

# 低レベル放射性雑固体廃棄物の減容処理技術

名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授 安井 晋示

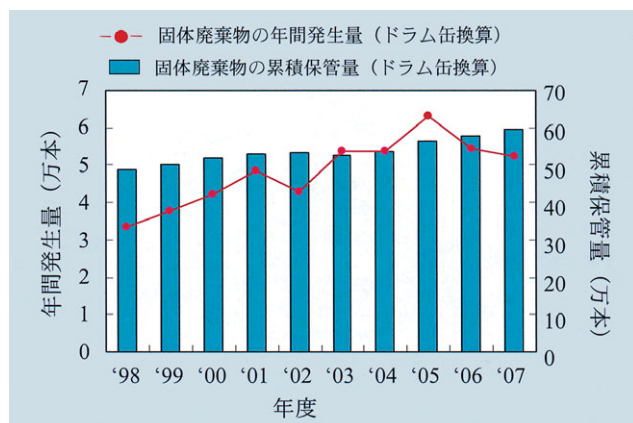
Associate Professor Shinji Yasui  
Nagoya Institute of Technology



## はじめに

原子力発電所の運転および定期点検に伴い、取替配管および保温材などの低レベル放射性雑固体廃棄物(以下、雑固体廃棄物と略)が発生する。全国の原子力発電所の総計で、ドラム缶換算で年間約5万本発生しており、累積保管量は約60万本に達している。この廃棄物は、原子力発電所内において処分容器内に緻密に固形化処理された後、六ヶ所村低レベル放射性廃棄物埋設センターに搬出されて、埋設処分される。雑固体廃棄物の処理・処分コストの低減には、固形化処理した後の廃棄物の数量をできるだけ低減することが肝要であり、固形化処理に際しては、できるだけ減容処理することが望まれる。

本稿では、この雑固体廃棄物の減容処理技術として、筆者が電力中央研究所在職中に行ったアークプラズマ加熱を用いた研究の内容を紹介する。



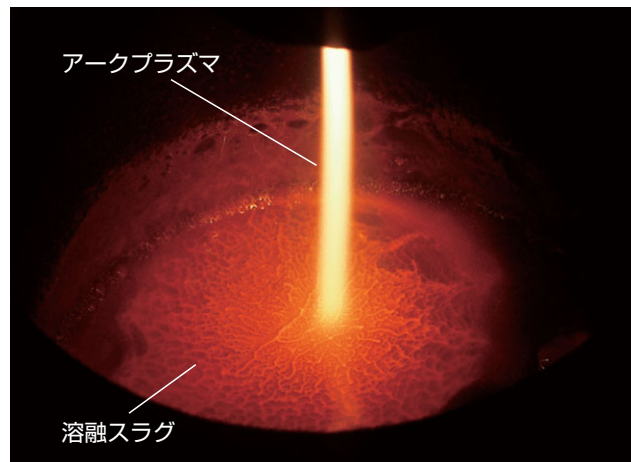
第1図 放射性固体廃棄物の累積保管量

## 雑固体廃棄物の減容処理技術

雑固体廃棄物の減容処理方法としては、圧縮・切断した後にモルタル等で固化する「充填による固形化」と熔融後にモルタル等で固化する「熔融による固形化」がある。前者は、設備が簡便で設備費や運転コストが低いという特長があり、一方、後者は、廃棄物の大幅な減容により六ヶ所村への埋設処分量を減らせるので、総合的な処分コ

ストの低減が期待できるとともに、放射性核種の閉じ込め性に優れた固化体が作製できる利点がある。

「熔融による固形化」の加熱源としてアークプラズマ加熱を用いることで、金属、無機物に加えて融点の高いセラミックフィルタや樹脂なども短時間に一括して熔融処理することができる。また、放射性核種の閉じ込め性能に優れた固化体を高い減容比で作製できる。この加熱技術を適用するためには、熔融処理後の固化体が埋設処分に適する性状を有していることと熔融処理時における放射性核種の挙動を明らかにする必要があり、100kWクラスのプラズマ熔融処理設備を導入して、様々な熔融処理実験を行った。



第2図 雑固体模擬廃棄物のプラズマ熔融状況

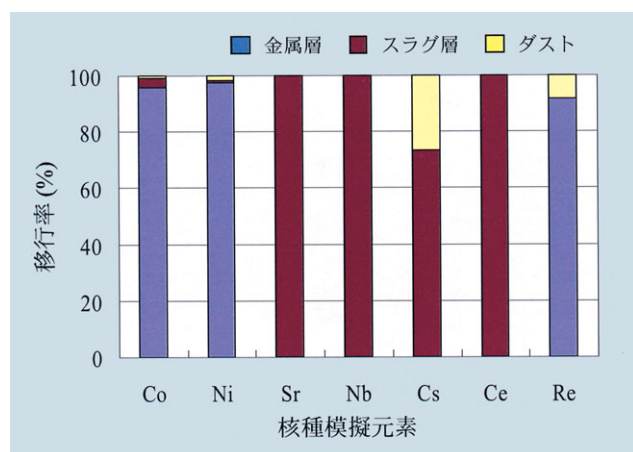
## 熔融固化体の性状と熔融処理時における放射性核種の挙動

電気事業連合会における雑固体廃棄物の種類別発生割合の調査結果を基に、金属や無機物の種類とその配合比を選定し、金属、無機物に加えて可燃物並びに非放射性的の模擬核種(以下、核種模擬元素と略)からなる雑固体模擬試料を様々な熔融処理条件で一括プラズマ熔融処理し、作製した熔融固化体の物性と熔融時における核種模擬元素の挙動を調べた。

酸化性の雰囲気条件で熔融処理することで、熔融固化体は、核種模擬元素の分布が均一で、かつ機械的強度も

強く、核種模擬元素の溶出率も非常に小さく化学的に安定であることが分かった。また、大きな減容比が達成できることも確認した。

さらに、熔融処理時における核種模擬元素の挙動については、廃棄体搬出時の確認検査に必要な放射性核種の内、セシウム(Cs)を除く核種模擬元素については、熔融固化体を形成する金属層またはスラグ層(無機物を熔融するときに生成される金属酸化物)にほぼ全量捕捉され、その捕捉率も熔融処理条件に影響されないことを明らかにした。これらの挙動は、各元素の蒸気圧や酸化物の生成自由エネルギーなどの熱力学的な性質に強く依存し、これらの性質から核種の移行挙動が推定できることが分かった。一方、Csはスラグ層とダストに移行し、そのスラグ層への捕捉率は廃棄物組成、熔融時間などの処理条件に依存した。



第3図 核種模擬元素の移行挙動(炭素鋼とフライアッシュと木片を空気雰囲気中で熔融処理した場合)  
(各核種模擬元素の物質収支を100%に規格化して示した。Ceはα核種を模擬し、ReはTcの模擬として用いた。)

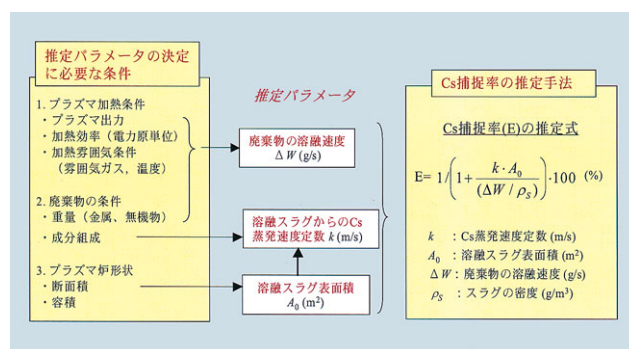
### セシウム捕捉率推定法の開発

廃棄体搬出時の確認検査における放射能濃度計測では、難測定核種(<sup>63</sup>Ni, <sup>90</sup>Sr, <sup>94</sup>Nb等)については、SF(スクエーリングファクタ)法により比較的測定の容易な<sup>60</sup>Coと<sup>137</sup>Csとの放射能濃度から評価している。したがって、廃棄体の放射能濃度を正確に評価するためには、熔融固化体中へのCsの捕捉割合を正確に見積もる必要がある。

熔融処理時におけるCsの挙動は、様々な熔融処理条件により影響される。このため、熔融処理時における過渡的な移行挙動を解明する必要がある。雑固体廃棄物に付着しているCsは、その熱力学的な性質により、熔融処理時において熔融スラグに取り込まれるとともに、熔融スラグ表面から蒸発する。このため、廃棄物が熔融する際の溶湯形状および熔融スラグ中のCs濃度の経時変化を調べ、熔融過渡時におけるCsの挙動を推定するモデルを構築した。このモデルは、Csを含む廃棄物が溶けること

によって熔融スラグ中へCsが取り込まれる速度と熔融スラグ表面からCsが蒸発する速度の相対的な差から、Csの挙動を推定する。このモデルを基に、熔融固化体のCs捕捉率を廃棄物の熔融速度、熔融スラグ表面積、熔融スラグからのCs蒸発速度定数から簡易に算出評価する手法を考案した。さらに、熔融スラグからのセシウムの蒸発速度定数は、一定の熔融スラグ表面積(すなわちプラズマ熔融炉の熔融面積)の条件では、スラグの組成に強く依存することが分かった。これらの評価パラメータは、いずれも雑固体廃棄物の熔融処理前の条件から得られる。

本評価法を用いて、実用プラズマ炉でのCs捕捉率を雑固体廃棄物の熔融処理前の条件から推定した結果、実測値に対して1割以内の精度で推定できることを確認している。これらの成果は、日本原子力発電株式会社の敦賀発電所に導入されている雑固体廃棄物プラズマ熔融処理設備の運転に反映されている。



第4図 セシウム捕捉率の推定法

### あとがき

本稿では、原子力発電所の定期点検などにより発生する低レベル放射性雑固体廃棄物の減容処理技術として、アークプラズマ加熱を適用するための研究内容を紹介した。現在、全ての原子力発電所に雑固体廃棄物の処理施設が入っているわけではないので、処理技術の選定の一助となれば幸いである。また、今後、古い原子炉の解体も始まることから、廃棄物の再利用・再資源化も踏まえて、処理技術の選定を行っていく必要がある。

#### 【参考文献】

- (1) 電力中央研究所総合報告W12 (1998)
- (2) 電力中央研究所総合報告W18 (2003)

#### 安井 晋示(やすい しんじ)氏 略歴

名古屋工業大学大学院工学研究科准教授。工学博士(名古屋工業大学)。1989年名古屋工業大学大学院工学研究科修了後、同年電力中央研究所入所、2005年電力中央研究所退職後、同年名古屋工業大学大学院工学研究科助教授、現在に至る。専門はプラズマ環境工学。電気学会東海支部会計幹事(2008年～)、中部電食防止委員会常任幹事(2008年～)、電気設備学会雷保護技術調査研究委員会委員長(2008～)