

高速炉体系における
JENDL-3.3の積分テスト

(研究報告)

2003年5月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122 (代表)
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003

高速炉体系における JENDL-3.3 の積分テスト

千葉 豪¹⁾、羽様 平¹⁾、佐藤 若英²⁾、沼田 一幸²⁾

要旨

新たに公開された評価済み核データライブラリ JENDL-3.3 の高速炉核特性解析における性能を評価するため、積分テストを実施した。テストには核燃料サイクル開発機構が有する豊富な臨界実験データ (ZPPR、BFS、MOZART、FCA)、実機試験データ (JOYO) を利用した。

プルトニウム燃料を用いた炉心体系では、JENDL-3.2 から-3.3 への改訂により、臨界性で最大 0.3% Δk 程度、Na ボイド反応度の非漏洩項で最大 5%程度 of 解析値の改善が見られた。これよりプルトニウム燃料炉心における JENDL の改訂の妥当性を確認することができた。

ウラン燃料を用いた炉心体系では、ZPPR 炉心での制御棒価値で C/E 値の位置依存性が低減した一方、BFS 炉心では臨界性で 0.6% Δk 、Na ボイド反応度で 30%程度 C/E 値が悪化した。それらの主要因はともに U-235 捕獲断面積の改訂であるが、本積分テストだけではその妥当性を判断することはできなかった。ウラン燃料炉心については、今後、独立な実験体系でのテストが必要である。

1): 大洗工学センター システム技術開発部 中性子工学グループ
2): 原子力システム (株)

Integral test of JENDL-3.3 on Fast Reactors

Gou Chiba¹⁾, Taira Hazama¹⁾,
Wakaei Sato²⁾ and Kazuyuki Numata²⁾

Abstract

An integral test has been carried out to evaluate a performance of evaluated nuclear data library JENDL-3.3, which was newly released, in a view of applying neutronics analyses of fast reactors. Japan Nuclear Cycle Development Institute has a large amount of data of critical assembly experiments(ZPPR, BFS, MOZART and FCA) and power reactor tests(JOYO). The database was utilized in this test.

In plutonium loaded cores, an improvement was observed about 0.3% Δk in criticality and 5% in the non-leakage term of sodium void reactivity by a revision from JENDL-3.2 to -3.3. These results showed that the revision is valid in plutonium loaded cores.

In uranium loaded cores, dependence of C/E values on control rod position became smaller in control rod worth in ZPPR cores. On the other hand, C/E values became worse both in criticality(0.6% Δk) and in sodium void reactivity(30%) in BFS cores. The main cause was a revision of uranium-235 capture cross section, and it could not be concluded whether the revision is valid or not in uranium loaded cores. It is necessary to carry out a validation test at other independent critical experiments in which uranium fuel is used.

1): Reactor Physics Research Group, System Engineering Technology Division,
O-arai Engineering Center, JNC, Japan

2): Nuclear Engineering System Incorporation

目次

第1章	緒言.....	1
第2章	炉定数セットにみる核データライブラリ改訂の概略.....	2
2.1	JENDL-3.3に基づく高速炉用炉定数セット JFS-3-J3.3.....	2
2.2	JENDL-3.3 と JENDL-3.2 との相違.....	2
第3章	JENDL-3.3 の積分テスト.....	9
3.1	テスト実施概要.....	9
3.2	積分テスト結果.....	9
3.2.1	臨界性.....	10
3.2.2	制御棒価値.....	10
3.2.3	微小サンプル反応度.....	10
3.2.4	ゾーン置換反応度.....	10
3.2.5	Na ボイド反応度.....	10
3.2.6	反応率分布.....	11
3.3	積分テストのまとめと問題点の抽出.....	11
第4章	JENDL-3.3 による BFS 臨界実験解析の追加検討.....	21
4.1	検討項目.....	21
4.2	JENDL-3.3 による次世代炉定数効果の評価.....	21
4.3	他の核データライブラリとの比較.....	21
4.3.1	70群無限希釈断面積の比較.....	22
4.3.2	感度係数による核特性に対するライブラリ効果の比較.....	22
4.3.3	JFS 炉定数を用いた核データ間のライブラリ効果の比較.....	23
4.3.4	簡易体系モデルでの核データ間のライブラリ効果の比較.....	23
4.4	まとめ.....	24
第5章	結言.....	33
参考文献	34
付録 A	解析結果詳細.....	A-1

図リスト

図 2.1	U-235 核分裂スペクトルのライブラリ間の比較.....	3
図 2.2	Pu-239 核分裂スペクトルのライブラリ間の比較.....	3
図 2.3	U-235 捕獲断面積のライブラリ間の比較.....	4
図 2.4	U-238 捕獲断面積のライブラリ間の比較.....	4
図 2.5	U-238 非弾性散乱断面積のライブラリ間の比較.....	5
図 2.6	Pu-239 核分裂断面積のライブラリ間の比較.....	5
図 2.7	Pu-240 捕獲断面積のライブラリ間の比較.....	6
図 2.8	Na 非弾性散乱断面積のライブラリ間の比較.....	6
図 2.9	Na 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較.....	7
図 2.10	Fe 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較.....	7
図 2.11	Fe 捕獲断面積のライブラリ間の比較.....	8
図 2.12	Ni 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較.....	8
図 3.1	臨界性における C/E 値 (JUPITER 実験)	12
図 3.2	核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (JUPITER 実験、臨界性)	13
図 3.3	臨界性における C/E 値 (その他炉心)	13
図 3.4	核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (BFS 実験、臨界性)	14
図 3.5	核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (その他炉心、臨界性)	14
図 3.6	制御棒価値における C/E 値.....	15
図 3.7	核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (制御棒価値)	15
図 3.8	ZPPR-18A 炉心の XY 断面図.....	16
図 3.9	微少サンプル反応度における C/E 値.....	16
図 3.10	ゾーン置換反応度における C/E 値.....	17
図 3.11	Na ボイド反応度における C/E 値 (JUPITER 実験)	17
図 3.12-1	Na ボイド反応度における C/E 値 (MZA 炉心)	18
図 3.12-2	Na ボイド反応度における C/E 値 (MZB 炉心)	18
図 3.13	Na ボイド反応度における C/E 値 (BFS 炉心)	19
図 3.14	Pu-239 核分裂反応率分布における C/E 値 (BFS-62-2 炉心)	19
図 4.1	U-235 捕獲断面積の核データ間の比較.....	28
図 4.2	U-235 捕獲断面積の JENDL-3.2 に対する差異の核データ間の比較.....	28
図 4.3	U-235 捕獲断面積に対する感度係数 (BFS-62-3A 臨界性)	29
図 4.4	U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A 臨界性)	29
図 4.5	U-235 捕獲断面積に対する感度係数 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)	30
図 4.6	U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)	30
図 4.7	ライブラリ効果の核種毎の寄与 (BFS-62-3A 臨界性)	31
図 4.8	U-235 に関するライブラリ効果の反応毎の寄与 (BFS-62-3A 臨界性)	31
図 4.9	ライブラリ効果の核種毎の寄与 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)	32
図 4.10	U-235 に関するライブラリ効果の反応毎の寄与 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)	32

表リスト

表 3.1	積分テスト対象炉心一覧.....	12
表 3.2	MOZART 実験の Na ボイド反応度におけるボイド化領域と記号の対応.....	20
表 3.3	Na ボイド反応度成分別 C/E 値.....	20
表 4.1	JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-1 炉心 臨界性)	25
表 4.2	JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-2 炉心 臨界性)	25
表 4.3	JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-3A 炉心 臨界性)	25
表 4.4	JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-2 炉心 Na ボイド反応度)	26
表 4.5	JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-3A 炉心 Na ボイド反応度)	26
表 4.6	U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A 臨界性)	26
表 4.7	U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)	27
表 4.8	ライブラリ効果の比較 (BFS-62-1~3A 臨界性)	27
表 4.9	ライブラリ効果の比較 (BFS-62-2、3A Na ボイド反応度)	27
表 4.10	簡易体系でのライブラリ効果の比較 (BFS-62-3A ベンチマークモデル 臨界性)	27

1 緒言

日本原子力研究所より評価済み核データライブラリ JENDL-3.3 が公開された。これまでの核データライブラリの改訂は高速炉核特性解析値に大きく影響を及ぼしており、JENDL-3.3 の高速炉解析における性能を評価する必要がある。現在の高速炉心の設計においては JENDL-3.2 をベースとした炉定数が用いられているが、JENDL-3.3 が解析精度の面でより高い性能を有することが示されるならば、JENDL-3.3 を炉心設計の基本ライブラリとすることで、より精度、信頼性の高い炉心設計が可能となる。

核燃料サイクル開発機構では、数多くの臨界実験解析、実機解析の情報を「核設計基本データベース」としてまとめており、今回、その豊富なデータベースを利用して JENDL-3.3 の積分テストを行った。本報告書はその評価結果をまとめたものである。

本報告書の構成であるが、第 2 章で JENDL-3.2 から-3.3 への改訂の概略について述べ、第 3 章で高速炉体系における JENDL-3.3 の積分テストの結果をまとめる。第 4 章では第 3 章において抽出された問題に着目した詳細な検討を行い、第 5 章で以上をまとめる。執筆は第 4 章を羽様、その他を千葉がそれぞれ担当した。

2 炉定数セットにみる核データライブラリ改訂の概略

2.1 JENDL-3.3に基づく高速炉用炉定数セット JFS-3-J3.3

JENDL-3.3への改訂について、核データの評価という観点からは文献(1)に詳しいので本稿では割愛する。

評価済み核データライブラリは多群化処理をされ、炉定数セットとして高速炉核特性解析に用いられる。サイクル機構の標準核特性解析システムでは、70群構造の炉定数セット JAERI Fast Set(JFS)を用いるのが通例であり、今回の積分テストも JENDL-3.3に基づく JFS-3-J3.3⁽²⁾を用いることとした。JFS-3-J3.3は日本原子力研究所よりリリースされたが、その作成方法は JFS-3-J3.2R⁽³⁾(JENDL-3.2に基づく炉定数セット)と整合のとれるものである。JFS-3-J3.3で特記すべき事項として、天然組成の核種(たとえば Fe、Cr、Ni など)が各同位体の70群炉定数から合成された点が挙げられる。これは、JENDL-3.3にはこれまでと異なり核種の天然組成のデータが格納されていないからである。なお、核種を天然組成として扱った場合と、個々の同位体を陽に扱った場合とで有意な差が生じないことが、格子計算レベルで確認されている⁽²⁾。

2.2 JENDL-3.3とJENDL-3.2との相違

高速炉核特性に影響が大きい核種、反応の無限希釈断面積における JFS-3-J3.3と JFS-3-J3.2Rとの比較を図 2.1 から図 2.12 に示す。以下、JENDL-3.3の JENDL-3.2に対する相違点を挙げる。

- U-235 核分裂スペクトルは 1MeV 以上で 2%弱増加し、1MeV 以下で相対的に低下している。
- Pu-239 核分裂スペクトルは 1MeV から 4MeV までのピーク部分で低下し、相対的にその他のエネルギーで増加している。
- U-235 捕獲断面積は全エネルギーにわたって増加しており、特に 1keV 付近でその度合いが大きい。
- U-238 捕獲断面積は 3MeV 以上で大きく低下し、1MeV から 3MeV で最大 40%程度増加している。
- U-238 非弾性散乱断面積は 1MeV 以上で数%程度低下している。
- Pu-240 捕獲断面積は 70keV 以下で 10 数%程度低下している。
- Fe 弾性散乱断面積は一部のエネルギーで低下しているが、ほとんどのエネルギーで増加しており、その程度は最大 10 数%である。
- Fe 捕獲断面積は 10keV から 300keV 以下で低下している。

JENDL-3.3への改訂は、U-235 捕獲断面積、Pu-240 捕獲断面積、Fe 弾性散乱断面積、Fe 捕獲断面積で特に顕著であり、これらの断面積の変化が核特性解析値に大きく影響与えることが予想される。

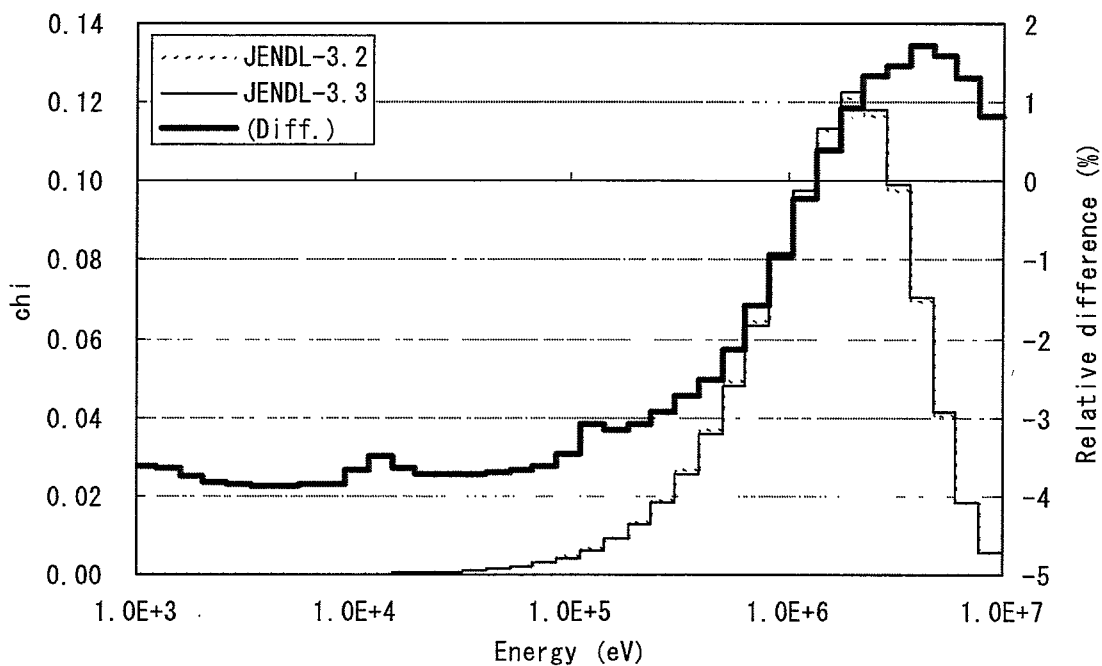


図 2.1 U-235 核分裂スペクトルのライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

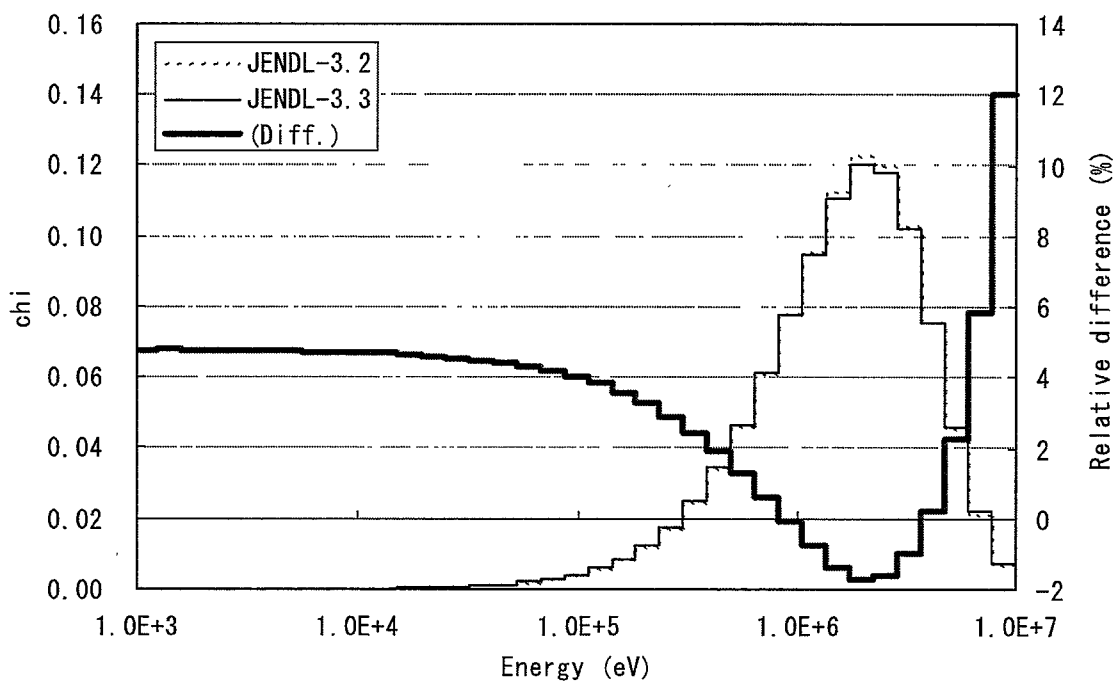


図 2.2 Pu-239 核分裂スペクトルのライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

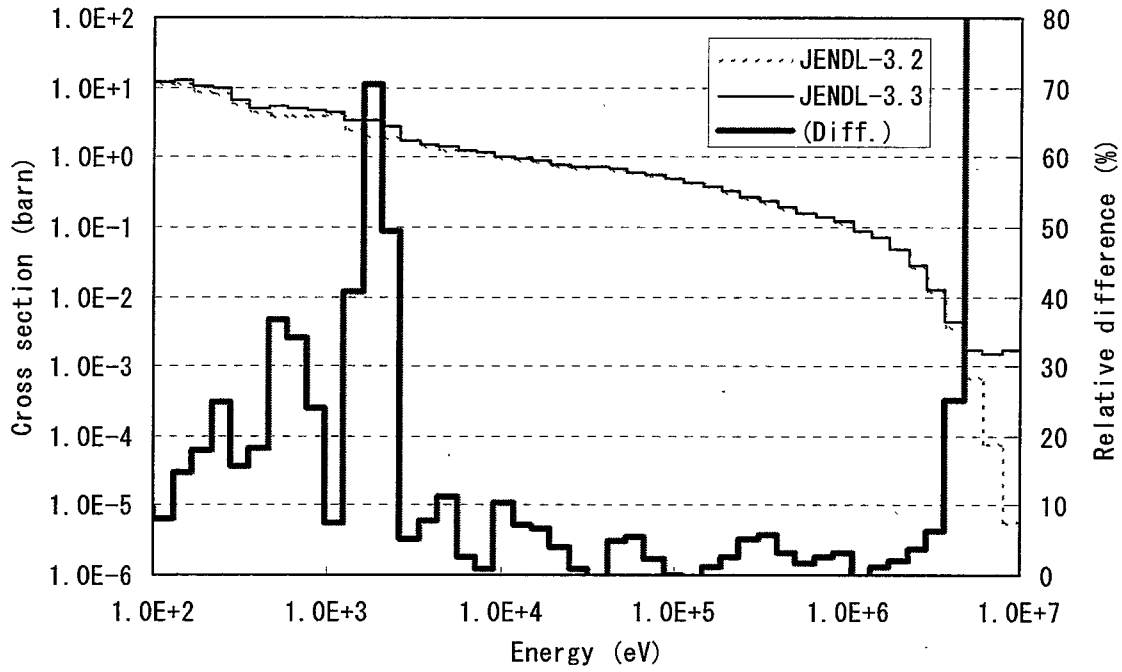


図 2.3 U-235 捕獲断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

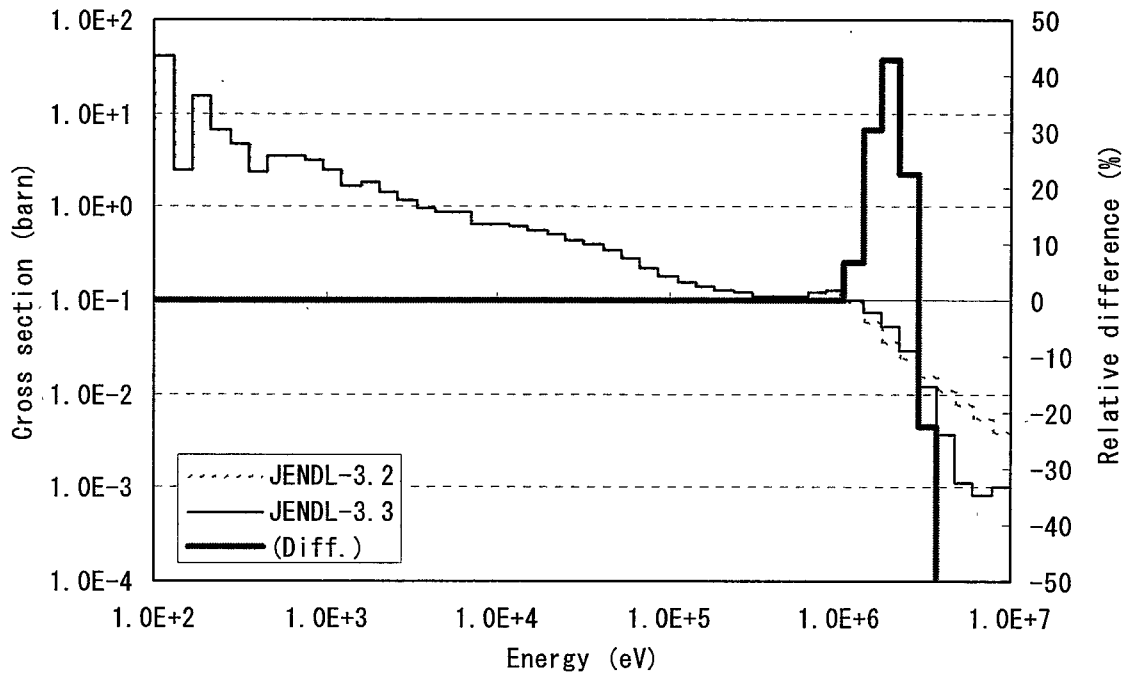


図 2.4 U-238 捕獲断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

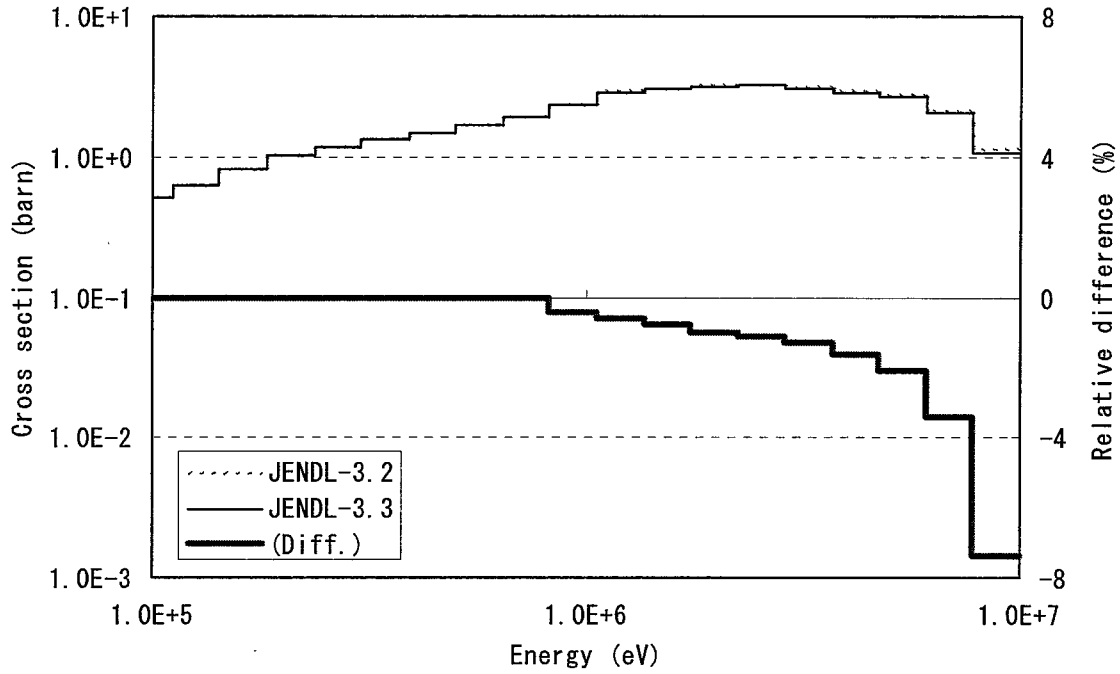


図 2.5 U-238 非弾性散乱断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

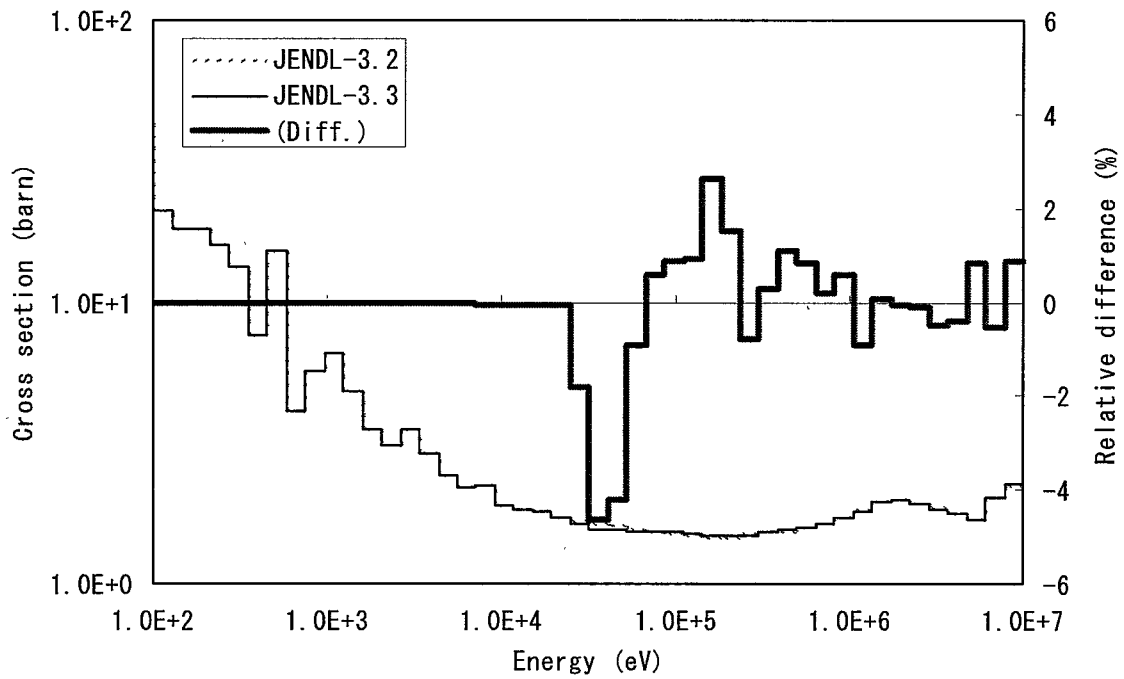


図 2.6 Pu-239 核分裂断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

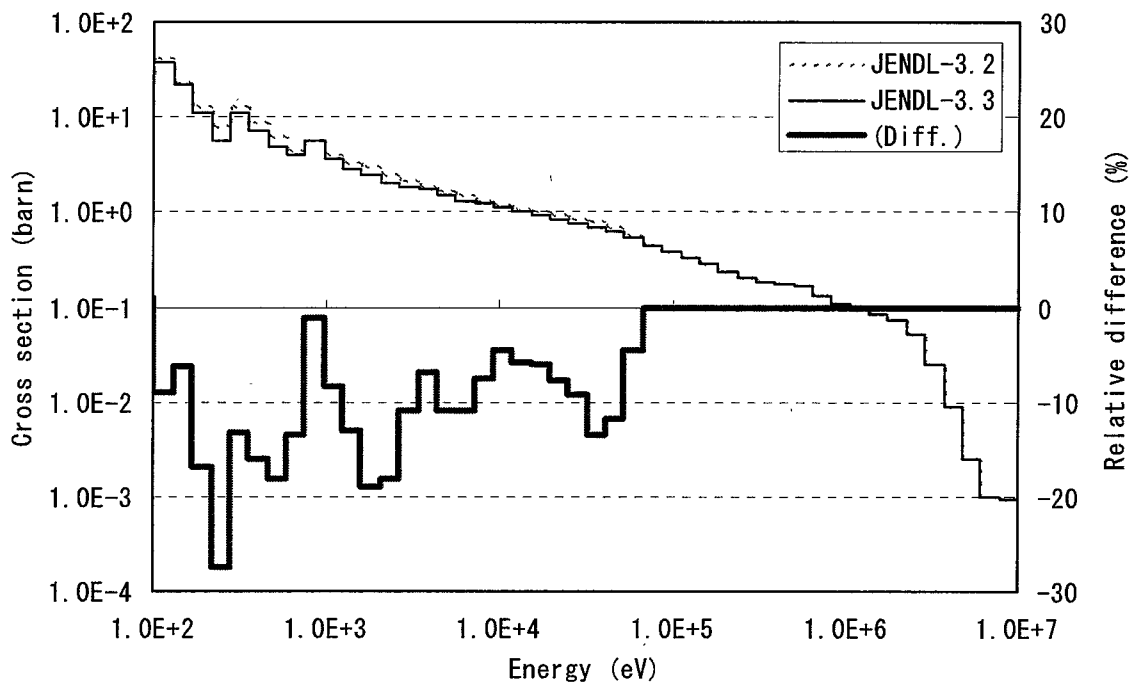


図 2.7 Pu-240 捕獲断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

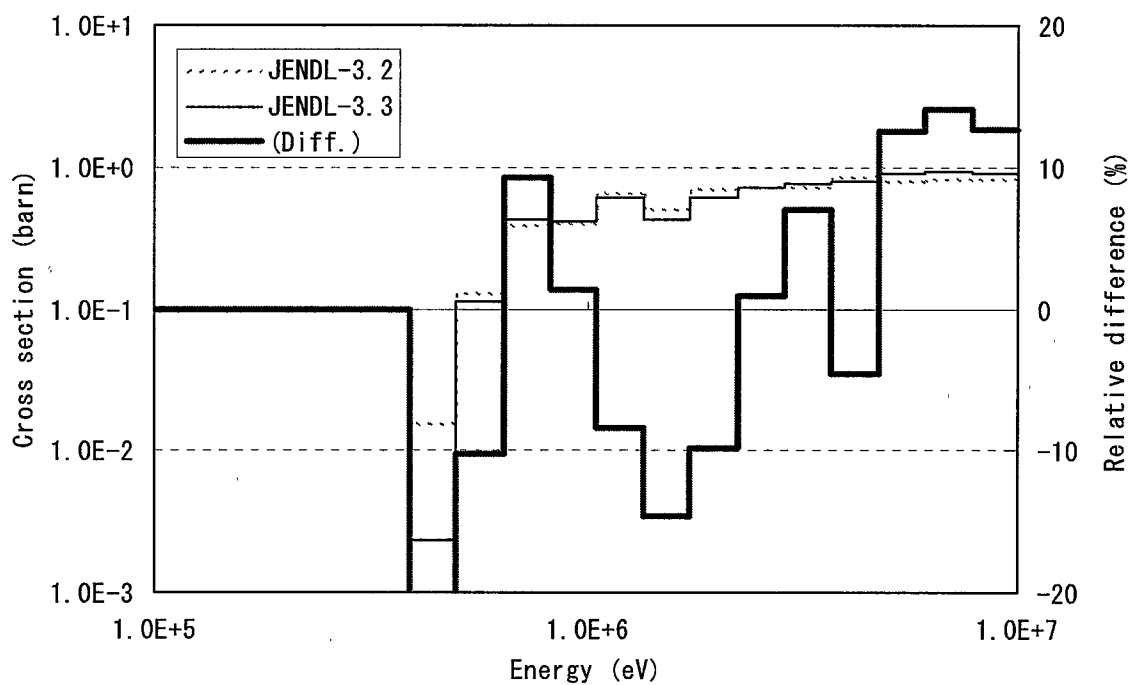


図 2.8 Na 非弾性散乱断面積のライブラリ間の相違 (基準 : JENDL-3.2)

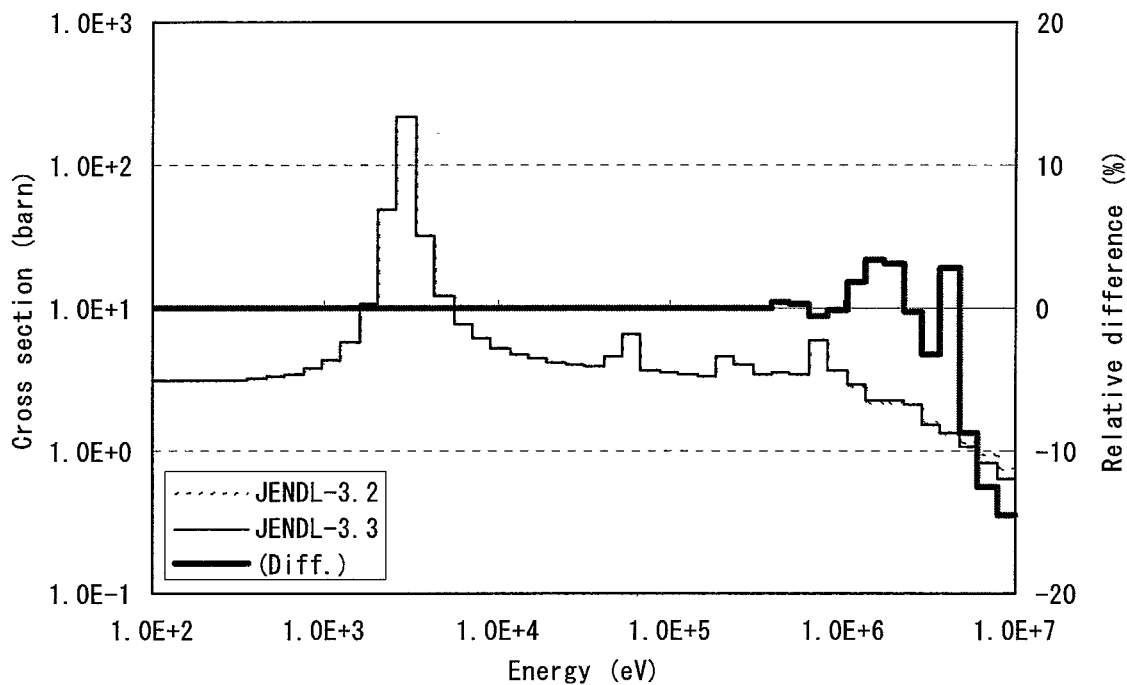


図 2.9 Na 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

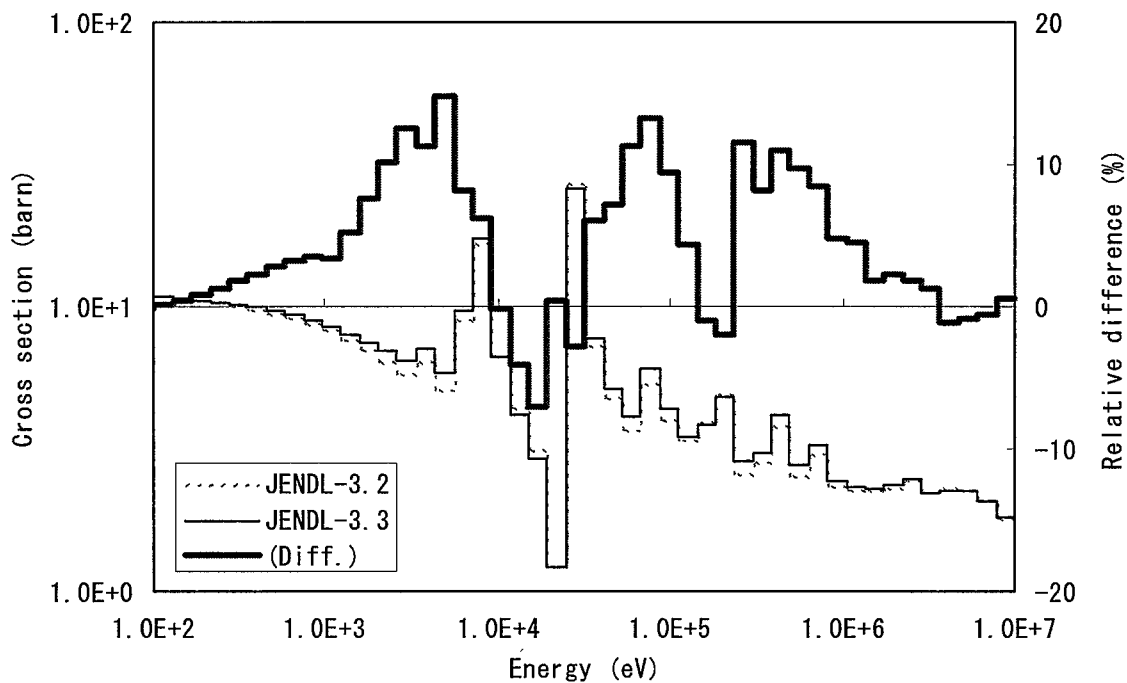


図 2.10 Fe 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

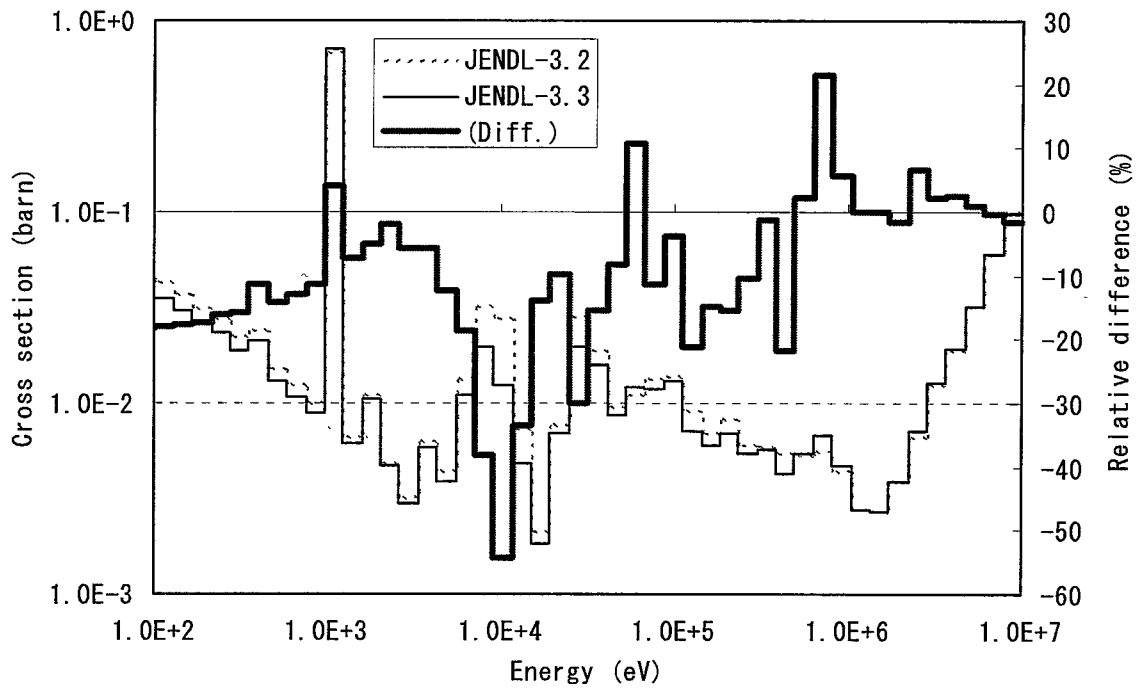


図 2.11 Fe 捕獲断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

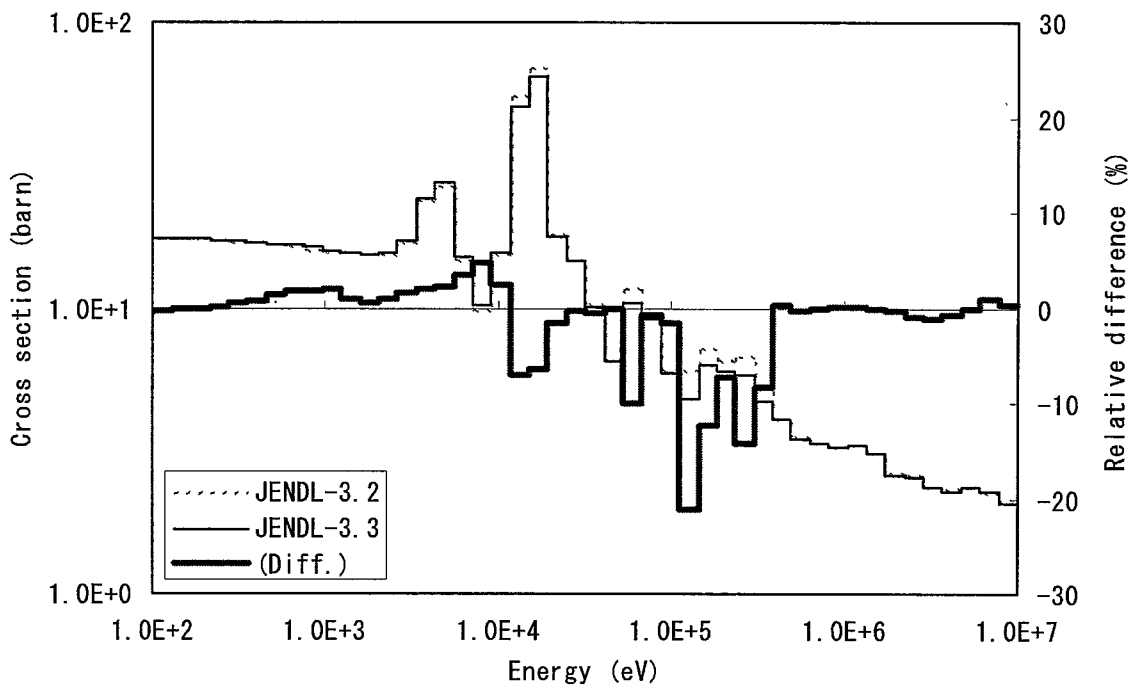


図 2.12 Ni 弾性散乱断面積のライブラリ間の比較 (基準 : JENDL-3.2)

3 JENDL-3.3の積分テスト

3.1 テスト実施概要

解析対象とした炉心とその特徴を表 3.1 にまとめる。表より本積分テストは、多様な燃料組成、炉心サイズをカバーしていることに加えて、ブランケットの配置の違い（JUPITER 実験における径方向および軸方向非均質炉心）や、燃料領域を囲むブランケット領域の有無などについても、さまざまなタイプの炉心を対象としていることが分かる。

解析は JUPITER 標準解析手法⁽⁴⁾ に準じて行った。使用したライブラリは JFS-3-J3.2R および JFS-3-J3.3 である。なお、輸送補正、メッシュ補正などの補正値は JFS-3-J3.2（もしくは JFS-3-J3.2R）を用いて得られたもので代用した。基準計算は通常非均質格子モデルで行うが、FCA 炉心に限っては非均質データが入手できないので均質格子モデルで行い、格子の非均質性は補正として扱った。また、次世代炉定数システム⁽⁵⁾（基本炉定数を 175 群とし、共鳴領域に超微細群ライブラリを適用するもの）の適用効果が大きい核特性（おもに臨界性、Na ボイド反応度）については、その適用効果も考慮に入れた。解析結果の詳細については付録 A にまとめる。

3.2 積分テスト結果

3.2.1 臨界性

JUPITER 実験における C/E 値の推移を図 3.1 に示す。

プルトニウム燃料を用いる（U-235 を含まない）炉心はみな 0.2% Δk 程度の増加となり、過少評価が幾分改善される一方、U-235 が含まれる ZPPR-18、-19 炉心では影響が見られない。その結果、C/E 値のバラツキは JENDL-3.3 では小さくなった。図 3.2 にライブラリ改訂の影響の要因分析を行った結果を示す。これより、Fe 捕獲断面積の減少がもっとも大きく臨界性を増加させる要因であること、ZPPR-18A では U-235 捕獲断面積の増加が臨界性を減少させるため、U-235 を含まない他の炉心と異なる振る舞いをする事が分かる。

次にその他の炉心における C/E 値の推移を図 3.3 に示す。BFS 炉心では 0.4% Δk から 0.6% Δk 程度の減少が見られ、BFS-62-1、62-2 では特に大きな過少評価となった。BFS 炉心について要因分析した結果を図 3.4 に示すが、U-235 捕獲断面積の改訂の影響が支配的であり、炉心全体がウラン燃料で構成される 62-1、62-2 炉心は、一部 MOX 燃料で置換される他の 2 炉心に比べて影響が大きいことが分かる。

それ以外の炉心については、JOYO、FCA では影響が小さい一方、MOZART 実験の炉心では 0.3% Δk 程度の増加が見られ、C/E 値が改善していることが分かる。これらの炉心について要因分析した結果を図 3.5 に示すが、Fe の捕獲、弾性散乱断面積の改訂が臨界性を増加させる一方、U-235 捕獲断面積の改訂がそれを打ち消す効果となり、FCA、JOYO では影響が小さくなる事が分かった。MOZART 実験の炉心についてはプルトニウム燃料が使用されているため U-235 捕獲断面積改訂の影響を受けず、臨界性が増加したことが分かった。

3.2.2 制御棒価値

制御棒価値については、JUPITER、BFS、MOZART の臨界実験について解析を行ったが、JUPITER-I₀ シリーズにのみ、有意なライブラリ改訂による影響が見られた。図 3.6 に ZPPR-18A、-19B の C/E 値の推移を示す。ライブラリの改訂により制御棒価値は最大で 5% 程度変化し、その結果 C/E 値の制御棒リング依存性が小さくなった。図 3.7 に要因分析した結果を示すが、U-235 の捕獲断面積の改訂の影響が支配的である。ZPPR-18A の XY 平面における炉心断面図を図 3.8 に示す。ZPPR-18A と -19B とでは外側燃料領域へのウラン燃料の配置の仕方が異なっており、ZPPR-18A では局所的に、19B では均等に配置されている。ウラン燃料領域に挿入される制御棒の反応度価値は U-235 捕獲断面積の改訂（増加）により減少し、それ以外の領域に挿入される制御棒ではその逆になっている。

3.2.3 微小サンプル反応度

JUPITER-I 実験の ZPPR-9 炉心にて行われた微小サンプル反応度のうち、サンプルが SS のケースでライブラリ改訂による影響が見られた。図 3.9 に解析結果を示す。JENDL-3.2 の過大評価が JENDL-3.3 では改善される方向であり、C/E 値の平均値は 1.095 から 1.046 となった。これは Fe の捕獲断面積の改訂によるものであることが要因分析により分かった。

3.2.4 ゾーン置換反応度

JUPITER-II 実験の ZPPR-13C 炉心にて行われたゾーン置換反応度にライブラリ改訂による影響が見られた。通常組成の燃料（Pu-240 濃縮度が 12%）を Pu-240 が高濃度で含まれる特殊燃料（同 26%）に置換した場合に生じる反応度である。図 3.10 に解析結果を示すが、JENDL-3.2 で見られた過少評価が 5% 強改善されていることが分かる。これは Pu-240 捕獲断面積の改訂（減少）によるものであることが要因分析により分かった。ゾーン置換反応度は正の値をとるが、そのうち Pu-240 捕獲反応の増加によるものは負の成分となる。ライブラリ改訂により Pu-240 捕獲反応の減少に伴い負の反応度が小さくなったため、トータルとしての反応度が増加した。

3.2.5 Na ボイド反応度

JUPITER、MOZART、BFS 実験における Na ボイド反応度の C/E 値の推移を図 3.11、3.12、3.13 にそれぞれ示す（なお、MOZART 実験におけるボイド化領域は図中記号で表しているため、記号とボイド化領域の対応を表 3.2 に示す）。これらの図より Na ボイド反応度においてライブラリ改訂の影響が大きいことが分かるが、それがどのような意味を持つかを判断するのは困難である。そこで、非漏洩項と漏洩項の解析精度を分離して評価する方法⁽⁶⁾を適用した。この方法は、同一の実験体系においては、非漏洩項と漏洩項の解析精度はボイド化領域によらずほぼ一定であるという仮定のもとに、解析値と実験値が一致するように各項のバイアスを決定し、そのバイアスの逆数を各項の C/E 値とするものである。その結果を表 3.3 に示す。JUPITER および MOZART 実験については、非漏洩項にライブラリ改訂の影響が見られ、JENDL-3.2 の過大評価を数%程度改善している。

これはおもに Pu-240、Fe の断面積の改訂によるものであることが要因分析により分かった。一方、BFS 実験では非漏洩項の C/E 値が JENDL-3.3 の適用により大きく悪化しており、これは U-235 捕獲断面積の改訂によるものであることが分かった。

3.2.6 反応率分布

JUPITER、MOZART 実験における反応率分布には、ライブラリ改訂による有意な影響は見られなかった。

JENDL-3.2 による BFS-62-2 炉心の解析では、反射体領域の反応率分布の過大評価が見受けられその原因が核データにあると指摘されている⁽⁷⁾。JENDL-3.3 を適用した結果を図 3.14 に示すが、その過大評価は改善されず、むしろ C/E 値はさらに悪化する方向となることが分かった。

3.3 積分テストのまとめと問題点の抽出

JUPITER、MOZART といったプルトニウム燃料を使用した炉心では、JENDL-3.3 への改訂は核特性値をおおむね改善する方向であった。核種としては Pu-240、Fe の改訂の影響が大きく、微少サンプル反応度やゾーン置換反応度でも改善が見られたことから、個々の核種・反応の改訂が好ましい方向であることも確認された。また、JUPITER 実験のうち一部ウラン燃料を用いた炉心体系においても JENDL-3.3 への改訂は核特性値を改善しており、特に U-235 捕獲反応の改訂の影響が大きいことが示された。

一方、ウラン燃料炉心である BFS では、臨界性、Na ボイド反応度で C/E 値が悪化した。これは U-235 捕獲断面積の改訂の影響が支配的であり、JUPITER 実験で得られた結果と矛盾するものとなった。これらは、U-235 捕獲断面積の改訂に関して、より詳細な検討が必要であることを示唆している。

表 3.1 積分テスト対象炉心一覧

	Core size	Feature	Fuel	Outer region
JUPITER-I JUPITER-II JUPITER-III JUPITER-Io	Large, Medium	Homogeneous Radial heterogeneous Axial heterogeneous Homogeneous	Pu Pu Pu Pu, U	Blanket
BFS-62-1 BFS-62-2 BFS-62-3A BFS-62-4	Medium	Homogeneous	U U U, Pu U, Pu	Blanket Reflector, Blanket Reflector, Blanket Blanket
JOYO MK-I JOYO MK-II	Small	Homogeneous	U, Pu	Blanket Reflector
FCA X-1 FCA XVII-1	Small	Homogeneous	U, Pu	Blanket
MOZART MZA MOZART MZB (1)	Medium	Homogeneous	Pu	Blanket

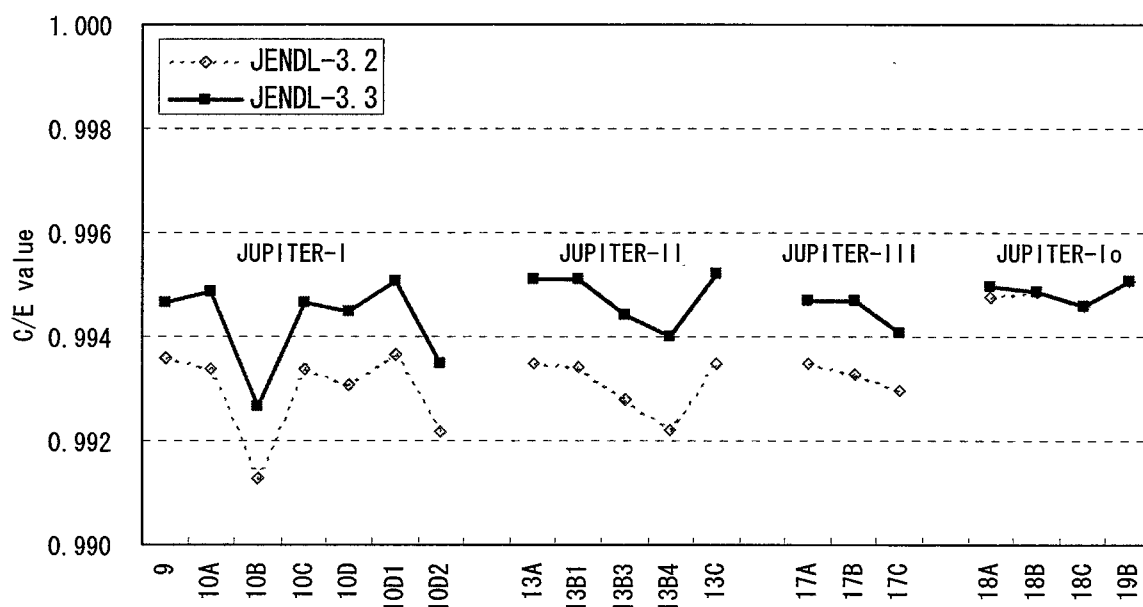


図 3.1 臨界性における C/E 値 (JUPITER 実験)

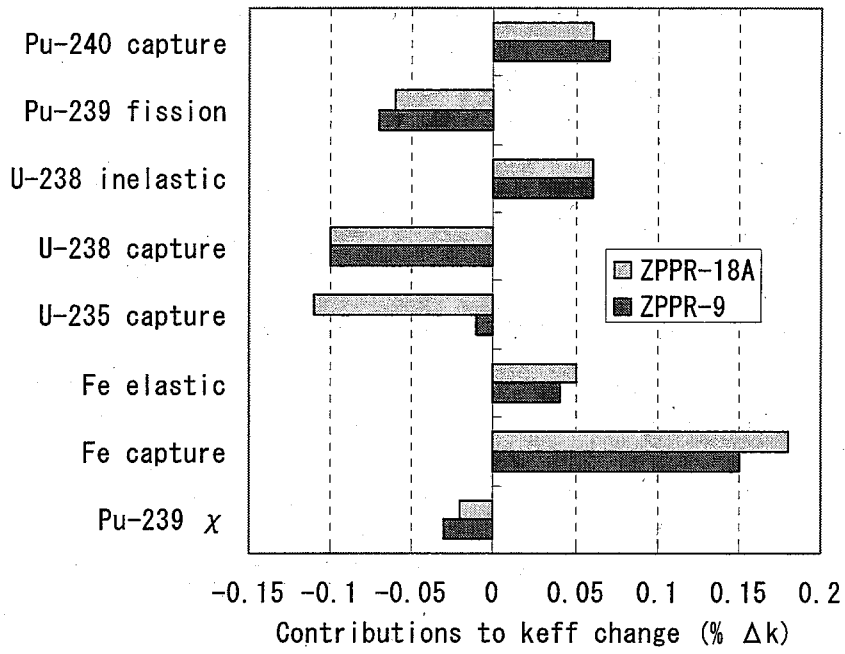


図 3.2 核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (JUPITER 実験、臨界性)

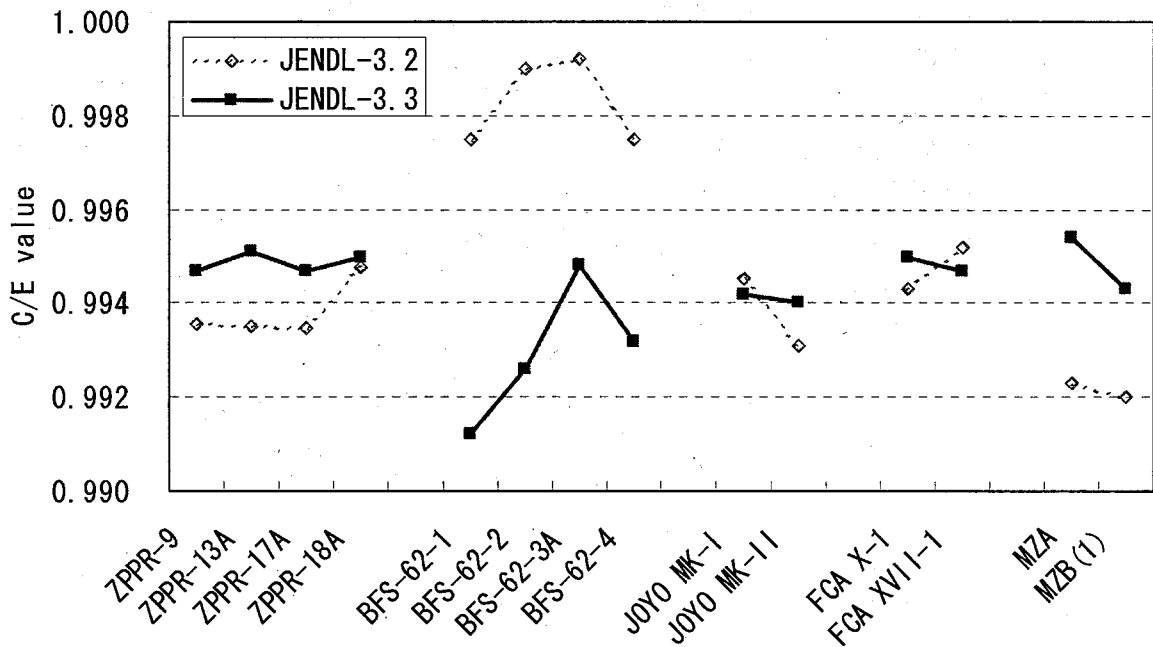


図 3.3 臨界性における C/E 値 (その他炉心)

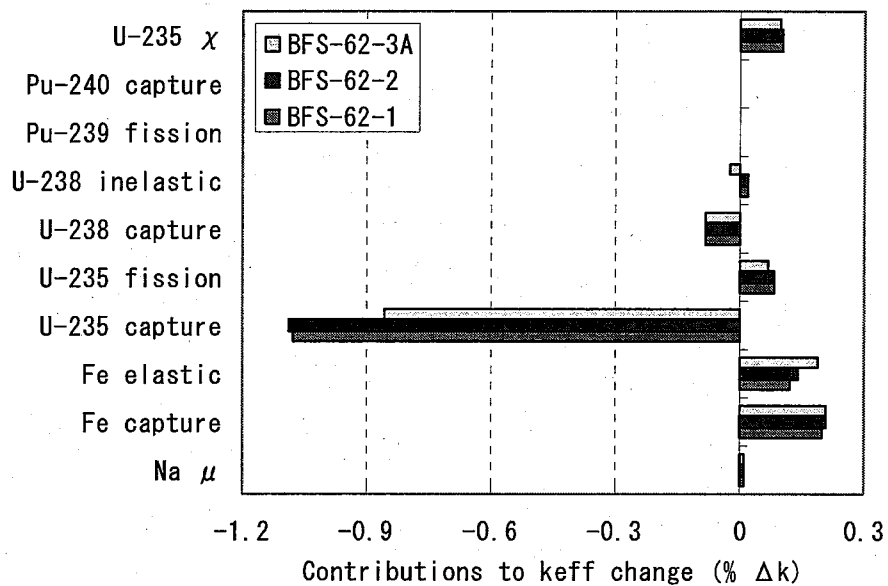


図 3.4 核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (BFS 実験、臨界性)

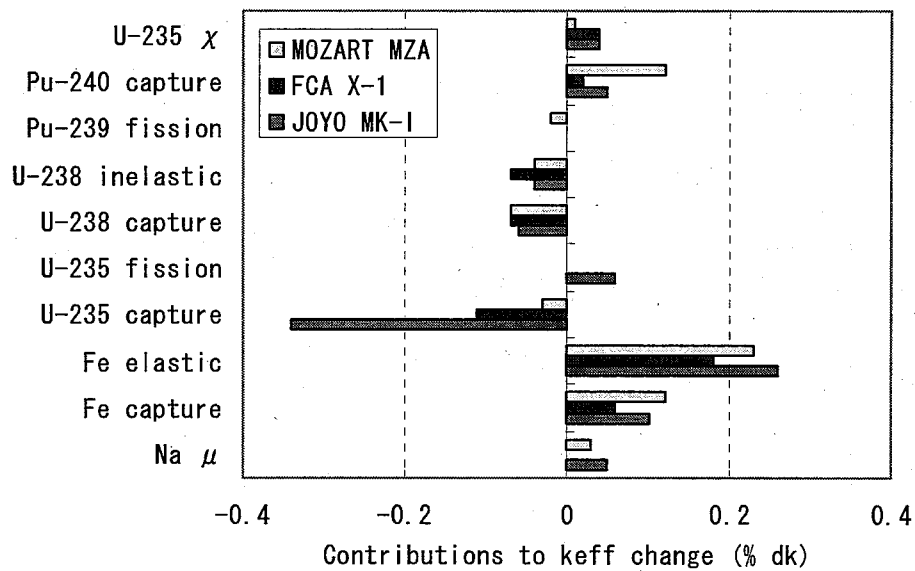


図 3.5 核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (その他炉心、臨界性)

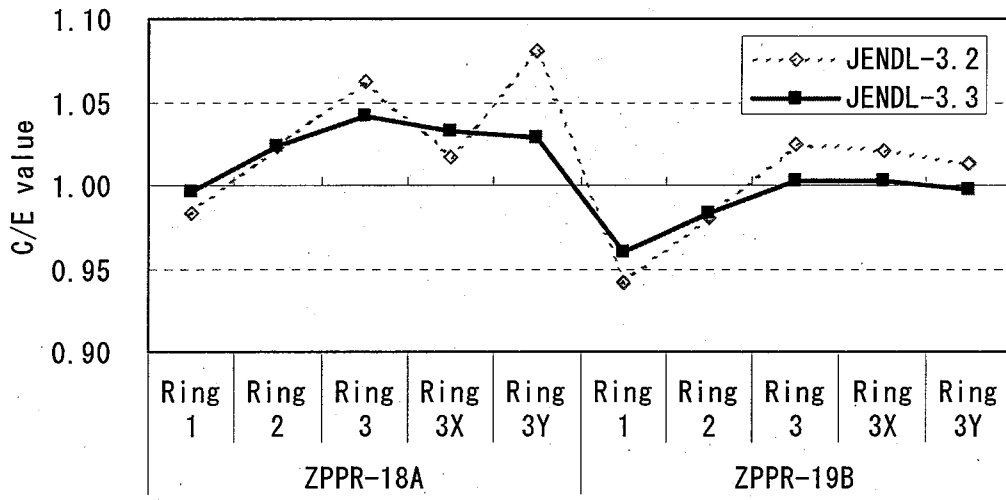


図 3.6 制御棒価値における C/E 値

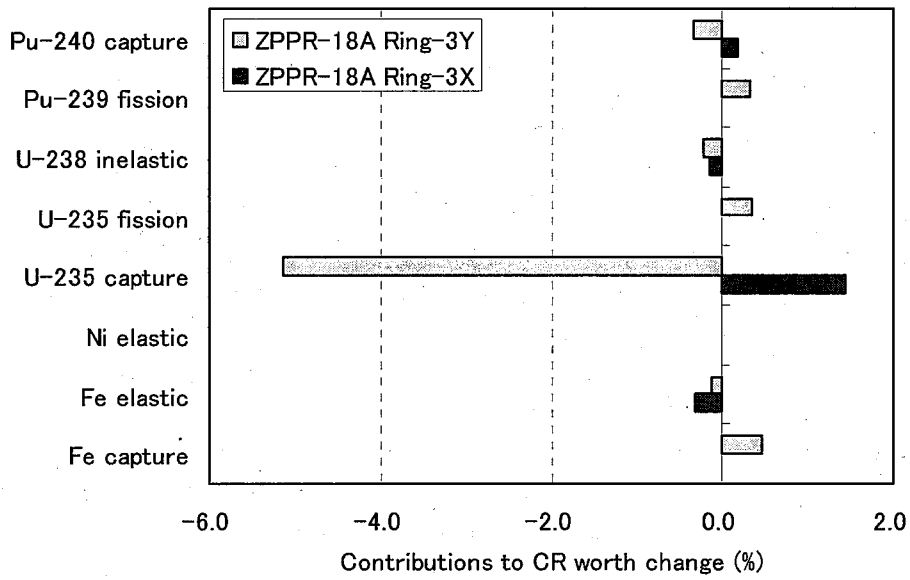


図 3.7 核種・反応毎のライブラリ改訂の影響 (制御棒価値)

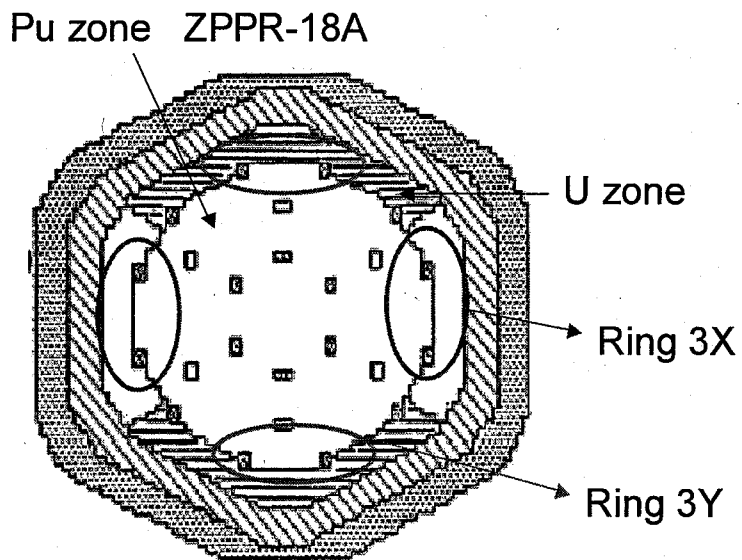


図 3.8 ZPPR-18A 炉心の XY 平面断面図

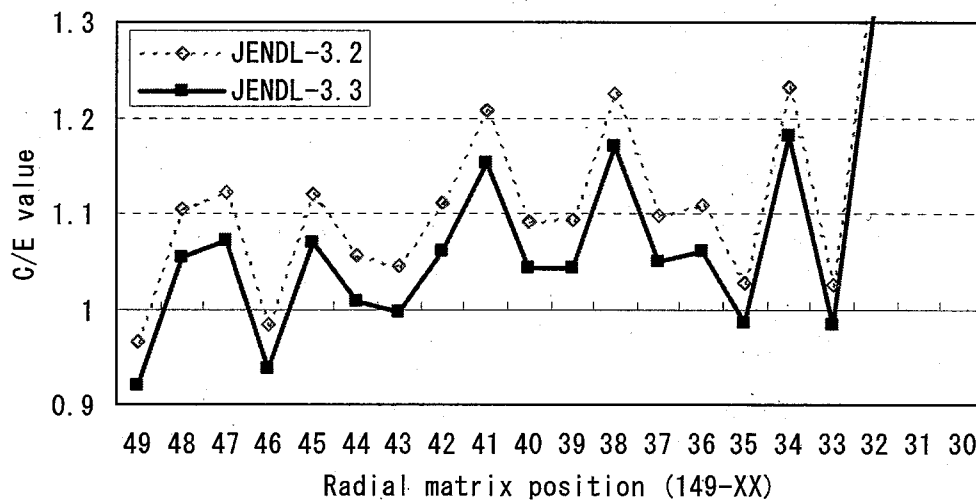


図 3.9 微少サンプル反応度における C/E 値

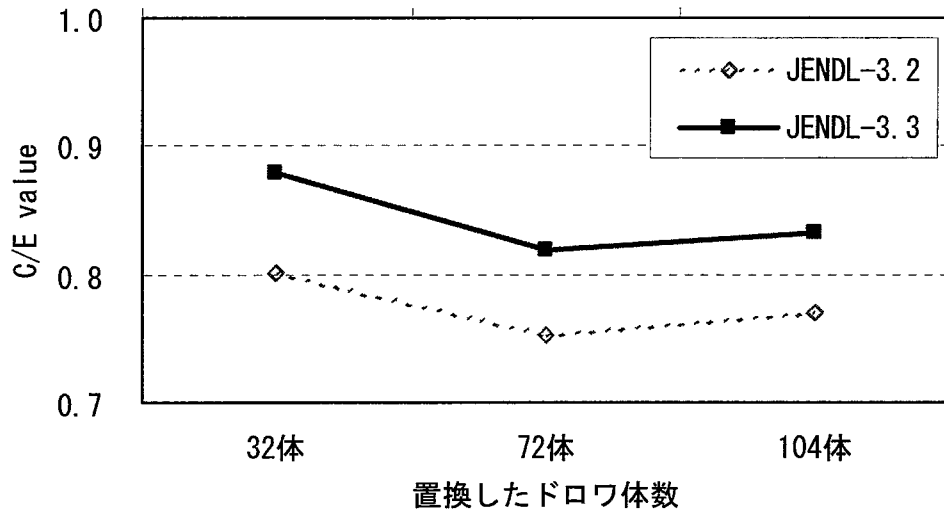


図 3.10 ゾーン置換反応度における C/E 値

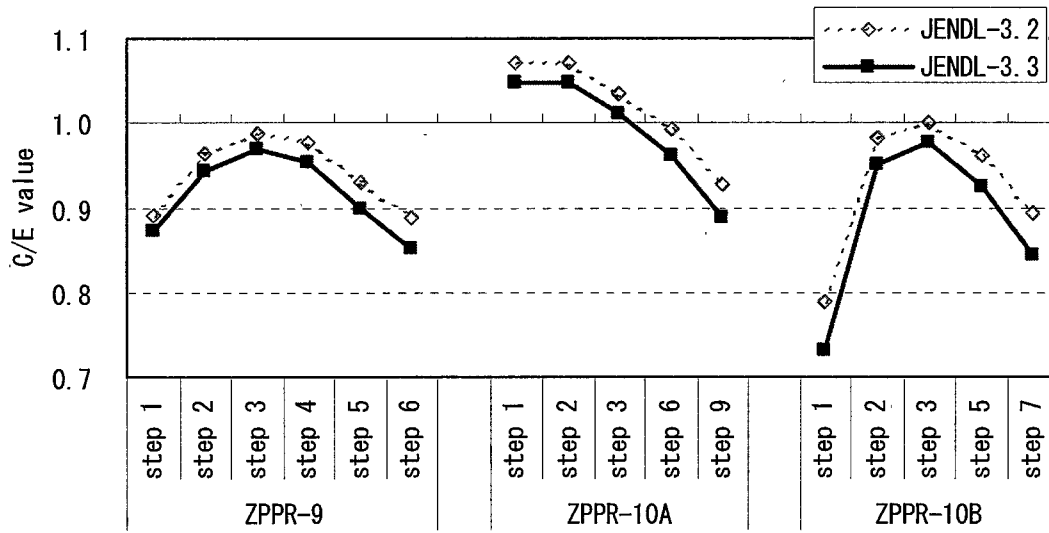


図 3.11 Na ボイド反応度における C/E 値 (JUPITER 実験)

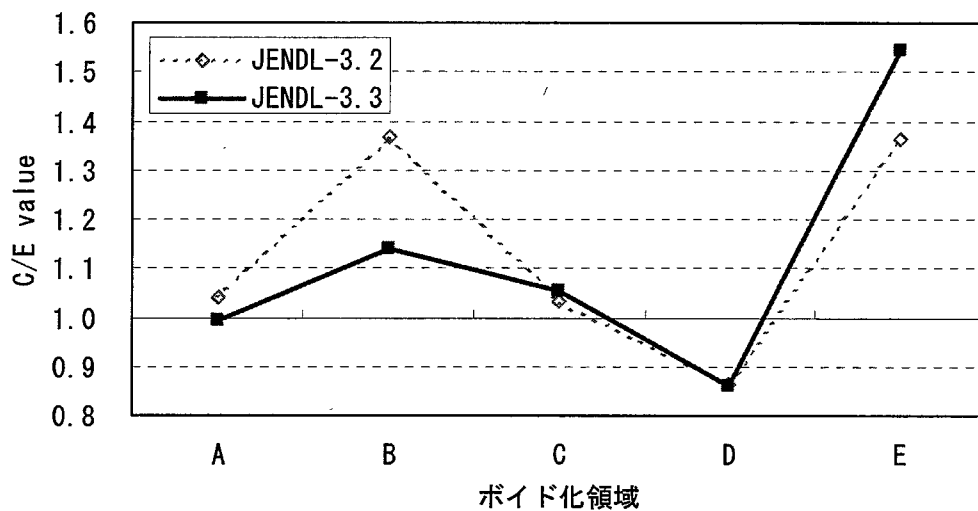


図 3.12-1 Na ボイド反応度における C/E 値 (MZA 炉心)

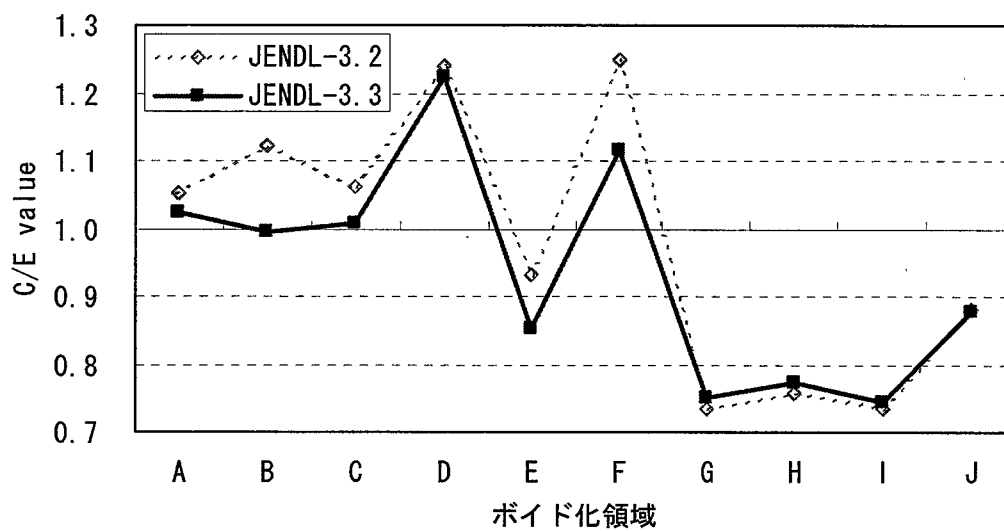


図 3.12-2 Na ボイド反応度における C/E 値 (MZB 炉心)

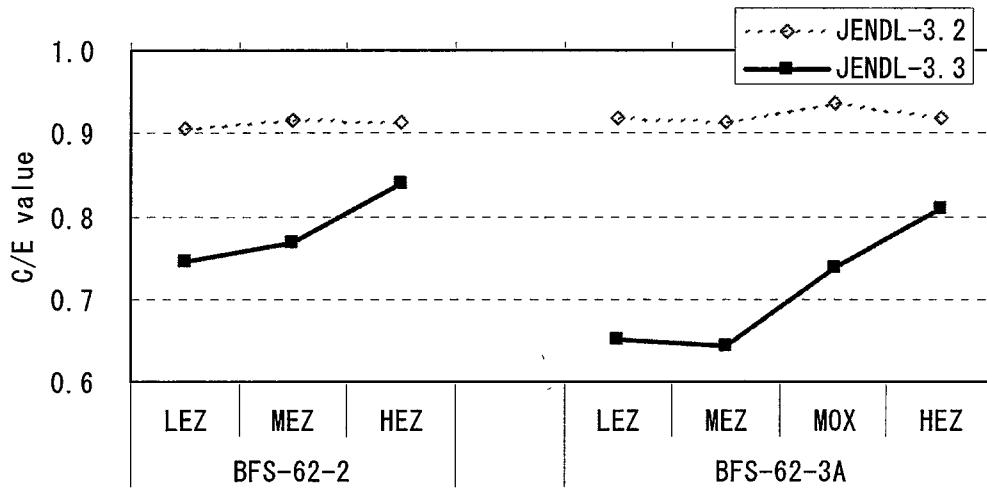


図 3.13 Na ボイド反応度における C/E 値 (BFS 炉心)

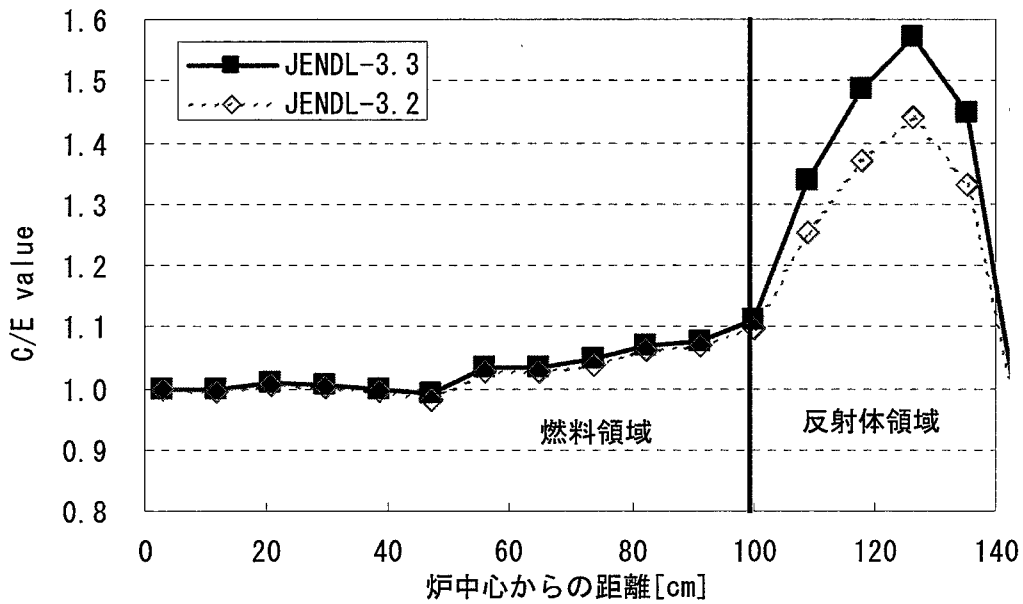


図 3.14 Pu-239 核分裂反応率分布における C/E 値 (BFS-62-2 炉心)

表 3.2 MOZART 実験の Na ボイド反応度におけるボイド化領域と記号の対応

炉心	記号	ボイド化領域
MZA	A	-15~15cm
	B	15~30cm, -15~-30cm
	C	30~45cm, -30~-45cm
	D	Axial Blanket
	E	Core+Axial Bla.
MZB	A	炉中心(中心面)
	B	炉中心(軸ブラ境界)
	C	炉中心(炉心)
	D	炉中心(軸ブラ)
	E	炉中心(炉心+軸ブラ)
	F	内側外側炉心境界
	G	外側炉心
	H	外側炉心(セクター側)
	I	径ブラ
	J	径ブラ(セクター部)

表 3.3 Na ボイド反応度成分別 C/E 値

	JENDL-3.2		JENDL-3.3	
	非漏洩項	漏洩項	非漏洩項	漏洩項
ZPPR-9	0.99	1.05	0.97	1.05
ZPPR-10A	1.07	1.25	1.05	1.25
ZPPR-10B	1.04	1.18	1.02	1.18
MZA	1.06	1.07	1.00	1.05
MZB(Axial)	1.05	1.06	1.03	1.06
BFS-62-2	0.93	0.92	1.76	0.93
BFS-62-3A	0.86	0.90	1.82	1.04

4 JENDL-3.3によるBFS臨界実験解析の追加検討

4.1 検討項目

第3章のJENDL-3.3の積分テストにおいて、C/E値が著しく悪化しているBFS炉心の臨界性とNaボイド反応度について追加検討した。

C/E値の悪化はU-235の捕獲断面積の改訂が主な要因とされたが、第3章の評価では70群炉定数(JFS-3-J3.2RとJFS-3-J3.3)を使用しているため、純粋に核データによるものとは断言できない。そこで以下の検討を実施した。

- (1) JENDL-3.3による次世代炉定数効果の評価（主要核種のみ限定評価）
- (2) 他の核データライブラリとの比較

4.2 JENDL-3.3による次世代炉定数効果の評価

次世代炉定数効果(以下、UF効果)はBFS体系のNaボイド反応度に対してC/E値を20~30%改善するなど顕著に現れる⁽⁸⁾。第3章ではJENDL-3.2を用いて評価したUF効果を共通して適用していたが、核データが異なるとその効果も異なる可能性がある。そこでJENDL-3.3を用いたUF効果を求め、その効果を含めた最確C/E値をBFS-62-1~3A炉心の臨界性とBFS-62-2及び3A炉心のNaボイド反応度について評価した。

なお、超微細群ライブラリの整備の都合上、U-235、U-238、Na-23の3核種のみをJENDL-3.3とし、その他の核種はJENDL-3.2のままとした。これら3核種はNaボイド反応度に対するライブラリ効果(核データをJENDL-3.2から変更することによる変化)やUF効果に支配的な核種である(ライブラリ効果の92%を決定する)。臨界性についてはFeの寄与(図4.7参照)を考慮できないため、全核種をJENDL-3.3にした場合のUF効果とは異なる可能性が高い。ここでは核データ間のUF効果の差異を確認するにとどめる。

表4.1から4.3に臨界性の結果を、表4.4及び4.5にNaボイド反応度の結果を示す。

まず、臨界性であるが、JENDL-3.3のUF効果はJENDL-3.2の2倍以上になっている。理由としてはU-235の捕獲断面積が大きくなったこと、分離共鳴の上限エネルギーが500eVから2.25keVに変更されたこと、ライブラリ効果の大きいFeを含めていないことなどが考えられる。この結果よりUF効果は核データ毎に評価しなければいけないことが分かる。

次にNaボイド反応度であるが、3核種のみをJENDL-3.3としたJFS70群計算値は全核種をJENDL-3.3とした場合とほぼ等しく、核種を限定した評価でも信頼できることが分かる。JENDL-3.3のUF効果をJENDL-3.2のものと比較すると、UF効果により非漏洩項が小さくなる点は同様であるが、その程度(比)はほぼ半減している。従って、JENDL-3.3ベースで求めたUF効果を適用した場合、JENDL-3.3の解析値は第3章で示したもの(JENDL-3.2ベースのUF効果を使用)から悪化し、最確C/E値は0.6以下となる。

4.3 他の核データライブラリとの比較

他の核データライブラリとしてJEF-2.2R⁽⁹⁾(JEF-2.2でPu-239のみを更新したもの。以下、JEFと称す)とENDF/B-VI R6⁽¹⁰⁾(以下、ENDFと称す)を採り上げ、ライブラリ効果を比較した。

4.3.1 70群無限希釈断面積の比較

JEF及びENDFをJENDLと同様に処理して70群無限希釈断面積を作成し、JENDL-3.2やJENDL-3.3のものと比較した。比較はライブラリ効果に支配的な要因であるU-235の捕獲断面積について行った。図4.1に各核データの捕獲断面積を、図4.2にそのJENDL-3.2に対する相違を示す。JENDL-3.2との差異を比較すると、3keV以下ではJENDL-3.3とENDFがほぼ等しく増加し、JEFのみ増加が半分程度となっている。一方、3keV以上ではENDFとJEFが等しく30keV以上で10%程度減少している一方、JENDL-3.3の変化はほとんどない。

4.3.2 感度係数による核特性に対するライブラリ効果の比較

次にこれらの差異が核特性に与える影響を感度解析によって評価した。対象の核特性はBFS-62-3A炉心の臨界性とLEZ領域のNaボイド反応度とし、ライブラリ効果を感度係数と断面積差の積によって算出した。図4.3から4.6には臨界性及びNaボイド反応度、各々についてU-235の捕獲断面積に対する感度係数、及び核特性（実効増倍率又はボイド反応度）の変化率を示す。表4.6及び4.7には主要エネルギー範囲に区分して核特性変化率を示す。なお、エネルギーは18群に縮約している。

まず臨界性であるが、図4.3で分かるように3keV以下や30keV以上で比較的大きな負の感度を有する。核データ間の核特性変化は断面積の変化の差異に対応していることが確認できる。例えば3keV以下ではすべて負の変化となっているがJEFではJENDL-3.3の半分程度である。30keV以上ではJEFとENDFでは正の変化となっている。これらの差異により全エネルギー合計値ではJENDL-3.3はJEFに比べて0.7% Δk 小さく、ENDFに比べて0.3% Δk 小さく評価することになる（表4.6）。

次にNaボイド反応度であるが、図4.5で分かるように3keV以下に比較的大きな感度を有している。その結果、反応度の変化率はJEFの場合JENDL-3.3の半分程度となる。30keV以上での差異は無視できるほど小さくENDFとJENDL-3.3はほぼ等しい結果となる。このことは表4.7でも確認できる。

以上はU-235の捕獲断面積に着目した比較であるが、他の核種、反応による寄与についても図4.7から4.10に示す。

図4.7より臨界性に対してはU-235以外にU-238、Fe、Mnの寄与にも有意な差が存在することが確認できる。合計するとJENDL-3.3、JEF、ENDFのライブラリ効果はそれぞれ-0.4% Δk 、+0.5% Δk 、-0.1% Δk となる。JENDL-3.3はJEFより0.9% Δk 、ENDFより0.3% Δk 小さく評価することになる。差異は主にU-235に起因している。

図4.8にはU-235の寄与の内訳を示す。JENDL-3.3と他の核データとの差異は捕獲断面積で最も大きく現れているが、中性子放出数 ν や核分裂断面積にも大きな差異が存在し、捕獲断面積に起因する差異を拡大する結果となっている。

Naボイド反応度については図4.9に示すようにU-235以外にNaや構造材の寄与に差があり、JENDL-3.3とJEFの差はU-235のみによるものより小さく、ENDFとの差は大きくなる。U-235の寄与は主に捕獲断面積による（図4.10）。

4.3.3 JFS 炉定数を用いた核データ間のライブラリ効果の比較

感度係数による評価は近似的なものであるため、本節では JFS 型炉定数を作成し、核特性を計算することによって前節の評価の妥当性を確認した。

核データライブラリには JENDL-3.3 と JEF-2.2R を採り上げた。核特性としては BFS-62-3A 炉心に加えて、BFS-62-1～3A 炉心の臨界性と BFS-62-2、-3A 炉心の LEZ 領域の Na ボイド反応度を採り上げた。臨界性の評価結果を表 4.8 に Na ボイド反応度の結果を表 4.9 に示す。計算は拡散計算とし、補正值については JENDL-3.2 で求めた値を共通して適用した。次世代炉定数効果 (UF 効果) は適用していない。

まず臨界性について見る。表 4.8 より BFS-62-3A 炉心の臨界性に対するライブラリ効果は感度係数を用いた評価 (図 4.7) と同程度であり、感度係数による評価の妥当性が確認できる。BFS-62-1 及び-2 炉心ではライブラリ効果は BFS-62-3A 炉心の 1.5 倍となり JEF と JENDL-3.3 の差は $1.2\% \Delta k$ に達する。これは燃料にウランのみを使用しているため、核データ間の差異の大きい U-235 の寄与が大きくなることによる。C/E 値としては JEF が 1.000～1.003 であるのに対し、JENDL-3.3 は 0.989～0.992 と $1\% \Delta k$ の過小評価となっている。ただし、UF 効果 (表 4.1 から 4.3 参照) を考慮すると最確 C/E 値は異なる可能性が高く、より厳密に評価するためにはそれぞれの核データについて UF 効果を求める必要がある。

次に Na ボイド反応度について確認する。

表 4.9 より BFS-62-3A 炉心のボイド反応度に対するライブラリ効果は感度係数を用いた評価 (図 4.9) より約 20% 小さいことが分かる。この原因としては、ボイド反応度の絶対値自体が非常に小さく数値誤差が現れやすいことや、感度係数の計算において格子計算モデルを均質としていることなどが考えられる。ただし核データ間の大小関係は比率を含めて感度係数による評価結果をほぼ再現しており、影響を概略的に把握する程度であれば今回の感度係数による評価でも十分であると言える。C/E 値については JEF を用いると JENDL-3.3 に比べて若干改善するが、実験値との差異に比べるとその度合いは小さく妥当性については言及できない。今後、それぞれの核データ毎に UF 効果を考慮して最確値を確認する必要がある。

4.3.4 簡易体系モデルでの核データ間のライブラリ効果の比較

感度係数や JFS 炉定数を用いた評価によって核データによって評価が大きく異なること及びその要因を確認したが、核データ毎に UF 効果を正確に評価できないため最確 C/E 値の妥当性が判断できない。そこで Semenov の作成した BFS-62-3A 炉心を 2 次元 RZ 均質モデルに簡略化したベンチマーク体系⁽¹¹⁾の実効増倍率について比較評価した。

評価には決定論的手法 (拡散コード CITATION で JFS 炉定数を使用) と確率論的手法 (連続エネルギーモンテカルロコード MVP 又は MCNP を使用) の 2 種類の計算手法を適用した。

比較対象の核データライブラリには、決定論的手法については JENDL-3.2、JENDL-3.3、及び JEF を、モンテカルロ計算には加えて ENDF を採り上げた。モンテカルロ計算ではヒストリー数を 25,000,000 (5,000 (particles/generation) × 5,010 (generation)、10 generation skip) とした。

表 4.10 に結果を示す。JENDL-3.3 の結果は決定論的手法、モンテカルロ計算手法とも

にライブラリ効果が約 $-0.4\% \Delta k$ である。一方、JEFについては手法間で効果に2倍近い差異がある。決定論的手法に補正（輸送・メッシュ効果や領域別 χ スペクトル使用による効果、UF効果）を加えていない値であることが差異の原因と考えられる。決定論的手法によるライブラリ効果はJENDL-3.3、JEFともに、前節のBFS-62-3A炉心の結果（表4.8）に近い値を示しており、簡易モデルでもライブラリ効果を再現できることが確認できる。

モンテカルロ計算結果におけるライブラリ間の大小関係は感度係数による結果（図4.7）と整合している。基準値との比についてはJENDL-3.2とENDFが最も1.0に近い。JEFとJENDL-3.3はそれぞれ $0.9\% \Delta k$ 過大、 $0.6\% \Delta k$ 過小評価している。基準値はベンチマークモデル作成時に使用されたMMKKENOコードとABBN-93.1ライブラリに依存するため真値とは言い切れないが、その不確かさ（ $0.15\% \Delta k$ ）を考慮すると、有意な不一致であるといえる。この結果は、詳細モデルにおいてUF効果を厳密に考慮したとしてもJENDL-3.3は臨界性を過小評価することを示している。

4.4 まとめ

JENDL-3.3を使用した場合のBFS炉心におけるC/E値の悪化要因の検討として、次世代炉定数効果の核データ依存性確認と他の核データライブラリとの比較を行った。

次世代炉定数効果の核データ依存性確認では以下のことが分かった。

- 次世代炉定数効果については核データ毎に評価する必要がある。
- ボイド反応度についてはJENDL-3.3ベースの次世代炉定数効果を考慮してもC/E値に大幅な改善は見込めない。

他の核データライブラリとの比較ではJEF-2.2R、ENDF/B-VIと比較して以下のことを確認した。

BFS-62-3A炉心の臨界性について、

- JENDL-3.3はJEF-2.2Rより約 $0.7\% \Delta k$ 小さく、ENDF/B-VIより約 $0.5\% \Delta k$ 小さく評価する（感度係数による評価）。
- その差異はU-235の捕獲断面積、核分裂断面積、及び核分裂あたりの中性子発生数の差異に起因する。
- 核データ間の差異は連続エネルギーモンテカルロ計算でも同様に現れ、JENDL-3.3は約 $0.6\% \Delta k$ 過小評価する。

Na ボイド反応度について、

- JFS型の炉定数による評価ではJENDL-3.3はENDF/B-VIとは同程度の評価となる。JEF-2.2Rに比べると20%小さい。
- 実験値との差異について比べると核データ間の違いは小さく、いずれの場合もC/E値は0.5以下である。

表 4.1 JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-1 炉心 臨界性)

核データライブラリー	計算の種類又はUF効果	基準計算値	補正後計算値* ¹	C/E値
JENDL-3.2	JFS70群計算値	0.99405	0.99643	0.9952
	UF175群計算値	0.99620	0.99858	0.9973
	UF効果(差)	0.00215	-	-
JENDL-3.3	JFS70群計算値	0.98762	0.99000	0.9888
	JFS70群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98231	0.98470	0.9835
	UF175群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98722	0.98960	0.9884
	UF効果(差)	0.00490	-	-
実験値* ²		1.0013		

*1: 領域別 χ スペクトル補正及び輸送メッシュ補正を考慮。JENDL-3.2で評価した値を適用。*2: JENDL-3.2で評価した $\beta_{\text{eff}}=0.00716$ で単位を変換

表 4.2 JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-2 炉心 臨界性)

核データライブラリー	計算の種類又はUF効果	基準計算値	補正後計算値* ¹	C/E値
JENDL-3.2	JFS70群計算値	0.99456	0.99728	0.9964
	UF175群計算値	0.99696	0.99968	0.9988
	UF効果(差)	0.00240	-	-
JENDL-3.3	JFS70群計算値	0.98816	0.99088	0.9900
	JFS70群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98297	0.98569	0.9848
	UF175群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98790	0.99063	0.9898
	UF効果(差)	0.00494	-	-
実験値* ²		1.0009		

*1: 領域別 χ スペクトル補正及び輸送メッシュ補正を考慮。JENDL-3.2で評価した値を適用。*2: JENDL-3.2で評価した $\beta_{\text{eff}}=0.00716$ で単位を変換

表 4.3 JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-3A 炉心 臨界性)

核データライブラリー	計算の種類又はUF効果	基準計算値	補正後計算値* ¹	C/E値
JENDL-3.2	JFS70群計算値	0.99244	0.99713	0.9965
	UF175群計算値	0.99514	0.99984	0.9992
	UF効果(差)	0.00271	-	-
JENDL-3.3	JFS70群計算値	0.98806	0.99275	0.9921
	JFS70群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98258	0.98728	0.9866
	UF175群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	0.98820	0.99289	0.9922
	UF効果(差)	0.00561	-	-
実験値* ²		1.0007		

*1: 領域別 χ スペクトル補正及び輸送メッシュ補正を考慮。JENDL-3.2で評価した値を適用。*2: JENDL-3.2で評価した $\beta_{\text{eff}}=0.00619$ で単位を変換

表 4.4 JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-2 炉心 Na ボイド反応度)

核データ	計算の種類又はUF効果	基準計算値		補正後計算値 ^{*1}			C/E
		非漏洩項	漏洩項	非漏洩項	漏洩項	Total	
JENDL-3.2	JFS70群計算値	2.80E-04	-9.10E-04	2.98E-04	-8.81E-04	-5.83E-04	0.73
	UF175群計算値	1.61E-04	-9.20E-04	1.71E-04	-8.91E-04	-7.20E-04	0.91
	UF効果(差)	-1.19E-04	-1.03E-05	-	-	-1.37E-04	-
	UF効果(比)	0.57	1.01	-	-	1.23	-
JENDL-3.3	JFS70群計算値	5.03E-04	-9.15E-04	5.35E-04	-8.86E-04	-3.51E-04	0.44
	JFS70群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	5.06E-04	-9.45E-04	5.39E-04	-9.15E-04	-3.76E-04	0.47
	UF175群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	4.04E-04	-9.31E-04	4.30E-04	-9.01E-04	-4.72E-04	0.59
	UF効果(差)	-1.03E-04	1.42E-05	-	-	-9.56E-05	-
	UF効果(比)	0.80	0.99	-	-	1.25	-
	JFS70群計算値+UF効果	4.01E-04	-9.02E-04	4.26E-04	-8.73E-04	-4.47E-04	0.56
実験値 ^{*2}						-7.95E-04	

*1: 補正值には輸送メッシュ、領域別 χ スペクトル、制御棒位置の非ボイドの各効果を考慮 (単位: dk/kk')

*2: JENDL-3.2で評価した $\beta_{\text{eff}}=0.00716$ で単位を変換 (ただし、比率を除く)

表 4.5 JENDL-3.3 による UF 効果 (BFS-62-3A 炉心 Na ボイド反応度)

核データ	計算の種類又はUF効果	基準計算値		補正後計算値 ^{*1}			C/E
		非漏洩項	漏洩項	非漏洩項	漏洩項	Total	
JENDL-3.2	JFS70群計算値	4.20E-04	-8.72E-04	4.27E-04	-8.18E-04	-3.90E-04	0.68
	UF175群計算値	2.94E-04	-8.76E-04	2.99E-04	-8.22E-04	-5.22E-04	0.92
	UF効果(差)	-1.26E-04	-4.08E-06	-	-	-1.32E-04	-
	UF効果(比)	0.70	1.00	-	-	1.34	-
JENDL-3.3	JFS70群計算値	6.36E-04	-8.73E-04	6.48E-04	-8.19E-04	-1.71E-04	0.30
	JFS70群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	6.51E-04	-9.17E-04	6.63E-04	-8.61E-04	-1.97E-04	0.35
	UF175群計算値(U,NaのみJENDL-3.3)	5.33E-04	-8.81E-04	5.42E-04	-8.27E-04	-2.84E-04	0.50
	UF効果(差)	-1.19E-04	3.61E-05	-	-	-8.72E-05	-
	UF効果(比)	0.82	0.96	-	-	1.44	-
	JFS70群計算値+UF効果	5.20E-04	-8.39E-04	5.29E-04	-7.87E-04	-2.57E-04	0.45
実験値 ^{*2}						-5.70E-04	

*1: 補正值には輸送メッシュ、領域別 χ スペクトル、制御棒位置の非ボイドの各効果を考慮 (単位: dk/kk')

*2: JENDL-3.2で評価した $\beta_{\text{eff}}=0.00619$ で単位を変換 (ただし、比率を除く)

表 4.6 U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A 臨界性)

Lower Energy [eV]	Upper Energy [eV]	核データライブラリ			JENDL-3.3のJEFに対する差異	JENDL-3.3のENDFに対する差異
		JENDL-3.3	JEF-2.2R	ENDF/B-VI		
1.00E-05	4.54E+02	-0.101	0.021	-0.102	-0.122	0.001
2	4.31E+03	-0.593	-0.342	-0.605	-0.251	0.012
4.31E+03	1.93E+04	-0.086	-0.079	-0.079	-0.007	-0.007
4	8.21E+05	-0.076	0.261	0.259	-0.337	-0.335
8.21E+05	1.00E+07	-0.002	-0.016	-0.016	0.014	0.014
Total		-0.858	-0.154	-0.542	-0.703	-0.316

(unit: %)

表 4.7 U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A Naボイド反応度)

Lower Energy [eV]	Upper Energy [eV]	核データライブラリ			JENDL-3.3のJEFに対する差異	JENDL-3.3のENDFに対する差異
		JENDL-3.3	JEF-2.2R	ENDF/B-VI		
1.00E-05	4.54E+02	-10.1	2.0	-10.1	-12.1	0.0
2	4.31E+03	-59.7	-31.4	-58.8	-28.3	-1.0
4.31E+03	1.93E+04	-2.2	-2.0	-2.0	-0.2	-0.2
1.93E+04	8.21E+05	1.4	-2.6	-2.7	4.1	4.1
8.21E+05	1.00E+07	0.1	0.4	0.4	-0.3	-0.3
Total		-70.6	-33.7	-73.2	-36.9	2.6

(unit: %)

表 4.8 ライブラリ効果の比較 (BFS-62-1~3A 臨界性)

核特性	核データ	基準計算値	補正值*1	補正後計算値	実験値*2	C/E	ライブラリ効果(%)
BFS-62-1 Keff	JENDL-3.2	0.99405	0.00238	0.99643	1.00125	0.9952	-
	JENDL-3.3	0.98762		0.99000		0.9888	-0.645
	JEF-2.2R	1.00015		1.00253		1.0013	0.612
BFS-62-2 Keff	JENDL-3.2	0.99456	0.00272	0.99728	1.00086	0.9964	-
	JENDL-3.3	0.98816		0.99088		0.9900	-0.642
	JEF-2.2R	1.00082		1.00355		1.0027	0.628
BFS-62-3A Keff	JENDL-3.2	0.99244	0.00469	0.99713	1.00068	0.9965	-
	JENDL-3.3	0.98806		0.99275		0.9921	-0.439
	JEF-2.2R	0.99648		1.00117		1.0005	0.405

*1)領域別χスペクトル補正及び輸送メッシュ補正を考慮。JENDL-3.2で評価した値を適用。

*2)JENDL-3.2で評価したβeffで単位を変換

表 4.9 ライブラリ効果の比較 (BFS-62-2, 3A Naボイド反応度)

核特性	核データ	基準計算値		補正後計算値*1			C/E*1	ライブラリ効果(%)
		非漏洩項	漏洩項	非漏洩項	漏洩項	Total		
BFS-62-2 Naボイド反応度 (LEZ領域)	JENDL-3.2	2.80E-04	-9.10E-04	2.98E-04	-8.81E-04	-5.83E-04	0.73	-
	JENDL-3.3	5.03E-04	-9.15E-04	5.35E-04	-8.86E-04	-3.51E-04	0.44	-39.7
	JEF-2.2R	4.28E-04	-8.78E-04	4.56E-04	-8.50E-04	-3.94E-04	0.50	-32.4
BFS-62-3A Naボイド反応度 (LEZ領域)	JENDL-3.2	4.20E-04	-8.72E-04	4.27E-04	-8.18E-04	-3.90E-04	0.68	-
	JENDL-3.3	6.36E-04	-8.73E-04	6.48E-04	-8.19E-04	-1.71E-04	0.30	-56.1
	JEF-2.2R	5.58E-04	-8.49E-04	5.69E-04	-7.97E-04	-2.28E-04	0.40	-41.5

*1:補正值、実験値は表4.5,4.6で使用したものと同一

単位: dk/kk' (ただし、比率を除く)

表 4.10 簡易体系でのライブラリ効果の比較 (BFS-62-3A ベンチマークモデル 臨界性)

計算手法	核データ (括弧内はコード名)	Keff	基準値*1との比	ライブラリ効果(%)
決定論的手法 (70群拡散計算)	JENDL-3.2 (CITATION)	0.98345	0.9931	-
	JENDL-3.3 (CITATION)	0.97937	0.9890	-0.408
	JEF-2.2R (CITATION)	0.98868	0.9984	0.523
連続エネルギー モンテカルロ計算*3	JENDL-3.2 (MVP)	0.98825	0.9980	-
	JENDL-3.3 (MVP)	0.98425	0.9939	-0.404
	JENDL-3.3 (MCNP)	0.98360	0.9933	-0.470
	JEF-2.2R (MVP) *2	0.99927	1.0091	1.113
	ENDF/B-VI (MCNP)	0.99211	1.0019	0.390

*1: 多群モンテカルロコードMMKKENOを用いて算出した値 (ベンチマークモデルによる値 - 詳細モデルによる値 + 実験値)

Benchmark model 基準Keff= 0.99025 ± 0.0015

*2: NaとTiはJENDL-3.3を使用

*3: 統計誤差(1σ) 0.00010

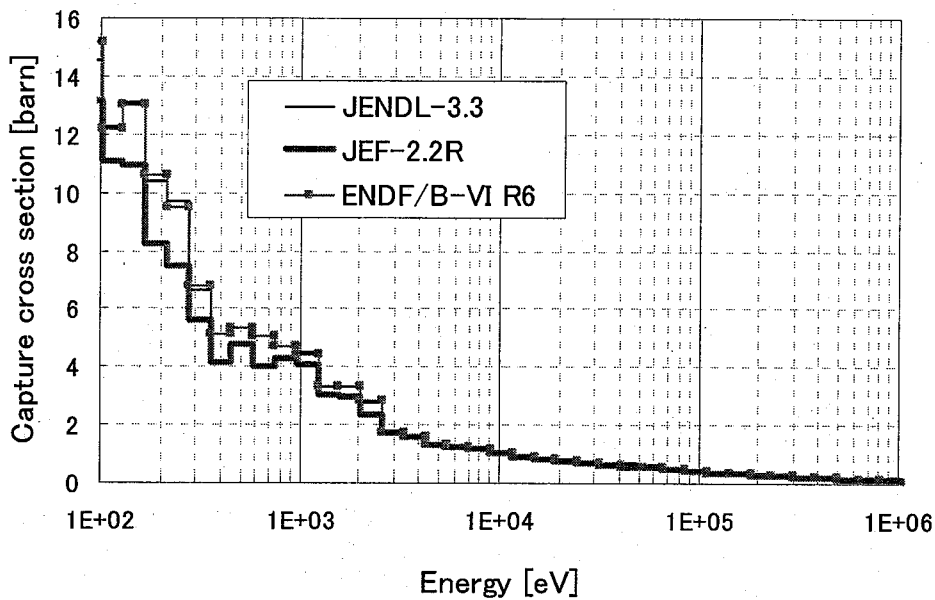


図 4.1 U-235 捕獲断面積 (70 群無限希釈断面積) の核データ間の比較

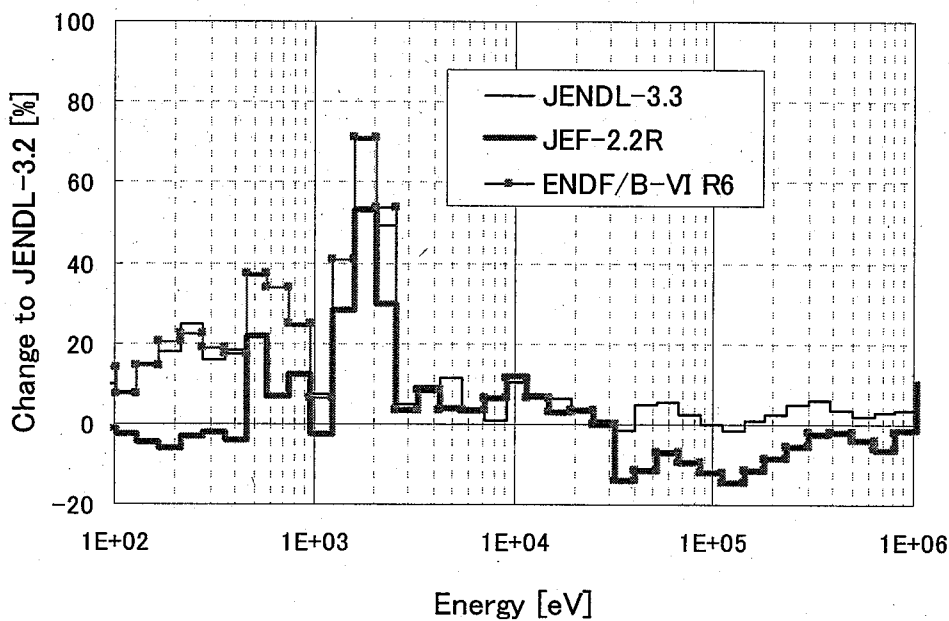


図 4.2 U-235 捕獲断面積の JENDL-3.2 に対する差異の核データ間の比較

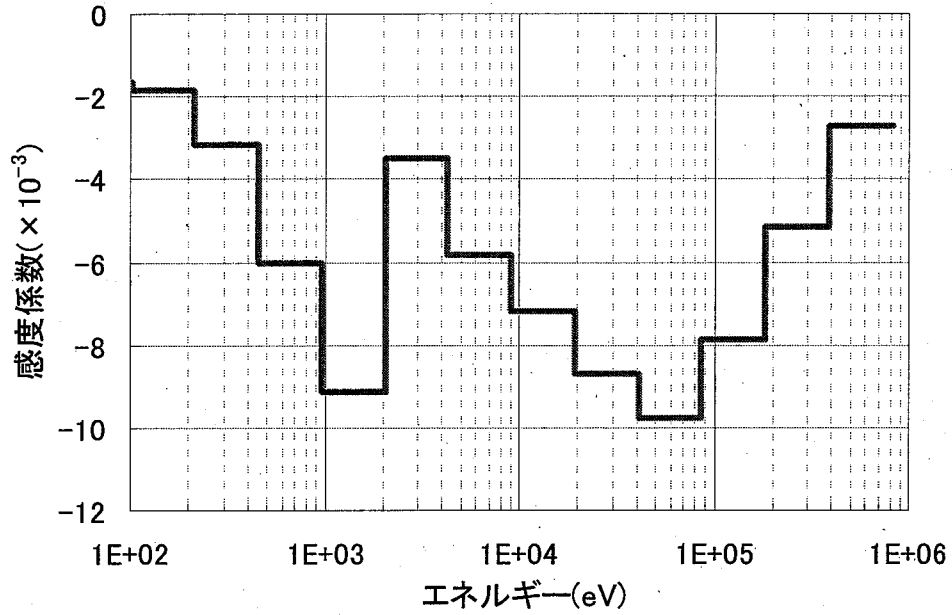


図 4.3 U-235 捕獲断面積に対する感度係数 (BFS-62-3A 臨界性)

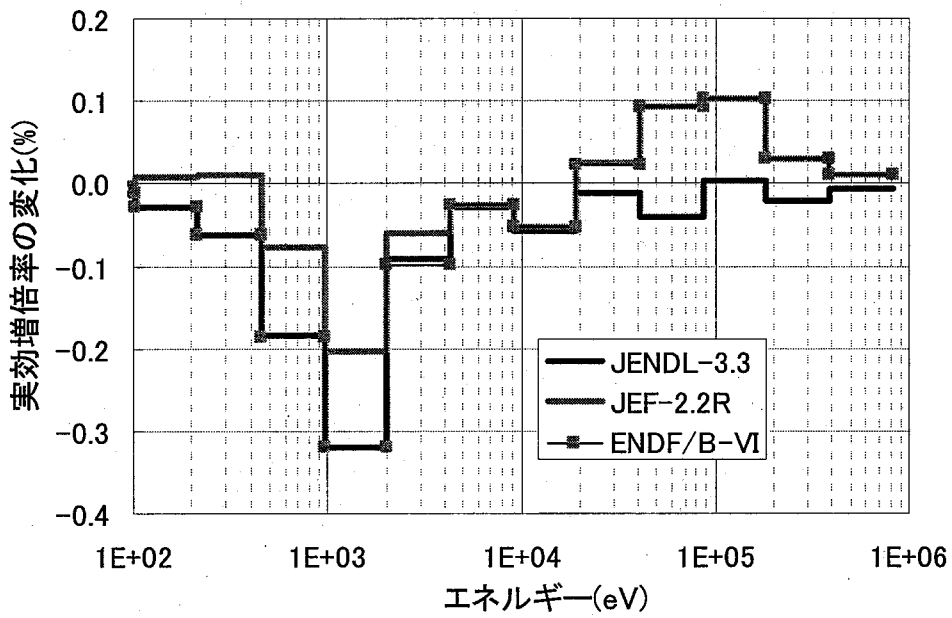


図 4.4 U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A 臨界性)
(基準: JENDL-3.2 による値)

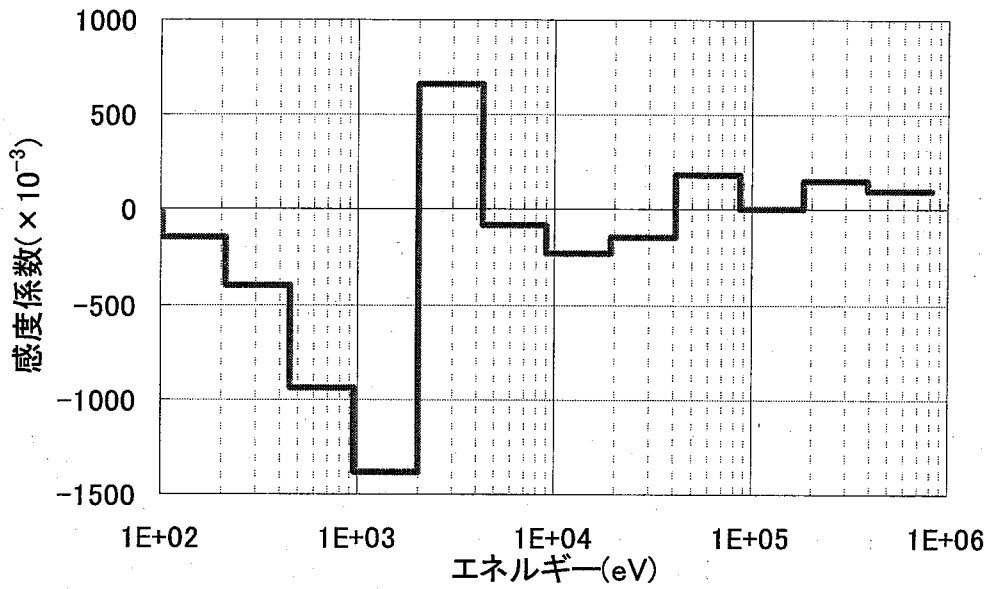


図 4.5 U-235 捕獲断面積に対する感度係数 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)

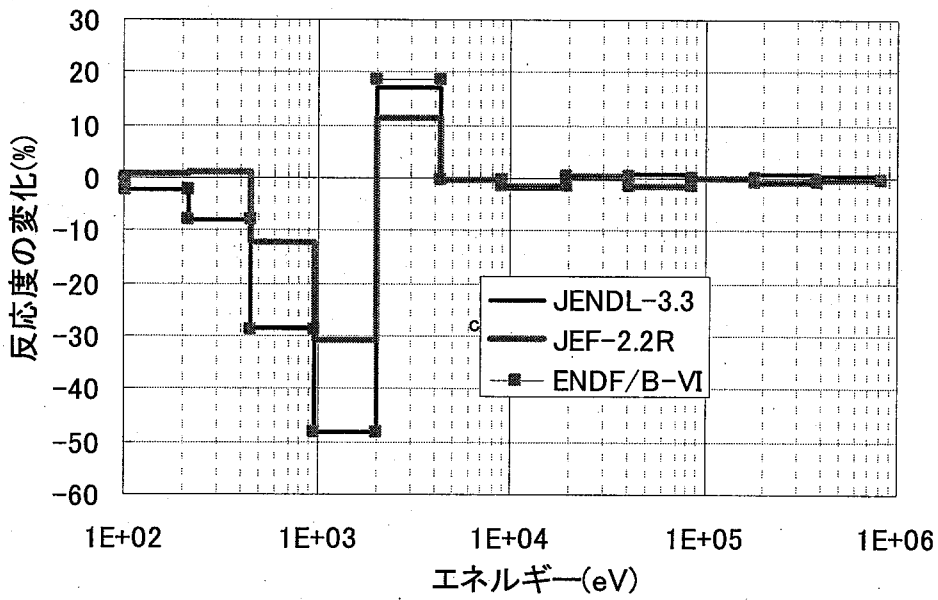


図 4.6 U-235 捕獲断面積によるライブラリ効果 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)
(基準: JENDL-3.2 による値)

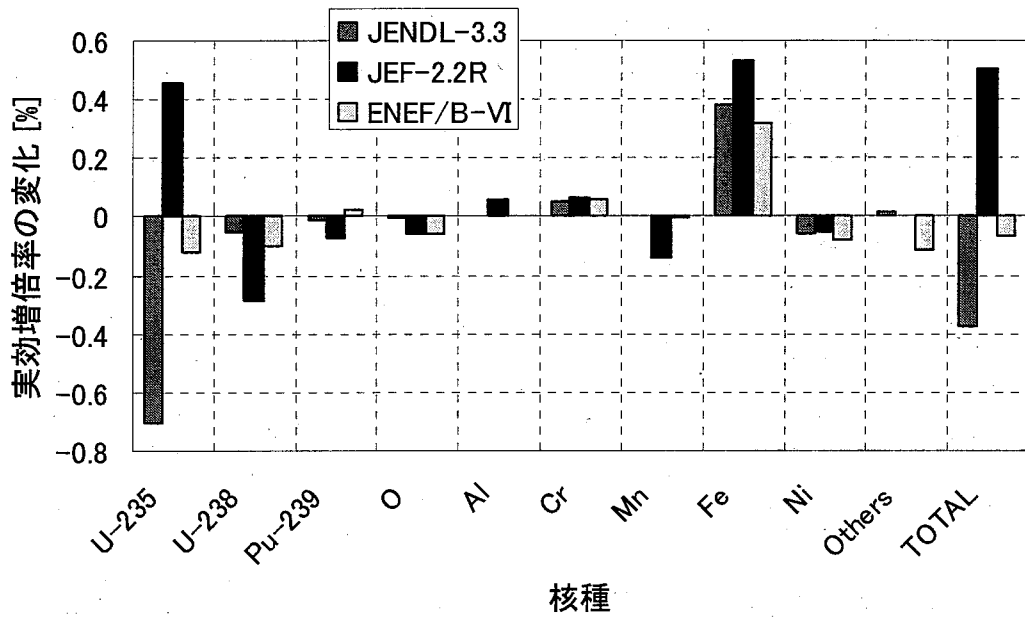


図 4.7 ライブラリ効果の核種毎の寄与 (BFS-62-3A 臨界性)
(基準: JENDL-3.2 による値)

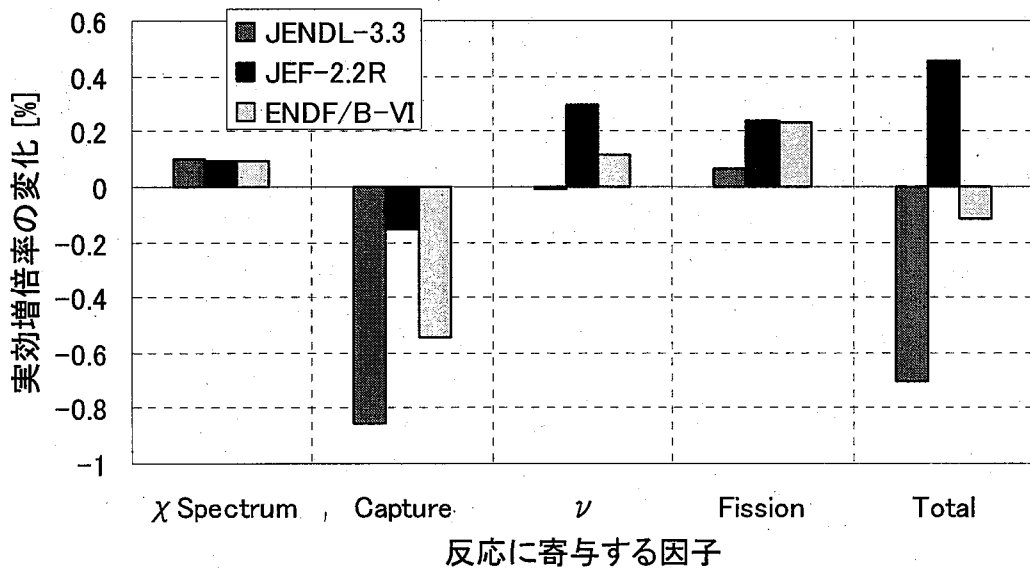


図 4.8 U-235 に関するライブラリ効果の反応毎の寄与 (BFS-62-3A 臨界性)
(基準: JENDL-3.2 による値)

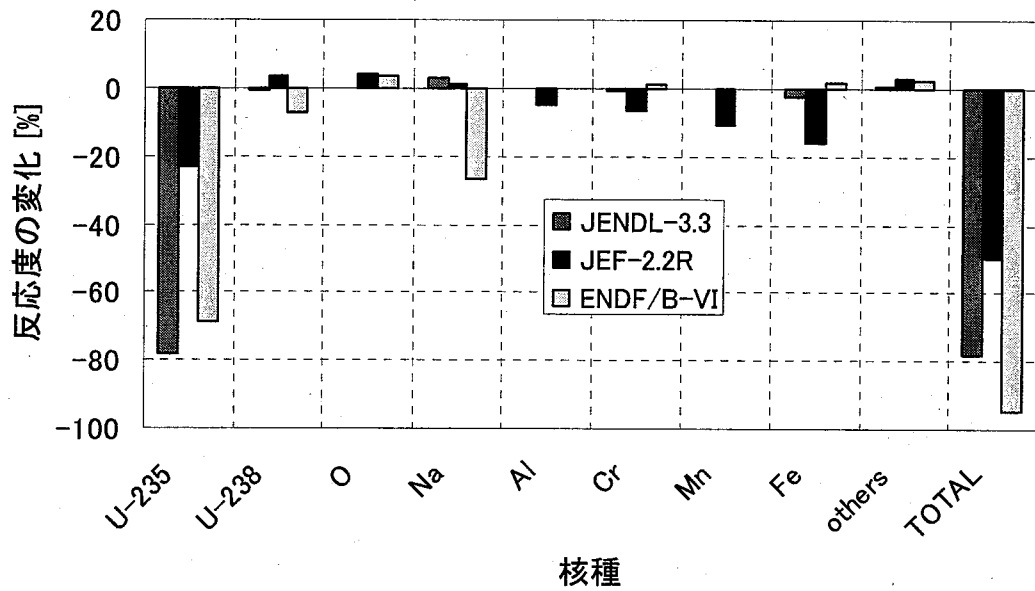


図 4.9 ライブラリ効果の核種毎の寄与 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)
(基準: JENDL-3.2 による値)

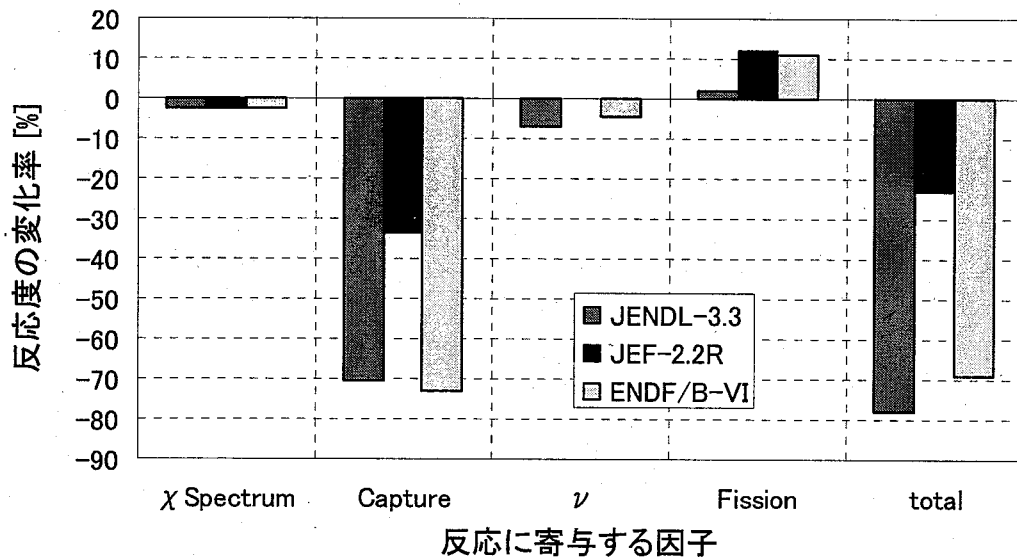


図 4.10 U-235 に関するライブラリ効果の反応毎の寄与 (BFS-62-3A Na ボイド反応度)
(基準: JENDL-3.2 による値)

5 結言

高速炉体系において最新の評価済み核データライブラリ JENDL-3.3 の積分テストを実施した。

その結果得た JENDL-3.2 から-3.3 へのライブラリ改訂の影響を以下に示す。

- 高速炉核特性解析値に大きく影響を与える改訂核種・反応は、U-235 捕獲反応、Pu-240 捕獲反応、Fe 捕獲および弾性散乱反応であった。
- プルトニウム燃料を使用した炉心体系においては、臨界性が最大 0.3% Δk 程度、Na ボイド反応度の非漏洩項が最大 5%程度、解析値が実験値と一致する方向となった。
- JUPITER 臨界実験における SS (ステンレススチール) サンプルの微少反応度、高濃度 Pu-240 燃料を用いたゾーン置換反応度において 5%程度の影響があり、C/E 値が 1.0 に近づいた。
- JUPITER 臨界実験のうち、ウラン燃料を使用した炉心において、制御棒価値の C/E 値のリング依存性が小さくなった。
- ウラン燃料を使用した BFS 炉心では、臨界性、Na ボイド反応度ともに C/E 値が大きく悪化した。

プルトニウム燃料炉心においては、JENDL-3.3 を適用することで核特性解析値は実験値に近づく方向となった。しかし、その程度はそれほど大きいものではなく、炉心設計用もしくは臨界実験解析用ライブラリとして JENDL-3.3 を導入するという動機付けを強くさせるものではなかった。一方、ウラン燃料炉心における JENDL-3.3 の適用は、JUPITER 実験では良好な C/E 値を得たが、BFS 炉心では解析値を実験値から乖離させる方向となり、それらの原因が U-235 の捕獲断面積の改訂にあることを明らかにした。このように U-235 捕獲断面積の改訂に関しては異なる実験体系で整合のとれない結果が得られたため、現時点ではその是非を断定することは出来ず、別途、本積分テストで用いたものと独立な実験体系でのテストを行う必要がある。

なお、BFS 炉心において、他の核データライブラリ (JEF-2.2 や ENDF/B-VI-R6) との比較を行い、JENDL-3.3 の U-235 捕獲断面積に改善の余地がある可能性を示した。

参考文献

- (1) K. Shibata, et al.: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3", J. Nucl. Sci. Technol. 39[11], p.1125 (2002).
- (2) 奥村啓介：私信（2002）.
- (3) 千葉豪、沼田一幸：「JENDL-3.2に基づく高速炉用炉定数 JFS-3-J3.2R の作成」、JNC TN9400 2001-124（2002）.
- (4) 石川眞、他：「核設計基本データベースの整備（Ⅷ）-JUPITER 実験解析結果の集大成-」、JNC TN9410 97-099（1997）.
- (5) 杉野和輝：「次世代炉定数システムを用いた JUPITER 臨界実験解析」、JNC TN9400 2001-091（2001）.
- (6) H. Oigawa, et al.: "Experiments and Analyses on Sodium Void Reactivity Worth in Mock-up Cores of Metallic Fueled and MOX Fueled Fast Reactors at FCA", J. Nucl. Sci. Technol. 35[4], p.264（1998）.
- (7) 杉野和輝、他：「BFS 臨界実験解析 -BFS-62-1 及び 62-2 炉心の解析-」、JNC TN9400 2002-008（2002）.
- (8) 羽様平、他：「BFS 臨界実験解析 -BFS-62-3A 及び 62-4 炉心の解析-」、JNC TN9400 2002-036（2002）.
- (9) <http://t2.lanl.gov/cgi-bin/nuclides/jefind> .
- (10) <http://t2.lanl.gov/cgi-bin/nuclides/endind> .
- (11) M. Semenov: "Effects of Existing Evaluated Nuclear Data Files on Neutronics Characteristics of the BFS-62-3A Critical Assembly Benchmark Model", JNC TN9400 2002-063（2002）.

付録 A 解析結果詳

- 表 A.1 JUPITER-I シリーズの臨界性解析結果
- 表 A.2 JUPITER-II シリーズの臨界性解析結果
- 表 A.3 JUPTIER-III シリーズの臨界性解析結果
- 表 A.4 JUPITER-Io シリーズの臨界性解析結果
- 表 A.5 BFS での臨界性解析結果
- 表 A.6 JOYO での臨界性解析結果
- 表 A.7 FCA での臨界性解析結果
- 表 A.8 MOZART での臨界性解析結果
- 表 A.9 制御棒価値解析結果
- 表 A.10 微量サンプル反応度の解析結果
- 表 A.11 ゾーン置換反応度の解析結果
- 表 A.12 Na ボイド反応度補正值一覧
- 表 A.13 Na ボイド反応度解析結果
- 表 A.14 F49 反応率分布解析結果

表 A.1 JUPITER-I シリーズの臨界性解析結果

	基準計算				修正値				修正後計算値				実験値		C/E値					
	J3.2R		J3.3		AMM		メッシュ		輸送		非対称セル		マルチドロウ		次世代炉定数		J3.2R		J3.3	
	0.99245	0.99343	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0010	0.0021	-0.0004	0.0006	0.0010	-0.0004	0.0006	0.0010	0.0010	0.9947	0.9957	1.0011	0.9936	0.9946	
ZPPR-9	0.99245	0.99343	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0010	0.0021	-0.0004	0.0006	0.0010	-0.0004	0.0006	0.0010	0.9947	0.9957	1.0011	0.9936	0.9946		
ZPPR-10A	0.98996	0.99145	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0014	0.0045	-0.0004	0.0006	0.0010	-0.0004	0.0006	0.0010	0.9943	0.9958	1.0010	0.9933	0.9948		
ZPPR-10B	0.98862	0.98993	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0044	0.0060	-0.0002	0.0006	0.0010	-0.0002	0.0006	0.0010	0.9917	0.9930	1.0004	0.9913	0.9926		
ZPPR-10C	0.99042	0.99175	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0011	0.0035	-0.0004	0.0006	0.0010	-0.0004	0.0006	0.0010	0.9941	0.9954	1.0007	0.9934	0.9947		
ZPPR-10D	0.98941	0.99081	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0013	0.0041	-0.0002	0.0006	0.0010	-0.0002	0.0006	0.0010	0.9937	0.9951	1.0005	0.9932	0.9946		
ZPPR-10D/1	0.98985	0.99125	0.99145	0.99175	0.0000	-0.0016	0.0043	-0.0001	0.0006	0.0010	-0.0001	0.0006	0.0010	0.9940	0.9954	1.0003	0.9937	0.9951		
ZPPR-10D/2	0.98962	0.99096	0.99145	0.99175	0.0001	-0.0030	0.0049	-0.0003	0.0006	0.0010	-0.0003	0.0006	0.0010	0.9929	0.9942	1.0007	0.9922	0.9935		

* 次世代炉定数補正は ZPPR-9 でのものを全ての体系に適用

表 A.2 JUPITER-II シリーズの臨界性解析結果

	基準計算				修正値				修正後計算値				実験値		C/E値								
	J3.2R		J3.3		AMM		メッシュ		輸送		マルチドロウ		Pu-241崩壊		温度		次世代炉定数		J3.2R		J3.3		
	0.98810	0.98968	0.99046	0.99028	0.0001	-0.0027	0.0072	0.0018	-0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9940	0.9956	1.0005	0.9935	0.9951
ZPPR-13A	0.98810	0.98968	0.99046	0.99028	0.0001	-0.0027	0.0072	0.0018	-0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9940	0.9956	1.0005	0.9935	0.9951
ZPPR-13B/1	0.98884	0.99046	0.99046	0.99028	0.0001	-0.0023	0.0062	0.0018	-0.0003	0.0003	-0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9940	0.9957	1.0006	0.9934	0.9951
ZPPR-13B/3	0.98871	0.99028	0.99046	0.99028	0.0001	-0.0021	0.0057	0.0018	-0.0003	0.0003	-0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9935	0.9951	1.0007	0.9928	0.9944
ZPPR-13B/4	0.98690	0.98870	0.99046	0.99028	-0.0001	-0.0021	0.0068	0.0018	-0.0003	0.0003	-0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9926	0.9944	1.0004	0.9922	0.9940
ZPPR-13C	0.98922	0.99091	0.99046	0.99028	0.0001	-0.0023	0.0062	0.0018	-0.0004	0.0003	-0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	-0.0007	0.9942	0.9959	1.0007	0.9935	0.9952

* 次世代炉定数補正は ZPPR-13A でのものを全ての体系に適用

表 A.3 JUPITER-III シリーズの臨界性解析結果

	基準計算				修正値				修正後計算値				実験値		C/E値			
	J3.2R		J3.3		AMM		メッシュ		輸送		マルチドロウ		次世代炉定数		J3.2R		J3.3	
	0.98818	0.98938	0.98825	0.98825	0.0002	-0.0021	0.0021	0.0054	0.0068	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.9940	0.9952	1.0005	0.9935	0.9947
ZPPR-17A	0.98818	0.98938	0.98825	0.98825	0.0002	-0.0021	0.0021	0.0054	0.0068	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.9940	0.9952	1.0005	0.9935	0.9947
ZPPR-17B	0.98692	0.98825	0.98825	0.98825	0.0003	-0.0024	0.0024	0.0068	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.9939	0.9952	1.0006	0.9933	0.9946	
ZPPR-17C	0.98880	0.98989	0.98825	0.98825	0.0003	-0.0062	0.0062	0.0082	0.0014	0.0014	0.0014	0.0009	0.9934	0.9945	1.0004	0.9930	0.9941	

* 次世代炉定数補正は ZPPR-17A でのものを全ての体系に適用

表 A.4 JUPITER-Io シリ－ズの臨界性解析結果

	基準計算				補正值				補正後計算値				実験値		C/E値					
	J3.2R		J3.3		AMM		メッシュ		輸送		マルチドロフ		核分裂スペクトル		次世代炉定数		J3.2R		J3.3	
	0.99213	0.99229	0.0006	-0.0009	0.0028	0.0006	-0.0006	-0.0007	0.0006	0.0037	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0010	0.9956	0.9958	1.0008	0.9948	0.9950	
ZPPR-18A	0.99213	0.99229	0.0006	-0.0009	0.0028	0.0006	-0.0006	-0.0007	0.0006	0.0037	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0010	0.9956	0.9958	1.0008	0.9948	0.9950	
ZPPR-18B	0.99331	0.99328	0.0004	-0.0027	0.0037	0.0006	-0.0007	0.0006	0.0034	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0010	0.9956	0.9956	1.0007	0.9949	0.9949		
ZPPR-18C	0.99448	0.99451	0.0004	-0.0035	0.0034	0.0006	-0.0007	0.0006	0.0034	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0010	0.9957	0.9957	1.0011	0.9946	0.9946		
ZPPR-19B	0.99245	0.99245	0.0006	-0.0009	0.0029	0.0006	-0.0007	0.0006	0.0029	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0010	0.9959	0.9959	1.0008	0.9951	0.9951		

* 次世代炉定数補正は ZPPR-9 でのものを全てに適用

表 A.5 BFS での臨界性解析結果

	基準計算				補正值				補正後計算値				実験値		C/E値	
	J3.2R		J3.3		次世代炉定数		核分裂スペクトル		J3.2R		J3.3		実験値		C/E値	
	0.99393	0.98762	0.0025	0.0025	0.0023	0.9886	-0.0001	0.9923	1.0013	0.9973	0.9910	0.9989	0.9925			
BFS-62-1	0.99393	0.98762	0.0025	0.0025	0.0023	0.9886	-0.0001	0.9923	1.0013	0.9973	0.9910	0.9989	0.9925			
BFS-62-2	0.99456	0.98816	0.0029	0.0029	0.0024	0.9998	-0.0001	0.9934	1.0009	0.9989	0.9925	0.9991	0.9948			
BFS-62-3A	0.99243	0.98805	0.0035	0.0035	0.0027	0.9998	0.0012	0.9955	1.0007	0.9991	0.9948	0.9974	0.9931			
BFS-62-4	0.99132	0.98699	0.0031	0.0031	0.0026	0.9982	0.0012	0.9939	1.0008	0.9974	0.9931					

表 A.6 JOYO での臨界性解析結果

	基準計算				補正值				補正後計算値				実験値		C/E値	
	J3.2R		J3.3		メッシュ		群縮約		輸送		J3.2R		J3.3		実験値	
	0.98188	0.97410	0.98162	-0.0002	-0.0022	0.0161 <th>0.0006 <th>0.0006 <th>0.0212 <th>0.9953 <th>0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th></th></th></th></th></th>	0.0006 <th>0.0006 <th>0.0212 <th>0.9953 <th>0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th></th></th></th></th>	0.0006 <th>0.0212 <th>0.9953 <th>0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th></th></th></th>	0.0212 <th>0.9953 <th>0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th></th></th>	0.9953 <th>0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th></th>	0.9942 <th>1.0011 <th>1.0001 </th></th>	1.0011 <th>1.0001 </th>	1.0001			
JOYO MK-I	0.98188	0.97410	0.98162	-0.0002	-0.0022	0.0161	0.0006	0.0006	0.0212	0.9953	0.9942	1.0011	1.0001			
JOYO MK-II	0.97410	0.97496	0.97496	-0.0002	-0.0026	0.0212	0.0006	0.0006	0.0212	0.9933	0.9942	1.0001	0.9932			

表 A.7 FCA での臨界性解析結果

	基準計算		補正值				補正後計算値		実験値		C/E値	
	J3.2R	J3.3	群縮約	メッシュ	メッシュ	輸送	非均質	J3.2R	J3.3	実験値	J3.2R	J3.3
FCA XVII-1	0.98756	0.98703	-0.0008	-0.0012	0.0061	0.0007	0.007	0.9987	0.9981	1.0036	0.9951	0.9945
FCA X-1	0.9887	0.98943	-0.0015	-0.0024	0.0117	0.0025	0.9990	0.9997	1.0047	0.9943	0.9951	

表 A.8 MOZART での臨界性解析結果

	基準計算		補正值				補正後計算値		実験値		C/E値		
	J3.2R	J3.3	輸送	メッシュ	メッシュ	Sn	実験	次世代炉定数	J3.2R	J3.3	実験値	J3.2R	J3.3
MZA	0.99461	0.99779	0.0058	0.0006	0.0000	0.0013	0.0013	-0.0005	1.0018	1.0050	1.0096	0.9923	0.9954
MZB	0.99468	0.997	0.0007	0.0003	-0.0002	0.0006	0.0005	0.0005	0.9966	0.9989	1.0046	0.9920	0.9943

表 A.9 制御棒価値解析結果

	基準計算		補正值				補正後計算値		実験値		C/E値	
	J3.2R	J3.3	メッシュ	メッシュ	輸送	AMM	核分裂スペクトル	J3.2R	J3.3	実験値	J3.2R	J3.3
ZPPR-18A	Ring 1 8.078	8.191	1.071	1.096	0.965	0.983	1.011	8.297	8.413	8.444	0.983	0.996
	Ring 2 7.707	7.707	1.096	1.070	0.970	0.997	1.001	8.177	8.177	7.997	1.023	1.023
	Ring 3 7.438	7.297	1.070	1.070	0.985	1.014	0.990	7.869	7.720	7.408	1.062	1.042
	Ring 3X 2.110	2.141	1.031	1.031	1.002	1.011	1.006	2.217	2.249	2.18	1.017	1.032
	Ring 3Y 1.691	1.611	1.044	1.044	0.987	1.010	0.978	1.721	1.639	1.593	1.080	1.029
ZPPR-19B	Ring 1 6.764	6.903	1.050	1.057	0.967	0.983	1.015	6.852	6.993	7.285	0.941	0.960
	Ring 2 6.093	6.112	1.057	1.040	0.967	0.997	1.002	6.221	6.241	6.35	0.980	0.983
	Ring 3 5.810	5.686	1.040	1.040	0.989	1.011	0.989	5.975	5.848	5.828	1.025	1.003
	Ring 3X 1.818	1.784	1.034	1.034	0.995	1.010	0.990	1.870	1.835	1.832	1.021	1.002
	Ring 3Y 1.684	1.657	1.033	1.033	0.993	1.011	0.992	1.732	1.705	1.71	1.013	0.997

表 A.10 微少サンプル反応度の解析結果

マトリックス 位置	基準計算値		補正值		補正後計算値		実験値	C/E値	
	J3.2R	J3.3	非対称セル 輸送メッシュ		J3.2R	J3.3		J3.2R	J3.3
149-49	-0.0196	-0.0186	0.993	0.994	-0.0193	-0.0184	-0.020	0.965	0.920
149-48	-0.0202	-0.0193	0.988	0.995	-0.0199	-0.0190	-0.018	1.104	1.053
149-47	-0.0194	-0.0185	0.987	0.994	-0.0191	-0.0182	-0.017	1.122	1.070
149-46	-0.0200	-0.0191	0.988	0.995	-0.0197	-0.0188	-0.020	0.983	0.938
149-45	-0.0194	-0.0185	0.990	0.994	-0.0191	-0.0182	-0.017	1.121	1.069
149-44	-0.0193	-0.0184	0.992	0.995	-0.0190	-0.0181	-0.018	1.056	1.008
149-43	-0.0190	-0.0181	0.995	0.995	-0.0188	-0.0179	-0.018	1.044	0.996
149-42	-0.0191	-0.0182	0.997	0.994	-0.0189	-0.0180	-0.017	1.112	1.060
149-41	-0.0182	-0.0174	0.999	0.996	-0.0181	-0.0173	-0.015	1.208	1.152
149-40	-0.0175	-0.0167	1.002	0.997	-0.0175	-0.0167	-0.016	1.091	1.042
149-39	-0.0175	-0.0167	1.004	0.994	-0.0175	-0.0167	-0.016	1.094	1.044
149-38	-0.0171	-0.0163	1.006	0.997	-0.0171	-0.0164	-0.014	1.225	1.170
149-37	-0.0164	-0.0157	1.008	0.997	-0.0165	-0.0157	-0.015	1.097	1.049
149-36	-0.0154	-0.0147	1.010	0.999	-0.0155	-0.0149	-0.014	1.109	1.061
149-35	-0.0153	-0.0146	1.012	0.997	-0.0154	-0.0148	-0.015	1.028	0.985
149-34	-0.0146	-0.0140	1.013	1.000	-0.0148	-0.0142	-0.012	1.233	1.181
149-33	-0.0131	-0.0126	1.013	1.002	-0.0133	-0.0128	-0.013	1.026	0.984
149-32	-0.0120	-0.0115	1.014	1.025	-0.0125	-0.0120	-0.009	1.386	1.328
149-31	-0.0092	-0.0088	1.011	1.055	-0.0098	-0.0094	-0.004	2.457	2.349
149-30	-0.0080	-0.0076	1.034	1.038	-0.0085	-0.0082	-0.004	2.136	2.045
149-29	0.0067	0.0064	0.942	1.304	0.0083	0.0079	0.003	2.760	2.640
149-28	0.0041	0.0040	1.003	1.037	0.0043	0.0041	0.010	0.430	0.412
149-27	0.0026	0.0026	1.026	1.036	0.0028	0.0027	0.008	0.352	0.341
149-26	0.0012	0.0012	1.025	0.999	0.0013	0.0012	0.004	0.316	0.307
149-25	0.0006	0.0006	1.024	0.928	0.0006	0.0005	0.003	0.188	0.182
149-24	0.0003	0.0003	1.023	0.896	0.0002	0.0002	0.003	0.080	0.077

* 単位は ϕ 。 $\beta_{\text{eff}}=0.003617$ 。基準計算値にはサンプルサイズ補正が施されている。

表 A.11 ゾーン置換反応度の解析結果

	基準計算		補正值		補正後計算値		実験値	C/E値	
	J3.2R	J3.3	輸送メッシュ	AMM	J3.2R	J3.3		J3.2R	J3.3
Step 1	2.50	2.75	1.033	1.090	2.81	3.10	3.52	0.800	0.880
Step 2	6.58	7.16	1.035	1.145	7.80	8.49	10.36	0.753	0.819
Step 3	11.55	12.47	1.022	1.096	12.94	13.97	16.79	0.771	0.832

* 単位は ϕ 。 $\beta_{\text{eff}}=0.003462$ 。

表 A.12 Na ボイド反応度補正值一覧

		補正值						全補正值		
		輸送メッシュ		非対称セル		Na重量	次世代炉定数			
		Non-L	L	Non-L	L		Non-L	L	Non-L	L
ZPPR-9	Step 1	0.958	0.799	1.014	1.070	1.010	0.974	1.033	0.956	0.892
	Step 2	0.959	0.801	1.006	1.064	1.010	0.976	1.034	0.951	0.890
	Step 3	0.961	0.802	1.000	1.060	1.010	0.976	1.035	0.947	0.889
	Step 4	0.965	0.896	1.001	1.034	1.012	0.977	1.019	0.955	0.955
	Step 5	0.965	0.911	1.001	1.029	1.008	0.977	1.017	0.951	0.961
	Step 6	0.963	0.912	0.981	0.997	1.008	0.978	1.010	0.931	0.926
ZPPR-10A	Step 1	1.007	0.778	1.006	1.046	0.991	0.966	1.038	0.970	0.837
	Step 2	1.014	0.807	1.000	1.041	0.999	0.972	1.044	0.985	0.876
	Step 3	1.011	0.827	0.997	1.030	0.987	0.973	1.042	0.968	0.876
	Step 6	1.011	0.943	0.997	1.026	0.994	0.974	1.024	0.976	0.985
	Step 9	1.011	0.967	0.996	1.026	0.988	0.975	1.021	0.970	1.001
ZPPR-10B	Step 1	1.053	0.913	1.009	1.054	0.990	0.989	1.012	1.040	0.964
	Step 2	1.034	0.896	1.003	1.063	0.999	0.982	1.017	1.017	0.968
	Step 3	1.021	0.869	1.000	1.059	0.987	0.978	1.023	0.986	0.929
	Step 5	0.999	0.879	1.000	1.043	0.994	0.979	1.021	0.972	0.930
	Step 7	1.001	0.910	0.999	1.038	0.988	0.980	1.020	0.968	0.952
MZA	A	1.050	0.837				0.980	1.054	1.029	0.882
	B	1.055	0.913				0.981	1.009	1.035	0.921
	C	1.049	0.929				0.989	1.004	1.037	0.933
	D	0.927	0.816				0.978	1.007	0.907	0.822
	E	1.036	0.890				0.984	1.013	1.019	0.902
MZB	A	1.006	0.739				0.946	1.088	0.952	0.804
	B	1.009	0.916				0.954	1.011	0.963	0.926
	C	1.007	0.910				0.953	1.015	0.960	0.924
	D	0.944	0.898				0.979	1.006	0.924	0.903
	E	0.999	0.896				0.956	1.012	0.955	0.907
	F	0.998	0.850				0.953	1.014	0.951	0.862
	G	1.076	0.754				0.992	1.008	1.067	0.760
	H	1.128	0.803				0.983	1.005	1.109	0.807
	I	0.930	0.676				0.932	1.003	0.867	0.678
	J	0.942	0.697				0.956	1.000	0.901	0.697
BFS-62-2	LEZ	1.066	0.967				0.574	1.011	0.612	0.978
	MEZ	1.063	0.972				0.568	0.980	0.604	0.953
	HEZ	1.107	0.974				0.480	0.977	0.531	0.952
BFS-62-3A	LEZ	1.035	0.967				0.701	1.005	0.726	0.972
	MEZ	1.035	0.963				0.722	1.003	0.747	0.966
	MOX	1.061	0.958				0.756	1.000	0.802	0.958
	HEZ	1.062	0.967				0.744	0.991	0.790	0.958

表 A.13 Na ボイド反応度解析結果

		基準計算						補正後計算値						実験値	C/E値	
		J3.2R		J3.3		J3.2R		J3.3		Total		J3.2R	J3.3			
		Non-L	L	Non-L	L	Non-L	L	Non-L	L	Non-L	L					
ZPPR-9	Step 1	0.109	-0.008	0.107	-0.008	0.104	-0.007	0.097	0.102	-0.007	0.095	0.109	0.890	0.873		
	Step 2	0.455	-0.034	0.446	-0.033	0.433	-0.030	0.402	0.424	-0.029	0.395	0.418	0.963	0.944		
	Step 3	1.193	-0.091	1.170	-0.090	1.130	-0.081	1.049	1.108	-0.080	1.028	1.062	0.988	0.968		
	Step 4	1.961	-0.583	1.923	-0.580	1.873	-0.557	1.316	1.837	-0.554	1.282	1.346	0.978	0.953		
	Step 5	2.146	-1.016	2.104	-1.011	2.041	-0.976	1.065	2.002	-0.972	1.030	1.144	0.931	0.900		
	Step 6	2.289	-1.457	2.245	-1.448	2.132	-1.349	0.783	2.091	-1.340	0.750	0.882	0.888	0.851		
ZPPR-10A	Step 1	0.283	-0.032	0.277	-0.032	0.274	-0.027	0.248	0.269	-0.027	0.242	0.231	1.072	1.047		
	Step 2	0.942	-0.088	0.922	-0.088	0.928	-0.077	0.850	0.908	-0.077	0.831	0.793	1.072	1.048		
	Step 3	1.805	-0.201	1.766	-0.200	1.747	-0.176	1.571	1.709	-0.175	1.534	1.519	1.034	1.010		
	Step 6	3.010	-1.004	2.944	-1.001	2.937	-0.989	1.949	2.873	-0.986	1.887	1.964	0.992	0.961		
	Step 9	3.323	-1.678	3.250	-1.674	3.223	-1.679	1.544	3.153	-1.675	1.477	1.665	0.927	0.887		
ZPPR-10B	Step 1	0.289	-0.211	0.283	-0.212	0.301	-0.203	0.097	0.294	-0.204	0.090	0.123	0.790	0.732		
	Step 2	0.867	-0.307	0.849	-0.308	0.882	-0.297	0.585	0.864	-0.298	0.566	0.595	0.983	0.951		
	Step 3	1.643	-0.391	1.607	-0.392	1.619	-0.363	1.256	1.584	-0.364	1.220	1.256	1.000	0.971		
	Step 5	2.732	-1.217	2.670	-1.217	2.656	-1.132	1.524	2.596	-1.132	1.463	1.583	0.962	0.924		
	Step 7	3.004	-1.821	2.937	-1.819	2.909	-1.733	1.175	2.844	-1.732	1.112	1.316	0.893	0.845		
MZA	A	0.422	-0.075	0.406	-0.085	0.435	-0.066	0.369	0.418	-0.075	0.343	0.346	1.066	0.991		
	B	0.317	-0.273	0.304	-0.272	0.328	-0.251	0.077	0.315	-0.251	0.064	0.056	1.371	1.144		
	C	0.186	-0.550	0.179	-0.549	0.193	-0.513	-0.321	0.186	-0.512	-0.326	-0.310	1.034	1.053		
	D	0.141	-0.499	0.138	-0.494	0.128	-0.410	-0.283	0.125	-0.406	-0.281	-0.327	0.864	0.859		
	E	1.079	-1.496	1.040	-1.490	1.100	-1.349	-0.249	1.060	-1.343	-0.283	-0.183	1.360	1.547		
MZB	A	0.200	-0.010	0.195	-0.010	0.190	-0.008	0.182	0.186	-0.008	0.178	0.174	1.048	1.020		
	B	0.344	-0.291	0.336	-0.290	0.331	-0.269	0.062	0.323	-0.269	0.055	0.055	1.121	0.998		
	C	0.547	-0.305	0.534	-0.305	0.525	-0.282	0.243	0.512	-0.282	0.231	0.229	1.062	1.008		
	D	0.079	-0.184	0.078	-0.182	0.073	-0.166	-0.093	0.072	-0.164	-0.092	-0.075	1.243	1.231		
	E	0.627	-0.508	0.612	-0.506	0.599	-0.461	0.138	0.584	-0.459	0.126	0.148	0.934	0.849		
	F	0.315	-0.276	0.307	-0.275	0.300	-0.238	0.062	0.292	-0.237	0.055	0.049	1.259	1.122		
	G	0.141	-0.390	0.137	-0.389	0.151	-0.296	-0.146	0.146	-0.296	-0.149	-0.199	0.733	0.751		
	H	0.137	-0.372	0.133	-0.370	0.152	-0.300	-0.148	0.147	-0.299	-0.151	-0.195	0.761	0.775		
	I	0.044	-0.194	0.042	-0.194	0.038	-0.132	-0.093	0.036	-0.132	-0.095	-0.128	0.730	0.743		
	J	0.046	-0.184	0.045	-0.182	0.041	-0.128	-0.087	0.041	-0.127	-0.086	-0.098	0.886	0.881		
	BFS-62-2	LEZ	0.279	-0.911	0.498	-0.916	0.171	-0.890	-0.720	0.304	-0.896	-0.591	-0.795	0.905	0.744	
MEZ		0.373	-1.365	0.682	-1.380	0.225	-1.301	-1.075	0.412	-1.315	-0.903	-1.174	0.916	0.769		
HEZ		0.373	-2.220	0.753	-2.273	0.198	-2.113	-1.915	0.400	-2.163	-1.763	-2.098	0.913	0.840		
BFS-62-3A	LEZ	0.412	-0.846	0.621	-0.846	0.299	-0.822	-0.523	0.451	-0.822	-0.371	-0.569	0.918	0.652		
	MEZ	0.560	-1.119	0.830	-1.124	0.419	-1.080	-0.662	0.620	-1.086	-0.465	-0.724	0.914	0.643		
	MOX	0.814	-1.705	1.105	-1.729	0.653	-1.633	-0.980	0.886	-1.657	-0.771	-1.046	0.937	0.737		
	HEZ	0.869	-2.402	1.195	-2.468	0.687	-2.302	-1.615	0.944	-2.365	-1.421	-1.758	0.919	0.808		

* 単位は $10^{-3} \Delta k/k'$ 。βeff は 0.003617 (ZPPR-9)、0.003554 (ZPPR-10A)、0.003479 (ZPPR-10B)、0.00337

(MZA)、0.003506 (MZB)、0.00716 (BFS-62-2)、0.00619 (BFS-62-3A)。

表 A.13 Na ボイド反応度解析結果

		基準計算				補正後計算値						実験値	C/E値			
		J3.2R		J3.3		J3.2R		J3.3		Total	Non-L		L	Total	J3.2R	J3.3
		Non-L	L	Non-L	L	Non-L	L	Non-L	L							
ZPPR-9	Step 1	0.109	-0.008	0.107	-0.008	0.104	-0.007	0.097	0.102	-0.007	0.095	0.109	0.890	0.873		
	Step 2	0.455	-0.034	0.446	-0.033	0.433	-0.030	0.402	0.424	-0.029	0.395	0.418	0.963	0.944		
	Step 3	1.193	-0.091	1.170	-0.090	1.130	-0.081	1.049	1.108	-0.080	1.028	1.062	0.988	0.968		
	Step 4	1.961	-0.583	1.923	-0.580	1.873	-0.557	1.316	1.837	-0.554	1.282	1.346	0.978	0.953		
	Step 5	2.146	-1.016	2.104	-1.011	2.041	-0.976	1.065	2.002	-0.972	1.030	1.144	0.931	0.900		
	Step 6	2.289	-1.457	2.245	-1.448	2.132	-1.349	0.783	2.091	-1.340	0.750	0.882	0.888	0.851		
ZPPR-10A	Step 1	0.283	-0.032	0.277	-0.032	0.274	-0.027	0.248	0.269	-0.027	0.242	0.231	1.072	1.047		
	Step 2	0.942	-0.088	0.922	-0.088	0.928	-0.077	0.850	0.908	-0.077	0.831	0.793	1.072	1.048		
	Step 3	1.805	-0.201	1.766	-0.200	1.747	-0.176	1.571	1.709	-0.175	1.534	1.519	1.034	1.010		
	Step 6	3.010	-1.004	2.944	-1.001	2.937	-0.989	1.949	2.873	-0.986	1.887	1.964	0.992	0.961		
	Step 9	3.323	-1.678	3.250	-1.674	3.223	-1.679	1.544	3.153	-1.675	1.477	1.665	0.927	0.887		
ZPPR-10B	Step 1	0.289	-0.211	0.283	-0.212	0.301	-0.203	0.097	0.294	-0.204	0.090	0.123	0.790	0.732		
	Step 2	0.867	-0.307	0.849	-0.308	0.882	-0.297	0.585	0.864	-0.298	0.566	0.595	0.983	0.951		
	Step 3	1.643	-0.391	1.607	-0.392	1.619	-0.363	1.256	1.584	-0.364	1.220	1.256	1.000	0.971		
	Step 5	2.732	-1.217	2.670	-1.217	2.656	-1.132	1.524	2.596	-1.132	1.463	1.583	0.962	0.924		
	Step 7	3.004	-1.821	2.937	-1.819	2.909	-1.733	1.175	2.844	-1.732	1.112	1.316	0.893	0.845		
MZA	A	0.422	-0.075	0.406	-0.085	0.435	-0.066	0.369	0.418	-0.075	0.343	0.346	1.066	0.991		
	B	0.317	-0.273	0.304	-0.272	0.328	-0.251	0.077	0.315	-0.251	0.064	0.056	1.371	1.144		
	C	0.186	-0.550	0.179	-0.549	0.193	-0.513	-0.321	0.186	-0.512	-0.326	-0.310	1.034	1.053		
	D	0.141	-0.499	0.138	-0.494	0.128	-0.410	-0.283	0.125	-0.406	-0.281	-0.327	0.864	0.859		
	E	1.079	-1.496	1.040	-1.490	1.100	-1.349	-0.249	1.060	-1.343	-0.283	-0.183	1.360	1.547		
MZB	A	0.200	-0.010	0.195	-0.010	0.190	-0.008	0.182	0.186	-0.008	0.178	0.174	1.048	1.020		
	B	0.344	-0.291	0.336	-0.290	0.331	-0.269	0.062	0.323	-0.269	0.055	0.055	1.121	0.998		
	C	0.547	-0.305	0.534	-0.305	0.525	-0.282	0.243	0.512	-0.282	0.231	0.229	1.062	1.008		
	D	0.079	-0.184	0.078	-0.182	0.073	-0.166	-0.093	0.072	-0.164	-0.092	-0.075	1.243	1.231		
	E	0.627	-0.508	0.612	-0.506	0.599	-0.461	0.138	0.584	-0.459	0.126	0.148	0.934	0.849		
	F	0.315	-0.276	0.307	-0.275	0.300	-0.238	0.062	0.292	-0.237	0.055	0.049	1.259	1.122		
	G	0.141	-0.390	0.137	-0.389	0.151	-0.296	-0.146	0.146	-0.296	-0.149	-0.199	0.733	0.751		
	H	0.137	-0.372	0.133	-0.370	0.152	-0.300	-0.148	0.147	-0.299	-0.151	-0.195	0.761	0.775		
	I	0.044	-0.194	0.042	-0.194	0.038	-0.132	-0.093	0.036	-0.132	-0.095	-0.128	0.730	0.743		
	J	0.046	-0.184	0.045	-0.182	0.041	-0.128	-0.087	0.041	-0.127	-0.086	-0.098	0.886	0.881		
BFS-62-2	LEZ	0.279	-0.911	0.498	-0.916	0.171	-0.890	-0.720	0.304	-0.896	-0.591	-0.795	0.905	0.744		
	MEZ	0.373	-1.365	0.682	-1.380	0.225	-1.301	-1.075	0.412	-1.315	-0.903	-1.174	0.916	0.769		
	HEZ	0.373	-2.220	0.753	-2.273	0.198	-2.113	-1.915	0.400	-2.163	-1.763	-2.098	0.913	0.840		
BFS-62-3A	LEZ	0.412	-0.846	0.621	-0.846	0.299	-0.822	-0.523	0.451	-0.822	-0.371	-0.569	0.918	0.852		
	MEZ	0.560	-1.119	0.830	-1.124	0.419	-1.080	-0.662	0.620	-1.086	-0.465	-0.724	0.914	0.643		
	MOX	0.814	-1.705	1.105	-1.729	0.653	-1.633	-0.980	0.886	-1.657	-0.771	-1.046	0.937	0.737		
	HEZ	0.869	-2.402	1.195	-2.468	0.687	-2.302	-1.615	0.944	-2.365	-1.421	-1.758	0.919	0.808		

* 単位は $10^{-3} \Delta k/k'$ 。β eff は 0.003617 (ZPPR-9)、0.003554 (ZPPR-10A)、0.003479 (ZPPR-10B)、0.00337

(MZA)、0.003506 (MZB)、0.00716 (BFS-62-2)、0.00619 (BFS-62-3A)。