

話 題 (Ⅱ)

最近行なわれた IAEA 主催の 放射化断面積に関する会議報告

日本原子力研究所核融合中性子工学研究室
池田 裕二郎

本報告では、平成6年度に開かれた、IAEA 主催の放射化断面積に関する3つの会議をまとめて紹介する。会議は、(1)第2回「放射化断面積測定技術」に関する IAEA 専門家会議（ロシア、セントペテルスブルグ：平成6年9月7日～9日）、(2)「FENDL」諮問グループ会議の放射化断面積ワーキンググループ（ドイツ、ガルヒン：平成6年9月12日～16日）、(3)「放射化断面積ライブラリー」に関する第1回 IAEA-RCM（ハンガリー、デブレツェン：平成6年10月4日～7日）である。

1. 放射化断面積測定技術に関する IAEA 専門家会議

本会議は、平成5年11月に原研東海で開催した第1回会議の提言を受けて行なわれたもので、核融合開発で必要とされる重要な放射化断面データに関し、世界的に系統的な測定を進めている原研 FNS、KRI(ロシア)及び Debrecen（ハンガリー）などの実験データ、測定手法の比較を行い現状の測定精度確認を行うとともに、要求制度を満たすための有効な国際協力計画の検討を行い、新たな IAEA 核データ部門の活動テーマとして発展させることを目的としている。出席者は、原研から池田と菊池（核データセンター長）、ウィーン大学の Vonach 教授、KRI の Rimski-Korsakov（副所長）と Filatenkov、オブニンスクの Zolotarev と Kornilov 及び IAEA の Pashchenko の計8名であった。参加者は少なかったものの、本テーマの主要メンバーである原研と KRI の出席により会議そのものは成立していたと考える。議長に KRI 副所長である Rimski-Korsakov を選出し、前回に議長であった池田が前回会議の概要説明と提言の確認を行なった。続いて、これまでの研究状況と新たな問題提起について各参加者が発表した。

E.Cheng の緊急に必要な核データのリスト、D.Smith が最近まとめた短寿命核生成反応の断面積評価のレポートなどが新たな測定対象候補として議論された。当面、前回まとめた核融合開発に必要な優先度の高い反応のうち測定できる可能性のある以下に示す

反応を選別し次回までの研究目標とした。

- i) $^{92}\text{Mo}(n, np) ^{91}\text{Nb}$
- ii) $^{92}\text{Mo}(n, np) ^{91m}\text{Nb}$
- iii) $^{64}\text{Ni}(n, n\alpha) ^{60}\text{Fe}$
- iv) $^{99}\text{Tc}(n, 2n) ^{98}\text{Tc}$
- v) $^{204}\text{Pb}(n, p) ^{204}\text{Tl}$

ロシアは照射試料として必要な濃縮分離同位体を準備することとした。測定は、可能ならば、平成6年11月に原研FNSにおいて研究者招聘制度で来日を予定しているKRIのFilatenkovと共同で行なうこととした。また、D.Smithを中心に、実験データに基づく断面積の評価方法の精密化を積極的に進めることとし新たな計画策定の必要性を提言した。会議直前に、予定していた、米国、中国、ドイツ及びハンガリーからの専門家が、都合により出席できなかったことは残念であったが、直ちに、各参加者に会議のまとめを送付し意見を求め、その上でIAEAに対する最終答申とすることとした。

研究に使える予算がほとんど無いロシアのおかれている状況では、新たなデータ生産は期待できない。しかしながら、できる範囲で本テーマに対し貢献しようとしている態度は賞賛に値する。また、研究者の資質が優れていることは明らかであった。その後、KRIがISTCに提案した「核融合開発に必要な放射化反応断面積の測定」が採択され、95年から活動が開始できる見通しとなった。これにより、或る程度の予算的裏付けが得られ、本会議のテーマの前進が図られることが期待できる。何れにしても、ロシアの研究所で働く研究者のおかれている状況は更に1年前から比べて悪化しているようである。為替レートが変化していることもあるが、一言でいえば、危機的状況と言わざるを得ない。単に核開発に直接携わっている人のみならず基礎研究に従事している多くの研究者が、如何に生き延びるか頭を悩ませているのが現状である。ISTCが適切に機能し早期に研究活動が正常に開始できることを強く望む。

2. FENDL 諮問グループ会議

本会議は、平成6年11月に原研東海での会議に引き続いてITER-JCTサイトのあるドイツ、ガルヒンで開催されたもので、ITER-JCTの要求する基準設計に使用するための条件を満たした核データライブラリーセットをFENDLとして供給するにあたり、当面する課題を議論し最終目標を決定することを目的としている。出席者は、米国（9人）、ドイツ（6人、内JCT3）、イタリア（3人）、日本（4人：菊池、大山、池田（原研）、高橋（阪大））、ロシア（3人）、オランダ（2人）、オーストリア、ブルガリア、フランス、英国、スイス各1人及びIAEA（2人）の計34名であった。

ITER-JCTのブランケット/遮蔽設計のリーダーである Gohar が ITER 設計に必要な妥当性評価済みライブラリーの要件を示した。ITER-JCT としては、FENDL の必要性/重要性は十分理解しているものの、そのための追加的予算措置の困難さのため今後の活動の対する資金援助には否定的であった。逆に、1995年3月に設定されているサイト選定のベースとなるコスト評価に必要な設計を完了するためには FENDL-1.1 が直ぐにも必要であり、既に米国ホームチームを通して予算が執行されている FENDL-1.1 ライブラリーが未だ完成していないことに苛立ちを示した。

会議は、(I) 汎用データライブラリー、(II) ベンチマークテスト、(III) プロセスとインターフェイス及び (IV) 放射化断面積ライブラリーの4つのワーキンググループから成っていた。本報告では、(IV) について紹介する。

放射化断面積ライブラリーワーキンググループ：

議長に F. Mann (米国) 書記に R. Forrest (英国) を選び FENDL/A-2.0 の完成に向けて必要な活動方針を中心にグループ会議を展開した。IAEA/NDS の弱体化を防ぐために如何に支援して行くかが鍵であるが、最も深刻な争点は、各国で開発が進んでいる放射化断面積ファイルを如何に調和させて FENDL/A-2.0 とするか、各国の利益を前面にした政治的な判断をどう解決するかであり、結論として、本会議で期待していた最終的なファイル選定は、1995年に先送りとなった。原研としては、シグマ委員会の作業グループの精力的な活動の成果である JENDL 放射化断面積ファイルが、池田が示した FNS の実験データに基づく積分テストから、EU やロシアのファイルより優れていることが示されており、FENDL/A-2.0 の中心的な位置を占めるのが妥当と考えている。この考えは、EU、ロシア共に基本的には同意しているが、先にも述べたように、複数のファイルから最も良いものを10,000以上に登る反応について選別することは不可能に近く、次にしめす作業手順を討議し参加者の合意を得た。

FENDL/A-2.0 に向けた作業手順：

- ① 選別パネル：各機関2名の選出、IAEA/NDS 及び F.Mann へ候補ライブラリーの提案とデータ送付 (1995 Feb)、
- ② 選別キットの作成 (F.Mann が VITAMIN-J フォーマットに編集したファイルを用いて、原研 (池田) が主要反応について断面積の実験データとの比較図を作成する) (1995 July)、
- ③ 選別パネルによる選考 (1995 Sept)、
- ④ その結果を次回の FENDL 諮問グループ会議で報告 (1995 Oct.) する。

計算コードベンチマークの提案：

データの利用者は、線量評価まで含めた計算ベンチマークの必要性を強調した。そこで、ITER 設計を考慮した計算でのモデルを M.Sawan（米国）が準備しベンチマーク参加者に提供しコードの総合的な比較検討を行うこととした。

会議全体の印象：

平成5年5月の核融合核データワークショップの提言からさらに追い込まれた状況の感があった。特に米国における、この1年間での核データ活動のみならず核融合開発の急激な減速が多くの研究者の生活そのものを脅かしていることが、会議の性格をより政治的なものにしてしている。ITER/EDA は計画に基づき着実に進んでいるのに対し、FNEDL として完全なパッケージを要求されているこの集団は、ITER が資金源であり永遠に良いものができるまで待っていてくれるものと錯覚している。IAEA は、会議を制御する力はないし責任感すら欠落しているように思える。また、参加者のなかに、ITER と FENDL の関連を正確に理解しておらず、無用な議論に多くの時間が費やされた。IAEA の指導力が問われるところである。原研の菊池氏は議論の発散を避けるべく適切な意見を述べた。

3. 「国際基準放射化断面積データライブラリーの創設」(Establishment of an International Reference Data Library of Nuclear Activation Cross Section)

上記 IAEA-CRP (coordinated Research Program) の第1回研究調整会合 (RCM) が10月4日から7日にかけてハンガリーのデブレツェンで開催された。本 CRP の目的は、中性子のみならず荷電粒子が関わる放射化断面積の幅広い分野からの要求に応えるために基準となる国際的なデータライブラリーを各国の核データ機関及び専門家の協力を得て創設することを目的としている。これは、第18回 INDC 会議(1990年)の IAEA 核データ中期計画での合意に基づく CRP で議論された内容がベースとなっている。日本からは当初、原研核データセンターの中島氏が出席を予定していたが、身体上の困難があり、急遽、池田が代理として出席した。出席者は、英国、オランダ、スペイン、ドイツ、ルーマニア、中国、日本から各1名、ロシア3名、ハンガリー2名、及び IAEA から1名の計13名であった。

会議は、RCM 開催のホストである Csikai(Kossuth Lajos 大学教授)の歓迎の挨拶の後、IAEA の Pashchenko の CRP の主旨説明ならびに本 RCM の概要と目的の報告から開始した。議長に英国の R.Forrest を選出し IAEA が準備したアジェンダを採択した。池田を含めて、出席者の中から、2.で紹介したように、既に IAEA が核融合用核デー

ライブラリー FENDL の一環として放射化断面積ライブラリーの整備を国際協力として進めていることとの関係、また、その他の関連する IAEA-CRP との関係を明確にする必要があるとの意見が出され、本会議が CRP の立ち上げの場であり、スコープの明確化が最も重要であるとの認識にたち、まず、一般討論として参加者による意見交換に時間を費やすこととした。Pelado (マドリード工科大学教授) は、磁気核融合のみならず慣性核融合放射化からも追加的要求があること、Qaim (KFA ユーリッヒ) は、荷電粒子による放射化断面積の中でも医療診断 RI 製造への応用の重要性を強調した。Csikai は、環境物理、宇宙物理でも放射化断面積データの要求が高いことを示した。更に、全員が、データの妥当性評価が最も重要な活動になるとの一致した認識を示した。議論の結果、次の分野を視野に置き、より汎用性の高いかつ国際基準として耐え得るライブラリーを作成することで基本的に合意した。

- (A) 磁気及び慣性閉込核融合炉開発 (安全性、環境、材料、診断技術)
- (B) 核分裂炉 (廃炉技術)
- (C) 加速器による医療診断用 RI の製造
- (D) 中性子ドシメトリー
- (E) 環境物理、宇宙物理

初日の午後 3 時頃から、各国の放射化断面積ライブラリーに関する活動現状報告を行った。ECN の Kopecky (オランダ) が欧州放射化断面積ライブラリー EAF シリーズの活動経過及び最新版 EAF-4.0 の現状を紹介した。最も早くから活動を開始しており、誤差ファイルの追加など完成度は高いようだ。池田は、中島氏に代わって、JENDL 放射化断面積の概要、特長及びファイル完成に向けた計画を紹介した。各国の主なファイルが先行している中、早期の公開に強い要請があった。Obninsk の Ignatyuk はロシアで開発中の膨大な数の反応 (約 3 万反応) を収納した ADL の現状を示した。Yu (IAE, 中国) が中国での放射化断面積の測定及び評価活動を紹介した。データライブラリーとしてファイル作成は未だ始まっておらず本 CRP のテーマに対する認識が不足しているようだ。

引き続き 2 日目に向け関連トピックスの発表があった。Csikai は $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58m}\text{Co}$ 反応断面積の測定と最近の評価について、Grudzevich (Obninsk) が準安定状態生成反応の励起関数計算法の新しい試みを、Avrigeanu (IPNE, ルーマニア) が構造材を対象とした FKK/MSD、FKK/MSD による断面積の最新の理論計算法の現状を、Zolotaeva (IPPE, Obninsk) が幾つかのドシメトリーで重要な反応の新たな断面積評価結果を各々紹介した。Forrest と Ignatyuk は各々、原研 (池田) が FENDL 活動の一環として IAEA を通じて各国に配布した誘導放射能ベンチマーク実験データを用いた EAF-3.0 及び ADL-3 ライブラリーの積分テストの結果を報告した。内容は、先の FENDL 諮問

グループ会議と同であったが、実験者と評価者の同席が密に結果を検討することができた。すなわち、疑問にたいする説明、或るいは、実験上の注意点の喚起など、非常に効率的なやり取りにより現状の問題点の理解を深めることができた。

2日目の後半から3日目にかけて、本題である今後のCRPの進め方について、性格の異なるテーマ毎にWGを結成し参加者全員で議論した。以下に各WGの議長と議論のまとめを示す。

WG-1: データライブラリー : Ignatyuk

FENDL放射化断面積ライブラリーはベースデータとして位置付ける。各利用分野からの緊急度及び優先度の高いデータ要求リストを作成する。ライブラリー作成計画はFENDLよりも緩くし、対象反応を絞り込み時間をかけて質の高いものに仕上げる。手順として、IAEA/NDSがADL-3、EAF-4、JENDLの比較図を作成する。中国及び米国に参加を依頼しバランスを図る。IAEAが全てのファイルを集める。不確定誤差ファイルは当面EAFのデータを採用し、次回のCRP以後の目標とする。

WG-2: 実験 : Csikai

各国の実際実験を行なっている機関に呼びかけるとともに、放射化断面積測定技術に関するIAEA専門家会議と密な協力を行なう。特に、不足している14 MeV以下のエネルギー領域での実験データの生産を促す。実験活動そのものは本CRPは含まない。データ要求リストを各利用分野毎に早急に作成し、優先度の高い実験データを実験家の視点で測定可能かどうかの判断を行ない、意見として反映させる。一方、積分実験の遂行はデータテストの観点から重要であるので、強く実行を推奨する。

WG-3: 積分テストによる妥当性評価 : Ikeda

WG-1での比較図を基に問題点を洗い出す。原研・USDOE共同実験の誘導放射能積分ベンチマーク実験データを出発点として積分テストを開始する。その他、テストに有用な実験データを調査し、ベンチマーク集を作成する(原研池田担当)。ベンチマークデータとして、特に、 (n,γ) 反応など低エネルギー中性子に感度を有する反応のテストの有効な ^{252}Cf 自発核分裂を含む核分裂中性子スペクトルのみならず14 MeV中性子場での実験データの必要性を強調し実験可能な機関に呼びかける。本CRPがデータテストを責任を持って遂行する。

4日間の会議は、CRPのスコープ、研究計画、及び各WG議長がまとめたIAEAに対する提言を確認して終了した。第2回RCMは、1996年の春にスペインで開催することがIAEAから提案された。