

PHYSOR2026 参加報告

株式会社日立製作所 研究開発グループ
環境・エネルギーネクサスイノベーションセンタ
原子力システム研究部
荒木 颯太

1. はじめに

2026年4月19日からイタリア トリノで開催された PHYSOR2026 へ参加し、弊社の MOX 燃料高度化に関する口頭発表と、軽水炉設計に関するセッションの座長を担当しました。本報では、本学会に参加して民間企業の社員として感じたことを記します。



図1：座長（Session Chair）記念に撮影した参加者証と会場入り口の写真

2. 聴講・座長に関して

私はコロナ禍の影響により、これまで国際会議はオンラインでの参加経験しかなく、PHYSOR2026 が初めての対面での国際会議参加でした。ワークショップ会場が美術館のようだったり、トリノの自動車博物館でバンケット（夕食会）が行われたりなど（図2）、国内の学会と一味違う雰囲気に驚きながらも、非常に楽しむことができました。昼食やコーヒープレイクの際に気になる発表の講演者と積極的に会話するようになりましたが、逆に発表のフィードバックをいただくことも多く、改めて対面で学会に参加することの重要性を感じました。

どの会場も満員に近く、質疑応答も活発な印象でした。軽水炉の新設が進んでいる中国や、炉心管理の新たな取り組みが活発な米国など、日本とは異なる状況での研究活動を聞き刺激を受けました。例えば、炉心管理の新しい取り組みとして、起動前試験のクリティカルパ

スである温度反応度係数測定を他の計測値からの換算によって推測する米国の取り組みがありました。試験を代替することは解析高度化の効果として大きなものの一つだと思いますが、私もそのようなアイデアが出せるよう色々な視点から研究を進めたいと思いました。

また、軽水炉設計に関するセッションではFramatomeのPatrick Blaiseと共に座長を務めました。国内外含めて初めての座長であり、貴重な機会をいただきました。座長を務めたセッションでは、韓国、アメリカ、欧州の講演者の発表がありました。例えば、海事産業が基幹産業であり、海運の脱炭素への意欲が高いノルウェーから原子力推進船の設計が発表されるなど、それぞれの特徴的な設計に各国の事情を感じることができ、面白いセッションでした。発表者のプレゼンがPCに格納できておらず、発表5分前に事務局まで走って資料格納しに行くなど、さまざまトラブルはありましたが、共同座長の方からサポートいただきながら、無事セッションを終えることができました。



図2：ワークショップ会場（左）とバンケット会場（右）

3. 発表に関して

軽水炉設計に関するセッション（R02. Light-Water Reactors Design & Core Analysis III）でMOX高度化について発表しました [1]。本発表は、原子力学会25年度秋の大会で発表したPu有効利用燃料について、弊社の詳細炉心解析手法である直接応答行列法（Direct Response Matrix method：DRM）で改めて詳細に解析したものです。MOX利用が活発なフランスの方が多数聴講されており、本技術をPWR燃料に応用した際に想定される課題など、さまざまなフィードバックをいただくことができました。CEAの方にシンプルだが面白いアイデアだと言ってくれたなど、反響が多く嬉しかったです。

Pu有効利用燃料は、図3に示すようにプルトニウムとガドリニウムが添加された燃料棒（MOX-Gd燃料棒）を使用することを特徴にしており、軽水炉でプルトニウム重量当たりに取り出すエネルギーを増加できる設計です。使用済燃料から回収するプルトニウムから発生するエネルギーを増加することで、ウランでの発電を代替し、原子力発電の需要増加に伴い需給ひっ迫の可能性があるウラン資源を節約することをねらっています。Pu有効利用燃料の設計については、前回の部会報に掲載した25年度秋の学会の炉物理部会優秀講演賞受賞記念投稿でご説明しましたので、ご興味がありましたら是非ご覧ください [2]。

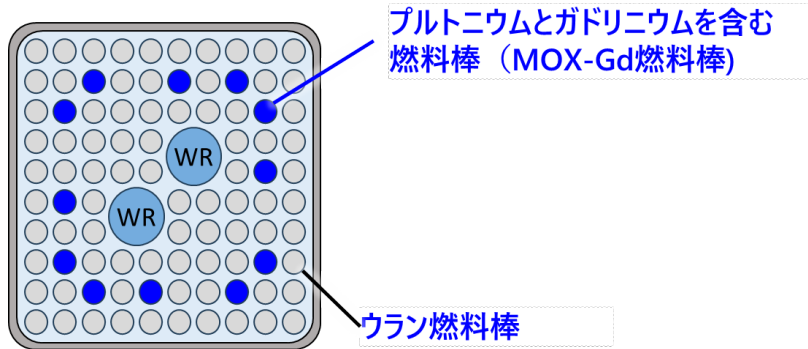


図3：プルトニウム有効利用燃料設計案（BWR用10×10格子燃料）

Pu 有効利用燃料設計の説明は前回の部会報に譲り、ここでは解析に用いた詳細炉心解析手法 DRM について説明します [3]。DRM は直接応答行列法という中性子輸送計算手法で炉心を解析します。直接応答行列法は、燃料集合体内での中性子挙動を図4に示した4種類に分類することが特徴です。DRM では、中性子のエネルギーや位置に対して、それぞれの挙動が起こる確率を多群モンテカルロ法による格子計算で計算し、核定数（サブ応答行列と呼びます）として保持しています。ある集合体から流出する中性子流は、図5に示したようにこれら4種類の中性子挙動の組み合わせで計算できることから、流入する中性子流とサブ応答行列によって式(1)のように表せます。式(1)には実効増倍率が含まれているので、式(1)を炉内のすべての燃料集合体で計算し、 J_{in} と J_{out} が収束するまで計算することで、炉心の実行増倍率を求めることができます。 J_{in} と J_{out} は角度依存性も保持するので、拡散近似を排した全炉心計算が現実的な時間で実行可能です。

また、式(2)を用いて、求めた J_{in} とサブ応答行列から、それぞれの燃料棒ピンで起こる中性子生成反応率を計算することができます。ここから、ピン単位の出力分布を計算することも DRM の強みです。

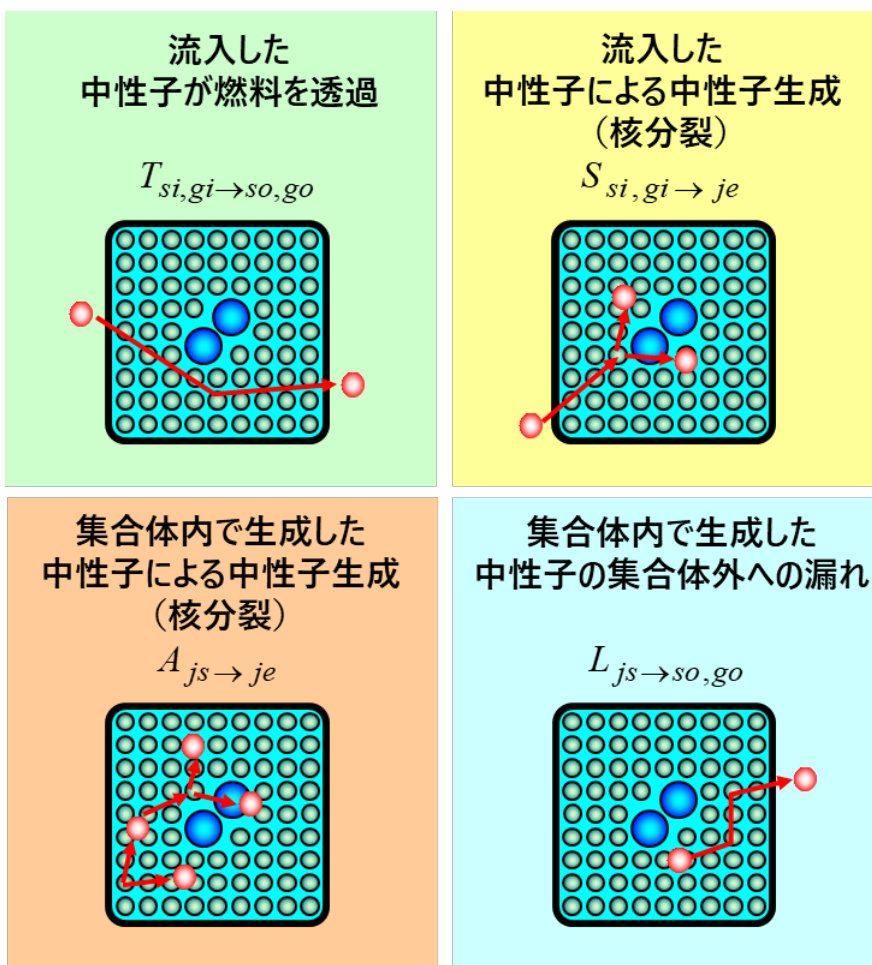


図4：直接応答行列法での燃料集合体内での中性子挙動の分類

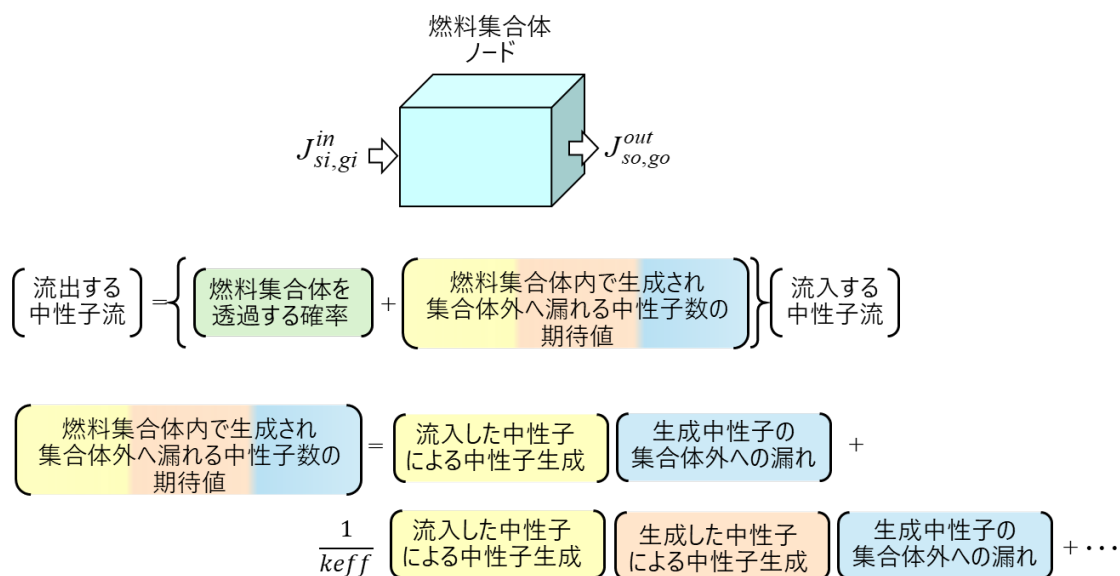


図5：流入中性子と流出中性子の関係

$$\begin{aligned}
 J_{out} &= \left(T + SL + \frac{1}{keff}SAL + \frac{1}{keff^2}SA^2L + \dots \right) J_{in} \\
 &= \{T + S(keff \cdot E - A)^{-1}L\} J_{in}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$P = J_{in}S(keff \cdot E - A)^{-1}
 \tag{2}$$

ただしここで、

- J_{in} : 集合体に流入する角度中性子流ベクトル
- J_{out} : 集合体から流出する角度中性子流ベクトル
- P : 燃料棒ピンごとの中性子生成率
- T : 燃料集合体外からの中性子が集合体外へ流出する確率
- S : 燃料集合体外からの中性子が燃料集合体内で発生させる中性子数の期待値
- L : 燃料集合体内で発生した中性子が集合体外へ流出する確率
- A : 燃料集合体内で発生した中性子が集合体内で発生させる中性子数の期待値
- E : 単位行列
- $keff$: 実行増倍率

Pu 有効利用燃料炉心では、MOX 燃料棒とウラン燃料棒が同一燃料集合体に混在することで、局所出力ピーキングが高くなりやすく、熱的な成立性が懸案事項でした。本研究では、炉心の出力分布を燃料棒ピン単位で評価できる DRM で Pu 有効利用燃料を評価しました。図 6 には、DRM で計算した Pu 有効利用燃料を装荷した炉心の特性を示しています。DRM で評価した炉心特性は設計指標を満足しており、このことから Pu 有効利用燃料の炉心が核的・熱的に成立することを確認しました。

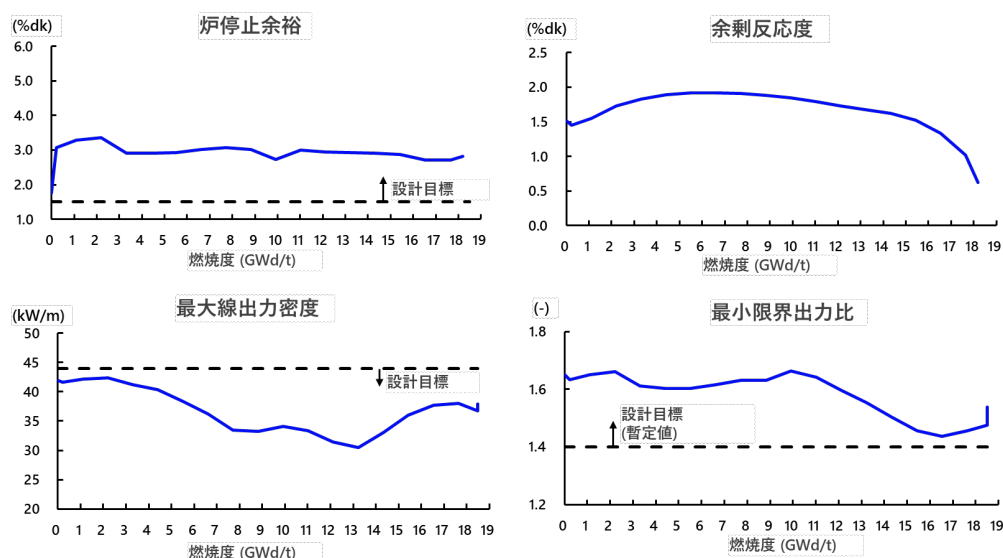


図 6 : Pu 有効利用燃料を装荷した炉心の特性

4. まとめ

PHYSOR2026では、世界中の研究者とコミュニケーションをとったり、国際会議の座長を初体験したりなど、得難い経験をすることができました。海外の動向を知ることや研究のモチベーションを高めることもでき、参加して良かったと感じています。

最後に、現地では炉物理部会の方を始め、さまざまな方に助けていただきました（治安が怪しいところを教えていただいたり、おいしいお店を教えていただいたり）。皆様に感謝申し上げます。



図7：炉物理部会の方に教えていただいたジェラート

5. 参考文献

- [1] S. Araki, et.al., “Boiling Water Reactor Fuel Concept Enabling Efficient Utilization of Plutonium to Reduce Uranium Consumption”, Proc. PHYSOR2026, April 19-23, 2026, Turin, Italy, 2026.
- [2] 荒木颯太, “炉物理部会賞受賞 記念寄稿 ウラン需要増加に対応する Pu 有効利用燃料の開発”, 日本原子力学会 炉物理部会 会報, 2026.
- [3] T. Hino, et.al., “BWR Core Simulator Using Three-Dimensional Direct Response Matrix and Analysis of Cold Critical Experiments”, J. Nucl. Sci. Technol., 47:5, 482-491, 2010, DOI: 10.1080/18811248.2010.9711639.