

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＞

復興対策特別人材育成事業「シミュレータと実験の融合による原子力安全エキスパート養成」

＜実施機関＞

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科

＜連携機関＞

国立大学法人大阪大学工学系研究科、国立大学法人東京工業大学原子炉工学研究所

＜実施期間・交付額＞

24年度22,690千円、25年度19,513千円、26年度15,482千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

福島第一原子力発電所事故はシビアアクシデントであり、そのプラント挙動を理解し、再発を防止するためには、炉内の挙動を正確に把握する事のできる人材が重要である。設計基準事故に関しては、安全設計などの場で、メーカーや事業者には人材が存在している。しかしながら、近年の新規設備立地が少なくなったこともあり、若手で安全設計を経験しているものは非常に少なくなっているのが現状である。特に、規制側の担当者は、メーカー出身者などの経験者が主であり、若手はほとんど居ない。このような現状で、原子力の基礎的な安全を担保する事が重要になってきている。このため、実際のシミュレーションコードを用いて、学生のうちから、安全設計を経験させ、かつ、design by analysis の思想と深層防護の思想を徹底的に叩き込むことが将来に向けて重要である。

このことから、本事業では、安全設計を良く知る特任研究員により、そのノウハウを学生に体験させることで、原子力の危険性を理解している人材を養成する。

このような経験が、シビアアクシデント時の炉内挙動の理解につながり、ひいては、事故の収束、安全な廃止措置の実効にもつながる。メーカーだけではなく、規制当局で安全を専門的に評価する技術官の養成も重要と考えている。

2. 実施計画

本事業では、シミュレーションコードを用いて原子力プラントシステムの挙動を解析することとともに、その基盤となる基礎的な伝熱流動現象の実験により理解することを学生に実施・修得させることにより、教育を行う。これにより、原子力プラントにおける伝熱流動現象に関して基礎知識を有し、これらの知識をベースとして、原子力安全シミュレーションコードを用いて適切に解析を実施し評価できる確かな人材を育成する。

(1) シミュレータ環境の整備

シミュレータ環境として、原子炉プラントにおける冷却材損失事故やポンプ軸固着といったいわゆる設計基準事象におけるプラント全体の応答挙動と併せて、福島第一原子力発電所で発生した過酷事故（シビアアクシデント）での過渡挙動を解析できるシミュレーションコードを用いる。具体的には、過酷事故事象解析コードである SAMPSON や、熱流動安全解析コード RELAP 等を用いる。これらを参画機関に配布し、育成対象とする学生が使用できるシミュレータ環境として整備する。これにより原子炉内でどのような現象が起きているのかの全体像を可視化によって理解させる。これらのコードは「機構論的モデル型」に分類される解析コードであり、原子炉内で生じる伝熱流動現象の素過程に対し、それぞれ実験により裏打ちされた機構論的モデル群を用いて構築されている。シミュレーションにより得られる解析結果は、システム挙動の全体像を把握させることと併せて、素過程の伝熱流動現象が複雑に関連しながら同時進行する結果として得られるものであるので、事象の発生原因やメカニズムを具体的にイメージする上で、各素過程である伝熱流動現象ならびにそ

れを的確に表現する機構論的モデルの構築が大変重要であることを認識させる。

(2) 実験実施環境の整備

実験環境として、原子炉内での伝熱流動やシビアアクシデント時に発現する現象の素過程として特に重要かつキーポイントとなるもののいくつかを対象として、現象を再現し測定できる実験装置を整備する。これら実験装置を用いて、現象ならびに測定法の理解をさせ、また測定データを用いた機構論的なモデリングの手法を紹介し実践させる。また対象とする伝熱流動現象に対して、上記解析コードにより現象の確認ならびに機構論的モデリングの有用性を確認させる。実験対象として具体的には、

- ・ パラレル沸騰チャンネル実験
- ・ 垂直流および水平流実験
- ・ 沸騰凝縮実験
- ・ 温度成層化実験

について、実験装置を構築し実験環境として整備する。本事業を実施する東京大学岡本研究室及び、参画機関である大阪大学片岡・吉田研究室と東京工業大学木倉研究室はこれまでもこれら実験についての装置構築や測定法、モデリングについて知見とノウハウを有している。大学の実験室での実施ならびに実施規模を鑑み、参画機関がそれぞれの実験について分担して実施することにより、数か所の実験教育拠点ネットワークとして整備する。育成対象の学生がこの拠点を回ることで、各拠点が連携して実験教育を実施する。また併せて、拠点間の人的・技術的交流を促進することで、将来にわたる原子力産業・研究に従事する人材のネットワーク構築の一助となる。

(3) シミュレータ環境による解析実施と教育

(2) で整備する実験装置それぞれに関連するシミュレーション手法の検討を行うとともに、教育手法を指導書の形でまとめる。主目的である人材教育は(4)で行うが、そこでの派遣期間は数日間に過ぎず、そこで普段の研究内容とは全く異なる実験および計算解析に関して十分に理解させるためには、入念な準備が必要となる。

計算コードには(1)で挙げたようなコードを対象とし、(2)で整備する装置による実験の結果と比較可能な解析とすべく計算内容を精査し、本項目を実施する。

(4) 学生の実験教育拠点ネットワークへの派遣と教育

(3) で整備された教育手法を用いて、実験とシミュレーションを用いた具体的な教育を実施する。本事業の主目的である、シミュレーション実施を通じた原子炉の具体的な挙動の把握と解析と、実験を通じた基礎的な伝熱流動現象の理解の双方の教育を行うため、各教育拠点において、シミュレーション実施を通じた原子炉の具体的な挙動に関する説明を行い、また、それに関連した実験と計算解析の両方を行う。それらの結果を比較検討することで、シミュレーションを行う際の条件設定や、得られた結果から状況判断や評価を適切に行うことができる人材を育成していく。他大学からを中心として、原子力系学科のみならず、機械工学、エネルギー工学等を専攻する大学4年生ならびに大学院生も学生の参加を募り、本事業の効果をさらに波及させる。派遣される学生の普段の研究を阻害することの無いよう、一般的な長期休暇の間に数日間の期間で行うこととし、実験・計算解析の後、発表会やレポートの提出を設定することで、自分で成果をまとめる機会を作り、教育内容がより効果的なものになるようにする。

<実施状況>

上記の計画を達成するため、H24年度の9月から本事業を開始し、ただちに主なシミュレータ環境の導入ならびに整備、実験装置の導入と整備を行った。H24年10月には東京工業大学で試行的な実習を一通り実施し、その成果を各拠点に報告・反映することで、H25年2-3月に全拠点での効果的な実習を行うことができた。また、H25年度は、H24年度の成果を基に実験装置の導入あるいは整備、シミュレータ環境の整備等を行い、H25年7-8月に上期の実習を、H26年2-3月に下期の実習を行った。また、ここまで得られた成果を活用して、東京大学原子力専攻(専門職)の原子炉実習(必修科目)における実習項目に関して、本事業で得られた成果を適用し、最終的な授業の単位として認められるなど、成果を拡大した。H26年度は各実験装置の整備とシミュレータ環境の整備を行い、H26年7-8月に上期の実

習を、また H26 年 12 月と H27 年 2-3 月に下期の実習を行い、それぞれ学生を派遣して十分な教育を行った。また、H25 年度と同様ここまでの成果を、東京大学原子力専攻(専門職)の原子炉実習(必修科目)における実習項目、ならびに同原子炉・ビーム実習における実習に適用して、成果を拡大した。

(1) シミュレータ環境の整備

本事業で実施する研修に必要なシミュレーションに用いるシミュレータシステムを整備した。H24 年度にシミュレーション用のシステムとしてサーバ・クライアントを導入、システムを構築し、H25・26 年度はその計算がさらに効率的に行えるようにシステム内環境を整備しながら運用した。整備したシミュレーションコードは下記の 4 種類とした。

- a. 原子力プラント熱流動解析 RELAP
シビアアクシデントを含むプラント内熱流動の基礎的な評価を行った。
- b. 原子力プラント動特性解析 RETRAN
プラント動特性を評価した。
- c. シビアアクシデント解析 SAMPSON
シビアアクシデントの総合解析を行った。炉外事象も評価する事ができる。
- d. 数値熱流体解析 OpenFOAM (フリーウェア)
シビアアクシデント時サプレッションプール内部などの熱流動を解析した。

そのほか、熱流動解析の補助として、市販コードでも特に広く用いられており各拠点が独自にライセンスを保有する FLUENT コードが拠点によっては用いられた。

(2) 実験実施環境の整備

本事業で実施する研修に必要な実験設備を整備した。シミュレーションとの融合を前提として、原子力安全に関連する基礎実験を選定し整備した。

A. パラレル沸騰チャンネル実験装置 (東京工業大学)

炉心で想定される沸騰チャンネルの流動を理解するための基礎実験を行った。本事業開始前までの間長期間メンテナンスされていなかったため、H24 年度は整備を中心に、H25 年度以降は引き続き実験実習を行うための保守を事前の試運転を中心に行った。

B. 垂直流および水平流実験装置 (東京工業大学)

流速分布を計測する事で、流動の基礎的な情報を理解するための基礎実験を行った。特に本装置は学生が近づいて自由に計測してみることが目的であるため、H24 年度は、フルプーフを中心とした本事業に適した形への装置改修を行い、H25 年度までに小規模な整備と保守を中心とした作業を行った。H26 年度ではさらなる安全に実習を行うための整備を目的とした可視化部配管周辺の改修と、実習のための保守を事前の試運転を中心に行った。

C. 沸騰凝縮実験装置 (大阪大学)

シビアアクシデントなどで想定される基礎的な沸騰凝縮現象を理解するための基礎実験を行った。H24 年度、H25 年度は装置の基本的な整備を行ったが、これまでに得られた実験結果を踏まえ、H26 年度には実験条件の拡張ならびに安全性向上のため、配管系の拡張と補修を実施した。併せて気液二相流測定のため、消耗品のプローブ交換を行い、実験実地環境を整備した。

D. 温度成層化実験装置 (東京大学)

シビアアクシデントで想定される凝縮時の熱流動現象を理解するための基礎実験を行った。H24 年度、H25 年度は装置の基本的な整備及び改造を行ったが、実施した実習結果を踏まえ、H26 年度では可視化のためのガラスを 2 層化して熱の逃げを防ぐとともに、安全性を高めるため、装置の構造強化を実施した。また、温度成層化のさらなる理解を促進するため、熱電対の追加改修も行った。

(3) シミュレーションによる解析と実習テキストの作成

H24 年度から H25 年度にかけて、(1) で整備するコードと (2) で整備する実験装置を用いた実習教育に向けた、教育手法の開発を進めてきた。具体的には、(2) で整備する実験装置それぞれに関連するシミュレーション手法の検討を行うとともに、教育手法を指導書の形でまとめてきた。H26 年度は開発してきた教育手法の成果を、実習テキスト化することによってまとめるとともに、

本プロジェクトの成果を次のプロジェクトに繋げることを目的として実施を行った。

なお、具体的な教育手法の開発内容は以下の通りである。

A. パラレル沸騰チャンネル実験装置（東京工業大学）

主として、(1) a、b、c のコードを用いたシミュレーション手法の検討・運用を行うとともに教育手法を指導書の形でまとめた。

B. 垂直流および水平流実験装置（東京工業大学）

主として、(1) a のコードを用いたシミュレーション手法の検討・運用を行うとともに教育手法を指導書の形でまとめた。なお、東工大が別途所有するコードについても検討対象とした。

C. 沸騰凝縮実験装置（大阪大学）

主として、(1) a、b、c のコードを用いたシミュレーション手法の検討・運用を行うとともに教育手法を指導書の形でまとめた。

D. 温度成層化実験装置（東京大学）

主として、(1) b、c、d のコードを用いたシミュレーション手法の検討・運用を行うとともに教育手法を指導書の形でまとめた。

本事業での成果をさらに広く展開するべく、実習テキストを基にした教科書を作成し、それを一般に公開することを企画している。各実習拠点で、実習を開催する毎に学生の意見を反映して実習テキストを改訂してきたが、実際に実習で用いるテキストは実習の補佐員が口頭で補足することも前提となっている。教科書を作成するに当たり、実習補佐員の説明がなくとも学生たちが理解できるように説明を大幅に増補し、教科書を作成した。その文を H26 年度下期の実習でのテキストとして用い、実際に使用して学生たちの意見を取り入れた上で、外部用の挨拶等を取り込んで改訂し、一般公開する教科書とする。

(4) 学生の実験教育拠点ネットワークへの派遣と教育

(3) で整備された教育手法を用いて、実験とシミュレーションを用いた具体的な教育を実施した。また、他大学からも学生の参加を募り、本プロジェクトの効果をさらに波及させた。

i) 東京工業大学 伝熱流動基礎実験演習

ii) 大阪大学 沸騰凝縮基礎実験演習

iii) 東京大学 シビアアクシデントマネジメント基礎実験演習

H24 年度は、10 月 東工大実施分 4 人、

2 月～3 月 東工大実施分 9 人、大阪大実施分 10 人、東大実施分 9 人が参加した。

H25 年度は、上期（8 月～9 月） 東工大実施分 8 人、大阪大実施分 6 人、東大実施分 5 人が参加した。

下期（2 月～3 月） 東工大実施分 6 人、大阪大実施分 7 人、東大実施分 7 人が参加した。

H26 年度は、上期（8 月～9 月） 東工大実施分 7 人、大阪大実施分 7 人、東大実施分 7 人が参加した。

下期（12 月、2 月～3 月） 東工大実施分 11 人、大阪大実施分 6 人、東大実施分 8 人が参加した。



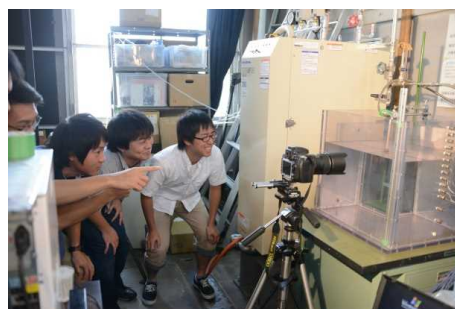
垂直流実験
平成 25 年 3 月 東工大実施分



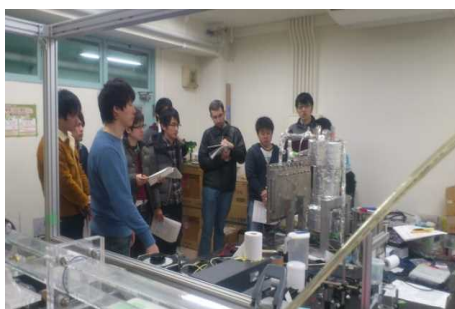
垂直流実験
平成 26 年 8 月 東工大実施分



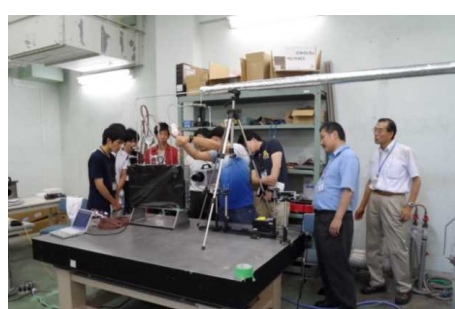
ディスカッション
平成 25 年 9 月 大阪大学実施分



沸騰凝縮実験
平成 25 年 9 月大阪大学実施分



温度成層実験
平成 24 年 2 月 東京大学実施分



温度と PIV 画像計測
平成 25 年 8 月 東京大学実施分



シミュレーション演習
平成 26 年 9 月 大阪大学実施分



結果解析
平成 26 年 2 月 東京大学実施分

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		
			24年度	25年度	26年度
1) シミュレータ環境の整備	(なし)	(なし)	0名	0名	0名
2) 実験実施環境の整備	(なし)	(なし)	0名	0名	0名
3) シミュレーションによる解析と実習テキスト作成	シミュレーション実習	対象コードに詳しくない、主として各拠点内部の学生	8名	12名	12名
4) 学生の実験教育拠点ネットワークへの派遣と教育	シミュレーションと実験の融合による原子力エキスパート育成	原子力系学科のみならず、機械工学、エネルギー工学等を専攻する大学4年生ならびに大学院生	32名	39名	46名
参加人数（実績）			40名	51名	58名
（参考指標）			567	383	267
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	24年度 (四半期毎)				25年度 (四半期毎)				26年度 (四半期毎)			
① シミュレータ環境の整備			←									→
② 実験実施環境の整備			←									→
③ シミュレーションによる解析と実習テキスト作成			↔		←		→		←		→	
④ 学生の実験拠点ネットワークへの派遣と教育				↔		↔		↔		↔		↔

＜成果と評価＞

本事業では、原子力系学科のみならず、機械工学、エネルギー工学等を専攻する大学4年生ならびに大学院生、また、最終的には4回生以下の学部生や各地の高等専門学校から学生を受け入れ、試行分のH24年10月を含み計6回の実習を各拠点で実施し、計117人の学生を実習に参加させることができた。参加者全員が発表会に参加するとともに、レポートの提出を行い、実習内容の整理とまとめを行った。実習ではシミュレーションコードによる原子力プラントシステムの挙動の解析と、その基盤となる基礎的な伝熱流動現象の実験による理解、この2点を両輪として行い、また、計算解析と実験の持つ長所・短所の理解とそれぞれを有効に用いることでどのような利益が生まれるかという事に関して全員で考察し、理解した。また、基本的に参加者全員を対象とするアンケートを行い、そのアンケートの内容によって実習内容を改良し実習テキストを改訂するとともに、学生の理解度をアンケートから推測、事業の到達度に関連する学生の意識の変化についても推測した。

（１）シミュレータ環境の整備・運用

シミュレータ環境として、メインサーバ1台とクライアント3台を導入し、メインサーバを東京大学の本郷キャンパス、クライアントを各拠点に設置して活用した。メインサーバとクライアント間でセキュリティを十分に考慮したVPN（仮想プライベートネットワーク）を構成し、各拠点からメインサーバを利用した高速計算を可能とするとともに、拠点間のデータ通信を可能とした。また、計算解析用のコードとして、過酷事故事象解析コードであるSAMPSON、熱流動安全解析コードであるRELAPおよびRETRANのライセンスを購入し、各拠点でできるようにした。これにより、当初予定にあるようなシミュレータ環境をハード・ソフトともに整えることができ、計算解析を十分実施可能とした。

ここで購入したサーバは引き続き計算用サーバとして使用することができ、また、解析コードに関してもRETRANは永続ライセンスであるため引き続き使用することができる。RELAPやSAMPSONに関してはライセンス契約を更新する必要があるが、引き続きの使用として導入の手間を省く形で今後も使用することができ、引き続いての成果が期待できる。なお、実習参加学生に対して行ったアンケートにおけるこのシミュレータ環境の整備に関する意見は特になかった。

十分な性能を持った計算サーバ（含むクライアント）を導入し、その間で通信を可能としたことで、十分な計算環境を整えることができた。比較的計算の負荷が大きいSAMPSONを用いた計算実習にはメインサーバが特に役立った。

（２）実験実施環境の整備

東京大学には温度成層化実験装置、およびその装置の改良・改修、大阪大学には沸騰凝縮実験装置を導入し、東京工業大学では以前に設置されて以来使用されていなかった、水平配管流実験装置・垂直配管流実験装置・パラレル沸騰チャンネル実験装置・凝縮実験装置を本事業用に整備して利用した。これらにより当初予定にあるような実験環境を整えることができ、実験実習を実施可能とした。

ここでの実験体系は、実習拠点で引き続き使用できるとともに、他の実験所等でも比較的容易に再現が可能なものであり、今回の事業成果報告とともに公開される実習テキストを参照することで、同様の実験を行い、また今回の実習内容をさらなる広範囲に適用することが可能となる。なお、実習参加学生に対して行ったアンケートにおける、この実験環境の整備に関して、特に普段は計算解析を主とし実験を行わない学生からは、自ら実験装置に触れて操作を行ったことで、実験データの取得に関する苦労を認識できたというような内容が多く見られた。

普段計算解析のみを行い実験に触れることの無い学生に対して、実験に触れて実際の流れの挙動をより深く認識してもらうために組み入れた実験実施環境であり、上記のようなアンケート結果を得られたという事は、当初の狙いを十分に達成することができたと言えるものである。

（３）シミュレーションによる解析実施と実習テキスト作成

シミュレーションの解析実施と実習テキスト作成に関しては、（１）で整備したシミュレータ環境を用いた。H24年度の各実習開始前に、シミュレーション解析の予行と、その結果を反映した実習テキストの整備を行い、また、H25年度にはそのH24年度の実習の結果を生かしたテキストの改訂と、それを用いた計算実習を（後の（４）とは別に）行った。H26年度はそれまでに作成した実

習テキストの改訂と、さらに、実習の補佐員による説明がなくても各実習内容が理解可能となるように、実習テキストの大幅な内容の増補を行った。

H26 年度に行った実習テキストの大幅な増補改訂により、実習の補佐員がいなくとも実習内容がほぼ理解できる教科書を作成するため、そのテキストによってここで得られた教育の成果を他所も利用することができる。改訂して作成した教科書は公開される予定であり、すなわち今回の教育による成果は、興味があればどこでも利用することが可能となる。なお、実習参加学生に対して行ったアンケートにおける、このシミュレーション解析に関して、特に普段は実験を主とし計算解析を行わない学生からは、シミュレーション計算のはしりに触れて、計算解析の大変さを認識できたというような内容が多く見られた。一方、期間が短くて満足な理解はできなかったという声も聞かれた。

普段実験のみを行い計算解析に触れることの無い学生に対して、計算解析に触れてどのようなことが実験をせずとも結果を得られるかというものを認識してもらうために組み入れたシミュレータ環境であり、上記のようなアンケート結果を得られたという事は、当初の狙いを十分に達成することができたと言えるものである。一方、満足な理解ができなかったという声は、元々計算コード自体がより時間をかけて習得するものであるものを、実習の全体説明を除いてほぼ一日か二日で理解しなければならず、人によっては困難なものであることは明らかであった。基本的には、今回の実習で興味を持って自主的に計算解析に関する勉強を続けてもらうよう、アンケート回答へのコメントとして返答をし、彼らの今後の研究につなげてもらえればと考えるところである。

(4) 学生の実験拠点ネットワークへの派遣と教育

実験拠点への派遣に関しては、(1)で整備したシミュレータ環境と、(2)で整備した実験環境、さらには(3)で整備した実習テキストを用いて、H24 年度は東工大での試行分を含む 32 人、H25 年度は上期と下期を合わせて計 39 人、H26 年度は上期と下期を合わせて計 46 人、のべ 117 人の学生が実験拠点に派遣され、実習を受けた(同一人の複数回受講を含む)。また、東京大学での授業として、本事業で整備した教育実習成果を適用した授業を東京大学大学院原子力専攻(専門職)の原子炉実習(必修科目)の一つとして行い、H25 年度に 18 人、H26 年度に 18 人が受講した。さらに同じく同成果を適用した授業を東京大学大学院の原子炉・ビーム実習の中の一つとして行い、H26 年度に 16 人が受講して成果の拡充を図った。

実験と計算解析を同時に実施し、その比較を行って考察することによって、実験と解析それぞれの長所・短所を理解し、それぞれを効果的に利用して状況判断や評価を適切に行うことができる原子力安全のエキスパートが育つ土台となると考えられる。なお、実習参加学生に対して行ったアンケートにおける、この実験と計算両方を行う実習に関しては、実験と計算解析の長所・短所を理解し、将来もその理解を忘れずに研究を進めていきたい旨の回答が多かった。

一つの研究室で実験と計算解析の両方を行っている大学の研究室は少なく、また、たとえそういった研究室の学生でも、実験で集めたデータとそれを再現するような計算解析の結果を比較してまとめるのという機会はない。そこで本事業を提案し、実施したわけであるが、予定より多くのほとんどの学生が実験と計算解析の違いを理解し、後の研究にも今回のことを生かしていきたいというアンケート回答をしてくれた。非常に今回の実習が有効に行われたことの証左であると自負するところである。

余談ではあるが、実習に外国人留学生が多数参加した場合において、実習の際に用いられる言語が英語主体となる場合もあったが、そういう場合の学生の感想として、「自らの英語力の不足を実感した」という感想も多く見られた。計画時にはほぼ意図していなかったことであるが、今回の実習が学生の語学力の意識向上に繋がった面もあったようである。

(5) その他(評価項目に係る事項に対する考察 等)

実験と計算解析を同時に実施し、その具体的な内容を学生に理解させることで、効果的な教育手法を確立する事が出来た。成果はテキストとして公開する。また、事業としては終了しているが、実験演習として継続的に教育に資する事を進めている。東京大学原子力専攻(専門職)の卒業生は、原子炉主任技術者筆記試験・口頭試験合格者も輩出しており、原子力発電所の安全に強く貢献してきた。

＜今後の事業計画・展開＞

本事業の成果の展開を容易にするために、本事業で行った実習テキストに大幅な増補改訂を行い、実習の補佐員による説明がなくとも実習の内容を理解できる程度にテキストにまとめ、教科書という形にして公開する。これにより、各所で同様の実習を行い、教育の対象をより広めることが可能になる。また、実際に本事業による実習を受けた学生には、実習の復習が容易となり、さらに深い理解への糸口となる。

(1) 教科書による自習

本事業で作成した実習テキストを増補改訂し、実習の補佐員による説明がなくとも実習内容が理解できる程度に整備した。また、このテキストを使用した実習を H26 年度の 3 月に行い、そのテキストの検証も行った。そのようにして得られた実習テキストを、外部向けの言葉を加えて改訂し、教科書とする。その教科書を公開することで、本事業により得られた成果を広く適用しやすくする。実験装置に関しても細かく説明を加え、また、装置自体は購入が容易な部品で構成されているため、興味があり十分な場所がある実験場等であれば実験装置を再現することが容易であり、教科書を使って本事業の成果を使用できるようにする。

(2) 東京大学での実習での使用の継続

上記成果と評価に記載したとおり、本実習での成果は既に東京大学原子力専攻(専門職)の必修科目として適用され、その実習を受けた学生が多数原子炉主任技術者筆記試験・口頭試験、核燃料取扱主任者試験に合格してきた。今後も同様に実習を行う事を予定している。

(3) 実習テキストによる復習

本事業には学内での予備実習的なものを含めてのべ 149 人の学生が参加したが、実習期間には制限があり、中には実習内容への質問あるいは興味を持ったことへの回答が十分得られなかった学生もいた。また、実習により得た知識に関しても忘却するようなことが起こり得る。そのような場合に、上述の教科書を再読することによって、当時回答が十分でなかったことに関する補足説明を読みより深い理解につなげること、あるいは記憶を思い出し実習の成果をより確実なものにすることが期待できる。

＜整備した設備・機器＞

(1) メインサーバ 1 台（平成 24 年度整備、約 3 百万円）

メインサーバを東京大学本郷キャンパス内に設置し、VPN を利用した SSH 通信によって下記に示す他大学に設置したものを含めたクライアントと連絡を取れるようにした。本サーバを通して各大学間でのデータのやり取りが可能にようにした。実習の際には計算ジョブをこなした。

(2) クライアント 3 台（平成 24 年度整備、約 2 百万円）

東京大学・東京工業大学・大阪大学の三拠点にそれぞれ 1 台ずつ配置した。本クライアントは計算の補助も行うとともに、上記メインサーバで計算を行う時の端末としても用いられた。

(3) 沸騰・凝縮実験用電気ボイラー 1 台（平成 24 年度整備、約 1 百万円）

大阪大学での沸騰凝縮実験実習を行う際に不可欠な蒸気を安定して供給する装置として用いられた。

(4) 凝縮槽温度成層化試験装置 1 台（平成 24 年度整備、約 1 百万円）

東京大学での温度成層化実験実習を行う際に、その主たる実験装置として使用した。

＜その他特記すべき事項＞

本事業の途中経過に関しては H26 年 3 月に行われた日本原子力学会春の年会において発表された。また、本事業による実習によって、熊本工業専門学校の学生 2 名が学外授業の単位を認められている。

<参考資料>

(1) 参考資料

- 1) シミュレータと実験を融合した原子力安全実習（テキスト）

(2) 事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) 日本原子力学会 2014 春の年会 タイトル：「シミュレータと実験の融合による原子力安全エキスパート養成」事業の経過報告（2014）
- 2) シミュレータと実験を融合した原子力安全実習（テキスト）、
<http://www.utvis.com/text/>（2015 年秋公開予定）

評価項目に係る事項について

①課題の達成度（採択時の審査評価委員会所見への対応を含む。）	シミュレータと実験を融合した原子力安全を理解した学生を成果と評価に記載するように 117 名と多数輩出する事が出来た。学内での予備実習的なものも合わせると 149 名となる。 審査評価委員会所見として、単位化に関してのコメントがあったが、上記のように 2 名の学生に関しては単位を取得しており、また、東京大学原子力専攻（専門職）の必修科目の一つとして取り込むことができた。
②特記すべき成果	東京大学・東京工業大学・大阪大学と、複数個所において実習を実施した。北海道から九州まで、日本中の学生が参画する事が出来、原子力安全に対する人材の強化を進める事が出来た。 また、テキストをホームページにおいて出版予定であり、本事業の成果を広く公開する予定である。この事によって、3 大学だけではなく、複数の大学において、予算が必要ではあるが、同様の教育が可能となる。
③事業の継続状況・定着状況	各大学の実験演習として継続する事を検討中である。東京大学原子力専攻（専門職）の必修科目についても、継続を検討している。
⑤ 成果の公開・共有の状況	成果物であるテキストを、ホームページにおいて公開予定である。この事によって、他の大学においても同様の教育が可能となる。
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	参加した学生は、117 名であるが、その就職状況は、一部の学生が卒業後日立や東芝等のエネルギー関連産業に携わっている。多くの学生が修士課程、博士課程に在学中である。 なお、東京大学原子力専攻（専門職）の必修科目における実習としては、平成 25 年度に 16 名、平成 26 年度に 17 名が受講した。このうち、原子炉主任技術者筆記試験合格者は、平成 25 年度 16 名、平成 26 年度 12 名である。また、核燃料取扱主任者試験は、それぞれ 15 名、10 名が合格している。彼らの所属先は、主として電力会社、メーカー、研究機関及び原子力規制庁である。