

話 題 IV

JNDC核分裂生成物崩壊データファイルについて

原 研 片 倉 純 一

1. 概 要

JNDC核分裂生成物崩壊データ・ファイル(以下 JNDCファイル)は、シグマ特別委員会の崩壊熱評価ワーキング・グループで1000 を越える核分裂生成物の崩壊データや核分裂収率等の核データを収集評価して、核分裂生成物の崩壊熱総和計算用に作成されたものである。その第1版は、1982年に完成し、現在、第2版の作成作業が進められている。その間に、第1版の崩壊データの一部修正が行われ、1.5版として利用されている。

2. 収納核データ

JNDC ファイルの第1版及び1.5版には、質量数66から172までの1172核種の核分裂生成物に対して崩壊熱総和計算に必要な以下の核データが収納されている。

1) 崩壊データ

- 崩壊定数
- ベータ崩壊又は電子捕獲崩壊のQ値
- 異性体の励起エネルギー
- ベータ線及びガンマ線の崩壊当りの平均エネルギー
- 遅発中性子放出を含む各崩壊モードに対する分岐比

2) 核分裂収率データ

3) 中性子捕獲断面積データ

これらのデータのうち、1)の崩壊データに関しては、各種の測定値を基にして編集してあるが、ファイルに収納した1172核種全てに対して測定値がある分けでもないし、測定値があったとしても必ずしも充分なものとも言えない。特に、崩壊当りの平均エネルギーについては、いわゆる核分光学的な測定から得られた崩壊関式を基にして求めると、ベータ線に対しては過大評価となり、ガンマ線に対しては過少評価となるいわゆる“Pandemonium Effect”がある。これは、測定においては、高エネルギー・ガンマ線が計測されにくく、見逃がしていることがあるために、低い準位へのベータ線(高エネルギー・ベータ線)強度を強く見積ることが起きているためである。このために、ベータ線の平均エネルギーを過大評価し、ガンマ線の平均エネルギーを過少評価する

ことになる。このような問題は、短寿命核種でQ値が大きな核種で顕著である。JNDC ファイルでは、この問題を避けるために、測定値のない核種については無論のこと、測定値があったとしても、Q値が大きな核種については、ベータ崩壊の大局理論に基づく理論計算によって得られる平均エネルギーを推定値として採用している。JNDC ファイルの第1版では、5 MeV を基準に取り、この値より大きなQ値を持つ核種については、測定値の有無に関わらず推定値を採用している。このような核種は、87核種に及んでいる。しかしながら、第2版作成のための見直し作業を進めるうちに、Q値が5 MeV 以上でも測定値の質が良く、推定値を採るよりは測定値を採るべきである核種も2~3見つかったため、これらの核種については測定値を採用してある。このファイルが、現在1.5版と称しているものである。

核分裂収率データについては、Rider -Meek の評価データを基に作成してある。なお、このRider -Meek のデータは、ENDF/B-Vのベースになっているものである。JNDC ファイルで採用している核分裂の種類は10種類で、そのうち分けは、熱中性子に対して ^{235}U 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{233}U の4種類、速中性子に対して ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{232}Th の4種類、それに、14 MeV中中性子に対して ^{235}U と ^{233}U の2種類である。それぞれの核分裂に対して1172核種の収率データが収納されている。

また、中性子捕獲断面積については、80核種の核分裂生成物に対して、高速炉用にエネルギー群25群のデータが収納されている。また、熱中性子炉用として同核種に対して、2200 m/s の値と共鳴積分が収納されている。なお、80核種のうち、54核種についてはJENDL-1とJENDL-2で評価された断面積データを用いている。残りの26核種のデータはENDF/B-Vから取っている。

3. JNDC ファイルの特徴

JNDC ファイルでは、先に述べたように崩壊当りの平均エネルギーとして理論計算による推定値を大幅に採用している。このため、このファイルを用いた計算は、特にLOCAで問題となるような短冷却時間での崩壊熱測定値を非常に良く再現する。この性質は第1版、1.5版とも同様である。しかしながら、第1版のファイルを用いた計算では、ガンマ崩壊熱を冷却時間数百秒~数千秒で過少評価し、数千秒以上で過大評価するという傾向があった。1.5版では、このうち、後者の数千秒以上で過大評価している部分は改善されている。図1に1.5版による計算結果を ^{239}Pu の崩壊熱測定と比較したものを1例として示す。この図にはENDF/B-VやVなど他のファイルを用いた場合の計算結果も示してある。JNDC ファイルを用いた計算はベータ崩壊熱、ガンマ崩壊熱とも測定値と良く一致しており、他のファイルと比べ優れていることが分かる。JNDC ファイル

を用いた計算値と崩壊熱測定値との良好な一致は、図2に示すように核分裂性核種の種類によらず見られる。

JNDC ファイルは、このように世界中の他のファイルと比べて、現在の所、最も信頼性の高いファイルであると言えるが、まだ満足のいかない点も残っている。それは、数百秒から数千秒の冷却時間の所で見られるガンマ崩壊熱測定との不一致であり、測定値と比べ計算値の方が過少評価となっている。この点については、現在進めている第2版作成のための作業において、改善を目指して努力している。

なお、JNDC ファイル第1版を用いた計算結果を基に31項を持つ指数関数多項式でのフィッティングを行い、その係数をテーブル化したものも用意してある。このため、このフィッティング式を用いることにより、核分裂生成物の中性子捕獲効果に関する補正を別にすれば、どのような運転履歴における崩壊熱についても、詳細な計算を行わずとも、JNDC ファイルを用いた計算と同様の結果が容易に得られる。このフィッティング式によるフィッティング精度は図3に示すように1%以下である。この図は、 ^{235}U の熱中性子核分裂の例であるが、他の核分裂の場合でも同様の精度が得られている。

4. 関連計算コード等について

JNDC ファイルを用いれば、核分裂生成物の生成量や崩壊熱等が計算出来るが、このための計算コードとしてDCHAINコードやFPGSコードがある。これらのコードには、核データ・ライブラリーの修正機能やデータの追加機能も付いており、データの一部を変更して計算することが容易に行える。また、FPGSコードにはガンマ線スペクトル計算機能もあり、ガンマ線スペクトルのライブラリーを用意すれば、計算可能である。

ガンマ線スペクトルに関しては、現在崩壊熱評価ワーキング・グループでJNDC ファイルと矛盾のない形で提供出来るようライブラリーの整備を行っている。今のところ、JNDC ファイルで平均エネルギーに測定値を採用している核種については、測定値を基にスペクトル・ライブラリーが整備され、JNDC ファイルと矛盾のない形で用意されているが、理論計算による推定値を採用している核種については、スペクトル・データをどう整備するか検討中である。

また、計算コードについては、ORIGEN-2コードのような機能と使い易さを持った総和計算コードを作成するべく検討を進めている。

5. 第2版の作成について

JNDC ファイルは、“Pandemonium”問題を理論計算による推定値を採用することにより

解決したため、世界中の他のファイルと比べ、どの核種の崩壊熱に対しても測定値を良く再現するファイルである。ただ、残された課題として、数百秒から数千秒の冷却時間において測定値より若干過少評価となる問題の解決がある。この点に関しては、現在第2版作成のために、ファイルに採録する核種の検討や崩壊データの見直しといった作業が進められている。この作業では、上記の問題を解決するため、Q値が5 MeV以上という第1版で取り入れた基準にとらわれずに、測定データの質が良いものは測定による平均エネルギーを採用し、質が悪いものについては推定値を採用するといった検討を進めている。また、核分裂収率の観点で、バランスの良くない、つまりある質量チェインでは収率が小さい核種まで採用しているが他の質量チェインでは収率がかなり大きいものしか採用していないといった面を改善するため、追加核種、削除核種の検討も進めている。今のところ追加核種は約120、削除核種は約80で現在のファイルより約40核種増加する予定である。更に、核分裂の種類も現在の10種類から20種類に拡張する予定である。

以上、簡単にJNDC ファイルの第1版、1.5版の紹介及び第2版の作成予定等について述べたが、今年度中には第2版を完成し、より信頼性の高いファイルを提供したいと思っている。なお、現在JNDC ファイルは、NEA Data Bank やRSICにも登録されている。

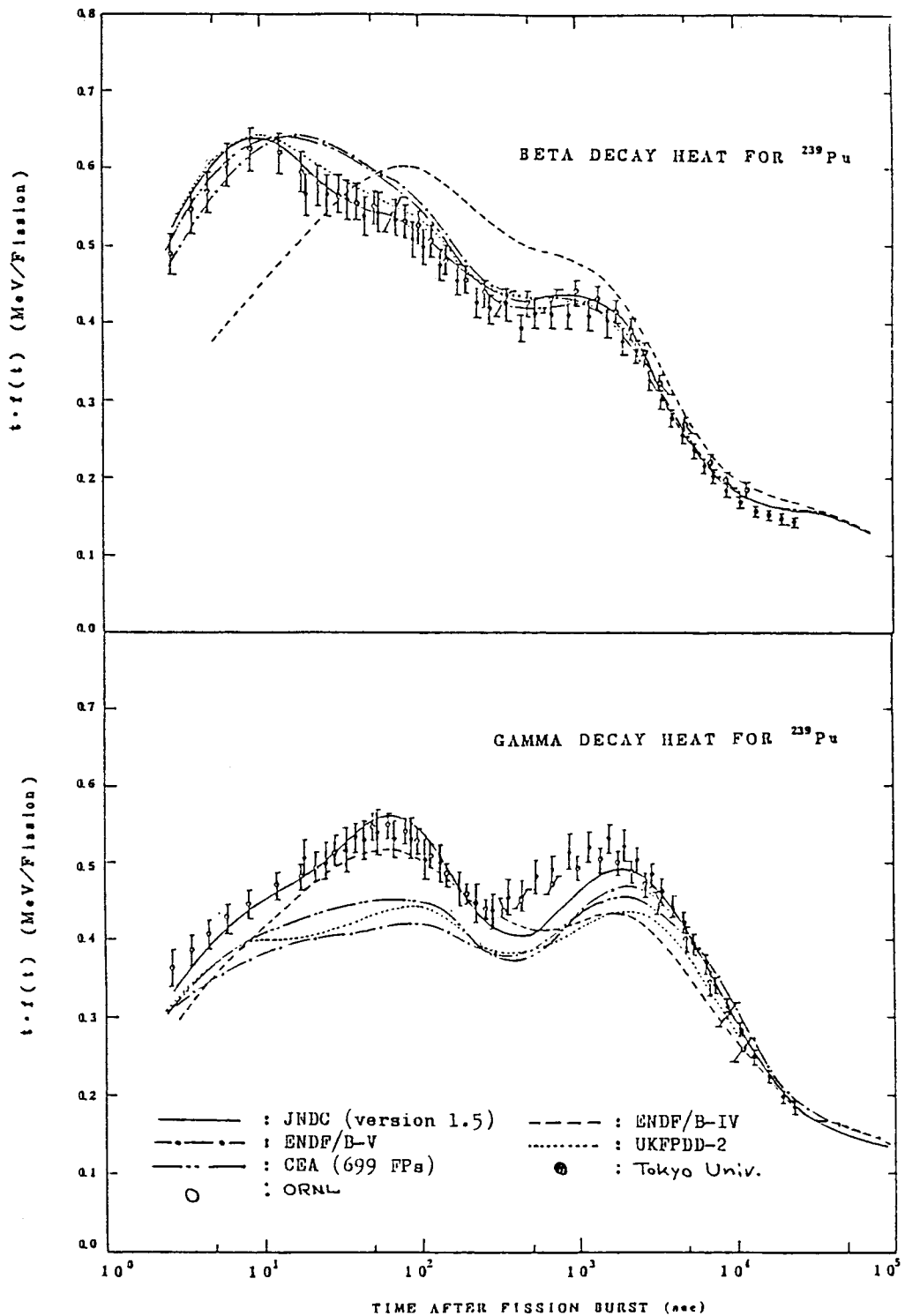


Fig. 1 Pu-239 Decay Heat After a Fission Burst

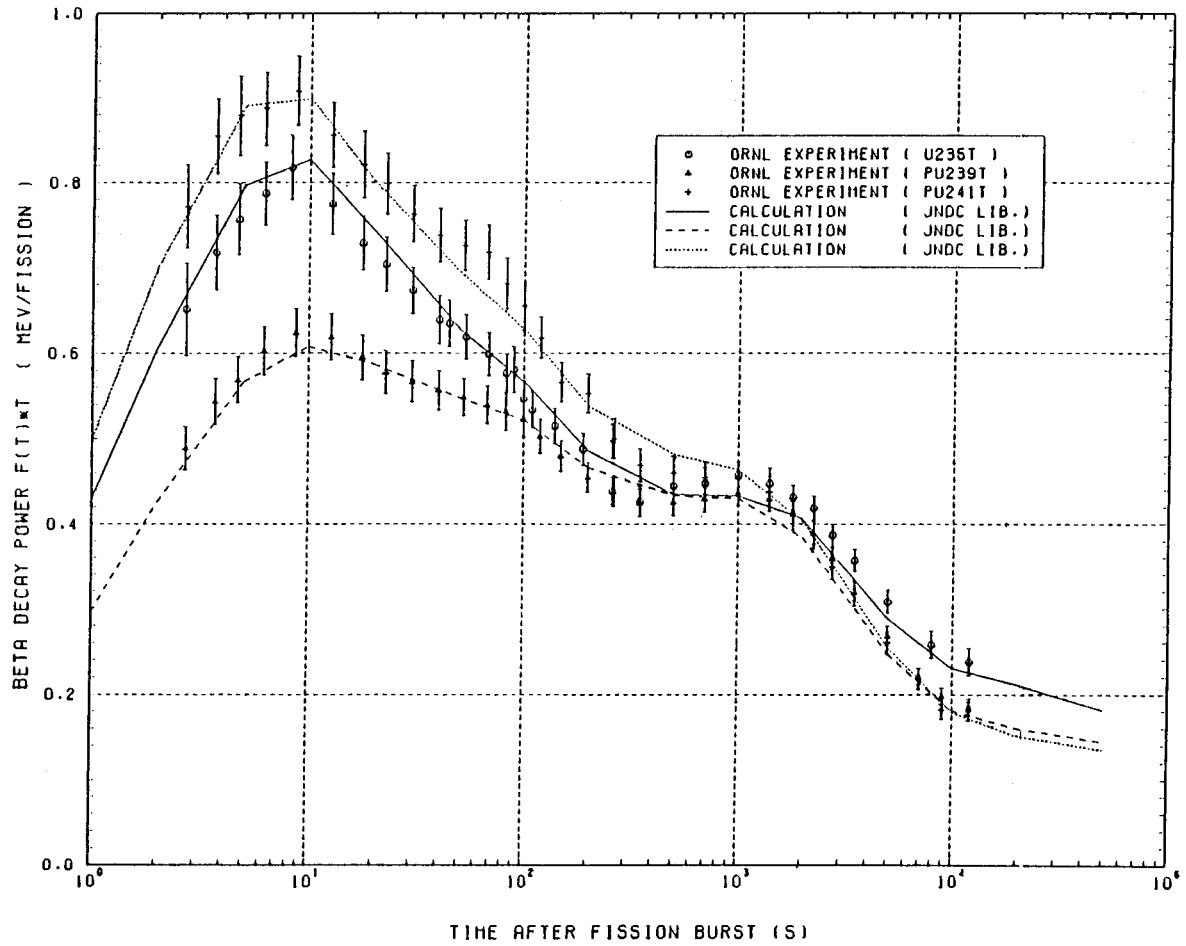


Fig. 2 Comparison of calculated decay heat to measured results

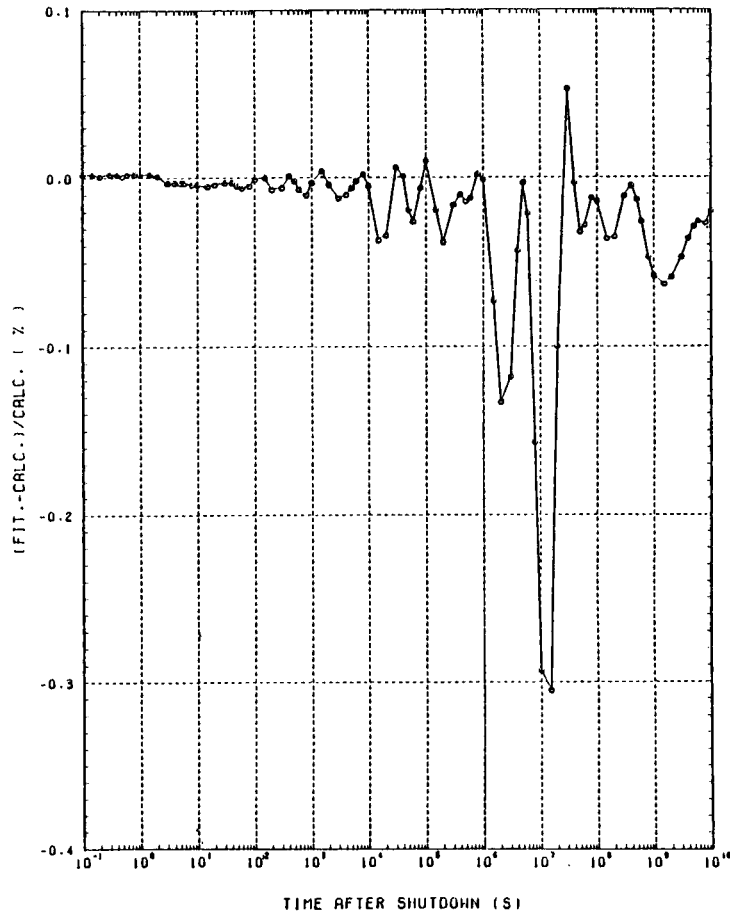
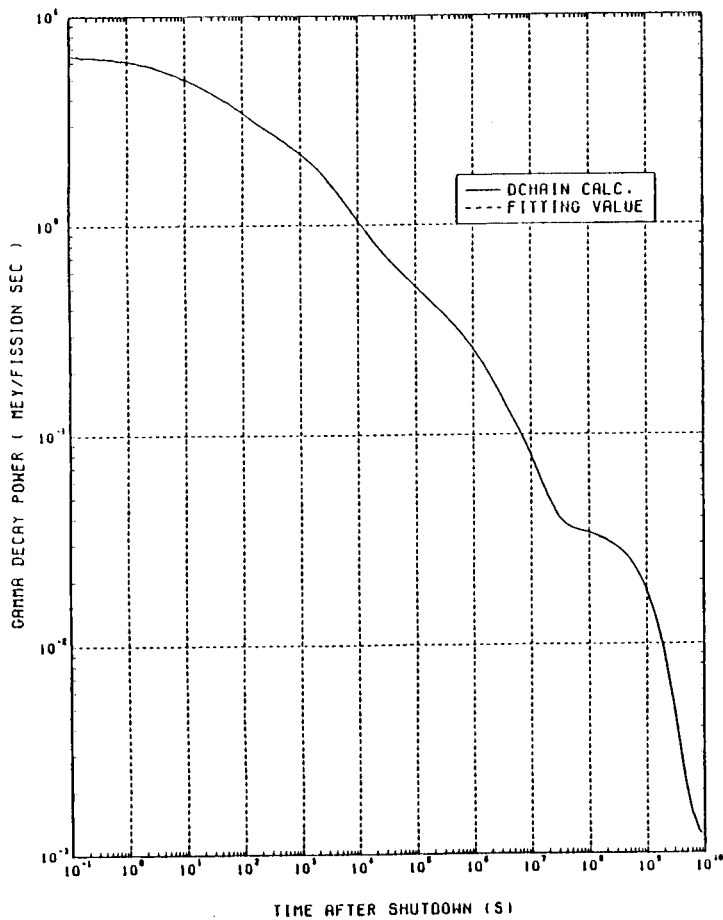


Fig. 3 Discrepancies between exponential fitting and calculated results of decay heat