

緊急シンポジウム「福島第一原子力発電所汚染水の処理に係る課題」参加報告

バックエンド部会出版小委員会委員 清水智史*1 長岡亨*2

5月11日(水)に、緊急シンポジウム「福島第一原子力発電所汚染水の処理に係る課題」が、東京工業大学大岡山キャンパス百年記念館にて開催された(総勢約100名)。

日本原子力研究開発機構の吉田善行氏を中心とした原子力学会有志チームでは、福島第一原子力発電所の汚染水処理対策のための吸着剤特性評価をはじめとした各種基礎データを収集するとともに、その結果を公表してきた。

本シンポジウムでは、冒頭に、バックエンド部会の宮原副部長より、バックエンド部会としても、今般の震災における種々の課題解決に向け、積極的に取り組んでいくとの力強い開会挨拶の後、有志チームの活動内容の報告と今後の取り組みについて提言がなされた。以下にその概要について報告する(開催プログラムは末尾参照)。

第一部「原子力学会有志チームによるこれまでの活動の報告」

山岸功氏(日本原子力研究開発機構)より、有志チームの活動について全体報告がなされた。3月11日の震災以降、電力・通信・燃料などのインフラが不十分な状態にもかかわらず、原子力学会の有志のメンバーが連絡を取り合い、福島第一原子力発電所の汚染水処理対策のための基礎データを収集する活動を、3月22日より開始した。有志チームのメンバーは、北海道大学、東北大学、東京工業大学、京都大学、九州大学、および日本原子力研究開発機構の各大学・機関に所属する約60名で構成され、日立製作所、東芝、オルガノ、ゼオライト工業会ら産業界と協力しつつ、処理システムに役立つデータの収集を実施。4月7日に学会ホームページにプレスリリース、4月15日には基礎データ収集の結果をバックエンド部会ホームページに公開したとのことである(5月2日改訂)。

吸着実験では試験条件が重要との共通認識のもと、核種濃度範囲(主な濃度範囲Cs:1-10, I:0.1-10, Sr:1-10単位 $\mu\text{g/ml}$)や固液比(V/m=100)などを統一して実験がなされたとのことであった。試験条件を別表に示す。

山岸氏の講演では、全体活動の他、Csのモルデナイトへの吸着選択性に関する解説や原子力機構における試験結果やCs吸着ゼオライトの線量率・物量・発熱量評価などの報告があった。特筆すべきはCs吸着剤からの水素発

生量評価であり、核分裂生成セシウムがゼオライトに対して1wt%吸着したと仮定すると、0.46 mol/ton-zeolite/hとのことであった。原発事故では水素爆発が起こっており、汚染水処理のシステム設計の安全管理上重要な知見である。

佐藤修彰氏(東北大学)より、トレーサーを用いた海水系でのCs, Srの吸着試験結果について報告がなされた。震災後、三村教授(東北大学)がガソリンを調達し、自ら海水を採りに行ったというエピソードが紹介された。試験は教授陣で実施したとのこと。海水中に元々存在するSrは、Csの吸着に対してあまり影響を及ぼさないこと、濃縮海水環境下では、Csの分配係数(以下、Kdという)が減少したこと、ゼオライトの粒径を揃えると(小さくなると)、CsのKdは上昇したことなどが報告された。また、海水からのCs吸着性の序列はイオン交換自由エネルギー変化とよく対応しているとのことであった。今後の課題として、吸着能比較の高精度化のほか、使用済み吸着剤の処理処分技術の検討など、我が国独自の汚染水処理処分システムの構築が必要についての提言がなされた。

尾形剛志氏(東京工業大学)より、凝集沈殿法による汚染水の処理について報告がなされた。Csについては、Cs-treat(フェロシアン化コバルト)が固液比によらず、よく吸着した。また、吸着剤(フェロシアン化鉄)と凝集剤(硫酸アルミニウムなど)を組み合わせることで高効率にCsを除去可能であることを示した。ヨウ素の吸着試験については、含水酸化セリウムなどで高いKdが得られることなどが報告された。

佐々木隆之氏(京都大学)より、有志チーム提供の候補剤(ゼオライトなど)のほか、ホームセンターで入手した「鉱物系活性炭」を試験に供した結果の報告がなされた。海水は日本海でサンプリングを行ったとのこと。海水濃度依存性(Naによる吸着の妨害)があること、24時間程度で吸着が十分進行すること、活性炭の添加は一定の効果があることなどが報告された。また、目の前の処理だけでなく、処分に目を向けた方策についても検討を進める必要があるという意見が述べられた。

第二部「今後の課題と取り組み(提言)」

佐藤修彰氏(東北大学)より、燃料およびFPの挙動と処理に係る課題について報告がなされた。核燃料である UO_2 は酸化して U_3O_8 となり、炉底にたまっていると考えられること、 PuO_2 は U_3O_8 と同様の挙動をとると考えられること、その他FPは化学的特性(揮発性、溶解性、酸素ポテンシャルなど)によって挙動が異なることなどが紹介された。また、土壤汚染の主要核種であるCsに関しては、 Cs_2O として揮発($\sim 800^\circ\text{C}$)した後、加水分解され、エア

Report on the urgent symposium "Tasks of contaminated water treatment on Fukushima Daiichi Nuclear Power Station" by members of J. NUCE publishing committee, Tomofumi Shimizu (tomofumi.shimizu@jnfl.co.jp), Toru Nagaoka

*1 日本原燃(株) 埋設事業部 開発設計部 安全評価グループ
Safety Assessment Group, Development & Engineering Department,
Radioactive Waste Disposal Business Division, Japan Nuclear Fuel Limited
〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字野附 504-22

*2 (財)電力中央研究所 環境科学研究所 バイオテクノロジー領域
Biotechnology Sector, Environmental Science Research Laboratory, Central
Research Institute of Electric Power Industry
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646

ロゾルのような形態で広範囲に大気拡散したのではないかとのことであった。今後の課題としては、核燃料およびFPの挙動のほか、サイト外における汚染物の評価・除染方法の検討、吸着剤などの二次廃棄物処理処分方法の検討などが重要とのことであった。

池田泰久氏（東京工業大学）より、汚染水の処理に関する課題として、高NaCl環境における α 線照射によってClO₂が、 γ 線照射によりH₂、O₂、ClO₃が生成する可能性があり、これらの燃料溶解への影響を検討する必要があること、これまで報告されている溜り水の分析データに基づく¹⁴⁰Ba、¹⁴⁰Laの挙動把握が炉内の状態を知る手がかりになるであろうこと、今後海水を含む冷却水中の核種の化学形態の把握と分離処理法を検討する必要があることなどについて報告がなされた。

佐藤正知氏（北海道大学）より、汚染水処理後のゼオライト廃棄物の固化法の検討と今後の課題について報告がなされた。200Lドラム缶に貯蔵されると仮定したときに崩壊熱が400°C以上となる場合があること、吸着水の放射線分解による水素ガス発生のおそれがあることなどが報告された。また、今後の研究開発体制として、異分野の専門家の協力を得て情報交換しながら取り組み、有力な選択肢を常に持ち続けることが重要であるとの提言がなされた。

稲垣八穂広氏（九州大学）より、今後の体制や進め方について報告がなされた。除染処理などで発生する廃棄物は、合理的に最終処分するために、現在の廃棄物区分に適合する形態に処理すること、TMIの事例を参考に、中・長期的な工程を計画し関係機関の支援を活用・統合する組織体制を構築し問題解決にあたる仕組みを設立することなどの提案が行われた。汚染水処理に役立つデータの整備という第一フェーズの活動は終了したとのことであった。

また、開催プログラムでは予定されていなかったが、松岡伸吾氏（日本原燃）より、汚染水処理に対して再処理工場の経験からの提言がなされた。処理すべき汚染水に対して多量の塩が含まれること、再処理工場で利用されるような蒸発缶で汚染水を処理するにしても塩が蓄積して処理が困難になること、Csを排水濃度限度以下で環境に放出するためには10⁸倍に薄める必要があることなどが紹介された。また、再処理工場で適用している線量評価法が有効かもしれないが、関連するデータの取得や海洋放出管のような設備の設置に時間がかかるとのことであった。

総合討論では、学会の意見や活動結果が現場へ反映されていないのではないかという意見があった。これに関連して、学会のシニアネットワークでは3月に対策本部に提言書を出しているが、とくに反応はなかったということが紹介された。また、冷却機能喪失後、数時間で炉心溶解することが容易に予想されたのではないかという意見があった。これについては、核燃料が損傷し炉の底部にたまり続けていることが予想されるが、詳細なデータの公表が待た

れるとのことであった。

有志チームでは、本シンポジウム開催の午前中に次フェーズの取り組みに関して議論したとのことである。本シンポジウムの提言を踏まえ、バックエンド部会員諸氏におかれては、問題解決に向けた議論への積極的な参加と、各専門的知見に基づく提案や助言をお願いしたい。

開催プログラム

開会挨拶 バックエンド部会 副部長 宮原要

第一部

「原子力学会有志チームによるこれまでの活動の報告」

進行役から（吉田善行）

全体活動報告

山岸功（原子力機構）

トレーサーを用いた海水系でのCs、Sr吸着試験

佐藤修彰（東北大）

凝集沈殿法による汚染水の処理について

尾形剛志（東工大）

京大における試験結果報告

佐々木隆之（京大）

第二部

「今後の課題と取り組み（提言）」

進行役から（池田泰久）

燃料およびFPの挙動と処理に係る課題

佐藤修彰（東北大）

福島第一原子力発電所汚染水の処理に関する課題

池田泰久（東工大）

固化法の検討と今後の課題

佐藤正知（北大）

本グループの今後の体制、進め方

稲垣八穂広（九大）

総合討論

別表 学会有志チームの活動（第一フェーズ）

項目	実施場所 担当者	吸着剤			元素 核種	実験条件等	備考
		ゼオライト系	活性炭系	その他			
核種 吸着 実験	東北大学 三村, 佐藤, 桐島	・合成ゼオライト X 型, A 型 ・愛子(あやし)産モルデナイト ・米国産チャバサイト ・ニツ井クリノブチロライト		・Co 系不溶性フェロシ アン化合物 (Cs 用) ・不溶性フェロシアン 化物担持樹脂(Cs 用) ・含水酸化チタン酸担 持樹脂(Sr 用)	Cs Sr	・海水(pH=6.57, 2.37), 濃縮海水(2 倍, 3 倍) ・V/m=100 ・Cs=0.01-2000 ppm, Sr=0.5 ppm	・トレーサー実験 ・飽和吸着量決定
	九州大学 出光, 稲垣	・愛子(あやし)産モルデナイト ・ニツ井クリノブチロライト ・米国産チャバサイト ・合成ゼオライト X 型, A 型 ・銀ゼオライト(HALOSORB)	・白鷺 C, M ・化研 KBAC	・マンガン砂 ・MnO ₂ ・C3A	Cs I(I, IO ₃)	・海水(1/1, 1/3, 1/10) ・V/m=100 ・Cs, I 濃度=1,10 ppm	・ICP-MS
	京都大学 佐々木	・ニツ井クリノブチロライト ・米国産チャバサイト ・A4, F9, SGW, SGW-B4, ス ーパー-Z, Z-05 ・愛子(あやし)産モルデナイト	・市販活性炭 ・白鷺 C, M ・化研 KBAC	・Cs-treat(不溶性フェロ シアン化合物) ・マンガン砂, MnO ₂ ・CST	Cs, Sr, (Nd) I(I, IO ₃)	・海水(1/1, 1/10, 1/100) ・V/m=100 ・Cs(1-10 ppm), Sr(0.1-10 ppm) ・I(0.1-1 ppm), IO ₃ (0.1-1 ppm)	・ICP-MS
	東工大 池田, 竹下, 鈴木	・板谷産ゼオライト		・Cs-treat ・各種無機イオン交換 体	Cs I(I, IO ₃)	・人工海水, 海水, 濃縮 海水 ・V/m=100 ・Cs:1,10 ppm, I, IO ₃ :1,10 ppm (Sr 含有 10 ppm)	・AMP(手配中)
	北大 佐藤正知					(吸着実験なし)	・発熱量解析
	北大 佐藤努	・愛子(あやし)産モルデナイト ・仁木クリノブチロライト ・浸透性ゼオライトタイル		・パーミキュライト ・ハイドロタルサイト ・ゼオライト	Cs I(I, IO ₃)	・海水系以外の吸着実 験	・鉱物種同定・定量, BET, TG/DTA, ゼータ電位
	JAEA 木村, 森田	・天然モルデナイト ・合成モルデナイト(東ソー製 HSZ 粉末, 造粒)	・白鷺 C, M ・化研 KBAC	・チタン系ゼオライト CST(粉末, 造粒)	Cs I Sr	・雨水試料 ・Cs, Sr 吸着実験は NaCl 共存	
その他の活動, 今後の予定	・銀ゼオライト	・化研製 AMP 炭等	・ベントナイト(漏洩対 策) ・Sr-treat, Co-treat ・セリサイト	β 核種 α 核種(?)	・コロイド対応	工学システム吸着 剤必要量, 線量, 水 素発生量等	

※ シンポジウム報告資料より作成。各試験結果については、バックエンド部会ホームページ (<http://www.nuce-aesj.org/>) から「福島第一原子力発電所内汚染水処理技術のための基礎データ収集」を参照されたい。

