

空間依存性を考慮した教育用リアルタイム炉心シミュレータ開発

原子核エネルギー制御工学グループ 山本章夫研究室 伊藤 魁人

1. 緒言 本研究では、限られた原子炉物理(炉物理)実験の機会を効果的に活用する方策の1つとしてデジタルトリプレットに着目し、卒業研究ではデジタルトリプレットに利用可能なシミュレータ *Ikaros* を作成した。しかし、*Ikaros* は一点炉動特性近似に基づいており、空間依存性を考慮していない。基礎的な実験的炉物理教育であれば一点炉動特性近似でも問題ないが、発展的な実験的炉物理教育において、空間依存性を考慮したシミュレーションは重要となる。しかし、空間依存性を考慮した3次元詳細メッシュ動特性計算相当の計算をリアルタイムに実施することは計算時間の観点から不可能である。そこで、本研究では、3次元詳細メッシュ動特性相当の計算をリアルタイムに実行可能な手法として、固有直交分解 (Proper Orthogonal Decomposition, POD) を利用した次元圧縮モデル (Reduced Order Model, ROM) に注目し、空間依存性を考慮した炉物理教育用リアルタイム炉心シミュレータ開発を目的とした。しかし、POD を利用した ROM を計算ソルバーとしたリアルタイム炉心シミュレータは前例がなく、実際にリアルタイムにシミュレーションに使用可能かは未知数であった。そこで本研究では、POD を利用した ROM がリアルタイムシミュレーションに適用可能かどうかを合わせて検討した。

2. リアルタイムシミュレーションへの適用性確認 提案手法の有効性検証として、LMW ベンチマーク体系と近畿大学原子炉(UTR-KINKI)を単純化した体系でそれぞれ検証計算を実施した。どちらの検証計算においても、基底作成に使用した制御棒位置の範囲内であれば、炉心出力(図1)と中性子束空間分布の挙動を精度よく再現可能であることを確認した。また、計算時間についても1タイムステップ当たり0.1~0.25sであり、提案手法がリアルタイム炉心シミュレーションに利用可能であることを確認した。

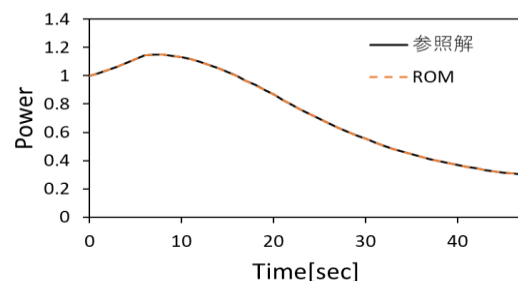


図1 UTR-KINKI のモデルを対象とした炉心出力の時間変化

3. シミュレータの開発と計算機能 動的なグラフ描画や3次元中性子束分布の可視化、その他 GUI はゲームエンジン Unity を用いて作成した。本シミュレータでは、動特性計算によって得られた熱群3次元中性子束分布をリアルタイムに可視化する機能、炉心内に仮想的な中性子検出器を配置しその検出器位置の熱群中性子束と逆動特性法によって得られた推定反応度をリアルタイムにプロットする機能、制御棒位置の挿入引抜を模擬する機能がある(図2)。なお、本シミュレータの計算精度については、3次元詳細メッシュ動特性計算と比較することで確認している。

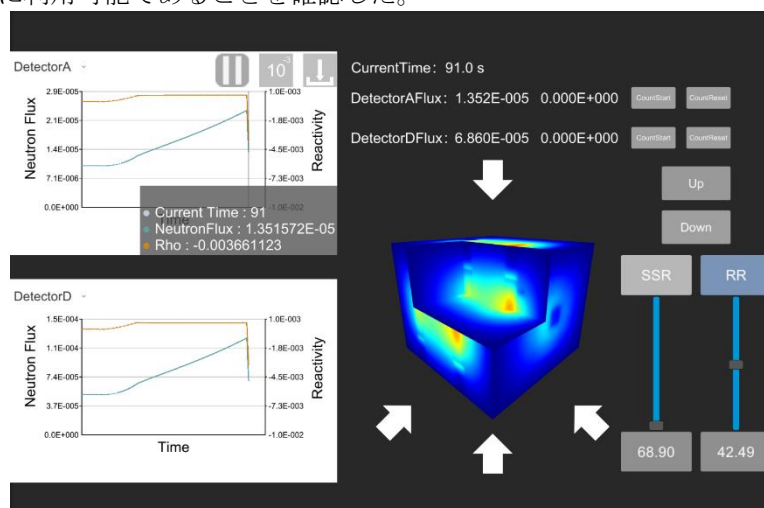


図2 作成したシミュレータ画面

4. まとめ

本研究では、POD に基づく ROM 計算を駆使したリアルタイム炉心シミュレータ *Ikaros3D* を開発した。空間依存性の理解を促す教材として、今後全国の大学で *Ikaros3D* が有効活用されることが期待される。
口頭発表

[1] [Kaito Ito](#), Kosuke Tsujita, Tomohiro Endo, Akio Yamamoto, M&C2023, We3T6-4, August 13-17 (2023).

[2] [伊藤魁人](#), 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2023 春の年会, 1K04, 3月13日-3月15日 (2023).

[3] [伊藤魁人](#), 辻田浩介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2024 春の年会, 3月26日-3月28日 (2024) (発表予定).