

## ENDF/B-VIとJENDL-3の 構造材核データの比較

(1992年1月17日受理)

(原子力データセンター) 浅見 哲夫

### 1. はじめに

ここでは構造材として Cr, Fe, Ni を取り上げる。これら構造材の JENDL-3 の核データの現状について 1990年の核融合核データの専門家会議<sup>1)</sup>で報告した際に、一部のデータについて ENDF/B-VI のデータと比較して議論した。本稿では、その際に触れなかった核データに重点を置いて、JENDL-3 の問題点を探る観点から ENDF/B-VI のデータを調べてみる。

初めに、ENDF/B-VI の構造材の核データの特徴を述べておく。ENDF/B-VI ファイル全般については、中島 豊氏<sup>2)</sup>が本誌の No. 37 で解説しており、そこでも構造材の核データに言及しているように、

(1) 上記の構造材核種については、すべて isotope のデータのみが与えられていて natural のデータはない。

(2) 分離共鳴には Reich-Moore の公式を使用している。

(3) スペクトルデータの表現に File 6(MF=6)を使用している。

上記の(1)の理由はよく判らないが、利用者にとっては不便の上もない。今回の比較においても臨時に natural のデータを特別に作成しなければならなかった。

(2)の Reich-Moore 公式の使用は当然であって、ENDF/B-V で使用できなかったのは不可解である。なお、JENDL-3 は Multi-level Breit-Wigner 公式が使用されている。

(3)の File 6 の使用は、二重微分断面積を精度良く表現するには必要な措置である。なお、断面積データの比較はプロット図によるのが手短で分かりやすい。今回の比較のために作成したプロット図は膨大な量になり、それら全てをここに示すことは出来ないのので、以下の議論では、極めて特徴的なもののみを示すにとどめる。

### 2. 共鳴パラメータ

Table 1 に、ENDF/B-VI の分離共鳴の概要を JENDL-3 のそれと比較して示した。

これから判るように、Cr, Fe の各 isotope では共鳴領域が大幅に拡張され、収納した分離共鳴の数も JENDL-3 に比較して飛躍的に増大している。これらから算出される共鳴断面積の精度がどのくらい向上しているかはそう簡単には判らないが、RESEND 等による計算にはもうれつに時間がかかるようになった。natural のデータが与えられてないこととともに、一般の利用者にとって使いにくくなったことは確かである。

何れ、これらパラメータの比較をやってみたいと思っているが、相当大変な作業になるであろう。ここでは、次節以下でパラメータから算出した断面積で比較して議論する。一

部の図では平均断面積で比較している。

### 3. 中性子散乱・捕獲断面積

Cr、Fe、Ni の各核種毎に、ENDF/B-VI と JENDL-3 との相違点を述べる。

Cr : Fig. 1 に Cr-nat の全断面積の ENDF/B-VI と JENDL-3 とを実験値と比較して示した。10 eV ~ 3 keV でかなりの差異が見られるが、これは弾性散乱断面積における差異に起因する。Fig. 2 に isotope 毎の弾性散乱断面積の比較を示した。非弾性散乱断面積では、Cr-nat の ENDF/B-VI データが JENDL-3 のそれよりも全エネルギー領域で 10数 % 高目である。isotope 毎に見ると、 $^{50}\text{Cr}$  のみが JENDL-3 より低く目であって、他の 3 isotope では Cr-nat と同じく高目の傾向にある。

Cr-nat の中性子捕獲断面積は両ファイル間で大きな差異は無い。isotope 毎に見ても殆ど差異は無い。

Fe : Fe-nat の弾性散乱断面積については、両ファイル間で大きな差異は無い、Fig. 3 に示したように isotope 毎に見るとかなりの違いが認められる。紙面の都合上、個々の差異の原因について言及するのを避けるが、殆どが共鳴パラメーターの選択の差にあるようである。

Fig. 4 に Fe-nat の 1 keV 以上の中性子捕獲断面積の比較を示したが、1 MeV 以上でかなりの差異が見られる。isotope 毎にみてもほぼ同じ傾向である。

非弾性散乱断面積では、両ファイルのデータ間には殆ど差異が無い。isotope 毎に見ても傾向は同じだが、ただ、 $^{54}\text{Fe}$  だけに若干の違いが見られる。

Ni : 弾性散乱断面積では、両ファイルのデータ間には殆ど差異が無い。Fig. 5 に Ni-nat の 1 keV 以上の中性子捕獲断面積の比較を示したが、この領域で若干の差異が見られる。isotope 毎に見たのが Fig. 6 である。この図から 1 keV ~ 10 keV での差異は  $^{62}\text{Ni}$  のデータに起因しているように見える。

Fig. 7 に Ni isotope 毎の非弾性散乱の全断面積の比較を示したが、全核種について ENDF/B-VI の方が JENDL-3 に対して高目である。

### 4. しきい反応断面積

(n, np) および (n, n $\alpha$ ) 反応断面積データは、極く少数の実験データがある部分を除いて、両評価値にはかなりの差異がある。核種によっては 100 % 以上の差があるものもある。しかしながら、判定できる実験データ等の資料がないので議論しないことにし、ここでは主要反応である (n, 2n)、(n, p)、(n,  $\alpha$ ) 反応断面積について議論する。

Cr : Fig. 8 に Cr-nat および  $^{52}\text{Cr}$  の (n, 2n) 反応断面積の両評価データを実験値と比較して示した。中性子エネルギー 15 MeV 以上で両評価データ間に 20 % 以上の差異

が見られる。isotope 毎に比較したのが Fig. 9 である。JENDL-3 の評価では Cr-nat と  $^{52}\text{Cr}$  の (n, 2n) の実験データに consistent になるように考慮されているが、ENDF/B-VI の評価は最近の実験データに基づいているようである。後者のデータを入手してないのでここでは議論できないが、今後、検討する必要がある。

(n, p)、(n,  $\alpha$ ) 反応断面積は、全ての isotope でかなりの差異が見られる。特に、(n,  $\alpha$ ) 反応断面積では Fig. 10 で判るようにその差異が相当大きい。両ファイルのデータともに理論計算から求めているので、計算方法や使用したパラメータを比較・検討してみる必要がある。

Fe : Fig. 11 に Fe isotope 毎の (n, 2n) 反応断面積の両評価データの比較を示したが、実験データの無い 14 MeV 以上ではかなりの差異が見られる。

Fe-nat の (n, p) 反応断面積は両ファイルのデータに殆ど差が無い。それは、主要 isotope  $^{56}\text{Fe}$  の (n, p) 断面積に実験データが沢山あって、データ評価に大きな差異が無いためであって、他の isotope の (n, p) 断面積には有意の差がある。

(n,  $\alpha$ ) 反応断面積では、Fe-nat のデータで比較しても相当の差異が見られる。Fe の isotope 毎の (n,  $\alpha$ ) 断面積の比較を Fig. 12 に示したが、両ファイルのデータ間の違いは大きい。評価方法を比較・検討してみる必要がありそうである。

Ni : Ni-nat の (n, 2n) 反応断面積は、14 MeV 以上で約 10 % 程度の差異があるものの、両ファイルのデータに大きな差は無い。Fig. 13 から判るように、それは主要 isotope の  $^{58}\text{Ni}$ 、 $^{60}\text{Ni}$  の断面積が合っていることによるもので、他の isotope の (n, 2n) 断面積にはかなりの差異がある。

Ni-nat の (n, p) 反応断面積の両ファイルのデータには、殆ど差異が見られないが、Fig. 14 に示したように isotope 毎では  $^{58}\text{Ni}$  を除きかなりの差異がある。

(n,  $\alpha$ ) 反応断面積では、両ファイルのデータの違いは更に大きい。Ni-nat で見ても 20 % 以上の差がある。Fig. 15 に isotope 毎の (n,  $\alpha$ ) 断面積を示したが、両ファイルのデータにかなりの違いがあり、ENDF/B-VI のデータがかなり高目であることが判る。

## 5. 二重微分断面積

先に述べた核融合核データ専門家会議で Cr、Fe、Ni の二重微分断面積（以下、DDX と呼ぶ）の JENDL-3 と実験値との比較を行った。<sup>11</sup> ここではそれと若干重複するが ENDF/B-VI と JENDL-3 の評価値の相互比較について述べる。作成したプロット図は相当な量になるので、細かい部分まで立ち入って比較するのは簡単でない。ここでは極く概略的な傾向についてのみ触れることにする。

なお、実験データは各構造材核種とも natural について測定されているので、評価値との比較は natural データについて行った。しかし、ENDF/B-VI の場合は、isotope の

File 6 のデータから natural のデータを合成するコードが無いために、各構造材の主要 isotope について行わざるをえなかった。

C r : ENDF/B-VI の Cr-nat として  $^{52}\text{Cr}$  のデータを使用した。細部を別にすれば、おおよその傾向を掴むことは出来る。14 MeV 中性子の入射の場合の DDX を比較したが、ENDF/B-VI の  $^{52}\text{Cr}$  のデータは全部の角度で実験データを比較的良く再現出来ていた。一方、JENDL-3 の Cr-nat のデータは前方を除いて実験データとのずれがある。この改善のためには ENDF/B-VI の場合のように File 6 の format を使用してファイル化する必要があると思われる。

F e : ENDF/B-VI のデータとして  $^{56}\text{Fe}$  のデータを使用して、14 MeV および 18 MeV の中性子入射の DDX を比較したが、JENDL-3 も ENDF/B-VI のデータとも実験データと比較的良く合っていた。JENDL-3 のデータは前方でやや実験値とのずれを示していたが、ENDF/B-VI のデータは前方、後方ともに良い一致を示した。これも File 6 による構成のためと思われる。

N i : ENDF/B-VI のデータとして  $^{60}\text{Ni}$  のものを使用して、入射中性子エネルギー 14.1 MeV と 18.0 MeV とで比較を行った。両ファイルのデータとも全領域の角度で実験値を比較的良く再現していたが、どちらかと言えば、ENDF/B-VI のデータの方が実験値と良く合っている。

## 6. ガンマ線生成核データ

データ全般の比較を試みたが一部分の比較しか出来なかった。その理由の1つは、ガンマ線生成核データについての両ファイルの構成の違いにある。つまり、JENDL-3 では分離共鳴領域内は中性子捕獲ガンマ線の multiplicity とガンマ線スペクトルを評価し、それ以上の高エネルギー領域は non-elastic 反応に基づくガンマ線生成断面積およびガンマ線スペクトルを評価してある。一方、ENDF/B-VI では中性子エネルギーの全領域で中性子捕獲ガンマ線の multiplicity とガンマ線スペクトルを評価し、非弾性散乱に伴うガンマ線については decay のガンマ線毎に transition probability を評価している。

この transition probability を処理してガンマ線生成断面積を計算できるコードが無いために、ガンマ線生成断面積として比較することが出来なかった。従って中性子捕獲からのガンマ線の multiplicity のみの比較を行った。Fig. 16 に、Cr、Fe、Ni の multiplicity の JENDL-3 と ENDF/B-IV および ENDF/B-VI の評価値の比較を示した。それぞれ約 10 % 以上の差異があることが判る。これらの核種の低エネルギー中性子捕獲断面積にはそれ程の差異は無いから、この multiplicity の差異が低エネルギー中性子に伴うガンマ線の生成断面積の差となる。

熱エネルギーでの捕獲ガンマ線スペクトルの比較を行ったが、ENDF/B-VI と JENDL-3 と

では大きい差異は無かった。なお、比較に使用した ENDF/B-VI のデータには isotope のデータから合成したものを用了。

## 7. おわりに

主要構造材である Cr、Fe、Ni について、ENDF/B-VI と JENDL-3 のデータとの比較を行った。重要な核種にもかかわらず、両ファイルにおけるこれら核種のデータ間には全般的にかなりの差があることが判った。それぞれの差異の原因については、ここでは紙面の都合上、殆ど触れることができなかったが、評価方法の詳細に立ち入った綿密な比較・検討が必要である。

また、今回、十分な比較が出来なかった DDX データおよびガンマ線生成核データ、比較から除外した弾性散乱の角分布、非弾性散乱の部分断面積およびそれらの角分布等についても両ファイルのデータについても比較・検討してみたいと思っている。

## 参考文献

- 1) Iijima, S. and Asami, T.: JAERI-M 91-062 (1991) P. 49.
- 2) 中島 豊: 核データニュース、No. 37 (1990) p. 42.

Table 1 ENDF/B-VIの共鳴パラメータ

(括弧内の数字はJENDL-3のデータ)

	共鳴領域 の上 限	分離共鳴の数			分離共鳴 の総数
		l=0	l=1	l=2	
<sup>50</sup> Cr	792 keV (300 keV)	65 (18)	203 (61)	118 (5)	386 (84)
<sup>52</sup> Cr	980 keV (300 keV)	34 (15)	137 (71)	52 (3)	223 (89)
<sup>53</sup> Cr	200 keV (120 keV)	43 (29)	88 (34)	0 (0)	131 (63)
<sup>54</sup> Cr	900 keV (300 keV)	21 (17)	46 (13)	49 (0)	116 (84)
<sup>54</sup> Fe	700 keV (250 keV)	66 (23)	167 (45)	147 (0)	380 (68)
<sup>56</sup> Fe	850 keV (250 keV)	40 (15)	140 (72)	130 (39)	310 (126)
<sup>57</sup> Fe	200 keV (200 keV)	26 (21)	47 (29)	22 (0)	95 (50)
<sup>58</sup> Fe	400 keV (350 keV)	16 (15)	44 (50)	8 (0)	68 (65)
<sup>58</sup> Ni	812 keV (420 keV)	67 (43)	236 (118)	179 (0)	482 (161)
<sup>60</sup> Ni	450 keV (456 keV)	40 (45)	199 (201)	33 (32)	272 (278)
<sup>61</sup> Ni	70 keV (57 keV)	32 (32)	0 (25)	0 (0)	32 (84)
<sup>62</sup> Ni	600 keV (557 keV)	30 (33)	27 (49)	0 (0)	57 (82)
<sup>64</sup> Ni	600 keV (553 keV)	28 (26)	24 (37)	0 (0)	52 (63)

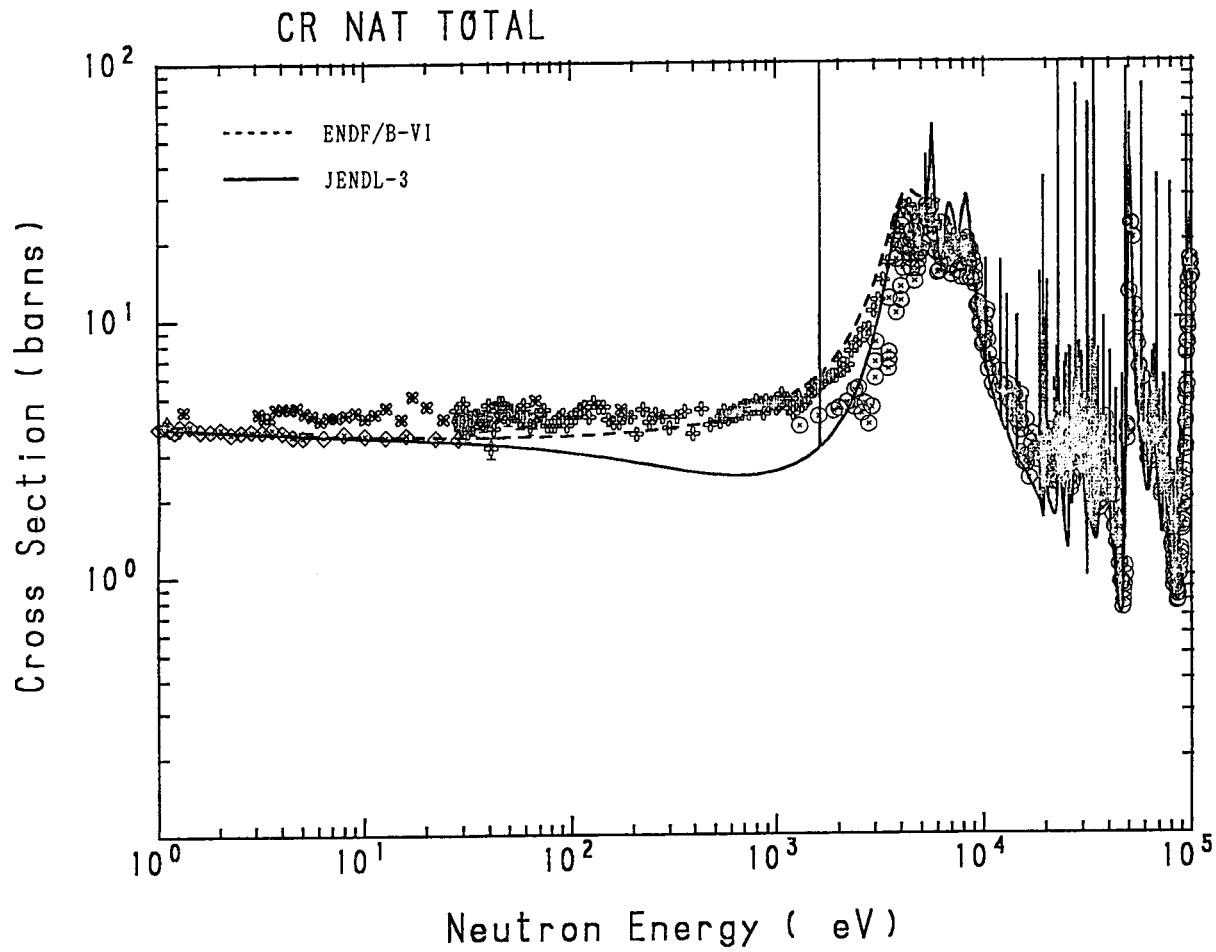


Fig. 1 Cr-nat の全断面積

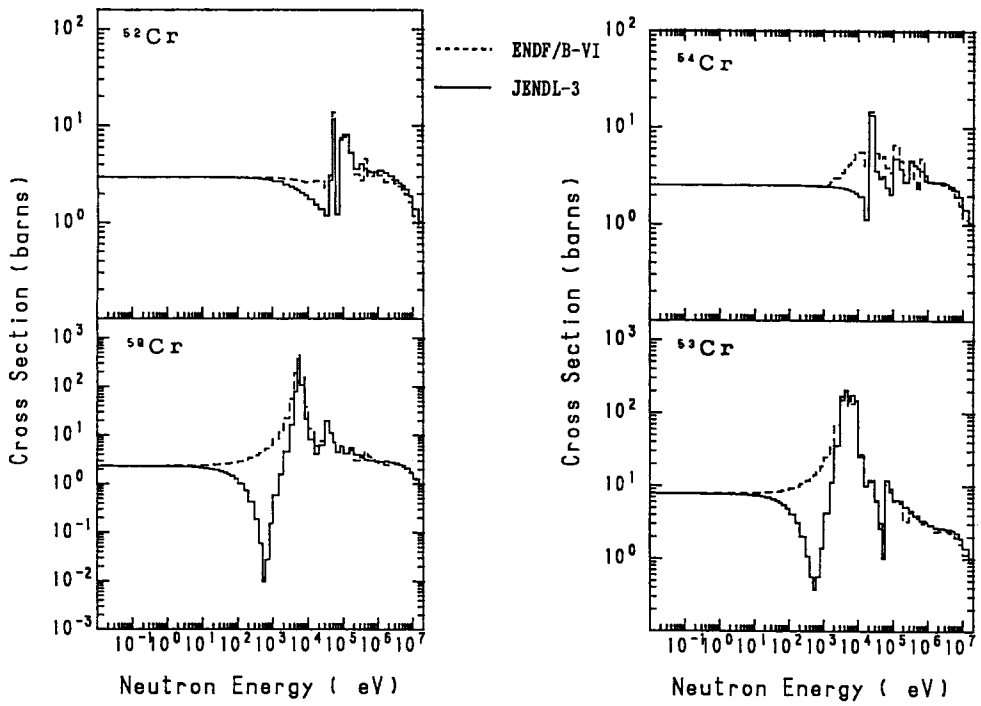


Fig. 2 Cr isotopes の弾性散乱断面積

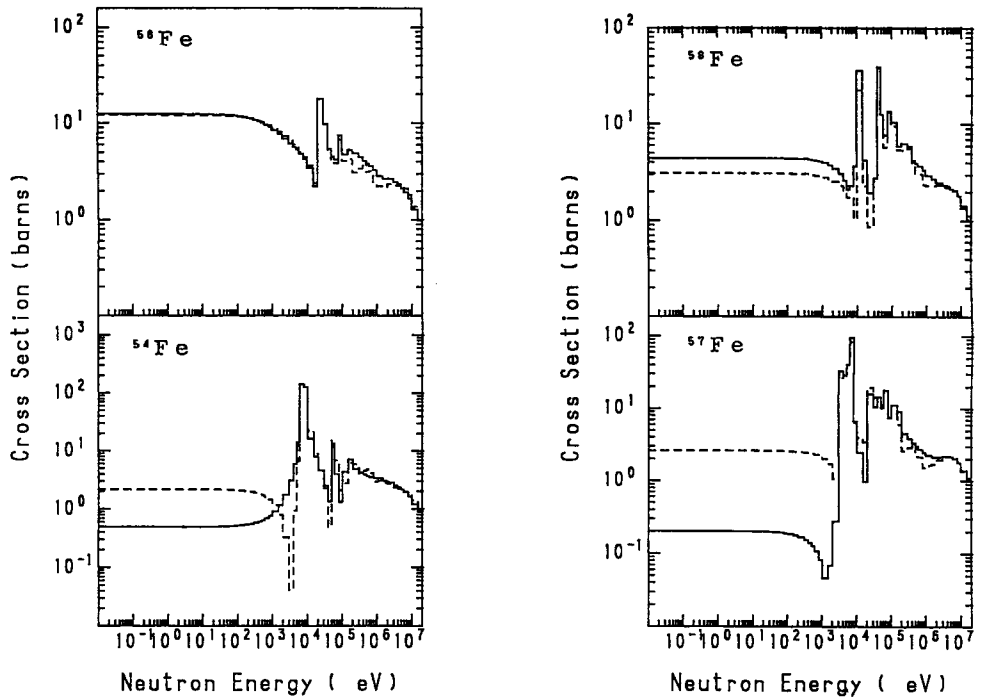


Fig. 3 Fe isotopes の弾性散乱断面積



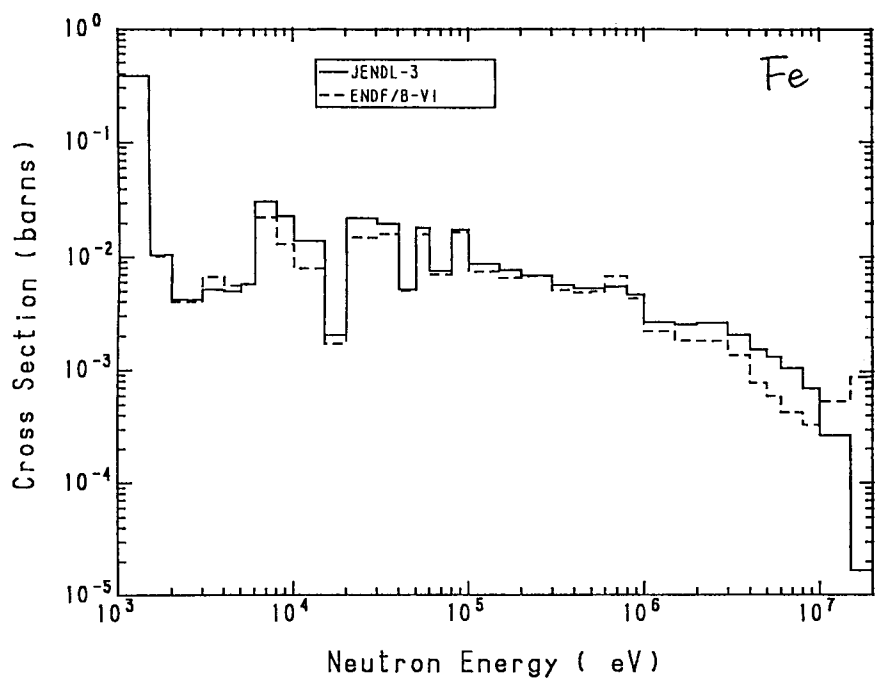


Fig. 4 Fe-nat の中性子捕獲断面積

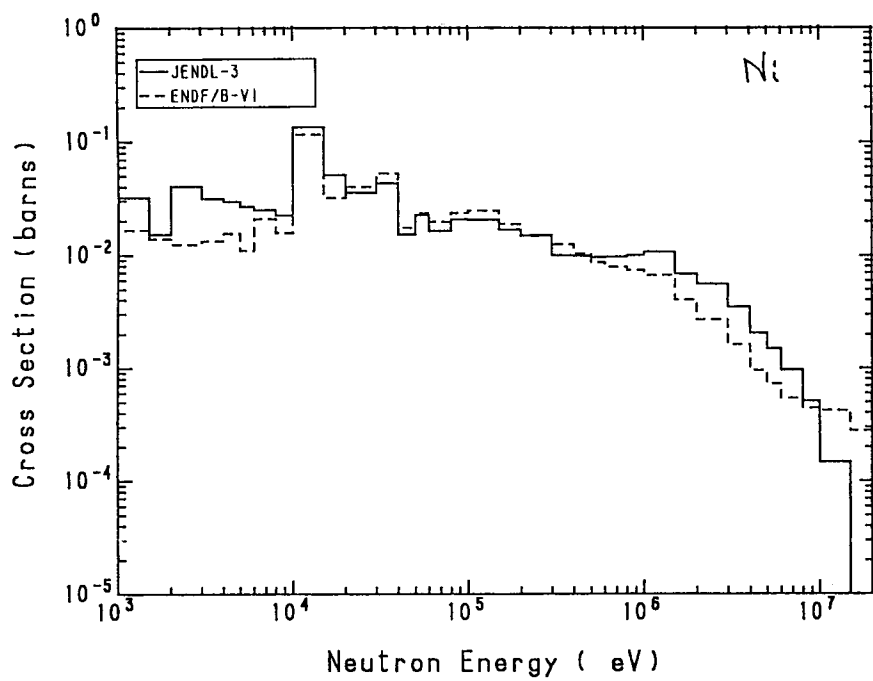


Fig. 5 Ni-nat の中性子捕獲断面積

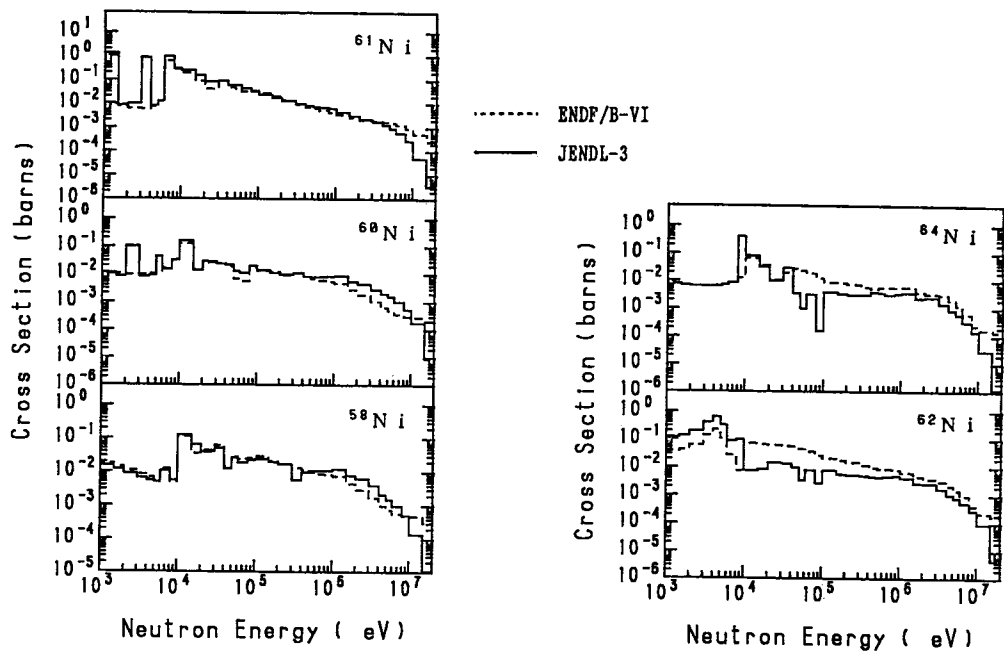


Fig. 6 Ni isotopes の中性子捕獲断面積

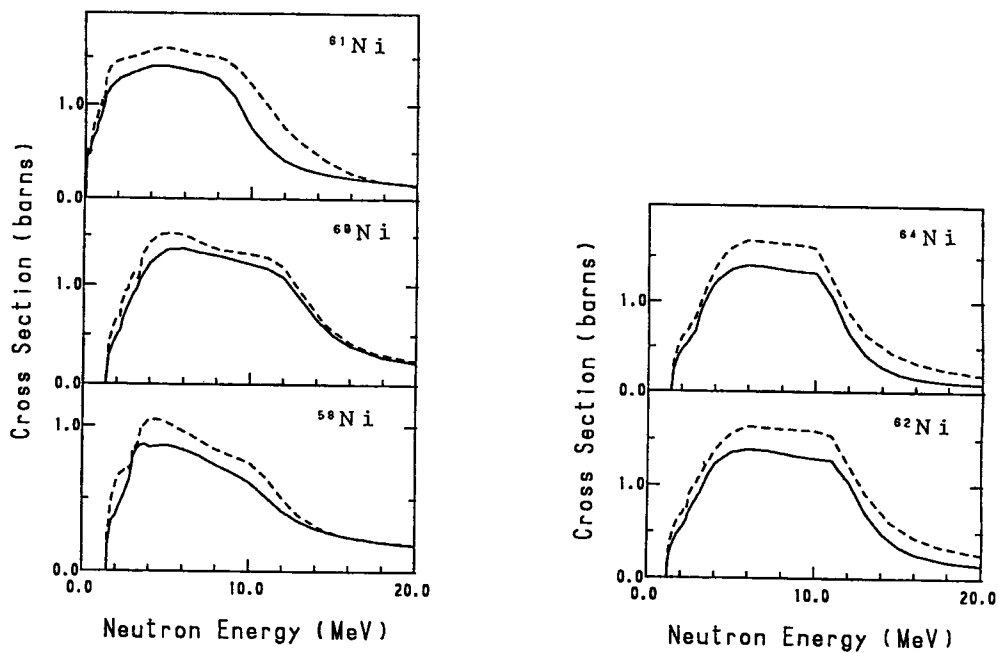


Fig. 7 Ni isotopes の非弾性散乱断面積

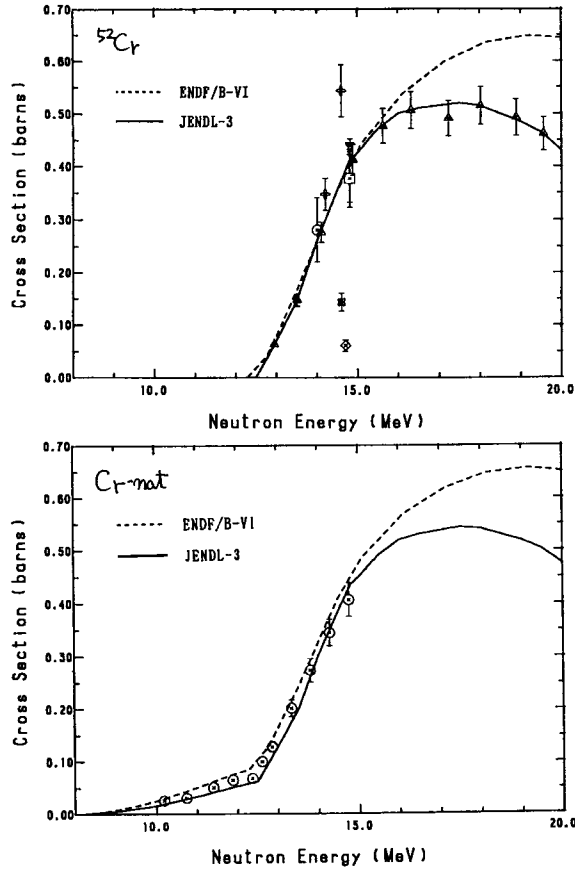


Fig. 8 Cr-nat および  $^{52}\text{Cr}$  の (n, 2n) 反応断面積

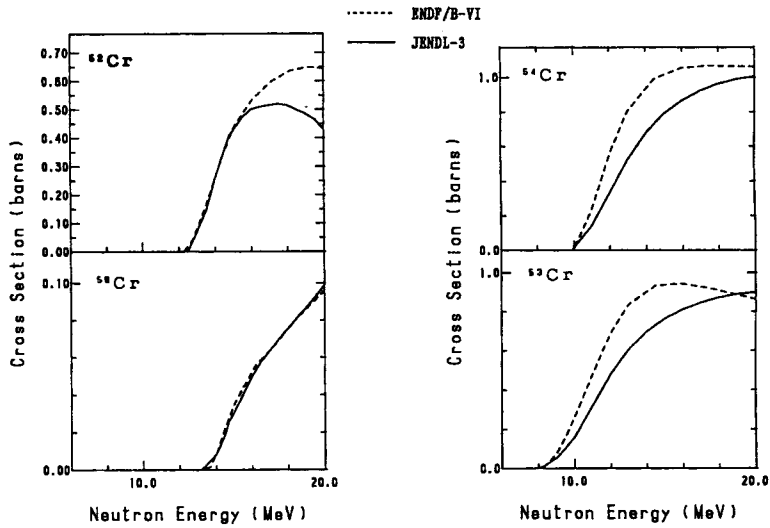


Fig. 9 Cr isotopes の (n, 2n) 反応断面積

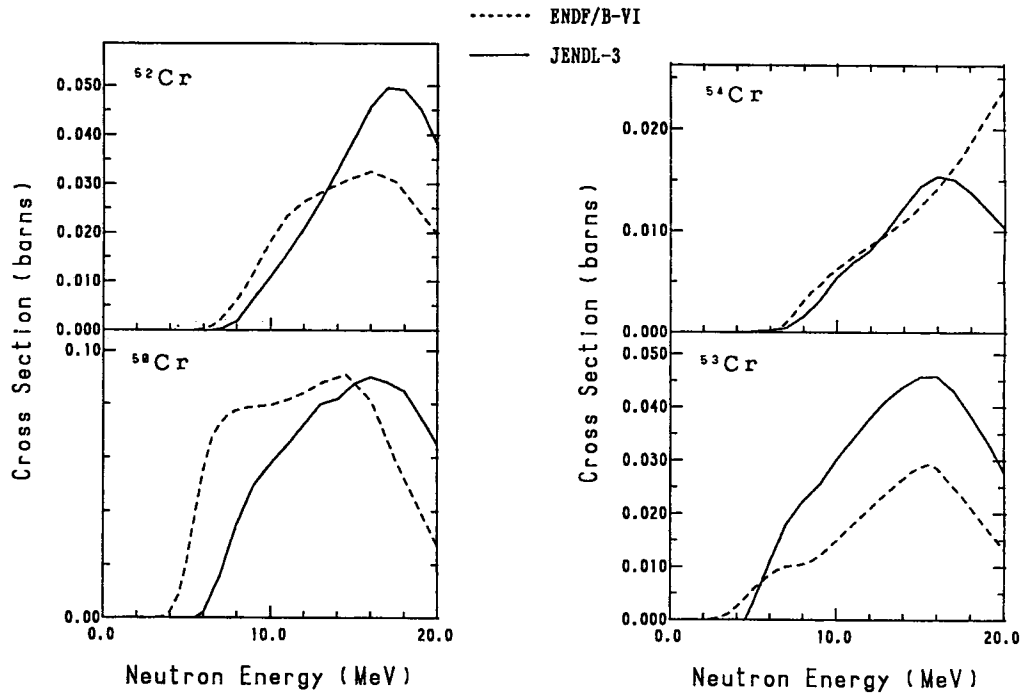


Fig. 10 Cr isotopes の (n, α) 反応断面積

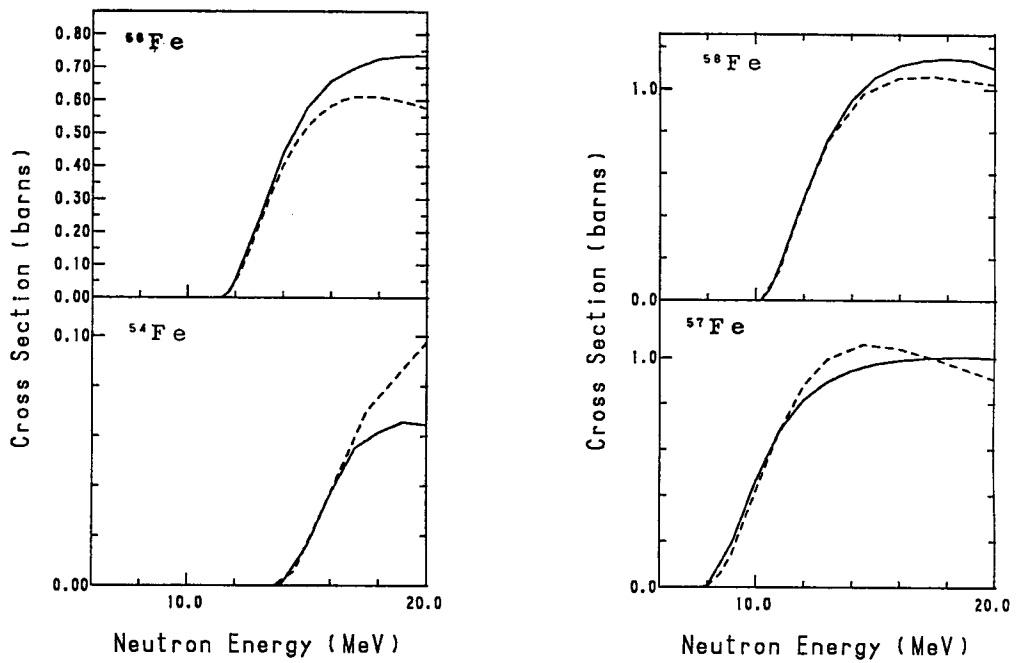


Fig. 11 Fe isotopes の (n, 2n) 反応断面積

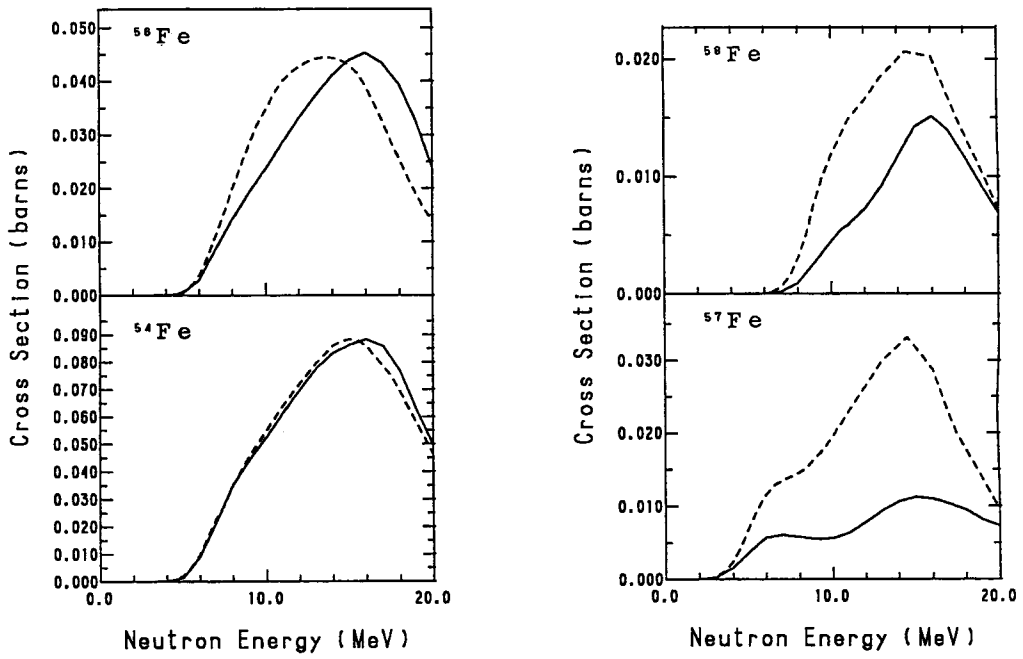


Fig. 12 Fe isotopes の (n, α) 反応断面積

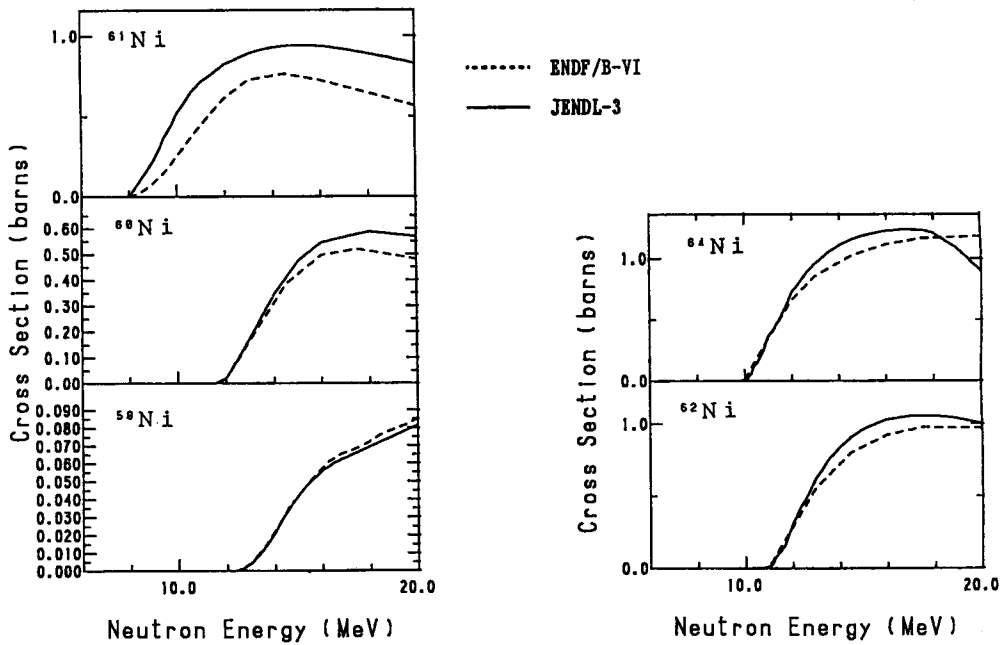


Fig. 13 Ni isotopes の (n, 2n) 反応断面積

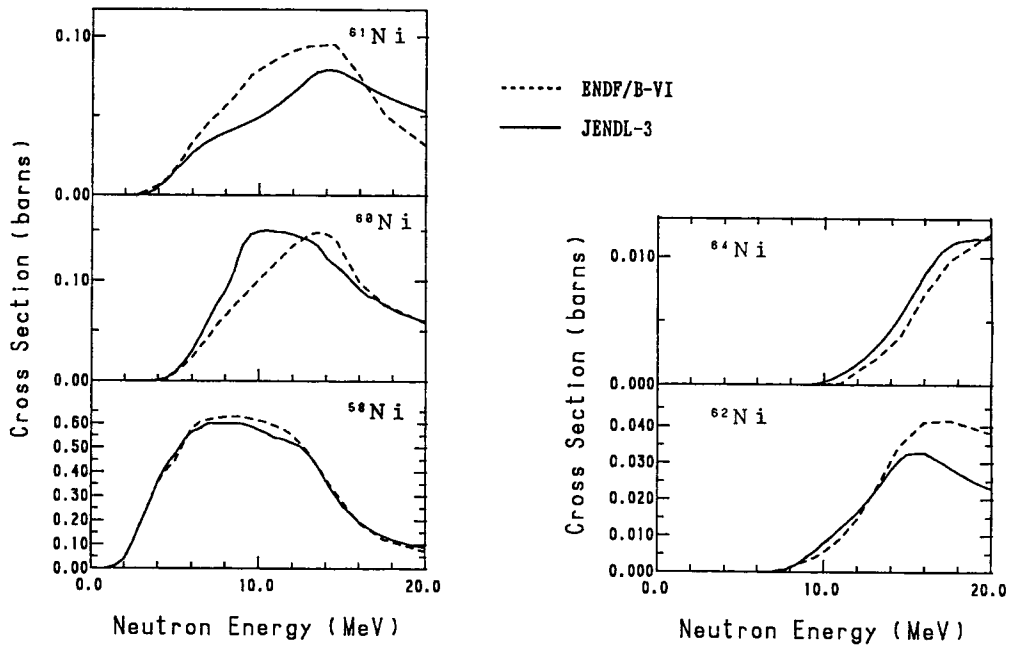


Fig. 14 Ni isotopes の (n,p) 反応断面積

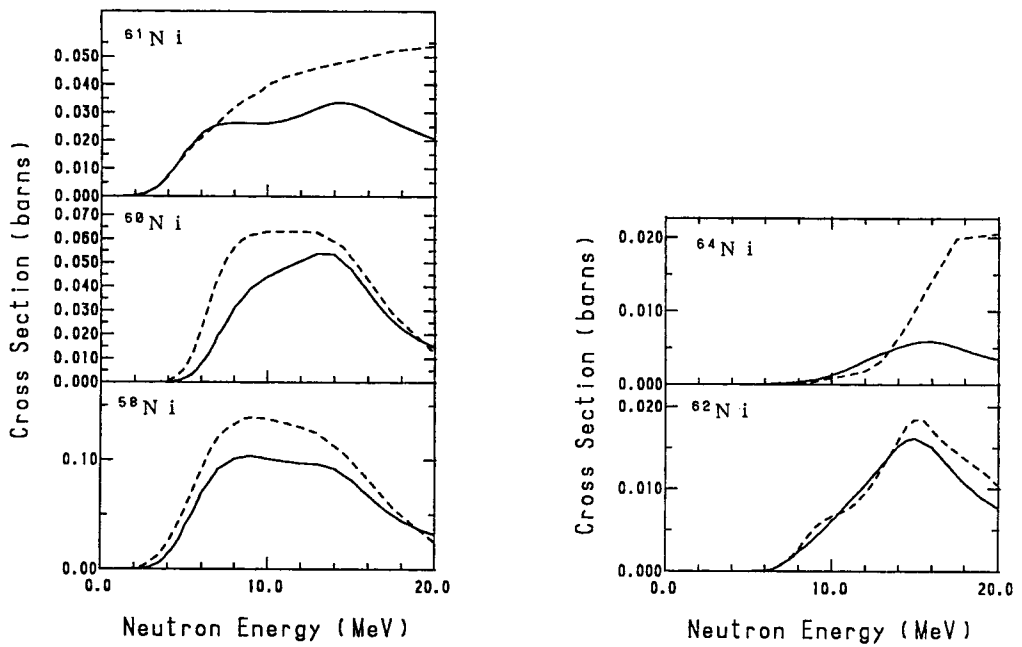


Fig. 15 Ni isotopes の (n,α) 反応断面積

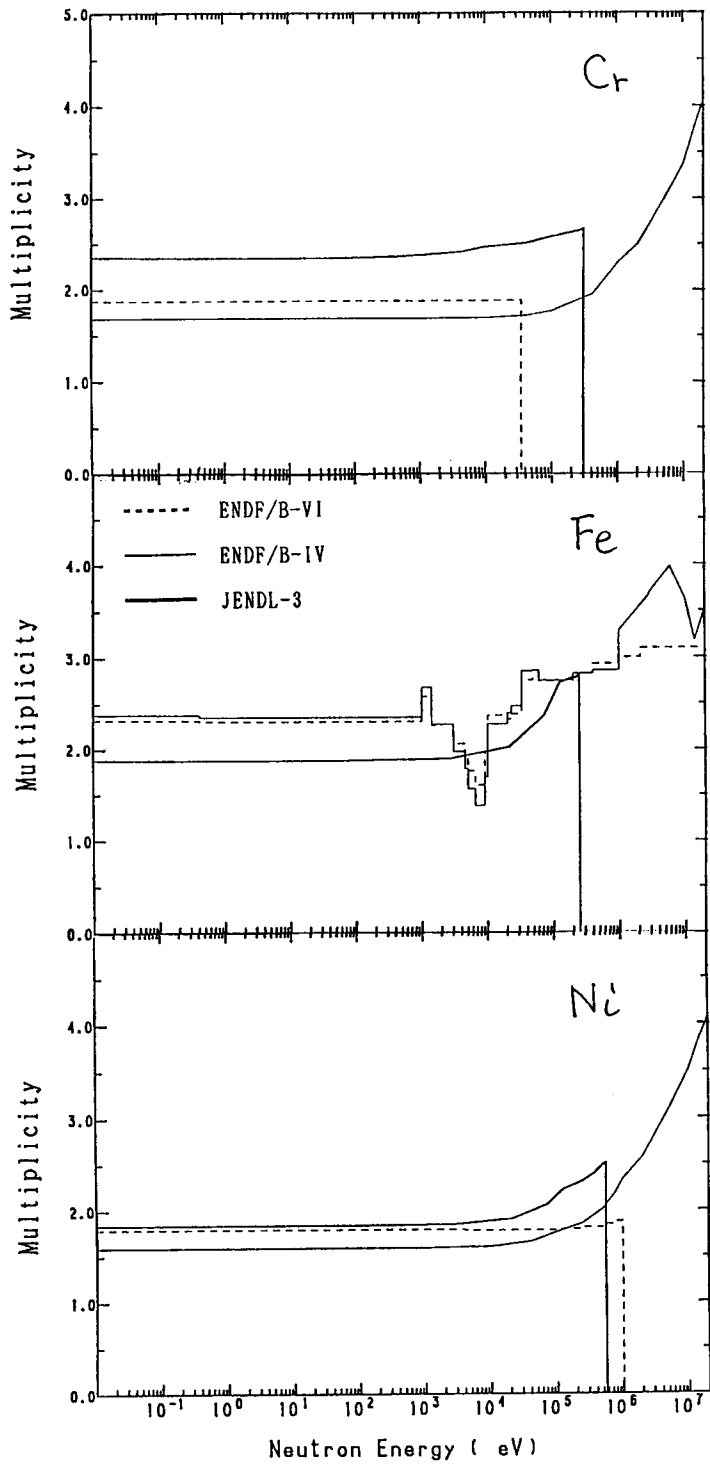


Fig. 16 Cr, Fe, Ni の中性子捕獲ガンマ線の multiplicity