

## 令和5年度 JENDL 委員会リアクター積分テスト WG 会合議事録

日時：令和6年2月16日（金） 13:30 ～ 17:30

場所：オンライン（Zoom）

出席者：竹生諭司（日立 GE ニュークリア・エナジー）、遠藤知弘（名古屋大学）、佐野忠史（近畿大学）、千葉豪（北海道大学）、東條匡志（GNF-J）、渡嘉敷幹郎（原子燃料工業）、杉田宰（東芝エネルギーシステムズ）、阿萬剛史（テプコシステムズ）、辻田浩介（原子力エンジニアリング）、小池啓基（三菱重工）、鈴木求（電力中央研究所）、谷中裕（JAEA）、岩本修（JAEA、WG リーダー）、多田健一（JAEA）、羽様平（JAEA）、奥村啓介（JAEA）、小玉泰寛（原子燃料工業、オブザーバ）、小林千将（原子力エンジニアリング、オブザーバ）、平野雅美（四電エンジニアリング、オブザーバ）、柴茂樹（原子力規制庁、オブザーバ）、松本吉弘（MHINS エンジニアリング、オブザーバ）、池原正（東芝エネルギーシステムズ、オブザーバ）、藤田達也（JAEA、オブザーバ）、Eka Sapta Riyana（JAEA、オブザーバ）、中山梓介（JAEA、講師）、山本徹（元原子力規制庁、講師）

### 議事録

#### 1. 核データ評価情報

・ JENDL-5 アップデート、核データ評価情報（岩本委員、資料 RIT-R5-1-1）

JENDL-5 アップデート情報について、前回の WG 会合からは 2 つのアップデートファイルを公開した。それぞれ、中性子および陽子サブライブラリ中の一部ファイルにおいて間違いやフォーマット上の不備があったため、修正したものである。その他、現状では未公開であるが、中性子断面積データ（Ra, Yb, Lu, Mo, Mg 同位体）の評価や、核分裂断面積の同時評価（ $^{232}\text{Th}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ）、熱中性子散乱則（黒鉛、軽水等）の評価が実施されている。

また、海外のライブラリ（ENDF, JEFF）の動向や原子力学会シグマ調査専門委員会で行われているワークショップについての情報提供をした。ENDF については次期 ENDF/B-VIII.1 が 2024 年 2 月に公開予定であったが、予定がずれこみ、2024 年半ばかそれ以降に公開の見込みとのことである。JEFF については、次期 JEFF-4 のテストファイル JEFF-4T3 が 2024 年 2 月に公開された。シグマ調査専門委員会では次期 JENDL 開発に向けたワークショップを催している。これまでに、ミューオン核データ、原子炉と規制、核分裂核データ評価手法の高度化、の 3 つのワークショップが行われている。

本報告に対し、なぜ JENDL-5 のアップデートを出さなければならなくなってしまったのか、その原因を記録し、次回以降同じ間違いをしないようにすることが重要であるとのコメントがあった。また、核分裂断面積の同時評価を反映させた  $^{242}\text{Pu}$  データの公開時期についての質問があった。これについては、次期 JENDL の公開時になる予定であるとの回答があった。

・熱中性子散乱則評価（中山講師、資料 RIT-R5-1-2）

これまで JENDL 開発で実績のなかった結晶性物質の熱中性子散乱則 (TSL) の評価を実施した。対象は黒鉛と  $\text{CaH}_2$  とした。黒鉛の TSL について、理想的な結晶構造を仮定した第一原理計算や、J-PARC での透過および散乱実験の結果を基に評価した。結果は、ENDF/B-VIII.0 の空孔黒鉛データよりも空孔黒鉛の実験値を精度良く再現した。 $\text{CaH}_2$  についても同様の手法で TSL を評価し、実験値と良く一致する結果を得た。

また、JENDL-5 の軽水の TSL は常温では精度が良いものの、軽水炉運転時のような高温では精度が悪くなる傾向であることが報告されている。この原因が TSL 評価に使用されている分子動力学 (MD) 計算中の経験的力場にあると考え、その解決に向けた計画案を示した。経験的力場を使用せず温度変化に対する外挿性が高いと考えられる第一原理 MD 計算の利用や、J-PARC での高温の水に対する散乱実験を実施したいとする計画が示された。

本報告に対し、黒鉛や  $\text{CaH}_2$  といった既に他のライブラリにある物質だけでなく、現状で TSL データが存在しない物質の TSL 評価をしてみてもどうかとのコメントがあった。また、TSL データ評価においては原子炉応用だけでなく、広く理工学一般の分野から需要を探すと良いのではないかとコメントがあった。

## 2. JENDL-5 の積分テスト

・JENDL-5 の  $\text{H}_2\text{O}$  の問題とその解決策について（多田委員、資料 RIT-R5-2-1）

JENDL-5 を使用すると軽水体系で各温度点での実効増倍率にばらつきがあり、冷却材温度係数が滑らかにならないことが報告されている。各温度点での TSL 評価時の MD 計算の統計精度が不十分であることがこの原因ではないかと考え、統計精度を向上させた MD 計算に基づいて TSL を再評価した。再評価した TSL を使用したところ、上記の温度依存性に関する問題がおおむね解決された。

また、MD 計算時に設定する圧力が TSL に及ぼす影響を調査した。JENDL-5 では 610K 以上の温度では圧力を 25MPa に設定した MD 計算から TSL を評価している。一方で、610-620K は PWR (圧力 15MPa) でも使われる温度であるため、圧力を 15MPa とした MD 計算から TSL を評価し、25MPa の時のものとの差異を調査した。その結果、TSL から導出した散乱断面積はやや変わるものの、実効増倍率にはほぼ影響ないことが分かった。同様の調査を 560-600K, 15MPa→7MPa についても行ったが、結果は同様であった。

本報告に対し、ENDF/B-VIII.1 の TSL 評価では MD 計算結果への忠実さよりも、温度点間の滑らかさを重視した方法を取っているようであるが、今後どのような方針で進める予定であるかとの質問があった。これに対し、滑らかさを追求する方向ではなく、MD 計算の統計精度に起因する温度点間の多少のばらつきは許容し、MD 計算結果への忠実さを重視する方針であるとの回答があった。また、MD 計算時の設定圧力の影響について、実効増倍率だけでなく他の量についても調査した方が良いのではないかとコメントがあった。

・TCA 臨界試験を利用した TSL ベンチマーク及び LWR 燃料核種組成解析の知見（山本講師、資料 RIT-R5-2-2）

TCAにおいて炉心中の減速材形状を変えて臨界水位を測定した試験を MVP3 と JENDL-4.0 を用いて解析したところ、実効増倍率に水位に対する依存性が見られた。JENDL-5 を使用してこの解析を行ったところ、実効増倍率の水位依存性がほぼ解消された。これは TSL の精度向上によるものである。

また、PWR での高燃焼度  $UO_2$  および MOX 燃料の核種組成を MVP-BURN を用いて解析した。以前に JENDL-3.2 や-3.3 を使用した解析を行っていたところ、今回は JENDL-4.0 を使用した。その結果、約 30 核種の生成量について JENDL-4.0 を使用することで予測精度が向上した。この要因を「軽水炉燃料組成の核データ感度データベース」（JAEA-Data/Code 2013-019）の感度データから検討したところ、ほとんどの核種について生成量の予測精度向上が核データの改訂から説明できることが分かった。また、この感度データを用いて、核種生成量の予測精度を向上させるための核データ改訂方針についてまとめた。あわせて、JENDL-4.0 から-5 への改訂内容を鑑み、JENDL-5 で本解析をした場合の結果を予測した（MVP-BURN が未整備のため、現状では JENDL-5 での本解析は実施できない）。

本報告に対し、使用した感度データの今回の解析対象に対する適用性について質問があった。これに対し、同じ軽水炉を対象としたものであり適用可能であると考えているとの回答があった。また、いずれの核データを使用した場合も実験値と計算値間に大きなずれが見られている核種（Pd や Ru 等）については、残渣移行やフラスコ吸着などの分析手法課題に影響されない非破壊測定などにより信頼できる方法で取得される実験値と比較する方法を今後は考えた方が良いとのコメントがあった。

・JENDL-5 を用いた BEAVRS 解析（鈴木委員、資料 RIT-R4-2-4）

軽水炉全炉心ベンチマーク問題 BEAVRS 内の初装荷炉心の高温ゼロ出力条件を対象に、JENDL-5 を用いた解析を行った。計算コードには MVP と MCNP を使用した。また、MVP については JENDL-4.0 を使用した計算も行った。その結果、実効増倍率については、JENDL-5 では-4.0 よりも 200pcm 程度過大評価となった。また、MVP と MCNP 間でも 200pcm 程度の差が見られた。制御棒バンク値は、JENDL-5 では-4.0 よりも実験値に近い値となり、MVP と MCNP での差異はあまり無かった。等温温度係数は、JENDL-5 では-4.0 よりも実験値に近い値となり、MVP と MCNP では MVP の方が実験値を過大評価した。これらの結果を炉内中性子スペクトルや感度解析結果などから詳細に分析したところ、JENDL-5 の軽水の TSL の温度依存性や、各計算コード中の断面積や温度の処理方法を確認・検証する必要があることが分かった。

本報告に対し、各コードの断面積ライブラリ作成時の核データ処理にも違いがあるのではないかとのコメントがあった。これに対し、多田委員から断面積ライブラリの作成は MVP 用も MCNP 用もドブラー拡がり等は FRENDDY を共通に使用して行っており、違いがあ

るとすれば二次中性子スペクトル等が考えられるのではないかとコメントがあった。

### 3. 来年度の計画、その他

#### ・ R5 年度の活動報告と R6 年度の活動計画（岩本委員、資料 RIT-R5-3-1）

今年度は JENDL-5 の改訂やベンチマークテストに関わる情報共有を行ったこと、また来年度も引き続き JENDL-5 の利用や検証を進め、今後の JENDL 開発のためのフィードバックを行うことを確認した。さらに、来年度は ENDF/B-VIII.1 や JEFF-4 が公開予定であるため、これらのベンチマークやそれを通じた JENDL 開発へのフィードバックを検討することも確認した。

また、今後の本 WG の進め方の参考にするため、現状で感じている JENDL や核データ一般に対する課題について、各委員から意見を求めた。主な意見は以下の通り。

- 良い評価済み核データを開発したとしても、応用分野で使用できなければその意義は薄くなってしまふ（山本講師の報告にもあった MVP-BURN の例のように）。核データ評価とあわせてこれらの応用ライブラリの開発・提供も重要と考える。
- バイアスを導入すれば、実機解析においては現状の核データで予測精度は満たされている。しかし、バイアスに顕著な体系依存性がある場合には、体系が大きく変化する新型炉開発などにおいて同じ精度は担保されないため、バイアスの体系依存性に着目した核データの精度向上が必要と考える。
- JENDL を実務に使いたい気持ちはあるが、本会合で報告のあった TSL の温度依存性など、新たな課題が見つかるこれまで使用実績のある ENDF/B から JENDL への乗り換えに躊躇してしまう。こういった課題を地道に解消していくことが JENDL の利用拡大のためには重要と考える。
- 産業界からの意見として、共分散の拡充を要望する。JENDL-5 ではアクチノイド以外にはわずかな核種にしか共分散が評価されていないが、評価されていない核種があると共分散データを使用した解析ができないので、共分散の拡充は重要と考える。
- 上記に加え、共分散データの確からしさの担保・検証も重要と考える。以前から、JENDL を使用した臨界解析の予測精度が共分散データから予測される精度よりもかなり良いことが指摘されている。このような不整合を解消し、信頼性の高い共分散データを整備・提供することが重要と考える。

以上