東京大学 工学部および工学系研究科における原子力教育研究の概要

第47回原子力委員会
資料第2-３号

第47回 原子力委員会
原子力分野の大学教育について③
2019年12月24日 13:30～
中央合同庁舎 6F 623会議室

地球規模の課題に取り組む。

東京大学大学院　工学系研究科　原子力国際専攻　専攻長　笠原直人

東京大学工学部および工学系研究科における原子力教育研究の概要

原子力国際専攻
Nuclear Engineering and Management

工学系研究科原子力国際専攻/原子力専攻,工学部システム創成学科

工学部と工学系研究科における原子力関連学生の流れ

原子力国際専攻
Nuclear Engineering and Management

学部・大学院と年度 / コアカリキュラム	工学部　システム創成学科（環境・エネルギー）2007年　授業科目	工学部　システム創成学科（環境・エネルギー）2019年　授業科目	大学院工学研究科 原子力国際専攻 2007年 授業科目	大学院工学研究科 原子力国際専攻 2019年 授業科目
炉物理・炉工学	原子力エネルギー工学	原子力エネルギー工学 Nuclear Reactor Engineering	原子力先進エネルギー特論及び演習 先進原子力工学特論１ 原子炉物理学	原子炉工学E 原子力物理E
原子核化学・放射線化学			先進放射線物理化学特論及び演習 放射線安全学	原子力化学E 原子核基礎E
核燃料・サイクル	放射線と環境 廃棄物処理と環境浄化 リサイクリング工学	放射線と環境	原子力燃料材料学 廃棄物管理工学 核燃料サイクル工学	放射線廃棄物工学E 廃止措置特論E 核燃料リサイクル特論E
原子炉プラント・制御	エネルギープラント論 安全評価工学 安全学基礎		原子炉設計 原子力保全工学 原子力プラント工学 原子力安全工学 先進放射線リスク特講	原子力安全学E 原子力プラント学E システム保全学E シビアアクシデント特論E 原子力リスク特論E
原子炉熱流動	伝熱・熱力学 環境・エネルギー流体力学	流体力学１、流体力学２、環境・エ	原子力熱流動工学	
放射線計測			原子核と放射線計測 放射線遮蔽 先進原子力工学特論2	放射線生物E 放射線安全学E 放射線応用工学E 放射線計測学特論E
原子炉材料学	環境・エネルギー材料科学	環境・エネルギー材料科学	原子力燃料材料学 先進原子力材料特論及び演習	原子炉燃料工学E
核融合・プラズマ	電磁エネルギー科学 核融合エネルギー工学	核融合プラズマ科学 核融合工学・炉設計		
実験・実習・演習・セミナー・インターンシップ等	原子炉・ビーム実習 環境・エネルギー基礎プロジェクト1 環境・エネルギー基礎プロジェクト2 環境・エネルギー応用プロジェクト3 環境・エネルギー領域プロジェクト1 環境・エネルギー領域プロジェクト2	原子炉・ビーム実習 動機付けプロジェクト 基礎プロジェクトA 応用プロジェクトA 領域プロジェクト1A	先進原子力工学特別実験第１ 先進原子力工学特別実験第２ 先進原子力特別講義第１ 先進原子力特別講義第２ 先進原子力特別講義第３ 先進原子力工学演習第１ 先進原子力工学演習第２ 原子力特別講義	量子ビーム実習 原子力工学特別実施演習第１ 原子力工学特別実施演習第２ 原子力工学修士演習ⅠE、ⅡE、ⅢE 原子力工学博士演習ⅠE、ⅡE、ⅢE、ⅣE、ⅤE、ⅥE 原子力工学修士輪講ⅠE、ⅡE、ⅢE、ⅣE 原子力工学博士輪講ⅠE、ⅡE、ⅢE、ⅣE、ⅤE、ⅥE 原子力工学特別特別演習第１、第２、第３

原子力国際専攻の教育研究

あるべき人材像の設定

本専攻が目指す人材

1. 人・社会に関する高度な教養を体得している人材

原子力基盤科学・工学の習得は当然として、人・社会に関する知識、態度、内外文化、考え方、常識などの理解に基づく、リスク・コミュニケーション、倫理などを含む高度な社会リテラシーを基盤教育に含めます。

2. 高度な教養を土台として、原子力安全・エネルギーと放射線科学・応用の体系的な知識と思考方法を身につけている人材

問題の全体像を理解するために、原子力を専門とする学生が知っておくべき基盤知識(原子力基盤科学・工学)を効率的に習得可能な、コアプログラム、専門基礎、特論から構成される体系的講義を行います。

3. 各々の分野において、学術とその活用に係わる研究・開発・計画・設計・生産・経営・政策提案などを、国際的な視点から責任を持って担うことができる人材

領域横断型のプロジェクト型演習では、複数の研究室の専門領域や先端的研究課題に取り組むことで、構想力、俯瞰力およびリーダシップを養います。

4. このような活動を通して、未踏分野の開拓や新たな技術革新に繋がる研究へと果敢に挑戦し、人類社会の持続と発展に貢献する人材

国内外機関連携による課題解決型のプロジェクト型演習や修士論文研究、博士論文研究を通じて、未踏分野の開拓や新たな技術革新に繋がる研究へと果敢に挑戦し、人類社会の持続と発展に貢献する人材を育成します。

原子力国際専攻の教育研究

原子力国際専攻のカリキュラム

産学官連携（社会連携講座等）を強化
ピアレビューを通してIAEA認証

カリキュラムの概要・履修モデル

1 原子力コア科目

人・社会に関する教養そして原子力に関係する基礎的知識を俯瞰的に学べます。修士1年生を想定した毎年開講の準必修科目です。（修士1年生以外の学生も履修可）

原子力物理E Nuclear Reactor Theory and Radiation Physics	原子炉工学E Nuclear Thermal-hydraulics and Structural Mechanics	エネルギーシステム概論E Overview of Energy Systems
社会科学基礎E § Social Science Essentials	原子力化学E Chemistry in Nuclear Engineering	放射線生物E Radiation Biology
原子核基礎E Fundamentals in Nuclear Physics		

2 専門基礎科目

原子力の各専門分野において必須となる知識と思考方法を体系的に学べます。修士課程の学生を想定した毎年開講の選択科目です。（博士課程の学生も履修可）

原子力安全学E Nuclear Safety Engineering	システム保全学E § Maintenance Engineering in Complex Systems	放射線安全学E Radiation Safety
原子炉燃料工学E Nuclear Fuel Engineering	核不拡散・核セキュリティE Nuclear Nonproliferation and Security	原子力プラント学E Nuclear Plant Engineering
放射線応用工学E Applied Radiation Engineering	放射線廃棄物工学E Management of Spent Fuel and Radioactive Waste	

§ レジリエンス工学横断型教育プログラムと共同

3 特論科目

一部の科目を産学官連携（社会連携講座等）により実施

原子力に関係する最先端の専門学術をテーマごとに深くかつ包括的に学べます。他専攻や他研究科と共同で実施する講義なども含まれます。原則隔年開講の選択科目です。

レーザー・光量子科学特論E Advanced Laser and Photon Science	放射線計測学特論E Advanced Radiation Measurements	量子ビーム発生工学特論E Quantum Beam Engineering
放射線利用特論E Advanced Radiation Application	廃止措置特論E Special Lecture on Decommissioning and Dismantling	エネルギーシステム特論E § Energy Systems Analysis
次世代核エネルギーシステム特論E Advanced Lecture on Next Generation Nuclear Energy Systems	シビアアクシデント特論E Severe Accident (Advanced)	シミュレーション科学特論E § Advanced Lecture on Simulation Science
核燃料リサイクル特論E Advanced Lecture on Nuclear Fuel Cycle	科学技術社会特論2＊ § Technology and Social Science 2	原子力リスク特論E Nuclear Risk Management

＊ 公共政策大学院と共同　　§ レジリエンス工学横断型教育プログラムと共同

4 輪講・演習・実習科目

多くの科目を産学官連携（社会連携講座等）により実施

輪講（英語での研究に関するプレゼンテーションと質疑応答）や修士演習（複数の研究室でのプロジェクト型演習）を通して、領域横断的な広い視野と多様な経験を体得できます。また、国内外のインターンシップや実験施設実習などの体験型学習により、国際舞台での行動力や専門知識の実践力を鍛えることができます。

原子力工学修士輪講I～IV E Nuclear Engineering Master's Course Seminar 1~4	原子力工学博士輪講I～VI E Nuclear Engineering Doctoral Course Seminar 1~6	原子力工学修士演習I～III E Nuclear Engineering Master's Course Exercise 1~3
量子ビーム実習	原子力工学特別実施演習第一・第二	原子力工学特別演習第一・第二
先進原子力特別講義第3 Advanced Nuclear Engineering Seminar 3	原子力工学博士演習I～VI E Nuclear Engineering Doctoral Course Exercise 1～3	原子力国際コロキウム1E,3E

5 レジリエンス工学横断型教育プログラム

登録制プログラムであり、原子力国際専攻での専門教育に加えてより領域横断的視野と専門性を身につけ、複雑な実社会課題の解決能力を身につけることができます。

レジリエンス工学特論E Advanced Lecture on Resilience Engineering	レジリエンス工学特別演習J/E Resilience Engineering Project	システム安全学E Systems Safety
レジリエントシステムのためのセンシングE Sensing for Resilient Systems	（他科目などの詳細：http://rerc.t.u-tokyo.ac.jp/）	

原子力国際専攻
Nuclear Engineering and Management

国際原子力機関(IAEA) International Nuclear Management Academy認定

原子力技術マネジメントプログラム

本専攻のカリキュラムにある下記講義の単位を取得することで、IAEA発行の修了証が授与されます。

INMA
International Nuclear Management Academy
IAEA

THIS CERTIFICATE is presented to

NAME SURNAME

TO CONFIRM THE IAEA - INTERNATIONAL NUCLEAR MANAGEMENT ACADEMY'S ENDORSEMENT OF THE

NUCLEAR TECHNOLOGY MANAGEMENT PROGRAMME

of the Department of Nuclear Engineering and Management, School of Engineering, the University of Tokyo
HONGO, TOKYO, JAPAN

Vienna, Austria

Name Surname
Head of Nuclear Knowledge Management
Department of Nuclear Energy
International Atomic Energy Agency

Nuclear Reactor Theory and Radiation Physics（原子力物理）
Nuclear Thermal Hydraulics and Structural Mechanics （原子炉工学）
Radiation Biology （放射線生物）
Nuclear Safety Engineering （原子力安全学）
Maintenance Engineering in Complex Systems （システム保全学）
Radiation Safety （放射線安全学）
Nuclear Fuel Engineering（原子炉燃料工学）
Special Lecture on Decommissioning and Dismantling（廃止措置特論）

Overview of Energy Systems （エネルギーシステム概論）
Social Science Essentials （社会科学基礎）
Nuclear Nonproliferation and Security （核不拡散・核セキュリティ）
Nuclear Plant Engineering （原子力プラント学）
Management of Spent Fuel and Radioactive Waste （放射性廃棄物工学）
Energy Systems Analysis （エネルギーシステム特論）
Advanced Lecture on Resilience Engineering （レジリエンス工学特論）
Resilience Engineering Project （レジリエンス工学特別演習）
Systems Safety （システム安全学）

原子力国際専攻
Nuclear Engineering and Management

All the lectures are given in English.

講義は原則すべて英語

英語ディスカッション/
ディベート（本年度不開講）

国際展開

海外インターンシップ
国際交流・共同研究

- 国際経験を積むためのさまざまな機会（海外インターンシップ、留学）
- 海外講師によるセミナー
- 国際会議への参加・成果発表
- 海外の大学・研究機関との共同研究
- 外国人留学生とのさまざまな交流

産学連携による修士・博士演習の例

フィンランド オルキルオト原子力発電所現場視察

- 福島事故以降の新たな規制要求事項の背景を理解できた。
- 実施済/計画中のプラントの具体的改造点（特にタービン駆動ポンプの追設の必要性）について理解した。
- 過酷事故対応の現状と訓練状況の概況を学んだ。
- 事前学習に基づくプレゼンや質疑応答を通して幅広い分野(自然災害対策等)に関して議論することが出来た。
- 新たな安全機能が追加されたGeneration Ⅲ＋ (EPR)の３号機の建設現場視察
  - ERP固有の２重障壁格納容器などの設備を現場で実感することができた。
  - フィンランドの許認可プロセス、安全規制の観点等からの特徴（特に許認可でのPSAの位置付）を理解した。（主に事前学習）

オルキルオト原発の全景（奥が3号機）

ビジターセンターでの集合写真

ビジターセンターでの質疑応答

3号機（EPR）の模型

3号機格納容器開口部（公開資料より転写）

集中講義「原子力国際コロキウム1E,3E」

<u>Japan IAEA Joint原子力エネルギーマネジメントスクールとの共同開催</u>

- 世界各国において将来原子力エネルギー計画を策定・管理するリーダーとなる人材の育成を目的としてIAEAが主催する研修コース。
- 日本での開催は2019年7月で第8回目となる。イタリア・トリエステでは2010年よりすでに7回開催され、アラブ首長国連邦やアメリカでも3回ずつ開催されている。
- アジアの原子力発電新規導入国等における若手リーダーの育成を目的としており、例年30名強の参加者を数える。
- アジア各国の若手リーダーと共に、最新の原子力マネジメントに関する知見を学ぶ。
- 単位数は２単位または１単位とし、最終日後に提出するレポートの採点結果および出席回数により評価する。

教育プログラム

あるべき人材像の設定
アウトプットを重視した積み上げ型
教育段階と実務段階の垣根低減
取り締まり型から予防型へ

原子力規制人材育成事業
「国際標準プロアクティブエキスパート育成」
2016年度～2019年度※

1. 原子力安全と安全規制のための人材育成に関する基本的な理念を、Human Capacity Buildingととらえ、東京大学の広範な教育基盤と豊富な実績に立脚して、基礎、応用、展開の３段階で規制人材基盤を形成するプログラムを構築する。
2. 福島第一原子力発電所事故の可視化、その後の国際的な規格等の活動等の事例検討を通じて、効果的に先見性のある（Proactiveな）規制が行える人材のプログラムを提示する。
3. 実効性のある国際機関でのインターンシップ経験を活用する。

※2020年度から国立研究開発法人連携講座に発展予定

目標とする人物像：国際プロアクティブエキスパート

1. IAEA、OECD/NEA等の国際的な場に参画し、国際標準策定活動、安全研究等に積極的に関与する
2. 国際的な最新知見を我が国の規制に反映する
3. グレーデッドアプローチを含む総合的リスクマネジメントを先見性を持って意思決定過程に適用する
4. 被規制者や利害相反者とも積極的に対話し、相手の立場を尊重しつつ自らの確固たる視座をもち判断をする

※本事業は平成28年度から令和元年度までの4年間の計画

IRRSのフォロアップミッションは、今年度に予定されており、令和２年度には成果を実行段階とすることが必須

（参考：IRRSでの人材育成に関する勧告R5）

『～能力の評価、研修プログラムの実施、OJT、内部での職務ローテーション、さらに、TSO（JAEA）、大学、研究機関、国際機関、外国機関との安全研究や協力の充実に関する活動をさらに発展させ実施すべき』

事業のステップ概要

基盤　東京大学の教育基盤

専門職大学院及び工学教程シリーズ

基礎 1　福島事故の基礎的体系的知識基盤と教訓

① 福島事故の基礎的知識獲得のための実験及び分析演習
② 福島第一を含む、国内外原子力発電所の視察と対話

基礎 2　IAEA等の国際標準化活動の理解

③ 国際機関、国内外専門家講師招聘による講義と対話

応用　プロアクティブ国際エキスパート育成

④ IAEA基準等を対象としたProject Based Learning（PBL）

展開　国際機関インターンシップへの学生派遣

⑤ IAEA他へのインターンシップ活用による学生派遣

総括　総合評価と推進

社会連携講座

俯瞰型教育研究
福島事故の教訓反映

リスク俯瞰工学講座
2018年度～2022年度

- 研究目的

原子力プラントをはじめとする複雑人工物システムの俯瞰的リスク評価法を高度化することを目的とする。また、同評価のベースとなるシビアアクシデント挙動評価手法を開発する。

- 教育目的

社会連携講座により、社会の要請応じて学術と社会の発展に貢献する者を育成すること。原子力システムをはじめとして、人工物システムが有するリスクを俯瞰的にとらえ、リスクの全体像を把握した上で、リスク情報を活用した意思決定ができる人材を継続的に育成、輩出する。

- 研究体制

国立大学法人東京大学と一般財団法人電力中央研究所との共同研究

統合廃炉講座
2019年度～2021年度

研究目的:

福島第一原子力発電所の廃炉を推進するため、総合的視点から新技術を開発することを目的とする。

研究内容:

（1）俯瞰的に廃炉の課題を理解した上で統合的戦略を構築するとともに、戦略で必要な新技術開発について研究を行う。

・燃料デブリ取り出しのための燃料デブリ組成の推定手法の構築

・燃料デブリ粉砕・取出で放出される気中サブミクロン粒子の性状の推定

・新たな燃料デブリ取り出し工法や遠隔技術の開発等

（2）廃止措置特論等講義や学生研究指導を通じて、廃炉人材育成を推進する。

研究体制:

国立大学法人東京大学と、日立GEニュークリア・エナジー株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、三菱重工株式会社及び東京電力ホールディングス株式会社との共同研究

原子力国際専攻の学生の入試志願者数・出身・進路

9月入試修士課程応募者数（青総数、赤留学生）
70
60
50
40
30
20
10
0
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019

9月入試博士課程応募者数（青総数、赤留学生）
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019

出身学科

- 東大・システム創成学科に加え、様々な大学から学生を受け入れています。
- 出身学科もいろいろです。
- 海外からの留学生も多く、国際的な環境で学べるのも原子力国際専攻の強みです。

[博士合計] 在学生の出身　[過去5年分] (2015～2019年度入学)

学内（約50%）

- システム創成学科 E&Eコース
- システム創成学科 SDMコース
- 電子情報工学科、物理工学科、化学生命工学科、農学部、法学部、教育学部等

修了後の進路

原子力国際専攻の就職実績は堅調で、多様な将来設計が可能です。

修士修了後の進路

博士修了後の進路

[過去5年分]（2014～2018年度卒）