

WG活動紹介

高エネルギー核データ評価WG

原研核データセンター

深堀 智生

e-mail: fukahori@cracker.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

近年、加速器技術の発展により、原子力のエネルギー生産分野のみならず非エネルギー分野においても、放射線の高度利用の必要性が議論されている。国内だけでも、原研中性子科学研究センター及び国際核融合炉材料照射施設(IFMIF)や文部省の大型ハドロン施設等の加速器建造計画、原研の放射線高度利用施設(TIARA)や放射線医学総合研究所の重粒子線癌治療施設(HIMAC)の稼働等、高エネルギー放射線利用のための加速器を中心とした施設が多分野にわたって利用に供されようとしている。こういった基礎研究、放射性廃棄物の消滅処理研究、核融合炉材研究、医学研究などを目的とした次世代放射線利用施設の建設が計画されているが、この施設の建設そのもの及び上記研究を遂行するために高エネルギー核データが必要となる。

本WGは、こう言った状況の下、評価済高エネルギー核データファイルの作成を目的に結成された。その過程で必要な理論の検討、実験データの収集、評価方法の開発など 20 MeV以下で行っていた事を、エネルギー範囲を高エネルギー側へ延ばすことを除いて、そのまま再現しつつ、活動を進めている。本報告では、評価済高エネルギー核データファイル整備の現状を主に、本WGの活動について紹介する。

2. 評価済高エネルギー核データファイル整備の現状

高エネルギー核データファイルに要求されているのは大きく分けて次の4つの物理量である。

- (a) 全断面積（中性子入射のみ）、弾性散乱断面積、全反応断面積
- (b) 核種生成断面積
- (c) 放出粒子の生成及び2重微分断面積（n, p, d, t, ^3He , α , γ , π , etc.）
- (d) 高エネルギー核分裂関連諸量

この内、(a)に関連して、全断面積、弾性散乱断面積及び全反応断面積、統計模型計算で必要な透過係数の計算に関しては、光学模型による解析が進んでおり、系統式と

併せて計算可能となっている。また、(b)、(c)については国際ベンチマークテストが行われ、大まかな結論としては、(b)については計算時間の比較的少い解析的な前平衡モデルを用いた計算コードが、(c)についてはモンテカルロ法をベースとする核内カスケードモデル及び量子論的分子動力学法 (QMD) を用いた計算コードが評価手法として適している。(d)に関しては、種々の評価手法が提唱されているが、現状では、更なる手法の整備・開発が必要であろう。評価計算は上記の計算コード群を縦横に組み合わせて行う必要がある。

第1表に、整備を進めているJENDL高エネルギーファイルの概要を示す。JENDL高エネルギーファイルは、中性子及び陽子入射反応に対する核データを格納し、大きく50 MeVまでのIFMIF用データと2 GeVまでの高エネルギー加速器用のものに分けることが出来る。20 MeV以下のエネルギー領域に関しては、JENDL核融合炉用ファイルまたはJENDL-3.2を結合する。現在、両ファイルについて評価作業が進行しているが、IFMIF用JENDL高エネルギーファイル (中性子エネルギー ≤ 50 MeV) については、第1表の内18元素55核種について、SINCROS-IIによる評価が終了し、JENDL核融合ファイル及びJENDL-3.2との結合を終えて、ファイルのチェック中である。Phase-IIの評価に関しては、現在、作業進捗中であるが、評価は前平衡過程コードALICE-F及び核内カスケードもしくは量子論的分子動力学法を用いたコードの組み合わせによって行う予定である。

海外での高エネルギーファイル整備の現状を第2表にまとめる。ブルックヘブン国立研究所 (BNL) は1990年にENDF/B-VI高エネルギーライブラリを公開しているが、その後格納核種数は増えていない。現在、最も活発なのがロスアラモス国立研究所 (LANL) で、ここ1-2年で核種数を30以上にする予定である。ロシアの活動も比較的活発であるが、国際的に合意したフォーマットを採用していないため、利用に関しては未だ問題が残っている。表には記していないが、中国も高エネルギーファイルの作成に着手している。韓国においても高エネルギーファイルの重要性は認識されており、日本との協力を検討中である。いずれにしても、高エネルギー核データの分野では、今後、国際協力が重要となるであろう。

3. 現存ファイルの課題

現存ファイルの課題としては、評価値の精度向上は自明であるとして、入射粒子と標的核の組み合わせをどこまで考慮してファイルを作成するかにあると考えられる。一定以上のエネルギーを超えると π 中間子を始め従来考慮の対象とならなかった放出粒子が生成されるようになる。全ての粒子の輸送を追うために、非常に多くの入射粒子に対する評価済ファイルを整備することは、現実的ではない。MCNPXのシステ

ムのようにあるエネルギー以上のライブラリーが無いが、このエネルギー以下であってもライブラリーに含まれていない反応（例えば、 π 中間子入射反応）に関しては、別のコード（この場合はLAHET）につなぐような手法を取るのが有効であろう。HE TC系やQMDのようなモンテカルロコードは100 MeV以下の入射エネルギーでは精度が良くない傾向にあるので、核データファイルを整備する上で、適正なエネルギー範囲を設定することも重要となる。

評価済核データファイルを用いて核計算を行うには、適用する計算コードに応じてデータの表現形式を変換し、そのコードのライブラリーファイルとする必要がある。現在、高エネルギーの核データファイルはENDF-6形式が国際的に採用されており、その形式から変換することになる。これまで原子力利用のためにJENDLファイルとして整備されてきた20 MeV以下の核データでは、NJOYに代表される処理コードを用いて行われてきた。しかし、高エネルギー核データに対応できる処理コードは、米国でしか開発されていない。更に、高エネルギーにおいては、従来核分裂炉や核融合炉用のライブラリーに対して行ってきたような積分的検証のためのベンチマーク実験がきわめて少ない。これは、評価済核データファイルの精度検証のために重大な問題となる。このため、平成9年度に「高エネルギー核データファイル積分的検証のためのタスクフォース」にお願いし、ベンチマーク関連の問題に対する検討を開始した。

4. その他活動状況

その他活動として、評価用理論計算コードとして使用の可能性のあるSINCROS-II、EXIFONおよびALICE-Fについての検討、最新理論に関する勉強、高エネルギー核データの評価体制および格納方法の検討などを行った。また、光学模型パラメータの整備に関連して、JLMモデルなどmicroscopic OMPの検討およびNEA/NSC/WPEC/SG13主催の専門家会議（1996年11月フランス）への参加等を行った。

5. 今後の予定

今後の以下のように活動する予定である。

- 1) IFMIF 用の50 MeVまでの中性子入射反応のレビュー・ファイル化
- 2) 2 GeV までの評価及びレビュー
- 3) 評価用計算コードの整備 (EGNASH、EXIFON、MUSE、ALICE-F、etc.)
- 4) 光学模型パラメータの整備
- 5) 核子-核子散乱データ及び π 生成・吸収断面積の整備
- 6) 高エネルギー核分裂の検討
- 7) 高エネルギー核データファイルの誤差ファイルに関する検討

8) 国際協力（特にNEA/NSC/WPEC/SG13対応）

上記の他、高エネルギー核データファイルの積分テストに関するタスクフォースの検討結果に対応して、WGの体制を含む活動の見直しを行う可能性もある。

6. おわりに

以上、高エネルギー核データ評価WGの現状について紹介した。国内外で、着々と次世代放射線利用施設が計画されている中、これら計画の実現のためには高エネルギー核データ整備が、今後、益々その重要性を増すものと思われる。このためには、評価のための理論的基盤をより強固なものにしていかなければならないのは明白であるが、評価の基本はやはり実験データである。国際的な協力に基づく測定の継続はもとより、国内関係機関の方々のご協力を切に希望するものである。また、ユーザのニーズの現状を的確に把握し、必要な核データを遅滞なく提供すべく、評価済高エネルギー核データファイル整備の焦点を設定していく必要がある。更に、今後、高エネルギー核データ評価に関する国際協力もその重要性を増すものと思われる。本WGにおいても、国内の関係諸機関と連携を保ち、高エネルギー核データファイルを順次整備していく所存である。今後とも、関係各位のご協力をお願いしたい。最後になってしまったが、WGのメンバーを以下に示す。

WGメンバー（順不同、敬称略、平成9年12月31日現在）

浅見 哲夫、松延 廣幸（データ工学）、五十嵐 信一（新技術情報）、井口 哲夫（名大）、石橋 健二、渡辺 幸信（九大）、岩崎 信（東北大）、大石 晃嗣（清水建設）、岡本 浩一（システム懇）、小田野 直光（船研）、川合 将義、沼尻 正晴（KEK）、桑折 範彦（徳島大）、福本 亨（CRC総研）、村田 徹（核燃開発）、山野 直樹（住友原子力）、山室 信弘（東工大名誉教授）、義澤 宣明（三菱総研）、渡部 隆（川重）、水本 元治、大山 幸夫、岸田 則生、田中 進、千葉 敏、深堀 智生、中根 佳弘、高田 弘（原研）

第1表 JENDL高エネルギー核データファイル整備予定

| File Name | release |
|--|---------|
| for IFMIF (for neutron, < 50 MeV): 31 elements, 81 isotopes H, Li, Be, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ge, Y, Zr, Nb, Mo, W, Au, Pb, Bi | 1998 |
| Phase-II (for neutron and proton, < 2 GeV): 39 elements, 101 isotopes H, Li, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, Cl, Ar, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, W, Au, Hg, Pb, Bi, Th, U, Np, Pu, Am, Cm | 1999 |

第2表 各国の高エネルギーファイルの現状

| 所在 | 概要 | 格納核種 |
|---------------|---|--|
| BNL | ENDF/B-VI高エネルギーファイル。 1 GeVまでの中性子及び陽子入射反 応データ。ALICE-Pによる評価。 | ^{12}C , ^{56}Fe , ^{208}Pb , ^{209}Bi |
| LANL | 150 MeVまでの中性子及び陽子入 射高エネルギーファイル。FKK-GN SHAによる評価。 | ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{27}Al , Ca, $^{54,56,57,58}\text{Fe}$, $^{28,29,30}\text{Si}$, $^{182,183,184,186}\text{W}$, $^{206,207,208}\text{Pb}$ |
| ECN Petten | 150 MeVまでの陽子及び中性子フ ァイル。FKK-GNSHAによる評価。 | $^{54,56}\text{Fe}$, $^{58,60}\text{Ni}$ |
| FZK | 50 MeVまでのIFMIF用中性子フ ァイル。 | ^{52}Cr , ^{56}Fe , ^{51}V |
| IPPE Obninsk | 100 MeVまでのファイル(WIND)。 | n+ $^{232-238}\text{U}$, $^{237,239}\text{Np}$, $^{236-244}\text{Pu}$, p+ ^{238}U |
| IPPE Obninsk | 100 MeVまでの放射化断面積フ ァイル(MENDL-2)。 | 505核種 (反応) |
| NEA/Data Bank | 全断面積、弾性散乱断面積及び非弾 性散乱断面積実験データのサーベイ (Barashenkov Compilation) | 多数 |