

国際原子力人材育成イニシアティブ事業成果報告書

〈課題名〉

機関横断的な人材育成事業「日本アクチノイドネットワークによる原子力人材育成」

〈実施機関〉

独立行政法人日本原子力研究開発機構

〈連携機関〉

東北大学、東京大学、京都大学、大阪大学、九州大学、電力中央研究所

〈実施期間・交付額〉

22年度 12,505千円、23年度 9,028千円、24年度 9,459千円

〈当初計画〉

1. 目的・背景

アクチノイド科学を基礎とする核燃料関連技術は、原子力の基盤を支える技術であり、原子炉の開発のみならず継続的な運転に際して不可欠であるため、我が国の原子力の国際展開を図る上でもその人材育成は重要である。

我が国におけるアクチノイド研究者の連携体制である日本アクチノイドネットワーク（J-ACTINET）を強化するとともに、J-ACTINET と姉妹関係に当たる欧州 ACTINET との連携協力関係を構築し、大学生、大学院生、若手研究者などを対象にしたサマースクール及びウィンタースクールの開催ならびに欧州サマースクール及び国際会議への派遣により、講義、実習及び国際経験の機会を与えることで、原子力研究開発及び原子力産業の発展に必須であるアクチノイド科学に係る、より実践的な研究者・技術者を育成する。

2. 実施計画

原子力を学んでいない者も含めて、大学生、大学院生及び若手研究者などを対象に、より良い原子力システムの構築の際に欠かせないアクチノイドの物理的性質や化学的な特性を基礎的な観点から理解するアクチノイド科学の魅力に触れる機会を与えると同時に、国際舞台への参加を支援し、国際交渉力・コミュニケーション能力の向上、異文化の理解、及び海外情報の入手の機会を与える。

（1）サマースクール開催

アクチノイドならびに原子力に興味を持っている大学生、大学院生及び若手研究者などを対象に、アクチノイド基礎科学とその応用に関する講義及びアクチノイドを取り扱う実習を行うとともに、原子力施設などの見学を実施する。【平成 23 年度及び平成 24 年度】

（2）ウィンタースクール開催

アクチノイドならびに原子力に興味を持っている大学生、大学院生及び若手研究者などを対象に、アクチノイドの実験と計算科学を結び付ける講義及び第一原理計算、分子動力学計算、熱力学平衡計算などの計算科学の実習を行うとともに、原子力施設などの見学を実施する。【平成 22 年度、平成 23 年度及び平成 24 年度】

（3）欧州サマースクール派遣

アクチノイド研究を実施している大学院生、若手研究者などを対象に、欧州 ACTINET などが開催するアクチノイドの基礎科学や応用に関する欧州サマースクールへ派遣し、研修を受けるとともに、研究施設訪問などにより研究情報を収集させる。【平成 23 年度及び平成 24 年度】

（4）国際会議派遣

アクチノイド研究を実施している大学院生、若手研究者などを対象に、アクチノイド関連の国際

会議へ派遣し、研究成果を発表させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させる。
【平成 23 年度及び平成 24 年度】

(5) 欧州 ACTINET との連携協力関係構築

J-ACTINET と姉妹関係にあたる欧州 ACTINET から講師を招いて、ネットワークの維持・運営、人材育成、サマースクールなどについて、意見交換するとともに、双方のネットワークの連携協力関係を構築する。【平成 22 年度】

＜実施状況＞

平成 22 年度に実施予定であったウィンタースクール及び欧州 ACTINET との連携協力関係構築については、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により実施できなかったため、延期して、それぞれ平成 23 年 9 月に実施した。

サマースクール及びウィンタースクールの開催に際しては、J-ACTINET のホームページ及び原子力人材育成ネットワークのホームページなどにより参加者の募集を行い、受講の動機及び今後の抱負を基に審査した上で受講者を決定した。また、欧州サマースクール及び国際会議への派遣に際しても同様に募集を行い、応募の動機及び今後の抱負ならびにこれまでの研究活動を基に審査し、派遣者を決定した。

(1) サマースクール開催

平成 23 年 8 月 29 日～9 月 1 日にかけて 17 名（大学生 2 名、大学院生 10 名、社会人 5 名）参加の下、アクチノイド基礎科学とその応用及びシビアアクシデント時の燃料挙動に関する講義を東北大学金属材料研究所（茨城県大洗町）、原子力機構大洗研究開発センター及び東北大学東京分室において実施するとともに、照射済み燃料の γ 線スペクトル測定及び環境放射線測定の実習を原子力機構大洗研究開発センター及び原子力機構原子力科学研究所においてそれぞれ実施した。また、アクチノイドの研究施設である原子力機構大洗研究開発センターの照射燃料試験施設（AGF）及び原子力機構原子力科学研究所の燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）の見学を実施した。欧州 ACTINET から講師として 3 名を招へいし、研修用テキストを作成した。

平成 24 年 9 月 3 日～6 日にかけて 10 名（大学生 4 名、大学院生 3 名、社会人 3 名）参加の下、アクチノイド基礎科学とその応用及び原子力利用に関する講義及び原子力エネルギーに関するグループワーク・ディスカッション型の演習を京都大学原子炉実験所及び大阪大学大学院工学研究科等において実施するとともに、ウラン溶液を用いた吸光、蛍光及びラマン分光測定の実習を京都大学原子炉実験所ホットラボラトリにおいて実施した。また、アクチノイドの研究施設である京都大学原子炉実験所及び大阪大学大学院工学研究科の実験施設ならびに原子燃料工業株式会社熊取事業所の見学を実施した。さらに米国及び英国からアクチノイドの研究者 2 名を講師として招へいし、研修用テキストを作成した。

(2) ウィンタースクール開催

平成 23 年 9 月 5～7 日にかけて 18 名（大学生 3 名、大学院生 9 名、社会人 6 名）参加の下、アクチノイドの実験及び計算科学を結び付ける講義ならびに第一原理計算、分子動力学計算及び熱力学平衡計算などの計算科学の実習を東京で実施するとともに、原子力機構大洗研究開発センターの照射燃料試験施設（AGF）及び照射燃料集合体試験施設（FMF）の見学を実施した。また、欧州 ACTINET から講師として 2 名を招へいし、研修用計算機サーバーの購入、研修用計算プログラムの開発及び研修用 PC のリースを行うとともに、研修用テキストを作成した。

平成 24 年 3 月 14～16 日にかけて 16 名（大学生 4 名、大学院生 6 名、社会人 6 名）参加の下、アクチノイドの実験及び計算科学を結びつける講義ならびに第一原理計算、分子動力学計算及び熱力学平衡計算などの計算科学の実習を大型放射光施設（SPring-8）において実施するとともに、アクチノイドの実験に関連する SPring-8 の見学を実施した。また、欧州 ACTINET から講師として 1 名を招へいし、研修用 PC リース、アクチノイド計算科学研修用プログラム改良及び研修用テキストの作成を行った。

平成 25 年 3 月 11 日～15 日にかけて 19 名（大学生 2 名、大学院生 7 名、社会人 10 名）参加の下、計算科学の基礎及びアクチノイドの実験を含む核燃料の研究開発と計算科学を結びつける講義、ならびに第一原理計算、分子動力学計算及び熱力学平衡計算などの実習を水戸市の会場において実施

した。また、アクチノイドの実験に関連する研究施設として、原子力機構原子力科学研究所の燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）及び J-PARC の見学を実施した。また、アクチノイド計算科学研修用プログラム改良及び研修用テキストの購入を行った。

（３）欧州サマースクール派遣

平成 23 年度は 2 名（大学院生）を ACTINET-I3 サマースクール 2011（平成 23 年 6 月 14～17 日、ドイツ）へ、1 名（社会人）を F-BRIDGE スクール 2011（平成 23 年 9 月 18～23 日、英国）へ派遣し、研修させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。帰国後、J-ACTINET 海外派遣者報告会（平成 24 年 3 月 23 日、大阪大学）において、派遣によって得られた成果を報告させた。この報告会は、大学院生、若手研究者などを対象に広く告知し、公開とした。報告会の聴講者は 23 名（大学院生 16 名、社会人 7 名）であった。なお、うち 1 名については、日程の都合から、ウィンタースクールの中で報告させた。

平成 24 年度は 2 名（大学院生 1 名、社会人 1 名）を Plutonium Futures 2012 サマースクール（平成 24 年 7 月 10 日～13 日、英国）へ派遣し、研修させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。帰国後、公開の J-ACTINET 海外派遣者報告会（平成 25 年 3 月 15 日、水戸）において、派遣によって得られた成果を報告させた。報告会の聴講者は 15 名（大学生 2 名、大学院生 9 名、社会人 4 名）であった。

（４）国際会議派遣

平成 23 年度は 2 名（大学院生 1 名、社会人 1 名）を MIGRATION 2011（平成 23 年 9 月 18～23 日、中国）へ、1 名（社会人）を MS9（平成 23 年 6 月 5～9 日、ノルウェー）へ、1 名（大学院生）を The Annual Asia-Pacific Nuclear Energy Forum（平成 23 年 6 月 22～24 日、米国）へ派遣し、研究成果を発表させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。帰国後、公開の J-ACTINET 海外派遣者報告会（平成 24 年 3 月 23 日、大阪大学）において、派遣によって得られた成果を報告させた。なお、うち 1 名については、日程の都合から、サマースクールの中で報告させた。

平成 24 年度は 1 名（大学院生）を Goldschmidt 2012（平成 24 年 6 月 24 日～29 日、カナダ）、1 名（大学院生）を ATALANTE 2012（平成 24 年 9 月 3 日～7 日、フランス）、1 名（社会人）を 12IEMPT（平成 24 年 9 月 24 日～27 日、チェコ）、2 名（大学院生）を NuMat 2012（平成 24 年 10 月 21 日～25 日、大阪）へそれぞれ派遣し、研究成果を発表させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。帰国後、公開の J-ACTINET 海外派遣者報告会（平成 25 年 3 月 15 日、水戸）において、派遣によって得られた成果を報告させた。

（５）欧州 ACTINET との連携協力関係構築

平成 23 年 9 月 1 日～2 日にかけて欧州 ACTINET の主要メンバー 5 名を招き、J-ACTINET Meeting を開催した。日本側は 44 名（大学 15 名、研究機関 23 名、企業 5 名、大学院生 1 名）が参加した。欧州 ACTINET 側から 5 件及び J-ACTINET 側から 16 件の報告ならびに産業界からの参加者を含めたアクチノイド研究及び人材育成の必要性についてのパネルディスカッションを実施し、アクチノイドネットワークの維持・運営、人材育成、サマースクール等について、意見交換するとともに、双方のネットワークの連携協力関係を構築することに合意した。また、J-ACTINET のホームページの拡充及び英語版を作成した。



サマースクールにおける実習
アクチノイドを取り扱う実験に真剣
に取り組み、貴重な体験をした。



研究施設の見学実習
アクチノイド研究施設において、Pu、
Am などの試料を興味深く観察した。

表 1. 育成対象及び人数（結果）

実施項目	実施プログラム	育成対象者	育成人数（年度毎）		
1) サマースクール開催	アクチノイド基礎科学の講義と実習、ならびに原子力施設などの見学	アクチノイドならびに原子力に興味を持っている大学生、大学院生及び若手研究者など		17名	10名
2) ウィンタースクール開催	計算科学の講義と実習、ならびに原子力施設などの見学	アクチノイドならびに原子力に興味を持っている大学生、大学院生及び若手研究者など	18名	16名	19名
3) 欧州サマースクール派遣	研修と研究情報の収集	アクチノイド研究を実施している大学院生、若手研究者など（選抜者）		3名	2名
4) 国際会議派遣	研究成果の発表と研究情報の収集	アクチノイド研究を実施している大学院生、若手研究者など（選抜者）		4名	5名
参加人数（実績）			18名	40名	36名
（参考指標）			695	226	263
交付額/参加人数			千円/人	千円/人	千円/人

表 2. 実施スケジュール（結果）

項目	22年度 （四半期毎）				23年度 （四半期毎）				24年度 （四半期毎）			
① サマースクール開催					■				■			
② ウィンタースクール開催					■		■					■
③ 欧州サマースクール派遣				■	■				■			
④ 国際会議派遣				■	■			■	■	■		
⑤ 欧州 ACTINETとの連携協力関係構築					■							

＜成果と評価＞

当初計画していた事業はすべて実施し、人材育成に成果を挙げるとともに、人材育成を実施する体制やシステムの構築を進めることができ、今後の活動に生かせる有用な成果を得た。

（１）サマースクール開催

２回のサマースクールの開催により、アクチノイド基礎科学とその応用に関する講義、アクチノイドを取り扱う実習及び原子力施設の見学を実施した。講義の一部は外国講師による英語での講義とし、国際交渉力・コミュニケーション能力の向上を促した。

アクチノイドを対象とした基礎・基盤研究は、核燃料、再処理、地層処分などの原子力技術の根幹を支える欠くことのできないものでありながら、それらの取り扱いには特別な研究施設・設備が必要であり、「アクチノイドに触れる」機会が少なくなっていることに危機感を覚え、学生、若い研究者に、知識のみならず、直接ハードウェアに触れた実地教育が重要であると考え、企画したものである。アンケート結果などによると、実際にアクチノイドを取り扱った実習は、受講者にとって新鮮で貴重な体験となり大変好評であった。

また、福島原発事故後の開催であったことから、シビアアクシデント時の燃料挙動に関する講義を組み入れるとともに環境放射線測定などの実習を行い、福島原発事故及びその環境影響に対する正しい認識と知識を得てもらうとともに、関心が高まっている電力エネルギーの構成に関するグループワーク・ディスカッション及びプレゼンテーションを含む演習を組み入れて原子力発電の果たす役割について議論し理解を深めてもらうことにも努めたことは、受講者の関心とも一致し、たいへん有効であった。

また、アクチノイドを取り扱う実習では、実験室等の広さや指導する者の人数などから、受講者の人数に限りはあったものの、期待していた以上の成果が挙げたと認識するとともにテキストの作成、実習を行うに当たってのノウハウを蓄積することができ、今後の活動に有効に生かせる成果となった。

（２）ウィンタースクール開催

３回のウィンタースクール（計算科学スクール）の開催により、アクチノイドの実験と計算科学を結び付ける講義、第一原理計算、分子動力学計算及び熱力学平衡計算などの計算科学の実習ならびに原子力施設などの見学を実施した。講義の一部は外国講師による英語での講義とし、国際交渉力・コミュニケーション能力の向上を促した。

アクチノイドの物理的性質や化学的な特性を基礎的な観点から理解するアクチノイド科学の研究は、原子力技術の根幹を支える欠くことのできないものであり、実験とともに理論（計算科学）からの探求も重要であることから企画したものである。受講者に対しては、講義の聴講ばかりでなく、計算実習の結果をレポート報告させ、受講者の根本的理解を促した。アンケート結果などによると、講義、実習ともに好評であり、計算科学の基礎についてよく理解できた、さらに計算科学の勉強を進めていきたいという意見が多数あった。

また、福島原発事故を踏まえ、福島原発の廃止措置に向けた取り組みについての講義も行い、計算科学の基礎ともなるアクチノイドなどの挙動の基礎的理解が事故進展の解析や廃止措置技術の研究開発に大いに役立つことを理解してもらうことに努めたことは、受講者にとって福島原発事故は身近な問題でもあり、好評であった。

計算科学の実習では、１人１台のパソコンを準備し、本事業で開発したアクチノイド計算科学研修プログラムを用いて効果的かつ効率的に実施できるよう措置したことが有効な成果を挙げることに繋がったと思われる。また、研修用計算機サーバーの整備及び研修用計算プログラムの開発とともにテキストの作成は、今後の活動に有効に生かせる成果となった。

（３）欧州サマースクール派遣

２年間に５名を欧州サマースクールへ派遣し、研修させるとともに研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。アクチノイド研究を行っていく上で、国際舞台で活躍することは必須であることから、国際舞台への参加を支援し、国際交渉力・コミュニケーション能力の向上、異文化の理解及び海外情報の入手の機会を与えるために企画したものである。

派遣された者に義務付けた報告書の提出と報告会での発表から、研修等での成果と国際舞台での活躍や失敗、刺激を受けたことなど、貴重な体験をしたことがわかり、有用な成果を挙げたと思われる。

れる。

また、報告会を公開にしたことにより、大学院生、若手研究者などと活発な質疑応答がなされた。国際舞台の経験がないあるいは経験の浅い者にとっては、国際舞台へ活動の場を広げるに当たり、興味とともに不安があり、報告会において経験者の話を聞くことは、これから国際舞台へ活動の場を広げる彼らの背中を押す効果があると認識した。さらに当初は予想していなかった波及効果として、派遣成果を幅広く公表することにより、海外派遣の有効性をさらに高めたと思われる。

(4) 国際会議派遣

2年間に9名をアクチノイド関連の国際会議へ派遣し、研究成果を発表させるとともに、研究施設訪問などにより、研究情報を収集させた。

欧州サマースクール派遣の場合と同様に有用な成果を挙げたと認識するとともに、当初は予想していなかった波及効果として、海外派遣の有効性をさらに高める成果を挙げたとと思われる。

(5) 欧州 ACTINET との連携協力関係構築

J-ACTINET Meeting での欧州 ACTINET との議論をとおして、アクチノイド研究には特別な研究施設・設備が必要であり、その人材育成においては、研究施設での実習などを適切に取り入れることが重要であることを再確認した。研修生の視野を広げることになる欧州サマースクール等への参加及びネットワーク運営や実習などに係る情報の交換について、協力していくことで合意し、欧州 ACTINET との連携協力関係を構築できたことにより、本事業におけるサマースクール及びウィンタースクールへの講師の招へいならびに欧州サマースクールへの派遣などを効果的、効率的に進めることができ、これらは今後の活動においても有用であり、大変重要な成果を挙げたと認識している。

＜今後の事業計画・展開＞

福島原発事故以降、学生の原子力離れが起きていることから、人材の確保と育成をより強力に推し進めることが重要であると認識している。

- (1) J-ACTINET によるサマースクール開催などによる人材育成は、本事業の開始前から実施していたものであり、本事業を行うことにより、人材育成の機能がより強化された。今後も実施する方向で努力する。
- (2) 福島原発事故以降、人材育成を行う側の立場にも、本来の研究開発業務を進めることよりも事故対応の技術開発・研究開発に忙殺されるなど、変化が起きている。実施内容とともに、実施体制を見直して取り組むこととする。

＜整備した設備・機器＞

- (1) アクチノイド計算科学用サーバー1台（平成22年度整備、約1百万円）

ウィンタースクール（計算科学スクール）において、第一原理計算、分子動力学計算、及び熱力学平衡計算などの計算科学の実習用サーバーとして用いた。

＜その他特記すべき事項＞

本事業に参加した原子力機構の職員は、本来の業務として研究開発業務を行うことが求められており、大学生、大学院生に対する講義、実習等を行うことは、決して楽なことではない。しかし、多くの大学において、アクチノイドなどを取り扱える研究施設が極めて少なくなっている現状を懸念しており、原子力機構が所有する原子力研究施設を用いた実地の人材育成は、他機関では成しえない、我が国において極めて重要な事柄であるとの認識の下に事業を実施した。本事業の開始直後に東日本大震災及び福島原発事故が起き、本来の研究開発業務を進めることよりも、被災した研究施設の復旧、福島原発事故対応の技術開発に忙殺されながら、本事業を完遂した。

＜参考資料＞

（１）添付資料

- １） J-ACTINET サマースクール 2011
- ２） J-ACTINET Computational Science School 2011
- ３） J-ACTINET Meeting 2011
- ４） J-ACTINET サマースクール 2012
- ５） J-ACTINET 計算科学スクール 2012

（２）事業成果の公開事例、関連する文献

- １） J-ACTINET ホームページ (<http://www.j-actinet.jp>)
- ２） K. Minato, et al., J-ACTINET Activities of Training and Education for Actinide Science Research, Proc. Global 2011, (Invited) Paper No. Pa-III-4 (2011)
- ３） M. Osaka, et al., Actinide-handling Experience for Training and Education of Future Expert under J-ACTINET, Global 2011, Paper No. 391364 (2011)
- ４） 小無健司、他、J-ACTINET 計算科学スクール用の物性計算プログラムインターフェースの開発、日本原子力学会 2011 年秋の大会 (2011)
- ５） 小無健司、湊和生（編）、アクチノイド物性研究のための計算科学入門、出版：日本原子力学会 (2013)

評価項目に係る事項について

①課題の達成度（採択時の所見 対応を含む）	・ 〈成果と評価〉（１）～（５）に記載した。
②特記すべき成果（例：ネット ワーク化による人材育成機能 の強化等）	・ J-ACTINET への参加機関が増強され、人材育成を協力して実施する体制を強化することができた。 ・ 欧州 ACTINET との連携協力関係を構築し、ネットワークを国際化できたことにより、本事業を進める上でたいへん効果的、効率的であったとともに、今後の活動においても、たいへん有用な人材育成の機能を強化することができた。
③事業の継続状況・定着状況	・ 〈今後の事業計画・展開〉に記載した。 ・ J-ACTINET によるサマースクール開催などによる人材育成は、本事業の開始前から実施していたものであり、今後も実施する方向で努力する。
④成果の公開・共有の状況	・ J-ACTINET のホームページ（日本語、英語）を開設し、事業の案内、成果などの情報を発信した。 ・ 国際会議 Global 2011 において、本事業概要及び成果などについて 2 件の講演（内 1 件は招待講演）を行うとともに、会議論文として 2 件を公開した。 ・ 日本原子力学会において、「計算科学スクール用の物性計算プログラムインターフェースの開発」について、口頭発表した。 ・ 計算科学スクールのテキストを発展させ、「アクチノイド物性研究のための計算科学入門」を日本原子力学会から書籍として出版した。
⑤参加した学生数、原子力関係 機関への就職状況、公的資格取 得者数	・ 参加者総数 94 名の内訳は、大学生 15 名、大学院生 44 名、社会人 35 名であった。 ・ 大学生 15 名は、原子力関連の大学院へ進学した。 ・ 大学院生 44 名の内、21 名は原子力関係機関へ就職、7 名は非原子力機関へ就職、4 名は博士課程へ進学、12 名は進級した。 ・ 就職者の 75%は原子力関係機関である。