

令和6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7年2月13日（木） 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）、竹田敏（大阪大学）、佐野忠史（近畿大学）、東條匡志（GNF-J）、渡嘉敷幹郎（日立 GE ニュークリア・エナジー）、杉田幸（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）、藤田達也（北海道大学）、谷中裕（JAEA）、岩本修（JAEA、WG リーダー）、多田健一（JAEA）、羽様平（JAEA）、リヤナ エカ サプタ（JAEA）、小玉泰寛（原子燃料工業、オブザーバ）、平野雅美（四電エンジニアリング、講師）、柴茂樹（原子力規制庁、オブザーバ）、直田一哉（MHINS エンジニアリング、オブザーバ）、山崎正俊（スタズビック・ジャパン、オブザーバ）、中山梓介（JAEA、講師）、渡辺亮太（東芝エネルギーシステムズ、オブザーバ）、渡邊友章（JAEA、オブザーバ）、山本徹（元原子力規制庁、講師）、横山賢治（JAEA、オブザーバ ※本委員会より）

議事録

1. 核データ評価情報

- ・ JENDL-5 アップデート、核データ評価状況（岩本委員、資料 RIT-R6-1-1）

JENDL-5 アップデート情報について報告した。前回の WG 会合後、upd-14, 15, 16 の 3 つのアップデートファイルを公開した。upd-14, 15 はそれぞれ中性子核反応サブライブラリや崩壊データサブライブラリ中の一部に不適切なデータが収録されていたため、修正したものである。また、upd-16 は熱中性子散乱則データに関する修正である。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た。これに対し、温度反応度係数をより滑らかにするため、HinH2O, OinH2O の評価に利用する分子動力学計算の統計精度を向上させたというものである。

核データ評価について、前回の WG 会合以降、 $^{233}\text{U}(n, \gamma)$, $^{237}\text{Np}(n, f)$ の高速中性子断面積、核分裂生成物に対する中性子断面積、核分裂収率、熱中性子散乱則、の評価に進展があった。その他の情報として、米国の ENDF/B-VIII.1 が 2024 年 8 月末に公開された。また、次期 JENDL (JENDL-5.1) は 2028 年前半の公開を目標としており、共分散データや荷電粒子反応データを充実させる予定である。そのために現在、評価手法の開発にも取り組んでいるところである。

- ・ 軽水の熱中性子散乱則評価の高度化に向けた取り組み（中山講師、資料 RIT-R6-1-2）

前回の WG 会合で報告した、軽水の熱中性子散乱則の高度化に向けた取り組みの進捗状

況を報告した。前回の WG 会合以降、実験面では研究費調達が目途が付き、高温・高圧状態の軽水に対する中性子散乱実験を行う上で必須となる、耐熱・耐圧セルの製作が可能になった。現在は、来年度の J-PARC のビームタイム申請に向け準備中である。

また、評価面では、第一原理計算に基づく機械学習ポテンシャルを使用した経路積分分子動力学計算を、中性子散乱の微分実験が比較的存在する常温・常圧条件で実施した。実験値と比較したところ、今回の計算結果は、JENDL-5 や ENDF/B-VIII.1 と同程度の予測精度を持つことが分かった。なお、今回の計算は常温・常圧下で最適化されたものではないので、高温・高圧条件でも同程度の予測精度を持つと期待される。今後は、分子動力学計算結果からの熱中性子散乱則ファイルの作成、積分実験による常温・常圧での更なる検証、来年度中に実施予定の高温・高圧条件での微分実験に先駆けた同条件での分子動力学計算、を順次実施していく予定である。

・ JEFF-4 の整備状況（多田委員、資料 RIT-R6-1-3）

欧州の JEFF-4 の整備状況について、JEFF 会合の資料を引用する形で紹介した。2024 年 10 月に 4 版目のテストファイル JEFF-4T4 が公開された。JEFF-4T4 では、ENDF/B-VIII.0, VIII.1 や JENDL-5、JEFF-3.3 で指摘されていた、軽水炉の燃焼に伴う無限増倍率の低下が ENDF/B-VII.1 や JENDL-4.0 に比べて大きい問題がおおむね解決されている。この燃焼計算においては、アクチノイドだけでなく、 ^{134}Cs や ^{148}Pm といった核分裂生成物の影響も大きいことが報告されている。

また、 ^{27}Al と ^{232}Th のファイルをそれぞれ TENDL-2023, JENDL-5 に置き換えさえすれば、Mosteller Suite ベンチマークセットで ENDF/B-VIII.1 と同程度の精度になることが報告されている。その他、高速炉体系の PHENIX 実験、ベルギーの商用原子炉 Tihange の運転解析結果も示された。

2. JENDL-5 の積分テスト

・ Mosteller Suite を用いた JENDL-5 と JEFF-4T3 の比較（多田委員、資料 RIT-R6-2-1）

Mosteller Suite ベンチマークセットを用いた JENDL-5 と JEFF-4T3 の精度検証結果を報告した。JEFF-4T3 では、 $^9\text{Be}(n,2n)$ 断面積を記述するのに通常の MT=16 ではなく、 $(n,2n_0)$, $(n,2n_1)$ 等を示す MT=875, 876 等が使用されている。MVP コードではこの形式が想定されておらず、 $^9\text{Be}(n,2n)$ 断面積が 0 となってしまう、 ^9Be に感度のある体系での予測精度が極端に悪くなっている。ただし、この問題は MVP だけでなく、SCALE や Geant4 といった他のコードにも共通しており、JEFF の開発チームに通常の MT=16 を使った記述への修正要望をしているところである。

上記の点を除けば、JEFF-4T3 は JENDL-5 よりもおおむね良い結果となっている。特に、JENDL-5 の $^{14}\text{N}(n,p)$ 反応断面積は古い評価値が格納されており、これが JEFF-4T3 と比較した時の JENDL-5 のベンチマーク結果の悪化につながっていると考えられるので、

今後、改訂を検討する余地がある。

・ ENDF/B-VIII.1 の軽水炉燃焼計算への適用と感度解析（藤田委員（※千葉委員代理）、資料 RIT-R6-2-2）

ENDF/B-VIII.1 を軽水炉の燃焼計算に適用した結果を報告した。多群ライブラリは一部処理できない核種を除いて FRENDY で作成し、CBZ/Burner で燃焼計算を行った。ライブラリ間で結果を比較する際には、燃焼チェーンは共通のものを使い、反応断面積のみ入れ替えた。また、JENDL-4.0 に基づくライブラリにより燃焼感度を計算し、無限増倍率の差異に関して感度を用いて分析した。

UO₂ のピンセル体系について、これまでに種々の報告で示されてきたのと同様に、燃焼に伴う無限増倍率の変化について、JENDL-5 や ENDF/B-VIII.0 は、JENDL-4.0 や ENDF/B-VII.1 との差異が大きくなった。また、感度解析の結果、JENDL-5 の傾向が JENDL-4.0 と異なるのは、²³⁹Pu の核分裂中性子数、核分裂断面積、捕獲断面積、²³⁸U の捕獲断面積に起因していることが推察された。なお、ENDF/B-VIII.1 ではこの傾向が解消されたとのことであったが、今回の計算では ENDF/B-VIII.0 と大差がなかった。また、MOX 体系では UO₂ 体系ほどの燃焼度依存性は見られなかった。その他、中央に Gd を含む 3×3 マルチセル体系での結果も示した。

報告に対し、RIT-R6-1-3 の報告によればアクチノイドだけでなく核分裂生成物データも燃焼計算に感度があるようだが、今回の感度解析では核分裂生成物も考慮しているかとの質問があった。これに対し、今回は考慮していないとの回答があった。

・ JENDL-5 による CEA-EOLE での全 MOXBWR 炉物理試験（FUBILA）及び TCA での UO₂ 及び MOX 燃料臨界試験の MVP3 解析の知見（山本講師、資料 RIT-R6-2-3）

MVP コードと JENDL-5 を使った、FUBILA 実験と TCA 実験のベンチマーク結果を報告した。FUBILA 実験について、²⁴¹Am データの改訂によって JENDL-4.0 から JENDL-5 で実効増倍率の予測精度が向上した。一方で、水の熱中性子散乱則の改訂によって、JENDL-4.0 から JENDL-5 で核分裂率の炉心径方向分布の予測精度が悪化した。

TCA 実験について、幾何バックリングに対する実効増倍率のトレンドで整理をした結果、UO₂ 格子体系では、水の熱中性子散乱則の改訂によって JENDL-5 で予測精度が良くなるケースと悪くなるケースがあった。MOX 格子体系では、JENDL-5 ではおおむね予測精度は良くなるものの、依然として課題が残る結果となった。

また、TCA の多領域炉心の解析では水の熱中性子散乱則の改訂により、JENDL-4.0 から JENDL-5 で核分裂率の炉心径方向分布の予測精度が悪化した。全体として、今回の報告で示した結果からは、JENDL-5 の水の熱中性子散乱則には改善の余地があることが示唆された。

・実機炉心解析における核データライブラリの影響確認（詳報版）（平野講師、資料 RIT-R6-2-4）

核データライブラリの変更が SHIKOKU2 コードによる実機炉心解析結果に与える影響を確認した。種々の解析を行った結果、ENDF/B-VII.1 は、現状 SHIKOKU2 コードで採用されている JENDL-4.0 とおおむね同程度の予測精度となった。

一方で、JENDL-5 については、実機炉心解析では実測値との誤差が拡大する傾向が見られ、SHIKOKU2 用の核データライブラリとしては課題が残る結果となった。なお、RIT-R6-1-1 で紹介のあった JENDL-5 での水の熱中性子散乱則の改訂（upd-16）の影響は小さいことも分かった。

最後に、燃焼を伴う体系に対する予測精度も考慮した核データの評価が、今後の核データ開発への要望として述べた。

・核データ共分散データ利用の現状と課題（藤田委員、資料 RIT-R6-2-5）

次期 JENDL における共分散データ整備に向け、共分散データ利用に関する現状や、今後の共分散データ整備に対する提案・要望をまとめた。利用の現状としては、①統計的安全評価手法、②UAM（Uncertainty Analysis in Modeling）ベンチマーク、③データ同化、に関する利用が挙げられる。

また、今後の提案・要望として、①共分散データの整備/拡充に係る選択と集中、②共分散データライブラリの公開、③共分散データの品質向上、を挙げた。①について、JENDL の開発リソースが限られている現状を鑑みて、応用上の重要性に応じて整備する共分散データを選択することが望ましいと考えられる。応用上の重要性が高い例として、例えば、事故解析時の崩壊熱の不確かさ評価のために核分裂生成物に対する中性子核データの共分散があると良い。②について、現状では共分散データライブラリを利用者個々人が作成しているが、一般的なエネルギー群構造の共分散データライブラリを公式に公開することも考えられる。③について、現状は相関係数行列の要素が-1 から 1 の範囲を大きく超えているなど、半正定値行列となっていない共分散データも散見されており、品質向上が必要と考えている。

・UTR-KINKI を用いた U-233 及び HEU サンプル反応度測定（佐野委員、資料 RIT-R6-2-6）

近畿大学研究用原子炉 UTR-KINKI を用いて ^{233}U と高濃縮ウラン（HEU）のサンプル反応度値測定実験を行い、この実験解析によって JENDL-5 の積分検証を行った結果を報告した。

^{233}U と HEU の両ケースについて、JENDL-5 と JENDL-4.0 のどちらのライブラリを用いた場合も計算値は実験値を過大評価した。感度解析を行った結果、 ^{233}U は JENDL-4.0 から JENDL-5 で熱中性子領域の核分裂断面積が増加し、捕獲断面積が減少した。これにより

サンプル反応度計算値が増加したと考えられる。²³⁵Uについては、JENDL-4.0からJENDL-5で約0.025eV以下で核分裂および捕獲断面積がともに減少し、約0.025eV以下で核分裂および捕獲断面積がともに増加した。これらの効果が相殺し、JENDL-5とJENDL-4.0での計算値は統計誤差範囲内で一致したと考えられる。

3. 来年度の計画、その他

- ・ R6年度の活動報告とR7年度の活動計画（岩本委員、資料RIT-R6-3-1）

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の積分テストや利用等に関する情報を収集し、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。次期JENDLに向けた効果的なWG活動の在り方を検討することも確認した。

また、ENDF/Bの最新版ENDF/B-VIII.1が最近公開され、JEFFの次期バージョンであるやJEFF-4も近々に公開予定である。これらの最新ライブラリからのJENDL改訂へのフィードバックを検討することも確認した。

以上