

JAERI-Research

94-005



JENDLドシメトリーファイルに収納された  
 $^{93}\text{Nb}(n,n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ および  $^{199}\text{Hg}(n,n')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$   
反応の中性子断面積

1994年8月

桜井 淳

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 (株)原子力資料サービス

JENDL ドシメトリーファイルに収納された $^{93}\text{Nb}(n, n')$  $^{93m}\text{Nb}$ および  
 $^{199}\text{Hg}(n, n')$  $^{199m}\text{Hg}$ 反応の中性子断面積

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター  
桜井 淳

(1994年6月13日受理)

JENDL Dosimetry File に収納された $^{93}\text{Nb}(n, n')$  $^{93m}\text{Nb}$ および $^{199}\text{Hg}(n, n')$  $^{199m}\text{Hg}$ 反応の中性子断面積およびコバリアンス・マトリックスの評価手順が詳細に記述されている。 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/Eは, $^{93}\text{Nb}(n, n')$  $^{93m}\text{Nb}$ 反応に対して0.99であり, $^{199}\text{Hg}(n, n')$  $^{199m}\text{Hg}$ 反応に対して0.86である。

Neutron Cross Sections for  $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$   
and  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$  Reactions compiled in  
JENDL Dosimetry File

Kiyoshi SAKURAI

Nuclear Safety Research Center  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 13, 1994)

Evaluation procedure of neutron cross sections and covariance matrixes for  $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$  and  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$  reactions is described in detail. The C/E value of  $^{235}\text{U}$  fission spectrum averaged cross section is 0.99 for  $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$  reaction and 0.86 for  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$  reaction, respectively.

Keywords: JENDL Dosimetry File,  $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$ ,  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$ ,  
Neutron Cross Section, Covariance Matrix,  $^{235}\text{U}$  Fission Spectrum  
Averaged Cross Section, C/E

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$ 反応の断面積 .....	2
2.1 測定値 .....	2
2.2 評価値 .....	2
2.3 コバリアンス・マトリックス .....	3
3. $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199m}\text{Hg}$ 反応の中性子断面積 .....	4
3.1 測定値 .....	4
3.2 評価値 .....	4
3.3 コバリアンス・マトリックス .....	5
4. 結 論 .....	5
謝 辞 .....	6
文 献 .....	6

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Neutron Cross Sections for $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93m}\text{Nb}$ Reaction .....	2
2.1 Measured Data .....	2
2.2 Evaluated Data .....	2
2.3 Covariance Matrix .....	3
3. Neutron Cross Sections for $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199m}\text{Hg}$ Reaction .....	4
3.1 Measured Data .....	4
3.2 Evaluated Data .....	4
3.3 Covariance Matrix .....	5
4. Conclusion .....	5
Acknowledgments .....	6
References .....	6

## 1. 序 論

シグマ研究委員会ドシメトリー積分テストワーキンググループが編集したJENDL Dosimetry File<sup>1)</sup>には、61反応の中性子断面積とコバリアンスが収納されている。そのうち49反応の中性子断面積については、JENDL-3 General Purpose File<sup>2)</sup>、4反応のそれについては、JENDL-3 Fission Product Nuclear Data File<sup>3)</sup>の評価値が採用されている。残り8反応のうち、 $^{103}\text{Rh}(n, n')$   $^{103\text{m}}\text{Rh}$ 反応についてはIRDF-85<sup>4)</sup>、 $^{115}\text{In}(n, n')$   $^{115\text{m}}\text{In}$ 反応については、A. B. Smithら<sup>5)</sup>、 $^{93}\text{Nb}(n, n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応および $^{199}\text{Hg}(n, n')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応についてはK. Sakurai<sup>6)</sup>、 $^{64}\text{Zn}(n, p)$   $^{64}\text{Cu}$ 反応および $^{93}\text{Nb}(n, 2n)$   $^{92\text{m}}\text{Nb}$ 反応、 $^{197}\text{Au}(n, 2n)$   $^{196}\text{Au}$ 反応、 $^{197}\text{Au}(n, \gamma)$   $^{198}\text{Au}$ 反応については、N. Yamamuro<sup>7)</sup>による評価値が採用されている。61反応のうち45反応のコバリアンス・マトリックスについてはIRDF-85、2反応についてはJENDL-3 General Purpose File、2反応についてはENDF/B-VI<sup>8)</sup>、1反応についてはIRDF-90<sup>4)</sup>の評価値が採用されている。残り11反応のうち、 $^{115}\text{In}(n, n')$   $^{115\text{m}}\text{In}$ 反応についてはA. B. Smithら<sup>5)</sup>、 $^{93}\text{Nb}(n, n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応および $^{199}\text{Hg}(n, n')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応については、K. Sakurai<sup>6)</sup>による評価値が採用されている。 $^{49}\text{Ti}(n, np)$   $^{48}\text{Sc}$ 反応および $^{93}\text{Nb}(n, 2n)$   $^{92\text{m}}\text{Nb}$ 反応、 $^{151}\text{Eu}(n, \gamma)$   $^{152}\text{Eu}$ 反応、 $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)$   $^{182}\text{Ta}$ 反応、 $^{186}\text{W}(n, \gamma)$   $^{187}\text{W}$ 反応については、ドシメトリー積分テストワーキンググループで評価したものが採用されている<sup>1)</sup>。しかしながらTi-natの $^{46}\text{Sc}$ 、 $^{47}\text{Sc}$ 、 $^{48}\text{Sc}$ 生成反応断面積については、コバリアンス・マトリックスが収納されていない。

$^{93}\text{Nb}(n, n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応は、しきい値が0.1 MeVと低く、アイソマーの半減期が13.6年と長いため、長期照射を目的とする照射専用炉の試料部や軽水炉の压力容器監視試験片部の中性子フルエンスを測定するための新たなフルエンスモニターとして有望であり<sup>9)</sup>、さらに将来は核融合炉においても同目的のために利用されることが検討されている<sup>10)</sup>。いっぽう $^{199}\text{Hg}(n, n')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応は、しきい値が0.5 MeVと比較的低く、アイソマーの半減期が43分と特に長くも短くもないため、臨界実験装置など高速中性子束の比較的低い照射場においても放射化しやすく、新たなしきい検出器として有望である<sup>9)</sup>。 $^{93\text{m}}\text{Nb}$ は、崩壊にともなうガンマ線を放出せず、内部変換過程を通してKX-線( $K_{\alpha}$ : 16.6 keV、 $K_{\beta}$ : 18.6 keV)のみ放出する。そのため、フルエンスモニターとして利用する場合、精度のよい中性子断面積が必要なばかりでなく、低エネルギーのKX-線を精度よく測定する技術も要求される<sup>9)</sup>。 $^{199\text{m}}\text{Hg}$ は、崩壊にともな

いガンマ線を放出 (158 keV および 374 keV) するが、エネルギー的には測定しやすいものの、試料形状によっては原子番号が大きいため自己吸収が大きくなり、注意深い測定が要求される<sup>5)</sup>。 $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の中性子断面積については、これまで I R D F に収納されているが、最近、精度の高い測定値が公表されているため、J E N D L D o s i m e t r y F i l e のために独自の評価を試みた<sup>6)</sup>。いっぽう $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199m}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、まだどこにもファイル化されておらず、J E N D L D o s i m e t r y F i l e において初めてファイル化されることになる。 $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  および $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199m}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、文献 (1) に簡単な説明とベンチマークの結果のみ記されているので、本報告書に、評価の詳細をまとめる。

## 2. $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$ 反応の断面積

### 2. 1 測定値

$^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の断面積は、実用的な価値が高いにもかかわらず、断面積が小さく、さらに放射能が生成しにくいため、測定が難しく、最近までよい測定値が報告されてこなかった。 $^{93m}\text{Nb}$  の崩壊データについては、高速中性子フルエンスモニタの実用化に利用するため、精度の高い測定値が数多く報告されている。しかしながら中性子断面積については、測定値に基づく評価値が算出されるようになったのは、D. B. Gayther ら<sup>11) 12)</sup> の報告がなされてからである。M. Wagner ら<sup>13)</sup> は、7.9 MeV の測定値を報告している。T. B. Ryves & P. Kolckowski<sup>14)</sup> は、14.3 MeV の測定値を報告している。D. B. Gayther ら<sup>11) 12)</sup> の報告により、原子炉ドシメトリーに重要な 1 ~ 6 MeV のエネルギー範囲の評価値については、精度のよい値を決めることが出来るようになったが、しきい値近傍については、測定値にばらつきが大きく<sup>15)</sup>、再測定の必要があるように思える。

### 2. 2 評価値

$^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の中性子断面積の評価値は、D. B. Gayther ら<sup>11) 12) 15)</sup> および M. Wagner ら<sup>13)</sup>、T. B. Ryves & P. Kolckowski<sup>14)</sup> の測定値から算出されている。表-1 は、J E N D L D o s i m e t r y F i l e に収納されている S A N D - II 型の 640 群に換算された評価値 (図-1) の基

いガンマ線を放出 (158 keV および 374 keV) するが、エネルギー的には測定しやすいものの、試料形状によっては原子番号が大きいため自己吸収が大きくなり、注意深い測定が要求される<sup>9)</sup>。 $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の中性子断面積については、これまで I R D F に収納されているが、最近、精度の高い測定値が公表されているため、J E N D L D o s i m e t r y F i l e のために独自の評価を試みた<sup>6)</sup>。いっぽう $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199m}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、まだどこにもファイル化されておらず、J E N D L D o s i m e t r y F i l e において初めてファイル化されることになる。 $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  および $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199m}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、文献 (1) に簡単な説明とベンチマークの結果のみ記されているので、本報告書に、評価の詳細をまとめる。

## 2. $^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$ 反応の断面積

### 2. 1 測定値

$^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の断面積は、実用的な価値が高いにもかかわらず、断面積が小さく、さらに放射能が生成しにくいいため、測定が難しく、最近までよい測定値が報告されてこなかった。 $^{93m}\text{Nb}$  の崩壊データについては、高速中性子フルエンスモニタの実用化に利用するため、精度の高い測定値が数多く報告されている。しかしながら中性子断面積については、測定値に基づく評価値が算出されるようになったのは、D. B. Gayther ら<sup>11) 12)</sup> の報告がなされてからである。M. Wagner ら<sup>13)</sup> は、7.9 MeV の測定値を報告している。T. B. Ryves & P. Kolckowski<sup>14)</sup> は、14.3 MeV の測定値を報告している。D. B. Gayther ら<sup>11) 12)</sup> の報告により、原子炉ドシメトリーに重要な 1~6 MeV のエネルギー範囲の評価値については、精度のよい値を決めることが出来るようになったが、しきい値近傍については、測定値にばらつきが大きく<sup>15)</sup>、再測定の必要があるように思える。

### 2. 2 評価値

$^{93}\text{Nb} (n, n') ^{93m}\text{Nb}$  反応の中性子断面積の評価値は、D. B. Gayther ら<sup>11) 12) 15)</sup> および M. Wagner ら<sup>13)</sup>、T. B. Ryves & P. Kolckowski<sup>14)</sup> の測定値から算出されている。表-1 は、J E N D L D o s i m e t r y F i l e に収納されている S A N D - II 型の 640 群に換算された評価値 (図-1) の基



の数値である。E. P. Lippincott<sup>16)</sup>は、D. B. Gaytherら<sup>11)</sup>の測定値に基づく評価値を算出しているが、その時、原子炉ドシメトリーにあまり影響しない6 MeV以上のエネルギー領域において、測定値をいっさい無視した決め方をしている。やはりきちんと14 MeVの測定値を考慮すべきである。この反応の<sup>235</sup>U核分裂スペクトル平均断面積の測定値(E)は、 $146 \pm 3.8 \text{ mb}^{17)}$ である。表-1から算出された<sup>235</sup>U核分裂スペクトル平均断面積の計算値(C)は、 $145.5 \text{ mb}$ である。よってこの反応の<sup>235</sup>U核分裂スペクトル平均断面積のC/Eは、平均値が0.99になる。この反応に対するIRDF-85<sup>11)</sup>の<sup>235</sup>U核分裂スペクトル平均断面積のC/Eは、1.07であり、E. P. Lippincott<sup>16)</sup>のそれは、0.90になる。IRDF-85<sup>11)</sup>では、1~3 MeVのエネルギー領域においていくぶん過大評価しているが、E. P. Lippincott<sup>16)</sup>のものは、逆にそれをいくぶん過小評価している。評価値をJENDL Dosimetry Fileに収納後、最近、Ikedaら<sup>17)</sup>は、14.5および14.9 MeVの測定値を報告している。Ikedaら<sup>17)</sup>の測定値は、T. B. Ryves & P. Kolkkowski<sup>11)</sup>のそれより13%も高くなっている。そのため、T. B. Ryves & P. Kolkkowski<sup>11)</sup>の測定値に代えIkedaら<sup>17)</sup>の測定値を利用して再評価値を試みた。表-1には、再評価値も示してある。再評価値は、7.9~20 MeVのエネルギー領域において10%ほど高くなっているが、<sup>235</sup>U核分裂スペクトル平均断面積のC/Eには影響しない。<sup>93</sup>Nb( $\gamma, \gamma'$ )<sup>93m</sup>Nb反応の断面積の<sup>93</sup>Nb( $n, n'$ )<sup>93m</sup>Nb反応の断面積に対する割合は $R_{\gamma, \gamma'} = 0.000015 \pm 0.000001^{19)}$ であり、( $\gamma, \gamma'$ )反応による励起は桁ちがいに小さく、無視できる。

### 2.3 コバリアンス・マトリックス

中性子断面積のバリエーション(コバリアンス・マトリックスの対角要素)については、文献11)~15)および17)の測定誤差から判断して決定した。コバリアンス(コバリアンス・マトリックスの非対角要素)については、公表されている情報から厳密に評価することができないので推定値を与えた。表-1には、評価値に対する推定誤差を示した。コバリアンス・マトリックスの非対角要素は、全領域で0.0036と仮定した。

### 3. $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応の中性子断面積

#### 3. 1 測定値

$^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の中性子断面積の測定例は、1982年まで数少なく、しきい値 (0.5 MeV) から 20 MeV までのエネルギー領域において、実用的な断面積を決めることは不可能であった。C. P. Swann & F. R. Metzger<sup>20)</sup> は、0.5 ~ 2.2 MeV のエネルギー領域の断面積を報告している。P. Bornemisza<sup>21)</sup> は、2.8 MeV の断面積を報告している。J. K. Temperley<sup>22)</sup> および A. K. Hankla<sup>23)</sup> は、14.4 MeV の断面積を報告している。K. Sakurai<sup>24)</sup> は、原子炉ドシメトリーに利用できる実用的な断面積を決定するために、原研の 5.5 MV バンデグラフ加速器を用いて、0.78 ~ 6.3 MeV のエネルギー領域の断面積を測定している。その実験において、2 MeV 以下の単色中性子は、 $^7\text{Li} (p, n) ^7\text{Be}$  反応により、2 MeV 以上のそれは、 $\text{D} (d, n) ^3\text{He}$  反応により発生させている。中性子エネルギーについては、入射エネルギーを変えることにより、さらにターゲットの水平面内の角度分布を変える ( $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$ ) ことにより、変化させている。試料に入射した中性子束は、 $^{115}\text{In} (n, n') ^{115\text{m}}\text{In}$  反応および陽子反跳検出器を利用して決められている。表-2は、K. Sakurai<sup>24)</sup> の測定値である。これにより C. P. Swann & F. R. Metzger<sup>20)</sup> および P. Bornemisza<sup>21)</sup> の測定値は、著しく過小評価値みであることがわかった。K. Sakurai<sup>24)</sup> は、原子炉ドシメトリーに利用しやすいように、A. K. Hankla<sup>23)</sup> の 14.4 MeV の測定値と組合せ、パソコンを利用した最適フィッティングにより、つぎのような有理関数による表示式を報告している<sup>25)</sup>。

$$\sigma (E) = 0.082 - [0.67 / \{1 + (E/2.32)^{2.66}\}] + [0.588 / \{1 + (E/11.44)^{1.0}\}] \cdots (1)$$

ここで、E (MeV)、 $\sigma$  (barn)

#### 3. 2 評価値

$^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の中性子断面積の評価値は、すべて (1) 式から算出されている。表-3は、JENDL Dosimetry File に収納されている SAND-II 型の 640 群に換算された評価値 (図-2) の基の数値である。この反応の  $^{235}\text{U}$  核分裂スペクトル平均断面積の測定値 (E) は、 $278 \pm 23 \text{ mb}^{26)}$  である。表-

3から算出された $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の計算値(C)は、238 mbである。よってこの反応の $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/Eは、平均値が0.86になる。ロシアのE. I. Grigor'evら<sup>27)</sup>は、(1)式から評価値を算出しているものの、彼らの測定した $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積(224 mb)にその計算値が一致するように、0.5~2.2 MeVまでの断面積のみ意識的に(1)式の代わりにSwann & Metzger<sup>20)</sup>の低いものに置き換えている。W. Mannhartは、NBSスペクトル平均断面積の測定値として $295 \pm 8 \text{ mb}$ <sup>28)</sup>を発表している。このことからE. I. Grigor'evらの判断が適切であるとは思えない。W. Mannhart<sup>28)</sup>は、(1)式に対してさえいくぶん過小評価になっており、その原因は断面積測定に利用した試料のガンマ線自己吸収の補正が甘いためであると推定している。以上のことを総合的に判断すれば、(1)式を基にした評価値は、いくぶん過小評価になっていることがわかる。 $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応による影響は、桁外れに小さいため無視できる<sup>19)</sup>。

### 3. 3 コバリアンス・マトリックス

中性子断面積のバリエーションについては、文献(24)の測定誤差と先に記した $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/Eから判断して決定した。コバリアンスについては、公表されている情報から厳密に評価することができないので推定値を与えた。

## 4. 結 論

$^{93}\text{Nb}(n, n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応の中性子断面積については、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/E=0.99から判断する限り、ほぼ満足できる精度になっている。そのためこの反応を利用して照射専用炉や軽水炉などで高速中性子フルエンスを測定する場合には、実用するに当たって支障を生じる要因はなくなった。しかしながら核融合炉の高速中性子フルエンスを測定する場合には、評価値を決定するに当たり7.9 MeVと14.3 MeVの測定値をなめらかなカーブで内外挿しているため、測定値の存在しない $7.8 < E_n < 14.3 \text{ MeV}$ および $14.3 < E_n < 20 \text{ MeV}$ のエネルギー領域において、不確定を生じる原因になっている。そのため、今後、このエネルギー領域においても精度の高い測定が実現されることを期待したい。しきい値近傍の測定値には、ばらつきが大きいいため、より精度の高い再測定が必要なようにも思える。再評価値は、7.9~20 MeVのエネルギー領域において10%ほど高くなっている。

3から算出された $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の計算値(C)は、238 mbである。よってこの反応の $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/Eは、平均値が0.86になる。ロシアのE. I. Grigor'evら<sup>27)</sup>は、(1)式から評価値を算出しているものの、彼らの測定した $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積(224 mb)にその計算値が一致するように、0.5~2.2 MeVまでの断面積のみ意識的に(1)式の代わりにSwann & Metzger<sup>20)</sup>の低いものに置き換えている。W. Mannhartは、NBSスペクトル平均断面積の測定値として $295 \pm 8 \text{ mb}$ <sup>28)</sup>を発表している。このことからE. I. Grigor'evらの判断が適切であるとは思えない。W. Mannhart<sup>28)</sup>は、(1)式に対してさえいくぶん過小評価になっており、その原因は断面積測定に利用した試料のガンマ線自己吸収の補正が甘いためであると推定している。以上のことを総合的に判断すれば、(1)式を基にした評価値は、いくぶん過小評価になっていることがわかる。 $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応による影響は、桁外れに小さいため無視できる<sup>19)</sup>。

### 3. 3 コバリアンス・マトリックス

中性子断面積のバリアンスについては、文献24)の測定誤差と先に記した $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/Eから判断して決定した。コバリアンスについては、公表されている情報から厳密に評価することができないので推定値を与えた。

## 4. 結 論

$^{93}\text{Nb}(n, n')$   $^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応の中性子断面積については、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積のC/E=0.99から判断する限り、ほぼ満足できる精度になっている。そのためこの反応を利用して照射専用炉や軽水炉などで高速中性子フルエンスを測定する場合には、実用するに当たって支障を生じる要因はなくなった。しかしながら核融合炉の高速中性子フルエンスを測定する場合には、評価値を決定するに当たり7.9 MeVと14.3 MeVの測定値をなめらかなカーブで内外挿しているため、測定値の存在しない $7.8 < E_n < 14.3 \text{ MeV}$ および $14.3 < E_n < 20 \text{ MeV}$ のエネルギー領域において、不確定を生じる原因になっている。そのため、今後、このエネルギー領域においても精度の高い測定が実現されることを期待したい。しきい値近傍の測定値には、ばらつきが大きいため、より精度の高い再測定が必要なようにも思える。再評価値は、7.9~20 MeVのエネルギー領域において10%ほど高くなっている。

$^{199}\text{Hg} (n, n')$   $^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の  $C/E=0.86$  から判断する限り、必ずしも満足できる精度にはなっていない。しかしながら他の反応のそれに比べ特に精度が悪いわけではなく、実用化のための決定的なマイナス要因にはなっていないように思える。将来、評価値の精度をより高めるためには、まだ測定値の存在していない  $0.5 < E_n < 0.78 \text{ MeV}$  および  $6.3 < E_n < 14.4 \text{ MeV}$ 、 $14.4 \text{ MeV} < E_n < 20 \text{ MeV}$  のエネルギー領域においても、精度の高い測定値が必要になってくる。今回の評価値の算出に当たっては、これらのエネルギー領域においては測定値をなめらかなカーブで内外挿している。この反応の中性子断面積については、これまで測定例が少なく、むしろこれから精度を高める努力を払っていかねなければならないもののひとつである。今回の評価値の算出は、この反応を利用したしきい検出器としての実用化を図る最初の試みとして重要な位置を占めるものと思う。

## 謝 辞

この評価作業中、シグマ研究委員会ドシメトリー積分テストワーキンググループメンバーには、ディスカッションで大変お世話になった。原研原子炉工学部核データセンターの中川庸雄氏には、原稿の査読をしていただいた。ここに記し感謝の言葉としたい。

## 文 献

- 1) M. Nakazawa, et al. : JENDL Dosimetry File, JAERI 1325 (1992).
- 2) K. Shibata, et. al. : Japanese Evaluated Nuclear Data Library version-3, JAERI 1319 (1990).
- 3) M. Kawai : J. Nucl. Sci. Technol., 29, 195 (1992).
- 4) D. E. Cullen, N. Kocherov and P. M. McLaughlin : The International Reactor Dosimetry File (IRDF-82), IAEA-NDS-41/R, rev. 0 (1982). IRDF-85 and -90 are modified version with additional cross section data.

$^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の  $C/E = 0.86$  から判断する限り、必ずしも満足できる精度にはなっていない。しかしながら他の反応のそれに比べ特に精度が悪いわけではなく、実用化のための決定的なマイナス要因にはなっていないように思える。将来、評価値の精度をより高めるためには、まだ測定値の存在していない  $0.5 < E_n < 0.78 \text{ MeV}$  および  $6.3 < E_n < 14.4 \text{ MeV}$ 、 $14.4 \text{ MeV} < E_n < 20 \text{ MeV}$  のエネルギー領域においても、精度の高い測定値が必要になってくる。今回の評価値の算出に当たっては、これらのエネルギー領域においては測定値をなめらかなカーブで内外挿している。この反応の中性子断面積については、これまで測定例が少なく、むしろこれから精度を高める努力を払っていかなければならないもののひとつである。今回の評価値の算出は、この反応を利用したしきい検出器としての実用化を図る最初の試みとして重要な位置を占めるものと思う。

## 謝 辞

この評価作業中、シグマ研究委員会ドシメトリー積分テストワーキンググループメンバーには、ディスカッションで大変お世話になった。原研原子炉工学部核データセンターの中川庸雄氏には、原稿の査読をしていただいた。ここに記し感謝の言葉としたい。

## 文 献

- 1) M. Nakazawa, et al. : JENDL Dosimetry File, JAERI 1325 (1992).
- 2) K. Shibata, et. al. : Japanese Evaluated Nuclear Data Library version-3, JAERI 1319 (1990).
- 3) M. Kawai: J. Nucl. Sci. Technol., 29, 195 (1992).
- 4) D. E. Cullen, N. Kocherov and P. M. McLaughlin: The International Reactor Dosimetry File (IRDF-82), IAEA-NDS-41/R, rev. 0 (1982). IRDF-85 and -90 are modified version with additional cross section data.

$^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の中性子断面積については、 $^{235}\text{U}$ 核分裂スペクトル平均断面積の  $C/E=0.86$  から判断する限り、必ずしも満足できる精度にはなっていない。しかしながら他の反応のそれに比べ特に精度が悪いわけではなく、実用化のための決定的なマイナス要因にはなっていないように思える。将来、評価値の精度をより高めるためには、まだ測定値の存在していない  $0.5 < E_n < 0.78 \text{ MeV}$  および  $6.3 < E_n < 14.4 \text{ MeV}$ 、 $14.4 \text{ MeV} < E_n < 20 \text{ MeV}$  のエネルギー領域においても、精度の高い測定値が必要になってくる。今回の評価値の算出に当たっては、これらのエネルギー領域においては測定値をなめらかなカーブで内外挿している。この反応の中性子断面積については、これまで測定例が少なく、むしろこれから精度を高める努力を払っていかねなければならないもののひとつである。今回の評価値の算出は、この反応を利用したしきい検出器としての実用化を図る最初の試みとして重要な位置を占めるものと思う。

## 謝 辞

この評価作業中、シグマ研究委員会ドシメトリー積分テストワーキンググループメンバーには、ディスカッションで大変お世話になった。原研原子炉工学部核データセンターの中川庸雄氏には、原稿の査読をしていただいた。ここに記し感謝の言葉としたい。

## 文 献

- 1) M. Nakazawa, et al. : JENDL Dosimetry File, JAERI 1325 (1992).
- 2) K. Shibata, et. al. : Japanese Evaluated Nuclear Data Library version-3, JAERI 1319 (1990).
- 3) M. Kawai : J. Nucl. Sci. Technol., 29, 195 (1992).
- 4) D. E. Cullen, N. Kocherov and P. M. McLaughlin : The International Reactor Dosimetry File (IRDF-82), IAEA-NDS-41/R, rev. 0 (1982). IRDF-85 and -90 are modified version with additional cross section data.

- 5) A. B. Smith: Evaluated Neutronic File for Indium, ANL/NDM-115 (1990).
- 6) 桜井、中沢: JENDLドシメトリファイル用 $^{93}\text{Nb}$  ( $n, n'$ )  $^{93\text{m}}\text{Nb}$ および $^{199}\text{Hg}$  ( $n, n'$ )  $^{199\text{m}}\text{Hg}$ 反応の中性子断面積、口頭発表C8、1988年秋の大会(神商大)、日本原子力学会。
- 7) N. Yamamuro, S. Iijima and T. Asami: Activation Cross Section Data File (II), JAERI-M91-006 (1991).
- 8) BNL/National Nuclear Data Center: ENDF/B-VI (1990).
- 9) K. Sakurai: Experimental Study on Neutron Dosimeters with Low Threshold Energies, JAERI 1286 (1983).
- 10) 池田裕二郎: 私信 (1994).
- 11) D. B. Gayther et al.: Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Basic and Applied Science, Santa Fe 1985, Vol. 1, 521, Gordon and Breach Science Publishers (1986).
- 12) D. B. Gayther et al.: Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Mito 1988, Vol. 1057, Saikon Publishing Company Limited (1989).
- 13) M. Wagner et al.: Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Mito 1988, Vol. 1049, Saikon Publishing Company Limited (1989).
- 14) T. B. Ryves and P. Kolkkowski: Nucl. Rev., 7, 529 (1981)
- 15) D. B. Gayther et al.: AERE-R 12612, UKAEA (1987).
- 16) E. P. Lippincott: Private communication (1987)
- 17) J. W. Williams et al.: Proc. Sixth ASTM/Euratom Symposium on Reactor Dosimetry, Jackson hole (1987).



- 18) Y. Ikeda et al. : J. Nucl. Sci. Technol., 30, 10, 967 (1993).
- 19) J. Sáfár and L. Lakosi: Nucl. Sci. Eng., 115, 297 (1993).
- 20) C. P. Swann and F. R. Metzger: Phys. Rev., 100, 1329 (1955).
- 21) P. Bornemisza, J. Karolyi and G. Petö: ATOMKI (At. Kut. Intez.) Koezl., 10, 112 (1968).
- 22) J. K. Temperley: Phys. Rev., 178, 1904 (1969).
- 23) A. K. Hankla, R. W. Fink and J. H. Hamilton: Nucl. Phys., 180, 157 (1972).
- 24) K. Sakurai et al. : J. Nucl. Sci. Technol., 19 (10), 775 (1982).
- 25) W. G. Cross and H. Ing: Nucl. Sci. Eng., 58, 377 (1975).
- 26) K. Kobayashi, et al. : INDC (JAP) -47/V (1979).
- 27) E. I. Grigor'ev et al. : INDC (CCP) -281/L (1988).
- 28) W. Mannhart: Reactor Dosimetry (J. P. Genthon and H. Röttger eds.), Proc. Fifth ASTM/Euratom Symp. on Reactor Dosimetry, 801 (1985).

表-1  $^{93}\text{Nb} (n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$  反応の評価済み中性子断面積

中性子エネルギー E <sub>n</sub> (MeV)	断面積 $\sigma$ (mb)	断面積 (再) $\sigma$ (mb)	誤差 (%)
0.10	0.0	0.0	50.0
0.25	3.5	3.5	50.0
0.50	15.0	15.0	50.0
0.75	36.0	36.0	30.0
1.00	68.0	68.0	30.0
1.25	102.0	102.0	10.0
1.25	140.0	140.0	7.0
1.75	167.0	167.0	7.0
2.00	191.0	191.0	7.0
2.25	212.0	212.0	7.0
2.50	230.0	230.0	7.0
2.75	245.0	245.0	7.0
3.00	255.0	255.0	7.0
3.25	265.0	265.0	7.0
3.50	270.0	270.0	7.0
3.75	280.0	280.0	7.0
4.00	280.0	280.0	10.0
4.25	280.0	280.0	10.0
4.50	280.0	280.0	10.0
4.75	280.0	280.0	10.0
5.00	278.0	278.0	10.0
5.25	270.0	270.0	7.0
5.50	269.0	269.0	7.0
5.75	265.0	265.0	7.0
6.00	260.0	260.0	7.0
6.25	252.0	252.0	10.0
6.50	250.0	250.0	10.0
6.75	245.0	245.0	10.0
7.00	240.0	240.0	10.0
7.25	235.0	235.0	10.0

中性子エネルギー En (MeV)	断面積 $\sigma$ (mb)	断面積 (再) $\sigma$ (mb)	誤差 (%)
7.50	230.0	230.0	10.0
7.75	228.0	228.0	10.0
8.00	225.0	225.0	10.0
8.25	218.0	218.0	10.0
8.50	217.0	217.0	30.0
8.75	215.0	215.0	30.0
9.00	205.0	205.0	30.0
9.25	190.0	190.0	30.0
9.50	180.0	180.0	30.0
9.75	170.0	170.0	30.0
10.00	150.0	150.0	30.0
10.25	140.0	140.0	30.0
10.50	130.0	130.0	30.0
10.75	110.0	110.0	30.0
11.00	100.0	100.0	30.0
11.25	80.0	94.0	30.0
11.50	75.0	85.0	30.0
11.75	64.0	78.0	30.0
12.00	60.0	70.0	30.0
12.35	56.0	66.0	30.0
12.50	52.0	60.0	30.0
12.75	47.0	58.0	30.0
13.00	46.0	54.0	30.0
13.25	45.0	52.0	20.0
13.50	40.0	48.0	20.0
13.75	38.0	47.0	20.0
14.00	37.0	46.0	10.0
14.25	36.0	45.0	10.0
14.50	35.0	44.0	10.0
14.75	33.0	43.0	10.0
15.00	32.0	38.0	10.0
15.25	31.0	36.0	20.0
15.50	30.0	34.0	20.0

中性子エネルギー E <sub>n</sub> (MeV)	断面積 $\sigma$ (mb)	断面積 (再) $\sigma$ (mb)	誤差 (%)
15.75	29.0	33.0	30.0
16.00	28.0	32.0	50.0
16.25	27.0	30.0	50.0
16.50	26.0	29.0	50.0
16.75	25.5	28.0	50.0
17.00	25.0	27.0	50.0
17.25	24.5	26.0	50.0
17.50	24.0	25.0	50.0
17.75	23.0	25.0	50.0
18.00	22.0	24.0	50.0
18.25	21.8	24.0	50.0
18.50	21.0	23.0	50.0
18.75	20.0	22.0	50.0
19.00	19.8	22.0	50.0
19.25	19.5	21.7	50.0
19.50	19.0	21.5	50.0
19.75	19.0	21.2	50.0
20.00	18.0	21.0	

表-2 K. Sakuraiら<sup>24)</sup>により測定された<sup>199</sup>Hg(n, n')  
<sup>199</sup>Hg反応の中性子断面積

中性子エネルギー (MeV)	利用した核反応	中性子断面積 (mb)			
		インジウムモニターで中性子束を決めた場合 (注)		陽子反跳検出器で中性子束を決めた場合	
		<sup>199</sup> Hgの 158keV	<sup>199</sup> Hgの 374keV	<sup>199</sup> Hgの 158keV	<sup>199</sup> Hgの 374keV
0.784±0.031	Li (p, n) θ=0°	33.8±3.7	31.0±3.6	59.9±4.2	52.9±4.2
0.994±0.039	Li (p, n) θ=0°	-	-	77.7±4.9	73.0±5.2
1.20 ±0.040 0.147	Li (p, n) θ=0°	96.3±10.6	90.9±10.0	105 ±6	99.6±5.6
1.79 ± 0.097	D (d, n) θ=150°	201 ±26	206 ±31	-	-
1.82 ±0.050 0.295	Li (p, n) θ=0°	242 ±27	225 ±24	270 ±14	250 ±14
2.27 ± 0.231 0.410	D (d, n) θ=120°	327 ±51	-	-	-
3.07 ± 0.361 0.360	D (d, n) θ=90°	413 ±61	489 ±52	-	-
3.25 ± 0.324	D (d, n) θ=90°	412 ±53	403 ±66	-	-
4.92 ±0.095	D (d, n) θ=0°	650 ±72	600 ±70	662 ±36	611 ±39
6.27 ±0.065	D (d, n) θ=0°	653 ±72	686 ±80	-	-

(注) <sup>115</sup>In (n, n') <sup>115m</sup>In

表-3  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の評価済み中性子断面積

中性子エネルギー E n (MeV)	断面積 $\sigma$ (mb)	誤差 (%)
0.50	11.0	50.0
0.75	31.5	30.0
1.00	64.0	14.0
1.25	101.0	14.0
1.50	160.0	14.0
1.75	230.0	14.0
2.00	280.0	14.0
2.25	330.0	16.0
2.50	365.0	16.0
2.75	415.0	16.0
3.00	450.0	16.0
3.25	485.0	16.0
3.50	500.0	14.0
3.75	530.0	14.0
4.00	550.0	14.0
4.25	570.0	14.0
4.50	580.0	14.0
4.75	590.0	14.0
5.00	600.0	14.0
5.25	602.0	14.0
5.50	610.0	14.0
5.75	620.0	14.0
6.00	621.0	14.0
6.25	630.0	14.0
6.50	640.0	14.0
6.75	640.0	14.0
7.00	640.0	30.0
7.25	640.0	30.0
7.50	640.0	30.0
7.75	640.0	30.0

中性子エネルギー E <sub>n</sub> (MeV)	断面積 σ (mb)	誤差 (%)
8.00	640.0	30.0
8.25	625.0	30.0
8.50	622.0	30.0
8.75	620.0	30.0
9.00	610.0	30.0
9.25	590.0	30.0
9.50	580.0	30.0
9.75	560.0	30.0
10.00	530.0	30.0
10.25	510.0	30.0
10.50	500.0	30.0
10.75	470.0	30.0
11.00	450.0	30.0
11.25	410.0	30.0
11.50	380.0	30.0
11.75	350.0	30.0
12.00	300.0	30.0
12.25	280.0	30.0
12.50	250.0	30.0
12.75	220.0	30.0
13.00	200.0	30.0
13.25	180.0	20.0
13.50	170.0	20.0
13.75	160.0	10.0
14.00	150.0	10.0
14.25	140.0	10.0
14.50	130.0	20.0
14.75	120.0	20.0
15.00	115.0	20.0
15.25	110.0	30.0
15.50	105.0	30.0
15.75	103.0	30.0

中性子エネルギー E <sub>n</sub> (MeV)	断面積 σ (mb)	誤差 (%)
16.00	100.0	30.0
16.25	98.0	30.0
16.50	97.0	50.0
16.75	94.0	50.0
17.00	90.0	50.0
17.25	89.0	50.0
17.50	88.0	50.0
17.75	87.0	50.0
18.00	86.0	50.0
18.25	85.0	50.0
18.50	84.0	50.0
18.75	83.0	50.0
19.00	82.0	50.0
19.25	81.0	50.0
19.50	81.0	50.0
19.75	80.0	50.0
20.00	80.0	



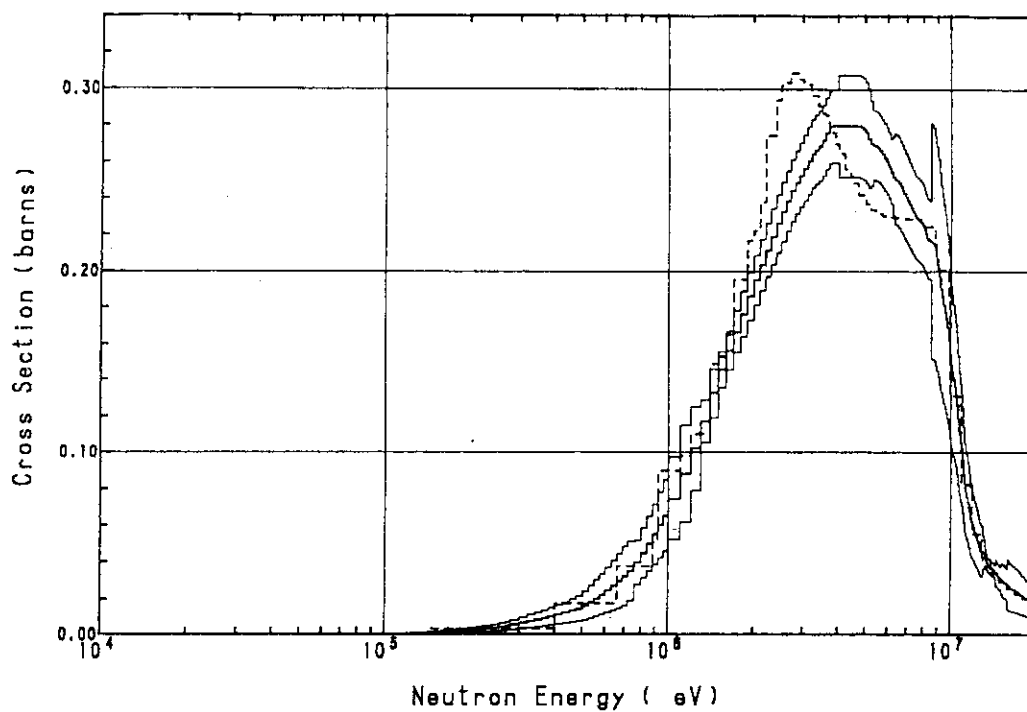


図-1  $^{93}\text{Nb}(n, n')^{93\text{m}}\text{Nb}$  反応の評価済み中性子断面積およびバリエーション<sup>1)</sup> (点線は IRDF-85 の評価値)

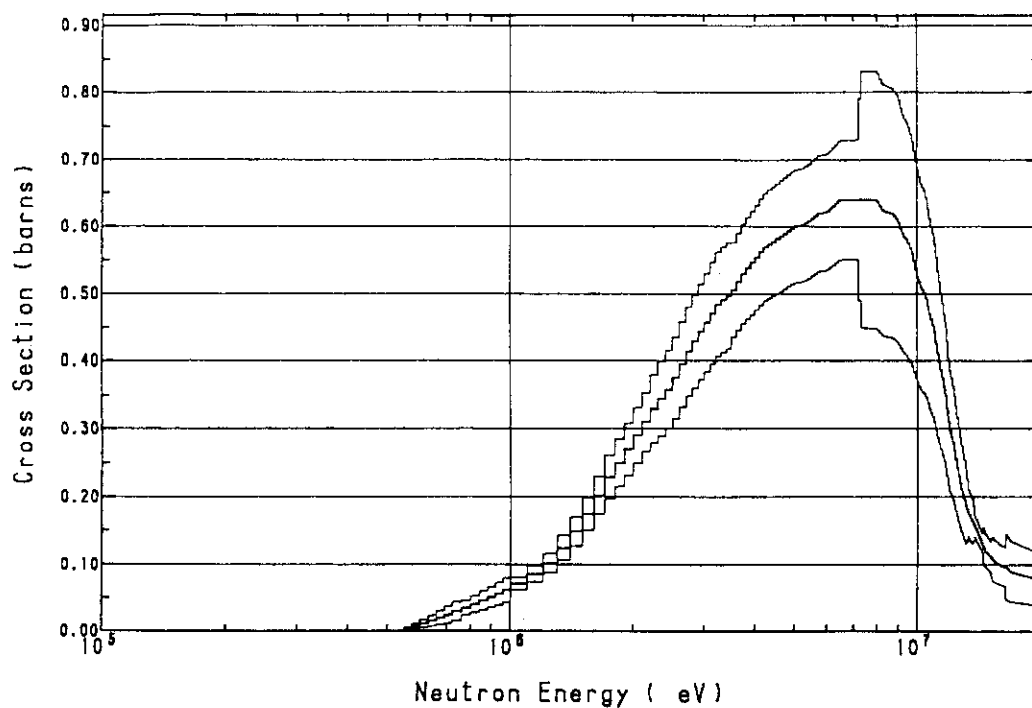


図-2  $^{199}\text{Hg}(n, n')^{199\text{m}}\text{Hg}$  反応の評価済み中性子断面積およびバリエーション<sup>1)</sup>