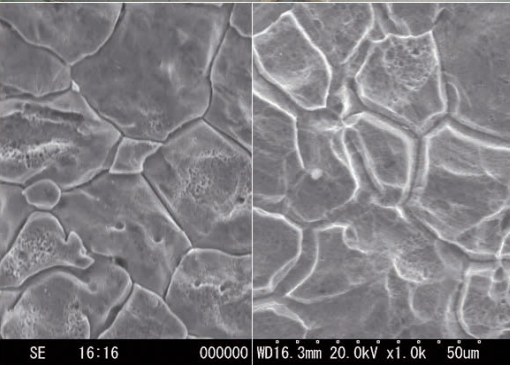
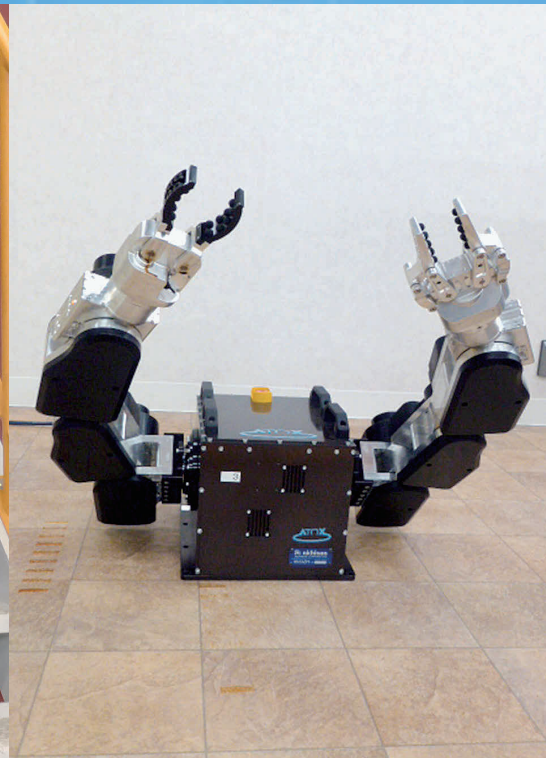
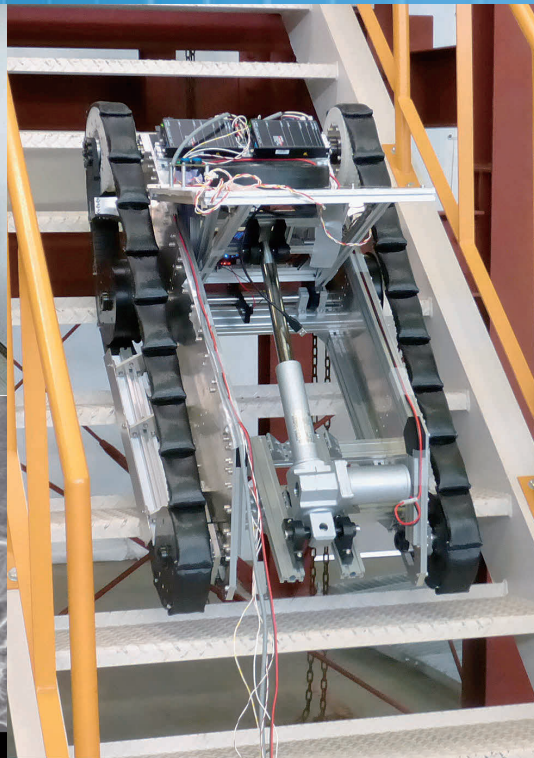


アトックス技報

ATOX TECHNICAL REPORT

No. 10 2018



頁/Page	巻頭言	<i>Preface</i>
1		「アトックス技報」第10号の刊行にあたり
	研究開発成果	<i>R & D Activities</i>
2		重量物積載可能な階段走行機構の確立 Establishment of a Stairway-Traveling Mechanism Capable of Loading Heavy Objects
4		遠隔コンクリート試料採取装置の開発 Development of a Remote Concrete Sampling Device
6		廃液非排出型電解除染工法の導入検討 Introduction Examinations of Non-Wastewater Electrolytic Decontamination Method
8		クリアランス検認装置の開発進捗 Progress of a Monitor Development for Radioactive Wastes Clearance
10		トリプル四重極ICP-質量分析法によるセシウム同位体分析法の開発 Development of Isotopic Analysis Method of Cesium Isotopes by Triple Quadrupole ICP - Mass Spectrometry
14		ドローン運用実績と今後の展開 Operational Results and Future Development of Drone
18		建屋内環境改善工事に向けたN-Visageシステムによる線量評価技術の展開 Development of Dosimetric Evaluation Technology using N-Visage System for the Indoor Environment Improvement Work
	トピックス	<i>Topics</i>
22		各種シンポジウムで開発技術・研究成果を紹介
23		東京電力ホールディングス(株)から取材を受け、 廃炉情報誌「はいろみち」にインタビュー記事掲載
23		医療事業への最近の取り組みと展開
	アトックス情報	<i>ATOX Information</i>
24		人材育成の取り組み
24		アトックス技報この10年の論文から見た技術開発の傾向
26		アトックス技報の論文 表題一覧
28		アトックス技報のトピックス・アトックス情報 表題一覧
30		登録特許一覧
31		特許の紹介
32		アトックスの概要

【表紙画像の説明】

左側の画像は、廃液非排出型電解除染のコールド試験で研磨したステンレス試験片を上図の走査電子顕微鏡(SEM)で観察した画像で、下左図が研磨前、下右図が研磨後です(基盤技術開発部)。

中央の画像は、重量物積載可能な階段走行機構の外観で、千葉工業大学との共同研究により開発しました(バックエンド技術部)。

右側の画像は、小型の双腕マニピュレータにより過酷環境下で作業を行うロボットの外観です(ロボティクスエンジニアリング部)。

「アトックス技報」第10号の刊行にあたり

代表取締役社長 矢口 敏和



当社が千葉県柏市に技術開発センターを開設して30周年となる節目の年に「アトックス技報」（2010年1月創刊）の第10号を刊行いたします。

当社は国内の原子力発電所や原子力関連施設に事業所・営業所を設置し、各種サービスを提供するとともに、放射性物質・放射線を扱う多くの施設の運転・保守等に携わり、原子力施設のトータルメンテナンス事業を展開しております。その中で技術力を高め、現場に役立つ実用的な技術開発を推進してきた中核組織が技術開発センターです。

振り返りますと「アトックス技報」創刊の1年後に東日本大震災があり、我が国の原子力産業は大変大きな課題に直面しました。当社は事故直後から福島第一原子力発電所の安定化に関わり、汚染水処理装置の運転や高線量下における測定・除染等の業務に携わりました。その際、技術開発センターで開発・改良した遠隔除染装置（RACCOON）をはじめ、遠隔制御型のロボット、ドローンの現場適用を進めました。

また当社は、福島第一原子力発電所の廃炉に必要な研究開発を効果的に実施するため、「総合的線量低減計画の策定」、「円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発」の国の研究開発プロジェクトを実施しました。国主導で設立された国際廃炉研究開発機構（IRID）のメンバーに国立研究開発法人、大手プラントメーカ、電力会社等とともに選ばれ、「固体廃棄物の処理・処分の検討に関する研究開発」等のプロジェクトを受託して、技術開発の幅とレベルの向上を図っています。

さらには原子力施設の廃止措置技術の世界的なリーディングカンパニーである Orano 社（旧 AREVA 社）と合弁会社 ANADEC を設立し、同社の技術・経験の我が国における活用も進めています。

「アトックス技報」は当社の技術開発成果を広く原子力産業、原子力研究などに活用いただければと願って刊行しているもので、各号に約10件の技術論文、トピックスなど技術的な成果を掲載しています。このたび無事第10号の刊行を迎えることができましたのは、日頃よりご指導いただいている電力各社や研究機関等の皆様方のおかげであり、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

当社はこれからも現状の技術・サービスに甘んじることなく、福島復興や原子力産業の信頼回復・再生のために常に革新・挑戦の発想で一段高い技術の開発・活用を進めてまいります。また、放射線取扱技術をコアに医療分野、特に核医学分野の開発も強化していく考えです。

併せて原子力産業に必要な人材・高度技術者の育成にも力を入れています。一昨年福島復興支社内に設立した技能訓練センターも活用しつつ、社員はもとより、協力会社の技術・技能者の育成にも貢献していきます。

こうした取り組みが「社会とお客様が直面する課題に一段高いソリューションを提供し、福島の復興と原子力産業の信頼回復・再生に貢献する」という当社の経営ビジョンの実現につながるよう、よりよい技術開発を進めるとともに、その成果は引き続き技報の形で皆様にお届けしてまいります。

皆様方の今後一層のご指導ご鞭撻を賜りたく、よろしくごお願い申し上げます。

2018年12月吉日

重量物積載可能な階段走行機構の確立

Establishment of a Stairway-Traveling Mechanism Capable of Loading Heavy Objects

福島第一原子力発電所では、瓦礫や燃料デブリの取り出し作業の進展に伴い、今後も廃棄物が発生する見通しである。国の研究開発プロジェクトにおいては発生した瓦礫を安全に処理・処分するため、建屋の各階で試料採取を実施し、性状を把握する計画である。しかし、採取装置や資機材等を積載した状態で階段を昇降し、上部階にアクセスできる走行装置は現存しない。そこで、本研究開発では重量物を積載した状態で階段昇降が可能な走行機構を確立した。

キーワード：福島第一原子力発電所、上部階、階段昇降、重量物、走行機構

At Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, wastes will be generated according to the advance of removal works for the rubbles and fuel debris. In the national R&D project, it is planned to collect samples at each floor of the R/B and understand their properties in order to safely treat and dispose of debris that has generated. However, there is no device that can go up and down the stairs to access the upper floor with sampling device, luggage etc. In this R&D, we have established a traveling mechanism that can go up and down stairs with loading heavy objects.

Key Words : Fukushima Daiichi NPS, Upper Floor, Go Up and Down the Stairs, Heavy Objects, Traveling Mechanism

1 背景と目的

福島第一原子力発電所(以下、1F という)において、原子炉建屋既設階段を踏破した実績のある Rosemary 等のロボットは、フリック機構により安定した階段昇降が可能である。

しかし、これらは主に調査目的で使用されているため資機材等の積載は考慮されておらず、さらにフリックの操作は複雑であり、操作員の力量に左右される。

本研究は、階段昇降時に操作が容易で、装置や資機材を搭載した状態でも階段昇降が可能な機構の確立を目的とする。加えて、自社での走行機構の確立により、他の様々な装置に転用でき、自社開発製品の幅も広がることになる。

なお、本研究は千葉工業大学先進工学部未来ロボティクス学科米田研究室との共同研究により実施した。

- ① 階段をスリップせず安定して走行できること
- ② 踊り場で方向転換できること
- ③ 階段傾斜角が 39° でも転倒せず昇降できること
- ④ ッカメラや作業用ロボットアームを搭載できること (最大積載質量 50kg)

(2) 装置概要

開発した階段昇降装置試験機の外観を写真1に、仕様を表1に示す。本装置は、走行機構と自動水平維持機構付きの荷台から構成され、有線接続により遠隔で操作する。

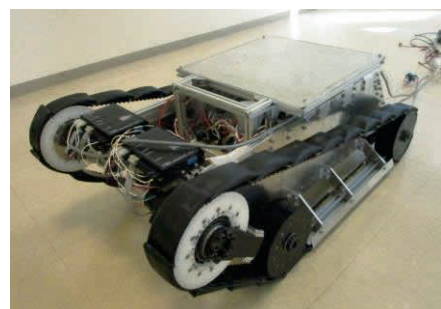


写真1 階段昇降装置試験機

2 開発の概要

(1) 開発の要件

対象は1F施設の階段で、その寸法は以下のとおりである。

- ・階段寸法：W900×踊り場までの高さ H2,900mm
- ・踊り場寸法：W2,000×L900mm
- ・階段一段の寸法：W235×L900×H193mm
- ・階段傾斜角度：39°

施設寸法を考慮し開発要件は以下とした。

表1 階段昇降装置試験機の仕様

項目	仕様
外径寸法	L1,000×W550×H360 mm
質量	60 kg
走行速度	3 m/min
荷台昇降速度	6 ° /s
最大積載質量	50 kg

(3) 走行機構

クローラのベルトには千葉工業大学が開発した粉体パックを装着することにより、通常のプロフィール(凹凸)付のベルトとは異なった動きが可能となった。

粉体パッククローラは、粉体が圧縮されることでパックが階段の形状に合わせて固化し、階段のステップ角部にかみ合う仕組みである。これによりスリップせず安定して昇降できる。粉体パックの外観を写真2に示す。

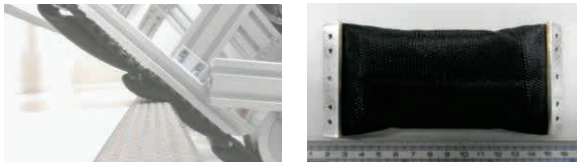


写真2 粉体パック

狭い踊り場で旋回を行うため、本体中央部に全方向移動可能なメカナムホイールを配置した。これにより踊り場上で平行移動や省スペースで方向転換が可能となった。踊り場での走行イメージを図1に示す。

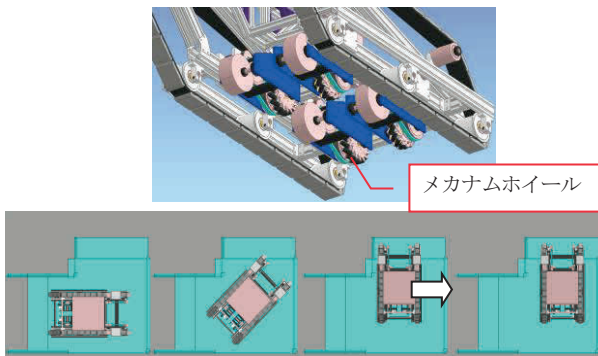


図1 踊り場での走行イメージ

(4) 自動水平維持機構付き荷台

重量物を積載した状態で昇降時の安定性を確保するため、荷台にはPID制御※1を用いて、常に荷台が接地面に対し水平を維持する機構を採用した。これにより昇降時は装置重心が転倒支点よりも前方に移動し、安定した昇降が可能となる。その様子を図2に示す。

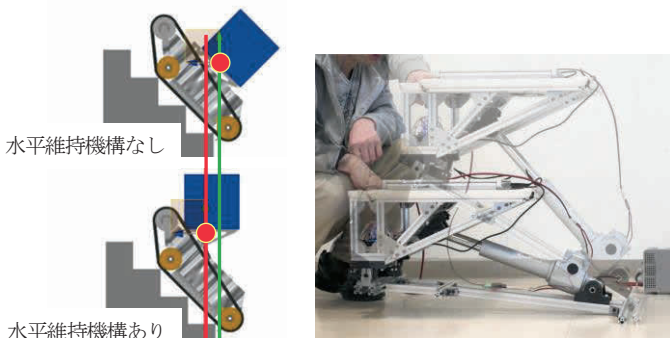


図2 自動水平維持機構付き荷台の可動の様子

3 階段昇降モックアップ試験

(1) 試験概要

各機構の有効性を総合的に確認するため、千葉工業大学新習志野キャンパス未来ロボット研究センター(fuRo)にて、1F 原子炉建屋階段を模擬した施設を利用して階段昇降試験を実施した。1F 模擬階段の外観を写真3に示す。



写真3 1F 模擬階段

(2) 試験結果

10kg の重量物を積載した状態でも模擬階段をスリップせず安定して昇降できることを確認した。また、荷台の自動水平維持機構により、昇降時には重心位置が移動し安定した昇降が可能で、荷台制御方式が有効であることを確認した。その様子を写真4に示す。



写真4 階段昇降時の様子

4 結 語

本研究により、階段昇降装置の基本機構を確立した。今後は、踊り場での方向転換について実証試験を実施するとともに、装置の基本性能を高める。

また、当社開発のロボットアーム等の装置と組み合わせることで、国プロの固体廃棄物処理・処分に向けた試料採取、燃料デブリ取り出し作業前の建屋内調査や環境改善に向けた各種作業への導入を目指す。

【用語の解説】

※1 PID制御 (Proportional-Integral-Differential Controller) : フィードバック制御の一種で、入力値の制御を出力値と目標値との偏差、その積分及び微分の3つの要素により行う方法



執筆者/バックエンド技術部
廃棄物技術 Gr 及川 智也

遠隔コンクリート試料採取装置の開発

Development of a Remote Concrete Sampling Device

福島第一原子力発電所において、今後多くの廃棄物が発生する見通しであり、廃棄物の分析とそれに基づくインベントリ評価などにより廃棄物の性状を把握し、廃棄物を安全に処理・処分するための技術を開発する必要がある。そのなかで原子炉建屋解体時に排出される事故由来の廃棄物の性状を把握するため、床面コンクリート試料を採取する技術工法の確立と既存ロボットに適用可能な遠隔採取装置の開発を行っている。

キーワード：遠隔採取装置、床面コンクリート、コアドリル工法

As huge amount of radioactive wastes is expected to generate at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, it is necessary to develop technology that can safely process and dispose the radioactive wastes based on inventory evaluation by analysis of radioactive wastes. Therefore, we are establishing the method of sampling the floor concrete and developing a remote sampling device applicable to existing robot for characterization of accident wastes generated at dismantling the reactor building.

Key Words : Remote Sampling Device, Floor Concrete, Core Drilling Method

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、1F という）の廃止措置において、多種多様な放射性廃棄物が排出される見通しであり、廃棄物を安全に処理・処分するため、廃棄物の分析結果に基づく放射能インベントリ評価などにより廃棄物の性状を把握する必要がある。原子炉建屋解体時に排出される事故由来の廃棄物の性状を把握するため、高線量環境の原子炉建屋内から遠隔操作による床面コンクリート試料採取装置の開発を行っている。

2 開発概要

(1) 要素技術の選定

1) 試料対象物

原子炉建屋内から採取する試料については技術研究組合国際廃炉研究開発機構（以下、IRID という）内での協議の結果、廃棄物の位置情報を把握できる床面コンクリートからとした。

2) 採取工法

原子炉建屋床面のコンクリート試料を採取する工法としては、試料分析に必要な採取面積を確保できるコア形状が試料形状に最適であると評価し、コアドリル工法を選定した。

3) 遠隔操作ロボットへの適用性検討

国内外の原子力発電所でコア採取実績があり、高線量環境で使える遠隔操作ロボットを調査した結果、ロボットはいずれも大型であり、PackBot のような適用エリアが広く、アクセス性が高い小型ロボットの運用実績は見当たらなかった。コスト面や作業性の観点から

既存小型ロボットへの適用を可能にするため、市販のコアドリル機器の軽量化と穿孔時の反力の低減化が必要であることが分かった。

(2) コア試料採取工法技術の開発

1) 穿孔刃の開発

通常のコアドリル工法では「穿孔」、「コア折り」及び「コア取り出し」の作業工程があり、人手または遠隔機器での複雑な操作が必要となる。そこで、コアビット内部に突起を設けることで、「穿孔」作業のみでコア折りと保持を同時に行い、作業工程を簡略化できる穿孔刃を開発した。穿孔刃の概要を図1に示す。



図1 穿孔刃の概要

2) 試料採取装置の製作

遠隔操作による床面コンクリート試料採取の基本的な技術工法を確立するため、前述の穿孔刃を用いた穿孔及びコアの保持に必要な条件（押付力やドリルの回転速度など）の洗い出しを行う目的で、大型ロボット向けの試料採取装置を製作した。その概要を図2に示す。

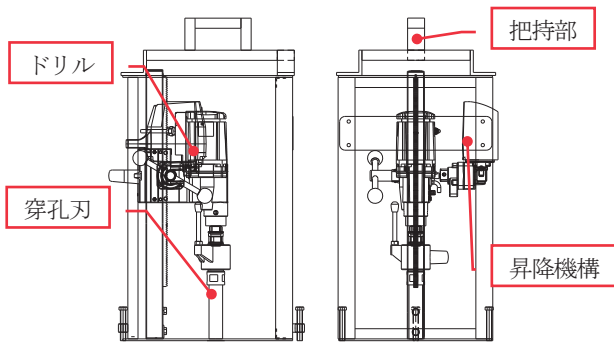


図2 試料採取装置の概要

3) 穿孔刃の成立性確認

試料採取装置を 1F で運用実績のある大型ロボット Kobra に組み込み、床面コンクリートからの試料採取試験を実施した。これにより、Kobra で試料採取装置を運搬可能であること、また穿孔刃にて床面コンクリートのコアが容易に採取可能であることを確認した。試験状況を写真1に示す。

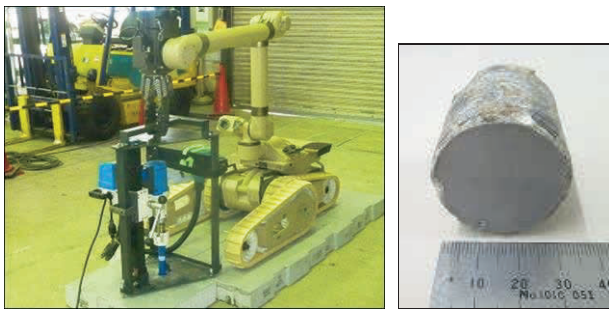


写真1 Kobra を用いた試料採取試験と採取したコア

4) 穿孔時の反力低減検討

試料採取装置の小型ロボットへの適用として、刃先の厚さを薄くした小径の穿孔刃の開発により反力を約 65kg から 20kg 以下に低減できた。反力確認試験状況を写真2に示す。

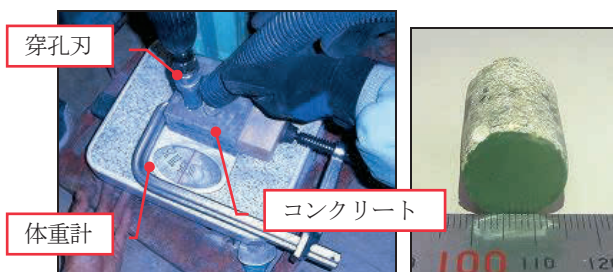


写真2 反力確認試験と採取したコア

また4号機原子炉建屋内部にて、小径穿孔刃を用いた人手による床面コンクリート試料採取試験を実施した。この結果、穿孔刃により良好に穿孔、採取（コア折り、コアの保持）できることを確認した。

(3) 試料採取装置小型化の検討

現場で多用されているペイロード最大 20kg の PackBot に搭載可能な小型試料採取装置の検討により、狭隘部や上部階などへの採取エリア拡大を図っている。試料採取装置を人力で運搬し、装置単独で試料採取を行う方法も視野に入れた小型試料採取試作機を製作するとともに、詳細な採取条件を確認している（平成 30 年 8 月時点）。小型試料採取試作機の概要を図3に示す。

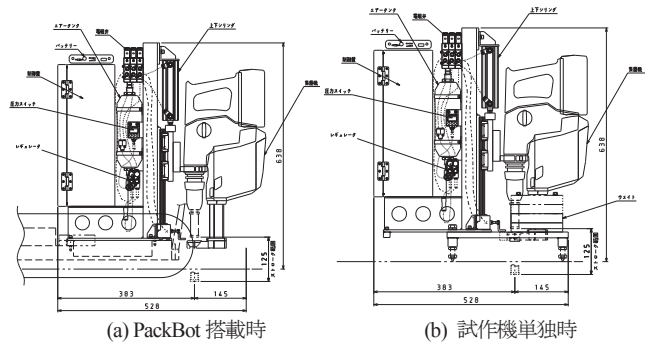


図3 小型試料採取試作機の概要

3 結 語

本試料採取装置の開発により、遠隔操作で床面コンクリートを容易に採取可能なことを確認した。今年度も IRID 研究開発を継続して実施しており、PackBot に搭載可能な小型試料採取装置の実機製作に向けた開発を進めていく。

なお、本技術開発は、IRID が受託した経済産業省平成 26、28 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」により得られたものである。



執筆者／バックエンド技術部
廃棄物技術 Gr. 加藤 清朗



バックエンド技術部
廃棄物技術 Gr. 堀井 顕良



事業本部 高橋政太郎
(前：バックエンド技術部)

廃液非排出型電解除染工法の導入検討

Introduction Examinations of Non-Wastewater Electrolytic Decontamination Method

電解液の廃棄処理の必要がない廃液非排出型電解除染工法に関する過去の試験では、複雑形状物に対する除染むらの発生及び遠心分離法による固液分離で発生したスラッジが高含水率である点において課題が残った。本検討により、実際の汚染に対し中性電解液及びブラシ電極を用いることで除染むらが解消されるとともに、フィルタープレス法と遠心分離法との比較評価で固液分離についてはフィルタープレス法で低含水率スラッジが得られることを確認し、今までの課題の解決に至った。

キーワード：電解除染、中性電解液、除染試験、ブラシ電極、固液分離、フィルタープレス

In the past tests of Non-Wastewater Electrolytic Decontamination Method which does not require to discard electrolytic solution. However, uneven decontamination was occurred at complex shape objects. In addition, the high water content sludge was generated from the centrifugal solid-liquid separation process. In this development, we can decontaminate evenly using a brush electrode to radioactivity contamination. We also confirmed the examination and solved that filter press method generates low water contained sludge than the centrifugal separation method.

Key Words: Electrolytic Decontamination, Neutral Electrolyte, Decontamination Test, Brush Electrode, Solid-Liquid Separation, Filter Press

1 背景と目的

電解除染は金属廃材を電解液に浸漬し、電極間に直流電流を通電することによってその表面の放射性汚染物質を溶解・除去する方法であり、原子力産業における除染技術として利用されている。

従来の酸性電解液を用いた電解除染工法では、電解液の劣化に対応して交換の必要があり、その廃棄処理が課題であった。そこで、電解液が劣化しない廃液非排出型電解除染装置（以下、「本装置」という。）の開発^{1),2)}により、電解液の廃棄処理の課題を解決した。

小型試験機の本装置による放射性汚染廃材の除染試験では、除染能力はおおむね良好であったが、複雑形状物に対しては除染むらが生じる結果となった³⁾。また、固液分離装置として遠心分離装置を検討していたが、固液の分離性能が悪く高含水率スラッジができるため、保管時においてドラム缶の腐食・液漏洩及びメンテナンス性に課題があった。

本試験では、汚染金属廃材に対して中性電解液を用いた電解除染効果の確認及びブラシ法を用いた複雑形状物への電解除染むらの解消の検証を行った。

また、遠心分離装置に比べて固液分離の性能がよく、低含水率スラッジが得られる圧搾式フィルタープレス装置に変更した試験を実施し、遠心分離装置との比較評価を行った。

2 試験概要

(1) 試験方法

1) 除染試験

主に SUS304 製の放射性汚染廃材を試験サンプルとして、中性電解液に汚染廃材を浸漬する浸漬法と電極にブラシ電極を用いるブラシ法を併用してホット環境下で試験を実施した。除染後の廃材サンプル中の汚染の残存は、GM 管式サーベイメーターによるダイレクトサーベイにより検証した。使用した機器構成及び資機材を表1に示す。

表1 試験資機材リスト

項目	仕様
電解槽	容積 30 L ポリエチレン製
電解液	硫酸ナトリウム溶液
電源装置	出力 DC 35 V, 100 A
排気	フードを設置し所内排気設備へ導入
電極	SUS 平板電極, ブラシ電極

2) フィルタープレス試験

クールド環境下において電解研磨後の電解スラッジが含まれる電解液を小型フィルタープレス装置で処理した。電解液中のスラッジはフィルタープレス内のろ布でろ過され、圧縮空気で圧搾される。乾燥重量法でろ過水の懸濁物質の割合及び圧搾スラッジの含水率

を評価した。フィルタープレス装置の外観を写真1に、装置の仕様を表2に示す。

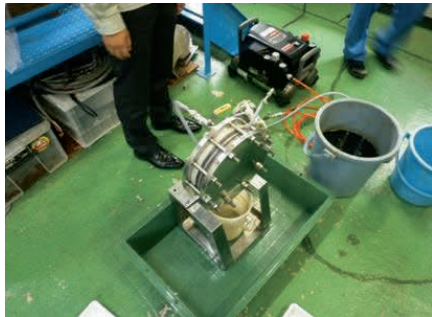


写真1 フィルタープレス装置の外観

表2 フィルタープレス装置の仕様

項目	仕様
ろ布面積	0.053 m ²
ポンプ圧力	0.3 MPa
圧搾圧力	0.5 MPa
ろ室容積	0.613 L

(2) 試験結果

1) 除染試験

本試験では、表面汚染の異なる SUS ゆるみ止めワッシャー、SUS エルボ半割配管、SUS ナット及びアルミボードからの6個体を試験体とした。

試験の結果、SUS ナットを除いては検出限界値未満 (LTD Less Than Detectable : 135 cpm 未満) まで除染が可能であった。SUS ナットも検出下限値未満までは除染できなかったが、汚染低減が可能なことを確認した。試験結果を表3に示す。

表3 汚染金属廃材に対する除染試験結果

No.	材質形状	除染前 (cpm)	除染後 (cpm)	浸漬法通電時間 (min)	ブラシ法通電時間 (min)
1	SUS ゆるみ止めワッシャー	>100k	LTD	20	25
2	SUS ゆるみ止めワッシャー	75k	LTD	10	5
3	SUS ゆるみ止めワッシャー	20k	LTD	10	5
4	SUS エルボ半割配管	20k	LTD	15	5
5	SUS ナット	>100k	23k	20	15
6	アルミボード	400	LTD	-	2

2) フィルタープレスろ過試験

フィルタープレス装置によるろ過水のスラッジ分離効率は99.99%以上で遠心分離機と同程度であり、スラッジの含水率は50%程度となり、遠心分離装置から発生する含水率80~90%のスラッジに比べて含水率は低くなった。また、含水率量の減少で廃棄物量も減少することが分かった。また、遠心分離装置のような高速回転部もなくメンテナンスも容易であった。写真2に圧搾後スラッジを示す。



写真2 圧搾後のスラッジの様子

3 結語

除染効率が対象物の形状に依存するという電解除染共通の課題に対して、中性電解液とブラシ法を併用することで除染効率が向上する見込みが得られた。

また、フィルタープレス装置を用いることで、遠心分離法に比べてスラッジ脱水率が向上した。これにより保管時のドラム缶の腐食・液漏洩リスクの軽減だけではなくスラッジ廃棄物量の削減効果も期待できる。フィルタープレス装置は装置構造が単純なため、導入後のメンテナンスも容易である。当社は難研削金属材の除染に廃液非排出型電解除染装置の導入を推進していく。

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
- 3) 末森友英 ほか, 放射性金属廃材を用いた廃液非排出型電解除染工法による除染試験, アトックス技報 No.6 2014, pp.10-11, 2014.12



執筆者／基盤技術開発部

ケミカルプロセスGr. 多田 哲朗



基盤技術開発部

ケミカルプロセスGr. 末森 友英

クリアランス検認装置の開発進捗

Progress of a Monitor Development for Radioactive Wastes Clearance

原子力発電所施設の廃止措置で発生する低レベル放射性廃棄物量を低減するため、クリアランスレベルまで除染し、一般物として搬出することが期待されている。この際のクリアランス検認を効率よく行うため、前処理作業の特性を考慮した、Ge 半導体検出器を用いた専用測定装置を開発することにした。当面は鋼材に含まれる ^{60}Co の放射エネルギーを評価するため、測定器選定と検出器の応答評価のシミュレーション計算を進めている。

キーワード：廃止措置、クリアランス、Ge 半導体検出器、シミュレーション計算

In the decommissioning of nuclear power plants, decontamination for low level radioactive wastes are expected to decontaminate to the clearance level as much as possible and to move out to general public. We started to develop a simple measuring equipment that takes pretreatment work into consideration in order to efficiently perform clearance verification judgment. The equipment uses a Ge semiconductor detector and evaluates the radioactivity of ^{60}Co contained in the steel material. We are proceeding with selection of measuring equipment for radioactivity evaluation and simulation by Monte Carlo calculation code of detector response.

Key Words : Decommissioning, Radioactive Wastes Clearance, Ge Semiconductor Detector, Computer Simulation

1 背景と目的

原子力発電所施設の廃止措置で発生する放射性廃棄物の処理は大きな課題である。廃棄物の再生利用及び低レベル放射性廃棄物量の低減化を図るため、クリアランスレベルまで除染することにより一般廃棄物として搬出する動きが今後期待されている。

クリアランス検認においては、専用の放射線測定器が必要となるが、その仕様によっては検認前の切断、容器詰め等の前処理における切断サイズや充填量などにも影響を及ぼし、作業効率の悪化を招くことがある。そこで、前処理作業工程の条件に十分配慮した測定により、効率的なクリアランス検認装置の開発に着手した。

本開発は、現時点では鋼材に対するクリアランス判断を目指し、測定器の特性把握とシミュレーション計算による放射能評価手法の確立とともに、プロトタイプ装置設計を行うものである。

2 開発概要

(1) クリアランス検認の概要

軽水炉で使用した材料に対するクリアランス検認では、法令で定められた 31 核種のうち重要核種として 10 核種の放射能を定量し、クリアランスレベル以下であることを示す必要がある。この際、10 核種をすべて定量するわけではなく特定核種のみを定量し、その他の核種については事前調査で得られている核種組成比を用いて算出する。特定核種の選定及び放射能評価

方法については、各原子力発電所の号機ごとに国の許認可が必要となる。

(2) 装置の仕様検討

当面の測定対象を鋼材としているので、特定核種は ^{60}Co である。γ線の検出方法には、 ^{60}Co から放出されるγ線に対してエネルギー識別の有無に応じて 2 つある。エネルギー識別せずに、検出器へ入射するγ線の数のみを計数する方法では、検出器の大型化が容易で、検出効率が高く、短時間での測定ができるメリットがある。デメリットとしては、放射能の評価が一般に過大になるとともに、検出器の容積に比例したバックグラウンド計数が増大するため、大型の遮蔽設備が必要になる。一方、γ線のエネルギー識別を行う方法では、核種ごとの定量化により放射能の過大評価を回避でき、遮蔽設備を小さくできるメリットがある。しかし、測定効率が低く、測定時間が長くなるデメリットがある。

原子炉施設の廃止措置事業は長期間に及び、廃棄物のクリアランス検認も継続的に進められる。半減期約 5.3 年の ^{60}Co は初期段階では有効な核種であるが、後半の段階では放射能減衰が進むことから、その時点には半減期の長い別の核種を用いた測定の必要性もある。また、コンクリート材のクリアランス検認では複数の核種の定量化が必要になる。

そこで、クリアランス検認装置の開発では、エネルギー識別により核種同定が可能な検出器を採用することとし、エネルギー分解能の高い Ge 半導体検出器を選定した。装置の目標仕様を表 1 に示す。

表1 クリアランス検認装置に対する目標仕様

項目	仕様
測定器	Ge 半導体検出器 (効率 50%) 4 台
測定対象核種	⁶⁰ Co (当量)
検出限界	0.01 Bq/g (法令基準値の 10 分の 1)
測定対象 (材料及び形状)	鉄材及びステンレス材 平板、丸管、半割配管の 3 種
測定処理量	最大 1 t/バッチ
測定時間	1 h/バッチ

(3) 放射能評価方法の検討

1) 事前評価モデル

本モデルでは、紙筒等の自己遮蔽がほとんど無視できる測定系(写真1)を用いて、測定器の特性を把握するとともに、実測による検出効率とシミュレーション計算コードで算出した検出効率を一致させる。このことで、各種の計算モデルに対する実測値の予測が可能となる。図1にGe半導体検出器で得られる⁶⁰Coのスペクトルの実測値とMCNP5²⁾による計算値の比較を示す。

検証モデルでは、均一な汚染がある場合と偏在した汚染がある場合の2種類を想定する。それぞれの場合のγ線スペクトルを解析することにより、放射能の定量化と偏在汚染の有無を判定する手法を検討する。

ズレによる影響やバックグラウンドの変動に対する裕度設定なども検討する。これらの測定試験のための架台製作も進行中である。

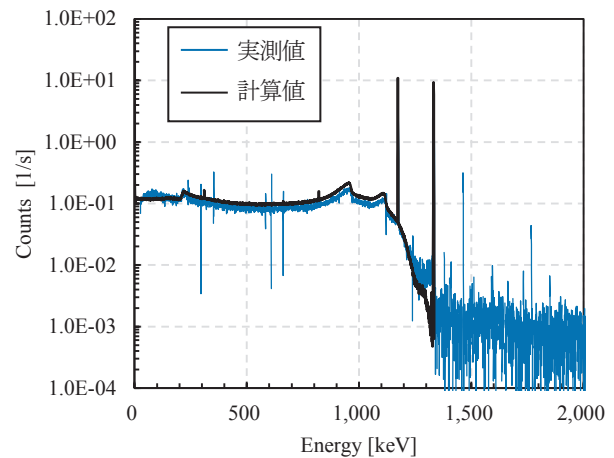


図1 ⁶⁰Coのスペクトルの実測値と計算値の比較

3 開発スケジュール

実際のクリアランス検認と同等の機能を持つプロトタイプ的设计・製作を図2の予定で進めていく。

ハードウェアでは、測定箱を移送するレール、重量計や記録用カメラなどの配置・設計を進め、ソフトウェアでは、ハードウェア制御に加え、これまでの試験で得られたデータをまとめ、放射能評価・クリアランス判断を行うシステムとして完成させる。

開発項目	2018年度		2019年度		2020年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
1.評価手法要素試験						
事前評価モデル						
許認可対応モデル						
2.プロトタイプ概念設計						
ハードウェア						
ソフトウェア						
3.プロトタイプ製作						
4.運用試験						

図2 開発スケジュール

参考文献

- 1) 日本原子力学会, クリアランスの判断方法 (2005)
- 2) Forrest Brown, Brian Kiedrowski, Jeffrey Bull, "MCNP5-1.60 Release Notes", LA-UR-10-06235 (2010)



執筆者/基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析Gr. 河野 秀紀



基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析Gr. 大橋 秀道



事業統括部
廃止措置室 桑原 均

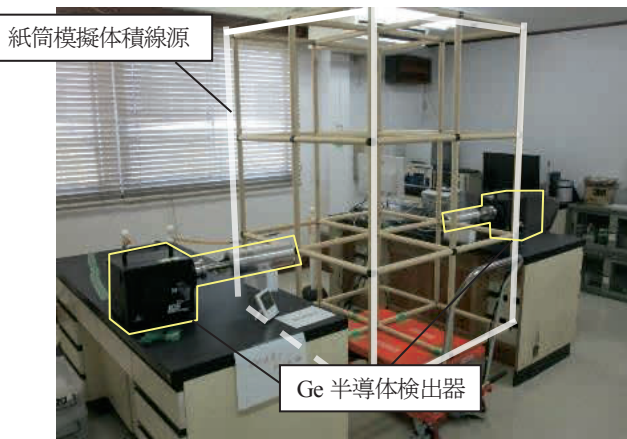


写真1 紙筒を使った模擬体積線源測定の様子

2) 許認可対応モデル

許認可に対応するため、平板、丸管及び半割配管に含まれる放射エネルギーを評価する。実測では点線源とも見なせるチェックソースを使用した。前項と同様に実測可能なモデルと計算による結果が一致することを確認し、現実的な分布線源に対しては、シミュレーション計算で対応することとする。また、測定器の位置

トリプル四重極 ICP-質量分析法による セシウム同位体分析法の開発

Development of Isotopic Analysis Method of Cesium Isotopes by Triple Quadrupole ICP - Mass Spectrometry

トリプル四重極 ICP-質量分析法による土壌等の試料中の Cs-133、134、135 及び 137 同位体の高感度、高精度な分析法を開発した。土壌試料から混入する高濃度の Ba 同位体によるスペクトル干渉を、コリジョンリアクションセル(CRC)ガスとして N₂O+He 混合ガスを用いて除去した。開発した方法による Cs 同位体の定量下限は 0.2~5ng/L であり、また 10 及び 100ng/L の Cs-133 を 10 回測定した時の相対標準偏差はそれぞれ 1.2 及び 0.9%であった。

キーワード：セシウム同位体分析、トリプル四重極 ICP-質量分析法、スペクトル干渉、N₂O-CRC ガス

Highly sensitive and precise analytical method by triple quadrupole ICP - mass spectrometry was developed for the determination of Cs isotopes, *i. e.*, Cs-133, 134, 135, and 137, in the environmental samples such as a soil. Spectral interference due to Ba isotopes of relatively high concentration co-existing in the sample solution was removed by the use of N₂O + He mixture gas as a collision- reaction cell (CRC) gas. The limit of quantification of Cs isotopes by the method developed was 0.2~5 ng/L, and the relative standard deviations were 1.2 and 0.9% for ten-times repeated measurements of 10 and 100 ng/L of Cs-133, respectively.

Key Words : Cs Isotopic Analysis, Triple Quadrupole ICP - Mass Spectrometry, Spectral Interference, N₂O-CRC Gas

1 背景と目的

原子力発電所の廃炉や放射性廃棄物の保管、処分等において、環境試料中あるいは放射性廃棄物中の核分裂生成物の Cs 同位体 (Cs-134、135、及び 137) の存在量や同位体比の高感度、高精度な分析が不可欠である。放射性 Cs 同位体のうち Cs-134 ($t_{1/2}=2.06$ 年) 及び Cs-137 ($t_{1/2}=30.17$ 年) は Ge 半導体検出器等を用いる γ 線スペクトロメトリーで比較的容易に高感度分析できるが、長半減期で β 崩壊する Cs-135 ($t_{1/2}=2.3 \times 10^6$ 年) の放射化学的手法による分析は極めて困難である。また、安定同位体である Cs-133 の高感度分析には ICP-MS 法や ICP-OES 法が常用される。

本研究では、トリプル四重極 ICP-質量分析装置 (以下、ICP-QQQ という) を土壌等の試料中の極微量 Cs 同位体の分析に適用すべく、スペクトル干渉を精査し、同干渉を低減、除去することによって高感度、高精度な Cs 同位体分析を可能とする方法の開発を試みた。

2 開発概要

(1) 装置の概要

ICP-QQQ (Agilent 社製 : Agilent 8800) の質量分析部の概要を図 1 に示す。質量分析部は、Q1 及び Q2 の 2 基の四重極質量分析計と、Q1-Q2 間のコリジョンリアクションセル (CRC) から構成される。これにより

シングル四重極質量分析器ではなし得なかったスペクトル干渉を効果的に除去でき、高感度、高精度な分析が達成できる。Cs-135 の質量/電荷数 (m/z) 135 (以下、 $m/z=135$) における質量分析を例にとると (図 1 参照)、(i) $^{119}\text{Sn}^{16}\text{O}^+$ ($m/z=135$) としてスペクトル干渉する可能性がある ^{119}Sn を Q1 で質量分離する、(ii) 同重体としてスペクトル干渉する可能性がある $^{135}\text{Ba}^+$ ($m/z=135$) を CRC ガスと反応させて酸化物 $^{135}\text{Ba}^{16}\text{O}^+$ ($m/z=151$) とする、(iii) Q2 で $^{135}\text{Cs}^+$ から $^{135}\text{Ba}^{16}\text{O}^+$ を質量分離することによってスペクトル干渉を除去できる。

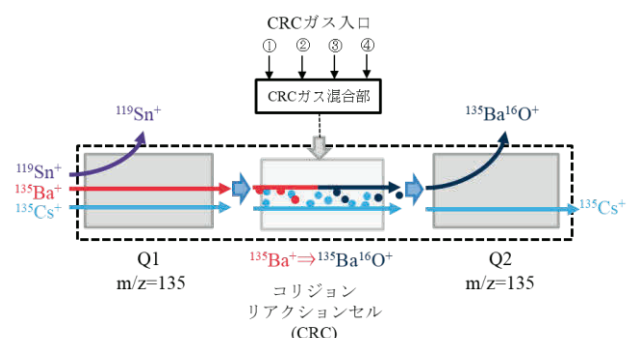


図 1 ICP-QQQ の質量分析部の概要

本開発で採用した ICP-QQQ の動作条件は次のとおりである。プラズマ条件 : RF パワー 1,550W、サンプリング位置 8mm、試料溶液導入条件 : ネブライザーガス流量 0.99~1.05L/min、スプレーチャンバー温度 2°C。

(2) 試薬等

金属イオンの溶液(すべて天然元素からなる)はCs、Ba、Zr、Mo、及びSnを含む各標準溶液(和光純薬社製)を0.1または0.5mol/L(以下、mol/L=M)HNO₃で希釈して調製した。また、Sbの溶液はSb標準溶液を0.1または0.5MHClで希釈して調製した。

水は純水製造装置(メルク社製)で製造した超純水(比抵抗値:18.2MΩcm)を、また硝酸及び塩酸は微量分析用試薬(和光純薬社製)をそのまま用いた。

ICPのプラズマガスはArガス(純度99.995%、エア・ウォーター社製)を、また、He-CRCガスはHeガス(純度99.9999%、エア・ウォーター社製)、N₂O-CRCガスは20%N₂O+80%He(ジャパンファインプロダクツ社製)混合ガスを用いた。

(3) Cs同位体分析におけるスペクトル干渉の評価

Cs-134、135及び137の+1価イオンを質量分析する際に、 $m/z=134$ 、135及び137でスペクトル干渉を及ぼす可能性がある主なイオン種を表1に示す。

表1 $m/z=134,135$ 及び 137 におけるスペクトル干渉の可能性のある主なイオン種

干渉イオン m/z	同重体イオン	多原子イオン (2元素のみ)
134(¹³⁴ Cs ⁺)	¹³⁴ Ba ⁺ ¹³⁴ Xe ⁺	¹³² Xe ² H ⁺ , ¹³² Ba ² H ⁺ , ¹²⁰ Sn ¹⁴ N ⁺ , ¹¹⁹ Sn ¹⁵ N ⁺ , ¹¹⁸ Sn ¹⁶ O ⁺ , ¹¹⁷ Sn ¹⁷ O ⁺ , ¹¹⁶ Sn ¹⁸ O ⁺ , ⁹⁸ Mo ³⁶ Ar ⁺ , ⁹⁶ Zr ³⁸ Ar ⁺ , ⁹⁶ Mo ³⁸ Ar ⁺ , ⁹⁴ Zr ⁴⁰ Ar ⁺ , ⁹⁴ Mo ⁴⁰ Ar ⁺
135(¹³⁵ Cs ⁺)	¹³⁵ Ba ⁺	¹³⁴ Xe ¹ H ⁺ , ¹³⁴ Ba ¹ H ⁺ , ¹²¹ Sb ¹⁴ N ⁺ , ¹²⁰ Sn ¹⁵ N ⁺ , ¹¹⁹ Sn ¹⁶ O ⁺ , ¹¹⁸ Sn ¹⁷ O ⁺ , ¹¹⁷ Sn ¹⁸ O ⁺ , ⁹⁷ Mo ³⁸ Ar ⁺ , ⁹⁵ Mo ⁴⁰ Ar ⁺
137(¹³⁷ Cs ⁺)	¹³⁷ Ba ⁺	¹³⁶ Xe ¹ H ⁺ , ¹³⁶ Ba ¹ H ⁺ , ¹³⁵ Ba ² H ⁺ , ¹²³ Sb ¹⁴ N ⁺ , ¹²² Sn ¹⁵ N ⁺ , ¹²¹ Sb ¹⁶ O ⁺ , ¹²⁰ Sn ¹⁷ O ⁺ , ¹¹⁹ Sn ¹⁸ O ⁺ , ⁹⁷ Mo ⁴⁰ Ar ⁺

例えば¹³⁴Cs⁺の測定では、同重体イオン(¹³⁴Ba⁺及び¹³⁴Xe⁺)及び多原子イオン(Ba、Sn、Mo、Zr、Xe等とH、N、O、Ar等との化合物イオン)がスペクトル干渉する可能性がある。金属元素は主として分析試料に、Ar及びXeはプラズマガスに、またH、N、Oは大気や試料溶液に由来する。このため、Cs同位体の測定に先立ち、予想される元素の濃度や同位体組成などの試料の特性(土壤試料の場合にはクラーク数、天然同位体組成など)からスペクトル干渉の可能性を評価し、干渉を除去する必要がある。

本研究で対象とする土壤試料中のCs同位体分析において重大なスペクトル干渉を及ぼす元素は、同重体イオンを生成するBaである。クラーク数が比較的高いBaは試料溶液中に高濃度で共存することが想定される。一般的に干渉イオンは質量分析に先立ち、溶媒抽出法やイオン交換樹脂などを用いて分離除去するが、

このように前処理した後でも試料溶液中のBaは放射性Cs同位体よりも高濃度であることが想定される。そのため、ICP-QQQ測定においてCRCガスを用いてスペクトル干渉を除去する方法を検討した。

(4) Ba同重体イオンによるスペクトル干渉のN₂O-CRCガスを用いる除去方法の検討¹⁻³⁾

異なった種類のCRCガス(He及びN₂O)を異なった流量で流しながら、異なった濃度のCs-133(天然含有率100%)及びBa-137(天然含有率11.2%)を含む溶液を用いて、それぞれ $m/z=133$ (¹³³Cs⁺による)及び $m/z=137$ (¹³⁷Ba⁺による)におけるイオンカウント数を測定して、各種条件下でのスペクトル干渉を調べ、図2にその結果をまとめた。ここで同図のY軸は、Cs-133(10µg/L)溶液とHe-CRCガス(1.0mL/min)を用いて測定した時の $m/z=133$ におけるイオンカウント数を基準値(I_s)とし、他の条件で測定したイオンカウント数を天然含有率及び試料溶液中のCsの並びにBaの濃度で補正した値(I_t)を用いて算出した比R($R=I_t/I_s$)を示す。またX軸には、単位時間当たりにCRCガス混合部に導入されるガス(He及びN₂O)の総重量を用いて表した流量F(mg/min)を目盛った(R-Fプロット)。

曲線a及びbは、Cs(10µg/L)+Ba(10µg/L)を含む0.5MHNO₃溶液を試料溶液として、CRCガス入口②(図1参照)から一定流量のHe(1.0mL/min)、及びCRCガス入口③から各種流量のN₂O-CRCガス(0~5mL/min)を導入しながら測定した結果である。 $m/z=133$ (¹³³Cs⁺)におけるイオンカウント数は、Fが0.5~1mg/minの領域で極大値を示すが、F>1mg/minの領域で流量の増加とともに緩やかに減少する。この減少はCRCガスの濃度が増すことにより、Cs⁺の散乱損失の頻度が増すこと及びCs⁺がN₂Oで酸化される割合が増すこと等によると推測される。一方、 $m/z=137$ (¹³⁷Ba⁺)におけるイオンカウント数は、N₂O-CRCガスの流量がF>0.5mg/minの領域で急激に減少し、F>1mg/min(N₂O-CRCガス流量>2mL/minに相当)の領域でバックグラウンドのイオンカウント数と同程度になる。これはN₂OによりBa⁺イオンからBaO⁺イオン等への酸化が高効率で進むことを表している。

曲線c及びdは、曲線a、bと同様な条件で、ただし試料溶液としてCs(1µg/L)+Ba(1µg/L)を含む0.5MHNO₃溶液を用いて得た結果である。曲線a及びbについて上述したN₂O-CRCガスによる $m/z=137$ における¹³³Ba⁺によるイオンカウント数の低減効果は、Cs及びBaの濃度に依存しないことが明らかになった。

なお、曲線e及びfは、流量が異なったHe-CRCガスを用いたときの結果である。この実験では、Cs(10µg/L)+Ba(10µg/L)を含む0.5MHNO₃溶液を試料

溶液として、CRC ガス入口②から各種流量の He (1.0 ~10mL/min) を導入した。曲線 e、f のいずれも F が 0.5~1mg/min の領域で極大を示す。 $F > 1$ mg/min の領域で R が減少するのは、CRC セル内で高濃度の CRC ガスとの衝突により $^{133}\text{Cs}^+$ 及び $^{137}\text{Ba}^+$ が散乱されて Q2 への導入効率が減少するためと考えられる。なお、 F が 0.5~1.0mg/min 領域で極大を示す原因は明確ではない。

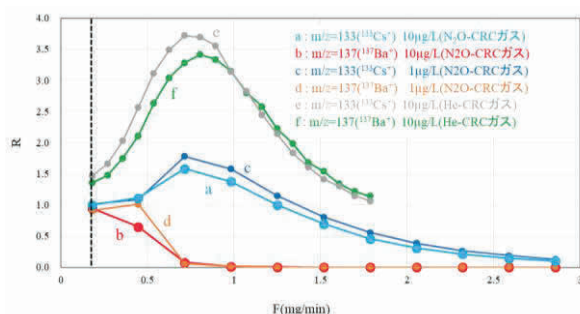


図2 R-F プロット

以上の結果から、少なくとも 1~10µg/L の $^{137}\text{Ba}^+$ による $m/z=137$ におけるイオンカウント数をバックグラウンドと同程度にまで低減するには、2.0 mL/min 以上の流量の N_2O -CRC ガスが必要であることが分かった。よって推奨法では、流量 3.0 mL/min の N_2O -CRC ガスを用いることとした。ここで検討した $^{137}\text{Ba}^+$ による $m/z=137$ における干渉除去と同様に、 $^{134}\text{Ba}^+$ 及び $^{135}\text{Ba}^+$ によるそれぞれ $m/z=134$ 及び 135 における同体重干渉も、 N_2O -CRC ガス (流量 3.0 mL/min) を用いて同様にして除去できる。なお、推奨法の条件での ICP-QQQ 分析においては、200µg/L までの Zr、50µg/L までの Mo、50µg/L までの Sn 及び 10µg/L までの Sb は、 $m/z=134$ 、135 及び 137 でスペクトル干渉しないことを確認した。

本研究で詳しく調べた Ba 同位体と同様に、表 1 に示すように Ar ガス中に不純物として含まれる Xe-134 も Cs-134 の質量分析で同体重干渉する。 N_2O -CRC ガス (3.0 mL/min) を用いることにより、 $m/z=134$ におけるイオンカウント数を He-CRC ガスを用いたときの約 30% に低減することはできたが、完全に除去することはできなかった。強い酸化力を有する N_2O でも、Xe を完全に酸化物イオンに変換して除去することはできないことを示している。これまでの検討では $^{134}\text{Xe}^+$ による $m/z=134$ におけるスペクトル干渉を除去する方法は見出していないが、Ar ガスボンベ中の Xe はほぼ均一に分布しており、実験的にもスペクトル干渉に相当するイオンカウント数はほぼ一定であるため、 $^{134}\text{Xe}^+$ によるイオンカウント数をバックグラウンドとして差し引く方法が適用できることが分かった。これとは別の対策として、不純物 Xe の含有濃度が低い Ar ガスを入手して用いることも有効であると考えられる。

(5) Cs 同位体分析のための ICP-QQQ 測定法の最適化

ICP-QQQ による Cs 同位体分析における測定の繰り返し回数、スイープ回数及び積分時間の効果を調べた。表 2 に示す 6 種類の条件で、100ng/L の Cs を含む 0.5 M HNO_3 溶液を用いて $m/z=133$ におけるイオンカウント数を測定し、測定値の相対標準偏差 (RSD%) を算出した。なお、本実験では CRC ガスとして He-CRC ガス (1.0 mL/min) + N_2O -CRC ガス (3.0 mL/min) を用いた。表 2 に示す測定結果から、相対標準偏差は、積分時間を増すと小さくなること、繰り返し回数には依存しないことが分かった。これらの結果から、繰り返し回数を 3、スイープ回数を 100、及び積分時間 (秒) を 10 とする方法 6 が最も小さな相対標準偏差であったため、これを推奨法とした。

表 2 ICP-QQQ による Cs 同位体測定(測定対象： $^{133}\text{Cs}^+$)の繰り返し回数、スイープ回数、積分時間と相対標準偏差

方法	測定条件			相対標準偏差 (RSD%)
	繰り返し回数	スイープ回数	積分時間(秒)	
方法1	3	20	3	2.8
方法2	3	20	5	1.8
方法3	3	20	10	1.4
方法4	5	20	10	1.4
方法5	10	20	10	1.4
方法6	3	100	10	1.1

(6) ICP-QQQ による Cs 同位体分析の感度と精度

10~500ng/L の濃度範囲の Cs を含む 0.1 M HNO_3 を用いて、ICP-QQQ による推奨法で $m/z=133$ におけるイオンカウント数を測定した。得られたイオンカウント数 (cps) と Cs 濃度との関係 (検量線) を図 3 に示す。

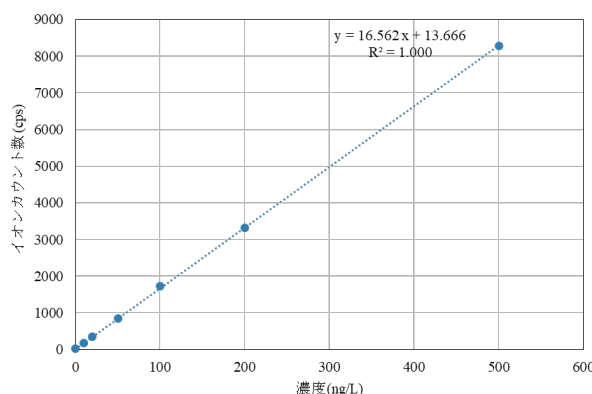


図3 Cs 濃度と $m/z=133$ におけるイオンカウント数の関係

Cs の濃度とイオンカウント数の間には広い濃度領域で極めて良好な直線関係が観測された。この結果に基づいて計算した Cs-133 単位濃度当たりのイオンカウント数は、16.6cps/ppt (1ppt=1ng/L) であった。

次いで、本法による Cs の分析感度を評価するために、金属イオンを含まない 0.1 M HNO₃ 溶液(ブランク溶液)を用いて $m/z=133$ におけるバックグラウンドのイオンカウント数を測定した。10 回繰り返し測定し、平均値と標準偏差(σ)を求めた結果、バックグラウンドは $37.6 \pm 3.9\text{cps}$ (RSD%=10.5%) であり、Cs 濃度に換算すると $2.3 \pm 0.2 \text{ ng/L}$ であることが分かった。Cs-133 の検出下限及び定量下限を 3σ 及び 14.1σ と定義すると、それぞれが 0.7 及び 3.4ng/L であった。精度については 10 及び 100ng/L の Cs-133 を含む 0.1 M HNO₃ 溶液を用いて、本法により 10 回ずつ測定を繰り返した結果、相対標準偏差はそれぞれ 1.2 及び 0.9% であった。

本研究では、放射性の Cs-134、135 及び 137 を用いて分析感度を定める実験は行わなかったが、上記と同様の 0.1 M HNO₃ 溶液(ブランク溶液)を用いて $m/z=134$ 、135 及び 137 におけるバックグラウンドのイオンカウント数の変動を測定し、同位体ごとの分析感度を評価した。その結果、Cs-134 については前述したように、 $m/z=134$ でのイオンカウント数の測定において Xe-134 が同重体干渉し、N₂O-CRC ガスを用いた方法でもその干渉を除去しきれなかった。そのため、 $m/z=134$ におけるバックグラウンドのイオンカウント数の平均値及び標準偏差は、 $106 \pm 5.4\text{cps}$ (RSD%=5.1%) であり、Cs 濃度に換算すると $6.4 \pm 0.3\text{ng/L}$ であることが分かった。前述と同様に Cs-134 の検出下限及び定量下限をそれぞれ 3σ 及び 14.1σ とすると、それぞれは 1.0 及び 4.6ng/L であった。 $m/z=135$ 及び 137 におけるバックグラウンドのイオンカウント数の平均値及び標準偏差は十分に低い値であり、一例として、それぞれ $2.7 \pm 0.3\text{cps}$ (RSD%=9.9%) 及び $3.7 \pm 0.4\text{cps}$ (RSD%=10.7%) であった。このバックグラウンド値を用いて Cs-135 の検出下限及び定量下限を試算すると、それぞれ 0.049 及び 0.23 ng/L であった。また、Cs-137 の検出下限及び定量下限は、それぞれ 0.072 及び 0.34 ng/L であった。

表 3 ICP-QQQ による放射性 Cs 同位体の分析感度

放射性 Cs 同位体	検出下限及び 定量下限	検出下限	
		質量濃度 (ng/L)	放射能濃度 (Bq/L)
Cs-134	1.0×10^0	4.6×10^0	2.2×10^5
Cs-135	4.9×10^{-2}	2.3×10^{-1}	9.8×10^{-3}
Cs-137	7.2×10^{-2}	3.4×10^{-1}	1.1×10^3

表 3 に ICP-QQQ による Cs-134、135 及び 137 の分析で得られる検出下限及び定量下限をまとめた。また同表の最右欄には、定量下限の質量濃度 (ng/L) から求めたそれぞれの放射能濃度 (Bq/L) を付記した。これから Cs-134 及び 137 の分析には γ 線スペクトロメトリー等の放射線を計測する方法が高感度で有効な手段であ

るが、 β 崩壊核種である Cs-135 の分析には ICP-QQQ 法が極めて有効であると結論できる。

3 結語

ICP-QQQ 法による Cs 同位体分析法の高度化を目的に、N₂O を含むガスを CRC ガスとして用いて Ba の同重体干渉を除去する方法を詳しく検討し、推奨法を確立した。推奨法により、土壤に含まれる ppt レベルの Cs 同位体、なかでも放射能分析法の適用が困難な Cs-135 を精度よく分析できることを確かめた。

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の事故で環境中に放出された放射性 Cs の動態把握などにおいて、現在は主に ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 比が指標として汎用されているが、将来的には半減期が 2 年程度の ¹³⁴Cs に代わってより長半減期の ¹³⁵Cs と ¹³⁷Cs の比が用いられることになる。また、放射性廃棄物の保管、処分にとっても長半減期 ¹³⁵Cs のインベントリー評価は必須である。このように、今後 Cs-135 の分析要求が増すことが予想され、本研究で検討した ICP-QQQ による Cs 同位体分析手法は重要度を増すと考えられる。

今後の課題として、ICP-QQQ によるより精密な同位体分析にとって“質量差別効果”の定量的な把握、及び同効果に起因するバイアスを補正するための“マスバイアス補正係数”の決定が必要である。現在、Cs-133 ~Cs-137 領域での質量差別効果に関する研究を進めている。

参考文献

- 1) Y. Shikamori, K. Nakano, Agilent 8800 ICP-QQQ Application Handbook 2nd Ed., pp.77-78 (2015)
- 2) J. Zheng, W. Bu, *et al.*, Anal. Chem., 86, pp.7103-7110 (2014)
- 3) T. Ohno, Y. Muramatsu, J. Anal. At. Spectr., 29, pp.347-351 (2014)



執筆者／基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析 Gr. 芝原 裕規



基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析 Gr. 結城 真美



基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析 Gr. 大石有希子



基盤技術開発部
放射化学分析・計測・解析 Gr. 竹内 康隆

ドローン運用実績と今後の展開

Operational Results and Future Development of Drone

ドローンは人が立ち入れないエリアなどを短時間に種々の観察ができることから、目視点検や各種の調査、様々な情報収集に活用できる。その利便性を活かし、当社では主に福島第一原子力発電所内の建屋外側での線量調査などに向けてドローン技術を開発し運用してきた。また、昨年から建屋内での線量調査にドローンを活用すべく、開発・検証を進めている。

キーワード：ドローン、線量測定、線量解析、SLAM

Drone can make various quick observations in areas where people do not enter, so it is possible to perform visual inspection, various investigations, and collections of various information. Utilizing its convenience, it has been developed and operated primarily for measurements outside the building in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Also, since last year, we are developing and verifying to use drone in dosimetry in the building.

Key Words : Drone, Dose Measurement, Dose Analysis, SLAM

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、「1F」という）の事故以降、廃炉作業を進める上で、人が近づくことすら困難なエリアが存在する。線量低減作業を進める上で、線量調査は不可欠である。ドローンは人が立ち入れないエリアなどを短時間に種々の観察ができることから、目視点検や各種の調査、様々な情報収集に活用できる。当社では、ドローンという言葉が世間に普及する前から着目し、その利便性を活かした開発・検証を進めてきた。

本論文では、これまでの当社のドローン開発・運用実績及び今後の展開について述べる。

2 これまでの使用機体及び技術開発内容

(1) 使用機体

これまでの技術開発及び実作業で使用した機体の外観を写真1から写真4に、その基本仕様を表1及び表2に示す。



写真1 MS-06LA

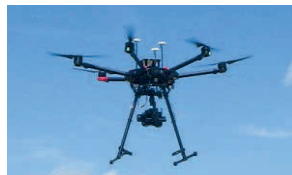


写真2 Matrice600



写真3 Phantom シリーズ



写真4 RISER

表1 使用機体の基本仕様

項目	仕様		
機体	MS-06LA	Matrice600	Phantom シリーズ
製造元	株式会社自律制御システム研究所	DJI JAPAN 株式会社	
質量	約 4.5 kg	約 9.1 kg (バッテリー含む)	約 1.4 kg (バッテリー含む)
飛行時間	最大 15 分	最大 35 分	最大 28 分
ペイロード	約 5 kg	約 6 kg	なし

表2 RISER の基本仕様

項目	仕様
外形寸法	W930×L830×H160 mm
質量	約 4 kg
飛行時間	約 15 分
搭載センサー	レーザーレンジファインダー ジャイロ・加速度センサー
放射線検出器	CZT 検出器 ^{※1} (～約 2.5 Sv/h)
製造元	英国 CREATEC 社

(2) 吊り下げ線量測定工法

ドローンによる地表面付近での自律制御飛行は非常に困難であったので、ドローンにワイヤーを取り付け、放射線測定器を吊り下げる工法を開発した。それにより、地表面（ターゲット）より高度 1m 付近の線量率を直接測定することができた。測定工法の全体構成を図 1 に示す。

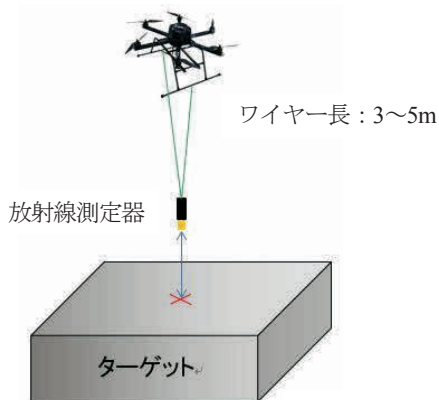


図 1 吊り下げ線量測定工法の全体構成

(3) サンプリング水回収ユニット

海水をサンプリングするために、ドローンで運搬可能なサンプリングユニットを検討した。ユニット単体の要素試験及びドローンに搭載した実飛行試験により、妥当性評価を行った。ドローンへのユニット搭載図を図 2 に、ユニット構成図を図 3 に示す。

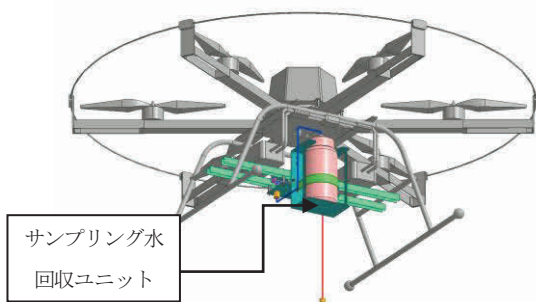


図 2 ドローンへのユニット搭載図

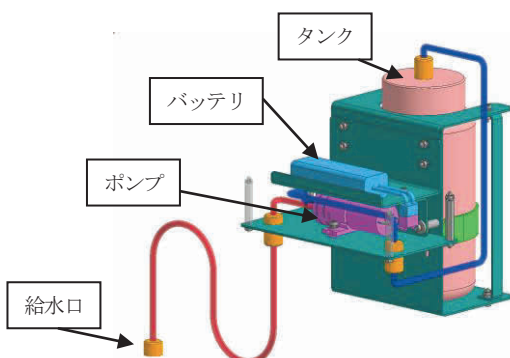


図 3 ユニット構成図

(4) データ転送装置

ドローンを用いた線量調査では、線量計、気圧計、GPS による測定データを小型 PC に記録しており、帰還後に各情報を確認していた。そのため、飛行中での測定データの把握ができなかった。そこで、以下の機能を有するデータ伝送装置を検討・開発している。

- ① 各センサーによって取得したデータを地上の PC に伝送し、リアルタイムで表示する。
- ② 市販のセンサー、通信モジュールを使用し、様々なプラットフォームに適用可能とする。
- ③ 様々なセンサーの組み合わせにより、汎用性の高いシステムとする。

搭載イメージを図 4 に、メインユニットの構成を図 5 に示す。

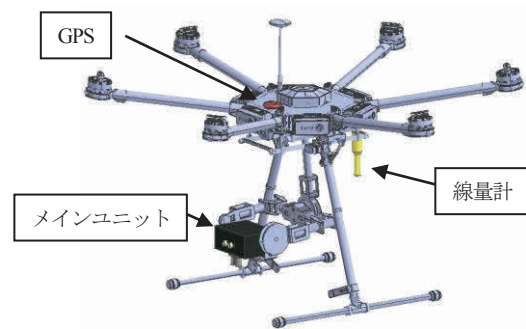


図 4 搭載イメージ図

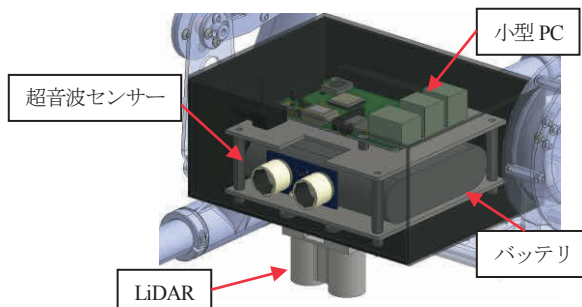


図 5 メインユニット構成図

3 運用実績

(1) 1F-1~4 号機タービン建屋屋上の線量調査¹⁾

1F-1~4 号機タービン建屋屋上において、ドローンによる線量調査を実施した。線量調査高度は 5m 及び 10m とし、調査間隔は、高度 10m 調査時は 10m 間隔、高度 5m 調査時は 20m 間隔（ただし、高線量が確認されたスポットについては 5m 間隔）、とした。また上空から状況確認（ガレキ等ホットスポットの確認）のため、映像データを取得した。調査結果に基づき解析評価を行い、地表面の汚染密度及び線量率を評価した。

さらに、ガレキ等のホットスポットの推定、線源率及び物量を評価した。

高度 5~20m の線量調査結果からの解析手法としては、一様分布の汚染源が存在する場合、実測値 $D(h)$ から表面汚染密度 S 及び 1m 高さ線量率 $D(1m)$ は、式(1)及び式(2)のように求まる。

$$S = D(h) / d(r,h) \quad (1)$$

$$D(1m) = S \times d(r,1m) \quad (2)$$

ここで、 $d(r,h)$ 及び $d(r,1m)$ は半径 r の汚染源で単位の高さ h 及び 1m での線量率で、核種に応じてあらかじめ算出した値である。

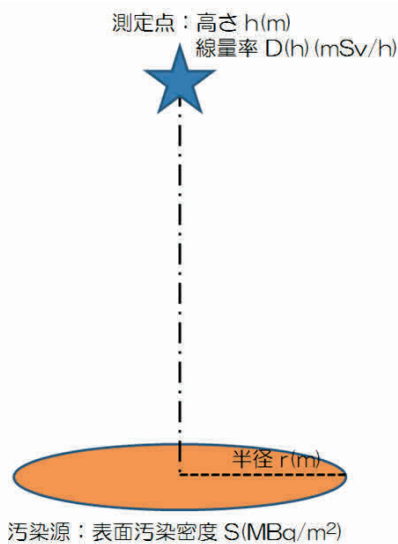


図6 解析手法

(2) 1F-3号機タービン建屋屋上の線量調査

前述したドローンから測定器を吊り下げて線量調査する工法を用いて、1F-3号機タービン屋上での線量調査を実施した。線量調査における調査高度は、屋上面より 1m とし、水平方向の調査間隔は 10m とした。また、ガレキにより調査が困難と思われるエリアを空撮し、ガレキ等の状況確認を行った。

(3) 1F-1, 2号機排気筒調査

調査用と監視用の2機のドローンを用いて、1, 2号機排気筒の筒身内部の調査と外部の線量調査を実施した。筒身内部はドローンに搭載したズーム機能付きカメラで排気塔上部より撮影した。筒身外部の線量測定においては、可能な限り筒身表面に近づくよう飛行し、北・西・南側3方向から測定した。筒身外部調査時の飛行調査イメージを図7に示す。

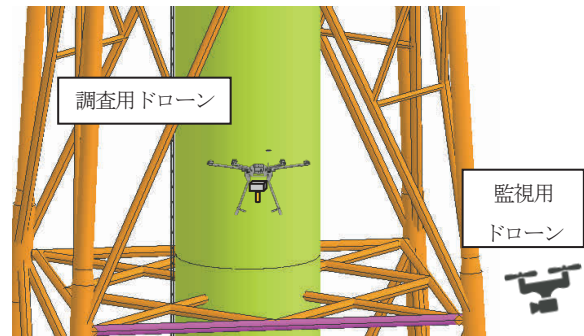


図7 飛行調査イメージ

(4) ドローンを用いた建屋内線量調査²⁾

レーザーを利用した SLAM^{※2}制御を行う RISER は、GPS 電波の届かない屋内環境下であっても安定した飛行が可能である。RISER が 1F へ適用可能であることを実証試験で確認した後、1号機タービン建屋地下階と3号機原子炉建屋3FLの線量調査を実施した。

実証試験は3号機の逆洗弁ピット及びタービン建屋2階オペフロで実施し、“飛行性能”、“三次元復元図”、“線量解析”の3項目を確認した。試験中に取得した点群を元に生成したタービン車室の三次元復元図を図8に示す。



図8 タービン車室復元図

線量調査は、自律飛行のみでなくマニュアル操作を複合して調査することで、多くのデータを得ることができた。ただし、レーザーを用いた SLAM 制御の仕様上、一部自律飛行できない環境が判明したため、今後の開発課題である。

(5) その他

当社では、(1)~(4)に挙げたような 1F 構内でのドローン業務とともに、構外での空撮業務やオペレータ派遣業務を行っている。

(6) オペレータ育成及びトレーニング

当社では、フライトシミュレータによる独自のドローン操作訓練を行い、同訓練でのホバリング試験に合格した者のみが実機での操作訓練を実施している。また(1)～(4)に挙げた業務を実施する前に、調査ターゲットごとに目標を設定し、実機試験に合格した者のみが現場でのオペレータを務める体制を取っている。



写真5 トレーニング風景

4 今後の展開

(1) 開発の概要

1Fの各種の建屋内は未だ高線量エリアが多く残っている。2021年の燃料デブリ取り出しに向けて、建屋内の線量低減・環境改善工事が進められると予想される。環境改善工事に先立っては、対象エリアの調査は必須であるが、現状のドローンや走行ロボットでは適用範囲が限られており、建屋内には未調査箇所も存在する。高線量・未調査箇所の調査手段の1アイテムとしてSLAM制御は大変有効である。SLAM制御の遠隔ロボットでの調査が可能になれば、調査手段の幅が広がる。しかしながら、1F建屋内のような写真や映像などの情報がない環境を安定して走行・飛行できるSLAM制御の遠隔機器は開発途上段階である。そこで、まずは1F建屋内の調査を目的にしたSLAMドローンの開発を行うことにした。

(2) 開発の要件

開発のターゲットは1F建屋内の高線量エリアとする。そのためには、情報の乏しい未知空間をマッピングしつつ、映像取得と放射線量の測定ができること、また人が近づくことができないので、建屋入口から離れた場所に辿り着くための技術開発などが求められる。

主要な開発要件を以下に挙げる。

- ① 自動離着陸機能を有すること
- ② レーザースキャンにより飛行エリアの点群データが取得できること
- ③ 障害物回避機能を有すること
- ④ フェールセーフ機能を有すること

これらを含む要件を満たす機体の開発に取り組んでいく。

5 結語

ドローンは日進月歩で研究・開発が進められている。そのなかで当社は、1Fをターゲットとした技術開発を主に実施してきた。今後は当然ながら福島復興の力になれるよう継続していくとともに、その技術を活用し、他の廃炉プラントへの展開、また原子力以外の分野への展開も視野に入れ開発を進めていく。

【用語の解説】

- ※1 CZT 検出器:テルル化亜鉛カドミウム半導体検出器
- ※2 SLAM: Simultaneous Localization and Mapping の略称。自己位置推定と環境地図作成を同時に行うことをいう。

参考文献

- 1) 齊藤大祐 ほか, ドローンを活用した調査技術の開発, アトックス技報, No.7, pp.4-5, 2015
- 2) 齊藤大祐, ドローンをを用いた建屋内線量調査技術, アトックス技報, No.9, pp.8-9, 2017



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. 原田 将吾



ロボティクスエンジニアリング部
小林 峰人



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
(現:福島復興支社 廃炉工事部)

建屋内環境改善工事に向けた N-Visage システムによる線量評価技術の展開

Development of Dosimetric Evaluation Technology using N-Visage System for the Indoor Environment Improvement Work

福島第一原子力発電所では、各種の建屋内の放射線量及び汚染状況の把握並びに線量低減に向けた放射線環境整備が必要となる。しかし、建屋内では未調査の箇所が残っているほか、線量が高く人力作業が困難な箇所が存在する。そこで当社の遠隔操作技術と CREATEC 社の線量測定・解析システムである N-Visage システムを組み合わせることで、建屋内の線量や汚染の状況把握と効果的・効率的な線量低減・環境改善工事の計画立案が可能になる。本論文では、建屋内環境改善工事に向けた N-Visage システムの活用について述べる。

キーワード：福島第一原子力発電所、廃炉作業、環境改善、N-Visage、線量解析

In the decommissioning works such as removing fuel debris at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, it is necessary to grasp the radiation dose mapping and contamination situation inside various buildings, and to improve the radiation environment for dose reduction. However, at the indoor side of buildings, there are still unsurveyed places and high-dose places where it is difficult for manual works. Therefore, the remote control technology in ATOX will be combine with the a dose measurement / analysis system of REATEC, “N-Visage system” in order to grasp the radiation dose mapping and contamination situation in the building, and to promote effective and efficient work planning of dose reduction and radiation environmental improvement.

Key Words : Fukushima Daiichi NPS, Decommissioning, Radiation Environmental Improvement, N-Visage, Dose Analysis

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、「1F」という）では、2021 年度以降の燃料デブリ取り出しに向けた原子炉建屋内作業が本格化していくと予想される。1F の建屋内は、未調査エリアも多く、人力作業が難しい高線量の箇所が存在する。このため、建屋内の線量分布や汚染状況を的確に把握し、線量低減や放射線環境改善を効果的・効率的に行う必要がある。

英国 CREATEC 社の線量測定・解析システムである N-Visage システムは線量測定ツールと線量解析ソフトから構成されており、解析結果は三次元で表示され、立体的に線量や汚染の分布を把握することができる。また、遮蔽設置後や除染後の線量率分布を予測するシミュレーション計算が可能であり、これを活用すれば線量低減工事の計画立案に大変有効となる。同システムは、実際に英国のセラフィールドの廃止措置をはじめとする数カ国で活用実績がある。

当社の遠隔走行ロボットやドローンなどの遠隔操作技術と N-Visage システムを組み合わせることにより、建屋内の線量調査と線量解析、線量低減工事の計画策定から実施までの一貫した技術サービスの展開を進めていく。

2 N-Visage システムの概要

(1) N-Visage システム

N-Visage システムは線量測定ツール及び解析ソフトで構成されている。図 1 にシステムの構成を示す。

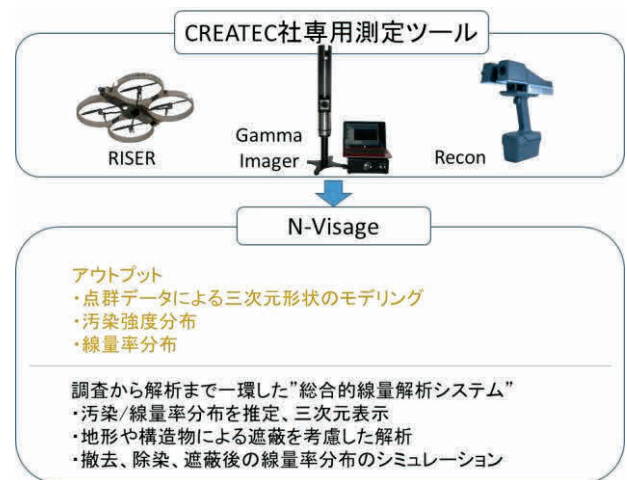


図 1 N-Visage システムの構成

(2) 線量測定ツール

1) Gamma Imager（写真 1）

レーザーレンジファインダー、光学カメラ、放射線検出器を搭載した据置き型の測定ツールであり、360°回転しながら三次元形状情報及びパノラマ写真、線量率、 γ 線スペクトル情報を取得する。

その仕様を表 1 に示す。



写真1 Gamma Imager

表1 Gamma Imager の主な仕様

項目	仕様
外形寸法	φ110×H700 mm
質量	約15 kg
放射線検出器	CZT 検出器 ^{*1}
測定レンジ	0.05 mSv/h ~ 1 Sv/h
レーザースキャナ	測定レンジ：30 m 解像度：±30 mm
光学カメラ	魚眼レンズ 解像度：12 メガピクセル

2) RISER¹⁾ (写真2)

ドローン型の測定ツールで SLAM^{*2} 制御により GPS 電波の届かない屋内環境下であっても安定した飛行ができる。レーザーレンジファインダー、放射線検出器を搭載し、飛行中に三次元形状情報及び線量率、γ線スペクトル情報を取得する。

仕様を表2に示す。



写真2 RISER

表2 RISER の主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W930×L830×H160 mm
質量	約4 kg
飛行時間	約15分
搭載センサー	レーザーレンジファインダー ジャイロ・加速度センサー
放射線検出器	CZT 検出器
測定レンジ	・ ~10 mSv/h ・ 1 mSv/h ~ 1.2 Sv/h ・ 20 mSv/h ~ 2.5 Sv/h
利用周波数帯	2.4 GHz 帯 (IEEE802.11b/g に準拠)

3) Recon (写真3)

レーザーレンジファインダー、光学カメラ、放射線検出器を搭載したハンドヘルド型の測定ツールである。作業員が手に持つか走行ロボットに把持させ、移動しながら三次元形状情報及び線量率、γ線スペクトル情報を取得する。本体のディスプレイに写真4に示すようなリアルタイムで表示される三次元形状情報と放射線データを確認しながら測定することができる。

表3に Recon の主な仕様を示す。

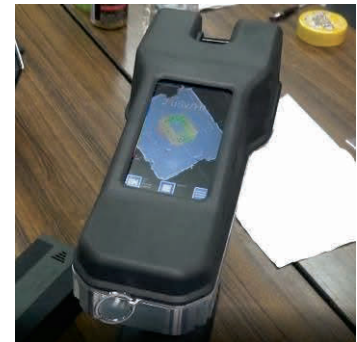


写真3 Recon

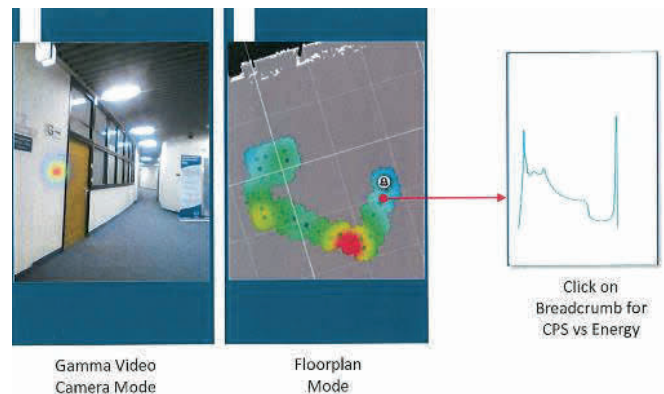


写真4 ディスプレイ表示イメージ

表3 Recon の主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W 約 127×L 約 236×H 約 330 mm
質量	約 1.5 kg
連続使用時間	約 8 時間
放射線検出器	CZT 検出器
測定レンジ	~ 10 mSv/h 検出器の交換により測定レンジは可変
レーザースキャナ	測定レンジ：20 m 解像度：±40 mm
光学カメラ	CMOS 解像度：1.3 メガピクセル

(3) 線量解析ソフトウェア N-Visage

線量測定ツールで取得したデータは線量解析ソフトウェア N-Visage で処理・解析される。まず取得した三次元形状データ、線量率、 γ 線スペクトルデータから放射能分布を数学的に算出・推定し、汚染強度分布を構築する。次にこの汚染強度分布から線量率を算出し、任意の場所での線量率分布を作成する。さらに、この解析結果を用いて、除染などの線源除去後あるいは遮蔽体設置のモデリングにより、放射線環境の予測シミュレーションが可能となる。他の線量解析手法とは異なり、調査から解析までを一つのシステムとしているところが大きな特徴である。

図2にN-Visageの解析フローを、図3に解析結果の例を示す。

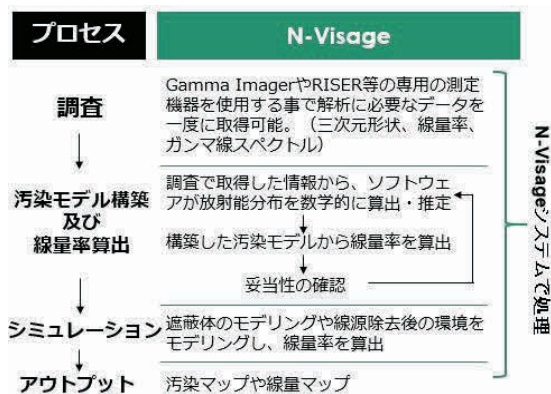


図2 N-Visageの解析フロー

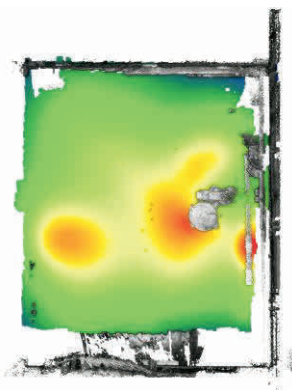


図3 N-Visage アウトプットイメージ 線量率分布の例 (出典：東京電力ホールディングス株式会社)

3 建屋内線量低減・放射線環境改善工事への展開

(1) 線量低減・放射線環境改善工事の課題

1F 建屋内で線量低減・放射線環境改善工事を進めるには以下の4つの課題がある。

1) 有効性

工事の有効性を事前に評価することが難しい。工事

後の線量低減や環境改善の効果が得られなかった場合には、試行錯誤を重ねる必要がある。

2) 長期化

想定以上の作業量や作業範囲となり、また試行錯誤の繰り返しで作業が長期化する可能性がある。

3) 被ばく

線量低減や環境改善の効果が得られずに、作業が長期化することで、作業員の被ばくが増加する。

4) コスト

対象範囲が不明瞭であると、想定以上のリソース(遮蔽材などの資材、作業員、被ばくなど)を費やすことになり、作業コストが高む。

(2) 線量低減・放射線環境改善工事の効率化

当社ではN-Visageシステムの活用により、線量低減・放射線環境改善工事の課題を解決し、効率化を図ることを考えている。建屋内の放射線場の状況を把握した上で、事前に工事の有効性をシミュレーションなどで評価し、的確な線量低減・放射線環境改善の効果を生むことのできる最適な工事計画とリソースで取り組み、不必要な被ばくをなくすことで効率化が図れる。調査から工事計画の策定までの流れを以下に説明する。

1) 線量調査・線量解析

N-Visageシステムの線量測定ツールと当社の遠隔操作技術を組み合わせて建屋内の線量測定・調査を行う。測定対象の範囲や環境によって測定ツールを使い分け、Gamma Imager や Recon は、活用実績のある走行ロボットやロボットアームと組み合わせる。

調査データはN-Visageで解析し、線源の位置や対象エリアの線量率を把握する。初期の解析はCREATEC社に依頼していたが、現在は解析要員の育成により、社内で解析することが可能となった。

2) 工事検討とシミュレーション

解析結果を基礎に、遮蔽/撤去/除染した場合について、その効果の実施後の線量率分布をシミュレートする。また点群データは、事故後の建屋内の三次元形状の情報から装置や機器との取り合いを容易に確認できる。

表4に工事種類とシミュレーション内容を示す。

表4 工事種類とシミュレーション内容

工事種類	シミュレーション内容
遮蔽工事	遮蔽体の検討、遮蔽範囲と遮蔽材の算出、遮蔽効果の推定、作業時の被ばく など
撤去工事	撤去対象範囲と物量の算出、撤去効果の推定、作業時の被ばく など
除染工事	除染対象範囲の算出、除染効果の推定、作業時の被ばく など

また、図4にシミュレーションのイメージを示す。

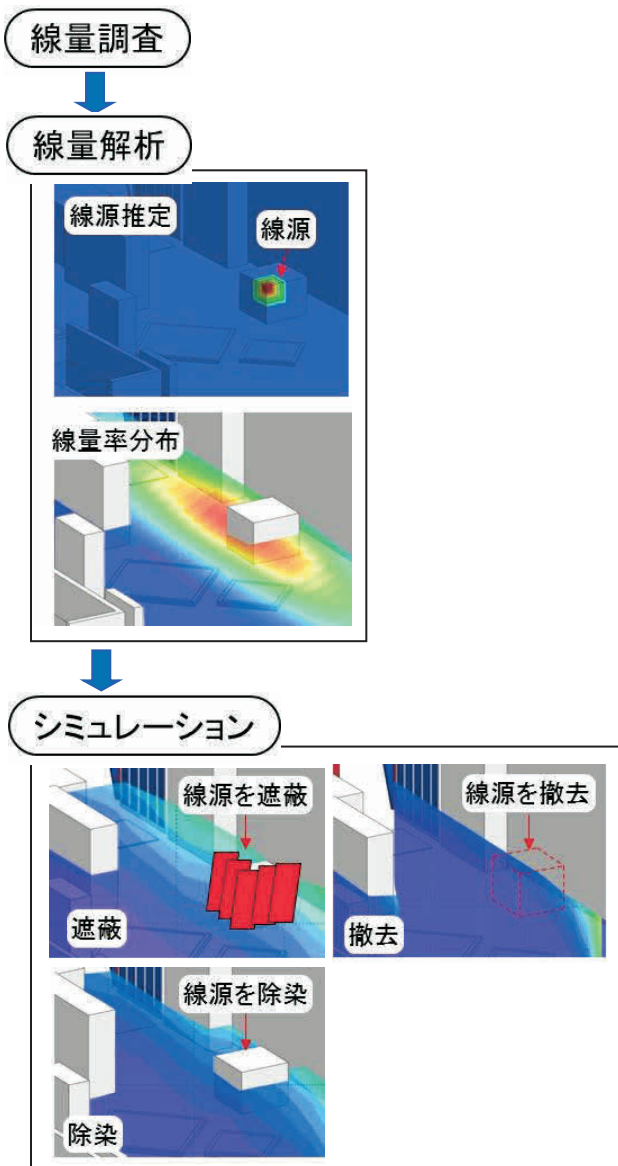


図4 シミュレーションのイメージ

3) 最適な工事計画の策定

工事検討案に基づいたシミュレーションの結果から、最適な線量低減・放射線環境改善の方策と最適なリソース（資材、作業範囲、作業員数、放射線被ばく量）、コスト、工期を選択することができる。

また、線量解析結果やシミュレーション結果は三次元で立体的に表示されるため、様々な視点で線量分布を確認できることから、線量低減・放射線環境改善後のイメージが容易である。

4 結語

当社は震災以降、Kobra や PackBot のロボット、ドローンなどの遠隔装置を用いて 1F 建屋内及び構内の線量測定や各種の調査を実施してきた。また、2016年には、東京電力ホールディングス(株)殿の委託で N-Visage システムの 1F への適用性評価も行っている。

今後は、N-Visage システムの線量測定・線量解析・シミュレーション機能を活用して、建屋内の線量低減・放射線環境改善工事の計画策定への参画と工事の実施を目指していく。

【用語の解説】

- ※1 CZT 検出器：テルル化亜鉛カドミウム半導体検出器
- ※2 SLAM：Simultaneous Localization and Mapping
レーザーやカメラを用いて物体の特徴点を把握し自己位置推定を行うと同時に三次元環境地図を作成する技術

参考文献

- 1) 齊藤大祐, ドローンを用いた建屋内線量調査技術, アトックス技報, No.9, pp.8-9, 2017



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. 石川 晃大



ロボティクスエンジニアリング部
小林 峰人

【各種シンポジウムで開発技術・研究成果を紹介】

国内外で開催された各種のシンポジウム等に本年も参加・出展し、アトックスと技術開発センターの活動状況とともに、様々な開発技術や研究成果を紹介しました。

〔Waste Management Symposia 2018〕

3月18～22日、米国アリゾナ州フェニックスで開催された放射性廃棄物の管理・処分関連の国際会議と展示会に昨年に引き続き参加しました。本年は“ロボティクス”のテーマの下、様々な企業・組織が講演や発表・展示を行いました。

当社は、同分野を中心とした技術開発、工事の概要及び海外企業との連携実績を紹介しました。展示ブースには海外企業の担当者等多くの来場者があり、意見交換を行うとともに高度なロボット技術の情報を収集することができました。



WMS 2018 当社ブースの全景

〔第3回 次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス (NDEC-3) 〕

3月19日、福島県の富岡町文化交流センター学びの森で開催されたNDEC-3のポスターセッションで、当社開発の汚染水処理用の放射性セシウム吸着フィルタ（アトックス技報 No.9 2017 p.24 参照）を紹介しました。

当社は2016年の第1回以降、ポスターセッションに毎回出展しており、学生や関連組織の関係者と意見交換を行いました。

※ NDECとは：福島第一原子力発電所の安全な廃止措置に係る文部科学省の委託事業「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」の一環として、プログラム参加の7大学・高専と文部科学省、事務局の原子力安全研究協会等が共催する会議です。



NDEC-3 で汚染水処理用放射性セシウム吸着フィルタを紹介

〔IRID シンポジウム 2018〕

8月2日、東京工業大学大岡山キャンパス内のくらまえホールで開催された国際廃炉研究開発機構主催の“燃料デブリ取出しに挑むⅡ”と題したシンポジウムに参加しました。当社は、“廃炉ポスターセッション”で福島第一廃炉への様々な取り組み状況を紹介するとともに、学生、若手研究者や企業等関係者等と意見交換を行いました。

〔第3回福島第一廃炉国際フォーラム〕

8月6日、福島県のいわき芸術文化交流館アリオスで開催された原子力損害賠償・廃炉等支援機構主催の国際フォーラムに参加しました。

当社は、ポスターセッションで福島第一原子力発電所の廃炉作業に資するため開発した、国プロの成果である遠隔コンクリート試料採取装置（pp.4-5 参照）を紹介しました。ポスター会場には国内外の多くの方々が来場され、活発な議論が行われました。



福島第一廃炉国際フォーラムで遠隔コンクリート試料採取装置を紹介

【東京電力ホールディングス(株)から取材を受け、廃炉情報誌「はいろみち」にインタビュー記事掲載】

福島第一原子力発電所の廃炉情報誌「はいろみち」のシリーズ“キーパーソンに聞く！”で、東京電力ホールディングス(株)より技術開発センターの福島副センター長兼ロボティクスエンジニアリング部長（前福島復興支社廃炉工事部長）が2018年9月にインタビュー取材を受けました。

取材の結果は、10月10日発行の第10号に“作業経験の蓄積とノウハウを生かした技術の開発と運用で廃炉の一翼を担う”と題して掲載されるとともに、WEB上でも公開されました。

今回はシリーズ第6回ですが、これまで資源エネルギー庁廃炉・汚染水対策現地事務所、内閣府原子力災害対策本部、IRID、東芝エネルギーシステムズ(株)、JAEA廃炉国際共同研究センターの関係者が取材を受けています。

※「はいろみち」とは：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所 廃炉情報誌で2017年4月創刊、隔月発行。廃炉事業の進捗状況や廃炉事業に関わる人がどのような思いで廃炉事業に向き合っているかを伝えるとともに、地域の皆様の思い、考えを聴かせていただくための情報誌で、地元住民の方々や福島第一の視察者などに配布されています。

<http://www.tepco.co.jp/decommission/visual/magazine/>



当社社員のインタビュー記事の一部

東京電力ホールディングス(株)発行の
廃炉情報誌「はいろみち」第10号より

【医療事業への最近の取り組みと展開】

【理化学研究所と $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ ジェネレータの共同開発研究を開始】

当社は、2017年11月30日に国立研究開発法人理化学研究所と共同研究契約を締結し、新たながん治療法として注目される α 線放出核種を用いたRI内用療法に使用する ^{212}Pb ジェネレータの開発研究に着手しました。同療法は、体の内部から α 線のがんを狙い撃ちすることで、転移性のがんにも有効な「切らずに直すがん治療」として期待されています。

^{212}Pb ジェネレータは、原子炉や加速器などの大型設備を用いることなく、 ^{224}Ra から ^{212}Pb を製造することができる小型装置です。この研究は、平成29年度国立研究開発法人 科学技術振興機構の産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（OPERA）に採択された5年間のプロジェクトとしてスタートしています。

【 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータの日本における独占販売契約を締結】

^{68}Ga 溶液は転移性前立腺がん特有のがん組織を特定する ^{68}Ga 標識のPET診断薬の製造に使用されます。この溶液を手軽に溶出できる $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータは、欧米や日本を除くアジア・オセアニア地区ではすでに稼働して、PET診断薬の研究とともに患者の診断に役立っています。日本の核医学分野でも同ジェネレータの小型装置の利用に関する要望が高まっています。

当社はベルギーIRE ELiT社との間で、 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータ（Galli Eo[®]）についての日本での独占販売契約を2018年2月27日に締結し、公益社団法人日本アイソトープ協会を窓口の販売を開始しました。

【前立腺がん診断薬 ^{68}Ga -PSMA開発を目的とした共同研究に合意】

PETカメラを用いて前立腺がんを高い精度で診断できる ^{68}Ga 標識PET診断薬のなかで最も期待されているものが ^{68}Ga -PSMAであり、泌尿器科等の医学会から国内導入に大きな期待を寄せられています。

北海道大学医学部、住友重機械工業及びアトックスは、 ^{68}Ga -PSMAの国内使用を早期に実現するために共同研究を進めることで合意し、3年後に医師主導型治験（ヒトでの試験）を開始することを目指します。

※ PSMAとは：Prostate Specific Membrane Antigen の略称。前立腺特異的膜抗原

【人材育成の取り組み】

当社は、事業運営の基盤として人材・組織力と安全・品質の強化が必須であり、“基盤となる人材育成”を経営方針の一つに挙げています。東日本大震災以降、原子力発電所での定検工事等の機会が大幅に減少したこと、また、今後毎年多くの社員が定年退職を迎えることから、経験不足や技術力低下を未然に防ぎ、熟練技術者の持つ技能・ノウハウを次世代にいかにかに継承できるかが、重要なカギとなります。

そこで、協力会社も含めて技能・ノウハウの維持・高度化と継承が必要との観点から、東京都港区の本社、千葉県柏市の技術開発センター及び福島復興支社内にある技能訓練センター（2016年7月に発足）が連携して教育・訓練の充実と環境の整備に取り組んでいます。

本社では職制・専門・選抜に関する各種の教育、技術開発センターでは免許取得・更新に向けた各種の講習及び技術指導者に対する教育、並びに技能訓練センターでは現場作業で必要とされる知識・技能の実技教育を行っています。

〔遮蔽計算に関する社内研修計画〕

当社では社内案件に関係した遮蔽計算を行うとともに、社外のお客様からご依頼を受けた遮蔽計算を行っています。

遮蔽計算業務の将来性と人材育成の観点から、全国の事業所・営業所に遮蔽計算のニーズ及び遮蔽計算スキルの向上に関するアンケート調査を実施しました。この結果、多くの事業所・営業所からは、工事、輸送、廃棄物処理、RI取扱施設・加速器施設等での遮蔽計算が必要となる業務が今後増大することが予想されるので、当該業務に積極的に取り組む姿勢とともに、それに見合う人材育成のニーズが明らかになりました。

そこで、遮蔽計算に携わる人材の育成に関して、全国の事業所・営業所が遮蔽計算マニュアルに準拠して現場で対応できる要員を養成する基礎コース、及び放射線の透過計算のみならず、放射線のストリーミングや放射化計算にも対応できる要員を養成する中級・上級コースを設置して社内研修を行う予定です。

研修の実施により、遮蔽計算マニュアルの応用等で対応できる遮蔽計算は各現場にて実施できるようにします。複雑かつ計算コードを使用する遮蔽計算については、従前どおり技術開発センターで実施し、その内容は現場に十分説明して、円滑に業務を行うための基盤強化を進めてゆきます。

【アトックス技報この10年の論文から見た技術開発の傾向】

アトックス技報は2010年1月に創刊号を発行して以来、今号で第10号となります。26～29ページに創刊号から第10号までの10巻のアトックス技報に掲載された論文の表題一覧及びトピックス・アトックス情報の表題一覧を示します。また、論文数に関する統計を、前半5ヵ年（No.1 2009～No.5 2013）と後半5ヵ年（No.6 2014～No.10 2018）に分けて表に示します。

表中の①は論文数を示しており、論文の総計は86編です。前半5ヵ年と後半5ヵ年での論文の数にはほとんど差はありません。

表中の②は用途先別の論文数を示しています。「福島第一原子力発電所」関係と「その他の原子力発電所」関係の論文数はほぼ同じですが、「その他の原子力発電所」関係の論文が前半5ヵ年に約2/3を占めているのに対して、「福島第一原子力発電所」関係の論文が後半5ヵ年で約2/3を占めています。また、「核燃料サイクル施設、RI・放射線施設及び基盤技術」関係の論文は全体の約1/5であり、後半5ヵ年で減少しています。このように後半5ヵ年では「福島第一原子力発電所」関係の論文が増えています。

表中の③は技術・サービス分野別の論文数を示しています。技術・サービス分野としては、“除染・洗浄”、“汚染防護”、“廃止措置・切断・解体”、“作業性・安全性向上”、“廃棄物処理”、“分析・検査・情報処理”、“エンジニアリングサービス”及び“国プロ等”の8分野に大別しています。

“除染・洗浄”、“分析・検査・情報処理”、及び“作業性・安全性向上”の3分野の論文がそれぞれ約1/4を占めています。“除染・洗浄”及び“分析・検査・情報処理”の2分野では、前半5ヵ年と後半5ヵ年で論文数はあまり変わっていませんが、“作業性・安全性向上”の分野では、論文数はほぼ半減しています。また、“国プロ等”、“廃止措置・切断・解体”、“廃棄物処理”及び“エンジニアリングサービス”の4分野での論文がそれぞれ約1/10を占めています。“国プロ等”及び“エンジニアリングサービス”の2分野では、論文が後半5ヵ年で急増していますが、一方、“廃止措置・切断・解体”及び“廃棄物処理”の2分野では、論文がほぼ半減しています。

このように、東日本大震災以降、アトックスが「福島第一原子力発電所」に関する技術開発に注力し、“国プロ”関係及び“エンジニアリングサービス”の案件に積極的に取り組んでいることが表からも見て取れます。

表中の③技術・サービス分野のなかの“国プロ等”をそれ以外の7分野に再分類して、「福島第一原子力発電所」、「その他の原子力発電所」及び「核燃料サイクル施設、RI・放射線施設及び基盤技術」関係での傾向を見ました。「福島第一原子力発電所」関係と「その他の原子力発電所」関係については、いずれも“除染・洗浄”に関する論文が多数を占めています。

それ以外の傾向としては、「福島第一原子力発電所」関係では“作業性・安全性向上”と“エンジニアリングサービス”の分野の論文が多く、「その他の原子力発電所」関係では“廃止措置・切断・解体”、“作業性・安全性向上”及び“廃棄物処理”の分野の論文が多くなっています。一方、「核燃料サイクル施設、RI・放射線施設及び基盤技術」関係では、“分析・検査・情報処理”の論文が約2/3を占めており、“エンジニアリングサービス”分野の論文が次いでいます。このように、「核燃料サイクル施設、RI・放射線施設及び基盤技術」関係では、各種の検査・分析、遮蔽計算、化学的特性評価に関する論文が多くなっています。

号 年	No.1 2009 ～ No.5 2013	No.6 2014 ～ No.10 2018	No.1 2009 ～ No.10 2018
① 論文数			
論文数	46 編	40 編	86 編
② 用途先別			
福島第一原子力発電所	13 編	23 編	36 編
その他の原子力発電所	21 編	10 編	31 編
核燃料サイクル施設、 RI・放射線施設 及び基盤技術	12 編	7 編	19 編
③ 技術・サービス分野別			
除染・洗浄	12 編	10 編	22 編
分析・検査 ・情報処理	11 編	9 編	20 編
作業性 ・安全性向上	11 編	5 編	16 編
国プロ等	1 編	7 編	8 編
廃止措置 ・切断・解体	5 編	2 編	7 編
廃棄物処理	4 編	2 編	6 編
エンジニアリング サービス	1 編	5 編	6 編
汚染防護	1 編	—	1 編

【アトックス技報の論文 表題一覧】

号年 (発行日)	No.10 2018 (2018.12. 1)	No.9 2017 (2017.12. 1)	No.8 2016 (2016.12. 1)	No.7 2015 (2015.12. 1)	No.6 2014 (2014.12. 1)
技術・サービス	表題(執筆者、所属)				
除染・洗浄	●廃液非排出型電解除染工法の導入検討(多田哲朗、CT部)	●小型遠隔ガレキ回収装置の開発(櫻木俊太、BT部) ●養生シートに由来する残留糊除去工法の検討(櫻井祥隆、BT部) ●噴霧式油膜除去技術の実用化研究(相川浩平、CT部)	●コンクリートガレキ除染工法の検討(長谷川暁、BT部)	●タンク内底部洗浄装置の開発(毛利文昭、RE部)	●小型遠隔除染装置“RACCOON II”の開発(鈴木康之、BT部) ●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(岩田将幸、CT部) ●吸引回収式プラストヘッドの開発(金森洋次、BT部) ●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(末森友英、CT部)
汚染防護					
廃止措置・切断・解体		●廃止措置に伴う金属廃棄物切断工法の検討(佐野優太郎、BT部)	●廃止措置工事の標準書作成(佐野優太郎、BT部)		
作業性・安全性向上	●重量物積載可能な階段走行機構の確立(及川智也、BT部)	●ワイヤ干涉駆動型多関節アームの開発(西村悠太、RE部)	●遠隔装置のための走行機構の開発(加藤清朗、BT部) ●可搬型遮蔽体の開発(加藤貴志、RE部) ●原子炉建屋用昇降リフターの開発(蓮見忠之、RE部)		
廃棄物処理			●使用中中性子検出器解体処理におけるBF ₃ ガス安定化処理装置の開発(櫻井達也、CT部)		●固体廃棄物粉碎減容工法の調査・試験(長谷川暁、BT部)
分析・検査・情報処理	●クリアランス検認装置の開発進捗(河野秀紀、CT部) ●トリプル四重極ICP-質量分析法によるセシウム同位体分析法の開発(芝原裕規、CT部) ●ドローン運用実績と今後の展開(原田将吾、RE部)	●LED発信式PVモジュール検査装置の開発(佐藤伸弥、RE部) ●遮蔽ベスト着用時の被ばく線量評価(河野秀紀、CT部)		●遮蔽材料に対するγ線透過試験と遮蔽計算(河野秀紀、CT部) ●各種酸溶媒のストロンチウム吸着性能評価(大石有希子、CT部)	●原子炉事故時のヨウ素挙動に係るγ線照射試験と分析方法の開発(結城真美、CT部) ●太陽電池モジュール検査ロボットの開発(櫻井祥隆、RE部)
エンジニアリングサービス	●建屋内環境改善工事に向けたN-Visageシステムによる線量評価技術の展開(石川晃大、RE部)	●ドローンを用いた建屋内線量調査技術(齊藤大祐、RE部)	●医療用サイクロtron施設向け放射化低減用中性子遮蔽体の開発とその評価(熊谷雅章、事業開発部)	●ドローンを活用した調査技術の開発(齊藤大祐、RE部)	●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的设计・施工(大内利勝、東海営業所)
国プロ等	●遠隔コンクリート試料採取装置の開発(加藤清朗、BT部)	●スラリー安定化処理技術の検討(田村陽二、BT部)		●原子炉建屋の汚染状況の解析(金森洋次、BT部) ●HICスラリーの安定化処理に係る試験研究(柴田浩平、BT部) ●土壌中放射性Sr捕集のためのPRB技術の適用性評価(飯塚幸子、CT部) ●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(竹村友紀、CT部)	●円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発(平井計仁、RE部)

(注) CT部:基盤技術開発部、BT部:バックエンド技術部、RE部:ロボティクスエンジニアリング部、技開セ:技術開発センター

号年 (発行日)	No.5 2013 (2013.12. 1)	No.4 2012 (2012.12. 1)	No.3 2011 (2011.12. 1)	No.2 2010 (2010.12. 1)	No.1 2009 (2010. 1.27)
技術・サービス	表題(執筆者、所属)				
除染・洗浄	<ul style="list-style-type: none"> ●小型遠隔除染装置“RACCOON”の開発(佐藤伸弥、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●遠隔ジェット洗浄・回収装置の開発(伊藤俊介、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●環境修復に係る除染試験(中澤利雄、RI事業部) ●廃液非排出型電解除染装置の開発(末森友英、技開セ) ●プロアブラスト除染工法の開発(高橋政太郎、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●IDR型壁面除染機の開発(畑谷周作、技開セ) ●タンクのスラッジ回収装置の開発(伊藤俊介、技開セ) ●水中除貝装置の開発(鈴木貴史、技開セ) ●プラスト除染工法の確立(武田直樹、技開セ) ●金属ナトリウム除去工法に係る安全性の検討(濱田洋成、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●バックアップ用壁面除染装置の開発(平井計仁、技開セ) ●BWRサブプレッション・チェーンバー吸込みストレーナ点検清掃装置の開発(福島新一、技開セ)
汚染防護	<ul style="list-style-type: none"> ●可剥性塗料を用いた汚染防止方法の検討(高橋政太郎、技開セ) 				
廃止措置・切断・解体	<ul style="list-style-type: none"> ●自動溶接による配管閉止工法の開発(藤田尚史、技開セ) 		<ul style="list-style-type: none"> ●遠隔自走式プラズマ切断機の開発(大場誠一郎、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●廃止措置エンジニアリング塔槽類撤去工事例ー(淀利美、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●飛散防止機能付配管切断機の開発(大場誠一郎、技開セ) ●組立式グローブボックスによる配管切断工法の検討(大場誠一郎、技開セ)
作業性・安全性向上	<ul style="list-style-type: none"> ●除染ロボット用遠隔走行装置の開発(浦広幸、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●小型自走式点検装置の開発(河野秀紀、技開セ) ●被ばく低減用遮へいスーツの開発(中村賢司、技開セ) ●循環水式冷却服「クールザック」の開発(中村直哉、技開セ) ●管内走行装置の開発(木村裕姫、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●水圧鉄管検査ロボットの開発(小林峰人、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●ドラム缶表面観察装置の開発(石山博紀、技開セ) ●APDパイプユニットの開発(河村真吾、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●ドラム缶転倒防止のための免震バレットの開発(忠海俊也、技開セ) ●異物混入防止手摺の導入(平井計仁、技開セ) ●水遮へい体工法に関する研究(有馬昌邦、技開セ)
廃棄物処理	<ul style="list-style-type: none"> ●滞留水処理業務における付帯装置の導入(藤原主也、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●可搬型廃液浄化処理装置の開発(末森友英、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●使用済NIS検出器充填BF₃ガスの安定処理装置の開発(大橋秀道、技開セ) 		<ul style="list-style-type: none"> ●微生物酵素による廃イオン交換樹脂の減容化(河村真吾、技開セ)
分析・検査・情報処理	<ul style="list-style-type: none"> ●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(櫻井達也、技開セ) ●遮蔽計算コードによる⁶⁰Co照射施設の線量評価(鶴巻麻美、技開セ) ●低集積線量インジケータの評価試験(大石有希子、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●燃料体番号確認及び外観検査用水中カメラの開発(河村真吾、技開セ) ●海水中に含まれるCs、Srのフェノール系陽イオン交換樹脂吸着特性試験(有馬昌邦、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●天然ゼオライトのセシウム吸着特性試験(藤井靖彦、技開セ) ●酢酸亜鉛中の微量ふっ化物イオンの定量(飯塚幸子、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●モンテカルロ法による放射線輸送計算ーホットセル監視カメラアセンブリの放射線遮へいー(伊藤麻美、技開セ) ●微量よう素の定量ー放射性廃棄物の処理・処分に係る分析技術の検討ー(結城真美、技開セ) 	<ul style="list-style-type: none"> ●ウラン廃棄物中のウラン非破壊測定に関する技術調査(櫻井達也、技開セ) ●減損亜鉛化合物中の微量塩素・臭素・よう素の定量(飯塚幸子、技開セ)
エンジニアリングサービス		<ul style="list-style-type: none"> ●PET治験薬製造に係る先端医療センターとの共同事業の概要(佐々木將博、RI事業部) 			
国プロ等	<ul style="list-style-type: none"> ●原子炉建屋内の線量解析(河野秀紀、技開セ) 				

【アトックス技報のトピックス・アトックス情報 表題一覧】

号年 (発行日)	No.10 2018 (2018.12. 1)	No.9 2017 (2017.12. 1)	No.8 2016 (2016.12. 1)	No.7 2015 (2015.12. 1)	No.6 2014 (2014.12. 1)
巻頭言/ ご挨拶	●「アトックス技報」第10号の刊行にあたり(代表取締役社長 矢口敏和)	●より普遍的な価値の提供を目指して(取締役技術開発センター長 成瀬克彦)	●Structuring and positioning for Fukushima challenge (ANADEC Vice President Francois ROUX)	●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)	●ANADECの発足に当たって(ANADEC代表取締役社長 藤川正剛)
トピックス	<ul style="list-style-type: none"> ●各種シンポジウムで開発技術・研究成果を紹介 ●東京電力ホールディングス(株)から取材を受け、廃炉情報誌「はいろみち」にインタビュー記事掲載 ●医療事業への最近の取り組みと展開 	<ul style="list-style-type: none"> ●汚染水処理用Cs、Sr吸着フィルターの開発と実用化 ●技術開発センターにおける線量評価・遮蔽計算業務の取り組み ●汚染土壌の減容技術実証事業をANADECと当社の共同実施体制で実施中 ●“WM SYMPOSIA 2017”の日本パビリオン展示ブースで技術を紹介 ●「福島第一廃炉国際フォーラム」で“スラリー安定化処理技術”の研究成果を紹介 	<ul style="list-style-type: none"> ●「福島第一廃炉国際フォーラム」で技術開発成果を紹介 ●日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門で『技術業績賞』を受賞 ●「福島県廃炉・除染ロボット技術研究会」が技術開発センターをご視察 ●ANADEC:第3回エキスパートミーティングの開催 	<ul style="list-style-type: none"> ●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 ●ロボット・遠隔技術開発及び新分野開拓への取り組み ●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 ●アレバの経営幹部が技術開発センターを訪問 ●本社に廃炉専門部門の「廃止措置担当室」を設置 ●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 ●本社事業開発部における医療事業分野への取り組み ●技術開発センターにおける技術開発の成果を公開 ●社外の研究会・委員会を技術開発センターで開催 	<ul style="list-style-type: none"> ●アレバとの合弁会社ANADECが発足、技術連携を強化 ●開発機器・工法の現場導入 ●国家プロジェクトの実施 ●技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)に加入 ●水位測定用遠隔操作ロボットが、NHKEテレ『サイエンスZERO』で紹介 ●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	<ul style="list-style-type: none"> ●人材育成の取り組み・遮蔽計算に関する社内研修計画 ●アトックス技報この10年の論文から見た技術開発の傾向 ●アトックス技報の論文 表題一覧 ●アトックス技報のトピックス・アトックス情報 表題一覧 ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要 	<ul style="list-style-type: none"> ●登録特許一覧 ●アトックスの概要 	<ul style="list-style-type: none"> ●技術開発センター各部における技術開発の取り組み状況 ●技術開発センター紹介DVDを更新 ●技術開発センターにおける化学分析等の業務の取り組み ●福島復興支社が新社屋に移転、廃炉と福島復興事業に総力 ●頭部専用PET装置の実用化研究に着手 ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要 	<ul style="list-style-type: none"> ●登録特許一覧 ●アトックスの概要 	<ul style="list-style-type: none"> ●技術開発センターの組織改編と各部の取り組み課題 ●本社社屋の移転と事業本部の組織改編 ●登録特許一覧 ●アトックスの概要

号年 (発行日)	No.5 2013 (2013.12. 1)	No.4 2012 (2012.12. 1)	No.3 2011 (2011.12. 1)	No.2 2010 (2010.12. 1)	No.1 2009 (2010. 1.27)
巻頭言/ ご挨拶	●キュリー夫妻の手作り装置(特別顧問理学博士 吉田善行)	●今こそ、国内外の技術を結集して原子力の信頼回復を(代表取締役社長 矢口敏和)	●東日本大震災からの復旧・復興に向けてアトックス一丸となって取り組みます(取締役社長 矢口敏和)	●アトックス設立30周年にあたって(特別顧問 藤井靖彦 東京工業大学名誉教授)	●「アトックス技報」の創刊にあたって(取締役技術開発センター長 藤川正剛)
トピックス	●福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術的取り組み ・開発機器の現場導入、福島支援における対応状況 ・国家プロジェクトへの積極的取り組み ●福島復興/廃止措置事業を見据え、仏アレバ社と合弁会社設立で基本合意 ●新技術開発、新分野開拓への取り組みー国内外の機関・大学との技術連携を強化ー ・無人ヘリコプターによる環境放射線測定プロジェクト ・太陽光パネル検査ロボットの開発	●福島復興への技術開発センターの最近の取り組み ・放射性滞留水処理装置の運転・保守支援、開発機器による除染ホット試験 ・今後のロボット利用拡大を見越して、米国Robot社よりロボット取扱い・メンテナンス資格を取得 ・ ⁶⁰ Co照射施設を活用した遮蔽材の開発試験 ●技術開発センターが文科相より科研費の機関指定 ●福島第一原発廃止措置に向けた国家プロジェクトに社を挙げて取り組み ・資源エネルギー庁「総合的線量低減計画策定」プロジェクトの補助事業者に採択 ・遮蔽計算技術を高度化、福島関連の評価に的確に対応 ・フランス AREVA社との技術協力関係を強化 ●福島復興に向けて機動性を持った組織体制に一新 ●千葉県柏市はじめ自治体等からの放射能測定に協力	●会社組織を改定:福島復興本部を新設、技術開発センターを改組 ●福島復興への技術開発センターの取り組み ●環境修復への取り組み ●東北大学「カムランド禅」にキセノン取扱設備を納入 ●「原子力デコミッション研究会」が施設見学会を開催	●アトックスは本年9月に設立30周年 ●技術開発センターへの訪問者が、本年7月に1,000名を達成 ●配管内走行装置を千葉工業大学と共同開発 ●実験棟模擬ウエルにて、東北大学がニュートリノ実験用バルーンの展張試験 ●サブプレッションチェンバー内機器点検・清掃装置の試験・訓練施設整備	
アトックス 情報	●技術開発センターの研究施設・設備と提供サービスのご紹介 ●ロボット運用に関する環境を整備、技術サービスを提供 ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要	●アトックスにおける情報セキュリティの取り組み ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要	●ガンマ線照射施設を利用した照射サービス ●照射材料の化学分析技術 ●活性炭フィルタ性能評価技術 ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要	●厚板炭素鋼の水素ガス切断工法 ●三次元測量による廃棄物量の推定 ●当社保有装置を利用した分析・測定技術 ●登録特許一覧 ●特許の紹介 ●アトックスの概要	●技術開発センターの紹介 ●廃止措置関連事業部の設置 ●特許・実用新案登録情報 ●アトックスの概要

◆ 登録特許一覧

2018年12月 現在

特許番号	登録年月日	発明の名称	当社発明者	権利共有者
3452138	2003.7.18	配管内足場設置方法及び配管内足場	—	—
3986918	2007.7.20	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	2007.11.2	小口径配管の半割切断機	高橋 幸、飛田 哲史	—
4115708	2008.4.25	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	2008.11.21	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	2008.11.28	小口径配管の連続除染装置	吉村 英夫、高橋 幸	—
4256538	2009.2.6	フードマスク洗浄装置	工藤 一博、榎井 茂 渡辺 一也	—
4256548	2009.2.6	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	2009.2.20	ゴム靴の除染方法	工藤 一博、石川 俊行	四国電力(株)
4261905	2009.2.20	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	—
4460267	2010.2.19	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	2010.3.12	スプレー式電解研磨除染装置	高橋 幸、馬場 賢哉	—
4509732	2010.5.14	小口径配管の半割方法及び装置	高橋 幸、斉藤 浩 福田 寛	—
4514688	2010.5.21	水中塗膜補修装置	忠海 俊也、武田 直樹	—
4520786	2010.5.28	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	2010.7.30	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	—
4806782	2011.8.26	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	2013.1.11	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	2013.1.25	配管切断用治具及び切断機	大場 誠一郎、古平 顕	—
5684626	2015.1.23	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	—
5921299	2016.4.22	管理区域境界用バリア	笠井 信二、松下 恵一	—
5946037	2016.6.10	走行装置	木村 裕姫	千葉工業大学
6222601	2017.10.13	太陽電池モジュール検査装置	忠海 俊也、櫻井 祥隆	長岡技術科学大学 (国研)産業技術総合 研究所 (株)戸上電機製作所
6245963	2017.11.24	接続ライン支持台車	中村 直哉、佐藤 伸弥 伊藤 俊介、中村 賢司 福島 新一	—
6284143	2018.2.9	段差昇降車両	浦 広幸	千葉工業大学
6325819	2018.4.20	走行型測定装置	吉村 英夫	—

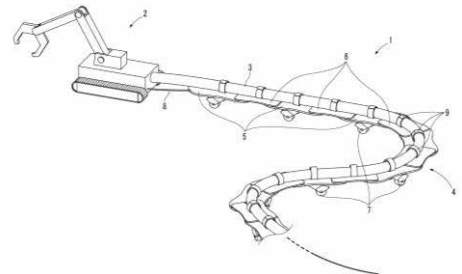
◆ 特許の紹介

特許番号：特許第 6245963 号
 発明の名称：接続ライン支持台車

製鉄所等で高温の床面を移動する装置への各種ケーブル、ホース等の接続ラインを保護する保護用台車では、接続ラインが構造物の角部等に沿って折れ曲がりながら牽引されることは想定されておらず、台車が接続ラインに引っ張られて角部側に倒れたり、角部に引っかかって円滑に移動できなかつた。

本発明の接続ライン支持台車は、一連の複数の連結部材、それを連結する連結部、進行方向に対し左右両側に設けられた 2 つの車輪、接続ラインを取り付けるための取付け部材を備えている。

接続ライン支持台車は、構造物の角部等から大きな力を受けることなく円滑に走行することができ、さらに連結体の振れを抑制して連結部材の転倒を防止することができる。

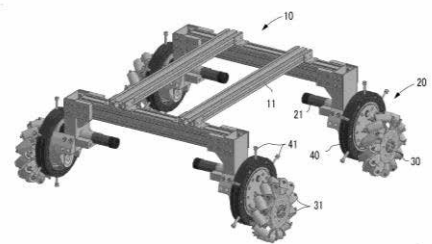


特許番号：特許第 6284143 号
 発明の名称：段差昇降車両

原子力発電所内等で使用される遠隔操作の除染装置には、平坦な床面等の走行と階段等の段差の昇降が要請されるが、円滑な走行ができない、構成が複雑などの課題があつた。

本発明の段差昇降車両は、第1の回転軸線周りに回転する主車輪と、それに平行で主車輪の径方向で間隔を存した位置にある第2の回転軸線周りに回転する段差用車輪を備えている。段差用車輪は、回転軸線周りに回転する回転体とその外周面に固定された複数の突起を有する簡易な構成で、共通の駆動源により回転する。

段差昇降時には、段差用車輪の突起が階段のステップ面等に押し当たった状態で回転し、階段等の段差の昇降が可能となる。また、通常の平坦路走行時には、主車輪の回転により円滑に走行することができる。

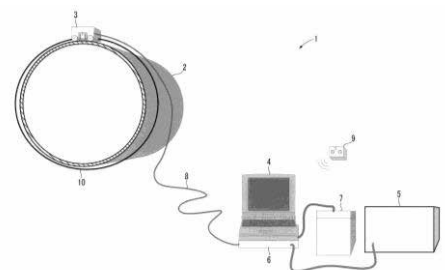


特許番号：特許第 6325819 号
 発明の名称：走行型測定装置

従来の走行型測定装置には、配管等の鉄構造物にマグネット車輪が吸着し、その表面を走行しながら超音波板厚計により板厚を測定する台車等があるが、装置重量の増大により検査員の手動による走行には適していなかつた。

本発明の走行型測定装置は、磁石が吸着する材料で構成された測定物の表面を走行し測定部で測定物を測定するものである。走行測定部は、フレーム、測定物の表面上で走行するための複数の車輪、測定器、測定物の表面に吸着する磁石、磁石が測定物表面に吸着した状態が維持されるように移動自在に保持する磁石保持部、測定物表面との摩擦力を低減させる被覆を備えている。

検査員は、軽量化された走行測定部を容易に手動で測定物表面を走行させながら、測定物の測定を行うことができる。



※ 当社保有特許に関するお問い合わせ等は、技術開発センターまでお願いします。

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	代表取締役社長	矢口 敏和
	専務取締役	上田 諭
	常務取締役	伊東 一昭
	常務取締役	鈴木 良男
	常務取締役	土堂 広一
	常務取締役	坪井 伸一
	取締役	柳樂 昌宏
	取締役	紺谷 修二
	取締役	谷津田 尊之
	取締役	須賀 正和
	取締役	飯嶋 康之
	取締役	中里 誠
	取締役	成瀬 克彦
	取締役	藤井 浩
	監査役	伊藤 克己
	相談役	鈴木貞一郎
従業員数	1,669 名 (2018 (平成 30) 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、 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 Orano ATOX D&D SOLUTIONS Co., Ltd. (略称 ANADEC) 株式会社西日本クリエイト 株式会社青森クリエイト 株式会社福島クリエイト	

複製をご希望の方へ

株式会社アトックスは、本誌の複製に関する権利を一般社団法人学術著作権協会（JAC）に委託しています。

本誌に掲載されている著作物の複製を希望する場合は、事前に JAC の許諾を受けてください。

一般社団法人学術著作権協会（JAC）

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル

Eメール：info@jaacc.jp Fax：03-3475-5619

ただし、複製以外の引用・転載・翻訳等に関しては、直接、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.10 2018

ATOX TECHNICAL REPORT

平成 30 年 12 月 1 日発行

No.10 December 2018

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 +81-4-7145-3330

FAX 04-7145-3649

FAX +81-4-7145-3649

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