

福島第一原子力発電所の廃止措置のための遠隔操作技術の開発と人材育成

Remote Control Technology and Human Resource Development for Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

○正 田村雄介（東京大） 正 岡本孝司（東京大） 正 鈴木俊一（東京大） 正 浅間 一（東京大）
正 太田 順（東京大） 正 山本晃生（東京大） 正 山下 淳（東京大） 正 福井 類（東京大）
正 昆陽雅司（東北大） 正 大野和則（東北大） 正 松野文俊（京大） 正 高橋隆行（福島大）
正 成瀬継太郎（会津大） 正 鈴木茂和（福島高専） 正 横小路泰義（神戸大）

Yusuke TAMURA, The University of Tokyo, tamura@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Koji OKAMOTO, The University of Tokyo

Hajime ASAMA, The University of Tokyo

Akio YAMAMOTO, The University of Tokyo

Rui FUKUI, The University of Tokyo

Kazunori OHNO, Tohoku University

Takayuki TAKAHASHI, Fukushima University

Shigekazu SUZUKI, NIT, Fukushima College

Shunichi SUZUKI, The University of Tokyo

Jun OTA, The University of Tokyo

Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo

Masashi KONYO, Tohoku University

Fumitoshi MATSUNO, Kyoto University

Keitaro NARUSE, University of Aizu

Yasuyoshi YOKOKOHJI, Kobe University

Since the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station requires a very long time, development of human resource is indispensable. The radiation dose in the nuclear power plant is very high, therefore remote control technologies are necessary for the decommissioning work. We have been conducting a project “HRD for Fukushima Daiichi Decommissioning based on Robotics and Nuclide Analysis”. This paper reports on robotics and human resource development among the intermediate results of the project.

Key Words: Decommissioning, Remote control, Human resource development

1 はじめに

福島第一原子力発電所の廃止措置には30年から40年の年月がかかると言われており、このような長期にわたる廃止措置を安全かつ着実に進めるにあたっては、総合的な学術を俯瞰的に理解し、かつ、専門領域については世界トップクラスの実力を持つ人材の育成が必要不可欠である。

我々は遠隔操作技術と核種分析技術に関する研究開発を行うとともに、総合工学としての廃止措置を俯瞰的に理解できる人材の育成を目的として、平成26年度より文部科学省 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において、図1のような体制で「遠隔操作技術及び核種分析技術を基盤とする俯瞰的廃止措置人材育成」というプロジェクトを実施している[1]。

本稿では、上記プロジェクトの中間的な成果の中でも特に遠隔操作技術及び人材育成について報告する。

2 遠隔操作技術

2.1 高所・狭隙部アクセスとそれらの遠隔操作インタフェース

原子力発電所の建屋や格納容器の内部の調査や、そこでの作業を行うためには、高所からのアクセスや狭隙部へのアクセスが必要となる。

建屋内高所部の探査においては長時間の動作が必要となるが、一般的なマルチコプタではバッテリー駆動時間が短いという問題がある。これに対して、吸着・巻取り機構を有するマルチコプタを開発している。

また、原子炉格納容器内部へのアクセスは配管などの狭隙部を通る必要があり、このために空気圧を利用した索状ロボットを開発している。また、建屋内探査にあたっては複雑な不整地を走行する必要があり、このためのヘビ型ロボットの開発も行っている。

高放射線環境である建屋内における廃炉作業では、機材等の運搬のためにロボットによる反復移動が必要となると考えられる。このような状況でロボットが容易に移動・作業をおこなうためには、足場を作ってしまうことが有効である。本研究では、このよ

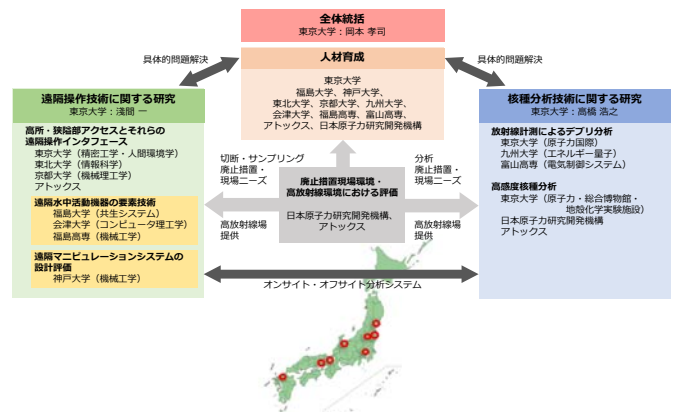


Fig.1 Organization of the project

うな足場をロボット自身が構築する軌道構造体自動施工システムの開発を行っている。

廃止措置においては、建屋内に設置された大型物体を撤去・搬送することが必要になると予想される。一方で、建屋内は狭隙環境であるため、小型のロボットによって大型物体を操作する必要がある。本研究では、小型機構を用いて自身の質量やサイズよりも大型で高重量な物体を扱う手法を開発している。

原子炉建屋内は放射線量が高いため、ロボットは安全な場所からの遠隔操作によって移動・作業を行う。遠隔操作ロボットの移動時には、ロボット周囲の状況を映像によってオペレータに伝えることが非常に重要である。本研究では、4台の魚眼カメラからの映像を俯瞰視点からの映像に変換し、オペレータに提示する技術を開発している。

また、遠隔操作においては、ロボットからの力覚情報をオペ

レータにフィードバックすることが操作性向上において重要である。廃止措置に用いられるロボットの遠隔操作では、通常ハンドヘルドコントローラが用いられているが、このタイプのコントローラは接地部分を持たないため力覚提示が困難である。これに対して我々は、手のひらへの触覚刺激により力覚の代替提示を行う手法を開発している。

2.2 遠隔水中活動機器の要素技術

廃止措置に向けて、燃料デブリの取り出しは最も重要な作業であるが、これを行うためには、どのような核種が含まれているかなど、燃料デブリの特性を知ることが必要である。このためには、微量の燃料デブリをサンプリングし、加速器質量分析 (AMS) や誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) などの技術を用いて核種の分析を行わなければならない。

また、福島第一原子炉建屋内の格納容器やトラス室などには、号機によっては水が注入されているため、水中での探査やサンプリングが必要となる。本研究では、これに必要な要素技術の開発を行っている。

サンプリングのために、立体カム機構を用いた高精度な小型ハンド (3 爪ハンド、並行 2 爪ハンド) の開発を行っている。

また、水中で撮影された画像から、時系列情報を利用して 3 次元復元を行い、奥行き情報をオペレータに提示する技術の開発を行っている。

さらに、耐放射線性に優れた繊維強化プラスチック複合材料 (FRP) として、金属粉を添加した FRP の開発を行っている。

2.3 遠隔マニピュレーションシステムの設計・評価

遠隔地での作業においては、マニピュレーションシステムの操作性が非常に重要になる。

本研究ではこれまでに、遠隔マニピュレーションシステムの性能指標の検討、および奥行き情報提示の有効性の検討、動作範囲の限られたマスタ操縦装置による操作性向上の検討を行ってきた。

遠隔マニピュレーションシステムの性能については、一体感、すなわち「オペレータがあたかも遠隔マニピュレーションシステムを自身の体の一部であるかのように操作できる状態」を指標とすることを検討している。

また、遠隔マニピュレーションにおいて、RGB-D カメラ等によって得られる奥行き情報をオペレータに提示することの有効性を実験によって示した。

遠隔マニピュレーションにおいては、動作範囲の狭いマスタアームで動作範囲の広いスレーブアームを動かす必要がある。通常、このような場合にはインデキシングと呼ばれる、マスタとスレーブの結合を一旦解除してマスタのみを動かしてから再結合することによりマスタとスレーブの対応点を再定義する手法を用いるが、操作が直感的でないという問題がある。これに対して、スレーブアームに与える速度指令値をマスタアームの移動速度に基づき決定する手法、および、インデキシング時のマスタ姿勢を拘束する手法を提案している。

2.4 ロボット技術と放射線計測技術の統合

燃料デブリを取り出すためには、燃料デブリの 3 次元的な分布を知ることが必要不可欠である。本研究では、ガンマ線検出器を移動ロボットに搭載し、複数箇所からガンマ線の計測を行うことによって CT (Computed Tomography) 技術を用いて放射線源の 3 次元的な分布を推定することを目指している。

ロボットに搭載するガンマ線検出器としては軽量性が必要であるため、本研究ではこれまでに、Si ストリップ型検出器、およびコンパクトカメラの開発や特性評価を行っている。

一般的な CT の場合、検出器の位置姿勢は既知であるが、本研究の想定する移動ロボット搭載型ガンマ線検出器の場合、検出器の位置姿勢、すなわちロボットの位置姿勢には不確実性が存在する。本研究ではこれまでに、検出器の位置姿勢に不確実性がある状況での放射線源推定精度について、シミュレーションによる検討を行っている。

3 人材育成

廃止措置を担う人材の育成にあたっては、2 章で述べたような研究の遂行によって専門性を高めるだけでなく、廃止措置全体を



Fig.2 System Integration between remote-control technology and nuclide analysis

俯瞰的に見るようにする必要がある。本プロジェクトではこの実現のために、以下のような活動を行っている。

東京大学大学院工学系研究科の講義として、「廃止措置特論 E」を平成 27 年度より開講した。ここでは、福島第一原子力発電所の事故と廃止措置の概要に加えて、通常発電所の廃止措置、核種分析技術、放射線計測技術、環境影響評価技術、デブリ燃料管理技術、廃棄物管理、遠隔操作技術等の要素技術についての講義を行っている。さらに、技術だけではなく、事故炉のリスク評価・管理や、社会的リスクについての議論も行っている。

本プロジェクトに関わる大学・高専の学生を主な対象として、これまでに計 10 回の人材育成セミナーを開催している。セミナーにおいては、遠隔操作技術及び核種分析技術だけでなく、廃止措置に関する様々な研究についての講演および、学生による研究発表、ディスカッションを行っている。

また、毎年、国内および海外においてサマースクールを開催している。国内では、日本原子力研究開発機構の植葉遠隔技術開発センターなどの施設を利用し、グループディスカッションを通じて廃止措置に対する理解を深めている。また、海外については、スウェーデンや米国の廃炉に関する技術を学ぶとともに、放射線環境という点で共通する宇宙開発技術との関係についての議論を行った。

廃止措置について理解を深めるためには、原子力発電所の建屋内外の構造等を理解する必要がある。このため、福島第一原子力発電所をはじめ、国内の原子力発電所の視察を行っている。

さらに、廃止措置において本質的に必要な課題を見つけるため、エンドステート (最終状態) から考える仮説指向計画法を用いたブレインストーミングを行い、燃料デブリのサンプリングや取り出しの方法、放射性物質の閉じ込め方法、廃棄物管理方法等について検討を行っている [2]。

4 おわりに

本稿では、福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた遠隔操作技術の開発及び人材育成についての著者らの取り組みについて述べた。今後は、各要素技術を発展させていくと同時に、微量サンプリングと核種分析の統合、移動ロボットの位置姿勢推定技術とガンマ線 CT 技術の統合など、システムの統合化 (図 2) を進めていく予定である。また、引き続き廃止措置を俯瞰的に理解することのできる人材を育成していく予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」により実施された「遠隔操作技術及び核種分析技術を基盤とする俯瞰的廃止措置人材育成」の成果である。

参考文献

- [1] 鈴木俊一, 岡本孝司, 浅間一, 高橋浩之, 田村雄介, 高橋隆行, 横小路泰義, “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における人材育成活動 (3) - 東京大学「遠隔操作技術及び核種分析技術を基盤とする俯瞰的廃止措置人材育成」実施状況 -”, 日本原子力学会 2016 秋の大会, 3M03, 2016.
- [2] 鈴木俊一, 田村雄介, 岡本孝司, “俯瞰的アプローチによる福島第一廃止措置の新たな工法検討”, 日本保全学会第 13 回学術講演会要旨集, pp.482-483, 2016.