

解 説 (II)

## J N D C F P 崩壊データライブラリー 第二版の完成

(東芝) 吉田 正

シグマ委員会の崩壊熱評価ワーキンググループは、ほぼ十年前に完成し、当時最新の崩壊熱測定値(積分値)を極めて良好に再現することで、諸外国からも一貫して高い評価を得てきた J N D C F P 崩壊データライブラリーを更に拡張し、また改良を加え、同ライブラリーの第二版を完成し公開した。内容の詳細は、本誌の発行と前後して刊行される総合報告、J A E R I レポートを参照して頂くとして、第二版の完成に至る道のりとその特徴を紹介したい。

### 1. 黎明期

1970年代の初頭米国で、軽水炉の L O C A (冷却材喪失事故) 解析のための崩壊熱規格を定めることになり、そのための崩壊熱予測精度の現状評価がおこなわれた。その結果、当時の A N S 崩壊熱基準の使用に際しては 20% の誤差を見込む必要があるとされたが、E C C S (非常用炉心冷却系) の容量がこの規定の影響をもろに受けるだけに、そのインパクトは大きかった。そこで、この 20% の誤差を詰めてゆく目的で、実験と計算の両面から、崩壊熱研究の広範なプログラムが実行に移された。実験だけを例に取っても、国立研究所(ロスアラモス、オークリッジ)、大学(UCB)、民間(EPR I にサポートされた I R T 社)と多岐に渡り、複数の測定による相互チェックを行うという、念の入れようであった。

当時、日本には、田坂完二氏(原研、現名大)の先駆的な理論研究があるのみで、プロジェクト的な広範な研究プログラムは存在しなかった。これを心配した、中嶋龍三氏(法大)、永山哲氏(原電)、飯島俊吾氏(NAIG、現東芝)、高橋昌平氏(東芝、現原工試)といった方々が中心になり設立したのが崩壊熱評価ワーキンググループである。(当時、筆者は使い走りの新入りで、事の全貌が見えていなかった。重要な方のお名前を書き落していないか、心配である。)

### 2. 成長期

ワーキンググループの課題は、崩壊熱総和計算のための基礎データファイルの作成にあった。しかし、1000核種を優にこえる核分裂生成核種(FP)の崩壊データを原論文に遡って調査・検討し、基礎データファイル作成のための、そのまた基礎のデータファイルに納めてゆくというのは並大抵のことではない。当時のグループリーダー中嶋龍三氏、すで

に故人となられた松本純一郎氏（原研）、山本徹氏（東北大、現東芝）といった方々が、何年間も費やしてこの仕事を完成された。以後、十年以上にわたるワーキンググループの活動の基盤は、全てここにあると言っても過言ではない。また、これを処理し、崩壊熱総和計算で実際に必要な諸量（例えば、一回の崩壊イベントあたり放出されるベータ線、ガンマ線の平均エネルギー）を計算し、最終的なファイルにするコードシステムは宝珠山健氏（MAP I）らによって作られ、この仕事は現在、井原均氏（原研）に引き継がれている。この時期私自身は、測定データのない、主として寿命の短いFPの崩壊データを理論的に予測する目的に、山田・高橋の「ベータ崩壊の大局的理論」を応用する可能性を検討していた。これは、後に意外な展開をもたらすことになった。

### 3. 成熟期

長い時間と労力をかけて完成された、JNDC FP崩壊データライブラリーを、崩壊熱積分実験値の解析に適用した結果は、完全に期待に反するものだった。ほとんど時を同じくして完成していた米国のENDF/B-Vや、英国のUKFPDD-2でも、状況は同じだった。つまり、それ以前のライブラリーに比べても、積分測定との一致が返って悪くなってしまったのである。我々は、多くの試行錯誤の後、短寿命FPの崩壊データ（微分測定データ）そのものに問題があり、測定データが有ろうと無かろうと、短寿命核にはすべて「ベータ崩壊の大局的理論」による理論値を適用すべきだと結論した。こうして完成したのがJNDC FP崩壊データライブラリー第一版である。1980年のことである。詳細は省略するが、我々のこの主張は次第に海外でも受け入れられ、JNDCライブラリーは1983年米国で開かれた「核分裂生成物の収率と崩壊に関する専門家会議」での最大のトピックスとなった（写真）。またこの時期、秋山雅胤氏（東大、現日立）らにより高精度かつ広範な崩壊熱積分測定が行われ、わが国自前の信頼性の高いデータを計算結果の評価に使えた意義は極めて大きい。この点は強調して、強調しすぎということは無いだろう。

### 4. 第二版への展開とその特徴

このように、JNDCライブラリー第一版は、崩壊熱積分測定データを良好に再現できる世界で唯一と言ってもいいデータベースとなった。第一版を完成・公開するとすぐ、それを拡張し、さらに改良するのを感じ、第二版の作成に取りかかった。第二版作成の狙い目は、

(1)崩壊データ（特に一崩壊イベントあたり放出されるベータ線、ガンマ線の平均エネルギー）を各核種ごとに入念に見直し、ライブラリーとしての信頼性を高めること、

(2)核分裂収率データを充実させ、 $^{232}\text{Th}$ から $^{241}\text{Pu}$ までの、更に多くの親核種の崩壊熱を計算できるようにすること、

(3)崩壊熱ガンマ線成分(=遅発核分裂ガンマ線)のエネルギースペクトルも計算できるようにすること、

などである。例えば(3)は、崩壊熱計算の精度を評価する上での貴重な情報を提供してくれるほか、即発ガンマ線と同じ程度に重要な、遅発核分裂ガンマ線のエネルギースペクトルを高い精度で計算するという実用目的からも大いに重要である。意外にも、この種の計算が出来るのは、今のところわれわれ第二版だけである。それは、短寿命FP核種のガンマ線スペクトル測定データの不足が原因だがJNDCライブラリー第二版はこれを理論計算で補っている。(米国のENDF/B-VIも片倉純一氏(原研)が計算した短寿命核のガンマ線スペクトルを採用し、この種の計算を可能にする方向で検討している)。表1に第二版に収納されているFP核種数を分類して示す。また、第二版の作成に使用され、ライブラリー管理・改訂、崩壊熱計算を行う処理コードシステムは井原均氏により作成された。

## 5. その後

JNDCライブラリー第二版の成果を有効に活用することを目的のひとつに、原子力学会は昭和62年4月、加藤敏朗氏(名大)を主査とする「原子炉崩壊熱基準」研究専門委員会を発足させ、昨年8月「原子炉崩壊熱とその推奨値」と題する報告書を刊行した。ここには、第二版による計算値をベースに、最新の測定値との比較、崩壊熱数値表、指数関数型のfitting式、誤差評価などが纏められている。この「推奨値」と欧米の崩壊熱スタンダードを典型的な燃焼条件下で比較し、表2に示す。ANS 5.1の値(1)は、ISO(欧州を中心に作成されているスタンダード)とJNDC(第二版による計算値を採っている)の値にくらべ5%から7%高い。これはひとつには、ANS 5.1が、規格化に用いる核分裂エネルギー(分裂時に放出される総エネルギー)を保守的に一律200MeVとしている事による。核分裂エネルギーの扱いをJNDCないしISOなみにして比較すると(2)、三者は4%以内で一致している。したがって、これら三つのスタンダード(乃至は推奨値)は、運用上の問題(ここでは核分裂エネルギーの扱い)を別にすると、互いに極端に異なる値とはなっていない。三者の中ではJNDCが最も低い値を与えるが、これは近年のデータの蓄積と計算精度の向上の結果であると言える。

## 6. 今後の計画

崩壊熱評価ワーキンググループは、いまずぐに第三版の作成に着手することを計画してはいない。当面出来る事はほぼ完成し、その後測定データが大幅に増加したりしていないためである。そして、これまで懸案となっていた、アクチニド崩壊熱と遅発中性子データの評価に着手する。



1983年BNLで開かれた崩壊熱専門家会議でのスナップ。左から仏の Duchemin, 米の Reich, Schenter, 英の James, 米の Dickens, スウェーデンの Rudstam の各氏。これに英の Tobias, 米の England の 2 氏が加われば, この分野の主要メンバーがほぼ揃う。

表1 General contents of JNDC fission product nuclear data library

Number of Nuclide	Type, Comment
1227	Total number of nuclides in library
149	Stable nuclides
1078	Unstable nuclides
129	Nuclides with delayed neutron emission
536	Nuclides with known decay energies
542	Nuclides with estimated decay energies

表2 代表的な崩壊熱スタンダード（乃至推奨値）の相互比較（運転時出力を100とした時の相対値；カッコ内は対JNDC比）

冷却時間 (秒)	ANS5.1(1979) (1)指定通りの 扱い	ANS5.1(1979) (2)核分裂エネルギー 修正 (JNDC流)	ISO ドラフト (1990)	JNDC (1989)
1	5.74 (1.06)	5.59 (1.04)	5.54 (1.03)	5.40
10	4.46 (1.07)	4.34 (1.04)	4.29 (1.03)	4.16
100	2.93 (1.07)	2.85 (1.04)	2.81 (1.02)	2.75
1×10 <sup>3</sup>	1.77 (1.06)	1.72 (1.03)	1.69 (1.01)	1.67
1×10 <sup>4</sup>	0.849 (1.05)	0.826 (1.02)	0.808 (1.00)	0.811
1×10 <sup>5</sup>	0.416 (1.04)	0.404 (1.01)	0.399 (1.00)	0.399
1×10 <sup>6</sup>	0.204 (1.06)	0.199 (1.03)	0.196 (1.02)	0.193
1×10 <sup>7</sup>	0.0611(1.06)	0.0594 (1.03)	0.0593(1.03)	0.0574
1×10 <sup>8</sup>	0.00595(1.03)	0.00578 (1.00)	0.00594(1.03)	0.00577

計算条件：  
(出力分担比)

U-235  
U-238  
Pu-239  
Pu-241

0.80	0.60	0.40	} 運転時出力 100
0.06	0.07	0.08	
0.13	0.29	0.42	
0.01	0.04	0.10	

300日 60日 300日 60日 300日 冷却時間