

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「オープン教材の作成・活用による実践的原子力バックエンド教育」

＜実施機関＞

北海道大学大学院工学研究院

＜連携機関＞

北海道大学、東海大学、金沢大学、福井大学、九州大学、筑波大学、旭川工業高等専門学校、福島工業高等専門学校、放射線医学総合研究所、日本原子力研究開発機構、日本原子力発電、電力中央研究所、日本原子力発電株式会社、日本原燃株式会社

＜実施期間・交付額＞

26年度 18,269 千円、27年度 15,394 千円、28年度 11,446 千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

原子力は、エネルギーの安定供給および地球温暖化対策の観点から今後も極めて重要なベースロード電源として期待される一方で、それを持続的に使用するためには、発電に伴って発生する放射性廃棄物の処理・処分の問題を解決しなくてはならない。また、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置ならびに事故によって汚染した環境の修復を進めるとともに、それらの作業から発生する多種多様な放射性廃棄物への対応が不可欠である。高レベル放射性廃棄物の地層処分が100年を超える事業とされること、また、福島第一原子力発電所の廃炉が40年以上の年月を要する作業とされることを考えると、様々な放射性廃棄物を着実に処理・処分する体制を早急に確立することに加え、そのための専門知識を備えた優れた人材を長期にわたって確保する必要がある。しかし、少子高齢化が進むなか、大学教員の人員削減および世代交代も急速に進み、従来通りの充実した原子力専門教育を実施することが年々難しくなっている。また、バックエンド分野においては、廃炉、放射性廃棄物の処理・処分に係る技術的な知識・スキルに加えて、放射性核種の環境中での移行から、社会的、経済的な要素を含む意思決定・合意形成までの幅広い分野の教育が望まれている。

そこで本事業では、原子力バックエンド分野の研究開発を国際的にリードする人材を教育・育成することを目的として、基礎教育、実践的な専門教育、国際教育の3つから成る教育プログラムを実施することとした。その際、専門家の協力により講義等の「オープン教材（OER, Open Educational Resources）」化を図り、本事業の様々な場面で活用することで教育効果を高めるとともに、そのノウハウを蓄積する。さらに、制作したオープン教材の公開を、本提案事業終了後も継続することで、原子力バックエンド分野の専門家を幅広く育成する教育機会を長期間確保することを目標とした。

2. 実施計画

本事業では、原子力バックエンド分野において、基礎教育、実践的な専門教育、国際教育の3つを行うことで、同分野において優れた人材を育成することを目的とした。このうち、基礎教育では、原子力バックエンド分野がカバーしなければならない多様な専門分野に関する概論講義および基礎実験を提供する計画とした。ここで提供する概論講義および基礎実験は、進路あるいは研究テーマ決定を控えた大学学部生等の原子力および原子力バックエンド分野への関心を高める内容とし、また、基礎教育の内容をオープン教材として作成、公開することにより、一般市民の原子力および原子力バックエンド分野への理解を深める教材とすることを目指した。一方、専門教育では、国内の専門家による1～2単位に相当する体系立てた専門教育・講義と、得られた知識の実践を目的とした実験、フィールド実習、見学会を提供する内容とした。講義、実験、実習は、基礎教育と同様に可能な限りオープン教材として作成して専門知識を記録し、それを後々まで共有できる専門教育システムを構築し、さらに、国際教育では、国際セミナーの開催ならびに海外インターンシップを実施する計画とした。国際セミナーにおける海外の専門家による講演も可能な限りオープン教材化を図り、国際教育に活用することとした。また、国際セミナー開催時に海外ホスト（セミナー講師）による海外インターンシ

ップの面接を行うことで、その後の円滑な実施を図ることを目指した。以上の国際教育活動により、原子力バックエンド分野の研究開発を国際的にリードする人材を教育・育成する計画とした。各教育プログラムの詳細は以下の通りである。

①運営会議

運営基本方針を審議するとともに、実施する事業の全体的な企画・調整を行う。

②基礎教育

基礎教育では、主に学部学生を対象とした教育コースとして、原子力に関心はあるが、それらの教育を受けたことのない学生に対し、原子炉工学概論、廃炉工学概論、放射性廃棄物処分工学概論、環境放射能学概論、放射線科学概論、放射線生物学概論、核燃料サイクル工学概論などに関する講義のオープン教材化を進める。また、放射線測定の基礎に関する実験を開講する。なお、平成 28 年度は講義を開講せず、受講生はオープン教材を利用して受講する。

③専門教育

専門教育は、原子力系の学科・専攻に所属する学生あるいは基礎教育の履修者を対象とする。ここでは、原子炉工学、廃炉工学、放射性廃棄物処分工学、環境放射能学の 4 科目（各科目：1～2 単位相当）を実施する。また、得られた知識の実践、定着を目的として、非密封放射性同位元素を用いた実験、福島県内でのフィールド実習、放射性廃棄物処分あるいは廃炉現場の見学を実施する。なお、平成 26 年度は実験およびフィールド実習は実施しない。

④国際教育

国際教育では、本事業の専門教育の履修者あるいは履修者と同等の知識および経験を有する学生および社会人を対象として、国際セミナーを開催するとともに、海外インターンシップとして、専門教育の受講者から選抜した大学院生を数ヶ月間海外の大学あるいは研究機関に派遣する。なお、平成 26 年度は海外インターンシップは実施しない。

＜実施状況＞

本事業では、原子力バックエンド分野において、基礎教育、実践的な専門教育、国際教育の 3 つを行った。このうち、平成 26 年度は、基礎教育として講義と実験を、実践的な専門教育として講義と見学会を、さらに国際教育として国際セミナーを、それぞれ 1 回実施した。一方、平成 27 年度は、平成 26 年度のプログラムに加えて、実践的な専門教育として実験およびフィールド実習を各 1 回実施した他、海外インターンシップ生の派遣を行った。また、実践的な専門教育としての見学会を計 2 回開催した。最終年度の平成 28 年度は、基礎教育の講義を開講せず、オープン教材の収録およびオープン教材による学習とした以外は、平成 27 年度と同じプログラムを実施した。この間、開講した講義をもとに、オープン教材の制作・一般公開を進め、さらにそれらを、実験、フィールド実習、見学会の教育効果を高めるための事前勉強に活用することを試みた。各事業の詳細は以下の通りである。

①運営会議

運営基本方針を審議するとともに、実施する事業の全体的な企画・調整を行った。それぞれの開催日、開催場所および出席者数は以下の通りである。

- ・第 1 回：平成 26 年 10 月 6 日（北海道大学） 11 名
- ・第 2 回：平成 28 年 1 月 25 日（メール審議） 11 名

②基礎教育

基礎教育では、主に学部学生を対象とした教育コースとして、原子力に関心はあるが、それらの教育を受けたことのない学生に対し、原子炉工学概論、廃炉工学概論、放射性廃棄物処分工学概論、環境放射能学概論、放射線科学概論、放射線生物学概論、核燃料サイクル工学概論などの講義を提供し、その一部のオープン教材化を図った。また、放射線測定の基礎に関する実験を開講した。

②－1 講義：平成 26 年度は、原子炉工学概論・2 講義、放射線科学概論・2 講義、放射線生物学概論・2 講義、廃炉工学概論・3 講義の計 9 講義を開講し、オープン教材として収録した。平成 27 年度は核燃料サイクル工学概論・3 講義および放射性廃棄物処分工学概論・1 講義を開講し、オー

プン教材化を図った。平成 28 年度は講義を開講せず、それまでに収録済みの講義のオープン教材化作業を進めた。なお、オープン教材制作のため、平成 26 年度に撮影用カメラ 2 台を含む撮影機材を整備した。講義の開講日、場所、受講者数は以下の通りである。

- ・第 1 回:平成 26 年 11 月 8 日～9 日 実施場所:北海道大学工学研究院、受講者 39 名
- ・第 2 回:平成 27 年 6 月 21 日 実施場所:北海道大学工学研究院 受講者 33 名

②ー2 実験:北海道大学の施設を利用した放射線計測実験および放射能測定実験を行った。このうち、放射線計測実験では霧箱による放射線の可視化、各種サーベイメータの使用法、放射線遮蔽実験を実施した。また放射能測定実験では、環境試料の採取法ならびに前処理方法を学ぶとともに NaI シンチレーション検出器およびゲルマニウム半導体検出器による核種同定法を指導した。環境試料の前処理を行うため、平成 26 年度にマイクロ波試料前処理装置 1 台を整備して活用した。実験の実施日、場所、受講者数は以下の通りである。

- ・第 1 回:平成 27 年 2 月 26～27 日 場所:北海道大学アイソトープ総合センター、受講者 14 名
- ・第 2 回:平成 27 年 6 月 22～23 日 場所:北海道大学アイソトープ総合センター、受講者 14 名
- ・第 3 回:平成 28 年 7 月 6～7 日 場所:北海道大学アイソトープ総合センター、受講者 13 名

③専門教育

専門教育では、原子力系の学科・専攻に所属している学生あるいは本事業の基礎教育を履修した学生、原子力系の学科・専攻を卒業もしくは卒業者と同等の知識を有する社会人を対象として、原子炉工学、廃炉工学、放射性廃棄物処分工学、環境放射能学の 4 科目（各科目:1～2 単位相当）の講義を実施した。また、講義で得られた知識の実践を目的とした実験、フィールド実習、見学会を実施した。

③ー1 講義:平成 26 年度は、放射性廃棄物処分工学・3 講義、環境放射能学・2 講義、廃炉工学・2 講義、原子炉工学・1 講義の計 8 講義を開講した。平成 27 年度は、放射性廃棄物処分工学・2 講義、環境放射能学・2 講義、廃炉工学・2 講義に加えて、特別講義「考証・福島原子力事故 考証・福島原子力事故 一炉心溶融、水素爆発はどう起こったか 一炉心溶融、水素爆発はどう起こったか」（講師:石川迪夫・北大元教授）の計 7 講義を開講した。平成 28 年度は、環境放射能学・3 講義、放射性廃棄物処分工学・2 講義の計 5 講義として、このうち 3 講義は外国人研究者を講師とした。これらの講義は一部を除き、オープン教材として収録し、一般公開を図った。講義の開講日、場所、受講者数は以下の通りである。

- ・第 1 回:平成 26 年 12 月 6～7 日 場所:北海道大学工学研究院、受講者 25 名
- ・第 2 回:平成 27 年 7 月 25～26 日 場所:北海道大学工学研究院、受講者 44 名
- ・第 3 回:平成 28 年 7 月 3 日 場所:北海道大学オープンエデュケーションセンター、受講者 18 名

③ー2 実験:専門教育の実験は平成 27 年度および 28 年度に開講し、平成 26 年度は次年度から行う実験の準備を実施した。実験は、非密封放射性同位元素を用いた放射性廃棄物処理・処分技術および環境放射能に関するものであり、北海道大学アイソトープ総合センターの放射線管理区域内にて行った。内容は、放射能汚染防護資材の使用法および汚染検査の実習、除染および核種同定実験、植物による放射性核種の吸収試験、土壌への放射性核種の収着試験とした。実験期間の午前中は実験あるいは専門教育に関連した講義を行った。また、最終日の午後は、実験結果を取りまとめた結果を全体で討論した。実験の実施日、場所、受講者数は以下の通りである。

- ・第 1 回:平成 27 年 8 月 31 日～9 月 3 日 場所:北海道大学アイソトープ総合センター、受講者 11 名
- ・第 2 回:平成 28 年 8 月 22 日～25 日 場所:高等教育推進機構 S 講義棟、北海道大学アイソトープ総合センター、受講者 11 名

③ー3 フィールド実習:フィールド実習は平成 27 年度および 28 年度に実施し、平成 26 年度はその準備期間とした。実習先は、日本原子力研究開発機構が森林環境動態調査対象としている福島県双葉郡川内村内の村有林とし、そこで、環境放射線計測、環境放射能試料の採取、環境放射能測定および環境修復に関する指導を行い、村有林内の斜面における放射性 Cs の面的分布状況を空間線量率により測定した。また、土壌試料の採取、簡易的な土壌深度分布の測定などを行い、それらの結果を整理して、森林での放射性 Cs の移行挙動について検討し、その成果を最終日に発表した。

フィールド実習の実施日、受講者数は以下の通りである。

- ・第1回:平成27年9月28日～10月1日 受講者13名
- ・第2回:平成28年9月26日～9月30日 受講者10名

③-4 見学会:講義あるいは実験の受講生に対して、放射性廃棄物処分あるいは廃炉の現場を見学し、その現状や課題を学ぶ機会を設けた。平成26年度は1回、平成27および28年度は2回実施した。平成27および28年度の1回は、フィールド実習の受講生が参加しやすいように、フィールド実習の前後に開催した。見学会の参加者には、見学先に関連のある講義あるいはオープン教材の視聴を課題とした。オープン教材が公開前の場合には、講師の許可を得た上で、DVD等にて収録した講義のビデオを貸し出した。日程的に可能な場合には、見学前に事前のミーティングを行い、見学ポイントの抽出、整理、優先付けを行い、参加者間での相互確認を行った。また、見学後にも反省会を開催し、事前に抽出した見学ポイントの妥当性の評価などを議論した。3年間に実施した見学会の開催日時、見学先、受講者数は以下の通りである。

- ・第1回:平成26年11月17日～17日 見学先:高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ)、原子炉廃止措置研究センター(ふげん)、受講者27名
- ・第2回:平成27年10月2日 見学先:日本原子力発電株式会社 東海発電所(茨城県那珂郡東海村)東海第二発電所(使用済燃料乾式貯蔵施設)、受講者12名
- ・第3回:平成27年10月30日 見学先:日本原燃株式会社再処理工場、低レベル放射性廃棄物埋設センター、受講者12名
- ・第4回:平成28年7月4日 見学先:日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター、幌延町オトノリ風力発電所、受講者22名
- ・第5回:平成28年9月26日 見学先:福島第一原子力発電所、櫛葉遠隔技術研究センター、受講者13名

④国際教育

国際教育では、本事業の専門教育の履修者あるいは履修者と同等の知識および経験を有する学生および社会人を対象として、国際セミナーを開催した。また、平成27および28年度に、海外インターンシップとして、専門教育の受講者から選抜した大学院生を数ヶ月間海外の大学あるいは研究機関に派遣した。

④-1 国際セミナー:原子力バックエンド分野において国際的に活躍している海外の研究者を招聘し国際セミナーを開催した。平成26年度および平成27年度は北海道大学総長裁量経費の支援も受け、平成26年度は講師7名(フランス2名、英国、ベルギー、ドイツ、スイス、米国、各1名)を、平成27年度は講師8名(フランス2名、英国3名、米国1名、日本2名)を招聘した。また、平成28年度の講師は3名(フランス2名、英国1名)であった。本セミナーは対象としている分野が広く、必ずしも参加者がすべての分野の基礎知識を有している訳ではないため、講義の途中に日本人研究者による解説を加えた。また、外国人講師の講義の後、参加者が外国人講師1名を含む小グループに分かれ、講師の講演内容を中心にグループディスカッションを行い、その成果をグループ毎に発表した。なお、平成27年度および平成28年度は海外インターンシップに派遣された学生の成果報告(1名は中間報告)が国際セミナー中に行われた。国際セミナーの開催日、場所、受講者数は以下の通りである。

- ・第1回:平成27年2月28日～3月1日 場所:北海道大学学術交流会館、受講者38名
- ・第2回:平成28年2月28日～3月1日 場所:北海道大学工学研究院、受講者42名
- ・第3回:平成29年2月26日～28日 場所:北海道大学工学研究院、受講者23名

④-2 海外インターンシップ:平成27年度および平成28年度に大学院生を海外インターンシップに派遣した。派遣した学生は、平成27年度は3名、平成28年度は2名であった。派遣した学生の大部分は、前年度の国際セミナーにて受け入れ先の研究者との面接を実施した。帰国後、国際セミナーにおいて成果報告を行った。なお平成28年度の派遣学生1名は、国際セミナー開催時は派遣中であったため、派遣先と国際セミナー会場とをSkypeで接続して、派遣先からインターンシップの途中経過報告を行った。実施した海外インターンシップの、派遣時期、派遣先、派遣学生の所属大学・学年は以下の通りである。

- ・第1回:平成27年11月2日～12月1日 派遣先:フランス・ナント大学 派遣学生:北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム専攻・修士2年
- ・第2回:平成27年11月16日～平成28年1月29日 実施場所:フランス・ナント大学 派遣学生:東海大学大学院工学研究科応用理学専攻・修士2年
- ・第3回:平成28年1月11日～3月4日 派遣先:米国・アルゴンヌ国立研究所 派遣学生:北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム専攻・修士2年
- ・第4回:平成28年10月22日～平成29年1月15日 派遣先:フランス・ナント大学 派遣学生:北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム専攻・修士2年
- ・第5回:平成28年12月5日～平成29年3月2日 派遣先:フランス・ナント大学 派遣学生:京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・修士2年

⑤その他

⑤－１：広報活動

広報WGが中心となって、本事業用のWebを制作し、前事業で導入したWeb用サーバーを活用して公開を開始した(<http://backend.qe.eng.hokudai.ac.jp/>)。また、同サーバーを利用して、受講者募集および事業成果の公表などのための広報活動ならびにMLによる実務担当者間の連絡体制を確立した。一方、本事業で制作したオープン教材については、北海道大学オープンコースウェアのホームページ(<http://ocw.hokudai.ac.jp/>)にて順次一般公開した。

⑤－２：グローバルMOOCの開講

前事業で制作・公開したオープン教材への反響の一つとして、オープンエデュケーションコンソーシアムから開講要請のあったグローバルMOOCコンテンツを、本事業構成メンバーが中心となって北海道大学のプロジェクトとして制作し、平成27年7月～8月の期間にedXにて、「Effects of Radiation: An introduction to Radiation and Radioactivity」として開講した。受講生は世界133ヶ国4300名を超えた。edXからは、次年度以降の開講ならびに応用編の制作・公開の要請を受けた。

表1 本事業で編纂、印刷したテキストのページ数および印刷部数

プログラム	平成26年度		平成27年度		平成28年度	
	総ページ数	印刷部数	総ページ数	印刷部数	総ページ数	印刷部数
基礎教育講義	190	60	71	50	—	—
基礎教育実験	73	25	70	25	84	25
専門教育講義	198	50	226	50	151	30
専門教育実験	—	—	24	20	60	20
国際セミナー	107	60	135	70	—	—



写真 1 基礎教育講義
(平成 26 年 11 月 9 日 北海道大学)



写真 2 基礎教育実験
(平成 27 年 6 月 22 日 北海道大学)



写真 3 専門教育講義
(平成 28 年 7 月 3 日 北海道大学)



写真 4 専門教育実験
(平成 27 年 9 月 2 日 北海道大学)



写真 5 フィールド実習
(平成 28 年 9 月 29 日 福島県飯舘村)



写真 6 見学会
(平成 26 年 11 月 17 日 福井県敦賀市)



写真7 見学会
(平成28年7月5日 幌延地層研究センター)



写真8 見学会
(平成27年10月2日 日本原子力発電)



写真9 国際セミナー
(平成26年3月1日 北海道大学)



写真10 インターンシップ報告会
(平成29年2月28日 北海道大学)

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		
			26年度	27年度	28年度
基礎教育	講義	学生、社会人	39名	33名	OCWでの学習
	実験	学生、社会人	14名	14名	13名
専門教育	講義	学生、社会人	25名	44名	18名
	実験	学生、社会人		11名	11名
	フィールド実習	学生、社会人		13名	10名
	見学会	学生、社会人	27名	24名	35名
国際教育	国際セミナー	学生、社会人	38名	42名	23名
	海外インターンシップ	学生、社会人		3名	2名
参加人数（実績）			86名	100名	51名
（参考指標）			212	154	224
交付額/参加人数			千円/人	千円/人	千円/人

表 2. オープン教材のダウンロード（再生）数（結果）

実施項目	教材	公開講義数 (平成 29 年 11 月 21 日時点)	ダウンロード（再生）数		
			26 年度	27 年度	28 年度
前事業「多様な環境放射能問題に対応可能な国際的人材の機関連携による育成」（平成 23～25 年度）	初級コース	5	1,462	2,951	212
	中級コース	3	401	784	2
	上級コース	2	408	950	11
本事業「オープン教材の作成・活用による実践的原子力バックエンド教育」（平成 26～28 年度）	基礎教育	13	82	13,104	10,779
	専門教育	12	0	903	2,713
		35	2,353	18,692	13,717
		(参考指標) 交付額/参加人数	7.76 千円/回	0.82 千円/回	0.83 千円/回

表 3. 実施スケジュール（結果）

項目		26 年度 (四半期毎)				27 年度 (四半期毎)				28 年度 (四半期毎)			
① 運営会議				□	←								→
② 基礎教育	1. 講義			□		□							
	2. 実験				□	□					□		
③ 専門教育	1. 講義			□			□				□		
	2. 実験			準	備		□				□		
	3. フィールド実習			準	備			□				□	
	4. 見学			□				□ 2回			□	□	
④ 国際教育	1. 国際セミナー				□				□				□
	2. 海外インターンシップ							□	□			□	□

＜成果と評価＞

本事業では、原子力バックエンド分野において、基礎教育、実践的な専門教育、国際教育の3つを行い、個々のプログラムの内容充実を図るとともに、それらの受講を通して、原子力バックエンド分野の研究開発を国際的にリードする人材の教育・育成を試みた。一方、開講した講義の大部分はオープン教材として制作・公開を図り、基礎教育の講義は一般市民の原子力および原子力バックエンド分野への理解を深める教材として、また専門の講義は大学院生らが専門知識を学ぶ教材として、それぞれ共有・活用できる教育システムの構築を目指した。

プログラムはいずれも滞りなく実施でき、受講者数はほぼ当初の計画通りとなった。受講者を対象としたアンケート調査では、いずれのプログラムにおいても、教育内容、有益度などの観点で高い評価を得ることができた。一方、MOOCの開講前後からオープン教材の月間視聴数（ダウンロード数）は急増し、平成29年11月21日時点で48,685件に達するなど（1講義の聴講には3～7回のダウンロードが必要）、ライブラリー化を図ってきたオープン教材の認知度ならびに利用度が格段に上がってきたことがわかる。

①運営会議

電子メールなどにより実施責任者、各ワーキンググループの主査および副査間で連絡を取り、事業の進捗状況の確認・調整を行った。

②基礎教育

基礎教育の講義の受講者は2年間で72名となり、予定受入数（60名／2年）を20%上回った。受講生に対する受講後のアンケート調査では、講義の難易度はいずれの講義も半数以上が「丁度良い」と回答があった。開講した講義のうち事業期間中に順次公開した13のオープン教材化のダウンロード（再生）数は32,890件（平成29年11月21日現在）となった。

基礎教育の実験の受講者は3年間で41名となり、予定受入数（45名／3年）より若干少なかった。受講生に対する受講後のアンケート調査では、実験の内容については、いずれの年も70%以上が「丁度良い」と回答した。難易度については、平成26、28年度は70%が「丁度良い」の回答であったのに対して、平成27年度のみ「丁度良い」の回答が36%で、「やや難しい」あるいは「難しい」との回答が合計で42%あった。これは受講生のうち学部生の割合が高かったことなどによると思われる。なお、有益度については、いずれの年度も「有益であった」あるいは「とても有益であった」との回答が90%以上であった。

⑤ 専門教育

専門教育の講義の受講者は3年間で87名となり、予定受入数（50名／3年）を大幅に上回った。受講生に対する受講後のアンケート調査では、講義の難易度は専門性の高い講義において「やや難しい」との回答が目立ったものの、概ね「丁度良い」の回答であった。なお、平成28年度には外国人講師による英語での講義が3コマあったが、これらに対する評価も同様であった。オープン教材は講義として開講して収録したものに加えて、スタジオにおいても収録を行った。このうち、事業期間中に順次公開した講義は12である。これらのダウンロード（再生）数は、公開からの時間が短いものを含んでいたにもかかわらず6,753件（平成29年11月21日現在）に達した。

専門教育の実験の受講者は2年間で22名となり、予定受入数（20名／2年）より若干多くなった。非密封のRIを用いた実験は、除染実験、土壌への放射性核種の収着実験、植物による放射性核種の吸収実験など幅広い分野であったが、全員が最後まで参加し、さらにその結果を取りまとめて発表し、全体で討論できた。なお、実験期間中に、次のプログラムであるフィールド実習を円滑に実施するため、フィールド実習に関する講義や説明会を組み込んだ。

フィールド実習の受講者は2年間で23名となり、予定受入数（20名／2年）より若干多くなった。専門教育の実験時に、概要説明を行っていたことに加えて、現地集合の当日夜に、説明会を開催したことで、参加者は実習内容および注意事項を十分理解しており、森林での危険動物との遭遇があったものの、大きなトラブルもなく実習を終えることができ、最終日には得られたデータをもとに森林での放射性Csの移行挙動について活発な議論を行うことができた。

見学会は、いずれの回も参加希望者が多く、予定受入数（48名／3年）に対して3年間の参加者合計は86名となった。参加者には、事前に本事業のプログラム中の関連の講義を聴講すること、あるいは関連のオープン教材を視聴することを指示し、質問事項や興味深い点などをレポートとして提出

させた。また、見学前後にミーティングを行い、参加者全員でそれらの内容を確認した。これにより、見学先で積極的な質問が認められた。

④国際教育

国際セミナーの受講者は3年間で103名となり、予定受入数(130名/3年)を下回った。これは他の原子力人材育成事業のプログラムと日程の一部あるいは全部が重複したことが一因と考えられる。招聘した講師は、平成26年度は7名(フランス2名、英国、ベルギー、ドイツ、スイス、米国、各1名)、平成27年度は8名(フランス2名、英国3名、米国1名、日本2名)、平成28年度は3名(フランス2名、英国1名)であった。なお、このうち、平成26および27年度は、学内競争的資金・北海道大学総長裁量経費にて招聘した講師も含む。受講生に対する受講後のアンケート調査では、セミナーの内容について、平成26年度は85%が、平成27年は90%が、平成29年度は全員が「適切」と回答した。また、難易度については、スライド中の専門用語の和訳リストを配布した他、講義の途中に日本人研究者による解説も加えたものの、「やや難しい」あるいは「難しい」との回答が半数を上回った。一方、有益度は、「有益であった」あるいは「とても有益であった」との回答が大部分(95%以上)であった。

海外インターンシップは、6名/2年の派遣予定数に対して5名の学生を派遣した。5名とも、国際セミナーにおいて成果報告(あるいは中間報告)を行い、充実した活動内容を紹介した。これは他の学生、とくに学部学生に良い教育効果があったと考えられる。なお、インターンシップ中の研究がその後の修士論文などの内容に反映された例もあり、その中でも、フランス・ナント大学に派遣された学生のケースでは、インターンシップ中の研究成果が学術論文として発表された。

⑤その他(評価項目に係る事項に対する考察 等)

本事業では、ほぼ当初の計画通り受講生を受け入れ、講義、実験、フィールド実習、見学会、国際セミナー、海外インターンシップの各プログラムを順調に実施することができ、また同時にオープン教材の制作・公開を進めることができた。アンケート回答結果から、これらはいずれも受講が有益であったと評価できる内容だったことがわかる。

特筆すべき成果としては、国内外の教員、研究者と連携して、本事業においてオープン教材として原子力バックエンドに関連する65の講義を収録し、そのうち25講義を公開した点があげられる。本事業により収録し公開したオープン教材の再生およびダウンロード総数は平成29年11月21日時点で39,643件であった。前事業(「多様な環境放射能問題に対応可能な国際的人材の機関連携による育成」、平成23年度から平成25年度)において制作・公開したオープン教材の再生総数9,042件を加えると、総再生数は48,685件であった。このうち一部の視聴者を対象として、IPアドレスからアクセス元を調べた結果、京都大学、徳島大学、駒澤大学、新潟大学、九州大学、昭和大学、豊橋科学技術大学、神戸大学、東京都市大学、東北大学、東洋大学、筑波大学、東海大学、米国フロリダ大学、苫小牧高専、福島高専、職業能力開発総合大学校、東京電力、東電グループ情報ネットワーク、鹿島建設、凸版印刷、東芝、国立病院九州がんセンター、理化学研究所、J-PARC、JAXA、高エネルギー加速器研究機構、気象庁、青森市、電力中央研究所など、教育機関、研究機関に限らず、地方自治体や民間企業にまで利用が広がっていることが明らかになった。これは、課題採択時の審査評価委員会所見である「幅広い専門家による講義等をオープン教材として整備する計画としていることから、持続的かつ広範な教育効果が期待される」に応えることができるものと考えられる。また、原子力バックエンドに関連する概論講義として公開した、基礎教育の講義のオープン教材がダウンロード総数の大部分を占めている(平成29年11月21日現在で32,890件)ことから、課題採択時の審査評価委員会所見である「若い世代がバックエンド事業に関する魅力や誇りを実感できるような、効果的な研修プログラムとなるように努めていただきたい。」についても、バックエンド事業の魅力や誇りを若い世代に広く伝えることができたと思われる。一方、海外インターンシップに参加した学生の研究成果が論文化されたことは、本プログラムの教育・研究両面での成果と考えられる。

事業の継続状況・定着状況としては、本事業で制作・公開されたオープン教材は事業終了後も引き続き北海道大学オープンエデュケーションセンターのサーバーから継続して公開されている。また、未公開の収録済み講義は今後も編集・著作権処理を進め、今後順次公開する予定である。なお、平成29年度新規採択の原子力人材育成事業「オープン教材の活用による原子力教育の受講機会拡大と質的向上」においては新たに20程度の講義をオープン教材化する計画であり、それらと合わせてライブラリーのさらなる充実を図る計画である。また、国際セミナーに招聘した講師陣とは事業終了後も密

な連携関係を維持しており、本事業の受講生の一人（博士課程学生）は、平成 29 年度からフランス・ナント大学にインターンシップ生として滞在中である。また、北海道大学内の競争的資金「サマーインスティテュート制度」によって、平成 30 年度以降にナント大学の教員が北海道大学にて集中講義を行うことが確定している。

本事業で得られた成果等は、学会・研究会等での口頭発表：8 件（うち招待講演 7 件）、ポスター発表：1 件、広報誌等への寄稿：1 件、成果報告書：3 件である。このうち日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会年次大会におけるポスター発表（2017 年 10 月）は、優秀ポスター賞を受賞した。また、平成 26 年度の見学会が新聞（北海道新聞平成 26 年 11 月 18 日朝刊）にて紹介された。

事業に参加した学生数は、平成 26 年度：76 名、平成 26 年度：91 名、平成 26 年度：48 名の合計 215 名であった。このうち進路が判明している学生は 69 名であり、さらにそのなかで、原子力系関係機関に就職した学生は 36 名、進学者は 6 名であった。また、放射線取扱主任者試験合格者は 7 名、1 名が日本原子力学会北海道支部奨励賞（最優秀研究発表賞）を受賞した。

＜今後の事業計画・展開＞

原子力は、エネルギーの安定供給および地球温暖化対策の観点から今後も極めて重要なベースロード電源として期待される。一方で、原子力を持続的に使用するためには、それを支える優れた研究者・技術者を長期にわたって育成・確保する必要がある。このため、オープン教材が有する「教材蓄積」、「生涯学習」、「教育改善」の 3 つの効果を最大限活用した、より効果的な原子力教育の実現が望まれる。

そこで、本事業で制作・公開したオープン教材を活用し、さらにこれまでに実施した教育プログラムならびにその経験を基にした原子力分野の人材育成を目的として、新規原子力人材育成事業「オープン教材の活用による原子力教育の受講機会拡大と質的向上」を平成 29 年度より開始している。この新事業では、(1) オープン教材の改善・拡充、(2) オープン教材による学習にスクーリングによる対面のディスカッション・見学会を組み合わせた全国の学生に対するエキスパート育成プログラムの実施、(3) 教養科目の開講とそこでの知見の収集・分析、を行う計画である。なお、この新規原子力人材育成事業は、北海道大学工学研究院の原子力系教員および高等教育推進機構オープンエデュケーションセンターの教育工学系の教員が中心となり、さらに、北海道大学工学研究院の原子力寄附分野（原子力支援社会基盤技術分野）および北海道大学アイソトープ総合センターの教職員の協力を得る。また、他大学（福井大学、筑波大学など）、福島工業高等専門学校および研究機関（量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所、日本原子力研究開発機構）とも連携して実施する。

＜整備した設備・機器＞

- (1) マイクロ波試料前処理装置 1 台（平成 26 年度整備、約 3 百万円）

基礎教育の実験において、食品中の放射能を測定する際の試料前処理（試料の灰化処理）に用いた。

- (2) 撮影用カメラ 2 台（平成 26 年度整備、約 1.3 百万円）

オープン教材制作のための講義収録時に、1 台は講師撮影用に、もう 1 台はスライド投影を含めた全体風景の撮影用に使用した。3 年間の講義収録数は 65 件であった。

＜その他特記すべき事項＞

前原子力人材育成事業（「多様な環境放射能問題に対応可能な国際的人材の機関連携による育成」[平成 23～25 年度]）で制作・公開したオープン教材に対して、オープンエデュケーションコンソーシアムから開講要請のあったグローバル MOOC（大規模公開オンライン講座）コンテンツを、北海道大学のプロジェクトとして制作し、平成 27 年 7 月～8 月の期間に edX にて開講した。受講生は世界 133 ヶ国 4,300 名を超えた。edX からは、次年度以降の開講ならびに応用編の制作・公開の要請を受けた。

表 4 オープン教材の収録および公開状況（平成 26 年度収録分）

講義名	講師名	教室収録	状況	スタジオ収録	状況
原子炉工学概論Ⅰ	千葉豪・北大	完了	公開 27		
原子炉工学概論Ⅱ	千葉豪・北大	完了	公開 27		
廃炉工学概論Ⅰ	柳原敏・福井大	完了	公開 27	完了	準備中
廃炉工学概論Ⅱ	小崎完・北大	完了	公開 27		
廃炉工学概論Ⅲ	井口幸弘・原子力機構	完了	公開 26		
放射線科学概論Ⅰ	藤吉亮子・北大	完了	公開 27		
放射線科学概論Ⅱ	加美山隆・北大	完了	公開 27		
放射線生物学概論Ⅰ	山盛徹・北大	完了	公開 26		
放射線生物学概論Ⅱ	山盛徹・北大	完了	公開 26		
原子炉工学Ⅰ	千葉豪・北大	完了	公開 27		
廃炉工学Ⅰ	柳原敏・福井大	完了	準備中		準備中
廃炉工学Ⅱ	井口幸弘・原子力機構	完了	公開 27		
放射性廃棄物処分工学Ⅰ	大江俊昭・東海大	完了	準備中	完了	
放射性廃棄物処分工学Ⅱ	大江俊昭・東海大	完了	準備中	完了	
放射性廃棄物処分工学Ⅲ	鈴木覚・NUMO	完了	公開 28		
環境放射能学Ⅰ	田上恵子・放医研	完了	公開 27	完了	
環境放射能学Ⅱ	田上恵子・放医研	完了	公開 27	完了	
放射性廃棄物処理・処分	Bernd Grambow	完了	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Bernd Grambow	完了	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Marc Aertsenes	完了	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Luc Van Loon	辞退			
放射性廃棄物処理・処分	Tomo Suzuki	完了	準備中		
廃炉工学	Joe Carignan	完了	準備中		
廃炉工学	Martin Brandauer	辞退			
環境放射能	Mike Wood	完了	準備中		

* 「公開 26」：平成 26 年度に公開、「公開 27」：平成 27 年度に公開、「公開 28」：平成 28 年度に公開

表5 オープン教材の収録および公開状況（平成27年度収録分）

講義名	講師名	教室収録	状況	スタジオ収録	状況
核燃料サイクル概論Ⅰ	小崎完・小崎完	完了	準備中		
核燃料サイクル概論Ⅱ	星野剛・日本原燃	完了	公開28		
核燃料サイクル概論Ⅲ	山田立哉・日本原燃	完了	公開28		
低レベル放射性廃棄物処理処分	京谷修・日本原燃	完了	公開28		
放射性廃棄物処分工学	大江俊昭・東海大	完了	準備中		
放射性廃棄物処分工学	谷口直樹・原子力機構	完了	公開28		
原子炉工学	石川迪夫・元北大教授	完了	準備中		
廃炉工学	柳原敏・福井大学	完了	準備中		
廃炉工学	苅込敏・日本原子力発電	完了	準備中		
環境放射能学	新里忠夫・原子力機構	完了	公開28		
環境放射能学	大貫敏彦・原子力機構	完了	準備中		
放射性廃棄物処分工学	藤田朝雄・原子力機構			完了	準備中
放射性廃棄物処分工学	Bernd Grambow	完了 (2講義)	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Tomo Suzuki	完了	準備中		
環境放射能学	馬原保典・京大名誉教授	完了	準備中		
廃炉工学	高野公秀・原子力機構				
放射性廃棄物処理・処分	Roy Wogelius	完了	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Arjen van Veelen	完了	準備中		
廃炉工学	Larry Boing	完了	準備中		
環境放射能学	Mike Wood	完了	準備中		

* 「公開28」：平成28年度に公開

表 6 オープン教材の収録および公開状況（平成 28 年度収録分）

講義名	講師名	教室収録	状況	スタジオ収録	状況
原子炉工学	合川 正幸・北海道大学			完了	公開 28
原子炉工学	島津洋一郎・福井大学			完了	公開 28
原子炉工学	千葉豪・北海道大学			完了	準備中
原子炉工学	奥村啓介・原子力機構	完了	準備中		
原子炉工学	坂下弘人・北海道大学			完了	準備中
原子炉工学	杉山憲一郎・北海道大学			完了	準備中
廃炉工学	柳原敏・福井大			完了 (4 講義)	準備中
放射性廃棄物処分工学	佐々木隆之・京都大	完了	準備中		
環境放射能学	田上恵子・放医研	完了	公開 28		
環境放射能学	高田兵衛・海生研	完了	公開 28		
環境放射能学	廣瀬勝己・元気象研	完了	公開 28		
環境放射能学	内田滋夫先生・放医研	完了	公開 28		
環境放射能学	Yoshiko Fujita	完了	準備中		
放射性廃棄物処理・処分	Ian Bourg	完了	準備中		

* 「公開 28」：平成 28 年度に公開

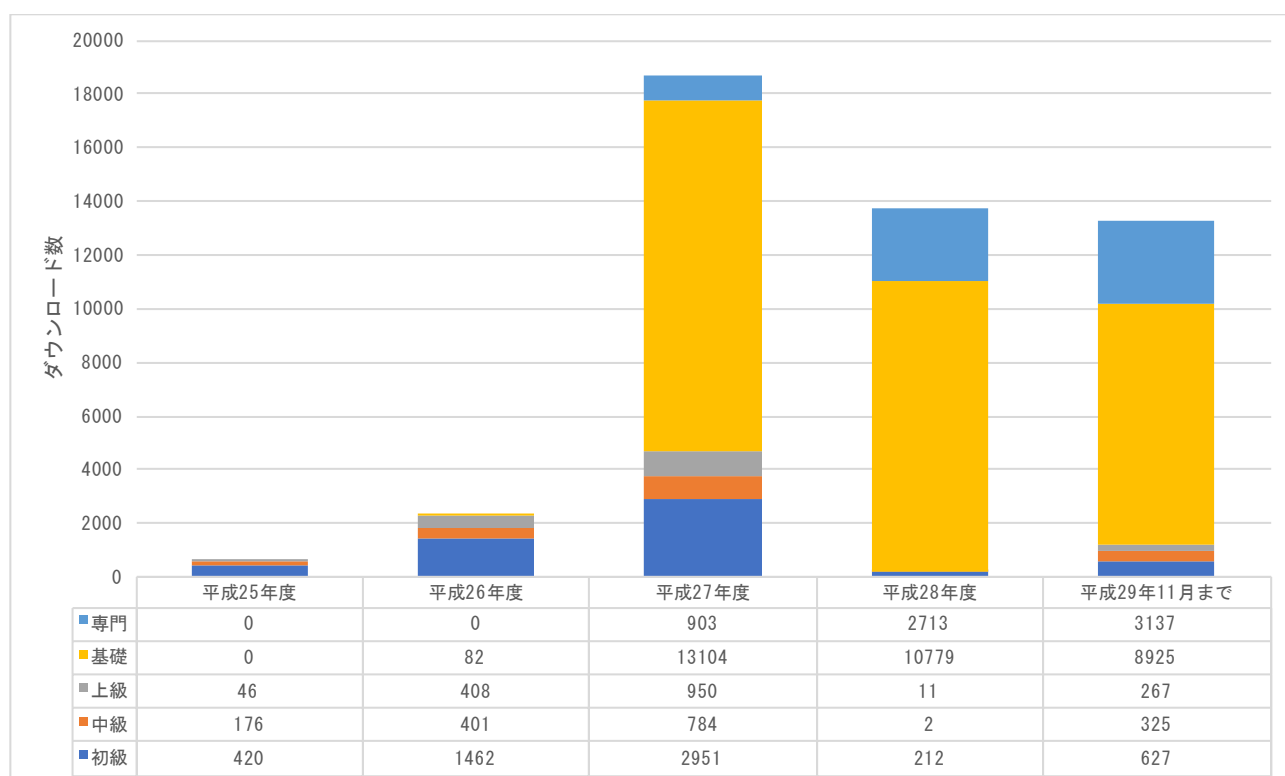


図1 オープン教材ダウンロード件数内訳
(専門、基礎：本事業での収録・公開、上級、中級、初級：前事業での収録・公開)

＜参考資料＞

(1) 添付資料

- 1) 平成26年度原子力人材育成等推進事業「オープン教材の作成・活用による実践的原子力バックエンド教育」実績報告書〔拡張版〕、平成27年4月（全39ページ）
- 2) 平成27年度原子力人材育成等推進事業「オープン教材の作成・活用による実践的原子力バックエンド教育」実績報告書〔拡張版〕、平成28年4月（全48ページ）
- 3) 平成28年度原子力人材育成等推進事業「オープン教材の作成・活用による実践的原子力バックエンド教育」実績報告書〔拡張版〕、平成29年4月（全42ページ）
- 4) 平成27年度 基礎教育・講義テキスト（全71ページ）の抜粋
- 5) 平成27年度 基礎教育・実験テキスト（全70ページ）の抜粋
- 6) 平成27年度 専門教育・講義テキスト（全226ページ）の抜粋
- 7) 平成27年度 専門教育・実験テキスト（全24ページ）の抜粋
- 8) 平成27年度 国際教育・国際セミナーテキスト（全135ページ）の抜粋
- 9) 事業成果の公開事例、関連する文献等の抜粋

(2) 事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) 本事業ホームページ (<http://backend.qe.eng.hokudai.ac.jp/>)
- 2) 北海道オープンコースウェアホームページ (<https://ocw.hokudai.ac.jp/>)
- 3) 公開中のオープン教材のホームページ
 原子炉工学：
<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-nuclear-reactor-engineering/>
 廃炉工学：
<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-decommissioning-engineering/>
 放射性廃棄物処分工学：
<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-radioactive-waste-disposal-engineering/>
 環境放射能学：

<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-environmental-radioactivity/>

放射線科学：

<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-radiology/>

放射線生物学：

<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-radiobiology/>

核燃料サイクル工学：

<https://ocw.hokudai.ac.jp/field/field10/backend-nuclear-fuel-cycle-engineering/>

- 4) 小崎完、他、環境放射能および原子力バックエンド分野における人材育成活動の展開、第16回環境放射能研究会、高エネルギー加速器研究機構、2015年3月9日
- 5) 北海道大学オープンエデュケーションセンター、2014年度活動報告書、2015年3月
- 6) 小崎完、総合講演・報告4「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会報告・『北海道大学におけるオープン教材を活用した原子力バックエンド教育』、日本原子力学会2015年秋の大会、2015年9月11日、静岡大学[招待講演]
- 7) 小崎完、原子力安全システムの諸課題について、エネルギーシンポジウム2015『エネルギーの行方について考える』、北海道エナジートーク21、2015年11月19日、札幌[招待講演]
- 8) 小崎完、福島第一原子力発電所事故後の北大における原子力バックエンド教育・研究、北海道原子力研究懇話会、2016年1月19日、札幌[招待講演]
- 9) 北海道大学オープンエデュケーションセンター、2015年度活動報告書、2016年3月
- 10) T. Kozaki, N. Watanabe, S. Tanaka, K. Shigeta, Nuclear waste management in Japan and its related capacity building activities at Hokkaido University, 3rd Educational Symposium on RADIATION AND HEALTH by young scientists (ESRAH2016)、October 1-2, 2016、北海道大学[招待講演]
- 11) 小崎完、原子力人材育成事業およびEffects of Radiation (MOOC) の制作、オープンエデュケーションセンターフォーラム「北海道大学におけるオープンエデュケーションの広がり」、2016年8月5日、北海道大学[招待講演]
- 12) 小崎完、長期視点に立ったバックエンド分野における人材育成、RANDEC ニュース 104 号巻頭言、2016年12月
- 13) 小崎完、高専～大学院向け原子力e教材 (1) 北大における原子力工学分野の大規模オンライン講座およびオープン教材を活用した原子力人材育成、日本原子力学会2017年春の年会 教育委員会セッション、2017年3月28日、東海大学[招待講演]
- 14) 北海道大学オープンエデュケーションセンター、2016年度活動報告書、2017年3月
- 15) 小崎完、高レベル放射性廃棄物処分の現状と人材育成、北海道エネルギー環境教育研究委員会講演会、2017年5月20日、ホテルライフオー・札幌 [招待講演]
- 16) 小崎完、渡辺直子、重田勝介、オープン教材を用いた放射線教育の展開、日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会年次大会、2017年10月12日、淡路夢舞台国際会議場
- 17) Tomo Suzuki-Muresan, Katy Perrigaud, Johan Vandenborre, Solange Ribet, Inai Takamasa and Bernd Grambow, Assessment of surface reactivity of thorium oxide in conditions close to chemical equilibrium by isotope exchange $^{229}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ method, Radiochimica Acta, 105(6), 471-485, 2017.
- 18) 北海道新聞記事 (平成 26 年 11 月 18 日朝刊)

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。）	2 ページの「<実施状況>」から 11 ページの「<成果と評価>」の間に課題の達成度を記載した。また、「採択時の審査評価委員会所見への対応」を 10 ページの「<成果と評価>の⑤その他」欄に記載した。 1. 課題の達成度 - すべてのプログラムを円滑に実施できた - ほぼ計画通りの受講生を継続的に受け入れた - 受講生アンケートの回答において、教育プログラムの難易度が適切に設定され、受講が有益であったことが示された。 - オープン教材化した講義の視聴数が 39,000 件を超えるなど、受講機会を拡大させ、持続的かつ広範な教育を行うことが出来た。 - 海外インターンシップを着実に実施し、成果をあげるとともに、今後も継続的に実施する基盤を整えた。 2. 審査評価委員会所見への対応 - 幅広い専門家による講義等のオープン教材としての整備：国内外の教員、研究者による 65 の講義を収録し、そのうち 25 講義をオープン教材として公開した。 - 若い世代への効果的な研修プログラム：オープン教材のうち、概論講義の受講が多いことから、若い世代への効果的な研修プログラムとして機能した可能性が高い。また、海外インターンシップでは顕著な研究成果も得られ、効果的な研修プログラムであったことが示された。 以上より、本事業は当初の目標を十分達成できたと考える。
②特記すべき成果	1. オープン教材 - オープン教材の再生数（ダウンロード数）は平成 29 年 11 月 21 日時点で 39,000 件を超え、教育機関、研究機関に限らず、地方自治体や民間企業にまで利用が広がっていることが明らかになった。 - オープンエデュケーションコンソーシアムから開講要請のあったグローバル MOOC コンテンツを、本事業構成メンバーが中心となって北海道大学のプロジェクトとして制作し、edX にて、「Effects of Radiation: An introduction to Radiation and Radioactivity」として開講した。受講生は世界 133 ヶ国 4300 名を超えた。 2. 海外インターンシップ - 海外インターンシップに参加した学生の派遣先での研究成果が学術論文として発表された。 - 海外の大学との連携が強化され、継続的な海外インターンシップならびに外国人講師による日本での集中講義の実施が確定した。 3. 成果発表 - 本事業内容を紹介した、日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会年次大会におけるポスター発表（2017 年 10 月）にて、同大会の優秀ポスター賞を受賞した。

③事業の継続状況・定着状況	1. オープン教材の公開 ・本事業で制作・公開されたオープン教材は事業終了後も引き続き北海道大学オープンエデュケーションセンターのサーバーから継続して公開されている。 ・未公開の収録済み講義は今後も編集・著作権処理を進め、順次公開する予定である。 2. 新規原子力人材育成事業の実施 ・平成 29 年度より、新規採択の原子力人材育成事業「オープン教材の活用による原子力教育の受講機会拡大と質的向上」を開始した。
④成果の公開・共有の状況	成果の公開・共有状況を、11 ページの「〈成果と評価〉の⑤その他（評価項目に係る事項に対する考察 等）」欄に記載した。また、公開事例を 14 ページの「〈参考資料〉の（2）事業成果の公開事例、関連する文献）」欄に記載した。 ・学会・研究会等での口頭発表：8 件（うち招待講演 7 件） ・ポスター発表：1 件 ・広報誌等への寄稿：1 件 ・成果報告書：3 件 ・新聞記事：1 件
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	参加した学生数、原子力関係機関への就職状況、公的資格取得者数を、11 ページの「〈成果と評価〉の⑤その他（評価項目に係る事項に対する考察 等）」欄に記載した。 ・参加した学生は、平成 26 年度：76 名、平成 26 年度：91 名、平成 26 年度：48 名の合計 215 名であった。 ・受講者のうち、原子力系関係機関に就職した学生は 36 名、進学者は 6 名であった。 ・受講者のうち、放射線取扱主任者試験合格者は 7 名であった。また、1 名が日本原子力学会北海道支部奨励賞（最優秀研究発表賞）を受賞した。