

会議のトピックス(I)

第 34 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

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

菅原 隆徳

sugawara.takanori@jaea.go.jp

横山 賢治

yokoyama.kenji09@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13日の日程で、パリの OECD カンファレンスセンターと Web でのハイブリッド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40名近い参加があった。アジアからの参加者はすべてオンラインであったが、米国からは現地での参加が多数あった。横山と菅原は SG-46 会合に参加した。

次回の会合は 2023 年の 5 月中旬に開催する予定である。今年度で終了となる SG が多くあるとの指摘があり、来年度以降に新たに SG で実施すべき内容について議論したが、結論は持ち越しとなった。各自で新たな SG の案について検討し、来年度の会合にて議論することとなった。

2. 核データ測定活動の現状

(a) 中国

中国からは中国原子能研究院(CIAE)の X. Ruan 氏より高エネルギー物理研究所(IHEP)の核破砕中性子源(CSNS)、CIAEのタンデム加速器、上海原子核研究所などでの断面積測定研究の活動概況が報告された。広東省に2017年に建設された核破砕中性子源であるCSNSを用いた測定研究が積極的に進められておりその報告が中心であった。同施設を用いた ^{169}Tm , ^{232}Th , $^{\text{nat}}\text{Se}$ の中性子捕獲断面積測定、 $^{\text{nat}}\text{Li}$, $^{\text{nat}}\text{Al}$ の全断面積測定等の測定例が報告された。また、中国科学院上海応用物理研究所のシンクロトロン放射光施設(Shanghai Synchrotron Radiation Facility)に建設中のレーザー逆コンプトン γ 線源の建設状況について、2022年末の完成を予定しているとの報告があった。同施設を用いた光核反応断面積の測定研究についての紹介があった。

(b) 欧州

欧州委員会共同研究センター(JRC)の A. Plompen 氏より、欧州原子核研究機構(CERN)の n_TOF 実験施設、JRC-Geel (ベルギー)、フランスの国立核物理研究センター等での実験活動状況について報告があった。CERNの n_TOF 実験施設及び JRC-Geel の電子加速器中性子源である GELINA での TOF 法による測定を中心に報告された。具体的な測定内容としては n_TOF での $^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})$ 、 $^{72}\text{Ge}(\text{n},\gamma)$ 、GELINA での $^{238}\text{U}(\text{n},\text{n}'\gamma)$ 、 $^{90}\text{Zr}(\text{n},\gamma)$ などが示された。また、JRC-Geel で試料を作成しそれを n_TOF で測定するなど研究所間での連携・分担についても報告があった。

(c) 米国

レンセラー工科大学(RPI)の Y. Danon 氏から US National Nuclear Data Week 2021 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、ノートルダム大学等における測定活動が報告された。日本の核データ研究会の米国版である Nuclear Data Week 2021 (CSEWG2021 : <https://indico.bnl.gov/event/13121/>) での Topic を紹介する形で行われ、LANL での $^{16}\text{O}(\text{n},\alpha)$ 、 $^{56}\text{Fe}(\text{n},\text{p})$ 、 $^{238}\text{U}(\text{n},\text{n}'\gamma)$ 断面積測定、ORNL の $^{90}\text{Zr}(\text{n},\text{tot})$ 断面積測定、レンセラー工科大での $^{54}\text{Fe}(\text{n},\gamma)$ 断面積測定等多くの機関、大学での研究の進捗状況が報告された。CSEWG2021 の詳細は上記のアドレスから確認することが可能である。

(d) 日本

木村より、原子力機構の装置での測定活動の現状として、J-PARC における Nb の全断面積・中性子捕獲断面積測定実験、C や重水などに対する全断面積・散乱断面積測定実験、Tandem 加速器を用いた代理反応による核データ測定実験等を報告した。また、原子力機

構以外での活動状況として、京大炉を用いた ^{237}Np の捕獲断面積測定実験、京都大学の FFAG を用いた厚いターゲットに対する中性子収量の測定実験、東京工業大学のペレットロン加速器を用いた keV 中性子に対する Re の捕獲断面積測定実験、ニュースバル放射光施設等での Au, Pb, 等に対する中性子生成の二重微分断面積測定実験等の現状を報告した。

3. 核データ評価活動の現状

(a) ENDF

IAEA で実施している国際核データ評価協力 INDEN プロジェクトの枠組みで、 ^{235}U 、 ^{238}U や ^{239}Pu などのアクチニド、Fe、Cu 同位体などの構造材が新しく評価されたとの報告があった。また熱中性子散乱則についても、多くの評価が進んでいる。次期の ENDF/B-VIII.1 の公開は COVID などの影響により、これまでの予定から 1 年遅れて 2024 年 2 月になるとの説明があった。ENDF/B-VIII.0 の積分テストを改善すべく、主要重核や構造材などの中性子反応データが改訂されている印象である。他には熱中性子散乱則の評価が活発に行われているようである。

(b) JEFF

2022 年 2 月にテスト版である JEFF-4T1 が作成され、現在の JEFF-3.3 から 151 核種の改訂・追加がされているとの説明があった。テスト版のベンチマークテストが進められ、主要アクチニドや構造材などが改訂され、7 月に次のテスト版 JEFF-4T2 が作成される予定である。データの改訂については ENDF/B-VIII.1 と似たような傾向があった。大きく異なる点は、TENDL から大量にデータを取り入れて完備性を高めようとしていることである。

(c) CENDL

中国では 2021 年～2025 年の 5 年計画で、次期 CENDL に加え、中性子放射化、崩壊データなどの開発が進められているとの紹介があった。CENDL の最新版は 2020 年 6 月に公開された CENDL-3.2 である。これまでに得られた CENDL-3.2 についてのフィードバックを基に、昨年からは新たな開発が始まったとのことである。中性子放射化ファイル CENDL-CNAF は 818 核種を含むライブラリで、共鳴解析や理論モデル計算などを用いて評価されているとのことである。崩壊データファイル CENDL-DDL は核分裂生成物領域の 2,350 核種のデータである。

(d) JENDL

2021 年 12 月に公開した JENDL-5 の評価及びベンチマークテストの結果について報告した。JENDL-5 では最新の測定データ等を基に中性子データを大幅に改訂すると共に、

収録核種数の充実、エネルギー範囲の拡張や放射化データの統合、熱中性子散乱則及び核分裂収率の独自の評価、崩壊データの大幅更新などを行った。さらに、これまで公開してきた荷電粒子や光子による反応についてもサブライブラリとして汎用ファイルに取り込み、多様な利用に向けた汎用性の高い最新の核データライブラリとなっている。原子炉関係のベンチマークテストについても、臨界性の改善やマイナーアクチニドの核分裂比の測定などが改善している。

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。熱中性子散乱則データの収録などが強化された次期バージョンの GNDS-2.0 が承認され、近く公開される予定である。次期バージョンの GNDS-3.0 の改訂内容についても議論がなされた。データ構造を定義する JSON スキーマと呼ばれるデータの開発が、第一の優先順位となった。これは GNDS を扱うプログラムを自動的に生成するために利用したいとの意図である。2 番目の優先順位としては、複数個所でデータが定義されるなどの冗長性を減らすことが挙げられた。その他、核構造データベース ENSDF との連携や、ENDF 形式から引き継がれている良くない部分の改訂などが予定されている。今後は LLNL の C. Mattoon 氏が議長となることが承認された。

(b) EG-HPRL

High Priority Request List (HPRL)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。

議長が交代となり、新たにフランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)の D. Bernard 氏が就任した。メイン及びドシメトリリストに対して 7 本の文献が新たに登録された。メインリストにエントリされていた ^{241}Am の捕獲断面積及び ^{235}U と ^{239}Pu の核分裂即発ガンマ線スペクトルデータについて“Completed”にステータスに変更され、終了となった。Li への重陽子入射による ^3H と ^7Be 生成断面積、 ^{167}Er の 100 eV 以下における捕獲断面積、高速中性子エネルギーにおける ^{35}Cl の(n,p)反応断面積が新たにリストに追加された。また、HPRL の新しいウェブサイトを開発中であり、公開は 6 月中旬頃を予定している。(しかしながら、8 月末現在まだ古いままのようである。)

Mandate の延長のために活動内容が議論され、Deliverables として新たに会議等におけるアウトリーチ等を加えることが了承された。

(c) SG-45

本 SG は、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入力データの品質向上を目的としている。

本 SG の活動は 2021 年度が最終年度であり、2022 年度中に作成予定の最終報告書の文案について議論した。報告書については、原子力機構から提供した MVP 用の入力データに関する説明資料を参加者の多田が作成することとなった。

また現在、臨界実験を対象とした MCNP の感度解析ツール用の入出力を LANL が整備しており、その出力データ形式について議論があった。今後の利便性や汎用性を考えて、JSON スキーマ形式でデータを提供して欲しいとの要望があったが、出力形式等については LANL 内で今後検討していく予定とのことである。

(d) SG-46

本 SG では、積分実験データの効率的かつ効果的な利用を目指し、様々な原子炉システムを対象とした TAR (Target Accuracy Requirement) について議論を行っている。

今回の会議では、MYRRHA 炉心の設計要求精度から核データ要求精度を逆算した結果が SCK CEN により紹介された。またフランス IRSN から、熔融塩高速炉 (MSFR) を対象とした感度解析の結果が報告された。熔融塩として塩化物を用いるシステムにおいては、 ^{35}Cl の(n,p)反応断面積が注目されている。

本 SG の活動は今年度で終了となるが、今後の活動については議論が収束せず、2022 年秋にミニワークショップを開催して議論することとなった。

(e) 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) を活用した核データの検証を目的としている。

本 SG の活動は 2021 年度が最終年度であり、今後報告書を準備するとの報告があった。報告書については、Nuclear Data Sheets、もしくは国際会議への投稿を検討することである。また、議長の英国原子力公社(UKAEA)の I. Kodeli 氏が報告書の目次と執筆者を提案した。

また、SINBAD 関連の活動として、WPRS/EGPRS 傘下に SINBAD タスクフォースが設置されたことが報告された。本タスクフォースは、SINBAD を改善することが目的で、レビュー体制の設立や既存の実験データの品質向上、新しい実験データの追加などを行っていく予定だとのことである。

SINBAD の利用例として、UKAEA で開発している核融合炉解析の自動検証システムの紹介があった。本システムでは、SINBAD に登録されている実験データを元に MCNP の入力や CAD データを整備しており、MCNP や PHITS、FLUKA、Serpent などの入力作成、

実行、結果の編集が全て自動でできるとの報告があった。

(f) 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で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にすることや、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、引き続きパルス中性子からの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新たな実験の報告、ウラン金属、Be などの新たな評価に関する報告、ORNL、CEA、ノースカロライナ州立大学などで実施している TSL の評価用コード開発に関する報告が行われた。2022 年は本サブグループで議論されたことを取りまとめていく予定である。

(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を低減する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。

本 SG で開発している実験データベース (MEDUSAL (仮称)) は、核データ評価をサポートするための実験データインプットを提供することを目的としている。現在、核データ評価・実験・モデル開発・機械学習や人工知能によるデータ確認・核データライブラリ検証などの観点からデータベースに関する要求事項や仕様などを議論しつつ、まとめている。現在は実験核反応データベース (EXFOR) から本 SG が提案しているデータ形式を用いた Layer 0 へのデータ移行に加えて、Layer 0 から EXFOR にはないが文献に記載のある情報を追加した Layer 1 へのデータ移行を行うためのコード開発がそれぞれ進められている。また、Layer 1 では本 SG のデータベースへアクセスするための API が開発されている。

5. おわりに (所感)

今年度は現地とオンラインとのハイブリッド形式で開催された。日本からの参加はすべてオンラインであったが、画面を通して見る現地での会議の様子はコロナ前とほとんど変わっていないようであった。ただし、会議最終日は、帰国のための PCR 検査が遅れたようで、会議の開始時間が予定より遅くなるなど、コロナの影響は確実に見て取れた。また、今回新しい SG の提案が無かったが、これも会議等で会う機会が減ったことが悪く作用した結果かもしれない。今後もハイブリッド形式での会議は続くであろうが、現地とオンラインでの参加をうまく併用していく必要があるだろう。(岩本 修)