

分置

高速炉によるTRU消滅処理に関する研究 (IV)

希土類混入の影響およびTRUリサイクルの検討

1993年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

高速炉によるTRU消滅処理に関する研究(IV)

希土類混入の影響およびTRUリサイクルの検討

若林利男*, 池上哲雄*

要 旨

使用済み燃料からTRUをTRUEX法により分離する場合、TRUの一部の核種(Am、Cm)は希土類元素(RE)とほぼ同じ挙動を示すため、TRUにはREが混入した状態で抽出される。このため、高速炉によるTRU消滅処理研究の一環として、TRU燃料にREが混入した場合の炉心特性への影響を解析・評価した。また、TRUをリサイクルした場合、PuやTRU(Np,Am,Cm)の高次化が進むため、その炉心特性に対する影響も評価した。今回の研究により以下の点が明らかになった。

- (1) 酸化物炉心においては、炉心特性(主に燃焼反応度、反応度係数)の観点からは、TRUの含有率約5%、REの混入率約10%が上限になると考えられる。一方、窒化物炉心では、酸化物炉心よりREが多く混入しても、炉心特性の観点からは成立する。TRUの含有率が約5%の場合、REを20%程度まで混入させることが可能である。
- (2) TRUリサイクルについては、炉心特性の観点からは、FBRはその影響は小さく、十分にTRUマルチリサイクルが可能であると言える。しかし、TRUをリサイクルすることによりCmが蓄積し、それに伴う中性子発生量、発熱量の増大が燃料製造や原子炉施設の燃料取扱い系に影響を与えられ、遮蔽、除熱対策を検討する必要がある。

* 技術開発部中性子工学Gr

Study on TRU Transmutation by LMFBRs (IV)

Effect of Rare Earth Introduction and TRU Recycle

T. Wakabayashi* and T. Ikegami*

Abstract

Systematic parameter survey calculations were performed to investigate basic characteristics (burnup reactivity loss, Doppler coefficient, sodium void reactivity, control rod worth, power distribution, transmutation rate, breeding ratio etc.) of an LMFBR core loaded with TRU(Np,Am,Cm) fuels which contain rare earths (RE) and also to establish TRU and RE loading method which has no serious influence on core design. It was found that the homogeneous loading of TRU and RE in the MOX-LMFBR core has no serious penalties to the reactor core performance, provided that the amount of TRU and RE in the fuel is less than 5 and 10wt%, respectively.

Core performance characteristics for TRU recycle were also studied in 1000MWe - class LMFBR. It was found that the TRU recycling is feasible from neutronic and thermal-hydraulic points of view. The accumulation of Cm by TRU recycling will bring some problems concerning to the fuel handling and reprocessing due to increase both decay heat and neutron emission rate from ^{244}Cm .

* Neutron Engineering Group, Technology Development Division, OEC

目 次

要旨	I
目次	III
図、表一覧	IV
1. はじめに	1
2. 希土類元素混入の炉心特性等への影響	2
2.1 解析条件全般	2
2.2 混入希土類元素の選定	3
2.3 酸化物燃料炉心の炉心特性評価	10
2.3.1 主要解析条件	10
2.3.2 燃焼特性、消滅率等の解析及び考察	11
2.3.3 反応度係数の解析及び考察	16
2.3.4 制御棒価値の解析及び考察	19
2.4 窒化物燃料炉心の炉心特性評価	75
2.4.1 主要解析条件	75
2.4.2 燃焼特性、消滅率等の解析結果及び考察	76
2.4.3 反応度係数の解析及び考察	77
2.5 希土類元素混入の炉心特性への影響のまとめ	96
3. TRUリサイクルの炉心特性への影響解析	98
3.1 TRUリサイクルの影響解析	98
3.1.1 解析条件	98
3.1.2 解析結果及び考察	99
3.2 TRUリサイクルにおける炉心特性評価	154
3.2.1 解析条件	154
3.2.2 解析結果及び考察	155
3.3 TRUリサイクルの影響のまとめ	182
4. まとめ	184
5. 今後の検討課題	185
参考文献	186
謝辞	188
付録 TRU燃料の元素構成比率について	189

表リスト

表2.1-1	RE混入の解析ケース一覧
表2.2-1	核種毎の吸収断面積及びインベントリー(3年後)(原子No. 順)
表2.2-2	核種毎の吸収断面積及びインベントリー(3年後)(効果順)
表2.3.1-1	炉心主要仕様
表2.3.1-2	炉心構成要素主要仕様
表2.3.1-3	構造材組成データ
表2.3.1-4	構造材密度データ
表2.3.1-5	TRU(100wt%時)の原子数密度(LWR取出後冷却3年)
表2.3.1-6	RE(100wt%時)の原子数密度(LWR取出後冷却3年)
表2.3.1-7	エネルギー群構造及び核分裂スペクトル
表2.3.2-1	基準ケース及びサーベイケースのPu富化度と燃焼欠損反応度及び実効増倍率一覧
表2.3.2-2	主要炉心特性一覧
表2.3.2-3	最大線出力
表2.3.2-4	TRU消滅率(ケース1)
表2.3.2-5	TRU消滅率(ケース2)
表2.3.2-6	TRU消滅率(ケース3)
表2.3.2-7	TRU消滅率(ケース4)
表2.3.2-8	炉中心位置の中性子束スペクトル(酸化物燃料炉心)
表2.3.2-9	炉中心位置の随伴中性子束スペクトル(酸化物燃料炉心)
表2.3.2-10	燃料インベントリーの内訳(TRU混入炉心)
表2.3.2-11	燃料インベントリーの内訳(RE混入炉心)
表2.3.2-12	PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果(RE=5%)
表2.3.2-13	PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果(RE=10%)

表2.3.2-14	燃料組成(CASE2タイプ)の解析ケース
表2.3.2-15	主要炉心特性一覧(燃料組成 CASE2タイプ)
表2.3.2-16	最大線出力(燃料組成 CASE2タイプ)
表2.3.2-17	CASE2タイプ解析ケースのPu富化度と燃焼欠損反応度及び実効増倍率
表2.3.2-18	主要炉心特性一覧(燃料組成 CASE2タイプ+TRU)
表2.3.2-19	最大線出力(燃料組成 CASE2タイプ+TRU)
表2.3.2-20	(CASE2タイプ+TRU)解析ケースのPu富化度と燃焼欠損反応度及び実効増倍率
表2.3.2-21	PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果(CASE2+追加TRU)
表2.3.3-1	遅発中性子発生率(v_d)
表2.3.3-2	遅発中性子割合
表2.3.3-3	遅発中性子スペクトル
表2.3.3-4	崩壊定数
表2.3.3-5	ドブプラー係数(MOX炉心)
表2.3.3-6	ドブプラー反応度分布(TRU混入炉心)
表2.3.3-7	ドブプラー係数分布(TRU混入炉心)
表2.3.3-8	ドブプラー反応度分布(RE混入炉心)
表2.3.3-9	ドブプラー係数分布(RE混入炉心)
表2.3.3-10	Naボイド反応度(MOX炉心)
表2.3.3-11	動特性パラメーター(MOX炉心)
表2.4.1-1	MN炉心解析ケース
表2.4.2-1	主要炉心特性一覧(窒化物燃料炉心)
表2.4.2-2	最大線出力(窒化物燃料炉心)
表2.4.2-3	TRU消滅率(窒化物燃料炉心 TRUなし)
表2.4.2-4	TRU消滅率(窒化物燃料炉心 TRU5%)

表2.4.2-5	TRU消滅率(窒化物燃料炉心 RE10%,TRU5%)
表2.4.2-6	炉中心位置の中性子束スペクトル(窒化物燃料炉心)
表2.4.2-7	炉中心位置の随伴中性子束スペクトル(窒化物燃料炉心)
表2.4.3-1	ドップラー係数(MN炉心)
表2.4.3-2	Naボイド反応度(MN炉心)
表2.4.3-3	動特性パラメーター(MN炉心)
表2.4.3-4	特性解析ケースの一覧
表3.1.1-1	ORIGEN-2の計算条件
表3.1.1-2	LWR取出: TRU, Pu組成(3年燃焼、5年冷却)
表3.1.2-1	原子炉停止後の崩壊熱(FBR取出後、冷却5年目)
表3.1.2-2	原子炉停止後の中性子発生量(FBR取出後、冷却5年目)
表3.2.1-1	LWR取出TRU及びPuの組成
表3.2.1-2	リサイクル15年目のTRU及びPuの組成
表3.2.1-3	リサイクル30年目のTRU及びPuの組成
表3.2.2-1	初期炉心の燃料インベントリーの内訳(装荷時)
表3.2.2-2	初期炉心の燃料インベントリーの内訳(BOEC)
表3.2.2-3	初期炉心の燃料インベントリーの内訳(EOEC)
表3.2.2-4	初期炉心の燃料インベントリーの内訳(取出時)
表3.2.2-5	15年目炉心の燃料インベントリーの内訳(装荷時)
表3.2.2-6	15年目炉心の燃料インベントリーの内訳(BOEC)
表3.2.2-7	15年目炉心の燃料インベントリーの内訳(EOEC)
表3.2.2-8	15年目炉心の燃料インベントリーの内訳(取出時)
表3.2.2-9	30年目炉心の燃料インベントリーの内訳(装荷時)
表3.2.2-10	30年目炉心の燃料インベントリーの内訳(BOEC)
表3.2.2-11	30年目炉心の燃料インベントリーの内訳(EOEC)

- 表3.2.2-12 30年目炉心の燃料インベントリーの内訳(取出時)
- 表3.2.2-13 TRU消滅率(初期炉心)
- 表3.2.2-14 TRU消滅率(15年目炉心)
- 表3.2.2-15 TRU消滅率(30年目炉心)
- 表3.2.2-16 TRUリサイクル炉心の主要炉心特性のまとめ

図リスト

- 図2.1-1 酸化物炉心の炉心構成図
- 図2.1-2 窒化物炉心の炉心構成図
- 図2.1-3 TRU燃焼チェーン(actinide build up path)
- 図2.3.1-1 1次元径方向マイクロ断面積計算体系
- 図2.3.1-2 軸方向マイクロ断面積計算体系
- 図2.3.1-3 PCR、BCRマイクロ断面積計算体系
- 図2.3.1-4 2次元RZ全炉心体系
- 図2.3.2-1 燃焼欠損反応度とRE混入割合の関係(TRU5%混入時)
- 図2.3.2-2 燃焼欠損反応度とTRU混入割合の関係(RE10%混入時)
- 図2.3.2-3 各燃焼欠損反応度に於けるREとTRUの混入割合の関係
- 図2.3.2-4 RE混入割合と増殖比の関係(TRU5%時)
- 図2.3.2-5 TRU混入割合と増殖比の関係(RE10wt%)
- 図2.3.2-6 RE混入割合とTRU消滅率の関係(TRU5%時)
- 図2.3.2-7 TRU混入割合とTRU消滅率の関係(RE10wt%)
- 図2.3.2-8 炉心中心での中性子スペクトルの比較(MOX炉心)
- 図2.3.2-9 炉心中心での随伴中性子スペクトルの比較(MOX炉心)
- 図2.3.2-10 酸化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(BOEC)
- 図2.3.2-11 酸化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(EOEC)
- 図2.4.2-1 1次元径方向マイクロ断面積計算体系(窒化物燃料炉心)
- 図2.4.2-2 軸方向マイクロ断面積計算体系(窒化物燃料炉心)
- 図2.4.2-3 2次元RZ・1/2炉心計算体系(窒化物燃料炉心)
- 図2.4.2-4 窒化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(BOEC)
- 図2.4.2-5 窒化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(EOEC)
- 図2.4.2-6 炉心中心での中性子スペクトルの比較(窒化物燃料炉心)

- 図2.4.2-7 炉心中心での随伴中性子スペクトルの比較(窒化物燃料炉心)
- 図3-1 FBRリサイクルの概念
- 図3.1.2-1 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(1リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-2 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(4リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-3 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(8リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-4 N_p の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-5 A_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-6 C_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-7 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(1リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-8 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(4リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-9 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化(8リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-10 N_p の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-11 A_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-12 C_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP: ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-13 リサイクルによるPu組成変化(ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-14 リサイクルによるTRU組成変化(ケースA($N_p + A_m + C_m$))
- 図3.1.2-15 リサイクルによるPu組成変化(ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-16 リサイクルによるTRU組成変化(ケースB($N_p + A_m$))
- 図3.1.2-17 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化

- 図3.1.2-18 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化
- 図3.2.2-1 径方向出力分布の比較(BOEC)
- 図3.2.2-2 径方向出力分布の比較(EOEC)
- 図3.2.2-3 炉中心での中性子スペクトルの比較(ケースA($N_p + A_m + C_m$))

1. はじめに

TRU(Np, Am, Cm)を原子炉で消滅させるには、使用済み燃料からのTRU核種の分離抽出が必要になる。この核種分離技術では、TRU核種のうち、NpはPUREX法により使用済み燃料から容易に分離できる。しかし、AmとCmの分離については、AmとCmが希土類元素とほぼ同じ挙動を示すため、使用済み燃料からAmとCmを分離する場合は、希土類元素も同時に抽出される¹⁾。このため、TRUを消滅させるため、Np, Am, Cmを同時に炉心燃料に添加する場合には、希土類元素の混入が避けられない。しかし、希土類元素はAm, Cmの十倍以上存在するため、Am, Cmを消滅させるためある程度の量を炉心に添加した場合、希土類元素の中性子吸収により燃焼に必要な反応度が大きくなり、運転制御が難しくなると考えられる。本研究では高速炉によるTRU消滅に関する研究^{2)~13)}の一環として、高レベル廃液からTRUを分離した時に混入する希土類元素がTRU消滅特性および炉心特性に与える影響を評価した。

TRUをリサイクルする場合、TRUのマルチリサイクルに伴ってPuやMAの高次化が問題となる。高速炉は熱中性子炉と比べて、核分裂/中性子吸収の割合が大きいためPuやTRUの高次化が進みにくく、TRUリサイクルが炉心特性へ与える影響は小さいと考えられる。しかし、定量的にその影響を評価しておく必要がある。今回は、軽水炉から取り出されたTRUを100万kWeクラスの高速炉に5%装荷し、その後高速炉でPuも含めてリサイクルする場合について、炉心パラメータサーベイを行いTRUリサイクルの消滅特性、炉心特性への影響を評価した。

2. 希土類元素混入の炉心特性等への影響

1000MWe級の大型酸化物燃料炉心¹⁴⁾および窒化物燃料炉心¹⁵⁾を対象に、この炉心燃料にTRU、REを均一に混入させた場合の、出力分布、燃焼特性、反応度係数(ドブラー係数、Naボイト反応度、動特性パラメータ)、制御棒価値等の解析を実施し、TRU、REの混入が、TRU消滅量や炉心特性に与える影響を評価した。

また、酸化物燃料炉心を対象に、PUREX及びTRUEXプロセスから得られる3種類の製品、(イ)Puの低除染溶液、(ロ)U精製溶液、(ハ)TRU溶液を混合してTRU燃料を製造した場合¹⁶⁾の組成(以下、Case2タイプと呼ぶ。付録A参照)を用いて炉心特性を評価した。

2.1 解析条件全般

(1) 基準炉心

基準炉心としては、1000MWe級の酸化物炉心¹⁾及び窒化物炉心を選定した。酸化物炉心の炉心構成図を図2.1-1に、窒化物炉心の炉心構成を図2.1-2に示す。

- 原子炉出力 …… 1000MWe
- サイクル長さ ……15ヵ月(酸化物炉心)
12ヵ月(窒化物炉心)
- TRU組成 ……LWR取出組成
- TRU添加方法 …… 燃料に均一混合
- 燃焼チェーン

燃焼計算における燃焼チェーンを図2.1-3に示す。

半減期および²⁴²Amの崩壊の分岐比は、Table of isotopes¹⁷⁾を用いた。

(2) パラメータ

酸化物の基準炉心に対し下記パラメータを変化させた。

- ① 希土類元素の混入率
0%(基準)、10%及び30%
- ② TRU装荷割合
5%(基準)及び20%

窒化物炉心については下記3ケースの解析を行った。

- ① 希土類及びTRUを混入しない炉心(基準)
- ② TRU5%混入炉心
- ③ (TRU5%+希土類元素10%)混入炉心

表2.1-1に解析ケースを示す。

(4) 解析項目

主な解析項目は以下の通りである。

- ① 実効増倍率
- ② 燃焼特性(反応度変化,出力分布とその変動,増殖性)
- ③ TRU消滅特性
- ④ 反応度係数(ドップラー係数,Naボイト反応度)
- ⑤ 動特性パラメータ
- ⑥ 制御棒反応度価値

2.2 混入希土類元素の選定

希土類元素16種(Y,La,Ce,Pr,Nd,Sm,Pm,Eu,Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Lu、同位元素含め:83核種)の1群吸収断面積(ORIGEN18の結果)とPWR取出3年目のインベントリーを基に高速炉体系における各希土類元素の寄与を求め、寄与の大きい核種10種を今回の解析における対象核種とした。但し、トータルの吸収断面積は保存させた。具体的には原子数密度で補正することとした。表2.2-1に、核種毎の1群吸収断面積とPWR取出3年目のインベントリーを原子番号順に示す。また表2.2-2に核種毎の1群吸収断面積とPWR取出3年目のインベントリーを効果順に並べたものを示す。

表 2.1. - 1 RE混入の解析ケース一覧

		解 析 ケース NO.	混入割合 (wt%)		備 考		
			R. E.	TRU			
酸 化 物 炉 心	MOX大型炉14)	—	0	0	燃焼サイクル 15ヵ月 炉心高さ 100cm		
	基準ケース	1	0	5			
	サーベイ計算	2	10	5			
		3	30	5			
		4	10	20			
		燃料組成 CASE 2 タイプ	5 6	5		付録Aに基づき 算出	
	目標燃焼欠損 : 3.3% $\Delta k/kk$	7 8	10	付録Aに基づき 算出			
	燃料組成 CASE 2 タイプ + TRU 目標燃焼欠損 : 3.3% $\Delta k/kk$	9 10 11 12	5 10	$(c)' + y$ $(c)'$ y			
	窒 化 物 炉 心	基準炉心	1	0		0	燃焼サイクル 12ヵ月
		TRU混入炉心	2	0		5	炉心高さ 60cm
		RE混入炉心	3	10		5	

表2.2-1 核種毎の吸収断面積及びインベントリー（3年後）（原子No.順）

核種名	断面積(a)	重量(b)	(a)*(b)	核種名	断面積(a)	重量(b)	(a)*(b)
Y-89	2.195E-02	7.379E+02	1.620E+01	EU-151	3.413E+00	4.158E-01	1.419E+00
Y-90	1.224E-01	2.002E-01	2.450E-02	EU-152	4.297E+00	3.209E-02	1.379E-01
Y-91	3.943E-02	1.214E-04	4.787E-06	EU-153	2.163E+00	1.867E+02	4.038E+02
LA-138	6.331E-01	1.648E-01	1.043E-01	EU-154	2.577E+00	6.247E+01	1.610E+02
LA-139	3.779E-02	2.006E+03	7.581E+01	EU-155	2.404E+00	1.975E+01	4.748E+01
LA-140	2.865E-01	6.980E-26	2.000E-26	EU-156	5.667E-02	1.668E-21	9.453E-23
CE-136	9.325E-02		0.0	GD-152	4.599E+00	1.350E-02	6.209E-02
CE-138	7.588E-04		0.0	GD-154	9.302E-01	2.355E+01	2.191E+01
CE-140	1.707E-02	2.063E+03	3.522E+01	GD-155	1.857E+00	1.045E+01	1.941E+01
CE-141	1.307E-01	5.027E-09	6.570E-10	GD-156	4.280E-01	1.719E+02	7.357E+01
CE-142	3.184E-02	1.862E+03	5.929E+01	GD-157	3.440E+00	2.213E-01	7.613E-01
CE-143	2.442E-01	0.0	0.0	GD-158	2.677E-01	4.160E+01	1.114E+01
CE-144	4.924E-02	3.491E+01	1.719E+00	GD-160	1.931E-01	2.295E+00	4.432E-01
PR-141	1.481E-01	1.827E+03	2.706E+02	GD-161	2.139E+01	0.0	0.0
PR-142	3.789E-01	0.0	0.0	TB-159	1.321E+00	4.845E+00	6.400E+00
PR-143	3.341E-01	1.396E-23	4.664E-24	TB-160	1.334E-01	5.891E-06	7.859E-07
ND-142	3.728E-02	6.440E+01	2.401E+00	DY-156	1.472E+00		0.0
ND-143	2.889E-01	1.103E+03	3.187E+02	DY-158	1.840E-01		0.0
ND-144	9.129E-02	2.315E+03	2.113E+02	DY-160	1.851E+00	6.934E-01	1.283E+00
ND-145	3.231E-01	1.043E+03	3.370E+02	DY-161	2.030E+00	7.556E-01	1.534E+00
ND-146	1.201E-01	1.207E+03	1.450E+02	DY-162	8.019E-01	6.307E-01	5.058E-01
ND-147	6.412E-01	1.502E-29	9.631E-30	DY-163	8.936E-01	6.250E-01	5.585E-01
ND-148	1.737E-01	6.123E+02	1.064E+02	DY-164	2.401E-01	9.938E-02	2.386E-02
ND-150	2.140E-01	2.959E+02	6.332E+01	DY-165	3.373E+01	0.0	0.0
PM-147	1.186E+00	7.054E+01	8.366E+01	HO-165	1.438E+00	3.582E-01	5.151E-01
PM-148	6.763E+00	1.221E-10	8.258E-10	ER-162	7.358E-01		0.0
PM-148M	3.452E+00	1.669E-08	5.761E-08	ER-164	1.610E-01		0.0
PM-149	2.938E+00	0.0	0.0	ER-166	4.261E-01	1.325E-01	5.646E-02
PM-151	3.229E-02	0.0	0.0	ER-167	1.351E+00	5.994E-03	8.098E-03
SM-144	4.829E-04		0.0	ER-168	5.519E-02	2.039E-02	1.125E-03
SM-145	7.588E-02	0.0	0.0	ER-170	3.066E-02	1.224E-07	3.753E-09
SM-147	7.680E-01	1.611E+02	1.237E+02	ER-171	1.932E-01	0.0	0.0
SM-148	3.267E-01	3.297E+02	1.077E+02	TM-169	2.462E+00	1.794E-04	4.417E-04
SM-149	1.354E+00	3.635E+00	4.922E+00	TM-170	7.052E-01	1.013E-07	7.144E-08
SM-150	3.885E-01	4.058E+02	1.577E+02	TM-171	1.809E-01	1.668E-06	3.017E-07
SM-151	2.092E+00	1.738E+01	3.636E+01	YB-168	4.752E+01	0.0	0.0
SM-152	3.901E-01	1.689E+02	6.589E+01	YB-170	4.599E-01	8.122E-05	3.735E-05
SM-153	4.936E-02	0.0	0.0	YB-171	5.090E-01	6.753E-06	3.437E-06
SM-154	2.018E-01	6.550E+01	1.322E+01	YB-172	3.833E-02	3.865E-07	1.481E-08
				YB-173	5.979E-01		0.000E+00
				YB-174	1.479E-02		0.000E+00
				YB-176	9.198E-03		0.000E+00
				LU-175	4.081E-01		0.000E+00
				LU-176	1.772E+00		0.000E+00
				TOTAL		1.6922E+04	2.9881E+03

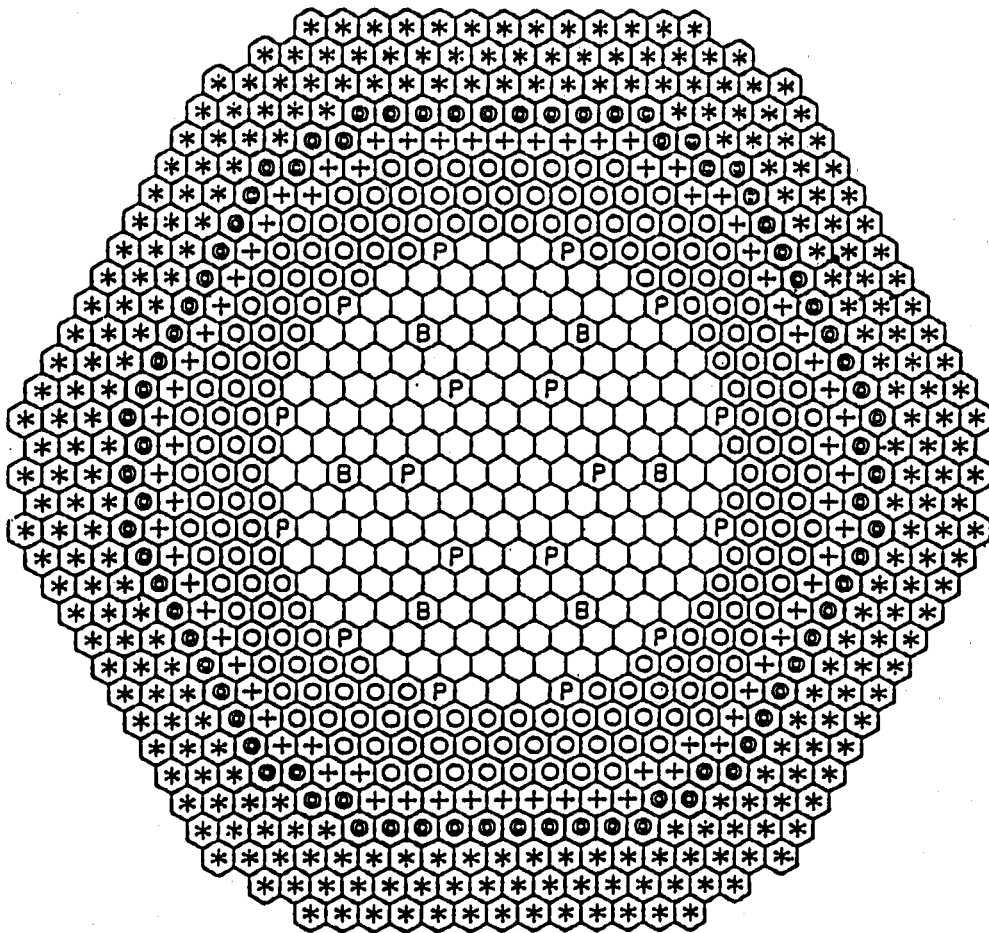
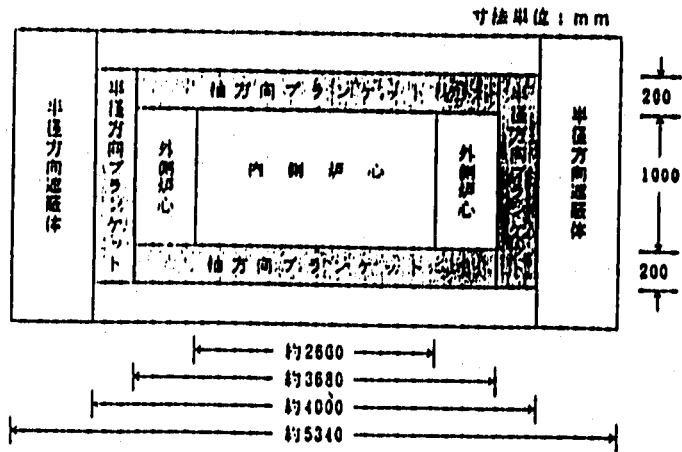
表2.2-2 核種毎の吸収断面積及びインベントリー（3年後）（効果順）

	核種名	断面積(a)	重量(b)	(a)*(b)
1	EU-153	2.163E+00	1.867E+02	4.038E+02
2	ND-145	3.231E-01	1.043E+03	3.370E+02
3	ND-143	2.889E-01	1.103E+03	3.187E+02
4	PR-141	1.481E-01	1.827E+03	2.706E+02
5	ND-144	9.129E-02	2.315E+03	2.113E+02
6	EU-154	2.577E+00	6.247E+01	1.610E+02
7	SM-150	3.885E-01	4.058E+02	1.577E+02
8	ND-146	1.201E-01	1.207E+03	1.450E+02
9	SM-147	7.680E-01	1.611E+02	1.237E+02
10	SM-148	3.267E-01	3.297E+02	1.077E+02
10核種のTOTAL			8.641E+03	2.236E+03
11	ND-148	1.737E-01	6.123E+02	1.064E+02
12	PM-147	1.186E+00	7.054E+01	8.366E+01
13	LA-139	3.779E-02	2.006E+03	7.581E+01
14	GD-156	4.280E-01	1.719E+02	7.357E+01
15	SM-152	3.901E-01	1.689E+02	6.589E+01
16	ND-150	2.140E-01	2.959E+02	6.332E+01
17	CE-142	3.184E-02	1.862E+03	5.929E+01
18	EU-155	2.404E+00	1.975E+01	4.748E+01
19	SM-151	2.092E+00	1.738E+01	3.636E+01
20	CE-140	1.707E-02	2.063E+03	3.522E+01
21	GD-154	9.302E-01	2.355E+01	2.191E+01
22	GD-155	1.857E+00	1.045E+01	1.941E+01
23	Y - 89	2.195E-02	7.379E+02	1.620E+01
24	SM-154	2.018E-01	6.550E+01	1.322E+01
25	GD-158	2.677E-01	4.160E+01	1.114E+01
26	TB -159	1.321E+00	4.845E+00	6.400E+00
27	SM-149	1.354E+00	3.635E+00	4.922E+00
28	ND-142	3.728E-02	6.440E+01	2.401E+00
29	CE-144	4.924E-02	3.491E+01	1.719E+00
30	DY-161	2.030E+00	7.556E-01	1.534E+00
31	EU-151	3.413E+00	4.158E-01	1.419E+00
32	DY-160	1.851E+00	6.934E-01	1.283E+00
33	GD-157	3.440E+00	2.213E-01	7.613E-01
34	DY-163	8.936E-01	6.250E-01	5.585E-01
35	HO-165	1.438E+00	3.582E-01	5.151E-01
36	DY-162	8.019E-01	6.307E-01	5.058E-01
37	GD-160	1.931E-01	2.295E+00	4.432E-01
38	EU-152	4.297E+00	3.209E-02	1.379E-01
39	LA-138	6.331E-01	1.648E-01	1.043E-01
40	GD-152	4.599E+00	1.350E-02	6.209E-02
41	ER-166	4.261E-01	1.325E-01	5.646E-02
42	Y - 90	1.224E-01	2.002E-01	2.450E-02

	核種名	断面積(a)	重量(b)	(a)*(b)
43	DY-164	2.401E-01	9.938E-02	2.386E-02
44	ER-167	1.351E+00	5.994E-03	8.098E-03
45	ER-168	5.519E-02	2.039E-02	1.125E-03
46	TM-169	2.462E+00	1.794E-04	4.417E-04
47	YB-170	4.599E-01	8.122E-05	3.735E-05
48	Y - 91	3.943E-02	1.214E-04	4.787E-06
49	YB-171	5.090E-01	6.753E-06	3.437E-06
50	TB -160	1.334E-01	5.891E-06	7.859E-07
51	TM-171	1.809E-01	1.668E-06	3.017E-07
52	TM-170	7.052E-01	1.013E-07	7.144E-08
53	PM-148M	3.452E+00	1.669E-08	5.761E-08
54	YB-172	3.833E-02	3.865E-07	1.481E-08
55	ER-170	3.066E-02	1.224E-07	3.753E-09
56	PM-148	6.763E+00	1.221E-10	8.258E-10
57	CE-141	1.307E-01	5.027E-09	6.570E-10
58	EU-156	5.667E-02	1.668E-21	9.453E-23
59	PR-143	3.341E-01	1.396E-23	4.664E-24
60	LA-140	2.865E-01	6.980E-26	2.000E-26
61	ND-147	6.412E-01	1.502E-29	9.631E-30
62	CE-136	9.325E-02		0.0
63	CE-138	7.588E-04		0.0
64	CE-143	2.442E-01	0.0	0.0
65	PR-142	3.789E-01	0.0	0.0
66	PM-149	2.938E+00	0.0	0.0
67	PM-151	3.229E-02	0.0	0.0
68	SM-144	4.829E-04		0.0
69	SM-145	7.588E-02	0.0	0.0
70	SM-153	4.936E-02	0.0	0.0
71	GD-161	2.139E+01	0.0	0.0
72	DY-156	1.472E+00		0.0
73	DY-158	1.840E-01		0.0
74	DY-165	3.373E+01	0.0	0.0
75	ER-162	7.358E-01		0.0
76	ER-164	1.610E-01		0.0
77	ER-171	1.932E-01	0.0	0.0
78	YB-168	4.752E+01	0.0	0.0
79	YB-173	5.979E-01		0.000E+00
80	YB-174	1.479E-02		0.000E+00
81	YB-176	9.198E-03		0.000E+00
82	LU-175	4.081E-01		0.000E+00
83	LU-176	1.772E+00		0.000E+00
83核種のTOTAL			1.6922E+04	2.9881E+03

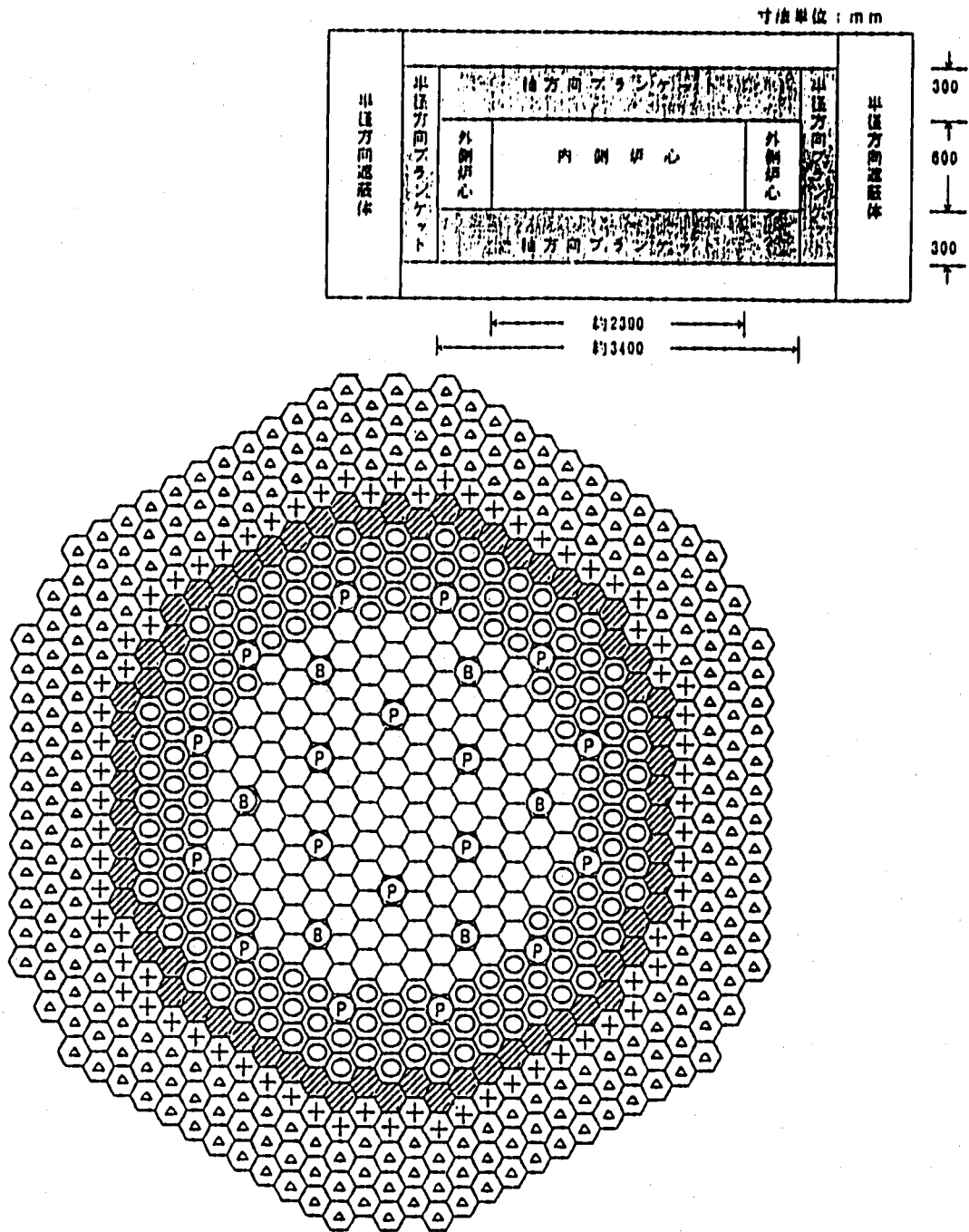
$$F = \frac{(10核種の重量の合計) \cdot (83核種の(断面積 \times 重量)の合計)}{(83核種の重量の合計) \cdot (10核種の(断面積 \times 重量)の合計)}$$

F = 6.8225E-01



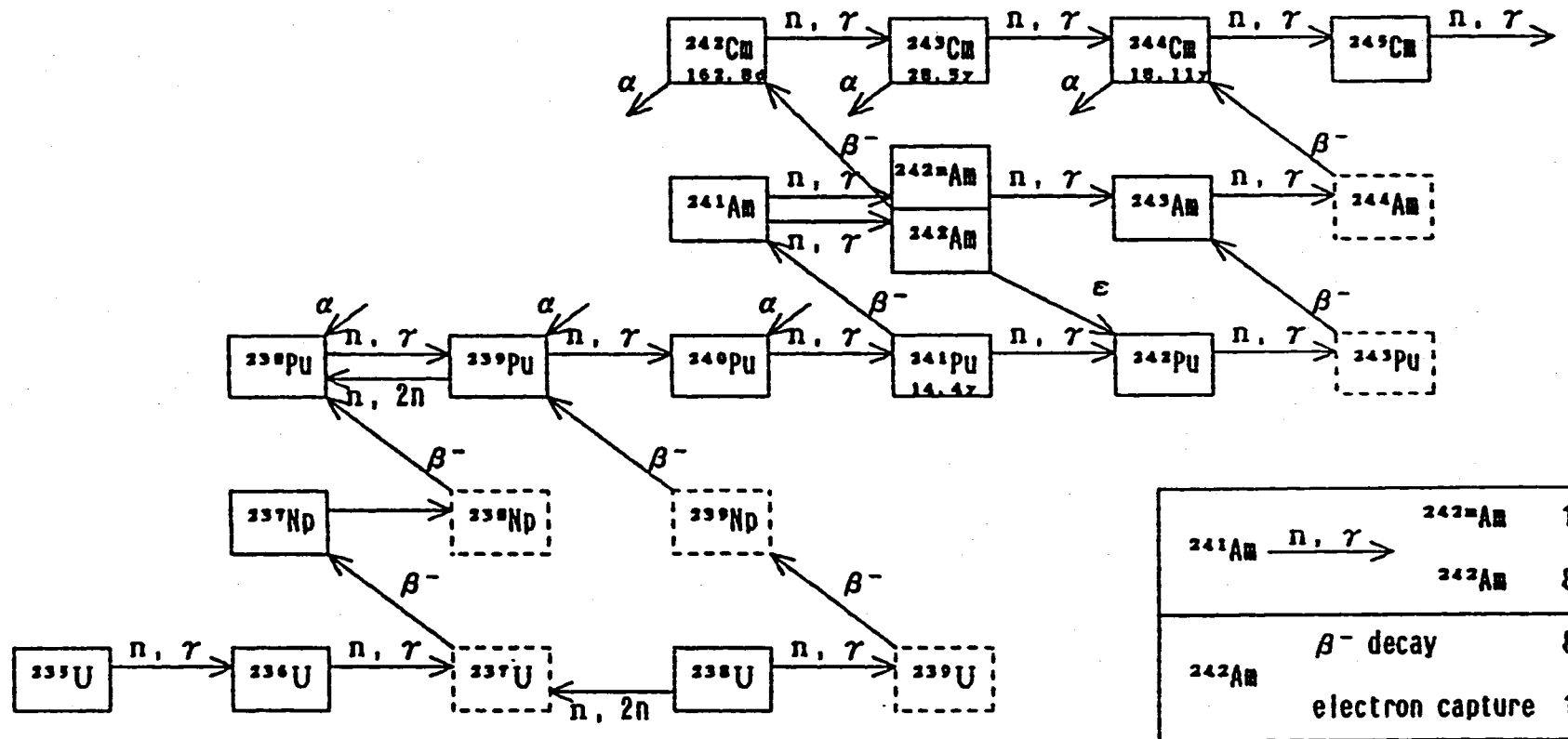
⊕	I 179.8 mm	⊙	内側炉心	175本
⊙	I 181.2 mm	⊕	外側炉心	180本
*		P	主炉停止系制御棒	18本
		B	後備炉停止系制御棒	6本
		+	半区方向ブランケット	72本
		⊙	中性子遮蔽体 (SUS)	78本
		*	中性子遮蔽体 (B4C)	270本
				合計 799本

図 2.1-1 酸化物炉心の炉心構成図



	内側炉心	146本
	外側炉心	154本
	半径方向ブランケット	61本
	主炉停止系制御棒	18本
	後備炉停止系制御棒	6本
	半径方向遮蔽体	317本
合 計		702本

図 2.1 - 2 窒化物炉心の炉心構成図



^{241}Am	n, γ	^{242}Am	16 %
		^{242}Am	84 %
^{242}Am	β^- decay		82.7 %
		electron capture	17.3 %

〔 〕内の核種は、生成後直ちに崩壊するものとする

図 2.1-3 TRU 燃焼チェーン (actinide build up path)

2.3 酸化物燃料炉心の炉心特性評価

2.3.1 主要解析条件

(1) 基本条件

酸化物燃料炉心の主な条件を以下に示す。

- 原子炉出力 1000MWe(2517MWt)
- サイクル長さ 15か月
- 燃料交換 3バッチ
- 炉心高さ 100m

また、炉心主要仕様を表2.3.1-1に、炉心構成要素主要仕様を表2.3.1-2にそれぞれ示す。さらに構造材組成データを表2.3.1-3に、構造材密度データを表2.3.1-4にそれぞれ示す。

(2) TRU燃料の組成および添加方法

TRU(Np,Am,Cm)の組成は、PWRの燃焼度55,000MWd/tの取出燃料のものを基にした(ORIGEN-2解析による)。但し、原子炉から取り出した後、3年間冷却した場合の組成とした。表2.3.1-5にTRU燃料の組成を示す。またTRU燃料は炉心燃料に均一に混入した。

(3) 混入REの組成および添加方法

2.2節で選定した混入RE10種の組成比は、TRU燃料と同様ORIGEN-2の結果を用いた。TRU燃料と同様、原子炉から取り出した後、3年間冷却した場合の組成とした。表2.3.1-6に混入REの組成を示す。またREは炉心燃料に均一に混入することとした。

(4) 解析ケース

① 基準ケース及びサーベイケース

TRU5%混入の炉心(RE:0%)を基準ケースとし、TRU及びREの混入率をパラメータとしたサーベイを行った。パラメータの範囲は、TRU混入率が5%~20%、RE混入率は0%~30%とした。

② 燃料組成(Case2タイプ)のケース

PUREX及びTRUEXプロセスから得られる3種類の製品、(イ)Puの低除染溶液、(ロ)U精製溶液、(ハ)TRU溶液を混合してTRU燃料を製造した場合の組成(以下、Case2タイプと呼ぶ)を、付録AのTRU燃料製造条件に基づいて求めた。RE混入率としては5%および10%の場合を想定した。

③ 燃料組成(Case2タイプ+TRU)のケース

これは、②のケースに外からTRUだけを持ってきて更に添加した場合のケースである。RE混入率としては5%および10%の場合を想定した。

(5)解析手法

① 炉定数

JENDL-2ライブラリー(19)をベースにして作成された「JFS-3-J2」(20)を用いた。

② 縮約群数

断面積は、半径方向及び軸方向各々1次元の燃焼拡散計算の結果から得られる70群の中性子束を重みとして7群に縮約して用いた。エネルギー群構造を表2.3.1-7に示す。

③ 燃焼チェーン

燃焼計算における燃焼チェーンを図2.1-3に示す。半減期および ^{242}Am の崩壊の分岐比は、Table of isotopes(17)を用いた。

④ 計算モデル

断面積作成モデルを図2.3.1-1~図2.3.1-3に示す。炉心解析は2次元RZ全炉心体系とし、図2.3.1-4に計算モデルを示す。

⑤ Pu富化度調整

基準ケースのEOECの k_{eff} および内側炉心と外側炉心の最大線出力比とほぼ同程度になるように他のサーベイケースのPu富化度調整を行った。

⑥ 制御棒状態

制御棒中途挿入とした。

⑦ 出力分布の補正

2次元RZ計算の結果得られた平均出力に燃焼補正を行った。

2.3.2 燃焼特性、消滅率等の解析及び考察

(1)基準ケース及びサーベイケースの解析

1)解析結果

各ケースのPu富化度と燃焼欠損反応度及び実効増倍率の結果をまとめて、表2.3.2-1に示す。また、各ケースの主要炉心特性の結果を表2.3.2-2に示す。表2.3.2-3に各領域毎の最大出力密度、B.U.F(Burn-up Factor)等を示す。また、TRU消滅率を表2.3.2-4~表2.3.2-7に示す。

図2.3.2-1にRE混入割合と燃焼欠損反応度の関係(TRU 5wt%時)を、図2.3.2-2にTRU混入割合と燃焼欠損反応度の関係(R.E.10wt%時)を、図2.3.2-3に各燃焼欠損反応度におけるREとTRU混入割合の関係を示す。また、図2.3.2-4にRE混入割合と増殖比の関係(TRU 5wt%時)を、図2.3.2-5にTRU混入割合と増殖比の関係(R.E.10wt%時)を示す。図2.3.2-6にはRE混入割合とTRU消滅率の関係(TRU 5wt%時)を、図2.3.2-7にはTRU混入割合とTRU消滅率の関係(R.E.10wt%時)を示す。ここでTRUサイクル消滅率の定義は次のとおりである。

$$\text{TRUサイクル消滅率} = \frac{\text{TRU重量(BOEC)} - \text{TRU重量(EOEC)}}{\text{TRU重量(BOEC)}} \times 100(\%)$$

2) 考察

① 燃焼欠損反応度(表2.3.2-1)

TRU5%混入時における、RE混入割合と燃焼欠損反応度の関係を図2.3.2-1に示す。またRE10%混入時におけるTRU混入割合と燃焼欠損反応度の関係を図2.3.2-2に示す。各パラメータ(TRU混入率、RE混入率)と燃焼欠損反応度の関係から、各燃焼欠損反応度に於けるREとTRUの混入割合の関係を求め図2.3.2-3に示した。

a) RE混入の影響(TRU5%混入時)

図2.3.2-1より、REが混入していない場合の燃焼欠損反応度は $2.1\% \Delta k/kk'$ であり、REの混入率の増加に伴い、燃焼欠損反応度は増大してゆき、REの混入率が30%になると燃焼欠損反応度は $6.4\% \Delta k/kk'$ まで増大するのがわかる。これはRE混入率の増加に伴い、その分(U,Pu)の量を減少させた為、Pu富化度を上げる必要が生じ、内部転換比が悪化した為である。燃焼欠損反応度の目標値をMOX大型炉並みの $3.3\% \Delta k/kk'$ とした場合、TRU5%混入時のRE混入割合は7.4%以下にする必要がある。

b) TRU混入の影響(RE10%混入時)

図2.3.2-2より、TRU混入割合の増大に伴い、正の反応度核種も増大する為、燃焼欠損反応度は低下する。TRU5%混入時の燃焼欠損反応度は $3.7\% \Delta k/kk'$ であり、TRUの混入率が20%では燃焼欠損反応度は $0.7\% \Delta k/kk'$ まで低下する。MOX大型炉並みの燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/kk'$ を確保するには、RE10%混入時のTRU混入割合は7.0%以上にする必要がある。

c) 各燃焼欠損反応度におけるREとTRUの混入割合の関係

各パラメータ(RE混入率、TRU混入率)と燃焼欠損反応度の関係から各燃焼欠損反応度($2.0\% \Delta k/kk'$, $3.0\% \Delta k/kk'$, $3.3\% \Delta k/kk'$, $4.0\% \Delta k/kk'$)に於けるREとTRUの混入割合の関係を求め、図2.3.2-3に示した。これより、燃焼欠損反応度の目標値を $3.3\% \Delta k/kk'$ とした場合、RE5%混入時および、RE10%混入時におけるTRU混入率との組合せは(RE 5%, TRU 3.4%), (RE 10%, TRU 7.0%)となる。

② 増殖比(表2.3.2-2)

TRU5%混入時における、RE混入割合と増殖比の関係を図2.3.2-4に示す。また、RE10%混入時におけるTRU混入割合と増殖比の関係を図2.3.2-5に示す。

a) RE混入の影響(TRU5%混入時)

図2.3.2-4より、REが混入していない場合の増殖比は1.07(初期、末期の平均)であるのに対し、REの混入率が30%になると増殖比は0.74まで低下する。これはRE混入率30%のケースでは、Pu富化度を32%まで高める必要があり、内部転換比が悪くなるためである。増殖比1.0を確保するには、TRU5%混入時におけるRE混入割合は、約6%以下とする必要がある。

b) TRU混入の影響(RE10%混入時)

図2.3.2-5より、TRU5%混入時の増殖比はBOEC、EOECの平均で0.95であるのに対し、TRUの混入率が20%では増殖比は0.94となる。TRU混入割合の増大に伴い、増殖比は低下している。内訳を見ると、BOECでの増殖比はTRU混入率の増大に伴って減少しているが、EOECでの増殖比はTRU混入率が増大してもほぼ同じ値で推移している。これによりTRU混入率の増大により増殖性能が向上していることがわかる。

③ TRUサイクル消滅率(表2.3.2-4～表2.3.2-7)

TRU5%混入時におけるRE混入割合とTRUサイクル消滅率の関係を図2.3.2-6に示す。また、RE10%混入時におけるTRU混入割合とTRUサイクル消滅率の関係を図2.3.2-7に示す。

a) RE混入の影響(TRU5%混入時)

図2.3.2-6よりREが混入していない時のTRUサイクル消滅率は約11%であり、RE混入割合の増加に伴ってTRUサイクル消滅率は低下するが、その影響は小さい。REの混入率が30%のTRUサイクル消滅率は約10%で、REが混入していない時に比べ1%小さくなる程度である。表2.3.2-4、表2.3.2-5及び表2.3.2-6にTRUの核種別の内訳を示す。RE混入割合の増加に伴ってCmの蓄積量は減少(消滅率としては増大)するが、Np、Amの消滅率が減少するため、全体としてTRUサイクル消滅率は若干小さくなる。

b) TRU混入の影響(RE10%混入時)

図2.3.2-7よりTRU5%混入時のTRUサイクル消滅率は約10%であり、TRU混入割合の増加に伴ってTRUサイクル消滅率は増加する。TRUの混入率が20%になると、TRUサイクル消滅率は約11%となりTRU5%混入時に比べ約1%大きくなる。表2.3.2-5と表2.3.2-7の、TRUの核種別消滅率の内訳をみると、TRUの混入増加に伴い、Npの消滅率は2%

減少するが、Amの消滅率は4%増大し、またCmの蓄積量は4%減少するため、全体として、TRU消滅率は約1%大きくなる。

④ 中性子スペクトル(表2.3.2-8～表2.3.2-9)

ケース1のTRU混入炉心(TRU5%)とケース2のRE混入炉心(TRU5%、RE10%)の平衡炉心末期における炉中心の中性子スペクトルおよび随伴中性子スペクトルを表2.3.2-8～表2.3.2-9と図2.3.2-8～図2.3.2-9に比較して示す。中性子スペクトルについては、TRU混入炉心と、RE混入炉心で若干異なる程度である。また、随伴中性子スペクトルについては、REの添加により、高エネルギー領域でのインポートランスが大きくなっている。

⑤ 出力分布

ケース1のTRU混入炉心(TRU5%)とケース2のRE混入炉心(TRU5%、RE10%)のBOECおよびEOECでの炉中心面での径方向出力分布を比較して図2.3.2-10～図2.3.2-11に示す。同図より、REの混入により内側炉心の出力は低下し、外側炉心で若干上昇している。最大線出力はTRU混入炉心で407W/cm、RE混入炉心が413W/cmとなった。

⑥ 燃料インベントリー

ケース1のTRU混入炉心(TRU5%)とケース2のRE混入炉心(TRU5%、RE10%)のBOECおよびEOECでの燃料インベントリーの内訳を表2.3.2-10～表2.3.2-11に示す。

(2) 燃料組成(Case2タイプ)の解析

付録Aを基に、PUREX及びTRUEXプロセスから得られる3種類の製品、(イ)Puの低除染溶液(Pu,Np混合)、(ロ)U精製溶液(Uのみ)、(ハ)TRU溶液(Am,Cm,RE等の混合)を混合してTRU燃料を製造した場合の組成(Case2タイプ)を用いて、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ を目標にサーベイ計算を行った。製造燃料のRE混入率は5%及び10%とした。

(1)で用いた燃料組成による炉心解析から得られた各燃焼欠損反応度におけるREとTRU混入割合の関係(図2.3.2-3)から、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ を達成する為の関係は以下の通りである。

RE	TRU	Pu富化度
5%	3.36%	～19%
10%	7.04%	～24%

そこで、RE混入率が5%及び10%となる燃料組成(Case2タイプ)を求めると表2.3.2-12と表2.3.2-13のようになった。これより、REとTRUの組合せを

上記表のようにした場合、3種類の溶液を混合してできる製品のPu富化度は下記の通りとなる。

RE	TRU	Pu富化度
5%	3.36%	87.7%
10%	7.04%	87.4%

従って、3種類の溶液を混合する場合(Case2タイプ)、RE混入率が5%及び10%で、Pu富化度が妥当な範囲(~20%)のものとなると、TRU混入率は2%程度となり、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ を達成する為には、TRUは少なすぎる結果となる。

以上より、Case2タイプの燃料組成では目標炉心性能(燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$)を達成することが出来ない。このため、目標達成にはCase2タイプの燃料組成に、更にTRUを追加して燃料を製造する必要があるといえる。

そこでPu富化度が妥当な範囲でそれぞれ2ケースの燃料組成(Case2タイプ)で炉心サーベイ計算を行い、次ステップ(TRUを追加するケース)の燃料組成データ作成のベースとした。サーベイ解析ケースのREおよびTRUの組合せとその時のPu富化度を表2.3.2-14に示す。各ケースの主要特性一覧および最大線出力の結果を表2.3.2-15、表2.3.2-16に示す。また、表2.3.2-17にPu富化度と燃焼欠損反応度および実効増倍率の結果及びEOECにおける目標実効増倍率(0.9950)になる為のPu富化度の予測値並びにその時の燃焼欠損反応度の予測値を()内に示す。

(3)燃料組成(CASE2タイプ+TRU)の解析

(2)の燃料組成(Case2タイプ)の炉心サーベイ計算に基づき、燃料組成(Case2タイプ)を使用したRE混入率5%および10%の場合の燃焼欠損反応度を予測すると以下のようなになる。

RE混入率	TRU混入率	Pu富化度	燃焼欠損反応度
5%	1.9(+ α)%	20%	$3.64\% \Delta k/k'$
10%	2.2(+ α)%	23%	$4.15\% \Delta k/k'$

但し: α は目標燃焼欠損反応度($3.3\% \Delta k/k'$)を達成するための追加TRUの量

これより、燃焼欠損反応度の目標値 $3.3\% \Delta k/k'$ を達成するには、更にTRUを数%添加する必要があることがわかる。

追加TRUの量は、(1)の「基準ケースおよびサーベイケース」において、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ を予測したときのREとTRUの関係をベースに設定した。即ち、RE5%でのTRUの範囲は3%~4%程度、RE10%でのTRUの範囲を6%~7%程度と予測できる。

TRUを追加した場合の燃料組成数ケースについて、RE混入率5%および10%の場合の炉心特性解析を実施し燃焼欠損反応度の目標値 $3.3\% \Delta k/k'$ を達成する炉心を選定した。RE5%については、サーベイケースを含め3ケース(ケース9~11)、RE10%については選定ケース(ケース12)について結果をまとめた。各ケースの主要特性一覧および最大線出力の結果を表2.3.2-18、表2.3.2-19に示した。また、表2.3.2-20にPu富化度と燃焼欠損反応度および実効増倍率の結果をまとめた。同表より、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ を達成する燃料組成は下記のとおりである。

RE混入率	TRU混入率	Pu富化度	燃焼欠損反応度
5%	1.9(+2.0)%	20.3%	$3.29\% \Delta k/k'$
10%	2.2(+4.3)%	22.5%	$3.35\% \Delta k/k'$

但し:αは目標燃焼欠損反応度($3.3\% \Delta k/k'$)を達成するための追加TRUの量

表2.3.2-21に各ケースの、付録AのTRU燃料製造条件に基づいた組成(Case2タイプ)に、更にTRUを添加して燃料を作成した場合のTRU燃料組成の内訳を示す。

2.3.3 反応度係数の解析及び考察

(1) 解析対象炉心

表2.1-1の基準ケース(TRUだけ5%混入炉心)とサーベイ計算ケース2(TRUとREの混入炉心、RE:10%,TRU:5%)の平衡炉心末期(制御棒全引抜き状態)を対象に、以下の反応度特性を求め比較検討した。

- ① ドブロー係数
- ② Naボイド反応度
- ③ 動特性パラメータ(実効遅発中性子割合、崩壊定数、即発中性子寿命)

(2) 解析方法

1) 基準体系の中性子束分布

2次元RZ全炉心体系モデルにより、基準体系の18群の中性子束、随伴中性子束(ϕ 、 ϕ^*)を拡散計算により求めた。

2) ドブロー係数

エネルギー群は18群、計算モデルは2次元RZ全炉心体系とし平衡炉心末期(制御棒全引抜き状態)を対象とした。計算法は、定格出力運転時の燃料温度分布から、燃料温度が一様に500K変化した場合の反応度変化を一次摂動計算により求めた。

3) Naボイド反応度

エネルギー群は18群、計算モデルは2次元RZ全炉心体系とし平衡炉心末期(制御棒全引抜き状態)を対象に、炉心及び上部軸方向ブランケット領域のNaがボイド化した場合の反応度変化を直接計算により求めた。集合体間ギャップもボイド化した。計算法は、Naがボイド化した場合の k_{eff} とボイド化しない場合の k_{eff} の差から直接計算により求めた。

4) 動特性パラメータ

エネルギー群は18群、計算モデルは2次元RZ全炉心体系とし平衡炉心末期(制御棒全引抜き状態)を対象に、実効遅発中性子割合、遅発中性子崩壊定数、即発中性子寿命等の動特性パラメータを求めた。遅発中性子関連の入力データとして、遅発中性子発生率を表2.3.3-1に、遅発中性子割合を表2.3.3-2に、遅発中性子スペクトルを表2.3.3-3に、崩壊定数を表2.3.3-4に示す。動特性パラメータは、拡散計算による中性子束、随伴中性子束データと上記の遅発中性子データを用いて以下の評価式により求めた。

a) 実効遅発中性子割合 (β_{eff})

$$\beta_{eff} = \frac{\sum_m \int (\sum_i \nu_{e,i}^{l,m} \cdot \Sigma_{r,i}^{m,i} \cdot \phi^i) \cdot (\sum_i X_d^{m,i} \cdot \phi^{+i}) dV}{\sum_m \int (\sum_i \nu_{e,i}^{l,m} \cdot \Sigma_{r,i}^{m,i} \cdot \phi^i) \cdot (\sum_i X^{m,i} \cdot \phi^{+i}) dV}$$

b) 崩壊定数

$$\lambda_{eff} = \frac{\sum_m \lambda_i \int (\sum_i \nu_{e,i}^{l,m} \cdot \Sigma_{f,i}^{m,i} \cdot \phi^i) dV}{\sum_m \int (\sum_i \nu_{e,i}^{l,m} \cdot \Sigma_{r,i}^{m,i} \cdot \phi^i) dV}$$

c) 即発中性子寿命

$$l_p = \frac{\int \sum_i (\phi^i \cdot \phi^{+i} / v^i) dV}{\sum_m \int (\sum_i \nu_{e,i}^{l,m} \cdot \Sigma_{f,i}^{m,i} \cdot \phi^i) \cdot (\sum_i X_p^{m,i} \cdot \phi^{+i}) dV}$$

記号:

i : エネルギーグループ

m : 元素

l : l 番目の遅発中性子グループ

 λ_{mi} : 元素mの核分裂即発中性子スペクトル λ_{dl} : 元素mの遅発中性子スペクトル ν_m : 核分裂当りの遅発中性子発生数 $\beta^{l,m}$: l 番目の遅発中性子の割合 $\nu_m = \nu_m - \sum_l \beta^{l,m}$ ϕ^i : エネルギーグループ i の中性子束 ϕ^{*i} : エネルギーグループ i の随伴中性子束 \bar{v}^i : エネルギーグループ i の平均中性子速度 ν : 核分裂当りの中性子発生数 Σ_f : マクロ核分裂断面積

(3) 解析結果及び考察

1) ドップラー係数

炉心部のドップラー係数を表2.3.3-5にまとめた。また、TRU混入炉心のドップラー反応度分布およびドップラー係数分布を表2.3.3-6~表2.3.3-7に、RE混入炉心の結果を表2.3.3-8~表2.3.3-9に示す。ドップラー係数は、 ^{238}U の実効的吸収に対する温度の効果であり、これに影響を与える主な因子は、 ^{238}U のインベントリーと中性子のスペクトルである。表2.3.3-5より、TRU混入炉心のドップラー係数は $-4.32 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$ となり、100万kW級の大型炉に比べ小さくなった。これはTRUを5%混入したことにより ^{238}U が減少し、 ^{238}U の共鳴吸収反応の効果が小さくなった為である。また、RE混入炉心のドップラー係数は $-3.55 \times 10^{-3} \text{Tdk/dT}$ となりTRU混入炉心に比べ約20%程度小さくなる。これはREの混入により、TRU混入炉心より更に ^{238}U が減少した事と、REの混入で共鳴領域での吸収効果が大きくなったためと考えられる。

2) Naボイド反応度

Naボイド反応度の結果を表2.3.3-10に示す。同表よりTRU混入炉心のNaボイド反応度は、 $2.65 \times 10^{-2} \Delta k/kk'$ (約7.2%)であり、100万kWクラスの炉心の約1.5倍となった。これはTRUの装荷により、Npに代表されるTRU核種の低エネルギー側での吸収によるインポートランスの傾きの低下と、高エネルギー側での閾核分裂反応によるインポートランスの傾きの上昇の効果である。

また、RE混入炉心のNaボイド反応度は $2.86 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約7.7%)となり、TRU混入炉心より約8%増大した。これは更にREを装荷した事により、TRU混入炉心に比べ、共鳴領域での吸収効果が大きくなったためである。

3) 動特性パラメータ

動特性パラメータの計算結果を表2.3.3-11に示す。同表よりTRU混入炉心の実効遅発中性子割合は、 3.48×10^{-3} となりMOX大型炉(TRU及びRE無混入炉心)に比べ約6%小さくなった。これは実効遅発中性子割合の計算において、遅発中性子発生数は入射中性子エネルギーに依存せず一定であるとしているので、炉心スペクトルが高エネルギー側にシフトするにつれて核分裂中性子数に対する遅発中性子発生数の比(λ/ν)は低下する。TRU装荷炉心では、TRU核種の低エネルギー側での吸収によるインポートランスの傾きの低下と、高エネルギー側での閾核分裂反応によるインポートランスの傾きの上昇により、実効遅発中性子割合が小さくなったと考えられる。また、RE混入炉心の実効遅発中性子割合は、 3.35×10^{-3} となりTRU混入炉心より更に4%小さくなる。これはREの混入により、更に共鳴領域での吸収効果が大きくなった為である。

2.3.4 制御棒価値の解析及び考察

エネルギー群は6群、計算モデルは出力分布・燃焼計算と同じ2次元RZ全炉心体系において、BOECの制御棒部分挿入状態と全引き抜き状態の実効増倍率の差から各炉心の制御棒価値の相対値を求めた。結果は以下の通りである。

	制御棒価値	相対値
MOX大型炉 (1000MWe)	$1.67\% \Delta k/k'$	1.0
TRU混入炉心 (TRU: 5%)	$1.50\% \Delta k/k'$	0.90
RE混入炉心 (TRU: 5%, RE: 10%)	$1.47\% \Delta k/k'$	0.88

TRU混入炉心の制御棒価値はMOX大型炉(14)に比べ10%低下した。これは、TRUの混入により中性子吸収量が増えPu富化度も上昇し、従って核分裂Pu量も増えた為、相対的に10Bの吸収量が減った為である。また、REの混入により制御棒価値は更に2%低下する。これはREの混入により中性子吸収量が増

え、又(U,Pu)燃料も減ったためPu富化度も更に上昇し、従って核分裂Pu量も増えた為、相対的に10Bの吸収量が減った為である。

表2.3.1-1 炉心主要仕様 (1/3)

項 目	仕 様	備 考
1. 基本プラント仕様		
1) 出 力		
原子炉熱出力 (MW)	2517	
2) 一次主冷却系冷却材		
原子炉入口温度 (°C)	375	
原子炉出口温度 (°C)	530	
冷却材流量 (kg/s)	$1.272_2 \times 10^4$	
3) プラント運転		
プラント計画寿命 (年)	30	
稼働率 (-)	約0.87	
燃焼期間 (EFPD/サイクル)	456	
2. 炉 心		
1) 炉心型式	均質炉心	
2) 炉心富化度領域数	2	
3. 炉心構成		
1) 炉心構成要素数		
a) 内側炉心燃料集合体 (体)	175	
b) 外側炉心燃料集合体 (体)	180	
c) フランケット燃料集合体 (体)	72	(1層)
d) 主炉停止系制御棒 (体)	18	
e) 後備炉停止系制御棒 (体)	6	
f) SUS遮蔽体 (体)	78	(1層)
g) B ₄ C遮蔽体 (体)	270	(3層)
h) 合 計 (体)	799	

表2.3.1-1 炉心主要仕様 (2/3)

項 目	仕 様	備 考				
2) 炉心寸法						
a) 高 さ (mm)	1.000					
b) 等価直径 (mm)	約 3.680	制御棒を含む				
c) 高さ/等価直径比 (-)	0.272					
d) 容 積 (l)	約 10.640	制御棒を含む				
3) ブランケット厚さ						
a) 軸方向厚さ(上/下)(mm)	200/200					
b) 半径方向等価厚さ (mm)	約 167	1層分				
4) 遮蔽体厚さ						
a) 軸方向上部遮蔽 (mm)	615					
b) 軸方向下部遮蔽 (mm)	230					
c) 径方向遮蔽(等価厚さ)(mm)	約 689	4層分 (Na層を含む)				
5) 炉心構成要素配列						
a) 集合体配列ピッチ (mm)	179.8					
b) 集合体全長 (mm)	約 3.500					
6) 炉心外接円						
a) 炉心外接円 (mm)	約 3.850					
b) 制御棒外接円 (mm)	約 2.793					
c) 炉心マトリクス 外接円 (mm)						
7) 組成体積比 (v/o)						
	燃料	ギャブ	構造材	冷却材	吸収材	
a) 炉心燃料集合体	39.6	2.0	20.9	37.5	-	
b) ブランケット燃料集合体	54.9	1.8	16.2	27.1	-	
c) 主炉停止径制御棒	-	3.2	12.7	48.2	35.9	吸収体部
d) 後備炉停止系制御棒	-	3.2	12.7	48.2	35.9	吸収体部
e) SUS遮蔽体	-	-	80.0	20.0		
f) B ₄ C遮蔽体	-	-	20.0	20.0	60.0	

表2.3.1-1 炉心主要仕様 (3/3)

項 目	仕 様	備 考
4. 燃 料		
1) 燃料ペレット材料		
炉 心	$\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_2$	$\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_2$
半径方向ブランケット	UO_2	UO_2
軸方向ブランケット	UO_2	UO_2
2) プルトニウム富化度 (w/o)		$\text{PuO}_2 / (\text{PuO}_2 + \text{UO}_2)$
平衡炉心 (内側/外側炉心)	15.4/18.6	
3) プルトニウム同位元素比 (w/o)	$\text{Pu}^{239} : \text{Pu}^{240} : \text{Pu}^{241} : \text{Pu}^{242}$	
初装荷炉心	58 : 24 : 14 : 4	
平衡炉心	58 : 24 : 14 : 4	
4) ウラン同位元素比 (w/o)	$\text{U}^{235} : \text{U}^{238}$	
炉 心	0.3 : 99.7	
ブランケット	0.3 : 99.7	
5) 燃料ペレット密度 (%TD)		
炉 心	92	
ブランケット	94.5	
5. 燃料交換		
1) 燃料交換方式		
a) 炉 心	固定3バッチ分散方式	
b) 半径方向ブランケット	固定4バッチ分散方式	
6. 炉心構成要素計画寿命		
1) 炉心燃料集合体 (サイクル)	3	
2) ブランケット		
燃料集合体 (サイクル)	4	
3) 主炉停止系		
制御棒 (サイクル)	3	
4) 後備炉停止		
制御棒 (サイクル)	3	
5) SUS遮蔽体 (年)	30	
6) B,C遮蔽体 (年)	30	

表2.3.1-2 炉心構成要素主要仕様 (1/4)

項 目	仕 様	備 考
1. 炉心燃料		
1) 炉心燃料ペレット		
a) 材 質	プルトニウム・ウラン 混合酸化物	PuO ₂ / (PuO ₂ + UO ₂)
b) プルトニウム富化度 (W/O) 平衡炉心 (内側/外側)	15.4/18.6	
c) 外 径 (mm)	7.22	
d) 密 度 (%TD)	92	
e) O/M比 (-)	1.98	
2) 軸方向ブランク燃料ペレット		
a) 材 質	劣化ウラン酸化物	
b) ウラン235 含有率 (W/O)	0.3	
c) 外 径 (mm)	7.22	
d) 密 度 (%TD)	94.5	
e) O/M比 (-)	2.0	
3) 被覆管		
a) 材 質	改良オーステナイト鋼	直径ギャップ
b) 外 径 (mm)	8.3	
c) 内 径 (mm)	7.4	
d) ペレット間ギャップ (mm)	0.18	
4) 燃料要素		
a) 型 式	インテグラル密封型 下部ガスプレナム	
b) 全 長 (mm)		
i) 炉心燃料体長さ (mm)	1,000	
ii) ブランケット (mm) 燃料体長さ (上部/下部)	200/200	
c) スペーサワイヤ径 (mm)	1.50	
d) ワイヤ巻付けピッチ (mm)	165	

表2.3.1-2 炉心構成要素主要仕様 (2/4)

項 目	仕 様	備 考
5) 燃料集合体		
a) 形 状	正六角形断面	
b) 燃料要素配列ピッチ (mm)	9.9	$p/d = 1.19$
	正三角形配列	
c) 燃料要素数 (本)	271	
d) ラPPER管		
i) 材 質	フェライト/ マルテンサイト鋼	
ii) 内対面間距離 (mm)	165.8	
iii) 板 厚 (mm)	4.0	
e) 全 長 (mm)	3,500	
2. 半径方向ブランケット		
1) ブランケット燃料ペレット		
a) 材 質	劣化ウラン酸化物	
b) ウラン235 含有率 (w/o)	0.3	
c) 外 径 (mm)	12.4	
d) 密 度 (%TD)	94.5	
e) O/M比 (—)	2.0	
2) 被覆管		
a) 材 質	改良オーステナイト鋼	
b) 外 径 (mm)	13.4	
c) 内 径 (mm)	12.6	
d) ペレット間ギャップ (mm)	0.2	直径ギャップ
3) 燃料要素		
a) 型 式	密封型 下部ガスプレナム	
b) 全 長 (mm)		
c) 燃料部長さ (mm)	1,400	
d) スペーサワイヤ径 (mm)	1.0	
e) ワイヤ巻付けピッチ (mm)	165	

表2.3.1-2 炉心構成要素主要仕様 (3/4)

項 目	仕 様	備 考
4) 燃料集合体		
a) 形 状	正六角形断面	p/d=1.08
b) 燃料要素配列ピッチ (mm)	14.46	
	正三角形配列	
c) 燃料要素数 (本)	127	
d) ラPPER管		
i) 材 質	改良オーステナイト鋼	
ii) 内対面間距離 (mm)	165.8	
iii) 板 厚 (mm)	4.0	
e) 全 長 (mm)	3,500	
3. 主炉停止系制御棒		
a) 集合体数 (体)	18	
b) 中性子吸収材	B ₄ C	
c) B-10濃縮度 (w/o)	33.3	
d) B-10装荷量 (kg/集合体)	6.55	
e) 制御要素数 (本/集合体)	37	
f) 吸収体有効長 (mm)	1,000	
g) 被覆材材質	改良オーステナイト鋼	
h) B ₄ Cペレット密度 (%TD)	95	
4. 後備炉停止系制御棒		
a) 集合体数 (体)	6	
b) 中性子吸収材	B ₄ C	
c) B-10濃縮度 (w/o)	84.7	
d) B-10装荷量 (kg/集合体)	15.76	
e) 制御要素数 (本/集合体)	37	
f) 吸収体有効長 (mm)	1,000	
g) 被覆材材質	改良オーステナイト鋼	
h) B ₄ Cペレット密度 (%TD)	95	

表2.3.1-2 炉心構成要素主要仕様 (4/4)

項 目	仕 様	備 考
5. SUS遮蔽体		
a) 集合体数 (体)	78	
b) 遮蔽材		
c) 遮蔽要素数 (本/集合体)		
d) 遮蔽要素径 (mm)		
e) 遮蔽要素長 (mm)		
6. B,C遮蔽体		
a) 集合体数 (体)	270	
b) 遮蔽材	B,C	
c) B,C密度 (%TD)		
d) 遮蔽要素数 (本/集合体)		
e) 遮蔽要素径 (mm)		
f) 遮蔽要素長 (mm)		
g) 被覆管材質	改良オーステナイト鋼	
h) 被覆管肉厚 (mm)		
i) 型 式	密度型 下部ガスプレナム	
7. 炉心構成要素共通事項		
a) 配列ピッチ (mm)	179.8	
b) 炉心構成要素全長 (mm)	3,500	
c) 炉心中心位置 (軸方向)(mm)	1,990	支持板上端から
	1,510	集合体頂部から
d) スペーサパッド中心位置と幅		
上部パッド (mm)	200	集合体頂部から
	(40)*	* ; () 内はパッド幅
中間パッド (mm)	910	集合体頂部から
	(40)*	* ; () 内はパッド幅
e) スペーサパッドの対辺間寸法		
上部パッド (mm)	179.1	
	(0.7)**	** ; () 内はパッド間
中間パッド (mm)	178.8	ギャップ
	(1.0)**	

表2.3.1-3 構造材組成データ

(w/o)

核 種	改良オーステナイト鋼	フェライト/ マルテンサイト鋼
Fe	60.97	85.46
Cr	15.05	11.8
Ni	19.5	0.57
Mo	2.51	0.94
Mn	1.97	0.54
C		0.17
W		0.52

表2.3.1-4 構造材密度データ

構 造 材	密 度
改良オーステナイト鋼	$\rho = 7.977 - 8.547 \times 10^{-4} \cdot T$ ここで ρ 密度 (g/cm ³) T 温度 (°C) 適用範囲 室温~850 °C
フェライト/ マルテンサイト鋼	$\rho = 7.679 - 8.291 \times 10^{-4} \cdot T$ ここで ρ 密度 (g/cm ³) T 温度 (°C) 適用範囲 室温~850 °C

表2.3.1-5 TRU(100wt%時)の原子数密度(LWR取出後冷却3年)*1

$$W/M \text{ (TRU)} = N.D \text{ (TRU)} = 2.1260 / 239 =$$

$$8.89540E-03$$

TRU核種名	重量 (g)	組成比	*2 8.89540E-03
NP237	8.587E+02	5.687E-01	5.05851E-03
Am241	2.906E+02	1.924E-01	1.71189E-03
Am242m	1.073E+00	7.106E-04	6.32093E-06
Am243	2.502E+02	1.657E-01	1.47390E-03
Cm242	2.429E-01	1.609E-04	1.43090E-06
Cm243	9.940E-01	6.583E-04	5.85555E-06
Cm244	1.024E+02	6.781E-02	6.03227E-04
Cm245	5.816E+00	3.852E-03	3.42614E-05
TOTAL	1.510E+03 (W)	1.0	8.89540E-03

表2.3.1-6 RE(100wt%時)の原子数密度(LWR取出後冷却3年)

$$W/M \text{ (R.E.)} = N.D \text{ (R.E.)} = 2.1260 / 145 =$$

$$1.46621E-02$$

RE核種名	重量 (g)	組成比	*2 1.46621E-02
EU-153	1.867E+02	2.161E-02	3.16801E-04
EU-154	6.247E+01	7.230E-03	1.06002E-04
PR-141	1.827E+03	2.114E-01	3.10014E-03
ND-143	1.103E+03	1.277E-01	1.87162E-03
ND-144	2.315E+03	2.679E-01	3.92820E-03
ND-145	1.043E+03	1.207E-01	1.76981E-03
ND-146	1.207E+03	1.397E-01	2.04809E-03
SM-147	1.611E+02	1.864E-02	2.73362E-04
SM-148	3.297E+02	3.816E-02	5.59451E-04
SM-150	4.058E+02	4.696E-02	6.88581E-04
TOTAL	8.641E+03 (W)	1.0	1.46621E-02

*1 付録Aのデータ使用

*2 Pu 富化度15.4の場合の(U,Pu)重量と等価なN.D
尚REの原子数密度は、吸収断面積を保存させる為
f=0.68を乗じて用いる。(第2.2節参照の事)

表2.3.1-7 エネルギー群構造及び核分裂スペクトル (その1)

エネルギー範囲		7 0 群		7 群		
		群構造	核分裂スペクトル	群構造	核分裂スペクトル	
10.0	(MeV) ~ 7.7880	(MeV)	1	8.3498×10^{-3}	1	5.8332×10^{-1}
7.7880	~ 6.0653		2	2.2710×10^{-2}		
6.0653	~ 4.7237		3	4.5869×10^{-2}		
4.7237	~ 3.6788		4	7.3294×10^{-2}		
3.6788	~ 2.8650		5	9.7428×10^{-2}		
2.8650	~ 2.2313		6	1.1210×10^{-1}		
2.2313	~ 1.7377		7	1.1520×10^{-1}		
1.7377	~ 1.3534		8	1.0837×10^{-1}		
1.3534	~ 1.0540		9	9.5137×10^{-2}		
1.0540	~ 0.82085		10	7.9137×10^{-2}		
0.82085	~ 0.63928		11	6.3114×10^{-2}		
0.63928	~ 0.49787		12	4.8710×10^{-2}		
0.49787	~ 0.38774		13	3.6643×10^{-2}		
0.38774	~ 0.30197		14	2.7021×10^{-2}	3	8.2708×10^{-2}
0.30197	~ 0.23518		15	1.9618×10^{-2}		
0.23518	~ 0.18316		16	1.4072×10^{-2}		
0.18316	~ 0.14264		17	9.9987×10^{-3}		
0.14264	~ 0.11109		18	7.0524×10^{-3}		
0.11109	~ 0.086517		19	4.9459×10^{-3}		
86.517	(keV) ~ 67.379	(keV)	20	3.4531×10^{-3}	4	1.0848×10^{-2}
67.379	~ 52.475		21	2.4025×10^{-3}		
52.475	~ 40.868		22	1.6671×10^{-3}		
40.868	~ 31.828		23	1.1543×10^{-3}		
31.828	~ 24.788		24	7.9794×10^{-4}		
24.788	~ 19.305		25	5.5089×10^{-4}		
19.305	~ 15.034		26	3.7995×10^{-4}		
15.034	~ 11.709		27	2.6185×10^{-4}		
11.709	~ 9.1188		28	1.8035×10^{-4}		
9.1188	~ 7.1017		29	1.2416×10^{-4}	5	3.8331×10^{-4}
7.1017	~ 5.5308		30	8.5444×10^{-5}		
5.5308	~ 4.3074		31	5.8784×10^{-5}		
4.3074	~ 3.3546		32	4.0433×10^{-5}		
3.3546	~ 2.6126		33	2.7806×10^{-5}		
2.6126	~ 2.0347		34	1.9120×10^{-5}		
2.0347	~ 1.5846		35	1.3146×10^{-5}		
1.5846	~ 1.2341		36	9.0376×10^{-6}		
1.2341	~ 0.96112		37	5.9758×10^{-6}		

表2.3.1-7 エネルギー群構造及び核分裂スペクトル (その2)

エネルギー範囲		7 0 群		7 群	
		群構造	核分裂スペクトル	群構造	核分裂スペクトル
961.12	(eV) ~ 748.52 (eV)	38	0.0	6	0.0
748.52	~ 582.95	39	0.0		
582.95	~ 454.00	40	0.0		
454.00	~ 353.58	41	0.0		
353.58	~ 275.36	42	0.0		
275.36	~ 214.45	43	0.0		
214.45	~ 167.02	44	0.0		
167.02	~ 130.07	45	0.0		
130.07	~ 101.30	46	0.0		
101.30	~ 78.893	47	0.0		
78.893	~ 61.442	48	0.0	7	0.0
61.442	~ 47.851	49	0.0		
47.851	~ 37.267	50	0.0		
37.267	~ 29.023	51	0.0		
29.023	~ 22.603	52	0.0		
22.603	~ 17.603	53	0.0		
17.603	~ 13.710	54	0.0		
13.710	~ 10.677	55	0.0		
10.677	~ 8.3153	56	0.0		
8.3153	~ 6.4760	57	0.0		
6.4760	~ 5.0435	58	0.0		
5.0435	~ 3.9279	59	0.0		
3.9279	~ 3.0590	60	0.0		
3.0590	~ 2.3824	61	0.0		
2.3824	~ 1.8554	62	0.0		
1.8554	~ 1.4450	63	0.0		
1.4450	~ 1.1254	64	0.0		
1.1254	~ 0.87642	65	0.0		
0.87642	~ 0.68256	66	0.0		
0.68256	~ 0.53158	67	0.0		
0.53158	~ 0.41399	68	0.0		
0.41399	~ 0.32242	69	0.0		
0.32242	~ 10 ⁻⁵	70	0.0		

表2.3.2-1 基準ケース及びサーベイケースのPu富化度と燃焼欠損反応度及び実効増倍率一覧

	解析 ケース NO.	混入割合 (wt%)		Pu富化度 (内外平均) (wt%)	燃焼欠損 反応度 (%Δk/kk)	実効増倍率 [CR中途挿入] (EDEC)
		R. E.	TRU			
MOX大型炉	—	0	0	17.3	3.3	0.9844
基準ケース	1	0	5	18.4	2.12	0.9953 (CRout 1.0098)
サーベイ計算	2	10	5	22.1	3.71	0.9950
	3	30	5	32.3	6.40	0.9946
	4	10	20	24.2	0.69	0.9965

表2.3.2-2 主要炉心特性一覧

		基準ケース	サーベイ計算			
解析ケースNo.		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
パラメータ	R. E. (wt%)	0.0	10	30	10	
	TRU (wt%)	5	5	5	20	
Pu富化度 (wt%)		16.6/20.1	20.0/24.2	29.2/35.4	21.9/26.5	
k _{eff}	BOEC	1.0168	1.0331	1.0622	1.0034	
	EOEC	0.9953	0.9950	0.9946	0.9965	
	(CR OUT)	(1.0098)				
燃焼欠損反応度(% $\Delta k/kk'$)		2.12	3.71	6.40	0.69	
最大線出力 (W/cm)	BOEC	IC	371	363	368	363
		OC	401	413	433	402
	EOEC	IC	407	386	359	416
		OC	363	371	383	367
増殖比	BOEC	1.056	0.925	0.701	0.900	
	EOEC	1.077	0.976	0.786	0.976	
	(平均)	(1.07)	(0.95)	(0.74)	(0.94)	

表 2.3.2-3 最大線出力

解析 ケース No.	パラメータ(wt%)		Pu富化度 (IC OC)	時期	領域	最大出力密度 (W/cc) (領域)	B. U. F.	最大線出力 (W/cm)
	R. E.	TRU						
ケ-71	0	5	18.6 20.1	BOEC	IC	346.05 (R 3)	1.0368	371
					OC	361.96 (R51)	1.0726	401
				EOEC	IC	381.71 (R 3)	1.0327	407
					OC	331.52 (R51)	1.0608	363
ケ-72	10	5	20.0 24.2	BOEC	IC	328.27 (R 3)	1.0700	363
					OC	362.89 (R51)	1.1029	413
				EOEC	IC	353.05 (R 3)	1.0587	386
					OC	330.73 (R51)	1.0860	371
ケ-73	30	5	29.5 35.7	BOEC	IC	316.84 (R45)	1.1256	368
					OC	362.77 (R51)	1.1563	433
				EOEC	IC	314.02 (R 3)	1.1059	359
					OC	326.60 (R51)	1.1346	383
ケ-74	10	20	21.9 26.5	BOEC	IC	340.71 (R 3)	1.0309	363
					OC	367.38 (R51)	1.0596	402
				EOEC	IC	389.71 (R 3)	1.0336	416
					OC	336.28 (R51)	1.0555	367

B.U.F. Burn-up Factor

表2.3.2-4 TRU消滅率 (ケース1)
 (TRU 5% REFERENCE Pu=16.6/20.1)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	839.40	696.00	143.40	17.08
Am242	7.93	12.72	-4.80	-60.50
Am241	311.30	283.00	28.30	9.09
Am243	256.80	226.00	30.80	11.99
Am TOTAL	576.03	521.72	54.31	9.43
Cm242	12.35	17.81	-5.46	-44.21
Cm243	1.48	1.78	-0.30	-20.15
Cm244	140.60	156.40	-15.80	-11.24
Cm245	11.54	15.96	-4.42	-38.30
Cm TOTAL	165.97	191.95	-25.98	-15.65
TOTAL	1581.39	1409.67	171.73	10.86

表2.3.2-5 TRU消滅率 (ケース2)
 (TRU 5wt% R.E. 10wt% Pu=20.0/24.2)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	831.60	692.60	139.00	16.71
Am242	7.90	12.76	-4.86	-61.58
Am241	316.70	291.60	25.10	7.93
Am243	261.20	231.20	30.00	11.49
Am TOTAL	585.80	535.56	50.24	8.58
Cm242	12.22	17.74	-5.52	-45.17
Cm243	1.46	1.74	-0.28	-19.21
Cm244	141.90	157.50	-15.60	-10.99
Cm245	11.53	15.83	-4.30	-37.29
Cm TOTAL	167.11	192.81	-25.70	-15.38
TOTAL	1584.51	1420.97	163.54	10.32

表2.3.2-6 TRU消滅率 (ケース3)
 (TRU 5wt% R.E. 30wt% Pu=29.2/35.4)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	835.70	699.40	136.30	16.31
Am242	7.84	12.79	-4.95	-63.14
Am241	323.60	303.80	19.80	6.12
Am243	263.40	235.30	28.10	10.67
Am TOTAL	594.84	551.89	42.95	7.22
Cm242	12.06	17.66	-5.60	-46.43
Cm243	1.43	1.69	-0.26	-18.46
Cm244	141.00	156.10	-15.10	-10.71
Cm245	11.28	15.37	-4.09	-36.26
Cm TOTAL	165.77	190.82	-25.05	-15.11
TOTAL	1596.31	1442.11	154.20	9.66

表2.3.2-7 TRU消滅率 (ケース4)
 (TRU 20wt% R.E. 10wt% Pu=21.9/26.5)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	3400.00	2901.00	499.00	14.68
Am242	26.30	41.49	-15.19	-57.76
Am241	1181.00	1016.00	165.00	13.97
Am243	1033.00	899.40	133.60	12.93
Am TOTAL	2240.30	1956.89	283.41	12.65
Cm242	37.51	52.94	-15.43	-41.14
Cm243	5.12	5.55	-0.43	-8.36
Cm244	544.90	587.80	-42.90	-7.87
Cm245	41.84	54.90	-13.06	-31.21
Cm TOTAL	629.37	701.19	-71.82	-11.41
TOTAL	6269.67	5559.08	710.59	11.33

表 2.3.2-8 炉中心位置の中性子束スペクトル（酸化物燃料炉心）

エネルギー範囲	群構造	中性子束（相対値）	
		TRU 混入炉心 (TRU5%)	RE混入炉心 (TRU5%, RE10%)
10.0 (MeV) ~ 6.0653 (MeV)	1	5.99×10^{-8}	5.37×10^{-8}
6.0653 ~ 3.6788	2	2.50×10^{-7}	2.24×10^{-7}
3.6788 ~ 2.2313	3	6.21×10^{-7}	4.86×10^{-7}
2.2313 ~ 1.3534	4	8.30×10^{-7}	8.70×10^{-7}
1.3534 ~ 0.82085	5	9.97×10^{-7}	1.07×10^{-6}
0.82085 ~ 0.38774	6	2.55×10^{-6}	2.51×10^{-6}
0.38774 ~ 0.18316	7	3.18×10^{-6}	3.03×10^{-6}
0.18316 ~ 0.086517	8	3.32×10^{-6}	2.86×10^{-6}
86.517 (KeV) ~ 40.868 (KeV)	9	2.71×10^{-6}	2.33×10^{-6}
40.868 ~ 19.305	10	2.03×10^{-6}	1.77×10^{-6}
19.305 ~ 9.1188	11	1.30×10^{-6}	1.19×10^{-6}
9.1188 ~ 4.3074	12	7.29×10^{-7}	6.97×10^{-7}
4.3074 ~ 2.0347	13	2.55×10^{-7}	2.60×10^{-7}
2.0347 ~ 0.96112	14	3.60×10^{-7}	3.51×10^{-7}
961.12 (eV) ~ 454.00 (eV)	15	1.13×10^{-7}	1.25×10^{-7}
454.00 ~ 214.45	16	1.89×10^{-8}	2.20×10^{-8}
214.45 ~ 101.30	17	2.31×10^{-9}	3.41×10^{-9}
101.30 ~ 0.2	18	1.31×10^{-10}	1.02×10^{-10}

表 2.3.2-9 炉中心位置の随伴中性子束スペクトル (酸化物燃料炉心)

エネルギー範囲	群構造	随伴中性子束 (相対値)	
		TRU 混入炉心 (TRU5%)	RE混入炉心 (TRU5%, RE10%)
10.0 (MeV) ~ 6.0653 (MeV)	1	8.71	8.39
6.0653 ~ 3.6788	2	7.59	7.39
3.6788 ~ 2.2313	3	7.56	7.21
2.2313 ~ 1.3534	4	6.96	6.75
1.3534 ~ 0.82085	5	6.16	6.02
0.82085 ~ 0.38774	6	5.74	5.57
0.38774 ~ 0.18316	7	5.23	5.05
0.18316 ~ 0.086517	8	4.81	4.64
86.517 (KeV) ~ 40.868 (KeV)	9	4.41	4.25
40.868 ~ 19.305	10	4.10	3.96
19.305 ~ 9.1188	11	3.94	3.79
9.1188 ~ 4.3074	12	3.88	3.70
4.3074 ~ 2.0347	13	3.91	3.69
2.0347 ~ 0.96112	14	3.98	3.72
961.12 (eV) ~ 454.00 (eV)	15	4.27	3.92
454.00 ~ 214.45	16	4.42	3.93
214.45 ~ 101.30	17	4.84	4.16
101.30 ~ 0.2	18	6.37	3.90

表 2.3.2-10 燃料インベントリーの内訳 (TRU混入炉心)

(BOEC)

FUEL INVENTORY (ZONE-WISE) (KG)

ELM/ZONE	TOTAL	1	2	3	4
PU239	3.837E+03	1.801E+03	1.913E+03	1.683E+02	1.551E+02
PU241	8.864E+02	3.001E+02	3.881E+02	1.258E-01	8.309E-02
U238	1.411E+02	3.182E+01	3.317E+01	3.741E+01	3.888E+01
PU240	1.527E+03	6.819E+02	8.357E+02	5.202E+00	4.126E+00
U238	5.431E+04	1.317E+04	1.312E+04	1.387E+04	1.416E+04
PU242	2.686E+02	1.212E+02	1.473E+02	2.134E-03	1.255E-03
U238	5.938E+00	2.041E+00	1.593E+00	1.240E+00	1.064E+00
AM242M	7.925E+00	4.155E+00	3.770E+00	4.057E-05	1.888E-03
AM241	3.113E+02	1.473E+02	1.840E+02	5.109E-03	2.383E-03
AM243	2.568E+02	1.240E+02	1.328E+02	3.189E-05	1.652E-05
NP237	8.394E+02	4.031E+02	4.353E+02	5.283E-01	4.541E-01
CM242	1.235E+01	6.884E+00	6.835E+00	9.159E-08	4.514E-08
CM243	1.479E+00	7.859E-01	6.829E-01	1.402E-08	6.148E-07
CM244	1.408E+02	7.097E+01	6.962E+01	1.293E-08	6.372E-07
CM245	1.154E+01	6.074E+00	5.470E+00	1.779E-08	8.306E-09
PU238	1.423E+02	7.791E+01	6.431E+01	4.929E-02	3.741E-02
0	8.508E+03	2.303E+03	2.372E+03	1.897E+03	1.934E+03

(EOEC)

FUEL INVENTORY (ZONE-WISE) (KG)

ELM/ZONE	TOTAL	1	2	3	4
PU239	4.029E+03	1.607E+03	1.852E+03	2.721E+02	2.981E+02
PU241	5.519E+02	2.361E+02	3.151E+02	3.265E-01	3.036E-01
U238	1.196E+02	2.368E+01	2.870E+01	3.438E+01	3.489E+01
PU240	1.578E+03	7.061E+02	8.503E+02	1.077E+01	1.102E+01
U238	5.311E+04	1.286E+04	1.273E+04	1.374E+04	1.398E+04
PU242	2.853E+02	1.297E+02	1.556E+02	7.234E-03	6.593E-03
U238	1.058E+01	3.834E+00	2.910E+00	1.988E+00	2.027E+00
AM242M	1.272E+01	6.550E+00	6.172E+00	1.728E-04	1.221E-04
AM241	2.830E+02	1.284E+02	1.546E+02	1.706E-02	1.224E-02
AM243	2.260E+02	1.088E+02	1.192E+02	1.387E-04	1.231E-04
NP237	6.960E+02	3.244E+02	3.698E+02	8.745E-01	8.918E-01
CM242	1.781E+01	9.499E+00	8.309E+00	3.419E-04	2.805E-04
CM243	1.777E+00	9.722E-01	8.050E-01	6.741E-08	5.401E-08
CM244	1.564E+02	7.981E+01	7.661E+01	7.299E-08	6.725E-08
CM245	1.596E+01	8.580E+00	7.377E+00	1.288E-07	1.228E-07
PU238	2.552E+02	1.378E+02	1.174E+02	1.037E-01	1.006E-01
0	8.506E+03	2.303E+03	2.372E+03	1.897E+03	1.934E+03

- 1 : 内側炉心
- 2 : 外側炉心
- 3 : 径方向ブランケット
- 4 : 軸方向ブランケット

表 2.3.2-11 燃料インベントリーの内訳 (RE混入炉心)

(BOEC)

FUEL INVENTORY (ZONE-WISE)

(KG)

ELM/ZONE	TOTAL	1	2	3	4
PU239	3.874E+03	1.652E+03	2.001E+03	1.589E+02	1.523E+02
PU241	7.463E+02	3.260E+02	4.191E+02	1.240E-01	7.523E-02
U235	1.321E+02	2.747E+01	2.828E+01	3.740E+01	3.895E+01
PU240	1.637E+03	7.299E+02	5.976E+02	5.178E+00	3.896E+00
U238	6.052E+04	1.133E+04	7.115E+04	1.387E+04	1.418E+04
PU242	2.886E+02	1.301E+02	1.685E+02	2.094E-03	1.086E-03
U236	6.307E+00	1.690E+00	1.337E+00	1.239E+00	1.040E+00
AM242M	7.887E+00	4.113E+00	3.784E+00	3.985E-05	1.468E-05
AM241	3.167E+02	1.504E+02	1.663E+02	5.008E-03	2.141E-03
AM243	2.812E+02	1.265E+02	1.547E+02	3.091E-05	1.363E-05
NP237	8.316E+02	4.008E+02	4.298E+02	5.386E-01	4.515E-01
CM242	1.222E+01	6.542E+00	5.683E+00	8.973E-05	3.916E-05
CM243	1.483E+00	7.888E-01	6.938E-01	1.385E-08	5.033E-07
CM244	1.419E+02	7.145E+01	7.046E+01	1.255E-08	5.005E-07
CM245	1.153E+01	6.021E+00	5.514E+00	1.715E-08	6.198E-09
PU238	1.374E+02	7.448E+01	6.281E+01	5.020E-02	3.601E-02
EU153	4.458E+01	2.139E+01	2.319E+01	0.000E+00	0.000E+00
EU154	2.188E+01	1.078E+01	1.088E+01	0.000E+00	0.000E+00
PR141	4.850E+02	2.387E+02	2.463E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND143	2.823E+02	1.436E+02	1.488E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND144	6.381E+02	3.148E+02	3.233E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND145	2.791E+02	1.370E+02	1.421E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND146	3.451E+02	1.708E+02	1.743E+02	0.000E+00	0.000E+00
SM147	4.145E+01	2.019E+01	2.126E+01	0.000E+00	0.000E+00
SM148	9.423E+01	4.655E+01	4.769E+01	0.000E+00	0.000E+00
SM150	1.112E+02	5.450E+01	5.666E+01	0.000E+00	0.000E+00
TOTAL	6.138E+04	1.620E+04	1.673E+04	1.408E+04	1.437E+04
0	8.513E+03	2.306E+03	2.376E+03	1.897E+03	1.934E+03

(EOEC)

FUEL INVENTORY (ZONE-WISE)

(KG)

ELM/ZONE	TOTAL	1	2	3	4
PU239	4.044E+03	1.597E+03	1.881E+03	2.734E+02	2.930E+02
PU241	5.985E+02	2.575E+02	3.404E+02	3.228E-01	2.757E-01
U235	1.130E+02	2.084E+01	2.279E+01	3.434E+01	3.505E+01
PU240	1.677E+03	7.480E+02	9.078E+02	1.074E+01	1.042E+01
U238	4.946E+04	1.091E+04	1.083E+04	1.374E+04	1.399E+04
PU242	3.058E+02	1.387E+02	1.670E+02	7.133E-03	5.729E-03
U236	9.441E+00	3.024E+00	2.445E+00	1.988E+00	1.984E+00
AM242M	1.276E+01	6.540E+00	6.218E+00	1.699E-04	1.066E-04
AM241	2.916E+02	1.334E+02	1.583E+02	1.681E-02	1.113E-02
AM243	2.312E+02	1.099E+02	1.213E+02	1.382E-04	1.020E-04
NP237	6.926E+02	3.254E+02	3.655E+02	6.940E-01	6.873E-01
CM242	1.774E+01	9.369E+00	8.368E+00	3.368E-04	2.443E-04
CM243	1.744E+00	9.416E-01	8.026E-01	6.002E-06	4.489E-06
CM244	1.575E+02	8.007E+01	7.740E+01	7.138E-06	5.308E-06
CM245	1.583E+01	8.431E+00	7.399E+00	1.252E-07	9.214E-08
PU238	2.475E+02	1.324E+02	1.149E+02	1.058E-01	9.697E-02
EU153	3.608E+01	1.677E+01	1.931E+01	0.000E+00	0.000E+00
EU154	2.343E+01	1.160E+01	1.182E+01	0.000E+00	0.000E+00
PR141	4.799E+02	2.358E+02	2.441E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND143	2.846E+02	1.393E+02	1.454E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND144	6.417E+02	3.168E+02	3.248E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND145	2.707E+02	1.322E+02	1.384E+02	0.000E+00	0.000E+00
ND146	3.545E+02	1.761E+02	1.784E+02	0.000E+00	0.000E+00
SM147	3.804E+01	1.829E+01	1.975E+01	0.000E+00	0.000E+00
SM148	9.536E+01	4.717E+01	4.819E+01	0.000E+00	0.000E+00
SM150	1.066E+02	5.198E+01	5.462E+01	0.000E+00	0.000E+00
TOTAL	6.021E+04	1.563E+04	1.619E+04	1.406E+04	1.433E+04
0	8.513E+03	2.306E+03	2.376E+03	1.897E+03	1.934E+03

- 1 : 内側炉心
- 2 : 外側炉心
- 3 : 径方向ブランケット
- 4 : 軸方向ブランケット

表2.3.2-12 PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果 (R.E=5%)

解析ケース	NO.	ケース5	ケース6	ケース5	ケース6	ケース5	ケース6
R.E.= (%)		5	5	5	5	5	5
TRU= (%)		3.36	3	3.36	2	3	1.5
PU+U= (%)		91.64	92	91.64	93	92	93.5
TRU溶液(係数a3)		1	1	1	1	1	1
U精製溶液 (係数a2)		0.214	0.230	0.214	0.275	0.230	0.298
PU低除染溶液 (係数a1)		10.353	9.166	10.353	5.869	9.166	4.221
PU= (%)		34.509	30.553	34.509	19.564	30.553	14.070
NP= (%)		3.140	2.780	3.140	1.780	2.780	1.280
U= (%)		57.131	61.447	57.131	73.436	61.447	79.430
Am= (%)		0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Cm= (%)		0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Te= (%)		0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
Ru= (%)		0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
R.E.= (%)		5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
PU富化度 (%)		37.657	33.210	37.657	21.037	33.210	15.048
小計 (%)		100	100	100	100	100	100
追加 TRU (%)		0	0	0	0	0	0
合計 (%)		100	100	100	100	100	100

表2.3.2-13 PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果 (R.E.=10%)

解析ケース	NO.	—	ケース7	ケース8
R.E.= (%)	10	10	10	10
TRU= (%)	7.04	7.04	2.62	2
PU+U= (%)	82.96	82.96	87.38	88
TRU溶液(係数a3)	1	1	1	1
U精製溶液 (係数a2)	0.020	0.110	0.119	0.133
PU低除染溶液 (係数a1)	10.880	4.221	3.595	2.573
PU= (%)	72.535	28.139	23.963	17.150
NP= (%)	6.601	2.561	2.181	1.561
U= (%)	10.425	58.861	63.417	70.850
Am= (%)	0.300	0.300	0.300	0.300
Cm= (%)	0.049	0.049	0.049	0.049
Te= (%)	0.033	0.033	0.033	0.033
Ru= (%)	0.057	0.057	0.057	0.057
R.E.= (%)	10.000	10.000	10.000	10.000
PU 富化度 (%)	87.433	32.344	27.424	19.489
小 計 (%)	100	100.000	100	100.000
追 加 TRU (%)	0.00	0.00	0	0.00
合 計 (%)	100	100	100	100

燃料組成
case2タイプ

表2.3.2-14 燃料組成 (CASE 2タイプ) の解析ケース

解析ケース NO.	混入割合 (wt%)		Pu富化度 (wt%)
	RE	TRU	
5	5	3.36	37.7
6	5	2.0	21.0
7	10	2.62	27.4
8	10	2.0	19.5

表 2.3.2-15 主要炉心特性一覧 (燃料組成 CASE 2 タイプ)

解析ケースNo.		5	6	7	8	
パラメータ	R. E. (wt%)	5		10		
	TRU (wt%)	3.36	2.0	2.62	2.0	
Pu 富化度 (wt%)		34.1/41.3	18.9/23.1	24.8/30.0	17.5/21.4	
k e f f	BOEC	1.4192	1.0559	1.1640	0.9882	
	EOEC	1.3415	1.0164	1.0984	0.9529	
燃焼欠損反応度(% $\Delta k/k'$)		4.08	3.68	5.13	3.75	
最大線出力 (W/cm)	BOEC	IC	373	358	370	355
		OC	440	418	431	410
	EOEC	IC	351	381	363	386
		OC	409	374	388	364
増殖比	BOEC	0.502	0.947	0.740	1.029	
	EOEC	0.557	0.990	0.805	1.056	
	(平均)	(0.53)	(0.97)	(0.77)	(1.04)	

表 2.3.2-16 最大線出力 (燃料組成 CASE 2 タイプ)

解析 ケース No.	パラメータ(wt%)		Pu富化度 (IC OC)	時 期	領域	最大出力密度 (W/cc) (領域)	B. U. F.	最大線出力 (W/cm)
	R. E.	TRU						
5	5	3.36	$\left[\begin{array}{c} 34.1 \\ 41.3 \end{array} \right]$	BOEC	IC	324.22 (R45)	1.1141	373
					OC	377.75 (R51)	1.1262	440
				EOEC	IC	308.68 (R46)	1.0995	351
					OC	355.98 (R52)	1.1127	409
6	5	2.0	$\left[\begin{array}{c} 18.9 \\ 23.1 \end{array} \right]$	BOEC	IC	326.42 (R45)	1.0630	358
					OC	367.68 (R51)	1.1000	418
				EOEC	IC	350.87 (R3)	1.0523	381
					OC	334.57 (R51)	1.0833	374
7	10	2.62	$\left[\begin{array}{c} 24.8 \\ 30.0 \end{array} \right]$	BOEC	IC	323.31 (R45)	1.1065	370
					OC	368.87 (R51)	1.1312	431
				EOEC	IC	323.27 (R4)	1.0859	363
					OC	338.62 (R52)	1.1098	388
8	10	2.0	$\left[\begin{array}{c} 17.5 \\ 21.4 \end{array} \right]$	BOEC	IC	325.48 (R39)	1.0566	355
					OC	361.39 (R51)	1.0994	410
				EOEC	IC	356.12 (R3)	1.0482	386
					OC	326.25 (R51)	1.0806	364

表 2.3.2-17 CASE 2タイプ解析ケースのPu富化度と燃焼欠損反応度
および実効増倍率

—— 燃料組成：(CASE 2タイプ) / 目標燃焼欠損 : 3.3% $\Delta k/kk$ ——

解析 ケース NO.	混入割合 (wt%)		Pu富化度 (内外平均) (wt%)	燃焼欠損 反応度 (% $\Delta k/kk$)	実効増倍率 [CR中途挿入] (EOEC)
	R. E.	TRU			
5	5	なりゆき 3.36	37.7	4.14	1.3206
6	5 (予測値)	2.0 ↓ (1.92)	21.0 ↓ (20.0)	3.68 ↓ (3.64)	1.0164 ↓ (0.9950)
7	10	なりゆき 2.62	27.4	5.13	1.0984
8	10 (予測値)	2.0 ↓ (2.18)	19.5 ↓ (21.8)	3.75 ↓ (4.15)	0.9529 ↓ (0.9950)

表 2.3.2-18 主要炉心特性一覧 (燃料組成 CASE 2 タイプ + TRU)

解析ケース No.		9	10	11	12	
パラメータ	R. E. (wt%)	5			10	
	TRU (wt%)	3.87 (1.87+2.0)	4.0 (2.0+2.0)	3.9 (1.9+2.0)	6.5 (2.25+4.25)	
Pu 富化度 (wt%)		17.9/21.8	19.4/23.7	18.2/22.3	20.4/24.7	
k _{eff}	BOEC	1.0198	1.0573	1.0297	1.0283	
	EOEC	0.9883	1.0178	0.9960	0.9941	
燃焼欠損反応度 (% $\Delta k/k'$)		3.13	3.67	3.29	3.35	
最大線出力 (W/cm)	BOEC	IC	356	359	358	361
		OC	411	418	412	412
	EOEC	IC	389	381	388	388
		OC	368	375	370	371
増殖比	BOEC	1.003	0.932	0.984	0.915	
	EOEC	1.037	0.980	1.022	0.972	
	(平均)	(1.02)	(0.96)	(1.00)	(0.94)	

表 2.3.2 - 1 0 最大線出力 (燃料組成 CASE 2 タイプ + TRU)

解析 ケース No.	比率 (wt%)		Pu 富化度 (IC) (OC)	時 期	領 域	最大出力密度 (W/cc) (領域)	B. U. F.	最大線出力 (W/cm)
	R. E.	TRU						
9	5	3.87	$\left[\begin{array}{c} 17.9 \\ 21.8 \end{array} \right]$	BOEC	IC	327.90 (R45)	1.0508	356
					OC	364.85 (R51)	1.0905	411
				EOEC	IC	360.78 (R3)	1.0442	389
					OC	331.64 (R51)	1.0752	368
10		4.0	$\left[\begin{array}{c} 19.4 \\ 23.7 \end{array} \right]$	BOEC	IC	326.10 (R45)	1.0645	359
					OC	367.42 (R51)	1.1009	418
				EOEC	IC	350.04 (R3)	1.0537	381
					OC	334.37 (R51)	1.0844	375
11	3.90	$\left[\begin{array}{c} 18.2 \\ 22.3 \end{array} \right]$	BOEC	IC	328.17 (R45)	1.0550	358	
				OC	364.78 (R51)	1.0930	412	
			EOEC	IC	358.89 (R3)	1.0474	388	
				OC	332.12 (R51)	1.0774	370	
12	10	6.5	$\left[\begin{array}{c} 20.4 \\ 24.7 \end{array} \right]$	BOEC	IC	328.26 (R45)	1.0635	361
					OC	363.82 (R51)	1.0974	412
				EOEC	IC	355.60 (R3)	1.0553	388
					OC	331.79 (R51)	1.0827	371

表 2.3.2-20 (CASE 2タイプ+TRU) 解析ケースのPu 富化度と燃焼欠損反応度
および実効増倍率

—— 燃料組成 : (CASE 2タイプ+TRU) / 目標燃焼欠損 : 3.3%Δk/kk ——

解析 ケース NO.	混入割合 (wt%)		Pu 富化度 (内外平均) (wt%)	燃焼欠損 反応度 (%Δk/kk)	実効増倍率 [CR中途挿入] (EDEC)
	R. E.	TRU			
1 1	5	3.90 (1.90 + 2.0)	20.3	3.29	0.9960
1 2	10	6.5 (2.25 + 4.25)	22.6	3.35	0.9941

表2.3.2-21 PU低除染溶液、U精製溶液、TRU溶液の混合によるTRU燃料組成の結果 (case2+追加TRU)

解析ケース	NO.	ケース111	ケース112
R.E.= (%)		5.102	10.44
TRU= (%)		1.94	2.25
PU+U= (%)		92.958	87.31
TRU溶液(係数a3)		1	1
U精製溶液 (係数a2)		0.272	0.121
case2タイプ			
PU= (%)		18.478	18.848
NP= (%)		1.682	1.715
U= (%)		72.620	64.751
Am= (%)		0.150	0.300
Cm= (%)		0.025	0.049
Te= (%)		0.016	0.033
Ru= (%)		0.029	0.057
R.E.= (%)		5.102	10.440
PU富化度 (%)		20.284	22.546
小計 (%)		98	96.19
追加 TRU (%)		2	4.25
合計 (%)		100	100

表 2.3.3 - 1 遅発中性子発生率 (ν_d)

核 種	生成率 ^{<1>}
U - 235	0.0167 <1>
U - 238	0.0439 <1>
Pu - 239	0.0063 <1>
Pu - 240	0.0095 <1>
Pu - 241	0.0152 <1>
Pu - 242	0.0167 <2>
U - 236	0.0232 <2>
Np - 237	0.0114 <2>
Pu - 238	0.0079 <2>
Am - 241	0.0051 <2>
Am - 242m	0.0078 <2>
Am - 243	0.0080 <2>
Cm - 242	0.0014 <2>
Cm - 243	—
Cm - 244	0.0053 <3>
Cm - 245	0.0064 <2>

<1> R. J. Tuttle, "Delayed Neutron Yields in Nuclear Fission,"

Consaltants Meeting on Delayed Neutron Propaties, IAEA, Vienna, 1979

<2> M. C. Brady, et al., NSE, 103, 129 (1989)

<3> Y. Ronen, Int. Conf. on the Physics of Reactors : Operation,

Design and Computation, session III-B, April, 1990

表 2.3.3 - 2 遅発中性子割合

核種	1	2	3	4	5	6
U - 235 <4>	0.038	0.213	0.188	0.407	0.128	0.026
U - 238 <4>	0.013	0.137	0.162	0.388	0.225	0.075
Pu - 239 <4>	0.038	0.280	0.216	0.328	0.103	0.035
Pu - 240 <4>	0.028	0.273	0.192	0.350	0.128	0.029
Pu - 241 <4> Pu - 242	0.010	0.229	0.173	0.390	0.182	0.016
U - 236 <2>	0.0302	0.1722	0.1619	0.3841	0.1775	0.0741
Np - 237 <2>	0.0400	0.2162	0.1558	0.3633	0.1659	0.0589
Pu - 238 <2>	0.0377	0.2390	0.1577	0.3562	0.1590	0.0504
Am - 241 <2>	0.0355	0.2540	0.1563	0.3364	0.1724	0.0454
Am - 242m <2>	0.0247	0.2659	0.1512	0.3337	0.1756	0.0489
Am - 243 <2>	0.0234	0.2945	0.1537	0.3148	0.1656	0.0480
Cm - 242 <2>	0.0763	0.2847	0.1419	0.2833	0.1763	0.0375
Cm - 243	—	—	—	—	—	—
Cm - 244	—	—	—	—	—	—
Cm - 245 <2>	0.0222	0.1788	0.1672	0.3706	0.2054	0.0559

< 2 > M. C. Brady, et al., NSE, 103, 129 (1989)

< 4 > L. Tomlinson, AERE-R6993

表 2.3.3-3 遅発中性子スペクトル

1 8 群 構 造		遅発中性子スペクトル<5>		
群	エネルギー(MeV)	U-235	U-238	Pu*
4	2.2313 ~1.3534	0.0201	0.0205	0.0184
5	1.3534 ~0.82085	0.1033	0.0952	0.1021
6	0.82085 ~0.38774	0.3571	0.3506	0.3570
7	0.38774 ~0.18316	0.3273	0.3275	0.3342
8	0.18316 ~0.086517	0.1763	0.1900	0.1692
9	0.086517~0.040868	0.0159	0.0162	0.0191

* Pu及びTRUに使用した。

<5> D. Saphier et al., "Evaluated Delayed Neutron Spectra and Their Importance in Reactor Calculations"

表 2.3.3 - 4 崩 壞 定 數

(1/s)

核 種 \ 群	1	2	3	4	5	6
U - 2 3 5 <4>	0.0127	0.0317	0.1150	0.3110	1.4000	3.8700
U - 2 3 8 <4>	0.0132	0.0321	0.1390	0.3580	1.4100	4.0200
Pu - 2 3 9 <4>	0.0129	0.0311	0.1340	0.3310	1.2600	3.2100
Pu - 2 4 0 <4>	0.0129	0.0313	0.1350	0.3330	1.3600	4.0400
Pu - 2 4 1 <4>	0.0128	0.0299	0.1240	0.3520	1.6100	3.4700
Pu - 2 4 2 <4>	0.0128	0.0299	0.1240	0.3520	1.6100	3.4700
U - 2 3 6 <2>	0.0134	0.0322	0.1202	0.3113	0.8794	2.8405
Np - 2 3 7 <2>	0.0133	0.0316	0.1168	0.3006	0.8667	2.7600
Pu - 2 3 8 <2>	0.0133	0.0312	0.1162	0.2888	0.8561	2.7138
Am - 2 4 1 <2>	0.0133	0.0308	0.1130	0.2868	0.8654	2.6430
Am - 2 4 2 m <2>	0.0135	0.0301	0.1152	0.2994	0.8646	2.8107
Am - 2 4 3 <2>	0.0135	0.0298	0.1138	0.2986	0.8820	2.8111
Cm - 2 4 2 <2>	0.0130	0.0312	0.1129	0.2783	0.8710	2.1969
Cm - 2 4 3	—	—	—	—	—	—
Cm - 2 4 4	—	—	—	—	—	—
Cm - 2 4 5 <2>	0.0134	0.0307	0.1130	0.3001	0.8340	2.7686

< 2 > H. C. Brady, et al., NSE, 103, 129 (1989)

< 4 > L. Tomlinson, AERE-R6993

表 2.3.3 - 5 ドップラー係数 (MOX炉心)

燃焼時期 : BOEC

(Tdk/dT)

炉 心	ドップラー係数 (*1) (相対値)	相対値
TRU混入炉心(TRU5%) (基準ケース)	-4.32E-03	1.0
RE混入炉心(RE10%, TRU5%) (ケース2)	-3.55E-03	0.82

(*1) 炉心燃料部

表 2.3.3 - 6 ドブラー反応度分布 (TRU混入炉心)

(単位: $\Delta k / k k'$)

J/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-6.079E-08	-3.333E-07	-6.049E-07	-2.331E-07	-7.911E-07	-7.273E-07	-1.063E-06	-2.200E-06	-2.333E-06	-1.749E-06	-6.179E-07	-8.550E-07
2	-1.892E-07	-1.029E-06	-1.607E-06	-7.885E-07	-2.924E-06	-2.912E-06	-2.992E-06	-7.251E-06	-7.888E-06	7.400-1148	-2.789E-06	-2.589E-06
3	-3.962E-07	-2.220E-06	-3.623E-06	-1.933E-06	-6.202E-06	-9.223E-06	-1.169E-05	-1.667E-05	-1.638E-05	-2.844E-05	-8.632E-06	-1.289E-05
4	-8.140E-07	-4.635E-06	-8.000E-06	-4.872E-06	-1.430E-05	-2.018E-05	-2.951E-05	-3.702E-05	-3.974E-05	-3.729E-05	-1.244E-05	-2.900E-05
5	-1.189E-06	-6.764E-06	-1.249E-05	-1.097E-05	-2.577E-05	-2.921E-05	-3.644E-05	-6.102E-05	-6.465E-05	-3.925E-05	-1.678E-05	-4.159E-05
6	-1.283E-06	-7.389E-06	-1.399E-05	-1.314E-05	-2.954E-05	-3.159E-05	-3.905E-05	-6.747E-05	-7.067E-05	-3.092E-05	-1.695E-05	-4.219E-05
7	-1.028E-06	-6.022E-06	-1.155E-05	-1.101E-05	-2.490E-05	-2.676E-05	-3.172E-05	-6.495E-05	-6.726E-05	-1.697E-05	-1.616E-05	-3.247E-05
8	-8.881E-07	-3.485E-06	-6.799E-06	-6.606E-06	-1.457E-05	-1.514E-05	-1.850E-05	-3.194E-05	-3.262E-05	-6.669E-06	-8.107E-06	-1.612E-05
9	-3.242E-07	-1.988E-06	-4.007E-06	-4.085E-06	-8.909E-06	-9.154E-06	-1.106E-05	-1.896E-05	-1.832E-05	-2.978E-06	-3.888E-06	-2.365E-06
10	-1.230E-07	-7.945E-07	-1.662E-06	-1.614E-06	-3.672E-06	-2.921E-06	-4.898E-06	-7.844E-06	-7.051E-06	-1.705E-05	-1.216E-06	-1.209E-06

INNER CORE = -8.190E-04
 OUTER CORE = -8.292E-04
 RD BLANKET = -1.828E-04
 AX BLANKET = -1.728E-04

表 2.3.3 - 7 ドブラー係数分布 (TRU混入炉心)

(単位: $Tdk / k k' / dT$)

J/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-1.213E-07	-6.690E-07	-1.008E-06	-4.632E-07	-1.489E-06	-1.482E-06	-2.159E-06	-4.291E-06	-4.857E-06	-3.492E-06	-1.632E-06	-1.890E-06
2	-3.756E-07	-2.074E-06	-3.207E-06	-1.510E-06	-5.059E-06	-5.612E-06	-7.949E-06	-1.447E-05	-1.674E-05	7.400-1148	-5.507E-06	-5.117E-06
3	-1.204E-06	-7.205E-06	-1.192E-05	-8.259E-06	-2.041E-05	-3.035E-05	-3.912E-05	-5.951E-05	-5.699E-05	-8.140E-05	-2.042E-05	-2.648E-05
4	-2.679E-06	-1.525E-05	-2.632E-05	-1.601E-05	-4.707E-05	-6.642E-05	-8.295E-05	-1.219E-04	-1.222E-04	-1.148E-04	-4.128E-05	-5.722E-05
5	-3.849E-06	-2.226E-05	-4.111E-05	-3.610E-05	-9.480E-05	-9.612E-05	-1.199E-04	-2.008E-04	-1.990E-04	-1.208E-04	-5.761E-05	-8.220E-05
6	-4.157E-06	-2.425E-05	-4.602E-05	-4.224E-05	-9.722E-05	-1.028E-04	-1.285E-04	-2.221E-04	-2.182E-04	-8.518E-05	-6.017E-05	-8.928E-05
7	-3.282E-06	-1.982E-05	-3.802E-05	-3.625E-05	-8.065E-05	-8.477E-05	-1.044E-04	-1.808E-04	-1.762E-04	-8.222E-05	-4.666E-05	-6.417E-05
8	-1.825E-06	-1.140E-05	-2.244E-05	-2.175E-05	-4.794E-05	-4.992E-05	-6.088E-05	-1.051E-04	-1.011E-04	-1.730E-05	-2.496E-05	-3.189E-05
9	-6.672E-07	-2.968E-06	-7.998E-06	-8.152E-06	-1.778E-05	-1.827E-05	-2.207E-05	-3.788E-05	-3.658E-05	-5.939E-06	-7.262E-06	-6.651E-06
10	-2.628E-07	-1.588E-06	-3.218E-06	-3.621E-06	-7.730E-06	-7.846E-06	-9.287E-06	-1.566E-05	-1.407E-05	-1.705E-05	-2.428E-06	-2.282E-06

INNER CORE = -2.693E-02
 OUTER CORE = -1.629E-02
 RD BLANKET = -2.622E-04
 AX BLANKET = -3.448E-04

表 2.3.3-8 ドブラー反応度分布 (RE混入炉心)

(単位: $\Delta k / k k'$)

J/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-8.977E-08	-3.277E-07	-4.960E-07	-3.219E-07	-7.283E-07	-6.991E-07	-1.041E-06	-3.134E-06	-2.266E-06	-1.727E-06	-6.198E-07	-8.727E-07
2	-1.793E-07	-9.908E-07	-1.939E-06	-7.037E-07	-3.390E-06	-3.613E-06	-3.718E-06	-6.627E-06	-7.442E-06	7.400-1148	-3.678E-06	-2.622E-06
3	-3.286E-07	-1.840E-06	-3.004E-06	-1.997E-06	-5.136E-06	-7.688E-06	-9.860E-06	-1.204E-05	-1.487E-05	-2.191E-05	-5.934E-06	-1.255E-05
4	-6.728E-07	-3.630E-06	-6.611E-06	-4.011E-06	-1.181E-05	-1.673E-05	-2.110E-05	-3.049E-05	-3.301E-05	-3.004E-05	-1.111E-05	-2.921E-05
5	-9.674E-07	-5.994E-06	-1.034E-05	-9.119E-06	-2.126E-05	-2.431E-05	-3.018E-05	-5.039E-05	-5.297E-05	-3.182E-05	-1.949E-05	-4.201E-05
6	-1.048E-06	-6.098E-06	-1.158E-05	-1.094E-05	-2.462E-05	-2.616E-05	-3.232E-05	-5.576E-05	-5.736E-05	-2.492E-05	-1.012E-05	-4.264E-05
7	-8.502E-07	-4.992E-06	-9.969E-06	-9.179E-06	-2.024E-05	-2.136E-05	-3.626E-05	-4.842E-05	-4.637E-05	-1.079E-05	-1.282E-05	-3.282E-05
8	-4.882E-07	-2.877E-06	-5.819E-06	-5.532E-06	-1.214E-05	-1.261E-05	-1.538E-05	-2.652E-05	-2.672E-05	-8.266E-06	-6.799E-06	-1.623E-05
9	-3.179E-07	-1.891E-06	-3.823E-06	-3.847E-06	-8.999E-06	-8.779E-06	-1.088E-05	-1.812E-05	-1.792E-05	-2.938E-06	-3.574E-06	-3.421E-06
10	-1.298E-07	-7.818E-07	-1.638E-06	-1.809E-06	-3.836E-06	-3.888E-06	-4.600E-06	-7.740E-06	-6.985E-06	-1.489E-05	-1.210E-06	-1.220E-06

INNER CORE * -6.782E-04
 OUTER CORE * -4.293E-04
 RD BLANKET * -1.898E-04
 AX BLANKET * -1.861E-04

表 2.3.3-9 ドブラー係数分布 (RE混入炉心)

(単位: $Tdk / k k' / dT$)

J/I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-1.192E-07	-6.541E-07	-9.899E-07	-4.429E-07	-1.454E-06	-1.387E-06	-2.077E-06	-4.280E-06	-4.523E-06	-3.437E-06	-1.624E-06	-1.725E-06
2	-3.578E-07	-1.978E-06	-3.059E-06	-1.405E-06	-4.770E-06	-5.216E-06	-7.420E-06	-1.368E-05	-1.419E-05	7.400-1148	-9.348E-06	-9.202E-06
3	-1.081E-06	-6.057E-06	-9.899E-06	-5.259E-06	-1.690E-05	-2.520E-05	-3.249E-05	-4.888E-05	-4.977E-05	-6.889E-05	-1.702E-05	-2.679E-05
4	-2.214E-06	-1.261E-05	-2.176E-05	-1.320E-05	-3.888E-05	-5.502E-05	-6.942E-05	-1.004E-04	-9.992E-05	-9.247E-05	-3.419E-05	-5.794E-05
5	-2.184E-06	-1.841E-05	-3.402E-05	-3.001E-05	-7.029E-05	-7.967E-05	-9.922E-05	-1.659E-04	-1.609E-04	-9.723E-05	-4.767E-05	-8.204E-05
6	-3.440E-06	-2.007E-05	-3.811E-05	-3.602E-05	-8.070E-05	-8.809E-05	-1.064E-04	-1.839E-04	-1.769E-04	-7.671E-05	-4.961E-05	-8.629E-05
7	-2.798E-06	-1.640E-05	-3.148E-05	-3.071E-05	-6.995E-05	-7.029E-05	-6.641E-05	-1.499E-04	-1.427E-04	-4.222E-05	-2.952E-05	-6.486E-05
8	-1.607E-06	-9.467E-06	-1.848E-05	-1.821E-05	-3.997E-05	-4.148E-05	-5.061E-05	-8.729E-05	-8.228E-05	-1.850E-05	-2.081E-05	-3.229E-05
9	-6.248E-07	-3.774E-06	-7.631E-06	-7.879E-06	-1.708E-05	-1.792E-05	-2.112E-05	-3.617E-05	-3.498E-05	-5.848E-06	-7.124E-06	-6.762E-06
10	-2.891E-07	-1.580E-06	-3.270E-06	-3.602E-06	-7.698E-06	-7.780E-06	-9.181E-06	-1.549E-05	-1.388E-05	-1.459E-05	-2.414E-06	-2.421E-06

INNER CORE * -2.222E-03
 OUTER CORE * -1.321E-03
 RD BLANKET * -3.873E-04
 AX BLANKET * -3.216E-04

表 2.3.3 - 10 Naボイド反応度 (MOX炉心)

燃焼時期 : BOBC

炉 心	Naボイド反応度 (% $\Delta k/kk'$)	相対値
TRU混入炉心 (TRU5%) (基準ケース)	2.65 (約 7.2 \$)	1.0
RE混入炉心 (RE10%, TRU5%) (ケース 2)	2.86 (約 7.7 \$)	1.08

表 2.3.3-11 動特性パラメーター (MOX炉心)

燃焼時期 : BOEC

炉心		MOX大型炉	TRU混入炉心 (基準ケース)	RE混入炉心 (ケース2)
動特性パラメーター				
実効遅発中性子割合 〔内訳〕	β_{eff}	3.7085E-03	3.4826E-03	3.3466E-03
	β_1	7.9979E-05	7.7562E-05	7.5864E-05
	β_2	7.6187E-04	7.1730E-04	7.0571E-04
	β_3	6.7830E-04	6.3110E-04	6.1011E-04
	β_4	1.3636E-03	1.2789E-03	1.2253E-03
	β_5	6.4116E-04	6.0331E-04	5.6958E-04
	β_6	1.8362E-04	1.7393E-04	1.6005E-04
遅発中性子崩壊定数 〔SEC ⁻¹ 〕	λ_1	1.2971E-02	1.2999E-02	1.2992E-02
	λ_2	1.2289E-01	3.1227E-02	3.1172E-02
	λ_3	1.3425E-01	1.3355E-01	1.3317E-01
	λ_4	3.4754E-01	3.4535E-01	3.4464E-01
	λ_5	1.4139E+00	1.3895E+00	1.3907E+00
	λ_6	3.8153E+00	3.7671E+00	3.7425E+00
即発中性子寿命 〔 $\times 10^{-6}$ SEC〕	I_p	0.40659	0.32046	0.31373
逆時間反応度 〔% $\Delta K/KK'$ 〕	I_h	1.1024E-03	1.0419E-03	1.0204E-03

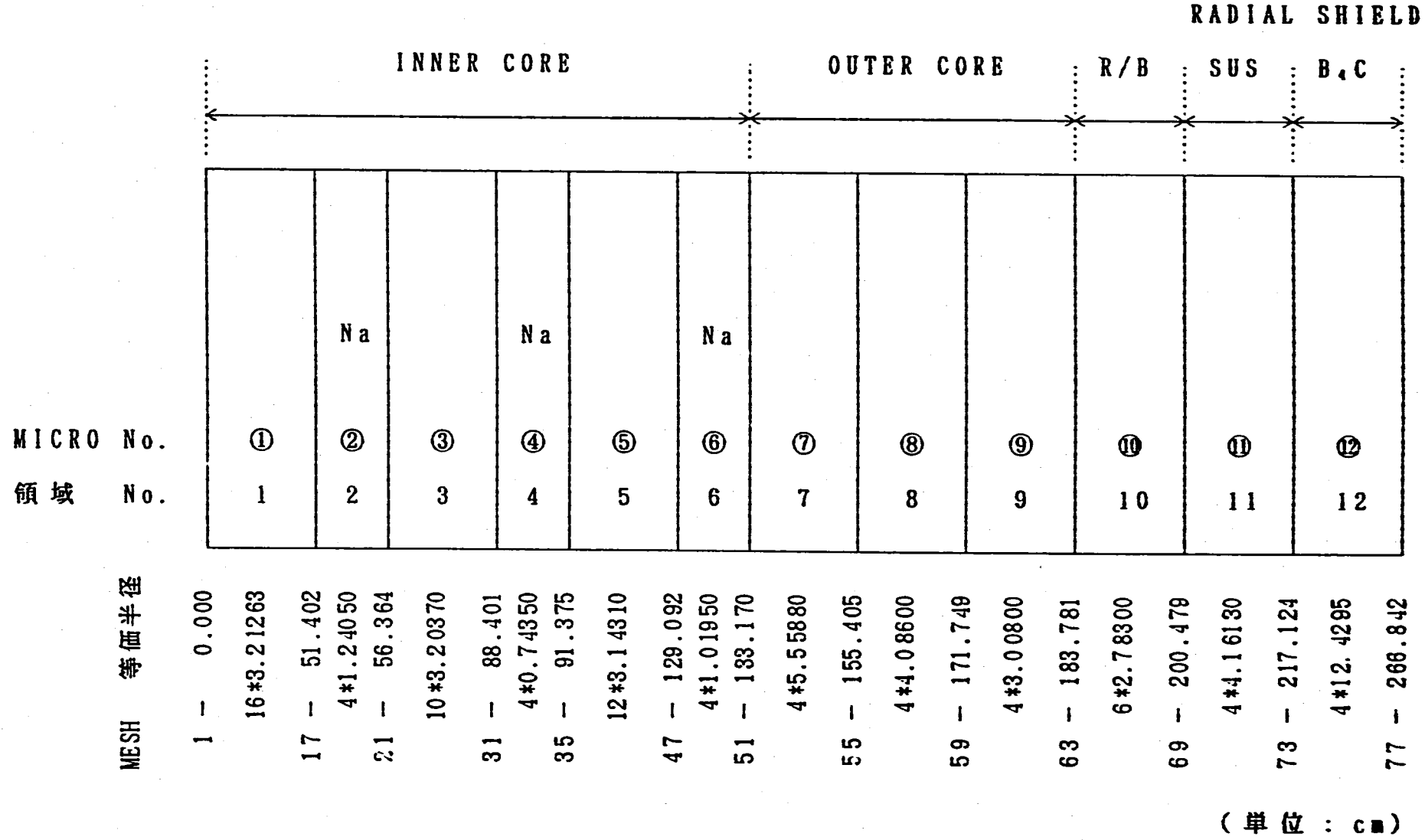


図 2.3.1-1 1次元径方向マイクロ断面積計算体系

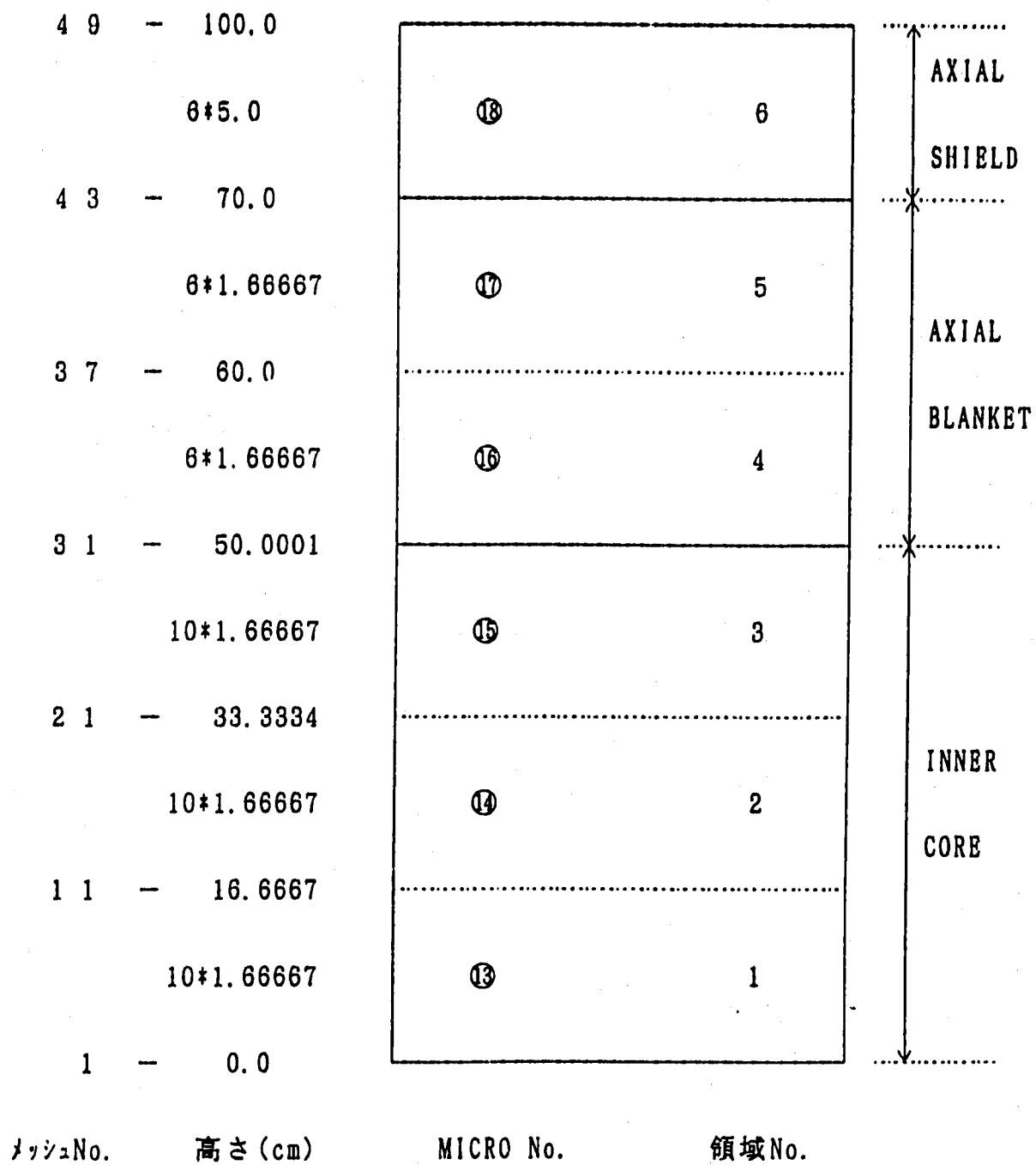
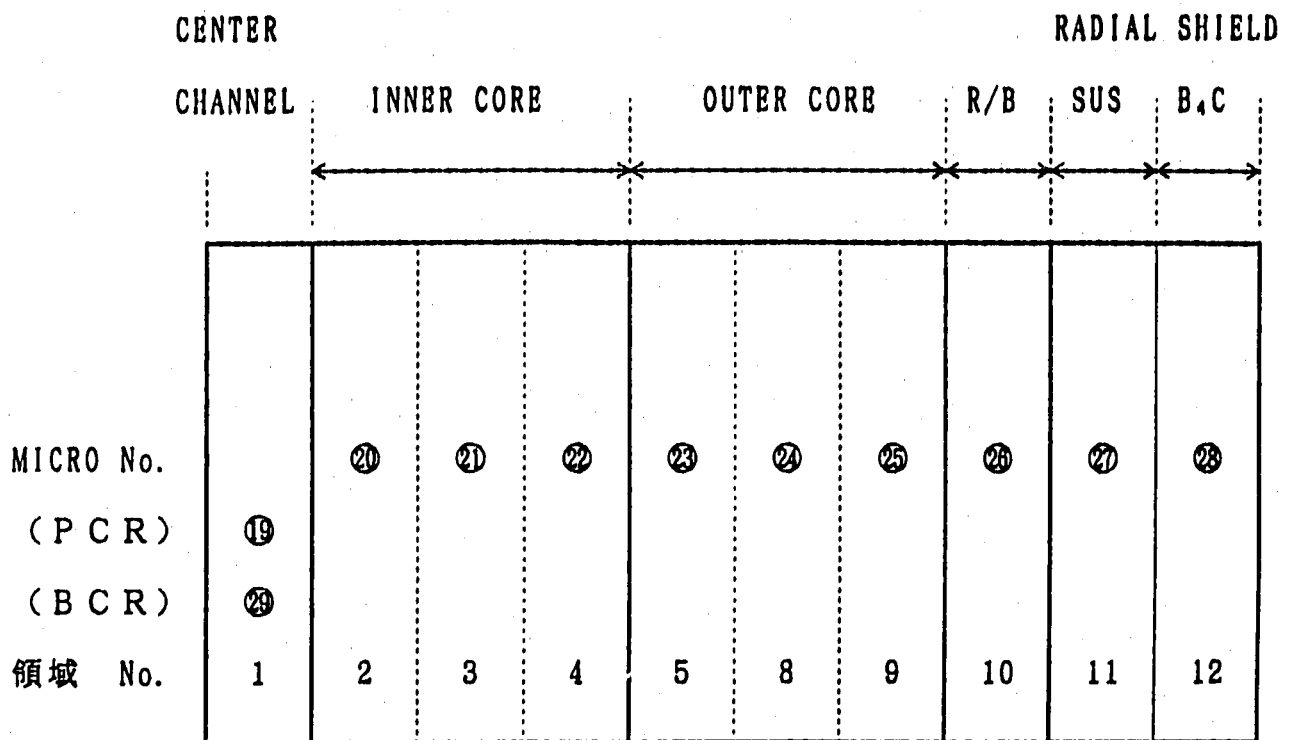


図 2.3.1-2 軸方向マイクロ断面積計算体系



MESH	1	6*	7	14*	21	35	51	55	59	63	69	73	77							
等価半径	0.000	1.57336	9.440	3.35170	56.364	91.375	2.61219	133.170	5.55875	155.405	4.08600	171.749	3.00800	183.781	2.78300	200.479	4.16130	217.124	4.42950	266.842

(単位：cm)

図 2.3.1-3 PCR, BCR ミクロ断面積計算体系

内側炉心 : 1~ 48 径方向ブランケット : 67~ 72, 117~ 120 径方向遮蔽体 (SUS) : 121
 外側炉心 : 49~ 66 軸方向ブランケット : 73~ 116 径方向遮蔽体 (B,C) : 132
 CRP : 126~ 128 PCR : 129, 131 BCR : 130 軸方向遮蔽体 : 122~ 125

単位 : cm

高さ
 36 - 200.0
 2*15.0
 34 - 170.0
 3* 3.33333
 31 - 160.0
 3* 3.33333
 28 - 150.0
 3* 5.55556
 25 - 133.333
 3* 5.55556
 22 - 116.667
 3* 5.55556
 19 - 100.0
 3* 5.55556
 16 - 83.333
 3* 5.55556
 13 - 66.667
 3* 5.55556
 10 - 50.0
 3* 3.33333
 7 - 40.0
 3* 3.33333
 4 - 30.0
 2*15.0
 2 - 0.0

123												125	121	132			
76	80	84	88	129	92	96	130	100	104	131	108	112			116	120	
75	79	83	87		91	95		99	103		107	111			115	119	
6	12	18	24		30	36		42	48		54	60			66	72	
5	11	17	23		29	35		41	47		53	59			65	71	
4	10	16	22		28	34		40	46		52	58			64	70	
3	9	15	21		27	33		39	45		51	57			63	69	
2	8	14	20		26	32		38	44		50	56			62	68	
1	7	13	19		25	31		37	43		49	55			61	67	
74	78	82	86		126	90		94	127		98	102			128	106	110
73	77	81	85			89		93			97	101	105	109		113	117
122												124					

ME VII	2	1	0.000
	4	2*	4.720
	7	3*	5.17870
	10	3*	5.391
	12	2*	5.12650
	13	1*	4.962
	16	3*	5.78870
	19	3*	4.89030
	20	1*	2.974
	23	3*	5.00330
	27	4*	5.67675
	28	1*	4.078
	32	4*	5.55875
	35	3*	5.448
	37	2*	6.016
	40	3*	5.566
	41	1*	16.645
	42	1*	48.718
			268.842

図2.3.1-4 2次元RZ全炉心体系

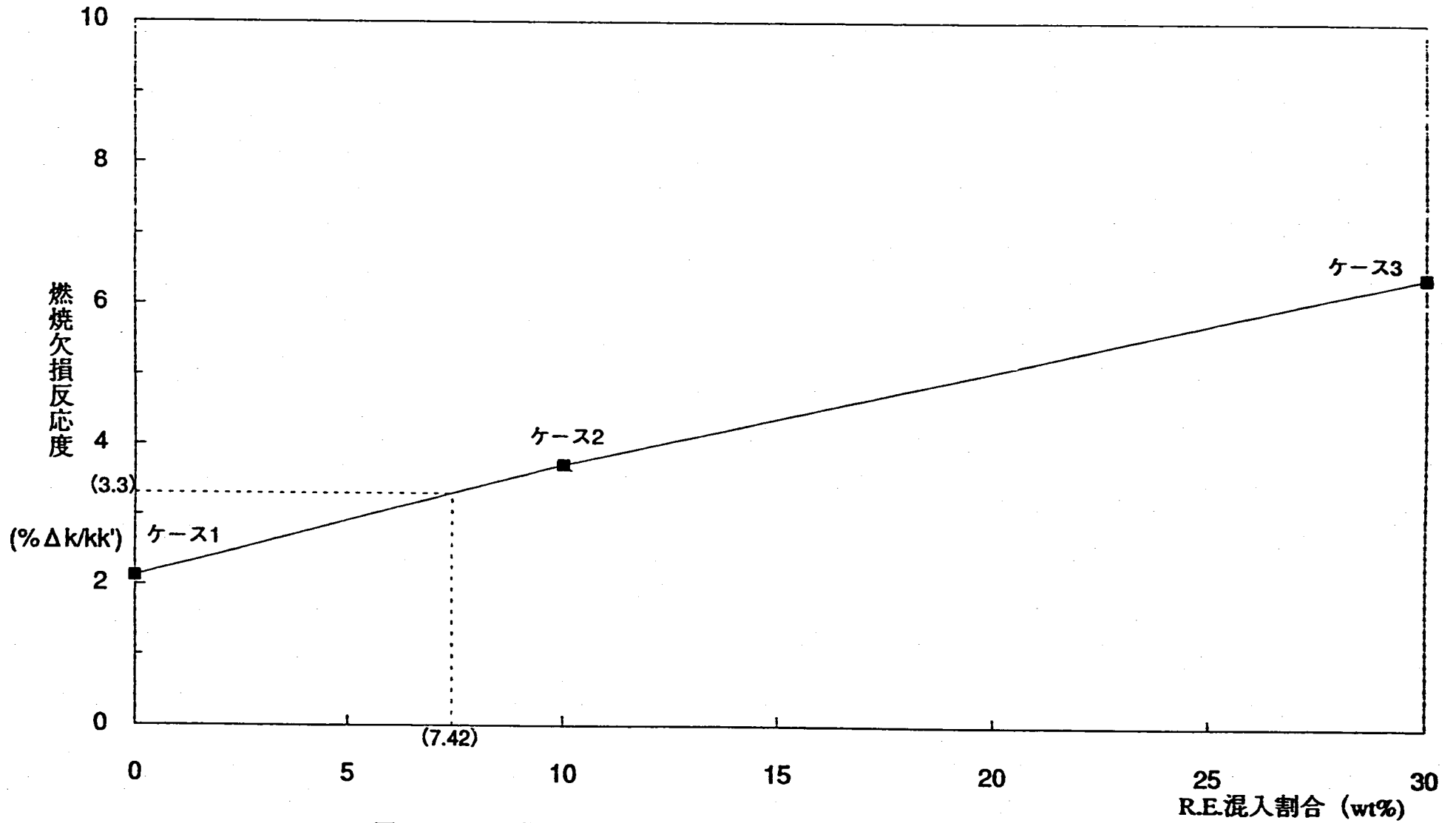


図2.3.2-1 燃焼欠損反応度とR.E.混入割合の関係 (TRU5wt%混入時)

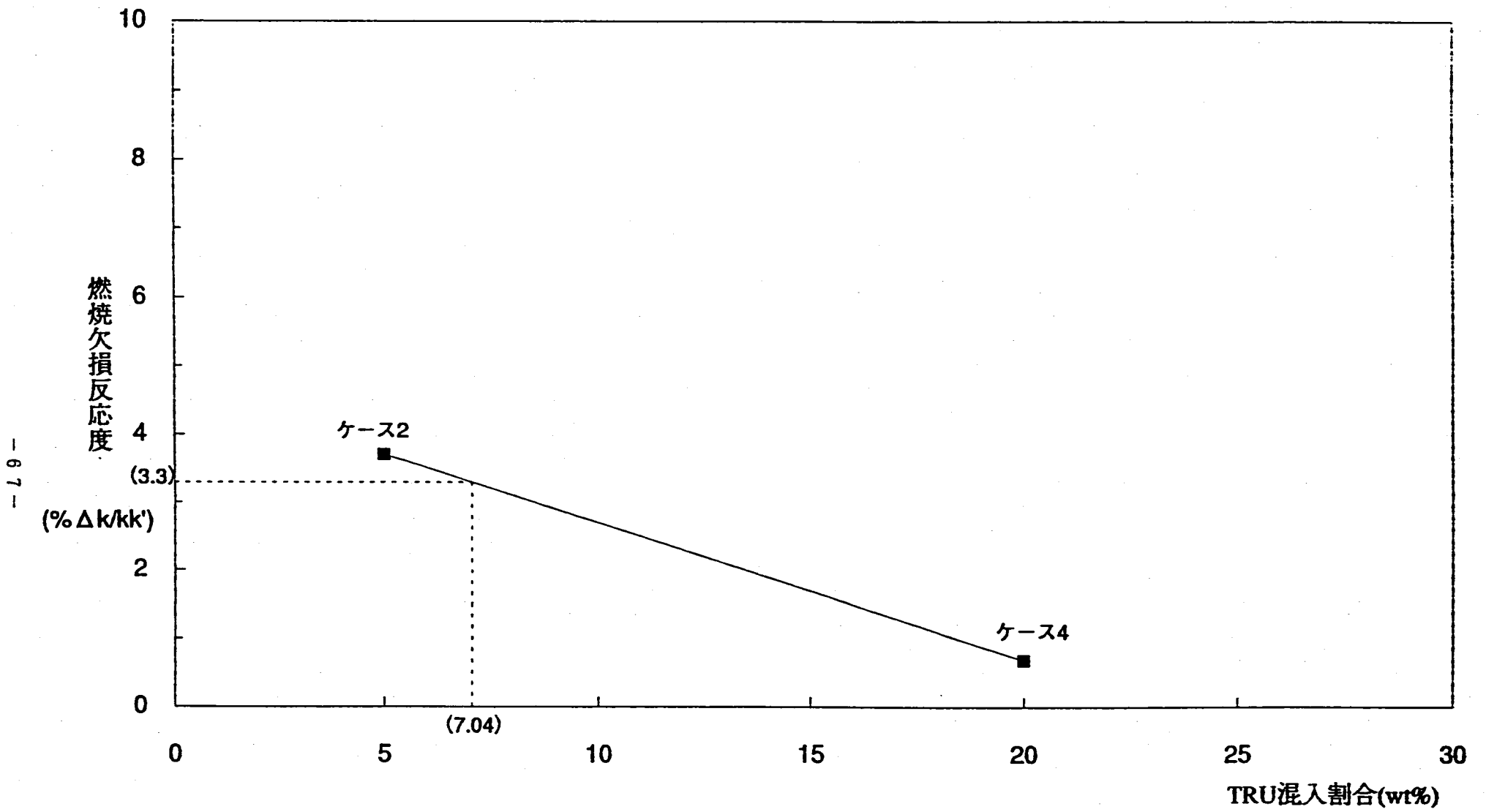


図2.3.2-2 燃焼欠損反応度とTRU混入割合の関係 (R.E.10wt%混入時)

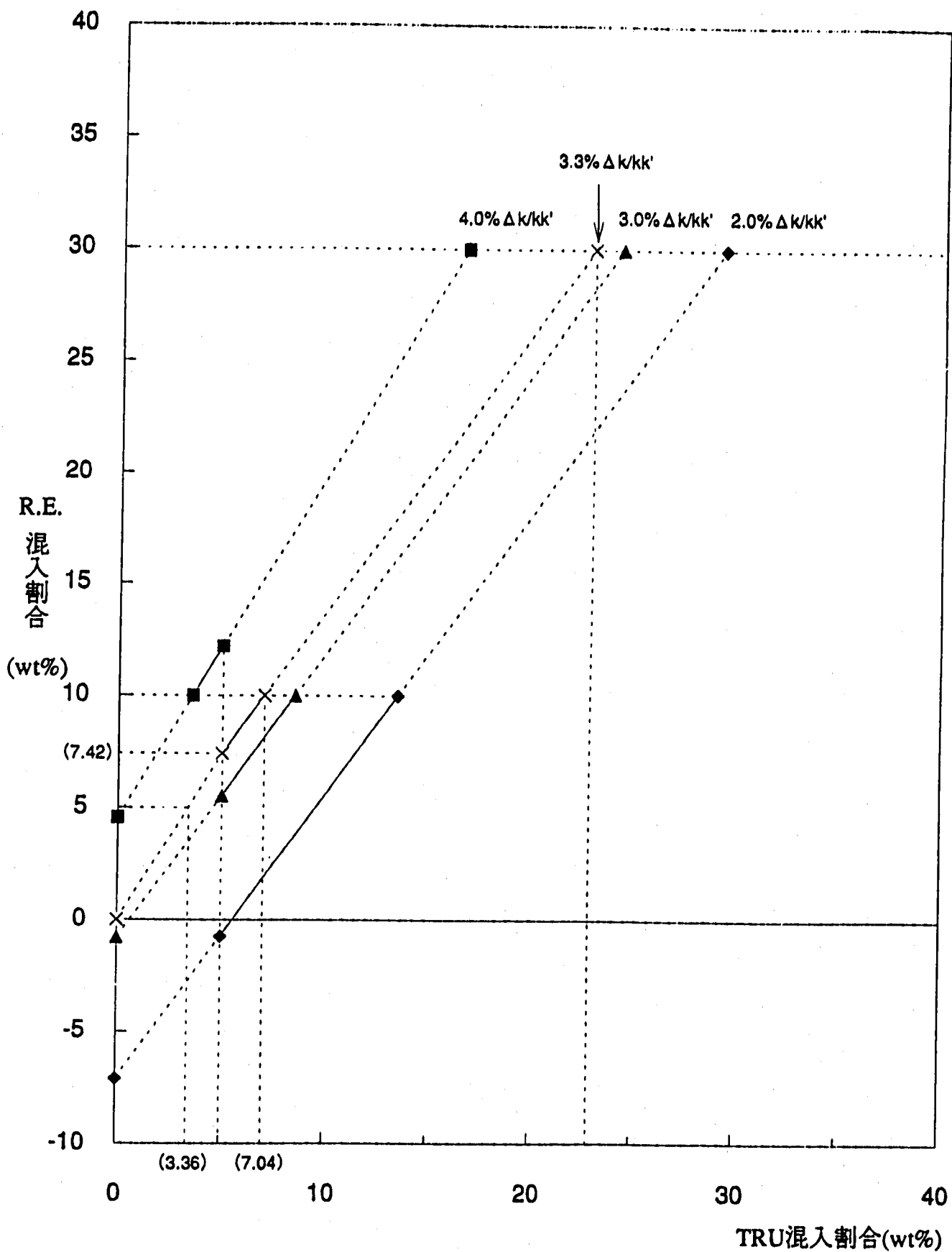


図2.3.2-3 各燃焼欠損反応度に於けるR.E.とTRUの混入割合の関係

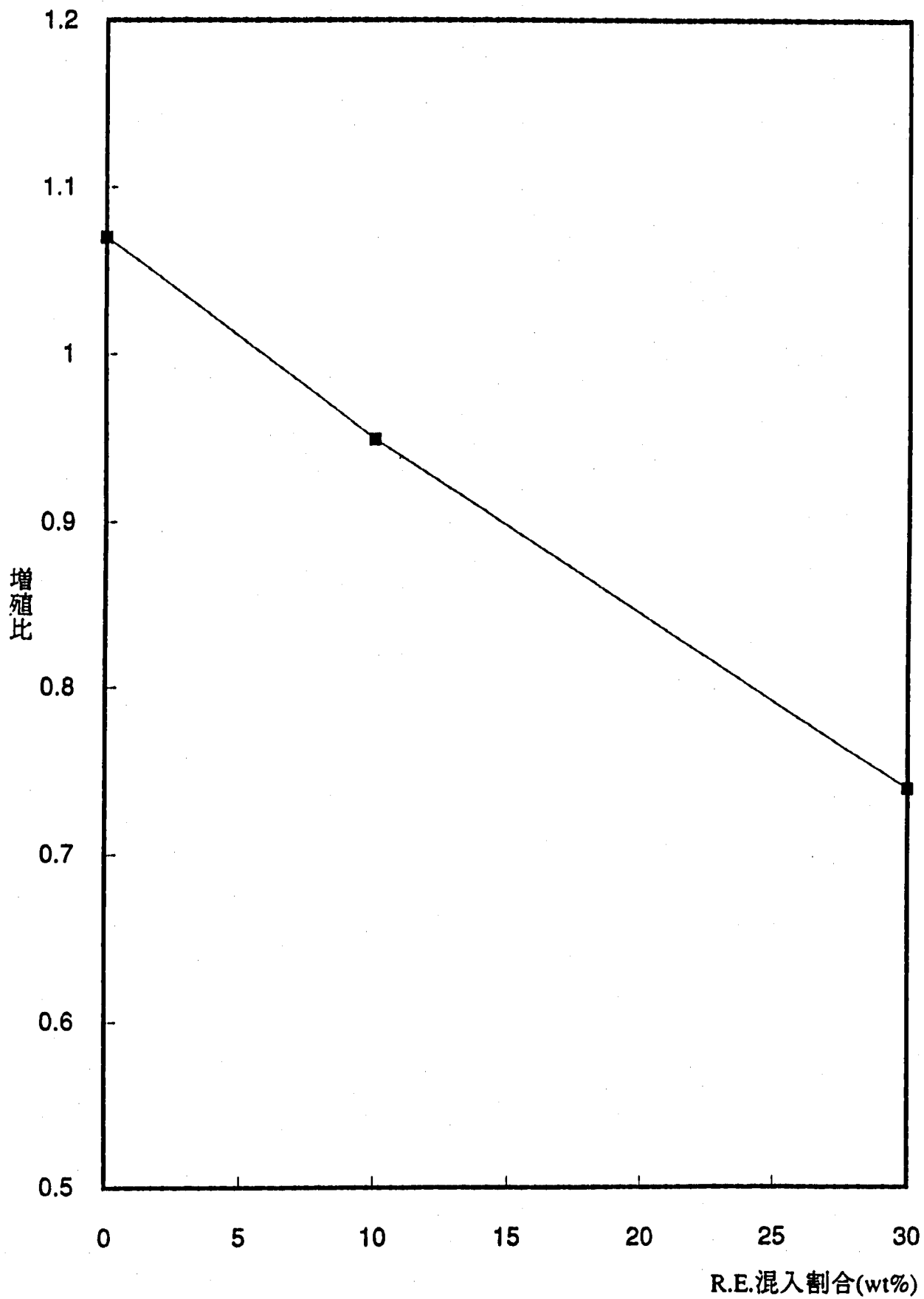


図2.3.2-4 R.E.混入割合と増殖比の関係 (TRU 5 wt%時)

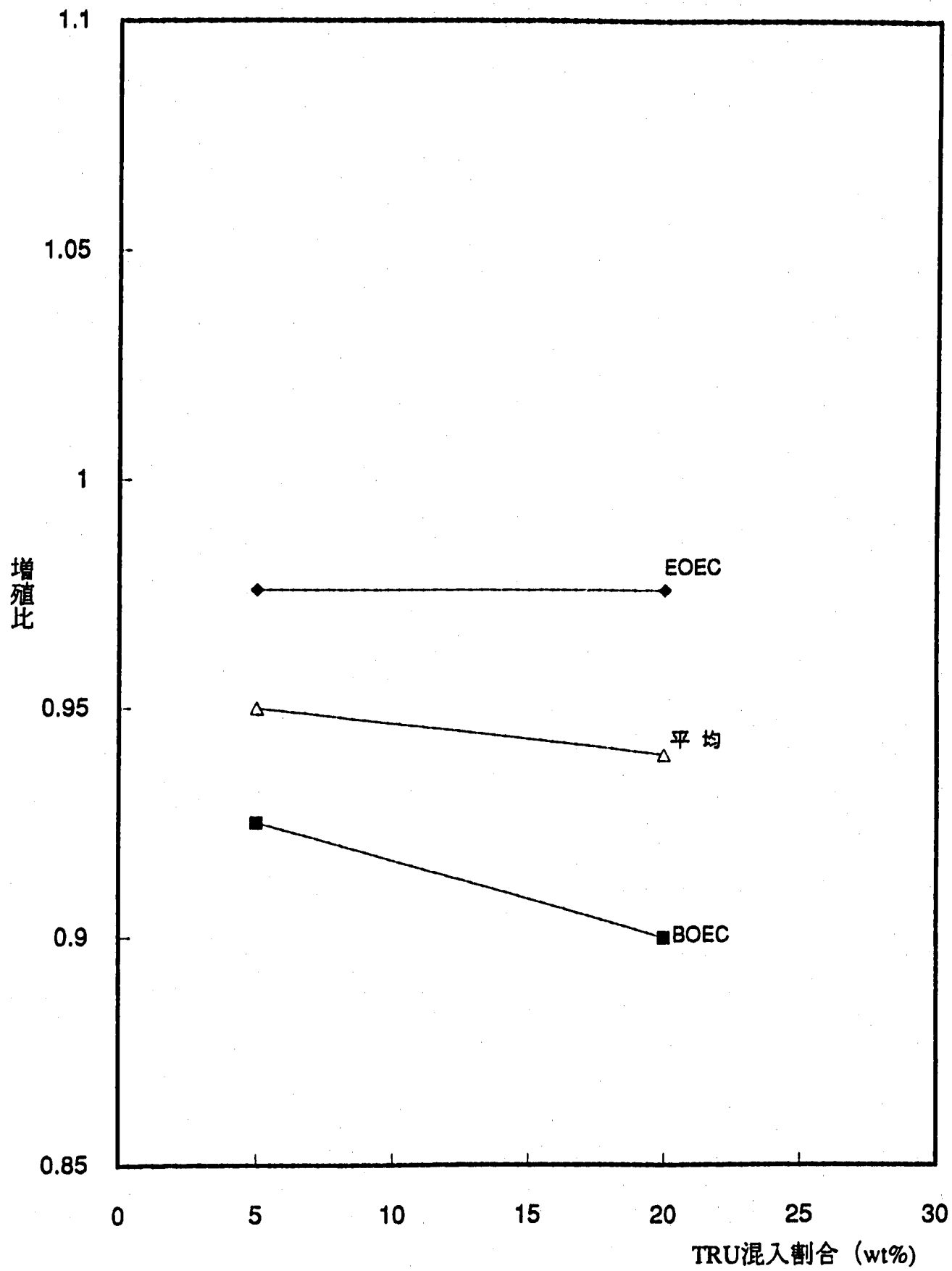


図2.3.2-5 TRU混入割合と増殖比の関係 (R.E.10wt%)

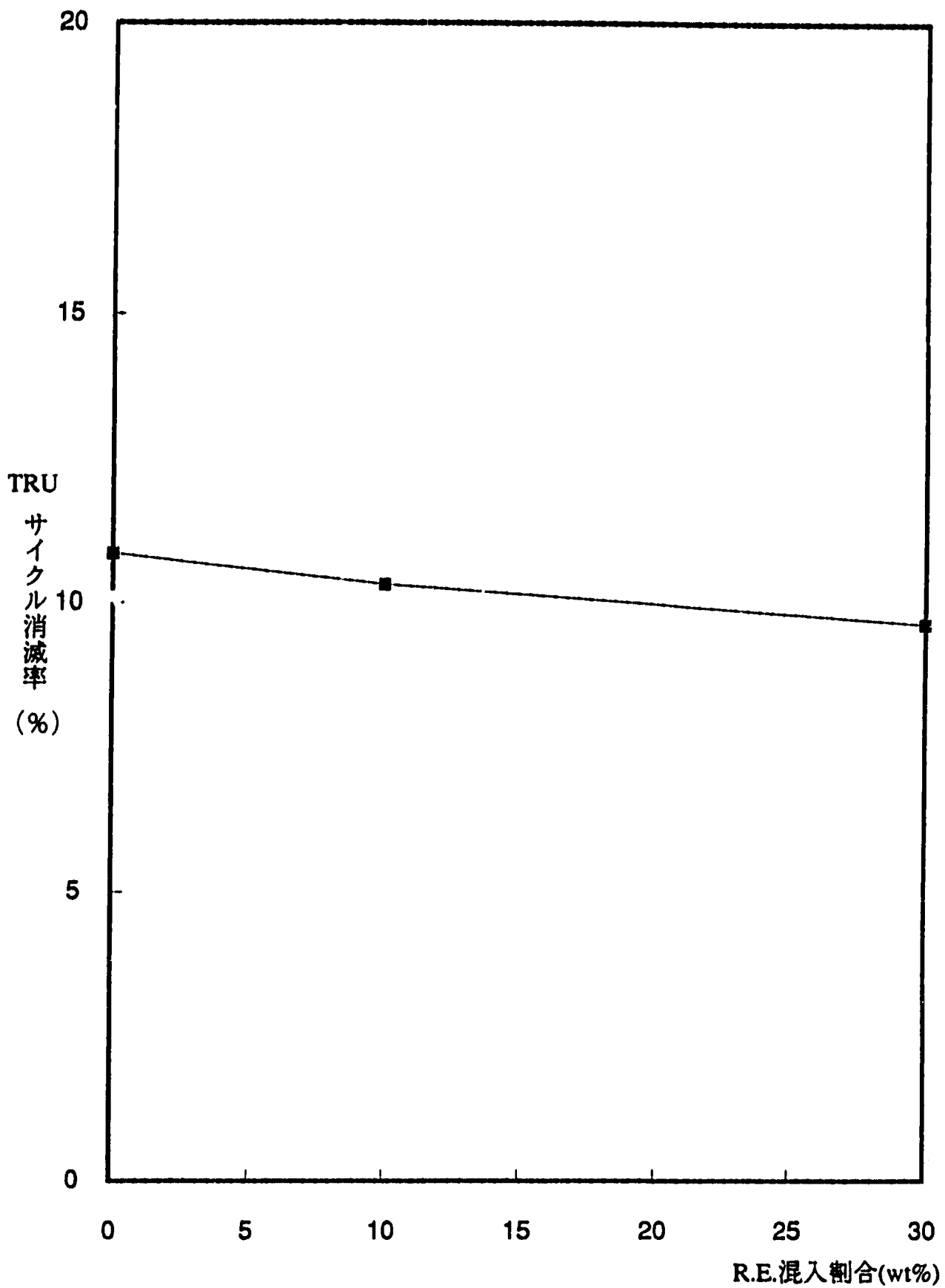


図2.3.2-6 R.E.混入割合とTRU消滅率の関係 (TRU5wt%時)

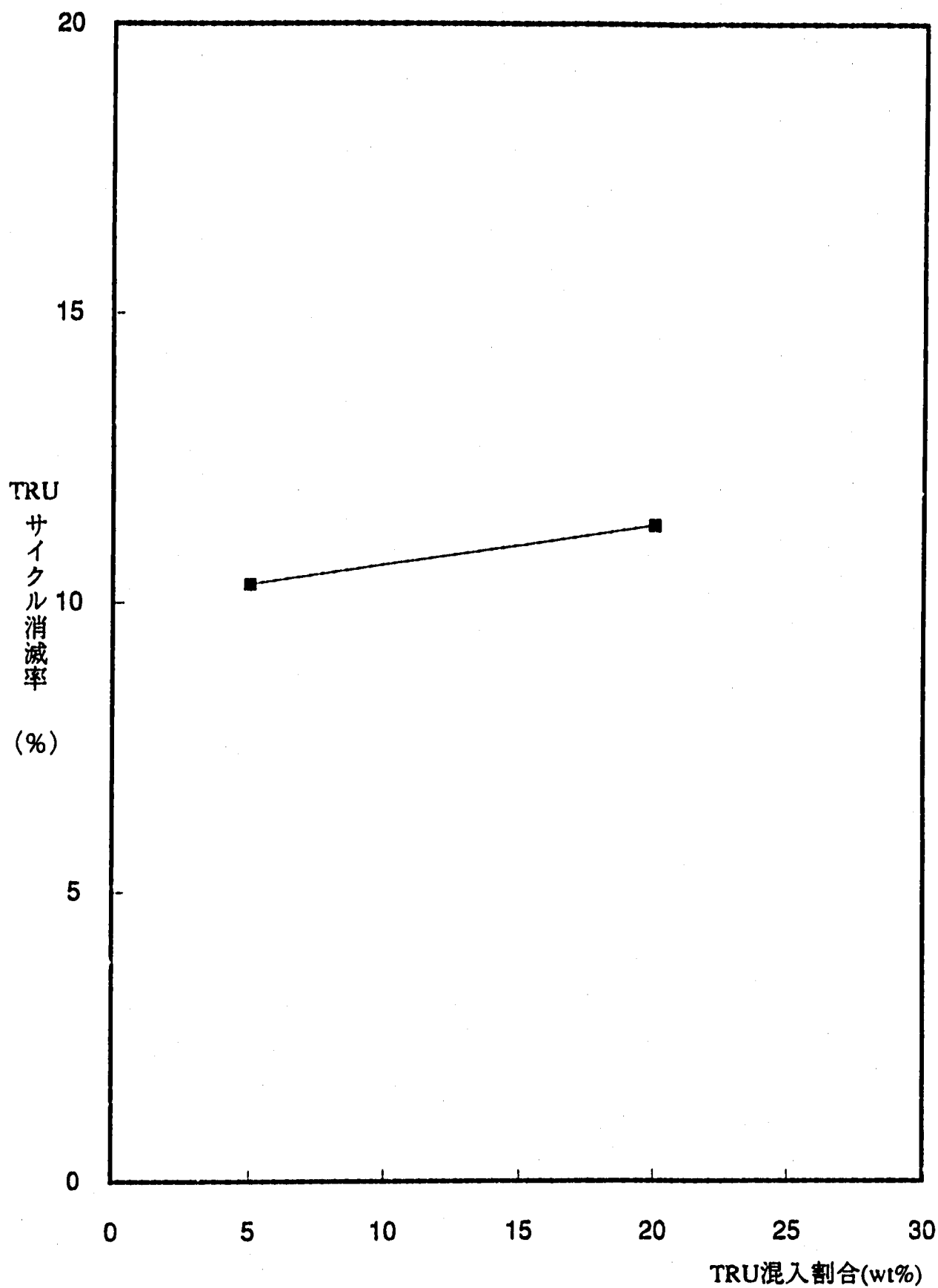


図2.3.2-7 TRU混入割合とTRU消滅率の関係 (R.E.10wt%時)

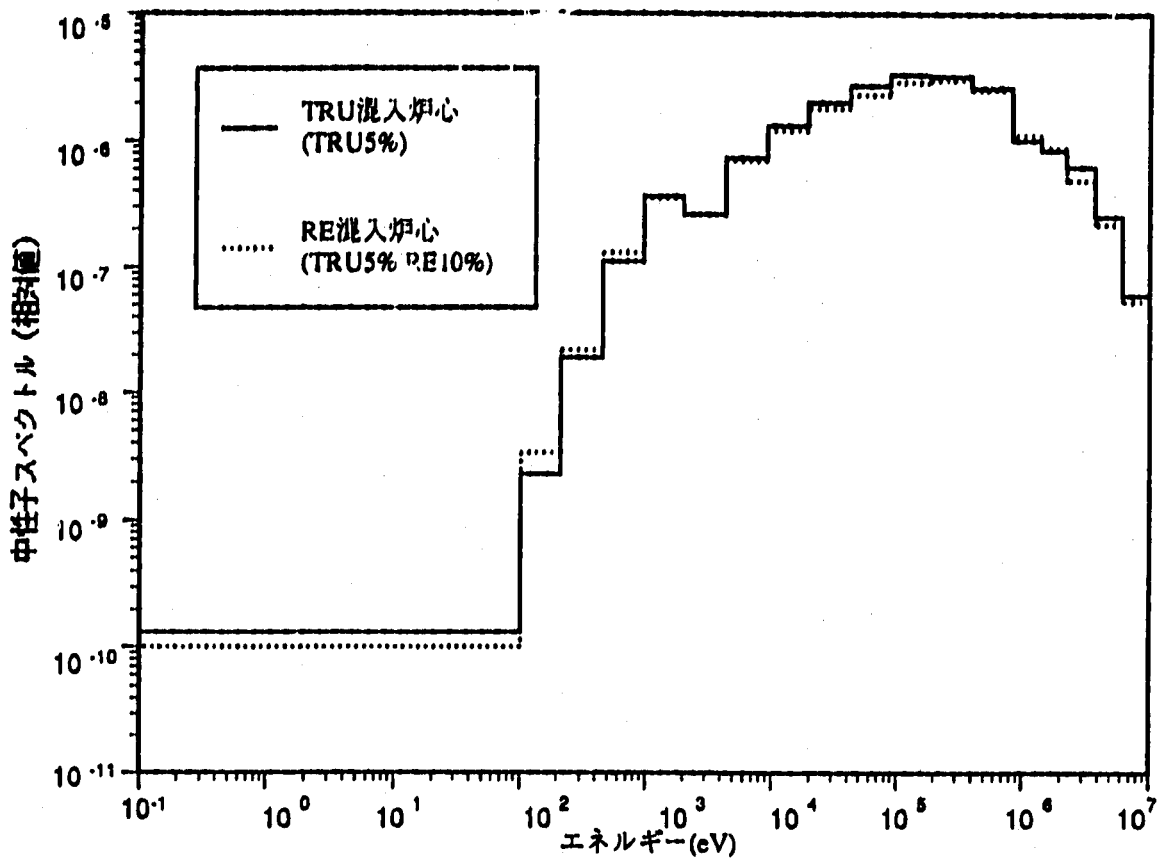


図2.3.2-8 炉中心での中性子スペクトルの比較(MOX炉心)

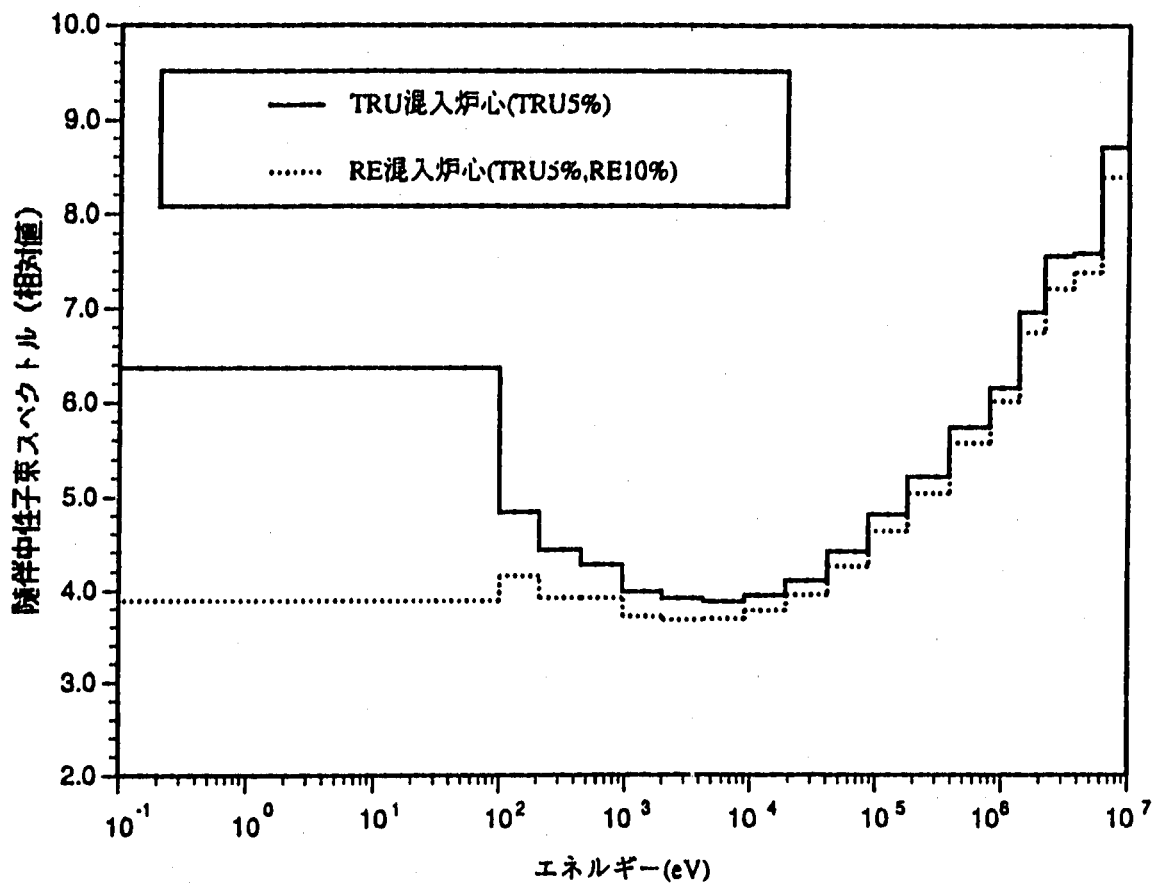


図2.3.2-9 炉中心での随伴中性子スペクトルの比較(MOX炉心)

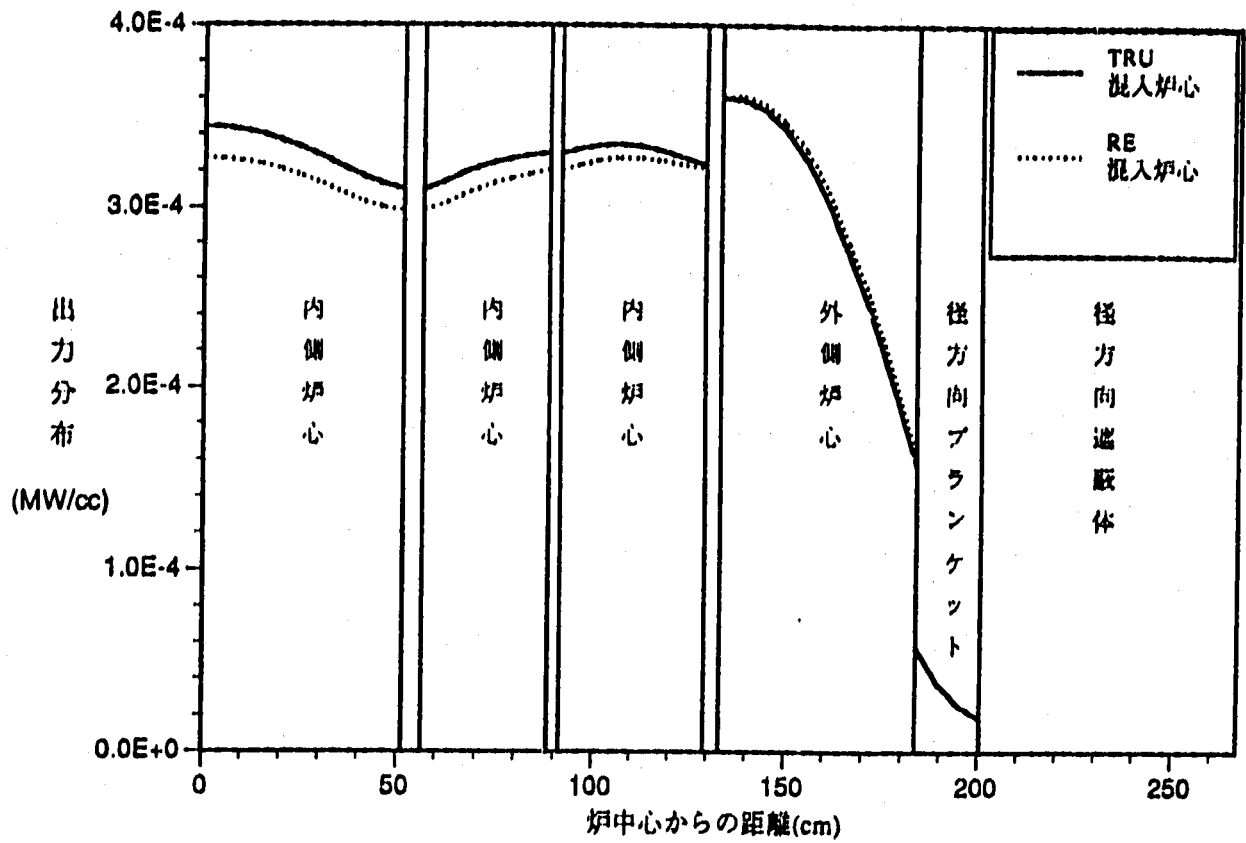


図2.3.2-10 酸化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(BOEC)

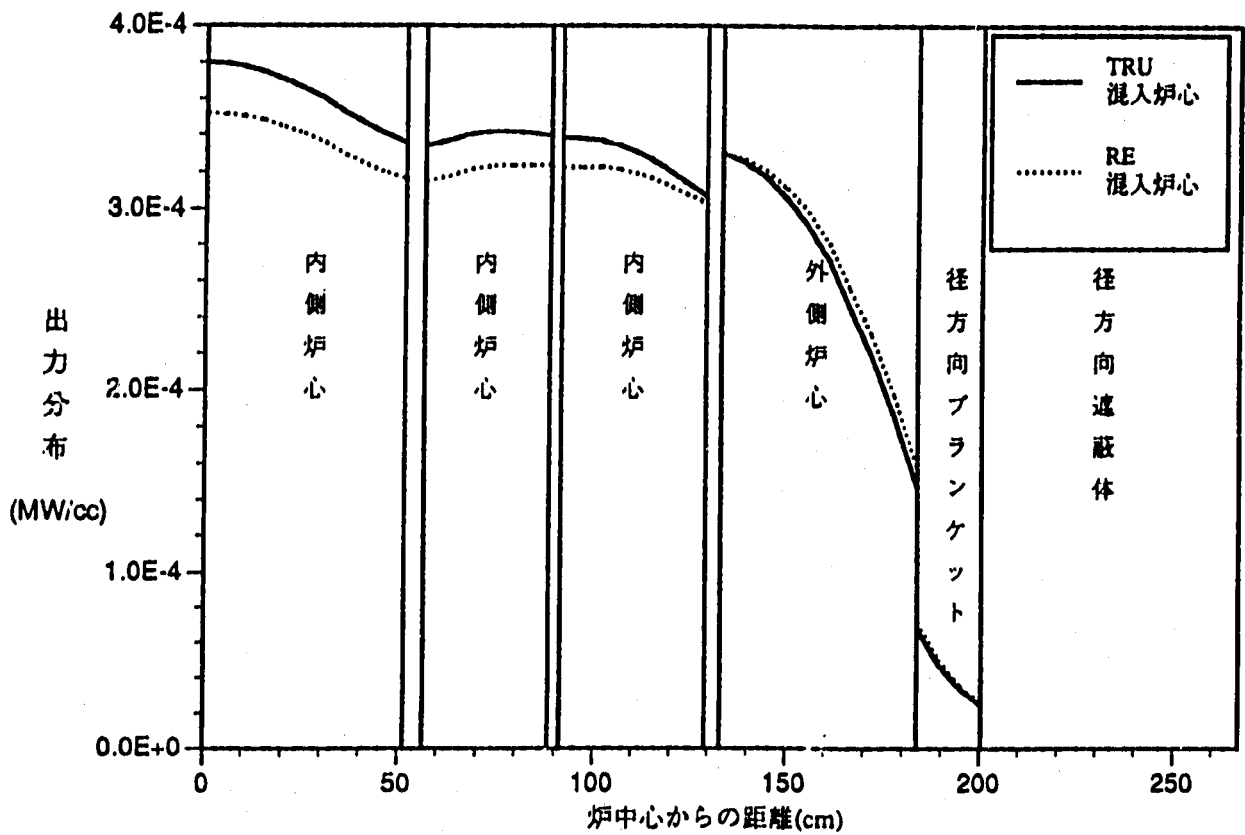


図2.3.2-11 酸化物燃料炉心の径方向出力分布の比較(EOEC)

2.4 窒化物燃料炉心の炉心特性評価

1000MWe級の窒化物燃料炉心(15)を対象に、この炉心燃料にTRU、REを均一に混入させた場合の、出力分布、燃焼特性、反応度係数(ドブプラー係数、Naボイト反応度、動特性パラメータ)、制御棒価値等の解析を実施し、TRU、REの混入が、TRU消滅量や炉心特性に与える影響を評価した。

2.4.1 主要解析条件

(1) 基本条件

窒化物燃料炉心の主な条件を以下に示す。

- 原子炉出力 1000MWe
- サイクル長さ 1年
- 燃料交換 3バッチ
- TRU組成 LWR取出組成
- TRU添加方法 炉心燃料に均一に混入
- RE添加方法 炉心燃料に均一に混入
- 炉心高さ 60cm

窒化物燃料の許容線出力が高いことを考慮し、炉心を偏平化している。

(2) 解析ケース

① 基準ケース

TRU、REを添加しないの従来型の均質2領域炉心。

② TRU混入炉心ケース

全ての炉心燃料集合体の燃料ピンにTRU5%を均一に混入した炉心。

③ RE混入炉心ケース

全ての炉心燃料集合体の燃料ピンにTRU5%と、更にRE10%を均一に混入した炉心。

解析ケースを表2.4.1-1に示す。

(3) 解析手法

① 炉定数

窒化物燃料炉心の断面積は濃縮窒素(15N)を使用。

② 縮約群数

断面積は、半径方向および軸方向各々1次元の燃焼拡散計算の結果から得られる70群の中性子束を重みとして7群に縮約して用いた。

③ 計算モデル

断面積作成モデルを図2.4.2-1及び図2.4.2-2に示す。炉心解析は2次元RZ全炉心体系とし、図2.4.2-3に計算モデルを示す。

④ Pu富化度調整

基準ケースのEOECの k_{eff} および内側炉心と外側炉心の最大線出力比とほぼ同程度になるように他のサーベイケースのPu富化度調整を行った。

⑤ 制御棒状態

Naフォロアーとした。

⑥ 出力分布の補正

2次元RZ計算の結果得られた平均出力に燃焼補正を行った。

2.4.2 燃焼特性、消滅率等の解析結果及び考察

(1)解析結果

各ケースの主要炉心特性を表2.4.2-1に示す。表2.4.2-2に各領域毎の最大出力密度、B.U.F等を示す。また、炉中心面での径方向出力分布を、各ケースで比較して図2.4.2-4~図2.4.2-5に示す。また、TRU消滅率を表2.4.2-3~表2.4.2-5に示す。各ケースの中性子スペクトル及び随伴中性子スペクトルを表2.4.2-6~表2.4.2-7に、また、図2.4.2-6~図2.4.2-7に比較して図示する。

(2)考察

1) 燃焼欠損反応度

基準炉心の燃焼欠損反応度は $1.52\% \Delta k/k'$ であり、これは100万kWeクラスのMOX炉心(1年サイクル炉心)の約1/2である。これは、窒化物燃料の核燃料物質密度が高いことに起因し、内部転換比が高くなるためである。また、TRUを5%装荷する事によって燃焼欠損反応度は $0.13\% \Delta k/k'$ となりほぼ0となった。またRE混入炉心の燃焼欠損反応度は $1.42\% \Delta k/k'$ であり、REを10%混入しても、TRUを5%混入していることで、燃焼欠損反応度は基準炉心並に収まっている。

2) 増殖比

TRU混入炉心の増殖比は1.41(BOEC,EOECの平均)となり、基準炉心の1.38に比べ0.03増大した。また、RE混入炉心の増殖比は1.34となり、TRU混入炉心より0.07減少した。これはRE混入によりPu富化度を高めた事によって、TRU混入炉心に比べ内部転換比が悪化したためである。

3) 出力分布

最大線出力が現れるのは、いずれのケースもBOECの外側炉心であり、値は基準炉心が767W/cm、TRU混入炉心で759W/cm、RE混入炉心が759W/cmとなり、各ケースでほとんど差は無い。図2.4.2-4~図2.4.2-5に各ケースの炉中心面での径方向出力分布の比較を示す。

4) TRUサイクル消滅率(表2.4.2-3~表2.4.2-5)

TRU混入炉心、RE混入炉心とも、TRUサイクル消滅率は約13%(TRUサイクル消滅量は約70kg)であり、RE混入によりTRU消滅特性に差がない事が明らかになった。

5) 中性子スペクトルおよび随伴中性子スペクトル

平衡炉心末期における炉中心の中性子スペクトルおよび随伴中性子スペクトルを表2.4.2-6~表2.4.2-7と図2.4.2-6~図2.4.2-7に各ケースで比較して示す。中性子スペクトルについては、低エネルギー側で、基準炉心に比べ、TRU混入炉心は低下している。これはTRU核種の低エネルギー側での吸収の効果である。またRE混入炉心では中性子スペクトルは低エネルギー側で更に低下している。これはREを装荷した事により、TRU混入炉心に比べ、共鳴領域での吸収効果が更に大きくなった為である。一方、高エネルギー側での各炉心での中性子スペクトルの差は小さい。また、TRU混入炉心での随伴中性子スペクトルについては、 N_p に代表されるTRU核種の低エネルギー側での吸収によるインポートランスの傾きの低下と、高エネルギー側の核分裂反応によるインポートランスの傾きの上昇が特徴的である。RE混入炉心はTRU混入炉心に比べ、REの混入で共鳴領域での吸収効果が大きくなる為、低エネルギー側でインポートランスの傾きが低下している。

2.4.3 反応度係数の解析及び考察

(1) 解析対象炉心

表2.4.1-1の3ケース、即ち、基準炉心(RE及びTRUを添加していない炉心)、TRU混入炉心(TRU:5%)及びRE混入炉心(RE:10%,TRU:5%)の平衡炉心末期(制御棒全引抜き状態)を対象に、以下の反応度特性を求め比較検討した。

- ① ドップラー係数
- ② Naボイド反応度
- ③ 動特性パラメータ(実効遅発中性子割合、崩壊定数、即発中性子寿命)

(2) 解析方法

解析方法は、酸化物燃料の反応度係数解析と同じ手法を用いた。

(3) 解析結果及び考察

1) ドップラー係数

炉心部のドップラー係数を表2.4.3-1に示す。ドップラー係数は、 ^{238}U の実効的吸収に対する温度の効果であり、これに影響を与える主な因子は、 ^{238}U のインベントリーと中性子のスペクトルである。表2.4.3-1より、基準炉心のドップラー係数は $-4.20 \times 10^{-3} \text{ Tdk/dT}$ である。また、TRU混入炉心のドップラー係数は $-2.88 \times 10^{-3} \text{ Tdk/dT}$ となり基準炉心に比べ、約30%程度小さくなる。これはTRUを5%混入したことにより ^{238}U が減少し、 ^{238}U の共鳴吸収反応の効果が小さくなった為である。また、RE混入炉心のドップラー係数は $-2.47 \times 10^{-3} \text{ Tdk/dT}$ となりTRU混入炉心より更に10%程度小さく

なる。これはREの混入により、TRU混入炉心より更に ^{238}U が減少した事と、REの混入で共鳴領域での吸収効果が大きくなったことが考えられる。

2) Naボイド反応度

Naボイド反応度の結果を表2.4.3-2に示す。同表より基準炉心のNaボイド反応度は $1.87 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約5.1%)であり、これは100万kWeクラスのMOX炉心(炉心高さ1m)とほぼ同程度である。MOX炉心と同程度の体積の炉心で、窒化物燃料を用いると、中性子スペクトルは硬くなり、Naボイド反応度はMOX炉心より更に大きくなる方向になるが、ここで解析用に選定した基準炉心は、窒化物燃料の許容線出力が高いことを考慮し、炉心を扁平化(炉心高さ60cm)しているため、Naボイド反応度は低減し、MOX炉心とほぼ同程度になったと考えられる。また、TRU混入炉心のNaボイド反応度の結果は $2.32 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約6.3%)となり、基準炉心に比べ24%大きくなった。これは、TRUの装荷によるNpに代表されるTRU核種の低エネルギー側での吸収によるインポートランスの傾きの低下と、高エネルギー側での核分裂反応によるインポートランスの傾きの上昇の効果である。RE混入炉心のNaボイド反応度は $2.36 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約6.4%)となり、TRU混入炉心より約2%増大した。これは更にREを装荷した事により、TRU混入炉心より共鳴領域での吸収効果が大きくなった為であるが、その効果は小さい。

3) 動特性パラメータ

動特性パラメータの計算結果を表2.4.3-3に示す。同表より基準炉心の実効遅発中性子割合は 3.90×10^{-3} となった。またTRU混入炉心の実効遅発中性子割合は、 3.68×10^{-3} となり基準炉心に比べ、約5%小さくなった。これは実効遅発中性子割合の計算において、遅発中性子発生数は入射中性子エネルギーに依存せず一定であるとしているので、炉心スペクトルが高エネルギー側にシフトするにつれて核分裂中性子数に対する遅発中性子発生数の比(λ/β)は低下する。TRU装荷炉心では、TRU核種の低エネルギー側での吸収によるインポートランスの傾きの低下と、高エネルギー側での核分裂反応によるインポートランスの傾きの上昇により、実効遅発中性子割合が小さくなったと考えられる。また、RE混入炉心の実効遅発中性子割合は、 3.60×10^{-3} となりTRU混入炉心より更に2%小さくなる。これはREの混入により、更に共鳴領域での吸収効果が大きくなった為である。

表2.4.3-4に窒化物燃料炉心の主要核特性を酸化物炉心と比較して示す。

表 2.4.1-1 MN炉心解析ケース

解析ケース	混入割合 (wt%)	
	RE	TRU
基準炉心	0	0
TRU混入炉心	0	5
RE混入炉心	10	5

表2.4.2-1 主要炉心特性一覧(窒化物燃料炉心)

解析ケース			基準炉心	TRU混入炉心	RE混入炉心
パラメータ	R. E. (wt%)		0.0	0.0	10.0
	TRU (wt%)		0.0	5.0	5.0
Pu富化度 (wt%)			12.8 / 17.5	12.9 / 17.5	15.0 / 20.3
k _{eff}	BOEC		1.0109	0.9965	1.0072
	EOEC		0.9956	0.9952	0.9930
燃焼欠損反応度(% $\Delta k/k'$)			1.52	0.13	1.42
最大線出力 (W/cm)	BOEC	IC	566	571	574
		OC	767	759	764
	EOEC	IC	595	595	603
		OC	612	614	613
増殖比	BOEC		1.408	1.434	1.340
	EOEC		1.359	1.391	1.331
	(平均)		(1.38)	(1.41)	(1.34)
炉心部出力	BOEC	IC	0.394	0.397	0.397
		OC	0.489	0.489	0.486
		合計	0.883	0.886	0.883
分担比	EOEC	IC	0.432	0.439	0.432
		OC	0.327	0.403	0.403
		合計	0.759	0.842	0.835

表2.4.2-2 最大線出力（窒化物燃料炉心）

解析 ケース	パラメータ(wt%)		Pu富化度 (IC) (OC)	時期	領域	最大出力密度 (W/cc) (領域)	B. U. F.	最大線出力 (W/cm)
	RE	TRU						
基準 炉心	0.0	0.0	12.8 17.5	BOEC	IC	541.09 (R 7)	1.0117	5 6 6
					OC	682.41 (R10)	1.0880	7 6 7
				EOEC	IC	570.16 (R 1)	1.0105	5 9 5
					OC	552.82 (R10)	1.0717	6 1 2
TRU 混入 炉心	0.0	5.0	12.9 17.5	BOEC	IC	551.57 (R 7)	1.0026	5 7 1
					OC	687.77 (R10)	1.0689	7 5 9
				EOEC	IC	573.89 (R 1)	1.0029	5 9 5
					OC	560.83 (R10)	1.0603	6 1 4
RE 混入 炉心	10.0	5.0	15.0 20.3	BOEC	IC	540.76 (R07)	1.0269	5 7 4
					OC	675.15 (R10)	1.0948	7 6 4
				EOEC	IC	569.92 (R 1)	1.0219	6 0 2
					OC	548.46 (R10)	1.0810	6 1 3

表2.4.2-3 TRU消滅率 (窒化物燃料炉心 TRUなし)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	3.16	5.85	-2.69	-85.10
Am242	0.21	0.46	-0.25	-121.45
Am241	8.44	14.46	-6.02	-71.25
Am243	3.65	6.92	-3.28	-89.91
Am TOTAL	12.30	21.85	-9.55	-77.63
Cm242	0.52	1.00	-0.48	-91.39
Cm243	0.02	0.05	-0.03	-159.31
Cm244	0.52	1.34	-0.82	-158.11
Cm245	0.02	0.06	-0.04	-246.92
Cm TOTAL	1.08	2.46	-1.38	-127.33
TOTAL	16.54	30.15	-13.61	-82.31

表2.4.2-4 TRU消滅率 (窒化物燃料炉心, TRU 5%)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	251.00	206.50	44.50	17.73
Am242	3.99	6.30	-2.32	-58.07
Am241	155.20	129.10	26.10	16.82
Am243	82.62	71.71	10.91	13.21
Am TOTAL	241.81	207.11	34.69	14.35
Cm242	7.60	10.87	-3.27	-43.08
Cm243	0.60	0.85	-0.25	-42.11
Cm244	38.74	44.95	-6.21	-16.03
Cm245	2.88	4.12	-1.24	-42.96
Cm TOTAL	49.82	60.79	-10.97	-22.03
TOTAL	542.63	474.40	68.22	12.57

表2.4.2-5 TRU消滅率 (銻化物燃料炉心 RE10%,TRU 5%)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	250.50	205.40	45.10	18.00
Am242	4.00	6.32	-2.32	-58.00
Am241	155.20	129.20	26.00	16.75
Am243	82.63	71.74	10.89	13.18
Am TOTAL	241.83	207.26	34.57	14.30
Cm242	7.63	10.91	-3.28	-43.04
Cm243	0.60	0.85	-0.25	-42.26
Cm244	38.75	44.96	-6.21	-16.03
Cm245	2.88	4.12	-1.24	-42.89
Cm TOTAL	49.86	60.84	-10.98	-22.03
TOTAL	542.19	473.50	68.69	12.67

表2.4.2-6 炉中心位置の中性子束スペクトル（窒化物燃料炉心）

エネルギー範囲	群構造	中性子束（相対値）		
		基準炉心	TRU混入炉心 (TRU5%)	RE混入炉心 (TRU5%, RE10%)
10.0 (MeV) ~ 6.0653 (MeV)	1	1.47×10^{-7}	1.47×10^{-7}	1.50×10^{-7}
6.0653 ~ 3.6788	2	6.07×10^{-7}	6.09×10^{-7}	6.19×10^{-7}
3.6788 ~ 2.2313	3	1.28×10^{-6}	1.28×10^{-6}	1.32×10^{-6}
2.2313 ~ 1.3534	4	2.06×10^{-6}	2.06×10^{-6}	2.15×10^{-6}
1.3534 ~ 0.82085	5	2.66×10^{-6}	2.64×10^{-6}	2.74×10^{-6}
0.82085 ~ 0.38774	6	6.90×10^{-6}	6.74×10^{-6}	6.89×10^{-6}
0.38774 ~ 0.18316	7	8.73×10^{-6}	8.46×10^{-6}	8.57×10^{-6}
0.18316 ~ 0.086517	8	7.96×10^{-6}	7.66×10^{-6}	7.78×10^{-6}
86.517 (KeV) ~ 40.868 (KeV)	9	6.18×10^{-6}	5.87×10^{-6}	5.97×10^{-6}
40.868 ~ 19.305	10	4.57×10^{-6}	4.23×10^{-6}	4.30×10^{-6}
19.305 ~ 9.1188	11	3.01×10^{-6}	2.70×10^{-6}	2.77×10^{-6}
9.1188 ~ 4.3074	12	1.41×10^{-6}	1.22×10^{-6}	1.26×10^{-6}
4.3074 ~ 2.0347	13	4.53×10^{-7}	3.81×10^{-7}	3.99×10^{-7}
2.0347 ~ 0.96112	14	6.15×10^{-7}	4.83×10^{-7}	4.99×10^{-7}
961.12 (eV) ~ 454.00 (eV)	15	1.75×10^{-7}	1.23×10^{-7}	1.31×10^{-7}
454.00 ~ 214.45	16	2.72×10^{-8}	1.63×10^{-8}	1.63×10^{-8}
214.45 ~ 101.30	17	2.90×10^{-9}	1.44×10^{-9}	1.59×10^{-9}
101.30 ~ 0.2	18	1.59×10^{-10}	6.52×10^{-11}	1.85×10^{-11}

表2.4.2-7 炉中心位置の随伴中性子束スペクトル（窒化物燃料炉心）

エネルギー範囲	群構造	随伴中性子束（相対値）		
		基準炉心	TRU混入炉心 (TRU5%)	RE混入炉心 (TRU5%, RE10%)
10.0 (MeV) ~ 6.0653 (MeV)	1	6.75	7.19	7.21
6.0653 ~ 3.6788	2	5.63	6.00	6.09
3.6788 ~ 2.2313	3	5.44	5.79	5.89
2.2313 ~ 1.3534	4	4.99	5.30	5.43
1.3534 ~ 0.82085	5	4.34	4.58	4.73
0.82085 ~ 0.38774	6	4.15	4.25	4.38
0.38774 ~ 0.18316	7	3.85	3.83	3.94
0.18316 ~ 0.086517	8	3.54	3.48	3.60
86.517 (KeV) ~ 40.868 (KeV)	9	3.23	3.15	3.26
40.868 ~ 19.305	10	3.00	2.91	3.02
19.305 ~ 9.1188	11	2.93	2.81	2.90
9.1188 ~ 4.3074	12	2.93	2.78	2.84
4.3074 ~ 2.0347	13	3.03	2.84	2.87
2.0347 ~ 0.96112	14	3.13	2.92	2.93
961.12 (eV) ~ 454.00 (eV)	15	3.39	3.13	3.10
454.00 ~ 214.45	16	3.63	3.37	3.24
214.45 ~ 101.30	17	4.01	3.66	3.44
101.30 ~ 0.2	18	5.24	4.64	2.64

表 2.4.3-1 ドップラー係数 (MN炉心)

燃焼時期 : EOEC

(Tdk/dT)

炉 心	ドップラー係数 (*1)	相 対 値
基準炉心 (無添加)	-4.20E-03	1.0
TRU混入炉心 (TRU5%)	-2.88E-03	0.68
RE混入炉心 (RE10%, TRU5%)	-2.47E-03	0.59

(*1) 炉心燃料部

表 2.4.3 - 2 Na ボイド反応度 (MN炉心)

燃焼時期 : BOEC

炉 心	Na ボイド反応度 ($\% \Delta k / k k'$)	相 对 値
基準炉心 (無添加)	1.87 (約 5.1 \$)	1.0
TRU混入炉心 (TRU5%)	2.32 (約 6.3 \$)	1.24
RE混入炉心 (RE10%, TRU5%)	2.36 (約 6.4 \$)	1.26

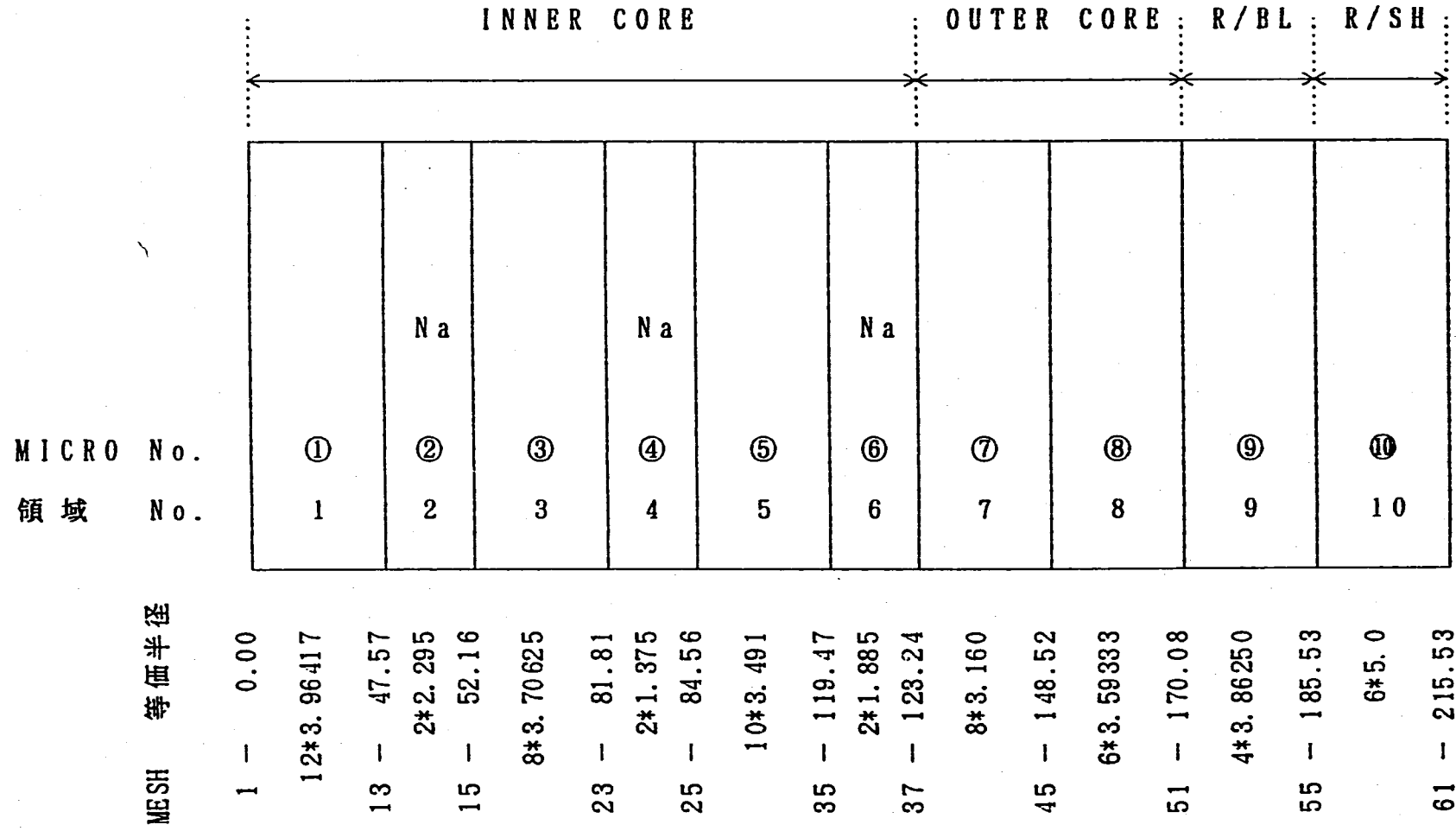
表 2.4.3-3 動特性パラメーター (MN炉心)

燃焼時期 : BOBC

動特性パラメーター	炉心	基準炉心 (無添加)	TRU混入炉心 (TRU5%)	RE混入炉心 (RE10%, TRU5%)
実効遅発中性子割合 (内訳)	β_{eff}	3.8953E-03	3.6820E-03	3.6000E-03
	β_1	8.1368E-05	7.9074E-05	7.8258E-05
	β_2	7.6781E-04	7.2643E-04	7.2057E-04
	β_3	7.0372E-04	6.5930E-04	6.4680E-04
	β_4	1.4398E-03	1.3598E-03	1.3271E-03
	β_5	6.9576E-04	6.6010E-04	6.3866E-04
	β_6	2.0692E-04	1.9733E-04	1.8863E-04
遅発中性子崩壊定数 (SEC ⁻¹)	λ_1	1.2991E-02	1.3015E-02	1.3011E-02
	λ_2	3.1343E-02	3.1347E-02	3.1317E-02
	λ_3	1.3493E-01	1.3433E-01	1.3412E-01
	λ_4	3.4853E-01	3.4671E-01	3.4631E-01
	λ_5	1.4070E+00	1.3872E+00	1.3871E+00
	λ_6	3.8505E+00	3.8136E+00	3.8024E+00
即発中性子寿命 ($\times 10^{-6}$ SEC)	I_p	0.26781	0.23068	0.23919
逆時間反応度 (% $\Delta K/KK'$)	I_h	1.1193E-03	1.0629E-03	1.0513E-03

表2.4.3-4 特性解析ケースの一覧

特性解析ケース		酸化物燃料炉心 (1000MWe)			窒化物燃料炉心 (1000MWe)		
		MOX大型炉	TRU混入炉心	RE混入炉心	基準炉心	TRU混入炉心	RE混入炉心
主要仕様	(TRU, RE) 混入率 (wt%)	[0.0]	[5.0]	[5.10]	[0.0]	[5.0]	[5.10]
	燃焼サイクル日数	15か月			12か月		
	炉心高さ	100cm			60cm		
	Pu富化度 (IC/OC) (wt%)	15.4/18.6	16.6/20.1	20.0/24.2	12.8/17.5	12.9/17.5	15.0/20.3
主要核特性結果	燃焼欠損反応度 (% $\Delta k/kk'$)	3.3	2.12	3.71	1.52	0.13	1.42
	増殖比(BOEC, EOEC平均)		1.07	0.95	1.38	1.41	1.34
	Naポイド反応度(EOEC) (% $\Delta k/kk'$)	(約5%)	2.65 (7.2%)	2.86 (7.7%)	1.87 (5.1%)	2.32 (6.3%)	2.36 (6.4%)
	ドブプラー係数 (EOEC) ($\times 10^{-3} Tdk/dT$)	-7.57	-4.32	-3.55	-4.20	-2.88	-2.47
	TRUサイクル消滅率 (%) TRUサイクル消滅量 (kg)	—	10.9 171.7	10.3 163.5	-82.3 -13.6	12.6 68.2	12.7 68.9



(単位 : cm)

図 2. 4. 2 - 1 1次元径方向マイクロ断面積計算体系 (窒化物燃料炉心)

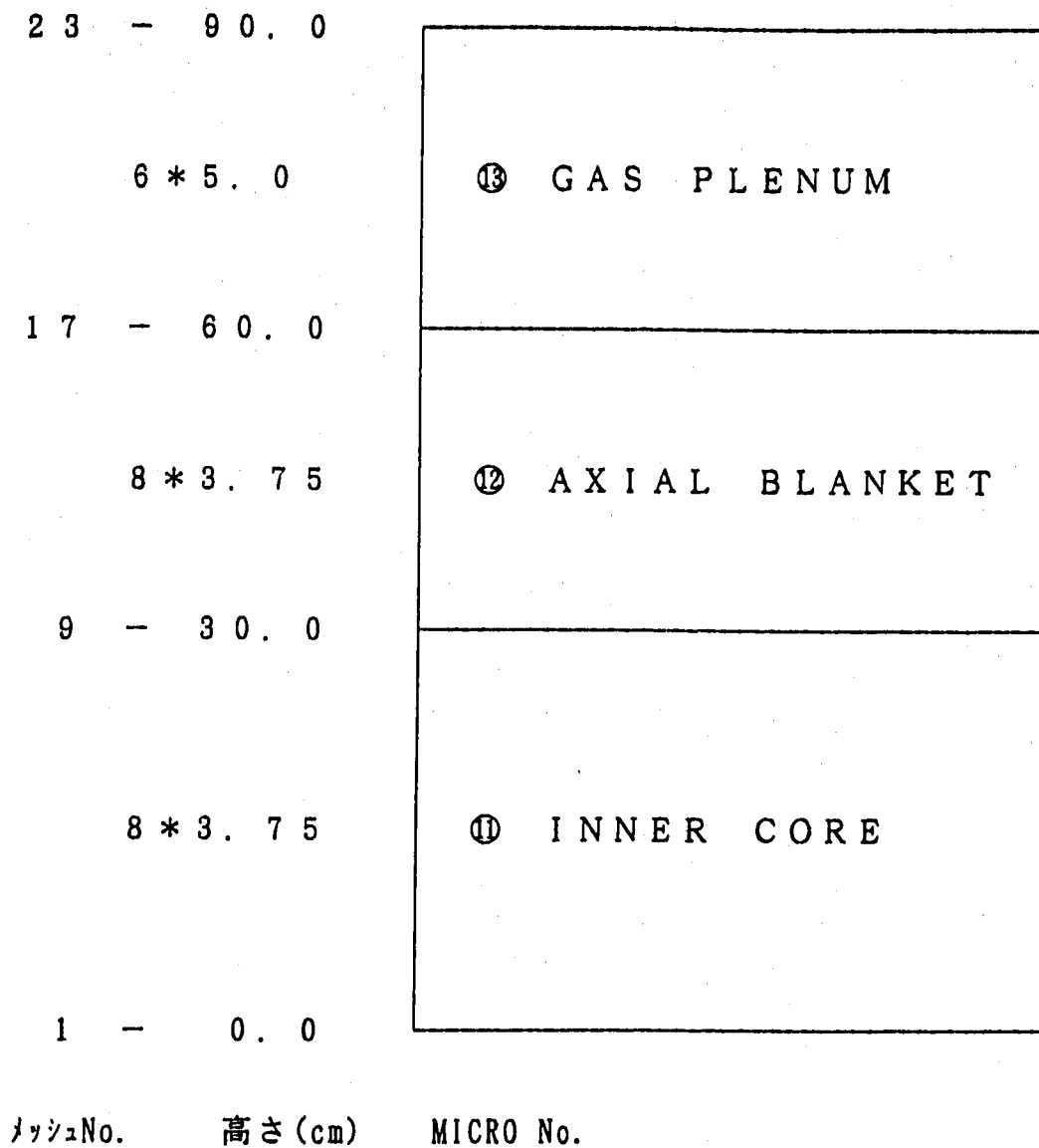


図 2.4.2-2 軸方向マイクロ断面積計算体系 (窒化物燃料炉心)

内側炉心 : 1 ~ 9 軸方向ブランケット : 16 ~ 25 軸方向遮蔽体 : 34 ~ 37
 外側炉心 : 10 ~ 15 径方向ブランケット : 26 ~ 30 径方向遮蔽体 : 38
 C/R : 31 ~ 33 (単位 : cm)

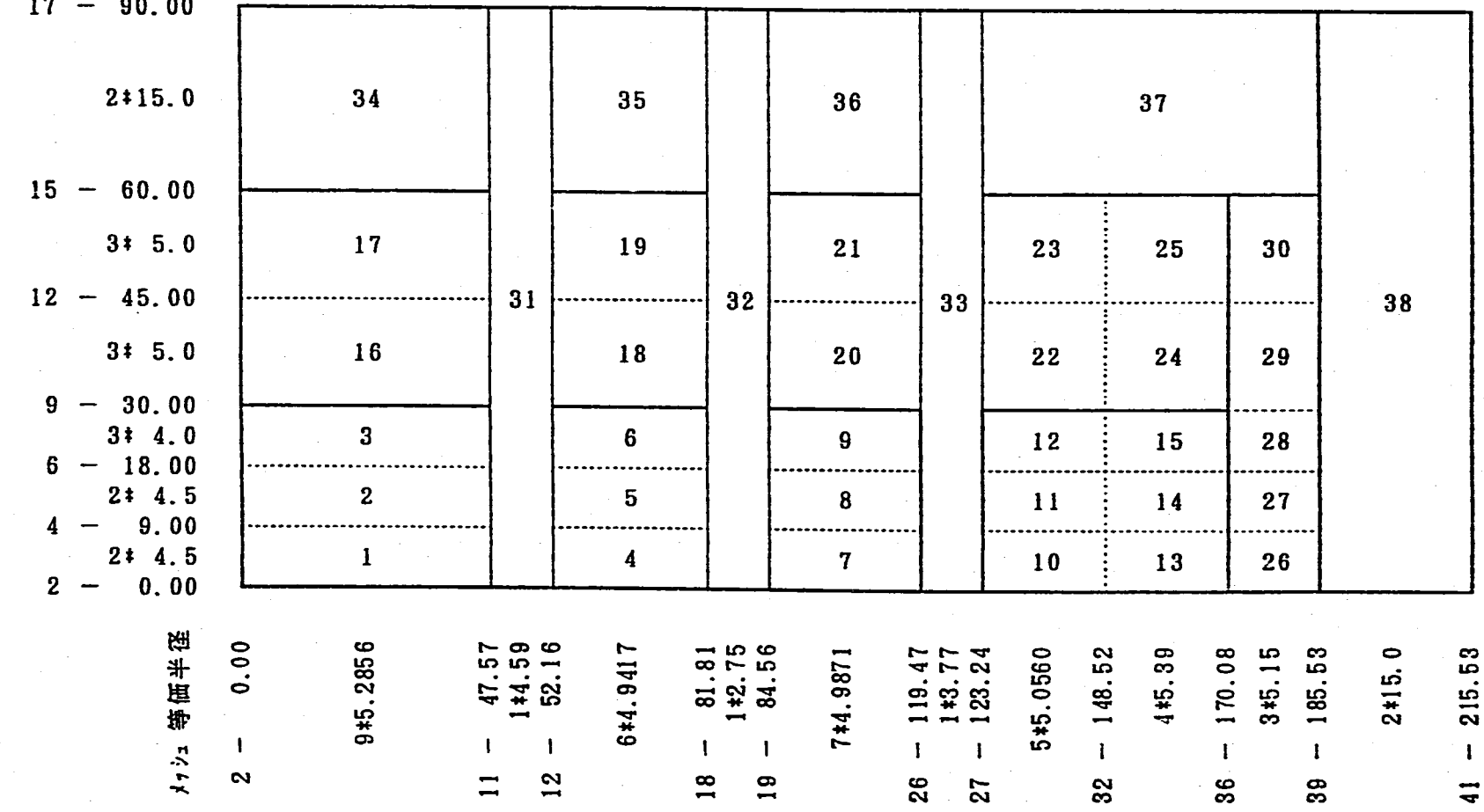


図 2.4.2 - 3 2次元 R Z · 1 / 2 炉心計算体系 (窒化物燃料炉心)

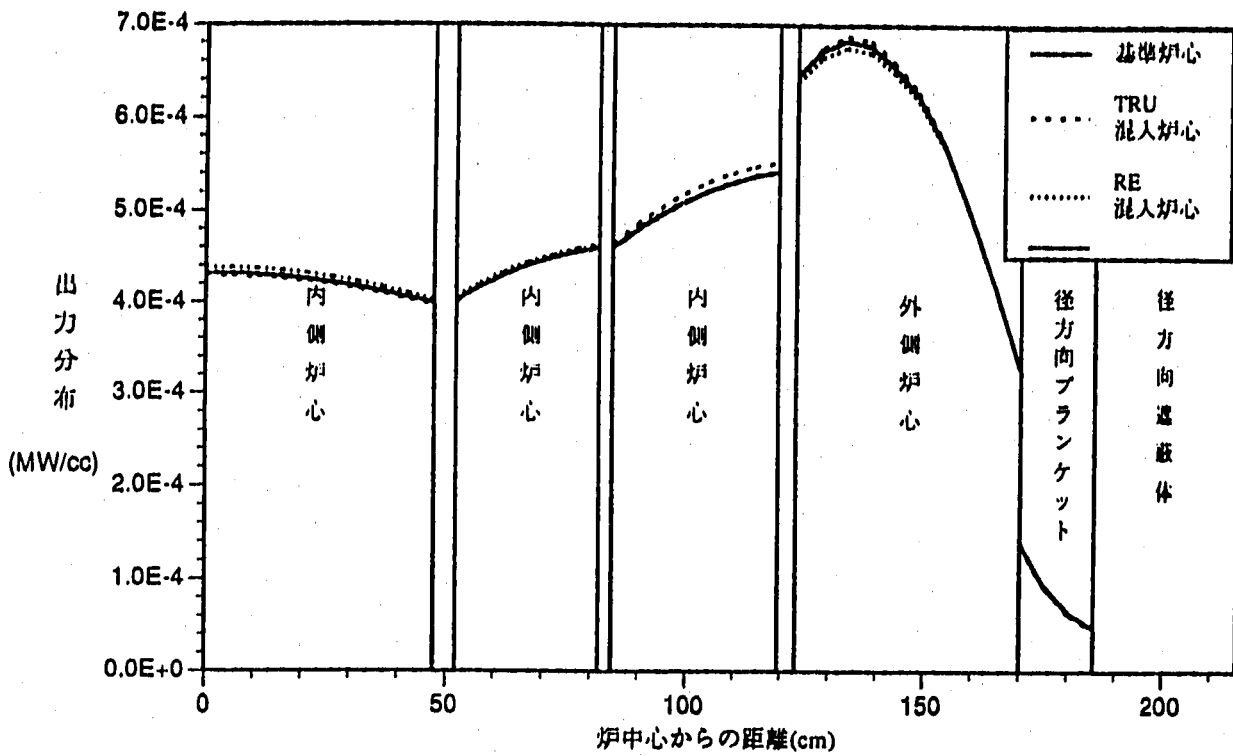


図2.4.2-4 窒化物燃料炉心の径方向出力分布の比較 (BOEC)

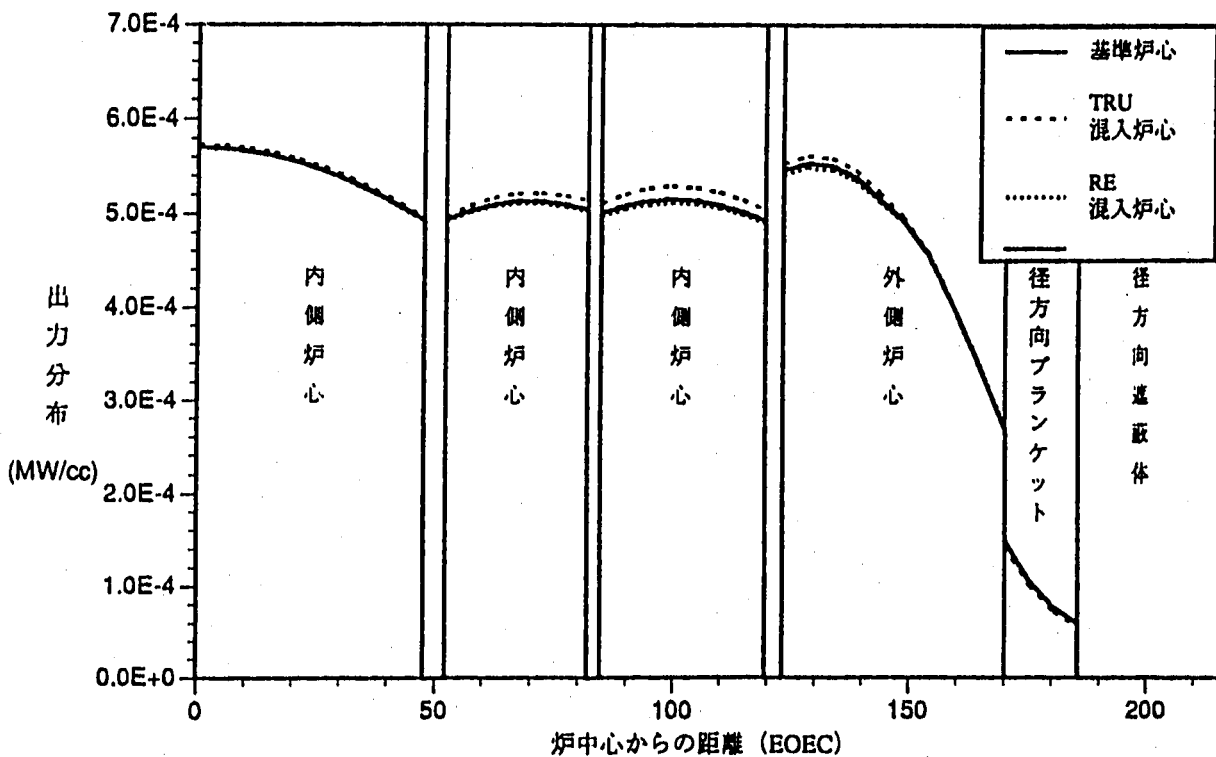


図2.4.2-5 窒化物燃料炉心の径方向出力分布の比較 (EOEC)

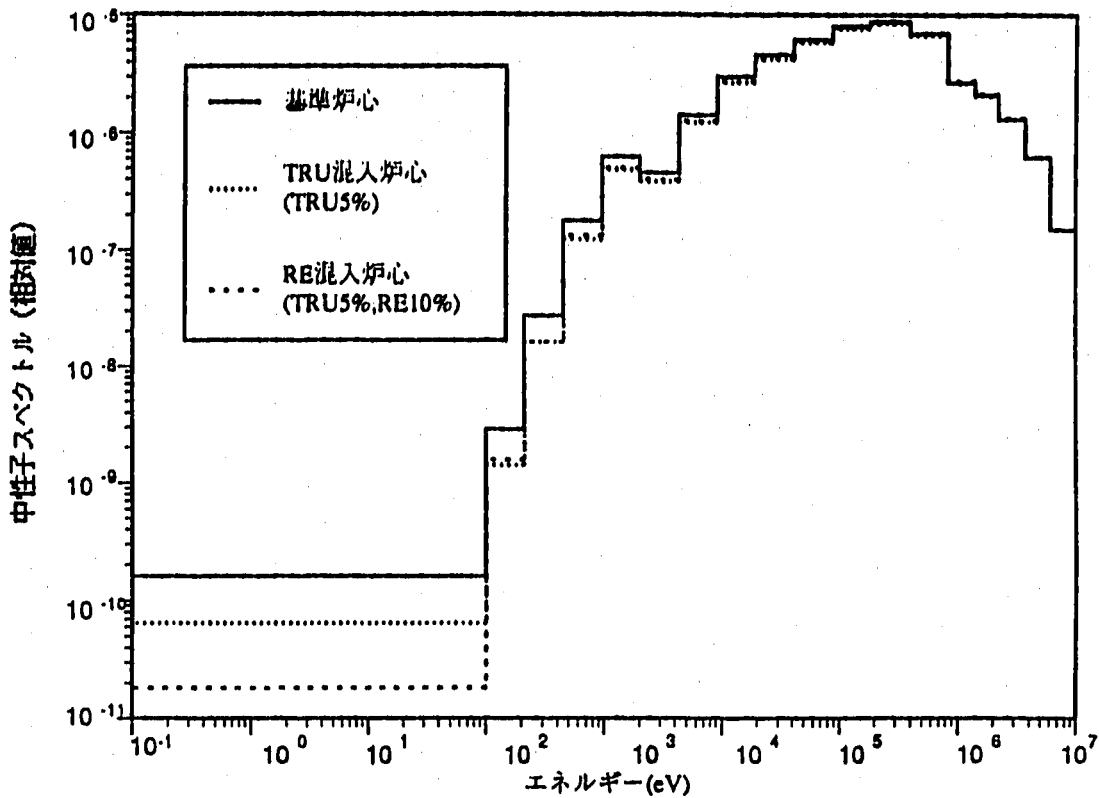


図2.4.2-6 炉中心での中性子スペクトルの比較(窒化物燃料炉心)

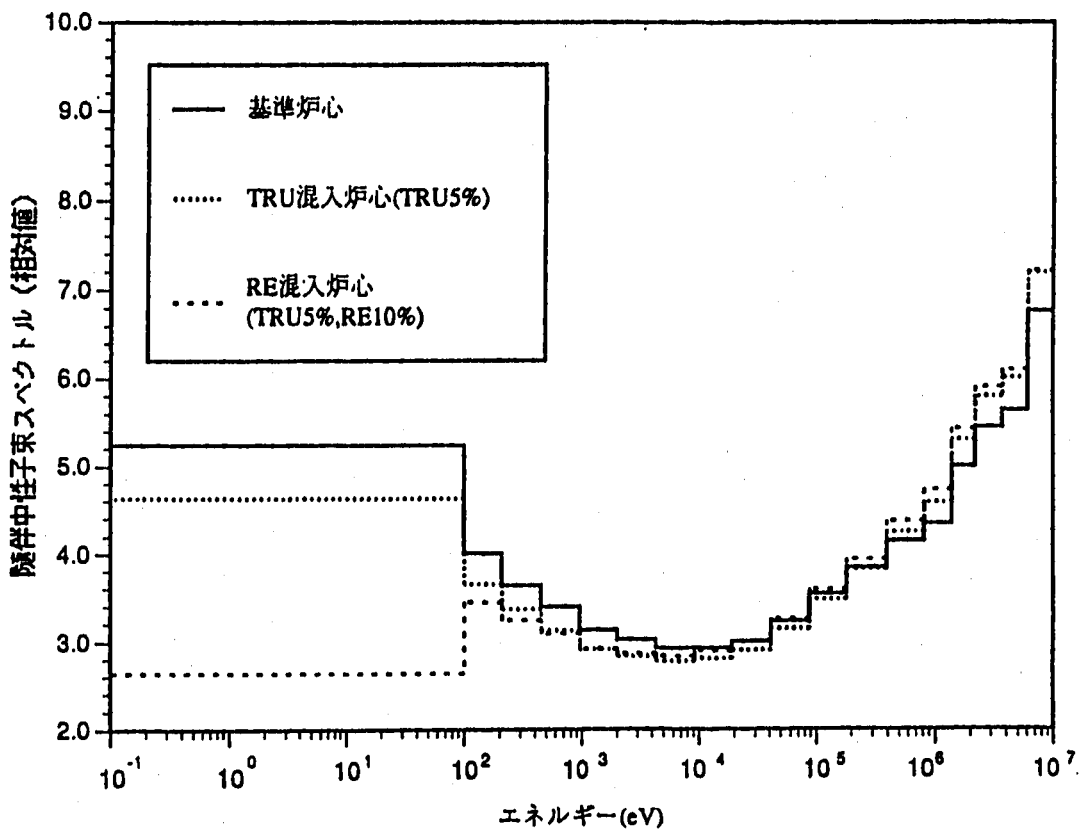


図2.4.2-7 炉中心での随伴中性子スペクトルの比較(窒化物燃料炉心)

2.5 希土類元素混入の炉心特性への影響のまとめ

TRUの一部の核種(Am、Cm)はREとほぼ同じ挙動を示すため、使用済み燃料からTRUを分離する場合は、REも同時に抽出される。このため、高速炉によるTRU消滅処理検討の一環として、炉心パラメータサーベイによりRE混入の炉心特性への影響を評価した。

今回の解析結果をまとめると以下のようなになる。

2.5.1 酸化物燃料炉心

- (1) RE混入率の増加に伴い燃焼欠損反応度は増大してゆく。TRU5%混入時にRE混入割合が7.4%を越えると、燃焼欠損反応度は $3.3\% \Delta k/k'$ 以上となる。
- (2) 増殖比は、REの混入により内部転換比が悪くなるため低下する。TRU5%混入時にRE混入割合が約6%を越えると増殖比は1.0以下となる。
- (3) TRUサイクル消滅率は10%~11%程度(TRU5%混入時にRE混入率0~30%の範囲で)となり、RE混入によるTRUサイクル消滅率への影響は小さい。
- (4) ドブラー係数は、RE10%混入により約20%小さくなる。これはRE混入により、TRUのみ混入炉心より更に238Uが減少したことと、REの混入で共鳴領域での吸収効果が大きくなったためと考えられる。
- (5) RE混入炉心のNaボイド反応度は $2.86 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約7.7%)となり、TRUのみ混入炉心より約8%増大した。
- (6) 再処理及びTRUEXプロセスから得られる3種類の製品、①Puの低除染溶液(Pu,Np混合)、②U精製溶液(Uのみ)、③TRU溶液(Am,Cm,RE等の混合)を混合した組成を燃料として用いる場合、製造燃料のRE混入率を10%とした場合にはTRUの混入率は2%と低くなる。このため、燃焼欠損反応度 $3.3\% \Delta k/k'$ 以下を確保するためには、TRUだけを4%程度追加添加する必要がある。

以上をまとめると、酸化物炉心においては、炉心特性の観点からはTRUの含有率が約5%、REの含有率は約10%が上限になると考えられる。

2.5.2 窒化物炉心の特性解析

- (1) RE混入炉心の燃焼欠損反応度は $1.42\% \Delta k/k'$ であり、REが10%混入しても、TRUが5%混入していることにより、燃焼欠損反応度はTRUなし100万kWe窒化物炉心並に収まっている。
- (2) RE混入炉心の増殖比は1.34となり、TRUのみ混入炉心より約0.07減少した。これはRE混入によりPu富化度を高くした事によって、TRU混入炉心に比べ内部転換比が悪化したためである。

- (3) TRUサイクル消滅率はTRU混入炉心、RE混入炉心とも、約18%であり、RE混入によるTRU消滅特性への影響は非常に小さい。
- 4) RE混入炉心のドップラー係数は $-2.47 \times 10^{-3} Tdk/dT$ となり、TRU混入炉心より10%程度小さくなった。これは、REの混入により、TRUのみ混入炉心より ^{238}U が減少したことと、REの混入で共鳴領域での吸収効果が大きくなったためと考えられる。
- 5) RE混入炉心のNaボイド反応度は、 $2.36 \times 10^{-2} \Delta k/kk'$ (約6.4%)と、TRUのみ混入炉心とほぼ同じとなり、RE混入によるNaボイド反応度への影響は小さい。

以上をまとめると、窒化物炉心においては、酸化物炉心よりREが多く入っても、炉心特性の観点からは成立する。TRUの含有率が約5%の場合、REの含有率は20%程度まで可能になると考えられる。

3. TRUリサイクルの炉心特性への影響解析

軽水炉から取り出されたTRUを1000MWeクラスのFBRに5%装荷し、その後FBRでリサイクルする場合について、炉心パラメータサーベイを行いTRUリサイクルの影響を検討した。また、Puもリサイクルを行うこととした。図3-1にFBRにおけるTRUリサイクルの概念を示す。

解析手順としては、先ず第一ステップで、一点近似燃焼計算コードORIGEN-2を用いてTRU(Puも含む)のリサイクルを8回行った場合(リサイクル開始後の通算日数:30年間に相当)の計算を行い、リサイクルTRUの組成の変化およびTRU発熱量及び中性子発生量を評価した。

次に、リサイクルの結果得られたTRUおよびPuの組成比を用いて、2次元RZ体系での炉心特性解析を行い消滅特性等の評価を行った。また特性解析を行う時期は初期、15年目、30年目の3ケースとし主要炉心特性の他、反応度係数(Naボイド反応度、ドブラー係数)、制御棒価値等の評価を行った。

3.1 TRUリサイクルの影響解析

一点近似燃焼計算コードORIGEN-2を用いてTRU(Puも含む)のリサイクルを8回行った場合(リサイクル開始後の通算日数:30年間に相当)の計算を行い、リサイクルTRUの組成の変化およびTRU発熱量及び中性子発生量を求め、TRUリサイクルの影響を検討した。

3.1.1 解析条件

ORIGEN-2での計算条件を以下に示す。

(1) 解析ケース

リサイクルTRUとして($N_p + A_m + C_m$)のケースAと、 C_m を除去した($N_p + A_m$)のケースBの2種類について、8リサイクルSTEPの解析を行った。

(2) 解析項目

- ① TRU組成の変化
- ② TRU発熱量及び中性子発生量

(3) 燃料組成

① 第1回目装荷TRU燃料組成

これは、表3.1.1-1に示したLWRの標準的なドライバー燃料を3年燃焼させ、その後5年間冷却した場合のTRU組成である。これをFBR燃料に5%混入して用いた。表3.1.1-2にTRU組成を示す。

② FBRリサイクルに於けるTRU燃料組成

表3.1.1-1に示した代表的なMOX-FBR炉心で45ヵ月間(15ヵ月×3バッチ

分)燃焼させ、取り出したTRUを5年間冷却したものを、次のリサイクルSTEPで、FBR燃料に5%混入して用いた。

③ Pu燃料組成

第1回目装荷Pu燃料組成は①と同様LWR取出のPu燃料組成比を用いた。また、FBRリサイクルに於けるPu燃料組成は、②と同様リサイクルSTEPで得られたPu組成比を使用した。

④ Pu富化度

Pu富化度は、2章のTRU5%混入時の内側炉心、外側炉心の平均富化度(18.4%)を各リサイクルSTEPで用いた。

(4) 燃焼ステップ

① 燃焼

各リサイクルSTEPでの燃焼は45カ月間行い、15カ月、30カ月、45カ月の各時点で出力した。

45カ月間における燃焼ステップは以下のようにした。

0, 150, 300, 365, 456(15カ月), 600, 730, 913(30カ月), 1050, 1200, 1369(45カ月)(日)

② 冷却

冷却は45カ月燃焼後、5年間行うものとした。計算は、冷却期間10年まで実施した。

(5) 断面積ライブラリ

ORIGEN-2のFBRに相当する「Puリサイクル」のライブラリを使用した。
(LMFBR:Advanced oxide,100GWD/MT,RECYCLE-Pu/U/U/U)

3.1.2 解析結果及び考察

(1) TRUおよびPuの組成変化

ケースA($N_p + A_m + C_m$)及びケースB($N_p + A_m$)の、リサイクルSTEP1、2、4、8での、ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化を表3.1.2-1~表3.1.2-8に示す。また、ケースAのドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化を図3.1.2-1~図3.1.2-3に示す。 N_p の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-4に、 A_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-5に、 C_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-6に示す。

ケースBのドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化を図3.1.2-7~図3.1.2-9に示す。 N_p の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-10に、 A_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-11に、 C_m の燃焼・冷却に伴う組成変化(1,4,8リサイクルSTEP)を図3.1.2-12に

示す。

ケースAの、リサイクルによるPuの組成の変化を図3.1.2-13の(1/2)と(2/2)に、絶対量(g)と組成比(%)で示した。同図より、核分裂性Puの割合はリサイクルにより殆ど変化しないといえる。TRU(Np,Am,Cm)の組成変化を図3.1.2-14に絶対量(g)と組成比(%)で示した。同様にケースBの結果を図3.1.2-15、図3.1.2-16に示した。

(2) 発熱量

① ケースA(Np+Am+Cm)の発熱量

ケースA(Np+Am+Cm)のリサイクルSTEP1、4、8の装荷時、取出時及び取出後冷却5年目の発熱量は以下の通りとなった。

リサイクルSTEP	装荷時	取出時	取出後冷却5年目
1	11.9(1.0)	344.6(1.0)	16.8(1.0)
4	30.0(2.5)	333.9(0.97)	25.2(1.5)
8	35.9(3.0)	321.1(0.93)	27.3(1.6)

(単位: W/kg)

また、リサイクルSTEP1の装荷時の炉心燃料集合体1体当たりの発熱量は1.2kwとなった。

② ケースB(Np+Am)の発熱量

ケースB(Np+Am)のCmを除去した場合のリサイクルSTEP1、4、8の装荷時、取出時および取出後冷却5年目の発熱量は以下の通りとなった。

リサイクルSTEP	装荷時	取出時	取出後冷却5年目
1	4.8(1.0)	347.1(1.0)	14.1(1.0)
4	11.3(2.4)	346.2(1.0)	19.5(1.4)
8	9.6(2.0)	342.4(0.99)	21.4(1.5)

(単位: W/kg)

また、リサイクルSTEP1の装荷時の炉心燃料集合体1体当たりの発熱量は、0.5kwとなった。ケースBの装荷時の発熱量は、ケースAに比べCmを除去している分、発熱量は小さくなっている。

③ 原子炉停止後の崩壊熱

原子炉停止後の崩壊熱を、表3.1.2-9～表3.1.2-12(ケースAのリサイクルSTEP1、2、4、8)と表3.1.2-9～表3.1.2-12(ケースB)に示す。また、リサイクルSTEP1、4、8での、原子炉停止後の崩壊熱の時間変化を、ケースAとケースBで比較し図3.1.2-17に示す。

ケースA、Bとも、リサイクルSTEP4での崩壊熱は、リサイクルSTEP1に比べ約1.5倍にまで増加するがその後増加率は減少する。また、ケースBでは、Cmを除去してリサイクルを行っているため、ケースAに比べ崩壊熱が約20%小さくなっている。各リサイクルSTEP毎の崩壊熱を表3.1.2-17に示す。

(3) 中性子発生量

① ケースA(Np+Am+Cm)の中性子発生量

ケースA(Np+Am+Cm)のリサイクルSTEP1、4、8の装荷時、取出時及び取出後冷却5年目の中性子発生数は以下の通りとなった。

リサイクルSTEP	装荷時	取出時	取出後冷却5年目
1	$2.8 \times 10^7(1.0)$	$5.6 \times 10^7(1.0)$	$3.2 \times 10^7(1.0)$
4	$8.2 \times 10^7(2.9)$	$9.8 \times 10^7(1.8)$	$6.9 \times 10^7(2.2)$
8	$14.0 \times 10^7(5.0)$	$14.3 \times 10^7(2.6)$	$11.1 \times 10^7(3.5)$

(単位：n/s/kg)

また、リサイクルSTEP1の装荷時の炉心燃料集合体1体当たりの中性子発生数は 2.8×10^9 となった。

② ケースB(Np+Am)の中性子発生量

ケースB(Np+Am)のCmを除去した場合のリサイクルSTEP1、4、8の装荷時、取出時および取出後冷却5年目の中性子発生数は以下の通りとなった。

また、リサイクルSTEP1の装荷時の炉心燃料集合体1体当たりの中性子発生数は 2.1×10^7 となった。ケースBの装荷時の中性子発生数は、ケースAに比べCmを除去している分、2桁以上中性子発生数は減少している。

リサイクル STEP	装荷時	取出時	取出後 冷却5年目
1	$2.1 \times 10^5(1.0)$	$4.9 \times 10^7(1.0)$	$2.0 \times 10^7(1.0)$
4	$4.2 \times 10^5(2.0)$	$6.1 \times 10^7(1.4)$	$3.6 \times 10^7(1.8)$
8	$3.7 \times 10^5(1.8)$	$7.8 \times 10^7(1.8)$	$5.0 \times 10^7(2.5)$

(単位 : n/s/kg)

③ 原子炉停止後の中性子発生数

原子炉停止後の中性子発生数の時間変化を表3.1.2-18~表3.1.2-21(ケースAのリサイクルSTEP1、2、4、8)と表3.1.2-22~表3.1.2-25(ケースB)に示す。また、リサイクルSTEP1、4、8での、原子炉停止後の中性子発生数の時間変化を、ケースAとケースBで比較し図3.1.2-18に示す。ケースA,BともリサイクルSTEPを重ねる毎に中性子発生数が増大し、リサイクルSTEP8では、リサイクルSTEP1に比べ約2.5倍~3.5倍になる。また、ケースBでは、Cmを除去してリサイクルを行っている為、ケースAに比べ中性子発生数が約1/2になっている。各リサイクルSTEP毎の原子炉停止後の中性子発生数(FBR取出後、冷却5年目)を表3.1.2-26に示す。

表 3.1.1 - 1 ORIGEN-2 の計算条件

	LWR	MOX-FBR
比出力 (MW/t)	30.1	73.0
燃焼度 (MWd/t)	3.3万	10万
燃焼日数	36カ月 (3年) (12カ月3バッチ相当)	45カ月 (3.75年) (15カ月3バッチ相当)
冷却期間	5年	5年
燃料組成	U濃縮度: 3.2 wt% U 235 3.2 % U 238 96.8 %	Pu富化度 18.4 wt% U 235 0.3 % U 238 99.7 % <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> Pu 238 2.4 Pu 239 51.1 % Pu 240 26.9 % Pu 241 12.0 % Pu 242 7.6 % </div>
TRU混入率	—	5%

表 3.1.1 - 2 LWR取出：TRU, Pu組成 (3年燃焼、5年冷却)

核 種	相対値 (g)	割合 (wt%)
Np - 237	6. 032 - 01	49. 115
Am 241	3. 681 - 01	29. 972
Am 242m	9. 375 - 04	0. 076
Am 243	1. 903 - 01	15. 495
Cm 242	1. 076 - 05	0. 001
Cm 243	6. 208 - 04	0. 051
Cm 244	6. 125 - 02	4. 987
Cm 245	3. 169 - 03	0. 258
Cm 246	5. 494 - 04	0. 045
TRU合計	1. 228	100
Pu 238	2. 429 - 01	2. 43
Pu 239	5. 106 + 00	51. 07
Pu 240	2. 686 + 00	26. 87
Pu 241	1. 203 + 00	12. 03
Pu 242	7. 600 - 01	7. 60
Pu 合計	9. 9979	100

表 3. 1. 2 - 1 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP1〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M	
HE	0.0	2.052E-02	5.051E-02	7.908E-02
U	7.752E+02	7.454E+02	7.162E+02	6.876E+02
NP	2.456E+01	2.024E+01	1.650E+01	1.342E+01
PU	1.748E+02	1.757E+02	1.763E+02	1.756E+02
AM	2.277E+01	2.073E+01	1.870E+01	1.681E+01
CM	2.671E+00	4.003E+00	4.476E+00	4.757E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
HE	7.908E-02	9.221E-02	1.026E-01	1.104E-01	1.179E-01	1.286E-01
U	6.876E+02	6.877E+02	6.879E+02	6.881E+02	6.883E+02	6.886E+02
NP	1.342E+01	1.324E+01	1.328E+01	1.331E+01	1.335E+01	1.341E+01
PU	1.756E+02	1.759E+02	1.751E+02	1.742E+02	1.734E+02	1.724E+02
AM	1.681E+01	1.731E+01	1.825E+01	1.909E+01	1.985E+01	2.084E+01
CM	4.757E+00	4.085E+00	3.704E+00	3.475E+00	3.267E+00	2.985E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 2 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP2)

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M	
HE	0.0	2.428E-02	5.724E-02	8.731E-02
U	7.752E+02	7.447E+02	7.151E+02	6.865E+02
NP	1.855E+01	1.530E+01	1.249E+01	1.020E+01
PU	1.748E+02	1.769E+02	1.779E+02	1.773E+02
AM	2.661E+01	2.313E+01	2.018E+01	1.769E+01
CM	4.839E+00	6.103E+00	6.398E+00	6.500E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
HE	8.731E-02	1.013E-01	1.136E-01	1.232E-01	1.324E-01	1.455E-01
U	6.865E+02	6.866E+02	6.869E+02	6.871E+02	6.873E+02	6.877E+02
NP	1.020E+01	1.003E+01	1.006E+01	1.009E+01	1.012E+01	1.018E+01
PU	1.773E+02	1.777E+02	1.773E+02	1.767E+02	1.762E+02	1.755E+02
AM	1.769E+01	1.804E+01	1.867E+01	1.924E+01	1.976E+01	2.043E+01
CM	6.500E+00	5.793E+00	5.331E+00	5.025E+00	4.747E+00	4.367E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 3 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP4〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	2.455E-02	5.631E-02	8.518E-02
U	7.752E+02	7.448E+02	7.153E+02	6.868E+02
NP	1.175E+01	9.830E+00	8.098E+00	6.688E+00
PU	1.748E+02	1.765E+02	1.771E+02	1.762E+02
AM	2.844E+01	2.442E+01	2.110E+01	1.835E+01
CM	9.807E+00	1.058E+01	1.049E+01	1.023E+01
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	8.518E-02	9.932E-02	1.136E-01	1.254E-01	1.365E-01	1.521E-01
U	6.868E+02	6.869E+02	6.871E+02	6.873E+02	6.875E+02	6.879E+02
NP	6.688E+00	6.518E+00	6.545E+00	6.574E+00	6.604E+00	6.652E+00
PU	1.762E+02	1.767E+02	1.764E+02	1.761E+02	1.758E+02	1.754E+02
AM	1.835E+01	1.866E+01	1.924E+01	1.976E+01	2.023E+01	2.085E+01
CM	1.023E+01	9.500E+00	8.890E+00	8.432E+00	8.012E+00	7.439E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 4 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP8〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	2.319E-02	5.223E-02	7.881E-02
U	7.752E+02	7.449E+02	7.156E+02	6.870E+02
NP	5.218E+00	4.564E+00	3.867E+00	3.297E+00
PU	1.748E+02	1.758E+02	1.759E+02	1.747E+02
AM	2.734E+01	2.354E+01	2.038E+01	1.774E+01
CM	1.744E+01	1.727E+01	1.646E+01	1.557E+01
SUMTOT	1.000E+03	9.662E+02	9.322E+02	8.984E+02
TOTAL	1.000E+03	9.662E+02	9.322E+02	8.984E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.662E+02	9.322E+02	8.984E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.662E+02	9.322E+02	8.984E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	7.881E-02	9.240E-02	1.074E-01	1.201E-01	1.320E-01	1.486E-01
U	6.870E+02	6.870E+02	6.872E+02	6.873E+02	6.875E+02	6.877E+02
NP	3.297E+00	3.128E+00	3.152E+00	3.178E+00	3.205E+00	3.249E+00
PU	1.747E+02	1.752E+02	1.751E+02	1.749E+02	1.748E+02	1.745E+02
AM	1.774E+01	1.809E+01	1.873E+01	1.931E+01	1.983E+01	2.051E+01
CM	1.557E+01	1.483E+01	1.410E+01	1.352E+01	1.298E+01	1.225E+01
SUMTOT	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02
TOTAL	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02
AP+ACT+FP	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02	8.984E+02

表 3. 1. 2 - 5 ドライバー 燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (ケース B (Np+Am) 9419#STBP1)

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS
ONE KG OF FUEL

	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	1.075E-02	4.977E-02	7.848E-02
U	7.752E+02	7.453E+02	7.160E+02	6.874E+02
NP	2.594E+01	2.138E+01	1.739E+01	1.413E+01
PU	1.748E+02	1.759E+02	1.766E+02	1.760E+02
AM	2.406E+01	2.179E+01	1.957E+01	1.752E+01
CM	0.0	1.729E+00	2.533E+00	3.111E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS
ONE KG OF FUEL

	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	7.848E-02	9.133E-02	1.005E-01	1.071E-01	1.135E-01	1.227E-01
U	6.874E+02	6.875E+02	6.877E+02	6.879E+02	6.881E+02	6.884E+02
NP	1.413E+01	1.395E+01	1.399E+01	1.402E+01	1.406E+01	1.413E+01
PU	1.760E+02	1.762E+02	1.754E+02	1.744E+02	1.735E+02	1.723E+02
AM	1.752E+01	1.802E+01	1.895E+01	1.979E+01	2.055E+01	2.154E+01
CM	3.111E+00	2.462E+00	2.165E+00	2.019E+00	1.890E+00	1.713E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 6 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP2〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	2.355E-02	5.714E-02	8.790E-02
U	7.752E+02	7.445E+02	7.148E+02	6.861E+02
NP	2.074E+01	1.704E+01	1.387E+01	1.130E+01
PU	1.748E+02	1.772E+02	1.784E+02	1.779E+02
AM	2.926E+01	2.529E+01	2.193E+01	1.913E+01
CM	0.0	2.120E+00	3.082E+00	3.751E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	8.790E-02	1.017E-01	1.123E-01	1.203E-01	1.279E-01	1.389E-01
U	6.861E+02	6.862E+02	6.865E+02	6.867E+02	6.870E+02	6.874E+02
NP	1.130E+01	1.113E+01	1.116E+01	1.119E+01	1.123E+01	1.129E+01
PU	1.779E+02	1.783E+02	1.777E+02	1.770E+02	1.764E+02	1.755E+02
AM	1.913E+01	1.946E+01	2.009E+01	2.065E+01	2.116E+01	2.182E+01
CM	3.751E+00	3.068E+00	2.729E+00	2.547E+00	2.384E+00	2.163E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 7 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP4〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	2.371E-02	5.719E-02	8.782E-02
U	7.752E+02	7.443E+02	7.146E+02	6.859E+02
NP	1.517E+01	1.255E+01	1.027E+01	8.415E+00
PU	1.748E+02	1.769E+02	1.778E+02	1.770E+02
AM	3.483E+01	2.964E+01	2.537E+01	2.184E+01
CM	0.0	2.686E+00	4.060E+00	5.007E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.321E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	8.782E-02	1.019E-01	1.137E-01	1.228E-01	1.315E-01	1.439E-01
U	6.859E+02	6.861E+02	6.863E+02	6.866E+02	6.868E+02	6.872E+02
NP	8.415E+00	8.244E+00	8.275E+00	8.308E+00	8.342E+00	8.397E+00
PU	1.770E+02	1.774E+02	1.770E+02	1.764E+02	1.759E+02	1.752E+02
AM	2.184E+01	2.214E+01	2.270E+01	2.320E+01	2.365E+01	2.423E+01
CM	5.007E+00	4.305E+00	3.891E+00	3.635E+00	3.403E+00	3.087E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 8 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化〔ケース B (Np+Am)リサイクルSTBP8〕

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL				
	CHARGE	BURN 15M	BURN 30M	BURN 45M
HE	0.0	2.215E-02	5.390E-02	8.362E-02
U	7.752E+02	7.442E+02	7.143E+02	6.854E+02
NP	8.871E+00	7.488E+00	6.198E+00	5.154E+00
PU	1.748E+02	1.760E+02	1.763E+02	1.753E+02
AM	4.113E+01	3.496E+01	2.985E+01	2.561E+01
CM	0.0	3.447E+00	5.423E+00	6.788E+00
SUMTOT	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
TOTAL	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS				
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	1.000E+03	9.661E+02	9.322E+02	8.983E+02

5 SUMMARY TABLE: CONCENTRATIONS, GRAMS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
HE	8.362E-02	9.766E-02	1.103E-01	1.203E-01	1.297E-01	1.431E-01
U	6.854E+02	6.855E+02	6.857E+02	6.858E+02	6.861E+02	6.864E+02
NP	5.154E+00	4.985E+00	5.014E+00	5.045E+00	5.078E+00	5.131E+00
PU	1.753E+02	1.757E+02	1.754E+02	1.750E+02	1.746E+02	1.741E+02
AM	2.561E+01	2.593E+01	2.653E+01	2.706E+01	2.754E+01	2.817E+01
CM	6.788E+00	6.061E+00	5.541E+00	5.179E+00	4.849E+00	4.400E+00
SUMTOT	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
TOTAL	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02
AP+ACT+FP	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02	8.983E+02

表 3. 1. 2 - 9 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 (ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP1)

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL- 10Y	
U	1.128E+02	3.631E-04	5.016E-04	5.940E-04	6.580E-04	7.234E-04	
NP	1.204E+02	3.755E-03	3.754E-03	3.753E-03	3.752E-03	3.751E-03	
PU	8.772E+00	7.366E+00	7.335E+00	7.231E+00	7.126E+00	6.972E+00	
AM	8.722E+00	1.175E+00	1.283E+00	1.379E+00	1.466E+00	1.581E+00	
CM	9.397E+01	2.733E+01	9.536E+00	8.136E+00	7.517E+00	6.718E+00	
SUMTOT	3.446E+02	3.587E+01	1.816E+01	1.675E+01	1.611E+01	1.528E+01	
TOTAL	3.446E+02	3.588E+01	1.816E+01	1.675E+01	1.612E+01	1.528E+01	
CUMULATIVE TABLE TOTALS							
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ACT+FP	3.446E+02	3.588E+01	1.816E+01	1.675E+01	1.612E+01	1.528E+01	
AP+ACT+FP	3.446E+02	3.588E+01	1.816E+01	1.675E+01	1.612E+01	1.528E+01	

表 3. 1. 2 - 1 0 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 [ケース A (Np+Am+ Cm) リサイクルSTEP2]

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
U	1.128E+02	3.149E-04	4.384E-04	5.219E-04	5.852E-04	6.559E-04	
NP	1.157E+02	4.224E-03	4.223E-03	4.221E-03	4.220E-03	4.218E-03	
PU	9.887E+00	8.629E+00	8.579E+00	8.458E+00	8.337E+00	8.158E+00	
AM	9.302E+00	1.131E+00	1.204E+00	1.270E+00	1.329E+00	1.407E+00	
CM	9.601E+01	3.027E+01	1.251E+01	1.091E+01	1.009E+01	9.017E+00	
SUMTOT	3.437E+02	4.004E+01	2.230E+01	2.064E+01	1.976E+01	1.859E+01	
TOTAL	3.437E+02	4.004E+01	2.230E+01	2.064E+01	1.976E+01	1.859E+01	
CUMULATIVE TABLE TOTALS							
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ACT+FP	3.437E+02	4.004E+01	2.230E+01	2.064E+01	1.976E+01	1.859E+01	
AP+ACT+FP	3.437E+02	4.004E+01	2.230E+01	2.064E+01	1.976E+01	1.859E+01	

表 3. 1. 2 - 1 1 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 [ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP4]

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
U	1.125E+02	2.418E-04	3.302E-04	3.951E-04	4.455E-04	5.050E-04
NP	1.103E+02	4.990E-03	4.988E-03	4.986E-03	4.985E-03	4.982E-03
PU	8.854E+00	7.876E+00	7.831E+00	7.723E+00	7.615E+00	7.455E+00
AM	9.967E+00	1.014E+00	1.081E+00	1.142E+00	1.196E+00	1.267E+00
CM	9.235E+01	3.444E+01	1.829E+01	1.635E+01	1.513E+01	1.352E+01
SUMTOT	3.339E+02	4.333E+01	2.721E+01	2.522E+01	2.395E+01	2.224E+01
TOTAL	3.339E+02	4.333E+01	2.721E+01	2.522E+01	2.395E+01	2.225E+01
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	3.339E+02	4.333E+01	2.721E+01	2.522E+01	2.395E+01	2.225E+01
AP+ACT+FP	3.339E+02	4.333E+01	2.721E+01	2.522E+01	2.395E+01	2.225E+01

表 3.1.2 - 1 2 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 (ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTBP8)

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
U	1.125E+02	1.514E-04	1.084E-04	2.344E-04	2.635E-04	2.996E-04
NP	1.053E+02	5.188E-03	5.186E-03	5.185E-03	5.183E-03	5.181E-03
PU	6.197E+00	5.460E+00	5.445E+00	5.378E+00	5.305E+00	5.201E+00
AM	9.893E+00	8.936E-01	9.677E-01	1.034E+00	1.095E+00	1.174E+00
CM	8.716E+01	3.742E+01	2.305E+01	2.085E+01	1.930E+01	1.723E+01
SUMTOT	3.211E+02	4.378E+01	2.947E+01	2.726E+01	2.571E+01	2.361E+01
TOTAL	3.211E+02	4.378E+01	2.947E+01	2.726E+01	2.571E+01	2.361E+01
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	3.211E+02	4.378E+01	2.947E+01	2.726E+01	2.571E+01	2.361E+01
AP+ACT+FP	3.211E+02	4.378E+01	2.947E+01	2.726E+01	2.571E+01	2.361E+01

表 3. 1. 2 - 1 3 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 [ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP1]

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
U	1.129E+02	3.792E-04	5.253E-04	6.228E-04	6.902E-04	7.591E-04
NP	1.218E+02	3.911E-03	3.910E-03	3.909E-03	3.908E-03	3.906E-03
PU	9.071E+00	7.870E+00	7.636E+00	7.527E+00	7.417E+00	7.256E+00
AM	9.099E+00	1.224E+00	1.330E+00	1.427E+00	1.513E+00	1.628E+00
CM	9.435E+01	2.470E+01	6.357E+00	5.158E+00	4.757E+00	4.258E+00
SUMTOT	3.471E+02	3.360E+01	1.533E+01	1.412E+01	1.369E+01	1.315E+01
TOTAL	3.471E+02	3.360E+01	1.533E+01	1.412E+01	1.370E+01	1.315E+01
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	3.471E+02	3.360E+01	1.533E+01	1.412E+01	1.370E+01	1.315E+01
AP+ACT+FP	3.471E+02	3.360E+01	1.533E+01	1.412E+01	1.370E+01	1.315E+01

表 3. 1. 2 - 1 4 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 (ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP2)

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
U	1.130E+02	3.427E-04	4.772E-04	5.718E-04	6.411E-04	7.184E-04	
NP	1.176E+02	4.568E-03	4.567E-03	4.565E-03	4.564E-03	4.561E-03	
PU	1.052E+01	9.271E+00	9.217E+00	9.086E+00	8.954E+00	8.760E+00	
AM	1.008E+01	1.219E+00	1.291E+00	1.358E+00	1.415E+00	1.492E+00	
CM	9.795E+01	2.867E+01	7.810E+00	6.491E+00	5.994E+00	5.366E+00	
SUMTOT	3.492E+02	3.717E+01	1.832E+01	1.694E+01	1.637E+01	1.562E+01	
TOTAL	3.492E+02	3.717E+01	1.832E+01	1.694E+01	1.637E+01	1.562E+01	
CUMULATIVE TABLE TOTALS							
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ACT+FP	3.492E+02	3.717E+01	1.832E+01	1.694E+01	1.637E+01	1.562E+01	
AP+ACT+FP	3.492E+02	3.717E+01	1.832E+01	1.694E+01	1.637E+01	1.562E+01	

表 3.1.2 - 15 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 (ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP4)

θ SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
U	1.131E+02	2.886E-04	3.991E-04	4.794E-04	5.410E-04	6.130E-04
NP	1.134E+02	6.006E-03	6.004E-03	6.002E-03	6.000E-03	5.997E-03
PU	1.013E+01	9.161E+00	9.107E+00	8.979E+00	8.850E+00	8.660E+00
AM	1.196E+01	1.187E+00	1.251E+00	1.309E+00	1.361E+00	1.430E+00
CM	9.755E+01	2.901E+01	1.066E+01	9.165E+00	8.474E+00	7.579E+00
SUMTOT	3.462E+02	3.937E+01	2.103E+01	1.946E+01	1.869E+01	1.767E+01
TOTAL	3.462E+02	3.937E+01	2.103E+01	1.946E+01	1.869E+01	1.768E+01
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT+FP	3.462E+02	3.937E+01	2.103E+01	1.946E+01	1.869E+01	1.768E+01
AP+ACT+FP	3.462E+02	3.937E+01	2.103E+01	1.946E+01	1.869E+01	1.768E+01

表 3. 1. 2 - 1 6 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化 [ケース B (Np+Am)リサイクルSTEP8]

9 SUMMARY TABLE: THERMAL POWER, WATTS						
ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
U	1. 137E+02	2. 070E-04	2. 803E-04	3. 353E-04	3. 789E-04	4. 319E-04
NP	1. 092E+02	8. 060E-03	8. 058E-03	8. 056E-03	8. 053E-03	8. 050E-03
PU	8. 056E+00	7. 306E+00	7. 278E+00	7. 180E+00	7. 080E+00	6. 933E+00
AM	1. 475E+01	1. 147E+00	1. 216E+00	1. 278E+00	1. 334E+00	1. 407E+00
CM	9. 671E+01	3. 225E+01	1. 467E+01	1. 292E+01	1. 195E+01	1. 068E+01
SUMTOT	3. 424E+02	4. 071E+01	2. 317E+01	2. 139E+01	2. 037E+01	1. 903E+01
TOTAL	3. 424E+02	4. 071E+01	2. 317E+01	2. 139E+01	2. 038E+01	1. 903E+01
CUMULATIVE TABLE TOTALS						
AP+FP	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0
ACT+FP	3. 424E+02	4. 071E+01	2. 317E+01	2. 139E+01	2. 038E+01	1. 903E+01
AP+ACT+FP	3. 424E+02	4. 071E+01	2. 317E+01	2. 139E+01	2. 038E+01	1. 903E+01

表 3.1.2 - 17 原子炉停止後の崩壊熱 (FBR取出後、冷却5年目)

(単位: W/kg)

リサイクルSTEP	リサイクルTRU	
	ケースA (NP+Am+Cm)	ケースB (NP+Am)
1	16.8	14.1
2	20.6	16.9
3 (*)	23.3	18.5
4 (15年目)	25.2	19.5
5	26.4	20.1
6	27.1	20.7
7	27.4	21.1
8 (30年目)	27.3	21.4

(*)リサイクル開始後の通算日数

表 3. 1. 2 - 1 8 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化〔ケース A (Np+Am+Cm) サイクルSTEP1〕

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 1 (ALPHA, N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	1.878E+05	1.953E+05	1.945E+05	1.916E+05	1.887E+05	1.843E+05	
PU239	4.161E+03	4.169E+03	4.169E+03	4.169E+03	4.169E+03	4.169E+03	
PU240	8.348E+03	8.368E+03	8.407E+03	8.443E+03	8.475E+03	8.520E+03	
AM241	3.076E+04	3.243E+04	3.553E+04	3.832E+04	4.083E+04	4.415E+04	
AM243	1.182E+03	1.182E+03	1.182E+03	1.182E+03	1.181E+03	1.181E+03	
CM242	3.073E+06	6.583E+05	3.484E+04	6.777E+03	5.469E+03	5.338E+03	
CM243	3.877E+03	3.784E+03	3.605E+03	3.433E+03	3.270E+03	3.040E+03	
CM244	3.102E+05	2.985E+05	2.765E+05	2.561E+05	2.373E+05	2.115E+05	

TOTALS							
TABLE	3.620E+06	1.203E+06	5.591E+05	5.104E+05	4.897E+05	4.626E+05	
ACTUAL	3.620E+06	1.203E+06	5.591E+05	5.104E+05	4.897E+05	4.626E+05	

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 1 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	3.062E+04	3.185E+04	3.172E+04	3.125E+04	3.077E+04	3.006E+04	
PU240	4.400E+04	4.411E+04	4.432E+04	4.450E+04	4.468E+04	4.491E+04	
CM242	1.491E+07	3.194E+06	1.690E+05	3.288E+04	2.654E+04	2.590E+04	
CM244	3.734E+07	3.594E+07	3.329E+07	3.084E+07	2.857E+07	2.547E+07	
CM246	5.027E+05	5.026E+05	5.024E+05	5.023E+05	5.021E+05	5.019E+05	

TOTALS							
TABLE	5.286E+07	3.974E+07	3.407E+07	3.148E+07	2.920E+07	2.610E+07	
ACTUAL	5.286E+07	3.974E+07	3.407E+07	3.148E+07	2.920E+07	2.610E+07	

OVERALL							
TOTALS							
TABLE	5.648E+07	4.095E+07	3.463E+07	3.199E+07	2.969E+07	2.656E+07	
ACTUAL	5.648E+07	4.095E+07	3.463E+07	3.199E+07	2.969E+07	2.656E+07	

表 3.1.2 - 1 0 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化〔ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP2〕

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 2 (ALPHA, N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC						
BASIS=ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
PU238	2.243E+05	2.313E+05	2.300E+05	2.266E+05	2.231E+05	2.180E+05
PU239	4.253E+03	4.262E+03	4.262E+03	4.262E+03	4.262E+03	4.261E+03
PU240	8.704E+03	8.732E+03	8.784E+03	8.833E+03	8.877E+03	8.938E+03
AM241	2.974E+04	3.089E+04	3.300E+04	3.491E+04	3.663E+04	3.888E+04
AM243	1.360E+03	1.360E+03	1.360E+03	1.360E+03	1.360E+03	1.359E+03
CM242	3.027E+06	6.497E+05	3.592E+04	8.281E+03	6.978E+03	6.829E+03
CM243	5.007E+03	4.886E+03	4.654E+03	4.433E+03	4.223E+03	3.926E+03
CM244	4.168E+05	4.012E+05	3.718E+05	3.442E+05	3.189E+05	2.843E+05

TOTALS						
TABLE	3.718E+06	1.333E+06	6.900E+05	6.333E+05	6.047E+05	5.668E+05
ACTUAL	3.718E+06	1.333E+06	6.900E+05	6.333E+05	6.047E+05	5.668E+05

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 2 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC						
BASIS=ONE KG OF FUEL						
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
PU240	4.588E+04	4.603E+04	4.631E+04	4.656E+04	4.680E+04	4.712E+04
CM242	1.469E+07	3.153E+06	1.743E+05	4.018E+04	3.386E+04	3.313E+04
CM244	5.019E+07	4.830E+07	4.474E+07	4.145E+07	3.839E+07	3.423E+07
CM246	1.421E+06	1.421E+06	1.421E+06	1.420E+06	1.420E+06	1.419E+06

TOTALS						
TABLE	6.642E+07	5.300E+07	4.646E+07	4.303E+07	3.997E+07	3.580E+07
ACTUAL	6.642E+07	5.300E+07	4.646E+07	4.303E+07	3.997E+07	3.580E+07

OVERALL						
TOTALS						
TABLE	7.014E+07	5.433E+07	4.715E+07	4.366E+07	4.057E+07	3.637E+07
ACTUAL	7.014E+07	5.433E+07	4.715E+07	4.366E+07	4.057E+07	3.637E+07

表 3.1.2 - 20 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化 (ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEP4)

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 4
(ALPHA, N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC
BASIS=ONE KG OF FUEL

	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
PU238	2.032E+05	2.092E+05	2.080E+05	2.049E+05	2.017E+05	1.971E+05
PU239	4.275E+03	4.284E+03	4.284E+03	4.284E+03	4.283E+03	4.283E+03
PU240	9.176E+03	9.219E+03	9.299E+03	9.373E+03	9.442E+03	9.535E+03
AM241	2.615E+04	2.720E+04	2.914E+04	3.088E+04	3.246E+04	3.452E+04
AM243	1.658E+03	1.658E+03	1.657E+03	1.657E+03	1.657E+03	1.658E+03
CM242	2.654E+06	5.702E+05	3.228E+04	8.054E+03	6.906E+03	6.764E+03
CM243	5.304E+03	5.177E+03	4.931E+03	4.697E+03	4.474E+03	4.159E+03
CM244	6.313E+05	8.076E+05	5.629E+05	5.214E+05	4.830E+05	4.306E+05

TOTALS						
TABLE	3.535E+06	1.435E+06	8.531E+05	7.858E+05	7.445E+05	6.892E+05
ACTUAL	3.535E+06	1.435E+06	8.531E+05	7.858E+05	7.445E+05	6.892E+05

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 4
SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC
BASIS=ONE KG OF FUEL

	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
CM242	1.288E+07	2.767E+06	1.566E+05	3.908E+04	3.351E+04	3.282E+04
CM244	7.601E+07	7.316E+07	6.777E+07	6.278E+07	5.815E+07	5.184E+07
CM246	5.570E+06	5.569E+06	5.567E+06	5.566E+06	5.564E+06	5.562E+06
CM248	1.423E+05	1.423E+05	1.423E+05	1.423E+05	1.423E+05	1.423E+05

TOTALS						
TABLE	9.479E+07	8.182E+07	7.381E+07	6.868E+07	6.404E+07	5.772E+07
ACTUAL	9.479E+07	8.182E+07	7.381E+07	6.868E+07	6.404E+07	5.772E+07

OVERALL						
TOTALS						
TABLE	9.832E+07	8.326E+07	7.466E+07	6.947E+07	6.479E+07	5.841E+07
ACTUAL	9.832E+07	8.326E+07	7.466E+07	6.947E+07	6.479E+07	5.841E+07

表 3. 1. 2 - 2 1 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化 [ケース A (Np+Am+Cm) リサイクルSTEPB]

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 8 (ALPHA,N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	1.335E+05	1.390E+05	1.385E+05	1.365E+05	1.344E+05	1.313E+05	
PU239	4.252E+03	4.260E+03	4.260E+03	4.260E+03	4.260E+03	4.260E+03	
PU240	9.985E+03	1.004E+04	1.014E+04	1.024E+04	1.033E+04	1.045E+04	
AM241	2.250E+04	2.365E+04	2.570E+04	2.772E+04	2.946E+04	3.175E+04	
AM243	1.762E+03	1.762E+03	1.762E+03	1.762E+03	1.761E+03	1.761E+03	
CM242	2.265E+06	4.865E+05	2.740E+04	6.721E+03	5.742E+03	5.623E+03	
CM243	4.456E+03	4.349E+03	4.143E+03	3.946E+03	3.759E+03	3.494E+03	
CM244	8.101E+05	7.797E+05	7.223E+05	6.690E+05	6.197E+05	5.525E+05	

TOTALS							
TABLE	3.253E+06	1.451E+06	9.357E+05	8.615E+05	8.108E+05	7.426E+05	
ACTUAL	3.253E+06	1.451E+06	9.357E+05	8.615E+05	8.108E+05	7.426E+05	

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%) STEP 8 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
CM242	1.099E+07	2.361E+06	1.329E+05	3.261E+04	2.786E+04	2.729E+04	
CM244	9.754E+07	9.388E+07	8.696E+07	8.055E+07	7.462E+07	6.652E+07	
CM246	2.427E+07	2.427E+07	2.426E+07	2.425E+07	2.425E+07	2.424E+07	
CM248	2.753E+06	2.753E+06	2.753E+06	2.753E+06	2.753E+06	2.753E+06	
CF250	3.434E+06	3.258E+06	2.930E+06	2.635E+06	2.370E+06	2.022E+06	
CF252	7.239E+05	5.567E+05	3.291E+05	1.946E+05	1.151E+05	5.231E+04	

TOTALS							
TABLE	1.398E+08	1.272E+08	1.175E+08	1.105E+08	1.042E+08	9.570E+07	
ACTUAL	1.398E+08	1.272E+08	1.175E+08	1.105E+08	1.042E+08	9.570E+07	

OVERALL							
TOTALS							
TABLE	1.431E+08	1.286E+08	1.184E+08	1.114E+08	1.050E+08	9.645E+07	
ACTUAL	1.431E+08	1.286E+08	1.184E+08	1.114E+08	1.050E+08	9.645E+07	

表 3. 1. 2 - 2 2 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化 [ケース B (Np+Am) リサイクルSTEP1]

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 1 (ALPHA, N) NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	1.961E+05	2.040E+05	2.032E+05	2.002E+05	1.971E+05	1.928E+05	
PU239	4.163E+03	4.172E+03	4.172E+03	4.171E+03	4.171E+03	4.171E+03	
PU240	8.311E+03	8.324E+03	8.347E+03	8.369E+03	8.388E+03	8.415E+03	
AM241	3.210E+04	3.376E+04	3.685E+04	3.963E+04	4.214E+04	4.544E+04	
AM243	1.230E+03	1.230E+03	1.229E+03	1.229E+03	1.229E+03	1.228E+03	
CM242	3.219E+06	6.895E+05	3.650E+04	7.108E+03	5.738E+03	5.602E+03	
CM243	3.464E+03	3.381E+03	3.220E+03	3.067E+03	2.922E+03	2.716E+03	
CM244	1.927E+05	1.854E+05	1.718E+05	1.591E+05	1.474E+05	1.314E+05	

TOTALS							
TABLE	3.657E+06	1.130E+06	4.656E+05	4.232E+05	4.094E+05	3.918E+05	
ACTUAL	3.657E+06	1.130E+06	4.656E+05	4.232E+05	4.094E+05	3.918E+05	

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 1 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE, NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	3.199E+04	3.327E+04	3.314E+04	3.265E+04	3.215E+04	3.141E+04	
PU240	4.381E+04	4.388E+04	4.400E+04	4.411E+04	4.422E+04	4.436E+04	
PU242	2.165E+04	2.166E+04	2.166E+04	2.166E+04	2.166E+04	2.166E+04	
CM242	1.562E+07	3.346E+06	1.771E+05	3.449E+04	2.784E+04	2.718E+04	
CM244	2.320E+07	2.233E+07	2.068E+07	1.916E+07	1.775E+07	1.582E+07	
CM246	8.480E+04	8.478E+04	8.476E+04	8.473E+04	8.471E+04	8.467E+04	

TOTALS							
TABLE	3.900E+07	2.586E+07	2.104E+07	1.938E+07	1.796E+07	1.603E+07	
ACTUAL	3.900E+07	2.586E+07	2.104E+07	1.938E+07	1.796E+07	1.603E+07	

OVERALL							
TOTALS							
TABLE	4.265E+07	2.699E+07	2.151E+07	1.980E+07	1.837E+07	1.642E+07	
ACTUAL	4.265E+07	2.699E+07	2.151E+07	1.980E+07	1.837E+07	1.642E+07	

表 3.1.2 - 2 3 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化〔ケース B (Np+Am) 1/1/1 STEP2〕

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 2 (ALPHA.N) NEUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	2.422E+05	2.499E+05	2.485E+05	2.448E+05	2.410E+05	2.355E+05	
PU239	4.259E+03	4.267E+03	4.267E+03	4.267E+03	4.267E+03	4.267E+03	
PU240	8.589E+03	8.605E+03	8.635E+03	8.662E+03	8.688E+03	8.722E+03	
AM241	3.216E+04	3.329E+04	3.538E+04	3.726E+04	3.895E+04	4.117E+04	
AM243	1.468E+03	1.468E+03	1.468E+03	1.468E+03	1.467E+03	1.467E+03	
CM242	3.294E+06	7.069E+05	3.912E+04	9.046E+03	7.629E+03	7.465E+03	
CM243	3.757E+03	3.667E+03	3.493E+03	3.327E+03	3.169E+03	2.948E+03	
CM244	2.429E+05	2.338E+05	2.166E+05	2.006E+05	1.858E+05	1.657E+05	

TOTALS							
TABLE	3.829E+06	1.242E+06	5.577E+05	5.096E+05	4.912E+05	4.674E+05	
ACTUAL	3.829E+06	1.242E+06	5.577E+05	5.096E+05	4.912E+05	4.674E+05	

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 2 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	3.950E+04	4.076E+04	4.052E+04	3.992E+04	3.931E+04	3.841E+04	
PU240	4.528E+04	4.536E+04	4.552E+04	4.566E+04	4.580E+04	4.598E+04	
CM242	1.598E+07	3.430E+06	1.898E+05	4.389E+04	3.702E+04	3.622E+04	
CM244	2.925E+07	2.815E+07	2.607E+07	2.415E+07	2.237E+07	1.995E+07	
CM246	1.130E+05	1.130E+05	1.130E+05	1.130E+05	1.129E+05	1.129E+05	

TOTALS							
TABLE	4.544E+07	3.180E+07	2.648E+07	2.442E+07	2.263E+07	2.020E+07	
ACTUAL	4.544E+07	3.180E+07	2.648E+07	2.442E+07	2.263E+07	2.020E+07	

OVERALL							
TOTALS							
	TABLE	ACTUAL					
TABLE	4.927E+07	3.304E+07	2.704E+07	2.492E+07	2.312E+07	2.067E+07	
ACTUAL	4.927E+07	3.304E+07	2.704E+07	2.492E+07	2.312E+07	2.067E+07	

表 3.1.2 - 2 4 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化〔ケースB (Np+Am) リサイクルSTEP4〕

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 4
(ALPHA.N) NEUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC

BASIS=ONE KG OF FUEL

	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
PU238	2.392E+05	2.465E+05	2.450E+05	2.414E+05	2.377E+05	2.323E+05
PU239	4.291E+03	4.299E+03	4.299E+03	4.299E+03	4.299E+03	4.299E+03
PU240	8.871E+03	8.894E+03	8.938E+03	8.978E+03	9.015E+03	9.065E+03
AM241	3.075E+04	3.176E+04	3.362E+04	3.530E+04	3.681E+04	3.879E+04
AM243	1.992E+03	1.992E+03	1.991E+03	1.991E+03	1.991E+03	1.990E+03
CM242	3.162E+06	6.794E+05	3.857E+04	9.707E+03	8.338E+03	8.167E+03
CM243	3.650E+03	3.562E+03	3.393E+03	3.232E+03	3.078E+03	2.862E+03
CM244	3.479E+05	3.348E+05	3.102E+05	2.873E+05	2.661E+05	2.373E+05

TOTALS						
TABLE	3.799E+06	1.312E+06	6.462E+05	5.924E+05	5.676E+05	5.349E+05
ACTUAL	3.799E+06	1.312E+06	6.462E+05	5.924E+05	5.676E+05	5.349E+05

CORE(FBR:MOX;RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 4
SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC

BASIS=ONE KG OF FUEL

	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y
PU238	3.901E+04	4.020E+04	3.996E+04	3.936E+04	3.876E+04	3.788E+04
PU240	4.676E+04	4.688E+04	4.711E+04	4.733E+04	4.752E+04	4.779E+04
CM242	1.534E+07	3.297E+06	1.872E+05	4.710E+04	4.046E+04	3.963E+04
CM244	4.189E+07	4.032E+07	3.734E+07	3.459E+07	3.204E+07	2.857E+07
CM246	1.677E+05	1.676E+05	1.676E+05	1.675E+05	1.675E+05	1.674E+05

TOTALS						
TABLE	5.750E+07	4.388E+07	3.780E+07	3.491E+07	3.235E+07	2.888E+07
ACTUAL	5.750E+07	4.388E+07	3.780E+07	3.491E+07	3.235E+07	2.888E+07

OVERALL						
TOTALS						
TABLE	6.130E+07	4.519E+07	3.845E+07	3.550E+07	3.292E+07	2.941E+07
ACTUAL	6.130E+07	4.519E+07	3.845E+07	3.550E+07	3.292E+07	2.941E+07

表 3.1.2 - 2 5 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化 [ケース B (Np+Am)リサイクルSTEP8]

CORE(FBR:MOX:RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 8 (ALPHA, N) NBUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU238	1.856E+05	1.926E+05	1.919E+05	1.890E+05	1.862E+05	1.819E+05	
PU239	4.286E+03	4.294E+03	4.294E+03	4.294E+03	4.294E+03	4.294E+03	
PU240	9.397E+03	9.431E+03	9.493E+03	9.551E+03	9.605E+03	9.678E+03	
AM241	2.873E+04	2.981E+04	3.180E+04	3.360E+04	3.521E+04	3.734E+04	
AM243	2.746E+03	2.746E+03	2.746E+03	2.745E+03	2.745E+03	2.744E+03	
CM242	2.965E+06	6.371E+05	3.614E+04	9.075E+03	7.791E+03	7.632E+03	
CM243	3.429E+03	3.346E+03	3.187E+03	3.036E+03	2.892E+03	2.688E+03	
CM244	4.971E+05	4.784E+05	4.432E+05	4.105E+05	3.803E+05	3.390E+05	

TOTALS							
TABLE	3.696E+06	1.358E+06	7.229E+05	6.621E+05	6.292E+05	5.855E+05	
ACTUAL	3.696E+06	1.358E+06	7.229E+05	6.621E+05	6.292E+05	5.855E+05	

CORE(FBR:MOX:RECYCLE) FUEL(18.4% PU) TRU(5%)(AM+NP) STEP 8 SPONTANEOUS FISSION NEUTRON SOURCE. NEUTRONS/SEC							
BASIS=ONE KG OF FUEL							
	DISCHARGE	COOL- 1Y	COOL- 3Y	COOL- 5Y	COOL- 7Y	COOL-10Y	
PU240	4.954E+04	4.971E+04	5.004E+04	5.035E+04	5.063E+04	5.102E+04	
CM242	1.439E+07	3.091E+06	1.754E+05	4.403E+04	3.780E+04	3.703E+04	
CM244	5.985E+07	5.760E+07	5.336E+07	4.943E+07	4.578E+07	4.082E+07	
CM246	2.461E+05	2.461E+05	2.460E+05	2.459E+05	2.459E+05	2.458E+05	

TOTALS							
TABLE	7.457E+07	6.103E+07	5.387E+07	4.981E+07	4.616E+07	4.119E+07	
ACTUAL	7.457E+07	6.103E+07	5.387E+07	4.981E+07	4.616E+07	4.119E+07	

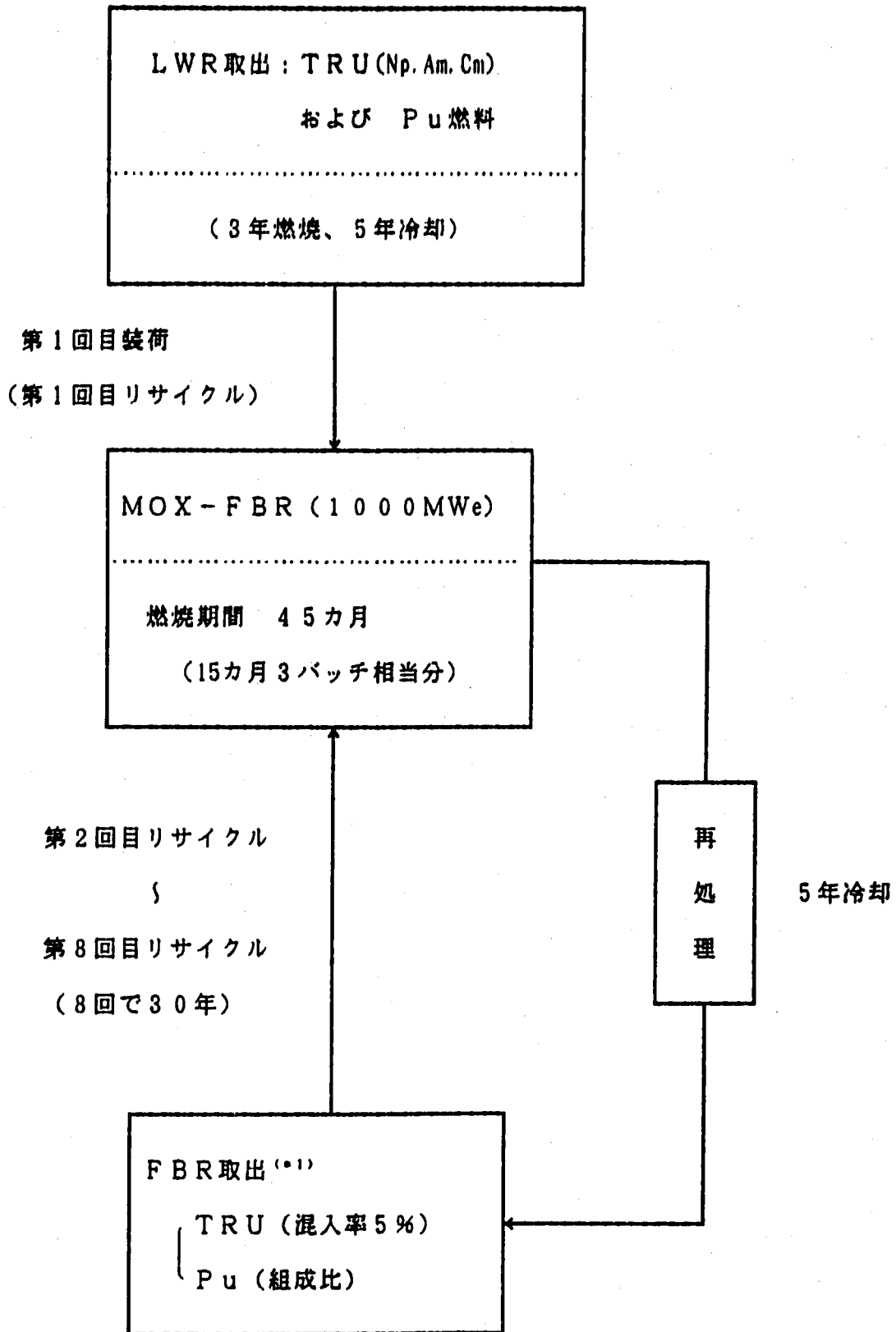
OVERALL							
TOTALS							
TABLE	7.827E+07	6.239E+07	5.460E+07	5.047E+07	4.679E+07	4.178E+07	
ACTUAL	7.827E+07	6.239E+07	5.460E+07	5.047E+07	4.679E+07	4.178E+07	

表 3.1.2 - 26 原子炉停止後の中性子発生数 (FBR取出後、冷却5年目)

(単位 : n/s/kg)

リサイクルSTEP	リサイクルTRU	
	ケースA (NP+Am+Cm)	ケースB (NP+Am)
1	3.2×10^7	2.0×10^7
2	4.4×10^7	2.5×10^7
3 (※1)	5.7×10^7	3.0×10^7
4 (15年目)	6.9×10^7	3.6×10^7
5	8.1×10^7	4.0×10^7
6	9.1×10^7	4.4×10^7
7	10.1×10^7	4.7×10^7
8 (30年目)	11.1×10^7	5.0×10^7

(※1)リサイクル開始後の通算日数



(*1)各リサイクルSTEPでは、Pu富化度は一定とし、燃焼にともなうPuの欠損分は補充する。

図3-1 FBRリサイクルの概念

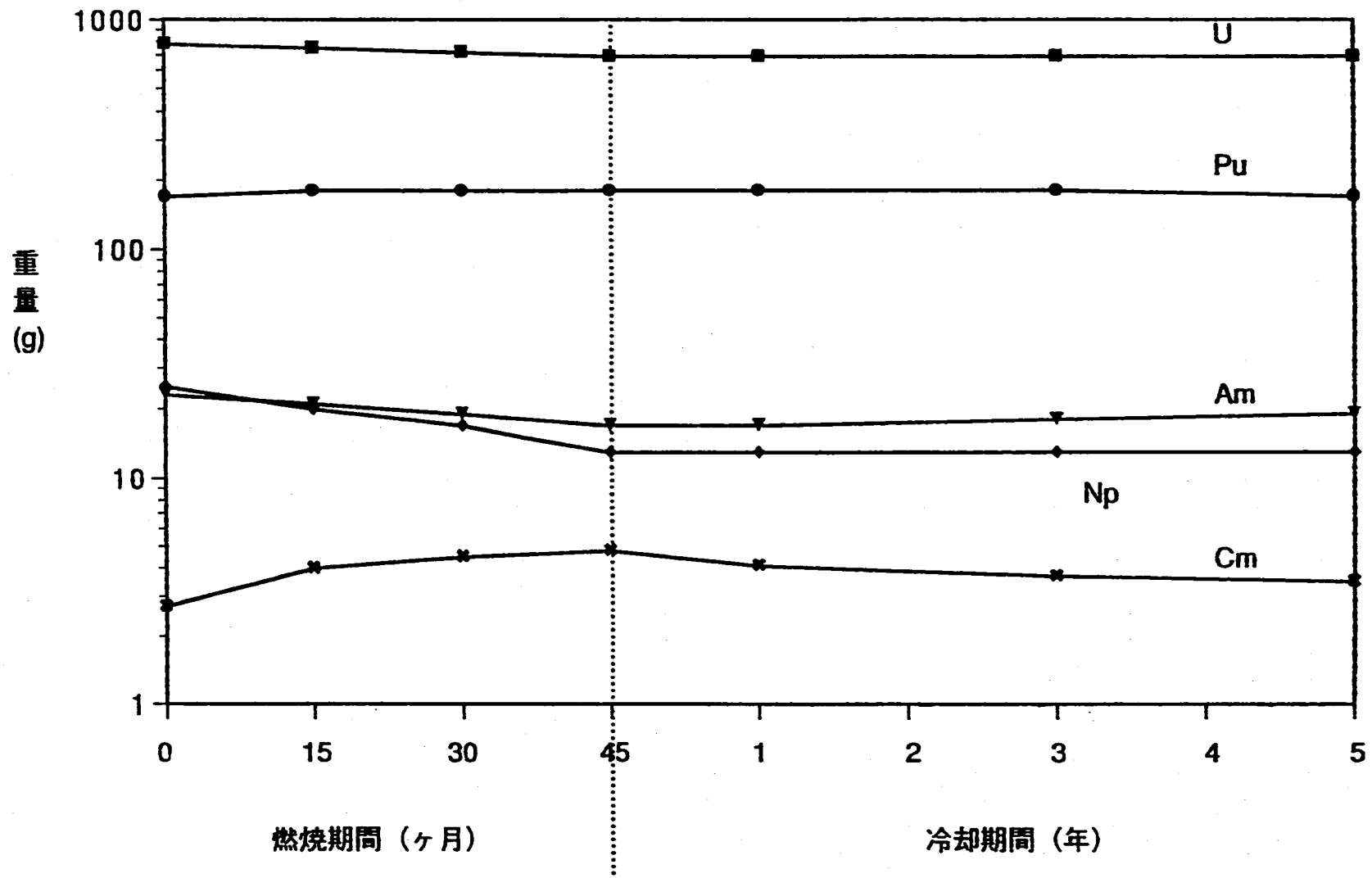


図3.1.2-1 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (1リサイクルSTEP: ケースA (Np+Am+Cm))

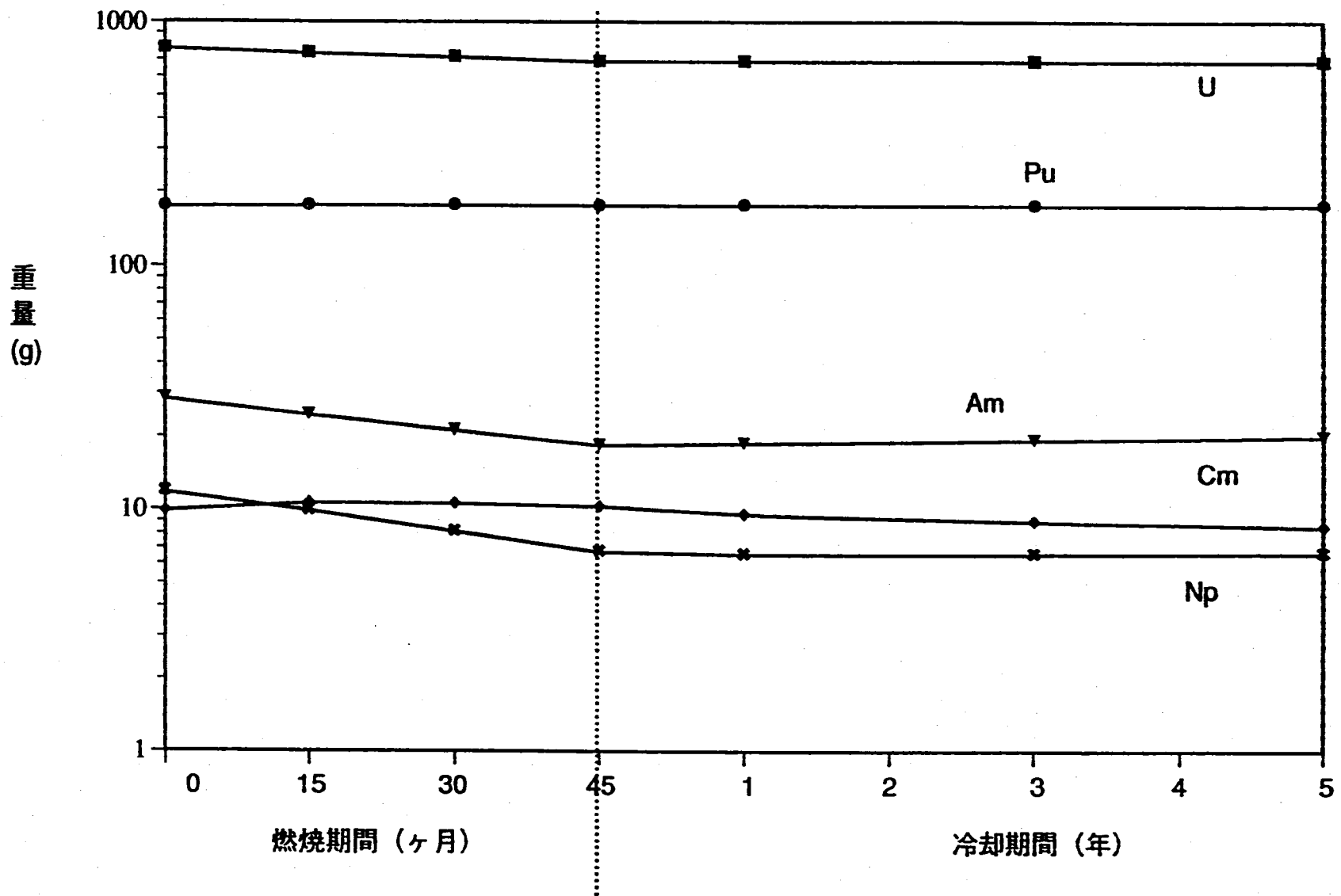


図3.1.2-2 ドライバー燃料・冷却に伴う組成変化 (4リサイクルSTEP: ケースA (Np+Am+Cm))

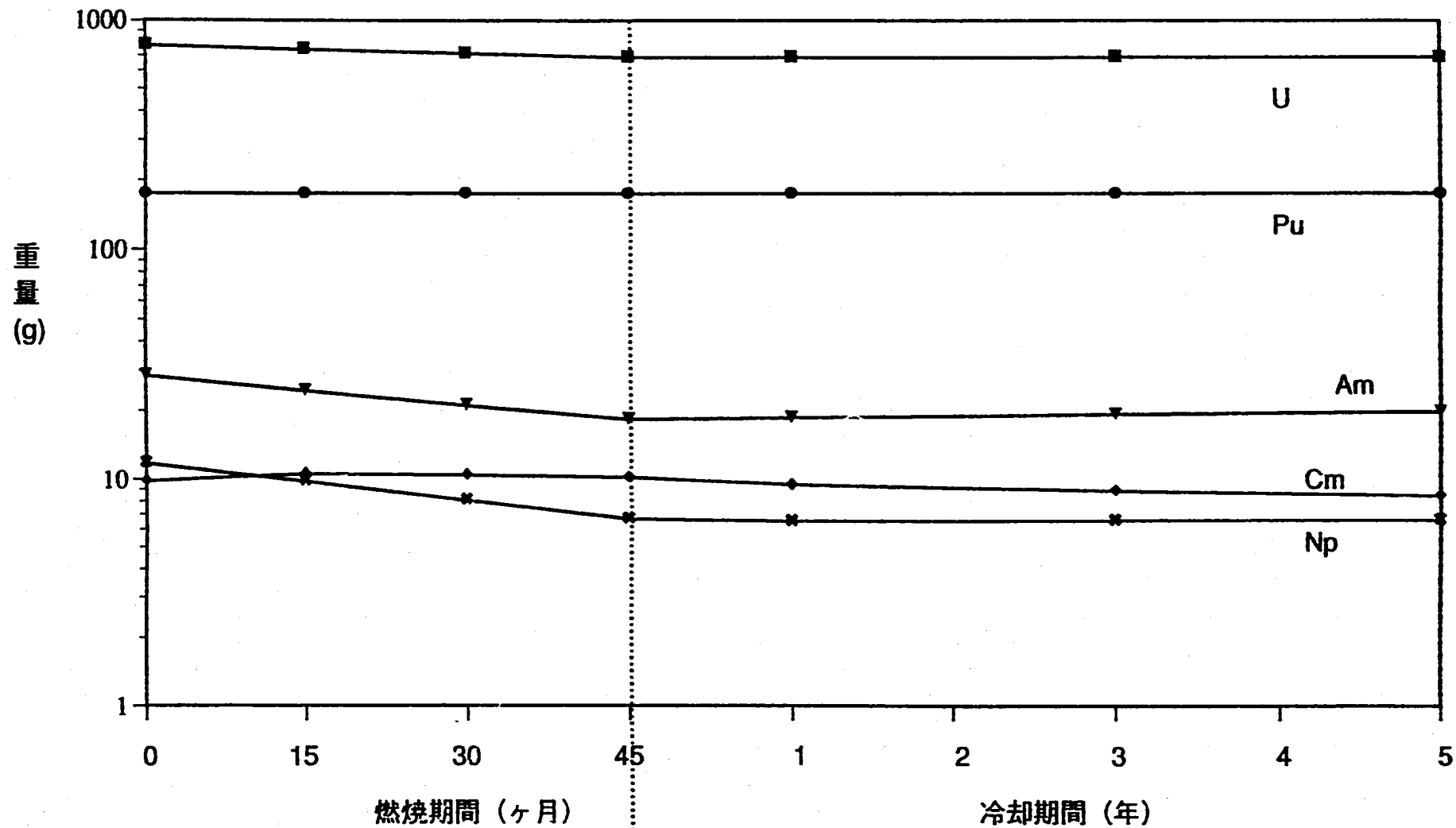


図3.1.2-3 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (8リサイクルSTEP: ケースA (Np+Am+Cm))

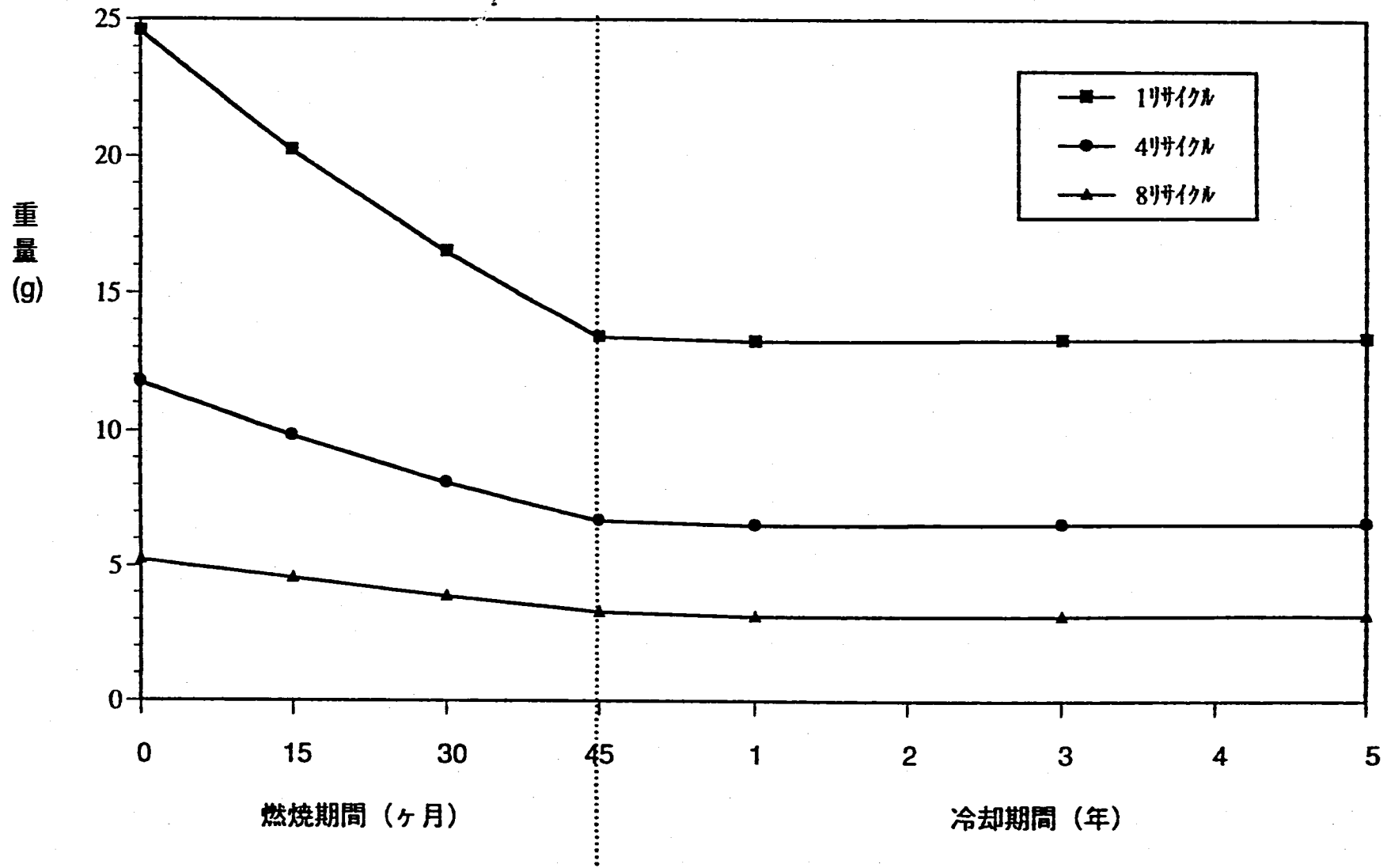


図3.1.2-4 Npの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP: ケース A (Np+Am+Cm))

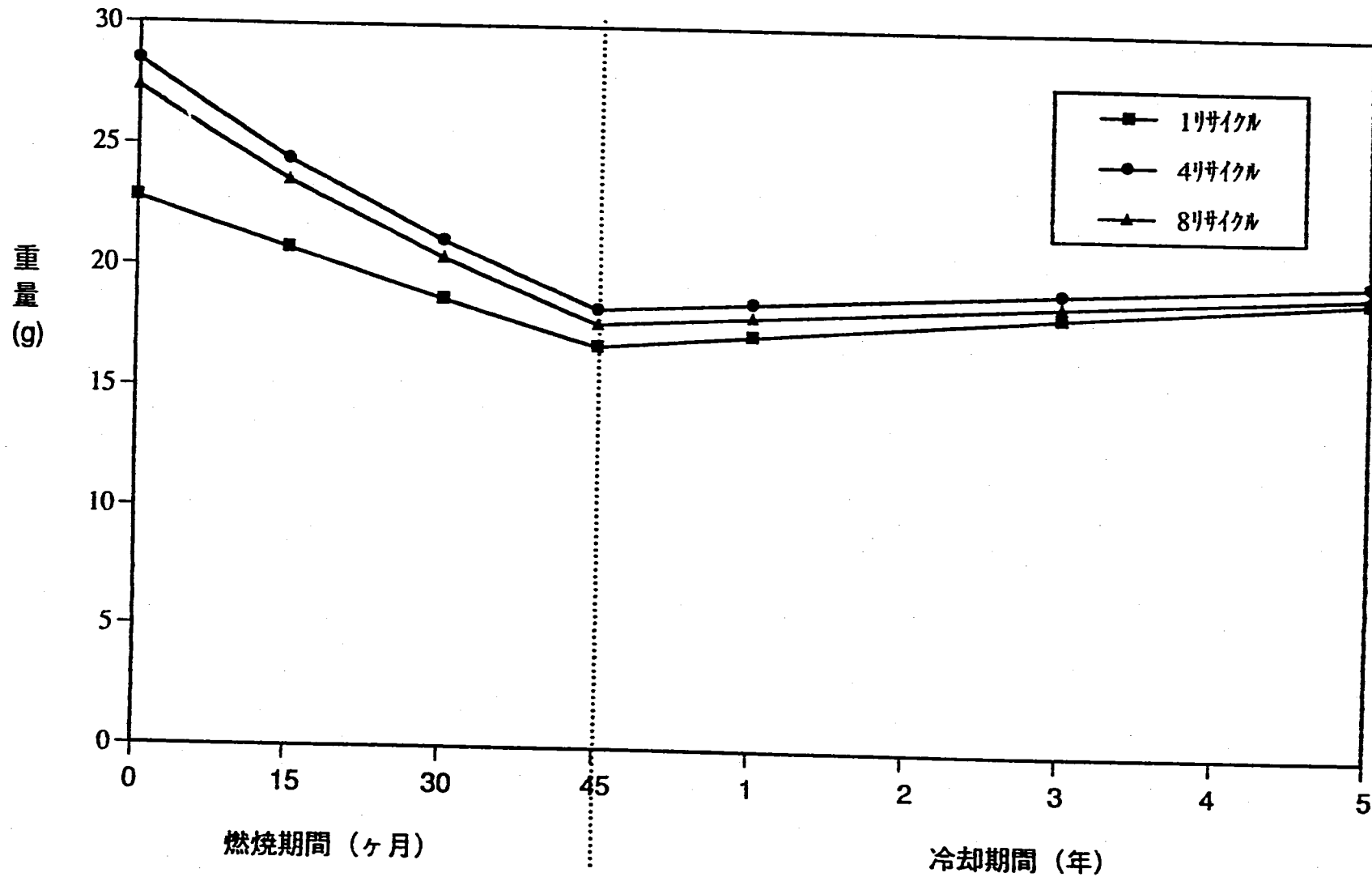


図3.1.2-5 Amの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP : ケース A (Np+Am+Cm))

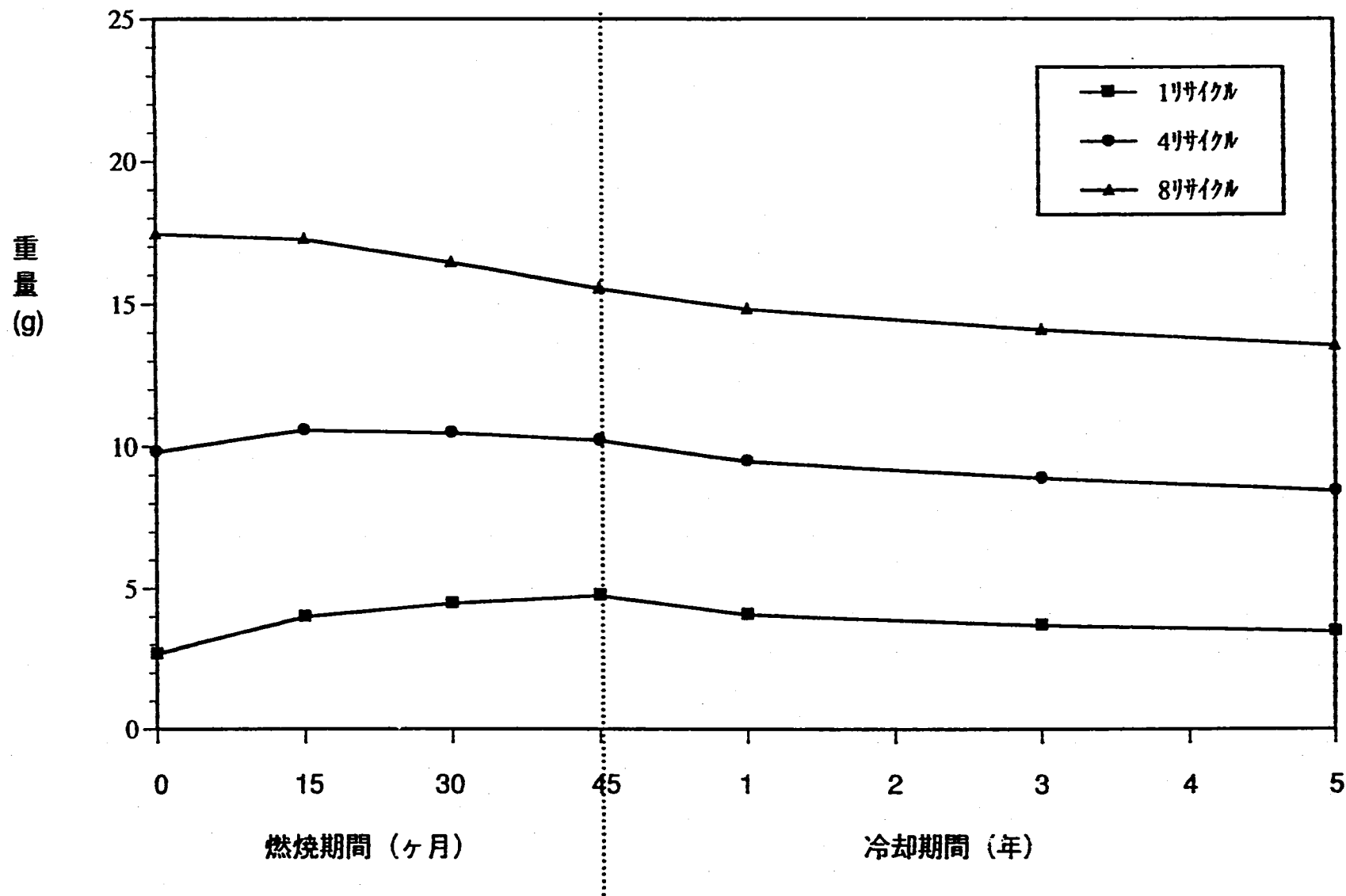


図3.1.2-6 Cmの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP : ケース A (Np+Am+Cm))

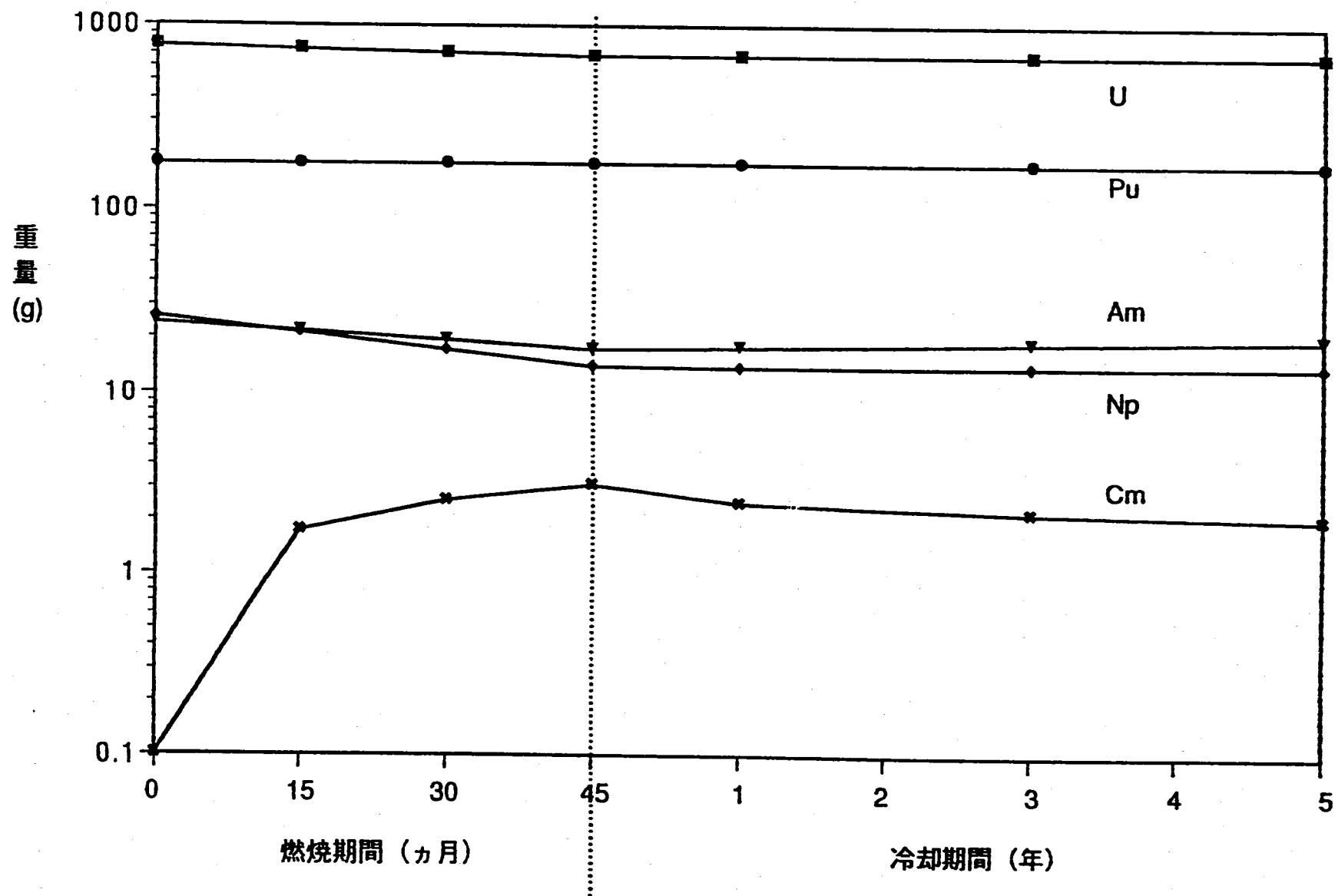


図3.1.2-7 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (1リサイクルSTEP: ケースB (Np+Am))

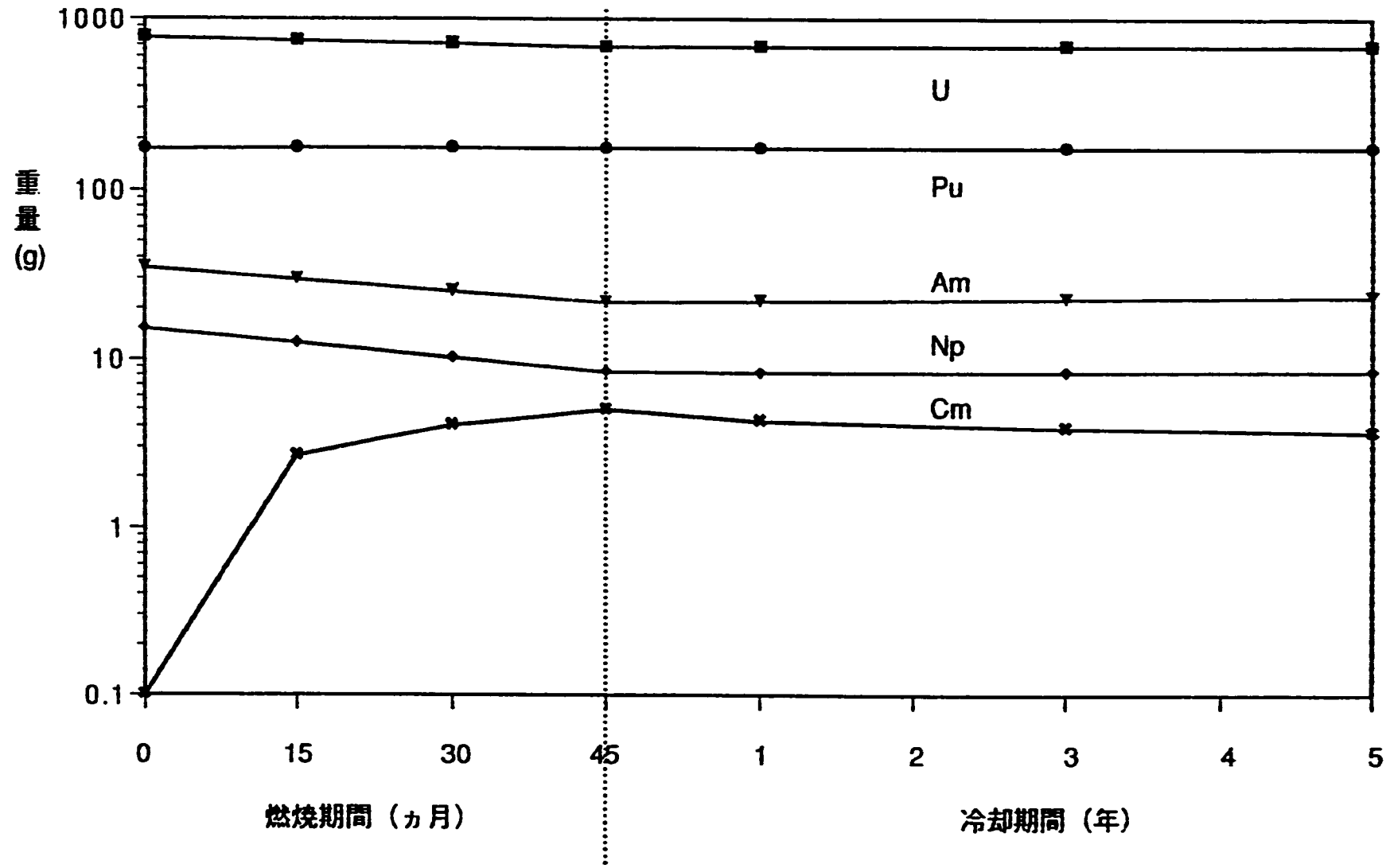


図3.1.2-8 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化 (4リサイクルSTEP: ケースB (Np+Am))

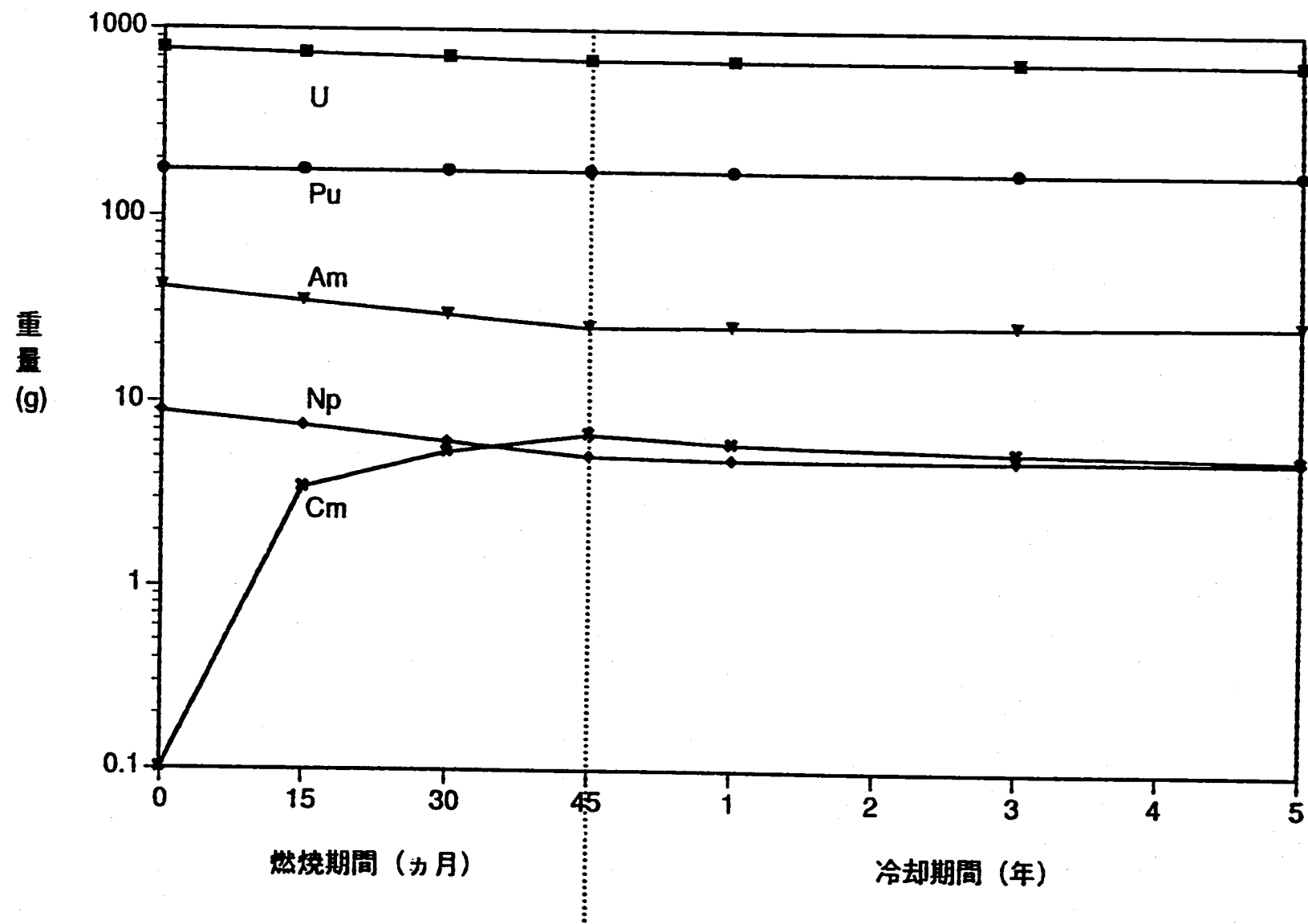


図3.1.2-9 ドライバー燃料の燃焼・冷却に伴う組成変化（8リサイクルSTEP：ケースB(Np+Am)）

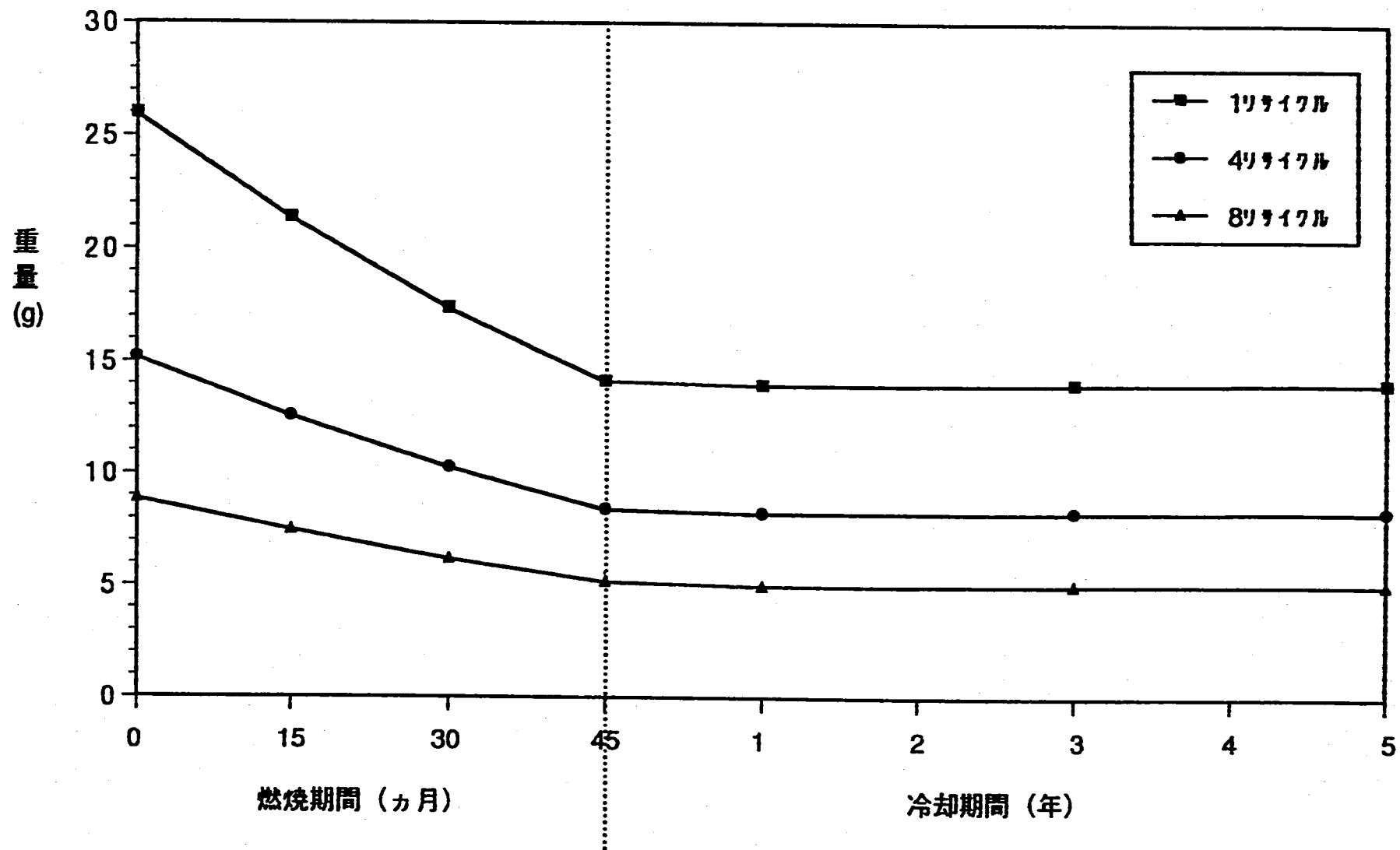


図3.1.2-10 Npの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP: ケースB(Np+Am))

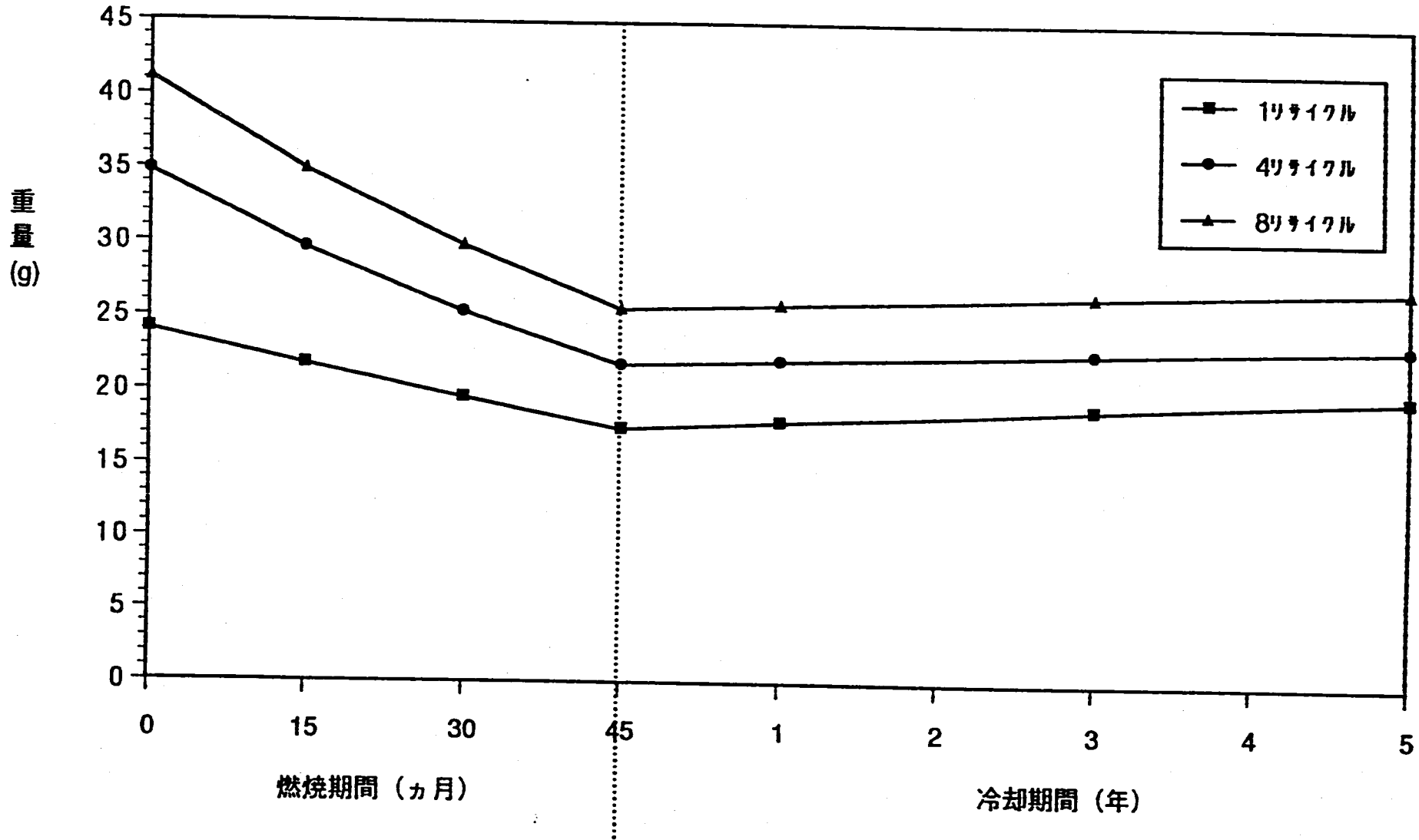


図3.1.2-11 Amの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP: ケースB(Np+Am))

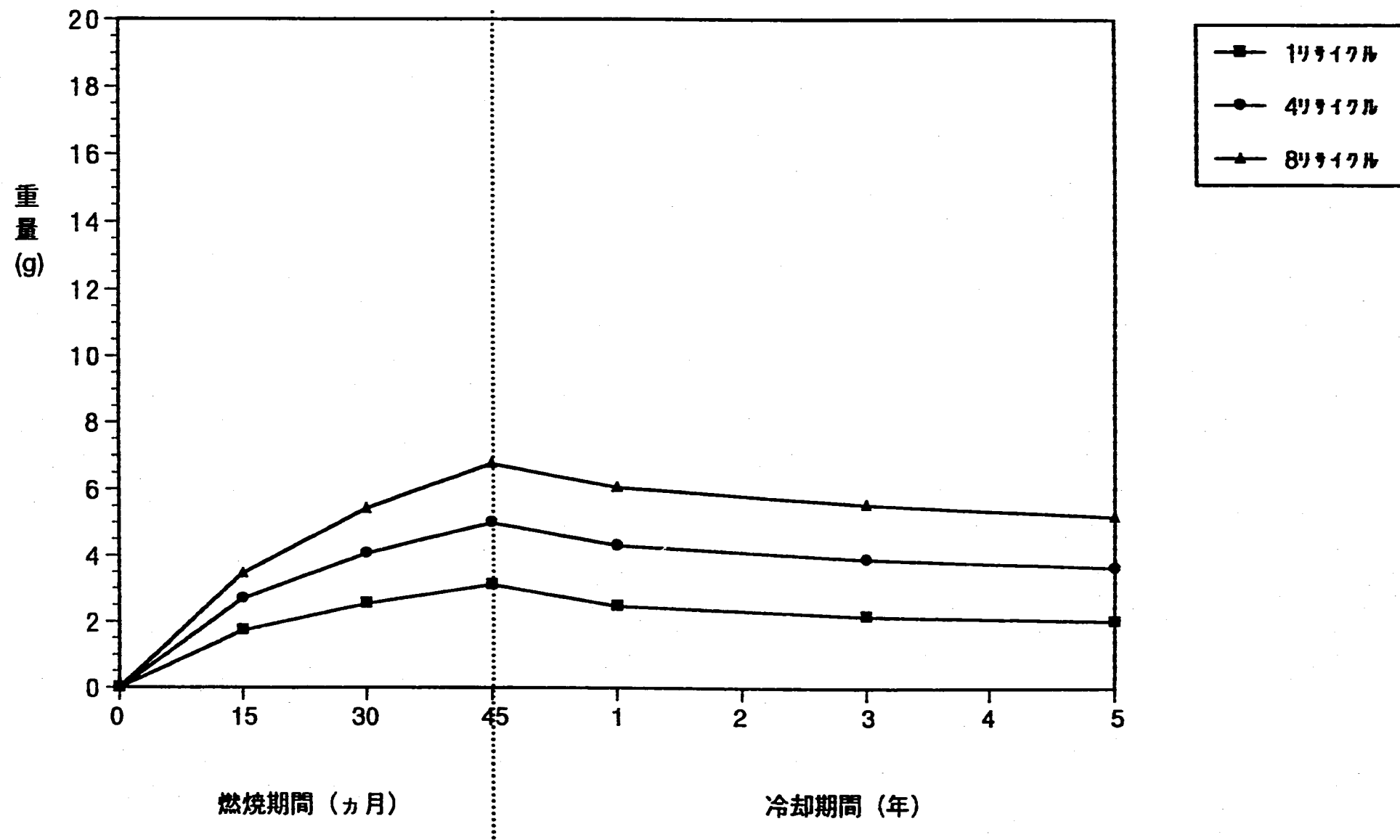


図3.1.2-12 Cmの燃焼・冷却に伴う組成変化 (1, 4, 8, リサイクルSTEP : ケースB(Np+Am))

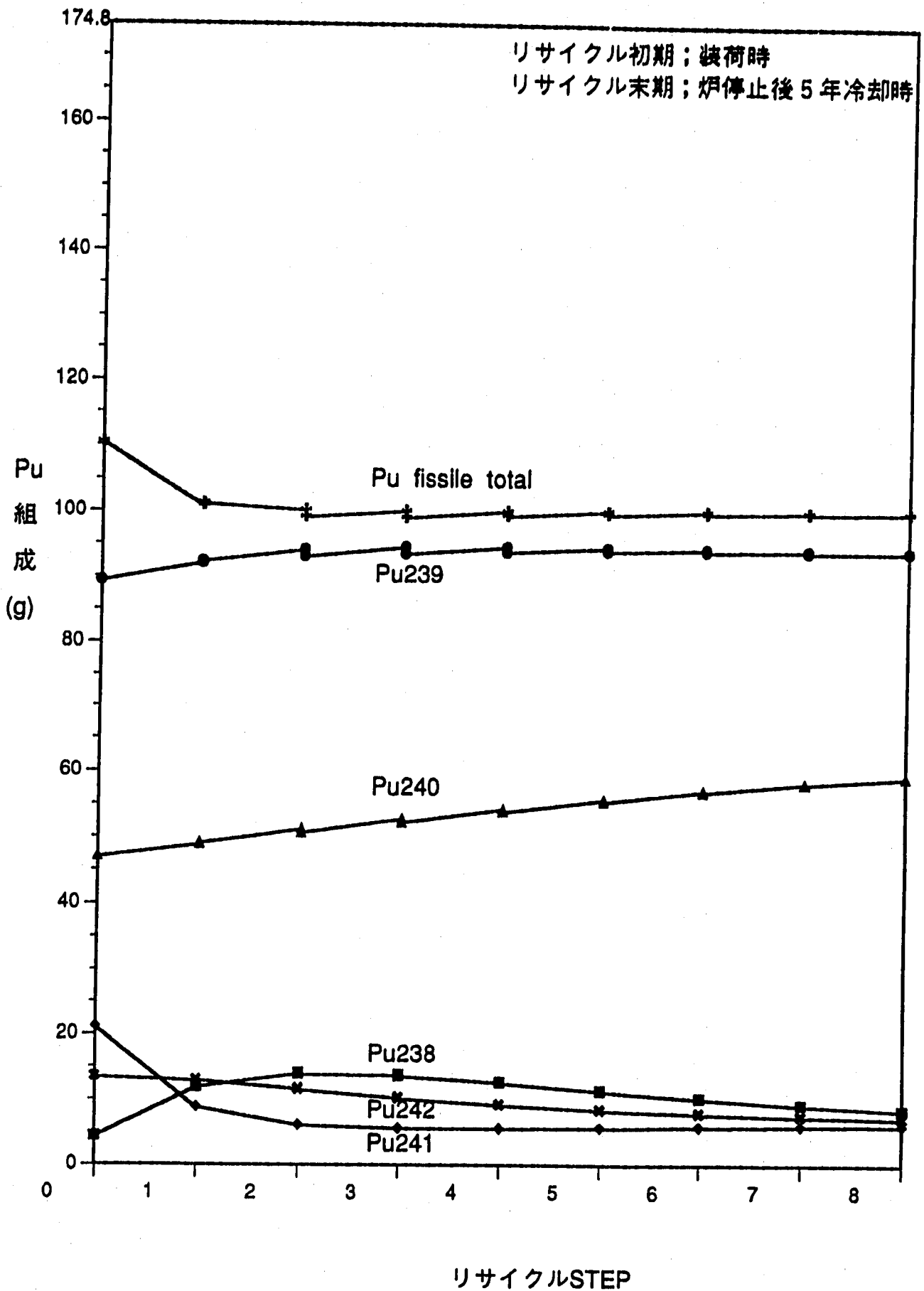


図3.1.2-13(1/2) リサイクルによるPu組成の変化(ケースA (Np+Am+Cm))

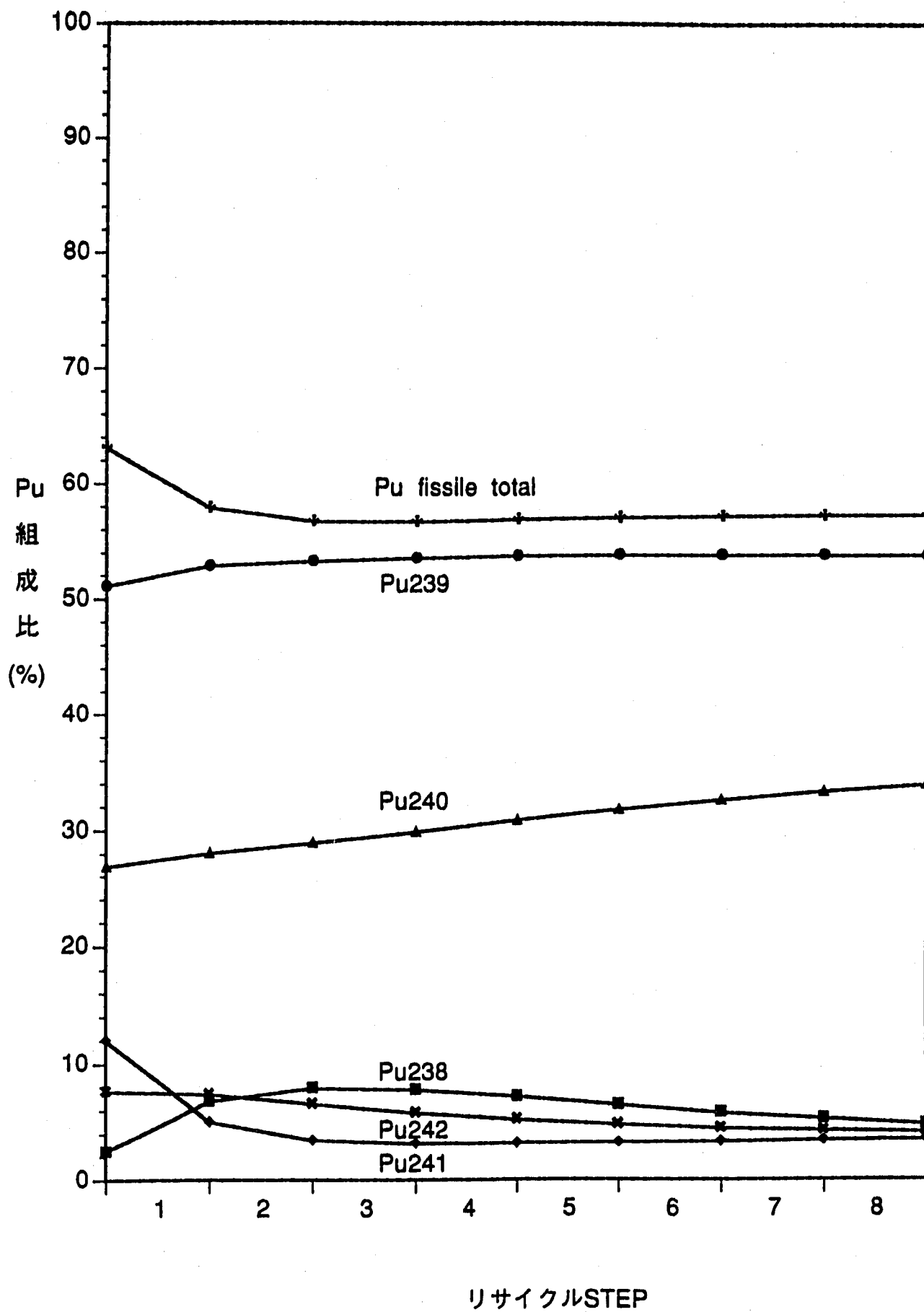


図3.1.2-13(2/2) リサイクルによるPu組成の変化(ケースA (Np+Am+Cm))

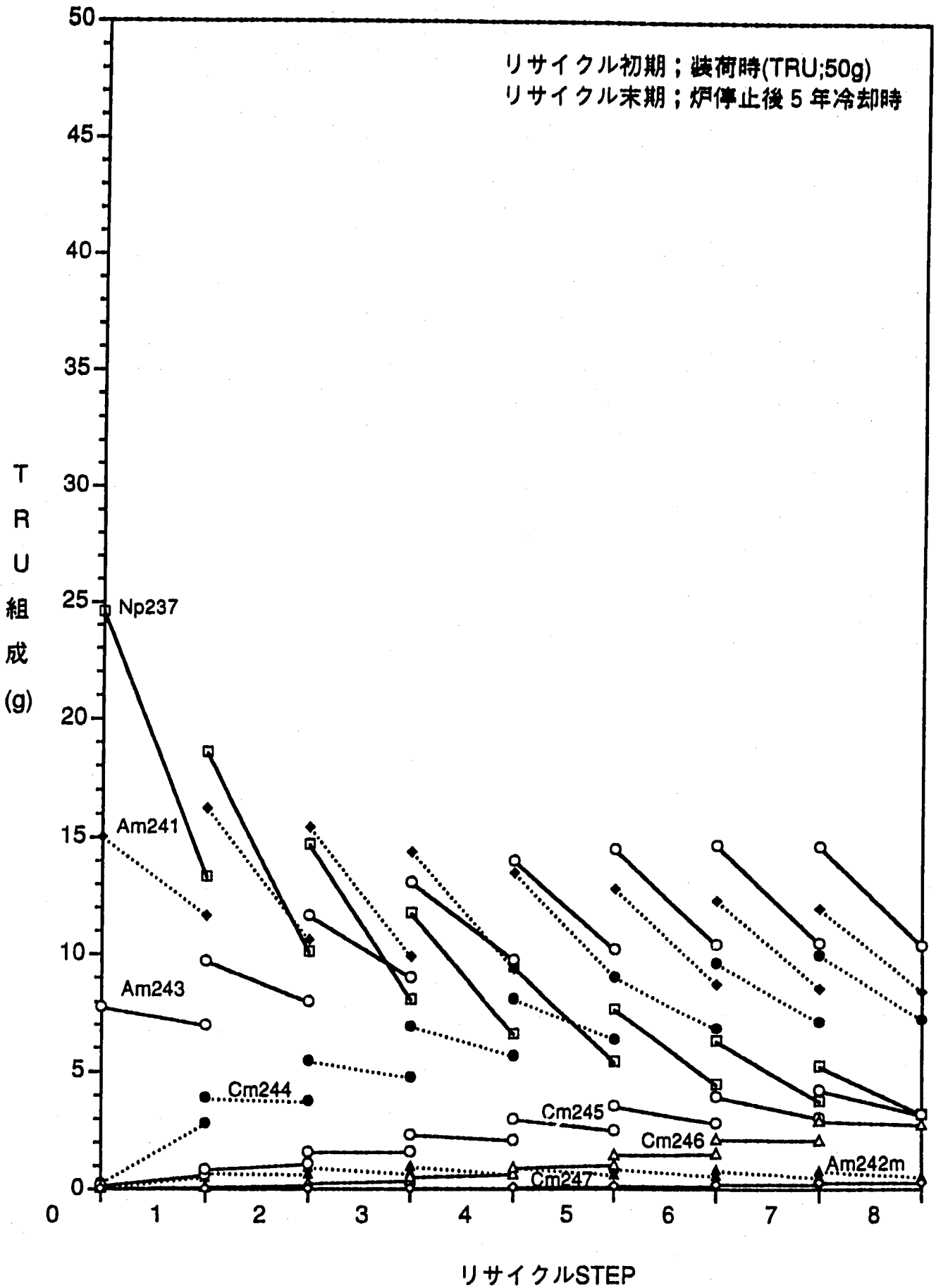


図3.1.2-14(1/2) リサイクルによるTRU組成の変化(ケースA (Np+Am+Cm))

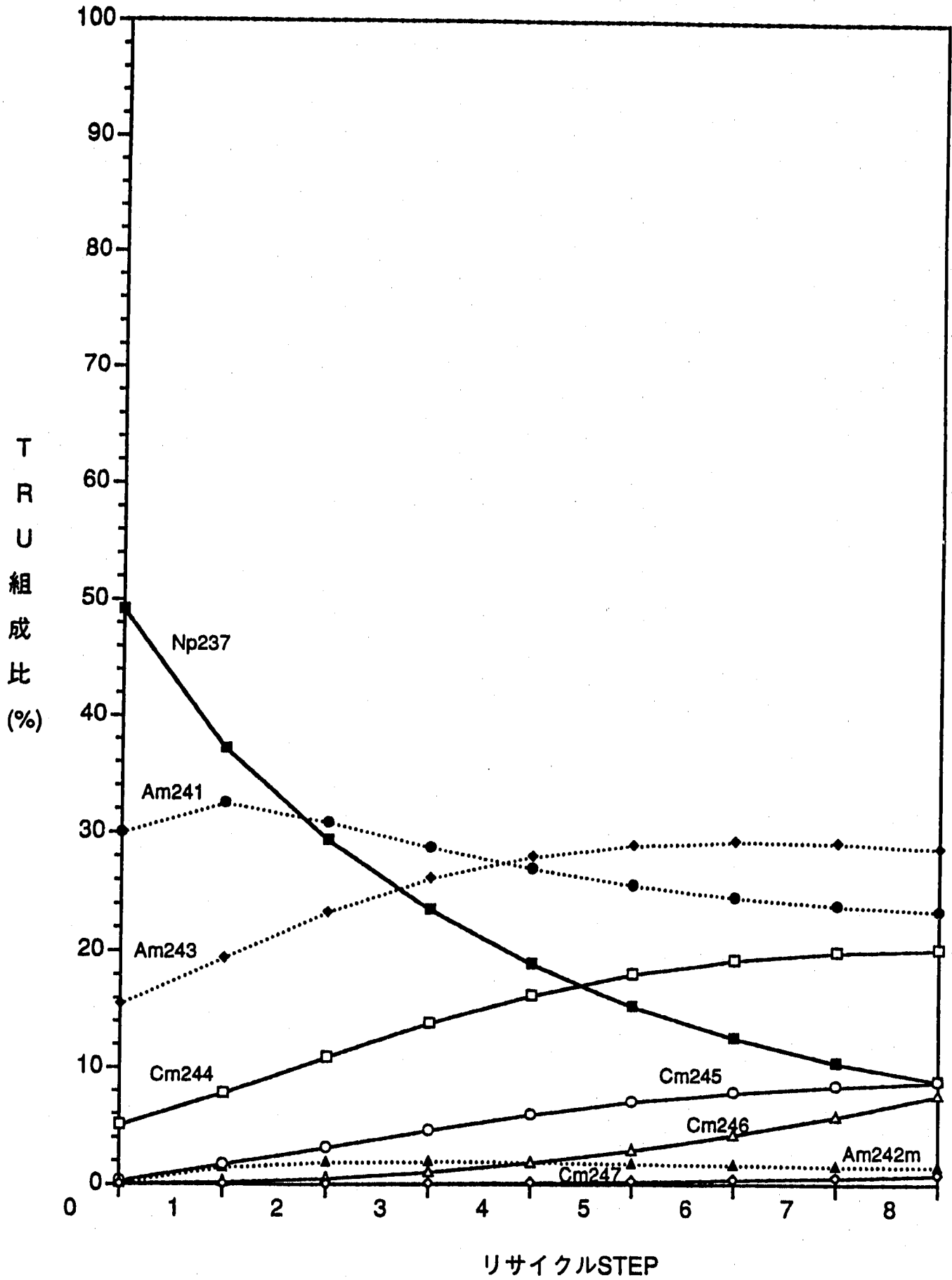


図3.1.2-14(2/2) リサイクルによるTRU組成の変化(ケースA (Np+Am+Cm))

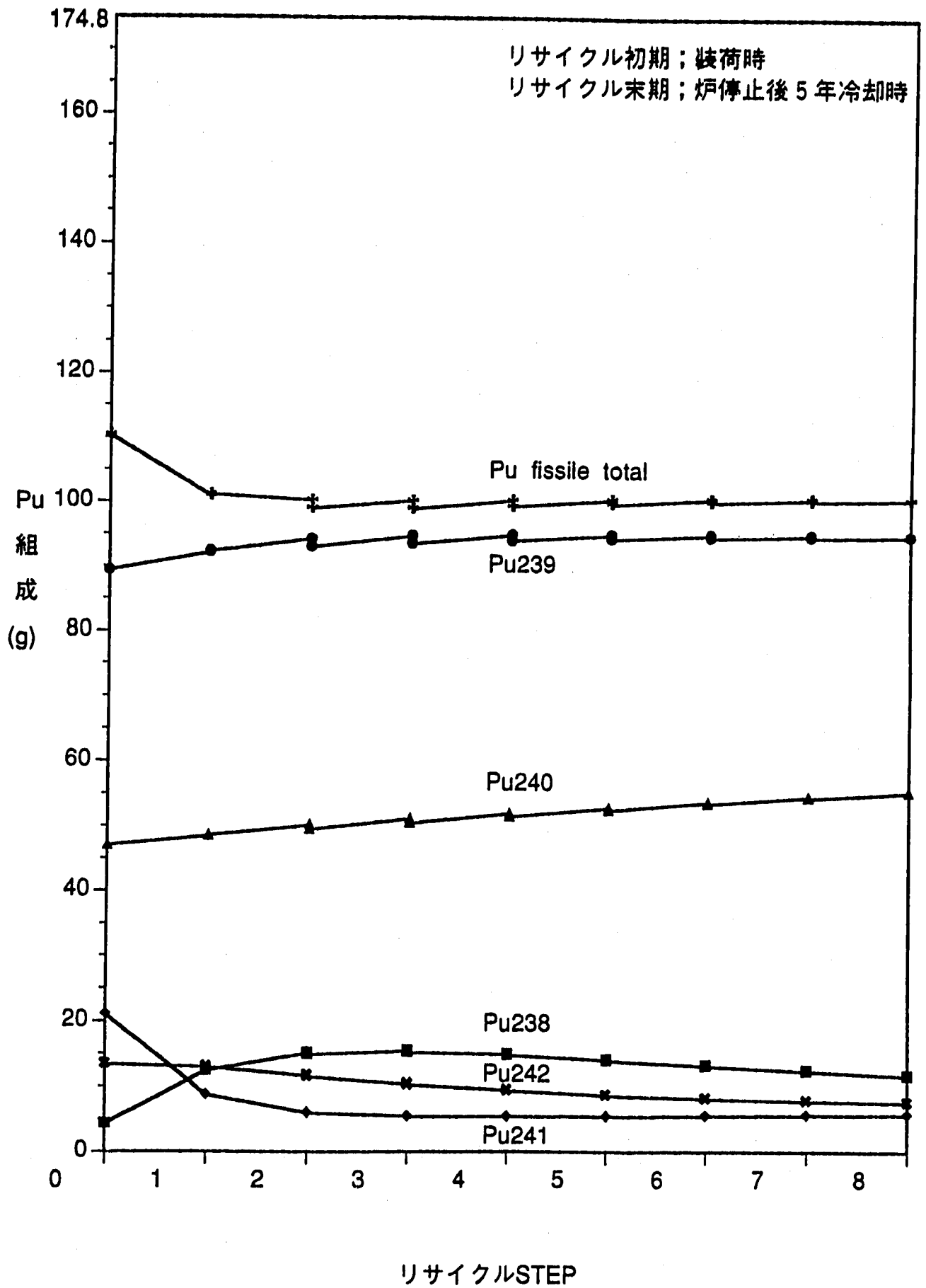


図3.1.2-15(1/2) リサイクルによるPu組成の変化(ケースB (Np+Am))

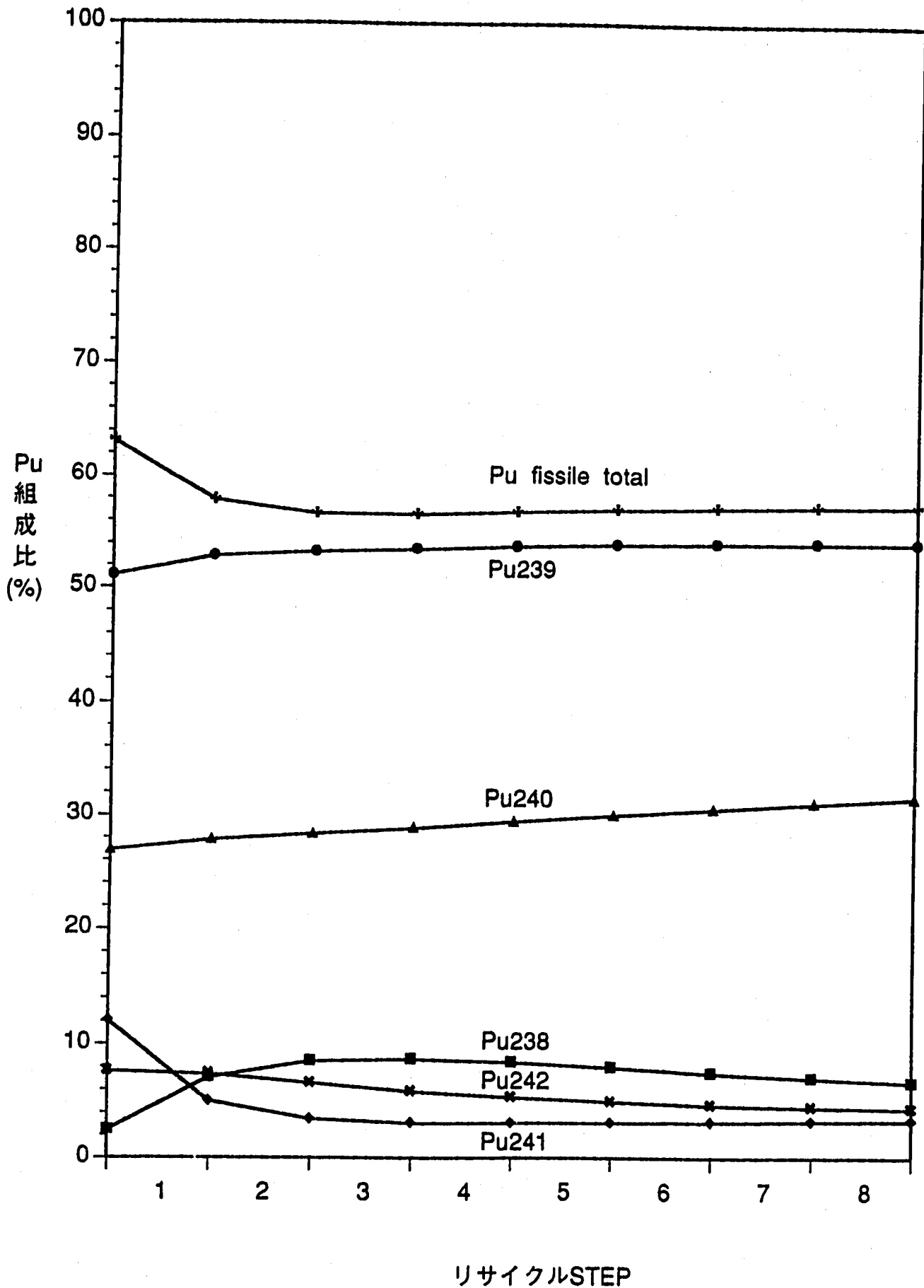


図3.1.2-15(2/2) リサイクルによるPu組成の変化(ケースB (Np+Am))

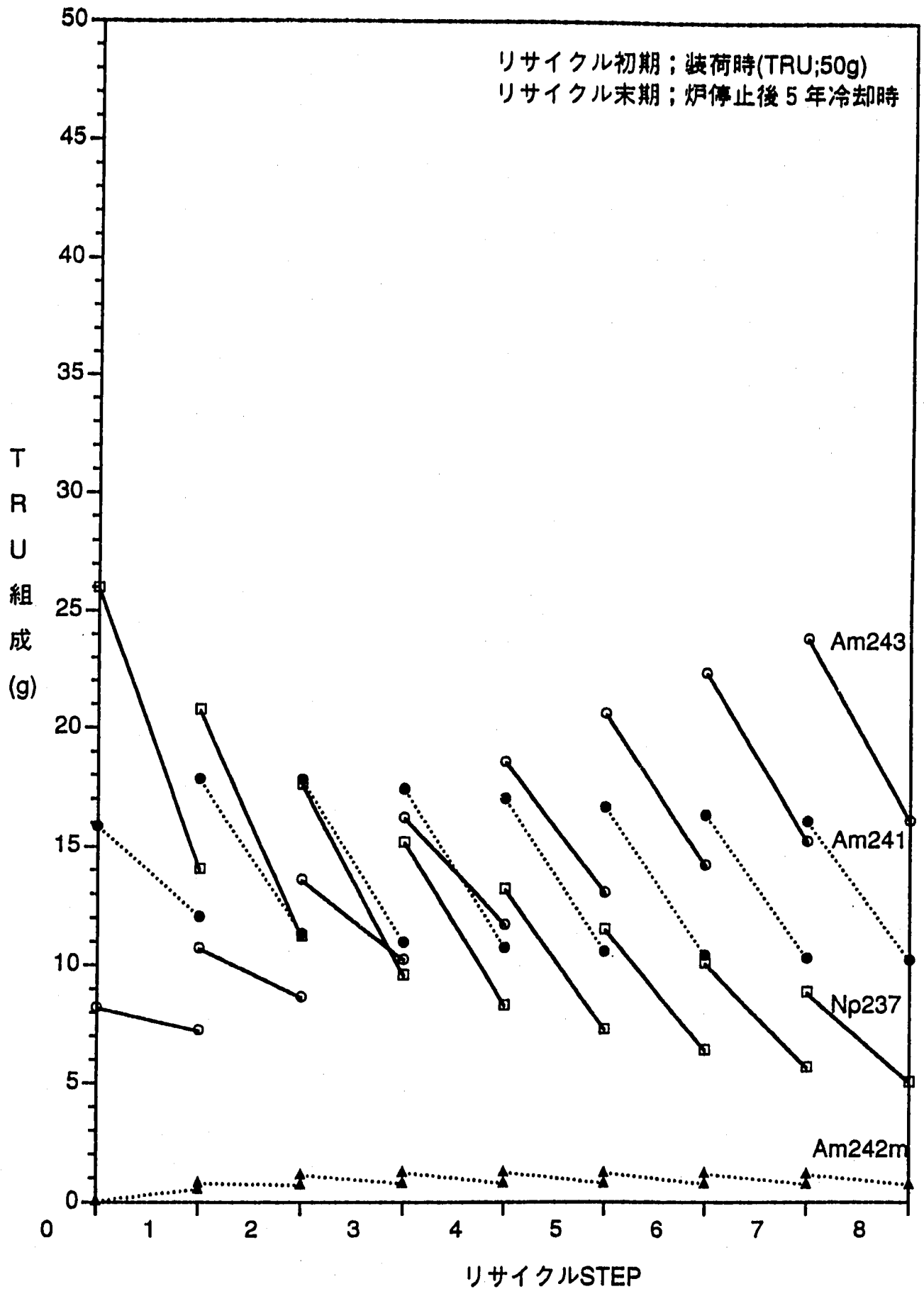


図3.1.2-16(1/2) リサイクルによるTRU組成の変化(ケースB (Np+Am))

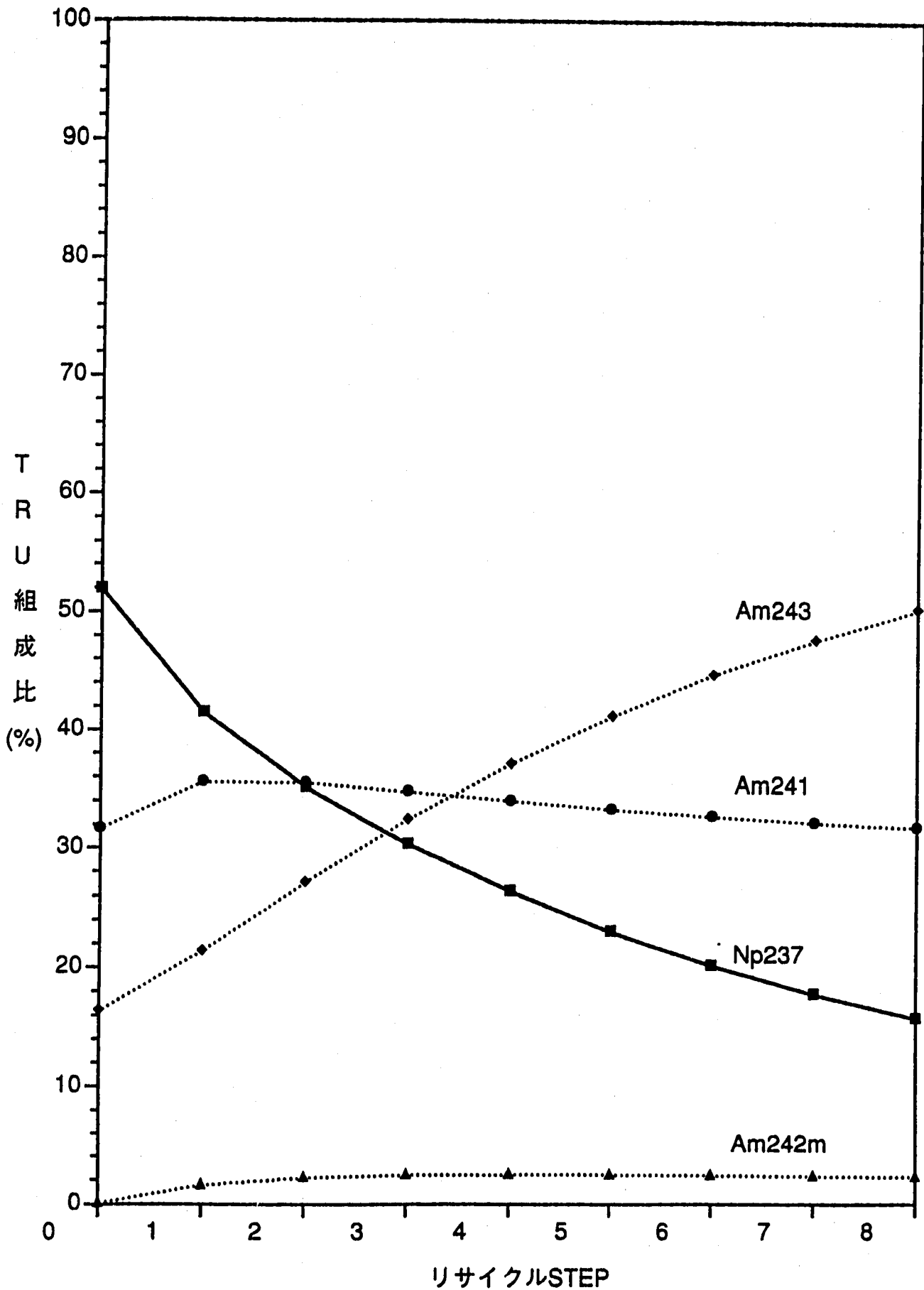


図3.1.2-16(2/2) リサイクルによるTRU組成の変化(ケースB (Np+Am))

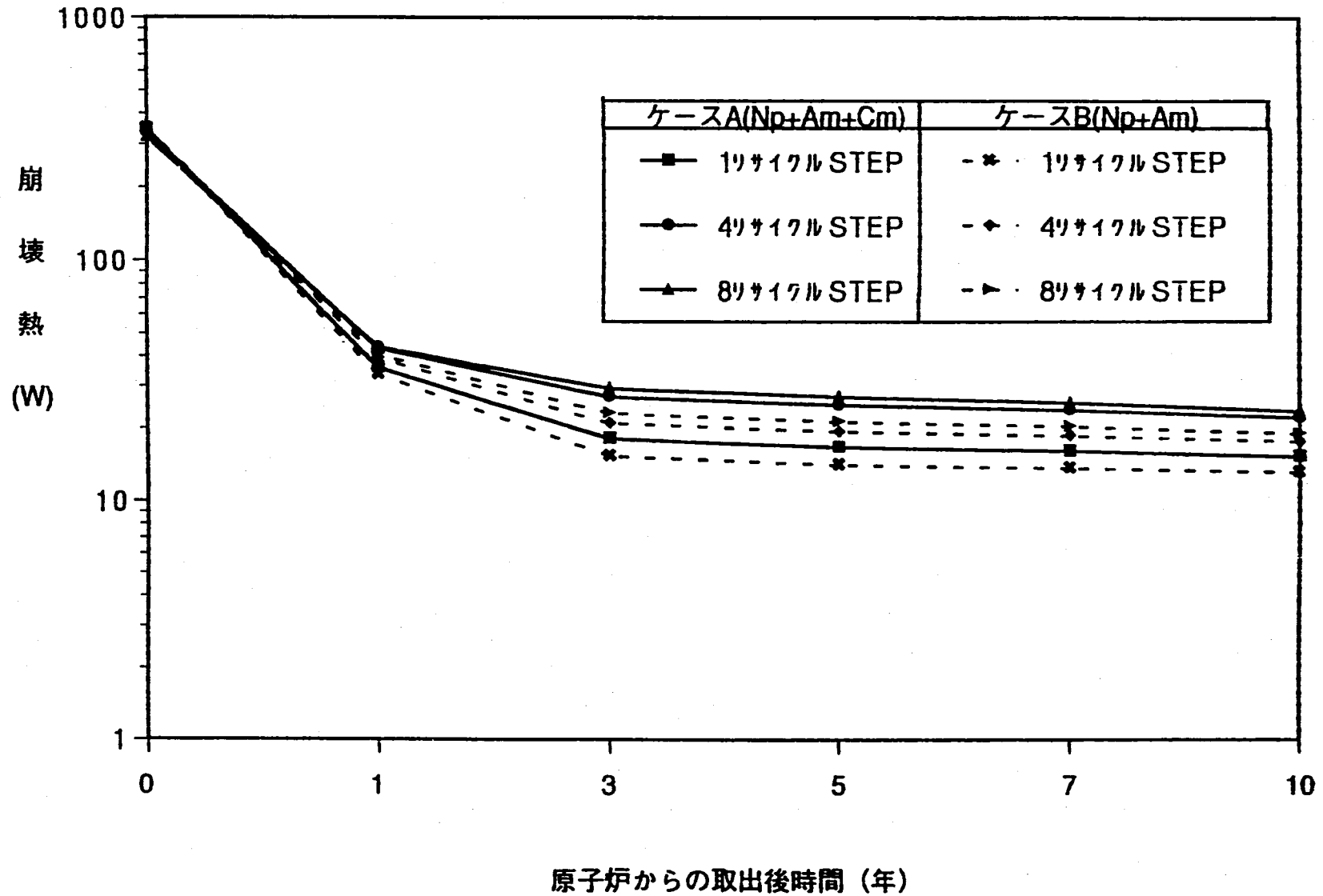


図3.1.2-17 原子炉停止後の崩壊熱の時間変化

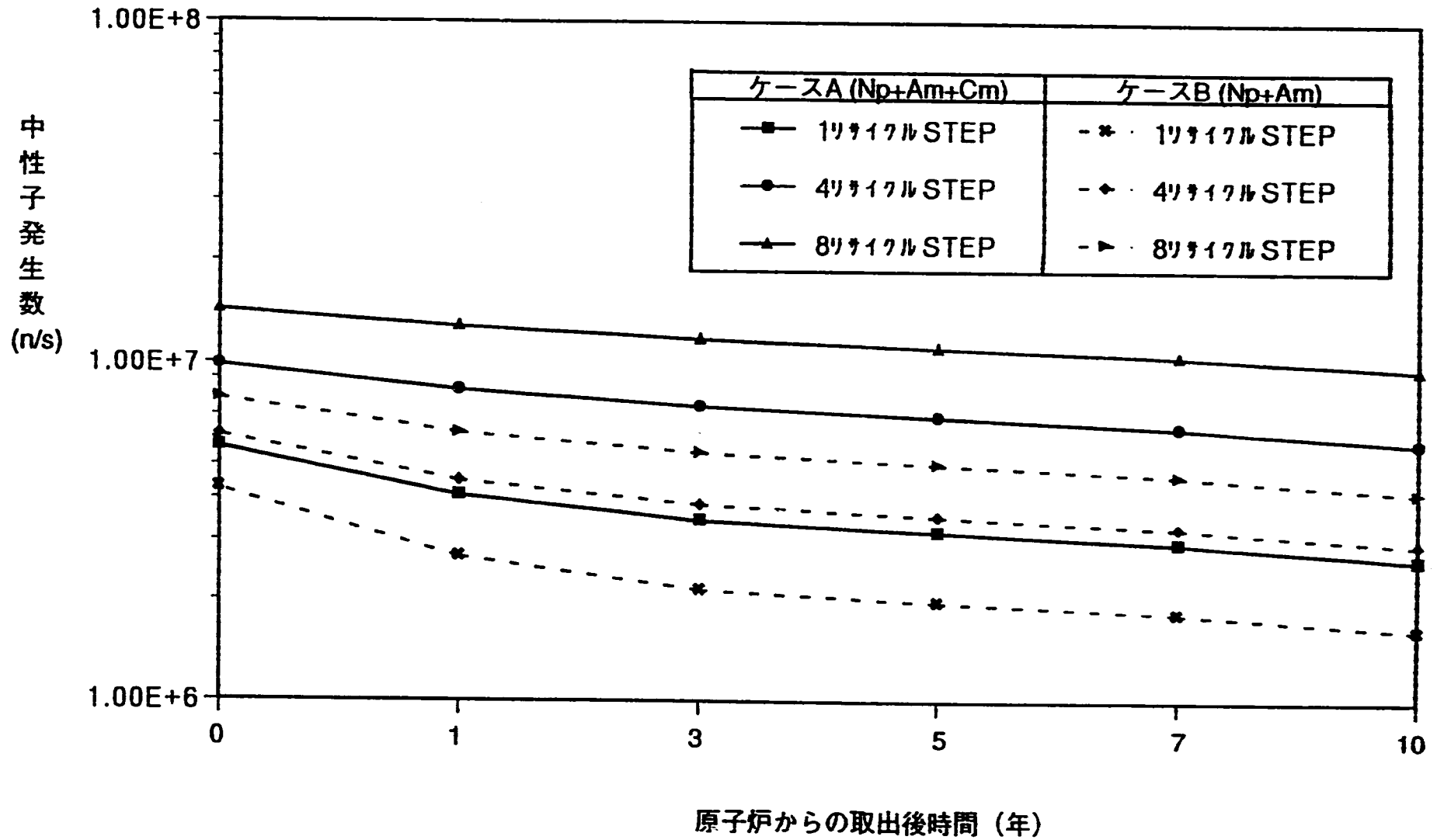


図3.1.2-18 原子炉停止後の中性子発生数の時間変化

3.2 TRUリサイクルにおける炉心特性評価

ケースAの燃料(Np,Am,Cm及びPu)のリサイクルで得られたTRU及びPuの組成を用いて、2次元RZ体系による出力分布・燃焼解析、ドップラー係数、Naボイド反応度及び制御棒価値解析を実施し、FBRでのTRUリサイクルによる主要核特性への影響を検討した。

3.2.1 解析条件

(1)解析対象ケース

前節ケースAの燃料(Np,Am,Cm及びPu)をFBRリサイクルの解析対象とした。

(2)解析対象炉心(3炉心)

① 初期炉心(0年目炉心)

前節の1リサイクルSTEP装荷時の燃料組成〔LWR取出〕を使用したケースで、初装荷初期および平衡初期及び末期の特性を評価した。

② 15年目炉心

前節のORIGEN-2で計算した4リサイクルSTEP(45ヵ月燃焼後、5年間冷却)後の燃料組成を使用したケースで、平衡初期及び末期の特性を評価した。

③ 30年目炉心

前節のORIGEN-2で計算した8リサイクルSTEP(45ヵ月燃焼後、5年間冷却)後の燃料組成を使用したケースで、平衡初期及び末期の特性を評価した。

(3)TRUおよびPuの組成(装荷時)

初期炉心装荷時燃料組成を表3.2.1-1に、15年目炉心装荷時のものを表3.2.1-2に、30年目炉心装荷時の燃料組成を表3.2.1-3に示す。

(4)基本条件

基準炉心、基本条件等は、第2章の酸化物燃料炉心と同一とした。

- 炉心構成 図2.1-1
- 原子炉出力 1000MWe(2517MWt)
- サイクル長さ 15か月
- 燃料交換 3バッチ(炉心)、4バッチ(径ブランケット)
- 炉心高さ 100cm

(5)計算手法

出力分布・燃焼解析手法は、2章の酸化物燃料炉心解析で用いたものと同じである。

3.2.2 解析結果及び考察

(1) Pu富化度

各ケースのPu富化度の解析結果を以下に示す。

炉心	内側炉心(%)	外側炉心(%)	平均(%)
初期炉心	17.8	21.6	19.7
15年目炉心	17.6	21.3	19.5
30年目炉心	16.9	20.4	18.7

表3.2.1-1及び表3.2.1-2より、初期炉心と15年目炉心の装荷時のTRUおよびPuの組成比を比べると、核分裂性Puは、初期炉心で63%であるのに対し15年目炉心では57%と6%減少している。一方、TRUは、初期炉心に比べ15年目炉心で負の反応度核種であるNpが30%減少し、正の反応度核種である²⁴³Am及びCmがそれぞれ13%及び20%増大している。従って、初期炉心と15年目炉心では、Pu富化度は同程度で反応度は維持出来たと考えられる。表3.2.1-3より、30年目炉心の装荷時の核分裂性Puは57%であり15年目炉心と差はない。TRUは、15年目炉心に比べ、30年目炉心で、Npが10%減少しているが、Cmが14%増大している。従って、15年目炉心に比べ、30年目炉心でPu富化度は低くなったと考えられる。

(2) 実効増倍率および燃焼欠損反応度

各ケースの解析結果を以下に示す。燃焼欠損反応度は、リサイクル15年目の炉心と30年目の炉心で殆ど差が無いことが判った。

炉心	BOC	BOEC	EOEC	燃焼欠損反応度
初期炉心	1.0253	1.0090	0.9930	1.6% $\Delta k/kk'$
15年目炉心	-	0.9993	0.9953	0.4% $\Delta k/kk'$
30年目炉心	-	1.0004	0.9954	0.5% $\Delta k/kk'$

(3) 増殖比

各ケースの解析結果は以下の通りである。増殖比は、リサイクル15年目の炉心と30年目の炉心で差は小さい。

炉心	BOC	BOEC	EOEC	平均
初期炉心	1.11	1.11	1.12	1.12
15年目炉心	-	1.29	1.22	1.26
30年目炉心	-	1.26	1.20	1.23

(4) 出力分布

最大線出力密度が出現するのは、いずれの炉心もEOECの内側炉心であり、リサイクルに従って最大線出力密度は若干増大しており、30年炉心で410W/ccとなる。

炉心	BOC	BOEC	EOEC
初期炉心	344/404	343/363	383/332
15年目炉心	-	368/360	403/331
30年目炉心	-	382/356	410/329

但し、(内側炉心/外側炉心)

(単位: W/cc)

各炉心のBOECおよびEOECでの炉中心面における半径方向の出力分布を図3.2.2-1～図3.2.2-2に比較して示す。同図より、BOEC、EOECともリサイクルに伴って内側炉心の出力が若干上昇していくが、一方外側炉心の出力は低下している。

(5) 核分裂性PuとTRUのマスバランス

各炉心の装荷時、BOEC、EOEC及び取出時に於ける各領域毎の重金属燃料インベントリ-の内訳を表3.2.2-1から表3.2.2-12に示す。また、BOECとEOECでの炉心部における核分裂性PuとTRUの割合を以下に示す。

	初期炉心	15年目炉心	30年目炉心
Puf/(Pu-total)	59.2/61.0	56.7/56.7	57.5/57.6
Puf/(G-total)	11.8/11.7	10.9/11.2	10.6/11.0
TRU/(G-total)	5.0/4.7	4.7/4.3	4.7/4.4

但し、(内側炉心/外側炉心)

(G-total): 燃料総インベントリー

(6) TRU消滅率

TRUサイクル消滅率及びTRU取出消滅率は以下のようになる。

① TRUサイクル消滅率

初期炉心、リサイクル15年目の炉心及び30年目の炉心のTRUサイクル消滅率はいずれも10%であり、TRUリサイクルにより消滅特性に差は生じていない。

	初期炉心	15年目炉心	30年目炉心
TRU重量 (BOEC,kg)	1587	1592	1607
TRU重量 (EOEC,kg)	1424	1425	1445
TRUサイクル消滅 量(kg)	163	167	162
TRUサイクル消滅 率(%)	10	10	10

但し

$$\text{TRUサイクル消滅率} = \frac{\text{TRU重量(BOEC)} - \text{TRU重量(EOEC)}}{\text{TRU重量(BOEC)}} \times 100(\%)$$

また、TRU核種毎のサイクル消滅率の内訳を表3.2.2-13～表3.2.2-15に示す。

② TRU取出消滅率

TRU取出消滅率は以下のようなになる。初期炉心、リサイクル15年目の炉心および30年目の炉心の、TRU取出消滅率はいずれも27~28%であり、TRUリサイクルにより消滅特性に差は生じていない。

	初期炉心	15年目炉心	30年目炉心
TRU重量 (装荷時,kg)	1758	1592	1607
TRU重量 (取出時,kg)	1268	1425	1445
TRU取出消滅量 (kg)	490	167	162
TRU取出消滅率(%)	28	10	10

但し

$$\text{TRUサイクル消滅率} = \frac{\text{TRU重量(BOEC)} - \text{TRU重量(EOEC)}}{\text{TRU重量(EOEC)}} \times 100(\%)$$

1リサイクル当たりのTRU取出消滅量(平均)を基に、30年間のTRUリサイクルによる取出消滅量を求めると、約4t(3938kg)となる。

(7) 中性子スペクトル

各炉心の平衡炉心末期における炉中心の中性子スペクトルを図3.2.2-3に比較して示す。各炉心で中性子スペクトルに大きな差はないことが判る。

(8) ドップラー係数

エネルギー群は18群、計算モデルは2次元RZ全炉心体系とし平衡炉心末期を対象とした。計算法は、定格出力運転時の燃料温度分布から、燃料温度が一様に500K変化した場合の反応度変化を直接計算により求めた。以下に各炉心のドップラー係数の解析結果を示す。

ドップラー係数は、 ^{238}U の実効的吸収に対する温度の効果であり、これに影響を与える主な因子は、 ^{238}U のインベントリと中性子のスペクトルである。リサイクルによりドップラー係数の絶対値は大きくなり30年目では初期炉心に比べ、約14%増大した。これは、リサイクルにより N_p が減少し、 C_m が増加した等の効果により、30年目炉心でPu蓄化度を低減でき、 ^{238}U の共鳴吸収反応が増えたためである。初期炉心のBOLに比べ、EOECで

ドブラー係数が2%低減したのは、FPの増加で238Uの共鳴吸収反応が減少したためである。

炉心	ドブラー係数 (Tdk/dT)	相対値
初期炉心(BOL)	-5.59×10^{-3}	-
初期炉心(EOEC)	-5.50×10^{-3}	1.0
15年目炉心(EOEC)	-5.94×10^{-3}	1.08
30年目炉心(EOEC)	-6.26×10^{-3}	1.14

(9) Naボイド反応度

エネルギー群は18群、計算モデルは2次元RZ全炉心体系とし、平衡炉心末期を対象に、炉心及び上部軸方向ブランケット領域のNaがボイド化した場合の反応度変化を直接計算により求めた。また、集合体間ギャップもボイド化するとした。Naボイド反応度の解析結果を以下に示す。

炉心	Naボイド反応度	相対値
初期炉心(BOL)	2.18% $\Delta k/kk'$ (\$5.9)	-
初期炉心(EOEC)	2.98% $\Delta k/kk'$ (\$8.1)	1.0
15年目炉心(EOEC)	2.85% $\Delta k/kk'$ (\$7.7)	0.96
30年目炉心(EOEC)	2.77% $\Delta k/kk'$ (\$7.4)	0.93

初期炉心(EOEC)のNaボイド反応度は約2.98% $\Delta k/kk'$ (約8.1\$)であり、リサイクルが進むに伴いNaボイド反応度は減少し、30年目でNaボイド反応度は約2.77% $\Delta k/kk'$ (約7.4\$)となる。リサイクル30年目では初期炉心に比べNaボイド反応度は約7%減少した。

(10) 制御棒価値

エネルギー群は6群、計算モデルは出力分布・燃焼計算と同じ2次元RZ全炉心体系において、BOECの制御棒部分挿入状態と全引き抜き状態の実効増倍率の差から各炉心の制御棒価値の相対値を求めた。結果は以下の通りである。

炉心	部分制御棒価値	相対値
初期炉心(BOEC)	1.47% $\Delta k/kk'$	1.0
15年目炉心(BOEC)	1.51% $\Delta k/kk'$	1.03
30年目炉心(BOEC)	1.55% $\Delta k/kk'$	1.05

30年目炉心の制御棒価値は初期炉心に比べ5%増大した。これは、リサイクルにより N_p が減少し、 C_m が増加した等の効果により、中性子吸収量が減り、Pu富化度を低減出来たため、相対的に ^{10}B の吸収量が増加した為である。

表3.2.2-16にTRUリサイクル炉心の主要炉心特性をまとめて示す。

表3.2.1-1 LWR取出TRU及びPuの組成
(リサイクルSTEP1装荷時の組成：by ORIGEN-2)

STEP 1 (LMFBR RECYCLE LIB)

TRUの内訳

核種	相対値 (g)	割合
Np237	6.032E-01	0.49115
Am241	3.681E-01	0.29972
Am242m	9.375E-04	0.00076
Am243	1.903E-01	0.15495
Cm242	1.076E-05	0.00001
Cm243	6.208E-04	0.00051
Cm244	6.125E-02	0.04987
Cm245	3.169E-03	0.00258
Cm246	5.494E-04	0.00045
TRUの合計	1.228	1.0
Puの内訳		
Pu238	2.429E-01	0.02430
Pu239	5.106E+00	0.51071
Pu240	2.686E+00	0.26866
Pu241	1.203E+00	0.12033
Pu242	7.600E-01	0.07602
Puの合計	9.9979	1.0

表3.2.1-2 リサイクル15年目のTRU及びPuの組成
 (リサイクルSTEP4 [45ヵ月燃焼+5年冷却] 後の組成: by ORIGEN-2)

STEP 4 (LMFBR RECYCLE LIB)

TRUの内訳

核種	相対値 (g)	割合
Np237	6.573E+00	0.18909
Am241	9.378E+00	0.26978
Am242m	6.429E-01	0.01849
Am243	9.739E+00	0.28016
Cm242	1.814E-03	0.00005
Cm243	6.831E-02	0.00197
Cm244	5.645E+00	0.16239
Cm245	2.046E+00	0.05886
Cm246	6.254E-01	0.01799
Cm247	4.244E-02	0.00122
TRUの合計	34.762	1.0
Puの内訳		
Pu238	1.257E+01	0.07138
Pu239	9.457E+01	0.53699
Pu240	5.427E+01	0.30816
Pu241	5.535E+00	0.03143
Pu242	9.167E+00	0.05205
Puの合計	176.1120	1.0

表3.2.1-3 リサイクル30年目のTRU及びPuの組成

(リサイクルSTEP8 [45ヵ月燃焼+5年冷却] 後の組成 : by ORIGEN-2)

STEP 8 (LMFBR RECYCLE LIB)

TRUの内訳

核種	相対値 (g)	割合
Np237	3.178E+00	0.08828
Am241	8.418E+00	0.23383
Am242m	5.345E-01	0.01485
Am243	1.035E+01	0.28750
Cm242	1.514E-03	0.00004
Cm243	5.739E-02	0.00159
Cm244	7.244E+00	0.20122
Cm245	3.150E+00	0.08750
Cm246	2.726E+00	0.07572
Cm247	2.779E-01	0.00772
Cm248	6.328E-02	0.00176
TRUの合計	36.001	1.0
Puの内訳		
Pu238	8.376E+00	0.04788
Pu239	9.406E+01	0.53772
Pu240	5.928E+01	0.33889
Pu241	6.058E+00	0.03463
Pu242	7.150E+00	0.04087
Puの合計	174.9240	1.0

表 3. 2. 2 - 1

初期炉心の燃料インベントリの内訳 (装荷時)

LOADING FUEL INVENTORY

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	13.54	13.30	10.59	14.38	26.84	24.97	51.81
U236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U238	4498.49	4420.51	3517.94	4780.26	8919.00	8298.20	17217.20
PU238	23.76	29.70	0.00	0.00	53.46	0.00	53.46
PU239	499.40	624.38	0.00	0.00	1123.78	0.00	1123.78
PU240	262.71	328.45	0.00	0.00	591.17	0.00	591.17
PU241	117.67	147.11	0.00	0.00	264.78	0.00	264.78
PU242	74.34	92.94	0.00	0.00	167.28	0.00	167.28
NP237	140.46	144.48	0.00	0.00	284.94	0.00	284.94
AM241	87.16	89.66	0.00	0.00	176.82	0.00	176.82
AM242M	0.22	0.23	0.00	0.00	0.45	0.00	0.45
AM243	45.44	46.73	0.00	0.00	92.17	0.00	92.17
CM242	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
CM243	0.15	0.15	0.00	0.00	0.30	0.00	0.30
CM244	14.68	15.10	0.00	0.00	29.79	0.00	29.79
CM245	0.76	0.78	0.00	0.00	1.55	0.00	1.55
U-TOTAL	4512.03	4433.81	3528.53	4794.65	8945.84	8323.17	17269.01
PU-FISS	617.07	771.49	0.00	0.00	1388.56	0.00	1388.56
PU-TOTAL	977.88	1222.58	0.00	0.00	2200.46	0.00	2200.46
TRU-TOTAL	288.88	297.14	0.00	0.00	586.02	0.00	586.02
GRAND-TOTAL	5778.78	5953.53	3528.53	4794.65	11732.32	8323.17	20055.49

REACTOR INVENTORY (AFTER FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	31.16	32.52	37.27	38.75	63.68	76.01	139.69
U236	2.02	1.57	1.29	1.10	3.59	2.39	5.98
U238	12983.21	12874.92	13868.02	14156.67	25858.13	28024.69	53882.82
PU238	132.68	137.56	0.05	0.04	270.23	0.09	270.32
PU239	1529.72	1823.69	170.15	156.26	3353.41	326.42	3679.83
PU240	796.28	984.98	5.73	4.47	1781.26	10.20	1791.46
PU241	284.46	365.91	0.15	0.10	650.37	0.25	650.62
PU242	227.12	281.66	0.00	0.00	508.78	0.00	508.78
NP237	343.73	370.82	0.53	0.45	714.55	0.98	715.52
AM241	220.82	243.36	0.01	0.00	464.18	0.01	464.19
AM242M	6.06	5.44	0.00	0.00	11.50	0.00	11.50
AM243	122.62	130.67	0.00	0.00	253.29	0.00	253.29
CM242	9.88	8.30	0.00	0.00	18.18	0.00	18.18
CM243	0.90	0.73	0.00	0.00	1.62	0.00	1.62
CM244	57.97	55.95	0.00	0.00	113.92	0.00	113.92
CM245	4.62	4.07	0.00	0.00	8.69	0.00	8.69
U-TOTAL	13016.39	12909.01	13906.57	14196.52	25925.40	28103.09	54028.49
PU-FISS	1814.18	2189.60	170.31	156.36	4003.78	326.67	4330.45
PU-TOTAL	2970.25	3593.80	176.09	160.87	6564.05	336.96	6901.01
TRU-TOTAL	766.61	819.32	0.53	0.45	1585.93	0.98	1586.92
GRAND-TOTAL	16753.24	17322.14	14083.19	14357.84	34075.38	28441.03	62516.42

表 3. 2. 2 - 3

初期炉心の燃料インベントリの内訳 (E O E C)

REACTOR INVENTORY (BEFORE FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD.BLANKET	AX.BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	23.31	26.13	34.12	34.68	49.44	68.80	118.23
U236	3.59	2.87	2.07	2.10	6.46	4.17	10.63
U238	12485.87	12495.80	13732.73	13974.86	24981.67	27707.59	52689.26
PU238	179.54	177.60	0.10	0.10	357.14	0.21	357.35
PU239	1549.28	1776.51	274.88	299.76	3325.79	574.64	3900.43
PU240	804.82	983.45	11.96	11.90	1788.27	23.86	1812.12
PU241	231.00	304.11	0.41	0.35	535.10	0.76	535.87
PU242	228.33	282.23	0.01	0.01	510.56	0.02	510.58
NP237	276.75	314.97	0.86	0.88	591.72	1.74	593.45
AM241	184.75	218.92	0.02	0.01	403.67	0.04	403.70
AM242M	9.60	8.95	0.00	0.00	18.53	0.00	18.53
AM243	110.83	122.18	0.00	0.00	233.01	0.00	233.01
CM242	13.93	12.05	0.00	0.00	25.98	0.00	25.98
CM243	1.27	0.97	0.00	0.00	2.24	0.00	2.24
CM244	69.14	64.91	0.00	0.00	134.05	0.00	134.05
CM245	6.90	5.77	0.00	0.00	12.67	0.00	12.67
U-TOTAL	12512.77	12524.80	13768.91	14011.64	25037.57	27780.56	52818.13
PU-FISS	1780.28	2080.62	275.29	300.11	3860.90	575.40	4436.30
PU-TOTAL	2992.97	3523.90	287.36	312.12	6516.87	599.48	7116.35
TRU-TOTAL	673.16	748.70	0.88	0.89	1421.86	1.77	1423.63
GRAND-TOTAL	16178.90	16797.40	14057.15	14324.66	32976.30	28381.81	61358.11

表 3. 2. 2 - 4

初期炉心の燃料インベントリの内訳 (取出時)

DISCHARGED FUEL INVENTORY

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD.BLANKET	AX.BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	5.66	6.91	7.43	10.32	12.60	17.75	30.35
U236	1.58	1.30	0.78	1.00	2.87	1.78	4.65
U238	4001.15	4041.39	3382.65	4598.45	8042.54	7981.11	16023.65
PU238	70.62	69.75	0.05	0.06	140.37	0.12	140.48
PU239	518.97	577.20	104.72	143.50	1096.16	248.22	1344.38
PU240	271.25	326.92	6.23	7.43	598.18	13.66	611.83
PU241	64.20	85.31	0.26	0.25	149.51	0.51	150.02
PU242	75.55	93.51	0.01	0.01	169.06	0.01	169.07
NP237	73.48	88.63	0.33	0.43	162.11	0.76	162.87
AM241	51.09	65.21	0.02	0.01	116.31	0.03	116.33
AM242M	3.76	3.73	0.00	0.00	7.49	0.00	7.49
AM243	33.65	38.24	0.00	0.00	71.89	0.00	71.89
CM242	4.05	3.75	0.00	0.00	7.80	0.00	7.80
CM243	0.52	0.40	0.00	0.00	0.92	0.00	0.92
CM244	25.85	24.06	0.00	0.00	49.91	0.00	49.91
CM245	3.04	2.49	0.00	0.00	5.53	0.00	5.53
U-TOTAL	4008.41	4049.60	3390.87	4609.77	8058.01	8000.64	16058.65
PU-FISS	583.17	662.51	104.98	143.75	1245.67	248.73	1494.41
PU-TOTAL	1000.59	1152.68	111.27	151.25	2153.27	262.52	2415.79
TRU-TOTAL	195.44	226.51	0.35	0.44	421.95	0.79	422.74
GRAND-TOTAL	5204.44	5428.79	3502.48	4761.47	10633.23	8263.95	18897.18

表 3.2.2-5

15年目炉心の燃料インベントリの内訳(装荷時)

LOADING FUEL INVENTORY

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	13.57	13.35	10.59	14.38	26.92	24.97	51.89
U236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U238	4509.04	4436.84	3517.94	4780.26	8945.88	8296.20	17244.09
PU238	74.69	93.13	0.00	0.00	167.82	0.00	167.82
PU239	517.20	644.86	0.00	0.00	1162.06	0.00	1162.06
PU240	288.60	359.83	0.00	0.00	648.43	0.00	648.43
PU241	30.31	37.79	0.00	0.00	68.09	0.00	68.09
PU242	55.88	69.68	0.00	0.00	125.56	0.00	125.56
NP237	67.91	69.85	0.00	0.00	137.76	0.00	137.76
AM241	84.52	86.94	0.00	0.00	171.46	0.00	171.46
AM242M	5.73	5.89	0.00	0.00	11.62	0.00	11.62
AM243	77.51	79.72	0.00	0.00	157.23	0.00	157.23
CM242	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
CM243	0.59	0.61	0.00	0.00	1.21	0.00	1.21
CM244	41.05	42.22	0.00	0.00	83.27	0.00	83.27
CM245	13.60	13.99	0.00	0.00	27.59	0.00	27.59
U-TOTAL	4522.61	4450.19	3528.53	4794.65	8972.80	8323.17	17295.97
PU-FISS	547.50	682.64	0.00	0.00	1230.15	0.00	1230.15
PU-TOTAL	966.67	1205.28	0.00	0.00	2171.95	0.00	2171.95
TRU-TOTAL	290.93	299.25	0.00	0.00	590.18	0.00	590.18
GRAND-TOTAL	5780.21	5954.72	3528.53	4794.65	11734.93	8323.17	20058.11

表 3. 2. 2 - 6

15年目炉心の燃料インベントリの内訳 (BOEC)

REACTOR INVENTORY (AFTER FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD.BLANKET	AX.BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	30.80	32.57	37.40	38.73	63.36	76.13	139.50
U236	2.11	1.60	1.24	1.10	3.72	2.34	6.06
U238	12980.73	12916.81	13871.04	14152.64	25897.54	28023.68	53921.22
PU238	226.81	274.72	0.05	0.04	501.53	0.09	501.62
PU239	1584.39	1887.03	168.62	159.75	3471.42	328.37	3799.80
PU240	873.76	1079.48	5.25	4.44	1953.24	9.69	1962.93
PU241	105.47	124.60	0.13	0.09	230.06	0.22	230.29
PU242	165.87	206.01	0.00	0.00	371.88	0.00	371.88
NP237	165.48	179.90	0.52	0.46	345.39	0.99	346.37
AM241	203.00	223.41	0.01	0.00	426.41	0.01	426.41
AM242M	17.04	17.79	0.00	0.00	34.82	0.00	34.82
AM243	197.39	213.07	0.00	0.00	410.46	0.00	410.46
CM242	9.50	7.67	0.00	0.00	17.16	0.00	17.16
CM243	1.82	1.73	0.00	0.00	3.54	0.00	3.54
CM244	139.50	138.03	0.00	0.00	277.53	0.00	277.53
CM245	37.25	38.73	0.00	0.00	75.98	0.00	75.98
U-TOTAL	13013.64	12950.98	13909.69	14192.47	25964.62	28102.15	54066.78
PU-FISS	1689.86	2011.63	168.75	159.84	3701.49	328.59	4030.08
PU-TOTAL	2956.31	3571.84	174.05	164.32	6528.14	338.38	6866.52
TRU-TOTAL	770.98	820.31	0.53	0.47	1591.29	0.99	1592.29
GRAND-TOTAL	16740.93	17343.13	14084.26	14357.26	34084.06	28441.52	62525.58

表 3.2.2-7

15年目炉心の燃料インベントリの内訳 (EOEC)

REACTOR INVENTORY (BEFORE FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD.BLANKET	AX.BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	22.64	26.09	34.30	34.66	48.73	68.96	117.69
U236	3.74	2.92	2.01	2.08	6.67	4.09	10.76
U238	12450.47	12530.07	13736.50	13966.67	24980.54	27703.18	52683.72
PU238	225.98	269.44	0.10	0.11	495.42	0.21	495.63
PU239	1601.07	1839.29	273.64	306.59	3440.37	580.23	4020.59
PU240	882.04	1078.21	11.06	11.83	1960.26	22.90	1983.15
PU241	117.03	133.66	0.34	0.34	250.69	0.69	251.38
PU242	163.73	202.83	0.01	0.01	366.55	0.02	366.57
NP237	132.72	153.46	0.85	0.91	286.19	1.76	287.95
AM241	160.85	190.88	0.02	0.01	351.73	0.03	351.76
AM242M	16.16	17.40	0.00	0.00	33.56	0.00	33.56
AM243	166.95	189.54	0.00	0.00	356.49	0.00	356.49
CM242	13.11	10.88	0.00	0.00	23.99	0.00	23.99
CM243	1.84	1.65	0.00	0.00	3.49	0.00	3.49
CM244	150.46	146.26	0.00	0.00	296.72	0.00	296.72
CM245	34.76	36.21	0.00	0.00	70.97	0.00	70.97
U-TOTAL	12476.85	12559.09	13772.82	14003.42	25035.94	27776.23	52812.17
PU-FISS	1718.10	1972.95	273.98	306.93	3691.06	580.91	4271.97
PU-TOTAL	2989.86	3523.43	285.15	318.88	6513.29	604.03	7117.32
TRU-TOTAL	676.85	746.29	0.87	0.92	1423.14	1.79	1424.93
GRAND-TOTAL	16143.56	16828.81	14058.84	14323.21	32972.36	28382.06	61354.42

表 3.2.2 - 8

15年目炉心の燃料インベントリの内訳 (取出時)

DISCHARGED FUEL INVENTORY

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	5.41	6.88	7.49	10.31	12.29	17.80	30.09
U236	1.63	1.32	0.76	0.99	2.95	1.75	4.70
U238	3978.78	4050.10	3383.40	4594.30	8028.88	7977.70	16006.58
PU238	73.86	87.85	0.05	0.07	161.70	0.12	161.82
PU239	533.88	597.12	105.01	146.84	1131.00	251.85	1382.85
PU240	296.88	358.56	5.81	7.39	655.44	13.21	668.65
PU241	41.87	46.85	0.22	0.25	88.72	0.46	89.18
PU242	53.74	66.50	0.01	0.01	120.24	0.01	120.25
NP237	35.15	43.41	0.33	0.44	78.55	0.77	79.33
AM241	42.37	54.41	0.01	0.01	96.78	0.02	96.81
AM242M	4.85	5.50	0.00	0.00	10.35	0.00	10.35
AM243	47.06	56.20	0.00	0.00	103.26	0.00	103.26
CM242	3.63	3.23	0.00	0.00	6.86	0.00	6.86
CM243	0.62	0.54	0.00	0.00	1.16	0.00	1.16
CM244	52.01	50.45	0.00	0.00	102.46	0.00	102.46
CM245	11.11	11.47	0.00	0.00	22.59	0.00	22.59
U-TOTAL	3985.81	4058.30	3391.66	4605.60	8044.11	7997.25	16041.37
PU-FISS	575.74	643.97	105.23	147.09	1219.72	252.32	1472.03
PU-TOTAL	1000.22	1156.88	111.10	154.55	2157.10	265.66	2422.75
TRU-TOTAL	196.80	225.22	0.35	0.45	422.03	0.80	422.83
GRAND-TOTAL	5182.83	5440.40	3503.10	4760.60	10623.24	8263.71	18886.94

LOADING FUEL INVENTORY

表 3.2.2 - 3

30年目炉心の燃料インベントリの内訳(装荷時)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	13.68	13.50	10.59	14.38	27.18	24.97	52.15
U236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U238	4545.95	4485.82	3517.94	4780.26	9031.77	8298.20	17329.98
PU238	48.61	60.44	0.00	0.00	109.05	0.00	109.05
PU239	499.37	620.96	0.00	0.00	1120.33	0.00	1120.33
PU240	309.12	384.39	0.00	0.00	693.50	0.00	693.50
PU241	31.48	39.14	0.00	0.00	70.62	0.00	70.62
PU242	39.39	48.98	0.00	0.00	88.38	0.00	88.38
NP237	31.87	32.78	0.00	0.00	64.65	0.00	64.65
AM241	74.21	76.34	0.00	0.00	150.55	0.00	150.55
AM242M	4.82	4.96	0.00	0.00	9.78	0.00	9.78
AM243	91.54	94.16	0.00	0.00	185.70	0.00	185.70
CM242	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
CM243	0.52	0.54	0.00	0.00	1.06	0.00	1.06
CM244	62.57	64.36	0.00	0.00	126.92	0.00	126.92
CM245	26.58	27.34	0.00	0.00	53.91	0.00	53.91
U-TOTAL	4559.63	4499.32	3528.53	4794.65	9058.95	8323.17	17382.12
PU-FISS	530.84	660.11	0.00	0.00	1190.95	0.00	1190.95
PU-TOTAL	927.96	1153.92	0.00	0.00	2081.87	0.00	2081.87
TRU-TOTAL	292.13	300.48	0.00	0.00	592.60	0.00	592.60
GRAND-TOTAL	5779.71	5953.72	3528.53	4794.65	11733.43	8323.17	20056.60

表 3.2.2-10 30年目炉心の燃料インベントリの内訳 (BOEC)

REACTOR INVENTORY (AFTER FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD.BLANKET	AX.BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	30.76	32.90	37.43	38.65	63.66	76.09	139.75
U236	2.19	1.63	1.24	1.11	3.52	2.35	6.17
U238	13067.03	13058.14	13872.83	14148.97	26125.16	28021.80	54146.96
PU238	147.12	178.19	0.05	0.04	325.30	0.09	325.39
PU239	1541.34	1826.22	167.42	162.56	3367.56	329.97	3697.53
PU240	929.48	1148.40	5.19	4.65	2077.88	9.83	2087.71
PU241	111.35	130.41	0.13	0.10	241.76	0.23	241.99
PU242	120.25	147.58	0.00	0.00	267.83	0.00	267.83
NP237	78.40	85.42	0.51	0.47	163.81	0.98	164.80
AM241	177.66	197.11	0.01	0.00	374.77	0.01	374.78
AM242M	14.53	15.17	0.00	0.00	29.70	0.00	29.70
AM243	227.72	247.83	0.00	0.00	475.55	0.00	475.55
CM242	8.61	6.81	0.00	0.00	15.42	0.00	15.42
CM243	1.62	1.52	0.00	0.00	3.14	0.00	3.14
CM244	200.70	200.90	0.00	0.00	401.60	0.00	401.60
CM245	68.72	72.93	0.00	0.00	141.65	0.00	141.65
U-TOTAL	13099.98	13092.67	13911.50	14188.74	26192.65	28100.24	54292.89
PU-FISS	1652.69	1956.63	167.54	162.66	3609.32	330.20	3939.52
PU-TOTAL	2849.54	3430.80	172.78	167.35	6280.33	340.13	6620.46
TRU-TOTAL	777.96	827.68	0.52	0.47	1605.64	0.99	1606.63
GRAND-TOTAL	16727.48	17351.15	14084.79	14356.56	34078.62	28441.35	62519.98

表 3.2.2-11 30年目炉心の燃料インベントリーの内訳 (EOEC)

REACTOR INVENTORY (BEFORE FUEL EXCHANGE)

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	22.35	26.34	34.36	34.52	48.69	68.88	117.57
U236	3.86	2.97	2.00	2.12	6.84	4.12	10.95
U238	12513.01	12666.22	13739.62	13959.39	25179.23	27699.01	52878.24
PU238	146.97	175.49	0.10	0.11	322.46	0.21	322.67
PU239	1565.76	1788.01	271.65	311.70	3353.77	583.35	3937.12
PU240	932.59	1142.82	10.92	12.37	2075.41	23.29	2098.70
PU241	124.50	140.76	0.34	0.37	265.26	0.71	265.97
PU242	121.86	148.02	0.01	0.01	269.88	0.02	269.90
NP237	63.72	73.91	0.84	0.92	137.62	1.75	139.38
AM241	140.44	169.50	0.02	0.01	309.95	0.03	309.98
AM242M	13.88	15.00	0.00	0.00	28.88	0.00	28.88
AM243	187.42	216.77	0.00	0.00	404.18	0.00	404.18
CM242	11.88	9.70	0.00	0.00	21.58	0.00	21.58
CM243	1.66	1.46	0.00	0.00	3.12	0.00	3.12
CM244	207.27	205.18	0.00	0.00	412.45	0.00	412.45
CM245	60.13	65.37	0.00	0.00	125.50	0.00	125.50
U-TOTAL	12539.22	12695.54	13775.98	13996.02	25234.76	27772.00	53006.76
PU-FISS	1690.25	1928.78	271.99	312.07	3619.03	584.05	4203.09
PU-TOTAL	2891.68	3395.11	283.02	324.56	6286.79	607.57	6894.36
TRU-TOTAL	686.39	756.89	0.86	0.93	1443.28	1.79	1445.07
GRAND-TOTAL	16117.30	16847.53	14059.85	14321.51	32964.83	28381.36	61346.19

表 3.2.2-12 30年目炉心の燃料インベントリの内訳（取出時）

DISCHARGED FUEL INVENTORY

UNIT : KG

ELEMENT	INNER CORE	OUTER CORE	RD. BLANKET	AX. BLANKET	CORE TOTAL	BLANKET TOTAL	REACTOR TOTAL
U235	5.26	6.94	7.51	10.24	12.20	17.76	29.96
U236	1.67	1.34	0.76	1.00	3.01	1.76	4.78
U238	3991.94	4093.90	3384.74	4590.68	8085.84	7975.42	16061.26
PU238	48.46	57.75	0.05	0.07	106.21	0.12	106.33
PU239	523.78	582.76	104.23	149.14	1106.54	253.37	1359.91
PU240	312.22	378.81	5.74	7.73	691.03	13.46	704.49
PU241	44.62	49.50	0.21	0.27	94.12	0.48	94.60
PU242	41.01	49.42	0.01	0.01	90.43	0.01	90.44
NP237	17.19	21.27	0.32	0.45	38.46	0.77	39.23
AM241	36.99	48.73	0.01	0.01	85.73	0.02	85.75
AM242M	4.18	4.79	0.00	0.00	8.96	0.00	8.96
AM243	51.24	63.10	0.00	0.00	114.34	0.00	114.34
CM242	3.28	2.90	0.00	0.00	6.18	0.00	6.18
CM243	0.56	0.48	0.00	0.00	1.04	0.00	1.04
CM244	69.14	68.64	0.00	0.00	137.78	0.00	137.78
CM245	17.98	19.77	0.00	0.00	37.76	0.00	37.76
U-TOTAL	3998.88	4102.19	3393.01	4601.93	8101.06	7994.94	16096.00
PU-FISS	568.41	632.25	104.45	149.41	1200.66	253.85	1454.51
PU-TOTAL	970.10	1118.23	110.24	157.21	2088.33	267.45	2355.77
TRU-TOTAL	200.56	229.68	0.34	0.46	430.25	0.80	431.04
GRAND-TOTAL	5169.53	5450.10	3503.59	4759.59	10619.63	8263.18	18882.81

表3.2.2-13 TRU消滅率 (初期炉心)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	715.52	593.45	122.07	17.06
Am242	11.50	18.53	-7.03	-61.13
Am241	464.19	403.70	60.49	13.03
Am243	253.29	233.01	20.28	8.01
Am TOTAL	728.98	655.24	73.74	10.12
Cm242	18.18	25.98	-7.80	-42.90
Cm243	1.62	2.24	-0.62	-38.27
Cm244	113.92	134.05	-20.13	-17.67
Cm245	8.69	12.67	-3.98	-45.80
Cm TOTAL	142.41	174.94	-32.53	-22.84
TOTAL	1586.91	1423.63	163.28	10.29

表3.2.2-14 TRU消滅率 (15年目炉心)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	346.37	287.95	58.42	16.87
Am242	34.82	33.56	1.26	3.62
Am241	426.41	351.76	74.65	17.51
Am243	410.46	356.49	53.97	13.15
Am TOTAL	871.69	741.81	129.88	14.90
Cm242	17.16	23.99	-6.83	-39.80
Cm243	3.54	3.49	0.05	1.41
Cm244	277.53	296.72	-19.19	-6.91
Cm245	75.98	70.97	5.01	6.59
Cm TOTAL	374.21	395.17	-20.96	-5.60
TOTAL	1592.27	1424.93	167.34	10.51

表3.2.2-15 TRU消滅率 (30年目炉心)

	a 平衡初期 (Kg/炉心)	b 平衡末期 (Kg/炉心)	c=a-b 消滅量 (Kg/CYC)	c/a*100 消滅率 (%)
Np237	164.80	139.38	25.42	15.42
Am242	29.70	28.88	0.82	2.76
Am241	374.78	309.98	64.80	17.29
Am243	475.55	404.18	71.37	15.01
Am TOTAL	880.03	743.04	136.99	15.57
Cm242	15.42	21.58	-6.16	-39.95
Cm243	3.14	3.12	0.02	0.64
Cm244	401.60	412.45	-10.85	-2.70
Cm245	141.65	125.50	16.15	11.40
Cm TOTAL	561.81	562.65	-0.84	-0.15
TOTAL	1606.64	1445.07	161.57	10.06

表3.2.2-16 TRUリサイクル炉心の主要炉心特性のまとめ

特性解析ケース		TRUリサイクル炉心 (1000MWe) (TRU (NP, Am, Cm) およびPuのリサイクル)		
		初期炉心	15年目炉心	30年目炉心
主要仕様	TRU混入率 (wt%)	5	5	5
	燃焼サイクル日数	15か月 3バッチ		
	炉心高さ	100cm		
	Pu富化度 (IC/OC) (wt%) 平均	17.8/21.6 19.7	17.6/21.3 19.5	16.9/20.4 18.7
主要核特性結果	燃焼欠損反応度 (% $\Delta k/kk'$)	1.6	0.4	0.5
	増殖比(BOEC, EOEC平均)	1.12	1.26	1.23
	Naボイド反応度(EOEC) (% $\Delta k/kk'$) (相対値)	2.98 (8.1%) (1.0)	2.85 (7.7%) (0.96)	2.77 (7.4%) (0.93)
	ドブラー係数 (EOEC) ($\times 10^{-3} Tdk/dT$) (相対値)	-5.50 (1.0)	-5.94 (1.08)	-6.23 (1.14)
	TRUサイクル消滅率(%)	10	10	10
	TRUサイクル消滅量(kg)	163	167	162
	制御棒価値 (相対値)	(1.0)	(1.03)	(1.05)

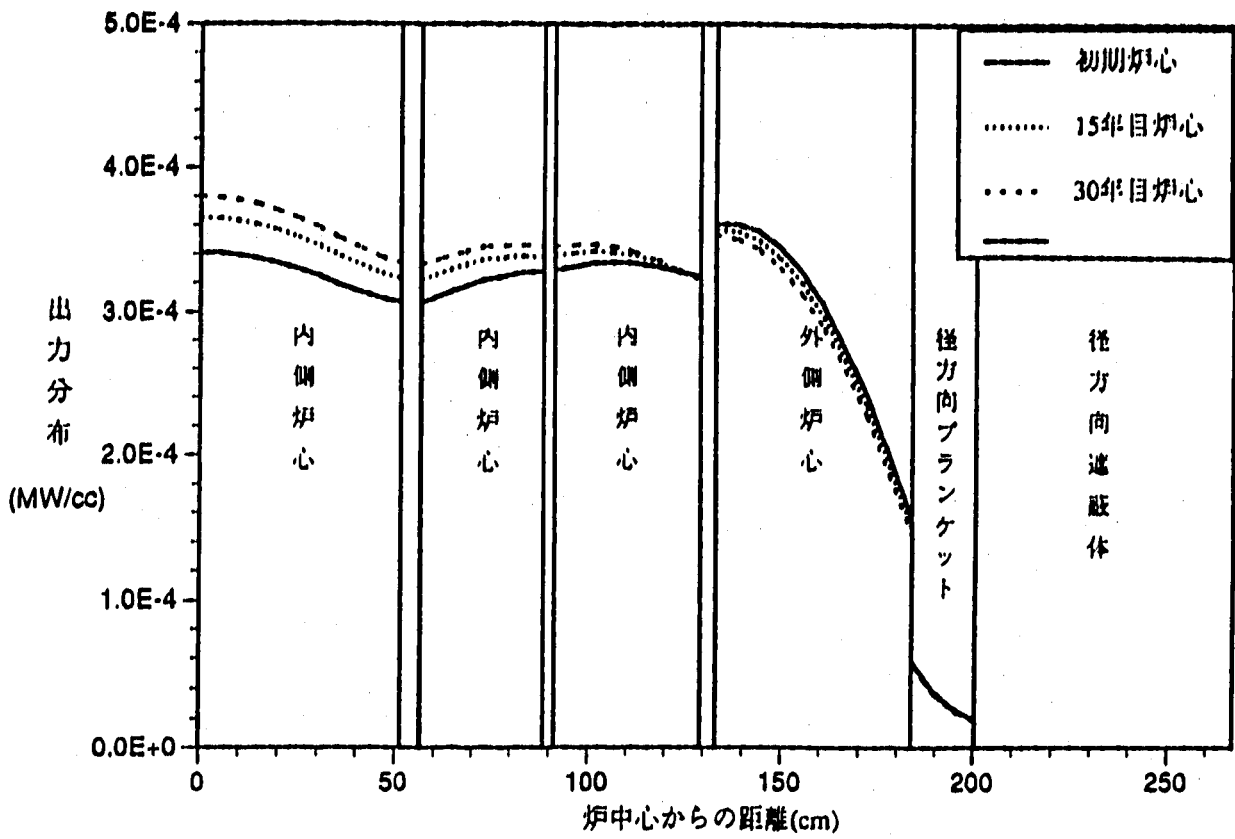


図3.2.2-1 径方向出力分布の比較 (BOEC)

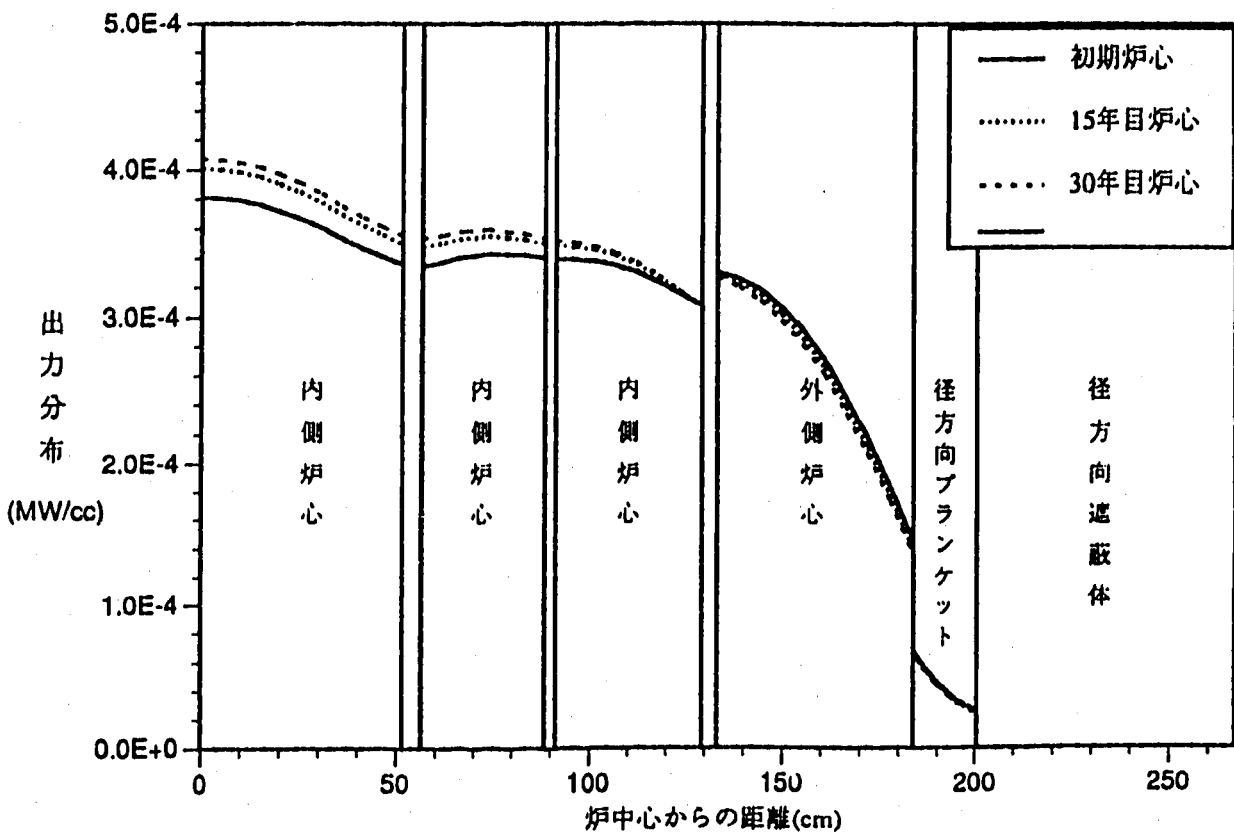


図3.2.2-2 径方向出力分布の比較 (EOEC)

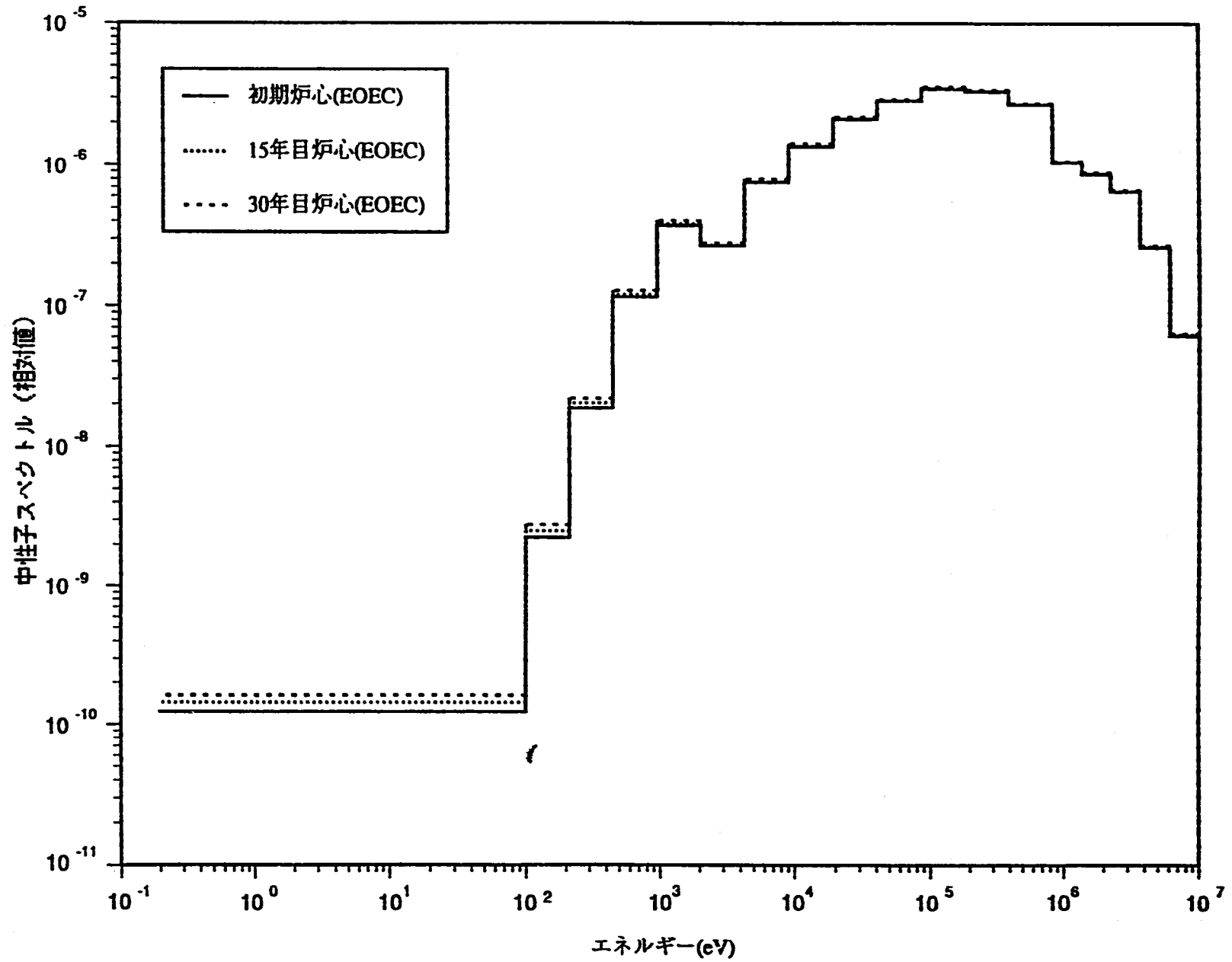


図3.2.2-3 炉中心での中性子スペクトルの比較 (ケースA (Np+Am+Cm))

3.3 TRUリサイクルの影響のまとめ

軽水炉から取り出されたTRUを100万kWeクラスのFBRに5%装荷し、その後FBRでPuも含めてリサイクルする場合について、炉心パラメータサーベイを行いTRUリサイクルの炉心特性への影響を評価した。

今回の解析結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) リサイクルにより、TRUの N_p の組成比はFBR第一回目装荷時(LWR取り出し組成)に約50%であったが、30年目(8リサイクルSTEP)では9%にまで単調に減少する。一方、 C_m は装荷時に5%であったのが30年目では38%にまで単調に増加する。 C_m の増加は、中性子発生量や発熱量の大幅な増大をもたらす。
- (2) 核分裂性Pu($^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$)の割合は、TRUリサイクル初期の場合の約63%から30年目炉心場合には約57%になる。高速炉の特徴であるPuの高次化が進みにくいことが示されている。
- (3) 燃焼欠損反応度は初期炉心で $1.6\% \Delta k/k'$ であったが、リサイクルにより15年目で ~ 0 となり、その後の変化は殆ど無く15年目以降はリサイクルによる影響が小さい。またPu富化度はリサイクルにより19.7wt%から18.7wt%にまで低減する。増殖比は、初期炉心で1.12であったが、リサイクル15年目で1.26と増加し、30年目では若干減少して1.23となった。
- (4) TRUリサイクル消滅率は、いずれの炉心も10%となり、TRUリサイクルにより消滅特性に差は生じない。また30年間のTRUリサイクル(8リサイクル相当)による取出消滅量の合計は約4t(3938g)となる。
- (5) ドップラー係数はリサイクルにより大きくなり、30年目では初期炉心に比べ約14%増大する。これは、リサイクルにより N_p が減少し、 C_m が増加した等の効果により、30年目炉心でPu富化度を低減でき、 ^{238}U の共鳴吸収反応が増えた為である。
- (6) 初期炉心のNaボイド反応度は約 $2.98 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約 8.1 \$)でありリサイクルに伴いNaボイド反応度は減少し、30年目で約7%減少し約 $2.77 \times 10^{-2} \Delta k/k'$ (約 7.4 \$)となる。全体的に見てリサイクルによる反応度係数への影響は小さいといえる。
- (7) 制御棒価値はリサイクルにより大きくなり、30年目で5%増大する。これは、リサイクルにより N_p が減少し、 C_m が増加した等の効果により、中性子吸収量が減り、Pu富化度を低減出来たため、相対的に ^{10}B の吸収量が増加した為である。

以上の結果より、炉心特性の観点からは、FBRはTRUリサイクルの影響が小さく、十分にTRUマルチリサイクルが可能であると言える。しかし、TRUをリサイクルすることにより C_m が蓄積し、それに伴う中性子発生量、

発熱量の増大が燃料製造や原子炉施設の燃料取扱い系に影響を与えると考えられ、遮蔽、除熱対策を検討する必要がある。

4. まとめ

使用済み燃料からTRUをTRUEX法により分離する場合、TRUの一部の核種(Am、Cm)はREとほぼ同じ挙動を示すため、TRUにはREが混入した状態で抽出される。このため、高速炉によるTRU消滅処理研究の一環として、TRU燃料にREが混入した場合の炉心特性への影響を解析・評価した。

酸化物炉心においては、炉心特性の観点からは、TRUの含有率約5%、REの混入率約10%が上限になると考えられる。また、窒化物炉心においては、酸化物炉心よりREが多く入っても、炉心特性の観点からは成立する。TRUの含有率が約5%の場合、REを20%程度まで混入させることが可能である。

また、軽水炉から取り出されたTRUを100万kWeクラスのFBRに5%装荷し、その後FBRでPuも含めてリサイクルする場合について、炉心パラメータサーベイを行いTRUリサイクルの炉心特性への影響を評価した。

炉心特性の観点からは、FBRはTRUリサイクルの影響が小さく、十分にTRUマルチリサイクルが可能であると言える。しかし、TRUをリサイクルすることによりCmが蓄積し、それに伴う中性子発生量、発熱量の増大が燃料製造や原子炉施設の燃料取扱い系に影響を与えられ、遮蔽、除熱対策を検討する必要がある。

5. 今後の検討課題

今後の検討課題としては、以下のものが挙げられる。

- (1) TRU及び高次Puの核データの精度評価
核データの収集、積分実験の計画・実施
- (2) 希土類元素の核データの精度評価
核データの収集、積分実験の計画・実施
- (3) RE混入TRU燃料の基礎物性データの収集・評価
融点、熱伝導度等
- (4) 過渡特性の解析評価
RE混入炉心及びTRUリサイクル炉心のULOF、UTOP等事象の評価
- (5) 安全向上炉心の検討
Naボイド反応度低減の検討
- (6) 経済性評価
燃料サイクル費及び発電原価に与える影響の評価

参考文献

- 1) J. W. Watcher and A. G. Croff, "Actinide Partitioning - Transmutation Program Final Report III. Transmutation Studies", Oak Ridge National Laboratory report, ORNL/TM-6983, 1980.1.
- 2) 原、若林、「高性能FBR炉心の検討-TRU添加による高度化-」、PNC SN9410 89-134、1989年8月。
- 3) M.Yamaoka, et al., "Characteristics of TRU Transmutation in an LMFBR", presented at Workshop on the P-T of Minor Actinides, Mito, Ibaraki, Japan, Oct. 16-18, 1990.
- 4) 山岡、石川、林、若林、「高速炉によるTRU消滅処理に関する研究(I)-TRU消滅炉心概念の検討-」、PNC ZN9410 91-365、1991年11月。
- 5) M. Yamaoka et al., "Feasibility Study of TRU Transmutation by LMFBRs", Proc. Int. Conf. on Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR'91), Vol. III, Oct, 28; Nov. 1, Kyoto (1991).
- 6) T. Wakabayashi et al., "Status of Study on TRU Transmutation in LMFBRs", Trans. Am. Nucl. Soc., 64, 556 (1991).
- 7) 若林、山岡、小無、高下、「高速炉および加速器による核変換研究の現状」、動燃技報、No.82、1992年6月。
- 8) T. Wakabayashi et al., "Characteristics of TRU Transmutation in an LMFBR", IWGFR Specialists Meeting on Use of Fast Breeder Reactors for Actinide Transmutation, September 22-24, Obninsk, Russia, 1992.
- 9) M. Yamaoka et al., "Design Study of A Super Long Life Core Loaded with TRU Fuel", Proc. Int. Conf. on Design and Safety of Advanced Nuclear Power Plants (ANP'92), Vol. I, October 25-29, Tokyo (1992).
- 10) 若林、山岡、「高速炉によるTRU消滅特性」、機械学会シンポジウム 動力・エネルギー技術の最前線'92講演論文集、B16、1992年11月13日。
- 11) 山岡、若林、「高速炉によるTRU消滅処理に関する研究(II)-TRU消滅超長寿命炉心及びTRU断面積不確かさの影響に関する検討-」、PNC ZN9410 92-371、1992年12月。
- 12) 菰田、若林、「TRU燃料の基本特性評価」、PNC PN9410 91-082、1991年2月。
- 13) 若林、山岡、「高速炉によるTRU消滅処理に関する研究(III)-TRU燃料集合体非均質装荷の検討-」、PNC ZN9410 93-123、1993年5月。

- 14) 金城他、「高速増殖炉大型炉設計研究－100万kWeレファレンス・プラン
ト－」、PNC ZN9410 89-171、1989年9月。
- 15) 「FBR新型燃料評価研究報告書(第1ステップ)」、PNC ZN8410 90-075、
1990年4月。
- 16) .「TRUリサイクル研究に関する検討報告書」、PNC PN8420 93-003、1992
年12月。
- 17) “Table of Isotopes, 7th edition”
- 18) A. G. CROFF, “A User’s Manual for the ORIGEN2 Computer Code”, Oak
Ridge National Laboratory report, ORNL/TM-7175, 1980.
- 19) T. NAKAGAWA, “Summary of JENDL-2 General Purpose File”, Japan
Atomic Energy Research Institute report, JAERI-M 84-103, 1984.
- 20) H. TAKANO, et al., “Revision of Fast Reactor Group Constant Set JFS-3-J2”,
Japan Atomic Energy Research Institute report, JAERI-M 89-141, 1989.

謝 辞

本報告書の作成にあたっては、三菱原子力工業株式会社 矢野 真理氏、宝珠山 健氏に多大な御協力を頂いた。ここに、厚く感謝の意を表する。

付録 A TRU燃料の元素構成比率について

1. 前提条件

(1) 基準となる使用済燃料の条件

初期濃縮度 (%)	4.5
燃 焼 度 (MWD/T)	55,000
比 出 力 (MW/T)	46
冷 却 期 間 (年)	3
炉 形 式	PWR

(2) 再処理の条件

- ・ NpはPuと共に回収する (Puの低除染)
- ・ Am, Cm等のTRU は全量 TRUEXプロセスで回収
- ・ 希土類元素は3価の TRUに 100%随伴する

(3) 燃料製造上の条件

燃料製造工程に於いて、燃料の元素構成比率に変化はないものとする。

2. 再処理及び TRUEXプロセスからの製品

再処理及び TRUEXプロセスからの製品は次の3種類である。

- (1) Puの低除染溶液 (Pu, Np混合)
- (2) U 精製溶液 (U のみ)
- (3) TRU 溶液 (Am, Cm, Tc, R.E, Ru 混合)

R.E ; Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm が主要核種であり、他に, Pm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Luが含まれる。

3. 再処理及び TRUEXプロセスからの製品の組成

Puの重量を1とすると、各々の核種の相対金属重量比は、

$$Rw(\text{Pu}) = 1.0$$

$$Rw(\text{Np}) = 9.1 \times 10^{-2}$$

$$Rw(\text{U}) = 80.0$$

$$Rw(\text{Am}) = 4.5 \times 10^{-2}$$

$$Rw(\text{Cm}) = 7.4 \times 10^{-3}$$

$$Rw(\text{Te}) = 4.9 \times 10^{-3}$$

$$Rw(\text{R. E}) = 1.5$$

$$Rw(\text{Ru}) = 8.6 \times 10^{-3}$$

である。

4. 想定されるTRU 燃料

(1) 再処理及び TRUEXプロセスからの製品全てを混合し、燃料とした場合、

Case 1 ; (Pu+Np+Am+Cm+R. E+U)酸化物

(2) 再処理からのPu低除染溶液及びTRUEXプロセスからの製品に、U精製溶液をPu:U=1:2の割合で混合し、燃料とした場合、

Case 2 ; (Pu+Np+Am+Cm+R. E+U(U/Pu=2)酸化物

(3) TRUEX プロセスからの製品を燃料とした場合 (消滅用の照射燃料)

Case 3 ; (Am+Cm+R. E)酸化物

(4) Pu低除染溶液に、Pu:U=1:2の割合で Uを添加し、燃料とした場合、

Case 4 ; (Pu+Np+U)酸化物

5. 計算式の説明

再処理からのPu低除染溶液及びU精製溶液をそれぞれ $f(\text{Pu})$, $f(\text{U})$,
TRUBXプロセスからのTRU溶液を $f(\text{TRU})$ とすると,
TRU燃料の一般式は,

$$T_{\text{TRU}} = a_1 f(\text{Pu}) + a_2 f(\text{U}) + a_3 f(\text{TRU}) \dots\dots\dots(3)$$

(ここで, a_1 , a_2 , a_3 は, それぞれの係数とする。)

ただし, 3.の相対重量比を用いて現わすと,

$$\left\{ \begin{array}{l} f(\text{Pu}) = \text{Rw}(\text{Pu}) + \text{Rw}(\text{Np}) = 1 + 9.1 \times 10^{-2} = 1.091 \dots\dots\dots(4) \\ f(\text{U}) = \text{Rw}(\text{U}) = 80 \\ f(\text{TRU}) = \text{Rw}(\text{Am}) + \text{Rw}(\text{Cm}) + \text{Rw}(\text{Tc}) + \text{Rw}(\text{R. E}) + \text{Rw}(\text{Ru}) \\ \quad = 4.5 \times 10^{-2} + 7.4 \times 10^{-3} + 4.9 \times 10^{-3} + 1.5 + 8.6 \times 10^{-3} \\ \quad = 1.5659 \dots\dots\dots(5) \end{array} \right.$$

であり, $f(\text{Pu})$, $f(\text{U})$, $f(\text{TRU})$ は独立。

ただし, 係数, a_1 , a_2 , a_3 は, 任意に値を変えることができる。

6. TRU燃料組成比の計算

6-1 Case 1の場合

(3)式に於いて, $a_1 = a_2 = a_3 = 1$ とした場合であり, (3)式は,

$$T_{\text{TRU}} = 1 \times 1.091 + 1 \times 80 + 1 \times 1.5659 = 82.6569 \text{となる。}$$

従って, 各核種の金属組成百分率は, 3.の相対金属重量比を用いて,

$$\text{Pu} ; a_1 \text{Rw}(\text{Pu}) / T_{\text{TRU}} \times 100 = 1.21 (\%)$$

$$\text{Np} ; a_1 \text{Rw}(\text{Np}) / T_{\text{TRU}} \times 100 = 0.11 (\%)$$

$$\text{U} ; a_2 f(\text{U}) / T \times 100 = 96.8 (\%)$$

$$\text{Am} ; a_3 \text{Rw}(\text{Am}) / T \times 100 = 0.05 (\%)$$

$$\text{Cm} ; a_3 \text{Rw}(\text{Cm}) / T \times 100 = 0.01 (\%)$$

$$\text{Tc} ; a_3 \text{Rw}(\text{Tc}) / T \times 100 = 0.01 (\%)$$

$$\text{R. E.} ; a_3 \text{Rw}(\text{R. E.}) / T \times 100 = 1.81 (\%)$$

$$\text{R. E.} ; a_3 \text{Rw}(\text{R. E.}) / T \times 100 = 1.81 (\%)$$

$$\text{Ru} ; a_3 \text{Rw}(\text{Ru}) / T \times 100 = 0.01 (\%)$$

6-2 Case 2 の場合

(3)式に於いて, $a_1 = 1$, $a_2 = \frac{2}{80}$, $a_3 = 1$ とした場合であり,

$$T_{TRU} = 1 \times 1.091 + \frac{2}{80} \times 80 + 1 \times 1.5659 = 4.6579$$

従って, 各核種の金属組成百分率は, 6-1 と同様に,

$$Pu; a_1 R_w(Pu)/T_{TRU} \times 100 = 21.47(\%),$$

$$Np; a_1 R_w(Np)/T_{TRU} \times 100 = 1.95(\%),$$

$$U; a_2 f(U)/T_{TRU} \times 100 = 42.94(\%),$$

$$Am; a_3 R_w(Am)/T_{TRU} \times 100 = 0.97(\%),$$

$$Cm; a_3 R_w(Cm)/T_{TRU} \times 100 = 0.16(\%),$$

$$Tc; a_3 R_w(Tc)/T_{TRU} \times 100 = 0.11(\%),$$

$$R.E; a_3 R_w(R.E)/T_{TRU} \times 100 = 32.20(\%),$$

$$Ru; a_3 R_w(Ru)/T_{TRU} \times 100 = 0.18(\%)$$

6-3 Case 3 の場合

(3)式に於いて, $a_1 = 0$, $a_2 = 0$, $a_3 = 1$ とした場合であり,

$$T_{TRU} = 1 \times 1.5659 = 1.5659$$

従って, 各核種の金属組成百分率は,

$$Am; a_3 R_w(Am)/T_{TRU} \times 100 = 2.87(\%),$$

$$Cm; a_3 R_w(Cm)/T_{TRU} \times 100 = 0.47(\%),$$

$$Tc; a_3 R_w(Tc)/T_{TRU} \times 100 = 0.31(\%)$$

$$R.E; a_3 R_w(R.E)/T_{TRU} \times 100 = 95.79(\%)$$

$$Ru; a_3 R_w(Ru)/T_{TRU} \times 100 = 0.55(\%)$$

6-4 Case 4 の場合

(3)式に於いて, $a_1 = 1$, $a_2 = \frac{2}{80}$, $a_3 = 0$ とした場合であり,

$$T_{TRU} = 1 \times 1.091 + 2 \times \frac{2}{80} = 3.091$$

従って, 各核種の金属組成百分率は,

$$Pu; a_1 R_w(Pu)/T_{TRU} \times 100 = 32.35(\%)$$

$$Np; a_1 R_w(Np)/T_{TRU} \times 100 = 2.94(\%)$$

$$U; a_2 f(U)/T_{TRU} \times 100 = 64.70(\%)$$