解説 評価済み核データライブラリー JENDL-2 の 概 要

(日本原子力研究所) 五十嵐 信一, 浅見 哲夫,
菊池 康之, 中川 庸雄, 成田 孟, 柴田 恵一

日本の評価済み核データライブラリーの第2版, JENDL-2 が完成し, 昭和57年末に公開した。JENDL-2 は高速炉, 熱中性子炉, 遮蔽, 核融合炉等への適用を目的とし, シグマ研究委員会および原研核データセンターのメンバーが協力して作りあげたわが国独自の評価済み核データライブラリーである。

本稿では, 核データ評価の例と, JENDL-2 を用いて行った種々のベンチマークテストについて紹介するとともに, JENDL-2 利用の際に注意すべき点を記し, 利用者への便を図る。

I. ま え が き

日本の評価済み核データライブラリー(JENDL)の第2版 JENDL-2 は昭和52年度から作成を開始し, シグマ研究委員会メンバー*と日本原子力研究所核データセンターとが協力して, 核データの評価, 編集, ベンチマークテストを行い, 昭和57年度に完成, 公開することになった。JENDL-2 には89核種(核分裂生成物核種を入れると180核種)が収納されており, 高速炉, 熱中性子炉, 遮蔽, 核融合炉等への適用を考慮している。

本稿では JENDL-2 の利用の便を図ることを兼ね, その内容の概略を紹介する。第Ⅱ章では JENDL-2 のために行った核データ評価の例を挙げ, 第Ⅲ章では JENDL-2 のベンチマークテストによって示された特徴を紹介する。第Ⅳ章では JENDL-2 を使う際に注意すべき点などを挙げ, 利用者への便宜を図る。

Ⅱ. JENDL-2 の 内 容

JENDL-1⁽¹⁾は核分裂生成物核種(FP)を含めて72核種を収納し, 15 MeV までの核データを ENDF/B-IV⁽²⁾のフォーマットで格納していた。JENDL-2 では, その適用範囲を広げるために, 180核種, 20 MeV までのデータを収納している。JENDL-2 も ENDF/B-IV のフォーマットを用いており, その規則に従って各核種には物質番号(MAT)が付けられている。JENDL-2 に収納されている FP 以外の核種とその MAT とを第1表に示す。

収納されている物理量は核種によって多少の差はあるが, 主なものは次に挙げる諸量である:

①全断面積, ②弾性散乱断面積とその角度分布, ③非弾性散乱断面積とその角度分布, ④捕獲断面積, ⑤核分

裂断面積, ⑥核分裂当りの放出中性子数, ⑦ $(n, 2n)$ 反応断面積, ⑧ $(n, 3n)$ 反応断面積, ⑨その他の反応断面積, ⑩2 次中性子のエネルギー分布, ⑪核分裂中性子のエネルギー分布, ⑫共鳴パラメータ, などである。

以下では, JENDL-2 に入っている核データの例として, 軽い核, 中重核, 重い核の中からそれぞれ2~3核種を選び, それらの評価の概略を述べる。

1. 軽い核の評価

質量数が約20以下の核種を軽い核とっている。JENDL-2 には, 軽い核として, ^1H , ^2H , ^6Li , ^7Li , ^9Be , ^{10}B , ^{12}C , ^{19}F の8核種のデータを収納している。ここでは ^2H と ^7Li の核データ評価の一部を例として紹介する。

軽い核の特徴の一つは核子数が少ないために個性が強く, 個々の核によって反応断面積等の核データが非常に違った様相を示すことである。中重核以上の重い核では, 統計模型のような比較的簡単な核模型やデータの系統性が核データ評価の有効な手段として用いられるが, 軽い核ではこのような簡単な手段がなく, 複雑な計算か, 実験データのみに頼ることになる。

(1) ^2H のデータ

この核の核子は2個なので, 入射中性子との反応は典型的な3体問題になっている。考えなければならない

Report on Second Version of Japanese Evaluated Nuclear Data Library, JENDL-2: Sin-iti IGARASI, Tetsuo ASAMI, Yasuyuki KIKUCHI, Tsuneo NAKAGAWA, Tsutomu NARITA, Keiichi SHIBATA.

(1983年12月19日 受理)

* 核データ評価およびベンチマークテストに寄与したメンバー:

青木 保, 浅野則雄, 浅見 明, 浅見哲夫, 飯島俊吾, 五十嵐信一, 石黒幸雄, 大沢孝明, 大竹 彪, 岡 芳明, 亀井孝信, 川合将義, 神田幸則, 菊池康之, 小林捷平, 菰田成一, 佐々木研治, 佐々木 誠, 柴田恵一, 白方歌章, 杉野夫, 瑞慶覧 篤, 関 雄次, 高野秀機, 竹田敏一, 田中茂也, 中川庸雄, 中島 豊, 中村 久, 成田 孟, 西村和明, 橋倉宏行, 長谷川 明, 八谷雅典, 宝珠山 健, 松延広幸, 萬代新一, 南 多善, 村田 徹, 山越寿夫, 山野直樹, 山本正昭, 吉田 正, 渡部 隆

第 1 表 JENDL-2 に収納した核種とその物質番号

MAT No.	MAT No.	MAT No.	MAT No.	MAT No.
¹ H 2011	⁵¹ V 2231	Cu 2290	Pb 2820	²³⁶ Pu 2941
² H 2012	Cr 2240	⁶³ Cu 2291	²⁰⁴ Pb 2821	²³⁸ Pu 2942
⁶ Li 2031	⁵⁰ Cr 2241	⁶⁵ Cu 2292	²⁰⁶ Pb 2822	²³⁹ Pu 2943
⁷ Li 2032	⁵² Cr 2242	⁹³ Nb 2411	²⁰⁷ Pb 2823	²⁴⁰ Pu 2944
⁹ Be 2041	⁵³ Cr 2243	Mo 2420	²⁰⁸ Pb 2824	²⁴¹ Pu 2945
¹⁰ B 2051	⁵⁴ Cr 2244	⁹² Mo 2421	²²⁸ Th 2901	²⁴² Pu 2946
¹² C 2061	⁵⁵ Mn 2251	⁹⁴ Mo 2422	²³⁰ Th 2902	²⁴¹ Am 2951
¹⁹ F 2091	Fe 2260	⁹⁵ Mo 2423	²³² Th 2903	²⁴² Am 2952
²³ Na 2111	⁵⁴ Fe 2261	⁹⁶ Mo 2424	²³³ Th 2904	^{242m} Am 2953
²⁷ Al 2131	⁵⁶ Fe 2262	⁹⁷ Mo 2425	²³⁴ Th 2905	²⁴³ Am 2954
Si 2140	⁵⁷ Fe 2263	⁹⁸ Mo 2426	²³³ Pa 2911	²⁴² Cm 2961
Ca 2200	⁵⁸ Fe 2264	¹⁰⁰ Mo 2427	²³³ U 2921	²⁴³ Cm 2962
⁴⁰ Ca 2201	⁵⁹ Co 2271	¹⁷⁴ Hf 2721	²³⁴ U 2922	²⁴⁴ Cm 2963
⁴² Ca 2202	Ni 2280	¹⁷⁶ Hf 2722	²³⁵ U 2923	²⁴⁵ Cm 2964
⁴³ Ca 2203	⁵⁸ Ni 2281	¹⁷⁷ Hf 2723	²³⁶ U 2924	
⁴⁴ Ca 2204	⁶⁰ Ni 2282	¹⁷⁸ Hf 2724	²³⁸ U 2925	
⁴⁶ Ca 2205	⁶¹ Ni 2283	¹⁷⁹ Hf 2725	²³⁷ Np 2931	
⁴⁶ Ca 2206	⁶² Ni 2284	¹⁸⁰ Hf 2726	²³⁹ Np 2932	
⁴⁵ Sc 2211	⁶⁴ Ni 2285	¹⁸¹ Ta 2731		

いデータは弾性散乱, ($n, 2n$), 捕獲の各断面積と, これらの総和である全断面積である。

全断面積および($n, 2n$)反応断面積には実験データが多く, この2つの物理量については実験値を基にして NDES (Neutron Data Evaluation System)⁽⁹⁾ を用いた Spline フィットを行って評価値を求めた。捕獲断面積は全体に値が小さく, 1 keV 以下では $1/v$ 法則に従っている。1 keV 以上では逆反応の $^3\text{H}(\gamma, n)^3\text{H}$ の理論式と詳細釣り合い(detailed balance)の原理を用いて値を出した。弾性散乱断面積は全断面積がよくわかっているため, これから($n, 2n$)反応と捕獲断面積の和を差し引いて求めた。

弾性散乱の角度分布および($n, 2n$)反応により放出される中性子の角度ごとのエネルギー・スペクトル(二重微断面積ともいう)は Faddeev 方程式⁽⁹⁾を用いて計算した。計算結果はいずれも実験値をよく再現しており⁽⁹⁾, 信頼するに足る評価値になっている。

(2) ⁷Li のデータ

この核種は D-T 核融合炉ブランケットとして用いられ, 特にそのトリチウム生成断面積は炉の開発・設計にとって重要なデータになっている。

1979年に発表された Swinhoe-Uttley⁽⁶⁾の(n, n') α t 反応断面積の値が 6~14 MeV の領域で ENDF/B-IV の値より 25% も小さく, 大きな問題になったことがある。その後, LASL, Geel, ANL 等で実験が行われ, いずれ

も ENDF/B-IV よりも小さい値を出している。しかし, Swinhoe-Uttley の値は小さすぎることも示されてきた。JENDL-2 では, これらの実験事実を考慮して評価を行い, 第 1 図に示すような値を得た。

一般に, 軽い核は取扱いが難しく, JENDL-2 のデータにも再検討を必要とする部分が残っている。JENDL-3 ではこれらの点の改善が行われる。

2. 中重核の評価

質量数が約 20 から 100 くらいまでの核を中重核と呼ぶことにする。中重核には原子炉の構造材として重要な核種が数多く含まれている。ここでは中重核の代表として, Fe, Ni, Cr の核データ評価の概要を述べる。

これらの核種では, 分離共鳴領域の上限から数 MeV までの領域の測定値に微細構造が見られるが, JENDL-1 では, これらの構造を無視して光学模型に基づく理論計算の結果を採用した。このため, 自己遮蔽因子の計算に大きな影響を与え, JENDL-1 の欠点として指摘されていた⁽⁷⁾。JENDL-2 ではこの微細構造を評価にとり入れ, NDES⁽⁹⁾を用いて核種当たり数 1,000 点に及ぶ全断面積のデータを求めた。その 1 例を第 2 図に示す。この手法は Fe の第 1 励起準位への非弾性散乱断面積に見られる微細構造の評価にも用いた。

高速領域のその他の断面積の評価は, 測定データが非常に少ないことから, かなりの部分を理論計算に頼った。計算に用いる光学ポテンシャルおよびエネルギー

第 1 図 ${}^7\text{Li}(n, n')\alpha t$ 反応断面積の実験値と評価値

第 2 図 鉄の全断面積の JENDL-2 と JENDL-1 との比較

一単位密度等のパラメータは、従来まちまちの値が用いられてきたが、JENDL-2ではこれらのパラメータの系統性を検討して値を決定した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

このようにして求めたパラメータを使って、非弾性散乱、中性子捕獲、しきい反応の各断面積データを求め

た。これらのデータは後で述べるように、高速体系では十分に信頼できる結果を与えたが、直接過程や前平衡過程を無視したので、特に、高エネルギー領域の非弾性散乱断面積が過小評価になっている⁽¹⁰⁾。NiとCrではこの影響を考慮して、実験値または計算値を用いて

低い励起準位への非弾性散乱断面積を補正した。しかし、全面的な改善は JENDL-3 での重要な課題として残っている。

共鳴領域では、共鳴パラメータの評価値から断面積を算出する。JENDL-2 では1979年頃までに測定された共鳴パラメータを採用し、また、分離共鳴領域の上限を JENDL-1 に比べてかなり高くした。特にNiでは共鳴領域を大幅に広げ、散乱半径のエネルギー依存性を考慮することを試みた⁽¹¹⁾。しかし、現在の ENDF/B フォーマットでは散乱半径のエネルギー依存性は入らない。したがって、JENDL-2 ではその差をバックグラウンド断面積で補正したが、このことは、ENDF/B フォーマットに新たな問題を提起したといえる。個々の共鳴パラメータについても詳細な検討を加え、全断面積の測定値や、例えば Fe の 24 keV 近傍の窓断面積として有名な断面積の谷の構造などをよく再現するようにした。

中重核には構造材として重要な核種が多数含まれていることから、中性子による損傷効果を調べるために H や He の生成断面積が重要である。JENDL-2 では、これらの量をかなりよく評価し満足できる値を得たが、なおより良いデータを得ることが必要である。

3. 重い核の評価

ここでいう重い核とは Th 以上の核種を指す。JENDL-2 には27核種のデータを収納しているが、そのうち ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu の5核種を最重要核種と

して取り扱い、いわゆる同時評価などの方法で評価値を求めた。

共鳴パラメータは個々の核種に強く依存するので、評価方法も核種によって異なる。 ^{235}U は共鳴準位間隔が狭いため、約100 eVまでの共鳴準位は分離してパラメータを求められるが、それより上のエネルギー領域では、いわゆる非分離共鳴パラメータにより、平均の断面積を計算するようにした。分離共鳴パラメータは最近20年間に測定されたデータ⁽¹²⁾を収集し、核分裂および捕獲断面積の検討などから $g\Gamma_n$, Γ_f , Γ_γ を求めた。

^{238}U の共鳴準位は4 eVから5 keVにわたって約500本あり、測定が40件ほど報告されている。これらの測定を調べてみると、共鳴エネルギーの値に系統的な差があることがわかった。JENDL-2 では、広いエネルギー範囲で測られたいくつかの測定値を比較してこの差を除いた。共鳴幅の決定には ^{235}U で行ったと同様の面積法を用いたが、核分裂幅は無視できるとした。非分離共鳴パラメータは5~50 keVの領域で与え、平均の断面積を再現するようにした。

Puは天然に存在しないこともあって、パラメータの測定値が少ない。そこで、全断面積、核分裂断面積、捕獲断面積の測定値を再現するような共鳴パラメータの組を試行錯誤により求める方法を取った。

連続領域では断面積の絶対値とともに、例えば ^{235}U の核分裂断面積との比を測ったデータが多い。JENDL-2 ではこの比の測定値を重視し、例えば ^{239}Pu の核

第3図 ^{239}Pu と ^{235}U の核分裂断面積の比

分裂断面積を決める場合には、その絶対値測定と ^{235}U の核分裂断面積の測定値と両者の比の測定値とを同時に考慮し、この3者が同時に測定値を満足するような評価値を求めた。この方法を他の核種にも適用し、5核種間で矛盾のない値を得るまで検討を繰り返した⁽¹⁸⁾。第3図に結果の例を示す。

弾性散乱や非弾性散乱断面積などには理論計算を用いたが、例えばその計算に用いる光学模型ポテンシャルパラメータも5核種の間で統一した値を使うような努力が払われた⁽¹⁴⁾。

Am と Cm では、核分裂断面積と低エネルギー領域の共鳴パラメータが測定されているだけという場合が多く、核データの評価には理論計算が大いに力を発揮した。各種計算コードの整備や評価手法の確立が、これら実験値の少ない核種の核データの評価では極めて有効に生かされたといえる。

Ⅲ. JENDL-2 の 適 用 性

JENDL-2は汎用ライブラリーを目指して作成した。しかし、現実には核分裂炉では良い結果を与えるが、核融合炉ではまだ不十分である。この章では、高速炉、熱中性子炉および遮蔽に対するベンチマークテストの結果と、それらから得られた JENDL-2 の特長について述べる。また、核融合炉中性子工学への適用の際の問題にも若干触れる。

1. 高速炉ベンチマークテスト

高速炉にとって最も重要な ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、Cr, Fe, Ni の8核種の核データ評価は他の核種に先行して進められ、1979年末に終了し、日米共同大型高速炉モックアップ実験(JUPITER 計画)⁽¹⁵⁾の解析に利用された。また、シグマ研究委員会の JENDL 積分評価ワーキンググループでは、JENDL-2 の特性を把握するために、1次元、2次元体系での種々のベンチマークテストを行った⁽¹⁸⁾⁽¹⁷⁾。

これらから得られた結果の一部を第2表に示す。総合的な JENDL-2 の特徴としては、

- (1) 実効増倍率の予測は良好であるが、大型炉ではやや低目の値を与える。
 - (2) 大型 Pu 炉心では他の核データセットと同様に、 ^{238}U の捕獲断面積と ^{239}Pu の核分裂断面積の比が過大評価になっている。
 - (3) Na ボイド係数が正側に 30~50%過大評価されている。
 - (4) ドップラー係数が10%程度過小評価になる。
- 上記のうち、特に(3)のNaボイド係数は JENDL-1 より

第 2 表 高速炉体系のベンチマークテストの結果

	JENDL-2	ENDF/B-IV
Criticality		
16 Pu-cores	0.997	0.986
10 U-cores	0.999	0.996
MZB	0.991	0.980
ZPPR-9	0.993	0.984
Central reaction rate ratio		
^{238}U fission/ ^{235}U fission	1.0 ± 0.5	$0.97 \sim 1.0$
^{239}Pu fission/ ^{235}U fission	0.98	0.97
^{238}U capture/ ^{239}Pu fission		
Benchmark cores	1.01	1.01
ZPPR-9	1.06	1.08
Doppler coefficients		
	~ 0.87	~ 0.80
Na void coefficients		
MZB central	1.40	—
ZPPR-9 central	1.27	1.08

り悪くなっている。この原因を調べるため、一般化摂動による感度解析を2次元拡散に基づく一般化摂動感度解析コード SAGEP⁽¹⁸⁾を使って行った。得られた ZPPR-9 の Na ボイド係数に対する感度係数を第3表に示す。この解析でわかったことは、従来高速炉では効かないと考えられていた 2 keV 以下の核データが、随伴中性子束を通して Na ボイド係数に大きく影響することである。仮に ^{239}Pu の核分裂断面積を 2 keV 以下で25%大きくすれば、Na ボイド係数の30%の過大評価は解消する。断面積のこの方向への変化はドップ

第 3 表 ZPPR-9 の Naボイド係数に対する

感度係数 (% $\Delta\rho/\rho/\Delta\sigma/\sigma$)

$E_{\min}^{\dagger}$	$E_{\max}^{\dagger}$	^{239}Pu fission	^{239}Pu capture	^{238}U capture	^{238}U scattering
6.5 +6	1.05+7	0.0	0.0	-0.0	-1.6
4.0 +6	6.5 +6	0.6	0.0	-0.1	-4.5
2.5 +6	4.0 +6	0.6	0.0	-0.2	-8.3
1.4 +6	2.5 +6	-2.3	0.0	-0.4	-9.8
8.0 +5	1.4 +6	3.3	-0.1	-2.5	-5.6
4.0 +5	8.0 +5	2.5	-0.2	-3.7	-1.5
2.0 +5	4.0 +5	18.0	1.0	-7.8	-4.2
1.0 +5	2.0 +5	3.5	-0.3	-3.5	-2.2
4.65+4	1.0 +5	15.7	-0.8	-9.0	-3.9
2.15+4	4.65+4	0.9	0.5	1.1	0.4
1.0 +4	2.15+4	-7.4	2.2	9.8	0.7
4.65+3	1.0 +4	1.0	0.9	1.9	0.4
2.15+3	4.65+3	2.8	-0.3	-1.7	0.3
1.0 +3	2.15+3	-43.0	15.2	31.0	0.3
4.65+2	1.0 +3	-42.9	16.8	26.1	0.3
THR	4.65+2	-39.0	15.4	18.4	0.1

[†] 6.5+6 indicates 6.5×10^6

ラー係数にも好ましい結果を与える。

核分裂核種では 2 keV 以下が非分離共鳴領域に当り、測定が難しく、測定値間の不一致も大きい。したがって、この領域の核データ評価は微分実験のみならず、積分実験とその感度解析の結果も考慮して行うのが望ましいと思われる。

2. 熱中性子炉ベンチマークテスト

原研の熱中性子炉体系標準コードシステム検討会の原子炉核設計ワーキンググループは SRAC⁽¹⁹⁾ を用いて JENDL-2 の熱中性子炉ベンチマークテストを行った⁽²⁰⁾。選定したベンチマーク炉心は軽水系 2 炉心 (TRX-1, -2), 重水系 2 炉心 (DCA, ETA-I), 黒鉛系 3 炉心 (SHE-8, -13, -B2) および 8 つの ²³⁵U 体系炉心 (ORNL 体系) である。²³⁵U を燃料とした上記 3 体系について、実効増倍率と格子定数とを第 4, 5 表に示す。

第 4 表 ²³⁵U を燃料とした熱中性子炉の実効増倍率

Assembly	Exp.	Calculation/Experiment	
		JENDL-2	ENDF/B-IV
TRX-1	1.00	0.9934	0.9860
TRX-2	1.00	0.9945	0.9890
DCA	1.00	1.0021	0.9948
ETA-I	1.00	0.9966	0.9851
SHE-8	1.00	0.9949	0.99304
SHE-13	1.008	1.0031	1.0006
SHE-B2	1.008	0.9850	0.9831

第 5 表 熱中性子炉の格子定数

Assembly	Parameter	Exp.	Calculation/Experiment	
			JENDL-2	ENDF/B-IV
TRX-1	ρ_{28}	1.311 ± 0.02	1.001	1.034
	δ_{25}	0.0981 ± 0.001	0.978	0.988
	δ_{28}	0.0914 ± 0.002	1.056	1.037
	C*	0.792 ± 0.008	0.966	1.007
TRX-2	ρ_{28}	0.83 ± 0.015	0.983	1.016
	δ_{25}	0.0608 ± 0.0007	0.965	0.975
	δ_{28}	0.0667 ± 0.002	1.032	1.009
	C*	0.644 ± 0.002	0.985	0.992
DCA	ρ_{28}	0.84	0.94	0.981
	δ_{25}	0.06	1.00	1.00
	δ_{28}	0.049	1.00	0.98
ETA-1	ρ_{02}	1.054 ± 0.15	0.921	0.981
	δ_{25}	1.74 ± 0.002	1.012	1.004
	δ_{02}	0.0166 ± 0.0009	0.842	0.778
	CR*	0.867 ± 0.009	0.896	0.968

ρ_{28}, ρ_{02} : Ratio of epithermal to thermal ²³⁸U or ²³²Th captures
 δ_{25} : Ratio of epithermal to thermal ²³⁵U fissions
 δ_{28}, δ_{02} : Ratio of ²³⁸U or ²³²Th fissions to ²³⁵U fissions
 C*, CR*: Ratio of ²³⁸U or ²³²Th captures to ²³⁵U fissions

ベンチマークテストの結果は以下のようになる。

- (1) 実効増倍率: JENDL-2 は ENDF/B-IV に見られる約 1% の過小評価をかなり改善している。また、²³⁵U のデータを ENDF/B-V のデータに置換すると、予測精度はさらに向上する。
- (2) 格子定数: JENDL-2 を使って、熱外領域と熱領域での ²³⁵U の捕獲反応率比 (ρ_{28})、および ²³⁸U の捕獲と ²³⁵U の核分裂との反応比 (C*) を求めると、実験値によく合う。²³⁸U の核分裂と ²³⁵U の核分裂との比 (δ_{28}) はやや過大評価である。熱外領域と熱領域での ²³⁰Th の捕獲反応率比 (ρ_{02}) は JENDL-2 も ENDF/B-IV も過小評価である。
- (3) ²³⁵U 体系: JENDL-2 は良好な実効増倍率を与える。しかし、熱外スペクトルの多い体系では ENDF/B-IV と同程度の実験値からのズレを示す。以上のことから総合的に判断すると、熱中性子炉に対する予測精度は JENDL-2 の方が ENDF/B-IV よりも良いといえる。

3. 遮蔽ベンチマークテスト

遮蔽計算に対する JENDL-2 の適用性を知るために、シグマ研究委員会の核融合炉・遮蔽定数ワーキンググループは鉄体系のベンチマークテストを行った⁽²¹⁾。実験体系は ²⁵²Cf を中性子源とする球 (KFK) と、原子炉を中性子源とする板状 (ORNL) の 2 つを選んだ。

KFK 体系の漏洩スペクトルの計算値と実験値を第 4 図に示す。JENDL-2 は 60 keV ~ 5 MeV の間で実験値を 12% 以内で再現しており、ENDF/B-IV と比較しても優劣はつけがたい。このテストにより、JENDL-2 は核分裂炉体系の遮蔽にも十分適用できる应该说よい。

最近の遮蔽研究では、積分実験による感度解析と群定数の調整を問題として取り上げる傾向が出てきている。しかし、遮蔽の場合には計算手法が未だ確立されていないらしいので、データをこのような方法で問題にする段階ではないと考えられる。

4. 核融合炉への適用性

核融合炉で重要な角度とエネルギーについての二重微分断面積や、一部の 14 MeV 中性子のデータはまだ不十分であるが、JENDL-2 には核融合炉に必要な核種のデータが多数用意されている。第 II 章で述べた ⁷Li などがその例である。これらのデータについてのベンチマークテスト的検討は未だ行われていない。これは今後の課題であるが、同時に利用分野からの使用経験を通しての情報が必要である。

大阪大学の OKTAVIAN による 14 MeV 中性子を使

第 4 図 ^{252}Cf を中性子源とした鉄の球体系からの中性子漏洩スペクトル

っての放出中性子スペクトルの測定が種々の核種について行われ、計算との比較も行われている⁽²²⁾。JENDL-2 のデータは直接過程や前平衡過程の非弾性散乱成分を無視しているため、放出中性子の高エネルギー成分が非常に小さくなる。JENDL-3 ではこの点を改善することになっている*。

Ⅳ. JENDL-2 使用上の注意

JENDL-2 は公開された評価済み核データライブラリーであるので、学術研究・調査の目的のためには誰でも利用できる。利用希望者は原研核データセンターに備えてある「核データ利用申込書」によって申し込み、JENDL-2 のデータを希望の様式(磁気テープ、数値リスト、プロット図等)で入手できる。

JENDL-2 を使用して得られた学術成果を公表するときには、通常の論文発表と同様に、適当な方式でデータの出所を引用すればよい。JENDL-2 の内容を収納核種ごとに記述したドキュメント・レポートを近く刊行する予定である。また、各評価者が担当核種ごとに評価の内容を詳しく記述したレポートも刊行することになっているので、これらを適宜参照されたい。

JENDL-2 の標準ファイルでは、軽い核を除くほとんどの核種の共鳴領域の断面積は共鳴パラメータを使って計算するようになっている。利用者は使用目的に応じて処理コードにより点状の断面積データを発生さ

せ、それを使うことになる。なお、このような処理を行うことを嫌う利用者のためには、核データセンターに用意してある点状のデータファイルを提供することになっている。点状のデータファイルには1核種当り数万点から数十万点以上の膨大な量のデータが収納されている。JENDL-2 の標準ファイルはこの膨大な量を減らすために共鳴パラメータを収納している。どちらのファイルを使用するにしても、使用目的、計算機の容量、コードの性質等をよく検討して、適当な方を使ってもらいたい。

JENDL-2 のデータは ENDF/B-IV のフォーマットで格納されている。したがって、データ処理はこのフォーマットの規則に従って行う必要がある。これは当然のことではあるが、この規則違反が意外に多い。規則に従ったデータ処理をしておお不審な点があれば、いつでも核データセンターに連絡してもらいたい。膨大な量のデータの中には未だ見落された誤りがあるかも知れないからである。

前章で述べたように、JENDL-2 の適用性は広い分野にわたってかなり良好である。したがって、大いに利用されることを期待している。しかし、同時に限界

* JENDL-3 のための核データ評価作業はすでに始まっており、 ^6Li , ^7Li , C, O, Cr, Fe, Ni については非弾性散乱成分などを改善して、1983年末には使用可能になる。このセットを JENDL-3PR1 と呼ぶことにしている。

もあるので、その限界内での利用を図って頂きたい。

V. む す び

JENDL-2のデータはその大部分がシグマ研究委員会メンバーによって評価されたものである。これによって、原子力研究・開発の最も基礎である核データを独自のものとして持つことができた訳で、その意義は大きい。

JENDL-2の作成期間中に、米国が最新のENDF/B-Vを米国とカナダ以外のいかなる国にも提供しないことを決めた。従来、米国に頼っていた西欧諸国は大いにあわて、改めて独自の評価済み核データファイル(JEF)を共同で作ることにした。このような情勢を見ても、JENDL-2を持ったことはわが国の国際的立場を有利にしたといえる。

JENDL-2には未だ解決すべき点が多々あり、版を改めて行く必要があるが、その場合にもJENDL-2が基本になる。その意味で、JENDL-2を広く利用し、その経験に基づく希望、意見を寄せて頂くことを期待している。

JENDL-2の全容を紹介するにはなお数10倍の紙数が必要であり、本稿程度では利用者への便宜を図るといった当初の目的も果たせたかどうか心もとない。核種個々のデータ評価についてはJENDL-2の報告書または個々の報告書を参照されたい。

最後に、シグマ研究委員会外から協力して下さった日本原子力研究所の熱中性子炉体系標準コードシステム検討会の原子炉核設計ワーキンググループに謝意を表します。

— 参 考 文 献 —

- (1) IGARASI, S., NAKAGAWA, T., KIKUCHI, Y., ASAMI, T., NARITA, T.: Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-1—JENDL-1—, *JAERI* 1261, (1979).
- (2) GARBER, D., DUNFORD, C., PEARLSTEIN, S.: Data formats and procedures for the evaluated nuclear data file, ENDF, *BNL-NCS-50496* (ENDF 102), (1975).
- (3) 中川庸雄: 原子力誌, 22[8], 559 (1980).
- (4) FADDEEV, L.D.: *Sov. Phys.-JETP*, 12, 1014 (1961).
- (5) SHIBATA, K., NARITA, T., IGARASI, S.: Evaluation of neutron nuclear data for deuterium, *JAERI-M* 83-006, (1983).
- (6) SWINHOE, M.T., UTTLEY, C.A.: Tritium breeding in fusion, *Proc. Int. Conf. on Nuclear Cross Sections for Technology, Knoxville 1979*, p.246 (1980).
- (7) KAWAI, M., YAMANO, N., KOYAMA, K.: Request to evaluating neutron cross sections of structural material for shielding application, *ibid.*, p.586.
- (8) KAWAI, M.: Determination of spherical optical model parameters for structural materials, NEANDC Topical Discussion, Geel, (1979).
- (9) YOSHIDA, T.: Systematic determination of level density parameters for structural materials (Cr, Fe and Ni isotopes), *ibid.*
- (10) 山野直樹: 鉄の非弾性散乱断面積評価の問題点, 1980年核データ討論会報告書, *JAERI-M* 9523, 50 (1981).
- (11) KIKUCHI, Y.: Proposal of energy dependent effective scattering radius in the resonance region of structural materials, IAEA Consultants' Mtg. on Nuclear Data for Structural Materials, Vienna, 2~4 Nov., 1983.
- (12) NAKAGAWA, T., KIKUCHI, Y., ZUKERAN, A., YOSHIDA, T., KAWAI, M., ASAMI, A.: Evaluation of resonance parameters of ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu and ^{242}Pu , *JAERI-M* 9823, (1981).
- (13) MATSUNOBU, H., KANDA, Y., KAWAI, M., MURATA, T., KIKUCHI, Y.: Simultaneous evaluation of the nuclear data for heavy nuclides, 文献(6), p.715.
- (14) 村田 徹: 私 信.
- (15) 井上晃次, 白方敬章, 金城勝哉, 池上哲雄, 山本正昭: 原子力誌, 23[5], 310 (1981).
- (16) KIKUCHI, Y., NARITA, T., TAKANO, H.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, 17[7], 567 (1980).
- (17) KIKUCHI, Y.: Members of JNDC: Present status and benchmark tests of JENDL-2, *Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Antwerp, 1982*, 615 (1983).
- (18) 原 昭浩, 竹田敏一, 菊池康之: SAGEP, 2次元感度解析コード, *JAERI-M* 84-027, (1984).
- (19) TSUCHIHASHI, K., TAKANO, H., HORIKAMI, K., ISHIGURO, Y., KANEKO, K., HARA, T.: SRAC, JAERI thermal reactor standard code system for reactor design and analysis, *JAERI-1285*, (1983).
- (20) 高野秀機, 土橋敬一郎, 山根 剛, 秋濃藤義, 石黒幸雄: JE NDL-2の熱中性子炉ベンチマーク・テスト, *JAERI-M* 83-202, (1983).
- (21) KAWAI, M., YAMANO, N., HASHIKURA, H., MINAMI, K., SASAKI, K., MANDAI, S., KIKUCHI, Y.: Integral tests of iron data in JENDL-2 for fast reactor shielding, *Proc. 6th Int. Conf. on Radiation Shielding, Tokyo 1983*, Vol. I, 428 (1983).
- (22) TAKAHASHI, A., YAMAMOTO, J., MURAKAMI, T., OSHIMA, K., ODA, H., FUJIMOTO, F., SUMITA, K.: Measurement of double differential neutron emission cross sections with 14 MeV source for D, Li, Be, C, O, Al, Cr, Fe, Ni, Mo, Cu, Nb and Pb, 文献(7), 360.