

JAERI-Tech
2000-025



JP0050346



FCA XIX-2炉心データによる炉定数調整
— 平成11年度報告書 —
(共同研究)

2000年3月

安藤真樹・飯島 進・石川 眞*・岩井武彦*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

FCA XIX-2炉心データによる炉定数調整
—平成11年度報告書—
(共同研究)

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部
安藤 真樹・飯島 進・石川 眞**・岩井 武彦*

(2000年2月7日受理)

新型燃料を用いた高速炉の研究の一環として、窒化物燃料高速炉の模擬実験を高速炉臨界実験装置 (FCA) を用いて行った。本研究では、FCA XIX-2炉心において測定した臨界性に関するデータを炉定数調整に反映させ、1000MWe級の実機窒化物燃料炉心の臨界性に関する設計精度を評価した。その結果、従来の統合炉定数に本実験結果を加えることにより、実機に対する設計精度が0.1%向上した。また、数MeV付近での ^{14}N の捕獲断面積の不確かさが設計精度に大きく影響を及ぼすことが分かった。

本報告書は、核燃料サイクル開発機構との共同研究の成果である。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

** 核燃料サイクル開発機構

* 原子力システム株式会社

Adjustment of Nuclear Data Using Criticality Data of FCA XIX-2 Core
(Joint Research)

Masaki ANDOH, Susumu IJIMA, Makoto ISHIKAWA** and Takehiko IWAI*

Department of Nuclear Energy System
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 7, 2000)

As a research on FBR with new types of fuel, a series of experiments on a nitride fuel fast reactor was carried out at Fast Critical Assembly (FCA). The criticality data measured in the FCA XIX-2 core was applied to the adjustment of the nuclear data library and the calculation accuracy of the adjusted library for criticality of a 1000MWe nitride fuel FBR core was evaluated. By adding the present measurement to the former unified cross-section set, the calculation accuracy on the criticality of the nitride fuel FBR core was improved by 0.1%. It was found that the uncertainty of the capture cross section of ^{14}N at the energy range of MeV affected the calculation accuracy.

Keywords: Nitride Fuel, Fast Reactor, Fast Critical Assembly, FBR, Criticality, Unified Cross-section Set, Adjustment of Cross-section, ^{14}N

This report is the result of the joint research with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

** Japan Nuclear Cycle Development Institute

* Nuclear Energy System Incorporation

目 次

1. はじめに	1
2. 模擬実験	1
2.1. 実験体系	1
2.2. 臨界実験	2
3. 実機窒化物燃料炉心に対する設計精度の評価	10
3.1. 計算モデル	10
3.2. 計算方法	10
3.2.1 感度解析	10
3.2.2 炉定数調整	10
3.2.3 設計精度	14
3.3. 結果と考察	16
3.3.1 感度解析	16
3.3.2 炉定数調整	16
3.3.3 設計精度	17
4. まとめ	37
謝辞	37
参考文献	38
付録 炉定数調整による断面積の変化	39

Contents

1. Introduction	1
2. Experiment	1
2. 1. Core Configuration	1
2. 2. Critical Experiment	2
3. Evaluation of Calculation Accuracy for a Nitride Fuel FBR Core	10
3. 1. Calculation Model	10
3. 2. Method of Calculation	10
3. 2. 1. Sensitivity Analysis	10
3. 2. 2. Adjustment of Cross-section Set	10
3. 2. 3. Calculation Accuracy	14
3. 3. Results and Discussions	16
3. 3. 1. Sensitivity Analysis	16
3. 3. 2. Adjustment of Cross-section Set	16
3. 3. 3. Calculation Accuracy	17
4. Summary	37
Acknowledgments	37
References	38
Appendix	39

1. はじめに

混合酸化物 (MOX) 燃料にかわる高速炉用新型燃料として、伝熱特性に優れている窒化物燃料の導入が検討されている。日本原子力研究所では、高速炉臨界実験装置 (FCA) を用いた窒化物燃料高速炉の核特性に関する研究を行ってきた¹⁾³⁾。

高速炉の設計精度を高めることを目的として、臨界集合体等で測定された積分データをもとに、炉定数に調整を加え統合炉定数を作成する手法が採られている⁴⁾。しかしながら、これまでの炉定数調整には主にMOX燃料炉心のデータを用いており、窒化物燃料高速炉の実験データは炉定数調整に使用されていなかった。そこで本研究では、窒化物燃料炉心のデータを炉定数調整に反映させる第一段階として、FCAでの窒化物燃料高速炉模擬実験³⁾において得られた臨界性に関するデータを用いて炉定数の調整を行い、作成した統合炉定数の実機窒化物燃料高速炉に対する設計精度を評価した。

本実験では、窒化物燃料を模擬するための物質として窒化アルミニウム (AlN) を使用することとした。本模擬実験を行うに当たり、模擬物質の試作段階において天然窒素 (¹⁴N) と¹⁵N濃縮窒素からなる窒化アルミニウム板を作成し材質試験等を行った⁵⁾。¹⁵N濃縮窒素の窒化アルミニウムとした場合濃縮コストが高価となることおよび核特性における¹⁵Nと¹⁴Nの相違は計算により評価できることが明らかになったことから、天然窒素からなる窒化アルミニウムを用いることとした。実験は、窒化物燃料炉心を模擬した1領域小型炉心で行った。実機模擬性という観点では実証炉クラスの炉心とは体積が大きく異なるが、ドライバー燃料を用いない均質1領域炉心において積分データを得ることを主目的として実験体系を選定した。

本報告書は、炉定数調整の実機設計精度への効果について検討した結果を報告するものである。以下、第2章では模擬炉心での核特性量の測定について述べる。第3章では、本実験の臨界性データを炉定数調整に反映させ実機設計精度に対する影響について検討する。

2. 模擬実験

2.1. 実験体系

本研究において構築した実験体系XIX-2炉心^{3,6)}は、炉心部と軸方向および径方向のブラケット部からなる。

炉心領域を構成する単位セルMNは、金属プルトニウム板 (²³⁹Pu 92%) および金属天然ウラン板を窒化アルミニウム板と組み合わせて混合窒化物燃料を模擬したものである。その

他、冷却材を模擬するためにステンレス被覆ナトリウム板（以下、Na板とする）も装填されている。1領域炉心で臨界を達成させるため、燃料のプルトニウム富化度は約22% (Pu-fissile/heavy metal)とした。また、炉心領域内には制御・安全棒（SCR引出）が片側集合体当たり8本装荷される。

炉心領域の周囲には、劣化ウラン酸化物板およびNa板からなるソフトブランケット（SBセル）を炉心の軸方向および径方向に配置している。径方向ソフトブランケットの外周には、金属劣化ウランのみからなるブランケット（DUBセル）を設けた。

炉心の形状をより円筒に近いものとするために、MNセルとSBセル半分ずつからなるMNLあるいはMNRセルを装填した燃料引出も用いた。これらMNLまたはMNR引出2本でMN引出1本分のPu燃料に相当する。実験体系を構成する各セルパターンをFig. 2-1に、各セルの均質化原子数密度をTable 2-1に示す。

本炉心は、MN引出117本、MNL引出6本、MNR引出6本（いずれも片側集合体当たりの本数）で臨界となった。この体系を標準体系と呼び、そのXY断面図をFig. 2-2に示す。MNLおよびMNR引出をMN引出に等価換算すると片側集合体でMN引出123本相当となる。そのRZモデルをFig. 2-3に示す。

2.2. 臨界実験

XIX-2炉心においては、炉定数調整に反映させる積分データを得るため、実効増倍率を始め種々の核特性量を測定した。詳しい測定方法については、文献(3)および(6)に述べられているので、ここでは、測定の概略と結果のみ記す。

実効増倍率

全制御・安全棒が炉心に全挿入された標準体系の実効増倍率 (k_{eff}) を、炉心の余剰反応度 (ρ_{ex}) を求めることにより得た。

プルトニウムの自発核分裂による中性子の影響を取り除き核分裂連鎖反応による臨界点（真の臨界点）における ρ_{ex} を求めるために、出力無限大における臨界時の制御棒位置を外挿により求めた。真の臨界点での制御棒位置から制御棒較正曲線を用いて ρ_{ex} を求め、温度補正、密着面間隙反応度補正、密着面ステンレス反応度補正の反応度補正を施した。 k_{eff} の測定結果をTable 2-2に示す。

物質反応度値

以下に示す、燃料セル中の燃料板や模擬物質板の反応度値を測定した。

(A) プルトニウム燃料板反応度値の径方向分布

固定側集合体の引出前端面1セルにおいてプルトニウム燃料板反応度値の径方向分布を測定した。測定結果をTable 2-3 に示す。

(B) 炉中心反応度値

固定側炉心の中心部3×3格子あるいは炉心中心の前端面1セルにおいて、種々のサンプルの反応度値を測定した。測定項目の名称と内容を以下にまとめる。測定結果をTable 2-4 に示す。

名称	置換内容
Pu(75) :	^{239}Pu 92%×36枚 → ^{239}Pu 75%×36枚
Pu(81) :	^{239}Pu 92%×36枚 → ^{239}Pu 81%×36枚
Pu×4 :	^{239}Pu 92%×4枚 → SUS-half×4枚
Pu×2 :	^{239}Pu 92%×2枚(内側) → SUS-half×2枚
EU93 :	^{239}Pu 92%×4枚 → EU93%×2枚+SUS-half×2枚
20% $^{10}\text{B}_4\text{C}$:	1/8"厚ボイド缶 → 20% $^{10}\text{B}_4\text{C}$
90% $^{10}\text{B}_4\text{C}$:	同上 → 90% $^{10}\text{B}_4\text{C}$
EU19 :	1/4"厚ボイド缶 → EU19%(1/8")×2
DUO ₂ :	同上 → DUO ₂ (1/4")×1
NU :	同上 → NU(1/8")×2

ナトリウムボイド反応度値

ボイド化する位置をステップ状に軸方向に変化させていくステップボイドとボイド領域を軸方向に広げることによりボイド規模を変化させたボイド規模依存性を測定した。測定結果をTable 2-5 およびTable 2-6 に示す。

核分裂率比

炉心中心において ^{235}U 、 ^{238}U および ^{239}Pu の核分裂率を測定し、 ^{235}U と ^{239}Pu の核分裂率比 (F25/F49) および ^{238}U と ^{239}Pu の核分裂率比 (F28/F49) を求めた⁶⁾。測定結果をTable 2-7 に示す。

Table 2-1 Atomic number density of each cell used in the XIX-2 core

Nuclide	MN	SB	SCR	SBSCR	DUB	MTX
H	7.7076E-05*	—	1.3388E-04	—	—	—
C	6.8773E-05	—	1.1645E-04	—	—	—
O	1.8164E-04	1.8350E-02	2.0624E-04	1.8349E-02	—	—
B-10	2.3314E-07	—	2.3314E-07	—	—	—
B-11	8.4818E-07	—	8.4817E-07	—	—	—
N	6.8582E-03	—	6.8581E-03	—	—	—
Na	7.6564E-03	7.6564E-03	7.6563E-03	5.7422E-03	—	—
Al	7.1583E-03	—	6.8583E-03	1.4126E-03	—	—
Si	4.1088E-05	—	1.7455E-06	—	—	—
Cr	3.6526E-03	3.1174E-03	4.2346E-03	3.9078E-03	1.8101E-03	1.2290E-03
Mn	2.7075E-04	2.2939E-04	3.0903E-04	2.8169E-04	1.2001E-04	8.2000E-05
Fe	1.3234E-02	1.1217E-02	1.5255E-02	1.4069E-02	6.4727E-03	4.3930E-03
Ni	1.6811E-03	1.4131E-03	1.9014E-03	1.7455E-03	7.8944E-04	5.3600E-04
U-235	5.3037E-05	1.8606E-05	2.7860E-03	1.8606E-05	8.4422E-05	—
U-238	7.3148E-03	9.1586E-03	6.9923E-03	9.1585E-03	4.0174E-02	—
Pu-239	2.0911E-03	—	—	—	—	—
Pu-240	1.8270E-04	—	—	—	—	—
Pu-241	5.6335E-06	—	—	—	—	—
Pu-242	1.6074E-06	—	—	—	—	—
Am-241	1.1669E-05	—	—	—	—	—

* Read as 7.7076×10^{-5}

Table 2-2 Experimental results of k_{eff} in the XIX-2 core

Date of criticality	JUN/4/1996
Measured $\rho_{\text{ex}} (\times 10^{-3} \Delta k/k)$	$3.08 \pm 0.33^*$
k_{eff}	1.0031 ± 0.0003

* Experimental error.

Table 2-3 Experimental results of the radial distribution of the plutonium plate sample reactivity worths

Position* (mm)	Reactivity worth ($10^4 \Delta k/k$)
0.0	$-4.51 \pm 0.7\%^{**}$
5.52	$-4.33 \pm 0.8\%$
11.04	$-3.87 \pm 0.8\%$
16.56	$-3.22 \pm 0.9\%$
22.08	$-2.49 \pm 1\%$
27.60	$-1.78 \pm 1\%$
33.12	$-1.13 \pm 2\%$

* Distance from the core center in R-direction.

** Experimental error(relative error).

Table 2-4 Experimental results of the plate sample reactivity worths

Item	Reactivity worth ($10^4 \Delta k/k$)
Pu(75)	$-0.34 \pm 6\%^*$
Pu(81)	$1.47 \pm 1\%$
Pu $\times 4$	$-8.80 \pm 0.7\%$
Pu $\times 2$	$-4.52 \pm 0.7\%$
EU93	$-2.88 \pm 0.9\%$
20% $^{10}\text{B}_4\text{C}$	$-1.98 \pm 1\%$
90% $^{10}\text{B}_4\text{C}$	$-7.36 \pm 0.7\%$
EU19	$2.28 \pm 1\%$
DUO $_2$	$-0.22 \pm 9.6\%$
NU	$-0.40 \pm 5\%$

* Experimental error(relative error).

Table 2-5 Experimental results of the sodium void reactivity worth (step void measurements)

Position ID (Void region)	Distance from the core center (mm)	Void reactivity worth ($10^4 \Delta k/k$)
1z	2.54	$0.35 \pm 6\%^*$
2z	7.62	0.17 ± 12
3z	12.70	-0.28 ± 7
4z	17.78	-0.85 ± 2
5z	22.86	-1.39 ± 2
6z	27.94	-1.85 ± 1
7z	33.02	-1.64 ± 1
8z	38.10	-0.89 ± 2

* Experimental error(relative error).

Table 2-6 Experimental results of the sodium void reactivity worth (volume dependence measurements)

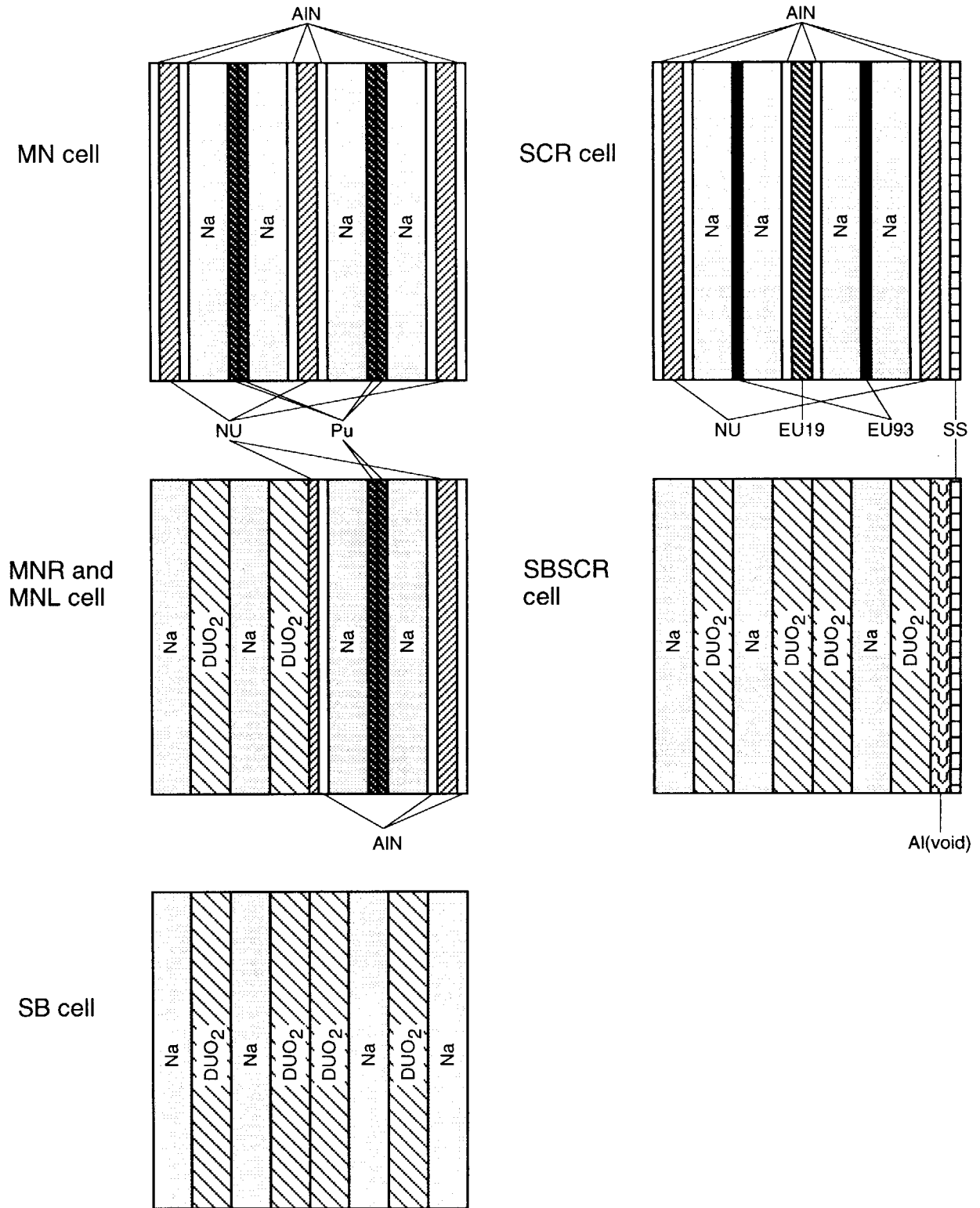
Void region	Void reactivity worth ($10^4 \Delta k/k$)
1z+2z	$0.52 \pm 6\%^*$
1z~4z	$-0.59 \pm 5\%$
1z~6z	$-4.07 \pm 1\%$

* Experimental error(relative error).

Table 2-7 Experimental results of the fission rate ratio

Item	Fission rate ratio
F25/F49	$0.944 \pm 1.3\%^*$
F28/F49	$0.0386 \pm 1.5\%$

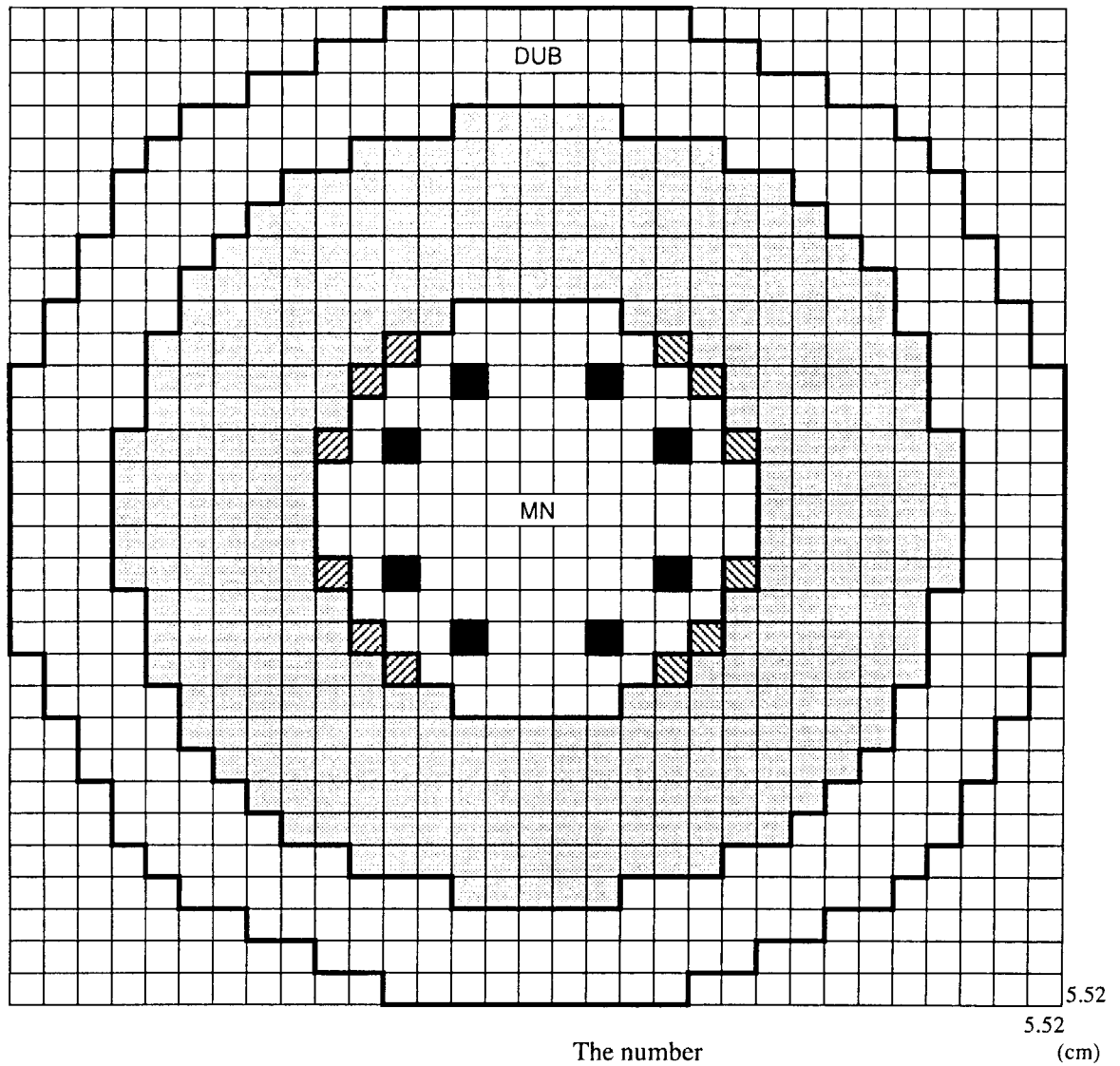
* Experimental error(relative error).



Note

- | | |
|---|---|
| Pu : 92% fissile plutonium metal (SS clad), 1/16"t | EU93 : 93% enriched uranium metal, 1/16"t |
| EU19 : 19% enriched uranium metal, 1/8"t | NU : Natural uranium metal, 1/8"t |
| DUO ₂ : Depleted uranium di-oxide, 1/4"t | AIN : Aluminium nitride, 1/16"t |
| Na : Sodium (SS clad) 1/4"t | SS : Stainless steel, 1/16"t |
| Al(void) : Aluminium metal with void, 1/8"t | |

Fig. 2-1 Cell patterns of the FCA XIX-2 core



The number
of drawers

□	MN	117
▨	MNR	6
▧	MNL	6
◻	SB	344
■	SCR	8
□	DUB	288

Fig. 2-2 View of horizontal cross section of the FCA XIX-2 core

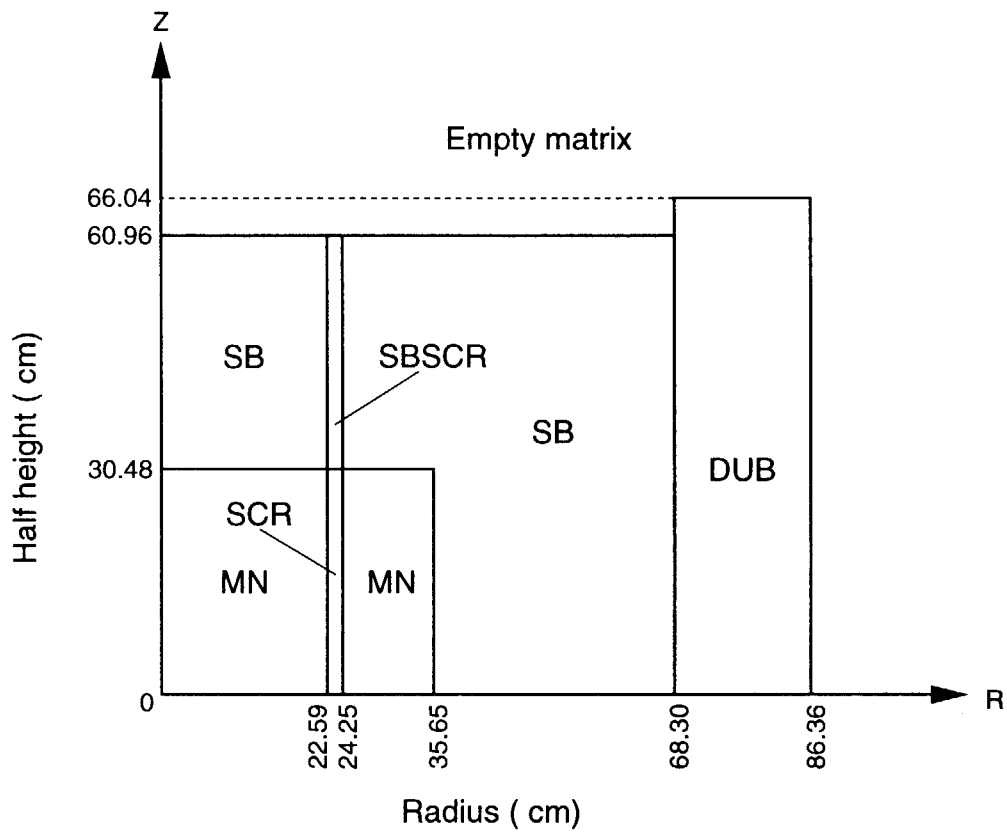


Fig. 2-3 RZ-model of the FCA XIX-2 core

3. 実機窒化物燃料炉心に対する設計精度の評価

ここでは、XIX-2炉心の核特性を炉定数調整に反映させ、1000MWe級実機窒化物燃料高速炉（窒素は ^{14}N とした。以下、実機窒化物燃料炉心（nitride fuel FBR core）とする）の臨界性に関する設計精度を評価した。

3.1. 計算モデル

ここで想定した実機窒化物燃料炉心は、内側炉心（INCORE）と外側炉心（OTCORE）からなる炉心部と軸方向ブランケット（AXBLK）および遮蔽体（UPSHID, LOSHID and RDSHID）ならびに制御棒チャンネル（NAPLNM）より構成される。内側炉心のプルトニウム富化度は約9.6%（Pu-fissile / heavy metal）である。実機窒化物燃料炉心の2次元RZ体系図をFig. 3-1に、各領域の均質化原子数密度をTable 3-1に示す。

3.2. 計算方法

以下、感度解析手法、炉定数調整法および設計精度の評価方法について述べる。

3.2.1. 感度解析

炉定数調整のために、まず、感度係数を求める必要がある。感度係数の物理的意味については、次の3.2.2.にて述べる。本研究では、XIX-2炉心および設計精度を評価する実機窒化物燃料炉心の臨界性についてSAGEPコード⁷⁾を用いて感度係数を計算した。核データセットには評価済核データライブラリーJENDL-3.2⁸⁾に基づくJFS-3-J3.2を用い、エネルギー群数はともに18群とした。計算体系は、XIX-2炉心ではMNLやMNR引出を忠実に再現するために3次元XYZ（Fig. 2-2）とし、実機窒化物燃料炉心では2次元RZ（Fig. 3-1）とした。

3.2.2. 炉定数調整

炉定数調整法は、ベイズの定理（条件つき確率推定法）をその理論的基礎としており、臨界実験解析結果を核断面積の調整という形で実機設計に反映させるものである。確率論におけるベイズの定理は、得られた新しいデータを用いることによって事前予測確率を修

正し、事後の予測確率を高めるものとして知られている。

本研究では、J.B.Dragt et. al.⁹⁾が整理した炉定数調整の一般式を用いることとした。以下、ベイズの定理から出発して、J.B.Dragt et. al. の表示式に至るプロセスと炉定数調整法の特徴を述べる。

事象AiとBが同時に起きる確率をP(Ai,B)、各々の事象の事前予測確率をP(Ai)、P(B)、また事象Aiが起こった時にBの起こる事後確率（条件付確率）をP(B/Ai)とすると、P(Ai,B)は以下に示す式で表される。

$$\begin{aligned} P(Ai,B) &= P(Ai) \cdot P(B/Ai) = P(B) \cdot P(Ai/B) \\ P(Ai/B) &= P(B/Ai) \cdot P(Ai)/P(B) \end{aligned} \quad (3-2-1)$$

炉定数調整法では、まず、ある断面積セットTが真値をとる確率をP(T)、実験値R_eが真値をとる確率をP(R_e)とする。実験から積分情報R_eが得られたという条件のもとで、断面積セットTが真値をとる確率P(T/R_e)を事後の予測確率と考える。断面積セットTに対する共分散（真値からのばらつき）をMとし、断面積セットの真値をT₀とすると、断面積セットTが真値をとる確率P(T)は、T₀のまわりにMを分散とする正規分布をしていると期待される（逆に、こうなるように共分散Mを定義すると考えてもよい）。すなわち、以下に示す式のように表される。

$$P(T) = P(T_0) \propto \exp\left\{-\frac{(T-T_0)^2}{2M} \cdot (T-T_0)\right\} \quad (3-2-2)$$

(3-2-2)式は、T₀とTを置換しても同じである。つまり、ある断面積セットTが真値をとる確率P(T)は、真値T₀がある断面積セットTの周りに分布している確率P(T₀)と同じであることを意味する。以降では、真値T₀を変数（事象Ai）として考え、P(T₀)が最大となるようにT₀を最適化するにはどのようにすればよいかについて述べる。実験値R_e（事象B）の確率分布は、真値をR_{eo}とすると実験誤差の共分散V_eを用いて次式で表される。

$$P(R_e) \propto \exp\left\{-\frac{(R_e - R_{eo})^2}{2V_e} \cdot (R_e - R_{eo})\right\} \quad (3-2-3)$$

さらに、解析手法の共分散をV_mとすると、断面積セットの真値T₀が与えられた場合、解析値R_c(T₀)は実験値の真値R_{eo}の周りに分散V_mで分布する。したがって、実際の実験値R_eの分布

は T_0 が与えられた時、解析値 $R_c(T_0)$ の周りに分散 V_e+V_m で分布し、以下の示す式で表される。

$$P(R_e/T_0) \propto \exp\left\{-\frac{(R_e - R_c(T_0))'}{2(V_e + V_m)} \cdot (R_e - R_c(T_0))\right\} \quad (3-2-4)$$

また、(3-2-1)式に(3-2-2)、(3-2-3)、(3-2-4)式を代入すると、

$$P(T_0/R_e) = P(R_e/T_0) \cdot P(T_0)/P(R_e) = \\ \text{Const} \times \exp(-J) / \exp\left\{-\frac{(R_e - R_{eo})'}{2V_e} \cdot (R_e - R_{eo})\right\} \quad (3-2-5)$$

ここで、 J は以下のように表される。

$$J = \frac{(T - T_0)'}{M} \cdot (T - T_0) + \frac{(R_e - R_c(T_0))'}{V_e + V_m} \cdot (R_e - R_c(T_0)) \quad (3-2-6)$$

(3-2-5)式の分母には断面積に関わる項が含まれていないので、結局、実験値 R_e が与えられた条件の下で $P(T_0)$ を最大化するためには、関数 $J(T_0)$ を最小化すれば良いことになる。すなわち、

$$dJ/dT_0 = 0 \quad (3-2-7)$$

となるような T_0 を求め、これを調整された断面積 T （真値に対する最も確からしい推定値）とする。

ここで、核特性の変化と断面積の変化を関係づける量として、感度係数 G を導入する。感度係数 G の定義は、ある断面積 σ の100%変化当たりの実験体系のある核特性量 R の相対変化 $(dR/R)/(d\sigma/\sigma)$ であるが、Taylor展開の2次以降を無視することにより以下の式で表される。

$$R_c(T_0) = R_c(T) + G \cdot (T_0 - T) \quad (3-2-8)$$

この関係を用いることにより、(3-2-6)式の関数 J は断面積 T_0 のみの関数になり微分可能となる。(3-2-8)式を(3-2-6)式に代入し、(3-2-7)式の演算を行ってまとめると、炉定数調整後の断面積セット T' は、以下の式で表される。

$$T' = T + \frac{MG'}{GMG' + V_e + V_m} \cdot (R_e - R_c(T)) \quad (3-2-9)$$

また、炉定数調整後の断面積セット T' の誤差（共分散） M' についても、 $T' - T_0$ の分散を計算することにより以下の式で表される。

$$M' = M \cdot \frac{MG'}{GMG' + V_e + V_m} \cdot GM \quad (3-2-10)$$

核特性予測精度の内訳の中で、断面積誤差による寄与は、炉定数調整前と調整後について各々 GMG' と $GM'G$ として計算できる。

上記の(3-2-9)、(3-2-10)式が炉定数調整の基礎式であるが、これらの式から以下に示す炉定数調整法の特徴が導かれる。

①ある核特性のC/E値の改良に寄与するのは、上式の(3-2-8)式および(3-2-9)式から分かるように、その核特性に対する感度が大きく、また調整前の断面積誤差が大きい核種・反応の断面積変化である。したがって、仮にある核特性に大きな感度が見られる核種・反応であっても、断面積誤差が小さい場合にはその核種・反応の断面積は変化しないのでC/E値の改良に寄与しないことになる。すなわち、炉定数調整は断面積誤差の範囲内で断面積を変化させるため、核データ評価側との矛盾は原理的に起こりにくいといえる。

②炉定数調整法が有効であるためには、実験解析誤差($V_e + V_m$)の大きさが断面積誤差に起因する核特性予測誤差(GMG')と比べて小さいことが必要である。ただし、実験解析誤差が大きくても、(3-2-9)式と(3-2-10)式より、 T' と M' はそれぞれ T と M になるので結果に悪影響を与えることはない。言い換えれば、実験解析誤差が大きいC/E値に対しては、C/E値が1.0に近いことが真値に近いとは限らないため、炉定数調整では無理にそのC/E値を1.0に近づけることはしない。

③炉定数調整法では、 M から M' への断面積共分散の減少により核特性予測が向上するが、(3-2-10)式によるとC/E値は M' の減少とは無関係である。仮に、調整前のC/E値がもともと1.0であったとしても、その核特性に感度があれば予測精度の向上が図れる。

④(3-2-10)式の両辺に、左側と右側からそれぞれ G と G' を乗じて整理すると、次の式が得られる。

$$\begin{aligned} GM'G' &= \frac{GMG'}{GMG' + V_e + V_m} \cdot (V_e + V_m) \\ &= (V_e + V_m) \cdot \frac{V_e + V_m}{GMG' + V_e + V_m} \cdot (V_e + V_m) \end{aligned} \quad (3-2-11)$$

この式から、炉定数調整後の断面積誤差による予測誤差の特徴が分かる。すなわち、もし調整前の GMG' が実験解析誤差($V_e + V_m$)より非常に大きいなら、調整後の $GM'G'$ はほぼ

(V_e+V_m) になる。逆に、 GMG' が (V_e+V_m) より非常に小さいなら、調整後の $GM'G'$ は調整前の GMG からほとんど変化しない。また、 GMG' が (V_e+V_m) とほぼ等しい場合は、 $GM'G'$ は (V_e+V_m) の約1/2になる。このように、炉定数調整による予測精度向上の程度は、調整前の炉定数の誤差と実験解析誤差の大きさの相対関係によって決まる。

本研究では、炉定数調整計算にABLEコード¹⁰⁾を用いる。炉定数調整計算を行うに当たり、解析対象であるXIX-2炉心の実効増倍率 k_{eff} についてのC/E値、実験誤差、解析誤差および共分散データを設定する必要がある。ここで解析誤差は、解析時の各種補正值（メッシュ補正や輸送補正など）を考慮し推定するものである。本研究の炉定数調整計算の時点ではXIX-2炉心の実験解析結果がなかったため、 k_{eff} のC/E値にはFCAの高速炉模擬炉心での平均的な値である0.9965とした。また、実験誤差および解析誤差は、MOX燃料高速炉を模擬したXVII-1炉心での測定結果¹¹⁾および解析結果¹²⁾を参考にしてそれぞれ ± 0.0002 および ± 0.002 とした。共分散データには、文献(13)を用いた。なお、炉定数調整計算において、XIX-2炉心の k_{eff} と他炉心の核特性との相関はないものとした。

3.2.3. 設計精度

臨界実験によって得られたデータを実機炉心の核設計に反映させる方法として、①E/C値を用いて設計計算値をバイアス補正する方法と②積分情報を用いて炉定数を調整する方法がある。以下、本解析で行った②による設計精度評価の基礎式を記し、その物理的意味を考察する。

炉定数調整法の設計ノミナル値と設計予測誤差は、各々以下に記す(3-2-12)式と(3-2-13)式で表される。

$$\begin{aligned} \text{○設計ノミナル値：} \quad R_c^{*(2)}(T') &= R_c^{(2)}(T') \\ &= R_c^{(2)}(T) + G^{(2)}(T' - T) \end{aligned} \quad (3-2-12)$$

ここで、

$R_c(T)$: 解析値、

(T' は調整後の炉定数を、 T は調整前の炉定数であることを示す)

G : 感度係数、

肩記号(2)は実機体系であることを示す。

$$\text{○設計予測誤差：} \quad V[R_c^{*(2)}(T')] = G^{(2)} M' G^{(2)t} + V_m^{(2)} - N V_m^{(12)} - V_m^{(12)t} N^t \quad (3-2-13)$$

ここで、

M' : 調整後の炉定数 T' の共分散、

M : 調整前の炉定数 T の共分散、

V_m : 解析誤差 (共分散)、

$$N = \frac{G^{(2)} M G^{(1)t}}{G^{(1)} M G^{(1)t} + V_c^{(1)} + V_m^{(1)}}$$

V_c : 実験誤差 (共分散)、

肩記号(1)は臨界実験体系であることを示す。

炉定数調整法による設計ノミナル値は、(3-2-12)式に示したように調整後の炉定数 T' を用いた設計体系の解析値そのものであるが、それはまた、調整前の炉定数 T による解析値に対して核断面積の調整による補正を施したものに等しい。この補正には、実機体系の感度係数 $G^{(2)}$ を用いるので、臨界実験体系が実機体系のフルモックアップでなくても適用できる。また、実験解析からの情報を反映させて核断面積の誤差を低減することができるので、燃焼特性など臨界実験では測定できない核特性についても実機の設計に適用できる。

なお、積分情報を用いない場合には、設計ノミナル値は、設計計算による解析値そのままであり、以下に示した(3-2-14)式で表される。ここで用いる設計計算の解析モデルは、可能な限り設計対象炉心を模擬した詳細なものとし、また、体系の温度膨張や炉心燃焼など実機特有の効果も考慮する必要がある。

$$\text{○設計ノミナル値：} \quad R_c^{*(2)}(T) = R_c^{(2)}(T) \quad (3-2-14)$$

このときの設計誤差は、次式のように核断面積の誤差 (共分散) M に起因する予測誤差と設計解析誤差 $V_m^{(2)}$ の和になる。また、ここで $V_m^{(2)}$ の中には解析誤差の他に、実機燃料組成の不確かさや製造公差なども含む必要がある。

$$\text{○設計誤差：} \quad V[R_c^{*(2)}(T)] = G^{(2)} M G^{(2)t} + V_m^{(2)} \quad (3-2-15)$$

次節の設計精度の評価では、炉定数調整以前の設計誤差として(3-2-15)式を、炉定数調整後の設計誤差として(3-2-13)式を求め、XIX-2炉心のデータを炉定数調整に反映させた場合の設計精度を評価する。これら計算には原電と動燃の共同研究で整備されたACCEPTコード¹⁰⁾を用いた。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 感度解析

XIX-2炉心と実機窒化物燃料炉心の実効増倍率に対する感度係数をそれぞれTable 3-2とTable 3-3に示す。これらの表から、両炉心ともに、燃料核種である ^{239}Pu が臨界性に対して最も感度が大きいことが分かる。 ^{14}N の感度係数は比較的小さく、XIX-2炉心では構造材物質の鉄やナトリウムより小さい値であった。それぞれの炉心で感度が比較的大きな4核種について、感度係数のエネルギーブレイクダウンをFig. 3-2に示す。図中のC, F, Eは、それぞれ捕獲、核分裂、弾性散乱を意味する。

3.3.2. 炉定数調整

JUPITER実験¹⁴⁾に基づく185核特性のデータを用い高速炉計算用70群定数セットJFS-3-J3.2に対して炉定数調整を施した統合炉定数が核燃料サイクル開発機構において作成された¹⁵⁾（以下、これをADJ98版と呼ぶ）。本研究では、ADJ98版に用いた185核特性にXIX-2炉心の臨界性を加え186核特性とし、JFS-3-J3.2に対して炉定数調整を施した。以下、本研究において作成した統合炉定数をADJ-XIX-2版と呼ぶ。

断面積調整量

JFS-3-J3.2からの断面積調整量（相対値）についてADJ98版とADJ-XIX-2版を比較したものをFig. 3-3に示す。Fig. 3-3より、酸素、 ^{238}U および ^{239}Pu の μ などの調整量に比較的大きな差が生じていることが分かる。また、 ^{14}N の捕獲反応では高エネルギー側で3%近く変化している。なお、断面積調整量（相対値）の数値を付録に示す。

調整によるC/Eの変化

炉定数調整前後でのXIX-2炉心の実効増倍率 k_{eff} のC/E値を以下に示す。

	C/E
炉定数調整前	0.9965
ADJ98版	0.9974
ADJ-XIX-2版	0.9994

ADJ-XIX-2版での炉定数調整により k_{eff} の調整後C/E値がADJ98版より0.2%、炉定数調整前

より0.3%向上したことが分かる。炉定数調整による k_{eff} の変化への各核種/反応の寄与割合についてADJ98版とADJ-XIX-2版を比較したものをTable 3-4に示す。Table 3-4より、酸素と ^{238}U の μ 、 ^{239}Pu の核分裂反応および ν 、 ^{14}N の捕獲反応に0.03%~0.06%の差があることが分かる。特に、 ^{239}Pu の核分裂反応での寄与割合の変化が大きい。今回の炉定数調整ではこれら寄与の差によって k_{eff} のC/E値が向上したといえる。また、両炉定数調整において、 ^{238}U の捕獲反応、 ^{239}Pu の捕獲および核分裂反応の寄与割合が他の核種/反応より大きいことが分かる。

JUPITER実験の様々な炉心とXIX-2炉心の k_{eff} に対するC/E値を両統合炉定数と調整前についてFig. 3-4に示す。JUPITER実験の各炉心では、ADJ98版からADJ-XIX-2版への変化は総じて0.1%であり、今回の炉定数調整の効果はXIX-2炉心より小さい。XIX-2炉心ではPu富化度が高く臨界性に対する ^{239}Pu の感度が高いため、その効果が他の炉心より大きいものと考えられる。なお、他のJUPITER実験の核特性に関しては、ADJ98版からの変化率はいずれも0.1%未満であった。

3.3.3. 設計精度

ここでは、ADJ-XIX-2版統合炉定数の実機窒化物燃料炉心の臨界性に対する設計精度を評価する。実機窒化物燃料炉心の臨界性に対する設計精度評価の内訳（(3-2-13)および(3-2-15)式の各項）をTable 3-5に示す。ただし、 $NV_m^{(12)}$ と $V_m^{(12)}N'$ はいずれも0.0であったため省略した。Table 3-5より、ADJ-XIX-2版ではXIX-2炉心のデータをADJ98版に使用した核特性に加えたことによって、 $G^{(2)}M'G^{(2)}$ が小さくなり設計精度評価のTotal誤差がADJ98版より約0.1%減少したことが分かる。わずかであるが、実機窒化物燃料炉心の臨界性に対する設計精度が向上したと言える。また、調整前とADJ-XIX-2版とを比較すると、ADJ-XIX-2版における調整により設計精度評価のTotal誤差が1%小さくなっている。

次に、断面積誤差 $G^{(2)}M'G^{(2)}$ に着目してADJ98版とADJ-XIX-2版を比較する。両統合炉定数の $G^{(2)}M'G^{(2)}$ の差の大きな核種/反応についてFig. 3-5に示す。Fig. 3-5より、XIX-2炉心の臨界性データを含めたことで、ほとんど全ての核種/反応において $G^{(2)}M'G^{(2)}$ が減少しており、その結果、実機窒化物燃料炉心の臨界性に対する設計精度が向上したことが分かる。特に ^{238}U の核分裂反応と μ および ^{239}Pu の核分裂反応と ν の寄与が大きいことが分かる。

設計精度向上への寄与が比較的大きい ^{239}Pu 核分裂反応について、ADJ98版とADJ-XIX-2版における $G^{(2)}M'G^{(2)}$ を対角成分と非対角成分に分けたものを以下に示す。なお、 $G^{(2)}M'G^{(2)}$ の対角成分は ^{239}Pu 核分裂反応のみの $G^{(2)}M'G^{(2)}$ であり、非対角成分は ^{239}Pu 核分裂反応と他の核種/反応との相関を表している。

統合炉定数	対角成分	非対角成分	$G^{(2)}M'G^{(2)}$
ADJ98版	1.36E-05	-1.27E-05	9.07E-07
ADJ-XIX-2版	1.35E-05	-1.45E-05	-1.02E-06
ADJ-XIX-2版 - ADJ98版	-1.45E-07	-1.78E-06	-1.92E-06

$G^{(2)}M'G^{(2)}$ の対角成分には両統合炉定数の差はほとんどないが、非対角成分では、ADJ-XIX-2版の方が絶対値で約14%大きくなっている。ADJ-XIX-2版では、非対角成分の絶対値が大きいため、ADJ98版とは異なり $G^{(2)}M'G^{(2)}$ が負の値となったことが分かる。

^{14}N の捕獲反応の $G^{(2)}M'G^{(2)}$ は、ADJ-XIX-2版ではADJ98版より小さくなっているものの、他の核種・反応よりも大きいことが分かる。そこで、さらに詳しく調べるためにTable 3-6に両統合炉定数の ^{14}N の捕獲反応の $G^{(2)}M'G^{(2)}$ をエネルギー群毎に示す。Table 3-6 から、両統合炉定数とも第2～4群（6.065MeV～1.353MeV；70群構造にて第3～8群）で $G^{(2)}M'G^{(2)}$ が大きいことが分かる。すなわち、数MeV付近での ^{14}N の捕獲断面積の不確かさが設計精度に最も影響を与えらるといえる。また、同エネルギー群にてADJ-XIX-2版の $G^{(2)}M'G^{(2)}$ が小さくなり設計精度の向上に寄与していることが分かる。

今後は、他の核特性データを炉定数調整に反映させ、さらに設計精度の評価を進める予定である。

Table 3-1 Atomic number density of each region of the nitride fuel FBR core (1000MWe)

Nuclide	INCORE	OTCORE	AXBLNK	UPSHID	LOSHID	RDSHID	NAPLNM
C	—	—	—	—	—	5.2017E-03	—
B-10	—	—	—	—	—	4.4862E-03	—
B-11	—	—	—	—	—	1.6321E-02	—
N	1.1930E-02*	1.1924E-02	1.3433E-02	—	—	—	—
Na	7.2924E-03	7.2924E-03	7.2924E-03	7.5616E-03	5.9621E-03	7.5616E-03	2.0932E-02
Cr	2.8828E-03	2.8828E-03	2.8827E-03	3.1164E-03	9.0786E-03	3.1164E-03	1.2990E-03
Mn	—	—	—	3.8608E-04	—	3.8608E-04	1.0848E-04
Fe	1.6190E-02	1.6190E-02	1.6190E-02	1.1754E-02	5.0987E-02	1.1754E-02	4.7666E-03
Ni	1.1365E-04	1.1365E-04	1.1365E-04	3.5773E-03	3.5792E-04	3.5773E-03	8.1184E-04
Mo	3.7396E-05	3.7396E-05	3.7396E-05	2.8168E-04	1.1777E-04	2.8168E-04	1.0358E-04
U-235	2.1973E-05	1.9620E-05	3.4233E-05	—	—	—	—
U-236	1.9218E-06	1.7514E-06	1.6166E-06	—	—	—	—
U-238	9.7427E-03	8.8172E-03	1.3117E-02	—	—	—	—
Pu-239	9.4731E-04	1.2470E-03	2.2380E-04	—	—	—	—
Pu-240	4.2665E-04	6.4172E-04	8.9486E-06	—	—	—	—
Pu-241	1.4874E-04	2.2716E-04	2.6240E-07	—	—	—	—
Pu-242	1.1367E-04	1.7534E-04	5.7686E-09	—	—	—	—
Am-241	8.6159E-06	1.2886E-05	8.2724E-09	—	—	—	—
U-238 FP7	7.5235E-05	9.1634E-05	2.1410E-05	—	—	—	—
Pu-239 FP7	3.5813E-04	5.5668E-04	2.3982E-05	—	—	—	—

* Read as 1.1930×10^{-2}

Table 3-2 Calculated sensitivity on k_{eff} of the FCA XIX-2 core
(a) Heavy metal nuclide

		UNIT: 1.0E-4																			
NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G	
U-235	CAPTURE	-55	0	0	-1	-3	-5	-2	-4	-5	-7	-9	-8	-6	-4	-1	0	0	0	0	
U-235	NU	683	1	2	7	19	35	17	32	48	64	84	85	93	86	41	34	23	9	3	
U-235	FISSION	434	1	1	4	11	21	10	20	31	42	55	54	59	55	27	21	14	6	2	
U-235	ELAS.SCT	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
U-235	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-235	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-235	NU-AVE.	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	
U-238	CAPTURE	-1464	-5	-11	-19	-58	-95	-59	-114	-174	-221	-211	-151	-141	-128	-53	-18	-5	-1	0	
U-238	NU	1193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	42	470	403	198	77
U-238	FISSION	772	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	28	299	257	134	52
U-238	ELAS.SCT	616	0	0	0	0	3	1	5	18	38	82	99	138	134	46	29	16	6	1	
U-238	INEL.SCT	-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-8	12	48	23	-49	-39	-3	-3	
U-238	N2M	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
U-238	NU-AVE.	-364	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-6	-16	-49	-87	-47	-53	-59	-37	-9	
U-238	LEVEL 1	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-8	12	45	19	11	8	3	0	
U-238	LEVEL 2	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	2	2	1	0	
U-238	LEVEL 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 4	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-2	0	0	0	
U-238	LEVEL 5	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 7	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 8	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 9	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 10	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	
U-238	LEVEL 11	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 12	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 13	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	
U-238	LEVEL 14	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 15	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	
U-238	LEVEL 16	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	
U-238	LEVEL 17	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 18	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 19	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 20	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 21	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 22	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 23	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 26	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	
U-238	LEVEL 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
U-238	LEVEL 34	-93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-27	-52	-10	-4	
PU-239	CAPTURE	-487	-2	-5	-16	-36	-62	-33	-50	-53	-55	-54	-47	-43	-24	-5	-2	0	0	0	
PU-239	NU	7858	13	22	52	133	237	117	231	372	567	827	922	1198	1301	671	587	392	169	47	
PU-239	FISSION	5489	6	12	32	85	159	80	161	264	404	585	644	835	915	474	404	273	122	34	
PU-239	ELAS.SCT	55	0	0	0	0	0	0	0	1	3	7	8	13	13	5	3	2	0	0	
PU-239	INEL.SCT	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	2	-5	-4	-1	0	
PU-239	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-239	NU-AVE.	-42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-9	-6	-7	-8	-5	-1	
PU-240	CAPTURE	-47	0	-1	-1	-3	-5	-2	-4	-5	-7	-7	-5	-4	-3	0	0	0	0	0	
PU-240	NU	193	0	0	0	0	1	0	1	2	3	3	7	41	47	42	30	13	3	3	
PU-240	FISSION	132	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	5	29	33	28	20	9	2	
PU-240	ELAS.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
PU-240	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-240	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-240	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-241	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-241	NU	19	0	0	0	0	1	0	1	1	2	3	3	3	3	1	1	0	0	0	
PU-241	FISSION	12	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0	
PU-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-241	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-241	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-241	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	NU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	FISSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PU-242	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM-241	CAPTURE	-6	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	
AM-241	NU	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	2	1	0	
AM-241	FISSION	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	
AM-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM-241	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM-241	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM-241	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 3-2 Calculated sensitivity on k_{eff} of the FCA XIX-2 core
(b) Structure material nuclide & Fission spectrum

UNIT:1.0E-4

NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
OXYGEN	CAPTURE	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
OXYGEN	ELAS.SCT	308	0	0	0	0	2	1	2	0	2	5	17	57	96	61	31	22	11	1
OXYGEN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OXYGEN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OXYGEN	MU-AVE.	-52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	-44	-5	-4	-2	-5	-1
SODIUM	CAPTURE	-4	0	0	0	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
SODIUM	ELAS.SCT	328	0	0	0	0	3	11	9	8	9	20	18	57	109	42	19	17	6	0
SODIUM	INEL.SCT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	-4	1	2	-1	
SODIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SODIUM	MU-AVE.	-76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-19	-16	-16	-13	-5	-1
CHROMIUM	CAPTURE	-19	0	0	0	0	-4	-1	-4	0	-3	-1	-3	-2	-1	0	0	0	0	0
CHROMIUM	ELAS.SCT	163	0	0	0	0	0	5	3	3	11	28	26	39	21	15	9	3	0	0
CHROMIUM	INEL.SCT	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-5	0	-1
CHROMIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHROMIUM	MU-AVE.	-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	-3	-8	-11	-7	-2
MANGAN	CAPTURE	-4	0	0	-2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	ELAS.SCT	9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0
MANGAN	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGAN	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IRON	CAPTURE	-99	0	0	0	0	-17	0	-4	-5	-12	-11	-12	-12	-10	-3	-2	-4	-4	-3
IRON	ELAS.SCT	500	0	0	0	0	4	1	6	12	41	38	38	83	129	55	47	34	11	1
IRON	INEL.SCT	-42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-29	-6	-1	-6
IRON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IRON	MU-AVE.	-134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-9	-21	-15	-25	-31	-23	-7
NICKEL	CAPTURE	-38	0	0	0	0	0	0	0	-5	-3	-3	-3	-3	-2	-1	-2	-7	-7	-2
NICKEL	ELAS.SCT	105	0	0	0	0	1	0	2	11	7	11	10	21	20	10	7	4	1	0
NICKEL	INEL.SCT	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0
NICKEL	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICKEL	MU-AVE.	-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	-2	-3	-3	-2	-1
N-14	CAPTURE	-149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-33	-6	-26	-47	-32	-4
N-14	ELAS.SCT	127	0	0	0	0	6	2	6	14	12	7	4	22	31	13	0	6	4	0
N-14	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-14	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-14	MU-AVE.	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-2	-3	-2	-1	0
SPEC. PU-239	-1.00	21	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-46	-133	-130	71	156	71	57
SPEC. PU-239	-0.90	19	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-45	-131	-128	69	152	70	57
SPEC. PU-239	-0.80	17	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-45	-129	-125	67	148	69	57
SPEC. PU-239	-0.70	13	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-45	-127	-123	65	144	68	56
SPEC. PU-239	-0.60	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-45	-125	-120	63	140	67	56
SPEC. PU-239	-0.50	11	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-44	-123	-118	61	137	66	56
SPEC. PU-239	-0.40	9	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-44	-121	-116	60	133	65	56
SPEC. PU-239	-0.30	7	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-44	-119	-114	58	130	64	56
SPEC. PU-239	-0.20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-44	-118	-112	57	127	64	56
SPEC. PU-239	-0.10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-116	-110	55	124	63	55
SPEC. PU-239	-0.05	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-115	-109	55	123	62	55
SPEC. PU-239	0.05	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-113	-107	53	120	62	55
SPEC. PU-239	0.10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-113	-106	53	119	61	55
SPEC. PU-239	0.20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-111	-104	52	116	61	55
SPEC. PU-239	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-43	-110	-102	50	114	60	55
SPEC. PU-239	0.40	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-42	-108	-101	49	111	59	55
SPEC. PU-239	0.50	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-42	-107	-99	48	109	58	55
SPEC. PU-239	0.60	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-42	-105	-98	47	107	58	54
SPEC. PU-239	0.70	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-42	-104	-96	46	105	57	54
SPEC. PU-239	0.80	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-41	-103	-95	45	103	57	54
SPEC. PU-239	0.90	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-41	-101	-93	45	101	56	54
SPEC. PU-239	1.00	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-41	-100	-92	44	99	55	54
SPEC. U-235	-1.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-16	-15	7	19	9	6	6
SPEC. U-235	-0.90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-15	-15	7	18	9	6	6
SPEC. U-235	-0.80	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-15	-15	7	18	9	6	6
SPEC. U-235	-0.70	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-15	-14	7	17	9	6	6
SPEC. U-235	-0.60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-15	-14	7	17	9	6	6
SPEC. U-235	-0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-14	-14	6	16	9	6	6
SPEC. U-235	-0.40	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-14	-14	6	16	8	6	6
SPEC. U-235	-0.30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-14	-13	6	16	8	6	6
SPEC. U-235	-0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-14	-13	6	15	8	6	6
SPEC. U-235	-0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-14	-13	6	15	8	6	6
SPEC. U-235	-0.05	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-13	6	15	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-13	5	14	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-12	5	14	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-12	5	14	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-12	5	14	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-13	-12	5	13	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-12	5	13	8	6	6	6
SPEC. U-235	0.60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-11	5	13	7	6	6	6
SPEC. U-235	0.70	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-11	5	13	7	6	6	6
SPEC. U-235	0.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-11	5	12	7	6	6	6
SPEC. U-235	0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-11	5	12	7	6	6	6
SPEC. U-235	1.00	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	-12	-11	4	12	7	6	6	6

Table 3-3 Calculated sensitivity on k_{eff} of the nitride fuel FBR core
(a) Heavy metal nuclide

		UNIT: 1.0E-4																		
NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
U-235	CAPTURE	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
U-235	NU	117	0	1	2	5	8	4	7	10	12	14	16	15	12	5	3	2	1	0
U-235	FISSION	77	0	0	1	3	5	3	5	7	9	10	11	10	7	3	2	1	0	0
U-235	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-235	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	CAPTURE	-2043	-6	-14	-32	-94	-138	-89	-165	-249	-289	-268	-223	-200	-176	-70	-23	-6	-1	0
U-238	NU	1424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	54	557	475	239	95
U-238	FISSION	887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	35	343	291	155	60
U-238	ELAS.SCT	229	0	0	0	0	1	0	2	8	12	21	36	56	54	20	8	5	2	0
U-238	INEL.SCT	-581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-32	-24	-18	-83	-198	-154	-48	-13
U-238	N2M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
U-238	NU-AVE.	-148	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-23	-37	-22	-19	-21	-13	-3	0
U-238	LEVEL 1	-55	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-31	-22	0	5	1	2	1	0	0
U-238	LEVEL 2	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	0	-2	0	0	0
U-238	LEVEL 3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
U-238	LEVEL 4	-31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-13	-7	0	0	0	0
U-238	LEVEL 5	-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-8	-5	0	0	0	0
U-238	LEVEL 6	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
U-238	LEVEL 7	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-3	0	0	0	0
U-238	LEVEL 8	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-5	0	0	0	0
U-238	LEVEL 9	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7	-5	0	0	0	0
U-238	LEVEL 10	-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	-7	0	0	0	0
U-238	LEVEL 11	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	0	0	0	0
U-238	LEVEL 12	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	0	0	0	0
U-238	LEVEL 13	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-7	0	0	0	0
U-238	LEVEL 14	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	0	0	0	0
U-238	LEVEL 15	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	0	0	0	0
U-238	LEVEL 16	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-8	0	0	0	0
U-238	LEVEL 17	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-5	0	0	0	0
U-238	LEVEL 18	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	0	0	0	0
U-238	LEVEL 19	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	0	0	0	0
U-238	LEVEL 20	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-4	0	0	0	0
U-238	LEVEL 21	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	0	0	0	0
U-238	LEVEL 22	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	0	0	0	0
U-238	LEVEL 23	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	0	0	0	0
U-238	LEVEL 24	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0
U-238	LEVEL 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 26	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	0	0	0	0
U-238	LEVEL 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U-238	LEVEL 34	-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-86	-150	-51	-13	0
PU-239	CAPTURE	-363	-2	-4	-17	-31	-45	-25	-37	-40	-38	-36	-37	-31	-16	-3	-1	0	0	0
PU-239	NU	6190	16	26	66	154	234	120	229	365	503	668	843	956	907	417	336	224	98	28
PU-239	FISSION	4548	10	19	48	115	178	92	177	284	389	508	624	694	647	295	228	152	69	19
PU-239	ELAS.SCT	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	1	0	0	0	0
PU-239	INEL.SCT	-27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-4	-4	-8	-6	-3	0	0
PU-239	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-239	NU-AVE.	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-1	-1	-1	0
PU-240	CAPTURE	-196	-1	-3	-6	-13	-18	-9	-15	-22	-27	-26	-22	-17	-12	-3	-2	0	0	0
PU-240	NU	701	0	0	0	3	4	1	3	8	13	17	19	34	155	163	133	94	42	12
PU-240	FISSION	484	0	0	0	2	3	0	2	6	10	12	13	24	109	114	89	63	29	8
PU-240	ELAS.SCT	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0
PU-240	INEL.SCT	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-2	-5	-4	-1	0
PU-240	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-240	NU-AVE.	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
PU-241	CAPTURE	-53	0	0	-1	-3	-5	-2	-4	-5	-6	-7	-7	-7	-5	-1	0	0	0	0
PU-241	NU	1382	3	5	21	41	76	42	76	112	139	165	195	190	150	65	52	32	14	4
PU-241	FISSION	1024	1	4	15	30	57	32	59	87	107	125	145	139	108	46	35	22	10	2
PU-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241	INEL.SCT	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
PU-241	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-241	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-242	CAPTURE	-37	0	0	-1	-2	-3	-2	-4	-5	-6	-5	-4	-3	-2	0	0	0	0	0
PU-242	NU	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	26	40	30	20	9	3
PU-242	FISSION	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	18	28	20	13	6	2
PU-242	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-242	INEL.SCT	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
PU-242	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PU-242	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM-241	CAPTURE	-6	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
AM-241	NU	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	2	1	0
AM-241	FISSION	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0
AM-241	ELAS.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM-241	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM-241	N2M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM-241	NU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 3-3 Calculated sensitivity on k_{eff} of the nitride fuel FBR core
(b) Structure material nuclide & Fission spectrum

UNIT: 1.0E-4

NUCL.	REACTION	TOTAL	18G	17G	16G	15G	14G	13G	12G	11G	10G	9G	8G	7G	6G	5G	4G	3G	2G	1G
SODIUM	CAPTURE	-6	0	0	0	0	-1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2
SODIUM	ELAS.SCT	96	0	0	0	1	4	10	8	7	6	0	-4	10	32	12	0	7	3	0
SODIUM	INEL.SCT	-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-19	-9	-18	-10	-4	-4
SODIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SODIUM	MU-AVE.	-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-11	-10	-9	-7	-3	0
CHROMIUM	CAPTURE	-20	0	0	0	0	-5	-1	-4	0	-3	-1	-3	-2	-1	0	0	0	0	0
CHROMIUM	ELAS.SCT	81	0	0	0	0	0	0	3	1	3	6	19	13	18	10	4	3	1	0
CHROMIUM	INEL.SCT	-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-10	-11	-5	-3
CHROMIUM	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHROMIUM	MU-AVE.	-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	-3	-4	-2	0
IRON	CAPTURE	-168	-2	-1	-1	-1	-32	-1	-7	-8	-19	-16	-22	-20	-16	-4	-3	-5	-6	-4
IRON	ELAS.SCT	301	-2	-1	-1	0	7	2	5	10	42	21	12	53	73	36	20	18	6	0
IRON	INEL.SCT	-220	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	0	0	-1	-38	-80	-48	-31	-19
IRON	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IRON	MU-AVE.	-93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-10	-17	-12	-15	-18	-13	-4
NICKEL	CAPTURE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICKEL	ELAS.SCT	13	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	3	2	1	0	0	0	0
NICKEL	INEL.SCT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICKEL	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICKEL	MU-AVE.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-14	CAPTURE	-314	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-75	-12	-51	-92	-65	-10
N-14	ELAS.SCT	-187	0	0	1	5	14	6	10	10	-7	-55	-74	-47	-25	1	-28	1	3	-2
N-14	INEL.SCT	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2
N-14	N2N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-14	MU-AVE.	-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	-2	-2	-1	-1	0
SPEC. PU-239	-1.00	39	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-42	-99	-209	-178	122	246	133	91
SPEC. PU-239	-0.90	33	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-42	-99	-206	-174	118	240	131	90
SPEC. PU-239	-0.80	29	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-42	-98	-202	-171	115	233	129	90
SPEC. PU-239	-0.70	25	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-42	-98	-199	-167	111	227	128	90
SPEC. PU-239	-0.60	21	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-42	-97	-196	-164	108	221	126	90
SPEC. PU-239	-0.50	16	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-97	-193	-161	105	215	124	89
SPEC. PU-239	-0.40	15	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-96	-190	-158	103	210	123	89
SPEC. PU-239	-0.30	11	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-96	-187	-155	100	205	121	89
SPEC. PU-239	-0.20	9	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-95	-185	-152	98	200	120	89
SPEC. PU-239	-0.10	4	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-95	-182	-150	95	196	118	88
SPEC. PU-239	-0.05	5	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-94	-181	-148	94	194	118	88
SPEC. PU-239	0.05	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-94	-178	-146	92	189	116	88
SPEC. PU-239	0.10	-1	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-94	-177	-145	91	187	115	88
SPEC. PU-239	0.20	-2	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-93	-175	-142	89	183	114	88
SPEC. PU-239	0.30	-5	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-93	-172	-140	87	179	113	87
SPEC. PU-239	0.40	-6	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-92	-170	-138	85	176	112	87
SPEC. PU-239	0.50	-9	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-92	-168	-135	83	172	110	87
SPEC. PU-239	0.60	-9	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-91	-165	-133	81	169	109	87
SPEC. PU-239	0.70	-10	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-91	-163	-131	80	166	108	87
SPEC. PU-239	0.80	-13	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-41	-90	-161	-129	78	162	107	86
SPEC. PU-239	0.90	-14	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-17	-40	-90	-159	-127	77	159	105	86
SPEC. PU-239	1.00	-14	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	-16	-40	-89	-157	-125	75	156	104	86
SPEC. U-235	-1.00	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-4	2	5	3	1
SPEC. U-235	-0.90	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-5	-4	2	5	2	1
SPEC. U-235	-0.80	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-4	2	5	2	1
SPEC. U-235	-0.70	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-4	2	5	2	1
SPEC. U-235	-0.60	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-4	2	5	2	1
SPEC. U-235	-0.50	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-4	2	4	2	1
SPEC. U-235	-0.40	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	-0.30	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	-0.20	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	-0.10	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	-0.05	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.05	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.10	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.20	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.30	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.40	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	2	4	2	1
SPEC. U-235	0.50	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	1	3	2	1
SPEC. U-235	0.60	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	1	3	2	1
SPEC. U-235	0.70	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-4	-3	1	3	2	1
SPEC. U-235	0.80	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	1	3	2	1
SPEC. U-235	0.90	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	1	3	2	1
SPEC. U-235	1.00	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	1	3	2	1

Table 3-4 Comparison of contribution of each nuclide and reaction to improvement of k_{eff} between ADJ98 and ADJ-XIX-2

Nuclide	Reaction*	Contribution (%)	
		ADJ98	ADJ-XIX-2
C	Capture	0.00	0.00
O	Elastic	0.00	0.00
O	Inelastic	0.00	0.00
O	μ	-0.11	-0.14
Na	Capture	0.00	0.00
Na	Elastic	-0.01	-0.01
Na	Inelastic	0.00	0.00
Na	μ	-0.07	-0.06
Cr	μ	0.00	0.00
Fe	Capture	0.01	0.01
Fe	Elastic	0.00	0.00
Fe	Inelastic	0.00	0.00
Fe	μ	-0.04	-0.03
Ni	μ	0.00	0.00
²³⁵ U	Capture	0.01	0.01
²³⁵ U	Fission	-0.07	-0.07
²³⁵ U	ν	0.00	0.01
²³⁵ U	Inelastic	0.00	0.00
²³⁵ U	χ	0.00	0.00
²³⁸ U	Capture	0.30	0.31
²³⁸ U	Fission	-0.02	0.00
²³⁸ U	ν	0.01	0.02
²³⁸ U	Elastic	-0.06	-0.06
²³⁸ U	Inelastic	-0.06	-0.06
²³⁸ U	μ	0.02	0.05
²³⁹ Pu	χ	0.16	0.15
²³⁹ Pu	Capture	-0.69	-0.68
²³⁹ Pu	Fission	0.54	0.60
²³⁹ Pu	ν	0.12	0.15
²³⁹ Pu	Inelastic	0.00	0.00
²³⁹ Pu	μ	-0.01	-0.01
²⁴⁰ Pu	Capture	0.01	0.02
²⁴⁰ Pu	Fission	0.05	0.05
²⁴⁰ Pu	ν	0.01	0.01
²⁴¹ Pu	Capture	0.00	0.00
²⁴¹ Pu	Fission	0.00	0.00
²⁴¹ Pu	ν	0.00	0.00
¹⁴ N	Elastic	0.00	0.00
¹⁴ N	Capture	0.00	0.03
Total		0.09	0.29

* Elastic: Elastic scattering, Inelastic: Inelastic scattering.

Table 3-5 Uncertainties for calculation accuracy on criticality of the nitride fuel FBR core

Uncertainty	Without adjustment	Adjusted		Difference	
	(a)JFS-3-J3.2	(b)ADJ98	(c)ADJ-XIX-2	(c)-(a)	(c)-(b)
$G^{(2)}MG^{(2)t}$	0.0143	-	-	-0.0143	-
$G^{(2)}MG^{(2)t}$	-	0.0046	0.0036	0.0036	-0.0010
$V_m^{(2)}$	0.0028	0.0028	0.0028	0.0	0.0
Total*	0.0146	0.0054	0.0045	-0.0101	-0.0009

* Total= $\{(G^{(2)}MG^{(2)t})^2+(V_m^{(2)})^2\}^{1/2}$ for (a)JFS-3-J3.2,

Total= $\{(G^{(2)}MG^{(2)t})^2+(V_m^{(2)})^2\}^{1/2}$ for (b)ADJ98 and (c)ADJ-XIX-2.

Table 3-6 Comparison of $G^{(2)}MG^{(2)t}$ of capture reaction of ^{14}N between ADJ98 and ADJ-XIX-2

Energy group number	Upper energy (eV)	$G^{(2)}MG^{(2)t}$		
		ADJ98	ADJ-XIX-2	Difference*
1	1.000E+07	3.59E-07	3.23E-07	-3.61E-08
2	6.065E+06	2.24E-06	2.01E-06	-2.26E-07
3	3.679E+06	2.24E-06	2.02E-06	-2.27E-07
4	2.231E+06	1.13E-06	1.02E-06	-1.14E-07
5	1.353E+06	1.73E-07	1.55E-07	-1.73E-08
6	8.209E+05	5.09E-07	4.59E-07	-5.04E-08
7	3.877E+05	8.78E-09	7.92E-09	-8.60E-10
8	1.832E+05	5.44E-09	4.91E-09	-5.28E-10
9	8.652E+04	1.77E-09	1.59E-09	-1.71E-10
10	4.087E+04	1.21E-09	1.09E-09	-1.19E-10
11	1.931E+04	9.77E-10	8.79E-10	-9.76E-11
12	9.119E+03	8.60E-10	7.73E-10	-8.70E-11
13	4.307E+03	0.0	0.0	0.0
14	2.035E+03	3.27E-10	2.94E-10	-3.31E-11
15	9.611E+02	0.0	0.0	0.0
16	4.540E+02	0.0	0.0	0.0
17	2.144E+02	0.0	0.0	0.0
18	1.013E+02	0.0	0.0	0.0
Total		6.67E-06	6.00E-06	-6.72E-07

* Difference=(ADJ-XIX-2)-(ADJ98).

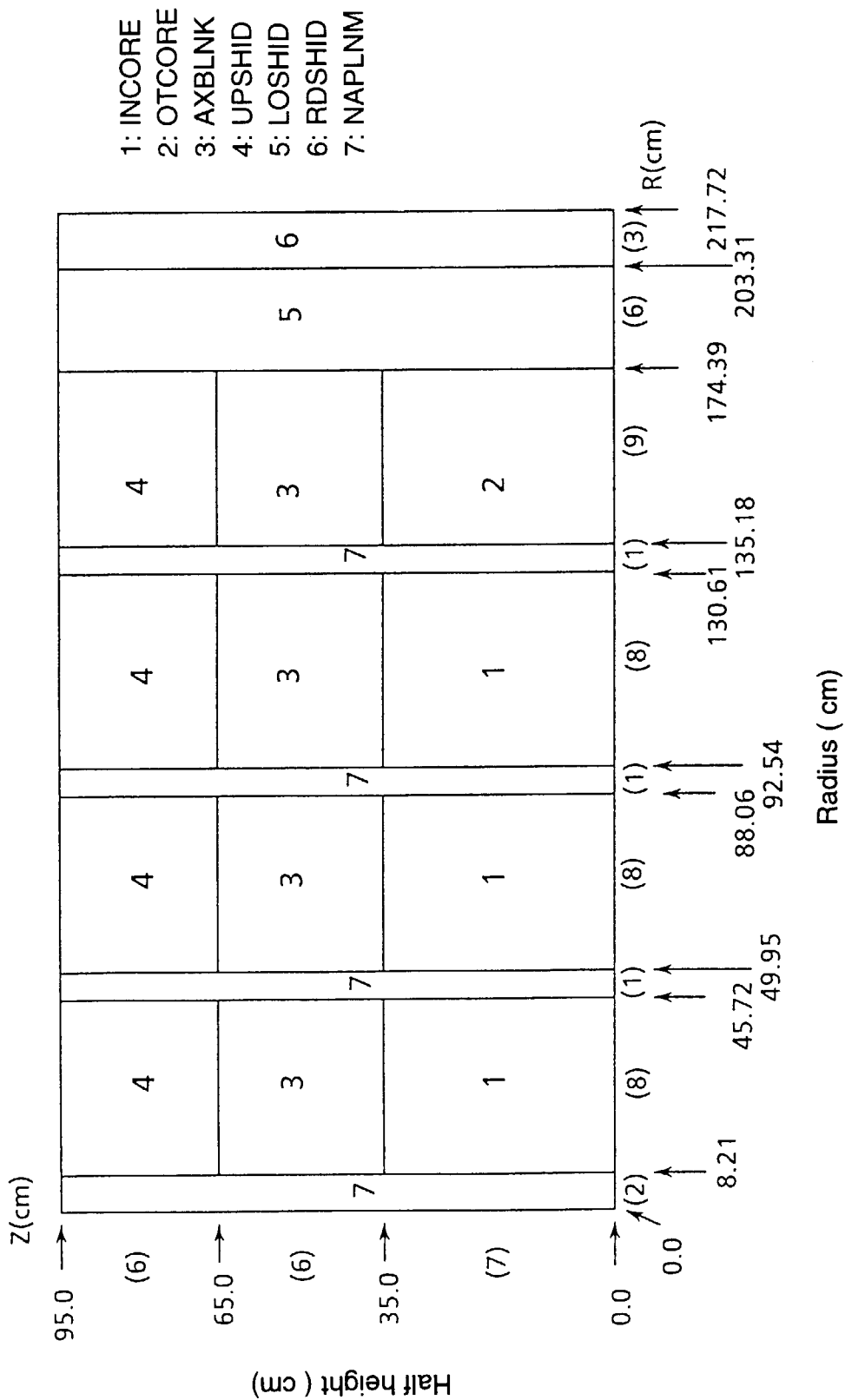
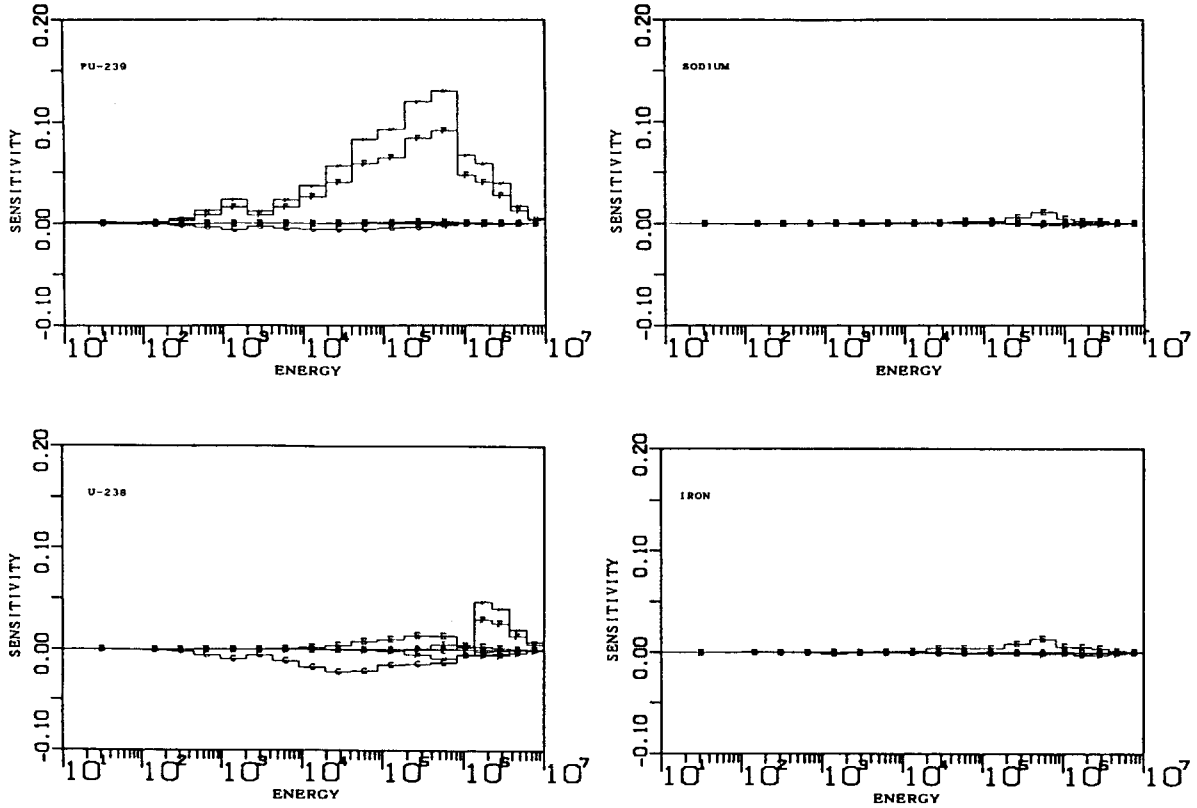
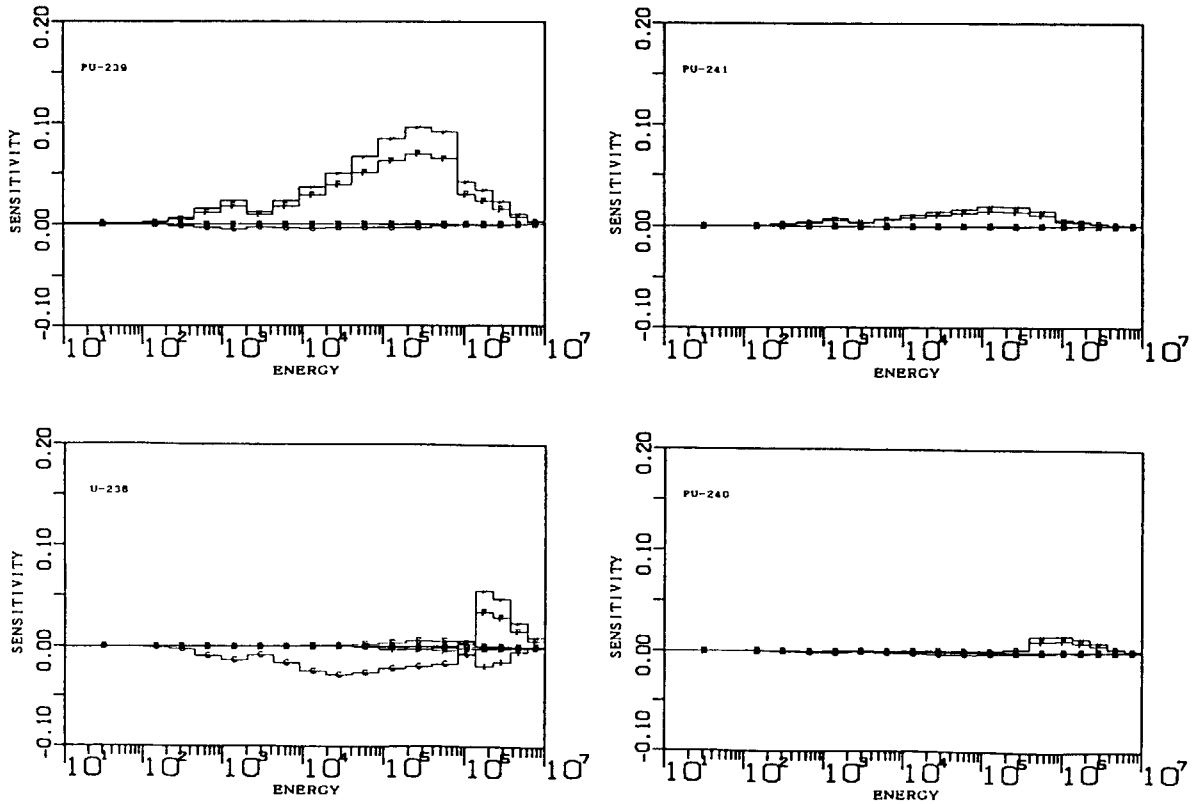


Fig. 3-1 RZ-model of the nitride fuel FBR core (1000MWe)



(A) The FCA XIX-2 core



(B) The nitride fuel FBR core (1000MWe)

Fig. 3-2 Energy breakdown of calculated sensitivity for k_{eff} of dominant nuclide

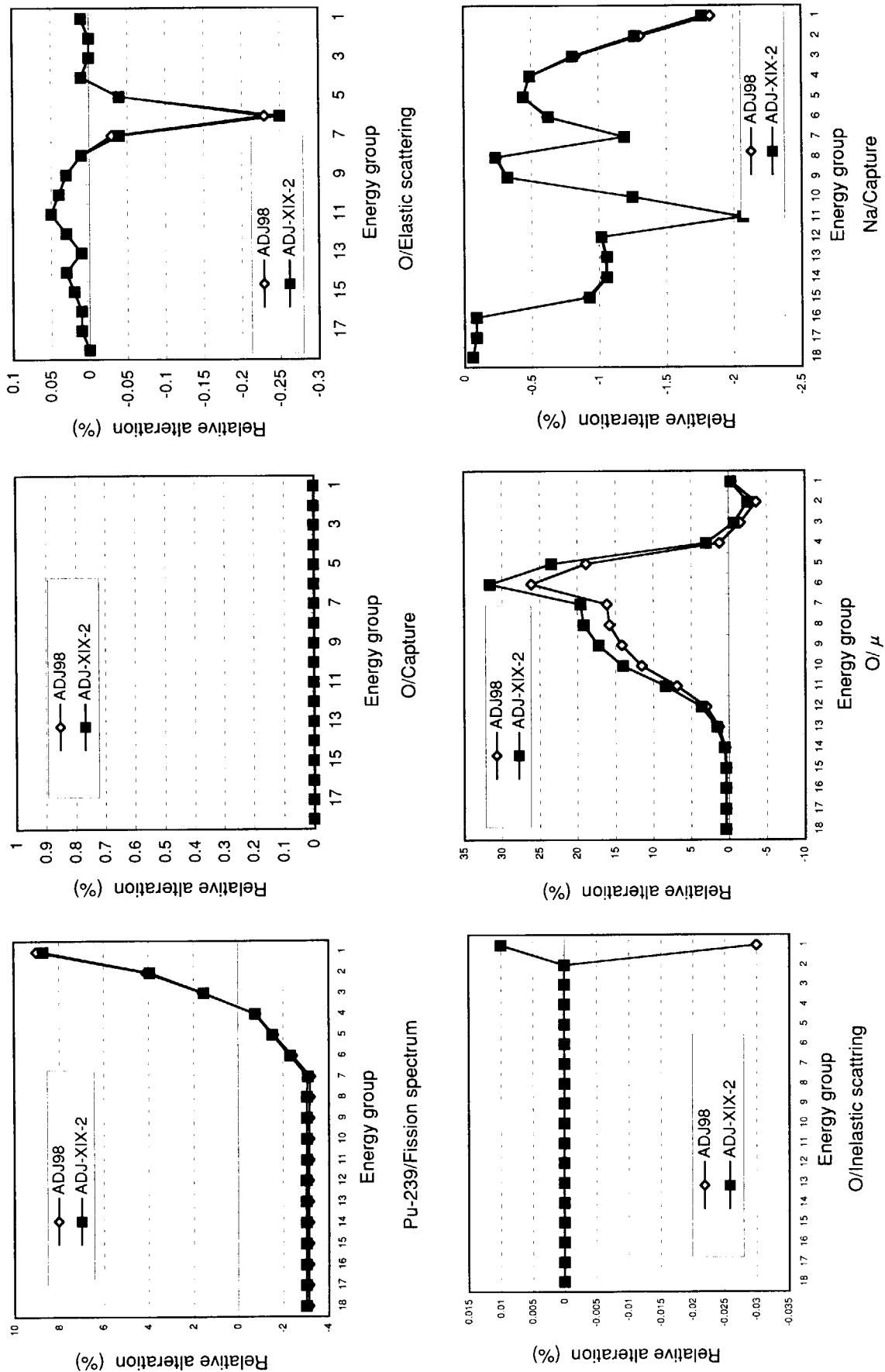


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2

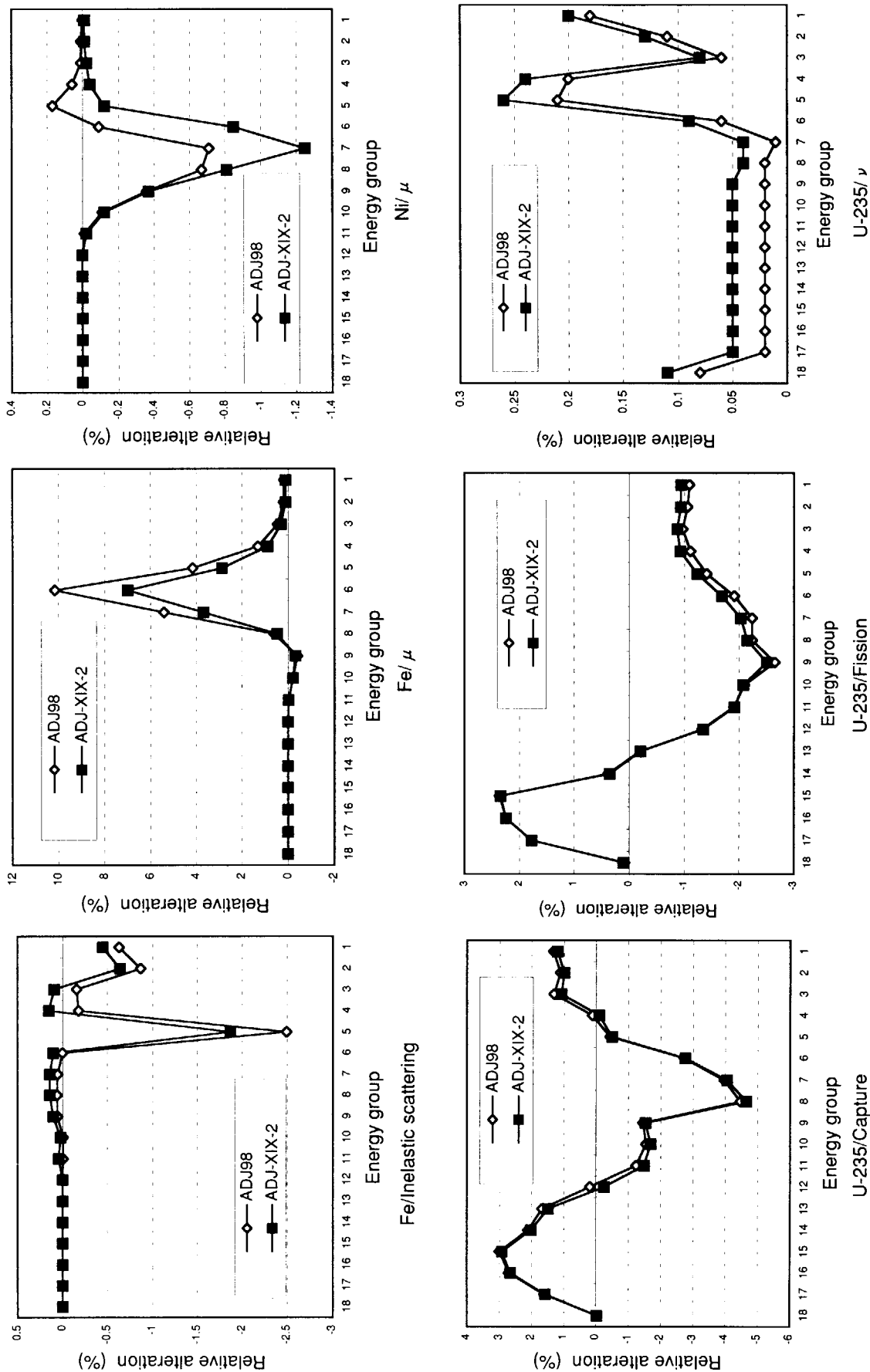


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

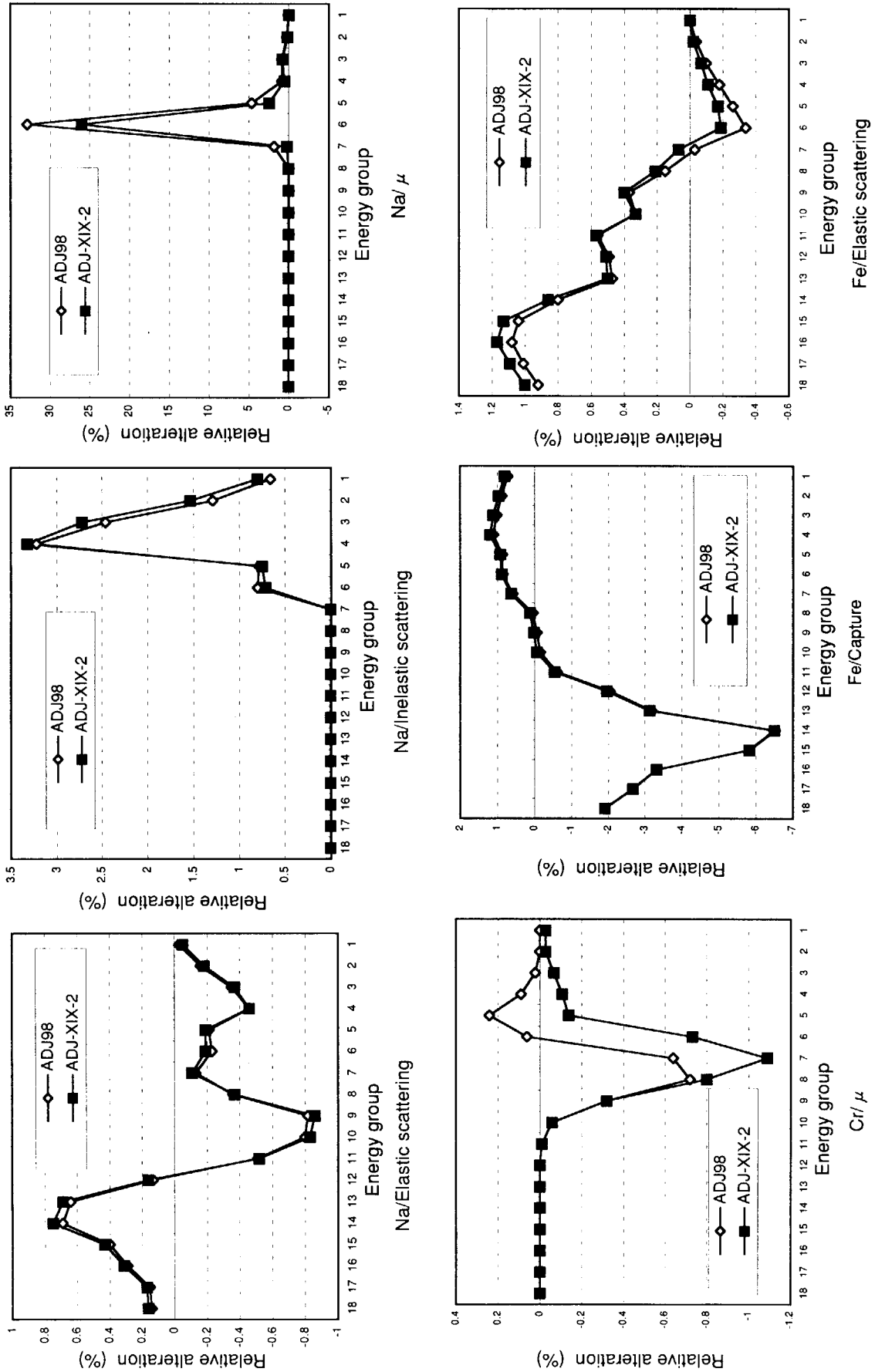


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

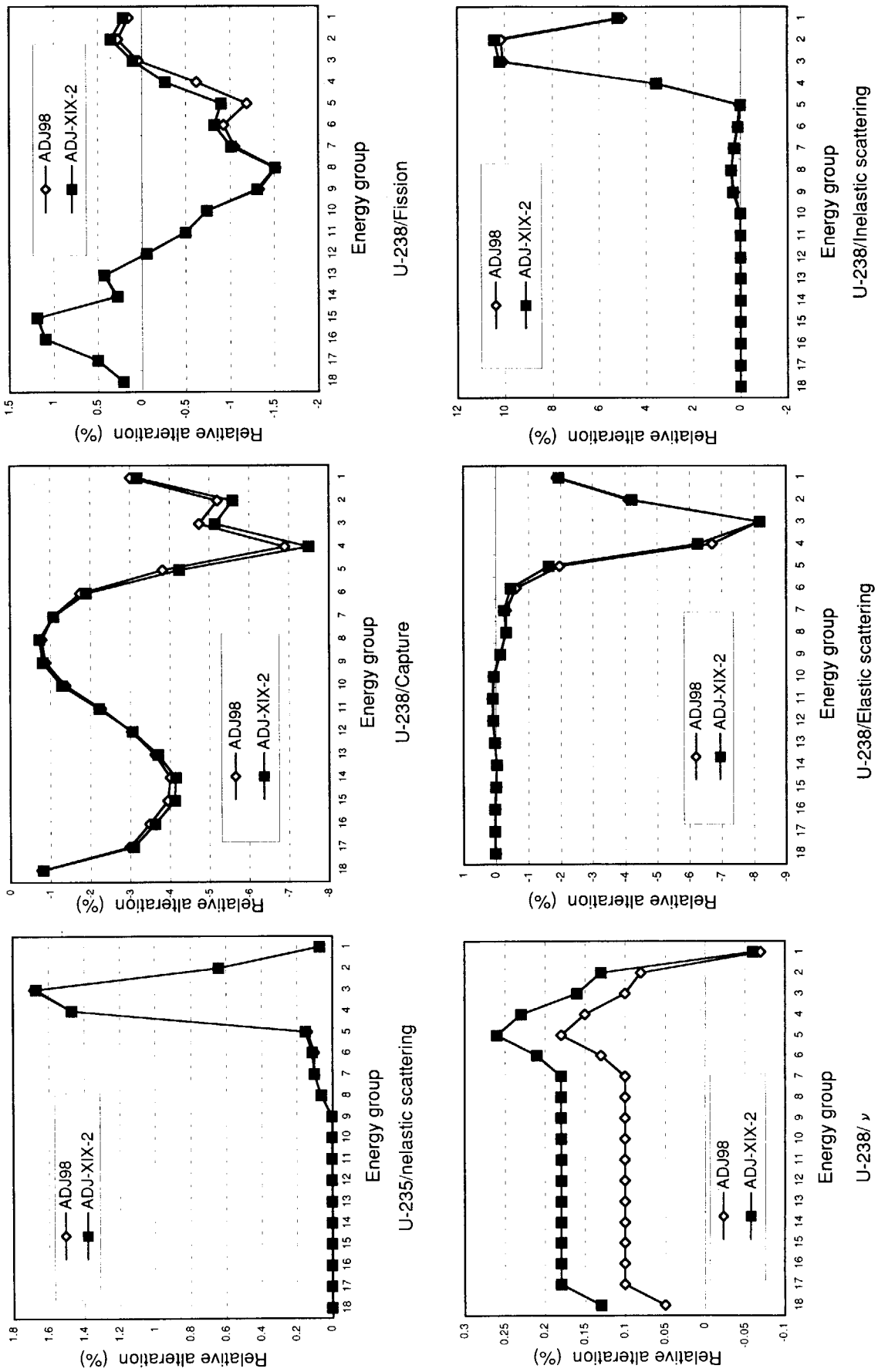


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

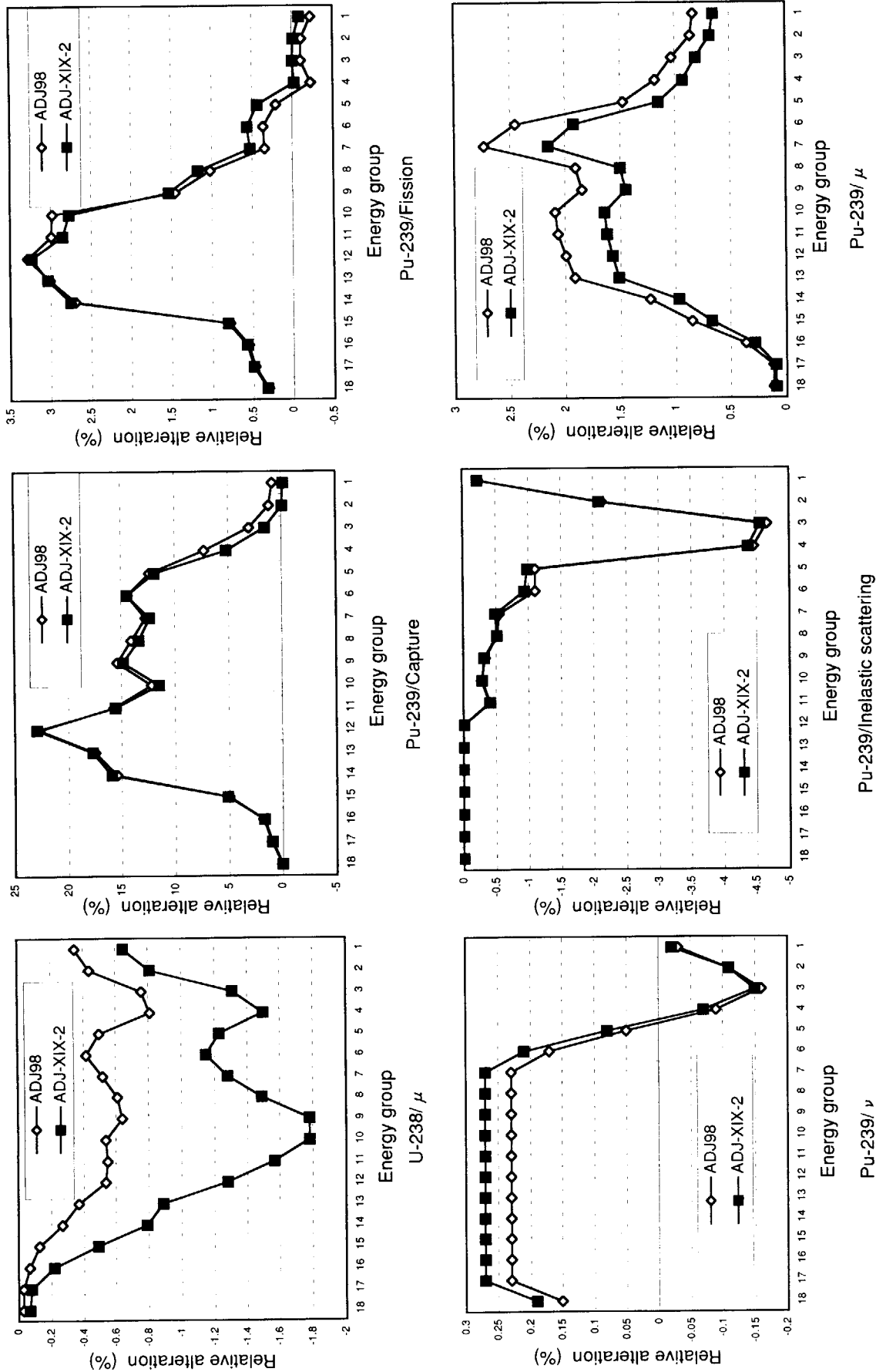


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

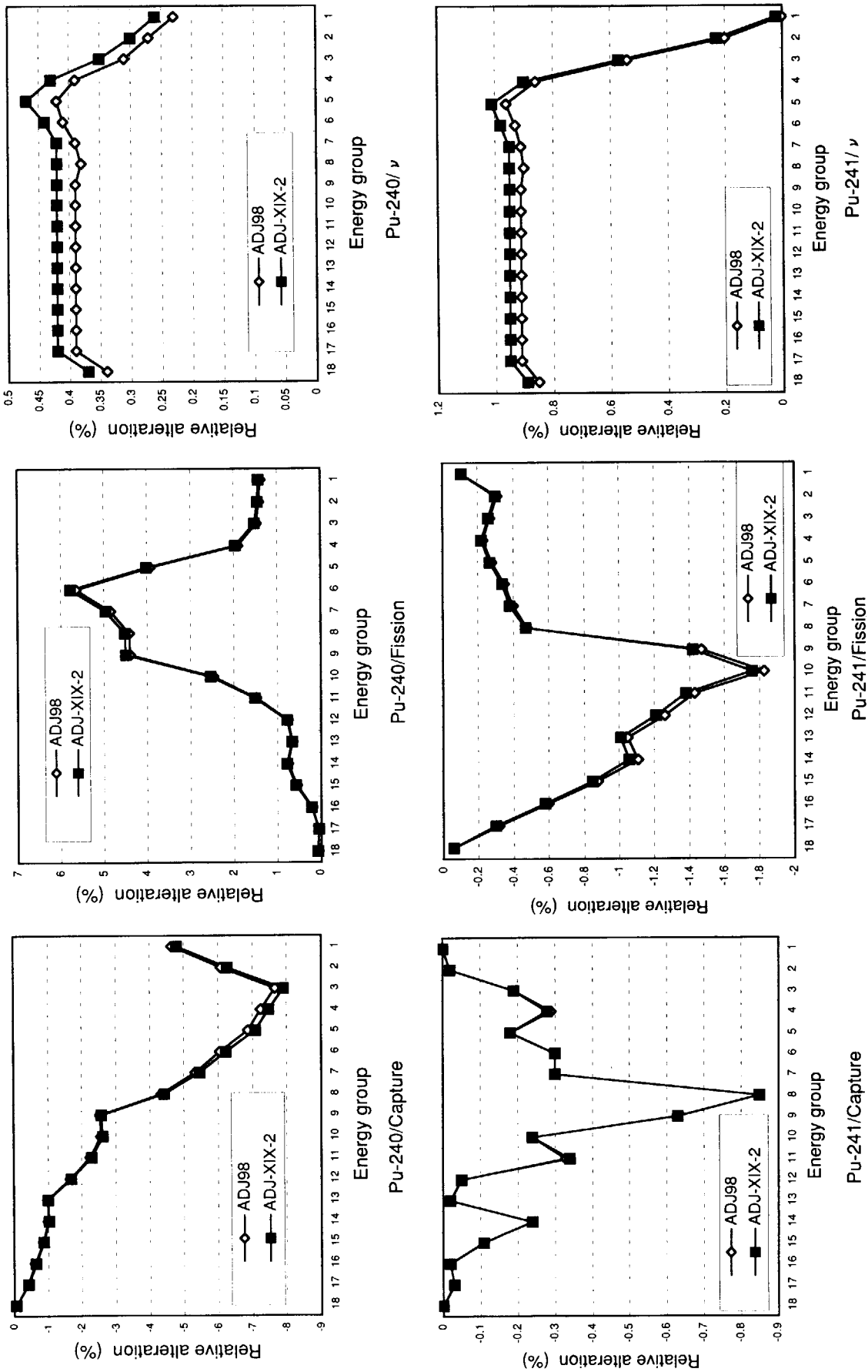


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

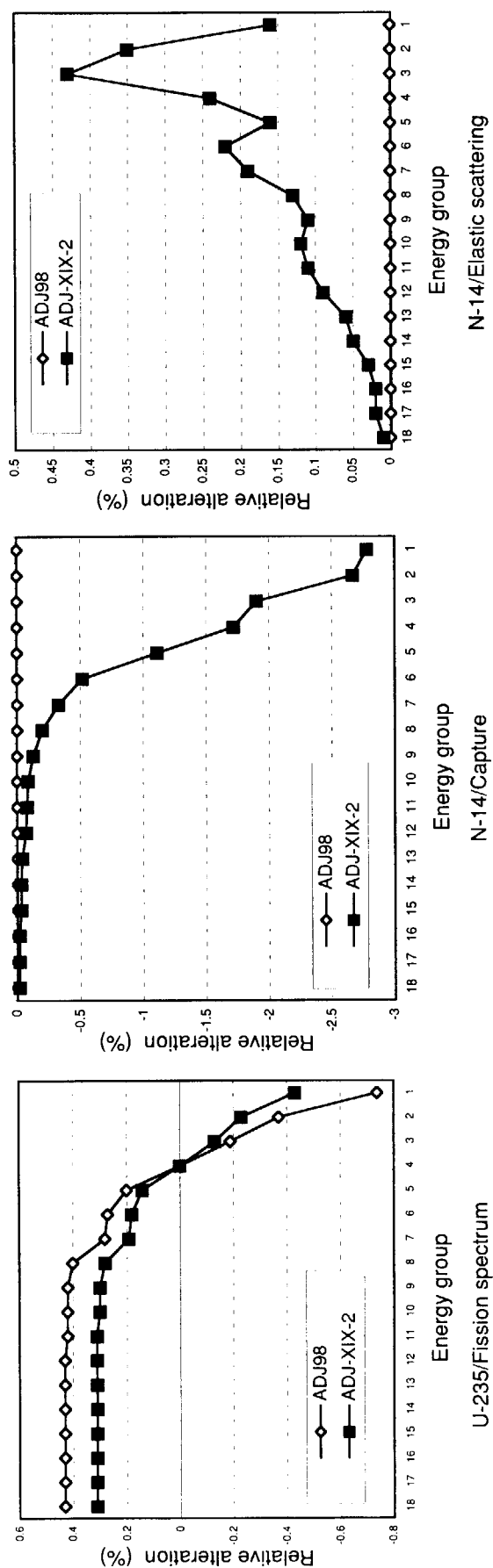


Fig. 3-3 Comparison of the adjusted cross sections of each nuclide/reaction between ADJ98 and ADJ-XIX-2 (Continued)

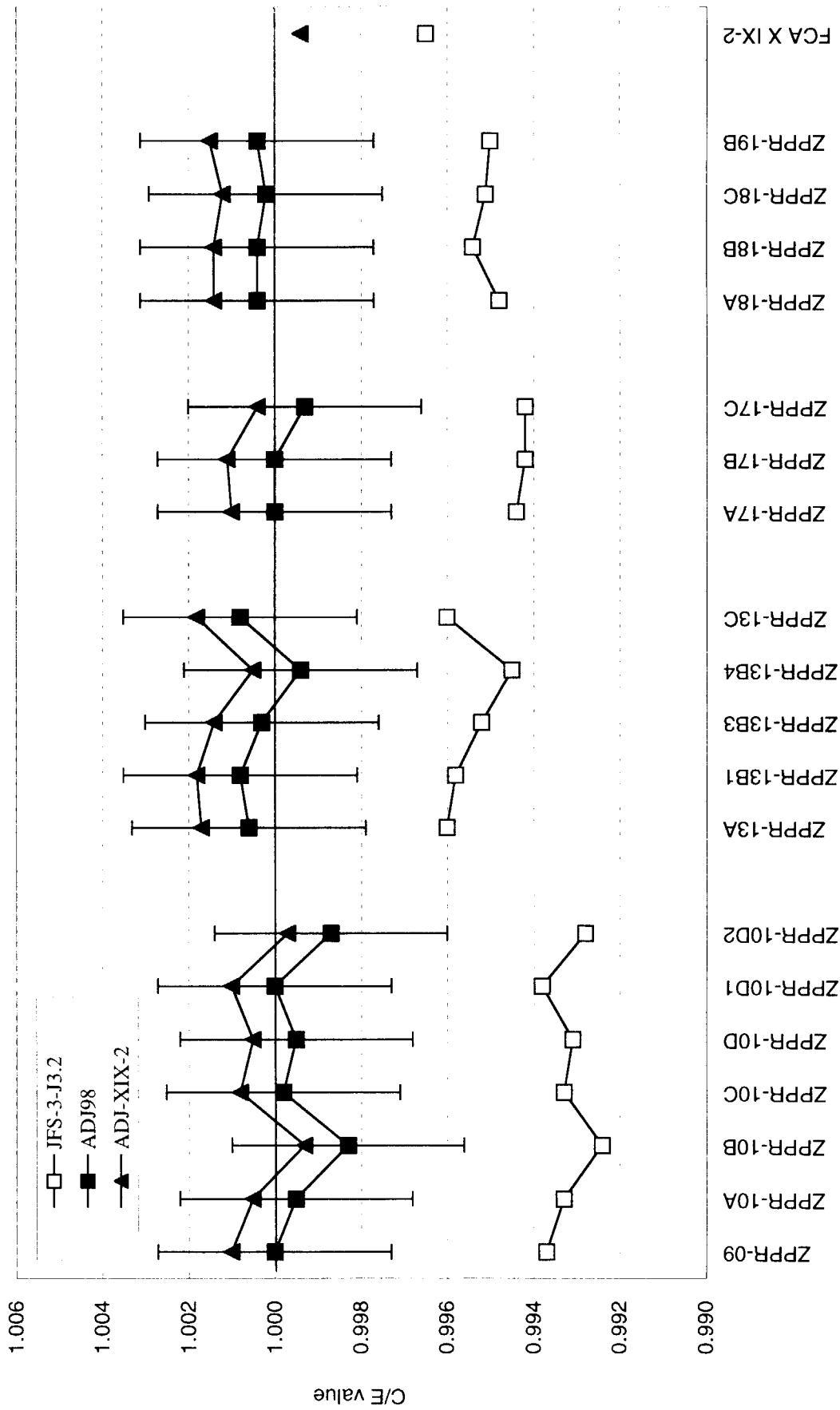


Fig. 3-4 Comparison of C/E values on k_{eff} of various experimental cores between the cross section sets

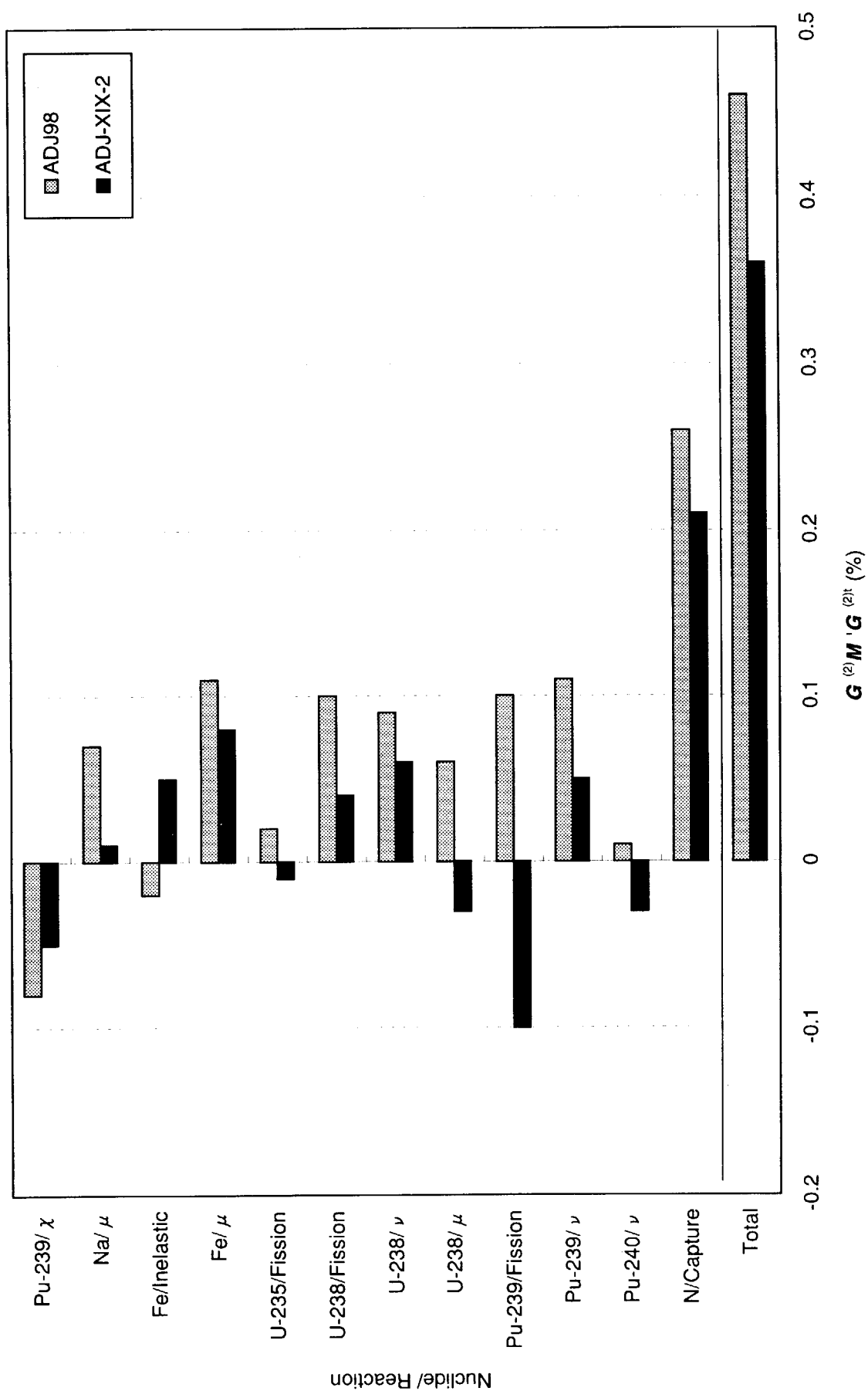


Fig. 3-5 Comparison of the $G^{(2)}M'G^{(2)k}$ for the criticality of the nitride fuel FBR core between ADJ98 and ADJ-XIX-2

4. まとめ

本研究では、窒化物燃料高速炉を模擬したXIX-2炉心において測定した臨界性に関するデータをADJ98版に用いたデータに加え炉定数調整を行った。作成したADJ-XIX-2版統合炉定数を用いて実機1000MWe級窒化物燃料高速炉の臨界性に関する設計精度を評価した。結論を以下にまとめる。

- (1) 感度解析を行った結果、XIX-2炉心、実機窒化物燃料炉心ともに、燃料核種である ^{239}Pu が臨界性に対して最も感度が大きいことが分かった。
- (2) ADJ-XIX-2版の統合炉定数をADJ98版と比較すると、酸素、 ^{238}U および ^{239}Pu の μ や ^{14}N の捕獲反応に比較的大きな差が生じた。特に ^{14}N の捕獲反応では、高エネルギー側で3%近く断面積が変化した。
- (3) ADJ-XIX-2版によって、XIX-2炉心の実効増倍率に対する解析精度は $C/E=0.9994$ となり、ADJ98版を用いる場合 ($C/E=0.9974$) より0.2%、炉定数調整前 ($C/E=0.9965$) より0.3%向上した。核種・反応毎の寄与をADJ98版と比較した結果、酸素と ^{238}U の μ 、 ^{239}Pu の核分裂反応および ν 、 ^{14}N の捕獲反応における寄与の差によって C/E 値が向上したことが分かった。
- (4) 実機窒化物燃料炉心の臨界性に関する設計精度については、ADJ-XIX-2版ではADJ98版と比較して主に ^{238}U の核分裂反応と μ 、 ^{239}Pu の核分裂反応と ν などが改善されることにより0.1%向上した。
- (5) ^{14}N の感度係数は他の構造材や燃料核種に比較して小さいものの、数MeV付近での ^{14}N の捕獲断面積の不確かさが設計精度に大きく影響を及ぼすことが分かった。

謝 辞

本研究成果報告書作成に当たり、大杉俊隆炉物理研究グループリーダー始め研究グループの方々から多くのアドバイスを頂いた。これらの方々には感謝します。XIX-2炉心での実験実施に当たっては、FCA管理機関の方々に多大なご協力を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Andoh M., et al: J. Nucl. Sci. and Technol., 36, 386(1999).
- 2) Iijima S., et al: JAERI-Review 96-012, "Reactor Engineering Department Annual Report", 67(1996).
- 3) 安藤真樹, 他: JAERI-Research 2000-017, "FCAを用いた窒化物燃料高速炉の模擬実験および解析"(2000).
- 4) 石川 眞: PNC TN9410 93-131(1993).
- 5) Maruyama T. and Ishikawa M.: J. Nucl. Sci. and Technol., 33, 597(1996).
- 6) Sakurai T., et al: Progress in Nuclear Energy, 35, 131(1999).
- 7) 原 昭浩, 他: JAERI-M 84-027, "SAGEP: 一般化摂動理論に基づく二次元感度解析コード"(1984).
- 8) Nakagawa T., et al: J. Nucl. Sci. and Technol., 32, 1259(1995).
- 9) Dragt J.B., et al: Nucl. Sci. Eng. 62, 117(1977).
- 10) Ishikawa M., et al: "Proc. Int. Conf. Mathematics Methods and Supercomputing in Nuclear Applications (M&C+SNA'93)", 1, 593(1993).
- 11) Oigawa H., et al: J. Nucl. Sci. and Technol., 37, 186(2000).
- 12) 横山賢治, 他: JNC TY9400 98-001(1998).
- 13) 中川庸雄, 他: JAERI-Research 95-043, "JENDL-3の数種類の断面積に対する共分散マトリックスの決定"(1995).
- 14) 石川 眞, 他: JNC TN9410 97-099(1997).
- 15) 横山賢治, 他: JNC TN9400 99-042(1999).

付録 炉定数調整による断面積の変化

炉定数調整による断面積変化量（相対値）をADJ98版とADJ-XIX-2版についてそれぞれ Table A-1とTable A-2 に示す。

Table A-1 断面積調整量 (ADJ-98)

Group	Upper Energy (eV)	Pu-239 χ	C		O		Na		Na		Cr		Fe		Fe		Ni	
			CAP	ELA	INEL	INEL	CAP	ELA	INEL	INEL	CAP	ELA	INEL	INEL	CAP	ELA	INEL	INEL
1	1.000E+07	8.98	0.00	0.01	-0.03	-0.38	-1.83	-0.03	0.66	0.00	0.00	0.72	0.00	-0.63	0.16	0.00	0.00	0.00
2	6.065E+06	4.08	0.00	0.00	0.00	-3.68	-1.31	-0.16	1.29	0.20	0.00	0.88	-0.04	-0.87	0.18	0.01	0.01	0.01
3	3.679E+06	1.59	0.00	0.00	0.00	-1.54	-0.83	-0.35	2.46	0.86	0.02	1.01	-0.10	-0.16	0.45	0.01	0.01	0.01
4	2.231E+06	-0.79	0.00	0.01	0.00	1.21	-0.49	-0.46	3.22	0.83	0.09	1.10	-0.18	-0.18	1.31	0.06	0.06	0.06
5	1.353E+06	-1.59	0.00	-0.04	0.00	18.87	-0.44	-0.21	0.78	4.63	0.24	0.87	-0.26	-2.49	4.16	0.17	0.17	0.17
6	8.209E+05	-2.41	0.00	-0.23	0.00	26.12	-0.62	-0.23	0.80	32.92	0.06	0.85	-0.34	0.00	10.15	-0.09	-0.09	-0.09
7	3.877E+05	-3.20	0.00	-0.03	0.00	16.11	-1.19	-0.13	0.00	1.83	-0.64	0.59	-0.03	0.05	5.40	-0.71	-0.71	-0.71
8	1.832E+05	-3.18	0.00	0.01	0.00	15.78	-0.24	-0.36	0.00	-0.02	-0.72	0.04	0.15	0.06	0.59	-0.67	-0.67	-0.67
9	8.652E+04	-3.16	0.00	0.03	0.00	14.13	-0.32	-0.82	0.00	-0.02	-0.32	-0.07	0.37	0.05	-0.41	-0.36	-0.36	-0.36
10	4.087E+04	-3.16	0.00	0.04	0.00	11.50	-1.25	-0.80	0.00	-0.01	-0.06	-0.16	0.33	-0.01	-0.22	-0.11	-0.11	-0.11
11	1.931E+04	-3.16	0.00	0.05	0.00	6.90	-2.06	-0.51	0.00	-0.01	-0.01	-0.62	0.56	-0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01
12	9.119E+03	-3.15	0.00	0.03	0.00	2.96	-1.02	0.13	0.00	0.00	0.00	-2.04	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	4.307E+03	-3.15	0.00	0.01	0.00	1.31	-1.05	0.64	0.00	0.00	0.00	-3.18	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	2.035E+03	-3.15	0.00	0.03	0.00	0.49	-1.05	0.69	0.00	0.00	0.00	-6.53	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	9.611E+02	-3.15	0.00	0.02	0.00	0.33	-0.92	0.40	0.00	0.00	0.00	-5.83	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	4.540E+02	-3.15	0.00	0.01	0.00	0.33	-0.09	0.29	0.00	0.00	0.00	-3.32	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	2.144E+02	-3.15	0.00	0.01	0.00	0.33	-0.09	0.15	0.00	0.00	0.00	-2.67	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	1.013E+02	-3.15	0.00	0.00	0.00	0.33	-0.06	0.14	0.00	0.00	0.00	-1.91	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CAP: Capture, ELA: Elastic scattering, INEL: Inelastic scattering

Table A-1 断面積調整量 (ADJ-98) (Continued)

Group	Upper Energy (eV)	unit: (%)														
		U-235 CAP	U-235 FIS	U-235 v	U-235 INEL	U-235 CAP	U-238 FIS	U-238 v	U-238 ELA	U-238 INEL	U-238 μ	Pu-239 CAP	Pu-239 FIS	Pu-239 v	Pu-239 INEL	Pu-239 μ
1	1.000E+07	1.31	-1.10	0.18	0.07	-3.02	0.15	-0.07	-1.88	5.01	-0.35	0.81	-0.23	-0.03	-0.24	0.83
2	6.065E+06	1.10	-1.07	0.11	0.64	-5.20	0.27	0.08	-4.12	10.16	-0.44	1.15	-0.12	-0.11	-2.14	0.86
3	3.679E+06	1.30	-0.98	0.06	1.68	-4.75	0.04	0.10	-8.17	10.07	-0.76	3.04	-0.11	-0.16	-4.67	1.03
4	2.231E+06	0.10	-1.12	0.20	1.47	-6.90	-0.62	0.15	-6.70	3.61	-0.81	7.23	-0.23	-0.09	-4.46	1.18
5	1.353E+06	-0.44	-1.42	0.21	0.14	-3.83	-1.19	0.18	-1.97	0.03	-0.50	12.36	0.20	0.05	-1.10	1.47
6	8.209E+05	-2.74	-1.92	0.06	0.10	-1.76	-0.93	0.13	-0.63	0.12	-0.42	14.41	0.36	0.17	-1.10	2.45
7	3.877E+05	-3.97	-2.24	0.01	0.10	-1.07	-1.05	0.10	-0.32	0.29	-0.52	12.69	0.34	0.23	-0.55	2.73
8	1.832E+05	-4.47	-2.24	0.02	0.06	-0.79	-1.52	0.10	-0.31	0.38	-0.61	14.02	1.02	0.23	-0.52	1.90
9	8.652E+04	-1.46	-2.66	0.02	0.00	-0.89	-1.33	0.10	-0.13	0.27	-0.64	15.35	1.45	0.23	-0.33	1.84
10	4.087E+04	-1.55	-2.10	0.02	0.00	-1.39	-0.74	0.10	0.08	0.00	-0.54	12.16	2.98	0.23	-0.28	2.09
11	1.931E+04	-1.25	-1.91	0.02	0.00	-2.27	-0.50	0.10	0.11	0.00	-0.55	15.69	2.99	0.23	-0.40	2.06
12	9.119E+03	0.18	-1.34	0.02	0.00	-3.04	-0.05	0.10	0.09	0.00	-0.54	22.69	3.28	0.23	-0.01	1.99
13	4.307E+03	1.66	-0.21	0.02	0.00	-3.63	0.42	0.10	0.04	0.00	-0.37	17.46	3.01	0.23	0.00	1.91
14	2.035E+03	2.11	0.37	0.02	0.00	-4.02	0.29	0.10	-0.02	0.00	-0.27	15.39	2.69	0.23	0.00	1.23
15	9.611E+02	2.99	2.36	0.02	0.00	-3.96	1.18	0.10	-0.01	0.00	-0.13	5.02	0.78	0.23	0.00	0.85
16	4.540E+02	2.70	2.24	0.02	0.00	-3.50	1.09	0.10	0.02	0.00	-0.07	1.79	0.55	0.23	0.00	0.36
17	2.144E+02	1.60	1.78	0.02	0.00	-2.99	0.50	0.10	0.04	0.00	-0.03	1.02	0.47	0.23	0.00	0.11
18	1.013E+02	-0.03	0.08	0.08	0.00	-0.78	0.21	0.05	0.01	0.00	-0.03	0.03	0.31	0.15	0.00	0.11

CAP: Capture, FIS: Fission, ELA: Elastic scattering, INEL: Inelastic scattering

Table A-1 断面積調整量 (ADJ-98) (Continued)

Group	Upper Energy (eV)	Pu-240		Pu-241		Pu-241		Pu-241		Pu-241		U-235	
		CAP	FIS	v	FIS	v	CAP	FIS	v	FIS	v	χ	χ
1	1.000E+07	-0.74	-4.65	1.38	0.23	0.00	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	0.00	0.00
2	6.065E+06	-0.37	-6.08	1.41	0.27	-0.02	-0.02	-0.31	0.20	-0.31	0.20	0.20	0.20
3	3.679E+06	-0.19	-7.67	1.47	0.31	-0.19	-0.19	-0.27	0.54	-0.27	0.54	0.54	0.54
4	2.231E+06	0.00	-7.25	1.90	0.39	-0.29	-0.29	-0.23	0.86	-0.23	0.86	0.86	0.86
5	1.353E+06	0.20	-6.88	3.92	0.42	-0.18	-0.18	-0.28	0.96	-0.28	0.96	0.96	0.96
6	8.209E+05	0.27	-6.06	5.64	0.41	-0.30	-0.30	-0.35	0.93	-0.35	0.93	0.93	0.93
7	3.877E+05	0.28	-5.34	4.84	0.39	-0.30	-0.30	-0.40	0.91	-0.40	0.91	0.91	0.91
8	1.832E+05	0.40	-4.35	4.41	0.38	-0.85	-0.85	-0.48	0.90	-0.48	0.90	0.90	0.90
9	8.652E+04	0.42	-2.54	4.39	0.39	-0.63	-0.63	-1.47	0.91	-1.47	0.91	0.91	0.91
10	4.087E+04	0.42	-2.57	2.47	0.39	-0.24	-0.24	-1.83	0.91	-1.83	0.91	0.91	0.91
11	1.931E+04	0.42	-2.25	1.48	0.39	-0.33	-0.33	-1.43	0.91	-1.43	0.91	0.91	0.91
12	9.119E+03	0.43	-1.66	0.75	0.39	-0.05	-0.05	-1.26	0.91	-1.26	0.91	0.91	0.91
13	4.307E+03	0.43	-0.99	0.65	0.39	-0.02	-0.02	-1.05	0.91	-1.05	0.91	0.91	0.91
14	2.035E+03	0.43	-1.01	0.75	0.39	-0.24	-0.24	-1.11	0.91	-1.11	0.91	0.91	0.91
15	9.611E+02	0.43	-0.86	0.55	0.39	-0.11	-0.11	-0.88	0.91	-0.88	0.91	0.91	0.91
16	4.540E+02	0.43	-0.62	0.19	0.39	-0.02	-0.02	-0.60	0.91	-0.60	0.91	0.91	0.91
17	2.144E+02	0.43	-0.41	0.05	0.39	-0.03	-0.03	-0.32	0.91	-0.32	0.91	0.91	0.91
18	1.013E+02	0.43	-0.06	0.06	0.34	0.00	0.00	-0.06	0.85	-0.06	0.85	0.85	0.85

CAP: Capture, FIS: Fission, ELA: Elastic scattering

Table A-2 断面積調整量 (ADJ-XIX-2)

Group	Upper Energy (EV)	Pu-239 χ	O		Na		Cr		Fe		Ni						
			CAP	ELA	INEL	μ	CAP	ELA	INEL	μ	CAP	ELA	INEL	μ			
1	1.000E+07	8.70	0.00	0.01	0.01	-0.32	-1.77	-0.05	0.80	0.80	-0.01	-0.03	0.80	0.00	-0.45	0.10	-0.01
2	6.065E+06	3.94	0.00	0.00	0.00	-2.53	-1.27	-0.18	1.53	0.96	0.15	-0.03	0.96	-0.02	-0.64	0.11	-0.01
3	3.679E+06	1.54	0.00	0.00	0.00	-0.70	-0.81	-0.37	2.72	1.10	0.76	-0.07	1.10	-0.07	0.09	0.30	-0.02
4	2.231E+06	-0.76	0.00	0.01	0.00	2.93	-0.49	-0.46	3.32	1.18	0.52	-0.11	1.18	-0.11	0.15	0.88	-0.04
5	1.353E+06	-1.54	0.00	-0.04	0.00	23.41	-0.44	-0.19	0.75	0.92	2.47	-0.14	0.92	-0.17	-1.87	2.87	-0.12
6	8.209E+05	-2.33	0.00	-0.25	0.00	31.60	-0.63	-0.19	0.71	0.88	26.03	-0.73	0.88	-0.19	0.10	6.98	-0.85
7	3.877E+05	-3.09	0.00	-0.04	0.00	19.59	-1.19	-0.11	0.00	0.63	0.21	-1.09	0.63	0.07	0.14	3.69	-1.25
8	1.832E+05	-3.06	0.00	0.01	0.00	19.19	-0.23	-0.37	0.00	0.12	0.02	-0.80	0.12	0.21	0.14	0.47	-0.81
9	8.652E+04	-3.05	0.00	0.03	0.00	17.20	-0.32	-0.86	0.00	0.01	0.02	-0.32	0.01	0.40	0.10	-0.33	-0.37
10	4.087E+04	-3.05	0.00	0.04	0.00	14.00	-1.25	-0.83	0.00	-0.07	0.01	-0.06	-0.07	0.33	0.02	-0.21	-0.12
11	1.931E+04	-3.05	0.00	0.05	0.00	8.40	-2.07	-0.52	0.00	-0.55	0.01	-0.01	-0.55	0.57	0.04	-0.03	-0.02
12	9.119E+03	-3.04	0.00	0.03	0.00	3.60	-1.02	0.16	0.00	-1.96	0.00	0.00	-1.96	0.51	0.00	0.00	0.00
13	4.307E+03	-3.04	0.00	0.01	0.00	1.60	-1.06	0.69	0.00	-3.13	0.00	0.00	-3.13	0.50	0.00	0.00	0.00
14	2.035E+03	-3.04	0.00	0.03	0.00	0.60	-1.06	0.75	0.00	-6.51	0.00	0.00	-6.51	0.86	0.00	0.00	0.00
15	9.611E+02	-3.04	0.00	0.02	0.00	0.40	-0.93	0.43	0.00	-5.82	0.00	0.00	-5.82	1.13	0.00	0.00	0.00
16	4.540E+02	-3.04	0.00	0.01	0.00	0.40	-0.09	0.31	0.00	-3.32	0.00	0.00	-3.32	1.17	0.00	0.00	0.00
17	2.144E+02	-3.04	0.00	0.01	0.00	0.40	-0.09	0.17	0.00	-2.67	0.00	0.00	-2.67	1.09	0.00	0.00	0.00
18	1.013E+02	-3.04	0.00	0.00	0.00	0.40	-0.06	0.16	0.00	-1.91	0.00	0.00	-1.91	1.00	0.00	0.00	0.00

CAP: Capture, ELA: Elastic scattering, INEL: Inelastic scattering

Table A-2 断面積調整量 (ADJ-XIX-2) (Continued)

Group	Upper Energy (eV)	U-235		U-238		U-238		U-238		U-238		Pu-239		Pu-239		Pu-239		unit: (%)
		CAP	FIS	NU	INEL	CAP	FIS	v	ELA	INEL	μ	CAP	FIS	v	INEL	μ		
1	1.000E+07	1.19	-0.95	0.20	0.07	-3.19	0.21	-0.06	-1.94	5.19	-0.65	-0.17	-0.09	-0.02	-0.23	0.65		
2	6.065E+06	0.98	-0.94	0.13	0.64	-5.59	0.35	0.13	-4.22	10.43	-0.81	-0.10	-0.02	-0.11	-2.09	0.68		
3	3.679E+06	1.07	-0.88	0.08	1.67	-5.14	0.10	0.16	-8.19	10.22	-1.31	1.55	-0.01	-0.15	-4.56	0.81		
4	2.231E+06	-0.11	-0.93	0.24	1.47	-7.51	-0.27	0.23	-6.26	3.56	-1.50	5.18	-0.03	-0.07	-4.38	0.93		
5	1.353E+06	-0.50	-1.25	0.26	0.15	-4.25	-0.90	0.26	-1.63	-0.01	-1.23	11.90	0.43	0.08	-0.98	1.15		
6	8.209E+05	-2.77	-1.70	0.09	0.11	-1.91	-0.82	0.21	-0.46	0.09	-1.15	14.44	0.56	0.21	-0.94	1.92		
7	3.877E+05	-4.06	-2.04	0.04	0.10	-1.09	-1.01	0.18	-0.26	0.27	-1.28	12.35	0.52	0.27	-0.49	2.15		
8	1.832E+05	-4.66	-2.15	0.04	0.06	-0.73	-1.51	0.18	-0.31	0.40	-1.49	13.33	1.17	0.27	-0.51	1.50		
9	8.652E+04	-1.54	-2.51	0.05	0.00	-0.82	-1.31	0.18	-0.14	0.30	-1.78	14.83	1.53	0.27	-0.32	1.45		
10	4.087E+04	-1.70	-2.08	0.05	0.00	-1.30	-0.74	0.18	0.07	0.00	-1.78	11.45	2.77	0.27	-0.29	1.64		
11	1.931E+04	-1.49	-1.92	0.05	0.00	-2.22	-0.50	0.18	0.10	0.00	-1.57	15.56	2.85	0.27	-0.41	1.62		
12	9.119E+03	-0.26	-1.35	0.05	0.00	-3.07	-0.06	0.18	0.08	0.00	-1.28	22.95	3.23	0.27	-0.01	1.57		
13	4.307E+03	1.48	-0.21	0.05	0.00	-3.71	0.43	0.18	0.04	0.00	-0.89	17.71	3.03	0.27	0.00	1.51		
14	2.035E+03	2.01	0.35	0.05	0.00	-4.15	0.28	0.18	-0.02	0.00	-0.79	15.91	2.75	0.27	0.00	0.97		
15	9.611E+02	2.91	2.34	0.05	0.00	-4.13	1.19	0.18	0.00	0.00	-0.49	5.15	0.81	0.27	0.00	0.67		
16	4.540E+02	2.66	2.24	0.05	0.00	-3.64	1.09	0.18	0.03	0.00	-0.22	1.71	0.57	0.27	0.00	0.28		
17	2.144E+02	1.57	1.78	0.05	0.00	-3.09	0.50	0.18	0.04	0.00	-0.08	0.95	0.49	0.27	0.00	0.09		
18	1.013E+02	-0.03	0.09	0.11	0.00	-0.81	0.21	0.13	0.02	0.00	-0.07	-0.02	0.32	0.19	0.00	0.09		

CAP: Capture, FIS: Fission, ELA: Elastic scattering, INEL: Inelastic scattering

Table A-2 断面積調整量 (ADJ-XIX-2) (Continued)

Group	Upper Energy (eV)	unit: (%)									
		Pu-240 CAP	Pu-240 FIS	Pu-240 v	Pu-240 CAP	Pu-241 FIS	Pu-241 v	U-235 χ	N-14 CAP	N-14 ELA	
1	1.000E+07	-4.79	1.42	0.26	0.00	-0.11	0.02	-0.43	-2.78	0.16	
2	6.065E+06	-6.27	1.44	0.30	-0.02	-0.30	0.23	-0.23	-2.67	0.35	
3	3.679E+06	-7.91	1.51	0.35	-0.19	-0.26	0.57	-0.13	-1.90	0.43	
4	2.231E+06	-7.48	1.95	0.43	-0.28	-0.22	0.90	0.00	-1.72	0.24	
5	1.353E+06	-7.09	4.01	0.47	-0.18	-0.27	1.01	0.14	-1.11	0.16	
6	8.209E+05	-6.23	5.77	0.44	-0.30	-0.34	0.98	0.18	-0.52	0.22	
7	3.877E+05	-5.47	4.96	0.42	-0.30	-0.38	0.95	0.19	-0.33	0.19	
8	1.832E+05	-4.43	4.51	0.42	-0.85	-0.47	0.95	0.28	-0.20	0.13	
9	8.652E+04	-2.59	4.49	0.42	-0.63	-1.42	0.95	0.30	-0.13	0.11	
10	4.087E+04	-2.62	2.53	0.42	-0.24	-1.76	0.95	0.30	-0.09	0.12	
11	1.931E+04	-2.29	1.51	0.42	-0.34	-1.38	0.95	0.31	-0.08	0.11	
12	9.119E+03	-1.69	0.77	0.42	-0.05	-1.21	0.95	0.31	-0.07	0.09	
13	4.307E+03	-1.01	0.66	0.42	-0.02	-1.01	0.95	0.31	-0.04	0.06	
14	2.035E+03	-1.03	0.77	0.42	-0.24	-1.06	0.95	0.31	-0.03	0.05	
15	9.611E+02	-0.88	0.57	0.42	-0.11	-0.85	0.95	0.31	-0.03	0.03	
16	4.540E+02	-0.64	0.20	0.42	-0.02	-0.58	0.95	0.31	-0.02	0.02	
17	2.144E+02	-0.42	0.05	0.42	-0.03	-0.30	0.95	0.31	-0.02	0.02	
18	1.013E+02	-0.06	0.07	0.37	0.00	-0.06	0.89	0.31	-0.02	0.01	

CAP: Capture, FIS: Fission, ELA: Elastic scattering

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束照度	ルーメンルクス	lm lx	cd·sr lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATA の1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))
動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J (熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J (15 °C)
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J (国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

FCA X-1 X-2 炉心データによる炉定数調整

— 平成11年度報告書 —

(共同研究)