

▼ ▲ 会議のトピックス(III) ▼ ▲

科学と技術のための核データ国際会議 : ND2016

炉物理関連

(積分実験、核データの応用、実験手法、核データ処理)

京都大学 佐野 忠史

t-sano@rri.kyoto-u.ac.jp

北海道大学 千葉 豪

go_chiba@eng.hokudai.ac.jp

原子力機構 多田 健一

tada.kenichi@jaea.go.jp

本会議の研究分野のうち、炉物理に関する積分実験、核データの応用、実験手法及び核データ処理に関する発表の一部について報告させて頂く。

INL の J. Bess 氏が「Contributions to integral nuclear data in ICSBEP and IRPhEP since ND2013」と題して、ND2013 開催時からの ICSBEP、IRPhEP ハンドブックの拡充状況について報告した。DU、Pb 反射体付きの PuC 燃料を用いた高速炉 ZPR-3、HEU 燃料に Be や BeO が希釈材として用いられた DU 反射体付体系のデータ、ZPR-12 で行われたナトリウムを用いた中性子ストリーミング効果の評価のための実験などが新たに加えられたようである。ICSBEP では、Be 核データに感度があるいくつかの積分データにおいて不整合（データ A ではライブラリ A の再現性が良く、データ B ではライブラリ B の再現性が良い、といったもの）が見られるため、Be 関係のデータが拡充されるのは好ましいことである。

INL の M.Marshall 氏が「Summary of ORSphere critical and reactor physics measurements」と題して、ORNL で行われた金属 HEU 球の臨界データ (ORSphere) の整備状況に関して報告した。このデータは HEU-MET-FAST-100 として ICSBEP に収納されるとのことである。また、臨界以外のデータも IRPhEP ハンドブックに収納される模様である。ND2013 のときには GODIVA との非整合性が報告されていたが、その問題は解消された模様であ

る。

ANL の P. Romano 氏が「Nuclear data processing capability in OpenMC」と題して、MIT が開発しているモンテカルロコード OpenMC のための核データライブラリ作成に関する研究を報告した。OpenMC では、On the fly でドップラー拡がりや非分離共鳴の計算を行えるようになっているとのことだが、これをモンテカルロコードの事実上の標準となっている ACE フォーマットのファイルで行うことは難しいらしい。そこで、独自にモンテカルロ用の核データファイルフォーマットを開発しているようである。また、OpenMC は中性子と光子の結合計算の開発を進めているようである。

また、NJOY21 と OpenMC のコラボレーションを望んでいるとのこと、今後は NJOY21 と OpenMC を組み合わせ、核データライブラリから直接核計算を実行するシステムへと拡張していくことが予想される。

CEA/Cadarache の B. Geslot 氏が「Americium-241 integral radiative capture cross section measurement in thermal domain using the oscillation technique in the minerve reactor」と題して、MINERVA で行われた Am-241(n, γ)断面積検証のためのサンプル反応度測定プログラム AMSTRAMGRAM の報告を行った。PWR と比べてかなり軟らかいスペクトルのもとで測定されたようである。モンテカルロコード TRIPOLI による計算では、JEFF-3.1.1 では 10% 程度の過少評価であったが、JEFF-3.2 では 0.5% の再現精度となったとのことである。今後、高速中性子場での実験も予定されているようである。

欧州で開発を進めている多目的炉 MYRRHA に関連した ADS 関係の報告もいくつかあった。SCK.CEN の A. Stankovskiy 氏は「Impact of intermediate and high-energy nuclear data on the neutronic safety parameters of MYRRHA accelerator driven system」という講演で、200MeV 以上の核データや、Pb や Bi の neutron multiplicity の不確かさの情報が必要であることを主張した。また、冷却材の放射化および核破砕反応性生物に起因する毒性評価の重要性が言及され、核破砕反応生成物の収率データの精度に関するコメントが会場からあった。報告者は MYRRHA については殆ど知識が無かったが、多目的利用可能な実験施設ということで、100MWth の高速炉にもなることなど、実現すれば欧州の原子力研究の起爆剤となりうるであろう（2020 年に施工予定とのこと）。

また、別な発表として、冷却材に使われる Pb、Bi の核データ検証のための LLNL 球や SINBAD 等の漏洩スペクトルデータを用いたベンチマーク計算や、ランダムサンプリング法による崩壊熱不確かさ評価等の報告があった。

CEA/Cadarache の A. Rizzo 氏が「Work plan for improving the DARWIN2.3 depleted material balance calculation concerning some important isotopes for fuel cycle」と題して、CEA の核種

生成量計算の現状とその改善案について報告した。現状のツールとライブラリ (JEFF-3.1.1) では、PIE データの解析において、Cm-244 生成量は 6% 程度の過少評価、Eu-154 については 6% 程度の過大評価、Cs-137 については 4% 程度の過少評価となっており、これらを核データ調整により改善する計画であることが紹介された。

OECD/NEA の O. Cabellos 氏が「Benchmarking and validation activities within JEFF project」と題して講演を行った。JEFF の開発では、いくつかの WG が組織されていることが紹介されたが、その中に、「Processing&Verification」と「Benchmarking&Validation」の 2 つの WG があることが目を引いた (日本では両者が一体化している感があるので)。また、ICSBEP ハンドブックのデータ等を用いたベンチマーク計算が KAERI、PSI、CEA、NRG、IAEA、LANL 等、多様な機関で行われ、JEFF の検証作業に活用されているとのことである。

BNL の D. Brown 氏が「Preparing for ENDF/B-VIII」と題して ENDF-B/VIII の開発状況について報告があった。ENDF/B-VIII の β 版の最新版は 2016 年 8 月 19 日にリリースされ、以前のバージョンに比べて核分裂収率が充実化したとのことである。また、ENDF/B-VIII の正式版の公開については、2017 年の夏頃を予定しており、ENDF-6 フォーマットと GND フォーマットの二つのフォーマットで公開するとのことである。

また、JEFF-3.3 の β 版についてもいくつか臨界実験解析や遮蔽実験解析の比較結果について報告があった。OECD/NEA の Inanova 氏は「Methodology and issues of integral experiments selection for nuclear data validation」と題して、JEFF-3.3T2 を用いた積分実験の結果について説明した。その結果、JEFF-3.3T2 は従来の JEFF-3.2 に比べてよくなっているとのことである。

CEA の C. Jouanne 氏が「Current status of the verification and processing system GALILEE-1」と題して、CEA で開発中の核データ処理システム GALILEE-1 の開発状況について報告した。現在は核データ処理手法の R&D のために開発しており、Doppler broadening などの各機能をモンテカルロコードに適用することを検討しているとのことであった。また、共鳴再構成では R-matrix の解析も可能になっている。

また、JEFF の検証のため、共鳴の角度モーメントのチェックなどの核データのチェック機能も内包しているとのことである。JENDL-4.0、ENDF/B-VII.1、JEFF-3.2 等について核データの問題点について調査した結果、JENDL-4.0 では γ production データが無いという問題が多いことが分かった。

今後、確率テーブル作成機能や熱中性子散乱則の処理、ACE ファイル作成機能の開発を進め、2018 年に公開予定とのことである。

モントリオール工科大学の A. Hebert 氏が「PyNjoy 2012 : a system for producing cross-section libraries for the DRAGON lattice code」と題して、NJOY2012 に PyNjoy.py という Python スクリプトを追加し、自動的に多群輸送計算コード DRAGON 用の断面積ライブラリを作成するツールの開発について報告した。本ツールでは、GENDF ファイルを DRAGR という独自モジュールを使って DRAGON 用の断面積ライブラリに変換する。なお、PyNjoy はオープンソースで、下記の HP でダウンロードが可能とのことである。

<http://www.polymtl.ca/merlin/ppynjoy2012.htm>

韓国の成均館大学の TS. Park 氏が「Development of a new nuclear data library based on ROOT」と題して、成均館大学で開発中の T-Nudy プロジェクトについて報告した。T-Nudy は CERN で開発中の ROOT システム上で動作し、核データを読み取り、核データライブラリごとに核種やサブライブラリーデータをまとめたデータ構造に変換した上で、グラフ化など核データを見やすくすることを目的とした核データ処理システムとのことである。

LANL の DK. Parsons 氏が「Encoded physics knowledge in checking code for nuclear cross section libraries at Los Alamos」と題して、ACE ファイルや GENDL ファイルをチェックするためのツール CHECKAGE と CHEKMG について報告した。これらのツールは Fortran 及び Perl で開発しており、負の断面積がないか、エネルギー群が適切に並んでいるか、また Q 値や PDF 値などが適切かといったように、核データに物理的におかしい値がないか、そして入力データの間違いないかを自動的にチェックするとのことである。

LANL の JY. Conlin 氏が「NJO21: Next generation nuclear data processing capabilities」と題して NJOY2012 の後継バージョンである NJOY21 について報告した。NJOY21 では C++ で一から書き直しており、ENDF と GND フォーマットの双方に対応する予定とのことである。また、エラーメッセージなどの分かりやすさについて向上する予定とのことである。NJOY21 では、NJOY2012 との比較を常に実施し、NJOY2012 との互換性を確保している。また、NJOY21 はオープンソースで以下の HP で download 可能とのことである。

<http://njoy.lanl.gov>

中国の CNDC の P. Liu 氏が「Progress on China nuclear data processing code system」と題して、CNDC で開発中の Ruller について報告した。Ruller は Ver.1.0 として、WIMS 形式の多群ライブラリ作成機能までを実装した。確率テーブル作成機能や ACE ファイルの作成機能については 2019 年までに実装する予定とのことである。Ruller は Fortran90 で書かれており、将来的には GND フォーマットにも対応するとのことである。また、Ruller の

公開については中国政府の意向次第であり、現状では未定とのことである。なお、

LLNL の B. Beck 氏が「Nuclear data infrastructure and API for the new nuclear data format defined by WPEC subgroup 38」と題して LLNL が中心となって開発を進めている核データ処理システム Fudge について報告した。Fudge は大部分を Python で記述しており、高速化が必要な部分のみ C++ で記述する形となっている。ENDF-6 フォーマットから GND フォーマットへの変換については、サブライブラリーを含む ENDF/B-VII.1 に対応し、また ENDF/B-VIII.beta_r1 についても変換可能とのことである。

核データ処理機能としては、線形化、KERMA の計算や多群断面積の作成機能を実装しており、多群断面積の作成機能については 2016 年中に公開予定とのことである。

OECD/NEA の CJ. Diez 氏が「NDEC: An NEA platform for nuclear data testing, verification and benchmarking」と題して積分実験データや核データなどのデータを管理するプラットフォーム NDEC について報告した。OECD/NEA では、積分実験ベンチマークや核データ、核データ処理などのバージョン管理やフィードバックの管理が重要と考えているとのことである。但し、ここでいう管理とは Git や Subversion のようなバージョン管理ではなく、データを一括して保管するというアーカイブのようなものを考えているようである。現在は ACE ファイルおよび GENDF ファイル作成用の入力ファイルと、JANIS 用の核データファイル (BOXER、HENDF) を作成用の入力ファイルについて管理しており、今後も開発を進めていく予定とのことである。

CEA の Leconte 氏らより Valduc の CALIBN 臨界集合体の高速中性子束を用いた U-238 の非弾性散乱に関する積分実験を実施したとの報告があった。本実験は厚みのある U-238 サンプルからの透過中性子束を測定する手法である。TOF 法が使用できないことから、透過中性子束を用いて 15 種類のドシメータを照射してエネルギー情報を得ているとのことである。また、238 核分裂による寄与は感度解析を用いて取り除くとのことである。実験解析は TRIPOLI4 を用いて行われ、結果は CIELO project にもフィードバックされる見込みとの報告があった。

京大炉の八島氏 (高橋氏代理) より、KUR-LINAC を用いた Np237 の熱中性子捕獲断面積に関する照射実験について報告があった。KUR-LINAC のターゲット室にサンプルを設置し、中性子照射を行うと共に、サンプルの反対側の中性子飛行管を用いて TOF 測定による中性子スペクトル情報を測定するとのことである。通常、照射実験は研究用原子炉あるいは臨界集合体を用いるが、放射化量や放射化量に対するサンプル位置の不確かさが大きいものの、原子炉を用いた照射実験の補完として活用できる可能性があるとのことである。

京大炉の佐野より、KUR-LINACの光中性子源のエネルギー分解能($\Delta E/E$)について解析値の発表を行った。KUR-LINACの光中性子源は実験目的に応じて軽水モデレータを変更することができるが、今回、モデレータ形状は通称「パックマン」と呼ばれる8角形モデレータを対象とし、中性子飛行距離はタンタルターゲット表面から10m位置に設定した。計算はPHITS2(ver.2.82)とJENDL-4.0を用いて、タンタルターゲットへの電子入射(エネルギー:36MeV、パルス幅:100nsec)からシミュレーションした。その結果、中性子エネルギーが0.1eVから10keVの範囲において、 $\Delta E/E$ は0.7%~1.3%であり、single bunch運転時におけるJ-PARC/MLF/ANNRIの21.5m位置での $\Delta E/E$ に相当した。今後、他のモデレータについても解析を行うと共に、実験によっても $\Delta E/E$ を評価する予定である。また、KAERIにおいて光中性子源開発を行っているJ.W. Kim氏と $\Delta E/E$ についてお互いの評価手法について議論があった。

JAEAの多田より、2013年から開発を進めている核データ処理システムFRENDYの開発状況と、妥当性検証としてNJOY99との比較結果について発表した。FRENDYは、MCNP用のACEファイル作成機能を実装し、かつACEファイル作成に必要な全ての機能を独自開発している。本発表では、FRENDYの各機能の検証として、ドップラー拡がりの処理や熱中性子散乱則の処理結果についてNJOY99と比較し、両者がよく一致することを示した。またACEファイル作成機能の妥当性検証として、FRENDYとNJOY99で作成したACEファイルを用いてMCNPで積分実験解析を行い、ほとんどのケースで実効増倍率が統計誤差の範囲内で一致することを確認し、FRENDYが適切にACEファイルを作成できることを示した。質疑では、英国原子力公社のSublet氏から積分実験解析において実効増倍率の比較のみを示しているが、角度中性子束などの詳細な比較は行っていないのかとの質問があった。ACEファイル中の全てのデータをNJOY99と比較して大きな差異が無いことを確認しているため、角度中性子束なども差異はないと考えているが、今後比較していく予定であると回答した。また、LANLのConlin氏からFRENDYの開発者数について質問があり、FRENDYの主な開発者は発表者一人であると回答した。開発者数は開発スピードに大きく影響を与えるため、今後の進捗を見極めるために開発者数に注目したものと考えられる。なお、中国のCIACが中心となって開発している処理システムRullerは、CIACだけでも8人の開発者を擁しているが、LANLが開発しているNJOY21など、Ruller以外の処理システムの開発者数はFRENDYと同様に1~2名とのことである。また、IAEAのKoning氏からIAEAで処理システム間の比較を行いたいと考えているとのコメントがあった。