

(3) Subgroup 29

「keV から MeV エネルギー領域の U-235 捕獲断面積」

日本原子力研究開発機構

岩本 修

iwamoto.osamu@jaea.go.jp

1. はじめに

JENDL-3.2 と比較し JENDL-3.3 では、ウラン燃料を用いた高速炉心でナトリウムボイド反応度等の積分データの予測精度が大幅に悪化することが日本の高速炉研究者等から報告された[1]。感度解析から、1 keV 付近の ^{235}U の捕獲断面積の増加に原因がある可能性が指摘された。JENDL-3.3 では ENDF/B-VI.5 の ^{235}U 分離共鳴パラメータ[2]を採用したが、この共鳴パラメータは WPEC サブグループ 18 で検討されたもので、現在 ENDF/B-VII.0 や JEFF-3.1.1 等の世界の主要な核データライブラリーで採用されており、積分データ解析から同じ問題が ENDF や JEFF でも起こることが分かった。共鳴パラメータのエネルギーの上限は 2.25 keV であり、このパラメータから計算される捕獲断面積は JENDL-3.2 と比較し keV 領域で大幅に増加している。JENDL、ENDF、JEFF に共通したこの問題を国際協力によって解決するため、2007 年の WPEC 会合でサブグループの提案を行い、サブグループ 29 (SG29) として承認された。本サブグループのコーディネータは筆者が担当することとなった。

2. U-235 捕獲断面積

JENDL-3.2 では ENDF/B-VI.2 の共鳴パラメータを一部改訂して 0.5 keV まで採用し、0.5 ~ 30 keV の非分離共鳴領域では 1980 年の Muradyan 等[3]の捕獲断面積と核分裂断面積の比(α)の測定データを基に捕獲断面積を評価している。図 1 に α の評価値と測定値の比較を示す。図中の α はエネルギー平均値を示しているが、一般には(a)エネルギー平均した断面積の比と(b)断面積の比をエネルギー平均したもので値が異なる。図のものは(a)の値である。測定データ間にばらつきがあるが、JENDL-3.2 では低い測定データを採用している。最近の評価値として ENDF/B-VII.0 のみ示してあるが、2.25 keV まで JENDL-3.3 と JEFF-3.1 共に同じ値である。ENDF/B-VII.0 (=JENDL-3.3) は α の測定データより、大きめに評価されており、特にナトリウムボイド反応度に大きな感度がある 1 keV 付近で

JENDL-3.2 と差が大きい。核分裂断面積に大きな差は無いため、この過大評価は捕獲断面積の違いによるものである。

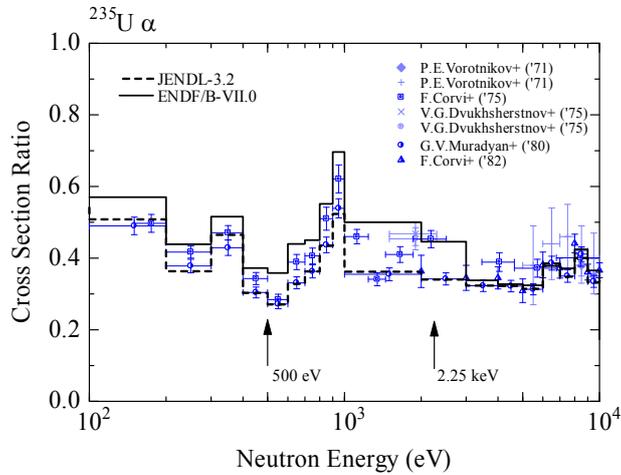


図 1. 捕獲断面積と核分裂断面積の比 ($\alpha = \sigma_c / \sigma_f$)

図 2 に統計モデルによる捕獲断面積の計算値との比較を示す。JENDL-3.2 は全体にわたり統計モデルによる計算結果と良い一致を示しているが、ENDF/B-VII.0 (=JENDL-3.3) では分離共鳴領域の上限エネルギー2.25 keV で大きく盛り上がっている。統計モデル計算と評価値間では弾性散乱断面積に少し違いがあるものの、全断面積や核分裂断面積は概ねよい一致を示しており、この分離共鳴の上限での捕獲断面積の増大は共鳴解析における捕獲断面積の過大評価を示唆していると考えられる。

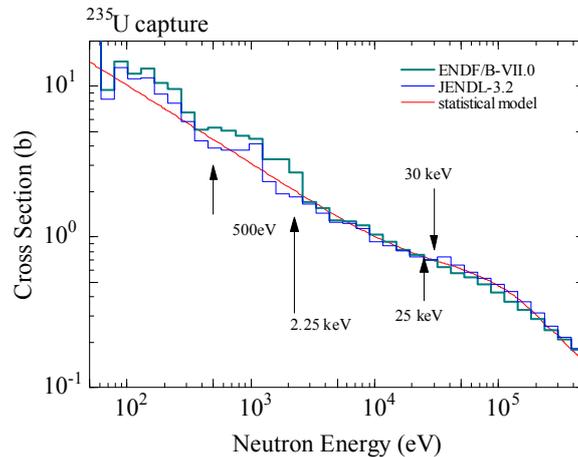


図 2. ^{235}U の捕獲断面積

3. 積分データ解析における問題点

ロシアの BFS-2 では低濃縮ウラン領域 (LEZ)、中濃縮領域 (MEZ)、高濃縮領域 (HEZ)、MOX 領域に分かれた炉心を用いた積分実験がなされており、ナトリウムボイド反応度が

各領域で測定されている。図 3 に核データライブラリーを用いた計算値と測定値との比 (C/E) を示す。JENDL-3.2 では測定データとの比はほぼ 1 となっており、測定データの再現性は良いが、JENDL-3.3 やそれと同一の共鳴パラメータを用いた他のライブラリーは大きく過小評価している。

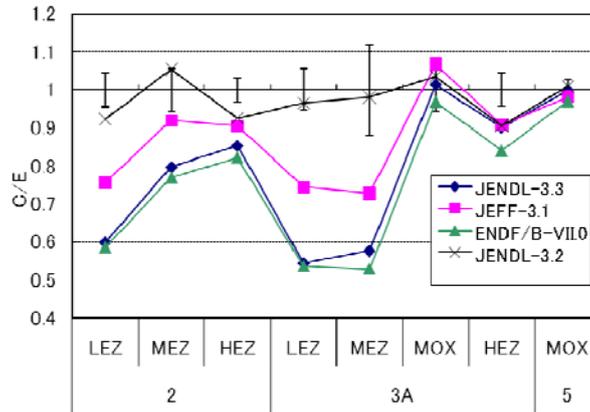


図 3. ナトリウムボイド反応度の計算値と測定値の比 (C/E)

図 4 に ^{235}U 捕獲断面積に対するナトリウムボイド反応度の感度を示す。1 keV 付近に大きな負の感度をもっており、JENDL-3.3 で見られるボイド反応度の過少評価はこの領域の捕獲断面積が増加に起因する。

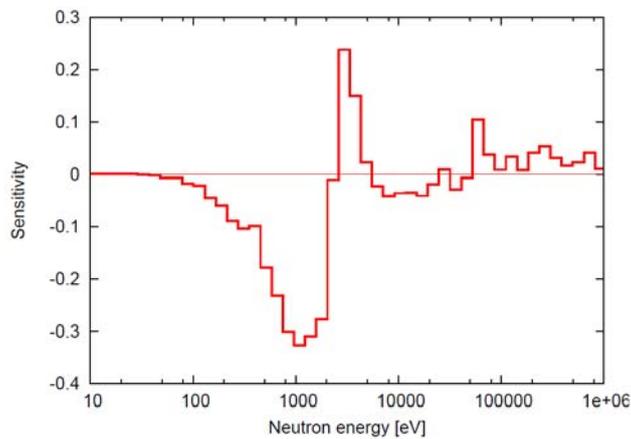


図 4. ^{235}U 捕獲断面積に対するナトリウムボイド反応度の感度

図 5 に FCA の IX 炉心での臨界性の計算値と測定値の比を示す。IX-1 から IX-2, IX-3 となるに従い、炉のスペクトルが硬くなっている。JENDL-3.2 ではスペクトル依存性が小さいが、JENDL-3.3 等の他のライブラリーでは大きな依存性を示しており、 ^{235}U の捕獲断面積の増加が原因である可能性が指摘された[4]。

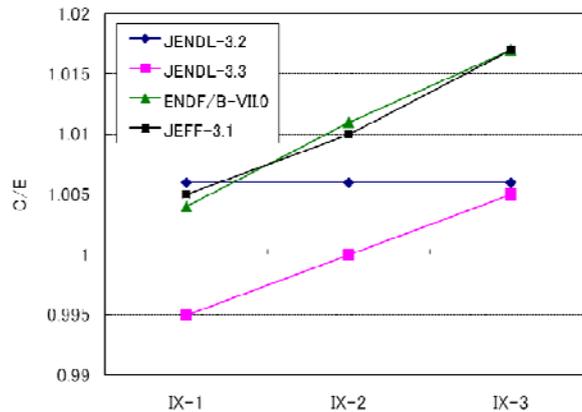


図 5. FCA IX 炉心の臨界性に対する計算値と測定値の比 (E/C)

4. JENDL-4.0

JENDL-3.3 の ^{235}U の捕獲断面積の問題を解決するため、JENDL-4.0 では分離共鳴の上限を 0.5 keV に下げ、0.5~2.25 keV の断面積は JENDL-3.3 で計算した捕獲断面積にファクターをかけて JENDL-3.2 程度の大きさになるように変更した。図 6 に JENDL-4.0 の ^{235}U 捕獲断面積の比較を示す。

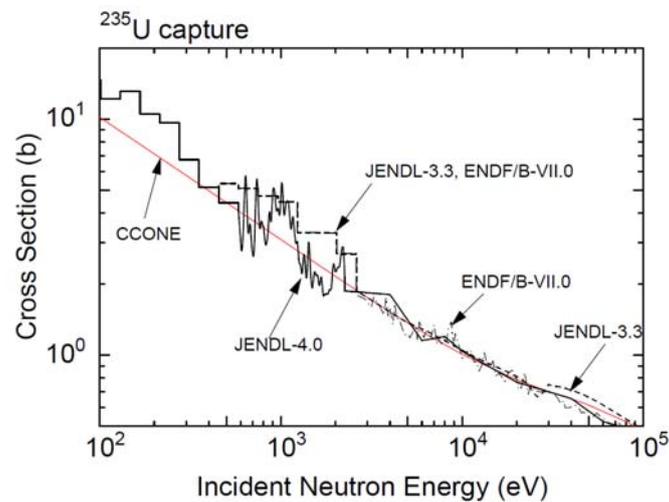


図 6. JENDL-4.0 の U-235 捕獲断面積

図 7 に JENDL-4.0 と JENDL-3.3 で計算した BFS のナトリウムボイド反応度の比較を示す。JENDL-4.0 では C/E が 1 付近でばらついており、JENDL-3.3 で見られた過小評価が改善されている。

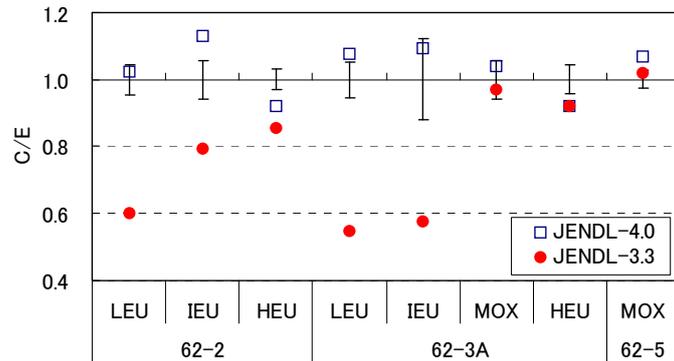


図 7. JENDL-4.0 と JENDL-3.3 のナトリウムボイド反応度 C/E の比較

JENDL-4.0 では FCA の IX 炉心で見られた臨界性のスペクトル依存性は緩和されたが、全体的に過大評価している。JEFF-3.1 と JEF-2.2 を用いた解析で Jacqmin 氏等が指摘しているように、これらの炉心では ^{235}U の捕獲断面積以外からの寄与が無視できず、他の核種や反応に問題がある可能性がある。この問題は SG29 の検討範囲を超えており、解決のためには幅広いアプローチが必要である。

5. まとめ

昨年 FCA でウラン炉心を用いた新しいナトリウムボイド反応度の実験が行われた。その解析によると、JENDL-3.2 では測定値を再現するが、JENDL-3.3, ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1 では BFS と同様に過少評価になることが分かった。JENDL-4.0 では過大評価気味になっている。これを受けて ENDF や JEFF のグループでも検討が行われる予定である。

^{235}U の捕獲断面積の過大評価は積分データから示唆されているものであり、この例から分かるように核データの精度向上には積分データが不可欠である。しかしながら、積分データには様々な要因が入るため、特定の断面積について正確な情報を得ることが難しい。核データの精度や信頼性の向上には断面積の精度良い微分実験が不可欠である。

参考文献

- [1] 羽様 平、核データニュース No.81, 24 (2005).
- [2] L. C. Leal *et al.*, *Nucl. Sci. Eng.*, **131**, 230 (1999).
- [3] G. V. Muradyan *et al.*, *Proc. Int. Conf. on Nuclear Cross Sections for Technology*, Knoxville, TN, October 22-26, 1979, p.488 (1980).
- [4] S. Okajima *et al.*, *Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology*, Santa Fe, NM, Sep. 26-Oct. 1, 2004, p. 476 (2005).