

会議のトピックス(I)

第 35 回 NEA 核データ評価国際協力ワーキングパーティー (WPEC) 会合報告

日本原子力研究開発機構

岩本 修

iwamoto.osamu@jaea.go.jp

岩本 信之

iwamoto.nobuyuki@jaea.go.jp

木村 敦

kimura.atsushi04@jaea.go.jp

多田 健一

tada.kenichi@jaea.go.jp

横山 賢治

yokoyama.kenji09@jaea.go.jp

1. はじめに

OECD/NEA/NSC が主催する WPEC (Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation) の本会合及び傘下の専門家グループ (EG)、サブグループ (SG) 会合が 5 月 15 日から 17 日に NEA 本部とオンラインのハイブリッド形式で開催された。日本からは 2 名 (岩本 (修)、多田) が対面で、その他がオンラインで参加した。日本を含め、米国や欧州、中国、IAEA、NEA から出席があり、対面での WPEC 本会合への参加は 30 名程度であった。以下に、核データ測定、評価及び EG、SG の活動状況について報告する。

2. 核データ測定活動の現状

核データ測定の現状について日本、中国、欧州、米国から総括的に報告された。

中国からは中国原子能科学研究院 (CIAE) の Ruan 氏より IHEP の中国核破砕中性子源 (CSNS) の Back-n ラインを用いた断面積測定実験として、 $^{159}\text{Tb}(n, \gamma)$ 反応断面積、 ^{14}N 及び ^{40}Ca の (n, α) 反応断面積、 ^{232}Th 、 $^{236,238}\text{U}$ 及び ^{239}Pu の (n, f) 反応断面積、 ^{191}Ir 、 ^{85}Rb 及び ^{78}Kr の $(n, 2n)$ 反応断面積の測定が報告された。また、その他の施設での測定例として中国科学院蘭州重イオン加速器装置を用いた Be、C、Pb、W への He 入射に対する中性子生

成二重微分断面積測定、及び医療用 RI 製造のための $^{nat}\text{Mo}(p,xn)$ 反応断面積測定などの紹介があった。なお、2022 年度は CSNS のメンテナンスのために測定が少なかったとのことである。

欧州からは、欧州委員会共同研究センター (JRC) の Plompen 氏より、CERN の n_TOF 実験施設、JRC-Geel (ベルギー) 等での実験活動状況について報告があった。n_TOF 実験施設での測定としては ^{79}Se 、 ^{94}Nb 、 $^{50,53}\text{Cr}$ 、 ^{239}Pu 等の (n,γ) 反応断面積測定の報告があった。 ^{239}Pu については、核分裂検出器と同時測定を行い、核分裂反応の影響を低減させて実験を行ったとのことであった。また、JRC-Geel での測定として $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)$ 反応断面積測定、 ^{103}Rh 、 ^{56}Fe などの (n,γ) 反応断面積及び全断面積測定とその結果を用いた共鳴解析の途中経過などが報告された。

米国については、レンセラー工科大学 (RPI) の Danon 氏から US National Nuclear Data Week 2022 の内容を引用する形で、ロスアラモス (LANL)、ローレンス・バークレー (LBNL)、オークリッジ (ORNL) の各国立研究所、RPI 等における測定活動が報告された。LANL での測定として $^{16}\text{O}(n,\alpha)$ 反応、 $^{54,56}\text{Fe}$ 及び $^{58,60}\text{Ni}$ の (n,γ) 、 (n,xp) 、 $(n,x\alpha)$ の各反応、 ^{12}C 及び ^{27}Al の $(n,n'\gamma)$ 反応などの断面積測定について紹介があった。その他に RPI での活動として $^{54}\text{Fe}(n,\gamma)$ 反応の断面積測定、熱中性子散乱則のためのエタン及びメタンの全断面積測定等が、ORNL での活動として $^{90}\text{Zr}(n,\gamma)$ 反応の断面積測定が報告された。詳細については National Nuclear Data Week 2022 の HP をご参照くださいとのことである。

我が国については木村より、原子力機構 (J-PARC 及び Tandem 加速器) 及び京都大学 (KUR 及び FFAG)、ニュースバル放射光施設等での核データ測定状況を報告した。報告内容は、J-PARC での $^{155,157}\text{Gd}$ 及び ^{93}Nb の (n,γ) 反応断面積及び全断面積測定、熱中性子散乱則のためのキシレン等の全断面積及び二重微分散乱断面積の測定、京都大学の FFAG 加速器を用いて 103 MeV 陽子が厚い Pb 試料に入射した場合の二重微分収量の測定結果、KUR を用いた放射化法による ^{204}Pb の熱中性子捕獲断面積測定などであった。

3. 核データ評価活動の現状

(a) ENDF

2023 年 3 月に中性子入射の核データを更新した ENDF/B-VIII.1- β 1 を、4 月に熱中性子散乱則を追加した ENDF/B-VIII.1- β 1.1 を限定公開したことが説明された。今後は ENDF/B-VIII.1- β 2 を 2023 年 7 月 (実際は 8 月) に、ENDF/B-VIII.1- β 3 を 2023 年 9 月に公開予定で、最終的な ENDF/B-VIII.1 については 2024 年 2 月に公開予定との報告があった。また、現在、 ^{239}Pu の評価について、IAEA の INDEN、LANL 及び LLNL の評価のどれを採用するかを検討しているとの報告があった。現在は、 β 1 への収録に間に合わなかった Cu や Pb 等の検討を行っているとの説明があった。

(b) JEFF

欧州を中心とする JEFF に関しては、2023 年 2 月にテスト版である JEFF-4T2 を作成したとの報告があった。 ^1H について、20 MeV 以上の高エネルギー領域について JENDL-5 のデータを採用したとの報告があった。また、ナトリウム冷却高速炉を対象とした臨界性の比較を行い、 ^{58}Ni の修正の効果で実験値との差異が低減したとの報告があった。また、次のテスト版である JEFF-4T3 は 2023 年 12 月 5 日の公開を目指して整備を進めているとのことである。

(c) CENDL

2021 年から 2025 年の 5 年計画が始まり、CENDL のサブライブラリとして、818 核種に対する放射化ファイル、2350 核種を含む崩壊データファイルを整備したとのことである。また、光核反応データファイルについても評価中とのことである。次の CENDL-3.3 はウランやプルトニウムの反応データや核分裂収率を改訂しつつ、核種数が 400 程度となり、2025 年に公開予定との説明があった。

(d) JENDL

JENDL については、JENDL-5 の論文及びアップデートファイルの公開状況を説明した。また、次期 JENDL に向けた Mo 同位体などの中性子反応や黒鉛に対する熱中性子散乱則の評価について報告した。JENDL-5 のベンチマーク結果の論文や応用ライブラリ (ACE、MVP、放射化、MATXS、SCALE ライブラリなど) を公開したことを紹介した。

4. サブグループ活動の現状

(a) EG-GNDS (一般核データベース構造推奨定義)

GNDS フォーマットの最新規格である GNDS-2.0 のマニュアルが近日中に NEA より公開予定との報告があった。GNDS-2.0 のマニュアルでは、GNDS フォーマットの説明だけでなく、Appendix に GNDS フォーマットと従来の ENDF-6 フォーマットの対応表を用意するなど、より一般向けの内容となっているとのことである。今後は GNDS-3.0 の策定に向け、GNDS-2.0 の策定時に挙げられた課題の解決や、データの重複といったフォーマットの不具合を修正するとともに、参加者による新たなデータフォーマットの提案を行っていく予定である。また、各国の核データ処理コードの GNDS フォーマットへの対応状況が紹介された。これらの内、LLNL の FUDGE、ORNL の AMPX、西安交通大の NECP-Atlas が GNDS フォーマットに既に対応しており、JAEA の FRENDDY、LANL の NJOY が現在対応中との報告があった。

(b) EG-HPRL (高優先度核データ測定要求リスト)

メインリストに現在 100 個の反応が登録されていることが報告された。また、SG-46 の最終結果を受け、新しい反応の追加や要求精度の更新を実施する事が確認された。HPRL に人体の主要構成元素への陽子入射に関する反応断面積を追加する事が提案された。現状のメンバーとコミュニティが異なっており評価できるのか、等の意見が出た。また、新たな測定要求として ^{241}Am の中性子捕獲時に生成される ^{242}Am の基底状態とアイソマー状態への分岐比の入射中性子エネルギー依存性があげられた。重要性についての異論は出なかったが、要求精度を満たした測定が現実的に行えるかが議論となった。これら 2 件については提案者が正式な様式を提出し、メール等で議論を進めていく事となった。窒化ウラン燃料のための ^{15}N の中性子核データについてレビューが行われ、申請書を委員で共有することになった。

(c) SG-46 (核データの妥当性確認のための積分実験データの効率的かつ効果的な利用)

SG-46 の期間延長申請は行われていないが、主に最終報告書の作成と後継の SG の活動内容について議論するため、2022 年 11 月と 2023 年 5 月に会合が開催された。いずれの会合も NEA 本部での対面会議と Zoom によるテレビ会議のハイブリッド形式で開催された。2022 年 11 月の会合で最終報告書を 2 つのテーマ (手法論、TAR: Target Accuracy Requirement) に分けて作成する方針案と各テーマの構成案が示され合意された。TAR の報告書原稿案については 2023 年 5 月の会合の直前に関係者に配布され、関係者による確認作業が進められている。手法論の報告書原稿案については近日中に配布するとのことであったが少し遅れているようである。後継の SG の活動内容については、2022 年 11 月の会合で議長、副議長や参加者から複数のテーマが提案され、2023 年 5 月の会合で改めて議論が行われた。テーマとしては、共分散データの品質の検証方法、積分実験データの相関の重要性、微分実験データと積分実験データの同時調整、データ同化手法のオープンソースツールの作成・検証、データ同化における機械学習の応用、遮蔽実験データの活用等が挙げられているが、マンデートの作成にまでは至らず、2023 年 11 月頃にもう一度会合を開催して 2024 年 5 月の会合での提案を目指すことになった。

(d) SG-48 (熱中性子散乱則解析の進歩)

現在の進捗状況として RPI で実施された透過断面積の測定実験の他に、ORNL 及び米国海軍原子核研究所 (NNL) で行われている熱中性子散乱則 (TSL) の評価用コードの現状と検証、評価した TSL を核データライブラリに取り込む手法等について報告があった。本年度は最終年度になるため報告書の作成に関する議論があり、過去の TSL のサブグループである SG-42 を参考に報告書を取りまとめていく事となった。

(e) SG-49 (核データ評価の再現性)

会合は開催されず、WPEC 本会合で進捗報告のみコーディネーターの LANL の Herman 氏が行った。各国の核データ評価コードの比較などを行っていく必要があるとの意見があったものの、特にそのための活動を行っているといった説明はなかった。

(f) SG-50 (自動可読性、包括性、共有性を備えた実験反応データベースの開発)

会合は開催されなかったが、昨年度の会合から現在までにコードやデータ形式等に関する小会合が 4 回、全体会合が 1 回開催され、限定的なエントリで Layer 1 (EXFOR にはないが、文献に記載のある情報を追加したデータベース) への移行を実施するとともに、Layer 2 (標準データ等の情報を基に修正されたデータベース) の形式について議論が行われた。今後、Layer 2 でのデータ形式の拡張や Layer 1 から 2 へのデータ変換コードの開発が進められる予定である。

(g) 新 WG の提案 (非分離共鳴領域の評価、処理、検証)

テネシー大学の Sobes 氏より新たな SG の提案があった。本 SG の目的及び実施内容は、以下の通りである。

- 1) 重核や中重核に対する非分離共鳴領域 (URR) のエネルギー範囲が違うことによる応用への影響や、核データ処理コードによる URR データの差異の確認
- 2) 核データ処理や確率テーブルの差異の影響を検証可能なベンチマークの設定
- 3) 遮へいや臨界性計算における URR 不確かさの影響評価
- 4) 分離共鳴領域 (RRR) と URR の統一的な評価手法の開発

本 SG の設置について、出席者からは特に異論はなく、来年以降に SG-51 として活動を開始することとなった。また、多田と IAEA の Capote 氏が共同で本 SG の Monitor となった。また、本 SG のアウトプットとして、論文投稿が記載されていたことに対し、NSC 課長の Ivanova 氏より、SG で得られた成果を論文として投稿する場合には、論文の謝辞に本 SG での活動であることを明記することと、オープンアクセスとする必要があるとの指摘があった。アウトプットの詳細については、SG の活動中に検討を進めていくこととなった。

5. おわりに(所感)

2019 年以来 4 年ぶりに、対面形式で実施された WPEC 会合に参加した。新型コロナが 5 類感染症に移行するのとほぼ同じタイミングで開催され、実に久しぶりの外国出張となった。現地の会合の様子は、ハイブリッドによりオンライン参加がある以外は、新型コロナが拡がる前とほぼ変わらない様子であった。対面での会合ではコミュニケーションがとりやすく、目的以外の話題についても空き時間などの雑談で情報交換をすることが

でき、時間や費用の面では効率は悪いが、有益な面も多いと再認識した。(岩本修)

昨年 8 月より、WPEC 会合の NEA 担当者が、M. Fleming 氏から A. Holcomb 氏に代わった。新しい事務局体制での初めての WPEC 会合開催ということや、現地とオンラインのハイブリッドという作業の多さも加わったためか、WPEC 本会合へのオンライン参加情報の送付が遅れるなど手際の悪い一面が見られ、少々残念であった。(岩本信之)

昨年度に続き今年度もオンラインでの参加となった。ハイブリッドでの開催であったが、現地で議論が進んでいる場合にその様子がわかりづらいなど、オンライン参加のデメリットも感じた。相手の事が良くわかっている今はいいかもしれないが、将来委員の交代などで初見の人との議論となった場合、意思の疎通に手間がかかるようになる可能性があるとの不安を感じた。(木村敦)

久々に対面形式で WPEC 会合に参加することができた。欧米では、コロナ禍以前の状況にほぼ戻っていることがよく分かった。また、Web 会議ではなかなか難しい参加者との個別の議論や相談などを行うことができ、対面形式の重要性を実感した。費用対効果との兼ね合いもあるが、JAEA の存在感を示す上でも、重要な会議については対面形式での参加が望ましいと感じた。(多田健一)

今回もオンラインでの参加となったが、対面形式の方が、参加者同士の議論がスムーズに行われているという印象を受けた。SG-46 は途中で議長の交代があったこともあり、オンライン会議だけではなかなかうまく議論がまとまらないことが多くなっているが、以前のように対面形式での参加者が増えることで議論が進みやすくなるのではないかと感じている。(横山賢治)