

## JENDL-3 T/Rev. 1 のベンチマーク・テスト

(原 研) 高野 秀 機

JENDL-3 Tの最初のベンチマーク・テストは1987年9月に終了し、その結果は多くの公開及び非公開の場で議論され、いくつかの重要核種の核データの問題点が明らかにされた<sup>(1)~(5)</sup>。1988年5月の水戸での核データ国際会議の後、これらの核データについての改訂作業が行われ、10月にJENDL-3 T/Rev. 1ファイルが編集された。群定数の計算は改訂・修正の済んだ核種から順次行われ10月下旬には、JENDL-3 T/Rev. 1の群定数ライブラリーとして高速炉用のJFS-3-J3 T/Rev. 1と熱中性子炉用のSRACLIB/JENDL-3 T/Rev. 1が作成された。ここではこれらの群定数セットを用いて、熱中性子炉と高速炉についてベンチマーク計算を行い、JENDL-2及びJENDL-3 Tの結果と比較・検討した。

### (1) 高速炉についてのベンチマーク・テスト

計算は高速炉ベンチマークコードシステムを用いて、21臨界集合体については1次元ベンチマーク計算、ZPPR-9とFCA-VI-2については2次元ベンチマーク計算を行った。これら集合体の炉心の特徴を表1に示す。

#### a. 1次元ベンチマーク・テスト

計算した積分量は、実効増倍係数( $k_{eff}$ )と中心反応率比である。Fig. 1にJENDL-2、JENDL-3 TとJENDL-3 T/Rev. 1で求めた $k_{eff}$ の比較を炉心体積の関数として示す。この図から分ることは、JENDL-3 TにおいてU系炉心では $k_{eff}$ は非常に過大評価であったがJENDL-3 T/Rev. 1では過小評価されている。U-235の $\nu$ -値等について更に検討が必要と思われる。一方Pu系炉心ではJENDL-3 Tでは過小評価の傾向にあったが、JENDL-3 T/Rev. 1では0.5%  $\Delta k/k$ 程大きくなり改善された。これは主にU-238の捕獲断面積の変化による。

Fig. 2には増殖比の指標である $\sigma_o(U-238)/\sigma_f(Pu-239)$ の中心反応率比に対するC/E(計算値/実験値)値の比較を示す。JENDL-3 Tでの過大評価は1~2%改善されているが、ZPR-6-7では10%近く過大評価となっている。

Fig. 3は中心反応率比 $\sigma_f(Pu-239)/\sigma_f(U-235)$ の比較を示す。JENDL-2の過小評価をJENDL-3 Tと-3 T/Rev. 1は大変改善している。

#### b. 2次元ベンチマーク・テスト

2次元ベンチマーク計算では、反応率分布やNa-ボイド反応度等の予測精度の評価を主な

目的とする。

大型高速炉模擬臨界集合体ZPPR-9についての解析結果を示す。

ここでのベンチマーク計算では、非均質セル計算をバックリング・サーチをして行った。しかしバックリング・サーチの効果は小さく、JENDL-2の結果は、前回の結果と良く一致していた。

JENDL-3T/Rev.1で計算された $k_{eff}$ のC/E値は1.002であり、実験値との一致は比較的良い。Table 3には中心反応率比の比較を示す。 $\sigma_f(\text{Pu}-239)/\sigma_f(\text{U}-235)$ 等の核分裂核種についての核分裂反応率比は実験値との一致は良いが、しきい値核分裂反応率についてはJENDL-3T/Rev.1はJENDL-3Tと同様かなり過大評価である。

Na-ボイド反応度に対する計算結果はTable 4に示す。JENDL-3T/Rev.1の結果は実験値との一致も良く、特にJENDL-2で存在したボイド領域依存性が取り除かれている。一方ドップラー反応度についてもTable 5に示すように、5%程過小評価ではあるが、JENDL-2の結果を良く改善している。

JENDL-2で最も重要な問題であったのは、出力分布と制御棒反応度値のC/E値が炉心半径方向に大きく依存していることであった。Fig. 2にはPu-239の核分裂反応率のC/E値の半径方向分布を示す。この図からわかるように、JENDL-3T/Rev.1ではJENDL-2で見られる大きな半径方向依存性を非常に良く改善して炉設計からの要求精度 $\pm 2\%$ を約満足している。この反応率分布の径方向依存性と制御棒値の問題は、相関関係があり、制御棒値についても改善されることが期待できる。

## (2) 熱中性子炉についてのベンチマーク・テスト

熱中性子炉ベンチマーク炉心としてはU-235, Pu-239及びU-233を組成とする臨界安全実験とTRX及びETA炉心での格子パラメータ実験である。高転換軽水炉はPu燃料のPROTEUS炉心である。臨界実験の解析は1次元Sn計算コードANISNで $P_1S_8$ 近似で行い、その他は格子セル計算によった。計算コードは熱中性子炉解析コード・システムSRACを用いた。またSRACを用いる際、熱中性子領域では $\nu$ 値は2200 m/sec値が用いられ、エネルギー依存性が考慮されていなかったため、SRACを改良し、Fig. 5に示すような $\nu$ のエネルギー依存を取り扱えるようにした。JENDL-3T及び-3T/Rev.1ではPu-239とU-235に対して熱領域で $\nu$ のエネルギー依存性が評価されている。

実効増倍係数に対する計算結果の比較をFig. 6~8に示す。U-235系では、JENDL-2と-3Tで見られた $k_{eff}$ のH/U-235比依存性がJENDL/Rev.1では改良されているが、高速炉と同様に過小評価となっている。Pu-239系では、JENDL-2での過大評価を改善し実験値との一致は良くなっているが、まだH/Pu-239比への依存性が見られる。高転換軽水炉(PROTEUS)では、 $k_{\infty}$ のボイド割合への依存性は、JENDL-2より

も小さくなり実験値との一致も良い。

格子パラメータの計算結果の比較を Table 6 に示す。TRX は U-235 メタル燃料, ETA は Th を燃料に含んでいる。DCA 及び ETA 炉心は重水減速材である。格子パラメータに関しては JENDL-3T と -3T/Rev. 1 の結果は殆んど一致している。高速炉と同様  $\delta_{28}$  ( $\sigma_f(U-238)/\sigma_f(U-235)$ ) が JENDL-3T と 3T/Rev. 1 では過大評価されている。増殖比 ( $\sigma_c(U-238)/\sigma_f(U-235)$ ) に関しては実験値と良く一致している。

### (3) 結 論

JENDL-3T/Rev. 1 によって反応率分布の径方向依存性と Na-ボイド反応度の領域依存性の問題が大幅に改善されると共に, Pu-239 系炉心での  $k_{eff}$  の過小評価も改善され, 高速炉及び軽水炉 (高転換炉を含む) での核特性予測制度は JENDL-2 に比べて向上した。問題としては, 中心反応率比:  $\sigma_c(U-238)/\sigma_f(Pu-239)$  と  $\sigma_f(U-238)/\sigma_f(U-235)$  の過大評価及び U 系炉心での  $k_{eff}$  の過小評価が見られるが, この改良は感度解析・群定数調整法を用いれば, 微分データの誤差許容範囲で解を見出すことは容易である。

制御棒価値の径方向依存性も反応率分布との関連から改善が推察されるが, 早急な解析計算が望まれる。

### 参考文献

- (1) 高野秀機: “JENDL-3T のベンチマーク・テストの概要”, 核データ・炉物理特別会合, 62 年秋の年会; 核データ・ニュース No.30 (1988)
- (2) H. Takano and K. Kaneko: “Benchmark Tests of JENDL-3T for Thermal Reactor and High Conversion Light Water Reactor”, JAERI-M88-065 (1988).
- (3) H. Takano and K. Kaneko: “Thermal and Fast Reactor Benchmark Tests of JENDL-3T”, Nuclear Data for Science and Technology (1988, Mito). 521~524 (1988).
- (4) T. Takeda, M. Takamoto, H. Takano and A. Hasegawa: “Sensitivity Analysis of JENDL-3T”, *ibid*, 525~528 (1988).
- (5) T. Takeda et al.: “Thermal and Fast Reactor Benchmark Tests of JENDL-3T,” Reactor Physics Inter. Conf., I-271, Jackson Hole, 1988.

表 1 高速炉臨界集合体ベンチマーク炉心

Assembly	fuel	volume (ℓ)	N8/N9 or N5
VERA-11A	Pu	12	0.05
ZEBRA-3	Pu	50	8.5
SNEAK-7A	Pu	110	3.0
FCA-5-2	Pu	200	2.3
ZPR-3-53	Pu	220	1.6
SNEAK-7B	Pu	310	7.0
ZPR-3-50	Pu	340	4.5
ZPR-3-48	Pu	410	4.5
ZPR-3-49	Pu	450	4.5
ZPR-3-56B	Pu	510	4.5
MZA	Pu	570	3.9
FCA-6-2*	Pu	630	6.6
MZB	Pu	1800	5.8
ZPPR-2	Pu	2400	5.5
ZPR-6-7	Pu	3100	6.5
ZPPR-9*	Pu	4600	9.4
VERA-1B	U	30	0.07
ZPR-3-6F	U	50	1.1
ZPR-3-12	U	100	3.8
ZPR-3-11	U	140	7.5
ZEBRA-2	U	430	6.2
ZPR-6-6A	U	4000	5.0

\* Two-dimensional benchmark core

Table 2 Effective multiplication factor for ZPPR-9

Library	Experiment	Calculation	C/E
JENDL-2	1.00106	1.00012	0.99906
JENDL-3T/Rev.1		1.00326	1.00220

Table 3 Central reaction rate ratios for ZPPR-9

Library	Spectral index	Calculation	C/E
JENDL-2	$^{238}\text{U}(f)/^{235}\text{U}(f)$	0.019852	1.07308
JENDL-3T/Rev.1		0.021603	1.16772
JENDL-2	$^{239}\text{Pu}(f)/^{235}\text{U}(f)$	0.892414	0.97319
JENDL-3T/Rev.1		0.916789	0.99977
JENDL-2	$^{240}\text{Pu}(f)/^{235}\text{U}(f)$	0.182930	1.13340
JENDL-3T/Rev.1		0.195179	1.20929
JENDL-2	$^{241}\text{Pu}(f)/^{235}\text{U}(f)$	1.28345	0.99185
JENDL-3T/Rev.1		1.32140	1.02118
JENDL-2	$^{236}\text{U}(f)/^{235}\text{U}(f)$	0.042788	1.06703
JENDL-3T/Rev.1		0.050349	1.25559
JENDL-2	$^{234}\text{U}(f)/^{235}\text{U}(f)$	0.132763	0.97405
JENDL-3T/Rev.1		0.154039	1.13015
JENDL-2	$^{233}\text{U}(f)/^{235}\text{U}(f)$	1.37237	0.95903
JENDL-3T/Rev.1		1.42110	0.99308
JENDL-2	$^{238}\text{U}(f)/^{239}\text{Pu}(f)$	0.02234	1.10594
JENDL-3T/Rev.1		0.02366	1.17287
JENDL-2	$^{235}\text{U}(f)/^{239}\text{Pu}(f)$	1.12018	1.02675
JENDL-3T/Rev.1		1.09040	0.99945
JENDL-2	$^{238}\text{U}(c)/^{239}\text{Pu}(f)$	0.14656	0.98627
JENDL-3T/Rev.1		0.14805	0.99630

Table 4 Sodium void reactivity for ZPPR-9

Library	Void region	Reactivity (DK/K*10 <sup>-4</sup> )	
		Calculation	C/E
JENDL-2	9 Drawers x	1.1609	1.1152
JENDL-3T/Rev.1	40.64 cm hight	0.97723	0.9387
JENDL-2	37 Drawers x	4.7573	1.1977
JENDL-3T/Rev.1	40.64 cm hight	3.9928	1.0052
JENDL-2	97 Drawers x	12.1465	1.2029
JENDL-3T/Rev.1	40.64 cm hight	10.1475	1.0049
JENDL-2	97 Drawers x	16.3452	1.2767
JENDL-3T/Rev.1	81.28 cm hight	12.9927	1.0148
JENDL-2	97 Drawers x	14.4797	1.3303
JENDL-3T/Rev.1	101.60 cm hight	10.8296	0.9949
JENDL-2	97 Drawers x	11.9899	1.4277
JENDL-3T/Rev.1	137.16 cm hight	8.1467	0.9701

Table 5 Doppler reactivity of NUO<sub>2</sub> sample for ZPPR-9

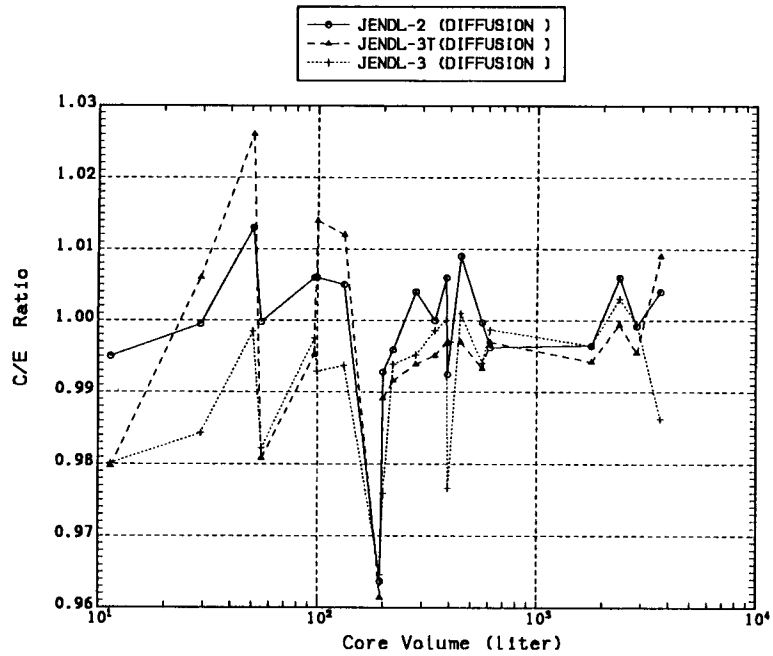
Library	Temperature (degree K)	Reactivity (DK/K*10 <sup>-6</sup> )	
		Calculation	C/E
JENDL-2	298 -> 487.5	-0.94027	0.90953
JENDL-3T/Rev.1		-0.97867	0.94667
JENDL-2	298 -> 644.4	-1.5064	0.91736
JENDL-3T/Rev.1		-1.5689	0.95542
JENDL-2	298 -> 794.0	-1.9421	0.88802
JENDL-3T/Rev.1		-2.0241	0.92551
JENDL-2	298 -> 935.4	-2.2913	0.92743
JENDL-3T/Rev.1		-2.3899	0.96734
JENDL-2	298 ->1087.0	-2.6166	0.91891
JENDL-3T/Rev.1		-2.7311	0.95912

Table 6 Lattice Cell Parameters

ASSEMBLY	PARAMETER	EXP.	CALCULATION		
			JENDL-2	JENDL-3T	JENDL-3
TRX-1	RHO-28	1.311 ± 0.02	1.368 (1.043)	1.388 (1.059)	1.386 (1.057)
	DELTA-25	0.0981± 0.001	0.0995 (1.014)	0.0985 (1.004)	0.0988 (1.007)
	DELTA-28	0.0914± 0.002	0.0961 (1.052)	0.1008 (1.103)	0.1006 (1.101)
	C*	0.792 ± 0.008	0.805 (1.017)	0.807 (1.020)	0.806 (1.018)
TRX-2	RHO-28	0.83 ± 0.015	0.852 (1.026)	0.865 (1.042)	0.863 (1.040)
	DELTA-25	0.0608± 0.0007	0.0608 (1.000)	0.0602 (0.991)	0.0604 (0.994)
	DELTA-28	0.0667± 0.002	0.0683 (1.025)	0.0712 (1.068)	0.0711 (1.066)
	C*	0.644 ± 0.002	0.647 (1.005)	0.648 (1.006)	0.647 (1.005)
DCA	RHO-28	0.84	0.799 (0.951)	0.803 (0.955)	0.801 (0.953)
	DELTA-25	0.06	0.0529 (0.882)	0.0524 (0.873)	0.0525 (0.875)
	DELTA-28	0.049	0.0489 (0.998)	0.0509 (1.039)	0.0507 (1.034)
ETA-1	RHO-02	10.54 ± 0.15	10.16 (0.964)	10.38 (0.985)	10.29 (0.976)
	DELTA-25	1.74 ± 0.02	1.832 (1.053)	1.807 (1.038)	1.804 (1.037)
	DELTA-02*	0.0166± 0.0009	0.0134 (0.810)	0.0143 (0.863)	0.0140 (0.843)
	CR*	0.867 ± 0.009	0.795 (0.917)	0.836 (0.964)	0.830 (0.957)
ETA-2	RHO-02	8.89 ± 0.15	8.345 (0.939)	8.446 (0.950)	8.462 (0.952)
	DELTA-23	2.96 ± 0.08	3.067 (1.036)	3.040 (1.027)	3.045 (1.029)
	DELTA-02**	0.0181± 0.0014	0.0170 (0.938)	0.0190 (1.050)	0.0191 (1.053)
	CR**	1.047 ± 0.02	0.936 (0.894)	0.973 (0.929)	0.973 (0.929)

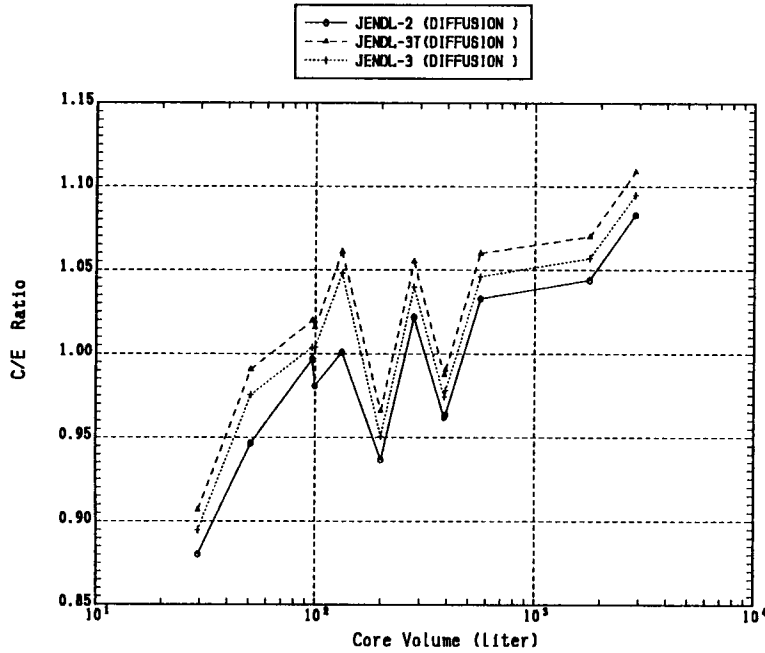
C/E VALUES ARE PRESENTED IN THE PARENTHESES

RHO-28 ; RATIO OF EPITHERMAL TO THERMAL U-238 CAPTURES  
RHO-02 ; RATIO OF EPITHERMAL TO THERMAL TH-232 CAPTURES  
DELTA-23 ; RATIO OF EPITHERMAL TO THERMAL U-233 FISSIONS  
DELTA-25 ; RATIO OF EPITHERMAL TO THERMAL U-235 FISSIONS  
DELTA-28 ; RATIO OF U-238 FISSIONS TO U-235 FISSIONS  
DELTA-02\* ; RATIO OF TH-232 FISSIONS TO U-235 FISSIONS  
DELTA-02\*\* ; RATIO OF TH-232 FISSIONS TO U-233 FISSIONS  
C\* ; RATIO OF U-238 CAPTURES TO U-235 FISSIONS  
CR\* ; RATIO OF TH-232 CAPTURES TO U-235 FISSIONS  
CR\*\* ; RATIO OF TH-232 CAPTURES TO U-233 FISSIONS



No	Core Name	Core Volume (l)
1	VERA-11A	11.45
2	VERA-1B	29.37
3	ZPR-3-6F	50.94
4	ZEBRA-3	55.56
5	SNEAK-7A	96.97
6	ZPR-3-12	99.64
7	ZPR-3-11	132.31
8	ZPR-3-54	193.61
9	FCA-5-2	199.23
10	ZPR-3-53	221.71
11	SNEAK-7B	281.16
12	ZPR-3-50	343.13
13	ZPR-3-48	387.97
14	ZEBRA-2	393.27
15	ZPR-3-49	449.77
16	MZA	565.06
17	ZPR3-56B	613.78
18	MZB(1)	1777.61
19	ZPPR-2	2382.00
20	ZPR-6-7	2870.14
21	ZPR-6-6A	3668.11

Fig. 1 k-effective



No	Core Name	Core Volume (l)
1	VERA-1B	29.37
2	ZPR-3-6F	50.94
3	SNEAK-7A	96.97
4	ZPR-3-12	99.64
5	ZPR-3-11	132.31
6	FCA-5-2	199.23
7	SNEAK-7B	281.16
8	ZPR-3-48	387.97
9	ZEBRA-2	393.27
10	MZA	565.06
11	MZB	1777.61
12	ZPR-6-7	2870.14

Fig. 2 C/E Ratio of  $\langle \sigma_c^{238} / \sigma_f^{239} \rangle$



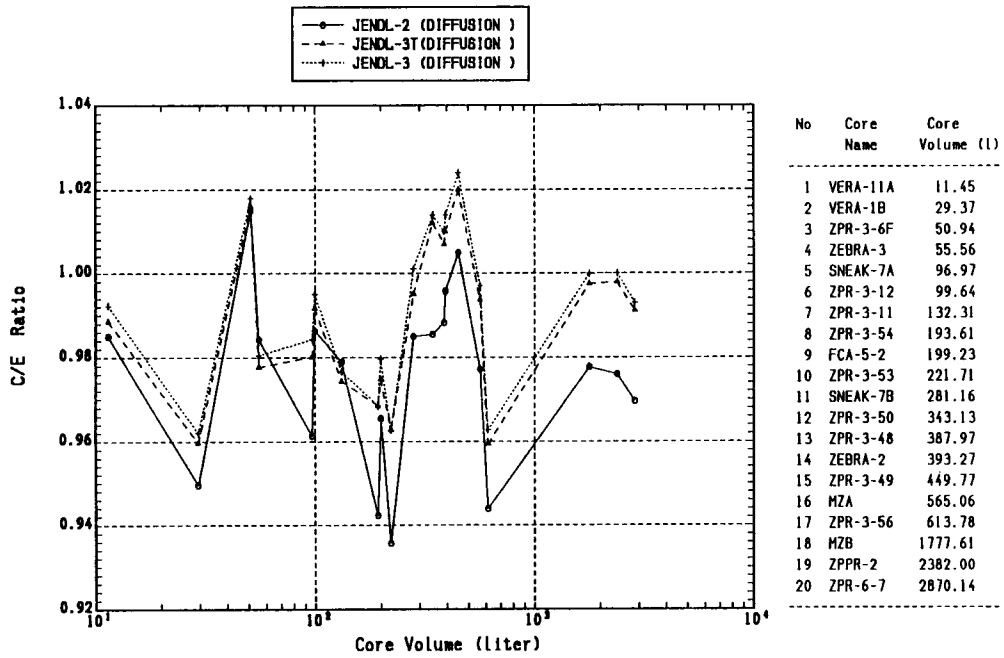


Fig. 3 C/E Ratio of  $\langle \sigma_f^{239} / \sigma_f^{235} \rangle$

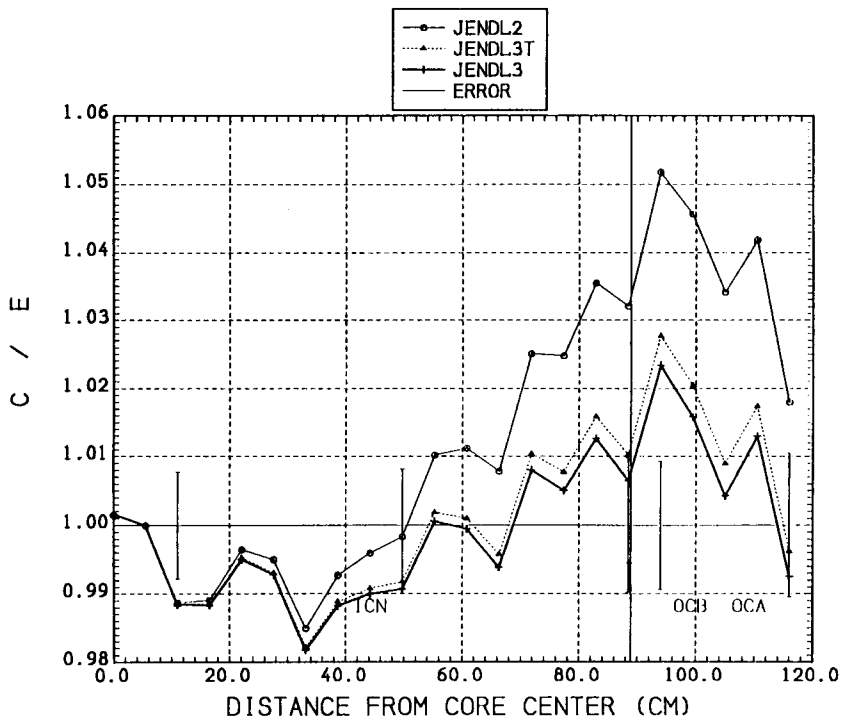


Fig. 4 Pu-239 Fission Rate Distribution (R-Direction)

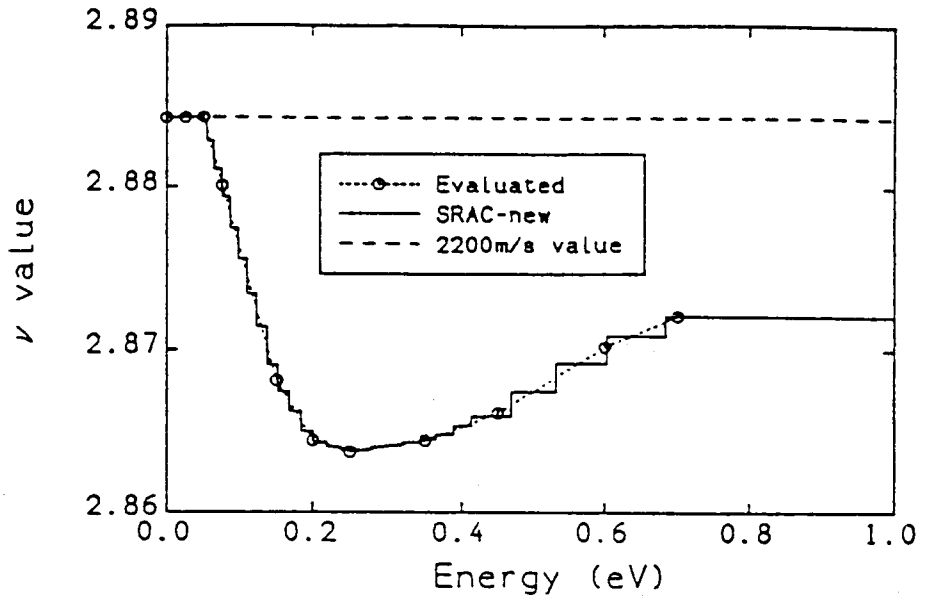


Fig. 5  $\nu$  value of Pu-239 (JENDL-3T/R1)

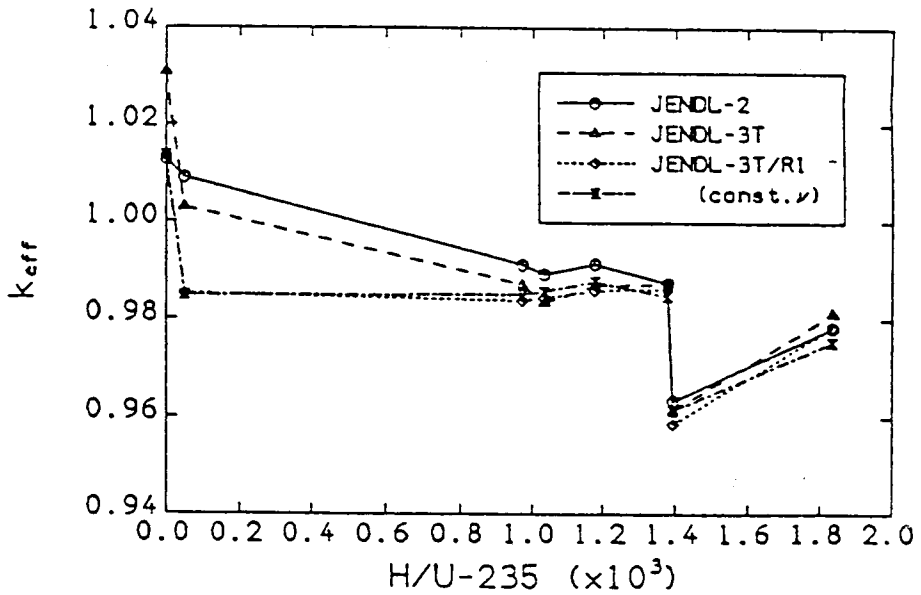


Fig. 6 Comparison of  $k_{eff}$ s for U-235 fuel cores calculated by SRAC/ANISN ( $P_1S_8$ )

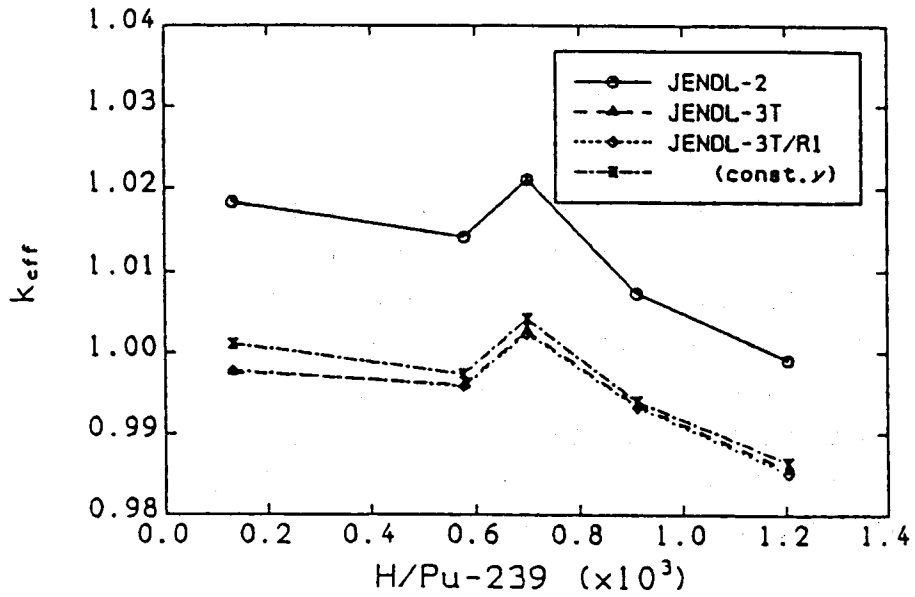


Fig. 7 Comparison of  $k_{eff}$ s for Pu-239 fuel cores calculated by SRAC/ANISN ( $P_1S_8$ )

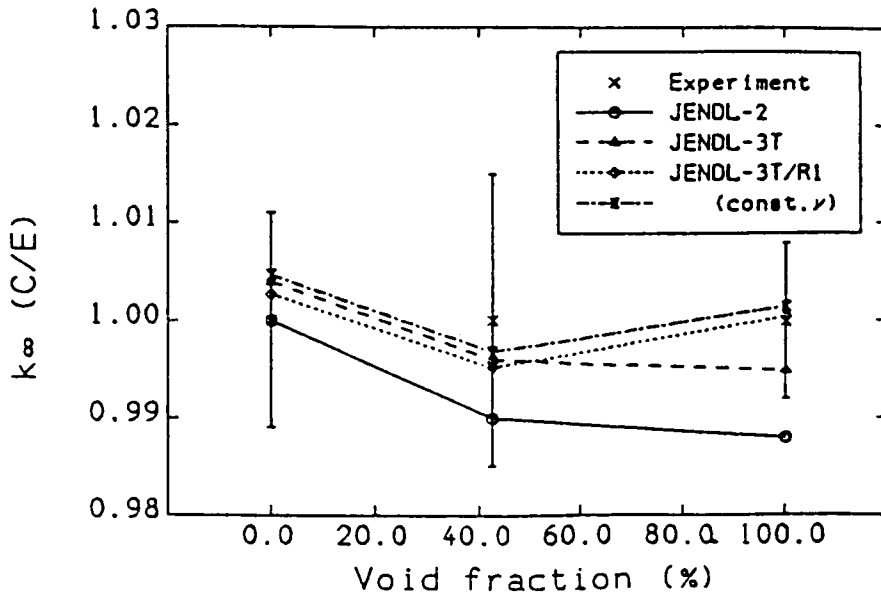


Fig. 8 Comparison of  $k_{\infty}$ s for PROTEUS cores 1~3