

## 核データの研究とその原子炉への適用に関する討論会

エンジニアリング開発 (株)

田原 義壽

tahara@edc.atom.hq.mhi.co.jp

核データの普及を図るためには、核データの測定や評価を行う研究者と、実際に原子炉などで核データを用いるユーザーとの間の自由な討論と意見交換が必要と思われる。このような場を目指し、日本原子力学会核データ部会と三菱重工 (株)の共催により 2004 年 6 月 8 日 (火) に核データに関する討論会が開催されました。

会場は横浜の海が間近に見える三菱重工業 (株) の横浜ビル 33 階。当日は暑い中 29 名の方に参加を頂き、20 名が懇親会に出席されるなど盛況でした。

核データ部会部会長の馬場護氏による、部会活動活発化の一つの試みとして企画したとの開会の挨拶に引き続き、和やかな雰囲気で紹介や報告、討論などが行われた。

まず、日本へ帰国していた (LANL) の河野俊彦氏にも参加して頂けたことから、「ロスアラモス研究所の紹介」をお願いした。地図や風景を交えながら研究所の人員構成や部門構成及び研究内容の紹介があり、LANL をより身近に感じることができた。河野氏は理論部門の核物理を担当する T-16 に所属している。T-16 では、核反応機構や核構造の研究と核データの供給を行っており、3 年ほど前、T-2 (核物理) と T-5 (高エネルギー核物理) が合体して新設された。T-16 は、実験ともつながりが深く、加速器施設 LANSCE を用いて核データの測定・評価を一貫して行うことができる。応用面としては、核不拡散の観点から  $^{237}\text{Np}$  の臨界質量の評価などがある。また、臨界安全や新型原子炉の臨界性予測の観点からは、核データの不確かさを表す共分散データが必要となる。河野氏が LANL に勤めてから 1 年間、国際会議で日本人を目にすることが少なく、もっと積極的に参加してよいのではないかと問いかけがあり、米国、ヨーロッパのみでなく日本においても研究を盛り立てて行きたいとの思いが述べられた。

また、「核データの理論的研究」については核データ評価に用いられる様々な理論モデルの紹介を頂いた。中性子捕獲反応は、原子炉への応用とともに、宇宙物理において最も重要である。特に keV 領域の捕獲反応が重要であり、多くの中性子過剰な不安定核

が含まれる。不安定核など測定の困難な断面積の評価については、理論を積極的に用いたマイクロなアプローチと、システムティクスを用いた現象論的なアプローチとがある。JENDLの評価は後者の立場をとっている。宇宙物理では、3000以上の核を取扱う必要があり、このための核断面積計算システムが、光学モデル、HFM統計モデルや直接/準直接捕獲モデル(DSD)を用いて開発されている。システムティクスを用いた捕獲断面積計算結果は、GdやJENDL-3.3のFPデータにある幅内で一致することが示されたが、より良い評価を行うためには、実験に基づくパラメータ評価が必要であり、実験の必要性が強調された。トピックスとして、Surrogate Reaction Techniqueの紹介があった。これは、安定な核と $^3\text{He}$ などによる複合核の反応を研究することにより、直接測定するのが困難な不安定核の反応を評価するという手法であり、 $^{236}\text{U}$ やMAの核分裂などの研究に適用されている。質疑応答では、核データ評価の際行われる規格化とは、計算値が測定値に合うように、核モデルの計算入力パラメータを調整することであるなどの説明があった。

「断面積の測定」については、東工大原子炉研究所の井頭政之氏よりお話があった。現在、核反応理論予測精度は模型の域を脱していないため、実験で絶対値を求め、理論でエネルギー依存性を把握するなど、実験と理論は相補的な関係にある。天体核物理における元素の起源の解明には、keV領域の放射捕獲断面積が重要な役割を演ずる。捕獲断面積の測定では、高純度試料の用意が困難な核種、断面積の小さい核種及び放射性核種の捕獲断面積の測定は難しい。今回はそのような核種である $^7\text{Li}$ 、 $^{12}\text{C}$ 、 $^{16}\text{O}$ 、 $^{209}\text{Bi}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{129}\text{I}$ についてペレット加速器を用いて行われた捕獲断面積の新しい測定値のエネルギー依存性が紹介された。keV領域の捕獲断面積に関しては、s波捕獲が支配的な $^7\text{Li}$ では断面積は $1/v$ 則に従うが、 $^{12}\text{C}$ や $^{16}\text{O}$ に関してはp波捕獲が支配的となり断面積を $1/v$ 則で外挿できないことが実験的に明らかにされた。

「断面積の評価」の表題で、原研核データセンター柴田恵一氏より、核データ評価の概要についての紹介があった。核データライブラリとして具備すべき条件や収納される物理量、それらの測定データの文献情報(CINDA)や測定結果のデータベース(EXFOR)と核データ評価手順が示された。評価は基本的に測定値への最小自乗フィットとEye-guideで行われるが、測定値間の食い違いが大きかったり測定値がない領域では、理論計算に基づく評価が行われる。低エネルギーでの共鳴理論、高エネルギーでの光学模型、統計模型、前平衡模型、直接反応理論などの核反応モデルとそれを用いた場合の測定値との比較などが説明された。また、JENDL-3.3を例に取り、断面積ライブラリの改訂の例と、その影響について紹介された。JENDL-3.3は80%が90年代以降の評価データを採用しており、日・米・欧の比較では最も新しいデータを用いていることが示された。JENDL-4に対する今後の活動については、核データの評価・検証のみではなく、炉定数や品質保証についても考慮したいとの意欲が述べられた。今後のJENDL汎用ファイルの改定については、ENDFのように核種ごとに改定版をリリースすることはせず、緊急なニー

ズに対しては、特殊目的ファイルで対応したいとの議論があった。

「核データライブラリと臨界実験解析」について松本英樹氏より、ユーザーの立場から、核データに関する三菱重工のアクティビティーが紹介された。連続エネルギーモンテカルロ計算 (MCNP4C3) により軽水臨界集合体評価を実施した結果、JENDL-3.3 は次期 ENDF/B-VII 候補と考えられる ENDF/B-VI.8+ORNL の最新の  $^{235}\text{U}$  及び  $^{238}\text{U}$  と同等であることが示された。新たなライブラリ作成に向けて群数、群構造及び縮約重み関数についてのサーベイを実施中であり、それらに対する実効増倍率の依存性が示された。JENDL-3.3 を商業用 PWR へ適用すべく検討中であり、核データセンターからの強いサポートへの期待が述べられた。NJOY コードで用いられる多群断面積作成における重み関数や共鳴パラメータの設定等について意見交換が行われた。

「核種生成量評価とベンチマーク試験」と題して、原研の奥村啓介氏より、SRAC コードを用いた高浜 3 号機—照射後試験 (PIE) の解析結果について紹介があった。核データは、JENDL-3.3、ENDF/B (VI.5, VI.8) 及び JEF2.2 が用いられた。主要核種に対する計算値と測定値の一致は良好であるが、 $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{242}\text{Pu}$ 、Am、Cm では差が大きく、C/E の標準偏差も大きい。標準偏差が大きい核種については、測定値の見直しが必要である。F.P.については、 $^{147}\text{Pm}$  捕獲反応の核異性体比の評価が必要であること、 $^{149}\text{Sm}$  では本来ないはずの C/E の燃焼度依存性が見られること、更に Eu の同位体の断面積はライブラリ間で大きく異なり、冷却後の  $^{155}\text{Gd}$  の生成にも影響することが示された。核種の生成/消滅量については、断面積以上に収率や崩壊定数の依存性が大きく効く核種がある。収率の依存性が大きい場合、生成量が燃焼度との比例関係からずれてくる燃焼度以上の照射後試験データでなければ、核断面積データの検証は難しいとの指摘があった。炉物理ベンチマークシステムについても解析の効率化や、実験データ・解析データの継承の観点から構築が行われていることが紹介された。

閉会に際して、原子炉メーカーである三菱重工業 (株) の駒野康男氏より、核データは核設計の土台であり、経済性の観点から高い設計精度が要求されることから、より不確定性の少ない核データを提供していただきたいとの期待が述べられた。

また、この機会に、第 36 回日本原子力学会賞を受賞され、その副賞を核データ部会に寄付された、小林捷平、柴田恵一、中川庸雄、河野俊彦の各氏に核データ部会より感謝状が贈られた。

討論会終了後の懇親会には、多くの方が参加され、みなと横浜の灯りを観賞しながら遅くまで話に花を咲かせました。

今回初の試みとして、今後の部会活動の活発化を図るための資金として皆様より参加費を頂き、諸費用を除いた余剰金は、核データ部会に寄付し今後の活動資金とさせていただきます。部会活動の維持と活性化の方法については、今後とも議論を重ねる必要があると感じております。

今回、講義形式を避け、人数も比較的少ない30人としたことから、両分野における意見交換／人的交流という当初の目論見は達成されたように感じられましたが、題材を原子炉に限ったため、遮蔽など他分野からの参加がなかったことが反省としてあげられる。また、時間の都合上割愛した核構造などについては、核データ研究会と併せて開かれる核データチュートリアルなどでお話が伺えればと期待している。