

原子力をささえる核データライブラリー JENDL-4 の作成に向けて

— 次期 JENDL 検討小委員会*報告 —

日本原子力研究所

核データセンター

柴田 恵一

shibata@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1. 検討小委員会設立の経緯と活動概要

汎用評価済核データライブラリーJENDL-3.3は2002年5月に公開された。このライブラリーは1980年代から整備されて来たJENDL-3シリーズの最新改訂版である。そこで、次期JENDL汎用ライブラリーの開発体制について議論するための小委員会の設置が、2002年3月11日に開催された運営委員会において核データセンター長谷川室長より提案された。そして、同年6月13日の運営委員会で原研核データセンター柴田恵一を委員長として検討小委員会の発足が認められた。なお、小委員会メンバーは核データの評価及び利用の観点から小委員会委員長が人選した。

運営委員会からは「次期JENDL汎用ライブラリー」についての検討を依頼されたわけであるが、マイナーチェンジを施したJENDL-3.4を作るのではなく、大幅な飛躍を目指して「次期JENDL汎用ライブラリー=JENDL-4」として議論をおこなった。本小委員会発足前の2002年5～6月に次期JENDLに関するアンケートが電子メールで行われ、その結果(表1)も参考にした。会合としては、5回、以下のように開催した。

- (1) 第1回会合 2002年9月11日
- (2) 第2回会合 2002年10月30日
- (3) 第3回会合 2002年12月19日
- (4) 第4回会合 2003年1月30日
- (5) 第5回会合 2003年5月26日

* メンバー：井頭政之（東工大）、石川眞（サイクル機構）、河野俊彦（九大）、瑞慶覧篤（日立）、田原義壽（三菱重工）、山野直樹（住友原子力）、千葉敏、深堀智生、前川藤夫、岩本修、柴田恵一（原研）

委員以外では、以下の専門家を講師として招聘した。

古林徹（京大）、尾川浩一（法政大）、坂下毅一郎（三菱重工）、西谷健夫（原研）、
辻本和文（原研）（敬称略）

さらに、関村直人（東大）、島川聡司（原研）、中島健（原研）、中島宏（原研）、秋江拓志（原研）の各氏からは有益な情報を頂いた。

会合では、種々の核データ利用分野からの JENDL-4 に対する要望を聴取して、重点を置くべきデータ、問題点等を洗い出した。意見聴取をした分野は、軽水炉、高速炉、高エネルギー加速器遮蔽、加速器駆動システム（ADS）、核融合炉中性子工学、臨界安全、バックエンド、ホウ素中性子捕獲療法（BNCT）、照射損傷、天体核物理、放射性医薬品製造である。

本報告書では、JENDL-4 の目的、おおよその仕様、作業体制及び克服すべき課題について言及する。

2. JENDL-4 の目的

現行軽水炉の高燃焼度化、MOX 燃料使用、燃焼度クレジット導入による臨界安全管理・評価等を考慮した原子力の安全性及び経済性の向上、低減速炉や ADS をはじめとする革新的原子炉の研究開発、医療や天体核物理等の基礎科学分野への応用等のために、質・量共に十分対応できる汎用評価済核データライブラリー JENDL-4 を整備する必要がある。JENDL-4 は、それをベースとして作成された典型的な炉定数ライブラリーを含む総合システムにとらえ、その品質保証を明確にし、日本の標準核データライブラリーとしての地位を確保する。

3. JENDL-4 の仕様

意見聴取を行った各分野からの JENDL-4 に対する要望を表 2 に纏めた。これとアンケート結果（表 1）を基に、データの完全にそろった汎用ライブラリー JENDL-4 の仕様を以下のように決定した。

3.1 入射粒子

JENDL-3.3 迄は中性子に限定されていたが、JENDL-4 ではそれ以外に陽子等の荷電粒子、光子反応データ及び自発核分裂データにも核種を限って対応すべきである。但し、一部の反応データのみを扱うのであれば汎用ライブラリーの範疇ではなく、特殊目的ファイルとして別途整備する。

3.2 エネルギー範囲

入射エネルギーに関しては、 10^{-5} eV から 20 MeV までは必須とする。応用上必要な場合は、その核種の最大入射エネルギーを拡張する。

3.3 対象核種

汎用ライブラリーとしては JENDL-3.3 の収納核種数 337 を大幅に上回る必要性はないと思われる。(参考：ENDF/B-VI 329 核種、JEFF-3.0 340 核種) Dy 等明確に要求のある核種は考慮する。燃焼計算に必要な FP 核データの内、半減期が短く、収率の少ない約 1000 核種については天体核データの一部として整備し(特殊目的ファイル)、汎用ライブラリーには含めない。

汎用ライブラリーに含めるべきではあるが独自に評価出来ない核種に関しては、データレビューの後、判断基準を明記して他のライブラリーのデータを採用する。従来、JENDL はコピーすることを潔しとせず、純血主義を貫いてきた。(部分的には、共鳴パラメータ等で破綻しているが。)利用者サイドからは、データセットは一つに纏まっている方が便利であるので、非合理的な純血主義は排除すべきである。

3.4 フォーマット

今後纏まる ENDF-7 フォーマットを踏襲する。但し、フォーマットの改善要求は CSEWG に対して積極的に行うべきである。

3.5 重点項目

1) 入射粒子と最大エネルギー

中性子に加えて、荷電粒子、光子、自発核分裂反応を考慮する。最大入射エネルギーは、20MeV までは必須とし、必要に応じてそれ以上に拡張する。

2) JENDL-3.3 の問題点の解消

ベンチマークテスト及び利用者の使用経験に基づき、不具合を解消する。

3) マイナーアクチニドデータの精度向上

現行軽水炉の高燃焼度化、MOX 燃料使用及び ADS 設計のためにマイナーアクチニドデータ精度の一層の向上が求められる。

4) FP データの精度向上

革新炉の設計及び臨界安全評価等のために FP データの精度向上が求められる。Zn 及び Dy も評価の対象とする。

5) 誤差評価

今後種々の設計計算における精度評価に於いて、誤差データが求められる。JENDL-4 作成においては、必要な核種・反応に対しては誤差データを付与する。

6) 核分裂生成物収率及び核分裂中性子スペクトルデータの整備

自発核分裂を含めて JENDL-4 としてデータを整備する必要がある。

7) ガンマ線生成データの作成

FP 核種を含めて再評価に際しては、ガンマ線生成データ(断面積、スペクトル)を付

与するように努める。

8) 放出荷電粒子、反跳核スペクトルの整備

材料損傷評価に必要な荷電粒子、反跳核スペクトルの付与に努める。特に、軽核では、JENDL/F-99 にも荷電粒子スペクトルは一部核種にしか収納されていない。

9) データの整合性

データ評価の際にはエネルギーバランスに代表されるデータの整合性には注意を払う。

10) その他の中性子データ

材料損傷評価に必要な ^{59}Ni データを整備する。また、 ^{197}Au データも新たに整備する。

4. JENDL-4 作成の体制

ライブラリー作成に当たっては、原研核データセンターがイニシアティブをとり、シグマ委員会の協力のもとに評価、編集、炉定数作成、ベンチマークテストを効率的に行う必要がある。シグマ委員会内の各 WG は JENDL-4 に向けて作業を行うとともに、運営委員会はその為の方策（委員会のリストラを含めて）を実施する。以下に各グループの役割を論じる。

4.1 核データセンター

- 1) JENDL-4 作成をコーディネートする。シグマ委員会各 WG 及び原研内関連研究室との連携を密にする。また、JENDL-3.3 利用者からのフィードバック情報を蓄積し、評価に役立てる。
- 2) マイナーアクチニドに関しては、今までの経緯から核データセンターが評価を担当すべきである。勿論、利用者との情報交流は不可欠である。必要ならば、シグマ委員会内に WG を立ち上げる。
- 3) 誤差評価のためのツールを整備し、評価者に提供する。
- 4) 重要核種である構造材及び主要アクチニド核種については核データセンターが常に測定データを監視し、必要な改良を行う。
- 5) ^{59}Ni 、 ^{197}Au の評価を担当する。

4.2 評価計算支援システム WG

- 1) 評価のガイドラインを作成する。（例えば、光学模型パラメータの決定法（SPRT）の解説等、最終的には教科書として使えるようなものを考える。）特に、JENDL で今まで採用しなかった標準断面積の使用法について検討する。
- 2) 評価を効率的に行うための支援ツール等を開発し、評価者に提供する。

4.3 FP 核データ評価 WG

JENDL-4 のために FP 領域のデータを評価する。誤差データをその必要な核種の捕獲断

面積に対して付与する。さらに、ガンマ線生成データの付与に努める。

4.4 核分裂生成物収率データ評価 WG

自発核分裂を含め、核分裂生成物収率データ及び核分裂中性子スペクトルを評価する。収率データに関しては、その誤差も検討の対象とする。

4.5 高エネルギー核データ評価 WG

- 1) JENDL-4 において最大中性子エネルギーを拡張すべき核種を選択するとともに、そのデータを提供する。
- 2) PKA スペクトルデータを提供する。
- 3) 荷電粒子、光子入射反応データを提供する。

4.6 リアクター積分テスト WG、Shielding 積分テスト WG 及び核種生成量評価 WG

JENDL-4 のベンチマーク問題を選択するとともに、データの善し悪しの判断基準を作成する。(JENDL-3.3 の積分テスト結果から、JENDL-4 での改善要求。) 核データセンターと協力して JENDL-4 用のデータの積分テストを実施し、その結果を核データ評価に反映する。また、積分テスト計算で使用した入力、実験値、計算結果をデータベース化して利用できるようにする。

4.7 標準炉定数検討 WG

利用者のニーズに根ざした JENDL-4 ベースの標準炉定数を作成する。

4.8 JENDL 編集グループ

- 1) データのファイル化及びフォーマットチェックを行う。
- 2) レビューキットを作成し、データレビューに向けた体制を整える。JENDL の品質保証の観点から、レビューを厳格に行う必要がある。

4.9 運営委員会

- 1) JENDL 及び核構造・崩壊データのための作業が効率的に行えるように、シグマ委員会の体制を整える。各 WG の目的・目標を明確にし、常にその活動状況を把握して、目標達成のために必要な提言を行う。
- 2) 原子力学会核データ部会、炉物理部会と連携できる体制を整える。特に、炉物理研究側からの要求及び JENDL の使用経験等の情報を核データ評価者にフィードバックできるよう、必要な方策を講じる。
- 3) JENDL を日本の標準ライブラリーとすべく、原子力学会標準委員会の活動に積極的に協力する。

5. 課題

5.1 共鳴解析

JENDL に収納されている重要核種の共鳴パラメータの殆どは、ORNL の SAMMY コードを用いた熟練評価者によるものである。共鳴パラメータは原子力の分野では最も重要な核データである。そのような重要なデータを 1 グループの活動に頼るのは、好ましいものではない。今後の核データ活動を考えると、共鳴解析を行える人材を国内（新法人、大学）で育成する必要がある。共鳴解析は地道な仕事であり、それを安定して行えるポストを用意することも努力目標である。

さし当たり SAMMY ワークショップへの参加、または、日本での同ワークショップの開催を考えたらどうであろうか。

5.2 核反応モデルコード

JENDL の評価では、GNASH に代表される外国製の計算コードが頻繁に用いられる。核データの信頼度の向上及び最新の原子核理論の成果を取り入れるため、独自のコード及びそれを作れる人材を育てる必要がある。

5.3 熱中性子散乱則データ

散乱則データは JENDL には存在しない。利用者は ENDF のデータに頼らざるを得ない。冷中性子を使った構造解析等でニーズは十分あると思われるが、果たしてどう対応すべきか。シグマ委員会として、議論して頂きたい。

5.4 断面積処理コード

評価済核データを原子力分野で利用するためには、炉定数作成コードの開発・保守を継続的に行える人材を確保する必要がある。

6. 国際協力

発足から 40 年を経過したシグマ委員会は、メンバーの高齢化により核データ評価に従事できる人数が極めて少なくなっている。従って、それを補うためにも、NEANSC/WPEC や IAEA/CRP を有効的に活用すべきである。これらの活動では、元来日本からの提案はほとんど無いのが現状であるが、今後は積極的に利用していく姿勢が重要である。また、積極的な活動をしている LANL、CEA、KAERI との個別的な研究協力も推進すべきである。少なくとも一部のデータ（例えば、水素等の標準断面積）が世界共通になっても良いのではないか。但し、現時点では、世界統一ライブラリーの作成を目指すものではない。

7. 品質保証

JENDL-4 では JENDL-3.3 以上に信頼性の向上が求められる。従って、品質を保証する基準を策定する必要がある。データ公開前に広範囲なベンチマークテストを行うことにより、その結果を評価済データに十分反映する。最終的に、評価済データは策定された品質保証基準を満たしていることを示されねばならない。データ公開後は、ベンチマークテストの結果及び計算入力をデータベース化して、利用者が参照できるようにする。また、利用者の便を考え、可能な限り JENDL-4 ベースの炉定数を作成する。これらの活動を通して、日本の標準核データライブラリーとしての地位を確保できるように努める。

8. 結言

各分野におけるデータ利用者の意見を考慮して、次期汎用ライブラリー JENDL-4 について検討した。この報告書にある提言をもとに、シグマ委員会運営委員会が具体的な評価体制を確立し、各グループを適切に指導することを希望する。

JENDL-4 に対する要望、意見等がありましたら核データセンター迄お願い致します。

次世代原子力を支える核データベース JENDL-4

利用範囲の拡大 → 革新的原子炉の研究開発、核燃料サイクル、放射線利用

データの整備

★核データ評価

MA、FPデータの精度向上
誤差、2次ガンマ線データの充実
荷電粒子、光子入射データの導入
最大エネルギーの拡張

★積分的検証

ベンチマークテスト

総合システム

データの利用

★炉定数作成

多群輸送計算
連続モンテカルロ輸送計算
燃焼計算

★品質保証

精度評価

日本の標準核データライブラリー

表 1 次期 JENDL に関するアンケート結果

2002 年 5～6 月に行われた標記アンケートに対する回答は 7 件あり、以下にその内容及び補足説明を掲げる。

次期 JENDL の仕様

- ガンマ線生成データの充実。(全ての核種に、ガンマ線生成データを付与する。)
補足説明：JENDL-3.3 では、337 核種中 114 核種にガンマ線データが付与されている。
- 自発核分裂スペクトルデータの整備。
補足説明：JENDL-3.3 は中性子入射反応データであり、自発核分裂データは収納されていない。
- ADS 等のための高エネルギー核データ整備。
- 天体核物理、医学用、半導体等の非エネルギー分野への適用。
- 誤差データの充実。
補足説明：JENDL-3.3 では 20 核種に誤差が付与されているが、あくまでも高速炉用に整備したものである。
- 荷電粒子入射反応データへの対応。
- FP として Dy データを整備してほしい。
- JENDL-3.3 の問題点の解消。
補足説明：既に JENDL-3.3 の不具合が幾つか見つかり、それらを改訂する必要がある。
- 医学用の内殻電子電離データの整備。
最後の項目の内殻電離データは、医学用原子分子・原子核データグループからの要請であるが、それは所謂、核データではなく、かつ整備する専門家もシグマ委員会には存在しないので、JENDL-4 としてデータベースに纏めるのは不可能である。

評価手法及び体制

- 独自の核反応モデル計算コードの作成。
補足説明：現在、評価に使われているコードは GNASH、DWUCK 等外国製のものが多い。
- 核反応モデル計算コード入力パラメータライブラリーの整備。
補足説明：IAEA で RIPL と呼ばれるパラメータライブラリー（最新版は RIPL-2）を整備している。
- 国際協力の推進。
補足説明：シグマ委員の定年退職に伴うマンパワー不足からも、国際協力は積極的に推進する必要があるかも知れない。

表 2 JENDL-4 に対する各分野からの要望

軽水炉・高速炉関連

- a) MA、FP データの精度向上
- b) 核分裂収率データの見直し
- c) 自発核分裂中性子スペクトルの評価
- d) 全ての核種にガンマ線生成データを付与
- e) 誤差データ

ADS

- a) MA 核データの精度向上
- b) 核分裂収率データの精度向上

臨界安全

- a) MA、FP データの精度向上
- b) ガンマ線生成データの付与

核融合炉中性子工学

- a) JENDL-3.3 問題点の解消
 - OKTAVIAN、FNS 実験との比較から要再検討核種 : Li、C、F、Al、Si、V、Ti、Fe、Ni、Co、Zr、Mo、Nb、W
 - (n,2n)反応断面積 : Be、Zr、Pb
 - ガンマ線生成データの追加 : Sn
 - 軽核からの荷電粒子スペクトル (PKA を含む)
- b) 誤差データの整備 : H、He、Li、Be、B、C、N、O、F、Na、Al、Si、Mg、Ti、V、Cr、Fe、Cu、Nb、Mo、Zr、Sn、W、Pb
- c) IFMIF 用核データ → 高エネルギーファイルで対応中
- d) 荷電粒子入射反応 → 特殊目的ファイルの可能性？

高エネルギー加速器遮蔽

高エネルギーファイルで対応中

照射損傷

- a) ^{59}Ni データの評価
- b) 荷電粒子、PKA スペクトル、Kerma 因子の評価

表 2 (続き)

BNCT

- a) 中性子源データ : Li(p,n)、Ta(p,n)
- b) 減速材データ : Li、F、Al $E_n \leq 50\text{MeV}$
- c) 組織等価核種データ : H、C、N、O $E_n \leq 50\text{MeV}$
- d) $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)$ 反応断面積 $E_n \leq 50\text{MeV}$

上記事項は全て高エネルギーファイルで対応中である。