

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

(1) 人材育成活動

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 41 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 39 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 9 名、遠隔計測技術及びロボット制御の学習(講義・実験)

3. 今後の活動 今後、履修人数の増加に対応できる効率的な学生指導方法の確立及びカリキュラムの完成を目指す。

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、履修学生各 11 名・6 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修をはかった。

3. 今後の研究 これまでに構築した授業体系及び実施経験をもとにカリキュラムの完成を目指す。

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を実施。

3. 今後の活動 キャリアパス形成活動を今後も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の顕彰の実施。

3. 今後の活動 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。

(2) 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. 今後の研究 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液体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. b. 松葉等を含む模擬汚染物の除染試験の結果、酢酸イオンもしくは塩化物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、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。
3. 今後の研究 a. 酢酸系イオン液体について模擬廃棄物の除染条件を精査し、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、除染性能の検証試験を行う。

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 塩化セシウム水溶液を用いて廃木材（スギ）にセシウムを吸着させた。塩化セシウム水溶液の濃度や攪拌時間、固液分離後の洗浄回数の違いによるセシウムの吸着量変化を調べ、その吸着特性を明らかにした。現在、ロータリーキルンを用いた、セシウム吸着後の廃木材の燃焼条件を検討している。燃焼後の主灰を模擬 Cs 含有焼却灰とし、水熱分解法による Cs 脱離試験を行う。
3. 今後の研究 引き続き、水熱分解法による模擬焼却灰からの Cs 脱離条件と脱離率の関係を調べる。また、半流通式水熱分解装置を用いて水熱処理中の亜臨界水を取り出すことにより、水熱処理中の Cs 脱離率を調べ、水熱分解法の高効率化に必要な条件を検討する。

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 汚染土壌を水熱処理することにより得られる Cs 含有洗浄水の模擬洗浄水を作製し、アルミノシリケート含有多孔質ガラスによる吸着試験を行った。その結果、Cs と Fe

が選択的に吸着され、Na が溶出した。Cs 吸着後の多孔質ガラスを加熱溶融し、ガラス固化後の Cs 固定化率の定量を行っている。

3. 今後の研究 プルシアンブルー類似体で濃縮回収された Cs を、ホウケイ酸ガラスを用いて固定化を行う。また、土壌及び焼却灰の水熱分解で水相に脱離した Cs を、アルミノシリケート含有多孔質ガラスに選択吸着させ、高温処理により固定化を行う。Cs を固定化したガラスの浸出試験を行い、Cs 固定化率と処理条件の関係を調べる。

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. 前年度までに、クラウンエーテル(CE)誘導体（ジベンゾ CE 系）を架橋剤とした高分子ゲルの合成及び Sr 抽出に成功した。また、Cs 回収能を有するプルシアンブルー類似体を高分子ゲル中に固定することに成功した。ジベンゾ CE に水素添加することにより得られるジシクロ CE は、Sr 抽出能が高いことが知られているため、ジシクロ CE 誘導体の合成を行っている。また、天然鉱物を利用した Cs、Sr 回収・固定化技術について、模擬海水中に非放射性 Cs 及び Sr を溶解した模擬汚染水を用いて 24 時間の吸着試験を行い、吸着特性を評価し、比表面積と Cs 及び Sr の吸着率との関係を明らかにした。b. ZnO を添加したホウ酸塩ガラスにより Cs を吸着したゼオライトの固化を行った結果、ゼオライトの充填率を増加させることで Cs とゼオライトの安定的な結晶であるポルサイトの形成が確認された。その浸漬試験を行った結果、焼結したゼオライトとガラス固化したゼオライトからの浸出特性に差異が確認された。

3. 今後の研究 a. 引き続き、プルシアンブルー類似体を CE 誘導体含有の親水性高分子ゲルで固定化した吸着剤を合成し、Cs、Sr 同時吸着試験を行い、最適な吸着条件を明らかにする。今後、天然鉱物を用いた多孔質セラミックスの微構造最適化を図り、Cs 及び Sr の吸着特性の向上及び固定化について検討するとともに、得られた多孔質セラミックスの Cs 及び Sr の吸着メカニズムを検討する。b. Zn を添加したホウ酸塩ガラスにより固化したゼオライトからの浸出特性を様々な条件で調査し、適切なガラス固化条件を明らかにする。また、Sr 等を吸着させたゼオライトについても同様に試験を行う。

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個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. 従来のリニアアレイセンサーによる計測システムを改良して、扇型セクターアレイセンサーを 2 個利用した計測システムのソフトウェア開発を行い、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改良を行った。また、JAEA の櫛葉遠隔技術開発センター

内の大型水槽にて計測するための課題抽出を行った。**b. c.** 廃炉作業に従事するメーカとともに共同研究を行い、高所狭隘箇所アクセス用のワイヤ干渉型多関節アームの試作機を開発した。より実的な実験環境として櫛葉遠隔技術開発センター内の大型水槽を用いて超音波による流速計測を行うため、試験装置の準備を行った。

3. 今後の研究 **a.** 本学の小型モックアップ施設を利用して予備実験を行うと共に、櫛葉遠隔技術開発センター内の大型水槽にて超音波計測を行い、本システムの信頼性向上を図る。**b. c.** 櫛葉遠隔技術開発センターのモックアップ環境において、センサ搬送と、超音波による流速計測を実現するロボットシステムを構築し、模擬漏水箇所特定実験を行う。

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 燃料デブリ取出し策として気中工法を適用した場合でも、デブリ周囲には水が存在する可能性がある。このため、原子炉圧力容器下部ヘッドなどに堆積したデブリを回収作業の一環として粉碎した際には、デブリ微粒子が水中に巻き上がることで再臨界に近づく可能性がある。巻き上がったデブリ微粒子に対する再臨界防止手段として、溶解性中性子吸収材を適用した場合、損傷した格納容器への連続注入が必要となる。このため本検討では、代替案として(1)定置型中性子吸収材、(2)準潜水型中性子吸収材の概念を検討した。

3. 今後の研究 概念検討の成果をふまえて、(1)・(2)の詳細仕様と再臨界防止効果の関係を検討する。

⑧メルtdown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 福島第一原子力発電所の燃料デブリを想定した臨界事故解析と線量評価の予備的解析を実施した。東工大で解析した積分型動特性モデルに基づく解析コードを用いて、水中にある固体燃料デブリに粒子状の燃料デブリが落下・蓄積した場合を想定した動特性の予備的な解析を行った。また、水中の燃料デブリでの核分裂によって発生する中性子線及びガンマ線による線量評価手法についての検討を行い、予備的な解析を実施した。

3. 今後の活動 燃料デブリによる臨界事故が発生した場合の放出エネルギー及び線量についての評価をさらにを行い、安全確保に有効な方策について検討を進める。

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 東京工業大学で廃止措置技術と人材育成に関するフォーラムを IRID 等と連携して開催、第3回次世代イニシアチブ廃炉技術カンファレンス(NDEC-3)の実行委員活動、「NDF 廃炉研究開発連携会議」、「JAEA・CLADS 廃炉基盤研究プラットフォーム運営会議」への参画・連携等を行った。

3. 今後の活動 今後とも、他機関の会議体等への参画を継続する。また、JAEA の櫛葉・富岡の施設を活用した人材育成活動・基盤的研究の検討を継続して行い、これらの施設を活用した効果的な人材育成活動・基盤的研究活動の実施を目指す。