

JENDL 委員会・炉定数専門部会「核データ処理プログラム WG」議事録

日時：2018年11月20日（火）13:30 - 17:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第一会議室（富国生命ビル 20階）

参加者（敬称略）：

千葉（北海道大学）、遠藤（名古屋大学）、森本（日立 GE ニュークリアエナジー）、
山路（三菱重工）、木村（東芝）、渡嘉敷（原燃工、リーダー）、
今野（原子力機構）、多田（原子力機構）、奥村（原子力機構）、岩本（原子力機構）、
黒田（テプコシステムズ、オブザーバー）、川本（四電エンジニアリング、オブザーバー）、
岩橋（原子力規制庁、オブザーバー）、渡辺（原燃工、講師）

議事概要

議事録確認

- 前回会合の議事録のうち、FRENDY の整備計画部分を中心に確認、承認された。

FRENDY の開発状況

- 多田委員から FRENDY の開発状況として、(A)「R-matrix Limited への対応」、(B)「ラダー数の違いが確率テーブル作成に与える影響評価」、(C)「ACE File Verification Project への参加」について報告が行われた。
- (A)「R-matrix Limited への対応」については、共鳴公式として R-matrix 理論に準じたものであり、従来の(n,total)、(n,elastic)、(n,fission)、(n, γ)以外の断面積や二次エネルギー分布や角度分布に関する共鳴パラメータが活用可能となる事が報告された（これらは、R-matrix 理論以前の共鳴公式では取り扱えなかったもの）。なお、当該機能は、JAEA 核データ Gr.で開発中の AMUR コードの機能を利用している。
- R-matrix Limited の処理の検証として ENDF/B-VII.1 Cl-35, JEFF-3.2 Cu-63, Cu-65 について NJOY2012 との比較を行い、ENDF/B-VII.1 Cl-35 の(n,p0)など、何れの断面積も良く一致する結果が得られること、計算時間については NJOY2012 の 2 倍強程度であるが、差異の主因は R-matrix Limited 処理部分ではないことが報告された。
- 遠藤委員からの「R-matrix Limited を利用した結果を、後流の核データ処理に利用可能か」との質問に対し、問題なく可能な旨の回答があった。
- (B)「ラダー数の違いが確率テーブル作成に与える影響評価」については、U-235, U-238 を対象にラダー数 50,000 のケースを参照解として、確率×断面積を参照解と比較した結果、ラダー数 1,000 で参照解と 0.0 数%で一致、ラダー数 100 で 0.1%程度の一致が

報告された。他の核種については、ラダー数 1,000 のケースを参照解として比較した結果、ラダー数 100 では概ね 0.1%程度で一致することが確認されたが、一部の軽核で 0.8%程度の一致と比較的悪化する傾向が見られることが報告された。

- 次に、ラダー数が最終的に固有値へ与える影響を評価するため、前述の比較で用意した各ラダー数での確率テーブルを使って ACE ファイルを用意し、MCNP を用いた複数の積分テスト・ベンチマークを評価した結果が示された。考察として、ラダー数 100 以上であれば、複数の積分テスト・ベンチマークの固有値の結果が、MCNP の固有値の統計誤差に埋もれて識別できなくなることから、ラダー数 100 の設定が妥当と考えられると報告された。
- この報告に対し、導かれた結論と MCNP 統計誤差との関係の解釈の妥当性を中心に質問があり、決定論的手法を用いた比較の可能性、必要性について議論された。
- (C)「ACE File Verification Project への参加」については、当プロジェクトが「ACE ファイル作成機能の検証を目的とした核データ処理コード・ベンチマーク」として IAEA から提案され、FRENDY を始めとした 9 機関 10 コードが参加している事、現在の進捗として、非分離共鳴領域の自己遮蔽効果を非考慮・考慮した場合について、中性子入射の断面積、角度分布及び二次エネルギー分布の比較まで行われている事、今後、光子生成データの比較、熱中性子散乱則の比較が行われる予定である事、が報告された。
- ベンチマーク結果として、複数の積分テスト・ベンチマークにおける固有値の比較が NJOY との差分を比較する形で示され、何れの参加コードも 20pcm 程度以内で一致することが報告された。また ACE ファイルそのものの比較も実施されており、FRENDY が NJOY と良く一致していることから、FRENDY と NJOY の固有値の差異は MCNP の統計誤差に起因するものと考えられると報告された。また、参加コードの中には、ACE ファイルそのものの違いが比較的大きいようなものでも、固有値自体は良く一致するように見えるものがあることが報告された。
- 本プロジェクトへの参加は、FRENDY 自体の検証の観点で有用であることから、引き続き参加することに対し、各委員の理解が得られた。

各機関における核データ処理の現状

- 今野委員から「ACE ファイルの heating number の負の p-table の原因と対策」について発表があった。2013 年頃、PHITS でカーマ近似を使用した中性子付与エネルギーが NaN となる問題が発生、直接的には ACE ファイル中の heating number (KERMA 係数を全反応断面積で除したもの) の確率テーブル (p-table) に負の値が入っていることが原因と判明、その対策として、現行の ACE ファイルは p-table に負の値が入った核種については非分離共鳴データの処理をスキップしたものが公開された経緯が説明された。
- 本発表では、問題の核種は捕獲反応で生じる 2 次 γ 線データがないか、その 2 次 γ 線

の格納形式が特殊（ENDF-6 フォーマットで言うと、file12～file15 の mt=102 に格納されるのが普通であるが、mt=3 に格納されている）である核種で、これらの核種では捕獲反応の部分 KERMA 係数（エネルギーバランス法）に γ 線のエネルギーが入ってしまうため確率テーブルが負の値になったと説明された。対処法として KERMA 係数自体に与える非分離共鳴の自己遮蔽効果が小さいことから、NJOY の HEATR 入力において弾性散乱、核分裂反応、捕獲反応の部分 KERMA 係数の計算自体をスキップすることで、当問題が解消されることが説明された。奥村委員より、「非分離共鳴の自己遮蔽効果の影響の確認として、KERMA 係数に加え、heating number に係る全反応断面積も確認した方が良い」とのコメントがあった。

- 引き続き今野委員から「NJOY 非分離共鳴処理に起因する MATXS 多群ファイルの問題」について発表があった。MATXSLIB-J40 を用いた中性子深層透過問題における中性子スペクトルを ANISN と MCNP で比較したところ、ANISN の結果に不自然な挙動が見られることが説明された。その原因調査のため、MATXSLIB-J40 を TRANSX コードで処理して作成した多群ライブラリを確認したところ、非分離共鳴領域で P1 自群散乱断面積の自己遮蔽補正が非常に大きいことが判明、さらに当該問題は確率テーブル作成の際、「仮想的に生成される共鳴ピーク間のエネルギー間隔が狭すぎるなどに起因して現れる『深すぎる谷』」が原因と説明された。
- 本問題への対処法として、非分離共鳴領域において、「深すぎる谷」は現実には現れないと考えられる事から、全断面積が無限希釈断面積の 1/10 以下となるケースについては全断面積を 1/10 とする処理を NJOY2016 に追加、問題であった ANISN の計算結果は MCNP を良く再現するようになった事が説明された。多田委員より、今野委員が NJOY2016 に追加した処理と同様な処理を FRENDY に追加した旨、報告があった。
- 山路委員からは「三菱新核設計コードシステム GalaxyCosmo-S における超多群断面積ライブラリ作成と精度検証」について発表があった。現行の Galaxy はエネルギー群が 172 群構造で、ATWS 時の水密度までの適用性の確認を行っているが、さらなる適用範囲の拡大の観点で超詳細群の 12 万群（SLAROM 10 万群構造の高速群側と熱群側に 1 万群ずつを追加）での中性子スペクトル計算を Galaxy に組み込んだとの説明があった。スペクトル計算にあたっては、隣接するセルの影響を加味するため、等価ダンコフ円筒セルモデルを用い、集合体計算用の群定数を縮約することで、0.1g/cc の水密度においても参照解と 200pcm 以内で一致する結果が得られたと説明があった。
- 当該対応を進める中での FRENDY への要望事項として「PENDF の段階での各核種の群構造共通化」や「等価原理の適用に起因する精度上の限界を打破するため、Flux Calculator の高度化として、（汎用性は限定されるものの）核データ処理の段階でピンセル体系を模擬した評価を行う」概念について提案があった。当該要望に対し、多田委員から、前者については対応可能なこと、後者については FRENDY と GENESIS のような格子計算コードを結合することで対応できる可能性について言及があった。

- 千葉委員からは「ポイントワイズ断面積ファイル作成過程の変更が原子炉の臨界特性に与える影響の評価」について発表があった。PREPRO, NJOY-99, FRENDYについて PENDING の比較を行い、各コードのエネルギー点の取り方の特徴、それが PENDING のファイル容量や固有値へ与える影響が説明された。当該検討を通じて判明した FRENDY の挙動に対するフィードバックを別途、多田委員に行ったとの説明があった。
- 遠藤委員からは「名大・山本章夫研究室の核データ処理状況」について発表があった。ランダム・サンプリング法による不確かさ評価を MCNP 解析に適用するため、ACE 形式ファイル中の弾性散乱・ (n, γ) ・核分裂・ ν ・核分裂スペクトルを対象として、あるエネルギー範囲の値を任意に摂動させた ACE 形式ファイルを出力する機能を FRENDY に実装した検討結果について報告があった。SCALE 付属の共分散データに基づいて断面積摂動因子をランダム・サンプリングし、実装した断面積摂動機能を利用することにより、 k_{eff} 固有値に与える核データの不確かさが TSUNAMI の結果と統計誤差の範囲で一致することが説明された。FRENDY への要望事項として、NJOY における GROUPR, ERRORR 相当の機能の実装への期待が示された。
- 渡辺講師からは「FRENDY を用いた MCNP 用 ACE ファイル及び共分散データの整備」について発表があった。本検討は、JENDL 委員会リアクタ積分テスト WG で検討が進められている JENDL 開発用のベンチマーク・データ集の整備を補完する目的で行われており、FRENDY で作成した ACE ファイルによる MCNP KSEN での感度係数の評価、FRENDY/ERRORJ による多群共分散データの整備、代表性因子及び拡張バイアス因子を評価するプログラムの整備が検討されていると説明があった。FRENDY で $S(\alpha, \beta)$ を作成する際、評価済み核データで与えられていない温度点を指定すると適切な結果が得られないとの報告があり、多田委員より最新版にて不具合を是正した旨、説明があった。また山路委員より、代表性因子及び拡張バイアス因子評価プログラム整備の目的について質問があり、渡嘉敷委員より「積分テストの結果を利用して、実機軽水炉体系における仮想的実験値を作成、設計コードの妥当性を確認することに用いたい」との回答があった。

今後の FRENDY の整備計画について

- 多田委員より、「今後の FRENDY の整備計画について」として、(D)「FRENDY の整備計画について」と(E)「FRENDY の開発計画」の報告が行われた。
- (D)「FRENDY の整備計画について」は、ユーザマニュアルが完成、2 月末頃の発行に向け準備が進められ、当該準備完了後の BSD ライセンスのオープンソースとしての公開に向け、手続きを進めている事が報告された。また、公開後の FRENDY の利用拡大を図るため、各種ドキュメントの公開、JAEA の公開講座を利用した大学等での講習会の開催を計画しているとの報告があった。
- (E)「FRENDY の開発計画」については、2019 年度に GROUPR 相当機能、2020 年度

頃に **ERRORR** 相当機能の整備を進め、2021 年度に **Ver.2** として公開、その後の 2022 年度以降 **HEATR** 相当機能の整備を進める計画案が示された。これに対し、奥村委員から「アウトカム戦略を意識して（一般ユーザも多い）**PHITS** 用のライブラリを整備する機能の整備を優先した方が望ましい」とのコメント、千葉委員、遠藤委員から「**FRENDY Ver.1** の利用は浸透し始めており、**GROUPR, ERROR** 相当の整備よりも **HEATR** 相当の整備を優先する事で、**ACE** ファイルの完全性を高めた方が望ましい」とのコメントや、渡嘉敷委員から「**HEATR** 相当機能を備える **NJOY** 以外の核データ処理コードは **FUDGE** のみであり、**FRENDY** の競争力を早期にアピールする観点でも **HEATR** 相当の整備を優先するのは有意義」とのコメントが出された。当該コメントに対して、開発計画案における整備機能の順番について **JAEA** 内にて議論してもらうこととなった。

その他

- 本 WG の会合として、今年度二回目の会合は予定していないこと、必要に応じメール・ベースでの意見交換を行うことで各委員の理解が得られた。

以上