

2012年国際核反応データセンターネットワーク技術会議報告

Report on 2012 Nuclear Reaction Data Centres Technical Meeting

北海道大学大学院理学研究院
牧永 あや乃

MAKINAGA Ayano
Faculty of Science, Hokkaido University

Abstract

We report on the 2012 Nuclear Reaction Data Centers Technical Meeting on April 16-19, 2012 at the headquarter of the International Atomic Energy Agency, Vienna. In this meeting, technical items of EXFOR and CINDA were discussed.

1 はじめに

国際核反応データセンターネットワーク技術会議 (Nuclear Reaction Data Centers Technical Meeting)[1] が、2012年4月16～19日に経済協力開発機構原子力機関NEA(パリ)で開催された。本会議の主な目的は、IAEAを中心とする国際核データベースEXFORに対する10核データセンターの取り組み報告、技術的な課題の議論等を行う事である。今回の参加者は計23名で、その内訳は中国(2名)、ハンガリー(1名)、インド(1名)、日本(3名)、韓国(2名)、ロシア(4名)、スロバキア(1名)、ウクライナ(1名)、アメリカ(1名)、NEA(4名)、IAEA(3名)であった。日本からの出席者は、北大理学研究院の合川、牧永そして原子力研究開発機構の深堀で計3名である。トピックとしては大きく分けて(1)各核データセンターの活動報告、(2)EXFOR関連の議論である。

2 各国の核データセンター活動報告

• Nuclear Data Physics Center in India(NDPCI), Mumbai, India by A. Saxena[2]

- EXFOR採録については、ワークショップ形式で実験者や採録者が採録を行った。新規採録200エントリー以上の送信を行った。
- 代理反応法を用いた(n,f)反応断面積の決定: 直接測定が困難である(n,f)反応による核分裂生成物(不安定核を含む)反応断面積を代理反応法を用いて決定した。今回の報告では、高速中性子炉中におけるトリウム・ウラン燃料サイクルに対する興味から $^{233}\text{Pa}(n,f)$ に対して代理反応が適用された旨が報告された。今後、 $^{241}\text{Pu}(n,f)$ 反応、 $^{238}\text{U}(^6\text{Li},df)$ 反応、 $^{232}\text{Th}(^6\text{Li},df)$ 反応に対しても代理反応法を適用する為の実験がBARC-TIFRペレットロン加速器施設で計画されている。

- 14MeV 中性子源を用いた中性子入射実験: Pune 大学で生成される ${}^3\text{H}(d, n){}^4\text{He}$ 反応 ($Q=17.59\text{MeV}$) による 14.8MeV 中性子源を用いた実験について報告が行われた。今回測定を行った反応は、 ${}^{nat}\text{Cr}(n, x){}^{52}\text{V}$, ${}^{52}\text{Cr}(n, p){}^{52}\text{V}$, ${}^{nat}\text{Cr}(n, x){}^{53}\text{V}$, ${}^{53}\text{Cr}(n, p){}^{53}\text{V}$, ${}^{nat}\text{Zn}(n, x){}^{66}\text{Cu}$, ${}^{66}\text{Zn}(n, p){}^{66}\text{Cu}$, ${}^{nat}\text{Zn}(n, x){}^{68}\text{Cu}^m$, ${}^{68}\text{Zn}(n, p){}^{68}\text{Cu}^m$, ${}^{nat}\text{Mo}(n, x){}^{97}\text{Nb}^g$, ${}^{97}\text{Mo}(n, p){}^{97}\text{Nb}^g$, ${}^{nat}\text{Mo}(n, x){}^{97}\text{Nb}^m$, ${}^{nat}\text{Sn}(n, x)^{m1+m2}$, ${}^{116}\text{Sn}(n, p){}^{116}\text{In}^{m1+m2}$, ${}^{nat}\text{Sn}(n, x){}^{117}\text{In}^g$, ${}^{117}\text{Sn}(n, p){}^{117}\text{In}^g$, ${}^{nat}\text{Sn}(n, x){}^{118}\text{In}^{m1+m2}$, ${}^{118}\text{Sn}(n, p){}^{118}\text{In}^{m1+m2}$, ${}^{nat}(n, x){}^{120}\text{In}^x$, ${}^{120}\text{Sn}(n, p){}^{120}\text{In}^x$, ${}^{nat}\text{Ba}(n, x){}^{138}\text{Cs}$, ${}^{138}\text{Ba}(n, p){}^{138}\text{Cs}$ 。これらの反応断面積は、Talys-1.2 や Empire-2.19 と比較が行われた。
- BARC-TIFR ペレトロン加速器を用いた核データ測定: ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応によって生成される中性子源を用いて、 ${}^{232}\text{Th}(n, \gamma){}^{233}\text{Th}$, ${}^{98}\text{Mo}(n, \gamma){}^{99}\text{Mo}$, ${}^{186}\text{W}(n, \gamma){}^{187}\text{W}$, ${}^{115}\text{In}(n, \gamma){}^{116m1}\text{In}$, ${}^{92}\text{Mo}(n, p){}^{92m}\text{Nb}$ について反応断面積の測定が行われた。実験結果は、EMPIRE-II による計算結果や ENDF/B-VII.0、JENDL-4.0、JEFF-3.1 等の評価済み核データライブラリーと比較が行われ概ね実験と計算値が一致している事が報告された。
- ${}^{nat}\text{Pb}$, ${}^{209}\text{Bi}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{240}\text{Pu}$ の光核分裂生成物の生成量の測定: 韓国ポハン加速器研究施設 (PAL) における電子直線加速器を用いて生成される 50-70MeV の制動放射線源を利用した ${}^{nat}\text{Pb}$, ${}^{209}\text{Bi}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{240}\text{Pu}$ の光核分裂生成物の生成量を放射化法により観測した。
- 7-9MeV/amu 重イオンビーム入射反応による厚い標的中での中性子生成量の測定: BARC-TIFR ペレトロン加速器施設における 144MeV の ${}^{19}\text{F}$ と 115MeV の ${}^{12}\text{C}$ ビームを厚いアルミニウム試料へ照射し、中性子生成量を調べた。実験結果は、統計モデル計算コード (PACE, EMPIRE) による計算結果とよい一致を示した。
- 5.6 MeV, 15.5MeV 中性子源を用いた ${}^{232}\text{Th}$ の中性子捕獲断面積の測定
- 核データ評価活動としては、AHWR で発生する気体性放射性核分裂生成物である ${}^{133,135,138}\text{Xe}$, ${}^{85m,87,88,89}\text{Kr}$ のスペクトル平均捕獲反応率の評価を行った。また、FLUKA を用いた中性子検出システムの開発を行った。

• **Centr Dannykh Fotojad. Eksp.. Moscow State University, Russia, by V. Varlamov[3]**

- EXFOR 採録については、Trans.M058-061 のトランスファイルの送信を行った。修正ファイル 67 エントリー (291 サブエントリー)、新規ファイル 31 エントリー (193 サブエントリー) であった。
- 光核反応データの評価については、部分断面積の評価活動を昨年引き続き行った。 ${}^{90}\text{Zr}$, ${}^{159}\text{Tb}$, ${}^{165}\text{Ho}$, ${}^{181}\text{Ta}$, ${}^{208}\text{Pb}$ に加え、 ${}^{63}\text{Cu}$, ${}^{89}\text{Y}$, ${}^{115}\text{In}$, ${}^{112,114,116,117,118,119,120,122,124}\text{Sn}$, ${}^{197}\text{Au}$ のそれぞれを標的核として、 (γ, n) 反応、 $(\gamma, 2n)$ 反応、 $(\gamma, 3n)$ 反応、 (γ, sn) 反応等の巨大共鳴領域について評価を行った。
- 核構造データの評価については昨年引き続き行い、今年は ${}^{48-68}\text{Ni}$ についての評価が行われた。
- 核データサービスについては、CDFE データベースが web サイト (<http://cdfe.sinp.msu.ru>) から公開されている。以下がサービスコンテンツとなる。
 - * EXFOR(光子、中性子、荷電粒子、重イオン等入射実験データ)
 - * ENSDF(約 3200 核種の核構造データ)

- * NSR(原子核科学の文献データ)
 - * “Chart of Giant Dipole Reference Main Parameters”(巨大共鳴領域の物理パラメータデータ)
 - * “Chart of Nuclear Shape and Size Parameters”(核の変形や核半径パラメータデータ)
 - * “Nucleus Ground and Isomeric State Parameters”(核の基底状態とアイソマーの崩壊様式等データ)
 - * “Calculator and Graph Engine for Atomic nuclei Parameters and Nuclear reactions and Radioactive Decays Features” (結合エネルギー、分離エネルギー、崩壊エネルギー、核分裂パラメータ等の計算システム)
- **Centre of Nuclear Physics Data at RFNC-VNIIEF(CNPD), Sarov, Russia, by S. Taova[4]**
 - EXFOR 採録については、Trans.F043-F045 のトランスファイルの送信を行った。修正ファイル 36 エントリー、新規ファイル 47 エントリーであった。また、論文雑誌“Yadernaya Fizika”、“Izvestiya Akademii Nauk”の採録対象文献調査を行った。
 - EXFOR エディタについては、昨年引き続き開発を行った旨が報告された。
 - **Centre for Nuclear Structure and Reaction Data, Kurchatov Institute(CAJAD), Moscow, Russia, by S. Babykina[5]**
 - EXFOR 採録としては、超重元素生成反応採録ファイルを含む、Trans.A070-A077 のトランスファイルの送信を行った。
 - NEADB との共同採録として、93 の新規エントリーと 11 の古いエントリーを 0 エントリーとして作成された。
 - **Japan Nuclear Reaction Data Centre(JCPRG), Sapporo, Japan by M. Aikawa[6]**
 - EXFOR 採録として、Trans.E065-E068、K011、R024-R025 の新規論文 50 エントリーを送信した。また同時に本センター独自のファイルフォーマット NRDF による採録も行った。
 - 天体核反応データベース NRDF/A の文献データベースに新規データ 428 件の登録を行った。
 - 核データサービス
 - * NRDF(<http://www.jcprg.org/nrdf/>)
 - * NRDF/A(<http://www.jcprg.org/nrdfa/>)
 - * EXFOR/ENDF(<http://www.jcprg.org/exfor>)
 - * CINDA(<http://www.jcprg.org/cinda>)
 - 採録ツールの開発
 - * 採録エディタ “HENDEL”(<http://www.jcprg.org/manuals/hendel/>)
 - * グラフ読み取りソフト “GSYS”(<http://www.jcprg.org/gsys/>)
 - * メールアーカイブシステム “stock”
 - アジア地域との連携として、日本学術振興会「アジア地域における原子核反応データ研究開発の学術基盤形成」と中国核データセンターの援助のもと、第二回アジア原子核データベース開発会議が中国の北京で開催された。

• **International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, by R. Forrest[7]**

- 採録としては、中性子入射 (Trans3149-3153) が新規ファイル 22 エントリーと修正ファイル 86 エントリー、荷電粒子入射 (V029、D077-D081) が新規ファイル 88 エントリーと修正ファイル 94 エントリー、光子入射 (G022-G023) が新規 13 エントリーと修正 15 エントリーであった。
- CINDA については、EXFOR と NSR データから CINDA フォーマットへの出力を行う形で作成している。
- 核データサービスとして、ENDF、EXFOR、CINDA の公開を行っている。
- 核データサービスツール
 - * WebZVV (Web グラフプロットシステム)
 - * EXFOR Uploading system (EXFOR ファイルロードシステム)
 - * ENDF Uploading system (ENDF ユーティリティ)
 - * Web-tools for ENDSF evaluators (WebENDSF 解析コード)
 - * DVD-ROM (EXFOR/CINDA,EndVer/GUI,ENDF 等の DVD 配布)

• **Russian Nuclear Data Centre, IPPE(CJD), Obninsk, Russia, by A. Blokhin[8]**

- EXFOR 採録としては、Trans.4152-4155 の送信を行った。
- 核データ評価活動
 - * $^{241,242m,243}\text{Am}$ の核分裂、捕獲断面積の評価を行った。
 - * BROND-3A ライブラリーへ (n,2n)、(n,3n)、(n,p)、(n,np)、(n,a)、(n,na)、(n,a)、(n,t) と捕獲断面積データ 560 件の更新を行った。
 - * 実験統計誤差の分析を行う事によって、 $^{232,243,244,245,246,247,248}\text{Cm}$ についての (n,el)、(n,inl)、(n,2n)、(n, γ) に対する共分散マトリックスを計算した。

• **Nuclear Research Institute(ATOMKI), Debrecen, Hungary, by F. Tarkanyi[9]**

- 加速器科学・医療応用等の為に放射化断面積の測定を行っている。
- EXFOR の採録としては、Debrecen、Brussels、Julich で報告された実験データの採録を行った。

• **OECD/NEA Data Bank, Issy-les-Moulineaux, France, by K. Matsumoto[10]**

- EXFOR 採録としては、Trans.2229-2231、O047 の送信を行った。内訳は新規エントリー 59 件、修正エントリー 37 件であった。
- 核データサービス
 - * JEFF3.1.2(<http://www.oecd-nea.org/dbdata/jeff>)
 - * JANIS(<http://www.oecd-nea.org/janis>)
 - * JANIS Trans checker(<http://www.oecd-nea.org/janis/trans-checker>)

- **Japan Atomic Energy Agency(JAEA), Tokai, Japan, by T. Fukahori[11]**
 評価済み核データライブラリ JENDL-4.0 についての紹介があった。2010 年から 2014 年にかけて、核反応モデル CCONE をより高エネルギーまで適用出来るよう改良を行う予定である。JENDL は日本原子力研究開発機構のホームページから公開中である。
- **Ukraine Nuclear Data Centre at KINR(UKRND), Kyiv, Ukraine, by O. Gritzay[12]**
 EXFOR 採録については、新規論文 13 エントリー、修正ファイル 3 エントリーの送信報告があった。キエフ国立大学 5 年生向けに核データの講義が行われた旨の報告があった。講義では、ENDF/B ライブラリ、EXFOR システム、ENSDF ライブラリの開発、ENDF フォーマットで作成されたファイルの読み込みを行い適切なフォーマットで出力する PREPRO や NJPY の利用方法、核データのオンライン利用が教授された。その他、核データサービスや中性子実験の報告があった。
- **Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI), Daejeon, Korea, by Y. O. Lee[13]**
 EXFOR 採録については、新規採録 25 エントリーの送信を行った。また、実験活動として、浦項加速器研究施設 PAL における中性子実験の報告、ファン・デ・グラフ加速器 KIGAM における中性子実験、陽子入射実験 KIRAMS についての報告があった。
- **China Nuclear Data Centre, CIAE(CNDC), Beijing, China, by Ge Zhigang**
 採録については、新規採録 34 エントリーを送信した。また、核データ評価ライブラリ CENDL プロジェクトについて、中性子断面積の共分散システムの開発現状の報告があった。また、 $n+{}^6\text{Li}$ の R-matrix を用いた断面積の評価について報告が行われた。
- **National Nuclear data Center, Brookhaven National Laboratory(NNDC), USA, by M. Herman**
 EXFOR 採録については、新規採録 80 エントリー、修正 191 エントリーの送信を行った。また、NSR データベースの情報として、EXFOR へのリンクを追加した旨が紹介された。

3 EXFOR を中心とした活動報告と議論 [1]

- EXFOR 全般
 - EXFOR 採録コントロールシステムの開発：論文雑誌の主著者名を文献情報として入力し利用できる用にする事で、採録者が対象論文が未採録であるかについて調査をする事が出来る。(V. Zerkin)
 - CJD と NNDC から提案されている文献調査の分担について。NNDC は Astrophysical Journal 等も調査対象とする事を提案。(N. Otsuka)
 - EXFOR フォーマットを始めとした web ツール等の開発についての議論を目的とした IAEA 主催テクニカルミーティングを 2 回開催した。EXFOR フォーマット自身は現状維持の方向となった。(R. Forrest)
- マニュアルと辞書

- 辞書 25 の整備 : (1)squared コード (-SQ => 2)、(2)micro コード (MICRO- =>MU-、(3)fermi コード (FERMI => FM)、(4)milli コード (MILLI-MU => MU) (S. Hlavac)
 - 辞書 33 の整備 : 粒子コードの最大長を 3 文字から 5 文字へ拡張。また核異性体フラグ M 等を含める事を考慮すると 6 文字となる。(N.Otsuka, R.Forrest)
 - EXFOR/CINDA 辞書 : 利用されていないコードの整備が必要。(N.Soppera)
- EXFOR 採録に関する技術開発
 - 中性子源スペクトルの採録を提案 (O. Gritzay)
 - EXFOR エントリーにあるロシア語表記の英訳を行っている (S. Babykina)
 - EXFOR マスターファイル毎の JANIS Import Log についての紹介 (N. Otsuka)
 - 文献情報の簡略化 (発行号と月の入力省略) の提案 (M.Bossant)
 - $kt=30\text{keV}$ に対するマクスウェリアン平均化断面積が EXFOR から検索可能である。Karlsruhe Astrophysical Database of Nuclear synthesis in Stars (KADonis) についての紹介 (V. Semkova, B. Pritychenko)
 - 遅発中性子の採録についての報告 (V. Semkova)
 - Short Guide for EXFOR Compiler の製作を行った (M. Mikhaylyukova)
 - データベースとソフトウェア
 - NDS の EXFOR 採録用 PDF 論文コレクションが IAEA NDS スタッフと IAEA と協力して採録作業を行う者に対して利用を許可している。(*一般的に著作権による論文共有制限あり)(R. Forrest)
 - EXFOR-Editor の開発の現状についての報告 (G.Pikulina)
 - 採録に関するメール記録アーカイブシステム “stock” により、採録者間の議論記録や採録対象論文の著者との議論を記録し効率よく参照する事が出来る。(M. Aikawa)
 - EXFOR 共分散システムの為の web ツールの開発についての報告 (V. Zerkin)
 - EXFOR-XML システムの現状報告 (V. Zerkin)
 - JANIS(Java-based Nuclear Information Software) の開発報告 (N. Soppera)
 - EXFOR/MySQL データベースファイルの配布の要望 (G.Chen)

4 まとめ

今回の会議では、43 のワーキングペーパーが提出され、活発な議論が行われた。今回の議論内容は、EXFOR のコード自身の提案よりは、データ入力や利用の為の情報処理システムの開発を見据えたコードの整備、web ツールの開発報告が目立った様に感じる。核データ利用形態の多様化と共に多種分野へ応用の可能性も同時に広がるだろう。今後の発展に期待したい。

謝辞

The authors would like to acknowledge the support by “R&D’ Platform Formation of Nuclear Reaction Data in Asian Countries (2010-2013)”, Asia-Africa Science Platform Program, Japan Society for the Promotion of Science and the support by the collaboration project between Faculty of Science, Hokkaido University and RIKEN.



図 1: NRDC2012 の集合写真 (NEA にて)

参考文献

- [1] N.Otsuka, “Summary Report on IAEA Technical Meeting on the International Network of Nuclear Reaction Data Centers, 16-19 April 2012”, INDC(NDS)-0618, (2012)
- [2] A. Saxena, “A brief status report on the activities of Nuclear Data Physics Centre of India, 16-19 April, 2012”, NRDC2012-progress report, p2012-01, (2012)
- [3] V. V. Varlamov, “Summary of the CDFE nuclear data activity for 2011-2012, 16-19 April 2012”, NRDC2012-progress report, p2012-02, (2012)
- [4] S. Taova, “Center of Nuclear Data (CPND), RFNC-VNIIEF-Technical paper for the NRDC Meeting, Paris, April 16-19, 2012”, NRDC2012-progress report, p2012-03, (2012)
- [5] S. Babykina, “Activity of CAJAD for the IAEA Meeting, France, Issy-les-Moulineaux, 16-19 April 2012”, NRDC2012-progress report, p2012-04, (2012)

- [6] M. Aikawa, “Japan Nuclear Reaction Data Centre (JCPRG), Progress Report”, NRDC2012-progress report, p2012-05, (2012)
- [7] R. Forrest, “IAEA Nuclear Data Section: Progress Report, 2011/12 Summary of nuclear data activity by staff of the IAEA Nuclear Data Section, May 2011-April 2012”, NRDC2012-progress report, p2012-06, (2012)
- [8] CJD, “CJD, Progress Report, 2010/2011, Summary of nuclear data activity by staff of the IPPE CJD”, NRDC2012-progress report, p2012-07, (2012)
- [9] F. Tarkanyi, “Progress Report, Nuclear Reaction Data Group at ATOMKI (NRDC Meeting, 16-19 April 2012)”, NRDC2012-progress report, p2012-08, (2012)
- [10] K. Matsumoto, E. Dupont, “NEA Data Bank Progress Report 2011-2012”, NRDC2012-progress report, p2012-09, (2012)
- [11] T. Fukahori, “Status Report of JAEA Nuclear Data Center”, NRDC2012-progress report, p2012-10, (2012)
- [12] O. Gritzay, “Ukrainian Nuclear Data Centre Progress Report, 2011/12, Summary of nuclear data studies by staff of the Ukrainian Nuclear Data Centre”, NRDC2012-progress report, p2012-11, (2012)
- [13] Y. O. Lee, “Nuclear Data Center(NDC) of Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Progress Report to the IAEA Technical Meeting of Nuclear Reaction Data Centers (NRDC)”, NRDC2012-progress report, p2012-12, (2012)