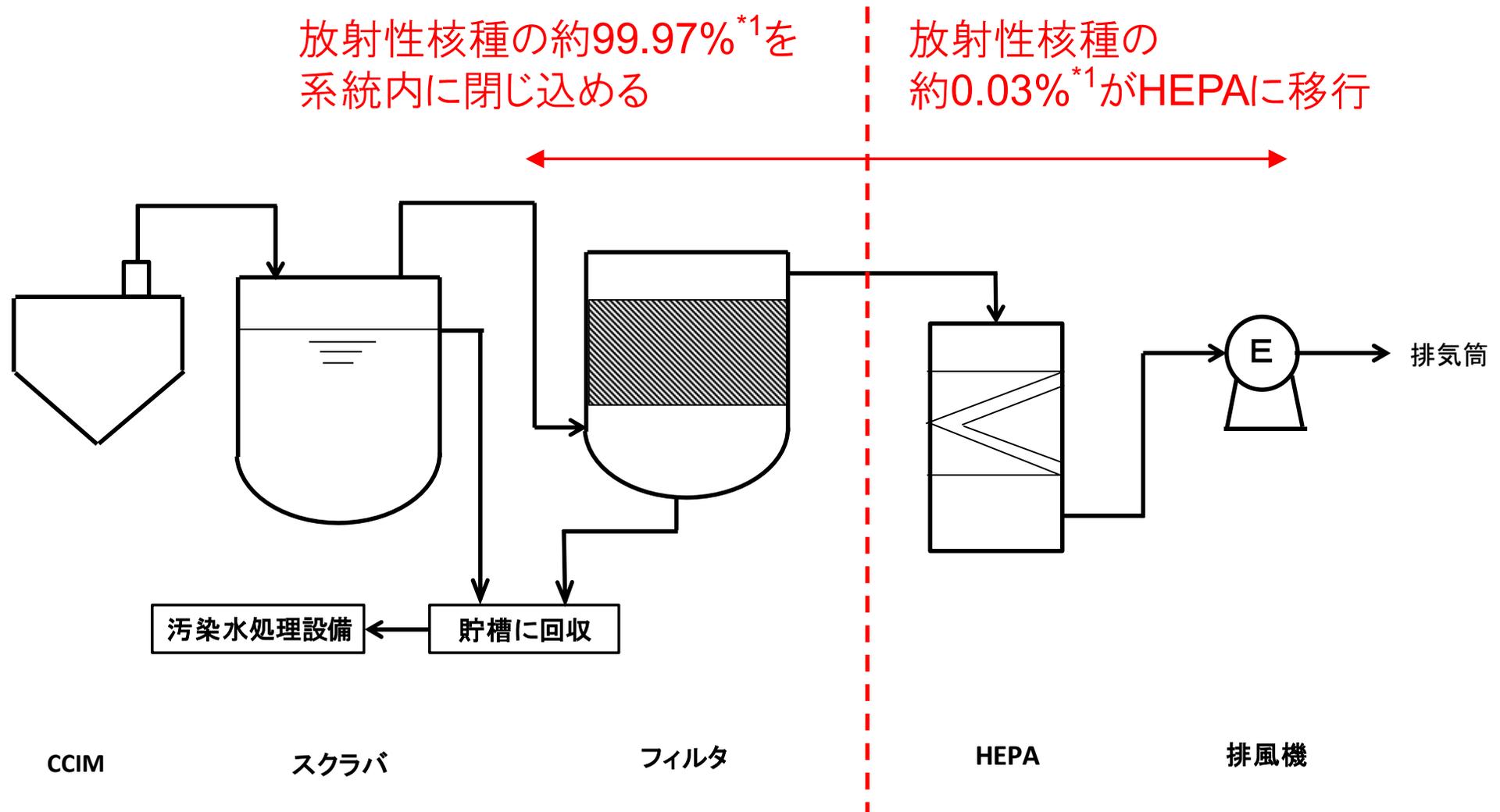
- ・「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」 第十六条第四号
- ・「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示」
第八条第一号、第二号、線量告示別表第一

核種	化学形等	第五欄 周辺監視区域外の 空気中の濃度限度(Bq/cm ³)
⁹⁰ Sr	チタン酸ストロンチウム 以外の化合物	5×10^{-6}
¹³⁷ Cs	すべての化合物	3×10^{-5}

廃ガス処理設備において、処理後の廃ガスの放出放射能濃度が上記制限値より十分低い値(2桁以上低い値)にすることを目指した。

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: II 廃ガス処理設備の検討 (廃ガス処理設備の概念検討)

- 対象廃棄物から発生する放射性核種、有害物質に対して、浄化できる系統構成を検討した。
- 廃ガス処理については、湿式処理と乾式処理の2種類で検討を行った。

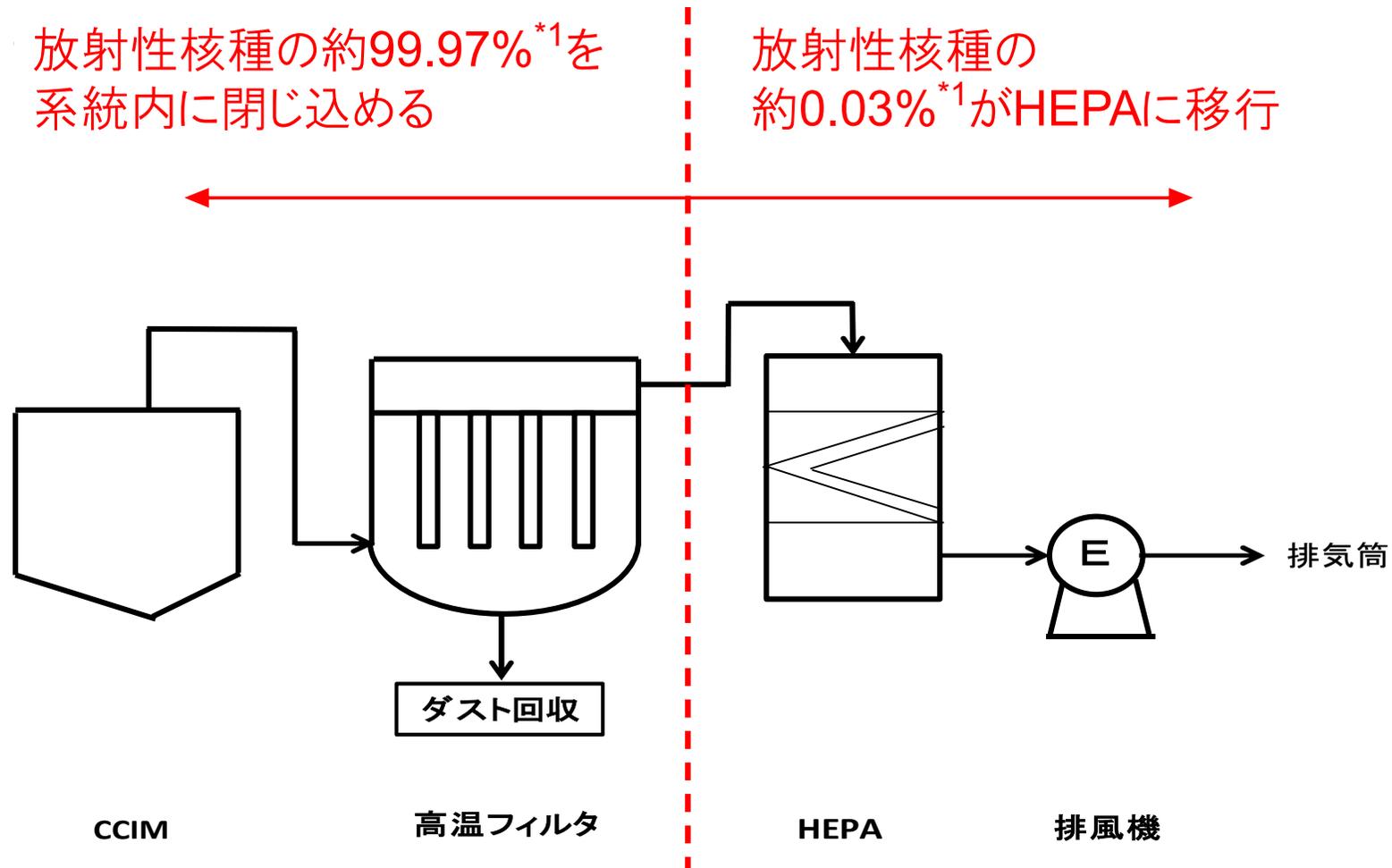


湿式処理における放射性核種のHEPAへの移行率

*1: 類似施設の検討で用いた設定値を基に計算した推算値

6.実施内容 ④廃ガス処理設備及び供給系の検討: II 廃ガス処理設備の検討 (廃ガス処理設備の概念検討)

- 対象廃棄物から発生する放射性核種、有害物質に対して、浄化できる系統構成を検討した。
- 廃ガス処理については、湿式処理と乾式処理の2種類で検討を行った。



乾式処理における放射性核種のHEPAへの移行率
*1:類似施設の検討で用いた設定値を基に計算した推算値

6.実施内容 ⑤日本の規制への適合性検討

目的、目標

- KHNPで実績のあるCCIMを中心としたガラス固化システムを日本に導入するにあたって、耐震強度、事故時評価等日本の許認可対応の観点で、導入時の課題を抽出・整理する。また、必要となる設計フィードバック項目を抽出する。

実施事項、成果

- CCIMを日本に導入する際の、安全評価、許認可対応等への課題の抽出・整理
- CCIMに関連する課題の抽出

【CCIMを日本に導入する際の、安全評価、許認可対応等への課題の抽出・整理】

- CCIMの国内原子力関連施設への導入に当たり、関連しそうな国内法規、法令、告示・指針、規格類等をリストアップし、条文等内容の確認、絞り込みを実施
 - ◇原子力基本法等に基づく内容確認
 - ◇労働安全衛生法等に基づく内容確認
 - ◇建築、公害防止、消防関連法等に基づく内容確認

【CCIMに関連する課題の抽出】

- 処理する廃棄物の放射能濃度に合わせ、必要となる被ばく評価を含め、技術的な課題や検討項目を抽出した。

6.実施内容 ⑤日本の規制への適合性検討:

I CCIMを日本に導入する際の安全評価、許認可対応等への課題の抽出・整理

➤ CCIM導入に当たっての国内関連法規等の確認(代表部分の抜粋サンプル)

関係法令等	適用条文	適用内容	適用有無
核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	第64条	特定原子力施設に係る実施計画	○
同	第51条	廃棄の事業に関する規制	将来的考慮要
同	第59条	運搬に関しての必要な措置	将来的考慮要
労働安全衛生規則	第88条	特定化学設備	○
電波法	第100条	高周波利用設備	○
対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令	—	対象火気設備等に関する基準(火災予防)	○
原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601	—	耐震設計評価	○
発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC-1	—	構造設計	○

6.実施内容

⑤日本の規制への適合性検討：Ⅱ CCIMに関連する課題の抽出)

➤ CCIM導入に当たっての技術課題の検討プロセス

① 設計基準事象の選定
想定シナリオの策定

CCIMの想定事象のうち、特に重要度の高いもの

② 周辺への被ばく評価
安全上重要な設備の選定

各機能が喪失した場合の敷地境界線での被ばく評価
5mSv以上の場合、安全上重要な設備として選定
その場合、機能の二重化・系統分離等、対応が必要。

③ 耐震重要度の分類

安全重要度に従い、耐震クラスを設定

④ 構造設計・耐震評価

CCIM本体への放射性物質閉込め担保に対するシナリオ
(バウンダリの構成)
耐震クラスの区分に従った溶接等、構造設計(JSME等)
耐震クラスの区分に従った耐震評価(JEAG)

CCIMを導入するに当たり、上記フローに基づき、被ばく評価を含め、技術的な課題や検討項目を抽出した。今後、規制適合に向けたプロセス設計・構造設計へ反映要件を作成することが必要。

7. まとめ

CCIMを用いたガラス固化技術が福島第一原子力発電所の固体廃棄物の実用規模の処理に適用できる見通しを得るため検討を実施し、以下の成果が得られた。

①ガラス組成開発

- フェロシアン化物スラッジを除く4種類の汚染水二次廃棄物に対して、基準値を満足するガラス組成を選定した。
- フェロシアン化物スラッジに関しては、ガラス組成調整等が必要と考えられた。

②廃棄物組成の変動等の影響確認

- 炭酸塩スラリーは廃棄物組成が変動した場合も、ガラス化状態が良好であることを確認した。
- 鉄共沈スラリーに関しては、廃棄物組成変動時に結晶等が見られたものもあり、これらに対してのガラス組成に対しては試験規模を大きくしたガラス組成の確認が必要と考えられた。
- ゼオライトについては、揮発抑制を考慮したガラス化試験を実施。Csのガラスへの固定化率等を確認し、約1025℃でガラス化できる組成の見通しを得た。

③実用規模でのCCIM運転性確認とシステム検討に必要なデータ取得

- ガラス組成開発で選定したガラス組成を用いて実用規模試験を実施し、連続的にガラス化できる見通しを得た。
- Srの移行率抑制等を考慮した運転方法の調整が必要であることが考えられた。

7. まとめ

CCIMを用いたガラス固化技術が福島第一原子力発電所の固体廃棄物の実用規模の処理に適用できる見通しを得るため検討を実施し、以下の成果が得られた。

④ 廃ガス処理設備及び供給系の検討

- 福島第一原子力発電所の固体廃棄物に適した廃ガス処理設備及び供給系の概念検討を行うため、廃棄物及びガラス原料の[供給形態・供給方法等を設定した](#)。
- 廃ガス処理の対象とすべき[放射性核種と発生ガス成分を検討した](#)。
- [廃ガス処理設備及び供給系の基本プロセスと設備概要を検討した](#)。

⑤ 日本の規制への適合性検討

- CCIMシステムを日本に導入するため、日本の安全評価、許認可対応等の観点での導入時の課題を整理するため、[国内の関連法規等をリストアップし、条文等内容確認、絞り込みを実施した](#)。
- CCIM導入に必要な[技術課題や、規制適合に向けた検討項目を抽出した](#)。

