

JENDL-3.2 の高速炉積分テスト

シグマ委員会炉定数専門部会
リアクター積分テスト WG
高野 秀機

はじめに

ここでは、高速炉の主要な核特性に関する JENDL-3.2 の積分検証結果^{1,2)}について概説する。また、ENDF/B-VI.5 や JEF-2.2 の核データファイルとの比較も示す。なお、詳細については公開された論文、報告書等を参照いただきたい。

ベンチマーク炉心の選定およびその特徴

核実験級高濃縮の小型炉心と大型高速炉模擬臨界実験集合体を選定した。小型高速炉系炉心としては以下のものがある。³⁾ Table 1 には、それらの形状を示す。

Table 1 Sizes of small fast reactors

Core	sphere radius(cm)	reflector thicness(cm)
GODIVA	8.741	
FLATTOP-25	6.116	24.13
JEZEBEL	6.385	
JEZEBEL-Pu	6.660	
FLATTOP-Pu	4.533	24.13
JEZEBEL-23	5.983	
FLATTOP-23	4.317	24.13
THOR	sphere r=5.310	cylinder radius 26.65 Height 53.30
BIG10	cylinder radius	41.91 Height 96.428

U-235 cores

GODIVA: a bare sphere of highly enriched U

FLATTOP-25: a bare sphere of highly enriched U with U-reflector

BIGTEN: a cylinder of 10%EU with U-reflector

U-233 cores

JEZEBEL-23: a bare sphere of 98% enriched U-233 fuel

FLATTOP-23: a bare sphere of U-233 fuel with U-reflector

Pu cores

JEZEBEL: a bare sphere of Pu fuel

JEZEBEL-Pu: a bare sphere of Pu fuel with 20%Pu240

FLATTOP-Pu: a bare sphere of Pu fuel with U-reflector

THOR: a bare sphere of Pu fuel with Th-reflector

大型 Pu 高速炉模擬炉心としては以下のものを選定した。

ZPPR-9 : reference core of MOX FBR in JUPITER program

ZPPR-13A: Radial heterogeneous core

FCA-XVII-1: MOX FBR mockup core with HEU driver

FCA-X-2 and JOYO-MK-II: Cores with SUS-reflector

ベンチマーク計算

連続エネルギーモンテカルロコード MVP⁵⁾を基本仕様コードとした。その理由は、多群断面積計算などの核データ処理及び計算体系のモデル化による不確かさを極小化、計算時間の最小化である。

MVP の計算条件は以下のとおりである。

Keff の統計誤差: 0.02%、ワンバッチのヒストリー数は、20,000、初期バッチ数は、400,000 である。また、計算のエネルギー上限は、20 MeV、下限は、 10^{-5} eV、Thermal cut energy は、4.5 eV で $S(\alpha,\beta)$ は ENDF/B-III のデータを使用した。非分離共鳴領域は、Probability table method を用いて共鳴効果を計算した。

ただし、ZPPR-9⁴⁾の Na-void、Doppler、制御棒反応度等については、70 群構造の JFS-3-J32 を作成して計算した。

計算結果の比較検討

(1) keff の計算

Table 2 Comparison of the C/E(keff)-values calculated for small cores

Cores	JENDL-3.2	ENDF/B-VI.5	JEF-2.2
U-235 fuel			
GODIVA	1.0030	0.9969	0.9955
FLATTOP-25	0.9986	1.0027	0.9921
BIGTEN	0.9984	1.0197	1.0088
Pu fuel			
JEZEBEL	0.9972	0.9982	0.9971
JEZEBEL-Pu	1.0015	0.9986	0.9986
FLATTOP-Pu	0.9928	1.0044	0.9896
THOR	1.0061	1.0060	0.9806
U-233 fuel			
JEZEBEL-23	1.0129	0.9931	0.9709
FLATTOP-23	1.0069	1.0031	0.9640

小型炉心の結果は、Table 2 に示す。大型の Pu 燃料計炉心の結果は、Table 3 に示す。

小型炉心では、U-235 と Pu 炉心とも JENDL-3.2 の結果は実験値との一致がよい。一方、U-233 炉心では、JENDL-3.2 による keff は実験値を過大評価している。これは、U-233 高エネルギー領域の核分裂断面積の過大評価のためである。

JENDL-3.2 による keff は、FCA や JOYO では実験値をよく再現しているが、大型炉心 ZPPR-9 と-13A では約 0.6%過小評価されている。

Table 3 Comparison of the C/E-values for large FBR cores : FCA-XVII-1, ZPPR-9, ZPPR-13A, the experimental fast reactor JOYO-MK-II and its mock-up FCA-X-2 assembly with SS reflector.

Cores	JENDL-3.2	ENDF/B-VI.5	JEF-2.2
FCA-XVII-1	1.0022	1.0114	1.0093
ZPPR-9	0.9939	1.0038	0.9972
ZPPR-13A	0.9938	1.0033	0.9975
JOYO-MK-II	1.0003	1.0059	1.0100
FCA-X-2	1.0009		

高速炉における各種反応度効果の解析

高速炉の安全設計上重要なドップラー、冷却材ボイド反応度や制御棒価値についての予測精度の検証は、高速炉用 70 群ライブラリー JFS-3-J32 を作成し二次元拡散ベンチマーク計算を実施した。そのため、輸送、3次元、非対称セル、共鳴干渉等の効果は、詳細計算により見積もり補正した。計算結果を、Table 4 に示す。ドップラー反応度は、ZPPR-9 では 7%過小評価であるが、ENDF/B-VI より良い傾向にある。Na-ボイド反応度も 8%の過大評価であり、設計要求精度 10%を充分満足している。制御棒価値は、領域依存性も少なく、約 1%の誤差内にあり、ENDF/B-VI.5 よりも良い傾向を示している。

Table 4 70 群高速炉用炉定数ライブラリー JFS-3-J32 による ZPPR-9 解析

核特性	JENDL-3.2	ENDF/B-VI.5
UO ₂ サンプル Doppler ZPPR-9(298-1087 °C) FCA-XVII-1(20-800 °C)	0.930 1.08	0.86
ZPPR-9 の Na ボイド 反応度 ボイド領域:97drawers-8"height 97drawers-20"height	1.07 1.08	1.12 1.18
ZPPR-9 の Control rod worth Positions CRP 1 CRP (A,B) CRP (13, 19)	0.998 0.987 1.012	0.997 0.986 0.997
ZPPR-9 の反応率比 F25/F49 C28/F49	1.02 1.03	1.02 1.03

まとめ

- (1) Keff については、U-233 の小型高速炉炉心の過大評価を除いて、全体的に実験値との相違は約 0.5%以内におさまっており、核データの誤差等を考えればきわめて良い予測精

度を示している。

- (2) 高速炉系で重要な、冷却材反応度、Doppler 反応度、制御棒反応度値等についても実験値との一致は良い。
- (3) JENDL-3.2 は、ENDF/B-VI.5 よりも良い結果を示している。

参考文献

- 1) H. Takano et al.: "Benchmark Test of JENDL-3.2 for Thermal and Fast Reactors," *Proc. of Nuclear Data for Science and Technology*, Trieste, May 19-24, 1997, p.112 (1997).
- 2) H. Takano et al.: "Benchmark Test of JENDL-3.2 for Thermal and Fast Reactors," *Proc. of Physics of Nuclear Science and Technology*, Long Island, Oct. 5-8, 1998, Vol. 1, p.58 (1998).
- 3) "Cross Section Evaluation Working Group Benchmark Specifications," BNL-19302 (ENDF-202), Brookhaven National Laboratory (1974).
- 4) T. Iwai, K. Sugino and M. Ishikawa: "Development of the ZPPR-9 Core Benchmark Problem", PNC, TN9410 98-079 (1998).
- 5) T. Mori et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **29**, 325 (1992).
- 6) S. F. Mughabghab, M. Divadeenam and N.E. Holden: *Neutron Cross Sections*, Vol.1, Academic Press, New York (1981).
- 7) K. Okumura and K. Shibata.: private communication (2001).
- 8) N. Okajima et al.: private communication (2001)
- 9) K. Berthold et al.: "Total cross sections of natural Fe in the energy range of 850 keV- 7 MeV", The Geel experimental data (1995).