

<炉物理部会賞受賞記念寄稿>

軽水炉使用済燃料の核種組成解析による集合体燃焼計算手法の検証

(一財) 電力中央研究所  
原子力技術研究所 燃料・炉心領域  
鈴木 求

## 1. はじめに

この度は標題の研究について、2014 年度の炉物理部会賞をいただき、誠にありがとうございます。本研究は、私が(独)原子力安全基盤機構(JNES)に在籍していた際に取り組んでいたものであり、私が社会人になってはじめて担当した業務でした。この業務を進めるにあたり、共同研究者である山本徹氏(現 原子力規制庁)からは多くのご指導・ご助言をいただきました。この場をお借りして、心より感謝申し上げます。

さて、部会報への寄稿にあたり、「研究のきっかけや今後の展開、炉物理に対する思いなど、若手の方々がますます楽しくなるような内容を」とのリクエストをいただき、作文が苦手な私にとっては、何を書こうか悩ましいテーマですが、研究の概要とこの研究を通じて感じたことを書きたいと思います。

## 2. 研究の概要

本研究は、JNES において実施していた全 MOX 炉心核設計手法信頼性実証試験<sup>1</sup>の一部として実施したものです。(名称が長いので、以降では「全 MOX 事業」と記載します。)全 MOX 事業は、全炉心に MOX 燃料を装荷する ABWR において、初装荷炉心(1/3MOX 炉心)から全 MOX 炉心に移行する各段階の炉心核特性解析結果の評価、及び今後の高燃焼度 MOX 燃料炉心の安全審査における核設計手法の妥当性評価のための技術的根拠を整備することを目的としたものであり、(1)1/3MOX 炉心燃焼後 MOX 燃料の核種組成等の解析評価、(2)MOX 燃料との比較のための燃焼後ウラン燃料の核種組成等の解析評価が含まれています。この評価を実施するために、BWR は 9×9 型 UO<sub>2</sub> 先行照射燃料の低燃焼度から高燃焼度に至る 5 つの燃料試料(燃焼度 27.9~68.4GWd/t)について、(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)の協力によりウラン、プルトニウムと、約 30 の FP 核種(希土類、金属等)の組成データを取得しました。また、PWR についても、国際計画 MALIBU (Radiochemical analysis of MOX and UOX LWR fuels Irradiated to high Burnup) において測定された MOX 燃料および UO<sub>2</sub> 燃料のアクチニド核種と主要な 30 の FP 核種の組成データを取得しました。これらの組成データについて、決定論に基づく SRAC コードと、モンテカルロ法に基づく MVP-BURN コードを用いた燃焼計算を実施し、国産ライブラリである

<sup>1</sup> “平成 24 年度全 MOX 炉心核設計手法信頼性実証試験報告書”、JNES-RE-2013-1025、(独)原子力安全基盤機構、2014 年 2 月

JENDL-3.3、JENDL-4.0 やチェーンデータ Chain-J40 に加えて、海外の ENDF-B/VII、JEFF-3.1 について、ライブラリ更新の影響やライブラリ間の傾向等を系統的に評価しました<sup>2</sup>。また、PWR の解析では、MOX 燃料の核種組成評価を行うには、隣接する  $\text{UO}_2$  燃料集合体を含めた燃焼計算が必要なことも明らかになりました<sup>3</sup>。全 MOX 事業は、このような成果の蓄積から、商用軽水炉炉心の安全設計及び安全評価に適用される炉心解析コードの妥当性評価の知見をまとめる段階にありましたが、残念なことに、東北地方太平洋沖地震により実施中だった試験が中断されたこと等の理由から、平成 24 年度をもって事業を一旦終了することとなりました。ここで得られた FP のデータおよび解析結果等は、今後は原子炉過酷事故時のインベントリ評価の検証といった方向に役立つものと考えられます。

### 3. 研究を通じて

私は解析側（厳密にはプログラミング）に寄った思考が強いせいか、今までは実験や測定データについて、あまり検討することをしてきませんでした。この研究を通じて、測定データと測定に関わる条件を把握しておく大事さを実感しました。解析条件やモデリングによる影響といった解析側の要因だけではなく、測定時の同重体の影響の可能性や、揮発性核種が試料から抜け出る可能性といった測定データだけでは読み取ることのできない実験側の要因も把握しておくことが、測定値と解析結果の差について、両方の側面から原因を考える際の非常に大事なポイントだと感じています。（解析結果だけで原因を考えようとすると、泥沼にはまってしまう。）また、燃焼計算で必要となる集合体仕様や運転履歴について、実機のプラントデータを直接見て利用することができたことも私の解析に偏った感覚を現実へと近づけてくれました。実際に扱うものがあってこそそのシミュレーションであるということを、意識していたつもりではありましたが、改めて感じた次第です。

また、PIE 解析の場合、既に測定された結果に対して計算をすることもよくあるのではないかと思います。本研究は、リアルタイムに進行する測定試験と平行して解析を実施したため、測定者と情報交換を行いつつ解析ができたこと、さらには、実施中に MVP コード、SRAC コード用の JENDL-4.0 ライブラリとチェーンデータが公開され、各機関でベンチマーク計算が盛んに行われているタイミングで解析結果を議論することができたことは、非常に時期に恵まれていたと感じています。現状で最善に近いと考えられるモンテカルロ法のコードと実機データの組み合わせを利用しても、解析と測定の差の大きい核種があるのは周知の事実だと思います。集合体の外周に近い燃料棒の場合は、ウランやプルトニウム核種であっても差が見られます。測定方法や核データが改善されていく効果を見つつ、解析としてどのような改善のアプローチがあり得るのかを考える良い機会となりました。

最後はおまけみたいなものですが、本研究では、SRAC コードで 1/4 集合体を  $2 \times 2$  に配置した燃焼計算を実施しています。私にとっては「SRAC でここまで計算できるのか」と

<sup>2</sup> M. Suzuki, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, 50[12], pp.1161-1176, 2013.

<sup>3</sup> T. Yamamoto, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, 49[9], pp.910-925, 2012.

感動を覚えるものでした。汎用コードとして位置づけられているものを扱っていると、コードの適用範囲というのをあまり意識しないことがあります。このような解析を通して、「このコードは、やろうと思えばここまでの計算はできる」とか「こういう計算では、計算結果がおかしい可能性がある」という理解が得られたことも、私にとっては収穫だったと思います。

#### 4. おわりに

諸事情により 1 年ほど炉物理から離れていましたが、2014 年 3 月から所属が変わるとともに、また炉物理に関わることができるようになりました。今回の受賞を励みに、これからも精進していきたいと思えます。

最後に、本研究の実施にあたり、お世話になりました (独) 原子力安全基盤機構原子力システム安全部核特性グループ (現 原子力規制庁) の皆様、(独) 日本原子力研究開発機構にて測定試験に携わっていただいた皆様に感謝申し上げます。