

<日本原子力学会炉物理部会賞>

MA 装荷臨界実験による核変換システムの炉物理パラメータに含まれる不確かさの
低減可能性に関する解析的研究

日本原子力研究開発機構
核変換工学技術開発グループ
菅原 隆徳

1. はじめに

「誤差の評価は地味である」で始まる、LANL 河野氏の共分散評価に関するレポート[1]を読み始めて 4 年ほどが過ぎた。筆者は、原研(現、原子力機構)に入所して以来、主に加速器駆動未臨界システム(ADS)に関する 3 つのテーマについて取り組んできた。一つは ADS の安全解析、二つ目は陽子ビーム窓の設計検討、そしてもう一つが今回受賞の対象となった炉物理パラメータの不確かさに関する検討である。大学院博士課程では ADS の動特性解析を扱っていたが、持っていた知識があまりに浅薄で、結局どのテーマについてもほとんど 1 から学び始める結果となった。

炉物理パラメータの不確かさ検討については、炉物理の知識は当然必要であるが、それとともに核データの知識も必要であった。「核データは核計算のインプットの一つ」程度にしか考えていなかった筆者にとっては、まず核データの評価方法とそこから生じる誤差データ「共分散データ」について学ぶ必要があった。そして「感度係数」、「炉定数調整」などなど新たな概念について学び・・・(約 4 年)・・・結果として、今回、炉物理部会賞受賞の荣誉に与ることとなった。本稿では、研究の概要を紹介するとともに、研究を通じて感じた所感をまとめたい。

2. 研究の概要

本検討は標題が長く、わかりづらいかもしれないが、これは本検討が「核変換システムの炉物理パラメータの不確かさ検討」と「MA 装荷臨界実験による不確かさの低減可能性検討」の二本立てで構成されているためである。

2.1 核変換システムの炉物理パラメータの不確かさ検討 [2]

ここで核変換システムとは、マイナーアクチノイド(MA: Np, Am, Cm など)を核変換処理するためのシステムとして ADS および高速炉を対象としている。MA 核種は主として発熱量が大きく、また放射能が高いことから、核データ測定が難しいとされており、現在整備されている MA 核種の核データの不確かさは、よく知られた核種(例えば U-235 や O-16)のそれに比べて大きいだろうと考えられる。核データは、核計算のインプットの一つであることから、核計算で得られた結果には当然核データの不確かさも含まれるはずである。この「核データに起因する不確かさ」を定量化するために、「核データの共分散デー

タ」と「感度係数」が用いられる。本検討では MA を装荷したシステムにおいて、核データに起因する不確かさがどの程度になるかを計算し、あわせてその妥当性について考察を行った。

詳細は文献[2]に譲るが、主要な結果の一つとして、MA 装荷量が大きく異なる ADS と高速炉（重金属割合として、それぞれ 63 / 5.0 %）の臨界性（実効増倍率）について、核データに起因する不確かさが両者とも約 1% という結果が得られた。上述の通り、MA 核種の不確かさは他の核種のそれよりも大きいと考えていたため、この結果は驚きであった。換言すれば、MA 約 2.5t を装荷した ADS 炉心を、現行の高速炉炉心程度の精度で解析できるということである。

この結果に疑問を持ったものの、比較対象となりうる MA を用いた積分実験結果は、現在皆無である。そこで解析精度の良いモンテカルロコードと異なる核データライブラリを用いて実効増倍率を計算し、「核データライブラリを変えることにより生じる差」と「核データに起因する不確かさ」の比較を行った。解析の結果；

「核データライブラリを変えることにより生じる差」 > 「核データに起因する不確かさ」が示された。単純に考えると、核データに起因する不確かさは、ライブラリを変えた時の差を包括して然るべきである。だが結果は逆であった。この結果を得たとき、「核データに起因する不確かさ」とは一体何を示す量なのか？と混乱したが、一つの結論として、現在の共分散データ（ここでは JENDL-3.3 に整備されたもの）から得られる不確かさは、核変換システムの炉物理パラメータの不確かさを過小評価する可能性があるといえる。

この結果および共分散データが世界各国で議論・整備され、発展途上であることを考えると、個人的には、「核データに起因する不確かさ」を絶対値で議論する段階にはまだないと考えている。

2.2 MA 装荷臨界実験による不確かさの低減可能性検討 [3]

本検討は炉定数調整法という手法を用い、これまで行われてきた積分実験の結果を考慮することで「核データに起因する不確かさ」がどの程度減少するかを、核変換システムを対象に行ったものである。ここで重要なのは、MA 核種に起因する不確かさを減少させるには、MA を用いた積分実験が必要である点である。上述の通り、そのような実験は行われていないことから、ここでは MA を臨界集合体に装荷した実験を仮に行った場合、どの程度、ADS および MA 装荷高速炉の不確かさが減少するかを検討した。この MA 装荷臨界集合体は、J-PARC での建設を予定している核変換物理実験施設 (TEF-P) を想定している。忌憚なく言えば、TEF-P での実験が、核変換システムの核設計精度向上にどれだけの効果を与えるか試算するのが、本検討の目的の一つであった。

解析の結果、実験において MA を kg 単位で扱うことが可能な場合、臨界性、冷却材ボイド反応度、ドップラー反応度の各計算値の核データに起因する不確かさが、それぞれ約 35, 40, 45% (相対値) 減少するとの結果が得られた。上述したとおり、共分散データを用いた不確かさについては絶対値の議論は難しいが、相対値で考えると、MA 装荷臨界実験の効果

は十分にインパクトがあると考えられる。しかしながら、TEF-P は未だ建設の目処が立たず、他の J-PARC 施設の後塵を拝しているのが現状である・・・

3. 研究を通じた所感

3.1 誤差の話

2.1 で述べたように、「核データに起因する不確かさ」として得られる値が何を示すのか？ということに一時期、結構悩んだ。目標とする不確かさを 0.3% と置き、計算で得られた結果が 0.29% なら目標達成、万事 OK なのか？とか、その計算過程にエラーは含まれないのか？とか、果てはこの値に何か意味があるのか？とか、知恵熱が出てしまいそうなことを考える時期があった。現時点で言えることは、核データに起因する不確かさを定量化する上でこの手法は強力だが、結果は共分散データの信頼性に基づくということ、そして手法のプロセス自体は当然科学的なので、「これを使ってこういう結果を得た」程度の捉え方でいいのかなと考えている。あまりこの手法による結果が一人歩きしてはいけないと思う。

3.2 歴史

核データ共分散データを用いた不確かさの定量化は、近年、世界的に注目されているトピックの 1 つとなっており、炉物理および核データに関する国際会議では、多くの関連発表が見受けられる。

この研究を開始し、様々な文献を読んで知ったのは、日本の研究者がこの分野を長い間、地道に牽引してきた点である。筆者の知る限りでは、高速炉の核データに起因する不確かさを検討するため、炉物理の専門家が核データ評価の専門家に働きかけ、JENDL の主要な核種に共分散を与え始めたものと認識している。最近になって、ENDF や JEFF などのライブラリでも共分散データが整備され始めているが、これまで日本の研究者が頑張ってきたことは、もっともっと知られても良いと思う。

3.3 炉物理の位置づけ

受賞対象の内容から少し離れるが、炉物理の位置づけについて感じたこと。初めにも述べたように、筆者は炉物理という分野を極めるというよりも、それを土台に ADS に関する様々な課題に取り組むことを行ってきた（文字通り炉物理部会の末席を汚している気分です・・・）。安全解析については動特性に関わるし、ビーム窓の設計には中性子（および陽子）の輸送が大いに関係してくる。幸いにもこれらの課題についても一定の結果を得ることができたが、これらのことを炉物理の知識なしに 1 から始めていたら、結果を得るのに倍以上の時間がかかっていたのではないかと思われる。原子力に関わる数多の課題を扱うときに、炉物理の知識を持っていることは大きなアドバンテージになるだろう。

4. おわりに

本稿のために文献[1]を再読したが、「誤差の評価は地味である」の一文にはやはり頷いてしまう。「誤差は物理量ではないのである」これもその通りだなと。しかし、計算機および解析手法が高度化し、核データ起因の不確かさがシステム設計に大きな影響を与える状況にあって、この不確かさを定量化できる手法は非常に強力である。得られた結果は見る人によって印象が異なるかもしれないが、その信頼性を高めるためには、核データおよび共分散データの信頼性を高めるしかない。この点は、たとえ地味ではあっても、炉物理および核データの研究者が力を合わせてブラッシュアップしていかなければならないと考えている。

学生の頃、炉物理の分野は成熟していて、あまり新しいトピックはないなぁと感じていたが、この研究分野は上述の通り、近年のホットトピックの一つである。共分散データの評価方法、その利用方法、考え方などについて実に様々な意見が出ていて、これから収斂させようか(できるかどうかは?)という動きになっていると、個人的には認識している。今後、一人でも多くの若い研究者や学生がこの分野に参加してくることを期待したい。

謝辞

原子力機構 核変換工学技術開発グループ、炉物理研究グループそして核データ評価グループの関係各位に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 河野俊彦、「共分散評価のためのツールの開発」、核データニュース、No.70、(2001)
- [2] T. Sugawara, K. Nishihara, K. Tsujimoto, et al., “Analytical Validation of Uncertainty in Reactor Physics Parameters for Nuclear Transmutation Systems”, 47, 6, 521-530, (2010).
- [3] T. Sugawara, K. Nishihara, T. Sasa and H. Oigawa, “Recent Activities for Accelerator Driven System in JAEA”, Proc. of Global 2009, Paris, France, Sept. 6-11, 2009.