

廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化

(受託者) 国立大学法人東京工業大学

(研究代表者) 小原徹 科学技術創成研究院 先導原子力研究所

(再委託先) 学校法人五島育英会 東京都市大学、学校法人 東海大学、

学校法人 芝浦工業大学、国立大学法人 東京医科歯科大学

(研究期間) 平成 26 年度～30 年度

一人材育成活動一

①デブリ材料工学に関する人材育成、②デブリ化学に関する人材育成、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

1. 研究の背景とねらい 原子炉の廃止措置を実施していくために必要となる、実際に放射化された材料の取り扱い技術の習得や、核燃料デブリや放射性廃棄物の処理・処分などの化学分析を行える人材、またシビアアクシデント発生後に有用な計測方法や複数の情報から炉心の状態を適切に推定でき、シビアアクシデントの進展を検討できる人材を育成する。

2. これまでの研究成果

①新規大学院授業科目「廃止措置・材料工学実験」の開講、履修学生 11 名(留学生 3 名)、放射性物質(非密封)の取扱及び分析・評価を学習(講義・実験)、②新規大学院授業科目「核燃料デブリ・バックエンド工学実験」の開講、履修学生 8 名(留学生 1 名)、RI 及び核燃料物質を用いた化学実験を学習(講義・実験)、③新規大学院授業科目「シビアアクシデント工学実験」の開講、履修学生 5 名、遠隔計測技術及びロボット制御の学習(講義・実験)

3. 今後の展望 今後、履修人数の拡張及び留学生の増加に対して、体制の充実及び英語によるコミュニケーションの配慮を行い、理解度を昨年度レベルに維持、あるいは向上させる。

④廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成

1. 研究の背景とねらい 廃止措置の最新技術及び基礎の習得のため、福島第一(1F)で適用中の廃止措置技術と本プログラムの研究成果および原子炉廃止措置技術の基礎についての教育を行う。

2. これまでの研究成果 新規大学院授業項目「原子炉廃止措置工学特別講義」及び「原子炉廃止措置工学」の開講、両者とも履修学生 17 名、1F で適用中の廃止措置技術と原子炉廃止措置技術の基礎の学習(外部講師によるエンジニアリング的な情報を含む)

3. 今後の展望 これまでに構築した授業体系をベースに今後は人数を拡張して遂行する。

⑤キャリアパス形成活動

1. 研究の背景とねらい 専門知識の他、1F への廃止措置活動への関心・意欲を高める。

2. これまでの研究成果 大学院授業科目「原子炉廃止措置インターンシップ」の開講(廃止措置関連企業に学生を派遣)、「原子炉廃止措置セミナー」として廃止措置関連企業の見学学習

3. 今後の展望 H27 年度実施した内容を継続して実施していく。

⑥廃止措置工学特別コースの設置・運営

1. 研究の背景とねらい 廃止措置工学の最新技術を習得した人材の継続的育成を目的とする。

2. これまでの研究成果 本プログラムに関する授業準備・出欠管理・学外との調整等、担当教員とともに廃止措置プログラム室が実施。関連授業項目及びセミナーの履修・参加履修を履修指導で推奨し、所定の履修・参加をして小論文を提出した学生を専攻として顕彰する制度の整備。

3. 今後の展望 これまでと同様に人材育成活動に関して運営に必要な事項を継続していく。

—研究活動—

①難分析核種用マイクロ分析システムの構築

1. 研究の背景とねらい 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、1F サイト内における難核種分析の迅速・極微量分析システムの構築を目指す。

2. これまでの研究成果 現在までに、マイクロ化学チップとレーザー分光を組み合わせた新しい核種分析システムの構築に向け、マイクロ流体制御や検出感度に係る要素技術の検討を進めている。溶媒抽出から分析に至るまでの一連の化学分析操作を自動化・集積化した可搬型自動マイクロ分析装置の開発を進めており、現場での適用に向けた準備を行っている。

3. 今後の展望 本システムでは、大型装置は必要なく、僅か1滴程度の試料だけで放射性核種分析ができるため、分析時間の短縮、二次廃棄物の減容、被ばく低減につながると期待できる。

②セルロース分解性イオン溶液を用いた汚染木材等の除染法の開発

a. 酢酸系イオン液体を用いた伐採木等の表面除染試験の実施

b. ハロゲン系イオン液体を用いた伐採木等の表面除染試験の実施（東海大学）

1. 研究の背景とねらい セルロース分解能を有する酢酸系またはハロゲン系イオン液体を用いることにより、伐採木(特に枝葉部)等木材系汚染廃棄物の除染法開発を目指す。本技術開発により、1F 近辺の伐採木一時保管槽の汚染物除染および廃棄物量低減への貢献が期待される。

2. これまでの研究成果 a. 模擬汚染物の除染試験の結果、酢酸イオンを陰イオンとするイミダゾリウム型イオン液体が水と比較してより高い除染効果を示すことを確認した。また、いずれの模擬汚染物も水にはまったく溶解しないのに対し、酢酸系イオン液体にはほぼ完全に溶解することが明らかとなった。b. 模擬汚染物の除染試験の結果、塩化イミダゾリウム型イオン液体に高い除染効果があることをこれまでに確認した。ハロゲン系イオン液体のうち、特に塩化物系イオン液体に高いセルロース溶解性が見られたことから、今年度は塩化ピリジニウム型イオン液体等のカチオン種の異なるイオン液体を準備し、セルロース溶解性および除染性能を検討する。

3. 今後の展望 a. 酢酸系イオン液体についてより実際の汚染物に近い模擬廃棄物(松の枝葉等)の除染試験を実施し、除染性能を評価すると共に課題の抽出および除染条件の最適化を行う。b. 既に除染性能に関する基礎データを得ている塩化イミダゾリウム型イオン液体について、放射性セシウム (^{137}Cs) を用い、除染性能の確証試験を行う。

③水熱分解法による汚染土壌・焼却灰処理技術

1. 研究の背景とねらい 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。

2. これまでの研究成果 水熱法による土壌粘土質からの Cs 脱離試験で、Cs 脱離特性の向上に対する有機酸添加の有効性を示した。また、土壌粘土質に塩化セシウム水溶液を添加し、「土壌粘土質への Cs 吸着時間」が「Cs 吸着量」に与える影響及び「Cs 吸着量」と「水熱分解時の Cs 脱離率」の関連性を調べ、吸着させる時間が長いほど Cs 吸着量が増加することを明らかにした。

3. 今後の展望 今後は水熱分解法による土壌からの Cs 脱離試験を引き続き行い、最適な添加物の選定と水熱条件に関して継続的に検討を進め、実汚染土壌からの Cs 脱離試験を行う。

④フェリシアン系吸着剤による Cs 回収技術開発

1. 研究の背景とねらい 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を開発する。

2. これまでの研究成果 Mn等のフェロシアン化物を合成し、Cs吸着性能のpH依存性を比較した結果、pH12で高いCs吸着性能を示すのはNi及びCuのフェロシアン化物であった。また、熱分解処理の予備試験では、燃焼後の吸着材を水または硝酸水溶液で洗浄して得られた抽出液の乾固物の約80%はCs含有塩としてCsNO₃が得られた。さらに、造粒技術開発の予備試験を行い、紺青がゲルによって多孔質シリカゲル表面上に担持された造粒体を得ることに成功した。

3. 今後の展望 プルシアンブルー類似体を多孔質体表面上に親水性高分子ゲル等を用いて担持させる造粒技術を開発し、その造粒体をカラム充填剤として用いたカラムクロマトグラフィーによるCs回収試験を行う。また、Cs吸着後の使用済みプルシアンブルー類似体吸着剤の熱分解処理及びCsの溶出方法の検討を実施し、安全な処分方法等の検討を行う。

⑤クラウンエーテル含有ゲルと天然鉱物を利用したCs、Sr回収・固化技術

a. Cs、Sr回収試験

b. ホウ酸塩ガラスによるCs、Sr等廃棄物のガラス固化試験（芝浦工業大学）

1. 研究の背景とねらい a. クラウンエーテル系抽出剤を配したゲルを用いたCs、Sr同時回収・固定技術開発を行う。b. 東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴う放射能汚染水処理に伴い、発生する塩、ホウ酸、ゼオライト等の廃棄物を包括的に固化処理する。

2. これまでの研究成果 a. ゲル液抽出によるSr回収技術の開発を目指し、18-クラウン-6(CE)に重合性官能基を導入し、高分子モノマーである*N*-イソプロピルアクリルアミド(NIPA)とラジカル共重合させることにより、CEを架橋剤とした親水性高分子ゲルを作成し、ゲルにSr抽出能が有することを確認した。また、天然鉱物を利用したCs、Sr回収・固定化技術について、天然鉱物多孔質セラミック吸着材の作製プロセスの検討及び得られた多孔質セラミック吸着材の非放射性Cs及びSrの吸着特性を単独・同時吸着試験により高い吸着率を示し、当該セラミック吸着材合成に見通しが得られた。b. ホウ酸塩ガラスによるCs、Sr等廃棄物のガラス固化において、ホウ酸塩ガラスにZnOを添加することで飛躍的に耐性が向上し、330年程度と評価できた。適切な酸化物を添加し、Csを吸着したホウ酸塩ガラスのガラス固化において、当該ガラス固化体にはアモルファス化がみられたため、Cs-13xはB-0.5Na-0.5Zn中への全量融解していることが確認された。

3. 今後の展望 a. 今後CE系抽出剤を固定した親水性高分子ゲルを多孔質体表面上に薄膜塗布させた吸着剤を合成し、Sr抽出試験を行う。また、親水性高分子ゲル中にCE系抽出剤及びプルシアンブルー類似体を固定したコンポジット吸着剤を合成し、Cs、Srの同時吸着試験を行う。

b. これまでに得られたZnを添加したホウ酸塩ガラスを用いてガラスマトリックス及び放射性核種の水相への移行挙動の検討を行う。さらに、それらの成果を基に最適なホウ酸ガラスマトリックスを選定し、ゼオライトを固定化したガラスの物性について調査する。

⑥シビアアクシデント後の遠隔計測技術

a. パルスエコー法による超音波計測技術開発

b. 多関節ロボットアームによるセンサポジショニング技術開発（東京医科歯科大学）

c. 移動ロボットによるセンサ・アーム搬送技術開発

1. 研究の背景とねらい 超音波探信計測技術を高度化した上で適用し、デブリ形状を把握する。また、超音波ドップラー技術を用いて汚染水漏洩箇所を特定するためのロボット搬送計測システムを開発し、この搬送計測システムを利用してデブリ特性を同定する技術の構築を目指す。

2. これまでの研究成果 a. 現有の8チャンネルパルサーレーザシステムとアレイセンサ、

およびアレー回路を用いた開口合成システムを用いて、漏洩個所特定とデブリ形状把握のための計測システムの予備構築を行い、ソフトウェアの動作確認を行った。さらに16チャンネルパルサーレーザを用いた計測システムを構築した上、既存の8チャンネルにおけるソフトウェアを拡張し、16チャンネルシステムのソフトウェアを構築した。**b.** 既存の張力センサの高精度化のため、ワイヤの取り回し経路を変更し、安価・小型計測装置を設計した。**c.** 既存の防塵・防水性四輪駆動車両を、有線遠隔制御が可能な操作系を開発した。また、ワイヤ駆動型軽量5自由度アームの制御ソフトウェアを整備し、遠隔操縦で手先位置・姿勢を制御することが可能になった。

3. 今後の展望 **a.** 8チャンネルのものを拡張した16チャンネルシステムのソフトウェアを構築し、計測システムの開発の見通しがあり、JAEAモックアップ施設での実証試験に向けて準備している。**b.** **c.** 廃炉関連メーカーと今年度より共同研究を開始し、技術者を受入れ、改良を継続中のワイヤ干渉型多関節アームをもとに、別途、廃止措置作業用ロボットの開発を進める。

⑦デブリ取出時の未臨界確保方策（東京都市大学）

1. 研究の背景とねらい 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して臨界防止策を検討・評価する。

2. これまでの研究成果 冠水工法のデブリ取出しの場合、臨界性に大きな影響を与える水/燃料体積比が変化しうる。H28年度は、圧力容器下部ヘッドに堆積したデブリを粒子状への破碎の後、円柱状容器への回収を想定し、回収容器から粒子状デブリが落下した場合の臨界性を評価し、デブリ回収容器の上限値を検討した結果、デブリ組成が UO_2 新燃料の場合、24Lとの結果を得た。

3. 今後の展望 今後は、燃焼組成やデブリと構造材の混合等により現実的な条件を考慮し、各条件のデブリ回収容積に対する影響度合を明らかにする。

⑧メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討

1. 研究の背景とねらい 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。

2. これまでの研究成果 TMI事故でメルトダウンした炉心及びデブリの取出時の臨界性に関する評価及び原子力機構による燃料デブリの臨界性に関する研究等を調査した。また東工大での継続的研究テーマ、積分型動特性解析モデルによる弱結合体系の動特性解析成果を精査し、本事故解析への適用性を検討した。臨界事故解析手法の研究が進み、当該モデルを用いた弱結合体系での放出エネルギー及び線量評価の見通しがついた。高速並列サーバーを導入し予備解析を行った。

3. 今後の展望 これまでの成果をふまえて、解析手法を確立させる。確立された手法をもとに、想定される体系について臨界事故解析を行い、有効な対策を検討する。

⑨廃止措置・人材育成フォーラム

1. 研究の背景とねらい 廃止措置活動に関係する企業等と研究・人材育成担当者がワークショップを行い、研究・人材育成の情報・意見交換を行い、新規知見を大学院授業科等に反映させる。

2. これまでの研究成果 東工大フォーラムの立案・運営、第一回次世代イニシアチブ廃炉技術カンファレンス(NDEC-1)の実行委員活動、NDF廃炉研究開発連携会議への参画、JST廃炉有識者会議への参画、JAEA・CLADS廃炉基盤研究プラットフォーム運営会議への参画・連携を行った。

3. 今後の展望 H27年度実施項目を踏襲した上で、他機関の会議体等への参画を継続する。また、JAEAの檜葉・富岡の施設を使った研究・人材育成を検討し、実施していく。