

会議のトピックス(I)

第 33 回 NEA 核データ評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) 会合報告

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター

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

1. はじめに

OECD/NEA/NSC 主催の WPEC(Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation)の本会合及び関連するサブグループ(SG)、専門家グループ(EG)会合が、5月10日～5月14日の日程で、昨年度に引き続き Web 会議形式によって実施された。WPEC 本会合については、日本からの5名(岩本(修)、岩本(信)、木村、多田、東工大・片渕氏)を含め、米国や欧州、中国、IAEA、NEA から35名程度の参加があった。WPEC の議長は昨年度、今年度と岩本(修)が務めさせていただいたが、2年ごとに交代することになっており、次期議長に米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)の Brown 氏が就任する予定である。次回の会合は2022年の5～6月頃に開催する予定であるが、詳細な日程は調整することとなった。

なお、会合の発表資料等については下記 URL から入手可能である。

<https://oecd-nea.org/download/wpec/meeting2021/>

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中国、欧州、米国、日本から総括的に報告された。

中国

中国原子能科学研究院(CIAE)の Ruan 氏より CIAE、上海応用物理研究所(SINAP)、内蒙古民族大学(IMUN)等での研究の活動概況について報告があった。主な内容は、

- ・ 広東省に2017年に建設された核破砕中性子源である CSNS に関連して、 $^{232}\text{Th}(n,\gamma)$ 断面積測定、 $^{\text{nat}}\text{Li}$ の全断面積測定、 $^{\text{nat}}\text{Lu}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Tb}$ 等の中性子捕獲断面積測

定、

- ・ CIAE におけるタンデム加速器を用いた $^{56}\text{Fe}(n,n'\gamma)$ 、 $^{209}\text{Bi}(n,2n\gamma)$ 断面積測定、
- ・ SINAP における電子線加速器中性子源を用いた Ni、Fe、Ni-Fe 合金の熱中性子散乱則測定実験、

である。CSNS での実験については解析（バックグラウンドの評価など）がだいぶ進んできており、 $^{238}\text{U}(n,\gamma)$ 等の結果については近日中に論文化されるとのことであった。

欧州

EU 共同研究センター（JRC）の Plompen 氏より、欧州での核データ測定の状況について報告があった。以下に主な内容を示す。

- ・ JRC-Geel（ベルギー）での進捗として、 ^{90}Zr の全断面積及び中性子捕獲断面積測定、 $^{16}\text{O}(n,\alpha)$ 断面積測定、ドップラー効果影響評価のための高温試料での透過断面積測定システムの導入と W 試料を用いた予備測定等が報告された。
- ・ ドレスデン・ロッセンドルフ・ヘルムホルツセンター（HZDR）での進捗として、He や Ne、Xe、O 等の気体に対する高速中性子領域での断面積測定について紹介された。
- ・ CERN の n_TOF 実験施設については中性子ターゲットの交換のため停止中とのことで、これまでの実験のデータ解析の進捗状況が報告された。

また、実験に関連して核データの測定から評価・普及までを含む大型のプロジェクト（Supplying Accurate Nuclear Data for energy and non-energy Applications : SANDA）について進捗状況の報告があったが、コロナウィルスの影響により遅れているとのことであった。

米国

レンセラー工科大学（RPI）の Danon 氏から 2020 年に開催された Nuclear Data Week 2020 内の CSEWG（Cross Section Evaluation Working Group）meeting での測定に関する報告を紹介する形で米国での核データ測定の現状について報告があった。主な内容としては、

- ・ ロスアラモス国立研究所（LANL）での進捗として $^{54}\text{Fe}(n,p)$ 、 $^{56}\text{Fe}(n,\alpha)$ 二重微分断面積測定、 $^{12,13}\text{C}(n,\alpha_0)$ 断面積測定、稀少試料用の直径 1 mm の双穴コリメータを用いた全断面積測定システムの構築と予備実験の結果、
- ・ マサチューセッツ大学 ローウェル校（UML）における同校の原子炉からの熱中性子を用いた ^{55}Mn の即発 γ 線測定、
- ・ RPI における ^{235}U 及び ^{239}Pu の (n,xn) 反応断面積測定、0.5~5MeV 中性子に対する ^{181}Hf の全断面積測定、
- ・ ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）における PET イメージング用の

$^{75}\text{As}(p,x)^{72}\text{Se}$, $^{75}\text{As}(p,x)^{68}\text{Se}$ 断面積測定、医療用 ^{225}Ac 製造のための $^{226}\text{Ra}(n,2n)^{225}\text{Ra}$ 断面積測定、
である。2020 年の CSEG meeting の発表資料は同時開催された USNDP も含め、
<https://indico.bnl.gov/event/7233/timetable/#20201203.detailed> より取得することができる。興味のある方は是非ご覧いただきたい。

日本

木村より日本の活動状況について、

- ・ JAEA 及び高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の J-PARC センターでの活動として、高速中性子に対する断面積測定のための中性子フィルターの導入と予備実験の結果、シングルバンチ運転での $^{244,246}\text{Cm}$ の中性子捕獲断面積の測定結果、熱中性子散乱則のための重水や軽水などに対する異なる温度での全断面積及び二重微分断面積測定の結果、
- ・ JAEA の Tandem 加速器用いた代理反応による核分裂片の質量分布測定及び Th~Cf の各核種に対する核分裂時の即発中性子数の測定研究、
- ・ 京都大学の KURNS-LINAC を用いた Sn-Pb 合金の液体及び固体状態での全断面積測定研究、KUCA 及び KURNS-LINAC を用いた短寿命核分裂生成物の γ 線測定、放射化法による ^{181}Ta の中性子捕獲断面積、
- ・ KEK による兵庫県立大学の NewSUBARU での Au, Pb, Cu, Fe, Ti, Sn に対する (γ, xn) 反応の二重微分断面積の測定結果、等を報告した。

コロナの影響を明言したのは日本と欧州のみであったが、筆者個人の感覚としては、解析の結果は多数報告された一方で、新しい実験の報告は例年よりも少ない感じを受けた。

3. 核データ評価活動の現状

核データ評価についての現状が、各プロジェクトから報告された。

ENDF

2018 年に公開した最新の ENDF/B-VIII.0 について、PWR の反応度の燃焼度依存性に問題があることが分かり、解析を進めているとのことである。軽核、構造材データなどの見直しに加え、熱中性子散乱則等の評価を進めており、次期バージョン ENDF/B-VIII.1 を 2023 年に公開予定との報告があった。

米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) より軽水炉を模擬したピンセル体系での燃焼計算において、ENDF/B-VIII.0 では燃焼末期で ENDF/B-VII.1 に比べて実効増倍率が 500pcm

も低下することが報告されており、これらの問題を修正する予定である。また、熱中性子散乱の ENDF-6 フォーマットが改変された。米国の主要な核データ処理コードはこの修正に対応済み、もしくは対応予定とのことである。

JEFF

Pu 等のデータが改訂された次期バージョン JEFF-4.0 のテストファイル JEFF-4T0 が作成されたとの報告があった。最良の物理モデルを使い、ベンチマークの改善を目指しているとのことである。TENDL の大幅な採用を更に進めるようである。現バージョンの JEFF-3.3 で見られた Pu 溶液系燃料炉心の臨界性の過大評価が改善されたとのことである。JEFF-4 は 2024 年 12 月公開予定で、現在テストバージョンとして JEFF-4T0 を NEA の Gitlab 上から入手することができる。

CENDL

2020 年に公開された CENDL-3.2 について報告があった。135 核種のデータが新しく評価または更新され、全体で 272 核種となっている。臨界性のベンチマーク結果が示されていたが、前バージョンの CENDL-3.1 から大幅に改善され、他の最新のライブラリである ENDF/B-VIII.0 や JEFF-3.3 と遜色ない結果となっているようである。中性子以外のデータとして、266 核種を収録した光核反応データが近く公開されるとのことである。

JENDL

岩本（修）および多田が、最近公開した光核反応データファイル、重陽子反応データファイルの概要、2021 年度に公開予定の次期ライブラリ JENDL-5 の開発と検証積分データの整備状況について報告した。

光核反応データファイルは 2016 年に公開した JENDL/PD-2016 を更新したもので、JENDL/PD-2016.1 となっている。1096 核種を改訂し、2,684 核種を収録している。重陽子反応データファイルはこれまで JENDL で評価されていなかった重陽子反応について JENDL/DEU-2020 としてまとめたものである。特に加速器中性子源で重要となる Li, Be, C の同位体について、これまで開発を重ねてきた理論モデル計算コード DEURACS を用いて評価したもので、中性子スペクトルの実験値を良く再現する。今年公開を予定している JENDL-5 について概要を説明した。JENDL-5 では中性子データについてベンチマークテストを重ねつつ評価を進めている。その他、熱中性子散乱則、核分裂収率、崩壊データの新しい評価を行うと共に、荷電粒子反応、光核反応等の幅広いデータを収録する予定である。

4. サブグループ活動の現状

(a) EG-GNDS

本 EG は、評価済核データライブラリの新しい標準フォーマット（General Nuclear Database Structure: GNDS）の承認、普及等を行っていく長期のプロジェクトである。次期バージョンの GNDS-2.0 の作成に向けて、準備が進められている。ライブラリ全体の情報データである map 形式や熱中性子散乱則共分散の導入、ENDF-6 形式の完全なサポート及びバグフィックスが行われる。ENDF、TENDL については、GNDS 形式のデータが公開されており、また次の JEFF のテスト版では GNDS 形式のファイルが作成されている。GNDS-2.0 の最終版に向けた作業はまだ多く残っているものの、公開に向けた準備は整っているとのことである。

(b) EG-HPRL

HPRL(High Priority Request List)は改善を必要とする核データに関してその種類と要求精度、優先度、関連する実験・理論・評価などの文献をまとめたリストであり、本 EG は提出された核データの改訂リクエストに対してレビューとスクリーニングを担当し、実験・理論・評価プロジェクトをサポートするためにリストの管理を行っている。

前年からの進展に関しては 14 個の文献が新たに HPRL に登録されるとともに、リストにある ^{240}Pu の核分裂反応断面積は複数の測定結果が得られたことで“Pending new evaluation or validation”に、 ^{23}Na の非弾性散乱断面積は評価作業が終了したことで“Completed”にステータスが変更された。新規登録については、医療及び核融合分野で有用な反応のレビューが進んでいる。

また、本グループの Web ページの更新状況について NEA の IT 担当者から報告があった。これは 2020 年 10 月に行われた NEA の Web ページの更新に伴う改定である。現在は暫定的に旧版のページにリンクを張っている状況であり、検索サイトからは直接検索できない状態になっていることが報告された。グループとして移行作業をできるだけ早く完了させることを要望した。

現在の議長であるフランス原子力・代替エネルギー庁（CEA）の Dupont 氏から、次のマンダートの更新となる 2022 年を機に議長を交代したい旨の申し出があり、新任の議長についても話し合いを進めることとなった。

(c) SG-45

本 SG は核データライブラリの妥当性確認を目的としており、ICSBEP や IRPhEP などの臨界実験に関する実験データベースを基に作成した臨界実験解析の入力データの品質向上を目的としている。本 SG では、相互比較のため、各組織の入力データを NEA の Gitlab サーバ上で集めているが、昨年度は各組織からのモンテカルロ計算コードの入力の

追加は無かったとの報告があった。また、LANL より、同研究所にて実施中の MCNP 入力に対する品質保証 (QA) の進捗状況について紹介があった。現在、Pu の全部と高濃縮 U の約 50% の入力に対する QA が完了した。QA を実施した入力の内、20% 以上で入力の修正によって実効増倍率が変化しており、その内 17 ケースでは 500pcm と大きな差異が見られた。今後は感度解析システム Whisper 用の入力の QA についても取り組む予定で、将来的には公開することを検討しているとのことである。

なお、本 SG の活動は 2021 年度が最終年度であり、今後は報告書を作成していく予定である。報告書に記載するため、入力を提供した IAEA、オランダ原子核研究・コンサルタントグループ (NRG)、JAEA が提供した入力の概要などについての説明資料を準備することとなった。

(d) SG-47

本 SG は、NEA/NSC/WPRS で取りまとめられている遮蔽実験に関するデータベース (SINBAD) の実験解析を用いて核データの検証に役立てることを目的としている。最近の活動として、JAEA や中国の CIAE から新たな実験が SINBAD に登録、もしくは登録予定であることが紹介された。また、4 月 20 日に CAD データに関する会合を開催し、SINBAD に登録する入力データとして CAD データを活用していくことが示された。また、SINBAD に登録するため、中国やドイツなどで評価が進められている放射化実験の概要について紹介があった。また、SINBAD に登録する実験データを増やすため、核融合分野や加速器分野のコミュニティに働きかけていく必要があるとの意見が出された。今後は新たに SINBAD に登録する実験データの評価や、レビュー、登録する実験データの優先順位付けについて議論する会合を開催していく予定である。

(e) SG-48

本 SG は熱中性子散乱則 (TSL) データの処理のために各機関が独自に開発しているツールをコミュニティで利用できるよう検討することや、EG-GNDS と協力して TSL データの収録形式を決定することを目的としている。昨年度からの進捗として、ThO₂ や ZrH、LiD などの新たな評価や、パルス中性子の減衰を測定する実験など TSL データの検証に適用できる実験についての報告があった。また、従来は干渉性弾性散乱と非干渉性弾性散乱のどちらか一方しか評価済み核データファイルに入れられなかったが、この両者を入れられるように核データのフォーマットが拡張されたことが報告された。この核データフォーマットの修正に対し、主要な核データ処理コードで、本修正への対応を進めているとの報告があった。今年度は TSL のデータ検証、不確かさ評価及びデータフォーマットのレビューと資料の作成を実施する予定である。

(f) SG-49

本 SG は核データの品質保証のため、核データ評価者の評価に対する考え方や評価方法をそのまま残すための枠組みを作ることを目的としている。前回会合で持ち越しとなった共鳴領域の評価についての議論があり、共鳴解析コードで解析したデータのリポジトリへの収録について、評価の流れや現在検討中のリポジトリ構造が説明された。評価に使用するために実験データベース EXFOR から取得したデータが変更される可能性があるため、どのデータを評価に使ったか追跡可能となるようデータに DOI を付けることやデータをハッシュ関数に基づくファイルシステムで管理することなどが議論された。また、評価済み核データを再現可能とするためのアウトライン構成について説明があった。熱中性子散乱則のリポジトリ構成が示され、GitHub にまとめていることが紹介された。核反応コードシステムの NEA リポジトリへの格納について進捗が報告された。

(g) SG-50

本 SG は核データ評価の一環として行われる実験データの評価作業に対する労力の低減を目的に、新たな実験データベースの開発を目的として作業を実施している。中性子捕獲断面積、核分裂断面積、全断面積、非弾性散乱、放射化、核分裂収率等の実験の種類ごとにグループが作られ、新たな実験データベースに格納すべきデータの種類とそのフォーマット（入力案）についての議論が進められており、今回の会合では、各グループの代表から実験ごとの入力案が紹介された。今後、6月をめどに実際の実験データをもとに入力案の例を作成し、より深い議論を行っていく事となった。

5. おわりに(所感)

昨年度に引き続きオンラインでの開催となった。オンラインでの会議もずいぶん慣れてきたが、海外との会議となると時間帯が深夜となり、また、コミュニケーションの取りづらさも残る。新型コロナの影響で、実験などは進めるのが難しい部分もあるようである。なかなか収束の見通しが立たないが、来年度の会合は現地開催も視野に入れつつ準備が進められるようである。

執筆者の一人である岩本（修）は、議長の役割が今年度で終わり、若干肩の荷が下りたところである。