

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「機関横断的な人材育成事業「耐震原子力安全技術者育成のための実践的な教育体系の構築」

<実施機関>

東京都市大学工学部原子力安全工学科

<連携機関>

東京電機大学理工学部電子・機械工学系、神奈川大学工学部機械工学科、日本原子力発電株式会社、株式会社東芝、(国研)日本原子力研究開発機構

<実施期間・交付額>

27年度4,507千円、28年度3,954千円、29年度4,059千円

<当初計画>

1. 目的・背景

本事業は、東京都市大学及び原子力関連学科を有する大学等からの実習の希望者を受け入れ、原子力関連施設等の見学、外部連携機関のプラントシミュレーション設備及び地震リスク解析コードを用いた実習、産業界の専門家による特別講義、並びに国際シンポジウムの運営への参加を通して、国際的にも大いに活躍できる原子力施設の耐震安全性に携わる技術者の育成を図ることを目的とする。

2. 実施計画

我が国において、今後さらに重要となる原子力施設の耐震安全性に携わる技術者として必須な耐震安全工学に関する様々な知見と即戦力的スキルを修得し得る教育体系を構築することで国際的にも大いに活躍できる耐震安全技術者を積極的に輩出していくために、学生が耐震安全を体感し、実務に触れ、さらに国際的感覚を養うことで耐震安全工学に関する様々な知見をより深いレベルで理解し、修得することを目標とする教育体系を整備する。

(1) 原子力関連施設見学

原子力関連施設見学は、地震や原子力施設を体感的に理解する狙いがあり、高専生或いは低学年の学部生を対象に、断層現場、地震津波等の被災箇所、研究機関、原子力発電所、燃料工場等の原子力関連施設を見学する。

(2) プラントシミュレータ実習

原子力プラントのシビアアクシデント時のシミュレータ実習は、日本原子力発電株式会社東海総合研修センター等の設備を利用、高学年の学部生を対象に3日間程度の実習を計画し、地震発生時の原子炉一次系配管破断事故、全交流電源喪失事故、炉心損傷事故等のプラント挙動と状況判断や対応操作等の課題を行う。

(3) 耐震安全工学特別講義

耐震安全工学に係る特別講義は、耐震安全工学、原子力危機管理や原子力施設のリスク評価等に係る基礎からの専門的な内容とし、これらの技術と社会との関連を意識した実践的で高度な授業を、産業界等の専門家を招いて集中講義等の形態で行う。

(4) 耐震安全工学特別講義

耐震安全工学にかかる国際シンポジウムの開催運営は、大学院生が中心となり運営を行い、当該分野の国内外の専門家を招聘し、年間1回、本学において国際シンポジウムを開催することを計画している。このために必要な、枠組みを検討し、必要に応じて本学教員がサポートする体制を整え

る。

(5) 耐震安全工学特別講義

耐震リスク評価実習は、①地震による炉心損傷リスクを評価するコード及び②地震時の過酷事故進展解析コードを導入し、地震の大きさと発生頻度を解析する地震ハザード評価、建屋及び機器の損傷確率を解析するフラジリティ評価及び事故の発生確率を評価する事故シーケンス解析、地震時の過酷事故進展解析を実習する。

＜実施状況＞

本事業は、東京都市大学及び原子力関連学科を有する大学等からの実習の希望者を受け入れ、原子力関連施設等の見学、外部連携機関のプラントシミュレーション設備及び地震リスク解析コードを用いた実習、産業界の専門家による特別講義、並びに国際シンポジウムの運営への参加を通して、国際的にも大いに活躍できる原子力施設の耐震安全性に携わる技術者の育成を図ることを目的として実施した。

(1) 原子力関連施設見学

平成 27 年度は、平成 28 年 3 月 7～9 日に核融合科学研究所、JAEA 東農地科学センター、根尾谷断層博物館、敦賀原子力発電所、浜岡原子力発電所を見学先に選定し、学外からの学生の参加も受け入れ合計 27 名にて実施した。

平成 28 年度は、平成 29 年 2 月 20～22 日に東北電力株式会社仙台火力発電所、女川原子力発電所、同 PR 館、三居沢水力発電所、シーパルピア女川を見学先に選定し、学外からの学生の参加も受け入れ合計 25 名にて実施した。

平成 29 年度は、平成 30 年 2 月 7～9 日に環境科学技術研究所、日本原燃株式会社六ヶ所事業所、核融合技術研究所を見学先に選定し、学外からの学生の参加も受け入れ合計 25 名にて実施した。本事業費より見学学生、引率教員の旅費の補助を受け、本項目は実施した。

(2) プラントシミュレータ実習

シビアアクシデント時のプラント挙動や事故収束のためのプラント操作を日本原子力発電株式会社東海総合研修センターのプラントシミュレータにより体感的に学ぶための教材を平成 27 年度に開発した。

平成 28 年度、平成 29 年度は、開発した教材およびプラントシミュレータによる実習を、各々平成 29 年 2 月 13～15 日および平成 29 年 8 月 7～9 日に行い、それぞれ 16 名の学生の参加を受け入れた。

(3) 耐震安全工学特別講義

本学教員に加えて、産業界等の専門家を招聘し、耐震安全工学や原子力危機管理、原子力施設のリスク評価等に関する特別集中講義を実施した。平成 27 年度は、平成 28 年 2 月 17, 18 日に集中講義で電力中央研究所、東京大学、日本原子力研究開発機構から専門家を招聘し、19 名の受講者を受け入れ実施した。

平成 28 年度は、平成 28 年 9 月 27 日から平成 29 年 1 月 24 日まで、毎週火曜日に合計 14 回の講義を実施した。講師は電力中央研究所、東京大学、東京電機大学、日本原子力研究開発機構より招聘し、33 名の参加を受け入れた。また、履修登録を行った 17 名について、履修単位を付与した。

平成 29 年度は、平成 29 年 9 月 26 日から平成 30 年 1 月 16 日まで、毎週火曜日に合計 14 回の講義を実施した。講師は電力中央研究所、東京大学、東京電機大学、日本原子力研究開発機構より招聘し、25 名の参加を受け入れた。また、履修登録を行った 22 名について、履修単位を付与した。

(4) 国際シンポジウムの開催運営

耐震安全に関する最新の知見を国内外の専門家から得ることや、海外機関等との折衝を通して国際的な感覚を養うことを狙いとし、大学院生が中心となり国際シンポジウムの運営・開催を行った。

平成 27 年度は、平成 28 年度以降に実施する国際シンポジウムの準備として、運営する学生の募集決定（5 名）し、シンポジウムの概要検討を行った。さらに次年度以降に国外から招聘する予定

の講師との打合せを実施し、シンポジウムの趣旨説明や講演依頼および要望する内容の伝達を行った。打合せの実施には本事業費により旅費の補助を受けた。

平成 28 年度は、平成 28 年 11 月 30 日に「原子力安全のイマと未来について考えるシンポジウム」のタイトルで、東京都市大学世田谷キャンパスでシンポジウムを実施した。本学学生及び大学院生、本学教員、外部から合計約 50 名の参加者を得た。海外からの講師は Mr. Ting Chow (Convener for Seismic Review, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Taiwan), Dr. Sunggook Cho (CEO, R&D Center, Innose Tech Co., Ltd.) の 2 名を迎え、基調講演を頂き、加えて本学大学院生、東京電機大学大学院生、早稲田大学大学院生が、テーマに沿ったプレゼンテーションを行った。

平成 29 年度は、平成 29 年 12 月 1 日に「原子力耐震・安全の国際シンポジウム -10 年後の技術・人・ヴィジョン-」のタイトルで、東京都市大学世田谷キャンパスでシンポジウムを実施した。本学学生及び大学院生、本学教員、外部から合計約 50 名の参加者を得た。海外からの講師は Dr. Sunggook Cho (CEO, R&D Center, Innose Tech Co., Ltd.) を迎え、加えて本学から鈴木教授、大鳥教授から基調講演を頂き、本学大学院生、早稲田大学大学院生、韓国 Kookmin University の大学院生が、テーマに沿ったプレゼンテーションを行った。

(5) 耐震リスク評価実習

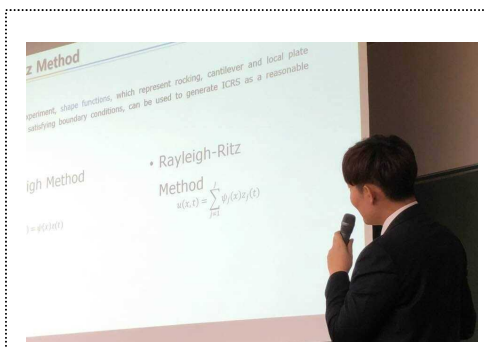
シビアアクシデント時の原子力プラント挙動と地震時のリスクに対する理解を高めることを狙い、地震リスク評価コード及びシビアアクシデント進展解析コードを用いた実習を行った。

平成 27 年度は、翌年度以降の実習の準備として、実習カリキュラムの構築、内容の検討、テキストの作成を行い、妥当性確認のために平成 27 年 3 月 18 日に本学学生を対象とした予行演習を行った。

計画に基づき、平成 28 年度は平成 28 年 8 月 29～31 日に 25 名の参加者を、平成 29 年度は平成 29 年 8 月 30 日～9 月 1 日に 14 名の参加者を受け入れて本実習を実施した。本実習は、本事業費の補助を受け、解析コードおよび実習用の PC20 台を導入し、実習生一人につき可能な限り個別の解析環境を用意することで、効率的に実施した。



耐震リスク評価実習
平成 29 年度に実施した実習の一コマ



国際シンポジウムの開催運営
平成 29 年 12 月 1 日に実施したシンポジウムの一コマ



原子力関連施設見学
平成 28 年度に実施した原子力関連施設見学のうち被災地女川町の様子



国際シンポジウムの開催運営
平成 28 年度に実施したシンポジウムのポスター

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		
		27年度	28年度	29年度
(1) 原子力関連施設見学	原子力安全工学科学生, 共同原子力専攻大学院生, 学外学生	27名	25名	25名
(2) プラントシミュレータ実習	原子力安全工学科学生上級生, 共同原子力専攻大学院生, 学外学生		16名	16名
(3) 耐震安全工学特別講義	原子力安全工学科学生上級生, 共同原子力専攻大学院生, 学外学生, 若手技術者	19名	33名	25名
(4) 国際シンポジウムの開催運営	(運営) 共同原子力専攻大学院生, (参加) 学内外学生, 若手技術者	5名	5名 (参加者 50名)	5名 (参加者 50 名)
(5) 耐震リスク評価実習	原子力安全工学科学生, 共同原子力専攻大学院生, 学外学生, 若手技術者		25名	14名
参加人数（実績）		51名	104名	85名
（参考指標） 交付額/参加人数		98千円/ 人	44千円/ 人	54千円/ 人

表 2. 実施スケジュール（結果）

項目	27年度 (四半期毎)				28年度 (四半期毎)				29年度 (四半期毎)				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
(1) 原子力関連施設見学			□				□					□	
(2) プラントシミュレータ実習		←	→			←	→		←	→		←	→
(3) 耐震安全工学特別講義			□			←	→			←	→		
(4) 国際シンポジウムの開催運営		←	→			□				□			
(5) 耐震リスク評価実習		←	→			□				□			

〈成果と評価〉

本事業の各実施項目を通して、延べ 240 名の学生、若手技術者に対し、原子力関連施設見学、プラントシミュレーション実習、耐震安全解析実習、耐震安全工学特別講義及び耐震安全に係る国際シンポジウムの開催運営の枠組みの整備、並びに関連する教材を整備することによる教育体系にて国際的にも大いに活躍できる原子力施設の耐震安全性に携わる技術者の育成を図った。以下に項目ごとに評価を示す。

(1) 原子力関連施設見学

様々な施設の見学を行ったが、学生にとって初めて見学する施設も多く、学生の声を聞くと原子力関連施設を具体的にイメージすることができるようになったとの声が多かった。また、見学先の各団体殿には格別の配慮を頂き、一般の見学コースではアクセスできない所を見学でき、当初の期待通りの成果を得られたものと考えられる。発電所を始め、様々な原子力関連施設の具体的なイメージを持つことで、授業等の座学での理解度の向上や卒業研究等における対象施設の現実的な想定、さらには将来発電所や関連施設で働く具体的なイメージを持つことで就業につながる等の人材育成の成果が期待できる。

一方で、初年度は二泊三日の限られた日程で最大限の効果を得るために非常にタイトなスケジュールを組んだが、学生の声として、移動距離が長くなり体力的にきつかったこと、見学先での時間が十分取れなかったことが挙げられた。これらを反省点とし、2 年目以降、新幹線を使用する等、長距離移動を効率的に行うようにしたが、これによりスケジュールに余裕が生まれ、スケジュールに関する不満は聞かれなかった。

(2) プラントシミュレータ実習

日本原子力発電株式会社東海総合研修センターのプラントシミュレータを使用した実習であり、実際の原子力発電プラントの中央制御室を模した設備により事故時のプラント挙動を体感的に理解できたとの声が多かった。また、様々な事故の進展を模擬し、バックアップの炉心冷却操作、格納容器ベント操作等を体験し、これらの対応操作によりプラントの挙動がどのように変化するか、実感を持って理解できたとの感想があった。これらのことから当初の期待通りの成果を得られたものと考えられる。

更にはこの体験により、原子力の安全研究に興味を持ちそのような研究を志向する学生もおり、本事業が目標とするところの将来の人材育成にも十分な成果が期待できる。

本実習を実施するにあたり、日本原子力発電株式会社東海総合訓練センターのご担当者殿とは綿密打合せを行い、事前に実習で実施する事故シナリオのシミュレーションを行い、リアルタイムのシミュレーションだけではなく、必要に応じて時間配分を考慮した実習ができたことは好事例であると考えられる。

一方で、平成 29 年度の実習では海外からの留学生の参加を受け入れたが、英語しか理解できないため、実習のレクチャーそのものを英語と日本語で実施したが、かなり時間が必要であり、十分な準備が必要であったことが反省される。

(3) 耐震安全工学特別講義

本学教員および外部の大学、研究機関の講師による耐震安全工学の特別講義であるが、平成 27 年度は集中講義として 3 日間、平成 28 年度、29 年度は本学の学部の講義の一つとして 14 回の講義を行った。各々 20 名から 30 名程度の参加者を受け入れ、その時々耐震工学および原子力安全に係る最新の知見を盛り込んだ講義を実施することができ、学生からは非常に刺激になったとの感想を得ることができたことから、当初の予定通りの成果を得ることができたと考えられる。また、単位として認定することができ、本学の原子力耐震安全に関するカリキュラムの充実にも寄与することができた。

一方で、最新の知見であるが故、大学院生或いは若手技術者には問題なくても、内容的に少し学部学生にとっては難しい内容であった面もあり、受講者がある程度絞り込んだほうが良い面もあり、この点は今後の課題であると考えられる。

(4) 国際シンポジウムの開催運営

学生が自ら運営を行い、全て英語で実施される耐震安全に関するシンポジウムを平成 28 年度、29

年度に実施した。運営に関しては学生数名が中心の開催委員会を組織し、海外からの講師の招聘や講演内容の調整、シンポジウムの企画と立案、シンポジウム当日の進行やディスカッションの誘導など、あらゆる面でチャレンジングな項目であったが、周到に準備を行うことで無事に開催することができ、運営を行った学生にとっては大きな自信になったとのことから、当初の予定通りの成果を得ることができたと考えられる。

シンポジウムの参加者は人数的には 50 名程度を得られたが、学内からの参加者或いは産業界の若手技術者が多く、他大学の学生等の参加がそれほど得られなかったので、広報の面で課題を残したとの反省も聞かれた。

(5) 耐震リスク評価実習

地震時のシビアアクシデントに関する座学と演習を組み合わせた実習であり、参加者からは座学によるイメージと解析による裏づけがペアになるようなカリキュラムがわかりやすかったとの感想が得られたことから、当初の予定通りの成果を得ることができたと考えられる。一方で、解析コードの入力データの作成がラインコマンドであり、今日的な GUI ではなかったため、入力データの作成や出力データの整理に時間がかかり、時間をもったいないとの感想もあった。

解析コードを使用した演習は、自分が意図した入力に対し、どのような結果が得られるかといった点が重要であり、そのためには多くの解析を演習するのがもっとも効果が高いのであるが、実習に使用した現状の解析コード (SECOM2-DQFM, THALES-2 《共に JAEA が開発》) は初めて触れる参加者にとっては少し辛い面があったとも考えられ、この点は反省すべき点と思われる。

(6) その他 (評価項目に係る事項に対する考察 等)

別紙 1 に示す「評価項目に係る事項」(課題の達成度、特記すべき成果、事業の継続状況・定着状況、成果の公開・共有の状況、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) に対して、定量データの分析も踏まえた考察等を記載すること。

<今後の事業計画・展開>

引き続き、当該事業については項目を整理した上で次年度以降の人材育成事業に応募し、実施したいと考えており、以下を計画している。また、一部は本学の講義の中に取り入れて実施したいと考えている。

(1) 原子力関連施設見学

原子力業界への興味の喚起、実際のプラントイメージの把握、学生の就業後のイメージ喚起のために、引き続き原子力関連施設の見学の機会を設けることを目的として、本事業の実施を計画したい。耐震安全に限らず、原子力において最も重要な「安全」をキーワードとして、産官学の各方面から見学先を選定し、原子力業界の人材の確保、育成の入り口として本事業を位置付けたい。

(2) プラントシミュレータ実習

原子力プラントのシビアアクシデント時の挙動を体感的に理解すること、シビアアクシデントに対する対応操作を行い、事故の影響を緩和することの難しさと重要性を理解することを目的として、引き続き日本原子力発電株式会社殿東海総合訓練センターのプラントシミュレータを利用した本実習を計画したい。参加者の多様化にも配慮し、十分な準備を行っていくことも検討したい。

以上の 2 項目は、事業費の補助を必要とすることから、引き続き人材育成事業への応募を通して予算の確保に努めたい。

(3) その他

耐震安全工学特別講義は、現行の本学のカリキュラムの見直しと並行して、その内容を原子力安全工学、原子力リスク工学、耐震安全工学等の講義に取り入れていくことで事業を継続していく。

また、耐震リスク評価実習については、内容を初級者向けと上級者向けとに分割し、前者は学生向けの原子力実験実習の項目に取り入れていくこととし、上級者向けは本学および早稲田大学の共同原子力専攻の原子力安全学等の講義の中に演習の形で取り入れていく。

国際シンポジウムの開催運営に関しては、今後の本学科専攻が主催する未来エネルギーシンポジウムに、開催運営した経験とノウハウを活かしていくこととする。
これらの項目は本学が主体となって事業を継続していきたい。

〈整備した設備・機器〉

(1) シビアアクシデント解析実習用PC 20台 (平成27年度整備、約一百万円)

シビアアクシデント解析用PCは、(5)耐震リスク評価実習で、地震時のリスク評価の解析、シビアアクシデント時の事故進展解析に使用した。可能な限り一人一台のPCを使用できるように20台を導入した。

〈その他特記すべき事項〉

特になし。

〈参考資料〉

(1) 添付資料

1) プラントシミュレータ実習で作成した実習用のテキストの例 (抜粋)

2) 耐震リスク評価実習で作成した実習用テキストの例 (抜粋)

(2) 事業成果の公開事例、関連する文献)

該当なし

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。）	<p>本事業は国際的に活躍できる耐震安全に精通した技術者を育てることを目的としており、これに必要な項目を当初の予定通り実施し、予定した成果を得られたと考える。</p> <p>なお、本事業申請時に耐震実験も含めて計画していたが、別な事業において類似の実験があったため、実施機関（東芝）との連携実施を模索するよう所見を頂いていた。これを受けて、東芝殿との事業の連携を積極的に行い、共に事業実施協力者として参加し、融合的に事業を進めることで対応した。</p>
②特記すべき成果	<p>「耐震安全」をキーワードとして各事業を実施したが、人材育成事業の本来の目的である国際的に活躍できる耐震安全に精通した技術者を育てると言う意味では、本学で把握している範囲ではあるが、本事業の実習、講義を受けた学生が、現在プラントメーカーで耐震設計を担当している例が2つほどある。</p>
③事業の継続状況・定着状況	<p>耐震工学特別講義、耐震リスク評価実習については、その内容を講義に取り入れていくことで継続的に人材育成に活用している。また、国際シンポジウムの開催運営に関しては、今後の本学科専攻が主催する未来エネルギーシンポジウムに、開催運営した経験とノウハウを活かしていく。</p> <p>その他の項目は今後も継続的に事業を実施するため、来年度以降の公募に応募することとしている。</p>
④成果の公開・共有の状況	<p>学科HPで各事業による実習、見学会、シンポジウムの様子は公開している。</p> <p>耐震リスク評価実習で作成したテキストは、学部大学院の演習等に活用していく。</p> <p>シミュレータ実習で作成したテキストは今後の同実習においても活用していく予定である。</p>
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	<p>本事業も含めて本学の原子力教育を受けた学生の主な就職先の実績を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 東京電力ホールディングス株式会社(17名) ・ 株式会社日立製作所(9名) ・ 株式会社テブコシステムズ(8名) ・ 富士電機株式会社(8名) ・ 原子力規制庁(原子力安全基盤機構)(7名) ・ 東芝プラントシステム株式会社(6名) ・ MHIニュークリアシステムズ・ソリューションエンジニアリング株式会社(5名) ・ 株式会社東芝(4名) ・ 日本原燃株式会社(4名) ・ 公益財団法人核物質管理センター(4名) ・ 電源開発株式会社(2名) ・ 東北電力株式会社(1名) ・ 中部電力株式会社(1名) ・ 九州電力株式会社(1名) ・ 関西電力株式会社(1名) ・ 他