

ガラス固化における人材育成の特徴と課題について

福井寿樹*1

原子力、バックエンド分野においては、「現在と未来」、「現場のある業種と現場のない業種」、「大学・研究機関と業界」のギャップを踏まえて、人材育成を行っていく必要がある。本報告では、ガラス固化に関わる「六ヶ所再処理工場 高レベル放射性廃液ガラス固化」と「福島第一原子力発電所 水処理二次廃棄物安定化」の二つの事業に対して、これらギャップを踏まえた人材育成の特徴と課題を報告する。

Keywords: 人材育成, ガラス固化, 高レベル放射性廃液, 水処理二次廃棄物

1 はじめに

原子力、バックエンド分野においては、以下のギャップを踏まえて、人材育成を行っていく必要がある。

- ◇現在と未来
- ◇現場のある業種と現場のない業種
- ◇大学・研究機関と業界

本報告では、「ガラス固化」に関わる以下の事業背景を踏まえて、人材育成の取り組みと課題について紹介する。

- (1) 六ヶ所再処理工場 高レベル放射性廃液ガラス固化
- (2) 福島第一原子力発電所 水処理二次廃棄物安定化

2 六ヶ所再処理工場 高レベル放射性廃液ガラス固化

2.1 事業背景

2.1.1 高レベル放射性廃液処理の概要

商業用再処理施設（六ヶ所再処理工場）では、再処理プロセスから発生した高レベル放射性廃液を高レベル廃液ガラス固化・貯蔵施設でガラス固化し、製造したガラス固化体を30～50年間程度中間貯蔵した後、地層処分する計画である（図1参照）。

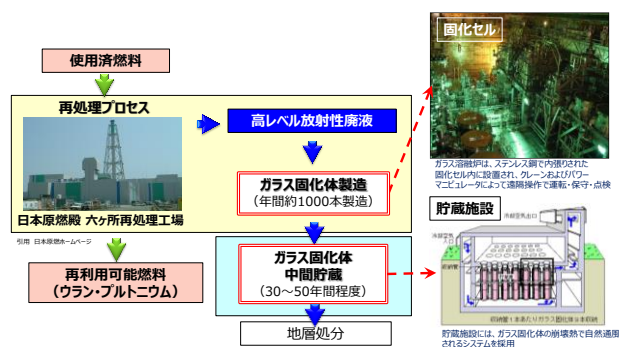


図1 六ヶ所再処理工場における高レベル放射性廃液処理の概要[1, 2]

2.1.2 高レベル廃液ガラス固化・貯蔵施設のアクティブ試験の経緯

高レベル廃液ガラス固化・貯蔵施設は、2007年より、高レベル放射性廃液を用いたアクティブ試験を開始した。

Characteristics and issues of human resource development in vitrification
by Toshiki FUKUI (fukui9003@ihi-g.com)

*1 株式会社 IHI

IHI Corporation

〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1番地

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第39回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

アクティブ試験では、運転・設備トラブルが発生し、試験終了までに約6年を要した（表1参照）。初期のトラブル発生時に、ガラス産業界、大学・研究機関と相談できる関係になかったことが反省点である。

このため、ガラス、セラミックス/耐火物、鉄鋼/スラグ等、様々な分野の専門家との関係を構築しつつ、トラブル解決を図った経緯がある。

表1 六ヶ所再処理工場ガラス固化施設 アクティブ試験（実廃液）の経緯

年度	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
六ヶ所再処理工場 ガラス固化施設								
試験開始 (11月)								
第4ステップ (2007/11-12)								
第5ステップ (2008/10-12)								
運転トラブル		流下性悪化 白金族元素増量等	流下性悪化 白金族元素増量等			事前確認試験 (2012/6-8)	試験結果報告書提出 (7月)	
設備トラブル		流下性悪化 白金族元素増量等	流下性悪化 白金族元素増量等		実施での設備改善 ・運転方法の改善	安定運転の確認 ・性能の確認		
東海村 実規模モックアップ試験 (KMOC試験)								
原因究明、対策の構築								

2.1.3 高レベル放射性廃液ガラス固化技術の高度化

アクティブ試験初期において、大学、ガラス産業界との連携がなかったことを踏まえ、資源エネルギー庁「使用済燃料再処理事業高度化補助金に係る事業」（以下、「高度化補助金」）、資源エネルギー庁「放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業」（以下、「基盤研究事業」）を通して、様々な分野との大学・研究機関、専門家との関係を構築することで、オールジャパン体制での対応が可能となった。（表2参照）

なお、「基盤研究事業」（2014～2018）の成果である「低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の基盤整備」は、資源エネルギー庁「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）」に活用されている。

表2 高レベル放射性廃液ガラス固化技術の高度化

	2009～2013	2014～2018	2019～2024 (予定)
資源エネルギー庁/使用済燃料再処理事業高度化補助金に係る事業【実施者：日本原燃】			
① 新型ガラス溶融炉の開発			
② 溶融炉シミュレーションの開発 (ガラス物性取得含む)			
資源エネルギー庁/放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 【実施者：IHI-日本原燃-JAEA-電中研 共同受託】			
③ 低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の基盤整備			
④ 高レベル放射性廃液のガラス固化の高度化 (標準燃焼度、高充填化)			
⑤ 高レベル放射性廃液のガラス固化の高度化 (MOX-高燃焼度)			
⑥ MA分離技術 (抽出クロマト)			
⑦ 使用済燃料の多様化を考慮したシナリオ評価 (製造・保管・処分の最適化)			

参考に、資源エネルギー庁「基盤研究事業」の実施体制を図2に示す。ガラス固化技術に精通している4社体制で共同受託し、ガラス、鉄鋼／スラグ、原子力等を専門とする大学・研究機関及び企業が協力機関として参画している。

また、有識者、ガラス産業界等から構成される研究評価委員会を設置することで、外部の意見も積極的に取り入れる体制を構築した。上記事業を通して、ガラス固化ネットワークを維持しつつ、再処理、ガラス固化に関心を持つ将来人材の発掘にも繋げている。

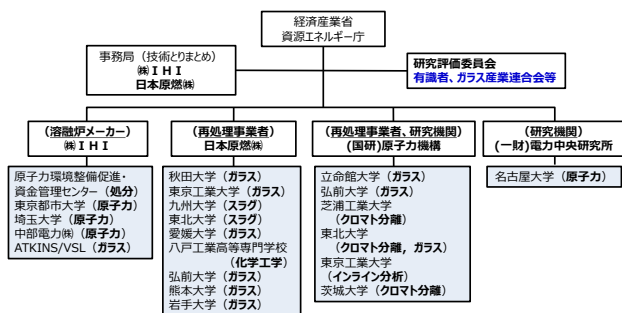


図2 資源エネルギー庁「基盤研究事業」実施体制[3]

2.1.4 ガラス固化技術高度化における役割

ガラス固化技術の高度化においては、事業者、メーカ、大学・研究機関のタイムリーな情報共有が重要である。

特に、委託元である事業者、メーカが大学・研究機関に対して、開発ニーズ・ゴールを明確に示すと共に、運転情報（運転条件、廃液組成等）を試験条件に反映させることが重要である（図3参照）。「基盤研究事業」では、メーカ（IHI）で模擬廃液を製作し、関係機関に提供することで、より現実的な研究を行うこととしている。

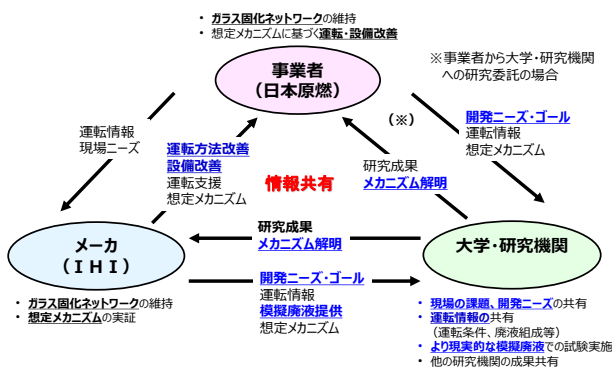


図3 ガラス固化技術高度化における役割

2.2 人材育成の特徴と課題

上記事業背景を踏まえて、冒頭に挙げたギャップに対する特徴と課題を整理した。

2.2.1 現在と未来

現在は、アクティブ試験におけるガラス固化施設の運転・設備トラブルを克服し、トラブル経験を有する技術者と専門家を中心にガラス固化ネットワークが構築されている。

将来的には、ガラス固化施設の安定操業に向けて、継続的な高度化を行うための技術者（技術力）維持が必要とな

る。また、ガラス固化技術の高度化と併せて、高レベル放射性廃棄物の「処理」⇒「保管」⇒「処分」の一連の流れ、要件を理解したうえで、全体最適化（図4参照）を進める人材の育成も必要と考える。

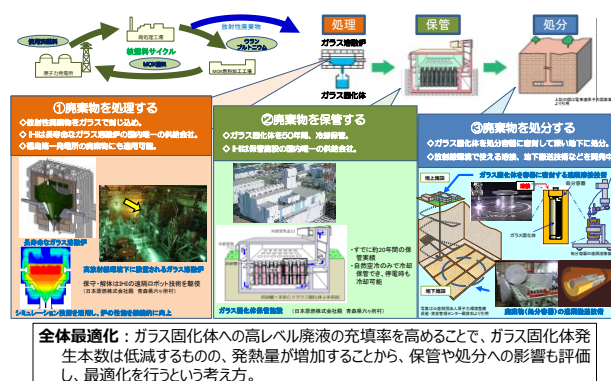


図4 ガラス固化体製造・保管・処分における全体最適化

2.2.2 現場のある業種と現場のない業種

高レベル廃液ガラス固化・貯蔵施設がアクティブ試験中であり、現場ニーズや課題は明確である。このため、研究開発を促進し、人材育成を行うためには、大学・研究機関等と運転情報や現場ニーズをタイムリーに情報共有できる場を維持することが重要である。

2.2.3 大学・研究機関と業界

アクティブ試験初期に運転・設備トラブルが発生した際、ガラス産業界等と大学・研究機関と相談できる関係になかったことが反省点であり、資源エネルギー庁の「高度化補助金」、「基盤研究事業」を通して、ガラス固化ネットワークを構築してきた。

今後は、ガラス固化ネットワークの維持が課題であり、幅広い分野の技術者・専門家の協力に加え、現場ニーズを踏まえて研究開発をコーディネートできる人材の育成も必要である。

3 福島第一原子力発電所 水処理二次廃棄物安定化

3.1 事業背景

3.1.1 水処理二次廃棄物安定化の概要

IHIは、水処理二次廃棄物の安定化技術として、ガラス固化技術（溶融ガラス化¹⁾）を適用し、ガラス溶融炉には、コールドクルーシブル誘導加熱炉（Cold Crucible Induction Melter：CCIM）を用いることを資源エネルギー庁「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）」（以下、「補助事業」）として申請し、実施した。

2018～2021年度に実施した「補助事業」において、想定される水処理二次廃棄物の特徴に合わせた安定化方法（図5参照）や運転可能なガラス組成を検討したうえで、実規模試験により、安定化処理の見通しを得ている。

1) 溶融ガラス化：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。

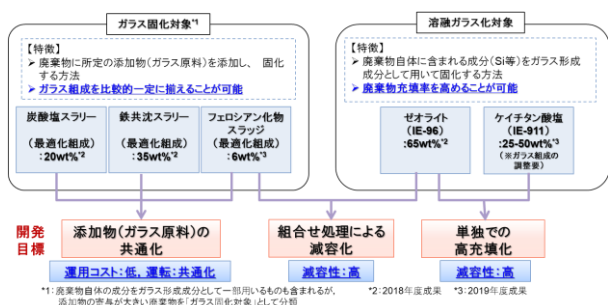


図5 廃棄物の特徴に合わせた安定化方法の選定[4]

水処理二次廃棄物の安定化においては、廃棄体基準がないことから、図6に示す通り、原子力発電所における低レベル放射性廃棄物や福島第一原子力発電所の固体廃棄物に対する要求事項を整理・想定し、それに適合した処理技術を選定し、提案を行った。

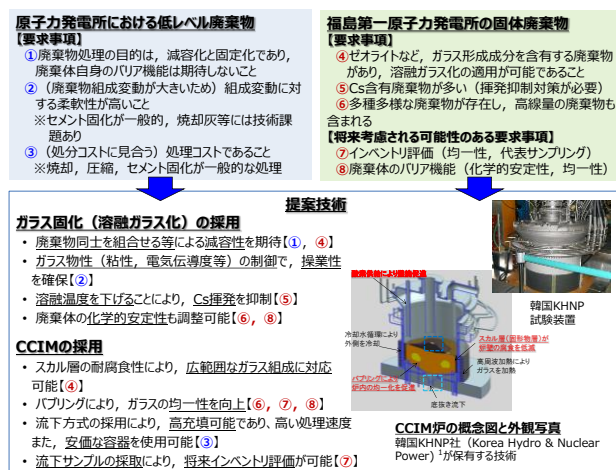
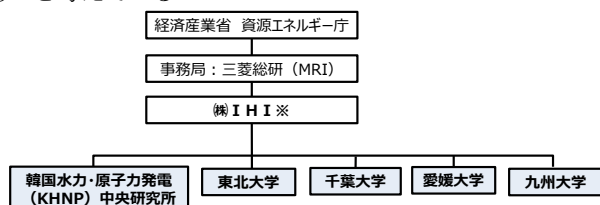


図6 水処理二次廃棄物安定化における要件事項の整理と技術選定[4]

「補助事業」の実施体制を図7に示す。資源エネルギー庁「基盤研究事業」に参画し、ガラス固化に精通している大学に再委託を行うことで、幅広い視点且つ、効率的な研究を目指している。また、上記事業を通して、福島第一原子力発電所廃炉に関心を持つ人材を育成することに繋がるものと考えている。



再委託先	研究開発項目
KHNP 中央研究所	実用規模試験の実施及びデータ取得 ➤ 対象廃棄物に対する実用規模のCCIM試験装置での試験実施。
東北大学	ガラス組成の検討・評価 ➤ ガラス組成の検討、高温物性の評価等を実施。
愛媛大学	ガラス組成の検討・評価 ➤ 対象廃棄物への混入成分の影響も踏まえたガラス組成の検討・評価を実施。
九州大学	ガラス組成の検討・評価 ➤ セオライト等を対象として、ガラス固化を行う場合のセシウムの揮発抑制方法、ガラス固化体の処分に関わる特性等を検討。
千葉大学	ガラス固化体の評価 ➤ ガラス組成の検討、ガラス構造等の観点からガラス固化体の状態評価等

図7 資源エネルギー庁「補助事業」の実施体制[4]

3.2 人材育成の特徴と課題

上記事業背景を踏まえて、冒頭に挙げたギャップに対する特徴と課題を整理した。

3.2.1 現在と未来

現在は、資源エネルギー庁「補助事業」や文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」（以下、「英知事業」）等により、多くの技術者や専門家が開発に携わっている。

今後、開発した技術を実用化するまでには時間を要すると考えられ、これら技術者（技術力）の維持が課題となる。

3.2.2 現場のある業種と現場のない業種

福島第一原子力発電所の現場において、放射性廃棄物は発生しているものの、安定化設備自体がないことから、現場の状況や具体的ニーズを把握しにくい環境にある。このため、廃棄物情報、現場のニーズや困りごとをタイムリーに情報交換できる場を作っていく必要がある。

また、積極的に現場情報を入手し、要求事項や現場ニーズ等を想定したうえで、開発すべき技術やその開発計画を立案し、開発を推進できる人材の育成も必要である。

3.2.3 大学・研究機関と業界

六ヶ所アクティブ試験の経験を踏まえると、事業者、メーカは、開発段階から大学・研究機関等との関係を構築しておくことが重要である。資源エネルギー庁「補助事業」、文部科学省「英知事業」等で産学連携を行うことにより、適用可能な技術を開発していくと共に、福島第一原子力発電所廃炉に携わる将来人材を発掘していく必要がある。

4 まとめ

「ガラス固化」に関わる二つの事業に対して、「現在と未来」、「現場のある業種と現場のない業種」、「大学・研究機関と業界」というギャップを踏まえた人材育成の特徴と課題を整理した。

4.1 六ヶ所再処理工場 高レベル放射性廃液ガラス固化

現在、アクティブ試験におけるトラブル経験を踏まえて、現場と大学・研究機関が一体となり、オールジャパン体制での対応が可能となっている。今後の人材育成のポイントとして、以下が挙げられる。

- ◇再処理工場の操業支援に向けた技術者の維持
- ◇高レベル放射性廃棄物の全体最適化を目指す人材の育成
- ◇幅広い分野の技術者、専門家の協力と現場ニーズを踏まえて研究開発をコーディネートできる人材の育成

4.2 福島第一原子力発電所 水処理二次廃棄物安定化

現在、資源エネルギー庁「補助事業」、文部科学省「英知事業」等を通じて、多くの研究者が関与している。今後の人材育成のポイントとして、以下が挙げられる。

- ◇開発した技術を実用化するまでの技術者の維持
- ◇要求事項や現場ニーズ等を想定し、開発すべき技術、開発計画を立案、開発を推進できる人材の育成
- ◇福島第一原子力発電所廃炉に関わる将来人材の発掘

「我が国のエネルギー問題や環境負荷低減に対して、積極的に取り組んでいく人材の育成」は非常に重要であり、バックエンド部会の今後の活動をメカとして支援していく。

謝辞

本報告は、以下に示す経済産業省資源エネルギー庁委託事業及び補助事業の成果一部である。また、日本原燃殿のアクティブ試験結果が含まれる。

- ◇平成 21～25 年度 使用済燃料再処理事業高度化補助金に係る事業
- ◇平成 26～令和 2 年度 放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業（ガラス固化技術の基盤整備）【JPJ010599】
- ◇平成 29 年度 補正予算廃炉・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）
- ◇平成 30 年度 補正予算廃炉・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）
- ◇令和 3 年度 開始 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）

参考文献

- [1] 日本原子力学会 再処理・リサイクル部会: テキスト「核燃料サイクル」.(2013).
- [2] 電気事業連合会: 原子力・エネルギー図面集.(2012).
- [3] 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課 他: 放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 中間評価 補足説明資料（評価対象期間: 2019～2021 年度）. 2022 年 11 月 21 日 (2022).
- [4] 株式会社 IHI: 令和 3 年度開始 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) 2019 年度及び 2020 年度事業成果概要.(2021).