

WG 活動紹介

JENDL Dosimetry File の現状

ドシメトリー積分テスト WG (*)

京都大学原子炉実験所

小林 捷平

koba@rri.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

ドシメトリーファイルとは、ある特定の中性子場における中性子束／フルーエンス、エネルギースペクトルを求めるために必要となる基本的な中性子核データセットのことである。JENDL [1,2] 評価作業の一環として General Purpose File 以外にも幾つかの特殊目的ファイルが用意されている。ドシメトリー積分テストワーキンググループ (WG) では、ドシメトリー専用のファイル「JENDL Dosimetry File」(JDF-1.0)を先に公表したが [3,4]、最近ではその改訂版として「JENDL Dosimetry File-1.1」(JDF-1.1)をまとめているところである。先の JDF-1.0 では、断面積データの評価は当WGで行ったものの、共分散ファイルについては IRDF-85 [5] や ENDF/B-VI [6] からの借り物であった。そこで、当WGでは GMA コード [7] やその他の評価法 [8] を導入することにより、約 30 の主要ドシメトリー反応断面積及び共分散ファイルデータについて一貫した同時評価を新たに実施した。ここでは、その評価作業の概要と、得られた JDF-1.1 に対する積分テストの方法、結果の現状について紹介する。

2. JENDL Dosimetry File-1.1

今回、評価の対象となった約 30 の反応を Table 1 に示す。JDF-1.1 では、幾つかの反応が新たに追加されたが、中でも高エネルギー領域のドシメトリー用として数種の (n,2n) 反応が挙げられる。評価断面積は、ENDF フォーマットに従って 10^{-5} eV から 20 MeV 領域の point-wise データの他、SAND-II 型の 642 群構造をもつ group-wise データも用意されている [3,9]。

3. 評価の方法

しきい反応を中心としたドシメトリー断面積評価には、2つの方法が採用された。1
WG メンバー (順不同) : 小林捷平、中澤正治、井口哲夫、岩崎信、小田野直光、青山卓史、島川聡司、池田裕二郎、桜井淳、中川庸雄、柴田恵一

つは、一般化最小自乗法に従う計算コードGMA [7] を用いる方法であり、もう1つは評価法にスプライン関数を適用する方法 [8] である。GMAは、EXFOR データベースを基に作られた NESTOR-2 に収納されている実験データ [10] を用いて評価断面積、分散、共分散を導出するコードである。この場合の評価計算には初期入力データが必要となるが、これには通常、JDF-1.0 のデータが用いられた。また、実験データの中で他のデータ群とあまりにもかけ離れたものは除外して評価を行った。スプライン関数法では、a set of cubic B-spline function [8] が実験データの最小自乗フィッティングに使われ、共分散データは個々の実験とその条件を基にした再評価によって求められた。

熱中性子から高速中性子の広範囲にわたる $^{58}\text{Fe}(n, \gamma)^{59}\text{Fe}$ 反応のような場合、まず、断面積値は JENDL-3.2 より引用することとした。分離エネルギー領域では、多準位の Breit-Wigner 公式に従うとした共鳴パラメータの不確かさから、また、連続領域では光学モデルパラメータやレベル密度パラメータの不確かさを考慮した KALMAN 計算コード [11] から共分散行列を導出するという手法によって共分散行列が評価された。

4. 積分テスト

積分テストは、下記の中性子スペクトルと JDF-1.1 のドシメトリー反応を用いて求められた計算値を実験データと比較することにより実施された。

- (1) Mannhart によって推奨された ^{252}Cf 自発核分裂スペクトル [12]
- (2) Watt 型の ^{235}U 核分裂スペクトル [13]
- (3) 常陽の炉心中央、反射体領域における中性子スペクトル [14]
- (4) D-T (FNS) 中性子源スペクトル [15]
- (5) D-L i (4.5 MV ダイナミトロン) 中性子源スペクトル [16]

これらの中性子場において測定された平均断面積データは、それぞれの文献より引用した [17-21, 16]。また、これらの中性子場のスペクトルに共分散データが与えられていない場合は、それぞれの対角要素、非対角要素成分の誤差をそれぞれ 5%、2% と仮定している [4]。

5. 結果

JDF-1.1 のドシメトリー反応の約 30 種類について、新たに GMA コードを用いるか、またはスプライン関数を取り入れた評価法によって、それぞれの断面積と共分散データを同時評価した。先の JDF-1.0 の評価に対し、今回新たに追加のあった反応、再評価の対象となったものの一覧が Table 1 に示されている。次に、その妥当性を評価する目的で、5つの中性子スペクトル場を選び、これらによる積分テストを実施した。その結果を Fig. 1、Fig. 2 にまとめる。積分テストの指標として $R = (C - M) / M$ を定義する。こ

ここで、Cは中性子場のスペクトルとJDF-1.1を使い計算によって求められたスペクトル平均断面積、Mはその中性子場で測定されたスペクトル平均断面積の実測値である。なお、Fig. 1、Fig. 2中のx印は、JDF-1.0 データを使った前回の積分テストの結果 [4] を参考までに示している。

Fig. 1を見ると、 ^{252}Cf と ^{235}U の核分裂スペクトル場ではCとMの一致は概ね良好であるが、 ^{252}Cf スペクトルに対しては $^{55}\text{Mn}(n,2n)$ 、 $^{64}\text{Zn}(n,p)$ 反応に、 ^{235}U スペクトルでは $^{59}\text{Co}(n,2n)$ 、 $^{64}\text{Zn}(n,p)$ 反応に著しい差異が見受けられる。しかし、JDF-1.0 データによる積分テストとの比較では $^{19}\text{F}(n,2n)$ 、 $^{24}\text{Mg}(n,p)$ 、 $^{60}\text{Ni}(n,p)$ においてC/Mの一致はよくなっている。

常陽の中性子スペクトル場を用いた場合は、 $^{237}\text{Np}(n,f)$ 反応にC/Mの一致が見られるが、 $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$ 、 $^{46}\text{Ti}(n,p)$ 反応についてはR値に10~20%を上回る差異が観測される。

D-T中性子源では、Fig. 2のように、C/M値は全体によい一致が得られている。Li-d 中性子源スペクトルの場合を見ると、JDF-1.0 データを用いた場合に比べて、 $^{23}\text{Na}(n,2n)$ 、 $^{58}\text{Ni}(n,p)$ 反応に大きな改善が見られることが分かる。しかし、 $^{55}\text{Mn}(n,2n)$ 、 $^{59}\text{Co}(n,2n)$ 、 $^{60}\text{Ni}(n,p)$ 反応に関しては、依然としてR値に10%以上の差異が残っている。

6. おわりに

今回のJENDL Dosimetry Fileの改訂(JDF-1.1の作成)にあたり、ドシメトリーにおいて関心の高い約30核種の反応について断面積と共分散データの同時評価を実施した。これらのデータのうち、積分テストが実施できるものについては、これを行った。その結果は、JDF-1.0 データによる積分テストに比べて幾つかの反応では改善が見られたが、しかし、今回の積分テスト全般を通じて、依然、 $^{55}\text{Mn}(n,2n)$ 、 $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$ 、 $^{64}\text{Zn}(n,p)$ 反応などのように、計算値/実験値間に著しい差異が存在しているものもある。これらのデータに関しては、積分テストに引用された平均断面積データの信頼性の見直しも含めた検討が必要であると思われる。今回、評価の対象とした核種/反応はしきい反応が主であったが、今後は高エネルギー領域だけでなく低エネルギー領域で重要となる (n,α) 、 (n,γ) 反応などについても評価を進めていくことが必要である。

今回の作業では、JDF-1.0に幾つかの核種/反応を新たに追加した上で、JDF-1.1のファイル化が行われた。個人的な希望ではあるが、近々、このJDF-1.1の評価作業に一応の区切りをつけた上で、とりあえず利用者の皆さんに使って戴けるようにしたいものである。実際に使って戴いた上でのご意見をフィードバック戴き、これをよりよいドシメトリーファイルの仕上げに反映させて行きたい。

本報告は、1996年9月2-6日の間、プラハにて開催された「第9回原子炉ドシメト

リーに関する国際シンポジウム」にて発表した論文「Revision of JENDL Dosimetry File」を基に作成されたものである（文責：小林捷平）。

【参考文献】

- [1] K. Shibata, et al., JAERI 1319 (1990).
- [2] T. Nakagawa, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 32, 1259 (1995).
- [3] M. Nakazawa, et al., JAERI 1325 (1992).
- [4] K. Kobayashi, et al., Proc. 8-th ASTM-Euratom Symp. on Reactor Dosimetry, STP 1228, p.670 (1994).
- [5] D. E. Cullen et al., "The Int. Reactor Dosimetry File(IRDF-82)", IAEA-NDS-41/R, rev.0(1982). IRDF-85 is a modified version with additional cross section data.
- [6] BNL/National Nuclear Data Center: ENDF/B-VI (1990).
- [7] W. P. Poenitz, Proc. Conf. on Nucl. Data Evaluation Methods and Procedures, BNL-NCS-51363, p.249 (1981).
- [8] S. Iwasaki, Proc. Int'l Conf. on Nucl. Data for Sci. Technol., at Gatlinburg, Vol.2, p.614 (1994).
- [9] "A Computer Code - Automated Iterative Method for Neutron Flux Spectra Determination by Foil Activation", Air Force Weapons Laboratory, Kirtland Air Force Base, New Mexico, report number AFWL-TR-67-41, Vol.1-4 (1967).
- [10] T. Nakagawa, "Neutron Data Storage and Retrieval System", JAERI Nuclear Data Center (1995).
- [11] T. Kawano, et al., Proc. Int'l Conf. on Nucl. Data for Sci. Technol., at Gatlinburg, Vol.2, p.624 (1994).
- [12] W. Mannhart, Proc. 6-th ASTM-Euratom Symp. on Reactor Dosimetry, Jackson Hole, USA, May 31-Jun.5, p.340 (1987), and IAEA Consultants' Meeting on Phys. of Neutron Emission in Fission, at Mito, INDC(NDS)-220/L, p.305 (1989).
- [13] J. H. Baad, et al., "Nuclear data Guide for Reactor Neutron Metrology", Kluwer Academic Publishers (1989).
- [14] S. Suzuki, JAERI-Conf 95-008, p.59 (1994), and "Current Status and Upgrading Activity of Reactor Material Dosimetry in Experimental Fast Reactor

- JOYO", submitted to the 9-th Int. Symp. on Reactor Dosimetry at Prague, Sept.2-6, 1996.
- [15] T. Nakamura and M. A. Abdou, *Fusion Eng. Design*, 9, 303 (1989).
 - [16] J. R. Dumais, et al., *Proc. Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. Technol.*, Springer-Verlag, Berlin, p.202 (1992).
 - [17] W. Mannhart, "Handbook on Nuclear Activation Data", IAEA Technical Report Series, No.273, IAEA, p.413 (1987).
 - [18] W. Mannhart, *Proc. 5-th ASTM-Euratom Symp. on Reactor Dosimetry*, at Geesthacht, Vol.2, p.813 (1985).
 - [19] K. Kobayashi and T. Kobayashi, *Annu. Rep. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ.*, Vol.25, 21 (1992).
 - [20] D. M. Gilliam, et al., *Proc. 5-th ASTM-Euratom Symp. on Reactor Dosimetry*, at Geesthacht, Vol.2, p.867 (1985).
 - [21] Y. Ikeda, et al., *Proc. Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. Technol.*, Springer-Verlag, Berlin, p.364 (1992).
 - [22] N. P. Kocherov and P. K. McLughlin, IAEA-NDS-141, Rev.2 (1993).
 - [23] K. Sakurai, JAERI-Research 94-005 (1994).

Table 1 List of reactions in the JENDL Dosimetry File-1.1 (JFD-1.1)

Reaction	JDF-1.0	Cross section	Covariance data	Comment
Li- 6 (n, t) α	○	=	=	
Li- 6 α production	○	=	=	
Li- 7 t production	○	=	=	
B- 10 (n, α) Li-7	○	=	=	
B- 10 α production	○	=	=	
F- 19 (n, 2n) F-18	○	●	●	G
Na- 23 (n, 2n) Na-22	○	●	●	S
Na- 23 (n, γ) Na-24	○	=	=	
Mg- 24 (n, p) Na-24	○	●	●	G
Al- 27 (n, p) Mg-27	○	●	●	G
Al- 27 (n, α) Na-24	○	▲	▲	IRDF-90.2
P- 31 (n, p) S-31	○	●	●	G
S- 32 (n, p) Si-31	○	=	=	
Sc- 45 (n, γ) Sc-46	○	J32	=	
Ti-nat (n, x) Sc-46	○	=	=	
Ti-nat (n, x) Sc-47	○	=	=	
Ti-nat (n, x) Sc-48	○	=	=	
Ti- 46 (n, 2n) Ti-45		●	●	G, Added newly
Ti- 46 (n, p) Sc-46	○	●	●	G
Ti- 47 (n, np) Sc-46	○	●	●	G
Ti- 47 (n, p) Sc-47	○	●	●	G
Ti- 48 (n, np) Sc-47	○	●	●	G
Ti- 48 (n, p) Sc-48	○	●	●	G
Ti- 49 (n, np) Sc-48	○	●	●	G
Cr- 50 (n, γ) Cr-51		J32		Added newly
Cr- 52 (n, 2n) Cr-51		●	●	G, Added newly
Mn- 55 (n, 2n) Mn-54	○	●	●	S
Mn- 55 (n, γ) Mn-56	○	=	=	
Fe- 54 (n, p) Mn-54	○	●	●	G
Fe- 56 (n, p) Mn-56	○	=	=	
Fe- 57 (n, np) Mn-56	○	=	=	
Fe- 58 (n, γ) Fe-59	○	J32	●	R
Co- 59 (n, 2n) Co-58	○	●	●	S
Co- 59 (n, γ) Co-60	○	J32	=	
Co- 59 (n, α) Mn-56	○	=	=	
Ni- 58 (n, 2n) Ni-57	○			Under evaluation
Ni- 58 (n, p) Co-58	○	●	●	G
Ni- 60 (n, p) Co-60	○	●	●	S
Cu- 63 (n, 2n) Cu-62	○	●	●	G
Cu- 63 (n, γ) Cu-64	○	J32	=	
Cu- 63 (n, α) Co-60	○	●	●	G
Cu- 65 (n, 2n) Cu-64	○	●	●	G

Zn- 64 (n, p) Cu-64	○	●	●	G	
Y- 89 (n, 2n) Y-88		●	●	G,	Added newly
Zr- 90 (n, 2n) Zr-89	○				Under evaluation
Nb- 93 (n, 2n) Nb-92m	○	●	●	S	
Nb- 93 (n, n') Nb-93m	○	●	●	E	
Rh-103 (n, n') Rh-103m	○	=	=		
In-115 (n, n') In-115m	○	=	=	G,	Covariances in JDF-1.0
In-115 (n, γ) In-116m	○	=			
I-127 (n, 2n) I-126	○	●	●	G	
Eu-151 (n, γ) Eu-152	○	=	=		
Tm-169 (n, 2n) Tm-168		●	●	G,	Added newly
Ta-181 (n, γ) Ta-182	○	=	=		
W-186 (n, γ) W-187	○	=			
Au-197 (n, 2n) Au-196	○	●	●	G	
Au-197 (n, γ) Au-198	○	=			
Hg-199 (n, n') Hg-199m	○	=	=		
Th-232 fission	○	=	=		
Th-232 (n, γ) Th-233	○	=	=		
U-235 fission	○	J32	=		
U-238 fission	○	J32	=		
U-238 (n, γ) U-239	○	J32	=		
Np-237 fission	○	●	●	G	
Pu-239 fission	○	J32	=		
Am-241 fission	○	=	=		

● : Present evaluation (JDF-1.1)
 ▲ : Taken from IRDF-90.2 (Ref.22)
 J32 : Taken from JENDL-3.2 (Ref.2)
 = : Same as JDF-1.0 (Refs.3,4)
 G : GMA code analysis (Ref.7)
 S : Spline function fitting (Ref.8)
 R : From resonance parameters and calculations (Ref.11)
 E : Estimated values (Ref.23)

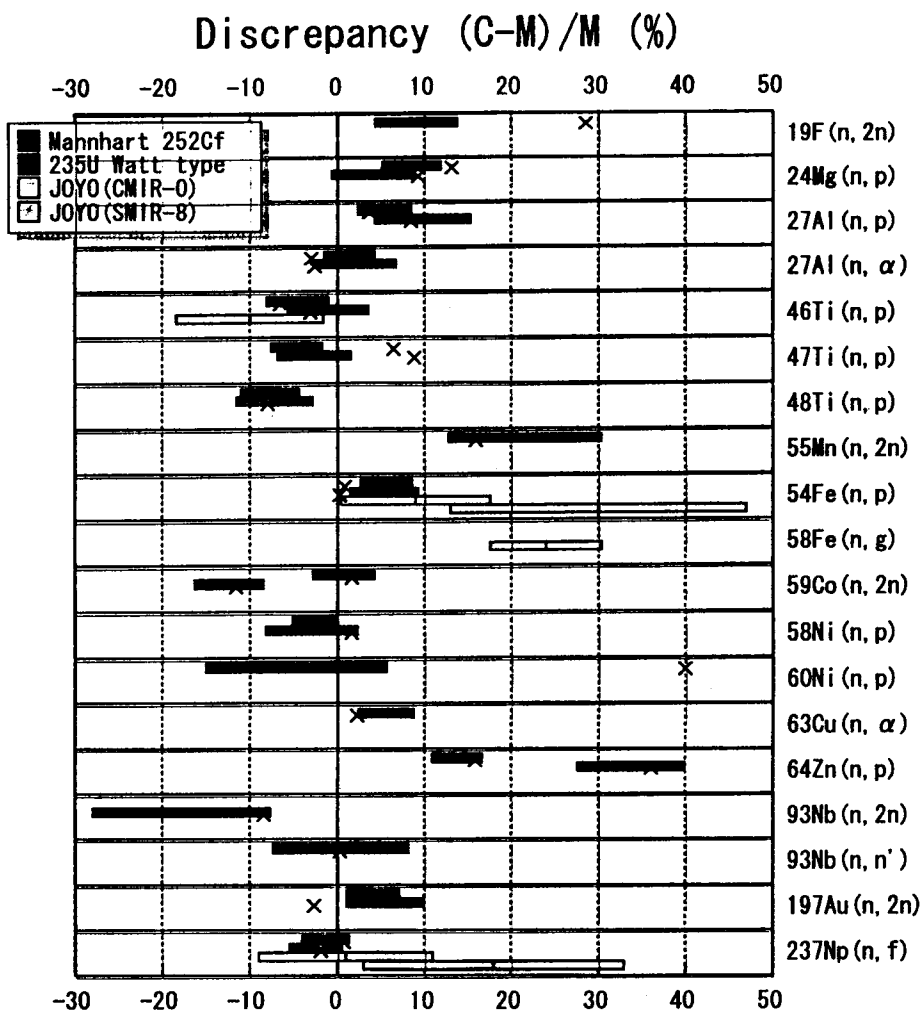


Fig. 1 Discrepancies of calculated average cross sections from measured ones with neutron spectrum fields from Cf-252, U-235 and JOYO. X represents previous result.

