

三菱重工業株式会社 原子力セグメント
炉心・安全技術部 炉心・放射線技術課
山路 和也

PHYSOR2024 参加報告

米国サンフランシスコで開催された国際学会 **PHYSOR2024** に参加し、当社核設計コードに関する 1 件の口頭発表と、コード検証に関する 2 セッションの座長を担当しました。

○聴講・座長

初めに、座長と発表聴講に関し、メーカー社員として感じたことを記したいと思います。**PHYSOR2024** の発表者は、欧米の研究機関・大学を中心に、新手法の開発やその検証に主軸を置いた発表が多く、学術的な興味を覚えました。一方、一時期増加したアジア圏からの発表は、減少しているように見受けられました。発表会場では、活発な質疑応答が見られ、座長が質問を考えないといけない場面は少なく、私が座長を担当したセッションでは、会場から質問が出ず座長のみが質問した発表はありませんでした。

私が聴講した発表の中では、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**) を用いた共鳴計算手法や、三次元拡散計算/輸送計算 (**SP3**) の高速化への適用が興味深いと思いました。また、**MOC** 等の輸送計算の空間離散化誤差を低減する **Linear Source** 近似に関する発表や、3 次元非均質輸送計算の高度化に関する実用性の高い発表も多く見られました。3 日目のプレナリーセッションの中で、**JAEA** 殿の **STACY** の再稼働が周知され、聴衆から拍手を受けていました。

私は、高温ガス炉燃料の被覆燃料粒子に対応した共鳴計算手法を当社核計算コード **GALAXY-Z** に導入した発表を行いました。これまでの国際学会では、軽水炉・高速炉に関するものが殆どでしたが、私の発表だけでなく、高温ガス炉等の軽水炉・高速炉以外の炉系に関する発表が増えている印象を受けました。

メーカーは、限られたリソース（人員、時間（予算）、計算機資源）の中で、必要とされる精度で設計を完了させる必要があります。比較的短時間で計算が可能な粗い分解能の入力（エネルギー、空間メッシュ、中性子飛行方向）を用いた場合でも、細かい分解能の入力を与えた場合と遜色のない結果が得られる計算手法が望まれます。コード開発においても、リソースの制限があり、計算手法のコードへの組み込み易さ、計算コードの妥当性確認の参照解の入手し易さも重要です。これらの観点から有益な発表を聴講することができました。また、コードの検証において、連続エネルギーモンテカルロコードの結果との比較が良く用いられますが、コードの妥当性確認には、臨界実験や実機における実測値との比較が不可欠と考えており、**STACY** の再稼働は、そういった観点からも「**Exciting News**」（プレナリーセッションの座長の発言より）でした。

○所感

ここ数年、新型コロナウイルス感染防止のため、国際学会が中止、オンライン開催となることが多く、私は6年ぶりに面着での国際学会への参加となりました。会場で発表者・参加者と直接議論することで、予稿や発表だけでは得られない有益な情報を得ることができ、国際学会参加の有用性・意義を改めて強く感じました。また、国内外の他機関・他社の炉物理コードの開発・検証状況に直に触れることで、当社コードの世界での立ち位置を再認識でき、今後の開発・改良に活かしていきたいと思えます。

最後に、PHYSOR2024のMHIからの口頭発表に関する記載を以下に示しますので、ご興味のある方はご覧ください。

○口頭発表

当社は、PWR向け及び高温ガス炉向けの3次元炉心体系を燃料棒単位で計算する核設計コードGALAXY-Zを開発しています。PHYSOR2024では、GALAXY-Zコードに導入した高温ガス炉の被覆燃料粒子に対する共鳴計算手法について、

「Resonance Treatment of Double-Heterogeneous Fuel using a Deterministic Statistical Geometry Method in Heterogeneous Transport Calculation Code GALAXY-Z」のタイトルで発表しました。概要を以下にご紹介したいと思います。

高温ガス炉燃料の燃料コンパクト内の非均質性を第1段階の非均質性、燃料コンパクトの格子配列による燃料粒子コンパクト間の非均質性を第2段階の非均質性としてそれぞれ評価し、これらを重ね合わせることで、効率的に高温ガス炉燃料の被覆燃料粒子の二重非均質性を取り込みました。(図1)

第1段階の非均質性を取り扱うため、無限体系を仮定した燃料コンパクト内において、十分長いレイトレース上に被覆燃料粒子をランダムに配置した体系を、キャラクタリスティクス法(MOC)で解き、輸送計算結果を統計処理するDeterministic Statistical Geometry (DSTG)^[1]法をGALAXY-Zコードに導入しました。第2段階の非均質性については、燃料コンパクト内を均質で扱うことから、軽水炉の核計算で実績のある手法を用いることができます。第1段階、第2段階の非均質性の評価に用いる手法を以下の表1にまとめます。共鳴計算にて得られた実効断面積を入力とした輸送計算を行い、反応度と核分裂率分布を得ることができます。高温ガス炉の燃料体を模擬した体系において、連続性エネルギーモンテカルロコードで求めた実効断面積、反応度、核分裂率分布とGALAXY-Zコードによる計算値とを比較し、良好な一致を確認しました。

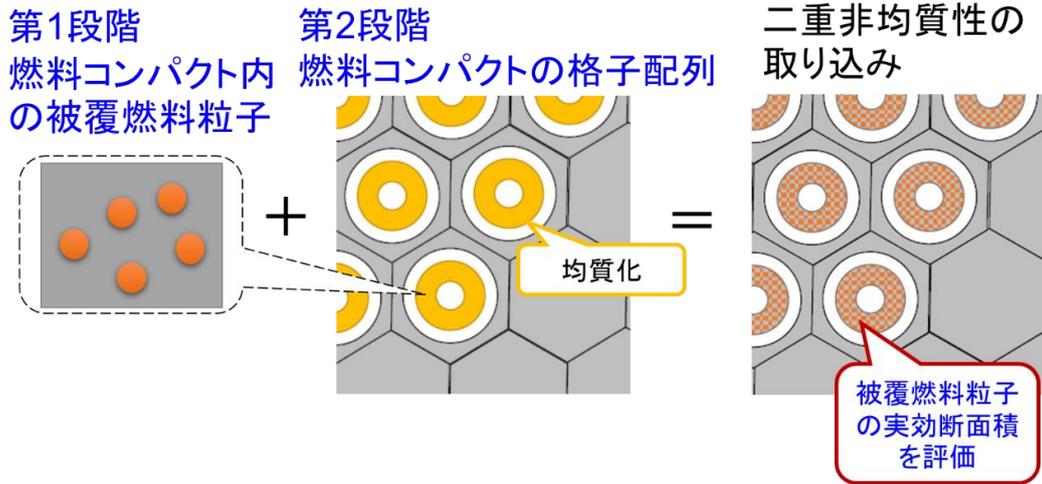


図 1 被覆燃料粒子を含む高温ガス炉燃料での二重非均質性の取り扱い^[2]

表 1 GALAXY-Z の共鳴計算手法^[2]

共鳴計算手法	第 1 段階	第 2 段階	実効断面積計算の ための評価対象
超詳細群計算 (Thermal Cutoff 以上)	超詳細群 DSTG	等価ダンコフ係数 円筒セルモデルを用いた 超詳細群減速計算	被覆燃料粒子の 超詳細群中性子 スペクトル
等価原理 (Thermal Cutoff 以下)	1 群 DSTG	Neutron Current Method に基づく等価原理	被覆燃料粒子の ダンコフ係数

○参考文献

- (1) A. Yamamoto, et.al., “Deterministic Transport Calculation Method for Statistical Geometry with Small Fuel Particles,” *Nucl. Sci. Eng.*, 2023, doi:10.1080/00295639.2023.2230414.
- (2) K. Yamaji, et.al., “Resonance Treatment of Double-Heterogeneous Fuel using a Deterministic Statistical Geometry Method in Heterogeneous Transport Calculation Code GALAXY-Z”, Proc. PHYSOR2024, April 21-24, 2024, San Francisco, U.S., 2024, doi.org/10.13182/PHYSOR24-43462.