

ISSN 2185-5420

# アトックス技報

ATOX TECHNICAL REPORT

No. 6 2014



**ATOX**

## 巻頭言

## Preface

頁/Page

- 1 ANADECの発足に当たって

## 研究開発成果

## R &amp; D Activities



- 2 小型遠隔除染装置“RACCOON II”の開発  
Development of Compact Equipment“RACCOON II”for Remote Decontamination

- 4 円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発  
Development of the Remote Technology for the S/C Water Level Measurement

- 6 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  
Development of a Burnable Filter with Zeolite Grains Adhered for Adsorption of Cs and Sr

- 8 吸引回収式ブラストヘッドの開発  
Development of Vacuum Blast Head for Decontamination Apparatus



- 10 放射性金属廃材を用いた廃液非排出型電解除染装置による除染試験  
Decontamination Examination of the Radioactive Metal Waste using the Electrolytic Decontamination Device

- 12 固体廃棄物粉碎減容工法の調査・試験  
Investigation and Test for Volume Reduction by Crushing of the Radioactive Solid Waste

- 14 原子炉事故時のヨウ素挙動に係る $\gamma$ 線照射試験と分析方法の開発  
Development of Methods for  $\gamma$ -ray Irradiation Test and Chemical Speciation Analysis to Elucidate Iodine Behavior during Severe Accident at NPP



- 16 太陽電池モジュール検査ロボットの開発  
Development of Photovoltaic Module Inspection Robot

- 18 いばらき中性子医療研究センターにおける加速器BNCT施設の冷却水システムの設計・施工  
Construction of Cooling Water System for Accelerator-Based BNCT Facility at INMRC

## トピックス

## Topics



- 22 アレバとの合弁会社ANADECが発足、技術連携を強化

- 22 開発機器・工法の現場導入

- 22 国家プロジェクトの実施

- 23 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)に加入

- 23 水位測定用遠隔操作ロボットが、NHK Eテレ『サイエンスZERO』で紹介

- 23 小型遠隔除染装置RACCOONが「第6回ロボット大賞」優秀賞を受賞



## アトックス情報

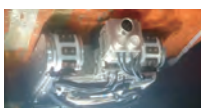
## ATOX Information

- 24 技術開発センターの組織改編と各部の取り組み課題

- 26 本社社屋の移転と事業本部の組織改編

- 27 登録特許一覧

- 28 アトックスの概要



## 【表紙の説明】

高放射線下でアクセス困難な原子力発電所のサプレッションチェンバーのような円筒容器内の水位を超音波計測技術を用いて容器外側から測定する装置です。当社施設でモックアップ試験を行いました(pp.4-5 参照)。(ロボティクスエンジニアリング部 遠隔技術開発Gr. 田中洋平 作)

## ANADEC の発足に当たって

—アトックス、アレバとの連携を強化し  
廃止措置作業の進展に貢献—

株式会社 AREVA ATOX D&D SOLUTIONS  
代表取締役社長 藤川 正剛



2014年7月1日、(株)アトックスはフランスのアレバと折半出資の形で合弁会社、(株)AREVA ATOX D&D SOLUTIONS（略称 ANADEC：アナデック）を設立いたしました。ANADEC の発足に当たり一言ご挨拶申し上げます。

顧みますと、2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、アトックスは関連する企業や国などのご協力・支援を受けながら、汚染水処理作業を皮切りに種々の作業に取り組んできました。具体的には高濃度に汚染された原子炉建屋内の線量低減方法の策定や、格納容器破損箇所同定のための水位の現状把握、また廃棄物の減容・安定化技術の開発などであり、まさに広範な領域に亘り、新たな技術開発も必要になっています。これに対応するに当たっては、多くの社員がこれまで培ってきたアトックスの技術力、現場力を今こそ活かすべきことと理解し、そこで果たすべき役割を自覚した使命感を原動力としたものでした。

一方、これらの作業を進めるなかで、数十年以上続く廃止措置作業に、より高いレベルで責任を持って関わっていくには、今アトックスに不足している技術のあることが明確になったことも事実です。これからの作業には極めて広範な分野のハイレベルの技術が要求され、廃止措置作業全体のグランドデザインの立案に必要な俯瞰的な技術力等は、まだ我々には十分には備わっていません。これから長期にわたる廃止措置作業に関わっていくために我々に今不足している技術力を効果的に補っていくために何をなすべきか、出した答えの一つがアレバとの連携、そして ANADEC の設立です。

ANADEC の業務開始に合わせて、国のプロジェクトとして、海水浄化及びサイト内土壌浄化技術検証の提案が採択され、現在、着々と技術開発を進めています。10月には福島廃炉のなかで最大の難関である燃料デブリ取出しの代替工法の概念検討の提案も受け入れられました。アレバの高度な技術力、企画力等と、アトックスの現場適用技術力、ノウハウ等が ANADEC を通して相乗効果を発揮し、福島第一原子力発電所の廃止措置作業がロードマップに従って進展するよう努力して参る所存です。

数年前にフランスのアレバ施設を訪問した時のこと。その技術者達は、廃止措置のことを Varolisation（バリリザシオン）と表現していましたが、実はこの語には“より高い価値を与える”という意味も含まれていたのです。「我々が進める廃止措置作業は複雑で難解な応用問題を解くようなもの。これをシステムチックに解くことにより、新しい技術や知見が産まれる。それが将来の原子力技術の革新に繋がるんだ」との言が今でも心に残ります。福島第一原子力発電所の廃炉及びその他の原子力発電所、原子力施設の廃止措置の諸事業が、そのような“技術進化則”に沿って進むことを期待せずにはられません。

そして ANADEC がこの分野の技術の発展、事業の推進に少しでも貢献できればと願っております。

皆様のご指導とご鞭撻を心からお願い申し上げます。

2014年12月吉日

# 小型遠隔除染装置“RACCOON II”の開発

## Development of Compact Equipment “RACCOON II” for Remote Decontamination

福島第一原子力発電所の廃止措置に向け、原子炉建屋の調査・補修が実施されている。そこで、原子炉建屋内の床面を遠隔操作にて除染する小型除染装置 RACCOON の開発を行い、2013 年 11 月に 2 号機へ導入した。今回、2 号機原子炉建屋よりも線量が高い 3 号機原子炉建屋向けに小型遠隔除染装置 RACCOON II の開発を行った。

**キーワード**：廃止措置、高線量、被ばく低減、遠隔操作、除染、原子炉建屋

Survey and repair of the reactor building are carried out towards the abolition measure of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. The compact decontamination equipment RACCOON which can decontaminate the floor in the reactor building by remote control was developed, and it was introduced to unit 2 in November, 2013. This time, the remote-controlled compact decontamination equipment RACCOON II was developed for unit 3 whose dose rates are higher than those in the unit 2 reactor building.

**Key Words** : Decommissioning, High Radiation, Dose Reduction, Remote Control, Decontamination, Reactor Building

### 1 背景と目的

当社は、原子炉建屋内の線量低減に向け、遠隔で操作できる小型の床面除染装置 RACCOON を開発し、2 号機原子炉建屋 1 階の除染作業を実施した。

RACCOON の除染作業における経験と現場運用のノウハウを反映させて、高線量、瓦礫片の散乱等、より条件の厳しい 3 号機原子炉建屋 1 階の除染に向け、RACCOON をベースにさらに改良を加え、操作員の被ばく低減や性能（走破性等）を向上させた RACCOON II を開発した。

### 2 開発概要

#### (1) 開発の要件

##### 1) 操作場所の更なる遠隔化

3 号機では 2 号機と比較して原子炉建屋内の線量が高いため、免震重要棟から装置の遠隔操作を可能とすることで操作員の被ばく低減を図る。

##### 2) 除染に使用する水量の低減

RACCOON では高圧水とエジェクタを使用し、発生する負圧で廃液の回収を行った。回収した廃液は、エジェクタに使用した高圧水とともに移送するため、廃液総量が増加する。RACCOON II では、ブローの負圧で直接廃液を回収することにより除染時に使用する水量を減少させ、廃液の低減を図る。

##### 3) 走行ユニットの走破性の向上

3 号機床面には段差があることが分かっており、段差を乗り越える機構が必要である。除染ヘッドの昇降を可能とすることで、走破性向上を図る。

##### 4) 現場環境に適した除染ヘッドの検討

3 号機では床面の除染だけでなく、爆発で飛散した

瓦礫片の除去や、中所（床から約 5m 程度の高さの対象物）の除染も必要である。複数のヘッドを組み合わせることで、現場対応時の柔軟化を図る。

#### (2) 開発装置の概要

RACCOON II の外観を写真 1 に、系統構成を図 1 に、主な仕様を表 1 にそれぞれ示す。

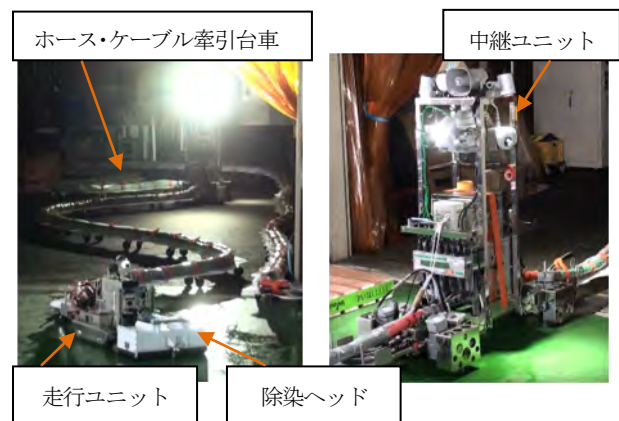


写真 1 RACCOON II の外観

RACCOON II の特徴を以下に示す。

##### 1) 構内 LAN を介した遠隔操作

3 号機では全体的に線量が高いため、線量がほとんどなく防護装備の必要のない免震重要棟からの遠隔操作を可能とした。操作員の被ばく低減を図るだけでなく、作業性の向上、身体への負担軽減も図った。

##### 2) ブローを用いた廃液回収

RACCOON では、2 台のジェットポンプから供給される高圧水を細径管内に向けて噴流することで、発生する負圧を利用して廃液回収を行った。

RACCOON II では、ブローの負圧で直接廃液の回収を行うため、回収時に水を使用しない。また、ブローを用いることで系統全体が負圧となり、ホースから漏

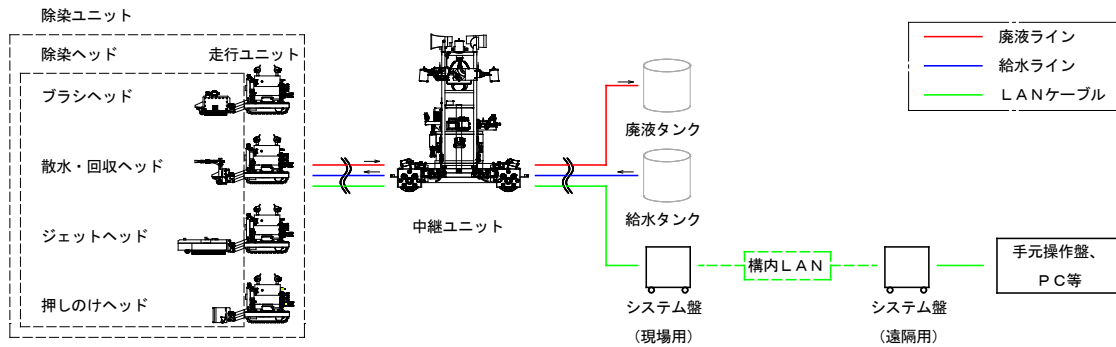


図1 RACCOON II の系統構成

表1 RACCOON II の主な仕様

		項目	仕様
除染ユニット	外形寸法	走行ユニット	W462×L533×H438 mm
		ブラシヘッド	W470×L859×H438 mm
		散水・回収ヘッド	W462×L814×H438 mm
		ジェットヘッド	W462×L1,028×H438 mm
	質量 (走行ユニット)	約 57 kg	
	散水流量	最大 17 L/min	
	走行速度	0~10 m/min	
	カメラ	水中カメラ (LED 照明付)	
中継ユニット	外形寸法	W618×L1,152×H1,486 mm	
	質量	約 160 kg	
	カメラ	ネットワークカメラ	
	走行速度	10 m/min	
	照明	LED 投光器 (前方・後方用)	

4) 現場環境に適した除染ヘッド

RACCOON は床面の除染に特化した装置であったが、3号機では中所(床から約5m程度の高さの対象物)の除染にも対応させるため、散水により除染するヘッドを開発した。また、爆発により瓦礫が散乱しているため、瓦礫を押しわけるヘッドも開発した(写真3)。

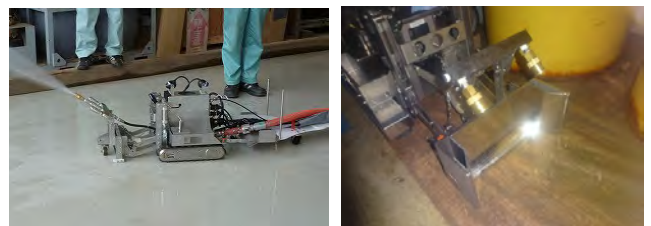


写真3 (左)散水・回収ヘッド、(右)押しわけヘッド

水しにくくなるメリットもある。廃液と同時に回収した空気は、ブロー後方に設置したHEPA フィルターを通して、排気による二次汚染の拡大防止を図った。

廃液タンクについては、タンク内洗浄のための水系統を設け、砂塵と水を同時に移送可能なポンプを選定して、廃液とともに回収される砂塵が廃液タンク等で堆積しない工夫を図った。

3) 段差の乗り越え機構

3号機では原子炉建屋内に段差や障害物があり、段差を乗り越える機構を持たせて走破性を向上させ、除染可能範囲を広げる必要があった。そこで、走行ユニットに昇降機構を追加し、除染ヘッドを上昇させて走行することで段差等の乗り越えを可能とした(写真2)。



写真2 ジェットヘッドの持ち上げ

3 結 語

RACCOON が有していた汚染形態に応じた建屋内床面の除染性能に加えて、発電所構内 LAN 回線を利用した更なる遠隔化と使用する水量の低減、走破性の向上を反映した RACCOON II を開発して、現場での除染作業を開始した。

今後は、除染範囲を原子炉建屋内の上層階や地下へと広げていくため、アプローチの仕方やユーティリティの取り回し等を検討しながら装置の改良に努める。



執筆者/バックエンド技術部  
除染技術 Gr. 鈴木 康之



バックエンド技術部  
除染技術 Gr. 浦 広幸



ロボティクスエンジニアリング部  
遠隔技術開発 Gr. 佐藤 伸弥

# 円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発

## Development of the Remote Technology for the S/C Water Level Measurement

高放射線下でアクセスの困難な作業環境における、サプレッションチェンバー（S/C）のような円筒容器内水位を遠隔で計測する技術を開発し、これを用いて福島第一原子力発電所2号機において実証試験を行った。その結果、S/C内の水位は、トーラス室滞留水水位の変化の影響を受けている可能性があることを明らかにした。

キーワード：サプレッションチェンバー、水位測定、遠隔技術

ATOX has developed the remote technology for the detection of water level inside cylindrical vessels such as suppression chamber under high dose rates. We successfully carried out the demonstration of this technology at the suppression chamber in the unit 2 reactor building of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. As a result, we revealed that the water level inside the S/C is likely to be affected by changes of the water level in the torus room which is surrounded the suppression chamber.

Key Words : Suppression Chamber, Water Level Measurement, Remote Technology

### 1 背景と目的

サプレッションチェンバー（以下、S/C）の漏えい箇所を推定するためには、当該箇所の水位を外部より計測しておくことが有効な手段の一つである。このため、探触子の遠隔操作技術を含む、水位測定技術の開発を行った。

本技術開発は、経済産業省資源エネルギー庁平成24年度発電用原子炉等事故対応関連技術基盤整備事業（円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発）において実施したものである。

### 2 開発概要

#### (1) 要素技術の検討

##### 1) 超音波計測技術の検討

超音波探傷の手法として、水浸探傷法によって鋼板界面反射波の違いを多重反射波で比較する「多重反射法」と、垂直法によって水中構造物のエコー有無から水位を得る「直接計測法」の2つを選択した。

##### 2) 磁力吸着走行技術の検討

走行技術としては、S/C 鋼板が磁性体である炭素鋼であることから、機構が単純で信頼性の高い永久磁石を用いたマグネットクローラによる磁力吸着走行を選択した。

##### 3) 測定精度の向上

作業員が近づくことができないS/Cにおいて、遠隔操作による計測で要求仕様である位置検出精度（±50mm）を確保するため、水位測定装置に搭載した角度計から装置の姿勢を検知して高さ位置に換算する手法と、レーザー照射による位置検出手法を採用した。

#### 4) 床穿孔による測定装置搬入技術の検討

測定装置のS/Cへのアクセス方法として、1階床面を穿孔して、搬入装置による測定装置搬入をすべて遠隔操作で実施する方法を採用した。

#### (2) 実証試験機の設計製作

水位や水中構造物の位置を直接計測する定位型と、多重反射波を面で捉える走査型の2種類の装置について、測定装置をS/C近傍まで移動させるための搬入装置を含め、遠隔操作が可能な仕様で設計製作を行った。

図1に示すように、搬入装置システムを原子炉建屋（R/B）1階に設置し、床穿孔により設けたφ350mmの開口部よりS/C壁面へ水位測定装置を搭載した搬入装置をアクセスする方法を採用した。

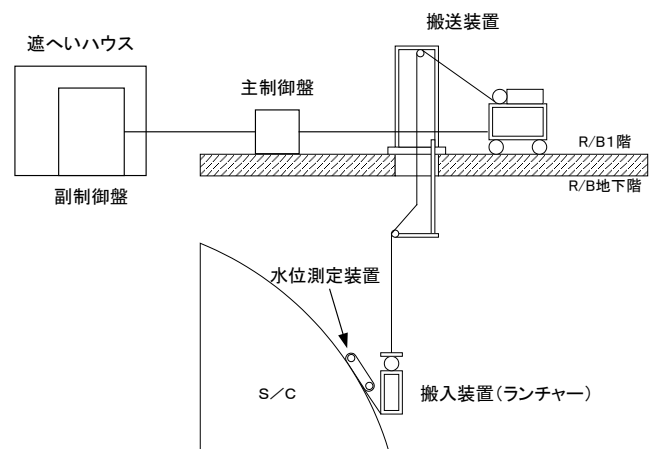


図1 水位測定システム概要

#### 1) 定位型水位測定装置

測定装置はマグネットクローラによって走行し、中央部の垂直探触子をS/C壁面に押し付けて水位等を計測する。装置前後に配した角度計により、装置がS/C

円周上のどの位置にいるかを検知する (図2)。

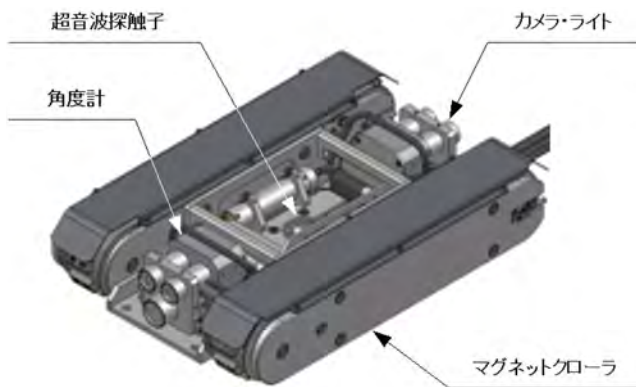


図2 定位型水位測定装置

### 2) 走査型水位測定装置

水浸型探触子を装置の前後左右方向に移動させることができるもので、プローブ内に水を供給しながら反射波を捉え、画像処理によって色分け表示することで、水位を明確に図示する (図3)。

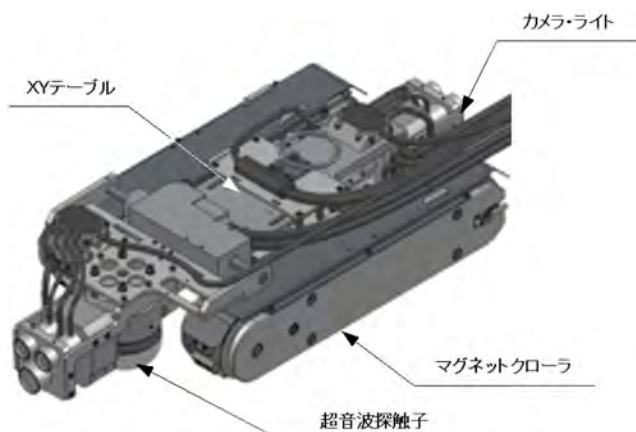


図3 走査型水位測定装置

### (3) 実証試験

S/C の実寸法を模擬したモックアップを当社施設内に設置し、実証試験のシミュレーションを実施した (写真1)。



写真1 モックアップ試験の様子 (2013年9月)

2号機実証試験においては、多重反射法では荒れてしまったS/C鋼板面で正常に波形を捉えることができ

ず、水位判定シナリオに従い、直接計測法で水中構造物を捉える方法でデータを取得した (写真2)。そのときの計測結果の例を図4に示す。



写真2 2号機実証試験の様子 (2014年1月)

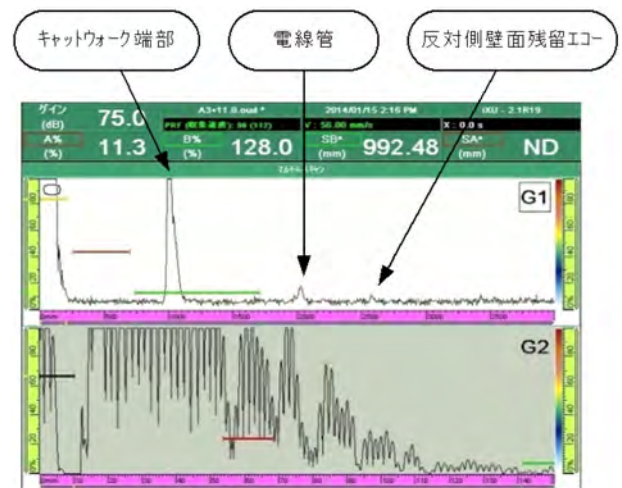


図4 直接計測法による計測結果の例

### 3 結語

直接計測法での2号機S/C反対側壁面及び水中構造物の反射エコー消失位置を、水位として記録した。水位記録とトーラス室(S/C外側)水位の計測結果より、S/C内の水位は、トーラス室滞留水水位の変化の影響を受けていると考えられる。

本技術開発の成果は、福島第一原子力発電所の廃止措置のみならず、遠隔基盤技術の高度化に資するとともに、国内外の将来の原子力施設の廃止措置に有用な基盤技術を提供できるものと考えている。



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. 平井 計仁



ロボティクスエンジニアリング部  
遠隔技術開発 Gr. 毛利 哲也

# 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

## Development of a Burnable Filter with Zeolite Grains Adhered for Adsorption of Cs and Sr

各種ゼオライト粒への模擬海水中の Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>の吸着特性を調べ、Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>を効率よく吸着するゼオライト粒を不織布に糊着したシート（吸着シート）の開発を行った。汚染海水中の Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>を効率よく吸着するフィルターをこの吸着シートを用いて作製するため、吸着シートの吸着性能及び通水性能を調べた。また、不織布は可燃であるため、焼却処理することによって二次廃棄物の発生量の低減が可能である。

**キーワード**：ゼオライト、吸着シート、海水浄化、放射性セシウム、放射性ストロンチウム

The adsorption behavior of Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> from a simulated sea water onto various kinds of zeolite materials was investigated. A new type of Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> adsorbent is developed which consists of a nonwoven fabric sheet adhered the zeolite grains adsorbing there ion efficiency. A filter system using the adsorbent sheet was developed for cleaning up sea water including radioactive cesium and strontium. The adsorption efficiency and the water passing performance of the filter system were examined. Since a nonwoven fabric is combustible, the amount of the generated secondary waste can be reduced by incineration.

**Key Words** : Zeolite, Adsorbent Sheet, Sea Water Clean-up, Radioactive Cesium, Radioactive Strontium

### 1 背景と目的

放射性的のセシウム(Cs)やストロンチウム(Sr)で汚染された海水の浄化方法として、これらのイオンを選択的に吸着するゼオライト等の吸着剤を充填した吸着塔に汚染水を通水する方法が挙げられる。粒径がより小さな吸着剤粒を用いると、吸着容量が大きいという利点がある反面、通水時の圧力損失が大きいという欠点がある。一方、粒径が大きい吸着剤粒は吸着容量が小さく、二次廃棄物の発生量が増すという欠点がある。

本開発では通水時の圧力損失を抑えつつゼオライトの吸着容量を最大限に活かすことができるフィルターの開発を目的とし、不織布に小粒径のゼオライト粒を糊着させたシート（吸着シート）を作製し、これを用いて海水中の Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>の吸着特性を調べた。

### 2 開発概要

#### (1) 試験方法

吸着剤として使用するゼオライト粒を用いて、Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>の吸着性能を確認するためのバッチ法による吸着試験（試験①）、粒径が異なるゼオライトの性能比較のためのカラム吸着試験（試験②）、及び作製した吸着シートを用いた吸着性能と通水性能の試験（試験③）を実施した。

試験①で用いる吸着剤は日本原子力学会バックエンド部有志による実験データ<sup>1)</sup>の中から、Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>に対して高い吸着性能を持つA型及びX型ゼオライト（東ソー(株)製）を選定した。10mg/LのCs<sup>+</sup>、Sr<sup>2+</sup>を

添加した模擬海水溶液（100mL）を吸着剤（1g）と混合し、24時間振とうした後、溶液（約5mL）を採取し、孔径0.2μmのシリンジフィルターでろ過して溶液試料とした。

試験②では市販のA型ゼオライト粒から、直径1.2~2.0mm（ビーズ）及び直径0.3~0.5mm（破砕品）のものをカラムに充填して用いた。また、試験③では、A型ゼオライトの破砕品を不織布に糊着して作製した吸着シートを複数枚重ねて紙ホルダーに取り付けて用いた。これらの試験ではCs<sup>+</sup>濃度が非常に低い実海水に近い条件で試験を実施するため、模擬海水にCs<sup>+</sup>は添加せずにSr<sup>2+</sup>を8mg/L添加した試験溶液を用いた。それぞれ吸着剤を充填したカラム及び吸着シートに試験溶液を通水し（流量等は図中の説明のとおり）、溶出液を分画採取して溶液試料とした。

採取した溶液試料中のCs<sup>+</sup>、Sr<sup>2+</sup>の濃度を、誘導結合プラズマ質量分析計を用いて測定し、その結果から吸着率を算出して吸着性能を評価した。

ここで、吸着シートは特種東海製紙(株)のシート加工技術<sup>2)</sup>により、ゼオライト粒をオレフィン系接着剤を用いて可燃性不織布に糊着することにより作製した。

#### (2) 試験結果

##### 1) Cs<sup>+</sup>及び Sr<sup>2+</sup>のバッチ吸着試験（試験①）

A型及びX型ゼオライトへのCs<sup>+</sup>及びSr<sup>2+</sup>の吸着試験結果を表1に示す。A型ゼオライトのほうがCs<sup>+</sup>及びSr<sup>2+</sup>ともに吸着率が高いため、吸着シートに適用する吸着剤をA型ゼオライトとした。



表1 A型及びX型ゼオライトへのCs<sup>+</sup>、Sr<sup>2+</sup>吸着試験結果

	Cs <sup>+</sup> 吸着率(%)	Sr <sup>2+</sup> 吸着率(%)
A型ゼオライト	54	86
X型ゼオライト	28	66

2) ゼオライト粒を用いるカラム試験 (試験②)

吸着剤を充填したカラムに模擬海水を通水したときのSr<sup>2+</sup>の吸着率を求めた結果を図1に示す。

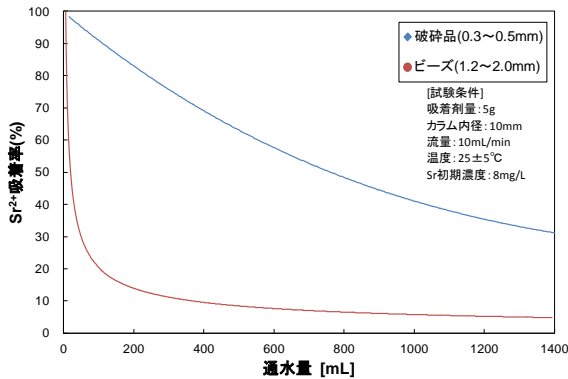


図1 A型ゼオライト粒を用いたカラム試験におけるSr<sup>2+</sup>吸着率

図1の試験結果から、ビーズを充填したカラムの場合、300mL通水した時点でSr<sup>2+</sup>吸着率は10%を下回ること、一方で、破砕品を充填したカラムは1,200mL通水した時点でも約40%のSr<sup>2+</sup>吸着率を有していることが分かった。このことから、カラム通水による連続処理において、より粒径が小さなゼオライト(破砕品)のほうがより高い吸着性能が達成されることを確認した。

3) 吸着シートの吸着及び通水性能試験 (試験③)

吸着シートに模擬海水を通水して、Sr<sup>2+</sup>の吸着率を求めた結果を図2に示す。シート1枚の場合は500mL通水した時点でSr<sup>2+</sup>吸着率が0~3%程度となったが、3枚、5枚とシートを重ねて用いた場合には、通水を継続しても高い吸着率を維持できることを確認した。また、吸着シートを5枚重ねて用いたときにも異常に圧力が上昇することなく、あるいは流速が低下することなく通水することができた。

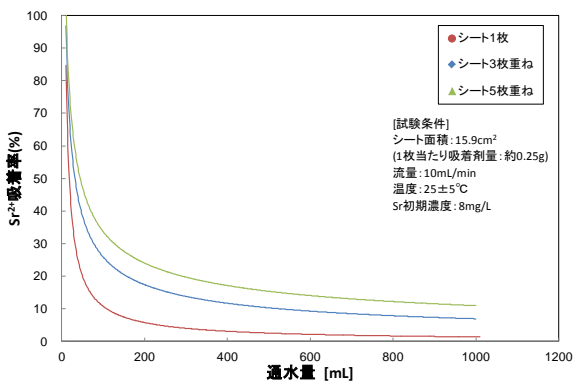


図2 A型ゼオライトの吸着シートを用いた吸着及び通水性能試験におけるSr<sup>2+</sup>吸着率

(3) 吸着シートを用いたフィルターの作製

開発した吸着シートを複数枚重ねた状態でプリーツフィルター等の形状に加工することで、優れた通水性能のフィルターを作製することができた。作製したフィルターを写真1に示す。



写真1 吸着シートを用いたフィルター

3 結 語

本試験結果から、複数枚重ねることによって圧力損失を抑えつつ、効率よくSr<sup>2+</sup>を吸着する吸着シートを開発した。さらに同シートを用いてプリーツフィルターを製作した。

今後は、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、「海水浄化技術検証事業」のなかで、吸着シート及びフィルターを用いて、実海水に近い条件でCs<sup>+</sup>、Sr<sup>2+</sup>の吸着性能や他元素との選択性を確認する予定である。また、フィルターのスケールアップにおける最適な重ね枚数や流速等の条件の検討、使用済フィルターの焼却減容試験を実施し、実用化を目指す。

参考文献

- 1) (一社)日本原子力学会バックエンド部会, 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, <http://www.nuce-aesj.org/projects/clwt:start>
- 2) 特種東海製紙(株), 公開特許公報(A), 特開 2013-237266, 公開日 平成25年11月28日, 「水系用吸着シート」



執筆者/基盤技術開発部  
ケミカルプロセスGr. 岩田 将幸



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. 中谷 友紀

# 吸引回収式ブラストヘッドの開発

## Development of Vacuum Blast Head for Decontamination Apparatus

解体切断作業時の被ばく線量低減を目的とした「解体前除染」へのブラスト除染の適用は技術課題が多く、これまでには、ハウス等の密閉した空間での使用しかできなかった。しかし、吸引回収を行える装置を開発することにより、建屋内の大型構造物等の除染への適用が可能となる。本件では、市販ブラストヘッドの技術課題であった研削量の少なさ及び研削材の漏洩量の多さを改善するため、形状等を改良したブラストヘッドを試作し、性能評価試験を実施した。その結果、これらの課題が改善されたことを確認した。

キーワード：被ばく低減、除染、ブラスト、ブラストヘッド

Off-the-shelf blast heads have technical issues such as low grinding force, as well as leakage of blasting materials. We developed improved blast head to decontaminate large-scale structures in the reactor buildings. Our fabricated prototype blasting head was confirmed that the technical issues have improved by the evaluation tests.

Key Words : Reduction of Exposure, Decontamination, Blasting, Blast Head

### 1 背景と目的

大型構造物に対するブラスト除染では、研削材・粉じんが大量に飛散するため、養生や防じんマスク等の装備が必要であった。そこで、研削材・粉じんを回収する吸引回収式ブラスト方式の大型構造物への適用性を検討した。本開発では、ブラストヘッドの形状検討・試作・試験を実施し、研削量と吸引回収率の改善を図った。

### 2 開発概要

#### (1) 市販の吸引回収式ブラストヘッドの課題

吸引回収式ブラストの装置構成を図1に示す。

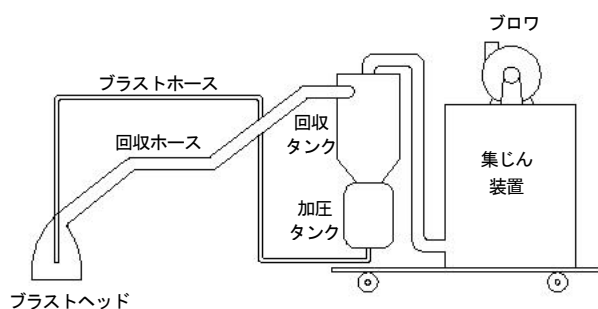


図1 吸引回収式ブラストの装置構成

市販の吸引回収式ブラスト装置のブラストヘッド（以下、一般ヘッド）は、据え置き型に比べ研削量が少なく、かつ研削材の漏洩量が多い。このため除染作業への適用には、放射性物質を含む研削材の吸引回収率の向上と、処理効率改善のための研削量の増大が課題であった。

#### (2) ブラストヘッド形状の検討

一般ヘッド内の空気の流れには、研削材の投射方向と回収方向があり、加工面付近では2つの逆方向の流れが混在する。このため研削材同士が衝突し、研削量と吸引回収が阻害され研削材が漏洩してしまう。そこで、試作ヘッドでは投射と回収の研削材を含む空気の流れを一方向にすることで研削材の衝突を低減し、研削量と吸引回収率の向上を図った。ブラストヘッドの概念を図2に示す。

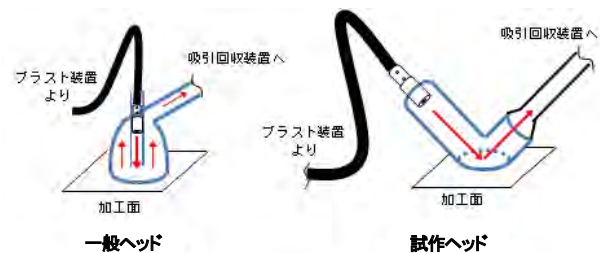


図2 ブラストヘッドの概念

また、過去の試験結果で加工面に研削材を投射する角度（投射角度）により研削量が増減することが判明しているため、研削量が優れる投射角度を2種類選定しブラストヘッドを試作した。ブラストヘッドの外観を写真1に示す。



写真1 ブラストヘッド外観

(3) ブラストヘッドの性能評価試験

試作したブラストヘッドの吸引回収率と研削量を確認するため、性能評価試験を実施した。鉄板にブラスト投射し、漏洩した研削材質量（以下、漏洩量）と研削量で比較を行った。研削材は耐久力・研削量に優れたSUSカットワイヤとした。ブラストヘッド性能評価試験の結果を図3に示す。

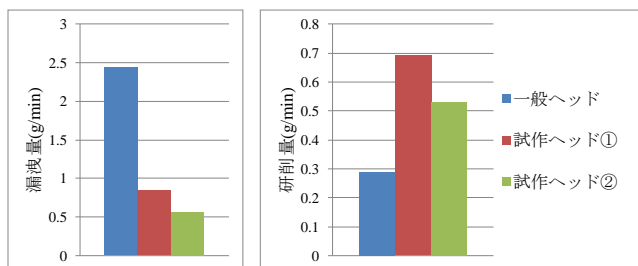


図3 ブラストヘッド性能評価試験の結果

試験の結果、一般ヘッドと比較し試作ヘッドでは漏洩量は約1/4に減少し、研削量は1.8~2.3倍となり、課題であった研削量と吸引回収率の改善が確認できた。

(4) 処理効率確認試験

この試験では、研削深さ1μmで1時間あたりに処理できる面積を処理効率とし、各ブラストヘッドで比較した。処理効率確認試験の方法を図4に示す。

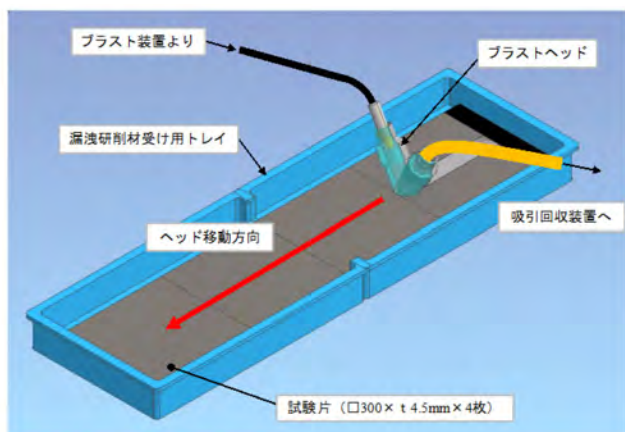


図4 処理効率確認試験の方法

処理効率算出のため、以下の項目を測定した。

- ① 漏洩量を考慮した適切なブラストヘッド送り速度
- ② 研削材の漏洩量
- ③ 研削された鉄板の量（研削量）
- ④ 鉄板を研削できる幅

処理効率確認試験結果を図5に示す。

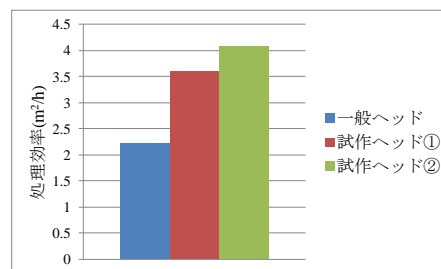


図5 処理効率確認試験結果

一般ヘッドと比較して試作ヘッドは処理効率が1.6~1.8倍となったことが確認できた。

(5) ブラストヘッドの製作

実際の除染作業への適用を可能とするため、プロトタイプとなるブラストヘッドを製作した。ブラストヘッドの形状は漏洩量の少ない試作ヘッド②とし、試験により試作ヘッドと性能が同等であることを確認した。プロトタイプのブラストヘッド外観を写真2に示す。



写真2 プロトタイプのブラストヘッド外観

3 結語

吸引回収式ブラスト装置の現場導入に向けブラストヘッドの開発を行い、「解体前除染」へのブラスト除染適用の課題を改善することができた。今後は各現場の諸条件（輸送距離、揚程、遠隔化等）を確認し、大型構造物の除染に適用できる装置の開発を進める。



執筆者/バックエンド技術部  
廃止措置設計 Gr. 金森 洋次



バックエンド技術部  
廃止措置設計 Gr. 藤田 尚史



バックエンド技術部  
除染技術 Gr. 高橋政太郎

# 放射性金属廃材を用いた廃液非排出型電解除染装置による除染試験

## Decontamination Examination of the Radioactive Metal Waste using the Electrolytic Decontamination Device

廃液の発生を伴わない「廃液非排出型電解除染装置」による除染試験を、原子力発電所で発生した放射性金属廃材を用いて実施した。その試験結果より、実際の汚染に対する本工法の除染効果を確認するとともに、実運用における課題について検証した。併せて、従来実施してきたコールド環境下での除染性能評価が有効であることを確認した。

キーワード：電解除染装置、電解液、ホット試験、コールド試験、除染性能評価、放射性金属廃材

An experiment on the effectiveness of the Electrolytic Decontamination Device for decontamination without generation of wastes, using radioactive metal wastes generated in nuclear power plants, confirmed the decontamination effect, and action items to be solved under the actual circumstances. It also was confirmed that the evaluation of decontamination performance in a cold environment is valid, which has been conventionally performed.

**Key Words** : Electrolytic Decontamination Device, Electrolyte, Hot Test, Cold Test, Decontamination Performance Evaluation, Radioactive Metal Waste

### 1 背景と目的

電解除染は金属廃材を電解液に浸して通電し、表面を電解研磨して除染を行う技術である。幅広い金属廃材に対応でき、遠隔除染も可能となるなど放射線下作業に適した技術である。

従来の電解除染工法では、二次廃棄物となる酸性電解液の廃棄処理が課題であったが、電解液が劣化しない「廃液非排出型電解除染装置」の開発<sup>1),2)</sup>により、電解廃液の課題を解決した。

廃液非排出型電解除染装置による模擬試験では良好なデータを得たが、現場での実運用を見据え、適性を判断するにはホット試験が必要不可欠である。

本試験では、廃液非排出型電解除染装置による実際の原子力発電所で発生した汚染金属廃材を用い、除染効果の検証と電解液のリサイクル性を確認した。

### 2 試験概要

#### (1) 試験方法

ステンレス製の放射性汚染廃材サンプルを用い除染試験を実施する。除染後の廃材サンプルは、NaI サーベイメータによるダイレクトサーベイを実施し、汚染の残存を検証した。サーベイは、1回の除染に付き、電解槽からの試験体取り出し時と、水洗後の2回実施した。これは実運用に向け、水洗の必要性を確認するためである。試験フローを図1に示す。

併せて電解液のリサイクル性の確認として、使用済

電解液中の沈殿物を取り除いた電解液（分離液）をサンプリングし、Ge（放射能）測定器による分離液側への汚染残存の有無を確認した。

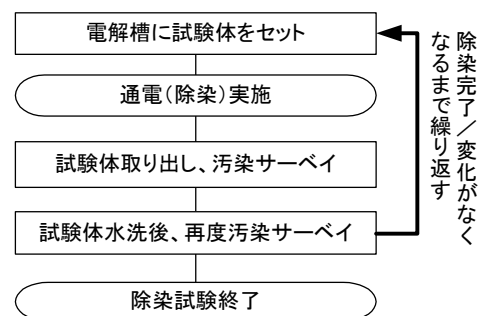


図1 試験フロー

#### (2) 装置仕様・機器構成

試験目的に絞り装置は小型機器とし、使用済電解液中から沈殿物を取り除く装置（遠心分離機等）は除外した。試験に用いる機器構成及び試験装置リストは図2、表1のとおりである。

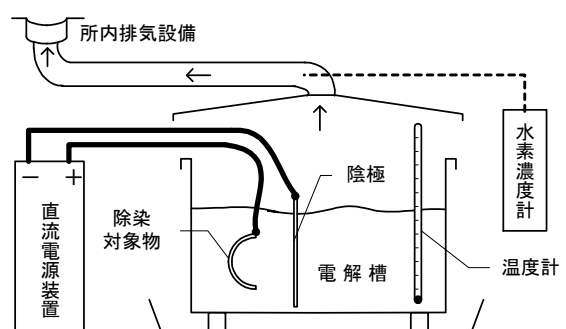


図2 機器構成

表1 試験資機材リスト

項目	仕様
電解槽	容積 30L ポリエチレン製
電解液	硫酸ナトリウム溶液 5% + 添加剤
直流電源装置	出力 35V 100A
排気	フードを設置し所内排気設備へ導入
電極・クランプ	SUS 平板電極, 銅製クランプ
水素濃度計	電子式水素濃度計
計測器	ストップウォッチ、電子天秤、温度計
汚染検査	NaI サーベイメータ、Ge 測定器

(3) 試験結果

1) 除染試験

放射性廃材サンプルを用いた電解除染を実施した。形状は SUS 縦割配管、SUS 平板、SUS 翼形状廃材と複雑形状物の計 22 試験体である。

試験の結果、SUS 縦割配管はすべて検出限界値未満 (LTD<sup>※1</sup>) まで除染可能であった。その他のサンプルも除染可能であったが、SUS3 面体と SUS 翼形状廃材 3 枚重ねは、汚染が残った (奥まった箇所が除染不可)。除染試験結果を表 2 に示す。

なお、必須工程と捉えていた除染後の水洗処理は、省略可能であることが確認された。

表2 汚染金属廃材除染試験結果

No.	材質形状 寸法(mm)	除染前 (cpm)	除染後 (cpm)	通電時間 (min)
1	SUS 縦割配管 φ 50×260	1,000	LTD	12
2	SUS 平板 80×110×5	2,500	LTD	8
3	SUS ネジ棒 φ 15×210	1,500	LTD	12
4	SUS L 形鋼 50×30×5	8,000	LTD	4
5	SUS 3 面体 70×60×50	300	170	12
6	SUS 翼形状廃材 全長 120	1,700	LTD	10
7	SUS 翼形状廃材 全長 160	600	LTD	10
8	SUS 翼形状廃材 全長 210	300	LTD	10
9	SUS 翼形状廃材 全長 120 三枚重	1,300	600	15

※1 LTD 約 150cpm 未満 (NaI サーベイメータ測定)

2) 分離液の回収と汚染残留の確認試験

分離液の回収は、使用済電解液を静置し汚染物質を沈殿させた後、静かに上澄み液のみを回収する方法により実施した。汚染物質の沈殿状態を写真 1 に示す。

分離液の回収は 2 回実施し、それぞれに対し Ge 測定器を用いた放射能測定を実施した。測定結果はすべて LTD であった。結果を表 3 に示す。

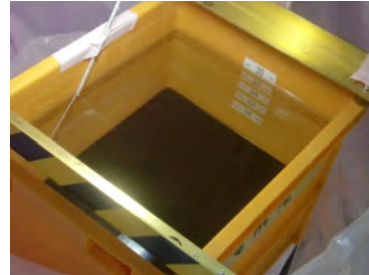


写真1 使用済電解液 (2時間静置後)

表3 分離液の Ge (放射能) 測定結果

No.	測定結果	検出限界値	備考
1	LTD	$4.8 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	13 回試験後
2	LTD	$1.3 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	22 回試験後

3 結語

除染能力はおおむね良好であったが、電解除染共通の課題である対象物形状に依存する結果となった。この点は改善の余地が残り、陰極形状や配置を見直す必要がある。電解液中の汚染残留については、可能性を払拭することができた。この結果から、電解液のリサイクルが可能と考えられる。

また、電解に伴い発生する水素ガスの排気については、所内ダクトの負圧による換気で 620ppm 以内に納まった。これは水素の爆発下限値 40,000ppm を大幅に下回り、安全領域内での排気が行われたことを示す。

なお、除染性能評価がコールド試験結果とほぼ同等であることが確認できた。今後の評価は、コールド環境下において同様に可能と考えられる。

参考文献

- 1) 末森友英 ほか, 廃液非排出型電解除染装置の開発, アトックス技報 No.3 2011, pp.6-7, 2011.12
- 2) 末森友英 ほか, 廃液非排出型電解除染装置の開発, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」予稿集 p.109(D03), 2012.9



執筆者 / 基盤技術開発部  
ケミカルプロセス Gr. 末森 友英



ロボティクスエンジニアリング部  
エンジニアリング Gr. 熊木 直人

# 固体廃棄物粉碎減容工法の調査・試験

## Investigation and Test for Volume Reduction by Crushing of the Radioactive Solid Waste

原子力発電所や原子力関連施設では、作業で発生した放射性固体廃棄物が大量に保管されている。これらは、保管スペースの効率的な利用や埋設処分のコスト低減のため、減容処理が求められている。減容工法には、圧縮、焼却及び熔融の各技術が挙げられるが、技術開発センターでは、粉碎技術による減容について、これまでに蓄積した知見とデータ及び粉碎試験結果を工法提案の技術資料としてまとめ、各サイトからの要望に対応している。

キーワード：放射性固体廃棄物、減容処理、粉碎技術

Lots of radioactive solid wastes are produced through various operations in nuclear power plants and nuclear related facilities. The volume reduction of such wastes are required for efficient use of the storage space and cost reduction of the final disposal. We gathered knowledge, data and crushing test results on crushing method as volume reduction method based on our actual business experiences to meet various requirements from nuclear sites, which is different from compression, incineration and melting technologies.

Key Words : Radioactive Solid Waste, Volume Reduction, Crushing Method

### 1 背景と目的

固体廃棄物の粉碎処理は、空隙削減による直接減容や焼却に向けた前処理の過程で行われる。粉碎処理作業の効率化には、処理目的や処理対象物の性状、作業環境に適合した工法選定が必要となる。

技術開発センターでは、サイトからの要望に適切かつ迅速に対応するため、粉碎減容工法についてこれまでに蓄積した知見やデータに加え、追加調査や試験を行い、結果を工法提案の技術資料としてまとめている。本稿では、粉碎装置の導入をはじめ、サイトへの技術支援を通じて行ってきた調査・試験について報告する。

### 2 調査概要

#### (1) 調査手順

本調査の手順を図1に示す。

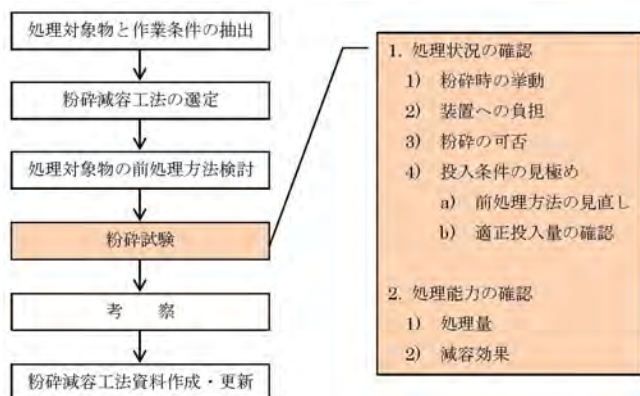


図1 調査手順

#### (2) 調査要件

粉碎処理作業に対し適切な工法提案を行うため、以下の要件に基づいて調査・試験を実施した。

- ① 処理後に対象物の空隙が減少または保管容器への充填効率が向上すること
- ② 対象廃棄物が効率良く処理できること
- ③ 一式の装置にて広範囲の廃棄物に適用できること
- ④ 選定する工法は、作業性、安全性確保のため、小型かつシンプルな構造であること
- ⑤ 処理対象物は、ヘルメット・靴等の装備品、樹脂容器類、ホース類、木材、シート類、番線等が主であること
- ⑥ 処理対象物の粉碎前処理の作業負担が軽微であること

#### (3) 工法選定

要件を満たす実用的な工法として、既存工法より、一軸式粉碎と二軸式粉碎の2工法を選定した。以下に各工法の特徴を記す。

##### 1) 一軸式粉碎工法

高速回転する動刃と固定刃とのせん断で対象物を粉碎する工法である。ふるい式の排出機構により最大粒子径が決まり、ふるいを交換することで処理粒子径を調節できる。細かい粉碎片を得ることが可能である。





##### 2) 二軸式粉碎工法

低速回転する2本の軸に交互に配置された刃同士のせん断で対象物を粉碎する工法である。粗粉碎を得意とし、処理後はチップ状または短冊状となる。汎用性が高く耐久性に優れ、粉じんの飛散が軽微で騒音が少ない。

(4) 粉碎試験

選定した2工法について、大小様々な装置を用いて粉碎試験を実施した。要件⑤の処理対象物を基本に、多様な性状を模擬して粉碎を行い、処理状況、処理能力を確認した。粉碎試験結果の例を表1に示す。

表1 粉碎試験結果の例

工法	処理対象物	粉碎後	減容効果
一軸式粉碎工法	ヘルメット		1/4
	ゴム長靴		3/4
二軸式粉碎工法	アルミダクト		1/3
	足場番線		1/2

(5) 考察

選定した2工法での処理対象物に対する有効性と、減容効果について考察した。

1) 一軸式粉碎工法

金属材料を除き要件⑤の処理対象物は、適切な前処理を行った上で、粒子径5~10mm程度に粉碎できることを確認した。本工法は樹脂に対する適性が高く、小粒径に処理できるため難燃物に対する減容が期待できる。また、処理後の粒子径に指定のある作業においても有効と考える。

高速せん断方式であることから、発生する微粉碎片の飛散防止策や安全な粉碎片回収を行うため、集じん機能を持つ付帯装置との併用が望ましい。

2) 二軸式破砕工法

要件⑤の処理対象物はすべて粉碎可能であることを確認した。また、金属材料は番線やアルミダクトに代表される針金状や極薄のものに限り処理できることを確認した。

本工法は、低速回転による粗粉碎処理であるため、微粉碎片の飛散が軽微で、排出口より直接回収することが可能と判断できる。

幅広い適用範囲の確保と細かな粉碎処理との両立は難しいが、総じて処理速度が速くシンプルな粉碎構造は、現場作業に有効と考える。

3) 減容効果

減容は、空隙や容積の縮小により達成される。中空のダクトや容器、収納時に空隙が生じやすいヘルメットは、粉碎による直接的な減容効果が期待できる結果となった。一方で、ゴム靴や木材は粉碎での減容効果は小さいが、粉碎することで焼却が可能となり大幅な減容が実現できる。このように粉碎処理は、直接的な減容効果の有無のみで工法の適性は判断できない要素を内包している。

(6) 作業への適用

2工法を作業へ適用するためには、調査・試験で得た知見とデータに加え、以下の検討が必要となる。

- ① 安全性の向上
- ② 作業性、運搬性の向上
- ③ 粉碎前処理の負担軽減
- ④ 作業性を考慮した機器配置

粉碎減容工法は、高馬力の回転構造を有していることから、特に作業員の安全に留意し作業性を損なわない改造、放射性物質の飛散防止措置を検討した。検討に際しては、作業全体での処理量を推定するためのデータが不可欠であり、これらの取得が今後の課題となっている。

3 結 語

本調査・試験において粉碎減容工法に関する各種データやノウハウを取得し、これを活用することで客先への提案や新規導入をより円滑に進めることが可能となった。しかし、各所の様々な要望に柔軟に対応するためには、分離回収や集じんを担う付帯装置や、前処理方法について、今後更なる検討が必要と考えている。

また、前後工程を含めた総合的な作業効率を検討し、適切な工法提案ができるよう、基礎データの拡充を進めていく。



執筆者/バックエンド技術部  
廃棄物技術 Gr. 長谷川 暁



バックエンド技術部  
廃止措置技術 Gr. 藤田 尚史



バックエンド技術部  
廃止措置技術 Gr. 阪田 生馬  
(現：東海営業所)



志賀作業所 大場誠一郎  
(前：技術開発部)

# 原子炉事故時のヨウ素挙動に係る $\gamma$ 線照射試験と分析方法の開発

## Development of Methods for $\gamma$ -ray Irradiation Test and Chemical Speciation Analysis to Elucidate Iodine Behavior during Severe Accident at Nuclear Power Plant

放射性ヨウ素は原子力発電所のシビアアクシデント時における環境汚染の主因になるので、水溶液中での  $\text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_2 \rightleftharpoons \text{IO}_3^-$  間の酸化還元挙動、並びに  $\text{I}_2$  の水溶液相から気相への揮発挙動を正確に把握する必要がある。本研究では、 $\gamma$  線照射下でのヨウ素の酸化還元及び揮発の挙動を調べるため、 $\gamma$  線照射方法及び照射後の水溶液中の  $\text{I}^-$ 、 $\text{I}_2$  及び  $\text{IO}_3^-$ 、並びに気相中の  $\text{I}_2$  の分析法を開発し、各種条件下のヨウ素挙動に係る  $\gamma$  線照射試験に適用できることを確かめた。

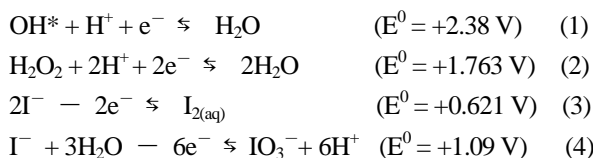
キーワード：シビアアクシデント、放射性ヨウ素、化学種分析、酸化還元、揮発、 $\gamma$  線照射

As the radioactive iodine is one of the main source terms of an environmental contamination at a severe accident of a nuclear power plant, we need to elucidate exactly the oxidation-reduction behavior between  $\text{I}^-$ ,  $\text{I}_2$  and  $\text{IO}_3^-$  in an aqueous phase and the evaporation behavior of  $\text{I}_2$  from the aqueous solution to the gas phase. In the present study, we developed a method for the  $\gamma$ -ray irradiation and the analytical method for  $\text{I}^-$ ,  $\text{I}_2$  and  $\text{IO}_3^-$  in the solution and  $\text{I}_2$  in the gas phase after the  $\gamma$ -ray irradiation, and ascertained its applicability to the irradiation test for investigating the iodine behavior.

Key Words : Severe Accident, Radioactive Iodine, Speciation Analysis, Oxidation-reduction, Evaporation to Gas Phase,  $\gamma$ -ray Irradiation

### 1 背景と目的

原子力発電所のシビアアクシデント時に核分裂生成物のヨウ素は、エアロゾルとして熔融燃料等から放出される。これがサプレッションプール内の水に吸収されると  $\text{I}^-$  を生成し、高放射線量下では  $\text{I}^-$  は  $\text{I}_2$  や  $\text{IO}_3^-$  に酸化される。ヨウ素の化学種は一義的には図 1 に示すように、水溶液の酸化還元電位 ( $E_h$ ) と水素イオン濃度 (pH) で決まる。例えば酸化還元電位が正の酸性溶液中では  $\text{I}_2$  が存在しやすく、一方、塩基性溶液中ではより負の電位でも  $\text{IO}_3^-$  が存在しやすい。 $\gamma$  線照射下で水の放射線分解で生成したヒドロキシラジカル ( $\text{OH}^*$ ) や過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) は強力な酸化剤として働き、式(1)~(4)の反応で  $\text{I}^-$  を  $\text{I}_2$  や  $\text{IO}_3^-$  に酸化する。こうして  $\gamma$  線照射された水溶液中には、その  $E_h$  と pH に依存して異なる割合の  $\text{I}^-$ 、 $\text{I}_2$  及び  $\text{IO}_3^-$  が共存する ( $E^0$  は標準酸化還元電位)。



水溶液中に生成した  $\text{I}_2$  は容易に気相中に揮発し、事故時には環境に放出され環境汚染の主因となる。このため、 $\gamma$  線照射下のヨウ素の酸化還元挙動や  $\text{I}_2$  の揮発挙動は古くから研究されてきたが、窒素などの気相成分の影響などに未解決の部分が残る<sup>1)</sup>。本研究では、 $\gamma$  線照射によるヨウ素の酸化還元及び揮発挙動を調べるため、 $\gamma$  線照射方法、水溶液中と気相中の  $\text{I}^-$ 、 $\text{I}_2$  及び  $\text{IO}_3^-$  を化学種別に分析する方法を開発した。

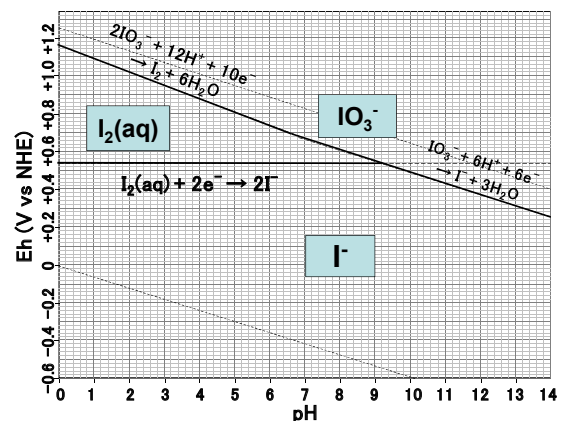


図1 水溶液中でのヨウ素の  $E_h$ -pH ダイアグラム

### 2 $\gamma$ 線照射方法及びヨウ素の化学種別分析方法

#### (1) $\gamma$ 線照射方法

$\gamma$  線照射は、技術開発センターの  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線照射施設で行った。密閉系のガラス製照射容器に CsI を含む水溶液 200mL (各種 pH の緩衝溶液、各種濃度の  $\text{I}^-$  を含む) を採り、気相部を各種ガス (Ar, Ar+ $\text{O}_2$  または  $\text{N}_2$ ) で置換して照射できるようにした (写真 1)。一定の照射線量率 (1kGy/h) で、一定時間 (0.5~6 時間) 照射した。照射中、水溶液の温度を室温~60°C の範囲で一定に保った。

#### (2) $\text{I}_2$ の化学種別の分析方法

##### 1) 気相中の $\text{I}_2$ の定量

##### ① 水溶液からの $\text{I}_2$ の揮発挙動

$5 \times 10^{-3}$  mol CsI を含む  $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4$  緩衝溶液 (pH=5, 200mL) を 17°C、Ar 雰囲気、6 時間の条件で照射した。



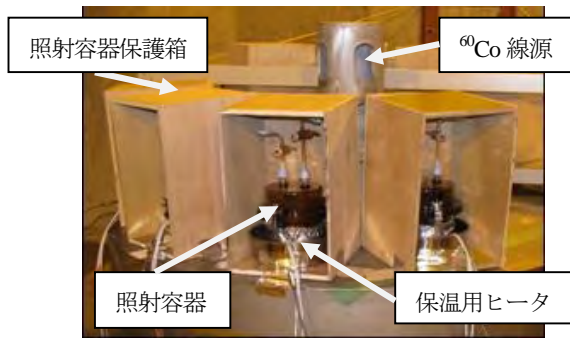


写真1 ヨウ素を含む水溶液のγ線照射の様子

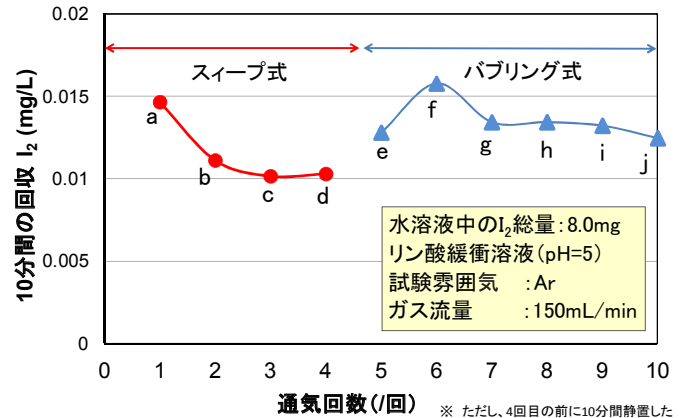


図2 水溶液からのI<sub>2</sub>の揮発挙動

なお、この照射により総量 127mg のヨウ素のうち 8.0mg が I<sub>2</sub> に酸化された。

照射終了後、速やかに照射容器を冷水で冷却し、同容器の出口配管を I<sub>2</sub> 吸収容器 (全容 50mL、吸収溶液 ; テトラメチルアンモニウムヒドロキシド(TMAH)水溶液 20mL) に接続した。照射容器の気相部を通してキャリアガス (Ar 150mL/min) を 10 分間流し (スweep 式)、気相の I<sub>2</sub> を吸収溶液中に回収し、吸収溶液中のヨウ素を定量した (図 2 a)。さらに上記と同様にして I<sub>2</sub> をスweep 式で回収、定量する操作を 3 回繰り返した結果を図 2 の b~d に示す。

次いで、水溶液相を通してキャリアガスを流し (バブリング式)、上記と同様に I<sub>2</sub> を回収、定量する操作を 6 回繰り返して得た結果を図 2 の e~j に示す。

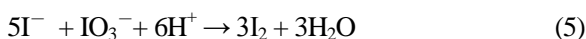
図 2 の結果から、スweep 式、バブリング式いずれによっても水溶液中の I<sub>2</sub> の一部がゆっくりと気相中に揮発し続けることが分かった。照射試験では、スweep 式で Ar (150mL/min) を 20 分間通気して回収される I<sub>2</sub> を気相中の I<sub>2</sub> と定義したが、厳密な通気時間、条件の再現が必要である。

## ② 吸収溶液中の I<sub>2</sub> の定量

回収した I<sub>2</sub> は、吸収溶液をメスフラスコ (全容 25mL) に移し、純水で希釈した後、ICP 発光分光分析法 (ICP-AES) で定量した。

## 2) 水溶液中の I<sub>2</sub> の定量

水溶液中の I<sub>2</sub> は全量クロロホルム相へ抽出し、515nm における吸光度から定量した。JIS 法では 0.4mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> が推奨されているが<sup>2)</sup>、共存する IO<sub>3</sub><sup>-</sup> が誤差の要因になる [式(5)]。I<sup>-</sup> や IO<sub>3</sub><sup>-</sup> が共存する水溶液中から I<sub>2</sub> だけを選択的に抽出するには、照射後の水溶液をそのままクロロホルムと混合すればよいことが、検討の結果判明した。



## 3) 水溶液中の IO<sub>3</sub><sup>-</sup> の定量

IO<sub>3</sub><sup>-</sup> を I<sub>2</sub> に還元 [式(5)] した後、水溶液中の I<sub>2</sub> 量をチオ硫酸ナトリウムで滴定する方法で求め、2) で定量した I<sub>2</sub> を差し引いて IO<sub>3</sub><sup>-</sup> 量を決定した。

## 4) 水溶液中の I<sup>-</sup> の定量

水溶液中の I<sup>-</sup>、I<sub>2</sub> 及び IO<sub>3</sub><sup>-</sup> をすべて I<sub>2</sub> に調整し、これをチオ硫酸ナトリウム滴定法で定量後、2)、3) で定量した I<sub>2</sub> 及び IO<sub>3</sub><sup>-</sup> 量を差し引き、I<sup>-</sup> 量を決定した。

## 3 結語

原子炉事故時のヨウ素挙動を把握するため、γ線照射方法及び水溶液中・気相中のヨウ素の化学種別分析方法を開発した。これらを用いて (独) 原子力安全基盤機構 (現原子力規制庁) からの受託試験を実施し、γ線照射によるヨウ素の酸化還元、揮発挙動を明らかにした。その成果の一部は、同機構より日本原子力学会 2013 年秋の大会において発表された<sup>3)</sup>。

## 参考文献

- 1) NEA, Committee on the Safety of Nuclear Installations, "State of the Art Report on Iodine Chemistry", OECD/NEA/CSNI/R (2007)1.
- 2) 工場排水試験方法 JIS K 0102, (財) 日本規格協会, p.121, 2008
- 3) 星陽崇ほか、シビアアクシデント時の無機ヨウ素挙動に対する窒素酸化物の影響、日本原子力学会 2013 年秋の大会, p.353(H47), 2013



執筆者 / 基盤技術開発部

分析・評価 Gr. 結城 真美



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. 岩田 将幸



基盤技術開発部

分析・評価 Gr. 大石有希子

# 太陽電池モジュール検査ロボットの開発

## Development of Photovoltaic Module Inspection Robot

可動部品のない太陽光発電システムは、一般的にメンテナンスフリーといわれている。しかし、システム内の機器が原因と思われる火災が日本国内でも発生しており、火災リスク対策の必要性が日本太陽エネルギー学会で提唱されている。

このような背景のもと、2013 年度に 4 者共同で、太陽電池モジュール上を自律走行しながら、火災の原因となるインターコネクタ線の導通不良の診断が可能なロボットを開発した。

**キーワード**：太陽電池モジュール、インターコネクタ線、火災、自動検査ロボット

It is recognized to be maintenance-free by the reason of non-existence of moving part in PV modules. However, fire accidents occurred in Japan attributable to PV module, and the need of fire risk measurement is proposed by Japan Solar Energy Society. Under such background, we have developed PV module inspection robot with three organizations jointly in 2013. This robot executes automatic diagnosis of conduction failure of the interconnectors which are one of risks of the fire, while autonomous travel on the PV modules.

**Key Words** : PV Module, Interconnector, Fire, Automatic Inspection Robot

### 1 背景と目的

太陽電池モジュール（以下、PV モジュール）は、セルと呼ばれる発電素子を直列に並べたもので、セルとセルの接続にはインターコネクタ線が用いられている。

インターコネクタ線に導通不良が生じると、発電量が減るとともに、局所的な高温部が発生して火災のリスクが高まるため、インターコネクタ線の導通検査は保守保安上重要な検査といえる。しかしながら、一般的に PV モジュールは高所に設置されることが多いため、検査にかかる作業負荷が高い。

より安全かつ安価で正確な検査の実現を目指して当社は、PV モジュール検査ロボットの開発を(独)産業技術総合研究所、(株)戸上電機製作所、及び長岡技術科学大学の 3 者と共同で行った。

### 2 開発概要

#### (1) ロボットの開発要件

ロボットの開発要件を以下に示す。

- ① 傾斜 30°までの PV モジュール上の走行が可能であり、かつ PV モジュール上のガラス表面に傷を付けないこと
- ② 自動で PV モジュールの全面を走行できること
- ③ インターコネクタ線の導通検査が可能であること

#### (2) ロボットの概要

本ロボットは主に、クローラ、旋回機構、カメラ、及び検査センサから構成される。ロボットの全体構成を図 1 に示す。

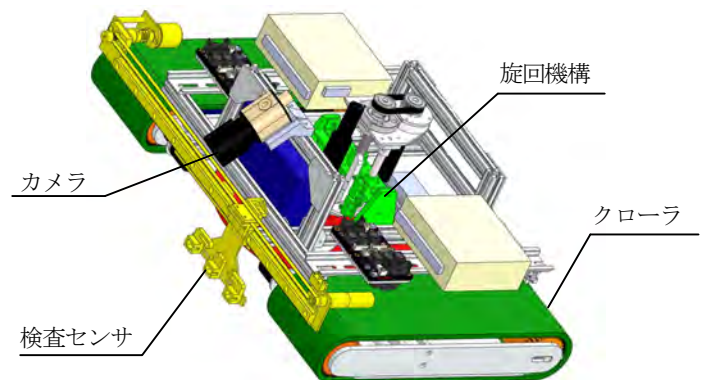


図 1 PV モジュール検査ロボットの全体構成

#### 1) 走行・旋回機構

通常の PV モジュールは、発電効率を上げるため斜めに設置されており、わが国の場合、その傾斜角度は最大でも 30°程度である。このことから、PV モジュールの傾斜角度を 30°までと設定し、走行機構の開発を行った。

傾斜上を滑落せずに走行させるためには、接地面の摩擦が必要であり、走行機構には接地面積の広いクローラ型を、クローラのベルトには高摩擦のラフトップベルトを採用した。

クローラは、超信地旋回とよばれるその場旋回動作が可能であるが、この動作は左右のクローラを同速度で相反する方向に回転させることで実現するため、接地面との間に滑りが発生し、傾斜上でこれを行うとロボットが滑落してしまう。また、超信地旋回は、PV モジュール上のガラス表面とクローラを傷付けてしまう恐れがある。そのため、クローラを旋回する機構を開発し検査ロボットに搭載した。旋回機構の概要を図 2 に示す。この旋回機構は、クローラを浮かせて回転を

行うので、超信地旋回による滑落や、ガラス表面の傷付けを防ぐことができる。

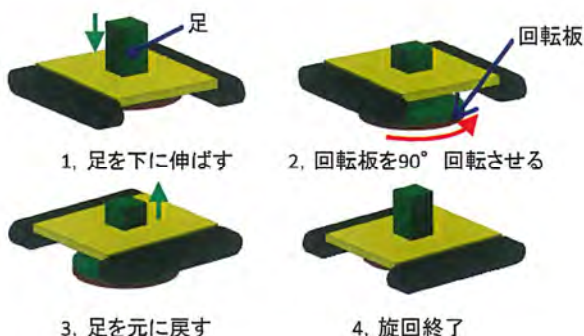


図2 旋回動作の概要

## 2) 画像処理を用いた自動走行

自動全面走行の実現に向けて、PV モジュール上におけるロボットの自己位置推定機能を開発した。

ロボットの進行方向にカメラを搭載し、取得した映像を基に、自己位置の推定、及び動作制御を行う。

カメラから取得した映像の例を写真1に示す。シリコン系のPV モジュールでは、セルが規則正しく並んでおり、セル同士のクリアランスが存在する。このクリアランスを、縦横の線として検出したものを写真2に示す。検出した横線を積算していくことで、セル単位でロボットの直進距離を推定することができる。また、検出した縦線の傾きから、進行方向に対するずれの調整制御を行う。



写真1 セル間のクリアランス

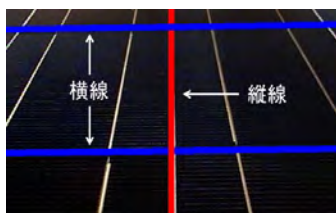


写真2 縦横線の検出

## 3) 導通検査

インターコネクタ線の導通検査には、専用の検査装置を用いる。この検査装置は、送信機と受信機のセットで構成される。

検査対象となるPV モジュールに送信機を接続することで、インターコネクタ線に信号を流すことができ、受信機をインターコネクタ線に近づけることで、その信号を検知することが可能となる。受信できる信号は、

電流値が大きいほど強くなる。

一方、インターコネクタ線が何らかの原因によって細くなると電流値が小さくなり、信号の受信強度が弱くなる。さらに、断線状態では信号を受信することができなくなる。

したがって、この検査によってPV モジュール回路の健全性をセル単位で確認することが可能となる。

本検査ロボットは、この検査装置の受信機を搭載し、前述の自動走行機能を用いてPV モジュールの全面を走行することで、インターコネクタ線の導通検査を実現している。PV モジュール検査ロボットによる検査の実施状況を写真3に示す。



写真3 PV モジュール検査ロボットによる検査実施状況

## 3 結 語

本開発で、以下の事項を実現する試作機を製作した。

- ① 走行機構の開発により、傾斜 30°までの太陽電池モジュール上の走行を実現した。
- ② 画像処理と、それによる自己位置推定機能を用いることにより、PV モジュール上の自動走行機能を実現した。
- ③ インターコネクタ線の検査装置をロボットに搭載することで、遠隔による導通検査を実現した。

今後は、ロボットの小型軽量化や高機能化を目指すとともに、様々な状況における実証試験を行うことにより検査ロボット運用手法を確立し、健全な太陽光発電システムの普及に貢献していきたい。



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. 櫻井 祥隆



ロボティクスエンジニアリング部  
忠海 俊也

# いばらき中性子医療研究センターにおける 加速器 BNCT 施設の冷却水システムの設計・施工

## Construction of Cooling Water System for Accelerator-Based BNCT Facility at INMRC

茨城県、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構を中核とするグループは、次世代がん治療装置である加速器を使用したホウ素中性子捕捉療法施設を、茨城県東海村のいばらき中性子医療研究センターに整備中である。本稿はその冷却水システムを担当した東海営業所による施設整備（計画立案、システム設計、施工及び試運転、運用）に係わる報告である。  
キーワード：BNCT、RFQ、DTL、小型加速器中性子源、デューティーファクター

A next-generation cancer therapy facility on the basis of an accelerator-based Boron Neutron Capture Therapy is being constructed at the Ibaraki Neutron Medical Research Center by the group led by Ibaraki Prefecture, the University of Tsukuba and KEK, the High Energy Accelerator Research Organization. This report shows those related to facility development by Tokai office of ATOX, which is responsible for the cooling water system.

**Key Words** : BNCT, RFQ, DTL, Compact Accelerator Neutron Source, Duty Factor

### 1 背景と目的

茨城県が東海村に整備しているいばらき中性子医療研究センター（INMRC: Ibaraki Neutron Medical Research Center）では、茨城県、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構（KEK）を中核としたグループ<sup>\*</sup>が、小型加速器中性子源<sup>\*1</sup>によるホウ素中性子捕捉療法（BNCT: Boron Neutron Capture Therapy）<sup>\*2</sup>施設の機器整備を進め<sup>1)~3)</sup>、平成26年度内に中性子ビームを発生させる予定である。

つくばスパイラルが起点となったこのグループは、平成22年度にBNCTプロジェクトを立ち上げ、いばらきBNCT（通称iBNCT）の実用化を目指し、平成23年度から建屋、加速器、中性子発生装置等を整備してきた。当社は、日本原子力研究開発機構（JAEA）とKEKが共同で建設・運営している大強度陽子加速器施設（J-PARC）における設備の維持・管理の実績により、KEKの推奨を受け地域協議会メンバーとして参画し、冷却水システムの設計・施工・試運転を行った。

<sup>\*</sup>：茨城県、筑波大学、北海道大学、高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、三菱重工業(株)、日本アドバンステクノロジー(株)、COSYLAB d.d.、(株)アトックス

### 2 iBNCTの構成概要（特に冷却水に係る構成機器）

施設の概略を写真1に、レイアウトを図1に示す。

#### (1) 加速管

加速器はイオン源及びRFQ（高周波四重極リニアア

ク）、DTL（ドリフトチューブリニアック）の2本の加速管で構成される。RF（高周波）設計、ビーム設計は基本的にJ-PARCの入射器部がベースとなっている。ただし、J-PARCと大幅に違うのは、そのデューティーファクター<sup>\*3</sup>がJ-PARCの2.5%に対しiBNCTでは20%と非常に高いことである。すなわち、小型でありながら大電流陽子ビームを加速する高性能の加速器となっている。図2に加速器のブロック図を示す。



写真1 施設の概略

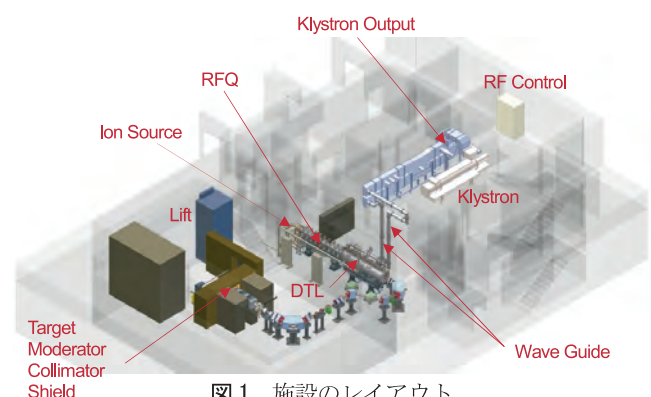


図1 施設のレイアウト

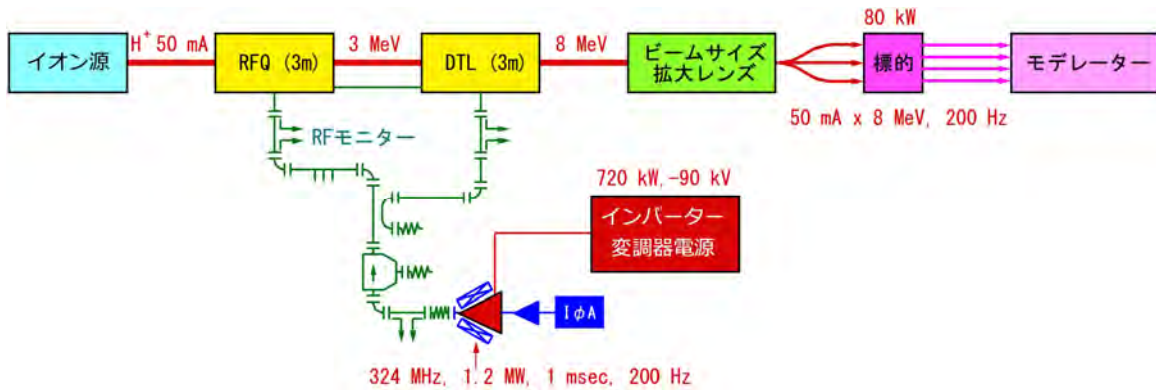


図2 加速器のブロック図

本施設では、加速管の水による冷却が非常に重要な技術課題となる。従来の入口温度と出口温度の差 ( $\Delta T$ ) を小さくする方式 (J-PARC では  $0.1^{\circ}\text{C}$ ) では大量 (1 万 L/min 以上) の冷却水が必要となることから、 $\Delta T$  を  $10^{\circ}\text{C}$  と極めて大きく設定して病院設置を想定した少ない水量での冷却方式を採用した。加速管に供給する RF 電力はデューティーファクターの変更や加速される電流によって変化させる必要があり、その時に加速管の温度が変化しないように、温度調整用ヒーターを利用したダイナミック温度制御方式を設計開発した。

RF ダミーロード、クライストロンモジュレータ電源等と多岐にわたる。

(3) 標的

iBNCT 標的の熱負荷は 80kW と大きいので、標的上のビームプロファイルを拡大し、熱負荷密度を  $4.5\text{MW}/\text{m}^2$  とした。このように高い熱負荷を冷却するためには、水冷チャンネルへの熱伝達係数を大きくする必要があり、核沸騰領域で水冷することとした。核沸騰領域での水冷を安定に維持するため、流速  $10\text{m}/\text{s}$  の高速度で低温水を供給できる仕様となっている。

(2) RF 源

RF 源となるクライストロンは、ピーク出力 1.2MW でこれを 2 分割して RFQ と DTL の 2 台の加速管に RF 電力を投入する。冷却水システムはクライストロン本体、

3 冷却水システム

図3に基本冷却水システムの構成を、図4に冷却水配管システムを示す。

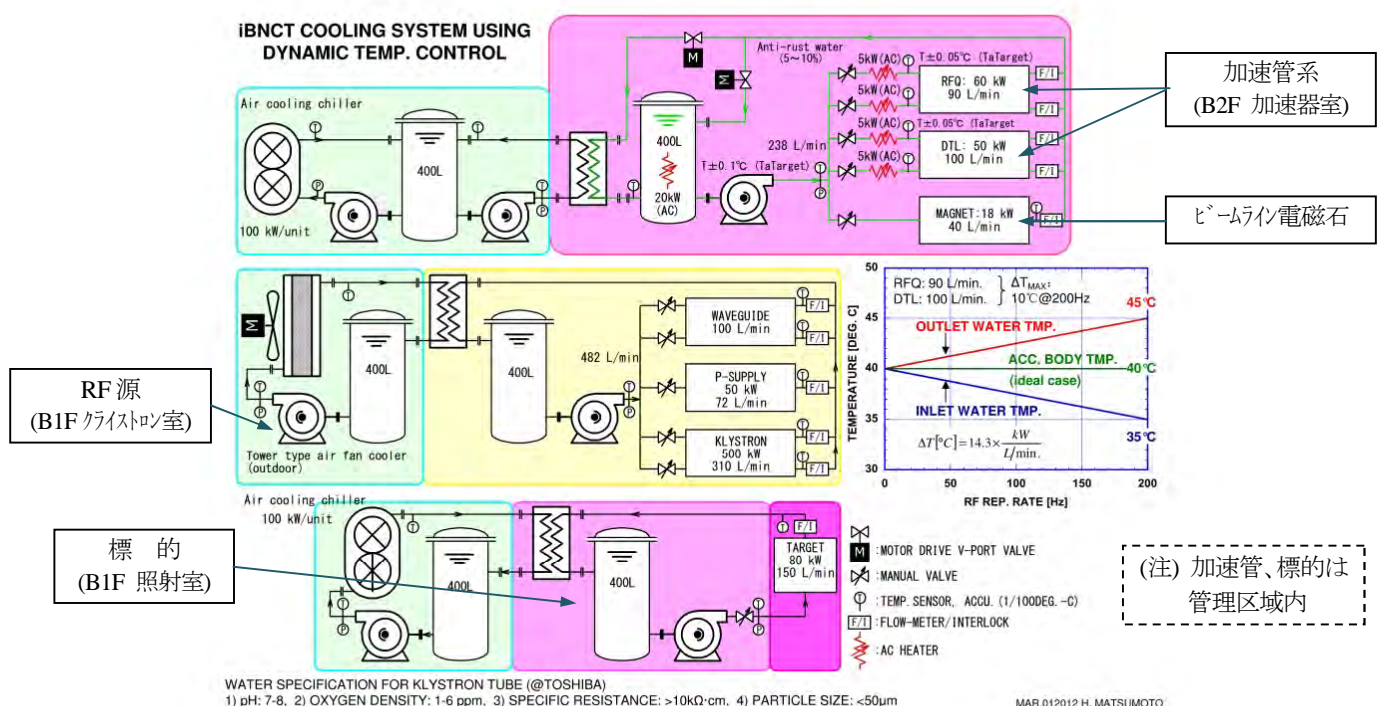


図3 基本冷却水システムの構成

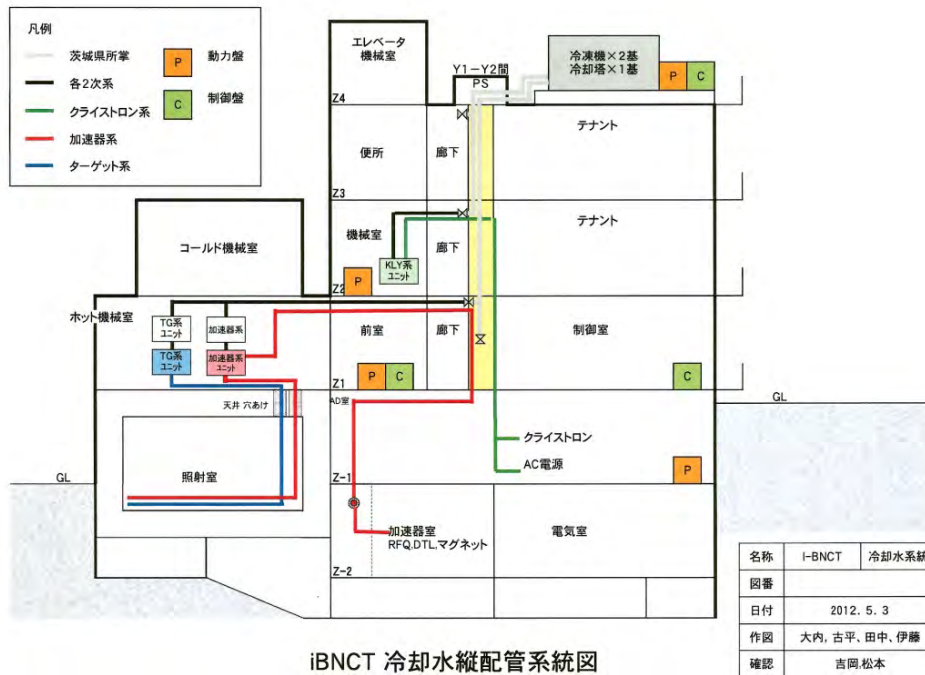


図4 iBNCT 冷却水縦配管系統図

図4 冷却水配管系統図

冷却水システムは加速器、RF源、標的の3ユニットで構成され、それぞれが以下の特徴を持っている。

加速器では  $\Delta t$  ( $\Delta t=14.3 \times kW=L/min$ ) を  $10^\circ C$  とし、冷却水量を加速器当たり  $100L/min$  以下に抑え、2器の二方弁で  $\pm 0.3^\circ C$  の範囲に調整するとともに、ダイナミックヒーターで  $\pm 0.05^\circ C$  とする方式を採用した。温度検出用センサーは NTC サーミスタ<sup>※4</sup> を使用し、確度(絶対精度)  $0.01^\circ C$  で温度制御幅  $\pm 0.05^\circ C$  以内を実現している。

写真2に冷却水ユニットを、写真3に加速器のダイナミックヒーターによる制御部を示す。

RF源の熱負荷は  $720kW$  であつ高圧損部を含む機器であるので、供給圧を  $1MPa$  とした。

標的では先に述べた流速  $10m/s$  を担保するため、RF源と同様に  $1MPa$  の供給圧とした。

加速器及び標的の冷熱源は、低温水を要することから空冷式チラーを採用し、RF源は密閉水冷冷却塔とした。さらにRF源、標的はポンプ2台を並列に配置し、それぞれ出力  $50\%$  で運転する方式とした。これはポンプ1台が故障した場合でも、高熱負荷の加速器、標的の損傷を予防するためである。



写真2 冷却水ユニットの加速器と標的



ダイナミックヒーター

写真3 ダイナミックヒーターによる制御部

#### 4 運転の状況

平成26年6月よりの加速器、RF源の運転において、次の結果が得られた。

加速器、RF源への冷却水試運転では供給水量、供給温度ともに要求仕様どおりの試運転結果となった。特に重要課題とされた温度制御幅  $\pm 0.05^\circ C$  以内は、図5、図6に示すとおり仕様を満たした。この運転では加速器に負荷が掛かっていない状態ではあるが、これらの結果を踏まえ、ビーム運転に対しても十分にその性能を発揮できるとの評価を得ている。

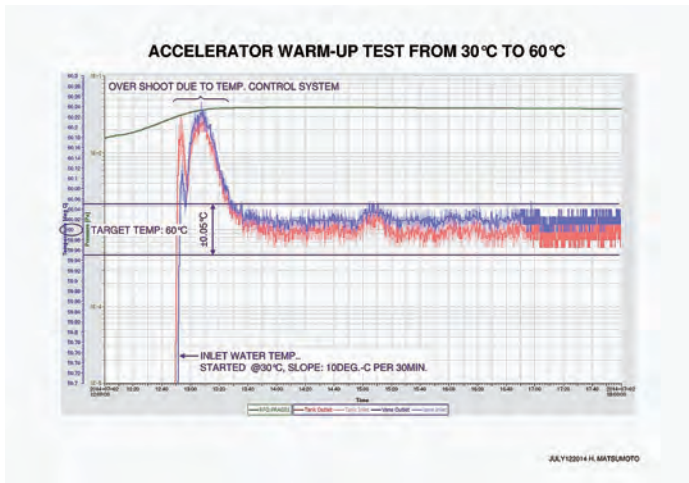


図5 昇温テスト (60°C)

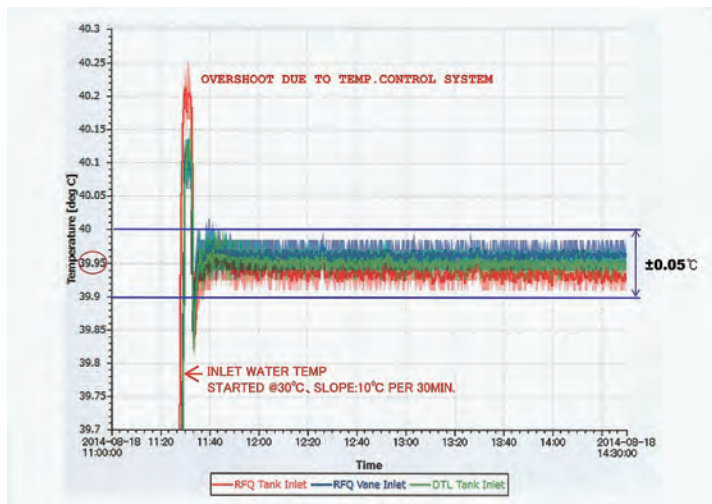


図6 昇温テスト (40°C)

## 5 結語

著者らは平成24～25年度のiBNCTの建屋改修から機器の整備に至る最も重要な時期に冷却水システムの設置を行い、加速器施設における各ユニットの温度制御の重要性を認識、経験することができた。加速器施設においては投入電力のほとんどが最終的には機器の熱損失となること、また本加速器は20%のハイデューティ加速器であること、さらに病院設置のため小型化する必要があるなどの特徴がある。これらの技術要求に応えるため、加速管の冷却水システムでは、冷却水量を抑えながら高精度の温度調整を行うダイナミック温度制御方式を具現化し、その運転の結果は良好であった。

今後、ビーム運転時における挙動や、これから運転の始まる標的冷却システムの動作確認を含めて、更なる性能向上を行い、このiBNCT冷却水システムを今後のBNCT装置の全国展開のベースとしたい。さらに地域協議会の一員として、本研究センターにおける冷却水システムの温度の確度や精度、制御の向上に係わる共同研究に関与していく予定である。

謝辞：本稿掲載の資料及び内容については、高エネルギー加速器研究機構の吉岡正和名誉教授、松本浩名誉教授、黒川真一名誉教授より提供、ご教示いただきました。厚く御礼申し上げます。

### 〔用語解説〕

#### ※1 小型加速器中性子源：

簡便でコンパクトな中性子実験、研究・医療用などに用いる、原子炉を使わない小型加速器を用いた中性子源。直線加速器等で加速された陽子ビームを標的（リチウムやベリリウムなど）に当てて中性子を発生させ利用する。

#### ※2 ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）：

原子炉や加速器から発生する中性子とホウ素との反応（ $B+n \rightarrow Li+\alpha$ ）を利用して、正常な組織にあまり損傷を与えず腫瘍のみを選択的に破壊する治療法。難治性がんの有効な治療法として期待されている。

#### ※3 デューティファクター：

ビームの加速時間／加速器の運転時間

#### ※4 NTCサーミスタ：

温度の上昇に対して抵抗が減少するサーミスタ。熱容量が小さく、反応速度が速く確度が出しやすい。

### 参考文献

- 1) 吉岡正和 ほか、いばらき中性子医療研究センターにおける加速器BNCT施設の建設，中間報告，第10回日本加速器学会年会プロシーディングス，pp.285-289，2013.8
- 2) 小林 仁 ほか、いばらき中性子医療研究センターにおける加速器BNCT施設の建設，第11回日本加速器学会年会アブストラクト集，2014.8
- 3) M. Yoshioka et al., CONSTRUCTION OF AN ACCELERATOR-BASED BNCT FACILITY AT THE IBARAKI NEUTRON MEDICAL RESEARCH CENTER , LINAC 14 - 27<sup>TH</sup> Linear Accelerator Conference, Geneva, Switzerland, 2014.8.31-9.5



執筆者／東海営業所  
技術課

大内 利勝



東海営業所  
技術課

古平 顕



東海営業所  
技術課

田中 寛之



東海営業所  
技術課  
(現：バックエンド技術部)

伊藤 学

## 【アレバとの合弁会社 ANADEC が発足、技術連携を強化】

アトックスとフランスのアレバとの合弁会社である(株)AREVA ATOX D&D SOLUTIONS (略称: ANADEC アナデック) が2014年7月1日に発足し、活動の拠点を技術開発センターの構内に設けました。ANADECは、アレバが世界中で蓄積してきた原子力施設などのD&D(廃止措置)分野での高度な技術力・企画力、経験とアトックスの現場力、適用技術力、ノウハウ等を融合・活用することにより、様々な要求に的確に応える革新的なソリューションを提供していきます。

アトックスは、ANADEC 及びアレバとの技術協力関係、連携をより一層強化し、福島第一原子力発電所の廃炉作業がロードマップに従って円滑に進展するよう努力していきます。



## 【開発機器・工法の現場導入】

福島第一原子力発電所の原子炉建屋床面の除染に向けて小型遠隔除染装置 RACCOON を開発し、2013年11月に2号機へ導入し除染作業を行いました。この経験と現場運用ノウハウを反映させて、高線量で瓦礫の散乱が著しく条件の厳しい3号機原子炉建屋1階の除染用に、性能向上を図り線量の低い免震重要棟から遠隔操作できる RACCOON II を開発し、現場作業を開始しました (pp.2-3 参照)。

また、電動マルチロータヘリコプタ (Mini Surveyor) を活用した原子力発電所構内の調査工法の開発を進めています。機体にデジタルビデオカメラ、放射線測定器を搭載し、GPS、気圧センサーによる位置データと合わせて線量率データなどを取得し、屋外構築物、法面、森林エリアなどの調査、点検・監視を上空から行うもので、現在、準備作業を終え実証試験を進めています。



電動マルチロータヘリコプタ

## 【国家プロジェクトの実施】

経済産業省は福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策について、国内外の叡知を結集・活用して技術的困難性の高い課題に対応するため事業公募を行い、様々な国家プロジェクトを進めています。

アトックスは資源エネルギー庁の平成25年度補助事業「総合的線量低減計画の策定」を、アトックス・アレバコンソーシアムは「汚染水処理対策技術検証事業」のうちの2件の事業者選ばれ検討を実施しています。

また、「高所への調査機器が搬送可能な小型飛翔体制御技術の開発」では、アトックスは千葉大学に協力して、電動マルチロータヘリコプタを用いた原子炉建屋内の現場測定作業を担当しています。さらに、2014年10月3日に補助事業者に採択された ANADEC の「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、アトックスはアレバとともに同社と協力・連携して検討を進めていきます。

### 〔総合的線量低減計画の策定〕

1~3号機の燃料デブリ取り出しに向けて、高線量環境下で各種作業を行う作業員の被ばく低減を目的として、総合的線量低減計画の策定を行うものです。

2012年度は、原子炉建屋1階及び爆発損傷階の作業エリアを対象に計画を策定しました。2013年度は、原子炉建屋の上部階及び1階高所部等を対象に、最適な除染方法、遮蔽体設置などの技術を組み合わせた作業エリアの総合的線量低減計画を、国内外機関の叡知も活用して策定して12月末に報告することとしています。

### 〔汚染水処理対策技術検証事業〕

#### (1) 海水浄化技術検証事業

隣接する港湾内への放射性汚染水の漏洩を踏まえ、海水中における主として放射性 Cs、放射性 Sr の浄化技術における除去性能を検証するため、実証試験を実施しています。

#### (2) 土壌中放射性物質捕集技術検証事業

放射性汚染水の漏洩を踏まえ、一定以上の塩化物イオン濃度下 (200ppm 以上) における構内土壌中の放射性物質 (主に放射性 Sr) 捕集に係る性能を検証するため、実証試験を実施しています。



### 【技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID) に加入】

アトックスは、国内外の叡智を結集し廃炉のための研究開発に一元的なマネジメントで取り組むために組織された技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)※に、2014年5月に新たな組合員として加入しました。

今後は、IRIDの一構成員として福島第一原子力発電所廃炉へ向けて必要となる主要な技術開発の一翼を担うことになり、これまで以上に誠心誠意努力していきます。

※ 2013年8月に日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所、重電3メーカー及び各電力会社等の17組合員を構成員として設立された技術研究組合

### 【水位測定用遠隔操作ロボットが、NHK E テレ『サイエンス ZERO』で紹介】

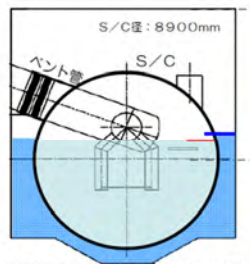
アトックスが開発した水位測定用遠隔操作ロボット (pp.4-5 参照) が、困難な制約条件を克服して円筒容器内の水位測定に成功したことが、NHK E テレの番組『サイエンス ZERO』で紹介されました。

『サイエンス ZERO』では2011年9月以降「シリーズ 原発事故」と題して、福島第一原子力発電所事故対応の取り組みを放送していますが、2014年7月13日のシリーズ第12弾「廃炉ロボット 難関調査に挑む!」では、廃炉作業で必要不可欠な遠隔操作ロボットに焦点を当て、各種ロボットによる原子炉建屋内の調査作業の状況などが放送されました。そのなかで、当社開発ロボットの免震重要棟からの現場運転操作の様子とそれに先立つ当社施設での運転操作訓練、円筒容器内の水位測定の様子とその結果が紹介されました。

なお同番組では、2013年3月放送のシリーズ第10弾で、当社が原子炉建屋床面除染のために開発した小型遠隔除染装置 RACCOON を紹介しています。



測定時の状況



水位測定の様子



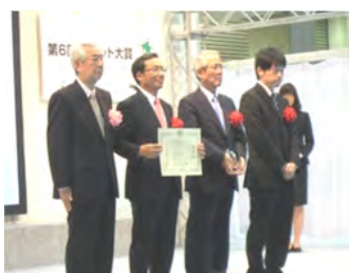
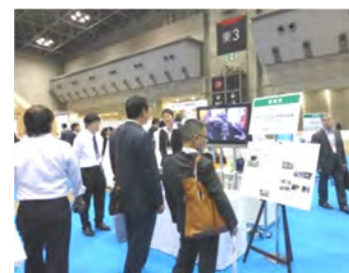
定型型水位測定装置

### 【小型遠隔除染装置 RACCOON が「第6回ロボット大賞」優秀賞を受賞】

アトックスが開発した原発対応の小型遠隔除染装置 RACCOON が、「第6回ロボット大賞」(経済産業省・日本機械工業連合会 主催) への応募 86 件のうちの受賞 10 件の一つに選ばれ、「公共・特殊環境ロボット部門」の優秀賞を受賞しました。

表彰式は東京ビックサイトで開催された『Japan Robot Week 2014』初日の10月15日に行われました。受賞のポイントとして、除染作業を手がける事業者自らが現場で使えるシステムを志向した開発であること、福島第一原発2号機原子炉建屋での運用実績と公益性の高さが評価されたとのことでした。

同日午後にはロボットの開発担当者から RACCOON の開発概要をプレゼンし、『Japan Robot Week 2014』の3日の期間中、受賞者の合同展示ブースで RACCOON を映像とパネルで紹介しました。

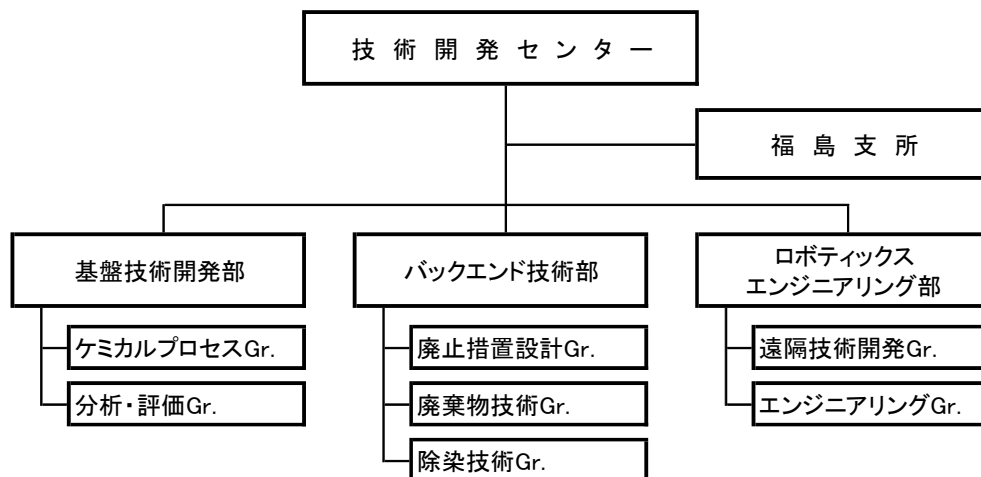
表彰状を持つ矢口社長、  
盾を持つ藤川常務と浦部員

合同展示ブースにおける RACCOON の紹介

【技術開発センターの組織改編と各部の取り組み課題】

福島第一原子力発電所では、高線量下で様々な作業が続けられています。福島第一原発をはじめとする原子力発電所の廃止措置作業においてアトックスが十分な役割を果たすためには、高度なロボット・遠隔技術、高線量廃棄物の処理技術、及びトータル・デコミッションング技術の開発と、これらを支える基盤技術の開発と蓄積が重要になってきます。

このようなニーズに的確に対応できるように、技術開発センターは、2014年4月1日に組織を下図のように改編しました。



☆ 基盤技術開発部

分析・評価、遮蔽・構造解析などを通して原子力エネルギーに関わる基盤技術を開発する。

☆ バックエンド技術部

高線量廃棄物の処理技術、除染技術など、より高度なデコミッションング技術を開発する。

☆ ロボティクスエンジニアリング部

ロボット・遠隔操作に関わる技術開発、オペレーション・メンテナンス技術の提供などの総合的な技術開発を行う。

☆ 福島支所

アトックスの福島復興支社や福島サイトとの技術情報を共有して、十分な連携を図りながら、お客様との情報交換を深め、ニーズを明確化した的確な対応を行う。

〔基盤技術開発部の活動〕

基盤技術開発部は、ケミカルプロセス Gr.及び分析・評価 Gr.から構成されています。

前者は化学プロセスに関連した除染・廃棄物処理などの基盤技術開発、後者は分析・評価、放射線遮蔽計算・評価などの放射線工学を活用した基盤技術開発に取り組んでいます。福島第一原発の廃止措置及び汚染水対策に直結したテーマでは、積極的に研究開発に取り組み、新分野及び未経験分野への展開を目指しています。また、原子力関連施設に係る当社の事業所・営業所からの支援業務に対しても、当部の特色及び得意分野を生かした支援を行っています。

(1) 化学工学に係る基盤技術開発

福島第一原発の廃止措置に関連した経済産業省の汚染水処理対策技術検証事業において、「海水浄化技術検証事業」及び「土壌中放射性物質捕集検証事業」を ANADEC 及びアレバと連携し、試験を分担して事業を進めています。これらの事業は、化学工学を中核に広範な知見が求められるものであり、福島復興に寄与するとともに、今後数十年にわたる福島第一原発の廃止措置における当社の業務に繋がり得るものです。

また、全国の当社事業所・営業所が関与する原子力施設などの廃止措置に関しても、化学プロセスを必要とする除染・廃棄物処理に関して技術的支援を行い、ニーズを先取りした研究開発を進めています。

## (2) 放射線工学等に係る基盤技術開発

電力会社からの水処理に関する委託研究、大学との放射性物質吸着材の性能評価に関する共同研究、及び事業所・営業所からの依頼により、原子力関連施設に対する遮蔽計算・評価、放射能測定及び化学分析などを行っています。また、環境修復に関する事業及び福島第一原発の廃止措置・汚染水対策に関連しても、分析・評価に関する多くの依頼に対応し、福島復興の一翼を担っています。

今後も技術開発センターの施設・設備を活用した技術的経験を積み重ね、将来性のある基盤技術を構築していく予定です。

### 〔バックエンド技術部の活動〕

バックエンド技術部は、廃棄物技術 Gr.、除染技術 Gr.及び廃止措置設計 Gr.から構成されています。

福島復興支援を最優先に、福島第一原発での廃棄物の処理、汚染水タンクの除染、解体技術に関する案件など、福島の廃止措置に必要となる技術開発とともに、老朽化した原子力施設の廃止措置に向けた解体工法や技術の整備、クリアランス除染技術の開発にも取り組んでいます。

また、再稼働に向けて全国の原子力発電所で維持管理に必要となる技術的支援や研究開発にも取り組んでいます。

## (1) 廃棄物処理に関する技術開発

汚染水タンクの解体に向けて、解体後のタンク鋼材に対する除染技術の検討、コールド環境下での金属プラスト試験及び実際のタンク解体片の汚染調査を福島復興支社と共同で行っています。

また、経済産業省の「事故廃棄物処理・処分技術の開発」では、基盤技術開発部と共同で多核種除去設備から発生するスラリーの脱水、乾燥などの安定化技術の開発に取り組んでいます。さらに、原子力発電所の再稼働に向けて、PWR サイトにおけるキャビティ養生シートの糊剥離工法の検討を進めています。

今後は、汚染水タンクの更新に伴う解体片の除染技術の開発を行うとともに、現在行っている廃棄物処理に関する検討や国プロの研究案件を円滑に進めるとともに、より高度で付加価値の高い技術の開発に積極的に取り組んでいきます。

## (2) 除染に関する技術開発

福島第一原発の復旧に向けて当社が独自に開発を行った小型遠隔除染装置 RACCOON は、2013年11月に震災後初めて2号機に導入されて原子炉建屋1階の除染作業を行い、廃炉作業の円滑な進行に貢献することができました。また、汚染水対策事業の一環として、汚染水タンク内にシートを挿入し、多核種除去設備から発生する処理済み水を蓄える工法の検討と実証を進めています。

今後は、福島第一原発の原子炉建屋外のタンク関連の除染技術の開発や機器導入とともに、福島第一原発以外の原子炉施設への除染技術の展開を進めていきます。

## (3) 廃止措置に関する技術開発

廃止措置においては、解体工事を行うための機器を設置するスペースや解体した物品を仮置きするためのエリアを確保するために、建屋内や構内に仮置きされた大型機器の除却工事が最初に行われます。除却された大型機器を処理・処分するための、除染を含めた効率的なクリアランス処理システムを構築する業務を行っており、現在、解体廃棄物の除染装置の仕様、これに付随する前処理の方法や運用方法などの検討を行っています。

また、施設の解体に使用する半自動切断治具の製作・導入、保管スラッジの取り出し・移送に関わるモックアップ試験の実施、高線量である熱交換器用の遮蔽体の設計・製作なども実施しています。

廃止措置に向けた取り組みは、計画だけでも十年以上を要します。実際の工事を受注するためには、計画段階から廃止措置事業に参入することが重要であることから、当社各事業所での廃止措置・廃材処理業務などの受注に向けた技術支援を行っています。

〔ロボティクスエンジニアリング部の活動〕

ロボティクスエンジニアリング部は、遠隔技術開発Gr.及びエンジニアリングGr.から構成されています。

福島復興に向け高線量現場で必須となる遠隔操作技術を駆使した作業には、高度化した遠隔機器、工法の開発が必要となります。当部では遠隔機器及び遠隔機器を利用した工法を開発するとともに、ANADECとの連携を強化し、アレバの技術を最大限に引き出し、必要となる機器の設計開発など、ロボットのオペレーションを含めた総合的な技術開発、技術提供を行っています。また同時に、原子力分野で得られた遠隔技術を一般産業に応用・展開していきます。

(1) 遠隔機器の設計開発

高線量箇所の調査、作業に係わる遠隔装置設計や遠隔技術を応用した検査・作業に係わる設計開発などを行います。現在は、電動マルチロータヘリコプタを利用した福島第一原発構内の屋外を対象とした線量調査や、PackBot や Kobra (Warrior) などの不整地移動ロボットを利用した遠隔作業工法の開発などを行っています。また、今後の普及が見込まれる太陽光パネルの点検ロボット (PV検査ロボット) などの開発も行っており、実証試験に向けて機器の開発を行っています。

今後は、これまで以上に高性能、高機能の遠隔機器が提供できるよう取り組んでいきます。



電動マルチロータヘリコプタを利用した遠隔作業の開発

(2) 遠隔機器の運転、保守、訓練

当社所有の不整地移動ロボットや電動マルチロータヘリコプタを活用し、運転操作のスペシャリストと保守要員の育成を行っています。これまでに実施した作業や想定される作業内容に応じた育成計画を立案し、これに基づき現地の困難な状況に対応できる高い技術を持つ要員を育成し技術を蓄積していきます。



ロボットの保守作業

(3) 現地運用に向けた技術提案

実際に現場で使用するロボットを所有している強みや、これまでの遠隔作業で得た経験や知見を生かし、ロボット運用に必要なインフラの常設化及び開発機器の提案などを行っています。

【本社社屋の移転と事業本部の組織改編】

アトックスの本社は、2014年7月22日に東京都港区芝の「芝フロントビル」4階に移転しました。

本社社屋移転に先立つ7月1日には事業本部の組織を改編し、福島復興支社を創設しました。

事業本部は、現業機関及び本社の各部と連携して事業を積極的に実施していくため、本社内を事業企画部、事業開発部及び事業統括部（従来の電力事業部とRI事業部を統合）の3部制としました。

また、福島復興支社を創設し、福島事業をこれまで以上に推進できるよう、一体性・自律性を一層高めつつ、福島の諸課題や情勢の変化に迅速かつ的確に対応できる体制を整えました。

今後、全国の原子力発電所は安全性が確認され地元の同意が得られ次第、順次再稼働する見込みです。再稼働の準備やその後のお客様からの様々な要望に安全・確実なサービスで応えられる体制も整えています。



東京・芝の本社新社屋の外観

◆ 登録特許一覧

2014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	(独)日本原子力研究 開発機構
3452138	H15. 7.18	配管内足場設置方法及び配管内足場	—	—
3491207	H15.11.14	水中における海生物除去装置	上田 諭、高橋 剛史 忠海 俊也	東電工業(株) (現:東京パワーテクノ ロジー(株))
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	—
3740615	H17.11.18	無人潜水機を用いて行う水中清掃用器具及び該器具を使用して行う水中構造物の清掃方法	鈴木 貞一郎、上田 諭 高橋 剛史、菅原 晴夫 五井 直人	—
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溶解装置	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 <sub>3</sub> 計数管内にあるBF <sub>3</sub> 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	東京電力(株)
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	(独)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	(独)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	—

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 取締役 瀧谷 静雄 取締役 祝 輝行 取締役 酒井 敏光 取締役 伊東 一昭 取締役 坪井 伸一 取締役 鈴木 良男 取締役 柏原 進 監 査 役 石田 藤照
従業員数	1,593 名 (2014 (平成 26) 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	株式会社ビル代行 日本ビルサービス株式会社 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

当社は、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、(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、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((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つては、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、(社)学術著作権協会に委託いたしておりません。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、(独)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.6 2014

平成 26 年 12 月 1 日発行

編集・発行

株式会社アトックス  
技術開発センター

〒277-0861 千葉県柏市高田 1201 番地  
TEL 04-7145-3330  
FAX 04-7145-3649

ATOX TECHNICAL REPORT

No.6 December 2014

Published and Edited by

Engineering Research & Development  
Center  
ATOX CO.,LTD.

1201, Takata, Kashiwa-shi, Chiba 277-0861  
TEL 04-7145-3330  
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