

福島第一原子力発電所の燃料デブリ分析・廃炉技術に関わる研究・人材育成

(受託者) 国立大学法人福井大学

(研究代表者) 附属国際原子力工学研究所 安濃田良成

(再委託先) 大阪大学、九州大学、京都大学、福井工業大学、大阪府立大学、

若狭湾エネルギー研究開発センター、日本原子力研究開発機構

(研究機関) 平成 27 年度～31 年度

1. 研究開発の背景とねらい

福井大学では、福島第一原子力発電所（以下、1F）事故の直後から、1F事故に係わる課題の解決無くしては、福井を始めとする我が国の原子力発電所の将来は無いという全学的な強い決意のもと、福井大学の強み・特色である原子力関連機関や国内外の大学との連携や平成26年度時点で国内の大学では唯一の体系化された廃止措置工学の授業を実施するなど、原子力防災や原子力施設の廃止措置に関する基盤研究と人材育成を重点的に推進してきた。また平成26年度の「西日本における1F廃止措置に係わる基盤研究・人材育成の拠点形成（FS）」事業において、JAEA、NDF、IRID、東京電力など多数の関係者から研究・人材ニーズを聴取すると共に、事業参加大学の学生を募り、1F廃炉現場見学とセミナーを試行し、学生の1Fへの関心と社会貢献意識が高いことを改めて確認した。また、福井大学とドレスデン工科大学との共催による日独シンポジウム「原子力施設廃止措置のための技術と教育」を実施するなど、国際協力の推進にも努めている。

本事業では、福井大学におけるこれまでの廃止措置教育研究の実績とFS事業の成果を踏まえ、西日本の6大学・2機関（それぞれ複数の部門）が連携し、1F廃止措置現場のニーズを踏まえた「廃止措置技術」、「燃料デブリ分析」及び「廃炉技術開発」の3つの分野で基盤研究を実施するとともに、それらをベースとした3コースの人材育成カリキュラムを構築し、1F廃止措置における課題解決に貢献できる高い知識と社会貢献意識を持った広い専門分野の若手人材を継続的に育成することを目標とする。

2. これまでの研究成果

(1) 廃止措置技術コース

廃止措置技術研究では、WBS（図1）を用いて1F廃炉に向けた中長期ロードマップに沿った燃料デブリ取り出しに係る作業構成の検討や、廃止措置計画の最適性評価手法の基盤を整備している。また、IAEA主催廃止措置・環境回復に関する国際カンファレンスで学生が発表を行うとともに、情報を収集した。

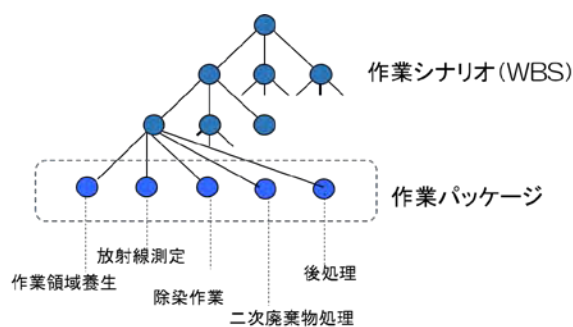


図1 WBS(ワーク・ブレイクダウン・ストラクチャー)

昨年度2月に行った廃止措置技術セミナーでは、廃止措置の基本事項、1F廃止措置の現状、プロジェクト管理等の講義を行うとともに1F廃炉現場・楢葉遠隔技術開発センターを視察した。本年度は、この1F見学の後に、図2に示すような

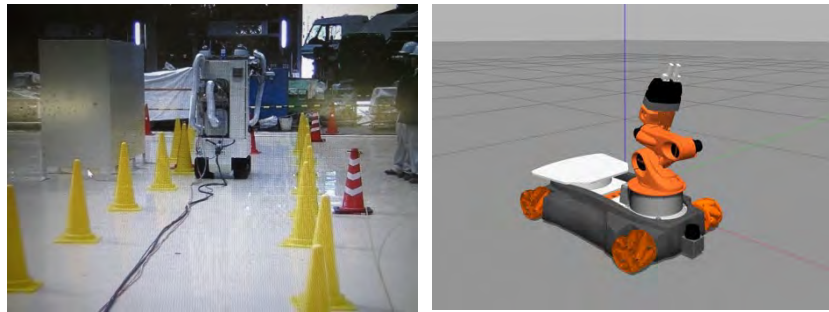


図2 左:大物搬入口から機器ハッチへの走行路設定路とその上の走行試験、右:gazeboによる3D画像の例

楢葉遠隔操作技術開発センターにてマニピュレータ動作の最適化やモックアップ施設及びVR(仮想空間)施設を用いたロボット操作の廃止措置技術実習も行う予定である。また、国際セミナーは、10月17日に大阪科学技術センターにてANL(Argonne National Laboratory)の廃止措置トレーニングコース責任者のLarry Boing氏および、KIT(Karlsruher Institut für Technologie)の原子力施設の廃止措置に係る技術とマネジメント部門のMartin Brandauer氏による米国及び欧州における廃止措置・環境修復の経験・状況についての講演を一般公開で実施し、引き続き、外国人研究者と学生の討論会などを10月18日~19日に福井大敦賀キャンパスにおいて行う。さらに廃止措置工学学生サミットは、採択7機関合同でNDEC(Conference for R&D Initiative on Nuclear Decommissioning Technology by the Next Generation)として実施している。

(2) 燃料デブリ分析コース

デブリ物性・分析研究では、大阪大学にて熱力学計算と模擬試験による模擬デブリの合成と物性評価を行っており、これまでに Cr_2B や ZrSiO_4 などの熱伝導度などの物性が得られている。今後は熱力学計算の結果と合わせて燃料デブリ中に存在する化合物の物性をまとめていく予定である。また、福井大では模擬燃料デブリからのFP放出・溶出挙動の評価を行っており、これまでにSPS(Spark Plasma Sintering)法による 1200°C 、10分の熱処理によりCsIを保持した最適な模擬燃料デブリが合成されことなどの結果が得られている。今後は、これらについて四重極質量分析器やICPを用いたFPの放出試験および溶出試験を行う予定である。また、九州大学による燃料デブリの融点評価を進めるため、模擬デブリの融点測定のためのロングパルスレーザを導入し、測定システムの動作検証・確認などを行っている。さらに、 1580°C で溶融する $\text{UO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ の共晶反応を利用した模擬溶融固化体の合成(福井大学)、X線CTによる空隙率評価(JAEA)、機械的強度測定と有限要素法解析(福井大学)からなる溶融固化体の空隙率と物性の相関研究では、理論密度83%の模擬溶融固化体を合成した(図3)。年内にはX線CT撮像のためJAEA大洗へ輸送し、返送後は破壊強度試験と有限要素法解析をする予

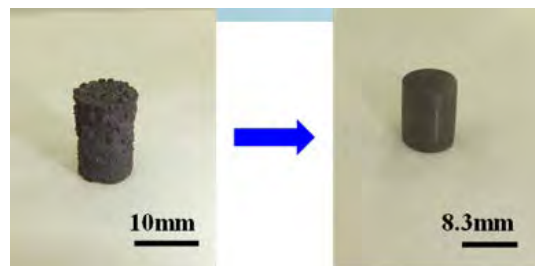


図3 模擬溶融デブリ(左:熱処理の後、右:成型後)



定である。

燃料デブリ実習として、8月22日~24日（22日は台風のため中止）にJAEA大洗研究開発センターにて、施設見学を利用した照射済燃料の分析作業に関する講義及びX線CTを用いた実習を行い、5名の学生が参加した。（図4）模擬燃料演習では、9月12日~14日と大阪大学にて模擬燃料の合成、X線、SEMによる分析、熱伝導度測定などの実習、15日は大阪府立大学にてPIXEによる材料分析の講義と実習を行い、5名の学生が参加した。今後は、年度末に、京都大学原子炉実験所にて大阪大学による未臨界の炉物理に関する講義・シミュレーションとKUCAを用いた実習の臨界管理・未臨界度測定実習を行う予定である。

（3） 廃炉技術開発コース

廃炉技術開発研究では、福井大にてコンクリート健全性非破壊評価として、コンクリート製基礎試験体に対して低周波超音波の横波を用いたパルスエコー法実験を実施することにより、試験体内部からの散乱波を捕捉し、ワークステーションを用いた内在欠陥の画像処理法を検討した（図5）。今後は縦波によるコンクリート内の鉄筋との剥離および空隙の検出を目標に実験を進める。また同じく福井大で原子炉解体ロボット技術探査として、原子力プラントの廃止措置において、特に放射線レベルの高い原子炉解

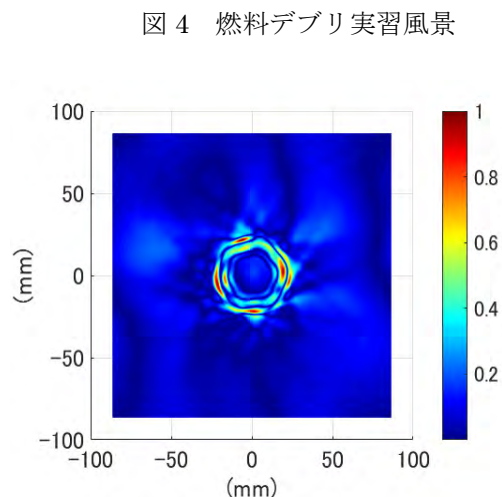


図5 改善した手法による画像化

体プロセスで使用するロボットに必要な仕様をまとめる研究を行っている。昨年度は1F炉本体に関する情報を集めたが、本年度よりPBL（Project base learning）として学生も参加して、燃料デブリに関する詳細情報を集める予定である。さらに福井大では、マニピュレータの手先軌道計画として、冗長自由度マニピュレータのシミュレータを構築し、平面ならい動作についてプログラムを作成・評価する研究も行っている。昨年度は動作計画プログラムを作成・評価したが、本年度はそれを元に、より効率の良い除染動作を計画できる最短軌道プログラムを作成する。また、構築した冗長自由度マニピュレータのシミュレータ使用して、計画される平面ならい動作の最短軌道を評価する予定である。福井工業大学の行うプラズマを用いたヨウ素、セシウム捕集技術開発では、s-band大気圧マイクロ波放電装置を使用した大気圧下で作動するプラズマ発生システムを構築し、サンプルとして海藻中からヨウ素を分離する基礎技術を開発した。本年度は、土壌からセシウムを分離する基礎技術を開発する。さらに若狭湾エネルギー研究開発センターでは、耐放射線性ロボットレーザー基礎技術開発として檜葉遠隔技術開発センターのモックアップ施設に既存のレーザー除染ロボットを搬入し、レーザー廃炉システム開発のための調査試験を実施している。

9月21日~24日には、非破壊検査実習として、福井大にて非破壊検査の重要性、各種手法の長所・短所、適用事例等の講義および超音波探傷の実習、福井工業大学で放射性核種の分離や放出する放射線の種類に応じた放射



図6 放射線管理・線量計測実習

化学的手法等、廃止措置に必要な化学・放射化学に関する実習を行い、20名を超える学生が参加した。(図6) さらに、放射性核種分析実習では、福井大医学部国際社会医学講座の環境保健学の実習において、福井県原子力環境監視センターとも協力して放射線核種分析の原理・使用法の講義や環境・試料分析実習などを、7日間に渡って行った。

3. 今後の展開

いずれのコースでも本年度末には一定の研究成果が得られるので、次年度には各研究成果の論文発表を即すとともに、コース毎に原子力学会のシリーズ発表を行う予定である。また人材育成事業として、本年度は、図7に示すように年度末の1F見学を含む「廃止措置技術セミナー・廃止措置技術実習」、京大炉での「臨界管理・未臨界度測定実習」および採択機関合同での「NDEC-2」を残すのみであるが、既に終了した実習も次年度に向けて実習内容や学生募集方法を改良する。京大炉は本年度から本格的に始動するので、次年度はそれに合わせて実習内容の改良がおこなわれる予定である。また次年度あるいは次々年度には、NDEC を関西で行うことも検討している。

| 実施日程 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|--|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| (1) 廃止措置技術コース ② 廃止措置技術セミナー (1F炉、楢葉) ③ 廃止措置技術実習 (楢葉) ④ 廃止措置国際セミナー (大阪科学技術センター、福井大) ⑤ 廃止措置工学学生サミット (東工大) | | | | | | | | | | | | |
| (2) 燃料デブリ分析コース ② 模擬燃料演習 (阪大・大阪府大) ③ 燃料デブリ実習 (原子力機構) ④ 臨界管理・未臨界度測定実習 (京大炉) | | | | | | | | | | | | |
| (3) 廃炉技術開発コース ② 非破壊検査実習 ③ 放射線管理・線量計測実習 (福井工大) ④ 放射性核種分析実習 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

図7 平成28年度 人材育成事業の年度体計画