

炉物理部会・核データ部会・「シグマ」特別専門委員会合同セッション  
「研究炉や臨界実験装置の将来計画と今後のあり方」

(3) 核データ研究からの研究炉や臨界実験装置の必要性

北海道大学工学研究院

エネルギー環境システム部門 原子炉工学研究室

千葉 豪

[go\\_chiba@eng.hokudai.ac.jp](mailto:go_chiba@eng.hokudai.ac.jp)

1. はじめに

核データ研究からの研究炉や臨界実験装置の必要性を論じる前に、2点、前提を明確にしたい。まずは、このセッションは炉物理部会と核データ部会の合同企画だったので、発表では「研究炉、臨界実験装置」を「炉物理実験施設」と読み替えたが、本稿でもその立場を踏襲する。これは単に、研究炉や臨界実験装置の炉物理実験以外の用途について、筆者の知識が足りないことに由来する。さらに、炉物理実験施設に関連する核データ研究として、「積分実験データの取得」に限定する。これも同様に筆者の不勉強に由来するものである。この段階で「セッションオーガナイザは発表者の人選を間違ったな」と思った方もいらっしゃるだろう。それについては、私自身、深く同意するし、「原子力の自己制御性」で **negative feedback** がかかっても致し方ないと思っている。

2. 炉物理実験と核データ

原子炉設計の分野において炉物理実験施設（以下、実験施設）に期待されることは、「関心を持っている実機原子炉の炉物理パラメータ（目的パラメータ）について、いかに実験施設でそれと類似度の高いパラメータ（測定パラメータ）の測定データを取得できるか」に尽きるであろう。目的パラメータと測定パラメータの類似度は、核データに対する感度ベクトルを用いて定量化され、昨今は、目的パラメータ、測定パラメータ、この二つの感度ベクトルの差に対する A-ノルム（ここで行列 A は核データ共分散行列を M としたとき  $M=A^T A$  と書ける）を用いて定義される代表性因子などがよく用いられる。既に我々がよく「知っている」微分データが関連する部分については積分データで情報を補完する必要はないので、ベクトルの各要素の二乗和の平方根をとる 2-ノルムのようなもので類似度を考えるよりも A-ノルムを用いたほうが合理的と言えるであろう。

そうはいっても、目的パラメータと類似度の高い単一の測定パラメータのデータを得ることが難しい場合も沢山あり、そのようなときには複数の測定データを組み合わせて目的パラメータの模擬度を高めることを狙う。その代表的なものとして、JAEA の久語氏が提案している「拡張バイアス因子法」が挙げられる。この方法では、複数の測定パラメータの感度ベクトルの線形和で感度ベクトルが記述される仮想的な測定パラメータを作成する。「パラメータ空間」に対して、我々の持っている測定パラメータの感度ベクトル群が完備であれば、我々は任意の目的パラメータをこれらの感度ベクトル群で模擬できることになる。

そういったわけで、炉物理側としては、目的パラメータを既存の測定パラメータ群からどの程度模擬できるかという点が興味の対象となり、現在我々が持っている測定パラメータが十分かどうかを判断することが出発点となる。従って、実験施設に対する核データ研究からのニーズとは、「現在我々が持っている測定パラメータ群が目的パラメータの再現において不十分であり」、かつ「その不十分である部分を補完することができる測定データが得られる」ときに生じることになる。

これに加えて、我々が持っている測定パラメータ群の正確性が不十分である場合に、その正確性を高めるという観点から、既知の測定パラメータに対して独立な実験を行う、という動機づけもあるであろう。この良い例として、WPEC/SG-29 で対象となった keV 領域における U-235 捕獲断面積の検証のための FCA 実験が挙げられるであろう[1]。

さて、それでは我々は現在、どれほどの測定パラメータを有し、どの程度まで目的パラメータを模擬することが出来るのだろうか？

測定パラメータとして、我々には ICSBEP ハンドブック、IRPhEP ハンドブックというものがあり、それに収納されている膨大な数の臨界試験データ、実機データを利用することができる。これらのハンドブックに記載されている測定パラメータのデータを十分に利用しさえすれば、我々が興味の対象としている目的パラメータは、核データという観点からはそこそこの満足度で予測できるのではないかと、というのが、このセッションの発表を準備しているときに考えたことである。

### 3. マイナーアクチニド核データは精度的に不十分？

昨今、マイナーアクチニド (MA) 核種の消滅が原子力工学分野における大きな研究テーマの一つとなっている。それに関連して、MA 核種消滅のための種々の新型原子炉の設計において MA 核種の核データの精度が不十分であるということが言われており、いくつかの研究開発が実施されている。筆者は完全に乗り遅れているが、まだ即発臨界未満であるので、「遅発組」の寄与もまだまだ捨てたものではないだろうと考えている。

高速炉炉心設計の分野では、微分データの精度で不十分な部分は積分データでカバーするという考えのもと、炉定数調整法の適用が行われている。MA 消滅のための新型炉に

についても同様に、我々が現在有している微分データおよび積分データに基づく情報を整理し、最大限に有効活用したうえで、どのような核データにさらなる改善が必要であるかを示す（具体的には、利用できる限りの積分データを使って炉定数調整を行い、その調整炉定数を用いて設計したときのパラメータの不確かさが許容範囲にあるかを確認する）、という手続きが現実的であろう。そこから、実験施設でどのような測定データを得る必要があるのか、という議論に繋がっていくと考える。

#### 4. マイナーアクチニド核データを検証するための公開積分データ

積分データを有効活用することは当然大事であるが、そもそも MA 核種の核データを検証するための積分データは極めて少ない、というのが一般的な見方である。そこで、MA 核種の核データの検証に活用できる公開積分データがどの程度あるのか少し調べてみたので、以下に整理する。

ICSBEF ハンドブックには、「SPEC-MET-FAST」（以下、SMF）というカテゴリーに、いくつかの MA 核種に関するデータが収納されている。例えば、SMF-008 には半径 4cm の Np 金属球を濃縮ウランシェルが取り囲む体系、SMF-011、-014 にはさらにその外側をポリエチレン反射体もしくは鉄反射体を取り囲む体系の臨界データが収納されている。また、SMF-001、-003 には、高濃縮ウランもしくはプルトニウム合金の臨界体系の中心に Np サンプルや Cm サンプルを挿入したときの反応度データが収納されている。

加えて、Godiva や Jezebel といったロスアラモスの超小型高速炉において取得された反応率比（Np-237 と U-235 の核分裂反応率比や Am-241(n,g) と Pu-239(n,f) の反応率比）の測定データが公開されている[2], [3]。

さらに、日本の FCA-IX で測定された MA 核種の核分裂反応率比のベンチマーク問題が、ごく最近公開されている[4]（検索を逃れる確率が小さくてたまたま発見できた）。Np-237、Am-241、-243、Cm-244 の Pu-239 に対する核分裂反応率比の測定データが整理されており、素晴らしい成果であると思う（関係者のご努力には本当に敬意を表したい）。なお、FCA における MA 核種に関するデータとしては、FCAXI-1 のベンチマーク問題[5]においても Np-237 と Pu-239 の核分裂反応率比や Np-237 核分裂反応率分布のデータが収納されており、有効活用できるであろう。

以上に加えて、非公開ということでは、JAEA の杉野氏が整備された常陽 MK-II や PFR の PIE データ[6]、JAEA の石川氏や羽様氏により実施された BFS-67、-69、-66 の臨界実験データ[7]なども、是非有効利用したいものである。

#### 5. おわりに

炉物理側から核データ側にアプローチがあるのは、基本的には差し迫ったニーズがあるときであろう。MA 核種の消滅のための新型炉開発において、炉物理側から核データ側

へのアプローチがあるということは、そこに、炉物理側が分かっていないもの、不足しているものがあるからであろう。私も近いうちに、自分自身で、そのあたりをしっかりと確認してみたいと思っている。

なお、核データファイルの積分テストや感度解析など、必ずしも応用側からのニーズにとらわれない研究分野がある（「研究」と言ってよいのか、議論が分かれるところであろうが...）。このような活動はまさに核データ側の視点に基づくものであり、評価済み核データファイルの性能を担保するとともに、さらなる改善点を見つけ出す契機となるものであるので極めて重要と考えている。しかし昨今、各研究グループにおいて、そのような分野にマンパワーを割く余裕がなく、またそもそも、そのようなある意味泥臭い仕事に興味を持って取り組もうという人も減ってきている感があり、残念である。自分はその分野で随分皆様にお世話になってきたが、今後も、僅かに残った残留熱で補助ポンプを回すが如く、頑張っていきたいと思っている。

ここ数日、講義の準備に追われて頭の中が少々ごちゃごちゃしている。見苦しい（というかくどい）表現が多々あったかと思うが、どうかご容赦いただきたい。

## 参考文献

- [1] M. Fukushima, et al., Prog. Nucl. Sci. Technol., 2 (2011) 306.
- [2] M.B.Chadwick, et al., Nucl. Data Sheets, 112 (2011) 2887.
- [3] M.B.Chadwick, et al., Nucl. Data Sheets, 107 (2006) 2931.
- [4] 福島昌宏、他、JAEA-Data/Code 2014-030 (2014).
- [5] 岡嶋成晃、他、JAERI-M 84-144 (1984).
- [6] G. Chiba, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 48 (2011) 172.
- [7] M. Ishikawa, et al., Proc. of ND2007 (2007).