

ISSN 2185-5420

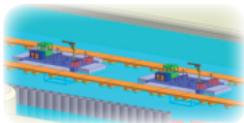
アトックス技報

ATOX TECHNICAL REPORT

No. 7 2015



ATOX

		巻頭言	<i>Preface</i>
	頁/Page		
	1		原子力をとりまく環境の変化に対応した一段高いレベルの技術開発を
		研究開発成果	<i>R & D Activities</i>
	2	タンク内底部洗浄装置の開発 Development of Bottom Washing Equipment in the Tank	
	4	ドローンを活用した調査技術の開発 Development of Aerial Survey Techniques using Drone	
	6	原子炉建屋の汚染状況の解析 Analysis of Radioactive Contamination in Reactor Building	
	8	遮蔽材料に対するγ線透過試験と遮蔽計算 Gamma-ray Penetration Test and Shielding Calculation for Shielding Materials	
	10	HICスラリーの安定化処理に係る試験研究 Experimental Research for Stabilization Treatment of HIC Slurries	
	12	各種酸溶媒のストロンチウム吸着性能評価 Evaluation of Strontium Adsorption in Various Acid Solvent	
	14	土壌中放射性Sr捕集のためのPRB技術の適用性評価 Applicability Evaluation of PRB Technology for Removing Radioactive Sr from the Soil	
	16	海水中の放射性物質吸着技術の検証及び港湾内への適用性評価 Verification of the Radioactive Materials Adsorption Technology in Seawater and Applicability Evaluation to the 1F Harbor	
		トピックス	<i>Topics</i>
	18	福島復興支社における福島第一原子力発電所廃炉及び周辺地域復興への取り組み	
	19	ロボット・遠隔技術開発及び新分野開拓への取り組み	
	20	ANADEC及びアレバとの技術連携強化による国の研究開発プロジェクトの実施	
	20	アレバの経営幹部が技術開発センターを訪問	
	21	本社に廃炉専門部門の「廃止措置担当室」を設置	
	22	神戸医療事業オフィスにおけるPET薬剤の製造施設構築の取り組み	
	24	本社事業開発部における医療事業分野への取り組み	
	25	技術開発センターにおける技術開発の成果を公開	
	26	社外の研究会・委員会を技術開発センターで開催	
		アトックス情報	<i>ATOX Information</i>
	27	登録特許一覧	
	28	アトックスの概要	

【表紙画像の説明】

福島第一原子力発電所の構内に設置されている水タンクの底部に堆積した沈殿物を除去する装置で、遠隔操作により水中の沈殿物を回収することができます。事前に当社の施設で行った散水試験の様子で、水面が光っているのは照明が写りこんだものです(pp.2-3 参照)。

(技術開発センター 勝沼好夫 制作)



原子力をとりまく環境の変化に対応した 一段高いレベルの技術開発を

取締役 技術開発センター長 加藤 正平



2015年8月に技術開発センター長を拝命しました加藤正平でございます。

「アトックス技報」第7号の刊行にあたり、ご挨拶申し上げます。

東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、「福島第一」という)事故の発生から約4年9ヶ月が過ぎました。2015年6月26日の廃炉・汚染水対策関係閣僚会議において、福島第一の廃止措置等に向けた中長期ロードマップの見直しが決定され、その進捗状況は東京電力(株)殿から日々報告されていますが、現場は依然として高線量、高汚染の厳しい環境下での取り組みとなっています。

一方、事故以来停止しているその他の原子力発電所では、再稼働をめざして新規制基準適合性に係る審査が進められており、川内1,2号機では再稼働開始、また伊方3号機も再稼働に向けて大きく前進しています。廃止措置については、ふげん、東海、浜岡1,2号機ですでに進められていますが、敦賀1号機、美浜1,2号機、島根1号機、玄海1号機では運転終了が決定され、必要な取り組みが始まっています。

福島第一の事故後、原子力をとりまく環境は大きく変わってきましたが、地球温暖化の進むなか、ベースロード電源としての原子力発電の役割の重要性は変わりません。また、福島第一の廃炉と周辺自治体における帰還に向けての取り組みは福島復興に欠かせません。原子力とともに歩んできた弊社も、このような環境の変化に高い技術レベルで的確に対応していくため、弊社とフランスのアレバとで設立した合弁会社 ANADEC と連携して国の公募事業3件に取り組み、アレバの高度な技術を取り入れて成果をまとめました。これらの成果は、日本原子力学会等で発表し、今号の技報に概要を掲載しています。

また、環境の変化に的確に対応していくため、会社として5か年計画を策定してその実行を開始しました。特に、技術開発における取り組みとして、福島第一の廃炉に関しては、高放射線・高放射性汚染に対応できる遠隔化を主体とした除染、遮蔽及び撤去の技術、並びに廃棄物処理技術、測定・観察技術への取り組みを重点強化することとしました。再稼働・廃止措置への取り組みとしては、合理的な除染、廃棄物処理、クリアランスに重点を置いて、より総合的なエンジニアリングを含む技術の高度化を図ることとします。

弊社は全国の原子力発電所を始めとした原子力施設や、加速器・RI 使用施設などの幅広い分野において、全国ネットワークとメンテナンスの実績、豊富な現場作業・工事経験を有していることを大きな強みとしています。技術開発においては、この強みを発揮して現場の視点で適用性、合理性、ヒトと機器・装置との組み合わせの最適化を考慮することが重要であると考えています。

弊社は今後も、一步先のニーズを念頭に技術開発に取り組む所存です。

引き続き、皆様のご指導とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

2015年12月吉日

タンク内底部洗浄装置の開発

Development of Bottom Washing Equipment in the Tank

福島第一原子力発電所構内に設置されているフランジ型タンクにおいては、フランジ接合面からの水の漏えいを防止するため、補修作業が計画されていた。しかし、タンク底部には沈殿物が堆積しており、作業上タンクに水がある状態でこれらを除去する必要があった。このため、遠隔操作でタンク底部の沈殿物を除去するための底部洗浄装置を開発し、水中で沈殿物を回収することを可能とした。

キーワード：フランジタンク、沈殿物、補修作業、遠隔操作、底部洗浄装置

For the flange tanks installed in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, the repair works were planned to prevent a leakage of water from the flange joint surface. However, a precipitate has deposited in the bottom plate of flange tank, it is necessary to remove them on the works in the tank with the existence of water. We have developed the bottom washing equipment by remote control to remove a precipitate in the tank bottom and succeeded to collect a precipitate in the water.

Key Words : Flange Tank, Precipitate, Repair Work, Remote Control Operation, Bottom Washing Equipment

1 背景と目的

フランジ面補修作業の前処理として、タンク底部の沈殿物回収、底部フランジ面の付着沈殿物除去を水中で実施する工法を検討した。タンク底部に堆積した沈殿物は後の補修作業に影響するため、水中で走行可能でかつ遠隔で操作できるタンク内底部洗浄装置を開発した。

2 開発概要

(1) 開発要件

開発の要求事項は以下のとおりである。

- ① 水中（水深 10m）のタンク底部で作業が実施できること
- ② ポンプにより、タンク底部に堆積した沈殿物を回収できること
- ③ タンク底部フランジ面に付着した沈殿物を除去できること
- ④ タンク底部フランジ、梁の段差（高さ 100mm）を乗り越えて走行できること
- ⑤ タンク天板上から作業を行うため、人力で運搬、設置できるように装置が小型軽量であること
- ⑥ タンク内でホース・ケーブルを円滑に牽引できること

(2) 底部洗浄装置の概要

底部洗浄装置は走行部、吸引部、洗浄部及びカメラ部で構成され、有線ケーブルで接続されたコントローラによって遠隔で操作を行う。

装置の外観を写真1、図1、コントローラの外観を写真2、系統図を図2、主な仕様を表1にそれぞれ示す。



写真1 底部洗浄装置の外観



写真2 コントローラの外観

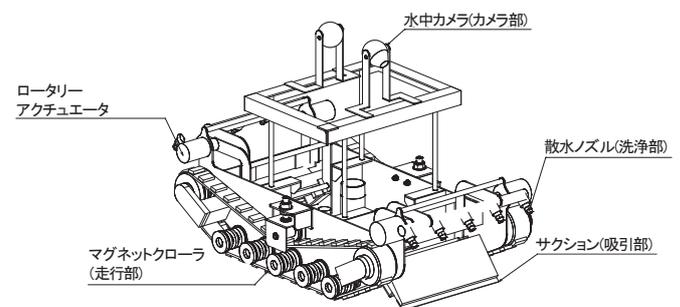


図1 底部洗浄装置の概略図

1) 走行部

タンク底部フランジ、梁の乗り越えを考慮し走破性の高いクローラ方式で、牽引力向上のためマグネットを搭載した。駆動モータはハウジング構造とし、実作業の2倍の水深 20m (0.2MPa) を想定し耐圧試験を実施した。高さ 100mm の段差乗り越えの際に転倒しないよう、装置の重心位置を考慮した設計とした。

2) 吸引部

吸引ノズルは、エア駆動のロータリーアクチュエータにより、タンク底板の凹凸に追従する構造とし、梁等の乗り越えに吸引ノズルが干渉しないようにノズルが昇降する機構とした。

3) 洗浄部

タンク底部フランジ面や吸引ノズルの届かない隅角部に堆積した沈殿物を除去するために、広範囲を均一に散水できるスプレーノズルを搭載した。

4) カメラ部

暗所であるタンク内での沈殿物の除去、装置の位置を把握するため、広角、高感度の中水カメラを前後に搭載した。

5) コントローラ

カメラの映像を映し出すモニター、走行（前・後・旋回）を制御するジョイスティック、非常停止ボタンを搭載した。

(3) 確認試験結果

1) 走行試験（段差乗り越え）

タンク底部フランジ、梁の段差（高さ 100mm）の乗り越えが可能であることを確認した（写真 3）。

2) 散水試験

散水ノズルから水を噴射させ、底部フランジ面に付着した沈殿物を除去できることを確認した（写真 4）。

3) 吸引確認試験

模擬沈殿物を吸引ノズルにより吸引回収できることを確認した（写真 5、写真 6）。

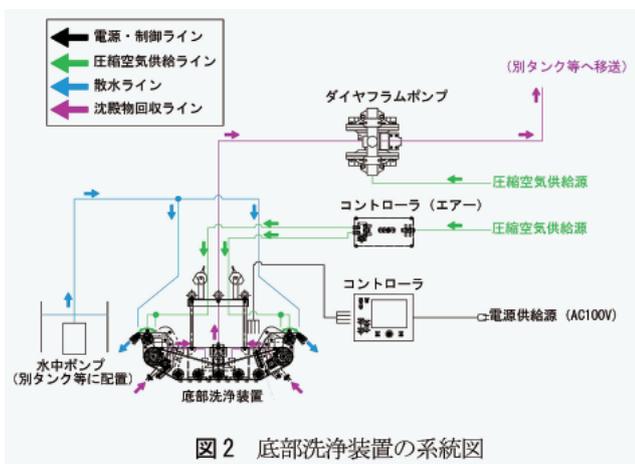


表 1 底部洗浄装置の主な仕様

項目	仕様	
底部洗浄装置	外形寸法	W432×L730×H462 mm
	質量	約 32 kg
	走行速度	約 3 m/min
	乗り越え高さ	最大 100 mm
	洗浄幅（散水幅）	420 mm 前後 2 箇所
	吸引部	吸引幅 240 mm 前後 2 箇所 ロータリアクチュエータ（エア駆動）により上下に作動
	吸引流量	約 200 L/min ※ ポンプの性能により変動
	異物通過径	最大 5 mm
	駆動モータ	DC モータ（DC24V、90W） 前後 2 箇所 ケーブル長 40 m
	カメラ	有効画素数 38 万画素（カラー） 前後 2 箇所 使用水深 50 m 以下
照明	上記カメラに搭載 LED 12 灯	
コントローラ	外形寸法	W500×L430×H300 mm
	質量	約 24 kg
	モニター	12 型 カラー液晶
	使用電源	AC100V ケーブル長 20 m



写真 3 走行試験



写真 4 散水試験



写真 5 吸引試験（吸引前）



写真 6 吸引試験（吸引後）

3 結 語

底部洗浄装置の開発、操作治具の製作、作業工法の検討により、フランジ型タンク底部に堆積している沈殿物を回収し、フランジ面補修作業を予定どおり開始することができた。

今後、本洗浄装置は、フランジ型タンクのリプレース時における残水処理などに使用される予定である。



執筆者／ロボティクスエンジニアリング部
遠隔技術開発 Gr. 毛利 文昭



ロボティクスエンジニアリング部
遠隔技術開発 Gr. 中村 賢司

ドローンを活用した調査技術の開発

Development of Aerial Survey Techniques using Drone

地震や噴火・津波などによる被災地では、被災者の早期発見や早急に現場状況を把握できる技術が求められている。ドローン技術の発展により、事故後の原子力発電所等の立入困難なエリアにおける上空からの調査が可能となった。ドローンを活用した本技術は、災害時のみならず火力発電所等における高所構造物の外観調査や広範囲な測量業務等の分野においても期待されている。

キーワード：ドローン、線量測定、災害対応

Drones are one of the most promising technologies that can provide the lay of the land and location of survivors at a disaster area. Drones also have the capability of the post-accident survey from the sky in the inaccessible areas such as nuclear power stations. The application of its technology is also anticipated in other fields such as building of thermal power stations and land survey.

Key Words : Drone, Dose Measurement, Disaster Response

1 背景と目的

事故後の原子力発電所での廃炉作業を進める上で、原子炉建屋近傍における線量低減作業は不可欠であるが、大震災により甚大な被害を受けた場所では線量調査はもとより、人が近づくことすら困難である。

そのため、事故後の原子力発電所を想定して、ドローンを利用した線量測定及び瓦礫等によるホットスポットの調査方法を開発した。

2 開発概要

(1) ドローンの選定

使用するドローンに必要な機能は、以下のとおりである。

- ① 電波利用機器等が国内法令に準拠している
- ② 故障時に迅速な対応が可能
- ③ 線量計の搭載・線量データの記録が可能
- ④ ビデオカメラが搭載可能
- ⑤ GPS を用いた自律航行が可能
- ⑥ 飛行ログの記録が可能

これらの条件を満たす機体として、(株)自律制御システム研究所の MS-06LA を選定した。本機は国内唯一の純国産の機体であり、故障時の修理や搭載物の豊富なカスタムに対応できる。当社仕様として GM サーベイメータと小型 PC を搭載し、機体の位置情報と線量データをリンクさせることが可能である。

機体の外観及び搭載機器を写真1に、基本仕様を表1に示す。

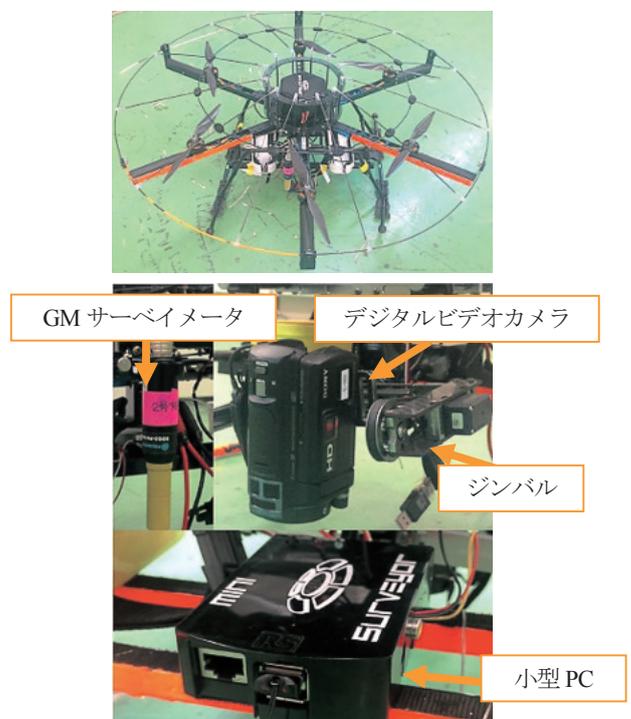


写真1 MS-06LA の外観と搭載機器

表1 基本仕様

項目	仕様
基本機体	Mini Surveyor MS-06LA
ローター数	6 個
寸法	全幅 約 1,150×全高 510 mm
重量	約 5 kg (バッテリーを除く)
連続飛行時間	約 10 分
電源	Lipo バッテリー 6,000 mAh
最大飛行速度	10 m/s
耐風速	8.0 m/s (運用は 5 m/s 以下)

(2) 線量調査

地表面の汚染密度推定と1m高さでの線量マッピングにおける調査の流れを図1に示す。

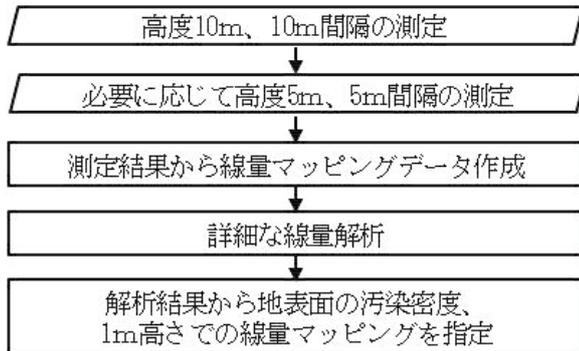


図1 調査の流れ

最初に広い間隔で測定ポイントを設定し、その後必要に応じて測定ポイントの間隔を狭くし、より詳細な線量データを取得する。測定ポイントの緯度・経度・高度及び線量は、詳細な線量解析の基礎情報として小型PCにデータを集約する。

また、デジタルビデオカメラで映像を記録し、線量解析の結果と映像からホットスポット要因と思われる瓦礫等を推定し、撤去計画に反映することが可能となる。

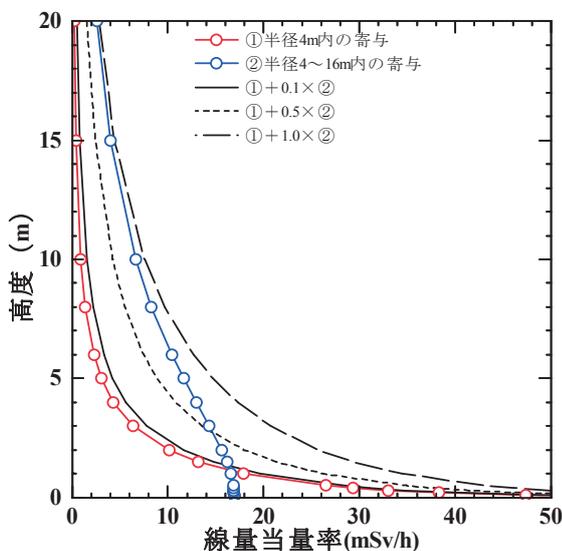


図2 屋上面からの線量の高さ依存性

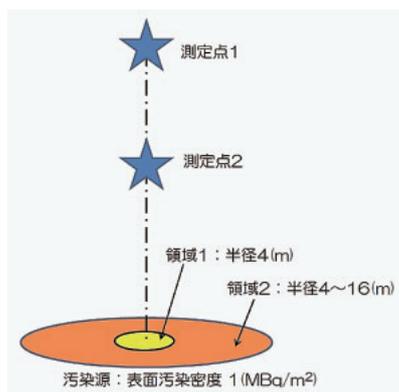


図3 汚染源及び測定点

(3) 線量解析

GM サーベイメータにはコリメート遮蔽がないため、広い範囲の汚染源からの線量が観測できる。

図2の赤と青の実線は、図3で示す半径4mの円状(領域1)及び半径4mから16mの円環状(領域2)に、Cs-134とCs-137の放射能が1対1、合計1MBq/m²の汚染があるときの中心軸上での線量の高さ依存性を示している。領域1では線量が高さに対して急激に減衰するのに比べて、領域2では線量の高さに対する変化は小さい。

黒の実線、点線及び破線は、領域1の汚染源に、その強度の0.1、0.5及び1.0倍の汚染密度の領域2が加わった場合の線量を示す。高さの異なる線量の解析では、これらを再現する領域1の線量寄与と、領域2の線量寄与に分割することにより、それぞれの汚染源の汚染密度の推定と、ホットスポットの特定が可能となる。

実際の測定では、測定対象にある汚染源以外からの線量寄与があるときは、それらを系統的に除外する必要がある。

3 結語

本調査技術により、2014年11月から2015年2月にかけて福島第一原子力発電所1~4号機タービン建屋屋上の線量調査を行った。

今後、ドローンを活用した線量調査方法の改善・高度化により、より詳細な現状把握が可能となり、排気筒(高さ約120m、根元部は高線量)の線量・外観調査や、屋外の定期的、系統的な線量サーベイ(タンクエリア、廃棄物貯蔵エリア、瓦礫撤去後の線量変化の確認等)が期待される。



執筆者/ロボティクスエンジニアリング部
運用技術開発 Gr. 齊藤 大祐



執筆者/基盤技術開発部
坂本 幸夫



ロボティクスエンジニアリング部
運用技術開発 Gr. 小林 峰人

原子炉建屋の汚染状況の解析

Analysis of Radioactive Contamination in Reactor Building

福島第一原子力発電所2号機の原子炉建屋5階では、使用済燃料取出しに向けた作業が計画されており、このエリアでの線量低減計画の策定上、建屋の汚染状況の把握が必須である。そこで、調査データから同箇所の汚染状況を推定するとともに、点減衰核積分コードで線量率の評価を行った。線量率の実測値と計算値の比は0.9~1.7倍で、実測値を十分再現していることから、今後の線量低減計画策定の基礎データとして使用できることを確認した。

キーワード：原子炉建屋、線量低減方策、線量率、QADコード

In the 5th floor of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station unit 2 reactor building, there is a work plan to take out spent fuels. We wanted to know the contamination level to formulate dose reduction plan. We had to estimate the contamination level and had to evaluate the dose rate using the QAD code. The calculated value of the dose rate was nearly matched with the measured value. We confirmed that the calculated value can be used for dose reduction plan.

Key Words : Reactor Buildings, Dose Reduction Planning, Dose Rate, QAD Code

1 背景と目的

資源エネルギー庁の平成24年度補助事業「総合的線量低減計画の策定」では、福島第一原子力発電所1~3号機の1~3階までと同時に、2号機5階についてもロボットによる線量率の測定結果を用いた線量解析を実施した。平成25年度には新たな測定結果が得られたため、これらを反映した解析を再度実施した。

本線量解析の目的は、使用済燃料取出しに向け計画されている調査作業での作業場所の線量低減計画策定の基礎データを提供することであり、本報では建屋の汚染状況の推定と、線量率の計算値と実測値の比較とともに測定点における線量寄与について報告する。

2 線量解析の概要

(1) 解析方法

線量解析では点減衰核積分コード QAD-CGGP2R¹⁾を用い、建屋躯体や機器・構造物に対する計算体系、線源の配置、放射能のデータ及び放射性核種を設定することで線量率を評価した。

これまでの調査データ等から汚染状況を推定するとともに、同コードで計算した線量率とクイクセルバッジによる線量率の実測値を比較することで、推定した汚染状況の有効性を検証した。

1) 計算体系

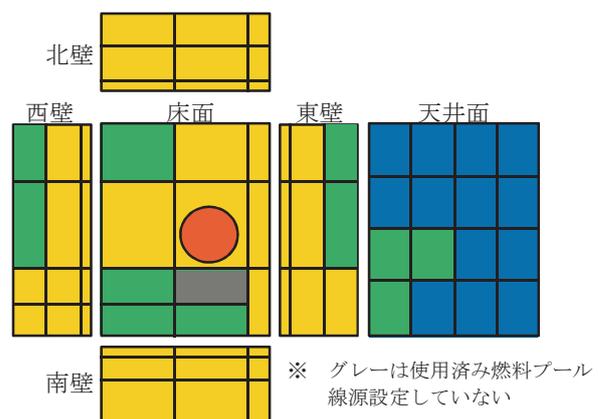
計算体系は、厚さ20cmのコンクリートに囲まれた東西方向35.0m、南北方向46.6m、高さ16.0mの空間であり、内部構造物や仮置き資材は無視した。

2) 線源の位置と形状

床面、壁面及び天井面に厚さ1cmの面線源を設定した。また、燃料交換機及び天井クレーンの位置には体積線源を設定したが、その中での自己遮へい効果は無視した。なお、使用済み燃料プールは線源を設定していない。

3) 線源の分割

除染工法や作業工程により除染範囲や除染効率が大きく異なることから、線源領域を分割し、部分的に除染した場合の線量低減効果を評価できるようにした。



【凡例】

色	汚染密度 [MBq/cm ²]
赤	>10
黄	1.0 ~ 10
緑	0.1 ~ 1.0
青	<0.1

図1 線源の分割方法と汚染密度（展開図）

4) 汚染密度の設定

汚染密度としては、ガンマカメラで得られた結果と天井デッキプレートのコアサンプルの測定結果を用いた。なお、これ以外の線源に関しては、計算値とクイクセルバッジの線量率測定結果との整合性を確認しながら設定した。2号機5階の線源領域の分割方法と汚染密度を図1に展開図として示す。

5) 放射性核種の設定

本体系における主な汚染源は、Ge 半導体によるγ線スペクトル測定から、核分裂生成物の¹³⁴Csと¹³⁷Csであり、その存在比は1:2とした。

(2) 計算値と実測値の比較

QAD-CGGP2R で床上からの高さ依存の線量率を計算し、クイクセルバッジによる実測値と比較した。クイクセルバッジの設置位置を図2に示す。

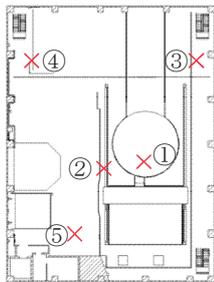


図2 クイクセルバッジの設置位置

線量率の計算値と実測値の比較結果を図3に示す。なお、クイクセルバッジによる測定は床面から5点の高さに対して行われている。計算で得られた線量率は実測値の0.9~1.7倍と、おおむね一致した。

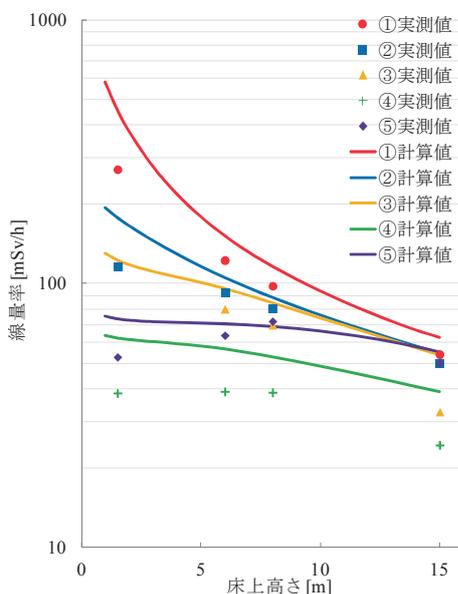


図3 線量率の計算値と実測値の比較

(3) 測定点における線量寄与

床上 1.5m での線量率に対する線源の寄与を評価した。その結果を図4に示す。主たる線量寄与は床面であるが、壁面からの線量寄与も大きいことが確認できた。

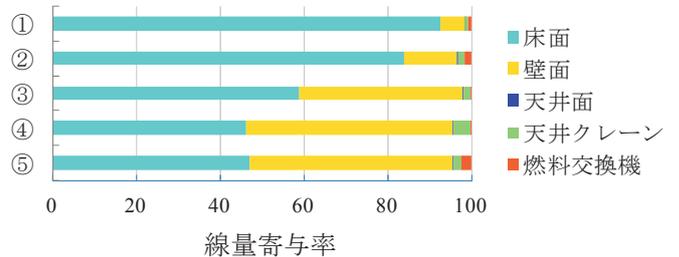


図4 床上 1.5m での線量寄与率

3 結 語

線量解析で2号機5階の建屋内の汚染状況が推定できたことにより、使用済燃料取出しのための作業場所の現状の線量率と除染や遮蔽等の線量低減効果が評価できるようになった。これらは効果的な線量低減工法の選定に役立つ。

なお、本研究開発は平成25年度経済産業省資源エネルギー庁発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金に係る補助事業「総合的線量低減計画の策定」の研究開発成果である。また、日本原子力学会「2015年秋の大会」において一部発表²⁾を行ったものである。

参考文献

- 1) Y.Sakamoto, S.Tanaka, QAD-CGGP2 AND G33-GP2: REVISED VERSIONS OF QAD-CGGP AND G33-GP (CODES WITH THE CONVERSION FACTORS FROM EXPOSURE TO AMBIENT AND MAXIMUM DOSE EQUIVALENTS), JAERI-M 90-110, 日本原子力研究所, 1990.7
- 2) 金森洋次 ほか, 原子炉建屋5階の線量解析, 日本原子力学会「2015年秋の大会」予稿集, p.720 (P05), 2015.9



執筆者/バックエンド技術部
廃止措置エンジニアリング Gr. 金森 洋次



基盤技術開発部
解析 Gr. 河野 秀紀



基盤技術開発部
坂本 幸夫

遮蔽材料に対する γ 線透過試験と遮蔽計算

Gamma-ray Penetration Test and Shielding Calculation for Shielding Materials

^{60}Co 照射施設で遮蔽材料の γ 線透過試験を行い、遮蔽材の厚さを変えて後方の線量率を測定した。 ^{60}Co 線源が十分強くても、大きな遮蔽厚さの試験体後方の線量率を精度よく測定することは難しい。一方、遮蔽計算では十分厚い試験体に対しても γ 線透過率を求めることが可能であり、また ^{60}Co 線源からの γ 線だけでなく他の線源からの γ 線に対する透過率も算出できる。2014年に材料組成が明らかな重量モルタル材に対する γ 線透過試験を実施し、実測の透過率と遮蔽計算によって求めた透過率の比較を行った。

キーワード： γ 線透過試験、遮蔽計算、重量モルタル

Gamma-ray penetration tests for shielding materials are executed in the ^{60}Co irradiation facility. In these tests, the dose rates are measured in the function of the thickness of the shielding materials. It is very difficult to measure the dose rates behind large thick shielding materials even if by large source. On the other hand, the shielding calculation codes output the dose rates and the transmission ratio behind large thick shielding materials, and those for gamma-rays from other radiation sources. When the penetration test of the heavy mortar material was done in 2014, the transmission ratio was calculated by using the elemental composition data for that mortar and was compared with the measured result.

Key Words : Gamma-ray Penetration Test, Shielding Calculation, Heavy Weight Mortar

1 背景と目的

^{60}Co 照射施設の γ 線透過試験では、試験体の厚さを変えて試験体後方の線量率を測定し、試験体がないときの線量率との比から透過率を評価している。このデータから、より厚い試験体への性能を予測するとともに、 ^{60}Co 以外の線源からの γ 線に対する遮蔽性能を予測する方法の確立が求められる。

2014年にJFEシビル(株)殿より、吹き付け工法により製作された重量モルタル(RSショット)の γ 線透過率試験の依頼とともに同試料の元素組成データの提供を受けた。そこで、この試験体に対する γ 線透過試験の実施と、組成データに基づく遮蔽計算を行って透過率を比較した¹⁾。

2 γ 線透過試験

γ 線透過試験の構成を図1に示す。線源から約1,500mm離れた位置に、前方以外を鉛遮蔽ブロックで囲んだ状態で電離箱を設置した。試験体がないときの線量率は100Gy/h程度であり、重量モルタル試験体の枚数を変化させて線量率を測定し、透過率を求めた。

本報告では、密度約3,000kg/m³のRSショット30に対する試験結果を述べる。

3 遮蔽計算

点線源から等方に放出された γ 線は、試験体内を一

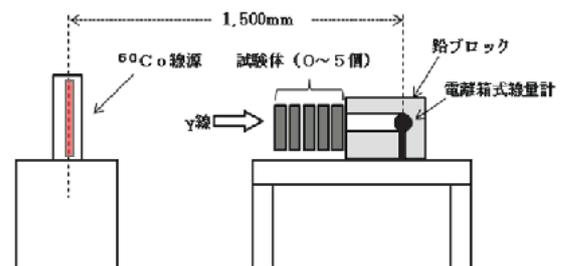


図1 γ 線透過試験の構成

度も衝突・散乱をせずに測定点に到達する直接線と、試験体内で散乱を繰り返して測定点に到達する散乱線がある。単一エネルギーの γ 線に対して、直接線の強度は線減弱係数 μ を用いた指数関数で表すことができる。一方、散乱線の強度は上述の散乱線の強度に試験体の厚さに応じて増加する散乱効果(γ 線ビルドアップ係数 B で近似する)を乗ずることで評価する。散乱線を含む γ 線の線量の透過率 I/I_0 は、遮蔽厚さ t cmとして(1)式のように表すことができる。

$$\frac{I}{I_0} = B \times e^{-\mu t} \quad (1)$$

試験体の元素組成と密度が分かると、線減弱係数及び γ 線ビルドアップ係数を算出することができ、試験体の γ 線透過率を評価できる。

(1) 線減弱係数の算出

線減弱係数 μ は、試験体の元素組成と密度及び γ 線エネルギーによって決定される。線減弱係数を試験体の密度 ρ で除した質量減弱係数 μ/ρ は、原子番号1から100までの元素ごとに評価されており²⁾、構成元素

の質量減弱係数と部分密度から線減弱係数が算出できる。⁶⁰Co 線源からは2本のエネルギーの異なるγ線が放出されるため、それぞれのγ線に対する線減弱係数を求めた。結果を表1に示す。

表1 RS ショット30の線減弱係数

核種	γ線エネルギー (MeV)	線減弱係数 (cm ⁻¹)
⁶⁰ Co	1.333	0.170
	1.173	0.181

(2) ビルドアップ係数の算出

γ線ビルドアップ係数は評価する線量により異なる。ここでは電離箱の測定値が空気の照射線量であることから、照射線量に対するデータを電磁カスケードモンテカルロ計算コードEGS4³⁾で算出した。計算結果を図2に示す。

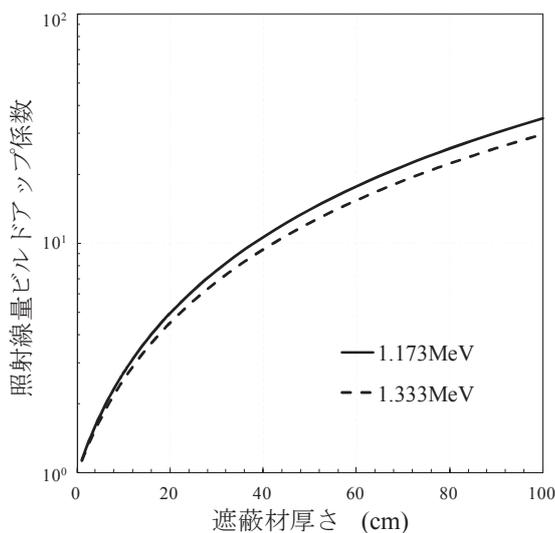


図2 RS ショット30の⁶⁰Coに対するビルドアップ係数

4 透過試験及び遮蔽計算の結果の比較

⁶⁰Co 線源から放出される2つの異なるエネルギーのγ線に対して、放出強度、線減弱係数及び線量換算係数を考慮し、⁶⁰Co 線源からのγ線に対する実効的な透過率を評価した。評価結果を透過試験の結果と併せて図3に示す。

実測値の透過率は、ビルドアップを含まない指数関数で表される直接線の値を少し上回り、散乱線の影響がわずかに現れていると考えられる。一方、無限媒質中のγ線ビルドアップ係数を乗じた透過率の計算結果は、実測値に比べかなり大きな値となった。

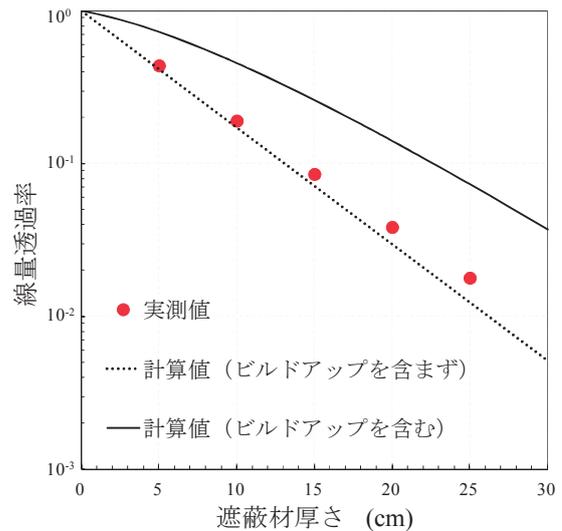


図3 RS ショット30の透過試験及び計算結果

5 結語

ビルドアップ係数を利用した遮蔽計算結果は、実測値に比べ保守的な(透過率が大きく、遮蔽性能が低い)値となったが、この方法は「しゃへい計算実務マニュアル⁴⁾」に沿った許認可申請に用いられるものである。計算では、測定点の後方にも試験体が詰まっていた、そこからの散乱線も考慮する体系である一方、本試験の構成では測定点後方に試験体がないため、計算値と実測値の結果に差が生じたと考えられる。今後は透過試験と同じ体系をモンテカルロ計算コードで再現し、比較していきたい。

この比較を通じて、実測だけでなく計算による試験体の遮蔽性能評価が可能になり、試験では不可能な厚さに対する評価や、⁶⁰Co 以外の線源からのγ線に対する評価といった新たな付加価値を照射業務に与えることができるようになった。

参考文献

- 1) 河野秀紀 ほか, 吹き付け工法で得られたモルタル遮蔽材のγ線遮蔽性能評価, 日本原子力学会「2015年秋の大会」予稿集, p.721 (P06), 2015.9
- 2) PHOTX, RSICC DATA LIBRARY DLC-136 (1989)
- 3) WR.Nelson, H.Hirayama and D.W.O.Rogers, “The EGS4 Code System”, SLAC-265 (1985)
- 4) 原子力安全技術センター, 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2007 (2007)



執筆者 / 基盤技術開発部
解析 Gr. 河野 秀紀



基盤技術開発部
坂本 幸夫

HIC スラリーの安定化処理に係る試験研究

Experimental Research for Stabilization Treatment of HIC Slurries

福島第一原子力発電所では、多核種除去設備の運転に伴い発生した高濃度の放射性スラリーが、高性能容器に液状のまま保管されている。これらのスラリー（HIC スラリー）は長期保管時に漏えいなどのリスクを伴うので、含水率を下げる脱水などの安定化処理によりリスクを低減し、長期安定保管することを検討している。そのため、脱水など安定化技術の HIC スラリーへの適用性を評価する必要がある。本研究では実規模試験装置を用い、実機適用のためのデータ取得とホット試験を見据えた課題抽出を行うとともに、安定化技術の HIC スラリーへの適用性を評価した。

キーワード：福島第一原子力発電所、放射性スラリー、安定化処理、技術適用性

In Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, there is a lot of high-concentration radioactive slurries caused by running of ALPS, and those are stored in High Integrity Containers (HIC) in liquid form. In order to reduce such risks as leakage from HIC and to keep stably in long-term storage, the investigation of the applicability of the technologies for stabilization of the slurry is needed. In this study, the test by using full-scale test equipment was done, and the data for application to actual equipments and extracted the issues were acquired, and the applicability of the technologies was evaluated.

Key Words : Fukushima Daiichi NPS, Radioactive Slurry, Stabilization Treatment, Applicability of Technology

1 背景と目的

福島第一原子力発電所では、多核種除去設備（ALPS）の運転に伴い発生する放射性の鉄共沈及び炭酸塩スラリーが液状のまま高性能容器（HIC）に保管されている。これらのスラリー（以下、「HIC スラリー」という）に対し、長期保管時の漏えいなどのリスク低減のため、含水率を下げる脱水などの安定化処理が求められている。安定化処理は自動で行い、密閉系内で完結させて作業員の被ばく低減及び汚染の拡大防止に留意する必要がある。本研究では、技術が確立し処理条件を満たすと考えられる乾燥、ろ過及び遠心分離の3工法について実規模試験を行い技術適用性を評価した。

2 研究概要

(1) 模擬スラリーの物性

試験試料にはHIC スラリーの成分を模擬した非放射性スラリー（以下、「模擬スラリー」という）を用いた。模擬スラリーの物性を表1に示す。

表1 模擬スラリーの物性

スラリー種類	粒径(μm)			比重	粘度(Pa・s)
	ピーク	ピーク幅	体積平均		
鉄共沈	16.9	93.3	51.7	1.17	0.84
炭酸塩	39.4	53.5	47.9	1.26	1.58

(2) 安定化処理工法及び実規模試験装置

以下に3工法の特徴を示す。実規模試験装置の構成を図1～図3に示す。処理量は標準的な値を記載した。

1) 乾燥工法

試料を加熱し水分を蒸発させ、残渣と蒸留水に分離する工法。試料の粒径や比重を問わず処理が可能である。含水率の低い残渣、残留物の少ない水が得られるが、蒸気フィルターの定期洗浄及び交換が必要である。減圧により試料の沸点を降下させることも可能である。

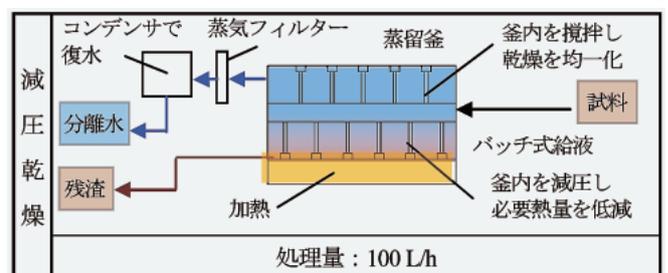


図1 乾燥工法の実規模試験装置の構成

2) ろ過工法

試料を膜や層、布等のろ材に加圧して通し、ろ液と脱水ケーキに分離する工法。加圧ろ過機は一般産業品として技術的に確立されており、自動処理が可能な大型機種が多く存在する。試料粒径に対し適切なろ材を選定する必要がある。また、ろ材の定期交換が必要である。

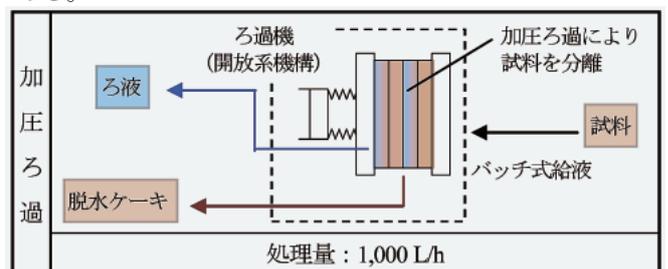


図2 ろ過工法の実規模試験装置の構成

3) 遠心分離工法

高速回転で発生する遠心力を利用して密度の異なる成分の分離を行う工法。フィルターなどの消耗品を用いないため、他工法と比べメンテナンス頻度は低い。達成可能な含水率や処理時間は、対象物の粒径や比重に大きく影響される。

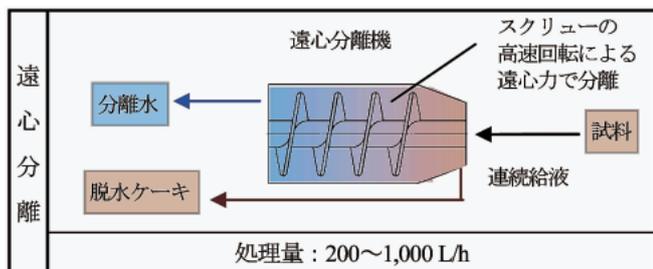


図3 遠心分離工法の実規模試験装置の構成

(3) 安定化処理試験

各工法の適用性を評価するため、実規模試験装置による処理能力の確認と課題の抽出を行った。例として、鉄共沈スラリーの処理結果を図4に示す。

工法	残渣・脱水ケーキ	分離水・ろ液
減圧乾燥		
加圧ろ過		
遠心分離		

図4 鉄共沈スラリーの安定化処理試験結果

1) 乾燥試験

試料投入量を 10L/h 程度と少量に絞った場合、鉄共沈及び炭酸塩スラリーともに含水率10%程度まで乾燥させることができた。一方、定格処理能力程度の試料を投入した場合、図4に示すように乾燥釜に乾燥途中の試料が付着し、乾燥・排出が困難であった。試料投入量によらず低濁度、低塩濃度の分離水が得られた。

2) ろ過試験

鉄共沈スラリーを含水率50%程度、炭酸塩スラリーを含水率40%程度まで脱水することができたが、開放系機構であるため脱水ケーキや試料が一部装置周辺に

飛散した。ろ液については、処理開始直後は濁液であったが、処理が進むにつれ透明度が増していった。

3) 遠心分離試験

連続処理及び脱水ケーキの自動排出を確認できたが、鉄共沈及び炭酸塩スラリーともに含水率70%程度までしか脱水できず、分離水中に大量のスラリーが混じり、固体・液体分離性能に課題が残る結果となった。

(4) 各工法の適用性検討

実規模試験の結果から、3工法ともに課題は残るが、すべて適用可能または適用の可能性ありと評価した。評価結果を表2に示す。

表2 適用性の評価結果

評価項目	乾燥	ろ過	遠心分離
自動排出	課題あり	可能	可能
固液分離性能	高い	一部課題あり	課題あり
汚染拡大防止性	比較的高い	低い	高い
二次廃棄物	フィルター	ろ布	なし
適用性	可能	可能	可能性あり

3 結 語

乾燥、ろ過及び遠心分離の各工法について、実規模試験装置を用いた安定化処理試験を行い、HIC スラリーに対する適用性の評価を行った。

平成27年度以降は、運転条件の確認試験や課題解決策の検討を行い、工法の絞り込みと処理装置の選定要件の整理を進めるとともに、現場導入に向けた被ばく低減対策や運用面の検討、実機概念検討を行う予定である。なお、本研究成果は、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID) が受託した、経済産業省平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (事故廃棄物処理・処分技術の開発)」より得られたものである。



執筆者/バックエンド技術部
廃棄物処理設計 Gr. 柴田 浩平



バックエンド技術部
廃棄物処理設計 Gr. 田村 陽二



基盤技術開発部
ケミカルプロセス Gr. 相川 浩平



基盤技術開発部
ケミカルプロセス Gr. 濱田 洋成

各種酸溶媒のストロンチウム吸着性能評価

Evaluation of Strontium Adsorption in Various Acid Solvent

迅速なストロンチウム (Sr) 分析に使用できる吸着剤の開発を目的として、ベンゾ-18-クラウン-6-エーテル樹脂を用いた Sr 吸着分離特性評価を行った。実験では溶媒の種類及び濃度を変えて Sr 選択性評価を行い、塩酸にエタノールを混合した場合、低濃度塩酸溶液でも高い Sr 選択吸着性が得られた。

キーワード：ストロンチウム、ベンゾ-18-クラウン-6-エーテル樹脂、吸着剤

As the development of a high-performance adsorbent that can be adapted to the rapid strontium (Sr) analysis, was carried out adsorption separation characterization of Sr using benzo-18-crown-6-ether resins. It was performed that Sr selectivity was evaluated by changing the type and concentration of the acid solvent. In ethanol mixed solution in hydrochloric acid showed a higher Sr selective adsorption even in low concentration hydrochloric acid solution.

Key Words : Strontium, Benzo-18-Crown-6-Ether Resins, Adsorbent

1 背景と目的

ベンゾ-18-クラウン-6-エーテル樹脂 (BC18 樹脂) は、ストロンチウム (Sr) 分離媒体として適当であることが知られている¹⁾。しかし、使用する溶媒 (塩酸) が高濃度であるため、試料の調製等における操作性・安全性の観点から、溶媒の低濃度化が望まれる。

本研究では、Sr 分析用吸着剤の開発を目的とし、酸溶媒の低濃度化を図る検討を行った。また、低濃度塩酸-エタノール混合溶液を用いて、海水に含まれるカチオン (Na、K、Mg、Ca) 存在下での Sr 吸着分離特性を評価した。本研究は、東京工業大学原子炉工学研究所小澤研究室との共同研究で実施した。

2 実験概要

(1) 各種酸溶媒を用いた Sr 吸着実験 (バッチ法)

図 1 に示す合成した BC18 樹脂及び表 1 に示す無機酸及び有機酸を用いて、Sr の吸着特性評価を行った。酸溶媒の低濃度化には、塩酸にアルコールを添加することが知られていることから、塩酸-エタノール混合溶液を用いた Sr の吸着特性評価も行った。

10mg/L の Sr を含む無機酸または有機酸、塩酸-エタノール混合溶液 5mL に前処理した BC18 樹脂 2g を入れ、25°C で 24 時間振とうした。その後、溶液相の Sr 濃度を誘導プラズマ質量分析計 (ICP-MS) により定量し、BC18 樹脂への Sr の分配係数を算出した。

実験結果を表 2 に示す。本実験における Sr 吸着特性は次のとおりである。

- ① 酸溶媒の種類によらず酸濃度が高いほど Sr 分配係数は高い。
- ② 酸溶媒の種類によらず BC18 樹脂に吸着した Sr

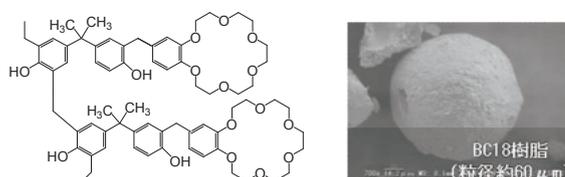


図 1 BC18 樹脂の構造及び二次電子像

表 1 各種酸溶媒の特性

名称		試薬濃度	
		wt%	mol/L
無機酸	塩酸 (HCl)	36	11.64
	臭化水素酸 (HBr)	48	8.78
有機酸	酢酸 (CH ₃ COOH)	100	17.47

表 2 各種酸溶媒の Sr 分配係数

名称	酸濃度 (mol/L)	分配係数 ^{※1)} (対 BC18 樹脂量)
塩酸 (HCl)	5	13
	9	293
臭化水素酸 (HBr)	5	63
	7	308
酢酸 (CH ₃ COOH)	9	17
	15	160
塩酸-50%エタノール混合溶液 (HCl-50%EtOH)	2	33
	4	400 ^{※2)}
	5	1,465

※1) 分配係数=BC18 樹脂 1g 中の Sr 量/酸溶液 1mL 中の Sr 量

※2) 図 2 の読み取り値

は低濃度で溶離できる可能性が高い。

- ③ 塩酸濃度 9mol/L と同等の分配係数が、酢酸では 15mol/L、臭化水素酸では 7mol/L、塩酸-50%エタノール混合溶液では 4mol/L の酸濃度で得られた。以上より、エタノールの混合で低濃度化が可能であ

ることが分かった。メタノールにおいても同等の結果が得られたが、人体への安全性の観点から、一連の実験では塩酸-エタノール混合溶液を用いることとした。

(2) 人工海水中の Sr 吸着実験 (バッチ法)

塩酸-エタノール混合溶液における他のカチオンの影響を確認するため、海水を用いた Sr 吸着実験を行った。

海水濃度のカチオン (Na, K, Mg, Ca, Sr) を含む 0~5mol/L 塩酸-エタノール混合溶液 5mL に BC18 樹脂 2g を加え、(1) と同様の実験で、海水条件下における Sr 分配係数を算出した。

実験結果を図 2 に示す。海水成分のカチオンが存在しても Sr 分配係数は同様の傾向を示し、Sr の吸着に影響がないことが分かった。また、海水条件下でも 4mol/L 塩酸-50%エタノール混合溶液は 9mol/L 塩酸と同等の Sr 分配係数を示した。

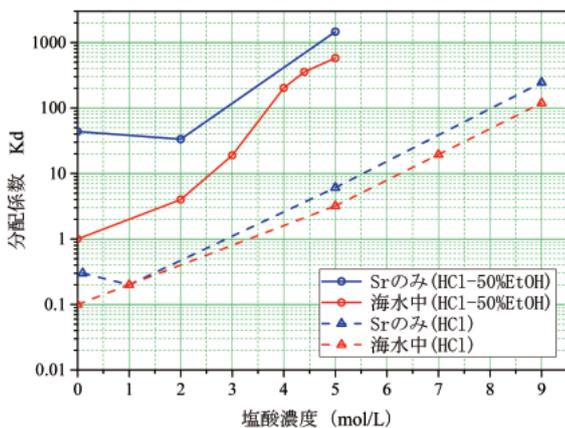


図 2 塩酸-50%エタノール混合溶液の Sr 分配係数

(3) Sr 吸着分離実験 (カラムクロマトグラフ法)

バッチ法の Sr 吸着実験に続き、塩酸-エタノール混合溶液を用いて、海水に含まれるカチオン (Na, K, Mg, Ca, Sr) から Sr を分離するカラムクロマトグラフ実験を行った。

カラム (内径 8mm×長さ 30cm) に BC18 樹脂 7.4g を充填し、塩酸及び塩酸-エタノール混合溶液で前処理した後、海水濃度のカチオン (Na, K, Mg, Ca, Sr) を含む 4mol/L 塩酸-50%エタノール混合溶液 5mL をカラムに通液しカチオンを吸着させた。次にカチオンを溶離するために 9~0.1mol/L 塩酸溶液をカラムへ注入した後、サンプリングした流出液のカチオン濃度を ICP-MS により定量した。

実験結果を図 3 に示す。カチオンの分離特性は次のとおりである。

- ① Sr は 2mol/L 塩酸で溶離した。
 - ② 他のカチオンは 9~5mol/L 塩酸で溶離した。
- 以上より、カラムクロマトグラフ法による Sr と他の

カチオン (Na, K, Mg, Ca) との分離は可能である。

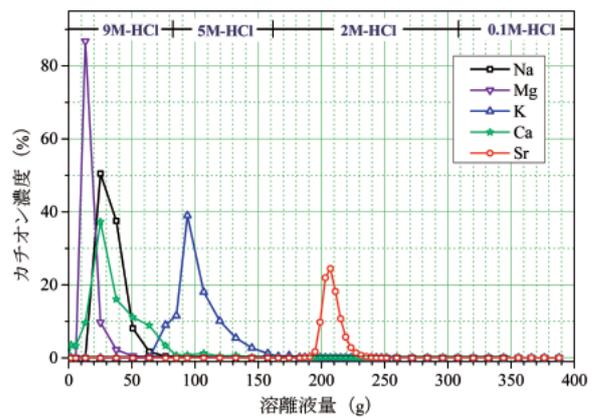


図 3 塩酸溶離液によるカチオンのクロマトグラム

3 結 語

酸溶媒の低濃度化を図るため、酸の種類及び濃度を変化させて BC18 樹脂の Sr 吸着特性評価を行った。塩酸にエタノールを混合した場合、低濃度塩酸溶液でも高い Sr 選択吸着性を示した。また、カラムクロマトグラフ法により海水に含まれるアルカリ及びアルカリ土類金属からの Sr 分離も可能であった。以上のことから、酸溶媒としては塩酸-エタノール混合溶液が適当であることが認められた。今後は、実用化を目指し、実試料を用いた適用性評価などの検討を行っていく。なお、本研究の成果は日本原子力学会「2015 年秋の大会」にて発表を行った²⁾。

謝辞：本研究の遂行に当たり東京工業大学原子炉工学研究所の小澤正基教授、金敷利隆特任講師、野村雅夫助教に多大なご指導を賜るとともに、良好な研究環境を提供いただきました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 櫻井達也 ほか, クラウンエーテル樹脂の合成とストロンチウム選択性評価, 日本原子力学会「2013 年春の年会」予稿集, p.291 (F28), 2013.3.
- 2) 大石有希子 ほか, クラウンエーテル樹脂を用いたストロンチウム選択性の評価, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」予稿集, p.496 (J29), 2015.9.



執筆者／基盤技術開発部

分析 Gr. 大石 有希子



基盤技術開発部

ケミカルプロセス Gr. 飯塚 幸子

土壤中放射性 Sr 捕集のための PRB 技術の適用性評価

Applicability Evaluation of PRB Technology for Removing Radioactive Sr from the Soil

福島第一原子力発電所における汚染水の漏えいにより、放射性ストロンチウム (Sr) による地下水の汚染拡大が懸念されている。そこで、土壤中の放射性 Sr 捕集技術を検証するため、浸透式反応性バリア (Permeable Reactive Barrier, PRB) 法により Sr 捕集性能試験を行った。さらに発電所敷地の条件を考慮して PRB 技術の適用性を評価し、土壤中の放射性 Sr の捕集に有効であることを確認した。

キーワード：土壌、PRB、放射性ストロンチウム、ゼオライト、アパタイト

There is a large concern that groundwater contaminated with radioactive strontium (Sr) diffuses due to leakage of the contaminated water at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. In order to verify the technology for removing radioactive Sr from the soil, the Sr recovery tests were performed with Permeable Reactive Barrier (PRB) technology. Considering the condition of the site, the applicability of the PRB technology was evaluated and confirmed its effectiveness.

Key Words : Soil, Permeable Reactive Barrier, Radioactive Strontium, Zeolite, Apatite

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、「発電所」という）における汚染水漏えいにより、土壤中の地下水流動に伴う放射性 Sr の汚染拡大が懸念されている。

重金属等で汚染された地下水の拡散防止技術の一つである PRB 技術は、土壌中に捕集材を浸透させて土壌汚染を修復する工法であり、主に欧米諸国を中心に 20 年以上の施工実績がある。そこで PRB 技術による土壤中の放射性 Sr 捕集性能を検証し、さらに発電所敷地の土質の特性等を考慮して PRB 技術の適用性を評価した。

なお本報告は平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」の成果の一部であり、(株)アトックス、アレバ、(株)AREVA ATOX D&D SOLUTIONS のコンソーシアムで実施した。

2 試験及び適用性評価の概要

(1) 試験方法

1) 非放射性 Sr を用いた捕集性能基礎試験

非放射性 Sr 濃度 $1,300 \mu\text{g/L}$ の模擬地下水（一定量の海塩成分を添加した模擬地下水）と、土壌として標準砂を用い、Sr 捕集性能を有すると予想される各種の捕集材（表 1）についてバッチ試験及びカラム試験を行った。試験前後の模擬地下水中の Sr 濃度を測定することで Sr 捕集性能に係る基礎データを取得した。試験の概略を図 1 に示す。

表 1 捕集性能基礎試験に使用した捕集材

捕集材
ゼオライト A (2 種類)、アパタイト (4 種類) 鉄微粒子、骨粉、炭酸塩+りん酸塩系 等

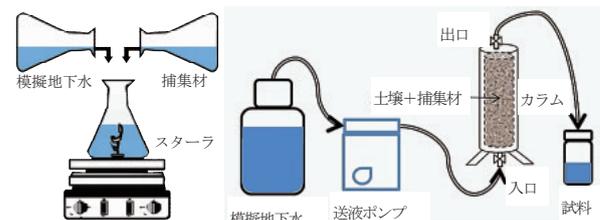


図 1 捕集試験の概略（左；バッチ試験 右；カラム試験）

2) 放射性 Sr を用いた捕集性能試験

1) の結果から Sr 捕集性能の高い捕集材を選択し、 100kBq/L の ^{85}Sr を添加した模擬地下水と標準砂を用い、カラム法により放射性 Sr の除染係数（カラム入口と出口の放射能濃度の比）を求めた。カラム試験条件を表 2 に示す。

表 2 カラム試験条件

項目	設定値
カラム全長	300 mm
カラム容量	623 mL
透水量	約 0.25 mL/min
捕集材添加量	0.5 wt\%

3) 非放射性 Sr を用いた捕集性能確認試験

発電所敷地内に類似した土壌、非放射性 Sr 濃度 $1,300 \mu\text{g/L}$ に調製した模擬地下水（福島第二原子力発電所の地下水に広野町海水と SrCl_2 を一定量添加）及び 2) と同じ捕集材を用い、カラム法により捕集材の Sr 捕集性能を確認した（試験条件は表 2 と同一）。

(2) 試験結果

1) 非放射性 Sr を用いた捕集性能基礎試験

各捕集材の相対的な Sr 捕集容量を表3の①欄に示す。Sr 捕集容量は、ゼオライト A (2 種類)、アパタイトの順に高く、その他の捕集材は低いことが確認できた。

2) 放射性 Sr を用いた捕集性能試験

カラム試験から求めた除染係数を表3の②欄に示す。ゼオライト A 捕集材 (2 種類) の除染係数が長期間保持され、1) の結果と同様に放射性 Sr 捕集性能が高いことが分かり、質量濃度の非常に低い放射性 Sr も捕集可能であることが確認された。一方、アパタイト捕集材は、短期間で除染係数が低下した。模擬地下水中には Sr²⁺ と同様の化学的挙動をする二価の陽イオン Ca²⁺、Mg²⁺ が数十～数百 mg/L 存在するが、ゼオライト A は Sr²⁺ を選択的に捕集し、アパタイトは Sr²⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ を捕集した。また、アパタイトとゼオライト A のカラムを連結した場合、ゼオライト A のみと比較して捕集性能の高い期間が 3 倍程度持続した。これは、アパタイトによる共存イオンの捕集及びゼオライト A による極微量の Sr 捕集の相乗効果で、捕集材のライフタイムの延長とコスト削減が可能となることを示唆している。

表3 各捕集材の捕集容量及び⁸⁵Sr 除染係数

捕集材	①Sr 捕集容量	② ⁸⁵ Sr 除染係数			
		2 日後*)	6 日後*)	12 日後*)	18 日後*)
ゼオライト A-1	高	1×10 ⁵	1×10 ⁵	1×10 ⁴	7×10 ²
ゼオライト A-2	高	1×10 ⁵	1×10 ⁵	4×10 ³	1×10 ²
アパタイト	中	2×10 ⁴	1×10 ¹	2×10 ⁰	1×10 ⁰
アパタイト + ゼオライト A	—	1×10 ⁵	1×10 ⁵	1×10 ⁵	1×10 ⁵

*) 模擬地下水透水開始からの経過日数 (捕集材 1g 当たり)

3) 非放射性 Sr を用いた捕集性能確認試験

カラム試験結果を図2に示す。発電所敷地内に類似した土壌、地下水を用いた場合でも、ゼオライト A 捕集材 (2 種類) の Sr 捕集性能は高いことが確認された。

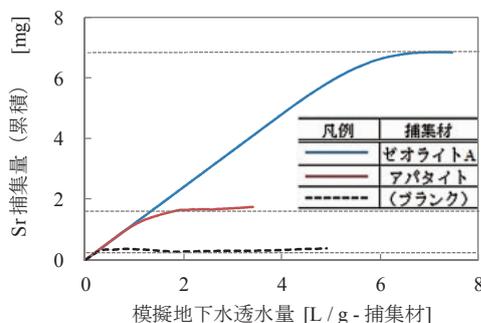


図2 各捕集材の Sr 捕集量

(3) 福島第一原子力発電所への適用性評価

上述した試験の結果、発電所の土質 (透水係数及び有効間隙率等) や地下水流動等を踏まえ、PRB の施工

場所を選定して放射性 Sr 捕集シミュレーションを実施し、PRB 技術の適用性を以下のように評価した。シミュレーションの一例を図3に示す。

1) PRB の施工

- PRB の捕集材は、アパタイトとゼオライト A を組み合わせて使用する。
- 観測孔の半径 15～20m、深さ 14m まで施工する。

2) 放射性 Sr の捕集

- 観測孔位置から地下水を汲み上げることで周辺の地下水流を制御し、放射性 Sr を捕集する。
- PRB 捕集効果は最長 25 年間持続する。

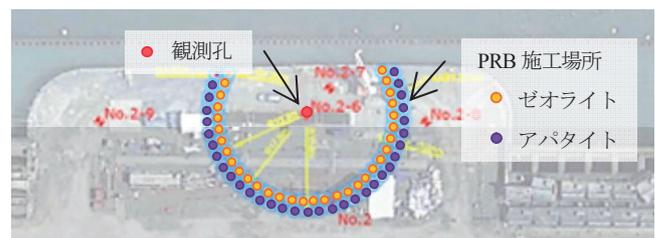


図3 福島第一原子力発電所への適用例 (2、3号機取水口付近)

3 結 語

各捕集材に対する捕集性能試験の結果、ゼオライト A が Sr 捕集量及び⁸⁵Sr 除染係数において最も優れていた。発電所敷地内に類似した土壌及び地下水を用いた場合でも、同等の性能を確認できた。これらの結果及び発電所敷地の土質、地下水流動等を考慮して PRB 技術の適用性を評価した結果、長期間にわたって放射性 Sr を捕集できることが確認できた。

今後は、最適な PRB 施工の提案のために、発電所敷地内における小規模な現地確認試験が望まれる。

なお、本研究の成果の一部は日本原子力学会「2015 年秋の大会」にて発表された¹⁾。

参考文献

1) 櫻井達也 ほか, 土壌中の放射性ストロンチウム捕集に関する PRB 技術の適用性評価, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」予稿集, p.233 (E37), 2015.9



執筆者 / 基盤技術開発部
ケミカルプロセス Gr. 飯塚 幸子



基盤技術開発部
櫻井 達也



技術開発センター
Francois MANEGLIA

海水中の放射性物質吸着技術の検証 及び港湾内への適用性評価

Verification of the Radioactive Materials Adsorption Technology in Seawater and Applicability Evaluation to the 1F Harbor

福島第一原子力発電所港湾内の海水に含まれる放射性 Cs 及び Sr の除去を目的とする公募事業において、選定した Sr²⁺に対する吸着性能が高い A 型ゼオライトを吸着シート化することで吸着剤の効率的な利用及び浄化装置への適用性を検討した。吸着試験の結果に基づき、港湾内の海水浄化システムの運用方法及び必要資機材を試算するとともに、浄化システムの実現の可能性を検討し、放射性 Cs 及び Sr について DF10 を達成することが可能であることを確認した。

キーワード：福島第一原子力発電所、放射性ストロンチウム、海水浄化、吸着、ゼオライト

In public project for the removal of radioactive Cs and Sr from the seawater in the Fukushima Daiichi NPS harbor, A-type zeolite with high adsorption performance for Sr²⁺ was selected as a sorbent, and the sorbent particles were fabricated in sheet form which enabled an effective use of the sorbent for the purification system. Based on the result of basic test on the sorbents, operation system for the seawater purification as well as necessary materials and equipments were designed. It was confirmed that the DF10 as a purification target can be achieved both for radioactive Cs and Sr using the proposed purification system.

Key Words : Fukushima Daiichi NPS, Radioactive Strontium, Seawater Purification, Adsorption, Zeolite

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、「発電所」という）の港湾内の海水中では、放射性のセシウム（Cs）及びストロンチウム（Sr）の濃度は低いレベルであるが、一部のエリアでは一定濃度以下に低下しない状況である。これらのエリア内の海水の吸着剤による浄化は、海水中に含まれる天然の Sr 及び Ca 等のイオンが吸着を妨害するため、効率のよい吸着は容易ではない。資源エネルギー庁の平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」のうちの「海水浄化技術検証事業」で、海水環境下における適切な吸着剤の選定及び浄化技術の発電所港湾内への適用性の評価を行った。評価条件は以下のとおりである。

- ① 港湾内海水（約 16 万 m³）を陸上に揚水せず、海中で 1 年間で浄化処理を行うこと
- ② 対象海水中の放射性 Cs 及び Sr の浄化について、告示濃度限度等の基準を参考に設定した除染係数（DF）10 を目標とすること。ここで DF は処理前後の海水中の核種濃度の比である。

本稿では、特に技術検証が求められる Sr 吸着技術及び港湾内への適用性を評価した結果について報告する。なお、本技術検証は（株）アトックス、アレバ、（株）AREVA ATOX D&D SOLUTIONS のコンソーシアムにより実施した。

2 実施概要

(1) 実施項目

本検証における主な実施項目を以下に示す。

- 1) 非放射性 Sr 及び放射性 Sr を用いた吸着基礎試験
9 種類の市販の Sr 吸着剤についてバッチ法による非放射性 Sr²⁺の吸着特性を測定し、さらに放射性 Sr の吸着基礎試験において吸着挙動に差がないことを確認した。
- 2) 小型試験装置によるスケールアップ試験

図 1 に示す水中浄化装置 NYPHEA の小型試験装置と、通水性の確認及び選定した吸着剤を用いて、ろ過海水（実海水を 25 μm のフィルターでろ過したもの）を用いた循環方式の吸着性能試験を行った。

なお、浄化装置は条件①を満たすよう、使用済み燃料プールで使用実績のあるアレバ社製水中浄化装置 NYPHEA を採用して設計した。

3) 港湾内への適用性評価

1) 及び 2) の試験結果に基づき、本浄化システムの港湾内への適用方法及び必要資機材の仕様、数量を求め、港湾内への適用性を評価した。

(2) 試験結果

1) 吸着剤の性能試験結果及び吸着シートの開発

各吸着剤について Sr²⁺を添加した模擬海水を用いた吸着性能試験結果から、A 型ゼオライトが Sr²⁺に対して高い吸着能力を持ち、粒径が小さい程吸着性能が高いことが分かった。しかし一方で、通水時の圧力損失

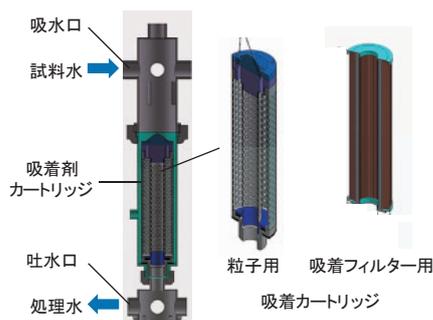


図1 水中浄化装置 NYPHEA の概略図

の上昇や浄化装置からの流出が懸念され、カラム法での適用性に乏しい。この課題を克服するために、特種東海製紙(株)のシート化技術¹⁾を用いて小粒径A型ゼオライト(粒径150-300 μ m)を糊着した吸着シート及び吸着フィルターを開発し、NYPHEAに適用した。

2) 小型試験装置を用いた試験結果

吸着フィルターを小型試験装置に装填し、ろ過海水を通水したときのSr²⁺濃度変化を図2に示す。溶液中のSr²⁺濃度が平衡になった時点で吸着フィルターを交換し、4本の吸着カートリッジ交換後は、Sr²⁺濃度が約8mg/Lから約2mg/Lまで低下することを確認した。Sr²⁺濃度の低下に伴いSr²⁺吸着量の減少も見られたが、吸着剤の増量、他の吸着剤との併用によりDF10の達成が可能であることを確認した。

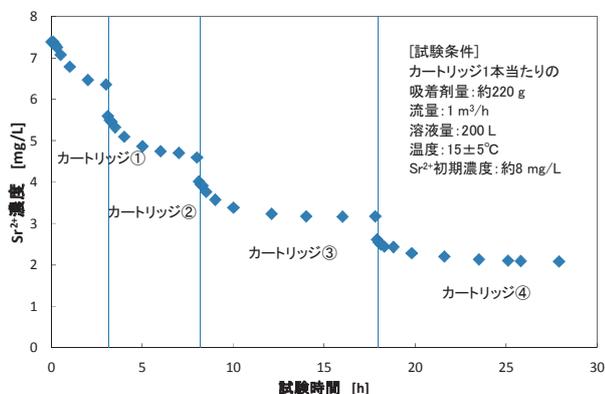


図2 NYPHEAを用いたSr²⁺吸着試験結果

(3) 港湾内海水浄化への適用性評価

本浄化システムの港湾内海水の浄化への適用のイメージを図3に示す。浄化装置内の吸着カートリッジの交換、資材運搬等の作業性を考慮し、必要機材をプラットフォーム上に集約する。

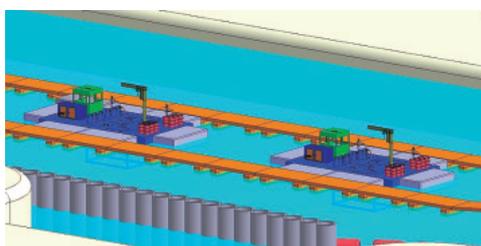


図3 港湾内海水浄化への適用のイメージ

(2)の試験結果に基づき、発電所港湾内浄化に必要な吸着剤総量及びカートリッジ本数を試算し、1年間で浄化を達成するため必要な資機材量を表1にまとめた。

表1 必要な資機材量

項目	数量
ゼオライト総量	1,233 t
カートリッジ本数	56,310 本
NYPHEA 台数	35 台
プラットフォーム数	6 基

3 結語

吸着試験結果より、発電所港湾内の汚染海水中のSr浄化に適した吸着剤としてA型ゼオライトを選定した。さらに、シート化技術を利用してA型ゼオライトを吸着フィルターに加工することにより、吸着剤の効率的な利用及び浄化装置への適用を可能にした。また、浄化システムの適用イメージを構築し実現性を評価した結果、放射性Sr及びCsについて浄化目標のDF10を達成することが可能であることを確認した。今後、コストや廃棄物量の大部分を占める吸着フィルターについて、より高性能な吸着剤の開発及びフィルター構造の改良を検討する。

なお、本検証の成果の一部は日本原子力学会「2015年秋の大会」において発表された^{2), 3)}。

参考文献

- 1) 岩田将幸 ほか, ゼオライト粒を糊着した可燃性のCs, Sr吸着シートの開発, アトックス技報, No.6 2014, pp.6-7
- 2) 岩田将幸 ほか, 福島第一原子力発電所に隣接する港湾内海水浄化技術の検証 (1)吸着剤の選定及び評価, 日本原子力学会「2015秋の大会」予稿集, p.230 (E34), 2015.9
- 3) 末森友英 ほか, 福島第一原子力発電所に隣接する港湾内海水浄化技術の検証 (2)港湾内への適応性評価, 日本原子力学会「2015秋の大会」予稿集, p.231 (E35), 2015.9



執筆者/基盤技術開発部
ケミカルプロセスGr. 竹村 友紀



基盤技術開発部
ケミカルプロセスGr. 末森 友英



基盤技術開発部
ケミカルプロセスGr. 岩田 将幸

【福島復興支社における福島第一原子力発電所廃炉及び周辺地域復興への取り組み】

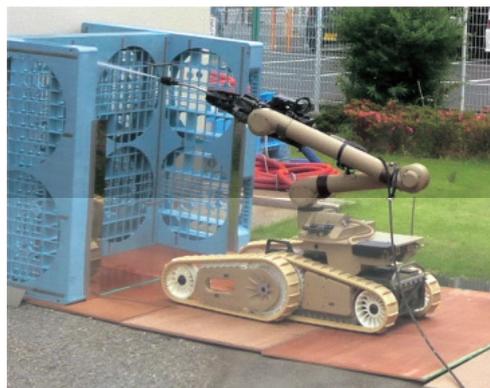
福島復興支社は震災以降、福島第一原子力発電所（以下、「福島第一」という）の廃炉準備作業や周辺地域の環境修復作業に注力してきました。福島第一を取り巻く環境は日々変化しており、これらに対応するために要員の増強や組織の再編など様々な取り組みを実施しています。ここでは、福島復興支社で対応している業務のなかから、工事を中心とした最近の活動をご紹介します。

【福島第一原子力発電所 廃炉関連業務】

☆ 2号機1階 原子炉建屋調査／線量低減業務

当社開発の小型遠隔床面除染装置 RACCOON を用いて、床面や中低所壁面、機器の除染を実施してきました。RACCOON による除染で所定の成果を得て、現在はさらなる線量低減を目指して、高所のダクトの撤去や除染を実施しています。ダクト内部の除染には、当社で開発した装置を転用して対応しました。この遠隔装置によるダクト内部除染においても線量低減効果が確認されたため、今後も作業を継続して実施する予定です。

また、PCV 内にアクセスするための X-6 ペネ周辺の高線量エリアにおいて、PackBot や Kobra の遠隔操作ロボットによる線量率測定や γ カメラ撮影、映像観察調査などを実施しました。これらの調査作業に当たっては、事前に当社が所有する PackBot や Kobra で十分な検証とトレーニングを行ってから、実作業に取り組んでいます。今後は、調査で得られたデータを基に、遠隔操作ロボットを活用した遠隔による線量低減作業を実施する計画です。



Kobra による X-6 ペネ周辺作業の検証の例

☆ 3号機1階 原子炉建屋調査／線量低減業務

このエリアは水素爆発による瓦礫等が散乱した状況にあったため、床面除染の前段階として、大物瓦礫の撤去後に残った小石などの小瓦礫の除去並びに機器監視を実施しました。小瓦礫撤去は PackBot や Kobra、RACCOON を活用し、遠隔で作業を実施しています。小瓦礫撤去により床面状況を改善した後、2号機同様に RACCOON を用いて床面や壁面、機器の除染を実施し、エリアの線量低減に大きな貢献をしました。今後もさらなる線量低減を目指し、作業を継続する予定です。

☆ タービン建屋調査／除染業務

福島第一では、地下水の建屋内への流入防止を目的として、遮水壁の設置が進んでいます。今後の建屋内水位を床面レベル以下に下げた際の床面の露出・乾燥によるダスト発生などの諸課題に計画的に対応するために、タービン建屋地下1階の線量率や沈殿物、ダストのサンプリングなどの調査を実施しました。本業務は(株)ANADecの福島第一での初めての作業であり、同社と当社の協力体制で作業を実施しました。これにより、地下1階の床面や滞留水の状況、建屋内の線量寄与など様々なことを明らかにすることができました。本業務の成果は、今後のタービン建屋地下1階の線量低減及び滞留水処理計画に活用される予定です。

☆ タービン建屋屋上 線量調査

タービン建屋屋上は、現状、人の入城が困難なことからドローンによる線量調査を実施しました。ドローンには航行状況を把握するための GPS や各種センサを搭載しており、自律制御による自動航行が可能です。また、当社独自に線量計やビデオカメラを取り付け、ドローンの位置情報と組み合わせることで、広範囲の線量調査を可能としました。作業前には入念な検証やトレーニングを重ねた上で、タービン建屋屋上の線量率の直接測定を実施しました。



ドローンによる福島第一タービン建屋屋根の線量調査

「福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」
 廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議（第13回 平成26年12月25日）
 【資料 3-3】 環境線量低減対策より（東京電力(株)殿ホームページより）

☆ タンク関連業務

フランジ型タンクの止水性向上対策の一環として、タンク底部の補修が実施されています。この補修作業では、タンク底部に堆積した沈殿物を事前に回収する必要があることから、タンク天板上から遠隔で沈殿物の回収が可能な装置を開発（成果概要は pp.2-3 を参照）し、作業を実施しました。

また、溶接型タンクへのリプレースが進んでいるフランジ型タンクにおいても、タンク内の残水処理業務を実施しています。既設の移送ポンプや仮設のポンプによりタンク内の水を移送し、残水が少なくなった段階でタンク内底部洗浄装置や強力吸引車を使用して沈殿物を完全に除去します。本作業は今後も継続することから、作業者の負担や被ばくをより軽減できる工法を検討しています。

☆ 水処理設備関連業務

高性能多核種除去設備や第二セシウム吸着設備の運転・保守業務などを行っています。運転業務は水処理設備の運転、パトロールに加え、ライン切り替えやサンプリング及び運転に必要な薬液の供給業務を行っています。

薬液の供給業務は、鉄共沈や炭酸塩共沈、pH 調整などのために必要なものです。本業務では様々な薬品を取り扱うため、必要な資格者の配備や教育を実施しているほか、品質管理のために定期的に技術開発センターで薬品の濃度や不純物含有量などの分析を実施しています。

〔地域復興業務〕

福島第一の周辺地域の復興業務として、川俣町をはじめ葛尾村など、様々な地域で除染工事を行っています。葛尾村では灰処理設備の運転管理業務を実施しているほか、福島市堀河町の終末処理場では下水汚泥の乾燥処理業務を実施してきました。

今後も継続して、地域の除染において放射線管理業務を実施していきます。

【ロボット・遠隔技術開発及び新分野開拓への取り組み】

福島第一では、遠隔操作技術を駆使し、原子炉建屋1階の床面から中所箇所壁面・配管などを対象にした建屋内の各種調査や補修、除染などの作業を行っています。今後は、ダクトや配管などが混在している1階の上部箇所や2階、3階の高所階、さらには地下階などでの作業が予定されています。これらの作業には、今まで以上に高度な遠隔技術と工法の開発が必要であり、技術開発センターでは上部箇所や高所階、地下階へのアクセス技術の開発に注力しています。

〔ドローン活用技術開発〕

アクセス技術において最も注目しているのが、ドローン活用技術です。福島第一においてもドローンへの期待は高まっており、2014年度後半には、1号機から4号機のタービン建屋屋上の線量調査を行いました。ドローンを活用した作業へのニーズはまだまだ広がっており、新たな機能を追加するための技術開発、フライト場所や操作場所を想定したトレーニングを続けています。

ドローン活用技術は、原子力発電所以外にも各種施設でのインフラ点検、防犯カメラ、災害対応など様々な適用が考えられており、原子力分野で培った技術を一般産業分野へ展開することも模索しています (pp.4-5を参照)。

〔PVロボット開発〕

ロボット・遠隔技術の一般産業分野への適用例としては、ドローンのみではなく、太陽電池モジュールの点検を行う太陽電池モジュール検査ロボット (PVロボット) があります。

PVロボットは、当社が国立研究開発法人産業技術総合研究所及び長岡技術科学大学との共同研究として2013年度より開発を進めているもので、発電量低下や火災保安に影響を及ぼすセル導通などの検査を全自動で行うことを目的とした日本で初めてのロボットです。その最大の特徴は、最大30度に傾斜設置されたモジュール上においても表面の模様を読み取り・認識して、滑りを補正しながら自律走行できることです。モジュール枚数が数万枚以上となるメガソーラや、作業員のアクセスが困難な一般住宅の屋根上などで、安全かつ低コストで検査作業を行うことで健全な太陽光発電の普及に寄与したいと考えています。

【ANADEC 及びアレバとの技術連携強化による国の研究開発プロジェクトの実施】

福島第一原子力発電所（以下、「福島第一」という）関連で、当社はフランスのアレバ、及び同社との合弁会社の(株) AREVA ATOX D&D SOLUTIONS（ANADEC アナデック）との技術連携を強化して、経済産業省平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」の「海水浄化技術検証事業」及び「土壌中放射性物質捕集技術検証事業」を当社、アレバ及び ANADEC の三者コンソーシアムにより平成 26 年度に実施しました（成果概要は pp.14-17 を参照）。

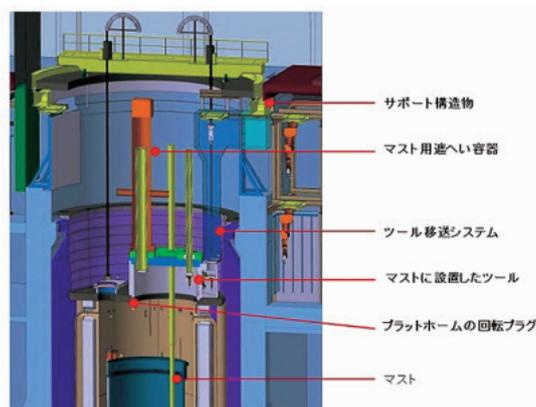
また当社は、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）が受託した平成 25 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」のうち、長期保管方法の検討の一環として「多核種除去設備スラリー安定化」を平成 26 年度に実施しました（成果概要は pp.10-11 を参照）。

さらに、ANADEC が受託した平成 25 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業（汚染水処理対策技術検証事業）」のうち、「燃料デブリ取出しの代替工法に関する概念検討事業」に関しても、三者で協力・連携して成果をとりまとめました。この事業は平成 27 年度及び 28 年度も IRID 組合員のメーカーと連携して、取出し工法・システムについて検討を深め高度化していくことになっています。

【燃料デブリ取出しの代替工法に関する概念検討事業】

福島第一事故の状況を踏まえ、アレバの豊富な廃止措置の経験と当社の福島第一での現場経験を活用して、炉心を冠水できない場合の気中において燃料デブリ取出しを実施する工法について、準備作業から構造物及び燃料デブリの取出し、廃棄物処理までのシナリオを作成しその実施工法を構築しました。

本概念検討は、ANADEC が事業主体としてプロジェクトを総合的に管理し、アレバが具体的な技術検討と専門的な技術レビューを実施し、当社が現場適用性のレビューを行うことで実施したものです。



燃料デブリ取出し装置の例

【アレバの経営幹部が技術開発センターを訪問】

アレバの執行副社長でバックエンド事業部門、国際事業本部長のゲイ氏ら 3 名が、2015 年 7 月 30 日に技術開発センターを訪問されました。

当社における福島第一原子力発電所の廃炉に向けての取り組みや技術開発活動の状況などを紹介し情報交換を行った後、技術開発センターの主な研究施設や開発機器を視察されました。視察後の感想として、ANADEC のビジネス展開においても技術開発センターの活動が大変重要になるとのコメントがあり、今後とも三者の連携を一層深めていくことを再確認しました。



左から ANADEC ダルディ取締役、シャウアー会長
アレバ ゲイ執行副社長、当社藤川常務取締役（ANADEC 社長）

【本社に廃炉専門部門の「廃止措置担当室」を設置】

原子力発電所の廃止措置事業への対応の中核となる専門組織として、2015年8月1日付けで本社事業本部内に「廃止措置担当室」を設置しました。

東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の過酷事故に伴って新規規制基準が定められるとともに、既設原子力発電所の高経年化対策に関する基準も厳しくなりました。これにより、震災以前から廃止措置が決定されていた東海、浜岡、ふげんの発電所以外に、敦賀、美浜、玄海、島根等の発電所で廃止措置が決定され、このほかにも廃止措置を検討中の発電所があります。また、原子力の研究施設やRI施設においても廃止措置が順次計画・実施されています。今後、廃止措置に関する工事を受注することが重要な課題となります

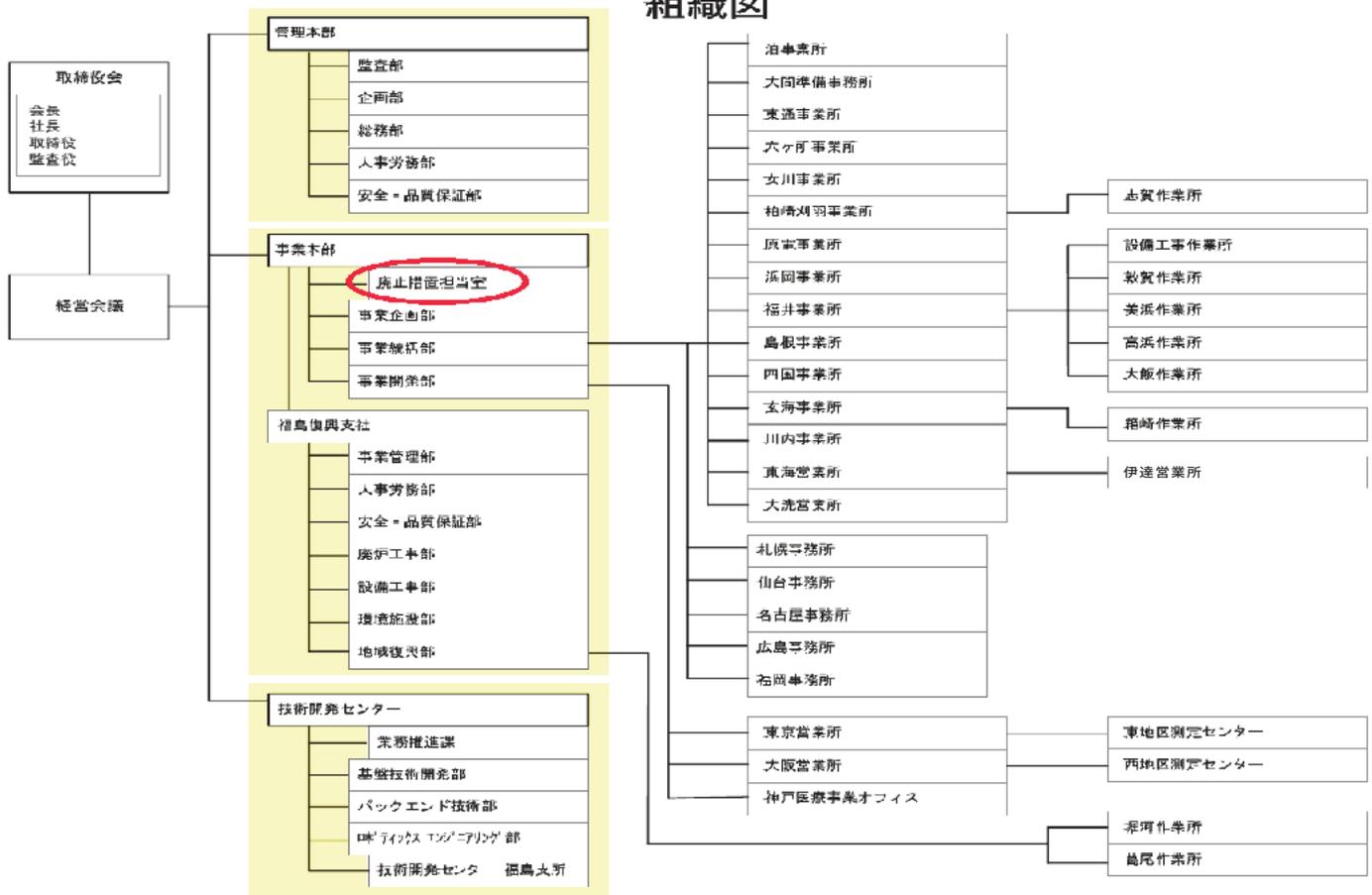
当社は、従来から原子力発電所や原子燃料関連施設、様々なRI施設等において廃止措置や放射線管理区域解除等の工事を数多く実施してきました。

新たに発足した廃止措置担当室では、廃止措置関連工事に総合的に対応するため、築き上げた経験や知見、開発した技術、人材を集約し、関連情報を全国の事・営業所、及びお客様に発信していきます。

また、技術開発センターと連携し、安全・品質・放射線管理をより向上させる機器や工法を開発するとともに、廃止措置工事に必要な人材の育成を進めます。

さらに、2014年7月1日に発足したフランスアレバとの合弁会社 ANADEC 及び技術開発センターと連携し、アレバの優れた技術を導入することで、より高度な廃止措置に関する工事を提案いたします。

組織図



【神戸医療事業オフィスにおける PET 薬剤の製造施設構築の取り組み】

〔背景〕

近年、国内においてアルツハイマー型認知症が疑われる認知機能障害がある患者の脳内アミロイドベータプラークを可視化する短半減期放射性薬剤（PET^{※1} 薬剤）を製造するための合成装置が 3 社から新規に発売されています。これらの合成装置を導入して PET 薬剤を製造する各 PET 施設等においては、日本核医学会（以下、「学会」という）による PET 薬剤の製造施設認証を取得することが指導されています。

一方、PET 薬剤を用いた治験を実施する場合は、薬機法^{※2}である GCP 省令^{※3}の治験薬 GMP^{※4}に基づいた PET 薬剤の製造が要求事項となります。当社では、これら PET 薬剤を製造するための施設構築の新規事業展開を推進していますので、その事業の一部をトピックスとしてご紹介します。

〔日本核医学会による PET 薬剤の製造施設認証と治験薬 GMP の比較〕^{1) ~3)}

学会による PET 薬剤の製造施設認証と薬機法の治験薬 GMP との相違点をまとめて図 1 に示します。PET 薬剤の製造施設において、臨床研究及び診療（院内製造）はすべて医療法に基づき実施されていますが、これら院内製造した PET 薬剤の品質保証レベルの向上及び製造方法や品質管理の標準化を目的として、現在、学会が中心となり PET 薬剤の製造施設認証システムが展開されています。その詳細は国立研究開発法人放射線医学総合研究所（放医研）分子イメージング研究センターの脇厚生先生に譲りますが、各製造施設では認証システムへの対応に苦慮しています。

一方、治験薬 GMP は 2008 年 7 月に改正された「治験薬の製造管理、品質管理等に関する基準（治験薬 GMP）について」薬食発第 0709002 号、及び平成 20 年 7 月 9 日付の厚生労働省医薬食品局長通知に基づいて実施^{4) ~6)}する必要があり、現在、当社は公益財団法人先端医療振興財団 先端医療センター（神戸）との共同事業として展開しています（写真 1 参照）。

当社では、これら両者の相違点を良く理解した上で、PET 薬剤を製造する各 PET 施設等の施設構築を新規事業として展開しています。



図 1 PET 薬剤の製造施設認証と治験薬 GMP との相違点



PET 治験薬の製造工程



PET 治験薬の品質試験

写真 1 当社の PET 治験薬製造及び品質管理の様子

〔合成装置 FASTlab（GE ヘルスケア・ジャパン（株）製）の支援事業（新規事業）〕

当社では、国内の某 PET センターにおける学会の製造施設認証取得の支援を経験しました。ポイントは、学会による PET 薬剤の製造施設認証の考え方を踏襲し、PET 薬剤が注射剤であることを考慮して、①無菌性の保証、及び②データ・記録類の信頼性保証に焦点を当てた「必要最小限、かつ実効性のある SOP^{※5}及び記録様式」を作成し、学会の製造施設認証を取得していただきました。これにより無菌性の保証及びデータ・記録類の信頼性保証の 2 点が学会の製造施設認証の取得に重要なポイントであることが実証できました。

この実績に引き続き、当社では GE ヘルスケア・ジャパン(株) 殿が 2015 年 5 月に医療機器承認を取得した FASTlab (写真 2) を用いたアミロイドイメージング剤「ピザミル」の製品標準書に基づき、その製造及び品質管理 (QC) のセットアップを支援しています。また、学会による PET 薬剤の製造施設認証の考え方をベースに、上述の当社の実績とノウハウに基づき、図 2 に示す新規事業を実施しています。

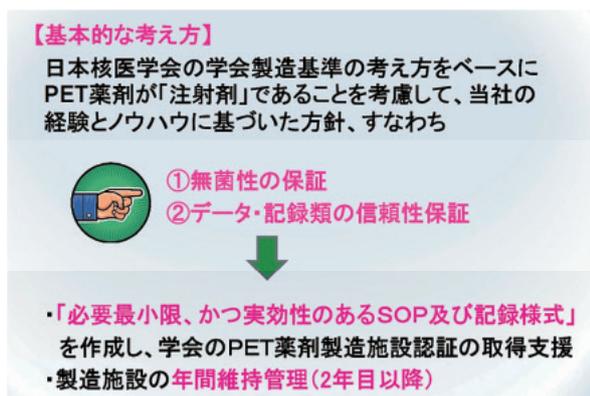


図 2 PET 薬剤の製造施設認証の取得支援事業



写真 2 FASTlab 合成装置 (上) 及びそのピザミル合成用カセット (下)

現在、PET 薬剤の製造施設は全国に約 150 施設があり、当社ではこれらの製造施設の学会による PET 薬剤製造施設認証の取得支援あるいは治験薬 GMP に対応した PET 薬剤の製造施設構築を目指して、全国展開を図っています。

【用語解説】

- ※1 PET : Positron Emission Tomography の略。「陽電子放射断層撮影」という主のがんを検査する方法の一つ
- ※2 薬機法 : 旧薬事法のことであり「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」のこと。医薬品・医療機器の安全対策強化や、再生医療の実用化促進に向けた承認制度の創設などを目的として 2014 年 11 月 25 日に施行された。
- ※3 GCP 省令 : Good Clinical Practice の略。国が定めた「医薬品の臨床試験の実施の基準に関する省令」で、治験を行う製薬会社、病院、医師が守らなければならない規則
- ※4 治験薬 GMP : Good Manufacturing Practice for investigational drug products の略。国が定めた「治験薬の製造管理、品質管理等に関する基準」で、治験薬の製造をする者が守るべき内容を定めた基準
- ※5 SOP : Standard Operating Procedure の略。治験や治験薬の製造などを実施する上で用いられる標準操作手順書

参考文献

- 1) 佐藤明啓, 「PET 薬剤の治験薬 GMP と臨床研究」, *PHARM TECH JAPAN*, 30 (6), 997-1003 (2014)
- 2) 佐藤明啓, 「PET 薬剤を用いた治験 (治験薬 GMP) と臨床研究 (学会認証制度)」, *Medical Science Digest*, 41 (2), 36-43 (2015)
- 3) 佐藤明啓, 「PET 薬剤を用いた治験 (治験薬 GMP) と臨床研究 (学会製造施設認証)」, *BIO Clinica*, 30 (6), 81-88 (2015)
- 4) 佐藤明啓, 「早期探索的臨床試験の考え方と治験薬 GMP の推進—放射薬剤における治験薬 GMP の適用—」, *PHARM TECH JAPAN*, 25 (5), 958-964 (2009)
- 5) 佐藤明啓, 人見英明, 橋爪武司, 「三極 治験薬 GMP 実践マニュアル」, 第 5 節 早期探索的臨床試験における治験薬 GMP が求める要件, (株)技術情報協会, 89-104, (2009)
- 6) 佐藤明啓, 上杉恵三, 人見英明ほか, 「開発段階に応じたグローバル対応の治験薬開発 QA」, 第 3 章 開発初期段階における品質保証と早期探索的臨床試験での治験薬 GMP の適用範囲, サイエンス&テクノロジー(株), 33-55 (2010)

事業本部 特別顧問 佐藤 明啓

【本事業開発部における医療事業分野への取り組み】

【放射線医学総合研究所と共同で頭部専用 PET 装置の製品化を推進】

アルツハイマー病の早期診断及び発症前診断は、日本の医療分野において極めて重要な項目です。全身用 PET 装置は、がん診断を主な目的として著しい普及を見せ、現在、医療及び研究の現場において大いに活用されています。一方、アルツハイマーPET 診断薬の国内上市を数年後に控えて治療薬の開発競争が激化し、ブドウ糖類似物質であるフルオロデオキシグルコース (FDG) とは異なる薬剤を利用するアルツハイマー検査のための全身用 PET 装置のマシントimeが不足することが予想されます。また、低解像度の全身用 PET 装置では、認知症 (アルツハイマー型、虚血性、レビー小体型) の鑑別などの確実な診断に必要とされるアミロイドやタウの高分解能画像を得ることは難しいことも指摘されています。

このような背景を踏まえ、頭部専用 PET 装置の活用と普及に向けて、医療及び研究の現場との協力関係を構築しており、国立研究開発法人放射線医学総合研究所 (以下、「放医研」という) でプロトタイプ装置を完成した後に、当社が製品化の役割を担います。現在、当社は、医療機器の販売において必要な製造販売業の許可取得に向けて社内体制を構築中です。

製品化に当たっては、コンサルティング会社を含め、電氣的試験 (EMC/EMI 設計、製造)などを伴走的に進めていく一方、検出部、データ収集部、画像再構成プログラムなどの各分野を得意とする企業を参画させていく予定です。製品化のフェーズは、プロトタイプから第二試作機を製作する「LP-2 期」、製品試作機を製作する「PP-1 期」、及び最終製品を製作する「最終製品化期」の3つに分けています。

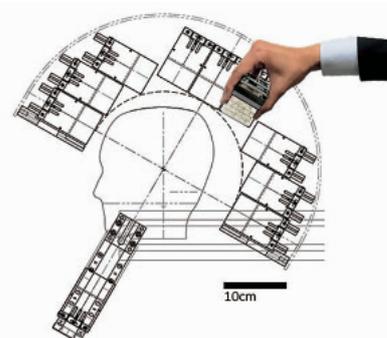
医療現場への普及には、実際に臨床検査を行っている現場の医師の要求を満たした製品仕様とすることが必須であり、頭部専用 PET 装置の利用に強い興味を持つ医師等との意見・情報交換を継続して行っています。実機完成後には実際に使っていただき、全身用 PET 装置に比べて低コストかつ高性能、しかもユーザーフレンドリーな操作性の優れた世界標準機の完成を目指していきます。

放医研では着実にプロトタイプ研究成果を出しています。検出器を近づけると解像度の劣化を招くため、従来の PET 装置は大口径の円筒型検出器の配置でした。放医研では、独自技術の4層三次元放射線 (DOI) 検出器を用いることで、検出器を測定対象に近づけることが可能となり、立体角を高めるとともに使用する検出器数を減らすことに成功しました。また、帽子のあごひものように検出器を追加配置することによって、検出器を半球状に並べたヘルメット部 (内径 25cm、外径 50cm) の中心部の感度低下を補うことができました。世界初となる頭部専用のヘルメット型 PET 装置は、検出器 (約 5cm 角) の使用数 (54 個) が市販装置に換算すると約 1/5 と少ないにもかかわらず、装置感度は小脳部で 5%、脳表部で 10% (市販装置の約 3 倍) と高く、平均解像度はフィルター補正逆投影法 (FBP) 再構成で 3.0mm、逐次近似再構成で 1.4mm と市販装置より優れており、高感度かつ低コストの装置が実現しました。

なお、本共同開発の成果は、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会及び第 55 回日本核医学会学術総会において報告されました^{1,2)}。

参考文献

- 1) 山谷泰賀, 田沢周作ほか, 「ヘルメット型 PET 装置の開発」, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 2015.9
- 2) 山谷泰賀, 田沢周作ほか, 「ヘルメット型 PET 試作機による高感度脳イメージング」, 第 55 回日本核医学会学術総会, 2015.11



ヘルメット型 PET 装置の外観(上)
及び検出器の配置(下)

事業本部 事業開発部 田沢 周作

【技術開発センターにおける技術開発の成果を公開】

技術開発センターでは、様々な機会を利用して成果を公開し、社外からの多様な視点でのご批評を取り入れることにより技術力の向上に努め、お客様により満足いただける技術の提供、並びに当社の認知度及び信頼度の増進を目指しています。

【技術開発の状況】

3.11以降、福島復興のための技術開発を最優先課題として、福島第一原子力発電所（以下、「福島第一」という）の廃炉作業に役立つロボット・遠隔技術、放射性廃棄物の処理技術、廃止措置エンジニアリング技術及び化学工学／放射線工学に係わる基盤技術の開発を行っています。

最近、国の各種の研究開発プロジェクト（以下、「国プロ」という）に参画し、国内外の原子力関連機関や企業の叡知も結集・活用して事業を遂行するとともに、福島第一の廃炉作業に関する技術的検討を、大学や研究機関・企業との共同研究や受託研究の形も含めて進めています。これらで得られた成果は、福島第一での作業に活用されています。

【成果の公開状況】

2015年の主な技術開発成果の公開状況は、下表のとおりです。

技術開発成果 成果の公開方法と公開日			国の研究開発プロジェクト					R A C C O O N	沈 殿 物 等 回 收 装 置	線 量 率 等 調 査	ド ロ ン 利 用	そ の 他
			計 画 的 線 量 低 減	水 位 測 定 技 術	円 筒 容 器 内	技 術 検 証	汚 染 水 処 理 対 策					
1	展示会	PV EXPO 2015 第8回国際太陽電池展	2015.2.25-27								PV検査ロボット	
2		第1回 国際ドローン展	2015.5.20-22					○		○	PV検査ロボット	
3		福島県 ロボットフェスタふくしま2015	2015.11.3					○	小型水中点検・清掃装置			
4		科学技術振興機構 サイエンスアゴラ2015	2015.11.15					○	小型水中点検・清掃装置			
5		2015 国際ロボット展	2015.12.2-5					○			PV検査ロボット	
6	WEB	国プロ成果の事務局ウェブサイト	2015.4			○	○					
7	講演	日米廃炉・除染福島復興フォーラム	2015.4.9	○	○	○	○	○	タンク内底部洗浄装置	○		
8		長岡技術科学大学 特別講義	2015.5.15		○							
9		技術セミナー(社外)	2015.6.12					○				
10	講義	東京大学 廃止措置人材育成セミナー	2015.8.4	○	○	○	○	○	タンク内底部洗浄装置	○		
11		ドローンテクノロジーセミナー(社外)	2015.12.8							○		
12	刊行物	RANDEC デコミッションング技報 寄稿	2015.4.30	○	○			○	タンク内底部洗浄装置	○		
13		ロボコンマガジン誌 探訪記(取材)	2015.9.1		○			○		○		
14	学会発表	産業技術総合研究所 研究成果報告会	2015.6.24								PV検査ロボット	
15		日本原子力学会 2015年秋の大会	2015.9.9-10	○		○	○				遮蔽性能評価 Sr吸着性能	
16		日本太陽/風力エネルギー学会 研究発表会	2015.11.26								PV検査ロボット	
17	TV	TBSテレビ『報道特集』 放映	2015.3.7					○				

各種の展示会では、ロボット大賞を受賞した小型遠隔除染装置 RACCOON、線量調査等でのドローン利用技術、非原子力分野への当社技術の展開の一つである太陽電池モジュール検査ロボットなどを出展し、多数の方々に技術を紹介しました。

国プロのうち汚染水処理対策（海水浄化、土壌中放射性物質捕集）技術検証及び燃料デブリ乾式取出し工法概念検討の3件の成果は、廃炉・汚染水対策事業事務局のウェブサイトにて2015年4月に公開されました。

講演・講義では、日米廃炉・除染福島復興フォーラム及び東京大学廃止措置人材育成セミナーにおいて、福島第一の廃炉と汚染水に対する当社の取り組みと技術開発の現状について講演を行うとともに、長岡技術科学大学での特別講義においては「安全性評価を担うロボット開発・運用事例」として国プロの円筒容器内水位測定技術を紹介しました。

刊行物においては、デコミッションング技報（原子力バックエンド推進センター(RANDEC)発行)第51号に、「福島第一原子力発電所の廃炉に向けてのアトックスの取り組み」と題して5つの技術報告を寄稿しました。また9月のロボコンマガジン誌第101号では、「日本を救う災害対応ロボットの現状と未来」として技術開発センターの探訪記が特集され、試験施設とRACCOON、水位測定ロボット、ドローン利用調査技術が4ページにわたって紹介されました。

学会等での発表では、日本原子力学会をはじめ積極的に行っており、2015年9月の秋の大会では8件の発表を行いました。

これらのほか、当社の技術を使用した福島第一での調査・作業の実施状況及びその結果は、東京電力(株)殿のウェブサイトや経済産業省のウェブサイト「東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた取組」のなかで随時公開されています。

技術開発センターは、アトックス事業の円滑な推進と拡大のために、必要な技術開発を引き続き進めてまいります。

【社外の研究会・委員会を技術開発センターで開催】

【放射線計測研究会が第55回研究会を開催】

2015年1月17日に「放射線計測研究会」(会長：中村尚司 東北大学名誉教授)が、第55回研究会を技術開発センターで開催しました。

この研究会は、放射線計測、放射線挙動解析等の分野の専門家の講演などを通して情報交換、研究機関・会社訪問による最前線の研究・技術情報の交換を行う私的な研究会です。今回は土曜日にも関わらず、中村会長はじめ16機関から28名が来訪されました。

中村会長のご挨拶、藤川常務取締役の技術開発センター紹介ののち、大型実験棟、遠隔技術試験棟、解体技術試験棟及び⁶⁰Co照射施設を見学いただきました。見学後は、国プロの原子炉建屋内の線量低減対策の検討概要、アトックスにおけるロボットの利用状況について講演が行われました。今回の研究会開催により、アトックスと技術開発センターの活動状況を研究会参加の方々を知っていただくことができました。



研究会会長の中村東北大学名誉教授と
幹事の原子力安全推進協会 岩井様



照射施設をご視察中の研究会の方々

【日本原子力学会の「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会が第14回委員会を開催】

2015年9月15日に日本原子力学会の「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会(主査：上叢義朋 理化学研究所)が、第14回委員会を技術開発センターで開催しました。これは、当センターの坂本部長が長年委員を務めていること、照射施設を保有していることなどにより実現したものです。

この研究専門委員会は、20年以上前に刊行された「中性子遮蔽ハンドブック」と「γ線遮蔽ハンドブック」の後継のハンドブックを作成するために設けられたもので、最新の知見を取り入れ中性子とγ線に関する遮蔽を統合したものになります。“基礎編”は2015年3月に刊行され、現在“応用編”の作成を進めています。

上叢主査ら15名の委員が来訪され、加藤センター長の技術開発センター紹介に引き続き、⁶⁰Co照射施設をはじめ主な研究施設を見学されました。委員の方々からは、小回りの利いた技術開発を行っているとの感想が寄せられました。委員会の後半には、遮蔽ハンドブック応用編への取り組み方について討論が行われました。

◆ 登録特許一覧

2015年10月末現在

特許番号	登録日	発明の名称	当社発明者	共同権者
2997242	H11.10.29	高周波融着によるシール性を有する放射線作業用シート	伊東 一昭、相馬 光枝	—
3452138	H15. 7.18	配管内足場設置方法及び配管内足場	—	—
3726922	H17.10. 7	原子力発電所で使用する防護マスクの除染・洗浄装置	工藤 一博、秦 和則 石川 俊行、海野 英雄	四国電力(株)
3737380	H17.11. 4	原子力施設等で用いる床面除染装置	中西 友和 佐々木 由美子	—
3748293	H17.12. 9	原子炉ウエルのバルクヘッド部に取付ける異物混入防止装置	本間 征八郎、安田 正男 鈴木 貞一郎	—
3788827	H18. 4. 7	原子炉ウエル内のバルクヘッド設置台のカバー	柿崎 傳、高橋 幸 鈴木 貞一郎	—
3824371	H18. 7. 7	原子炉設備に於ける壁面除染機	堀江 直之、鈴木 貞一郎	—
3836932	H18. 8. 4	自動除染装置における補助壁面吸着装置	堀江 直之、鈴木 貞一郎	—
3863627	H18.10. 6	簡易遮蔽鉛材の小型再熔融装置	青木 義明、上野 正治 鶴田 純規、中家 真一 鈴木 貞一郎	—
3936801	H19. 3.30	壁面用粘着テープ貼り機	小松 一、吉村 英夫 岡 由真、大良 秀樹 鈴木 貞一郎	—
3986918	H19. 7.20	循環水配管における垂直管部作業用足場	高橋 剛史、柿崎 傳 菅野 隆行	—
4035083	H19.11. 2	小口径配管の半割切断機	高橋 幸、飛田 哲史	—
4115708	H20. 4.25	BF ₃ 計数管内にあるBF ₃ ガスの安定化処理方法及びこの方法を実施する装置	櫻井 達也	—
4219026	H20.11.21	水圧差を利用した異物回収装置	山王 敏雅、伊東 一昭 忠海 俊也	—
4223371	H20.11.28	小口径配管の連続除染装置	吉村 英夫、高橋 幸	—
4227713	H20.12. 5	大径の円筒部材の切断方法及び装置	堀江 直之	—
4256538	H21. 2. 6	フードマスク洗浄装置	工藤 一博、榎井 茂 渡辺 一也	—
4256548	H21. 2. 6	フードマスク用送気管の養生方法及びこの方法を実施する養生器	松本 秀生、高木 宏明	—
4260268	H21. 2.20	ゴム靴の除染方法	工藤 一博、石川 俊行	四国電力(株)
4261905	H21. 2.20	圧力抑制プールにおけるストレーナ、水没弁の点検方法及びその方法に使用する隔離シート、ストレーナ閉止カバー	忠海 俊也、武田 直樹 渡部 光一、下宮 克徳	—
4303098	H21. 5. 1	ジェット洗浄及び洗浄水回収装置	吉村 英夫	—
4460267	H22. 2.19	ダクトの清掃除染装置	吉村 英夫、上野 和輝 堀井 顕良、田中 寛之	—
4473767	H22. 3.12	スプレー式電解研磨除染装置	高橋 幸、馬場 賢哉	—
4509732	H22. 5.14	小口径配管の半割方法及び装置	高橋 幸、齊藤 浩 福田 寛	—
4514688	H22. 5.21	水中塗膜補修装置	忠海 俊也、武田 直樹	—
4520786	H22. 5.28	原子炉格納容器内における圧力抑制室のベント管開口部の養生装置	堀江 直之、渡部 光一 新川 浩幸	—
4560393	H22. 7.30	ポケット型外部被ばく計測器を使用した被ばく線量超過警報装置	山王 敏雅、吉村 英夫	—
4604175	H22.10.15	可視光応答型光触媒の製造方法	勝田 博司、伊東 一昭 海野 英雄、相馬 光枝	国立研究開発法人 日本原子力研究 開発機構
4627597	H22.11.19	循環水エルボ配管部に設置する作業足場	柿崎 傳、高橋 剛史	—
4639355	H22.12.10	可視光応答型光触媒の製造方法	勝田 博司、伊東 一昭 海野 英雄、相馬 光枝	国立研究開発法人 日本原子力研究 開発機構
4806782	H23. 8.26	円筒形ストレーナの清掃装置及びこの装置によるストレーナの清掃方法	菅野 隆行、伊藤 俊介 松隈 勇、鈴木 康之	—
5175469	H25. 1.11	イオン交換樹脂の処理方法	伊東 一昭、西川 宣子	(公財)微生物化学研究会
5181204	H25. 1.25	配管切断用治具及び切断機	大場 誠一郎、古平 顕	—
5684626	H27. 1.23	電解除染方法及びそれに用いる装置	末森 友英、熊木 直人 小林 義男	—

アトックスの概要

商 号	株式会社アトックス	
所 在 地	〒108-0014 東京都港区芝四丁目 11 番 3 号	
資 本 金	1 億 5000 万円	
設立年月日	1980 (昭和 55) 年 9 月 1 日	
役 員	代表取締役会長	鈴木 貞一郎
	代表取締役社長	矢口 敏和
	専務取締役	岸本 邦和
	常務取締役	佐藤 明雄
	常務取締役	藤川 正剛
	常務取締役	上田 諭
	常務取締役	伊東 一昭
	常務取締役	鈴木 良男
	取締役	酒井 敏光
	取締役	坪井 伸一
	取締役	柏原 進
	取締役	加藤 正平
	取締役	柳樂 昌宏
	取締役	土堂 広一
	取締役	紺谷 修二
	監査役	石田 藤照
従業員数	1,648 名 (2015 (平成 27) 年 10 月末現在)	
沿革	1953 (昭和 28) 年 10 月	株式会社ビル清掃設立
	1964 (昭和 39) 年 9 月	株式会社ビル代行に商号変更
	1967 (昭和 42) 年 4 月	本社に原子力部を設置
	1980 (昭和 55) 年 9 月	株式会社ビル代行原子力部門を分離し、株式会社原子力代行を設立
	1988 (昭和 63) 年 8 月	千葉県柏市に技術開発センターを開設
	1993 (平成 5) 年 6 月	株式会社アトックスに商号変更
	2008 (平成 20) 年 8 月	技術開発センターを拡充し現在地に移転
	2014 (平成 26) 年 7 月	本社を東京都港区に移転
関連会社	グローブシップ株式会社 株式会社エフ・ティ販売 株式会社青森クリエイト 株式会社福島クリエイト 株式会社西日本クリエイト 株式会社 AREVA ATOX D&D SOLUTIONS	

複写をご希望の方へ

株式会社アトックスは、本誌掲載著作物の複写に関する権利を、一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けてください。ただし、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が公益社団法人日本複製権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先： 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F
FAX : 03-3475-5619 E-Mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(一社)学術著作権協会に委託しておりません。直接、本誌発行元(以下の連絡先)へお問い合わせください。

「アトックス技報」は国立国会図書館法により、国立国会図書館に創刊号(No.1 2009、平成 22 年 1 月発行)より納本しており、東京本館及び関西館において利用することができます。

また第 3 号(No.3 2011、平成 23 年 12 月発行)以降は、国立研究開発法人 科学技術振興機構の科学技術文献データベースに収録されており、(株)ジー・サーチの JDreamIII を通じて、“技術開発成果”論文を利用することができます。

アトックス技報 No.7 2015

ATOX TECHNICAL REPORT

平成 27 年 12 月 1 日発行

No.7 December 2015

編集・発行

株式会社アトックス
技術開発センター

Published and Edited by

Engineering Research & Development
Center
ATOX CO.,LTD.

〒277-0861 千葉県柏市高田 1201 番地

1201, Takata, Kashiwa-shi, Chiba 277-0861

TEL 04-7145-3330

TEL 04-7145-3330

FAX 04-7145-3649

FAX 04-7145-3649

URL <http://www.atox.co.jp/>

アトックス技報に関するご意見・ご要望等ございましたら、技術開発センターまでご連絡ください。

株式会社アトックス
技術開発センター