

JENDL FP Decay Data File 2000 の作成

日本原子力研究所核データセンター

片倉 純一

katakura@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1 はじめに

JENDL 特殊目的データファイルの一つとして、JENDL FP Decay Data File を作成した。このファイルは核分裂生成物 (FP) の崩壊データを収録したファイルで FP の崩壊熱計算やベータ線、ガンマ線のスペクトル計算に利用できる。崩壊熱計算にはシグマ委員会で以前作成した JNDC ライブラリー [1] が用いられて来ており、様々な核分裂性核種の核分裂後の FP 崩壊熱の計算で成功を納めてきた。しかし、このライブラリーはフォーマットが JENDL のものとは異なっており JENDL Family の一員とは別な扱いになっているため利用者に混乱があった。このため、JENDL Family の一員となる Decay Data File の作成を行ったものである。

このファイルの作成では、単に JNDC ライブラリーのフォーマット変換に止まることなく、データの見直しを行い、新しいデータは積極的に取り入れるとともに、JNDC ライブラリーには含まれていなかったベータ線やガンマ線のスペクトルデータも含めてファイルとしての完備性を保つようにしてある。この際、JNDC ライブラリー作成で指摘された理論計算の重要性を考慮し、測定が無い、あるいは、測定が不十分な核種の崩壊データには理論計算を適用してある。但し、実験データのみを用いる場合も考慮して、実験データと理論計算によるデータの区別ができるようにしてある。

2 ファイルの概要

JENDL FP Decay Data File には総数 1229 の核分裂生成物の崩壊データが含まれている。含まれているデータには、半減期、スピン、崩壊の種類、崩壊の Q 値、分岐比、放出放射線の種類、崩壊当たりの平均放出エネルギー、放出放射線のスペクトル等がある。但し、遅発中性子に関しては、その崩壊の分岐比は収録してあるもののスペクトルは入っていない。完備性ということからはこのデータも入れるべきではあるが、マンパワー、時間的な制限から今回のファイルには収録できなかった。このデータについては次期の改訂版に入れるようにするつもりである。

採用したデータの一次データ、即ち、測定データとしては、世界的な評価ネットワークで実験データを収集し、評価・編集されている原子核構造に関するファイル ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) [2] から採用してある。但し、このファイルはあ

くまで、測定データの現状を整理し、評価値を決めているデータであり、測定値がなかったり、測定が不備であっても、計算等で補うようなことはしていない。これは、ENSDFのポリシーであり、あくまで実測に基づく基礎的なデータの評価値としての位置付けをしてあるためである。このことは、原子力利用等応用を考えた場合には、これらの不備なデータを何らかの方法で補わなければ応用に耐えるデータとはならないことを意味している。一方、JENDL や ENDF (Evaluated Nuclear Data File) [3] 等いわゆる評価済データファイルは応用を目的としてあるため、測定値がなくても応用上必要であれば何らかの方法でそのデータを提供する必要がある。JENDL FP Decay Data File では、このため、理論計算を適用し、これらの測定がなされていないものや不備なデータを補ってある。図 1 に JENDL ファイルのデータの一部を示す。この例は、⁹⁹Sr のデータであ

```

3.80990+04 9.80834+01      -1      0      1      13870 1451  1
0.00000+00 1.00000+00      0      0      0      03870 1451  2
0.00000+00 0.00000+00      0      0      4      63870 1451  3
0.00000+00 0.00000+00      0      0      20     23870 1451  4
38-SR- 99 JAERI NDC  EVAL-JUN99 J. KATAKURA
                        DIST-
                        MATERIAL 3870
----- JENDL FPDDL      3870 1451  7
----- DECAY DATA      3870 1451  8
----- ENDF-6 FORMAT      3870 1451  9
99SR B- DECAY (270 MS 10)      ENSDF DATE 950109      3870 1451 10
DISCRETE DATA ARE FROM ENSDF      3870 1451 11
CONTINUOUS DATA ARE FROM CALCULATION WHEN ATTACHED      3870 1451 12
AVERAGE ENERGIES WITHOUT UNCERTAINTY ARE FROM JNDC FILE V2      3870 1451 13
CONTINUOUS SPECTRA ARE CALCULATED USING GROSS THEORY      3870 1451 14
REFERENCES
QB: G. AUDI, A.H. WAPSTRA - NUCL. PHYS. A595, 409 (1995)      3870 1451 16
EB AND/OR EG: K. TASAKA ET AL. - JAERI 1320 (1990)      3870 1451 17
GROSS THEORY: K. TAKAHASHI ET AL.
- AT. DATA NUCL. DATA TABLES 12, 101 (1973)      3870 1451 19
  T. YOSHIDA AND R. NAKASIMA      3870 1451 20
- J. NUCL. SCI. TECHNOL. 19, 393 (1981)      3870 1451 21
CONT. SPECTRA: T. YOSHIDA AND J. KATAKURA      3870 1451 22
- J. NUCL. SCI. ENG., 93, 193 (1986)      3870 1451 23
  J. KATAKURA AND T. R. ENGLAND - LA-12125-MS (1991) 3870 1451 24
0.00000+00 0.00000+00      1      451      26     13870 1451 25
0.00000+00 0.00000+00      8      457      341     13870 1451 26
0.00000+00 0.00000+00      0      0      0      03870 1 0 27
0.00000+00 0.00000+00      0      0      0      03870 0 0 28
3.80990+04 9.80834+01      0      0      0      43870 8457 29
2.70000-01 1.00000-02      0      0      6      03870 8457 30
3.20000+06 4.00000+05 2.10600+06 0.00000+00 0.00000+00 0.00000+003870 8457 31
1.50000+00 1.00000+00      0      0      12     23870 8457 32
1.00000+00 0.00000+00 8.08565+06 1.38809+05 9.96700-01 0.00000+003870 8457 33
1.50000+00 1.00000+00 2.26000+06 1.40000+05 3.30000-03 0.00000+003870 8457 34
0.00000+00 0.00000+00      2      0      6      803870 8457 35
1.00000-02 1.36646-03 2.10600+06 7.07107+04 4.41590-01 0.00000+003870 8457 36
6.38500+04 8.00000+01      0      0      12     03870 8457 37
1.00000+00 0.00000+00 1.36850+00 8.05000-02 0.00000+00 0.00000+003870 8457 38
3.99000-01 1.20000-02 3.51000-01 1.10000-02 4.00000-02 1.20000-033870 8457 39
1.20580+05 1.20000+02      0      0      12     03870 8457 40
1.00000+00 0.00000+00 1.83540+00 1.61000-01 0.00000+00 0.00000+003870 8457 41
3.20000-01 2.20000-01 2.60000-01 1.80000-01 4.00000-02 3.00000-023870 8457 42
1.25120+05 3.00000+01      0      0      12     03870 8457 43
1.00000+00 0.00000+00 1.61000+01 9.66000-01 0.00000+00 0.00000+003870 8457 44
9.80000-02 3.00000-03 8.70000-02 3.00000-03 9.89000-03 0.00000+003870 8457 45
1.58620+05 4.00000+01      0      0      12     03870 8457 46
1.00000+00 0.00000+00 1.72270+00 1.12700-01 0.00000+00 0.00000+003870 8457 47
5.25000-02 1.60000-03 4.56000-02 1.40000-03 5.18000-03 0.00000+003870 8457 48

```

図 1 JENDL FP Decay Data File 2000 のデータの例

る。FILE 1 のコメントの後、FILE 8 として MT=457 で崩壊データを入れてある。31

行目に見えるのが \bar{E}_β , $\Delta\bar{E}_\beta$, \bar{E}_γ , $\Delta\bar{E}_\gamma$, \bar{E}_α , $\Delta\bar{E}_\alpha$, である。 α 崩壊はないのでこの値は 0.0 となっている。また、 $\Delta\bar{E}_\gamma$ が 0.0 となっているのは \bar{E}_γ が理論計算による値であることを示している。 $\Delta\bar{E}_\beta$ が 0.0 でないのは、 \bar{E}_β が実験値に基づいていることを示している。また、32 から 34 行目では、この核種が β^- 崩壊し、娘核種の基底状態及び異性体への 2 つの崩壊モードがあることを示している。35 行目以下はスペクトルデータで放射線の種類（ベータ線、ガンマ線、アルファ線、内部転換電子等）毎にそのエネルギーと強度で示されている。図には実験的に同定されているガンマ線の一部のみを示してある。理論計算によるスペクトルがある場合は、連続スペクトルとして 100 keV 毎のビン構造で与えてある。このようなデータが 1229 核種に用意されており、ファイルの容量は全部で約 14 MB となっている。表 1 にはファイルに収録されている核種数のデータタイプ毎の内訳を示す。

表 1 収録核種のデータタイプ毎の内訳

核種数	データタイプ
1229	全核種数
142	安定核
1087	不安定核
197	核異性体
1053	ガンマ線スペクトル
<u>622</u>	測定スペクトル
<u>557</u>	理論計算によるスペクトル
899	ベータ線スペクトル
<u>467</u>	測定スペクトル
<u>525</u>	理論計算によるスペクトル

この表から分かるように、例えば、ガンマ線の場合、全部で 1053 核種にスペクトルデータが与えてあるが、測定データがあるのは 622 核種である。また、理論計算で補ってあるのは 557 核種である。622 + 557 = 1179 で 1053 核種より多くなるが、この多くなった 126 核種は測定データと理論計算によるスペクトルとの両方持っている核種である。これらの核種は測定データがあるが不十分なため理論計算で補う必要があったものである。FP 核種のスペクトルの例として、Rudstam 等 [4] のスペクトル測定値と今回作成した Decay Data File のスペクトルの比較を図 2 に示す。Rudstam 等は ENSDF に含まれる核分光学的データの測定ではガンマ線やベータ線の見落としがあることから、直接的にスペクトルを測ったものである。図 2 は、 ^{85}As のベータ線ス

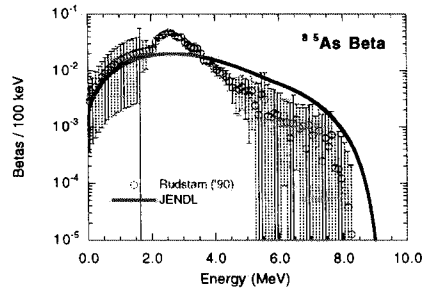


図 2 ^{85}As のベータ線スペクトル

ペクトル測定値と今回作成した Decay Data File のスペクトルの比較を図 2 に示す。Rudstam 等は ENSDF に含まれる核分光学的データの測定ではガンマ線やベータ線の見落としがあることから、直接的にスペクトルを測ったものである。図 2 は、 ^{85}As のベータ線ス

ベクトルであるが ENSDF には与えられていない。 ^{85}As の半減期は 2.08 秒で、非常に短く、核分光的な測定が困難な核種であるため ENSDF に採用出来るようなデータがないためである。したがって、JENDL Decay Data File では理論的な計算によりスペクトルを算出し、ファイルに納めてある。理論計算によるスペクトルは先にも述べたようにベータ線、ガンマ線とも 100 keV 毎のビン構造で計算し、ファイル化してある。この図では、理論計算によるスペクトルは、2 ~ 3 MeV の山は出ていないもののほぼ Rudstam 等の測定値と合っている。Rudstam 等の測定は約 100 核種の FP についてベータ線及びガンマ線について行われており、それらとの比較では、全ての核種でこのようにうまく行っているわけではないが、ある程度測定の不備を補っていることは間違いが無い。

3 ファイルを用いた崩壊熱及びスペクトル計算

Decay Data File を用いて核分裂後の FP 崩壊熱及びスペクトルの計算を行い、ファイルの適用性を確認した。図 3 及び図 4 に示すのは ^{241}Pu の熱中性子による核分裂後の FP 崩壊熱を測定値 [5] と今回のファイルを用いた計算値とで比較したものである。比較のため JNDC ファイルを用いた計算値も示してある。なお、ファイルには含まれていない核分裂収率データは JNDC ファイルから取った。

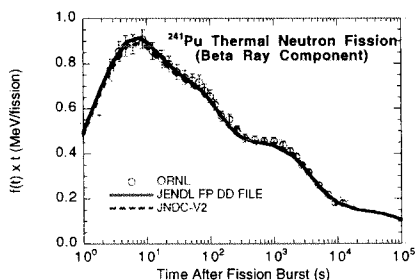


図 3 ^{241}Pu の FP 崩壊熱 (ベータ線成分)

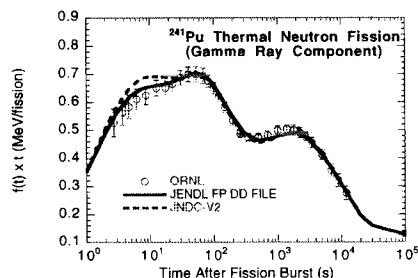


図 4 ^{241}Pu の FP 崩壊熱 (ガンマ線成分)

図 3 はベータ線成分で、図 4 はガンマ線成分である。ベータ線成分に関しては、今回のファイルを用いた計算も、JNDC ライブラリーによる計算も測定値との一致は良い。図 4 のガンマ線成分では、JNDC ライブラリーでは、十秒付近で少し過大評価となっていたが、今回のファイルによる計算では、この点が改善されているのが分かる。このように今回の Decay Data File の作成では、単に JNDC ライブラリーからのデータ変換ではなく、新たにデータの評価を行っており、この結果が改善に結びついたものである。このような崩壊熱の比較は、 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 等他の核分裂性核種についても行っており、測定値との良い一致が得られている。

同様にスペクトルの比較を図 5 と図 6 に示す。

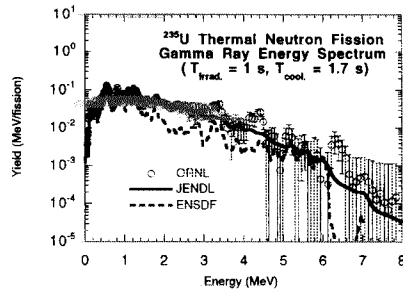
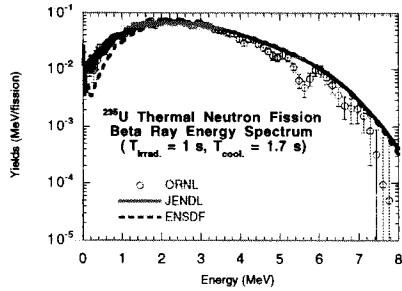


図5 ^{235}U の核分裂後のベータ線スペクトル 図6 ^{235}U の核分裂後のガンマ線スペクトル

これらは、 ^{235}U の熱中性子による核分裂後のベータ線及びガンマ線スペクトルをオークリッジの測定値 [6] と比較したものである。1 秒間の熱中性子照射後 1.7 秒冷却した時のスペクトルである。オークリッジの測定のうち、照射及び冷却時間の一番短いものを選んである。このような条件では、FP 核種のうち、測定データがなかったり、不十分である核種の寄与が多いため、理論計算値での補填の影響が見やすいためである。比較のために FP の実測データのみを用いたスペクトルも示してある。図中 ENSDF となっているものである。実測データは ENSDF からとってあるのでこのように表記してある。なお、ガンマ線スペクトルについては、測定器のエネルギー分解能を考慮して線スペクトルを広げるようにしてある。これらの比較図を見ると、ベータ線スペクトルについては、エネルギーの小さいところで ENSDF のデータだけでは過小評価になっているが、JENDL ファイルではそのような過小評価は見られない。また、ガンマ線スペクトルについては、2 ~ 3 MeV あるいは 6 MeV 以上において ENSDF だけのデータでは過小評価になっているのが分かる。一方、JENDL Decay Data File を用いた計算値はほぼ測定値と誤差の範囲で一致している。この例のような照射・冷却の短い時間での崩壊熱には短寿命 FP 核種の寄与が大きく、それらのスペクトルに関しては測定データがない、あるいは、不十分なため、ENSDF だけのデータでは過小評価になっているものである。理論計算で補うことにより JENDL ではそのような大きな過小評価とはなっていない。

4 おわりに

JENDL FP Decay Data File 2000 を作成した。このファイルは FP 1229 核種の崩壊データを収納したものである。ファイルには FP の崩壊熱計算に用いられる半減期や崩壊エネルギーの他にベータ線やガンマ線のスペクトルデータが含まれている。このスペクトルデータから崩壊エネルギーは算出されるので両者の間には出来るだけ矛盾のないように理論計算で補うようにしてある。従来の JNDC ライブラリーと同様の崩壊熱計算が出来るのみならず、核分裂後のスペクトル計算も可能となった。遅発中性子に関しては分岐比のデータのみで、スペクトルデータがないのはファイルの完備性からは問題を残しているが、改訂する機会があれば、遅発中性子データの検討も加えスペクトルデータも含むようにしたいと考えている。

なお、現在レポートの作成中であり、そのレポートにはより詳しい収録データの説明

や崩壊熱及びスペクトルの測定値との比較も載せる予定である。

本ファイルの作成はシグマ委員会の崩壊熱評価 WG のメンバーの協力を得て行われたものであり、メンバー各位の協力に感謝します。

参考文献

- [1] K. Tasaka et al., "JNDC Nuclear Data Library of Fission Products - Second Version -," JAERI 1320 (1990)
- [2] M. R. Bhat, "Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF)," **Nuclear Data for Science and Technology**, P817, edited by S. M. Qaim (Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1992)
- [3] Cross Section Evaluation Working Group, "*ENDF/B-VI Summary Documentation*," BNL-NCS-17541 (ENDF-201) (1991), edited by P. F. Rose, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, USA
- [4] G. Rudstam et al., *Atom. Data and Nucl. Data Tables*, **45**, 239 (1990)
- [5] J. K. Dickens et al., "Fission Product Energy Release for Times Following Thermal Neutron Fission of ^{241}Pu between 2 and 14,000 seconds," NUREG/CR-0171, ORNL/NUREG-47 (1978)
- [6] J. K. Dickens et al., "Delayed Beta- and Gamma-Ray Production Due to Thermal-Neutron Fission of ^{235}U , Spectral Distributions for Times After Fission Between 2 and 14000 sec: Tabular and Graphical Data," NUREG/CR-0162, ORNL/NUREG-39 (1978)