

## JENDL開発検討小委員会報告 —JENDL開発の今後の方向性—

Final Report of Advisory Subcommittee on Development of JENDL  
—Guideline for Developing Next JENDL—

JENDL委員会 JENDL開発検討小委員会  
Advisory Subcommittee on Development of JENDL, JENDL Committee

原子力科学研究部門  
原子力基礎工学研究センター  
Nuclear Science and Engineering Center  
Sector of Nuclear Science Research

January 2015

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2 番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

## **JENDL 開発検討小委員会報告 －JENDL 開発の今後の方向性－**

日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究部門 原子力基礎工学研究センター

JENDL 委員会 JENDL 開発検討小委員会

(2014 年 11 月 14 日 受理)

評価済核データライブラリ JENDL の今後の開発について議論するため、平成 25 年度に JENDL 委員会の下に JENDL 開発検討小委員会が設立され、一年弱活動した。JENDL 開発者、利用者、核データ測定者から委員が選ばれ、それぞれの視点から JENDL の課題と対策について意見を出し合い、今後の JENDL 開発の方向性について議論した。本報告はその答申書であり、現在の JENDL の置かれた状況を踏まえつつ、JENDL の課題及び今後の指針についての議論の結果を述べる。

**Final Report of Advisory Subcommittee on Development of JENDL**  
**—Guideline for Developing Next JENDL—**

Advisory Subcommittee on Development of JENDL, JENDL Committee

Nuclear Science and Engineering Center  
Sector of Nuclear Science Research  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 14, 2014)

Advisory Subcommittee on Development of JENDL was established under JENDL Committee on fiscal year 2013 to discuss the subject concerning on development of next JENDL. Members of the subcommittee were selected from developers and users of JENDL and researchers on nuclear data measurements. They discussed guidelines on next JENDL with exchanging ideas on problems of JENDL and its solution from each view point. This report describes the results of the discussions on the problems and guideline with the present status on the JENDL development.

Keywords: Nuclear Data, Evaluated Nuclear Data Library, JENDL Committee, Guideline of JENDL Development, Nuclear Data Application, Nuclear Data Evaluation, Neutron Cross Sections

## 目 次

|                                                                        |   |
|------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. 総論 .....                                                            | 1 |
| 2. JENDL の開発が今後も必要な理由 .....                                            | 3 |
| 3. 今後の JENDL に求められる技術的要件 .....                                         | 3 |
| 4. JENDL の利用促進のために .....                                               | 4 |
| 5. JAEA の次期中期計画（2015-19 年度）、次々期中期計画（2020-24 年度）で行うべき<br>具体的な取り組み ..... | 5 |
| 6. JENDL の開発体制 .....                                                   | 6 |
| 謝 辞 .....                                                              | 6 |
| 参考文献 .....                                                             | 6 |
| 付録 1 JENDL のこれまでの経緯 .....                                              | 7 |
| 付録 2 JENDL の課題と対応方策 .....                                              | 8 |

## Contents

|                                                                                                         |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. General statement .....                                                                              | 1 |
| 2. Reason why JENDL development is still needed .....                                                   | 3 |
| 3. Technical requirement for the next JENDL .....                                                       | 3 |
| 4. Promotion of the use of JENDL .....                                                                  | 4 |
| 5. Specifics of plans for next midterm(FY 2015-19) and one after the next (FY 2020-24)<br>in JAEA ..... | 5 |
| 6. Framework for developing JENDL .....                                                                 | 6 |
| Acknowledgment .....                                                                                    | 6 |
| Reference .....                                                                                         | 6 |
| Appendix 1 History of JENDL .....                                                                       | 7 |
| Appendix 2 Problems and solution of JENDL .....                                                         | 8 |

執筆者リスト

JENDL 開発検討小委員会メンバー

千葉 豪（委員長、北海道大学）  
渡嘉敷 幹郎（原子燃料工業）  
杉村 直紀（原子力エンジニアリング）  
田中 健一（日本原子力発電）  
名内 泰志（電力中央研究所）  
佐波 俊哉（高エネルギー加速器研究機構）  
執行 信寛（九州大学）  
片渕 竜也（東京工業大学）  
羽様 平、辻本 和文、今野 力、岩本 修（日本原子力研究開発機構）

オブザーバー

岩本 信之、國枝 賢（日本原子力研究開発機構）

## 1. 総論

核データに関する研究の成果が社会に利用・還元されるためには、核データの評価と評価済核データファイルの整備が必須であり、日本の評価済核データファイル JENDL は、日本の核データ研究を社会に繋げるという重要な役割を果たしてきた。1977 年の JENDL-1 公開後これまでに 40 年近くが経過し、JENDL の適用分野は、高速炉から熱中性子炉、核融合炉、加速器分野等に広がりを見せ、また要求されるデータは、2 次ガンマ線生成データ、DDX データ、共分散データ等、より多様なものになっている。

これまで、核データファイルの主要なユーザは、その産業規模からいっても核分裂炉分野であった。高速炉設計では、早い時期から国産核データの利用が志向され、JENDL が設計用核データファイルと位置付けられていた一方、軽水炉設計では、外国から導入されたデータと設計計算手法が一体となったパッケージを利用していたことから、JENDL の利用は積極的には行われていなかった。しかし最近では、プラントメーカーや燃料会社の核設計コードへの導入や、安全規制におけるクロスチェックでの利用等が進められており、軽水炉分野でも JENDL の役割は大きなものになりつつある。

文献を紐解くと、JENDL-3.2 公開(1994 年)から 3 年後に行われた、次期バージョン JENDL-3.3 の開発に向けた議論において、JENDL-3.3 の目標として「エネルギー生産のための原子炉のための核データの決着」が掲げられていたことが分かる[1]。評価済核データファイルのみで原子炉設計における設計要求を満足できるとするならば、従来行われていた種々の工学的操作は不要となり、説明性は格段に向上する。また、その工学的操作によって考慮しなければならないある種の「曖昧さ」も排除することが可能となる。そのような目標がおかれた JENDL-3.3 は 2002 年に公開されたが、それから 10 年以上経過した現在、果たして「決着」はつけられたのであろうか。

核データの評価、特に JENDL-3.3 以降では、積分実験データを微分データや核反応模型等と整合のとれる形で核データ評価に積極的に採り入れる努力がなされており JENDL-4.0 では積分実験データの再現性が格段に向上している。しかしながら、本報告に具体的に示されているように JENDL-4.0 には依然として解決すべき問題、曖昧さが残っている。従って、我々は、JENDL-3.3 の開発に向けた議論で提示された目標「エネルギー生産のための原子炉（核分裂炉）のための核データの決着」は、未だ達成されていないという認識の上に立つ。また、「エネルギー生産のための原子炉」に加速器駆動未臨界炉等の新型のシステムも含めた場合には、目標はさらに遠いものになるであろう。

核データの精度向上に加えて、核データの不確かさ情報である共分散データの充実も JENDL-3.3 以降の特筆点として挙げることができる。特に高速炉の分野では、評価に必要な共分散データは量的には JENDL-4.0 に概ね整備されている。しかしながら、共分散データの妥当性については改善が必要な点も報告されており、データの質的な向上が望まれる。一方、軽水炉についても、今後の原子力安全規制で設計値の不確かさの定量化が重要視される方向にある。従って、今後は、高速炉や軽水炉等を含む多様な炉型に対して必要な共分散データを整備するとともに、これまで以上に妥当性を吟味して質的な向上も追求していくことが必要である。

原子炉の炉心設計や運転管理に加えて、使用済み核燃料管理、原子炉の廃止措置や放射性廃棄

物処分等、バックエンド分野における核データ応用も今後は重視していく必要がある。特に、10年を待たずに多くの原子力発電所が運転期間 40 年を迎えることから、近い将来、多くの原子力発電所の廃止措置が実施されるものと予想される。このような状況にある今、事業者が安全かつ合理的な廃止措置を実施するには精度の高い放射能インベントリ評価の実現が重要であり、このために信頼性及び説明性の高い核データの整備は喫緊の課題となっている。また、海外では日本ほど放射能インベントリ評価を厳密に行っていないことから、廃止措置のための国産核データとそれを用いた放射能評価手法を整備することにより、日本から世界に発信する分野となりうる。

また、福島第一原発事故への対応では、核物質の検知技術や未臨界度評価などにおいて核データへのニーズがあり、日本の核データコミュニティの中心として、それに充分に応えていく必要がある。

核融合エネルギー分野は、1989 年公開の JENDL-3 から本格的に JENDL の適用対象として捉えられ、JENDL Fusion File 99、JENDL-3.3、JENDL-4.0、JENDL/HE-2007 等を通して、JENDL は高品質のデータを提供してきた。その結果、IAEA の FENDL-3.0 でも多くの核種に JENDL の評価値が採用された。ただし、FNS や OKTAVIAN で取得された積分データを正しく再現出来ない核種がある。データを取得した実験設備とその詳細情報、実験解析ノウハウを有する利点を生かし、これらの核種の評価値を改善することにより、核融合エネルギー分野での JENDL の、ひいては日本のプレゼンスをさらに高めることに寄与できるものとする。

さらに、近年、医療応用や加速器設計などのビーム利用分野でも核データの利用は急速に広まりつつある。この分野では、これまで、実験式に基づいた遮蔽計算や線量率評価、放射能生成量計算が行われてきたが、近年の加速器の高出力化、一般化、線量評価の高精度化に伴い、核データとイベントジェネレータ、粒子輸送計算を用いた手法が標準的に用いられるようになってきた。今後、種々のエネルギー・粒子種・強度の加速器の建設、計画が進められるが、この設計に必要な核種・エネルギー範囲をすべてカバーする核データセットは世界的に存在しない。これまでに JENDL は特殊目的ファイルを提供することにより、これらのニーズに対応しているが、よりデータを拡充することにより医療応用や加速器設計などのビーム利用分野における標準データの地位も目指していくべきである。

JENDL-1 の開発から 40 年近くが経過したが、インターネット技術の発達や計算機能力の劇的な向上により、技術開発の姿は大きく変貌しつつある。微分データの収集、核反応モデルの開発、核データの評価、積分データによる検証、評価済み核データファイルの作成、という技術開発の流れも、今後 10 年で大きく様変わりする可能性がある。国・地域がそれぞれの核データ研究の総力を結集して開発するのが評価済み核データファイルの典型的な姿であったが、例えば NRG-Petten が開発している TENDL は一機関のみのマンパワーで実現されている。また、同じく TENDL では、核模型パラメータや共鳴パラメータの不確かさの範囲でランダムに値を振った評価済み核データファイルを複数作成し、もっとも積分データの再現性が良いものを最終評価値とする、という方針が採られている。これらの TENDL の例の良し悪しは置いておくとしても、核データファイルの開発の姿が変貌しつつあることは確かである。さらに、従来の ENDF フォーマットで格納できないデータを取扱い可能とするための新たな核データファイルフォーマットの提案や、世界共通ライブラリを目指す試みについても同様のことが言えるであろう。



本報告で述べている「JENDL 開発の方向性」は、これまでの歴史、実績からの外挿で今後 10 年のあるべき姿を構築していったものであり、技術開発に特有な「技術革新」は全く考慮せず、今の時点で最良と考えられる中長期の研究開発戦略を提言しているものである。ただし、核データ研究に携わる人材が減少し、核データに携わる個々人の核データ分野全体におけるウェイトが大きくなりつつある昨今、個々人が現状の技術に満足せず、常に新しいものに向かっていく気概を保ち続けることが何よりも大切である。そういった意味で、今後 10 年間、JENDL プロジェクトがそのような人々の精神的なバックボーンであり続けることを、我々は何よりも望んでいる。

## 2. JENDL の開発が今後にも必要な理由

現在、世界で統一された評価済み核データファイルを、国・地域の枠組みを超えて協力して開発していく方向性が米国主導で提案されている。効率的に核データファイルを作成するという点でこの取り組みは重要であるが、分業が進んだ結果、現在国内で保持されている核データ評価技術が失われる可能性についても留意する必要がある。

評価済み核データファイルは、核分裂、核融合エネルギー利用のみならず生命、医療分野などにおいても重要であり、非常に幅の広い産業分野の礎となるものである。科学技術立国を標榜する日本にとって、評価済み核データファイルは、まさしく重要な国家資産であり、国家戦略に基づいて開発されるべき戦略物質である。そのような観点から、種々の応用分野に利用可能な核データを日本独自で評価する技術を保有し続けることは、今後の日本の科学技術立国としての発展にとって必要不可欠である。

さらに、福島第一原発事故の処理作業への対応や、設計パラメータの不確かさの定量化を重視するという原子力規制の方向性の転換等、日本固有の諸問題に対処するためには、核データへの要望を迅速に評価済み核データファイルにフィードバックすることが必要であり、そのためにも日本独自に核データ研究のアクティビティを保持するとともにフィードバックする仕組みも維持していく必要がある。

また、海外の評価済み核データファイルにおいて、JENDL の評価値を利用している例も多く、JENDL の開発を続けていくことは世界の核データファイルの高度化に資することにもなる。

以上より、我が国は、今後も引き続いて、独自の評価済み核データファイルを維持、開発すべきである。

## 3. 今後の JENDL に求められる技術的要件

JENDL の応用分野は、核分裂エネルギー利用から、核融合エネルギー利用、高エネルギー加速器遮蔽設計、廃止措置、医療などへ、その裾野を広げつつある。JENDL は利用されてこそのものであり、今後の JENDL の開発においては、優先的に取り組んでいくべき応用分野を設定してリソースをそこに集中させるよりは、種々の応用分野からの多様なニーズに可能な限り対応していくことが重要である。

これまでの JENDL プロジェクトでは、核分裂エネルギー応用、特に原子炉設計への適用を大きな柱としてきた。軽水炉の再稼働が視野に入りつつある今、福島原発の事故により大きく変わった原子力の安全規制に対応する観点からも核データの役割は大きく、今後も核分裂エネルギー応用を主要な柱として位置付けるべきである。ただし、原子炉設計のみならず、廃止措置や福島事故対応に関わる分野も含めて、広く核分裂エネルギー応用を捉える必要がある。

その一方で、核データ応用の裾野を広げる努力も重要である。特に、核データの応用分野として今後の発展が見込まれる、核融合炉や加速器の設計・医療などのビーム応用に対しては、これまで以上に積極的に寄与していくことが求められる。

別添において、各応用分野からの今後の JENDL に対して求める要件を述べる。なお、優先度は三段階に分類し、かつ同一の優先度が与えられているものの中でもさらに優先度を示す努力を行った。ニーズが高いものは優先度を高くし、同程度のニーズの場合は、実験データが整備されていてファイル化が容易な物は優先順位を上げる（容易にデータの充実が図れる、実験も多いと言うことはニーズが大きいことの証である、という考え方にに基づく）、ENDF 等で整備済みで、JENDL に無く、かつ ENDF 等の精度が十分でないものは優先順位を上げる（JENDL の特色となるため）、すでにデータがあり精度が十分でないものの、追加の実験データや新しい理論解析など精度向上の見込みがないものは優先順位を下げる、という考え方を採用した。

#### 4. JENDL の利用促進のために

JENDL を国内外で広く利用されるものとするため、以下の方策が必要と考える。

JENDL の新しいバージョンをリリースする際、核データの評価方法と検証結果について公開文献を作成することが必須である。JENDL-4.0 では、評価については論文、核分裂炉に対する検証結果については論文と JAEA レポートにより、情報を公開している。評価については、ページの都合上、概要が記載されることになるため、詳細な情報を掲載したものを何らかの方法で公開すべきである。核データの検証は、臨界データ等の炉物理パラメータ、核種生成量、遮蔽ベンチマーク等、幅広い対象について行い、結果を公開すべきである。また、共分散データの検証も同様に重要であるので、積分データを用いた核データに起因する不確かさの妥当性確認等を行う必要がある。可能であれば、JENDL の全てが記載されたひとつの文書を作成し、随時、この JENDL 文書を改訂、追補し、管理することが望ましい（現実案としては JAEA レポートで対応することが考えられる）。

JENDL の利用のためには、それを基にしたアプリケーションコード用のライブラリを整備する必要がある。そのようなライブラリの作成主体、サポート体制を明確化し、ユーザのニーズに即応できる体制を整備する必要がある。また、アプリケーションコード用のライブラリは、評価済み核データファイルと同様に、JENDL のホームページから自由にダウンロードできるようにすることが望ましい（外為法に抵触する場合は希望者にパスワードを発行するなどの対処を行えばよい）。さらに、アプリケーションコード用のライブラリには、核データの処理に伴う不確かさ・誤差を定量的に把握するため、連続エネルギー計算結果との比較などの検証結果を付属させることが望ましい。

評価済み核データファイルの処理コード・ツールの提供も、評価済み核データファイルの提供と同様に重要である。ファイルが公開された時点で、それを様々な形式のアプリケーションライブラリに加工する既存のコード・ツールを使用可能とする、もしくは新規にコード・ツールが同時に提供されるようにすることが必要である。

以上に加えて、以下のような方策も考えられる。

- ・評価済み核データファイルのコメント欄も重要な情報源となるため、十分に活用する。
- ・共分散データの信頼性を示すため、その評価手続きの詳細さに応じてレベル分類(High/Middle/Low)する。
- ・JENDL の新しいバージョンをリリースする際には、論文や学会で発表するとともに、ユーザに対する利用説明会のようなものを開催することが望ましい。この説明会では、核データファイル処理や共分散データ等、多岐に渡る内容を含めるのがよい。
- ・「核データファイルの適用の限界」(データの取扱い上、想定していない事項)を出来る限り示す。

#### 5. JAEA の次期中期計画 (2015-19 年度)、次々期中期計画 (2020-24 年度) で行うべき具体的な取り組み

JAEA の現中期計画 (2010-14 年度) では、JENDL の高エネルギー領域への拡張が目標として設定されており、2014 年度末には JENDL-4.0 を 200MeV まで拡張したファイルが完成する予定である。また、核分裂生成物の崩壊熱計算に関わる特殊目的ファイルである JENDL/FPD-2011 及び JENDL/FPY-2011 が 2012 年に公開されている。

次期中期計画では、JENDL-4.0 のマイナーバージョンアップとなる「JENDL-4.1」を、2017 年を目途に公開してもらいたい。JENDL-4.1 は、JENDL-4.0 公開以後に蓄積された個別の評価をとりまとめるとともに、この報告で挙げた問題点のうち優先度の高いものに対応してもらいたい。また、原子炉廃止措置や核融合炉の遮蔽設計で重要となる放射化断面積データの充実を図り、特殊目的ファイルとして公開してもらいたい。

次々期中期計画では、新たなバージョンとなる「JENDL-5.0」を、2024 年度を目途に公開してもらいたい。JENDL-5.0 は、これまでの「汎用」ライブラリから、「総合」ライブラリへの発展を図る。核融合のための JENDL Fusion File 99 はすでに JENDL 汎用ファイルに統合されているが、その他の各特殊目的ファイル(放射化断面積、高エネルギー、ドシメトリー、FP 収率、光核反応など)も全て包含し、ユーザによる核データニーズに応える完備性を有する「オールインワン」ライブラリである。このためには、上限エネルギーの可変性、取り扱う反応の大幅な拡大、不安定核種などの大幅な増加、共分散データの付与核種の大幅な拡大、 $S(\alpha,\beta)$ データの改良などが必要である。ただし、データファイルのサイズが大きくなりすぎ、その利用に支障をきたす場合には、一部のデータを切り離してファイル化することも考える。

## 6. JENDL の開発体制

核データの評価は JAEA の核データ評価研究グループが中心となっていく。

核データの積分検証、アプリケーションライブラリの作成等においては、各応用分野との連携が必要となる。JAEA 外の専門家との連携は、JENDL 委員会の枠組みを通じて、組織的に行うことが望ましく、JENDL 委員会の WG のスコープに全ての応用分野が含まれる必要がある。核分裂エネルギー利用についてはリアクタ積分テスト WG が、核融合（核分裂も含む）遮蔽については Shielding 積分テスト WG が、高エネルギー加速器遮蔽・医療応用については高エネルギー核データ評価 WG が、それぞれ対応する。なお、核物質検知技術を含む福島第一事故支援、廃止措置・廃棄物処分については、新たな WG を立ち上げるなど、組織体制を構築する必要がある。各 WG の人選は、上記に挙げた具体的な課題点への対処に基づいて適切に行うべきである。加えて、アプリケーションライブラリの作成主体、サポート体制を明確化するために、JENDL 委員会のもとに然るべき WG を設置する必要がある。

さらに、核データの測定、評価、応用分野間の連携をさらに強化する必要がある。高エネルギー加速器遮蔽の分野等では、測定データが核データ評価にフィードバックされやすいように整備されているとは言い難い状況があるため、関連する WG でその方策を考えてもらいたい。また、J-PARC 等で種々の核データが測定されているが、応用側との情報交換が弱い面があるため、両者が歩み寄る努力がこれまで以上に必要である。さらに、JENDL-4.0 の開発では、特に核融合、遮蔽分野の研究者と評価側との連携がほとんど無かったことも反省が必要であろう。JENDL 委員会の WG や核データ研究会に加え、多くの核データ関連研究者が集まる JAEA で、JAEA の核データ関連の主要研究者が参加する情報交換の会合を定期的を開催する、また、その会合の議事録、資料を JENDL 委員会のメンバーに発信する等の方策が必要である。

最後に、JENDL の開発に関わる研究者、技術者のモチベーションについて付け加えておきたい。評価済み核データファイルの開発においては、新たな核モデルモデル、核反応理論の開発といった学術的な研究活動のみならず、ユーザの利便性や説明責任の向上に寄与する活動も大きな割合を占めることになる。研究者、技術者の評価を発表論文数によって行うことは仕方の無い面もあるが、個々人の、学術論文には示されない JENDL への貢献が適切に評価されることを強く望む。

### 謝 辞

本報告の作成にあたって、核データに関係するさまざまな専門家の方々から貴重なご意見をいただいた。また、日本原子力研究開発機構の岩本信之氏、国枝賢氏には、オブザーバとして本委員会の議論に加わっていただいた。ここに深い謝意を表する。

### 参考文献

- [1] 長谷川明, JENDL-3.3 に向けて, 核データニュース, No.57, pp.132-152 (1997).

## 付録1 JENDL のこれまでの経緯

- ・ JENDL-1 : 1977 年。72 核種。高速炉核設計への適用が目的。ENDF/B フォーマットを採用。
- ・ JENDL-2 : 1982 年。181 核種。熱中性子炉、核融合炉、遮蔽などへ適用対象を拡張。核融合炉で重要な高エネルギー中性子データが不十分。JENDL の意義として、「外国製ライブラリは素性が分からないが、独自のライブラリがあれば問題への対処や修正も容易」「日本独自のデータを発表することにより、外国と対等の立場を堅持、また外国製データは情勢によっては使えなくなるかもしれない」。
- ・ JENDL-3 : 1989 年。171 核種。核分裂炉、核融合炉に対する良好な性能。今後の核データに関する活動として「総合評価システムの構築」「特殊目的核データ（特に消滅処理のための高エネルギーデータ）」「国際協力」が挙げられている。なお、この時代でも、熱中性子炉の場合は Data & Method として炉の設計手法と共に欧米から導入してしまったので確たる需要とは成り得なかった。（核データニュース 36 号）
- ・ JENDL-3.1 : 1990 年。324 核種。JENDL-3.0 の問題点修正と FP 核種の追加。2 次ガンマ線データ収納。
- ・ JENDL Gas-Production Cross Section File 91 (JENDL/G-91) : 1991 年 7 月 23 核種 原子炉材料等が中性子入射反応によりガスを生成する核種の断面積。
- ・ JENDL-3.2 : 1994 年。340 核種。JENDL-3.1 における主に重核種、主要中重核種の問題点修正、核融合炉中性子工学からの要求への対応、積分実験からのフィードバック。
- ・ JENDL Activation Cross Section File 96 : 1996 年。JENDL-3.2 ベースだがより多くの反応断面積を評価。
- ・ JENDL Fusion File 99 : 1999 年。DDX の評価。大阪、東北大学の実験データ利用。
- ・ JENDL FP Decay Data File 2000 : 2000 年。JNDC ライブラリはフォーマットが JENDL と異なっていることから作成。データの見直しと完備性。
- ・ JENDL-3.3 : 2002 年。337 核種。共分散データの収納 (20 核種)。JENDL-3.2 の問題点改善。角度依存中性子スペクトル収納 (60 核種)。
- ・ JENDL High Energy File 2004 (JENDL/HE-2004) : 2004 年 3 月 66 核種 3 GeV までの中性子及び陽子入射反応データ。
- ・ JENDL Photonuclear Data File 2004 (JENDL/PD-2004) : 2004 年 3 月 68 核種 140 MeV までの光子入射反応データ。
- ・ JENDL High Energy File 2007 (JENDL/HE-2007) : 2007 年 12 月 106 核種 3 GeV までの中性子及び陽子入射反応データ。
- ・ JENDL-4.0 : 2010 年。406 核種。FP、MA 核種の精度向上。2 次中性子、ガンマ線データの充実。積分実験からのフィードバック。国産評価コードの利用。

(特殊目的ファイルについては一部抜粋)

参考

JENDL 公開サイト [http://www.ndc.jaea.go.jp/jendl/Jendl\\_J.html](http://www.ndc.jaea.go.jp/jendl/Jendl_J.html)



付録2 JENDL の課題と対応方策

\* 優先度の定義は以下の通り。A：高、B：中、C：低。数値は小さいほど優先度が高い。

| 案件                                         | 該当分野        | 背景                                                                   | 具体的な対応                                                                                              | 想定される<br>対応主体                                                                                                                                           | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 軽水炉で<br>使用され<br>る主要核<br>種の継続<br>的な精度<br>向上 | 軽水炉炉<br>心設計 | JENDL-4.0 公開<br>後に新しく微分<br>測定データが取<br>得された核デー<br>タについて再評<br>価が必要である。 | 新しい微分測定デー<br>タがある核データ<br>(U-235 の keV 領域<br>捕獲、Am-241 の熱<br>中性子捕獲、Gd-157<br>熱中性子捕獲等) の<br>再評価と積分テスト | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：<br/>JAEA/核デ<br/>ータ研究グ<br/>ループ<br/>(NDC)</li> <li>検証：リア<br/>クタ積分テ<br/>スト WG<br/>(RIT-WG)</li> </ul> <p>A1</p> |      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>主要核種とは、U, Np, Pu, Am, Cm などのアクチノイドや、Gd, Ag, In, Cd, W などの吸収材に使用される核種である。</li> <li>MOX 燃料の臨界試験に関して、k<sub>eff</sub> の評価結果が燃料製造時から経過年数に依存した傾向を示す問題が指摘されており、Pu, Am 等の断面積の精度向上が望まれる。</li> <li>ウラン燃料水減速系の臨界性予測精度に U-235 濃縮度依存性が見られる点、Pu 溶液系臨界性予測精度が悪い点、Pu 燃料中速スペクトル系の臨界性予測精度が悪い点、燃焼に伴う Cm-246 生成量が過少評価される点などの問題も解決することにより、U, Pu 等の核データの精度度が向上し、軽水炉設計の精度向上につながる可能性がある。</li> </ul> |

| 案件                                     | 該当応用分野  | 背景                                                                                                           | 具体的な対応             | 想定される対応主体    | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水分子中の H-1 の $S(\alpha, \beta)$ データの再評価 | 軽水炉炉心設計 | JENDL-4.0 では ENDF/B-VI.8 のデータを利用しているが、次期 JENDL では最新の知見を反映した ENDF/B-VII.0 のデータや京大・安部先生の評価データを検証し、採用を検討すべきである。 | 軽水系の網羅的な積分テストによる検証 | RIT-WG<br>A2 |      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素の <math>S(\alpha, \beta)</math> の変更が炉心設計に与える影響は、文献 [http://www.ndc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf90/No90-12.pdf] 等によれば、現行の軽水炉炉心 (<math>UO_2</math> ~ 1/4MOX 炉心) の臨界性に対しては 0.1%dk 程度であり臨界予測の点で大きな問題となることはない。</li> <li>特に炉内の水分分布がほぼ一様な PWR においては、燃焼を通じて均一に影響するため、出力分布に与える影響も小さく、現状の PWR の炉心設計コードにおいても、<math>S(\alpha, \beta)</math> の取扱いが問題となることはない。</li> <li>一方、軸方向のボイド率分布が生じる BWR においては、炉心上部のボイド率 70% の領域で <math>S(\alpha, \beta)</math> の影響が 0.0%dk、炉心下部のボイド率 0% の領域で <math>S(\alpha, \beta)</math> の影響が 0.1%dk と想定すると、軸方向出力分布に 2% 程度未満の影響があると予想される。従って、BWR の軸方</li> </ul> |

| 案件                | 該当応用分野                         | 背景                                                       | 具体的な対応                                                                                                       | 想定される対応主体                                                                                                          | 優先度*                                             | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   |                                |                                                          |                                                                                                              |                                                                                                                    |                                                  |      | <p>向出力分布の評価値には有意な影響があると考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全 MOX 炉心などでは影響が大きくなることが想定されることから検討を進める必要がある。</li> <li>・炉心設計以外の利用においても、安部先生のデータは冷中性子領域での実験値の再現性も良いという利点がある。</li> </ul>                                                                                     |
| 軽核や構造材核種の核データの見直し | 軽水炉炉心設計<br>高速炉炉心設計<br>核融合・遮蔽設計 | JENDL-4.0 では FP/MA の評価に重点が置かれたため、軽核・構造材核種については改善の余地が大きい。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・関連核データ (C, O, Fe, Cr, Ni, Zr 等) の再評価</li> <li>・積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価 : JAEA/NDC</li> <li>・検証 : RIT-WG、Shielding 積分テスト WG (SIT-WG)</li> </ul> | <p>B1 (軽水炉)</p> <p>A (高速炉)</p> <p>A (核融合・遮蔽)</p> |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽核の評価には最新の改良核反応モデルを利用する。</li> <li>・O-16(n,α)は軽水炉の核特性に影響を与えるので重要である。</li> <li>・Fe-56 については CIELO の活動とリンクが可能である。</li> <li>・高速炉では鉄反射体での中性子スペクトル (核分裂反応率) の過大評価が BFS, FCA など課題とされている。</li> <li>・核融合・遮蔽設計分野では「遮蔽・核融合積分実験の再現性向上」と重複する。</li> </ul> |



| 案件                             | 該当応用分野             | 背景                                                               | 具体的な対応                                                           | 想定される対応主体 | 優先度*              | 検討事項                                             | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JENDL-4.0では評価されていないFP核種の断面積の評価 | 軽水炉炉心設計<br>高速炉炉心設計 | 短寿命核種は一般的に中性子反応断面積が評価されていないが、原子炉炉燃焼計算で断面積が重要となる短寿命核種が存在する可能性がある。 |                                                                  |           | B2(軽水炉)<br>C(高速炉) | 原子炉の燃焼計算等を実施し、具体的な核種を挙げる必要がある。                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ENDFなどの他のライブラリで評価されているものについては定量的な評価が可能である（例えば、Ho-165とHo-165mはENDF/B-VII.0にはあるが、JENDLには無い）。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8群の遅発中性子データの提供                 | 軽水炉炉心設計<br>高速炉炉心設計 | 従来の6群構造では崩壊定数が核分裂核種で異なるため、複数の核分裂性核種からなる系の動特性計算が面倒である。            | 従来の6群構造のものに加えて、JEFF-3.1のように全ての核分裂性核種で同一の崩壊定数となるような8群構造のデータも提供する。 |           | B3(軽水炉)<br>B(高速炉) | 6群と8群を収納させる場合、どのような形式（フォーマット）でデータを提供するか検討が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 現状の国内の軽水炉の設計で用いられている6群の<math>\beta \cdot \lambda</math>は、例えば、PWRの制御棒価値測定などで、実用上問題ない群数であることが確かめられており、現時点で産業界側からの群構造詳細化のニーズは低い。</li> <li>• JEFF-3.1では8群の<math>\beta \cdot \lambda</math>を採用するなど更なる精度向上を図る動きがあり、将来的な8群<math>\beta \cdot \lambda</math>の世界標準化を見据え対応を検討しておく必要がある。（参考：<a href="http://www.ndc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf87/No87-06.pdf">http://www.ndc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf87/No87-06.pdf</a>）。</li> </ul> |

| 案件                               | 該当応用分野              | 背景                                                                                                                                                                            | 具体的な対応                                                                                                       | 想定される対応主体                                                                        | 優先度*                 | 検討事項                      | 補足事項                                                                                                                                                             |
|----------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |                     |                                                                                                                                                                               |                                                                                                              |                                                                                  |                      |                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>高速炉においては、<math>\beta</math>重みで平均化した値を使用した場合との差は実炉でのペリオド法による反応度評価結果で0.1%未満であり、影響は大きくない。</li> </ul>                         |
| トリウム炉心のための核データの整理、検証             | 軽水炉炉心設計<br>高速炉炉心設計  | トリウム利用の議論が一部で始まっており、精度の良い核データが必要とされている可能性がある。                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | C1(軽水炉)<br>C(高速炉)    |                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>KUCA で取得された積分データを有効に利用できると考えられる。</li> <li>日本の高速炉開発ではトリウム利用の予定は無くニーズは小さい。</li> </ul>                                       |
| ベリリウムの $S(\alpha,\beta)$ データの再評価 | 軽水炉炉心設計<br>核融合・遮蔽設計 | <ul style="list-style-type: none"> <li>JMTR の Be 反射体における熱中性子束分布の計算値過大評価の原因が Be の <math>S(\alpha,\beta)</math> にある可能性がある。</li> <li>FNS での Be 積分実験で低エネルギー中性子に感度を有する反</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Be の <math>S(\alpha,\beta)</math> の再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>検証：SIT-WG、JMTR スタッフ</li> </ul>            | C2(軽水炉)<br>B(核融合・遮蔽) | 誰が評価を行う（ことが可能）か、検証が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>JMTR では当該中性子束の予測誤差を30%と大きめに見積もっており、その改善が課題となっている。</li> <li>核融合炉の現設計では、Li 層が挟まれるため、トリチウム増殖比の評価にインパクトを与えることは少ない。</li> </ul> |

| 案件                            | 該当応用分野  | 背景                                                                            | 具体的な対応                                                                           | 想定される対応主体                                                                        | 優先度* | 検討事項                    | 補足事項                                                                                                                                             |
|-------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |         | 応率の実験と計算の一致が悪い原因が Be の S( $\alpha,\beta$ )にある可能性がある。                          |                                                                                  |                                                                                  |      |                         |                                                                                                                                                  |
| プルトニウム燃料中速スペクトル系の臨界性の予測精度の改善  | 高速炉炉心設計 | Pu 燃料中速スペクトル炉心である FCA-XXII の臨界性を最大で 1% $\Delta k/k$ 程度過大評価する。                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | A    | 積分テスト側で核種・反応の絞込みが必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pu-239, U-238 の高速中性子領域の核データについては、CIELO の活動とリンク可能である。</li> <li>FCA で取得された臨界実験データを有効利用できると考えられる。</li> </ul> |
| MOX 燃料高速炉のナトリウムボイド反応度の予測精度の改善 | 高速炉炉心設計 | MOX 燃料高速臨界集合体 ZPPR-9、-10A の Na ボイド反応度を 10%弱程度系統的に過大評価する（連続エネルギーモンテカルロ法による計算）。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | A    | 積分テスト側で核種・反応の絞込みが必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pu-239, U-238 の高速中性子領域の核データについては、CIELO の活動とリンク可能である。</li> </ul>                                           |

| 案件                                   | 該当応用分野  | 背景                                                                                                                                     | 具体的な対応                                                                           | 想定される対応主体                                                                                                             | 優先度* | 検討事項                                                                                         | 補足事項                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 高速炉核特性に重要な核データの精度向上                  | 高速炉炉心設計 | 高速炉核特性に大きく影響を与える核データには、核データファイル間に有意な差異が存在するものがある (Na 非弾性散乱・弾性散乱 P1 係数、U-238 非弾性散乱、Pu-239 核分裂、Pu-240 捕獲など)。これらの差異の原因を踏まえた核データの再評価が望まれる。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> <p style="text-align: center;">A</p> |      |                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>主要核データ間で有意な差異がある。その理由、JENDL での評価の根拠を説明する必要がある。</li> <li>Pu-239, U-238 の高速中性子領域の核データについては、CIELO の活動とリンク可能である。</li> <li>共分散データとの整合性も重要である。</li> </ul> |
| U-238 非弾性散乱に感度がある Big-Ten 臨界性予測精度の改善 | 高速炉炉心設計 | U-238 非弾性散乱に感度がある Big-Ten の臨界性に 0.6%dk/kk 程度の過少評価が見られる。                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> <p style="text-align: center;">B</p> |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Big-Ten 固有の問題の可能性もあり、他の積分データとの整合性確認が必要である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>CIELO の活動とリンク可能である。</li> </ul>                                                                                                                      |

| 案件                         | 該当応用分野  | 背景                                                 | 具体的な対応                                                                           | 想定される対応主体                                                                        | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                             |
|----------------------------|---------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Np金属炉心系の臨界性予測精度の改善         | 高速炉炉心設計 | Np金属炉心の臨界性において、高濃縮U系と比べて0.5%dk/kk程度の系統的な過少評価が見られる。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDS</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | B    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Np-237 核分裂断面積の問題と推定される。</li> <li>捕獲断面積には問題が現れていない（BFS 臨界実験など）。</li> </ul> |
| 炭素反射体高速中性子系の臨界性予測精度の改善     | 高速炉炉心設計 | 炭素反射体高速中性子系の臨界性予測精度が悪い。                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | C    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>動力炉ではあまり使用が想定されていない核種であり、ニーズは小さい。</li> </ul>                              |
| タンゲンステン装荷高速中性子系の臨界性予測精度の改善 | 高速炉炉心設計 | タンゲンステン装荷高速中性子系ZPR-9の臨界性を最大で1.5%dk/kk程度過大評価する。     | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データの再評価</li> <li>積分テストによる検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：RIT-WG</li> </ul> | C    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>動力炉ではあまり使用が想定されていない核種であり、ニーズは小さい。</li> </ul>                              |

| 案件                     | 該当分野                        | 背景                                                                                                                                                                                                                                               | 具体的な対応                                                                                                                                                             | 想定される<br>対応主体                                                                                          | 優先度*                                                                                         | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| エネルギー<br>平衡の整合<br>性の確保 | 高速炉炉<br>心設計<br>核融合・<br>遮蔽設計 | エネルギーバ<br>ランスが崩れてい<br>るため、NJOY で<br>求めた KERMA<br>係数が不適切に<br>なる。また、2 次 $\gamma$<br>線が無い核種の<br>核データを使う<br>と、当然のことな<br>がら $\gamma$ 線の線量を<br>正しく計算する<br>ことができない。<br>KERMA を運動<br>学的手法で計算<br>する場合、3 体以<br>上の反応で反跳<br>核の DDX データ<br>がないと適切に<br>計算できない。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>全ての核種につい<br/>ての 2 次<math>\gamma</math>線生成デ<br/>ータの評価</li> <li>エネルギーバラン<br/>スの整合性の確保</li> <li>反跳核の DDX デ<br/>ータ評価</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：<br/>JAEA/NDC</li> <li>検証：<br/>SIT-WG、<br/>RIT-WG</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>C (高速<br/>炉)</li> <li>A (核融<br/>合・遮<br/>蔽)</li> </ul> |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>全ての核種について 2 次<math>\gamma</math>線を評<br/>価することにより、JENDL-4.0 で<br/>は評価されていない核種に対する<br/>ニーズ (ITER の重コンに含まれる<br/>Ba など) にも対応できる。</li> <li>エネルギーバランスが良ければ<br/>Energy balance 法により妥当な<br/>KERMA を算出できる。また、3<br/>体以上の反応で反跳核の DDX デー<br/>タがあれば運動学的手法でも妥当<br/>な KERMA を算出できる<br/>(ENDF/B-VII.1 では多くの核種<br/>に反跳核の DDX データが入ってい<br/>るので、運動学的手法で妥当な<br/>KERMA を算出できている)。</li> <li>エネルギーバランスの整合性とい<br/>うより、<math>\gamma</math>線生成データの有無の間<br/>題と思われる。Ba など一部にはデ<br/>ータが全くなり、一部は反応をまと<br/>めた non-elastic としての評価であ<br/>るが、その点を適切に考慮すれば、<br/>現状でも特に不足はない(高速炉炉<br/>心設計の場合)。</li> </ul> |

| 案件                         | 該当分野     | 背景                                                                                                                          | 具体的な対応                                                                                                                          | 想定される対応主体                                                                        | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                             |
|----------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 遮蔽・核融合積分実験の再現性向上           | 核融合・遮蔽設計 | FNS、OKTAVIANでの積分実験で実験と計算の一致が悪いものが依然ある(特に、1MeV以下の中性子データ、γ線データ)                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>問題の核種(Be, W, Pb, Ti, Mo, Cu, V, Cr, Mn, Se, Zr, Nb等)の再評価</li> <li>積分実験解析による検証</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：SIT-WG</li> </ul> | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>DT中性子源を用いた積分実験では14MeV近傍の核データの精度検証を行っているように思われているが、1MeV以下の核データの妥当性検証にも極めて有効である。</li> </ul> |
| 核融合中性子工学分野で重要な核種の共分散データの評価 | 核融合・遮蔽設計 | 核融合中性子工学分野で重要な核種(H-1, Li-6, Li-7, Be-9, F-19, Si同位体, Cr同位体, Ti同位体, Fe同位体, Cu同位体, Pb同位体, W同位体, Nb-93, Sn同位体など)の共分散が評価されていない。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>関連核データ共分散の評価</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> </ul>                    | A    |      |                                                                                                                                  |



| 案件                    | 該当応用分野   | 背景                                                                                                                                              | 具体的な対応                                                                                                                                                                     | 想定される対応主体                                                                                                               | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 非分離共鳴パラメータの妥当性の検証     | 核融合・遮蔽設計 | JENDL-4.0 には非分離共鳴データのある核種が多く、非分離共鳴データの自己遮蔽補正もかなり大きい。<br>OKTAVIAN の Mn 実験では、非分離共鳴を考慮することを実験値と計算値の一致が悪くなる。自己遮蔽の観点から JENDL-4.0 の非分離共鳴データを見直す必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・非分離共鳴パラメータの再評価</li> <li>・非分離裏共鳴データを分離共鳴データに置き換えたライブラリを作り、自己遮蔽効果が同じになるか調べる。</li> <li>・積分実験解析による検証（但し、使える積分実験がほとんどないのが現状）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価：JAEA/NDC</li> <li>・検証：SIT-WG</li> </ul> <p style="text-align: center;">B</p> |      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ JENDL-4.0 では、JENDL-3.3 と比べ、非分離共鳴データのある核種が 210 核種から 291 核種に増え、また、JENDL-3.3 で指摘された非分離共鳴データの問題（非分離共鳴データの上限エネルギーで中性子スペクトルの計算値に物理的にあてはまらない段差が生じる）を解消するために非分離共鳴データの上限エネルギーを高くすることで対処してきた。この問題が顕著に現れるのは核融合中性子工学分野であるので、当該分野の研究者と核データの評価者が連携し、他の核データライブラリよりも多くの核種に非分離共鳴データを入れている JENDL において妥当な非分離共鳴データの整備を行う必要がある。</li> </ul> |
| 重陽子入射データ（放射化断面積含む）の評価 | 核融合・遮蔽設計 | IFMIF の核設計（高エネルギー加速器の遮蔽設計も？）において重陽子入射データは重要である。                                                                                                 |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                         | B    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・放射化断面積については EAF で整備済みである。</li> <li>・九大・渡辺先生のグループが理論研究を行い、CCONE でそれに基づいた評価が可能となっている。放射化断面積については EAF よりも高</li> </ul>                                                                                                                                                                                                     |

| 案件                       | 該当応用分野                 | 背景                                                                                      | 具体的な対応                    | 想定される対応主体 | 優先度*       | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                        |                                                                                         |                           |           |            |      | 品質のデータを生成できる可能性がある。<br>・Mo-99の生成用加速器においても重要である。                                                                                                                                                       |
| DDXの共分散データ評価             | 核融合・遮蔽設計<br>ビーム利用      | 現行の ENDF フォーマットでは DDX に共分散データを与えることは出来ないものの、適切な不確かさ評価を行う際には DDX に対する共分散データが必要となる可能性がある。 | 関連核データの評価                 |           | C (核融合・遮蔽) |      | ・現在の ENDF フォーマットでは定義できないデータであり、世界に先駆けたものとして JENDL の特長になる可能性がある (NRG の Total Monte Carlo による不確かさ評価では既に考慮できていると考えられる)。<br>・最終的に線量評価の不確かさを得られる可能性があるが、実用上も大きな意味があるかもしれない。但し、現状で対応できるコードがないため、その開発も必要である。 |
| 放射化断面積データを用いた際の自己遮蔽補正の考慮 | 核融合・遮蔽設計<br>廃止措置・廃棄物処分 | 放射化断面積データには共鳴データが無いため自己遮蔽補正が出来ない。                                                       | 放射化断面積データファイルへの共鳴パラメータの追加 |           | A (核融合・遮蔽) |      | ・放射化計算コード FISPACT-II では汎用核データライブラリを用いて自己遮蔽補正が可能となっているようである。<br>・JENDL では今後、共鳴パラメータを追加する予定である。                                                                                                         |

| 案件                    | 該当応用分野                       | 背景                                                                                                                                   | 具体的な対応                                                                                                                                                                                                                                             | 想定される対応主体               | 優先度*       | 検討事項                    | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 放射化断面積データの充実          | 核融合・遮蔽設計<br>廃止措置・廃棄物処分、ビーム利用 | JENDL-4.0 では放射化断面積データ自体が少ない。                                                                                                         | 関連核データの評価                                                                                                                                                                                                                                          |                         | B (核融合・遮蔽) |                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ヨーロッパの EAF ではかなり整備されている。</li> <li>・BNCT 加速器中性子源での中性子スペクトル評価では多重放射化箔を用いるので、In, Fe, Al, Ni, Cu 等の 30MeV までの放射化断面積の精度向上が望まれている。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 低エネルギー陽子の軽核に対する断面積の整備 | ビーム利用 (医療、中性子源)              | 加速器遮蔽設計を可能とする一連の核データ (中性子) を生成する陽子、重陽子、光子、重イオンのターゲット物質との反応断面積、生成物分布データ、放射化断面積) を整備し、標準化を目指す。BNCT や PET 等の加速器応用とこれの漏洩線量、放射化の評価を主眼とする。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Li, Be の(p,n),(d,n) 反応の 2 次中性子、光子のエネルギー、角度微分断面積の高精度化</li> <li>・Ta, W の(p,n),(d,n) 反応の 2 次中性子、光子のエネルギー、角度微分断面積の高精度化</li> <li>・生体及び薬品を構成する元素の断面積データの高精度化</li> <li>・PET 薬剤生成用加速剤のターゲット核種に係わるデータの整備</li> </ul> | 高エネルギー核データ評価 WG (HE-WG) | A1         | <p>モデル計算を凌ぐ精度で整備する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・関連核データ (Li, Be, Pb, Bi などの中性子源、C, N, O 等の軽核で生体を構成する元素、Si 等の半導体関連、He, Al, Fe, Ni, Cr, Zr, V, Cu, Nb, W, Ta などの加速器を構成する材料) の評価を行う。</li> <li>・Li, Be の(p,n)反応データについては東工大で測定計画がある。</li> <li>・BNCT 加速器中性子源としては Ta もしくは W の(p,xn)も重要である。</li> <li>・BNCT 加速器中性子源で重要な入射陽子のエネルギーは、Li は 2.8MeV まで、Be は 30MeV まで、Ta, W は 50MeV までである。</li> <li>・Be の(p,n) 断面積は現状で ENDF/B-VII のみしか評価が無い。</li> </ul> |

| 案件                                | 該当応用分野              | 背景                                                                      | 具体的な対応                                                                                       | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                             |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中性子源の減速材および被照射核種、検出器に対する放射化断面積の整備 | ビーム利用<br>(中性子減速、計測) | 加速器から生成された中性子は様々な場面で利用されるが、その利用段階で必要となる減速と検出のために必要なデータを取得する。            | ・ In, Fe, Al, Ni, Cu, Pb, F, Mg, Ca 等の中性子源の減速材および被照射核種、検出器に対する放射化断面積の整備                      |           |      |      | 数 10MeV あたりまでの中性子生成 DDX が整備されると良い。Ta, W についても同様である (50MeV 程度まで)。                                 |
| 被ばく評価の高精度化に係わる断面積データの整備           | ビーム利用<br>(被曝評価)     | 加速器の運転に伴い生成する高速中性子や、BNCT などの治療目的に生成した高速中性子による生体への影響を見積り、応用の高度化を図る必要がある。 | 生体構成元素の中性子に対するカーマファクターを精度よく求めるためのデータ、B-10(n,α)Li-7、N-14(n,p)C-14、H-1(n,n')p、生体内水素等の(n,γ)等の整備 |           | A2   |      |                                                                                                  |
|                                   |                     |                                                                         |                                                                                              |           | A3   |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>軽核のデータは今後の応用において重要なので整備を行えば関連分野にアピールできると考えられる。</li> </ul> |

| 案件                | 該当応用分野                     | 背景                                                                                                                                                                                    | 具体的な対応                                                                                                          | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                 |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中高エネルギー中性子生成と輸送計算 | ビーム応用<br>(中高エネルギー中性子加速器設計) | IFMIF などの中高エネルギー粒子を用いた中性子源の工学設計が進められており、 <b>Li, Be</b> はターゲット材料核種として幅広いエネルギーで使用される可能性がある。生成した中高エネルギー中性子を輸送するため <b>High energy file</b> が利用されるが、これらの核種の拡充を行うとともに、検証とアップデートを進めていく必要がある。 | <p>・Li, Be, Pb, Bi などのターゲット材料に対する、高いエネルギーまでの中性子生成断面積、中性子輸送断面積の整備</p> <p>・JENDL-High Energy file の整備と必要な見直し。</p> | HE-WG     | B1   |      | <p>・高エネルギーファイルの整備を促進することはデータセットの応用可能性を広げるために重要である。</p> <p>・これまでに加速器施設で取得された測定データを核データ評価に有効に利用する。</p> |

| 案件                            | 該当応用分野                              | 背景                                                                                                            | 具体的な対応                                                                                                   | 想定される対応主体   | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                      |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| エネルギー付与に係る荷電粒子生成断面積、放射化断面積の整備 | ビーム応用<br>(中高エネルギー加速器放射線安全設計と照射効果推定) | 高エネルギー加速器において生成する放射化物の評価・推定、および高エネルギー粒子によるエネルギー付与の推定が行われる様になってきており、これまでのイベントジェネレータを用いた推定を検証するための実験データが得られている。 | 大強度加速器・クリアランス・放射線管に資するデータ、半導体ソフトウェアなどの見積に資するデータ、付与線量を計算するための基礎データの取り込み。特に軽イオンやフラグメント生成データ最新の実験値に基づき追加する。 | HE-WG<br>B2 |      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>核反応モデルの検討を行う（軽核の全反応断面積、100-200MeVの遷移領域など理論計算が苦手とする領域を補う実験データ取得のプロジェクト）。</li> </ul> |
| 重イオン加速器の放射線安全設計に係るデータとモデルの整備  | ビーム応用<br>(重イオン加速器)                  | 治療用の重イオン加速器の普及と治療の高度化が進んでいる。加速器の遮へいや治療時の被曝線量の評価のためには、2次粒子                                                     | 中性子生成と放射化断面積、付与線量を計算するための基礎データ                                                                           | HE-WG<br>C  |      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>核反応モデルの検討を行う（軽核の全反応断面積、100-200MeVの遷移領域など理論計算が苦手とする領域を補う実験データ取得のプロジェクト）。</li> </ul> |

| 案件                | 該当応用分野        | 背景                                                                                   | 具体的な対応                                                        | 想定される対応主体                                                                                                                                | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   |               | である中性子の正確な発生量や、重イオン入射に伴う放射化の推定が重要である。                                                |                                                               |                                                                                                                                          |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 材料損傷計算に必要な核データの整備 | ビーム応用(大強度加速器) | 近年の加速器の大強度化に伴い、加速器に用いる材料の損傷を正しく見積もる必要が出てきた。特にビーム出射窓やターゲット被覆材などは非常に多くの損傷を受けることが想定される。 | <p>・はじき出し断面積、10MeV以上の陽子、中性子照射に対する材料におけるはじき出し断面積の整備が重要である。</p> | <p>・はじき出し断面積の評価については、IAEA CRP 活動で4年間かけて行う予定である。<br/> <a href="https://www-nds.iaea.org/CRPdpa/">https://www-nds.iaea.org/CRPdpa/</a></p> | C*   |      | <p>*データをとりまとめている段階であるので進捗状況を確認しつつ対応していくことが望ましい。</p> <p>・PKA ファイルデータは計算でか与えられていないので実験データが取得されていく予定である。重要となる核データのエネルギー範囲と入射粒子は中高エネルギー(20MeV 以上)の陽子、中性子であり、生成粒子は、ターゲット核種から重いフラグメント、物理量は DDX かエネルギー微分断面積である。</p> <p>・ガス(陽子、ヘリウム)生成二重微分、またはエネルギー微分断面積は既にやられているものも含めた評価が必要である。</p> <p>・JENDL の特徴となり得るデータになると思われる。</p> |

| 案件                          | 該当応用分野     | 背景                                                                                                | 具体的な対応                                                                                                                                                                       | 想定される対応主体                                                                                  | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 即発核分裂ガンマ線データの再評価と実験データによる検証 | 核物質探知・福島支援 | 核分裂による即発ガンマ線評価データを用いた場合、実験値の再現性が悪い。U、Puの核分裂による即発ガンマ線については福島でのデブリ対策で必要となるので、実験データを取得して再評価すること望まれる。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Cm 自発核分裂やU-235の熱中性子核分裂による即発ガンマ線について再評価を行うとともにKUCAの積分実験データ等で検証</li> <li>・欧州等で近年取得、取得予定であるU、Puの核分裂による即発ガンマ線の実験データ等を参考にした再評価</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価：JAEA/NDC</li> <li>・検証：RIT-WG又は新たな枠組み</li> </ul> | B*   |      | <p>*福島支援に関する研究は重要であり、当該データを活用した核物質検知手法の有効性が確認された段階で、当該データの再評価・検証の優先度を見直す必要がある。</p> <p>・核分裂ガンマ線スペクトルの核種依存性はそれほど大きくないという意見もあるが、近年取得予定の測定で判明すると期待される。</p> |
| 即発捕獲ガンマ線データの再評価と実験データによる検証  | 核物質探知・福島支援 | 軽核の捕獲ガンマ線はJENDL-4.0の評価値よりもBNFLのCapGamのほうの実験値との一致が良い。CapGamと、即発                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽核及びアクチノイドの捕獲ガンマ線について、CapGam、PGAAデータベース等の対照を通じた再評価と実験データを用いた検証</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価：JAEA/NDC</li> <li>・検証：RIT-WG又は新たな枠組み</li> </ul> | B*   |      | <p>*福島支援に関する研究は重要であり、当該データを活用した核物質検知手法の有効性が確認された段階で、当該データの再評価・検証の優先度を見直す必要がある。</p>                                                                     |



| 案件                              | 該当応用分野     | 背景                                                                            | 具体的な対応       | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項                                                | 補足事項                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |            | γ線分析(PGAA)データベース間には不確かさ評価等で齟齬が見られる。                                           |              |           |      |                                                     |                                                                                                                                                                                           |
| 短寿命FPの崩壊ガンマ線スペクトルの検証(崩壊データファイル) | 核物質探知・福島支援 |                                                                               | ・実験データを用いた検証 |           | B*   |                                                     | *福島支援に関する研究は重要であり、当該データを活用した核物質検知手法の有効性が確認された段階で、当該データの再評価・検証の優先度を見直す必要がある。                                                                                                               |
| 核共鳴蛍光散乱による核種同定のための核データの実        | 核物質探知・福島支援 | 核物質非破壊検知システムとして核共鳴蛍光散乱による核種同定の開発が進められており、ガンマ線の核共鳴吸収で強く励起できる状態の励起エネルギー及びガンマ線の共 | ・関連核データの評価   | JAEA/NDC  | B*   | 核共鳴蛍光散乱データの整理ブラリの整備(Photonuclear)で生成するPhotonの情報が必要？ | *研究推進および技術開発のために必要である。ただし、核データとして大々的に整備するには、今後の開発動向(実用化の見込み)を注視した上で進めるべきである。<br>・特にアクチニド核種の情報が重要であるが、ほとんど未整備、もしくはデータそのものが不足している。<br>・ photonuclear ファイルは粒子放出を伴う程度の高い入射エネルギーのデータを格納しているもので |

| 案件                      | 該当応用分野     | 背景                                                                                                              | 具体的な対応                         | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項                                                                                              | 補足事項                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |            | 鳴幅等の情報が必要とされている。                                                                                                |                                |           |      |                                                                                                   | あり、それとは異なる。<br>・FP $\gamma$ 線エネルギーより高エネルギー(4とか5MeV)の $\gamma$ 線断面積の調査、評価への需要が高い。<br>・現地での加速器レーザー光源の適用について、実用上の課題を指摘されている。                                                                            |
| ミュオンによる核物質検知に関する予測精度の検証 | 核物質探知・福島支援 | 高エネルギーの宇宙線ミュオンは、大型構造物も透過でき、また、重元素ではミュオンの散乱角が大きくなることから、ウランなどの核物質探知に有効である。ミュオンは荷電粒子であるため、クーロン力で物質と相互作用を行うが、核反応も起す | ・ミュオン散乱、透過実験による実験データを用いた核モデル検証 |           | C    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要性はあるか。</li> <li>・核データの出番はあるか？物理モデルで十分かもしれない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ミュオンは原子核と直接核反応を起こさない。2 次的な反応が起こるとしても、宇宙線起因である為、断面積は非常に小さい。</li> <li>・原子炉内の透視という新たな分野への応用を考えると、現状、モンテカルロ法で行われている解析に加え、決定論的解析手法の開発も炉物理分野の応用として興味深い。</li> </ul> |

| 案件                           | 該当応用分野     | 背景                                                                                    | 具体的な対応     | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項 |
|------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------|------|------|
|                              |            | ため、核モデル、核データも重要となる可能性がある。                                                             |            |           |      |      |      |
| 放射能インベントリ評価で重要な核データの評価       | 廃止措置・廃棄物処分 | 放射能インベントリ評価で比較的重要となる可能性のある核データが評価されていない<br>(He-4(n,pn), Be-7, Mn-53, Fe-60, Y-88 など)。 | ・関連核データの評価 |           | A    |      |      |
| S( $\alpha,\beta$ )データに関する検討 | 廃止措置・廃棄物処分 | 水分子用の水素のS( $\alpha,\beta$ )を硝酸などの水溶液やコンクリートの自由水・結合水等に代用することの妥当性が明確ではない。               | ・関連核データの検討 |           | C    |      |      |

| 案件                                        | 該当応用分野   | 背景                                                                                                    | 具体的な対応                                                                                                                                                                  | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                   |
|-------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|----------------------------------------|
| 共鳴パラメータの精査                                | (核データ評価) | 誤った共鳴パラメータが与えられている核種が幾つか存在する。その原因としては、実験に用いたサンプルに含まれる不純物の存在を把握していなかった点が挙げられる。                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>全ての核種の共鳴パラメータを網羅的に精査し、類似の共鳴パラメータが異なる核種で与えられているものなどを抽出</li> </ul>                                                                 | JAEA/NDC  | B*   |      | *核データ応用の分野にインパクトを与えるほどの影響はないと考えられる。    |
| 熱中性子散乱則 $S(\alpha, \beta)$ を独自に評価可能な体制を構築 | (核データ評価) | JENDL では $S(\alpha, \beta)$ については外国の評価データに依存しているのが現状であるが、水分子中の H-1 や Be 金属など、応用の観点から独自に検討すべきデータが存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>国内の当該分野の研究者の協力が必要</li> <li>JAEA/NDC で当該分野の専門家の育成</li> <li><math>S(\alpha, \beta)</math> データの検討に関する WG の JENDL 委員会への設置</li> </ul> |           | B*   |      | *重要なデータについては外国の評価に頼ることが出来るので緊迫度は比較的低い。 |

| 案件                                            | 該当応用分野       | 背景                                                                 | 具体的な対応 | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項 |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|--------|-----------|------|------|------|
| 実験データの取得と核データ評価へのフィードバックをAll Japan体制で行う仕組みの構築 | (測定と評価の連携)   | 測定データが核データ評価にフィードバックされやすいように整備されているとは言いがたい状況がある（特に高エネルギー加速器遮蔽の分野）。 |        |           | A    |      |      |
| 核データ測定分野と応用分野のより緊密な連携                         | (測定と応用分野の連携) | J-PARC 等で種々の核データ測定が精力的に行われている一方で、核データの利用者側と核データ測定側との連携が弱いように思われる。  |        |           | A    |      |      |

| 案件                                 | 該当応用分野                 | 背景                                                               | 具体的な対応                                                                                                                              | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                           |
|------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価者と積分デスト側との緊密な連携                  | (評価と応用の連携)             | JENDL-4.0 の開発において、特に、核融合、遮蔽分野の研究者との連携がほとんどなかった。                  | JENDL 委員会の WG や核データ研究会に加え、多くの核データ関連研究者が集まっている JAEA で、JAEA の核データ関連の主要研究者が参加する月一回路度の情報交換の会合を開催する。また、その会合の議事録、資料を JENDL 委員会のメンバーに発信する。 |           | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•JENDL 委員会の活性化にも繋がると考えられる。</li> </ul>                                   |
| アプリケーションコード用のライブラリの作成主体・サポート体制の明確化 | (核データ処理とアプリケーションライブラリ) | 粒子輸送コード等のアプリケーションコードのための核データライブラリ（炉定数）の作成主体・サポート体制がオーソライズされていない。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 然るべき WG の JENDL 委員会への設置</li> </ul>                                                         | JENDL 委員会 | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• アプリケーションライブラリを誰が作るのか、問題点があった場合、誰が対応するのか、という点は明確化しておく必要がある。</li> </ul> |

| 案件                    | 該当応用分野                 | 背景                                                              | 具体的な対応                                                                                  | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 断面積処理コード・ツールの提供       | (核データ処理とアプリケーションライブラリ) | 新しいJENDLの評価ファイルがリリースされても、それに対応する処理コードが整備されておらず、導入に労力を要するケースがある。 | ファイルが公開された時点で、様々な形式のアプリケーションライブラリに加工する既存のコード・ツールで使用する可とする、もしくは新規にコード・ツールが同時に提供されるようにする。 |           | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>国産の独自コードの開発にこだわる提言もある。</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| アプリケーションコード用のライブラリの公開 | (核データ処理とアプリケーションライブラリ) | JENDLに基づくライブラリはRIST等から取り寄せることとなっており、不便である。                      | アプリケーションコード用のライブラリ(PHITS、MCNP(X)、MVP、MATXS、UFLIB)もJENDLの一部として自由にダウンロードできるようにする。         |           | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>外為法に抵触するならば、登録したユーザのみ可能とする、などの対応をとる。</li> <li>ユーザが断面積ライブラリを選択する際にはこれらの情報を参考にするのであるが、適用しようとしている問題への適合性について必ずしも十分な情報を与えているものではない。ユーザ個別の問題への断面積ライブラリの適用妥当性を説明する尺度を設けることはできないか。</li> <li>PHITS、MCNPX などのライブラリ</li> </ul> |

| 案件                 | 該当応用分野                 | 背景                              | 具体的な対応                                                                                                                    | 想定される対応主体                                                                          | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                     |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------------------------------------------------------------|
| 核データ処理に伴う不確かさの情報提供 | (核データ処理とアプリケーションライブラリ) |                                 | 連続エネルギー計算に対する多群計算の誤差の定量化を行い、その結果をまとめたものをアプリケーションライブラリに付属させる。                                                              |                                                                                    |      |      | ラリも必要である (BNCT 加速器設計)。                                                   |
| 大容量ファイルの取扱いの簡便化    | (核データ処理とアプリケーションライブラリ) | ACE ファイルなど大容量ファイルは、その取扱いが不便である。 |                                                                                                                           |                                                                                    | A*   |      | *アプリケーションライブラリを公開するにあたり、その検証データの公開は必須である。                                |
| 共分散データの品質保証        | (ユーザーサポート)             | 共分散データの品質保証が十分でない。              | <ul style="list-style-type: none"> <li>積分データを用いて核データに起因する不確かさが妥当であるかを確認する (核分裂炉、遮蔽設計)。</li> <li>妥当性の確認結果は公開する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>評価：JAEA/NDC</li> <li>検証：共分散利用 WG</li> </ul> | A    |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>共分散データの本格利用のためには必須である。</li> </ul> |



| 案件                          | 該当応用分野    | 背景                                                                                 | 具体的な対応                                                             | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項                   | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |           |                                                                                    | <p>・共分散データをその評価手続きの詳細さに応じてレベル分類 (High/Middle/Low fidelity) する。</p> |           |      |                        |                                                                                                                                                                                                                                       |
| 新たに開発した核データファイルに対する情報提供の充実化 | (ユーザサポート) | <p>新たな核データを整備した場合、論文・学会の発表での情報の周知は不十分である。また、共分散データの有効な使い方がわからないというエンドユーザが存在する。</p> | <p>・新たな核データを整備したら、利用説明会のようなものを開催する (処理コードや共分散データを含む)</p>           |           | A    |                        | <p>・評価結果の不確かさ (⇔信頼性) の説明は、最近規制側から強く求められるところである。共分散データを用いて核データの不確かさをどのように扱い、どのように伝えるのが良いかをデータの提供者側として考えてほしい。(計算コードを用いた評価では、核データの不確かさは、断面積データ処理においてどのようには伝播するのか。また、計算モデルなどを原因とする不確かさの中でのように識別したらいいか。そもそも、その計算モデルのもつ不確かさとわけられるのか。など)</p> |
| ベンチマーク計算の実施と                | (ユーザサポート) | <p>ベンチマーク計算結果の公開が不十分</p>                                                           | <p>ベンチマーク計算を網羅的に実施し、その結果を学術論文誌</p>                                 |           | A    | JENDL-4.0ではベンチマークの論文に加 | <p>・断面積ライブラリの適用妥当性判断の情報は、ベンチマーク問題の種類と数にある程度依存する。様々な</p>                                                                                                                                                                               |

| 案件             | 該当応用分野    | 背景 | 具体的な対応                                                                | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項                                                                                              | 補足事項                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|-----------|----|-----------------------------------------------------------------------|-----------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| その結果の公開        |           |    | やJAEA report として公開することにより、核データの精度に関する信頼性を定量的に保証する。                    |           |      | えて、MVP の ICSBEP 計算値が JAEA 報告書 (JAEA-Data/Code 2011-010) で公開されているが、それでは足りないとするならば、何が足りないかを示す必要がある。 | 種類のベンチマーク計算を可能な限り数多く実施して欲しい。<br>・ユーザ側からベンチマーク問題の提供を受ける仕組みを検討して欲しい。<br>・ベンチマーク計算結果登録と関連し、断面積ライブラリの適用事例を登録する仕組みを検討して欲しい。                                                                                           |
| ドキュメントの充実<br>実 | (ユーザサポート) |    | ・JENDL の全てが記載されたひとつの文書を作成し、随時この JENDL 文書を改訂、追補し、管理する (JAEA-report 等)。 |           | A    |                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>文書には、JENDL の開発整備体制、解決すべき課題、サブライブラリに関する記述を含むこととする。</li> <li>JENDL 文書の管理のための品質マネジメントシステムの構築が必要である。</li> <li>JENDL-4.0 では、核データ評価と核分裂炉積分検証についての要約が JNST 論文として公開され、</li> </ul> |

| 案件                       | 該当応用分野     | 背景                                                       | 具体的な対応                                                            | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項                            | 補足事項                                                                                                                                                 |
|--------------------------|------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------|------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |            |                                                          |                                                                   |           |      |                                 | 後者の詳細については <b>JAEA report</b> として公開されている。評価の詳細については、複数の論文が <b>JNST</b> 等に掲載されている。                                                                    |
| 免責事項の明確化                 | (ユーザサポーター) | 「核データファイルの適用の限界」を示すことがユーザの利便性に繋がる。                       | ・免責 (制限) 事項 (データの取扱い上想定しない事項: 例えは無視されている反応等) の明確な提示               |           | B    | ・具体的にどのような情報の与えればよいかを提示する必要がある。 | アプリケーションブラリにも適用限界(例えば、入っている <b>KERMA</b> 係数の妥当性、2 次元線生成断面積がない等)があるので、それらも明確化すべき                                                                      |
| 前のバージョンからの変更点の明確化        | (ユーザサポーター) |                                                          | ・前のバージョンからの変更点を核データファイルのコメント欄に詳細に示す ( <b>JENDL-4.0</b> では不十分だった)。 |           | B    |                                 |                                                                                                                                                      |
| 共分散データ利用促進のための感度解析コードの整備 | (ユーザサポーター) | 共分散データを使う術が無いエンドユーザが存在する (共分散を取り扱い、結果の不確かさを評価できるとはならない)。 | ・目的に応じた各種の感度解析コードの開発・整備・機能の充実                                     |           | B*   |                                 | <p><b>*JENDL</b> プロジェクトの外で対応すべき案件と考えられる。ただし、核データとアプリケーションソフトウェア (感度解析・不確かさ評価を含む) をパッケージ化して売り込むことは重要である。</p> <p>・感度解析コードの開発・整備・機能の充実のためには、感度解析の研究</p> |

| 案件        | 該当応用分野    | 背景 | 具体的な対応                                                                                | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------|-----------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |           |    |                                                                                       |           |      |      | <p>究者を育成する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モンテカルロ輸送計算に対して感度解析を行うには、研究開発が必要ではないかと考えられる（LANL、ORNL 等で実施中）。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                |
| 品質保証活動の充実 | (ユーザサポート) |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・JAEA 核データ研究グループにおける研究活動の QMS 活動の実践</li> </ul> |           | C*   |      | <p>*技術的課題への対処を優先すべきである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・QMS 活動の不適合と「核データの正しさ」とは分けて考えるべきである。</li> <li>・核データ研究グループから不定期に発信される核データのマイナーな変更では ISO9000 で要求されるようなユーザコミュニケーションの実践を検討してほしい。</li> </ul> <p>→リリース済みのデータに誤りがあつた場合でも、修正版を提供するだけでその影響などに関する説明がない。修正を行う場合は、その理由と影響を併せて説明してほしい（JENDL-4.0 update file では修正の理由等は Web 状態で詳細に説明されている）。</p> |

| 案件            | 該当応用分野     | 背景                                   | 具体的な対応                                 | 想定される対応主体 | 優先度* | 検討事項 | 補足事項 |
|---------------|------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------|------|------|------|
| インターフェースの改良   | (ユーザーサポート) | iPad など、最近の技術に対応したインターフェースを提供すべきである。 |                                        |           | C    |      |      |
| 共鳴データの閲覧方法の強化 | (ユーザーサポート) |                                      | ・共鳴パラメータの閲覧機能や共鳴エネルギーギーから核種を逆引きする機能の追加 |           | C    |      |      |

# 国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

| 基本量   | SI 基本単位 |     |
|-------|---------|-----|
|       | 名称      | 記号  |
| 長さ    | メートル    | m   |
| 質量    | キログラム   | kg  |
| 時間    | 秒       | s   |
| 電流    | アンペア    | A   |
| 熱力学温度 | ケルビン    | K   |
| 物質량   | モル      | mol |
| 光度    | カンデラ    | cd  |

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量                     | SI 基本単位      |                    |
|-------------------------|--------------|--------------------|
|                         | 名称           | 記号                 |
| 面積                      | 平方メートル       | m <sup>2</sup>     |
| 体積                      | 立法メートル       | m <sup>3</sup>     |
| 速度                      | メートル毎秒       | m/s                |
| 加速度                     | メートル毎秒毎秒     | m/s <sup>2</sup>   |
| 波数                      | 毎メートル        | m <sup>-1</sup>    |
| 密度, 質量密度                | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 面積密度                    | キログラム毎平方メートル | kg/m <sup>2</sup>  |
| 比体積                     | 立方メートル毎キログラム | m <sup>3</sup> /kg |
| 電流密度                    | アンペア毎平方メートル  | A/m <sup>2</sup>   |
| 磁界の強さ                   | アンペア毎メートル    | A/m                |
| 量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度 | モル毎立方メートル    | mol/m <sup>3</sup> |
| 質量濃度                    | キログラム毎立法メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 輝度                      | カンデラ毎平方メートル  | cd/m <sup>2</sup>  |
| 屈折率 <sup>(b)</sup>      | (数字の) 1      | 1                  |
| 比透磁率 <sup>(b)</sup>     | (数字の) 1      | 1                  |

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 組立量                           | SI 組立単位               |                   |                      |                                                                |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
|                               | 名称                    | 記号                | 他のSI単位による表し方         | SI基本単位による表し方                                                   |
| 平面角                           | ラジアン <sup>(b)</sup>   | rad               | 1 <sup>(b)</sup>     | m/m                                                            |
| 立体角                           | ステラジアン <sup>(b)</sup> | sr <sup>(c)</sup> | 1 <sup>(b)</sup>     | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>                                 |
| 周波数                           | ヘルツ <sup>(d)</sup>    | Hz                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 力                             | ニュートン                 | N                 |                      | m kg s <sup>-2</sup>                                           |
| 圧力, 応力                        | パスカル                  | Pa                | N/m <sup>2</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                             |
| エネルギー, 仕事, 熱量                 | ジュール                  | J                 | N m                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                              |
| 仕事率, 工率, 放射束                  | ワット                   | W                 | J/s                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>                              |
| 電荷, 電気量                       | クーロン                  | C                 |                      | s A                                                            |
| 電位差 (電圧), 起電力                 | ボルト                   | V                 | W/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 静電容量                          | ファラド                  | F                 | C/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup> |
| 電気抵抗                          | オーム                   | Ω                 | V/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>              |
| コンダクタンス                       | ジーメンズ                 | S                 | A/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup> |
| 磁束                            | ウェーバ                  | Wb                | Vs                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 磁束密度                          | テスラ                   | T                 | Wb/m <sup>2</sup>    | kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>                             |
| インダクタンス                       | ヘンリー                  | H                 | Wb/A                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>              |
| セルシウス温度                       | セルシウス度 <sup>(e)</sup> | °C                |                      | K                                                              |
| 光束度                           | ルーメン                  | lm                | cd sr <sup>(c)</sup> | cd                                                             |
| 照射度                           | ルクス                   | lx                | lm/m <sup>2</sup>    | m <sup>-2</sup> cd                                             |
| 放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>      | ベクレル <sup>(d)</sup>   | Bq                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ           | グレイ                   | Gy                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量 | シーベルト <sup>(g)</sup>  | Sv                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 酸素活性化                         | カタール                  | kat               |                      | s <sup>-1</sup> mol                                            |

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量             | SI 組立単位           |                       |                                                                                      |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 名称                | 記号                    | SI 基本単位による表し方                                                                        |
| 粘着力のモーメント       | パスカル秒             | Pa s                  | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>                                                   |
| 表面張力            | ニュートンメートル         | N m                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                    |
| 角速度             | ニュートン毎メートル        | N/m                   | kg s <sup>-2</sup>                                                                   |
| 角加速度            | ラジアン毎秒            | rad/s                 | m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>                                   |
| 熱流密度, 放射照度      | ラジアン毎秒毎秒          | rad/s <sup>2</sup>    | m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>                                   |
| 熱容量, エントロピー     | ワット毎平方メートル        | W/m <sup>2</sup>      | kg s <sup>-3</sup>                                                                   |
| 比熱容量, 比エントロピー   | ジュール毎ケルビン         | J/K                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                    |
| 比エネルギー          | ジュール毎キログラム毎ケルビン   | J/(kg K)              | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                       |
| 熱伝導率            | ジュール毎キログラム        | J/kg                  | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                                       |
| 体積エネルギー         | ワット毎メートル毎ケルビン     | W/(m K)               | m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>                                                 |
| 電界の強さ           | ジュール毎立方メートル       | J/m <sup>3</sup>      | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                   |
| 電荷密度            | ジュール毎平方メートル       | V/m                   | m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>                                                 |
| 表面電荷            | クーロン毎立方メートル       | C/m <sup>3</sup>      | m <sup>-3</sup> s A                                                                  |
| 電束密度, 電気変位      | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>-2</sup> s A                                                                  |
| 誘電率             | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>-2</sup> s A                                                                  |
| 透磁率             | ファラド毎メートル         | F/m                   | m <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>                       |
| モルエネルギー         | ヘンリー毎メートル         | H/m                   | m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>                                                 |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル           | J/mol                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>                                  |
| 照射線量 (X線及びγ線)   | ジュール毎モル毎ケルビン      | J/(mol K)             | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>                  |
| 吸収線量率           | クーロン毎キログラム        | C/kg                  | kg <sup>-1</sup> s A                                                                 |
| 放射線強度           | グレイ毎秒             | Gy/s                  | m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>                                                       |
| 放射輝度            | ワット毎ステラジアン        | W/sr                  | m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> |
| 酵素活性濃度          | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | W/(m <sup>2</sup> sr) | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>                |
|                 | カタール毎立方メートル       | kat/m <sup>3</sup>    | m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol                                                  |

表 5. SI 接頭語

| 乗数               | 接頭語 | 記号 | 乗数                | 接頭語 | 記号 |
|------------------|-----|----|-------------------|-----|----|
| 10 <sup>24</sup> | ヨ   | Y  | 10 <sup>-1</sup>  | デ   | d  |
| 10 <sup>21</sup> | ゼ   | Z  | 10 <sup>-2</sup>  | セ   | c  |
| 10 <sup>18</sup> | エ   | E  | 10 <sup>-3</sup>  | ミ   | m  |
| 10 <sup>15</sup> | ペ   | P  | 10 <sup>-6</sup>  | マイ  | μ  |
| 10 <sup>12</sup> | テ   | T  | 10 <sup>-9</sup>  | ナ   | n  |
| 10 <sup>9</sup>  | ギ   | G  | 10 <sup>-12</sup> | ピ   | p  |
| 10 <sup>6</sup>  | メ   | M  | 10 <sup>-15</sup> | フェ  | f  |
| 10 <sup>3</sup>  | キ   | k  | 10 <sup>-18</sup> | ア   | a  |
| 10 <sup>2</sup>  | ヘ   | h  | 10 <sup>-21</sup> | ゼ   | z  |
| 10 <sup>1</sup>  | デ   | da | 10 <sup>-24</sup> | ヨ   | y  |

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称    | 記号   | SI 単位による値                                                  |
|-------|------|------------------------------------------------------------|
| 分     | min  | 1 min=60s                                                  |
| 時     | h    | 1 h=60 min=3600 s                                          |
| 日     | d    | 1 d=24 h=86 400 s                                          |
| 度     | °    | 1°=(π/180) rad                                             |
| 分     | ′    | 1′=(1/60)°=(π/10800) rad                                   |
| 秒     | ″    | 1″=(1/60)′=(π/648000) rad                                  |
| ヘクタール | ha   | 1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>     |
| リットル  | L, l | 1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| トン    | t    | 1 t=10 <sup>3</sup> kg                                     |

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

| 名称       | 記号 | SI 単位で表される数値                                |
|----------|----|---------------------------------------------|
| 電子ボルト    | eV | 1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J   |
| ダルトン     | Da | 1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg  |
| 統一原子質量単位 | u  | 1 u=1 Da                                    |
| 天文単位     | ua | 1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m |

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                                                   |
|-----------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| バール       | bar  | 1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa                                                       |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | 1 mmHg=133.322 Pa                                                                              |
| オングストローム  | Å    | 1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m                                                          |
| 海里        | M    | 1 M=1852 m                                                                                     |
| バイン       | b    | 1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup> |
| ノット       | kn   | 1 kn=(1852/3600) m/s                                                                           |
| ネーパ       | Np   | SI単位との数値的な関係は、<br>対数量の定義に依存。                                                                   |
| ベール       | B    |                                                                                                |
| デジベル      | dB   |                                                                                                |

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

| 名称                    | 記号  | SI 単位で表される数値                                                                            |
|-----------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| エル                    | erg | 1 erg=10 <sup>-7</sup> J                                                                |
| ダイ                    | dyn | 1 dyn=10 <sup>-5</sup> N                                                                |
| ポア                    | P   | 1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s                                                  |
| ストークス                 | St  | 1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> |
| スチルブ                  | sb  | 1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>                          |
| フオト                   | ph  | 1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx                                        |
| ガリ                    | Gal | 1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>                           |
| マクスウェル                | Mx  | 1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb                                           |
| ガウス                   | G   | 1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T                                           |
| エルステッド <sup>(c)</sup> | Oe  | 1 Oe ≡ (10 <sup>3</sup> /4π) A m <sup>-1</sup>                                          |

(c) 3 元素のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                          |
|-----------|------|-----------------------------------------------------------------------|
| キュリー      | Ci   | 1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq                                          |
| レントゲン     | R    | 1 R = 2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg                                      |
| ラド        | rad  | 1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy                                       |
| レム        | rem  | 1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv                                       |
| ガンマ       | γ    | 1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T                                           |
| フェルミ      | f    | 1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m                                       |
| メートル系カラット |      | 1 メートル系カラット = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> kg                          |
| トル        | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa                                             |
| 標準大気圧     | atm  | 1 atm = 101 325 Pa                                                    |
| カロリ       | cal  | 1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリー) , 4.1868 J (「IT」カロリー) 4.184 J (「熱化学」カロリー) |
| マイクロン     | μ    | 1 μ =1 μm=10 <sup>-6</sup> m                                          |

