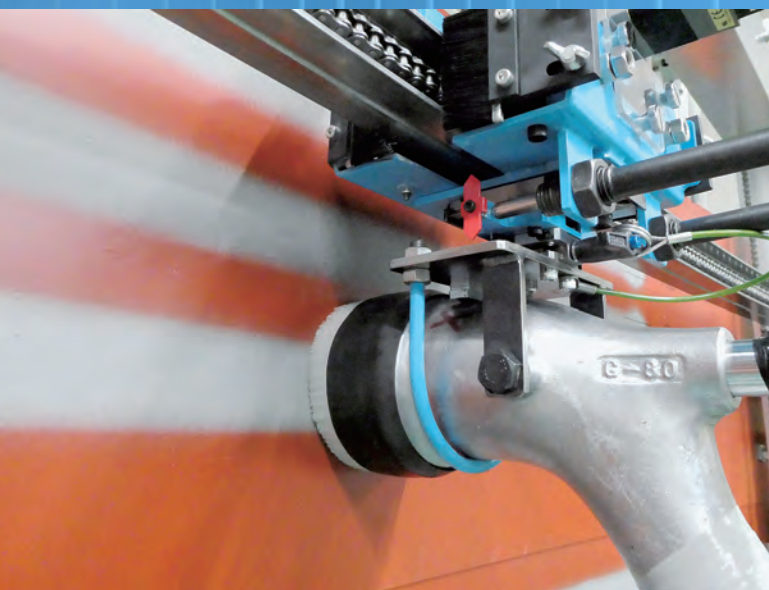


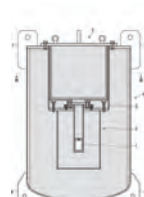
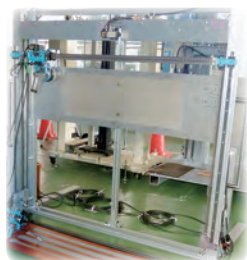
アトックス技報

ATOX TECHNICAL REPORT

No. 12 2020



巻頭言	Preface
頁/Page	
1	「アトックス技報」第12号の刊行にあたり
研究開発成果	R & D Activities
2	クリアランス検認用放射線計測装置 プロトタイプ機の開発 Development of Prototype Monitor for Radioactive Wastes Clearance Verification
4	ジオキサン減容処理工法の調査・検討 Investigation and Examination of Dioxane Volume Reduction Processing Method
6	セシウム吸着塔のサンプリング技術開発 Development of Sampling Technology from Cesium Adsorption Vessels
10	貯水タンク半自動除染工法の開発 Development of Semi-automatic Decontamination Method for Water Storage Tanks
12	プール内調査機器搬送装置の開発 Development of Transport Device for Underwater Survey Equipment
14	小型簡易 3D スキャナの開発 A Development of Small and Simple 3D-Scanner
16	1号機原子炉建屋ウェルプラグ調査 The Investigation of the Unit 1 Reactor Building Well Plugs
トピックス	Topics
20	エンジニアリングサービスセンター（ESCA）の新設 実規模パルスカラム試験設備に係る管理区域内設備解体撤去及び 管理区域解除工事の完遂
21	日本原子力学会で研究開発成果を紹介 テレワークで得られた経験 放射線遮蔽設計法に係るワークショップを開催
アトックス情報	ATOX Information
22	特許一覧
23	特許の紹介
24	アトックスの概要



【表紙画像の説明】

左の画像は、燃料取替用水タンクのリブレース工事に伴うタンク内面の除染工事のうち、除染ムラの解消および作業員の負担軽減のため開発したホット試験機の外観です（pp. 10-11参照）。右の画像は、使用済み燃料プール内の調査をする水中探査ロボットを遠隔で操作するために開発した水中探査ロボット搬送機構の外観です（pp. 12-13参照）。

（〔左〕ロボティクスエンジニアリング部 廃棄物技術Gr. 中村直哉、〔右〕同 運用技術開発Gr. 伊藤俊介 画像提供、ロボティクスエンジニアリング部 測定・調査技術Gr. 五味正博 制作）

「アトックス技報」第12号の刊行にあたり — 現場に直結したものづくりを目指して —

技術開発センター長 福島 新一



2020年7月1日に株式会社アトックスの技術開発センター長を拝命しました福島新一でございます。「アトックス技報」第12号の刊行にあたりご挨拶申し上げます。

2011年の東日本大震災によるアトックスの事業環境の変化とともに、技術開発センターの取り組みも大きく変わりました。中でも、高線量下における遠隔作業技術においては、国の研究開発プロジェクトに携わるなど技術的な躍進も遂げてきました。しかし一方で、これまで主要業務としてきた全国の原子力発電所における除染装置や新工法の開発機会が減り、技術開発センターのメンバーが各地の現場で直接装置に触れる経験が少なくなっていると感じています。

震災前、当時の技術開発部に配属された私も数々の現場導入機器に直接触れることで、様々な課題と向き合い、失敗を繰り返しながら何とか切り抜けてきました。装置に直接触れて考えるという経験の中で様々なアイデアで試行錯誤し、技術者としての引き出しを増やせたのではないかと考えています。

技術開発センターでは、1979年の開設当初から、現場に役立つ機器や工法の開発を行ってきました。これらの開発物は現場作業を安全、効率的に進める現場目線の工夫やアイデアを凝らしたものが多く、人と機械、装置が融合し、お互いに作業を補填しあいながら作業を進めて行く、アトックス技術の良さが詰まっています。

会社創設から40周年、「新5ヶ年計画」の初年度を迎え、本年の9月には設計及び工事の計画の認可（設工認）が必要となる業務に対応する組織としてESCA（Engineering Service Center of ATOX）が新設されました。ESCAと技術開発センターがアトックス技術の両輪となってさらに技術レベルの高い領域に向かい、発展・進歩の覚悟でおります。

そのためには、課題や難題を解決するために多くの引き出しを持った技術者の育成が必要で、現場に近いモノづくりを多く経験できる技術開発センターとなるよう取り組んでまいり所存です。

今号の「アトックス技報」でも、アイデアや工夫が詰まった技術開発成果や現場技術を集めています。本技報を多くの方々にご覧いただき、ご意見、ご講評を賜れば幸いに存じます。今後とも一層のご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

2020年12月吉日

クリアランス検認用放射線計測装置 プロトタイプ機の開発

Development of Prototype Monitor for Radioactive Wastes Clearance Verification

原子力発電施設内で発生する金属性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測定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の開発を進めてきた。基準核種としての⁶⁰Co の放射エネルギーから核種組成比を用いてクリアランスの評価・判定するためのシミュレーション計算を進め、プロトタイプ機を完成した。

キーワード：放射性廃棄物、クリアランス、Ge 半導体検出器、シミュレーション計算

To reduce the amount of metallic radioactive wastes which are generated in nuclear power plants, it is required that the wastes are decontaminated up to the clearance level and carried outside the plants as recyclable materials. In order to perform clearance verification measure work efficiently, we tried to develop a clearance measuring equipment consisting of Ge semiconductor detectors, which characteristics of pre-treatment works are considered. And we carried out Monte Carlo simulation calculations to evaluate the amount of activity of ⁶⁰Co. Finally, our development of a prototype equipment was completed.

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

1 背景と目的

原子力発電施設の運転中及び廃止措置中に発生する放射性廃棄物の処理は大きな課題となっている。このうち低レベル放射性廃棄物については、クリアランスレベルまで除染することにより一般物として搬出し再利用する動きが進められている。

法令に則り、効率よく放射能測定を行うための専用の放射線測定器が必要となる。そこで廃棄物の前処理から搬出管理までの一連の作業工程を考慮した、クリアランス検認用放射線測定装置の開発を進めてきた。

本開発は、実機設計の前段階としてプロトタイプ機を完成させるにあたり、日本原子力学会標準“クリアランス判断方法”に従った放射能評価方法を確立していくとともに、合理的な評価結果となるようなシステムを開発した。

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、原子炉等規制法で定められた 33 核種のうち原子力発電所の号機毎に累積寄与率が 90%以上となるように核種を事前に調査し、国の認可を得て基準核種を選定する。基準核種に対する放射エネルギーを測定し、クリアランスレベル以下であることで検認が行われる。ほとん

どの原子力発電所の号機では、⁶⁰Co が金属対象物に対する基準核種となる。

(2) プロトタイプ機の特徴

1) 装置の特徴

本機の特徴は、①高効率 Ge 半導体検出器による γ 線エネルギーを識別した測定で、核種ごとの定量化が可能であることである。これで半減期の長い他の核種やコンクリート材のクリアランス検認に必要な複数の核種の定量化が可能である。②本機全体が約 3t と軽量で、かつ小型 (W2,000×L4,000×H2,700 mm) であり、重量物の設置が困難な場所での運用が可能である。また、対話型操作による半自動測定方式を採用している。

写真 1 に本機の全景、表 1 に仕様を示す。



写真 1 プロトタイプ機の全景

表1 本機の仕様

項目	仕様
測定対象	SUS304・SUS316・SS400の鋼材 (形状：平板、配管、半割配管)
測定線種	γ 線
測定器	Ge半導体検出器（相対効率50%）4台
検出限界	0.01Bq/g (^{60}Co 、30分測定×2回、8データ加算処理時)
質量計測	ロードセル方式（床置き）
高さ計測	レーザー計測方式
写真撮影	対象物の測定容器収納状態での撮影・保存
ID管理	バーコード読み取りによる帳票管理
測定容器	標準型BOX（W1,350×L1,350×H660mm）

2) 検出効率の算出

日本原子力学会標準に従い、核種分析法+核種組成比法+平均放射能濃度法に対応した分析用ソフトウェアを開発した。基準核種である ^{60}Co の放射能を評価するための分析用ソフトウェアとして、平板、配管及び半割配管に含まれる放射能に対するシミュレーション計算で得られた検出効率データベースを搭載している。測定対象物の種類、質量、充填高さ等の条件から分析用ソフトウェアにより検出効率を自動的に算出する。図1にデータベースから選択した検出効率による分析例を示す。

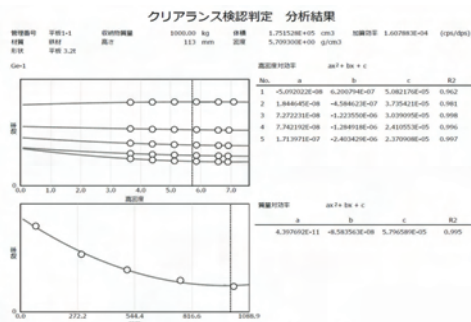


図1 データベースから選択した検出効率による分析例

3) 適切な安全率の選定

放射能の偏在位置によっては実際の放射能よりも少なく評価されてしまう。それを防ぐため適切な安全率を選定し、評価値に乗じる必要がある。

直方体の測定対象物を積載した時の ^{60}Co の検出効率の高低図の一例を図2に示す。これを用いて、各検出器の信号の寄与率から放射能分布を推定し、検出効率の高低図と比較することで放射能の偏在に合った安全率を選定するシステムを作成した。（特許出願中）

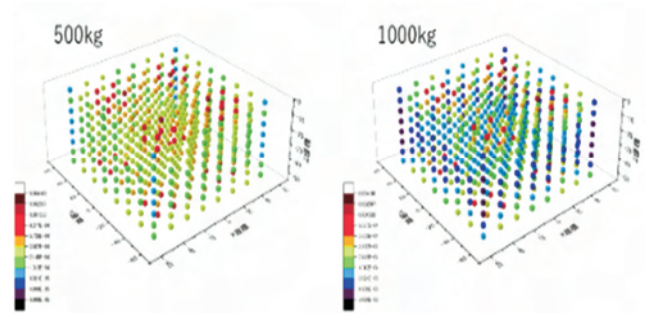


図2 検出効率高低

現在本機では模擬対象物及び標準線源を使用した種々の測定試験を実施することで許認可に必要なバックデータの採取を実施している。

3 結 語

平板、配管及び半割配管に含まれる金属対象物中の放射能量評価のための検出効率データベースを策定し、システムを完成した。

今後は測定対象の範囲を広げるためデータベースを充実させるとともに改良点を検討し、さらに使い勝手の良い実機的设计を目指す。



執筆者／基盤技術開発部

放射線・解析 Gr.

小柴 毅士



基盤技術開発部

放射線・解析 Gr.

鶴巻 麻美



基盤技術開発部

放射線・解析 Gr.

古川 浩司



ロボティクスエンジニアリング部

廃棄物技術 Gr.

櫻木 俊太



事業開発部

ESCA 廃止措置室

上野 康一

ジオキサン減容処理工法の調査・検討

Investigation and Examination of Dioxane Volume Reduction Processing Method

原子力施設でトリチウム分析に用いたジオキサンは有機廃液となる。原子力施設内の運用では、揮発性有機廃液を焼却処理することが困難である。焼却処理が出来ないことで、有機廃液の保管量が増加することから安全で適切な処理方法が求められている。無火気による処理方法として複数の処理方法を比較検証し、触媒酸化法が最も実用性に優れている結果が得られた。

キーワード：有機廃液、ジオキサン、減容、触媒酸化、廃棄物処理

Dioxane used for tritium analysis at nuclear facilities becomes liquid organic waste. However, it is difficult to incinerate volatile liquid organic waste. This leads to increase the amount of liquid organic waste storage. Therefore, a safe and appropriate treatment method is required. We compared and verified some fireless treatment methods, then obtained experimental results that a catalytic oxidation method is most practical.

Key Words : Liquid Organic Waste, Dioxane, Volume Reduction, Catalytic Oxidation, Waste Management

1 背景と目的

原子力施設内でトリチウム分析作業に用いられていたジオキサンは、有機廃液として管理区域内に保管されている。現時点において、施設内での安全で適切な処理方法は確立されていない。

本研究では、防火管理の観点から火気を使用しない安全な処理方法の調査及び技術の適用性を確認した上で、安全にジオキサンを処理する工法を確証することを目的とした。

2 開発概要／調査概要

(1) 処理対象物調査

処理対象物の調査からトリチウム分析廃液はジオキサンが9割程度で残りが水であることが判明した¹⁾。

以下に主成分であるジオキサンの性質を示す。

- ① 引火性液体であり、引火点 12℃、沸点 101℃
- ② 自然発火温度は 180℃
- ③ 空気と接触すると爆発性過酸化物を生成
- ④ 蒸気密度は 3.03g/cm³ であり、揮発後、空気中で下降し、下部に滞留する
- ⑤ ミスト吸入による有害性がある
- ⑥ 皮膚・眼に接触で刺激がある
- ⑦ 健康有害性として、発がんの恐れがある
- ⑧ 燃焼又は爆発範囲は 2.0～22vol%
- ⑨ 水への溶解度は 1.0×10⁶mg/L であり、水 20wt% を含む共沸混合物の沸点は 88℃となる

(2) 処理技術調査

処理技術の調査結果を表1に示す。

表1 処理技術調査結果

技 術	特徴
焼却法	処理量：多、火気使用
オゾン・紫外線法 ²⁾³⁾	処理量：極少、無火気
超臨界流体法 ⁴⁾	処理量：少、無火気、 高温高压、高価
触媒酸化法 ⁵⁾⁶⁾	処理量：少、無火気
電気分解法 ⁷⁾⁸⁾	処理量：不明、無火気、 水素等発生
過硫酸ソーダ法 ⁹⁾	処理量：不明、無火気、 二次廃棄物有

(参照文献：原子力機関のテクニカルレポート¹⁰⁾)

(3) 処理技術選定

表1の調査結果からニーズと照らし合わせ、安全性を考慮し、無火気で比較的安価、固体二次廃棄物の発生がない点を考慮し、オゾン・紫外線法、触媒酸化法、電気分解法を処理技術として選定し、比較検証した。選定した技術の概要を表2に示す。

表2 選定技術概要

技術	概要
オゾン・紫外線法	水で希釈し、オゾンと紫外線で分解
触媒酸化法	気化させ触媒で酸化分解
電気分解法	水で希釈し、電気分解

(4) 検証試験

表2に示した各工法について、ジオキサン処理試験を実施し、ジオキサンの分解率、発生廃棄物、処理速度のデータを取得した。試験に用いたジオキサン濃度は、工法毎で最適な濃度帯に調整したものを用い、処理のためにオゾン・紫外線法では苛性ソーダ、電気分解法では塩化ナトリウムを添加した。結果を表3に示す。

表3 各工法のジオキサンの処理試験結果

技 術	分解率	発生廃棄物	処理速度
オゾン・ 紫外線法	約50%	廃水 フィルタ 紫外線ランプ ジオキサンガス	30mL/h
触 媒 酸化法	97%	二酸化炭素 水蒸気	200mL/h
電 気 分解法	約50%	廃水 フィルタ 水素ガス 塩素ガス ジオキサンガス	40mL/h

オゾン・紫外線法及び電気分解法では、未処理のジオキサンが排ガスとして発生することから十分な風量で希釈し排出する必要がある。触媒酸化法ではジオキサンガスを水蒸気と二酸化炭素に分解するため、有害ガス（ジオキサンガス）の発生がなく、処理による固体又は液体の発生廃棄物がないことから他2工法よりも優れている。ただし、ジオキサンは空気との接触により爆発性を有する過酸化物を生成するため、安全な気化機構の検討が必要である。

3 結 語

調査、検証試験の結果から、触媒酸化法が実用性に優れる事が判明し、実機化への見通しを得た。以下に、本開発で得た成果を示す。図1に装置の構成イメージを示す。

- ① ジオキサン処理は安全性、効率、処理速度の観点から触媒酸化法が最適である
- ② ジオキサンのように揮発性が高く、引火点の低い有機溶剤を安全に、触媒酸化装置へ導入するためには、空気濃度を制御できる気化ユニットが必要である
- ③ 本処理装置はジオキサン以外の揮発性有機廃液処理への適用も見込まれる

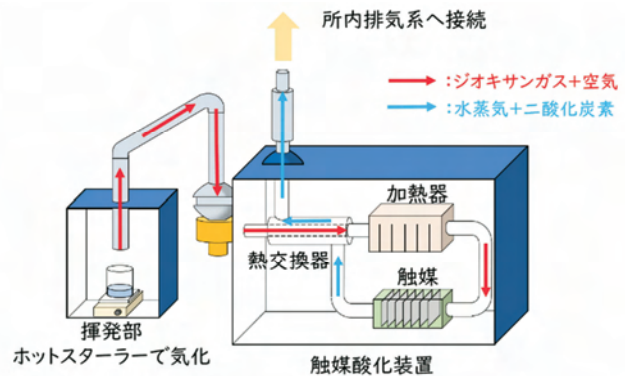


図1 処理装置の構成イメージ

参考文献

- 1) 石河 寛昭, 液体シンチレーションのカクテル剤, ファルマシア, 14 巻, 5 号, p. 367-370, 1978
- 2) SE-MOON PARK, et al., "Feasibility of UV-Photo degradation technology for detergent removal from laundry radioactive waste" (Proc. Int. LLW EPRI Conf. San Antonio, 2000), Rep. EPRI 1000671, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (2000)
- 3) SEKI, S., FUJIHATA, K., HIRUTA, K., TAKADA, T., "Decomposition of total organic carbon in equipment drain using ozone/UV treatment", ICEM'99(1999)
- 4) 赤井 芳恵, 山田 和矢, 高田 孝夫, 超臨界水を用いた放射性有機廃液処理, 日本原子力学会 2003 年秋の大会予稿集, p. 455, 2003
- 5) 小西 恵美子, 田原 隆志, 田村 孝章, 液体シンチレータ廃液の新しい処理方法 -触媒による低温燃焼処理-, 保健物理, 17 巻, 1 号, p. 45-49, 1982
- 6) Johan Braet & Aimé Bruggeman, Oxidation of Tritiated Organic Liquid Waste, Fusion Sci.&Technol.48, 188-193, 2005
- 7) A Method for the Treatment of Waste Matter,, European Patent EPO 297 738 B1,, filed 1989
- 8) 能勢 泰祐, 横山 祐三, 竹崎 秀昭, 花岡 祐三子, 水滴噴霧気中パルス放電プラズマによる 1,4-ジオキサンの処理, 化学工学論文集, 40 巻,, 1 号, p. 27-30, 2014
- 9) ESKANDER, S.B., SALEH, H.M., "Wet oxidative degradation of cellulosic wastes. 3: Decomposition of tissue paper", ICEM'99
- 10) IAEA Eds., Predisposal Management of Organic Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 427, 2004



執筆者／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. 内村 周平



事業開発部 多田 哲朗

セシウム吸着塔のサンプリング技術開発

Development of Sampling Technology from Cesium Adsorption Vessels

福島第一原子力発電所で発生した固体廃棄物は将来的な処理処分に向けてサンプリングされ、核種分析等が進められている。しかし、セシウム吸着装置の使用済吸着塔は非常に高線量かつ内部へのアクセスが困難であるため吸着材のサンプリングが実施されていない。本開発では吸着材のサンプリングに必要な「吸着塔の穿孔」、「吸着材の採取」、「穿孔部の閉止」に関する要素技術について検討を行った。

キーワード：セシウム吸着装置、サンプリング技術、穿孔技術、閉止技術

For future treatment and disposal, solid waste generated at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station has been sampled, and it has been used for analysis of nuclide and so on. However, since the dose rate of spent adsorption vessels of the cesium adsorption instruments is extremely high, accessing inside the vessels is very difficult and sampling from the vessel has not been carried out. This study examined perforation of adsorption vessel, sampling of adsorbent and closing of perforation hole. These are essential elemental technologies concerning sampling operations of adsorption agent.

Key Words：Cesium Adsorption Instrument, Sampling, Perforation, Closing of Perforation Hole

1 背景と目的

福島第一原子力発電所の汚染水処理装置であるセシウム吸着装置（以下、「KURION」という）及び第二セシウム吸着装置（以下、「SARRY」という）の使用済み吸着材の処理処分に関する研究として、サンプリング方法の検討が IRID^{*1} の研究案件として進められている。

2017年及び2018年度に国費補助事業^{*2}で KURION、SARRY からのサンプリング方法を検討し、試料採取のためには「吸着塔の穿孔」、「試料の採取」及び「穿孔部の閉止」（以下、一連技術）の確立が必要であると報告した¹⁾。

本件では 2019 年度及び 2020 年度の国費補助事業^{*3}での一連技術に関する要素試験の実施及び現場での適用性評価の中から、要素試験実施のための要素試験装置の開発状況について報告する。

2 開発概要／試験概要

過年度のサンプリング方法の検討では、吸着塔の上部に設置した採取装置により、遠隔で穿孔刃・サンプリングヘッド・閉止栓を垂直にスライドさせ、一連の作業を行う工法を採用した。これらの要素技術を確認するための要素試験装置の設計・製作にあたっては、IRID 及び分析・評価側の事業者と事前に採取条件を協議したうえで、要素試験の方針を定めた。採取条件を表 1 に、本件の開発フローを図 1 に示す。

要素試験装置の詳細設計では、一連技術に関する予

備試験を個別に実施し、これらの結果を設計にフィードバックすることで、必要な機能や仕様の精緻化を行った。

また、要素試験では実規模相当での適用性・作業性を評価するために、吸着塔上部を模擬した模擬吸着塔を用いて実施することとした。要素試験のイメージを図 2 に示す。

表 1 採取条件

項目		採取装置の要求仕様
対象	KURION	全吸着塔に対応
	SARRY	積層フランジ型に限定対応
採取量		10～20 mL／試料
採取点数		円周方向 1 点×深さ方向 1 点 (計 1 点／吸着塔)
採取深さ		表層～100 mm 程度
穿孔位置	KURION	吸着塔天板面
	SARRY	吸着材充填孔に積層されたフランジ及び溶接円板
閉止	条件	穿孔部の密閉性を確保し、閉止後も取外し可能なこと
	耐圧性	目標値 1.37 MPa

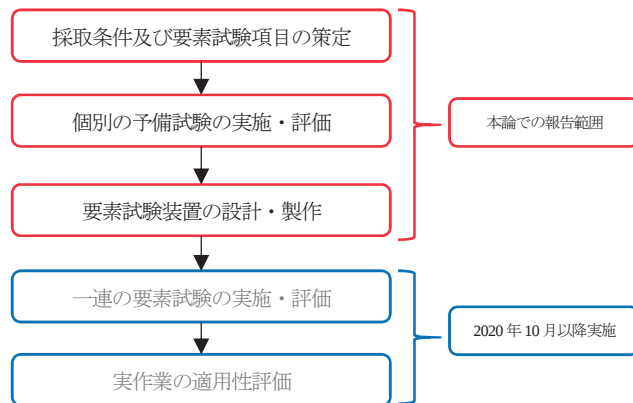


図1 開発フロー

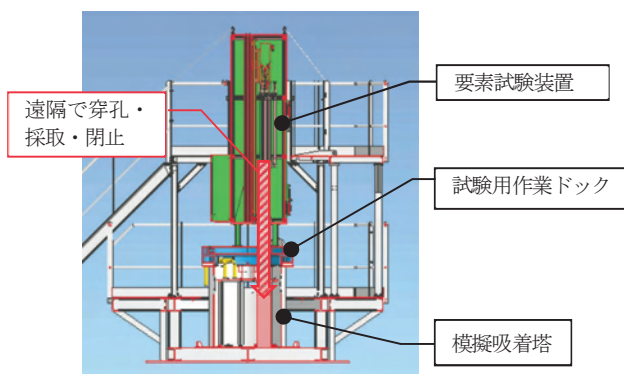


図2 要素試験のイメージ (断面図)

要素試験装置は穿孔刀・サンプリングヘッド・閉止栓の各種ヘッドツールを任意に取り換えることにより、遠隔で一連の作業を実施する。試験用作業ドックは上部の要素試験装置と下部の模擬吸着塔を連結する機能を有する。

(1) 穿孔予備試験

吸着塔穿孔の主な技術的課題は、電動機から穿孔刀の間を長尺のロッドで接続する点及び穿孔部の閉止を可能とするために精度の高い加工が要求される点である。穿孔技術の成立性を確認するため、穿孔刀及び予備試験用ロッドを試作し、立型フライス盤を用いて穿孔予備試験を実施した。穿孔予備試験の状況を図3に示す。穿孔予備試験の結果より得られた知見は以下の通りである。

- 穿孔時の切削片の大きさは穿孔刀形状に依存する。穿孔刀に吸引口を設け、切削片が通過できる形状に適正化することで吸着塔内への切削片の混入を回避する。
- 穿孔時発熱を抑制のための切削油の噴霧については、吸着塔内に混入しないように噴霧量の適正化を図る。

- 穿孔穴の真円度は、穿孔刀形状や穿孔パラメータとともに、ロッドの芯ブレにも影響される。ロッド長さは約 1,200 mm 程の長尺になるため、ロッドの芯ブレ対策が必要である。

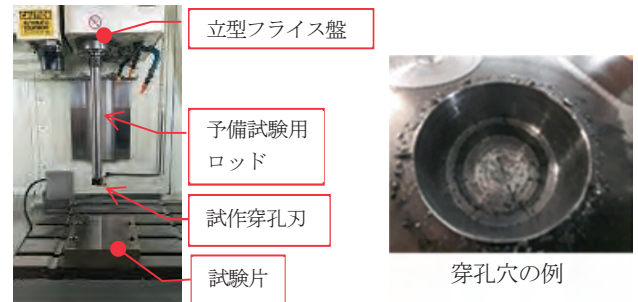


図3 穿孔予備試験の状況

穿孔予備試験の結果より要素試験装置の穿孔刀は切削油の噴霧及び切削片を吸引回収できる構造とした。また、ロッドの芯ブレを抑制するために、試験用作業ドックに球面軸受を設け、穿孔刀を保持できる構造とした。穿孔刀のイメージを図4に、芯ブレ抑制機能のイメージを図5に示す。

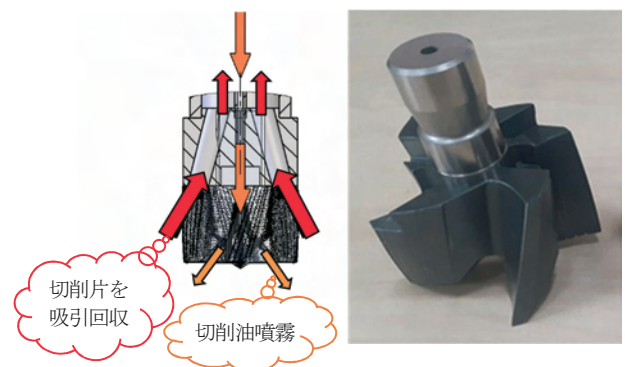


図4 穿孔刀のイメージ

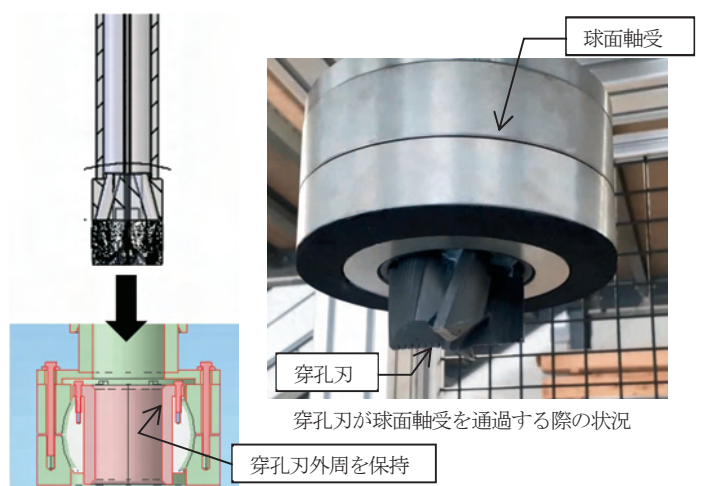


図5 芯ブレ抑制機能のイメージ

(2) 採取予備試験

試料採取の主な技術的課題は、被ばく防護の観点から目標量の範囲内で採取する点及び採取した試料が容易に飛散しないことが要求される点である。採取機構の形状を最適化するため、構造の異なる4種のサンプリングヘッド及び採取予備試験装置を用いて、採取予備試験を実施した。採取予備試験のイメージを図6に、試作したサンプリングヘッドを図7に示す。

サンプリングヘッドは採取した試料が容易に飛散しないよう、正順・逆順の回転により、採取口を開・閉できる構造とした。採取予備試験装置は垂直駆動モータ及び回転駆動モータを有し、遠隔で模擬サンプルを掘削し、サンプリングヘッドの回転方向を制御できる構造である。試験用の模擬サンプルは実際に使用されている吸着材の類似物である天然ゼオライトとし、粒径及び水分有無をパラメータとし、採取性を確認した。採取予備試験の条件を表2に、採取予備試験の結果を図8に示す。採取予備試験の結果より得られた知見は以下の通りである。

- 粒径が0.5～3 mmの範囲では採取性に有意な変化はない。
- 乾燥状態のゼオライトは流動性が高く、側面に採取口を設けたサンプリングヘッドで容易に採取できる。
- 湿潤状態のゼオライトは流動性が低く、試料を採取口内部へ掻きこむための可動部を有するベーン開閉式ヘッドのみ目標採取量を安定して達成できる。

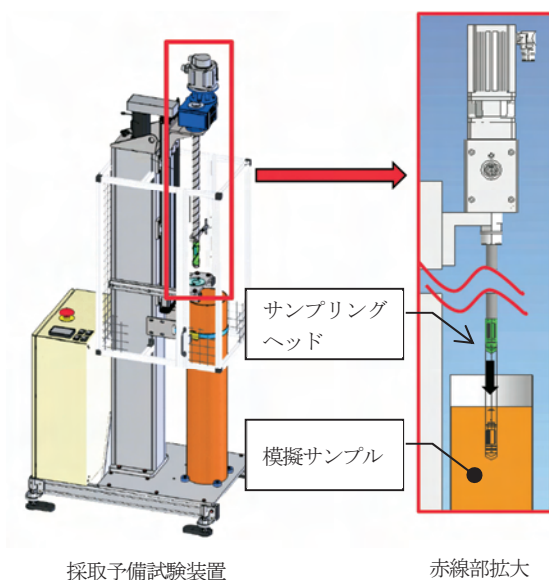


図6 採取予備試験のイメージ

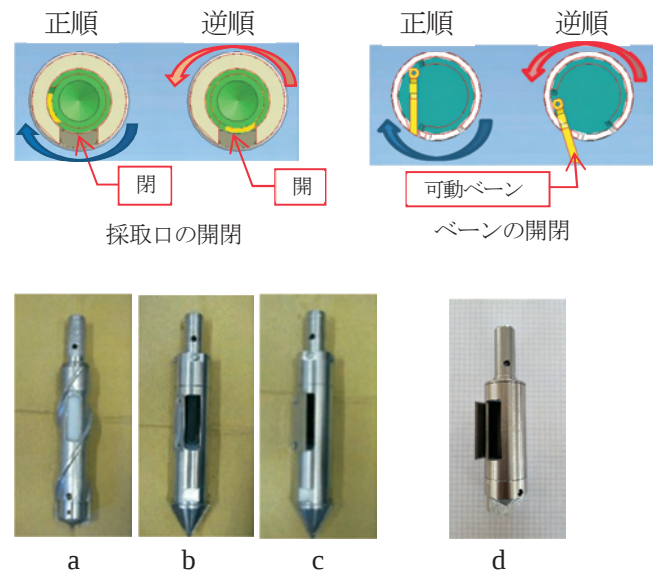


図7 試作したサンプリングヘッド

(a: スパイラルヘッド、b: フラットヘッド、
c: ベーン固定式ヘッド、d: ベーン開閉式ヘッド)

表2 採取予備試験の条件

項目	条件
採取位置	表層から 100 mm
送り速度	20 mm/s
回転速度	250 rpm
サンプリングヘッド	図7に示す4種のサンプリングヘッド
模擬サンプル	天然ゼオライト 水分状態：乾燥および湿潤の2パターン 粒径：以下、3パターン 0.5～1 mm (Z-05) 0.5～2 mm (Z-12) 1～3 mm (Z-13)

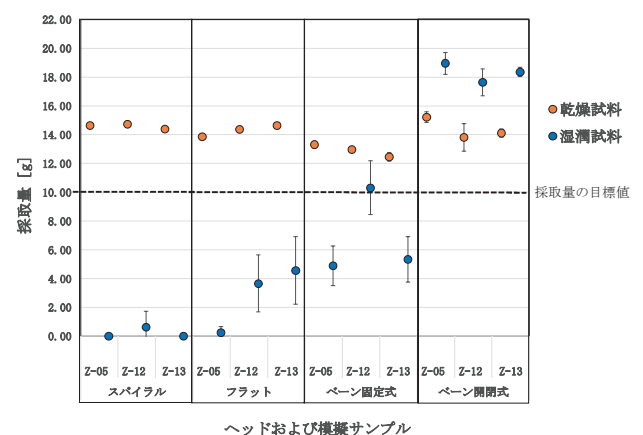


図8 採取予備試験の結果

採取予備試験の結果よりサンプリングヘッドは乾燥・湿潤状態の試料を安定的に採取することができるベーン開閉式ヘッドとし、要素試験装置を用いた一連動作においても同様の結果が得られるか確認を進めていく。

(3) 閉止予備試験

穿孔部閉止の主な技術的課題は、遠隔で閉止栓を取り付ける点及び高い耐圧性が要求される点である。閉止構造を最適化するため、閉止栓を試作し、フランジ試験片に手動で取付け、耐圧試験を実施した。試作した閉止栓及び耐圧試験の状況を図9に示す。

閉止栓は軸を回転させることにより、ポリウレタン部を拡張させ穿孔部を密封する構造である。また、軸を逆回転させることにより取外し可能な構造である。閉止予備試験の結果より得られた知見は以下の通りである。

- 閉止栓の耐圧性能は締め付け時の回転数に影響するが、適切な回転数で取り付けることで良好かつ目標値以上の耐圧性を確保できる。



図9 閉止栓及び耐圧試験の状況

閉止予備試験の結果よりポリウレタン部を拡張する閉止栓を用いることで良好な耐圧性を確保できた。要素試験装置で穿孔した試験片に遠隔で閉止栓を取り付けた場合においても、同様の結果が得られるか確認を進めていく。

(4) 要素試験装置の設計・製作

上記(1)～(3)の各予備試験で得られた結果を反映し、要素試験装置の設計・製作を実施した。要素試験装置を図10に示す。

実際の採取装置では、汚染防止対策や気密性などを考慮する必要があるため、要素試験装置自体は透明樹脂板にグローブポートを有するボックス構造とした。

3 結 語

各種予備試験の結果より、遠隔による穿孔・採取・閉止技術が成立する見通しを得た。2020年10月より

要素試験を開始し、実作業への適用性・作業性を評価していく。

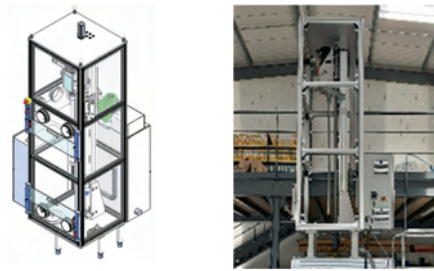


図10 要素試験装置

謝辞：本成果は経済産業省／平成30年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金により得られたものです。

〔用語の解説〕

- ※1 IRID：International Research Institute for Nuclear Decommissioning の略称。技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
- ※2 平成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・処分にに関する研究開発）」
- ※3 平成30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・処分にに関する研究開発）」

参考文献

- 1) IRID, “平成28年度研究開発成果「固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発」”,
<https://irid.or.jp/_pdf/20180000_15.pdf>, (2020年7月31日参照)



執筆者／ロボティクスエンジニアリング部
廃棄物技術 Gr. 櫻木 俊太



ロボティクスエンジニアリング部
廃棄物技術 Gr. 堀井 顕良



ロボティクスエンジニアリング部
廃棄物技術 Gr. 鈴木 康之



ロボティクスエンジニアリング部
廃棄物技術 Gr. 中村 直哉

貯水タンク半自動除染工法の開発

Development of Semi-automatic Decontamination Method for Water Storage Tanks

新規規制基準に適合させるため近年、原子力発電所での燃料取替用水タンクのリプレース工事が行われているが、工事の低コスト化を図るため専用建屋なしで旧タンクを解体することが求められている。当社は、吸引回収式ブラストでタンク内面を除染する工法で屋外解体を可能としたが、人手によるブラスト作業は除染ムラによる再除染の発生や作業員の負担が課題となっている。そこで、これらの課題解決のためブラストガン駆動装置を伴う半自動除染工法を開発した。

キーワード：貯水タンク、吸引回収式ブラスト、除染、半自動

In recent years, replacements of refueling water storage tanks have been carried out in nuclear power plants to comply with the new regulatory requirements. For reduction of work cost, it is required to dismantle the old tanks without a specific building. It is possible for us to perform outdoor operation in dismantling of the tanks by the method of vacuum blasting to decontaminate the inner surface of them, but manual blasting caused problems such as re-decontamination due to uneven quality and high workload. To solve them, a semi-automatic decontamination method with a new driving device for the blast gun was developed.

Key Words : Water Storage Tank, Vacuum Blasting, Decontamination, Semi-automatic

1 背景と目的

2016年に原子力規制委員会でバックフィット制度^{*1}が策定されたことに伴い原子力発電所の耐震補強工事や各種設備のリプレースが必要となった。当社は、関西電力株式会社殿（以下、関電）美浜発電所3号機燃料取替用水タンク（以下、タンク）のリプレース工事に伴うタンク内面の除染工事を受注した。従来のタンク解体工事では専用の仮設解体建屋が必要であったが、工程短縮及びコスト低減のため本工事では屋外解体工法が選択された。そのため解体前にタンク内面を徹底的に除染する必要があり、当社は汚染拡大防止及び二次廃棄物低減のため吸引回収式ブラスト（以下、ブラスト）による除染を実施し、屋外解体可能な表面密度限度を達成した。一方、人手による施工のため、除染ムラによる再除染の発生や暑熱環境下での重装備作業のため作業員の負担が大きいことが課題となった。

これらを解決するため、装置によるブラスト除染を行う半自動除染工法を開発した。本開発では段階的な試験を実施し装置の性能向上を図るとともに、関電高浜発電所での同種工事においてホット試験を実施し、装置の実用性を確認した。

2 開発概要／調査概要

(1) 1軸要素試験機による追従性の確認

砥材とダストを適切に吸引回収するためにはブラストガンを除染面に適切に追従させる必要がある。また、円筒形タンクの除染では、壁面の曲面と底面の平面にそれぞれ適切に追従する必要がある。

最初に、図1に示す水平方向のみ可動する1軸要素試験機を製作し、本工法の成立性を確認した。

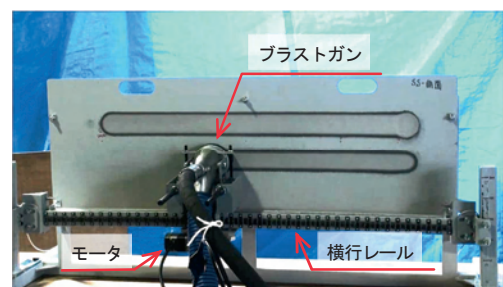


図1 1軸要素試験機

本試験の結果、バネによる押付けと曲面・平面で横行レールを使い分けることでブラストガンが除染面に適切に追従し、砥材の漏洩量は人手と同等以下に抑えられることを確認した。一方、図2に示すように砥材が装置に噛み込み摩耗する事象が確認された。

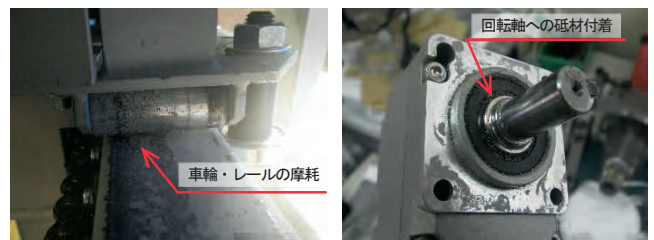


図2 砥材による装置の摩耗

(2) 2軸要素試験機によるコールド試験

1軸要素試験機で本工法の成立性が確認されたため、防塵性を高め、水平・垂直に駆動する2軸要素試験機を製作し、コールド試験を実施した。本試験では塗装鋼板とステンレス鋼板を試験材としてブラスト投射し、

ブラストガンの適正移動速度と動作パターンを確認した。2軸要素試験機による試験の様子を図3に示す。また、現場で手動ブラストを行った作業員の協力を得て、手動と装置による仕上がりの違いを比較した。手動施工の結果を図4の左に、装置施工の結果を右に示す。手動施工では除染ムラが認められるが、装置施工では均一に表面が研削されることを確認した。

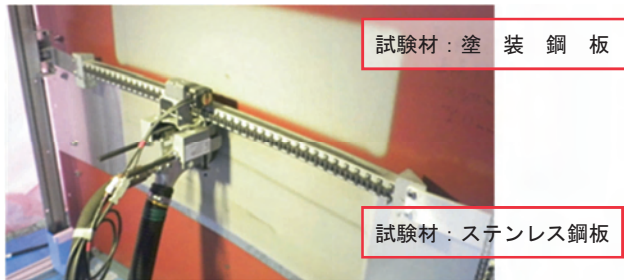


図3 2軸要素試験機による試験の様子

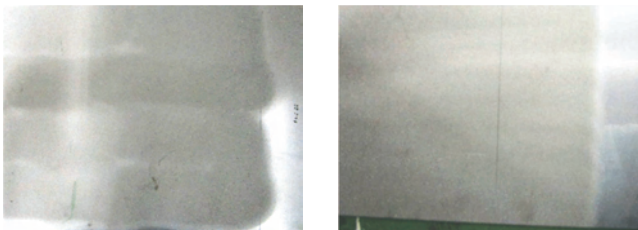


図4 人手施工（左）と装置施工（右）の比較

(3) ホット試験の実施

コールド試験を経て、可動範囲を拡大し安全対策機能を追加したホット試験機を開発し、関電高浜発電所のタンクにてホット試験を実施した。表1にホット試験機の仕様を、図5にホット試験機の外観を示す。

本試験では壁面と底面を約 1m^2 に区画し、1区画を15分間ブラストすることを1サイクルとした。1区画につき6点の測定ポイントを定め、コリメータ付GM管により除染前及び各サイクル後に測定した計数率を表面汚染密度に換算した。その変化量から除染係数(DF)を計算した結果を人手施工と装置施工で比較したグラフを図6に示す。また、既定サイクル施工後に全面ダイレクトサーベイを実施し、再除染の必要性を評価した結果を表2に示す。

表1 ホット試験機の仕様

寸 法	W1,800×H1,700 mm
質 量	約 60 kg (装置本体)
電 源	AC 100 V - 50 / 60 Hz
可動範囲	W1,200×H1,000 mm
移動速度	(水平) 0 - 200 mm/s, (垂直) 0 - 150 mm/s
制 御 系	・タッチパネルによる速度、範囲設定 ・オート：設定範囲を自動駆動 ・マニュアル：ボタン操作による任意駆動

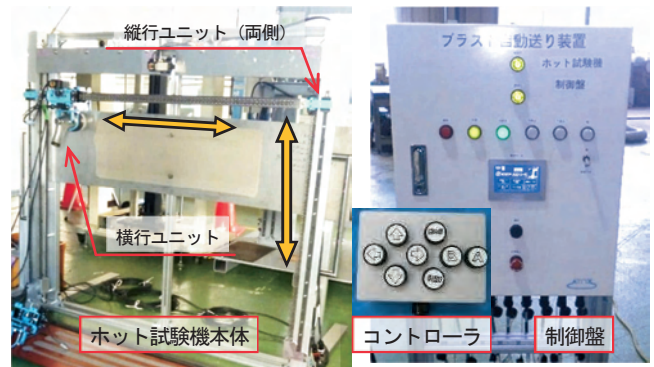


図5 ホット試験機の外観

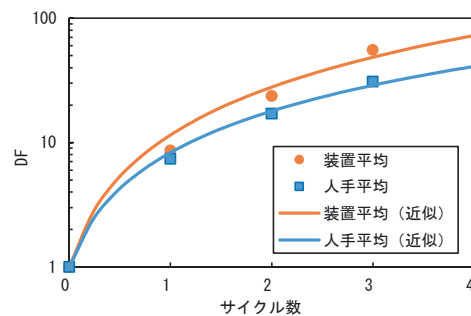


図6 装置施工と人手施工の平均DFの比較

(各測定値が検出限界値以上である3サイクル目までを片対数表示)

表2 人手と装置の再除染率の比較

	人手施工			装置施工		
	壁面	底面	合計	壁面	底面	合計
試験区画数	29	12	41	4	12	16
再除染区画数	20	10	30	0	3	3
再 除 染 率	69 %	83 %	73 %	0 %	25 %	19 %
人手施工に対する再除染低減率				100 %	70 %	74 %

3 結 語

本工法によりブラスト作業の除染ムラを低減し、再除染率を人手施工に対して70 %以上低減した。また、ブラストガンを人が保持する必要がなくなり作業員の負担を低減した。これらの結果から、本工法によりタンク除染作業の工期短縮と人工数の低減によるコスト削減が期待できる。今後は他現場への水平展開を図る。

〔用語の解説〕

※1 バックフィット制度：すでに許可を得た原子力施設に対しても最新の規制基準への適合を義務づける制度



執筆者／ロボティックスエンジニアリング部
廃棄物技術 Gr. 中村 直哉



事業開発部
ESCA 中村 賢司

プール内調査機器搬送装置の開発

Development of Transport Device for Underwater Survey Equipment

福島第一原子力発電所 2 号機の使用済み燃料は、2024～2026 年度に初回の取り出しが計画されている。取り出し前に使用済み燃料プール内の調査が必要であるが、オペレーティングフロアは線量率が高く機器類が散在している状況で困難であった。機器類の片づけ作業が進むにつれアクセスが可能になったが、依然として線量率が高く有人による作業が困難であるため、水中調査機器を遠隔で搬送する装置を開発した。

キーワード：水中、調査、遠隔、搬送

The spent fuel of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2 is planned to be taken out for the first time in the period 2024-2026. We should conduct a survey in the spent fuel pool in advance, but it was difficult to do so due to the high dose rate and the scattered equipment on the operating floor. Although the pathway to the pool was maintained as the equipment cleaning work proceeded, the dose rate was still high and manned work was difficult, so we developed a device to transport underwater survey equipment remotely.

Key Words：Underwater, Survey, Remote, Transport

1 背景と目的

福島第一原子力発電所 2 号機は、オペレーティングフロア（以下、オペフロという）内の線量率が高くアクセスが困難であるため、使用済み燃料プール（以下、SFP という）内の調査ができていなかった。

そこで、水中探査ロボット（以下、水中 ROV という）のような調査機器を SFP 内に遠隔で搬送できる装置の開発を行う。

主な仕様を表 1 に示す。

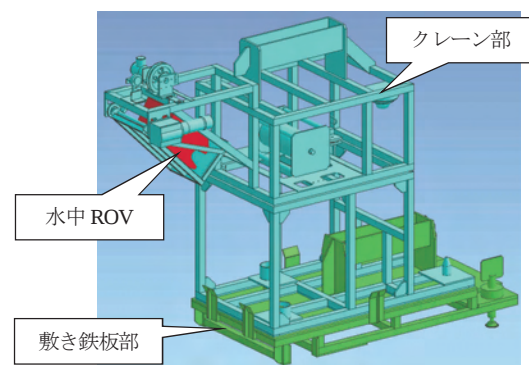


図 1 搬送装置の概要

2 設計・開発概要

(1) 製作物

プール内調査機器搬送装置 1 台

(2) 主要要求仕様（設計条件）

- ① 水中 ROV の運搬に必要な機能を有し、遠隔重機で把持、運搬できる構造及び質量とすること。
- ② 水中 ROV を SFP 内へリリース、及び回収できる機構を設けること。また、水中 ROV ケーブルが極度にたわむことがないように、ケーブルの送り出し量を調整できる機能を有すること。
- ③ SFP 周りへの設置に支障の無い構造とすること。

(3) 装置概要

搬送装置は設置状態の安定化を図るため、水中 ROV 搬送機構を有したクレーン部とレベル調整機構を有した敷き鉄板部から構成される。搬送装置の概要を図 1、

表 1 搬送装置の主な仕様

項 目	仕 様
外形寸法	W800×L2,400×H1,800 mm
質 量	280 kg

1) クレーン部（水中 ROV 運搬機能）

搬送装置は、図 2 に示すように遠隔重機で運搬、設置するため、運搬中は水中 ROV を写真 1 に示すバスケットに収納し、揺れ等による水中 ROV やケーブルの損傷を防止した。また、振動、衝撃等でバスケットが開放しないように写真 2 に示す電磁ロックするバスケット固定機構を設け、二重の対策を施した。

2) クレーン部（水中 ROV 搬送機構）

水中 ROV のケーブルドラム（汎用品）は手動操作

式であるため、駆動モータの組み込みにより遠隔操作により送り出し、巻取りができる機構とした。また、ケーブル送り出し時は写真1に示すプーリをトルクモータで送り出し方向に回転させ、ケーブルのたわみを抑制した。調査時のケーブル送り出し量は30m程度となりドラム操作でケーブルが乱巻きすることが懸念されたため、トラバース機構を設け乱巻き防止を図った。

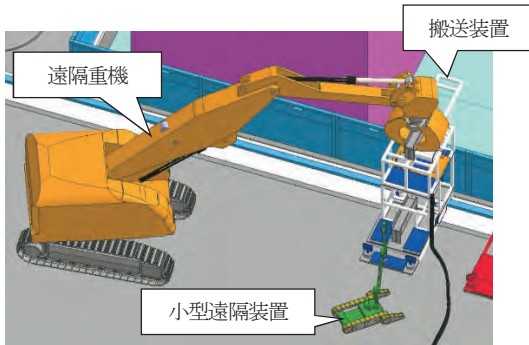


図2 搬送装置の設置状況



写真1 クレーン部（水中ROV搬送機構）



写真2 バスケット固定機構

3) 敷き鉄板部（SFP周りへの設置）

搬送装置をオペフロ床面の凹凸に対応し安定して設置させるため、敷き鉄板部に小型遠隔装置で操作できるアジャスター機構を設けた。

SFPへの転倒防止対策としては、水中ROVの推進力やケーブルドラムの巻取りトルクにより搬送装置が転倒しない機器選定と構造設計を行った。また、装置設置後は、搬送装置と建屋をワイヤーロープにて連結固定することで対策の万全を図った。

3 モックアップ訓練

水中ROV操作の技量向上を目的として写真3に示す福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市）の大水槽をモックアップとした東京電力ホールディングス（株）様の内製化チームによるトレーニングにおいて、当社社員が講師となり指導した。



写真3 トレーニング風景

4 現場での調査作業

当社が設計・製作した搬送装置により遠隔で水中ROVをSFP内に搬送することができ、東京電力ホールディングス（株）様の内製化チームによってSFP内調査が行われた。

5 今後の展開

本設計のノウハウと実績を活かすことで、類似調査に水平展開させる。



執筆者／ロボティクスエンジニアリング部
運用技術開発 Gr. 伊藤 俊介



ロボティクスエンジニアリング部
運用技術開発 Gr. 三瓶 晃優



福島復興支社 廃炉工事部
廃炉技術課 原田 将吾



福島復興支社 廃炉工事部
廃炉技術課 佐藤 賢一

小型簡易 3D スキャナの開発

A Development of Small and Simple 3D-Scanner

図面に未記載の設備や機器が多い現場の調査においては、レーザー光を用いたリモートセンシング技術の一つである LIDAR による測量が建屋内を一度に把握する方法として有用である。これの福島第一原子力発電所の建屋内調査への活用を検討したところ、狭隘部を通過し、高線量率場でも使用できる 3D スキャナのニーズが高いことが分かった。狭隘部に対応するため、機能を限定して市販品よりも小型で、自作により本体費用を抑えた 3D スキャナを開発した。さらに、測定試験を行うとともに測定誤差の評価を行った。

キーワード：LIDAR、測量、3D スキャナ

In on-site survey, there are many facilities and equipment not shown in the drawings, and the survey using LIDAR is useful as a method to grasp the inside of the building at once. We studied the application of this technology to the survey of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. A 3D scanner can be used in deep space with the high-dose rate through a narrow space. We have developed a 3D scanner that has limited functions and is smaller than market products size in order to accommodate with narrow space and can be suppressed its assembly cost by self-making. In addition, a measurement test was conducted and the measurement error was evaluated.

Key Words：LIDAR, Survey, 3D Scanner

1 背景と目的

レーザーセンサの回転により 2 次元または 3 次元の距離情報を得る LIDAR^{*1} を利用した測量（以下 3D スキャンと呼ぶ）は多くの場所で行われている。建屋建設後に設備や機器等が設置されることが多く、しかも建屋内の配置図に未記載であることがよくある。現場調査では、個々の設備・機器の配置・大きさを同定する必要がある、このとき 3D スキャンは建屋内の状況を一度に把握する方法として大変有用である。

この 3D スキャンの福島第一原子力発電所での調査への利用を検討した。調査ニーズの大きい場所としては、狭隘部を通過して内部の確認を行いたい箇所、高線量率・高汚染により人の立ち入りが困難な箇所があった。これらの場所に対応できる市販品の 3D スキャナを調べたところ、小型でも 100mm 以下の狭所に入るものはなかった。また、高機能で高価な製品が多く、高汚染環境場で半ば使い捨てのような使い方ができる低価格なものもなかった。そこで、自作により本体費用を抑え、機能を限定して、市販品よりも小型の 3D スキャナを開発することにした。

2 開発概要

(1) 開発仕様

幅 100mm 以下の狭所部へのアクセスを目標に、3D スキャナの直径を 90mm と決めた。市販品のレーザー

センサで最小の 2 次元センサ UST-10LX-H01（北陽電機製）を使用し、回転機構を搭載することにより 3 次元計測を行うことにした。また、制御用コンピュータとして Raspberry Pi Zero W を採用した。主な開発仕様を表 1 に示す。

表 1 小型簡易 3D スキャナの主な仕様

項 目	仕 様
外形寸法	φ90×H280mm
質 量	750g（ケーブルを除く）
測定範囲	本体軸に対し±135° 本体軸回りに 180°
検出距離	60～20,000mm
撮影時間	約 5 分
測定点数	約 730,000 点 / 1 スキャン
インターフェース	Ethernet ポート×2 電源ポート（DC24V）
制御コンピュータ	Raspberry Pi Zero W (Raspberry Pi OS)
開発言語	Python3.6

(2) システムの製作

入手性の良い部品でハードウェアを揃え、回転機構のサーボモータ等にはラジコン商品に使われるものを採用した。また、筐体は 3D プリンタを利用し、部品配置や配線等の調整を図りながら製作した。

制御用とデータ変換用の 2 つのソフトウェアを製作

した。前者はサーボモータの駆動によりセンサの向きや検出した距離情報の取得を行うもので、装置内のコンピュータで動作する。後者は、取得したデータを点群に変換するソフトウェアで、リモート操作の PC 上で動作する。本装置のシステムを図 1 に示す。

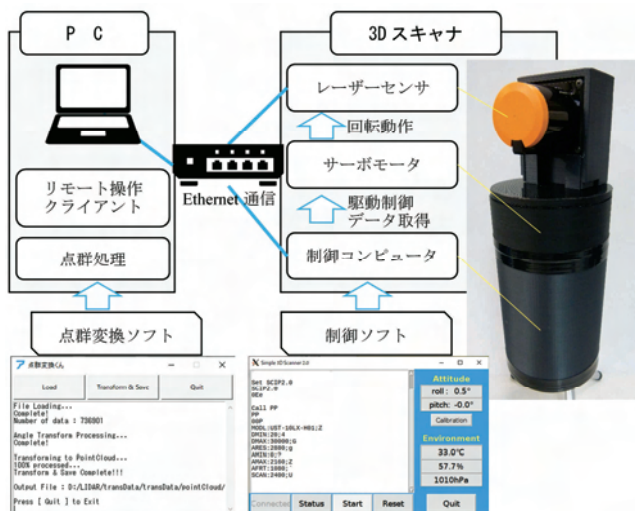


図1 3D スキャナのシステム

(3) 測定試験及び結果

本装置で大小2つのスケールの対象物を測定し、測定誤差を評価した。レーザセンサの最大誤差のメーカー公称値は、60mm 以上の距離で±40mm である。

1 ケース目では、3D プリンタで製作した幅 200mm の当社ロゴマークを 3D スキャナから 100mm 程度離れた場所に設置して測定した。図 2 のような点群が得られ、縦横が 80×200mm の実寸法に対し、点群では 85×210mm となった。形状把握は可能であるが、X のエッジが連続する部分では輪郭がぼやけてしまうことが分かった。

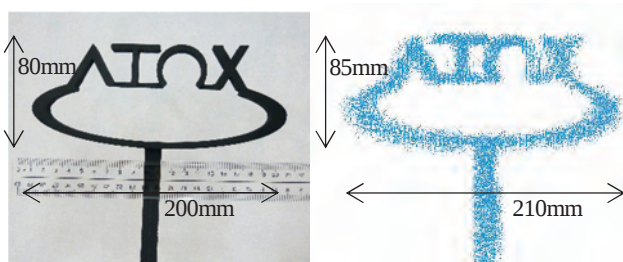


図2 アトックスロゴの点群

2 ケース目は、32m²程度の広さの会議室で、部屋の対角付近にスキャナを設置し2点測定を行った。2つの点群を統合したものを図3に示す。点群は部屋の躯体だけでなく、机や椅子などの形状も把握できるものとなった。なお、3D スキャナを設置した場所は、机上で円形に点群のない箇所

であり、下方45°が円錐状の死角となっている。部屋の広さが5,830×5,500mmに対し、点群は5,825×5,530mmとなり、1 ケース目と同様にメーカー公称値以内の誤差で検出できることが確認できた。

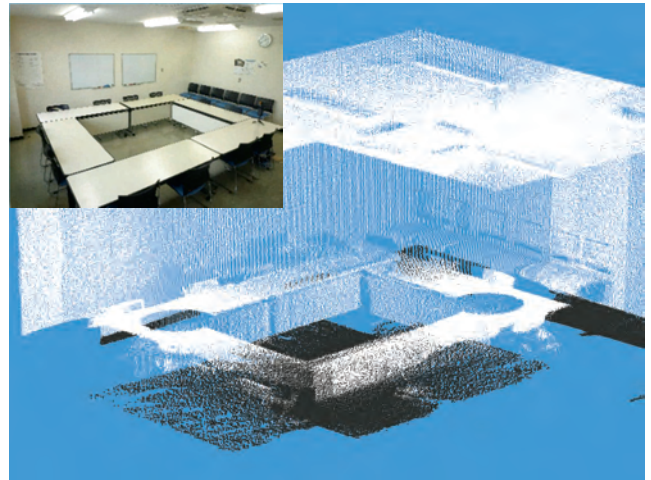


図3 会議室の点群

3 結 語

幅 100mm 以下の狭所部にアクセスできる小型の 3D スキャナの開発をした。試験では長さに対して最大で 30mm 程度の誤差で測定でき、構造物の形状把握、初動調査などに有用であることを確認した。今後、福島第一原子力発電所の建屋内調査への活用を目指す。

本件はシステム開発を主眼としていたため、改良の余地が多い。取り扱い性向上のためインターフェースを1本にまとめたり、測定精度向上のため、サーボモータを変更してより細かい点群を取得できるような機能追加を行いたい。

〔用語の解説〕

※1 LIDAR : Laser Imaging Detection and Ranging（レーザ画像検出と測距）の略。



執筆者／ロボティックスエンジニアリング部
測定・調査技術 Gr. 河野 秀紀



ロボティックスエンジニアリング部
測定・調査技術 Gr. 石川 晃大



ロボティックスエンジニアリング部
測定・調査技術 Gr. 小林 峰人

1号機原子炉建屋ウェルプラグ調査

The Investigation of the Unit 1 Reactor Building Well Plugs

福島第一原子力発電所（以下：1F）1号機原子炉建屋オペレーションフロア（以下：オペフロ）の原子炉ウェルプラグ（以下：ウェルプラグ）は、震災直後の水素爆発の影響により浮き上がりや落下、一部オペフロ上に乗っている等、正規の位置からずれが生じている。使用済燃料プール内の燃料取り出しに向け、オペフロの環境整備を進める際に障害となり得るウェルプラグの処置方針を判断するための情報取得を目的に、様々なセンサーを搭載した2台の遠隔操作ロボットを用いて、ウェルプラグ内部の外観確認及び線量率測定等を実施した。

キーワード： 福島第一原子力発電所、遠隔操作ロボット、SLAM^{*1}

The well plug, which is a lid for the primary containment vessel and considered to be misaligned from the proper position due to the hydrogen explosion at the time of the accident, was investigated using UGVs. The well plug consists of 3 layers of concrete lid and the UGV equipped with several sensors deployed between the upper and the middle layers in order to investigate the current situation inside the well plugs. The result of the investigation will be utilized for the fuel removal planning from the spent fuel pool.

Key Words： Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Unmanned Ground Vehicle (UGV), SLAM

1 背景と目的

1号機原子炉建屋は水素爆発の影響により、3段あるウェルプラグにずれが生じている。今後、使用済燃料プール内の燃料取り出しに向け、燃料取り出し用カバー設置やオペフロの作業環境を整備する計画があるが、これらの作業を実施する際にウェルプラグが障害となる。そこで、ウェルプラグの処置方針を判断するための情報取得を目的に、遠隔ロボットを用いた調査を行った。遠隔ロボットは上段及び中段プラグの隙間から進入し、内部の空間線量率測定、スミア採取、映像撮影、3D スキャンを実施した。

2 調査機器

(1) SUGV、FIRST LOOK

調査には、SUGV（写真1）、FIRST LOOK（写真2）を使用した。仕様を表1、表2に示す。



写真1 SUGV 写真2 FIRST LOOK

表1 SUGV の主な仕様

項目	仕様
重量	13.2 kg
寸法（収納時）	L70.8×W43.7×H22.9 cm
持ち上げ能力	アーム拡張時 3.2 kg 最大 6.8 kg
動作時間	約 6 時間
役割	調査全般

表2 FIRST LOOK の主な仕様

項目	仕様
重量	4 kg
寸法（収納時）	L25.4×W22.9×H10.2 cm
持ち上げ能力	最大 1.6 kg
動作時間	約 6 時間
役割	SUGV の監視、ケーブル整線、無線中継器

(2) 搭載機器

ウェルプラグの隙間とロボットの積載荷重に制限があるため、調査項目ごとに搭載機器の構成を変更した。搭載機器を表3、各調査項目及び機器構成を表4に示す。

表 3 搭載機器

項目	機器名／概要・用途
線量計	POLIMASTER PM1704M ：GM 管 10Sv/h まで測定可能、小型
3D スキャナ	KAARTA STENCIL ：SLAM 制御搭載のスキャナ
スミア採取治具	自社設計
吊り下げ治具	自社設計、遠隔操作の小型ウインチ
モバイルバッテリー	MAXOAK ：185Wh, 50,000mAh
カメラ	Canon VB-M50B ：暗所撮影用 AXIS P1244 ：線量率監視他 GoPro Hero 7 White ：線量率監視

表 4 機器構成

調査目的	機器名／用途
中段プラグ 空間線量率 測定	STENCIL ：測定位置推定、3D 計測 (全調査共通の為、以降省略) PM1704M ：線量率測定 AXIS P1244 ：測定値確認 MAXOAK ：各機器給電 (全調査共通の為、以降省略)
下段プラグ 空間線量率 測定	PM1704M ：線量率測定 吊り下げ治具：線量計吊り下げ Go Pro Hero 7 White ：測定値監視
スミア採取	スミア採取治具：ロボットによるスミア採取 AXIS P1244 ：スミア採取位置確認
下段プラグ 撮影	STENCIL ：測定位置推定 VB-M50B ：落下した下段プラグ撮影 吊り下げ治具：ネットワークカメラ吊り下げ
プラグ 外観確認	他調査と並行して実施

3 モックアップ

各調査の一連の手順や作業性の確認、ロボットのバッテリー切れや通信途絶など緊急時対応の検討、操作トレーニングのため、すでに得られている情報をもとに、1/2（直径約 6m）スケールでモックアップを製作した。（図 1）

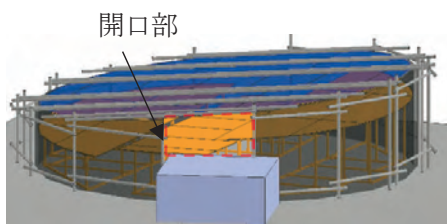


図 1 ウェルプラグモックアップ

モックアップはロボットが進入する隙間や上・中段プラグの傾き、位置関係を再現した。（写真 3）



写真 3 モックアップ状況

4 作業概要

SUGV、FIRST LOOK は運搬ボックス（図 2）に収納され、クレーンでウェルプラグ北側開口部付近へ設置した。（写真 4）運搬ボックスは無線中継器や SUGV 搭載機器への給電等の役割を担っている。

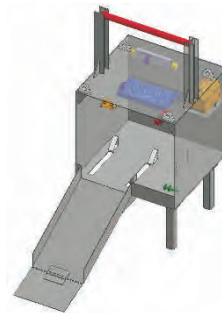


図 2 運搬ボックス 写真 4 運搬ボックス設置

(1) 瓦礫撤去

ウェルプラグアクセス箇所や調査経路には瓦礫が堆積していたため、調査開始前及び調査中に SUGV で瓦礫撤去作業を行った。

(2) 中段プラグ空間線量率測定

中段プラグの線量率測定は SUGV に線量計を持たせて行った。グリッパーを 180 度回転させ、検出面の向きを変え上方向と下方向の 2 通りの測定を行った。（図 3）

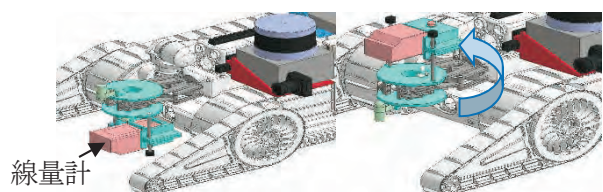
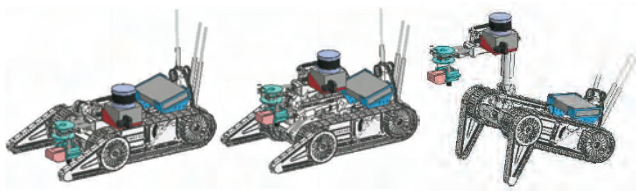


図 3 線量計把持治具（左：検出面下、右：検出面上）

また、SUGV のプリセットされているポーズから図 4 に示す姿勢を選択し、各ポーズで線量計を上向き、下向きにして、各測定ポイントにつき、異なる高さで最大 6 回の測定を実施した。



低所用ポーズ 中所用ポーズ 高所用ポーズ

図4 SUGV プリセットポーズ

(3) 下段プラグ空間線量率測定

中段プラグと下段プラグ間の線量率測定は、小型ウインチを搭載した自社製の吊り下げ治具を用いた。小型ウインチは 10cm ずつ巻き下げができ、最大 3m 吊り下げ可能である。(図 5)

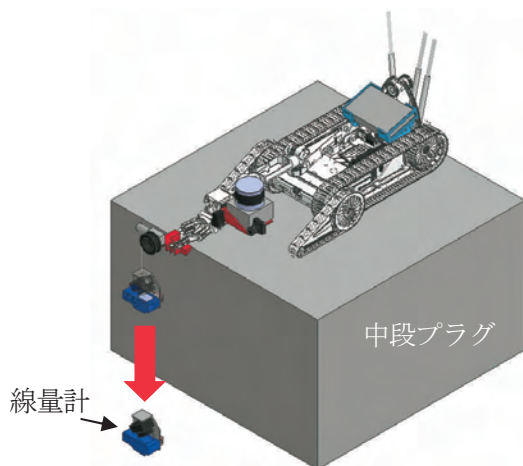


図5 吊り下げ線量測定

(4) スミア採取

スミア採取治具は、各採取ポイントで上段プラグ下面、中段プラグ上面の計 2 点のスミア採取ができるようにした。(図 6) また、SUGV のアームは関節が肩と肘の 2 つしかなく、人の手首に当たる部分が無いため、スミア採取治具は、ウェルプラグの傾きや高さに応じてスミア採取できるように角度を変更できる機構がある。(図 7)



図6 スミア採取治具

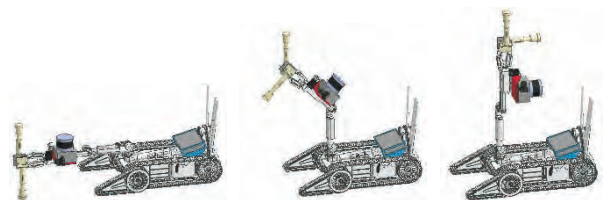


図7 スミア採取イメージ

(5) 下段プラグ撮影

下段プラグ撮影は吊り下げ治具にネットワークカメラを取り付けて実施した。中段プラグの西側と中央にできた隙間からカメラを吊り下ろし、下段ウェルプラグのライニング状況等を撮影した。

5 調査結果

ウェルプラグの位置関係や形状を把握する為、SUGV に搭載した 3D スキャナで取得した点群データより、3D CAD モデルを作成した。(図 8) 作成した CAD モデルからウェルプラグ上段、中段に加え、下段も正規の位置からずれていることと各プラグにたわみ等の変形がある事が分かった。

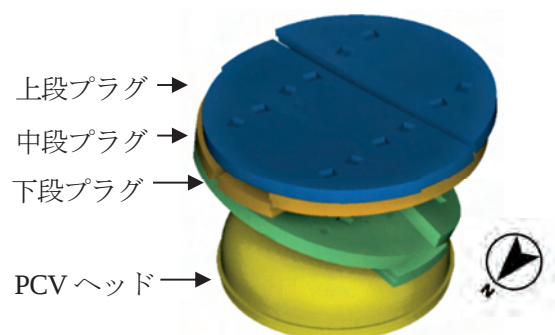


図8 プラグ・PCV ヘッド CAD モデル

(1) 中段プラグ空間線量率測定結果

中段プラグの空間線量率の測定ポイントを図 9 に示す。中段及び中央プラグ上は比較的空間が有るため、多くのポイントで測定できたが、上段と中段プラグの東側と西側は隙間が狭いまたは密着しているため、ロボットの進入が可能な範囲を測定した。

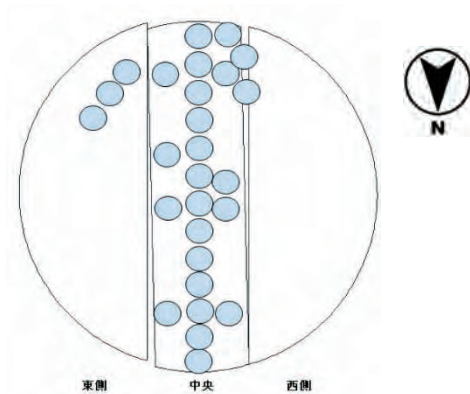


図9 中段プラグの空間線量率測定ポイント

中段プラグ上で測定した線量率の最大は、1.97Sv/hで最小は0.46Sv/hであった。線量率は中央付近が高く、外周部に向かって低くなる傾向がみられた。3D スキャナで取得した自己位置座標から中段プラグの線量率測定ポイントの位置を推定し、測定結果と合わせて三次元復元図上に反映した。(図10)

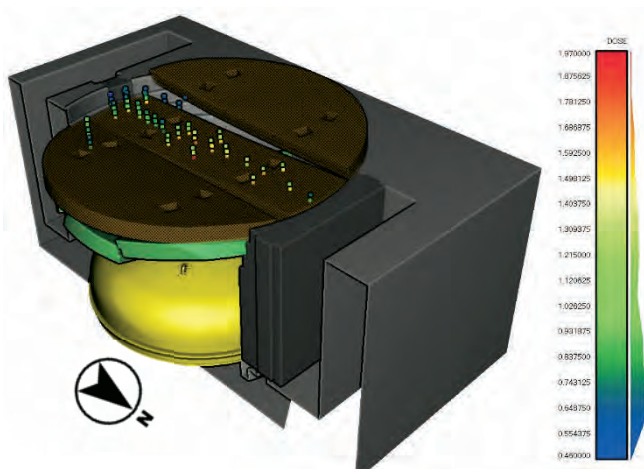


図10 中段プラグの空間線量率測定

(2) 下段プラグ空間線量率測定結果

下段プラグの空間線量率測定も中段プラグ空間線量率測定と同様に三次元復元図へ反映し、測定ポイント及び線量率の変化を可視化した。(図11)

下段プラグの空間線量率の最大は1.19Sv/hで、最小は0.34Sv/hであった。各測定ポイントにて、中段プラグより下側にいくにつれて線量率が高くなる傾向がみられた。

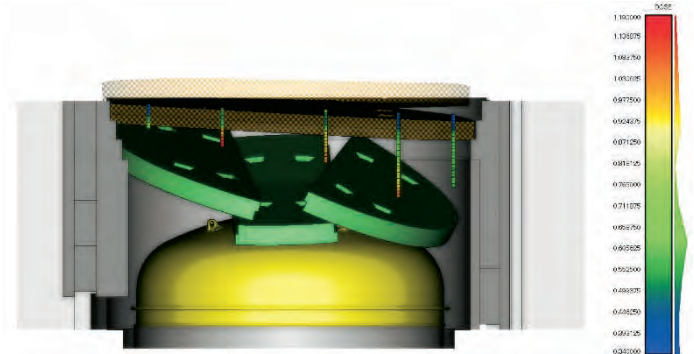


図11 吊り下げ空間線量測定

6 結語

本件は、現場の情報が乏しく、様々な推定を基に機器設計をせざるを得なかった。そこで、臨機応変に対応できるように、あらかじめ多くの治具を製作し準備した。また、事前に得ていたロボットの進入部の隙間が実際は異なっており、大幅な設計変更が必要だった。ロボットに干渉する可能性があるものは全て見直し、厳しめのサイズで設計・運用した事で、実作業では干渉や落下等のトラブルは発生しなかった。

当社はこれまで、1Fの廃炉作業で多くのロボット操作を経験している。各機器の特性や過去の経験、そして入念なモックアップの結果を踏まえて、現実的な調査計画を立案できた。廃炉に向けた取り組みを進めていくために、作業エリアの整備や情報収集等の作業に、遠隔ロボットの活用は不可避であることから、本件で得た知見を今後の作業計画立案に活かしていきたい。

【用語の解説】

※1 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。



執筆者／福島復興支社 廃炉工事部
廃炉技術課 山田 一輝



福島復興支社 廃炉工事部
廃炉技術課 齊藤 大祐

【エンジニアリングサービスセンター（ESCA）の新設】

アトックスは新5ヶ年計画を開始するにあたり、設計及び工事の計画の認可（設工認）が必要となる業務を受注し、建設業法に関わる設備工事まで含めたトータルソリューションを提供するために、本社 事業開発部の下に ESCA（Engineering Service Center of ATOX）と技術営業室を新設しました。

ESCA は、設計力の強化を図り、施工計画の立案、施工及び施工管理を行う組織です。必要な技術・技能、資格者の蓄積・活用を図ることにより即戦力となる人材を集結させるとともに、調達及び品質の管理機能も段階的に整備していきます。

一方、技術営業室は事業横断的にお客様のニーズを吸い上げ、効果的な提案営業を行うとともに、ESCA や技術開発センターを効果的に活用する組織です。

アトックスは、ESCA、技術営業室、技術開発センターが連携し、お客様の様々な課題を解決できるソリューションの提供を推進します。

【実規模パルスカラム試験設備に係る管理区域内設備解体撤去及び管理区域解除工事の完遂】

国内の核燃料取扱施設での管理区域内の設備解体撤去及び管理区域解除工事を数年にわたり実施し、無事作業を完了しましたので紹介します。本施設での主要な機器は溶媒抽出装置のひとつでパルスカラム（脈動抽出塔）というもので、円筒状あるいは円環状の筒の内部に小孔の開いた目皿などを水平に配置して、上部から供給された水相は下方へ、下部から供給された有機相は上方に移動させるものです。このときポンプなどで脈動を与えて両相の分散混合を図ります。（ATOMICA 参照）

2008 年に事前調査を実施し、メインの作業となるパルスカラム、他の設備の解体、撤去、処分及び管理区域解除の検討を実施し、客先に検討内容をまとめた報告書を提出しました。その内容が他社よりもより良いということで、客先の予算化に繋げ 2012 年に受注して本工事に取り掛かりました。

主な作業では、槽類、配管類の撤去、メインのパルスカラムの撤去を行いました。パルスカラムは大型で、長さが 15m、厚さが最大 60mm の複雑形状をしておりました。そこで、当時の技術開発センター技術開発部と合同で検討を行い、半自動プラズマ切断機を製作して、経費削減、工期短縮及び工事の容易化を図るとともに、火気使用となるグリーンハウスの養生を検討し、あらかじめブリキ板に不燃シートを張り付けたものを床に配置するという方法を取り入れて作業の効率化を図りました。また、切断片の鋭利部及びバリにより廃棄物ドラム缶内部表面が損傷する懸念から全ての切断片をグラインダー等で鋭利部を丸めるのに一苦労しました。さらに、高温多湿な作業環境の中、クールベスト及び暑さ指数 WBGT（湿球黒球温度）値を活用し、熱中症対策に万全な注意を払うとともに、ミーティング等でも安全に関して盛んに意見交換を行い、安全作業を心掛け遂行しました。下記に半自動プラズマ切断機による溶断風景の写真を示します。

本工事は約7年間にわたり実施しましたが、これまで経験してこなかった大型解体工事、管理区域解除作業を無事故無災害で終わることができ、このことで社内及び客先から高い評価を頂きました。これらの工法は今後の管理区域解除工事においても同様の作業に活用できます。



パルスカラムの溶断風景



排水槽内での溶断風景

【日本原子力学会で研究開発成果を紹介】

新型コロナウイルス感染症のため、2020年春の年会が中止となった日本原子力学会は、秋の大会がオンライン開催となり、口頭発表で一件の技術開発センターでの研究成果を紹介しました。

「福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発 (9) 模擬炭酸塩スラリーの合成」の発表では、福島第一原子力発電所の多核種除去設備(ALPS)から水処理二次廃棄物として発生する炭酸塩スラリーの処理に関する研究成果を紹介しました。炭酸塩スラリーの保管時の漏えいリスク低減対策としては、フィルタープレス方式でスラリーを脱水して安定化を図ることとしており、脱水スラリーを低温固化処理した場合の基礎データを取得するため、大型フィルタープレス装置で使用・合成した脱水スラリーを用いた固化試験、固化体溶解試験及び照射試験等を実施します。今回、スラリー調製を2回行い、スラリーの固液比、密度、粒度分布、イオン濃度、脱水スラリー含水率等を分析しました。今回の模擬脱水スラリーは合計350kgにもなり、日本原子力研究開発機構に供出しました。

【テレワークで得られた経験】

新型コロナウイルス感染拡大に伴う2020年4月7日政府の「緊急事態宣言」を受け、技術開発センターにおいては4月8日から5月末日までテレワークを実施しました。ここでの経験と知見を記します。

◆ テレワーク環境の構築

環境構築のポイントとなったのが「テレワーク実施可能なパソコンの整備」と「自宅における通信環境の整備」です。社外ネットワークからアトックス社内のネットワークへのアクセスには従来少数台のノート型PCを用いてきました。テレワーク需要が高まったことから、一部のセンター員に対しては個人所有PCから社内PCにリモート接続可能となるアプリの導入や、通常業務で使用しているデスクトップ型PCの設定変更を行う等により対応しました。さらに、新規に35台のノート型PCを調達し、設定作業後センター員に配付しました。この結果、センター員全員のテレワーク環境を構築できました。

◆ テレワークにおける不具合情報の共有

テレワーク環境においては様々な不具合が発生しましたが、通信トラブル等での不具合としてはリモート接続用アプリに起因した障害が多数を占めました。このような不具合情報に対してはTeams (Microsoft Teams) 上に専用のチームを立ち上げ、関係者間でリアルタイムでの情報共有や解決に向けた検討をリモートで実施し、いち早く問題解決することにより安定したテレワーク運用につなげることができました。

◆ 技術開発センター全体会議のリモート開催と Microsoft Teams の普及

センター員のテレワーク環境が一通り整った5月13日、技術開発センター全体会議をTeams上で開催しました。参加者は58人に達し画面に映し出す資料の遅延等が発生したものの、大きな問題なく開催できました。テレワーク前にはほとんど普及していなかったTeamsを利用したWeb会議やチャット形式でのやりとり等が日常業務の中でも用いられるようになり、業務効率化にもつながりました。

新型コロナウイルスの感染拡大により人の移動に制約が出る中、業務に支障を出すことなく、効率化につながる業務の進め方／コミュニケーションの取り方を確立することができました。2020年10月現在でも新型コロナウイルスの終息時期が見えない中ではありますが、引き続きインフラの整備を進め、働き方改革にも関連して、今回確立した運用を新型コロナウイルス終息後も継続していければよいと考えています。

【放射線遮蔽設計法に係るワークショップを開催】

2020年1月31日及び8月7日に、日本原子力学会の放射線工学部会主催、標準委員会放射線遮蔽分科会及び廃止措置分科会共催の放射線遮蔽設計法に係るワークショップ(WS)が開催されました。第3回WSは昨年と同様にアトックス本社9階会議室に約70名が参加し、第4回WSは新型コロナウイルス感染症拡大防止のため柏技術開発センターをキーステーションとしたWeb会議方式で約120名が参加しました。

◆ 特許一覧

2020 年 9 月 末 現在

登録番号	登録日	発明の名称	権利共有者
6710384	2020. 5.29	放射線源収容容器	九州大学
6325819	2018. 4.20	走行型測定装置	—
6284143	2018. 2. 9	段差昇降車両	千葉工業大学
6245963	2017.11.24	接続ライン支持台車	—
6222601	2017.10.13	太陽電池モジュール検査装置	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
5946037	2016. 6.10	走行装置	千葉工業大学
5921299	2016. 4.22	管理区域境界用バリア	—
5684626	2015. 1.23	電解除染方法及びそれに用いる装置	—
5181204	2013. 1.25	配管切断用治具及び切断機	—
5175469	2013. 1.11	イオン交換樹脂の処理方法	(公財) 微生物化学研究会
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	—
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	—
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	—
4514688	2010. 5.21	水中塗膜補修装置	—
4509732	2010. 5.14	小口径配管の半割方法及び装置	—
4473767	2010. 3.12	スプレー式電解研磨除染装置	—
4223371	2008.11.28	小口径配管の連続除染装置	—
4115708	2008. 4.25	B F 3 計数管内にある B F 3 ガスの安定化処理方法及びこの方法を実施する装置	—
4035083	2007.11. 2	小口径配管の半割切断機	—
3986918	2007. 7.20	循環水配管における垂直管部作業用足場	—

◆ 特許の紹介

登録番号：特許第 6710384 号

発明の名称：放射線源収容容器

当社発明者：堀江 直之（九州大学との共同発明）

本発明は、中性子線等の放射線を発生する放射線源を運搬する際に、その放射線源を収容する放射線源収容容器に関する。

【背景技術】

中性子線源用の放射線源収容容器としては、所定の放射線を遮蔽する第1遮蔽材料（例えば、ガンマ線を遮蔽可能な炭素鋼、鉛等）からなり、放射線源が埋め込まれた内側容器と、鋼材、アルミニウム等からなり、内側容器を収容する外側容器とを備えたものがある。

この種の放射線源収容容器では、内側容器と外側容器との間に、第1遮蔽材料とは異なる種類の放射線を遮蔽する第2遮蔽材料（例えば、中性子線を遮蔽可能な水素、ホウ素等の原子を多量に含む樹脂等）を配置したものが知られている。

蓋は、通常、本体と同様に、鋼材等からなる容器の内部に第2遮蔽材料を配置して構成される。そのため、蓋においても、本体と同様に、外部環境からの熱又は放射線源からの熱等によって第2遮蔽材料が熱膨張した際に、その熱膨張に起因する内圧の上昇による容器の変形・破損が発生するおそれがある。そして、蓋に変形・破損が生じた場合には、蓋が嵌め込まれている本体にも変形・破損が生じてしまうおそれがある。

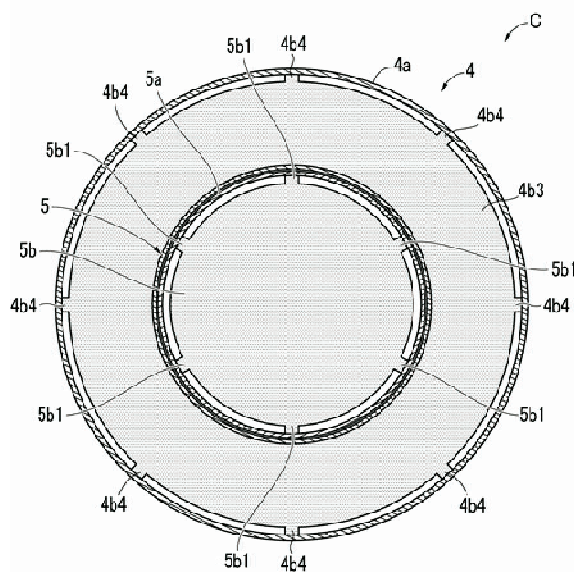
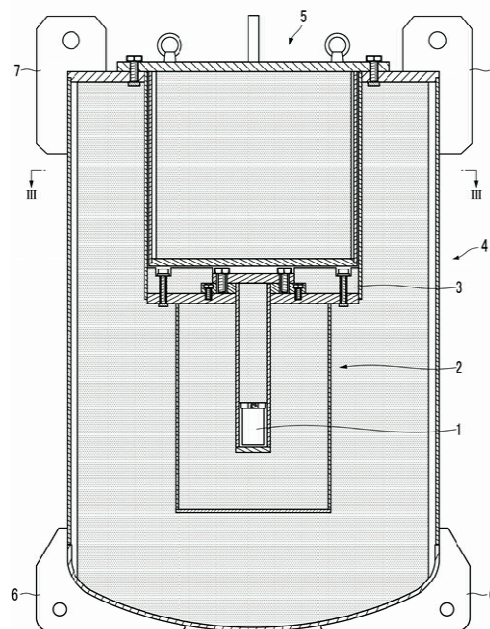
【本発明の特徴】

本発明は以上の点に鑑みてなされたものであり、放射線の遮蔽性能を維持しつつ、熱膨張による容器の変形・破損を防止することのできる放射線源収容容器を提供することを目的とする。

本発明の放射線源収容容器においては、蓋の外観形状を規定する容器である第1蓋部材と、その内部に配置されている第2蓋部材との間に、第2蓋部材の外周面に設けられた複数の第2突出部によって、空隙が形成されている。これにより、蓋の内部の第2蓋部材が熱膨張したとしても、蓋の内部における内圧の上昇が抑制される。その結果、第1蓋部材の変形・破損が防止される。

また、本体の内周側部分を構成する第2遮蔽材料製の第2本体部材では、第1筒状部の内径よりも第2筒状部の内径が大きくなるように構成されている。これに加え、蓋の第2遮蔽材料製の第2蓋部材では、その最小外径が、放射線源収容体の最大外径よりも大きくなるように構成されている。これにより、本体に蓋を嵌合した際には、蓋の第1蓋部材と第2蓋部材との間の空隙と放射線源収容体との間にも、第2遮蔽材料が存在するようになる。その結果、この放射線源収容容器は、蓋に空隙を設けているにもかかわらず、十分な遮蔽性能を発揮できる。

※ 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 論
	常 務 取 締 役	伊東 一昭
	常 務 取 締 役	土堂 広一
	取 締 役	紺谷 修二
	取 締 役	須賀 正和
	取 締 役	飯嶋 康之
	取 締 役	中里 誠
	取 締 役	藤井 浩
	取 締 役	原 徹徳
	取 締 役	大澤 高志
	取 締 役	吉谷 裕二
	監 査 役	伊藤 克己
	相 談 役	鈴木貞一郎
従 業 員 数	1,729 名 [2020（令和 2）年 9 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、本誌掲載著作物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

Fax : 03-3475-5619 E メール : info@jaacc.jp

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.12 2020

ATOX TECHNICAL REPORT

令和 2 年 12 月 1 日発行

No.12 December 2020

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