

会議のトピックス(I)

構造材核データに関する INDEN 会合の概要報告

日本原子力研究開発機構

核データ研究グループ

岩本 信之

iwamoto.nobuyuki@jaea.go.jp

1. はじめに

国際原子力機関 (IAEA) が主催した構造材核データに関する INDEN (International Nuclear Data Evaluation Network) プロジェクトのコンサルタント会合に参加した。この会合は、オーストリア・ウィーンにある IAEA 本部にて、平成30年10月29日から11月1日の4日間に亘って開かれた。参加者は、S. Kopecky 氏 (EC-JRC-IRMM)、V. Sobes 氏 (ORNL/米国)、D. Bernard 氏 (CEA/仏国)、G. Schnabel 氏 (Univ. Uppsala/スウェーデン)、Y. Chen 氏、Z. Ge 氏 (CIAE/中国)、G. Nobre 氏 (BNL/米国)、D. Rochman 氏 (PSI/スイス)、M. Kostal 氏 (Research Centre Rez/チェコ)、S. Simakov 氏 (KIT/ドイツ) と筆者に、事務局の A. Koning 氏、R. Capote 氏、A. Trkov 氏を加えた14名であった。INDEN は、OECD/NEA の WPEC に設置された SG-40として行っていた評価済核データライブラリの国際協力パイロットプロジェクト (CIELO) の後継として、IAEA で行う活動の名称である。CIELO では、重核 ($^{235,238}\text{U}$, ^{239}Pu)、構造材 (^{56}Fe)、軽核 (^1H , ^{16}O) から6核種のみが評価対象となっており、「パイロットプロジェクト」と謳われた通り限定的であった。INDEN を開始した目的は、各国で別々に行っている核データ開発について重複箇所を整理し、幅広く合意の取れた評価済核データを開発することであり、これは CIELO の設置目的ともほぼ一致している。今回参加した会合は前述の通り構造材を対象としているが、重核を対象とした INDEN-I (平成30年5月8日から11日に会合開催) や軽核を対象とした INDEN-II (平成30年8月30日から31日に会合開催) も CIELO と同様に設置され、すでに議論が始まっている。

2. 会合の概要

本会合の主旨は、構造材 (鉄、クロム、ニッケル、銅など) に対する共鳴領域のエネルギー上限や共鳴より高いエネルギー領域における共鳴状断面積などの評価について議論を深めることにある。構造材は閉殻構造を持った核種領域に近いので、励起レベルの

密度が比較的小さく、1MeV 以上の中性子エネルギー領域においても弾性散乱や非弾性散乱断面積には共鳴に由来する断面積の起伏が見られる。このような構造は中性子のフラックス分布や漏洩、散乱に大きな影響を与えるため、統計モデルで計算されるような滑らかな断面積として表現するのではなく、形状をある程度再現して扱うことが非常に重要となってくる。会合では、初日から2日目午前には各機関からの研究概要の説明、2日目午後から3日目にかけては研究概要に関する議論があり、最終日には議論が議事録にまとめられた。以下では、各機関からの研究概要の一部を簡単に紹介する。詳細については以下のホームページに発表資料が掲載されているので、興味のある方はご覧ください。なお、本会議の会議録は INDC(NDS)-0770として公刊される予定である。

<https://www-nds.iaea.org/index-meeting-crp/CM-INDEN-III-2018/>

Sobes 氏は、ORNL で実施している¹⁶O、^{28,29,30}Si、³⁵Cl、⁴⁰Ca、^{63,65}Cu、^{140,142}Ce、^{155,156,157,158,160}Gd、^{156,158,160,161,162,163,164}Dy、^{180,182,183,184}W、²³³U、²³⁹Pu、⁵¹V、¹³⁹La、¹⁸¹Ta に対する中性子共鳴解析について、これまでの経過と今後の計画を報告した。特に、印象深かったのは、構造材核種ではないが、¹⁴²Ce について1.1527keV と1.657keV 共鳴の中性子幅を1000倍過大に収録していたとの報告である。Atlas には確かにそれぞれの中性子幅として $g\Gamma_n=50$ 、10 eV との記載があり、これをそのまま使ったと思われる。ちなみに、JENDL-4.0は独自の評価がされており、このような間違いはなかったが、1.657keV 共鳴の収録はなかった。Cu については捕獲実験データも加えて、100keV を超える中性子エネルギーまでの共鳴パラメータを評価したことが報告された。しかしながら、積分ベンチマークの結果を優先して、100keV 以上は共鳴として扱わなかったとの説明があった。

Chen 氏は CIAE で行われた⁵⁸Ni と⁵⁶Fe に関する評価を報告した。⁵⁶Fe については CIELO プロジェクトのために行った成果であり、ICSBEP にある鉄に感度のある臨界性ベンチマークとの比較では、CENDL-3.1と比べて改善していることが示された。また、実験では、China Spallation Neutron Source 施設を用いた共鳴領域における中性子透過や捕獲実験が今後可能であることやスラブサンプルを使った中性子漏洩スペクトルの測定による貢献の可能性も紹介していた。

Nobre 氏は、クロムのデータには ENDF/B-VI.1の時点での評価が含まれており、30年程度更新されていないところがあることを説明した。ただし、共鳴パラメータについては2010年に共鳴解析コード SAMMY による解析が行われ、ENDF/B-VII.1以降にはこのデータが収録されている（ちなみに、JENDL-4.0では^{52,53}Cr に同じデータが収録されているが、マイナーな^{50,54}Cr については公開までにデータが間に合わなかったため、JENDL-5で更新予定である）。新しく評価した^{52,53}Cr に対するベンチマーク結果が報告され、熱領域に感度のあるベンチマークについては ENDF/VII.0より臨界性が低めに出る

傾向になっていた。 ^{53}Cr の共鳴領域における捕獲断面積については、5keV近傍のORELAデータへの再現性が悪いことが示され、透過・捕獲実験データに対して再共鳴解析が行われており、今後も積分ベンチマークなどと合わせて解析・検証されるようである。

Simakov氏は、KfKやNISTで行われた ^{252}Cf 中性子源を使った鉄球ベンチマークに対する解析結果を報告した。ベンチマーク実験とENDF/B-VIII.0を用いた解析の結果、漏洩中性子スペクトルにおいて1.5MeVより大きなエネルギーではNISTと比較対象としたIPPEは整合しているが、これらと比べてKfKのデータは厚みが増すにつれて差異が大きくなり、20%程度ずれていた。ベンチマーク計算においても実験手法や体系の吟味などを行い評価データの検証に使えるかどうかを確認する必要性は当然あるのだが、このような知見をまとめて残しておくことがINDENを行う意義として重要であると感じた。

Koning氏は、TALYSによるNi同位体の評価について報告するとともに、EXFORデータベースなどに収録された測定データの良し悪しを定量的に評価した「実験の核データ評価」という概念について説明した。これは通常、評価者が測定データについて評価する場合に、測定について書かれた論文を確認したり、周りの測定データとの比較をしたりして、どの測定データがもっともらしいかを判定していることと基本的には同じであるが、それを数値化しようというものである。こうしておけば、再度同じ評価をする場合に、測定データを評価したデータを見れば十分となり、作業能率が上がることは確かである。また、今後のTENDLの評価については、例えば、共鳴由来の起伏を持った非弾性散乱断面積に対する測定データの自動取り込みや線量評価用データの導入など、新しい評価手法を試しながら、TENDL-2019の開発が続けられているようである。

Trkov氏からは、CIELOで評価された ^{56}Fe の核データ（ENDF/B-VIII.0に採用）に対する問題点とその対処法について説明があった。CIELOのデータにはDT中性子源や ^{252}Cf からの核分裂中性子を使った厚い鉄球からの漏洩スペクトルの再現に問題があり、これは一部のエネルギー領域で大きな弾性散乱外断面積に起因していると考えられるとのことであった。JRC Geelでの新測定データは大きな弾性散乱断面積を支持していることから、非弾性散乱断面積が2MeVより高エネルギー側で大きくなっている可能性が考えられた。これらを改善した新データがすでに用意されており、臨界性ベンチマークでも良いパフォーマンスを示しているとのことであった。この新データを横目に見つつ、JENDL開発を進めることになりそうである。

筆者は、JENDL-4.0における構造材核データの現状について報告した。JENDL-4.0の評価で全面改訂を行った $^{50,51}\text{V}$ や $^{52,53}\text{Cr}$ を除くと、大部分の構造材核種はマイナーな改訂が行われてきたものの、ベースの評価自体は実に30年前に行われたものがほとんどであった。Ni同位体を例に再評価が必要である旨を示し、本プロジェクトへ貢献できることを説明した。また、 $^{63,65}\text{Cu}$ の高速中性子エネルギー領域については、CCONEによる

評価がすでに行われていたので、この評価結果と FNS における積分テストに適用した結果も報告した。

3. おわりに

最終日には、各機関がこれから評価を行う計画のある核種のリストアップとその核種の重要性について議論が進められた。その結果、Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zr と多数の核種が評価対象に挙げられた。もちろん評価は各機関が計画している核種のみで良いのだが、CIELO の場合と異なり、ほとんどの構造材核種について協力して進めようというスタンスとなり、このプロジェクトで纏めきれぬのか少々怪しくなってきた。今後、評価が終わった核種については、提供される積分ベンチマークへ適用し、パフォーマンスがチェックされることになる。また、各機関が持つベンチマークへも適用し、結果を報告することになった。このプロジェクトは今後 1 年毎に会合を開催し、進捗を確認していくことになりそうである。最終的にどのような成果物を想定しているのかという点はまだ曖昧であり、現時点では幅広く合意の取れた核データとするための明確なビジョンは見えていない。とりあえず核データを評価しないと話は進まないようである。

筆者は CIELO の構造材核データ評価に関する会合には参加していなかったため、どのような議論を経て評価が行われたのかについて、これらの情報を持っていなかった。しかしながら、今回の会合に参加したことで、世界の核データ研究に携わる研究者がどの辺りを気にしているのか情報を得ることが出来た点は非常に有意義であった。