

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「機関横断的連携による原子力安全性・核セキュリティ・危機管理高等教育の実施」

＜実施機関＞

名古屋大学大学院工学研究科

＜連携機関＞

東京工業大学理工学研究科、北海道大学工学研究院、大阪大学工学研究科、京都大学工学研究科、福井大学工学研究科、八戸工業大学工学部、金沢大学理工学域、茨城大学理工学研究科、山梨大学工学部、岡山大学工学部、九州大学工学研究院、東海大学工学研究科、近畿大学工学部、湘南工科大学工学部、千葉科学大学危機管理学研究科

＜実施期間・交付額＞

24年度19,223千円、25年度15,346千円、26年度12,787千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

本事業は、平成22年度に設立された「国際原子力人材育成大学連合ネット（北海道大学、八戸工業大学、茨城大学、東京工業大学、湘南工科大学、東海大学、山梨大学、金沢大学、福井大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、近畿大学、岡山大学、九州大学の15大学が参加）」を基盤母体として、「全国の原子力関連専攻・学科の大学院生等を主対象として、原子力安全性、核セキュリティ及び原子力危機管理等に係わる教育を実施し、これらの知識・技術を習得した原子力人材を育成する」ことを目的とする。なお、平成23年度にはフィージビリティスタディ（FS）として採用されており、平成24年度はそれを発展させ本採用となっている。

具体的には、まず本事業の教育の視点として、教育の基本である講義「原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業」の開発・実施を目指す。また、原子力産業の実態や危機・リスク管理の最新の知見を取り込むため、原子力に関係する事業所に従事する実務者に対して、リスク管理および危機管理に関してセミナー、講演会及び意見交換会を実施すると共に、意欲のある学生のこれら講演会への参加等を通じて、実務の現況も反映するより専門化した教育を施す。さらに、福島第一原子力発電所事故による環境への影響を踏まえ、炉心シミュレーション、放射線実験実習等により、座学だけでなく、実技の体験を通じて、原子力安全文化の素養の深化を図る。

以上の目的達成に向けて、産官の支援・協力の基に、また、原子力人材育成ネットワーク等と連携を取りながら、原子力教育・研究に携わっている有志の大学が連携し、それぞれの人材育成資源を持ち寄り、横断的、効果的かつ効率的に原子力安全性、核セキュリティ及び原子力危機管理等に係わる教育を実施する。

2. 実施計画

本事業で実施する項目は下記の（2）～（4）の3項目であり、これら事業の年度ごとの管理・運営を担う（1）実施運営委員会を設置する。

（1）実施運営委員会

本事業の3つの実施項目（2）～（4）を効率的・効果的に実施するため、年度ごとの事業計画立案および事業成果を取りまとめる事業実施運営委員会を設置し、年3回を目途に開催する。また、各種連絡及び参加者募集のためのホームページを新規作成し、随時更新する。

(2) 原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発

「国際原子力人材育成大学連合ネット（北海道大学、八戸工業大学、茨城大学、東京工業大学、湘南工科大学、東海大学、山梨大学、金沢大学、福井大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、近畿大学、岡山大学、九州大学の15大学）」に、千葉科学大学も加わり、主に大学院生を対象とした「原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業」の開発を行う。具体的には、4つの講義テーマ：「原子力安全性」、「放射線安全性」、「核セキュリティ」、「危機管理」の授業を16大学が連携して開発する。年度ごとの実施計画は、

- ①平成24年度：平成23年度にF Sで用意された授業骨子、シラバス、及び教材の原案を基に、他事業項目の講演会・セミナー及び実験実習の成果も取り入れた教材等の改善検討
- ②平成25年度：平成24年度に改善整備された教材を用いて、トピックス毎の集中講義形式による授業試行、
- ③平成26年度：平成25年度の授業試行結果を反映してブラッシュアップされた最終版教材を用いて、4講義テーマ通しでの集中講義の実施

なお、これらの授業開発は、電子メールによる検討を基本とするが、一堂に会して授業開発を加速するために、連携授業を検討する会議（事業実施運営委員会を兼ねる）を、年3回を目途に開催する。その内の1回は拡大会議として、警察、自衛隊、消防署等の専門家から核セキュリティについての意見聴取を行う。

(3) リスク・危機管理セミナー等の開催

本事業項目では、原子力事業所現場の社会人及び意欲のある大学院生を中心に、原子力産業に対して、他の装置（プロセス）産業におけるリスク管理および危機管理に関する知見を付与すると共に、現場の実態を吸い上げ、実態に即した適切な教授法を探りつつ、この分野の最新の内外情報の効果的な導入を図る。具体的には以下に示すセミナー、講演会及び意見交換会を年度ごとに開催し、併せて、この分野の最新動向を把握するための海外調査を行う。

(3-A) セミナーの開催

我が国の原子力に関係する事業所において、社会人実務者3階層（協力会社社員、中間管理層、事業所管理者層）に加え、意欲のある大学院生を対象にリスク管理および危機管理に関わるセミナーを年1回開催する。受講者に対して、リスク管理および危機管理に関する意識の高揚、知識および技術体系の強化および高度化、並びに実践行動力の推進を図る。教授陣容は、必ずしも原子力関係の専門家に拘らず、広く産業安全に関わる実務の経験者、技術者、研究者等から構成する。一方、原子力に関わる事業所の技術者等との討論の場をできるだけ多く設け、災害事例および現場実態へ即応した安全教育のあり方を探求しながら進める。なお、セミナー開催については、開催案内を作成し、広く関係機関に配信して、受講者を募る。

(3-B) 講演会の開催

原子力事業所の安全・危機管理を担う中間管理者層及び意欲のある大学院生に対し、装置産業に関わるリスク管理および危機管理について最新の知見を伝えるため、国内の専門家2-3名及び国外招聘の専門家2-3名による講演会を年1回開催する。原子力施設の多くは、装置産業の一つであり、プロセス安全の最新の知見の原子力産業への導入は、互いの類似性に鑑みて、原子力事業所のリスク低減化に向け有効であるので、日本語翻訳付きで、出来るだけ自由な討論が出来る講演会にする。また、国外の専門家の招聘を機に、国内の他分野のプロセス安全の専門家を交え、各原子力事業所等の安全管理担当者が一堂に会した討論を実施する。なお、講演会開催については、開催案内を作成し、大学を含む関係機関に広く配信して、受講者を募る。

(3-C) 意見交換会の開催

上記の(3-A)セミナー及び(3-B)講演会に併せて、自由な意見交換の場として意見交換会を開催する。意見交換会は二面性を有する。一つは、セミナーおよび講演会の聴講者にとって、講演内容に関して実務への応用の視点からより具体的な突っ込んだ論議を行う。また、リスク管理および危機管理に関する日頃の問題点または疑問点を提起し、その糸口を探ることができる。二つに、講師陣には、原子力事業所におけるリスク管理および危機管理に関わる現況および問題点をより深く、具体的に見聞することができ、このことは、次のセミナーまたは講演会における講義内容

に新たな視点を組み込むことで、より実態に即した実務的な内容への改変へ発展的に繋げられる。併せて、当該事業項目の有効性、方向性などの評価に関しても話し合い、本事業の実効性への糧とする。

(3-D) 海外調査

上記(3-B)の講演会に講師として招聘する専門家の大学等の機関または国際会議の場へ訪問または参加し、同専門家を含む関係者に対して福島第一原発の事故を含めた日本の原子力産業の安全の実状を説明した上で討論・情報交換を行い、かつアイデアの創生を図り、(3-B)講演会での講演及び(3-C)意見交換会の運営つまり話題、方向性等に生かすこととする。また、専門家との密な討論・情報交換を行い、(3-B)講演会における専門家の講演の内容の骨子を決める。

(4) 福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験実習

本事業項目では、福島第一原発事故の教訓を踏まえ、原子力災害時の危機管理・減災・復興のために対処すべき事象の基礎知見となる放射性物質の挙動・検知技術に関して、座学だけでなく、実験実習によって教育の充実を図る。具体的には、原子力施設のプラント挙動及び過酷事故時の周辺環境に与える影響の専門的知見とその計測手法に着目し、基礎的な技術習得とともに最新研究成果を体験し、広域原子力災害時の対処法の涵養を念頭に置いた、以下のシミュレーション計算機実習及び各種計測診断実験実習を機関連携で実施する。

(4-A) シミュレーション計算機実習

シミュレーション計算機実習では、名古屋大学において整備されたマルチフィジックスシミュレータを用いて、原子力プラント炉心解析、異常な過渡変化及び事故事象の実時間模擬、核燃料燃焼計算を通じてどのような同位体が炉心内で生成されるか等をシミュレーション計算し、プラント及び物質生成項に関する知識を深める。3泊4日の実習を、設備容量に基づく上限の参加者16名で年1回開催する。

(4-B) 計測実験実習

計測実験実習では、以下の4つのテーマを実施する。

- ① 高純度ゲルマニウム(HPGe)検出器等を用いて、エアダストサンプラーを利用した環境試料中の天然同位体分析や模擬環境試料中のセシウム等の環境放出同位体分析を実施すると共に、名古屋大学核燃料管理施設にて保管管理されている核燃料の測定実習
- ② 九州大学における超伝導転移端センサマイクロカロリメータ特性 X 線分析システム(TES-EDS)搭載走査型電子顕微鏡(SEM)によるウラン鉱石や土壌試料の元素分析実習を通じて、環境中に放出される同位体(核分裂生成物から核燃料まで)の測定手法体験
- ③ 福井大学にてホールボディカウンタ実習(@JAEA 緊急時支援・研修センター)を実施し、内部被ばくに関する知見および評価法の修得
- ④ 環境中の線量測定フィールドワーク(FW)を福島県で実施し、各種線量計に対する知識を深めると共に、大規模原子力災害時における空間線量率及び表面汚染率等のレベルおよび空間分布サーベイ法の実体験

①、②は1泊2日の実習、③は2泊3日の実習を、各参加者10名で年1回開催する。④は4泊5日の実習を、学生3名+教官1名を1チームとして全10チームを編成し、10台のレンタカーに分乗して福島市周辺、飯館村周辺、南相馬市周辺における線量測定FWを年1回(または2回に分けて)実施する。

＜実施状況＞

(1) 実施運営委員会

実施運営委員会を適宜開催し、事業全体の実施内容の確認を実施すると共に、年度ごとの実施計画、役割分担、日程調整、実施結果の総括・反省を行った。各年度の実施日時、場所、参加者数、主な議題は、以下の表1の通りである。ただし、学外の本事業実施者については関係者の都合がつかず、ほとんどメールベースでの事業内容確認と意見交換の実施となった。

表 1. 実施運営委員会の開催実績

年度	日時	場所	参加者数	内容
H 2 4	11/27(火) 16:00～17:30	名古屋大学 工学部 5 号館 550 室	7 名	名大実務者による H24 実施計画および役割分担確認、実習等の日程調整
	3/25(月) 15:00～16:30	同上	7 名	名大実務者による H24 実施結果の総括と反省、H25 年度予定の確認
H 2 5	7/20(土) 13:30～16:00	名古屋大学 工学部 ES 館 033 室	1 0 名	事業実施内容の確認、特に連携授業開発の進め方の検討
	3/20(金) 10:30～12:00	名古屋大学 工学部 5 号館 550 室	6 名	名大実務者による H25 実施結果の総括と反省、H26 年度予定の確認
H 2 6	5/26(月) 13:00～14:30	名古屋大学 工学部 5 号館 550 室	7 名	名大実務者による H26 実施計画および役割分担確認、実習等の日程調整
	3/23 (月) 17:30～19:00	名古屋大学 工学部 5 号館 553 室	4 名	主として名大実務者による H26 実施結果の総括、連携授業教材のとりまとめ方針の確認

(2) 原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発

平成 2 3 年度の本事業フィージビリティスタディの一環として「国際原子力人材育成大学連合ネット(15 大学)」の各大学の既実施講義の中から、原子力安全、核セキュリティ、危機管理に関連する授業教材を入手したが、この授業教材をもとに、下記の 4 つの分類に従って取捨選択を行い、各大学で共通利用できるように PDF 化を行った。

A. 原子力安全性

- ①安全一般論(ハザード, リスク, フェールセーフ, ヒューマンエラー等)
および原子力における安全確保の考え方
- ②原子力の事故事例(TMI, チェルノブイリ, 美浜, もんじゅ, JCO 等)
- ③原子炉, 原子力発電プラント, 核燃料施設の安全設計

B. 放射線安全性

- ④放射線の基礎と人体影響, 平常時と緊急時の被曝限度等
- ⑤放射性物質環境動態
- ⑥福島事故の影響, 汚染状況, 教訓

C. 核セキュリティ

- ⑦核セキュリティの一般論, 日本と欧米における核セキュリティ意識
- ⑧核燃料計量管理と IAEA 査察
- ⑨核テロ対策, 隠匿核物質検査の現状

D. 危機管理

- ⑩リスク管理, 危機管理の一般論
- ⑪シビアアクシデント時の挙動, 事例と危機管理
- ⑫福島原発事故の再考察

平成 2 5 年度は、上記の平成 2 4 年度に収集・整理した資料を用いて、名古屋大学、九州大学、福井大学にて、連携授業を試行した。具体的な講義日時、場所、参加者、内容等は以下の通りである。

1) 名古屋大学:

- ・日時 11/15, 11/16, 12/9, 12/10 4, 5 限 (14:45～18:00)、
- ・場所 名古屋大学 東山キャンパス 工学部 5 号館 522 講義室及び ES 館 031 講義室

- ・参加者 名古屋大学 11 名
 - ・内容 リスク管理（講師：長谷川和俊特任教授）
 - ・備考 集中講義形式で実施、特別講義としてレポート評価により 1 単位を認定
- 2) 九州大学：
- ・日時 3/7 13:00～15:00
 - ・場所 九州大学 伊都キャンパス ウェスト 2 号館 821 号室
 - ・参加者 福井大学 1 名、名古屋大学 5 名
 - ・内容 核不拡散と核セキュリティ（講師：井口哲夫教授）
 - ・備考 (4-B) の計測実験実習の後に実施
- 3) 福井大学：
- ・日時 3/19 9:30～11:30
 - ・場所 福井大学 附属国際原子力工学研究所 第 2 講義室
 - ・参加者 福井大学 1 名、名古屋大学 4 名、東京工業大学 1 名
 - ・内容 放射線安全性（講師：井口哲夫教授）
 - ・備考 (4-B) の計測実験実習の後に実施

平成 26 年度は、4 つの講義テーマ：「原子力安全性」、「放射線安全性」、「核不拡散と核セキュリティ」、「リスク（危機）管理」について、平成 25 年度に実施した集中講義形式の試行結果、および事業参加大学の関連分野の先生方（本事業参加者）のコメントをもとに、教材内容のブラッシュアップを図った。特に、「リスク・危機管理」の講義では、(3) の事業で実施されたリスク・危機管理セミナーの成果を学生向けにアレンジした教材も作成した。これらの教材を用いて、実施時期が離れた集中講義形式ながら、名古屋大学の大学院生及び進学予定学部 4 年生を対象に、4 つの講義テーマを通して授業を実施し、レポート課題を提出した学生に対し、「量子エネルギー工学特別講義第一」という正規カリキュラムの科目名で、成績評価・単位認定（1 単位）を行った。具体的な講義日時、場所、参加者、内容等は以下の通りである。

- 1) 放射線安全性（講師：名大 井口 哲夫 教授）
 - ・日時 H26.8.22 3,4 限（13:00～16:30）、
 - ・場所 名古屋大学 東山キャンパス 工学部 5 号館 523 講義室
 - ・参加者 名古屋大学 10 名
 - ・内容 放射線の基礎と人体影響、放射性物質環境動態とモニタリング技術、福島事故の汚染状況と教訓
- 2) 原子力におけるリスクと危機管理（講師：名大／千葉科学大 長谷川 和俊 特任教授）
 - ・日時 H27.3.17 3,4 限（13:30～17:00）、
 - ・場所 名古屋大学 東山キャンパス ES 総合館 023 講義室
 - ・参加者 名古屋大学 14 名
 - ・内容 リスク管理、危機管理の一般論、装置産業における事例と危機管理、福島原発事故の再考察
- 3) 核セキュリティ入門（講師：名大 井口 哲夫 教授）
 - ・日時 H27.3.23 1,2 限（9:30～12:00）、
 - ・場所 名古屋大学 東山キャンパス 工学部 5 号館 523 講義室
 - ・参加者 名古屋大学 14 名
 - ・内容 核セキュリティの一般論、核物質計量管理と査察、核テロ対策・隠匿核物質検査の現状
- 4) 福島第一原発事故以降の原子力安全（講師：京大 杉本 純 教授）
 - ・日時 H27.3.23 3,4 限（13:30～17:00）、
 - ・場所 名古屋大学 東山キャンパス 工学部 5 号館 523 講義室
 - ・参加者 名古屋大学 14 名
 - ・内容 原子力安全一般論、過去の原子力の事故事例、福島原発事故の教訓を反映させた安全設計

以上の 4 テーマで使用した授業教材一式は電子ファイル化して、本事業参加大学へ配布する。

(3) リスク・危機管理セミナー等の開催

原子力事業所現場の社会人及び意欲のある大学院生を中心に、原子力産業に対して、他の装置（プロセス）産業におけるリスク管理および危機管理に関する知見を付与すること、現場の実態を吸い上げ、実態に即した適切な教授法を探ること、この分野の最新の内外情報の効果的な導入を図ることを目的として、以下に示すセミナー、講演会及び意見交換会を開催し、併せて、この分野の最新動向を把握するための海外調査を行った。

(3-A) セミナーの開催

我が国の原子力に関係する事業所において、社会人実務者に加え、意欲のある大学院生を対象に、「原子力事業所安全推進セミナー」と題したリスク管理および危機管理に関わるセミナーを開催した。表2に本セミナーの開催実績を示す。

表2. 原子力事業所安全推進セミナー開催実績

年度	実施日時	開催場所	講演題目（講師）	参加者数
H24	12月6日（木） 9:40～16:40	（独）日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所	①「機械安全設計の基礎－機械安全におけるリスクへの対処－」（長岡技科大・教授 福田隆文） ②「労働災害防止を組織的に効果的に行うために」（中央労働災害防止協会・マネジメントシステム審査センター所長 白崎彰久）、 ③「なぜ、日本人リーダーは危機管理に失敗するのか」（青森中央学院大学・教授 大泉光一）、 ④「専門家と一般市民のリスク認知の相違」（浜松学院大学・准教授 岡部康成）、 ⑤「安全・安心促進のための心理学」（千葉科学大学・教授 王晋民）	原子力関連事業所従業員等 181名
H25	9月5日（木） 13:00～16:20	日本原燃(株)六ヶ所事業所	①「現場に求められる危険源探査の方法」（名古屋大学・特任教授 長谷川和俊）、 ②「リスクコミュニケーションを阻害する専門家と一般市民のリスク認知の相違」（浜松学院大学・准教授 岡部康成）、 ③「効果的な労働災害防止方策」（中央労働災害防止協会・マネジメントシステム審査センター所長 白崎彰久）	原子力関連事業所従業員等 74名
H26	2月10日（火） 10:00～14:55	東北電力 東通原子力発電所	①「リスク管理における基盤的素養－本質安全技術－」（名古屋大学・特任教授 長谷川和俊）、②「静電気火災の発生メカニズムと安全対策」（消防研究センター・主任研究官 田村裕之）、③「専門家と一般市民のリスク認知の相違点」（浜松学院大学・准教授 岡部康成）、④「法令遵守の心理学」（千葉科学大学・教授 王晋民）	原子力関連事業所従業員等 97名

本セミナーの実施により、原子力関連事業所の従業員に対して、リスク管理および危機管理に関する基本的素養の増強および現場力の強化へ寄与したと考えられる。なお、講演内容をまとめたセミナー教材（梗概集）ならびに質疑応答およびアンケート結果をまとめた教材補遺を作成した。ま

た、セミナーの開催に当たり、開催案内を作成し、広く関係機関へ配布し、関係する連絡網を通じて聴講を呼びかけた。

(3-B) 講演会の開催

原子力事業所の実務に携わる者は、装置産業（原子力産業、石油化学産業、鉄鋼産業など）の実務者と共に、リスク管理および危機管理に関する講演および開かれた論議を通じて、最新の知見を習得し、必要に応じてその実施を図ることが強く望まれるため、「装置産業のリスク管理 ミニ・シンポジウム」と名付けた国際的な講演会を開催した。このミニ・シンポジウムは、招聘した国外専門家による基調講演 2 件および国内専門家による一般講演 2～3 件から構成され、国外専門家による基調講演は逐次翻訳にして、できるだけ多くの参加者が討議し易くした。表 3 に本ミニ・シンポジウムの開催実績を示すが、原子力事業所のリスク低減の実現に向けた「安全を最優先に考えることが出来る人材育成を行う」理念の実践、実務者へのリスク管理および危機管理の意識の高揚、知識および技術の強化および高度化、ならびに実践行動力の推進に大いに役立ったと考える。なお、これらの講演内容をまとめた教材（梗概集）およびアンケート結果などをまとめた教材補遺を作成した。また、講演会開催については、開催案内を作成し、大学を含む関係機関に広く配信して、参加者を募った。

表 3. 装置産業のリスク管理ミニ・シンポジウム開催実績

年度	実施日時	開催場所	講演題目（講師）	参加者数
H 2 4	2 月 22 日（金） 9:30～17:00	東京四谷、 スクワール 麹町	基調講演 2 件 ①” Communication Strategies for the Nuclear Power Industry” (Carnegie Mellon Univ., USA, Prof. B. Fischhoff) ②” Process Safety: Principles and concepts; how to keep my plant safe” , (Texas A&M Univ., USA, Prof. H. J. Pasman) 一般講演 2 件 ①「東日本大震災、その後のリスク管理」、(千 葉科学大学・教授 長谷川和俊) ②「労働災害防止のためのリスク管理」(中央 労働災害防止協会・マネジメントシステム審 査センター所長 白崎彰久)	装置産業 の中間管 理者など 63 名
H 2 5	2 月 20 日（木） 9:00～17:00	東京四谷、 スクワール 麹町	基調講演 2 件 ①” Teaching Safety and Teaching to be Safe” (The Univ. of Sheffield, UK, Dr. M. J. Pitt) ②” Is risk perception important for industrial safety? If not, what is?” (Norwegian Univ. of Sci. and Technol., Norway, Prof. T. Rundmo) 一般講演 3 件 ①「機械安全設計の基礎とその考え方から見た 原子力安全」(長岡技科大・教授 福田隆文)、 ②「化学産業におけるリスク評価に基づくプロ セス安全管理」(東工大・名誉教授、仲勇治) ③「安全確保の社会心理学」(千葉科学大学・ 教授 王晋民)	装置産業 の中間管 理者など 74 名
H 2 6	2 月 26 日（火） 9:00～17:00	東京四谷、 スクワール 麹町	基調講演 2 件 ①” Safety management: a multi- faceted diamond” , (Texas A&M Univ. USA, Dr. S. Waldram)、②” Organizational	装置産業 の中間管 理者など 74 名

			Reliability and Safety Culture:An Overview” (Univ. of Geneva, Switzerland, Prof. M. Bourrier) 一般講演 3 件 ①「リスク管理における本質安全技術—福島原発事故を検証する—」(名古屋大学・特任教授 長谷川 和俊)、②「組織文化が企業パフォーマンスに与える影響—改善の視点」(慶応義塾大学・教授 高野研一)、 ③「労働災害をゼロにするための方策」(中央労働災害防止協会・マネジメントシステム審査センター所長 白崎彰久)	
--	--	--	--	--

(3-C) 意見交換会の開催

上記の(3-A)セミナー及び(3-B)講演会に併せて、講演後に、講演者と希望する聴講者の間で約1時間の自由討論(意見交換)の場を設けた。この意見交換会の討論集(議事録)およびアンケート結果は教材補遺として記録に残されたが、その内容からセミナーの聴講者および講演会の参加者は、講演内容に関して実務への応用の視点からより具体的な突っ込んだ論議を行うことができ、また、リスク管理および危機管理に関する日頃の問題点または疑問点を自ら提起することでその糸口を探ることができたように見受けられる。

(3-D) 海外調査

表4に示す海外調査期間と場所において、上記(3-B)の講演会に講師として招聘する専門家の大学等の機関または関連の国際会議の場へ訪問または参加し、同専門家を含む関係者グループに対して福島第一原発の事故を含めた日本の原子力産業の安全の実状を説明するとともに、危機管理及びリスク管理の最新知見の情報交換および討論を行った。これらの交誼を通じて、(3-B)講演会での基調講演及び(3-C)意見交換会の運営、つまり話題、方向性、講演内容等の骨子を決定した。

表 4. 海外調査実績

年度	調査期間	調査場所	調査者
H 2 4	・ 1 月 29 日～2 月 3 日	・ 米国 カーネギー・メロン大学	名古屋大学・特任教授 長谷川 和俊 千葉科学大学・教授 王 晋民
	・ 2 月 3 日～2 月 8 日	・ 米国テキサス A&M 大学	
H 2 5	・ 5 月 11 日～5 月 17 日	・ 第 14 回装置産業の防災に関する国際会議(イタリア・フィレンツェ)、	
	・ 10 月 13 日～10 月 18 日	・ ノルウェー科学技術大学	
H 2 6	・ 5 月 6 日～5 月 11 日	・ Hazards 24 国際会議(英国・エジンバラ)	
	・ 11 月 15 日～11 月 21 日	・ ジュネーブ大学(スイス・ジュネーブ)	

(4) 福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験演習

本事業項目では、原子力施設のプラント挙動及び過酷事故時の周辺環境に与える影響の専門的知見とその計測手法に着目し、基礎的な技術習得とともに最新研究成果を体験し、広域原子力災害時の対処法の涵養を念頭に置いた、以下のシミュレーション計算機実習及び各種計測診断実験実習を機関連携で実施した。

(4-A) シミュレーション計算機実習

シミュレーション計算機実習は、原子力安全の基本として原子力プラントの挙動を物理的な視点から理解することが重要との観点から、名古屋大学において整備されたマルチフィジックスシミュレータを用い、原子力プラントの運転時、異常な過渡変化、多重故障を含む事故状態の実時間模擬を通じて、プラントパラメータの挙動の基になっている物理的現象を理解させることに注力した。また、核燃料の燃焼計算を通じ、炉心に存在する放射性物質のインベントリを定量的に把握し、事故時のソースタームについての理解にも重点を置いた。表5に、具体的な実施スケジュールを示す。また、各年度ごとの実施期日および参加者内訳は、表6の通りである。

表5. シミュレーション計算実習のスケジュール

	9:00-10:30	10:40-12:10	13:00-14:30	14:40-16:10	16:20-17:50
1日目	—	—	原子力プラント工学講義(1)	原子力プラント工学講義(2)	原子力プラント工学講義(3)
2日目	プラントシミュレータ講義	プラントシミュレータ実習			
3日目	プラントシミュレータ実習	燃焼計算講義	燃焼計算実習		
4日目	解析結果まとめと議論		—	—	—

表6. シミュレーション計算実習の実施時期および参加者内訳

年度	実施時期	大学別参加者
H24	3月4日(月)～3月7日(木)	名古屋大学 8名、京都大学 2名、 東京都市大学 2名、東海大学 1名 (合計 13名)
H25	9月9日(月)～9月12日(木)	名古屋大学 3名、京都大学 5名、 大阪大学 2名、北海道大学 1名、 東海大学 1名、福井大学 1名 (合計 13名)
H26	9月1日(月)～9月4日(木)	名古屋大学 2名、京都大学 1名、 福井大学 1名、東京都市大学 2名、 東京工業大学 2名 (合計 8名)

本実習終了後に参加学生にアンケートを実施した結果、ほぼ内容のレベル・量共に適正であり、原子力プラントの挙動、および炉内放射性核種インベントリ・ソースターム評価に関する理解を深めるのに非常に有意義であったとの感想を得ている。

(4-B) 計測実験実習

計測実習では、各種計測装置を用いて、福島第一原発の事故時のように環境中に放射性物質が放出される場合に必要となる放射線検出器・検出法に関する知識を深めることを目的として、①高純度 Ge (HPGe) 半導体検出器を用いた環境中放射性同位体測定実習、②超伝導転移端センサマイクロカロリメータ特性 X 線分析システム (TES-EDS) 搭載走査型電子顕微鏡 (SEM) によるウラン鉱石や土壌試料の元素分析実習、③ホールボディカウンタ実習と、④線量測定フィールドワークを大学連携で実施した。

- ① HPGe 検出器実習では、名古屋大学東山キャンパスにおいて放射線計測の基礎についての講義を実施すると共に、HPGe 検出器の基本的な操作の実習の後、ダストサンプラーを用いた大気中天然放射性核種の捕獲・同定を実施し、U 含有鉱物や、福島第一事故後の関東地方の土壌試料等を用いて、HPGe 検出器の取り扱い技術や核種同定・定量方法の習得を実施した。表 7 に、具体的な実施スケジュール例を示す。また、各年度ごとの実施期日および参加者内訳は、表 8 の通りである。

表 7. 高純度 Ge (HPGe) 半導体検出器を用いた環境中放射性同位体測定実習のスケジュール例

	9:00-10:30	10:40-12:10	13:00-14:30	14:40-16:10	16:20-17:50
1 日目	—	—	HPGe を用いた放射線計測講義	HPGe 検出器の基本操作実習	大気中天然放射性核種の捕集実習
2 日目	天然放射性核種のガンマ線スペクトロメトリー実習		ウラン含有試薬のガンマ線スペクトロメトリー実習		—

表 8. 高純度 Ge (HPGe) 半導体検出器を用いた環境中放射性同位体測定実習の実施時期および参加者内訳

年度	実施時期	大学別参加者
H 2 4	3 月 7 日(木)～3 月 8 日(金)	名古屋大学 3 名、京都大学 2 名、九州大学 1 名、新潟大学 1 名 (合計 7 名)
H 2 5	8 月 22 日(木)～8 月 23 日(金)	名古屋大学 4 名 (合計 4 名)
H 2 6	8 月 21 日(木)～8 月 22 日(金)	名古屋大学 5 名 (合計 5 名)

- ② (TES-EDS) 搭載走査型電子顕微鏡実習では、九州大学伊都キャンパスの設備を用いて、一般的な顕微鏡に関する講義から入り、希釈冷凍機及び本実習の最大の特徴である TES 検出器に関する講義を実施した後、実際に顕微鏡及び TES 検出器を用いて、ウラン鉱石、土壌試料や Zr 合金等の高精度な元素分析実験を実施した。表 9 に、具体的な実施スケジュール例を示す。また、各年度ごとの実施期日および参加者内訳は、表 10 の通りである。

表 9. TES-EDS 搭載走査型電子顕微鏡実習のスケジュール例

	9:00-10:30	10:40-12:10	13:40-15:10	15:20-16:00
1 日目	—	—	TES-EDS システム講義	ZrNb 合金分析実習
2 日目	ウラン鉱石分析実習		—	—

表 10. TES-EDS 搭載走査型電子顕微鏡実習の実施時期および参加者内訳

年度	実施時期	大学別参加者
H 2 4	3 月 21 日(木)～3 月 22 日(金)	名古屋大学 6 名、東京工業大学 1 名、 (合計 7 名)
H 2 5	9 月 11 日(水)～9 月 12 日(木)	九州大学 4 名、東海大学 1 名、 名古屋大学 8 名 (合計 13 名)
	3 月 6 日(木)～3 月 7 日(金)	福井大学 1 名、名古屋大学 5 名 (合計 6 名)
H 2 6	3 月 3 日(火)～3 月 4 日(水)	名古屋大学 4 名、九州大学 1 名 (合計 5 名)

- ③ ホールボディカウンタ実習では、福井大学敦賀キャンパスにて、放射線の人体に対する影響について、まず外部被曝及び内部被曝双方に関する講義を行い、続いて福島第一原発事故を受けて重要となる低線量被曝の考え方について、広島・長崎における疫学調査結果やチェルノブイリ事故時による影響調査結果等を交えて講義した。また、ホールボディカウンターの基礎については、放射線の物質との相互作用・検出器の原理からホールボディカウンターの仕組みとその内部被曝評価への適用法を概説するとともに、実際に福島ではどのようなことが起こっていたか、今後どうすべきかなどについても講義した。さらに、日本原子力研究開発機構もんじゅサイトへ移動し、発電所で実際に使用されているホールボディカウンターを使っての実習を実施した。受講者が被検体となって各種モードにおける測定を行い、その測定結果を評価プログラムで解析し、内部被ばくに関する理解が深められた。表 1 1 に、具体的な実施スケジュール例を示す。また、各年度ごとの実施期日および参加者内訳は、表 1 2 の通りである。

表 1 1. ホールボディカウンタ実習のスケジュール例

	9:30-11:30	11:30-13:00	13:00-13:30	13:40-16:30	16:30-17:10
1 日目	—	—	—	「放射線の人体 に対する影響」 講義	グループミーティング
2 日目	「ホールボ ディカウン タの基礎と 福島での実 績」講義	昼食及び移 動（福井大学 公用車利用）	ホールボディカウンタ実習		実習まとめ

表 1 2. ホールボディカウンタ実習の実施時期および参加者内訳

年度	実施時期	大学別参加者
H 2 4	3 月 4 日(月)～3 月 5 日(火)	名古屋大学 3 名、福井大学 3 名、 九州大学 1 名 (合計 7 名)
H 2 5	3 月 17 日(月)～3 月 18 日(火)	名古屋大学 4 名、福井大学 1 名、 東京工業大学 1 名 (合計 6 名)
H 2 6	3 月 12 日(木)～3 月 13 日(金)	名古屋大学 3 名、九州大学 1 名、 京都大学 1 名 (合計 5 名)

④ 線量測定フィールドワーク (FW)

大規模原子力災害時における空間線量率及び表面汚染率等のレベルを、福島第一原発の事故により環境中に放射性物質が放出された地域の FW で実体験させることで、NaI シンチレーション検出器、GM 計数管、電離箱等の代表的な各種サーベイメータの基本原則・特性の理解を深めるとともに、正しい取扱い技術を習得させた。また、FW において測定方法や測定場所の違いによる測定結果の差の原因を分析させ、実測による環境放射能の妥当な評価法について考察させた。現地での FW では、学生 3 名＋教官 1 名を 1 つとしたチームを編成し、レンタカーに分乗して福島市周辺、飯館村周辺、南相馬市周辺まで移動しつつ線量率の分布測定を実施した。表 1 3 に、具体的な実施スケジュール例（3 泊 4 日版）を示す。また、各年度ごとの実施期日および参加者内訳は、表 1 4 の通りである。

表 1 3. 線量測定 F W の実施スケジュール例（3泊4日版）

	9:00-12:00	12:00-13:00	13:00-15:30	15:30-16:30	16:30-17:30
1 日 目	—	—	—	福島駅集合、レンタカー借上、宿へ移動	サーベイメータ取扱講習
2 日 目	飯坂温泉周辺フィールドワーク実施		班ごとに福島市周辺フィールドワーク実施		ミーティング
3 日 目	飯館村周辺にてフィールドワーク実施		帰宅困難地区の国道 6 号及び常磐道を車内サーベイ実施		ミーティング
4 日 目	福島県原子力センター（笹木野）見学	レンタカー返却、解散	—		—

表 1 4. 線量測定 F W の実施時期および参加者内訳

年度	実施時期	大学別参加者
H 2 4	3 月 11 日 (月) ～ 3 月 15 日 (金)	名古屋大学 1 名、京都大学 2 名、福井大学 3 名、九州大学 2 名 (合計 8 名)
H 2 5	9 月 29 日 (日) ～ 10 月 2 日 (水)	名古屋大学 7 名 (合計 7 名)
	3 月 9 日 (日) ～ 3 月 13 日 (木)	福井大学 2 名、京都大学 3 名、九州大学 3 名、名古屋大学 3 名 (合計 11 名)
H 2 6	9 月 3 日 (水) ～ 9 月 6 日 (金)	名古屋大学 6 名、(合計 6 名)
	3 月 1 日 (日) ～ 3 月 4 日 (水)	名古屋大学 3 名、京都大学 9 名、岡山大学 1 名 (合計 13 名)

3 年間の F W によって、福島県の伊達市、二本松市、福島市等の除染が進んだ地域では、空間線量率の低下が明確に観察された他、除染済みであっても所々線量率の高い場所もあり、参加学生は除染の有無や、立ち入り制限区域直前の比較的線量率の高い地域など、環境中における放射性物質の挙動等の現状が実感を以て確認できたと考えられる。



図 1. シミュレーション計算実習の風景



図 2. 福島線量測定実習の風景
(津見山神社駐車場)

表 15. 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) 原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発	連携授業教材開発と講義の実施	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	0名	23名	14名
2) リスク・危機管理セミナー等の開催	原子力事業所安全推進セミナー	原子力関連事業所従業員等	181名	74名	97名
	装置産業のリスク管理ミニ・シンポジウム	装置産業の中間管理者等	63名	74名	74名
3) 福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験演習	シミュレーション計算実習	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	13名	13名	8名
	HPGe 検出器環境中放射性同位体測定	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	7名	4名	5名
	TES-EDS 搭載走査型電子顕微鏡実習	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	7名	19名	5名
	ホールボディカウンタ実習	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	7名	6名	5名
	線量測定フィールドワーク	国際原子力人材育成大学連合ネット所属大学 M1 (希望者)	8名	18名	19名
参加人数（実績）			286名	231名	227名
（参考指標） 交付額/参加人数			67 千円/人	66 千円/人	56 千円/人

表 16. 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 実施運営委員会			□	□		□		□	□			□
② 原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発				↔		↔	↔			↔	↔	
③ リスク・危機管理セミナー等の開催			□	□		□		□		↔	↔	□
④ 福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験演習				□		□	□	□		□		□
				□		□	□	□		□		□
				□		□	□	□		□		□
			↔	↔		↔	↔	↔	↔	↔	↔	
				□								
				□								

＜成果と評価＞

（１）実施運営委員会

本事業の実施運営委員会について、当初予定では、下記の（２）～（４）の３つの実施項目を効率的・効果的に実施し、事業成果を取り纏めるため、事業実施者及び事業協力者からなる打合せ会合を、年３回を目途に名大で開催する予定であったが、各年度の実施すべき時期に関係者の都合がつかず、本委員会をタイムリーに開催することができなかった。結果として、メール等の活用および他事業での会合や関連研究会等での個別打合せとなったが、本事業参加者である名大教員とは、通常業務の中で十分意思疎通ができたこと、また事業協力者のうち、本事業に係る主な学外担当者は、当初からメールでの頻繁な連絡・情報交換を行っており、他の関連事業や研究会等にも重複参加されているので、必要に応じて直に個別相談できる機会があったことにより、実施運営委員会を開催せずとも、実質的に本事業をほとんど支障なく遂行できた。なお、表１にも示したように、名大の事業担当者とは、短時間ながら、年度初めに本事業のキックオフミーティングを、また年度終わりには、次年度対応の相談も含めて事業成果の報告と総括・反省会合を開催した。

（２）原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発

本事業項目では、国際原子力人材育成大学連合ネットの１５大学から提供された授業骨子、シラバス、及び教材原案をベースに、福島第一原発事故の教訓を取り入れた４つの講義テーマ：「原子力安全性」、「放射線安全性」、「核不拡散と核セキュリティ」、「リスク（危機）管理」の教材へ再編・改良し、さらに他事業項目の成果の盛り込みや授業試行によるブラッシュアップを経て、当初目標の原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業教材の雛形を作成できたことが成果と言える。実際、名古屋大学の大学院生（あるいは学部４年生）を対象に、４つの講義テーマを通して授業を実施し、「量子エネルギー工学特別講義第一」という正規カリキュラムの科目名で、成績評価・単位認定（１単位）を行ったが、今後も継続予定である。

ただ、より基礎的な内容からの繋ぎ方（コースツリーへのはめ込み方）などについて、まだギャップがあるように感じられ、本授業教材一式を電子ファイル化して、事業参加大学へ配布し、各大学での授業実施により、さらなるブラッシュアップに期待したい。

（３）リスク・危機管理セミナー等の開催

本事業項目で実施した「原子力事業所安全推進セミナー」及び「装置産業のリスク管理ミニ・シンポジウム」は、原子力産業に対比させて、他の装置（プロセス）産業におけるリスク管理および危機管理に関する知見やこの分野の最新の内外情報の提供している点で新味があると言える。特に、双方の講演後に自由討論（意見交換）の場が設けられ、そのときの質疑応答およびアンケート結果をまとめた教材補遺が作成されているが、この内容を見る限り、本セミナーやミニシンポに参加された原子力関連事業所の従業員や中間管理職の方々にリスク管理および危機管理に関する基本的素養の増強、意識の高揚および現場力強化へのインセンティブを与えていると思われる。また、このセミナーやミニシンポの講演内容の一部は、（２）の連携授業教材における「リスク（危機）管理」の中にも反映されており、大学院生が現場の安全管理の実態に触れることで、原子力事業所のリスク低減の実現に向けた「安全を最優先に考えることが出来る人材育成」の理念実践にも寄与していると考えられる。以上のことより、本事業項目は、当初目標を達成していると自己評価する。

（４）福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験演習

本事業項目は、福島第一原発事故による環境への影響、さらには原子力災害時の危機管理・減災・復興のために対処すべき事象の基礎知見となる放射性物質の挙動・検知技術に関して、座学だけでなく、実験演習によって教育効果の充実に図るために設定された。

シミュレーション計算機実習で用いるマルチフィジックスシミュレータは、原子力プラント炉心解析、異常な過渡変化及び事故事象の実時間模擬、核燃料燃焼計算に対し、ミクロな物理現象からマクロな炉心挙動を精密かつ可視的に追跡でき、学術的側面と実際の応用の観点から、極めて教育効果が高いと考えられる。一方、計測実験実習の４つのテーマは、環境放射能や人体への放射線被ばく線量評価において、基礎的な技術習得とともに最新の測定手法を体験できるものとなっている。

従って、これら最新の炉心シミュレーションや放射線実験実習は、大学院教育に相応しい（２）の連携授業内容修得の実質化を図る上でマッチしており、本事業「機関横断的連携による原子力安全性・核セキュリティ・危機管理高等教育の実施」の有効手段を提示できたという点で、当初目標は達成されていると自己評価する。

ただ、この大学間連携実験演習において、受け入れ施設等での実施可能日の制約により、参加希望学生（主として修士１年生）の都合とうまく合致せず、当初予定の概ね半分強の参加人数に留まったことは残念である。実習マニュアルや実験機器等は整備されているので、今後各大学の正規授業や実験・演習の中で活用していきたい。

（５）その他（評価項目に係る事項に対する考察 等）

本事業で掲げた３つの実施項目：連携授業開発、リスク・危機管理セミナーの実施、大学間連携実験演習については、教材整備、成果報告作成、実験演習マニュアル整備等においてほぼ当初目標を達成したと考える。ただし、本事業参加者数の見込み違いの少なさは、努力不足と言えるところながら、非常に多種多様の原子力人材育成事業が並行して実施されている状況の中で、各大学の正規授業や他の事業等の日程の重複を避ける配慮、また比較的限られた原子力系の学生を主体に募集をかけることによる学生自身の受講負担にも限界がみられ、若干やむを得ない結果という感も持っている。

＜今後の事業計画・展開＞

（１）原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業開発

連携授業に関しては、今回通しで実施した４テーマの基本授業教材を電子ファイル化し、本事業参加大学（及び希望大学）へ配布して、各大学で自主活用することで、本事業の成果の継続を図る。ただ、各大学における担当講師の確保の問題、特に各教材のトピックス更新等について、それぞれの分野の専門家の継続的な支援が必要不可欠であり、当面、東工大が取り纏めをしている大学連合ATOMの参加機関の協力の下、遠隔TV講義システム等の活用を検討していくことが望ましいと考えられる。

（２）リスク・危機管理セミナー等の開催〇〇

補助期間内に実施したリスク危機管理セミナーでの成果は、その内容を連携授業の「原子力におけるリスクと危機管理」に反映させた。従って、補助期間終了後にも、連携授業の教材を正規カリキュラムの授業に取り込むことで、効果的に成果を活用できると考える。

（３）福島第一原発事故を踏まえた原子力災害時の危機管理・復興に必要な知見を習得するための大学間連携実験演習

大学間連携実験演習は、交通費等が高額となるため、全額学生負担で実施していくことは困難である。また福島フィールドワークにおいては、福島県内の除染が進みつつあり、本事業と同じような内容の実習として現地で測定を実施する意義が薄れつつある。そのため、各種イベント（学会主催の夏の学校等）と合わせて短期の実習を実施する等、費用負担の少ない形で継続していきたいと考えている。

＜整備した設備・機器＞

特になし。

＜その他特記すべき事項＞

特になし。

<参考資料>

(1) 参考資料

- 1) 原子力安全性・核セキュリティ・危機管理連携授業教材（抜粋）
- 2) 原子力事業所安全推進セミナー梗概集（H26年版抜粋）
- 3) 装置産業のリスク管理ミニ・シンポジウム梗概集（H26年版抜粋）

(2) 事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) 名古屋大学ホームページ ([http:// cuckoo.nucl.nagoya-u. ac. jp /](http://cuckoo.nucl.nagoya-u.ac.jp/))

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。）	本事業で掲げた3つの実施項目：連携授業開発、リスク・危機管理セミナーの実施、大学間連携実験演習については、教材整備、成果報告作成、実験演習マニュアル整備等においてほぼ当初目標を達成したと考えるが、審査評価委員の所見において、本事業で受益する学生も多いと評価いただいたにも拘らず、本事業参加者数の見込み違いの少なさは、努力不足とも言えるところながら、非常に多種多様の原子力人材育成事業が並行して実施されている状況の中で、各大学の正規授業や他の事業等の日程の重複を避ける配慮、また比較的限られた原子力系の学生を主体に募集をかけることによる学生自身の受講負担にも限界がみられ、若干やむを得ない結果という感も持っている。なお、各実施項目が独立した取り組みにならないようにと、経費の無駄遣いをしないようにとのコメントには十分対応できたと考える。 なお、各実施項目が独立した取り組みにならないようにと、経費の無駄遣いをしないようにとのコメントには十分対応できたと考える。
②特記すべき成果	残念ながら当初目標よりプラスとなる事項は思い当たらない。
③事業の継続状況・定着状況	本文の＜今後の事業計画と展開＞に記したように、少なくとも名古屋大学において、連携授業開発の教材および大学連携実験演習の一部は正規のカリキュラム（大学院1年生向け選択科目）に取り込むことにより、本事業の成果を活用していく予定である。
④成果の公開・共有の状況	本事業で作成した連携授業教材一式は電子ファイル化して、本事業参加大学へ配布する。また、「原子力事業所安全推進セミナー」及び「装置産業のリスク管理ミニ・シンポジウム」の講演資料をとりまとめた梗概集は公開可である。
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	・本事業の大学間連携実験演習では、シミュレーション計算機実習や福島県の線量測定フィールドワークの実習に参加した学生から、複数の大学の志を同じくする学生が数日間同じ釜の飯を食う環境で集い、修士論文研究や就職活動等の有益な情報交換や討論が出来たとの報告を受けている。炉物理や環境放射の測定分野の若手コミュニティの核を作るのに貢献できたのではないかと考えている。 ・平成26年度に本事業の連携授業に参加したM1学生14名のうち5名は、原子力関係の企業（電力、重電系、規制庁）へ就活する意志を示している。