

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＞

施設・設備の共同利用の促進事業
「最先端研究基盤 JMTR 及び関連施設を用いた研修講座の新設」

＜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＞

無し

＜実施期間・交付額＞

平成 22 年度 23, 390 千円、平成 23 年度 7, 963 千円、平成 24 年度 3, 060 千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

原子力産業の世界展開を支援することを目的に、大学生、高専生、技術者等を対象に、日本原子力研究開発機構の照射試験炉 JMTR 及び関連施設を活用した実践的な研修を行う。これにより、照射試験のための照射設備の設計、照射試験炉の運転管理、照射後試験等の照射試験の一連の流れを体験させるための実習の機会を広く提供し、将来における原子力人材を育成する観点から、アジア諸国等への原子力発電所や試験研究炉建設を進めようとしている国内技術者や大学生、高専生等を年間 40 人程度育成することを目指す。

2. 実施計画

将来における原子力人材を育成するため、研修の準備、照射ラビットの照射実習を行うための照射準備、研修生の募集を行い、JMTR 及び関連施設を用いた実践的な研修を行う。

（1）研修準備

大学、高等専門学校等からのインターンシップ等に関する情報等を参考にして研修内容を検討して研修カリキュラムを策定すると共に、研修用テキストの作成及び照射試験に係る計算シミュレーション実習環境の整備を行う。

（2）照射準備

照射試料、フルエンスモニタ及び照射ラビット部材を製作して照射ラビットを組み立てると共に、照射試験の準備を行い、効果的に実習が行えるように備える。

（3）研修募集

大学、高等専門学校等に対して、平成 22～24 年度に実施する研修の募集を行う。研修の定員は、平成 22 年度は 10 名、平成 23 年度以降は各回 20 名とし、応募者多数の場合は、特定の大学等に偏らないよう公平・公正に選考する。

（4）研修

平成 22 年度は、照射試験の計算シミュレーションに関する実習を中心とし、日本原子力発電株式会社の教育訓練小型シミュレータを利用した運転実習も含めた研修を年 1 回実施する。平成 23 年度は、平成 22 年度よりもさらに体系的な研修として、照射試料の照射後試験、中性子照射量評価に関する実習等を追加した研修を年 2 回実施する。さらに、平成 24 年度は、文部科学省の「最先端研究基盤事業」補助対象事業に選定された「世界最先端研究用原子炉の高度利用による国際的研究開発拠点の整備－原子力研究開発テクノパークの創成－」の一環として整備する照射試験炉シミュレータを用いた運転実習を追加した研修を年 2 回行う。

＜実施状況＞

研修カリキュラムの策定、テキスト作成等の研修準備、照射ラビットの照射試験の準備及び研修生の募集を行い、平成 22～24 年度にかけて、大学生、高専生、技術者等を対象とした研修を計 5 回にわたって実施した。それぞれの実施内容を以下に示す。また、本研修の育成対象及び人数（結果）を表 1 に、実施スケジュール（結果）を表 2 に示す。

（１）研修準備

原子力産業の世界展開を視野に、将来における原子力人材を育成する観点から、JMTR、JMTR ホットラボ、照射試験炉シミュレータ等を活用した実践的な研修を行うこととし、研修内容を以下のとおり策定した。

JMTR の照射設備のうち、水カラビット照射装置を用いた照射試験を行うために必要な照射ラビットの核熱設計に係る計算シミュレーション実習を行うと共に、実際に照射ラビットの照射試験を行い、照射後試験や中性子照射量評価等の実習を行う。また、照射試験炉シミュレータを用い、照射試験炉の通常運転、照射試験、事故時等における運転操作実習を行う。ただし、JMTR の再稼働が平成 23 年度に予定されていることから、照射ラビットの照射試験、照射後試験及び中性子照射量評価の実習については、平成 23 年度から行う。また、照射試験炉シミュレータを用いた実習は、本シミュレータの共用を開始する平成 24 年度から行う。したがって、平成 22 年度は、照射ラビットの計算シミュレーション実習を中心とした研修を行う。

以上の研修内容を踏まえ、具体的な研修カリキュラムを策定した。なお、将来的に大学・高専等における教育カリキュラムに位置づけられるようにするため、研修カリキュラムの策定に当たっては、学生の知識レベルや研修時期について、製造メーカ等への大学生のインターンシップの経験を持つ長岡技術科学大学等と相談した。

次に、策定したカリキュラムに沿って、核計算、熱計算、放射化計算、照射後試験、中性子照射量評価及び放射線管理の研修用テキストを作成・印刷するとともに、照射試験に係る計算シミュレーション実習を行うための実習環境を整備した。

（２）照射準備

JMTR の水カラビット照射装置を用いた照射ラビットの照射試験を行うための準備として、照射試料、中性子束測定用のフルエンスモニタ及び照射ラビット部材を製作するとともに、照射試料及びフルエンスモニタを組み込み、照射ラビットの組立を行った。また、照射試験計画（照射条件、照射後試験項目等）を策定し、照射試験の準備を完了した。

（３）研修募集

夏期に研修講座を開設している東北大学等の教育機関に協力を仰ぎながら、大学、高等専門学校等に対して、電話、メール等により研修の案内を行うと共に、日本原子力学会誌や産学官連携原子力人材育成ネットワークのホームページに募集要項を掲載し、同ネットワークのニュースレターでも配信する等により広く研修参加を募った。その結果、応募者数は、平成 22 年度は 10 名、平成 23 年度は 35 名、平成 24 年度は 36 名（その後、応募者 1 名が業務の都合により受講を辞退）となった。

（４）研修

① 平成 22 年度研修

平成 22 年度は、平成 23 年 2 月 14 日～2 月 25 日（10 日間）に第 1 回研修を開催し、大学生 10 名が受講した。研修の実施内容を以下に示す。

JMTR の照射ラビットの設計実習に先立ち、原子力専攻以外の研修生の受講を考慮し、原子力の基礎（放射能と放射線、核分裂など）及び原子炉の理論（臨界解析、原子炉の中性子スペクトルなど）について講義を行うと共に、水カラビット照射装置を見学し、照射試験の方法や照射試験の一連の流れについて理解を深めた。

次に、JMTR の照射試験のための照射場評価で実績のあるモンテカルロコード MCNP を使用して、照射ラビットの設計のうち、核設計に係る計算シミュレーション実習を行った。本実習では、まず、原子炉で生じる臨界について理解を深めると共に、計算コードの使用方法について習熟するため、

基礎的な臨界計算シミュレーションを実施した。その後、照射ラビットの照射試験に関し、様々な照射条件を提示し、それぞれの条件下での照射試料の中性子束、中性子スペクトル等を求めるための計算シミュレーションを行うと共に、研修生同士で議論することにより、原子炉内の中性子環境についての理解を深めた。

照射後試験及び中性子照射量評価に関しては、講義及び施設見学によって内容の習熟を図った。また、日本原子力発電株式会社の教育訓練小型シミュレータを利用した発電用原子炉の模擬運転実習を行い、発電用原子炉の運転管理についても学ぶことで、発電用原子炉と試験研究用原子炉の違いについて理解を深めた。

② 平成 23 年度研修

平成 23 年度は、第 2 回研修を平成 23 年 8 月 20 日～8 月 31 日（10 日間）、第 3 回研修を平成 23 年 8 月 31 日～9 月 13 日（10 日間）に開催し、それぞれ大学生、高専生及び国内技術者 19 名及び 16 名が受講した。研修は、平成 22 年度の実施内容に、以下の研修内容を追加して実施した。

照射ラビットの熱設計に係る計算シミュレーション実習として、照射試験のための熱設計で実績のある熱計算コード GENGTC を使用し、照射ラビットについて、ガスギャップ寸法、熱膨張係数等をパラメータとした照射試料の温度評価に関する計算シミュレーションを行い、研修生同士で議論することによって、原子炉内の熱環境についての理解を深めた。

照射後試験実習として、JMTR ホットラボで、マニプレータによる遠隔操作、未照射試料を用いた引張試験、SEM を用いた破面観察、ラビット解体模擬用パイプを用いた遠隔解体作業等の実習を行い（図 1）、照射後試験の一連の流れや中性子照射した試料の取扱いについて理解を深めた。

中性子照射量評価実習として、中生子照射量評価に用いるフルエンスモニタの製作・解体作業の見学を行うと共に、ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定及び測定結果に基づく中性子照射量の評価計算の実習を行い、原子炉内の中性子照射量評価の手法について理解を深めた。

なお、平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震によって発生した東京電力福島第一原子力発電所事故に関連した講義も実施し、JMTR で全交流電源喪失事象が発生した場合の解析結果等を示すことにより、試験研究用原子炉の安全性についての理解を深めた。

③ 平成 24 年度研修

平成 24 年度は、第 4 回研修を平成 24 年 8 月 20 日～8 月 31 日（10 日間）、第 5 回研修を平成 24 年 9 月 3 日～9 月 14 日（10 日間）に開催し、それぞれ大学生、高専生及び国内技術者 20 名及び 15 名が受講した。研修は、平成 22 年度及び平成 23 年度の実施内容に、以下の研修内容を追加して実施した。

照射試験炉シミュレータによる照射試験炉の運転模擬実習を行った（図 2）。本実習では、原子炉の起動、出力上昇、停止等の定常運転に加えて、地震、全交流電源喪失事故等の事故事象、水力ラビット照射装置における照射ラビットの挿入・取出し等の照射設備の運転を模擬体験することにより、原子炉運転中に発生する定常及び非定常事象についての理解を深めた。

照射ラビットの照射試験を行い、データを取得する計画であったが、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、JMTR の運転計画変更により照射試験を行うことができなかったため、JMTR で実施された照射試験データ等を用いた研修のフォローアップを行うことにより、研修内容についてさらに理解を深めた。



図1 照射後試験実習の様子
JMTR ホットラボにおいて、マニプレータを用いた遠隔操作による照射後試験の実習を行った。



図2 シミュレータ実習の様子
照射試験炉シミュレータを用いて、照射試験炉の運転を模擬体験した。

表1. 育成対象及び人数（結果）

実施項目	育成対象者	育成人数（年度毎）		
		平成22年度	平成23年度	平成24年度
第1回研修	大学生	10名	—	—
第2回研修	大学生、高専生及び国内技術者	—	19名	—
第3回研修	大学生、高専生及び国内技術者	—	16名	—
第4回研修	大学生、高専生及び国内技術者	—	—	20名
第5回研修	大学生、高専生及び国内技術者	—	—	15名
参加人数（実績）		10名	35名	35名
（参考指標）		2324	228	87
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）研修準備			←→	←→			←→		
（2）照射準備			←→	←→	←→	←→			
（3）研修募集			←→	←→			←→		
（4）研修			□ 第1回	□ 第2回 □ 第3回			□ 第4回 □ 第5回		□ フォローアップ

＜成果と評価＞

（１）研修準備

JMTR、JMTR ホットラボ、照射試験炉シミュレータ等を活用した実践的な研修講座を確立した。本研修講座は、大学、高等専門学校における教育カリキュラムにおいて、インターンシップとして単位が認定されるようになった。

これにより、原子炉の運転、照射設備の設計、照射試験、照射後試験、中性子照射量評価等に係る実務的な実習を通して、原子炉内で中性子が発生してから消滅するまでのふるまいをイメージできる将来の原子力を担う貴重な人材の育成に資することができるようになった。

（２）照射準備

照射ラビットの照射試験を行い、取得したデータを実習に活用するため、計画通り照射ラビットを製作し、照射試験の準備を完了した。一方、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、JMTR の運転計画変更により照射試験を行うことができなかった。そのため、実際の照射試験を模擬した実習（模擬データ、模擬試料の使用等を行うと共に、JMTR で実施された照射試験データを用いたフォローアップを行うように工夫したことにより、本事業の目的の達成に影響を与えないようにすることができた。

（３）研修募集

大学、高等専門学校等に対して、電話、メール等を用いて研修生の募集を行った結果、3 年間で大学生、高専生、技術者、計 81 名の応募を得た（定員に対し約 90%の応募）。この 3 年間を通じて本研修講座が当機構内外に十分認知されることとなり、今後も年間 40 人程度原子力人材を育成するという当初の目標を達成できる見込みである。

（４）研修

平成 22～24 年度に計 5 回の研修を実施し、計 80 名の大学生、高専生、技術者が受講した。研修後に実施したアンケート等からは、様々な原子力施設を見学し、実際に現場の実務を体験できたことが非常に有意義であった、内容はやや難しかったものの、実習等を通じて照射試験、照射試験炉の運転管理及び原子炉内での中性子のふるまいについてよくわかるようになった、という意見が多く寄せられた。これらにより、研修内容について十分理解が深まったと言え、研修内容の有効性を確認できた。

＜今後の事業計画・展開＞

JMTR は 2030 年頃まで運転を継続することとしており、その頃まで今回確立した研修講座を継続して実施することにより、今後も将来の原子力を担う貴重な人材の育成に貢献していく計画である。

＜整備した設備・機器＞

（１）照射試験計算シミュレーション実習環境の整備（平成 22 年度整備、約 6 百万円）

計算機、ソフトウェア、カラー出力装置等の機器を取得し、計算シミュレーション実習環境を整備した。これにより、研修生 2～3 名が一組となり、照射ラビットの核設計及び熱設計に係る計算シミュレーション実習を実施することができた。

（２）照射ラビットの製作（平成 22～23 年度整備、約 15 百万円）

JMTR の水カラビット照射装置を用いた照射試験実習を行うため、照射ラビットを製作した。

＜その他特記すべき事項＞

本研修で講師を務めたのは、現場で実務を担当している職員であり、研修を通じて学生等の育成に対する貴重な経験を積むことで、教育指導に係るスキルアップを図ることができた。

＜参考資料＞

（１）添付資料

- 1) 研修用テキスト（核計算、熱計算、放射化計算、照射後試験、中性子照射量評価及び放射線管理）抜粋
- 2) JMTR を用いた第 1 回若手研究者研修講座の完了について（「国際原子力人材育成イニシアティブ」に係る公募事業）（独立行政法人日本原子力研究開発機構プレス発表資料）

（２）事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) 独立行政法人日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.html>)
プレス発表：JMTR を用いた第 1 回若手研究者研修講座の完了について（「国際原子力人材育成イニシアティブ」に係る公募事業）
- 2) The 4th International Symposium on Material Testing Reactors : Training Program for Students and Young Engineers in JMTR (2011)
- 3) International Conference of Young Scientists and Specialists, Current Issues on the Peaceful Use of Atomic Energy : Nuclear Human Resource Development Using JMTR and Related Facilities as Advanced Research Infrastructures (2012)
- 4) 2nd Asian Symposium on Material Testing Reactors : Training for Nuclear Human Resource Development at JMTR (2012)
- 5) JAEA-Review 2012-012 : 最先端研究基盤 JMTR 及び関連施設を用いた研修講座の新設 (2012)
- 6) JAEA-Review 2012-055 : 最先端研究基盤としての JMTR 及び関連施設を活用した研修 (2012 年度) (2012)

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）	本事業成果報告書<成果と評価>に記載のとおり、JMTR 及び関連施設を活用した実践的な研修を実施し、計 80 名の大学生、高専生、技術者が受講した。アンケート結果等から、照射試験、照射試験炉の運転方法及び原子炉内での中性子のふるまいについて十分理解されており、当初の目的である将来の原子力を担う貴重な人材の育成に資することができた。また、本研修は、大学、高等専門学校における教育カリキュラムにおいて、インターンシップとして単位が認定されることになった。
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）	原子炉施設や照射試験炉シミュレータ等を活用した実務的な実習を主体とした体験型研修講座を確立した。これにより、原子炉内での中性子のふるまい等について 2 週間という短期間で効果的に学べるようになった。
③事業の継続状況・定着状況	研修講座を確立してこれまでに 3 年間で計 5 回の研修を実施したことにより、当機構内外に対して、原子力人材育成のための実践的な研修講座として十分に認知され、定着している。今後は、JMTR が運転を継続する 2030 年頃まで平成 24 年度と同様なレベルで継続して研修を実施する計画である。
④成果の公開・共有の状況	当機構にて、本事業の実施についてプレス発表すると共に、国際会議、レポート公刊等により積極的に成果公開を行った。 また、当機構で実施している国外の若手研究者・技術者を対象とした研修や高専生を対象としたインターンシップに対しても、本事業の実施内容を一部活用することにより、国内外の原子力人材育成を積極的に推進した。
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	研修参加者 80 名のうち、学生は、大学生 23 名、大学院生 24 名、高専生 15 名の計 62 名（受講者のうち約 80%）。 就職状況、公的資格取得者数については、本研修事業では調査対象としておらず不明。