

WIMS-ATRコードライブラリーの改良，整備

区分変更	
変更後資料番号	PNC SN941 85-167
決裁年月日	平成 10年 3月 26日

1985年11月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

WIMS-ATRコードライブラリーの改良，整備

弟子丸 剛英 * 若 林 利 男 **
福 村 信 男 **

要 旨

「ふげん」燃料PIE測定値及びDCA格子パラメータ測定値を用い、WIMS-ATRコードの精度確認及びライブラリ変更による精度向上の検討を行った。得られた結果は、次の通りである。

1. 現状のWIMS-ATRコードによる燃焼計算，U，Pu同位体組成計算の誤差は，16GWd/t燃焼時点で，Uで0.002%，Puで2%（絶対差）程度である。
2. 現状のWIMS-ATRコードでは， ^{238}Pu の燃焼，生成チェーンが整備されていないため，ライブラリに追加し，その結果 ^{238}Pu の計算誤差が大幅に改善された。
3. Pu断面積の変更により，組成計算結果がどう変化するか，感度解析を行い，合わせて他のWIMSライブラリ変更提案についても検討した。それらに基づき， k_{eff} をできるだけ変化させず，組成計算誤差を小さくするライブラリ変更について検討した。その結果，Pu組成計算誤差を1%以内に納めることができる。
4. ライブラリ変更により，DCA格子パラメータ計算誤差も改善できた。

* 新型転換炉ふげん発電所保修課

** 大洗工学センター実験炉部重水臨界実験室

Adjustments to the WIMS-ATR Nuclear Data Library

Takehide Deshimaru, Toshio Wakabayashi
and Nobuo Fukumura

Abstract

Calculational accuracy of the WIMS-ATR code is analyzed based on Post Irradiation Examination (PIE) data of Fugen MOX fuel and micro-parameter data of DCA fuel assemblies.

In order to minimize discrepancies between calculational results by the WIMS-ATR and experimental ones, the nuclear library data in the WIMS-ATR are adjusted or added.

The results are as follows.

1. The errors of heavy nuclide number density ratio by the WIMS-ATR burn-up calculation were max. 0.002% for uranium isotope ratio and max. 2% for isotope ratio at 16 GWd/t burn-up.
2. The error of ^{238}Pu ratio was much decreased by adding ^{238}Pu burn-up and product chain to the WIMS-ATR nuclear data library.
3. The effects of Pu or U cross section changes were calculated. The adjustments to the WIMS-ATR nuclear data library were proposed to decrease the error of Pu isotopic ratio to max. 1%.
4. The error of micro-parameter calculation was decreased by the adjustments.

* Fugen Power Station, Maintenance Section.

** O-arai Engineering Center, DCA.

目 次

第1章 序 論	1
第2章 P I E実測値によるW I M S - A T R計算精度の検討	2
1. 「ふげん」燃料照射後試験結果	2
2. W I M S - A T R計算結果との比較	2
3. P u 燃焼チェーンの追加の検討	4
4. P u ライブラリ変更による感度解析	4
第3章 D C A格子パラメータ測定値によるW I M S - A T R計算精度の検討	23
1. D C A格子パラメータ測定結果	23
2. W I M S - A T R計算結果との比較	24
3. P u ライブラリ変更による感度解析	26
第4章 P u ライブラリ変更の提案	35
第5章 結 論	44
参考文献	45
付録1 W I M S - A T R入力データ	46
付録2 H a l s a l lによるW I M Sライブラリー変更提案	56

表 リ ス ト

表 1	同位体組成比測定結果	7
表 2	P I E対象燃料セグメント燃焼履歴	8
表 3	P I E実測値と計算値との比較	9
表 4	P I E実測値と計算値との比較	10
表 5	O-22 燃焼度 (ペレット平均)	3
表 6	P I E実測値と計算値との比較	11
表 7	追加核種及び出典	12
表 8	P I E実測値と計算値との比較	13
表 9	ライブラリー変更による固有値の変化	4
表 10	69-Group Energy Boundaries for WIMS	14
表 11	Pu 断面積変更による感度解析計算ケース一覧	15
表 12	Pu 断面積変更による燃焼後組成への影響	16
表 13	σ_a と組成比変化	5
表 14	WIMS ライブラリー変更による影響	17
表 15	DCA 格子パラメータ測定条件	23
表 16	DCA 格子パラメータ測定結果	27
表 17	DCA 格子パラメータ測定値と計算値との比較	28
表 18	DCA 格子パラメータ測定値と計算値との比較	29
表 19	DCA 格子パラメータ測定値と計算値との比較	30
表 20	共鳴領域のPu 断面積変更による格子パラメータ計算値の変化	31
表 21	熱領域のPu 断面積変更による格子パラメータ計算値の変化	32
表 22	^{239}Pu の0.3 eV付近の断面積変更結果	33
表 23	P I E実測値と計算値との比較	37
表 24	P I E実測値と計算値との比較	38
表 25	P I E実測値と計算値との比較	39
表 26	P I E実測値と計算値との比較	40
表 27	DCA 格子パラメータ測定値と計算値との比較	41
表 28	Pu 断面積の変更	42

図 リ ス ト

図 1	照射後試験対象燃料炉心装荷位置	18
図 2	新型転換炉ふげん発電所運転履歴	19
図 3	照射後試験対象燃料棒配置図	20
図 4	照射後試験試料採取位置図	21
図 5	U-Pu 燃焼崩壊系列図	22
図 6	格子パラメータ測定時箔装着状況	34
図 7	^{239}Pu の熱領域断面積 (WIMS-ATRライブラリ)	43

第 1 章 序 論

ATR核設計コードの1つであるWIMS-ATRは、英国で開発されたWIMSコードを基本とし、大洗工学センタ重水臨界実験室（以下「DCA」）での各種測定値、新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」）での各種試験データ、運転データに基づき、ライブラリの追加、コード改良を行い開発されたものである。WIMS-ATRコードは、今後のATR開発等での炉心設計上重要であり、常に、実測値に基づき改良、精度向上を行っていく必要がある。今回、「ふげん」燃料の照射試験（以下「PIE」）により、16GWd/t燃焼後のU、Pu同位体組成測定値が得られたので、このデータ及びDCAにおける格子パラメータ測定値に基づき、WIMS-ATRの精度向上について、ライブラリの変更を含め検討した。

第2章 P I E実測値によるWIMS-ATR計算精度の検討

1. 「ふげん」燃料照射後試験

「ふげん」の初装荷ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料のうち1体について照射後試験が実施され、燃焼後のウラン及びプルトニウム同位体組成比等が測定された。この測定結果を使い、WIMS-ATRの燃焼計算精度を検討した。

照射後試験対象燃料(燃料集合体No P06)は炉心のほぼ中央に昭和53年3月から昭和57年9月まで装荷され燃焼していた。この間の実効運転日数は809 EFPDで、燃料集合体平均燃焼度は13,600 MWd/tであった。炉心装荷位置及び運転履歴を図1, 2に示す。

P06燃料は取出された後、728日冷却され、照射後試験が実施された。28本の同心円状配置の燃料棒のうち外層(O-22)及び中間層(M-5)の燃料棒を解体して、ウラン及びプルトニウム同位体組成比が質量分析により測定された。また、同様に質量分析により求められた組成比 $^{148}\text{Nd}/\text{U}$ 及び Pu/U を基に、燃焼度も測定された⁽¹⁾。同位体比はO-22についてはペレット平均値及びペレット内分布が、M-5についてペレット内分布が測定された。P I E対象燃料棒位置及び試料採取位置を図3, 図4に示す。また、同位体比測定結果を表1に示す。WIMS-ATRでは、燃料棒内の分割ができずペレット内の組成分布は計算できないので、今後の比較検討にはO-22のペレット内平均値を使用した。

2. WIMS-ATR計算結果との比較

(1) WIMS-ATR燃焼計算

P I Eにより、「ふげん」P06燃料、最外層ピンの燃料ピン下端より1,597mmのウラン及びプルトニウム同位体組成比が得られた。この結果と比較するため、WIMS-ATRコードにより格子燃焼計算を行った。燃焼計算は、入力する燃焼履歴(出力、燃焼期間、冷却材ボイド率、重水中 ^{12}B 濃度)に大きく依存する。「ふげん」運転データより運転期間、重水中 ^{10}B 濃度は得られるが、P I E対象格子近傍の出力、燃焼度、冷却材ボイド率は直接得られない。このため、「ふげん」炉心燃焼解析コードPHLOX-BURN⁽²⁾に、「ふげん」運転データ実測値を入力し、P I E対象格子近傍の出力、燃焼度、冷却材ボイド率を求めた。結果を表2に示す。表2に基づき、WIMS-ATR入力データを作成し燃焼計算を行った。

また、装荷時の燃料組成については燃料検査データに基づき、 ^{238}Pu 、 ^{241}Am を考慮することとした。以上により作成した格子燃焼計算入力データを付録1に示す。

(2) 現有ライブラリに基づく計算結果

現在WIMS-ATRコードで使用しているライブラリに基づく計算結果を表3に示す。現有ライブラリには、 ^{238}Pu の燃焼、 $^{241}\text{Am} \xrightarrow{(n, \gamma)} ^{242}\text{Am} \xrightarrow{\beta^-} ^{242}\text{Cm} \xrightarrow{\alpha} ^{238}\text{Pu}$ チェーンによる ^{238}Pu の生成が入力されてないため、 ^{238}Pu の値が変化せず小さい。また ^{239}Pu が実測値

より2.4%（絶対差）大きく、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{242}Pu は実測値より小さい。燃焼に伴い、 ^{239}Pu は減り、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{242}Pu は増大していくので、計算値は燃焼を小さく見積っている傾向がある。

(3) 運転履歴の検討

運転データに基づき、P06の出力履歴を求め燃焼計算を行ったが、出力履歴、ボイド率系を一定で燃焼させた場合と別に検討された燃焼度実測値との比較を使用し、燃焼を進めた場合について検討した。

① 出力密度、ボイド率等を一定とし燃焼させた場合

出力密度を燃焼初期程度とし、冷却材ボイド率は炉心平均程度で一定として燃焼させ、運転履歴を考慮しないで燃焼計算し、運転履歴を考慮した場合と比較した。燃焼条件は出力密度20.8753 w/g、冷却ボイド率30%、重水中 ^{10}B 濃度0ppmであった。格子計算入力データを付録1に示す。計算結果を表4に示す。燃焼履歴を考慮した時と比較して ^{235}U が合わない。また、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu は少なく計算し、 ^{240}Pu 、 ^{242}Pu は多く計算する。運転履歴は組成に大きく影響することが分った。

② 最終燃焼度を実測値からの推定値に合わせた場合

WIMS-ATRでは、各燃料要素毎の燃焼度を計算できず燃焼度実測値との比較はできない。各燃料要素毎の燃焼度計算が可能なWIMS-Eコードを使用し、実測燃焼度と比較した結果⁽¹⁾を表5に示す。

表5 O-22 燃焼度（ペレット平均）

	燃焼度 (GWd/t)
実測値	17.2
WIMS-E計算値	16.9

ペレット平均で、計算値が実測値より0.3 GWd/t小さい。この結果は、(2)で指摘した傾向と一致している。WIMS-ATRの燃焼計算は格子平均燃焼度で行うため、ペレット平均燃焼度の誤差を格子平均に換算する必要がある。WIMS-ATRでの計算結果によると、外層の出力ピーキングは燃焼の進行に伴い1.115から1.055と変化している。燃焼度は出力の積分値であるため、外層の出力ピーキング変化の平均よりペレット平均燃焼度の誤差から、格子平均燃焼度の誤差を求めると、0.275 GWd/tとなる。

格子平均燃焼度を0.25 GWd/t進めた計算結果を表6に示す。全体的に(2)の結果より実測値と合う方向となっているが、 ^{239}Pu の同位体比でまだ2%以上の差がある。

3. Pu 燃焼チェーン追加の検討

(1) Pu 燃焼チェーンの追加

WIMSコードは主に炉心の核的性質を計算する目的で使用されるため、燃焼チェーンも主要核種のみ入力されている。また、Pu核種については、²⁴²Puまでしか入力されてなく、高燃焼度になると生成されてくる²⁴³Pu、²⁴⁴Puは入力されてない。今回、燃焼計算をより正確に行うため、U-Puの燃焼・崩壊系列を詳細に入力することとした。U-Puの燃焼・崩壊系列及び今回追加した核種を図5に示す。追加核種としてはU系、Pu系をつなぐ核種、α崩壊によってPu生成に寄与する核種を中心に14核種とした。それらの核種は、²³⁷U、²³⁷Np、²³⁸Np、²³⁹Np、²³⁸Pu、²⁴³Pu、²⁴⁴Pu、²⁴¹Am、²⁴²Am、²⁴²Am、²⁴³Am、²⁴²Cm、²⁴³Cm、²⁴⁴Cmである。断面積データは原則として、ENDF/B-IVより入手し、それに格納されていない核種についてはBNL-325 4th Editionより入手した。断面積としては、 σ_a 、 σ_f 、 ν を考慮し、散乱断面積、共鳴計算データ核分裂生成物の収率等のデータは無視した。追加核種、断面積データの出典一覧を表7に示す。

(2) Puチェーン追加ライブラリによる計算

Puチェーン追加ライブラリを使用し、運転履歴を考慮し燃焼計算を行った。計算結果を表8に示す。また、固有値の変化は表9の通りである。

表9 ライブラリ変更による固有値の変化

ライブラリ	固有値 (燃焼度 = 0)
現 状	1.07512
Puチェーン追加ライブラリ	1.07506
差 (% Δ k)	0.006% Δ k

Puチェーン追加により、²³⁸Puは大幅に改善され、0.1%以内で一致している。²³⁹Pu、²⁴⁰Pu、²⁴¹Pu、²⁴²Puは相対的に小さくなり、²³⁹Puは一致する方向であるが、²⁴⁰Pu、²⁴¹Pu、²⁴²Puはあわなくなる方向である。燃焼度の予測誤差を考慮すると、2%以内で全核種が一致している。また、固有値はライブラリの変更でも0.006% Δ kしか変化しない。

4. Puライブラリ変更による感度解析

(1) Pu断面積の変更による組成計算等への影響の検討

Pu断面積のうち吸収断面積、核分裂断面積について各々変更した場合、組成計算結果にどう影響するか、Pu断面積変更時の目安とするため感度解析を実施した。WIMSでは断面積

データは高速14群，共鳴13群，熱42群の計69群のエネルギー分割で入力されている。エネルギー分割を表10に示す。今回の感度解析は共鳴13群，熱42群を一まとめとして，全体を10～20%変化させて行った。計算ケースを表11に示す。燃焼計算は出力密度20.8753 w/g，冷却材ボイド率30%，重水中¹⁰B濃度0 ppm 一定で16GWd/tまで行った。計算結果を表12に示す。

²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴²Pu の断面積を変更した場合，次の傾向がある。

- ① 組成比変化からみた場合， σ_a を大きくすることと， σ_f を小さくすることは，傾向は同じで効果は σ_a が大きい。
- ② 組成比変化からみた場合，熱領域を変化させるのも，共鳴領域を変化させるのも傾向は同じで，効果は熱領域を変化させるのが10～100倍ほど大きい。
- ③ 各核種の σ_a を大きくした場合，組成比変化の傾向は表13の通りである。

表13. σ_a と組成比変化

σ_a を変化させる核種	燃焼後の組成比の変化			
	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu
²³⁹ Pu	↘	↗	↗	↗
²⁴⁰ Pu	↗	↘	↗	↗
²⁴¹ Pu	↘	↘	↘	↗
²⁴² Pu	↗	↗	↗	↘

- ④ k_{eff} の変化の程度は，変化させる核種，断面積の種類によって大きく異なる。最大は，²³⁹Puの熱領域の σ_f で，変化1%当り0.67%Δk程変化する。断面積を変更する場合， k_{eff} の変化にも注意をはらう必要がある。

(2) 英国提案のライブラリ変更についての検討

WIMSライブラリの変更については，各種実測データに基づき，M.J.Halsell⁽³⁾ が提案している。また，²⁴¹Puの半減期については，L.W.Weston⁽⁴⁾らの文献，ORIGENコードライブラリ等によると14.6年となっている。これらの変更による燃焼計算結果への影響について検討した。

① Halsallの提案についての検討

Halsallの提案は次の通りである。

- i) ²³⁸UのResonance Tableの一部に入力ミスがある。
- ii) ²³⁸Uの1～27群，散乱断面積を約20%小さくする。

- iii) ^{235}U の 51～69 群の吸収断面積，核分裂断面積を 0.1%～5% 変更する。
- iv) ^{235}U の 5～27 群の核分裂断面積を最大 10% 変更する。
- v) ^{239}Pu の 28～69 群の核分裂断面積を 1% 小さくする。
- vi) ^{239}Pu の 15～27 群の吸収断面積を 20% 大きくする。
- vii) ^{239}Pu の 15～27 群の核分裂断面積を 24% 大きくする。
- viii) fission spectra の 1 群を小さく，2～16 群を大きくし，17～27 群は 0 とする。

具体的な変更値を付録 2 に示す。

変更ライブラリによる燃焼計算結果を表 11 に示す。燃焼計算条件は 4 (1) と同じとした。表 11 より次の傾向がある。

- i) Pu の組成に大きく影響するのは， ^{239}Pu の吸収断面積，核分裂断面積の変更である。また熱領域を変更 (提案 V) すると，固有値 (k_{eff}) が大きく変化する。
- ii) ^{235}U の熱領域の変更は，組成比変化にあまり影響はないが，固有値 (k_{eff}) を大きく変化させる。

② ^{241}Pu の半減期変更の検討

L.W.Weston らは文献の中で， ^{241}Pu の半減期は 14.3 年としており，ORIGEN コードや英国の 1981 年版 WIMS ライブラリ⁽⁵⁾では， ^{241}Pu の半減期を 14.6 年としている。このため，Pu の半減期を 14.6 年とし，4 (1) と同じ条件で，燃焼計算を実施した。結果を表 14 に示す。表 11 より半減期の変更で ^{241}Pu が 0.17% 程大きくなり， ^{239}Pu ， ^{240}Pu は 0.09% 程小さくなる事が分る。

③ 複数箇所のライブラリの変更

ライブラリの複数箇所を同時に変更した時，単独で変更した時と比べ結果に影響が出るか検討した。①②で単独で変更した箇所を同時に変更し，燃焼計算した結果を表 11 に示す。表 11 より複数箇所を同時に変更した場合，単独で変更した場合の結果を単純に加算した結果とほぼ同一結果になることが分る。この事より，単独に感度解析した結果を使用し，最適な断面積変更の組合せが推定できる。

表1 同位体組成比測定結果

燃料集合体 ; P P F P 0 6

燃料要素及び位置 ; M-5 (①試料上面) O-22 (①試料上面) ……マイクロ試料

O-22 …………… グロス試料

ウラン同位体組成比 (Atom %)

試料名	採取位置	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U
O-22	中心	0.00396	0.184	0.0867	99.726
(マイクロ)	12	0.00378	0.128	0.0944	99.774
試料	192	0.00408	0.211	0.0840	99.701
M-5	中心	0.00442	0.309	0.0703	99.617
(マイクロ)	-72	0.00428	0.255	0.0784	99.662
試料	-252	0.00444	0.321	0.0894	99.605
O-22	Bot~1,597mm	0.00395	0.161	0.0894	99.745
(グロス試料)					

プルトニウム同位体組成比 (Atom %)

試料名	採取位置	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu
O-22	中心	1.072	43.86	37.60	10.13	7.333
(マイクロ)	12	1.166	45.98	30.33	11.85	10.660
試料	192	1.038	45.87	35.80	10.49	6.789
M-5	中心	0.992	45.29	39.07	9.84	4.806
(マイクロ)	-72	1.123	45.29	35.12	11.65	6.822
試料	-252	1.014	47.28	36.01	10.70	5.001
O-22	Bot~1,597mm	1.119	42.80	36.48	10.67	8.931
(グロス試料)						

表2 PIE対象燃料セグメント燃焼履歴

サイクル	期 間 (日)	積算燃焼度 (MWD/T)	セグメント出力 (MW)	冷却材ボイド率 (%)	重水中 ¹⁰ B濃度 (ppm)
1	49.0	1,064	0.213	17.2	5.90
	60.7	2,283	0.178	22.3	3.80
	44.1	3,066	0.164	17.4	2.80
	42.8	3,766	0.153	14.5	2.00
	48.0	4,503	0.141	10.6	1.00
	3.0	4,547	0.251	23.2	2.60
	66.5	6,182	0.220	21.0	1.12
	48.0	7,270	0.202	19.2	0.18
冷 却	82.0	7,270	0.0	0.0	0.18
2	43.3	8,160	0.193	17.6	0.71
	9.8	8,356	0.190	17.1	0.50
冷 却	52.0	8,356	0.0	0.0	0.50
3	45.0	9,428	0.214	23.7	1.55
	49.5	10,493	0.195	19.9	0.44
冷 却	326.0	10,493	0.0	0.0	0.44
4	75.0	11,974	0.175	13.2	3.10
	75.0	13,276	0.155	7.9	1.19
	22.6	13,718	0.149	6.3	0.53
	28.8	14,301	0.188	21.0	1.38
冷 却	20.0	14,301	0.0	0.0	1.38
5	45.0	14,904	0.126	0.0	2.24
	47.2	15,516	0.122	0.0	1.30
冷 却	728.0	15,516	0.0	0.0	0.00

表3 P I E実測値と計算値との比較

(単位 atom%)

核 種		実 測 値(E)	計 算 値	
			計 算 値(C)	誤 差 (C-E)
U	²³⁵ U	0.161	0.164	0.003
	²³⁶ U	0.0894	0.0907	-0.0013
	²³⁸ U	99.745	99.745	0
Pu	²³⁸ Pu	1.119	0.103	-1.016
	²³⁹ Pu	42.80	45.17	2.37
	²⁴⁰ Pu	36.48	36.05	-0.43
	²⁴¹ Pu	10.67	10.12	-0.55
	²⁴² Pu	8.931	8.551	-0.38

燃料条件 : 運転履歴を考慮(表2参照)

燃 焼 度 : 15.5GWd/t

使用ライブラリ: 現状 WIMS-ATRライブラリ

表4 P I E実測値と計算値との比較

(単位 atom%)

核 種		実 測 値(E)	計 算 値	
			計 算 値(C)	誤 差(C-E)
U	²³⁵ U	0.161	0.153	-0.008
	²³⁶ U	0.0894	0.0918	0.0024
	²³⁸ U	99.745	99.755	0.01
Pu	²³⁸ Pu	1.119	0.106	-1.013
	²³⁹ Pu	42.80	44.09	1.29
	²⁴⁰ Pu	36.48	36.94	0.46
	²⁴¹ Pu	10.67	9.92	-0.75
	²⁴² Pu	8.931	8.949	0.018

燃焼条件 : 運転履歴考慮せず

燃 焼 度 : 15.6GWd/t

使用ライブラリ: 現状 WIMS-ATRライブラリ

表6 P I E実測値と計算値との比較

(単位 atom%)

核 種		実 測 値(E)	計 算 値	
			計 算 値(C)	誤 差 (C - E)
U	²³⁵ U	0.161	0.160	-0.001
	²³⁶ U	0.0894	0.0913	0.0019
	²³⁸ U	99.745	99.749	0.004
Pu	²³⁸ Pu	1.119	0.103	-1.016
	²³⁹ Pu	42.80	44.97	2.17
	²⁴⁰ Pu	36.48	36.07	-0.41
	²⁴¹ Pu	10.67	10.16	-0.51
	²⁴² Pu	8.931	8.706	-0.225

燃料条件 : 運転履歴考慮

燃 焼 度 : 15.8GWd/t

使用ライブラリ: 現状 WIMS-ATRライブラリ

表7 追加核種及び出典

核 種	I D	出 典
^{237}U	6 2 7	BNL-3 2 5 4th Edition
^{237}Np	6 3 7	ENDF/B-IV
^{238}Np	6 3 8	BNL-3 2 5 4th Edition
^{239}Np	6 3 9	"
^{238}Pu	5 2 3 8	ENDF/B-IV
^{243}Pu	6 4 3	BNL-3 2 5 4th Edition
^{244}Pu	6 4 4	"
^{241}Am	1 2 4 1	ENDF/B-IV
$^{242\text{m}}\text{Am}$	6 5 2 1	BNL-3 2 5 4th Edition
^{242}Am	6 5 2 0	"
^{243}Am	6 5 3	ENDF/B-IV
^{242}Cm	6 6 2	BNL-3 2 5 4th Edition
^{243}Cm	6 6 3	"
^{244}Cm	6 6 4	ENDF/B-IV

表8 P I E実測値と計算値との比較

(単位 atom%)

核 種		実 測 値(E)	計 算 値	
			計 算 値(C)	誤 差 (C - E)
U	²³⁵ U	0.161	0.165	0.004
	²³⁶ U	0.0894	0.0907	0.0013
	²³⁸ U	99.745	99.745	0
Pu	²³⁸ Pu	1.119	1.028	-0.091
	²³⁹ Pu	42.80	44.88	2.08
	²⁴⁰ Pu	36.48	35.70	-0.78
	²⁴¹ Pu	10.67	10.05	-0.62
	²⁴² Pu	8.931	8.340	-0.591

燃焼条件 : 運転履歴考慮

燃 焼 度 : 15.5 GWd/t

使用ライブラリ: Puチェーン追加ライブラリ

表10 69-Group Energy Boundaries for WIMS

GROUP	ENERGY	ENERGY WIDTH	LETHARGY WIDTH	GROUP	ENERGY eV	ENERGY WIDTH	LETHARGY WIDTH
	<u>MeV</u>						
1	10.0 -6.0655	3.9345	0.49997	28	4.00 -3.30	0.700	0.19237
2	6.0655 -3.679	2.3865	0.49998	29	3.30 -2.60	0.700	0.23841
3	3.679 -2.231	1.448	0.50019	30	2.60 -2.10	0.500	0.21357
4	2.231 -1.353	0.878	0.50013	31	2.10 -1.50	0.600	0.33647
5	1.353 -0.821	0.532	0.49956	32	1.50 -1.30	0.200	0.14310
6	0.821 -0.500	0.321	0.49592	33	1.30 -1.15	0.150	0.12260
7	0.500 -0.3025	0.1975	0.50253	34	1.15 -1.123	0.027	0.02376
8	0.3025 -0.183	0.1195	0.50260	35	1.123-1.097	0.026	0.02342
9	0.183 -0.1110	0.072	0.49996	36	1.097-1.071	0.026	0.02399
10	0.111 -0.0673	0.04366	0.49978	37	1.071-1.045	0.026	0.02458
11	0.06734-0.0408	0.02649	0.49985	38	1.045-1.020	0.025	0.02421
12	0.04085-0.0247	0.01607	0.49987	39	1.020-0.996	0.024	0.02381
13	0.02478-0.0150	0.00975	0.49999	40	0.996-0.972	0.024	0.02439
14	0.01503-0.00918	0.005912	0.49980	41	0.972-0.950	0.022	0.02289
				42	0.950-0.910	0.040	0.04302
				43	0.910-0.850	0.060	0.06821
				44	0.850-0.780	0.070	0.08594
				45	0.780-0.625	0.155	0.22154
				46	0.625-0.500	0.125	0.22314
15	9118.0 -5530.0	3588.0	0.50006	47	0.500-0.400	0.100	0.22314
16	5530.0 -3519.1	2010.9	0.45198	48	0.400-0.350	0.050	0.13353
17	3519.1 -2239.45	1279.65	0.45198	49	0.350-0.320	0.030	0.08961
18	2239.45 -1425.1	814.35	0.45199	50	0.320-0.300	0.020	0.06454
19	1425.1 - 906.898	518.202	0.45197	51	0.300-0.280	0.020	0.06899
20	906.898 - 367.262	539.636	0.90395	52	0.280-0.250	0.030	0.11333
21	367.262 - 148.728	218.534	0.90396	53	0.250-0.220	0.030	0.12783
22	148.728 - 75.5014	73.2266	0.67797	54	0.220-0.180	0.040	0.20067
23	75.5014 - 48.052	27.4494	0.45187	55	0.180-0.140	0.040	0.25131
24	48.052 - 27.700	20.352	0.55085	56	0.140-0.100	0.040	0.33647
25	27.700 - 15.968	11.732	0.55085	57	0.100-0.080	0.020	0.22314
26	15.968 - 9.877	6.091	0.48038	58	0.080-0.067	0.013	0.17733
27	9.877 - 4.00	5.877	0.90391	59	0.067-0.058	0.009	0.14425
				60	0.058-0.050	0.008	0.14842
				61	0.050-0.042	0.008	0.17435
				62	0.042-0.035	0.007	0.18232
				63	0.035-0.030	0.005	0.15415
				64	0.030-0.025	0.005	0.18232
				65	0.025-0.020	0.005	0.22314
				66	0.020-0.015	0.005	0.28768
				67	0.015-0.010	0.005	0.40547
				68	0.010-0.005	0.005	0.69315
				69	0.005-0.	0.005	-

表11 Pu断面積変更による感度解析計算ケース一覧

ケースNo.	変更内容		
	対象核種	対象断面積群	内容
1	^{239}Pu	共鳴領域13群の σ_a	現状値 $\times 1.2$
2	//	// σ_f	// $\times 1.24$
3	//	// σ_a	// $\times 0.8$
4	//	// σ_f	// $\times 0.8$
5	^{240}Pu	// σ_a	// $\times 1.2$
6	//	// σ_f	// $\times 1.2$
7	^{241}Pu	// σ_a	// $\times 1.2$
8	//	// σ_f	// $\times 1.2$
9	^{242}Pu	// σ_a	// $\times 1.2$
10	^{239}Pu	熱領域42群の σ_a	// $\times 1.1$
11	//	// σ_f	// $\times 1.1$
12	^{240}Pu	// σ_a	// $\times 1.1$
13	//	// σ_f	// $\times 1.1$
14	^{241}Pu	// σ_a	// $\times 1.1$
15	//	// σ_f	// $\times 1.1$
16	^{242}Pu	// σ_a	// $\times 1.1$

共鳴領域13群：4 eV \sim 9118 eV(27群 \sim 15群)

熱領域42群：0 \sim 4 eV(69群 \sim 28群)

σ_a ：吸収微分断面積

σ_f ：核分裂微分断面積

表12 Pu断面積の変更による燃焼後組成への影響

ケース	変更内容	k _{eff} 変化(変更後-現状)		同位体組成比変化(変更後-現状)(atom%)							存在比変化(atom%)	
		燃焼度 0GWd/t	燃焼度 16GWd/t	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu	²⁴¹ Am	Pu total
	現状ライブラリー	1.15384	0.87127	0.143	0.092	99.765	43.627	37.010	10.045	9.318	144.6×10 ⁻⁴	0.68901
1	²³⁹ Pu σ_a (resonance) ×1.2	-0.315(%Δk)	-0.376(%Δk)	0	0	0	-0.460	+0.360	+0.047	+0.053	+1.1×10 ⁻⁴	+0.00272
2	" σ_f (") ×1.24	+0.530	+0.388	+0.001	0	-0.001	+0.281	-0.218	-0.029	-0.034	-1.2	-0.00462
3	" σ_a (") ×0.8	+0.319	+0.381	+0.001	0	-0.001	+0.466	-0.365	-0.050	-0.050	-1.1	-0.00296
4	" σ_f (") ×0.8	-0.438	-0.325	-0.001	0	0	-0.231	+0.178	+0.022	+0.031	+0.9	+0.00368
5	²⁴⁰ Pu σ_a (") ×1.2	-0.006	+0.003	0	0	0	+0.015	-0.032	+0.009	+0.009	+0.1	-0.00022
6	" σ_f (") ×1.2	0	0	0	0	0	+0.001	0	0	0	0	0
7	²⁴¹ Pu σ_a (") ×1.2	-0.023	-0.153	0	0	0	-0.091	-0.054	-0.102	+0.247	-1.2	+0.001
8	" σ_f (") ×1.2	+0.048	+0.189	+0.001	0	-0.001	+0.118	+0.084	+0.024	-0.226	0	-0.00184
9	²⁴² Pu σ_a (") ×1.2	0	-0.002	0	0	0	+0.003	+0.002	0	-0.006	0	-0.00004
10	²³⁹ Pu σ_a (thermal) ×1.1	-4.978	-5.087	-0.006	+0.001	+0.005	-6.255	+4.706	+0.855	+0.694	+2.1	+0.05004
11	" σ_f (") ×1.1	+6.685	+6.229	+0.013	-0.002	-0.011	+5.012	-3.831	-0.562	-0.472	-19.3	-0.07325
12	²⁴⁰ Pu σ_a (") ×1.1	-0.487	+0.085	+0.002	0	-0.002	+0.739	-1.661	+0.486	+0.436	+5.8	-0.00808
13	" σ_f (") ×1.1	+0.001	0	0	0	0	+0.001	0	-0.001	0	0	-0.00001
14	²⁴¹ Pu σ_a (") ×1.1	-0.218	-1.287	-0.001	0	+0.001	-0.721	-0.582	-0.920	2.223	-10.8	+0.01182
15	" σ_f (") ×1.1	+0.316	+1.609	+0.003	0	-0.003	+1.114	+0.817	+0.222	-2.154	+0.3	-0.01648
16	²⁴² Pu σ_a (") ×1.1	-0.003	-0.034	0	0	0	+0.061	+0.051	+0.012	-0.124	0	-0.00095

表14 WIMSライブラリ変更による影響

ケース	変更内容	k_{eff}		組成 (atom%)					
		燃焼度 0GWd/t	燃焼度 16GWd/t	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu	^{241}Am	U
1	^{238}U の600K, 900Kにおける σ_a のResonance Table(16群のみ)を $\frac{1}{10}$ にする。	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
2	^{238}U の1~27群の σ_{Tr} を平均で約20%小さくする。	-0.127%Δk	+0.036%Δk	0.082	-0.033	-0.004	-0.045	+0.4×10 ⁻⁶	~0
3	^{235}U の51~69群の σ_a , σ_f , $\nu\sigma_f$ を67~69群は0.1~1%小さく, 51~66群は0~5%大きくする。	-1.773%Δk	-0.547%Δk	0.056	-0.008	-0.002	-0.046	0	^{236}U -0.003
4	^{235}U の5~27群の σ_f , $\nu\sigma_f$ を最大10%程度変更。	-0.019%Δk	-0.007%Δk	0	~0	0	~0	0	0
5	^{239}Pu の28~69群の σ_f , $\nu\sigma_f$ を1%小さくする。	-0.668%Δk	-0.605%Δk	-0.457	0.359	0.049	0.049	+2.0×10 ⁻⁶	~0
6	^{239}Pu の15~27群の σ_a を20%大きくする。	-0.315%Δk	-0.376%Δk	-0.460	0.360	0.047	0.053	+1.1×10 ⁻⁶	~0
7	^{239}Pu の15~27群の σ_f , $\nu\sigma_f$ を24%大きくする。	+0.530%Δk	+0.388%Δk	0.281	-0.218	-0.029	-0.034	-1.2×10 ⁻⁶	~0
8	fission spectraの1群を小さく, 2~16群を大きくする。17~28群は0とする。	+0.152%Δk	+0.156%Δk	0.01	0.001	0	-0.011	-0.1×10 ⁻⁶	~0
9	^{241}Pu の半減期を13.2年から14.6年とする。	0	+0.238%Δk	-0.086	-0.088	0.168	0.006	-15.1×10 ⁻⁶	~0
10	1+2+3+5+6+7+9	-2.344%Δk	-0.855%Δk	-0.682	0.373	0.232	-0.023	-13.0×10 ⁻⁶	^{236}U -0.005

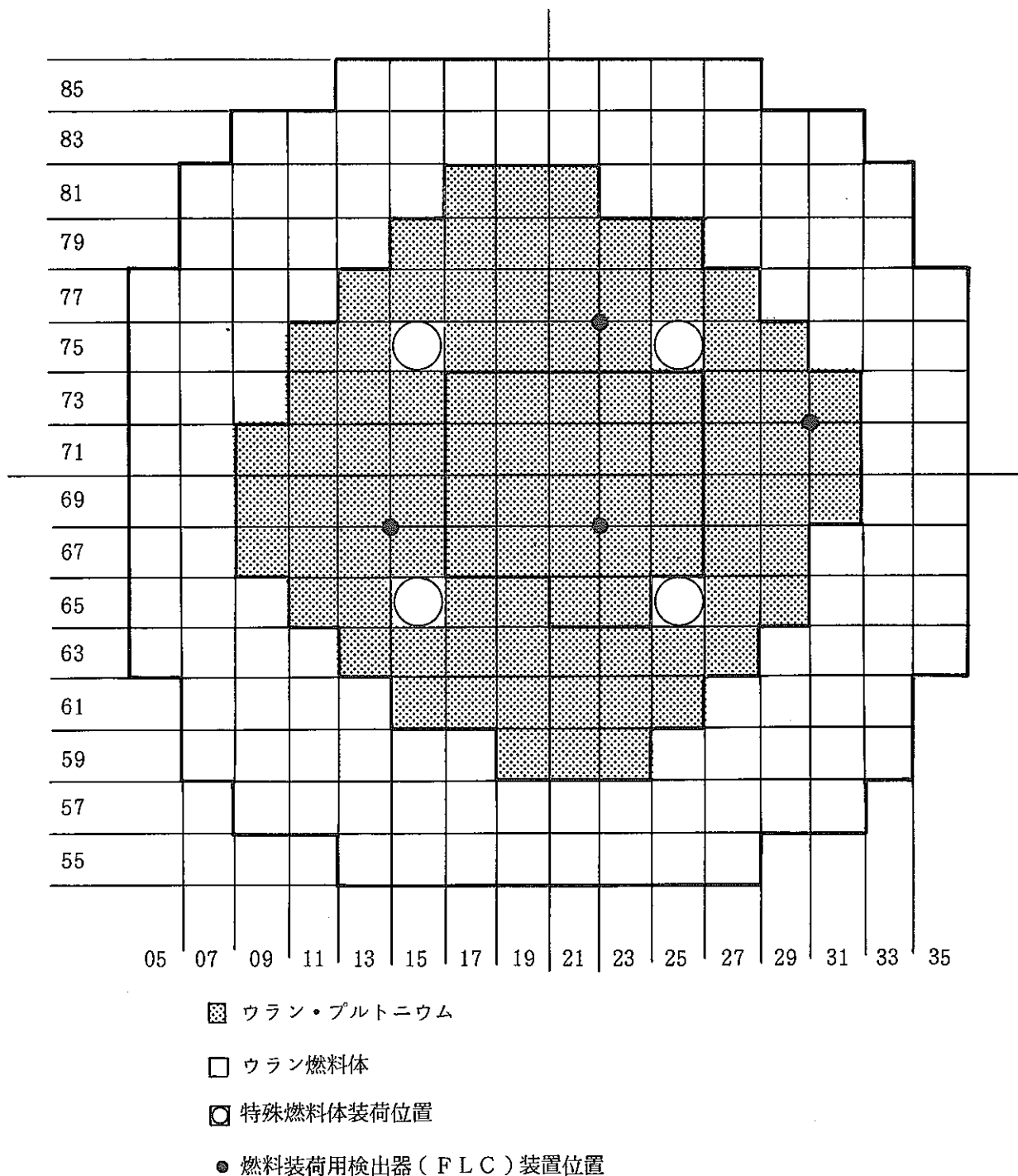
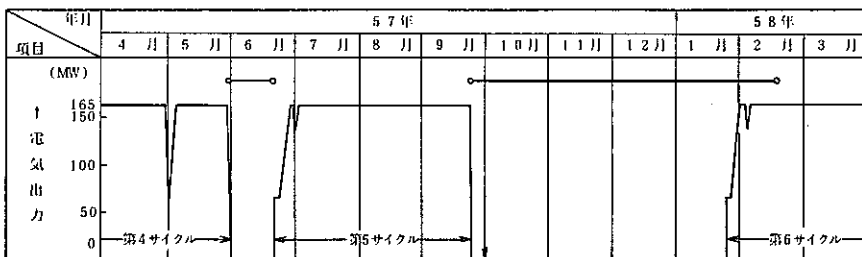
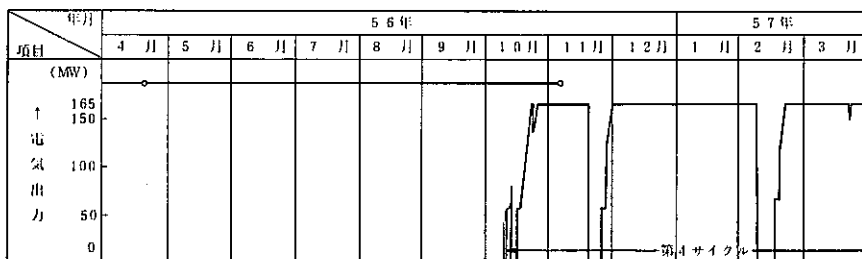
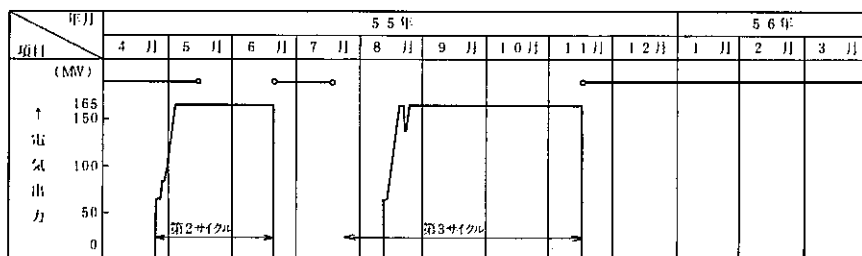
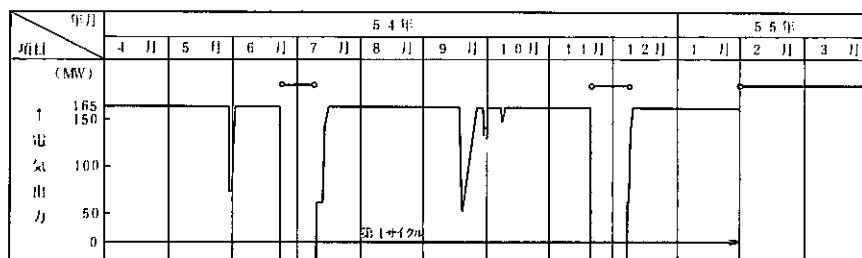
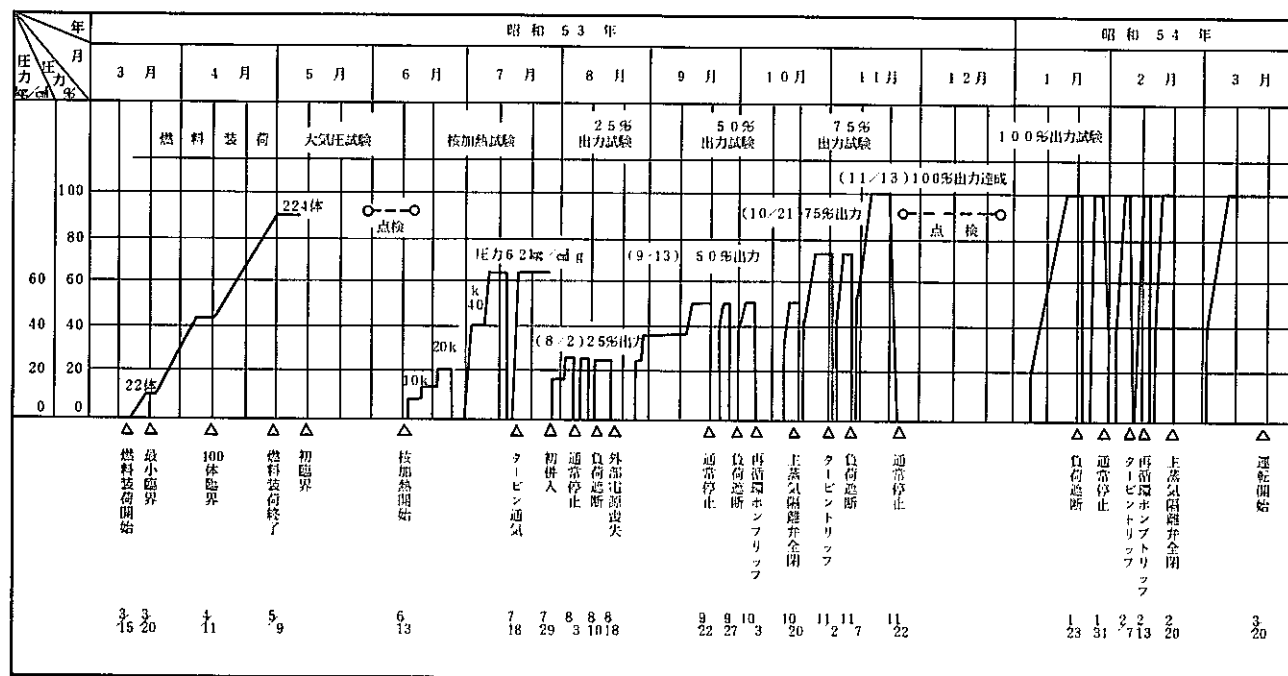
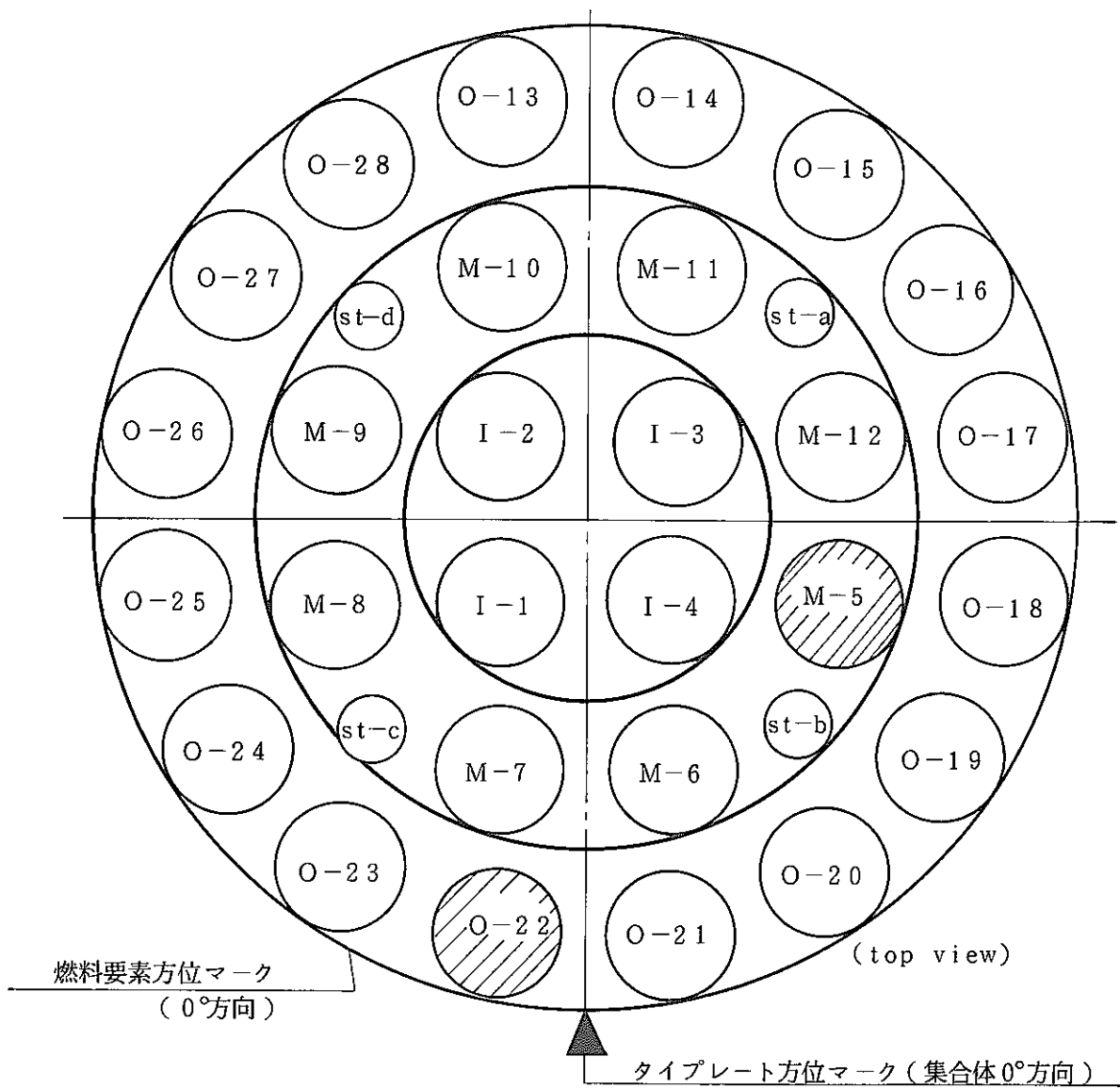


図1 照射後試験対象燃料炉心装荷位置



PIE用MOX
燃料取出し

図2 新型転換炉ふげん発電所運転履歴



- I-1 ~ I-4 内層燃料要素
- M-5 ~ M-12 中間層燃料要素
- O-13 ~ O-28 外層燃料要素
- st-a ~ st-d スペーサタイロッド

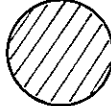
 : 照射後試験対象燃料棒

図3 照射後試験対象燃料棒配置図

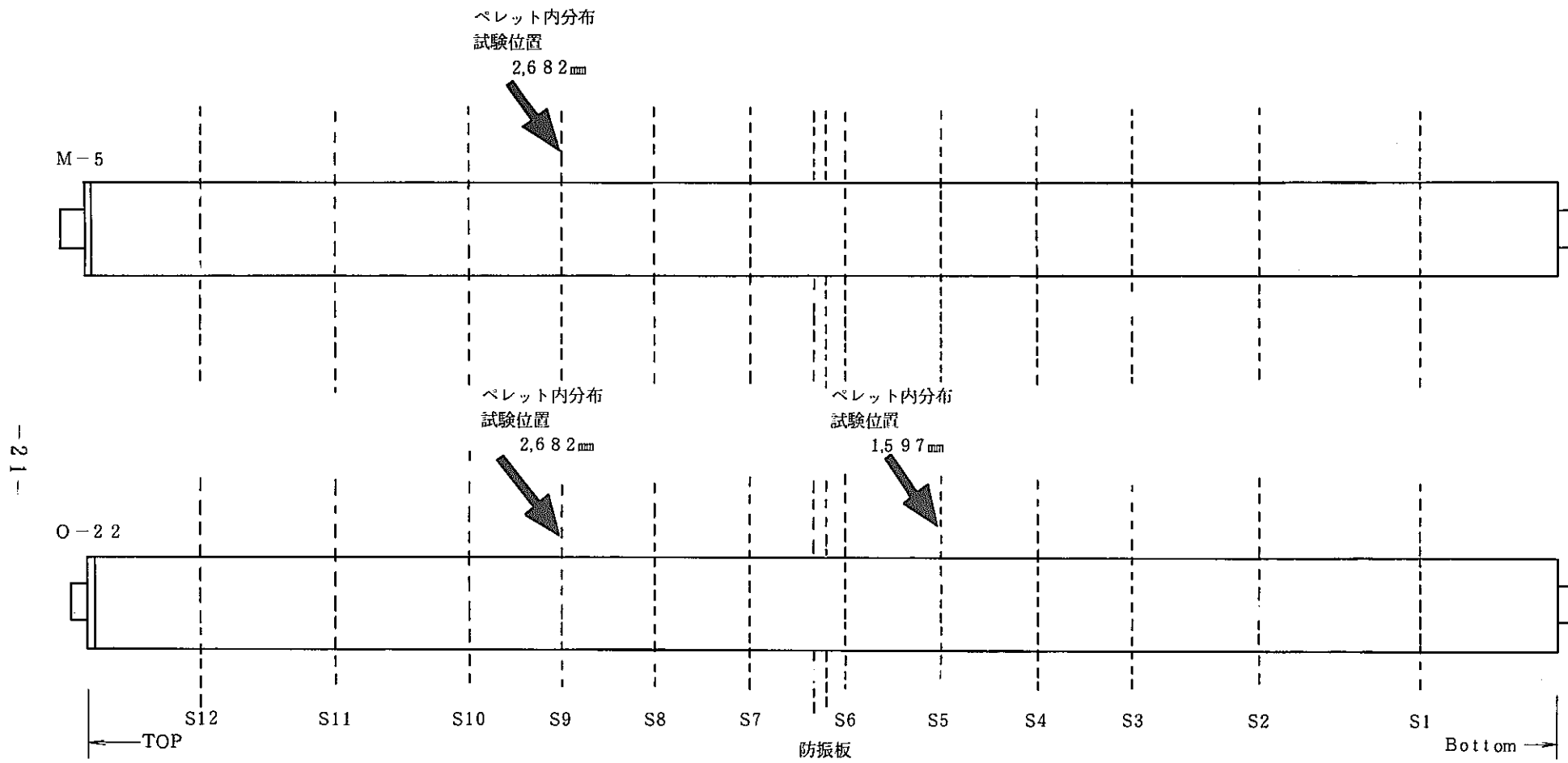


図4 照射後試験試料採取位置図

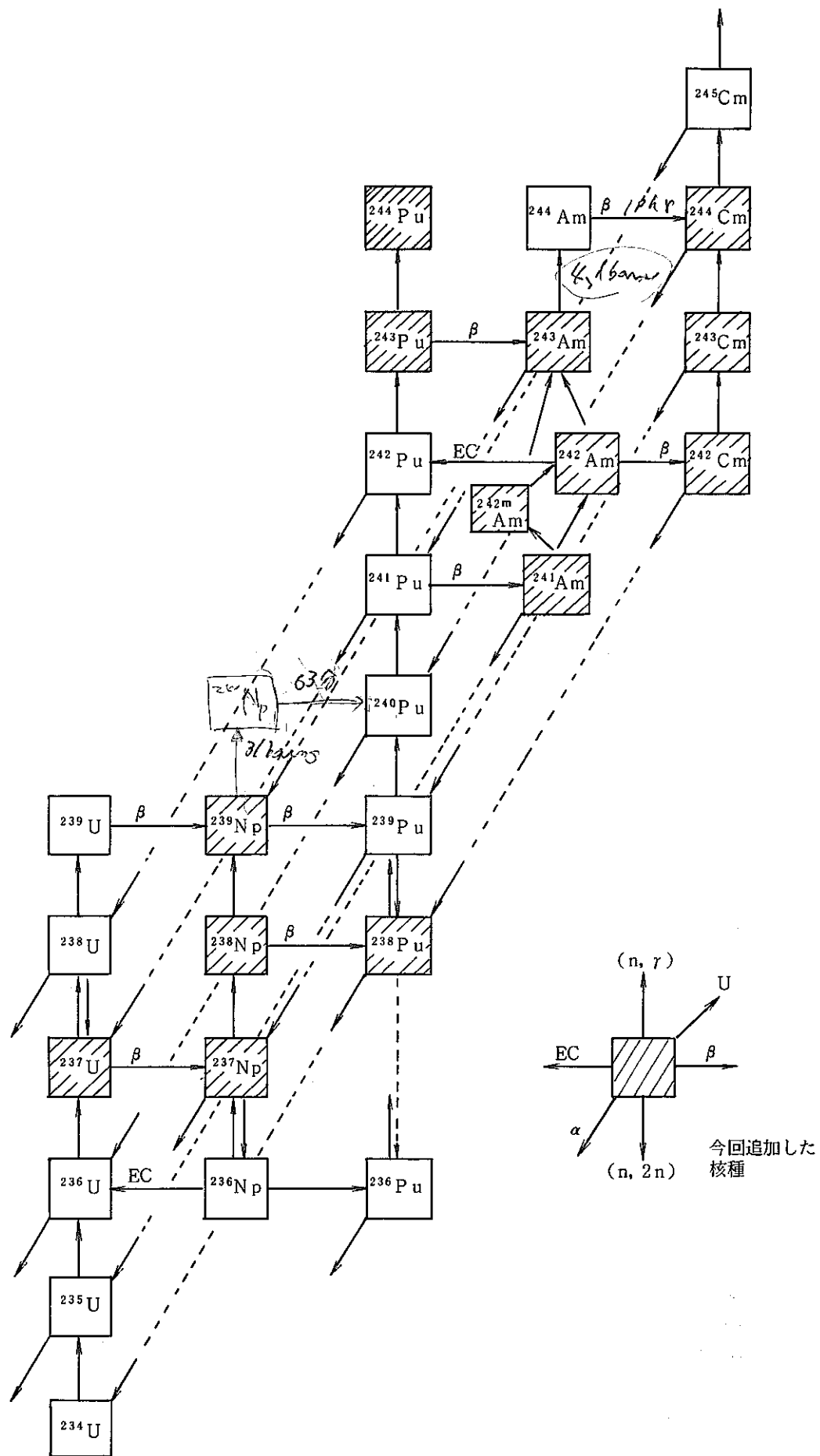


図5 U-Pu 燃焼崩壊系列図

第3章 DCA格子パラメータ測定値によるWIMS-ATR計算精度の検討

1. DCA格子パラメータ測定結果

DCAでは、炉心核設計の精度向上のため、各種燃料を使用し、格子パラメータの測定を行っている。この測定結果を使用し、WIMS-ATRの精度を検討した。今回比較する実験値は表15の条件で測定された格子パラメータである。(6),(7),(8),(9)

表15 DCA格子パラメータ測定条件

燃料タイプ	富化度	格子間隔	ボイド率等
PuO ₂ -UO ₂	0.54w/o 標準級Pu 富化 (5SPu)	22.5cm	0%, 100%
		25 cm	0%, 30%, 100% 0% (3.9 ppm ¹⁰ B 添加)
	0.87w/o 原子炉級Pu 富化 (8RPu)	22.5cm	0%, 100%
		25 cm	0%, 100%
	0.87w/o 標準級Pu 富化 (8SPu)	22.5cm	0%, 100%
UO ₂	1.2w/o 濃縮	22.5cm	0%, 30%, 70% 100%
		25 cm	0%, 30%, 70% 100%
	1.5w/o 濃縮	22.5cm	0%, 100%
		25 cm	0%, 100%

また、測定値は、箔放射化法によって得られる次の値である。箔の装着状況を図6に示す。

ρ^{28} (共鳴捕獲比) : 劣化ウラン箔の裸箔とカドミカバー箔の核分裂生成物 (FP) の γ 線強度の比より測定

δ^{28} (²³⁸U の高速核分裂比) : 劣化ウラン箔と天然ウラン箔の FP の γ 線強度の比より測定

δ^{25} (²³⁵U の熱外核分裂比) : 高濃縮ウラン箔の裸箔と、カドミカバー箔の FP の γ 線強度の比より測定

δ^{49} (²³⁹Pu の熱外核分裂比) : 高濃縮プルトニウム箔の裸箔とカドミカバー箔の FP の γ 線強度の比より測定

$\delta_{\frac{1}{2}}$ (0.3 eV 付近の中性子挙動の指標) : 高濃縮プルトニウム箔と高濃縮ウラン箔の FP の γ 線強度の比より測定

各格子パラメータの定義式は次の通りである。

$$\rho^{28} = \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_c^{28}(E) \phi(E) dE$$

$$\delta^{28} = \int_{E_t}^{\infty} N_f^{28} \sigma_f^{28}(E) \phi(E) dE / \int_0^{\infty} N_f^{25} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE$$

$$\delta^{25} = \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma^{25}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma^{25}(E) \phi(E) dE$$

$$\delta^{49} = \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma^{49}(E) \phi(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma^{49}(E) \phi(E) dE$$

$$\delta_{\frac{25}{49}}^{49} = \int_0^{\infty} N_f^{49} \sigma_f^{49}(E) \phi(E) dE / \int_0^{\infty} N_f^{25} \sigma_f^{25}(E) \phi(E) dE$$

ここで E_{cd} : カドミカットオフエネルギー

E_t : ^{238}U 高速核分裂のしきい値エネルギー

σ_c^{28} : ^{238}U の捕獲断面積

σ_f^{25} or σ_f^{49} : ^{235}U 又は ^{239}Pu の核分裂断面積

N_f^{25} , N_f^{28} or N_f^{49} : ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu の燃料個数密度

測定は燃料集合体の各層及び格子平均で行なっているが、今回の比較は格子平均で行なった。測定結果を表16に示す。

2. WIMS-ATR計算結果との比較

(1) WIMS-ATR格子計算

DCA格子パラメータ測定値と比較するためWIMS-ATRにより、格子計算を行った。燃料棒形状、燃料組成、ポイド率等について、全て実測値を用いて、入力データを作成した⁽¹⁰⁾。作成した格子計算入力データを付録1に示す。

(2) WIMS-ATR格子計算結果

WIMS-ATRにより、Pu燃料チェーンを追加したライブラリを使用し、格子計算を行った。計算値のうち、 ρ^{28} 、 δ^{25} 、 δ^{49} は定義式より、カドミ切断実効エネルギー(以下「 E_{cd} 」と略す)に依存するので、 $E_{cd}=0.625\text{eV}$ 、 0.5eV 、 0.4eV について、それぞれ計算を行った。計算結果を表17、表18、表19に示す。 E_{cd} は、実験体系、燃料組成等に依存し、詳細な検討が必要であるが、今までの実績により、Puについては、 $E_{cd}=0.5\text{eV}$ 、Uについては $E_{cd}=0.4\text{eV}$ とし、測定値と比較した。次の傾向がある。

i) ρ^{28}

同一燃料で比較するとボイド率が大きくなるに従って、計算値が測定値より小さくなる。Pu燃料での誤差は-15%~15%で、U燃料での誤差は-11~0である。この誤差を、中性子スペクトルの計算誤差とすると、ボイド率増加による燃料体中スペクトルの硬化度合を過小評価していることになる。また、断面積の誤差とすると、 ^{238}U の捕獲断面積について、 $\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_c^{28}(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_c^{25}(E) dE$ が、過小評価されていることになる。

ii) δ^{28}

Pu燃料については、8SPu、2.25cmピッチ以外は、ほぼ測定誤差内で一致している。U燃料については、1.5%U、2.5cmピッチ100%ボイド以外で、2~14%過大評価している。また、ボイド率に対する誤差の傾向は、測定条件により一定してない。

iii) δ^{25}

E_{cd} により計算誤差が大きく変動する。 E_{cd} は測定条件により異なる(測定時の中性子スペクトルに依存する)ので、傾向を見る場合注意を要する。Pu燃料については、全体的に過小評価しており、ボイド率に対する傾向は、 ρ^{28} と逆である。誤差は-17%~-4%である。U燃料については、全体的に過大評価となっており、ボイド率に対する傾向は、一定ではない。誤差は5%~28%であるが、測定条件に合わせ、個々に計算すれば小さくなると思われる。

iv) δ^{49}

E_{cd} により変動するが、全体的に過小評価しており、ボイド率に対する傾向は、2.25cmピッチでやや ρ^{28} と逆で、2.5cmピッチでは、 ρ^{28} とほぼ同一である。誤差は-31%~-8%である。この誤差を断面積の誤差とすると、 ^{239}Pu の核分裂断面積について、 $\int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma_f^{49}(E) dE / \int_0^{E_{cd}} \sigma_f^{49}(E) dE$ を過小評価していることになる。

v) $\delta_{\frac{239}{238}}^{49}$

5SPu、8SPuの2.25cmピッチ、5SPu 2.5cmピッチ100%ボイド除き、測定誤差内で一致している。2.25cmピッチでは、Pu富化度の増加に伴い、計算値が測定値より小さくなる傾向がある。誤差は-20%~23%である。

全体として、U燃料については、 E_{cd} を正確に与えれば、ほぼ10%程度の精度で格子パラメータが計算できるが、Pu燃料の特に、 δ^{49} 、 $\delta_{\frac{239}{238}}^{49}$ については、20%以上の誤差となることがあることが分った。

3. Puライブラリ変更による感度解析

(1) Pu断面積の変更による格子パラメータ計算への影響

第2章4(1)と同様に、Pu断面積変更時の目安とするため、Pu断面積の変更がどう格子パラメータ計算結果に影響するか感度解析を実施した。計算ケースを、表11に示す。格子条件は、8SPu, 0%ポイド, 格子間隔2.25cmとした。また $E_{cd} = 0.625 \text{ eV}$ とした。計算結果を表20, 表21に示す。表より、格子パラメータ計算に影響するのは、 ^{239}Pu の断面積のみで次の傾向がある

- ① 共鳴領域(4eV~9118eV)の ^{239}Pu 吸収断面積($\sigma_{a,R}^{49}$)を大きくすると、 ρ^{28} が小さくなり、他の格子パラメータは変化しない。変化割合は、 $\sigma_{a,R}^{49}$ 1%変更当り、0.008%である。
- ② 共鳴領域の ^{239}Pu 核分裂断面積($\sigma_{f,R}^{49}$)を大きくすると、全ての格子パラメータが大きくなる。変化割合は、 $\sigma_{f,R}^{49}$ 1%変更当り、 ρ^{28} は0.01%、 δ^{28} は0.02%、 δ^{25} は0.01%、 δ^{49} は0.7%、 δ_{23}^{49} は0.03%で、 δ^{49} が最も変化する。
- ③ 熱領域(4eV以下)の ^{239}Pu 吸収断面積($\sigma_{a,T}^{49}$)を大きくすると、 ρ^{28} 、 δ^{28} 、 δ^{25} 、 δ^{49} は大きくなるが、 δ_{23}^{49} は小さくなる。変化割合は、 $\sigma_{a,T}^{49}$ 1%変更当り、 ρ^{25} は0.2%、 δ^{28} は0.08%、 δ^{25} は0.25%、 δ^{49} は0.27%、 δ_{23}^{49} は0.02%である。
- ④ 熱領域の ^{239}Pu 核分裂断面積($\sigma_{f,T}^{49}$)を大きくすると、 ρ^{28} 、 δ^{28} 、 δ^{25} 、 δ_{23}^{49} は大きくなるが、 δ^{49} は小さくなる。変化割合は、 $\sigma_{f,T}^{49}$ 1%変更当り、 ρ^{28} は0.3%、 δ^{28} は0.5%、 δ^{25} は0.3%、 δ^{49} は0.5%、 δ_{23}^{49} は0.9%で、 δ_{23}^{49} 、 δ^{49} 、 δ^{25} が大きく変化する。
- ⑤ 現状で誤差の大きい δ^{49} の精度を上げるためには、 $\sigma_{f,R}^{49}$ を大きくするか、 $\sigma_{f,T}^{49}$ を小さくする必要があるが、特に $\sigma_{f,T}^{49}$ の変更は、 k_{eff} (固角値)が大きく変化するので注意を要する。

(2) ^{239}Pu の0.3eV付近の断面積変更について

^{239}Pu は、図7に示すように0.3eV付近に大きな断面積ピークをもっている。このピーク付近のみを変更した場合について計算を行った。変更は、0.3eV付近(47群~54群, 0.18eV~0.5eV)の吸収断面積と核分裂断面積を0.8倍、1.2倍し行った。格子条件は、5SPu, 0%ポイド, 格子間隔2.25cmとし、 $E_{cd} = 0.5 \text{ eV}$ とした。結果を表22に示す。傾向は表17の結果と同じであるが、局所的な変更なので効果は小さい。また、吸収、核分裂断面積の両方同時に変更したので、 δ^{49} については、効果が打ち消し合ってほとんど変化しない。以上より、 ^{239}Pu の0.3eV付近の断面積を変更しても、傾向としては、熱群全体を変更しているのと同じで、効果は小さいことが、WIMS-ATR計算値についていえる。

表16 DCA格子パラメータ測定結果

燃料	富化度	格子間隔 (cm)	ボイド率等	格子平均パラメータ測定結果				
				ρ^{28}	δ^{28}	δ^{25}	δ^{49}	δ_{23}^{49}
Pu	5SPu	25.5	0	1.00	0.105	0.090	0.059	0.911
		"	100	1.50	0.137	0.129	0.084	0.952
		25	0	0.823	0.109	0.0764	0.0533	1.06
		"	30	0.957	0.112	0.0765	0.0640	0.994
		"	100	1.08	0.128	0.103	0.0753	1.06
		"	0% (3.9 ppm ^{10B})	0.868	0.112	0.0732	0.0546	1.10
	8RPu	22.5	0	1.10	0.136	0.099	0.075	1.36
		"	100	2.02	0.176	0.159	0.089	1.40
		25	0	1.04	0.127	0.0874	0.0619	1.33
		"	100	1.39	0.155	0.128	0.0936	1.30
	8SPu	22.5	0	1.26	0.172	0.103	0.073	2.23
		"	100	2.08	0.199	0.179	0.116	2.04
U	1.2%U	22.5	0	0.823	0.0475	0.0585	/	/
		"	30	0.914	0.0459	0.0595		
		"	70	1.17	0.0458	0.0798		
		"	100	1.24	0.0559	0.0957		
		25	0	0.727	0.0429	0.0430		
		"	30	0.852	0.0465	0.0535		
		"	70	0.926	0.0475	0.0627		
		"	100	0.936	0.0568	0.0664		
	1.5%U	22.5	0	1.09	0.0462	0.0713		
		"	100	1.45	0.0533	0.104		
		25	0	0.87	0.0433	0.0520		
		"	100	1.02	0.0732	0.0826		

測定誤差 $\Delta \rho^{28} / \rho^{28} \sim \pm 5\%$, $\Delta \delta^{28} / \delta^{28} \sim \pm 4\%$, $\Delta \delta^{25} / \delta^{25} \sim \pm 4\%$
 $\Delta \delta^{49} / \delta^{49} \sim \pm 4\%$, $\Delta \delta_{23}^{49} / \delta_{23}^{49} \sim \pm 4\%$

表17 DCA格子パラメータ測定値と計算値との比較

(格子間隔2.25 cm)

測定条件	ρ^{28}			δ^{28}			δ^{25}			δ^{49}			δ^{48}		
	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)
5SPu 0%	1.00	1.04	4	0.105	0.111	6	0.090	0.070	-22	0.059	0.040	-32	0.911	1.116	23
		1.06	6		"	"		0.074	-17		0.045	-24		"	"
		1.08	8		"	"		0.080	-11		0.059	0		"	"
5SPu 100%	1.50	1.42	-5	0.137	0.139	1	0.129	0.116	-10	0.084	0.063	-25	0.952	1.149	21
		1.45	-3		"	"		0.124	-4		0.071	-15		"	"
		1.48	-1		"	"		0.134	4		0.092	10		"	"
8RPu 0%	1.10	1.25	14	0.136	0.133	-2	0.099	0.082	-17	0.075	0.047	-37	1.36	1.30	-4
		1.27	15		"	"		0.087	-12		0.053	-29		"	"
		1.29	17		"	"		0.094	-5		0.067	-11		"	"
8RPu 100%	2.02	1.71	-15	0.176	0.167	-5	0.159	0.135	-15	0.089	0.073	-18	1.40	1.33	-5
		1.75	-13		"	"		0.144	-9		0.082	-8		"	"
		1.79	-11		"	"		0.155	-3		0.105	18		"	"
8SPu 0%	1.26	1.36	8	0.172	0.146	-15	0.103	0.090	-13	0.073	0.051	-30	2.23	1.79	-20
		1.39	10		"	"		0.096	-7		0.057	-22		"	"
		1.41	12		"	"		0.104	1		0.073	0		"	"
8SPu 100%	2.08	1.86	-11	0.199	0.182	-9	0.179	0.149	-17	0.116	0.079	-32	2.04	1.80	-12
		1.90	-9		"	"		0.159	-11		0.089	-23		"	"
		1.95	-6		"	"		0.171	-5		0.114	-2		"	"

誤差 = { (計算値 / 測定値) - 1 } × 100

計算値 上段: Ecd = 0.625 eV

中段: Ecd = 0.5 eV

下段: Ecd = 0.4 eV

表18 DCA格子パラメータ測定値と計算値との比較

(格子間隔2.5cm)

測定条件	ρ^{28}			δ^{28}			δ^{25}			δ^{49}			δ^{248}		
	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)
5SPu 0%	0.823	0.909	10	0.109	0.106	-3	0.0764	0.0606	-21	0.0533	0.0358	-33	1.06	1.10	4
		0.922	12		"	"		0.0645	-16		0.0403	-24		"	"
		0.935	14		"	"		0.0697	-9		0.0518	-3		"	"
5SPu 30%	0.957	0.996	4	0.112	0.108	-4	0.0765	0.0675	-12	0.0640	0.0393	-39	0.994	1.106	11
		1.011	6		"	"		0.0719	-6		0.0443	-31		"	"
		1.026	7		"	"		0.0776	1		0.0568	-11		"	"
5SPu 100%	1.08	1.07	-1	0.128	0.129	1	0.103	0.0869	-16	0.0753	0.0496	-34	1.06	1.11	5
		1.09	1		"	"		0.0930	-10		0.0563	-25		"	"
		1.11	3		"	"		0.100	-3		0.0724	-4		"	"
8RPu 0%	1.04	1.09	5	0.127	0.127	0	0.0874	0.0708	-19	0.0619	0.0415	-33	1.33	1.28	-4
		1.10	6		"	"		0.0753	-14		0.0466	-25		"	"
		1.12	8		"	"		0.0812	-7		0.0596	-4		"	"
8RPu 100%	1.39	1.28	-8	0.155	0.154	-1	0.128	0.100	-22	0.0936	0.0511	-39	1.30	1.29	-1
		1.31	-6		"	"		0.107	-16		0.0645	-31		"	"
		1.33	-4		"	"		0.115	-10		0.0828	-12		"	"
5SPu 0% (3.9ppm ¹⁰ B) 添加	0.868	0.958	10	0.112	0.108	-4	0.0732	0.0640	-13	0.0546	0.0374	-32	1.10	1.11	1
		0.972	12		"	"		0.0683	-7		0.0423	-23		"	"
		0.987	14		"	"		0.0739	1		0.0545	0		"	"

誤差 = { (計算値 / 測定値) - 1 } × 100

計算値 上段: Ecd = 0.625 eV

中段: Ecd = 0.5 eV

下段: Ecd = 0.4 eV

表19 DCA格子パラメータ測定値と計算値との比較

格子間隔	測定条件		ρ_{cell}^{28}			δ_{cell}^{28}			δ_{cell}^{25}				
			測定値	計算値	誤差 (%)	測定値	計算値	誤差 (%)	測定値	計算値	誤差 (%)		
2 2.5 cm	1.2 % U	0%	0.823	0.798	-3	0.0475	0.0499	5	0.0585	0.0541	-8		
			0.822	0	"		"	0.0629		8			
		30%	0.914	0.886	-3	0.0459	0.0507	10	0.0595	0.0613	3		
			0.914	0	"		"	0.0713		20			
		70%	1.17	1.029	-12	0.0458	0.0521	14	0.0798	0.0746	-7		
			1.07	-9	"		"	0.0870		9			
		100%	1.24	1.057	-15	0.0559	0.0613	10	0.0957	0.0887	-7		
			1.10	-11	"		"	0.104		9			
	1.5 % U	0%	1.09	0.958	-12	0.0462	0.0490	6	0.0713	0.0643	-10		
			0.989	-9	"		"	0.0749		5			
		100%	1.45	1.27	-12	0.0533	0.0603	13	0.104	0.105	1		
			1.33	-8	"		"	0.123		18			
		2 5 cm	1.2 % U	0%	0.727	0.702	-3	0.0429	0.0484	13	0.0430	0.0474	10
					0.721	-1	"		"	0.0550		28	
30%	0.852			0.762	-11	0.0465	0.0491	6	0.0535	0.0525	-2		
	0.784			-8	"		"	0.0609		14			
70%	0.926			0.848	-8	0.0475	0.0502	6	0.0627	0.0610	-3		
	0.876			-5	"		"	0.0709		13			
100%	0.936			0.828	-12	0.0568	0.0580	2	0.0664	0.0693	4		
	0.860			-8	"		"	0.0813		22			
1.5 % U	0%		0.925	0.845	-9	0.0433	0.0475	10	0.0520	0.0567	9		
			0.870	-6	"		"	0.0658		27			
	100%		1.12	0.984	-12	0.0732	0.0569	-22	0.0826	0.0809	-2		
			1.02	-9	"		"	0.0948		15			

計算値：上段 Ecd=0.625 eV, 下段 Ecd=0.4 eV

誤差 = { (計算値 / 測定値) - 1 } × 100

表20 共鳴領域のPu 断面積変更による格子パラメータ計算値の変化

変更内容	keff		ρ^{28}		δ^{28}		δ^{25}		δ^{49}		$\delta_{\frac{49}{25}}$	
	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化
現 状	0.9676		1.3649		10.1461		0.0904		0.0506		1.7860	
ライブラリ	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化	計算値	変化
^{239}Pu $\sigma_a \times 1.2$	0.9648	-0.0028	1.3626	-0.0023	0.1462	0.0001	0.0902	-0.0002	0.0506	0.0	1.7859	-0.0001
^{239}Pu $\sigma_f \times 1.24$	0.9725	0.0049	1.3696	-0.0047	0.1468	0.0007	0.0907	0.0003	0.0590	0.0084	1.8005	0.0145
^{239}Pu $\sigma_a \times 0.8$	0.9704	0.0028	1.3672	0.0023	0.1460	-0.0001	0.0907	0.0003	0.0507	0.0001	1.7862	0.0002
^{239}Pu $\sigma_f \times 0.8$	0.9635	-0.0041	1.3616	-0.0033	0.1456	-0.0005	0.0902	-0.0002	0.0437	-0.0069	1.7742	-0.0118
^{240}Pu $\sigma_a \times 1.2$	0.9675	-0.0001	1.3648	-0.0001	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0
^{240}Pu $\sigma_f \times 1.2$	0.9676	0.0	1.3649	0.0	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0
^{241}Pu $\sigma_a \times 1.2$	0.9675	-0.0001	1.3648	-0.0001	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0
^{241}Pu $\sigma_f \times 1.2$	0.9677	0.0001	1.3650	0.0001	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0
^{242}Pu $\sigma_a \times 1.2$	0.9676	0.0	1.3649	0.0	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0

表 2.1 熱領域の Pu 断面積変更による格子パラメータ計算値の変化

変更内容	keff		ρ^{28}		δ^{28}		δ^{49}		δ^{49}		δ^{249}	
	0.9676		1.3649		0.1461		0.0904		0.0506		1.7860	
現 状 ライブラリ	0.9676		1.3649		0.1461		0.0904		0.0506		1.7860	
^{239}Pu $\sigma_a \times 1.1$	0.9251	-0.0425	1.3996	0.0347	0.1473	0.0012	0.0927	0.0023	0.0520	0.0014	1.7833	-0.0027
^{239}Pu $\sigma_f \times 1.1$	1.0268	0.0592	1.4131	0.0482	0.1538	0.0077	0.0935	0.0031	0.0484	-0.0022	1.9618	0.1758
^{240}Pu $\sigma_a \times 1.1$	0.9653	-0.0023	1.3663	0.0014	0.1462	0.0001	0.0904	0.0	0.0507	0.0001	1.7860	0.0
^{240}Pu $\sigma_f \times 1.1$	0.9676	0.0	1.3649	0.0	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0
^{241}Pu $\sigma_a \times 1.1$	0.9671	-0.0005	1.3653	0.0004	0.1461	0.0	0.0905	0.0001	0.0507	0.0001	1.7861	0.0001
^{241}Pu $\sigma_f \times 1.1$	0.9683	0.0007	1.3655	0.0006	0.1462	0.0001	0.0905	0.0001	0.0507	0.0001	1.7861	0.0001
^{242}Pu $\sigma_a \times 1.1$	0.9676	0.0	1.3649	0.0	0.1461	0.0	0.0904	0.0	0.0506	0.0	1.7860	0.0

表 2 2 ^{239}Pu 0.3eV 付近の断面積変更結果

格子パラメータ	変更内容 現 状 ライブラリ	0.18 eV~0.5 eV (47 群~ 54 群) の ^{239}Pu 吸収断面積, 核分裂断面積をともに, 現状 値 $\times 0.8$ とする。		0.18 eV~0.5 eV (47 群~ 54 群) の ^{239}Pu 吸収断面積, 核分裂断面積をともに, 現状 値 $\times 1.2$ とする。	
		計 算 値	変 化	計 算 値	変 化
ρ^{28}	1.0 6	1.0 4	-0.0 2	1.0 7	0.0 1
δ^{28}	0.1 1 1	0.1 0 9	-0.0 2	0.1 1 2	0.0 1
δ^{25}	0.0 7 4	0.0 7 3	-0.0 1	0.0 7 5	0.0 1
δ^{49}	0.0 4 5	0.0 4 6	0.0 1	0.0 4 4	-0.0 1
δ^{49}	1.1 1 6	1.0 8 7	-0.0 2 9	1.1 4 3	0.0 2 7

格子条件 : 5SPu, 0%ボイド, 2.25 cmピッチ, Ecd=0.5 eV

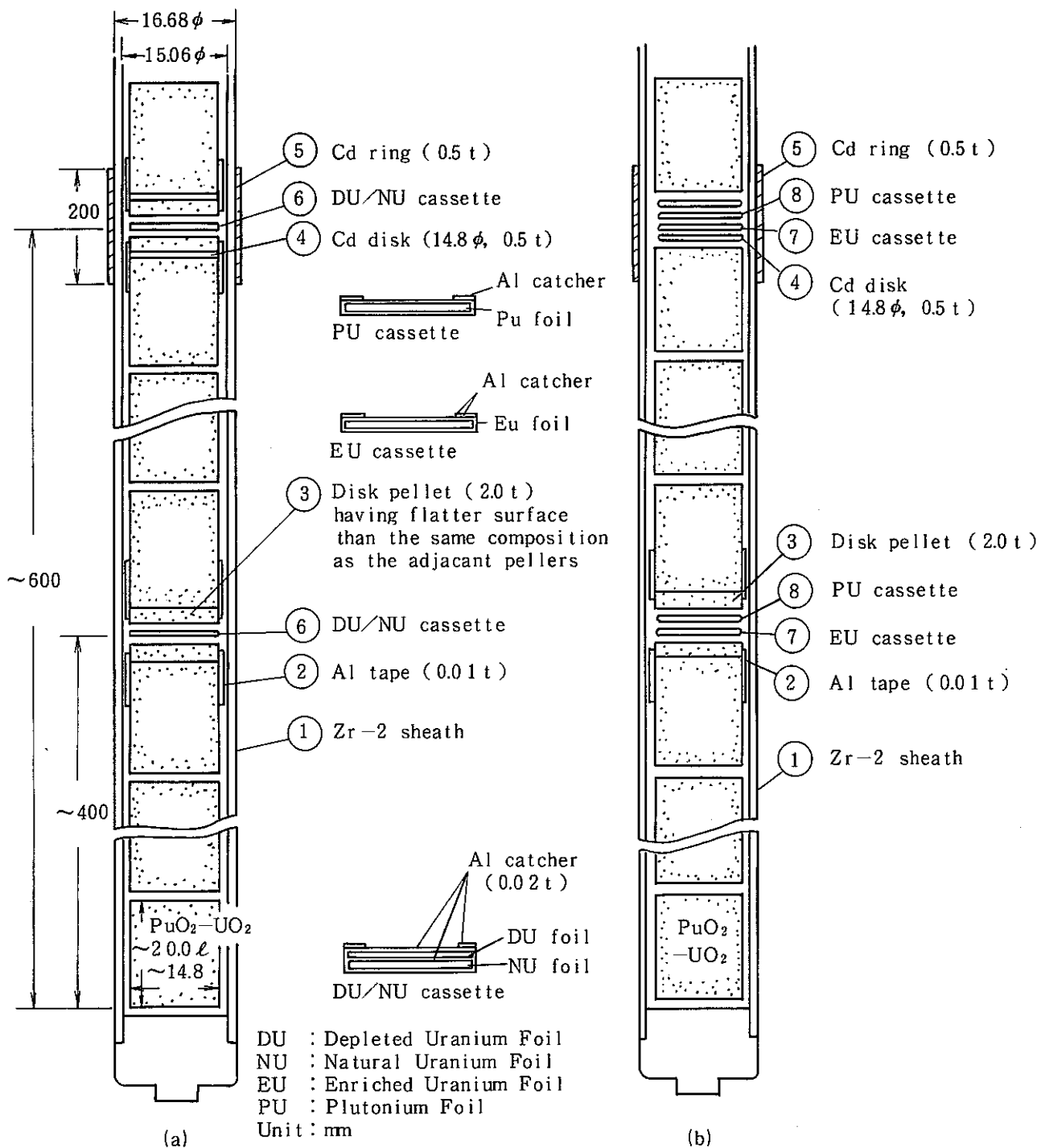


図6 格子パラメータ測定時箔装着状況

第4章 Puライブラリ変更の提案

第2章、第3章におけるPuライブラリ変更による感度解析結果に基づき、次の方針でPuライブラリ変更の提案について検討する。

- (1) PIE試験結果に対する計算誤差は、現状の1/2の1%（絶対差）を目標とする。
- (2) (1)を達成するライブラリ変更により、DCA格子パラメータ計算誤差が改善されるようにする。
- (3) 現状のWIMS-ATRコードを使っての臨界予測誤差は、0.3%以下なので⁽³⁾、ライブラリ変更による固角値(Keff)の変化は、0.01%以下とする。

1. 燃焼計算精度の向上策

(1) Pu燃焼チェーンの追加

第2章での検討で、Pu燃焼チェーンの追加は、²³⁹Pu精度向上に効果が大であることが分かった。

(2) ²³⁹Pu予測精度の向上

Pu燃焼チェーンの追加後でも、²³⁹Puが2%程度過大評価されている。この改善方策として、実測値に合わせて燃焼を少し追ませることの他、感度解析（表12）より、次の項目が考えられる。

- ① ²³⁹Puの共鳴領域が熱領域の吸収断面積を大きくする。
- ② ²³⁹Puの共鳴領域が熱領域の核分裂断面積を小さくする。

M. J. Hallsallの提案（表14）及び第3章3を考慮し、次の2ケースを検討することとした。

- ④ ²³⁹Puの共鳴領域、吸収断面積を1.2倍、核分裂断面積を1.24倍、²³⁹Puの熱領域吸収断面積を1.01倍する。
- ⑤ ²³⁹Puの共鳴領域については、④と同じで熱領域核分裂断面積を0.99倍する。

(3) ²⁴¹Pu予測精度向上

(2)の④、⑤で、²⁴¹Pu誤差は改善される方向となるがより測定値と近づけるため、²⁴¹Puの半減期を14.6年とする。

(4) ²³⁸Pu、²⁴²Puの精度向上

(2)の④⑤で²³⁸Pu、²⁴²Pu誤差は改善される方向となるがより測定値と近づけるため、各々の熱領域の吸収断面積を0.8倍する。

(5) keffの検討

Pu燃焼チェーン追加ライブラリに(2)④、(3)、(4)の変更を行ったライブラリ及び(2)⑤、(3)、(4)の変更を行ったライブラリで燃焼計算を行った。結果を表23、表24に示す。表より、(2)

②, (3), (4)の変更を行うと、目標の誤差1%以内を達成することが分る。しかし k_{eff} の変化は、表23の条件で $-0.23\%4K$ 、表24の条件で $-0.39\%4K$ と大きい。 k_{eff} の変化に大きな影響を与える。 ^{239}Pu の熱領域吸収断面積の変更を(2)②の $1/2$ とし、再度計算を行った。結果を表25に示す。 k_{eff} の変化は、 $0.006\%4K$ と目標を満足している。第2章2(3)②で述べた燃焼度を実測値に合うようにし、燃焼した結果を表26に示す。運転履歴の計算誤差を考慮すると、組成変化の計算誤差も1%以内に納まる。

2. 格子パラメータ計算での確認

1.(5)で検討したライブラリに基づきDCA格子パラメータ計算を行った。結果を表27に示す。表よりライブラリの変更により、 δ^{49} の計算誤差が改善されほぼ20%以内に納まる。 k_{eff} がほとんど変化しないことと合せ、ライブラリの変更が妥当であると考えられる。

3. ライブラリ変更について

「ふげん」燃料PIE測定値及びDCA格子パラメータ測定値に合うような、Puライブラリの検討を行い表28に示すような結果を得た。表28の変更とPu燃焼チェーンの追加により、燃焼計算におけるPu核種の組成は1%以内で予測できる(燃焼度 $16\text{Gwd}/\text{t}$ 程度)と考えられる。また、このライブラリの変更による k_{eff} の変化は $0.01\%4K$ 以内である。

表23 PIE実測値と計算値との比較

(単位：atom%)

核種		実測値 (E)	計 算 値	
			計算値 (C)	誤差 (C-E)
U	²³⁵ U	0.161	0.165	0.004
	²³⁶ U	0.0894	0.0907	0.0013
	²³⁸ U	99.745	99.745	0
Pu	²³⁸ Pu	1.119	1.005	-0.114
	²³⁹ Pu	42.80	43.71	0.91
	²⁴⁰ Pu	36.48	36.20	-0.28
	²⁴¹ Pu	10.67	10.31	-0.36
	²⁴² Pu	8.931	8.781	-0.15
keff (燃 焼 度 = 0 Gwd/t)			1.07282	

燃焼条件：運転履歴考慮

燃 焼 度：15.5 GWd/t

ライブラリ：○ Pu燃焼チェーン追加

○ ²³⁸Pu σ_a (熱領域) × 0.8

○ ²³⁹Pu σ_a (熱領域) × 1.01

σ_a (共鳴領域) × 1.2

σ_f (") × 1.24

○ ²⁴¹Pu 半減期14.6年

○ ²⁴²Pu σ_a (熱領域) × 0.8

表 24 PIE実測値と計算値との比較

(単位：atom%)

核 種		実測値 (E)	計 算 値	
			計算値 (C)	誤差 (C - E)
U	²³⁵ U	0.161	0.164	0.003
	²³⁶ U	0.0894	0.0908	0.0014
	²³⁸ U	99.745	99.745	0
Pu	²³⁸ Pu	1.119	0.953	-0.166
	²³⁹ Pu	42.80	44.12	1.32
	²⁴⁰ Pu	36.48	36.13	-0.35
	²⁴¹ Pu	10.67	10.29	-0.38
	²⁴² Pu	8.931	8.514	-0.417
keff (燃 焼 度 = 0 Gwd / t)			1.07118	

燃焼条件：運転履歴考慮

燃 焼 度：15.5GWd/t

ライブラリ：○ Pu 燃焼チェーン追加

- ²³⁸Pu σ_a (熱領域) × 0.8
- ²³⁹Pu σ_a (熱領域) × 0.99
- σ_a (共鳴領域) × 1.2
- σ_f (") × 1.24
- ²⁴¹Pu 半減期 14.6年
- ²⁴²Pu σ_a (熱領域) × 0.8

表 2 5 P I E 実測値と計算値との比較

(単位: atom%)

核 種		実 測 値 (E)	計 算 値	
			計 算 値 (C)	誤 差 (C - E)
U	^{235}U	0.161	0.165	0.004
	^{236}U	0.0894	0.0907	0.0013
	^{238}U	99.745	99.745	0
Pu	^{238}Pu	1.119	1.091	-0.028
	^{239}Pu	42.80	43.92	1.12
	^{240}Pu	36.48	35.83	-0.65
	^{241}Pu	10.67	10.46	-0.21
	^{242}Pu	8.931	8.692	-0.239
keff (燃 焼 度 = 10 Gwd/t)			1.07518	

燃焼条件: 運転履歴考慮

燃 焼 度: 15.5 Gwd/t

ライブラリ: ○ Pu燃焼チェーン追加

○ ^{238}Pu σ_a (熱領域) × 0.8○ ^{239}Pu σ_a (熱領域) × 1.005 σ_a (共鳴領域) × 1.2 σ_f (") × 1.24○ ^{241}Pu σ 半減期 14.6年○ ^{242}Pu σ_a (熱領域) × 0.8

表26 PIE実測値と計算値との比較

(単位: atom%)

核種		実測値(E)	計算値	
			計算値(C)	誤差(C-E)
U	^{235}U	0.161	0.160	-0.001
	^{236}U	0.0894	0.0914	0.002
	^{238}U	99.745	99.749	0.004
Pu	^{238}Pu	1.119	1.113	-0.006
	^{239}Pu	42.80	43.69	0.89
	^{240}Pu	36.48	35.84	-0.64
	^{241}Pu	10.67	10.48	-0.19
	^{242}Pu	8.931	8.877	-0.054

(単位 atom%)

燃焼条件: 運転履歴考慮

燃焼度: 15.8 GWd/t

ライブラリ: 表25と同一

表 27 DCA格子パラメータ測定値と計算値との比較

(格子間隔 25.0 cm)

測定条件	ρ_{cell}^{28}			δ_{cell}^{28}			δ_{cell}^{25}			δ_{cell}^{49}			δ_{cell}^{49}		
	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)	測定値	計算値	誤差(%)
5 s Pu 0%	0.823	0.923	12	0.109	0.106	-3	0.0764	0.0645	-16	0.0533	0.0463	-13	1.06	1.10	4
5 s Pu 30%	0.957	1.01	6	0.112	0.108	-4	0.0765	0.0719	-6	0.0640	0.0509	-20	0.994	1.11	12
5 s Pu 100%	1.08	1.10	2	0.128	0.129	1	0.103	0.0929	-10	0.0753	0.0645	-14	1.06	1.12	6
8 R Pu 0%	1.04	1.10	6	0.127	0.128	1	0.0874	0.0753	-14	0.0619	0.0537	-13	1.33	1.28	-4
8 R Pu 100%	1.39	1.31	-6	0.155	0.155	0	0.128	0.107	-16	0.0936	0.0740	-21	1.30	1.29	-1
5 s Pu 0% (3.9 ppm ^{10}B)	0.868	0.973	12	0.112	0.108	-4	0.0732	0.0683	-7	0.0546	0.0485	-11	1.10	1.11	1

$$\text{誤差} = \{ (\text{計算値} / \text{測定値}) - 1 \} \times 100$$

ライブラリ(表28参照)

表28 Pu断面積の変更

核種	種類	WIMS-ATR エネルギー群 (エネルギー領域)	内容
^{238}Pu	吸収断面積	69群~28群 (0~4 eV)	現状値×0.8
^{239}Pu	吸収断面積	69群~28群 (0~4 eV)	現状値×1.005
	吸収断面積	27群~15群 (4 eV~9.118 KeV)	現状値×1.2 *
	核分裂断面積	"	現状値×1.24 *
^{242}Pu	吸収断面積	69群~28群 (0~4 eV)	現状値×0.8

* : 英国M.J. Halsall 提案⁽³⁾

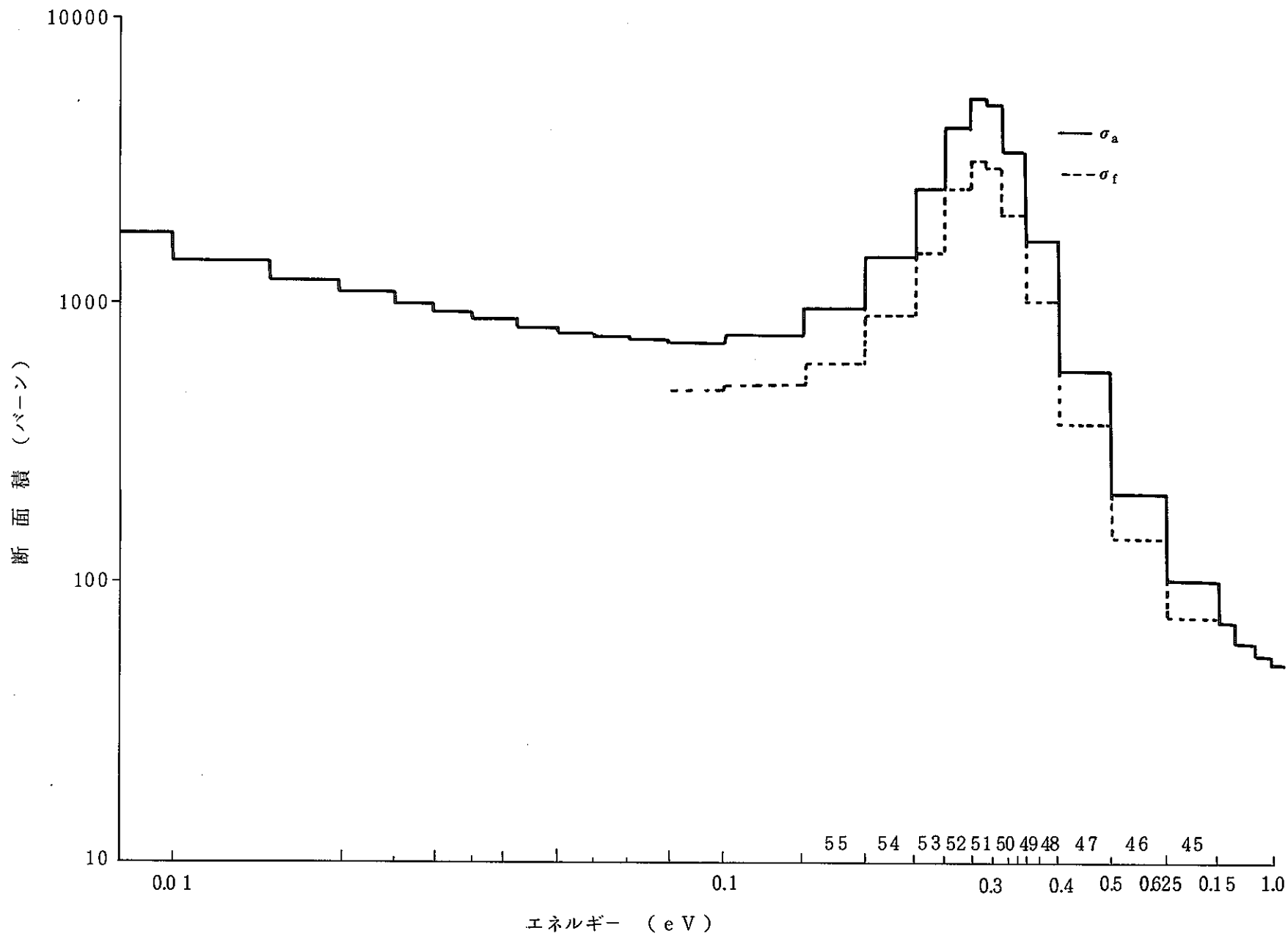


図7 ^{239}Pu の熱領域断面積 (WIMS-ATRライブラリ)

第 5 章 結 論

「ふげん」燃料 P I C 測定値及び D C A 格子パラメータ測定値を使い、WIMS-ATRコードの精度確認、ライブラリの変更による精度向上策の検討を行い、次の結果を得た。

1. 現状のWIMS-ATRによる燃料計算、U、Pu 同位体組成計算の誤差は、16 GWd / t 燃焼時点で、Uで0.002%、Puで2%程度である。また、燃焼計算結果は入力する燃焼条件（出力履歴、ボイド率）に大きく依存するので、実際の運転履歴に近い条件を入力する必要がある。
2. 現状のWIMS-ATRでは ^{238}Pu の燃焼生成チェーンが入力されてなく ^{238}Pu の計算ができない。 ^{238}Pu の燃焼生成チェーン等をライブラリに追加することにより、 ^{238}Pu の計算誤差が大簡に改善された。
3. Pu断面積の変更により燃焼後の組成がどう変化するか、感度解析を行った。また、M. J. Halsall 提案のライブラリ変更についても検討した。これらの結果及び k_{eff} をできるだけ変化させないことを考慮し、組成計算誤差を小さくするライブラリ変更について検討した。この結果Pu組成は1%以内の誤差で計算できた。
4. D C A 格子パラメータのWIMS-ATRによる計算誤差は、U燃料では E_{cd} を正しく与えることにより10%程度であるが、Pu燃料では10~20%で、特に δ^{49} は20~30%である。3で検討したライブラリにより δ^{49} も20%程度の誤差で計算できた。
5. 今回のライブラリ変更の検討は、1点のP I E 測定値を中心に行ったものであり、今後のP I E 測定結果により、精度確認を実施していく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 相原永史他, 「MOX 燃料照射後試験における燃焼度評価」, 原子力学会昭和60年度秋の分科会予稿.
- (2) 福村信男他, 「「ふげん」炉心の燃焼解析コードシステム PHLOX-BURNの開発(1)」
PNC ZN941 84-95.
- (3) M. J. Halsall, "Recent adjustments to the WIMS Nuclear data library",
AEEW R-1492.
- (4) L. W. Weston 他, "Neutron capture and fission cross sections of Plutonium
-241", Nuclear Science and Engineering, Vol. 65(1978).
- (5) M. J. Halsall 他, "The '1981' WIHS Nuclear data library", AEEW-R-1442.
- (6) 仁紫明人他, 「ウラン炉心における炉物理定数の考察」, PNC SN941 79-25.
- (7) 仁紫明人他, 「DCA炉心実験データ集(14)」, PNC SN941 79-194.
- (8) 福村信男他, 「DCA炉心実験データ集(13)」, PNC SN941 80-53.
- (9) 仁紫明人他, 「DCA炉心実験データ集(15)」, PNC SN941 79-195.
- (10) 「DCA ハンドブック(1)」, PNC SN941 74-22.

付録 1. WIMS-ATR入力データ

- 1 燃焼計算 (運転履歴考慮)
- 2 燃焼計算 (運転履歴考慮せず)
- 3 格子計算 (5 SPu, 0%ボイド, 格子間隔 22.5 cm)
- 4 格子計算 (8 RPu, 0%ボイド, 格子間隔 25 cm)
- 5 格子計算 (8 SPu, 100%ボイド, 格子間隔 22.5 cm)

1. WIMS 燃焼計算入力データ (運転履歴考慮)

```

*TL1 WIMS BURNUP CALCULATION (100 % POWER)
*TL2 FUGEN A TYPE P06 FUELL
#FPUA1D10 1/07/83
#FUGEN PU 3 28 5 16 15
# 0.71 75.9 20.4 3.10 0.6
# 0.8 0.8 0.55 24.0 0.0
# 8.960E-5 3.620E-5 0.0
# 15
# 1 7 8 9
# 1 5
# 2CELL AVE 020
CELL 7 1 0 1 1 0 1
SEQU 2
HGRO 14 5
HMES 31
NREG 16 9
HMAT 15 3
NREAC 6
XGROUPE 4 7 14 7 14
XAREA 2 0.0 585.64 254.469 585.64
PREOBT
# FUGEN / (0.8/0.55)PU-MOX BURBUP CAL./
INIT
ANNU 1 0.50425 1
ANNU 2 2.13675 1
ANNU 3 3.85225 13
ANNU 4 5.68650 14
ANNU 5 5.90650 15
ANNU 6 6.337 2
ANNU 7 7.8185 3
ANNU 8 8.021 4
ANNU 9 8.14794 5
ANNU 10 8.40184 5
ANNU 11 8.90961 5
ANNU 12 9.67128 5
ANNU 13 10.6868 5
ANNU 14 11.9562 5
ANNU 15 13.47961 5
ANNU 16 13.52193 6
ARRA 1 1 4 1.3205 0.7854
ARRA 2 (1 4 2.953 0.31852) (1 4 2.953 1.25227)
ARRA 3 1 16 4.7515 0.1946
RODS 1 1 0.7348 7
RODS 1 2 0.8217 10
RODS 2 1 0.7348 8
RODS 2 2 0.855243 11
RODS 3 1 0.7348 9
RODS 3 2 0.8217 12
MESH 2 4 6 6 2 #
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 #
1
FEWG 2 5 10 15 28 39 45 48 53 56 60 63 66 69
POWERC 1 16.1824 12.3591 5
BUCK 8.96E-5 5.65E-5
MATE 1 0.533140 555.0 3 #
2001 11.190000 16 88.810000 #
MATE 2 6.510000 526.6 3 #
91 97.14 56 0.2678 93 2.6 #
MATE 3 1.83000E-04 443.0 4 #
12 27.27 16 72.73 #
MATE 4 6.570000 328.0 4 #
91 97.946 56 0.144 58 0.057 #
119 1.584 52 0.111 55 0.029804 #
MATE 5 1.093070 328.0 4 #
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400 #
1010 0.000000 27 0.000000 #
MATE 6 5.620720 341.0 4 #
91 94.3125 56 2.7609 58 0.3967 #
119 1.4706 52 0.8078 55 0.0291 #
29 0.0228 #
MATE 7 9.916400 878.0 1 #
235.4 0.62435 2238.4 86.58772 3239.1 0.6744859 #
1240 0.1795043 241 0.027481 242 0.005558 #
16 11.8636 56 0.0749900 5238 0.0010435 #
1241 0.00453 #
MATE 8 9.916400 878.0 1 #
235.4 0.62435 2238.4 86.58772 3239.1 0.6744859 #
1240 0.1795043 241 0.027481 242 0.005558 #
16 11.8636 56 0.0749900 5238 0.0010435 #
1241 0.00453 #
MATE 9 9.916400 878.0 1 #
235.4 0.62646 2238.4 86.88064 3239.1 0.4587025 #
1240 0.1220768 241 0.0186892 242 0.0037798 #
16 11.8589 56 0.0750507 5238 0.0007097 #
1241 0.003079 #

```

```

MATE 10 6.848960 576.0 2
91 94.05259 96 0.12219 56 1.09443
58 2.20822 93 0.10637 27 0.02037
119 1.41013 52 0.84415 59 0.00163
55 0.10595 29 0.01398
MATE 11 6.776030 576.0 2
91 95.06442 96 0.09123 56 0.85437
58 1.66340 93 0.07942 27 0.01521
119 1.4253 52 0.65585 59 0.00122
55 0.09214 29 0.01044
MATE 12 6.925880 576.0 2
91 93.0084 96 0.15524 56 1.38189
58 2.7499 93 0.13213 27 0.02555
119 1.39447 52 1.04463 59 0.01145
55 0.11945 29 0.01241
MATE 13 0.533160 555.0 3
2001 11.19 16 88.81
MATE 14 0.533160 555.0 3
2001 11.19 16 88.81
MATE 15 0.533160 555.0 3
2001 11.19 16 88.81
*** 7.2700GWD/T (362.1DAYS)
MATE 1 0.618830 555.0 3
2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
1010 0.000590 27 0.000000
POWERC 1 21.71 9.8 5
BEGINC
THER 7
BEED 1
DNBO 1 0.035645 0.0 0.017823 0.0
DNBO 5 1.11807E-4 6.56389E-2 3.28754E-2 0.0
DNBO 7 0.0 0.0 4.42820E-2 0.0
DNBO 8 0.0 0.0 4.42820E-2 0.0
DNBO 9 0.0 0.0 4.42640E-2 0.0
DNBO 13 0.035645 0.0 0.017823 0.0
DNBO 14 0.035645 0.0 0.017823 0.0
DNBO 15 0.035645 0.0 0.017823 0.0
REAC 235 878 2238 878 3239 878 1240 878 241 878 242 878
BUCK 8.96E-5 5.65E-5
PART 5 15 45 46 69
LEAK 5
DIFF 1 1 2
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.582966 555.0 3
2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
1010 0.000380 27 0.000000
POWERC 1 20.08 12.14 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.617423 555.0 3
2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
1010 0.000280 27 0.000000
POWERC 1 17.69 8.82 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.637816 555.0 3
2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
1010 0.000200 27 0.000000
POWERC 1 16.36 8.56 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.665241 555.0 3
2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
1010 0.000100 27 0.000000
POWERC 1 15.35 9.6 5
BEGINC
BEGINC
RESTART

```

```

MATE 1 0.576638 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000260 27 0.000000
POWERC 1 14.67 3.0 1
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.592108 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000112 27 0.000000
POWERC 1 24.59 13.3 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.604766 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000018 27 0.000000
POWERC 1 22.73 9.6 5
BEGINC
BEGINC
***** COOLING (82 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.99777 300.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 300.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000018 27 0.000000
POWERC 1 1.0E-10 82.0 1
BEGINC
BEGINC
***** BURNUP 1.1171GWD/T (53.1 DAYS) *
RESTART
MATE 1 0.616017 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000071 27 0.000000
POWERC 1 20.55 8.66 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.619533 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000050 27 0.000000
POWERC 1 20.0 9.8 1
BEGINC
BEGINC
***** COOLING (52 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.99777 300.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 300.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000050 27 0.000000
POWERC 1 1.0E-10 52.0 1
BEGINC
BEGINC
***** BURNUP 1.9881GWD/T (94.5 DAYS) *
RESTART
MATE 1 0.573122 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000155 27 0.000000
POWERC 1 23.82 9.0 5
BEGINC
BEGINC
RESTART
MATE 1 0.599843 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000044 27 0.000000
POWERC 1 21.52 9.9 5
BEGINC
BEGINC

```



```

***** COOLING (316 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.99777 300.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 300.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000044 27 0.000000
POWERC 1 1.0E-10 326.0 1
BEGINC
***** BURNUP 4.2371GWD/T (201.4DAYS) *
RESTART
MATE 1 0.644958 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000310 27 0.000000
POWERC 1 19.75 15.00 5
BEGINC
***** COOLING (20 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.684227 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000119 27 0.000000
POWERC 1 17.36 15.0 5
BEGINC
***** BURNUP 1.9397GWD/T (92.2 DAYS) *
RESTART
MATE 1 0.695478 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000053 27 0.000000
POWERC 1 19.56 11.3 2
BEGINC
***** COOLING (707 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.592108 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000138 27 0.000000
POWERC 1 20.24 9.6 3
BEGINC
***** COOLING (20 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.99777 300.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 300.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000138 27 0.000000
POWERC 1 1.0E-10 20.0 1
BEGINC
***** BURNUP 1.9397GWD/T (92.2 DAYS) *
RESTART
MATE 1 0.73978 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000224 27 0.000000
POWERC 1 13.4 9.0 5
BEGINC
***** COOLING (707 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.73978 555.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 328.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000130 27 0.000000
POWERC 1 12.97 9.44 5
BEGINC
***** COOLING (707 DAYS) *****
RESTART
MATE 1 0.99777 300.0 3
  2001 11.190000 16 88.810000
MATE 5 1.093070 300.0 4
  2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400
  1010 0.000000 27 0.000000
POWERC 1 1.0E-10 707.0 1
BEGINC
***** COOLING (707 DAYS) *****
RESTART
POWERC 1 1.0E-10 728.0 1
BEGINC

```

2. WIMS 燃焼計算入力データ (運転履歴考慮せず)

```

*TL1 WIMS BURNUP CALCULATION (100 % POWER)
*TL2 FUGEN A TYPE P06 FUELL
*FPUA1010 1/07/83
*FUGEN PU 3 28 5 16 15
* 0.71 75.9 20.4 3.10 0.6
* 0.8 0.8 0.55 24.0 0.0
* 8.960E-5 5.620E-5 0.0
* 15
* 1 7 8 9
* 1 5
* 2CELL AVE D20
CELL 7 1 0 1 1 0 1
SEQU 2
NGRO 14 5
NHES 31
NREG 16 9
NHAT 15 3
NREAC 6
XGROUPE 4 7 14 7 14
XAREA 2 0.0 585.64 254.469 585.64
PREOUT
* FUGEN / (0.8/0.55)PU-MOX BURBUP CAL./
INIT
ANNU 1 0.50425 1
ANNU 2 2.13675 1
ANNU 3 3.85225 13
ANNU 4 5.68650 14
ANNU 5 5.90650 15
ANNU 6 6.337 2
ANNU 7 7.8185 3
ANNU 8 8.021 4
ANNU 9 8.14794 5
ANNU 10 8.40184 5
ANNU 11 8.90961 5
ANNU 12 9.67128 5
ANNU 13 10.6868 5
ANNU 14 11.9562 5
ANNU 15 13.47961 5
ANNU 16 13.52193 6
ARRA 1 1 4 1.3205 0.7854
ARRA 2 (1 4 2.953 0.31852) (1 4 2.953 1.25227)
ARRA 3 1 16 4.7515 0.1946
RODS 1 1 0.7348 7
RODS 1 2 0.8217 10
RODS 2 1 0.7348 8
RODS 2 2 0.855243 11
RODS 3 1 0.7348 9
RODS 3 2 0.8217 12
MESH 2 4 6 6 2 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1
FEWG 2 5 10 15 28 39 45 48 53 56 60 63 66 69
POWERC 1 16.1824 12.3591 5
BUCK 8.96E-5 5.65E-5
HATE 1 0.533160 555.0 3 ¥
2001 11.190000 16 88.810000
HATE 2 6.510000 526.6 3 ¥
91 97.14 56 0.2678 93 2.6
HATE 3 1.83000E-04 443.0 4 ¥
12 27.27 16 72.73
HATE 4 6.570000 328.0 4 ¥
91 97.946 56 0.144 58 0.057 ¥
119 1.584 52 0.111 55 0.029804
HATE 5 1.093070 328.0 4 ¥
2001 0.017120 10002 20.082480 16 79.900400 ¥
1010 0.000000 27 0.000000
HATE 6 5.620720 341.0 4 ¥
91 94.3125 56 2.7609 58 0.3967 ¥
119 1.4706 52 0.8078 55 0.0291 ¥
29 0.0228
HATE 7 9.916400 878.0 1 ¥
235.4 0.62435 2238.4 86.58772 3239.1 0.6744859 ¥
1240 0.1795043 241 0.027481 242 0.005558 ¥
16 11.8636 56 0.0749900 5238 0.0010435 ¥
1241 0.00453
HATE 8 9.916400 878.0 1 ¥
235.4 0.62435 2238.4 86.58772 3239.1 0.6744859 ¥
1240 0.1795043 241 0.027481 242 0.005558 ¥
16 11.8636 56 0.0749900 5238 0.0010435 ¥
1241 0.00453
HATE 9 9.916400 878.0 1 ¥
235.4 0.62646 2238.4 86.88064 3239.1 0.4587025 ¥
1240 0.1220768 241 0.0186892 242 0.0037798 ¥
16 11.8589 56 0.0750507 5238 0.0007097 ¥
1241 0.003079

```


3. WIMS格子計算入力データ 5SPu, 0%ボイド, 格子間隔 22.5 cm

```

*TL1 WIMS CELL CALCULATION 0.5XSPU 22.5LP
*TL2 DCA 28-ROD CLUSTER EXPERIMENT ANALYSIS
#0235SPOO                                09/11/85
#DCA   PU           3 28 5 44 12
# 0.71      90.36      8.64      0.92      0.06
# 0.542     0.542     0.542     22.5      0.0
# 2.410E-4  1.151E-3 0.0
# 12
# 1 7 8 9
# 1 6
# 2CELL AVE D20
CELL 7 1 0 1 1 0 1
SEGU 4
NGRO 14 7
NHES 44
NREG 38 3 20
NHAT 12 0
NROD 28 -8 60 6 3 2 1
NREA 6
PREO
# DCA 0.5XSPU 22.5CM LP 0% VOID
INIT
ANNU 1 0.31 1
ANNU 2 0.62 1
ANNU 3 0.93 1
ANNU 4 1.24 1
ANNU 5 1.55 1
ANNU 6 1.86 1
ANNU 7 2.17 1
ANNU 8 2.42 1
ANNU 9 2.70 1
ANNU 10 2.97 1
ANNU 11 3.27 1
ANNU 12 3.51 1
ANNU 13 3.74 1
ANNU 14 3.94 1
ANNU 15 4.14 1
ANNU 16 4.29 1
ANNU 17 4.44 1
ANNU 18 4.59 1
ANNU 19 4.74 1
ANNU 20 4.89 1
ANNU 21 5.04 1
ANNU 22 5.19 1
ANNU 23 5.34 1
ANNU 24 5.44 1
ANNU 25 5.54 1
ANNU 26 5.64 1
ANNU 27 5.74 1
ANNU 28 5.84 2
ANNU 29 6.04 3
ANNU 30 6.625 4
ANNU 31 6.825 5
ANNU 32 6.9527 6
ANNU 33 7.2081 6
ANNU 34 7.7190 6
ANNU 35 8.4853 6
ANNU 36 9.5070 6
ANNU 37 10.7841 6
ANNU 38 12.69427 6
ARRA 1 1 4 1.31250 0.78540
ARRA 2 1 8 3.00000 0.39270
ARRA 3 1 16 4.75750 0.19630
RODS 1 1 0.7345 7
RODS 1 2 0.8340 10
RODS 2 1 0.7345 8
RODS 2 2 0.8340 11
RODS 3 1 0.7345 9
RODS 3 2 0.8340 12
MATE 1 0.99777 295 3 2001 11.1901 16 88.8099
MATE 2 0.99777 295 3 2001 11.1901 16 88.8099
MATE 3 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 4 0.001205 295.000 4 ¥
16.0 23.5204 14.0 76.4796
MATE 5 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 6 1.1045 295 4 2001 0.05819 16 79.9345 10002 20.0083 ¥
1010 5.0E-6
MATE 7 10.17      295.000      1
235.4 0.6214 2238.4 86.782 16 12.12 ¥
5238 0.000102 3239.1 0.4304 1240 0.04115 ¥
241 0.004359 242 0.000303
MATE 8 10.17      295.000      1
235.4 0.6214 2238.4 86.782 16 12.12 ¥
5238 0.000102 3239.1 0.4304 1240 0.04115 ¥
241 0.004359 242 0.000303
MATE 9 10.17      295.000      1
235.4 0.6214 2238.4 86.782 16 12.12 ¥
5238 0.000102 3239.1 0.4304 1240 0.04115 ¥
241 0.004359 242 0.000303
MATE 10 5.373     295.000      2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
MATE 11 5.373     295.000      2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
MATE 12 5.373     295.000      2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
FEWG 2 5 10 15 28 39 45 48 53 56 60 63 66 69
NPIJ 38
MESH 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1
BEGI
THER 7
PRIN 1 1 0
BEEO 1
DNBO 1 0.066728 0. 0.033368 0.
DNBO 2 0.066728 0. 0.033368 0.
DNBO 4 0. 0. 0.10672E-04 0.
DNBO 6 3.84110E-4 0.0666086 0.033245 0.
DNBO 7 0. 0. 0.46414E-01 0.
DNBO 8 0. 0. 0.46414E-01 0.
DNBO 9 0. 0. 0.46414E-01 0.
BUCK 0.241E-3 0.001151
REAC 235 295 2238 295 3239 295 1240 295 241 295 242 295
PART 5 15 36 46 47 56 69
LEAK 7
DIFF 5 1 2
BEGI

```

4. WIMS格子計算入力データ 8RPU, 0%ボイド, 格子間隔25.0cm

```

*TL1 WIMS CELL CALCULATION 0.8XRPU 25.0LP
*TL2 DCA 28-ROD CLUSTER EXPERIMENT ANALYSIS
*0258RPOO                                09/11/85
*OCA    PU          3 28 5 45 12
* 0.71    64.92    21.77    9.45    3.01
* 0.87    0.87    0.87    25.0    0.0
* 2.410E-4 1.210E-3 0.0
* 12
* 1 7 8 9
* 1 6
* 2CELL AVE 020
CELL 7
SEQU 4
NGRO 14 7
HMES 45
NREG 39 3 20
NMAT 12 0
NROD 28 -8 60 6 3 2 1
NREA 6
XGROUP 4 7 14 7 14
XAREA 2 0.0 506.25 146.34 506.25
PRED
* DCA 0.8XRPU 25.0CM LP 0% VOID
INIT
ANNU 1 0.31 1
ANNU 2 0.62 1
ANNU 3 0.93 1
ANNU 4 1.24 1
ANNU 5 1.55 1
ANNU 6 1.86 1
ANNU 7 2.17 1
ANNU 8 2.42 1
ANNU 9 2.70 1
ANNU 10 2.97 1
ANNU 11 3.27 1
ANNU 12 3.51 1
ANNU 13 3.74 1
ANNU 14 3.94 1
ANNU 15 4.14 1
ANNU 16 4.29 1
ANNU 17 4.44 1
ANNU 18 4.59 1
ANNU 19 4.74 1
ANNU 20 4.89 1
ANNU 21 5.04 1
ANNU 22 5.19 1
ANNU 23 5.34 1
ANNU 24 5.44 1
ANNU 25 5.54 1
ANNU 26 5.64 1
ANNU 27 5.74 1
ANNU 28 5.84 2
ANNU 29 6.04 3
ANNU 30 6.625 4
ANNU 31 6.825 5
ANNU 32 6.9527 6
ANNU 33 7.2081 6
ANNU 34 7.7190 6
ANNU 35 8.4853 6
ANNU 36 9.5070 6
ANNU 37 10.7841 6
ANNU 38 12.69427 6
ANNU 39 14.10474 6
ARRA 1 1 4 1.31250 0.78540
ARRA 2 1 8 3.00000 0.39270
ARRA 3 1 16 4.75750 0.19630
RODS 1 1 0.7340 7
RODS 1 2 0.8340 10
RODS 2 1 0.7340 8
RODS 2 2 0.8340 11
RODS 3 1 0.7340 9
RODS 3 2 0.8340 12
MATE 1 0.99777 295 3 2001 11.1901 16 88.8099
MATE 2 0.99777 295 3 2001 11.1901 16 88.8099
MATE 3 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 4 0.001205 295.000 4 ¥
16.0 23.5204 14.0 76.4796
MATE 5 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 6 1.1045 295 4 2001 0.05819 16 79.9345 10002 20.0083 ¥
1010 5.0E-6
MATE 7 10.25 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.493 16 12.13 ¥
5238 0.00641 3239.1 0.4953 1240 0.1661 ¥
241 0.07217 242 0.02296
MATE 8 10.25 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.493 16 12.13 ¥
5238 0.00641 3239.1 0.4953 1240 0.1661 ¥
241 0.07217 242 0.02296
MATE 9 10.25 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.493 16 12.13 ¥
5238 0.00641 3239.1 0.4953 1240 0.1661 ¥
241 0.07217 242 0.02296
MATE 10 5.348 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
MATE 11 5.348 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
MATE 12 5.348 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 ¥
52 0.10 58 0.06
FEWG 2 5 10 15 28 39 45 48 53 56 60 63 66 69
NPIJ 39
HESH 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ¥
BEGI
THER 7
PRIN 1 1 0
BEED 1
DNBO 1 0.066728 0. 0.033368 0.
DNBO 2 0.066728 0. 0.033368 0.
DNBO 4 0. 0. 0.10672E-04 0.
DNBO 6 3.84110E-4 0.066086 0.033245 0.
DNBO 7 0. 0. 0.46414E-01 0.
DNBO 8 0. 0. 0.46414E-01 0.
DNBO 9 0. 0. 0.46414E-01 0.
BUCK 0.241E-3 0.1210E-2
REAC 235 295 2238 295 3239 295 1240 295 241 295 242 295
PART 5 15 36 47 48 56 69
LEAK 7
DIFF 5 1 2
BEGI

```

5. WIMS格子計算入力データ 8SPu, 100%ボイド, 格子間隔2.25cm

```

*TL1 WIMS CELL CALCULATION 0.8XSPU 22.5LP
*TL2 OCA 28-ROD CLUSTER EXPERIMENT ANALYSIS
*O238SP10 09/11/85
*OCA PU 3 28 5 44 12
* 0.71 90.31 8.68 7.92 0.06
* 0.862 0.862 0.862 22.5 0.0
* 2.410E-4 1.028E-3 0.0
* 12
* 1 7 8 9
* 1 6
* 2CELL AVE D20
CELL 7 1 0 1 1 0 1
SEOU 4
NGRO 14 7
NHES 44
NREG 38 3 20
NHAT 12 0
NROD 28 -8 60 6 3 2 1
NREA 6
XGROUP 4 7 14 7 14
XAREA 2 0.0 506.25 146.34 506.25
PREO

```

```

* OCA 0.8XSPU 22.5CM LP 100X VOID
INIT
ANNU 1 0.31 1
ANNU 2 0.62 1
ANNU 3 0.93 1
ANNU 4 1.24 1
ANNU 5 1.55 1
ANNU 6 1.86 1
ANNU 7 2.17 1
ANNU 8 2.42 1
ANNU 9 2.70 1
ANNU 10 2.97 1
ANNU 11 3.27 1
ANNU 12 3.51 1
ANNU 13 3.74 1
ANNU 14 3.94 1
ANNU 15 4.14 1
ANNU 16 4.29 1
ANNU 17 4.44 1
ANNU 18 4.59 1
ANNU 19 4.74 1
ANNU 20 4.89 1
ANNU 21 5.04 1
ANNU 22 5.19 1
ANNU 23 5.34 1
ANNU 24 5.44 1
ANNU 25 5.54 1
ANNU 26 5.64 1
ANNU 27 5.74 1
ANNU 28 5.84 2
ANNU 29 6.04 3
ANNU 30 6.625 4
ANNU 31 6.825 5
ANNU 32 6.9527 6
ANNU 33 7.2081 6
ANNU 34 7.7190 6
ANNU 35 8.4853 6
ANNU 36 9.5070 6
ANNU 37 10.7841 6
ANNU 38 12.69427 6
ARRA 1 1 4 1.31250 0.78540
ARRA 2 1 8 3.00000 0.39270
ARRA 3 1 16 4.75750 0.19630
RODS 1 1 0.7360 7
RODS 1 2 0.8340 10
RODS 2 1 0.7360 8
RODS 2 2 0.8340 11
RODS 3 1 0.7360 9
RODS 3 2 0.8340 12
MATE 1 0.001205 295.000 3 Y
16.0 23.520 14.0 74.480
MATE 2 0.001205 295.000 3 Y
16.0 23.520 14.0 74.480
MATE 3 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 4 0.001205 295.000 4 Y
16.0 23.5204 14.0 76.4796
MATE 5 2.674 295 3 27 96.98 24 2.60
MATE 6 1.1045 295 4 2001 0.05819 16 79.9345 10002 20.0083 Y
1010 5.0E-6

```

```

MATE 7 10.17 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.503 16 12.12 Y
5238 0.000145 3239.1 0.6849 1240 0.06584 Y
241 0.006960 242 0.000510
MATE 8 10.17 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.503 16 12.12 Y
5238 0.000145 3239.1 0.6849 1240 0.06584 Y
241 0.006960 242 0.000510
MATE 9 10.17 295.000 1
235.4 0.6194 2238.4 86.503 16 12.12 Y
5238 0.000145 3239.1 0.6849 1240 0.06584 Y
241 0.006960 242 0.000510
MATE 10 5.450 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 Y
52 0.10 58 0.06
MATE 11 5.450 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 Y
52 0.10 58 0.06
MATE 12 5.450 295.000 2
91 98.22 119 1.48 56 0.14 Y
52 0.10 58 0.06
FEWG 2 5 10 15 28 39 45 48 53 56 60 63 66 69
NPLJ 38
MESH 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Y
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Y
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Y
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Y
BEGI
THER 7
PRIN 1 1 0
BEE0 1
DNB0 1 0. 0. 1.08900E-05 0.
DNB0 2 0. 0. 1.08900E-05 0.
DNB0 4 0. 0. 0.10672E-04 0.
DNB0 6 3.84110E-4 0.066086 0.033245 0.
DNB0 7 0. 0. 0.46816E-01 0.
DNB0 8 0. 0. 0.46816E-01 0.
DNB0 9 0. 0. 0.46816E-01 0.
BUCK 0.241E-3 1.028E-3
REAC 235 295 2238 295 3239 295 1240 295 241 295 242 295
PART 5 15 36 46 47 56 69
LEAK 7
DIFF 5 1 2
BEGI

```

付録 2. Halsall による WIMS ライブラリ変更提案

1. ^{238}U Resonance Table, 1238.4, 2238.4

$\sigma_p = 3,600 \text{ barn}$

温 度 K	変 更 前	変 更 後	備 考
300	11.29	1.129	現状でも変更済
600	11.30	1.130	
900	11.30	1.130	

(Reference : AEEW-M 1324, P9)

2. ^{238}U σ_{tr} at fast, resonance

エネルギー群	1	2	3	4	5	6	7	8	9
変 更 前	3.62	3.95	4.63	4.87	5.01	5.59	6.88	8.48	10.10
" 後	3.22	3.60	3.96	4.65	4.84	5.49	6.69	7.81	9.20
エネルギー群	10	11	12	13	14	15	16	17	18
変 更 前	11.50	12.50	13.16	14.31	14.84	14.89	15.69	16.29	16.12
" 後	10.37	10.86	10.71	10.68	10.39	10.70	10.70	10.80	11.50
エネルギー群	19	20	21	22	23	24	25	26	27
変 更 前	25.24	19.96	46.75	52.53	48.22	168.92	113.78	8.86	150.83
" 後	11.40	13.00	19.40	24.20	29.40	76.50	88.10	10.40	144.00

ID=2238

(Reference : AEEW-R-1492, P7~8)

3. ^{235}U σ_a , σ_f , $\nu\sigma_f$ at 51Group~69Group (付表1)

(Reference : AEEW-R-1492, P9~10)

AEEW-R-1492 には σ_a , σ_f の係数しか記載されていないので、次式より算出した。

$$\begin{aligned} \sigma_a(\text{new}) &= \sigma_a(\text{old}) \times \{ \text{AEEW-R-1492のTable 4の } \sigma_a \text{ 係数 (付表1の係数と同じ)} \} \\ \sigma_f(\text{new}) &= \sigma_f(\text{old}) \times \left\{ \begin{array}{ccc} & " & \sigma_f & " \end{array} \right\} \\ \nu\sigma_f(\text{new}) &= \nu\sigma_f(\text{old}) \times \left\{ \begin{array}{ccc} & " & \sigma_f & " \end{array} \right\} \end{aligned}$$

α , η が Table 4 の値になることを確認した。(但し, η の小数点以下第3位は ± 1 変動)

付表1 ^{235}U の断面積の変更

グループ		σ_a			σ_f			$\nu\sigma_f$		
		変更前	係数	変更後	変更前	係数	変更後	変更前	係数	変更後
69	0.005	2180.15	0.995	2169.25	1860.08	0.990	1841.48	4520.00	0.990	4474.8
68	0.010	1302.82	0.998	1300.21	1111.19	0.995	1105.63	2700.20	0.995	2686.70
67	0.015	1000.60	0.999	999.60	853.274	0.998	851.538	2073.38	0.998	2069.23
66	0.020	836.721	1.000	836.721	713.381	1.001	714.094	1733.52	1.001	1735.25
65	0.025	727.807	1.001	728.535	620.422	1.004	622.904	1507.63	1.004	1513.66
64	0.030	649.525	1.003	651.474	553.597	1.008	558.026	1345.27	1.008	1356.03
63	0.035	589.660	1.006	593.198	502.490	1.012	508.520	1221.14	1.012	1235.79
62	0.042	534.040	1.009	538.846	455.092	1.017	462.829	1106.00	1.017	1124.80
61	0.050	479.782	1.011	485.060	408.782	1.021	417.366	993.502	1.021	1014.37
60	0.058	434.738	1.011	439.520	369.877	1.025	379.124	898.986	1.025	921.461
59	0.067	396.750	1.014	402.305	338.550	1.029	348.368	822.878	1.029	846.741
58	0.080	358.429	1.015	363.805	306.156	1.033	316.259	744.175	1.033	768.733
57	0.100	315.852	1.018	321.537	269.783	1.038	280.035	655.796	1.038	680.716
56	0.140	264.584	1.021	270.140	224.614	1.045	234.722	546.040	1.045	570.612
55	0.180	226.488	1.028	232.830	188.848	1.052	198.668	459.130	1.052	483.005
54	0.220	214.843	1.036	222.577	175.098	1.054	184.553	425.725	1.054	448.714
53	0.250	222.945	1.020	227.404	178.626	1.033	184.521	434.324	1.033	498.657
52	0.280	236.953	1.003	237.664	188.886	1.011	190.964	459.257	1.011	464.339
51	0.300	240.679	1.000	240.679	192.626	1.000	192.626	468.392	1.000	468.392

4. ^{235}U σ_f , $\nu\sigma_f$ at 5Group~27Group

Group	E (Lower)eV	$\alpha(2354)$	$\alpha(\text{new})$	$\sigma_f(2354)$	$\sigma_f(\text{new})$	$\nu\sigma_f(235)$	$\nu\sigma_f(\text{new})$	
5	821000	0.082	0.088	1.25	1.24	3.18728	3.16128	
6	500000	0.134	0.110	1.21	1.24	3.03065	3.10579	
7	302500	0.158	0.135	1.33	1.36	3.30263	3.38326	
8	183000	0.203	0.170	1.43	1.47	3.51817	3.61658	
9	111000	0.255	0.230	1.56	1.61	3.86654	3.93996	
10	67340	0.300	0.310	1.82	1.81	4.45124	4.42678	
11	40850	0.341	0.335	2.09	2.10	5.09628	5.12066	
12	24780	0.374	0.350	2.33	2.38	5.69395	5.81614	
13	15030	0.395	0.360	2.60	2.66	6.33528	6.48148	
14	9118	0.411	0.365	3.04	3.14	7.41130	7.65509	$\frac{\sigma_f(\text{new})}{\sigma_f(2354)}$
15	5530	0.247	0.38	3.92	3.54	9.56200	8.635	0.9031
16	3519	0.282	0.40	4.50	4.12	10.9700	10.04	0.9156
17	2239	0.299	0.40	5.68	5.27	13.8400	12.84	0.9278
18	1425	0.255	0.39	7.22	6.51	17.5900	15.86	0.9017
19	907	0.299	0.38	8.81	8.30	21.4700	20.23	0.9421
20	367	0.362	0.34	11.81	12.01	28.7800	29.27	1.017
21	149	0.405	0.58	16.42	14.60	40.0000	35.57	0.8892
22	76	0.430	0.60	26.23	23.44	63.8900	57.09	0.8936
23	48	0.653	0.52	26.11	28.40	63.5700	69.15	1.0877
24	28	0.824	0.77	41.11	42.36	100.1000	103.1	1.0304
25	16	0.771	0.85	51.10	48.93	122.400	117.2	0.9575
26	10	0.059	0.96	42.57	44.71	103.600	108.8	1.0503
27	4	0.560	0.50	50.91	52.95	123.900	128.9	1.0401

$\nu\sigma_f$ は次式により計算した。

(Reference : AEEW-R-1492)

$$\nu\sigma_f(\text{new}) = \nu\sigma_f(235) \times \frac{\sigma_f(\text{new})}{\sigma_f(2354)}$$

5. ^{239}Pu

(1) σ_f , $\nu\sigma_f$ at thermal

$$\sigma_f(\text{new}) = 0.99 \times \sigma_f(\text{old}), \nu\sigma_f(\text{new}) = 0.99 \times \nu\sigma_f(\text{old})$$

(2) σ_a , σ_f , $\nu\sigma_f$ at resonance

$$\sigma_a(\text{new}) = 1.20 \times \sigma_f(\text{old})$$

$$\sigma_f(\text{new}) = 1.24 \times \sigma_f(\text{old})$$

$$\nu\sigma_f(\text{new}) = 1.24 \times \nu\sigma_f(\text{old})$$

Resonance Tabulationもabsorptionについては1.20倍,
fission yieldについては1.24倍する。

6. Fission spectrum

現 状

変 更 後

Group	Spectrum x	Group	Spectrum
1	0.02822	1	0.027100
2	0.10930	2	0.116000
3	0.20350	3	0.214800
4	0.22500	4	0.229300
5	0.17920	5	0.175800
6	0.11600	6	0.110700
7	0.06760	7	0.062100
8	0.03506	8	0.032500
9	0.01808	9	0.016300
10	0.00892	10	0.008000
11	0.00433	11	0.003900
12	0.02078	12	0.001900
13	0.009917×10^{-1}	13	0.000900
14	0.004711×10^{-1}	14	0.000400
15	0.002235×10^{-1}	15	0.000200
16	0.009871×10^{-2}	16	0.000100
17	0.005017×10^{-2}	17	0.0
18	0.002549×10^{-2}	18	0.0
19	0.001295×10^{-2}	19	0.0
20	0.009912×10^{-3}	20	0.0
21	0.002555×10^{-3}	21	0.0
22	0.005663×10^{-4}	22	0.0
23	0.001580×10^{-4}	23	0.0
24	0.009162×10^{-5}	24	0.0
25	0.004010×10^{-5}	25	0.0
26	0.001603×10^{-5}	Total	1.0
27	0.001127×10^{-5}		
1 $\Sigma x = 1.0000$ 27			

(Reference : AEEW-R-1492, R1442)