

以下は第13回原子力総合シンポジウム(1975年2月18・19日)の予稿集よりの転載である。

総合講演 13

核データの利用

(1) 核分裂炉用核データ

日本原子力事業(株) 飯島俊吾

核分裂炉の核特性計算と安全性評価に必要な主な核データは、0-15 MeV の中性子反応断面積、ガンマ線生成断面積、放射性物質の生成と崩壊に関するデータである。

この他に、ガンマ線、荷電粒子入射反応や、原子的データ(ガンマ線透過)、物質構造と力学のデータ(中性子熱化)等が問題に応じて必要となる。これらの核データは測定でカバー出来ないものが多く、理論計算や、測定値の系統性を併用して未知核データを推定することが行なわれている。

一方、核データの不足や不確かさ、および原子炉計算手法の制約を補うために、積分実験が行なわれている。例えば、臨界集合体による模擬実験、物質中の中性子・ガンマ線の透過実験、照射ウラン試料からの崩壊熱の bulk な測定、等々である。ここではこれらの積分データも広い意味での核データに含めて考えた。以下、原子炉の核特性評価と安全性評価に分けて、各々に現在要求されている核データの現状と問題について述べることにする。

核特性計算のための核データ:

主な核特性量としては実効増倍率、反応度係数、燃焼特性、増殖比、出力分布、制御材価値、等があげられる。熱中性子炉に対しては核データは略充分な精度に達していると考えられているが、米国の ENDF/B-3 データファイルを用いた計算では、未だクリーンな臨界実験における臨界量の予測が不十分であることが報告されている。この点、再検討を行うことは是非必要である。高速炉の場合¹⁾は現在でも核データの精度が余り良くない、ないしは測定値が無いという基本的な問題がある。この現状と補うために、高速炉の設計のさいは殆ど必ず臨界集合体によるモックアップ実験を行っている。しかし、一般に材料の制限や測定手法の制約のために、モックアップ実験値から設計体系での値を求めるためには可成りの外挿操作を必要とする。特に、燃焼炉心についてのデータを得ることは難かしい。従って、モックアップ実験を前提としても、計算値と実験値間の相関が良いことが設計に用いるための必要条件である。このような立場から見た場合、高速炉核特性の予測に最も緊急度の高い核データは次のものであろう。(1) Pu, U の σ_f と σ_c , (2) ^{238}U の非弾性散乱断面積、(3) FP の σ_c , (4) Pu, U, Na, SUS 等の中性子反応による二次ガンマ線発生断面積。例えば、 ^{239}Pu の σ_c/σ_f は平均として 20% の誤差があると考えられるが、これにより、増殖比は約 5%、燃料の倍增時間は 20~30% の不確かさ(1 σ)を生ずる。(^{238}U の σ_c 値の不確かさも 5-10% あるが、この不確かさの増殖比への影響は積分データを使用することによって大巾に縮小出来る。 ^{239}Pu の σ_c/σ_f の積分データと得ることは難かしいが最近 EBR-II ではこの測定が行なわれた。) 又、FP の σ_c 値の不確かさは平均として約 20% であり、これは取出し燃焼度 100,000 MWD/T の大型炉心

の場合、平衡炉心の燃料インベントリーに約5% (10)の不確かさをもたらす、ナトリウムボイド反応度に20-50%の不確かさを生ず。(最近 Petten研究所においてFP断面積の積分測定が行なわれ、シグマ委員会でもこの測定によってデータテストを行ない、FP核データ再評価の一助としている。) 又、 ^{239}Pu の σ_c 測定データが欠如しているため、燃焼に伴う反応度変化の予測に可成り大きな誤差が生れ、その結果は制御棒設計に相当の影響をおよぼす。最近話題になっていることとして、 $^{238}\text{U}(n, \gamma n')$ 過程を含めることによつて、炉内の中性子スペクトルの計算と測定との不一致を著しく改善し得たという報告がある。これは今後の核データの盲点であった。これらの緊急な核データは国内外において精力的に測定、評価が行なわれているが、設計からの要求精度と充分にみたすためには、尚多くの努力と期間を要すると思われる。

今後觸れなかつた問題として、積分データによる微視核データの adjustment という方法がありその有効性が主張されているが、これに対する反討論も又強いことを付け加えておく。

安全性評価に関する核データ:

安全性評価に關した核データとして、崩壊熱評価、炉構造物照射量および遮蔽の計算、放射性物質の生成と崩壊、に關する核データを考へる。出力係数、ボイド反応度、燃料のスランピング時の反応度、等も安全性評価の問題と云えるが、これらは核データ的には前述の核特性評価に必要なデータと並んで完全に重複するので、ここでは採り上げないこととする。

(1) 崩壊熱評価²⁾

崩壊熱の評価は、炉停止直後の熱除去のための設計基準に關連して最近非常に注目されているが、その他にも、使用済燃料の貯蔵と輸送、再処理時のホットラボの設計、廃棄物の長期にわたる処分等の問題に対する基礎データとなるものである。この評価のためには、表1に示すように、約500乃至1000核種のFPと、アクチニド元素についてのデータが必要である。

表1. 崩壊熱評価に必要な核データ

核データの種類	核種
(i) 核分裂率収率、特に charge 分布	FP 500~1000核種
(ii) 崩壊データ (半減期, d, β, γ エネルギー)	FP 500~1000核種および「アクチニド」
(iii) アクチニド核種生成断面積	$^{238}\text{Pu}, ^{239}\text{U}, ^{239}\text{Np}, ^{241}\text{Am}, ^{242}\text{Cm}, ^{244}\text{Cm}$
(iv) 積分データ (β, γ エネルギー放出量)	$\text{Pu}, \text{U}, (\text{TR})$ 同位元素

ECCS問題では冷却時間10-1000秒での崩壊熱を知ることに必要であり、理論的な総和計算でこれを求めるためには数sec-1000secの短かい半減期のすべてのFPについて上表のデータが要する訳であるが、測定データは欠如しているか、或は精度が充分でない場合が多い。通常用いられている崩壊熱評価は、短冷却時間(1000秒程度以下)では積分測定値を用い、長い冷却時間では総和計算値を用いて、両者をつなぎ合せて一本の評価曲線を得るやり方である(Shure, Scatena等)。この評価は方法的には優れているが、

又として、積分測定が殆ど²³⁵Uに限られていること、データのばらつきが可成り大きいこと、照射履歴が入らないこと、等がある。今後の崩壊熱評価は分裂核種の拡張も含めて、基礎核データに基づいた総和計算により大きなウエイトがおかれるようになることを考えられる。これらの基礎核データの測定値収集、評価は現在シグマ委員会でスタートしており、非常に勞の多い仕事であるが、安全性評価の基礎データであるから、我国においてこの研究を積極的に行うことは大変意義のあることを考える。

最近、廃棄物の処分に関連して、非常に長期の冷却時間(1000年)迄の燃料崩壊熱の計算を米国のAngelo³⁾が行なっている。彼等の結果の一例を図1に粗っぽく再掲する。

(2) 遮蔽計算用核データ

炉構造物における高速中性子照射量の評価および炉体周辺の遮蔽計算では、高次元分布を含む中性子透過に関する核データと、ガンマ線生成断面積データが必要であり、又、これらの積分的テストが一層重要である。最近の S_N 計算法の進歩に伴って、炉体周辺の遮蔽計算は、核特性計算で用いているのと同じ核データファイルおよび同一の計算手法で行われる可能性が大きくなってきている。我国の現状は未必必ずしもそこに達しておらず、核計算と遮蔽計算はなかなかばつばつな状態であることが多く不要のギャップを生じ易い。

核データの改善を両者に共通に反映させるためにはこの辺り事情を改めることを考える必要がある。

(3) 放射性物質の生成断面積

安全設計の側からトリチウムの生成断面積データ($^{10}B(n,2d)$, $^{11}B(n,t)$, $Be(n,t)$, $^6Li(n,t)$ 等)、および $^{40}Ar(n,\gamma)$, $^{14}N(n,p)$, $Na(n,2n)$ 等のデータの要求が出されている。又、燃料キャスクの設計のために $^{59}Co(n,\gamma)$, ^{60}Co の高速炉用のデータの要求が出されている。これらのデータ、可成り多いものはENDF/B-3に収録されている。 $^{59}Co(n,\gamma)$ は高速炉の評価値が意外なことに無く、測定値も多少上にはばらつきが大きい。放射性corrosion productの生成核データも含め、今後この種の安全性用データに対する要求が増大するものと考えられる。

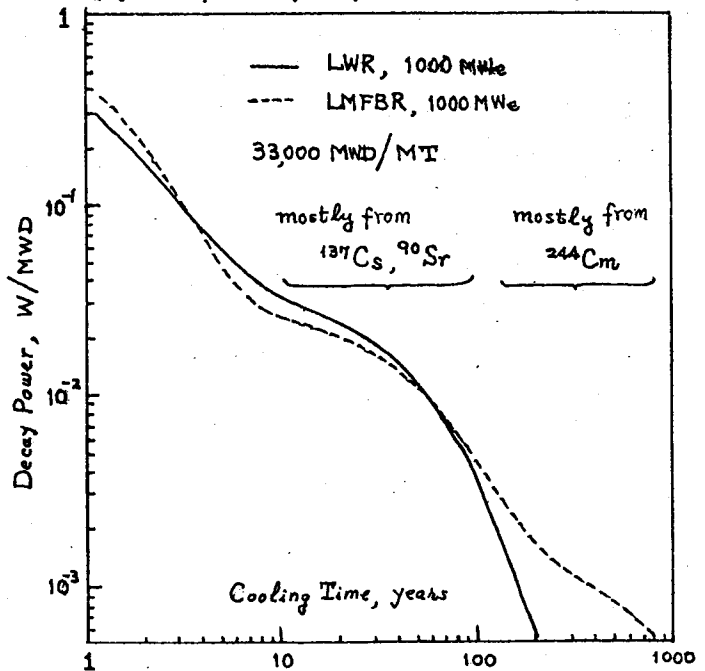


Fig.1 Decay Power from Spent Fuel

結 び :

原子炉の核特性と安全性評価に関する核データは主に高速炉、軽水炉について述べて来たが、ここで觸れたい、た多様多様の核データも最終的には同様に重要であることと強調したい。個々の核データは、当面の原子炉設計からの要求に対して緊急度の違いはあるが、相互に直接的、間接的な関連を結んでいる。例えば遷延中性子の詳細データは、反応度スケール、燃料計量の問題での重要データであると共に、ベータ崩壊理論計算を通じてFP崩壊熱の評価に役立っている。諸外国ではこれらの多種データが評価済みデータファイル ENDF/B (米国)、UKNDL (英国)、KEDAK (西独) の名稱で格納され修正がくり返されている。シグマ委員会ではおくれればせよ *Japanese Evaluated Nuclear Data Library* JENDL と数年掛りで作成する計息を立て、データ評価を進められている。本稿の内容もシグマ委員会の各ワーキンググループ作業に大部分基づいている。関係各位の方々に謝意を述べさせて頂く。

参考文献 :

- (1) 弘田実彌、他：日本原子力学会誌 16 (1974) pp.516-533, 高速炉物理における進展と残された問題 (総説)
- (2) 中嶋竜三、他：日本原子力学会誌 17 No.1 (1975) 掲載予定, 核分裂生成物からの崩壊熱, 諸問題 (特集)
- (3) Angelo, J.A. et al.; IAEA Symposium on Application of Nuclear Data in Science and Technology, Paris, March 1973, Paper No. SM-170/58.