

会議のトピックス(I)

日本原子力学会「2017 春の年会」

「シグマ」特別専門委員会、核データ部会、炉物理部会合同セッション
ベンチマーク問題や積分実験を用いた JENDL 及び核計算コード
の V&V の現状と今後の展望

2017 年 3 月 29 日 13:00~14:30 東海大学 湘南キャンパス

(1) セッションの位置づけと意義

東京工業大学
科学技術創成研究院
吉田 正

88r9t9@bma.biglobe.ne.jp

1. はじめに

本稿執筆に当たり、V&V の考え方とその歴史を少し勉強してみることとした。V&V という言葉が頻繁に使われるようになったのはそう古いことではない。実際、この考え方の源泉にあるのは米国プロジェクトマネジメント学会が取りまとめ、2008 年に ANSI (American National Standard Institute) が、2011 年に世界 160 ヶ国に 42 万人のメンバーを擁する IEEE (米国電気学会) が採用することで大きな影響力を持つにいたった PMBOK Guide (Project Management Body of Knowledge Guide、米プロジェクトマネジメント学会刊行) にあるらしい。

ANSI といえば、米国の原子炉崩壊熱スタンダード ANSI/ANS5.1 の責任機関であり、私自身この ANS-5.1 ワーキンググループにメンバーとして約 20 年にわたりかかわりを持ってきた (ANS は米原子力学会)。この ANSI/ANS5.1 崩壊熱スタンダード[1]は数年に一回の割合で継続的に改訂され、そのたびに筆者もレビューを求められた。熱心なレビューでなかったことについては慙愧の念に堪えないが、ANSI/ANS の組織的技術継続と改善への執念には米国テクノロジーの底力を見る思いがする。我が国の「原子炉崩壊熱推

奨励」[2]が、筆者自身を含む関係者の退職や物故が進む中、レビューや改訂がままならぬまま、年月が過ぎ去っていったことへの無念な思いがこれに重なる。しかしながら、我が国でも核データ、核計算コードの開発は多くの人々の継続的な努力により着実に進められており、今回の「シグマ」特別専門委員会・核データ部会・炉物理部会合同セッション「ベンチマーク問題や積分実験を用いた JENDL 及び核計算コードの V&V の現状と今後の課題」は、その地道であると同時に世界に誇れる先進的な研究成果の共有の場として設定された。そしてその内容は筆者を大いに勇気づけてくれるものであった。

2. V&V と核計算

ところで、V&V の Verification と Validation、いったい何処が違い、二つの言葉を重ねる意味はどこにあるか。Wikipedia 英語版によると PMBOK Guide には、

- Validation : 製品、サービスあるいはシステムが顧客およびその他特定の関係者 (stakeholders) の求めるところに合致していることを保証すること。Verification と対比される。
- Verification : 製品、サービスあるいはシステムが規制、要請、課された条件を満足しているか否かを評価すること。Validation と対比される。

とある。筆者にはこれらが意味することを正確にくみ取る能力はないが、厳密に定義された概念であることは分かる。

ところで、筆者が(株)日本原子力事業グループ(略称 NAIG)へ入社したのは 1971 年であり、社会人としての初めての仕事は高速実験炉「常陽」炉心設計手法の、あえて言えば V&V であった(もちろん、当時そんな言葉はなかった)。そのために炉定数を準備し、当時の日本原子力研究所にあった FCA (Fast Critical Assembly) 実験から得られるほやほやの実験データ(臨界性、ナトリウムボイド反応度、制御棒価値 *etc. etc.*)と、我々が最良と考える炉心計算手法による計算値とを比較し、検討・評価を重ねつつ、炉定数と計算手法の改善に努め、計算精度を評価したうえで設計グループに引き渡す。だから、1977 年、燃料集合体数が数本以内、予測した誤差の範囲内で「常陽」Mark-I 炉心が臨界に達した瞬間は今でも忘れられない。

いま炉定数と書いたが、まさにそこから出発したのである。ABBN 型あるいは Abagyan 型と呼ばれる 25 群定数に減速マトリックスと自己遮蔽因子テーブルが組になった核計算用定数で、当時は東芝、日立、三菱が各社独自にこのタイプの炉定数を作成・使用し、そのためバラバラの核特性値が混乱の源となっていたのである。だから統一された評価済み核データライブラリーがあり、それを正しく処理して炉定数化し核計算が行える現状(連続エネルギーモンテカルロ法すらある時代だ)は、当時から見れば夢のような話

である。それを志向し実現した先人たちの慧眼には敬服するしかない。JENDL ゼロ次版は 1974 年に完成していた（現在の読者諸兄は JENDL-0 というのが在ったことご存じだろうか）が、これは言ってみれば評価済み核データライブラリー作成の練習用であり、初の実用版 JENDL-1 の完成は 1977 年を待たなければならない。すでに「常陽」は初臨界を達成していた。東芝は、故飯島俊吾氏、KEK 名誉教授川合将義氏らが開発された（私も少しだけお手伝いした）ABBN 型炉定数 NNS-5（NAIG Nuclear Set version 5）を用いて「常陽」炉心設計を行ったことは既に述べた。

3. 今回の合同会合

今回は満席の盛会であったことをまずご報告しておく。ご承知の通り現在は評価済み核データライブラリー JENDL（最新版は JENDL-4.0）を NJOY に代表される核データ処理コードで群定数化し、種々のベンチマーク計算による評価（V&V）をへて実用核計算に供される。この後半のプロセスを JAEA の須山賢也氏が総括された。いわば V&V の中核プロセスであり、コードの作成・改良と両輪をなす極めて重要な活動である。ここで一言付け加えておくと、核データと核計算コードのベンチマークは大きく、1) 臨界性を中心とした静特性のベンチマーク、2) 使用済み燃料の核および同位体組成を中心とした燃焼特性ベンチマークに大別されよう。Godiva、Jezebel、あるいは TCA の臨界性などは 1) の中核にあり自動化は比較的容易であろうが、2) については、断面積ばかりでなく崩壊データ、核分裂収率データ等広範に関わり、自動化の難しい分野である。後者については、一例として須山氏の論文[3]がたいへん参考になるので紹介しておきたい。自動化はこの種の知見と共に、実験データの精査・データベース化が避けて通れないと推察するが、専門家のご意見は如何なものであろうか。

冒頭に挙げた我が国の「原子炉崩壊熱推奨値」は voluntary ベースで作成された。この方法は瞬発力があるものの、その後の維持管理に問題を残す。そこで、責任関係がずっと明確な JENDL 委員会の活動が、今後の JENDL を中核とする炉心および核計算技術の維持発展の生命線となるだろう。そこで、JENDL 委員会「リアクタ積分テストワーキンググループ」の活動が北大の千葉豪氏から紹介された。千葉豪氏からは、「ICSBEP や IRPhEP といった公開の（積分実験）データベースから良質で役に立つデータを評価・抽出」した「ベンチマークデータ集」が近日中に刊行されるとの案内が為された。これは有用な知見の集積として極めて重要なデータ集となるだろう。仏に魂を入れないと、ゲームソフトと何ら変わりがない。といったら一大産業であるゲームソフトに失礼かもしれないが、ゲームソフトには市場における競争という厳しい V&V の関門がある。

つづいて JAEA 多田健一氏から「核データ検証自動実行システムの開発」という報告があった。核データの開発・改良は今後も続くと期待される。しかし、そのあとには検証（V&V）という必須かつ手間のかかる作業が待ち構えている。これなしには新しい核

データも実用に供しえない。それを自動化することは、我が国のように欧米からは遠く離れ、なおかつ近隣に協力相手の見つけにくい国にとっては技術の死活問題であり、これに挑むのが核データ検証自動実行システム VACANCE の目的である。当面はいま述べた 1) 臨界性を中心とした静特性のベンチマークが目標であろうが、ゆくゆくは 2) の、使用済み燃料の核および同位体組成を中心とした燃焼特性ベンチマークまで進めて頂きたいというのが筆者の願いである。

最後は JAEA 岩本修氏の最新の JENDL 開発状況の報告であった。2021 年の JENDL-5 完成という目標に向け、その内容、開発体制、V&V への要望が報告された。核データは原子力平和利用技術の根幹にある。評価済み核データライブラリーは完成版が一つ出来上がればいいと言うものではなく、絶え間ない改良の過程から新しい技術のみならず古い技術の新しい局面への対応が可能になる。このことを多くの人々に理解して頂くのはたやすいことではないが、動き出した JENDL-5 への道程を着実に歩んで行っていただきたいと期待するのみである。

参考文献

- [1] American National Standard, Decay Heat Power in Light Water Reactors; ANSI/ANS-5.1-2014, American Nuclear Society (2014).
- [2] 「原子炉崩壊熱基準」研究専門委員会：「原子炉崩壊熱とその推奨」、日本原子力学会（1989 年）。
- [3] K.Suyama, *et al.*: Annals of Nuclear Energy 38, pp.930-941 (2011).