

WG 活動紹介(1)

標準炉定数検討ワーキンググループ

(株) 日立製作所 電力・電機開発研究所

瑞慶覧 篤

atsushi_zukeran@pis.hitachi.co.jp

1. 緒言

標準炉定数検討ワーキンググループの活動状況と今後の計画について報告します。本稿は、これまでのワーキンググループ（以後 WG と略称）における検討結果をもとに、多少筆者独自の私見を含めて書いてあります。

2. 平成 14 年度ワーキンググループメンバー（敬称略、名簿順）

瑞慶覧 篤（日立）、中沢 正治（東大）、竹田 敏一（阪大）、佐治 悦郎（総理府）、川合 将義（KEK）、石川 眞（JNC）、羽様 平*（JNC）、佐々木 誠（三菱）、佐々木 研治（ARTECH）、松延 廣幸（データ工学）、山野 直樹（住友原子力）、日野 哲士（日立）、高野 秀機（原研）、島川 聡司（原研）、長谷川 明（原研）、以上 15 人。

*オブザーバー

3. ワーキンググループの目的

評価済み核データファイルから炉定数化の過程で、多様な炉定数ライブラリーが生成される。最も顕著な差異はエネルギー群構造[末尾の用語集：用語-1]（群数と切り方）に現れるが、ある種の中性子スペクトルを荷重としてエネルギー群平均した炉定数を作成するのに、平均操作の差異、実行断面積[2]の表し方、等々の差異もある。従って、同じ核データファイルに基づく炉定数ライブラリーでも多少異なったものになる。それ故、これらの炉定数ライブラリーを用いた核特性（実効増倍率 k_{eff} 等）計算値に有意な差異をもたらす場合があるので、比較のため複数のライブラリーによる核計算を余儀なくされることがある。

この WG は、1986 年度の、「JENDL-3 以降の計画検討委員会（通称、中沢委員会）」の提言『高速炉や核融合炉の利用者に、共通に使える標準的な炉定数ライブラリーを提供すべきである』により、1987 年に発足した。即ち、当 WG の目的は、上述のような非効率性を改善するため、何か「物差し」になる「標準的なライブラリー」が設定できないかを検討し、何らかの指針を示す事にある。

4. 活動状況

4.1 遮蔽用標準炉定数ライブラリーJSSTD L-300 の作成

国内には標準的な遮蔽計算用のライブラリーがなく、VITAMIN-C 等々の諸外国のライブラリーが用いられていた。そこで、先ず手始めに、長谷川氏が中心になって、国内遮蔽計算用定数ライブラリーJSSTD L-300 を作成した。このライブラリーは核データセンターのホームページ

http://wwwndc.tokai.jaeri.go.jp/jendl/j32/j32appli/jsstdl-300_V-98.html

に掲載されているので、詳細は省略するが、300 群の中性子和ガンマ線の結合ライブラリーで、群構造は、中性子に対しては ABBN セットを始め、GAM-123、VITAMIN-C/J(E+C)、MGCL-137、BERMUDA-12、FNS-125、ガンマ線に関しては、LANL-12、-24、-48、CSEWG-94 を参照して、出来るだけこれらの群構造を再現できるように設定されている。このライブラリーによるベンチマークテストの結果から 1 例を図 1 に示す。計算値と実験値は良好な一致を示している。当 WG で JSSTD L-300 に関する詳細な報告書を作成し、出版を待つだけになっている。

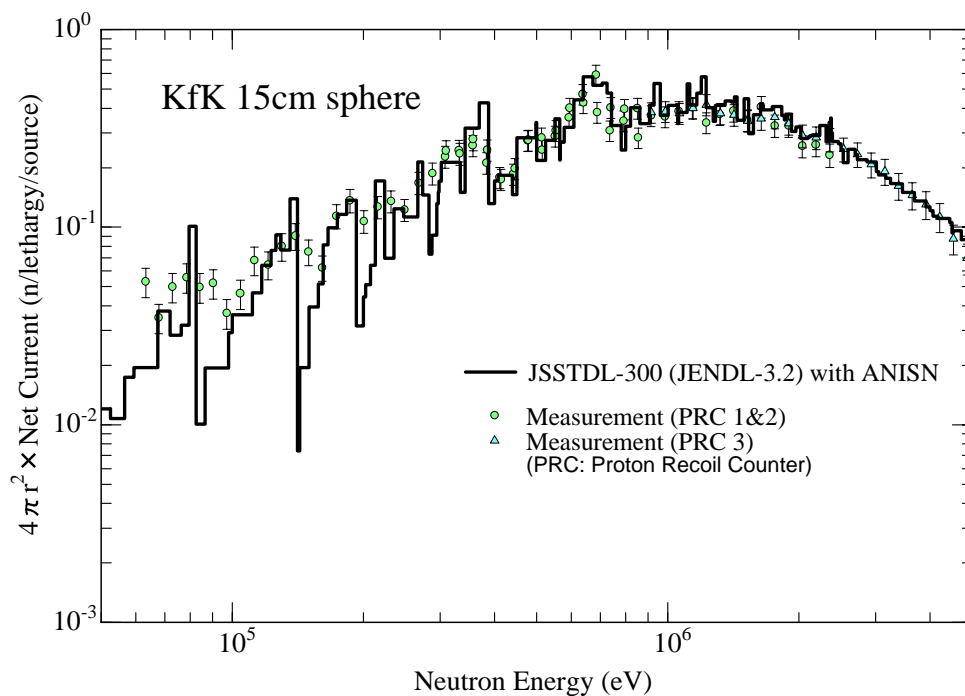


図 1 半径 15 cm の鉄球体の中性子透過実験の解析結果

4.2 標準炉定数ライブラリーの必要性に関するアンケート調査

遮蔽計算用炉定数ライブラリーJSSTD L-300 は利用可能になったが、このライブラリーは遮蔽計算を主目的としたもので、炉心計算には共鳴領域の群幅が粗く、汎用にはまだ改良の余地がある。そこで、主として炉心計算を狙った標準炉定数として、どんなものが良いかを WG メンバー全員にアンケート調査を行った。主な設問は(1): 標準炉定数ライブラリ

一は必要か、(2): どんなものが良いか、(3): ライブラリー作成コードは何が良いか、(4): 誰が作るか、等々である。結果を要約すると、

- (1): 大いに必要。
- (2): 2000 群程度が望ましい。
- (3): NJOY コード (部分的に他のコードを併用せず、一貫して NJOY を使用)。
- (4): 核データセンターからの外部委託または然るべき部署に作成依頼 : 仕様は当 WG の詳細検討に基づいて設定する。実際の作成作業は、(i):外部委託か、(ii):この仕様に賛同できる部署 (含む個人) に作ってもらう。

4.3 標準炉定数ライブラリーの検討

4.3.1 標準炉定数ライブラリー

a) 標準炉定数ライブラリー位置付け

「標準」¹とは、必ずしも、「最高のもの」を指すものではなく、比較基準を意味する。従って、「標準炉定数ライブラリー」は、『不特定多数の利用者が、比較基準として参照・使用出来る、十分な精度を有する炉定数ライブラリー』と定義する。十分な精度とは、判断を誤るようないい加減なものでない事を意味する。

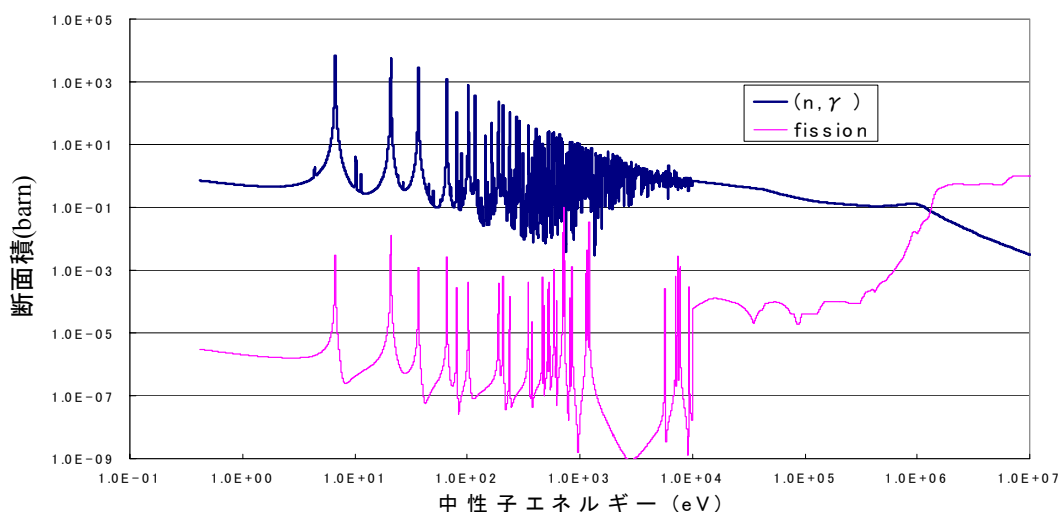


図2 NJOYによる2000群断面積の計算例

b) 標準化における問題点

不特定多数の利用者が利用できるものを用意するには、(i): 新規に作成する方法、(ii): 既

¹ 「広辞苑」によると 「標準」: (1) 判断のよりどころ。比較の基準。めあて、めじるし。(2) あるべきかたち。手本。規格。(3) いちばん普通のありかた。The Unabridged Edition, The Random House Dictionary によると、"Standard": (1) an object considered by an authority or by general consent as a basis of comparison; an approved model. (2): anything, as a rule or principle, that is used as a basis for judgment. (3): an average or normal requirement.

存のものから選んでくる方法がある。前者の場合、アンケート調査では、大多数の委員が約 2000 群程度を望んでいる。因みに、欧州の標準炉定数ライブラリーは約 2000 群である。そこで、ABBN セット (25 群) や JAERI-Fast セット (70 群) と同様な 2000 群炉定数ライブラリーを NJOY で作成することが可能かを試した (本来の計算可能群数=約 650 群)。NJOY を部分的に改良して、 ^{238}U の温度依存・体系(σ_0)依存の 2040 群断面積の計算を行った。計算結果の 1 例として、無限希釈断面積(σ_∞)を図 2 に示す。この核種に関する限り、共鳴断面積は良く再現されているが、散乱断面積の記憶容量は約 120MB であった。 ^{238}U 以外の共鳴幅が狭い奇数核を含めた通常の原子炉用炉定数として、1 共鳴レベルに少なくとも 1 群を割り当てるには、約 3600 群が必要になる。その場合、1 次元データ (断面積がエネルギーのみの関数、例えば、中性子捕獲断面積 $\sigma_c(E)$) は特に問題ないが、散乱断面積のような 2 次元以上のデータ (例えば、非弾性散乱断面積: $\sigma_{in}(E,E')$) は、膨大な記憶容量を必要とする問題がある。散乱マトリックスのコンパクト化、又は有効な計算法の開発が不可欠である。

c) 標準炉定数として推奨可能な既存ライブラリー

図 3 に核データファイルから既存の炉定数ライブラリーが出来るまでのプロセスを既存公開コードを中心に示した。左側にある詳細計算コードは核データから無数のエネルギー点、所謂連続エネルギーライブラリーを有するもので、それ自体を標準炉定数ライブラリーとした場合は、選択の余地はなく、ほぼ一意的に決まる。右側は微細エネルギーメッシュで用意された断面積値を体系の中性子スペクトルで平均化する多群化の過程を必要とし、結果は体系依存になる。最近は、モンテカルロ法等による超詳細計算コードが広く用いられる傾向にあるが、例えば、原子炉の運転管理や炉心周りの遮蔽計算等では、統計誤差と計算時間の問題があるので、万能ではない。この詳細計算コードは決定論的なコード (モンテカルロ法のように乱数を用いないで、基本式通りに決まる計算コード) の検証に不可欠で、「詳細計算用標準ライブラリー」として重要な地位を与えておくべきである。

図 3 の右下に示した「精度評価、・・・」は、「標準炉定数ライブラリーは品質保証付きにすべきだ」との要望が強いので、その為の評価作業を示す。この段階では、benchmark test[3] や実機への適用性等々の情報収集が不可欠になる。この評価結果は、炉心設計におけるバイアスファクターや炉定数調整の入力として活用される。

計算コードとリンクした炉定数ライブラリーは、殆ど共鳴遮蔽因子[2]を用いた多群断面積ライブラリーであるが、エネルギー群構造を共有するものは比較的少ない。要するに、標準炉定数ライブラリーのエネルギー群構造をどう設定すれば、不特定多数の計算コードにリンクできるかが、標準化の第 1 段階の問題である。

因みに、「国内で公開された計算コードにリンクした炉定数ライブラリー」は、基本的には日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構が公開しているもので、大学で開発されたコードもこれらのライブラリーとリンクするようになっている。従って、現時点で敢えて

「標準炉定数ライブラリーとして推奨可能なもの」を列挙すると、表 1 に示す通りである。

表 1 「標準炉定数ライブラリー」として推奨可能な計算コードとライブラリー

体系	手法	コードとライブラリー
高速炉系	モンテカルロ法 決定論	MVP コードとライブラリー JAERI-Fast Set, SRAC コードとライブラリー 次世代 JNC システム (将来) ライブラリー
軽水炉系	モンテカルロ法 決定論	MVP コードとライブラリー SRAC コードとライブラリー
遮蔽体系	モンテカルロ法 決定論	MVP コードとライブラリー JSSTD L-300/J3.2, /J3.3 (将来) ライブラリー

この中で、「次世代 JNC システム」は現在開発中のコードシステムで、少なくとも高速炉用として極めて有望である。一方、モジュラー型汎用核計算コードシステム SRAC は、既に『標準的』に用いられている実績があり、今後の標準ライブラリーとして有望である。このコードはあらゆる炉型に適用可能で、共通の炉定数ライブラリーを用いて拡散計算や輸送計算等々、広範囲に適用できる。当 WG で、予備的な検討を行なったが、エネルギー上限を 14MeV まで拡張し、熱中性子のエネルギー群数を増やすことによって、適用性の拡大とより一層の計算精度の向上が期待できる事が指摘されている。

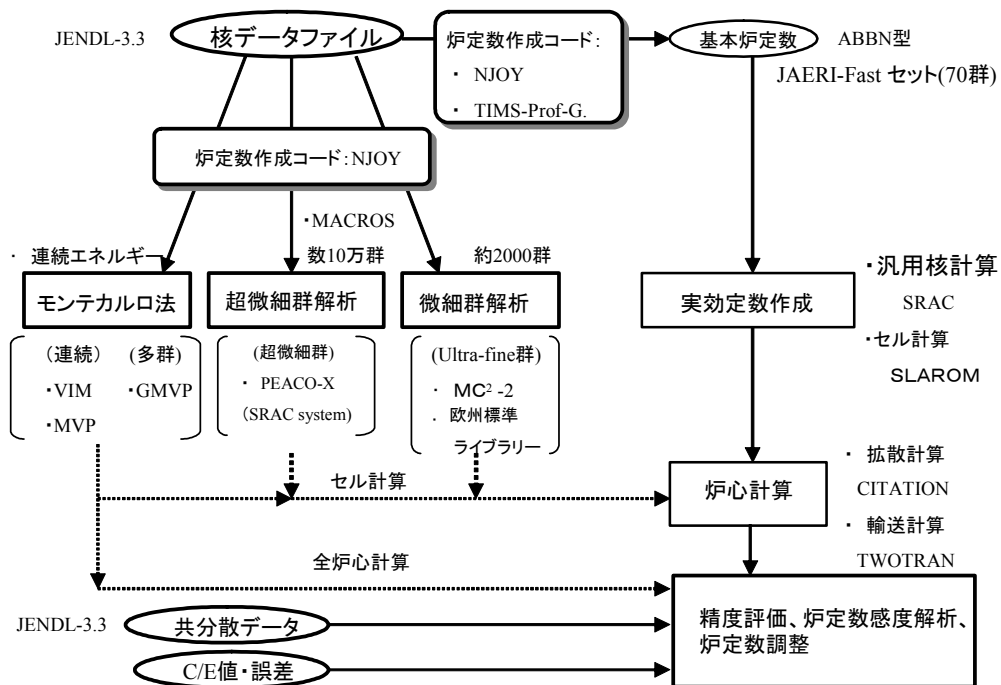


図3 核データファイルを取り巻く核計算コードと断面積ライブラリー

5. 今後の計画

当 WG の活動計画は、短期的には「標準炉定数ライブラリー」の選定にあたる。まず、標準化のモデルケースとして、SRAC を取り上げ、基礎資料の作成と信頼性評価に重点を置く。後者に対しては、独自の benchmark test や典型的な炉心への適用例とその結果に関する情報収集を行う。長期的には、高速炉、軽水炉、遮蔽、核融合炉等に使える『統一ライブラリー』の概念設計を行い、将来の理想的な「標準炉定数ライブラリー」の作成に反映する。

6. 結言

堅苦しい報告になりましたが、これからが本格的な標準化に取り組む段階であります。皆さんのご要望等を幅広く反映したいと考えていますので、ご支援の程をよろしくお願ひします。

=====用語=====

- [1] **エネルギー群構造**：本来核反応 x の断面積 $\sigma_x(E)$ は、エネルギー E の連続関数である。モンテカルロ法はこの連続関数をそのまま用いるが、多くの核計算コードは、必要なエネルギー区間を数 10 個又は数 1000 個の小区間、即ち、エネルギー群に分割して、それぞれの区間で中性子スペクトルを荷重として平均した断面積を用いる。この平均化の過程では、核反応率が保存されているので、この近似は極めて良い精度を与える。
- [2] **実行断面積と共鳴遮蔽因子**：共鳴現象で断面積が飛躍的に増加する核種が多数存在する場合、[1] で述べた荷重中性子スペクトルに歪を生ずる(吸収反応の時は、凹む)。その結果、この近傍での平均断面積、即ち、実効断面積は小さくなる。この効果を「共鳴遮蔽因子 (f-factor)」で表すと、実効断面積 σ_{eff} は、 $\sigma_{\text{eff}} = \sigma_{\infty} \times f$ で表される。 σ_{∞} ：無限に希釈された核種の場合、即ち、体系の中性子スペクトルに殆ど影響を与えない場合の断面積である。
- [3] **ベンチマークテスト (benchmark test)**： benchmark は尺度とか基準を表すが、本来は「水準測量でその高さが定められた点」の意味がある。ニュージーランドのマウンテンクック山に向かう川辺りの道路脇に、10cm 角の杭があり、そこに“benchmark m”とありました。技術用語としては、核データや計算法のチェックに用いる計算問題を指す。