核データニュース，No.90 (2008)

核データ部会・「シグマ」特別専門委員会合同企画セッション

「我が国の核データ活動を展望する」
(2) 原子力機構における核データ活動の展望

日本原子力研究開発機構
柴田　恵一
shibata.keiichi@jaea.go..jp

1. はじめに

現在、原子力機構内の核データ関連組織としては、1）核データ測定・評価に関しては核変換用核データ測定研究 Gr、核データ評価研究 Gr がある。また、2）ベンチマーク計算を行い、評価済核データの整備に貢献して頂いている核設計技術開発 Gr、炉心解析 Gr 及び核融合中性子工学研究 Gr がある。時間的制約から本講演では、1）の核データ測定・評価に関してのみ報告した。なお、測定に関しては核変換用核データ測定研究 Gr の大島 GL に纏めていただいた資料を柴田が代読した。

核データのみならず、原子力機構の実施する研究は 2005 年 10 月に発表された中期計画に基づいている。この中期計画は 2005 年 10 月 1 日から 2010 年 3 月 31 日の期間をカバーしており、核データに関しては測定・評価ともに MA や FP 核データの整備がキーワードとなっている。更に、評価では評価済ライブラリーJENDL-4 を完成させることが至上命題である。この基本方針に基づいて、この 2 年半活動を行ってきた。次に、測定・評価の現在までの活動を総括するとともに 2010 年 4 月からの次期中期計画での展望を解説する。

2. 核変換用核データ測定研究 Gr の活動

1) 現在までの成果

(a)　熱中性子捕獲断面積

MA 及び LLFP の熱中性子捕獲断面積を放射化法により主に京大炉や JRR-3 の施設を使って測定している。今までに、Np-237,238、Am-241,243、Sr-90、Zr-93、Tc-99、Pd-107、Cs-137、Ho-166m 等の熱中性子捕獲断面積や共鳴積分値を測定して

表 1　Pd-107 熱中性子捕獲断面積

文献	年代	断面積(b)
Mughabghab	2006	2.54±0.20
JENDL-3.3	2002	2.007
Nakamura *et al*.	2007	9.16±0.27

おり、その中には Np-238 や Pd-107 の熱中性子断面積等世界で初めて測定されたデータもある。Np-237 の熱中性子断面積は従来測定値間に 10%以上の食い違いがあったが、ガンマ線分光及びアルファ線分光を組み合わせることにより信頼度の高いデータを取得することができた。また、ORNL との共同研究により、即発ガンマ線法を用いて、Pd-107 の熱中性子捕獲断面積の下限値を世界で初めて実験的に得た。表 1 は、Pd-107 の断面積を示すが、Mughabghab 2006 の値は共鳴パラメータを用いた計算値である。評価済核データライブラリーJENDL-4 を整備する上で、貴重なデータを提供している。

JRR-3 では、多重即発ガンマ線測定装置 STELLA（図 1）を用いた新たな高精度断面積導出法（基底遷移法）の開発を行っている。これは測定されたガンマ線から原子核準位を構築し基底遷移を同定して、その強度から断面積を決定するものである。TOF 法と組み合わせることにより、熱中性子のみならず速中性子断面積の測定も可能となる。N-15、Mg-27、Cl-36 等において核準位構築法を実証した。

(b)　熱外・速中性子捕獲断面積

所謂共鳴領域の捕獲断面積取得を目的として、全立体角 BGO スペクトロメータ及び Ge スペクトロメータを開発し、京大炉線型電子加速器施設を用いて測定を実施してきた。Np-237 の共鳴領域捕獲断面積が高精度で測定されている。更に、J-PARC 物質生命科学実験施設（MLF）での実験準備を進めており、来年度から MA 及び LLFP 捕獲断面積の測定を本格的に行う予定である。図 2 に MLF の様子を示す。

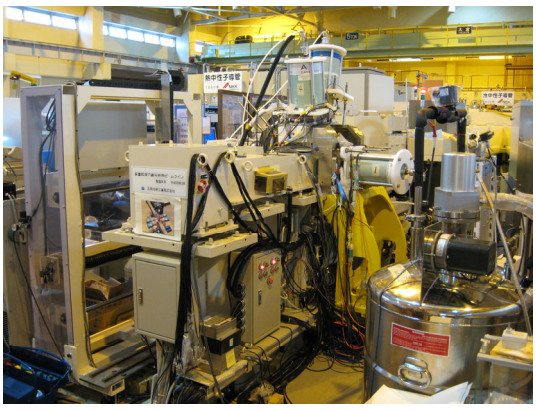

図 1　STELLA

(c)　高速中性子捕獲断面積

高速中性子エネルギーの領域では、3 カ所の実験施設で捕獲断面積測定技術の開発を行っている。原子力機構の中性子標準施設では、中性子源を変えることにより原理的には、数 keV から 20 MeV までの中性子実験が可能となる。東大の弥生炉では放射化法により中性子スペクトルで平均した断面積が得られ、評価済核データの検証に利

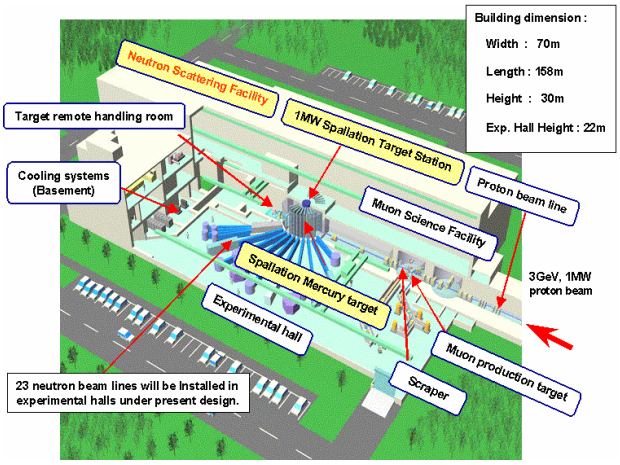

図 2　J-PARC 物質生命科学実験施設

用される。産総研レーザー逆コンプトン光実験施設（図 3）では、(γ,n)反応から逆反応である(n,γ)反応の断面積を求める研究が行われている。これにより、サンプル入手の困難から測定できない(n,γ)反応断面積を逆反応から導出でき、Se-79 の様に中性子捕獲断面積の測定値が全く存在しない LLFP のデータが将来取得できる可能性がある。

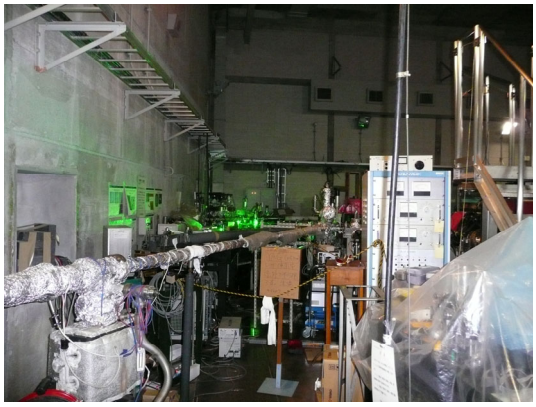

図 3　産総研レーザー逆コンプトン光実験施設

2) 次期中期計画での核データ測定の展望

2010 年度から始まる次期中期計画については現在議論の最中であり、現時点で明確な事は言い難い。原則的には、今中期計画で開発した高精度実験手法及び先導的中性子実験施設をフルに使ってデータを取得し、核変換研究・革新炉開発のための原子力基盤研究、宇宙核物理・核構造などの基礎物理研究、更には高度ガンマ線測定技術の微量元素分析等の応用研究を行い、先導的中性子科学研究を創出することを目標とする。

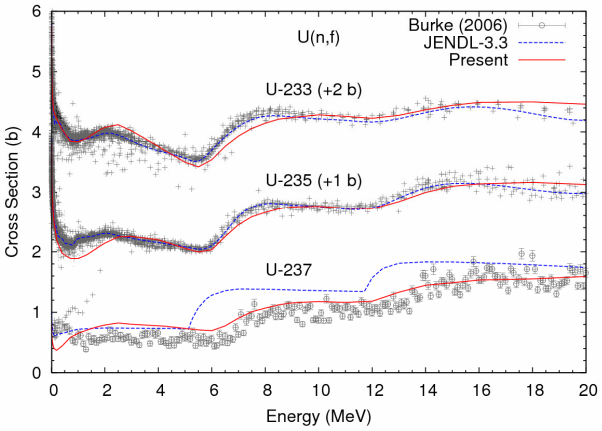

図 4　CCONE で計算した核分裂断面積

3. 核データ評価研究 Gr の活動

1) 現在までの成果

(a)　核反応モデルコードの開発

共鳴領域以上のエネルギーの核データ評価では、核反応モデルコードが用いられる。JENDL 開発の初期では ELIESE-3、CASTHY 等のコードを開発し、評価に使ってきた。しかしながら、近年では GNASH に代表される外国産のコードが日本でも多用されてきた。外国産コードが悪いわけでは勿論ないが、最新の物理的知見をコードに反映し、核データ評価を効率的に行うにはやはり自前のコードの開発が必要である。評価 Gr では今中期計画中に 2 つのモデルコードを開発した。一つはアクチノイド核種評価のための CCONE コード、もう一つは FP・中重核評価のための POD コードである。いずれのコードも Hauser-Feshbach-Moldauer 統計理論、前平衡模型及び直接反応模型をベースにしている。コードそれ自身の整備のみならず、コード作りが出来る人材が育ったことは非常に喜ばしい。米国、欧州と比べても決して引けをとらないと確信している。CCONE による計算結果の一例として図 4 にウラン同位体の核分裂断面積を示す。ウラン同位体の核分裂断面積は実験値が豊富であるが、MA では実験値が乏

しい。そのような状況でも計算パラメータの系統性から信頼度の高い断面積求めることが可能である。

(b)　汎用ライブラリーJENDL-4 の整備

JENDL-4 の開発では、大きく分けて FP・中重核及びアクチノイド核データの整備を並行して行ってきた。FP の収納予定核種は 213 核種あるが、低エネルギー断面積を決定する分離共鳴パラメータは 108 核種について JENDL-3.3 から改訂した。加えて、13 の新評価対象核種の共鳴パラメータを整備した。なお、この作業は原子力機構シグマ委員会の協力を得て行った。共鳴領域以上の高エネルギー断面積は核反応モデルで評価がされるが、その際重要となるのが光学模型ポテンシャルである。質量数 50 から 240 の範囲で核子のチャネル結合光学模型ポテンシャルの導出に成功した。図 5 は s 波中性子強度関数の質量依存性を示すが、今回得られたチャネル結合光学模型ポテンシャルを用いることにより、質量数 150 以上の所謂変形核の中性子強度関数を球形光学模型よりも極めて良く実験値を再現することが出来る。このことは、我々が得たポテンシャルは高エネルギーのみならず、keV 領域の低エネルギーでも極めて信頼度が高いものであり、捕獲断面積の決定に重要な意味を持つ。このポテンシャルを用いて Zn、Nb、Ag、Nd、Pm、Tb、Dy の評価を行った。FP 以外の中重核では、コンクリートの成分であるシリコン及びカルシウムのデータを評価した。

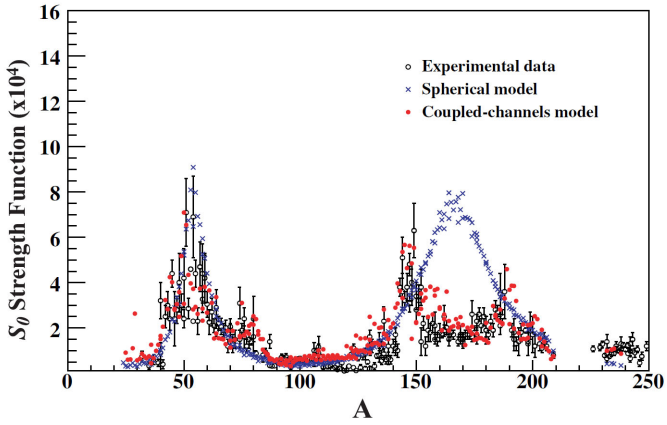

図 5　s 波中性子強度関数の質量(A)依存性

一方、アクチノイド核種では Ac-225 から Fm-255 迄の 79 核種を評価して、JENDL Actinoid File 2008 (JENDL/AC-2008)として公開した。この特殊目的ファイルは pre JENDL-4 とも見なせるものである。熱中性子捕獲断面積・核分裂断面積は測定値を吟味して決定した。分離共鳴パラメータの一部は ENDF/B-VII.0 のものを採用しているが、U-235 に関しては高速ウラン炉心のベンチマークテストの結果から、上限エネルギーを JENDL-3.3 の 2.25 keV から 500 eV に変更している。なお、U-235 の捕獲断面積は OECD/NEA の評価国際協力ワーキングパーティー（WPEC）の SG29 に於いて現在検討中であり、そこでの成果は JENDL-4 に反映される予定である。高エネルギー断面積は CCONE コードで評価したが、測定値がある核分裂断面積に関しては最小自乗コード GMA により評価値及び共分散を得ている。

(c)　汎用ライブラリー以外のデータ整備

3 GeV 迄の中性子・陽子核データの整備を行ってきたが、昨年末に 106 核種を収納した JENDL High Energy File 2007 (JENDL/HE-2007) を公開した。2004 年版である JENDL/HE-2004 のデータを改訂するとともに、核種数も増やした。図 6 は原子力機構

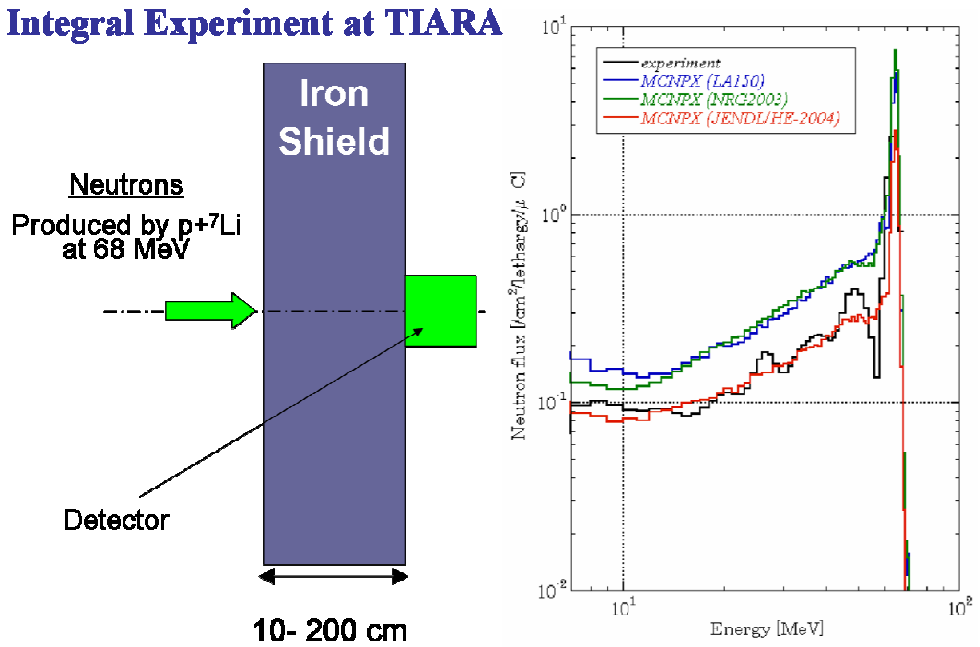

図 6　TIARA に於ける鉄遮蔽実験の解析結果

TIARA での鉄遮蔽実験の結果を示しているが、JENDL/HE の計算結果は実験値を良く再現しているが、LA150 及び NRG2003 は系統的に実験値を過大評価している。この様に、高エネルギー領域においても信頼度の高い評価済核データを整備した。

核反応データ以外には、国際協力により核構造データファイル(ENSDF)の整備を行っている。このデータは、原子核準位、崩壊形式を纏めたものであり、核反応の理論計算の入力データとして不可欠なものである。その他、競争的資金の導入により、核データの普及のための取り組みや原子炉臨界性等の積分データから評価済核データへのフィードバックを容易にするシステムの開発を行っている。

2) 次期中期計画での核データ評価の展望

測定 Gr と同様に、次期中期計画については講演の時点では十分な議論が行われていない。従って、Gr 内でどの様なことが考えられているかを箇条書きしてみる。

(a)　汎用ファイル関連データの整備

・JENDL-4.0 のフォローアップ

- 共分散データの拡充（手法の再検討）
- 荷電粒子、反跳核、ガンマ線スペクトルの追加

- 品質保証（QA）

・ 新たな取り組み

- 分離共鳴パラメータの独自評価
- 軽核評価手法の検討（R 行列、少数核子系物理）
- 熱中性子散乱則の検討（原子分子物理）

(b) 特殊目的関連データの整備

・JENDL 高エネルギーファイル

- JENDL/HE-2007 での未評価核種の評価・ファイル化
- 一部の核種で見られる 200 MeV 領域での断面積不連続の解消

・ JENDL PKA/KERMA ファイル

- 材料工学との接点
- JENDL-4 及び JENDL/HE からの処理コード開発

上記の項目は単にリストアップしただけで、特に優先順位は無い。勿論、克服すべき問題点もある。例えば、熱中性子散乱則の検討は軽水炉の利用者からのニーズは高いが、その評価には原子分子物理の知識も必要であり現行のマンパワーで何処まで対応できるか見定める必要がある。核データの材料分野への応用として PKA/KERMA ファイルは意義があると考えられる。材料損傷評価においては図 7 の様に原子核反応は最初のステップでありその物理現象を正確に捉えることは、後のステップでの計算に大きな影響を及ぼす。今後この分野での機構内外の材料 Gr との連携が不可欠である。

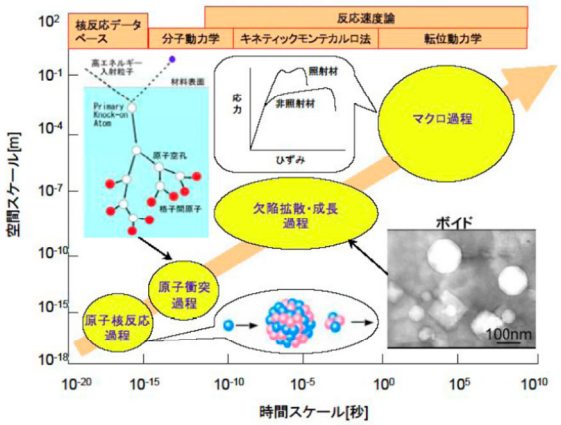

図 7　材料損傷の描像

4. 終わりに

原子力機構における核データ測定・評価に関して、2005 年 10 月以降現在までの成果及び 2010 年から始まる次期中期計画での検討項目について述べた。次期中期計画に関しては、現在、若手を中心に議論がされているが、核データ利用者からのニーズも一つ大きなポイントとなるので、コメントがあれば測定 Gr、評価 Gr にお寄せ頂きたい。