

平成23年度原子力人材育成プログラム実績報告書

1. 事業の名称

原子力研究基盤整備事業

2. 事業者

国立大学法人東京工業大学

3. 事業概要

事業タイトル「カリキュラム充実による原子力大学院教育基盤の整備」

東京工業大学大学院理工学研究科原子核工学専攻の修士課程学生に原子力の幅広い基盤的知識・技術を体得させるため、体験型カリキュラムである実験授業科目の実施及び高度化を行う。また、今後の原子力研究開発利用で非常に重要である核不拡散・核セキュリティに関する授業科目、並びに国際的に活躍できる原子力人材の育成のために社会コミュニケーション授業科目群等の実施及び高度化を行う。さらに、ティーチングアシスタント（TA）活動を通じた博士課程学生の人材育成を行う。

4. 事業の目的・目標

原子核工学専攻の教育基盤を整備し、「原子力の体系的かつ高度な知識・技術、他国の文化等を受け入れてそれを昇華させる力、及び国際コミュニケーション力を有し、将来、我が国の原子力界を先導し、世界で活躍する研究者・技術者」を育成することを目的としている。そのため本事業の目標は、Ⅰ. 授業科目「原子力基盤実験（2単位）」の実施・高度化、Ⅱ. 授業科目「グローバル原子力セキュリティ（2単位）」の実施・高度化、Ⅲ. 炉物理実験授業科目「原子核工学実験第一（2単位）」の実施・高度化、Ⅳ. 社会コミュニケーション授業科目群等の実施・高度化（具体的授業科目は、「原子核工学プレゼンテーション・スキル（2単位）」、「原子核工学ドキュメンテーション・スキル（2単位）」、「原子力とアジアの社会情勢（1単位）」、「技術者倫理（1単位）」、「社会的責任（1単位）」、「原子核工学研究リテラシー第一（2単位）」、「原子核工学研究リテラシー第二（2単位）」）、Ⅴ. ティーチングアシスタント（TA）活動を通じた博士課程学生の人材育成、である。

5. 実施概要

Ⅰ. 授業科目「原子力基盤実験（2単位）」の実施・高度化

前学期に、原子力材料・分析実験、原子力熱流動実験、放射線計測実験から構成される本授業科目を、修士課程1年生30名、および履修希望留学生1名を対象に実施した。

実験実施及び高度化のために、原子力材料・分析実験消耗品、原子力熱流動実験消耗品、及び放射線計測実験消耗品を購入した。また、原子力熱流動実験については、実験データ取得用PCを整備するとともに、安全弁オーバーホール及び第一種圧力容器性能試験を行った。

それぞれの実験は、担当教員及びTA2名で指導し、平成22年度に行った試行実験に基づいて作成したテキストに沿って実施した。

後学期には、受講学生が提出したレポートを分析し、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるように、平成24年度の実験内容の修正と教材の改善等を行うことにより授業科目の高度化を実施した。

以下に各実験について少し詳しく述べる。

1) 原子力材料・分析実験

原子力材料・分析実験では、288℃、70気圧の高温高圧水環境下での金属材料腐食を体験、解析することを通じて、原子力材料の主な評価手法を習得することを目的とした。1グルー

プを2班に分け、交互に試料を変えて次のように実施した。

<第1日目>

A班：

- ・熱分析実験：ジルコニウム化合物を熱分析装置にセットして、加熱しながら重量変化および吸発熱量変化を求める。
- ・X線回折測定と解析：水熱環境下にさらされたステンレス等の金属、及び熱分解後のジルコニウム化合物の粉末X線回折測定を行い、その結果を解析する。

B班：

- ・高温高压条件での定加重荷実験：あらかじめ計測準備したアルミニウム試験片を試験機にセットして、昇温と加圧を開始し、一定条件に達したら、引っ張り試験を行う。

<第2日目>

第1日目のA班とB班の内容を入れ替えて、高温高压試験についてはステンレス試料について測定する。

<第3日目>

A班：

- ・光学顕微鏡観察：高温高压水条件でA班が試験をした試験片について、光学顕微鏡を用いて表面観察し、写真を撮影する。(前半)
- ・走査型電子顕微鏡観察：高温高压水条件でA班が試験をした試験片について、走査型電子顕微鏡観察を用いて表面観察し、写真を撮影する。(後半)

B班：

A班の前半後半を入れ替えて、B班が高温高压水条件で試験した試料を観察する。



図1 高温高压材料試験機を用いた実験風景



図2 走査型電子顕微鏡を用いた実験風景

2) 原子力熱流動実験

軽水炉の炉心冷却に対する理解を深めさせるため、平成22年度に製作した沸騰二相流実験装置の熱流動試験部を用いて、模擬燃料棒まわりの非沸騰熱伝達、沸騰二相流、及びバーンアウトからなる熱流動実験を行わせた。なお、実験に先立ち、試験部の製作方法を体験させるため、ヒーターピンへの熱電対素線のスポット溶接と銅電極の銀ろう付けについて受講生に体験させた。また、原子炉の高速流動機器における課題を把握させるため、既設の水循環試験ループを用いて、キャビテーション現象の観察とその発生条件に関する流動実験も行わせた。さらに、軽水炉冷却システム等の大型熱流動装置の操作法を学ぶため、実験グループの協同による運転操作を体験させた。図3に熱流動実験における実験装置操作実習風景を示す。

実験方法の改善のため、高速度ビデオによる現象観察と画像収録システムを構築した。また、新規に購入したPCとネットワークおよびプロジェクタ、スクリーンを用いて、遠隔操作でデータ収録と実験状態の監視を行うシステムを開発した。実験項目の改善の可能性を探求するため、沸騰試験部を一時的に改造し、水位低下時の燃料棒からの崩壊熱冷却挙動を調べる実験を試行した。また、沸騰実験装置を使用するために不可欠な安全弁オーバーホール及び第一種圧力容器性能試験を行った。



図3 熱流動実験における実験装置操作実習風景

3) 放射線計測実験

実験に先立ち事前講義を行い、放射線と物質の相互作用、放射線測定の実験の概要等を解説した。実験を効果的に実施するため、1グループあたり約10名の履修者を3～4名の3つの小グループに分け、アルファ線測定、ベータ線測定、ガンマ線測定の3テーマに振り分けて同時進行させた。(図4、5参照) 授業終了後は、平成24年度に向けた授業の高度化を実施した。担当教員及びTAで、授業を通して見出された個別の問題点について議論し、また学生が提出したレポートの内容を分析した。これにより学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるように実験装置系及びテキストの改善等を行った。なお、実験内容の改善は必要に応じて授業期間中にも行った。



図4 アルファ線測定実験における阻止能測定用薄膜試料の準備



図5 ガンマ線測定実験における未知核種同定作業

II. 授業科目「グローバル原子力セキュリティ（2単位）」の実施・高度化

本授業科目では、3S (Safety, Security, Safeguard)の基礎を講義する。このため、平成22年度に作成した教材の改善・補強による授業開発を前学期に実施した。

後学期の授業実施においては、Safety (安全性)では大規模原子力事故・災害防護、緊急放射線被ばく対策等、Security (核セキュリティ)では核物質や原子力施設の防護、核物質の輸送時の核物質防護、輸出規制等、Safeguard (核不拡散・保障措置)では世界の核不拡散の最近の動向、核拡散抵抗性の高い原子力システム等を講義し、3Sについて科学的、技術的また外交的にどう対処すべきか、教員と受講生の間で双方向的に議論した。

また、実施した授業の分析を行うとともに、日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター等と連携して実習プログラムを検討する等、授業科目の高度化を実施した。

さらに、受講学生が提出したレポートを分析し、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるような教材の改善等を行うことによって授業科目の高度化を実施した。

Ⅲ. 炉物理実験授業科目「原子核工学実験第一（2単位）」の実施・高度化

当初、前学期に（株）東芝の臨界集合体（NCA）を用いて授業を実施する予定であったが、東日本大震災及び原子力発電所事故の影響のため、実験を後学期に延期した。

このため前学期には、原子力発電所事故に関連した実験項目の追加及び炉定数の高精度化等の授業科目高度化を実施した。

後学期には、事前講義を実施したうえでNCAを用いて実験授業を実施した。実験後、受講学生が提出したレポートを分析し、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるように、教材の改善等を行うことによって授業科目の高度化を実施した。

Ⅳ. 社会コミュニケーション授業科目群等の実施・高度化

前学期に、授業科目「原子核工学プレゼンテーション・スキル（2単位）」及び「原子核工学研究リテラシー第一（2単位）」を実施した。

後学期に、授業科目「原子核工学ドキュメンテーション・スキル（2単位）」、「技術者倫理（1単位）」、「社会的責任（1単位）」、「原子力とアジアの社会情勢（1単位）」及び「原子核工学研究リテラシー第二（2単位）」を実施した。

受講学生の授業理解状況を把握した結果、平成24年度からは「原子核工学ドキュメンテーション・スキル」を前学期に、「原子核工学プレゼンテーション・スキル」を後学期に開講することとした。また、「原子核工学研究リテラシー第一」及び「原子核工学研究リテラシー第二」については、受講学生が提出したレポート等を分析し、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるように、教材の改善等を行うことによって授業科目の高度化を実施した。

Ⅴ. ティーチングアシスタント（TA）活動を通じた博士課程学生の人材育成

演習・実験科目等のTA活動で修士課程学生を教えることにより博士課程学生の人材育成を図るため、上記Ⅰの1)～3)とⅢに2名ずつ、ⅡとⅣに1名ずつの計10名のTAを採用して配置した。前学期及び後学期終了時の9月28日と3月12日に教育成果報告会を開催して、各自の成果を報告させた。各報告と質疑応答について、出席教員が5段階評価を行った。また、年度末にTA活動報告書を提出させた。

6. 成果

Ⅰ. 授業科目「原子力基盤実験（2単位）」の実施・高度化

平成22年度に開発した、「原子力材料・分析実験」、「原子力熱流動実験」及び「放射線計測実験」の3課題からなる実験科目「原子力基盤実験（2単位）」を、担当教員およびTAの指導により前学期に実施することができた。修士課程1年生30名（全員）、及び履修希望留学生1名（修士課程1年）が履修した。すべての課題に関して、予定通りの内容を実施することができ、授業の目的である、原子核工学を修めるにあたっての基礎的な実験・測定技術を、体験を通じておおむね習得させることができた。後学期には、受講学生が提出したレポートを分析することにより、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるように、平成24年度の実験内容の修正と教材の改善等を行うことによって授業科目を高度化することができた。

1) 原子力材料・分析実験

平成22年度に作成したテキストに沿って、「原子力材料・分析実験」をTA2名の補助を得て行うことができた。90分の事前講義1回と、3グループ（各グループは約10名）のそれぞれに対して、195分の実験を3回実施した。実験では1グループをさらに2班に分けて、各班5名程度の少人数で実施した。その結果、原子炉用金属材料の炉心高温高圧環境下での腐食促進変形破壊現象と、関連する固体材料評価技術（機器分析技術）を習得させることができた。履修学生の提出したレポートの分析結果、大方の履修生には実験の意義や内容の理解ができていますが、一部にわかりにくい点や、各実験課題の連携した考察の不足等があり、また、時間的な制約があることが判明した。平成24年度に向け、これらの対策を

験内容の改善及びテキストの改善として織り込むことができた。

2) 原子力熱流動

軽水炉の炉心冷却における模擬燃料棒まわりの非沸騰熱伝達、沸騰二相流、およびバーンアウト、及び原子炉の高速流動機器におけるキャビテーション現象について、受講生のほぼ全員に体験的に深く理解させることができた。また、スポット溶接・銀ろう付け技術および大型熱流動装置の運転操作法を体験的に習得させることができた。これにより原子力熱流動を深く理解した人材の育成が達成できた。また、炉心冷却現象観察用画像収録システムとデータ監視遠隔操作収録システムを構築することができ、実験設備の改善・充実を行うことができた。

3) 放射線計測実験

実際の放射線源を使った体験的学習により教育的効果を上げることができた。ベータ線測定実験では、用意した吸収体の構造に若干の問題が見つかったが、TAを中心に平成24年度に向けた設計変更が検討され、その見通しが得られた。また、履修者の測定誤差に関する知識がやや不足していることが判明したため、平成24年度に向けて統計的揺らぎを実験的に確認するためのサブテーマを開発し、既に平成24年度版のテキストに反映させた。TA2名の放射線計測に関する知識及びスキルも大きく向上し、履修学生の指導補助に必要な実力を身に付けさせることができた。

II. 授業科目「グローバル原子力セキュリティ（2単位）」の実施・高度化

平成22年度に作成した教材の改善・補強を前学期に行い、3S（Safety, Security, Safeguard）の基礎で構成される本授業を後学期に実施することにより、原子力3Sの基礎を理解した人材を育成することができた。

また、実施した授業の分析を行うとともに、実習プログラムを検討する等、授業科目の高度化を実施することができた。さらに、受講学生が提出したレポートを分析し、学生の理解度を把握し、より高い理解度が得られるような教材の改善等を行うことにより授業科目の高度化を行うことができた。

III. 炉物理実験授業科目「原子核工学実験第一（2単位）」の実施・高度化

TAに、授業に使用するテキストの分析及び事前レポートの解析に必要な物理定数の評価を行わせた結果、福島原発事故に関連した実験テーマを取り入れることができ、また、より精度の高い事前解析が可能となり授業内容の向上を図ることができた。さらに、受講学生が提出したレポートの分析結果から、実験実施の後、学生による実験結果報告・討論の時間を持つのが有効と判断され、平成24年度の授業に反映されることとなり、授業科目の高度化を行うことができた。

IV. 社会コミュニケーション授業科目群等の実施・高度化

前学期に「原子核工学プレゼンテーション・スキル（2単位）」及び「原子核工学研究リテラシー第一（2単位）」、後学期に「原子核工学ドキュメンテーション・スキル（2単位）」、「技術者倫理（1単位）」、「社会的責任（1単位）」、「原子力とアジアの社会情勢（1単位）」及び「原子核工学研究リテラシー第二（2単位）」を実施することができた。このことにより、受講学生に、原子力の研究者・技術者等として世界で活躍するために必須な社会コミュニケーション力等を修得させることができた。

また、受講学生の授業理解状況を把握した結果、授業の順序を変えることや教材の改善等を行うことにより、授業科目の高度化を実施することができた。

V. ティーチングアシスタント（TA）活動を通じた博士課程学生の人材育成

それぞれのTA業務により、各自の専門的理解を深めただけでなく、学生を教えることにより本人自身が学んだり、よりよい実験が行えるようにテキストの改訂や装置の改良等で創意工夫をこらしたりする得難い機会となった。受講学生が提出したレポートから、必ずしも十分に

理解できていないことが判明したので、T Aからフォローアップを行うべきとの提案があったことは予期しなかった成果である。また、実験実施の際の安全を強く意識するようになったというT Aからの報告もあり、T Aが自立した研究者として育っていることが分かった。

7. 取組の評価と今後の展開

本事業では、原子核工学専攻の教育基盤を整備し、「原子力の体系的かつ高度な知識・技術、他国の文化等を受け入れてそれを昇華させる力、及び国際コミュニケーション力を有し、将来、我が国の原子力界を先導し、世界で活躍する研究者・技術者」を育成することを目的としている。3ヶ年計画の2年度である本年度は、初年度で整備した教育基盤を用いて授業科目を実施することが主な事業項目の一つであり、実際に実施したことによって修士課程学生に対して上記の人材育成を行うことができた。また、授業科目の高度化も主な事業項目であり、受講学生のレポート及びアンケート等を分析し、授業内容・実施方法等を含む教育基盤の改善を行った。また、博士課程学生10名をT A業務に就かせ、各授業科目の実施・高度化の補助を行わせることによって、博士課程学生に対して上記の人材育成を行うことができた。本年度の全事業項目に対する取組の実績を自己点検・評価すると、「当初予定した成果を挙げ、今後の継続的改善が期待できる」である。

最終年度の平成24年度には、今年度に改善した授業の実施、また更なる継続的改善を図り、上記の人材育成を効果的・効率的に推進することになる。