

JENDL-3.3 に向けて

日本原子力研究所核データセンター

長谷川 明

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

JENDL-3.2 が公開されたのが 1994 年 6 月であるから、それから約 3 年が経過する。これまでに、このファイルは、核分裂炉、核融合炉、遮蔽、臨界安全解析等数多くの場面で使われて来た。更に、最近では、宇宙進化等へといったこれまで異分野であった方面までその利用の広がりを見せはじめている。それに伴い、核データ評価上の問題、プロセス上の問題、評価ポリシーからの問題等、JENDL-3.2 について議論すべき問題点が多数上がってきている。

そのため、これら問題点を総括するとともに、本年（平成 9 年）4 月から予定されている今後 3 年間での、JENDL-3.3 への改訂への指針とするべく、JENDL-3.2 問題点検討小委員会が昨年 4 月に結成された。このほど、1 年間の小委員会の検討をへて、答申案がまとまり、本年 3 月 21 日に開かれたシグマ委員会の運営委員会へ提出され承認された。そこでの議論を経て、核データ専門部会内に改訂のためのワーキンググループが新たに設置され、そこで改訂作業が実施される事となった。

この間の経緯と、本検討小委員会からの結論である JENDL-3.2 の問題点について、その概要を、筆者が平成 9 年日本原子力学会春の大会の核データ・炉物理特別会合で紹介させていただいた。発表内容は、小委員会からの答申案で尽きているので、詳しくはそれを見ていただくとして、ここでは概略のみそれも答申案ではあまり触れられなかった点のみ記述させていただく。

前述した様に、詳しくは本稿の後ろに、検討小委員会からの答申案をそのままのせているのでそれを参照いただきたい。また、この検討小委員会の、詳しい議論の経過及び結果については、JAERI-memo として別途出版する予定なので、細かな議論を知りたい方はそちらを参照いただきたい。

1. JENDL-3.3 の目標

平成 9 年 4 月からの、3 年計画で我々が JENDL-3.3 として捉えているのは、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である。核分裂炉対応と言うことで、

現行炉（軽水炉、高速炉）、将来炉（ABWR, APWR, 及び近未来の Pu リサイクル炉）で問題となる核データの再評価があげられる。特に、従来ユーザーニーズの点からおろそかに成りがちであった軽水炉関係のデータに対して重点化をはかる事とし、U-235 については、熱群から epi-thermal にかけての断面積（核分裂、捕獲、即 α 値）の決着、高燃焼度化を視野に置いた、可燃性毒物断面積の充実（Er の新規評価）が予定されている。U-238 非弾性散乱断面積の改訂や、重核の粒子放出反応におけるエネルギー分布データの改訂によるライブラリーの充実が予定されている。また、高速炉を主な対象とした核データの持つ誤差からの設計マージンをなくすことを目標に、従来全くデータを収録していなかった、共分散データを主要核種について充実させる事が予定されている。

データ公開は、再評価の終了した核種については、レビューの後、核種毎の公開を予定しており、これまでの様にすべての改訂がすむまで公開しないと言う事ではない。

2. 主な問題点とその対処法

特に大きな問題点として我々が認識しているのは、以下の点である（前述したごとく、詳しくは、JENDL-3.2 問題点検討小委員会報告を参照されたい）。

1) 主要重核（U, Pu 等）の粒子放出反応の際の連続領域での 2 次中性子エネルギー分布の問題

U-235（図-1 参照）や、U-238 等に見られる、エネルギー分布の問題で、これらは当初、ベラルースの Maslov 達から指摘された問題であり、JENDL-3 では理論的に少しおかしな分布を与えている。これを正確に取り扱おうとすると、放出粒子全てを考慮した全体的な評価が必要となる。計算方式も含めて、主要重核について検討し直す必要がある。

2) direct capture の取り扱いの問題

図-2 に示すように、JENDL-3.2 の MeV 領域での捕獲反応の断面積には、direct capture の効果がいっていない核種が多い。これは通常の炉心計算には全く効かないが、非エネルギー応用で使われる場合には問題が生じる可能性がある。特に宇宙利用、天体物理等では、この領域の桁違いの断面積は大きな問題を生じる。汎用ファイルとしては、正しくデータを与えておく必要がある。

3) 連続レベルの中性子エネルギー分布表現について

しきい値反応に見られる、2 次中性子分布を表形式で与える際の JENDL-3 データの与えかたの問題で、応用プログラム（MCNP）での利用の際に計算が異常終了してしまう問題である。これに関しては、JENDL-3.1 の段階で、中性子のエネルギー分布を与える反応（非弾性散乱のみでなく、 (n, α) , (n, p) , $(n, 2n)$ 等）については、しきいエ

エネルギーでデルタ Function を与えていたが、輸送計算等で大きな問題が出てしまったため、便宜上次のエネルギー点のデータで代用すると言う変則処理で逃げていたもので、それでも問題がでてしまった。これは、エネルギー範囲の全体からみたら大きな問題ではなく、しきい値と次の入射エネルギー点でのエネルギー分布にのみ限定されるものの、MCNP 等でこれらデータを使った場合、下方散乱であるべき所が極めて低い確率ではあるものの上方散乱をおこし、計算がとまってしまう。これは多くの核種で起こりうる可能性を秘めている事から我々は、JENDL-3.2 での大きな問題点として認識している。

4) U-235 データの問題点

これに関しては、2 つ問題があり、1 つは最新の分離共鳴パラメータ評価値である Leal/Derrien のデータの取り扱いと、JENDL-3.1 から 3.2 への改訂の際に取った評価データの違いが、熱体系で実効増倍係数に 0.5% と言うかなり大きな変化をもたらす事となったその原因の追求の 2 点である。

第 1 点は、最近 Leal-Derrien(95)の評価による分離共鳴パラメータの最新データが出されたがその取り扱いである。彼らが、新たな評価を行うにいたった背景は、それまでの最新のファイル (ENDF/B-6.2) で使われている U-235 の共鳴パラメータは Leal-de Saussure であり、Fission は正しいと考えられるものの、吸収を 10~13% 程過小評価しているのではないかと疑いがあった。過去のデータを吟味し直して、total, fission, capture, η のデータについて SAMMY code による fitting を行い、0.2.25keV で 3170 本の共鳴を与えた。結果は、Radiation Width の fluctuation が余りに大きいのではないとか、いくつかクランプした resonance がある事、Doppler の観点から見ると、SAMMY より REFIT を使うべきではないか等々の議論が出ているものの、今世紀最後の評価結果と言うことでこのデータに対する信頼度は高い。しかし、問題はこのデータと JENDL-3.2 等の既存のデータとの整合性にある。捕獲断面積について Leal/Derrien と JENDL-3.2 との比を図-3 に示すが、1keV 前後のエネルギーで最大 60-80% もの差をもたらしている。これは実に大きな差であるが、これを熱体系の格子系の場合に応用した場合にはそれほど差をもたらさない (新評価値が実効増倍率を 0.2-0.3% 程低く見積もる)。しかしながら FCA-IX 炉心の様な中速系に応用するとかなりの影響を及ぼす。従って、この新評価データの採用にあたってはかなりの検討を要する。

第 2 点については、JENDL-3.2 と 3.1 との軽水炉関連の臨界性 (軽水炉、研究炉、高温工学試験研究炉、NUCEF STACY) に対する寄与が両者でかなり異なり (JENDL-3.2 が 3.1 と比べて、0.5% 程実効増倍係数を過大評価する傾向がある)、Thermal 領域での断面積の再検討が要求されている。

5) 新規実験データの反映の問題

特に構造材核種でこの問題は著しく、早急に見直しが要求される項目の 1 つであ

る。最近国外では、精力的に高分解能、高精度測定による実験データが取られており、古い低分解能の実験を基本にした、JENDL-3.2 のデータについては、見直しを行う必要がある。例として、Cr の全断面積 500-600keV の各評価ライブラリーでの比較図を図-4、-5 に示す(原図はカラーであるがここでは白黒となっており見づらいとは思いますが大体の様子は分ろう。JENDL-3.2 と JENDL-3.1 とは同じである)。図 4 から分るように、ENDF/B-IV はともかくとして、ENDF/B-6.2 と比べて JENDL-3.2 がかなり分解能は低いデータを取っている。また図 5 の群平均した断面積でも、かなりの差が見られる。Self-shielding のみならず、平均断面積に対してもこれだけ違うと、問題はかなり深刻である。

以上述べたような JENDL-3.2 問題点検討委員会からの改訂指針を基に、今後 JENDL-3.3 へ向けて、核データ改訂の作業が核データ専門部会ではじまる。

最後に、JENDL-3.2 の問題点はここに記した他に、まだまだ数多くあるであろう。特に、利用分野が違っていたりすればなおさら問題点は出てくるものと我々は覚悟している。そして、お願いしたいのは、それを我々に知らせていただきたいと言う事である。どんな小さな事でもけっこうですから、情報をお寄せいただきたい。問題点リストは、WWW の核データホームページで公開している (<http://cracker.tokai.jaeri.go.jp>)。そして、JNDCmail へ mail を送る事により、関係者全員にその情報が流れるようなしくみになっている。全員に知らせるのは恥ずかしいと言うかたは、私に個人宛てでもけっこうですからお送りください。どうぞご協力の程をお願いいたします。誰でもが、データをただで自由に使えるという事は、使った人はその経験なり見出した問題点をデータの作成者・利用者にフィードバックする義務を有していると我々は考えています。

mail address:

JNDC-mail: JNDCmail@cracker.tokai.jaeri.go.jp

筆者 hasegawa@cracker.tokai.jaeri.go.jp

^{235}U $E_n = 8 \text{ MeV}$
COMPARISON WITH JENDL-3

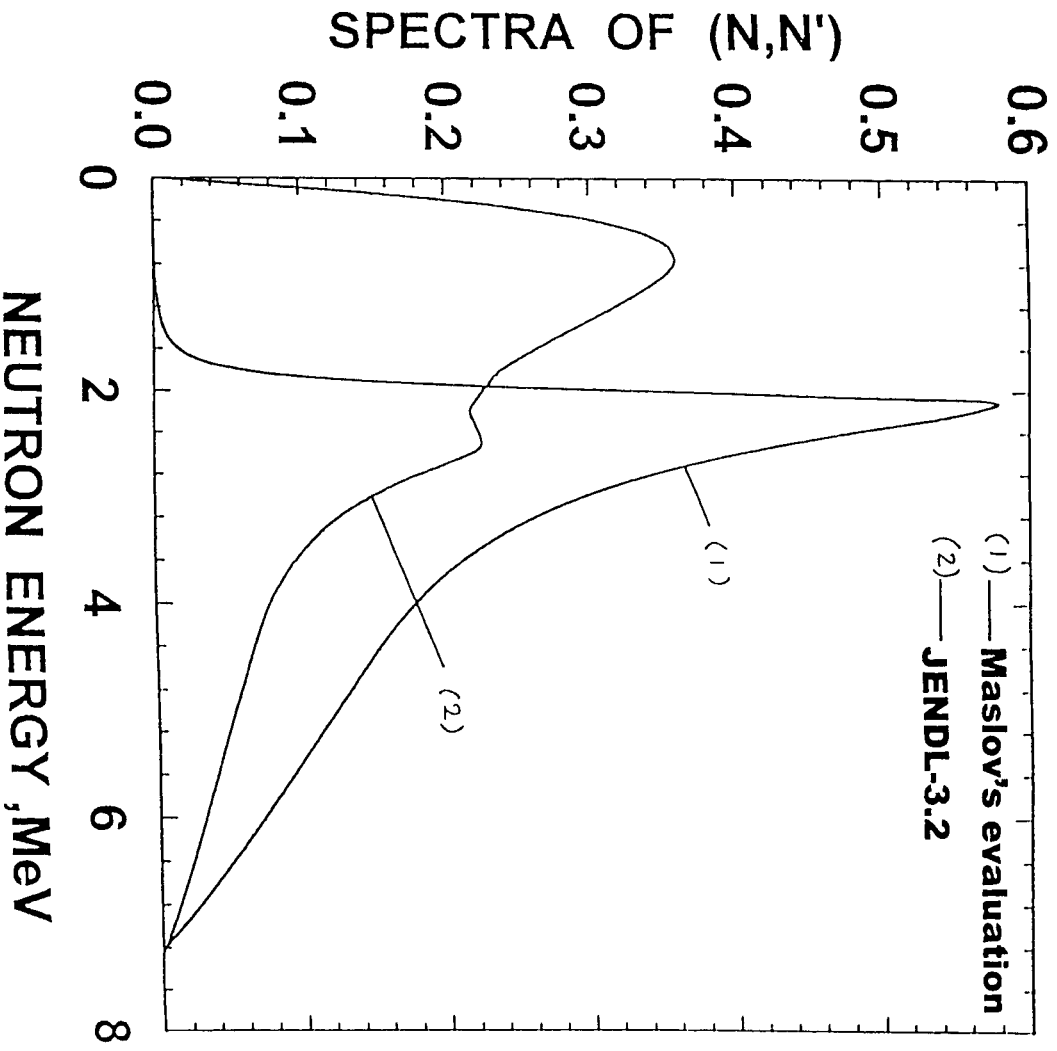


Fig. 1 Secondary energy distribution for U-235
(JENDL-3.2 and Maslov's evaluation)

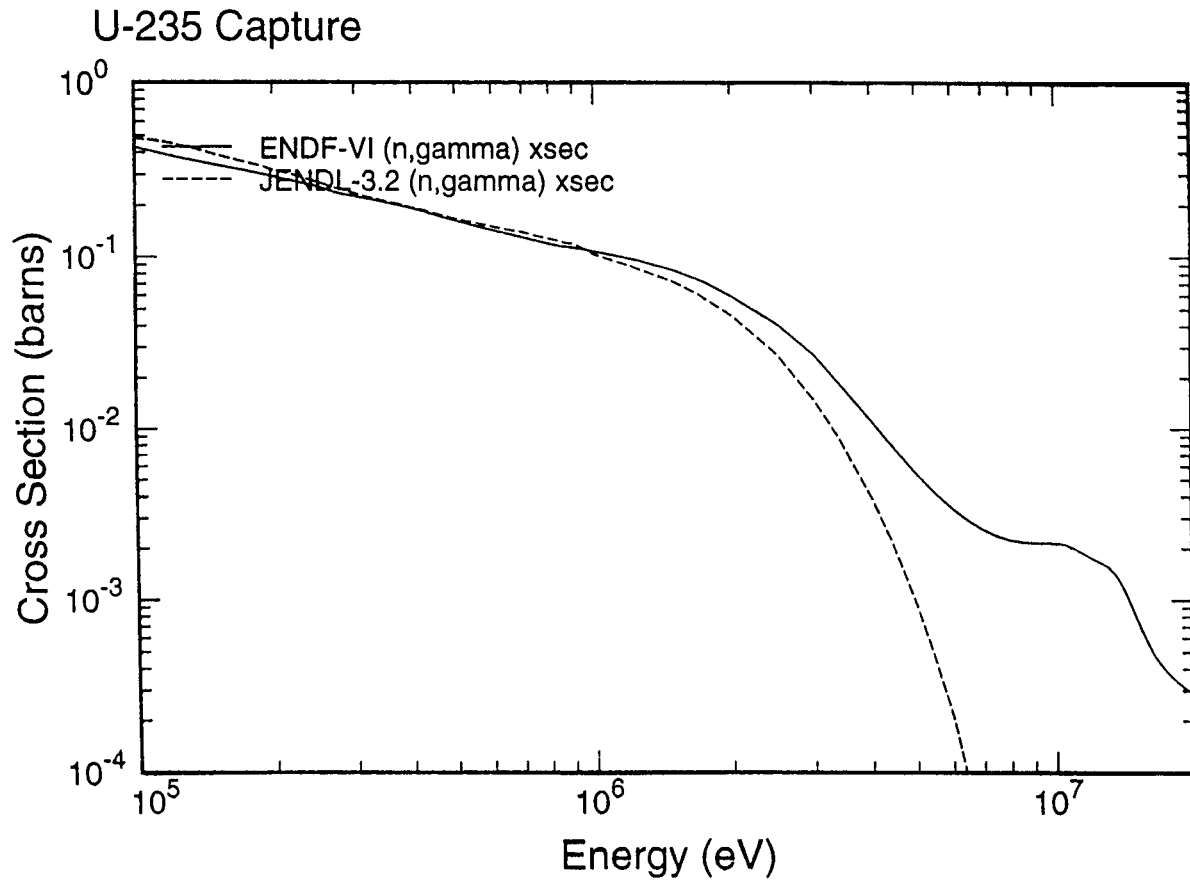
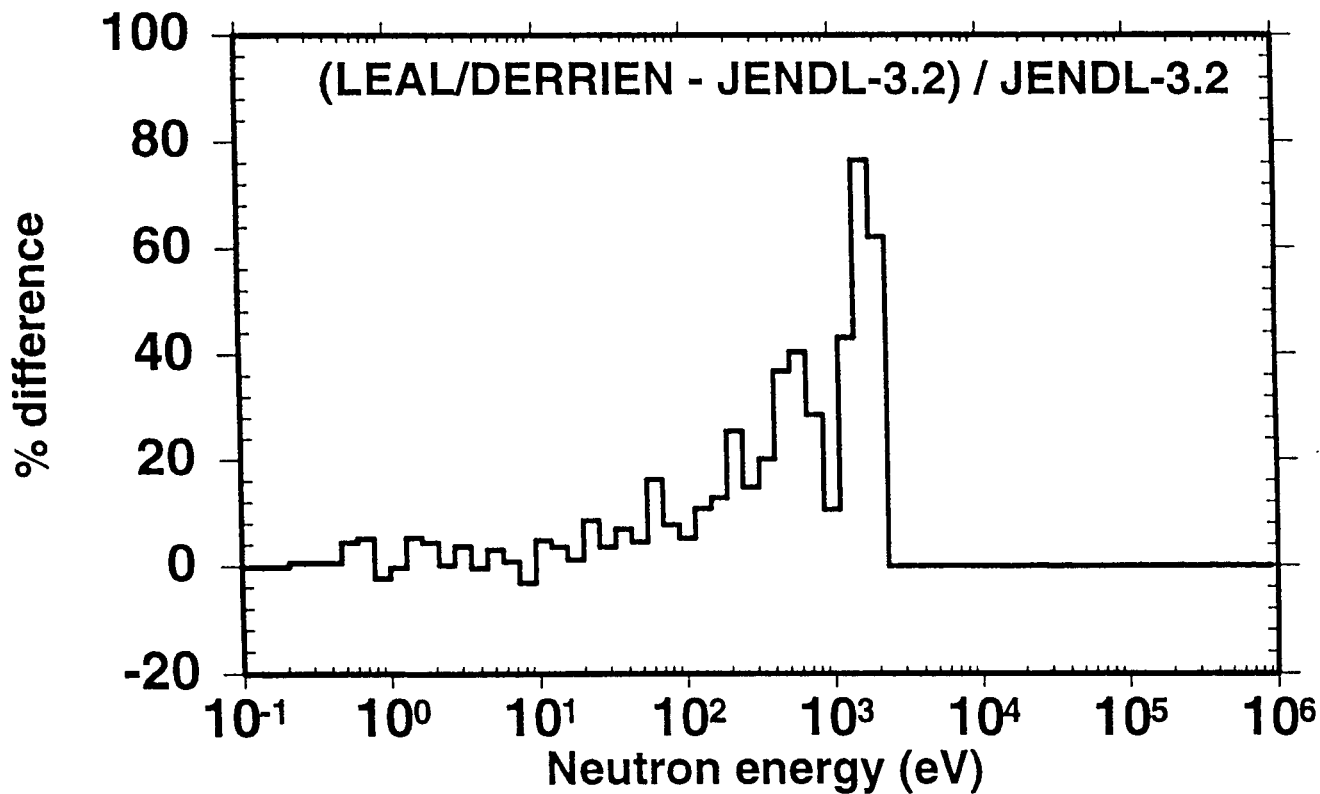


Fig. 2 U-235 capture cross-sections (MeV range)

Fig. 3 U-235 capture percent differences



Natural Chromium Total Cross-section Energy Range: 500 keV to 600 keV

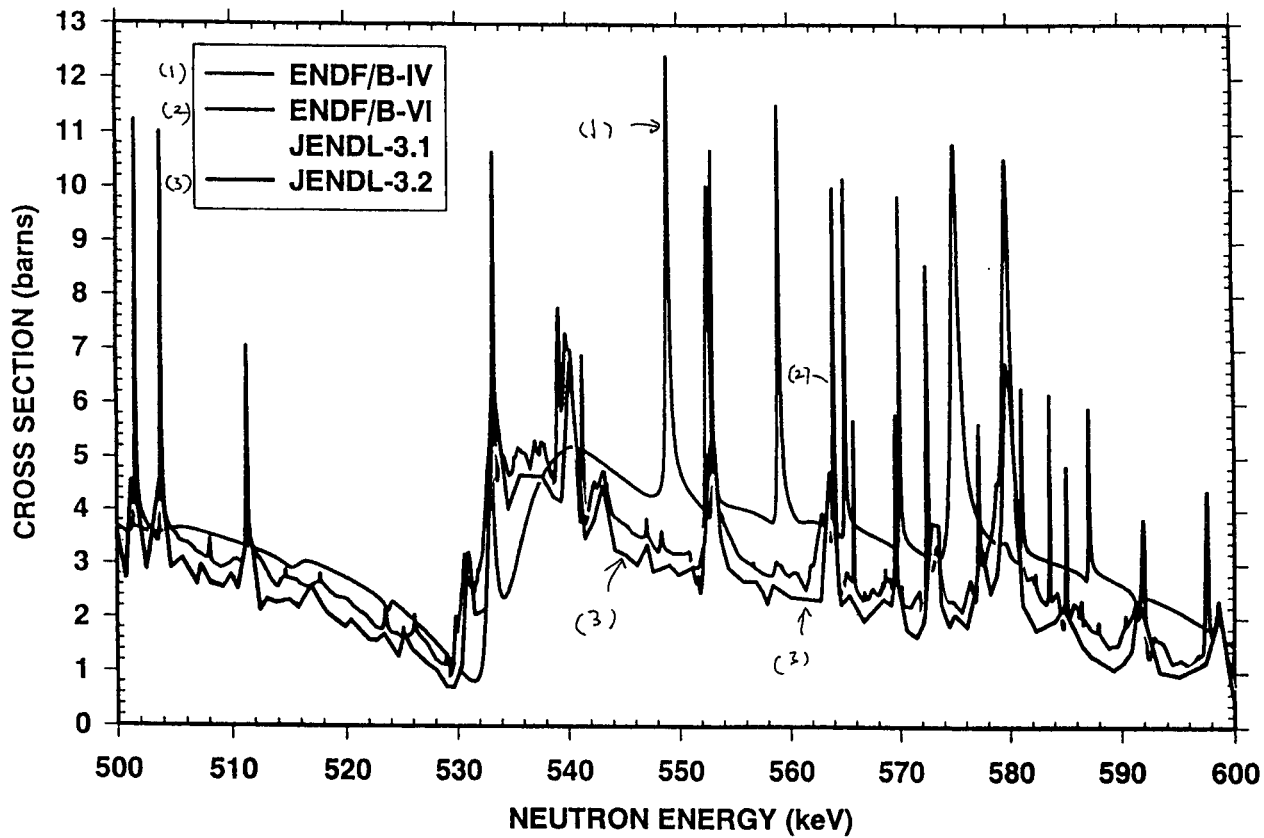


Fig. 4 Total Cross Section of Cr

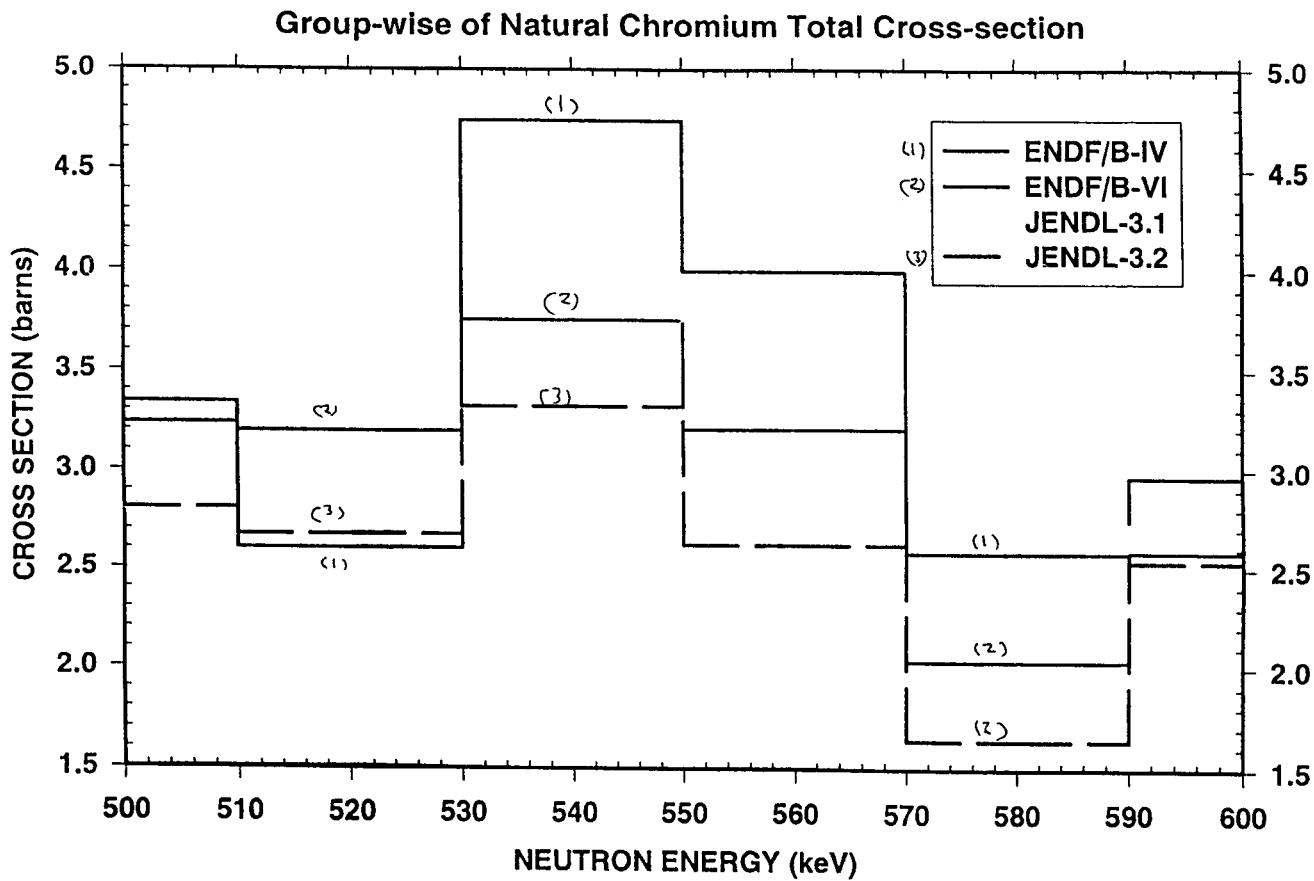


Fig. 5 Averaged Cross Section of Cr

JENDL-3.2 問題点検討小委員会報告

1997年3月21日

石川 眞（動燃）、松延 廣幸（データ工学）、川合 將義（東芝）、中島 豊（RIST）、
山野 直樹（住原工）、高野 秀機、前川 藤夫、柴田 恵一、長谷川 明（原研）

1. 小委員会の目的

本小委員会は、JENDL-3.2の改訂を視野において、JENDL-3.2 General Purpose Fileのデータの問題点を微分・積分の両面から検討する事を目的として設置された。本委員会は、問題点の洗い出しに重点を置き、問題点の原因究明は核データ専門部会内において、新たにワーキンググループ等を設けて行うと言う前提条件でこの作業を実施した。ここに、得られた結果を運営委員会に報告するものである。

2. 委員：

石川 眞（動燃）、松延 廣幸（データ工学）、川合 將義（東芝）、中島 豊（RIST）、
山野 直樹（住原工）、高野 秀機、前川 藤夫、柴田 恵一、長谷川 明（原研）

以上9名。各専門分野の意見聴取を行うため、以下の人々にも参加頂いた。

村田 徹（NFD）、真木 紘一（日立）、河野 俊彦（九大）、増川 史洋（NUPEC）、三
好 慶典、岡嶋 成晃、中野佳洋、須山 賢也、山下 清信（原研）以上9名、

又そのほか、文書参加頂いた方は、渡部 隆（川重）、青山 卓史（PNC）、植之原 雄二（東
芝）、桜井 淳（原研）以上4名

3. 会合開催

(1) 平成8年8月28日

(2) 平成8年10月14日

(3) 平成8年12月12日

(4) 平成9年2月20日

以上4回である。

4. 小委員会審議概要

審議は、現時点で核データセンターが把握している問題点の議論（原研 柴田委員）をか
わきりに、評価側（微分データ側）からの問題点の提起として、JENDL-3.2 FP核データ
の問題点（東芝 川合委員）、重核評価者からの各自が評価した評価データの問題認識（松
延委員、村田氏、河野氏、川合委員）についての意見聴取、積分側からのフィードバック
情報として、まず炉心解析に関しては、リアクター積分テストWGからの軽水炉、高速炉
についてのベンチマーク炉心についての結果（原研 高野委員）、動燃が実施している

JUPITER 実験解析を基にした高速炉炉心解析からの問題点（動燃 石川委員）、高速臨界集合体 FCA 実験解析からのコメント（原研 岡嶋氏）、臨界安全試験施設 NUCEF STACY 実験解析からのコメント及び国際臨界安全ベンチマーク実験評価プロジェクトの一環としての TCA 解析からのコメント（原研 三好氏）、原研研究炉設計計算からのコメント（原研 中野氏）、高温工学試験研究炉設計側からのコメント（原研 山下氏）を基に議論した。また、遮蔽設計についての問題点（住原 山野委員）、並びに核融合中性子工学の観点からの問題点（原研 前川委員）について議論した。また、核融合炉設計側（ITER）からの JENDL への要望事項（日立 真木委員）、燃焼組成計算での核種生成における基底、アイソマーへの分岐比の評価の必要性（原研 須山氏）等からの聴取を行い議論の上反映すべき事項としてまとめた。

以上4回の会合を基に、現行バージョンの JENDL-3.2 に対して、以下の問題点が指摘され、今後の核データワーキンググループでの検討に付される事となった。

5. JENDL-3.2 の問題点とその対処法

5.1) 核データセンターが把握している問題点（原研 柴田氏）

- ・ $^{14}\text{N}(n,p)$: 過小評価の可能性あり。
- ・ $^{16}\text{O}(n,2n)$: 編集ミスにより 10 倍大きな値になっている。
- ・ Fe total, inelastic 800 keV-数 MeV:
ASPIS, FNS の積分実験と食い違う。
- ・ W: ガンマ線生成のエネルギーバランスが崩れている。
- ・ $^{181}\text{Ta}(n, \alpha)$: 数 10keV で数 100mb と大きな値をとる。
- ・ $^{235}\text{U}(n, \gamma)$: 共鳴領域の断面積が過小評価の可能性あり。
- ・ $^{236}\text{Pu}(n,f)$: 1 MeV 以下の断面積が測定値に比べ小さすぎる。
- ・ 重核の連続中性子スペクトル:
233,235U のスペクトルが Maslov の計算値と大きく食い違う。他の重核もチェックする必要あり。
- ・ 遅発中性子スペクトル
編集ミスにより評価者指定の Saphier データが正しく収納されていない。主要重核全て。（対応済み）
- ・ 燃焼チェーン用反応分岐比評価
例えば、 $\text{Am-241}(n, \gamma)$ で ground state と isomer state への分岐比等、燃料サイクル専門部会の核種生成量評価 WG からのフィードバック（評価要求の核種、反応）に基づいて、評価を行う。

5.2) 利用側からの問題提起

以下(1)から(8)までは炉心関連の問題であり、(9) は遮蔽関連の問題、(10)は核融合炉関連

の問題、(11)が核融合次期装置(ITER)設計側からの問題提起である。

(1)リアクター積分テスト WG より (原研 高野委員)

a. 238U 非弾性散乱断面積及び弾性散乱角の平均余弦

高速炉及び熱中性子炉の k_{eff} に関し ENDF/B-VI 及び JENDL-3.2 のデータは大きな差を示す。

なお、JENDL-3.2 の平均余弦は数 10keV 以下で不自然な形を示している。

b. 233U の断面積

小型炉心の k_{eff} で ENDF/B-VI と JENDL-3.2 間に 2%ほどの差がある。

核分裂断面積の差によるものかもしれない。

c. Na 及び酸素の断面積

Na の弾性・非弾性散乱断面積及び酸素の弾性散乱断面積の ENDF/B-VI と JENDL-3.2 間の差は、Na ボイド反応度に大きな影響を与える。

d. 235U 捕獲断面積

Derrien の評価した共鳴パラメータを使うと断面積は 200eV-2.2keV の範囲で JENDL-3.2 より 20-80%大きくなる。この差は熱中性子炉の k_{eff} には影響が小さいが、FCA-IX 炉心では大きな影響を及ぼす。

JENDL-3.2 では JENDL-3.1 に比べ熱中性子炉の k_{eff} を 0.3-1.1%大きくする。この差は、235U の熱領域核分裂断面積の違いによる。

・但し上記 a)b)c)での議論はあくまでも ENDF/B-VI と JENDL-3.2 間の差を言及しているのであって、JENDL-3.2 のデータがおかしいということの意味するものではない。

(2) 高速炉炉心解析からの問題点 (動燃石川委員)

JENDL-3.2 の問題点を抽出するために使用したデータは、以下の 2 項目である。

・ JENDL-3.2 による JUPITER 実験解析結果と炉定数調整結果

・ JENDL-2、-3.1、ENDF/B-VI.2 による核特性評価値の差の感度分析

ここで、炉定数調整は原理的に、核データ側が許容した誤差の範囲内で断面積を全体のバランスをとって動かしているだけなので、核データ精度の評価手法としては限界があること、及び、他のライブラリと差があることが JENDL-3.2 の問題とは必ずしも言えないことには、充分留意する必要がある。

a. 臨界性からのコメント

・ JENDL-3.2 ベースによる JUPITER 実験の臨界性の C/E 値は、全般的にわずかな過小評価 (-0.6~-0.4% Δ k) であり、炉定数調整により、C/E 値はほぼ完全に 1.0 になる。

・ ENDF/B-VI.2 との比較では、U-238 非弾性散乱断面積の違いが非常に顕著である。また、Pu-239 核分裂断面積の数 keV 付近と 10~50keV 付近の違いも注意を要する。

- ・ JENDL-2 との比較では、Pu-239 核分裂断面積が巨大な違いを示すが、他の反応も非常に大きな正負の寄与をしており、これらがたまたま相殺して同じ C/E 値となったものである。
- ・ JENDL-3.2 の炉定数調整結果では、Pu-239 の α がやや硬くなり、また U-238 の非弾性散乱全断面積が小さくなっているところから、やや JENDL-3.2 の評価スペクトルは軟らかいかもしれない。

b. C/E 値の空間依存性からのコメント

- ・ JENDL-2 で見られた制御棒値と反応率分布の C/E 値の大きな径方向依存性は、JENDL-3.2 ではかなり軽減された。ただし、濃縮ウラン領域付炉心ではかなり大きく残っている。
- ・ 炉定数調整を施せば、濃縮ウラン領域付炉心を含んでさらに改善されるので、JENDL-3.2 の U-235 の断面積には改善の余地があると思われる。炉定数調整結果からみると、U-235 の捕獲断面積がかなりの過小評価である可能性がある。

c. Na ボイド反応度からのコメント

- ・ JENDL-2 では約 20~40%の過大評価であったが、JENDL-3.2 では均質炉心で約±10%以内に大きく改善された。この変化の原因は、従来あまり着目されてこなかった Na の非弾性散乱断面積と Pu-239 捕獲反応断面積の変更が主である。
- ・ 炉定数調整などで Na ボイド反応度の予測を改善するためには、非弾性散乱の全断面積ではなくマトリックス（励起レベル別）断面積を扱うことが不可欠である。
- ・ ENDF/B-VI.2 も Na ボイド反応度は割合良好だが、U-238 非弾性散乱、Na 非弾性散乱、Pu-239 核分裂、Na 弾性散乱、酸素弾性散乱などの寄与は、かなり JENDL-3.2 とは異なっている。

(3) FCA からのコメント（岡嶋氏）

①濃縮 U 燃料を用いた中性子スペクトルを系統的に変化させた 7 炉心から成る IX シリーズ（黒鉛減速及び SUS 減速）の臨界性と中心反応率比、②金属燃料高速炉模擬実験（XVI-1,XVI-2）及び、原型炉級 MOX 燃料高速炉模擬実験（XVII-1）での臨界性、中心反応率比、Na ボイド反応度、③ドップラー反応度について、JENDL-3.2 の特性からの議論。

①については、解析手法として SLAROM（セル非均質効果を考慮）を用いた標準的高速炉解析手法、SP2000 詳細解析、MVP による連続モンテ・カルロ法の解析を行った。臨界性について、SP2000 と MVP の結果は同じ傾向を示すが SLAROM の結果とは異なる傾向を示し、最大 2%の食い違いを示す。JENDL-3.2 の結果は、臨界性に対して過大傾向を示す。JENDL-3.2 の U-235 データを 3.1 にかえると C/E は 1 に近づく。黒鉛の多く入った柔らかい炉心の方がその効果は大きい。中心反応率比に対する U-235 の JENDL-3.2, 3.1 変更

の影響はあまりない。また、中心反応率比の実験値については、小型核分裂計数管を用いた実験のため、精度は現在の箔を用いた実験よりも若干劣る結果となった。

②については、JENDL-3.2 では臨界性について、若干過小評価の傾向が見られている。中心反応率比について、箔を用いた測定値と計算値は測定誤差内で一致している。従来 F28/F49 等 C/E が 1.05 程度のものがほぼ 1.0 に収まっている。ナトリウムボイド係数では、JENDL-3.2 のデータでは、非漏洩項の予測が良くなり、予測精度が大幅に改善されている。JENDL-3.2 による漏洩項の計算精度は良好である。

③のドップラー反応度については、JENDL-3.2 では、燃料が Pu と U-238 から成る原型炉級から大型炉の模擬炉心に関しては測定誤差内で一致している。

U-235 の入っている炉心の結果に関しては、U-235 データを 3.2 と 3.1 に代えてみると 3.1 の結果の方がより一致が良くなるケースもあり、特に 2keV 以下の寄与に両者の差が出ており検討の余地がある。

(4) NUCEF STACY からのコメント（臨界安全研究室の三好氏）

STACY によるベンチマーク実験の概要と結果について、U 濃度 313g/l から 225g/l の範囲について順次希釈して、周囲に水反射体のある場合と裸の場合との実験結果及びその JENDL-3.2 による MCNP と 3.1 及び 3.2 を用いた TWOTRAN による計算結果（臨界性）が紹介された。コードによる差はそれ程ない。裸の体系の方がコード間の差はある。いずれも JENDL-3.2 の結果は C/E を過大評価（ K_{eff} 水反射体付き：1.008、裸の体系：1.004）の傾向がある。実験精度が 0.1%程度であることを考えればこの差は有意であろう。JENDL-3.2 は、3.1 に比べて 0.5-0.7% K_{eff} が大きくなっている。断面積の差をみると Fission と capture で両者の差が出ており、この実験に感度のある所では絶対値の大きさから見ると Fission の方が支配的と考えられる。

水反射体の結果については、ベンチマーク問題として公開される。それには原子数密度データも含まれる。

(5) 国際臨界安全ベンチマーク（原研 三好氏）

国際臨界安全ベンチマーク実験評価プロジェクトの一環として行われた TCA 実験解析の結果からは、2.6%UO₂ 燃料の k_{eff} は JENDL-3.2 を用いた MCNP 解析では 0.2-0.3%の過大評価、一方 MOX 燃料では 0.1-0.7%の過小評価となっており、まず問題はなさそうである。

(6) 研究炉からのコメント（原研 中野氏）

研究炉での JENDL-3.2 及び JENDL-3.1 の使用経験が報告された。JRR-3 及び JRR-4 の燃料変更が予定されている事から、MVP を用いてこれら炉心の解析を行った結果、いずれのケースでも JENDL-3.1 は過小評価、JENDL-3.2 は過大評価であった。どちらかとい

うと、JENDL-3.1の方が better であるが、-3.2 と-3.1 の中間が best である。

また、Derrien の共鳴パラメータを JENDL-3.2 の ^{235}U に組み込んだデータで JRR-3 の解析を行ったところ、0.2%程 keff は下がったがそれほど大きな変化ではなかった。

(7) 高温工学試験研究炉からのコメント (原研 山下氏)

JENDL-3.2 を高温ガス炉の核特性解析に用いた場合の影響を、汎用中性子・光子輸送計算モンテ・カルロコード MVP を用いて評価した。解析した炉心は、高温ガス炉臨界実験装置(VHTRC)の黒鉛及び低濃縮ウランからなる炉心である。その結果、JENDL-3.2 で評価した実効増倍率は、JENDL-3.1 の解析値よりも約 0.8% 高くなる。ウラン濃縮度 4% の VHTRC-1 炉心の解析結果、実験結果及びその差は以下の通りである。

	解析値(C)	実験値(E)	C/E-1
JENDL-3.1	1.00469	1.0079	-0.32%
JENDL-3.2	1.01334	1.0079	0.54%

以上の評価結果より、JENDL-3.2 は、高温ガス炉の実効増倍率評価では、0.5%程度高く評価する傾向があるものと考えられる。

(8) 反応度測定による FP 断面積のベンチマーク (原研 三好氏)

TCA を用いた FP 吸収断面積のベンチマーク実験の結果が報告された。核種は Rh、Cs、Nd、Sm、Eu、Gd、Er である。このうち、Er は JENDL-3.2 には収納されていない。反応度の C/E は Rh 1.03、Cs 1.08、Nd 0.89、Sm 1.06、Eu 1.00、Gd 1.02 であり、Nd 以外はよく一致している。今後、熱外領域のデータを出す予定がある。FP データの検証に役立てて頂きたい。

(9) 遮蔽設計の観点からのコメント (山野委員)

鉄のデータにまだまだ検討の余地が残されている。

- ・全断面積／弾性散乱断面積 1 MeV～3 MeV 山谷の微調整
- ・非弾性散乱断面積／散乱断面積 600keV～1MeV 振り分け

以上はいずれも、透過スペクトル実験 (Broomstick, ASPIS, FNS, KfK) から要請される事項である。これらを決定するには、高分解能測定データが必要であり、Geel で測定された Transmission data(40cm 透過)が参考となるので、入手を考える必要がある。

鉄データについては、JENDL-3.1 から 3.2 への改訂で、非弾性散乱のグルーピングを変更し、800 keV～2MeV を 10% 下げ、2～4MeV を 20% 上げる再評価で透過スペクトルが顕著に改善された事実があり、非弾性散乱断面積の 5～10%、全断面積の 1%程度でも慎重な検討を要する。

よく言われる、アイソトープ評価の要求 (天然元素評価ではなく) については、遮蔽の観点からは、明確な結論は出せない。利用者の観点からは、天然元素評価でもベンチマー

ク等の再現性が良く、精度が高ければ十分満足できる。他方、微分測定データとして情報量の少ないアイソトープ毎の評価では、天然元素評価との一貫性は保つ事は容易ではないので、難しい問題である。

Na については、現状の実験からのコメントはない。今後出てくる可能性はある。

(10) 核融合中性子工学の観点から（前川委員）

一般的な問題として、同位体ファイルの精度向上及び放出粒子、ガンマ線のエネルギーバランスの改善が必要である。

個々の問題点として以下の提示があった。

a. 鉄

- ・ガンマ線核発熱の計算値が FNS 測定値に比べかなり大きい。この問題は、JENDL Fusion File では解消された。
- ・透過実験との比較より 14MeV 付近の JENDL-3.2 の弾性散乱断面積が過小評価の可能性はある。また、5keV 付近の全断面積を見直す必要がある。

b. ニッケル

捕獲ガンマ線のエネルギーバランスに問題がある。また、(n,a)断面積が 100keV 以下でも有限の値をとる。

c. タングステン

ガンマ線のエネルギーバランスに問題がある。

d. 中性子スペクトル

フッ素、チタン、コバルト、珪素に関して OKTAVIAN で測定した漏洩中性子スペクトルと JENDL-3.2 の計算値の一致がよくない。特に珪素については、珪酸リチウムが増殖材の有力候補である事、低放射化を目指す核融合炉では構造材として SiC が予定されている事から、差はそれほどではないが再考の余地がある。

e. 2次ガンマ線スペクトル

チタン、クロム、ニオブ、タンングステンで OKTAVIAN の測定値と JENDL-3.2 の計算値が食い違う。

f. 銅

銅体系内で測定した中性子スペクトルと計算値との比較から 63Cu または 65Cu の数 100keV 付近の共鳴パラメータに問題の可能性はある。

(11) 核融合次期装置（ITER）設計側からの JENDL への要望事項(日立:真木氏)

1. 追加核種

JENDL-3.2 でほぼすべての核種がそろっており、追加する核種はない。

2. ガンマ線生成断面積

必要とする核種のすべてに γ 線生成断面積が必要である。特に超伝導コイル等、発熱評

価のためには、不可欠である。これについては、JENDL-3.2 では不十分であり、今後努力する必要がある。

3. 荷電粒子生成断面積

KERMA/DPA 計算のために、放出荷電粒子のエネルギースペクトルが必要となるが、これは JENDL-Fusion ファイルにあるので満足されていると思われる。

4. 要求精度

5%が基準となっているがその根拠は何か？ 特に、測定でも 5%と言う数字は、並大抵の数字ではない、本当にこれだけの精度がいるのか？ 核データより、計算精度の方に問題があるとは考えられないか？、根拠となる客観的な定量的データを出して欲しい、等の質問に対して、例えば、1cm 厚さが違えば、10 億円の違いが出てしまう事もある事、設計サイドとしては、核データによる設計マージンはなくしたいとの理由によるとの事。また、この関連で、輸送計算の精度では例えば 10%の誤差は十分に考えられるだろうし、核データの精度は 40-50%が考えられるのではないかとのコメントがあった。

5.3) 評価者側が認識している問題点

(1)²³⁸U データ (九大 河野氏)

非弾性散乱断面積では東北大学の測定値に重きを置いた評価をしている。2 次中性子スペクトルのファイル化では Maslov に指摘された問題がある。また、ENDF/B-VI の評価をした A.B. Smith に非弾性散乱断面積の評価に使った測定値についての情報を問い合わせる事とした。また、本小委員会として ²³⁸U の非弾性散乱断面積を検証する積分実験の提案をしてはとの意見があった。

(2)²³³U、²³⁵U データ (データ工学 松延委員)

²³³U の核分裂断面積は基にした測定値の変更などで 1%低くすることは可能である。また、非弾性散乱断面積は unreasonable な形になっているが、競争過程である(n,2n)、(n,3n)の断面積を大きくすることにより改善できる。

²³⁵U 核分裂断面積の 2200m/s の値は最新の測定値より求めた。従って、ベンチマークテストで 2200m/s の値が高いのではとの指摘に対しては、逆にベンチマークテストから値を出してほしいと評価者からコメントがあった。それに対して、2200m/s の値だけでなく、その付近の断面積の形も JENDL-3.2 と-3.1 では違うとの指摘があった。²³⁵U の捕獲断面積については JENDL-3.1 よりは整合性がとれた値であり、keff の過大評価は核分裂断面積に起因すると説明された。

(3)²³⁹Pu データ (東芝 川合委員)

JENDL-3.1 から-3.2 への主な変更点は Derrien の評価した共鳴パラメータを入れたことである。Frehaut のデータを基にした(n,2n)断面積は小さすぎるのではないかというコメ

ントがあった。

(4)²⁴⁰Pu データ (NFD 村田氏)

非弾性散乱断面積については少し評価が粗っぽいかもしれない。共鳴パラメータについては再検討の余地がある。

(5) JENDL-3.2 FP 核データの問題点 (東芝 川合委員)

(a) 熱中性子断面積と共鳴積分

動燃グループの最新の測定結果の反映を行っており、1993年のデータまで反映しているが、Tc-99, I-129, Cs-135 はまだである。単に新しいからといってそれを採用してよいかとの意見もあった。評価側は、今回の測定値の反映は実験手法の上から見ても妥当と考えているとの結論である。

(b) 共鳴パラメータ

最新のデータを取り入れて評価しており、世界のファイルの中で一番新しい評価と考えている。中には、Ru-99 の様に、振り分けミスが出ている核種もあるが、今後誤りは修正していく。

(c) 中性子捕獲断面積

積分測定と矛盾する核種もあるが、それらについては一概に積分測定が正しいとはいえず、積分側の問題である核種もいくつかあると考えている。それらについては、他の積分実験を待つしか手が無い。

中には微分実験値が全くない核種については JENDL-2 の積分テストに基づいて断面積調整を行ったものもあるが、Eu-152, 154 については光学模型パラメータが JENDL-3.2 のそれとは違っているの、評価の一貫性からいって問題が残っている。

(d) 非弾性散乱断面積

JENDL-2 での評価を引き継ぐ 100 核種について、レベルスキームとしてかなり古いデータを採用しているものもあり、特にレベルの数が少ない (特に 12 本以下) 核種については問題があるかも知れない。捕獲断面積がレベルミッシングによって大きくなっている可能性がある。

(e) 原子炉での燃料照射データとの突き合わせ

PWR での燃焼解析により、Eu-154 について JENDL-3.2 が ENDF/B-IV より良好である事が示された。しかし、公開データが少ない。したがって、データの取得を図る必要があるが、実機のデータでは、照射場特性がわからないため核データにフィードバック出来るデータが手に入るとは思えない。JOYO でも同じ事。2 年 3 年と周りの燃料集合体は変わってしまっており追跡出来ない。追跡出来ない以上、計算も出来ない。

きれいな照射場特性の分っている場で照射するしか手がない。

JRR-3 での照射が進んでおり少し期待できるものも出てきそうと言う段階にある。

- ・FP データは、ファイル (JENDL-3.2、JEF-2.2、ENDF/B-VI) によりかなり食い違いがあるのも事実であり、JENDL が本当に良いと言い切れるのか？データに差があるものについてはチェックした方が良いのではないかとのコメントがあった。ENDF/B-VI といえども、中身は古く、大部分は ENDF/B-V のデータであり、その点からも JENDL-3.2 の優位性は揺るがないと評価側は考えているとの事である。

5.4) その他の議論

a. データの再評価に当たっては、エネルギーバランスのように反応間の consistency に注意を払う必要がある。従って、反応毎に評価を分担するのは適当ではなく、なるべく核種毎に分担すべきである。

b. 可燃性毒物として Er の使用も外国では考えられており、軽水炉関係からの要求もあり、(JENDL-3.2 ではこの核種は抜けている) 評価が必要である。

c. 最近 ORNL の Leal/Derrien の評価した U-235 共鳴パラメータがデータレビューの段階ででており、これまでのデータとはかなり異なったデータ (800-2000eV の捕獲断面積について最大 80% の差が (JENDL-3.2 の方が小さい) が見られる) で与えられている。他のメジャーファイルはこれを採用する方向にある。これについても当該データの再評価の際には十分注意を払って検討する必要がある。

d. MeV 領域での捕獲反応の断面積に direct capture の効果ははいていない核種が多い。通常の炉心計算には全く効かないが、非エネルギー応用で使われる場合には問題が生じる可能性がある。特に宇宙利用、天体物理等では、この領域の桁違いの断面積は大きな問題を生じる。汎用ファイルとしては、正しくデータを与えておく必要がある。

e. 連続レベルの中性子エネルギー分布表現について (東芝 植之原氏 原研 前川委員)
連続レベルの中性子エネルギー分布が、特にしきいエネルギー近辺で物理上ありえないエネルギーの中性子を発生する分布 (減速でなく、加速) を与えているため、連続モンテ・カルロコード MCNP 等で問題が発生し、計算がそこでとまってしまう問題が利用者から出ている。

これに関しては、JENDL-3.1 の段階で、中性子のエネルギー分布を与える反応 (非弾性散乱のみでなく、 (n, α) , (n, p) , $(n, 2n)$ 等) については、しきいエネルギーでデルタ Function を与えていたが、輸送計算等で大きな問題が出てしまったため、便宜上次のエネルギー一点のデータで代用するという変則処理で逃げていたもので、それでも問題がでてしまった。

対処法は、

- MCNP コードをなおす。(当面の対策としては有効かも知れないが利用者全てに周知させるには無理がある)
- MCNP 用ライブラリーをなおす。(当該ライブラリーを使う場合にしか修正されない)

- c. JENDL-3 ファイル（オリジナルデータ）をなおす。これが正当であろう。但し実施するとなると、極めて大変な作業量になる。

6. まとめ

全体的な問題としては、次の事柄が挙げられる。

- 1) isotope 評価／天然元素評価の評価ポリシーの問題
- 2) 主要重核の連続領域での 2 次中性子エネルギー分布の修正
- 3) 粒子放出反応での連続領域エネルギー分布のしきい値付近でのエネルギー分布の追加（全核種）
- 4) MeV 領域捕獲断面積の評価にあたってのダイレクト capture の取り入れ
- 5) 共分散ファイルの作成
- 6) 新規データ（Er 等）、新規評価項目（燃焼チェーン用反応分岐比）についてのデータ評価及びファイル作成。
- 7) 主要重核特に U-235 については、JENDL-3.2 と 3.1 との軽水炉関連の臨界性（軽水炉、研究炉、高温工学試験研究炉、NUCEF STACY）に対する寄与が両者でかなり異なり（JENDL-3.2 が 3.1 と比べて、0.5% 程実効増倍係数を過大評価する傾向がある）、Thermal 領域での断面積の再検討が要求されている。また、最新の Leal/Derrian の共鳴パラメータ評価の動向も十分注意して見て行く必要がある。

その他主要な問題としては、U-238 非弾性散乱断面積の評価の決着（断面積の形状の決定、エネルギー分布の問題の解決）や、その他の、主要重核についての核分裂、捕獲断面積、非弾性散乱断面積や構造材、減速材核種についての個々の細かい問題点は、5 章で述べた利用者側からのフィードバック情報を参考に再評価をお願いしたい。その際、積分側からのフィードバック情報については、かなりの精度でもって積分データのみからしか結論できない様なフィードバック情報（例えば、ブルームスティック実験解析からの結果）については、それなりの注意を払っていただきたいが、その他のフィードバック情報については無闇にそれに引きずられる必要は無いと考える。虚心坦懐に純粹に微分データを中心に考えて再評価結果を出していただけるものと期待している。それは、JENDL は、Adjusted Library ではなく、あくまでも、微分データに基づいた核データファイルであるという JENDL のポリシーに忠実であるべき事による。

その他以下の 2 つの事項についての注意の要請があった。一つは、評価結果のレビューについてである。JENDL では今迄、米国 CSEWG に見られる様なデータのレビューをきちんとやって来なかった。今後は、データの質の向上のために、評価結果がでた段階でかなり critical にレビューをする必要がある。2 つめは、ドキュメンテーションの充実である。評価値には、それに付随して評価法の詳細を与える情報が必要である。JENDL-3.2 では、軽核及びマイナーアクチニドを除いて、核種毎の評価レポートがほとんどない。特に重要な構造材（Cr, Fe, Ni）や、メジャーアクチニド（U, Pu）では、報告書が不可欠で

ある。JENDLを作る目的の一つが素性のはっきりしたライブラリーを作ると言う事であり、各評価者は数値データの作成のみならず、ドキュメンテーションにも努力していただきたい。

その他、長期的観点からの評価に対する姿勢として、以下の意見があげられた。まず、現状認識として、JENDLの評価作業がJENDL-3.2まで進展し、膨大なデータ量が蓄積され、また、今後利用者も広範囲に拡大する傾向を考えると、従来の核データ評価の延長線上の認識だけでは近い将来通用しなくなる可能性がある。すなわち、評価の初期段階では、開発途上でもあり、多少の評価ミスや粗い評価値でも容認された。しかしながら、世界の3大評価済核データの一つとして位置づけられるまでに成長した現在、微分測定データの有無にかかわらず、断面積の数%～十数%の誤差でも慎重に検討すべき状況となって来た。また、ファイル化の過程でのエラーも許されなくなる。そのためには微分測定データに限定せず、信頼性の高い積分データも参考として評価し、結果の確実なレビューを行う必要がある。また、利用者の範囲が拡大する状況から、評価データがどのように使われるかを注視して、多様な利用者の要求に適切に対応する努力が核データ評価者自身にもますます重要になると思われる。

ついで、世界の動向を見てみると、核データ評価は世界的に凋落傾向と言われるが、米国では最近、軍事研究としてAPT projectが本格的に進行中で、1996年度ではLANLで\$62 millionの予算が使われ基礎データである核データも26物質の全断面積が150MeVまで測定された模様である。彼等はこのデータを用いて設計用断面積データや設計コードの改良を既に完了していると思われる。また、欧州ではGeelで測定された鉄の非分離共鳴領域の全断面積を用いてEFF-3の評価を行い、新規にFENDL-2に採用されたと言う事実がある。日本でも阪大、東北大のDDX測定データによって核データの精度が飛躍的に向上した実績がある。これらを考えると、今後も特徴のある微分・積分測定を計画することによって世界をリードしていくことが十分可能と考えられるので、そのことも視野において評価を実施すると共に、より良きデータを取得するための確実な実験計画を提案していただきたい。

以上