

九州大学での原子力に関する新たな教育プログラム

Curriculum for Nuclear Engineering and Radiation in Kyushu University

九州大学	藤本 望	Nozomu Fujimoto	Non member
九州大学	安田 和弘	Keisuke Maehata	Non member
九州大学	前畑 京介	Kazuhiro Yasuda	Non member

Abstract

Kyushu University has education programs of nuclear engineering. So far, the program contents are mainly for technological and theoretical programs. However, workers in nuclear engineering are expected to have wide knowledge of nuclear engineering including latest technology of nuclear engineering, regulation and management of facilities to satisfy safety requirements. Kyushu University has started new program in a field of nuclear engineering. The new program covers wide area of nuclear engineering including reactor engineering, material engineering, radiation monitoring, regulation and management of facilities, etc.. The paper presents outline of new program and present status of it.

Keywords: Human resource, Nuclear Engineering, Regulation, Training, Curriculum

1. 緒言

九州大学では、工学部エネルギー科学科、大学院工学府エネルギー量子工学専攻及び総合理工学府先端エネルギー理工学専攻において原子力工学教育を行っている。今回、これまでの教育内容を見直しその充実を図るとともに、規制に関する視点を加えた新しい人材育成プログラムを開発した。本報ではその内容について報告する。

2. これまでのカリキュラムと課題

九州大学での原子力工学に関する教育は、工学部のエネルギー科学科及び大学院工学府エネルギー量子工学専攻及び総合理工学府先端エネルギー理工学専攻で行われている。工学部のエネルギー科学科は定員約 100 名の規模である。このエネルギー科学科では、2 年生の前期終了時にエネルギー量子工学コース、エネルギー物質工学コース及びエネルギーシステム学コースと 3 コースに分かれて教育を実施している。

学部卒業後、エネルギー量子工学コースの学生は主にエネルギー量子工学専攻（定員約 30 名）に進み、エネルギー

連絡先:藤本望、819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744、
九州大学大学院工学研究院エネルギー量子工学部門、
E-mail: n.fujimoto@nucl.kyushu-u.ac.jp

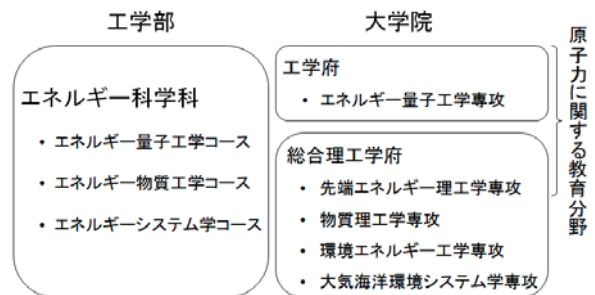


図1 九州大学での原子力教育体制

システム学コースの学生の一部が先端エネルギー理工学専攻（定員約 35 名）に進んでいる。Fig. 1 に九州大学での原子力教育体制の概要を示す。

工学部では、工学一般に関する基礎教育が主であり、熱力学、物理化学、電磁気学、統計力学、量子力学等基礎的な内容の科目が主である。専門的な科目は 3 年生において原子炉物理学、エネルギー化学工学、プラズマ理工学等が行われている程度である。

大学院のエネルギー量子工学専攻では、原子炉システム、核燃料、核燃料サイクル、原子核物理、放射線計測、放射線防護、原子炉システム、核燃料および核燃料サイクル、材料照射効果等原子力工学に関する幅広い講義を開講し、習得した知識を放射線計測ならびに原子炉材料科学や放射性物質の取扱い・分離に関する実験科目を通

じて実際に体験し、知識の確認と実験技術の基礎を習得できるようになっている。更に、原子力分野で使用される各種シミュレーションコードの基礎とその操作法を習得し、講義・実験により学んだ物理現象と数値モデルの相互関係を経験・理解できるようになっている。表1にエネルギー量子工学専攻での原子力に関する主要科目を示す。

先端エネルギー理工学専攻でも、原子核エネルギー理工学、原子力材料学、放射線基礎、次世代エネルギーシステム工学により原子力に関する専門的な教育を行っている。

表1 大学院エネルギー量子工学専攻での原子力に関する主要科目

講義	
・原子炉システム工学	・量子線計測学
・核燃料工学	・エネルギー混相流体工学
・核燃料サイクル工学	・核融合プラズマ工学
実験	
・原子力工学基礎実験	・核燃料サイクル実験II
・核燃料サイクル実験I	
演習	
・原子力数値シミュレーション	・放射線数値シミュレーション

このように、九州大学の大学院専攻（エネルギー量子工学および先端エネルギー理工学）の原子力教育カリキュラムは、これまで一定の成果を挙げてきたと考えられる。しかしながら、放射線に関する知識や原子力安全のための運用・法規制等に関する知識では必ずしも十分とは言えない。

例えば、実験科目である「原子力基礎工学実験」では、中性子の計測や原子炉中の中性子挙動の理解を目的としたものであり、 α 線、 β 線および γ 線などの幅広い放射線計測に関する実験技術の習得には至っていない。

また、「核燃料サイクル実験IおよびII」は、核燃料サイクルに即して関連する材料科学および放射性物質取り扱いに関する実験知識と技術を習得するための優れたカリキュラムと考えるが、「原子力基礎工学実験」と「核燃料サイクル実験IおよびII」の相関は薄く、また学生の研究テーマ（専門性）の違いのためにもあり、双方を受講している学生は少ないのが現状である。

3. 新たな人材育成プログラムの概要

3.1 目的

原子力の利用において、安全の確保はすべてに優先するものである。原子力安全の究極の目的は、公衆に対する放射線の影響の低減である。これを達成するためには

- ・放射線に関する知識
- ・原子力に関する知識と放射線・放射能の関係
- ・原子力安全のための運用・規制等に関する知識

が必要である。

福島第一原子力発電所の事故は、巨大システムとしての原子炉の安全や危機管理に対して、専門的な知識と共に分野を超えた総合的な思考が重要であることを改めて知らしめた。他方、原子力の安全な推進のためには安全と規制の双方に精通することが重要であると広く認識されており、原子力安全および原子力規制に必要な知見を持つ人材の育成が強く望まれている。

原子力の利用は、放射線の持つ潜在的な危険性の観点から、国の規制の下での利用が認められている。このことから、原子力の利用の現場においては法規制についての理解が不可欠である。これには、放射線に関する深い知識に加えて、原子力分野の他の技術、例えば炉物理、燃料・材料、各種計測技術、保健物理、構造健全性等についての関連を理解することが必要である。

このような観点から、原子力規制庁の原子力人材育成事業に応募し、新たな人材育成プログラムとしての教育カリキュラムの開発を進めることとした。

3.2 目標とする人材像

現在、原子力施設の保安活動においては品質保証の考え方が取り入れられて来ていること、原子力施設を運営していく組織においては安全文化の醸成が求められていること、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、リスクコミュニケーションの必要性が認識されてきていることがある。これらの原子力施設の保安活動での重要な項目についての教育は、将来原子力に携わる学生にとって必要不可欠な知識になりつつある。

このようなことから、今後、原子力施設の保安の確保のためには、原子力についての理論的な知識の上に、原子力安全を達成するための運用・保守・規制の内容とその必要性を理解することが必要であると考えた。

更に、このような法規制と原子力・放射線に関わる技術的な面の相互の関係について、法律に基づく規制だけでなく、原子力産業に携わる者すべてが理解すべき管理の手法について理解させることは、原子力の人材育成上重要な点であると考えます。

このことから、本プログラムでは、以下のような人材の育成を目指すこととしている。

- ・ 幅広い原子力分野の技術、知識を持つ多面的・総合的な思考のできる人材
放射線計測、放射線防護、材料学、原子力安全研究、保健物理、廃炉・廃棄物処理等原子力工学に関する多様な分野について、講義と実習を通して理解し、さらにこれらの分野間について連携して考えることのできる人材
- ・ 基礎知識・技術を習得し、安全・規制の知見を有する人材
原子力工学に関する知識を踏まえ、原子力施設の安全の考え方とそれを達成するための規制体系、そのための実際の保守管理、核物質防護、品質保証といった各種の活動を理解し、具体的な規制の意味を理解できる人材

このような人材の育成を目的として、九州大学における原子力教育カリキュラムに、多面的・総合的な思考のできる人材育成と安全・規制の知見を有する人材育成の観点を新たに加え、実験・演習項目を整備することによって、より充実した原子力教育カリキュラムの開発を行うことを目指している。

3.3 カリキュラムの概要

本カリキュラムでは、原子力規制の基本となる放射線防護の基礎知識の習得、原子炉安全工学に必要な材料設計と分析技術等について学び、理解する。これと併せて原子力規制の考え方とその運用について学ぶ。更に、現場において規制への取り組みと運用に関する事例を学ぶ。これらのことにより、「規制・安全」の観点の教育を充実させることを目指す。

具体的には、実験項目の見直しと充実、現場での学習を追加する。更に、実験項目のうちいくつかを演習科目として取り上げ、解析を実施することにより一層の理解を図ることとしている。

1)原子力基礎工学実験の課題追加

中性子の減速・拡散および γ 線エネルギースペクトル計測の内容を見直して、より教育効果の高いものへと改定すると共に、新たに中性子エネルギースペクトル計測および液シン法による β 線の測定実験を追加する。

具体的な項目は、 ^3He 計数管による中性子計測実験、飛行時間法による中性子エネルギースペクトル計測、レムカウンターによる中性子線量計測、Ge 検出器及びNaI(Tl)による γ 線スペクトル計測、液体シンチレーションカウンターによる β 線計測である。これにより受講学生は、中性子線、 β 線、 γ 線と幅広い放射線の計測原理と実験技術を習得できるようにする。

ここで学んだ内容は、放射線と物質の相互作用の理解を深めるものであり、原子力規制で用いられる各種の制限値や測定方法の技術的根拠を理論と実際の両面から学ぶことを目指している。

さらに、電子顕微鏡・X線元素分析実験を新たな教育カリキュラムとして実施する。本テーマでは走査電子顕微鏡を用いた材料観察の原理と実験手法を学び、材料表面を観察しながら、所望の場所の元素分析を行う手法を学ぶ。

元素分析法としては、従来の半導体検出器を用いた検出法と最近開発された高エネルギー分解能放射線検出器（マイクロカロリメータ法）を用いたX線元素分析を行うことにより、福島第一原子力発電所のデブリ分析等に応用できる最新技術についても学ぶ。走査電子顕微鏡法は、材料と電子の相互作用を学ぶ良い題材である。なお、本実験項目は「原子力基礎工学実験」と「核燃料サイクル実験」の両方の受講者に受講させ、本人の専攻にとらわれることなく、幅広い知識を習得させる。

これらのことにより、基礎実験項目を放射線全般に関するものに拡充させる。また、演習科目において実験科目との連携を図ることによりより深い理解を目指す。

このほか、核燃料サイクル実験Ⅰとして、酸化セラムミックスの焼結及びX線構造解析実験、材料腐食実験を辞しする。核燃料サイクル実験Ⅱとしては、水素同位体の分離実験、共沈法を用いた ^{90}Sr と ^{90}Y の分離実験多孔質体を対象とした熱伝導実験を実施する。核燃料サイクル実験ⅠおよびⅡはこれまで実施してきた実験項目であり、引き続き実施する。

2)演習科目

演習科目として、放射線数値シミュレーションでは放

射線・粒子線解析コード PHITS を用いて、中性子計測実験及びガンマ線スペクトル計測の解析を行い、放射線についての理解を深めることとしている。

また、原子力数値シミュレーションでは、モンテカルロコード MVP を用いて中性子挙動の解析や、分子動力学計算コード MXDORT を用いた酸化物の物性解析、伝熱流動解析コード OpenFORM を用いて多孔質体の熱伝導実験の解析を行い、実験と併せて理解を深めることとしている。

3)原子力特別講義

放射線取扱・規制、放射線防護、原子炉に関する技術開発・規制、新規燃料の技術開発・規制、福島第一原子力発電所の廃炉技術および放射線測定・規制に関する特別講義を新たに開講する。本講義は、原子力に関する座学・実験で得た知識を基に、原子力規制を理解することを目的とする。そのため、まず規制の基本となる法体系、原子力施設、核燃料施設、放射線施設に対する規制の考え方、保健物理等について講義を行う。

表 2 特別講義概要と講師

	講義概要	講師
1	核燃料物質の取扱いと関連法規	学内講師
2	放射線の取扱い、応用、影響及び関連法規	学内講師
3	原子炉プラントの概要と関連法規	学内講師
4	原子炉材料の試験技術と規制	学内講師
5	放射線防護及び人体への影響	学内講師
6	原子炉規制に関わる国の体制等	学外講師
7	核燃料設計と照射ふるまい	学外講師
8	規制に対する発電事業者の対応	学外講師
9	放射線計測機の開発と1F 原発廃炉への対応	学外講師

これらの講義においては、法規制の体系だけでなく、原子力安全を確保するための品質保証の考え方、安全文化、核物質防護、保障措置といった原子力利用に関する幅広い内容についてカバーすることを目指す。これらの講義は、原子炉や核燃料施設での実務経験を有する本学教員を中心に行う。

その後、原子力発電プラントの運転、保守、設計、製造に関わる原子力規制の運用と安全を確保するための最新技術の動向について、原子力規制庁の担当者、日本

原子力研究開発機構の研究者、発電事業者や原子力メーカーの技術者等による講義を行う。これにより、安全を確保するための規制の考え方、現場での品質保証活動、体制の実際について学び、座学や実験で学んだ内容を統合して理解できるようにする。

これらにより原子力の規制・安全に関する教育の充実を図るとともに、廃炉技術開発、デブリ分析、廃棄物処理処分技術等の現状と最新技術についても学習する。

4)原子力施設見学

本申請プログラムの内容と密接に関連する日本原子力研究開発機構、原子力関連企業等の原子力施設の見学を計画している。特別講義で学んだ原子力に対する規制や施設の保守管理、品質保証活動等について、現場で実際に目にし、体験する。併せて原子力規制に従事している現地の技術者から規制に対する対応と現場での業務・作業との関係を自分の目で見る機会とする。具体的には、規制を運用するための核燃料および核物質の計量管理、放射線管理、区域管理、製造現場での安全管理等の実情を学ぶための見学とする。これにより講義・実験・演習を通じて学んだ内容と規制の関係について理解できるようにする。

また、九州大学卒業生を含む第一線で活躍する研究・技術者と交流する機会を与えることも本施設見学の目的の一つであり、知識の吸収のみではなく、将来、当該分野で活躍するモチベーションを涵養することも期待している。

4. 平成 29 年度の実施状況及び今後の計画

カリキュラムは平成 29 年度からの開始である。初年度は必要な実験器具等の購入が必要なため、すべての項目を実施することはできなかったが、実施に向けての準備を併せて進め、次年度からすべての項目の実施を行う予定である。

1)講義

本カリキュラムは、大学院での講義の受講が前提となっている。講義についてはこれまでのカリキュラムに沿って実施した。

2)実験及び演習

原子力基礎工学実験で新たに追加する実験科目のうち、

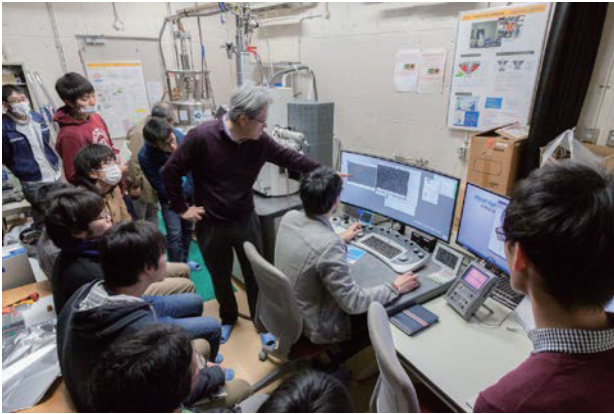


図 2 電子顕微鏡を用いた実験風景

飛行時間法による中性子エネルギースペクトル計測およびレムカウンターによる中性子線量計測は実験テキストの整備及び実験機材の整備を行った。これ以外の実験項目は実施することができた。実験風景を Fig.2 に示す。

また、演習科目としては、放射線・粒子線解析コード PHITS を用いた、中性子計測実験及びガンマ線スペクトル計測の解析、モンテカルロコード MVP を用いて中性子挙動の解析、分子動力学計算コード MXDORT を用いた酸化物の物性解析、伝熱流動解析コード OpenFORM を用いて多孔質体の熱伝導実験の解析を実施した。

3)特別講義

特別講義として、表 2 に示す講義を実施した。講義には一部参加の学生を含め、25 名の学生が聴講した。また、TV 会議を利用して約 25 km はなれた筑紫キャンパスとも接続して講義を実施し、伊都キャンパス及び筑紫キャンパスの二つのキャンパスで受講できるようにした。特別講義風景を図 3 に示す。



図 3 特別講義の風景

4) 原子力施設見学

今年度は、見学の準備として、訪問予定の燃料製造メーカー、プラントメーカー、研究炉施設を訪問し、見学の主旨と目的を説明し、見学の内容や時期についての調整を行った。次年度以降、学生による見学を実施する予定である。見学においては、それぞれの施設について学ぶとともに、施設ごとの保守管理や規制対応状況について説明を依頼しており、講義で学んだ内容が現場でどのように行われているかを学ぶことができるように計画している。

なお、本教育カリキュラムは原子力規制庁の原子力人材育成事業の補助を受けており、5 年の補助期間となっている。補助期間終了後は、規模は縮小する予定であるが、実験及び演習については引き続き実施する計画である。

特別講義及び原子力施設見学についても引き続き実施する予定である。特別講義については、学内講師により規制体系、保健物理、施設の保守管理と幅広い分野をカバーしていることから、規模は縮小することになるが目標とする分野をカバーする講義は可能であると考えている。

原子力施設見学については、訪問先を減らす等、規模を縮小して継続していくことを考えている。

5. 結言

今回の新たな教育カリキュラムでは、幅広い原子力分野の技術、知識を持つ多面的・総合的な思考のできる人材かつ基礎知識・技術を習得し、安全・規制の知見を有する人材の育成を目指し、実験項目の見直しと充実、現場での学習を追加した。

平成 29 年度は本カリキュラムを実施する最初の年度であることから、一部は準備のみとなりすべてのカリキュラムを実施することはできなかった。しかしながら本カリキュラムの目的である、規制に関する教育及び理論と実際との関係を理解するための講義と実験演習の関連を理解させることはできつつあると考えている。

平成 30 年度からは本カリキュラムを本格的に実施することとなる。これにより、いっそうの教育効果を挙げ優秀な人材の育成を行えるように本カリキュラムの継続的な見直しを進めていく予定である。