これまでをふりかえり、今後を展望する(核データ部会)

共通基盤的なデータの必要性

Necessity of Commonly Usable Data

深堀 智生

Tokio Fukahori

KEYWORDS: *necessity, database, computer code, nuclear data, JENDL, verification, validation, nuclear system, design*

思い

原子力を考える上で、たとえそれが今後継続的に発展するのであれ、漸近的に終息に向かうのであれ、ある決断をする場合は、根拠をもってステークホルダーに「腑に落ちていただく」ことが肝要と考える。ここで、あえて「納得してもらおう」と書かなかったのは、筆者としては「納得」では説得して、「いやいや承諾」してもらおうようなニュアンスを感じるからである。もちろん、ステークホルダー全員に腑に落ちていただくことは不可能である。それでも、透明性および公平性を持ち、科学的である根拠を示す必要がある。ではこのような根拠はどのようにしたら得られるのであろうか。筆者の関心分野である核データのように、それがどのような分野に利用されようと、多くの学術的な努力の末、様々な議論を経て得られる共通基盤的なデータや手法を醸成する以外にはないのではなかろうか。例えば、規制側と開発側は同じデータを利用してよいと考える。データ自体に色はない。データを利用した研究結果について、その解釈にそれぞれの判断を加え、説明性を持たせれば良い。

共通基盤的なデータには、物理定数、熱力学データ、化学反応データのように基礎科学的なアプローチが必要なものもあれば、材料強度や腐食速度などの工学特有の対象が限られたものもある。本稿では、共通基盤的なデータについて、基礎科学と工学の両方の側面を持つ核データを例に引き、考えてみたい。

歴史

評価済核データファイルは、我が国の初期の段階では軽水炉(JPDR)用燃焼計算炉定数および高速炉研究のための基礎データとしての核データ(当初は「核定数」と呼ばれていた)への要請から始まった。詳細な核データファイルの歴史は、参考文献1)に譲り、ここでは簡単に述べる。軽水炉燃焼計算用炉定数(1966)、熱中性子炉用炉定数 JNDC セット No.1(1968)、JAERI Fast Set(1970)などが初期の核データファイルである。その後、これらを発展させた JENDL-1(1977)、総合的な核データファ

イルである JENDL-2(1982)、核融合炉も視野に入れた JENDL-3(1989)、アクチノイド核種および一部の構造材核種に共分散データが格納された JENDL-4(2010)²⁾と続く。

これら JENDL の大きなモチベーションは、核分裂炉のみならず、核融合炉や ADS まで視野に入れた原子力エネルギー開発に資するためであるが、これ以外にも宇宙における元素合成や中性子捕捉療法などで重要な核反応データにも応用が利くものであった。今後は、新たな利用を目指した JENDL-5 の構想が進んでいる。

ニーズの考え方

核データが無くても原子力施設は設計できる。例えば、当時は遅発中性子の存在さえ知られていなかったのに、CP-1(1942年12月初臨界)を設計した Fermi はどの程度の「核データ」を使用していたのであろうか。ちなみに、核分裂反応が発見されたのが1939年、Pu-239の核分裂が確認されたのは1941年のことである。「Fermi 推定」で有名なように、彼自身は「概算」の達人であったといわれる。安全を考慮に入れなければ、やり方にもよるが、濃縮ウラン(CP-1の場合は天然ウラン)を積んでいけば、そのうち臨界に達する。念のために申し添えるが、Fermi は3本のカドミウム製制御棒およびカドミウム塩溶液の入ったバケツを用意させていた。

一方、安全性や経済性を向上させたいのであれば、核データを用いた予測システムの性能を向上させる必要がある。この予測システムは、現在では計算機を用いたコードによるものとなっているが、当初はノートの上で計算された数値によるものであったであろう。とすれば、モンテカルロ・シミュレーションなどはもっての外で、どちらかと言えば定性的な数式を用い、代入する数値としては、平均的な代表値を用いていたと思われる。現在では、原子炉内の構造材や核燃料の配置を CAD データに匹敵する詳細な表現で入力することが可能であるので、適切な入力データを用いれば、不確かさはほとんど核データによるものと信じられている。すなわち、解くべき方程式(原子炉の中性子による核特性の場合は、

ボルツマン方程式)が確定していれば、そこに代入する共通基盤のデータである核データがしっかりしてさえいれば、予測値は確実に真値の近傍に収斂していく。

このように、作るべき原子力システムによって、共通基盤的データに対するニーズは、平均値さえ与えられていればよいものから誤差を伴った高精度の数値データセット(データベース)に至るまで、幅広いものとなる。ユーザのニーズは対象とするシステムによって、その幅の中のどの程度のものが必要かを見定めたものでなければならない。そうでなければいたずらに高精度なデータベースを要求されることになる。完成度99%のものにするためには、90%のものを作するのに比べて何倍もの労力が必要なのである。原子炉の核特性解析における臨界性評価と核データの関係については、まさに99%以上のものが求められている分野である。現状では、JENDL-4.0を用いた臨界ベンチマーク解析においては、C/E値で0.5%以内の違いで計算がなされている³⁾。

ご存知の通りユーザ・ニーズは国によって違う。そのために、必要なデータベースの対象は、国によって異なる。計算手法についても、根本的な部分は同じでも、目的が違えば必ずと注力する部分が違ってきて当然である。自国のニーズに入らない部分は、その国が作成しているデータベースやコードを改良することは稀である。どの国が親切にも我が国のために自国に必要な機能のコードに付加してくれるというのか。これが、データベースやコードを国産化する理由となる。

反省

核データに関して個人的な反省点を挙げるとすれば、共通基盤的データとしての核データが「しっかりしている」ということについて、最初は、微分データを再現できれば良いと思っていた。その後、ユーザとのおつきあいが増すにつれて、積分データを加えることが重要であることが、徐々にわかってきた。しかし、これだけでユーザが使ってくれるとは限らない。「裕度」という概念を考えたときに、誤差さえ入れれば大丈夫と思っていたような気がする。「これだけやったのだから・・・」という思いはあったと思う。しかし、実際に使っていただくためには、計算結果に対する説明責任が必要であることがわかってきた。説明責任とは何であろうか。定義は対象によって様々であろうが、ここでは、結果に対する信頼性の保証であると考えている。統計学で言うところの有意水準のようなものかもしれない。少々定性的に過ぎるかもしれないが、「この条件で、この手法で計算したものは、この程度の不確かさをもって、正しいことが検証されている」と言えることが重要と考える。このための概念が、信頼性と妥当性の検証(verification and validation, V&V)だと思う。V&Vまでやって、ユーザは安心して使えるようになるのではないだろうか。

評価済核データファイルで言えば、その評価手法が信頼できるのは微分(実験)データを用いて検証し、評価結果が妥当であるのはベンチマークに用いる積分(実験)データで確かめる。その上で、実際のシステムに応用してみて、使えることを確認する(V&V)。こういった一連の流れが重要となる。核データの精度を必要とするのであれば、上記の微分実験および積分実験による測定データの充実が必須である。特にV&Vのための実機データが重要である。実機データの取得のためには、実際にシステムを稼働されている施設運用者や電力の方々の協力が不可欠となると考えている。

原子力学会への期待

以上述べてきたように、原子力エネルギーのみならず多くの分野を下支えする共通基盤的データは、最終的に実験でしか確認することはできない。このためには多くの装置や施設が必要となるが、国や民間の予算は限られている。共通基盤的データを取得しようと努力している研究者自身の工夫も必要であるが、これら研究者を集め、全体としてどのように考えていくのが合理的か議論する場を提供するのが学会の担う役割であるように思われる。実機データの取得のためには、さらにハードルを越える必要があると感じている。筆者が言うまでもなくそのような活動をされてきていると思っているが、さらに分野間、学会間の連携を模索し、「知の基盤」を支える活動をお願いしたい。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構核データ研究グループ編, 「II. シグマ特別専門委員会・シグマ研究委員会年表」, 核データニュース, 104, p.35(2013).
- 2) Keiichi SHIBATA, Osamu IWAMOTO, Tsuneo NAKAGAWA, Nobuyuki IWAMOTO, Akira ICHIHARA, Satoshi KUNIEDA, Satoshi CHIBA, Kazuyoshi FURUTAKA, Naohiko OTUKA, Takaaki OHSAWA, Toru MURATA, Hiroyuki MATSUNOBU, Atsushi ZUKERAN, So KAMADA and Jun-ichi KATAKURA, "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering", J. Nucl. Sci. Technol., 48, 1-30(2011).
- 3) Go CHIBA, Keisuke OKUMURA, Kazuteru SUGINO, Yasunobu NAGAYA, Kenji YOKOYAMA, Teruhiko KUGO, Makoto ISHIKAWA and Shigeaki OKAJIMA, "JENDL-4.0 Benchmarking for Fission Reactor Applications", J. Nucl. Sci. Technol., 48, 172-187(2011).

著者紹介

深堀智生 (ふかほり・ときお)

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門

(専門分野/関心分野)核データ研究, 原子核物理, 原子力基礎基盤研究