

JENDL 委員会・炉定数専門部会・核種生成量および崩壊熱評価 WG
2019 年度会合議事録

日時：2020 年 1 月 31 日（金）13:30～17:00

場所：日本原子力研究開発機構
東京事務所 第 3 会議室（富国生命ビル 20 階）

出席者（敬称略・順不同）

委員：池原正（JAEA）、橘孝博（早稲田大高等学院）、光安岳（日立）、小野道隆（GNF-J）、
親松和浩（愛知淑徳大）、渡嘉敷幹郎（NFI）、佐藤駿介（電中研）、
※向原民（TEPSYS）、松村太伊知（JAEA）、横山賢治（JAEA）、
山路和也（三菱重工）、湊（JAEA、WG リーダー）

オブザーバー：杉村直紀（NEL）、名内泰志（電中研）、藤田達也（原子力規制庁）、大岡靖典（NFI）
※松居祐介（TEPSYS）の代理出席

配布資料（配布者）：

1. 核種生成量および崩壊熱評価 WG 2018 年度会合議事録
2. 崩壊熱計算 PC コードの更新について（親松委員）
3. JENDL における核分裂収率と崩壊データの研究開発状況（湊 WG リーダー）

議題：

- ① 事務局報告
- ② 活動報告
- ③ 今後の活動方針について
- ④ その他

議事進行内容：

① 事務局報告

湊 WG リーダーより、2019 年度の WG のメンバー変更について報告が行われた。テプコシステムズの吉井貴氏が退任し、代わりに松居祐介委員が新たに加わったこと、JAEA の奥村啓介氏に代わり、松村太伊知委員が新たに加わったことが報告された。また、JAEA の青山卓史氏が委員を退任したことが報告された。今回の会合では、松居委員の代理でテプコシステムズより向原氏が出席していることが紹介された。湊 WG リーダーより、WG の委員数のスリム化とメンバー変更の可能性についても伝えられた。

② 活動報告

(1) 崩壊熱計算 PC コードの更新について

親松委員より崩壊熱計算 PC コードの現状と更新の予定について報告がなされた。この計算コードは、

核分裂生成物 (FP) 崩壊熱やその γ 、 β 線スペクトル、遅発中性子放出の時間依存性などを計算できるものである*1。これまでに JAEA の片倉氏 (現:長岡技科大) や東京都市大学の吉田氏 (現:東工大)、現在では東工大の石塚氏や JAEA の湊 WG リーダーらが、この計算コードを核分裂収率研究など核データの基礎研究のために利用しており、愛知淑徳大学の学生向けの授業でも活用されていることが、親松委員より紹介された。昨年、湊 WG リーダーから β delayed 2n emission に関する質問があり、親松委員がコードとデータの見直しを実施したところ、最新の macOS が 64 bit code になったため、旧 OS でコンパイルしたものが使用不能になっていたことが確認された。そのため、最新 macOS でコンパイルし直して再度利用可能になったことが WG 会合で報告された。また、研究と教育それぞれの用途で使いやすいように、ユーザー・インターフェースとコードを約 1 年間に更新する予定であることが親松委員より報告された。参加委員からの質疑応答では、開発されている計算コードをスマートフォンやタブレット PC で利用可能にしてはどうかという意見が出された。親松委員より、現在の崩壊計算コードはスマートフォンとタブレット等には対応していないが、大学の授業で行っているフーリエ変換や微分方程式の計算ではスマートフォンの利用を展開しているという回答がなされた。また、親松委員の開発している計算コードと ORIGEN コードとの違いについて参加委員から質問があった。この質問に対して、ORIGEN では Matrix 法を用いているが、この計算コードは、時間による差分法を用いて解の導出を行っているという回答が親松委員よりなされた。また、新しい崩壊チェーンが見つかった場合に対応できるかどうか参加委員から質問があり、親松委員より、計算コードの中で自動的に崩壊チェーンが構成されるようになっており、崩壊データをインプットとして与えるだけで対応できることが説明された。燃焼時の中性子捕獲の影響についても参加委員より質問があった。これに関しては親松委員より、初期インベントリからの崩壊を単純に計算しているだけであり、中性子捕獲は考慮されていないという説明がなされた。また補足として、燃焼中の中性子反応の影響を考慮するためには、摂動的な方法を用いて計算コードに取り込む必要があることが親松委員より説明された。湊 WG リーダーからのコメントとして、IAEA の奥村氏が親松委員の崩壊熱計算コードを基に、C++言語で書き直している (現在は fortran77) という情報が提供された。

(2) JENDL における核分裂収率と崩壊データの研究開発状況

湊 WG リーダーより、JENDL における核分裂収率と崩壊データの研究開発状況について紹介があり、1) JENDL-5 評価済み核分裂収率データ、2) JENDL-5 評価済み崩壊データ、3) 公開中の JENDL 核分裂収率データと崩壊データで見ついているエラー、4) JENDL-5 以降の核分裂収率データの開発計画の 4 項目について報告がなされた。

まず、JENDL-5 で公開される予定の評価済み核分裂収率データについて紹介がなされた。この評価済み核分裂収率データは、東京工業大学の千葉研究室が中心となって開発されたものである。核分裂収率の偶奇分布を再現するために殻構造の効果を導入したり、アイソマー比の計算に Hauser-Feshbach 模型を利用したりするなど、核物理学の最新の知見を利用して従来の核分裂収率データの改良がなされている。特に、共分散を新たに評価することによって、積算核分裂収率における実験データの誤差を正しく再現できるようになったことが報告された。

次に、JENDL-5 で公開される予定の評価済み崩壊データの現状について、湊 WG リーダーより報告された。現在公開中の評価済み崩壊データ JENDL/FPD-2011 以降に測定された半減期、遅発中性子データ

および TAGS データ等を収録し、さらにこれまで JENDL の評価データに与えられてこなかった遅発中性子スペクトルを新たに収録する予定であることが報告された。JENDL-5 における崩壊データは開発初期の段階であるが、JENDL-5 の評価済み核分裂収率データと合わせて公開する予定であることが報告された。正式に公開するまでに、評価データの完備性のチェックなど WG 委員へ協力を要求する旨が伝えられた。

これまでの核分裂収率の評価では独立核分裂収率や積算核分裂収率など、核分裂収率の実験データから直接評価が行われ、照射後試験 (PIE) データは評価された核分裂収率データのベンチマークとして使われてきた。しかし、PIE データそのものを評価する参考値として利用しても良いのではないか、という提案が湊 WG リーダーよりなされた。PIE の燃料組成の測定データは、核データの検証や親松委員が報告した崩壊計算とも絡み、核分裂収率データの精度向上に有益になることが説明された。この点について、参加委員より北大の千葉豪准教授が PIE データの感度解析を進めており、湊 WG リーダーの目的に合うのではないか、というコメントがなされた。

次に、JAEA から公開中である JENDL/FPD-2011、JENDL/FPY-2011 および JENDL/DDF-2015 で、これまで見つかったエラーについて湊 WG リーダーより報告がなされた。これまでに見つかったエラーは以下の 7 つである。

- ① JENDL/DDF-2015 において、Am-241 の γ 線スペクトルが ENSDF と一致しない。
- ② JENDL/DDF-2015 において、U-235 のアイソマーが Pu-239 の α 崩壊で生成されるが、U-235 のアイソマーが崩壊データにない。
- ③ Kr-78 が二重 β 崩壊することになっているが、実際は二重電子捕獲である。
- ④ 通常 1 つしかない基底状態が、Na-32, Ru-932, Pd-101, Pr-131, Pm-137, Ir-183 で 2 つ与えられている。
- ⑤ JENDL/FPY-2011 に収録されている FP は JENDL/FPD-2011 にも収録されているべきであるが、As-84, Ru-109, Xe-143 のアイソマーは JENDL/FPD-2011 にはない。
- ⑥ JENDL/FPD-2011 に収録されている FP のデータと JENDL/DDF-2015 に収録されている FP のデータは一致しているはずであるが、Se-82, Sr-83,-85, Zr-96, Mo-100, Pd-111m, Cd-116, Te-128,-130, Xe-134,-136, Ce-136,-138,-142, Nd-150, Eu-151 において、一致していない。
- ⑦ Cd-109 は Ag-109 のアイソマーへ崩壊するが、JENDL/FPD-2011 と DDF-2015 は基底状態へ崩壊することになっている。

これらのエラーは、数か月以内に修正しアナウンスする予定であることが報告された。また詳細については、International Workshop on Fission Product Yields の会合の紀要集*²で報告される旨が伝えられた。質疑応答では、崩壊分岐比の合計が 1.0 を超える核種が現在の評価済み崩壊データにあるというコメントが参加委員より出された。この点について、湊 WG リーダーより、評価者は崩壊分岐比の合計が 1.0 になるように調整しなければならないという回答がなされ、至急確認し修正を検討する旨が質問者に伝えられた。

次に、湊 WG リーダーにより、JENDL-5 以降の核分裂収率データの開発計画について紹介がなされた。この核分裂収率データの目標は、現象論的に記述されてきた核分裂即発中性子や即発 γ 線を、核構造

の効果等を反映した現実的な理論モデルに置き換えて導出することである。核データ研究グループが使用している核反応モデル計算コード CCONE には、この機能の一部が既に備わっており、CCONE を用いた核分裂即発中性子や即発 γ 線のスペクトルとそれらの評価済みデータとを比較した図が紹介された。独立核分裂収率を含め、核分裂即発中性子などの再現精度はまだ悪い。米国のロスアラモス国立研究所等が実施している先行研究の質に追いつくためにも、今後の改良が必要であることが湊 WG リーダーより報告された。

③ WG の今後の活動方針について

WG の今後の活動方針について参加委員全員で議論が行われた。本 WG が従前より抱える課題は、WG 委員でまとまった活動目標や個人を除く WG 全体としての具体的なアウトプットが無かったことである。そのため、来年度に向けて WG 委員が一体となった活動方針を策定するために、過去の議事録を基にして議論が行われた。

過去の 6 年間の議事録では、具体的な課題の提案や WG 委員の役割分担などは決められていなかった。しかし、2012 年度の議事録によると、以下の 4 つの課題が将来に向けて残されていた。

- (イ) 原子力学会が発行した「原子炉崩壊熱とその推奨値」に示されている崩壊熱推奨値の使用は容易ではなく、付随されている計算コードが現在の計算機環境では利用できないため再整備の必要性
- (ロ) 原子炉停止後 2 年程度の FP 崩壊熱の取り扱い
- (ハ) U-239 と Np-239 以外のアクチニド崩壊熱評価の必要性
- (ニ) 総和計算による崩壊熱の検討

これらに関して委員から意見を募ったところ、(イ) について参加委員から、既に原子力学会推奨値を利用しておらず ORIGEN コードを用いて計算しているというコメントがあった。一方で、他の参加委員からは、自分の使用している環境では原子力学会が発行したプログラムが現在も問題なく動作しており、使用を続けているというコメントもあった。この点に関しては、WG としてどのような対応をすべきか今後検討していく必要があると思われる。(ロ) については、湊 WG リーダーの発表の際にも述べられたが、照射後試験 (PIE) の燃料組成の測定データと崩壊熱は、核分裂収率データの検証に有益であるため、湊 WG リーダーが中心になって今後も引き続き検討していく旨が伝えられた。(ハ) については、本 WG 会合では特にコメントはなかった。ちなみに、(ニ) 総和計算による崩壊熱の検討については、JENDL-5 の核分裂収率データにおいて一定の解決を得られている。

来年度からの WG 活動の候補の一つとして、核分裂収率の共分散データの活用に向けた環境整備が議論された。北大の千葉豪准教授が核分裂収率に対する感度係数を計算するシステムを開発しており、そのシステムを通じて核分裂収率の共分散データ利用を効率的に進められるのではないか、というコメントが参加委員よりなされた。このコメントは他の参加委員間でも前向きに議論され、湊 WG リーダーから千葉准教授へ相談することとなった。また、共分散データ作成の別の方法として、ランダムサンプリングの手法についても参加委員よりコメントがされた。WG 活動の別の候補として、核分裂収率 (核異性体比の合計、収率の和、崩壊チェーンの連続性等) や崩壊データのチェックスクリプトを WG で作成することが挙げられた。まずはチェック項目としてどのようなデータを挙げるべきか、今後 WG のメンバーで議論することについて提案がなされた。

また、参加委員からは他にも、「評価済みデータの更新が予定されているが、それらが実社会でどのよ

うな影響があるか分かる仕組みの必要性が訴えられ、それが開発動機になるようにするべき」や「新しい評価済みデータが公開されたときに、使用するコード(SCALE、MVP など)に対するファイル形式の変換が必要となる。そのようなファイル形式も同時に提供されると好ましい。ORLIB についても、機構の方針は違う方向に進んでいるかもしれないが、JENDL-5 版(ORLIBJ5)が作成されると便利である。」というコメントがあった。

今後の課題として挙げられたものを箇条書きでまとめると以下のようになる。

- 原子炉崩壊熱の原子力学会推奨値の見直しの必要性について検討
- PIE データと照射後の崩壊熱の感度分析による不定性の原因調査と核分裂収率データへの応用
- 核分裂共分散の利用促進
- 核分裂収率データおよび崩壊データのチェックスクリプトの作成
- 評価済みデータの更新によって実社会に与える影響を分かりやすくする

上記の検討課題を基に、来年度の WG 活動を進めていく予定である。また、次の WG 会合を前にメールベースでも上記課題について議論を継続していくことを参加委員で約束された。

④ その他

特に報告事項はなされなかった。

参考文献

- * 1 親松和浩 JAERI-Conf 99-002 (1998 年核データ研究会)、2013 年愛知淑徳大学論集 (人間情報学部 篇第 3 号)
- * 2 F. Minato, EPJ Web of Conference へ投稿中