

東京工業大学における廃止措置高度人材育成活動と基盤的研究の推進

小原徹^{*1}

東京工業大学は2014年度に文部科学省「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・人材育成推進事業」に採択され福島第一原子力発電所廃止措置推進のための人材育成と基盤的研究を目的としたプログラム「廃止措置高度人材育成と基盤研究の深化」を開始した。本プログラムの人材育成活動は大学院学生を対象とした放射性同位元素や核燃料物質を用いた実験、講義、キャリアパス形成活動からなっており、基盤的研究活動では、分析、除染、回収・固化、遠隔計測、臨界安全の各分野で研究が行われている。人材育成活動では5年間のプログラム終了後も継続して人材育成活動が実施できるよう教育カリキュラムの作成・改良に重点が置かれている。

Keywords: 福島第一原子力発電所事故、廃止措置、人材育成活動、基盤的研究

1 概要

福島第一原子力発電所（1F）の廃止措置の完遂のために長い期間を要すると考えられており、また技術的にも解決すべき多くの課題がある。このため1Fの廃止措置に必要な技術の開発には中長期的な視点からの基盤的な研究を継続的に推進していくことが必要不可欠と考えられ、さらにこの廃止措置事業やその遂行に必要な技術の開発を担う人材の育成を長期にわたって継続して行っていくことは極めて重要であると考えられる。

東京工業大学は2014年度に文部科学省「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・人材育成推進事業」に採択され廃止措置のための人材育成と基盤的研究の推進を目的としたプログラム「廃止措置高度人材育成と基盤研究の深化」を開始した。プログラムの全体概要を図1に示す。本プログラムでは、東京工業大学を中心となり東京医科歯科大学、東京都市大学、東海大学、芝浦工業大学と連携した活動を行っている。

本プログラムでは、廃止措置工学の高度な知識と高いモチベーションを持った若手人材を継続的に育成するため東京工業大学大学院原子核工学コースに廃止措置工学教育を行うカリキュラムを構築し、本学を中心としたプログラム参加大学の学生に高度な教育を行っている。カリキュラムでは最新の研究成果や廃炉措置の状況についての講義を行い、デブリ材料・化学に関する実際に核燃料物質や放射性物質を扱ったホットラボでの実験に重点を置いている。さらにモックアップ施設を利用したロボット遠隔測定の実習も実施している。また学生のキャリアパス形成のため、廃止措置関連機関へのインターンシップ派遣を積極的に行い、福島や廃炉現場でセミナーを開催して学生の廃止措置事業についての関心と意欲を高めるよう努めている。実施に当たってはプログラム終了後も継続して実施可能なカリキュラムとするようにしている。基盤的研究活動としては、難分析核種分析、汚染除去技術、廃棄物処分技術の基盤研究を推進しており、またロボット遠隔測定技術をロボット工学の専門家とともに推進している。さらにデブリ取出し時の臨界安全についての研究も推進している。これらの研究の成果は講義等を通じて人材育成活動に反映させている。人材育成・研究

の推進に当たりIRID等の廃止措置機関と定期的にフォーラムを開催し、得られた情報を人材育成及び研究活動に反映させようとしている。

2 人材育成

本プログラムで実施している人材育成活動の概要は次の通りである。

2.1 デブリ材料工学に関する人材育成

廃止措置に必要なデブリ材料分析の技術の習得を目的とした「廃止措置・材料工学実験」を大学院授業科目として立上げ、東京工業大学のホット実験施設で放射化材料を用いた実験を大学院生を対象として実施している。2017年度は、「放射化セラミックスの物性測定」等の実験を行った（図2）。また、2018年度は新たに誘導加熱式高温熱処理装置を導入し模擬デブリの作成・評価・観察を行う実験を追加している。

2.2 デブリ化学に関する人材育成

デブリ化学分析・バックエンド工学技術の基礎の習得を目的とした「核燃料デブリ・バックエンド工学実験」を大学院授業科目として新規に立上げ、東京工業大学のホット実験施設でRI及び核燃料物質を用いた実験を大学院生に実施している。2017年度は「溶媒抽出によるウラン分離」「精製・転換」「イオン交換法による廃液からのウラン分離回収法」に関する実験を実施した。実施した実験の概要とその様子をそれぞれ図3、図4、図5に示す。

2.3 シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成

シビアアクシデント後の高放射線場での計測とロボット技術の及び熱流動に関する知識の習得を目的として「熱流動・シビアアクシデント工学実験」を大学院授業科目として新規に立上げ、東工大での実験及びJAEA檜葉遠隔技術開発センターを利用した実験を大学院生に実施している。2017年度は「超音波フローマッピング計測」「アーム・移動ロボットの制御」及び檜葉遠隔技術開発センターでの「ロボット制御と超音波流体計測」を実施した（図6、図7、図8）。

Human resource development and fundamental study for the decommissioning of Fukushima Daiichi-NPS in Tokyo Institute of Technology by Toru OBARA (tobara@lane.iir.titech.ac.jp)

*1 東京工業大学科学技術創成研究院先導原子力研究所

Laboratory for Advanced Nuclear Energy, Institute of Innovative Research,

Tokyo Institute of Technology

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1-N1-19

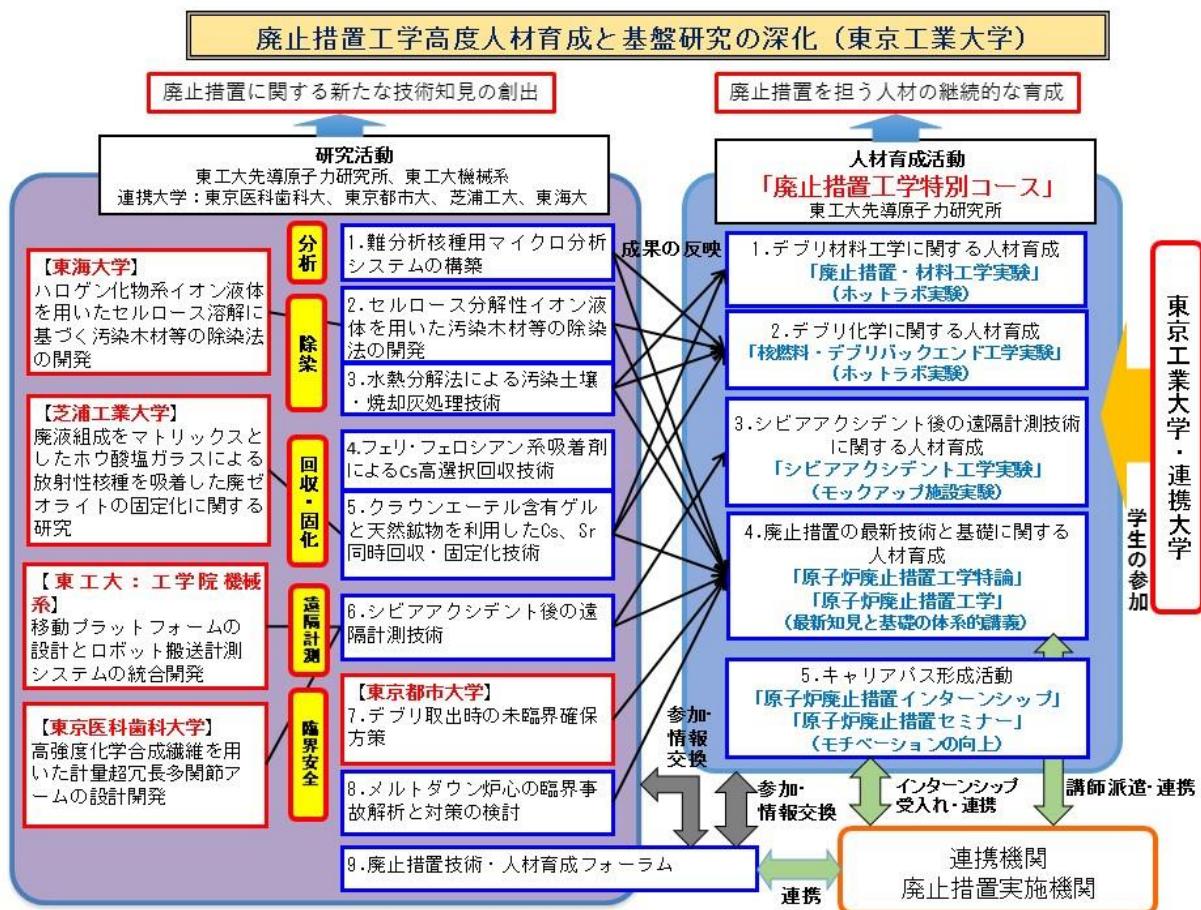


図1 プログラム全体概要

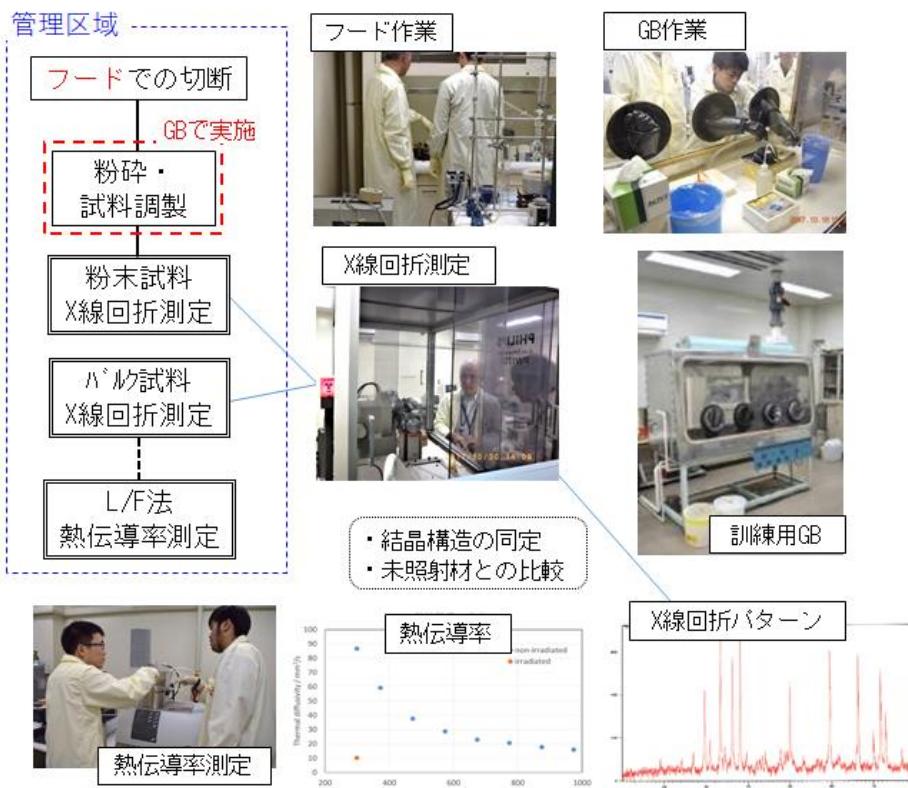


図2 学生実験「放射化セラミックス物性測定」

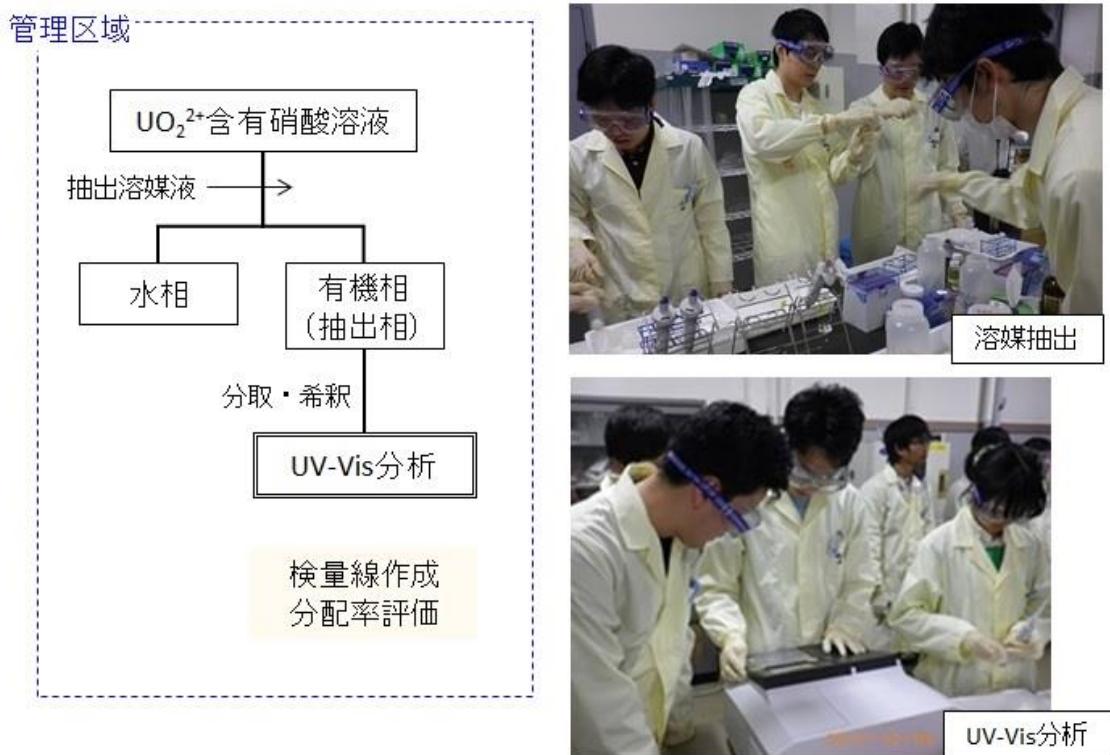


図3 学生実験「溶媒抽出によるウラン分離」

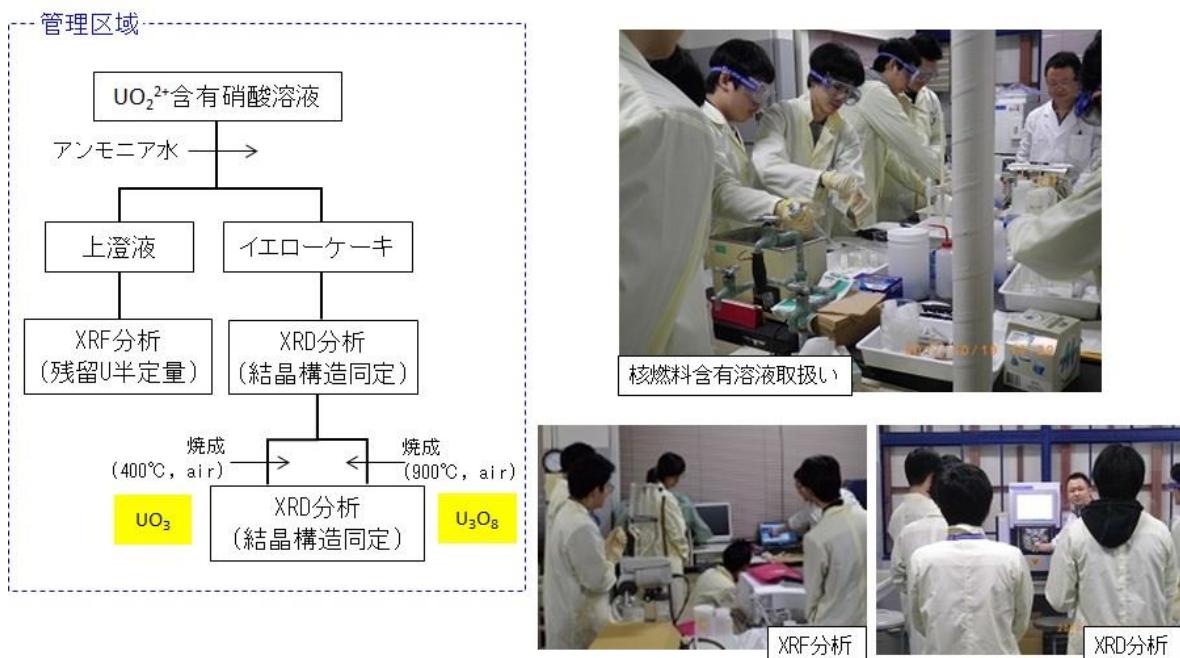


図4 学生実験「精製・転換」



図5 学生実験「イオン交換法による廃液からのウラン分離回収法」

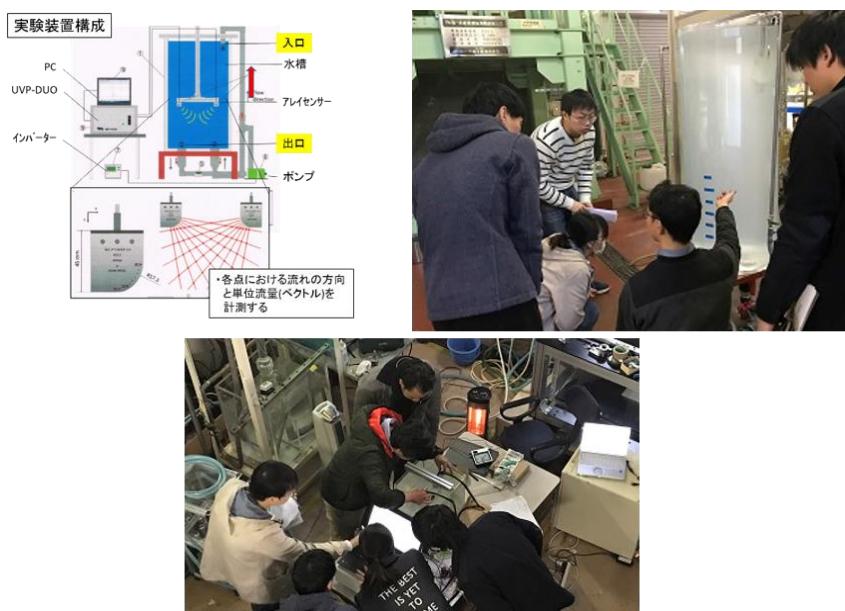


図6 学生実験「超音波フローマッピング制御」



図7 学生実験「アーム・移動ロボット制御」

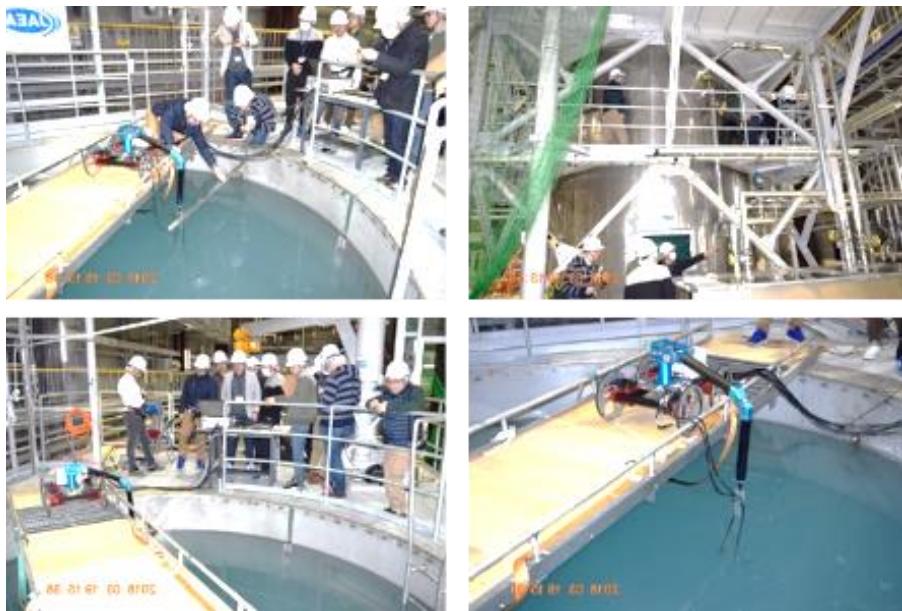


図 8 梶葉遠隔技術開発センターでの学生実験「ロボット制御と超音波流体計測」

2.4 廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

廃止措置の最新技術と基礎の習得を目的として、大学院授業科目「原子炉廃止措置工学特論」を新規に立上げ 1F における最新の廃止措置技術についての講義を行っている。また、大学院授業科目「原子炉廃止措置工学」も新規に立上げ通常の原子炉廃止措置技術の基礎についての講義を行っている（図 9）。

2.5 キャリアパス形成活動

1F の廃止措置活動への関心を高めることを目的として、大学院授業科目「原子炉廃止措置インターンシップ」を新規に立上げ、福島第一原発で廃止措置活動をしている企業に学生をインターンシップ派遣し、派遣後提出された報告書等で審査し単位認定している。また、「原子炉廃止措置セミナー」を実施し、1F 及び福島第二原発の見学及び現地で勤務している方々との意見交換会、日本原電の東海発電所廃止措置作業の見学及び講習会等を行い学生を参加させている。セミナーには連携大学の学生も参加している（図 10）。

3 研究活動

本プログラムでは、基盤的研究活動として次のような研究を行っている。

3.1 難分析核種用マイクロ分析システムの構築

難分析核種の分析技術をマイクロ化学チップとレーザー分光を組み合わせ、福島第一原発サイト内における難分析核種（ β 核種である Se-79, Mo-93 等）の迅速・極微量分析を可能とする新しいマイクロ分析システムの構築を目指した研究を行っている。

3.2 セルロース分解性イオン液体を用いた汚染木材等の除染法の開発

セルロース分解能を有する親水性イオン液体を用いた多量にある汚染木（枝葉部）・木材系廃棄物の除染法の開発を東工大、東海大が共同して行っている。これにより、福島第一原発近辺の伐採木一時保管槽に保管されている汚染物の除染を可能にし、1F 環境の整備に貢献することを目指した研究を行っている。

3.3 水熱分解法による汚染土壌・焼却灰処理技術

水熱分解法による粘土からの強吸着性 Cs の脱離機構を解明し、汚染土壌・焼却灰の効果的な処理技術を開発することを目指した研究を行っている。本研究は、日本原子力研究開発機構廃炉国際共同研究センター（CLADS）と共同で実施しており東工大と CLADS の国際共同研究棟で研究を行っている。

3.4 フェリシアン系吸着剤による Cs 回収技術開発

フェリシアン系吸着剤の Cs 吸着機構を解明し、Cs の効果的な吸着技術の開発を目指した研究を行っている。

3.5 ゲル薄膜塗布技術及び天然鉱物を利用した Cs, Sr 同時回収・固定化技術

ゲル薄膜塗布技術を用いた Cs, Sr 同時回収技術の開発を行う。また、Cs および Sr を吸着した天然鉱物の固化技術の開発を目指した研究を行っている。さらに、芝浦工大と連携して廃棄ゼオライトの固形化に関する研究を行っている。



図9 講義風景及び授業の一環として実施した東芝磯子エンジニアリングセンター見学



図10 福島第一及び第二原子力発電所見学

3.6 シビアアクシデント後の遠隔計測技術

超音波ドップラー技術による形状計測および放射線計測の核種分析によるデブリ特性・性状把握のためのロボット搬送技術の開発を目指した研究を行っている。ロボット技術開発では、東工大工学院機械系で行っている搬送技術開発及び東京医科歯科大学で行っている医療用遠隔精密作業技術開発と連携して実施している。

3.7 デブリ取出時の未臨界確保方策

デブリ取出し作業時の臨界事故防止のための方策を確立するため、種々のデブリ取出し方法に対する臨界防止策の検討・評価を連携機関である東京都市大学で実施している。

3.8 メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討

デブリ取出し時に万一臨界事故が発生した場合の挙動評価を行い、作業員の安全確保のための有効な方策を確立することを目指した研究を実施している。

3.9 廃止措置フォーラム

廃止措置活動を行っている企業等とプログラムの研究・人材育成担当者による廃止措置人材育成・基盤研究に関するフォーラムを開催し、研究・人材育成についての情報交換、意見交換を行っている。

4 これまでの進展と今後の展開

本プログラムの研究活動はそれぞれの分野で着実に成果を挙げつつある。本プログラム予算は2018年度で終了するが、それぞれの成果を踏まえつつ、今後廃止措置関連機関等との連携のもと研究が更に進展し実適用されることが期待されている。

人材育成活動の成果としては、大学院授業カリキュラムは2018年10月までに、「廃止措置・材料工学実験」119名、「核燃料デブリ・バックエンド工学実験」101名、「熱流動・シビアアクシデント工学実験」受講生24名、「原子炉廃止措置工学特別講義」64名、「原子炉廃止措置工学」34名、「原子炉廃止措置インターンシップ」16名の受講があった。また「原子炉廃止措置セミナー」は72名の参加者があった。これらのカリキュラムを履修した学生はすでに社会で活躍を始めている。本プログラムは2018年度で終了するが、大学院授業カリキュラムはプログラム終了後も実施できるようプログラム期間中に実験設備の整備、実験テキストの作成・改訂を進めており、今後も大学院原子核工学コースの正規の授業科目として継続して実施されることになっている。また、廃止措置関連のインターンシップ活動も関係機関の協力を頂きながら継続していきたいと考えている。

5 最後に

本来は研究報告の紙面にも係わらず、教育・人材育成面の記述が多い報告となってしまった。これは、本プログラムの方針が多少とも影響している。5年間の文部科学省「廃止措置研究・人材育成推進事業」を開始するに当たり、研究活動は本プログラム終了後も1Fの廃止措置の進展に応じて廃止措置関連機関との連携や国の予算等で研究を発展させていくことが期待できた。一方、人材育成活動は今後長期にわたって継続すべき活動であるものの、プログラム終了後に人材育成について継続的な予算措置が期待できるか不透明であった。このため本プログラムの方針としては、海外派遣や大規模なイベントは行わず、継続的に実施できるカリキュラムを充実させることを目標とし、学生実験等の実施のための設備やテキストの作成・改良の授業内容の整備に注力することとした。人材育成活動のうち、一部のセミナーを除いて、大学院の授業科目として新規に立ち上げた教育カリキュラムはすべて今後とも継続して実施していくことになっている。

すでに述べたように本プログラムは、1Fの廃止措置に不可欠な人材の育成と基盤的な研究の推進により1Fの事故収束に大学として貢献することを目標とし、廃止措置工学の最新技術を習得した人材の継続的育成の実施及び廃止措置工学の基盤的研究の推進を廃止措置実施機関等と連携して行っている。本プログラムの人材育成活動の特徴として、非密封のRI・核燃料物質を用いた学生実験がある。これらの実験は学生にとって貴重な経験となり、教育効果も高いものであるが、国立大学が直面している経営面での課題からこれらの実験に使用する施設の維持のための予算・人員が年々削減され、その維持は担当教員の献身的努力によって支えられているのが現実である。これらの課題を乗り越えつつ、1Fの廃止措置に向けた人材育成活動・基盤的研究活動には今後も大学として積極的に取り組んで行きたいと考えている。

