

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |        |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------|
| 科 目 名   | 原子力燃料材料学                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |        |
| 学 期     | S1S2 セメスタ                                                                                                                                                                                                                                                                              | 単位数 | 2.0 単位 |
| 曜日・授業時間 | 偶数週 水曜 1、2 限（詳細は年間スケジュールを参照のこと）                                                                                                                                                                                                                                                        |     |        |
| 場 所     | 原子力専攻 講義室                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |        |
| 担当教員    | 阿部弘亨（abe@tokai.t.u-tokyo.ac.jp）<br>木内 清（kiuchi.kiyoshi@rose.plala.or.jp）<br>根本義之（nemoto.yoshiyuki@jaea.go.jp）<br>白数訓子（shirasu.noriko@jaea.go.jp）<br>中村仁一（jsnaka@aqua.plala.or.jp）<br>天谷政樹（amaya.masaki@jaea.go.jp）<br>杉野 亘（wataru-sugino@japc.co.jp）<br>峯尾英章（mineo.hideaki@jaea.go.jp） |     |        |

**1. 本科目の目的と学習教育目標**

本講義では、原子炉の基幹コンポーネントである核燃料と構造材料およびこれらの炉内でのふるまい（環境劣化）について学習する。

まず、原子炉の構成材料について概説し、これらの理解の基礎となる（材料科学分野）のうち関連する項目（結晶学、格子欠陥、材料強度の微視論、相変態論、熱処理と回復等）について学ぶ。

これら基礎知識を元に、原子炉で生じる事象（照射損傷や腐食、応力腐食割れ、照射脆化等）を材料の視点と水化学の視点で学ぶ。炉型ごとに整理するとともに、新規開発の考え方を理解する。

さらに核燃料物質の基礎的性質と安全取り扱い、核燃料のしくみと構成、設計、原子炉内でのふるまい、核燃料の照射試験、新型炉と新型燃料、核燃料に関する法令について学習する。

さらにこれらの知識を実務に適用する際の考え方や課題などについても整理する。例えば燃料ペレットのサイズ変化は、セラミックスの焼きしまりによる体積減、照射欠陥の蓄積による体積増加、核分裂生成物の蓄積による体積増加等のバランスの時間発展によって決まる。このように、材料や燃料に生じる複雑事象を基礎学理に基づいて分析、理解する考え方を習得する。

これらの項目を基礎講義として学習した後、演習科目「原子力燃料材料学演習」にて理解を深化する。

**2. 講義方法等**

講義は材料科学、原子炉材料工学、核燃料工学、水化学をテーマに分けて行い、基礎から実用までを一貫して講義する。最後に全体のまとめの講義を行う。スクーリング形式とし PowerPoint 資料は事前に配布する。

担当教員は、我が国の核燃料と構造材料の分野において最先端で活躍する第一級の研究者、技術者から構成され、人材養成に最適なものとなっている。

**3. 専攻の学習・教育目標との関連**

(1) 原子力技術分野に関する基礎的素養

(2) および(3)の知識、能力の取得のために必要な基礎知識を取得する。

(2) 原子力技術分野に関する高度の専門的知識及びこれを実務に応用できる能力

(1)を踏まえて、原子炉主任者及び核燃料取扱主任者に必要とされる原子炉材料工学および核燃料工学を含めた実務レベルの知識を取得する。

(3) 原子力技術分野において、複合的な問題を分析し、課題を設定・解決できる卓越した能力

燃料や材料の初期性能から使用に伴う劣化等に係る様々な問題や課題について、(1)および(2)に基づいて論理的に分析、理解する能力を取得する。

(4) 継続的に学習できる能力

本科目は「原子力燃料材料／核燃料サイクル工学演習」に発展し、本科目で学習した内容に関する演習課題を解くことにより身に着ける。燃料関係は前期科目の「核燃料サイクル工学」と深く関連し、燃料や使用済燃料の特性を並行して学ぶ。また材料関係で学ぶ材料強度学や転位論は、「原子力構造

工学」で学ぶ材料力学についての材料科学的視座となる。後期科目では、燃料関係の知識は「原子炉設計」、また材料関係は「原子力安全工学」や「原子力保全工学」と強く関連する。

(5) 原子力技術分野に関する実務を行うために必要な実践力、説明責任能力、コミュニケーション能力、協働力、マネジメント力など

原子炉主任技術者および核燃料取扱主任者として必要な実践力を習得する。本科目で取得した燃料材料に関する総合的な知識は、プラント、燃料、機器の寿命、劣化、性能を科学的に説明するために必要であり、関連科目の学習ともあいまって有用な科学的説明責任能力を身に着けることとなる。

(6) 職業倫理、ならびにその倫理規範を守りつつ職務を果たす能力と態度  
直接の関連は無い。

#### 4. 講義日程及び講義内容

1. 原子炉燃材料の構成とその役割 (1 コマ)
2. 燃材料学基礎 (結晶学、格子欠陥、材料強度の微視論、相変態論、熱処理と回復等) (2 コマ)
3. 炉材料の仕組みと構成、特性 (2 コマ)
4. 放射線環境と照射損傷 (2 コマ)
5. 腐食環境と水化学 (2 コマ)
6. 再処理技術における材料学と核種の閉じ込め (1 コマ)
7. 炉材料の安全性、規制、限界、検査、新材料開発 (1 コマ)
8. 核燃料物質の基礎的性質 (化学的性質及び物理的性質) (1 コマ)
9. 核燃料物質の安全取り扱いと関係法令 (1 コマ)
10. 燃料製造および燃料体の構成、設計、安全性 (2 コマ)
11. 燃料体の原子炉内でのふるまいと被覆管の役割 (構造、強度、燃焼、照射影響等) (2 コマ)
12. 燃料および燃料体の規制と限界、検査、新型燃料開発、定期検査 (1 コマ)
13. まとめ (本講義の資料全てを対象とした総合学習) (2 コマ)

※上記各項目において、学習教育目標の(1)～(5)に該当する講義が行われる。講義であることから重点項目は(1)および(2)であるが、演習科目「原子力燃料材料／核燃料サイクル工学演習」において(3)、関連科目とあいまって(4)を取得する。燃料及び材料で生じる事象はその各々が複雑な事象の時間発展によるものであることから、基礎知識 (素過程とそのメカニズム) の積み上げと総合的な考察により(5)の科学的説明性と実践力を身に着けることができる。

#### 5. 教科書、参考書等

材料科学になじみのない学生は、A) または B) が基礎的理解の助けとなる。

##### ●基礎学理に関する書籍

- A) 新訂版 機械システム入門シリーズ4 材料科学の基礎、柳沢平、吉田総仁著、共立出版
- B) 標準金属工学講座9 改訂 金属物理学序論、幸田成康、コロナ社
- C) 図解 合金状態図読本、横山 亨、オーム社
- D) 金属組織学序論、阿部秀夫、コロナ社
- E) 標準金属工学講座16 改訂 腐食科学と防食技術、伊藤伍郎、コロナ社

##### ●専門技術分野および複合事象に関する書籍

- F) 最新核燃料工学－高度化の現状と展望－、日本原子力学会
- G) 原子炉構造材の照射損傷評価と線量測定、日本原子力学会
- H) 原子炉水化学ハンドブック、日本原子力学会
- I) 講座・現代の金属学 材料編 原子力材料、日本金属学会
- J) 実務テキストシリーズ No3 軽水炉燃料のふるまい、原子力安全協会
- K) 実務テキストシリーズ No1 軽水炉発電所のあらまし (改訂版)、原子力安全協会
- L) プラントの損傷事例と経年劣化・寿命予測法、イーティーエス 総合技術センター
- M) 原子力規制関連法令集、科学技術庁原子力安全局監修、大成出版社
- N) 原子力安全委員会安全審査指針集、科学技術庁原子力安全局監修、大成出版社
- O) 軽水炉構造材料、薄田寛、アイビーシー
- P) 原子炉材料ハンドブック、日刊工業新聞社

- Q) 経年劣化と寿命予測、リアライズ社
- R) 原子力工学シリーズ 原子炉化学(上下)、内藤奎爾、東京大学出版会
- S) 原子力工学シリーズ 原子炉燃料、菅野昌義、東京大学出版会
- T) 原子力工学シリーズ 照射損傷、石野栞、東京大学出版会

●その他、参考書籍

- U) 金属物理、藤田英一、アグネ
- V) 基礎物理化学（上下）、ムーア他、東京化学同人
- W) 熱物理学 第2版、キッテル他、丸善

6. 達成度の評価、成績評価の方法

講義内容に基づき、基礎（材料科学）、実用（原子炉材料工学及び核燃料工学）、および複合的問題に関する知識を期末試験で問う。

試験には原子炉主任技術者試験及び核燃料取扱主任者試験のうち燃料および材料に係る問題を含み、国家試験合格に相当するレベルを問う。

追加でレポートを課すこともある。

7. 他の講義との関連

「原子力燃料材料／核燃料サイクル工学演習」を受講するための講義である。

材料学関連については、機器の劣化等の観点で「保全工学」に関連する。また「原子炉安全学」で学ぶ種々の事故事象を理解するうえでの基礎となる。

燃料関連については、燃料サイクルの流れとして「核燃料サイクル工学」に関連する。燃料体の構成と設計、基本的性質は「燃料炉心設計」に関連する。