

令和4年度

文部科学省

国際原子力人材育成イニシアティブ事業

未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム [ANEC]

機関横断的な人材育成事業

核燃料サイクル及び核燃料取扱いに関する
実践的な原子力人材育成システムの構築

成果報告書

令和6年3月

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

目 次

1. 事業の概要	1
1.1. 背景	1
1.2. 目的	1
2. 事業計画.....	1
2.1. 全体計画	1
2.2. 令和4年度の計画及び業務の実施方法	2
2.3. 体制	3
3. 令和4年度の成果	4
3.1. マネジメント.....	4
3.2. 教育プログラム	4
4. 結言.....	11

1. 事業の概要

1.1. 背景

日本のエネルギー安全保障基盤の安定等、日本の国情に適う国策として核燃料サイクルの確立が必要であり、そのための技術開発が進められている。核燃料サイクルの技術開発の推進や核燃料サイクル施設の安定・安全運転のためには、核燃料サイクル技術に関する知識基盤や技術基盤、人材の維持・一層の強化が必要であり、このためには、プルトニウム(以下「Pu」という。)やウラン(以下「U」という。)をはじめとするアクチノイド元素に関する知見(特性、照射挙動等)、取扱い技術(PuやUの閉じ込め、臨界管理、保障措置、放射線管理等)等、核燃料サイクルの基盤技術の継承を目的とした若手研究者・技術者の育成が重要である。また、大学における近年の原子力関係の分野ごとの科目数を比較すると核燃料サイクル分野の科目数の減少が顕著であり、この分野での人材育成基盤の底上げは重要な事項である。

1.2. 目的

本事業では将来、原子炉を除く核燃料サイクル事業(高速炉サイクル及び軽水炉サイクル)に係る研究開発や核燃料取扱施設の運転等に従事する可能性がある大学で核燃料サイクルに係る研究開発(特に核物質の取り扱いに係る研究開発)を実施している、または実施する予定の学生(学部3年生以上、修士、博士)を対象とした人材育成システムを構築する。本事業に参加した学生が、その後の大学での研究・開発等において、核燃料サイクルに関する知識や核物質の取扱いに係る経験を反映し、更に高度な研究・開発を継続して実施するとともに、卒業後にそれまでに蓄積した知識・経験を活用し、核燃料サイクル事業、原子力政策検討等に従事する社会人になり得る人材となることを目標としている。

また、本事業では原子炉を除く核燃料サイクルに関して、大学における座学中心の教育では体験のできない実際の施設の見学や核物質の取扱い、実際の核物質を使用した測定試験やそのデータの解析に関する実践的で体験型の教育を経験することで、核燃料取扱施設やそこで実施している研究開発及び運転業務について理解を深めることができるため、これらの施設や関連するエンジニアリングメーカ等での業務を将来の進路(就職先)として検討している学生に対して魅力のある事業になると考える。

2. 事業計画

2.1. 全体計画

日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所(以下「サイクル研」という。)では、PuやUといった核物質を安全に取り扱う施設・設備を保有し、PuやUをはじめとするアクチノイド元素の特性や挙動に関する、基礎から応用までの幅広い知見を有している。

これらの資源を活用し、大学や学生側の都合に配慮して学生を受け入れ、核物質の安全な取扱いに関する教育(基礎教育)を共通科目とし、それに加えて燃料特性・燃料設計技術、再処理技術、地層処分技術、保障措置技術といった専門的な教育(専門教育)を学生に選択させて座学及び実習する核燃料サイクル実験実習講座を確立し、学生を育成するための実践的な原子力人材育成システムを構築する。

また、本事業は、未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム（ANEC）の一部として活動を実施する。

本事業の全体計画図を図 2. 1-1 に示す。

- ・令和 4 年度は教育プログラム案及びテキスト案の作成を行い、参画機関*のレビューを受ける。
- ・令和 5 年度～令和 7 年度は前年度に受けたレビュー結果を参考に教育プログラム及びテキストを修正し、作成した教育プログラムに則り試験運用として実験実習講座を開催する。令和 7 年度末までに、実験実習講座のアンケート結果及び参画機関によるレビュー結果を反映し、教育プログラムを確立する。
- ・令和 8 年度以降は、本教育プログラムを本格運用させる。

※参画機関：令和 4 年度は東京都市大学、福井大学、九州大学、東京工業大学が参画。

	R4 年度	R5 年度	R6 年度	R7 年度	R8 年度
1. マネジメント	体制整備 学生受入 計画作成 ▲ 報告書	全体評価 学生受入 計画作成 ▲ 報告書	全体評価 学生受入 計画作成 ▲ 報告書	全体評価 学生受入 計画作成 ▲ 報告書	全体評価 ▲ 報告書
2. 教育プログラム	ドラフト作成 レビュー ▲	レビュー ▲	プログラムの修正 レビュー ▲	プログラム確立 ▲ レビュー ▲	
3. 実習		結果の反映	結果の反映 試験運用	結果の反映	運用 レビュー ▲

図 2. 1-1 本業務の全体計画

2. 2. 令和 4 年度の計画及び業務の実施方法

令和 4 年度は学生向けの教育プログラム(案)及びテキスト(案)の検討、参画機関によるレビュー、並びに成果のまとめを行う。令和 4 年度の計画を図 2. 2-1 に示す。

教育プログラム(案)の実施に適したサイクル研内の関係部署と連携を図り、各担当部署でテキスト(案)を作成する。実習を含む教育プログラム(案)及びテキスト(案)について、参画

機関の先生方によるレビューを行い、コメントについて令和5年度にかけて修正を図る。

なお、本事業の開始は令和4年度補助金交付決定通知書を受領した9月15日である。

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1-①体制整備							体制整備					
1-②学生受入計画作成									学生受入計画作成			
1-③報告書作成										報告書作成		
2-①教育プログラム(案)の検討						教育プログラム(案)の検討						
2-②参画機関によるレビュー										レビュー		
* 参画機関によるレビュー:教育プログラム・テキストレビュー 2/28 :実習レビュー 3/8 :予定 <input type="checkbox"/> :実績 <input checked="" type="checkbox"/>												

図 2.2-1 令和4年度の計画と実績

2.3. 体制

実施体制を図 2.3-1 に示す。本実験実習講座では、実習で行う試験等が実施できる設備等を有する課室をその分野の担当とした。担当課室はサイクル研内の複数の組織に跨るため、事務局を設置し、横断的な調整を行った。また、作成する教育プログラム(案)やテキスト(案)について、参画機関の先生方にアドバイザーとしてレビューをして頂き、そこで得たコメント等について修正を図ることとした。これより、専門分野の経験と知識及び施設を有するサイクル研と教育現場として実績のある大学の先生方の融合を図り、体制を強化した。

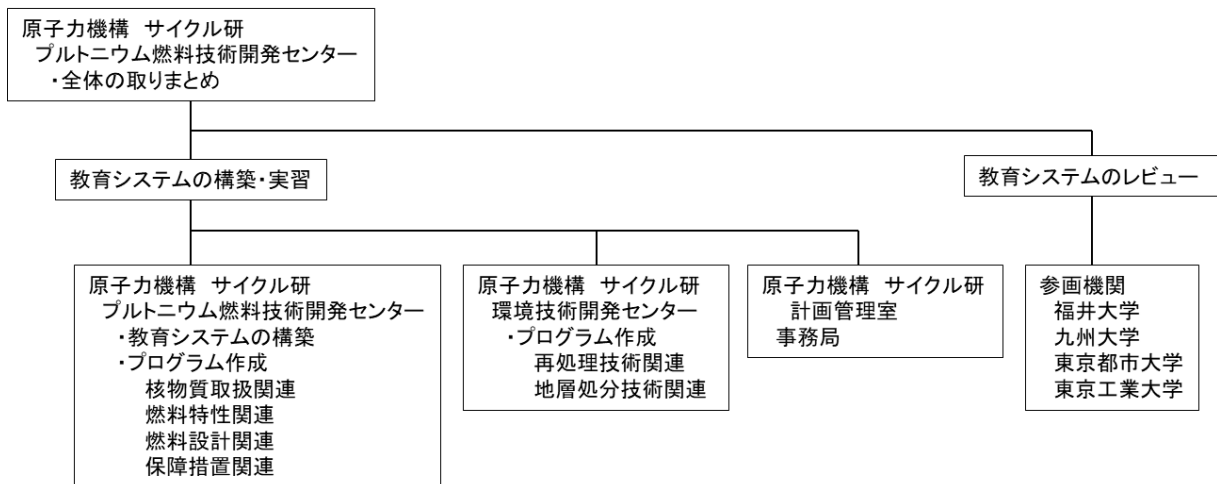


図 2.3-1 令和4年度の実施体制

3. 令和4年度の成果

3.1. マネジメント

① 体制整備

実習をメインとするプログラムの構築を見据え、サイクル研内の実施体制を整備した。また、核燃料サイクルの研究を専門とする参画機関の先生方にアドバイザーとして参画頂き、体制を強化した。具体的には、当機構が作成した教育プログラムのテキスト及び現場実習の内容を先生方にレビュー頂き、大学側の意見、要望を反映することでプログラムの内容を充実させた。

② 学生受入れ計画作成

令和5年度に学生を受け入れるため、サイクル研の運転計画（保安上の点検、国及び国際原子力機関による査察等）を確認し、実習が可能な時期を設定した。また、実施期間等について先生方のご意見を伺った。その結果、教育期間は長くても2週間程度とし、学生の興味や専門性(放射線管理手帳の有無等)に応じて受講するコースを選択できる教育プログラムとした。

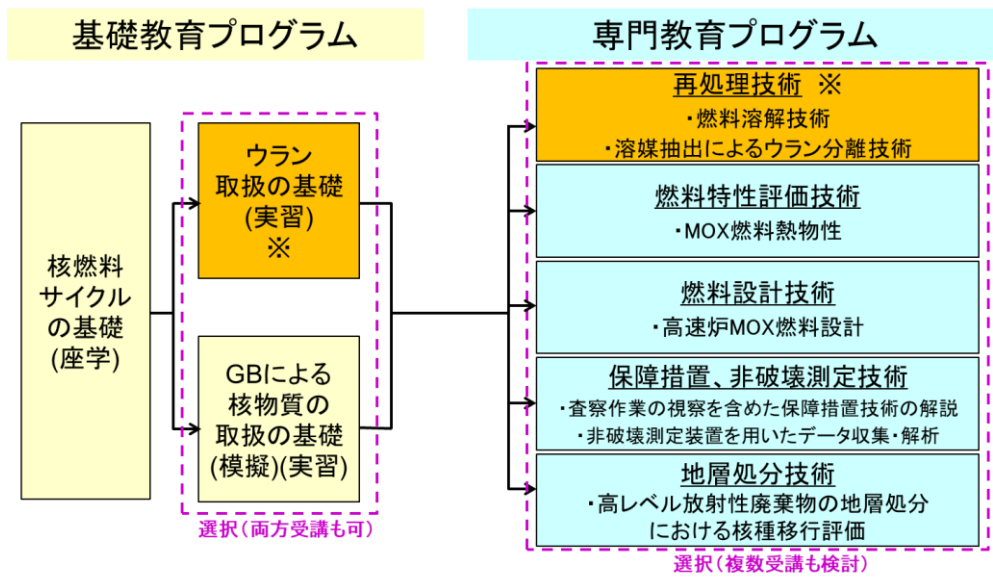
③ 報告書

令和4年度の実施内容の成果を報告書にまとめた。

3.2. 教育プログラム

① 教育プログラム(案)の検討

令和5年度以降に実施する教育プログラム(案)を作成した。教育プログラムは、基礎教育プログラム(3コース)と専門教育プログラム(5コース)で構成し、学生は基礎教育プログラムの受講後に専門教育プログラムを受講する。基礎教育プログラムは核燃料サイクルの基礎、ウラン取扱の基礎、グローブボックス（以下「GB」という）による核物質の取扱の基礎の3コースから成り、核燃料サイクルの基礎を受講後にウラン取扱の基礎又はGBによる核物質の取扱の基礎を選択受講する。専門教育プログラムは再処理技術、燃料特性評価技術、燃料設計技術、保障措置・非破壊測定技術、及び地層処分技術の5コースから成り、いずれかのコースを選択受講する。基礎教育プログラムの核燃料サイクルの基礎は座学であるが、それ以外のプログラムは実習形式とする。また、基礎教育プログラムのウラン取扱の基礎及び専門教育プログラムの再処理技術は、実際にウランを取り扱う実習とする。



※放射線取扱従事者の要件を満たすことが必要(放管手帳を所持、且つ半年以内の特殊健診の受診)

図 3.2-1 教育プログラム (受講フロー)

事業開始日より令和5年1月にかけて、各教育プログラムで使用するテキスト(ドラフト版、全17冊)を作成した。

各教育プログラム(案)の内容を下記に示す。

分類：基礎教育プログラム

コース名：核燃料サイクルの基礎

実施場所：サイクル研 プルトニウム燃料技術開発センター・環境技術開発センター

目的・ねらい：核燃料サイクル全般に関する基礎的な知識を習得させることを目的とする。

実施内容：ウラン採鉱～ウラン燃料加工、原子力発電（軽水炉）、使用済燃料の再処理、MOX燃料加工、高速増殖炉（FBR）、放射性廃棄物の処理・処分に係る座学教育

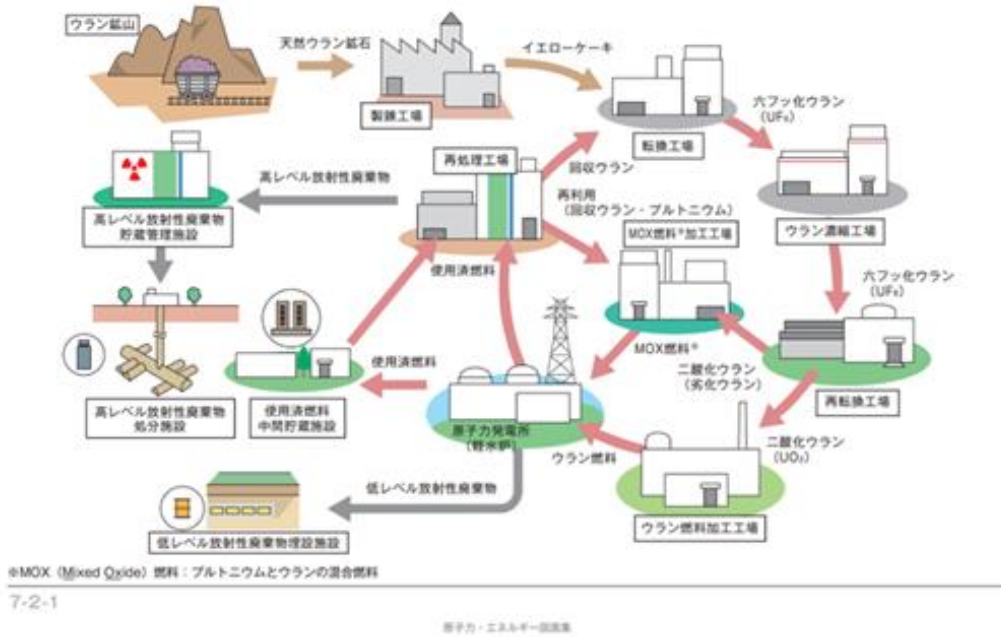


図 3.2-2 核燃料サイクルの基礎の例

分類：基礎教育プログラム

コース名：ウラン取扱の基礎

実施場所：サイクル研 環境技術開発センター

目的・ねらい：本実習では、実際にウランを用い、以下に示す分析作業を行うことにより、核物質取り扱いの基礎を習得させることを目的とする。

①化学実験器具の取り扱いに慣れるため、ガラス器具、マイクロピペット等を用いた液調整、溶媒抽出作業を行う。

②核物質の取り扱い及び管理区域内における基本動作を体得する。

③溶媒抽出実験で用いる分析手法（比色分析）を理解し、分析装置を用いた分析作業を行う。

実施内容：化学実験器具取り扱い、コールドモックアップ試験、中和滴定分析並びに比色分析の概要及び測定、ウラン溶液の取り扱いに係る実験実習



図 3.2-3 ウランを用いた核物質取扱教育の例

分類：基礎教育プログラム

コース名：GB による核物質の取扱の基礎

実施場所：サイクル研 プルトニウム燃料技術開発センター

目的・ねらい：プルトニウムやウランといった核物質を取り扱う施設では、核物質の飛散や漏えいを防止するため GB を使用している。本実習では、GB の構造、バッグイン・バッグアウト等の基本的な作業への理解を深めるとともに模擬 GB を用いた GB の基本的な取り扱い実習を行う。

実施内容：基礎知識、トラブル事例の教育、バッグイン作業、バッグアウト作業、グローブ交換、ビニルバッグ交換、グローブ検査（ピンホール、ヒビ）、グローブ点検（模擬汚染検査）、グローブ清掃（GB 内でのアルコールを用いた除染）、模擬粉末の採取・秤量（校正含む）、ナトレックス消火（模擬）等の実習



図 3.2-4 模擬 GB による核物質取扱教育の例

分類：専門教育プログラム

コース名：再処理技術

実施場所：サイクル研 環境技術開発センター

目的・ねらい：本実習では、実際にウランを用い、以下に示す溶媒抽出試験、分析作業を行うことにより、核物質取り扱いの基礎を習得させることを目的とする。

- ①化学実験器具の取り扱いに慣れるため、ガラス器具、マイクロピペット等を用いた液調整、溶媒抽出作業を行う。
- ②核物質の取り扱い及び管理区域内における基本動作を体得する。
- ③ウラン溶液を用いた溶媒抽出実験を通じて、ウラン溶液の取扱、溶媒抽出実験、分析手法（比色分析）を理解し、分析装置を用いた分析作業を行う。

実施内容：化学実験器具取り扱い、コールドモックアップ試験、中和滴定分析並びに比色分析の概要及び測定、ウラン溶液の取り扱い、ウラン溶液を用いた溶媒抽出実験



図 3.2-5 ウラン溶液を用いたフード作業の例

分類：専門教育プログラム

コース名：燃料特性評価技術

実施場所：サイクル研 プルトニウム燃料技術開発センター

目的・ねらい：核燃料は照射中に高温となるため、高温の熱物性が重要となる。本実習では、核燃料の高温物性データの収集及びその解析評価を行い、高温物性式を作成するとともに、その物性式を用いて照射中の温度解析を行い、MOX 燃料物性研究の基礎を学ぶ。
 実施内容：MOX 燃料の物性に関する講義、MOX 燃料の熱拡散率の測定とデータ解析、熱拡散率のデータを用いた熱伝導率の計算、比熱、熱伝導率等のグラフ作成、高温の比熱の計算、高温の比熱を考慮した熱伝導率式の作成、熱伝導率を用いたペレット内温度計算に係る実習

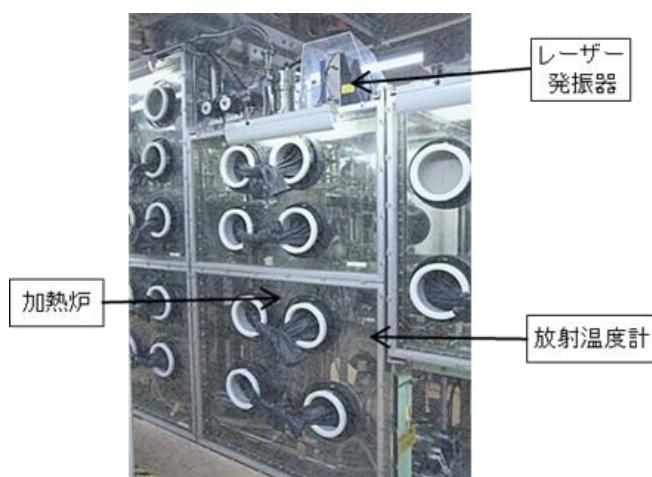


図 3.2-6 管理区域内に設置された熱拡散率測定装置

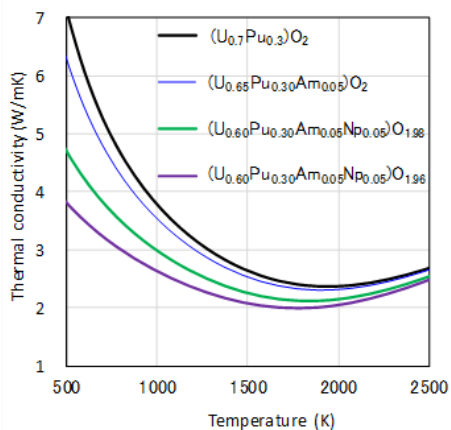


図 3.2-7 MOX 燃料の熱伝導率

分類：専門教育プログラム

コース名：燃料設計技術

実施場所：サイクル研 プルトニウム燃料技術開発センター

目的・ねらい：燃料設計とは、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時に破損が生じないように、燃料ピンや燃料集合体の仕様・構造を設定し、健全性（熱的、機械的）の評価を行うことである。本実習では、講義により、高速炉燃料の特徴や運転中の挙動、燃料設計の基本的な手法を学習するとともに、実習として、機構の所有する高速炉燃料設計評価コードを用いて簡単な燃料設計の計算作業を体験し、高速炉の燃料設計とはどのようなものか、実機燃料の設計では何に留意しているのかなどを理解してもらう。

実施内容：高速炉燃料の特徴・挙動・設計に関する講義、熱設計の実習（燃料温度評価）、機械設計の実習（燃料ピンのクリープ損傷評価）

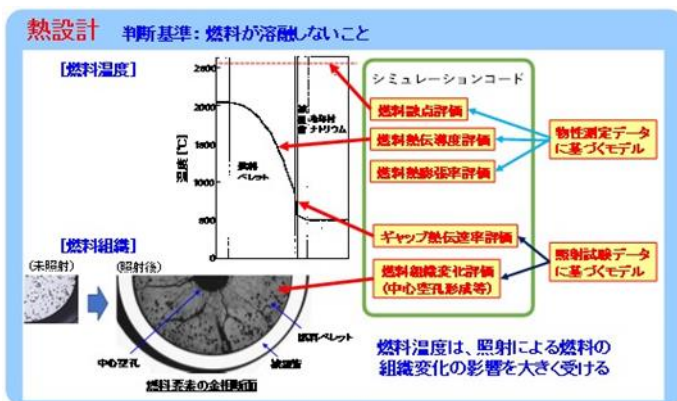


図 3.2-8 設計評価例：熱設計（燃料ピン）

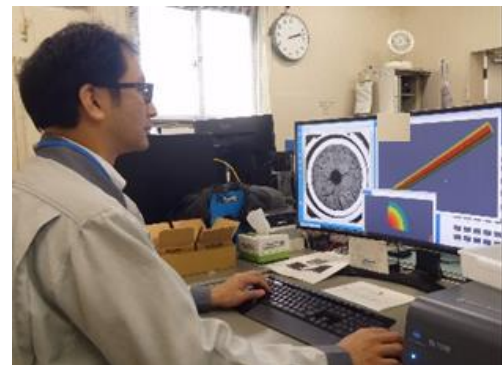


図 3.2-9 設計評価の様子

分類：専門教育プログラム

コース名：保障措置、非破壊測定技術

実施場所：サイクル研 プルトニウム燃料技術開発センター、再処理廃止措置技術開発センター

目的・ねらい：核物質が平和目的にのみ利用され、核兵器やその他核爆発装置の製作に使用されていないことを確認するための国際的な仕組みを「保障措置」という。保障措置検査では、核物質を定量するため、非破壊測定技術が適用されている。本実習では、実習内容に示す講義や試験を通じ、保障措置、非破壊測定技術の概要を習得させることを目的とする。

実施内容：保障措置の概要、検認活動の概要、非破壊測定装置の原理、非破壊測定装置を用いた中性子密封線源測定試験及び解析



図 3.2-10 集合体検認システムの視察



図 3.2-11 封じ込め監視システムの視察

分類：専門教育プログラム

コース名：地層処分技術

実施場所：サイクル研 環境技術開発センター

目的・ねらい：核燃料サイクルから発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分の概要を学ぶとともに、地層処分の安全評価における核種移行解析の演習を実施することにより、地層処分システムの核種の閉じ込め性能に関する知識を深めることを目的とする。

実施内容：地層処分研究開発関連施設見学（エントリー、クオリティ）、核種移行解析演習（汎用シミュレーションソフトウェア GoldSim を使用）

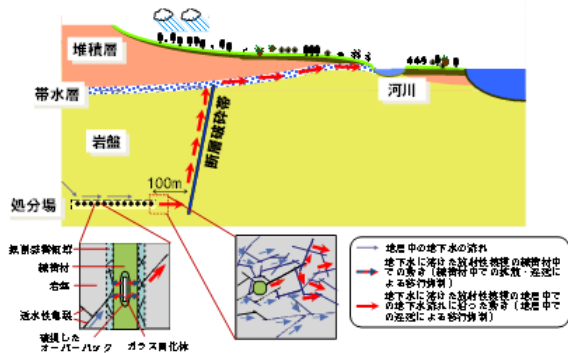


図 3.2-12 地下水シナリオで考慮する核種移行経路

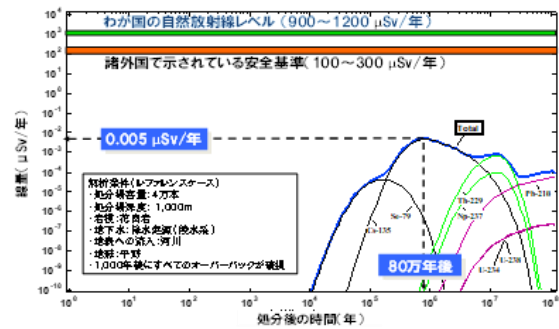


図 3.2-13 地表環境における核種ごとの線量率の変化

② 参画機関によるレビュー

作成した教育プログラム(案)及びテキスト(案)と実習の内容について参画機関にレビュー頂いた。レビューは2回に分けて実施しており、1回目はWEB形式で教育プログラム(案)及びテキスト(案)のレビューを行い、2回目はサイクル研の実習施設にて実習内容の確認を行った。

学生を対象に教育プログラム(案)及び作成した計17冊のテキスト(案)の内容をレビュー頂き、追加すべき内容の提案等のコメントを頂いた。また実習のレビューでは、サイ

クル研にて装置を用いた実習のデモンストレーションを行い、コメントを頂いた。テキストレビューと実習レビューで頂いたコメントの概要と件数を下表に示す。それぞれのレビューで頂いたコメント(全 68 件)は、令和 5 年度の教育プログラムに即した実験実習講座の実施に向けテキスト及び実習内容に反映していく。

また、コメント以外では実習で使用する設備以外にも可能な範囲で施設全体の見学等を含めて欲しい等の要望を頂いた。

表 レビューにおけるコメント

	コメント概要	コメント件数
テキストレビュー	技術的な内容に関する追加・修正	21
	プログラムの実施(時間配分等)に関するコメント	17
	テキストの体裁・用語に関するコメント	18
実習レビュー	技術的な内容に関する追加・修正	8
	実習の実施(受講人数等)に関するコメント	4

計 68 件



図 3.2-14 実習レビューの様子(1)



図 3.2-15 実習レビューの様子(2)

4. 結言

本事業では、令和 5 年度から学生を受け入れた実験実習講座を試験運用するため、令和 4 年度は教育プログラム(案)の作成及びテキスト(案)の作成を実施した。

参画機関によるレビューにおいて、教育プログラムについては、学生が連続して受講できる期間は最大でも 2 週間であるとの意見が出され、参画機関と更に時間配分や実施時期に関する調整を進め、可能な限りリモートによる講義や実習期間の短縮を検討することとした。なお、教育プログラムの内容については十分であるとの評価を得た。

また、テキストについては、技術的な内容に関する追加や修正の意見が出されたが、テキストの内容は十分であるとの評価を得た。

これらの結果、令和 5 年度の早い時期までにコメントを反映してテキストの修正を行い、参画機関と調整した教育プログラムに則り、令和 5 年度に実験実習講座を開催することとした。

以 上