

次世代炉定数システムを用いた
JUPITER 臨界実験解析

(研究報告)



2001年8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大字村松 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

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)
2001

次世代炉定数システムを用いた JUPITER 臨界実験解析

(研究報告書)

杉野 和輝*

要旨

1998年に核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）を中心にFBRサイクル実用化戦略調査研究が開始され、候補として挙げられる種々の冷却材、燃料形態、炉心配置を有する高速増殖炉実用化像の構築のための検討が行なわれている。他方、従来の高速炉核計算用炉定数は、Na冷却MOX燃料炉心の解析を対象としており、それ以外の炉心解析は想定されていなかったため、多様な炉心の解析というニーズに応えるための炉定数システムの高度化が不可欠となった。

このような背景の下、サイクル機構では、NJOYとTIMSを中心とする炉定数処理システムを整備し、多様な炉心の解析に対応した新しい炉定数概念の構築、いわゆる次世代炉定数システムの開発が行なわれている。これまでの研究により、次世代炉定数の基本仕様が決定され、今後は、その詳細仕様を決定する必要がある。

そこで、次世代炉定数の詳細設計のための知見を収集することを目的として、炉定数処理システムを用いて新しい炉定数を作成し、Na冷却MOX燃料炉心の模擬臨界実験体系であるJUPITERの臨界実験解析に適用した。その結果、新炉定数の特性として、以下のことが明らかとなった。

- ・ プランケット領域におけるU-235及びPu-239核分裂反応率、Naボイド反応度、ドップラー反応度に対し、従来のJFS-3-J3.2を用いた解析結果に対して、改善を図ることが出来た。
- ・ JFS-3の代わりにVITAMIN-J群構造を採用することにより、炉定数作成時の重み関数の任意性に起因する核特性解析結果の誤差を大幅に低減できることが分かった。また、わずかではあるが、分布特性の評価結果を改善することができた。
- ・ 欧州の解析システムERANOSを用いた解析結果との比較より、径非均質炉心の核特性解析においては、更なる検討が必要であることが分かった。

*: 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
(現 炉心・燃料システムグループ)

ANALYSES ON THE JUPITER CRITICAL EXPERIMENTS USING THE NEXT GENERATION NUCLEAR CONSTANT SET SYSTEM

Kazuteru Sugino*

ABSTRACT

In 1998, the feasibility study on FBR cycles has been started by Japan Nuclear Cycle Development Institute (omitted as JNC) and collaborative organizations in order to investigate practical Fast Breeder Reactor concepts of several types of coolants, fuel integrities and core arrangements. On the other hands, the conventional nuclear constant set is aiming at the analyses on sodium cooled MOX fuel cores only, that is, analyses on other types of cores are out of target. Therefore it can be said that an advance of the nuclear constant set system is essential for analyses on cores of various concepts.

Under such a situation, JNC has compiled the constant set processing system that represented by NJOY and TIMS, and developed a new concept of nuclear constant set so called the next generation nuclear constant set for applications of various FBR analyses. The ordinary investigation has fixed the basic specification of the next generation nuclear constant set, and future study should decide its detailed specification.

For the purpose of collecting information for the detailed design of the next generation nuclear constant set, new constant sets have been prepared using the constant set processing system, and applied to analyses on the JUPITER critical experiments, which are the mock-up critical experiments of sodium cooled MOX fuel cores. New information on the new constant set obtained is as follows:

- The use of the new constant set improves the results of analyses on U-235 and Pu-239 fission reaction rate in the blanket region, sodium void reactivity and Doppler reactivity in comparison with those obtained using the conventional JFS-3-J3.2.
- Application of the VITAMIN-J group structure reduces considerably errors of the calculated core parameters due to the choice of the weight function for the preparation of the nuclear constant set in comparison with that of the JFS-3 structure. Further it improves results of analyses on distributional core parameters a little bit.
- In terms of comparison in results with European analytical scheme ERANOS, there is a room of improvement in analyses of core parameters of radially-heterogeneous cores.

*: Reactor Physics Engineering Group, System Engineering Technology Division,
O-arai Engineering Center, JNC, Japan
(Current affiliation: Fuel and Core System Engineering Group)

目次

第1章 緒言	1
第2章 次世代炉定数の基本仕様	2
2.1 次世代炉定数の適用対象	2
2.2 次世代炉定数の基本仕様	2
2.2.1 基本炉定数	2
2.2.2 超詳細群炉定数	3
第3章 新炉定数の作成	5
3.1 基本 PENDF の作成	5
3.2 新炉定数の作成	5
3.2.1 NJOY コードによる処理の全体像	5
3.2.2 ドップラー拡がりの処理及び GENDF の作成	6
3.2.3 JFS-3 PDS 書式への変換	6
3.2.4 インデックスファイルの作成	6
3.3 検証計算	6
3.3.1 中性子スペクトルの比較	7
3.3.2 実効マクロ断面積の比較	7
第4章 新炉定数の使用に伴う解析コード群の改良	14
4.1 PDS ファイルの書式変更	14
4.2 計算コードの改良	14
4.3 輸送断面積の定義の確認	14
第5章 新炉定数を用いた JUPITER 実験解析	16
5.1 評価方法	16
5.2 評価結果	16
5.2.1 臨界性	16
5.2.2 径方向反応率分布	17
5.2.3 反応率比	17
5.2.4 サンプルドップラー反応度	18
5.2.5 Na ボイド反応度	18
5.2.6 制御棒価値	19
5.3 まとめ	19
第6章 重み関数の相違による核特性への影響	50
6.1 炉定数の作成	50
6.2 解析対象の選定	51
6.3 解析結果	51
6.4 解析結果に対する考察	52

6.5 まとめ.....	53
第7章 結言.....	61
参考文献.....	64
謝辞.....	66

LIST OF TABLES

Table 3-1 Group structures of JFS-3 and VITAMIN-J	8
Table 5.1-1 Effects to the criticality of JUPITER due to the use of the new constant sets.....	20
Table 5.1-2 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)	20
Table 5.1-3 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three methods (Digital data).....	21
Table 5.3-1 Effects to the reaction rate ratio of ZPPR-9 due to the use of the new constant sets	36
Table 5.3-2 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)	36
Table 5.3-3 Effects to the reaction rate ratio of ZPPR-13A due to the use of the new constant sets	37
Table 5.3-4 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data).....	37
Table 5.3-5 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)	38
Table 5.3-6 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)	39
Table 5.4-1 Effects to the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 due to the use of the new constant sets and comparison of the resonance interaction	40
Table 5.4-2 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)	40
Table 5.4-3 Comparison in two energy-region components of the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (300→1100K).....	41
Table 5.4-4 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)	42
Table 5.5-1 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data).....	43
Table 5.5-2 Effects to the non-leakage term of the Na void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A due to the use of the new constant sets	44
Table 5.5-3 Effects to the leakage term of the Na void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A due to the use of the new constant sets	44
Table 5.5-4 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data).....	47
Table 5.6-1 Effects to the pair control rod worth of ZPPR-9 due to the use constant sets based on JENDL-3.2	48
Table 5.6-2 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data).....	48
Table 5.6-3 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)	49

Table 6-1 Comparison in results of analysis on the criticality of JUPITER between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set	54
Table 6-2 Comparison in results of analysis on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set	54
Table 6-3 Comparison in results of analysis on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set	54
Table 6-4 Comparison in results of analysis on the pair control rod worth of ZPPR-9 between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set	54

LIST OF FIGURES

Fig.2-1 Basic specification of the next generation nuclear constant set system.....	4
Fig.3-1 Scheme for the preparation of the basic nuclear constant set	9
Fig.3-2 Comparison on structure of the nuclear constant sets between JFS-3 and VITAMIN-J	10
Fig.3-3 Comparison in calculated neutron spectra for the ZPPR-9 Single Column Fuel	11
Fig.3-4 Relative difference of the calculated neutron spectra for the ZPPR-9 Single Column Fuel	12
Fig.3-5 Relative difference in macroscopic cross sections of the ZPPR-9 single column fuel between old JFS-3 and new constant sets	13
Fig.3-6 Absolute difference in macroscopic cross sections of the ZPPR-9 single column fuel between old JFS-3 and new constant sets	13
Fig.5.1-1 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three constant sets based on JENDL-3.2.....	20
Fig.5.1-2 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three methods ...	21
Fig.5.2-1(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction due to the use of the new constant sets (F25 and F49).....	22
Fig.5.2-1(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction due to the use of the new constant sets (F28 and C28)	23
Fig.5.2-2(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F25 and F49)	24
Fig.5.2-2(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F28 and C28)	25
Fig.5.2-3(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets (F25 and F49)	26
Fig.5.2-3(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets (F28 and C28)	27
Fig.5.2-4(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F25 and F49)	28
Fig.5.2-4(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F28 and C28)	29
Fig.5.2-5(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets and their verification using the transport calculation (F25 and F49)	30
Fig.5.2-5(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets and their verification using the transport calculation (F28 and C28).....	31
Fig.5.2-6(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using the JNC new constant set and ERANOS (F25 and F49)	32
Fig.5.2-6(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using the JNC new constant set and ERANOS (F28 and C28)	33

Fig.5.2-7(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using the JNC constant set and ERANOS (F25 and F49)	34
Fig.5.2-7(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using the JNC constant set and ERANOS (F28 and C28)	35
Fig.5.3-1 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2	36
Fig.5.3-2 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A	37
Fig.5.3-3 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS using three constant sets based on JENDL-3.2	38
Fig.5.3-4 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS	39
Fig.5.4-1 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2	40
Fig.5.4-2 Comparison in group-wise component of the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (300→1100K)	41
Fig.5.4-3 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS	42
Fig.5.5-1 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2	43
Fig.5.5-2 Comparison of energy-wise components of the sodium void reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (Void step 5)	45
Fig.5.5-3 Absolute difference of non-leakage term of the sodium void reactivity due to the use of the new constant set (ZPPR-9 void step 5)	46
Fig.5.5-4 Absolute difference of each component of non-leakage term of sodium void reactivity due to the use of the new constant set (ZPPR-9 void step 5)	46
Fig.5.5-5 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS	47
Fig.5.6-1 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2	48
Fig.5.6-2 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS	49
Fig.6-1(1) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-9 between different weight functions for the preparation of the constant set (F25 and F49)	55
Fig.6-1(2) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-9 between different weight functions for the preparation of the constant set (F28 and C28)	56
Fig.6-2(1) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-13A between different weight functions for the preparation of the constant set (F25 and F49)	57
Fig.6-2(2) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-13A between different weight functions for the preparation of the constant set (F28 and C28)	58

Fig.6-3 Absolute difference of the macroscopic cross sections of the ZPPR-9 SCF using the constant set produced by the fission+1/E weight function from those using the constant set produced by the FBR spectrum weight function in the JFS-3 70-group structure.....	59
Fig.6-4 Absolute difference of the macroscopic cross sections of the ZPPR-9 SCF using the constant set produced by the fission+1/E weight function from those using the constant set produced by the FBR spectrum weight function in the VITAMIN-J 175-group structure	59
Fig.6-5(1) Comparison between the collision density of the Monju inner core used for production of constant sets and Fission+1/E spectrum (Unit: factor×n/cm ² · sec · eV)	60
Fig.6-5(2) Comparison between the collision density of the Monju inner core used for production of constant sets and Fission+1/E spectrum (Unit: factor×n/cm ² · sec · lethargy)	60
Fig. 7-1 The concept of the next generation nuclear constant set system	63

第1章 緒言

従来の日本国内の高速炉炉心設計研究は、Na 冷却 MOX 燃料を対象としたものが大半であったが、1998 年に核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）を中心に開始された FBR サイクル実用化戦略調査研究（以下、F/S（Feasibility study））では、Na 冷却 MOX 燃料以外にも候補として挙げられる種々の冷却材、燃料形態、新しい炉心配置を有する高速増殖炉の実用化像の構築についての検討が行なわれている。

他方、高速炉核計算に不可欠な炉定数は、Na 冷却 MOX 燃料炉心の解析を対象としており、中性子減速をより正確に取り扱うために、「もんじゅ」の内側炉心スペクトル（実際には、中性子スペクトルでは炉定数に個性が伴うので、全断面積との積である衝突密度が使用されている。）を用いたいわゆる縮約処理が行なわれていた。この方法の最大の特長は、群構造を非常に詳細に取った解析結果に対し、計算機性能の制限の関係から炉定数の群構造を比較的粗くとっても、核特性を精度良く再現できることである⁽¹⁾。

計算機技術が近年ほどは進歩しておらず、多様な炉心の解析というニーズが存在しなかった過去の状況では、炉定数の高度化に余り傾注されてこなかったことも当然であろう。更に、時代の流れと共に、炉定数作成技術の継承が危ぶまれ、かつ、炉定数の重要性に対する認識が薄らいでいることも事実であると認識している。従って、計算機技術の高度化と F/S という新たな可能性及びニーズの下、多様な炉定数の作成技術の取得は、非常に有意義なことであり、日本国内の高速炉用炉定数作成技術維持の観点からも、不可欠なことである。

このような背景の下、サイクル機構では、NJOY⁽²⁾と TIMS⁽³⁾を中心とする炉定数処理システムを整備し、多様な炉心解析に対応した新しい炉定数概念の構築、いわゆる次世代炉定数システムの開発を行なうこととなつた^{(4),(5)}。これまでの開発では、次世代炉定数の基本仕様の策定が中心に行なわれてきたが、今後は、詳細仕様決定のための様々な検討が必要である。

本報告書は、次世代炉定数の詳細設計のための知見を構築することを目的として、次世代炉定数システムにより作成された新炉定数を JUPITER 臨界実験解析に適用し、解析精度向上の可能性について検討を行なった結果をまとめたものである。第 2 章では次世代炉定数の基本仕様を、第 3 章では JUPITER 解析に用いた新炉定数の作成について、第 4 章では新炉定数を使用するための現行解析システムの改良について説明し、第 5 章では新炉定数の JUPITER 臨界実験解析への適用性について記述し、第 6 章では炉定数作成に用いられる重み関数の任意性に関する調査結果を述べ、第 7 章で以上をまとめる。

第2章 次世代炉定数の基本仕様

従来の高速炉用炉定数 JAERI Fast Set⁽⁶⁾（以下、JFS）は、長年にわたる使用実績から非常に優れたものであると考えられるが、その最大の弱点として、重核の共鳴領域あるいは構造材核種の Window 等の構造の取り扱いの不十分性が挙げられる。すなわち、JFS を用いた実効断面積の計算過程において適用される自己遮蔽因子内挿法は、単一核種・単一領域内の共鳴の取り扱いにおいては、非常に正確であると考えられるが、異なる核種間については、R 因子法では限られた重核間のみに限定されること、異なる領域間については、異なる核種間はもとより同一核種でも温度が異なる場合には、干渉効果の取り扱いが不可能であることである。その弱点を解決するための対策として、直接的ではあるが、群構造の詳細化が挙げられる。すなわち、重核の共鳴領域の取り扱いにおいては、個々の共鳴を取り扱うことの可能な非常に詳細な群構造を持ったライブラリの適用が有用であると考えられる。このようなライブラリを用意しておけば、異核種間・異領域間の共鳴干渉を非常に正確に取り扱うことが可能となる。

また、構造材核種の Window 等の構造の取り扱いにおいては、そのエネルギー領域が重核の共鳴領域よりも 1 衍以上高く、そのエネルギー領域にまで非常に詳細な群構造のライブラリを用意することは、散乱マトリクスを保有させる必要性から、現実的ではない。他方、遮蔽計算で用いられているような、等レサジーではなく数十 keV 以上のエネルギー領域において特にエネルギーmeshが細かくとられているような群構造をもったライブラリの使用は、プランケット領域における中性子束の過小評価の改善に大いに期待できることが分かってきている。以上の背景の下、次世代炉定数仕様に関する提案を以下に示す。

2.1 次世代炉定数の適用対象

次世代炉定数の基本仕様を設定する上で、適用対象を以下の通り定めた。

- ・高速炉の核特性解析を対象とする。（遮蔽解析は対象としない。）
- ・MA、FP 燃焼炉等の多様な炉心に対応可能な柔軟性を有する。
- ・炉心設計から臨界実験の詳細解析に至るまでの汎用性を有する。

2.2 次世代炉定数の基本仕様

次世代炉定数の基本仕様を、従来手法^{(7),(8)}との比較も併せて、Fig.2-1 に示す。従来の JFS と同様な基本炉定数（Basic nuclear constant set）に加え、共鳴領域を正確に取り扱うために超微細群炉定数（Ultra fine group nuclear constant set）を用意することとした。それぞれの炉定数の特徴を以下に示す。

2.2.1 基本炉定数

- ・より少ないエネルギー群数で構造材核種の共鳴領域をより正確に取り扱うため、遮蔽計算用の炉定数セットのように、特定のエネルギー領域を詳細な群分割にする。ただし、将来的には、NR 近似が成立し、レファレンスのライブラリとなるように、41keV 以上を重

核の弾性散乱による平均レサジー増加相当（120 分の 1）の詳細な群構造（700～800 群）とすることも考えられる。

- ・従来通り、自己遮蔽効果取り扱いのための f-table 構造とする。
- ・高次 Pn 定数を含める。

2.2.2 超詳細群炉定数

・41keV 以下の MCROSS ライブラリである。41keV 以下とする理由は、U-238 を除けば、多くの重核の共鳴パラメータ評価が 30～50keV より始まり、かつ、ZPPR-9 のドップラー反応度の 41keV 以上の寄与は 2～3% と小さいからである。なお、将来的には、上限エネルギーの若干の拡張の可能性もある。

- ・実際の格子計算では、より詳細群（標準は 9,150 群）に縮約してから使用される。
- ・基本炉定数のみを用いた格子計算により得られた核分裂、非弾性散乱、弾性散乱（41keV 以上からのもののみ）による固定中性子源問題を解く。
- ・散乱マトリクスを有さない。従って、散乱の取り扱いは弾性散乱に限られ、力学的計算により散乱後の中性子エネルギーが決定される。
- ・異核種間の共鳴干渉効果は、テーブル化（R 因子）によらず、直接微細群構造計算により取り扱うことが可能である。

次世代炉定数を使用するには、PEACO ルーチンの組み込まれた SLAROM コード⁽⁴⁾を使用する必要がある。本報告書では、当該コードを SLAROM-UF (Ultra Fine) と称することとする。

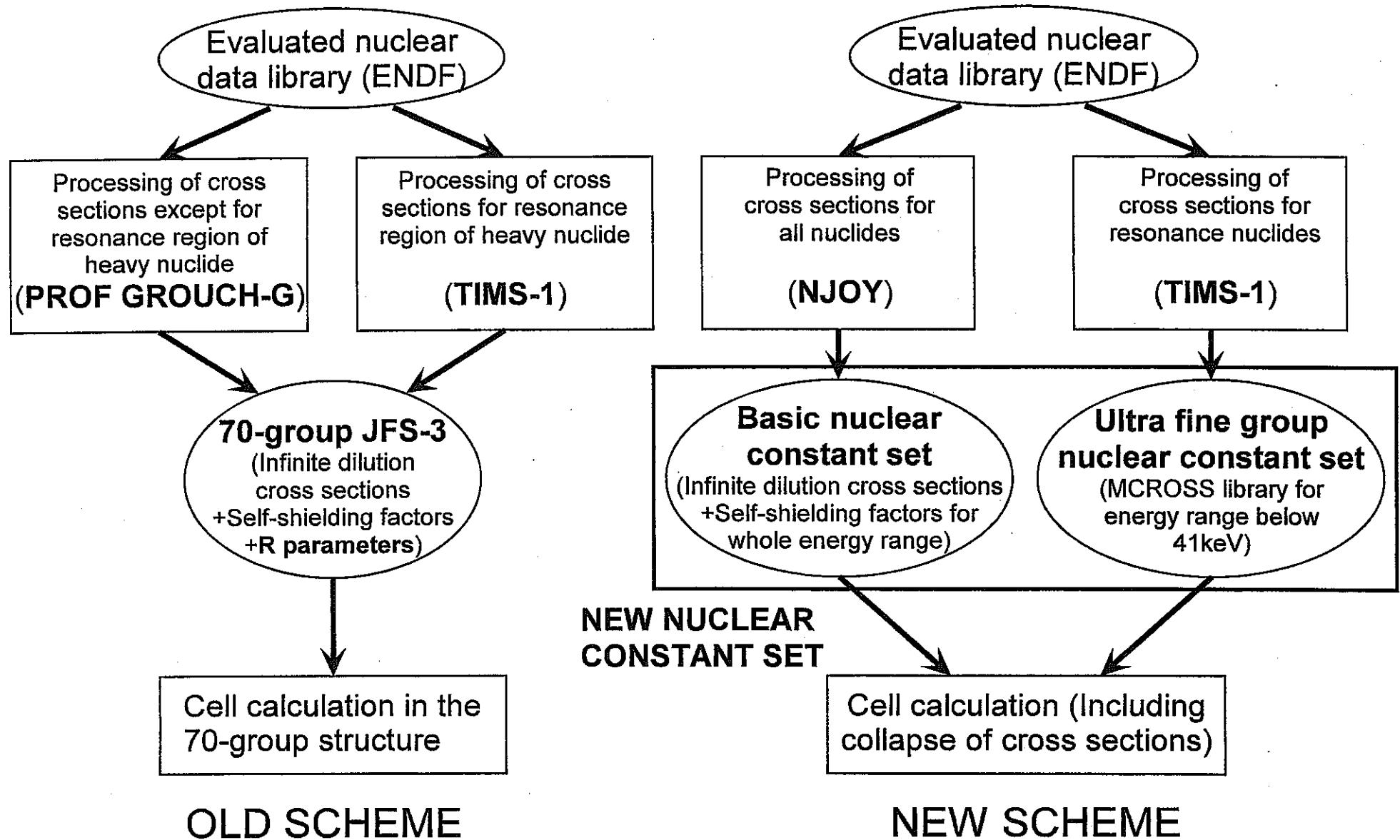


Fig.2-1 Basic specification of the next generation nuclear constant set system

第3章 新炉定数の作成

炉定数の仕様及び処理方法には任意性があるが、サイクル機構で想定されている基本炉定数の作成方法は Fig.3-1 に示すように、基本的には NJOY コードを用いるものである。以下、JENDL-3.2⁽⁹⁾に基づく 70 群及び 175 群の基本炉定数作成を例にして、個々の処理について示す。

なお、以下の文章及び図表に以下の定義の用語を用いることとする。また、単に 70 群あるいは 175 群と記述した場合には、それぞれ、JFS-3 あるいは VITAMIN-J 炉定数構造を指しているものとする。更に、新しい炉定数を用いた解析では、常に微細群炉定数が使用されている。

- ・従来の JFS-3 炉定数を用いた計算結果 : Old JFS-3
- ・70 群基本炉定数を用いた計算結果 : New Const-70 または New constant set-70
(単に、New Const または New constant set の場合もあり)
- ・175 群基本炉定数を用いた計算結果 : New Const-175 または New constant set-175

3.1 基本 PENDF の作成

元の ENDF 書式⁽¹⁰⁾の JENDL-3.2 核データを、LINEAR⁽¹¹⁾、RECENT⁽¹²⁾、SIGMA1⁽¹³⁾コードを用いて PENDF (Point-wise Evaluated Nuclear Data File) を作成する。現在の運用の範囲で個々のコードの役割を示すと、LINEAR は LOG 内挿を含むポイントデータに対し、与えられた精度で線形内挿により再現できるポイントデータになるよう変換を行ない、RECENT は共鳴パラメータの処理を行なうことにより 0K のポイントデータに変換し、SIGMA1 はドップラー拡張を考慮して 300K のポイントデータに変換する。

3.2 新炉定数の作成

300K のポイントデータを元に、NJOY コードを用いて、Fig.3-2 に示す JFS-3 (70 群) 及び VITAMIN-J (175 群) の群断面積 (GENDF) を作成する。JFS-3 は従来の高速炉解析の主要群構造であり、Fig.3-2 から明らかなように等レサジー構造を有している。VITAMIN-J は元々遮蔽解析を想定した群構造を有しており、O、Fe や Na の共鳴付近では群がより細分化されている。ただし、加速器駆動未臨界炉 (ADS) を除いて、一般の高速炉核特性解析を対象とした場合は、特に、寄与が無視できる 10MeV 以上の高エネルギー領域の構造に合理化の余地はあると考えられる。

重み関数として、従来の JFS-3 ライブライリと同様にもんじゅの内側炉心の衝突密度（中性子束と全断面積の積）スペクトルを用いる (REMO 補正)。

3.2.1 NJOY コードによる処理の全体像

NJOY は汎用断面積処理システムであり、上記のほとんど全ての機能を備えている。NJOY による処理以前にポイント断面積 (PENDF) の作成過程があり、これらの処理は

NJOY でも対応可能だが、予め PENDF を用意しておけば、容易に断面積をプロットしたり、NJOY 以外の断面積処理コードでも使用可能となり便利である。

次に、各 NJOY のルーチンの機能を示す。RECONR は、本来、線形内挿タイプのポイント断面積への変換や共鳴パラメータの処理を行うルーチンであり、LINEAR、RECENT コードと同様の機能を有するが、ここでは、各断面積のエネルギー・メッシュ点を統一することを主目的としてコールされている。BROADR は分離領域の共鳴パラメータの処理を行うルーチンであり、SIGMA1 コードと同等の機能を備えているが、共鳴幅データと指定された温度条件からドップラー拡がりを求める。UNRESR は非分離共鳴パラメータの処理を行うルーチンであり、与えられた平均共鳴幅、分布関数より実効ポイント断面積を算出する。最後に、GROUPR はポイント断面積を群定数化（無限希釈断面積+自己遮蔽因子テーブルを作成）するルーチンであり、炉定数作成（縮約）のためのスペクトルは、 $1/E$ としたり、ユーザーが指定したり、直接減速方程式を解くことにより求めることができる。

3.2.2 ドップラー拡がりの処理及び GENDF の作成

これらの処理は、PRENJOY 及び NJOY コードを用いて、ほぼ自動的に行えるよう、炉定数作成システムが整備されている。炉定数の構造は JFS-3 及び VITAMIN-J 用コントロールファイル上のデータにより指定し、核種毎に 1 つのシェルを実行することにより、一連の処理が行われる。換言すれば、コントロールファイルの指定により、任意の群構造を有する炉定数の作成が可能である。

3.2.3 JFS-3 PDS 書式への変換

GENDF が作成されれば、それを JFS-3 PDS 書式に変換する必要がある。まず、POSTNJOY コードにより JFS-3 マスターファイルを作成し、更に、PDSMAKE コードにより SLAROM-UF コードで読み込み可能な PDS ファイル形式に変換される。

3.2.4 インデックスファイルの作成

核種毎に存在する PDS ファイルのメンバーネーム及び MCROSS ファイルのメンバーネームと核種の ID 番号との関連を指定するために、次世代炉定数システムでは、インデックスファイルを使用することとなっている。JFS-3 に対応し過去に使用した格子計算コード入力データを用いる場合には、ID 番号は JFS-3 のものと対応させておいた方が効率的であるが、ユーザーが独自に設定することも可能である。

3.3 検証計算

ZPPR-9 の均質 SCF (Single Column Fuel) セル⁽¹⁴⁾について、次世代炉定数システムに対応した格子計算コード SLAROM-UF を用いて格子計算を行い、中性子スペクトル及び実効マクロ断面積について、従来の JFS-3-J3.2 炉定数を用いた格子計算、及び、連続エネルギー・モンテカルロコード MVP⁽¹⁵⁾による計算結果との比較を行った。

3.3.1 中性子スペクトルの比較

中性子スペクトルの比較を Fig.3-3 に示す。70 群構造の比較では、数十 keV～MeV 領域において、MVP との差が見られることが分かる。他方、175 群構造では、特に MVP との顕著な差は見られない。

スペクトルそのものによる比較では、明確ではないので、Fig.3-4 に示すように MVP による計算結果との相対差の形で観察することにする。なお、図に示したエネルギー領域においては、MVP の統計誤差は充分に小さく、MVP との差は有意である。Old JFS-3 及び New constant set-70 を用いた場合、70 群構造の比較では、10keV、100keV オーダーのエネルギー領域（構造材核種の Window、構造が存在）で、MVP との差が見られることから、70 群構造の炉定数を用いた場合、それらの領域における中性子スペクトルの計算精度が十分でないことが分かる。更に、Old JFS-3 を用いた場合には、Na の巨大共鳴が存在する 3keV 以下のエネルギー領域において、次第に過小評価の度合いが拡大しており、中性子スペクトルが過大に硬く評価されていることが分かる。この原因については、次の実効マクロ断面積の比較のところで考察することとするが、keV 領域以下に大きな感度を有する核特性に対しては、このスペクトルの過小評価は無視できないと考えられる。New constant set-175 を用いた場合には、70 群構造を用いた場合のような MVP との差はほとんど見られていないことが分かる。更に、175 群構造による比較では、175 群新炉定数を用いた結果と MVP のものとの間で非常によい一致の見られることが分かる。

最後に備忘事項として、70 群及び 175 群いずれの新炉定数を用いた場合にもわずかではあるが、3keV 以下のエネルギー領域において誤差の拡大の見られることが分かる。Old JFS-3 程ではないが事実を留意しておく方が賢明であると考えられる。

3.3.2 実効マクロ断面積の比較

中性子スペクトルの比較において、新炉定数を用いた際の 3keV 以下の MVP の計算結果に対するわずかな過小評価を除けば、特に問題は見られないことから、ここでは New constant set-70 を用いた場合を基準として、Old JFS-3 の計算結果との比較を行なうこととする。

比較結果を Fig.3-5（相対差）及び Fig.3-6（絶対差）にそれぞれ示す。全断面積及び全散乱断面積に対しては、特に大きくかつ系統的な差は見られないが、除去断面積については、Old JFS-3 を使用することにより系統的な過小評価が現れることがうかがえる。この過小評価については、Old JFS-3 作成過程にまで遡って調査を行なう必要があり、作成者に問い合わせることにより、今後、明らかになるものと期待できる。

Table 3-1 Group structures of JFS-3 and VITAMIN-J
- JFS-3 (70 groups) -
- VITAMIN-J (175 groups) -

Group	Upper energy	Lethargy width
1	2.0000E+07	0.2500
2	7.7880E+06	0.2500
3	6.0653E+06	0.2500
4	4.7237E+06	0.2500
5	3.6788E+06	0.2500
6	2.8650E+06	0.2500
7	2.2313E+06	0.2500
8	1.7377E+06	0.2499
9	1.3534E+06	0.2500
10	1.0540E+06	0.2500
11	8.2085E+05	0.2500
12	6.3928E+05	0.2500
13	4.9787E+05	0.2500
14	3.8774E+05	0.2500
15	3.0197E+05	0.2500
16	2.3518E+05	0.2500
17	1.8316E+05	0.2500
18	1.4264E+05	0.2500
19	1.1109E+05	0.2500
20	8.6517E+04	0.2500
21	6.7379E+04	0.2500
22	5.2475E+04	0.2500
23	4.0868E+04	0.2500
24	3.1828E+04	0.2500
25	2.4766E+04	0.2500
26	1.9305E+04	0.2500
27	1.5034E+04	0.2500
28	1.1709E+04	0.2500
29	9.1188E+03	0.2500
30	7.1017E+03	0.2500
31	5.5308E+03	0.2500
32	4.3074E+03	0.2500
33	3.3546E+03	0.2500
34	2.6126E+03	0.2500
35	2.0347E+03	0.2500
36	1.5846E+03	0.2500
37	1.2341E+03	0.2500
38	9.6112E+02	0.2500
39	7.4852E+02	0.2500
40	5.8295E+02	0.2500
41	4.5400E+02	0.2500
42	3.5358E+02	0.2500
43	2.7536E+02	0.2500
44	2.1445E+02	0.2500
45	1.6702E+02	0.2500
46	1.3007E+02	0.2500
47	1.0130E+02	0.2500
48	7.8893E+01	0.2500
49	6.1442E+01	0.2500
50	4.7851E+01	0.2500
51	3.7257E+01	0.2500
52	2.9023E+01	0.2500
53	2.2603E+01	0.2500
54	1.7603E+01	0.2499
55	1.3710E+01	0.2500
56	1.0677E+01	0.2500
57	8.3153E+00	0.2500
58	6.4760E+00	0.2500
59	5.0435E+00	0.2500
60	3.9279E+00	0.2500
61	3.0590E+00	0.2500
62	2.3824E+00	0.2500
63	1.8554E+00	0.2500
64	1.4450E+00	0.2500
65	1.1254E+00	0.2500
66	8.7642E-01	0.2500
67	6.8256E-01	0.2500
68	5.3158E-01	0.2500
69	4.1399E-01	0.2500
70	3.2242E-01	10.3810
-	1.0000E-05	-

Unit of energy: eV

Group	Upper energy	Lethargy width
1	2.0000E+07	0.1431
2	1.7333E+07	0.0250
3	1.6905E+07	0.0250
4	1.6487E+07	0.0500
5	1.5683E+07	0.0500
6	1.4918E+07	0.0250
7	1.4550E+07	0.0250
8	1.4191E+07	0.0250
9	1.3840E+07	0.0249
10	1.3499E+07	0.0501
11	1.2840E+07	0.0250
12	1.2523E+07	0.0250
13	1.2214E+07	0.0500
14	1.1618E+07	0.0499
15	1.1052E+07	0.0500
16	1.0513E+07	0.0500
17	1.0000E+07	0.0500
18	9.5123E+06	0.0500
19	9.0484E+06	0.0500
20	8.6071E+06	0.0500
21	8.1873E+06	0.0500
22	7.7880E+06	0.0500
23	7.4082E+06	0.0500
24	7.0469E+06	0.0500
25	6.7032E+06	0.0167
26	6.5924E+06	0.0333
27	6.3763E+06	0.0500
28	6.0653E+06	0.0500
29	5.7695E+06	0.0500
30	5.4881E+06	0.0500
31	5.2205E+06	0.0500
32	4.9659E+06	0.0500
33	4.7237E+06	0.0500
34	4.4933E+06	0.1000
35	4.0657E+06	0.1000
36	3.6788E+06	0.1000
37	3.3287E+06	0.0500
38	3.1664E+06	0.0500
39	3.0119E+06	0.0500
40	2.8550E+06	0.0500
41	2.7253E+06	0.0500
42	2.5924E+06	0.0500
43	2.4860E+06	0.0333
44	2.3852E+06	0.0084
45	2.3653E+06	0.0083
46	2.3457E+06	0.0167
47	2.3069E+06	0.0333
48	2.2313E+06	0.0500
49	2.1225E+06	0.0500
50	2.0190E+06	0.0500
51	1.9205E+06	0.0500
52	1.8268E+06	0.0500
53	1.7377E+06	0.0500
54	1.6530E+06	0.0500
55	1.5724E+06	0.0500
56	1.4957E+06	0.0500
57	1.4227E+06	0.0499
58	1.3534E+06	0.0501
59	1.2873E+06	0.0499
60	1.2246E+06	0.0501
61	1.1648E+06	0.0500
62	1.1080E+06	0.1000
63	1.0262E+06	0.0417
64	9.6164E+05	0.05B3
65	9.0718E+05	0.0500
66	8.6294E+05	0.0500
67	8.2085E+05	0.0500
68	7.8082E+05	0.0500
69	7.4274E+05	0.0500
70	7.0651E+05	0.0500
71	6.7206E+05	0.0500
72	6.3928E+05	0.0500
73	6.0810E+05	0.0500
74	5.7844E+05	0.0500
75	5.5023E+05	0.0500
76	5.2340E+05	0.0500
77	4.9787E+05	0.1000
78	4.5049E+05	0.1000
79	4.0762E+05	0.0500
80	3.8774E+05	0.0500
81	3.6883E+05	0.1000
82	3.3373E+05	0.1000
83	3.0197E+05	0.0116

Group	Upper energy	Lethargy width
84	2.9850E+05	0.0044
85	2.9720E+05	0.0091
86	2.9452E+05	0.0250
87	2.8725E+05	0.0500
88	2.7324E+05	0.1000
89	2.4724E+05	0.0500
90	2.3518E+05	0.0500
91	2.2371E+05	0.0500
92	2.1280E+05	0.0500
93	2.0242E+05	0.0500
94	1.9255E+05	0.0500
95	1.8316E+05	0.0500
96	1.7422E+05	0.0500
97	1.6573E+05	0.0500
98	1.5764E+05	0.0499
99	1.4996E+05	0.0500
100	1.4264E+05	0.0500
101	1.3569E+05	0.0500
102	1.2907E+05	0.0500
103	1.2277E+05	0.0499
104	1.1679E+05	0.0500
105	1.1109E+05	0.1250
106	9.8037E+04	0.1250
107	8.6517E+04	0.0475
108	8.2500E+04	0.0370
109	7.9500E+04	0.0991
110	7.2000E+04	0.0663
111	6.7379E+04	0.1750
112	5.6562E+04	0.0750
113	5.2475E+04	0.1250
114	4.6309E+04	0.1250
115	4.0868E+04	0.1750
116	3.4307E+04	0.0750
117	3.1828E+04	0.1104
118	2.8500E+04	0.0641
119	2.7000E+04	0.0355
120	2.6058E+04	0.0500
121	2.4788E+04	0.0250
122	2.4176E+04	0.0250
123	2.3579E+04	0.0750
124	2.1875E+04	0.1250
125	1.9308E+04	0.2500
126	1.5034E+04	0.2600
127	1.1709E+04	0.1000
128	1.0598E+04	0.1500
129	9.1188E+03	0.2500
130	7.1017E+03	0.2500
131	5.5308E+03	0.2500
132	4.3074E+03	0.1500
133	3.7074E+03	0.1000
134	3.3546E+03	0.1000
135	3.0354E+03	0.1000
136	2.7468E+03	0.0500
137	2.6126E+03	0.0500
138	2.4852E+03	0.1000
139	2.2487E+03	0.1000
140	2.0347E+03	0.2500
141	1.5846E+03	0.2500
142	1.2341E+03	0.2500
143	9.6112E+02	0.2500
144	7.4852E+02	0.2500
145	5.8295E+02	0.2500
146	4.5400E+02	0.2500
147	3.5358E+02	0.2500
148	2.7538E+02	0.2500
149	2.1445E+02	0.2500
150	1.6702E+02	0.2500
151	1.3007E+02	0.2500
152	1.0130E+02	0.2500
153	7.8893E+01	0.2500
154	6.1442E+01	0.2500
155	4.7851E+01	0.2500
156	3.7267E+01	0.2500
157	2.9023E+01	0.2500
158	2.2603E+01	0.2500
159	1.7603E+01	0.2499
160	1.3710E+01	0.2500
161	1.0677E+01	0.2500
162	8.3153E+00	0.2500
163	6.4760E+00	0.2500
164	5.0435E+00	0.2500
165	3.9279E+00	0.2500
166	3.0590E+00	0.2500

Group	Upper energy	Lethargy width
167	2.3824E+00	0.2500
168	1.8554E+00	0.2500
169	1.4450E+00	0.2500
170	1.1254E+00	0.2500
171	8.7642E-01	0.2500
172	6.8256E-01	0.2500
173	5.3158E-01	0.2500
174	4.1399E-01	1.4207
175	1.0000E-01	9.2103
-	1.0000E-05	-

Unit of energy: eV

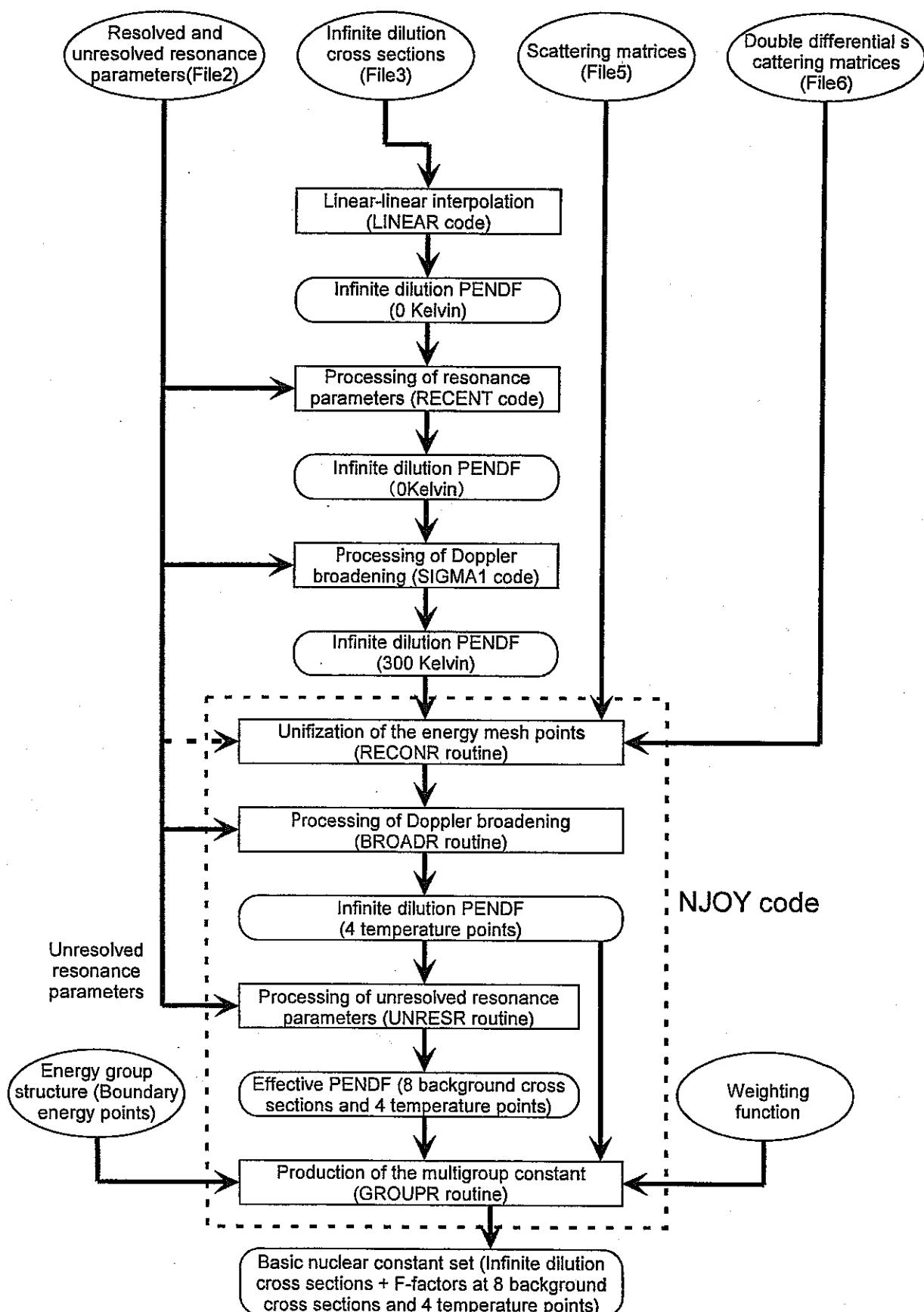


Fig.3-1 Scheme for the preparation of the basic nuclear constant set

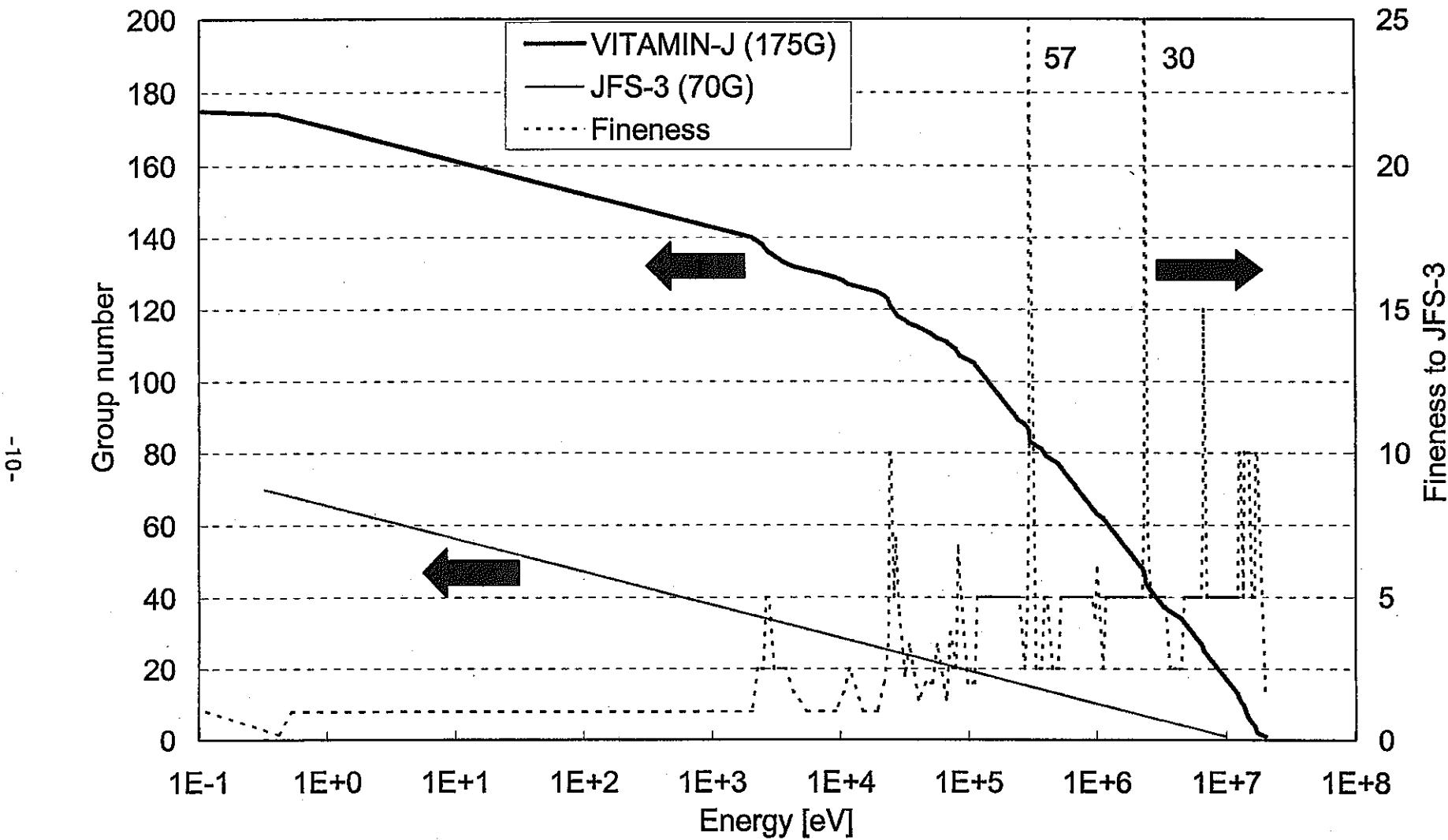


Fig.3-2 Comparison on structure of the nuclear constant sets between JFS-3 and VITAMIN-J

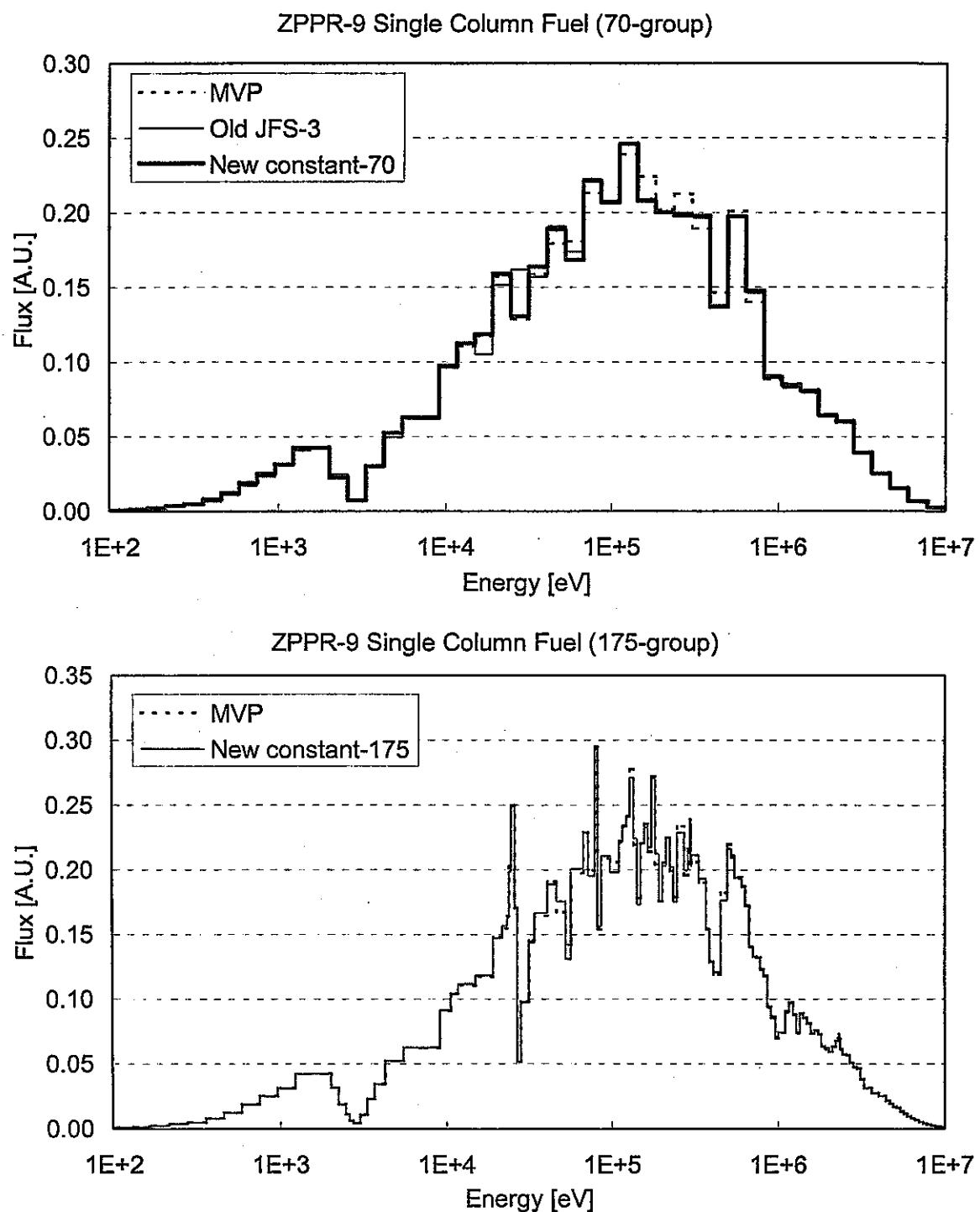


Fig.3-3 Comparison in calculated neutron spectra for the ZPPR-9 Single Column Fuel

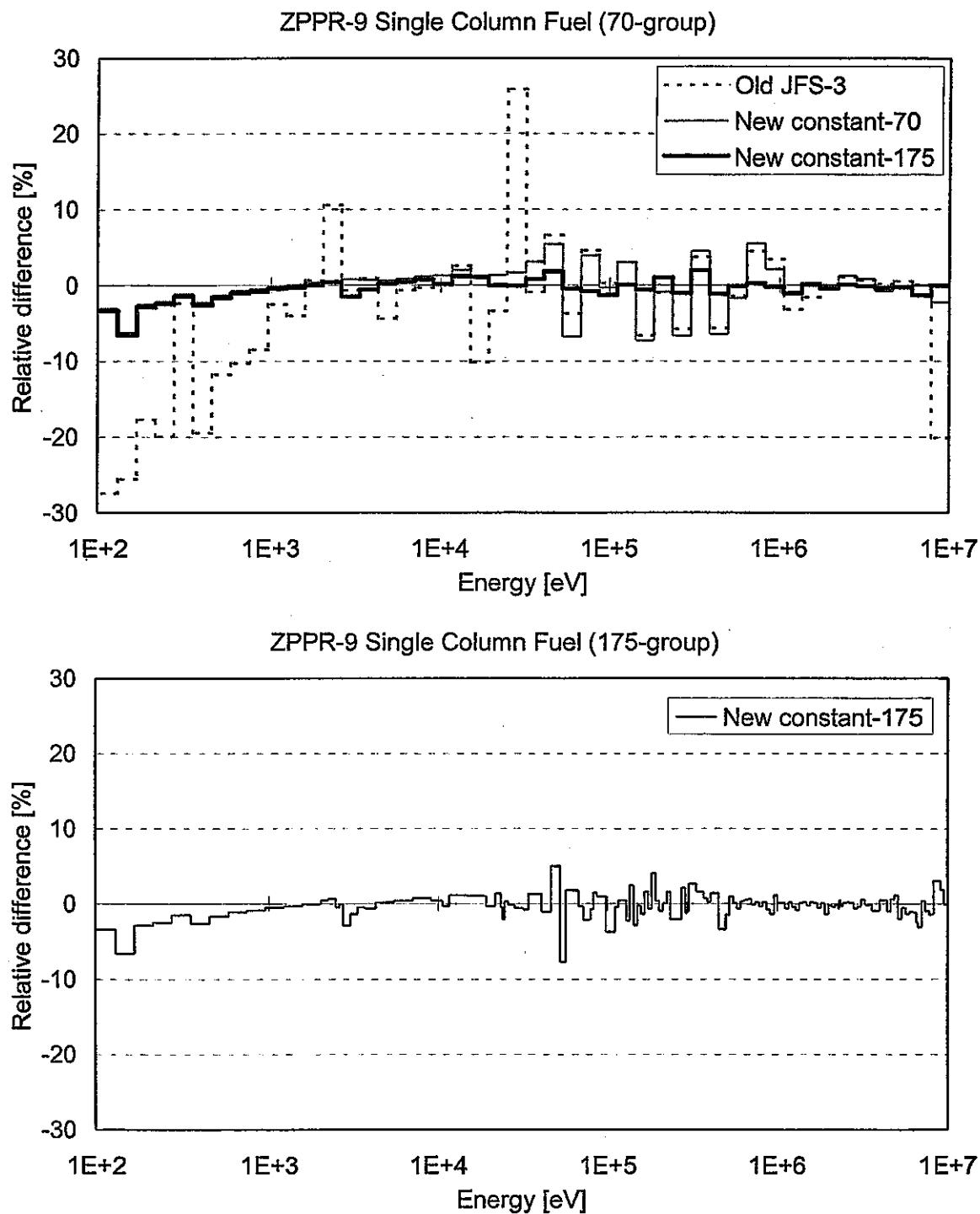


Fig.3-4 Relative difference of the calculated neutron spectra for the ZPPR-9 Single Column Fuel (Reference: MVP)

Remark: Statistical error of MVP is negligible and omitted.

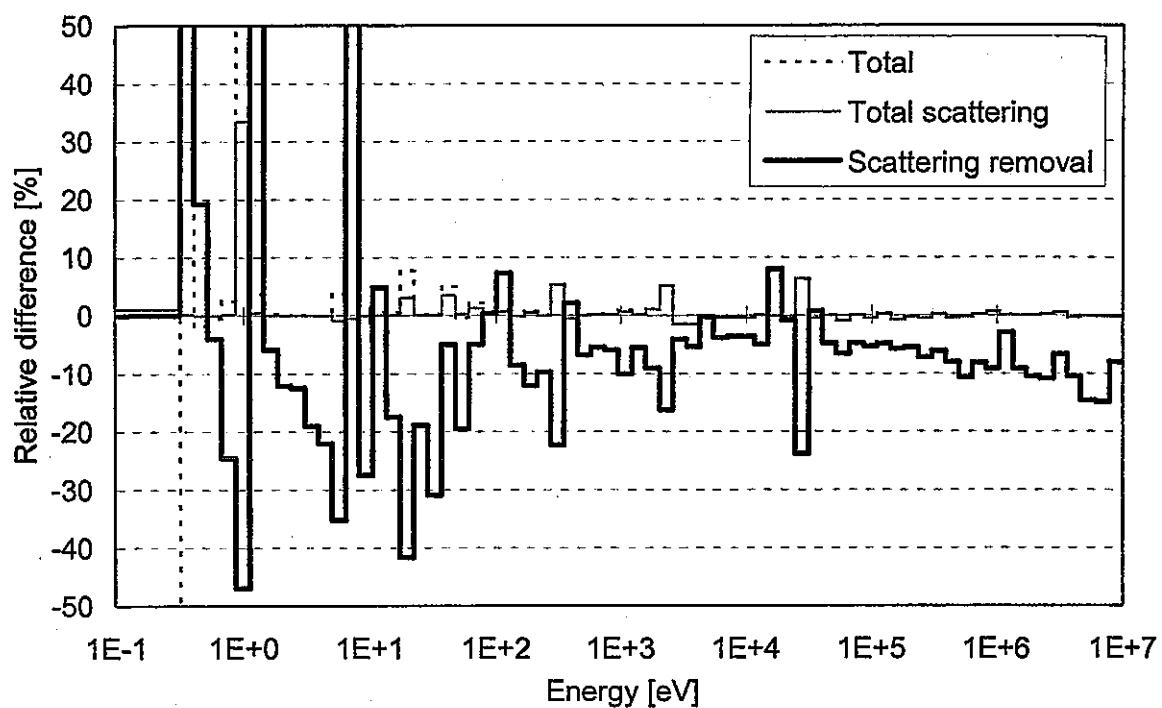


Fig.3-5 Relative difference in macroscopic cross sections of the ZPPR-9 single column fuel between old JFS-3 and new constant sets
(Reference: New constant set)

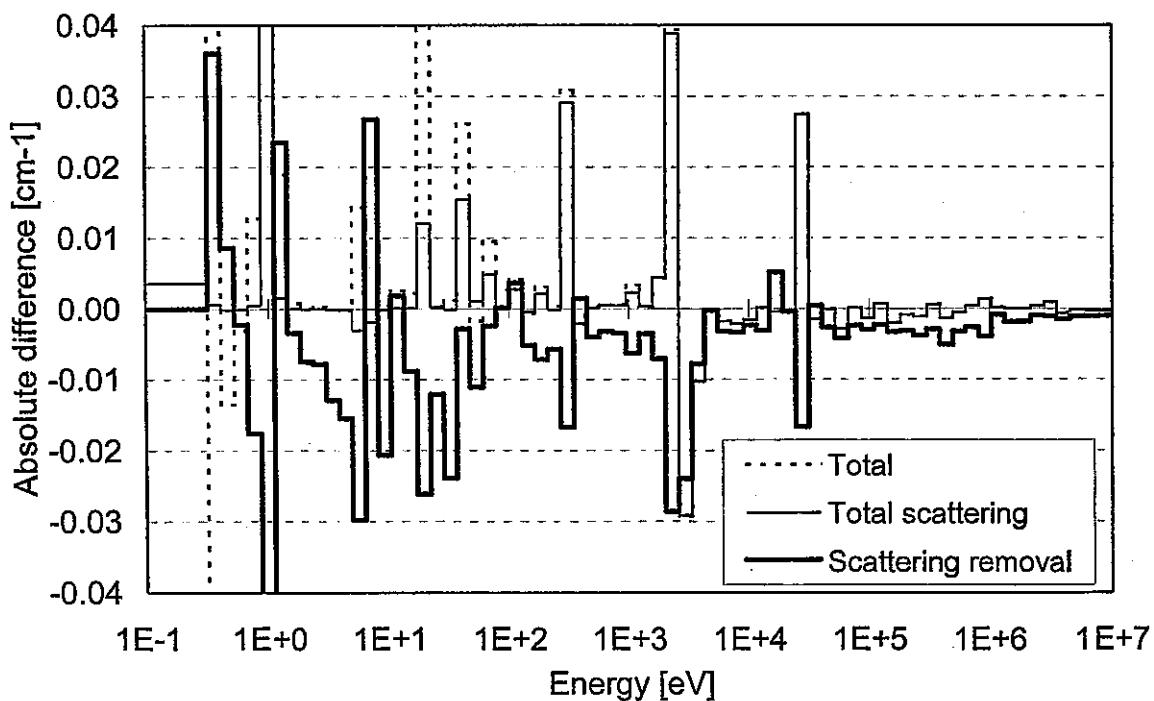


Fig.3-6 Absolute difference in macroscopic cross sections of the ZPPR-9 single column fuel between old JFS-3 and new constant sets
(Reference: New constant set)

第4章 新炉定数の使用に伴う解析コード群の改良

4.1 PDS ファイルの書式変更

SLAROM-UF コードにより作成される PDS ファイルの書式（新 PDS ファイル書式）は従来のものと異なるため、炉心計算以降のスキームもそれに対応させる必要があるが、長年にわたって培われてきた膨大な核設計基本データベースとそれに付随する解析システムを有効活用する観点からは、解析データを変更せずに、かつ、現状の炉心計算以降の解析システムがなるべくそのまま使用できることが望ましい。そこで、新 PDS ファイル書式を従来の PDS ファイル書式に変換するためのプログラム PDS_TO_PDS が作成された。

このプログラムは、入力が冒頭のエネルギー群数と各 PDS ファイル名のみで構成されているため、使用は容易である。なお、現状の PDS_TO_PDS は、新 PDS ファイル書式の関係上、ミクロ断面積の散乱マトリクスの書式変換には対応していない。

4.2 計算コードの改良

新炉定数を使用するに当たり、新炉定数が下方散乱を最大限考慮していることと新たに 175 群構造のものが採用されたことにより、核特性解析コード群に対して、以下の改良が必要であった。

- ・ JOINT コードのエリア数 (MAXL) 関連 (サブルーチン PUTID, PUTIDX) の配列の拡張 (250→300)
- ・ JOINT-CITATION-FBR では、エネルギー群数の入力を負とすることにより、断面積を PDS ファイルから読み込むように設定されているが、I3 フォーマットのためエネルギー群数 175 を負とすることはできない。そこで、サブルーチン CITATIにおいて、暫定的にエネルギー群数 KMAX が 3 衔の場合は負の数と認識するよう修正を行った。
- ・ CITATION-FBR コードの領域異存核分裂スペクトル RKAI (多数あり) の配列容量の拡大 (100→200)
- ・ PERKY コードの最大下方散乱群数 ISD1 (サブルーチン MACRO) の拡張 (50→200)
- ・ LAGOON コードのサブルーチン RRATE において、エネルギー群数 (70→200)、ワーカエリア、エリア数 (MAXL) 関連の配列の拡張 (250→300)
- ・ TWOTRAN-II コードに関しては不要
- ・ PDSDUMP 及び PDS_TO_PDS プログラムにおいては、上記類似の拡張の他、OPEN 分におけるレコード長 (RECL) の拡張が必要であった。

4.3 輸送断面積の定義の確認

サイクル機構ではカレント重みに基づく輸送断面積の使用が推奨されているが、SLAROM-UF でもそれが実行可能かどうかの調査を行った。具体的には、それを実行させるために従来使用されていた入力 (ICASE=0, IBSW=-1) と SLAROM-UF (PEACO は使用せず) を用いて輸送断面積の計算を行い、SLAROM から得られる中性子束重み及びカレント重みに基づく輸送断面積との比較を行った。対象として、ZPPR-9 の SCF の輸

送マクロ断面積を選んだ。

拡散係数より算出した輸送断面積の比較結果を行なったが、相対差の大きさからカレント重みの輸送断面積が計算されていることが分かった。

以上のことから、SLAROM-UF の入力で ICASE=0、IBSW=-1 と指定すれば、カレント重み輸送断面積に基づく拡散係数が PDS ファイルの所定の位置に出力されることが確認できた。

なお、非均質計算においては、中性子束重みの輸送断面積しか使えず、ICASE=-1 の指定は現状では無意味である。

第5章 新炉定数を用いた JUPITER 実験解析

旧 JFS-3 炉定数を使用した場合に対して、炉定数処理システムを用いて作成した新炉定数を用いたことによる核特性解析精度の向上について、検討を行なった。検討対象としては、Na 冷却 MOX 燃料炉心の模擬臨界実験である JUPITER^{(16),(17),(18)}の諸核特性解析を選定した。また、JUPITER の解析は、既に、歐州評価済み核データライブラリ JEF-2.2⁽¹⁹⁾に基づく ECCO／ERANOS^{(20),(21)}システムを用いた場合の結果⁽²²⁾も得られており、参考用に ERANOS の結果とも比較を行なうこととする。

5.1 評価方法

JUPITER 実験中の解析対象として、均質 2 領域代表炉心である ZPPR-9、径方向非均質代表炉心である ZPPR-13A、そして、軸方向非均質代表炉心の ZPPR-17A の諸核特性を選定した。次世代炉定数としては、New Constant set-70 及び New constant set-175 を適用した。実効断面積の計算では、非均質性の大きい臨界性、Na ポイド反応度、ドップラー反応度については非均質格子モデルを、非均質性の小さい反応率分布、反応率比（ここではセル内の反応率分布の非均質性については言及しない。）、制御棒価値については予め整備の行なわれていた均質計算モデル⁽¹⁴⁾を適用した。炉心計算では、ZPPR-9 のペア制御棒価値計算を除いて、計算時間節約のために 2 次元 RZ 拡散計算を行い、旧炉定数を用いた場合と新炉定数を用いた場合の核特性解析結果間の差または比を核特性に対する影響（補正）とした。なお、SLAROM-UF コードによる非均質格子計算では、現在、カレント重み輸送断面積は使用できないため、非均質格子計算においては全て中性子束重荷の輸送断面積を使用している。

5.2 評価結果

5.2.1 臨界性

C/E 値による解析結果の比較を Fig.5.1-1 及び Table 5.1-2 に、新炉定数の使用による計算結果の推移(新炉定数効果:Effect due to the use of the new constant set)を Table 5.1-1 に、それぞれ示す。

均質炉心 ZPPR-9 及び軸方向非均質炉心 ZPPR-17A に対しては、新旧炉定数間で差はほとんど見られないが、径方向非均質炉心 ZPPR-13A に対しては、70 群炉定数使用の下では差は見られないものの、175 群炉定数を使用した場合には、 $0.14\% \Delta k$ の減少が見られる。

ただし、Fig.5.1-2 及び Table 5.1-3 に示すように ZPPR-9 と ZPPR-13A との C/E 値の関係について、ERANOS 及び MVP による結果 (ZPPR-13A の方が $0.14\% \Delta k$ 小さい) と明らかに傾向が異なっており、175 群炉定数の採用により傾向が近づいたものの、今後も検討が必要であると考えられる。

5.2.2 径方向反応率分布

新炉定数の使用による計算結果の推移(新炉定数効果)をFig.5.2-1(ZPPR-9)、Fig.5.2-3(ZPPR-13A)に、C/E値による解析結果の比較をFig.5.2-2(ZPPR-9)、Fig.5.2-4(ZPPR-13A)に、それぞれ示す。

ZPPR-9、ZPPR-13Aに共通して、U-235の核分裂(F25)及びPu-239の核分裂(F49)については、70群及び175群いずれの新炉定数を用いても、ブランケット領域における反応率が数%上昇し、Old JFS-3使用による過小評価を改善する方向に働いているのに対し、U-238の核分裂(F28)及びU-238の捕獲(C28)に対しては、ほとんど差が見られない。これは、第3章で示したように新炉定数の使用により、3keV以下のエネルギー領域における寄与が増加したためと推測される。また、新炉定数を使用することにより、わずかだがZPPR-9の炉心領域におけるF25及びF49の径方向依存性の改善が見られる。

ZPPR-13Aは非均質炉心であることから、新炉定数効果に関する輸送効果が危惧される。そこで、輸送計算において角度分点をS₄及びS₈とした時の新炉定数効果の評価を行なった。計算結果をFig.5.2-5に示すが、S₄計算の場合はほとんど拡散計算による新炉定数効果との相違は見られず、むしろ、F28のS₈計算結果に見られるように、F28の角度分点効果のほうが、大きく見られる。しかしながら、角度分点効果は数%程度であり、C/E値を改善するには至らない。

次に、ERANOSによる計算結果との比較を、Fig.5.2-6(ZPPR-9)及びFig.5.2-7(ZPPR-13A)に示す。炉心領域における解析結果には、特に差は見られない。ブランケット領域においては、ZPPR-9については、F28を除いて、ほとんど差は見られない。ZPPR-13Aについては、F25及びF49の反応率が、過小評価のほとんど見られないERANOSシステムによる計算結果に対して、数%の過小評価となっていることが分かる。F28については、ERANOSはサイクル機構の解析結果に対し、系統的に過大評価となっている。C28のブランケット領域における過小評価については、ERANOSによるものと同様の傾向が見られる。

5.2.3 反応率比

C/E値による解析結果の比較を、ZPPR-9についてはFig.5.3-1及びTable 5.3-2に、ZPPR-13AについてはFig.5.3-2及びTable 5.3-4に、それぞれ示す。ZPPR-13Aの結果は、全炉心領域及びブランケット領域の平均値が示されている。また、新炉定数の使用による計算結果の推移(新炉定数効果)をTable 5.3-1(ZPPR-9)、Table 5.3-3(ZPPR-13A)に示す。

炉心領域においては新旧炉定数間で特に差は見られないが、ZPPR-13Aのブランケット領域においては、F28/F49の3~5%の減少が見られる。これは、ブランケット領域におけるF49の2~3%の増加とF28の1~2%の減少が原因である。なお、基本炉定数の群構造の相違による影響はほとんど見られない。

次に、ERANOS による結果との比較を、ZPPR-9 については Fig.5.3-3 及び Table 5.3-5 に、ZPPR-13A については Fig.5.3-4 及び Table 5.3-6 に、それぞれ示す。両者間で差が見られるのは、ZPPR-13A の炉心領域及びブランケット領域における F28 と ZPPR-13A のブランケット領域における C28 である。F28/F49 については、主に F28 の反応率分布の相違に、C28/F49 についてはブランケット領域における F49 の違いに、それぞれ起因している。なお、ブランケット領域における F25/F49 については、F25 と F49 の双方ともサイクル機構の方が過小評価しており、分母分子が打ち消しあって結果に差が見られていない。

5.2.4 サンプルドッpler反応度

C/E 値による解析結果の比較を Fig.5.4-1 及び Table 5.4-2 に、新炉定数の使用による計算結果の推移（新炉定数効果）を Table 5.4-1 に、それぞれ示す。

新炉定数の使用により約 15%の上昇が見られ、C/E 値が 0.95 前後となり、大幅な改善が見られている。改善の原因は、Fig.5.4-2 に示すように 3keV 以下のエネルギー領域における反応度寄与が増加したためであり、Table 5.4-3 からも分かるように反応度增加分 4pcm の内、約 80%がそのエネルギー領域における反応度の増加であることが分かる。なお、基本炉定数の群構造の相違による影響はほとんど見られないが、ドッpler反応度の寄与の大半は 41keV 以下であり、基本炉定数構造の相違による影響を受けないことから自明な結果であるといえる。

次に、ERANOS の結果との比較を Fig.5.4-3 及び Table 5.4-4 に示すが、両者の差は 1 ~3%とほぼ一致しており、ERANOS による実効遅発中性子割合の方が約 4%大きいことを考慮しても、結論は変わらない。

5.2.5 Na ポイド反応度

C/E 値による解析結果の比較を Fig.5.5-1 及び Table 5.5-1 に、新炉定数の使用による計算結果の推移（新炉定数効果）を Table 5.5-2（非漏洩項）及び Table 5.5-3（漏洩項）に、それぞれ示す。

新炉定数の使用により、10~15%の Na ポイド反応度の減少が見られるが、これは新炉定数の使用により非漏洩項が減少するためであることが分かる。また、New constant set-175 を使用することにより、漏洩項が数%増加し、補正後反応度に対してもわずかながら影響を与えることが分かる。ZPPR-13A のポイドステップ 3 に関しては、Old JFS-3 を用いた場合の 20%の過大評価に対し、7~8%の改善が図られているものの、依然、過大評価が見られている。Fig.5.5-2 には ZPPR-9 のポイドステップ 5 の漏洩項及び非漏洩項の比較が示されているが、非漏洩項に関しては、高エネルギー側（MeV 領域）と低エネルギー側（keV~十 keV 領域）における寄与のキャンセルにより、新炉定数を使用した場合に非漏洩項が減少する様子がうかがえる。漏洩項については、ほとんど差は見られない。漏洩項について、更に成分分析を行なうと、新旧炉定数間の全非漏洩項の差（Fig.5.5-3）に対して、Fig.5.5-4 に示されているように寄与の大半が散乱項の相違であり、除去断面積の

相違と関連していることがわかる。

Fig.5.5-5 及び Table 5.5-4 に、ERANOS による解析結果との比較が示されているが、ERANOS による C/E 値がほぼ 1 であるのに対し、サイクル機構の結果は 10%以上の過大評価および過小評価が見られる。Na ボイド反応度は解析誤差が大きく、断面積に対する感度も大きいため、サイクル機構の解析結果には致命的な問題があるとは考えられないが、今後、炉定数調整計算による検討は必要である。

5.2.6 制御棒値

C/E 値による解析結果の比較を Fig.5.6-1 及び Table 5.6-2 に、新炉定数の使用による計算結果の推移（新炉定数効果）を Table 5.6-1 に、それぞれ示すが、新旧炉定数間で解析結果の差は 1%程度とほとんど見られていない。あえて述べれば、New constant set-175 を用いることにより、C/E 値の径方向依存性がわずかに改善されていることが挙げられる。

ERANOS による結果との比較を Fig.5.6-2 及び Table 5.6-3 に示すが、両者の差はほぼ実効遅発中性子割合の差（4%）であり、 $\Delta k/kk'$ 単位の反応度としては差は見られていない。

5.3 まとめ

以上の 6 つの核特性に対する検討結果から、新炉定数使用による影響が顕著な核特性は、3keV 以下に大きな感度を有する核特性であると考えることができる。ただし、Fig.3-5 及び 3-6 に見られるように、除去断面積の差は全エネルギー範囲に及んでおり、JUPITER 以外の炉心を対象とした場合には、核特性の差が生じる可能性はある。従って、解析結果における影響が見られなかった JUPITER 核特性解析においても、感度解析を行なうことにより、そのメカニズムを明らかにすることが望ましいと考えられる。

また、JUPITER 実験が模擬している Na 冷却 MOX 燃料炉心以外の炉型に対しては、除去断面積の差に起因して、中性子スペクトルが異なることから、JUPITER の評価結果は参考程度とし、今後、直接評価するべきであると考えられる。

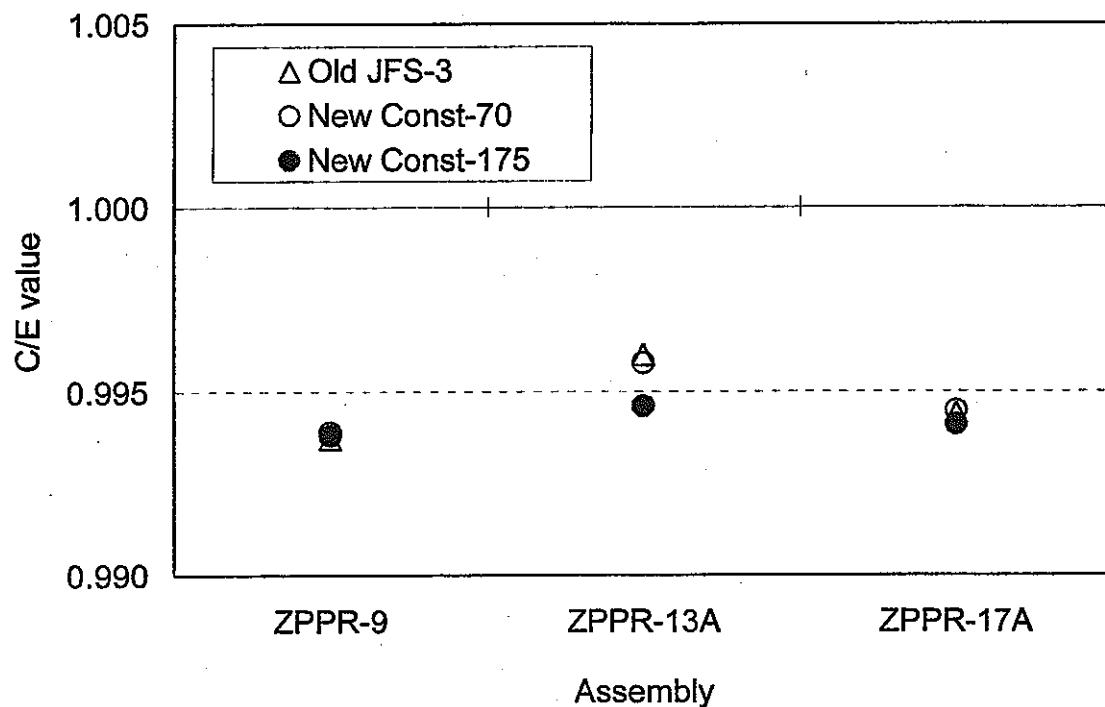


Fig.5.1-1 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.1-1 Effects to the criticality of JUPITER due to the use of the new constant sets

	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
ZPPR-9	(Ref.)	+0.00018	+0.00010
ZPPR-13A	(Ref.)	-0.00023	-0.00142
ZPPR-17A	(Ref.)	+0.00007	-0.00026

Unit: Δk

Table 5.1-2 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
ZPPR-9	0.99371	0.99389	0.99380
ZPPR-13A	0.99600	0.99577	0.99460
ZPPR-17A	0.99440	0.99447	0.99410

- C/E values

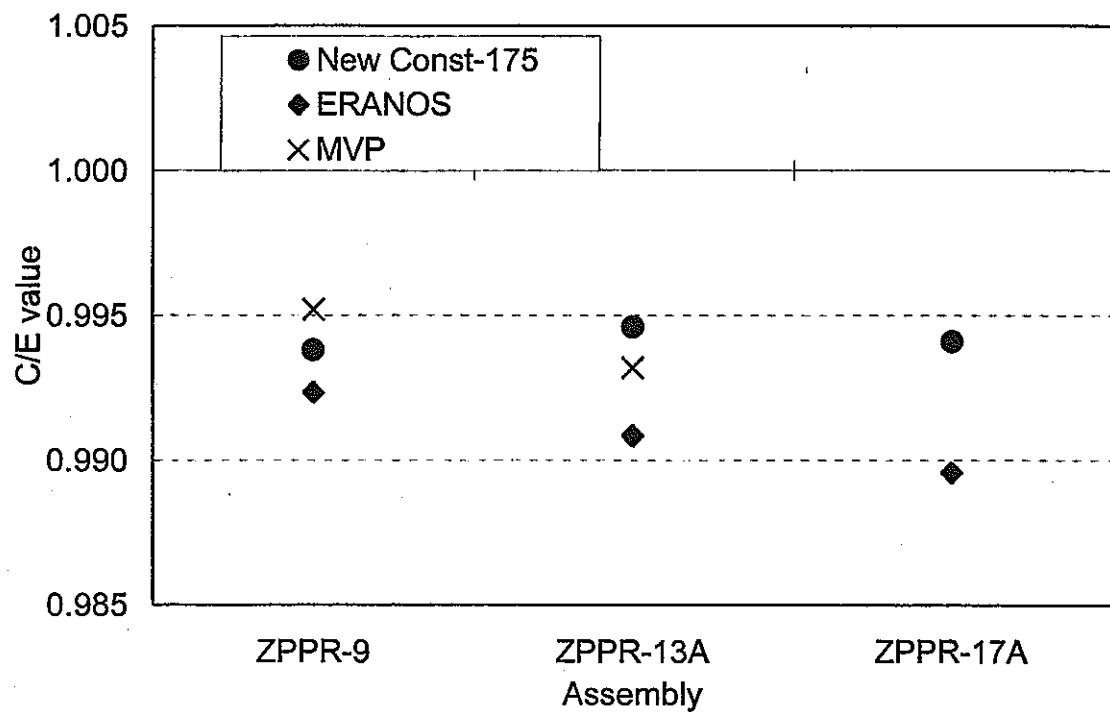


Fig.5.1-2 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three methods

Table 5.1-3 Results of analyses on the criticality of JUPITER using three methods
(Digital data)

	New Const-175	ERANOS	MVP
ZPPR-9	0.99380	0.99234	0.99520
ZPPR-13A	0.99460	0.99086	0.99320
ZPPR-17A	0.99410	0.98959	

- C/E values

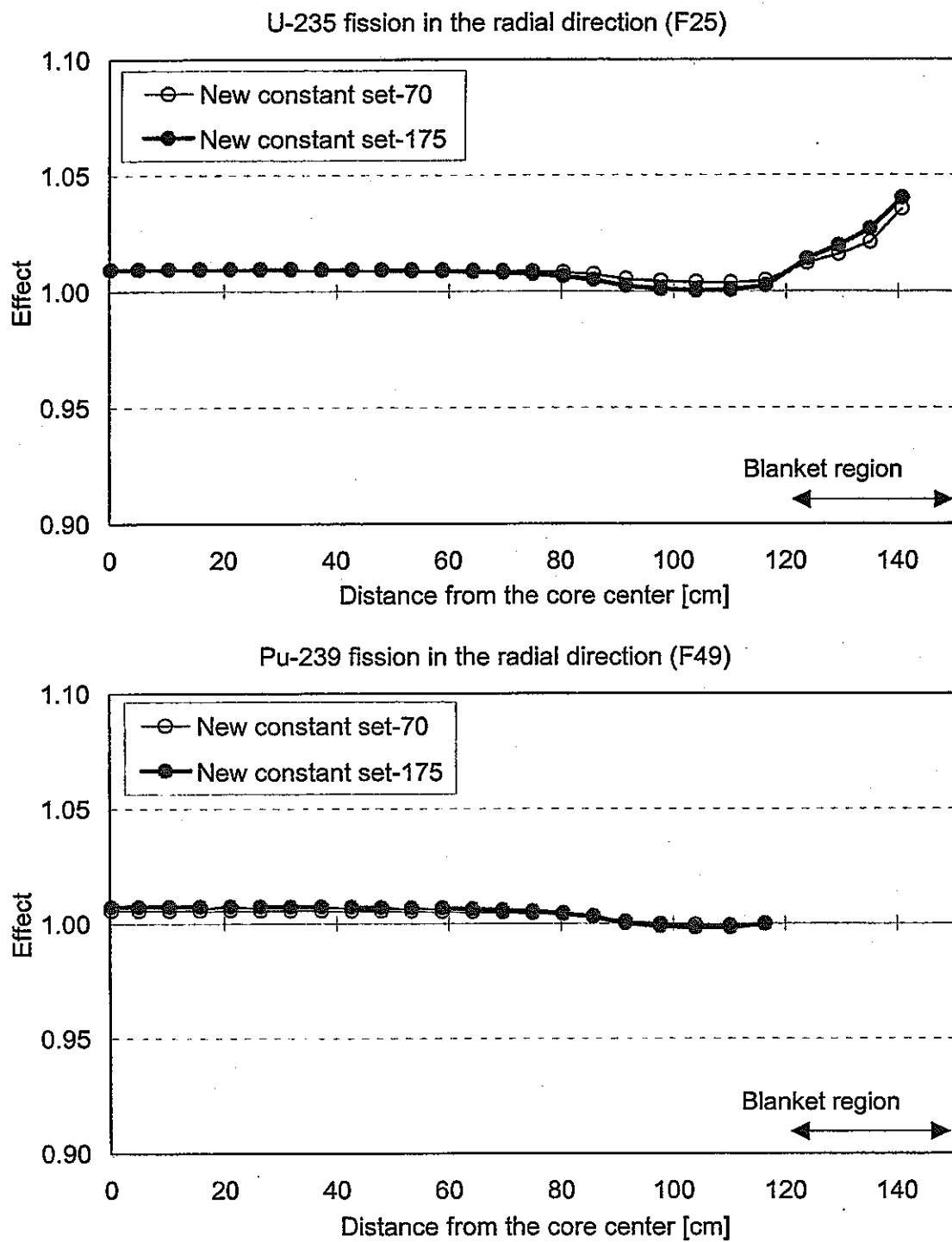


Fig.5.2-1(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction due to the use of the new constant sets (F25 and F49)

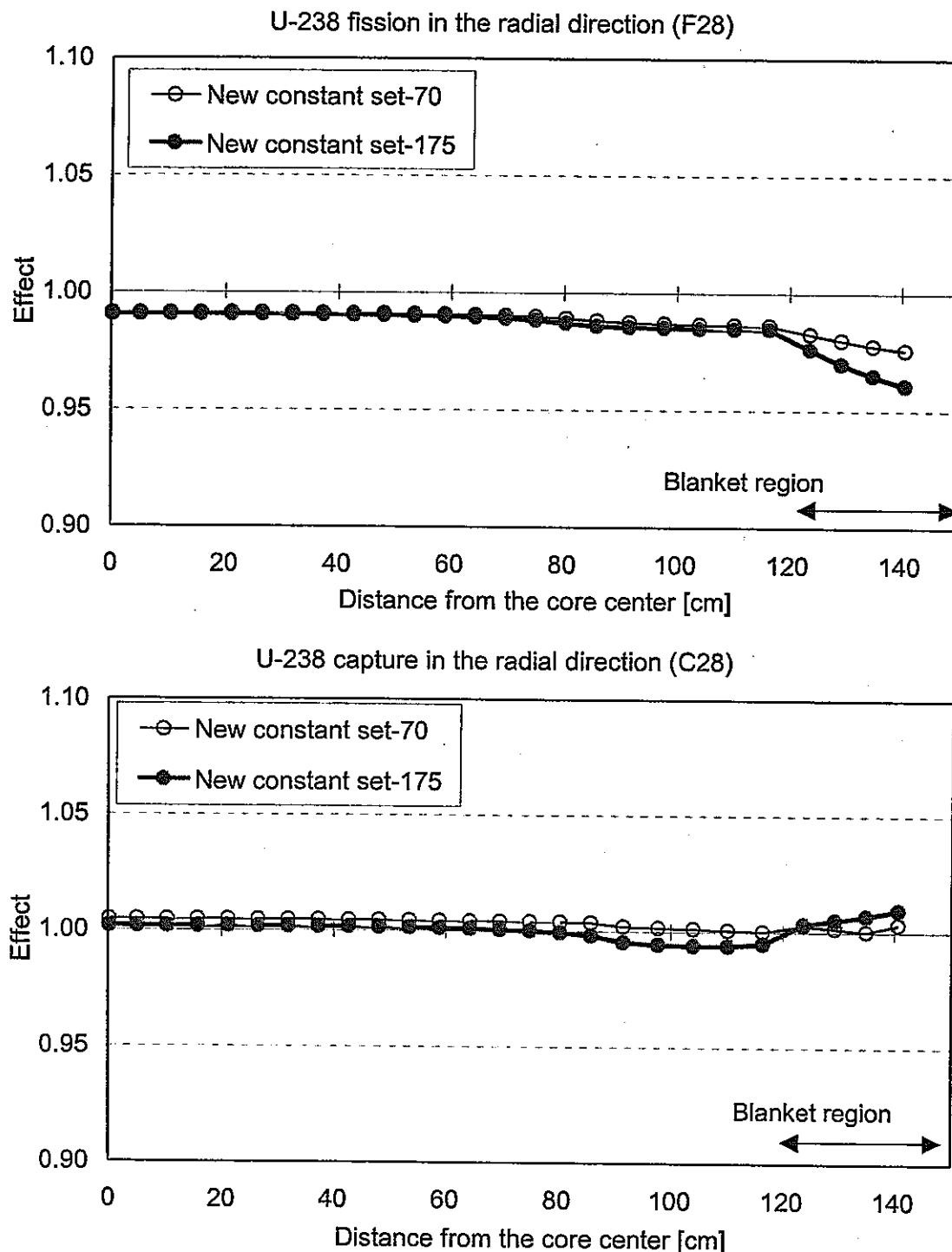


Fig.5.2-1(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction due to the use of the new constant sets (F28 and C28)

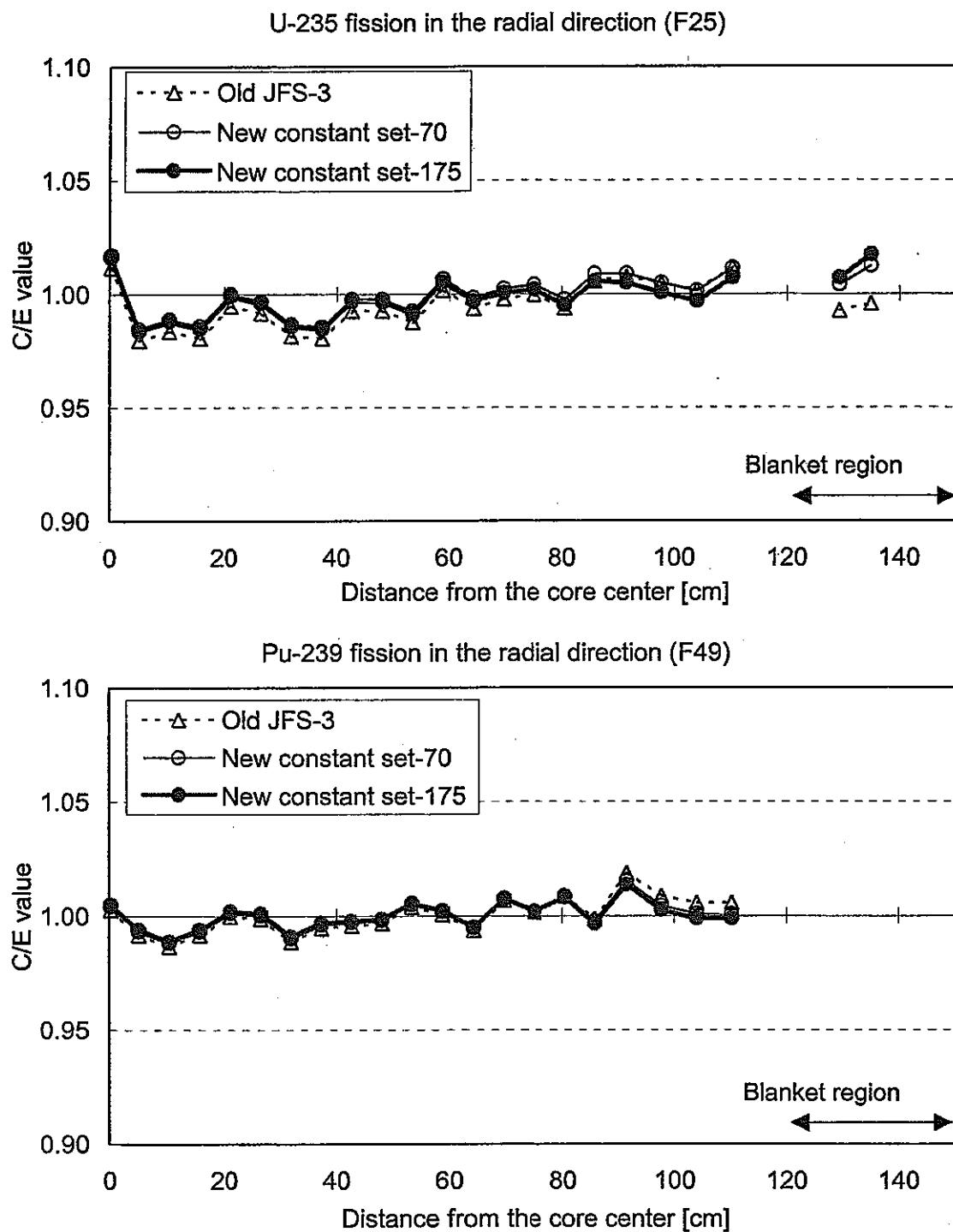


Fig.5.2-2(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F25 and F49)

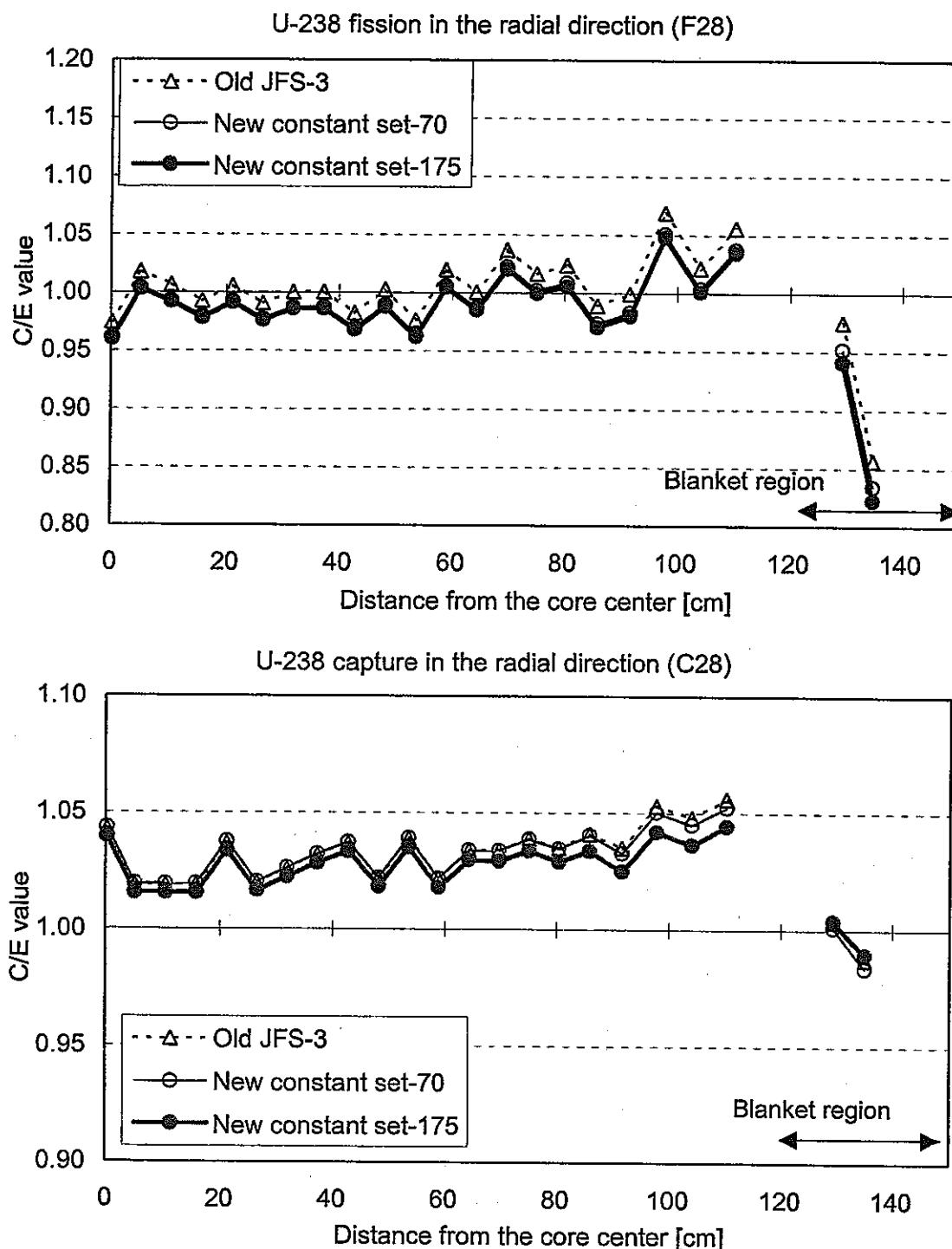
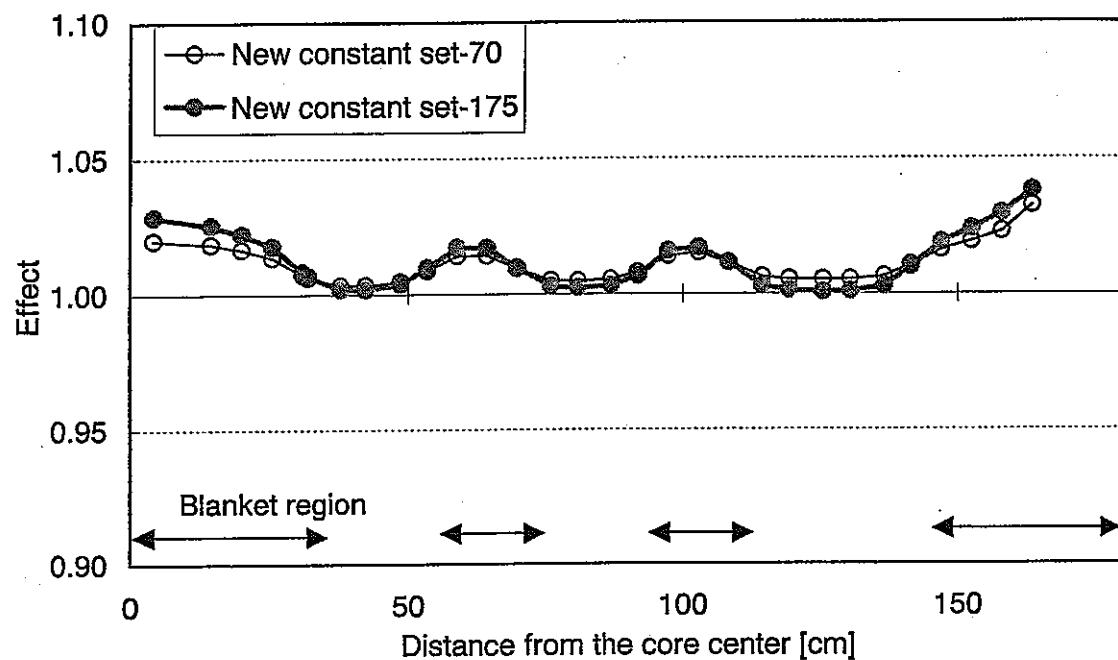


Fig.5.2-2(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F28 and C28)

U-235 fission in the radial direction (F25)



Pu-239 fission in the radial direction (F49)

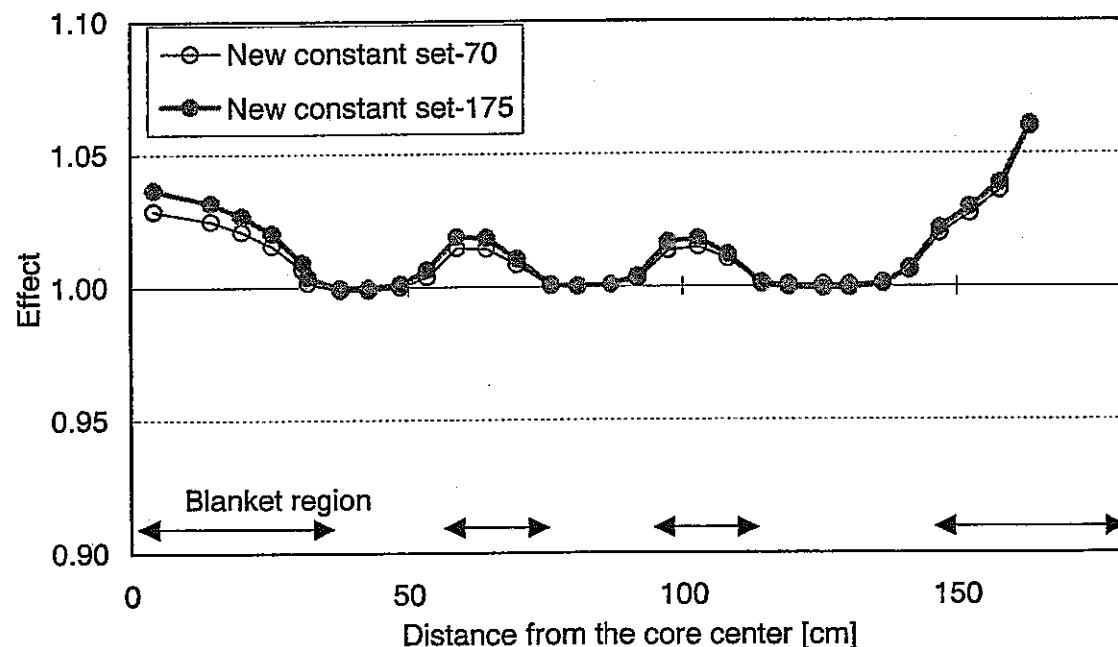


Fig.5.2-3(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets (F25 and F49)

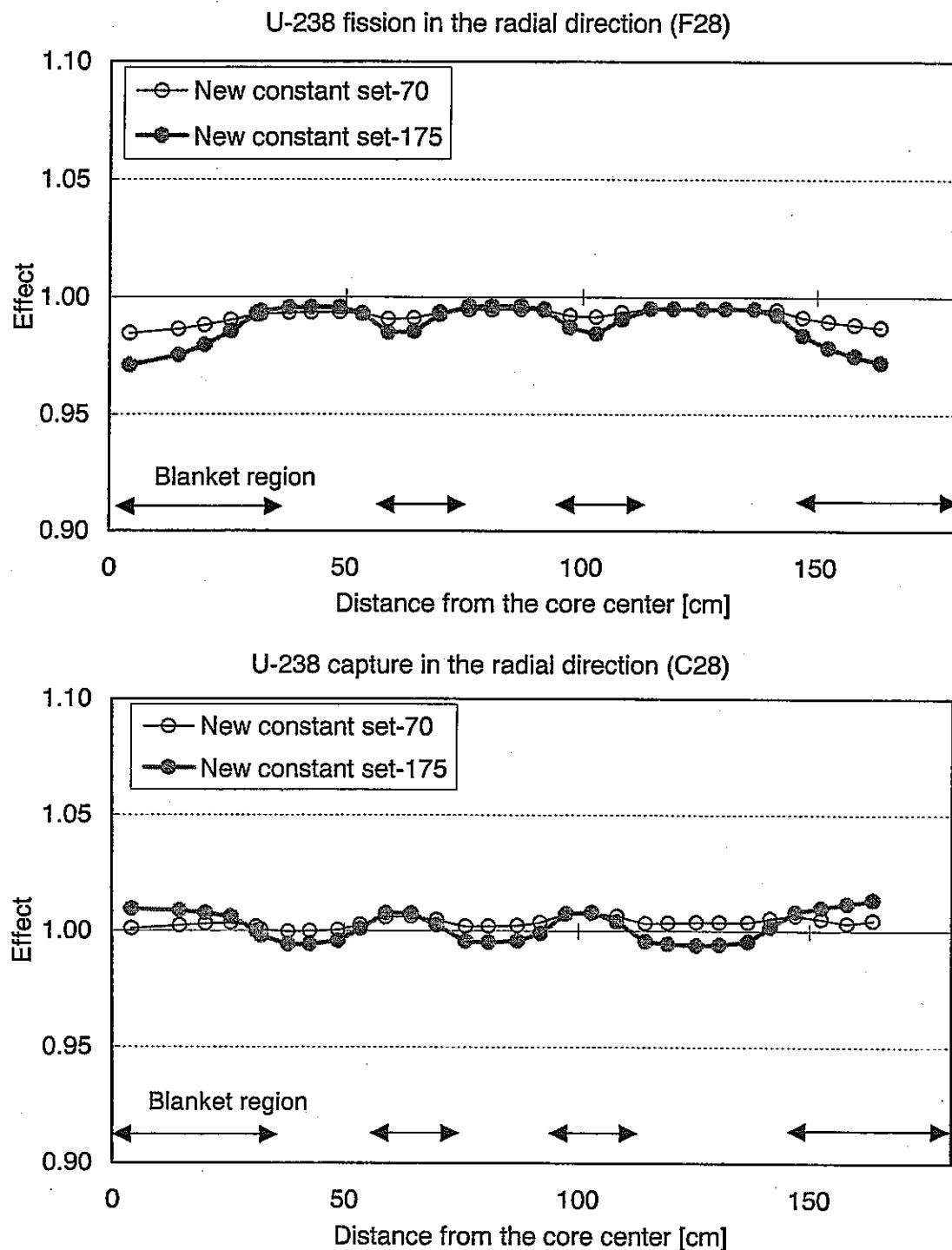


Fig.5.2-3(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets (F28 and C28)

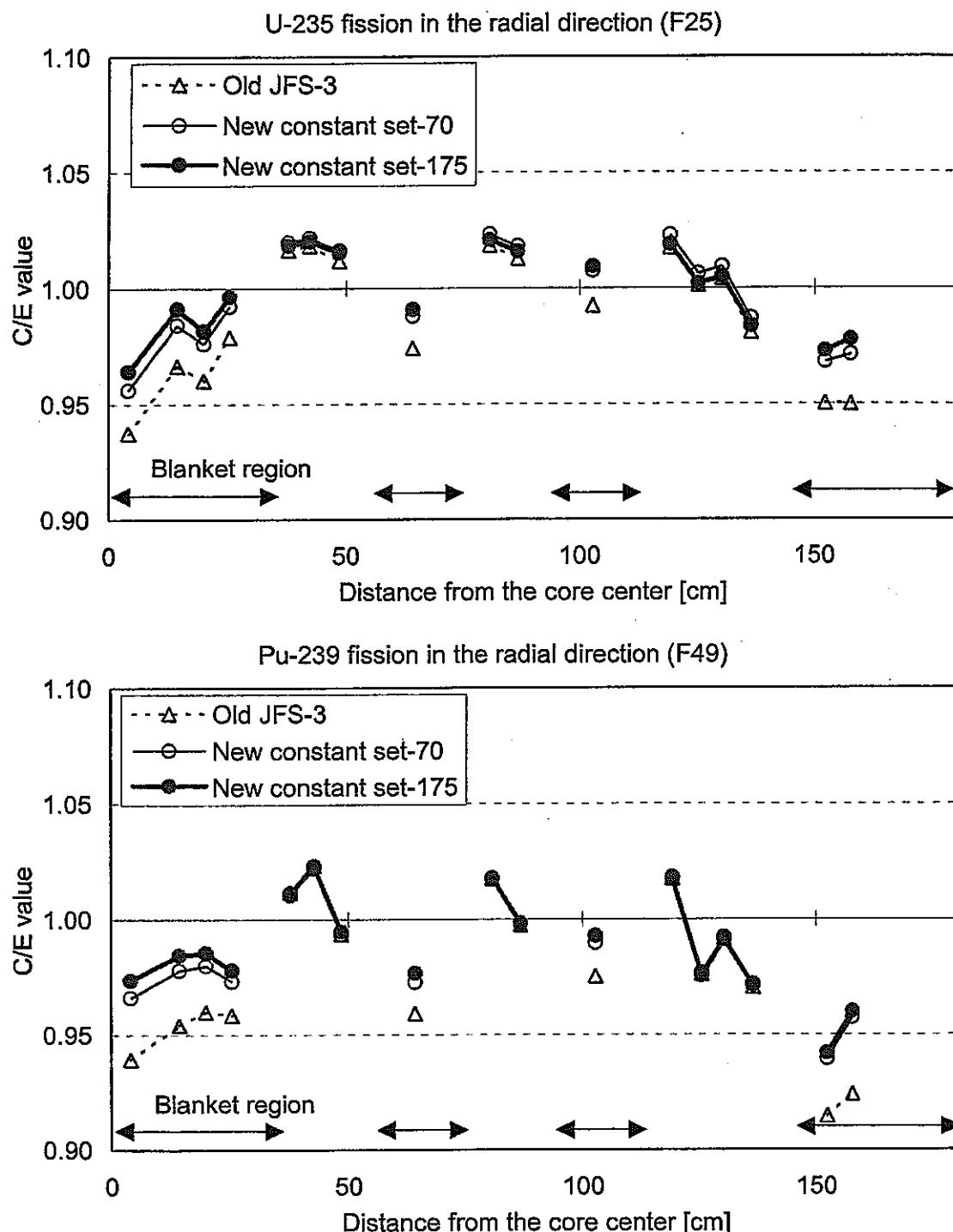


Fig.5.2-4(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F25 and F49)

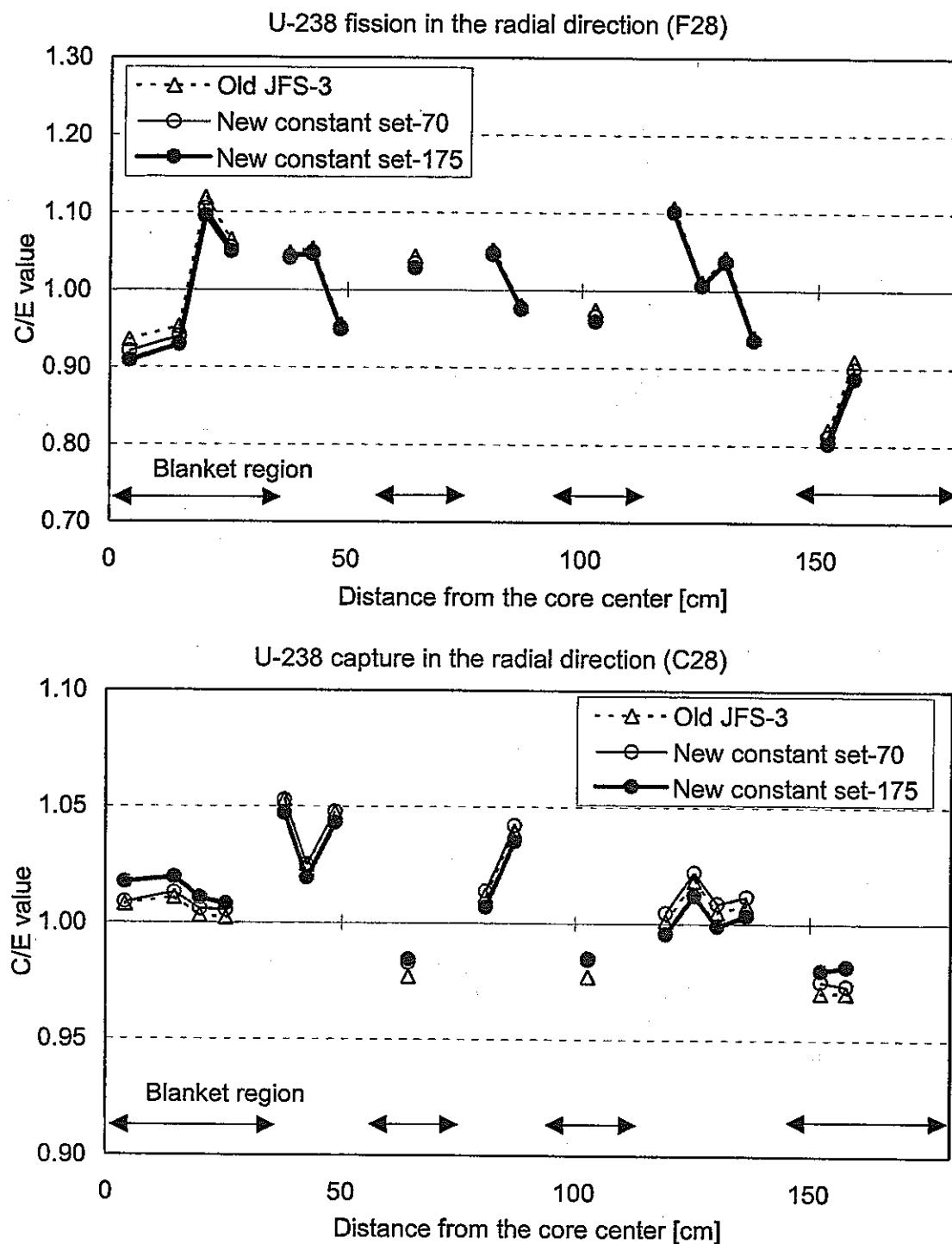
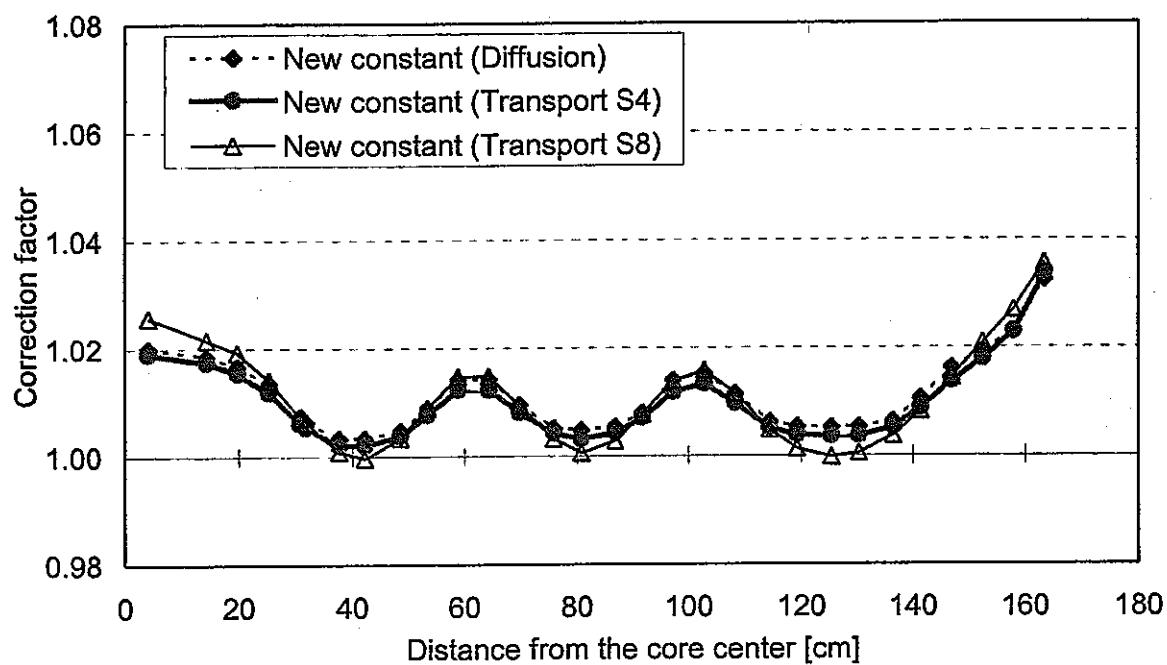


Fig.5.2-4(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using three constant sets based on JENDL-3.2 (F28 and C28)

F25



F49

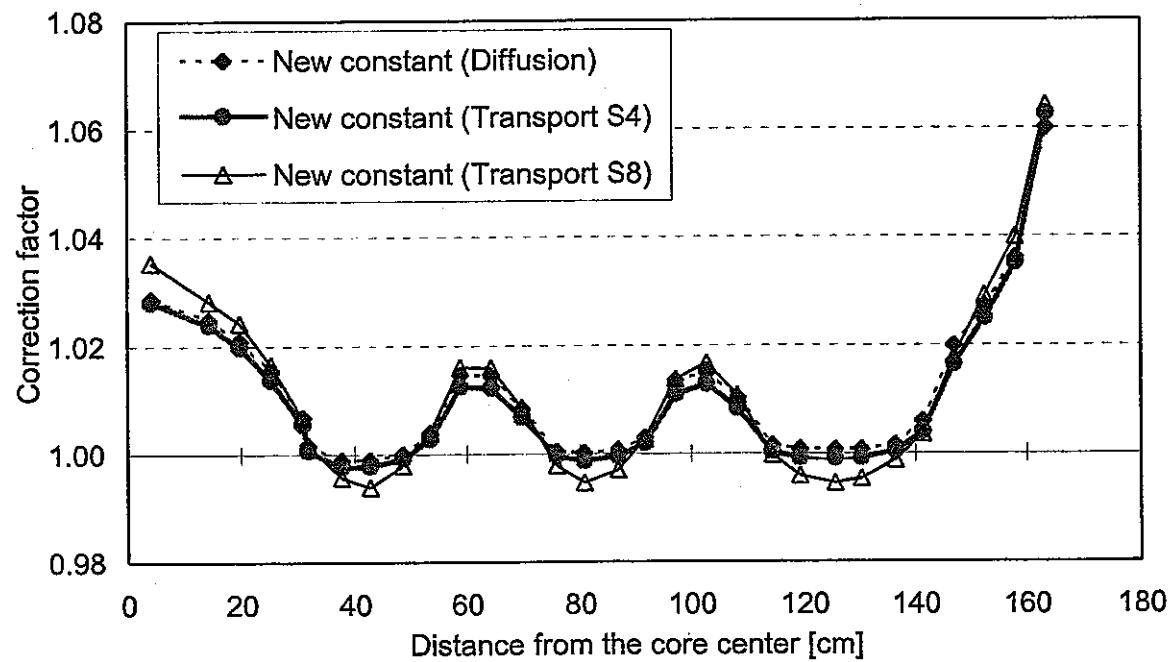
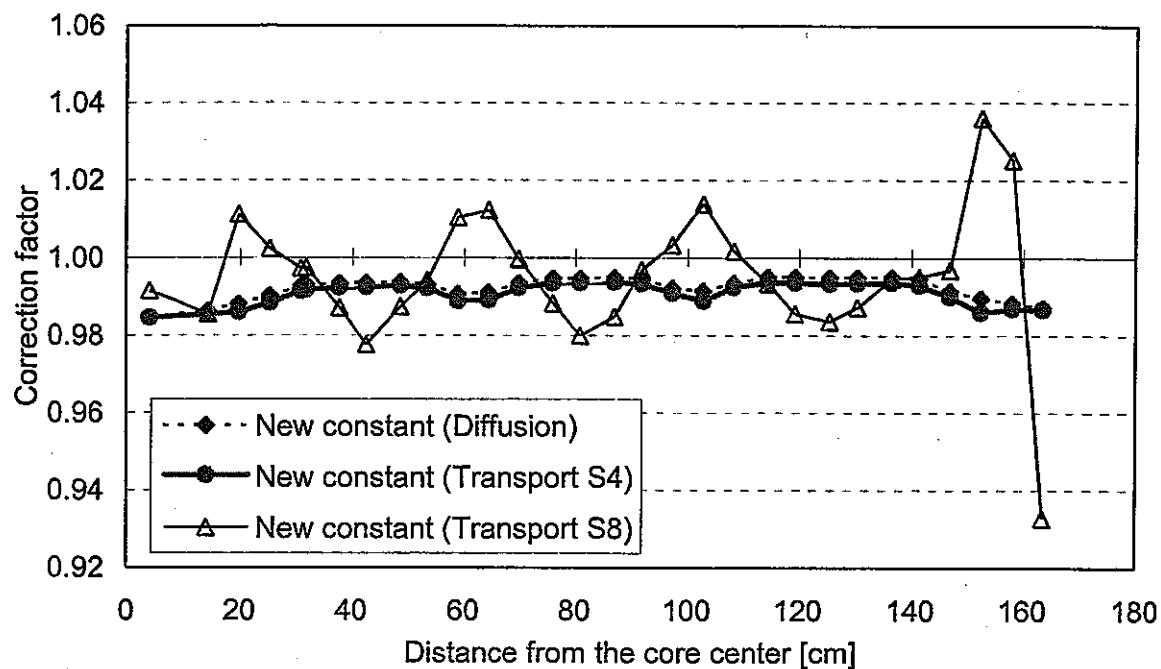


Fig.5.2-5(1) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets and their verification using the transport calculation (F25 and F49)

F28



C28

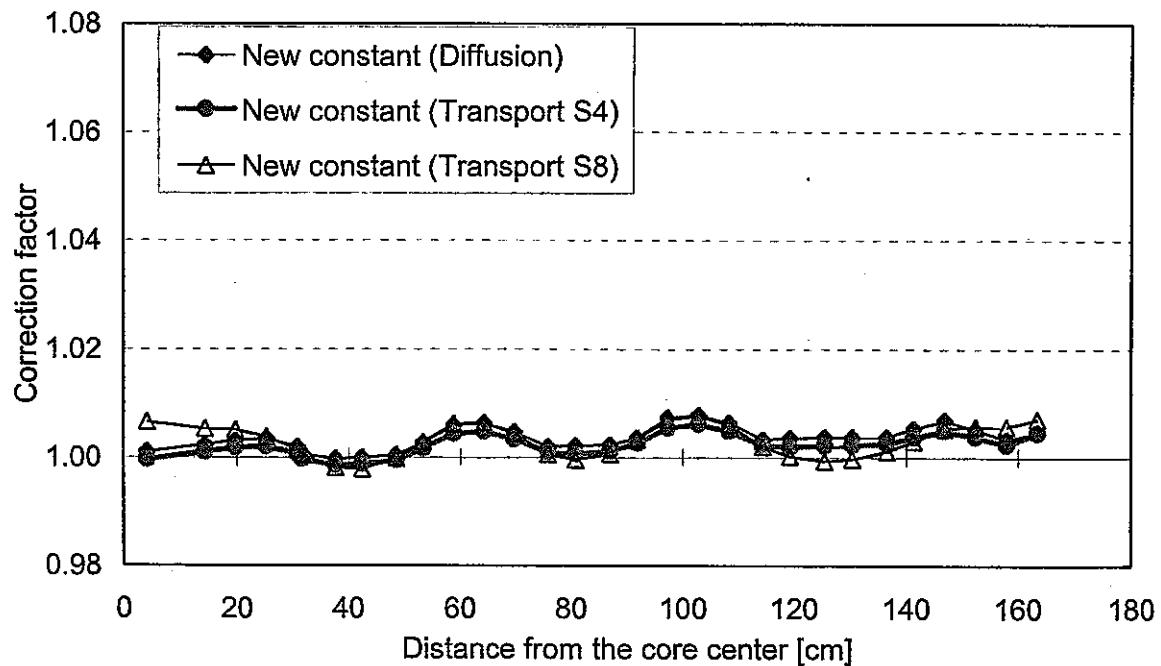


Fig.5.2-5(2) Effects to the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction due to the use of the new constant sets and their verification using the transport calculation (F28 and C28)

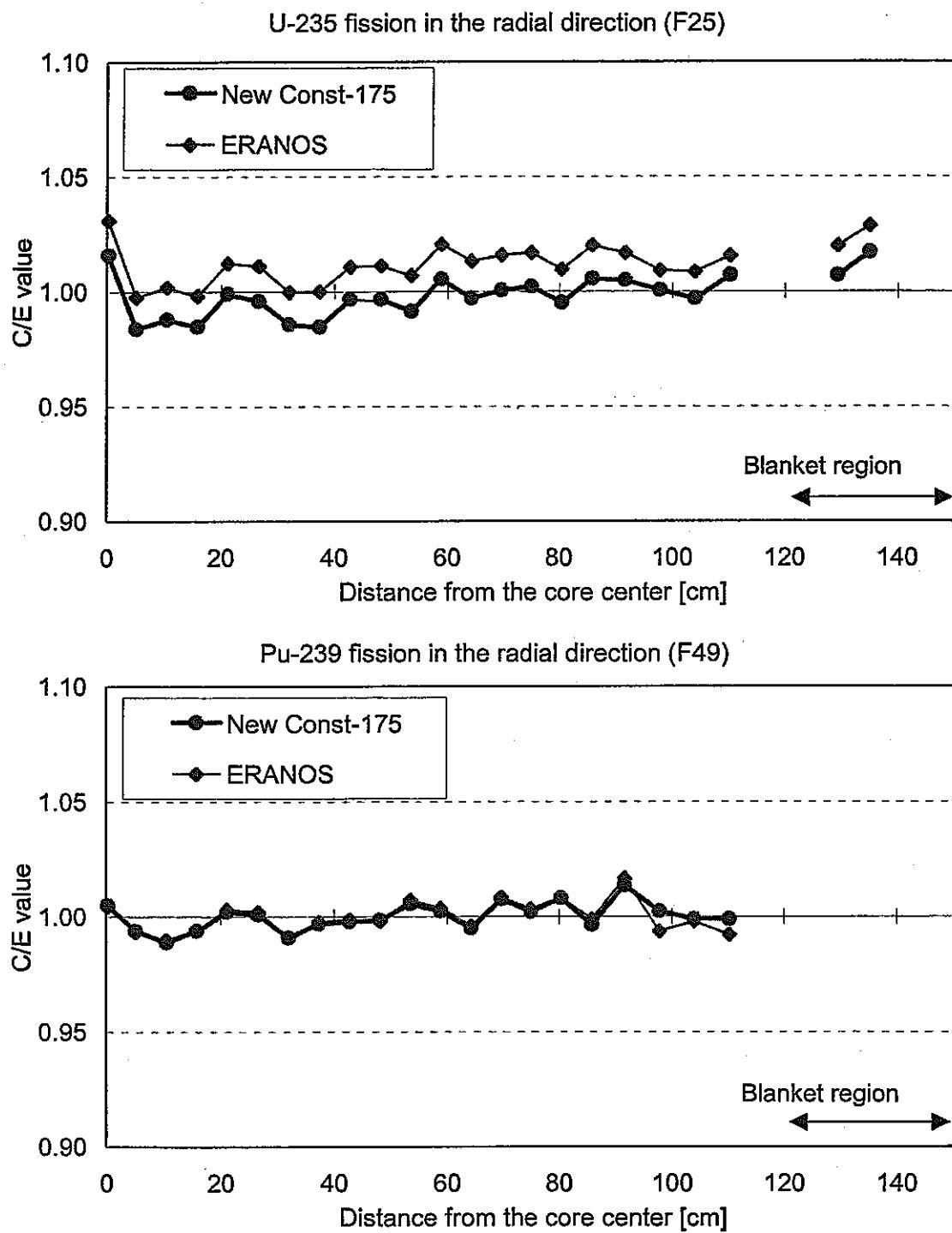


Fig.5.2-6(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using the JNC new constant set and ERANOS (F25 and F49)

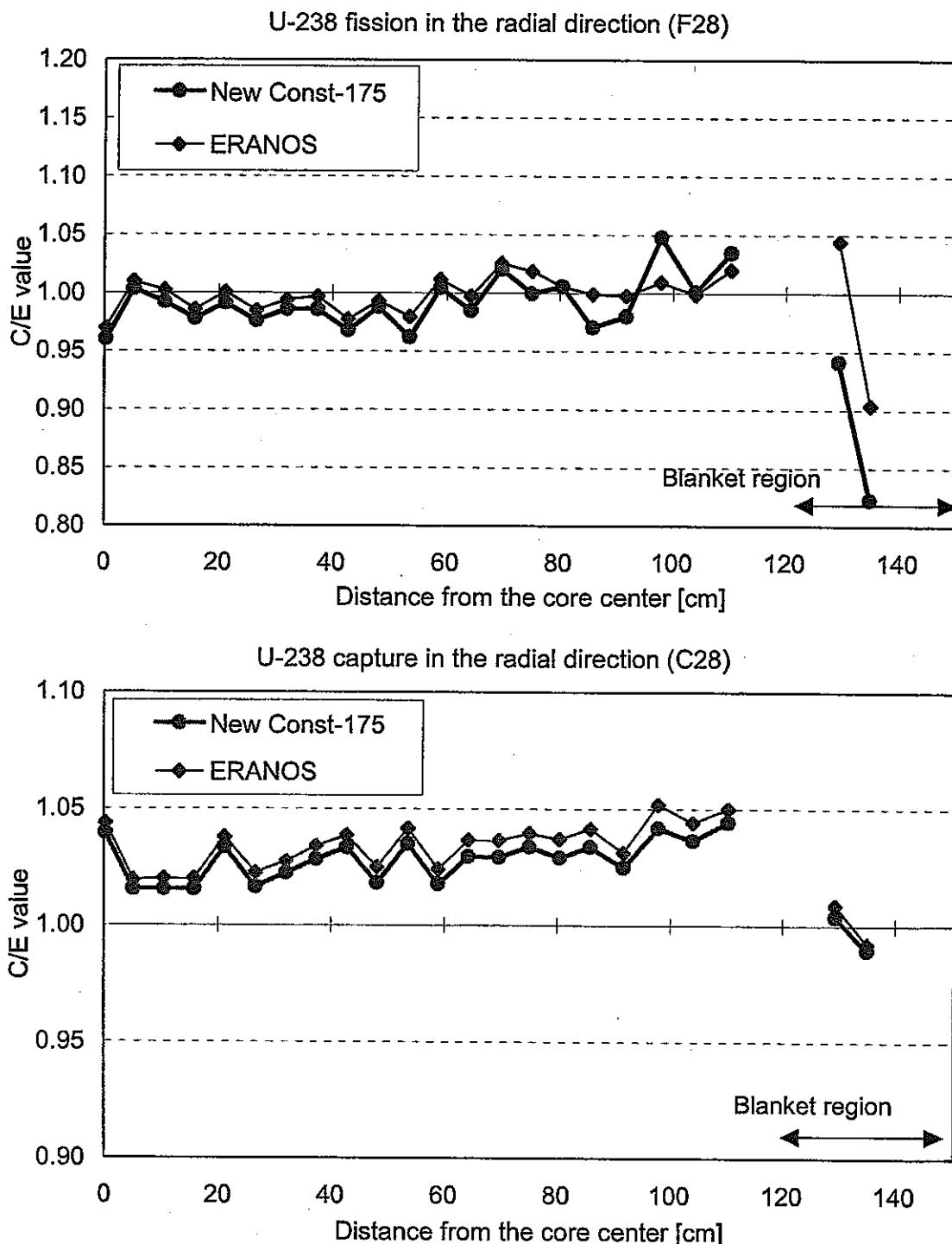
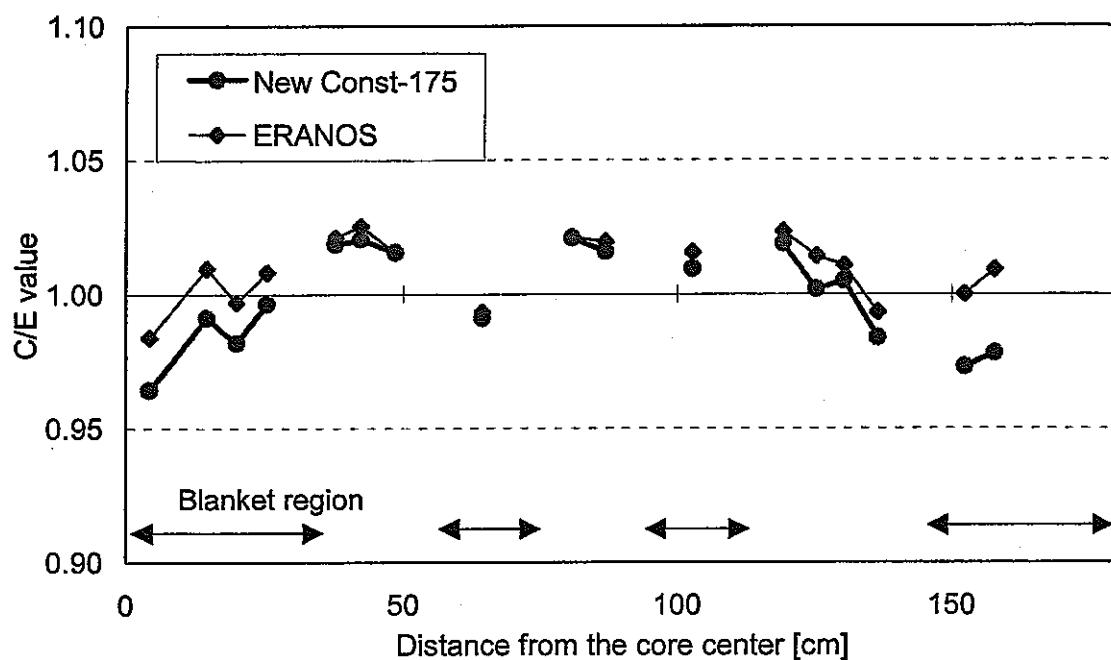


Fig.5.2-6(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-9 in the radial direction using the JNC new constant set and ERANOS (F28 and C28)

U-235 fission in the radial direction (F25)



Pu-239 fission in the radial direction (F49)

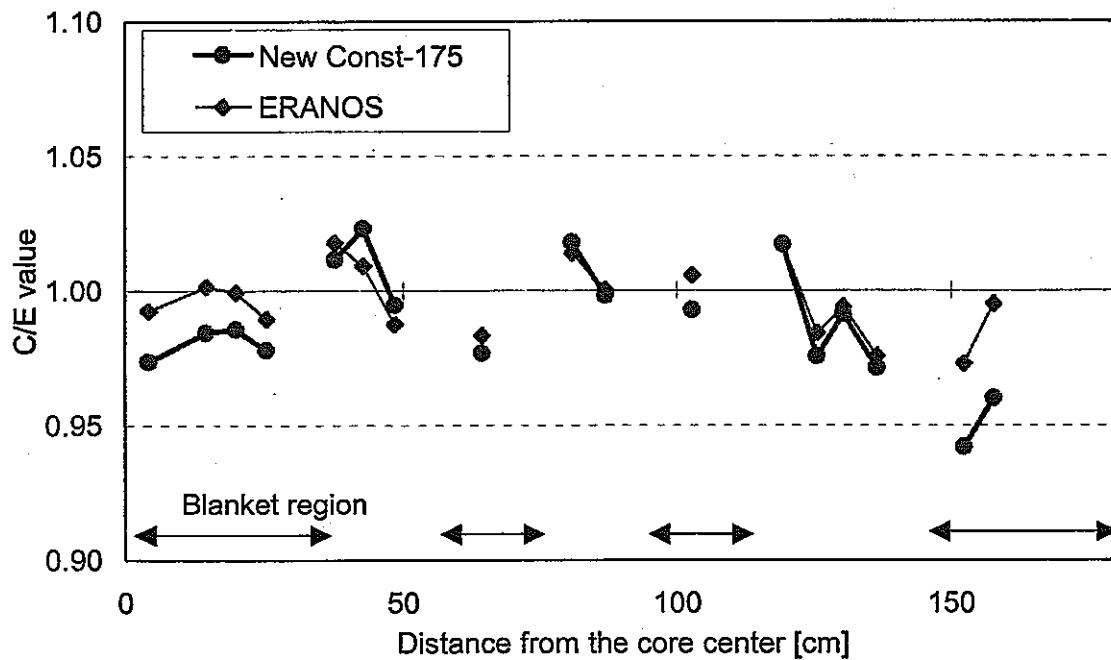


Fig.5.2-7(1) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using the JNC constant set and ERANOS (F25 and F49)

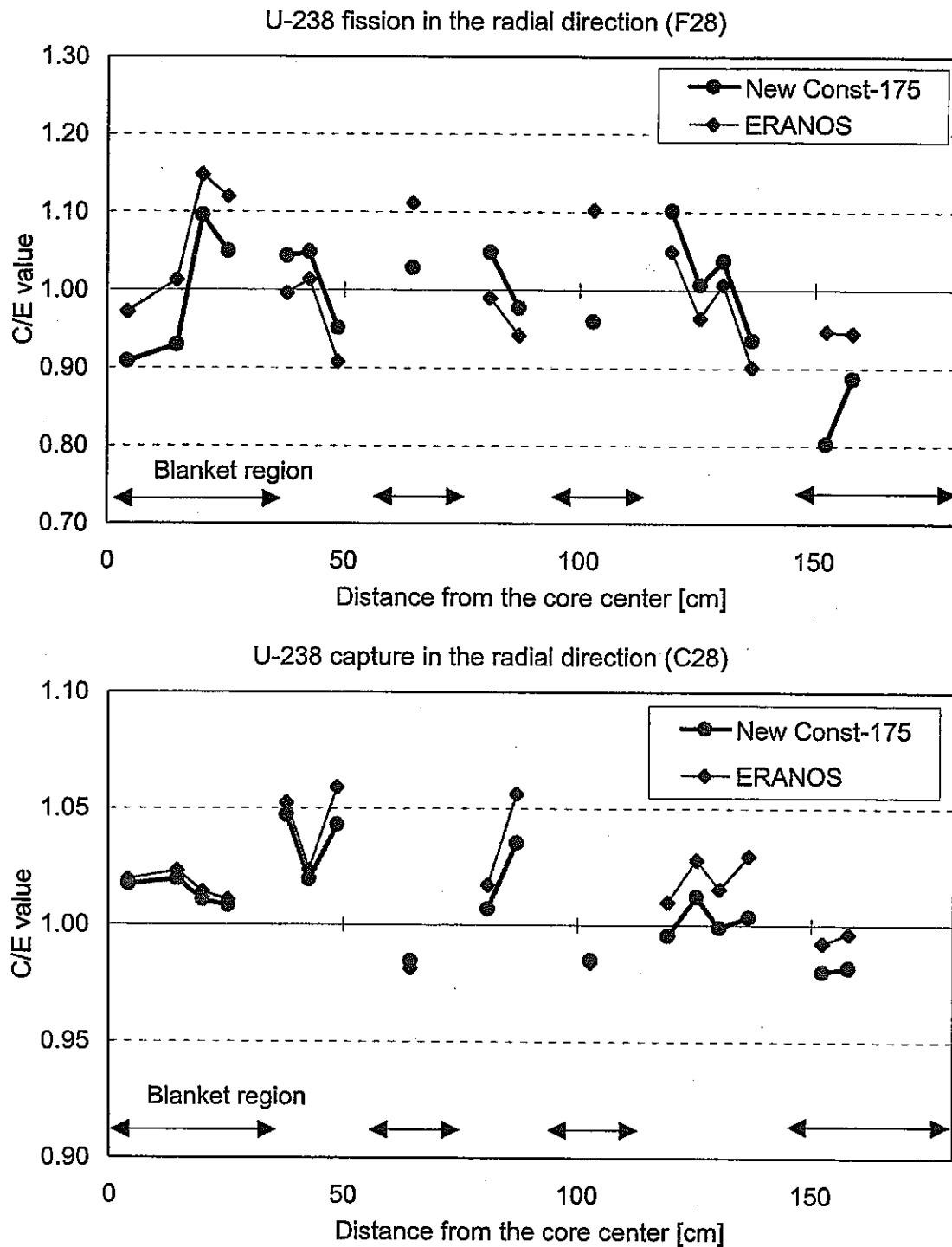


Fig.5.2-7(2) Results of analyses on the reaction rate distribution of ZPPR-13A in the radial direction using the JNC constant set and ERANOS (F28 and C28)

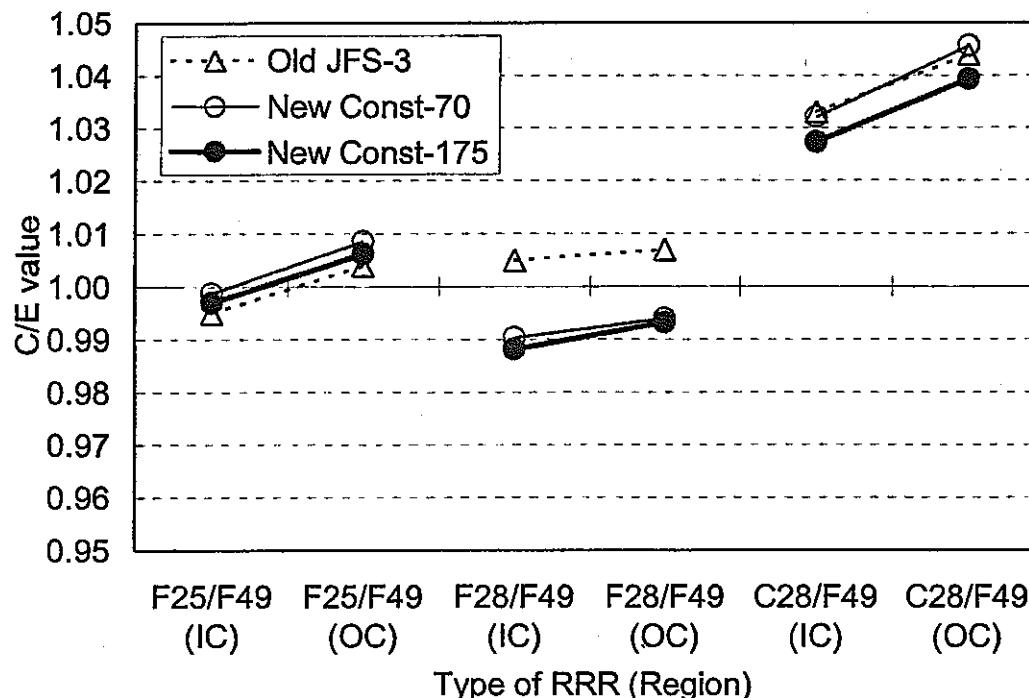


Fig.5.3-1 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.3-1 Effects to the reaction rate ratio of ZPPR-9 due to the use of the new constant sets

Type of RRR (Region)	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
F25/F49 (IC)	(Ref.)	1.004	1.002
F25/F49 (OC)	(Ref.)	1.004	1.002
F28/F49 (IC)	(Ref.)	0.985	0.983
F28/F49 (OC)	(Ref.)	0.987	0.986
C28/F49 (IC)	(Ref.)	0.999	0.994
C28/F49 (OC)	(Ref.)	1.002	0.996

(Remarks) RRR: Reaction Rate Ratio, IC: Inner core, OC: Outer core

Table 5.3-2 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

Type of RRR (Region)	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
F25/F49 (IC)	0.995	0.999	0.997
F25/F49 (OC)	1.004	1.009	1.006
F28/F49 (IC)	1.005	0.990	0.988
F28/F49 (OC)	1.007	0.994	0.993
C28/F49 (IC)	1.033	1.032	1.027
C28/F49 (OC)	1.044	1.046	1.039

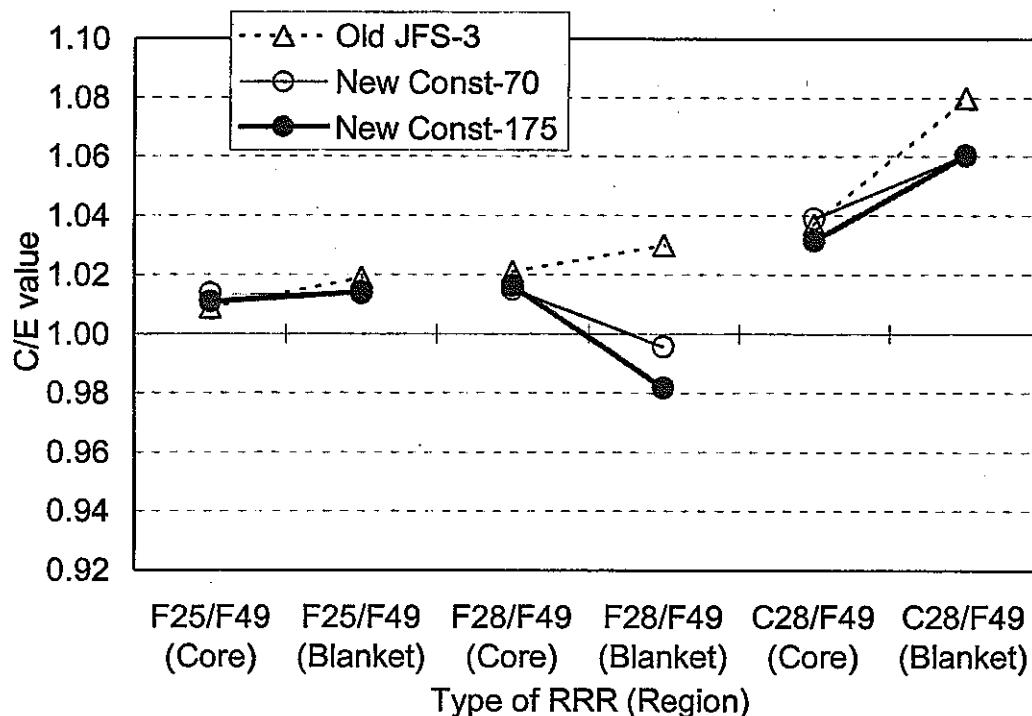


Fig.5.3-2 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.3-3 Effects to the reaction rate ratio of ZPPR-13A due to the use of the new constant sets

Type of RRR (Region)	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
F25/F49 (Core)	(Ref.)	1.005	1.002
F25/F49 (Blanket)	(Ref.)	0.995	0.995
F28/F49 (Core)	(Ref.)	0.994	0.995
F28/F49 (Blanket)	(Ref.)	0.967	0.953
C28/F49 (Core)	(Ref.)	1.002	0.995
C28/F49 (Blanket)	(Ref.)	0.982	0.982

(Remarks) RRR: Reaction Rate Ratio

Table 5.3-4 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

Type of RRR (Region)	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
F25/F49 (Core)	1.009	1.014	1.011
F25/F49 (Blanket)	1.019	1.014	1.014
F28/F49 (Core)	1.021	1.015	1.016
F28/F49 (Blanket)	1.030	0.996	0.982
C28/F49 (Core)	1.037	1.039	1.031
C28/F49 (Blanket)	1.080	1.060	1.060

(Remarks) RRR: Reaction Rate Ratio

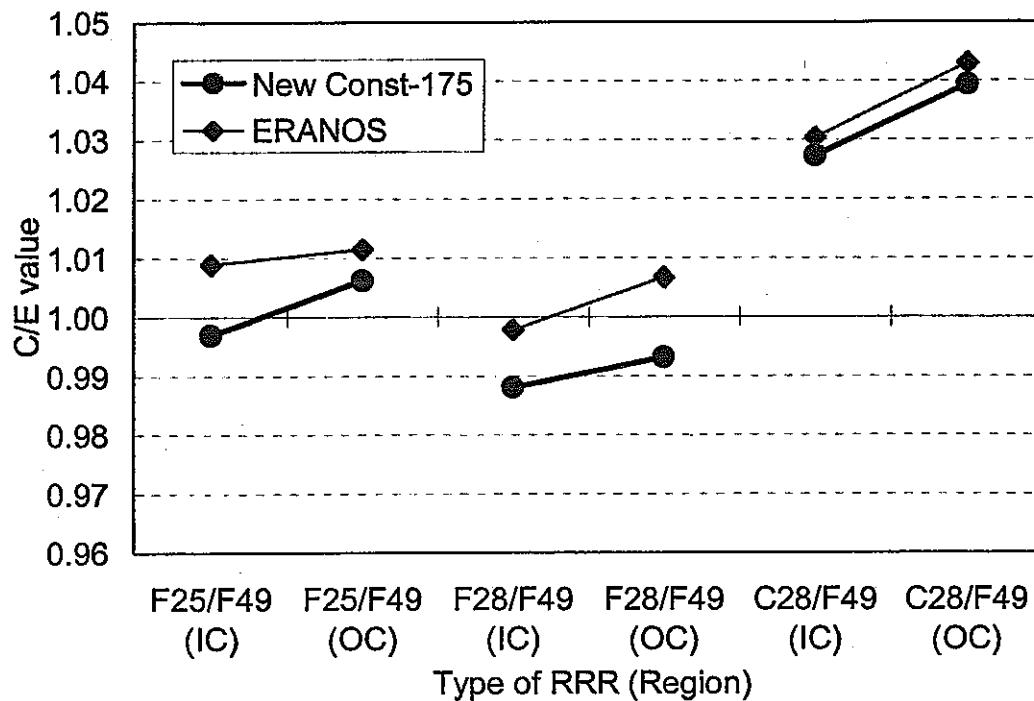


Fig.5.3-3 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS

Table 5.3-5 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)

Type of RRR (Region)	New Const-175	ERANOS
F25/F49 (IC)	0.997	1.009
F25/F49 (OC)	1.006	1.012
F28/F49 (IC)	0.988	0.998
F28/F49 (OC)	0.993	1.007
C28/F49 (IC)	1.027	1.030
C28/F49 (OC)	1.039	1.043

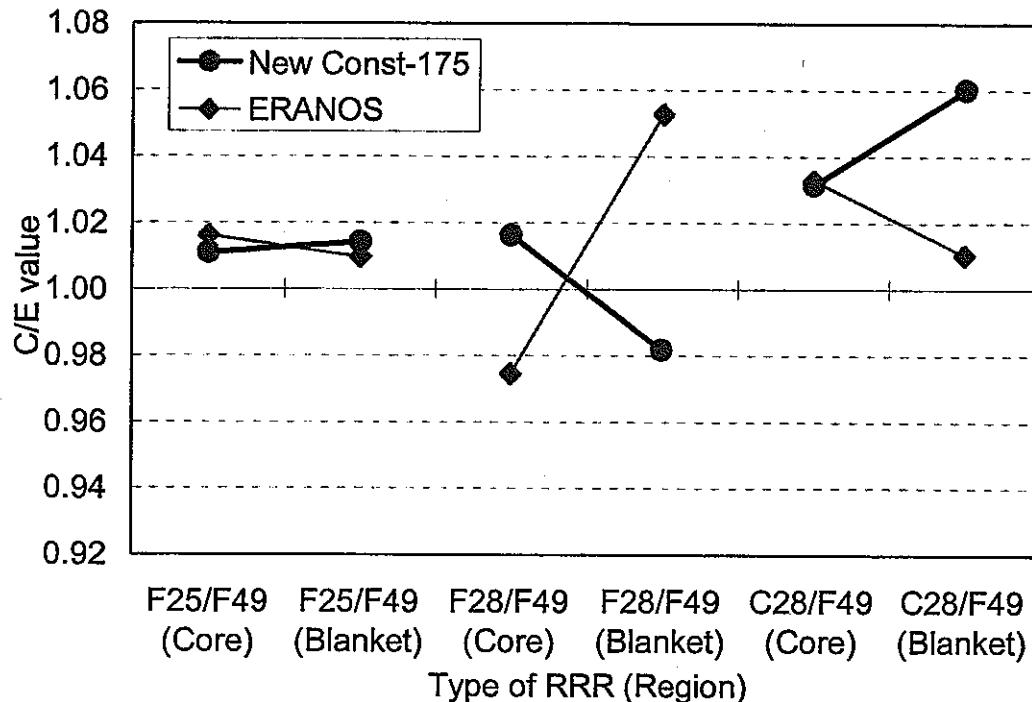


Fig.5.3-4 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS

Table 5.3-6 Results of analyses on the reaction rate ratio of ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)

Type of RRR (Region)	New Const-175	ERANOS
F25/F49 (Core)	1.011	1.016
F25/F49 (Blanket)	1.014	1.010
F28/F49 (Core)	1.016	0.975
F28/F49 (Blanket)	0.982	1.053
C28/F49 (Core)	1.031	1.033
C28/F49 (Blanket)	1.060	1.010

(Remarks) RRR: Reaction Rate Ratio

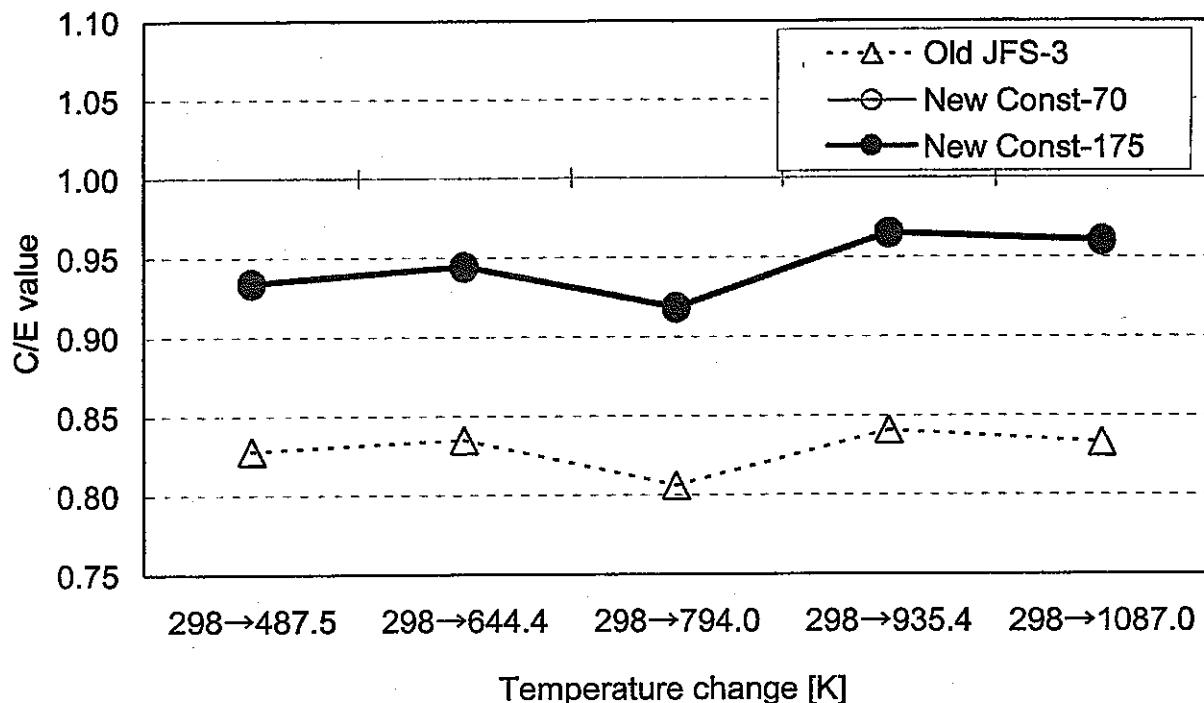


Fig.5.4-1 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.4-1 Effects to the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 due to the use of the new constant sets and comparison of the resonance interaction

Temp. change	New Const-70	New Const-175	Res. Int. (New)	Res. Int. (Old)
298→487.5	1.147	1.149	1.025	-
298→644.4	1.142	1.144	1.032	-
298→794.0	1.145	1.147	1.037	-
298→935.4	1.150	1.151	1.040	-
298→1087.0	1.152	1.153	1.043	1.043

Remarks: Res. Int.=Resonance Interaction

Table 5.4-2 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

Temp. change	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
298→487.5	0.828	0.933	0.934
298→644.4	0.835	0.943	0.945
298→794.0	0.806	0.917	0.919
298→935.4	0.841	0.964	0.966
298→1087.0	0.833	0.960	0.961

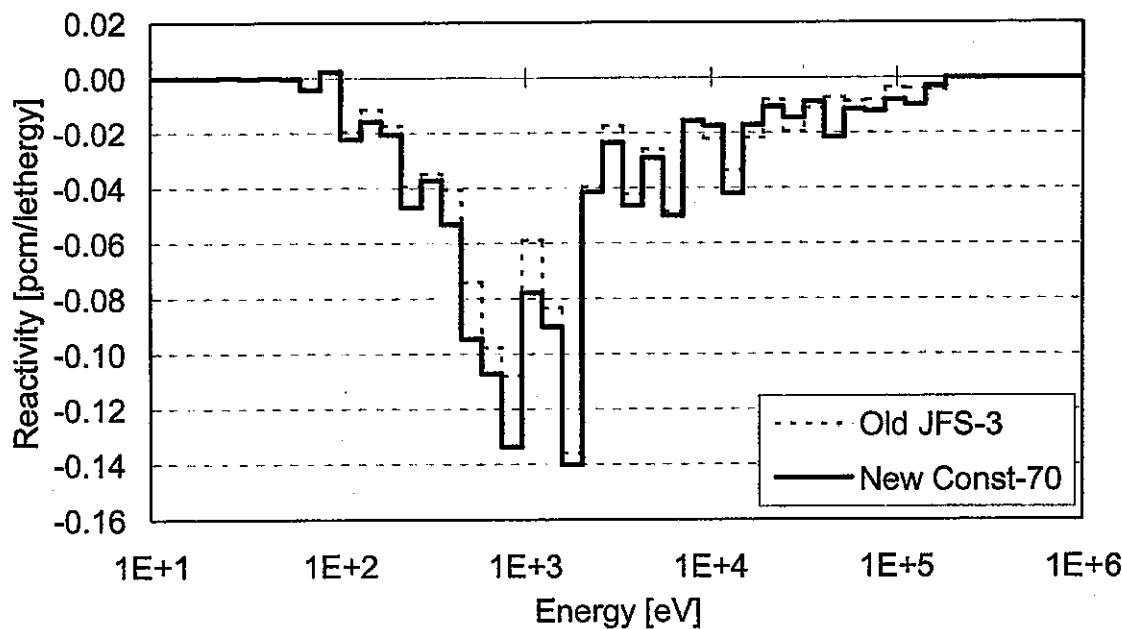


Fig.5.4.2 Comparison in group-wise component of the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (300→1100K)

Table 5.4.3 Comparison in two energy-region components of the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (300→1100K)

	Greater than 3.4keV	Less than 3.4keV	Total
Old JFS-3 (Absolute or relative difference)	-0.072 (Ref.)	-0.195 (Ref.)	-0.27 (Ref.)
New constant set-70 (Absolute or relative difference)	-0.080 (-0.008pcm)	-0.227 (-0.032pcm)	-0.31 (+14.8%)

Unit: pcm

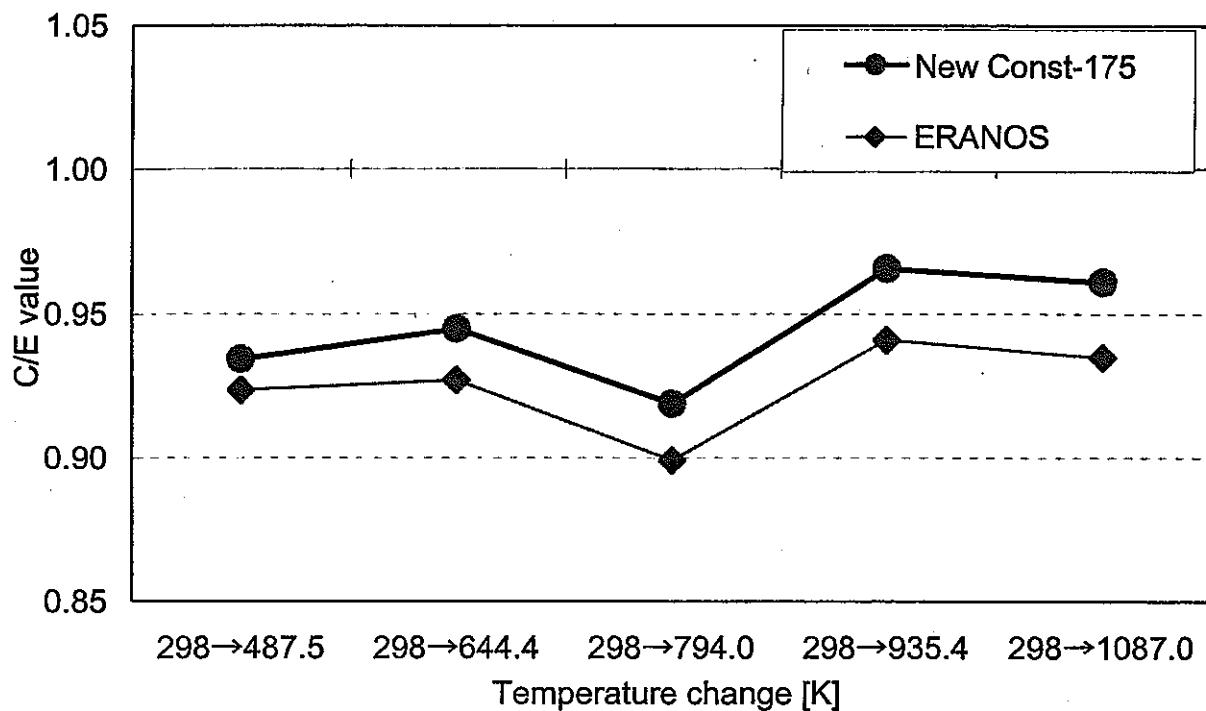


Fig.5.4-3 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS

Table 5.4-4 Results of analyses on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)

Temp. change	New Const-175	ERANOS
298→487.5	0.934	0.924
298→644.4	0.945	0.927
298→794.0	0.919	0.899
298→935.4	0.966	0.941
298→1087.0	0.961	0.935

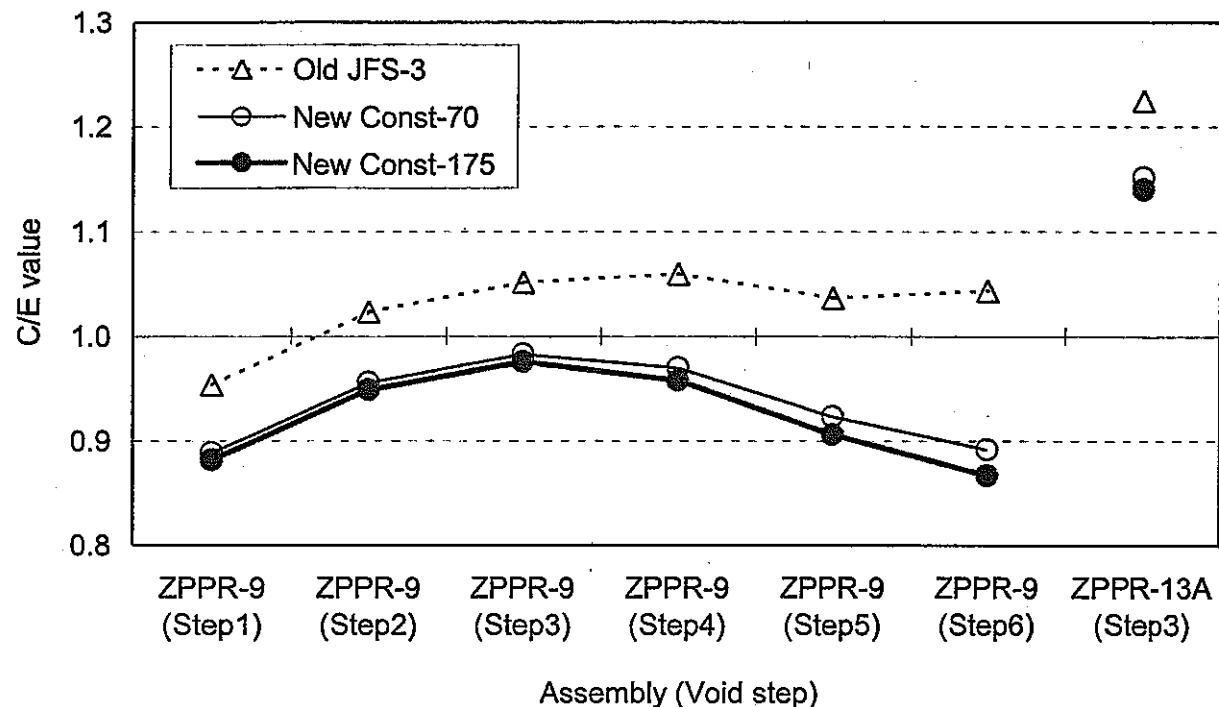


Fig.5.5-1 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.5-1 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

Na void step	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
ZPPR-9 (Step1)	0.954	0.889	0.882
ZPPR-9 (Step2)	1.024	0.956	0.949
ZPPR-9 (Step3)	1.052	0.983	0.976
ZPPR-9 (Step4)	1.060	0.970	0.958
ZPPR-9 (Step5)	1.037	0.924	0.906
ZPPR-9 (Step6)	1.044	0.892	0.867
ZPPR-13A (Step3)	1.225	1.152	1.141

Table 5.5-2 Effects to the non-leakage term of the Na void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A due to the use of the new constant sets

Assembly (Na void step)	Non-leakage term			Effect		
	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
ZPPR-9 (Step 1)	10.7	10.0	10.0	(Ref.)	0.936	0.931
ZPPR-9 (Step 2)	44.5	41.8	41.6	(Ref.)	0.938	0.934
ZPPR-9 (Step 3)	117.4	110.2	109.7	(Ref.)	0.939	0.935
ZPPR-9 (Step 4)	192.7	181.0	180.4	(Ref.)	0.940	0.936
ZPPR-9 (Step 5)	210.6	198.0	197.4	(Ref.)	0.940	0.937
ZPPR-9 (Step 6)	224.0	211.4	210.9	(Ref.)	0.943	0.941
ZPPR-13A (Step 3)	197.2	188.8	190.0	(Ref.)	0.957	0.964

Unit: pcm

Table 5.5-3 Effects to the leakage term of the Na void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A due to the use of the new constant sets

Assembly (Na void step)	Leakage term			Effect		
	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
ZPPR-9 (Step 1)	-0.7	-0.7	-0.8	(Ref.)	1.006	1.033
ZPPR-9 (Step 2)	-3.1	-3.1	-3.2	(Ref.)	1.005	1.036
ZPPR-9 (Step 3)	-8.2	-8.2	-8.4	(Ref.)	1.003	1.036
ZPPR-9 (Step 4)	-52.9	-53.0	-53.9	(Ref.)	1.002	1.018
ZPPR-9 (Step 5)	-92.3	-92.5	-93.8	(Ref.)	1.001	1.016
ZPPR-9 (Step 6)	-131.9	-132.6	-134.4	(Ref.)	1.006	1.019
ZPPR-13A (Step 3)	-76.3	-75.7	-78.7	(Ref.)	0.993	1.031

Unit: pcm

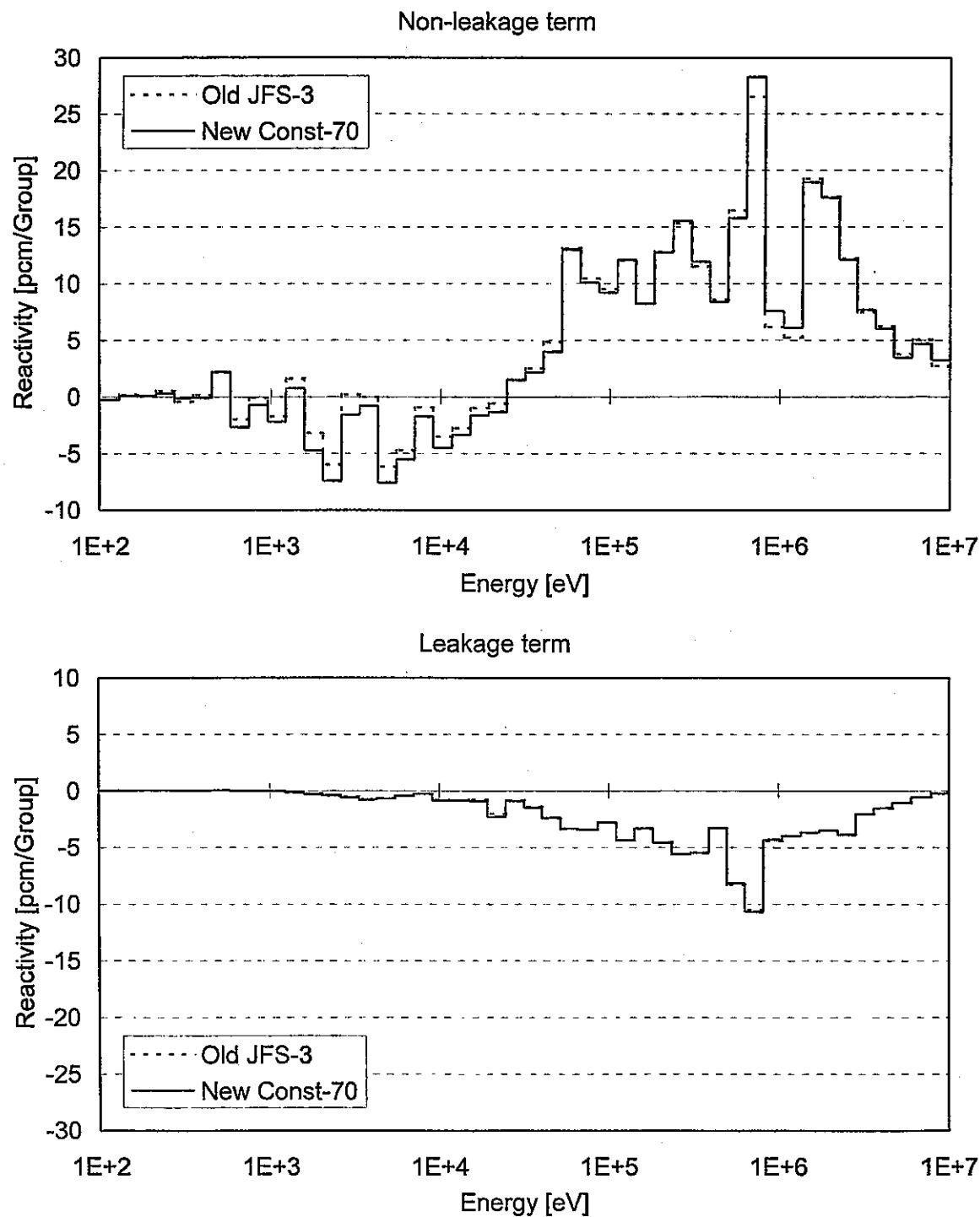


Fig.5.5-2 Comparison of energy-wise components of the sodium void reactivity of ZPPR-9 between old JFS-3 and new constant sets (Void step 5)

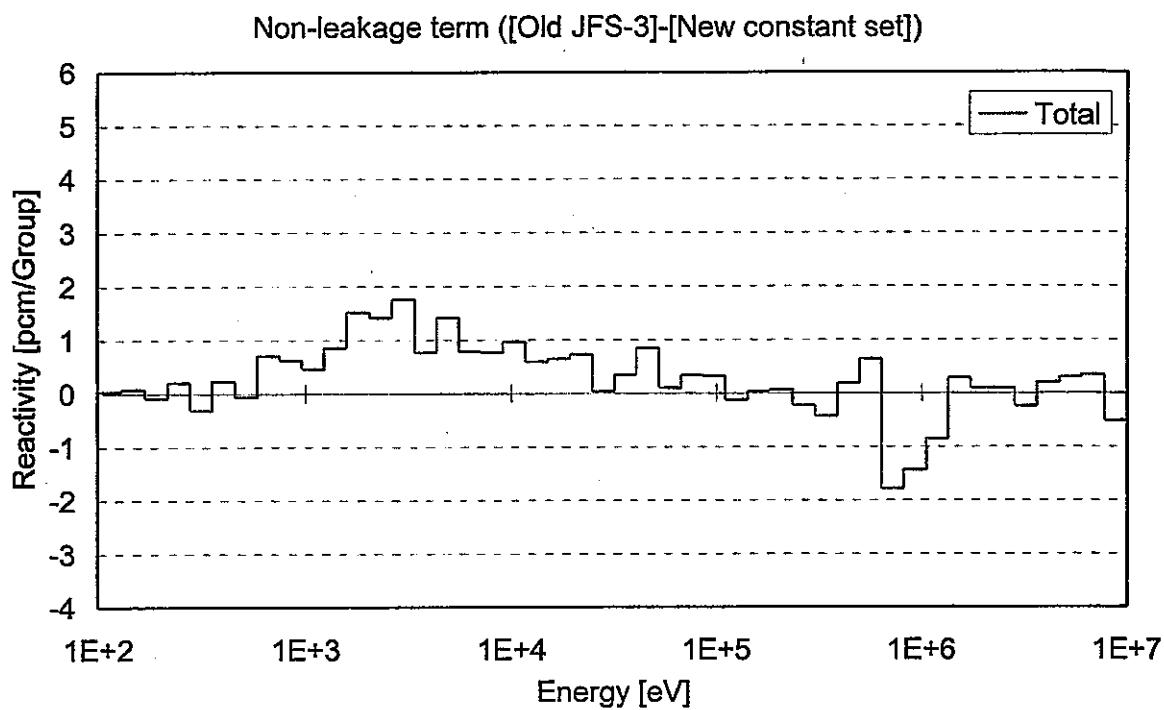


Fig.5.5-3 Absolute difference of non-leakage term of the sodium void reactivity due to the use of the new constant set (ZPPR-9 void step 5)
(Reference: Use of the new constant set)

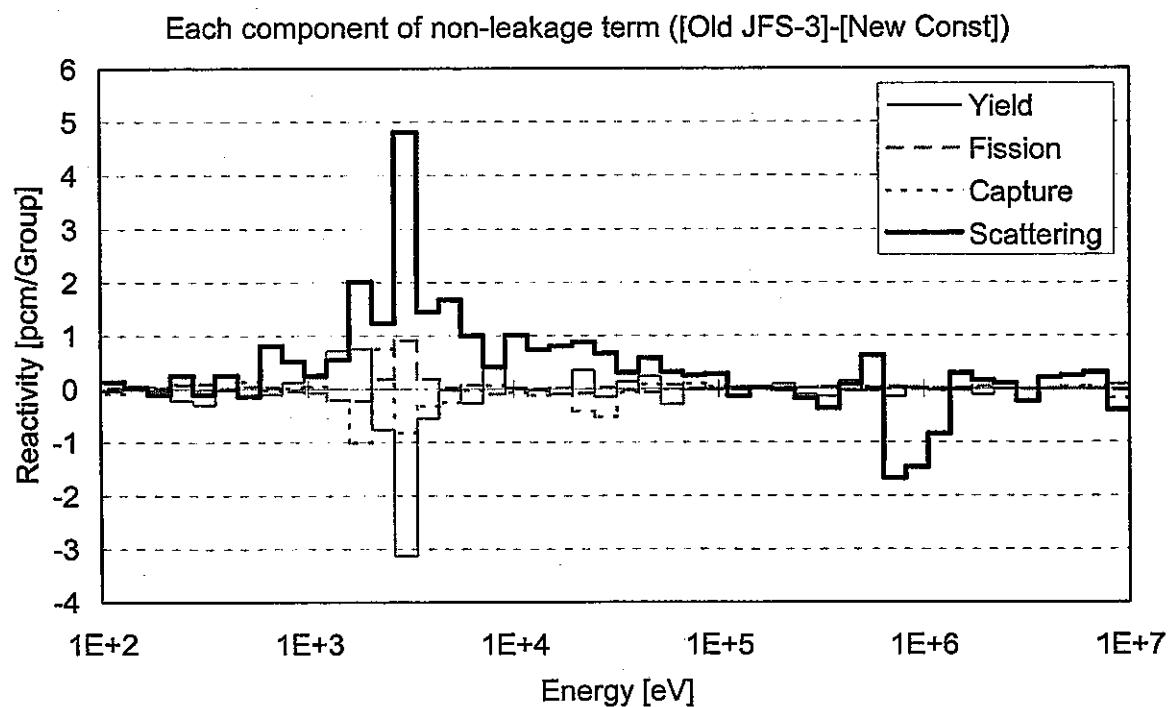


Fig.5.5-4 Absolute difference of each component of non-leakage term of sodium void reactivity due to the use of the new constant set (ZPPR-9 void step 5)
(Reference: Use of the new constant set)

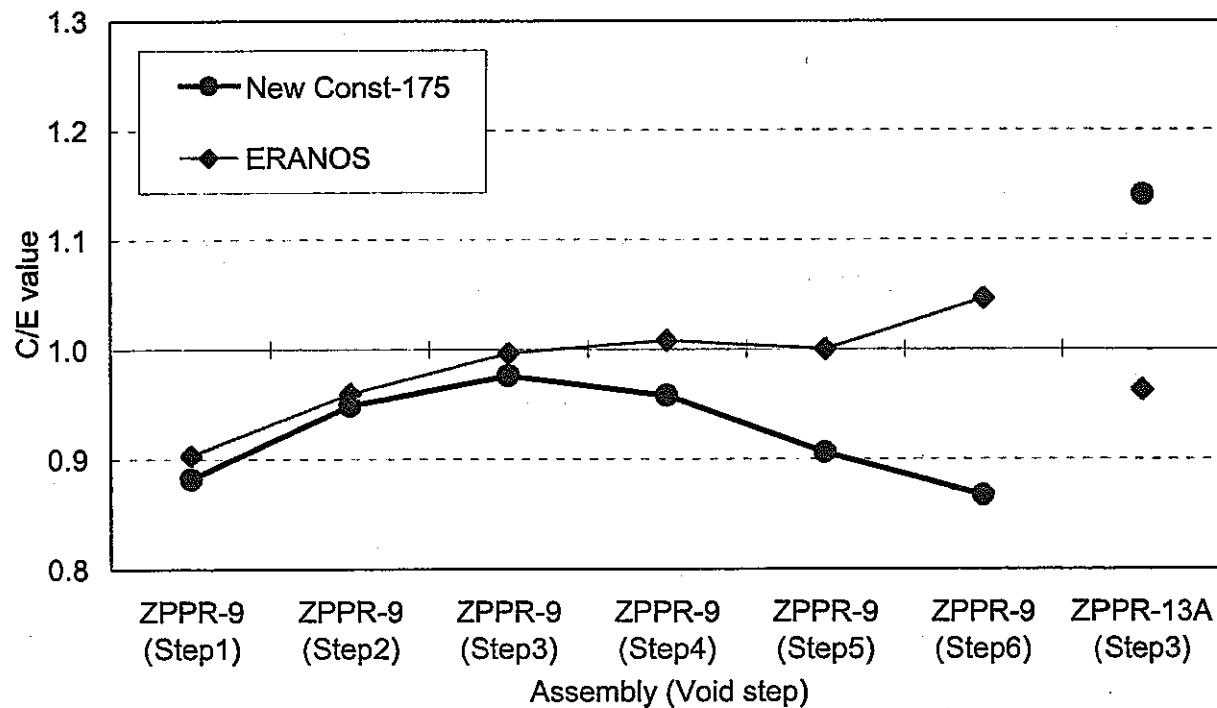


Fig.5.5-5 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS

Table 5.5-4 Results of analyses on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)

Na void step	New Const-175	ERANOS
ZPPR-9 (Step1)	0.882	0.904
ZPPR-9 (Step2)	0.949	0.960
ZPPR-9 (Step3)	0.976	0.997
ZPPR-9 (Step4)	0.958	1.008
ZPPR-9 (Step5)	0.906	1.000
ZPPR-9 (Step6)	0.867	1.047
ZPPR-13A (Step3)	1.141	0.963

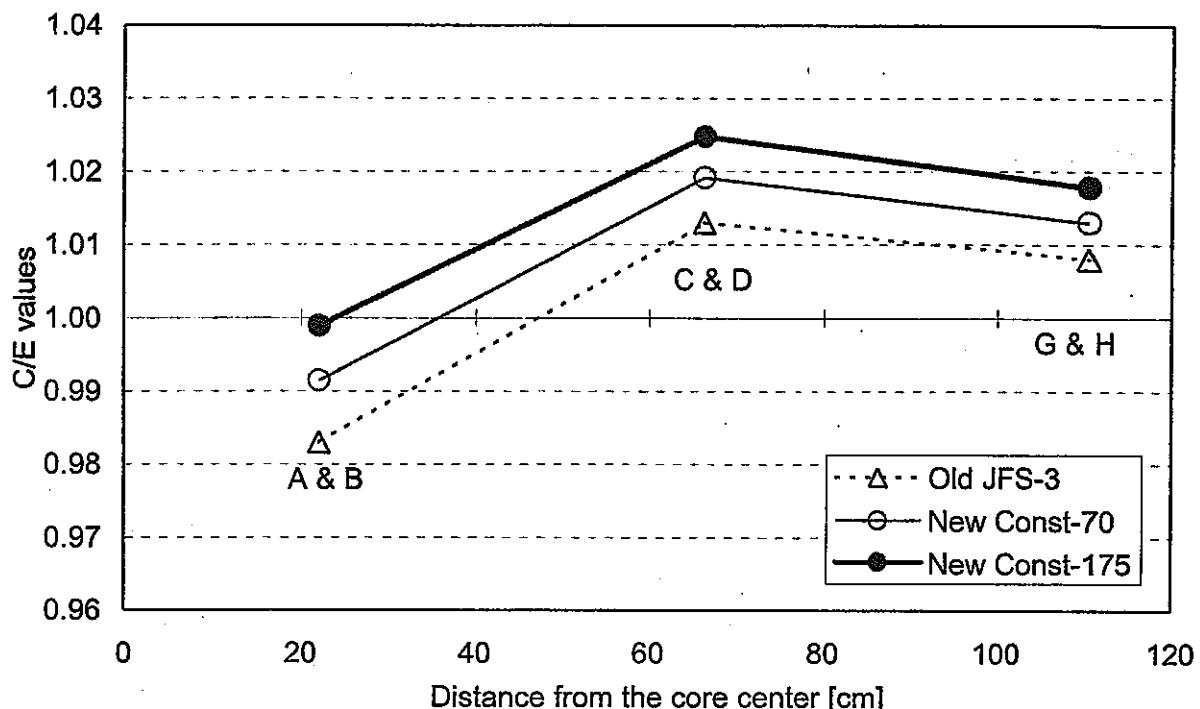


Fig.5.6-1 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2

Table 5.6-1 Effects to the pair control rod worth of ZPPR-9 due to the use of the new constant sets

Control rod pair	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
A&B	(Ref.)	1.009	1.016
C&D	(Ref.)	1.006	1.012
G&H	(Ref.)	1.005	1.010

Table 5.6-2 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using three constant sets based on JENDL-3.2 (Digital data)

Control rod pair	Distance from the core center [cm]	Old JFS-3	New Const-70	New Const-175
A&B	22	0.983	0.991	0.999
C&D	66	1.013	1.019	1.025
G&H	110	1.008	1.013	1.018

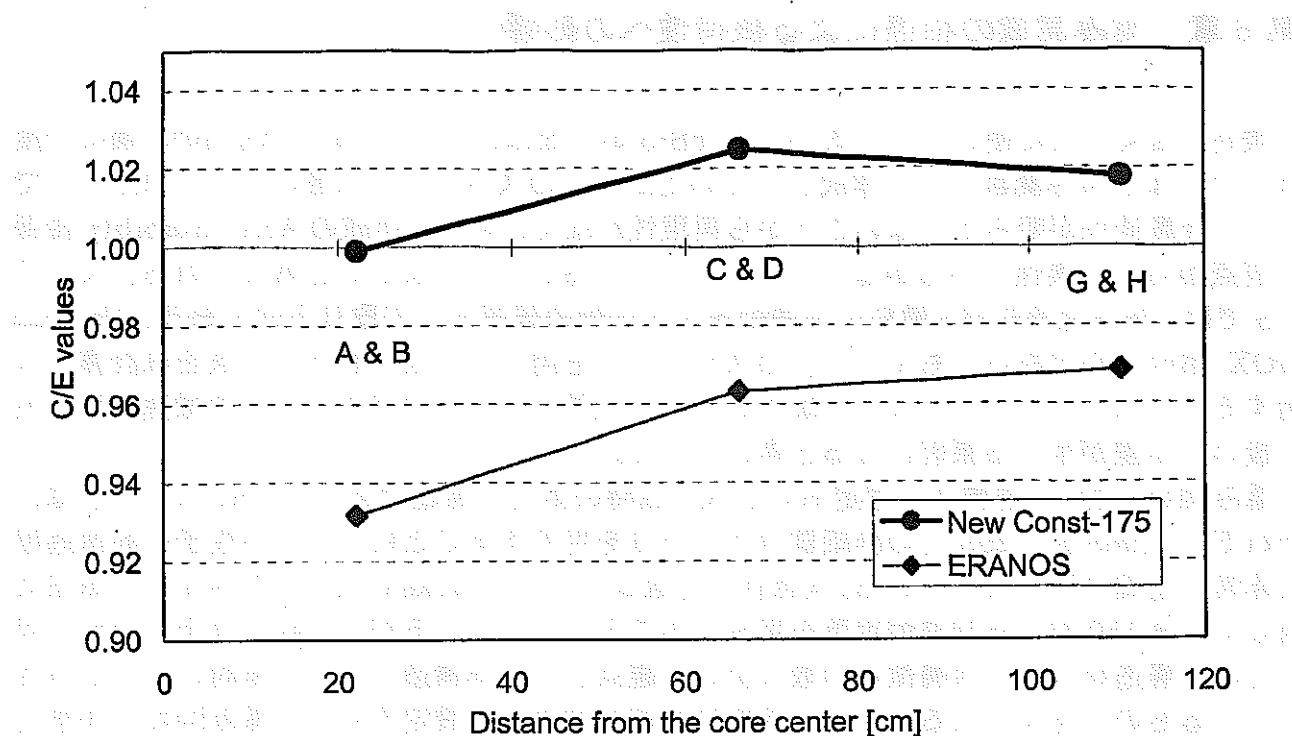


Fig.5.6-2 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS

Table 5.6-3 Results of analyses on the pair control rod worth of ZPPR-9 using the JNC new constant set and ERANOS (Digital data)

Control rod pair	Distance from the core center [cm]	New Const-175	ERANOS
A&B	22	0.999	0.932
C&D	66	1.025	0.963
G&H	110	1.018	0.969

第6章 重み関数の相違による核特性への影響

現在、広く一般に使われている70群JFS-3炉定数は、「もんじゅ」の内側炉心衝突密度スペクトルを重み関数として作成されていたが、そのスペクトルは昔に作成されたものであり、計算過程が明らかでないことから再現性がなく、炉定数作成のAccountability確保の観点からは、素性の明らかなスペクトルを用いることが望ましいと考えられる。また、F/Sでは、様々な冷却材・燃料の高速炉を実用化炉の候補として取り上げており、Na冷却MOX燃料炉心である「もんじゅ」のスペクトルを用いて作成された炉定数を核計算に適用することは、とりわけ、Na冷却MOX燃料以外の炉心における中性子の減速過程の取り扱いに誤差が生じる原因になると考えられる。

重み関数に加え、群構造の選定も炉定数作成時の重要な課題である。欧州、ロシアでは、それぞれ1,968群、299群の詳細群ライブラリを用意することにより、中性子の減速過程を非常に正確に取り扱っている。次世代炉定数システムも41keV以下のエネルギー領域に対しても9,150群の詳細群炉定数を用意することとなっているが、41keV以上の領域に対しては、構造材核種の共鳴領域の取り扱いの観点から、群構造に関する検討の余地が残されているものと考えられる。更に、適度に詳細な群構造を設定すれば、重み関数の任意性に起因する核特性の誤差が低減できる可能性もある。

そこで、まずは、Na冷却MOX燃料炉心であるJUPITERに対して、基本仕様が定まりつつある現時点の炉定数の群構造及び重み関数の違いによる解析結果への影響調査を行った。

6.1 炉定数の作成

検討対象として、以下の4つの基本炉定数を取り上げる。

- ①70群JFS-3、「もんじゅ」内側炉心衝突密度スペクトル重み(従来法: Remo correction)
- ②70群JFS-3、核分裂スペクトル+1/E重み(Fission+1/E)
- ③175群VITAMIN-J、「もんじゅ」内側炉心衝突密度スペクトル重み
- ④175群VITAMIN-J、核分裂スペクトル+1/E重み

群構造の設定は、従来通りJFS-3、VITAMIN-Jそれぞれのコントロールファイルを用いて行った。また、重み関数については、以下に示すように、NJOYのシェルスクリプト中のPRENJOYコード(NJOYの前処理プログラム)の入力において、重み関数を指定するための変数IWをそれぞれ2(ユーザー入力のスペクトルを用いる)、1(NJOYに内蔵されている核分裂スペクトル+1/E+マクスウェル分布を用いる)とした。

<ユーザー指定のスペクトルを使用する場合>

```
cat - << END_DATA | $LM1 >& $OUTLST1
jfs3      / lbtyp
9434      / matno
0 2 5 / ntemp iw np1
jendl32   / idendf
```

```
/ end of run
END_DATA
```

<NJOY 内蔵の核分裂スペクトル+1/E+マクスウェル分布を用いる場合>

```
cat - << END_DATA | $LM1 >& $OUTLST1
```

```
jfs3      / lbtyp
9437      / matno
0 1 5 / ntemp iw npl
0.0 0.0 2.0E+7 0.0 / eb tb ec tc
jend!32 / idendif
/ end of run
END_DATA
```

6.2 解析対象の選定

炉定数の性能評価のためにはベンチマークが必要であり、その問題を選定する必要がある。本研究は、Na 冷却 MOX 燃料炉心を対象としており、これまでと同様に、JUPITER の以下の核特性を対象として取り上げた。

- ①臨界性 (ZPPR-9、ZPPR-13A、ZPPR-17A)
- ②径方向反応率 (ZPPR-9、ZPPR-13A)
- ③サンプルドップラー反応度 (ZPPR-9)
- ④Na ボイド反応度 (ZPPR-9、ZPPR-13A)
- ⑤制御棒価値 (ZPPR-9)

格子計算においては、セル非均質性による影響の小さい反応率分布と制御棒価値については均質モデルを、それ以外の核特性については非均質モデルを用いた。炉心計算については、計算時間節約の観点から、制御棒価値を除いて 2 次元 RZ 体系モデルを用いて行ない、制御棒価値については 3 次元 XYZ 体系モデルを適用した。

6.3 解析結果

解析結果は、70 群 JFS-3 構造、「もんじゅ」の内側炉心衝突密度スペクトルを用いた場合を基準として、異なる炉定数使用時の解析結果の相対差または相対比で表すこととした。臨界性、サンプルドップラー反応度、制御棒価値、Na ボイド反応度の解析結果を Table 6-1 ~6-3 に、反応率分布の結果を Fig.6-1、6-2 にそれぞれ示す。Table、Figure にまとめられた結果から言えることは次の通りである。

①臨界性：70 群 JFS-3 群構造では、「もんじゅ」の内側炉心衝突密度スペクトルを用いた場合と比較して、Fission+1/E とした場合には 0.26~0.27% Δk の増加が見られるが、175 群 VITAMIN-J 構造とした場合には、重み関数による違いはほとんど見られない。

②径方向反応率：

(反応率分布)

70 群 JFS-3 構造では、重み関数を Fission+1/E とすることにより、ブランケット領域における F28 について、約 1~2% の過大評価が見られるが、175 群 VITAMIN-J 構造では、特に重み関数の相違による影響は見られない。

(反応率比)

70 群 JFS-3 構造を使用した場合には、重み関数を Fission+1/E とすることにより、F28 について 1~3% の過大評価が見られ、それ以外の反応率については変化がほとんど見られないことから、F28 関連の反応率比 (F28/F49) への影響が見られることが分かる。他方、175 群 VITAMIN-J 構造では、特に重み関数の相違による影響は見られない。

③サンプルドップラー反応度：両群構造を用いた場合においても、影響は見られない。

④Na ボイド反応度：影響は全体的に小さいが、70 群、175 群双方の群構造を採用した場合においても、ブランケット領域における Na ボイドを含む ZPPR-9 のステップ 6 において、無視できるものの、やや大き目の影響が見られる。

⑤制御棒価値：両群構造を用いた場合においても、影響は見られない。

6.4 解析結果に対する考察

70 群炉定数を使用した場合には、重み関数の違いによる核特性への影響が見られたが、175 群炉定数使用の場合はほとんど見られなかった。ここでは、その原因について考察する。

Fig.6-3、6-4 は、「もんじゅ」内側炉心衝突密度スペクトル及び Fission+1/E スペクトルを用いて作成されたそれぞれの炉定数使用の下、70 群 JFS-3 構造と 175 群 VITAMIN-J 構造を用いた場合の、ZPPR-9 均質 Single column fuel (SCF) 領域の断面積に対する絶対差及び相対差を表すが、70 群構造では Fission+1/E スペクトルを用いた作成された炉定数を使用した場合、特に、100keV 以上の領域において、除去断面積の低下が見られるが、175 群構造とした場合には、そのような傾向はほとんど見られず、重み関数の違いによる核特性への影響がほとんど見られない原因となっていることが分かる。なお、41keV 以下は PEACO による取り扱いなので、重み関数の違いによる影響は現れていない。

除去断面積の差の原因是、Fig.6-5 に見られるように、100keV 以上では「もんじゅ」内側炉心衝突密度スペクトルよりも Fission+1/E スペクトルの方がエネルギーに対するスペクトルの勾配が小さいが、100keV 以下では逆転している。なお、Fig.6-5 では、NJOY で用いられた Fission+1/E スペクトルを得ることができなかつたため、適当な核分裂 (Fission) スペクトルを選び、2 種類の尺度で 1/E スペクトルと足し合わせている。また、Fig.6-5 の上下 2 つの図は、スペクトルの単位が異なっており、上の図は単位エネルギー (eV) 当たりになっているのに対し、下の図は単位レサジー当たりとなっている。通常、計算により得られる中性子スペクトルは、群当たりあるいは単位レサジー当たりとなっているが、炉定数作成時はエネルギーによる積分が行なわれる所以、炉定数作成用の重み関数を計算する際には、単位エネルギー当たりに変換する必要がある。

6.5 まとめ

70群 JFS-3 群構造を使用した場合には、重み関数の違いにより、臨界性において約 0.3% の差が、また、F28 反応率分布、及び、F28/F49 反応率比に対して数%の影響が見られたが、175群 VITAMIN-J 構造を採用した場合には、重み関数の違いによる差はほとんど見られない。従って、基本炉定数としての 175 群 VITAMIN-J の群構造は、Na 冷却 MOX 燃料炉心の解析においては、非常に有望な次世代炉定数の仕様であると判断することができる。他の炉型に対しても、見られないことが明らかとなれば、VITAMIN-J 群構造は、計算機使用容量の観点から適度な群数を有しており、炉定数作成過程において用いた重み関数の任意性を排除できることから、F/S における万能な炉定数として位置付けることが出来ると考えられる。

Table 6-1 Comparison in results of analysis on the criticality of JUPITER between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set

Assembly	New constant set-70	New constant set-175
ZPPR-9	+0.270	+0.023
ZPPR-13A	+0.265	+0.031
ZPPR-17A	+0.260	+0.028

*: Comparison between by fission+1/E and by collision density in the inner core of MONJU
 (Reference: collision density in the inner core of MONJU)

Table 6-2 Comparison in results of analysis on the sample Doppler reactivity of ZPPR-9 between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set

Temperature change	New constant set-70	New constant set-175
298→1087.0	0.997	0.999

*: Comparison between by fission+1/E and by collision density in the inner core of MONJU
 (Reference: collision density in the inner core of MONJU)

Table 6-3 Comparison in results of analysis on the sodium void reactivity of ZPPR-9 and ZPPR-13A between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set

Assembly (Void step)	New constant set-70	New constant set-175
ZPPR-9 (Step 1)	1.002	1.002
ZPPR-9 (Step 2)	1.002	1.002
ZPPR-9 (Step 3)	1.002	1.002
ZPPR-9 (Step 4)	1.003	1.003
ZPPR-9 (Step 5)	1.004	1.006
ZPPR-9 (Step 6)	1.007	1.016
ZPPR-13A (Step 3)	1.006	1.004

*: Comparison between by fission+1/E and by collision density in the inner core of MONJU
 (Reference: collision density in the inner core of MONJU)

Table 6-4 Comparison in results of analysis on the pair control rod worth of ZPPR-9 between different weighting functions for the preparation of the nuclear constant set

Control rod pair	New constant set-70	New constant set-175
A&B	0.995	1.001
C&D	0.994	1.000
G&H	0.990	0.996

*: Comparison between by fission+1/E and by collision density in the inner core of MONJU
 (Reference: collision density in the inner core of MONJU)

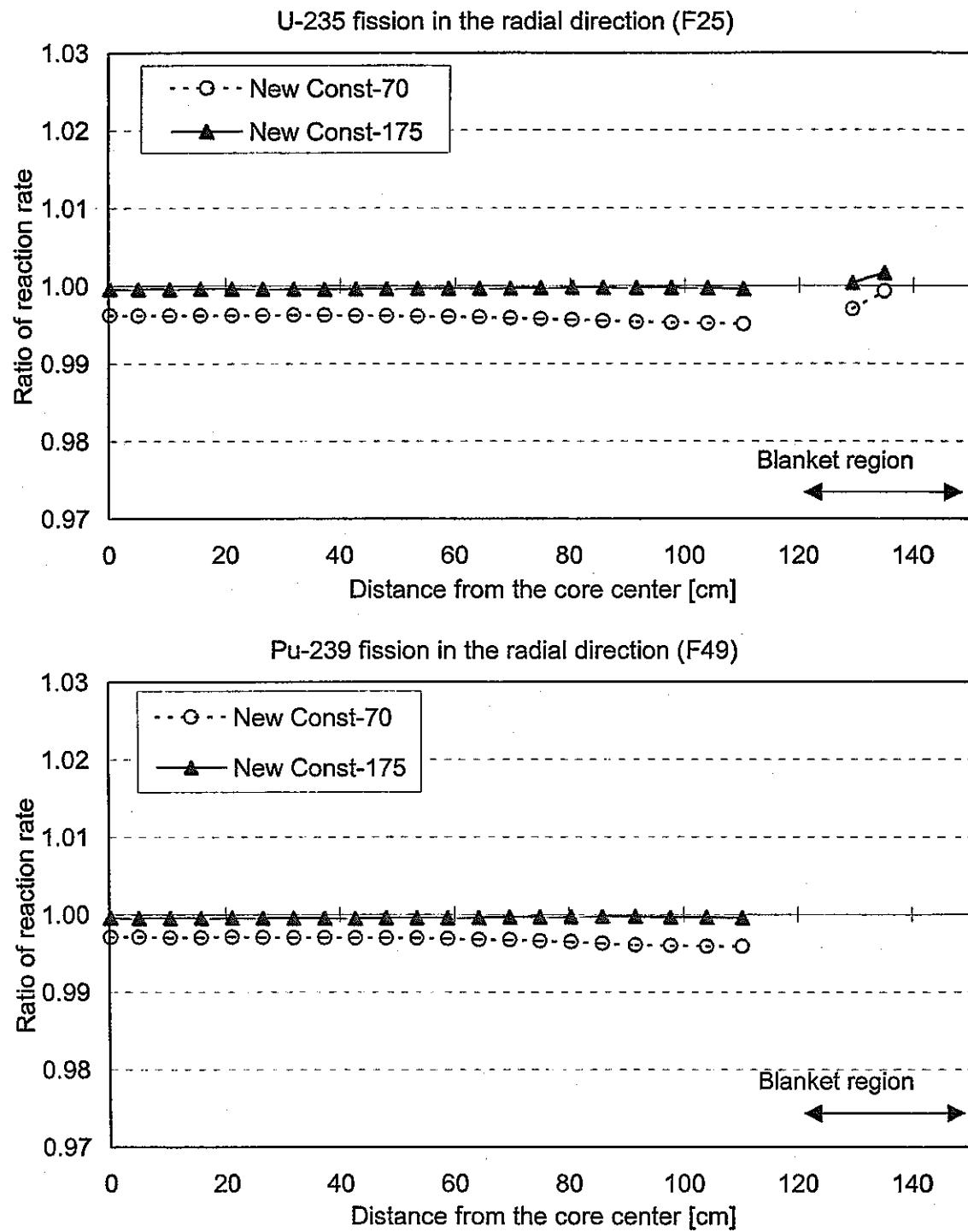


Fig.6-1(1) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-9 between different weight functions for the preparation of the constant set (F25 and F49)
 [Ratio of fission+1/E results to the FBR Spectrum results]

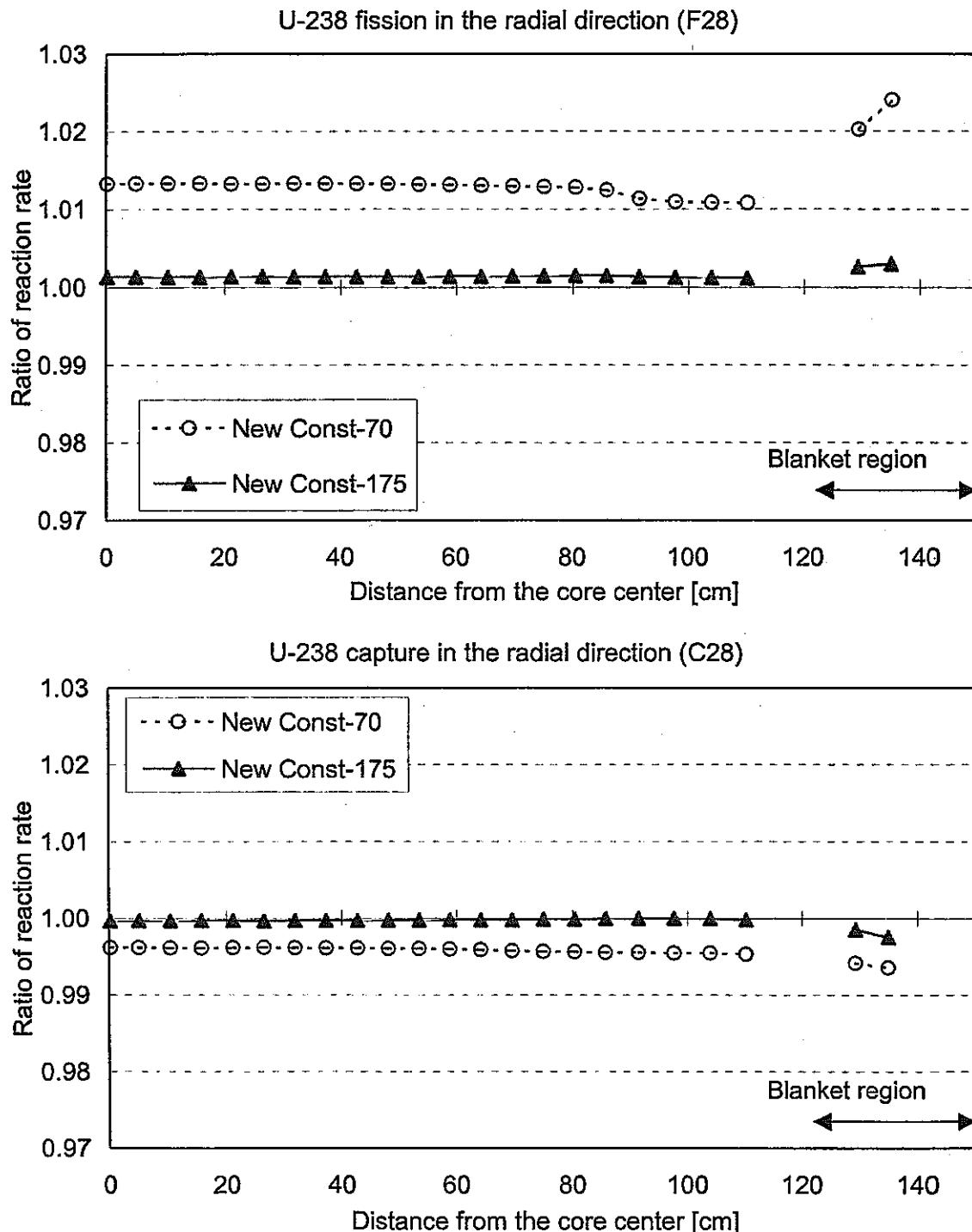


Fig.6-1(2) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-9 between different weight functions for the preparation of the constant set (F28 and C28)
 [Ratio of fission+1/E results to the FBR Spectrum results]

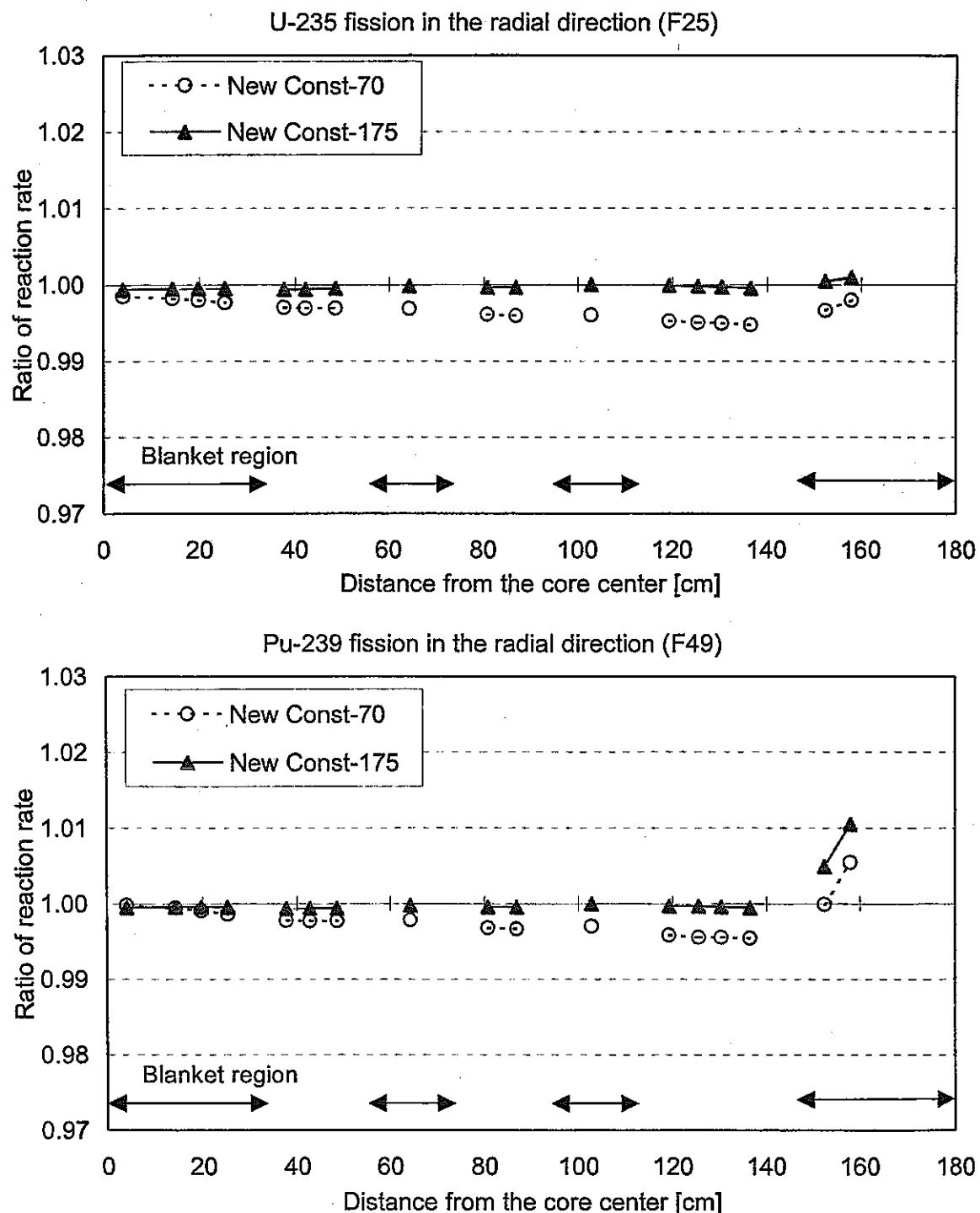


Fig.6-2(1) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-13A between different weight functions for the preparation of the constant set (F25 and F49)
 [Ratio of fission+1/E results to the FBR Spectrum results]

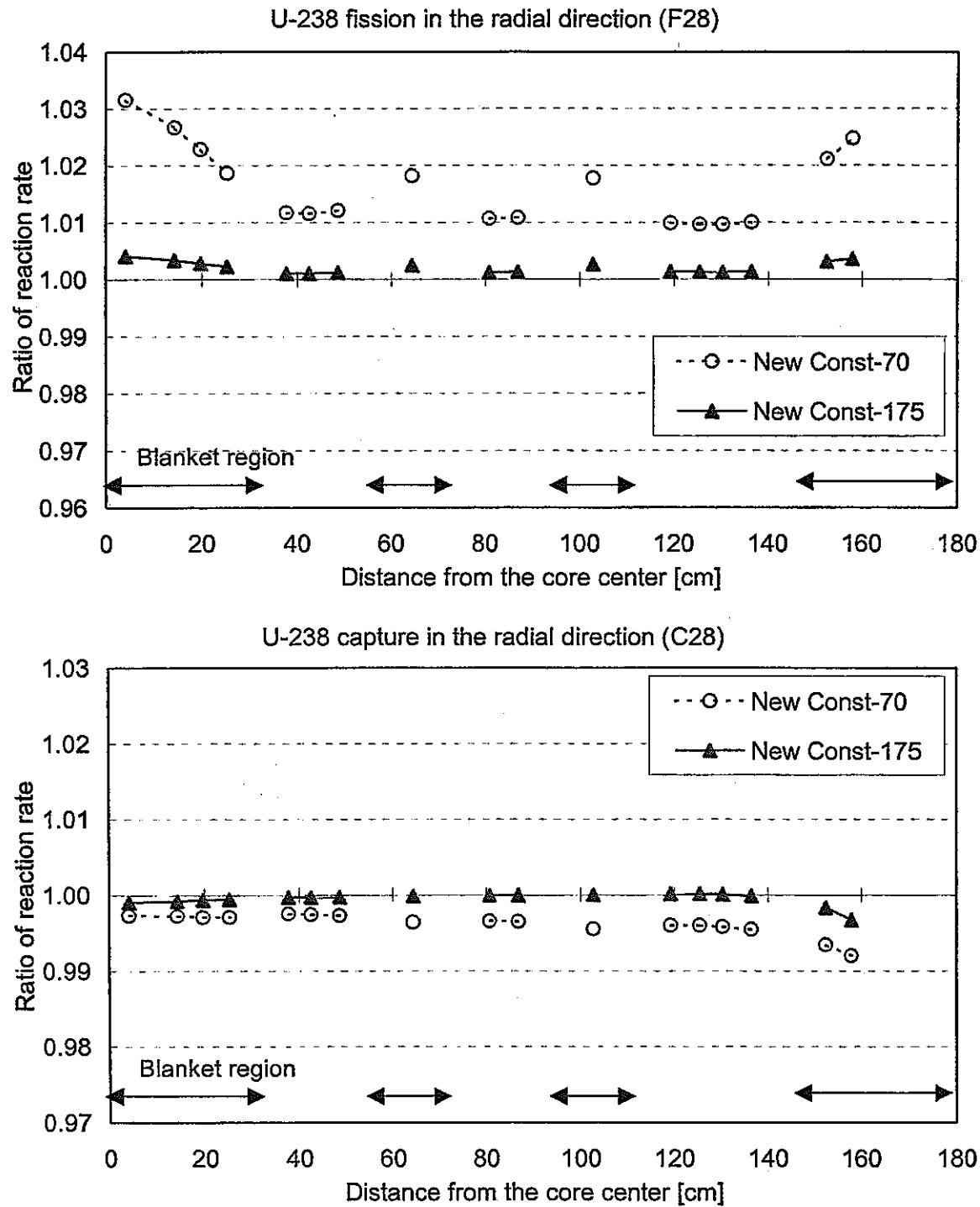


Fig.6-2(2) Comparison in results of analysis on the reaction rate distribution in the radial direction of ZPPR-13A between different weight functions for the preparation of the constant set (F28 and C28)
[Ratio of fission+1/E results to the FBR Spectrum results]

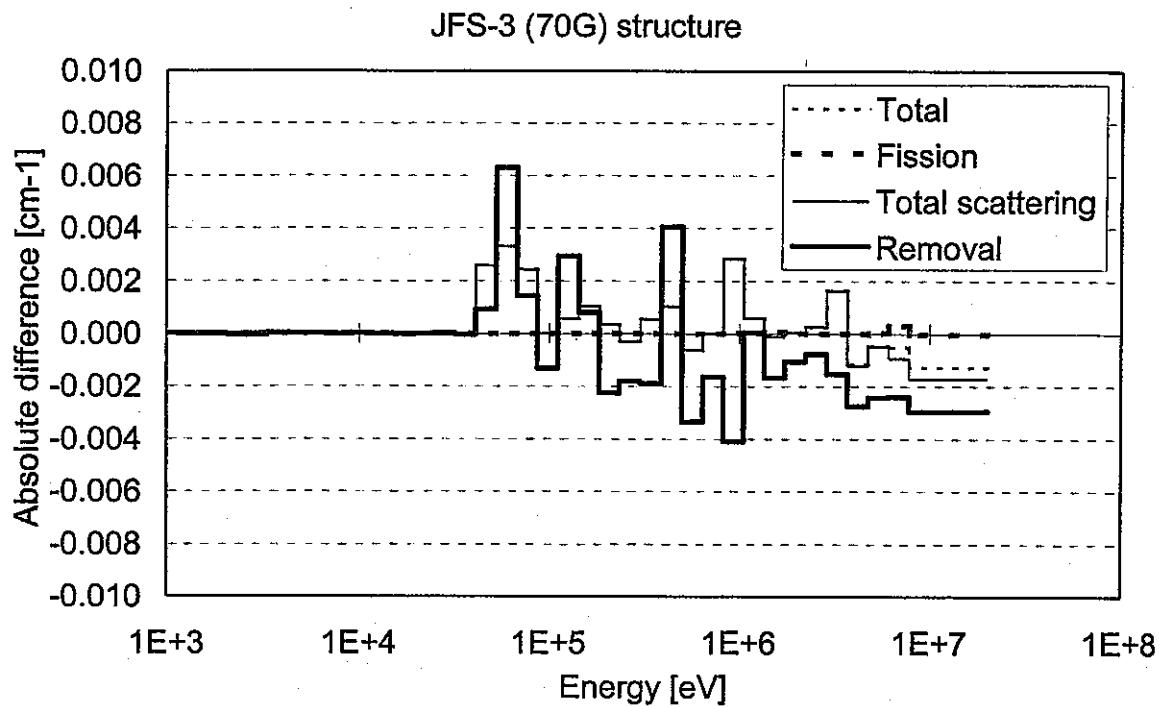


Fig.6-3 Absolute difference of the macroscopic cross sections of the ZPPR-9 SCF using the constant set produced by the fission+1/E weight function from those using the constant set produced by the FBR spectrum weight function in the JFS-3 70-group structure

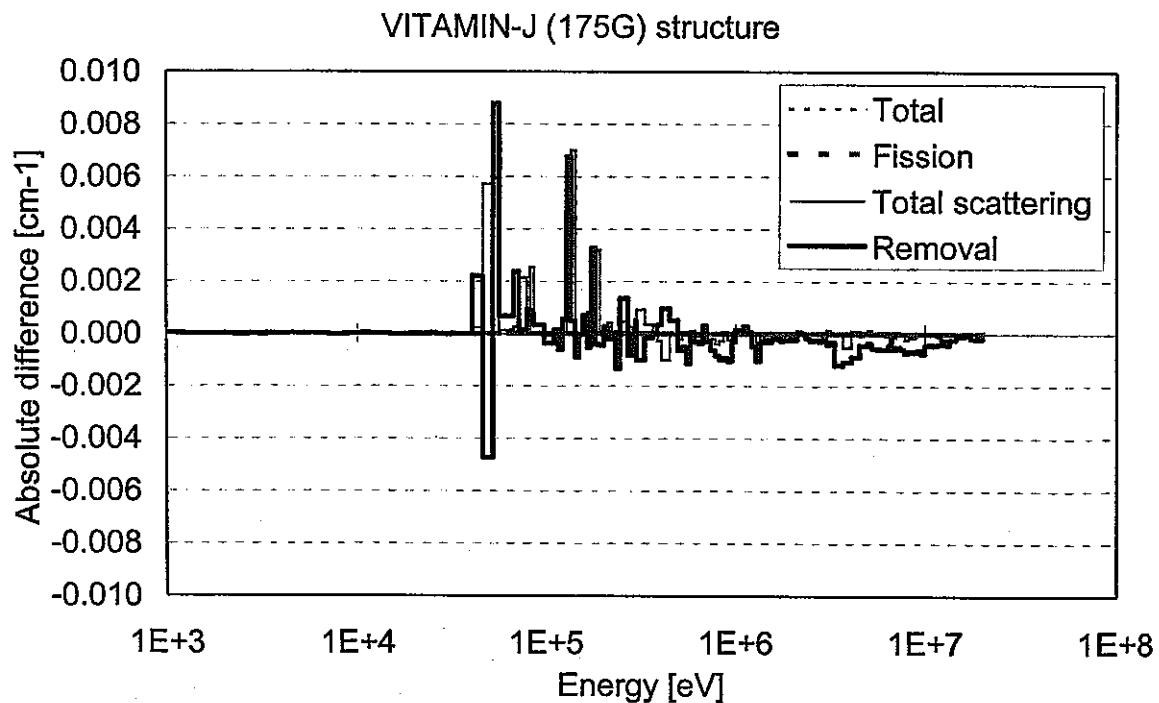


Fig.6-4 Absolute difference of the macroscopic cross sections of the ZPPR-9 SCF using the constant set produced by the fission+1/E weight function from those using the constant set produced by the FBR spectrum weight function in the VITAMIN-J 175-group structure

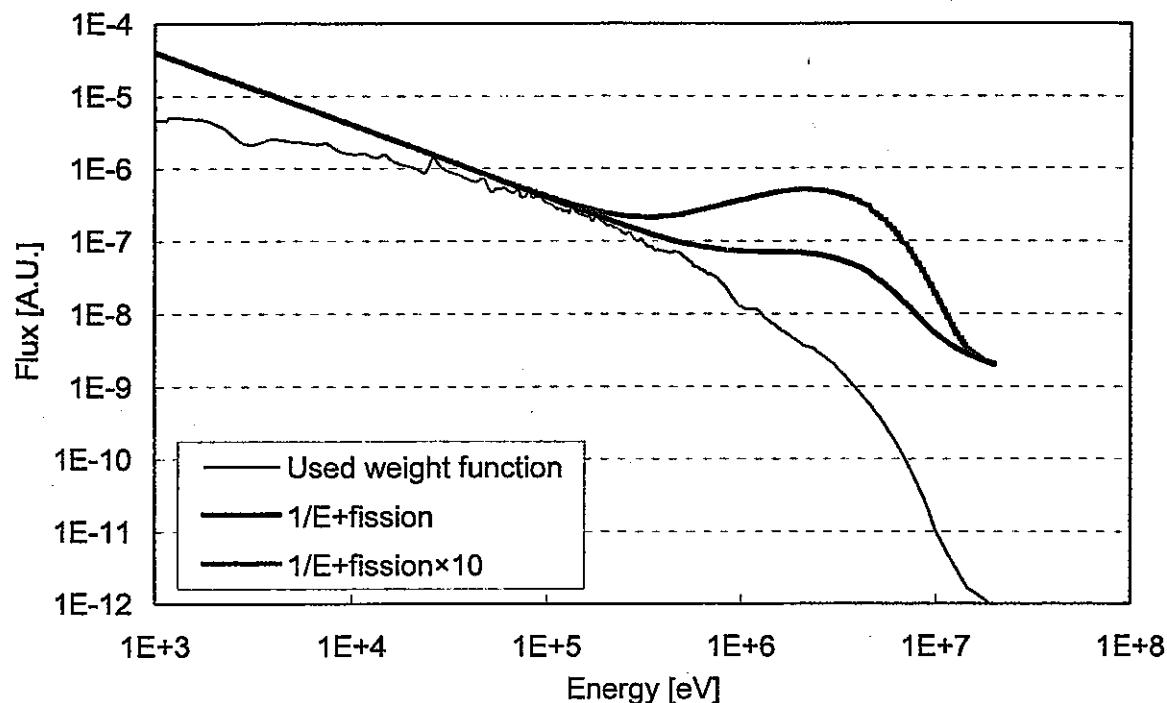


Fig.6-5(1) Comparison between the collision density of the Monju inner core used for production of constant sets and $1/E+fission$ spectrum
(Unit: factor $\times n/cm^2 \cdot sec \cdot eV$)

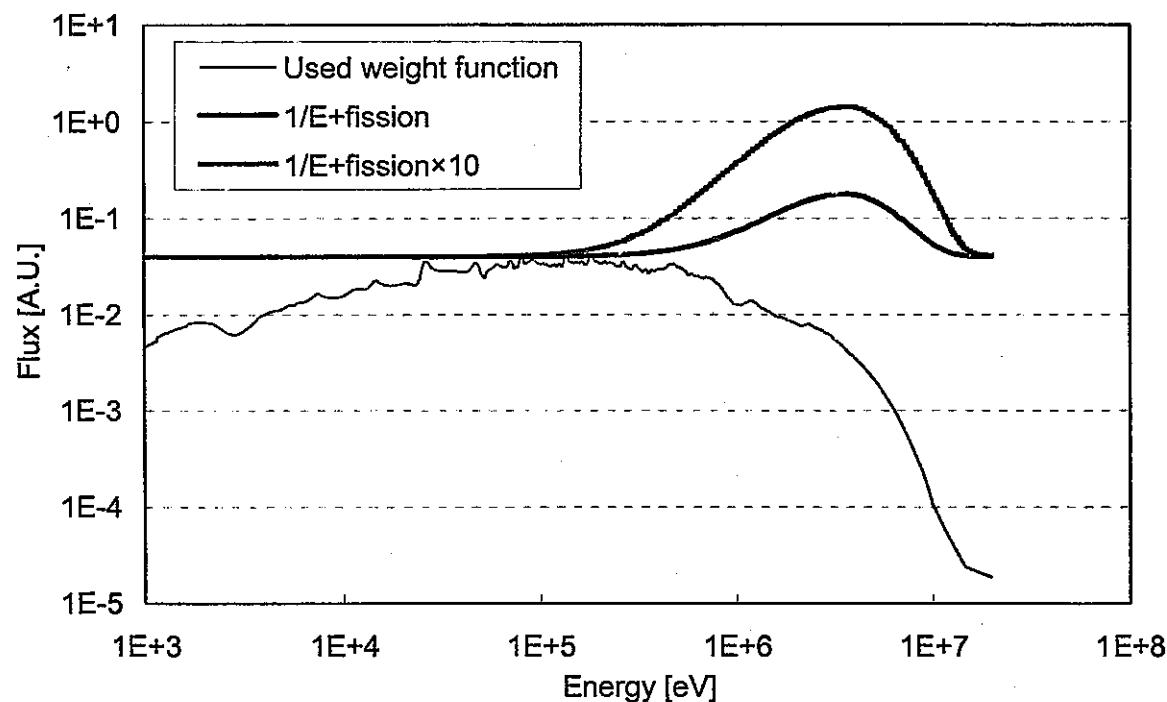


Fig.6-5(2) Comparison between the collision density of the Monju inner core used for production of constant sets and $1/E+fission$ spectrum
(Unit: factor $\times n/cm^2 \cdot sec \cdot lethargy$)

第7章 結言

次世代炉定数の詳細設計のための知見を収集することを目的として、炉定数処理システムを用いて新たに炉定数作成し、JUPITER 臨界実験解析に適用することにより、解析精度向上の可能性について検討を行なった。

新炉定数と従来の JFS-3 炉定数より得られた実効マクロ断面積を比較したところ、従来の JFS-3 炉定数は散乱除去断面積を過小評価していることが分かった。それに起因して、中性子スペクトルも特に 3keV 以下で過小評価となっている。それに対し、新炉定数を用いることにより得られた中性子スペクトルは、連続エネルギーモンテカルロ法により得られた結果とより良い一致が見られたことから、新炉定数の方がより高い信頼性を有すると判断することができる。

従来の JFS-3 炉定数と新炉定数を用いることによる JUPITER の諸核特性解析結果を比較したところ、新炉定数使用による影響が顕著な核特性は、3keV 以下に大きな感度を有するブランケット領域における F25 及び F49 核分裂反応率、ドップラー反応度、Na ポイド反応度であり、新炉定数の採用により、それぞれの解析結果を改善できることができた。他の核特性に対しては、新炉定数使用による影響が見られなかったが、散乱除去断面積の差は全エネルギー範囲に及んでおり、JUPITER 以外の解析においては、核特性の差が現れる可能性は大いにある。原因のメカニズムを解明する上では、感度解析が有力である。

基本炉定数としての 175 群 VITAMIN-J の群構造は、核特性評価精度の向上に加え、重みスペクトル依存性がほとんど見られなかったことから、JUPITER 実験が模擬している Na 冷却 MOX 燃料炉心の解析においては、非常に有望な次世代炉定数の仕様であると判断することができる。Na 冷却 MOX 燃料炉心以外の炉型に対しては、散乱除去断面積の差に起因して、重み関数が異なることから、今回作成した新炉定数を解析に適用することは誤差要因となるが、第 6 章に示したように VITAMIN-J の群構造はその適用により重み関数の任意性による誤差を大きく低減できたことから、Na 冷却 MOX 燃料炉心以外の炉心解析へ適用においても、良い精度を有するものと期待できる。

今後の課題として、以下が挙げられる。

①レファレンスとなる炉定数の作成

高速炉の解析では、散乱の取り扱いにおいて、Narrow Resonance 近似 (NR 近似) の成立が仮定されているが、それを満たすための最も単純な方法は炉定数の群構造を詳細にすることである。重核の弾性散乱による平均レサジー増加程度のレサジー幅を持った炉定数を用意すれば、散乱によりほぼ下方の群に遷移することになり、中性子減速の取り扱いに関して「基準」となるものと考えることができる。

また、現在炉定数作成用の重み関数として用いられている「もんじゅ」内側炉心衝突密度スペクトルは、算出のためのデータの緒言が不明であり、使用された計算コードも実行できる状況ではないことから再現不可能なものであり、今後の炉定数の品質保証の観点か

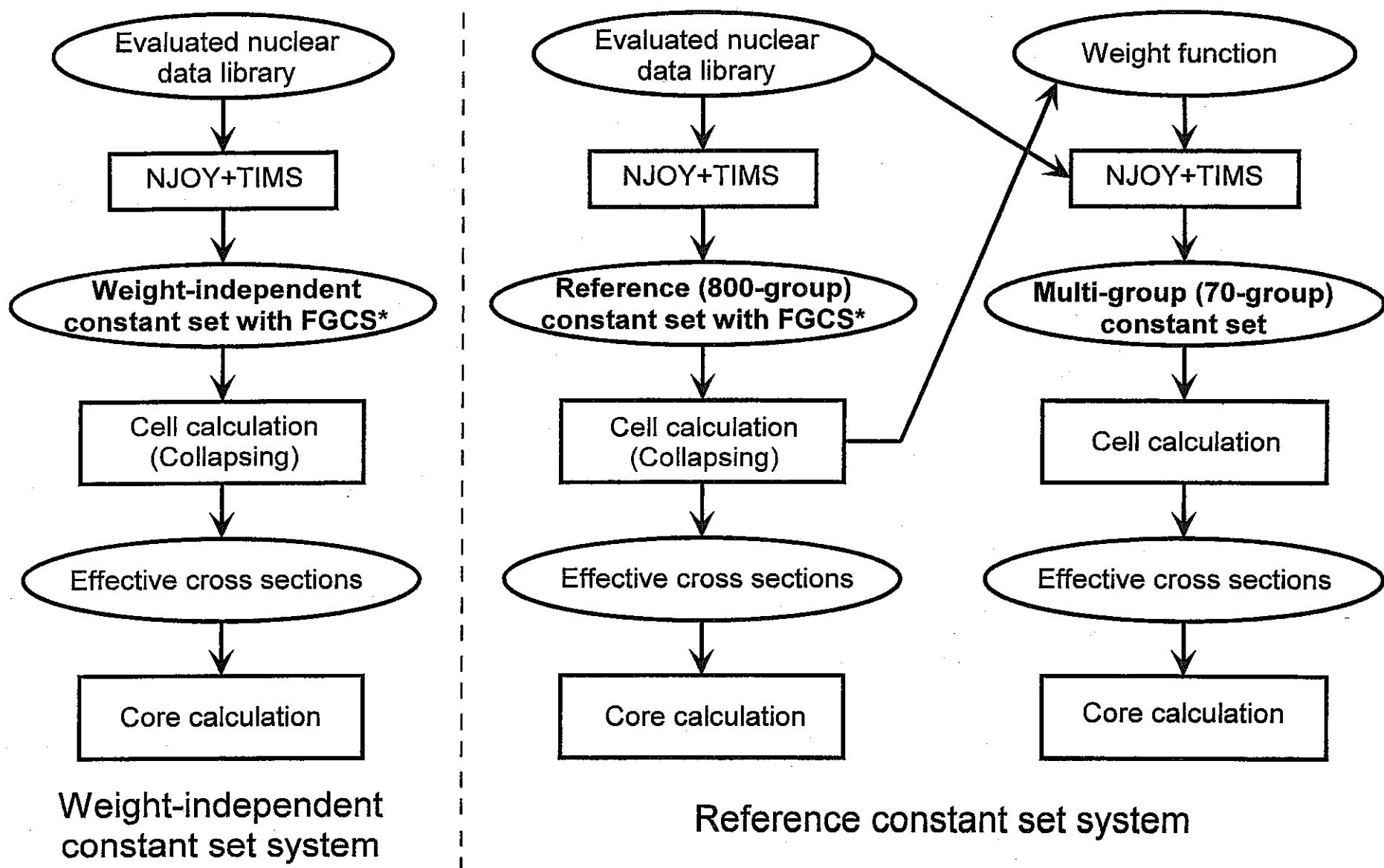
らも、重み関数を計算できるようなシステム整備が必要であろう。更に、F/S における炉心設計研究では、対象となるあらゆる炉型概念に対する炉定数の作成が必要となることが予想され、その場合は炉定数を作成するための重み関数が不可欠となる。その意義からも、中性子減速を忠実に考慮することの可能なレファレンスとなる詳細さを持つ炉定数を作成する必要がある。

基準炉定数(Reference constant set)とそれに関連する計算スキームを Fig.7-1 に示す。図に示すように、基準炉定数を用意すれば、基準炉定数のみを用いることによる詳細な臨界実験解析や、設計計算用の炉定数を新たに作成し、それに基づく炉心解析が可能となる。基準炉定数の具体象については、第 2 章に示したように、重核の共鳴を精度良く取り扱うための詳細群炉定数と、詳細群炉定数の存在しないエネルギー範囲に限定して、群構造が詳細化された 700~800 群の基本炉定数を用意することにより、合理的化が可能であると考えられる。

②炉心計算の群構造の設定

炉心計算の群構造は、必ずしも基本炉定数のものと一致させる必要性はなく、マクロセルあるいはスーパーセルを含めた格子計算の段階での縮約が効率的である。また、基本炉定数を 700~800 群とした場合には、炉心計算が収束しない可能性は大いにある。そこで、計算機資源及び炉心計算の収束性の観点から適切な群構造を設定するとともに、少数组縮約による誤差の評価を行う必要がある。

-63-



* FGCS: Fine Group Constant Set

Fig. 7-1 The concept of the next generation nuclear constant set system

参考文献

- (1) 長谷川明、中川正幸、石黒幸雄：大型高速炉の核特性解析法の検討、JAERI-memo 7673 (1978年4月)。
- (2) R.E.MacFarlane and D.W.Muir, The NJOY Nuclear Data Processing System Version 91, LA-12740-M Manual, UC-413 (Oct. 1994).
- (3) H.Takano, Y.Ishiguro, Y.Matsui, TIMS-1 : A Processing Code for Production of Group Constants of Heavy Resonant Nuclei, JAERI 1267 (Mar. 1980).
- (4) 金子邦男, 次世代炉定数の整備, JNC TJ9400 2000-005, 2000年3月.
- (5) 金子邦男, 次世代炉定数の整備(II), JNC TJ9400 2001-007, 2001年3月.
- (6) 高野秀機、金子邦男：高速炉用群定数セット JFS-3-J2 の改訂版, JAERI-M 89-141 (1989年).
- (7) T.Tone and S.Katsuragi, PROF GROUCH-G A Processing Code for Group Constants for a Fast Reactor, JAERI 1192 (Nov. 1969).
- (8) 高野秀機、長谷川明、金子邦男、速中性子エネルギー領域群定数作成コード・システム：TIMS-PGG, JAERI-M 82-072 (1982年6月)。
- (9) Nakagawa T., Shibata K. et al.: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision 2: JENDL-3.2", J. Nucl. Sci. Technol., 32, 1259 (1995).
- (10) P.F.Rose and C.L.Dunford, ENDF-102 Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File ENDF-6, BNL-NCS 44945 Rev.10/91 (Jul. 1990 revised Oct. 1991).
- (11) D.E.Cullen, Program LINEAR (version 79-1): linearize data in the evaluated nuclear data file/version B (ENDF/B) format, UCRL-50400 (Oct. 1979).
- (12) D.E.Cullen, Program RECENT (version 79-1): reconstruction of energy-dependent neutron cross sections from resonance parameters in the ENDF/B format, UCRL-50400 Vol.17, Part C (Oct. 1979).
- (13) D.E.Cullen, Program SIGMA1 (version 79-1): Doppler broaden evaluated cross sections in the evaluated nuclear data file/version B (ENDF/B) format, UCRL-50400 Vol.17, Part B, Rev.2 (Oct. 1979).
- (14) 岩井武彦, 杉野和輝, 石川眞, ZPPR-9 炉心ベンチマーク問題の整備, PNC TN9410 98-079, 1998年7月.
- (15) 森貴正、中川正幸: MVP/GMVP 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード, JAERI-Data/Code 94-007 (1994年8月).
- (16) 石川眞、斎藤正幸、佐藤若英、他: 核設計基本データベースの整備(II) - JUPITER-I 実験データ集 -, PNC TN9410 93-010 (1992年12月)。
- (17) 杉野和輝、石川眞、斎藤正幸、他: 核設計基本データベースの整備(VI) - JUPITER-II 実験データ集 -, PNC TN9450 96-052 (1996年10月)。
- (18) 三田敏男、白方敬章、早瀬保、他: JUPITER-III 実験データ集, PNC TN9410 90-018 (1990年3月)。
- (19) Nordborg C., Salvatores M.: "Status of the JEF Evaluated Data Library", Proc. of Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, May 9-13, 1994, Vol.2, P.680 (1994).
- (20) Grimstone M. J., Rimpault G. et al.: "The Geometrical Treatment in the New

- European Cell Code ECCO," Top. Mtg. on Advances in Nuclear Engineering Computation and Radiation Shielding, Santa Fe, New Mexico (1989).
- (21) Doria J. Y., McCallien C. W. et al.: "ERANOS1: The Advanced European System of Codes for Reactor Physics Calculation," Int. Conf. on Mathematical Methods and Super Computing in Nuclear Applications, Karlsruhe, Germany (1993).
- (22) Sugino K. and Rimpault G.: "Analyses of the JUPITER Fast Reactor Experiments Using the ERANOS and JNC Code Systems," ANS Int. Top. Mtg. on Advances in Reactor Physics and Mathematics and Computation into the Next Millennium (PHYSOR 2000), May 7-12, 2000, Pittsburgh, Pennsylvania, X.E.-1 (2000).

謝辞

本研究にあたり、(株)総合技術情報機構の金子邦男氏には、炉定数処理システム及びそれを活用するための格子計算システムを整備していただき、更に、それらの使用法と次世代炉定数に関する概念構築について大変親切にご指導いただきました。また、原子力システム(株)の佐藤若英氏には、長年にわたる核特性解析システムの整備経験を生かして、解析ツールの作成に多大なご助力をいただきました。謹んで、ここにお礼申し上げます。