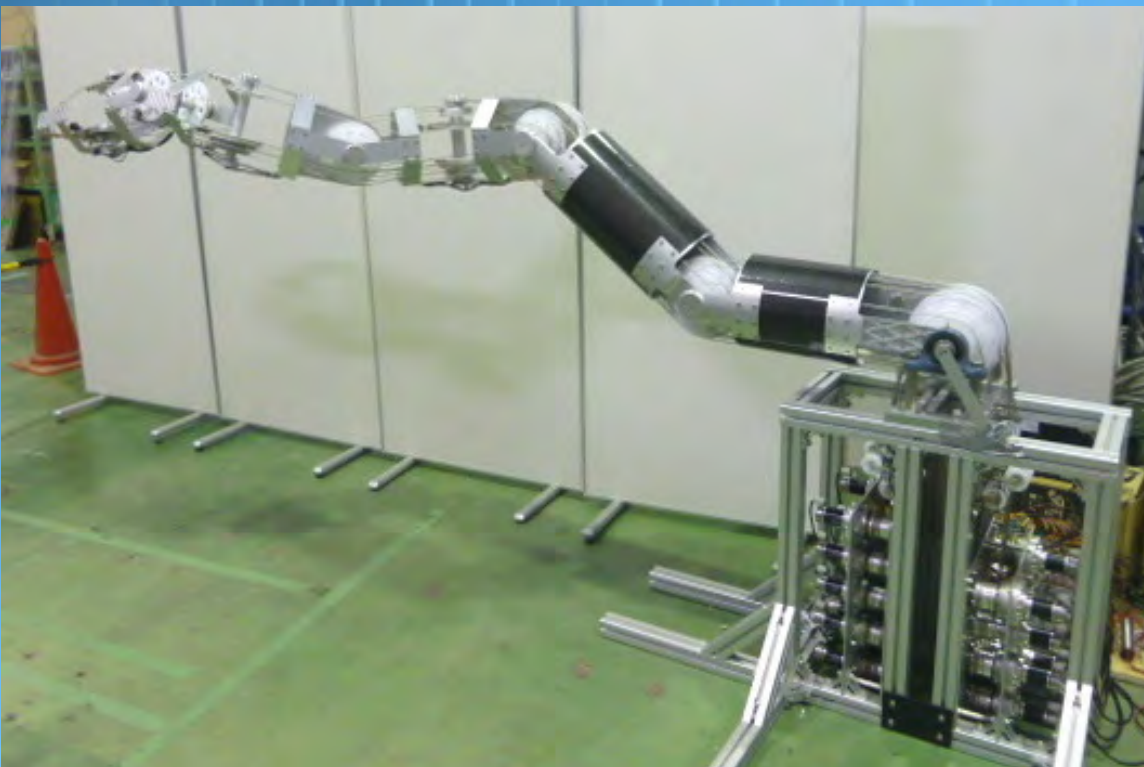


アトックス技報

ATOX TECHNICAL REPORT

No. 9 2017

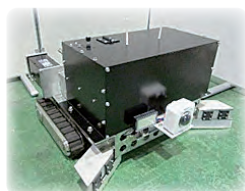


巻頭言 *Preface*

頁/Page

- 1 より普遍的な価値の提供を目指して

研究開発成果 *R & D Activities*



- 2 小型遠隔ガレキ回収装置の開発
Development of Compact Device for Remote Rubble Collection
- 4 ワイヤ干渉駆動型多関節アームの開発
Development of a Coupled Tendon-Driven Multi-Joint Manipulator
- 8 ドローンを用いた建屋内線量調査技術
Radiation Survey Technique using Drone in an Indoor Environment
- 10 LED発信式PVモジュール検査装置の開発
Development of LED Signal Transmission Type Inspection Device for PV Module
- 14 廃止措置に伴う金属廃棄物切断工法の検討
Investigation of Metal Waste Cutting Method at Decommissioning
- 16 養生シートに由来する残留糊除去工法の検討
Examination of Removal Methods on Adhesive Residue from Curing Sheet
- 18 噴霧式油膜除去技術の実用化研究
Practical Research on Spray Type Oil Removal Technology
- 20 スラリー安定化処理技術の検討
Study on Slurry Stabilization Technology
- 22 遮蔽ベスト着用時の被ばく線量評価
Radiation Dose Evaluation on Shielding Vest Wearing

トピックス *Topics*

- 24 汚染水処理用Cs、Sr吸着フィルターの開発と実用化
- 24 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
- 25 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
- 26 “WM SYMPOSIA 2017”の日本パビリオン展示ブースで技術を紹介
- 26 「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

アトックス情報 *ATOX Information*

- 27 登録特許一覧
- 28 アトックスの概要

【表紙画像の説明】

障害物を回避しつつ高所狭隘部の目標箇所にアクセス可能な高所作業装置用のワイヤ干渉駆動型多関節アームの外観です。東京工業大学との共同研究により開発しました (pp.4-7 参照)。

(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 制作)

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



2017年7月に技術開発センター長を拝命しました成瀬克彦でございます。

「アトックス技報」第9号の刊行にあたり、一言ご挨拶申し上げます。

企業は、顧客に価値を提供し、その対価として適正な利潤を得ることに存在意義がありますが、顧客の支持や信頼を失ったり、顧客の望む価値が提供できなくなれば、瞬く間に存続することができなくなってしまいます。どのような価値を顧客に提供できるかが企業の存続に直結しています。

アトックスは、企業理念として「環境とエネルギーの課題解決に寄与し、社会の発展と社員の幸せに貢献する」を定め、中長期目標として「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、福島復興と原子力産業の信頼回復・再生に貢献する」を掲げています。これを実現するには、アトックスが、これまで培ってきた現場力の強みを活かした上で、どのような価値を提供すべきか、関係する方々とどのような協調ができるのか、等を強く認識することが重要です。

技術開発センターでは、現在、お客様や社会の動向を踏まえ、私どもが取り組むべきビジネスを想定し、解決すべき課題を技術開発テーマに掲げています。さらに、技術力・創造力、安全と品質、課題解決力、協業ネットワーク等の強化に取り組んでおります。皆様と強調しながら、より普遍的な価値が提供できるように、日々努力を重ねてまいり所存です。

本技報を多くの方々にご覧いただき、ご意見、ご批評を賜れば幸いに存じます。

引き続き、皆様のご指導とご鞭撻を心からお願い申し上げます。

2017年12月吉日

小型遠隔ガレキ回収装置の開発

Development of Compact Device for Remote Rubble Collection

福島第一原子力発電所における燃料デブリ取出し作業等に向けて、これまで立入ることのできなかった高所階での作業が発生し、作業前には環境改善のため、遠隔装置等による調査や除染が行われると予想される。原子炉建屋1階の除染においては当社開発の小型遠隔除染装置 RACCOON が実績を上げているが、高所階への適用には装置の可搬性やホース・ケーブルの取り回し等の課題があった。そこで、本研究では可搬性、遠隔操作性、回収性に優れたガレキ回収装置を開発した。

キーワード：福島第一原子力発電所、原子炉建屋、上部階、遠隔、ガレキ回収

For the removal works of fuel debris at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, it is anticipated that environmental restoration works of survey and decontamination will occur at the upper floor of the reactor buildings. Compact remote decontamination device “RACCOON” has proved its applicability in the decontamination of the first floor in the reactor buildings. However, there are problems such as device portability and hose / cable routing for application to upper floor. Therefore, in this study, a rubble collection device is developed which is excellent in portability, remote property and rubble collection.

Key Words : Fukushima Daiichi NPS, Reactor Buildings, Upper Floor, Remote, Rubble Collection

1 背景と目的

福島第一原子力発電所でのこれまでの原子炉建屋内調査、除染作業の経験から、建屋内床面には30～50mm程度の小ガレキや砂塵（以下、「対象物」という）が散乱していることが判明している。今後の高所階での除染作業等では、遠隔装置の走行経路の確保や除染の前処理として、これらを除去することが必要になると考えられる。

また、高所階への遠隔装置の導入においては、可搬性、ホース・ケーブル取り回し等の課題がある。そこで本研究では、高所階での作業をターゲットに、作業員による運搬が可能で、遠隔操作性、回収性に優れたガレキ回収装置を開発することを目的とした。

2 開発概要

(1) 開発要件

目的を達成するための要件を、以下のとおり定めた。

- ① 小ガレキ（約φ30～50mm）及び砂塵（約φ0.2～0.4mm）を回収できること
- ② 回収物を任意の場所まで運搬し、排出できること
- ③ 人力運搬で階段昇降を可能とするため、装置を小型・軽量化すること
- ④ バッテリーや無線機構によりケーブルレス化し、遠隔にて操作できること

(2) 装置の概要

小型遠隔ガレキ回収装置の試作機の外観を写真1に示す。本機は回収機構、排出機構、走行機構及び無線機構によって構成され、カメラの映像を視認して遠隔にて操作できる機構となっている。

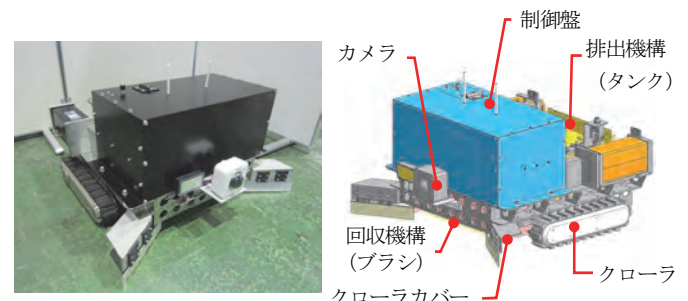


写真1 小型遠隔ガレキ回収装置 試作機
(寸法：W750×L700×H500 mm、質量：約80 kg)

1) 回収機構

図1に示すように回収機構は、2本の回転ブラシで対象物をかき上げて回収しタンクに貯留する。真空吸引に比べ、少ない電力で大きな物を回収できる特長がある。

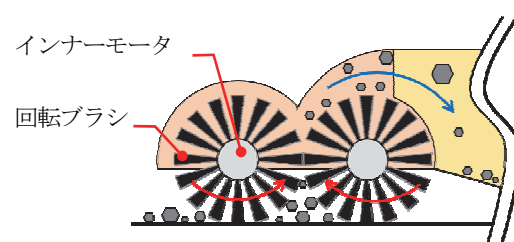


図1 回収機構

2本の回転ブラシには、当社開発の壁面除染機やRACCOONのブラシヘッドなどで使用しているインナーモータを取り付けた。インナーモータは200~400rpmの回転速度で起動できる。対象物の回収に最適なブラシの回転速度を確認したところ、回転速度で回収率に差異はほとんど見られなかったため、消費電力を抑えるよう回転速度を200rpmとした。

ブラシは、軟質の毛(ナイロンφ0.3mm)に硬質の毛(ナイロン砥粒#240入りφ0.55mm)をV字型に埋め込み、回収時に対象物を中央に寄せ、回収しやすくするよう設計した。製作したブラシを写真2に示す。

対象物の回収前後の様子を写真3に示す。

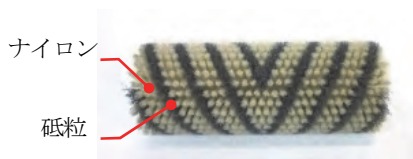


写真2 V字型ブラシ

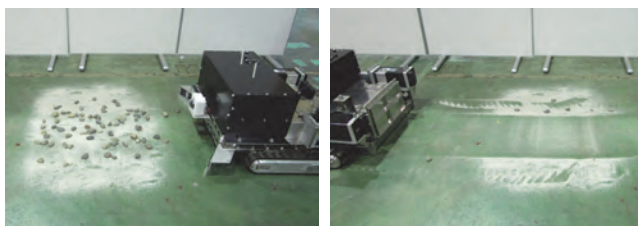


写真3 回収前後の様子
(左:回収前、右:回収後)

2) 排出機構

回収物を任意の場所で排出する機構として、電動アクチュエータによるダンプアップ方式を採用した。回収物を遮蔽容器等に遠隔で排出することで被ばくを低減できる特長がある。排出機構の外観と排出前後の様子を写真4に示す。

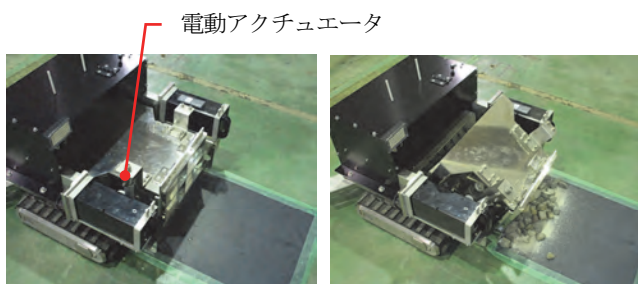


写真4 排出機構の外観と排出前後の様子
(左:排出前、右:排出後)

3) 走行機構

クローラが床面に散乱した小ガレキに乗り上がることを防止するために、クローラカバーを取り付けた。

その先端にはナイロンブラシ(φ0.2mm)を取り付けることで、対象物を回収機構へ誘導し、段差を乗り越えることができる機構とした。

4) 無線機構

バッテリーには市販の定格電圧25.2V、定格容量5.3Ahのリチウムイオン二次電池を2個搭載することで、2時間程度動作できることを確認した。

無線機構にはPackBotなどで実績のあるアクセスポイント方式を選定し、遠隔にて走行・回収・排出ができることを確認した。

3 結 語

小型遠隔ガレキ回収装置の試作機を用いて、以下の性能を確認した。

- ① 2本の回転ブラシにより対象物をかき上げ、タンク内に貯留できる。
- ② 回収物を任意の場所まで運搬し、電動アクチュエータによるダンプアップ方式により排出できる。
- ③ 試作機質量は約80kgであり、作業員4人程度での運搬が可能である。
- ④ バッテリー化及び無線機構により、ケーブルレス化を図り、すべての動作を遠隔にて行える。

本装置により、多少の凹凸のある床面に堆積した小ガレキ及び砂塵の回収が可能である。実機では現場での可搬性を考慮し、作業員2人程度で運搬できるよう、質量を50kg以下にする必要がある。

今後は、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しに関するロードマップに合わせ、ガレキ撤去が必要となるタイミングに迅速な現場導入ができるよう、実機的设计を進める。



執筆者/バックエンド技術部
機器設計 Gr. 櫻木 俊太



バックエンド技術部
廃棄物技術 Gr. 及川 智也



バックエンド技術部
機器設計 Gr. 浦 広幸
(現:大阪営業所)

ワイヤ干渉駆動型多関節アームの開発

Development of a Coupled Tendon-Driven Multi-Joint Manipulator

福島第一原子力発電所原子炉建屋内の高所狭隘部には、未調査箇所が多く残されている。そこで、障害物を回避しつつ目標箇所へアクセス可能な高所作業装置を開発するため、平成 28 年度に東京工業大学との共同研究にて、高所作業装置の主要部分であるワイヤ干渉駆動型多関節アームを開発した。様々な現場状況を想定してアームの目標姿勢を設定し、動作できることを確認した。

キーワード：ワイヤ駆動、長尺、多関節、マニピュレータ、高所

There are still many high and narrow areas in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station that are yet to be investigated. Therefore, we decided to develop a long-reach manipulator which can access high and narrow places avoiding obstacles, in FY2016, in collaboration with Tokyo Institute of Technology. A coupled tendon-driven multi-joint manipulator has been developed which is a main part of the device.

Key Words : Tendon-Driven, Long Reach, Multi-Joint, Manipulator, High Place

1 背景と目的

福島第一原子力発電所原子炉建屋内の高所狭隘部には、ロボットがアクセス困難なケーブルトレイやダクト配管などの障害物が多く、未調査箇所が多く残されている。そのため、障害物を回避しつつ目標箇所へアクセス可能な高所作業装置の開発が必要となった。

国立大学法人東京工業大学が開発したワイヤ干渉駆動型多関節アーム mini3D CT-Arm をもとに、長尺かつ軽量な多関節アーム（以下、「アーム」という）を平成 28 年度に東京工業大学と共同で開発した。

2 開発概要

(1) 高所作業装置と多関節アーム

高所作業装置の概念を図 1 に、アームの目標仕様を表 1 に示す。



図 1 高所作業装置の概念

表 1 アームの目標仕様

項目	仕様
長さ	3,000 mm
アーム部質量	35 kg 以下
外径	φ250 mm 以下
関節数	Pitch : 5 関節、Yaw : 3 関節
ペイロード	10 kg

高所作業装置を開発するためには、長尺かつ軽量な多関節のアームの開発が必要不可欠である。一般的なマニピュレータ等は、関節部分にアクチュエータを内蔵しているため、目標仕様のレベルまで軽量化することは困難であった。そこで、アクチュエータを分離可能なワイヤ干渉駆動機構を用いたアームを開発した。

(2) ワイヤ干渉駆動機構

アームに用いたワイヤ干渉駆動機構モデルを図 2 に示す。

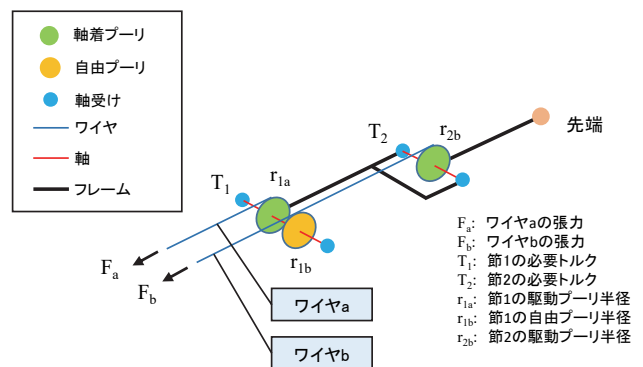


図 2 ワイヤ干渉駆動機構モデル

軸着プーリは軸と固定されており、自由プーリは軸に対し自由に回転することができる。このモデルが静止しているとき、トルクとワイヤの張力及びプーリ半径には式(1)及び式(2)の関係がある。

$$T_1 = F_a r_{1a} + F_b r_{1b} \quad (1)$$

$$T_2 = F_b r_{2b} \quad (2)$$

式(1)より、式(3)が求められる。

$$F_a r_{1a} = T_1 - F_b r_{1b} \quad (3)$$

式(3)より、ワイヤbで発生する張力(F_b)の影響でワイヤaに必要な張力 F_a が減少することが分かる。

このように根元側の関節に対し、自由プーリを介してトルクを干渉させることにより、各ワイヤに必要な張力を小さくすることができる。このため、必要となるアクチュエータ容量が小さくなり、大幅にアームを軽量化することが可能となる。

(3) アームの設計

アームの構成を図3に示す。本節ではアームの設計手法について述べる。

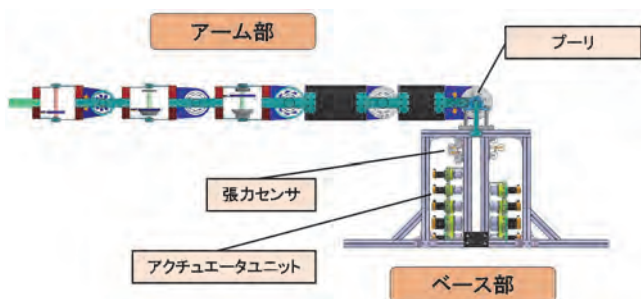


図3 アームの構成

1) プーリ配置とワイヤ経路

ワイヤ干渉駆動式アームの設計では、プーリの配置とワイヤの取り回しが非常に重要である。

プーリ配置とワイヤ経路を図4に示す。Pitch軸を直接駆動する2本のワイヤは、Pitch軸では1つのプーリに巻くが、Yaw軸では上下別のプーリに巻く必要がある。同様に、Yaw軸を直接駆動する2本のワイヤは、Yaw軸では1つのプーリに巻くが、Pitch軸では左右別のプーリに巻く必要がある。

2本のワイヤを別々のプーリに巻く軸は、どちらのワイヤに張力が発生しても干渉するトルクは同一方向に限定される。このため、干渉により発生するトルクの偏りが少なくなるようプーリを配置する必要がある。

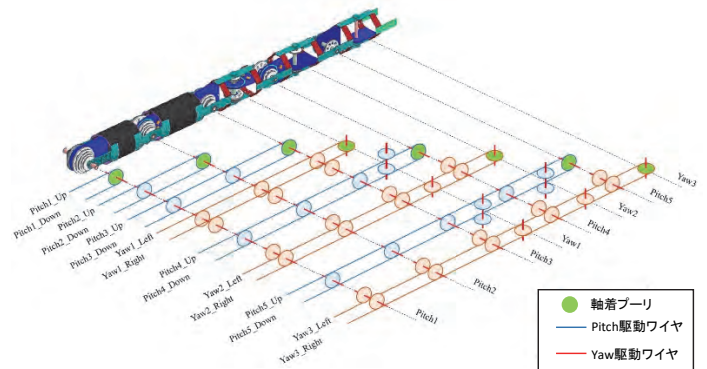


図4 プーリ配置とワイヤ経路

2) 各プーリ径の設定

プーリに発生するトルクは、各々のプーリの半径と張力に比例する。そのため、基本的にはプーリ径をなるべく大きく設定することで必要な張力を小さくすることができる。

図2のモデルにおいて、ワイヤaが発生させるトルク($F_a r_{1a}$)は、式(2)及び式(3)より式(4)として表せる。

$$F_a r_{1a} = T_1 - \frac{r_{1b}}{r_{2b}} T_2 \quad (4)$$

式(4)より、節2の駆動プーリ半径(r_{2b})が小さくなるほどワイヤaの張力(F_a)が小さくなる場合もある。

以上のことを考慮し、プーリ径を仮に設定した。

3) シミュレーション

東京工業大学で開発されたシミュレータ操作画面の例を図5に示す。

前項で設定したプーリ径をもとに、想定可能なあらゆる姿勢における各ワイヤの張力を計算した。安全率を考慮した設定張力以下となるように再びプーリ径を調整する繰り返し計算を行った。また、シミュレータで算出した最大張力をもとに、必要なアクチュエータの選定を行った。

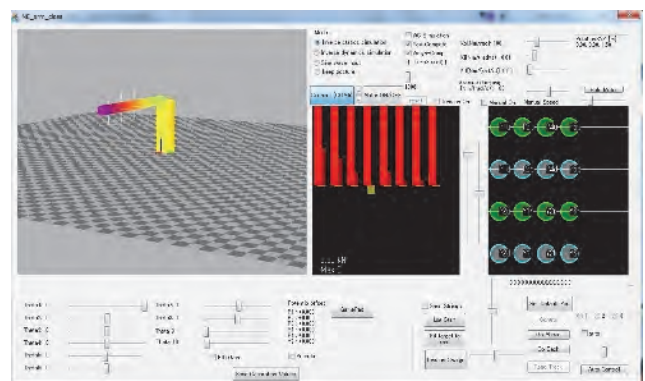


図5 シミュレータ操作画面の例

4) 小型軽量化

高所作業装置のアーム部を高所狭隘部に進入させる場合には、伸縮ポールを用いてアームを上昇させる必要がある。その際、アクチュエータユニットが大きいと既設設備との干渉等により作業範囲が限定されるという課題がある。アクチュエータユニットの詳細を図6に示す。

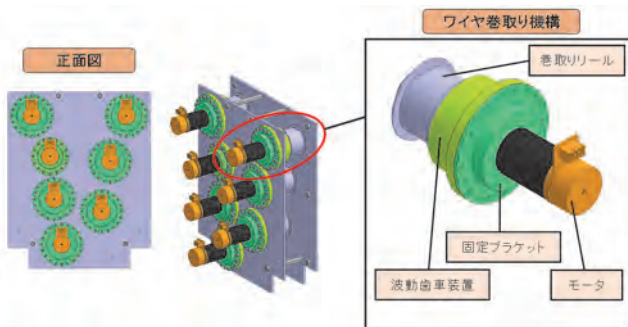


図6 アクチュエータユニットの詳細

ワイヤ巻取り機構には、小型高減速比の波動歯車装置を採用し、巻取りリールを直結した。これにより、小型ながらも3kN以上の張力を発生させることが可能となった。

ワイヤ巻取り機構をV字型に配置することで、各ワイヤ同士が干渉することなく配置できるとともに、アクチュエータユニット全体を小型化できた。

また、アーム部の質量は、関節軸を中空構造とすることや自由プーリの肉抜きなどにより、目標質量である35kg以下を達成できた。

(4) 制御

1) 機器構成

アームの主な機器構成を図7に示す。

Arduinoでは、シミュレータから受信した目標関節角度をもとにモータへの指令値を計算する。同時に、張力センサの値とシミュレータで算出した予想張力を比較しモータ指令値の補正を行う。

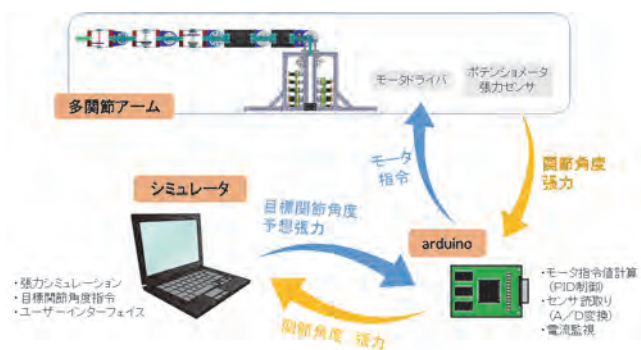


図7 アームの主な機器構成

2) 制御手法

図2のモデルにおいて根元側の関節をある角度分($\Delta\theta_1$)を動かそうとする場合のワイヤ巻取り量(x_1)は、式(5)のように表される。

$$x_1 = r_{1d}\Delta\theta_1 \tag{5}$$

先端の関節を駆動するワイヤの巻取り量は、 $r_{1f}\Delta\theta_1$ の誤差を生じる。このため、先端の関節をある角度分($\Delta\theta_2$)だけ動かそうとする場合のワイヤ巻取り量(x_2)は、式(6)のように表される。

$$x_2 = r_{1f}\Delta\theta_1 + r_{2d}\Delta\theta_2 \tag{6}$$

任意の節を持つモデルにおいて、n 節目の駆動プーリを駆動するワイヤの巻取り量(x)は経路上のプーリ半径を根元側から順に r_1, r_2, \dots, r_n とした場合、式(7)で求められる。

$$x = \sum_{k=1}^n \text{sgn}(k)r_k\Delta\theta_{1k} \tag{7}$$

式(7)の $\text{sgn}(k)$ はk節におけるワイヤ巻き方向によって定まる符号関数で、モータドライバへの指令値を算出して、モータを駆動する。

(5) 動作確認

アームの主な仕様を表2に、外観を写真1に示す。前項の制御手法をもとに、アームが設定した目標姿勢まで制御できるかを動作確認した。

表2 アームの主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W1,350×L3,850×H1,050 mm
アーム長さ	3,000 mm
質量	100 kg (うちアーム部: 32 kg)
ペイロード	10 kg
関節	Pitch: 5 関節 Yaw: 3 関節
最高動作速度	各関節 1 rpm
ワイヤ	ステンレスワイヤ φ3 mm (7×19)

目標姿勢の例を図8に示す。姿勢1、2ともに直接アクセスすることができない対象物(壁や天井等)にアクセスする姿勢である。

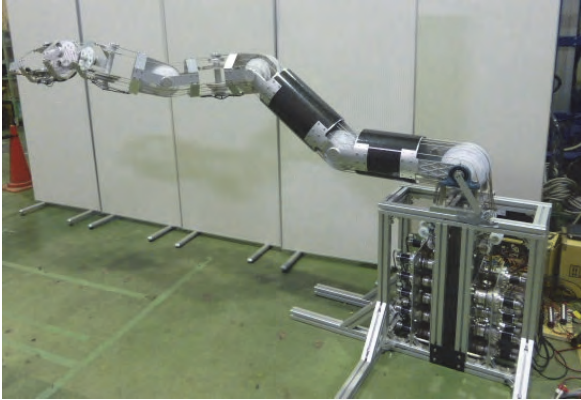


写真1 アームの外観

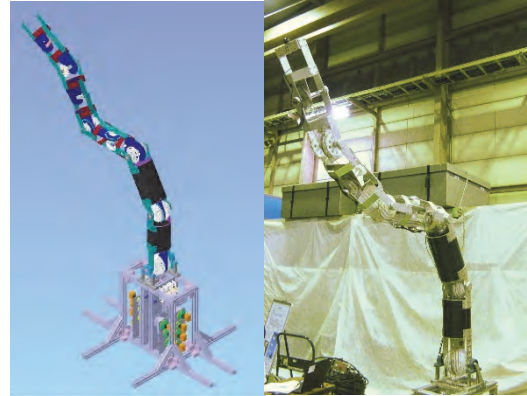


図10 動作確認状況 (姿勢2)

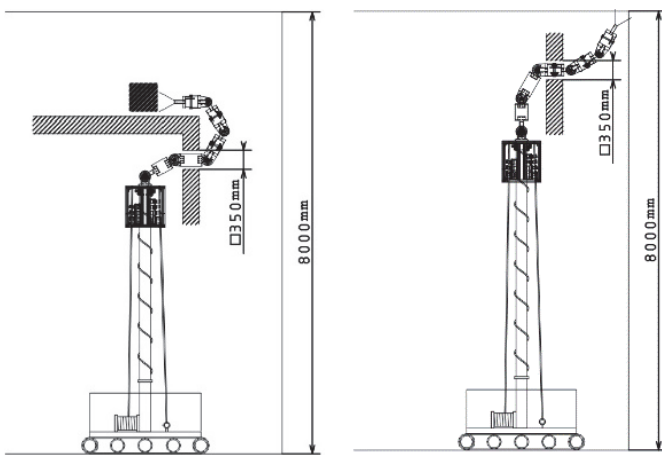


図8 目標姿勢の例 (左: 姿勢1、右: 姿勢2)

目標姿勢への動作確認状況を図9、図10に示す。動作実験より、設定した目標姿勢に近い姿勢まで制御できることを確認した。

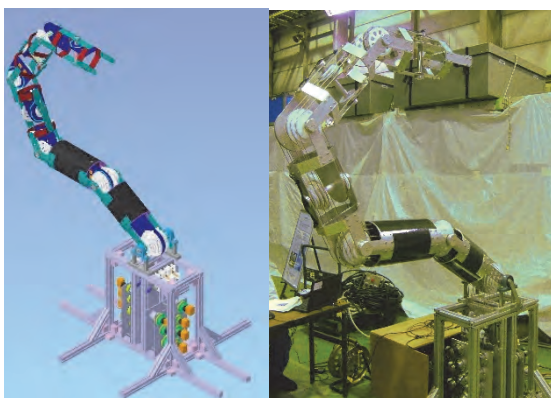


図9 動作確認状況 (姿勢1)

3 結語

本稿で示す設計手法、制御手法をもとにアームを設計・製作して動作確認の結果、問題なく目標の姿勢まで制御できることを確認した。

今後は、張力フィードバック制御や伸縮ポールとの連動制御の検討を行い、平成30年度までに高所作業装置の完成を目指す。また、アーム単体についても、多種多様な作業へ適用できることが想定される。更なるアームの長尺化、小径化等の検討を進める。

謝辞：研究を進めるに当たりご指導をいただきました国立大学法人東京工業大学工学院 遠藤玄准教授、設計や制御に関する相談に対応していただいた鈴木・遠藤研究室の堀米篤史様、高田敦様、及び研究室の皆様へ深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 広瀬茂男, 馬書根, ワイヤ干渉駆動型多関節マニピュレータの開発, 計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 11, pp.1291-1298 (1990)
- 2) 広瀬茂男, 馬書根, 多関節マニピュレータの冗長性分解制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 24, No. 9, pp.954-959 (1990)
- 3) 広瀬茂男, 馬書根, 多関節マニピュレータのモレイ駆動, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 1, pp.9-16 (1990)
- 4) Atsushi Horigome, et al. "Development of a coupled tendon-driven 3D multi-joint manipulator." Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on. IEEE (2014)
- 5) 米田完, 大隅久, 坪内孝司, ここが知りたいロボット創造設計, (株)講談社 (2005)



執筆者/ロボティクスエンジニアリング部
遠隔技術開発 Gr. 西村 悠大
(現: 玄海事業所)



ロボティクスエンジニアリング部
遠隔技術開発 Gr. 伊藤 俊介

ドローンを用いた建屋内線量調査技術

Radiation Survey Technique using Drone in an Indoor Environment

福島第一原子力発電所で求められる放射線線量測定は、被ばく低減対策を含む工事計画の策定、除染などの工事成果確認に資することであり、立体的な線量率情報が必要になる。当社は、東京電力ホールディングス(株)殿からの委託で、立体的な線量率情報を取得可能な英国 CREATEC 社製の自律飛行ドローン“RISER”及びその線量解析ソフトウェア“N-Visage”を組み合わせたシステムについて、福島第一原子力発電所への適用性に関する実証試験を実施した。その結果から、現状のシステムで適用可能な範囲を確認するとともに、今後の適用性の拡大に向けた課題を抽出した。

キーワード：福島第一原子力発電所、ドローン、線量解析、SLAM

The radiation dose measurement required at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station contributes to work planning including dose reduction and to evaluate the work results. At the request of TEPCO, ATOX conducted a demonstration of a drone, RISER, and its analysis software called N-Visage, which are developed by a UK company CREATEC, in order to assess their applicability to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. From the result of the demonstration, we have specified the applicable scope with the current system and also identified challenges for future phases.

Key Words : Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Drone, Dose Analysis, SLAM

1 背景と目的

東京電力ホールディングス(株)殿では、ドローンを用いた建屋内線量調査を検討していたが、ドローンの多くは、空撮や測量など、GPSの利用が可能な屋外での使用を目的とした機体で、屋内での調査には不向きである。

レーザーを利用した SLAM^{*1} 制御を行う RISER は、GPSの届かない屋内環境下であっても安定して飛行することが可能である。SLAM 制御のドローンは、一部の大学機関やメーカーで研究開発が進められていたが、情報が少なく、使用実績に乏しかったため、同社の委託により、英国での現地調査、及び福島第一原子力発電所（以下、「1F」という）での実証試験から、本機の適用性を評価¹⁾した。

2 1Fにおける実証試験の概要

(1) RISER

RISERの外観を写真1に、主な仕様を表1に示す。機体は、日本の電波法に準拠するように、当社から提供した技術情報及び通信機器を基に英国で再調整を行った。



写真1 RISERの外観

表1 RISERの主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W930×L830×H160 mm
重量	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 ^{*2}
利用周波数帯	2.4 GHz 帯 (IEEE802.11b/g に準拠)

(2) 1F 実証試験と性能評価

実証試験は、3号機の逆洗弁ピット及びタービン建屋オペフロ階において、“飛行性能”、“三次元復元図生成”、及び“線量解析”の3項目の試験項目について行った。

“飛行性能”については、風の影響がある逆洗弁ピット内において安定した飛行が可能であることを確認した。一方、タービン建屋では、高度推定の基準としていた床面が瓦礫等の散乱により平坦でなく、飛行が安定しない事象が発生したが、高度推定の基準に天井面を追加する制御法の改善により、安定した飛行が可能であることを再試験実施により確認した。

“三次元復元図生成”については、実測で得られた復元図を図面寸法と比較することで精度を評価した。対象物としては、金属のフランジやコンクリート壁面等の形状・材質が異なるものを選定した。その結果、すべての対象物で、実測と図面の寸法がほぼ同等であり、高精度な三次元復元図が生成可能なことを確認した。

タービン車室の復元図を図1に示す。

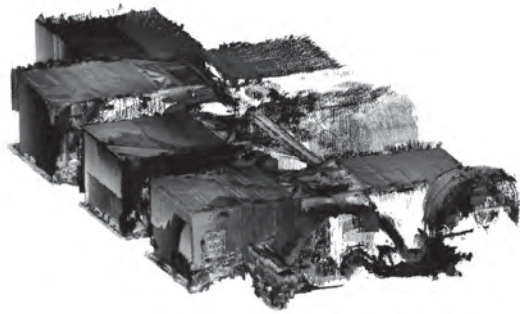


図1 タービン車室の復元図

RISERの“線量解析”には、CREATEC社が開発した解析ソフトウェアN-Visageを用いる。その解析には、線量率と距離情報のみで任意の評価点の線量率を評価する基礎解析と、ガンマ線のスペクトル情報及び遮蔽効果を考慮することで、表面に限定せず線源位置の特定等のより精度の高い線量評価が可能な詳細解析の二種類が存在する。本実証試験においては、逆洗弁ピットは基礎解析と詳細解析、タービン建屋は基礎解析のみを実施した。

N-Visageによる解析では、第一段階において線量率から調査エリアの表面汚染密度を推定し、第二段階ではそれを基に任意の位置における線量率を評価する。推定した汚染マップの妥当性の確認は、実測の線量率と、推定した汚染密度から算出した線量率を比較することで確認した。3号機の逆洗弁ピットにおける実測値と評価値との比較を図2に示す。青線で示した実測値と赤線で示した評価値との整合性が高く、推定した汚染マップは妥当なものといえる。推定した汚染マップ及び線量率マップを図3、図4にそれぞれ示す。

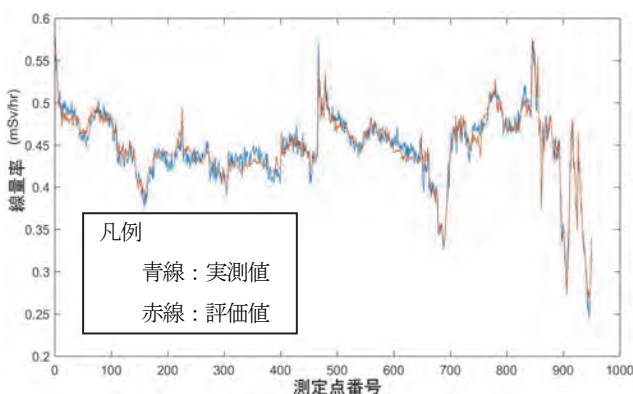


図2 逆洗弁ピットにおける線量率の実測値と評価値の比較

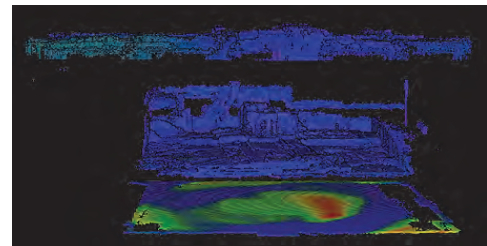


図3 逆洗弁ピットの汚染マップ

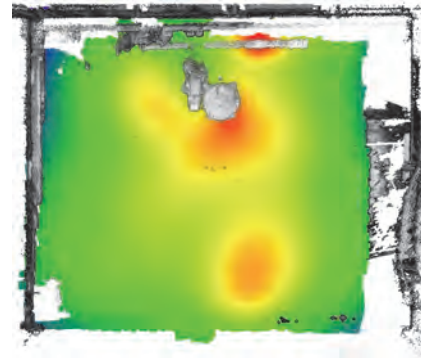


図4 逆洗弁ピットの線量率マップ

3 結 語

RISERのSLAM制御は、類を見ない優れた技術であるが、3号機タービン建屋内では、瓦礫等の影響により、高度推定が困難となる事象が発生した。同機体を多くの建屋内で飛行させるためには、継続的に現場環境に合わせたシステムや運用基準の改善が求められるが、人や地上型ロボットが近づくことが困難なエリアの調査において、RISERは有用な技術である。

また線量解析ソフトウェアN-Visageは、RISERに限らず、従来の測定機器で取得した線量データを解析することも可能であり、英国Sellafield施設では日常的に放射線データの管理システムとしても使用されている。今後IFにおいても、様々な方法で採取された放射線データの一元化にN-Visageシステムは有用である。

【用語の解説】

- ※1 SLAM : Simultaneous Localization and Mapping
自己位置推定と環境地図作成を同時に行うシステム
- ※2 CZT 検出器 : テルル化亜鉛カドミウム半導体検出器

参考文献

- 1) 大浦正利, 佐藤雄太, 齊藤大祐 ほか, マルチコプター「RISER」による線量測定の実用性試験結果, 日本原子力学会「2017年秋の大会」予稿集 (2Q20), 2017.9



執筆者/ロボティクスエンジニアリング部
運用技術開発 Gr. 齊藤 大祐

LED 発信式 PV モジュール検査装置の開発

Development of LED Signal Transmission Type Inspection Device for PV Module

PV モジュール検査ロボットは PV モジュールのインターコネクタでの導通不良を診断するものであるが、導通検査を行う上でいくつかの制約や検査のできない箇所がある。これらを解決するため、パルス光の局所照射で発生する誘起電流を磁場計測により検出し、インターコネクタの導通不良を診断する装置を開発した。

キーワード：インターコネクタ、導通不良、誘起電流、磁場計測

Photovoltaic module inspection robot diagnose conduction failures in the interconnector of the solar PV module. However, there are several limitations for inspection and also it is not able to inspect the failures in some areas. In order to solve these issues to diagnose conduction failures, we have developed the device which can detect current induced by local pulse light irradiation with magnetic field measurement.

Key Words : Interconnector, Conduction Failure, Induced Current, Magnetic Field Measurement

1 背景と目的

近年、固定価格買取制度やエネルギーミックスの政策により太陽光発電システムが普及している。メンテナンスフリーと謳われた太陽光発電システムであるが、実用上様々な不具合事象が発生し、火災に至るケースも報告されている。PV モジュール検査ロボット（以下、「PV ロボ」という）は、太陽光発電の安全な普及に寄与すべく不具合事象を簡便に検査するものである。

写真 1 に示す PV ロボは、現在最も設置の多い結晶系シリコンモジュールを対象としたインターコネクタ（以下、「インコネ」という）の導通検査装置である。従来の検査装置は、端子箱の影響による検査範囲の制限、送信機の取付けの手間、検査中の系統連係不可（売電不可）などの制約があり、検査装置普及の阻害要因となっている。これらの阻害要因を排除するため本 LED 発信式 PV モジュール検査装置の開発を行った。

PV ロボを含んだ一連の開発は、国立研究開発法人産業技術総合研究所及び国立大学法人長岡技術科学大学との 3 者共同研究として実施した。



写真 1 PV ロボの外観

2 開発概要

(1) PV モジュール

1) PV モジュールの構成

PV モジュールの回路と構造を図 1 と図 2 に示す。PV モジュールは、最小単位の太陽電池（セル）をインコネによって直列につないだ構造となっており、通常は、10~20 セルを一つのかたまり（クラスタ）としている。このクラスタ内で異常が生じた場合には、バイパスダイオードが作動し、発電電流が異常クラスタを迂回して逆電圧を防いでいる。

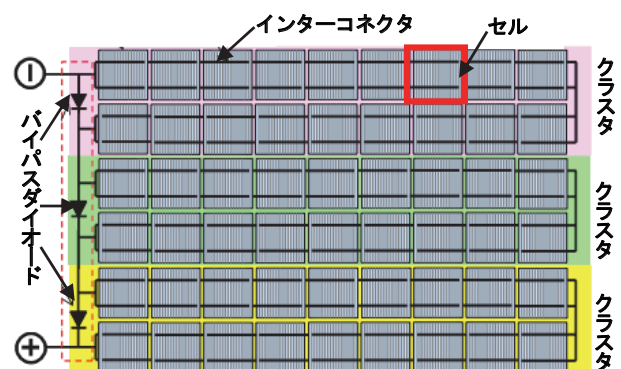


図 1 PV モジュールの回路

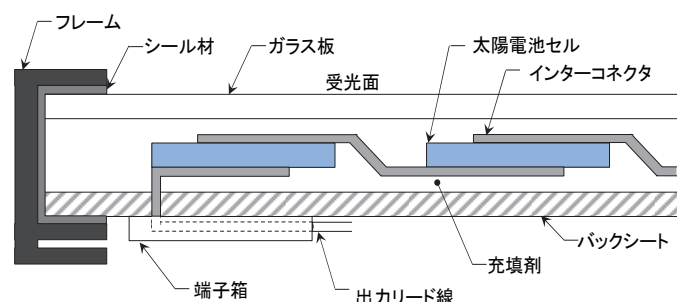


図 2 PV モジュールの構造

2) PV モジュールの不具合

PV ロボでは、インコネの導通不良、クラスタ不全、バイパス回路故障の一部が検出可能である。PV モジュールの故障事例を図 3 に、PV モジュールの故障順序の例を表 1 に示す。

故障順序の一例として、初期不良や経年劣化によりインコネの導通不良が発生する (Phase I)。この状態が続くと残る 1 本も高負荷により導通不良が発生し、電流を流すことができなくなる。このため、発電電流はインコネを迂回してバイパス回路に流れ、クラスタ不全といわれる状態となる (Phase II)。さらにバイパスダイオードの高負荷状態が長期にわたり続くことでダイオード及びバイパス回路が不全となり開放故障、短絡故障を起こす (Phase III)。

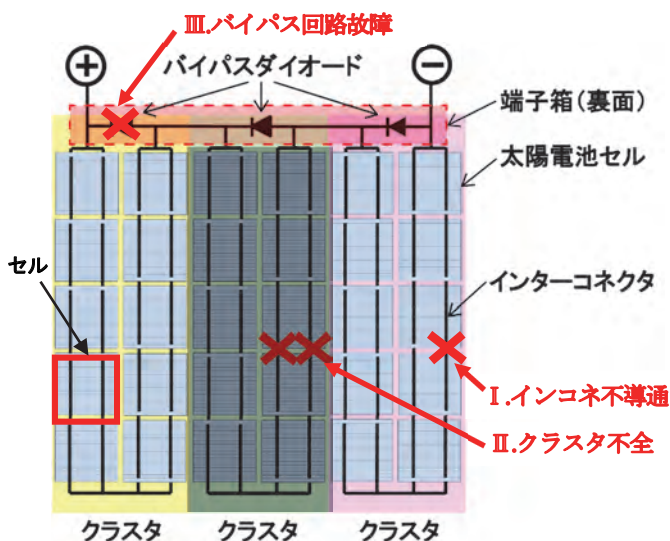


図 3 PV モジュールの故障事例

表 1 PV モジュールの故障順序の例

故障順序		発生し得る事象	検出可否
Phase I	導通不良 (IC 線 1 本)	ホットスポット発生	○
Phase II	導通不良 (IC 線 2 本)	出力低下 (クラスタ不全分)	○
Phase III	バイパス回路開放故障	逆電圧 高温出火	○
	バイパス回路短絡故障	出力低下	×

(2) 従来の検査手法

従来手法のイメージを図 4 に示す。検査手法の欠点は以下のとおりである。

- 検査用の磁場を誘起するための電流を印加する送信機を、アレイごとに取り付ける手間が掛かる。
- 太陽光発電で発電された電流の一部を検査用磁場の誘起に使用するため、発電状態でなければならず、天候不良時、夜間は検査できない。
- 系統連係中はインバータにより送信パルスが無効化されるため、検査中は系統連係できず、売電できない。
- 送信パルスがすべての太陽光発電システム上を流れるため、動力線の影響を受ける PV モジュールの端子箱、出力線付近等の箇所では導通検査ができない。

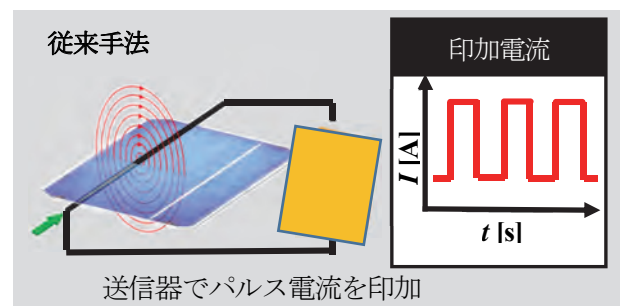


図 4 従来手法のイメージ

(3) LED 発信式 PV モジュール検査装置による手法

開発した装置は (2) で記した取り付けの必要な送信機を用いず、LED をパルス発光させることにより太陽電池から発電される電流を検査に使用する²⁾。このため、従来手法での送信機の着脱作業が不要になる。本手法のイメージを図 5 に示す。

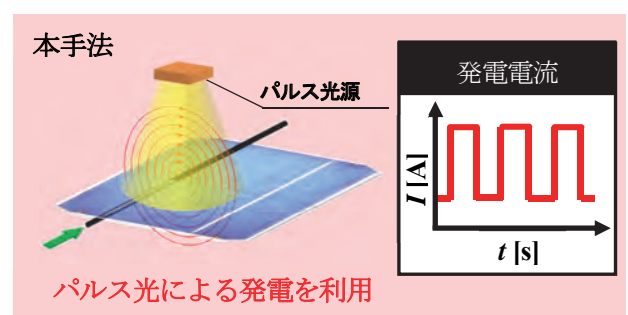


図 5 LED パルス発信式 PV モジュール検査装置による手法のイメージ

従来手法及び本手法ではともにパルス電流を検出するため、磁気センサ (以下、「コイル」という) を使用する。コイルを通過する磁束の変化によりコイルに発生する誘導起電力を求め、導通検査に利用する。次節に検査原理を述べる。

(4) 検査原理

PV セルに不具合がある場合はセルの電流分布が変化し、発生する磁束密度が特異な分布を示す。本装置は PV セルにパルス信号またはパルス光を照射し、パルス状の発電電流によりコイルで発生する誘導起電力 ε を検出することで磁場を算出し、不具合の有無を判断する。以下に電流と磁場の関係式を示す。

電流が流れている場合、周囲には磁場 (H) が発生する。図 6 のように電流が流れている場合、任意の点での磁束密度 B は式(1)で表される。

$$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (1)$$

- I : 導体に流れる電流 [A]
- a : 直線からの距離 [m]
- μ_0 : 真空の透磁率 [N/m]

この磁束密度を求めるためにコイルに発生する誘導起電力を求める。

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2)$$

- ε : 誘導起電力 [V]
- N : コイルの巻き数
- Φ_B : コイルを貫く磁束 [Wb]

式(2)からコイルの誘導起電力は磁束の変化速度に比例し、静磁界や緩やかな磁束の変化は検出せず、パルス信号やパルス光照射に起因する磁界変化のみを検出することができる。したがって、磁束密度を得るため、コイルの出力を積分回路に入力して磁束密度の変化速度を磁束密度に変換し、誘導起電力から間接的に磁束密度を算出する。この際、信号の増幅を行って測定効率化を図っており、増幅率を A とすると出力電圧 V_c 。(実際に検出する誘導起電力) は式(3)より導かれ、磁束密度は式(4)となる。

$$V_c = -A \int -N \left(\frac{d\Phi_B}{dt} \right) dt = ANd\Phi_B \quad (3)$$

$$d\Phi_B = V_c / AN \quad (4)$$

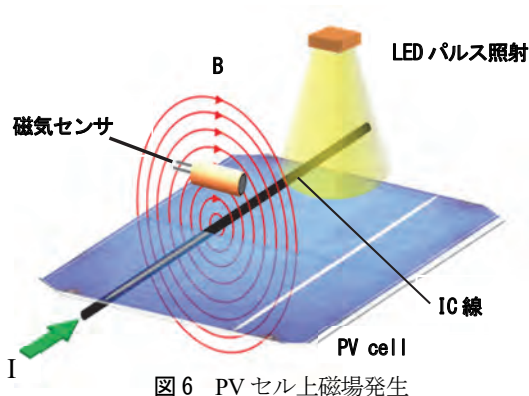


図 6 PV セル上磁場発生

(5) 屋外実験

1) パルス照射

ハンディタイプの LED 発信式 PV モジュール検査装置 (写真 2) を製作し実験を行った。ハンディタイプは LED 発光素子とコイルが同一箇所設置されている。取得データの妥当性を確認するため、実験日から約 2 年前に取得した EL 画像*と比較した。インコネ断線基準を $2\mu\text{T}$ とし取得データとの比較を図 7、図 8 に示す。

* Electro Luminescence (EL) 法にて取得した画像 (暗い部分は発電していない。)

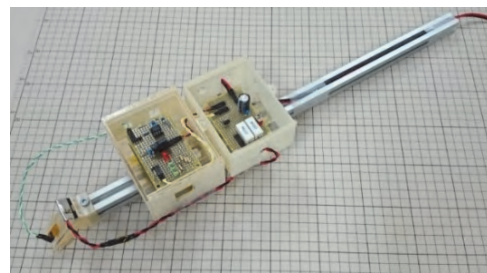


写真 2 LED 発信式 PV モジュール検査装置 (ハンディタイプ)

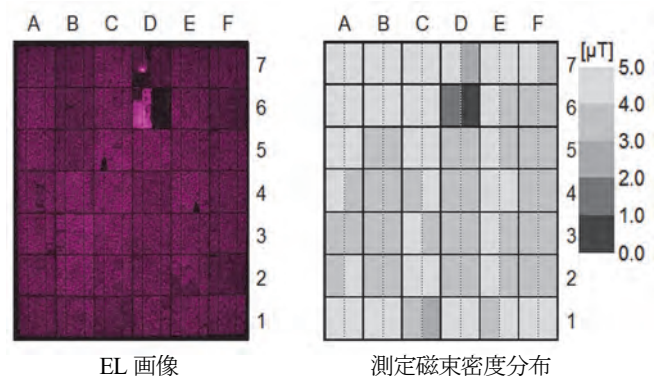


図 7 ハンディタイプ取得データ 1

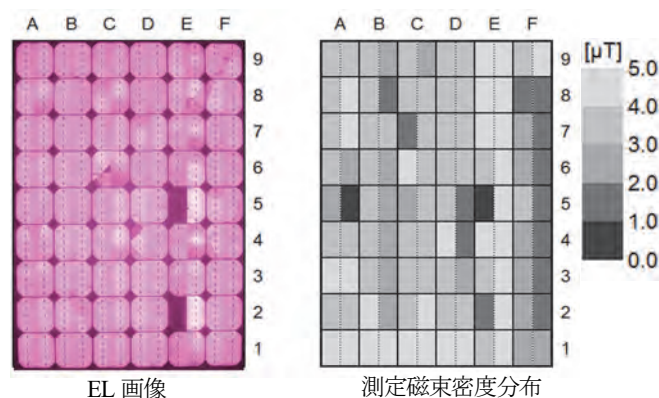


図 8 ハンディタイプ取得データ 2

図 7 と図 8 の右図が磁束密度分布を本装置により測定したものである。図 7 では EL 画像と比較すると不具合箇所が一致している。一方、図 8 の比較では不具合箇所が一致しない事象が発生した。

この傾向は日射量が高い時間に測定したデータに同様の結果が見られ、測定時に発生する影が原因と考えられる。図9に図8のPVモジュールの日中のシステム停止時と日没後に取得した磁束密度分布を示す。

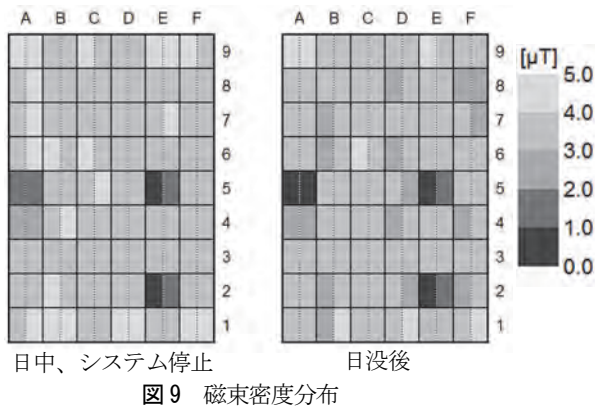


図9 磁束密度分布

図9の磁束密度分布と図8のEL画像を比較するとE2、E5の不具合箇所が一致している。A5に関しては約2年前に取得したEL画像では不具合として確認できないが、2年間に新たに不具合が発生したと考えられる。これらから、日射量が高い場合は測定時の影によりPVモジュールに流れる電流が絶えず変動して、パルス照射による発電電流の電流経路が変動し、安定した検出ができないことが分かった。このため、当手法は夜間（パルス照射に起因する発電電流が照射セル内で消費）やセル一枚を遮光することで発電電流を制限して検査を行うことが有効であることが分かった。

2) パルス照射+遮光

パルス照射ではLED光による発電電流が照射セルにて消費されるため、発電電流がPVモジュール全体に流れず、クラスタ不全が検出できなかった。そのため当手法は照射セルを遮光し、PVモジュール全体に必ずパルス光照射による発電電流が流れるよう設計したものである。製作したものを写真3に示す。

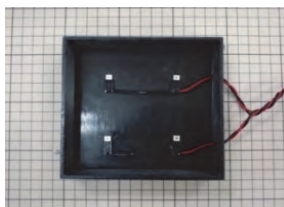


写真3 パルス + 遮光

図10に示す実験結果より、B2での不具合箇所が一致し、E列及びF列がクラスタ不全を起こし、バイパスダイオードが機能していることが確認できる。また、C、Dの8、9間の端子箱（図10の黄枠）の影響も確認できる。したがって、従来手法と同様の測定データが送信機の取り付けなしで取得できることが分かった。従来手法と本開発品の各種条件と検査可否を表2に、検出可能な不具合を表3に示す。

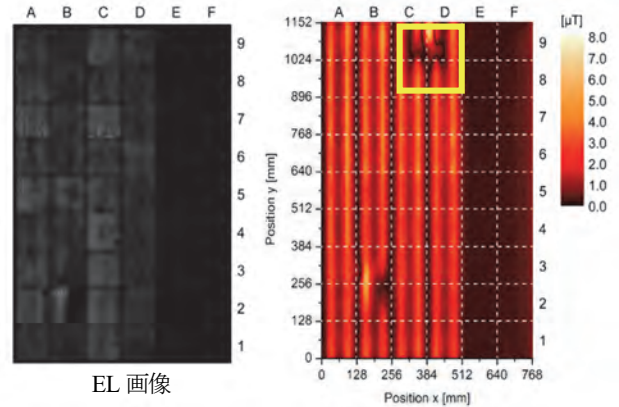


図10 パルス + 遮光取得データ

表2 各種条件と検査可否

	回路条件		
	係あり 日中	係なし 日中	夜間
従来手法	×	○	×
パルス照射	×	○	○
パルス照射+ 遮光	○	○	×

表3 検出可能な不具合

不具合	導通 不良	クラス タ不全	バイパス回路	
			開放	短絡
従来手法	○	○	○	×
パルス照射	○	×	×	×
遮光+パルス照射	○	○	○	×

3 結語

本LED発信式PVモジュール検査装置の開発により、従来手法では検査のできなかった端子箱、出力線付近の導通検査が可能になるとともに、送信機の取り付け作業を省略できるようになった。また、系統連係時も測定可能になり、所期の目的を達成した。

参考文献

- 1) 加藤和彦, 日刊工業新聞社: “太陽光発電システム不具合事例ファイル”, 2010
- 2) 多田恭一郎, 長岡技術科学大学修士論文: “パルス光の局所照射による既設太陽電池モジュール検査手法の開発”, 2016. 2



執筆者/ロボティクスエンジニアリング部
制御システム技術 Gr. 佐藤 伸弥

廃止措置に伴う金属廃棄物切断工法の検討

Investigation of Metal Waste Cutting Method at Decommissioning

原子力発電所の廃止措置で発生する金属廃棄物について、放射能レベルの低減やクリアランスの効率化を図ることは非常に重要である。そのためには、配管類の内面を開放する切断工法を検討することが重要である。配管類の処理では、効率的な除染及び除染後の汚染測定の簡便さを図る上で配管を縦割りする必要があり、機械切断及び熱切断の2工法について装置の検討を行った。その結果、機械切断及び熱切断の2工法による切断装置を用途に応じて選択することが可能となった。

キーワード：廃止措置、除却、機械切断、熱切断

It is very important to reduce the level of radioactivity and increase the efficiency of clearance in metal waste generated by decommissioning of nuclear power plants. Among them, it is important to consider disconnection of plumbing. In the treatment of piping, it is necessary to cut the piping vertically in order to decontaminate and to simplify the contamination inspection after that, we studied a device which can open and cut piping inside with respect to two methods of machine cutting and thermal cutting. From these results, it became possible to select a cutting device from two methods of machine cutting and thermal cutting according to the application.

Key Words : Decommissioning, Removing, Machine Cutting, Thermal Cutting

1 背景と目的

原子力発電所の廃止措置で発生する金属廃棄物について、放射能レベルの低減やクリアランスの効率化を図ることは非常に重要である。金属廃棄物のなかでも、配管類の切断を検討することは重要である。配管類の処理では、除染作業を効率良く行い、除染後の汚染測定作業を容易に行うために、配管を縦割りすることが有効である。また、これらを金属廃棄物としてドラム缶や鉄製容器に封入する場合においても、縦割りすることにより高い充填率が得られる。

配管類の縦割りについては、バンドソーによる縦割りの機械切断と、プラズマ切断による半割りの熱切断の装置を製作することで、客先のニーズへの対応を目指す。

2 配管切断装置の検討

配管の切断装置として、バンドソー式配管縦割り切断装置及びプラズマ式配管半割り切断装置について、切断性能の向上、適用範囲の拡大等のための検討を行った。

(1) バンドソー式配管縦割り切断装置

バンドソー式配管縦割り切断装置（以下、「バンドソー式装置」という）の外観を写真1に示す。バンド

ソーの昇降機構はカウンターウェイト方式で、バンドソーの自重により切断しながら下降するため、半自動での切断が可能である。調整用のカウンターウェイトは3種類あり、切断対象物の肉厚や材質に合わせて下降速度を調整することが可能である。

バンドソー式装置の切断速度の向上を図るために、バンドソーの昇降機構の見直しを行うとともに、バンドソーの重心位置を考慮した吊り位置に変更した。

従来の装置は200A配管まで切断が可能であったが、本装置は300A配管までの切断を可能とし、その機能を現場導入機に反映させた。

また、切断試験により配管の肉厚と切断時間の相関性を確認した。これにより、配管の長さ及び肉厚から切断時間の算出を容易に行うことが可能となった。



写真1 バンドソー式配管縦割り切断装置の外観

(2) プラズマ式配管半割り切断装置

プラズマ式配管半割り切断装置（以下、「プラズマ式装置」という）の構成は、対象配管を固定する機構とエアープラズマ切断機のトーチを水平移動するための送り機構であり、配管の半自動切断が可能である。付帯設備として、切断時に発生する金属蒸気が凝集して微細な粒子となった金属ヒュームを回収する集塵機を設けている。

従来のプラズマ式装置は、細管（外形：φ15mm、t:1.2mm）の切断を対象としていたが、本装置は40～150A、長さ1mまでの配管の切断を対象としている。また、トーチの送り速度は、4.2～50mm/sの範囲で調整可能であり、配管の肉厚に合わせて切断速度を調整できる。さらに、配管内部に付着するノロと呼ばれる酸化物の廃棄物を抑える目的で、圧縮空気をプラズマ切断部近傍で噴射させる機構も設けている。

プラズマ式装置の外観を写真2に、トーチ送り機構を写真3に示す。



写真2 プラズマ式配管半割り切断装置の外観



写真3 トーチ送り機構

(3) 両装置の比較・検討

バンドソー式装置とプラズマ式装置の基本性能について比較した結果を表1に示す。

表1 切断装置の基本性能の比較結果

切断機構	バンドソー式	プラズマ式
切断速度	普通	良
可搬性	良	難あり
付帯設備	不要	必須

バンドソー式装置の利点は、市販の大型バンドソーや半割り装置と比べて小型であるため省スペースでの作業が可能であり、キャスターにより人力での運搬が可能である。また、使用電源がAC100Vであることから分電盤も不要である。切断能力はプラズマ式装置と比べて低い。

プラズマ式装置は、バンドソー式装置に比べて切断能力は高いが、集塵機や制御盤等の付帯設備が必須であり、可搬性に難がある。また、一般的な熱切断工法では、火気養生のため広い作業エリアを必要とするが、プラズマ式装置を用いることで、通常の熱切断と比べて狭いエリアでの作業が可能となった。

これらの結果から、機械切断及び熱切断の2工法による切断装置を用途に応じて選択することが可能となった。

3 結 語

バンドソー式装置については、配管径が300Aまでの切断が可能となったが、今後、さらに大口径の配管を機械切断できる装置を開発して、切断対象物の適用範囲拡大を目指す。

一方、プラズマ式装置については、切断時に発生し配管の内壁に付着するノロが、その後の除染・汚染測定に影響を及ぼすことが懸念されているので、ノロの付着量低減や除去方法の確立を目指した研究を進めていく。

これらを推し進めることにより、増加傾向にある除却関連工事に対する客先のニーズに応えた切断装置の検討を継続する。



執筆者／バックエンド技術部
廃止措置技術 Gr. 佐野優太郎



バックエンド技術部
廃止措置技術 Gr. 伊藤 学

養生シートに由来する残留糊除去工法の検討

Examination of Removal Methods on Adhesive Residue from Curing Sheet

東日本大震災以降、長期にわたって原子力発電所が稼働停止し、その間、施設保護のために養生シートが貼り付けられた。長期にわたる養生シート貼り付けでは、撤去時の糊残りが予想される。実際に、長期間貼り付けられていた養生シートを剥がしたところ、貼り付け面の4割程度に残留糊が見受けられた。この残留糊は、洗浄液を使用した通常の拭き取り工法では除去しきれなかったため、残留糊の除去が可能となる工法の検討を実施した。検討の結果、いくつかの溶剤及びドライアイスブラストを使用した工法で残留糊の除去が可能であることを確認した。

キーワード：養生シート、残留糊、除去、溶剤、ドライアイスブラスト

Many nuclear power plants have been shut down since the great East Japan earthquake. Curing sheets are affixed to facilities of nuclear power plants in order to protect those. By affixed curing sheet for a long time, glue may remain. We peeled off the curing sheet and found the adhesive residue. It covered 40% of the area where the curing sheet was affixed. Normally cleaning solution is used to remove adhesive residue, but it was not removed by ordinary wiping. Therefore, we studied ways to remove adhesive residue, and confirmed that it is possible to remove adhesive residue by using several kinds of solvent or dry ice blast.

Key Words : Curing Sheet, Adhesive Residue, Removal, Solvent, Dry Ice Blast

1 背景と目的

養生シートは、原子力発電所施設の保護に頻繁に用いられる。東日本大震災以降、原子力発電所は長期間稼働停止したため、養生シートの貼り付け期間も長期化している。このような養生シートを剥がす際、残留糊の発生が予想される。実際に3年以上貼り付けられた状態の養生シートを剥がしたところ、貼り付け面積のおよそ4割に残留糊が確認された。この残留糊に対してヘプタンを主成分とする洗浄液を使用した拭き取り除去を試みたが、溶けた糊が保護対象物に貼り付いて取れず、完全な除去はできなかった。残留糊を完全に除去するため、試験を行って適切な工法を確認する。

2 試験概要

(1) 試験片の製作

糊の除去試験を実施するため、SUS304板に糊を塗布した試験片を製作した。使用した糊はアクリル系のオリバイン BPS-1109で、これは一般的なフィルムラベルにも使用されている。表1に試験片の仕様を示す。

表1 試験片の仕様

母材	寸法 (mm)	糊	糊塗布量
SUS304 #400	□500×t3	オリバイン BPS-1109	片面のみ 15g 塗布

(2) 糊除去試験

拭き取りによる除去工法と、機械を使用した摩擦や

衝撃力による除去工法を検討するため、表2に示す薬品、及び表3に示す機械にて除去試験を実施した。一度の試験で除去する糊の範囲は250mm×250mmとし、除去にかかる時間を計測した。


表2 除去試験に使用した薬品の一覧

薬品の種類	仕様
メチルエチルケトン	濃度：99.5%以上
酢酸エチル	濃度：99.5%以上
アセトン	濃度：99.5%以上
アルカリイオン水	pH：13.2

除去試験に使用する薬品は、アクリル系を溶かす効果のある3種類の溶剤と、原子力発電所で使用実績のあるアルカリイオン水を選定した。

薬品を使用した除去試験では、スプレーにて薬品を対象面に塗布し、その後ウエスにて糊を拭き取る手順とした。

表3 除去試験に使用した機械の一覧

機械の種類	仕様
 ドライアイスブラスト装置	吐出空気圧力：0.69 MPa ドライアイス：φ3 mm (ペレット) ドライアイス消費量：40 kg/h
ハンドポリッシャー + ゴムトレーサ	回転数：600~1,400 rpm 消費電力：910 W

除去試験に使用する機械は、塗膜や錆の剥離に効果のあるドライアイスブラストと、ステッカーの剥離に使用されるゴムトレーサを選定した。

ドライアイスブラストは、投射機から空気圧によってドライアイスを投射し、その衝撃力やドライアイス昇華時の膨張効果によって糊を剥離する。投射されたドライアイスは即座に気体となるため、投射物が二次廃棄物にならないという利点がある。

ゴムトレーサは、ハンドポリッシャーに取り付けることで回転工具として使用し、回転するゴムトレーサを試験片に押し付けることで糊を剥離する。

(3) 試験結果

薬品を使用した除去試験の結果を表 4、機械を使用した除去試験の結果を表 5 に示す。

溶剤を使用した試験では、メチルエチルケトン及び酢酸エチルにおいて素早い除去が可能であった。しかし、溶かした糊の拭き取りにウエスを使用する必要があるため、二次廃棄物が発生する。また、溶剤を使用する際は「有機溶剤中毒予防規則」や、「毒物及び劇物取締法」等の法規に則る必要がある。

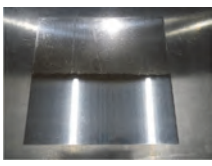

表 4 薬品を使用した糊除去試験の結果

使用した薬品	除去時間	処理後表面状態
メチルエチルケトン	150 秒	 残留糊なし
酢酸エチル	120 秒	 残留糊なし
アセトン	—	 残留糊が薄く付着
アルカリイオン水	—	 除去できず

ドライアイスブラストを使用した試験では、除去時間において溶剤に劣るものの、剥離した糊以外の廃棄物が発生しなかった。ただし、ドライアイス昇華によって空気中の二酸化炭素濃度が増加するため、適切な換気が必要となる。なお、投射用のドライアイスは消耗品であり、試験では1分間におよそ 400g 消費した。

ゴムトレーサを使用した試験では、除去にかかる時間が他の試験に比べ最も長かった。また、摩擦によりゴムトレーサが消しゴムのように削れて周囲に飛び散るため、二次廃棄物の回収が必要となる。

表 5 機械を使用した糊除去試験の結果

使用した機械	除去時間	処理後表面状態
ドライアイスブラスト装置	240 秒	 残留糊なし
ハンドポリッシャー + ゴムトレーサ	300 秒	 残留糊なし

3 結 語

本検討により、いくつかの溶剤、ドライアイスブラスト、及びゴムトレーサのいずれでも糊の除去が可能であることを確認した。

今後の適用に向け、それぞれの長所、短所を考慮した具体的な運用提案を行うことが重要と考える。



執筆者/バックエンド技術部
廃棄物技術 Gr. 櫻井 祥隆



バックエンド技術部
廃止措置技術 Gr. 田村 陽二

噴霧式油膜除去技術の実用化研究

Practical Research on Spray Type Oil Removal Technology

福島第一原子力発電所の建屋地下階は、津波災害に伴い設備から漏出した油脂で覆われている。油脂除去は効率的な除染を行う上で必要な前処理と考えられ、効果的な油脂除去工法が求められる。本研究では、将来的な遠隔技術への適用を視野に入れ、除去剤噴霧による油脂除去試験と発生した油脂廃棄物の安定化等の二次廃棄物処理について検討した。その結果、除去剤噴霧による油脂除去及び油脂廃棄物の固形化が可能であることを確認した。

キーワード：油脂、除去、噴霧、安定化、遠隔技術

The basement floors of the building of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station are covered with oil leaked from equipment due to the tsunami disaster. Removal of oils is considered to be a pretreatment necessary for efficient decontamination, and an effective method for removing oils is required. In this research, we examined the secondary waste treatment such as oil elimination test by spraying remover and stabilization of generated oil waste, with a view to application to remote technology in the future. As a result, it was confirmed that it is possible to remove oils by spraying with remover and to solidify oil waste.

Key Words : Oil, Removal, Spraying, Stabilization, Remote Technology

1 背景と目的

福島第一原子力発電所（以下、「福島第一」という）の建屋地下階では、壁・床面及び機器類が津波災害に伴い設備から漏出した油脂で汚染されている。

油脂は除染作業の妨げとなり、防火の面からも除去が必要であるとともに、その除去で発生する二次廃棄物（油脂廃棄物）の安定化の検討も必要である。

油脂除去を実現するため、すでに実施した福島第一に適用できるケミカル除染工法の開発結果を基に、将来的な高線量区域での遠隔除去の適用も視野に入れて油脂の除去技術、並びに油脂及び油脂廃棄物の安定化技術の適用性を検討した。

2 開発概要

(1) 試験方法

1) 油脂除去技術適用性試験

コンクリート、ステンレス板及びエポキシ塗装の表面に油脂を付着させて模擬試験体を作製した（写真1）。

試験では、模擬試験体に除去剤を噴霧して油脂除去性能を評価した。除去剤としては、福島第一に適用できるケミカル除染工法の開発結果から、蒸留分離による再生が可能なもの（除去剤A）、再生できないが除去性能に優れたもの（除去剤B）の2種類を選定した。

油脂除去性能の評価は、目視による確認とともに、拭き取りで得られた油脂を有機溶剤で抽出し、分光光度計による分析で確認した。



写真1 模擬試験体

（左：コンクリート面、中央：ステンレス面、右：エポキシ面）

2) 除去剤Aの再生試験

廃棄物低減の観点から、蒸留による除去剤Aの再生と再生後の除去剤の性能を試験で確認した。

除去剤の再生は除去剤と油脂、水の沸点の違いを利用して除去剤と油脂、水を分離した。

除去剤の性能の確認は、ガラス素地に油脂を付着させ、新品及び再生した除去剤に一定時間浸漬し、状態を比較することで行った。

3) 油脂廃棄物の安定化技術の検討

油脂及び各種除去剤を含む油脂廃棄物に対する安定化技術として、一般産業における油脂分解と固形化の技術を調査・検討した。

油脂分解については、バイオマスを用いた油脂吸着性の確認と分解試験を実施し、油脂固形化については、ポリマー系油脂吸着剤を用い、油脂の種類、状態等の条件を変えた試験を実施した。

(2) 試験結果

1) 油脂除去技術適用性試験

模擬試験体に各種の除去剤を噴霧し、油脂除去を実施した。その結果、除去剤を用いることで高圧水噴霧に比べて容易に油脂除去ができることを確認した(写真2)。各種除去剤による油脂除去性能の試験結果を表1に示す。

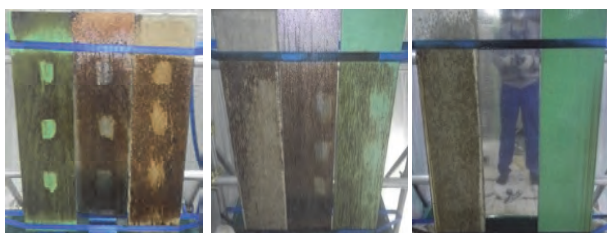


写真2 除去剤噴霧による油脂除去
(左: 高圧水噴霧、中央: 除去剤A噴霧、右: 除去剤B噴霧)

表1 除去剤による油脂除去性能(試験結果)

附着油種	除去剤	除去率 (%)		
		コンクリート面	ステンレス面	エポキシ塗表面
タービンオイル	水	55	67	38
	A	100	100	100
	B	100	100	100
C重油	水	42	16	19
	A	89	92	74
	B	100	100	100

2) 除去剤Aの再生試験

再生試験では油種に因らず油水分離が可能であり、蒸留により除去剤の再生が可能であることを確認した。

再生除去剤を用いた油脂除去試験では、再生品も新品と変わらない油脂除去性能を有することを確認した(写真3)。

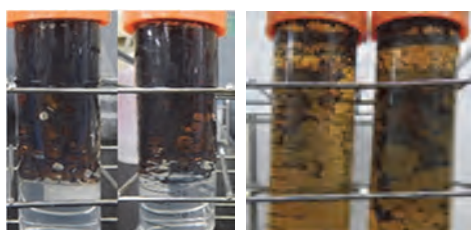


写真3 新品除去剤と再生除去剤の性能確認
(左写真: 除去前、右写真: 除去後(写真中左: 新品、右: 再生品))

3) 油脂廃棄物の安定化技術の検討

油脂廃棄物のバイオマス吸着剤による試験では、油脂吸着剤としては利用できるが、油脂の分解までは

水分量等の試験条件を変えても変化がないことを確認した。

ポリマー系吸着剤による吸着試験では、油脂を速やかに吸着・固形化できることを確認した(写真4)。

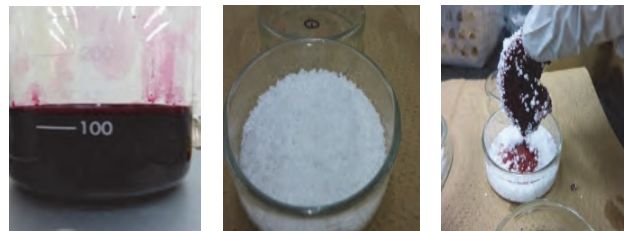


写真4 油脂廃棄物の固形化
(左: 吸着対象廃油、中央: ポリマー系吸着剤、右: 固形化)

(3) まとめ

- ① 油脂除去は、高圧洗浄水よりも除去剤を用いたほうが容易である。
- ② 除去剤Aは再生利用が可能であり、油脂除去により発生する二次廃棄物の低減が可能である。
- ③ バイオマス吸着剤による油脂の生物分解は難しく、油脂吸着のみ可能である。
- ④ ポリマー系吸着剤による油脂の安定化は可能である。

3 結語

除去剤A、Bの噴霧のみで、容易に模擬試験体から油脂除去ができることから、狭隘部や複雑形状の構造物に対しても遠隔からの油脂除去適用が可能である。

福島第一をはじめ、他の発電所でも油脂で汚染された現場の環境改善が今後、発生すると予想される。今後、現場ごとの作業条件を考慮し、本研究で得られた知見をニーズに合わせて提案し、油脂除去から安定化までの技術の現場適用を図る予定である。



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. 前久 貴郁



基盤技術開発部
ケミカルプロセス Gr. 多田 哲朗

スラリー安定化処理技術の検討

Study on Slurry Stabilization Technology

福島第一原子力発電所の多核種除去設備（ALPS）から発生する水処理二次廃棄物（スラリー）は、放射性物質と水分を大量に含んでいる。これらの長期保管においては、放射性物質の漏えいリスクが伴うことからスラリーの安定化が求められている。本研究ではスラリー安定化技術の検討の一環として、模擬スラリーを用いた脱水技術について概念検討を実施した。その結果、乾燥及びろ過の技術が現場運用に適すると判断した。

キーワード：スラリー、漏えい、安定化、脱水技術

Water treatment secondary waste (slurry) generated from Advanced Liquid Processing System (ALPS) contains a large amount of radioactive material and moisture in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Stabilization of slurry is required because long-term storage is accompanied by a risk of radioactive material leakage. In this research, as a part of studies on slurry stabilization technology, a concept study on dehydration technology using simulated slurry was conducted. As a result, it was judged that drying and filtration techniques are suitable for on-site operation.

Key Words : Slurry, Leakage, Stabilization, Dehydration Technology

1 背景と目的

福島第一原子力発電所で発生した汚染水は多核種除去設備（以下、「ALPS」という）で処理され、放射性物質を含むスラリーは高性能容器（以下、「HIC」という）に保管されている。スラリーは放射性物質及び水分を大量に含むので、HICからの漏えいリスクが危惧される。

スラリーの長期保管時の漏えいリスク低減の観点から、2014年度に脱水技術として乾燥、ろ過及び遠心分離について試験を行った。それに引き続いて、本研究ではスラリーの脱水技術の適用性として、各技術の課題解決策の検討と現場導入に向けた運用面での検討、実機概念検討を実施した。

2 開発概要

(1) 検討内容

1) 脱水技術の課題解決策の検討

表1に示す2014年度の評価結果から各脱水技術の課題を抽出し、解決策の机上検討を行うとともに、実スラリーと同様の方法で調製した模擬スラリー（写真1）を用い、脱水処理試験でその性能を確認した。

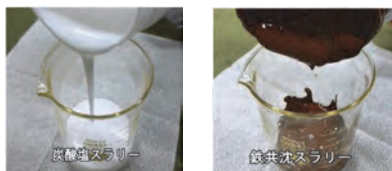


写真1 模擬スラリー

（左：炭酸塩スラリー、右：鉄共沈スラリー）

表1 脱水技術の適用性評価結果（2014年度）

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

2) 脱水技術の運用面の検討

1)の検討結果を踏まえ、現場導入に向けた運用面の要件を整理するとともに、それを基に、現場運用に適した脱水技術を絞り込み、その脱水技術について概念検討を行った。

(2) 検討結果

1) 脱水技術の課題解決策の検討

各脱水技術の課題解決策を検討した結果、乾燥技術は、乾燥物の自動排出が可能であり、ろ過技術は、覆いを設けることで汚染拡大を防止できることから、それぞれ課題解決の見通しが得られた。遠心分離技術は、市販機最大機種と同条件で処理しても、固液分離性能の向上が見られず、課題解決が困難であることを確認した。各脱水技術の課題と解決策を表2に示す。

2) 脱水技術の運用面の検討

脱水技術の現場導入に向けた運用面の要件を整理した。処理物性状、固液分離性能、飛散防止対策、被ばく低減対策、脱水物・二次廃棄物発生量、運転条件についての運用面の要件の詳細を表3に示す。

表2 脱水技術の課題と解決策

技術	課題	解決策
乾燥	<ul style="list-style-type: none"> 伝熱効率向上及び排出機構 消耗品の耐久性及びメンテナンス方法 	<ul style="list-style-type: none"> スラリーの粘度調整後、円盤加熱型乾燥方式で処理 消耗品交換時の被ばく低減対策
ろ過	<ul style="list-style-type: none"> 非密閉構造 メンテナンス(消耗品交換) 	<ul style="list-style-type: none"> 装置全体の密閉化 ろ布交換架台の設置等
遠心分離	<ul style="list-style-type: none"> 固液分離性能が低い 	<ul style="list-style-type: none"> 遠心加速度の増加 処理時間の延長

表3 現場導入に向けた運用面の要件

項目	要件
処理物性状	<ul style="list-style-type: none"> 高粘性塑性流体を取り扱えること 耐アルカリ性、耐腐食性を有すること
固液分離性能	<ul style="list-style-type: none"> 含水率5%未満もしくは50%程度の脱水物を得られること
飛散防止対策	<ul style="list-style-type: none"> 処理物や脱水物、分離水等の外部飛散防止を図れること
被ばく低減対策	<ul style="list-style-type: none"> 装置運転、メンテナンスが遠隔操作で行える機構を設けること トラブル時、装置から処理物や脱水物を排除できる機構を設けること
脱水物・二次廃棄物発生量	<ul style="list-style-type: none"> 脱水物の回収率が95%以上であること 分離水のSS濃度が10ppm以上の場合、再度脱水処理が行える循環機能を有すること 二次廃棄物の発生量を極力抑えられること
運転条件	<ul style="list-style-type: none"> 単独で配管内洗浄できる機構を有すること 運転状況を監視するカメラを有すること

表3に示す各要件のうち、固液分離性能の点で遠心分離を除いた乾燥及びろ過がスラリーの安定化処理技術として適するものと判断した。選定した2つの処理技術について、要件を考慮した各処理技術の概念を図1及び図2に示す。

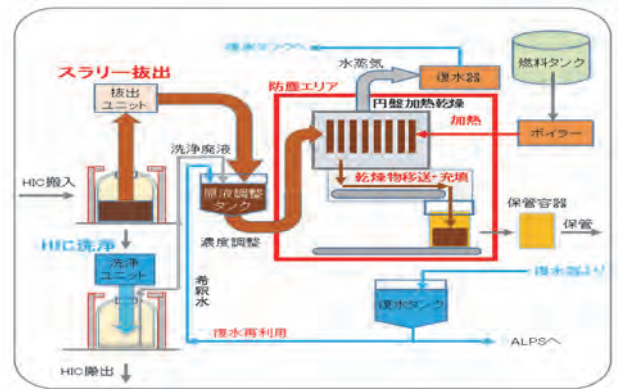


図1 乾燥処理技術の概念

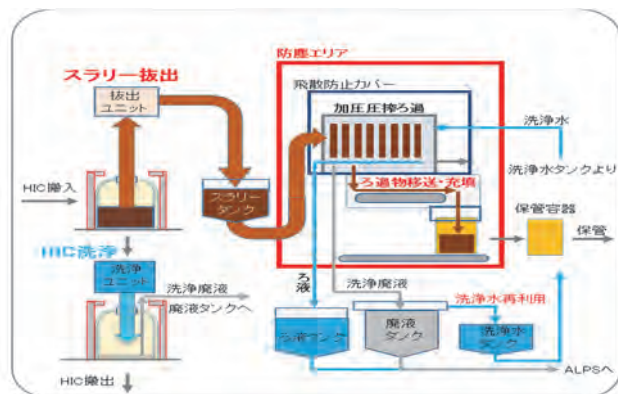


図2 ろ過処理技術の概念

3 結語

スラリーの安定化処理技術における脱水技術として、乾燥及びろ過の技術が適用できると判断した。

運用面の検討から、乾燥技術についてはスラリーの粘度調整が必要であり、脱水処理した乾燥物含水率が低いと飛散しやすく、保管容器充填時の密閉性確保が課題である。

一方、ろ過技術については密閉構造として汚染防止のため封じ込めが必要なこと、ろ布洗浄・交換が定期的に必要なこと、二次廃棄物が増大する課題がある。

なお、本開発成果は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構 (IRID) が受託した経済産業省平成25年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (事故廃棄物処理・処分技術の開発)」、平成26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
廃止措置技術 Gr. 田村 陽二



執筆者/基盤技術開発部
ケミカルプロセス Gr. 相川 浩平

遮蔽ベスト着用時の被ばく線量評価

Radiation Dose Evaluation on Shielding Vest Wearing

高線量下における作業では、被ばく低減のために重金属を用いた遮蔽ベストが使用されることがある。これを現場で着用したときの線量低減効果が詳細に調べられていないことから、遮蔽ベストを人体の代わりとなる水ファントムに装着して照射試験を実施し、その効果を調べた。光子のエネルギーが低くなるほど線量低減効果が高くなり、低エネルギー光子に対する被ばく低減に有効であることが分かった。また、照射試験をモンテカルロシミュレーション計算で模擬することにより実測値の検証を行うとともに、光子のエネルギーが変化したときの線量低減効果を調べた。

キーワード：遮蔽ベスト、照射試験、モンテカルロシミュレーション計算、線量評価

The shielding vest including a heavy metal is used for radiation dose reduction at the high dose environment. The dose reduction effect when a worker wears the vest is not surveyed in detail. Therefore, the shielding vest was attached on water phantom instead of human body, and exposure tests were conducted. For photons with lower energy, the shielding vest has the better dose reduction capability. The actual measurements were verified by the Monte Carlo simulation as well as the survey of photon energy dependence for dose reduction effect.

Key Words : Shielding Vest, Exposure Test, Monte Carlo Simulation, Dose Evaluation

1 背景と目的

福島第一原子力発電所等の高線量下における作業では、鉛やタングステン等の重金属を素材とした遮蔽ベストの着用により被ばく線量の低減が図られることがある。その効果については、メーカーが実施した遮蔽ベスト中の素材に対するγ線透過試験のデータが提示されているが、現場で着用したときの線量低減効果については詳細に調べられてはいない。そこで、遮蔽ベストを人体の代わりとなる水ファントムに装着した照射試験を実施し、遮蔽ベストの内外に付けた個人線量計の指示値を比較することにより、低減効果を調べた。また、照射試験をモンテカルロシミュレーション計算で模擬することにより、実測値の検証を行った。

2 照射試験の概要

(1) 試験の構成

胸・腹部用の水ファントム（美和医療電機製 JIS Z4915 準拠）に遮蔽ベストを装着し、前面、背面及び側面の位置で、遮蔽ベストの内側と外側にそれぞれ個人線量計（Panasonic 製 ZP-144）を付けた（写真1参照）。遮蔽ベストには、放射線作業での使用実績が多く、鉛相当厚 0.44mm（メーカーカタログ値）のバイオラバーRSM E-400（山本化学工業製）を用いた。

照射条件は前方、後方及び回転の3ケースであり、回転照射は線源が広い範囲に分布している状況下での作業を想定したものである。線源は ^{137}Cs 線源及び X 線発生装置（100kV、0.1mA、タングステンターゲット）

を使用した。X 線発生装置は、 ^{137}Cs 線源の散乱線による低エネルギー光子の影響を評価するために用いた。

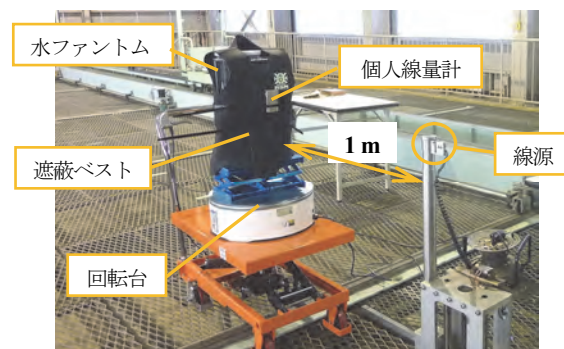


写真1 照射試験の構成

(2) 試験結果

前面の遮蔽ベスト内外の個人線量計の指示値（1cm線量当量）について、線源に近い側に対する遠い側の値の比（前方及び回転照射では内/外、後方照射では外/内）を表1に示す。前方及び回転照射の結果から、 ^{137}Cs 線源では12~17%、X線源では98~99%の線量低減効果が見られた。遮蔽ベストの前面は重なり部分があるため側面及び背面に比べて遮蔽が厚く、回転照射に比べて前方照射での低減効果大きい。また、後方照射では水ファントム透過後の光子に対する遮蔽となるため低減効果は大きい。

表1 遮蔽ベスト前面の個人線量計内外の指示値の比

照射条件	^{137}Cs γ線	X線連続スペクトル
前方	0.83	0.010
回転	0.88	0.020
後方	0.69	0.063

3 モンテカルロシミュレーション計算の概要

(1) 計算の目的

照射試験結果の検証を行うとともに、照射試験では容易に実施できない光子エネルギーを変化させたときの線量低減効果を調べることにした。

(2) 計算条件

写真1に示す試験構成に対して線源と遮蔽ベスト装着の水ファントムのみを定義し、その距離を同一に設定した。直方体の水ファントムを覆うように厚さ0.44mmの鉛を遮蔽ベストとして定義し、前面はベストの重なり部分があるため2倍の厚さとした。線量評価点は個人線量計の設置箇所であり、同じサイズの空気領域における1cm線量当量率（以下、「線量率」という）を算出した。このシミュレーション計算には粒子・重イオン輸送計算コードPHITS¹⁾を使用した。

(3) 計算結果

遮蔽ベスト前面の線量率計算結果をまとめた表1と同様な比の光子エネルギーに対する変化を図1に示す。200keV以下のエネルギーでは、線量率比が小さくなり、線量低減効果が高くなっていくことが分かる。

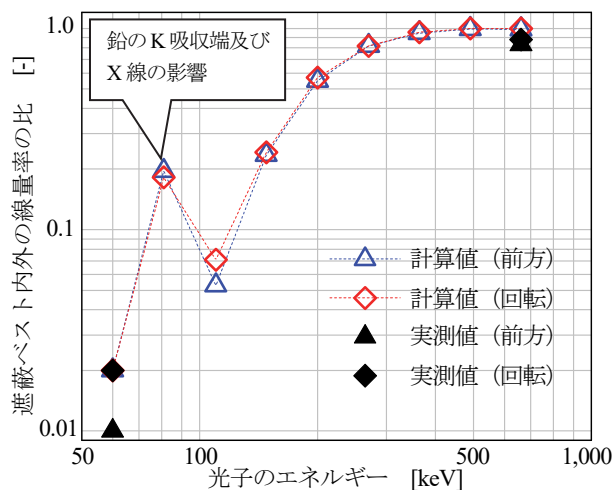


図1 遮蔽ベストの線量低減効果のエネルギー依存性

モンテカルロシミュレーション計算の結果は、¹³⁷Cs γ線 (662keV) の場合には実測値との比で1.1~1.2と再現性が良い。一方、60keVで比較したX線源の場合、回転照射では実測値との比が1.0となったが、前方照射では2.0になるといった再現性の悪いパターンが生じた。この原因として、遮蔽ベストの素材の元素組成が影響しているものと考えられる。

4 結語

福島第一原子力発電所の作業現場での主たる線源が¹³⁷Csであっても、建屋や構造物によって散乱・透過した放射線の線量寄与が多いことがある。エネルギーの低い光子で高線量となる場所では、遮蔽ベストの着用による被ばく低減効果が大きい期待できる。

モンテカルロシミュレーション計算の結果は、¹³⁷Cs γ線の場合に再現性が良い一方、X線源の場合に再現性が悪かった。今回は遮蔽ベストを鉛単体で模擬したが、実際の素材は鉛以外のものが使われている可能性がある。今後は計算による実験結果の再現性を精査するとともに、遮蔽ベストの材料組成や水ファントムによる散乱線の影響を詳しく調べてゆきたい。

謝辞：本件は大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構殿との共同研究として実施しました。照射試験及び計算に際して平山英夫名誉教授、穂積憲一様及び波戸芳仁教授に多大なるご指導、ご協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, T. Furuta and L. Sihver, Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013)
- 2) 河野秀紀 ほか, 遮蔽ベスト着用時の線量評価(1), (2), 日本原子力学会「2017年秋の大会」予稿集 (1K17, 18), 2017.9



執筆者／基盤技術開発部
放射線計測・解析 Gr. 河野 秀紀



基盤技術開発部
放射線計測・解析 Gr. 鶴巻 麻美



基盤技術開発部
放射線計測・解析 Gr. 永沢 聡



基盤技術開発部
放射線計測・解析 Gr. 大橋 秀道



基盤技術開発部
坂本 幸夫

【汚染水処理用 Cs、Sr 吸着フィルターの開発と実用化】

放射性 Cs、Sr を含む汚染水の処理においては、水質、処理量、作業スペースなどに応じた適切な処理方法の選定が必要です。一般的な処理方法として、凝集剤を用いた凝集沈殿法や、ゼオライトなどを充填した吸着塔による吸着法があります。前者は反応槽が必要で、作業スペースに余裕がある場合に適用が限定されます。一方後者は、対象に応じた吸着剤や吸着塔のサイズが選択できるため、小規模な除染廃水の個別処理などに幅広く適用できます。

本開発では、大型設備の設置が困難な場所での汚染水処理を目標として、吸着法の最適化の検討を行いました。効率のよい吸着法には、大きな吸着容量と高い通水性が求められます。一般的に、小粒径の吸着剤では吸着容量は大きくなりますが、圧力損失が大きくなり通水性が低下します。一方、大粒径の吸着剤では通水性は良くなりますが、所定の性能を得るための吸着剤量が増え、二次廃棄物が増えるという課題があります。

これを解決するため、ゼオライトを不織布で挟み込んだ Cs、Sr 吸着シート（以下、「吸着シート」という）の開発を、当社と特種東海製紙(株)殿とで共同で進めてきました。小粒径のゼオライトを不織布間に均一に添着させた吸着シートは、高い吸着容量と通水性が確保できます。また、適用先の条件に合うように吸着シートを筒型等にフィルター加工して、吸着フィルターの設置、交換などの作業性を向上させました。

以下に二つのフィルターを紹介します。

【筒型プリーツフィルター（タンク水等浄化向け）】

通常、タンク等に溜められた汚染水は、吸着塔などによる大掛かりな水処理装置で浄化されていますが、吸着シートを筒型のプリーツフィルターに加工し、市販の小型フィルターハウジングにセットして浄化する処理方法を考案しました。市販のハウジングやポンプを用いることができるため、組み合わせの汎用性が高く、フィルター交換も容易になり、作業スペース、処理量、目標濃度に合わせた規模での運用ができます。この方法により、除染廃水の再利用による液体廃棄物の削減や、作業の省スペース化などのメリットがあります。今後、フィルターの仕様や運用条件の最適化を図り、現場への導入を進めていきます。



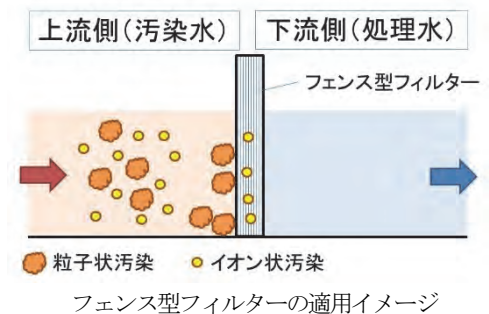
筒型プリーツフィルター 汎用フィルターハウジング

【フェンス型フィルター（排水路・溜槽向け）】

タンク水等浄化向け以外に、緊急時の排水路や溜槽における汚染水漏えい対策への展開があります。これらの場所では電源の確保が困難で、また大量の水を処理する必要があり、凝集沈殿法や筒型プリーツフィルターでは対応が難しくなります。現状の吸着剤を充填した土のうによる処理では、汚染水を吸着剤全体に接触させることが難しく処理効果は限定的です。

そこで、設置治具によりフィルターを排水路や溜槽に設置し、水の流れのみで汚染水を浄化できるフェンス型のフィルターを考案しました。

これは汚染水の処理に動力が不要なこと及び設置が簡単にできることから、環境除染への適用など様々な局面での利用が可能です。今後、浄化性能と通水性能を確認し、仕様の最適化を図ります。



以上の筒型プリーツフィルターとフェンス型フィルターの2種類の吸着フィルターの実用化により、幅広い汚染水処理業務への展開を目指していきます。

【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】

【業務実績と今後の取り組み】

放射線発生装置や線源を使用する RI 取扱施設や原子力施設などにおいて、施設の遮蔽能力を評価するため、発生する γ 線や中性子等の挙動の解析を行ってきました。特に福島第一原子力発電所関連では、廃炉に向けて必要となる線量調査データの解析や線量評価などを実施してきました（表1参照）。

今後は、X線発生装置使用室の遮蔽計算や、加速器等の放射化・線量計算にも積極的に取り組んでいきます。

表1 線量評価・遮蔽計算業務の主な実績

施設	業務内容	実績事例
福島第一原子力発電所	汚染状況の解析	原子炉建屋内汚染状況の解析（アトックス技報 No.5、No.7）
		ドローンによる線量調査結果からの汚染分布推定
	水処理関連業務	廃棄物回収容器の線量評価
		滞留水処理に関わる線量評価
他の原子力発電所	遮蔽計算	放射性廃棄物保管容器の遮蔽計算
	汚染状況の解析	熱交換器の汚染状況の解析と線量評価
RI 取扱施設	施設の遮蔽計算	γ 線照射施設の線量評価（アトックス技報 No.5）
		核燃料取扱施設の遮蔽計算
加速器施設	放射化評価	中性子による放射化の低減に関する研究（アトックス技報 No.8）
その他	遮蔽性能評価	遮蔽材料の γ 線遮蔽計算（アトックス技報 No.7）
		遮蔽ベストの被ばく線量評価（本誌）

〔 γ 線線量率計算結果の測定値との比較〕

表1に示した評価・計算例は、「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」（公益財団法人原子力安全技術センター）に準拠した方法による手計算、あるいは計算コードを使用して行っています。計算コードには、線量の減衰を簡易的に計算するものから複雑形状に対応しスペクトルを評価するものまで様々な種類があります。計算コードの長所・短所、計算条件などを考慮して、適切な計算コードを選択しています。

計算方法と結果の検証は、計算結果を測定器による実測値や他の計算コードによる計算結果と比較することにより行っています。以下は、その一例で当社技術開発センターの ^{60}Co 照射室内（図1参照）の線量率を計算したものです（アトックス技報 No.5 参照）。総放射能 1.36PBq（2012年12月時点）の ^{60}Co 線源からの γ 線の線量率を、点減衰核積分コード QAD コードとモンテカルロ計算コード PHITS コードにより計算し、電離箱による測定値と比較した結果を図2に示します。2種類の計算コードによる計算結果は、測定値とほぼ一致しました。QAD コードでは保守的な γ 線ビルドアップ係数のデータを用いているため、やや安全側の評価になっています。

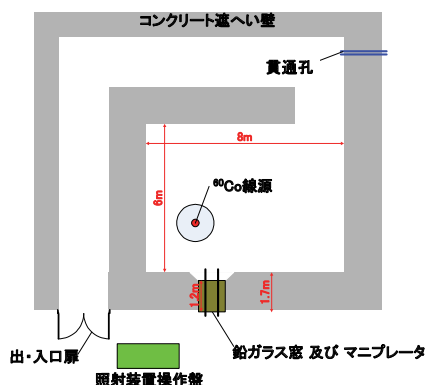
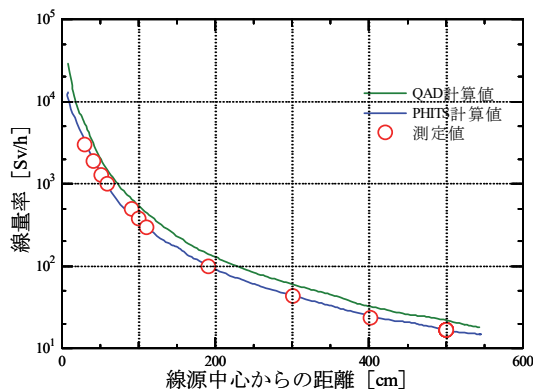
図1 ^{60}Co 照射室の概要

図2 照射室内線量率計算結果の測定値との比較

【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】

ANADEC は、中間貯蔵・環境安全事業(株) (JESCO) が公募した「平成 29 年度汚染土壌等の減容等技術実証事業」に、フランスで開発された汚染土壌修復技術である「泡浮遊選鉱による汚染土壌の浄化」技術を利用した事業を提案・応募し、6月27日に採択されました。

本事業は、ANADEC と当社の共同実施体制で 2017 年 8 月から 2018 年 2 月まで行っており、当該技術の開発に携わってきたフランスの原子力・代替エネルギー庁 (CAE)、アレバ、VEOLIA の研究者等も参加し、日仏協力のもと進めています。この技術は、汚染土壌等の減容・再生利用等の促進に資する技術と大いにアピールできるものと考えています。

【“WM SYMPOSIA 2017”の日本パビリオン展示ブースで技術を紹介】

2017年3月5～9日に米国アリゾナ州フェニックスで開催されたWASTE MANAGEMENT SYMPOSIA（以下、「WM」という）※2017に参加しました。本年は特集国として日本パビリオンが設置され、そのなかの展示ブースで、アトックスの業務と福島を中心とした活動状況を紹介しました。

- ① アトックスのネットワークと業務紹介
(日本全国の原子力発電所に拠点を設置)
- ② 福島第一原子力発電所内外の活動紹介 (福島復興プロジェクト)
- ③ 海外企業との連携実績紹介 (多くの海外企業との連携)

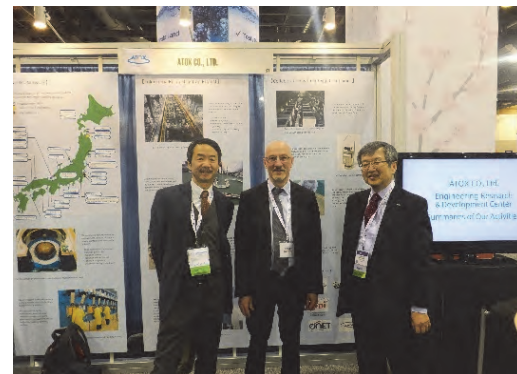


ブースには期間中500名を越える方々が来訪され、様々な情報交換を行いました。今回の出展により、海外の除染技術や廃炉に利用できる技術を国内に紹介・導入するための窓口として、アトックスをアピールしました。

※ WMは、毎年3月にフェニックスで開催される放射性廃棄物管理・廃止措置等の分野では世界最大級の国際会議と展示会で、毎回2,000人以上が参加する世界の原子力産業関係者の情報交換の場となっています。近年は、特定の国・地域に焦点を絞って特集を組んでおり、今回日本からは日本原子力研究開発機構と民間企業12社の13組織が出展しました。



日本パビリオンの様子



アレバのGay Executive Vice Presidentと当社役員

【「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】

2017年7月2、3日に、福島県広野町及びいわき市で開催された原子力損害賠償・廃炉等支援機構主催「第2回福島第一廃炉国際フォーラム」の2日目、いわき市内で行われた「技術ポスターセッション」に出展し、当社が実施した国の研究開発プロジェクト“スラリー安定化処理技術”の研究成果※※を紹介しました。

フォーラムには国内外の関係者約700人が参加し、当社のブースにも多数の方々に来場いただき、熱心な質疑応答や意見交換が行われました。

※※ 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID) が受託した経済産業省 平成26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す。

(アトックス技報 No.7 2015 参照)



◆ 登録特許一覧

2017年10月末 現在

特許番号	登録日	発明の名称	当社発明者	共同権者
2997242	H11.10.29	高周波融着によるシール性を有する放射線作業用シート	伊東 一昭、相馬 光枝	—
3452138	H15. 7.18	配管内足場設置方法及び配管内足場	—	—
3737380	H17.11. 4	原子力施設等で用いる床面除染装置	中西 友和 佐々木 由美子	—
3936801	H19. 3.30	壁面用粘着テープ貼り機	小松 一、吉村 英夫 岡 由真、大良 秀樹 鈴木 貞一郎	—
3986918	H19. 7.20	循環水配管における垂直管部作業用足場	高橋 剛史、柿崎 傳 菅野 隆行	—
4035083	H19.11. 2	小口径配管の半割切断機	高橋 幸、飛田 哲史	—
4115708	H20. 4.25	BF ₃ 計数管内にある BF ₃ ガスの安定化処理方法及びこの方法を実施する装置	櫻井 達也	—
4219026	H20.11.21	水圧差を利用した異物回収装置	山王 敏雅、伊東 一昭 忠海 俊也	—
4223371	H20.11.28	小口径配管の連続除染装置	吉村 英夫、高橋 幸	—
4227713	H20.12. 5	大径の円筒部材の切断方法及び装置	堀江 直之	—
4256538	H21. 2. 6	フードマスク洗浄装置	工藤 一博、榊井 茂 渡辺 一也	—
4256548	H21. 2. 6	フードマスク用送気管の養生方法及びこの方法を実施する養生器	松本 秀生、高木 宏明	—
4260268	H21. 2.20	ゴム靴の除染方法	工藤 一博、石川 俊行	四国電力(株)
4261905	H21. 2.20	圧力抑制プールにおけるストレーナ、水没弁の点検方法及びその方法に使用する隔離シート、ストレーナ閉止カバー	忠海 俊也、武田 直樹 渡部 光一、下宮 克徳	—
4303098	H21. 5. 1	ジェット洗浄及び洗浄水回収装置	吉村 英夫	—
4460267	H22. 2.19	ダクトの清掃除染装置	吉村 英夫、上野 和輝 堀井 顕良、田中 寛之	—
4473767	H22. 3.12	スプレー式電解研磨除染装置	高橋 幸、馬場 賢哉	—
4509732	H22. 5.14	小口径配管の半割方法及び装置	高橋 幸、齊藤 浩 福田 寛	—
4514688	H22. 5.21	水中塗膜補修装置	忠海 俊也、武田 直樹	—
4520786	H22. 5.28	原子炉格納容器内における圧力抑制室のベント管開口部の養生装置	堀江 直之、渡部 光一 新川 浩幸	—
4560393	H22. 7.30	ポケット型外部被ばく計測器を使用した被ばく線量超過警報装置	山王 敏雅、吉村 英夫	—
4627597	H22.11.19	循環水エルボ配管部に設置する作業足場	柿崎 傳、高橋 剛史	—
4806782	H23. 8.26	円筒形ストレーナの清掃装置及びこの装置によるストレーナの清掃方法	菅野 隆行、伊藤 俊介 松隈 勇、鈴木 康之	—
5175469	H25. 1.11	イオン交換樹脂の処理方法	伊東 一昭、西川 宣子	(公財)微生物化学研究会
5181204	H25. 1.25	配管切断用治具及び切断機	大場 誠一郎、古平 顕	—
5684626	H27. 1.23	電解除染方法及びそれに用いる装置	末森 友英、熊木 直人 小林 義男	—
5921299	H28. 4.22	管理区域境界用バリア	笠井 信二、松下 恵一	—
5946037	H28. 6.10	走行装置	木村 裕姫	千葉工業大学
6222601	H29.10.13	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

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	藤川 正剛
	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
	取 締 役	佐藤 明雄
	取 締 役	酒井 敏光
	取 締 役	坪井 伸一
	取 締 役	柏原 進
	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
	監 査 役	伊藤 克己
	相 談 役	鈴木 貞一郎
従 業 員 数	1,734 名 (2017 (平成 29) 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 AREVA 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

本誌は、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。
著作権法で定められた例外を除き、本誌の無断複製は禁止しています。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
E メール：info@jaacc.jp Fax：03-3475-5619

公益社団法人日本複製権センターと包括複製許諾契約を締結している企業等法人の場合、社内利用を
目的とした複製については許諾を得る必要はありませんが、社外頒布を目的とした複製については
許諾が必要です。
複製以外の許諾（引用・転載・翻訳等）に関しては、直接、本誌発行元の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.9 2017

平成 29 年 12 月 1 日発行

編集・発行

株式会社アトックス
技術開発センター

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

ATOX TECHNICAL REPORT

No.9 December 2017

Published and Edited by

Engineering Research & Development
Center
ATOX Co., Ltd.

1201, Takata, Kashiwa-shi, Chiba 277-0861
TEL 04-7145-3330
FAX 04-7145-3649

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

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

株式会社アトックス
技術開発センター