

<研究室だより>

東海大学 亀山高範

筆者は2012年4月東海大学工学部原子力工学科に着任し、現在、国際原子力研究所を本務とし、工学部・大学院工学研究科・総合理工学研究科も兼務する。本学に着任してから学部・大学院の研究室を設置・運営しているが、2027年度末で筆者の定年退職とともに閉鎖する見込みである。

当研究室では、原子炉物理学・原子炉工学・中性子工学を基盤とし、主にPCベースのワークショップ・シミュレータを活用して、研究に取り組んでいる。主な研究課題を次に記す。

1. 照射後燃料の核種組成と放射線の解析
2. 照射中の核燃料ふるまいの解析
3. 発電炉シミュレータによる事故時の事象の解析
4. 臨界研究炉シミュレータの機能と精度の向上
5. 中性子計測システムの構築と検証
6. 教育訓練用計算プログラムの開発
7. 安全機能を持つ燃料集合体・炉心概念の設計

これらの概要を紹介する。

1. 照射後燃料の核種組成と放射線の解析¹⁾

加圧水型原子炉 PWR と沸騰水型原子炉 BWR の照射後燃料集合体内の核種組成を、連続エネルギーモンテカルロ法中性子輸送+燃焼計算コード SWAT, MVP-BURN を用いて計算する。核種組成の計算値の検証には、使用済燃料内の同位体組成データベース SFCOMPO2.0 の測定値を参照し、計算精度を確認する。核種組成の結果をもとに、照射後燃料集合体から放出される γ 線を、連続エネルギーモンテカルロ法光子輸送計算システム PHITS を用いて計算する。これらの計算機実験の結果をもとに、新型の燃焼度計測装置・核燃料の計量管理法を考案し、燃焼度クレジット・保障措置へ適用する。

2. 照射中の核燃料ふるまいの解析

PWR・BWR の照射中の燃料ペレット温度、燃料棒内圧、FP ガス放出率、燃料ペレット被覆管相互作用などを、核燃料ふるまい解析コード FEMAXI-8 と MVP-BURN を組み合わせ、燃料集合体内の出力分布・出力履歴をもとに解析する。燃料ふるまいの解析値の検証にはノルウェーの照射試験炉 HBWR (Hal den Boiling Water Reactor) の測定値を参照し、計算精度を確認する。燃料ペレットの熱伝導率に偏差を与え、HBWR の測定値をもとに温度計算の不確かさを定量化する。

3. 発電炉シミュレータによる事故時の事象の解析^{2),3)}

過酷事故時の発電炉シミュレータ SARS (Severe Accident Reactor Simulator) を2015年度に設置し、主に LOCA, SBO, ATWS 発生後の発電プラントの事象を解明する。SARS では、PWR と BWR を対象とし、機構論的解析エンジンに計算コード RELAP5+SCDAP+COUPLE を統合し、事故時のプラント事象を解析する。SARS には PWR・BWR プラントを模擬するデータベースを格納し、グラフィカルな入出力機能 GRAPE によってプラント状態・物理量データトレンド・炉心損傷進展を明解に表示できる。本学内の実習授業、文部科学省人材育成事業の実習にも SARS を活用する。

4. 臨界研究炉シミュレータの機能と精度の向上⁴⁾

臨界研究炉 TCA を模擬する原子炉シミュレータ TURS (Tokai University Reactor Simulator) は1994年度に設置された。筆者が着任した2012年度から TURS のシステム変更、機能拡張、性能検証を進め、国内の大学院生原子炉実験で行われる各種の実験(臨界近接、ペリオド測定、制御棒校正、中性子束分布測定など)を模擬し、それらの結果をグラフ形式で表示できる。原子炉物理の専用計算コードによる計算結果などを TURS に導入し、模擬性能を改善する。本学の授業にも TURS を活用し、SARS の利用とともに原子炉工学の教育コースを構築する。

5. 中性子計測システムの構築と検証⁵⁾

中性子源 ($^{241}\text{Am-Be}$) と中性子減速材 (ポリエチレン・黒鉛) の非増倍系を放射線管理区域内に設置し、小型 Eu: LiCaAlF₆ シンチレーション検出器+波長シフトファイバーの計測系を導入し、中性子束分布の計測法を富山高等専門学校の高田英治教授と共同で構築・検証する。Eu: LiCaAlF₆ シンチレーション検

出器の計測値を、 ^3He および BF_3 比例計数管による測定値、PHITS による計算値とそれぞれ比較し、本計測システムの検出効率・特性を把握する。

6. 教育訓練用計算プログラムの開発^{6),7)}

教育訓練用計算プログラム S シリーズを、本学の松村哲夫 非常勤講師(PowerM)とともに Microsoft 社 Excel +VBA を用いて開発、検証する。PC で Excel が動作すれば S シリーズのインストール作業は不要で、容易に導入・利用できる。計算の入力・出力を Excel 上で行うため、入力は明解なうえ、出力を直接グラフにできる利点もある。本学の研究・授業にも活用する。これまでに S シリーズとして開発・検証しているコードを次に記す。これらのコードは松村氏から配布され、一般にも利用可能である。

中性子拡散計算コード S-Diff
 モンテカルロ法光子中性子輸送計算コード S-Monte
 核種生成崩壊計算コード S-Decay
 改良核種生成崩壊計算コード S-Decay2
 放射線遮蔽計算コード S-TX

7. 安全機能を持つ燃料集合体・炉心概念の設計^{8),9)}

原子炉の固有安全特性と構造的な崩壊熱除去機能などを備える燃料集合体・炉心概念 KAMADO を松村哲夫氏とともに設計する。KAMADO 概念の設計には、MVP-BURN, 有限要素法汎用計算コード LISA をそれぞれ用いる。KAMADO 概念を適用した設計例を次に記す。

BWR 燃料の取替燃料集合体 KAMADO-BWR
 原子炉圧力容器を持たず出力規模を変更可能な BWR 炉心 KAMADO-FSR
 医療診断用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の親核種 ^{99}Mo を生産する高中性子束炉 KAMADO-HFR
 ガス冷却+超長寿命燃料利用の高速炉 KAMADO-FR2

上記の研究課題はいずれも未だ完成していないため、それぞれの研究を継続し、研究成果の洗練と進展を目指す。



図 原子炉シミュレータ実習の状況 (左: SARS, 右: TURS) .

参考文献

- 1) 日本原子力学会 2025 年秋の大会 2N15, 2026 年春の年会 3D12.
- 2) 日本原子力学会 2019 年春の年会 3L08, 2021 年春の年会 2L11, 2025 年秋の大会 1H06-07.
- 3) 東海大学国際原子力研究所 2022 年度所報(2023).
- 4) 東海大学紀要工学部 Vol. 58-No. 2(2018).
- 5) 日本原子力学会 2021 年秋の大会 3H06, 2022 年春の年会学生ポスター 2-25.
- 6) 東海大学紀要工学部 Vol. 60-No. 1(2020), Vol. 61-No. 1(2021).
- 7) 日本原子力学会 2025 年秋の大会 1N14, 2026 年春の年会 2F03.
- 8) 東海大学紀要工学部 Vol. 64-No. 1(2024), 英文 Ser. E 47(2022).
- 9) 東海大学国際原子力研究所 2023 年度所報(2024).

以上