

# 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

(受託者) 国立大学法人東京大学

(研究代表者) 岡本孝司 大学院工学研究科

(再委託先) 国立大学法人福島大学、国立大学法人神戸大学

(研究期間) 平成26年度～30年度

## 1. 研究の背景とねらい

福島第一原子力発電所の廃止措置は、溶け落ちた核燃料が最大のリスク源として存在するほか、高放射線環境下、大量かつ多核種の放射性廃棄物といった非常に特殊な環境での作業となる。このため、廃止措置を安全着実に進めるにあたっては、ロボット工学、化学工学、原子力工学、物理学など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が必要である。一部の専門領域のみのエキスパートでは、複雑な要因が絡み合う廃止措置においては役に立たず、また、危険につながる可能性さえある。このことから、廃止措置に関する専門的な教育（遠隔操作や核種分析等）に関する、トップクラスの専門家であるだけでなく、廃止措置全体を総合的に俯瞰してリスクを最適化することのできる人材が必須となる。本人材育成事業においては、図1に示すような体制で、主として遠隔操作技術と核種分析技術に関する専門的な研究教育を推進するとともに、総合工学としての廃止措置を俯瞰的に理解できる人材を養成することを目的としている。

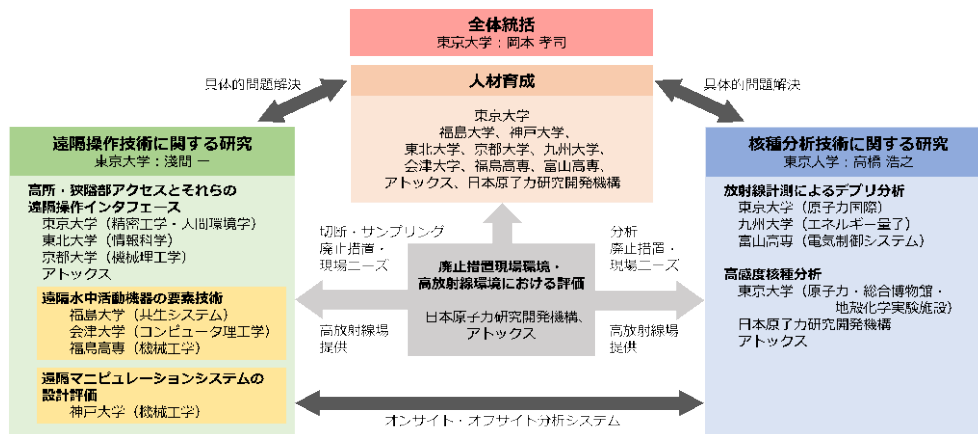


図1 研究体制

## 2. これまでの研究成果

### 2. 1. 遠隔操作技術に関する研究

#### ① 高所・狭隘部アクセスとそれらの遠隔操作インタフェースの開発

高所・狭隘部アクセス可能なロボット、およびそれらの遠隔操作インタフェースのプロトタイプ的设计を行なった（図2）。

高所・狭隘部アクセスに関しては、高所アクセスのための飛行ロボット、狭隘部アクセスのための索状ロボット、ヘビ型ロボットについて検討を行うとともに、高所・狭隘部にロボットがアクセスするための軌道構造体自動施工システムについて検討を行った。また、狭隘部において小型ロボットが大型物体を操作するための機構の検討を行った。

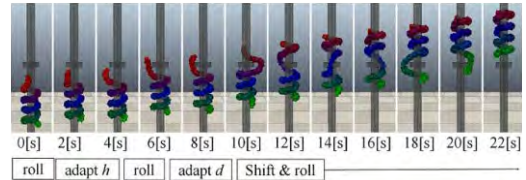
遠隔操作インタフェースとしては、オペレータへの俯瞰映像提示システム及び触覚情報提示システムの検討を行った。



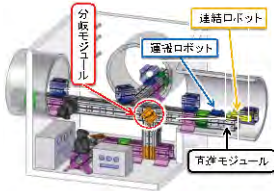
(a) 吸着機構を持つ  
飛行ロボット



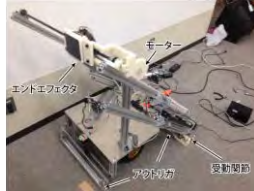
(b) 索状ロボット



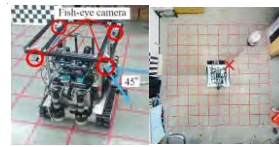
(c) ヘビ型ロボットの歩容



(d) 軌道構造体  
自動施工システム



(e) 大型物体を操作  
するための機構



(f) 俯瞰映像提示  
システム

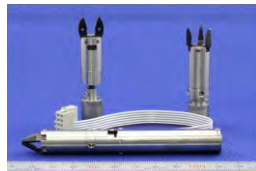


(g) 触覚情報提示  
システム

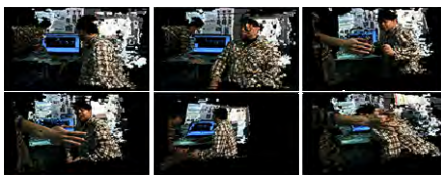
図2 高所・狭隘部アクセスと遠隔操作インタフェースのプロトタイプ

② 遠隔水中活動機器の要素技術開発と人材育成プログラムの作成 (再委託先：福島大学)

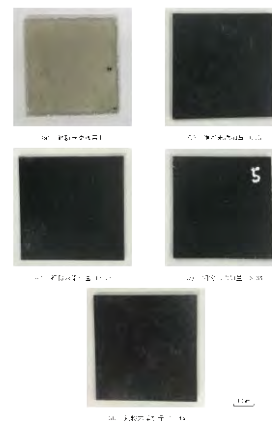
遠隔水中活動機器の要素技術に関する試作を行い、その性能評価を実施した (図3)。具体的には、立体カムを用いた高精度3爪ハンドの試作と評価を行った。また、カメラ画像の時系列を利用した3次元復元の方式を確立した。さらに、複合材料の作製に関する予備実験を行うとともに、遮蔽効果の評価方法の予備試験を行った。人材育成システムに関しては、試行を行い、課題を抽出した。



(a) 高精度3爪及び2爪ハンド



(b) 時系列画像からの3次元復元



(c) 放射線遮蔽用複合材料 (FRP)

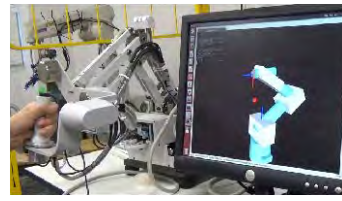
図3 遠隔水中活動機器の要素技術

③ 遠隔マニピュレーションシステムの設計・評価に関する基礎的研究と柔軟なシステム構築が可能な人材育成 (再委託先：神戸大学)

遠隔マニピュレーションシステムの性能指標の基礎検討を行うとともに、操作性の良い遠隔マニピュレーションシステムの設計条件の検討を行った (図4)。人材育成では、中核拠点の東京大学と連携しながらワークショッププログラムを企画するとともに、国内での遠隔マニピュレーションの関連施設の視察等を通じた人材育成プログラムを企画した。



(a) 奥行き情報提示による操作性向上



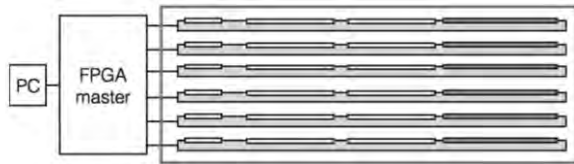
(b) 動作範囲の限られたマスタ操縦装置による操作性向上

図4 遠隔マニピュレーションシステムの設計・評価

## 2. 2. 核種分析に関する研究

### ① ガンマ線 CT システムの開発

半導体検出器等の信号読出し増幅器、リーク電流計測システム、線量校正装置、X線照射装置及びスペクトル計測システムを整備し、本研究で開発するガンマ線 CT システムに用いるための放射線検出素子と高放射線下での動作について検討・評価を行なった (図5)。

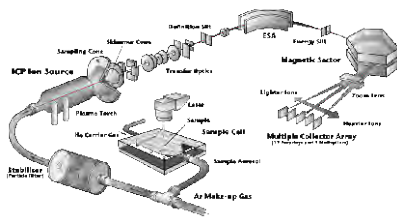


(a) 検出素子を積層した検出器



(b) 有機 PD によるフィルム型素子

図5 ガンマ線 CT システムのための検討



(a) 多重検出器型 ICP 質量分析計



(b) AMS のための負イオンクーラー



(c) レーザー分光分析のためのプラズマセル



(d) TES 型マイクロカロリメータスペクトル計測システム

図6 微量分析システムの開発

### ② 微量分析システムの開発

微量試料に対する分析手法の検討を行った (図6)。すでに実績のある分析試料処理法を基礎としながらもこれを微量量に対して適用し、誘導プラズマ結合質量分析 (ICP-MS) 及び加速器質量

分析（AMS）に最適な試料形態にする方法を検討した。また、AMS に用いるためのイオンクーラーを設計し、レーザー発生装置を組み込んで、チャンバー内にレーザー光を導入できるようにし、核種分析感度の向上を図った。さらに、レーザー光出力の強化及び高精度な波長計の導入により、同位体シフトに対応したレーザー分光分析装置の検討を行った。

## 2. 3. 廃止措置に関する俯瞰的人材育成

### ① 廃止措置に関する講義

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」を英語で開講し、講義を試行した。平成 27 年度には 38 名の受講登録があった。さらに、再委託先を含めた連携機関向けに、本講義の日本語版動画を作成・配布した。

### ② 廃止措置教育プログラム

人材育成セミナーを、東京、福島、富山、神戸、いわき、福岡において計 8 回開催し、のべ約 500 名が参加した。また、国際サマースクールをスウェーデン及びアメリカで、国内サマースクールを JAEA の東海及び檜葉において開催した。さらに、ATOX 技術開発センターでインターシップの試行を行なった。また、他採択機関と連携して第 1 回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンスを開催し、本事業に関わる学生が多数受賞した。さらに、福島第一原子力発電所等の視察を行い、廃炉の現場状況に関する知見を深めた。

上記に加えて、廃止措置を俯瞰的に考察し、廃炉に関する重要研究課題を抽出するために、仮説指向計画法に基づいたブレインストーミングを実施し、重要研究課題の抽出を行なった。

## 3. 今後の展望

高所・狭隘部アクセスについては、これまでに行った概念設計、およびプロトタイプ設計・開発をふまえ、高所・狭隘部アクセス可能なロボット及びそれらの遠隔操作インタフェースの開発を行う。高所・狭隘部アクセス可能なロボットの機能性のさらなる向上のため、推進機構及び制御手法の改良を行う。また、それらのロボットの遠隔操作のためのインタフェースを開発し、映像提示技術の有効性や、操作性の向上について効果を検証する。

遠隔水中活動機器については、ハンドリングのためのエンドエフェクタのさらなる小型化、短時間での水中・気中両方での三次元復元、複合材料の機械的特性及び放射線照射による影響検討を行う。

遠隔マニピュレーションシステムについては、性能評価法のオペレータ技能評価への応用、アドバンスな遠隔操作プラットフォームの構築を行う。

ガンマ線 CT システムについては、放射線検出部の設計・試作、フレキシブルな構造からなる線量計の設計・製作を行い、遠隔操作機器に搭載して計測を行う。

微量分析については、マルチ・デイリー/ファラデー検出器を実装した ICP-MS の実用化、TOF の導入による  $^{236}\text{U}$ -AMS の検出感度の向上、レーザー分光分析システムの高感度化方策の検討、TES 型カロリメータの分解能向上・高感度化等を行う。

人材育成については、引き続き、講義、セミナー、サマースクール等を実施するとともに、重要課題抽出のためのブレインストーミングを行い、廃止措置を俯瞰的に理解できる人材を育成する。