

IV. Sensitivity of Reactivity Characteristics to Cross Section Uncertainties for Plutonium-Fueled Thermal Systems (Conf. on Neutron Cross Section Technology, Washington, 1968) by U.P. Jenquin, V.O. Uotinen, C.M. Heeb について

水田 宏 (NAIG)

プルトニウム燃料を含む熱中性子体系の解析は実験データの集積と共にさかんになり、核定数の不確かさが固有値や反応度係数に及ぼす影響についてもいくつかの計算がなされてきた。本文獻は、Battelle-Northwest から発表されたものとしては、“Sensitivity of Reactor Multiplication Values to Cross Section Uncertainties for Thermal Systems” by R.C. Liikala et al. (Conf. on Neutron Cross Section Technology, Washington, 1966) および“Analysis of Plutonium Fueled Light Water Reactors” by F.G. Dawson et al. (Symp. on the Use of Plutonium as a Reactor Fuel, Brussels, 1967) に続くものである。

以下に本文獻の概要を記す。

ここで考えられた核定数の不確かさは、 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu の共鳴積分、2200 m/sec での値、および ^{239}Pu の熱領域断面積 σ_{th}^{49} の形の不確かさであり、それらが、実効増倍率 k_{eff} 、ボロン等価反応度、減速材温度係数、ドップラー係数、ボイド係数に及ぼす影響を4種類の体系について計算し、結果がまとめられている。

体系 計算を行なった4つの体系は、(格子間隔を ℓ (in.)、燃料棒直径あるいは平板の厚さを d (in.) として)

- (1) Saxton ($\ell = 0.56$ (sq.), $d = 0.337$, $\text{UO}_2 - 6.6 \text{ w/o PuO}_2$, $8.5 \text{ a/o } ^{240}\text{Pu}$)
- (2) L_x Mixed Oxide ($\ell = 0.85$ (hex.), $d = 0.505$, $\text{UO}_2 - 2.0 \text{ w/o PuO}_2$, $7.6 \text{ a/o } ^{240}\text{Pu}$)
- (3) H_x Mixed Oxide ($\ell = 0.85$ (hex.), $d = 0.505$, $\text{UO}_2 - 2.0 \text{ w/o PuO}_2$, $2.3.5 \text{ a/o } ^{240}\text{Pu}$)

(4) MTR ($\ell = 0.198$ (plates), $d = 0.040$, Al-20w/o Pu, $23a/o$ ^{240}Pu) である。
計算法 HFNコードによる4群1次元拡散計算で、エネルギー群の分割は、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu の主な共鳴が分離されるように選んでいる。(各群の上限エネルギーはそれぞれ10 MeV、11.7 keV、2.38 eV、0.683 eV)。高速群の定数はHRGコードで計算されている。このコードでは、実効共鳴積分はAdler, Hinman and Nordheim (2nd Geneva Conf. 1958)の方法で、Dancoff係数はCarlvik (NSE, 29, 1967)あるいはBell (NSE, 5, 1959)の方法で計算され、被覆材は減速材に均質化して扱われている。熱群の定数は、THERMOSコード(H_2O にはNelkin kernelを、他の核種にはgas kernelを使用)で計算されているが、拡散係数Dは、TEMPESTコードにより得られる $\bar{\Sigma}_x$ より $D = \frac{1}{3} \bar{\Sigma}_t$ として計算されている。

Sensitivity 不確かさを考えるのは $\bar{\nu}\bar{\Sigma}_f$ 、 $\bar{\Sigma}_a$ および σ_{th}^{49} の形だけであるとし、1.2.3群の $\bar{\nu}\bar{\Sigma}_f$ 、 $\bar{\Sigma}_a$ は10%、4群のそれは1%を変化させてSensitivityの計算を行なっている。セル平均の断面積 $\bar{\nu}\bar{\Sigma}_f$ 、 $\bar{\Sigma}_a$ は個々の核種の寄与より成っているので、このSensitivityを用いて個々の核種のエネルギー群平均断面積の変化から k_{eff} その他の反応度の変化を計算することができる。 σ_{th}^{49} の形の違いによるSensitivityは、BNW Master Lib. (Westcott (1965)により評価された2200m/secの値とLeonard (TNCC(US)-58, 1959)のfittingに基づく)の σ_{th}^{49} とSchmidt (KFK-120, 1966)により編さんされたものを用いた計算より出している。

断面積の不確かさの評価

共鳴吸収 この文の初めに挙げた文献での検討などから ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu の無限希釈共鳴積分 I_∞ には5%の誤差(少し小さめの推定)があるとする。更に実効共鳴積分 I_{eff} および実効断面積 $\bar{\sigma}$ ($\equiv I_{eff}/\Delta U$; ΔU はグループのレサジー幅)にも5%の誤差があり、その誤差が ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu ではすべて第2群に、 ^{240}Pu ではすべて第3群にあるとする。

2200m/secの値Westcott (1965)の評価によれば、 σ_a^{25} 、 σ_f^{25} には0.4%； σ_a^{49} 、 σ_f^{49} には0.5%； σ_a^{41} には2%、 σ_f^{41} には1%； σ_a^{28} には2%； σ_a^{40} には3%の誤差がある。 ^{239}Pu の σ_{th} の形Sensitivityの所で述べた2種類のライブラリーの違いを $\eta(E)$ の比較という形でFig.1に示す。

実効増倍率および反応度係数の不確かさ(計算結果)

実効増倍率 $k_{eff}^{239}\text{Pu}$ の量が多いことから推察されるように ^{239}Pu の核定数の不確かさの影響が大きく、中でも σ_{th}^{49} の形の違いによるものは0.5~1.9%程度ある。スペクトルが硬くなるにつれ I_{eff} の不確かさの影響も大きくなり、 k_{eff} に0.6%程度の誤差を与える。

温度係数(以下反応度係数については断面積を10%変えたことによる変化)計算した体系での

$\frac{1}{k} dk/dT$ の値は、 $\sim(-10 \times 10^{-5})/^\circ\text{C}$ であるが、 σ_{th}^{49} の形による誤差は 10~20%、
断面積の変化による誤差は 10% 以下である。

ドップラー係数 核種によつて、 ^{238}U 、 $(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、(20~25%)； ^{239}Pu 、
 $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-5}$ 、(5~15%)； ^{240}Pu 、 $(0 \sim 0.1) \times 10^{-5}$ 、(0~5%) 程度
の変化が得られる。

ポイド係数 この量の不確かさは、減速材温度係数の不確かさと同程度である。

ボロンの等価反応度 計算した体系では ^{239}Pu の 2200m/sec の断面積の不確かさにより ~0.5%、
 σ_{th}^{49} の形の違いにより ~1.5% の差がでる。

結 論

実効増倍率 k_{eff} には、 σ_{th}^{49} の形、 I_a^{28} 、 I_a^{49} 、 I_f^{49} の不確かさがかなり効く。2200m/sec で
の値の誤差による k_{eff} の不確かさは十分小さいが、 ^{239}Pu の σ_{th} の 2200m/sec での値とその形
は互に関連しているので慎重な評価が必要である。 σ_{th}^{49} の形は減速材温度係数にも大きく効く。原
子炉の安全性とも関連して、ドップラー係数に効く ^{238}U と ^{239}Pu の共鳴積分のより高い精度が望
まれる。

以上がこの文献の概要であるが、最初に挙げた 2 つの文献も合せて読まれることをお勧めする。

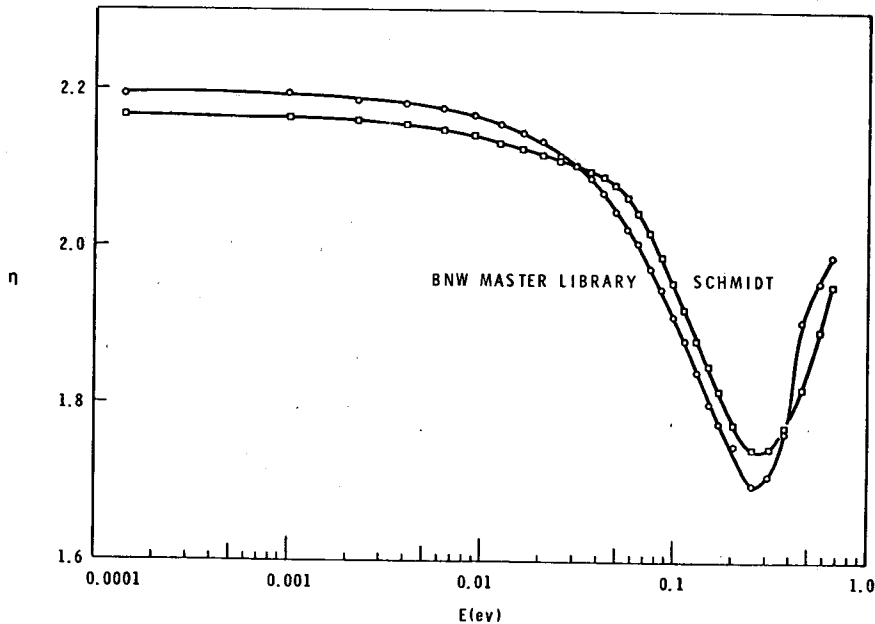


FIGURE 1
Variation of Eta with Energy for ^{239}Pu