PNC TN9410 91-365

02

分置

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－

１９９１年１１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）

PNC TN9410 91-365
１９９１年１１月

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

山岡光明*，石川　眞*
林　秀行*，若林利男*

要　　旨

本報告書は、高速炉によるＴＲＵ消滅処理に関する研究のうち、下記の項目についての検討結果をまとめたものである。

1.　超長寿命炉心の検討

ＴＲＵ燃料の核的な特性を生かし、30年間燃料交換をしないＴＲＵ装荷超長寿命炉心の可能性について検討した。このＴＲＵ装荷超長寿命炉心は放射能の高いＴＲＵを長期間炉内に貯蔵しながら消滅できるためＴＲＵ消滅炉心として適している。検討の結果、燃焼による反応度や出力変動は、ＴＲＵ装荷量や装荷領域を最適化することにより大幅に低減できること、1000ＭＷｅ超長寿命炉心は30年間に10トン（軽水炉13基からのＴＲＵに相当する）のＴＲＵを消滅できることがわかった。

2.　非均質炉心への装荷検討

径方向非均質炉心は内部ブランケットに炉心燃料よりも大量のＴＲＵを装荷できる可能性があることから、ＴＲＵ消滅炉心の候補の一つである。検討の結果、内部ブランケットへの大量装荷（20～30％）により均質炉心の数倍の消滅量が得られること、大量装荷しても炉心特性への影響が小さいことが示された。

3.　燃料ピン単位装荷方法の検討

ＴＲＵ燃料ピン本数を減らすため、集合体にＴＲＵ燃料ピンと通常のＭＯＸ燃料ピンを装荷する方法について検討した。出力分布への影響に着目した解析結果について示した。

* 技術開発部プラント工学部

PNC TN9410 91-365
November, 1991

(Title) Study on TRU Transmutation by LMFBRs (I)

(Subtitle) Study on FBR Core Concepts for TRU Transmutation

M. Yamaoka*, M. Ishikawa*, H. Hayashi, and T. Wakabayashi*

Abstract

A study was performed on TRU transmutation by LMFBRs. This report describes the results of the items shown below.

1) Study on a super long life core loaded with TRU
A feasibility study was performed on a super long life core loaded with TRU fuel which operates without fuel exchange during 30 years. Its advantage is that it can transmute TRU with storing it in the core during plant life time. It was found that reactivity change and power variation due to burnup can be reduced remarkably by optimizing TRU loading amount and region. Also, it was found that a 1000MWe core can transmute TRU of 10 ton which comes from 13 LWRs.

2) Study on a heterogeneous core loaded with TRU
The radial heterogeneous core is one of the candidate concepts for TRU transmutation because the internal blanket may be loaded with larger amount of TRU than the core fuel. It was found that the core loaded with large amount of TRU in the internal blanket can transmute TRU several times more than the the homogeneous core with no significant influence on core characteristics.

3) Study on a method for TRU loading in a subassembly
A TRU loading method was studied where both TRU loaded fuel pins and the MOX fuel pins are arranged in a subassembly aiming at reducing the number of TRU loaded fuel pins. Results are shown with a focus on power distribution in a subassembly.

* Plant Engineering Office, Technology Development Division, OEC, PNC

目　次

1. はじめに …… 1

2. 超長寿命炉心の解析 …… 3

2.1 検討の着眼点と検討フロー …… 3

2.2 炉心の設定 …… 6

2.3 消滅特性のサーベイ …… 13

2.3.1 1000MWe 級ＳＬＬＣ …… 13

2.3.2 300MWe級ＳＬＬＣ …… 22

2.4 炉心特性解析 …… 82

2.4.1 解析対象炉心の選定（ＭＡ混合率の設定） …… 82

2.4.2 一般炉心特性のまとめ …… 83

2.4.3 燃焼特性 …… 84

2.4.4 出力分布 …… 85

2.4.5 ＴＲＵ消滅量・物質収支（増殖特性） …… 86

2.4.6 反応度特性 …… 92

2.4.7 被覆管温度評価 …… 94

2.5 ＴＲＵ装荷炉心としての特徴 …… 146

2.6 まとめと今後の検討課題 …… 149

3. 非均質炉心への装荷の解析 …… 152

3.1 検討の着眼点と検討フロー …… 152

3.1.1 着眼点 …… 152

3.1.2 検討フロー …… 153

3.2 炉心の設定 …… 156

3.2.1 炉心設定の基本条件 …… 156

3.2.2 内部ブランケット割合の設定 …… 156

3.2.3 炉心の設定 …… 157

3.3 ＴＲＵの消滅処理特性 …… 166

3.3.1 ＴＲＵの消滅量 …… 166

3.3.2 ＴＲＵの消滅率 …… 167

3.4 炉心特性 …… 176
3.4.1 燃焼特性 …… 176
3.4.2 出力分布特性 …… 176
3.4.3 高速中性子照射量 …… 178
3.4.4 ナトリウムボイド反応度特性 …… 179
3.4.5 取出燃料のＰｕ組成比 …… 180
3.4.6 使用済み燃料の崩壊及び中性子線源強度 …… 180
3.5 ＴＲＵ装荷炉心としての特徴 …… 247
3.6 まとめと今後の検討課題 …… 250
4. 燃料ピン単位での装荷方式の解析 …… 252
4.1 検討の着眼点と検討フロー …… 252
4.2 炉心の設定 …… 255
4.3 ＴＲＵ燃料ピン混在型集合体の特性計算法の検討 …… 258
4.3.1 ランプ化のモデル …… 258
4.3.2 ランプ化効果 …… 259
4.4 ＴＲＵ消滅処理特性と炉心特性 …… 278
4.4.1 ＴＲＵ消滅処理特性 …… 278
4.4.2 炉心特性 …… 278
4.5 ピン出力経年変化と二重ミスマッチファクター …… 282
4.5.1 ピン出力経年変化 …… 282
4.5.2 二重ミスマッチファクター …… 282
4.6 ＴＲＵ装荷方式としての特徴 …… 297
4.7 まとめと今後の検討課題 …… 299
5. おわりに …… 300
5.1 まとめと今後の検討課題 …… 300
謝 辞 …… 304
参考文献 …… 304

付　録

A. 1　均質炉心の基本仕様と炉心特性 …… 305
A. 1. 1　基準炉心 …… 305
A. 1. 2　燃料の組織 …… 305
A. 1. 3　ＴＲＵの消滅処理特性 …… 305
A. 1. 4　炉心特性 …… 305
A. 2　基本用語の定義式 …… 320
A. 2. 1　ＴＲＵ割合 …… 320
A. 2. 2　Ｐｕ富化度 …… 320
A. 2. 3　増殖比 …… 321
A. 2. 4　ＴＲＵ消滅量 …… 321
A. 2. 5　ＴＲＵ消滅率 …… 321
A. 2. 6　年間のＴＲＵ減少量 …… 322
A. 2. 7　ミスマッチファクター …… 322
A. 3　燃焼チェーン …… 323
A. 4　炉定数の群構造 …… 325
A. 5　径方向非均質炉心のイベントリー …… 328

表　一　覧

表2.2－1　ＳＬＬＣ炉心用燃料基本仕様

表2.3－1　ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心Ｐｕ富化度（1000MWe-class）

表2.3－2　ＭＡ消滅量と消滅率（1000MWe級　ＴＲＵ－ＳＬＬＣ）

表2.3－3　ＭＡ消滅量と消滅率（ 300MWe級　ＴＲＵ－ＳＬＬＣ）

表2.4－1　1000MWe級ＳＬＬＣの炉心主要特性

表2.4－2　300MWe級ＳＬＬＣの炉心主要特性

表2.4－3　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ(MA 7.5%/15%) の物質収支

表2.4－4　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの物質収支

表2.4－5　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ(MA 15%/30%)の物質収支

表2.4－6　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ(MA 7.5%/15%) の炉心部ナトリウムボイド反応度

表2.4－7　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ(MA 7.5%/15%) の炉心部ドップラー係数

表2.4－8　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ(MA 7.5%/15%) の制御棒価値

表2.4－9　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ体系の流量配分

表3.2－1　内部ブランケット割合と炉心特性の関係（径方向非均質炉心）

表3.3－1　ＴＲＵの装荷重と取出量〔ＴＲＵ　ＣＯＲＥ 0wt%〕

表3.3－2　ＴＲＵの装荷重と取出量〔ＴＲＵ　ＣＯＲＥ 5wt%〕

表3.3－3　ＴＲＵの消滅量

表3.3－4　ＴＲＵの消滅率

表3.4－1　ＴＲＵの装荷による炉心特性〔ＴＲＵ　ＣＯＲＥ 0wt%〕

表3.4－2　ＴＲＵの装荷による炉心特性〔ＴＲＵ　ＣＯＲＥ 5wt%〕

表3.4－3　基準燃料の炉停止後の崩壊熱及び中性子発生量
〔燃料ペレット１cc当たり〕（ＴＲＵ；装荷無し）

表3.4－4　ＴＲＵ装荷燃料の炉停止後の崩壊熱及び中性子発生量
〔燃料ペレット１cc当たり〕
（ＴＲＵ；装荷割合；炉心燃料5wt%　内部ブランケット燃料30wt%）

表4.3－1　Flux Advantage Factors / Disadvantage Factors (1) －　ケース１

表4.3－2　Flux Advantage Factors / Disadvantage Factors (2) －　ケース２

表4.3－3　Flux Advantage Factors / Disadvantage Factors (3) －　ケース３

表4.3－4　中性子スペクトル(1)　－　ケース1

表4.3－5　中性子スペクトル(2)　－　ケース2

表4.3－6　中性子スペクトル(3)　－　ケース3

表4.3－7　実効断面積の比較(1)　－　ケース2

表4.3－8　実効断面積の比較(2)　－　均一MA5％混入の場合

表4.3－9　原子数密度の燃焼による変化比較(1)　－　ケース1　ＴＲＵ領域

表4.3－10　原子数密度の燃焼による変化比較(2)　－　ケース1　ＭＯＸ領域

表4.3－11　原子数密度の燃焼による変化比較(3)　－　ケース2　ＴＲＵ領域

表4.3－12　原子数密度の燃焼による変化比較(4)　－　ケース2　ＭＯＸ領域

表4.3－13　原子数密度の燃焼による変化比較(5)　－　ケース3　ＴＲＵ領域

表4.3－14　原子数密度の燃焼による変化比較(6)　－　ケース3　ＭＯＸ領域

表4.4－1　ＴＲＵの装荷量と取出量

表4.4－2　ＴＲＵの消滅量と消滅率

表4.4－3　燃料ピン単位でのＴＲＵ装荷による炉心特性（均質炉心）

図　一　覧

図2.1－1　超長寿命ＴＲＵ消滅処理炉心の解析手順

図2.2－1　1000MWe ＳＬＬＣ炉心配置図

図2.2－2　1000MWe ＳＬＬＣ炉心ＲＺモデル図

図2.2－3　300MWe ＳＬＬＣ炉心配置図

図2.2－4　300MWe ＳＬＬＣ炉心ＲＺモデル図

図2.3－1　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響(1)
－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－

図2.3－2　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響(2)
－Ｖｆ～41%，ＴＲＵ一様混合－

図2.3－3　1000MWe ＳＬＬＣ炉心集合体出力の燃焼に伴う変化の着目領域図

図2.3－4　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(1)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域２－

図2.3－5　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(2)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域12－

図2.3－6　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(3)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域16－

図2.3－7　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの内側低富化度／外側高富化度燃料領域のＫ∞値の燃焼による変化

図2.3－8　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの内側低富化度／外側高富化度燃料領域のＫ∞値の燃焼による変化　－ＭＡ混合率；炉心一律10%の場合－

図2.3－9　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布
－ＴＲＵ一様10%混合炉心運転14年－

図2.3－10　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布
－ＴＲＵ一様10%混合炉心運転30年－

図2.3－11　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布
－ＴＲＵ一様20%混合炉心運転14年－

図2.3－12　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布
－ＴＲＵ一様20%混合炉心運転30年－

図2.3－13　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化

図2.3－14　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣにおける径方向領域12位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化

図2.3－15　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣにおける径方向領域16位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化

図2.3－16　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様10％混合の場合－

図2.3－17　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域12位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様10％混合の場合－

図2.3－18　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域16位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様10％混合の場合－

図2.3－19　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様20％混合の場合－

図2.3－20　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域12位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様20％混合の場合－

図2.3－21　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域16位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－ＴＲＵ一様20％混合の場合－

図2.3－22　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響(3)
－Ｖｆ～53％，ＴＲＵ　IC/OC 混合分布パラメータ－

図2.3－23　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による最大出力密度の燃焼に伴う変化への影響
－Ｖｆ～53％，ＴＲＵ　IC/OC 混合分布パラメータ－

図2.3－24　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図

図2.3－25　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図
－ＭＡ混合率炉心一律10％の場合－

図2.3－26　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図
－ＭＡ混合率；IC/OC=7.5%/15%の場合－

図2.3－27　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布－ＴＲＵ　IC/OC=10%/20% 混合炉心運転　0年－

図2.3－28　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布－ＴＲＵ　IC/OC=10%/20% 混合炉心運転　14年－

図2.3－29　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布－ＴＲＵ　IC/OC=10%/20% 混合炉心運転　30年－

図2.3－30　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(1)
－ＴＲＵ　IC 10%，　OC 20% 混合の場合　運転0，14年－

図2.3－31　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(2)
－ＴＲＵ　IC 10%，　OC 20% 混合の場合　運転30年－

図2.3－32　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(3)
－ＴＲＵ　IC 10%，　OC 20% 混合の場合　運転0，14年－

図2.3－33　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(4)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－

図2.3－34　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(5)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－35　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(6)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－

図2.3－36　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(7)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－37　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(8)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－

図2.3－38　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(9)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－39　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(10)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－

図2.3－40　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(11)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－41　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(12)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－

図2.3－42　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(13)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－43　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(14)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－

図2.3－44　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(15)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

図2.3－45　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(16)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－

図2.3－46　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～41％の場合－

図2.3－47　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣにおける反応度と最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53％の場合－

図2.3－48　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53％の場合－

図2.3－49　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～41％の場合－

図2.3－50　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53％の場合－

図2.3－51　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣ炉心のピーク出力位置の燃焼に伴う変化

図2.3－52　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心のピーク出力位置の燃焼に伴う変化

図2.4－1　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ（MA 7.5%/15%)における反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ7.5%/15%　混合の場合－

図2.4－2　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ（MA 7.5%/15%)内側低富化度領域／外側高富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化

図2.4－3　1000MWe ＳＬＬＣの内側低富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化
－ＭＡ混合率の変化による影響－

図2.4－4　1000MWe ＳＬＬＣの外側高富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化
－ＭＡ混合率の変化による影響－

図2.4－5　1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(1)
－運転開始直後０年，ＭＡ混合率の変化による影響－

図2.4－6　1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(2)
－運転開始後14年，ＭＡ混合率の変化による影響－

図2.4－7　1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(3)
－運転開始後30年，ＭＡ混合率の変化による影響－

図2.4－8　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの内側炉心（低富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－炉心中心軸付近の軸方向分布－

図2.4－9　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの外側炉心（高富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－中高富化度領域境界付近の軸方向分布－

図2.4－10　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの内側炉心（低富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－炉心中心軸付近の軸方向分布－

図2.4－11　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの外側炉心（高富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－中高富化度領域境界付近の軸方向分布－

図2.4－12　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ（7.5%/15%）の最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ53%，ＴＲＵ7.5%/15%　混合の場合－

図2.4－13　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支変化(1)
－炉心部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，Ｐｕ242(942)－

図2.4－14　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(2)
－炉心部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，Ａｍ242(950)，
Ａｍ243(943)－

図2.4－15　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(3)
－炉心部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，Ｃｍ245(965)－

図2.4－16　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(4)
－炉心部Ｕ238(928)－

図2.4－17　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(5)
－炉心部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)－

図2.4－18　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(6)
－径方向ブランケット部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，
Ｐｕ242(942)－

図2.4－19　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(7)
－径方向ブランケット部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，
Ａｍ242(950)，Ａｍ243(943)－

図2.4－20　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(8)
－径方向ブランケット部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，
Ｃｍ245(965)－

図2.4－21　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(9)
－径方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)－

図2.4－22　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの収支の燃焼に伴う変化(10)
－軸方向ブランケット部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，
Ｐｕ242(942)－

図2.4－23　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの物質収支の燃焼に伴う変化(11)
－軸方向ブランケット部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，
Ａｍ242(950)，Ａｍ243(943)－

図2.4－24　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(12)
－軸方向ブランケット部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，
Ｃｍ245(965)－

図2.4－25　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(13)
－軸方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)－

図2.4－26　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支変化(1)
－炉心部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，Ｐｕ242(942)－

図2.4－27　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(2)
－炉心部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，Ａｍ242(950)，
Ａｍ243(943)－

図2.4－28　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(3)
－炉心部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，Ｃｍ245(965)－

図2.4－29　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(4)
－炉心部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－30　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(5)
－炉心部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－31　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(6)
－径方向ブランケット部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，
Ｐｕ242(942)－

図2.4－32　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(7)
－径方向ブランケット部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，
Ａｍ242(950)，Ａｍ243(943)－

図2.4－33　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(8)
－径方向ブランケット部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，
Ｃｍ245(965)－

図2.4－34　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(9)
－径方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－35　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(10)
－径方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－36　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの物質収支の燃焼に伴う変化(11)
－軸方向ブランケット部Ｐｕ239(949)，Ｐｕ240(940)，Ｐｕ241(941)，
Ｐｕ242(942)－

図2.4－37　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの物質収支の燃焼に伴う変化(12)
－軸方向ブランケット部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，
Ａｍ242(950)，Ａｍ243(943)－

図2.4－38　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(13)
－軸方向ブランケット部Ｃｍ242(962)，Ｃｍ243(963)，Ｃｍ244(964)，
Ｃｍ245(965)－

図2.4－39　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(14)
－軸方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－40　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(15)
－軸方向ブランケット部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)，Ｕ238(928)－

図2.4－41　1000MWe ＳＬＬＣにおける燃料温度変化によるマクロ中性子吸収断面積の変化
－初期炉心組成（内側低富化度領域）－

図2.4－42　1000MWe ＳＬＬＣにおける群別マクロ中性子吸収反応率の比較
－初期炉心組成－

図3.1－1　径方向非均質炉心におけるＴＲＵ消滅処理特性の検討フロー

図3.2－1　径方向非均質炉心の炉心構成
（内側ブランケット割合設定用）

図3.2－2　主要特性と内部ブランケット割合の関係

図3.2－3　増殖比と内部ブランケット割合の関係

図3.2－4　最大線出力と内部ブランケット割合の関係

図3.2－5　Ｐｕ富化度と内部ブランケット割合の関係

図3.2－6　径方向非均質炉心の炉心構成

図3.2－7　二次元ＲＺ計算体系（径方向非均質炉心）

図3.3－1　ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化

図3.3－2　ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%）

図3.3－3　ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%）

図3.3－4　TRU装荷によるTRU消滅量の変化
RHC（TRU；CORE　0wt%）

図3.3－5　TRU装荷によるTRU消滅量の変化
RHC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－1　TRU装荷による燃焼反応度減少量の変化

図3.4－2　TRU装荷による増殖比の変化

図3.4－3　TRU装荷による増殖比の変化
RHC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－4　TRU装荷による増殖比の変化
RHC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－5　TRU装荷による最大出力密度の変化
CORE

図3.4－6　TRU装荷による最大出力密度の変化
RHC

図3.4－7　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－8　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－9　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，BOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－10　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，EOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－11　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，BOEC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－12　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，EOEC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－13　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，BOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－14　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，EOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－15　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，BOEC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－16　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，EOEC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－17　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，EOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－18　TRU装荷による出力分担率の変化
RHC，IBL，EOEC（TRU；CORE　5wt%）

図3.4－19　TRU装荷によるPu組成の変化
RHC，IBL，EOEC（TRU；CORE　0wt%）

図3.4－20　ＴＲＵ装荷によるＰｕ組成の変化
ＲＨＣ，ＩＢＬ，ＥＯＥＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%）

図3.4－21　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%，　ＩＢＬ　0wt%）

図3.4－22　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%，　ＩＢＬ　5wt%）

図3.4－23　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%，　ＩＢＬ　15wt%）

図3.4－24　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%，　ＩＢＬ　25wt%）

図3.4－25　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%，　ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－26　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，　ＩＢＬ　0wt%）

図3.4－27　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，　ＩＢＬ　5wt%）

図3.4－28　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，　ＩＢＬ　15wt%）

図3.4－29　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，　ＩＢＬ　25wt%）

図3.4－30　平均出力密度の燃焼変化〔炉心高さ〕
ＲＨＣ　（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，　ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－31　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＩＢＬ，第2リング（Ｒ－Ｒｅｇ.10　；　Ｚ－Ｒｅｇ.6）

図3.4－32　燃焼に伴う出力分担率の変化〔Reference〕
ＩＢＬ，第2リング（Ｒ－Ｒｅｇ.10　；　Ｚ－Ｒｅｇ.6）

図3.4－33　燃焼に伴う出力分担率の変化〔ＴＲＵ　ＩＢＬ 30wt%〕
ＩＢＬ，第2リング（Ｒ－Ｒｅｇ.10　；　Ｚ－Ｒｅｇ.6）

図3.4－34　ＴＲＵ装荷によるナトリウムボイド反応度の変化

図3.4－35　ＴＲＵ装荷によるナトリウムボイド反応度の変化
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%）

図3.4－36　ＴＲＵ装荷によるナトリウムボイド反応度の変化
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%）

図3.4－37　ＴＲＵ装荷による中性子束スペクトル（炉心平均）の変化
ＲＨＣ，ＥＯＥＣ

図3.4－38　ＴＲＵ装荷による中性子束スペクトル（内部ブランケット平均）の変化
ＲＨＣ，ＥＯＥＣ

図3.4－39　ＴＲＵ装荷による取出Ｐｕ組成比の変化
ＣＯＲＥ

図3.4－40　ＴＲＵ装荷による取出Ｐｕ組成比の変化
ＲＨＣ，ＩＢＬ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　0wt%）

図3.4－41　ＴＲＵ装荷による取出Ｐｕ組成比の変化
ＲＨＣ，ＩＢＬ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%）

図3.4－42　炉停止後のアクチナイドの崩壊熱
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－43　炉停止後のＦＰの崩壊熱
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－44　炉停止後の全崩壊熱（アクチナイド＋ＦＰ）
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－45　炉停止後の主要元素の崩壊熱
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－46　炉停止後の主要元素の崩壊熱
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－47　炉停止後のＰｕ核種主要元素の崩壊熱
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－48　炉停止後のＡｍ核種の崩壊熱
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－49　炉停止後のＣｍ核種の崩壊熱
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－50　炉停止後のＰｕ核種の崩壊熱
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－51　炉停止後のＡｍ核種の崩壊熱
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－52　炉停止後のＣｍ核種の崩壊熱
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－53　炉停止後の（α，ｎ）による中性子発生量
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－54　炉停止後の自発核分裂による中性子発生量
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－55　炉停止後の全中性子発生量
〔燃料ペレット1cc当たり〕

図3.4－56　炉停止後の主要核種の（α，ｎ）による中性子発生量
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－57　炉停止後の主要核種の（α，n）による中性子発生量
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－58　炉停止後の主要核種の自発核分裂による中性子発生量
〔炉心燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図3.4－59　炉停止後の主要核種の自発核分裂による中性子発生量
〔内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり〕
ＲＨＣ（ＴＲＵ；ＣＯＲＥ　5wt%，ＩＢＬ　30wt%）

図4.1－1　ピン単位での装荷方式の解析フロー

図4.2－1　ピン単位での装荷方式の解析対象炉心(1000MWe均質炉心)

図4.3－1　Super Cell Modelによる燃焼計算

図4.3－2　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(1)
－ケース1；K-effectiveの燃焼変化－

図4.3－3　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(2)
－ケース2；K-effectiveの燃焼変化－

図4.3－4　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(3)
－ケース3；K-effectiveの燃焼変化－

図4.5－1　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．1；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－2　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
外側炉心・最内周（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－3　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＢＯＥＣ，内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－4　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＥＯＥＣ，内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－5　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＢＯＥＣ，外側炉心・最内周（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－6　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＥＯＥＣ，外側炉心・最内周（Ｒ－Ｒｅｇ．11；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－7　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＢＯＥＣ，内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．1；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－8　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＥＯＥＣ，内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．1；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－9　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＢＯＥＣ，外側炉心・最内周（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－10　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
ＥＯＥＣ，外側炉心・最内周（Ｒ－Ｒｅｇ．12；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－11　ＴＲＵピン（ＴＲＵ30wt%)の燃焼に伴う出力分担率の変化〔ＢＯＥＣ〕
内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．1；Ｚ－Ｒｅｇ．7）

図4.5－12　ＴＲＵピン（ＴＲＵ30wt%)の燃焼に伴う出力分担率の変化〔ＥＯＥＣ〕
内側炉心・炉中心（Ｒ－Ｒｅｇ．１；Ｚ－Ｒｅｇ．７）

1. はじめに

２１世紀にかけて、エネルギー利用・電力需要の大きな拡大が予想されている。これに対処する原子力発電量の増大に伴い、現在の燃料サイクルでは、超ウラン元素（ＴＲＵ）の蓄積量が増大する。このためＴＲＵを安全・有効に利用することの必要性が高まることは必至である。プルトニウムは燃料として高速炉及び軽水炉で利用される。一方、ネプチニウムＮｐ、アメリシウムＡｍ、キュウリウムＣｍ（全体をマイナーアクチナイドＭＡと総称する）等を利用しない場合は、2030年にはＭＡ蓄積量は Np237,Am241の合計が約60トンであり、2080年には約310 トンにも達すると予想されている。

軽水炉の運転に伴い生成されるＭＡを消滅と同時に有効に活用出来る高速増殖炉心の検討を行う。一般に、高速炉炉心中性子スペクトル場では上記のＭＡは中性子捕獲後に生成される核種の反応度価値が正となる特性を有しているために、炉心特性炉心全体の余剰反応度を増加させずに燃焼反応度を小さくすることができる等のポテンシャルを持つ。(1)

これまでの評価検討(2)では、酸化物燃料（ＭＯＸ）炉心において、ＭＯＸ燃料の代わりにＭＡを混合させたＴＲＵ燃料を使用し、炉心全体をＴＲＵ燃料で構成する場合と特定の燃料集合体にＭＡを多量に混合して配置する場合の炉心特性とＭＡ消滅能力の評価が行われた。前者のケースの検討結果では、ＭＡ混合率を炉心燃料に一様5%程度とする場合は、炉心特性への影響は小さく従来ＭＯＸ炉心のままＭＡ消滅が可能となる見通しが得られている。この場合の年間ＭＡ消滅量は、 100万kWe ウラン軽水炉の５基が１年間で発生するＭＡ量に相当し、良好な消滅能力があることが示されている。後者のケースの検討結果では、炉心燃料本数５％に相当するＴＲＵ燃料集合体を炉内に配置すること、出力変動が大きくなり炉心全体の出力分布の歪みが大きくなるので、ＭＡ一様均質混合の場合に比べて、装荷可能ＭＡ量が減少し、その結果ＭＡ消滅能力が低減するという問題点も指摘されていた。

本年度の検討では、ＭＡ消滅処理および有効活用の観点と消滅処理・活用の多様化および柔軟性を図る観点から　　、次の３つのＴＲＵ・ＭＡ利用炉心ついて、ＭＡ消滅処理能力と炉心特性の観点から検討し、特徴を摘出した。

(1) 炉心寿命30～40年の超長寿命型炉心（低出力密度 TRU-SLLC）

(2) ブランケット燃料材にＭＡを混合し、炉心内部に装荷する非均質型炉心

(3) ＭＡ混合ＴＲＵ燃料をピン単位で装荷する均質型炉心

上記の (1)は、大量なＰｕおよびＭＡを炉心に装荷後は基本的には燃料交換をしない１バッチ燃料交換不要炉心をＴＲＵ消滅処理・活用の面から検討する炉心概念である。炉心平均燃焼度は約20万MWd/t の高燃焼度を目指す。

プラント寿命中はそのプラントについては取替え燃料製造が不要となり燃料製造に伴うＭＡのロスを無くした究極的な姿と見ることもことができる。また、"ACTIVE STORAGE"としての能力も期待されるものである。

上記の (2)は、炉心特性への影響を小さくしつつ、ＭＡの炉心への装荷する量を増大させる一つの方法として減損ウラン等を母材とするブランケット燃料への装荷を行うものである。この場合のＴＲＵ消滅能力と炉心特性への影響を検討する。

上記の (3)は、ＴＲＵ燃料の製造量を少なくして燃料加工サイクルへの影響を低減することを意識して、ＭＯＸ／ＴＲＵ燃料ピンを併用する炉心のＭＡ消滅能力と炉心特性との関係を調べることを目的としている。

これらの炉心の検討においては、ＭＯＸ燃料利用の炉心構成・基本仕様に対して、ＭＡを混合するＴＲＵ燃料を装荷するという検討方法を採用し、高速増殖炉の潜在的ポテンシャルを明確にするというアプローチをとっている。

尚、均質型炉心のＭＡ消滅特性等は比較の基準として利用した。この均質型基準炉心の基本仕様は付録A.1 に示してある。

2. 超長寿命炉心の解析

2.1 検討の着眼点と検討フロー

軽水炉の運転により生成されるＮｐ，Ａｍ，Ｃｍ等のマイナーアクチナイド（ＭＡ）をＰｕ燃料に混合して高速炉体系に装荷すると、中性子吸収反応において核分裂反応の割合いが大きいことおよび中性子捕獲により生成されるアクチナイド核種が高い反応度価値を有するものとなる。軽水炉および大型ＦＢＲ炉心スペクトルでＭＡ核種の実効断面積を比較すると次の様な傾向となることが指摘されている[3]。

軽水炉スペクトルでは、ＭＡのうちAm242m,Pu236以外は中性子捕獲断面積が核分裂断面積の10倍以上大きく、ＭＡの炉内への装荷により炉心の反応度は大きく低減する。更に、Np237,Am243 の例では中性子捕獲により生成されるPu238,Cm244 も中性子捕獲反応が主となり反応度を低減させる。一方、大型ＦＢＲスペクトルでは、Np237,Am241 は負の反応度を持つが、中性子捕獲による反応生成核種Pu238,Am242m,Cm244等は大きな正の反応度を有する。したがって、ＦＢＲにおいて、この特性を活用するＭＡとＰｕ／Ｕからなる燃料を利用することにより、U-Pu燃料で達成される１サイクル当りの燃焼反応度減少量を更に小さくできることを示唆している。ここでは、ＭＡを燃料として活用することによる反応度寿命長期化ポテンシャルを最大限利用して、プラント寿命中燃料交換を不要とするＴＲＵ消滅処理炉心の姿を明確にすることを目的として超長寿命炉心（ＴＲＵ消滅処理Super Long Life Core ; TRU-SLLC ）を検討した。

TRU-SLLCのもうひとつの特徴として、プラント寿命中燃料交換を不要とすることにより通常の燃料交換を要する炉心ではそのプラント寿命中に使用する交換燃料を製造するために行われる再処理に伴うＴＲＵの燃料サイクル外へのロスをなくした究極的な姿ととらえることができる点が挙げられる。また、炉内滞在期間の長期化することによるＴＲＵ消滅処理への影響として、プルトニウム，ＭＡ核種のactive storageとしての側面・高燃焼度・廃棄物量低減等の特徴を摘出することができ、通常炉心タイプのＴＲＵ消滅処理とは異なる側面が

あると考えられる。

これらの高速炉超長寿命炉心の特徴を高燃焼度・ＴＲＵ消滅処理炉心の観点から有効性・利点を明らかにするために、酸化物燃料を使用した1000MWe および300MWe級の２種類の超長寿命炉心を設定し、超長寿命炉心として具備すべき下記の２点とＴＲＵ消滅処理能力との観点の調和点を探るためのパラメータサーベイを実施した。

(1) 炉心の反応度寿命は３０年以上とし、同時に炉心の最大反応度は決められた範囲内におさまること。かつ、炉心の出力密度は出来るだけ高くし、燃焼度を炉心平均で20万MWd/t 程度とする。（炉心の反応度制御とサイズの増大抑制の観点）

(2) 炉心の局所最大出力および集合体出力は炉心の運転期間中出来るだけ変化が小さいこと。（出口温度の高温化の観点）

ＴＲＵ燃料を積極的に活用した超長寿命炉心(TRU-SLLC)の特性は酸化物燃料を利用する超長寿命炉心(MOX-SLLC)の特性と適宜比較して、消滅処理特性の他に炉心特性の特徴を検討した。検討フローは図2.2-1 に示す様に、下記の通りである。

(1) 1000MWe 級の好適化されたＭＯＸ－ＳＬＬＣ体系にＴＲＵを付加した燃料を装荷した場合の反応度・出力分布変動に着目してＴＲＵ装荷量との関係を把握する。

(2) 高速中性子ピークフルエンスについては、取出し平均燃焼度が約20万MWd/t の高燃焼度炉心と同程度の6x10**23nvt 程度とするが、サーベイ計算では制限因子としない。

(3) 300MWe級体系で同様なサーベイを行いTRU-SLLC出力規模の関係を調べる。

(4) 1000MWe 級の好適化されたＴＲＵ－ＳＬＬＣ体系の特性解析を行い、炉心の特徴を摘出し、炉心の成立性のための課題を摘出する。

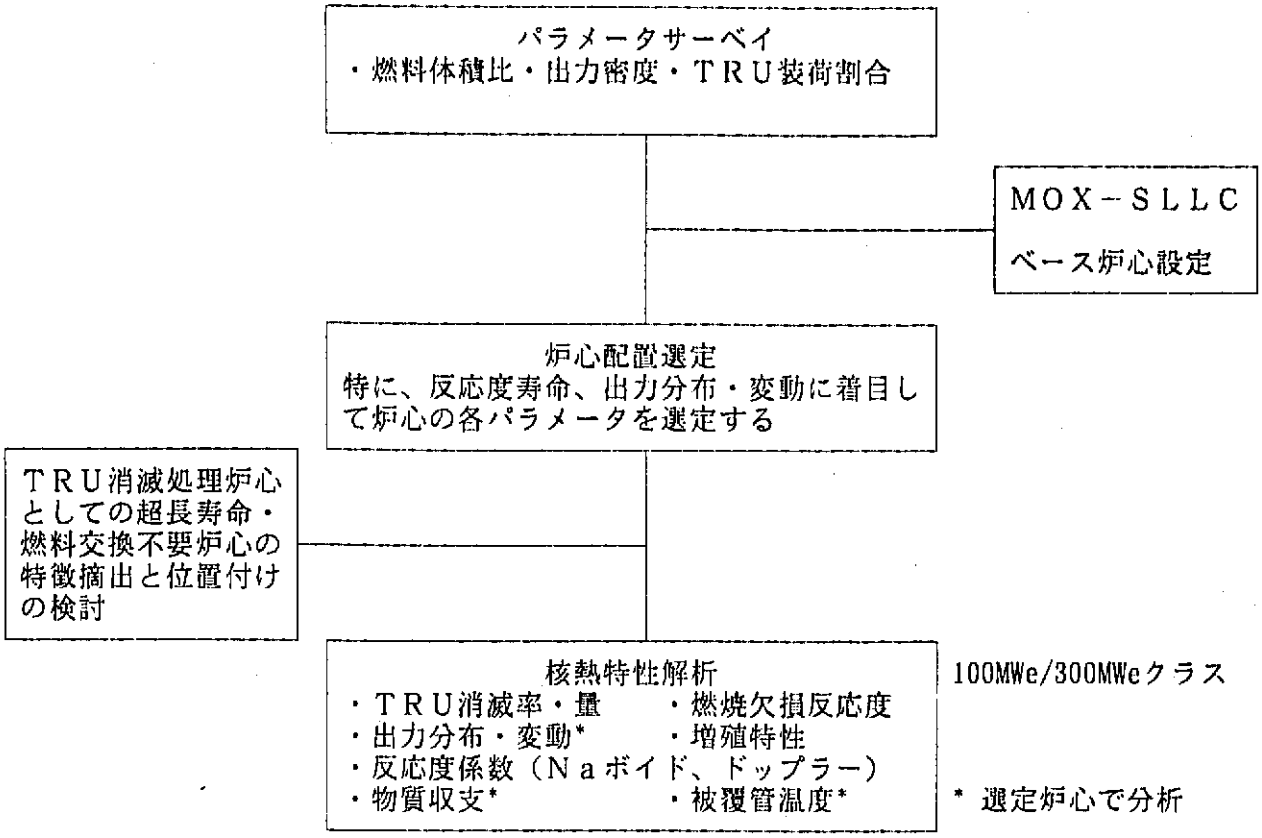


図２．１－１　超長寿命ＴＲＵ消滅処理炉心の解析手順

2.2 炉心の設定

炉心体系のベースは好適化された酸化物燃料超長寿命炉心(MOX-SLLC)[4]を参考として設定した。この炉心は反応度寿命３０年(EFPY)を目指した。表2.2-1 に示す燃料基本仕様に対して、図2.2-1 の炉心配置を有する。特徴はつぎの様である。

出力	１０００ＭＷｅ（2517MWth)
燃料体積比	５３％
平均出力密度	８３ｗ／ｃｃ（通常炉心の１／３）
寿命末期炉心平均燃焼度	１８万ＭＷｄ／ｔ
高速中性子ピークフルエンス	～６x10**23 ｎｖｔ
炉心部の圧力損失	～２ Kg/

具体的な検討は図2.2-2 のＲＺモデルにより７群の燃焼解析を行った。ＴＲＵ消滅処理超長寿命炉心(TRU-SLLC)検討は次のパラメータを変動させることにより行い、反応度寿命３０年以上で燃焼反応度の上限として 10%ΔK を暫定的に設定した。この上限反応度は従来の経験から、この炉心体系における制御棒で制御可能な反応度の上限と予想されることによる。この点については、特性解析の中で評価している。

ＴＲＵ装荷割合い	５，１０，２０、３０％
燃料体積比	約４０，約５０％

300MWe級ＴＲＵ消滅処理超長寿命炉心(TRU-SLLC)検討は、図2.2-3 に示す均質２領域炉心で行った.この炉心配置図は本検討の参考炉心としている1000MWe均質２領域炉心と同様な配置である。炉心部熱出力を755MWth と上記の炉心の30% とした。集合体本数は1000MWe 級炉心と同等であるので炉心の圧力損失は～１Kg/と大幅な低減となる。燃料の断面仕様は表2.2-1と同様に高燃料体積比の大型集合体を想定した。参考のために燃料体積比が約41% の場合（集合体ピッチは18cmと小さい）も検討した。計算モデルは図2.2-4 に示した。1000MWeＳＬＬＣ体系と同様に、次のパラメータを変動させることにより行い、反応度

寿命４０年以上（燃料体積比との関係から炉心平均燃焼度を約20万MWd/t とするため）で燃焼反応度の上限としてこの体系では 5% ΔK を暫定的に設定した。この上限反応度は従来の経験から、この炉心体系における制御棒で制御可能な反応度の上限と予想されることによる。

ＴＲＵ装荷割合　　１０，２０，３０％

燃料体積比　　約４０，約５０％

計算手法

a.　炉心計算

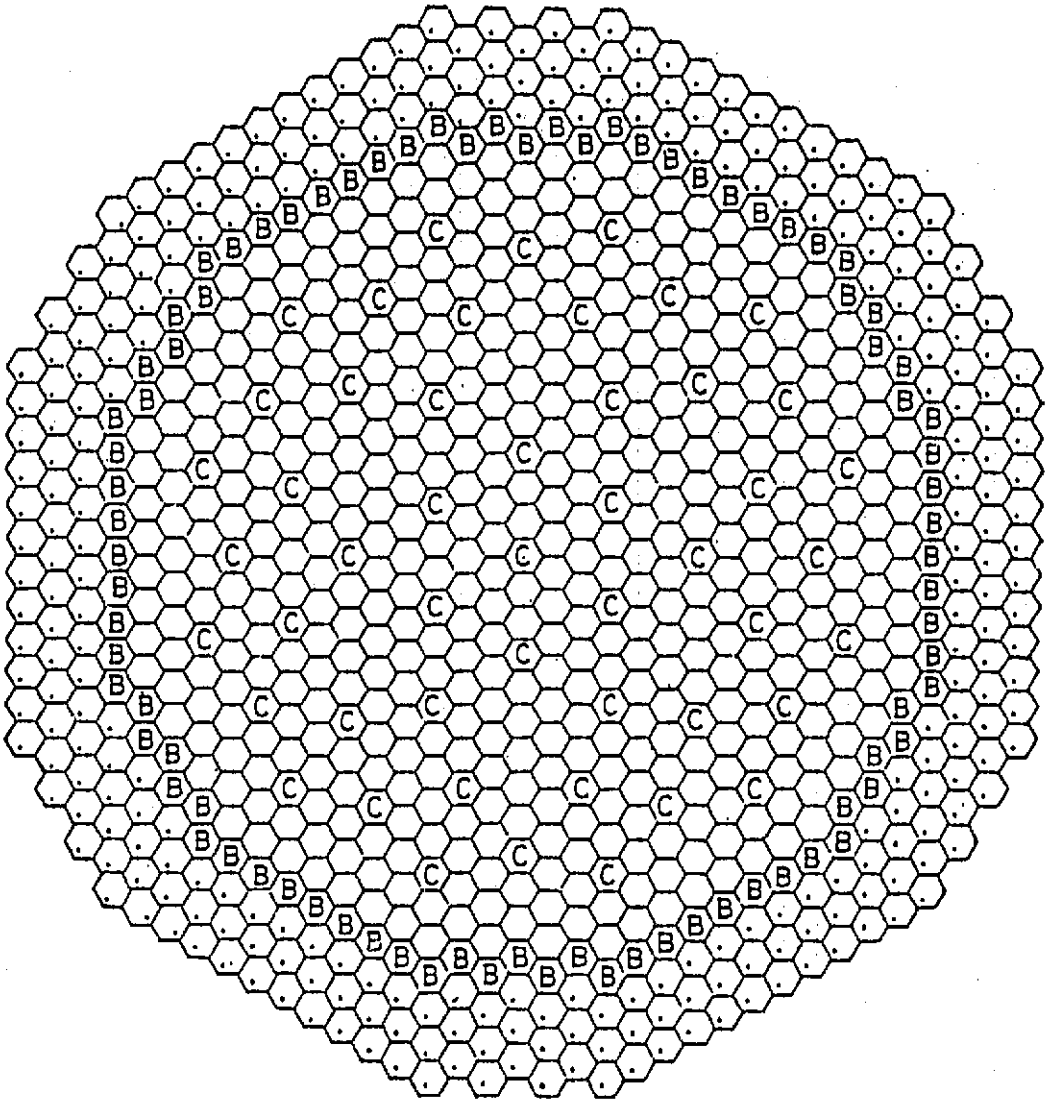
ＴＲＵ消滅処理特性及び炉心諸特性の評価は、二次元のＲＺ燃焼拡散コードを使用して行った。計算で使用した燃焼チェーンの詳細については、付録のA.3 に示してある。また、ナトリウムボイド反応度の評価は、二次元の直接計算で行った。

b.　炉定数

炉定数は、JENDL-2 ライブラリー[5]を群定数化したJFS-3-J2セット[6]の70群を基本とし25群中間ライブラリーを作成している。燃焼計算及びナトリウムボイド反応度の計算では25群を７群に縮約して使用した。７群のエネルギー群構造については、付録のA.4 の表A.4-1 に示す。

表2.2-1　ＳＬＬＣ炉心用燃料基本仕様

炉心		
	Fuel Material	PuO_2-UO_2/UO_2
	Number of Pins per Assembly	217
	Fuel Pin Diameter	12.2 mm
	Cladding Thickness	0.7 mm
	Pellet Diameter	10.6 mm
	Pellet Density	87.6% TD (スメア)
	Duct Inside Flat-to-Flat	194 mm
	Duct Wall Thickness	4 mm
	Assembly Lattice Pitch	208 mm
	Volume Fraction	
	Fuel	53.0 % (smeared)
	Coolant	24.7 %
	Structural Material	22.3 %
径ブランケット		
	Pellet Density	91.6% (smeared)
	Volume Fraction	
	Fuel	56.7 % (smeared)
	Coolant	27.1 %
	Structural Material	16.2 %



⬡	CORE	462
Ⓒ	CONTROL ROD	49
Ⓑ	RADIAL BLANKET	84
⬡	REMOVABLE SHIELD	288

炉心高さ　1．8m

図2.2-1　1000MWe ＳＬＬＣ炉心配置図

ＳＬＬＣ二次元ＲＺ計算体系

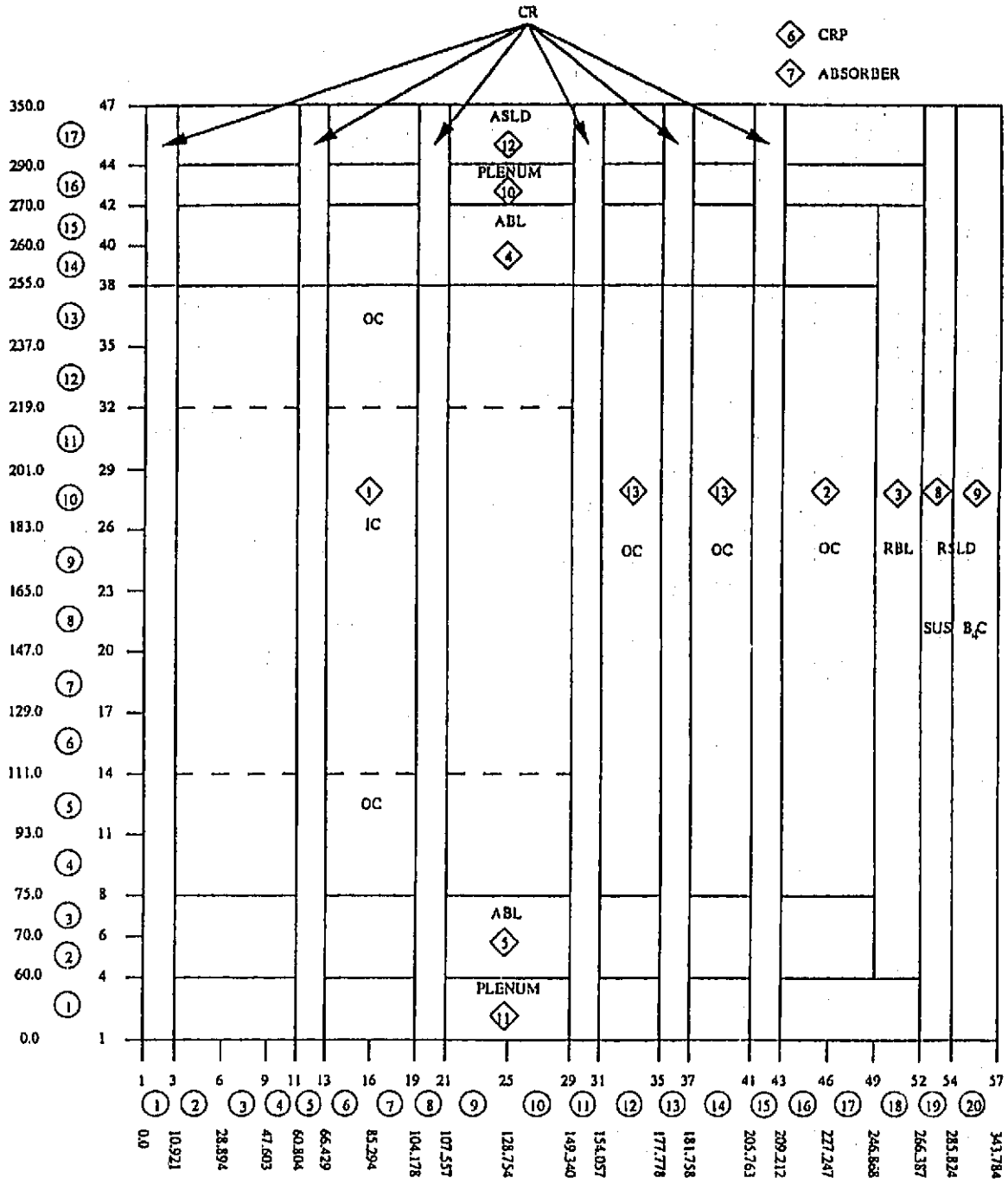
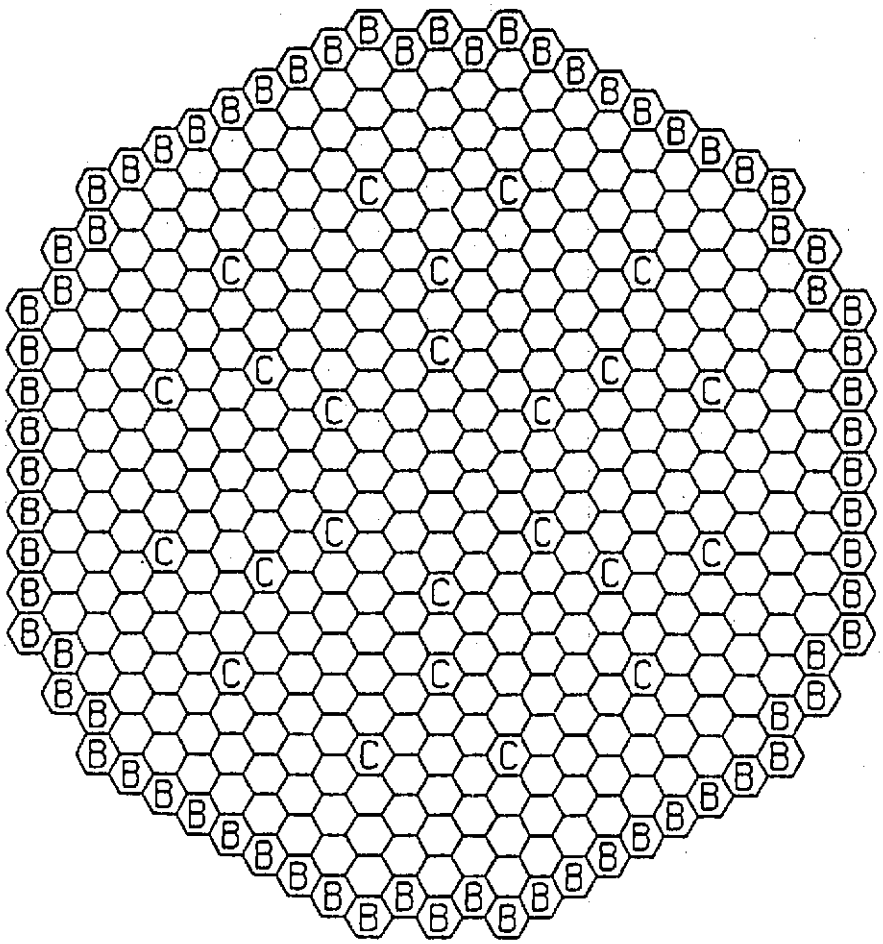


図2.2-2　1000MWe ＳＬＬＣ炉心ＲＺモデル図



炉心燃料集合体	355体	
制御棒	24体	
径ブランケット燃料集合体	72体	炉心高さ　1．0m

図2.2-3　300MWe ＳＬＬＣ炉心配置図

SLLC(300MWe)炉心RZモデル図

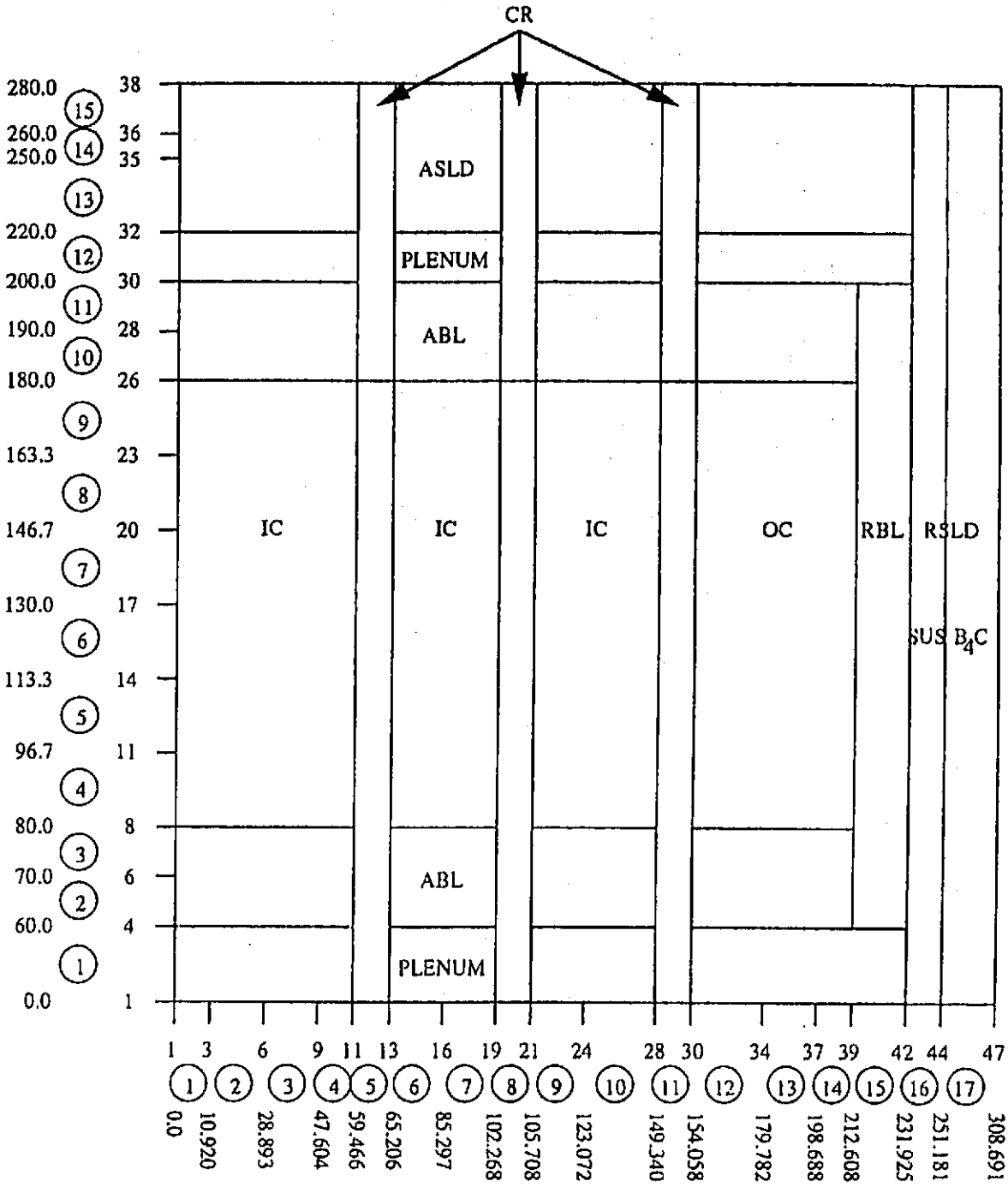


図2.2-1　300MWe ＳＬＬＣ炉心ＲＺモデル図

2.3 消滅特性のサーベイ

(1) サーベイ検討の方法

ＴＲＵ燃料中のＭＡ添加割合いをパラメータとして、1000MWe 及び300MWe級の１バッチ炉心の燃焼による反応度変化・出力分布変化に着目しＭＡの装荷量・消滅量の関係を調べた。これらの着目炉心特性はＳＬＬＣ炉心に要求される炉心安全性・経済性のもっとも基本的な要求と直結している。この2.3節 では、ＴＲＵ燃料を活用する観点から、ＭＡを炉心に装荷することによるＳＬＬＣ炉心の反応度寿命と出力分布特性への影響とＭＡ消滅能力との関係を調べた。2.3.1項では1000MWe 級ＳＬＬＣについて、2.3.2項では300MWe級ＳＬＬＣについてサーベイした結果を示す。

ＴＲＵ燃料を炉心に装荷するサーベイ計算ではＭＯＸ燃料による炉心からの移行を前提とする考え方に即してＳＬＬＣ炉心についても、MOX-SLLC炉心の安全性・経済性基本特性を考慮して設定された燃料配置（初期炉心燃料富化度分布）を前提に、ＭＡを混合させる方法を採り、炉心特性とＭＡ消滅能力との関係を調べた。ＴＲＵ燃料装荷による炉心特性への影響を 2.3及び2.4節で適宜MOX-SLLC炉心の特性値と比較することにより調べた。

2.3.1 1000MWe 級ＳＬＬＣにおける消滅特性のサーベイ

(1) 燃焼に伴う反応度変化

MOX-SLLCの初期Ｐｕ富化度分布（Pu富化度10.9,14.1,18.1% の３種類）の相対比率を一定にして、ＭＡ混在率を炉心全体で一律に10,20%と変化させた。図2.3.-1/-2 に燃焼反応度変化について炉心燃料体積比がそれぞれ約53%,41% の場合の結果を示す。その計算から次の特徴が摘出できる。

(a) ＭＡ混合により反応度寿命は大幅に増大する。MOX-SLLC（約25年の反応度寿命）にTRU を混入することにより反応度寿命は10年以上伸び、ＭＡの混合により炉心特性上ＭＡを有効活用できるポテンシャルが大きいことが示されている。

(b) 使用した軽水炉取出しＰｕ組成（即時再処理直後に相当）では、Pu 241 の割合いが高いのでMOX-SLLCでははじめの～６年までの反応度減少が大きい（低出力密度で運転することで反応度に大きな寄与をするPu241 が約13年で半減（β崩壊）する自然崩壊効果が従来炉心よりも大きめに現れる）が、ＭＡが炉心に装荷されることでその影響が打消される。

(c) 寿命中反応度変化の観点からは、TRU 混在率10% 以上とすることで効果が顕著に現れる。－－TRU 高含有率燃料が有効

(d) 燃料体積比の選択は、MOX-SLLC炉心の反応度寿命の観点から特に設計では重要なものである。例えば、炉心寿命を10,20,30年の設定との関係が深い。ＭＡを添加したTRU-SLLCにおいては、燃料体積比が約41% と通常炉心並の燃料断面仕様の場合においてもＴＲＵ燃料を使用することにより反応度寿命は大幅に伸びるポテンシャルが確認される。この場合には、ＭＡ混合率が約20% 以上の TRU高含有率燃料を使用することで反応度寿命の顕著な延長効果を期待することができる。

(2) 燃焼に伴う出力分布変化

検討のベースとしたMOX-SLLC体系のＰｕ富化度（初期炉内zoning）は、反応度寿命の長期化と同時に運転中の燃焼に伴う出力分布変動が極力小さくなるように設定されている。内側／外側炉心のある時点で出力分布平坦化をＰｕ富化度比を調整することで実現した場合に燃焼とともに内側／外側炉心領域の無限増倍率の変化が同一ならば燃焼に伴う出力分布の空間変動は小さくなる。一般に出力分布平坦化のために行うＰｕ富化度に差をつけると、富化度に敏感な局所的な内部転換比の違いから無限増倍率の燃焼変化は異なる。富化度を高くした外側領域では無限増倍率の低下が内側領域よりも大きくなる。このために出力分布の平坦度が燃焼とともに変動する。ベースとしたMOX-SLLC体系では集合体出力分布の燃焼による変動を抑制するために内側領域のＰｕ富化度分布を軸方向に最適化したことが特徴である。

TRU-SLLC体系ではＰｕ富化度（初期炉内zoning）の相対関係は同一として、TRU 混在割合いを炉心領域全体で一様とした場合の集合体出力（炉心中心近傍、径方向には内外炉心の中間、外側炉心の３か所，図2.3-3参照）の燃焼に伴う時間変化を図2.3-4,5,6 に示した。その結果、下記の事柄が示されている。

(a) ＴＲＵの一様混合により、集合体出力の燃焼に伴う出力変動は増大する。好適化したMOX-SLLCの場合より特に内側炉心で変動が顕著である。

(b) 本検討ではＴＲＵの一様混合とMOX-SLLC体系で設定したＰｕ富化度分布の組合わせは出力分布の観点からは最適ではなくなっている。しかもＴＲＵ混在率が増加すると燃焼に伴う出力変動が顕著になる。

したがって、超長寿命炉心の設定の基本事項である次の要求条件を満たすために、Ｐｕ富化度の炉内配分、またはＴＲＵ混合率の配分を必要とすることが考えられる。

> 燃焼に伴う反応度変化を約 10%ΔＫ 程度までとし
> 出力分布変動の抑制はどうすれば良いか？
> ＴＲＵ装荷量の制約になるか？

この問題を分析するためにＴＲＵの混在率が炉内一律10,20%のケースを中心に、燃焼に伴う出力分布変動の要因分析を実施した。

a. 無限増倍率の燃焼による変化

内側／外側炉心組成に対する無限増倍率の燃焼による変化を図2.3-7 (MOX-SLLC)と図2.3-8(TRU 10% 一律混合TRU-SLLC) に示した。図示した無限増倍率は内側炉心の低富化度領域の炉心中心近傍と外側炉心の高富化度領域炉心中心面近傍の組成に対するものである。無限増倍

率の燃焼による変化の様子から、次のことが示されている。

(a) MOX-SLLCで出力分布の燃焼に伴う変化が小さく設定されているのは、Ｐｕ富化度の違いによる無限増倍率の変化差を内側炉心では軸方向の富化度分布をつけることにより実効的に集合体レベルの無限増倍率の燃焼に伴う変化率が内外炉心でほぼ近いものとなっていることに対応する。

(b) 重金属重量の10% ＭＡを一様に混合したTRU-SLLC体系では、Np237/Am241の添加の影響で内外組成の初期無限増倍率が10% ΔK 程度低下しいる（初期炉心の反応度低減効果）。

(c) 更に、内側低富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化がMOX-SLLCの場合と大幅に異なっている。内外組成の無限増倍率の変化の様子から実効的に集合体レベルの無限増倍率の燃焼に伴う変化率は、内側炉心についてはほぼ平坦であることが示唆されている。したがって、外側炉心集合体の集合体レベルの無限増倍率の変化率と大きな違いを生じ、結果として出力分布変動がMOX-SLLCの場合より大きくなっていることが理解される。

(d) 運転20年以後は、内外組成の無限増倍率がTRU-SLLCではMOX-SLLCに比べて明らかに大きい状態が保たれ、特に内側炉心組成の無限増倍率の増大が顕著で反応度寿命の長期化が達成できるポテンシャルを示している。核分裂生成物の蓄積による反応度低減効果よりもNp237 からPu238, Am241 からAm242mに核種変換することに伴う反応度増大効果が勝っている状態の持続時間が長いことが示されている。

b. 組成の燃焼変化の分析

図2.3-9 ～-12 には炉心各列の炉心高さ部平均の原子数密度の径方向分布を運転14, 30 年の時点で比較した。Pu/Np/Am核種の炉心高さ領域の各列平均原子数密度の空間分布変動を分析すると、ＭＡの燃焼・生成に伴うPu238, Am241 の内外炉心における原子数密度の相対空間変動が大きく、これがMOX-SLLCの燃焼に加えて、ＭＡが追加された特有

の効果であることが理解される。

図2.3-13～-15 には出力変動注目領域（図2.3-3)における核分裂反応の核種別割合いの時間変化をMOX-SLLCについて示した結果である。同様に、図2.3-16～18にはTRU 10% 混在炉心、図2.3-19～21にはTRU 20% 混在炉心についての分析を示した。これらの比較から、ＴＲＵを混合することによりPu238,Np237,Am241 の核分裂割合いの変化が大きく、しかも 炉心の内外で変化の時間依存性が異なっていることが、MOX-SLLCの燃焼に新たに追加されたTRU-SLLC特有の効果であることが確認される。

以上の検討から、TRU 混在割合いを炉心内側では小さく、外側では大きくすることにより、無限増倍率の燃焼変化の内外炉心間の違い、出力分布変動幅は、燃焼に伴う原子数密度の空間変動を抑制できる可能性が示される。

(3) 好適なＴＲＵ混合率配分のサーベイ

a. ＴＲＵ混合率比

今回の検討ではＰｕ富化度分布の調整による方向は採用せず、ＴＲＵの混合割合いを内側炉心（図2.2-2 に示す径方向領域 No.10までの領域）と外側炉心に分割して、内側／外側炉心のTRU混合率をIC(TRU):OC(TRU) ＝1:2または 1:3と設定して炉心特性を調べ消滅率等との関係をサーベイ（ＴＲＵ混合率比は 40%まで）した。

b. 燃焼による反応度変化

燃焼による反応度変化は図2.3.-22 に示す。このときの調整したＰｕ富化度は表2.3-1 に示す。その結果次のことが読取れる。

(a) 燃焼反応度変動の挙動を決める要因としてＴＲＵの混在率が大きく、Pu富化度の絶対値の変化は小さい。このことは、運転開始５～６年まではMA中の主成分Np237,Am241 が中性子吸収毒物として作用し、Pu241 存在割合いが大きいことによる初期余剰反応度の増大を抑制すると同時に運転により反応度の大きなPu238,Am242mが生成す

ることに伴い、もともとのPu241 の減少による反応度劣化を補償することを示す。燃料体積比が高い本検討仕様ではＴＲＵを5%以上混合することにより、反応度寿命は３０年以上となる見通しである。

(b) ＴＲＵ装荷量が多くなると、寿命の途中で反応度が最大となり、10%ΔK以上となる場合が生ずる。炉心に装荷出来るＭＡ量を増大させるためには燃料体積比の選定が重要となる。これは、炉心性能とＴＲＵ装荷量との関係から燃料体積比／燃料実効密度等燃料との関連が大きく、安全性の点で反応度制御能力への要求条件との整合性が重要となることが示唆されている。

c. 出力分布変動

ＴＲＵ混合率を1:2/1:3 とした場合の燃焼に伴う炉内最大線出力の変化を図2.3-23に比較した。この比較から次の傾向が示されている。

(a) 本検討体系では1C(TRU):0C(TRU) ＝1:2 の場合には、ＴＲＵ装荷量の絶対値に依存して、上述のように炉心反応度の燃焼変化の様子はかなり変動するが、最大出力密度は変動はＴＲＵ装荷量によらずある小さな変動範囲にはいっている。出力分布への要求の観点から好適となっていることが示されている。

(b) 1C(TRU):0C(TRU) ＝1:3 の場合には、ＴＲＵ装荷量が増大しても炉心反応度の燃焼変化幅の抑制の観点では有効であることが図2.3-22に例示されていたが、出力分布の変動は図2.3-23に示されるように大きくなっている。

(c) これらの結果から、炉心基本形状・燃料体積比等に依存して、MA混合率を適切に選択することにより炉心特性が飛躍的に向上する可能性がある。燃焼に伴う出力ピーク位置の移動の様子を、MOX-SLLC / MA10%一様混合TRU-SLLC/ MA 7.5%-15% 組合わせ混合TRU-SLLCの場合の３ケースについて図2.3-24, 図2.3-25, 図2.3-26にそれぞれ示す。

(d) いずれのケースについても初めに外側炉心（径方向または軸方向）に出力ピークが発生し、燃焼とともに炉心中央に移動する傾向にあり、反応度寿命の長期化をもたらしている。

(e) MOX-SLLC,7.5%/15%MA TRU-SLLCの場合は出力ピーク位置が適当に移動する状態が実現されているために出力分布平坦化が達成されている。

(f) MA 10%一様混合の場合は、燃焼とともに出力ピークが中央に移動するのみで炉心の反応度長寿命化（中性子経済）の点では効果があるが、出力分布の平坦化には望ましくない。

(g) MOX-SLLCのＰｕ富化度相対分布と同一とする初期富化度分布を活用するには内外炉心でＭＡ混合率は 1:2程度の分布をつけることが有効ということを示している。

d. 組成変化

TRU-SLLCにおいては、ＭＡ混合率を 1:2程度とすることが好適なことが示されたが、列平均組成の燃焼変化／核分裂割合いの中のＭＡの寄与等を調べた結果を図2.3-27～図2.3-45に列挙する。

(a) 図2.3-27～29; TRU IC/OC=10%/20% 混合炉心の炉心部高さで平均したＰｕ同位元素毎、ＭＡ核種の原子数密度を初期組成、運転開始14,30年の変遷を示す。

(b) 図2.3- 9～10（前出）; TRU 10% 一様混合炉心の炉心部高さで平均したＰｕ同位元素毎、ＭＡ核種の原子数密度を初期組成、運転開始14,30年の変遷を比較のために示す。

(c) (a)/(b) の比較から、顕著な違いはＭＡ核種の燃焼に伴う変動量が内側／外側炉心領域で異なることである。MA一様混合の場合はPu238,Am241,Am242mの変化が全炉心にわたっているのに対し、MA10%/20%混合の場合は内側炉心における前記の組成変化が空間的に一様となっていることが示されている。

(d) 図2.3-30～37; TRU IC/OC=10%/20% 混合炉心の炉心部高さで平均

したＰｕ同位元素毎、ＭＡ核種、Ｕ同位元素が核分裂における核種毎の割合いを径方向領域分布（平均値）を運転開始直後、運転開始14,30年の３炉心の間の変遷を示す。30年間の変化を概括する。Pu239 の核分裂割合いは初期50%(IC)/43%(OC) から60%(IC)/50%(OC) へと変化し、実質的に内部転換比が高いことを反映している。Pu241 の核分裂割合 いは16% から4%へと減少している。PU240,Pu242 の寄与は大きな変化 は無い。Pu238 の寄与は0%から10～15%へと大幅に増大する。Np237, Am241 の核分裂割合いはそれぞれ6%から2%、4%から2%へと減少する。

(e) 図2.3-38～45; TRU 10% 一様混合炉心の炉心部高さで平均したPu同位元素毎、ＭＡ核種、Ｕ同位元素の核分裂における核種毎の割合いの径方向領域分布（平均値）を運転開始直後、運転開始 14,30年の３炉心の間の変遷を比較のために示す。30年間の変化を概括する。Pu239 の核分裂割合いは初期50%(IC)/54%(OC) から60%(IC)/60%(OC) へと変化し、実質的に内側炉心の変化が大きい。Pu241 の核分裂割合いは16% から5%へと減少している。Pu238 の寄与は0%から9%へと増大する。Np237,Am241 の核分裂割合いはそれぞ6%から2%、4%から2%へと減少する。

(f) (d)/(e) の比較から、組成の変化(c) で述べた特徴を核種別核分裂割合いにおいても確認できる。

e. ＭＡ消滅特性

炉心の反応度特性・出力分布特性の観点から内外炉心領域でＭＡ混合割合いを変更した方が望ましいことが示された。この検討で好適なＭＡ混合比率である TRU混合率の内外炉心の相対比率 1:2のケースを中心にＭＡ消滅量と消滅率を表2.3-2 に示す。参考のために TRU混合率の内外炉心の相対比率 1:3のケース(10%/30% TRU混合率) も示した。この表では次の式で消滅量と消滅率を定義している。

消滅量＝（Np,AM,Cmの装荷量）－（30年運転後のNp,AM,Cmの炉内量）

消滅率＝消滅量／（Np,AM,Cmの装荷量）

参考のために14年と運転途中のＭＡ炉内インベントリーも示してある。この表から次の傾向が示されている。

(a) 30年平均のＭＡ消滅率は初期ＭＡ装荷量の多いほうが大きくなるが、その差は 5%(IC)/10%(OC) の場合は56% に対して高含有率20%(IC)/40%(OC)の場合は63% で、消滅率は相対的に15% 増加となる。これは、ＭＡ低含有率燃料の場合には平衡濃度との差が小さいためである。

(b) いずれの場合も30年までの消滅率に比べ14年までの消滅率の方が相対的には10～20% 大きくなっている。これもＭＡ燃焼に従いNp237,Am241 の消滅速度が低下していくためである。

(c) 消滅率は、IC/OC のＭＡ混合率において出力分布特性の点で好適な1:2 比率の場合が、1:3 比率の場合よりも大きくなっている。特に、出力分布の歪みが大きい運転開始から10年程度まではＭＡ混在割合いの少ないICにピークがあるために消滅率が小さくなっている。炉心特性として望ましいMA混在配置とするほうが炉心全体としての消滅率の向上となっている。

(d) ＭＡ消滅量の絶対値は初期装荷量に比例的に増大することは明らかである。これは、核種毎の平衡濃度より高い量を装荷することの効果である。炉心特性等の観点にとらわれず30年間の消滅量をサーベイした結果をまとめると次の様になる。

IC/OC	平均混合率	MA装荷量	30年間消滅量	年平均消滅量
5%/10%	8.1%	11.25 tons	6.3 tons	210Kg/y
10%/20%	16.2%	22.92 tons	14.1 tons	470Kg/y
15%/30%	24.3%	34.50 tons	21.2 tons	707Kg/y
20%/40%	32.5%	46.15 tons	29.2 tons	973Kg/y

（軽水炉1000MWe 一年運転で生成されるMA重量 27Kg/y/ 基）

(e) 核種別の増減の特徴は次の様になる。軽水炉取出し燃料中のＭＡ

の主成分であるNp237,Am241 は30年で1/3に減ずる。Am243は1/2.5に減少する。Am242mは少ないが15～20倍に増加する。Cm245は約3倍に増大する。

(f) 中性子放出量等に大きく寄与するCm242/Cm244 は長期運転することにより、通常燃料交換炉心では増大するが半減期と同等または十分長いことによりSLLC型炉心では増加しないことが示されている。

f. 1000MWe TRU-SLLC炉心のＭＡ混合割合い

これまでの検討から、ＴＲＵ装荷量を平均30% 程度にすると、最大反応度が10% Δk を越える場合あり、炉心反応度の観点からＭＡ装荷量の制限因子となる可能性がある。また、ピーク出力の変化の様子からＭＡ装荷の量にはあまり依存せずＩＣ／ＯＣのＭＡ混合比率は１：２程度が良好である。ＭＡ混合率を決めるために、炉心反応度寿命・炉心余剰反応度／出力分布の変化の様子を考慮すると本検討の（MOX-SLLCが成立する）炉心燃料仕様では次の値となる。絶対値の決定には炉心の燃焼に伴う余剰反応度の変化を小さくし、燃焼中に燃焼反応度が増加することも避けられるように選定した。

内側炉心	ＭＡ混合率	7.5%
外側炉心	ＭＡ混合率	15.0%

この場合は、酸化物燃料でも TRUの消滅処理と活用を兼ね炉心サイズを変更せずに40年寿命の可能性が示されている。

2.3.2 300MWe級ＳＬＬＣにおける消滅特性のサーベイ

炉心サイズを従来の通常炉心の約３倍と大幅に増加させ、大型化の代表として考えられる出力1000MWe クラスの体系では、酸化物燃料ＭＯＸ炉心

においても反応度寿命が約30年のＳＬＬＣが成立する可能性がある。一方、出力規模を低減すると炉心サイズが減少し中性子経済が悪化する傾向となることにより反応度寿命が約30年のＳＬＬＣが成立するポテンシャルは小さくなる。しかし、これまでのサーベイ計算で示されるようにＭＡを混合した燃料を利用することにより反応度寿命を長期化出来ることが示されているので、従来の通常1000MWe 級炉心サイズで構成できる300MWe級炉心で反応度寿命が30～40年で炉心平均燃焼度が約20万MWd/t に達するＴＲＵ消滅処理炉心をサーベイした。

検討対象炉心は、本検討の比較用均質炉心（付録A.1 ）と同様の炉心高さ１ｍ炉心とした。燃料断面仕様としての体積比は通常大型炉心設計で採用される約41% の場合と1000MWe 級TRU-SLLC炉心で採用した約53% の場合を検討した。サーベイ検討は、反応度寿命30～40年の確保を前提にし、選定した体系の消滅特性を評価した。炉心の燃焼用の最大余剰反応度は暫定的に5%ΔK を超えないものとして設定する。

(1)　燃焼に伴う反応度変化

a.　燃料体積比の効果とＭＡ混合効果

(a)　燃料体積比が従来並の場合

従来から大型炉の設計で採用される燃料体積比(Vf)が約41% の場合はＭＯＸ燃料炉心では燃焼用の最大余剰反応度を5%ΔK とすると１サイクルとして可能な反応度寿命は(5/3.62)/0.3*(15/12)=5.8年(300MWe)と予想される。（付録A.1 に示す様に炉心高さ1mの1000MWe 均質炉心の特性から評価した結果である。同様に炉心へのＭＡ混合率が一律5%の場合は10年(300MWe)の反応度寿命となり TRU燃料を使用することによる反応度寿命延長効果が大きいことが示唆されている。）図2.3-46には運転中の燃焼用最大余剰反応度が5%ΔKと10%ΔKに設定した場合の反応度変化の様子を描いている。想定しているＰｕ同位元素比が軽水炉取出し即時再処理時に相当するPu241の比率が14% と高いこともあって、それぞれ運転初期に最大余剰反

応度を有し、反応度寿命はそれぞれ14,18 年となっている。これらの計算では内外炉心のＭＡ混合率はそれぞれ10%/20% と設定した結果である。この結果よりＭＡ混合効果は次の様に言えよう。

ＭＡを混合したＴＲＵ燃料を使用することにより300MWe級１バッチ炉心の反応度寿命は飛躍的に増大する。内外炉心に10%/20% の混合（平均15% 程度）により、反応度寿命は 6年から14年へと 2.5倍長くなる。

運転初期に燃焼用最大余剰反応度を 10%ΔK と倍増させると、反応度寿命は17年となるが、燃焼用最大余剰反応度を5%ΔK のときに14年であることからの延長効果は顕著には現れていない（Ｐｕ組成比に依存する）。

(b)　高燃料体積比Vf～53% の場合

図2.3-47（上段）と図2.3-48には燃料体積比53% 、集合体ピッチ20.8cmの大型集合体による炉心構成（炉心高さは１ｍと同一）の場合のMOX-SLLCの反応度寿命を示す。前述の燃料体積比Vf～41%（集合体ピッチ17.98cm ）の場合と同一集合体本数で炉心を構成したので出力密度が低下している。そのために炉心の平均燃焼度を約20万MWd/t を狙うために炉心の目標運転期間を40年と想定した。MOX-SLLC炉心では燃焼用最大反応度を5%ΔKとする場合、反応度寿命は７年となっている。炉心高さを１ｍと低くしている炉心では燃料体積比を41% から53% と増大させても反応度寿命は１年強しか延長されず、実質の炉心燃焼度では効果が殆ど出ていない。それに比べＭＡを混合した TRU燃料を利用することの特徴は次の様になる。

燃料体積比を53% と高くし、 TRU燃料のMA含有率を比較的高くすると300MWe級SLLCにおいても反応度寿命を40年以上と出来るポテンシャルがあることが示されている。この場合、燃焼用の最大反応度は5%ΔK 以下とすることが可能である。内側／外側炉心のMA含有率を15%/30%の場合は燃焼用余剰反応度の大きさは2%ΔK程度と出来る

見通しがある。

燃焼用の最大反応度は運転中期に発生する場合がある。内側／外側炉心のMA含有率を20%/40% とさらに高くする場合は、中期の燃焼用の最大反応度は5%ΔK を超えている。ただし、この場合は反応度寿命は50～60年と大幅な増大となることも期待出来る。

MA含有率を10%/20% と比較的低くする場合は燃焼用の最大反応度の制約は炉心の反応度寿命に直接影響する場合があることを示唆している。燃焼用の最大反応度を約 10%ΔK とすると40年の反応度寿命が達成できる可能性がある。5%ΔK の場合は25年程度までと予想される。

b. ＴＲＵ燃料使用の効果

以上の結果から、炉心の出力密度を低減し従来の1000MWe 級炉心サイズで300MWe級出力を発生し超長寿命40年を狙う場合にはMAを混在させたＴＲＵ燃料を活用することが特に有効であることが示された。ただし、炉心サイズが小さい場合はＭＡ混合率の高い TRU燃料を必要とする。

(2) 燃焼に伴う出力変動

図2.3-49に燃料体積比41% の場合における最大出力密度の変化を示す。この例はMA混合率が内外炉心で10%/20% と設定している。

MOX 燃料の場合は反応度寿命は約 6年であるが参考のために30年分のプロットをしてある。TRU 燃料の使用により反応度寿命が長期化できるが、燃焼用の余剰反応度の大きさとMA混合比率の設定によって炉心部の出力ピーキング係数が20% 程度影響され、それぞれの設定において調整の必要があることを示唆している。

図2.3-47（下段）は燃料体積比53% のMOX-SLLCにおける最大出力密度の変化を示す。反応度寿命は約 7年であるが参考のために40年分のプロットをしてある。図2.3-50には燃料体積比53% のTRU-SLLCにおける最大出力密度の変化を40年間に亙って示してある。図2.3-51にはMOX-SLLC炉

心の最大出力密度出現位置と運転年数の関係をプロットした。同様に、図2.3-52はMA混合比10%/20% のTRU-SLLCの例についてプロットしたものである。この検討では、外側炉心に運転初期の出力ピークが外側炉心で発生するＰｕ富化度比となっている。これに関連してMA混合比が比較的低い場合は初期の炉心反応度がかなり高くなっている。この結果から下記の事柄が示されている。

TRU燃料のMA混合率をPu富化度に対応して内外炉心で適切に設定することにより MOX-SLLC の出力分布よりもピーキング係数を低減した長期運転が出来るポテンシャルが大きい。

ただし、反応度寿命50～60年を達成できる余地を有するMA含有率がかなり高い TRU燃料を装荷する炉心では燃焼とともに出力ピーキング係数が大きく増大に転じることが生ずる可能性が示されており炉心の運転法（制御棒操作パターン）が大きく変更する必要があると考えられる。

(3) ＭＡ消滅特性

このサーベイ計算の段階のＭＡ消滅特性を表2.3-3 に示す。消滅率／消滅量の定義は1000MWe TRU-SLLCの場合と同一である。燃料体積比の選定によって反応度寿命が異なるので消滅率に違いが生じている。

燃料体積比が低く、反応度寿命が短い例では装荷ＭＡバッチの35% が消滅（14年）している。MA混在率の平均値が15% の場合、２トンが消滅・変換されている。

反応度寿命が40年の場合（炉心平均燃焼度約20万MWd/t ）では消滅率は約60% に達している。この値は1000MWe 級炉心の同一燃焼度に対する消滅率とほぼ同等であり、消滅能力の炉心サイズ依存性は小さいことが示されている。MA混在率の平均値が15% の場合、約 5.4トンが消滅・変換されている。

表2.3－1　ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心Ｐｕ富化度（1000MWe-class）

(%)

ＭＡ混在率	ＩＣ			ＯＣ		
	Pu富化度１	Pu富化度２	MA混合率	Pu富化度３	Pu富化度４	MA混合率
MOX-SLLC	10.9	18.1	0.0	14.4	18.1	0.0
TRU-SLLC						
5/10% -CASE	11.5	19.0	5.0	15.1	19.0	5.0
7.5/15%-case	12.0	19.9	7.7	15.9	19.9	15.0
10/20%-case	10.9	18.1	10.0	14.4	18.1	20.0
10/30%-case	11.5	19.0	10.0	15.1	19.0	30.0
15/30%-case	11.5	19.0	15.0	15.1	19.0	30.0
20/40%-case	11.5	19.0	20.0	15.1	19.0	40.0

Ｐｕ同位元素比Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242= 0/58/24/14/4 w%

表2.3－2　MA消滅量と消滅率（1000MWe級　TRU－SLLC）

MA混入 時点		MA量（Kg）									
割合い		Np237	Am241	Am242	Am243	Cm242	Cm243	Cm244	Cm245	total	消滅率%
5/10%	charge	5616	3247	8.7	1771	0.1	5.8	570	29.5	11248	---
	14年	3082	2477	197	1120	43.4	6.1	696	89.6	7711	31.4
	30年	1687	1618	183	766	27.6	4.1	570	107	4962	55.9
10/20%	charge	11263	6875	17.5	3553	0.2	11.6	1139	58.9	22918	---
	14年	6273	4158	335	2163	67.1	10.5	1326	168	14501	36.7
	30年	3462	2445	288	1379	40.0	6.2	1038	192	8851	61.4
10/30%	charge	15643	9548	24.3	4935	0.3	16.1	1588	82.2	31837	---
	14年	10519	6751	361	3492	87.1	12.5	1603	185	23011	27.7
	30年	5553	3597	388	2073	62.4	9.1	1433	240	13356	58.0
15/30%	charge	16954	10345	26.4	5347	0.3	17.6	1722	89.1	34501	---
	14年	9736	6071	471	3293	91.3	14.3	1916	234	21827	36.7
	30年	5486	3470	405	2077	53.6	8.3	1492	268	13260	61.6
20/40%	charge	22680	13838	35.3	7154	0.4	23.4	2302	119	46152	---
	14年	12688	7612	605	4265	117	18.2	2517	305	28127	39.1
	30年	7170	4234	512	2668	59.1	10.5	1915	346	16915	63.4

表2.3－3　MA消滅量と消滅率（ 300MWe級　TRU－SLLC）

MA混入　時点		MA量（Kg）									
割合い		Np237	Am241	Am242	Am243	Cm242	Cm243	Cm244	Cm245	total	消滅率%
燃料体積比～41%											
10/20%	charge	2623	1601	4.1	828	0.05	2.7	266	13.8	5339	---
	14年	1458	1039	83.7	513	18.2	2.5	312	39.0	3465	35.1
	30年	750	591	73.9	322	10.7	1.7	254	46.9	2050	61.6
燃料体積比～53%											
15/30%	charge	6722	4102	10.4	2120	0.1	4.2	682	35.3	13676	---
	14年	4573	2980	177	1510	32.8	4.8	687	73.6	10038	26.6
	30年	3028	2017	200	1076	21.1	3.1	567	90.1	7002	48.8
	40年	2370	1595	185	889	16.4	2.4	485	90.1	5633	58.8
10/20%	charge	4471	2727	6.9	1410	0.1	4.6	273	23.5	8916	---
	14年	3098	2221	124	1033	24.2	3.3	459	49.0	7012	21.4
	30年	2056	1584	150	752	16.9	2.4	390	61.7	5013	43.8
	40年	1602	770	142	628	13.8	1.9	341	62.5	3561	60.1

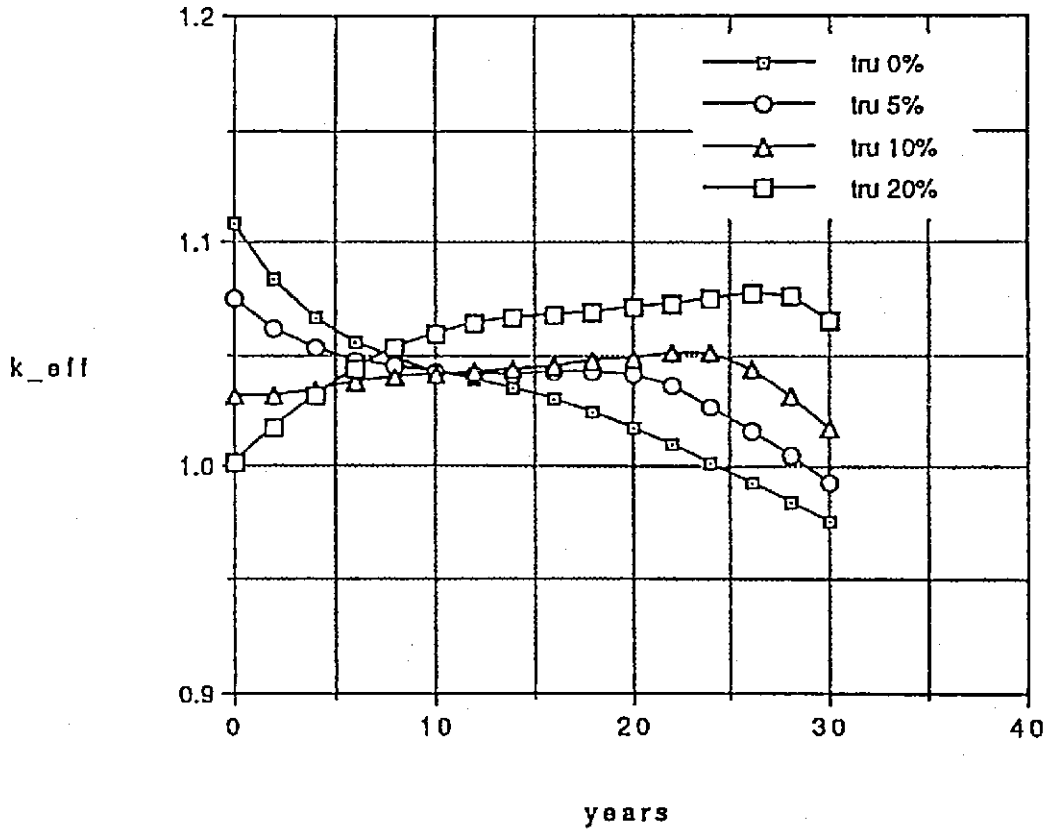


図2.3－1　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響(1)
－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－

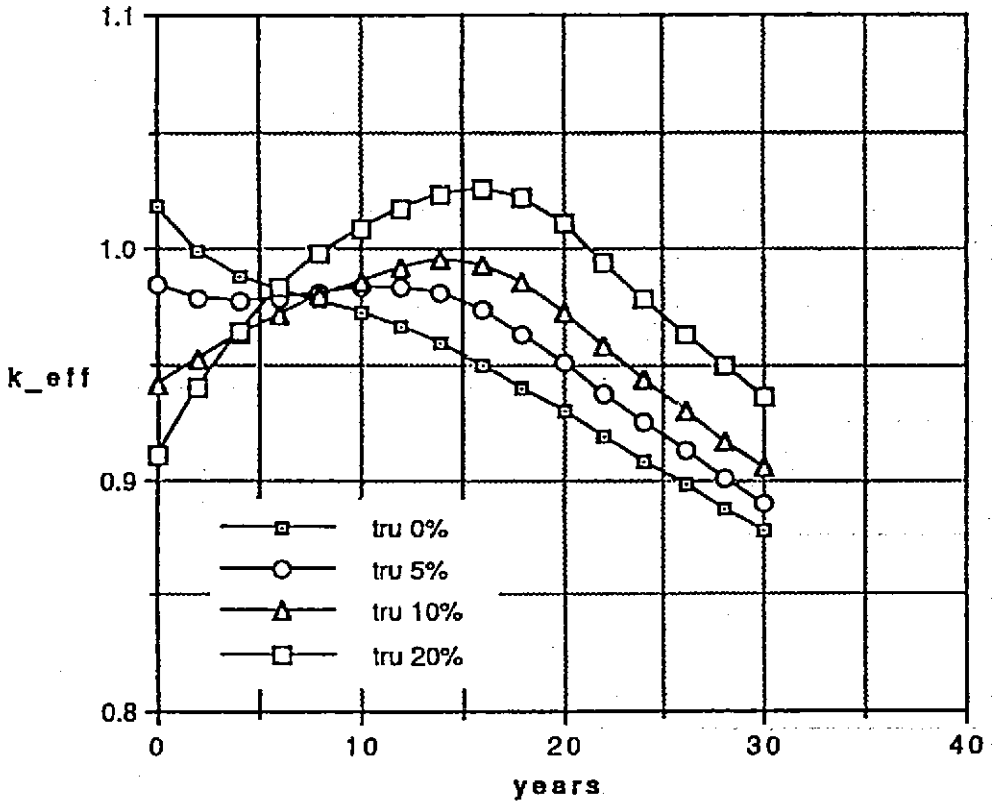


図2.3－2　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響(2)
－Ｖｆ～41%，ＴＲＵ一様混合－

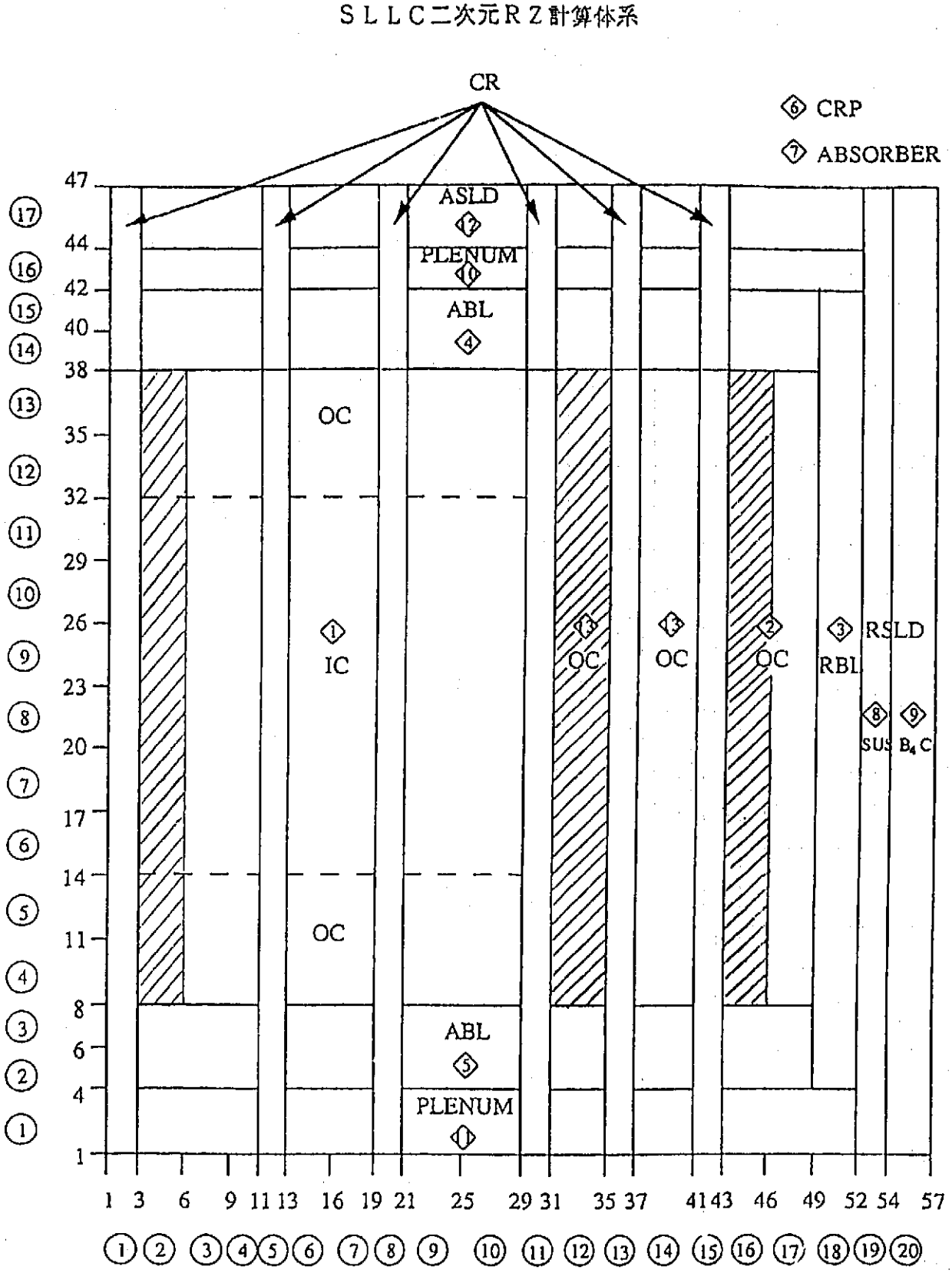


図2.3-3　1000MWe ＳＬＬＣ炉心集合体出力の燃焼に伴う変化の着目領域図

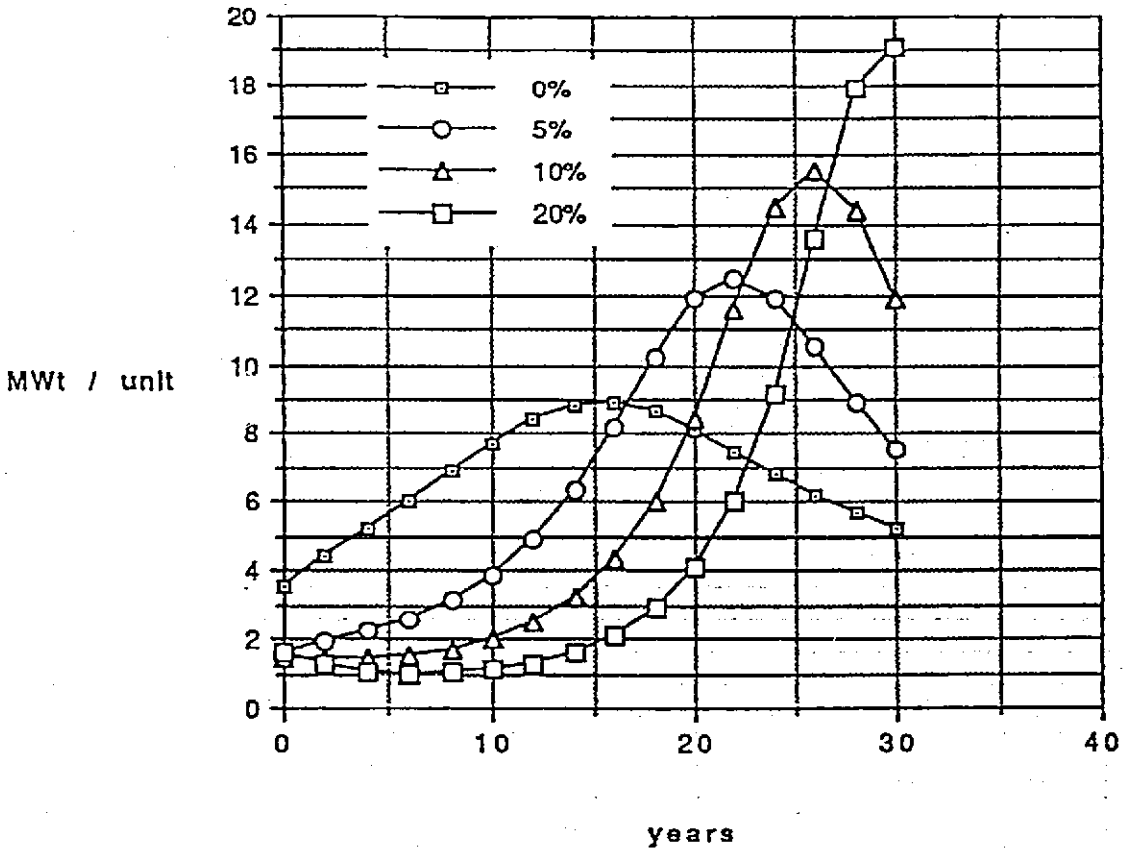


図2.3－4　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(1)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域２－

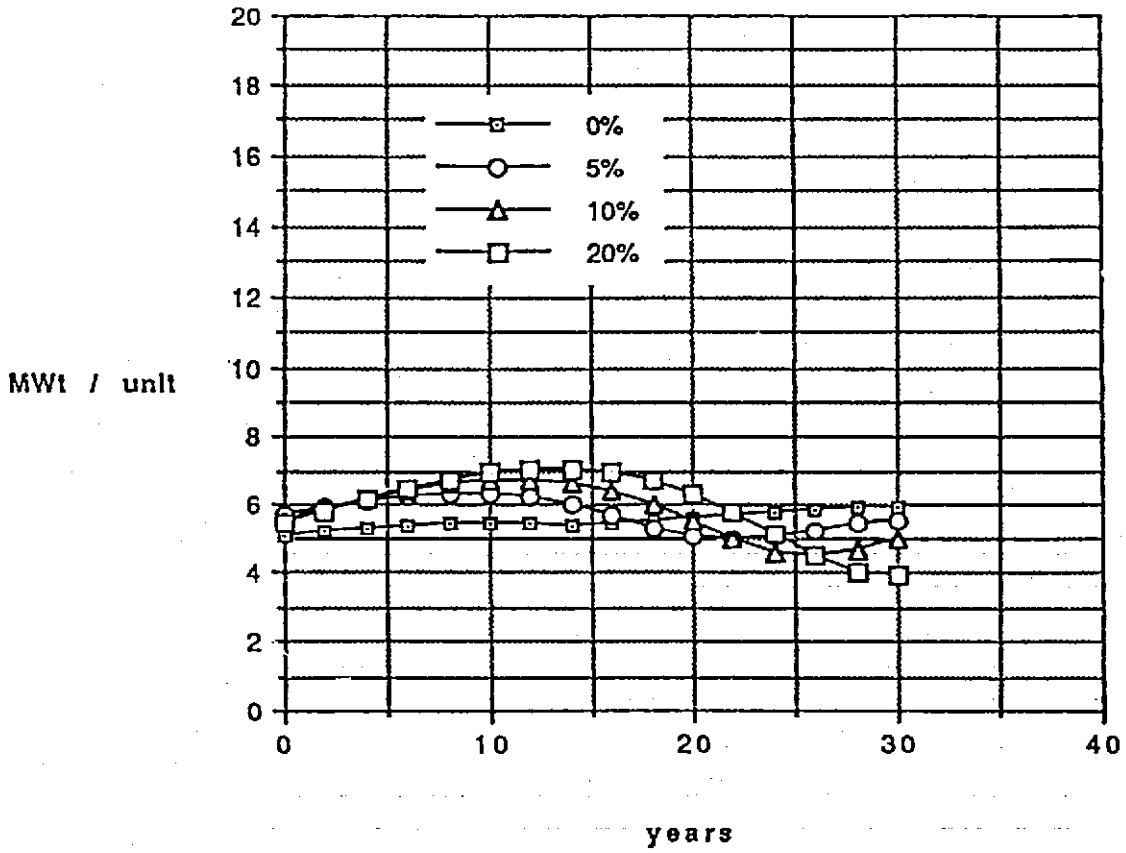


図2.3－5　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(2)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域12－

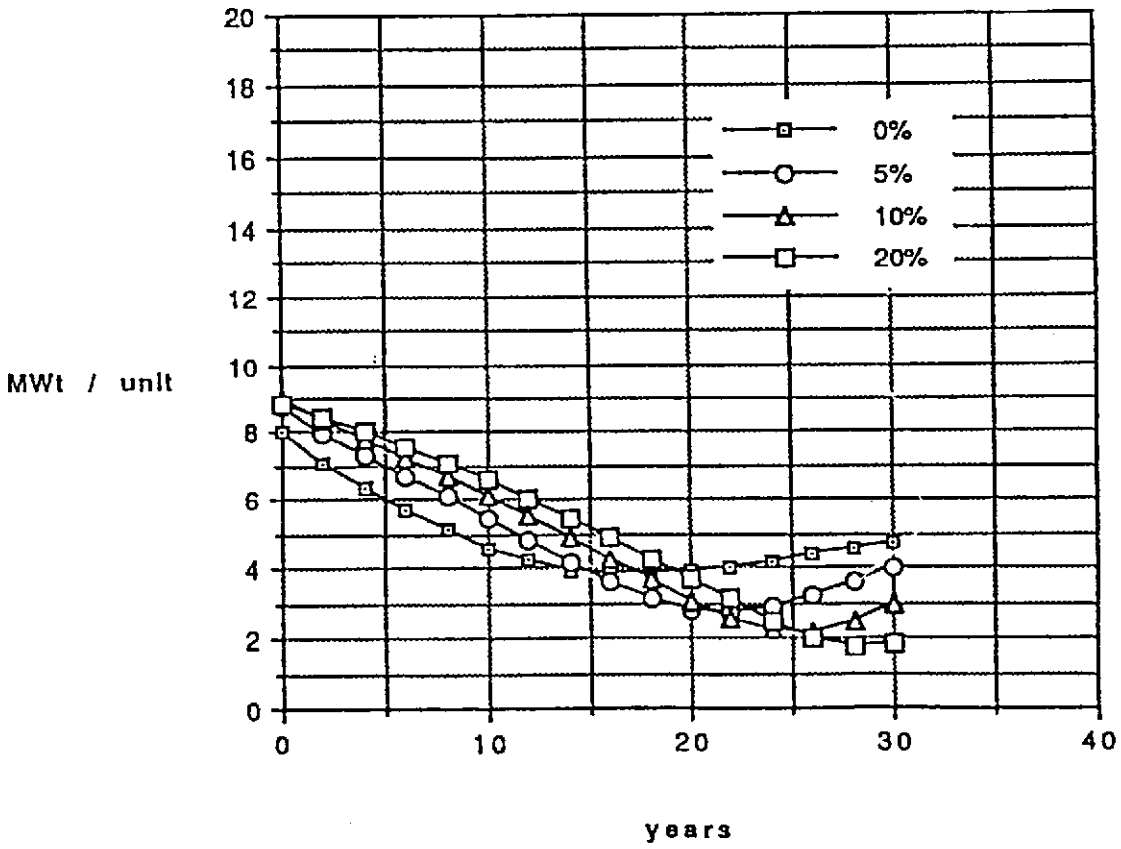


図2.3－6　1000MWe ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による集合体出力の燃焼に伴う変化への影響(3)　－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ一様混合－
－径方向領域16－

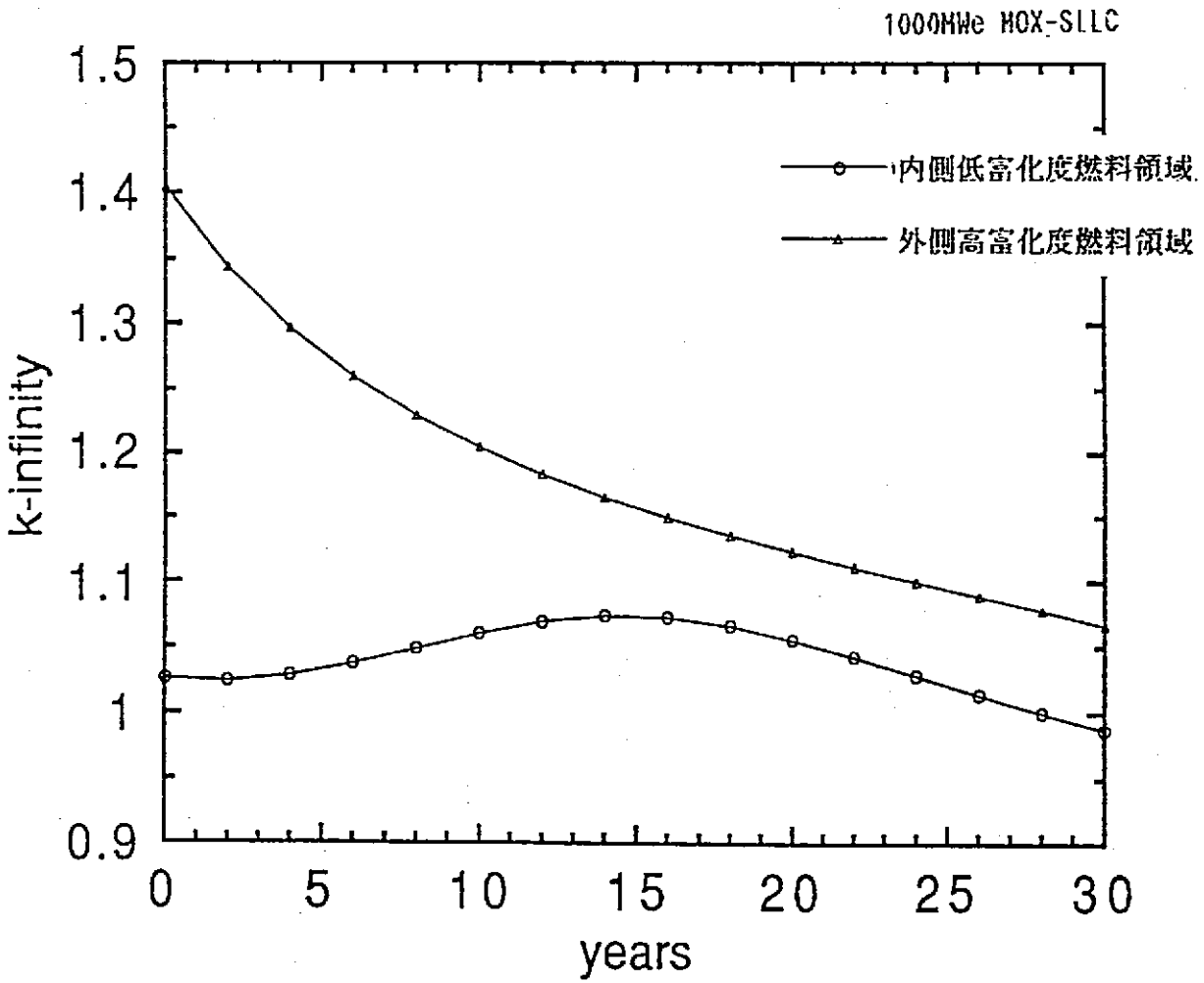


図2.3－7　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの内側低富化度／外側高富化度燃料領域のＫ∞値の燃焼による変化

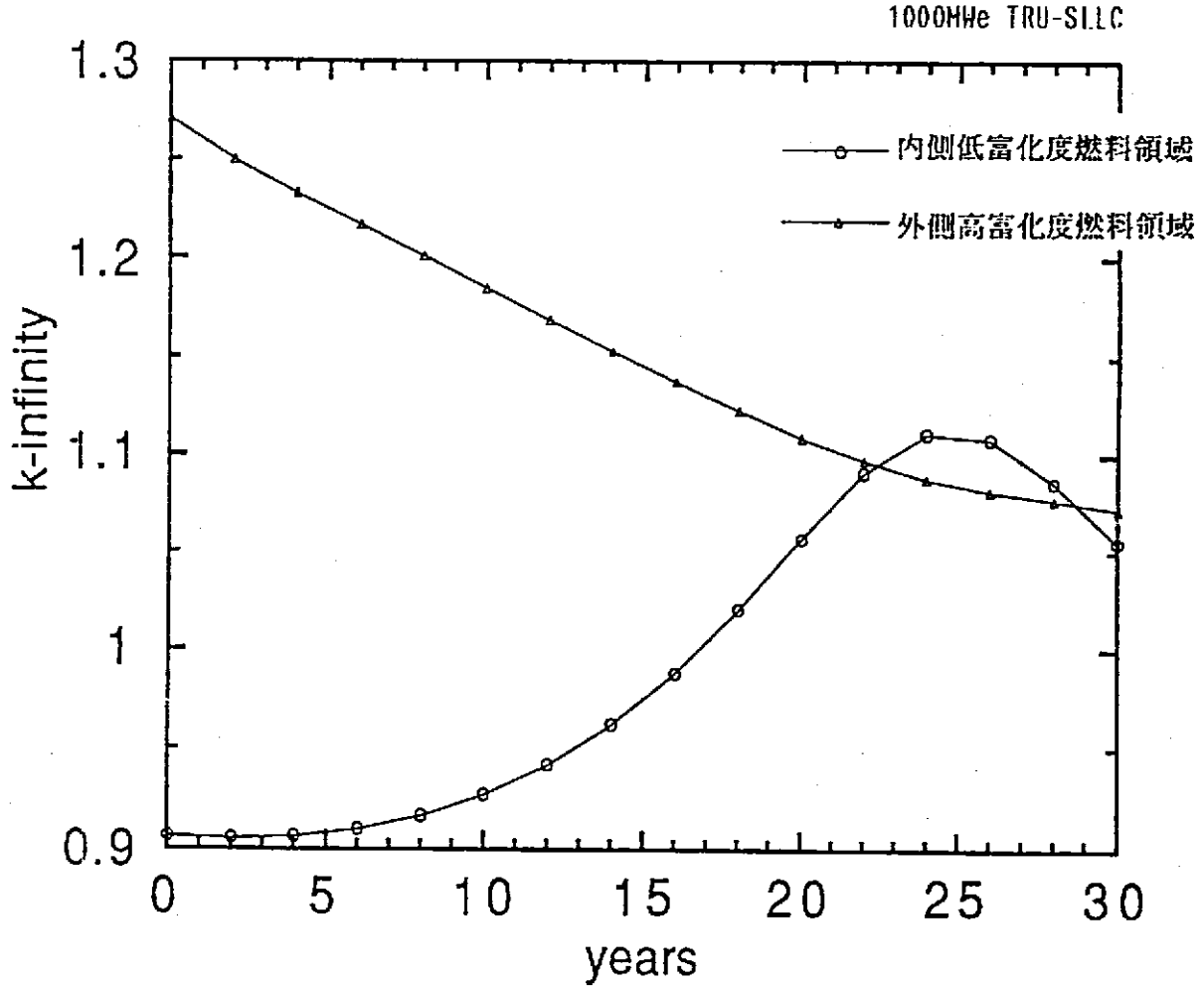


図2.3－8　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの内側低富化度／外側高富化度燃料領域のＫ∞値の燃焼による変化　－ＭＡ混合率；炉心一律10％の場合－

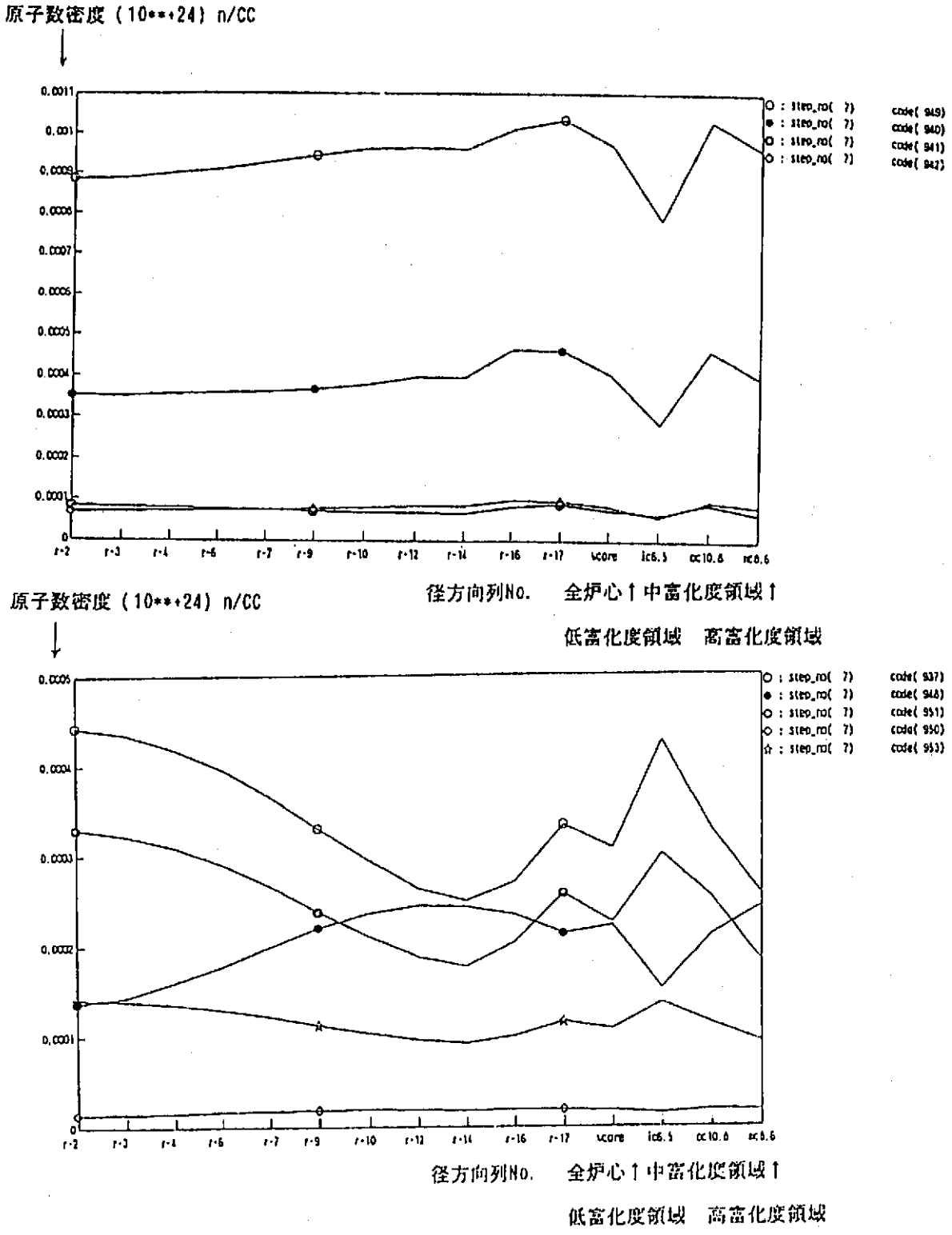


図2.3-9　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布　－－ＴＲＵ一様10% 混合炉心運転１４年－－

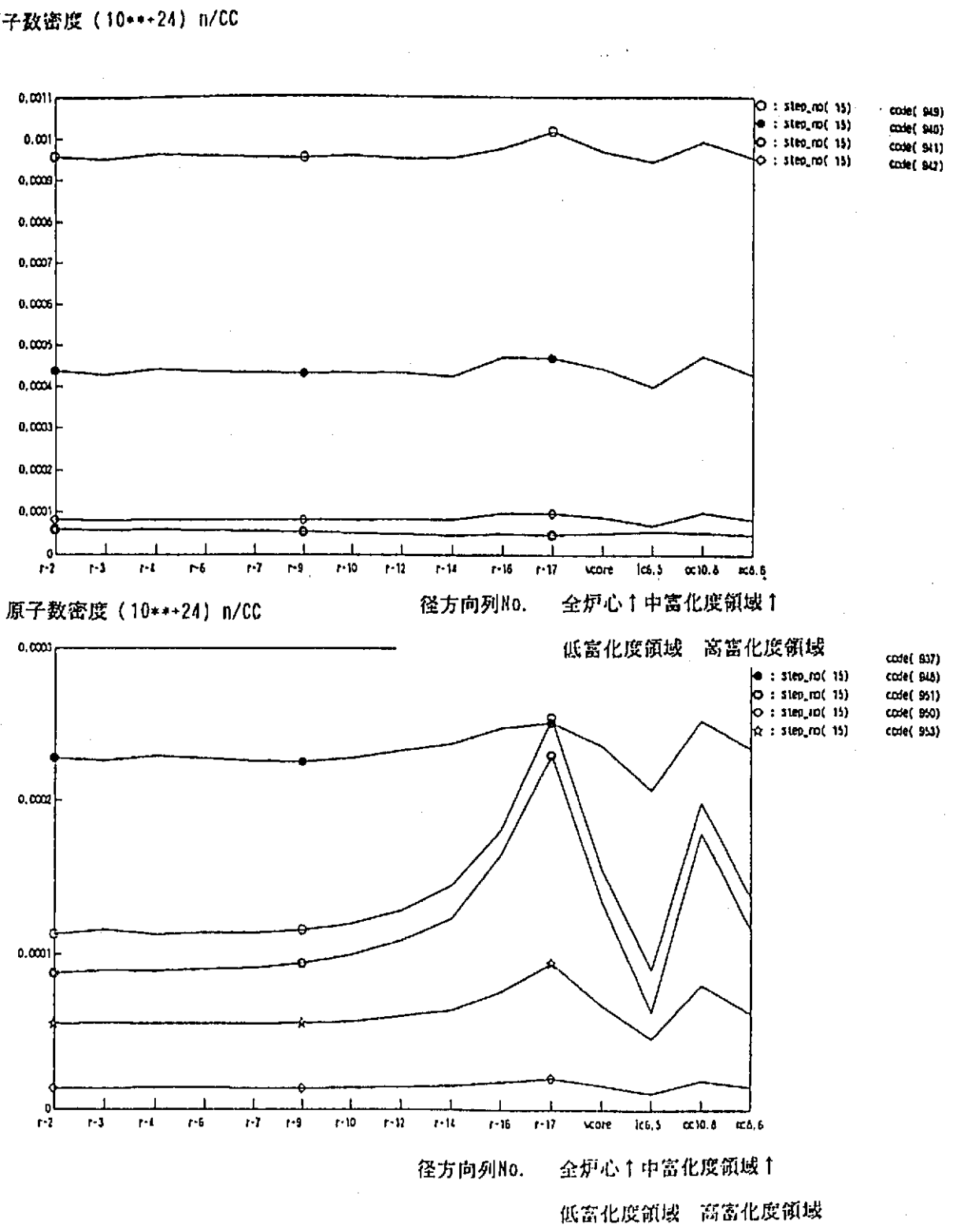


図2.3-10　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布 －－ＴＲＵ一様10% 混合炉心運転３０年－－

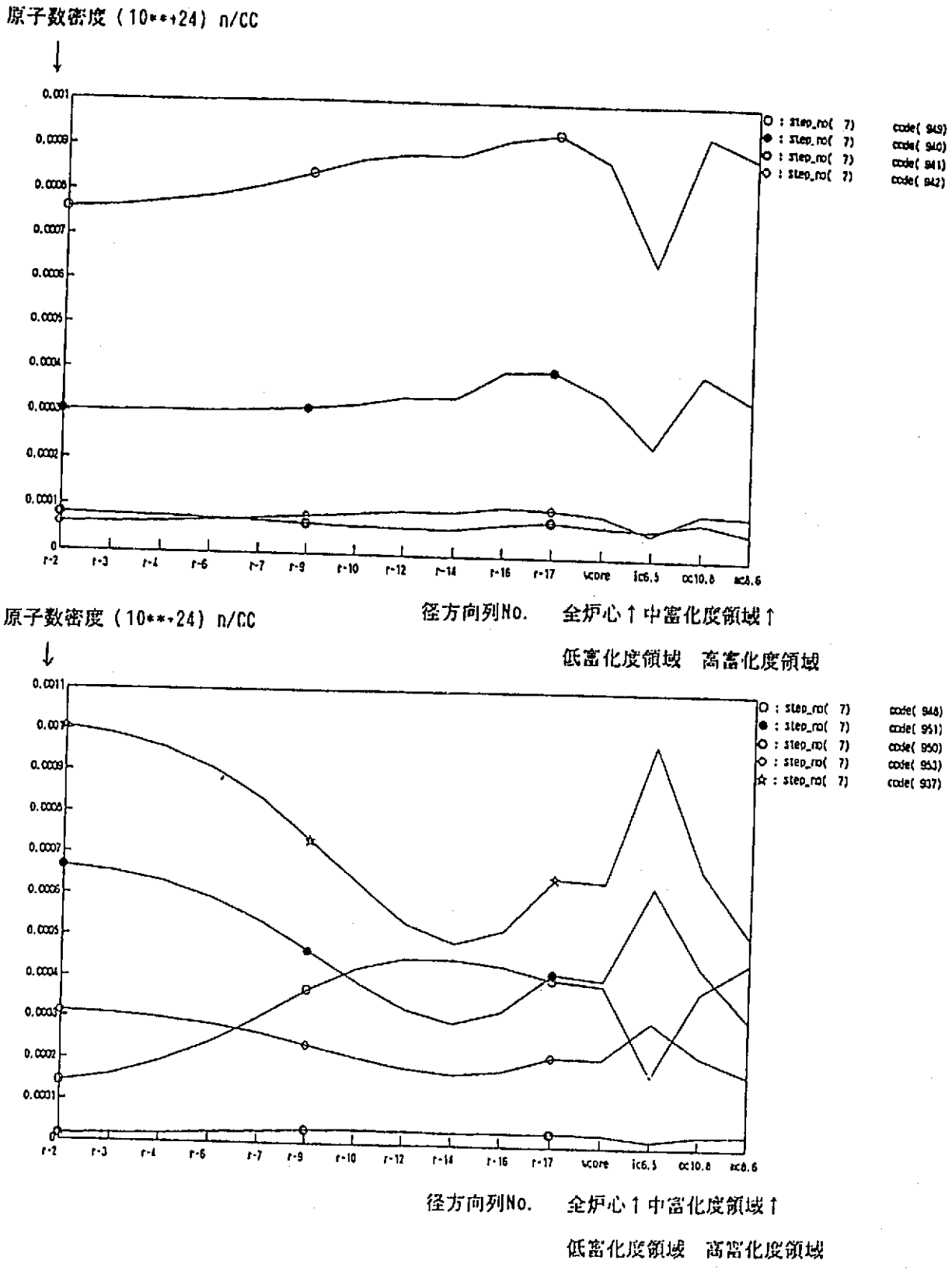
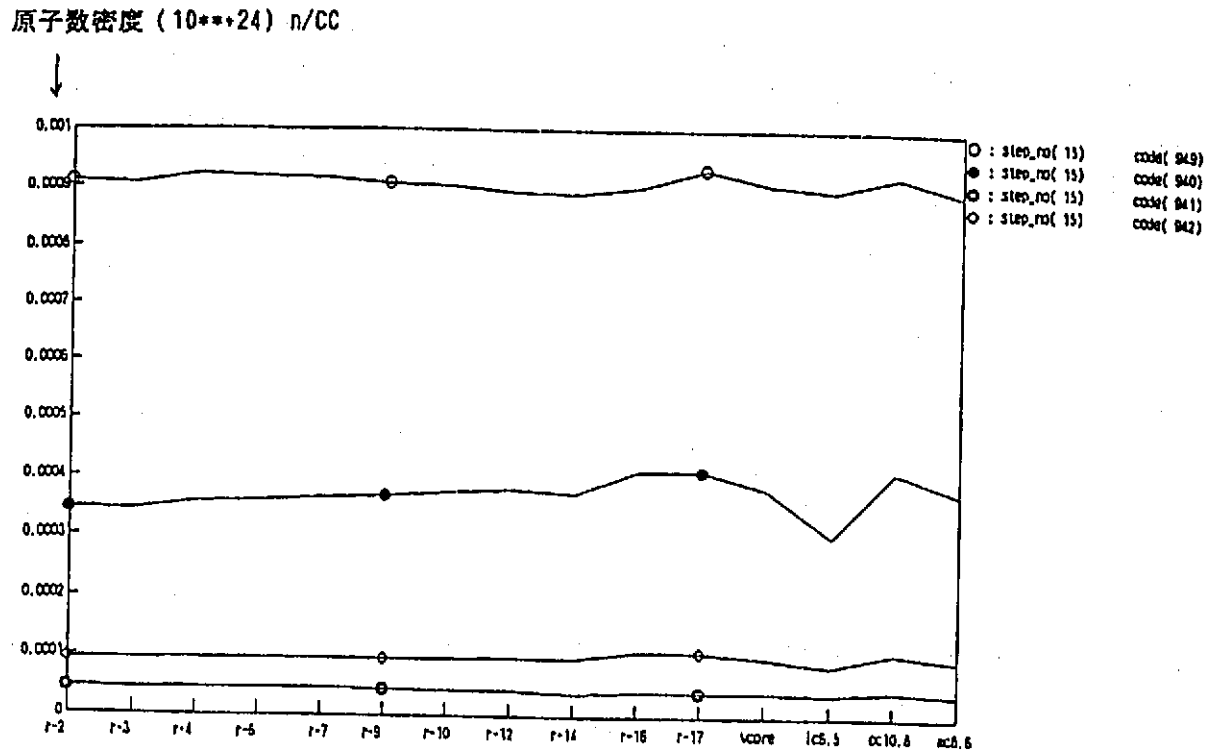


図2.3-11　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布　－－ＴＲＵ一様20% 混合炉心運転１４年－－



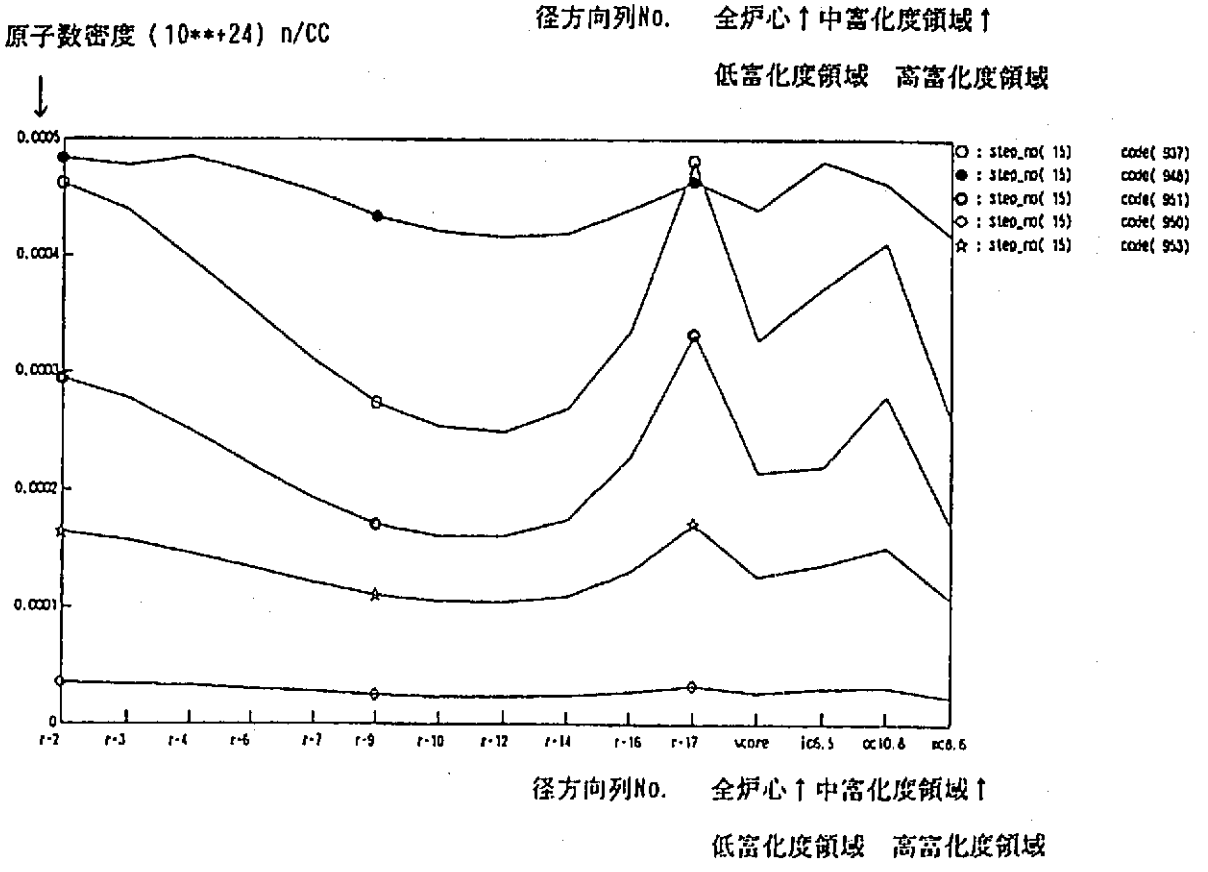
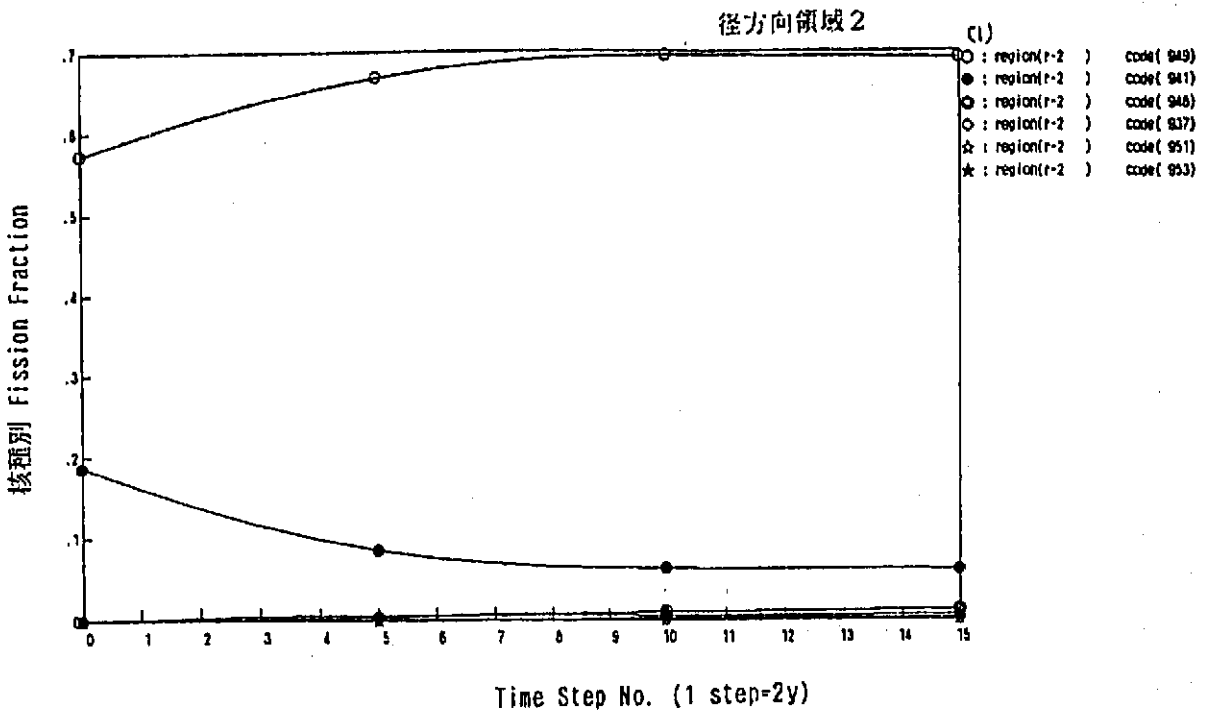


図2.3-12　1000MWe ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布　－－ＴＲＵ一様20% 混合炉心運転３０年－－



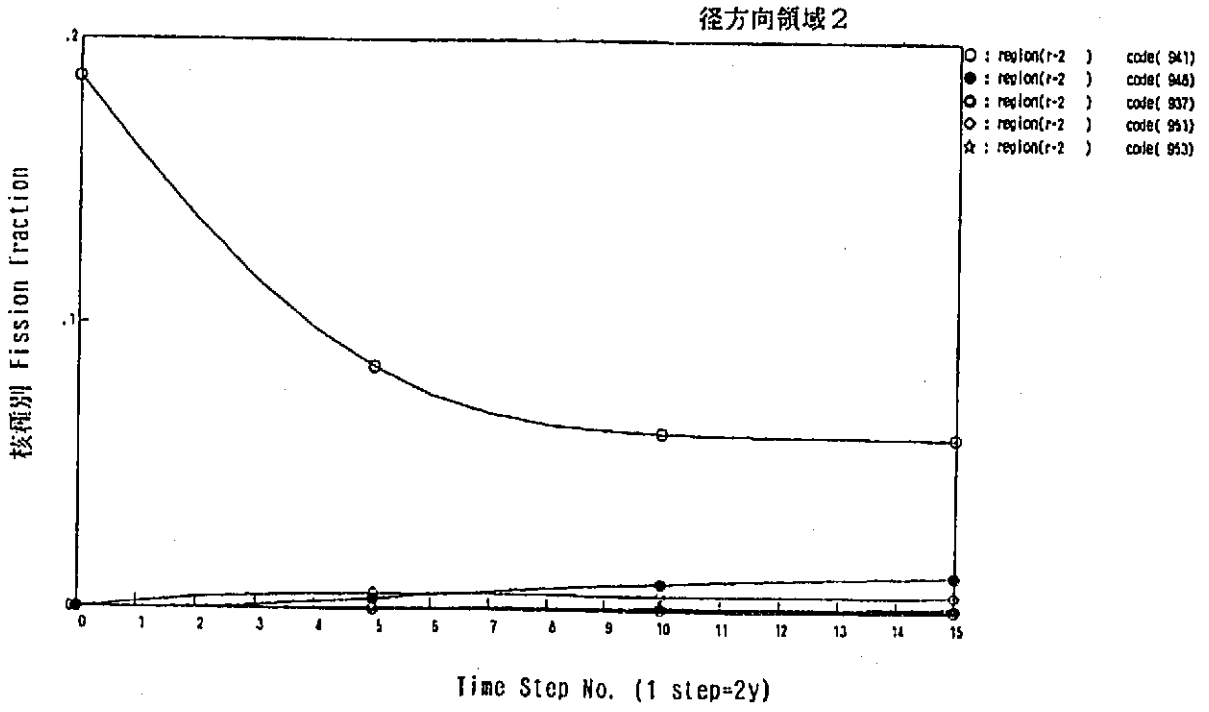
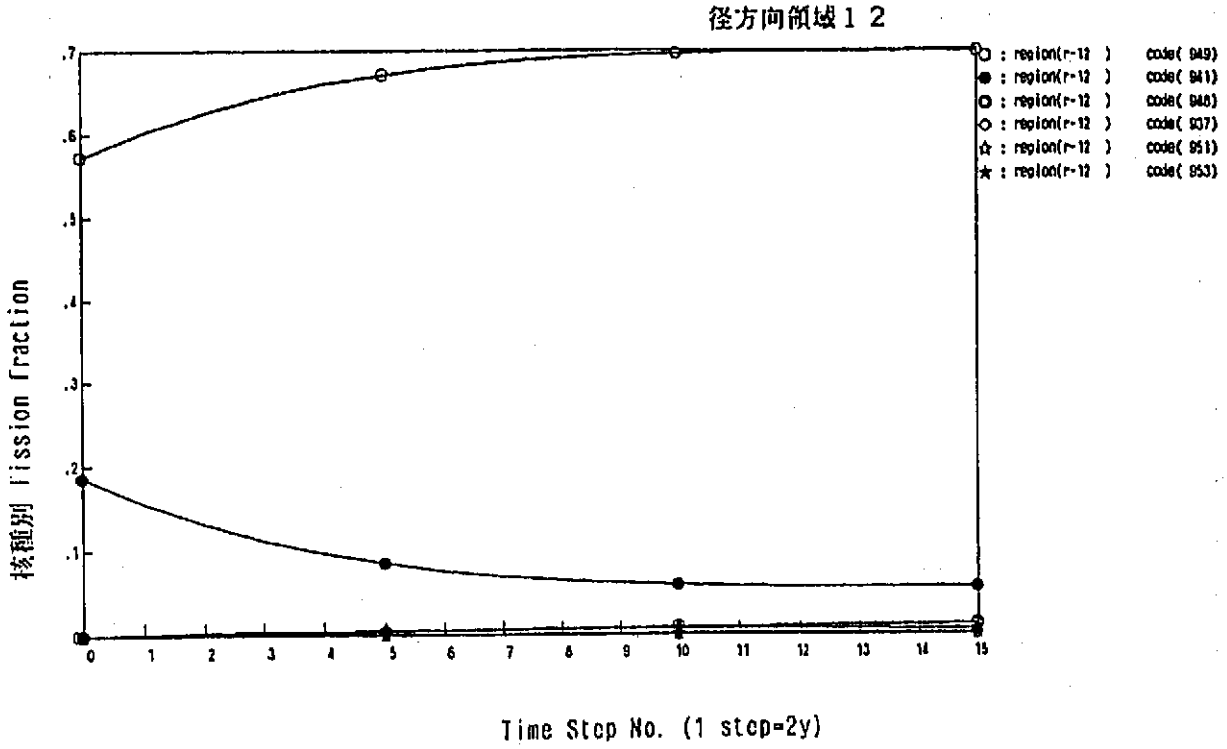


図2.3-13　1000MWe MOX-SLLCにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の
核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化



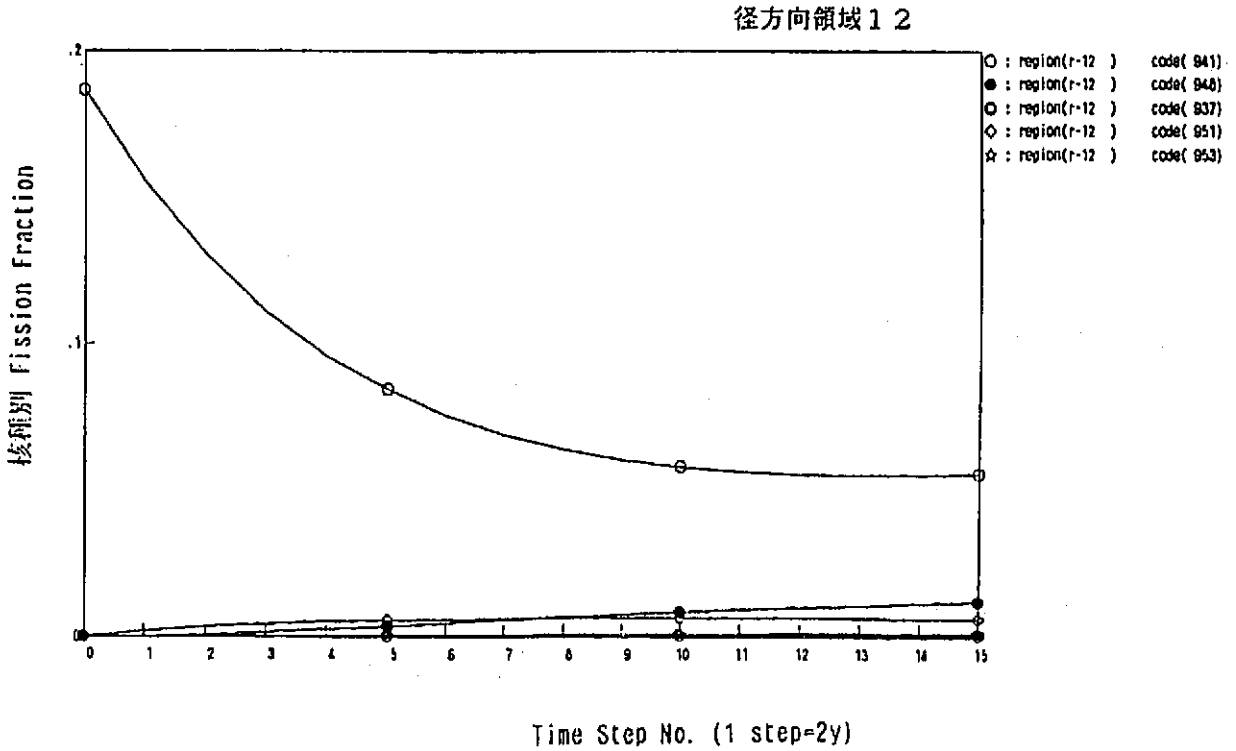
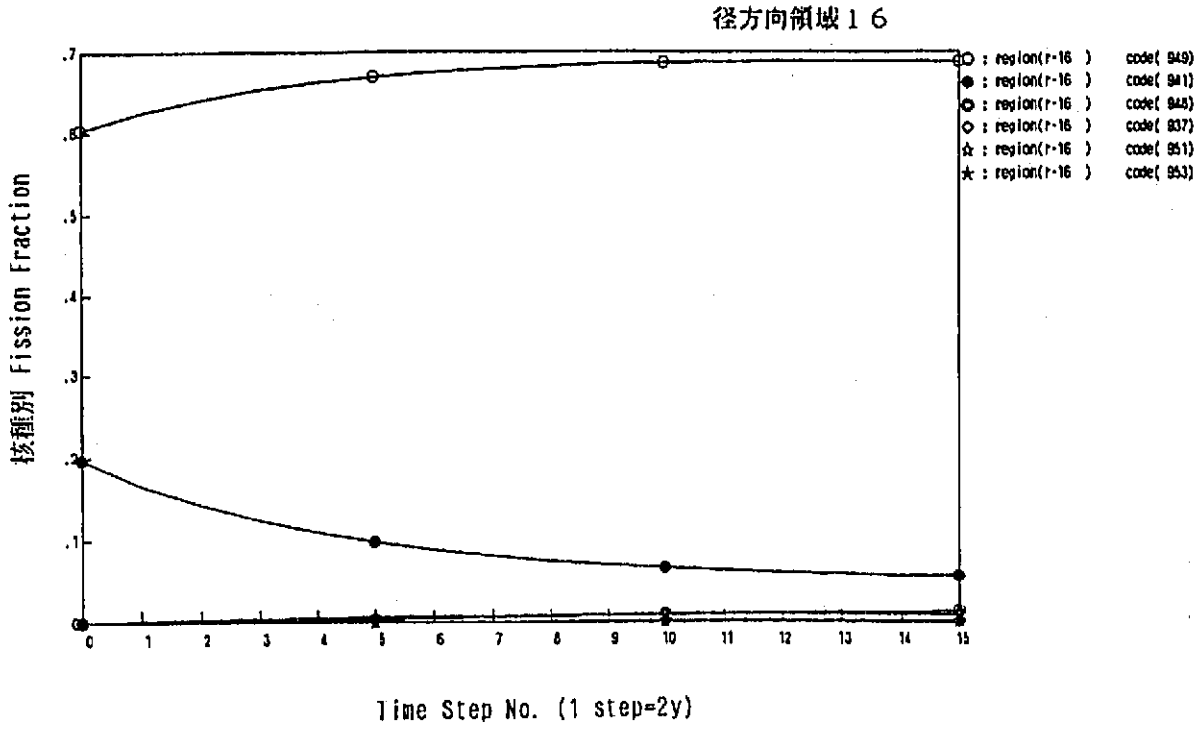


図2.3-14　1000MWe MOX-SLLCにおける径方向領域１２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化



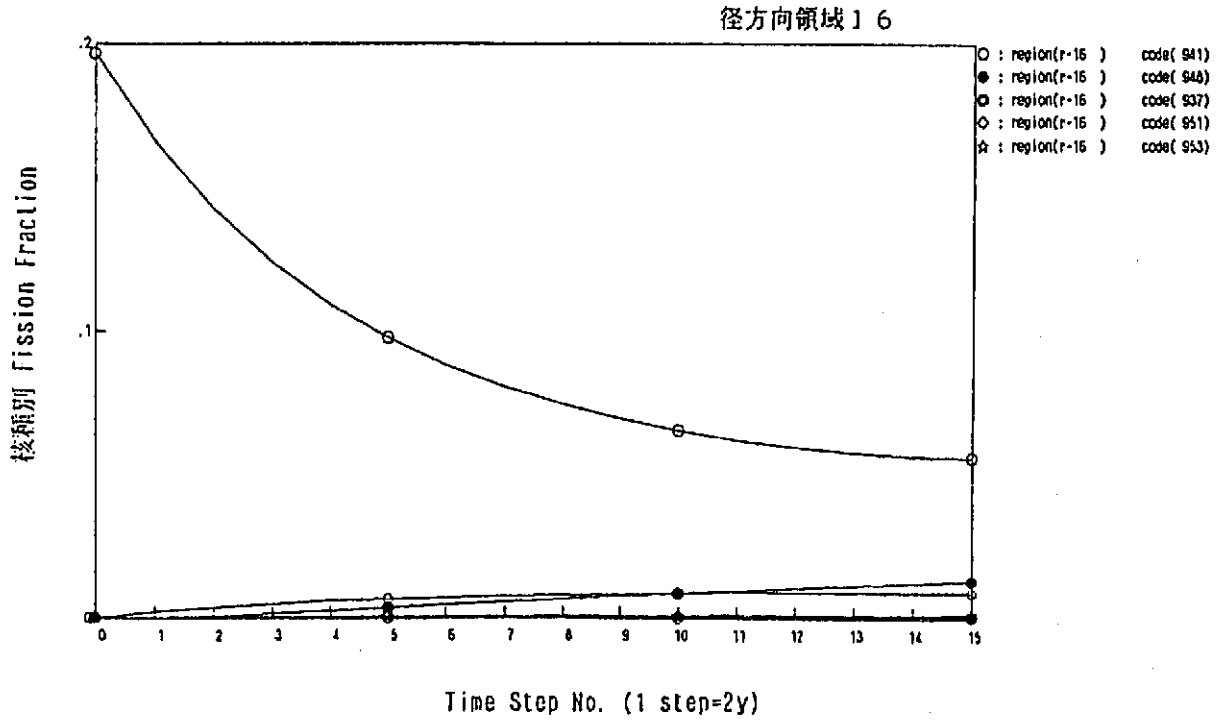
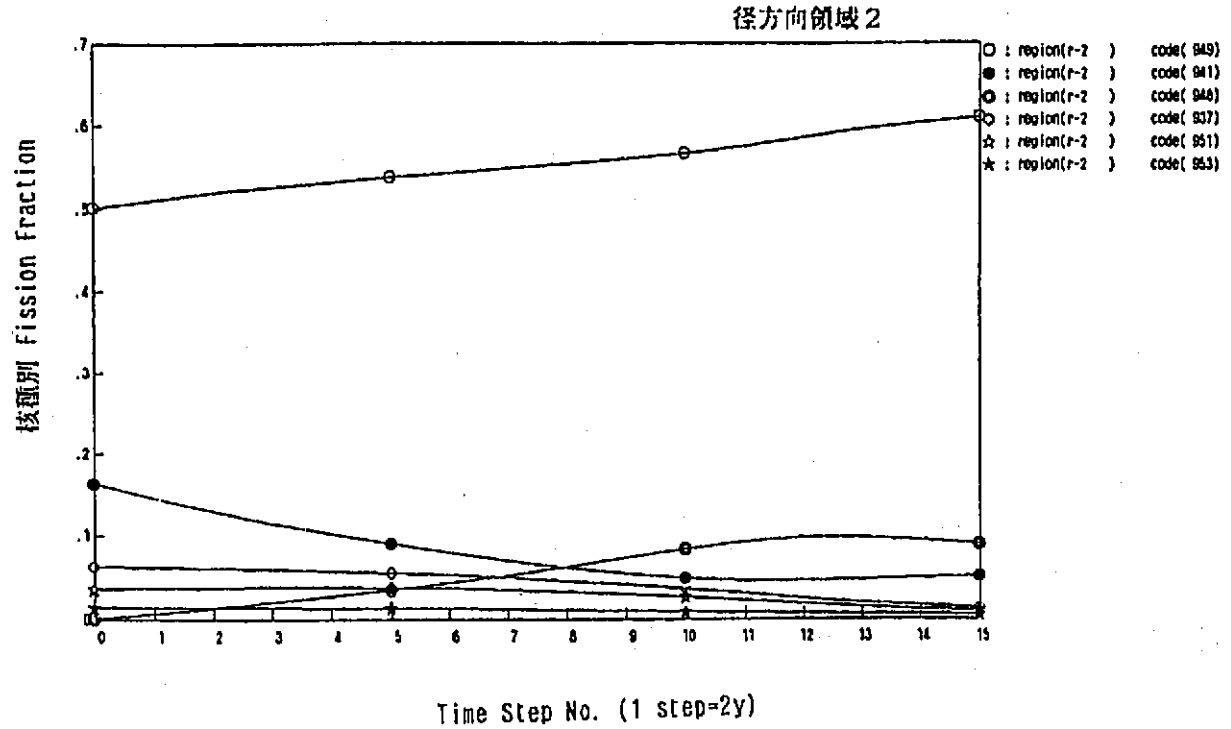


図2.3-15　1000MWe MOX-SLLCにおける径方向領域１６位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化



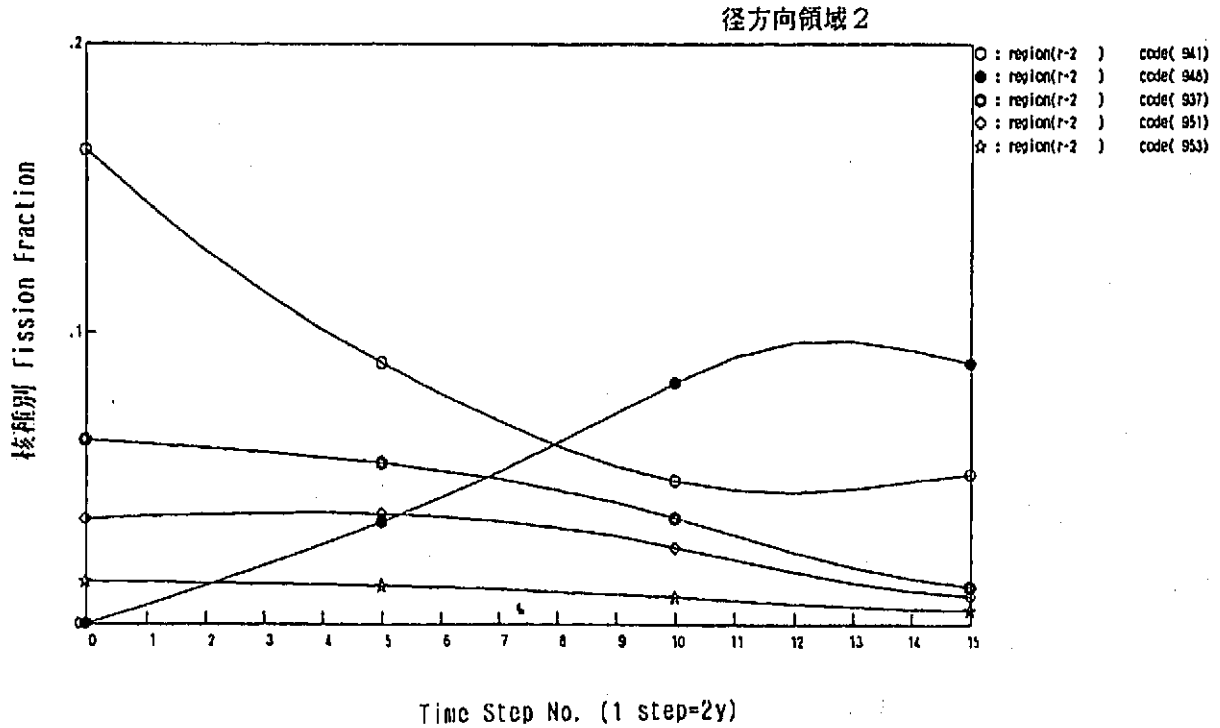
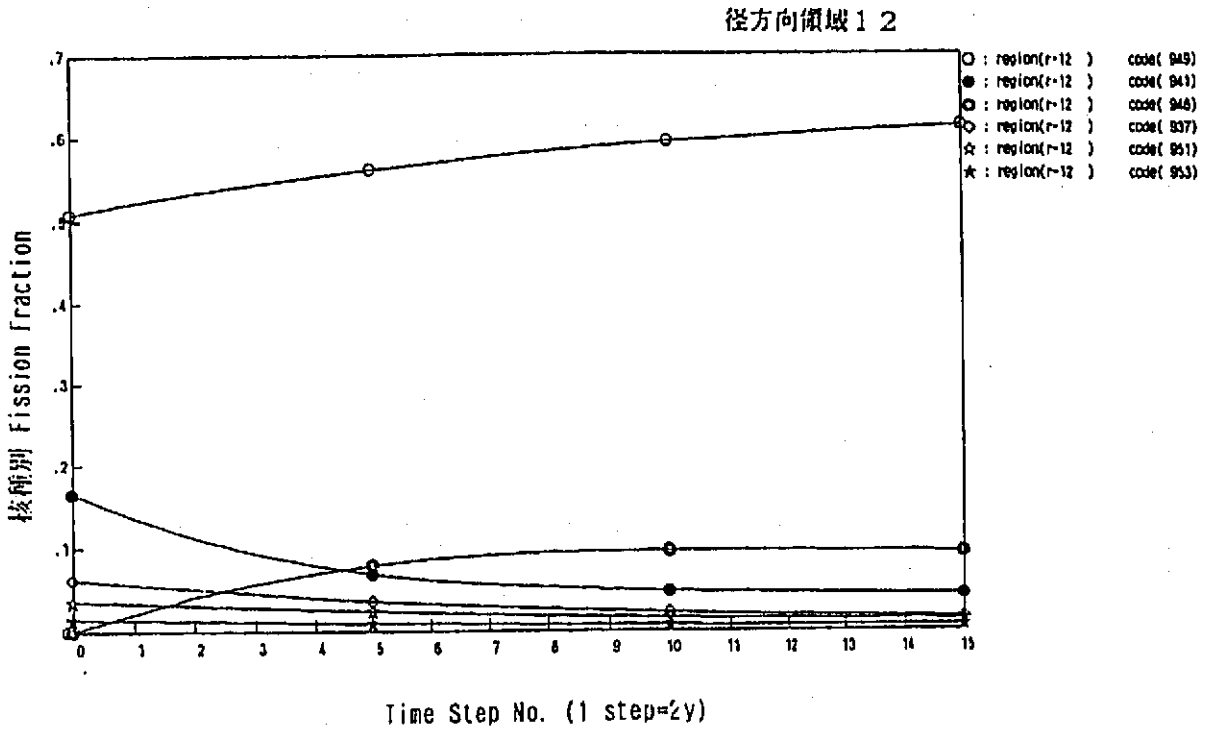


図2.3-16　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－ＴＲＵ一様１０％混合の場合－－



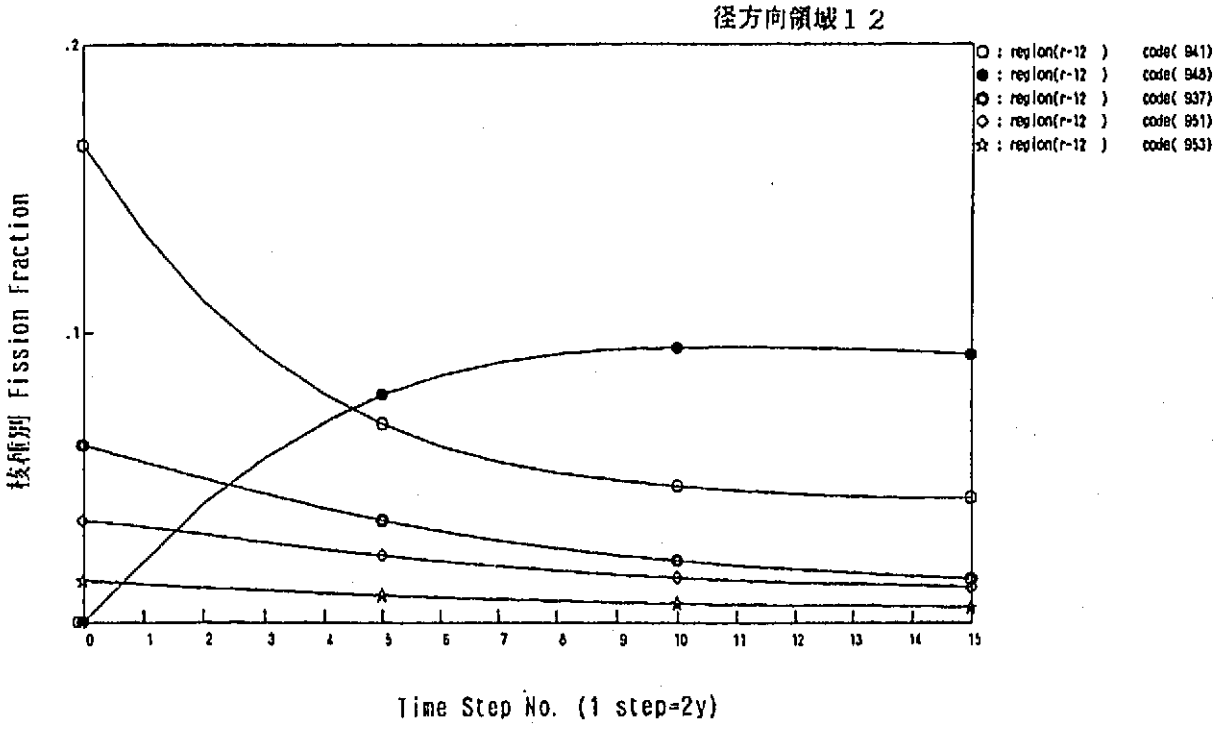
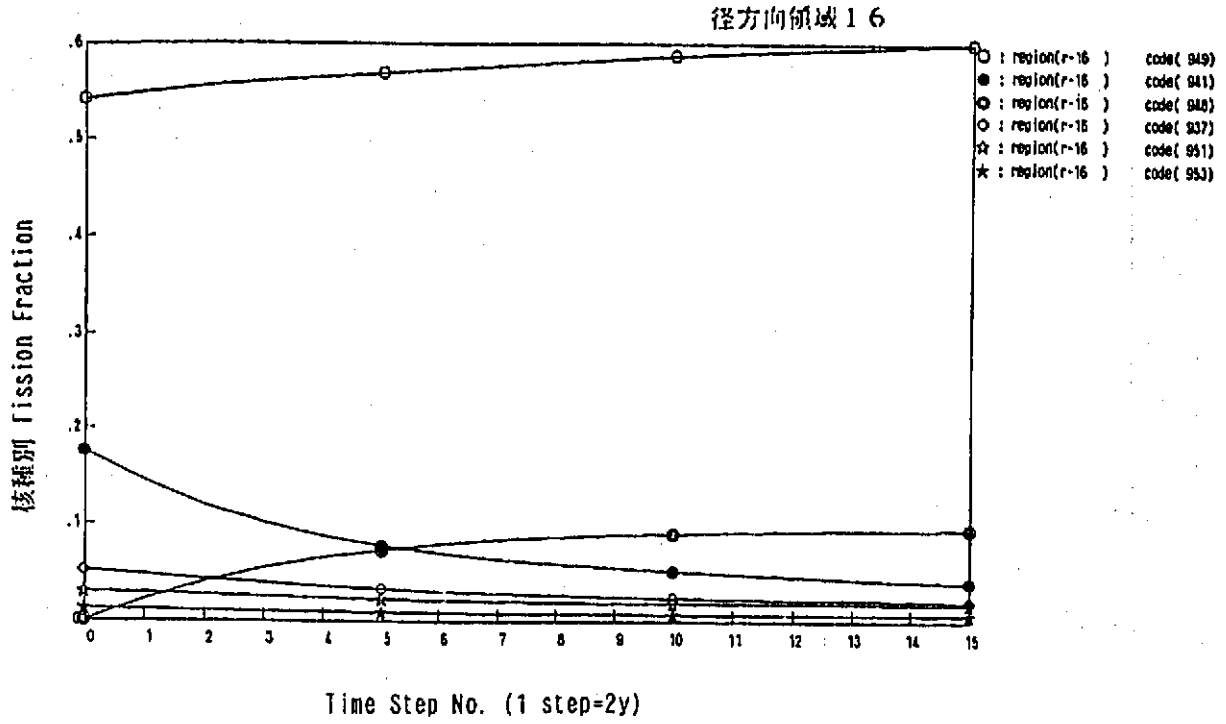


図2.3-17　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域１２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－ＴＲＵ－棒１０％混合の場合－－



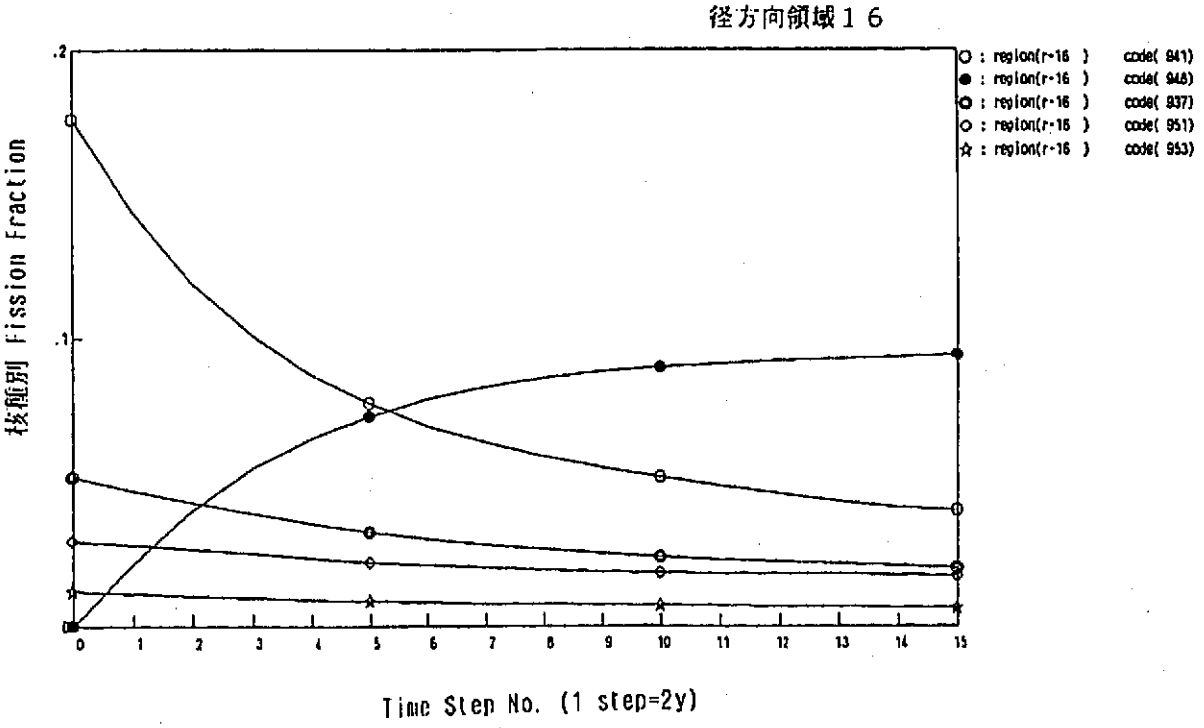
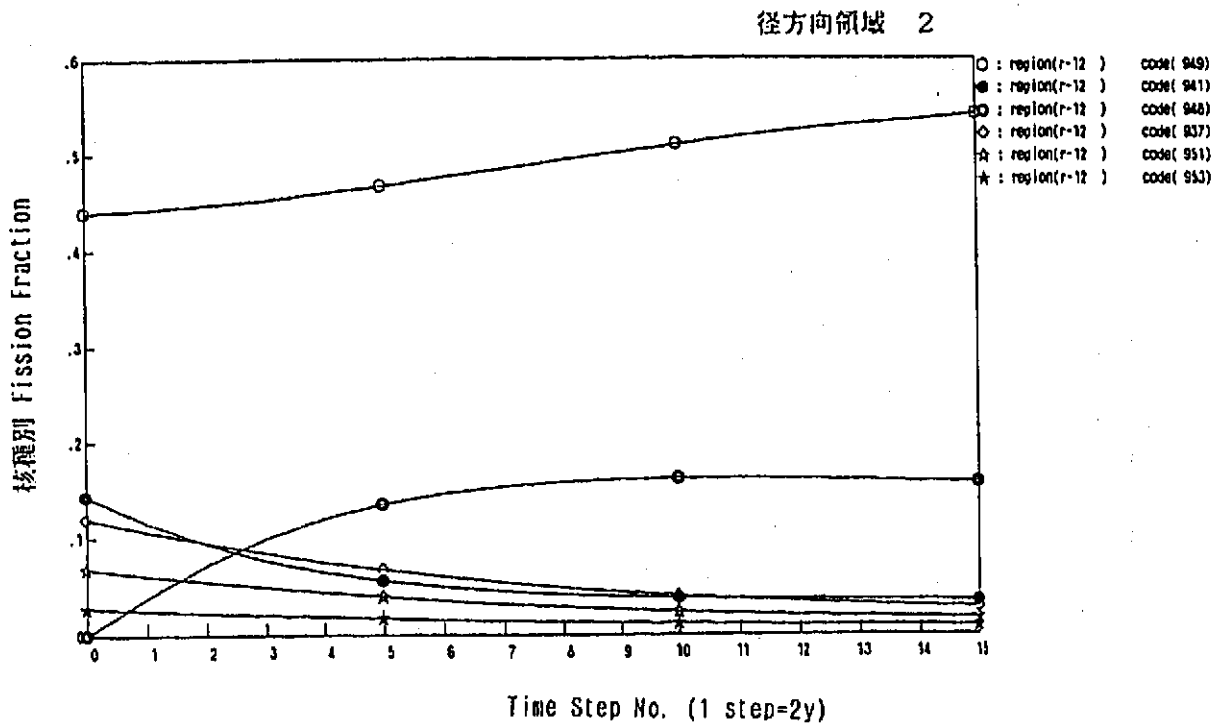


図2.3-18　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域１６位置（炉心高さ平均）の
核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－ＴＲＵ一様１０％混合の場合－－



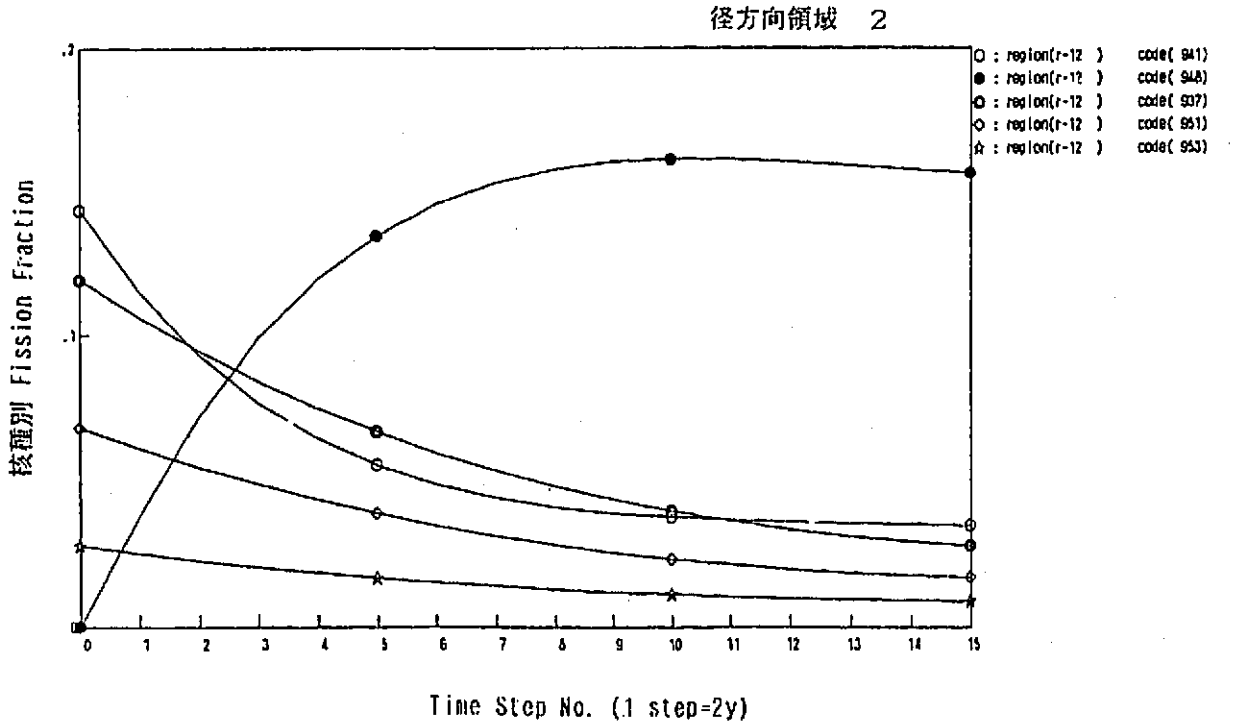
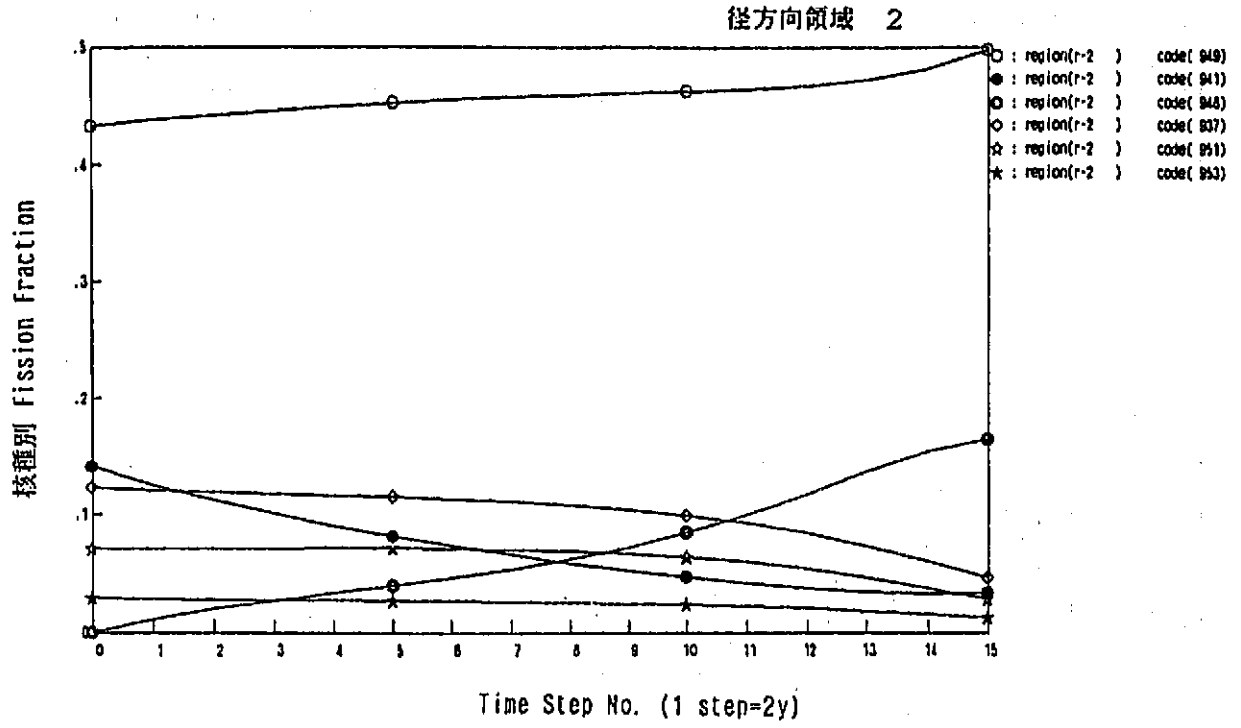


図2.3-19　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域２位置（炉心高さ平均）の
核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－ＴＲＵ一様２０％混合の場合－－



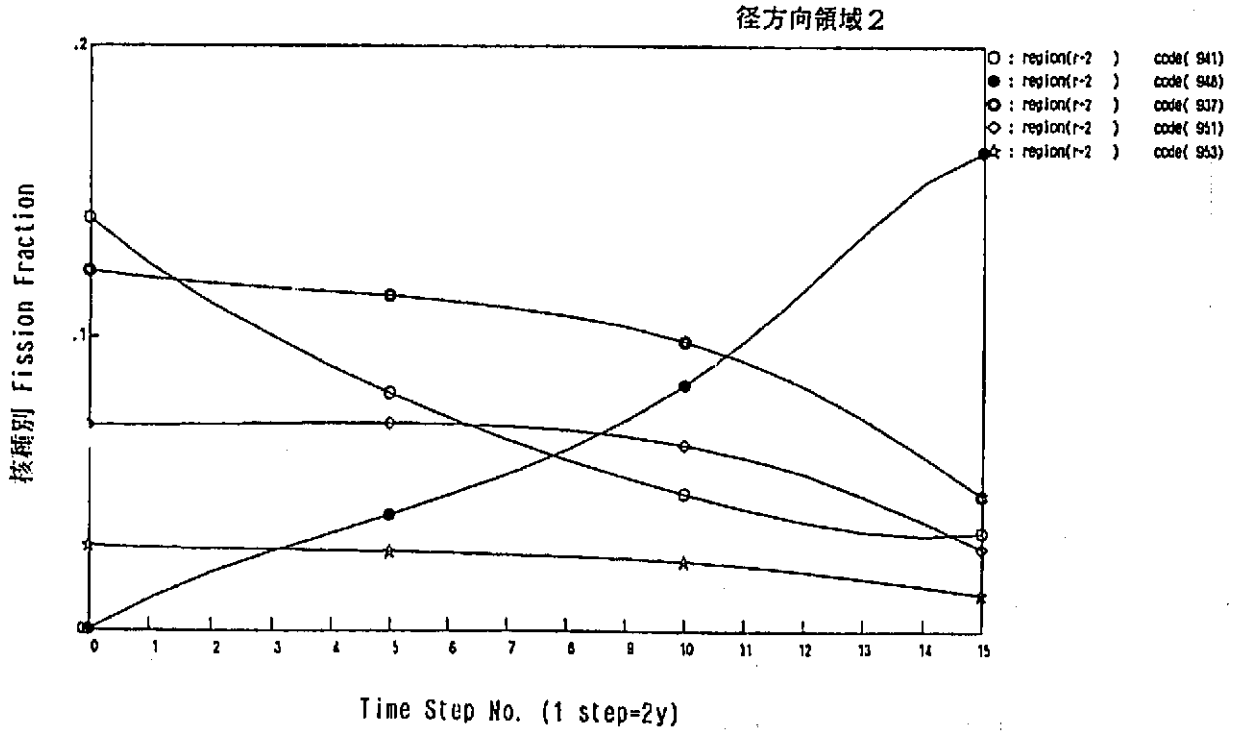
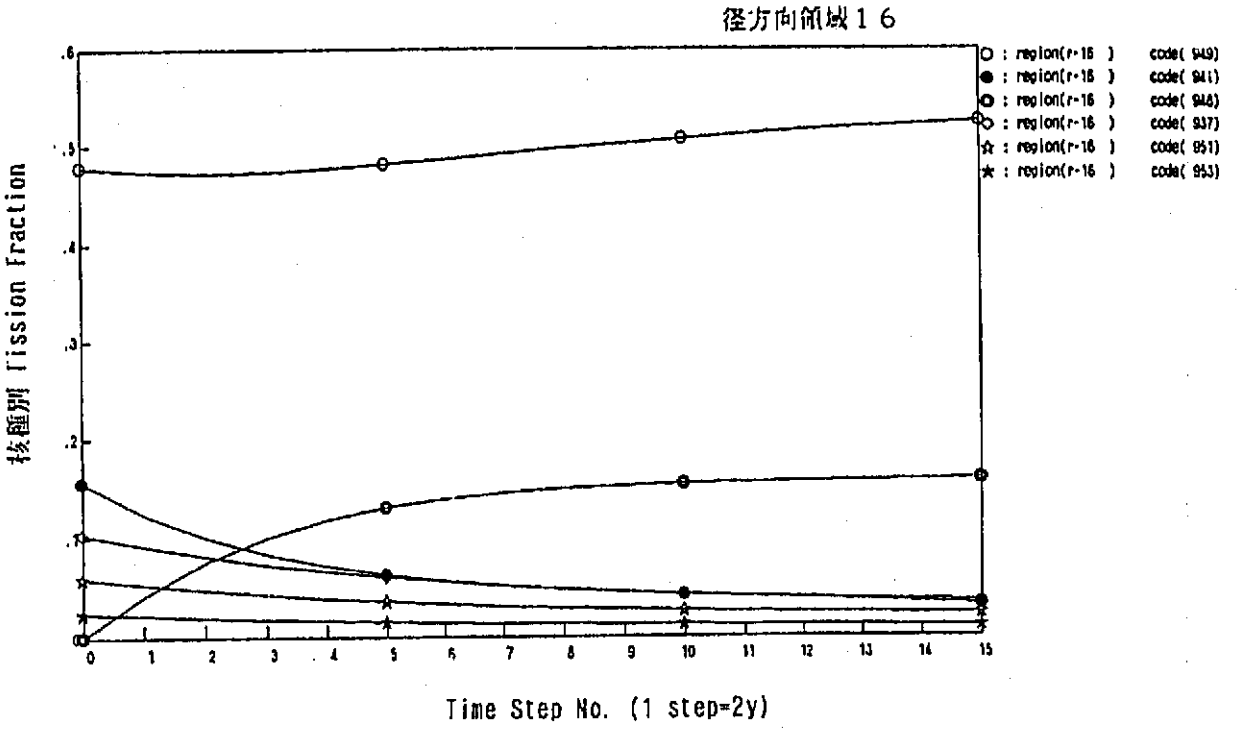


図2.3-20　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域　２位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－TRU一様２０％混合の場合－－



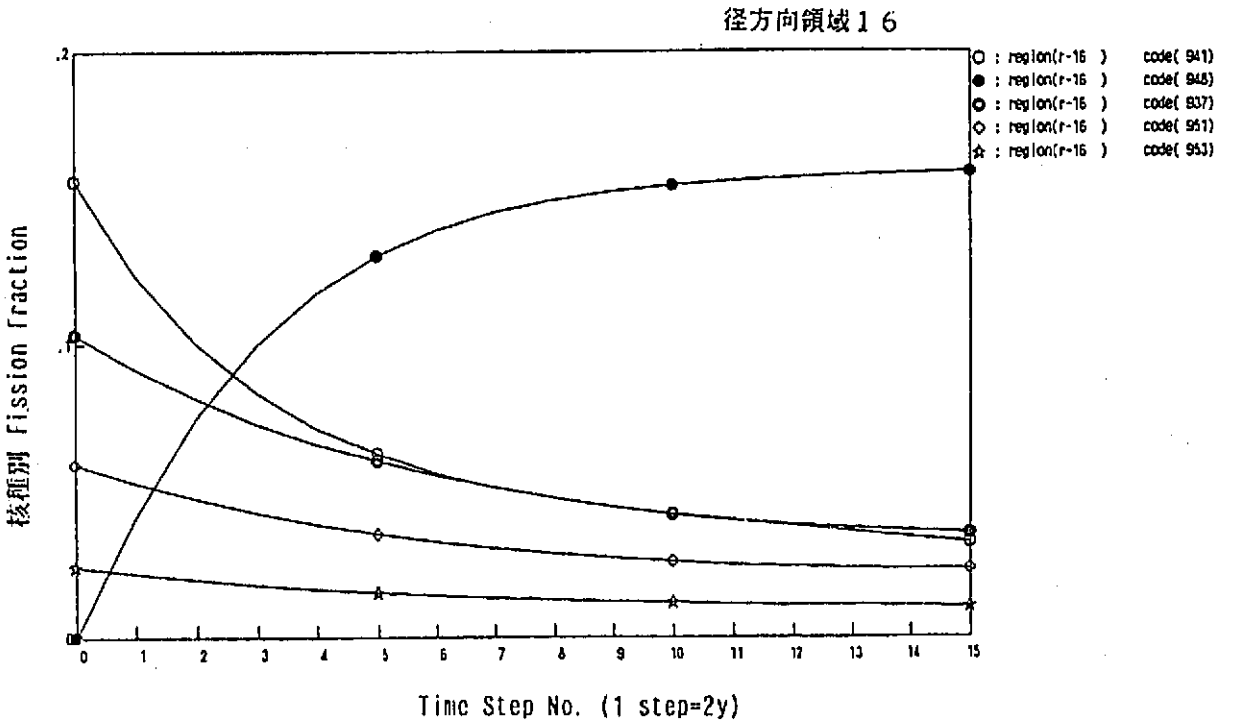


図2.3-21　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域１６位置（炉心高さ平均）の核分裂反応の核種毎の割合いの燃焼による変化
－－ＴＲＵ一様２０％混合の場合－－

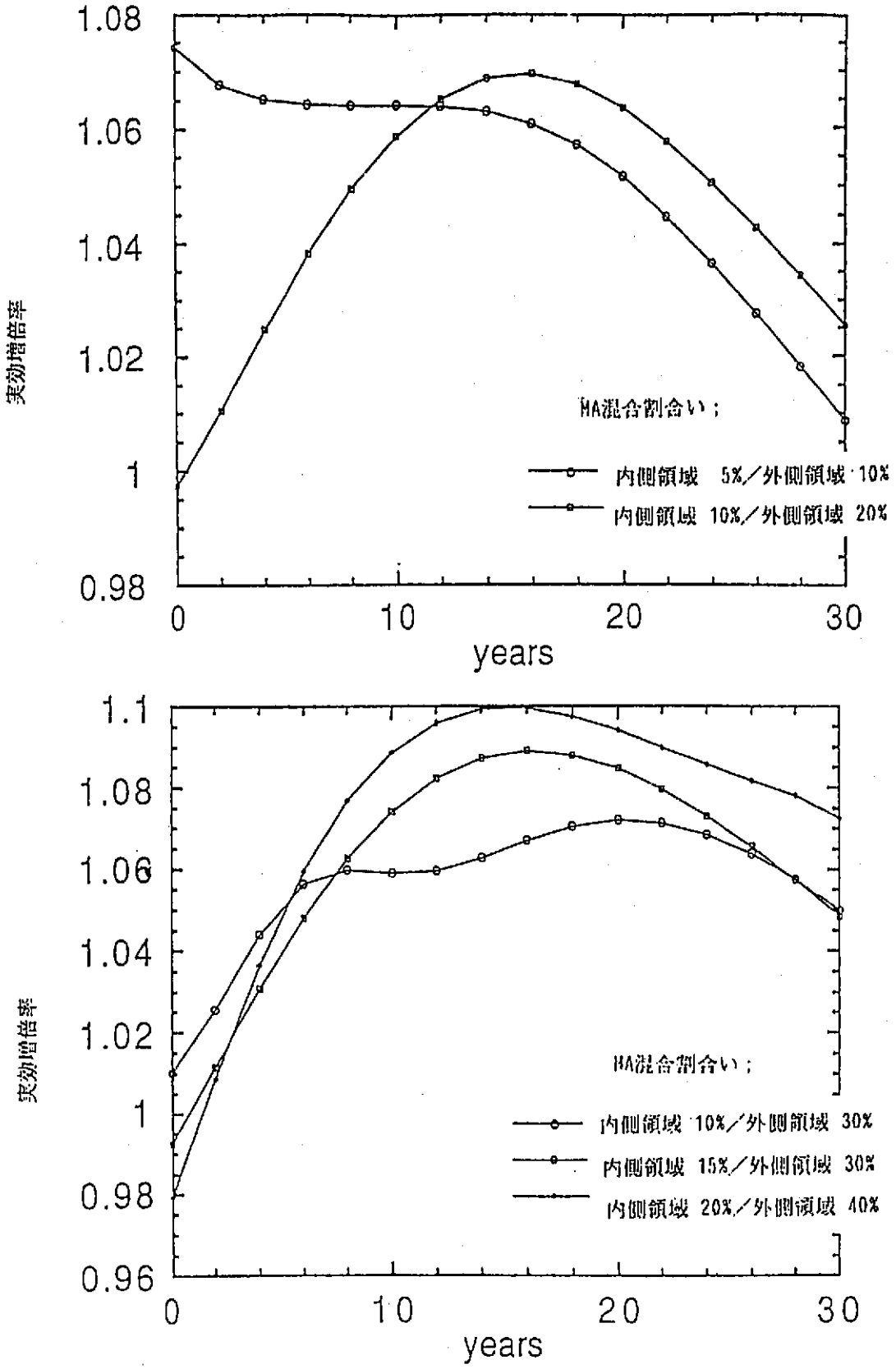


図2.3-22　1000MWe TRU-SLLCにおけるＴＲＵ混合による反応度への影響（３）

－－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ　IC/OC 混合分布パラメーター－－

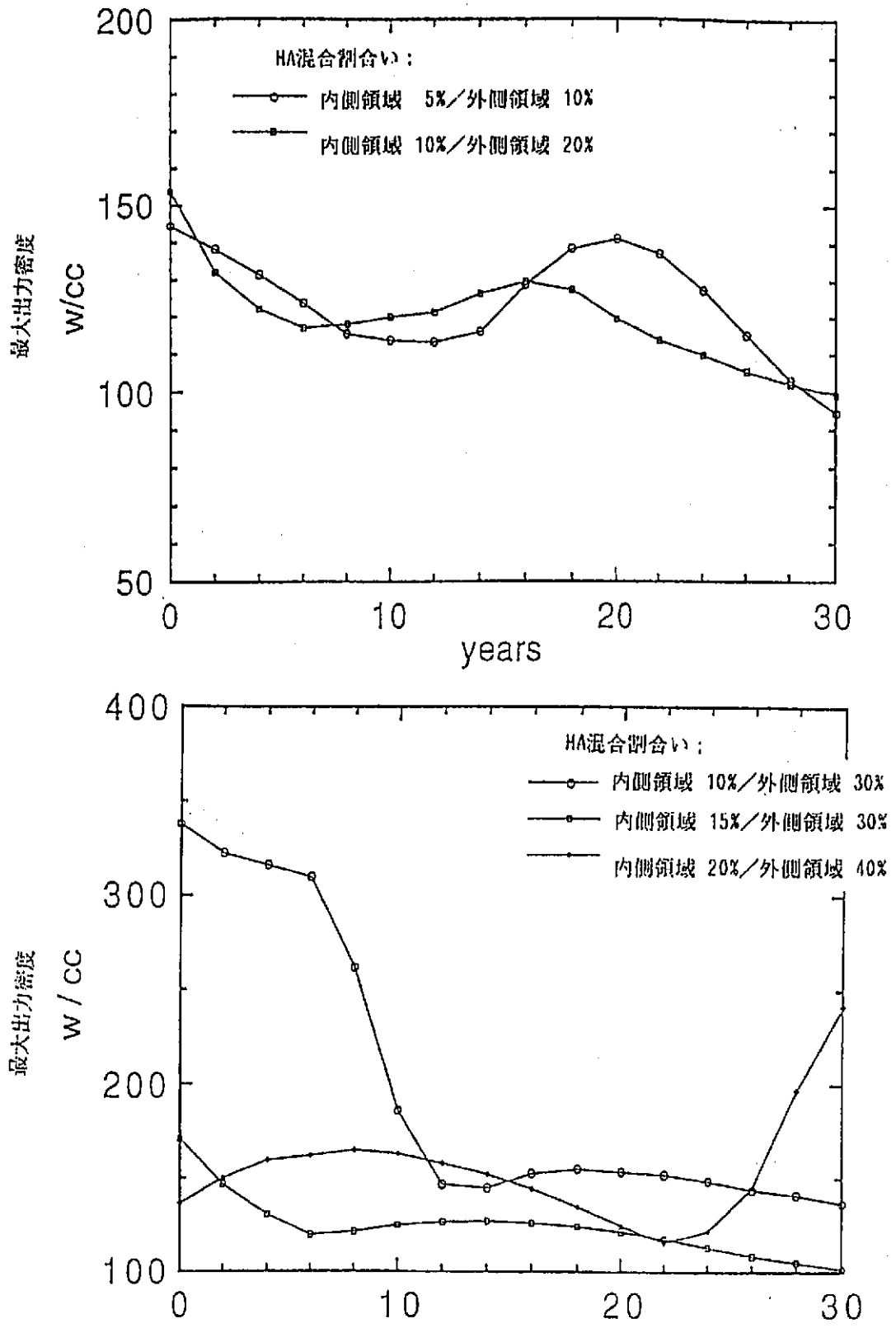


図2.3－23 1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおけるＴＲＵ混合による最大出力密度の燃焼に伴う変化への影響
－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ IC/OC 混合分布パラメーター－

注）炉心図の中の数値は燃焼年数を示し、
その燃焼年数でその数値を記した位置で
出力ピークとなることを示す。

ＳＬＬＣ二次元ＲＺ計算体系

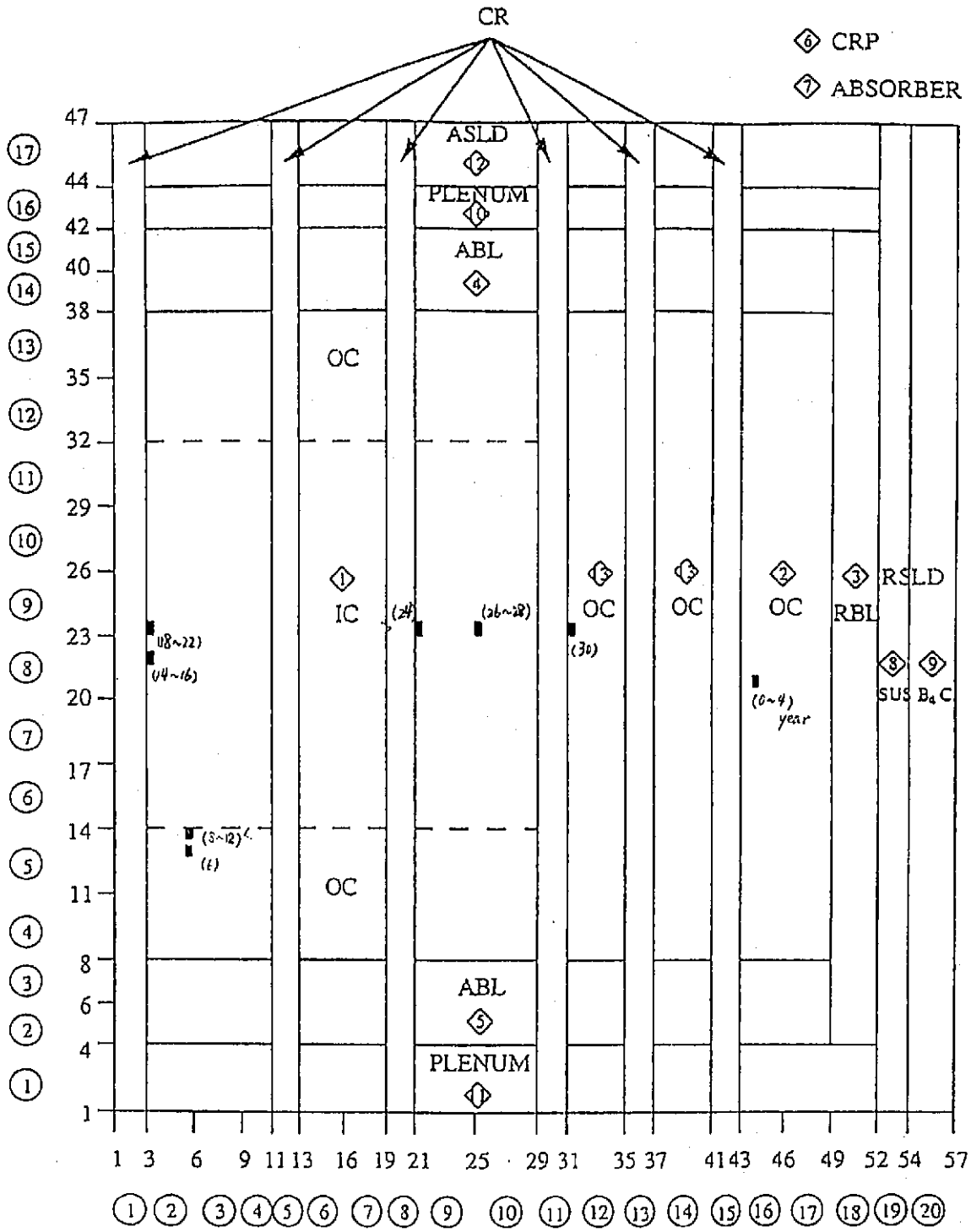


図2.3－24　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図

注）炉心図の中の数値は燃焼年数を示し、
その燃焼年数でその数値を記した位置で
出力ピークとなることを示す。

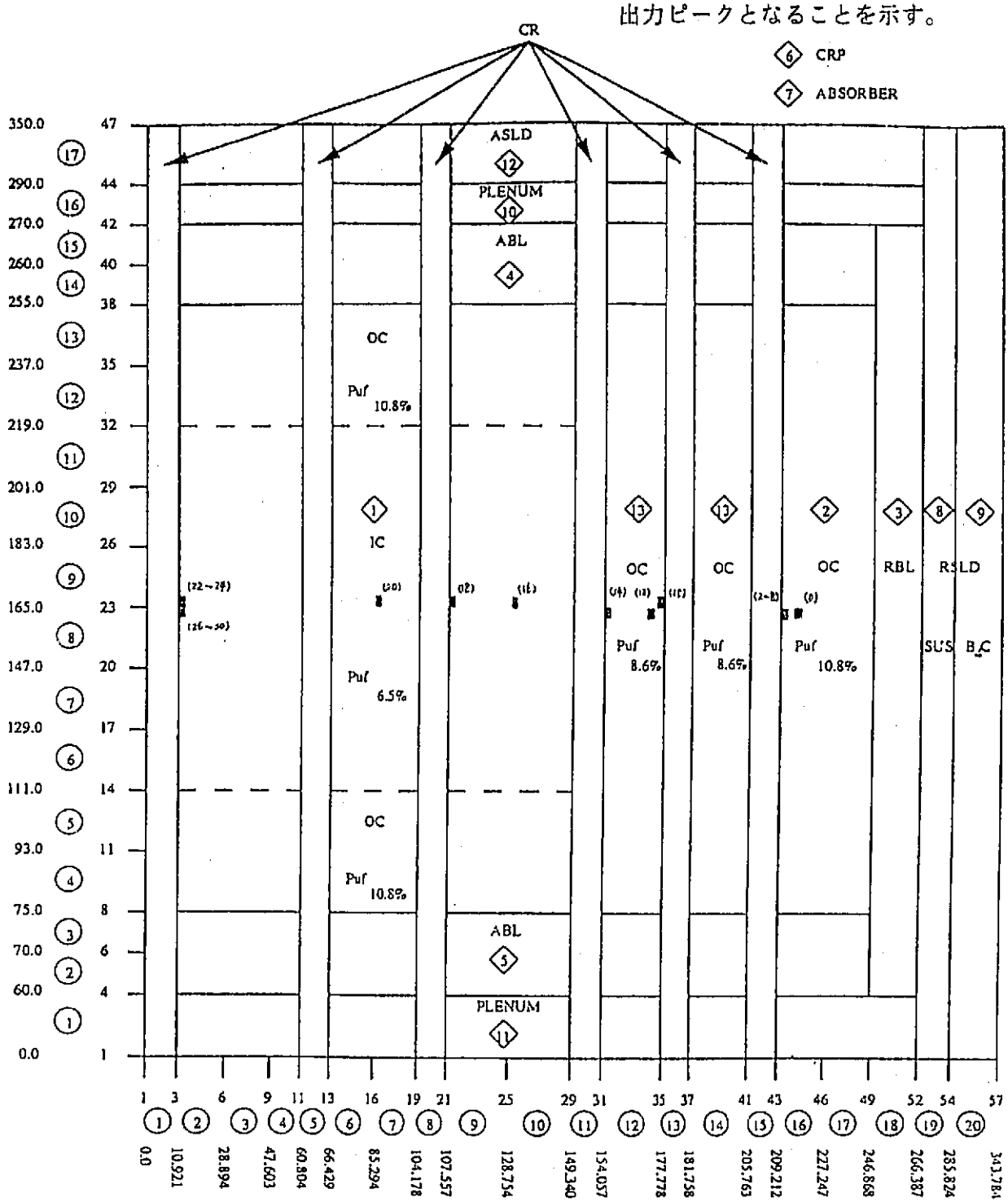


図2.3－25　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図
－ＭＡ混合率炉心一律10％の場合－

注）炉心図の中の数値は燃焼年数を示し、
その燃焼年数でその数値を記した位置で
出力ピークとなることを示す。

ＳＬＬＣ二次元ＲＺ計算体系

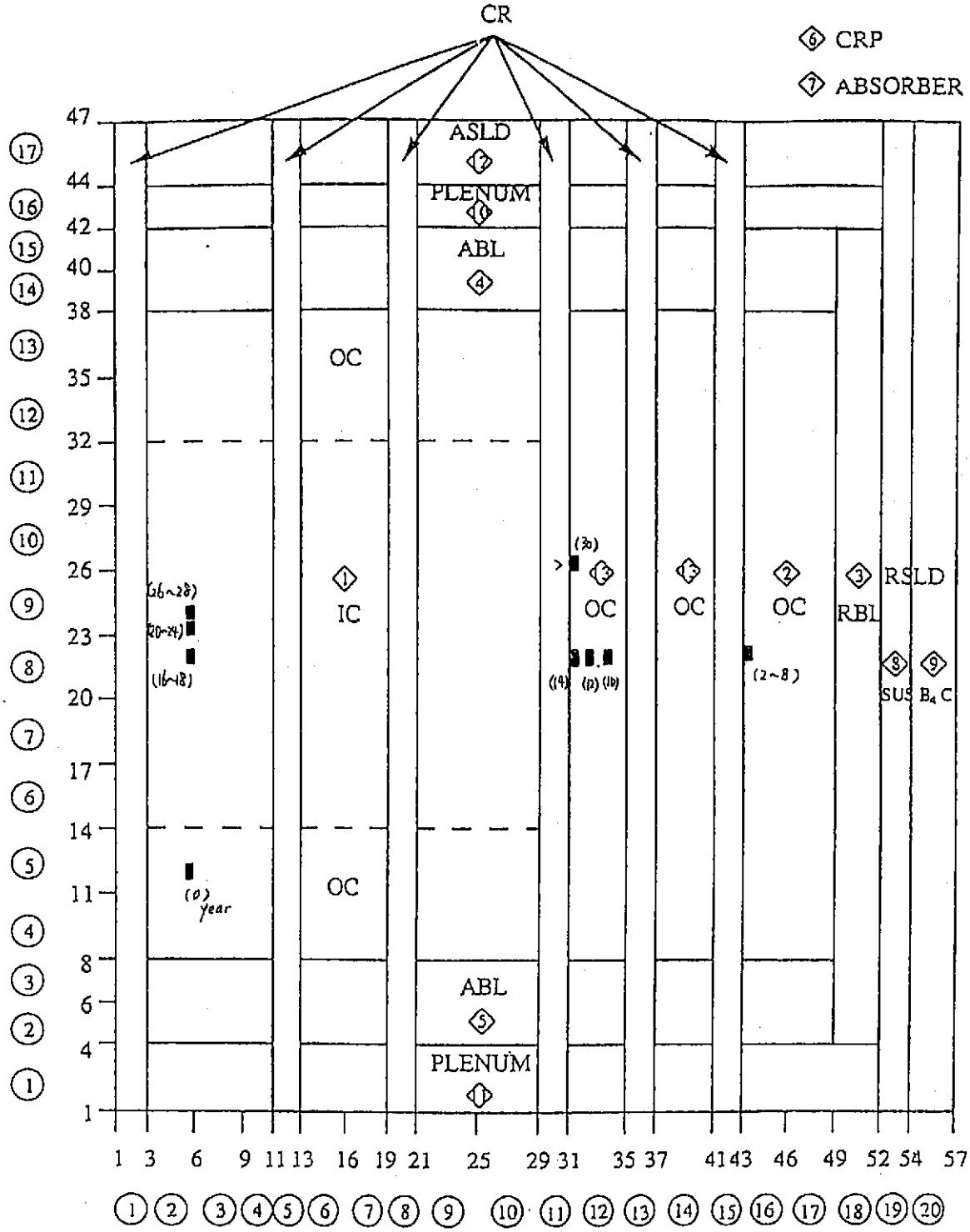
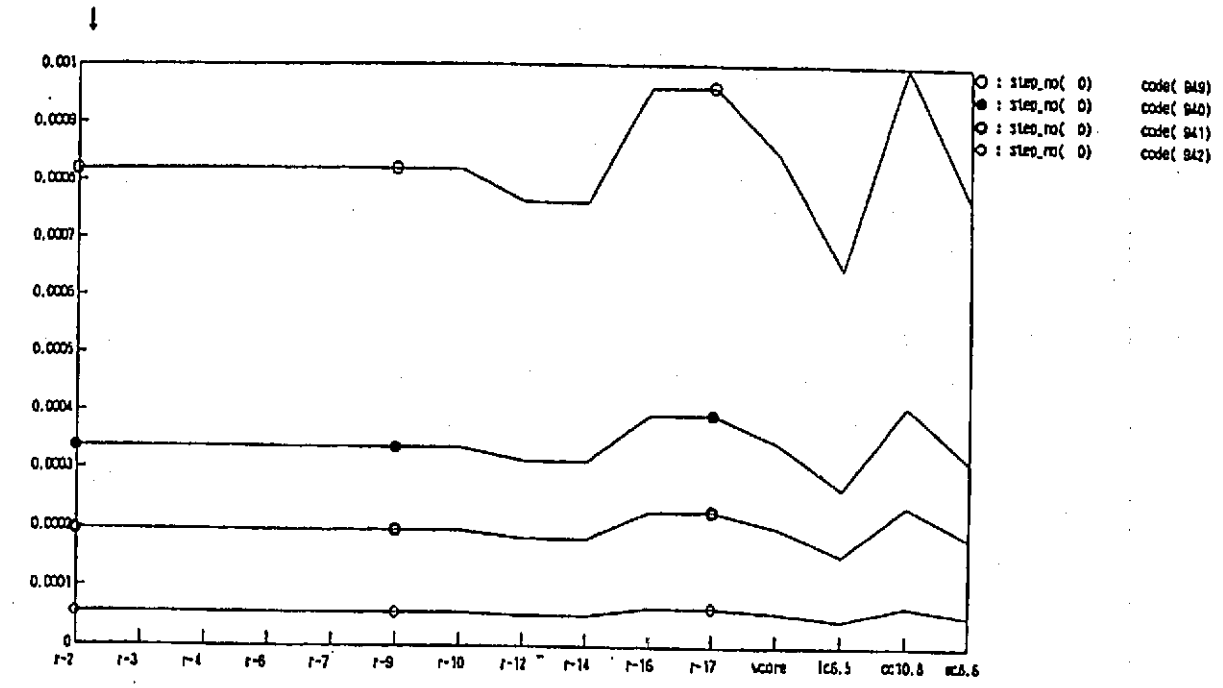


図2.3－26　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心の最大出力密度の燃焼に伴う位置変動概略図
－ＭＡ混合率；IC/OC=7.5%/15%の場合－



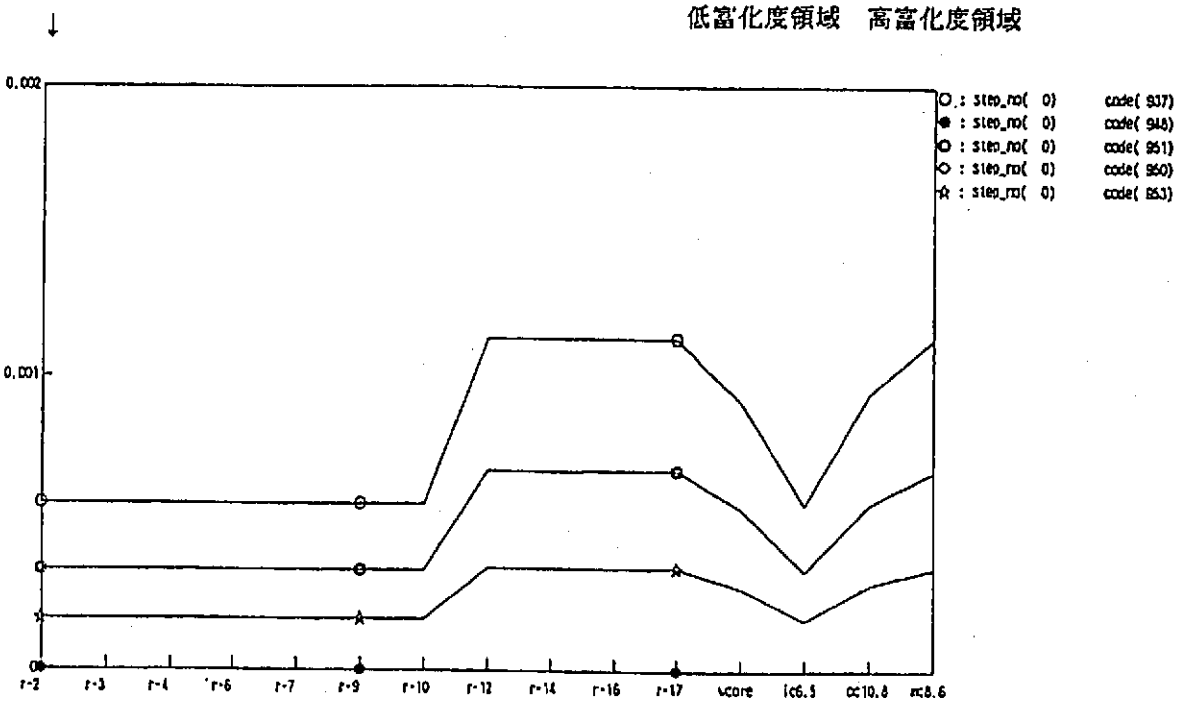
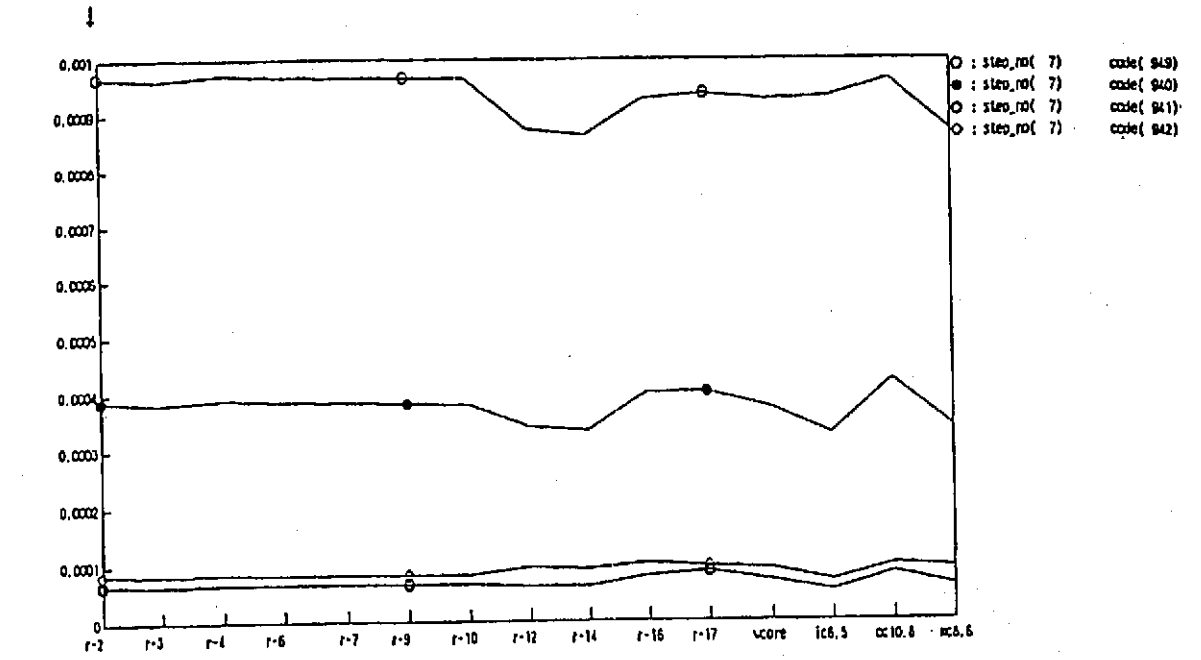


図2.3-27　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布　－－TRU IC/OC=10%/20% 混合炉心運転　0年－－



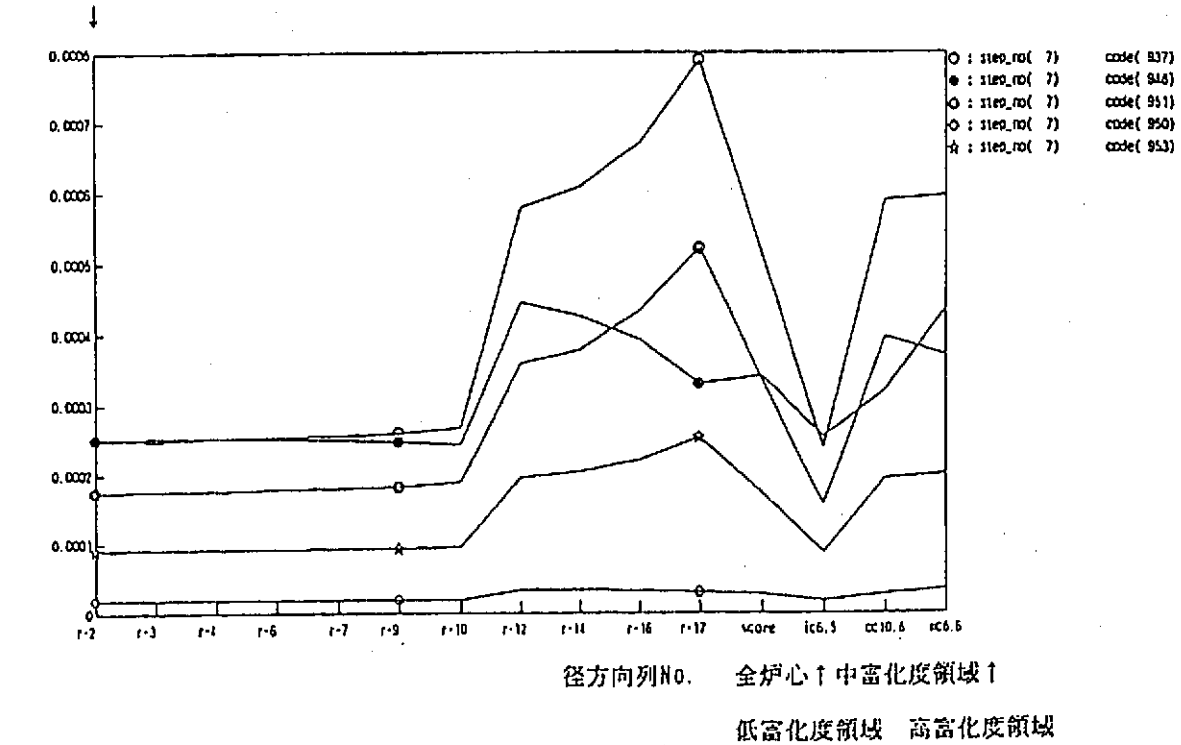
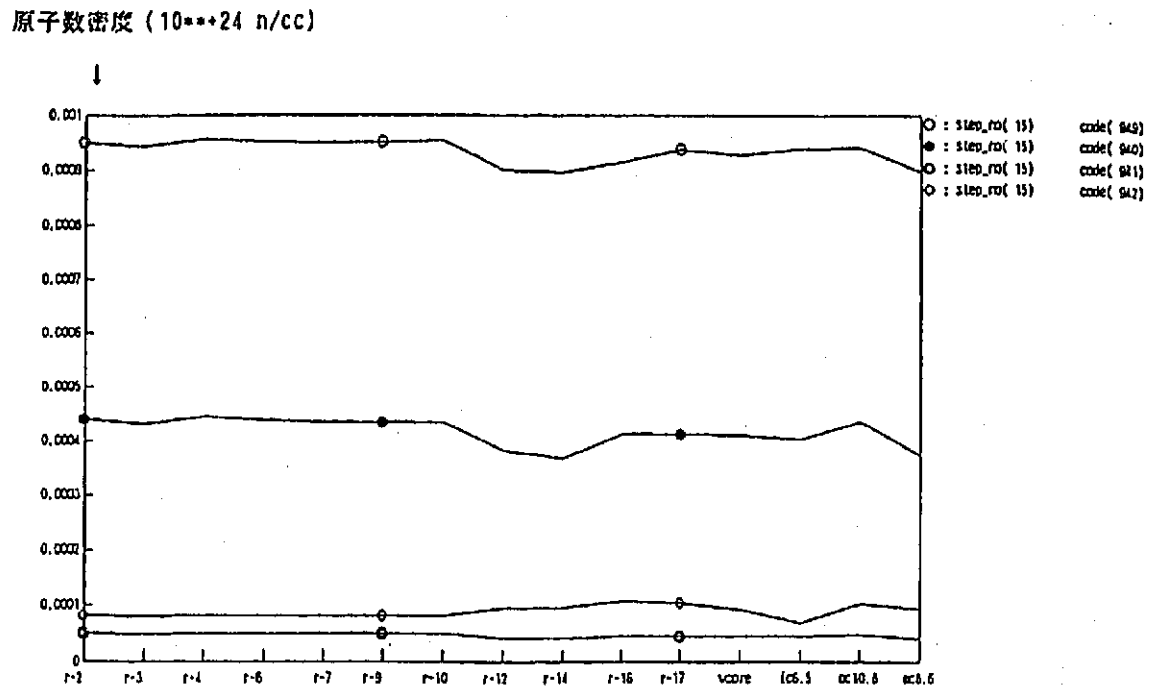


図2.3-28　1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布　－－TRU IC/OC=10%/20% 混合炉心運転１４年－－



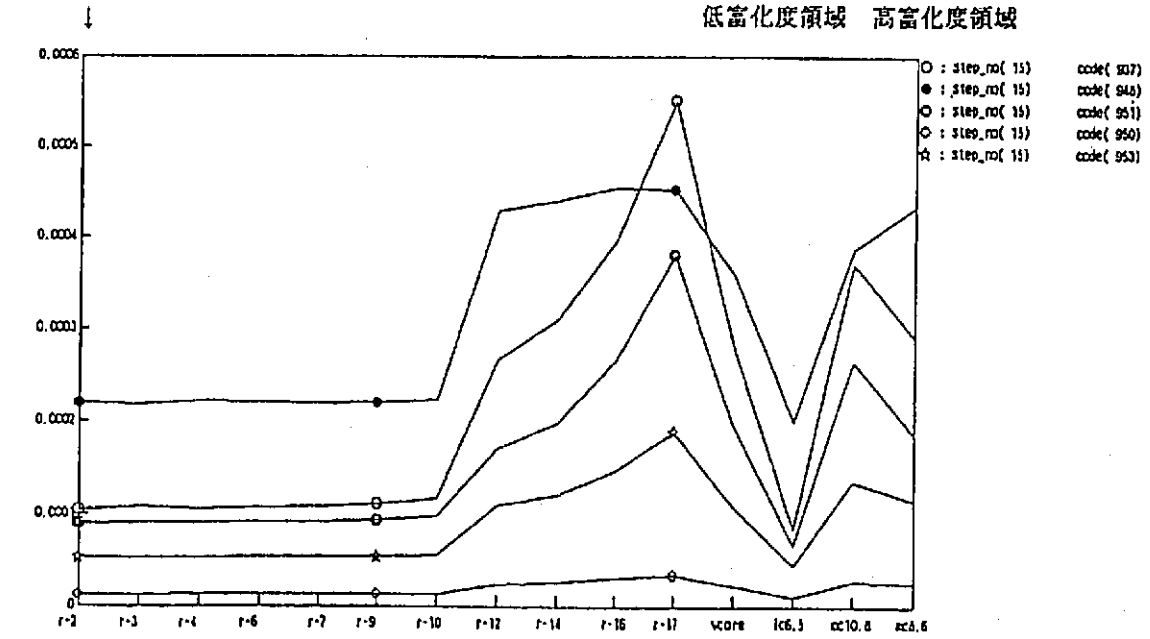
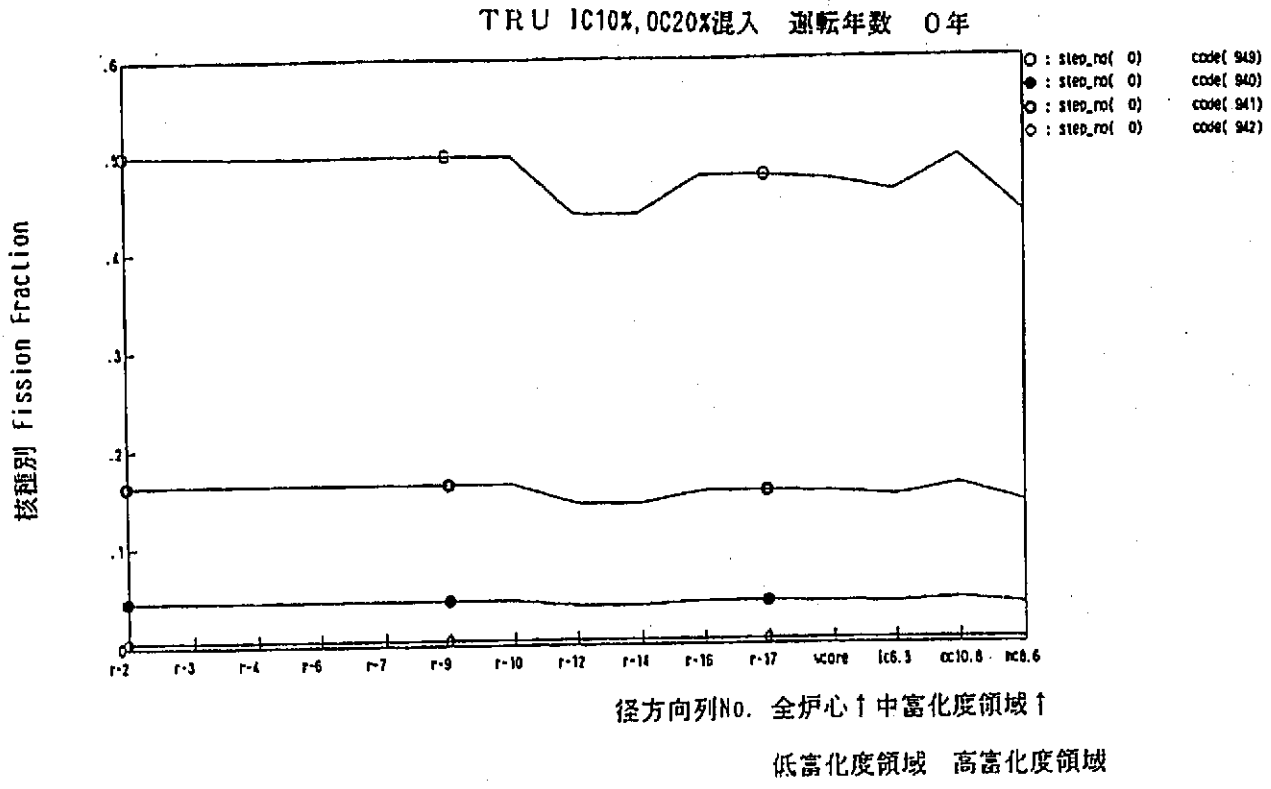


図2.3-29 1000MWe TRU-SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の原子数密度分布 ――TRU IC/OC=10%/20% 混合炉心運転３０年――



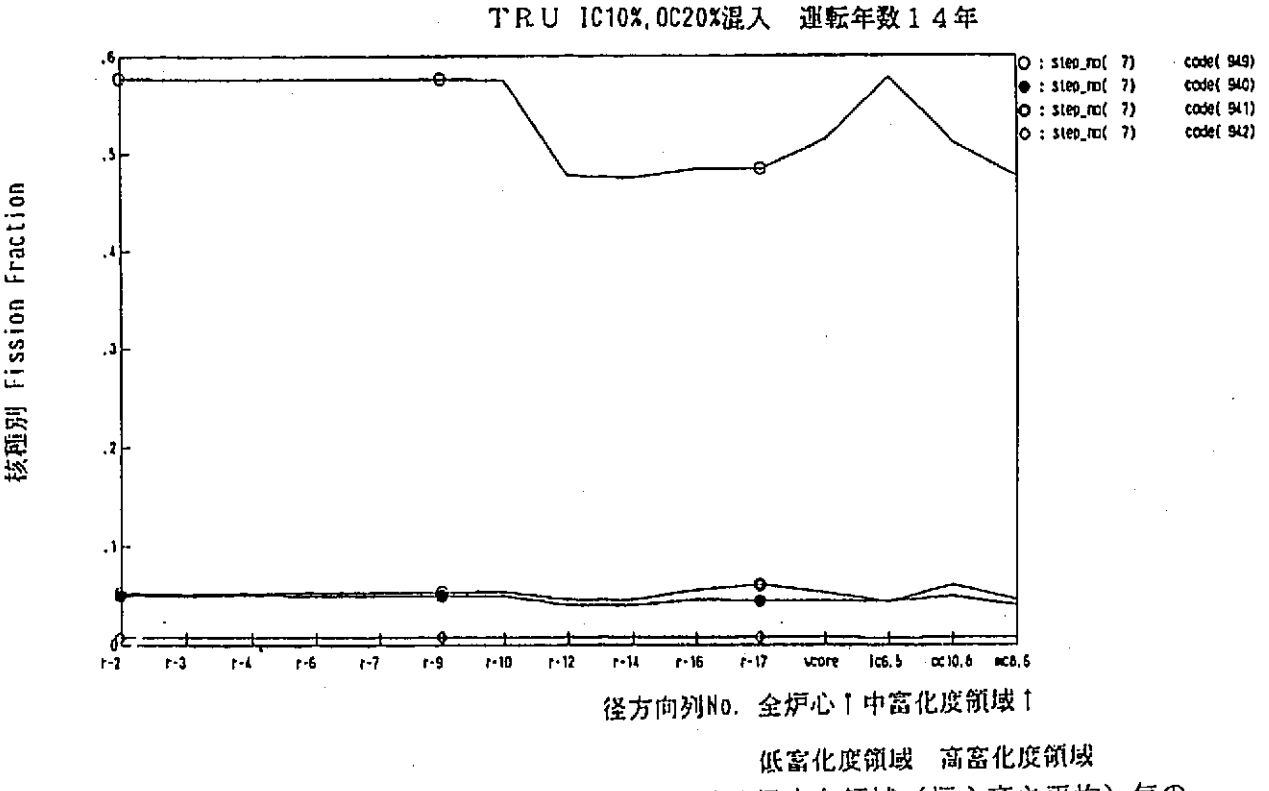


図2.3－30 1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(1)
－ＴＲＵ IC 10%, OC 20% 混合の場合 運転０，14年－

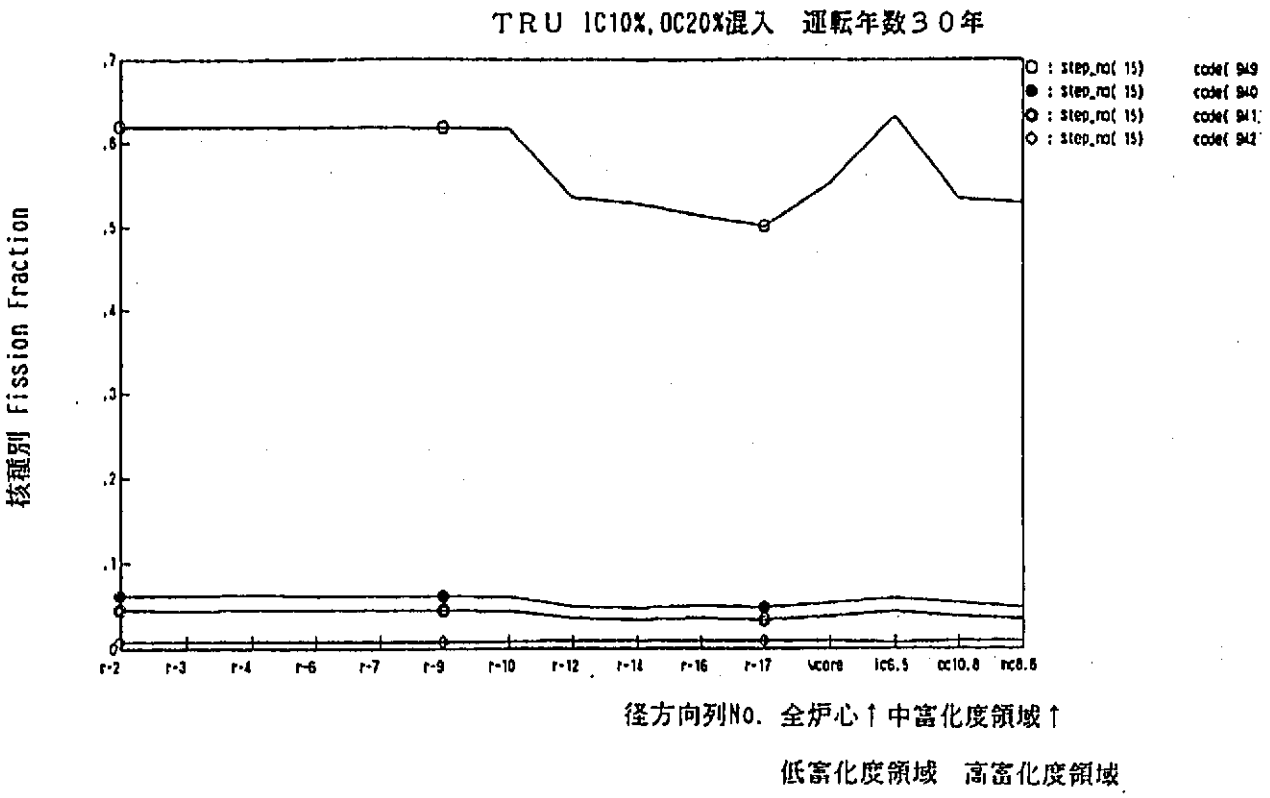
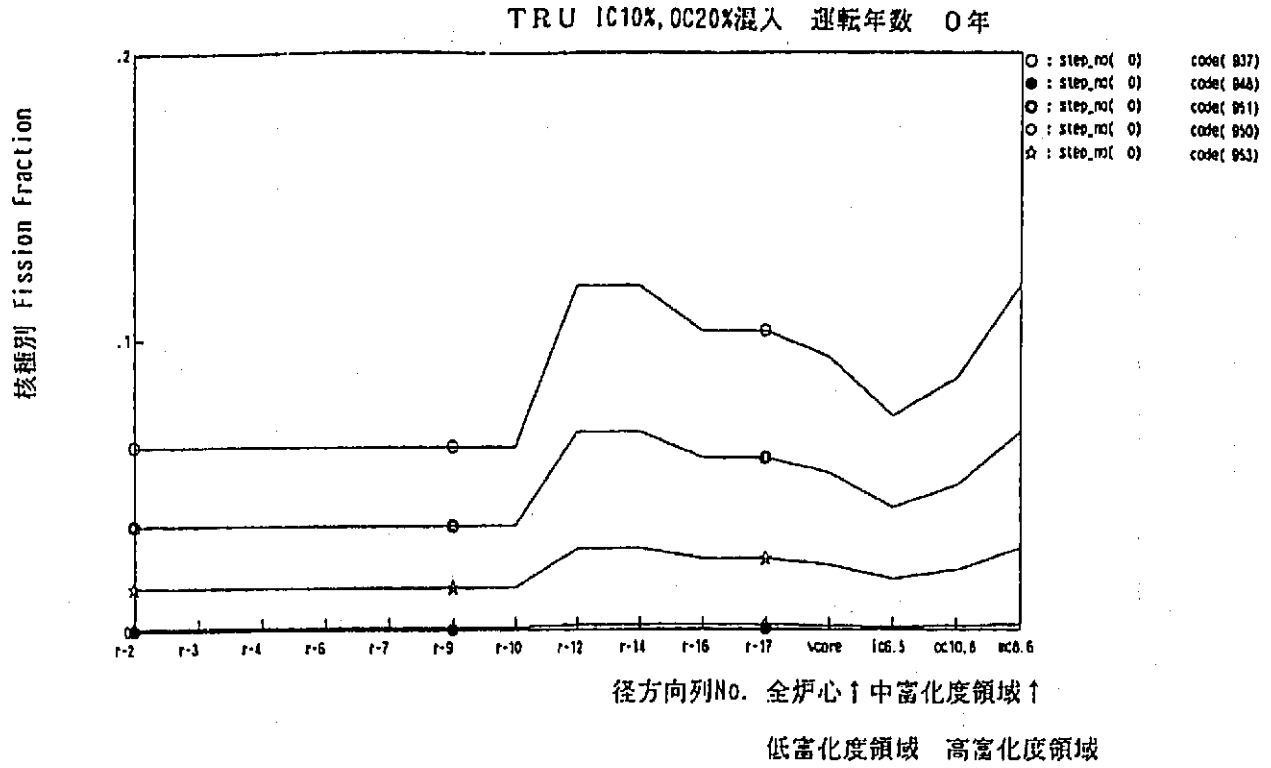


図2.3－31　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(2)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－



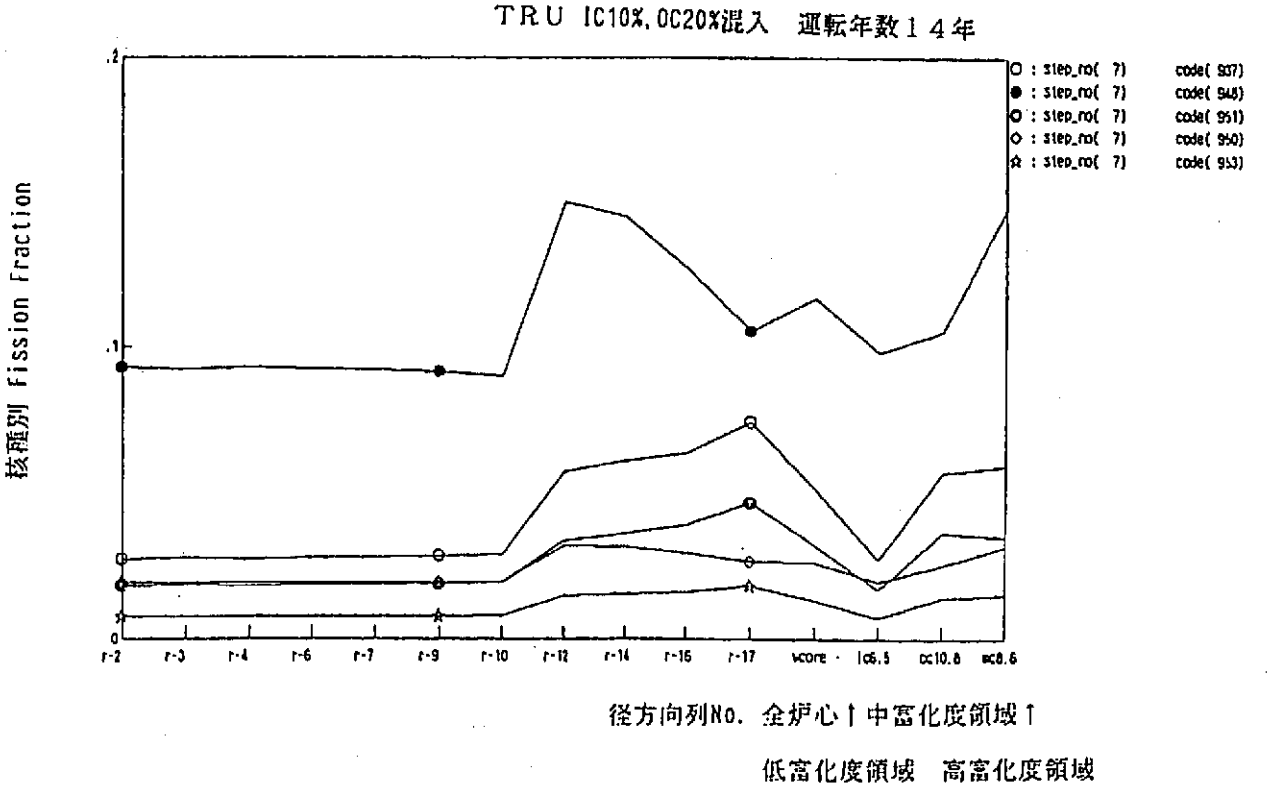


図2.3－32 1000MWe TRU－SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(3)
－TRU IC 10%, OC 20% 混合の場合 運転0，14年－

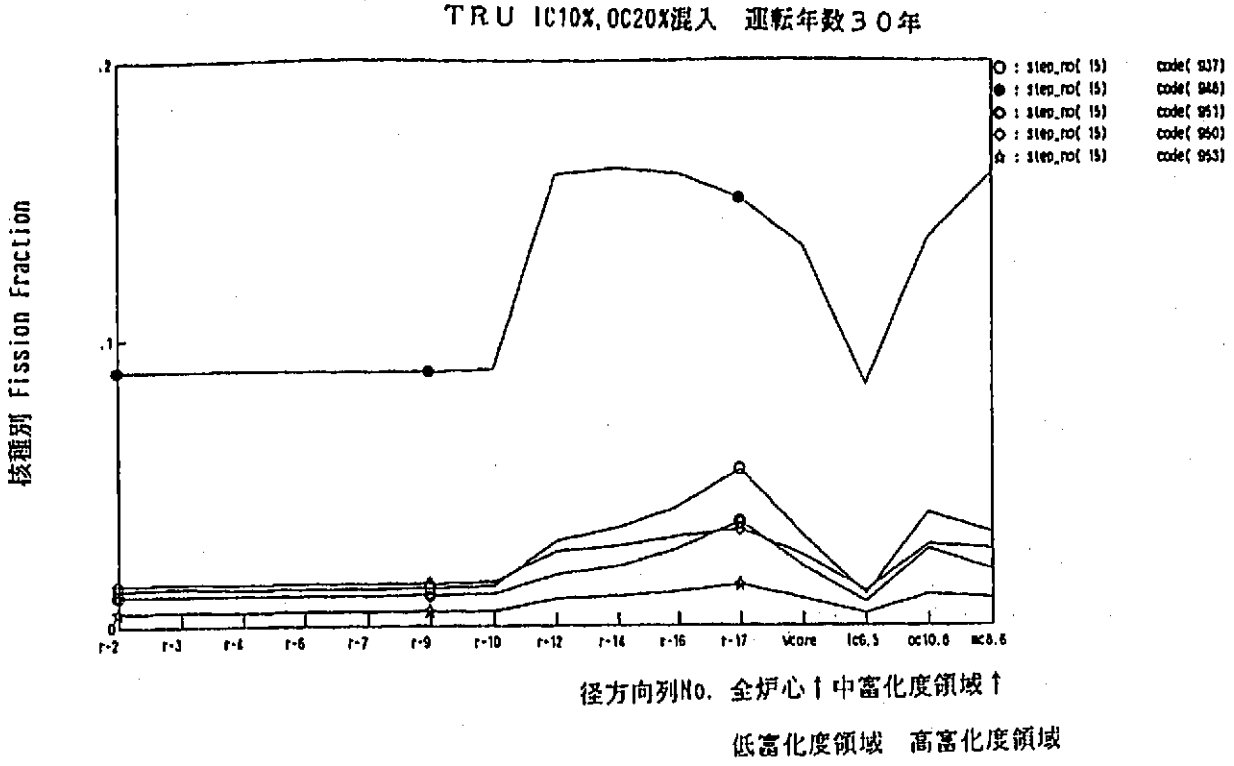
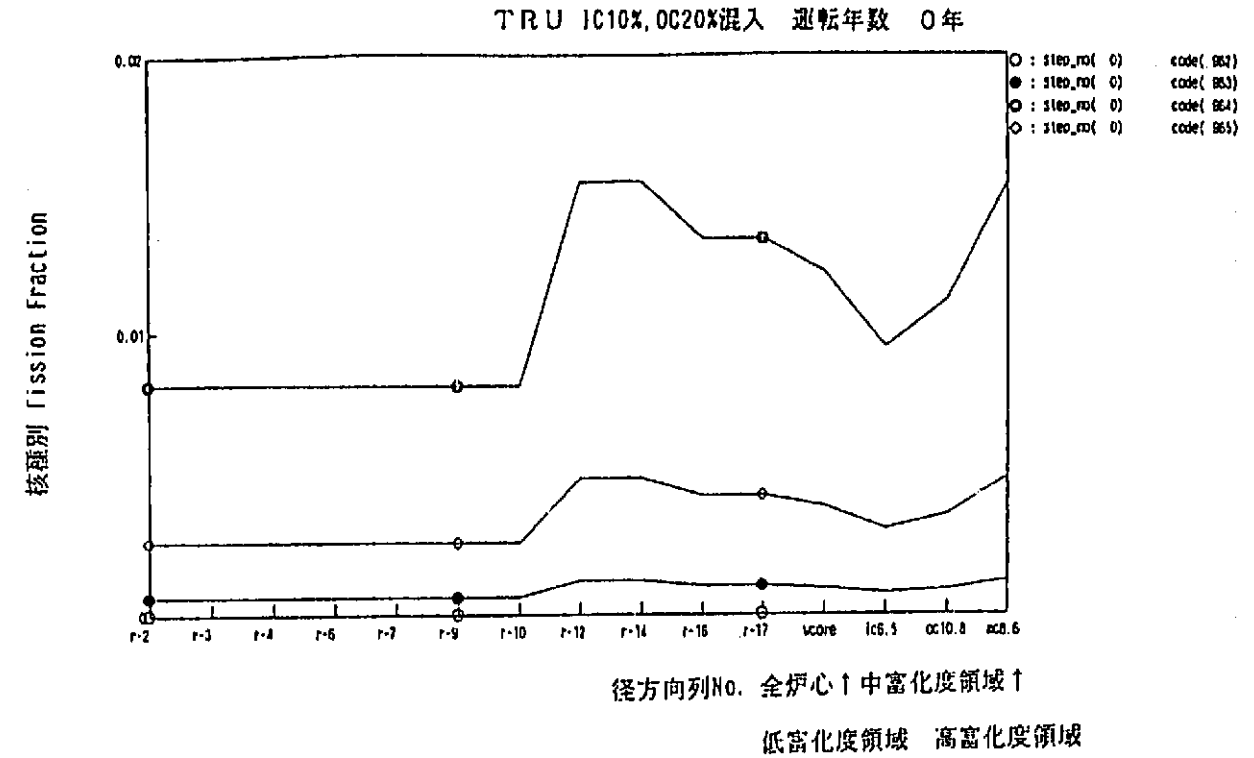


図2.3－33　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(4)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－



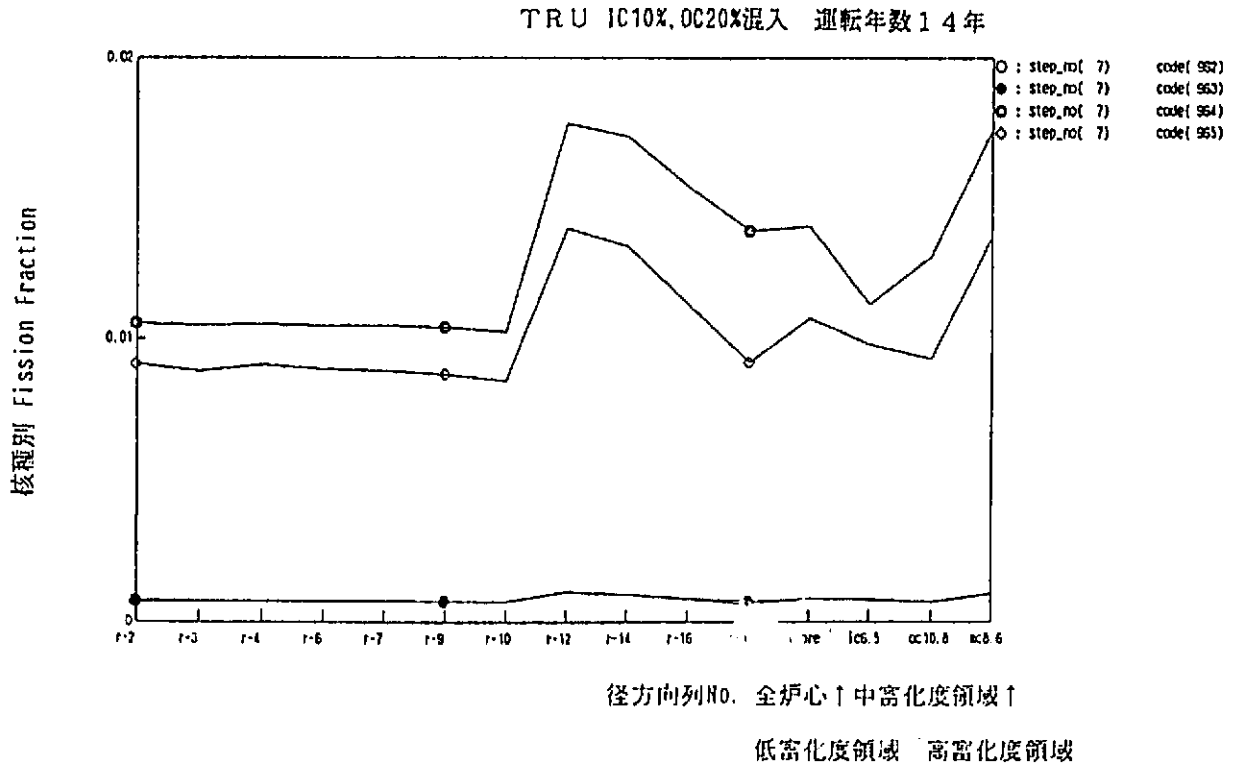


図2.3－34 1000MWe TRU－SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(5)
－TRU IC 10%, OC 20% 混合の場合 運転0，14年－

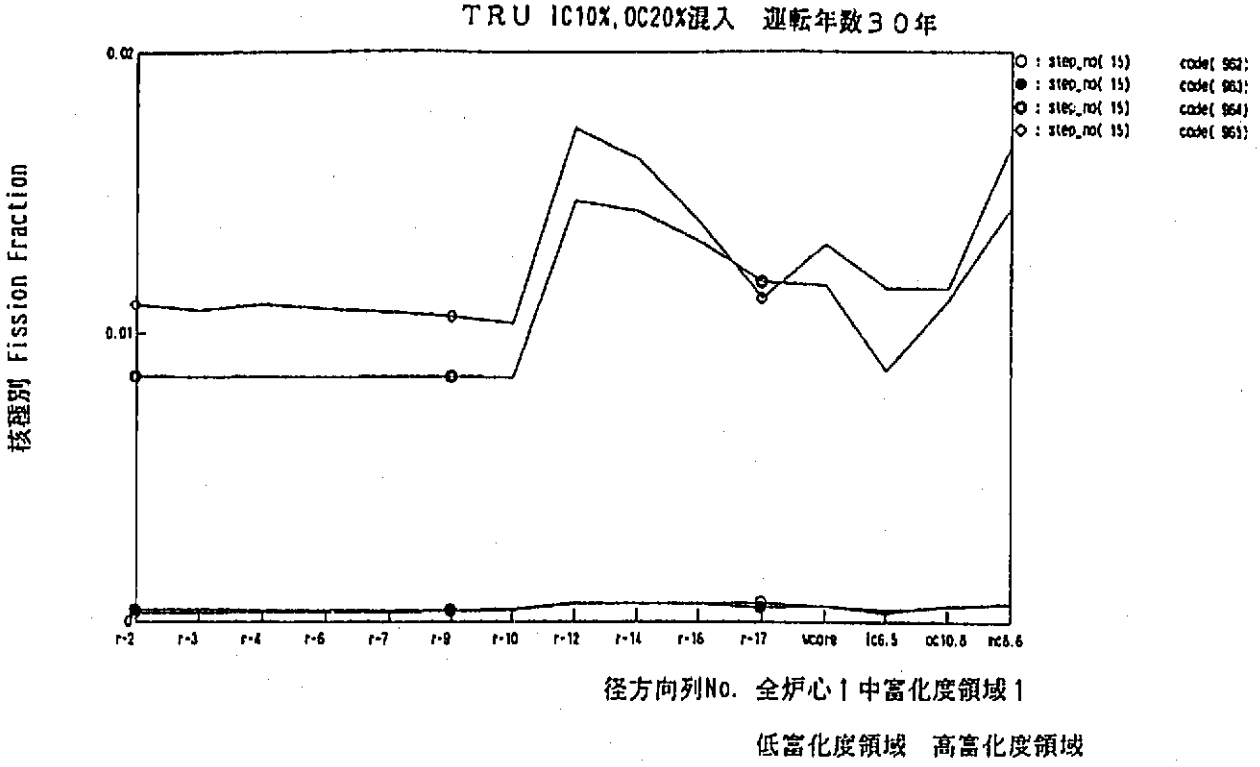
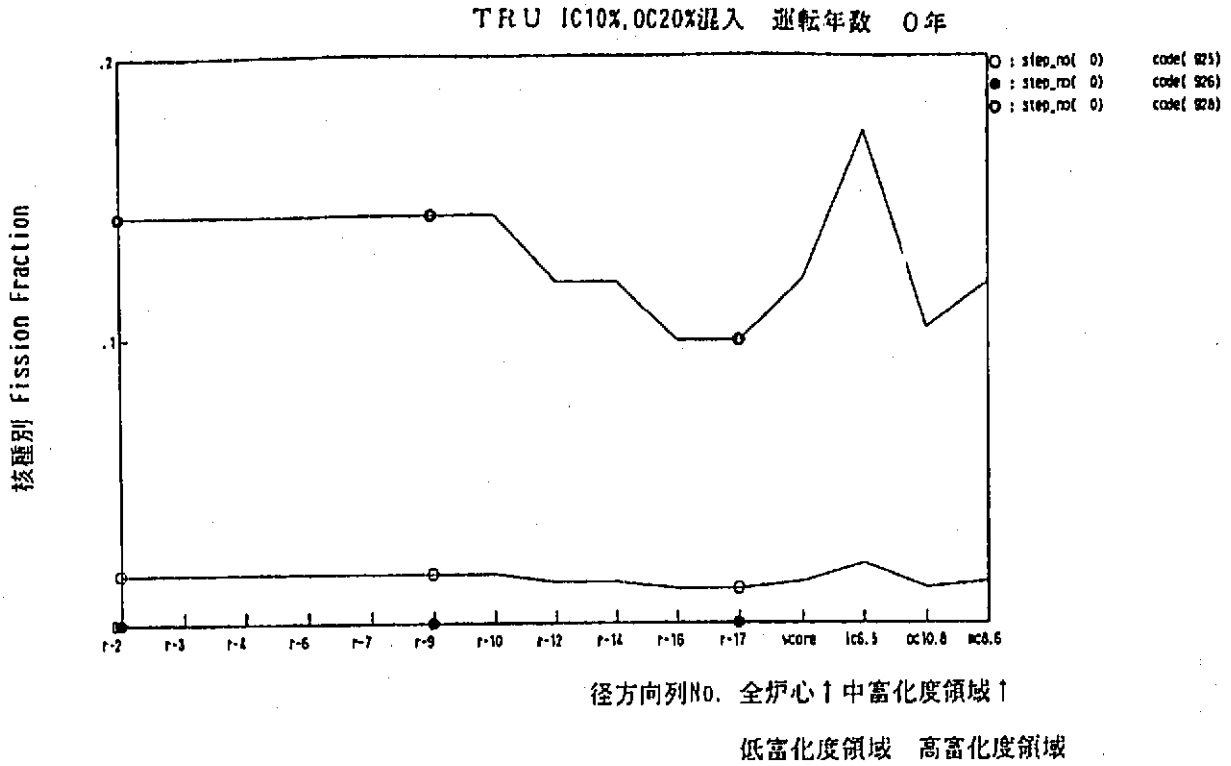


図2.3－35　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(6)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－



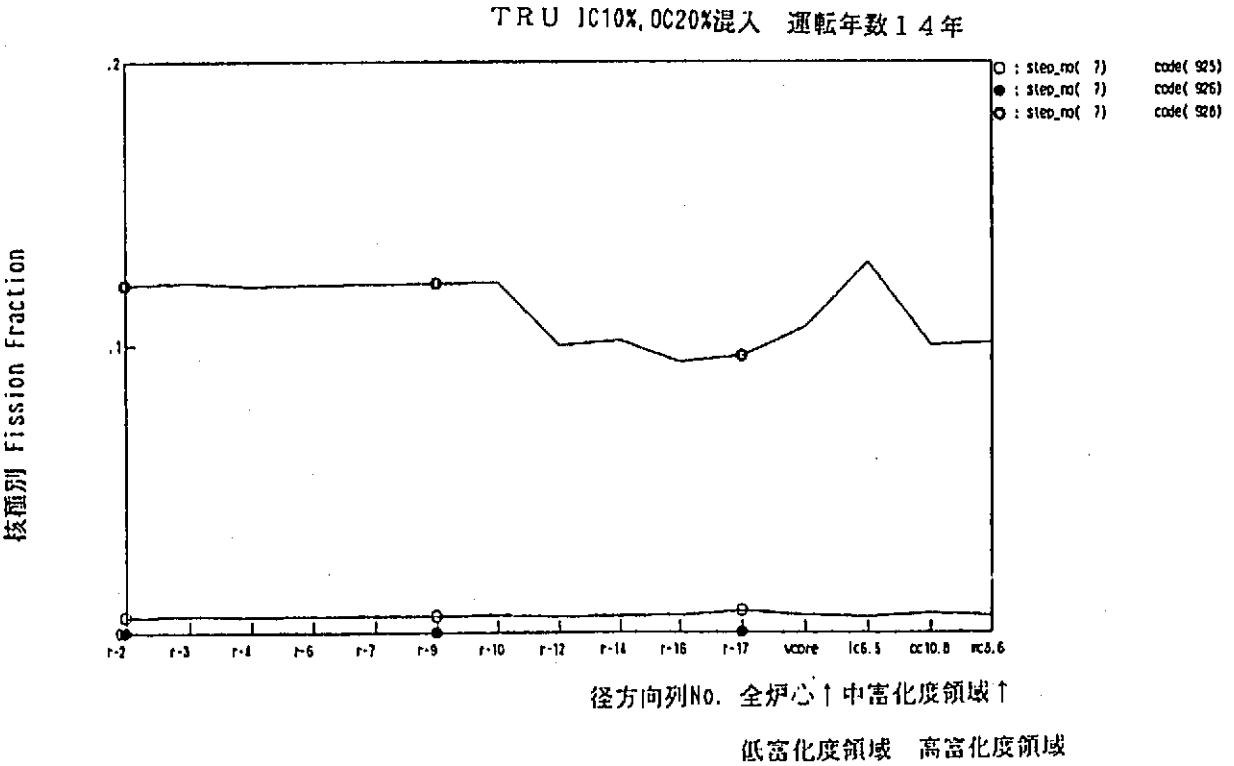


図2.3－36 1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(7)
－ＴＲＵ IC 10%, OC 20% 混合の場合 運転0，14年－

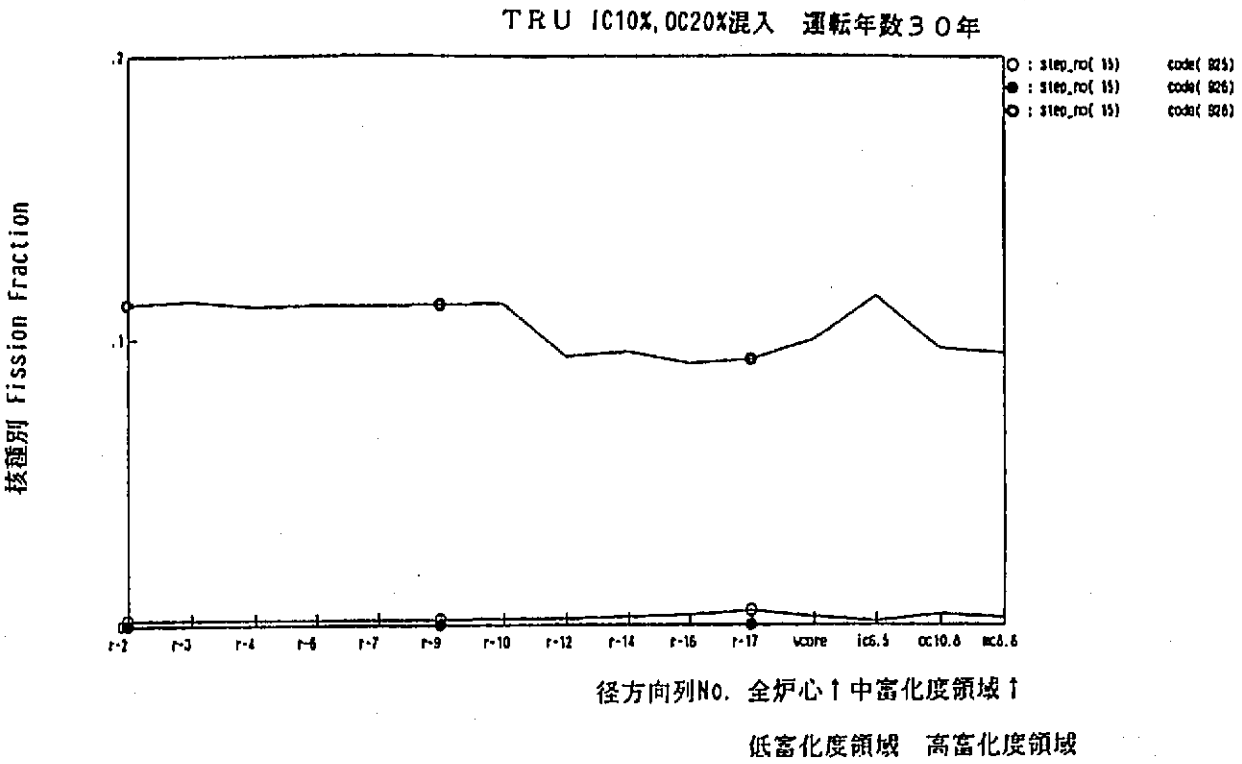
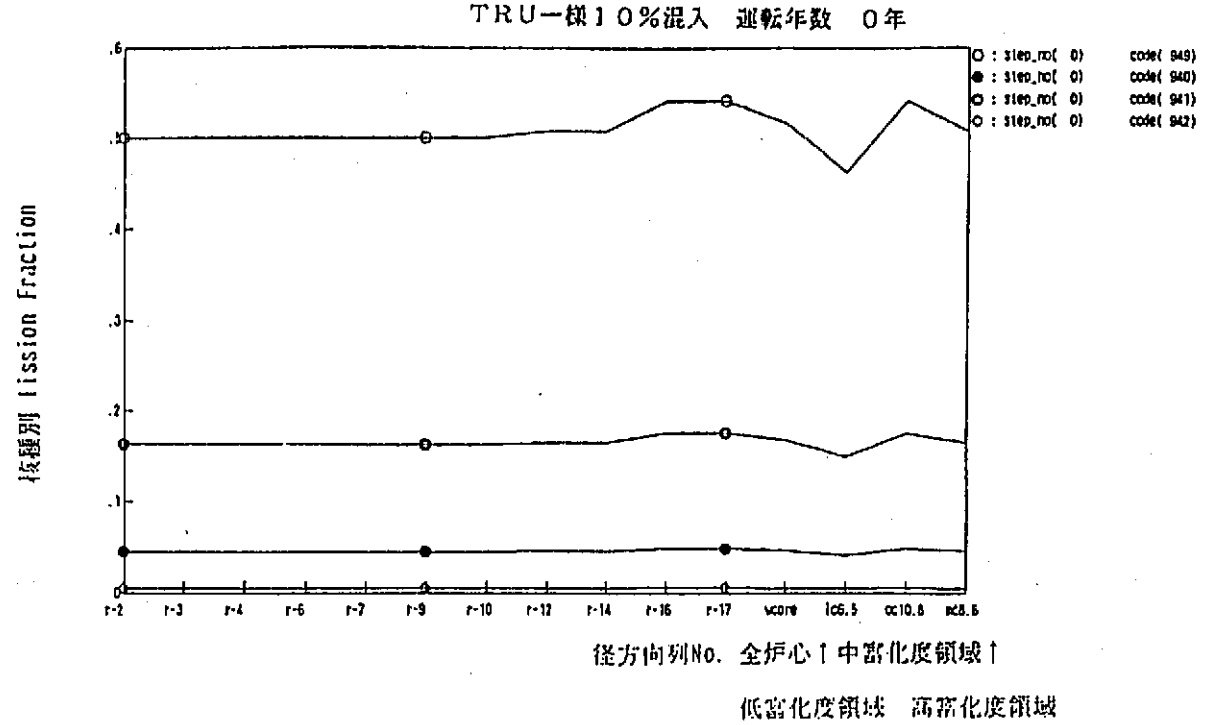


図2.3－37　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(8)
－ＴＲＵ　IC 10%,　OC 20% 混合の場合　運転30年－



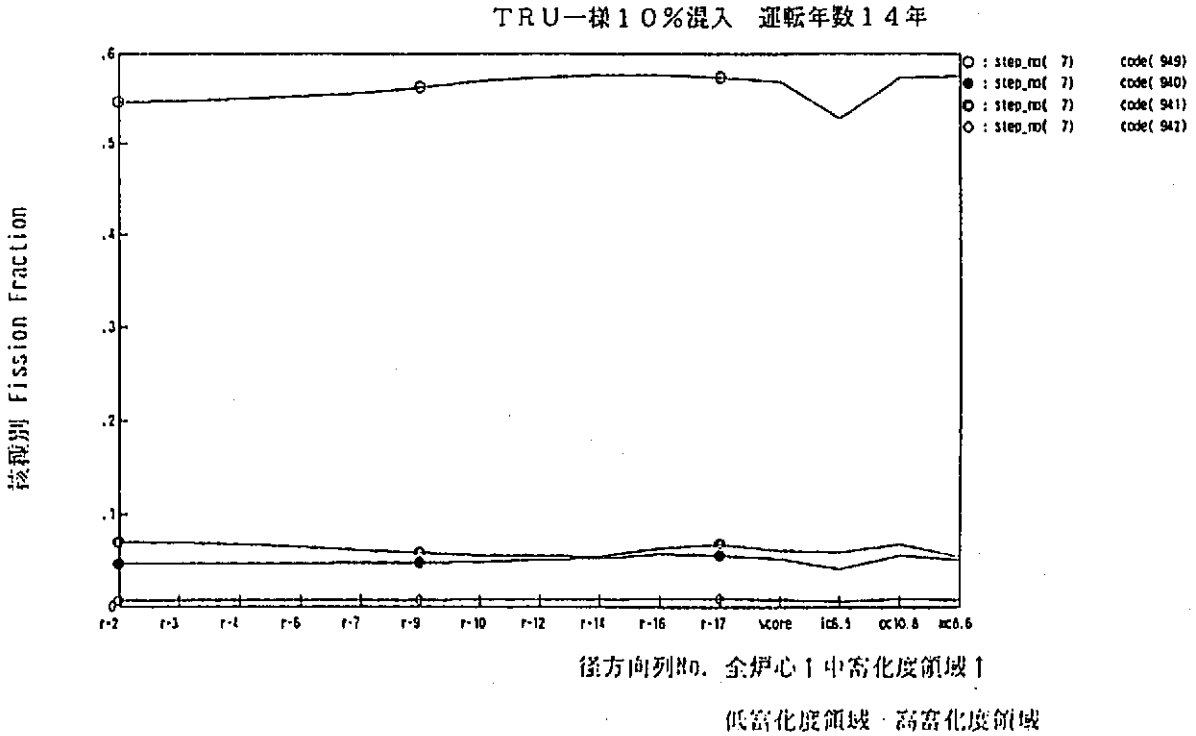


図2.3－38　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(9)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

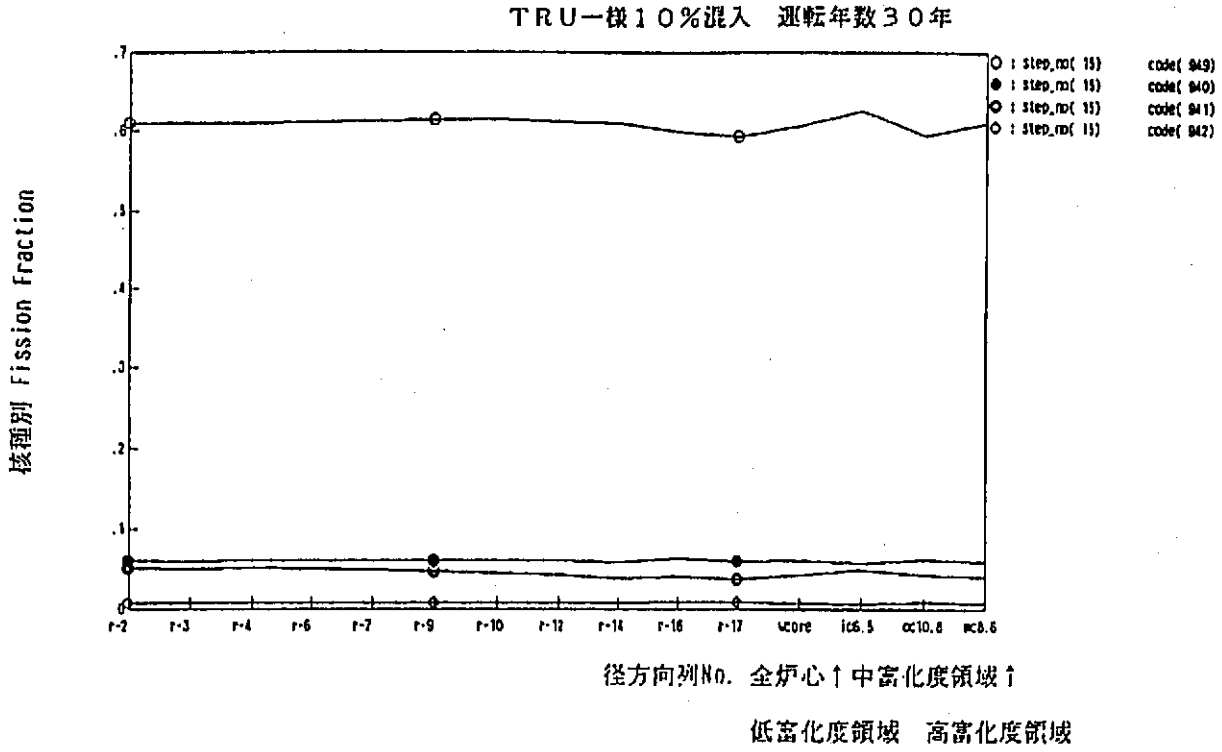
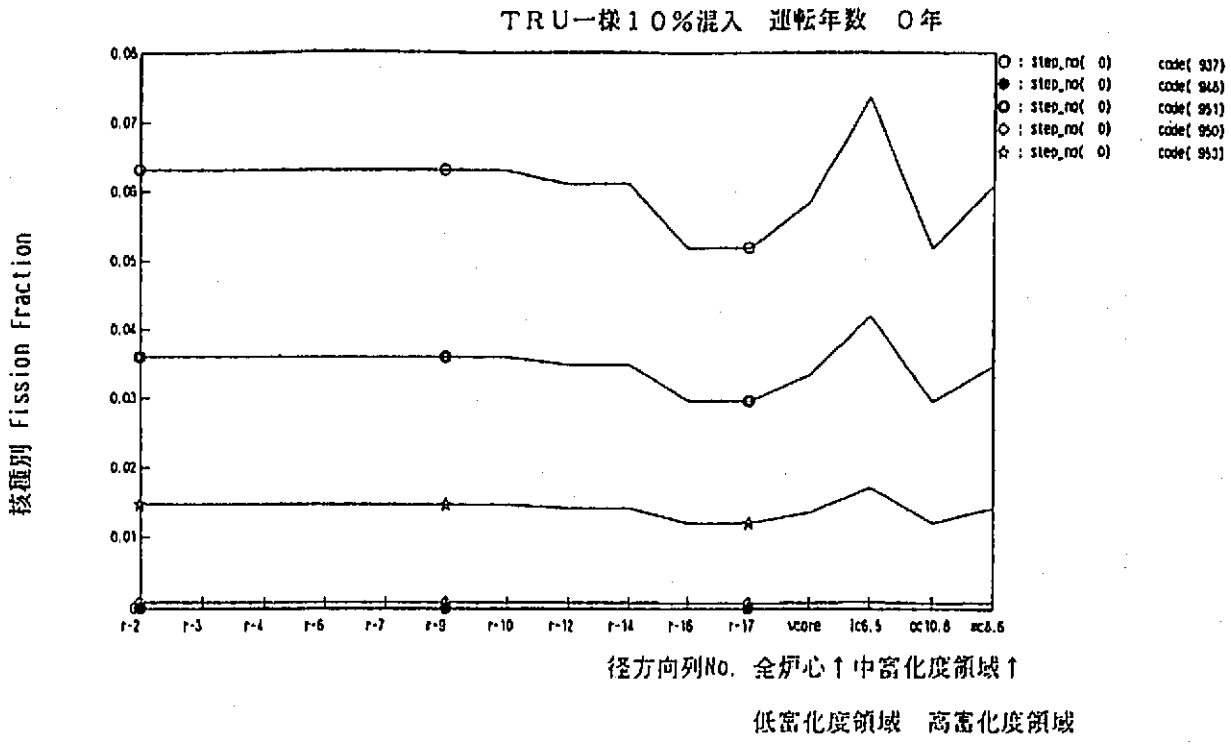


図2.3－39　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(10)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－



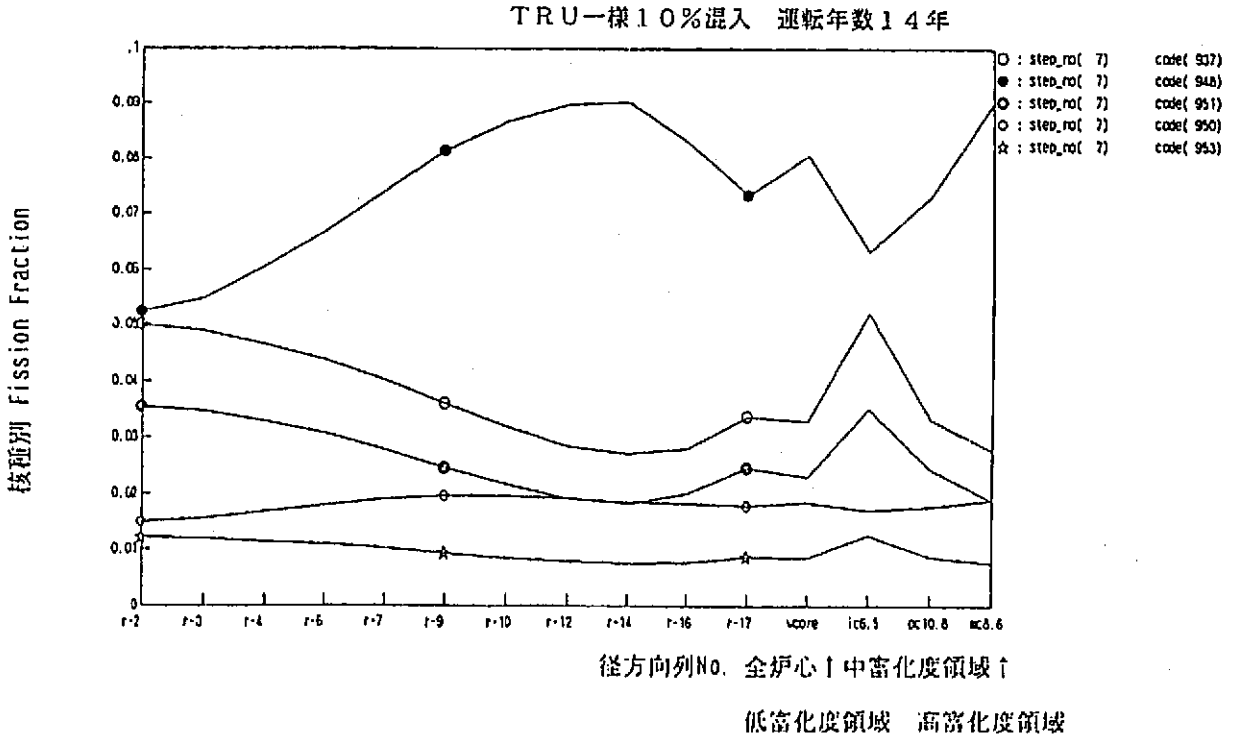


図2.3－40　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(11)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

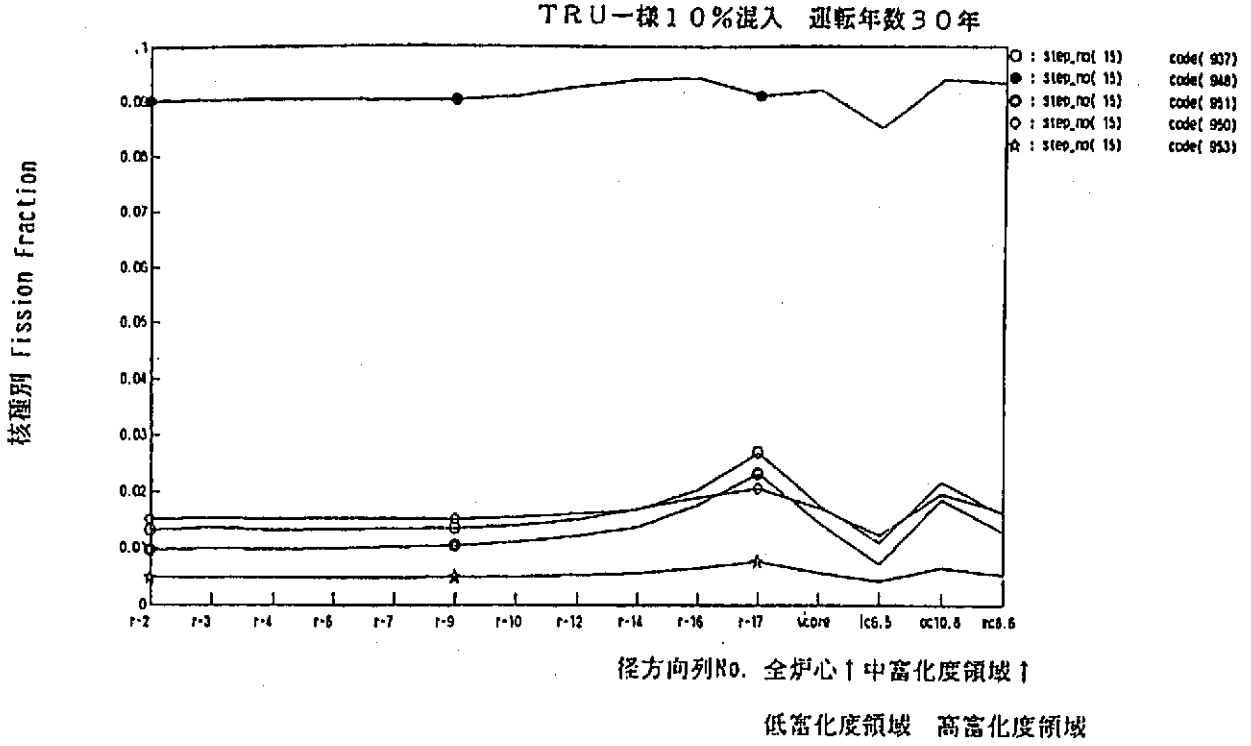
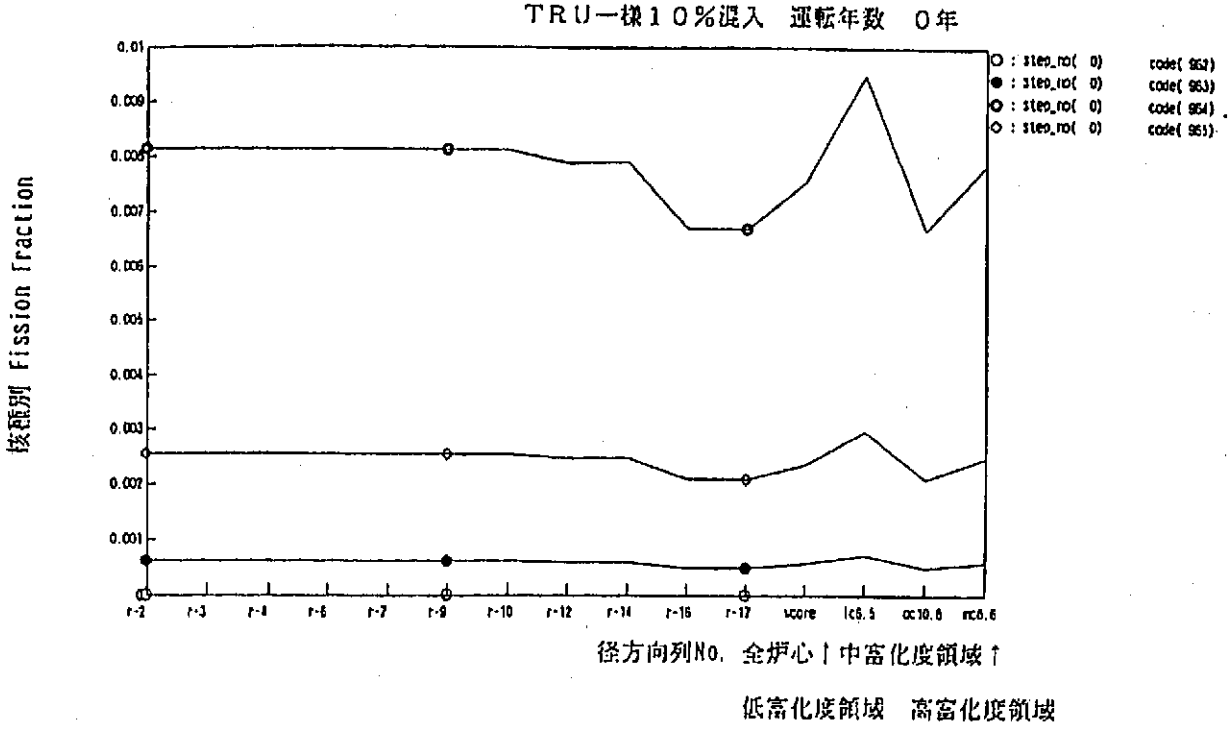


図2.3－41　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(12)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－



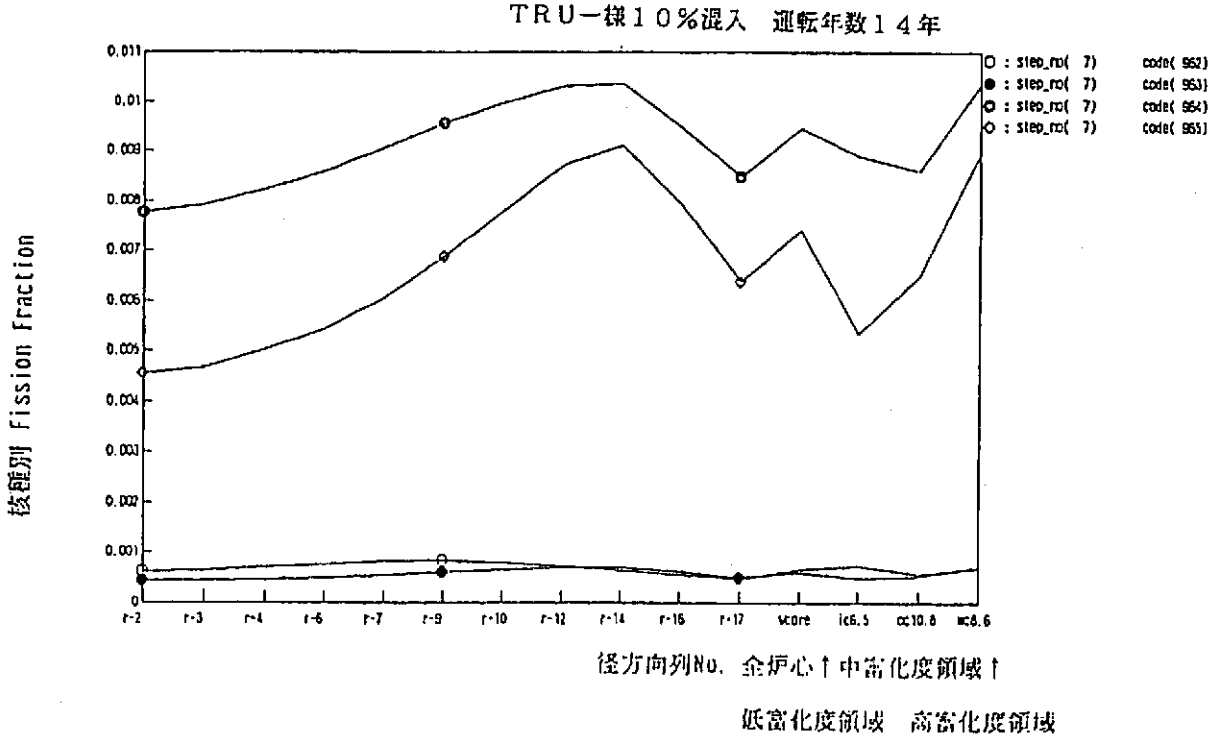


図2.3－42　1000MWe TRU－SLLCにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(3)
－TRU一様10% 混合の場合　運転0，14年－

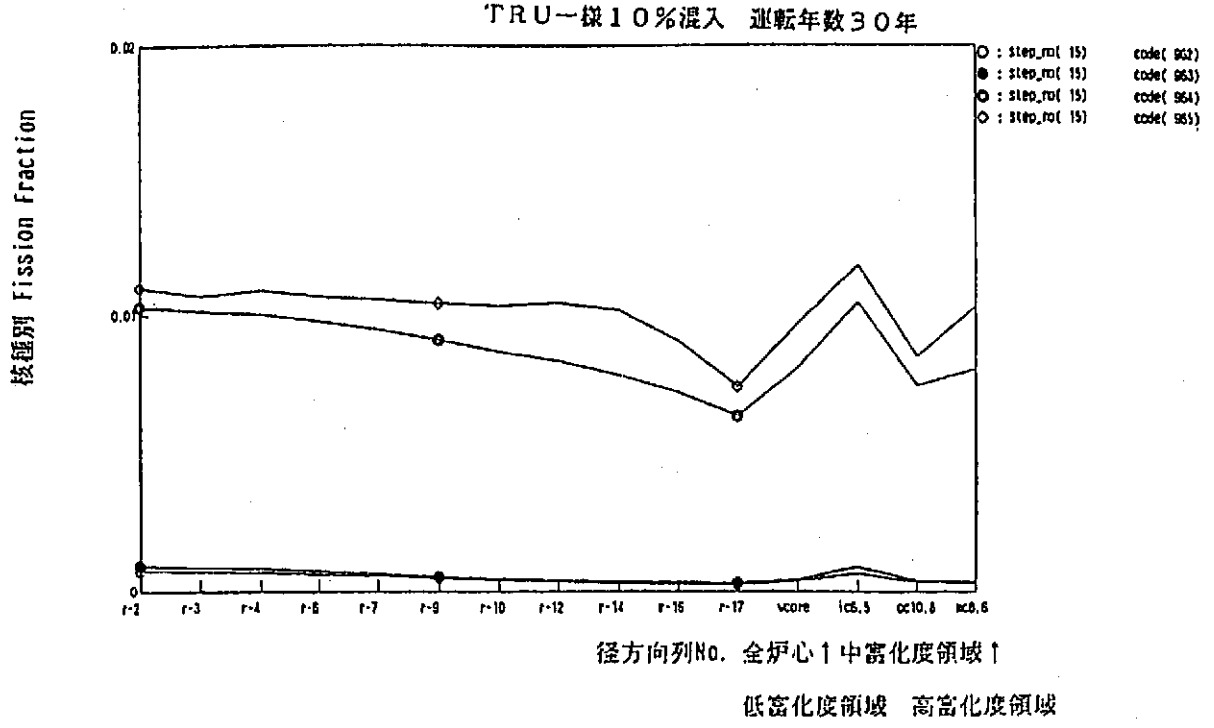
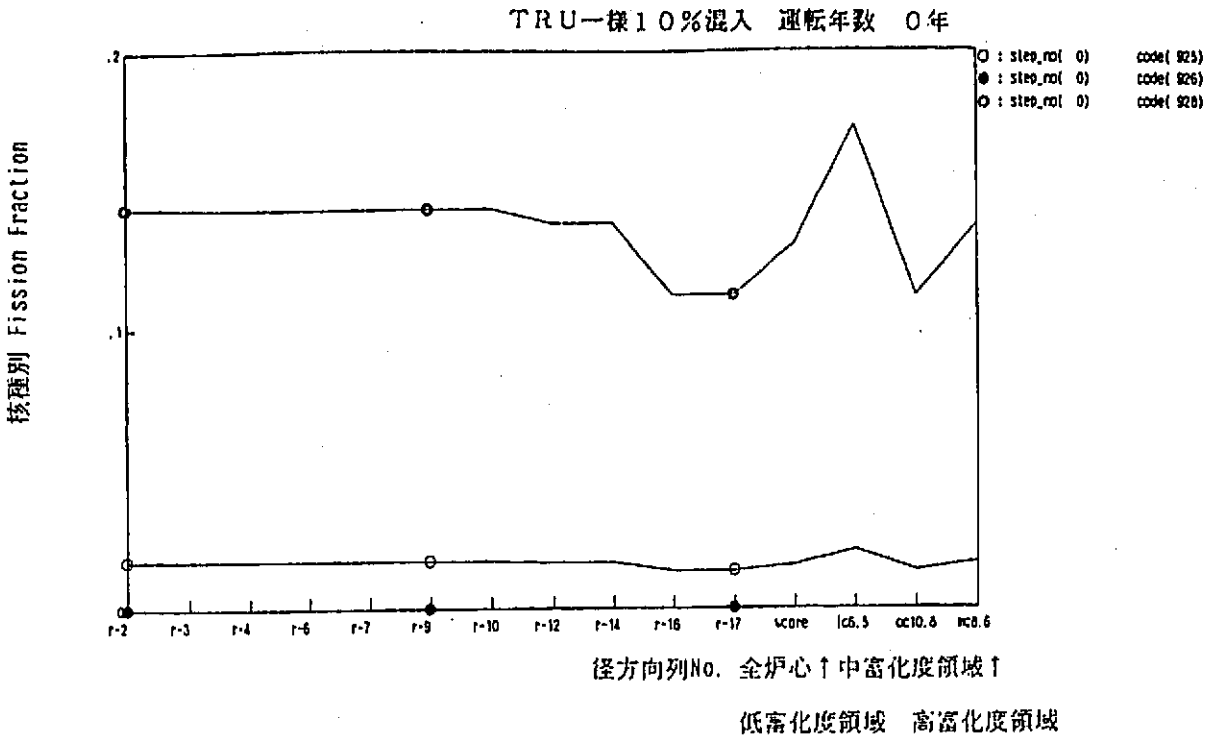


図2.3－43　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(4)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転30年－



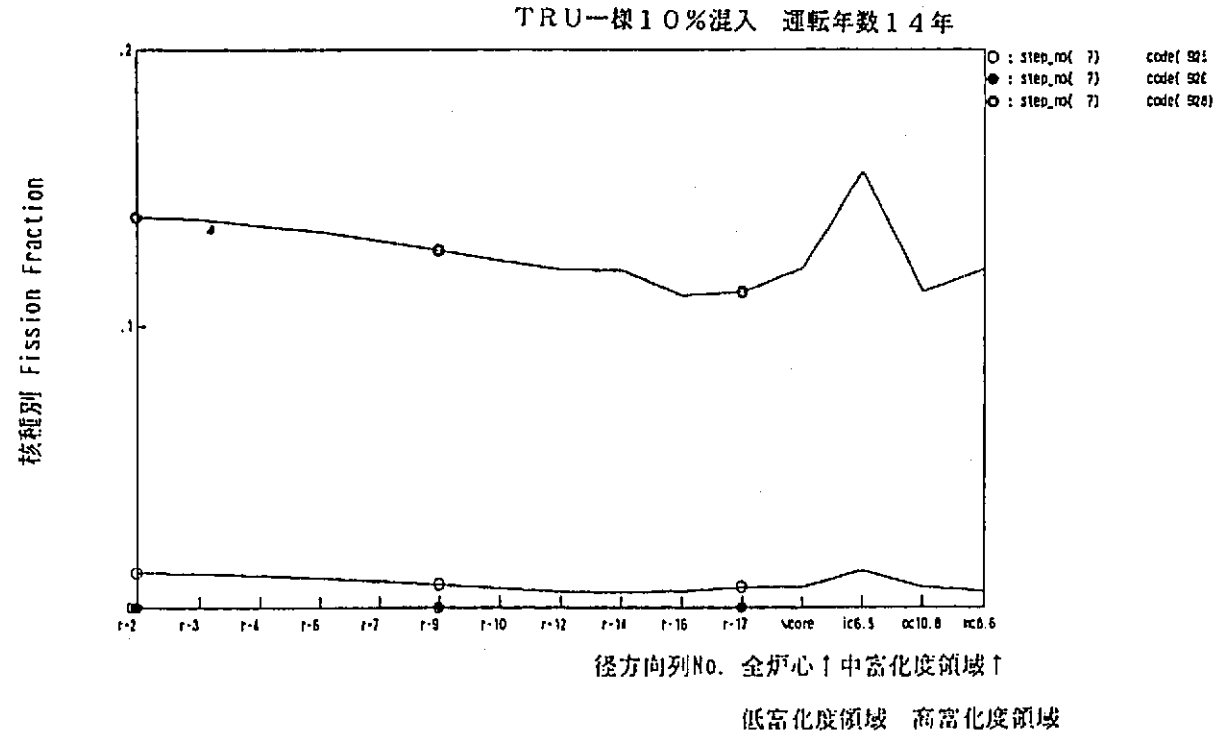


図2.3－44　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(15)
－ＴＲＵ一様10% 混合の場合　運転０，14年－

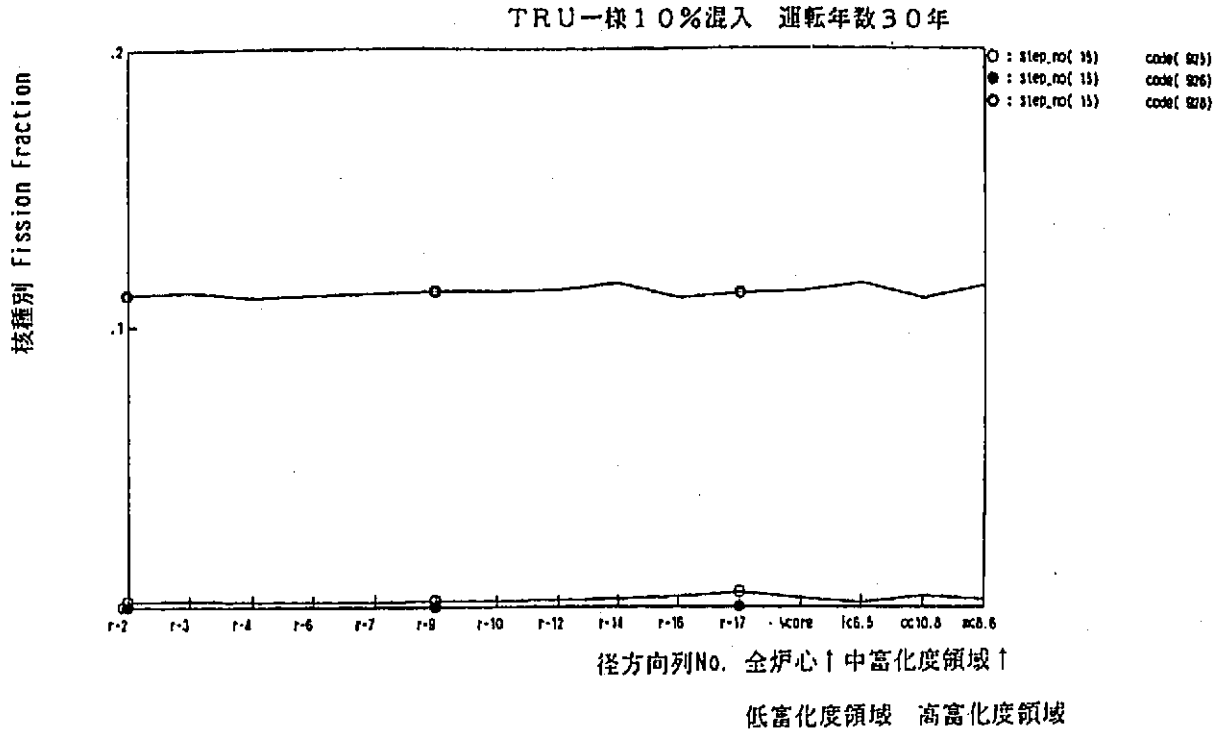


図2.3－45　1000MWe ＴＲＵ－－ＳＬＬＣにおける径方向領域（炉心高さ平均）毎の核種毎の核分裂割合い(16)
－ＴＲＵ－-様10% 混合の場合　運転30年－

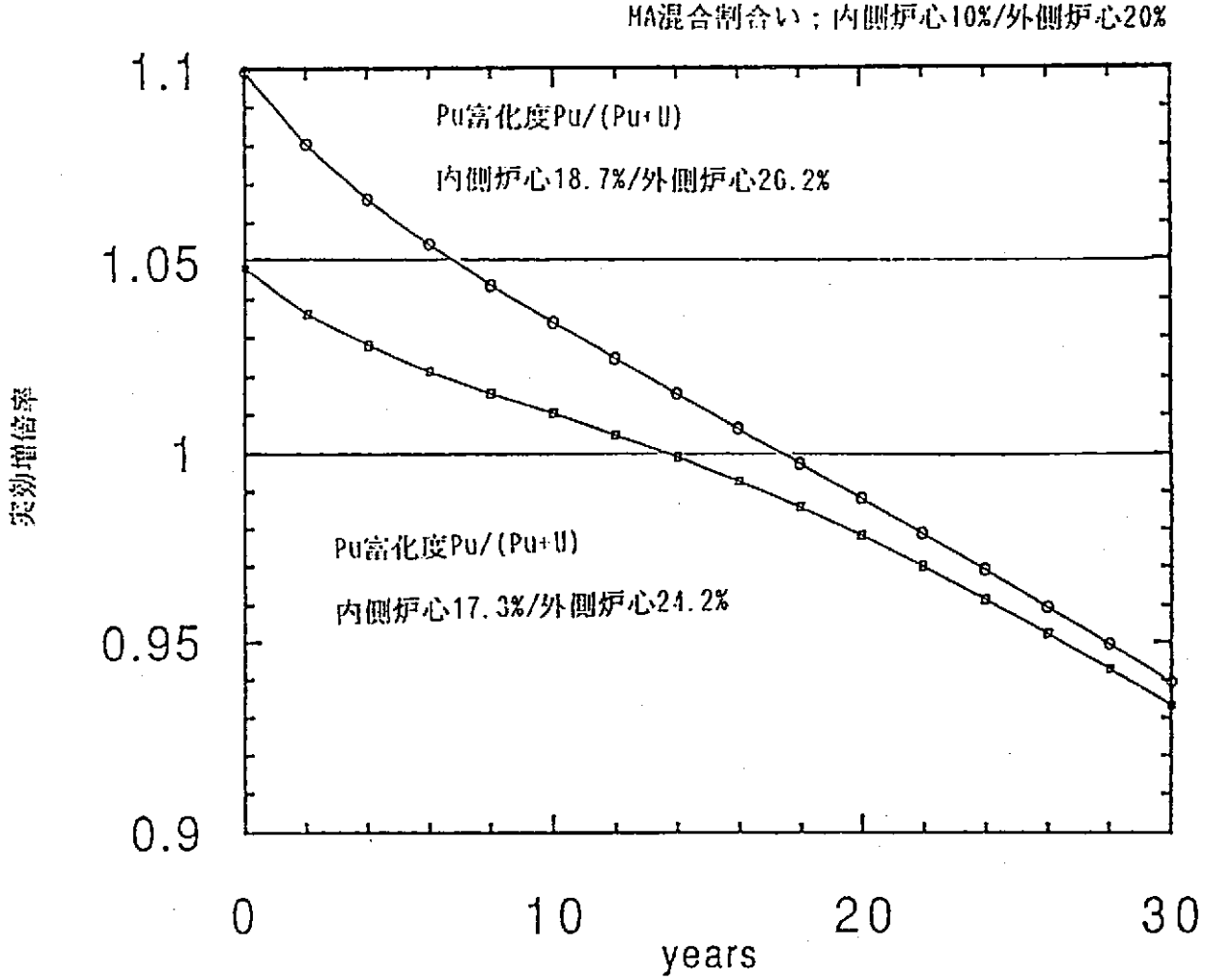


図2.3－46　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～41％の場合－

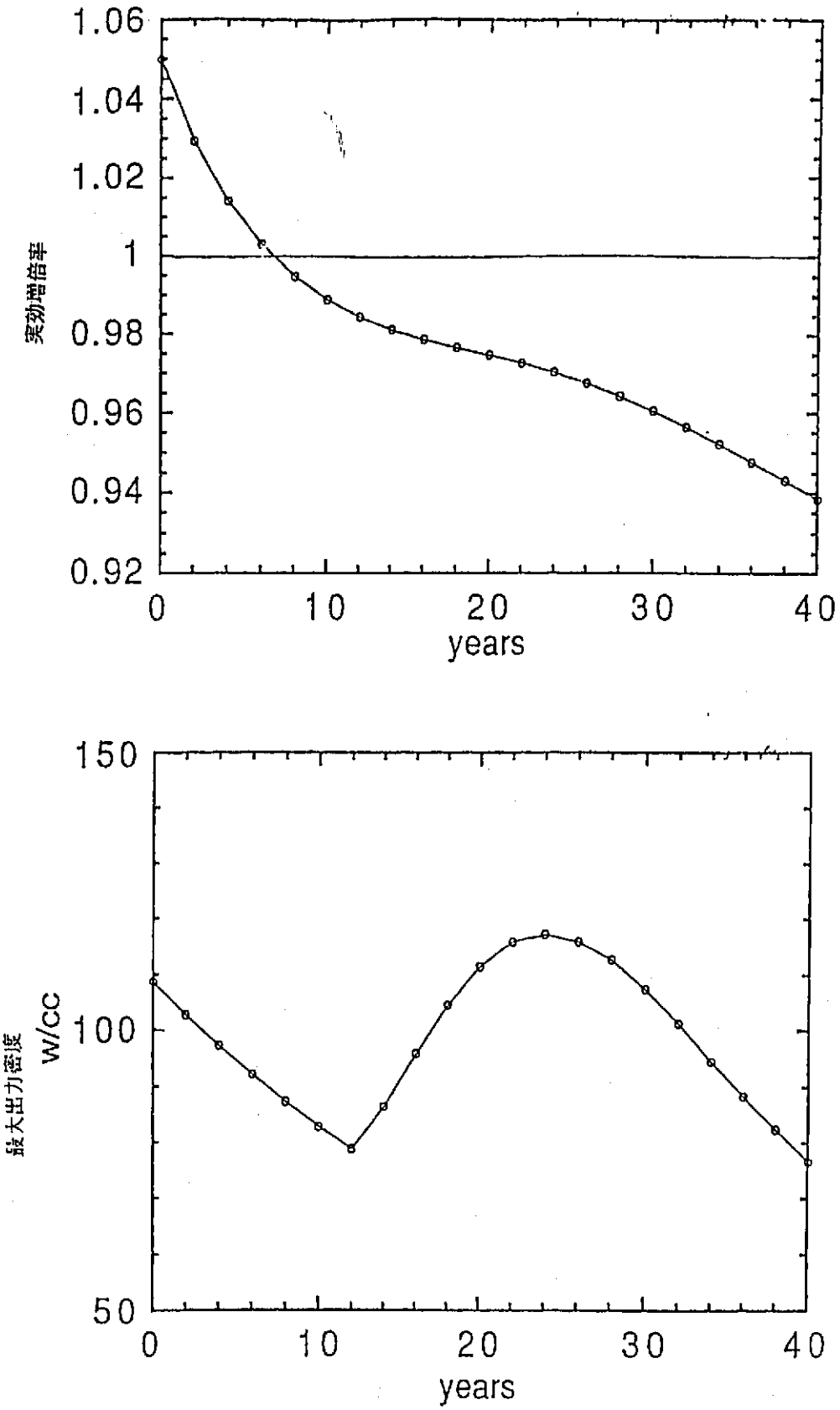


図2.3-47　300MWe MOX-SLLCにおける反応度と最大出力密度の燃焼に伴う変化
――Vf～53%の場合――

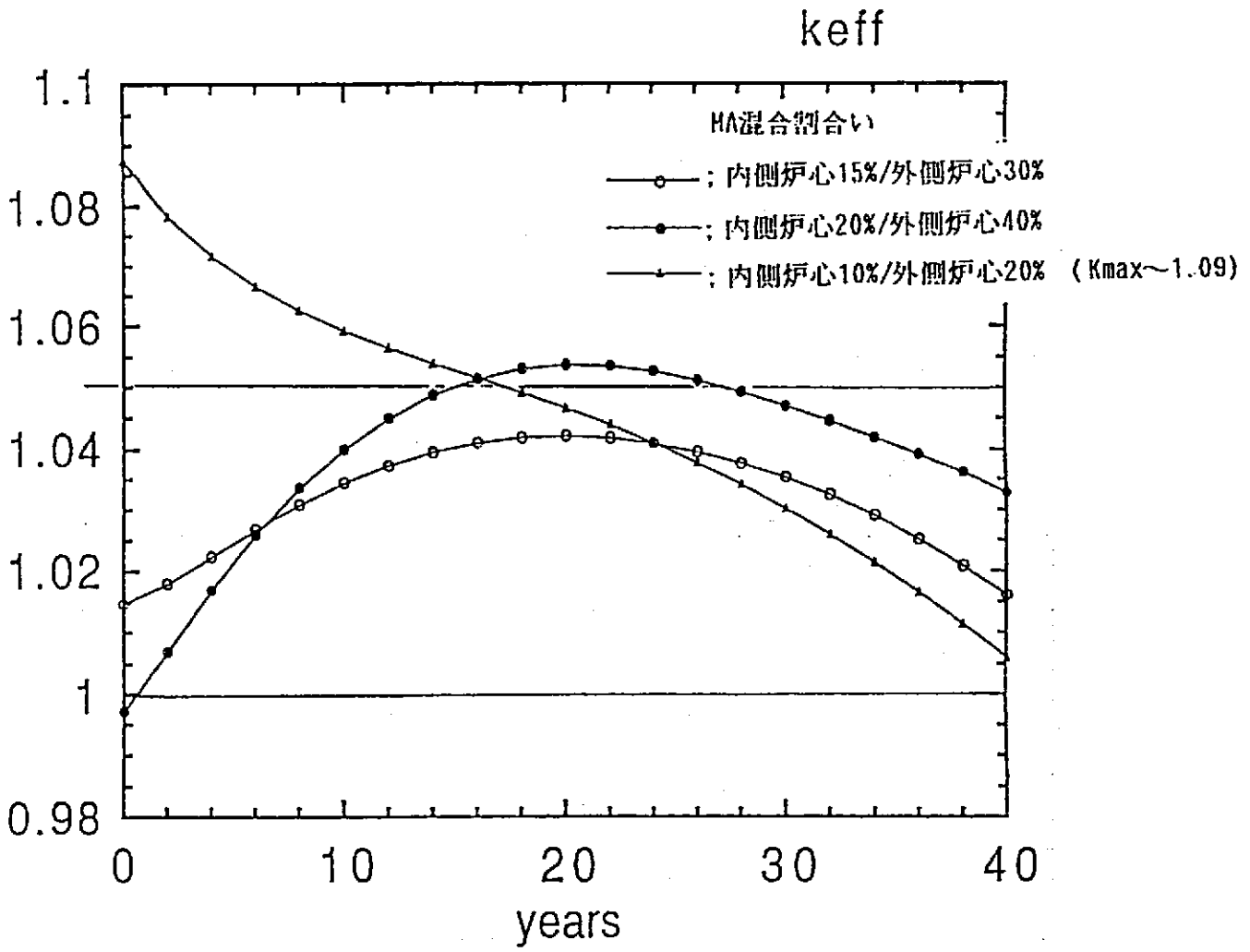


図2.3－48　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53％の場合－

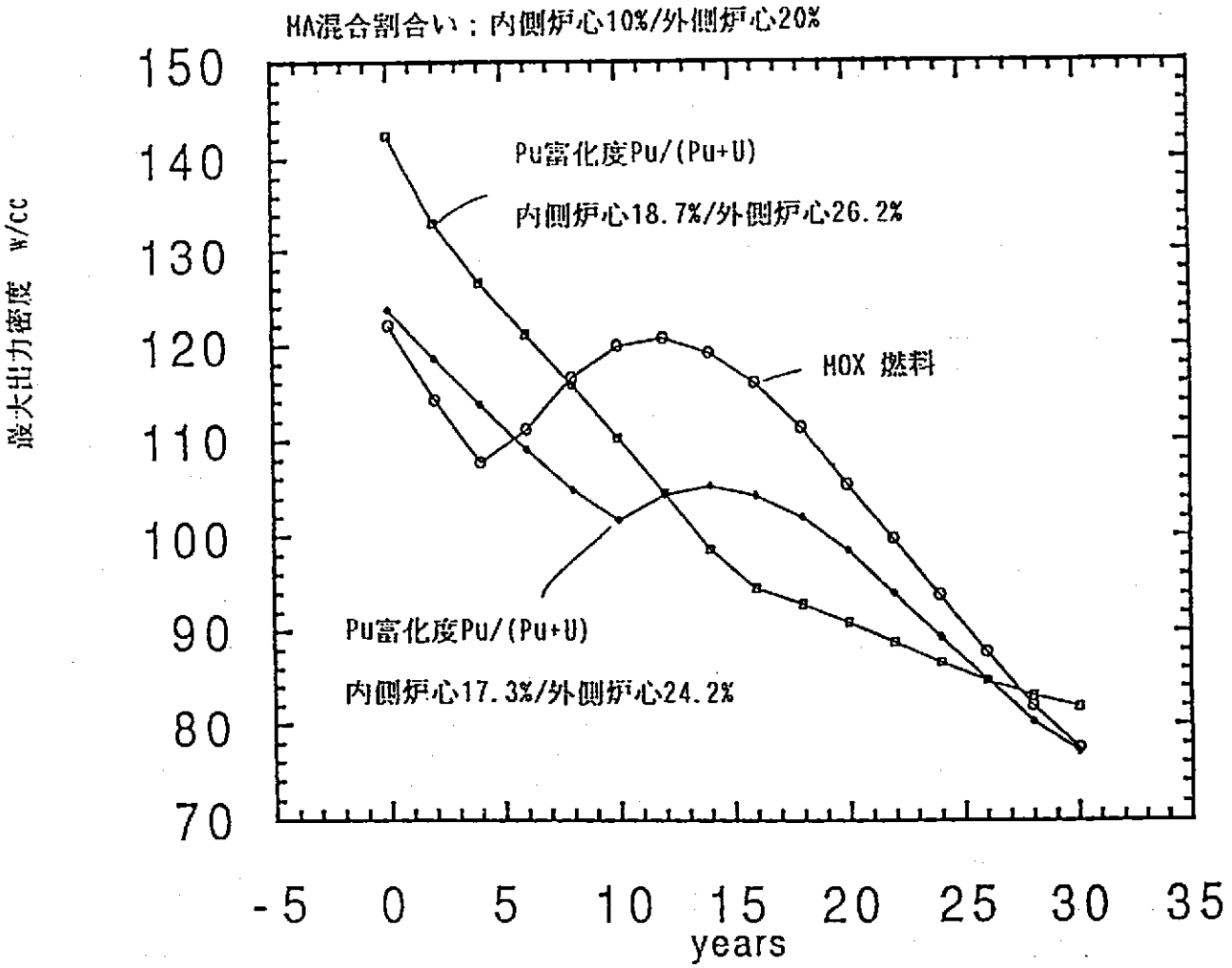


図2.3－49　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～41％の場合－

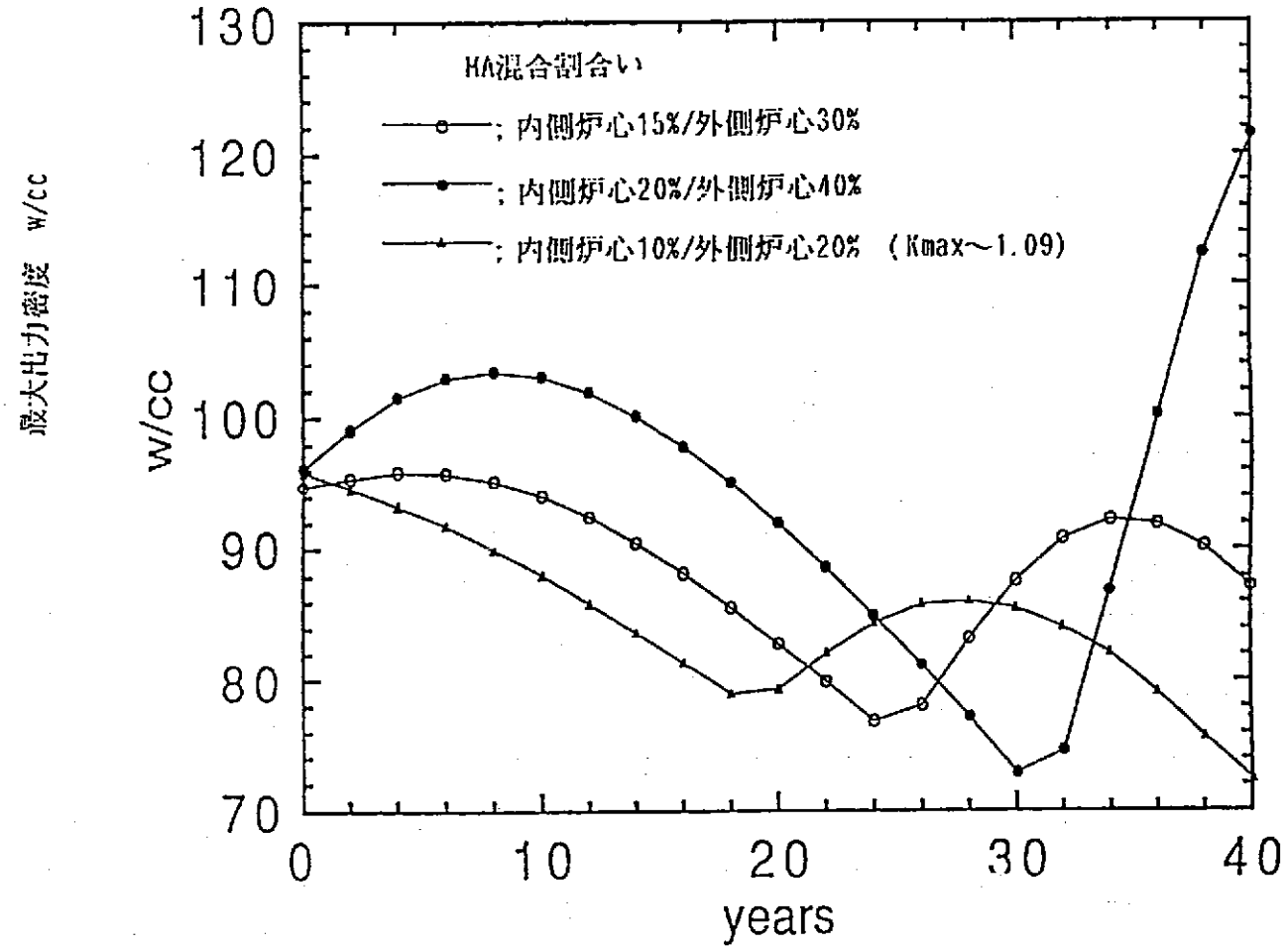


図2.3－50　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣにおける最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53%の場合－

注）炉心図の中の数値は燃焼年数を示し、
その燃焼年数でその数値を記した位置で
出力ピークとなることを示す。

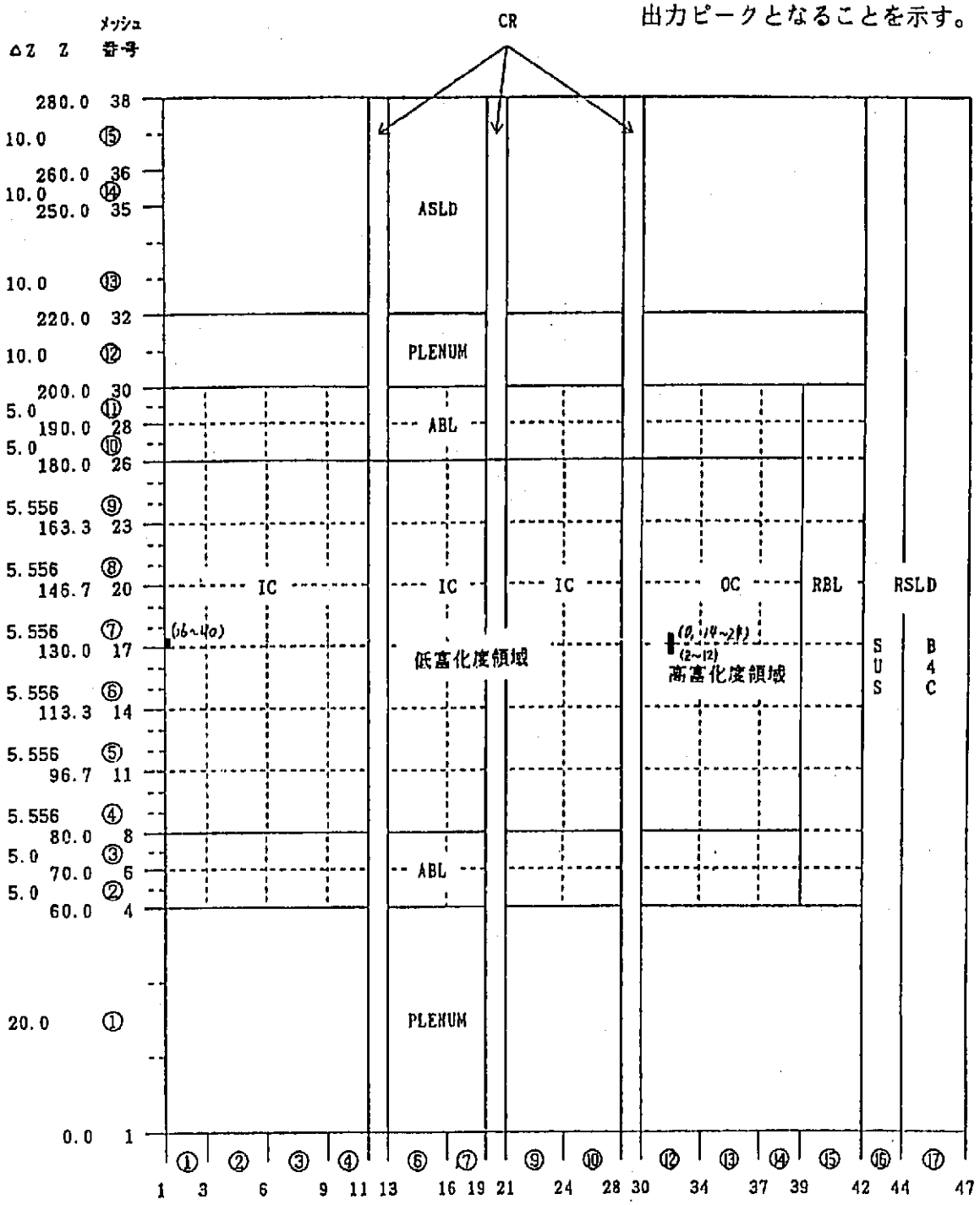


図2.3－51　300MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣ炉心のピーク出力位置の燃焼に伴う変化

注）炉心図の中の数値は燃焼年数を示し、
その燃焼年数でその数値を記した位置で
出力ピークとなることを示す。

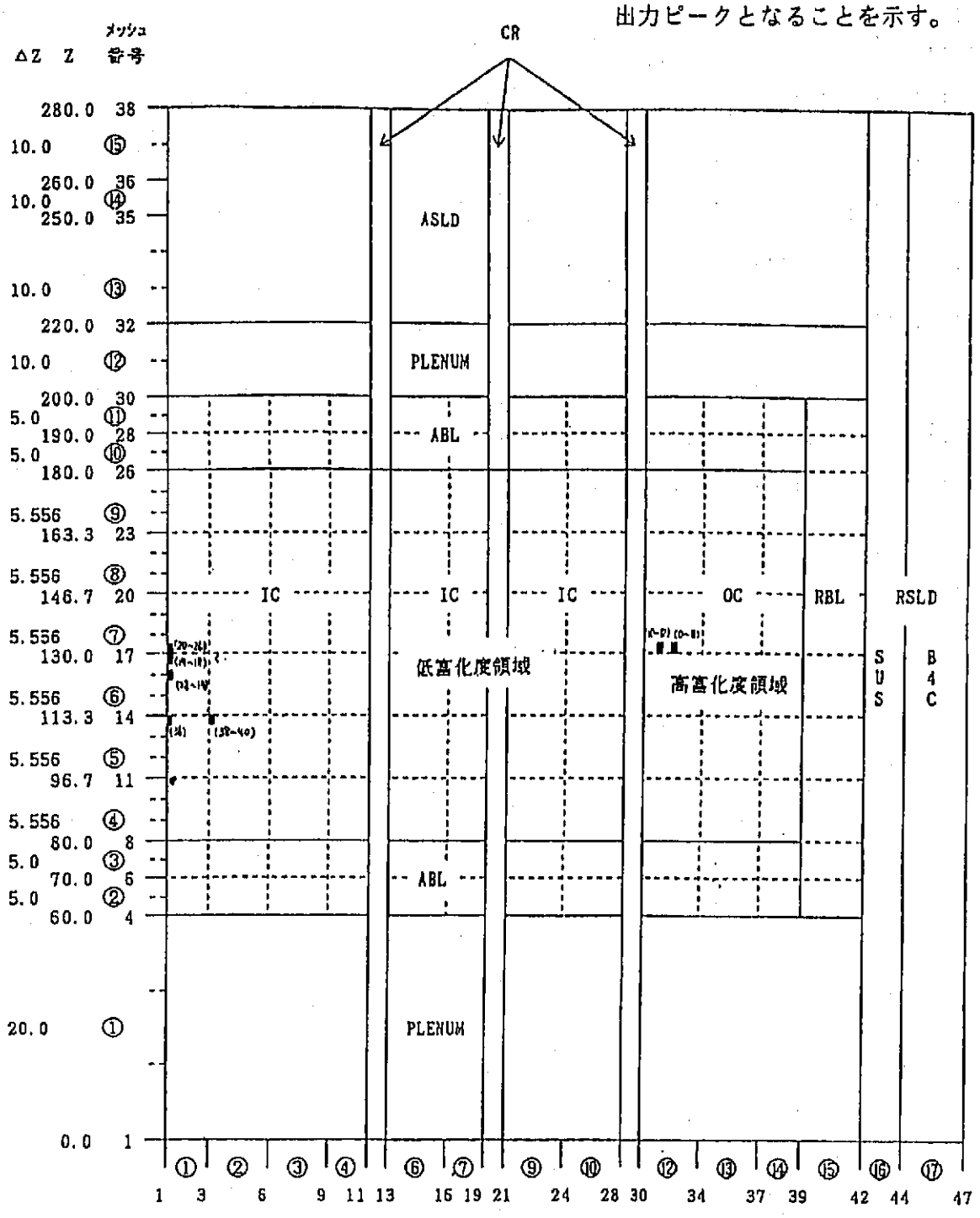


図2.3－52　300MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ炉心のピーク出力位置の燃焼に伴う変化

2.4 炉心特性解析

§2.3 節までのサーベイ計算により概観された TRU-SLLC 炉心の特性解析結果を示す。ここでは1000MWe 級炉心の特性を中心にまとめ、300MWe級炉心の特性結果も適宜示す。炉心特性の検討ではMOX-SLLC（１バッチ長寿命炉心）との比較も行い、 TRU燃料使用による影響を摘出しつつＴＲＵ消滅処理炉心の特徴を摘出する。

2.4.1 解析対象炉心の選定（MA混合率の設定）

TRU-SLLC炉心の基本仕様は次の様に設定されている。

(a) 燃料スメア体積比～53% 、酸化物燃料

(b) 寿命末期の炉心平均燃焼度；約20万MWd/t 、反応度寿命～30年以上

(c) 炉心出入口温度； 395／530 ℃

(d) フィードＰｕ組成；ＬＷＲグレード（即時再処理相当）

(e) ＭＡ組成；Ｎｐ，Ａｍ，Ｃｍ混合組成（取出し後 5年冷却相当）

1000MWe級炉心（炉心高さ1.8m）では出力密度を通常均質炉心の約1/3に低減し、ＭＡを混合することにより炉心の反応度寿命が30年以上となり、寿命中の燃焼用の最大反応度は 10%ΔK とし、内外炉心にＭＡ混合率比を 1:2程度とすることにより15%/30% 程度のMA混合率（平均約24%）が選定できることが 2.3節のサーベイの結果示されている。

燃焼用の最大反応度の大きさは制御棒設計との関係から小さい方が望ましい。一方、ＭＡ消滅量の最大化ではMA混合率は大きいことが望ましいが、本節の特性解析対象炉心には、燃焼用反応度が最小となる（約5%ΔK ）MA混合率を選択している。

内側炉心　MA混合率　7.5%（軸方向一様）

外側炉心　MA混合率 15.0%（軸方向一様）

尚、MOX-SLLC炉心も25年以上の反応度寿命を確保できることが確認されている。

300MWe級炉心では通常の炉心と同様の炉心高さ1mとし、出力密度を約

1/4 に低下させた炉心を想定した。炉心寿命は40年以上とし、寿命中の燃焼用最大反応度を5%ΔK とし、次の炉心を解析対象とした。即ち、MA混合率は次のものである。

内側炉心　MA混合率 15%（軸方向一様）

外側炉心　MA混合率 30%（軸方向一様）

尚、300MWe MOX燃料1バッチ炉心反応度寿命は約 8年でありMA混合TRU燃料を使用することにより超長寿命化が達成されることが2.3節で示されいる。

2.4.2　一般炉心特性のまとめ

表2.4-1 と表2.4-2 に選定したTRU-SLLC炉心と比較用のMOX-SLLC炉心の一般的な炉心特性を比較した。これらの特徴を概括すると次の様になる。

1000MWe 級炉心では、炉心の出力密度は約80w/ccで30年運転することにより炉心平均燃焼度は19万MWd/t 、最大燃焼度は29MWd/t に達している。寿命中の反応度減少は約5%ΔK であり、MOX-SLLCの 1/2以下である。ＭＡ混合 TRU燃料を使用することによるpositiveな面が強調されている。この燃焼反応度の大幅な減少は炉心制御・安全性の観点からは大きな効果である。主に、Pu239 のバランスに係わる増殖比については、初装荷燃料にPu241 の割合いの大きいＰｕ燃料を使用しても、増殖比は1.0 を確保できるている。SLLC超長寿命炉心を論ずる場合は、運転サイクル長さ／出力密度の観点から、狭義の増殖特性を重用視する立場とは異なる。ここでは、後で詳細に示す物質マスバランスから示されるようにＭＡの消滅量は大きく長半減期ＭＡは大きく消滅するが、ＦＢＲ／ＬＷＲの燃料となる Pu239はその量が減少しないで保存されることが重要である。大量のＭＡが消滅処理される過程で多量なエネルギーを取出すことが可能な、“ACTIVE STORAGE”としてのSLLC超長寿命炉心の“すがた”が描き出されている。30年間の積算高速中性子フルエンスは6.6x10**23nvt に達しているが、これは通常の酸化物燃料ＦＢＲ炉心の目標燃焼度20万MWd/t 達成に必要な開

発目標と共通であり、ＴＲＵ消滅処理炉心特有の目標ではない。

300MWe級炉心の場合は、通常の1000MWe 級炉心の基本仕様をベースとした１パッチ炉心の反応度寿命は約 7年である。この理由の一つは、炉心高さ１ｍの設定が適切でないこと等である。しかし、MA混合 TRU燃料を使用する場合は、軸径方向サイズ共に通常の1000MWe 級炉心サイズにおいて飛躍的に反応度寿命が延長され、40年炉心（炉心平均燃焼度17万MWd/t ）が成立する見込みがある。しかも、燃焼用の余剰反応度への要求も約3%ΔＫと十分小さくなることも大きな魅力である。増殖比は適切なブランケット配置をすることで40年後も装荷時と同等のＰｕ２３９量が確保され" ACTIVE STORAGE" としての役目も担うことができる。40年間の積算高速中性子フルエンスは5.5x10**23nvt で炉心サイズの小さいことの有利さが若干現れている。

2.4.3 燃焼特性

表2.4-1/-2にTRU-SLLC炉心の燃焼反応度、燃焼度については記してある。また、図2.4-1 には1000MWe TRU-SLLC(MA 混合率7.5%/15%) の反応度変化図を示した。この混合率は燃焼用の炉心反応度を最小にして30年以上の運転長さを確保するものである。

炉心の反応度寿命を長期化する場合、核分裂生成物ＦＰの蓄積が多い燃焼の進んだ時点で中性子経済を悪化させず燃焼反応度減少を小さくすることは多くの場合出力分布平坦化の方向と両立させることが問題となる。ここでは TRU燃料を使用することにより、長期運転においても炉心の内側・外側の集合体出力分布の変動が小さくなっていることを 2.3.1節で述べたが、ここでは選定したMA混合率 7.5%/15% 炉心について、 TRU燃料によって決まる無限増倍率の燃焼変化を観察する。図2.4-2 は炉心中心付近の低富化度領域と、径方向外側炉心の高富化度領域の無限増倍率の燃焼変化である。外側炉心では燃焼とともに単調に減少しているが、内側炉心では始めは1.0 をわずかに切っており、運転の途中で増大しその後減少している。

内側炉心では軸方向に富化度分布を付けていることにより軸方向全体では無限増倍率の燃焼変化は外側炉心のそれに近ずく。また、寿命の半ばから内側外側領域の無限増倍率の燃焼変化勾配がほぼ同一となっていることが内外炉心の出力分布変動の抑制と関連することになっている。この関係を図2.4-3/-4にそれぞれ示すMOX-SLLC,MA10%一律混合TRU-SLLCとの場合の比較で確認することが出来る。外側炉心の高富化度領域では MOX燃料の場合はPu241 が相対的に速く減少するために運転開始 6年までは減少が大きいが、MA混合により初期の反応度低減効果が大きく緩やかな変化となっている。内側炉心ではMOX,7.5/15% 混合TRU-SLLCの場合はほぼ1.0 から増大し、運転途中でピークとなりその後減少する。MA混合率10% の場合は低富化度領域では初期に無限増倍率が0.9 とかなり低く、その後 6年間の変化が小さい。これは初期の出力が小さく中性子束レベルが低くMA核種の中でNp237 からPu238,Am241 からAm242mへと反応度価値の高い核種への変換が促進されていないことを示している。その後急激に無限増倍率が上昇し、25年時点の最大値は外側炉心の無限増倍率とほぼ同一となっている。これは大きな出力分布の変動をともなっていることを意味している。次の項では、出力分布変動について具体的に検討する。

2.4.4 出力分布

超長寿命炉心は出力密度を大幅に低減しているために最大線出力には余裕がある。したがって、経済性向上と被覆管温度低減（安全性）の観点からの集合体出口温度平坦化が重要になる。MA混合 TRU燃料を使用することにより燃焼による集合体出力分布の変化の様子を図2.4-5/-6/-7 にMOX-SLLCの場合とともに示す。これらの図の径方向領域番号は図2.2-2 ＲＺモデル図の番号に準拠している。また、参考としてMA混合率10% 一律TRU-SLLCの場合も示してある。これらの図から適切なMA混合率分布を設定することにより30年間の集合体出力分布変動が小さくできることが示されている。前項で述べたように、MA混合率10% 一律TRU-SLLCの場合は運転初期は内側

炉心の出力がかなり低く、燃焼とともに大きく増大することが示されている。

また、軸方向出力分布を図2.4-8 ～図2.4-11にMOX-SLLCとの比較で運転開始直後、14.30 年について示した。プロットした出力分布は図2.2-2 のＲＺモデル図で径方向メッシュ番号がそれぞれ5,44の内側／外側炉心位置である。Ｐｕ富化度の初期配置で軸方向分布を付けることで集合体出力の平坦化を図っているので内側炉心の軸方向出力分布は初めの凹型から燃焼が進と凸型に変化している。TRU 燃料では、その傾向が一層強調されているのは、初期組成の無限増倍率から示唆されるように内側低富化度領域では無限増倍率が1.0 を僅かに下回っているためである。MOX-SLLCでは内側低富化度領域では無限増倍率が1.0 を僅か越えているので、中性子漏れを含めると高富化度領域（無限増倍率が1.0 以上）との違いが実質的に小さくなっていることを反映している。外側領域の軸方向出力分布は初期組成が一様なので単純な凸型を保っている。繰返しになるが、軸方向分布のピーク値の径時変化の少ないことが出力分布の変動の小さいことを示している。

図2.4-12には運転中の最大出力密度の変化の様子を示した。　このTRU-SLLC炉心では、寿命中ほぼ一定となっている。

2.4.5　ＴＲＵ消滅量・物質収支（増殖特性）

(1)　重核の炉内インベントリーの燃焼に伴う変化

1000MWe MA混合率 7.5%/15% TRU-SLLCの領域積分した核種毎のインベントリーの時間変化を1000MWe MOX-SLLCの炉内インベントリーの変化と比較して図2.4-13～図2.4-25に示した。

図2.4-13～図2.4-17は炉心部のインベントリーを示す。図2.4-15にはＭＡの主成分であるNp237,Am241,Am243 の変化と生成核種Pu238,Am242mの変化の様子を示している。図2.4-15にはＣｍ同位元素の変化の様子を示す。この結果から、 TRU消滅炉心としての特徴は次のように言える。

(a) TRU-SLLC炉心では、運転長さ30年でPu238, Am241, Am243, Cm245 はほぼ平衡濃度に到達している。MA混合率平均値8%程度では～80W/cc程度の出力密度で燃焼させた場合には、30～40年以上の60年寿命を狙ってもＭＡの消滅処理の観点からは効率が低下することを意味している。

(b) 30年炉心ではCm242, Cm244 等の比較的短い半減期を有する核種は自然崩壊の効果が見られ、30年後には装荷時よりも減少している。

図2.4-18から図2.4-25まではTRU-SLLCのブランケットにＭＡを混合していないので、MOX-SLLCとTRU-SLLCの違いは本質的には生じない。表2.4-3/-4にはTRU-SLLC, MOX-SLLC のそれぞれについて重核の質量バランスをまとめてある。

300MWe MA 混合率 15%/30% TRU-SLLC の領域積分した核種毎のインベントリーの時間変化を300MWe MOX-SLLC の炉内インベントリーの変化と比較して図2.4-26～図2.4-40に示した。ここで、300MWe TRU-SLLC は炉心平均燃焼度約20万MWd/t に到達する40年の運転期間についてプロットしている。MOX-SLLCはこの体系では約 8年の反応度寿命であることを既に述べたが、重核のインベントリー変化は参考までに30年分としてある。図2.4-26～図2.4-30は炉心部のインベントリーを示す。図2.4-27にはＭＡの主成分であるNp237, Am241, Am243 の変化と生成核種Pu238, Am242mの変化の様子を示している。図2.4-28にはＣｍ同位元素の変化の様子を示す。この結果から、MA混合率を高めた300MWe級TRU-SLLCの TRU消滅炉心としての特徴は1000MWe 級TRU-SLLCと同様なことが確認される。表2.4-5 には300MWeTRU-SLLC炉心の40年運転による物質収支がまとめてある。

(2) ＭＡ消滅特性

大量のＭＡを初期に装荷するTRU-SLLC炉心のＭＡ消滅特性をまとめておく。この検討では、炉心の燃焼用の余剰反応度と出力分布の２つの炉心運転（経済性と安全性）特性に着目して、MOX-SLLC炉心燃料仕様をベースとしてＭＡ混合率を設定してきた。この場合はＭＡ全体の消滅量は

つぎの様にまとめられる。

炉心・元素	装荷量	運転後残存量	消滅量
1000MWe 7.6%/15%TRU-SLLC			
Np	8441 kg	2630 kg	5810 kg
Am	7827 kg	3461 kg	4366 kg
Cm	910 kg	1003 kg	-93 kg(増加)
total	17178 kg	7094 kg	10084 kg
300MWe 15%/30%TRU-SLLC			
Np	6722 kg	2378 kg	4344 kg
Am	6233 kg	2673 kg	3560 kg
Cm	725 kg	595 kg	130 kg
total	13680 kg	5646 kg	8034 kg
1000MWe MOX-SLLC（参考）			
Np	0 kg	75 kg	-75 kg(増加)
Am	0 kg	1048 kg	-1048 kg(増加)
Cm	0 kg	106 kg	-106 kg(増加)
total	0 kg	1229 kg	-1229 kg

（注）ここで、運転後のＭＡにはブランケット内の僅かな生成分も含めた。

ＭＡ物質収支に関しては、つぎの事柄を指摘することができる。

(a) 1000MWe および300MWe TRU-SLLCのＭＡ消滅率は装荷量に対して、ともに58.7% に達している（Pu238 はＭＡとして含んでいない）。

(b) 消滅量の絶対値をウラン燃料軽水炉（取出し3.3 万MWd/t 相当）が生成する一基あたりＭＡ 27Kg/（ 100万kWe 1年運転）として換算すると、通算1000MWe TRU-SLLCでは373基・年（年平均では12.4基分），300MWeTRU-SLLCでは 298基・年（年平均では 7.4基分）になる。

(c) ＭＡの成分比を見ると、装荷時と取出し時では下記の変化がみられる。半減期が約 210万年のNp237 の割合いが大幅に減少し、半減期が約 430年のAm241 が増加している。Ｃｍの割合いが相対的に増加する。

項目	装荷時	運転終了直後
Np237/MA	49.1%	37.0%～42.0%
Am/MA	45.6%	48.8%～47.3%
Cm/MA	5.3%	14.2%～10.5%

(d) 運転終了直後のＭＡ量は、炉心部について1000MWeTRU-SLLC では MA/HM 比は 6.4%(装荷時はMA/HM=12.2%)、300MWeTRU-SLLCではMA/HM比は11.9%(装荷時はMA/HM=22.6%)となっている。

(e) Ｎｐの中性子捕獲による変換にともないPu238 は大量に生成されている。

(f) ＭＡを装荷しないMOX-SLLCでは運転に伴いＭＡが生成・蓄積されている。運転終了直後では炉心部でMA/HM 比は1.1%である。ＭＡ生成量は全体では1229Kgであり、年間平均41Kgとなっている。100 万kWe あたりはウラン燃料軽水炉よりやや多く、Ｐｕ燃料軽水炉のＭＡ生成量と同等である。ＭＡの成分比では Am/MA比が86% となっている。この原因はPu241 の自然β崩壊による効果である。ただし、装荷Pu241 と同量を単に保管しておくだけでも30年間では約80%(約

2960Kg)のAm241 が生成されるので、MOX-SLLCで生成されたAm241約790Kg の1/3 であり、その間にエネルギー・発生にPu241 は大いに寄与している。

以上の様に、TRU-SLLCは大量にＭＡを装荷できる利点を活かして、大量のＭＡを消滅処理できるポテンシャルを有している。

(3) 増殖特性

超長寿命炉心の増殖要求は、従来の燃料交換炉心とは異なったものとして位置付られる。エネルギーの発生源と同時にＰｕの"ACTIVE STORAGE"としての側面が強調されてくると考えられる。このＰｕの"ACTIVE STORAGE"に、ＭＡを装荷し長期間運転することによって、Ｐｕバランスはどのように影響されるか調べた。TRU/MOX-SLLCの物質収支は表2.4-3 から表2.4-5 に示した。

Ｐｕと核分裂性Ｐｕ（Pu239,Pu241 ）の装荷時と運転終了直後の量を比較すると、運転期間が長期となっていることもあり Pu241は大きく減少している。しかし、Pu239 インベントリーは炉心部分においても見掛け上は殆ど変化していない。ブランケット生成分だけ増殖している。Ｐｕ組成中ではNpから変換したPu238 が大きな割合いを有する。

項目	1000MWeTRU-SLLC		300MWeTRU-SLLC		1000MWeMOX-SLLC	
	装荷時	30年後	装荷時	30年後	装荷時	30年後
Pu-fissile						
Pu239(core)	11613Kg	11461Kg	4711Kg	4716Kg	11846Kg	12157Kg
Pu241(core)	2913Kg	655Kg	1137Kg	192Kg	2971Kg	755Kg
Pu239(Blanket)	0Kg	2708Kg	0Kg	1997Kg	0Kg	2940Kg
Pu241(Blanket)	0Kg	15Kg	0Kg	6Kg	0Kg	20Kg
Total	14526Kg	14839Kg	5848Kg	6911Kg	14817Kg	15872Kg
その他Pu						
Pu238(core)	0Kg	3527Kg	0Kg	2683Kg	0Kg	355Kg
Pu240(core)	4993Kg	5654Kg	1949Kg	2070Kg	5092Kg	6349Kg
Pu242(core)	832Kg	1201Kg	325Kg	579Kg	849Kg	934Kg
Pu238(Blanket)	0Kg	3Kg	0Kg	2Kg	0Kg	4Kg
Pu240(Blanket)	0Kg	287Kg	0Kg	164Kg	0Kg	357Kg
Pu242(Blanket)	0Kg	1Kg	0Kg	0Kg	0Kg	2Kg
Pu-total	20351Kg	24311Kg	8122Kg	12409Kg	20758Kg	23873Kg

これらの質量バランスから次のことが確認される。

(a) TRU-SLLCにおいてもPu-fissileの内、Pu239 は炉心部だけてもほぼ装荷時と運転終了時のPu-fissile量と一致している。Pu-fisile の内部転換比（装荷時と運転終了直後の重量比）は、1000MWe,300MWeTRU-SLLCでそれぞれ0.83,0.84 である。これらの比が1.0 より減少しているのはPu241 分の減少による。ブランケットを適切に配置することによりPu-

fissileバランスをかなり広い範囲で調整可能であることも示されている。

(b) MOX-SLLCとの比較から、TRU-SLLCでは親物質の U238量が減少するがPu-fissile増殖特性に関してはＭＡ装荷による直接の悪影響はないことも示されている。

(c) Pu238の生成量が大きいことから、Ｐｕ同位元素比への影響は大きい。

	Pu238:Pu239:Pu240:Pu241:Pu242(%)
装荷時（U-LWR）	0 : 58 : 24 : 14 : 4
MOX-SLLC30年運転(Core)	1.7: 59.2: 30.9: 3.7: 4.5
(Core+Blanket)	1.5: 63.2: 28.1: 3.2: 3.9
1000MWe MA 7.5%/15% 混合	
TRU-SLLC30年運転(Core)	15.7: 50.9: 25.1: 2.9: 5.3
(Core+Blanket)	13.8: 55.5: 23.3: 2.6: 4.7
300MWe MA 15%/35% 混合	
TRU-SLLC30年運転(Core)	26.2: 46.1: 20.2: 1.9: 5.7
(Core+Blanket)	21.6: 54.1: 18.0: 1.6: 4.7

2.4.6 反応度特性

1000MWe 級 TRU-SLLC 炉心の反応度特性を概観するために炉心部のドップラー係数、ボイド反応度および制御棒価値を調べた。計算は25群ＲＺ拡散計算に基づいている。

(1) ナトリウムボイド反応度

表2.4-6 に炉心部ボイド係数を示した。初期炉心ではTRU-SLLCのボイド反応度はMOX-SLLCのボイド反応度の約２倍である。このMOX-SLLCでは核分裂生成物ＦＰが無い状態で出力ピーク位置が外側炉心にあることから出力分布平坦化と関連して中性子の“もれ”が大きいことによる。一方、ＭＡが大量に混在することによりTRU-SLLCでは中性子スペクトルの硬化・インポータンスエネルギー分布の高速領域での“立上がり”が急

になることによりナトリウムボイド反応度が増加している。燃焼とともに炉心部ナトリウムボイド反応度が増大する。これは炉心出力分布変動とＦＰ蓄積効果である。TRU-SLLCではＭＡ量は燃焼により減少することで、ナトリウムボイド反応度の増加は鈍いが、MOX-SLLCでは燃焼による増加の影響は大きい。30年運転後は大きな違いは見られない。30年運転後の重核中のＭＡの割合いは、MOX-SLLCで1.1%、TRU-SLLCで6.5%とその差が減少していることも一因である。

(2)　ドップラー係数

表2.4-7 には炉心部ドップラー係数を1000MWe TRU-/MOX-SLLC 体系で比較した結果を示した。TRU-SLLCではドップラー係数がかなり小さいことが分る。初期炉心では出力ピークがMA混合率の大きい外側炉心にあることとも関連してその違いが顕著である。

図2.4-41は初期炉心の炉心中心付近の内側組成に対する中性子吸収断面積の温度2600K と1300K の違いを TRU/MOX燃料について調べた結果である。群定数のエネルギー分割で0.1KeV以下で温度変化による断面積変化が見られる。このようにドップラー反応度には低エネルギー中性子が寄与するが、図2.4-42に内外炉心位置の代表点（図2.2-2 ＲＺモデルの中心面径方向メッシュ番号5,44位置）における中性子吸収反応率（Σφ）をTRU/MOX-SLLCで比較したものである。この結果からドップラーエネルギー領域ではTRU-SLLCの反応率自体の割合いが小さくなっいてることが示されている。

(3)　制御棒価値

TRU-SLLC炉心のMA混合率を制約する核的な要因の一つに燃焼用余剰反応度の最大値として 5～10% ΔK を設定した。この目安値の妥当性を評価するために全制御棒価値を炉心の燃焼状態の違いとともに1000MWe TRU/MOX-SLLC炉心の違いを調べた結果を表2.4-8 に示した。制御棒価値は25群ＲＺモデル拡散計算結果に非均質効果・計算手法・モデル化の影響等の補正係数を～0.7 と推定して補正した結果である。

TRU/MOX-SLLCともに寿命中の出力分布平坦化が達成されているので、制御棒価値の燃焼依存性が小さくなっているが、TRU-SLLCの方が平坦化が一層達成されているために変動は少なくなっている。反応度価値は％Δρ単位では約20％小さい。また、本特性解析対象としてTRU-SLLCは燃焼用余剰反応度が約6％Δρ以下であるので、制御棒設計は図2.2-1の配置で成立する見通しがあることが示されている。

2.4.7 被覆管温度評価

1000MWe TRU-SLLC炉心の被覆管温度評価を行った。MA混合TRU燃料の内外炉心への配置を工夫することによって運転中の出力分布平坦化が達成されているので被覆管最高温度の平均温度上昇からのずれは小さくできるはずである。ここでは、これまでに述べたMA混合率7.5％/15％TRU-SLLCの出力分布特性をもとに30年間の集合体出力の変化を調べて流量配分を行い、プラント熱効率・安全性確保との関係で重要な被覆管最高温度を検討した。

(1) 流量配分

流量領域は図2.2-2に示されている径方向燃焼領域ごとの分割を設定した。SLLC炉心は1バッチ炉心なので、燃料破損に伴う不定期燃料交換を想定しない場合は燃焼領域内の燃焼度の違いによる出力ミスマッチは本質的には考慮する必要はない。この点では、炉心平均約20万MWd/tレベルの高燃焼度を狙う場合の利点の一つと考えられる。流量領域数は従来の経験と合せて、上述のように炉心部を細分化する必要性はないことが以下の検討から示唆されるが、ここでは流量領域の最適化までは行わない。

集合体への必要流量は次の条件で設定した。

(a) 原子炉入口温度： 375℃, 原子炉出口温度： 530℃

(b) 原子炉熱出力 ：2517MWth

(c) 一次冷却材全流量： 1.32x10**4 Kg/sec

(d) 制御棒・中性子遮蔽体への必要流量・リーク流量等を考慮して、

炉心ブランケットには全流量の 93%が配分出来ると仮定する。

(e) 設定した流量領域内の集合体・ピン出力の運転期間中の最大値を集めて設計流量を決め、被覆管最大温度を評価する。

集合体出力は２次元ＲＺモデルによる30年間の燃焼計算から求め、燃焼領域内の径方向ピーキング係数を乗じてピン最大出力を求めた。

表2.4-9 に流量配分結果を示した。

(2) 被覆管最高温度評価

求められた流量配分に対して、被覆管温度を下記の式により求めた。

$$T_{max} = G_h * \Delta T_{ch} + \Delta T_f + T_{in}$$

ここで、右辺の各変数の意味と数値は次のようである。

ΔＴch；流量領域内でのピーク出力ピンに対するサブチャンネルの冷却材温度上昇でサブチャンネル間の冷却材混合効果は含まない。

ピンの出力と流量よりこのケースでは 188℃である。

Ｇh ；ここではつぎの４つの要因（Ｇh=f1*f2*f3*f4 ）からなる補正係数である。

f1 ；オリフィシング係数（流量領域毎に一括して流量配分するために生ずる過剰流量の影響を示す係数）で、従来の経験より1.03を想定した。

f2 ；集合体周辺流れ効果係数で、 217本ピンを想定している本検討では従来の知見より1.12とした。

f3 ；冷却材混合係数で、出力分布が平坦化しているので大型炉設計で用いられる値0.98とした。

f4 ；Hot Spot係数（ワイヤ直下における温度上昇、流路変形効果等も含む）として従来知見より1.22とした。被覆管の変形等の効果は高燃焼度・高い中性子フルエンスなどの状況に対応する材料が開発されていると想定している。

ΔＴf ；冷却材ピーク温度発生位置における被覆管内の温度勾配。

ここでは20℃とした。

Tin ；冷却材入口温度 375℃

以上の数値から定格出力運転時の被覆管最高温度ホットスポット値は Tmax = 654.4 ℃となった。この結果から、MA混合 TRU燃料を適切に配置することにより30年運転で炉心平均燃焼度約20万MWd/t の高燃焼度化に対しても1バッチ炉心の特徴を反映して被覆管最高温度を十分低減できる可能性を示している。

表2.4-1　1000MWe 級SLLCの炉心主要特性

項目	TRU-SLLC運転開始からの年数			HOX-SLLC運転開始からの年数		
	0年	14年	30年	0年	14年	30年
燃焼反応度変化						
%ΔK/KK'	-----	+0.494	-5.22	-----	-6.56	-12.84
増殖比(1)						
total	0.833	1.040	1.016	1.003	1.041	0.995
core	0.689	0.911	0.856	0.842	0.923	0.846
RBL	0.082	0.069	0.094	0.099	0.057	0.086
ABL	0.062	0.060	0.066	0.062	0.061	0.062
増殖比(2)						
total	0.866	0.955	0.930			
core	0.722	0.826	0.769	(Pu238の量が少ないので上記		
RBL	0.082	0.069	0.094	と同一)		
ABL	0.062	0.060	0.066			
出力分担率(%)						
core	98.48	96.34	93.12	98.35	95.83	92.40
RBL	0.84	1.85	3.87	0.97	1.82	4.12
ABL	0.68	1.81	3.01	0.68	2.35	3.48
出力密度　w/cc						
炉心平均	79.6	77.8	75.2	79.4	77.4	74.6
炉心最大	154.1	119.6	97.4	155.3	152.6	103.9
燃焼度 MWd/t						
炉心平均	-----	88900	187400	-----	89400	188400
炉心最大	-----	129000	292000	-----	129000	262000
中性子ピーク フルエンス (nvt)	-----	3.1E+23	6.6E+23	-----	3.2E+23	6.9E+23

増殖比の定義：

(1)　(U238, Pu240; n-capture)/(Pu239, Pu241; n-absorption&Pu241-decay)

(2)　(U238, Pu238, Pu240; n-capture)/(Pu239, Pu241; n-absorption&Pu241-decay)

表2.4-2　300MWe 級SLLCの炉心主要特性

項目	TRU-SLLC運転開始からの年数			MOX-SLLC運転開始からの年数	
	0年	20年	40年	0年	8年
燃焼反応度変化					
%Δ K/KK'	-----	+2.57	+0.076	-----	-5.32
増殖比(1)					
total	0.839	1.041	0.994	1.085	1.185
core	0.593	0.735	0.681	0.849	0.929
RBL	0.092	0.109	0.106	0.099	0.095
ABL	0.154	0.197	0.207	0.137	0.160
増殖比(2)					
total	0.872	1.182	1.138		
core	0.625	0.877	0.825	(Pu238の量が少ないので上記	
RBL	0.092	0.109	0.106	と同一)	
ABL	0.154	0.197	0.207		
出力分担率(%)					
core	97.51	92.72	88.05	97.75	95.02
RBL	0.94	2.36	3.52	0.94	3.36
ABL	1.55	4.91	8.43	1.31	1.62
出力密度 w/cc					
炉心平均	55.4	52.6	50.0	55.5	53.9
炉心最大	94.8	82.9	87.0	108.7	87.2
燃焼度 MWd/t					
炉心平均	-----	87200	170000	-----	35300
炉心最大	-----	181000	309000	-----	61100
中性子ピーク					
フルエンス	-----	3.3E+23	5.5E+23	-----	1.4E+23
(nvt)					

増殖比の定義：

(1) (U238, Pu240; n-capture)/(Pu239, Pu241; n-absorption&Pu241-decay)

(2) (U238, Pu238, Pu240; n-capture)/(Pu239, Pu241; n-absorption&Pu241-decay)

表2.4-3　1000MWe TRU-SLLC(MA 7.5%/15%) の物質収支

	装荷量(Kg)			30年運転直後(Kg)			増減(Kg)
核種	core	RBL	ABL	core	RBL	ABL	(total)
U235	302.3	97.4	68.1	58.6	56.8	29.1	-323.3
U236	0.	0.	0.	41.0	9.7	8.9	+59.6
U238	102639.	33058.9	23139.2	80711.5	30992.7	20878.9	-26254.
Np237	8441.2	0.	0.	2619.3	5.9	5.8	-5810.2
Pu238	0.	0.	0.	3527.3	1.3	2.1	+3530.7
Pu239	11613.3	0.	0.	11461.0	1389.4	1318.2	+2555.3
Pu240	4993.6	0.	0.	5654.2	112.7	174.6	+947.9
Pu241	2912.8	0.	0.	655.3	4.4	10.4	-2242.7
Pu242	832.3	0.	0.	1201.9	0.2	0.8	+370.6
Am241	5150.9	0.	0.	2115.3	1.7	4.0	-3029.9
Am242m	13.1	0.	0.	244.3	0.04	0.13	+231.4
Am243	2662.9	0.	0.	1095.3	0.007	0.05	-1567.5
Cm242	0.16	0.	0.	35.1	0.013	0.046	+35.0
Cm243	8.7	0.	0.	5.3	0.	0.006	-3.4
Cm244	857.1	0.	0.	813.1	0.	0.	-44.0
Cm245	44.3	0.	0.	149.3	0.	0.	+105.0

表2.4-4　1000MWe MOX-SLLCの物質収支

	装荷量(Kg)			30年運転直後(Kg)			増減(Kg)
核種	core	RBL	ABL	core	RBL	ABL	(total)
U235	349.3	97.4	68.1	55.7	54.0	24.9	-380.2
U236	0.	0.	0.	49.8	10.4	9.7	+69.9
U238	118618.	33058.9	23139.2	91417.9	30848.2	20502.3	-32047.7
Np237	0.	0.	0.	63.9	5.1	5.7	+74.7
Pu238	0.	0.	0.	354.6	1.2	2.6	+358.4
Pu239	11845.7	0.	0.	12156.7	1484.1	1455.6	+3250.7
Pu240	5092.2	0.	0.	6349.3	130.3	226.4	+1613.8
Pu241	2970.8	0.	0.	755.2	5.2	15.1	-2195.3
Pu242	848.6	0.	0.	934.0	0.3	1.4	+87.1
Am241	0.	0.	0.	783.6	2.1	5.7	+791.4
Am242m	0.	0.	0.	68.6	0.05	0.21	+68.9
Am243	0.	0.	0.	187.9	0.01	0.009	+187.9
Cm242	0.	0.	0.	14.8	0.017	0.073	+14.9
Cm243	0.	0.	0.	1.7	0.	0.004	+1.7
Cm244	0.	0.	0.	79.8	0.	0.	+79.8
Cm245	0.	0.	0.	9.1	0.	0.	+9.1

表2.4-5　300MWe TRU-SLLC(MA 15%/30%)の物質収支

	装荷量(Kg)			40年運転直後(Kg)			増減(Kg)
核種	core	RBL	ABL	core	RBL	ABL	(total)
U235	115.8	56.8	73.3	27.3	35.1	37.8	-145.7
U236	0.	0.	0.	14.9	5.1	8.0	+28.0
U238	38495.9	18874.5	24352.1	31277.7	17830.8	22461.1	-10152.9
Np237	6721.8	0.	0.	2369.9	3.1	5.5	-4343.3
Pu238	0.	0.	0.	2682.9	0.59	1.4	+2684.9
Pu239	4710.6	0.	0.	4715.7	751.2	1245.8	+2002.1
Pu240	1949.3	0.	0.	2070.1	50.5	113.9	+285.2
Pu241	1137.0	0.	0.	191.5	1.5	4.8	-948.2
Pu242	324.9	0.	0.	579.3	0.07	0.3	+254.8
Am241	4101.7	0.	0.	1595.4	0.84	2.3	-2503.2
Am242m	10.5	0.	0.	185.0	0.02	0.06	+174.6
Am243	2120.5	0.	0.	889.5	0.	0.01	-1231.0
Cm242	0.12	0.	0.	16.4	0.004	0.017	+16.3
Cm243	6.9	0.	0.	2.4	0.	0.	-4.5
Cm244	682.5	0.	0.	485.5	0.	0.	-197.0
Cm245	35.3	0.	0.	90.2	0.	0.	+54.9

表2.4-6　1000MWe TRU-SLLC(MA 7.5%/15%) の炉心部ナトリウムボイド反応度

単位 %ΔK/KK'

時点	MOX-SLLC1000	TRU-SLLC1000
初期炉心（０年）	１．３８	２．６１
内側炉心	０．４５	１．０７
外側炉心	０．９２	１．５４
１４年運転炉心	２．５２	２．８７
内側炉心	１．６２	１．４９
外側炉心	０．９０	１．３８
３０年運転炉心	２．９８	３．０６
内側炉心	１．４９	１．３４
外側炉心	１．４９	１．７２

RZ 25group拡散計算　JFS-3-J2

表2.4-7　1000MWe TRU-SLLC(MA 7.5%/15%) の炉心部ドップラー係数

単位　１０**(-3)　T*Dk/KK'

時点	MOX-SLLC1000	TRU-SLLC1000
初期炉心（０年）	－８．２６	－４．６０
内側炉心	－２．００	－１．６０
外側炉心	－６．２６	－３．００
１４年運転炉心	－６．５７	－３．０４
内側炉心	－４．２４	－１．９２
外側炉心	－２．３４	－１．１２
３０年運転炉心	－４．７３	－２．６８
内側炉心	－１．９１	－１．１８
外側炉心	－２．７１	－１．４６

RZ 25group拡散計算　JFS-3-J2　　1300K から2600K で計算

表2.4-8　1000MWe TRU-SLLC(MA 7.5%/15%) の制御棒価値

単位　%Δk/KK'

時点	MOX-SLLC1000	TRU-SLLC1000
初期炉心（0年）	11.0	9.2
14年運転炉心	14.4	11.8
30年運転炉心	12.7	10.5

RZ 25group拡散計算　JFS-3-J2

（拡散計算の反応度価値）x 0.7(計算手法・モデル等の補正係数推定値)

表2.4-9　1000MWe TRU-SLLC体系の流量配分

流量領域（発生時点）	平均ピン発熱	径方向PPF	設計流量
2(6 S/A, 18y)	33.0 Kw	1.010	30.1 Kg/sec/SA
3(12 S/A, 18y)	31.7 Kw	1.013	29.9 Kg/sec/SA
4(12 S/A, 18y)	32.5 Kw	1.014	28.2 Kg/sec/SA
6(24 S/A, 18y)	32.1 Kw	1.011	27.7 Kg/sec/SA
7(30 S/A, 18y)	31.6 Kw	1.015	27.5 Kg/sec/SA
9(42 S/A, 18y)	30.7 Kw	1.019	26.8 Kg/sec/SA
10(48 S/A, 16y)	29.3 Kw	1.026	25.7 Kg/sec/SA
12(66 S/A, 14y)	27.6 Kw	1.029	24.3 Kg/sec/SA
14(78 S/A, 6y)	25.6 Kw	1.019	22.3 Kg/sec/SA
16(66 S/A, 0y)	28.6 Kw	1.043	25.6 Kg/sec/SA
17(84 S/A, 0y)	20.2 Kw	1.312	15.5 Kg/sec/SA
18(84 S/A, 30y)	6.48 Kw	1.490	8.7 Kg/sec/SA

出力分布2DRZ計算結果を利用

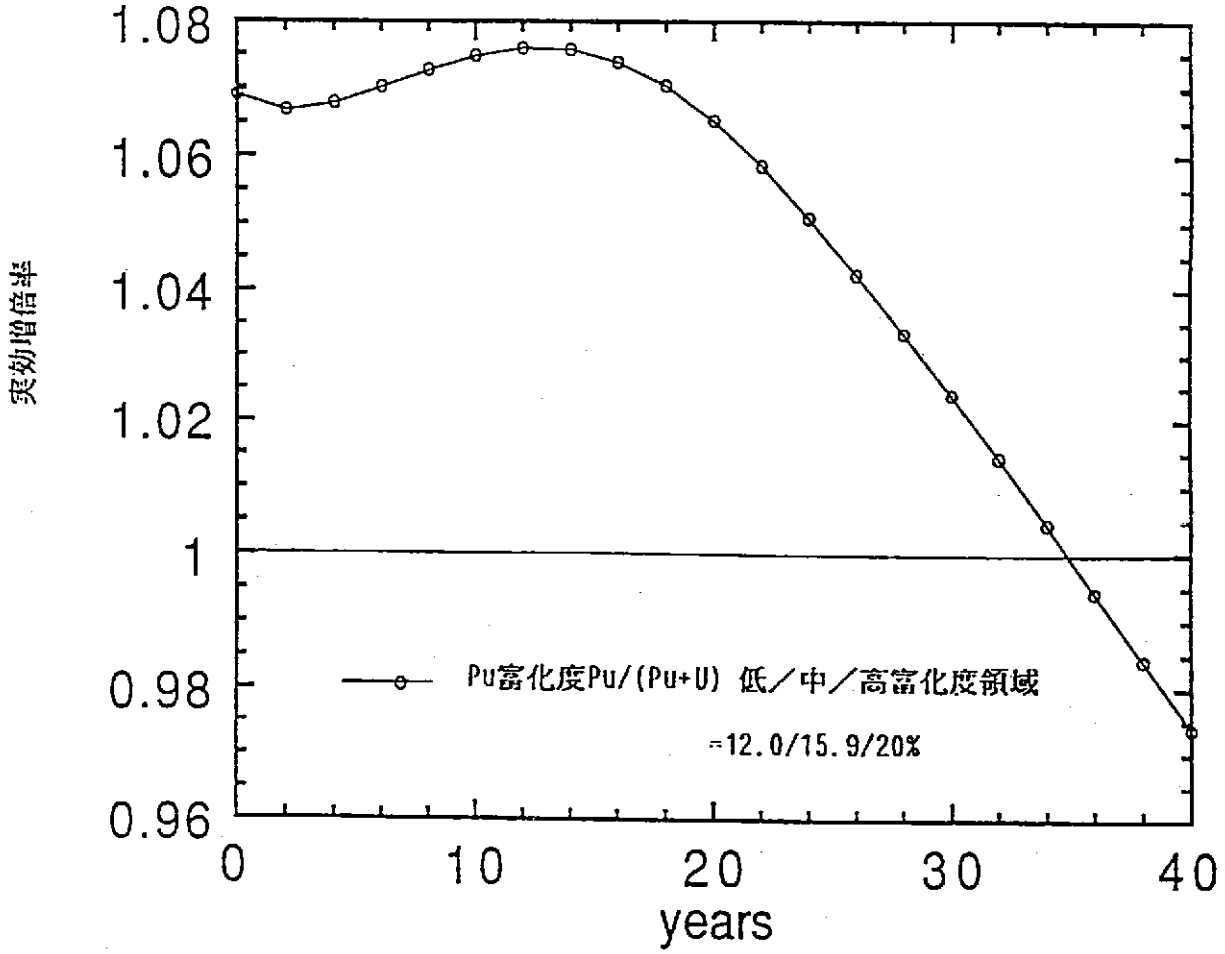


図2.4－1　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ (MA 7.5%/15%)における反応度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ～53%，ＴＲＵ7.5%/15%　混合の場合－

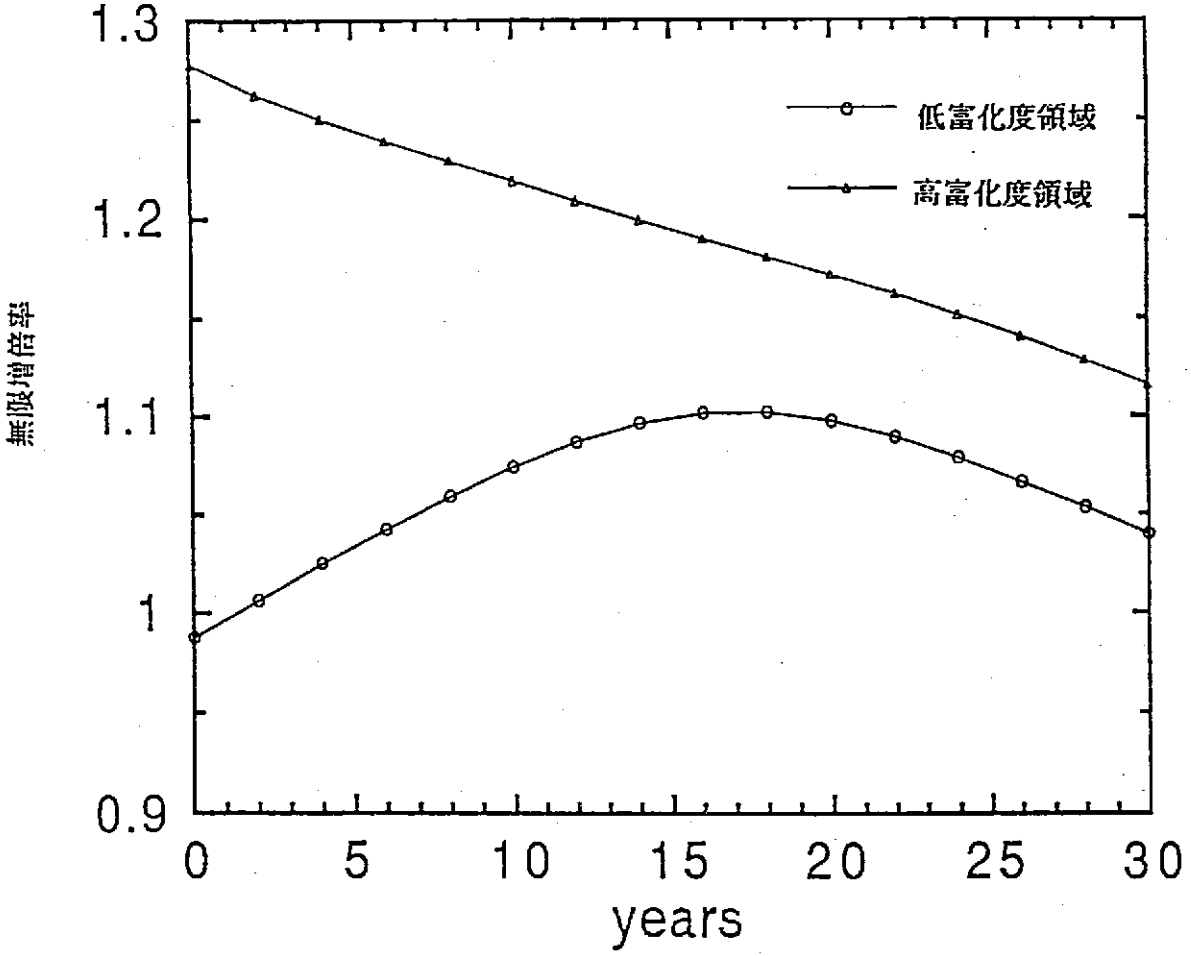


図2.4－2　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ（MA 7.5%/15%)内側低富化度領域／外側高富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化

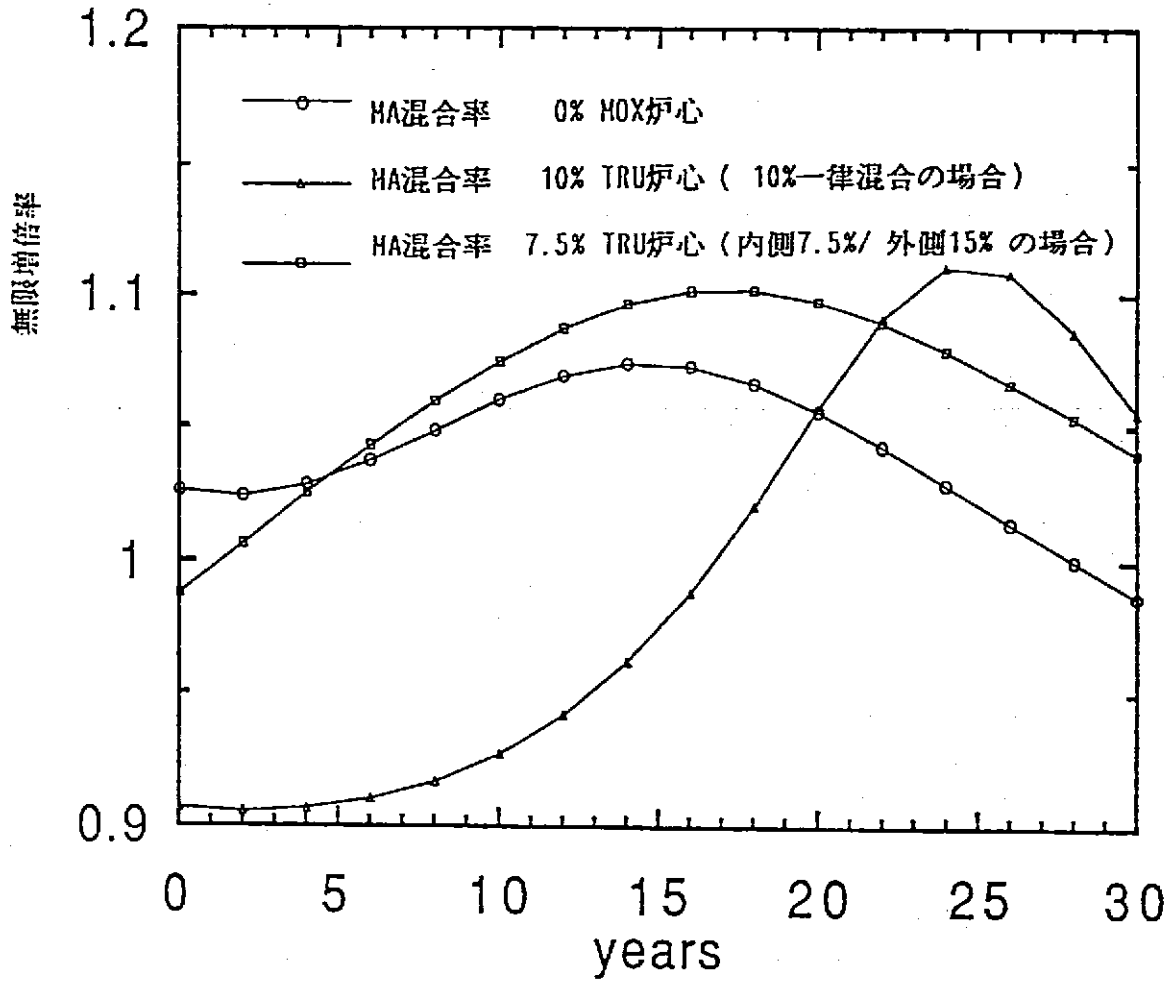


図2.4－3　1000MWe ＳＬＬＣの内側低富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化
－ＭＡ混合率の変化による影響－

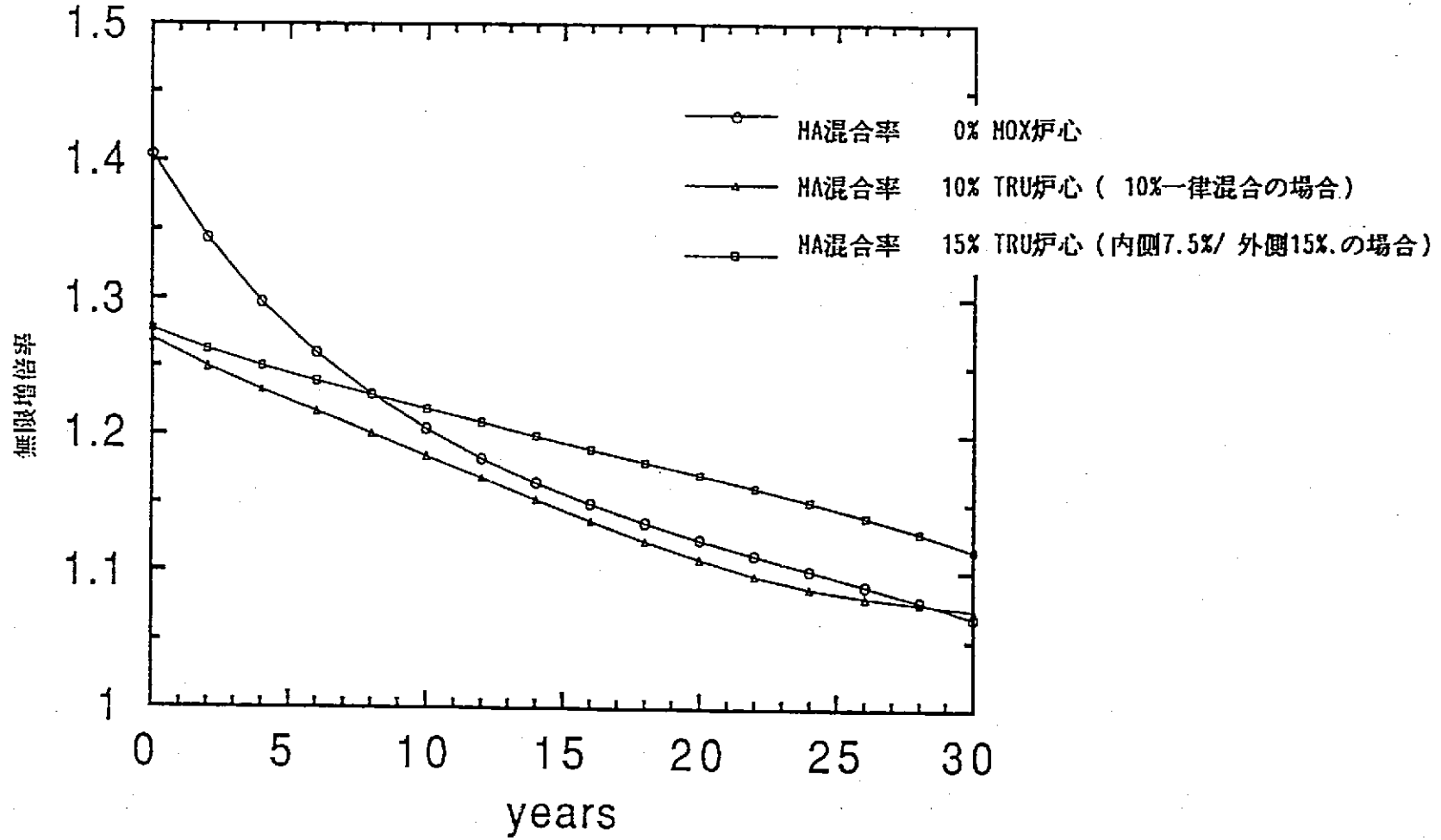


図2.4－4　1000MWe ＳＬＬＣの外側高富化度領域の無限増倍率の燃焼に伴う変化
－ＭＡ混合率の変化による影響－

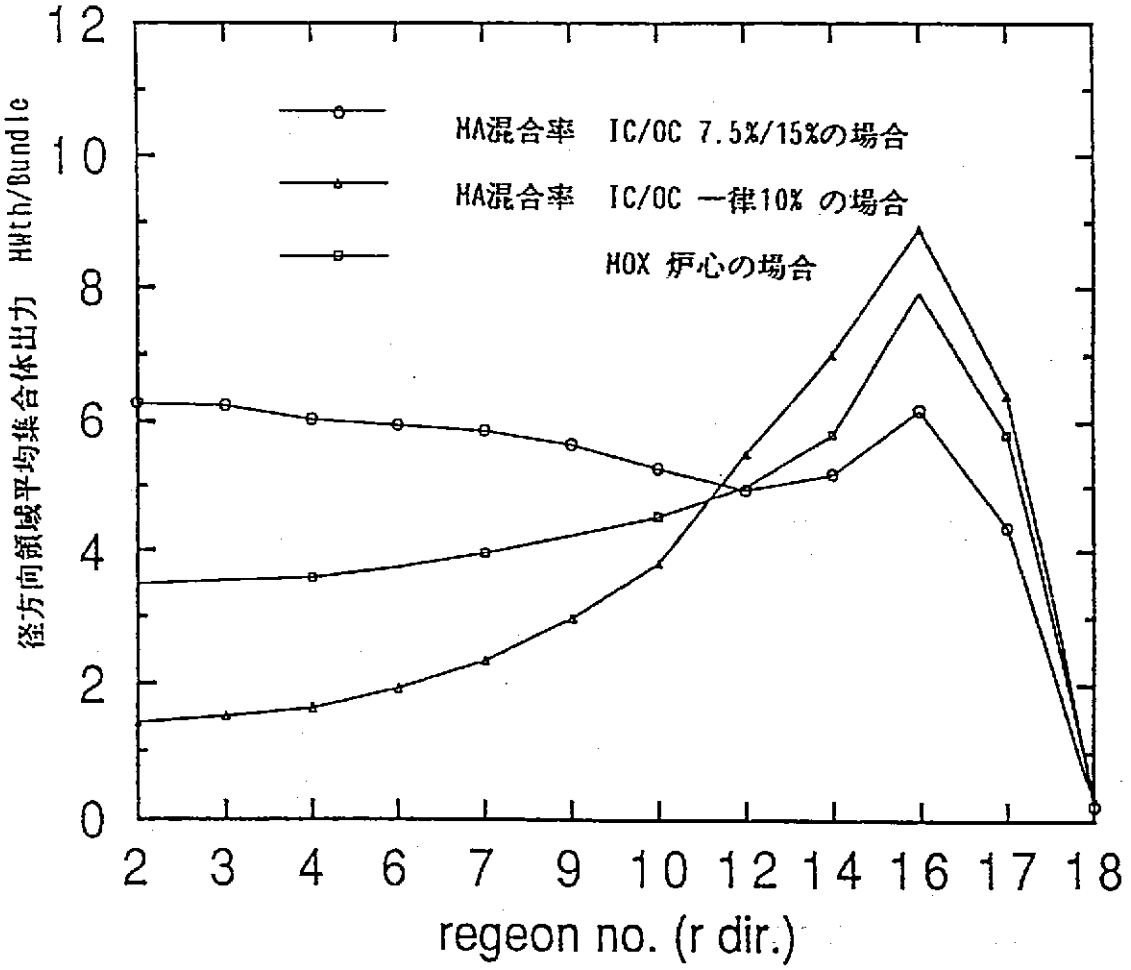


図2.4－5 1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(1)
－運転開始直後０年，ＭＡ混合率の変化による影響－

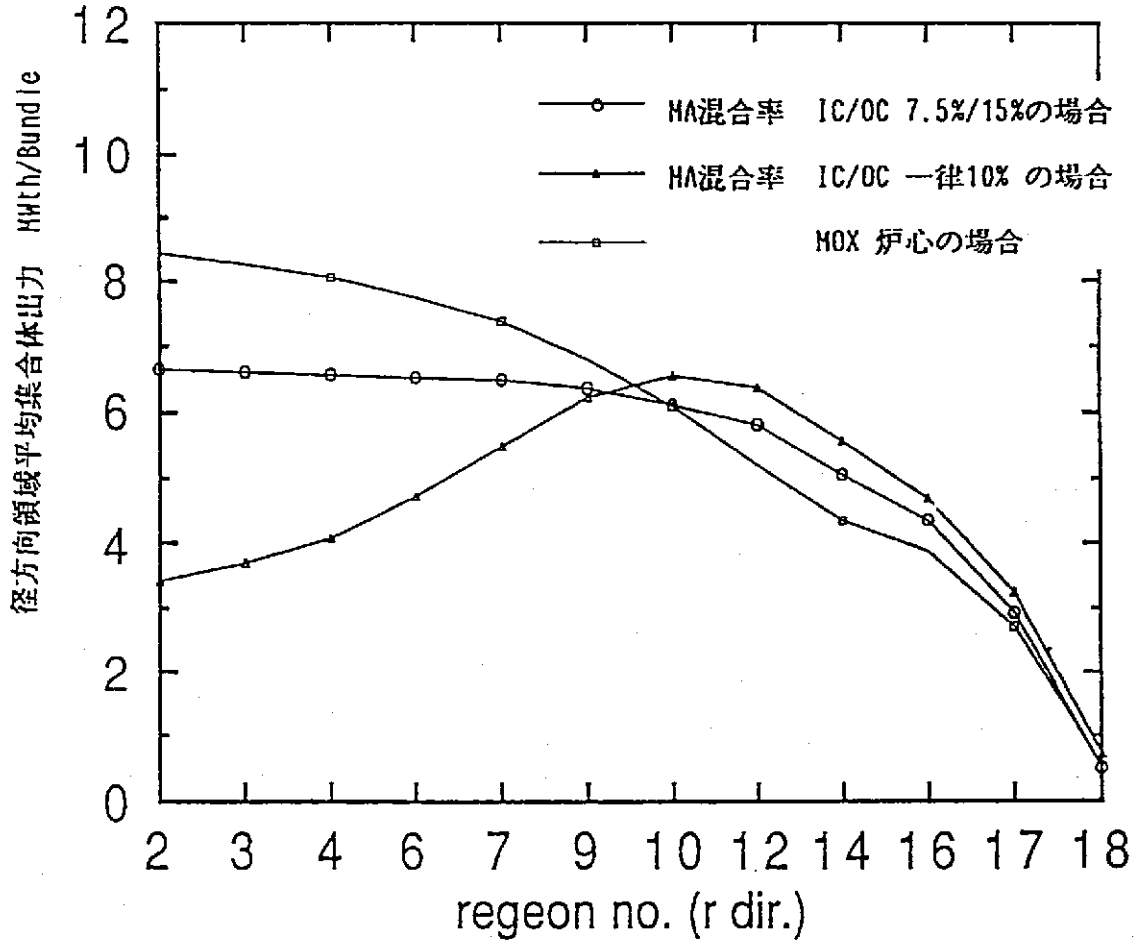


図2.4－6　1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(2)
－運転開始後14年，ＭＡ混合率の変化による影響－

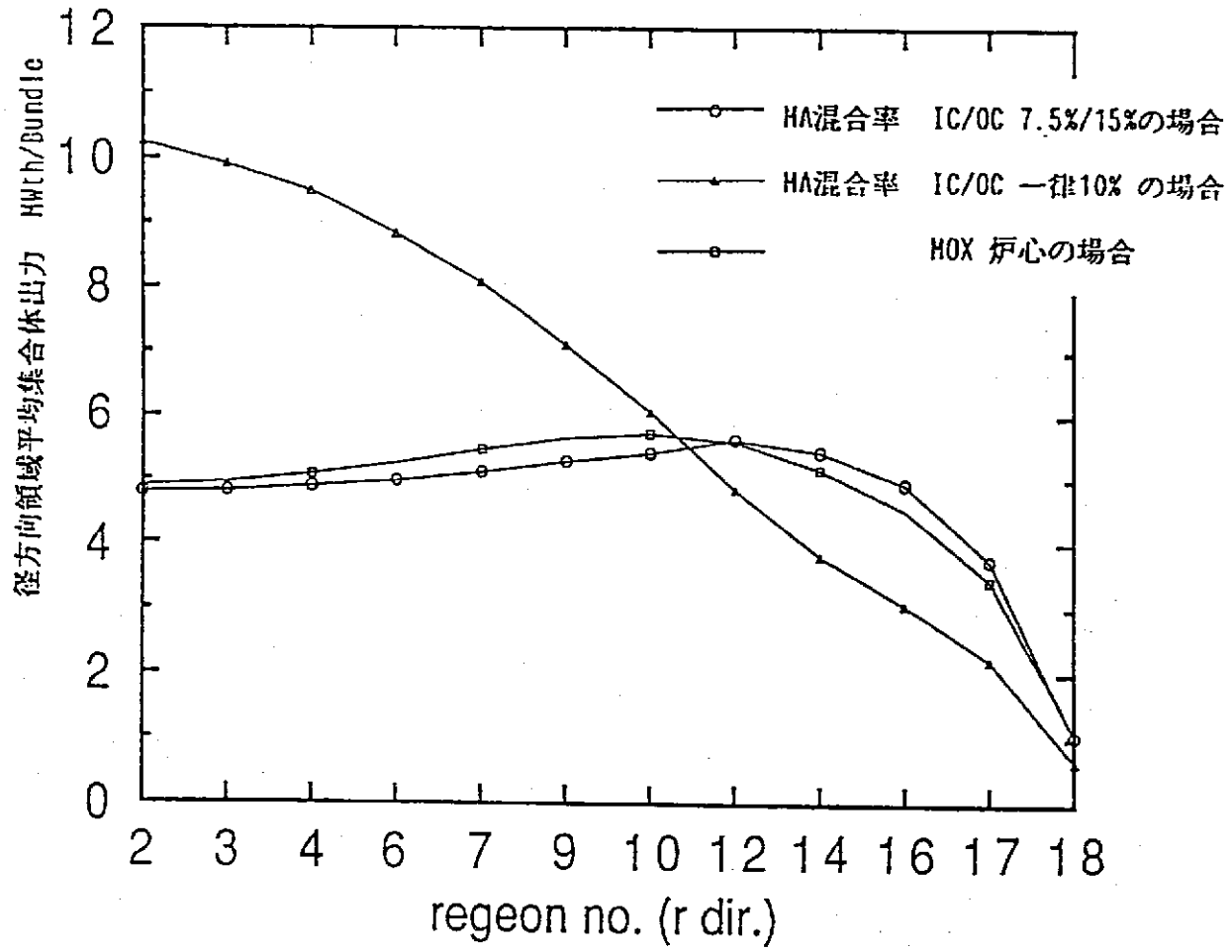


図2.4－7　1000MWe ＳＬＬＣにおける集合体１体あたりの出力の径方向分布(3)
－運転開始後30年，ＭＡ混合率の変化による影響－

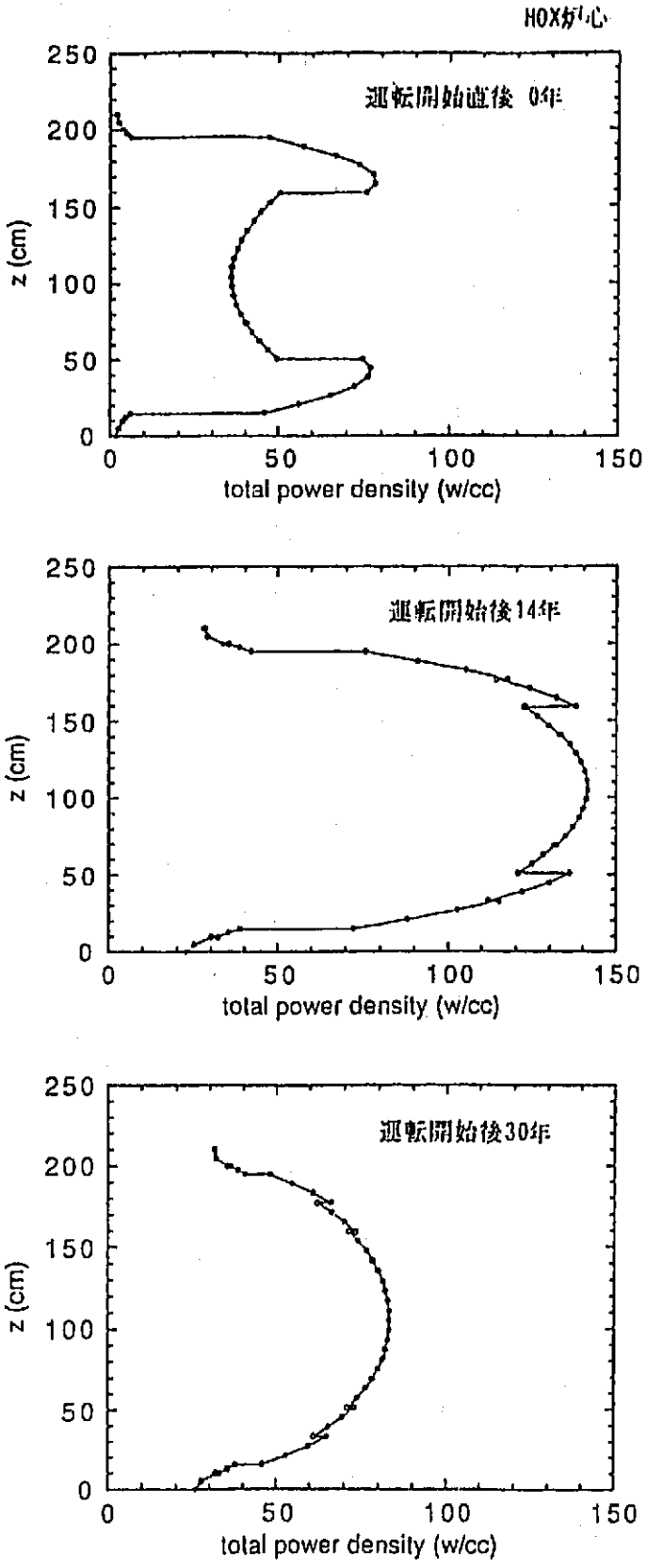


図2.4－8　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの内側炉心（低富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－炉心中心軸付近の軸方向分布－

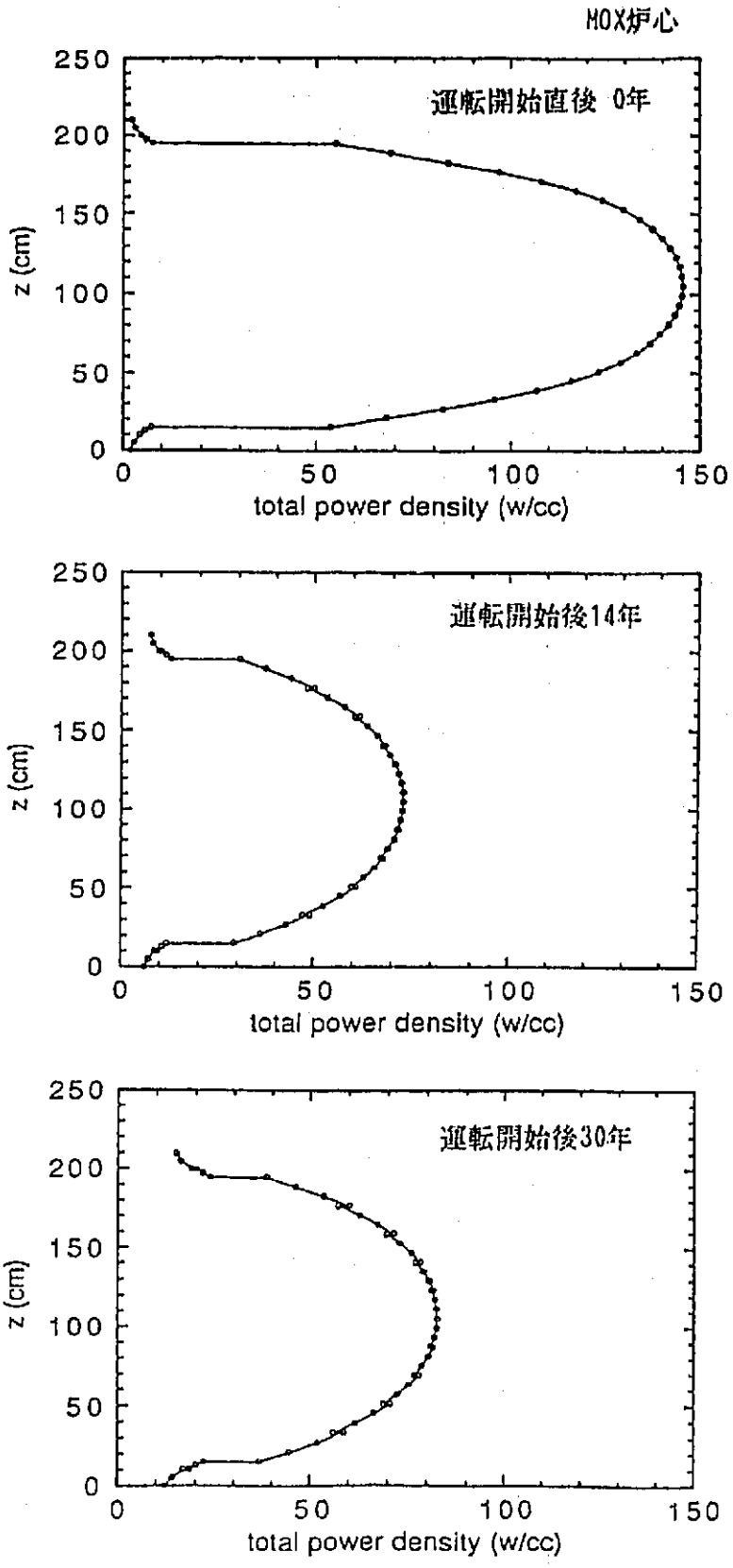


図2.4－9　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの外側炉心（高富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－中高富化度領域境界付近の軸方向分布－

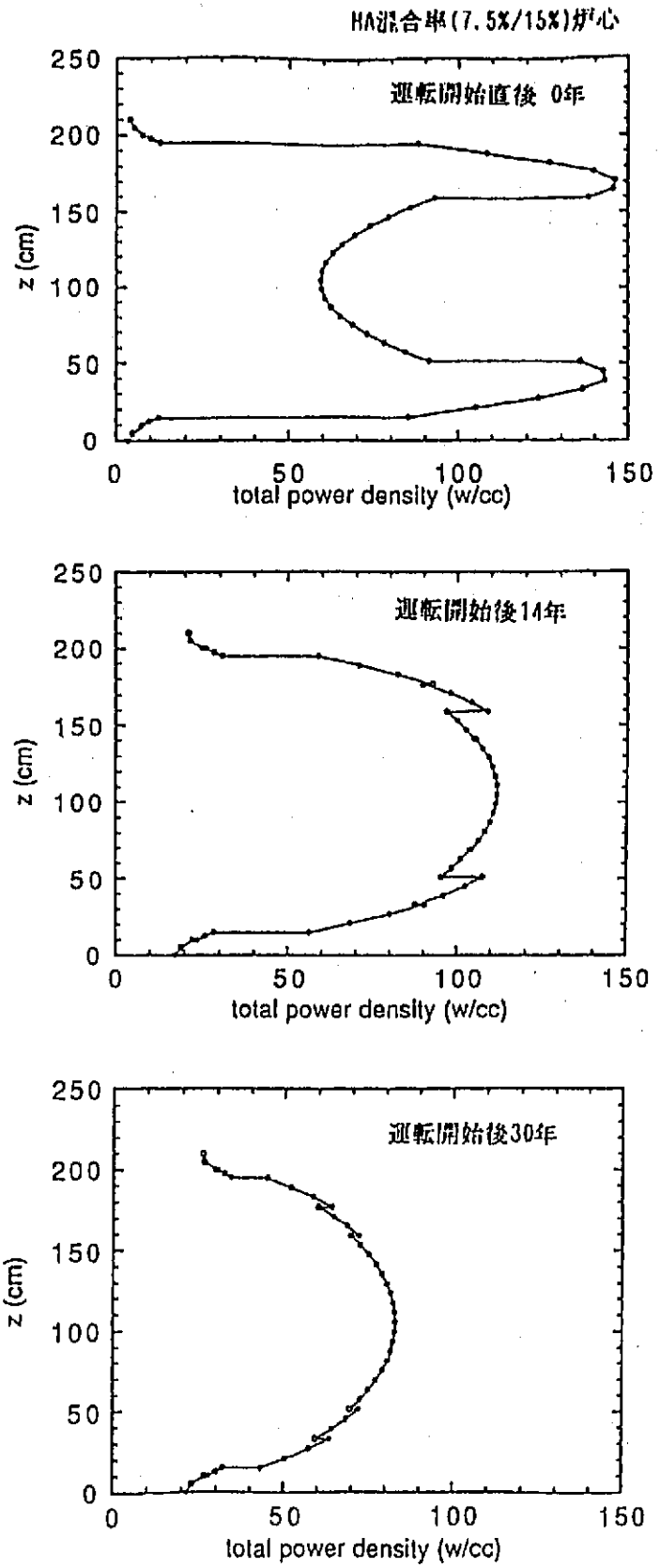


図2.4－10　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣの内側炉心（低富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－炉心中心軸付近の軸方向分布－

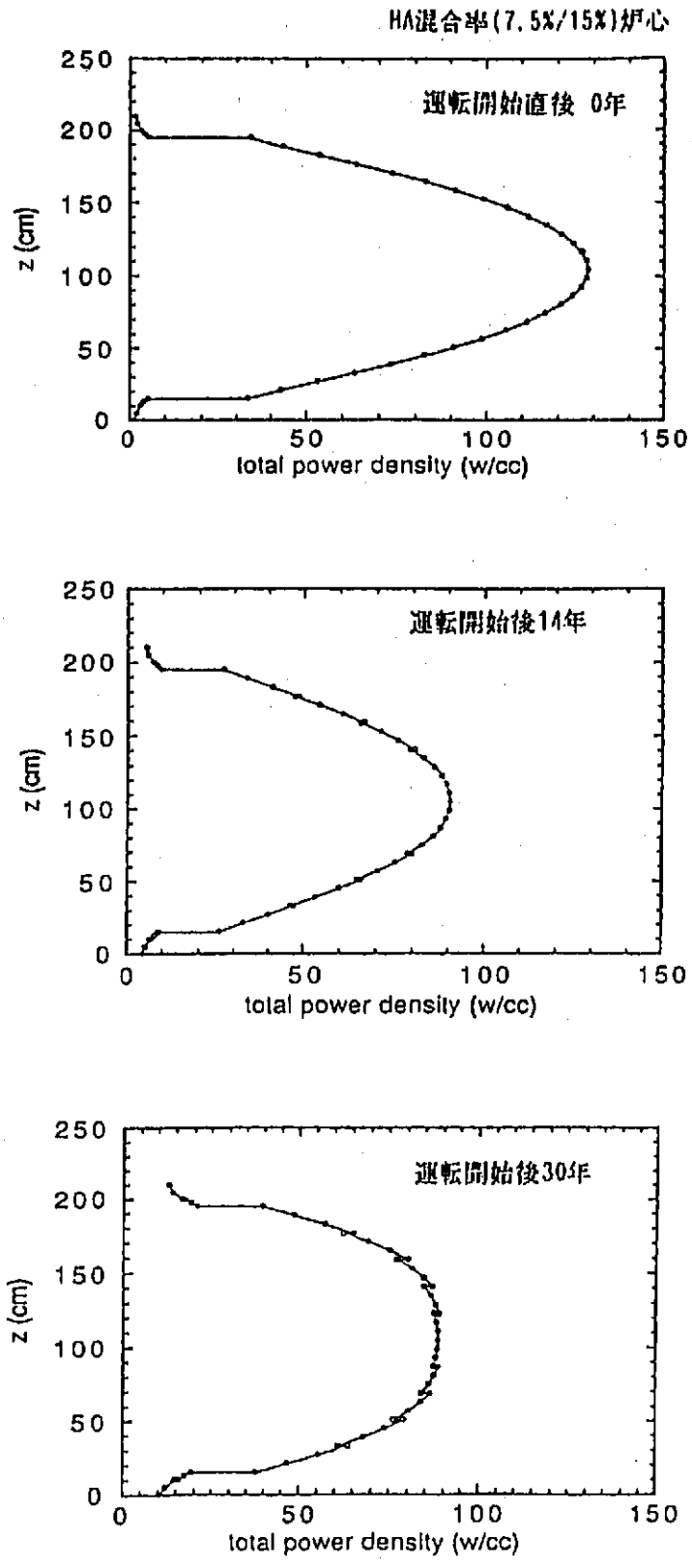


図2.4－11　1000MWe ＭＯＸ－ＳＬＬＣの外側炉心（高富化度領域）における軸方向出力分布の燃焼変化
－中高富化度領域境界付近の軸方向分布－

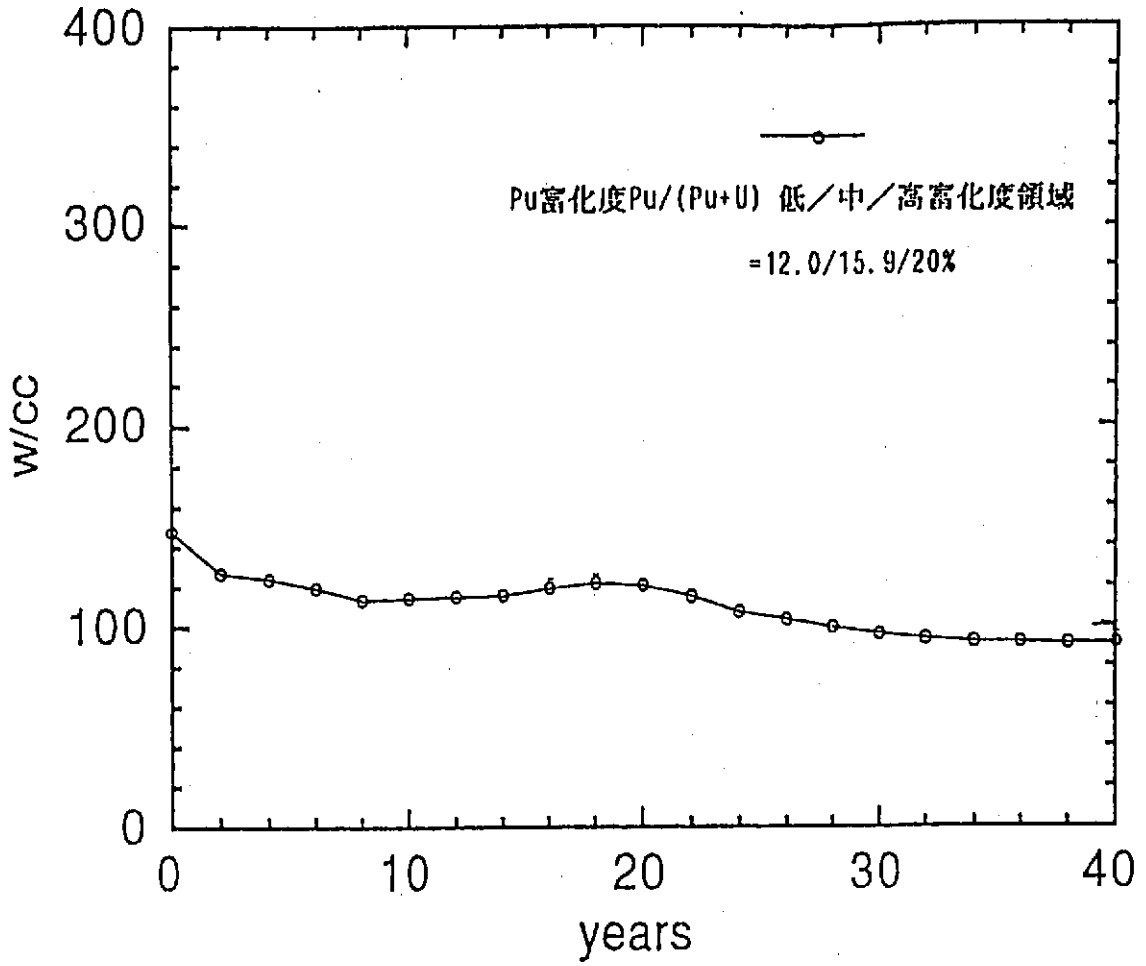
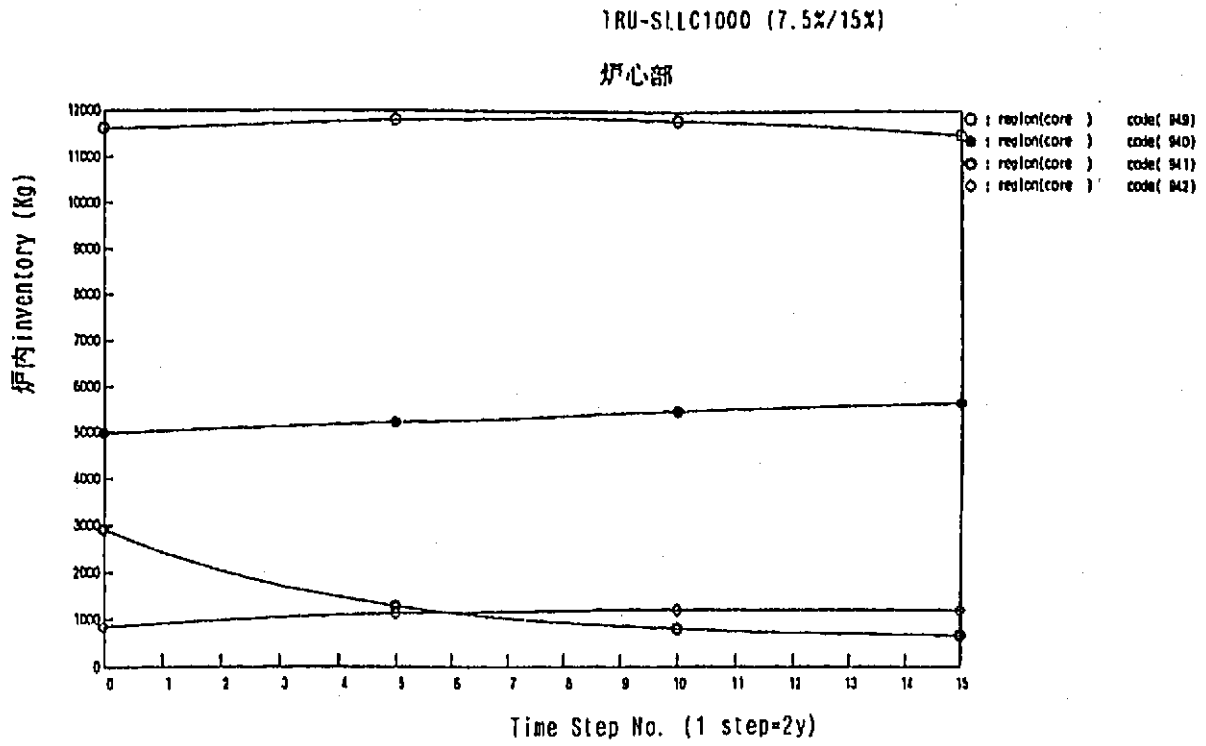


図2.4－12　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣ（7.5%/15%）の最大出力密度の燃焼に伴う変化
－Ｖｆ53%，ＴＲＵ7.5%/15%　混合の場合－



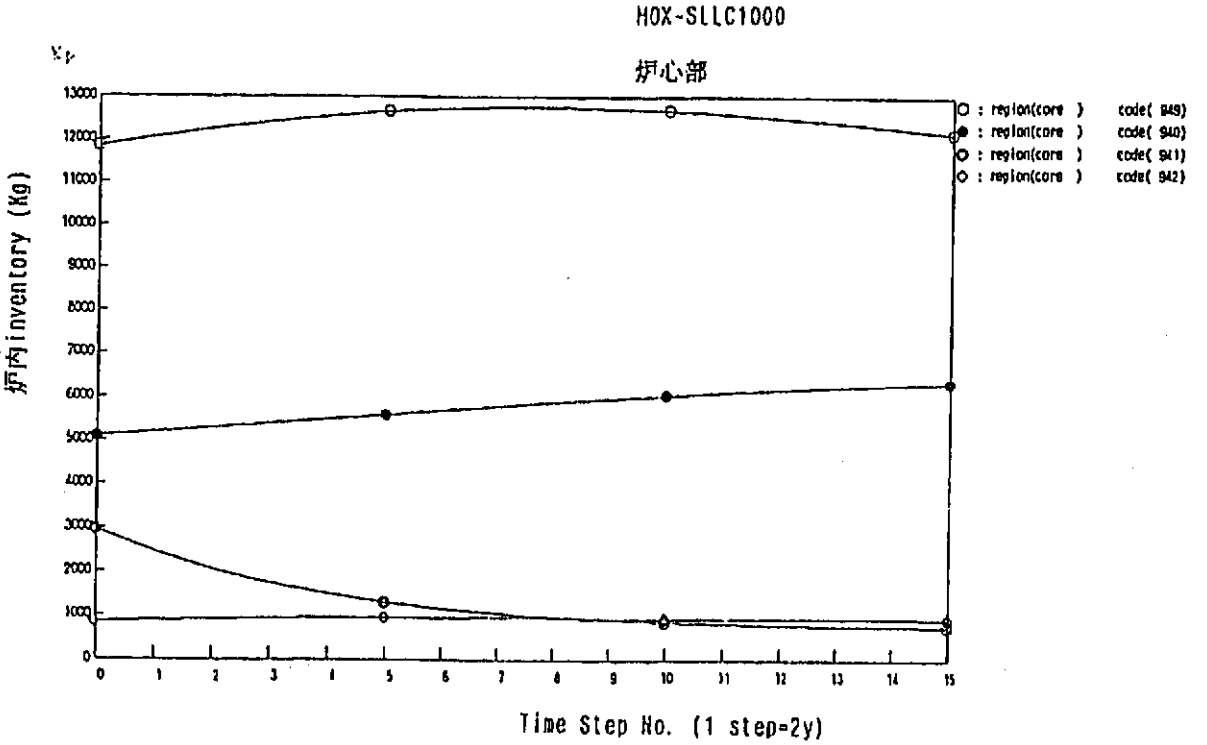
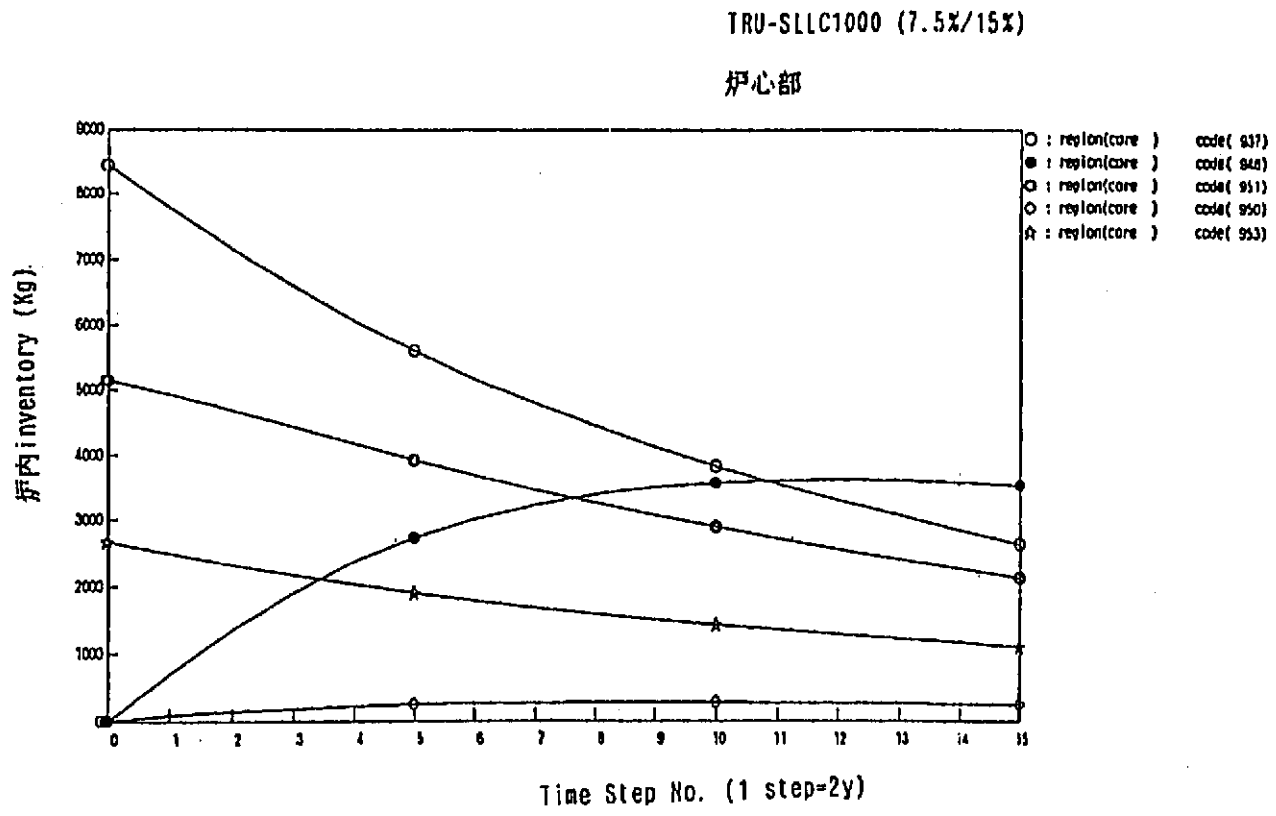


図2.4-13 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支変化（1）

－炉心部Pu239(949), Pu240(940), Pu241(941), Pu242(942) ・・



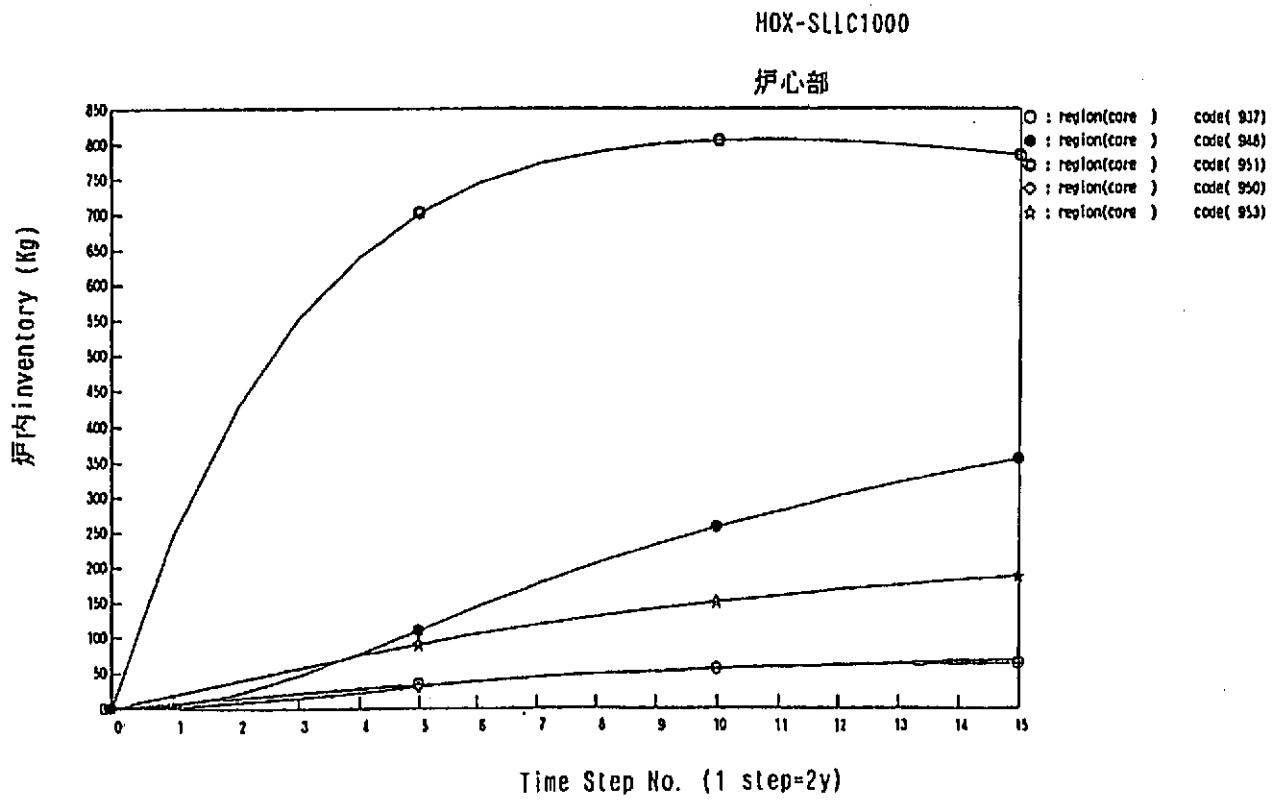
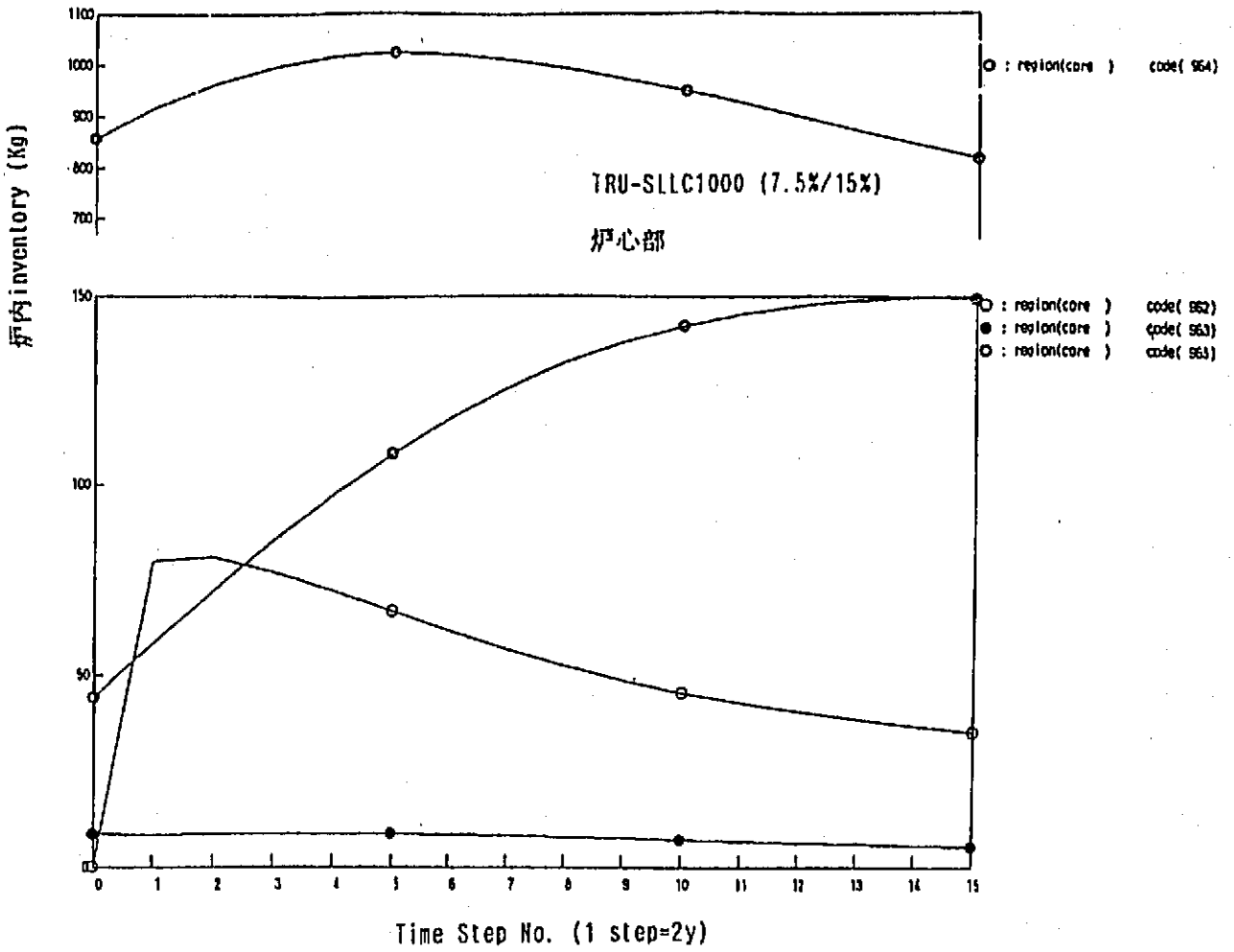


図2.4-14 1000MWe TRU-SLLCとMOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（２）

－炉心部Np237(937), Pu238(948), Am241(951), Am242m(950), Am243(943) －



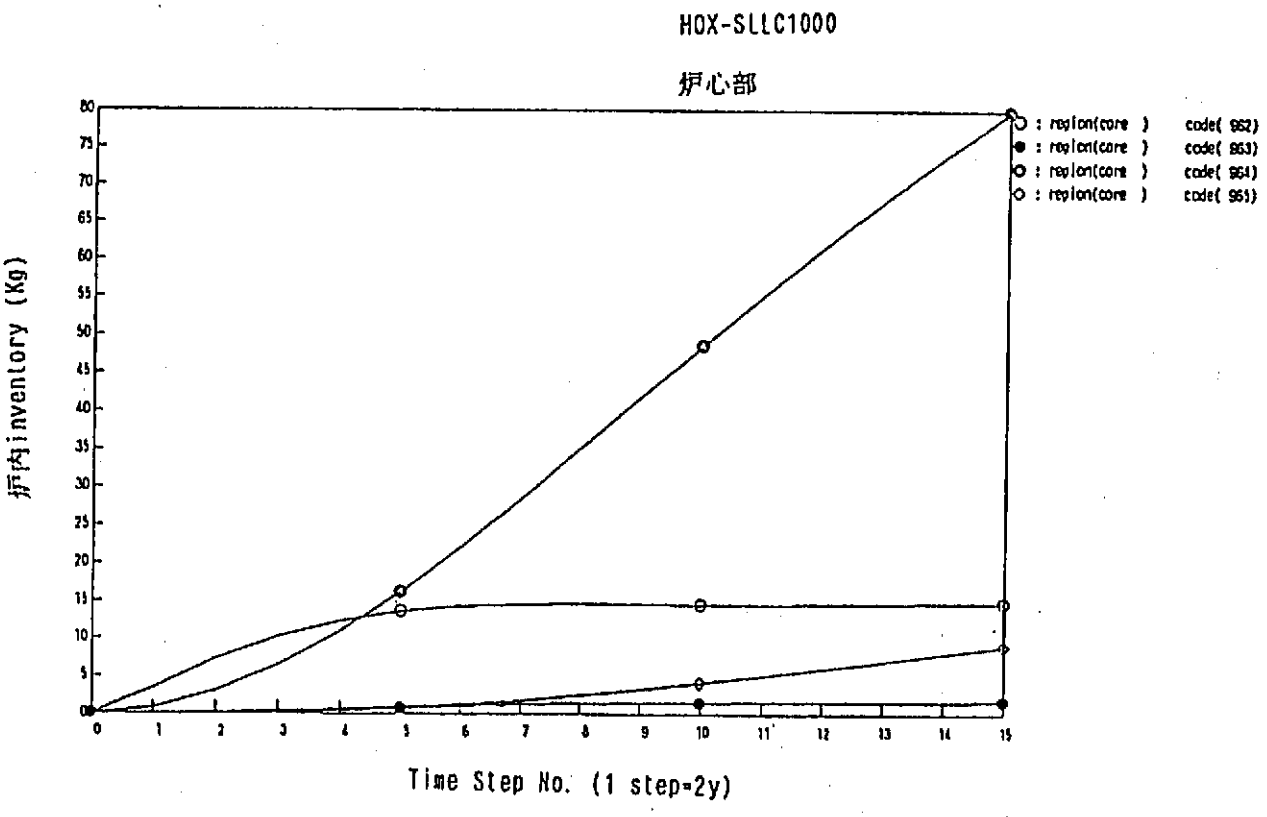


図2.4-15　1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（３）

－炉心部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965) －

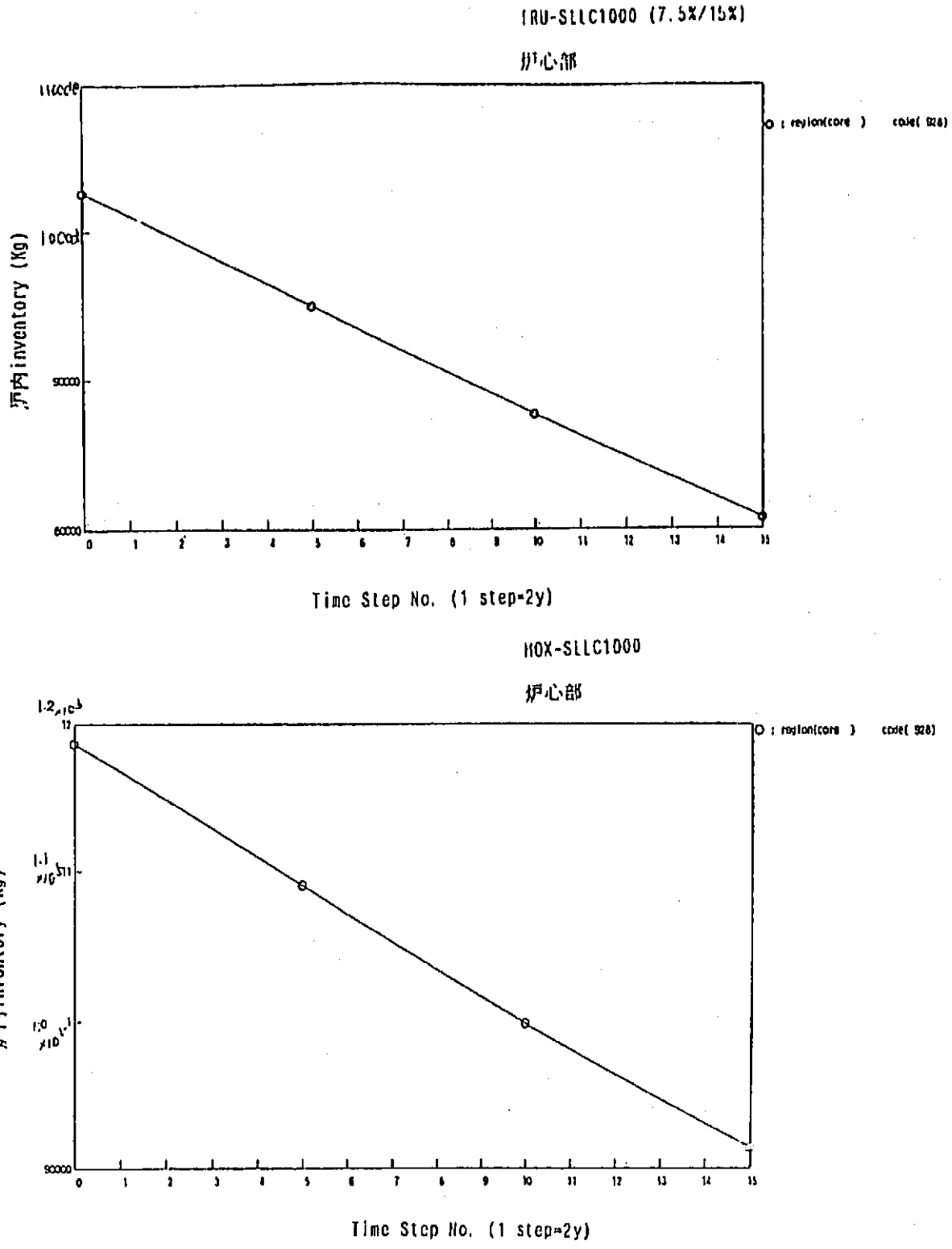
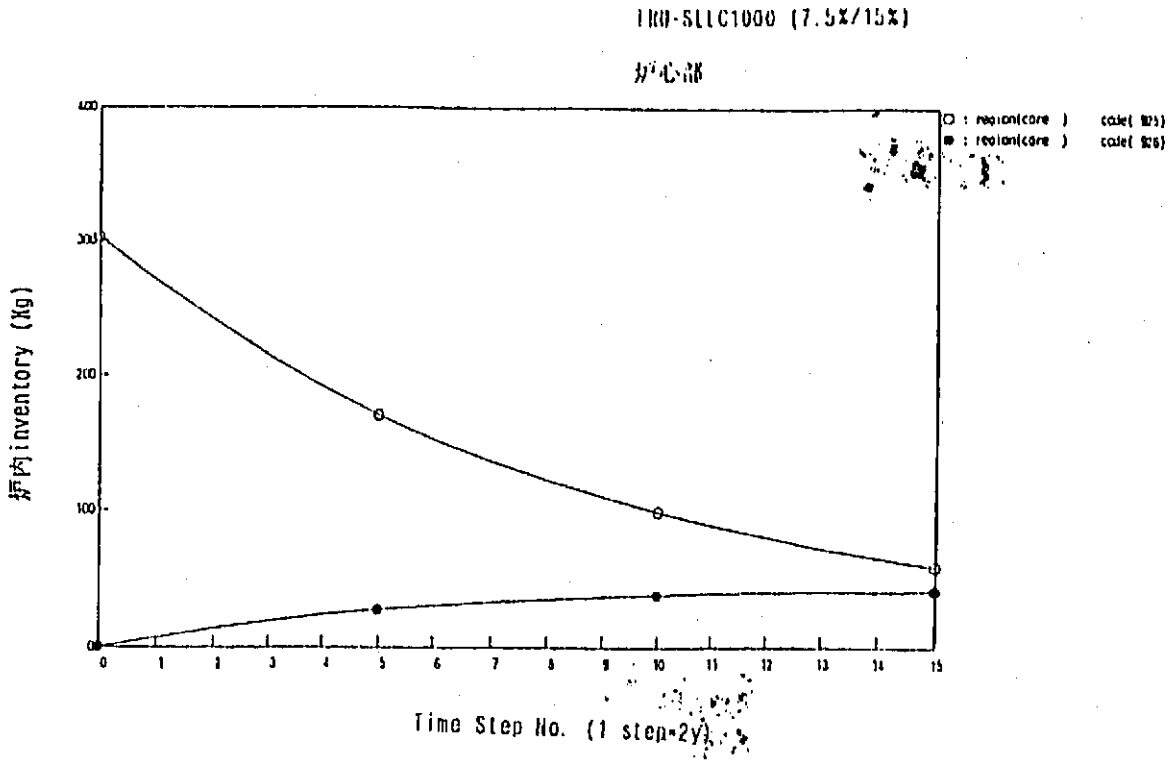


図2.4-16 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（4）

－炉心部U238(928) －



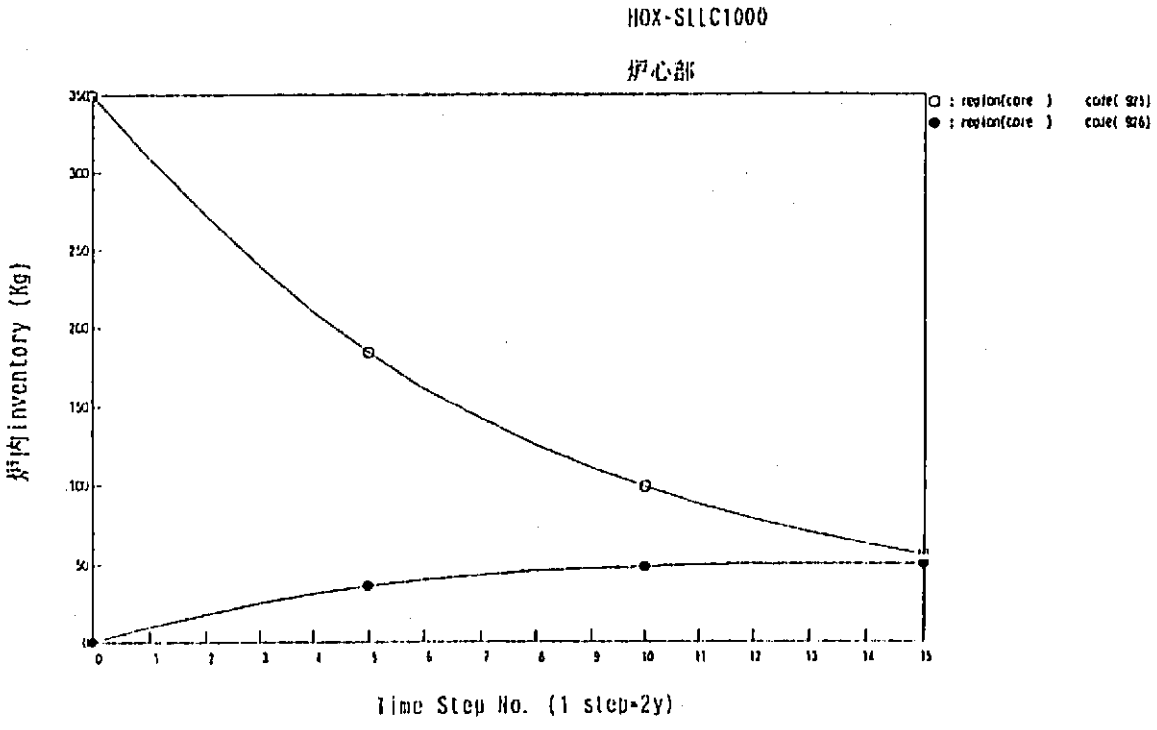


図2.4－17　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(5)
－炉心部Ｕ235(925)，Ｕ236(926)－

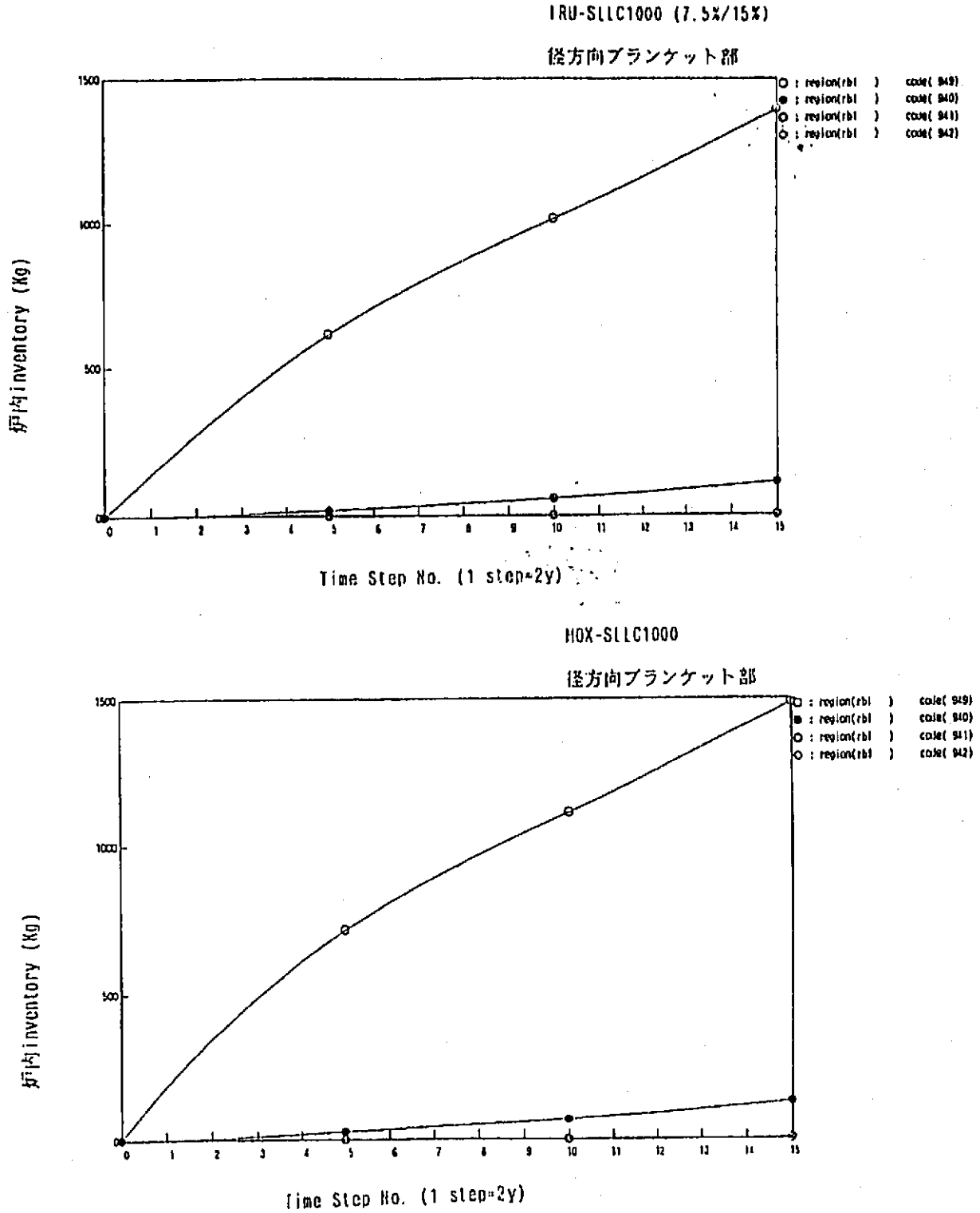


図2.4-18 1000MWe TRU-SLLCとMOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（6）
－径方向ブランケット部Pu239(949),Pu240(940),Pu241(941),Pu242(942) －

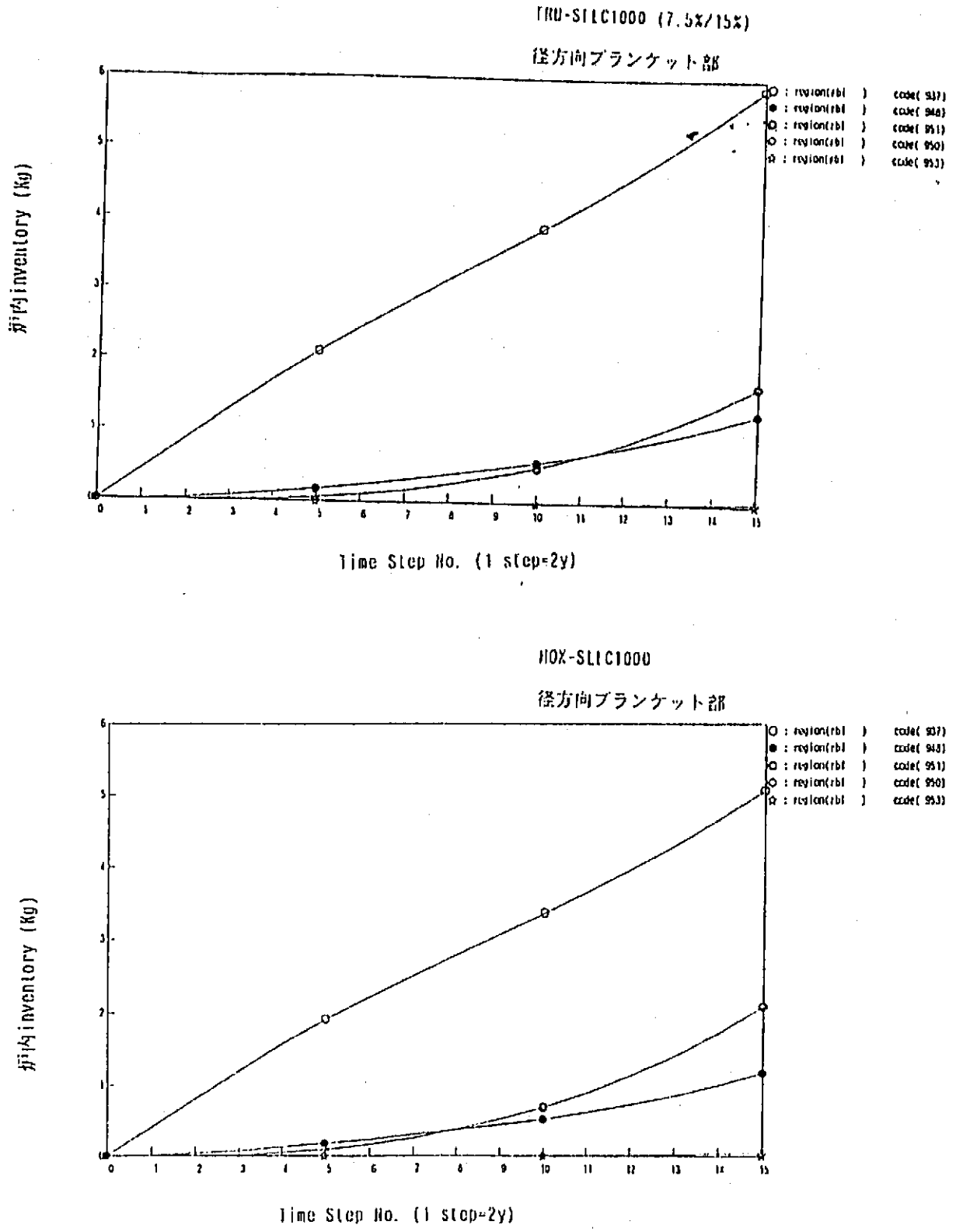


図2.4－19　1000MWe ＴＲＵ－ＳＬＬＣとＭＯＸ－ＳＬＬＣの燃焼に伴う物質収支の変化(7)
－径方向ブランケット部Ｎｐ237(937)，Ｐｕ238(948)，Ａｍ241(951)，
Ａｍ242(950)，Ａｍ243(943)－

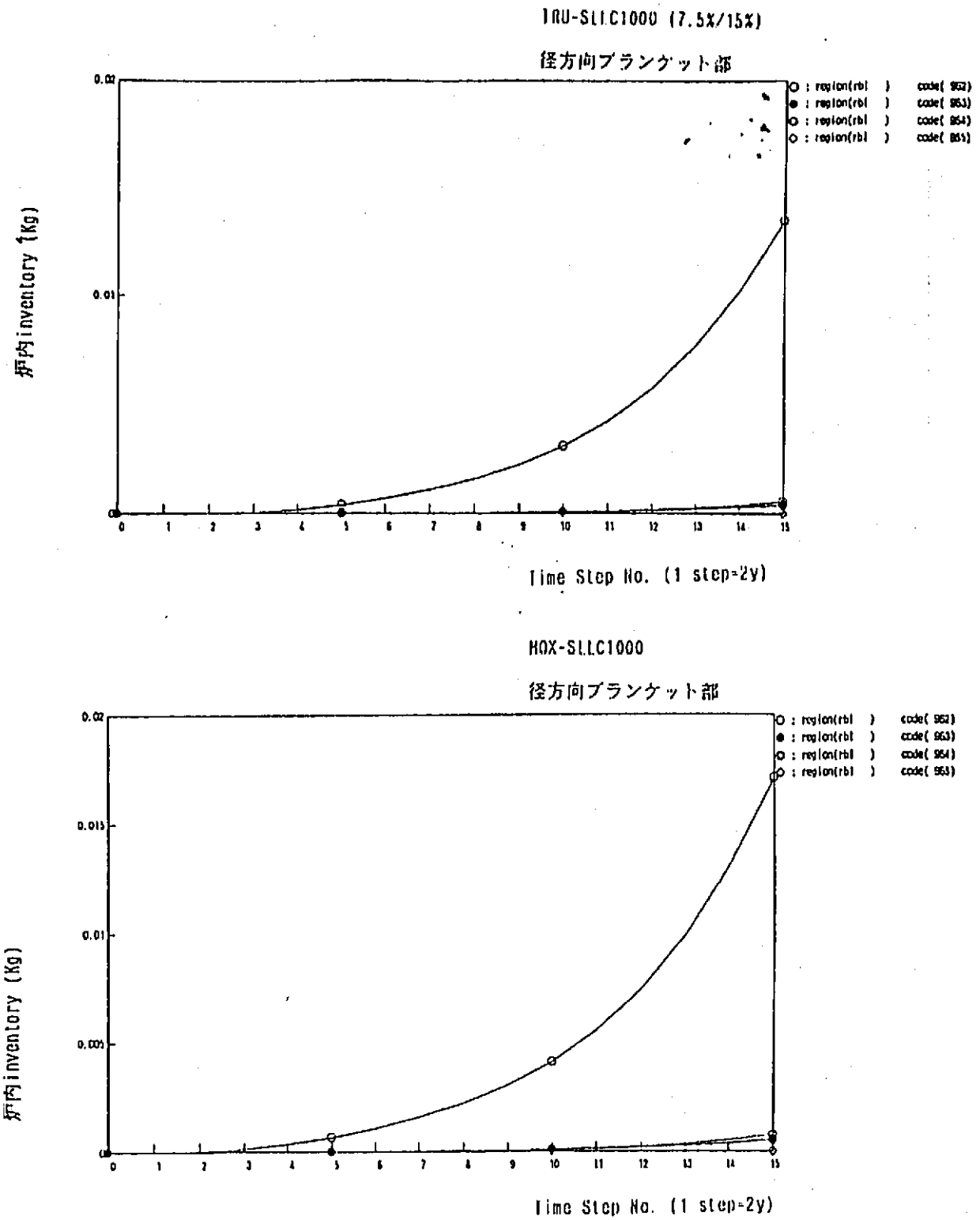
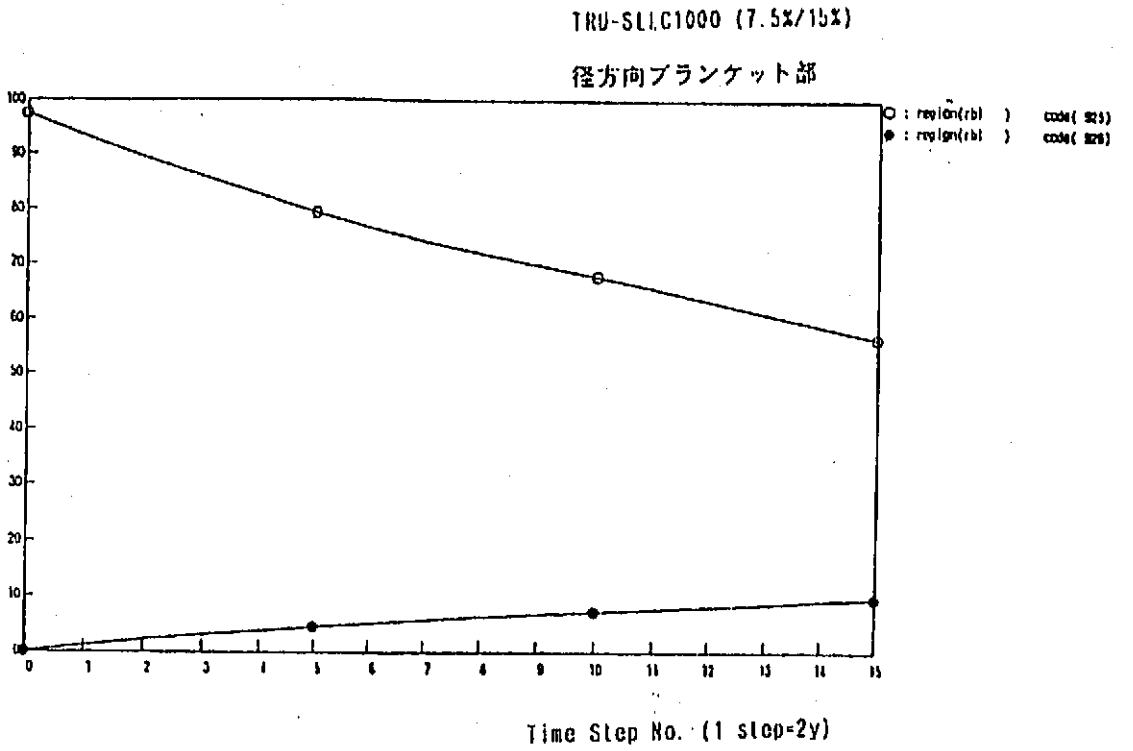


図2.4-20 1000MWe TRU-SLLCとMOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（8）
－径方向ブランケット部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965)－



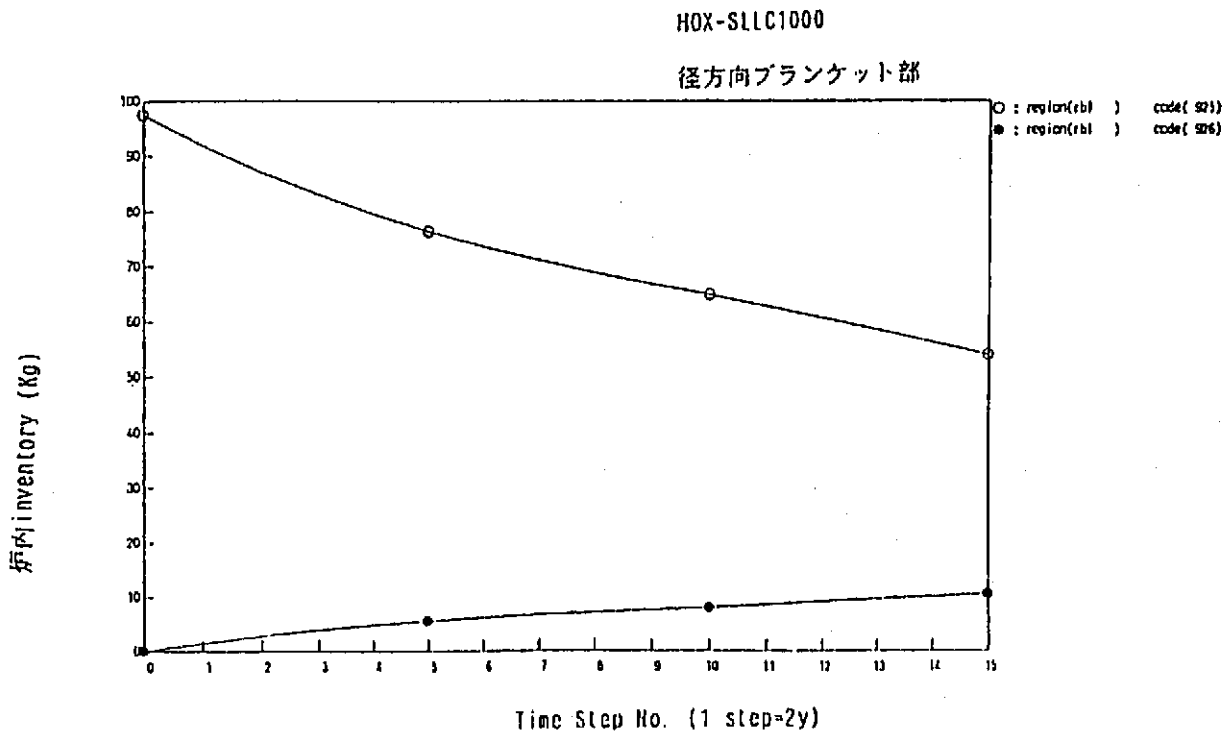
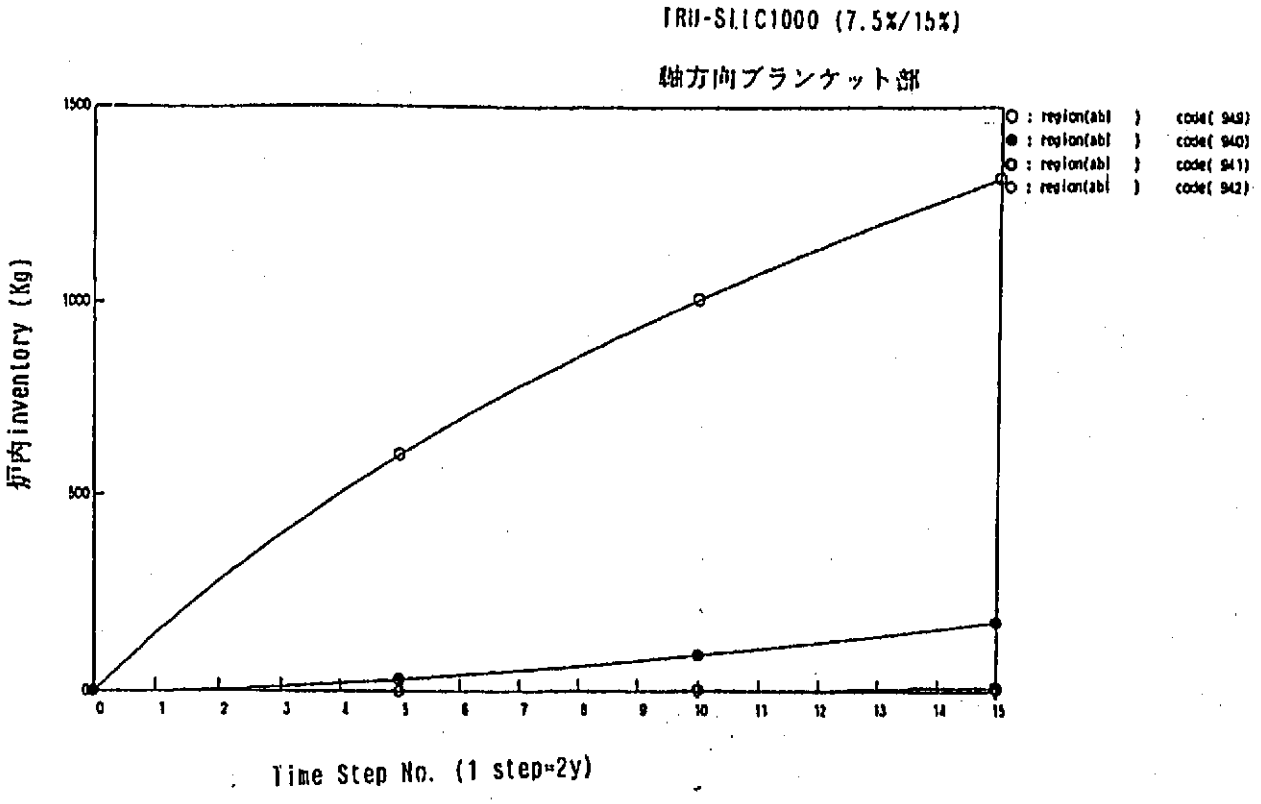


図2.4-21 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（9）
－径方向ブランケット部U235(925),U236(926) －



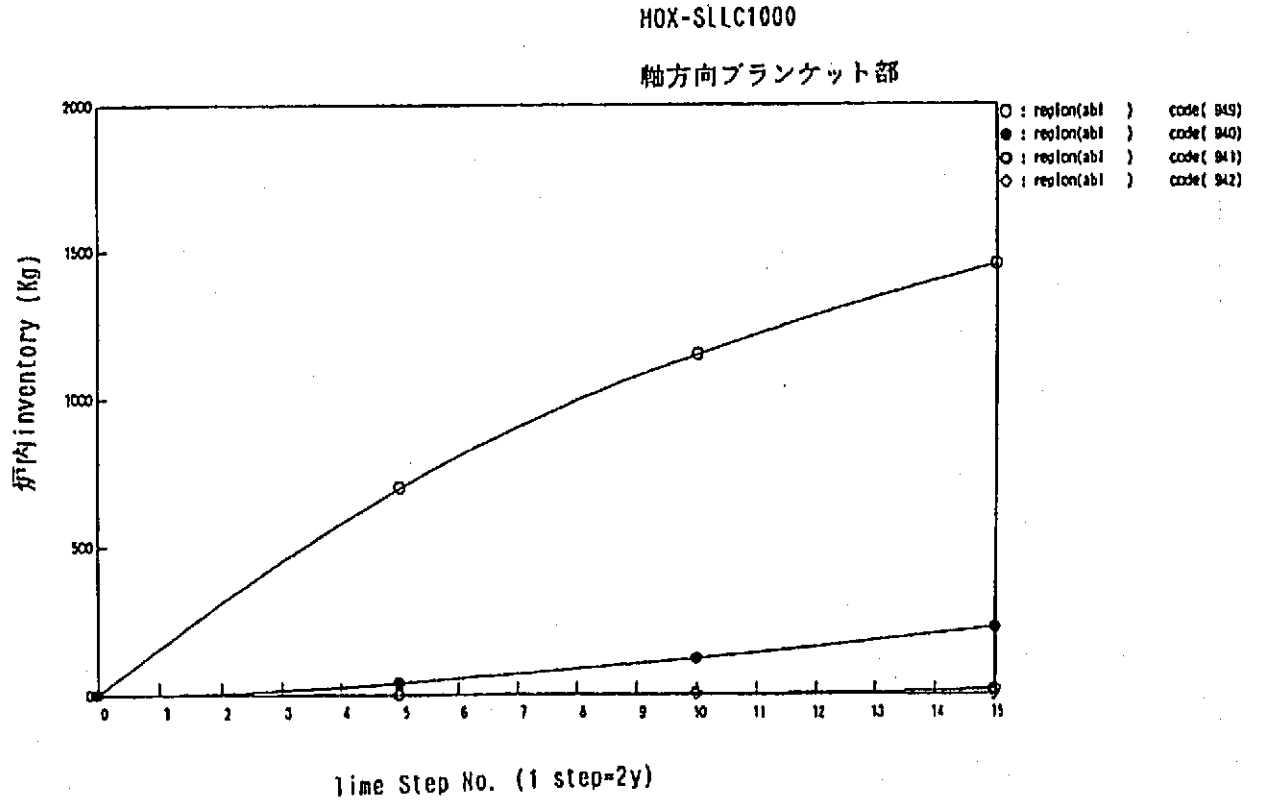
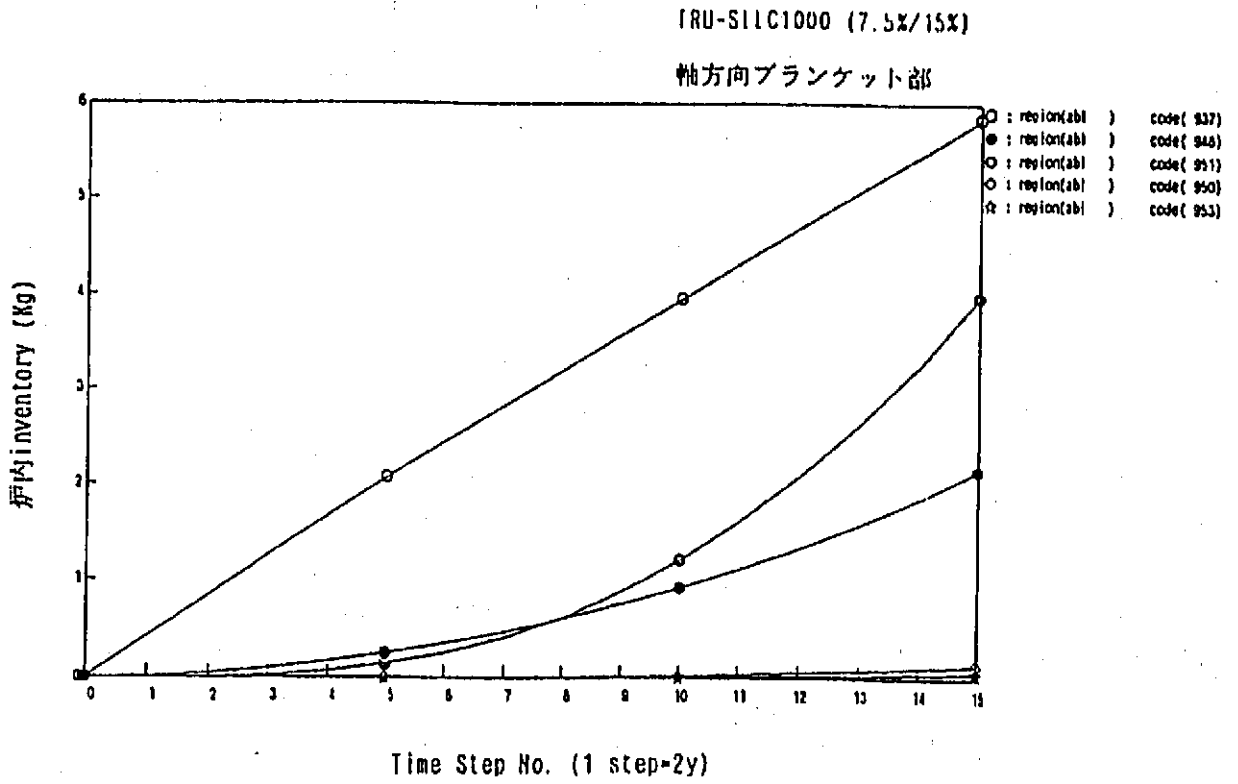


図2.4-22. 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの物質収支の燃焼に伴う変化（10）
－軸方向ブランケット部Pu239(949), Pu240(940), Pu241(941), Pu242(942) －



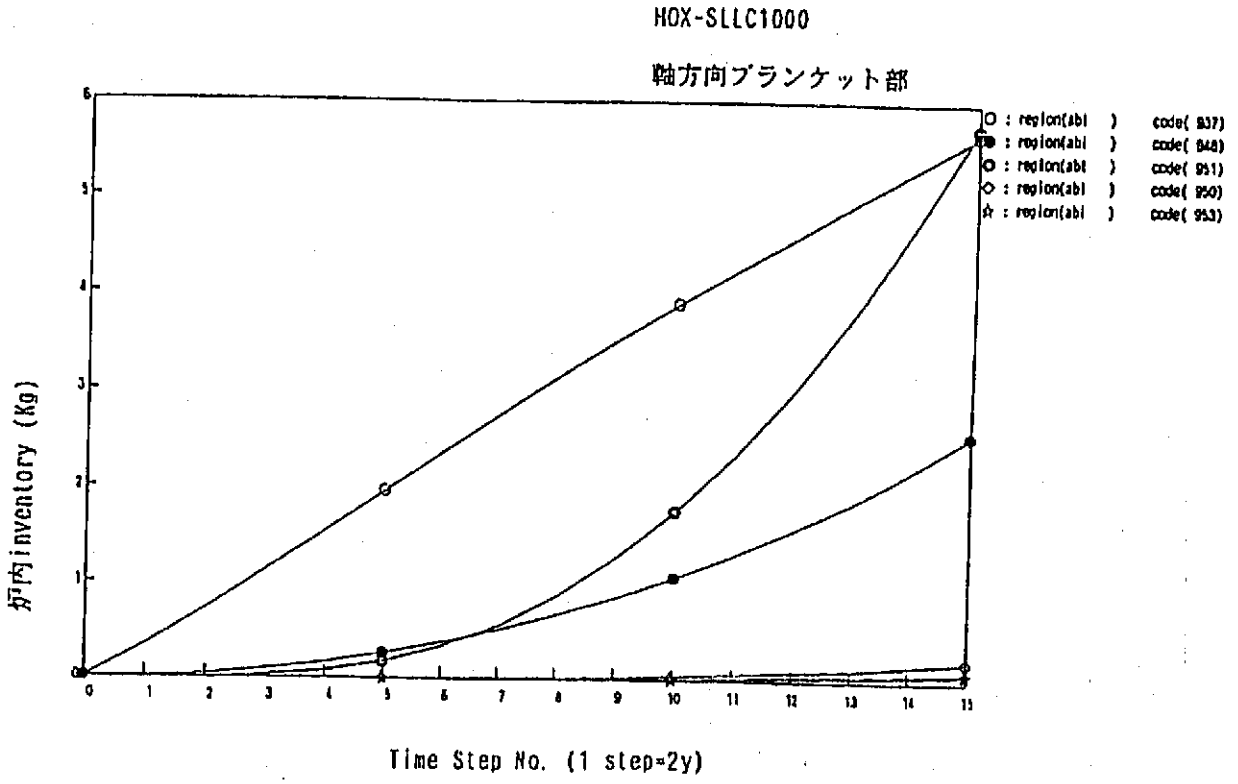
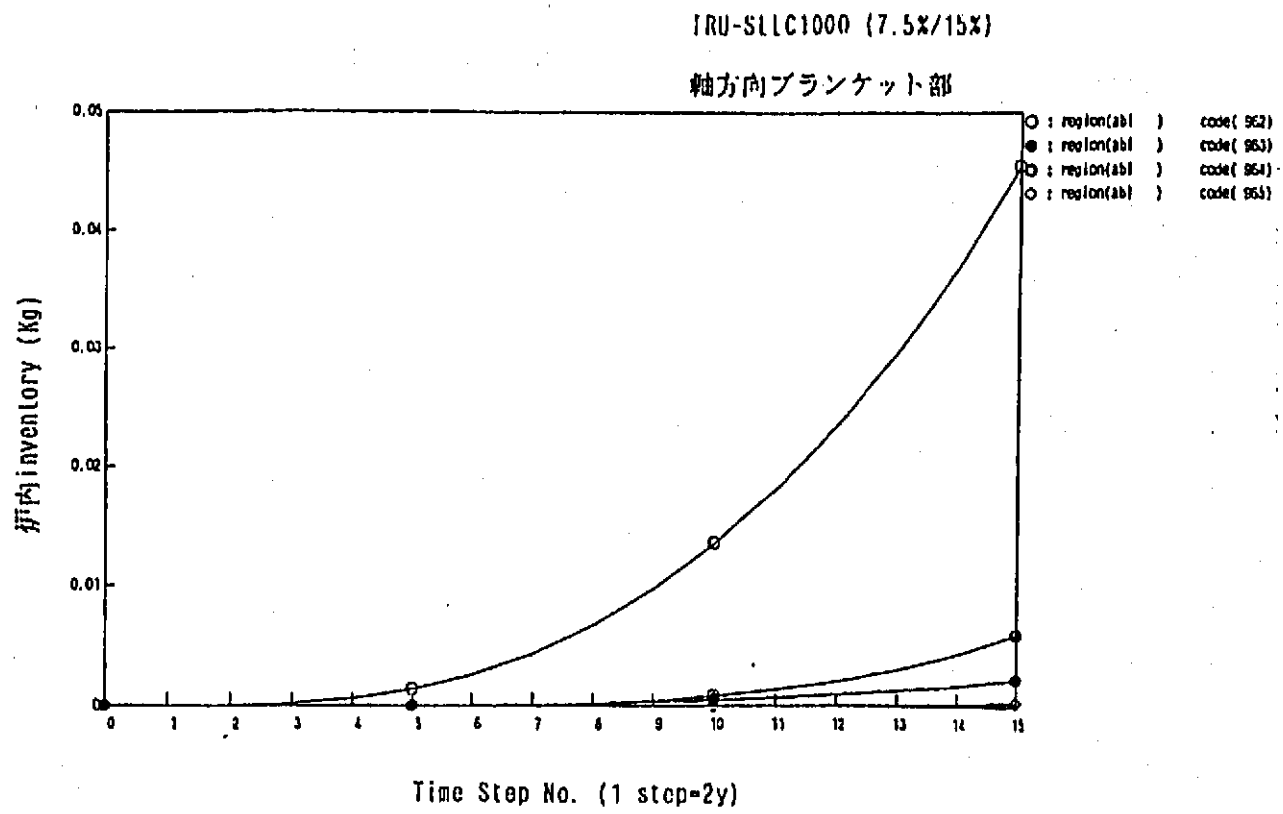


図2.4-23 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの物質収支の燃焼に伴う変化（11）
－軸方向ブランケット部Np237(937), Pu238(948), Am241(951), Am242m(950)
Am243(943) …



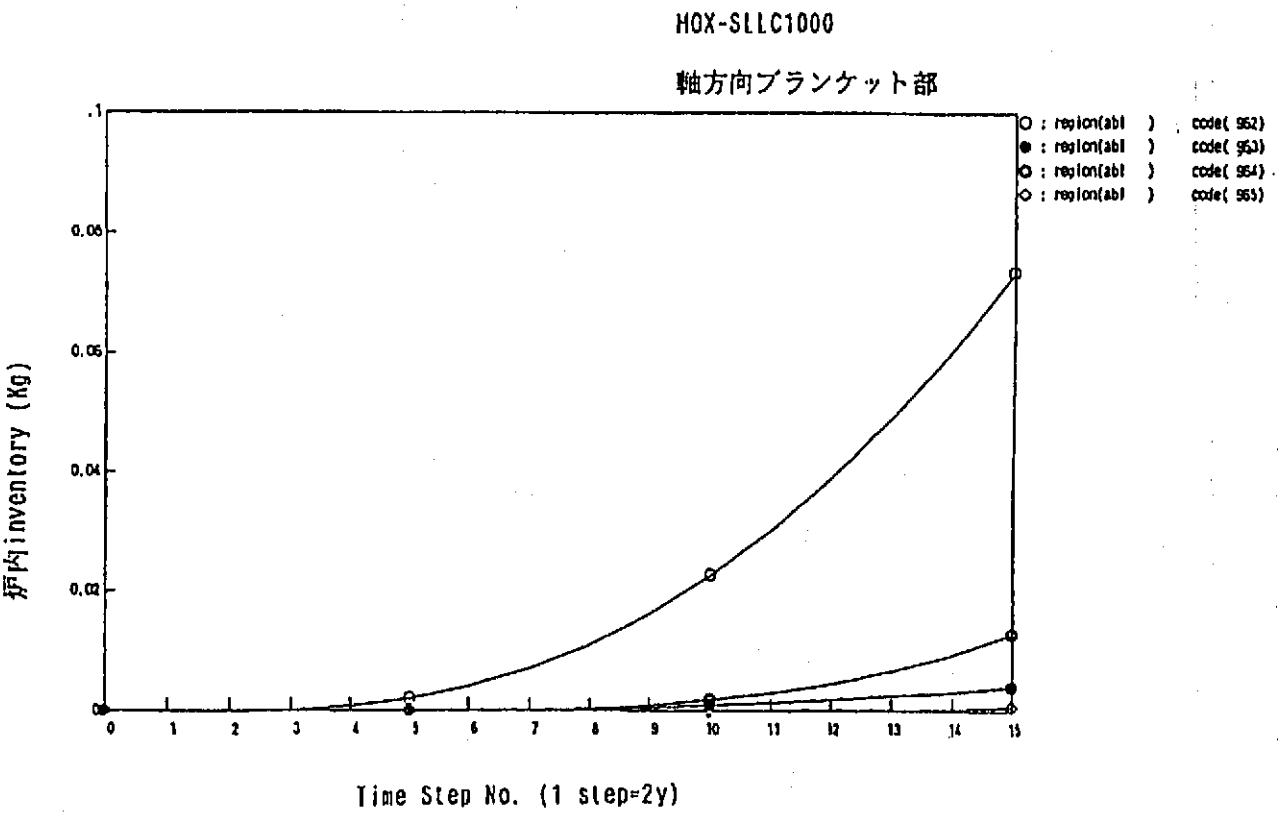
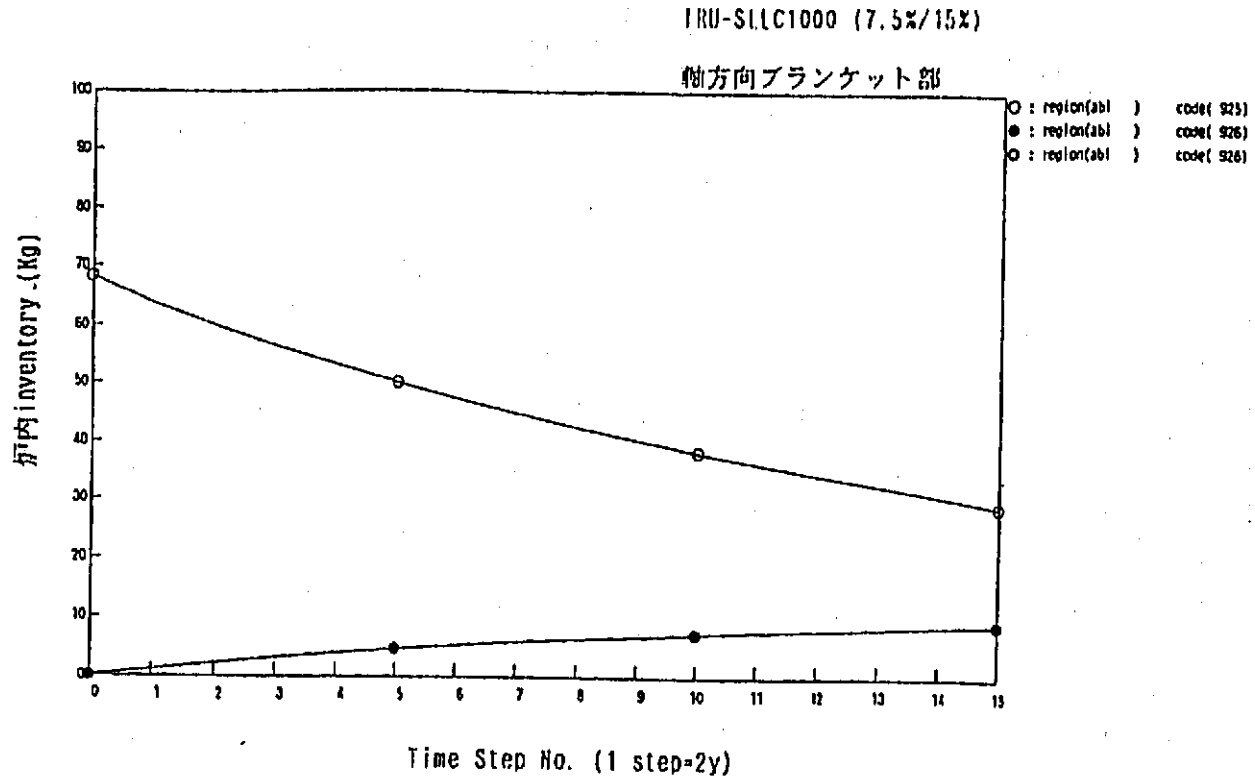


図2.4-24 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（12）

－軸方向ブランケット部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965) －



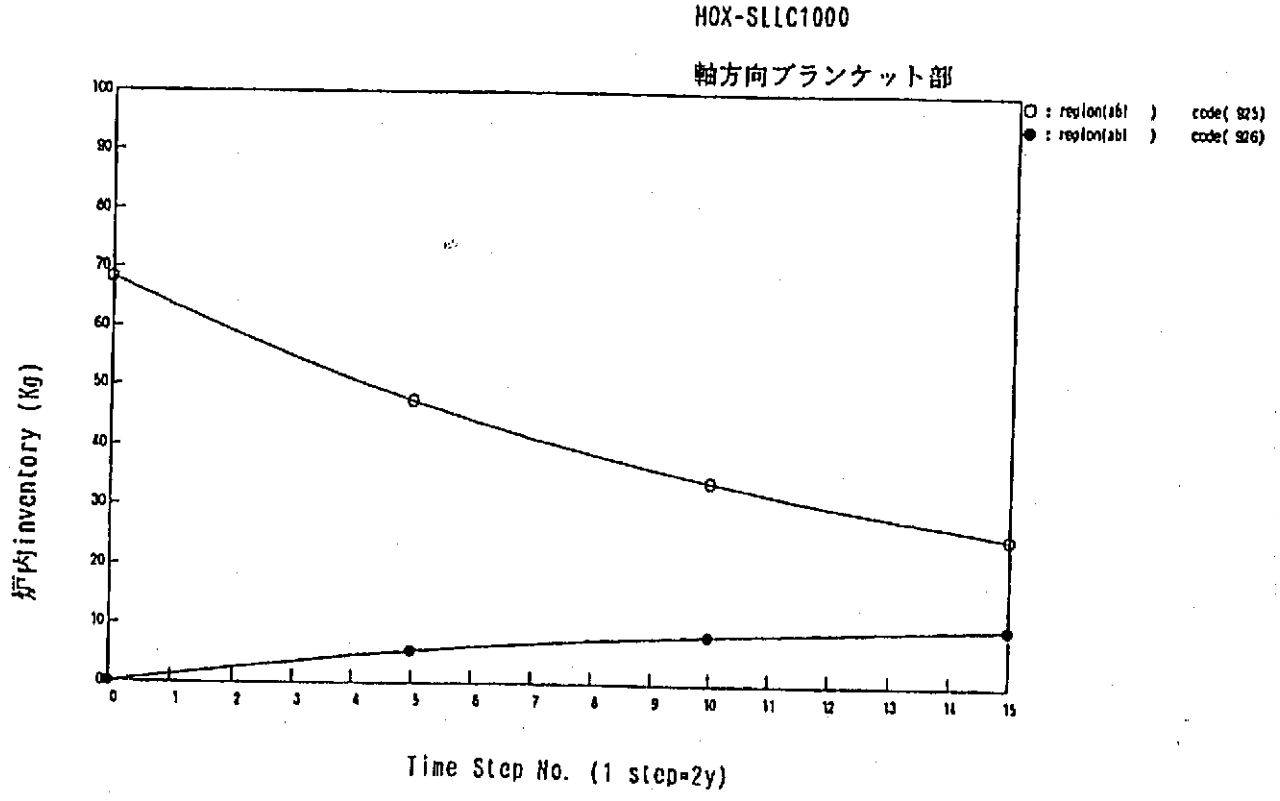


図2.4-25 1000MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（13）
－軸方向ブランケット部U235(925), U236(926) －

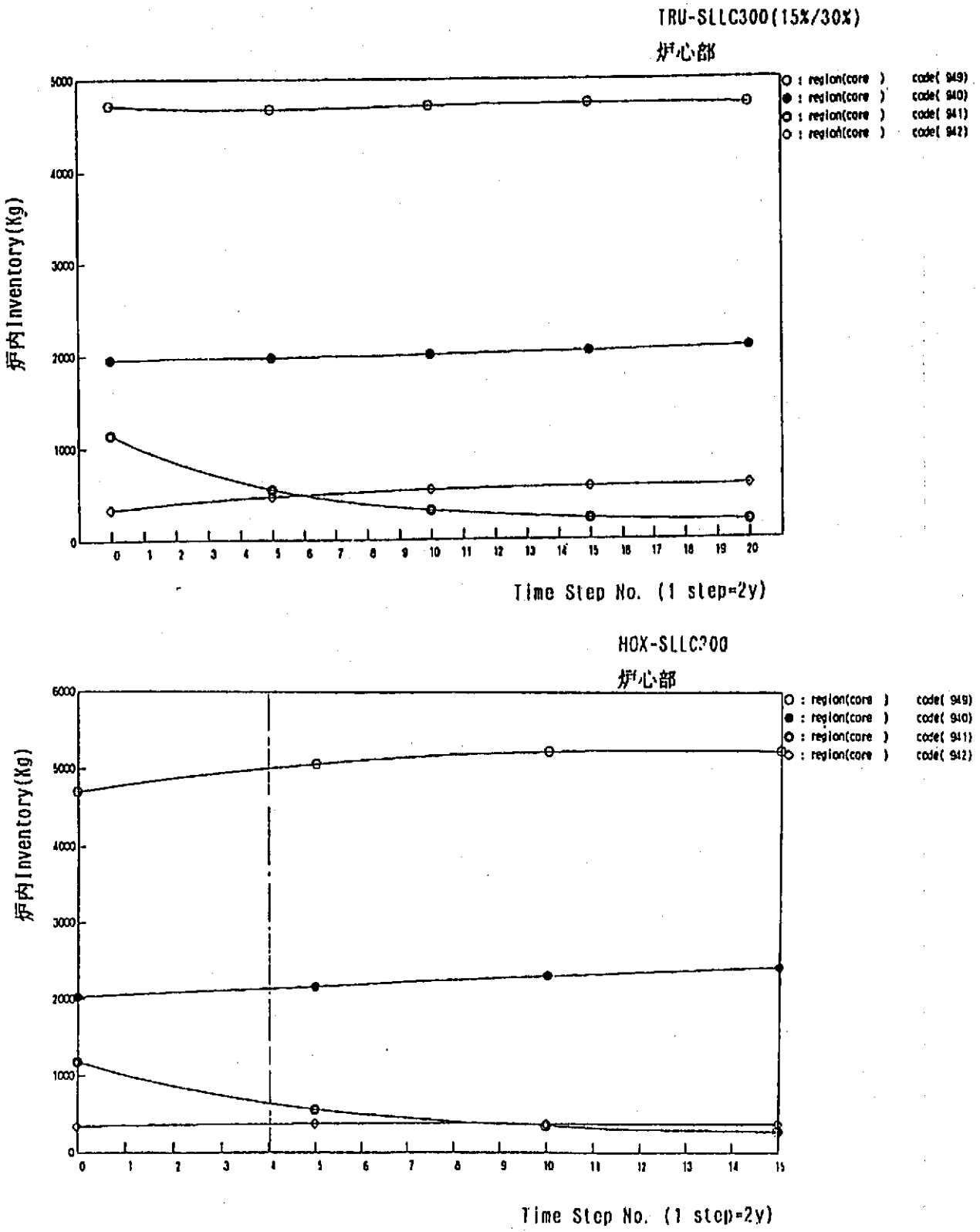


図2.4-26　300MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支変化（１）

－炉心部Pu239(949),Pu240(940),Pu241(941),Pu242(942) －－

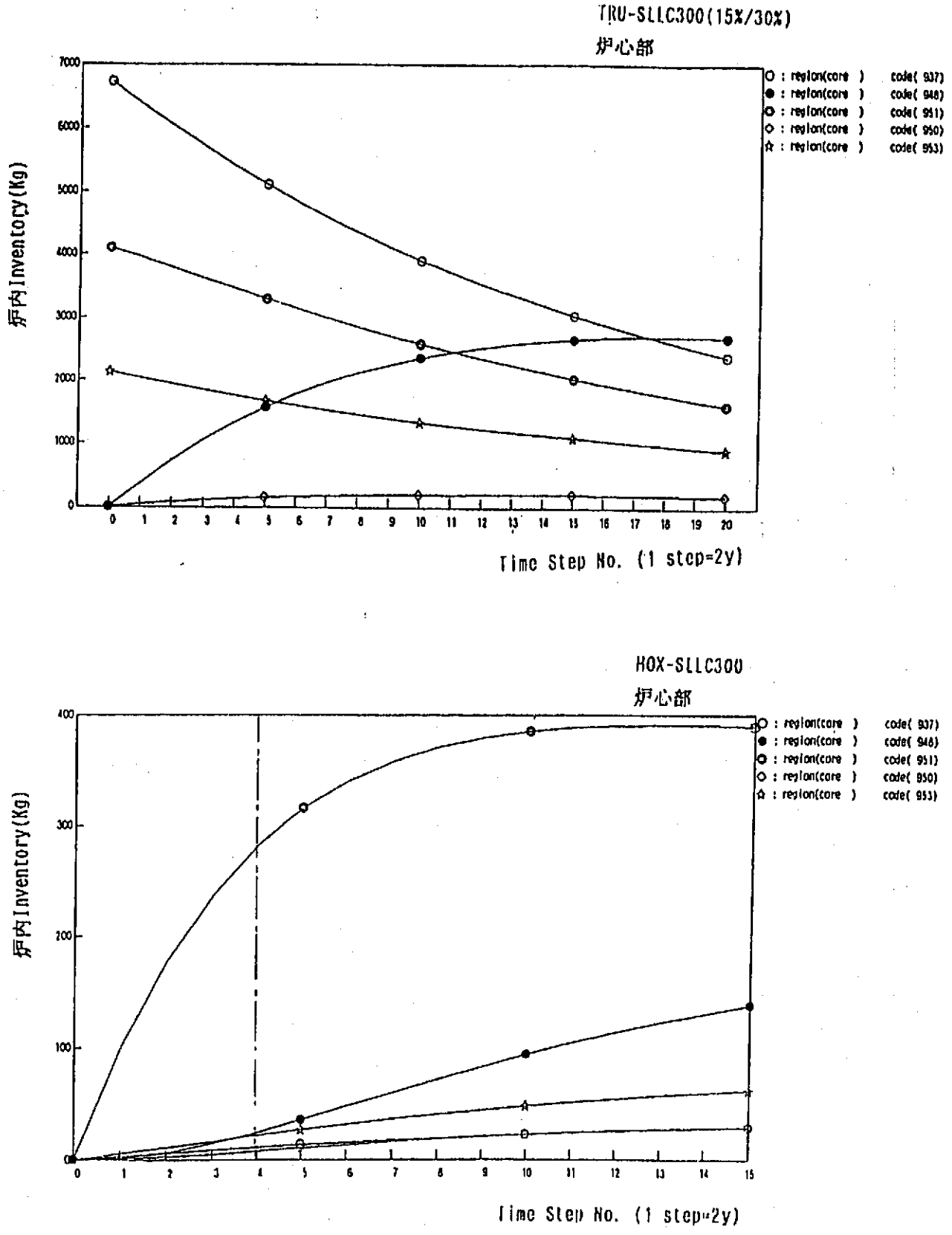


図2.4-27　300HWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（２）

－炉心部Np237(937), Pu238(948), Am241(951), Am242m(950), Am243(943)

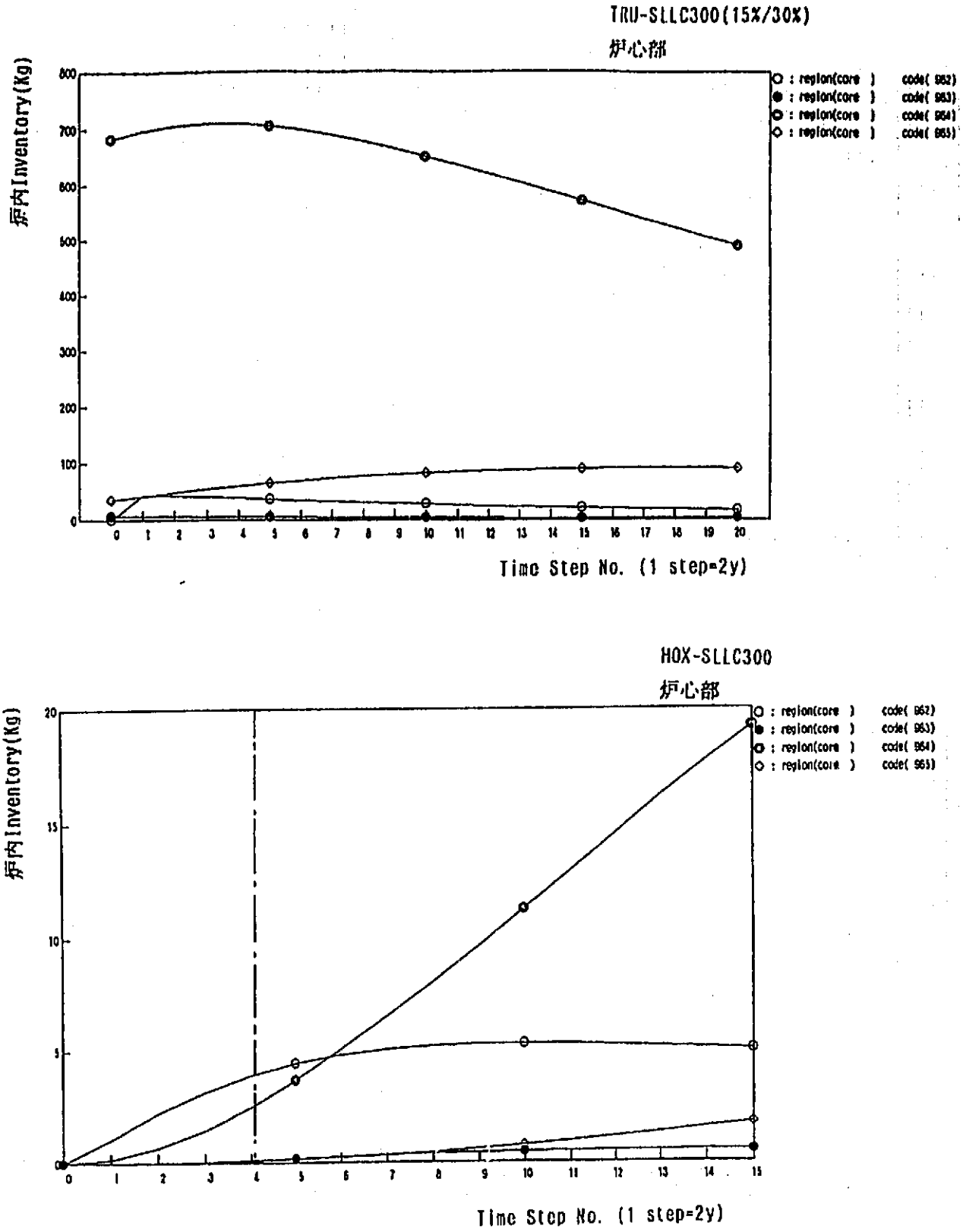
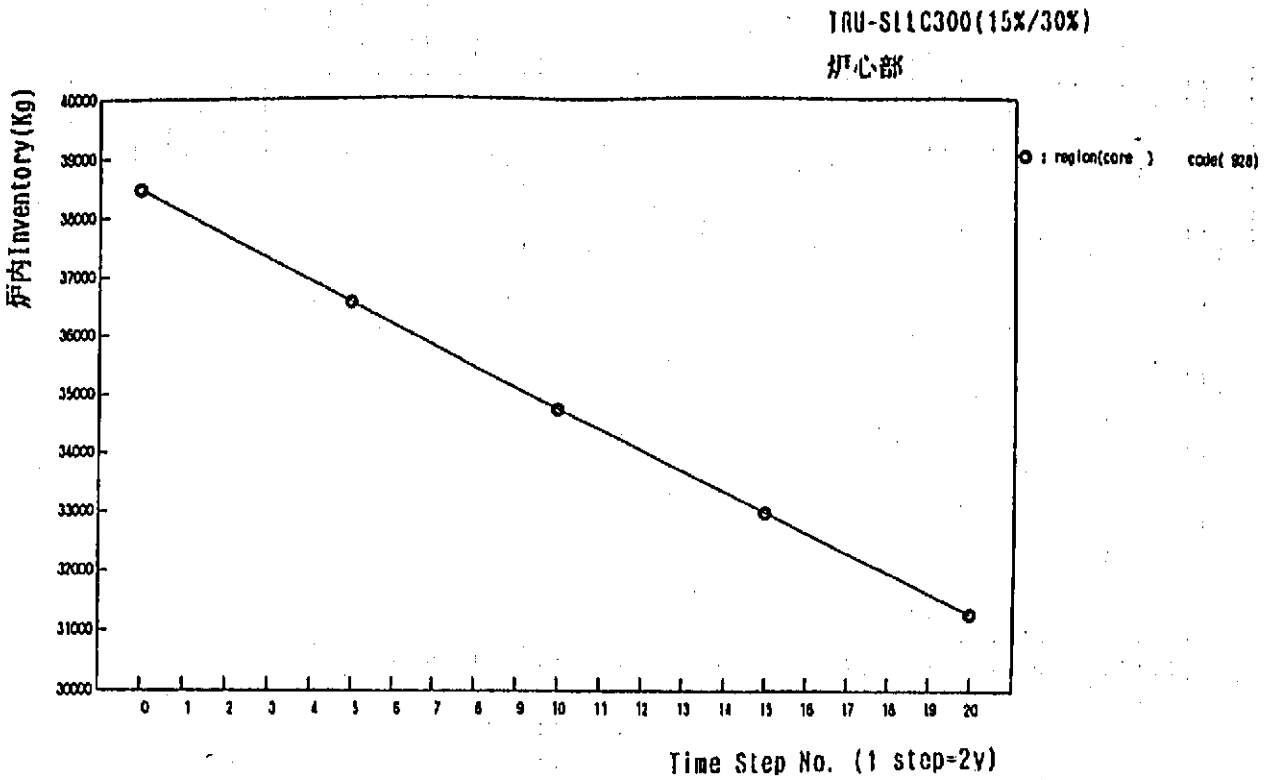


図2.4-28　300MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（３）

－炉心部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965)－



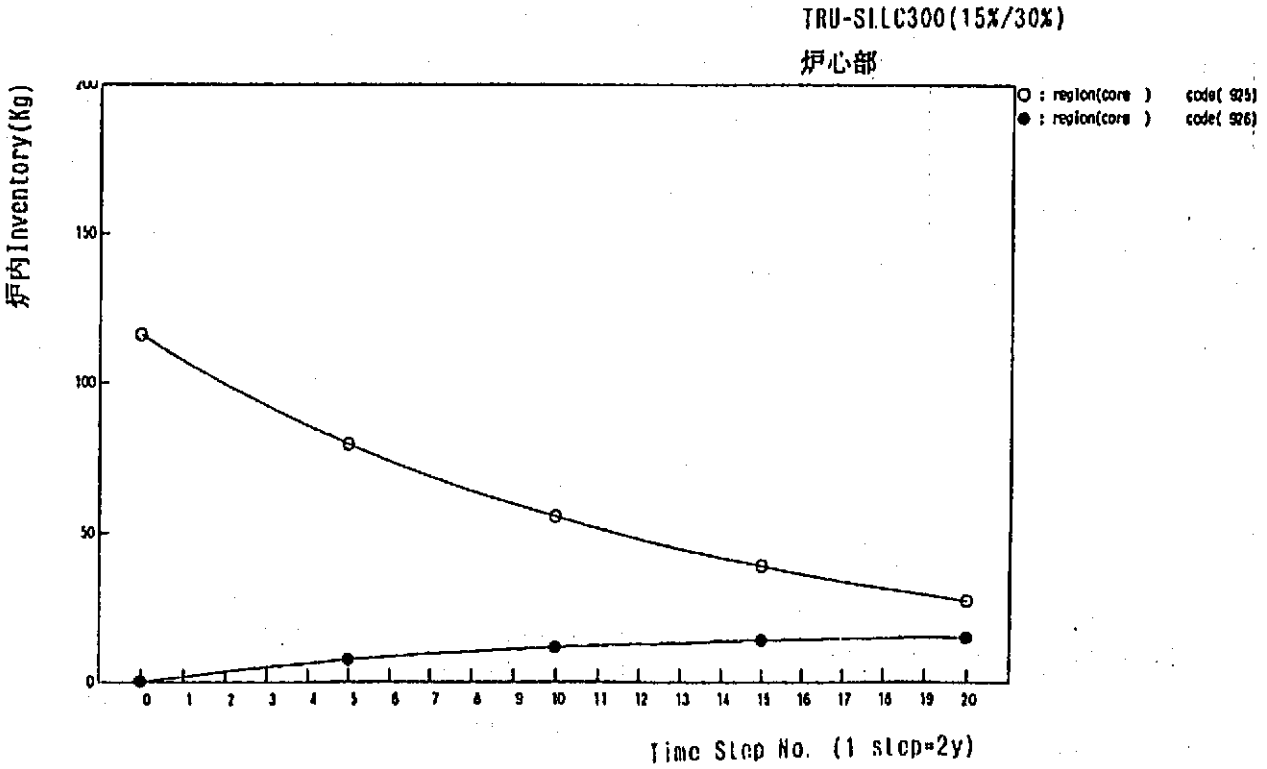
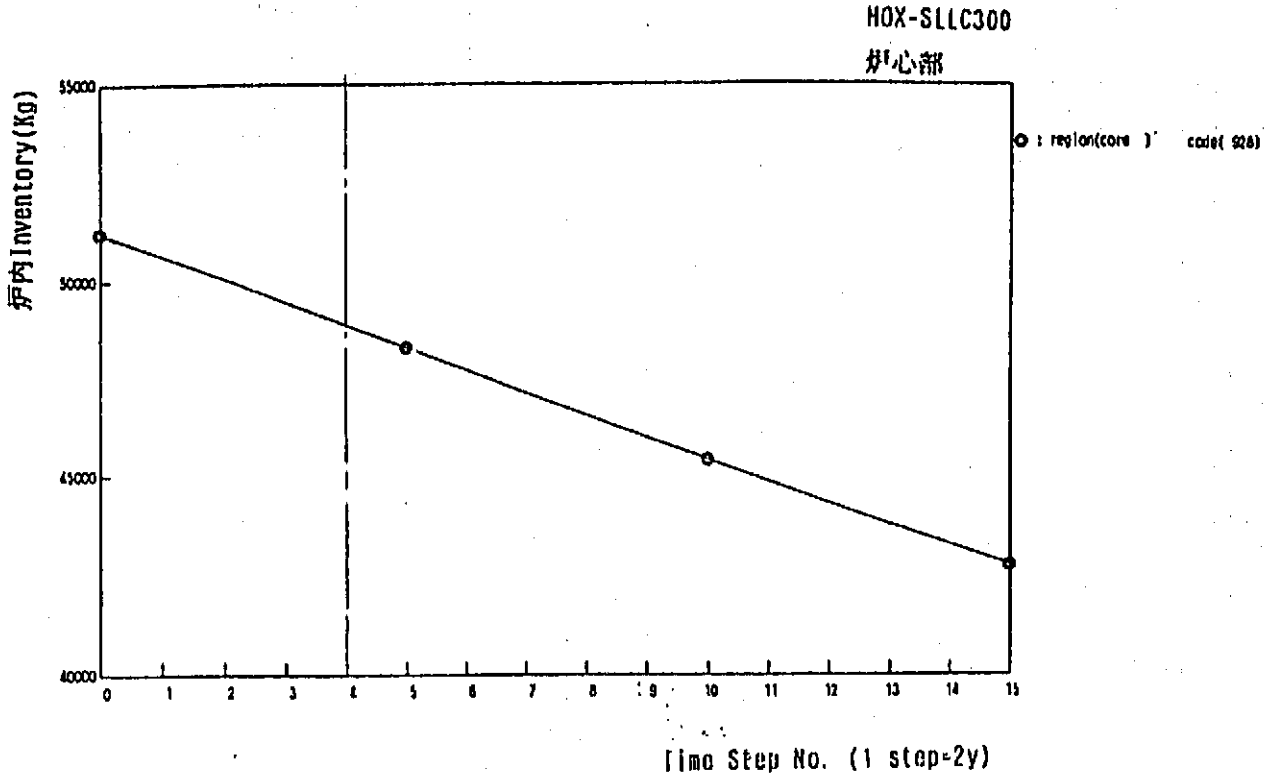


図2.4-29　300HWe TRU-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（４）

－炉心部U235(925),U236(926),U238(928) －



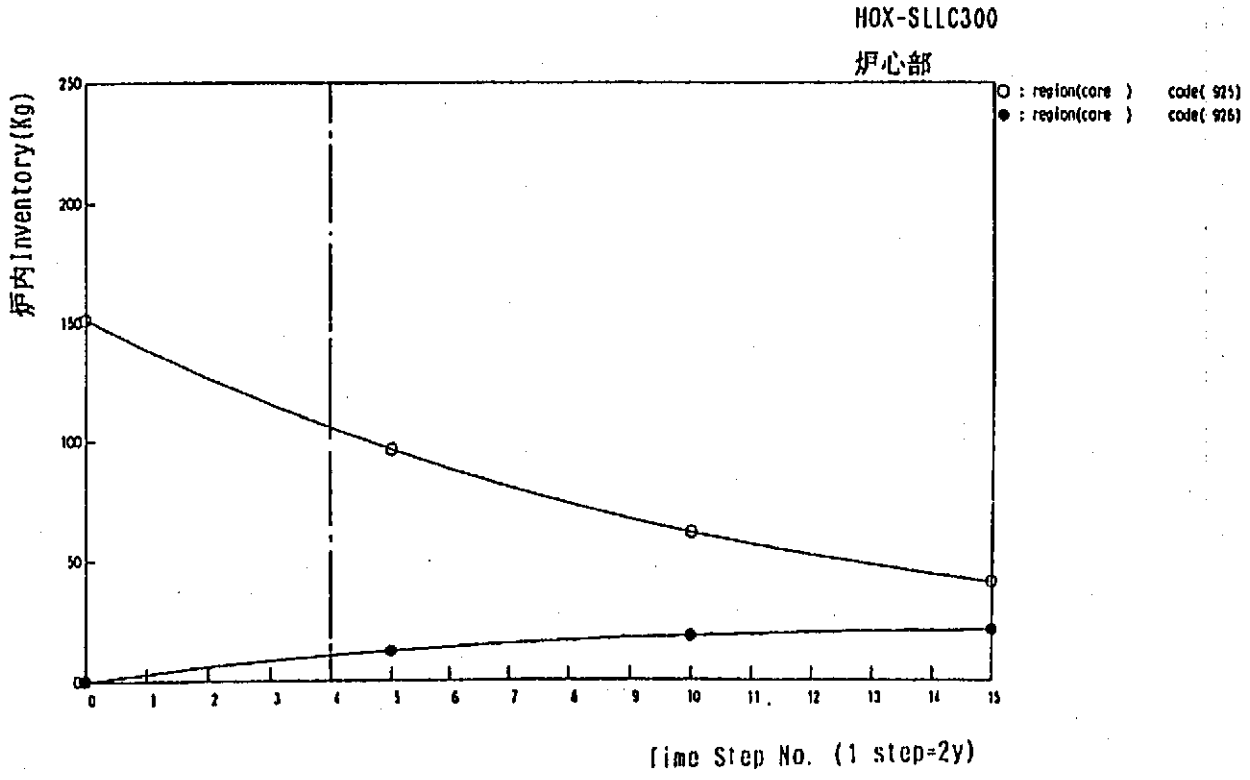
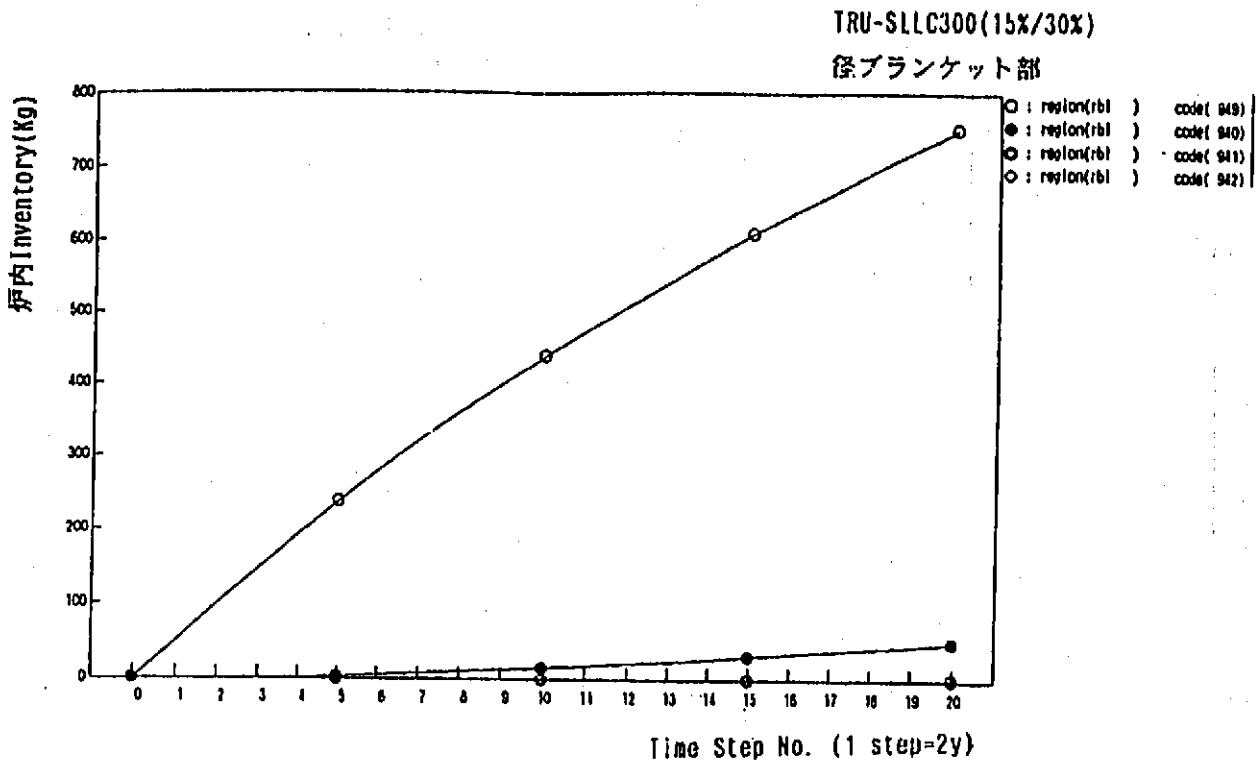


図2.1-30　300MWe HOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（５）

－炉心部U235(925),U236(926),U238(928) －



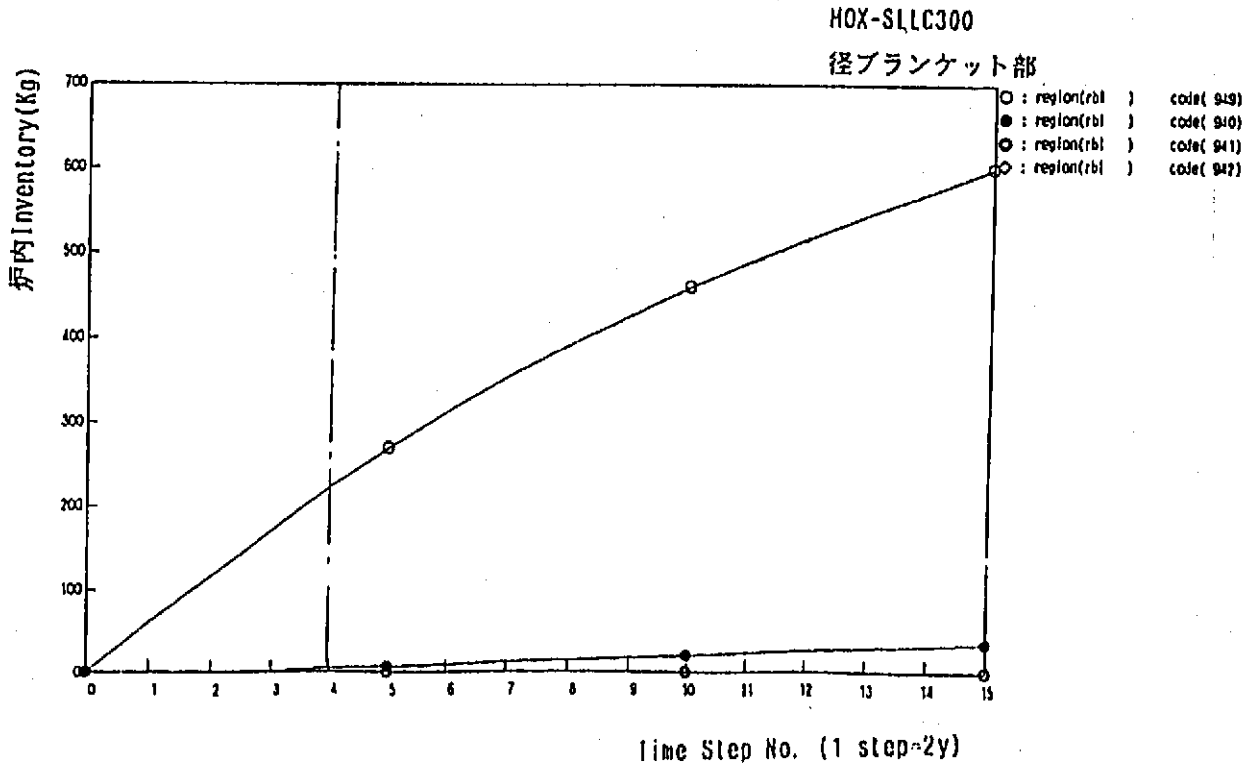


図2.4-31　300HWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（６）

－径方向ブランケット部Pu239(949),Pu240(940),Pu241(941),Pu242(942) －

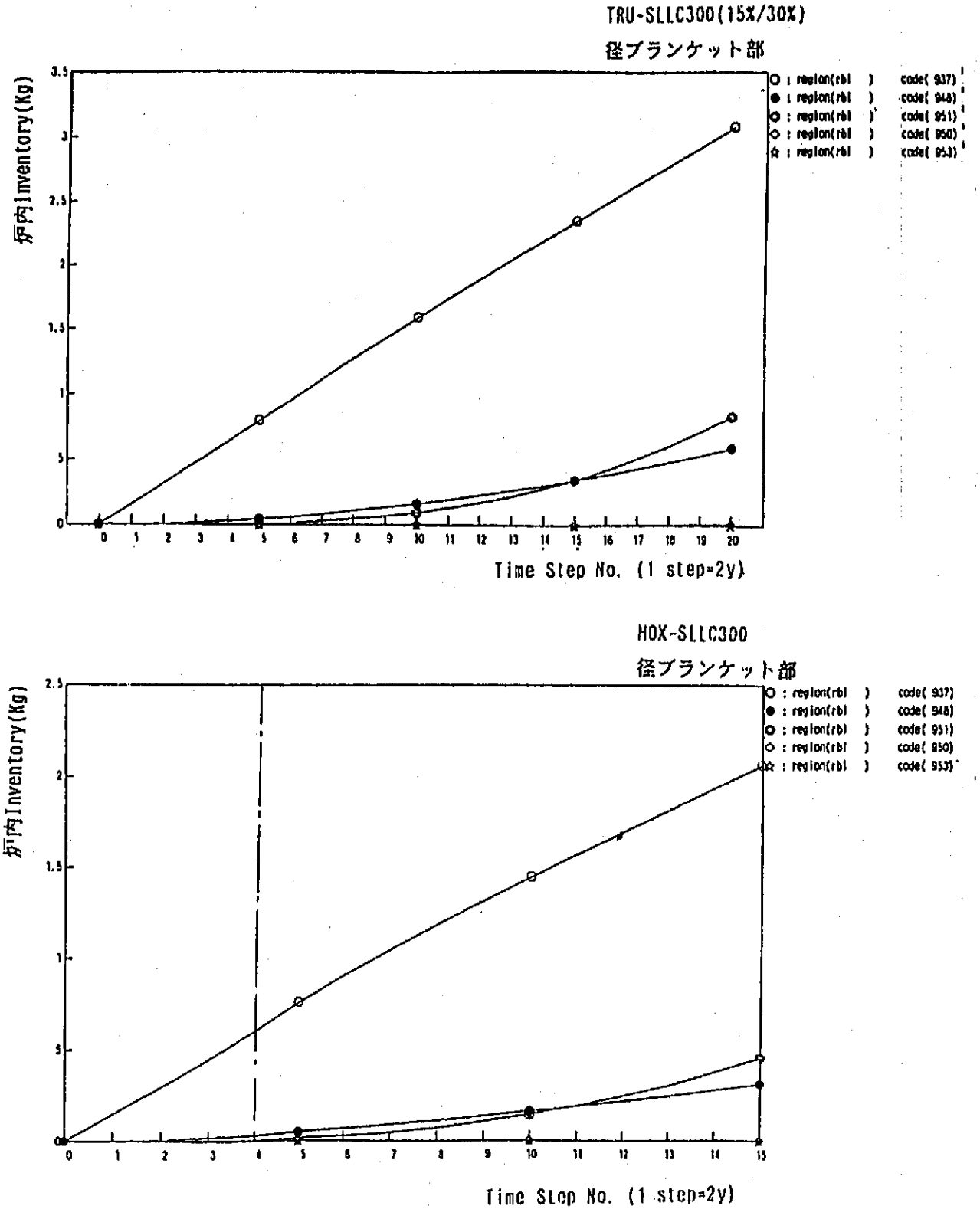
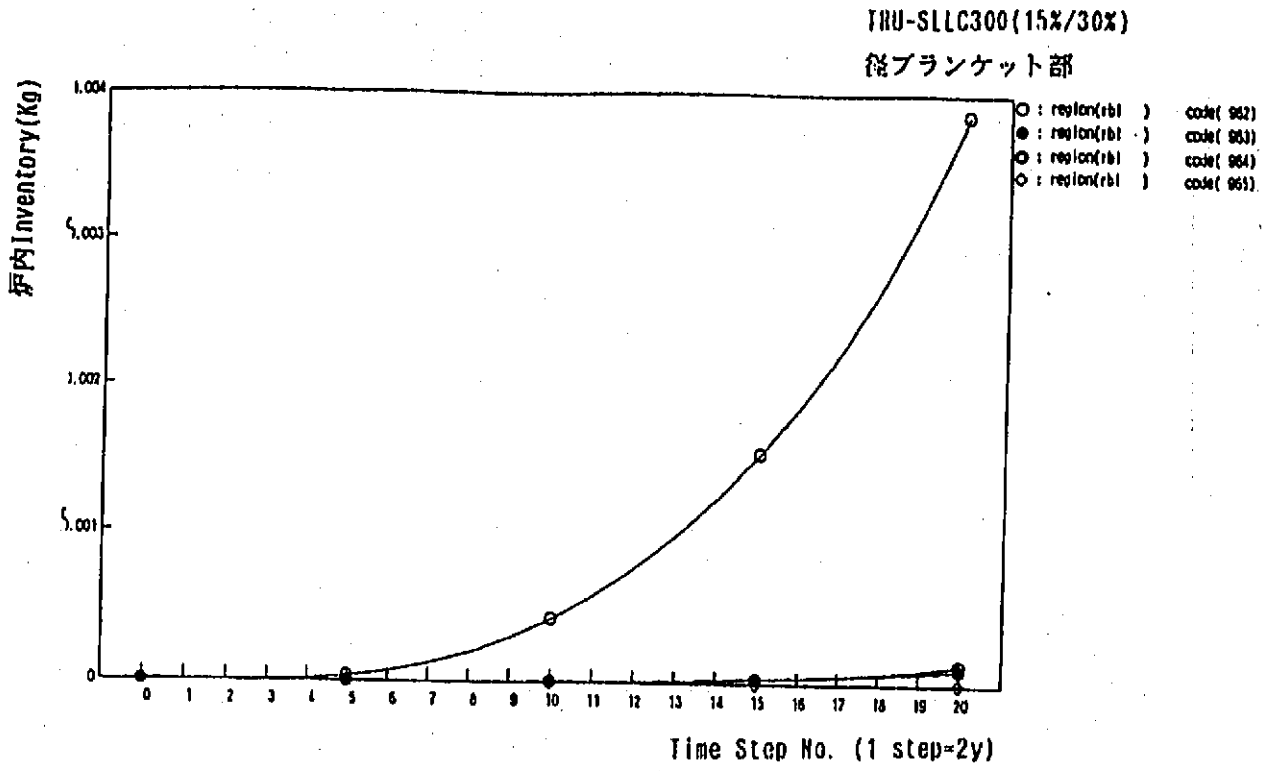


図2.4-32　300MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（７）
－径方向ブランケット部Np237(937), Pu238(948), Am241(951), Am242m(950)
, Am243(943) －



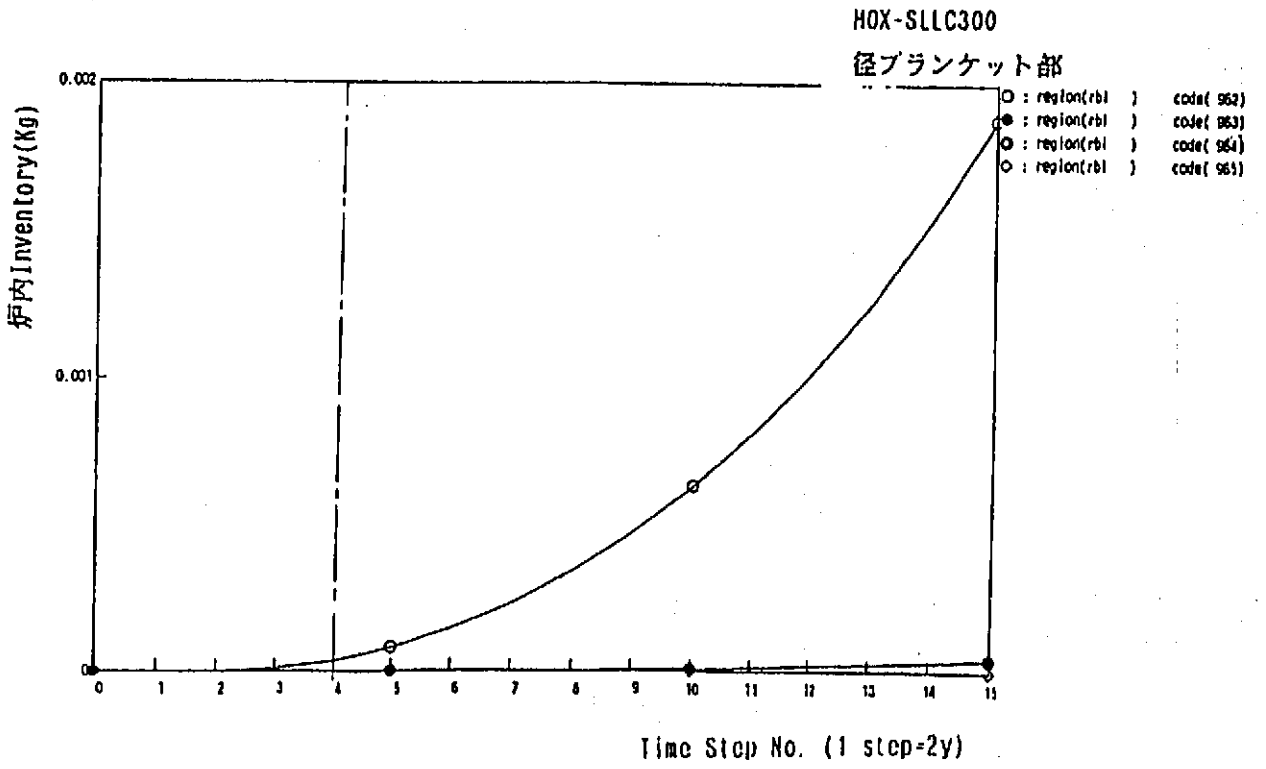


図2.4-33　300MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（８）
－径方向ブランケット部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965)－

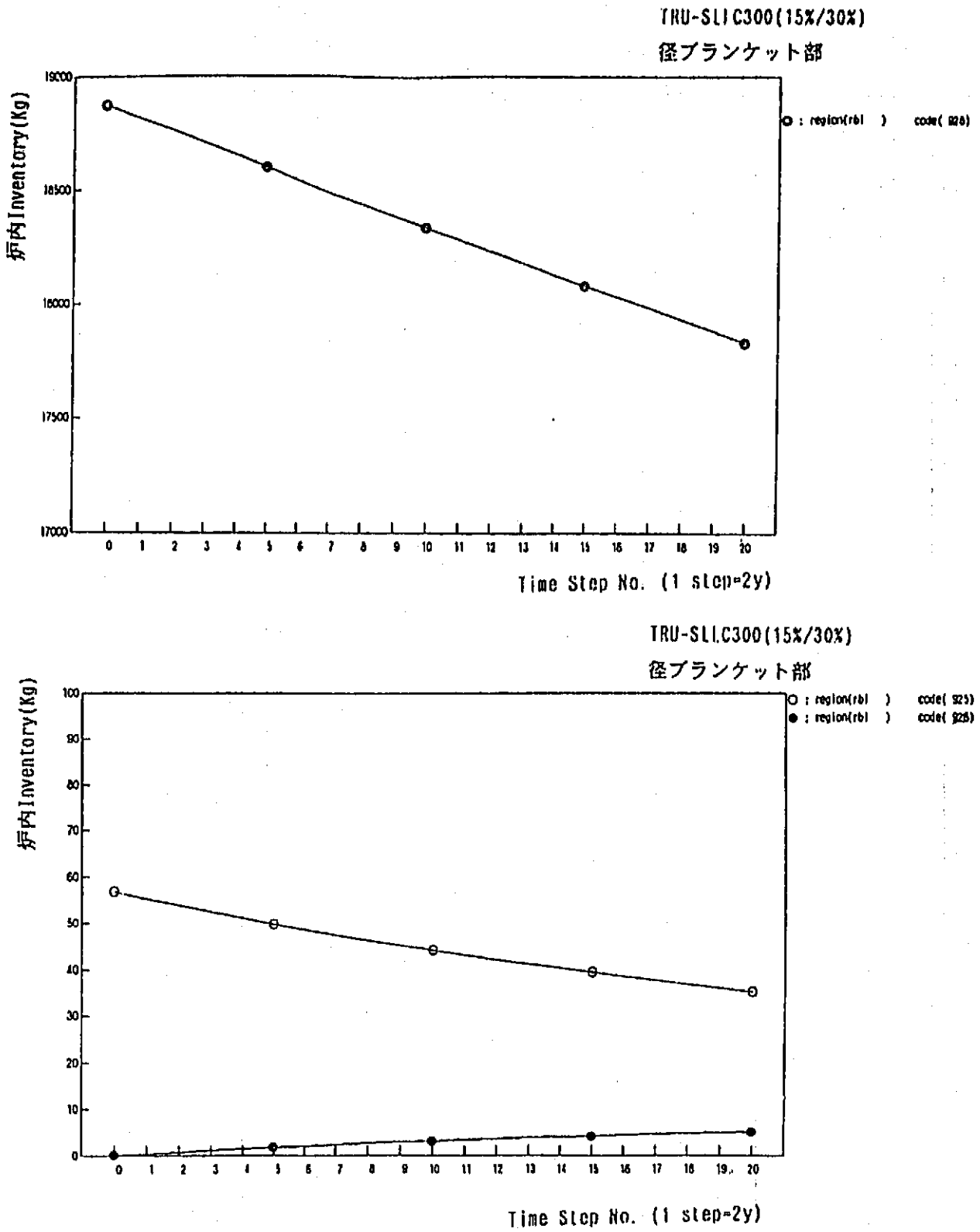
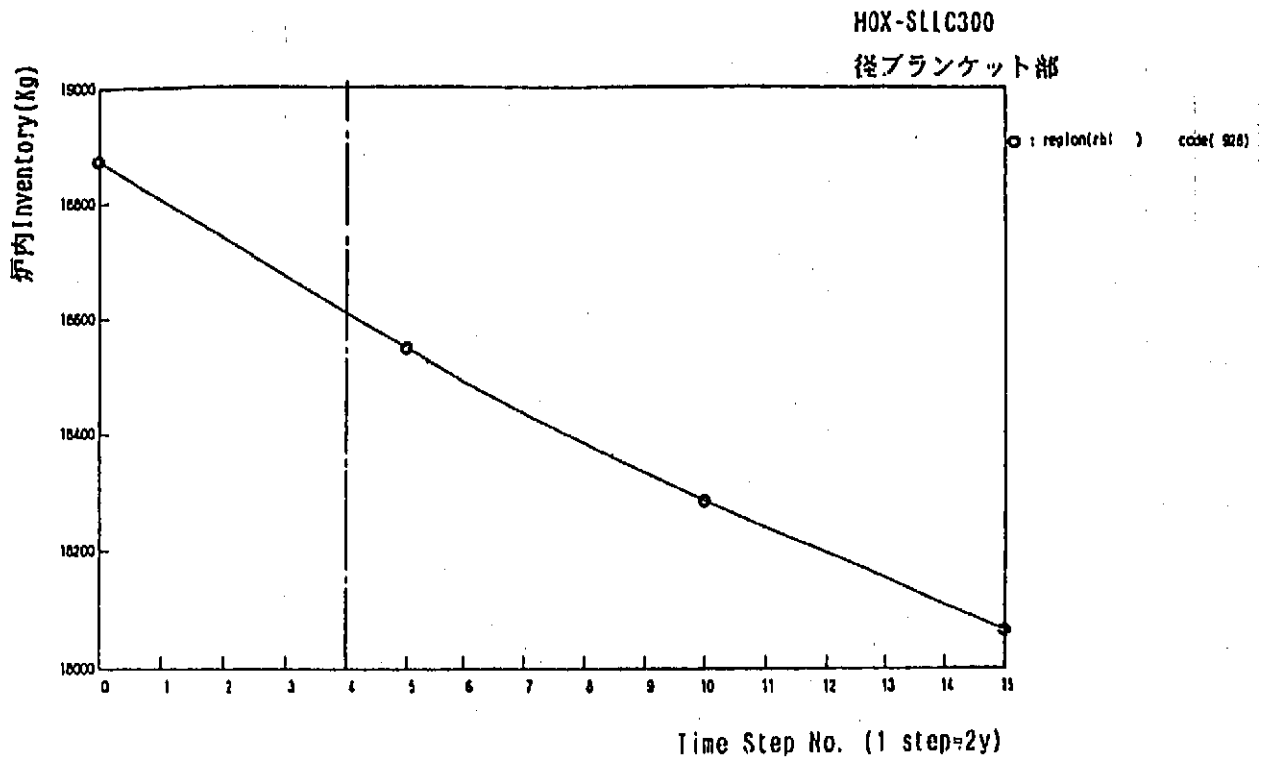


図2.4-34　300MWe TRU-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（９）

－径方向ブランケット部U235(925),U236(926),U238(928) －



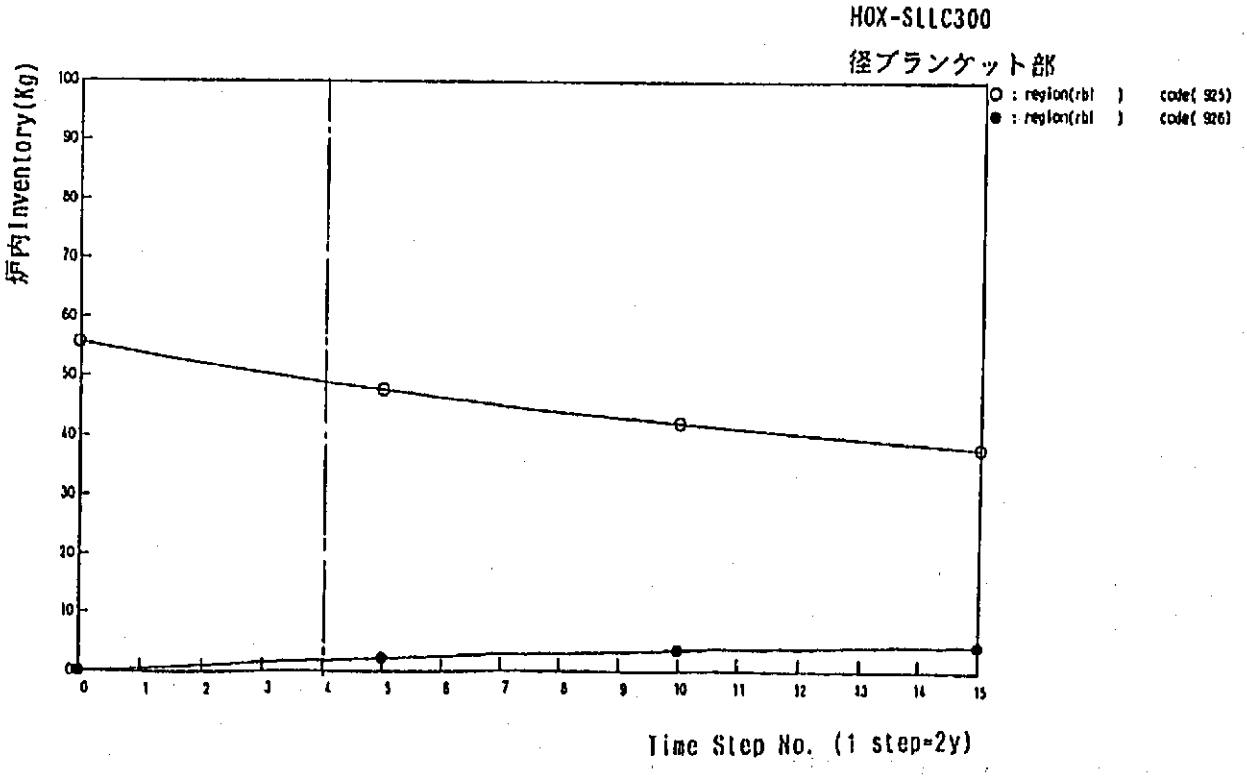
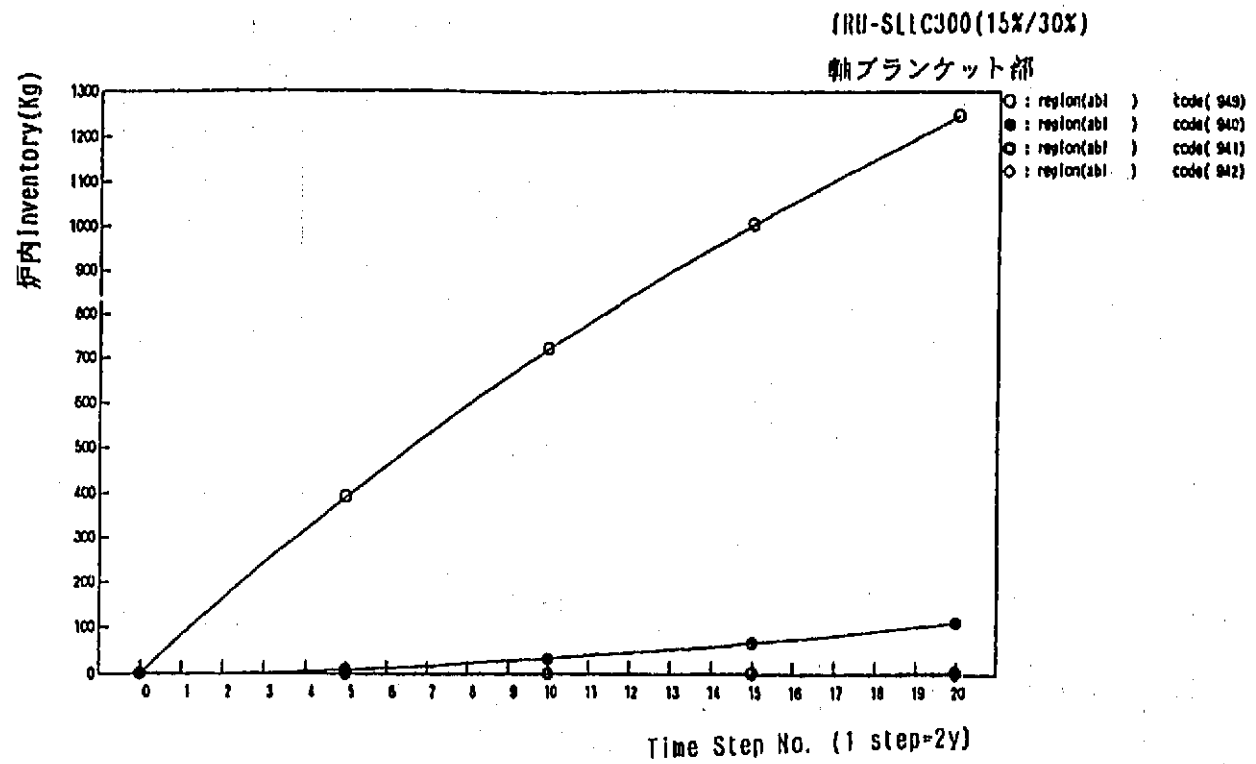


図2.4-35　300MWe HOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（10）

－径方向ブランケット部U235(925),U236(926),U238(928) －



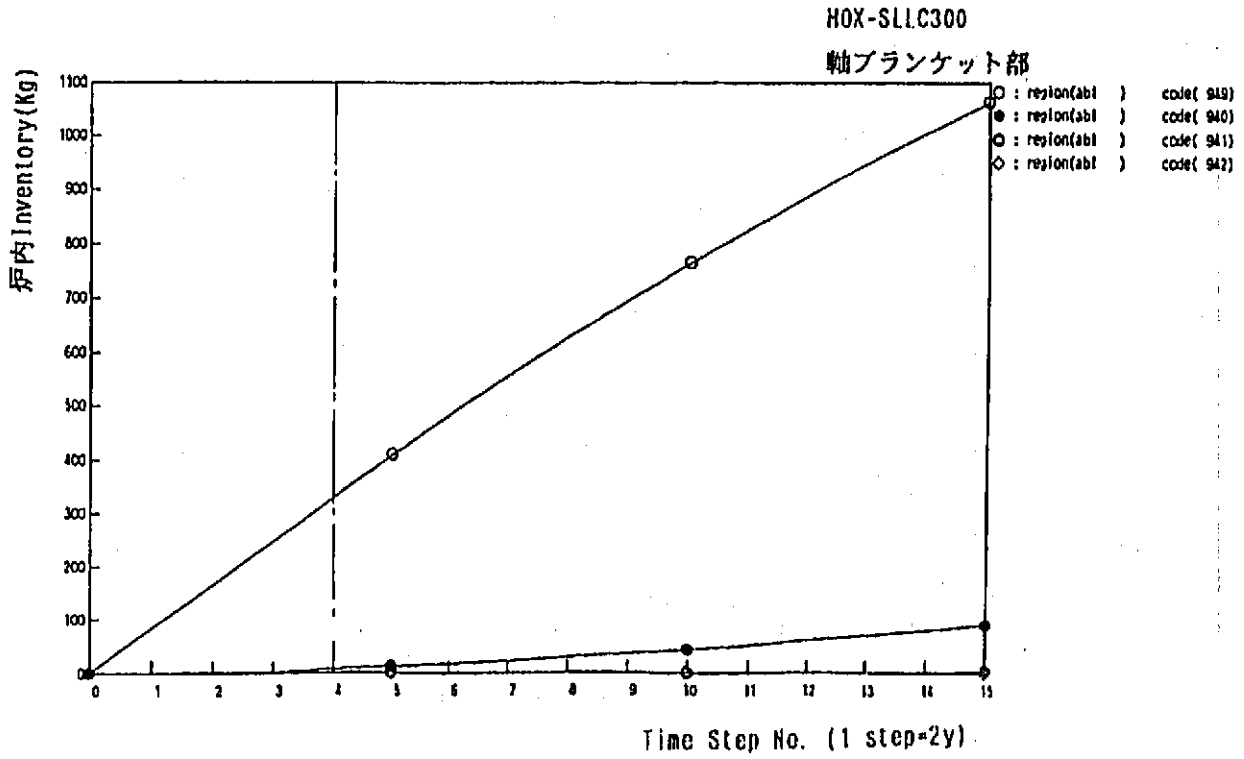
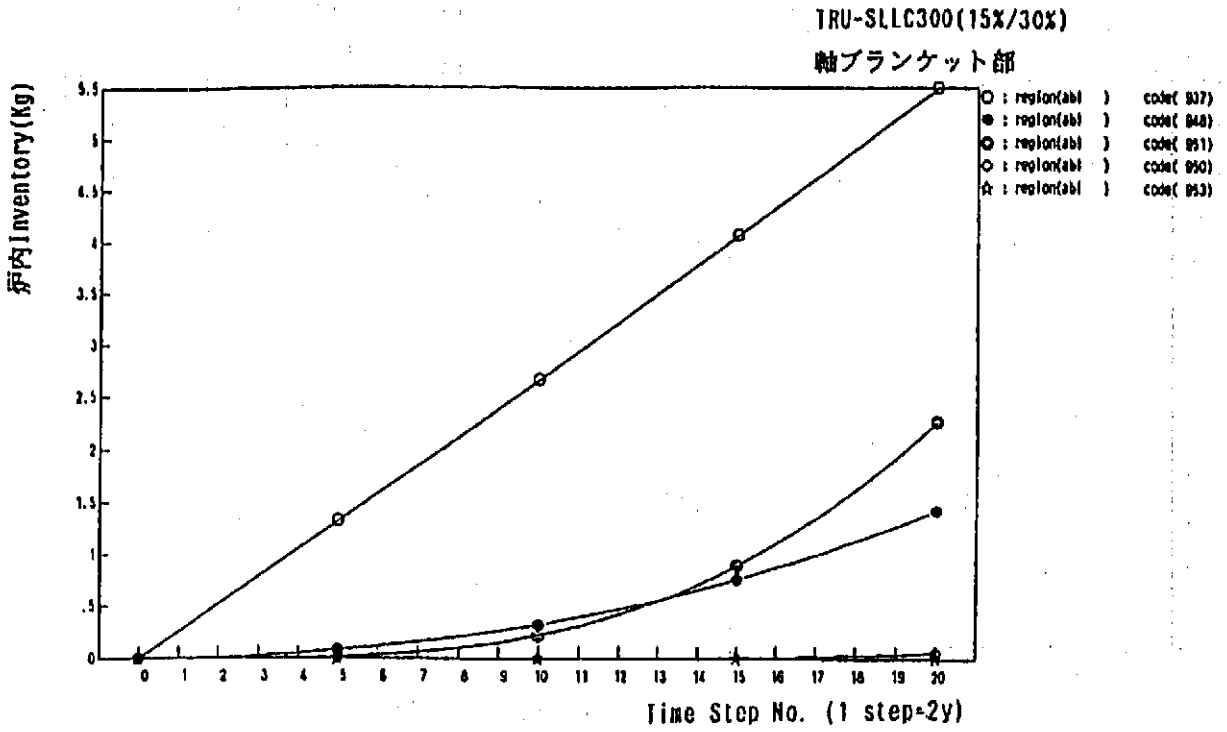


図2.4-36　300HHe TRU-SLLCとHOX-SLLCの物質収支の燃焼に伴う変化（11）

－軸方向ブランケット部Pu239(949),Pu240(940),Pu241(941),Pu242(942) －



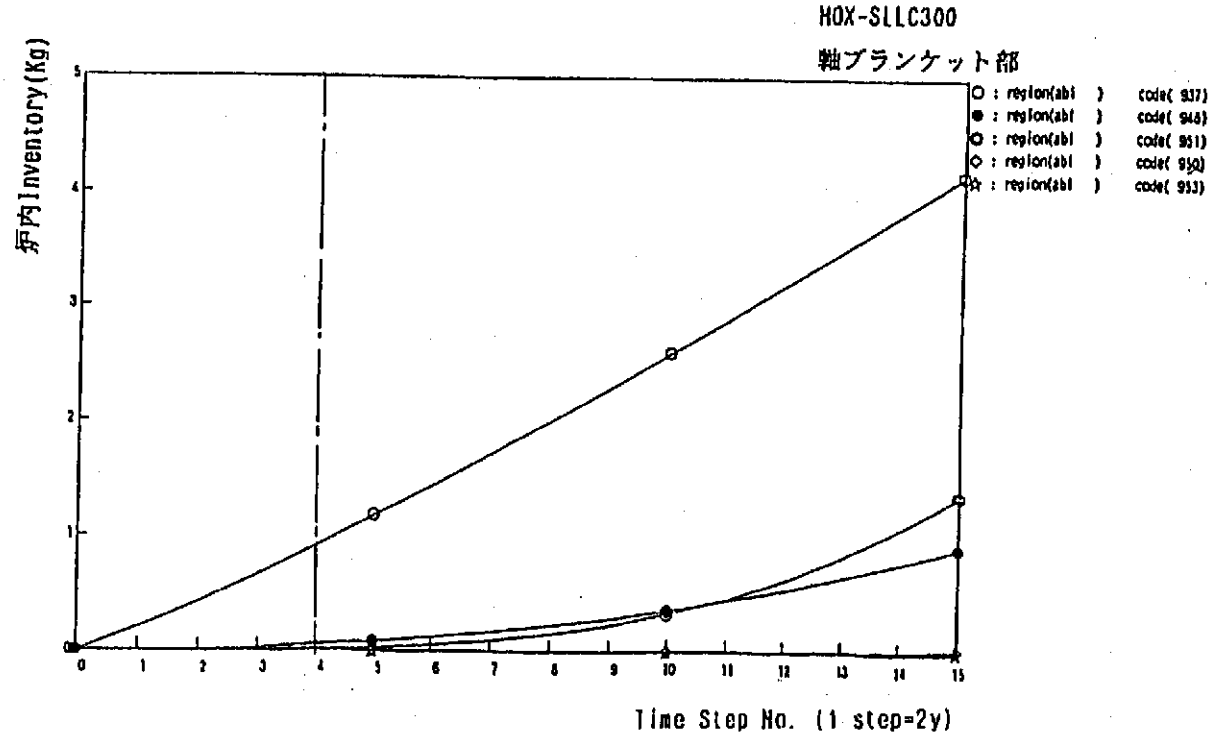


図2.4-37　300HWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの物質収支の燃焼に伴う変化（12）
－軸方向ブランケット部Np237(937),Pu238(948),Am241(951),Am242m(950)
Am243(943) －

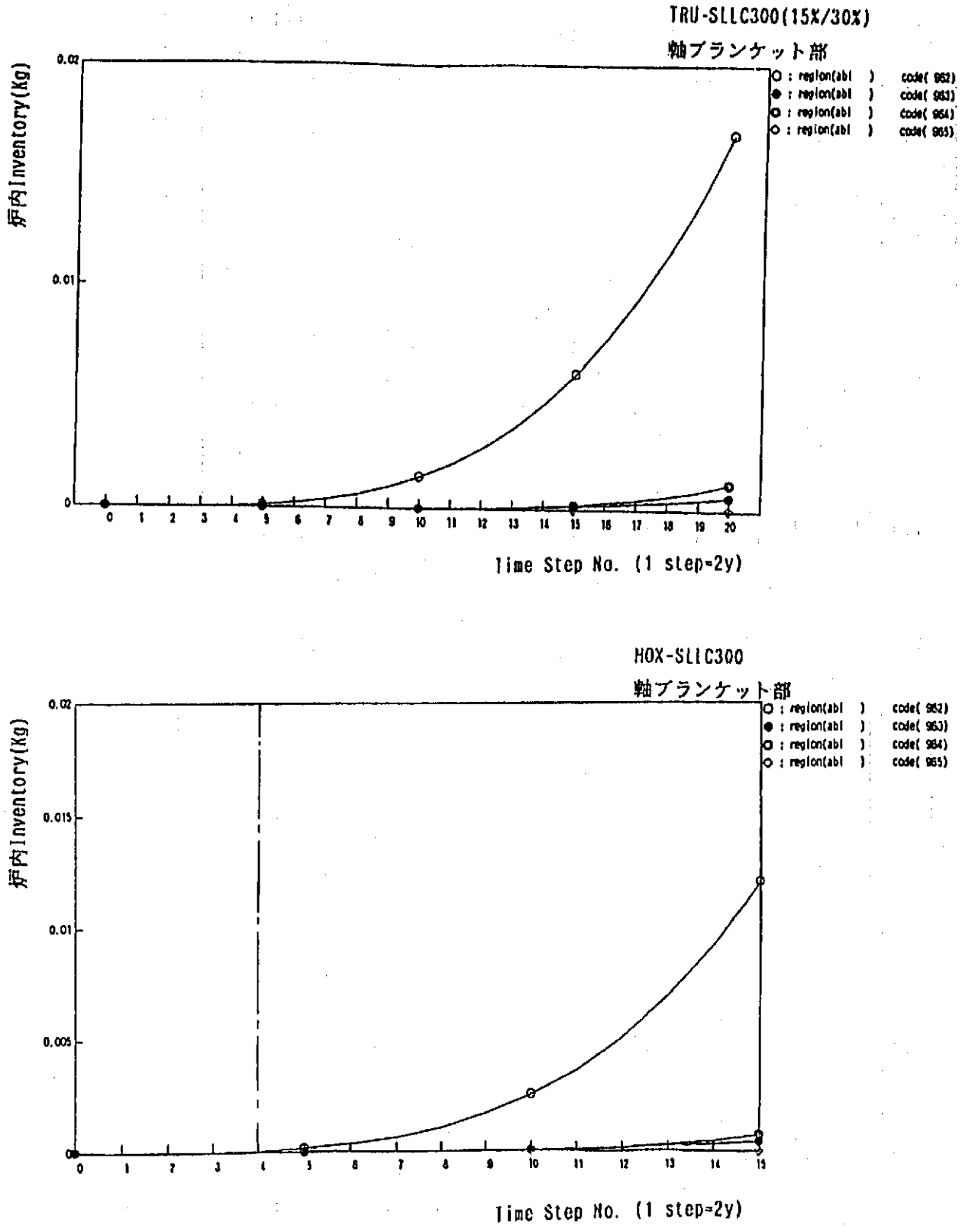
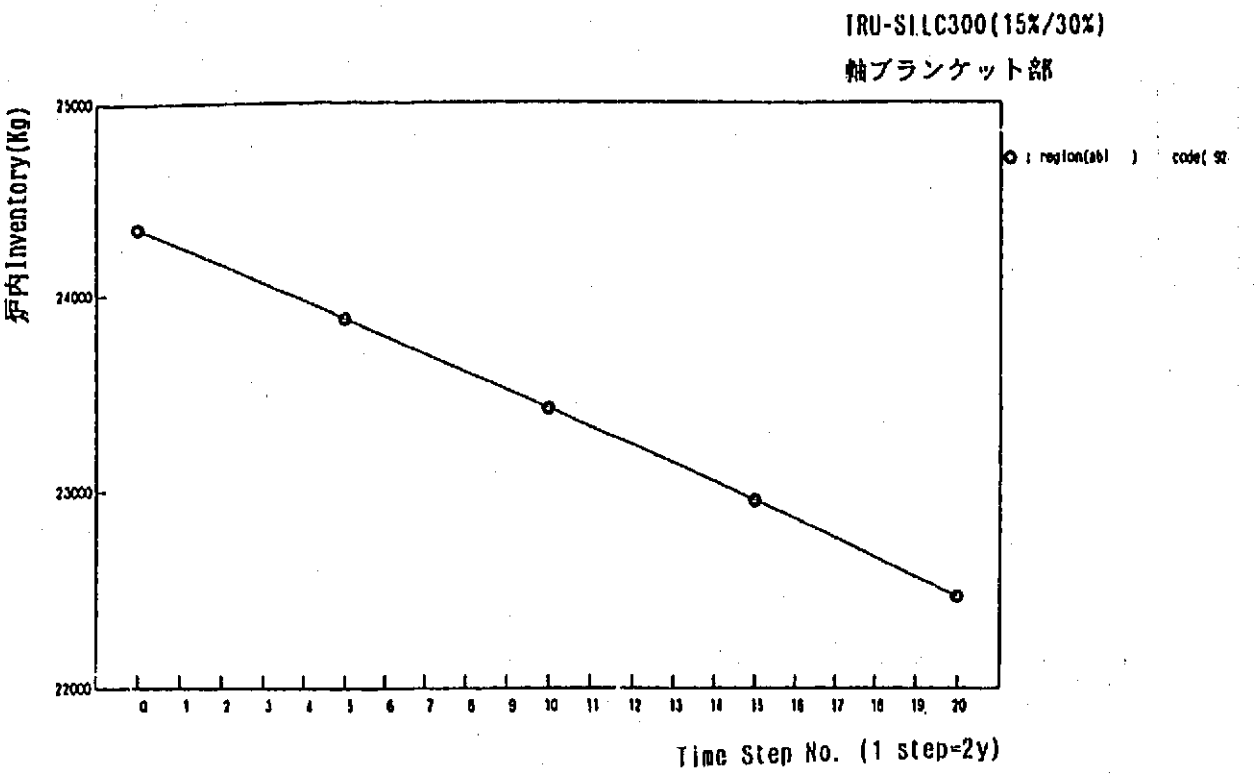


図2.4-38　300MWe TRU-SLLCとHOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（13）

－軸方向ブランケット部Cm242(962),Cm243(963),Cm244(964),Cm245(965) －



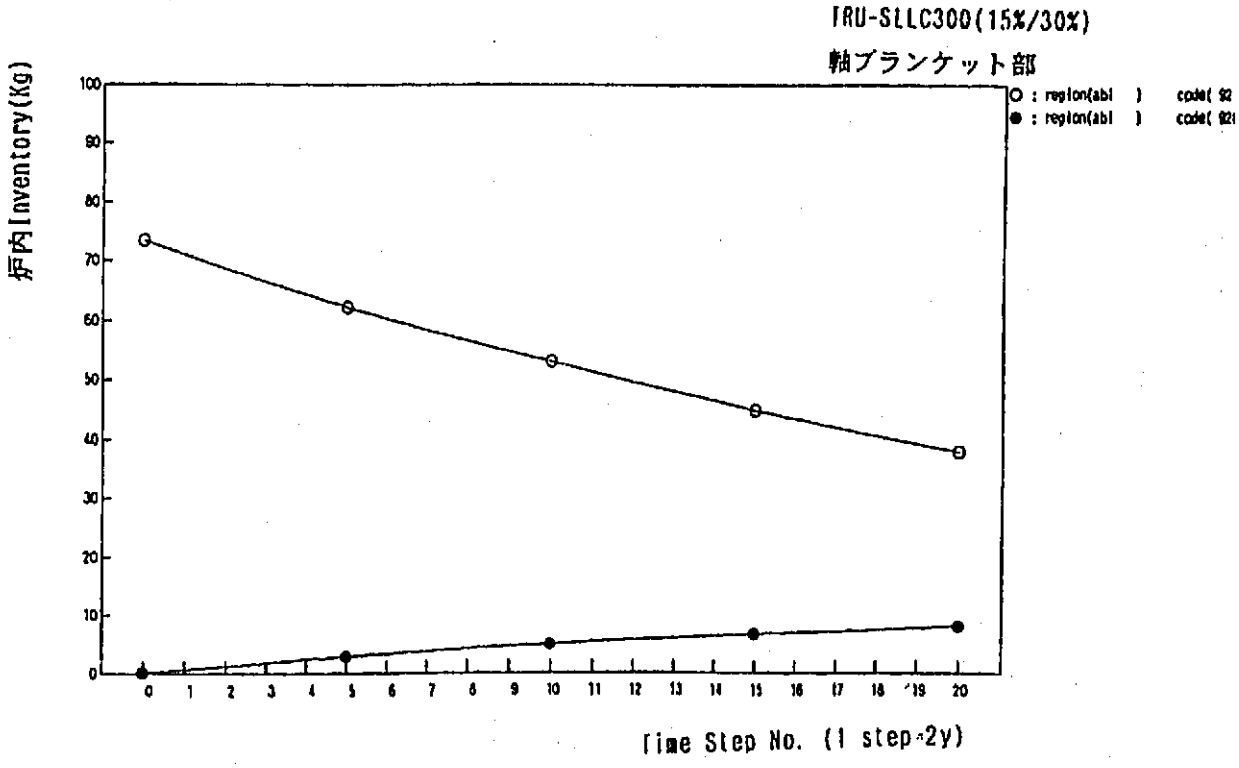
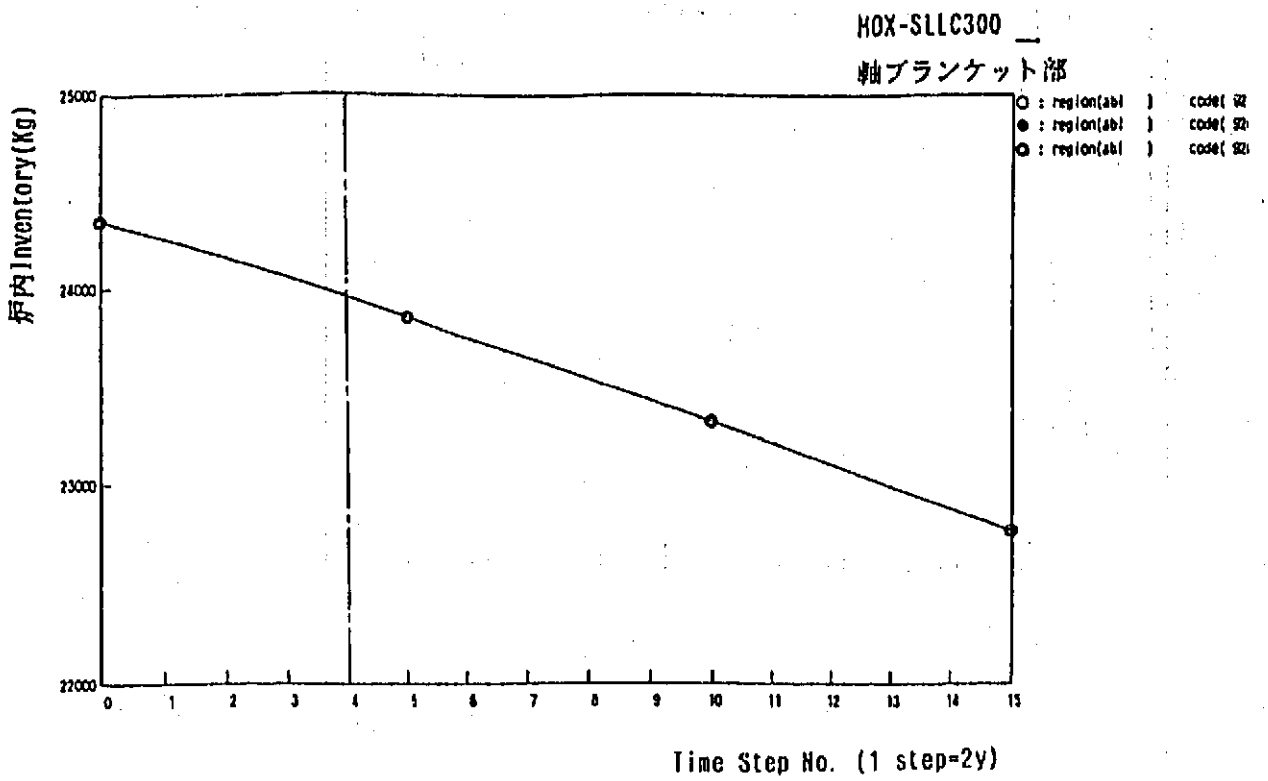


図2.4-39　300MWe TRU-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（14）

－軸方向ブランケット部U235(925),U236(926),U238(928)－



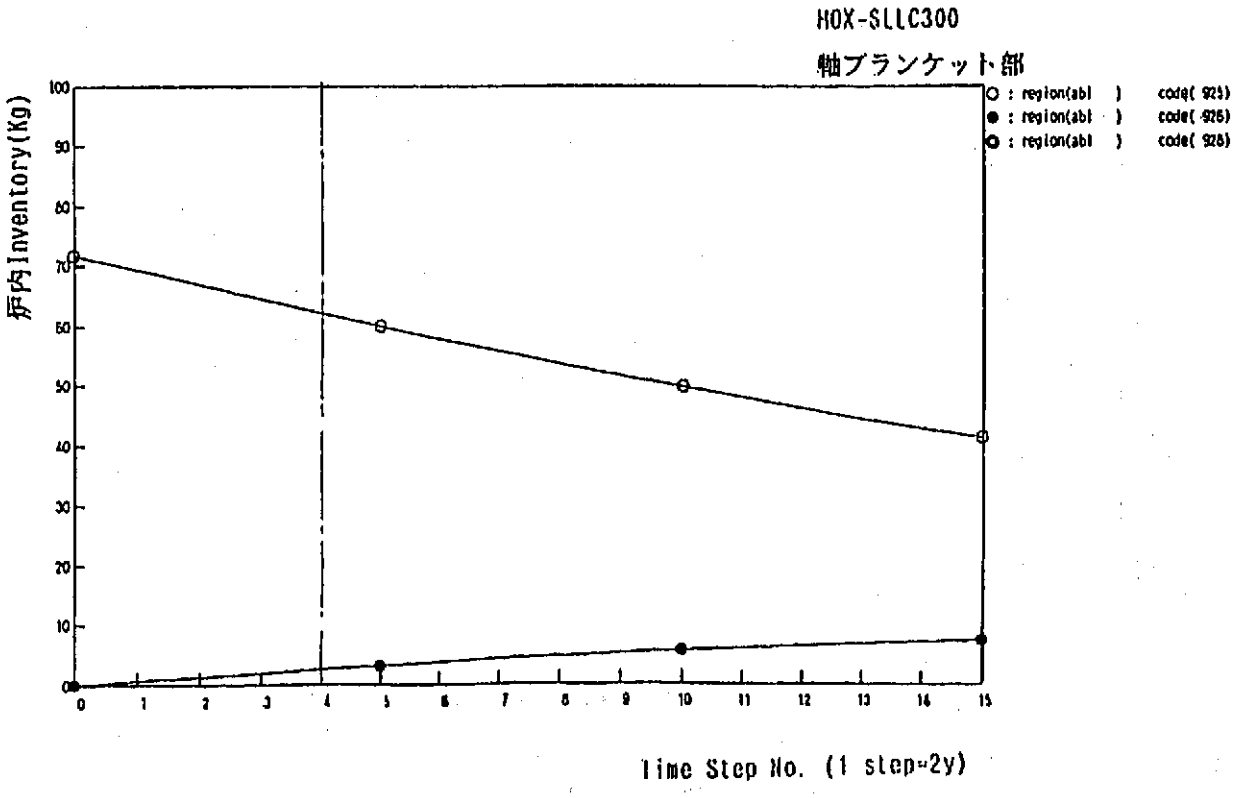
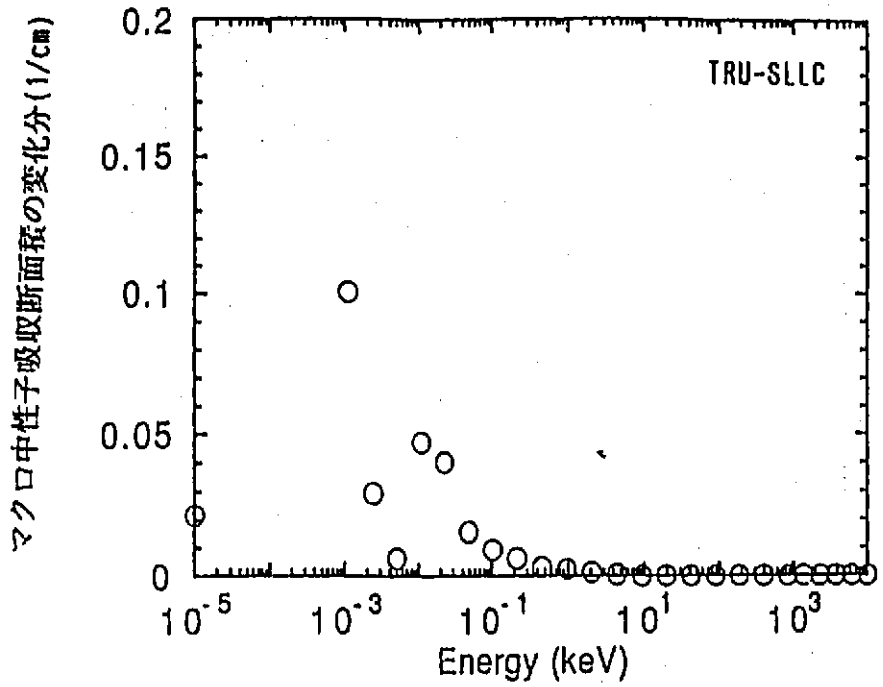


図2.4-40　300MWe MOX-SLLCの燃焼に伴う物質収支の変化（15）

－軸方向ブランケット部U235(925),U236(926),U238(928) －



$\delta\Sigma = \Sigma a(2600K) - \Sigma a(1300K)$

$\delta\Sigma = \Sigma a(2600K) - \Sigma a(1300K)$

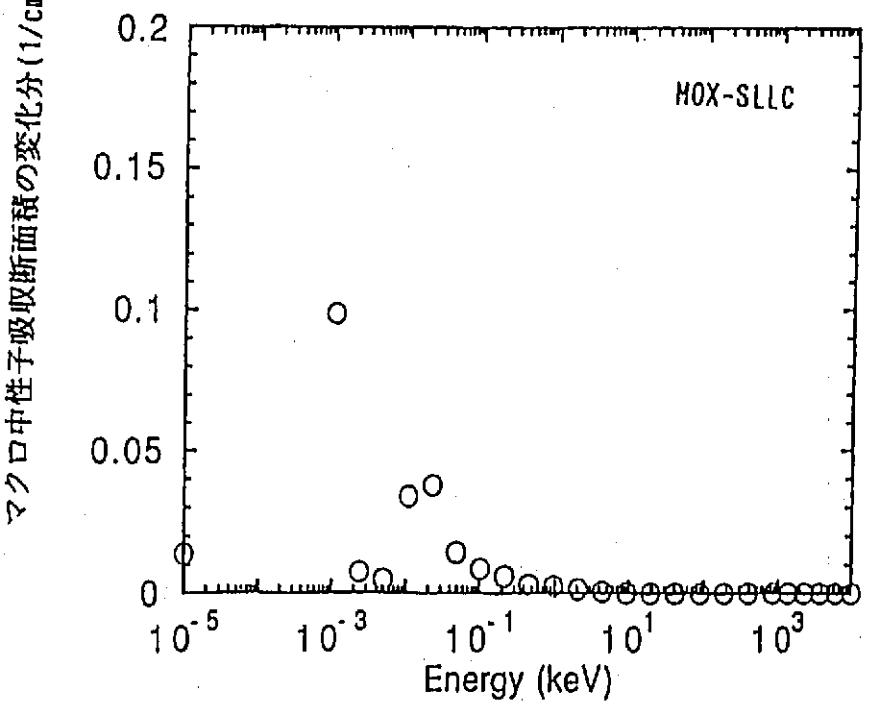
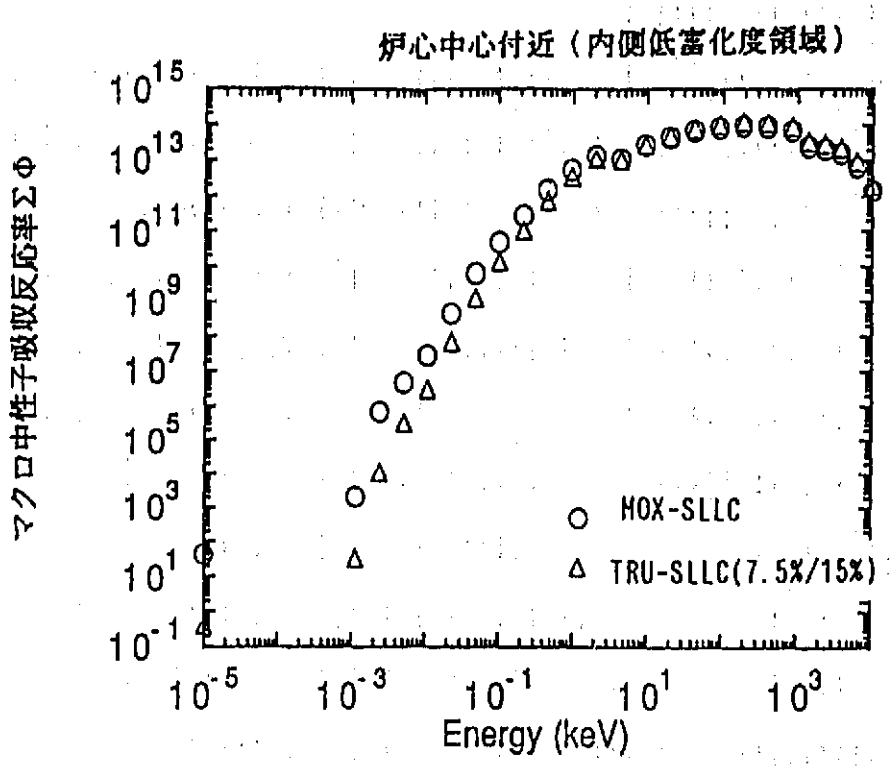


図2.4-41 1000MWe SLLCにおける燃料温度変化によるマクロ中性子吸収断面積の変化 ――初期炉心組成（内側低富化度領域）――



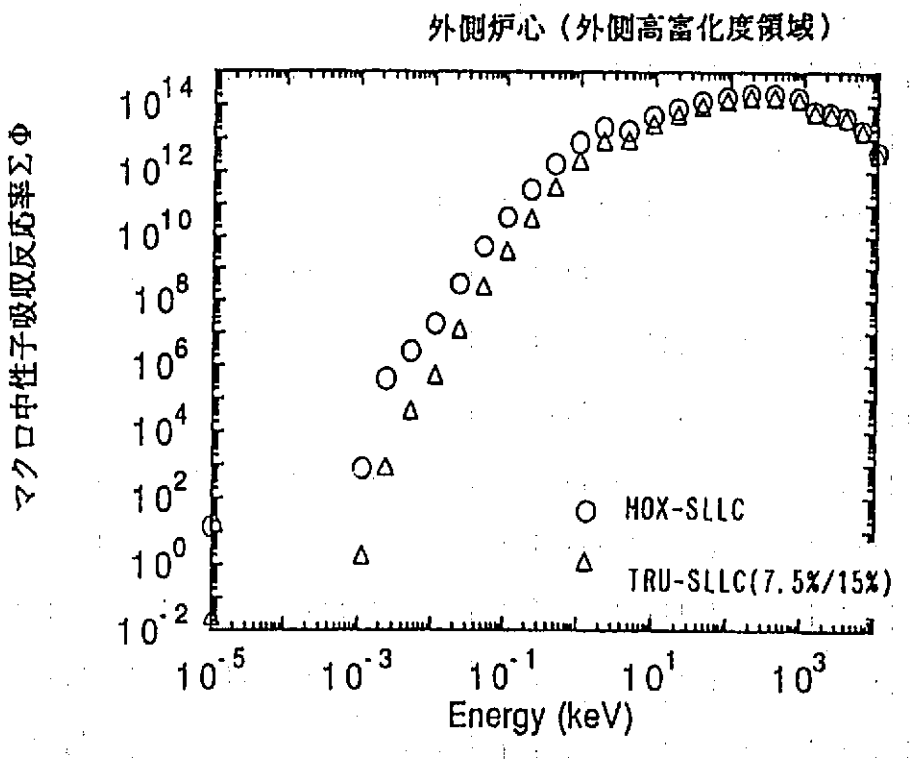


図2.4-42 1000MWe SLLC における群別マクロ中性子吸収反応率の比較
－－初期炉心組成－－

2.5 ＴＲＵ装荷炉心としての特徴

ここまでのTRU-SLLC炉心のサーベイ結果および核熱炉心特性を概観してきた結果からＴＲＵ装荷炉心としての特徴をまとめる。 TRU中のＭＡの消滅処理能力を議論する場合の参考値として、ウラン燃料軽水炉の運転により生成されるＭＡ量の概略値は 100万KWe 出力の炉１基を１年間運転することに伴い約27Kgである。Ｐｕを軽水炉で利用する場合はＭＡ生成量は更に増加する。ＭＡを軽水炉で利用することは、核的な特性だけを見ても得策ではない。したがって、軽水炉運転ではＭＡは蓄積されることになる。この蓄積量の試算としては、2030年ではNp237 は約50トン、Am241 は約10トンと予想される。Am241 はＵから生成されるＰｕの、Pu241 のaging により実質的には更に増大する。

このTRU-SLLCは反応度寿命30～40年（炉心出力密度は通常炉心の1/3～1/4と低減・炉心平均燃焼度約20万MWd/t ）として想定し、炉心特性の観点を中心にMA混合率などのMA消滅能力との関係を調べてきた。その結果を箇条書のかたちで列挙する。

(1) ＭＡを混合したＴＲＵ燃料を活用することにより反応度寿命の長期化・長期運転時の出力分布変動の抑制の２つの面で明らかに利点があることが確認された。これは、ＭＡの主成分であるNp237 が中性子捕獲して生成されるPu238 が高速炉スペクトルでは大きな“正”の反応度を有することによるもので、軽水炉では期待出来ないものである。

(2) 1000MW級の大型SLLC体系では、反応度寿命は30% 程度延びた。また、300MWe級の１バッチ炉心では、酸化物燃料を利用する場合には10年程度までの反応度寿命であった体系でも、ＴＲＵ燃料を利用することによって30～40年の超長寿命炉心を達成できるポテンシャルを示した。

(3) ＭＡ混合率は、燃料物性・照射挙動に直接係わるものは今後いずれの炉心を選択するにしても不可欠の研究・実証が必要な分野であるが、核的な観点からのポテンシャルを確認できたことによりＭＡ混合燃料のデータ蓄積の必要範囲はＭＡ混合範囲として30% 程度までの高含有率燃料を含めることがＭＡを燃料として最大限に有効活用するために必要と考

えられる。

(4) 超長寿命炉心の安全性・経済性要求を両立するためには、ＭＡ混合率には長期運転用の燃焼余剰反応度の制限と径方向出力分布の時間変動の抑制と関連して、上限値が設定される可能性がある。また、ＭＡ混合率についても炉心内に適切な分布をつけることが活用幅を大きく広げることになる。この場合、反応度寿命に関連して燃料仕様とＭＡ含有率は関係が深い。例えば、燃料体積比が低い場合はＭＡ混合率を高めることが有効である。

(5) ＭＡの消滅能力の観点からは、反応度寿命30～40年、炉心平均燃焼度約20万MWd/t の目標は、ＭＡの炉内インベントリーの減少が鈍化しはじめる時点にあたり適切なものと考えられる。被覆管への高速中性子フルエンスはおよそ6x10**23nvt であり、通常炉心の高燃焼度化の目標と一致する。

(6) ＭＡ消滅能力として、装荷ＭＡ量と30～40年運転後の炉内ＭＡ量により定義される消滅能力では約60% の消滅率を有する。 100万KWe 級ウラン燃料軽水炉で生成されるＭＡ量に換算すると年平均 7～12基分を消滅できる。消滅量はTRU-SLLC一基あたり 8～10トンである。ＭＡを炉内に装荷できる量はTRU-SLLC一基あたり14～17トンであり炉外で管理すべきＭＡ量の減少には大きな寄与をする。

(7) これだけのＭＡを消滅する間に、核分裂性Ｐｕ（Pu239,Pu241 ）の装荷時と運転終了直後の量を比較すると、TRU-SLLC炉心内のPu239 は炉心部だけでもほぼ装荷時と運転終了時の量が一致している。ブランケットを適切に配置することによりPu-fissileバランスをかなり広い範囲で調整可能であることも示されている。TRU-SLLCでは親物質のU238量が減少するがPu-fissile増殖特性に関してはＭＡ装荷による直接の悪影響はないことも示されている。このことから、ＭＡを大量に消滅しエネルギーを生産する間、どの炉心にも活用出来るPu-fissile量は保存することから、燃料資源の有効活用に大きく寄与する。

(8) 1バッチ長期運転のために、寿命中交換燃料用の再処理が不要になるためエネルギー生産に必要なTRUの再処理ロスを最少限にすることができる。

(9) Pu燃料が減少しないこと、必要Pu-fissile量が6～14トンと大きいこと合せて、Pu貯蔵とMA消滅を兼ねた"ACTIVE STORAGE"としての超長寿命炉心の位置付けができる見通しが示された。

(10) Np237の消滅と関連してPu238の生成が従来に比較して大幅に増大する。TRU-SLLCの取出しPu組成は、Pu238が多いことで高速炉スペクトルではPu238は“正”の反応度を有しているので燃料として利用できる。一方、Pu238は熱中性子炉では“負”の反応度を有するので従来の燃料と同等には利用出来ないと予想されることから、燃料サイクル上はPu238の生産量と使用量のバランスを考慮する必要がある。

2.6 まとめと今後の検討課題

このTRU-SLLCは反応度寿命30～40年（炉心出力密度は通常炉心の 1/5～ 1/4 と低減・炉心平均燃焼度約20万MWd/t ）として想定し、炉心特性の観点0 中心にMA混合率などのMA消滅能力との関係を調べた。 MOX燃料を使用するSLLC炉心と同一の炉心燃料基本仕様のもとで、MA混合率30% までの TRU燃料を使用する1000MWe 級TRU-SLLCを構成した。同時に、1000～1300MWe 級の通常の大型炉心とサイズの点で近い300MWe TRU-SLLC の可能性も検討した。

サーベイと特性検討は、炉心の基本概念を設定するために必要な基本特性（燃焼特性、出力分布、反応度特性、被覆管温度、ＭＡ消滅性能等）を定量的に調べ、ＭＡ混合炉心の特徴を摘出した。

ＭＡを混合したＴＲＵ燃料を活用することにより反応度寿命の長期化・長期運転時の出力分布変動の抑制（プラント冷却材出口温度の高温化）の２つの面で明らかに利点があることが確認された。1000MW級の大型SLLC体系では反応度寿命は30% 程度延びる。特に300MWe級の炉心では、酸化物燃料を利用する場合でも、 TRU燃料を利用することによって30～40年の超長寿命炉心を達成できるポテンシャルを示した。今回の検討では1000MWe 級のTRU-SLLCを中心にポテンシャルを検討したが、次はこの検討でそのポテンシャルが明らかになった 300 MWe TRU-SLLCの成立性の検討を行うことは意義がある。

ＭＡを燃料として最大限に有効活用するために、MA混合率が 30%程度の高含有率までの範囲で燃料物性・照射挙動・製造性などのデータの蓄積が必要と考えられる。

超長寿命炉心の安全性・経済性要求を両立するためには、MA混合率と炉心燃料体積比等の基本仕様との関係が重要なことが示唆されている。また、MA消滅能力の観点からは、反応度寿命30～40年、炉心平均燃焼度約20万MWd/t の目標は、ＭＡの炉内インベントリーの減少が鈍化しはじめる点にあたり適切なものと考えられる。被覆管への高速中性子フルエンスはおよそ6x10**23nvt であり、通常炉心の高燃焼度化の目標と一致する数値であることが示された。 TRU燃料の炉内配置を適切に行うことで、30～40年間の運転にわたり燃焼反応度低減と

出力分布変動を抑制できることが示されたが、燃料として混合するPu・MAの成分の変動（軽水炉の燃焼度増加・Ｐｕサーマル炉取出し燃料・ＦＢＲ取出し燃料等）、 MA/Pu混在比の調整精度などのバラツキによる影響を検討する必要があると考えられる。これらは燃料製造とのインタフェイスとして技術開発目標としても重要であろう。同時に、TRU-SLLCでは多量なPu,MA を必要とするので成分のバラツキはある程度の範囲に広がる可能性が大きいので、出力分布等との観点でも重要である。

ＭＡ消滅能力として、装荷ＭＡ量と30～40年運転後の炉内ＭＡ量により定義される消滅能力では、約60% の消滅率である。100KWe級ウラン燃料軽水炉生成されるＭＡ量に換算すると、年平均 7～12基分を消滅できる。MAの平均混合率は12～23% である。消滅量はTRU-SLLC一基あたり 8～10トンである。ＭＡを炉内に装荷できる量はTRU-SLLC一基あたり14～17トンであり炉外で管理すべきＭＡ量の減少に大きな寄与をする。ＭＡを消滅と同時に、核分裂性Ｐｕ量は減少せず、ブランケットを適切に配置することによりPu-fissileバランスをかなり広い範囲で調整可能であることも示されている。このことから、ＭＡを大量に消滅しエネルギーを生産する間にＰｕの増殖または保存ができるので、燃料資源の有効活用に大きく寄与できるポテンシャルを示した。Ｐｕ燃料が減少しないこと、必要Pu-fissile量が 6～14トンと大きいことと合せＭＡ消滅を兼ねた"Ｐｕ ACTIVE STORAGE"としての超長寿命炉心の位置付けができる見通しが示された。今後は、運転性・安全性面を含めて "Ｐｕ ACTIVE STORAGE"炉の面を追及する価値があろう。

１バッチ長期運転のために、寿命中交換燃料用の再処理が不要になるためエネルギー生産に必要な TRUの再処理ロスを最少限にすることができること、高燃焼度のために廃棄物全体が低減できる等の特徴のある炉心概念をある程度定量的に描くことが出来た。この検討で示された炉心特性に関してドップラー係数・ナトリウムボイド反応度・制御棒価値・燃焼反応度等の安全性に直接係わる特性値の信頼性を一層向上させる必要がある。 このために Pu238,Np237, Am241,Am243 等の従来からの先行炉心では主役でない核種の照射による変換効

率の実証試験・反応度価値測定などの積分試験を実施していく必要がある。臨界実験の方法についても検討する必要がある。

Np237 を消滅することにより、Pu238 等が大量に生成されるのでこれらの活用について見極める必要がある。本検討で示されるように高速炉系では、ＭＡは燃料と同等に利用出来るので、この受け皿技術を明確にしていくことも重要である。

3. 非均質炉心への装荷の解析

3.1 検討の着眼点と検討フロー

3.1.1 着眼点

高速増殖炉の炉心内部にブランケット燃料を配置する、いわゆる非均質炉心は燃焼反応度減少量の低減、増殖比の向上、ナトリウムボイド反応度の低減、中性子照射量の低減等の観点から、均質炉心に比べて優れたポテンシャルがあることが指摘されている[7],[8]。ＴＲＵ消滅処理炉心においても、ＴＲＵ装荷量増大の可能性、燃料取扱い上のリスク低減の可能性、炉心運用の多様化の可能性、集合体材料選択幅の増大の可能性等、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷する非均質炉心が考えられる。非均質炉心としては、代表的な径方向非均質炉心及び軸方向非均質炉心の検討が広く知られているが、内部ブランケット燃料にＴＲＵを混入させることにより、ＴＲＵの炉心内への装荷量を増大させ、ＴＲＵ消滅量を増大させる観点から、内部ブランケット燃料の割合が大きくなる径方向非均質炉心を本研究の対象とした。本研究では、ＴＲＵ燃料及びＴＲＵブランケット燃料からなる径方向非均質炉心の検討を行い、ＴＲＵ径方向非均質炉心とすることの特徴を摘出する。

具体的には、ＭＯＸ径方向非均質炉心の設定と同等の考え方でＴＲＵ径方向非均質炉心を設定し、炉心及び内部ブランケットのＭＯＸ燃料にＴＲＵを混合することによるＭＡ核種の生成と消滅のバランスを定量的に評価する。また、ＴＲＵの混合割合を変化させることによるＭＡ核種の生成と消滅のバランスも定量的に評価する。さらに、照射後の取出燃料（使用済みＴＲＵ装荷燃料集合体）の発熱量及び中性子線源強度等についても評価検討する。

一方、ＴＲＵ消滅処理特性の観点から、ＴＲＵ径方向非均質炉心の燃焼反応度減少量、増殖特性、ナトリウムボイド反応度等の核特性を定量的に評価する。

ＴＲＵ径方向非均質炉心と炉内にＴＲＵを均一に装荷した均質炉心のＴ

ＲＵ消滅処理特性及び炉心特性を比較し、ＴＲＵ径方向非均質炉心としての特徴を摘出する。

3.1.2 検討フロー

径方向非均質炉心におけるＴＲＵ消滅処理特性の検討フローを図3.1-1に示す。

まず、基準の均質炉心の基本条件及び燃料仕様を用いて、ＭＯＸの径方向非均質炉心を設定した。ＭＯＸ径方向非均質炉心の設定は、燃焼反応度減少量の低減、増殖比向上等を考慮して炉心配置を設定した。基準の均質炉心の基本条件及び燃料仕様の詳細については、付録のA.1 に示してある。なお、内部ブランケット燃料については、径ブランケット燃料の燃料仕様と同一にし、燃料交換は固定３バッチ分散方式とした。

次に、径方向非均質炉心においてＴＲＵを装荷する領域としては、炉心燃料部及び内部ブランケット燃料部の組み合わせとし、ＴＲＵ径方向非均質炉心のＴＲＵ消滅処理特性及び炉心の諸特性について評価した。ＴＲＵは軽水炉取出の燃料を再処理した燃料を使用し、ＴＲＵの組成比については、付録のA.1 の表A.1-5 に示してある。

径方向非均質炉心の炉心燃料部と内部ブランケット燃料部にＴＲＵを装荷した割合の組み合わせを下記に示す。

	ＴＲＵ装荷割合　(wt%)									
炉心燃料	0					5				
内部ブランケット	0	5	15	25	30	0	5	15	25	30

なお、ＴＲＵをＭＯＸ燃料に混合する場合には、ＴＲＵの装荷量に相当するＵの量を減らすこととした。

(1) 計算手法

a. 炉心計算

ＴＲＵ消滅処理特性及び炉心諸特性の評価は、二次元のＲＺ燃焼拡散コードを使用して行った。計算で使用した燃焼チェーンの詳細については、付録のA.3 に示してある。また、ナトリウムボイド反応度の評価は、二次元の直接計算で行った。

b. 炉定数

炉定数は、JENDL-2 ライブラリー[5]を群定数化したJFS-3-J2セット[6]の70群を基本とし25群中間ライブラリーを作成している。燃焼計算及びナトリウムボイド反応度の計算では25群を７群に縮約して使用した。７群のエネルギー群構造については、付録のA.4 の表A.4-1 に示す。

c. 崩壊熱及び中性子線源強度

照射後の取出燃料（使用済みＴＲＵ装荷燃料）の崩壊熱及び中性子線源強度の評価は、ORIGEN-2コード[9]を使用し、ライブラリーは高速炉用を用いた。

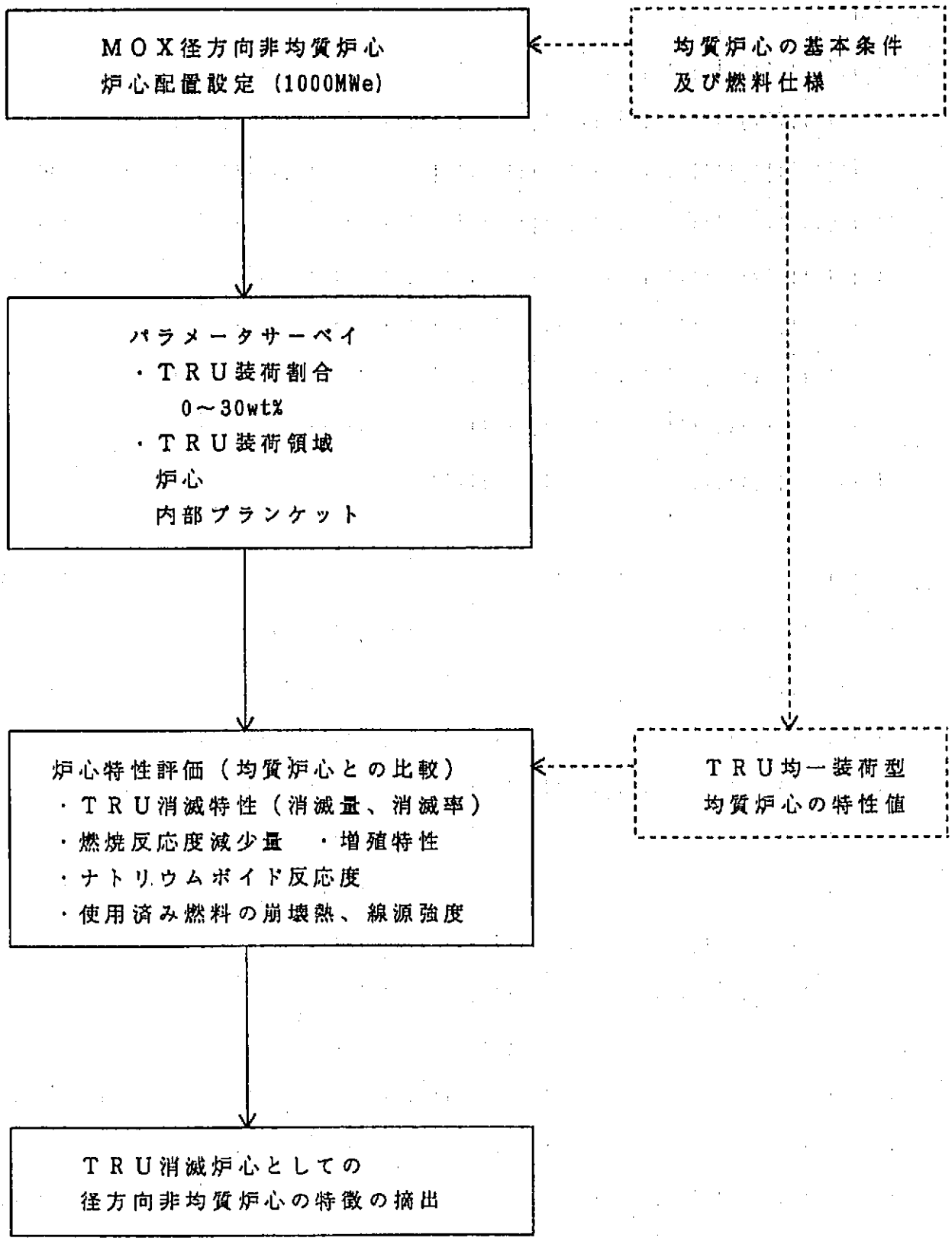


図3.1-1　径方向非均質炉心におけるＴＲＵ消滅処理特性の検討フロー

3.2 炉心の設定

3.2.1 炉心設定の基本条件

径方向非均質炉心の炉心を設定する上での基本条件としては、均質炉心の炉心主要仕様及び炉心構成要素主要仕様を用いて、均質炉心の比べて優れた点である燃焼反応度減少量の低減、増殖比の向上、中性子照射量の低減等の観点から炉心配置を設定した。内部ブランケットの燃料仕様については、径ブランケットと同一とし、燃料交換は3バッチ分散方式とした。

具体的には、上記の観点から、炉心特性に大きく影響を与える内部ブランケットの割合（燃料集合体数でIBL/[CORE+IBL]）をパラメーターとしたサーベイ計算を実施し、炉心特性を評価した。

3.2.2 内部ブランケット割合の設定

径方向非均質炉心の内部ブランケット燃料集合体の割合については、約30% が最適であるという結果（　　非均質炉心の安全性に関する研究（2）　SJ201　81-11）が得られているが、炉心仕様及び燃料仕様が異なっているために、本仕様でも同じになるかどうか確認する意味でこの検討を実施した。

内部ブランケットの割合は20% ,30% ,40% の3ケースとし、まず、内部ブランケット燃料集合体の割合が20% で内部ブランケット燃料集合体層が3リング（炉心中心部を除く）の代表的な径方向非均質炉心の炉心配置を設定した。内部ブランケット燃料集合体の割合を増やす方法としては、内部ブランケット燃料集合体のリング数は固定とし、内部ブランケット燃料の領域幅を大きくすることとした。内部ブランケット燃料集合体の割合が約20% の炉心配置を図3.2-1 に示す。

なお、内部ブランケット燃料集合体の割合を変化させるときには、炉心燃料の平均出力密度及び平均燃焼度が約230W/cc及び約9万MWd/tとなるように炉心本数を調整して設定し、また、出力分布も極力平坦になるようにした。

内部ブランケット燃料集合体の割合を変化させたときの主要な炉心特性を表3.2-1 に示す。また、主要特性と内部ブランケット燃料集合体の割合の関係を図3.2-2 に示す。

燃焼反応度減少量及び中性子照射量の低減の観点からは、内部ブランケット燃料集合体の割合が約25% ～ 35%に最適点がある。増殖比については、大きな差はないがやはり約25% ～ 35%に最適点がある。なお、増殖比に差がないのは、図3.2-3 に示すように、内部ブランケット燃料集合体の割合を増加させると、内部ブランケット燃料部の増殖比は大きくなるが、炉心燃料部の心要Ｐｕ富化度が増大し内部転換比が小さくなり、合計としては差が小さく無くなっているためである。

最大線出力と内部ブランケット燃料集合体の割合の関係は、図3.2-4 に示すように、内部ブランケット燃料集合体の割合を増加させると、炉心燃料の線出力は大きくなり、内部ブランケット燃料の線出力は小さくなる。これは、図3.2-5 に示すように、炉心燃料部のＰｕ富化度が高くなるためである。このように、最大線出力の観点からも内部ブランケット割合は約30% 近傍に最適点がある。

これらの結果から、内部ブランケット燃料集合体の割合は、約30% と設定した。

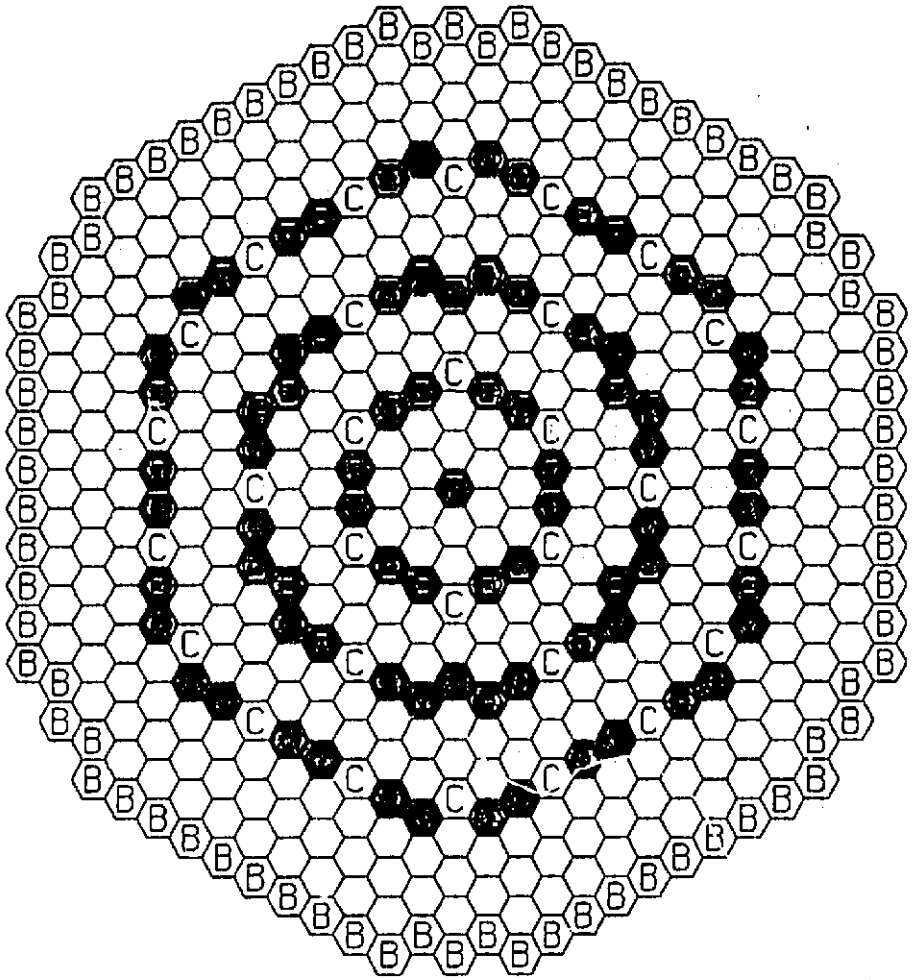
3.2.3 炉心の設定

径方向非均質炉心の炉心配置は、前項で設定した内部ブランケット燃料集合体割合約30% を炉心内部に配置し、出力分布が極力平坦になるよう設定した。また、平衡サイクル末期において、実効増倍率が1.002 になるようにＰｕ富化度調整を行った。なお、燃焼計算においては、平衡初期では運転用の制御棒は約30cm挿入された状態であり、平衡末期では引き抜き状態である。

このようにして設定した径方向非均質炉心の炉心配置の構成を図3.2-6 に示す。また、二次元ＲＺ計算体系を図3.2-6 に示す。

表3.2-1　内部ブランケット割合と炉心特性の関係（径方向非均質炉心）

燃料集合体数				
炉心燃料		339	333	324
内部ブランケット燃料		82	140	216
内部ブランケット割合 [IBL / (CORE+IBL)]	(%)	19.5	29.6	40.0
Ｐｕ富化度	(wt%)	21.59	24.50	28.42
燃焼反応度減少量	(%Δρ)	2.54	2.40	3.41
増殖比（ＭＯＥＣ）				
炉　心		0.612	0.521	0.436
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.254	0.366	0.431
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.279	0.289	0.312
合　計		1.145	1.176	1.179
出力分担率（ＢＯＥＣ）				
炉　心	(%)	88.41	86.48	85.72
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	6.77	8.31	8.05
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	4.82	5.21	6.23
炉心部出力密度（ＢＯＥＣ）				
平　均	(W/cc)	234.46	233.46	237.84
最　大	(W/cc)	372.25	393.98	484.22
出力分担率（ＥＯＥＣ）				
炉　心	(%)	82.71	79.76	78.95
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	10.86	13.84	14.05
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	6.43	6.40	7.00
炉心部出力密度（ＥＯＥＣ）				
平　均	(W/cc)	219.33	215.32	219.06
最　大	(W/cc)	350.93	367.68	339.16
最大線出力				
炉　心	(W/cm)	384.57	407.02	500.24
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(W/cm)	536.80	418.89	345.60
炉心燃料部燃焼度				
取出平均	(MWd/t)	88,000	87,000	88,000
取出最大	(MWd/t)	129,000	131,000	154,000
ピークフルエンス（≧0.1MeV）				
炉　心	(nvt)	2.36E23	2.35E23	2.60E23
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(nvt)	2.01E22	1.67E23	1.56E23



⬡	炉心燃料集合体	342体
Ⓒ	制御棒	30体
Ⓑ	径ブランケット燃料集合体	78体
⬢	内部ブランケット燃料集合体	79体

図3.2-1　径方向非均質炉心の炉心構成
（内部ブランケット[illegible]設定用）

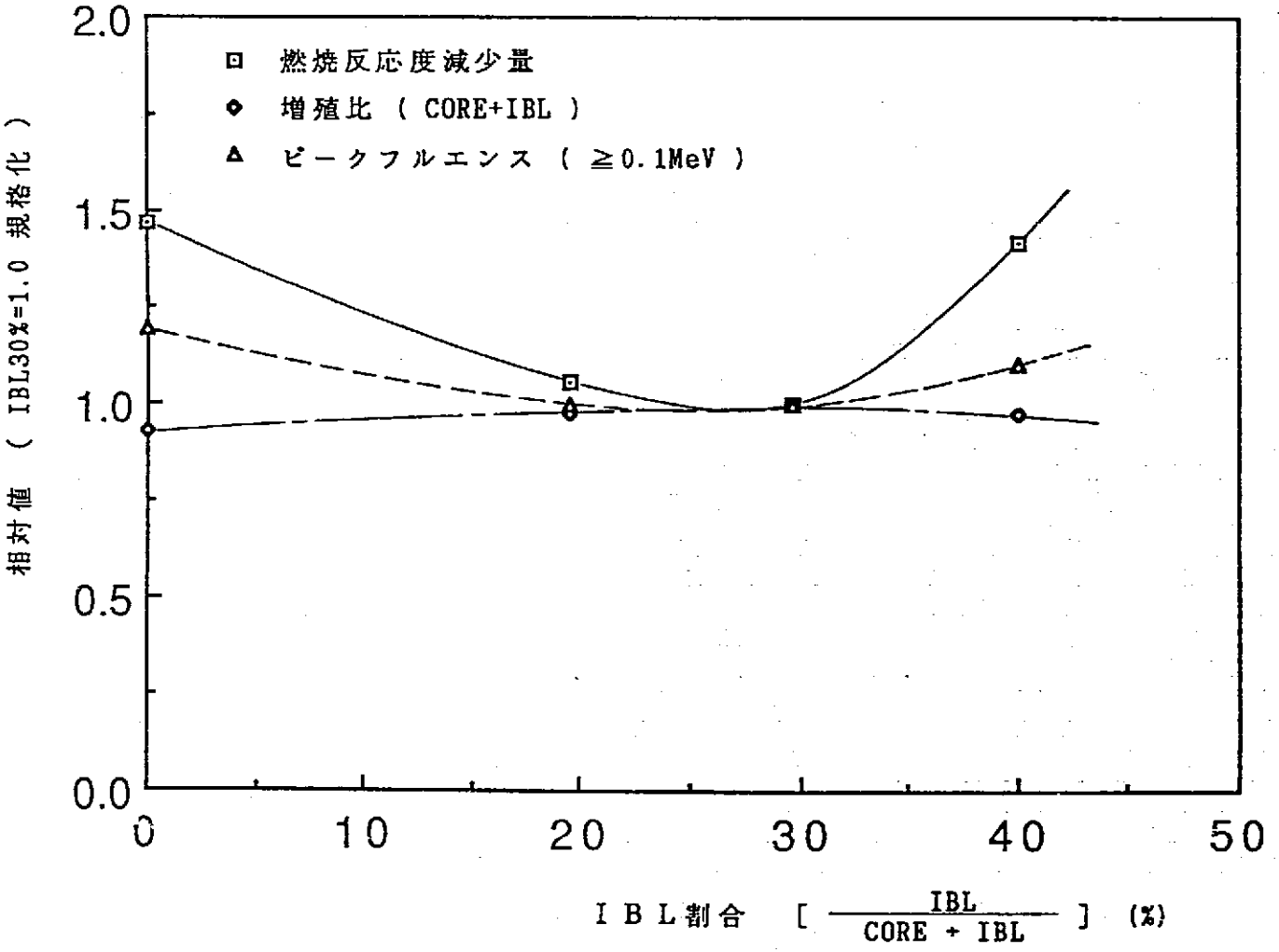


図3.2-2 主要特性と内部ブランケット割合の関係

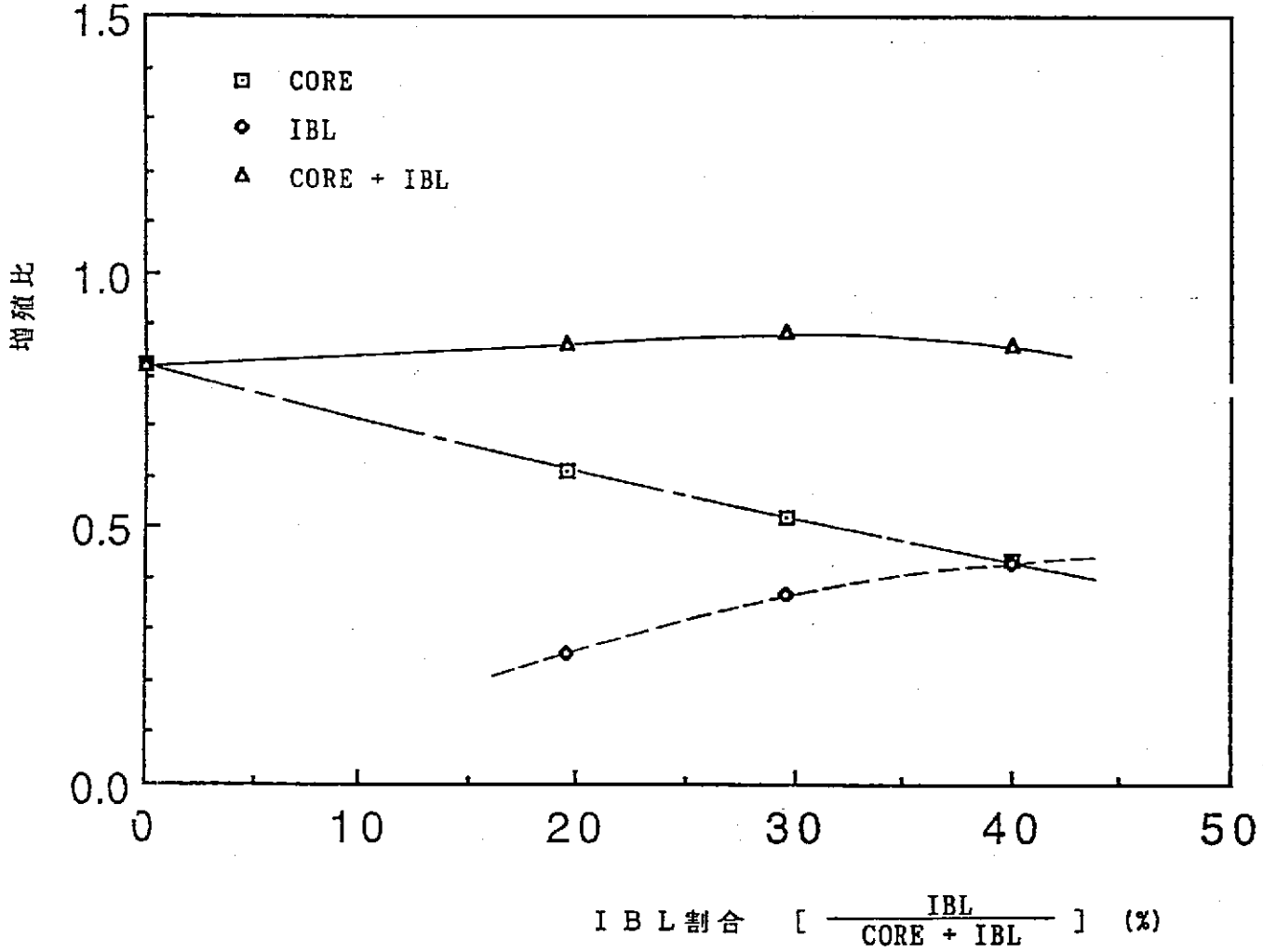


図3.2-3　増殖比と内部ブランケット割合の関係

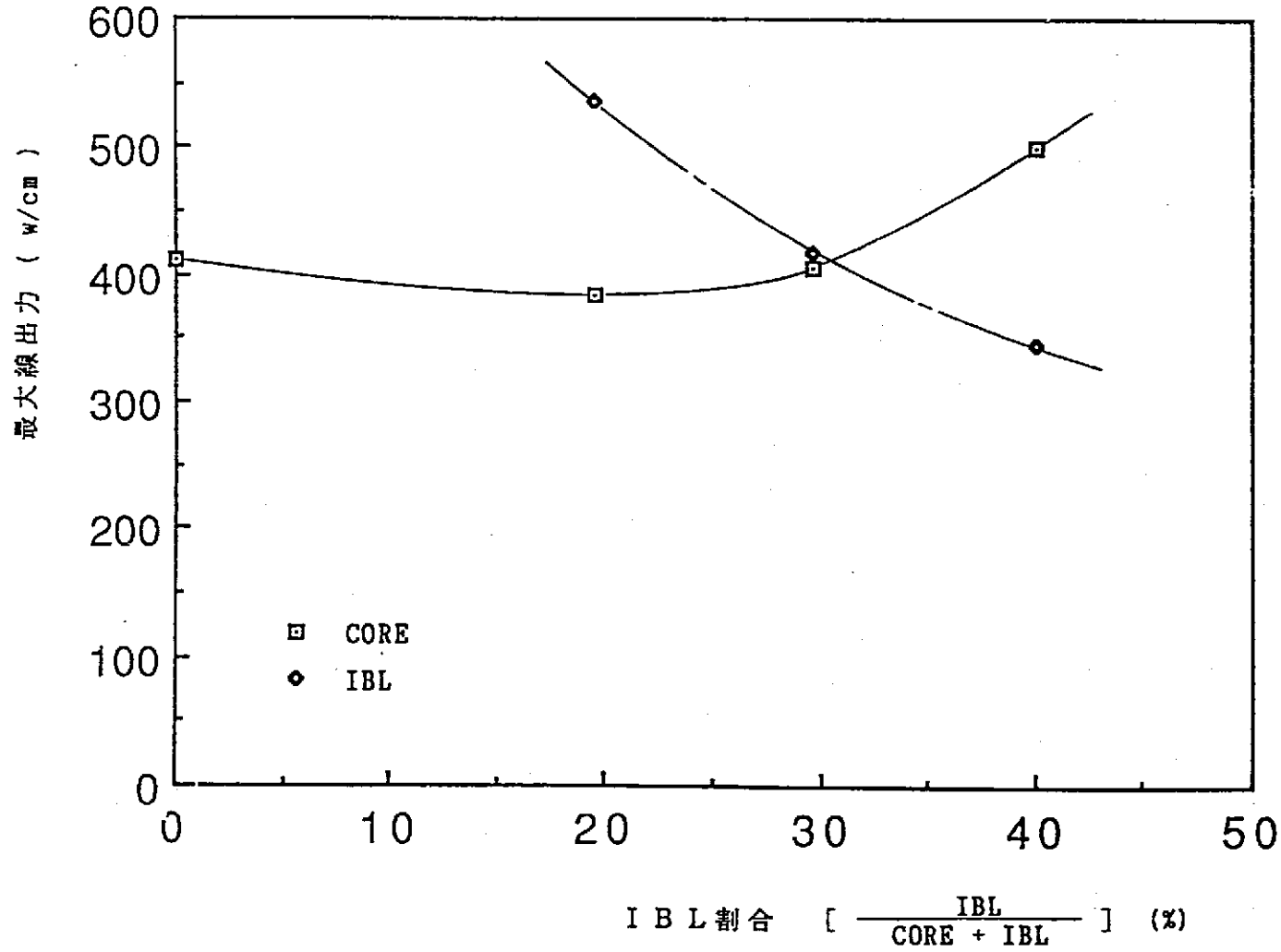


図3.2-4　最大線出力と内部ブランケット割合の関係

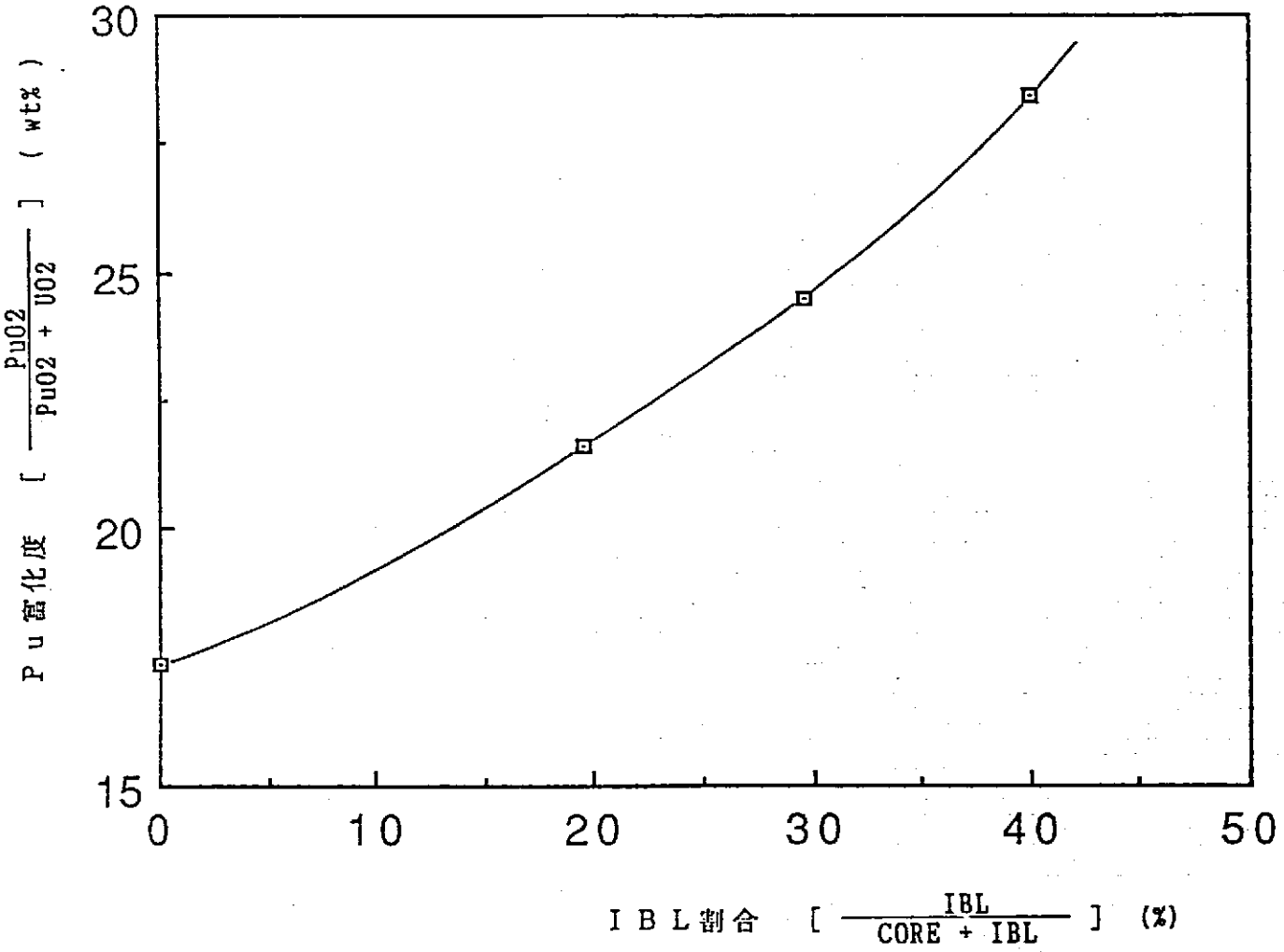
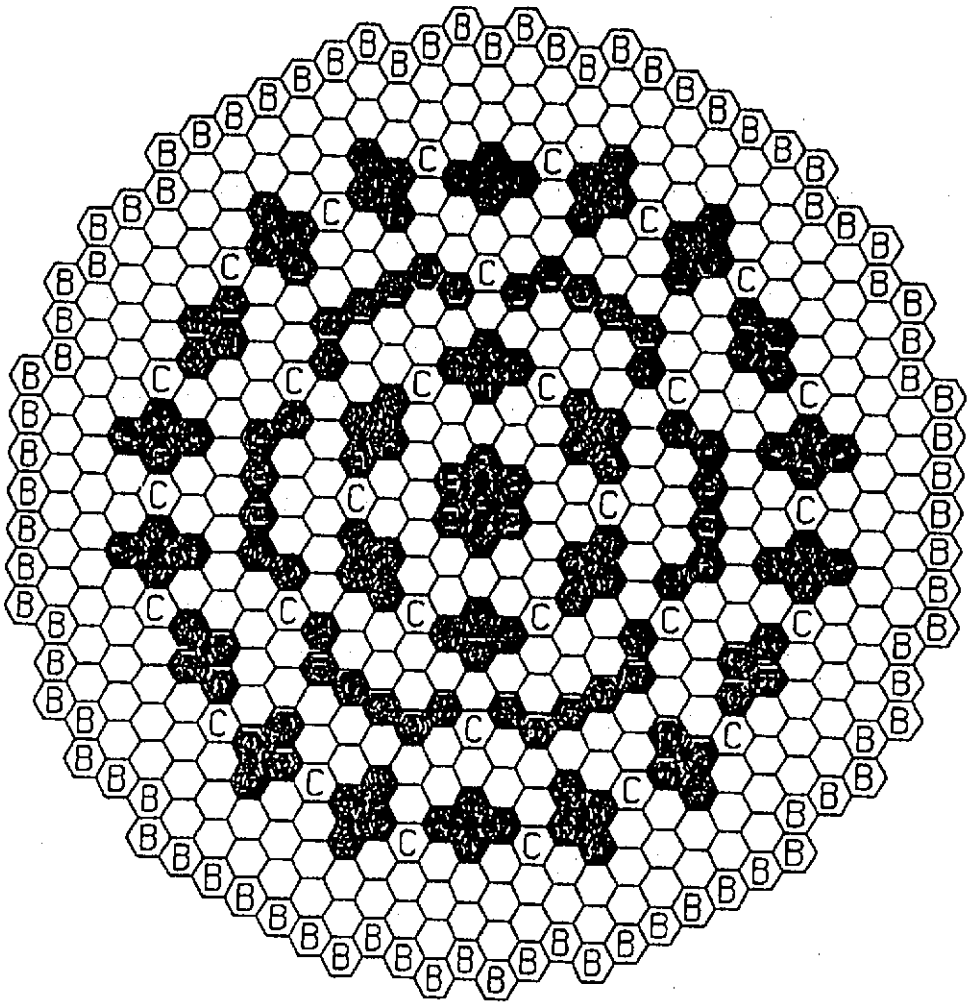


図3.2-5 Ｐｕ富化度と内部ブランケット割合の関係



⬡	炉心燃料集合体	330体
Ⓒ	制御棒	30体
Ⓑ	径ブランケット燃料集合体	84体
⬢	内部ブランケット燃料集合体	139体

図3.2-6　径方向非均質炉心の炉心構成

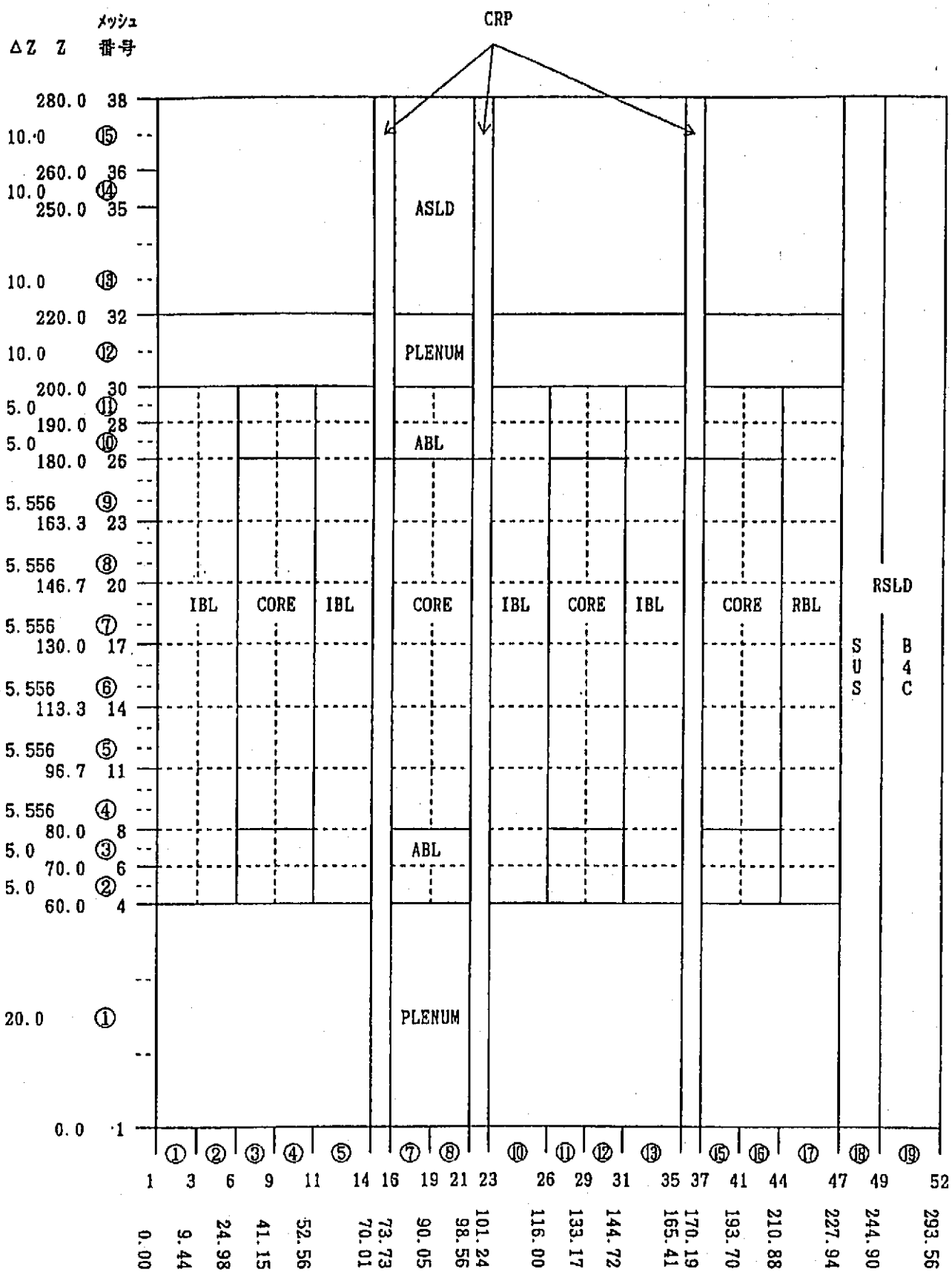


図3.2-7 二次元RZ計算体系（径方向非均質炉心）

3.3 ＴＲＵ消滅処理特性

3.3.1 ＴＲＵの消滅量

平衡サイクルにおけるＴＲＵの装荷量と取出量を表3.3-1 及び表3.3-2 に示す。表3.3-1 は、炉心燃料部にはＴＲＵを装荷しないケースであり、表3.3-2 は、炉心燃料部にＴＲＵを5wt%したケースである。内部ブランケット燃料部については、両ケースともＴＲＵを0～30wt%まで装荷した。なお、炉心及び内部ブランケットの燃料物質のインベントリーについては付録A.5 に示す。

内部ブランケット燃料部のＴＲＵ取出量は、装荷量にほぼ比例して増大し、ＴＲＵ15wt% 装荷で約1100kgであり、ＴＲＵ30wt% 装荷で約2200kgである。

一方、炉心燃料部のＴＲＵ取出量は、ＴＲＵ装荷無しでは約55kgであり、ＴＲＵ5wt%装荷では約440kg である。内部ブランケットへのＴＲＵ装荷量を変化させても、後述するように炉心特性がほとんど変化しないために、炉心燃料部のＴＲＵ取出量は一定である。

平衡サイクルにおけるＴＲＵの消滅量を表3.3-3 及び図3.1-1 から図3.3-3 に示す。

平衡サイクルにおけるＴＲＵ消滅量は、ＴＲＵ装荷割合に比例して増大する。内部ブランケット燃料のみにＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵ装荷割合が15wt% でＴＲＵ消滅量は約240kg/cyであり、また、炉心燃料にＴＲＵを一定量の5wt%装荷し、内部ブランケット燃料にもＴＲＵを装荷した場合は、内部ブランケットへの装荷割合が5wt%でＴＲＵ消滅量は約210kg/cyである。一方、均質炉心におけるＴＲＵ消滅量は、ＴＲＵ5wt%均一装荷で約180kg/cyである。

径方向非均質炉心で均質炉心と同等もしくはそれ以上の消滅量を得るには、内部ブランケット燃料のみにＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵ装荷割合は約15wt% 以上を心要とし、また、炉心燃料にＴＲＵを一定量の5wt%装荷し、内部ブランケット燃料にもＴＲＵを装荷した場合は、内部ブランケッ

トへのＴＲＵ装荷割合は約5wt%以上を心要とする。

径方向非均質炉心の炉心燃料にＴＲＵを5wt%装荷した場合、消滅量は約110kg/cyであり、均質炉心のＴＲＵ5wt%均一装荷の180kg/cyに比べて小さいが、これは、炉心燃料集合体の本数及び中性子束の違いによるものである。

また、年間当たりのＴＲＵの消滅量は、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、炉心燃料にＴＲＵを装荷しない場合は約410kg／年であり、炉心燃料にＴＲＵをに5wt%装荷した場合は約540kg ／年である。

本検討炉心と同等の出力規模の軽水炉のＴＲＵ生成量は約30kg／年であるので、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、軽水炉の14基及び18基分に相当する消滅量が得られる。ＴＲＵ径方向非均質炉心は、良好な消滅特性を有しているといえる。

ＴＲＵ元素の消滅量の内訳を図3.3-4 及び図3.3-5 に示す。

内部ブランケットにおいては、炉心燃料へのＴＲＵ装荷の有無に係わらずＮｐ及びＡｍがほぼ同じ割合で消滅（ＴＲＵ装荷量5wt%～30wt% のときの消滅量・Ｎｐ；約62～330kg/cy　Ａｍ；約59～300kg/cy）し、Ｃｍは量としては少ないが蓄積（ＴＲＵ装荷量5wt%～30wt% のときの蓄積量約15～70kg/cy ）される。炉心部においては、ＴＲＵを装荷しない場合には、ＴＲＵは一定量（約 56kg/cy）で蓄積され、ＴＲＵを5wt%装荷するとＮｐ及びＡｍは約 87kg/cy及び約 36kg/cy消滅し、Ｃｍは約 21kg/cy蓄積される。Ｎｐ及びＡｍの消滅量の割合が炉心燃料と内部ブランケット燃料で違うのは、中性子束のスペクトルの違いによるものである。

3.3.2　ＴＲＵの消滅率

平衡サイクルにおけるＴＲＵの消滅率を表3.3-4 に示す。

径方向非均質炉心の消滅率は、ＴＲＵの装荷割合を変化させてもほとんど一定で約20% である。一方、均質炉心の消滅率は、ＴＲＵ装荷割合が5wt% の場合約30% である。径方向非均質炉心が均質炉心に比べて約30% 小

さい理由は、径方向非均質炉心の特徴の一つである、均質炉心に比べて中性子束が小さいためである。

表3.3-1　ＴＲＵの装荷量と取出量［TRU CORE 0wt%］

［単位：kg］

内部ブランケットへのＴＲＵ装荷割合（wt%）	ＴＲＵ装荷量			ＴＲＵ取出量		
	CORE	IBL	合計	CORE	IBL	合計
0	0	0	0	56	2	58
5	0	457	457	57	349	406
15	0	1,376	1,376	57	1,083	1,140
25	0	2,303	2,303	56	1,835	1,891
30	0	2,769	2,769	55	2,207	2,262

表3.3-2　ＴＲＵの装荷量と取出量［TRU CORE 5wt%］

［単位：kg］

内部ブランケットへのＴＲＵ装荷割合（wt%）	ＴＲＵ装荷量			ＴＲＵ取出量		
	CORE	IBL	合計	CORE	IBL	合計
0	548	0	548	440	2	442
5	548	457	1,005	442	350	792
15	547	1,376	1,923	444	1,083	1,527
25	547	2,303	2,850	443	1,829	2,272
30	547	2,769	3,316	442	2,197	2,639

表3.3-3　ＴＲＵの消滅量

［単位：kg］

内部ブランケットへのＴＲＵ装荷割合（wt%）	TRU CORE 0wt%			TRU CORE 5wt%		
	CORE	IBL	合計	CORE	IBL	合計
0	- 56	- 2	- 58	108	- 2	106
5	- 57	108	51	106	107	213
15	- 57	293	236	103	293	396
25	- 56	468	412	104	474	578
30	- 55	562	507	105	572	677

表3.3-4　ＴＲＵの消滅率

［単位：%］

内部ブランケットへのＴＲＵ装荷割合（wt%）	TRU CORE 0wt%			TRU CORE 5wt%		
	CORE	IBL	平均	CORE	IBL	平均
0	—	—	—	20	—	19
5	—	24	11	19	23	21
15	—	21	17	19	21	21
25	—	20	18	19	21	20
30	—	20	18	19	21	20

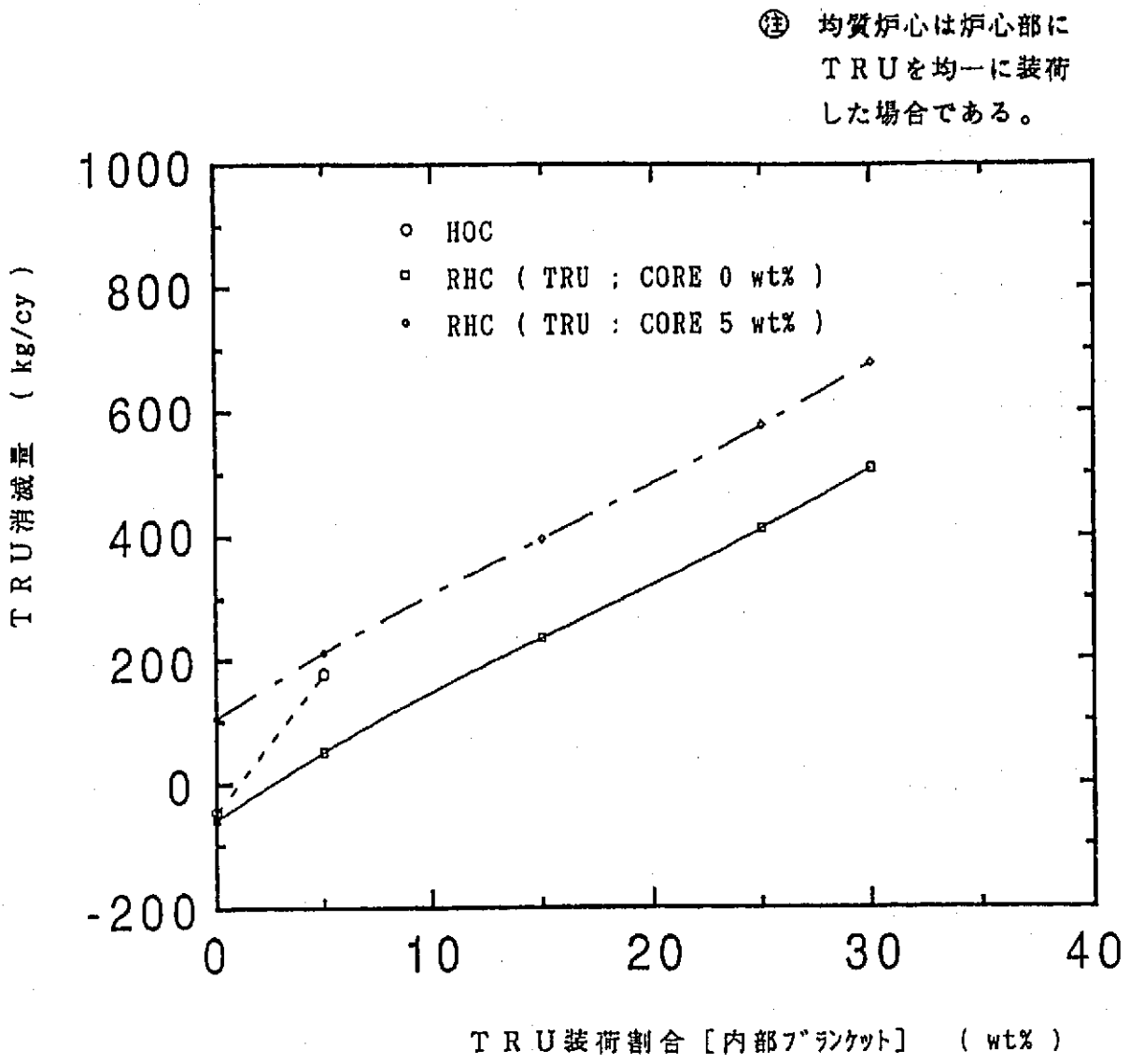


図3.3-1 ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化

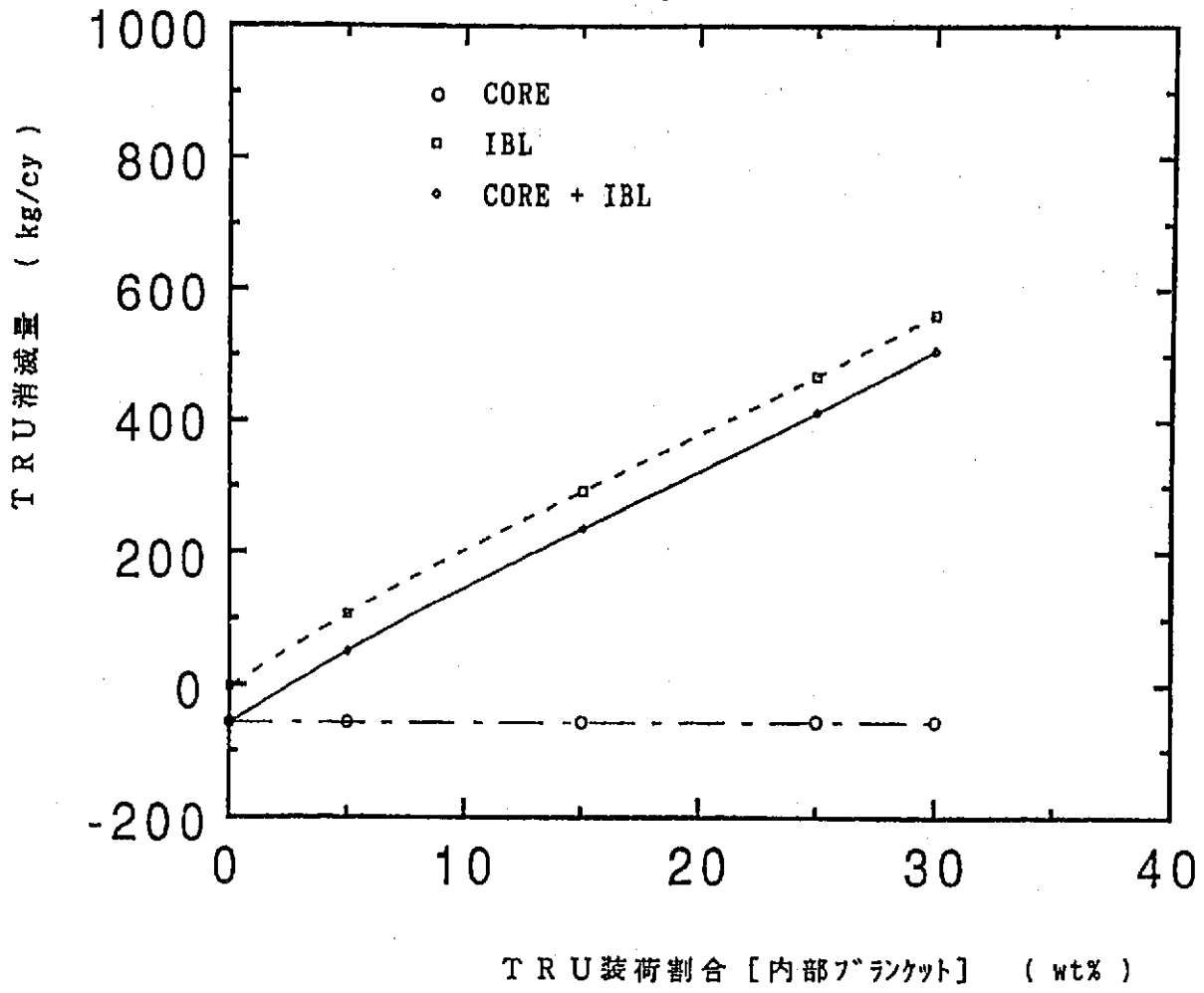


図3.3-2 ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化
RHC (TRU ; CORE 0 wt%)

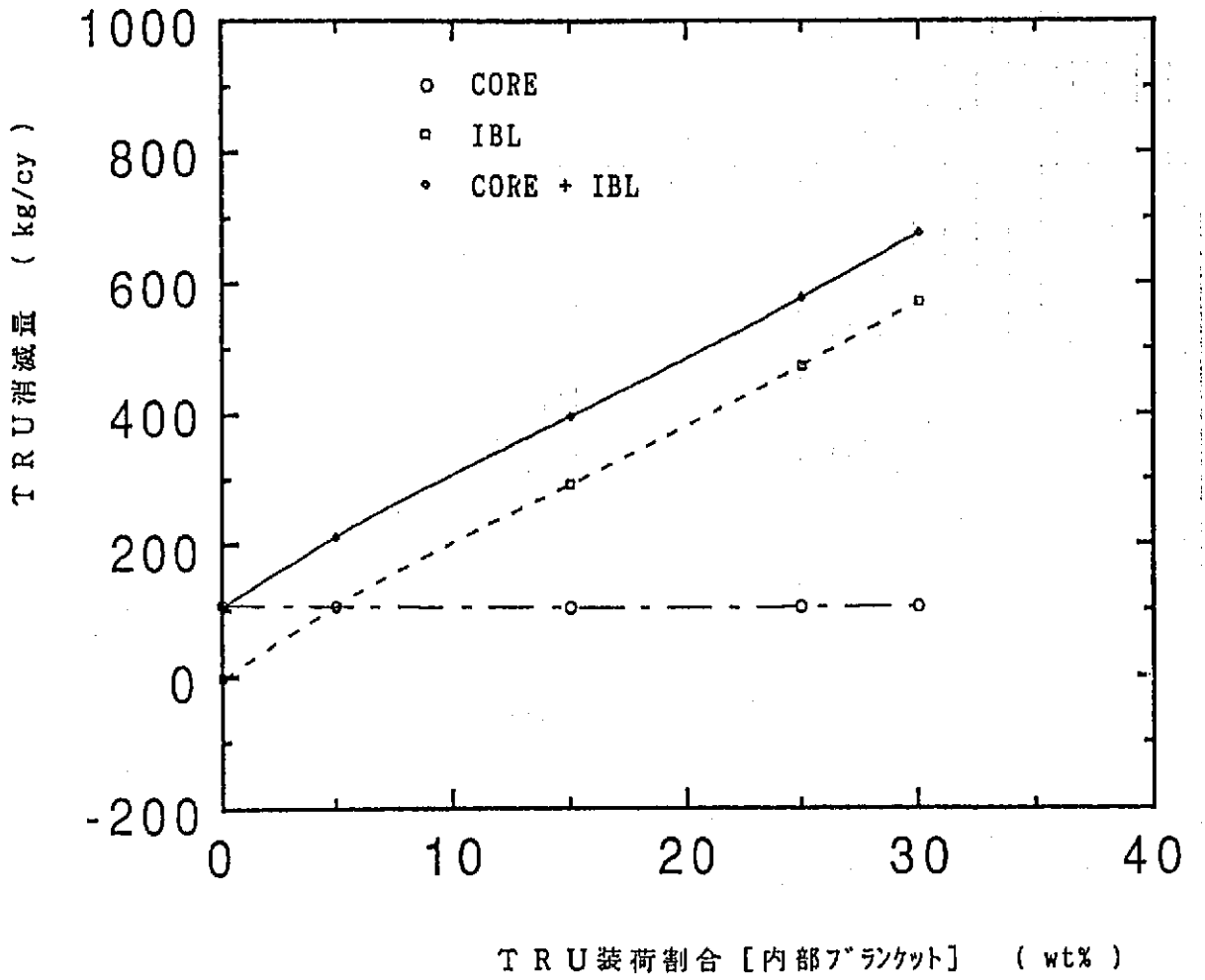


図3.3-3 ＴＲＵ装荷によるＴＲU消滅量の変化
RHC (TRU ; CORE 5 wt%)

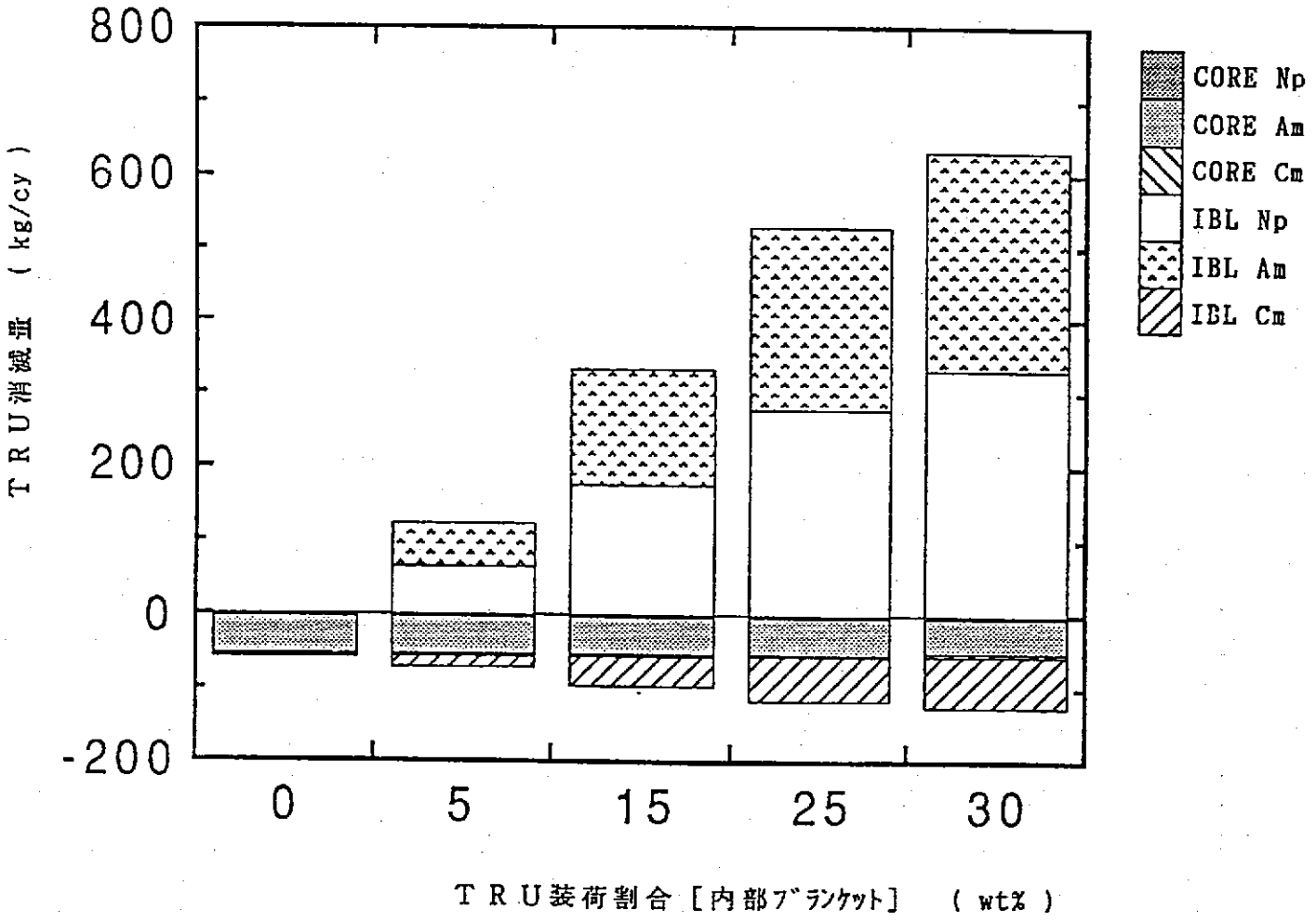


図3.3-4　ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化
RHC (TRU ; CORE 0 wt%)

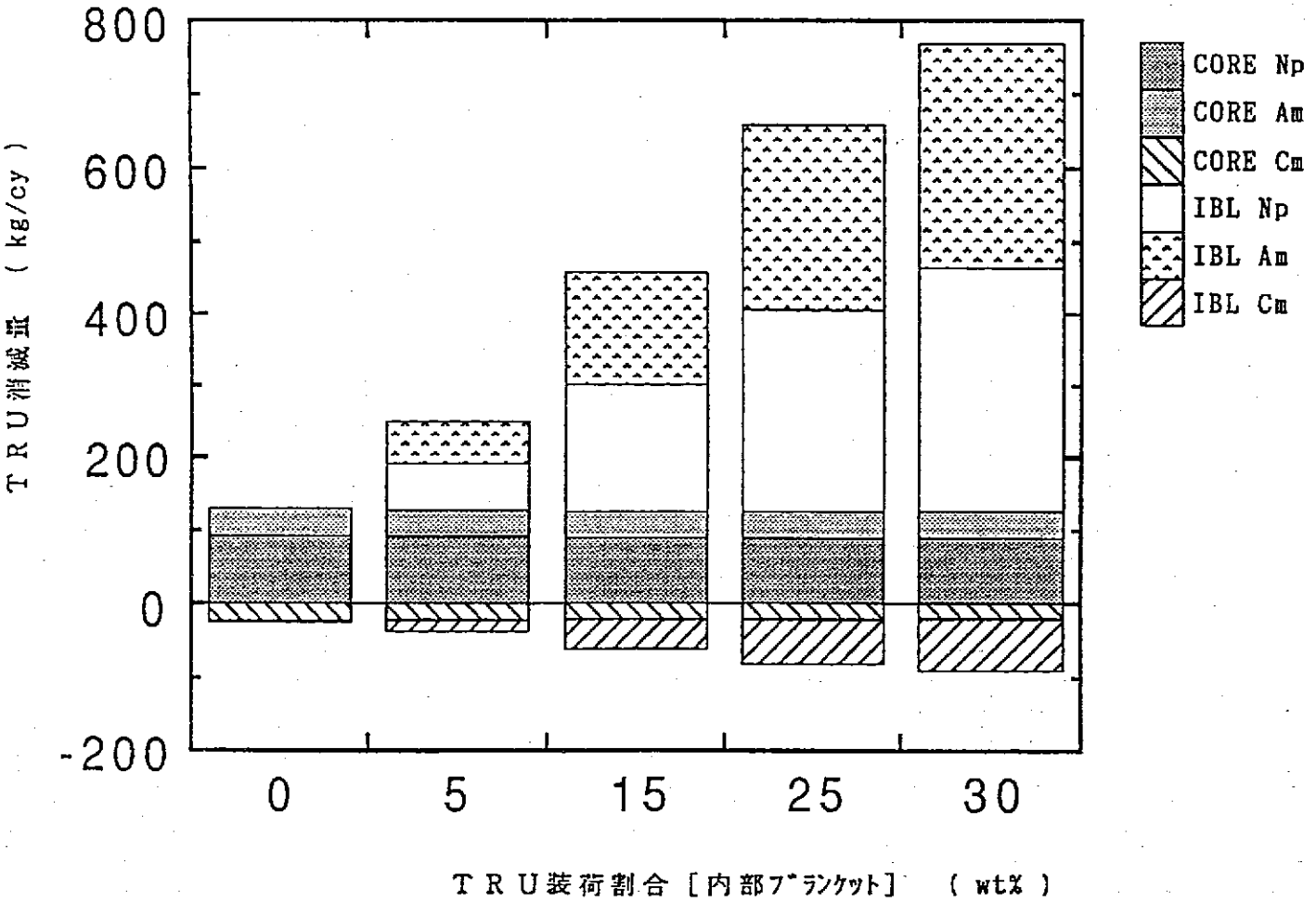


図3.3-5 ＴＲＵ装荷によるＴＲＵ消滅量の変化
RHC (TRU ; CORE 5 wt%)

3.4 炉心特性

3.4.1 燃焼特性

ＴＲＵ装荷による燃焼特性を表3.4-1 及び表3.4-2 に示す。また、燃焼反応度減少量を図3.4-1に示す。

燃焼反応度減少量は、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷割合が多くなるほど減少する。炉心燃料にＴＲＵを装荷することにより、燃焼反応度減少量は約0.8%Δρ/cy 小さくなる。内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷割合を変化させてもこの約0.8%Δρ/cy は一定である。

内部ブランケット燃料のみにＴＲＵを装荷する場合、ＴＲＵを約35wt%装荷することにより、燃焼反応度減少量をほぼゼロにすることができる。また、炉心燃料にＴＲＵを5wt%装荷し、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷する場合、内部ブランケット燃料のＴＲＵ装荷割合を約28wt% とすることにより、燃焼反応度減少量をほぼゼロにすることができる。

ＴＲＵ径方向非均質炉心においては、内部ブランケット燃料及び炉心燃料にＴＲＵを装荷することにより、燃焼反応度減少量をほぼゼロにすること可能である。

増殖比を図3.4-2 に示し、径方向非均質炉心の炉心部と内部ブランケットの内訳を図3.4-3 及び図3.4-4 に示す。

増殖特性は、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷割合が多くなるほど減少するが、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷割合が約30wt% で、基準の均質炉心とほぼ同等の増殖比となる。ＴＲＵを装荷することにより、増殖比が減少するのは、ＴＲＵを装荷する量だけ^{238}U の量が減少するためである。増殖比は、^{238}Ｐｕ の核分裂と吸収をどう扱うかにより変わるが、本検討では増殖比の定義式を付録のA.2.3 に示すように、^{238}Ｐｕ は増殖比に含めていない。

3.4.2 出力分布特性

最大出力密度を図3.4-5 及び図3.4-6 に示す。

内部ブランケットへのＴＲＵ装荷による炉心燃料の最大出力密度の変化は5%以下である。一方、平衡サイクル末期における内部ブランケット燃料の最大出力密度は、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷の割合に比例して増大する傾向にあり、ＴＲＵ装荷割合が30wt% の場合、炉心燃料へのＴＲＵ装荷無しのケースについては12% 増大であり、炉心燃料へのＴＲＵ装荷が5wt%のケースで14% 増大である。これは、図3.4-7 及び図3.4-8 に示す炉心燃料部と内部ブランケット燃料部の出力分担率に比例している。

炉心燃料及び内部ブランケット燃料に装荷したＴＲＵ元素の出力分担率を図3.4-9 から図3.4-12に示す。また、内部ブランケット燃料に注目した同様の出力分担率を図3.4-13から図3.4-16に示す。

これらの図から、内部ブランケット燃料へのＴＲＵの装荷量が少量の場合の5wt%程度では出力分担は一旦減少するが、装荷量を増やしていくと出力分担は徐々に増大していくことが分かる。ＴＲＵを装荷することにより内部ブランケット燃料のＵの出力分担は減少するが、それ以上にＮｐ及びＡｍの出力分担が増大している。これは、^{237}Ｎｐ 及び^{241}Ａｍ の核分裂断面積が^{238}Ｕ の核分裂断面積に比べて約６倍程度あるためである。

プルトニウム中の核種毎の炉心全体に対する出力分担率を図3.4-17及び図3.4-18に示す。ＴＲＵを装荷することにより、^{237}Ｎｐ の（ｎ，γ）を介する^{238}Ｎｐ のβ^- 崩壊で^{238}Ｐｕ が生成され、ＴＲＵの装荷割合に比例して^{238}Ｐｕ の出力分担率が大きくなり、30wt%のＴＲＵ装荷で^{239}Ｐｕとほぼ同等の出力分担率になる。また、プルトニウム中の核種毎の重量を図3.4-19及び図3.4-20に示す。ＴＲＵを装荷することにより、^{239}Ｐｕ の生成の減少と^{238}Ｐｕ の生成の増加の差引でプルトニウム量としては増加するが、核分裂断面積が238Ｐｕ は239 Ｐｕの約65% であるために、プルトニウム全体の出力分担は減少していることが分かる。

径方向非均質炉心の内部ブランケット燃料の出力は、平衡初期と平衡末期の出力を図3.4-21から図3.4-30に示すように、平衡末期が約1.5～2.0倍大きい。よって、内部ブランケット燃料の出力においては、平衡末期に着

目すれば良い。

内部ブランケット燃料の燃焼による出力の変化（出力ミスマッチファクター）を図3.4-31に示す。この図は燃焼に伴う出力の相対変化を示したものであり、燃焼が進むとともに、出力が大きくなることが分かる。また、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、平衡末期の出力ミスマッチファクターは1.13であり、基準の径方向非均質炉心の1.23に比べて約10% 小さくなっている。内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷することにより、新旧燃料の出力変動が小さくなることを示している。

基準の径方向非均質炉心と内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷した炉心の平衡サイクル初期における新旧燃料の出力分担率（新旧燃料の出力の合計を100%とした場合の出力割合）を図3.4-32及び図3.4-33に示す。

基準の径方向非均質炉心では、燃料の炉内滞在期間が長くなるほどＰｕ-fis（99.5%が^{239}Ｐｕ）が生成され、出力が増大している。一方、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷すると、Ｎｐ及びＡｍがほぼ同程度の出力を分担しており、燃焼とともに減少する。逆に、燃料の炉内滞在期間が長くなるとともに、Ｐｕが生成され239Ｐｕ 及び238Ｐｕ がほぼ同程度の出力を分担しており、燃焼とともに増大する。これが、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷すると出力ミスマッチファクターが小さくなる要因である。

径方向非均質炉心は、一般的に燃焼による内部ブランケット燃料集合体の出力変動が大きいという欠点を有している。これは、流量配分が厳しくなるとともにサーマルストライピング上も問題となる。しかし、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷することにより、内部ブランケット燃料集合体の燃焼による出力変動を緩和することができ、上記の問題点をある程度解決できる見通しを得た。

3.4.3 高速中性子照射量

燃料領域のピークの高速中性子照射量は表3.4-1 及び表3.4-2 に示して

ある。

中性子照射量は、ＴＲＵの装荷割合を増加させるほど大きくなっている。内部ブランケット燃料にＴＲＵを15wt% 装荷した炉心（ＴＲＵを5wt%装荷した均質炉心と同等のＴＲＵ消滅量が得られる径方向非均質炉心）の内部ブランケット燃料の高速中性子照射量は、基準の均質炉心の炉心燃料に比べて約35% 小さい。このことは、ＴＲＵ燃料集合体及びＴＲＵ燃料ピンの材料の選択幅の増大の可能性がある。また、均質炉心の中性子照射量を制限値とすると、内部ブランケット燃料の炉内滞在サイクル数を約1.5 倍延長させることができ、ＴＲＵ消滅量を増大させることが可能であり、炉心運用の多様化にもつながるポテンシャルが大きいことを意味している。

3.4.4 ナトリウムボイド反応度特性

ナトリウムボイド反応度の計算は、７群の直接計算で平衡サイクル末期について行い、炉心燃料及び内部ブランケット燃料の領域が100%ボイドしたときの評価である。

ナトリウムボイド反応度を図3.4-34に示す。また、炉心燃料と内部ブランケット燃料のナトリウムボイド反応度の内訳を図3.4-35及び図3.4-36に示す。

内部ブランケットにＴＲＵを装荷すると、その割合の増加に比例してナトリウムボイド反応度は大きくなるが、内部ブランケット燃料のみにＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵ装荷割合が25wt% で基準の均質炉心とほぼ同等の約2.0%Δk/kk' である。また、炉心燃料に5wt%装荷し、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷する場合は、内部ブランケット燃料への装荷割合が15wt% で基準の均質炉心とほぼ同等になる。

内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷したときの中性子束スペクトルの変化を図3.4-37及び図3.4-38に示す。

ＴＲＵを装荷することにより、ナトリウムボイド反応度が大きくなるのは、図に示すように、ＴＲＵの装荷割合に比例して中性子束のスペクトル

が高エネルギー側にシフトするためである。

3.4.5 取出燃料のＰｕ組成比

炉心の取出燃料のプルトニウム組成比を図3.4-39に示し、内部ブランケットの取出燃料のプルトニウム組成比を図3.4-40及び図3.4-41に示す。

炉心燃料については、ＴＲＵを5wt%装荷しても、取出燃料のＰｕ組成比は、$^{238}Pu/^{239}Pu/^{240}Pu/^{241}Pu/^{242}Pu$；約4/55/27/9/5wt% であり、燃料装荷時の約0/58/24/14/4wt% から大きく変化することはない。

一方、内部ブランケット燃料の取出Ｐｕ組成比は、ＴＲＵの装荷割合を増加させると^{237}Ｎｐ の（ｎ，γ）を介する^{238}Ｎｐ のβ^-崩壊で^{238}Ｐｕが生成される割合が増加し、その生成量はＴＲＵ30wt% 装荷で約50wt% であり、^{239}Ｐｕ 約45wt% を上回る。この内部ブランケットの取出燃料を再処理し、炉心燃料として再装荷する際には、^{238}Ｐｕ の^{239}Ｐｕ 等価フィッサイル係数が約0.5 程度であるので、炉心の反応度を保つために、Ｐｕ富化度を上げる心要が生じる。

3.4.6 使用済み燃料の崩壊熱及び中性子線源強度

使用済み燃料の崩壊熱及び中性子線源強度は、炉心燃料及び内部ブランケット燃料共３サイクルの期間（定期検査も含めて約1500日）炉内で照射され、その後（原子炉停止から）の約25年間の推移を評価した。

崩壊熱及び中性子線源強度は、燃料ペレット１cc当たりの評価である。また、中性子束は、炉心燃料及び内部ブランケット燃料の領域（軸方向には炉心高さの100cm） の平均を用いた。

なお、径方向非均質炉心における崩壊熱及び中性子線源強度の評価は、基準炉心とＴＲＵの装荷割合が炉心燃料に5wt%、内部ブランケットに30wt%の２炉心の炉心燃料と内部ブランケット燃料について行った。

径方向非均質炉心における基準燃料とＴＲＵを装荷した燃料の崩壊熱及び中性子発生量を炉停止後の代表的な時点について表3.4-3 及び表3.4-4

に示した。

アクチナイド核種及びＦＰ核種による崩壊熱を図3.4-42及び図3.4-43に示す。また、それらの合計の崩壊熱を図3.4-44に示す。

アクチナイド核種の崩壊熱については、ＴＲＵの装荷割合に比例して大きくなっている。また、ＴＲＵの装荷量が同一であれば、炉心の形状に係わらずほぼ同じである。

一方、ＦＰ核種の崩壊熱については、ＴＲＵの装荷の有無及び炉心形状に係わらずほぼ同じである。ただし、径方向非均質炉心の内部ブランケット燃料のＦＰ核種の崩壊熱は、炉心燃料の約30～45% である。

原子炉停止後、ほぼ１サイクルに相当する500日 の全崩壊熱は、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、基準のＴＲＵ装荷無しの炉心燃料の約７倍であり、ＴＲＵを5wt%装荷した炉心燃料の約３倍である。

径方向非均質炉心の内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷し、均質炉心の炉心燃料にＴＲＵを5wt%装荷した場合と同等もしくはそれ以下に崩壊熱を抑えるためには、ＴＲＵを約10wt% まで装荷が可能であることが示されている。

崩壊熱に大きく寄与するアクチナイド元素の崩壊熱を図3.4-45及び図3.4-46に示す。同図は、径方向非均質炉心にＴＲＵ（炉心燃料は5wt%、内部ブランケット燃料は30wt%） を装荷した場合の炉心燃料と内部ブランケット燃料の崩壊熱である。

崩壊熱は、短期的（～10日）にはＮｐとＣｍが、長期的（10日～）にはＰｕ、Ａｍ及びＣｍの寄与が大きい。炉心燃料におけるその割合は、原子炉停止後、１日ではＮｐが約40% 、Ｃｍが約55% であり、500日 ではＰｕが約20% 、Ａｍが約5%、Ｃｍが約70% である。また、内部ブランケット燃料におけるその割合は、原子炉停止後、１日ではＮｐが約20% 、Ｃｍが約70% であり、500日 ではＰｕが約20% 、Ａｍが約5%、Ｃｍが約70% である。

崩壊熱に長期的に寄与する元素の核種毎の内訳を図3.4-47から図3.4-52に示す。　炉停止後10日以降では、ＴＲＵを30wt% 装荷した径方向非均質

炉心の内部ブランケット燃料における^{238}Pu、^{241}Am、^{242}Cm及び^{244}Cmの合計の崩壊熱は、アクチナイドの崩壊熱のほぼ100%を占めている。注目する点は、炉停止後10日では^{242}Cmが約80%を占めているが、^{242}Cmはα崩壊（16.3d）で^{238}Puを生成し、^{242}Cm自身の崩壊熱は減少し、原子炉停止後500日では約30%になる。一方、^{238}Pu及び^{244}Cmの崩壊熱は、0.2watts及び0.4wattsでありほぼ一定である。^{238}Pu及び^{244}Cmの全崩壊熱に対する割合は、原子炉停止後10日では約5%及び10%あり、500日では約20%及び40%である。

通常燃料とＴＲＵ装荷燃料の全崩壊熱の差は、原子炉停止後の冷却時間が長くなるほど大きくなるが、この差は、取出燃料中の含有量が多くまた半減期の長い^{238}Pu、^{241}Am及び^{244}Cmの発熱の寄与の大きさによるものである。

（α，ｎ）及び自発核分裂による中性子線源強度を図3.4-53及び図3.4-54に示す。また、それらの合計の崩壊熱を図3.4-55に示す。

ＴＲＵを5wt%装荷した炉心燃料の中性子発生数は、通常の炉心燃料の約10倍であり、ＴＲＵを30wt%装荷した内部ブランケット燃料の中性子発生数は、通常の炉心燃料の約50倍である。よって、ＴＲＵを5wt%装荷した均質炉心の炉心燃料の中性子発生数以下にするには、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷は約6wt%であり、ほとんど同じである。

中性子線源強度は、燃料にＴＲＵを装荷する割合が多くなるほど大きくなる。また、（α，ｎ）による中性子発生数は、自発核分裂による中性子発生数の１桁以上小さい。

ＴＲＵを炉心燃料に5wt%、内部ブランケット燃料に30wt%装荷した径方向非均質炉心における（α，ｎ）及び自発核分裂による中性子線源強度の核種毎の内訳を図3.4-56及び図3.4-59に示す。

中性子線源強度は、Ｃｍが支配的であり、全中性子発生数の約99%であり、Ｃｍの中でも244Ｃｍの寄与が大きく、全中性子発生数の約70%以上である。

中性子線源強度は、通常の燃料でもＣｍが支配的であるので、燃料としてＣｍを装荷すると、装荷量の分だけ上乗せした中性子発生数となる。

表3.4-1　ＴＲＵ装荷による炉心特性［ TRU CORE 0wt% ］

ＴＲＵ装荷量 炉心 (wt%) / 内部ブランケット (wt%)		0 / 0	0 / 5	0 / 15	0 / 25	0 / 30
Ｐｕ富化度	(wt%)	24.01	24.28	24.41	24.06	23.68
燃焼反応度減少量	(%Δρ)	2.08	1.89	1.54	0.96	0.53
増殖比（ＭＯＥＣ）						
炉　心		0.524	0.524	0.528	0.538	0.547
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.438	0.393	0.326	0.281	0.264
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.227	0.231	0.237	0.238	0.238
合　計		1.190	1.149	1.091	1.057	1.050
出力分担率（ＢＯＥＣ）						
炉　心	(%)	85.73	85.93	85.67	84.75	84.00
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	9.86	9.47	9.56	10.53	11.38
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	4.41	4.60	4.77	4.72	4.62
出力密度（ＢＯＥＣ）						
炉心部						
平　均	(W/cc)	233.52	234.09	233.37	230.86	228.83
最　大	(W/cc)	378.13	377.97	391.65	382.79	369.92
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ						
平　均	(W/cc)	45.57	43.75	44.17	48.64	52.56
最　大	(W/cc)	164.75	152.03	142.12	147.83	156.45
出力分担率（ＥＯＥＣ）						
炉　心	(%)	78.80	79.11	78.92	77.80	76.86
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	16.00	15.64	15.83	17.09	18.18
（軸＋径）ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	5.20	5.24	5.25	5.11	4.96
出力密度（ＥＯＥＣ）						
炉心部						
平　均	(W/cc)	214.66	215.51	214.97	211.94	209.36
最　大	(W/cc)	354.74	353.36	351.42	357.75	367.91
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ						
平　均	(W/cc)	73.92	72.27	73.16	78.96	83.99
最　大	(W/cc)	201.16	202.48	203.55	215.19	225.89
最大線出力（炉心）						
ＢＯＥＣ	(W/cm)	390.64	390.48	404.61	395.46	382.16
ＥＯＥＣ	(W/cm)	366.48	365.06	363.05	369.59	380.09
炉心燃料部燃焼度						
取出平均	(MWd/t)	87,000	87,000	87,000	86,000	85,000
取出最大	(MWd/t)	122,000	123,000	126,000	124,000	120,000
ピークフルエンス（≧0.1MeV）						
炉　心	(nvt)	2.06E23	2.15E23	2.24E23	2.23E23	2.19E23
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(nvt)	1.78E23	1.76E23	1.81E23	1.86E23	1.90E23
ナトリウムボイド反応度						
炉　心	(%Δk/kk')	1.012	1.053	1.137	1.231	1.283
内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%Δk/kk')	0.503	0.573	0.689	0.810	0.879
合　計	(%Δk/kk')	1.515	1.626	1.826	2.041	2.162

表3.4-2　ＴＲＵ装荷による炉心特性［ TRU CORE 5wt% ］

ＴＲＵ装荷量 炉　心 (wt%) / 内部ブランケット (wt%)	5 / 0	5 / 5	5 / 15	5 / 25	5 / 30
Ｐｕ富化度 (wt%)	25.05	25.29	25.33	24.84	24.38
燃焼反応度減少量 (%Δρ)	1.30	1.18	0.86	0.25	- 0.20
増殖比（ＭＯＥＣ）					
炉　心	0.494	0.495	0.499	0.512	0.522
内部ブランケット	0.447	0.402	0.335	0.292	0.277
（軸＋径）ブランケット	0.233	0.238	0.244	0.244	0.242
合　計	1.175	1.134	1.078	1.048	1.042
出力分担率（ＢＯＥＣ）					
炉　心 (%)	85.65	85.81	85.43	84.35	83.49
内部ブランケット (%)	9.84	9.52	9.78	10.98	12.00
（軸＋径）ブランケット (%)	4.51	4.67	4.79	4.67	4.51
出力密度（ＢＯＥＣ）					
炉心部					
平　均 (W/cc)	233.33	233.74	232.71	229.77	227.43
最　大 (W/cc)	371.77	378.41	386.97	371.25	368.16
内部ブランケット					
平　均 (W/cc)	45.44	43.98	45.18	50.74	55.43
最　大 (W/cc)	162.35	151.18	144.70	154.83	166.31
出力分担率（ＥＯＥＣ）					
炉　心 (%)	78.89	79.15	78.81	77.50	76.41
内部ブランケット (%)	15.91	15.60	15.95	17.47	18.75
（軸＋径）ブランケット (%)	5.20	5.25	5.24	5.03	4.84
出力密度（ＥＯＥＣ）					
炉心部					
平　均 (W/cc)	214.89	215.60	214.69	211.11	208.14
最　大 (W/cc)	352.26	347.24	345.58	356.36	373.62
内部ブランケット					
平　均 (W/cc)	73.52	72.06	73.67	80.71	86.64
最　大 (W/cc)	204.25	201.89	205.00	220.50	233.73
最大線出力（炉心）					
ＢＯＥＣ (W/cm)	384.07	390.93	399.78	383.54	380.35
ＥＯＥＣ (W/cm)	363.92	358.74	357.02	368.15	385.99
炉心燃料部燃焼度					
取出平均 (MWd/t)	87,000	87,000	86,000	85,000	84,000
取出最大 (MWd/t)	126,000	129,000	131,000	127,000	126,000
ピークフルエンス（≧0.1MeV）					
炉　心 (nvt)	2.13E23	2.21E23	2.28E23	2.24E23	2.27E23
内部ブランケット (nvt)	1.81E23	1.79E22	1.86E23	1.91E23	1.99E23
ナトリウムボイド反応度					
炉　心 (%Δk/kk')	1.256	1.295	1.372	1.459	1.507
内部ブランケット (%Δk/kk')	0.514	0.580	0.694	0.819	0.893
合　計 (%Δk/kk')	1.770	1.875	2.066	2.278	2.400

表3.4-3　基準燃料の炉停止後の崩壊熱及び中性子発生量［燃料ペレット1cc当たり］
（ＴＲＵ：装荷無し）

	冷却時間						
	0d	1d	10d	50d	100d	500d	1000d
崩壊熱 (Watts)							
炉心燃料							
アクチナイド	1.421E+00	6.164E-01	2.024E-01	1.465E-01	1.217E-01	3.634E-02	2.023E-02
ＦＰ	2.475E+01	1.994E+00	1.015E+00	5.147E-01	3.645E-01	1.190E-01	5.475E-02
合　計	2.617E+01	2.610E+00	1.217E+00	6.612E-01	4.862E-01	1.553E-01	7.498E-02
内部ブランケット燃料							
アクチナイド	1.588E+00	5.674E-01	4.262E-02	1.416E-03	1.372E-03	1.306E-03	1.294E-03
ＦＰ	1.105E+01	7.970E-01	3.893E-01	1.851E-01	1.251E-01	3.544E-02	1.589E-02
合　計	1.264E+01	1.364E+00	4.319E-01	1.865E-01	1.265E-01	3.675E-02	1.718E-02
中性子発生量 (n/sec)							
炉心燃料							
(α，n)	6.282E+03	6.276E+03	6.067E+03	5.190E+03	4.284E+03	1.167E+03	5.737E+02
自発核分裂	4.114E+04	4.110E+04	4.007E+04	3.574E+04	3.125E+04	1.549E+04	1.190E+04
合　計	4.742E+04	4.738E+04	4.614E+04	4.093E+04	3.553E+04	1.666E+04	1.247E+04
内部ブランケット燃料							
(α，n)	3.645E+01	3.648E+01	3.639E+01	3.570E+01	3.498E+01	3.254E+01	3.212E+01
自発核分裂	4.729E+01	4.729E+01	4.650E+01	4.308E+01	3.954E+01	2.733E+01	2.489E+01
合　計	8.374E+01	8.377E+01	8.289E+01	7.878E+01	7.452E+01	5.987E+01	5.701E+01

2.475E+01 → 2.475×10^{1}

表3.4-4　ＴＲＵ装荷燃料の炉停止後の崩壊熱及び中性子発生量［燃料ペレット１cc当たり］
（ＴＲＵ装荷割合；炉心燃料 5wt%　内部ブランケット燃料 30wt%）

	冷却時間						
	0d	1d	10d	50d	100d	500d	1000d
崩壊熱 (Watts)							
炉心燃料							
アクチナイド	2.095E+00	1.264E+00	7.600E-01	6.324E-01	5.368E-01	2.051E-01	1.372E-01
ＦＰ	2.429E+01	1.962E+00	9.988E-01	5.065E-01	3.587E-01	1.172E-01	5.392E-02
合　計	2.639E+01	3.226E+00	1.759E+00	1.139E+00	8.955E-01	3.223E-01	1.911E-01
内部ブランケット燃料							
アクチナイド	5.577E+00	4.460E+00	3.428E+00	2.956E+00	2.528E+00	1.038E+00	7.248E-01
ＦＰ	1.237E+01	8.302E-01	4.081E-01	1.968E-01	1.337E-01	3.837E-02	1.765E-02
合　計	1.795E+01	5.290E+00	3.836E+00	3.153E+00	2.662E+00	1.076E+00	7.425E-01
中性子発生量 (n/sec)							
炉心燃料							
(α，n)	2.649E+04	2.645E+04	2.565E+04	2.228E+04	1.879E+04	6.702E+03	4.238E+03
自発核分裂	3.939E+05	3.937E+05	3.896E+05	3.720E+05	3.536E+05	2.837E+05	2.585E+05
合　計	4.204E+05	4.202E+05	4.153E+05	3.943E+05	3.724E+05	2.904E+05	2.627E+05
内部ブランケット燃料							
(α，n)	1.227E+05	1.226E+05	1.190E+05	1.039E+05	8.826E+04	3.401E+04	2.269E+04
自発核分裂	2.181E+06	2.180E+06	2.160E+06	2.080E+06	1.996E+06	1.666E+06	1.533E+06
合　計	2.304E+06	2.303E+06	2.279E+06	2.184E+06	2.084E+06	1.700E+06	1.556E+06

2.429E+01 → 2.429×10^{1}

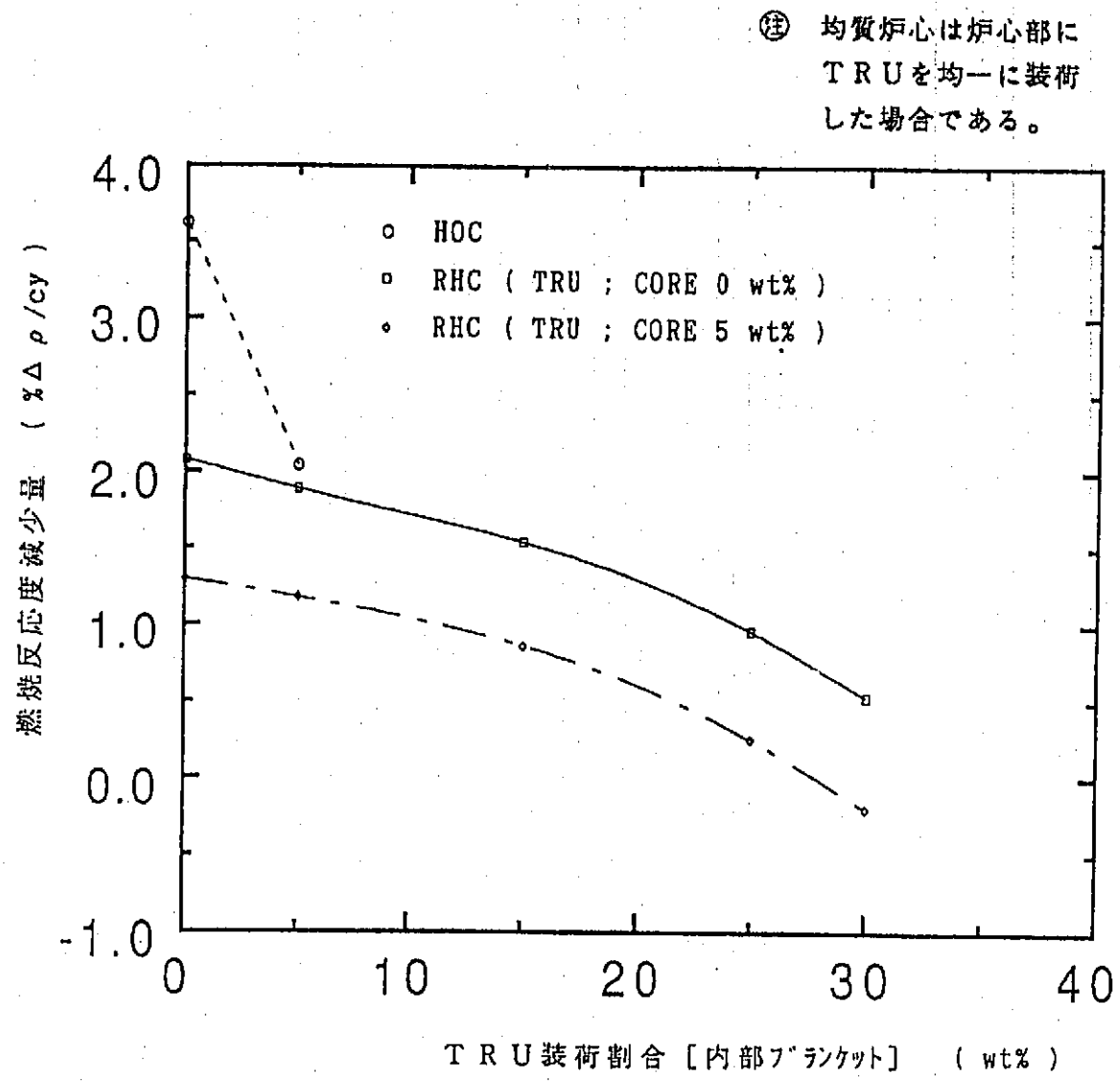


図3.4-1　ＴＲＵ装荷による燃焼反応度減少量の変化

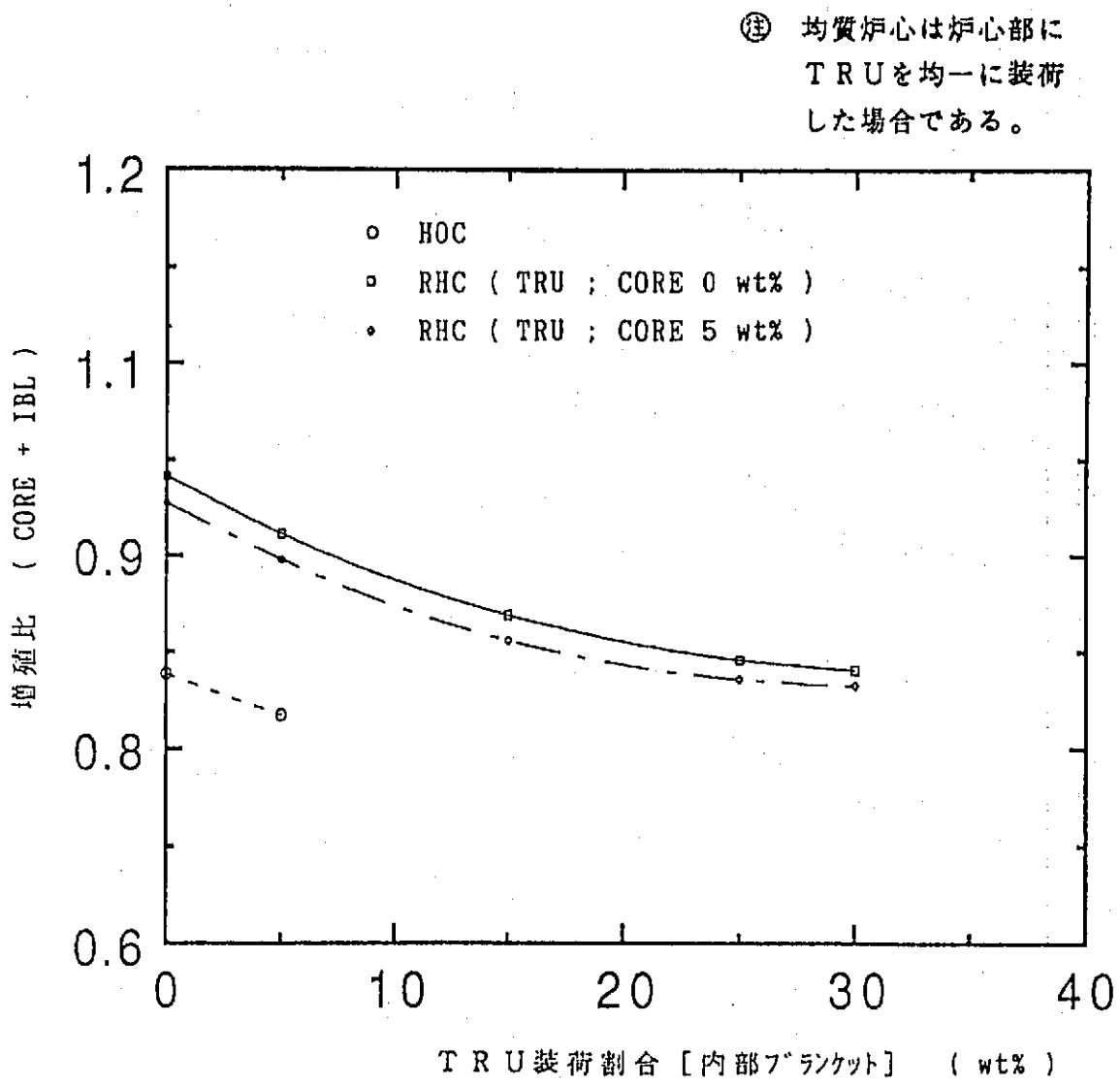


図3.4-2　ＴＲＵ装荷による増殖比の変化

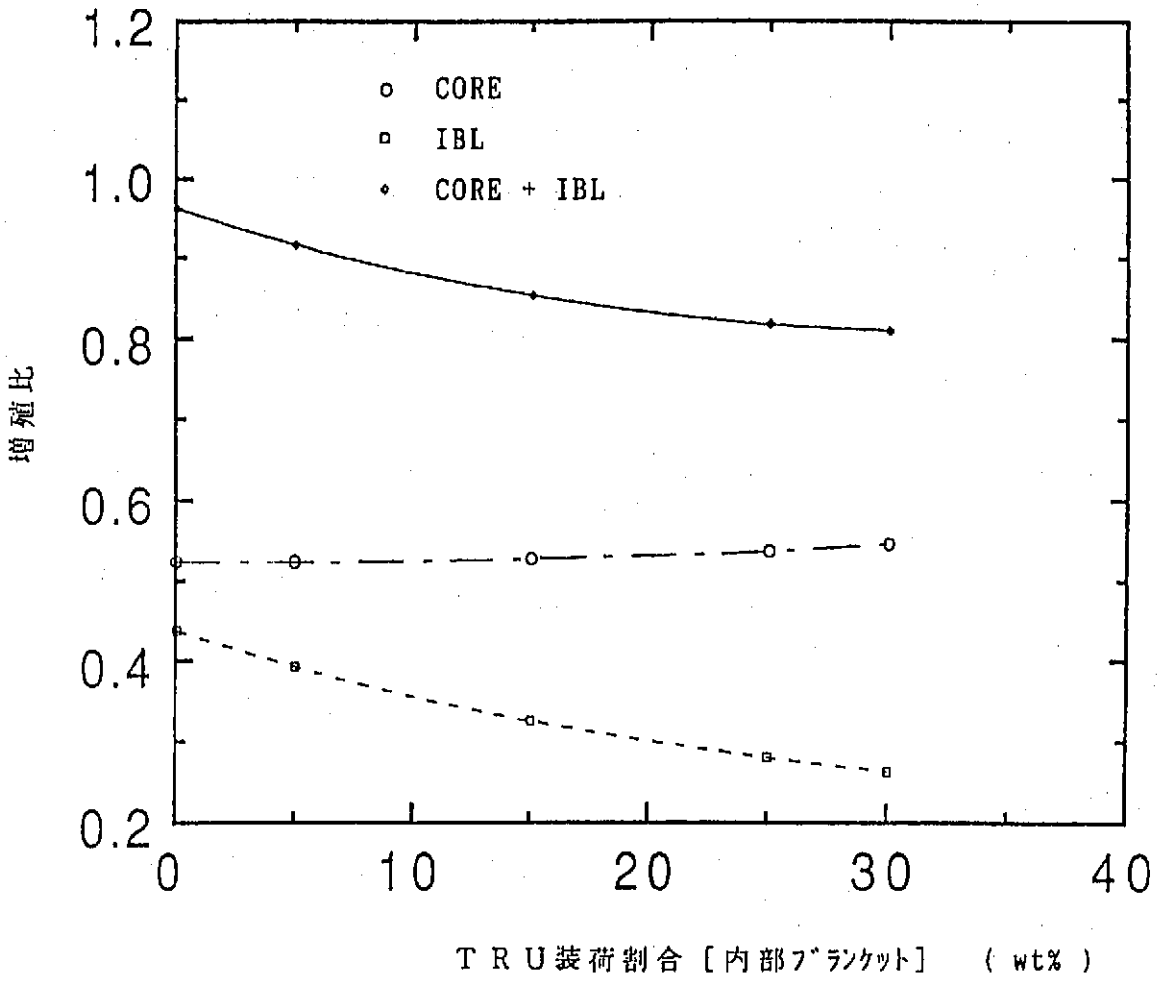


図3.4-3　ＴＲＵ装荷による増殖比の変化
RHC（ TRU ; CORE 0 wt% ）

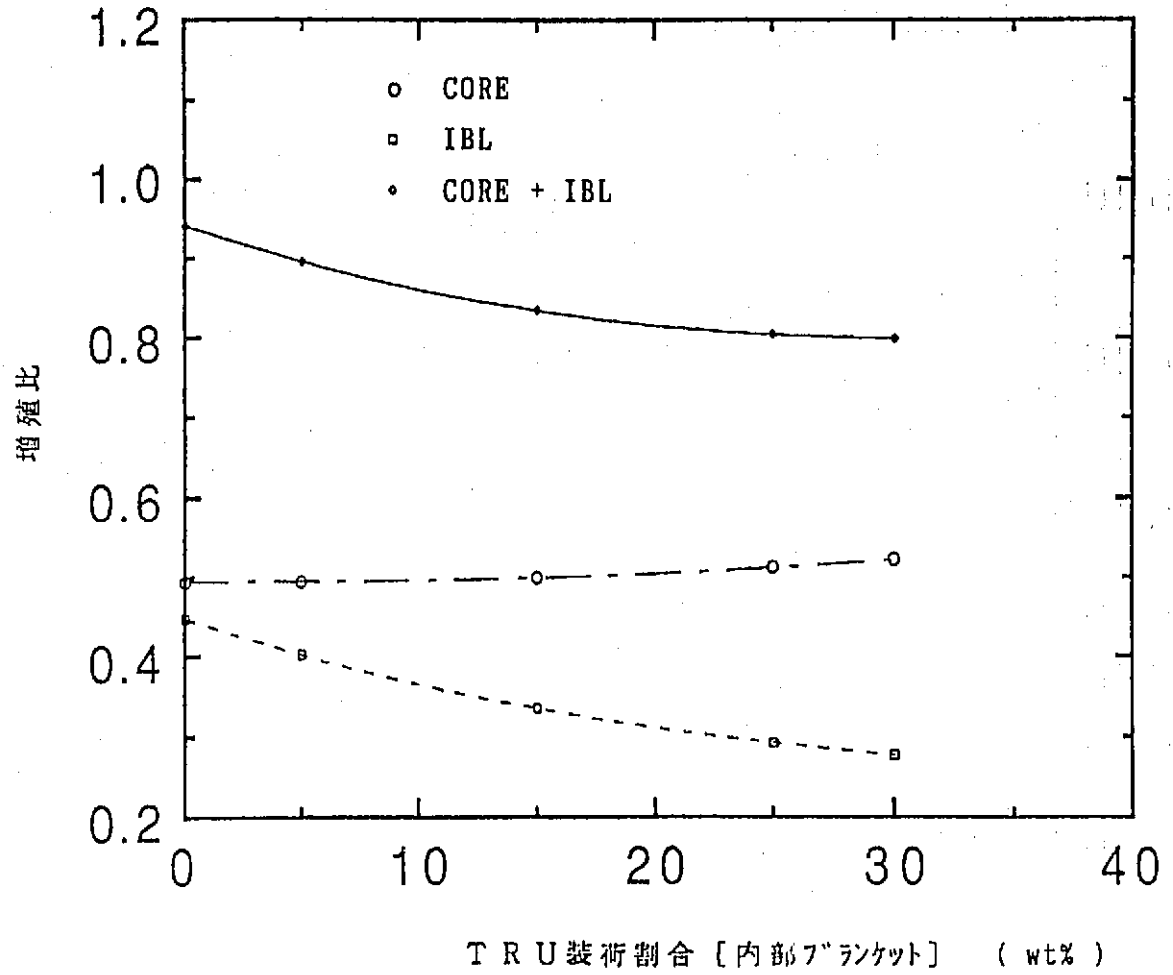


図3.4-4　ＴＲＵ装荷による増殖比の変化
RHC （ TRU ； CORE 5 wt% ）

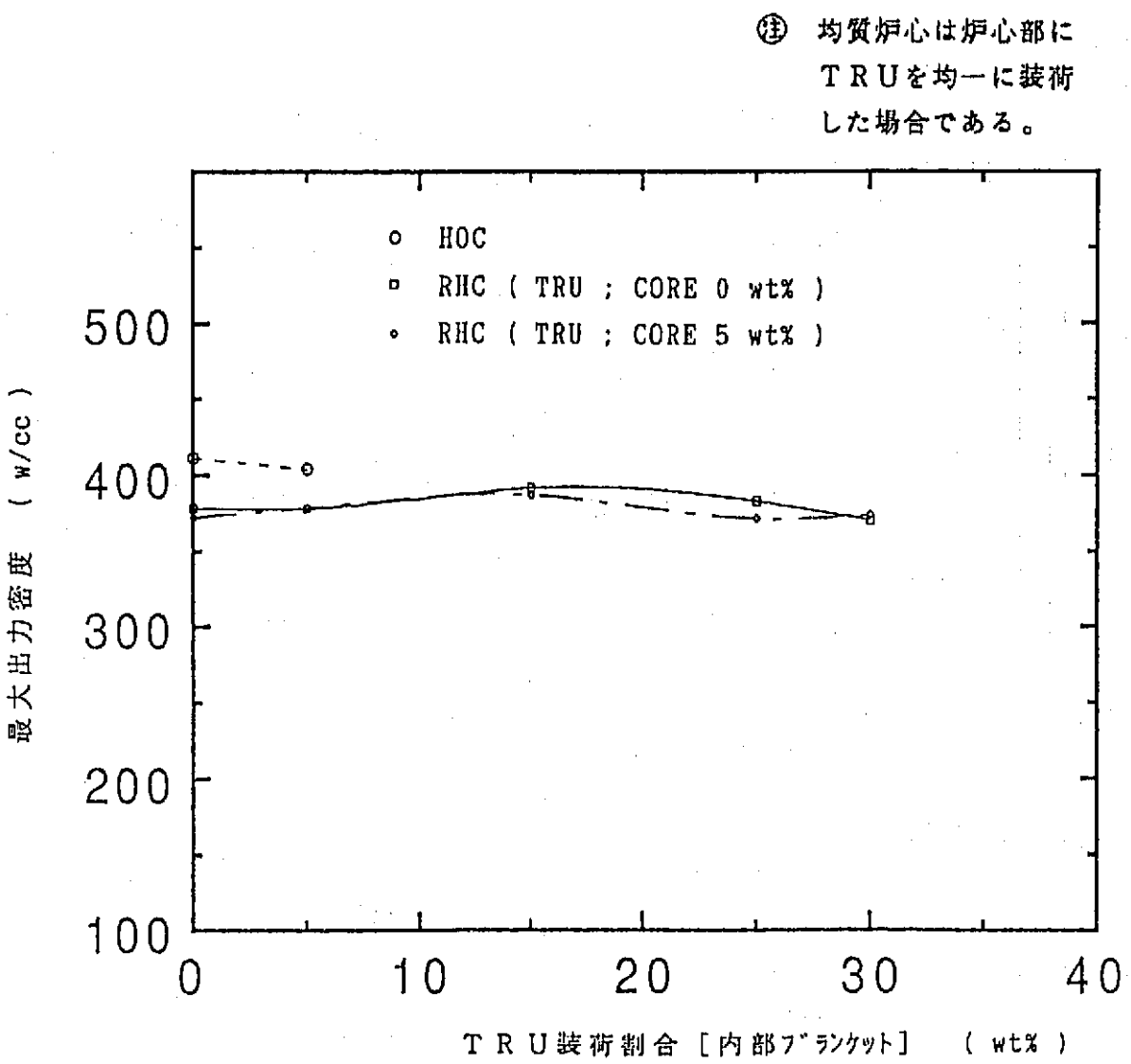


図3.4-5　ＴＲＵ装荷による最大出力密度の変化
CORE

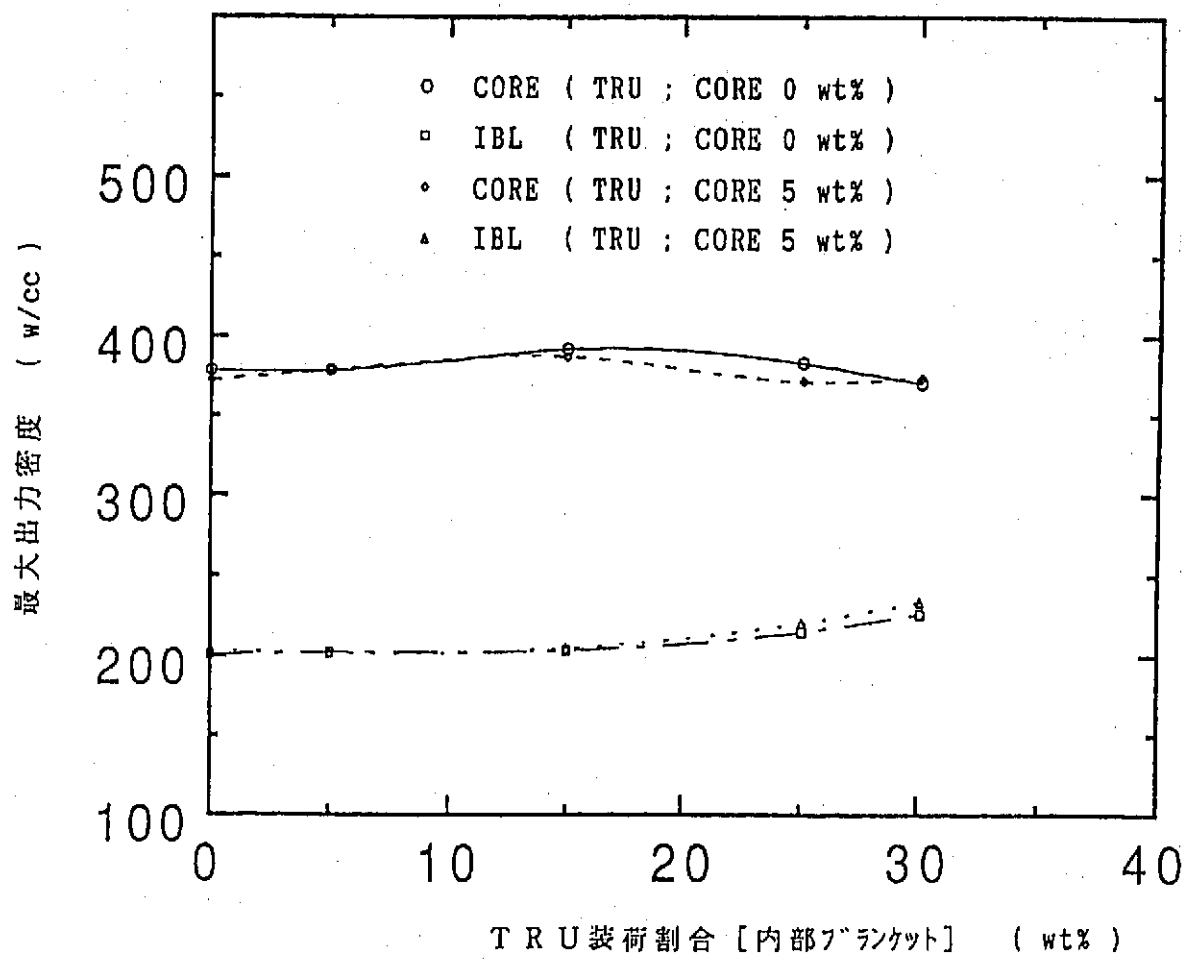


図3.4-6 ＴＲＵ装荷による最大出力密度の変化
RHC

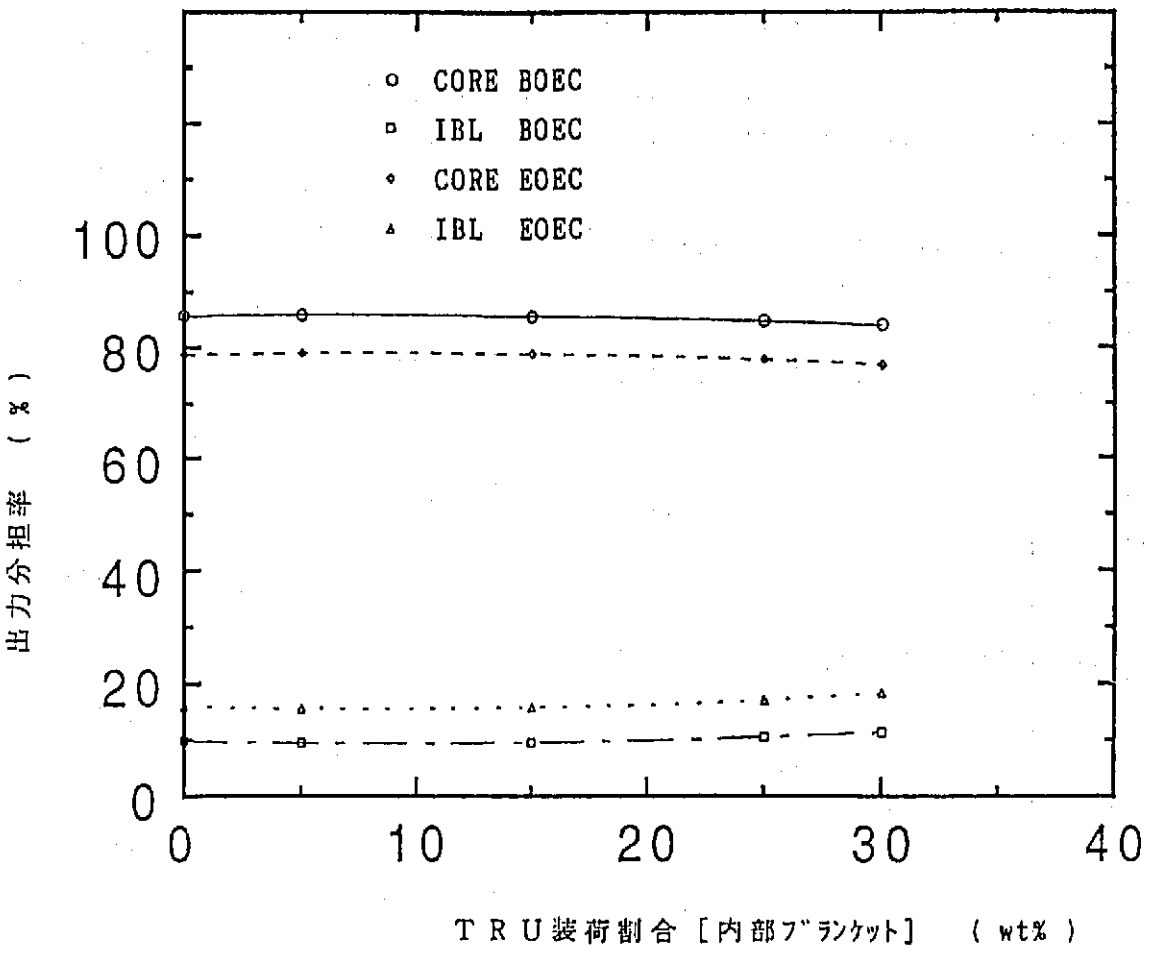


図3.4-7 TRU装荷による出力分担率の変化
RHC (TRU ; CORE 0 wt%)

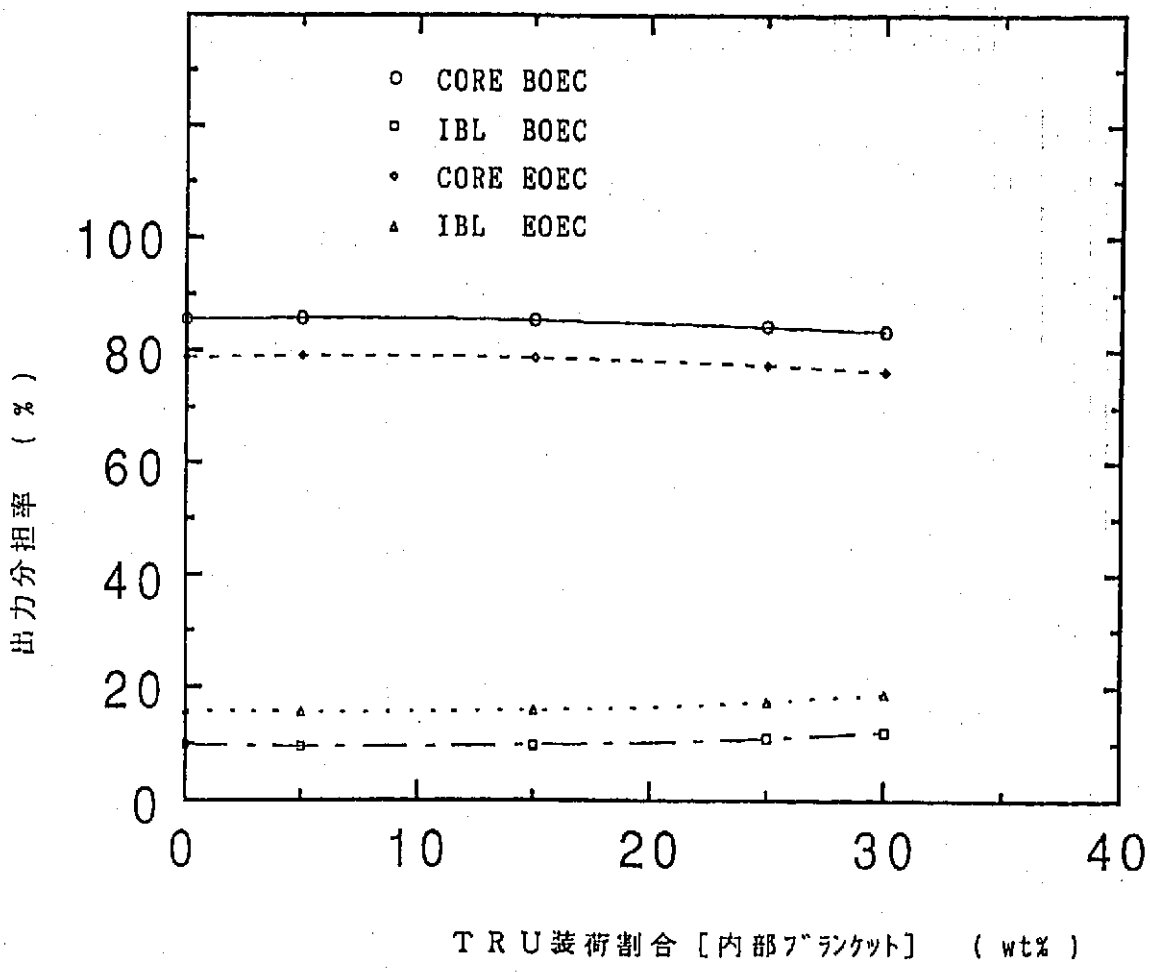


図3.4-8 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC (TRU ; CORE 5 wt%)

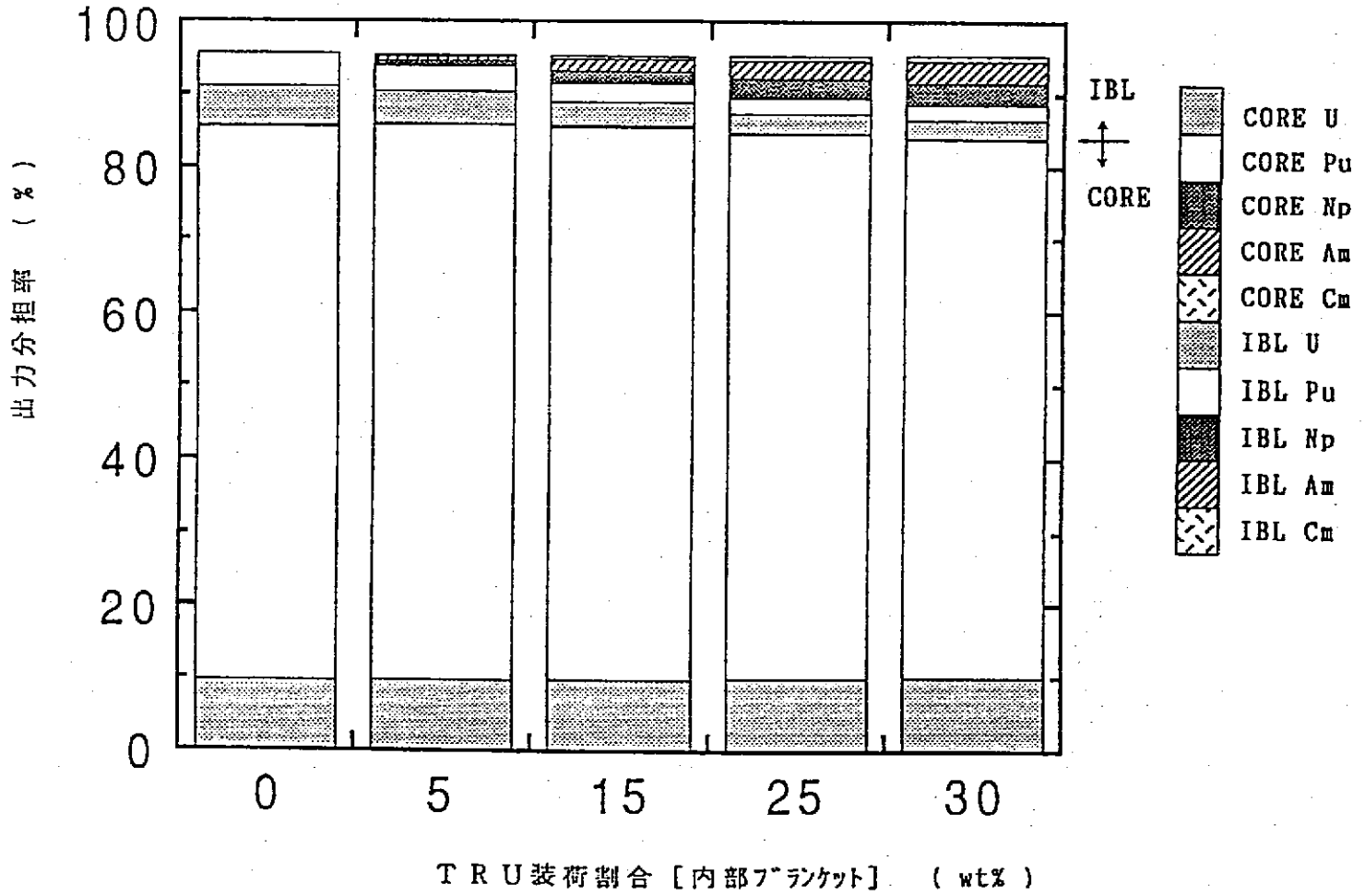


図3.4-9 TRU装荷による出力分担率の変化
RHC , BOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

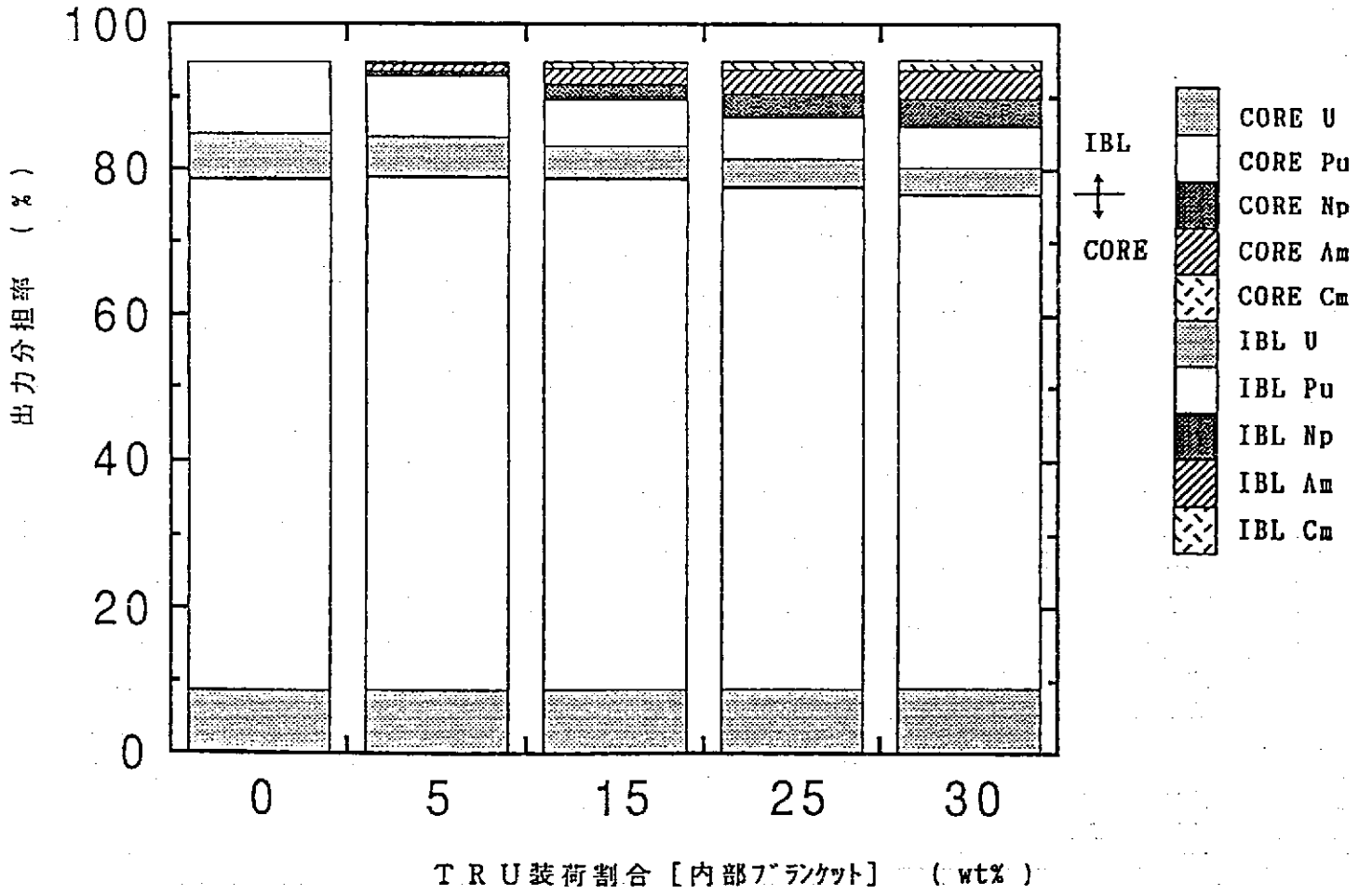


図3.4-10 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , EOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

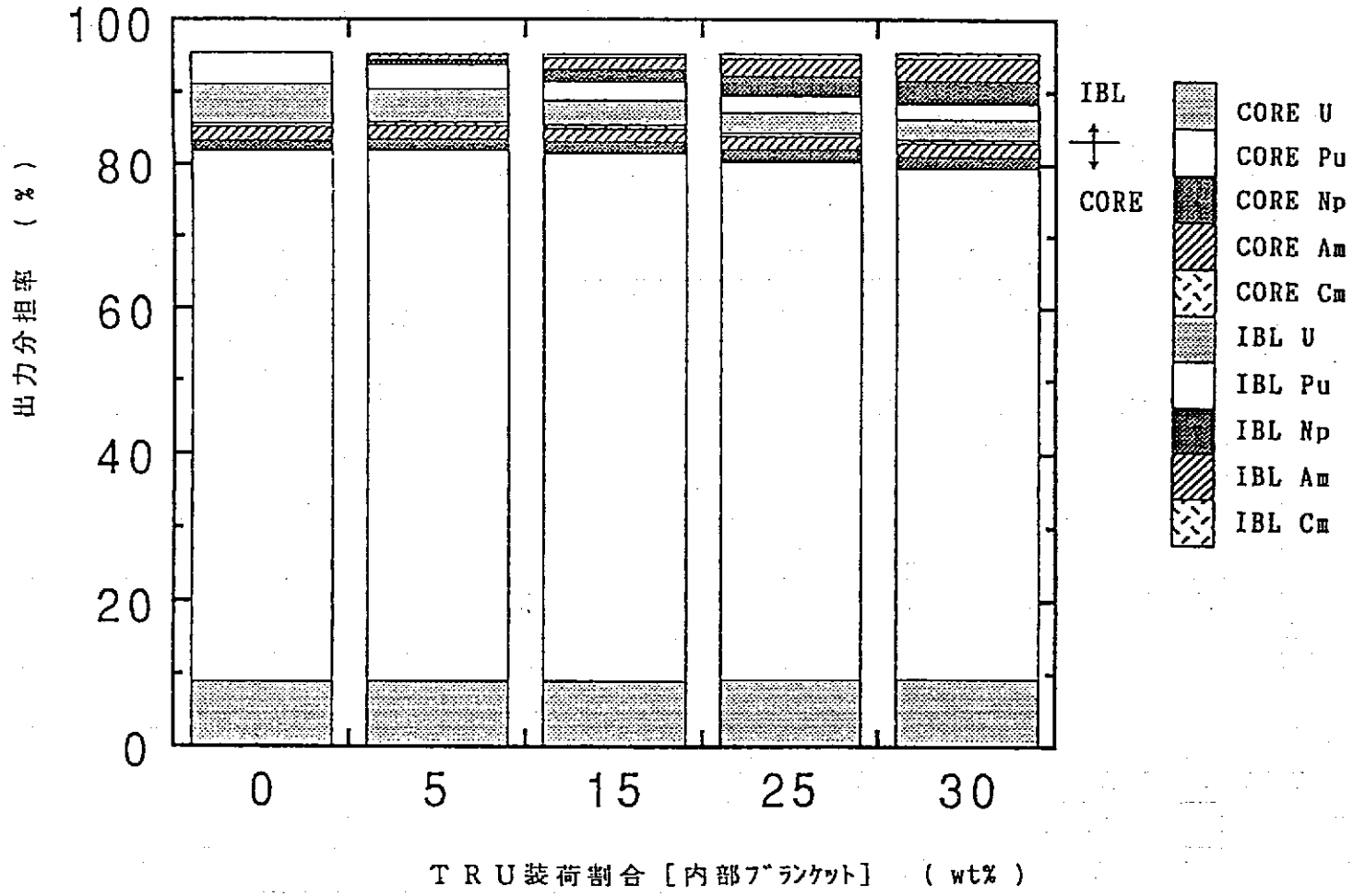


図3.4-11 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , BOEC (TRU ; CORE 5 wt%)

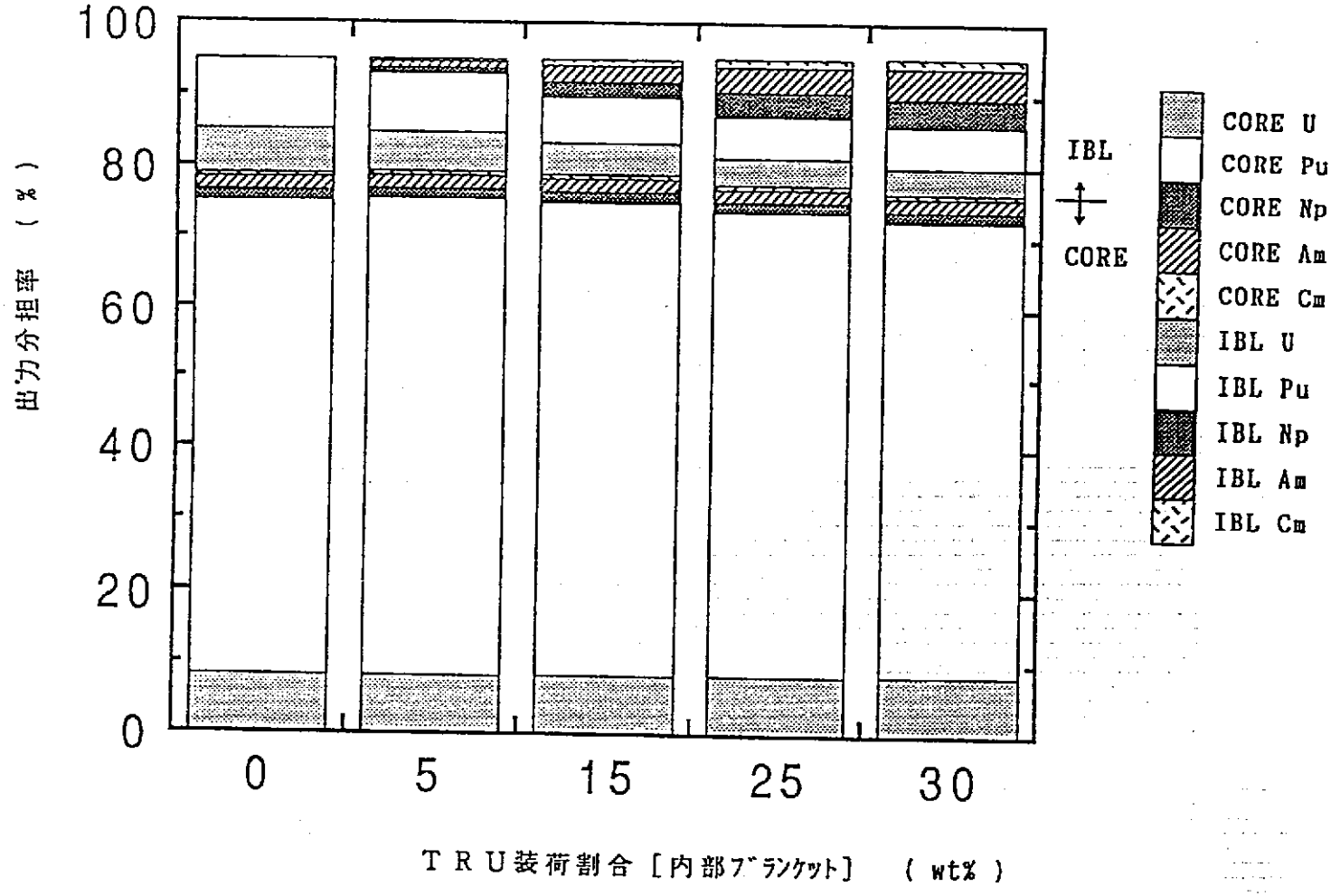


図3.4-12 TRU装荷による出力分担率の変化
RHC EOEC (TRU ; CORE 5 wt%)

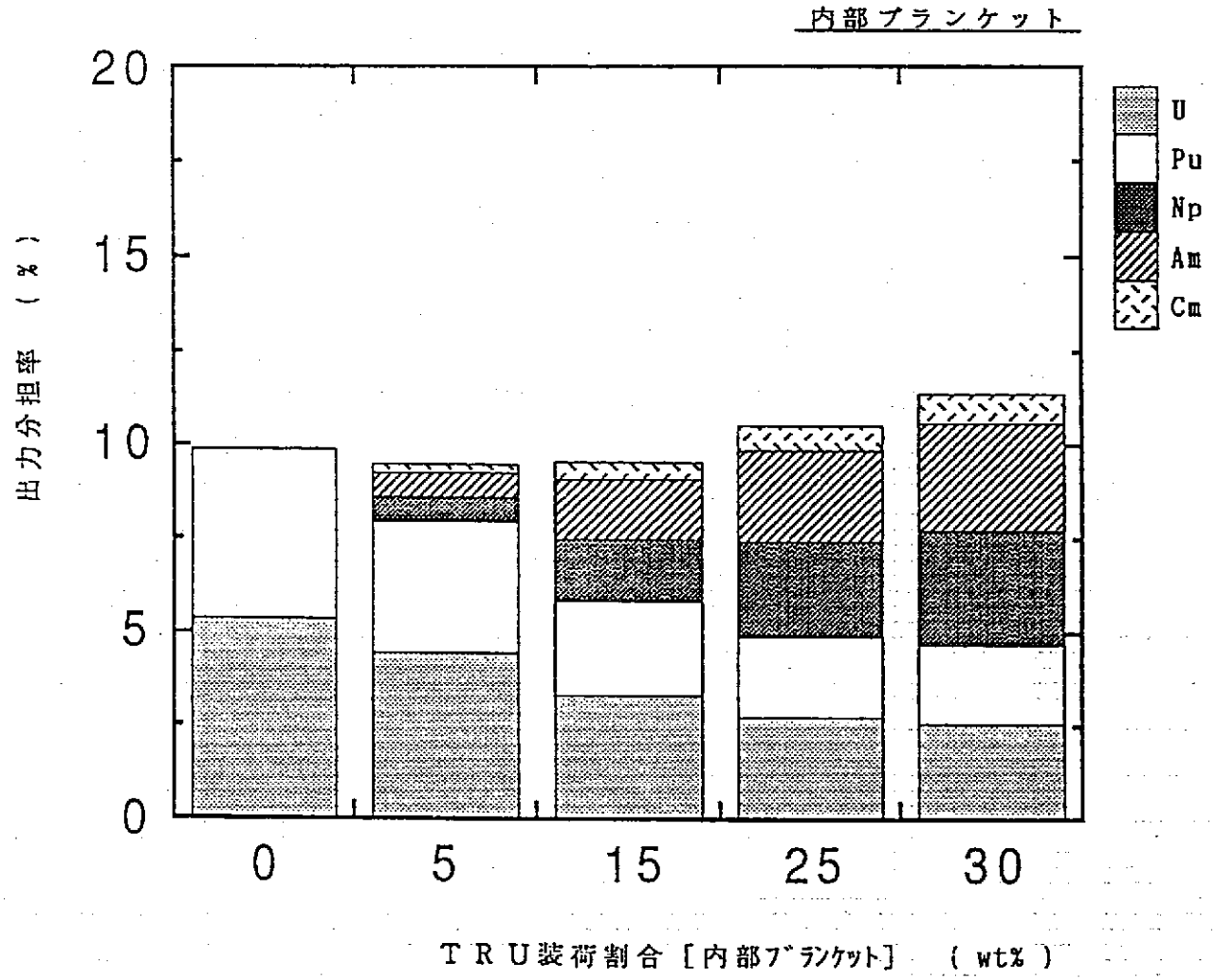


図3.4-13 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , BOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

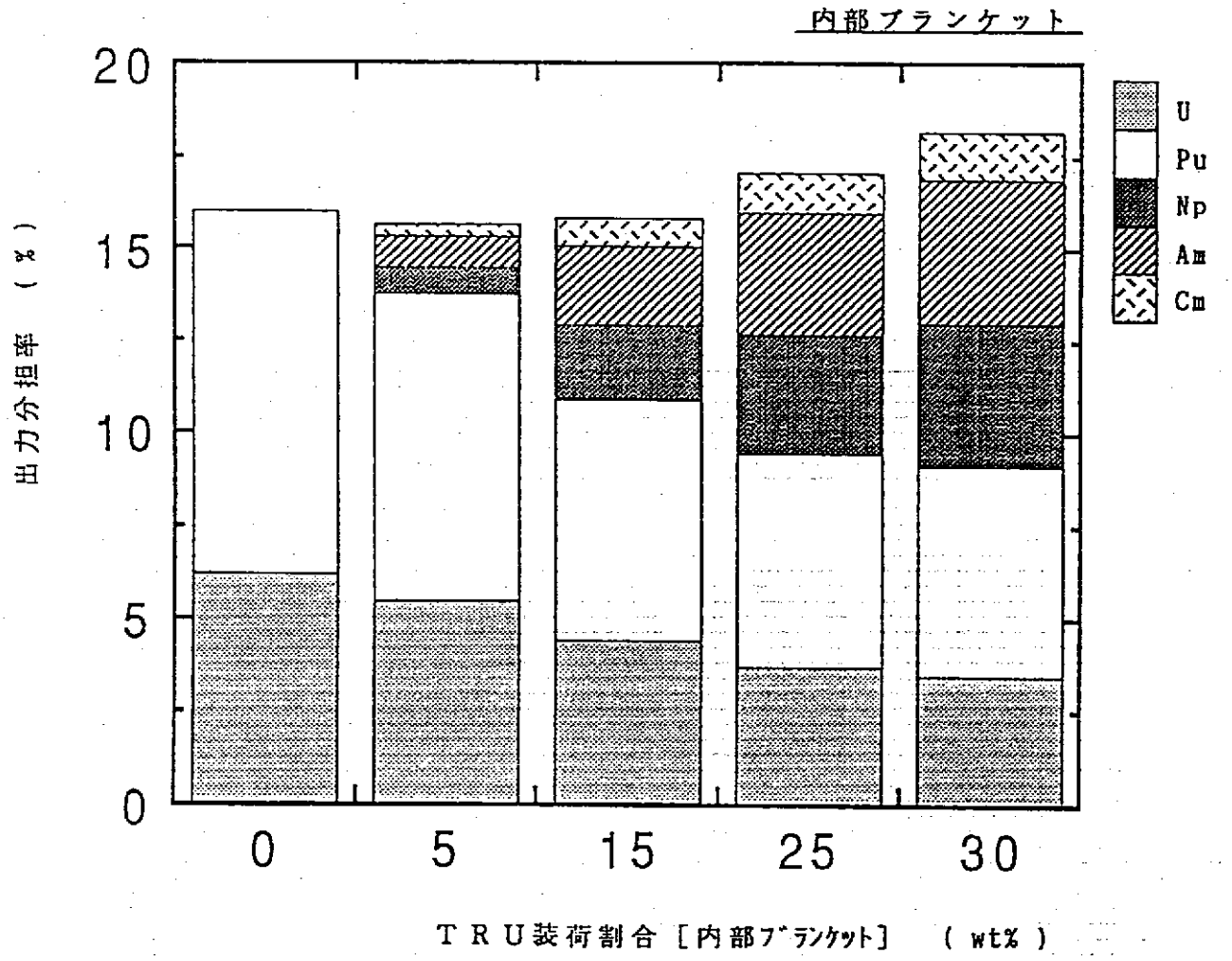


図3.4-14 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

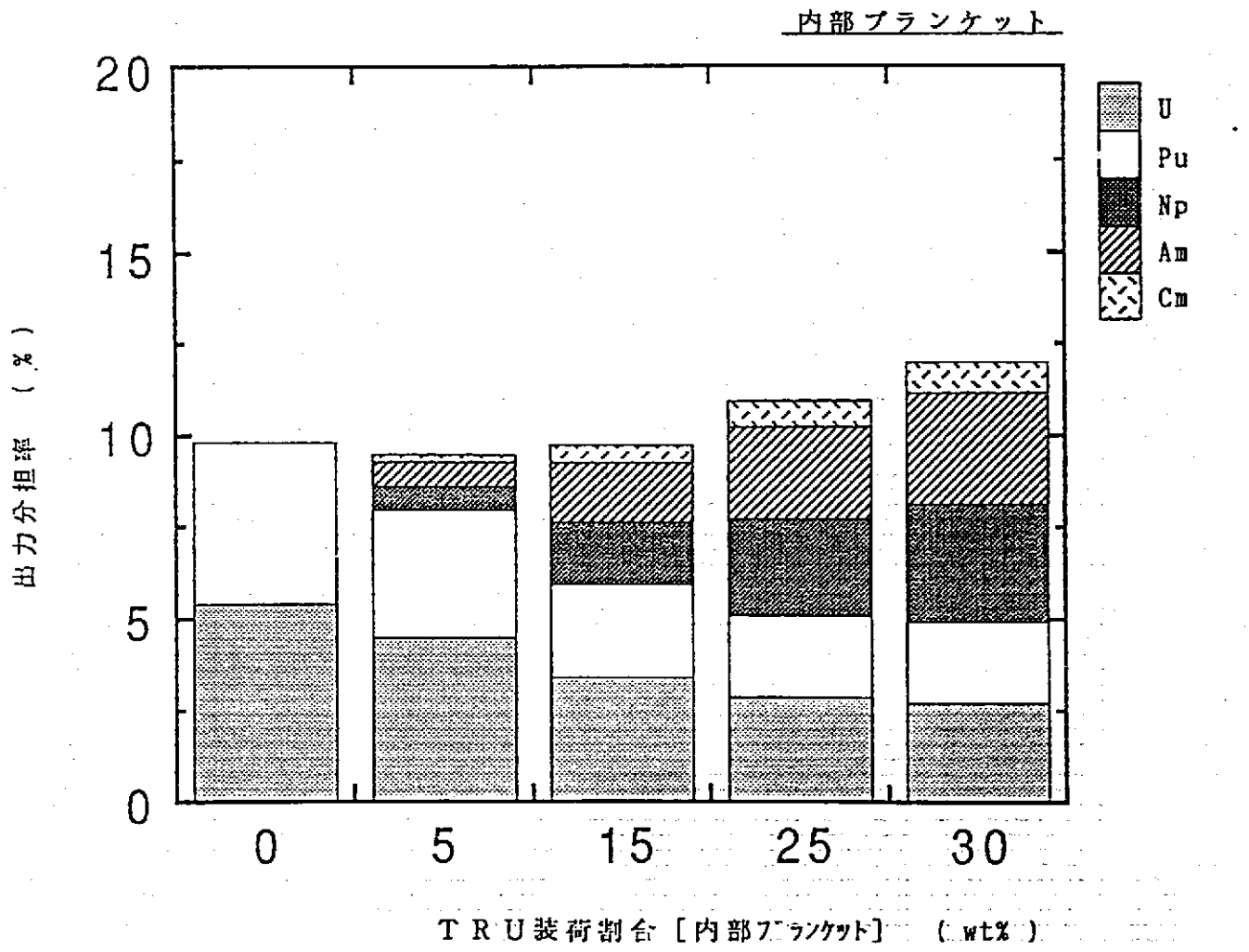


図3.4-15　ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , BOEC (TRU ; CORE 5 wt%)

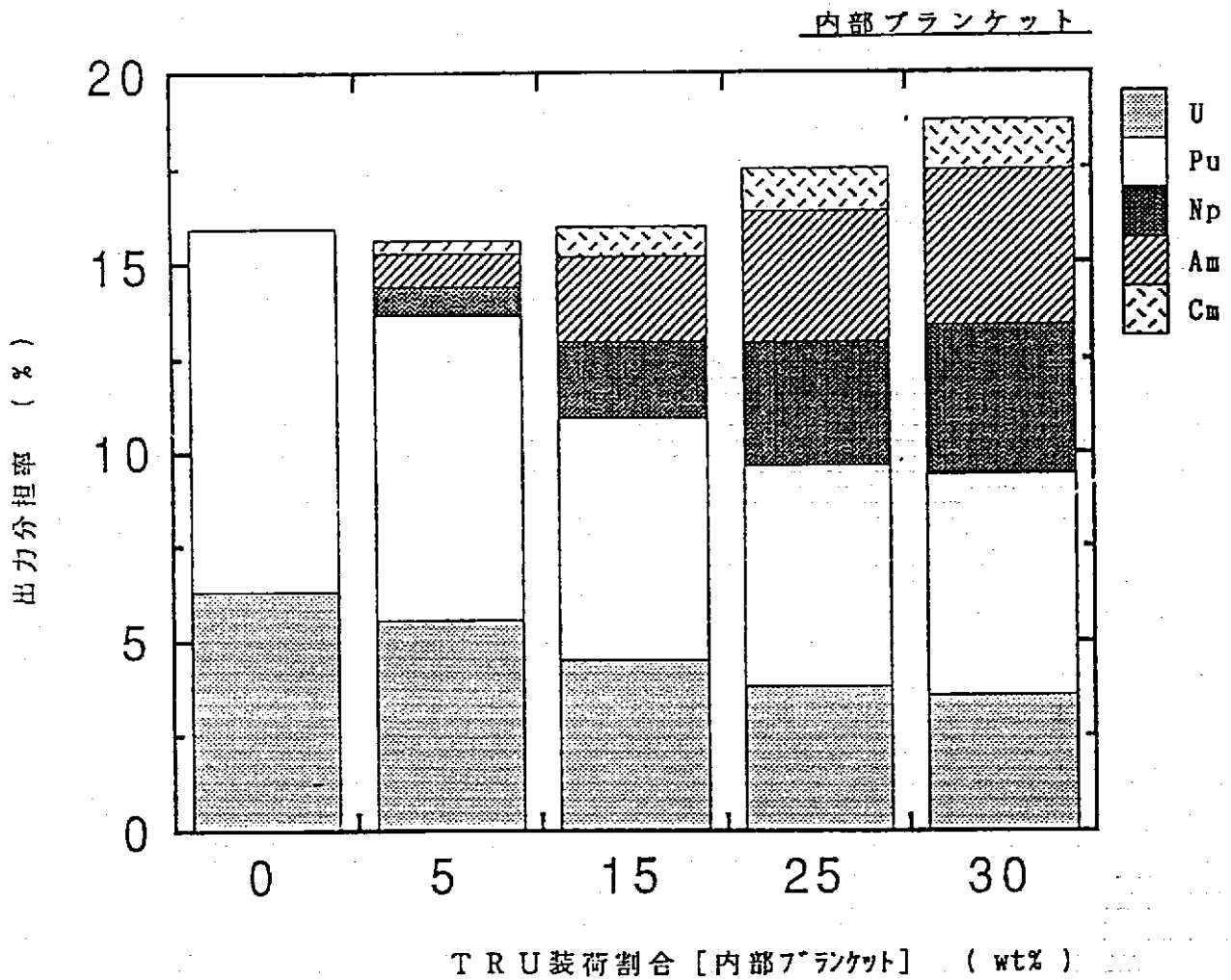


図3.4-16 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU ; CORE 5 wt%)

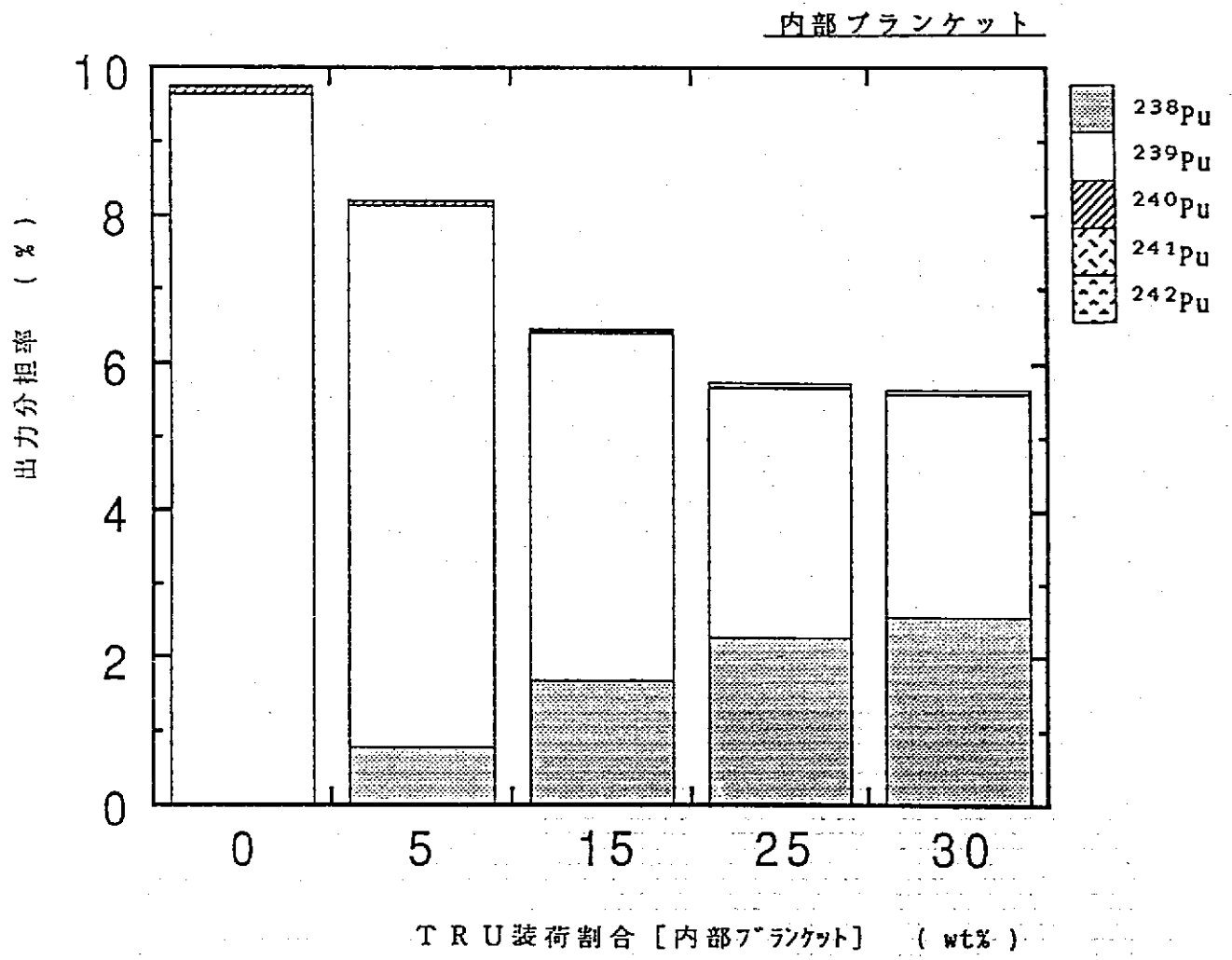


図3.4-17　ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

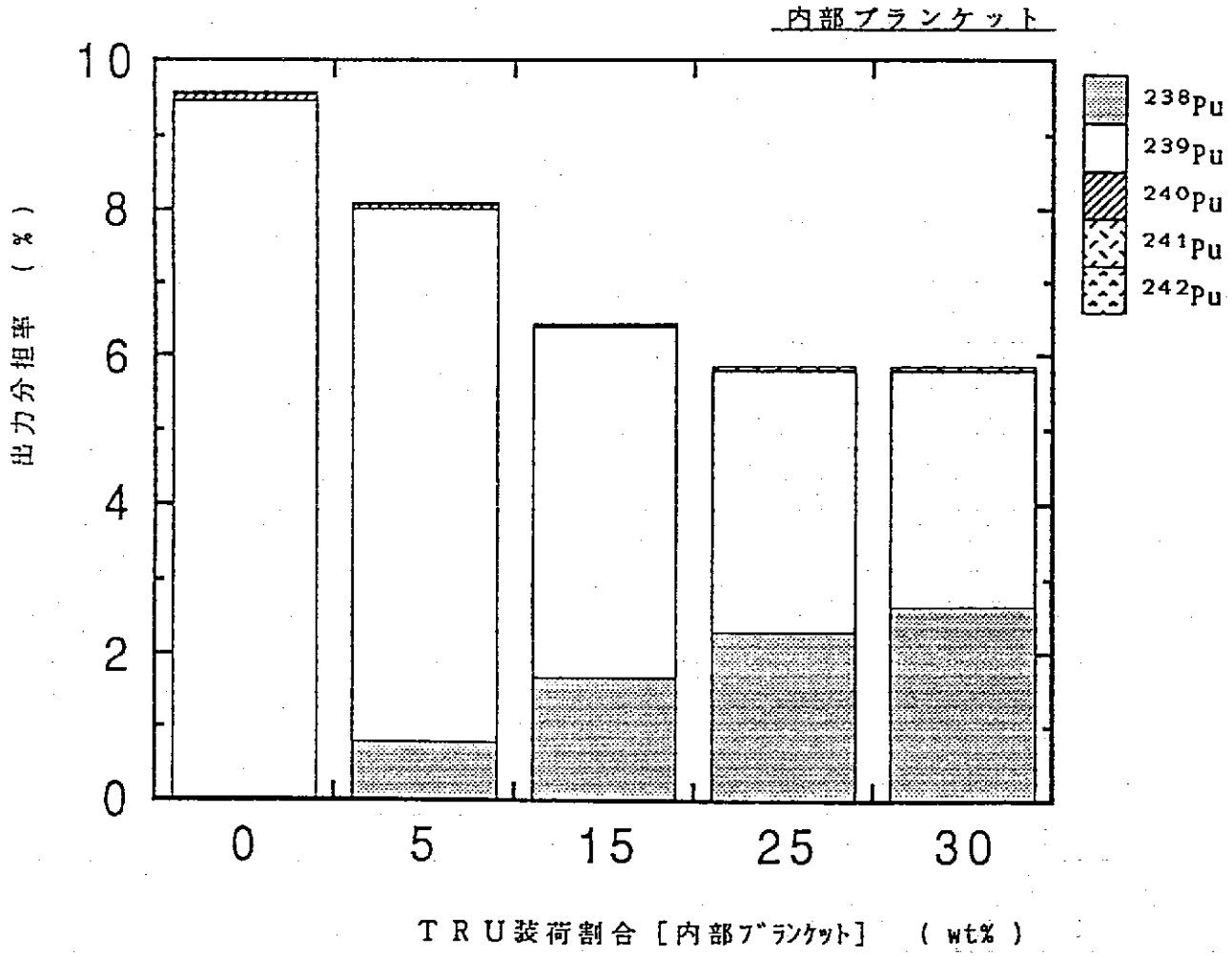


図3.4-18 ＴＲＵ装荷による出力分担率の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU : CORE 5 wt%)

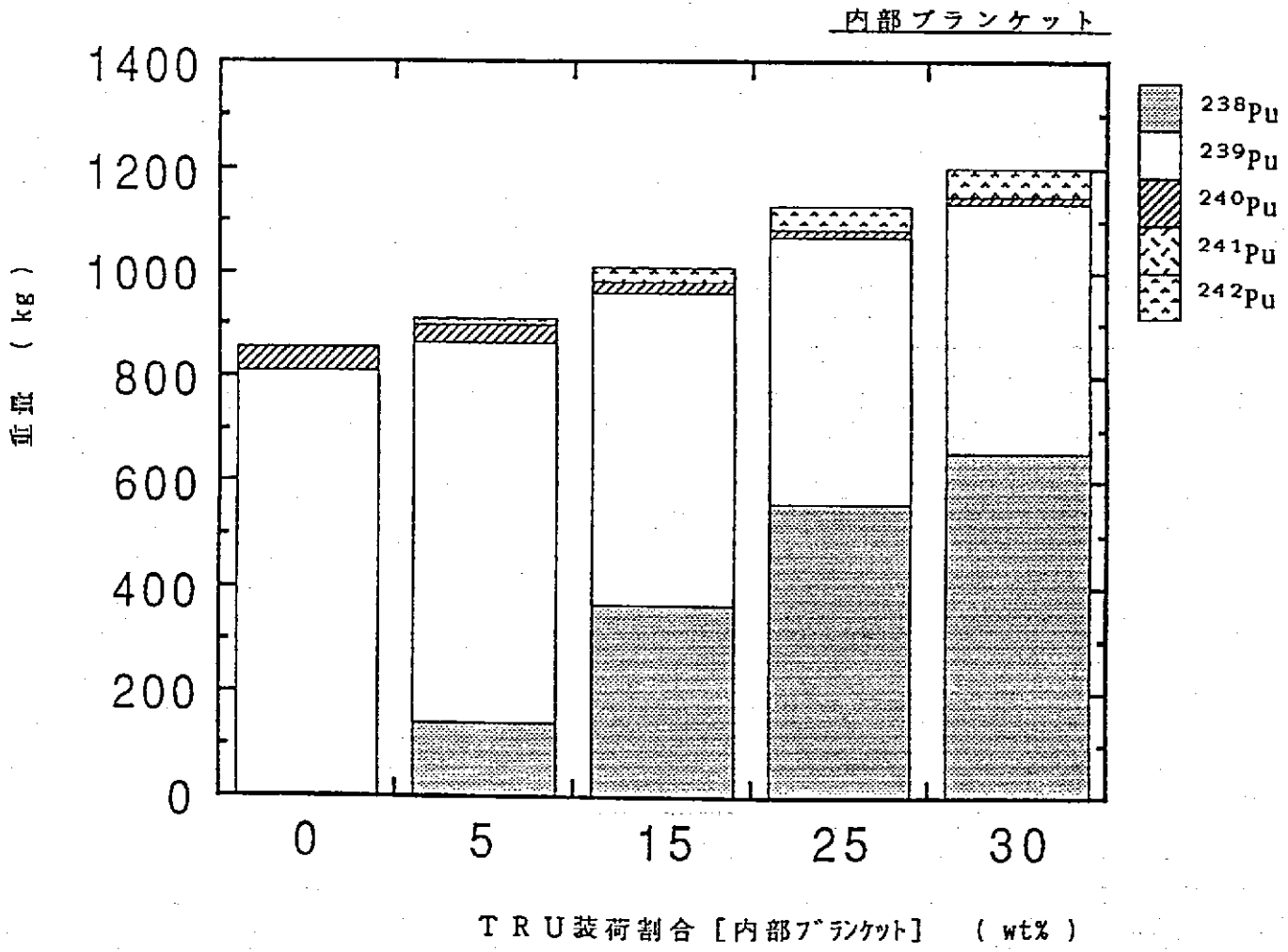


図3.4-19 ＴＲＵ装荷によるＰｕ組成の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU ; CORE 0 wt%)

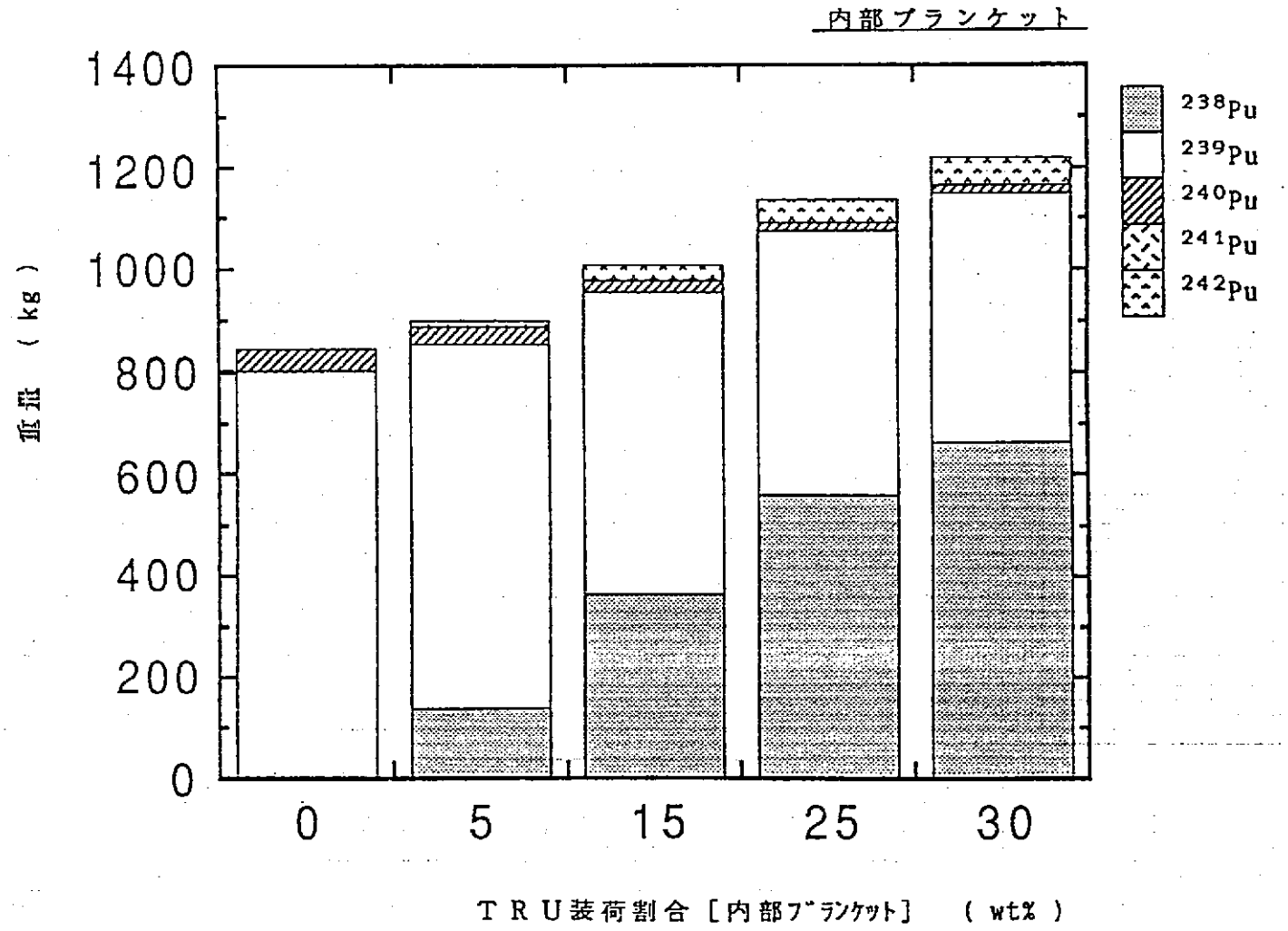


図3.4-20 ＴＲＵ装荷によるＰｕ組成の変化
RHC , IBL , EOEC (TRU ; CORE 5 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

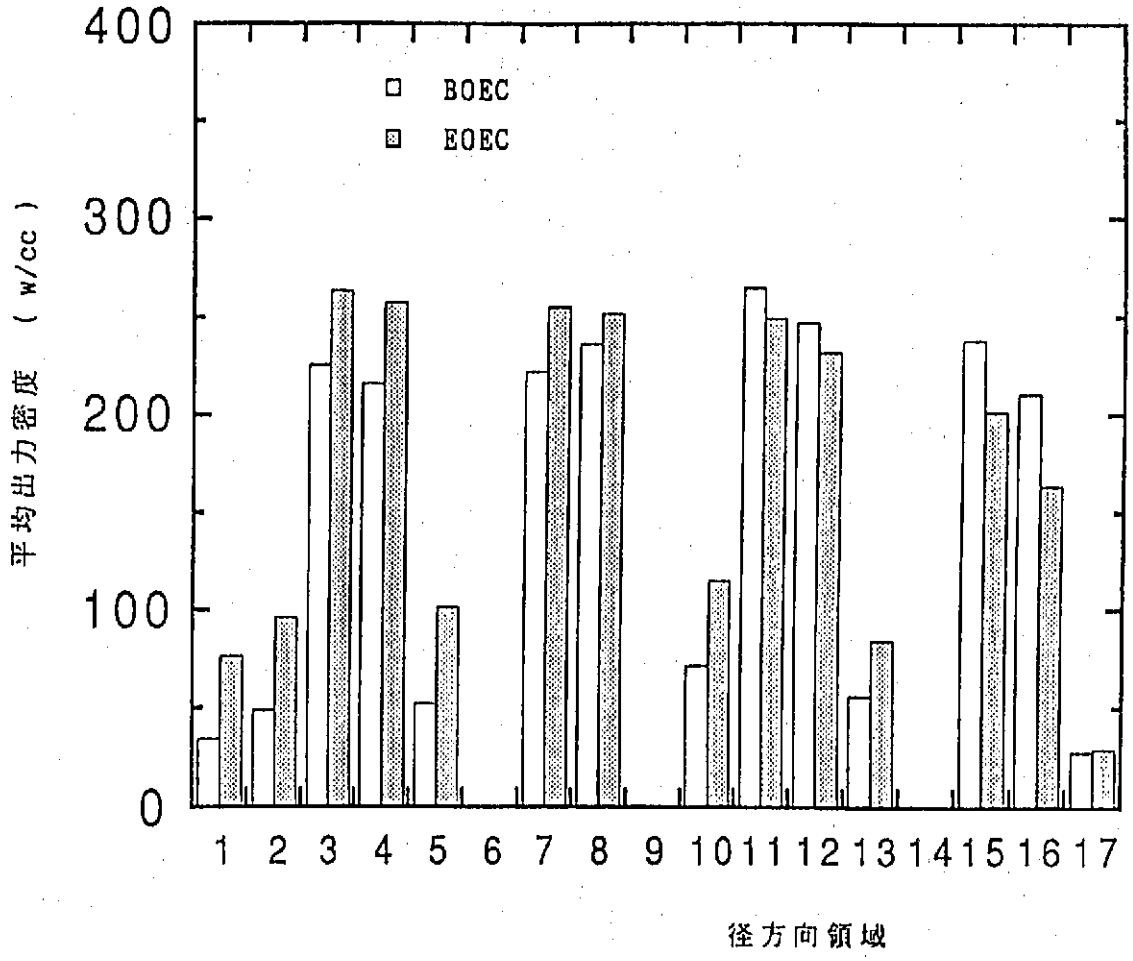


図3.4-21 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 0 wt% , IBL 0 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

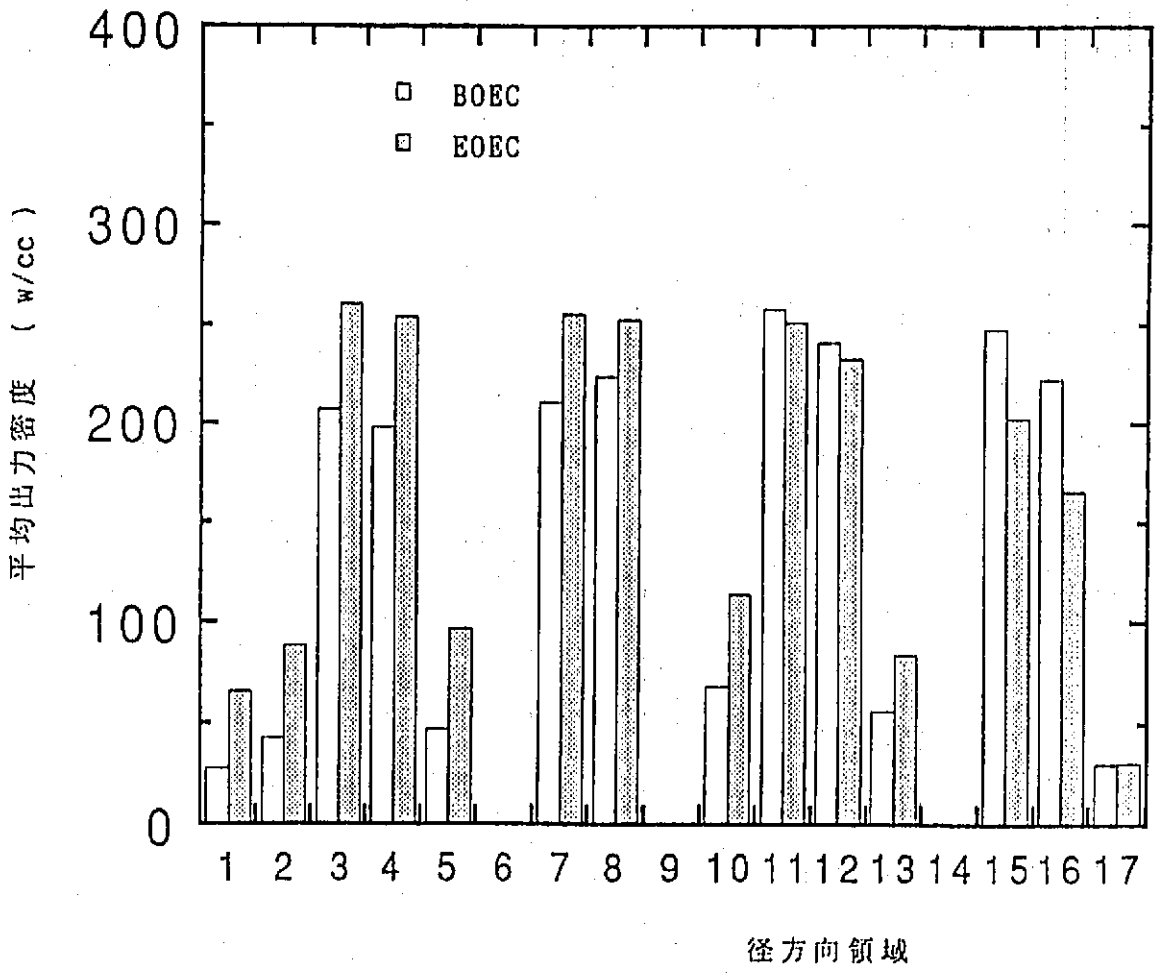


図3.4-22 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 0 wt% , IBL 5 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

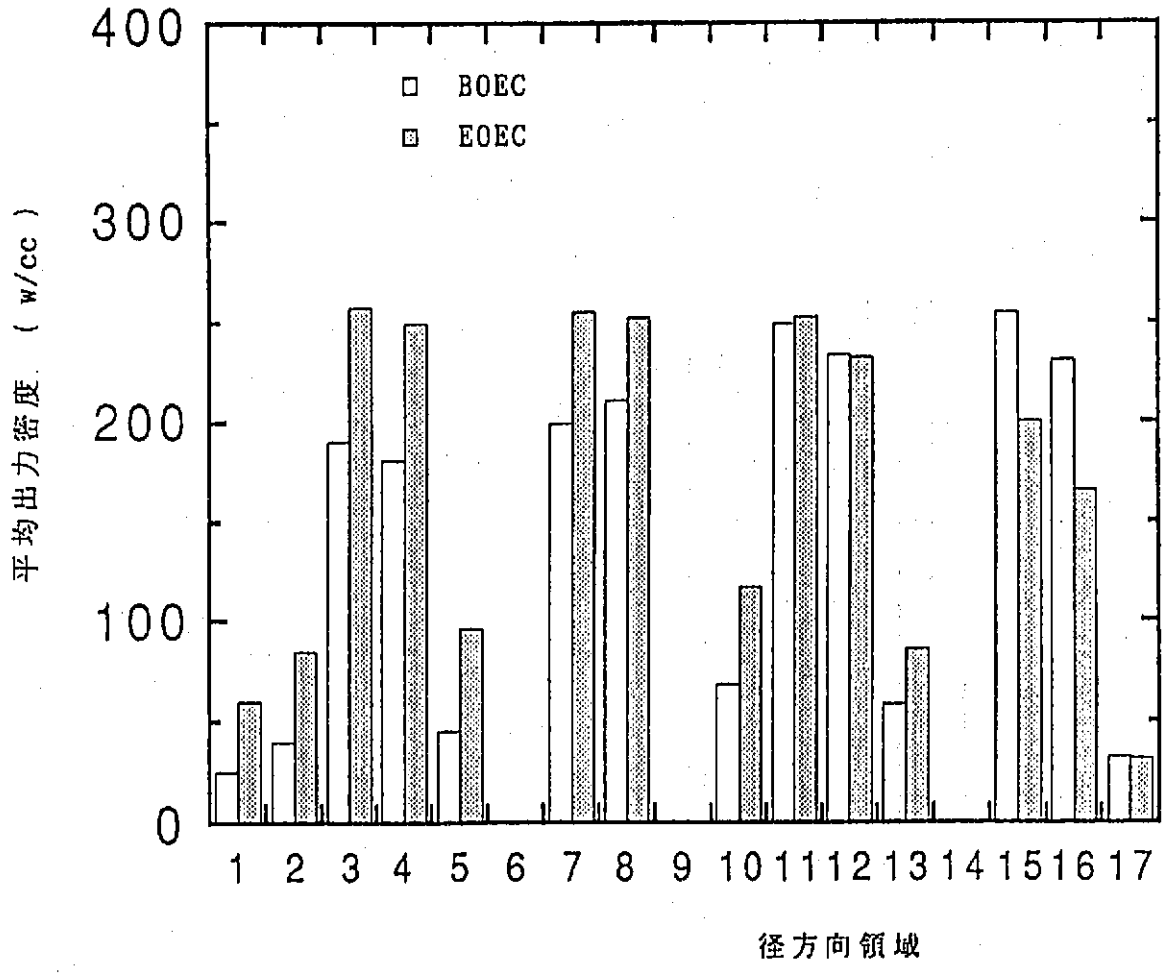


図3.4-23 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 0 wt% , IBL 15 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

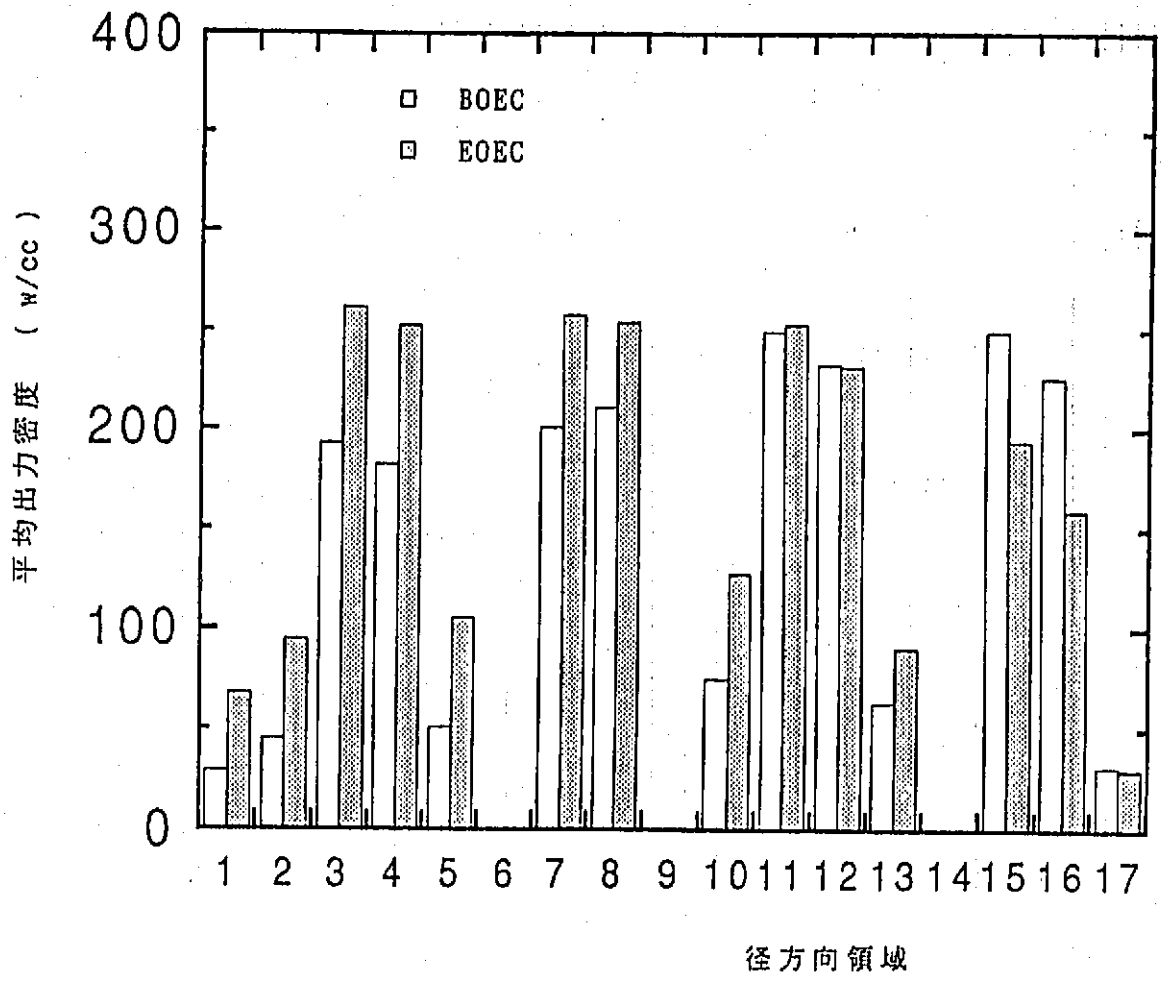


図3.4-24 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 0 wt% , IBL 25 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

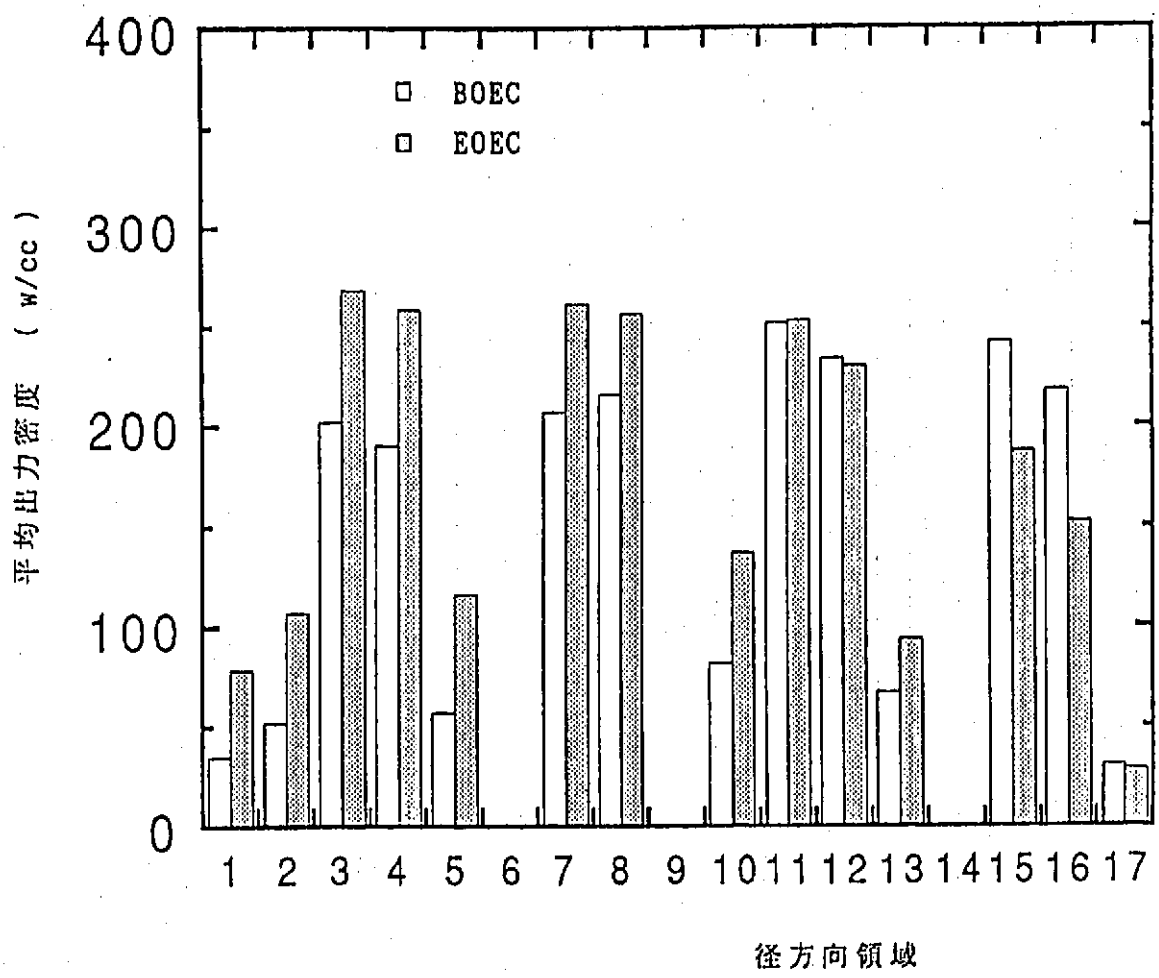


図3.4-25 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 0 wt% , IBL 30 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

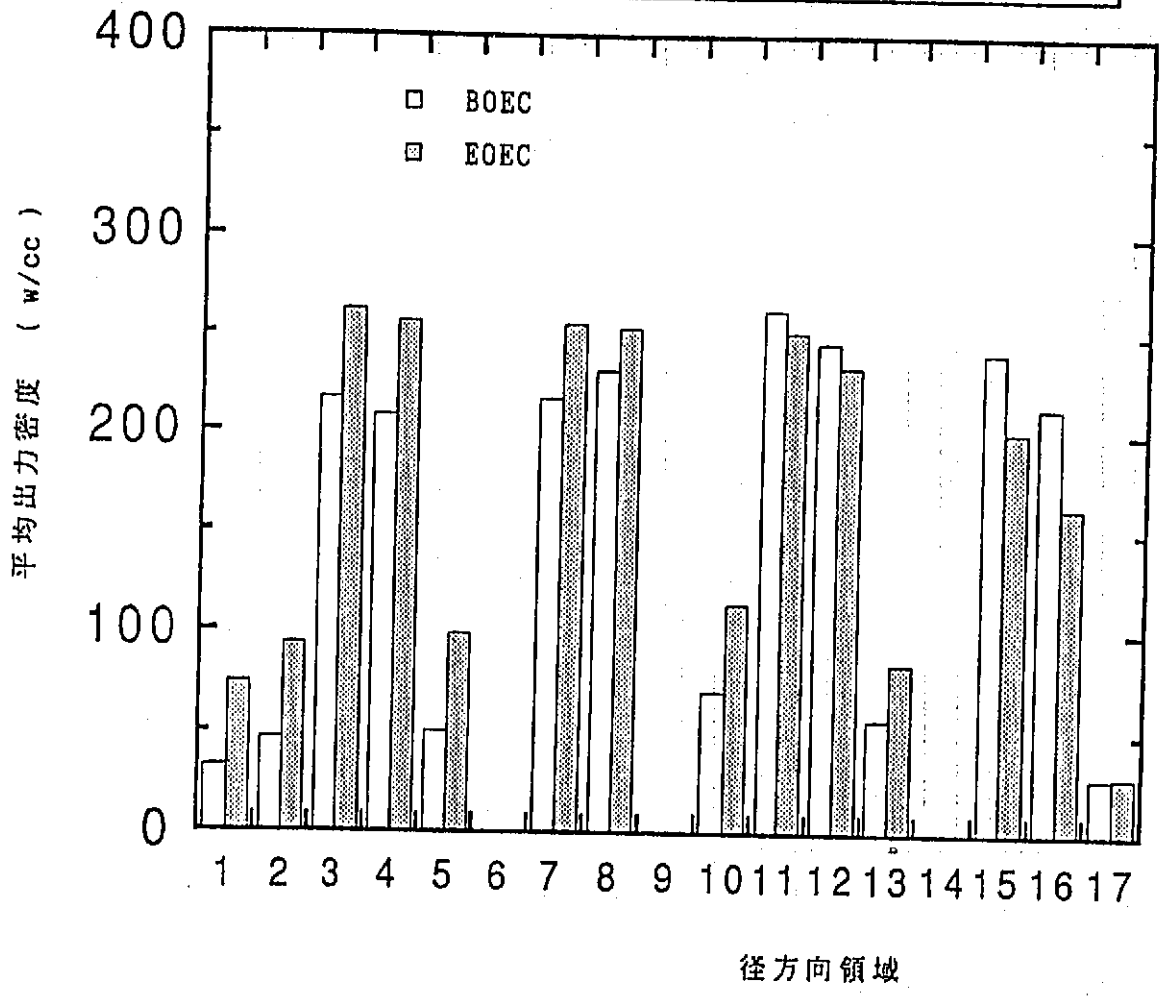


図3.4-26 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 0 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

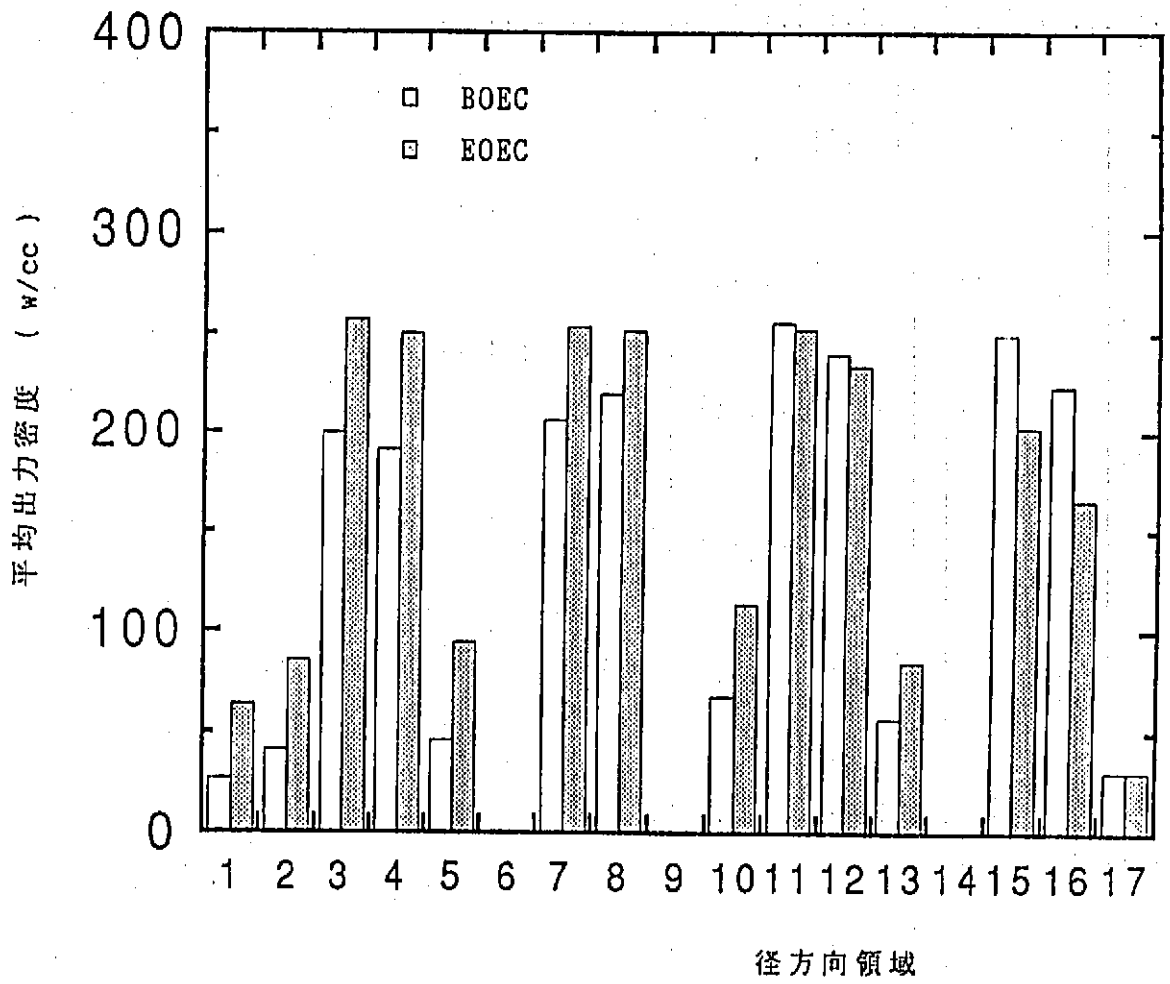


図3.4-27 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 5 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

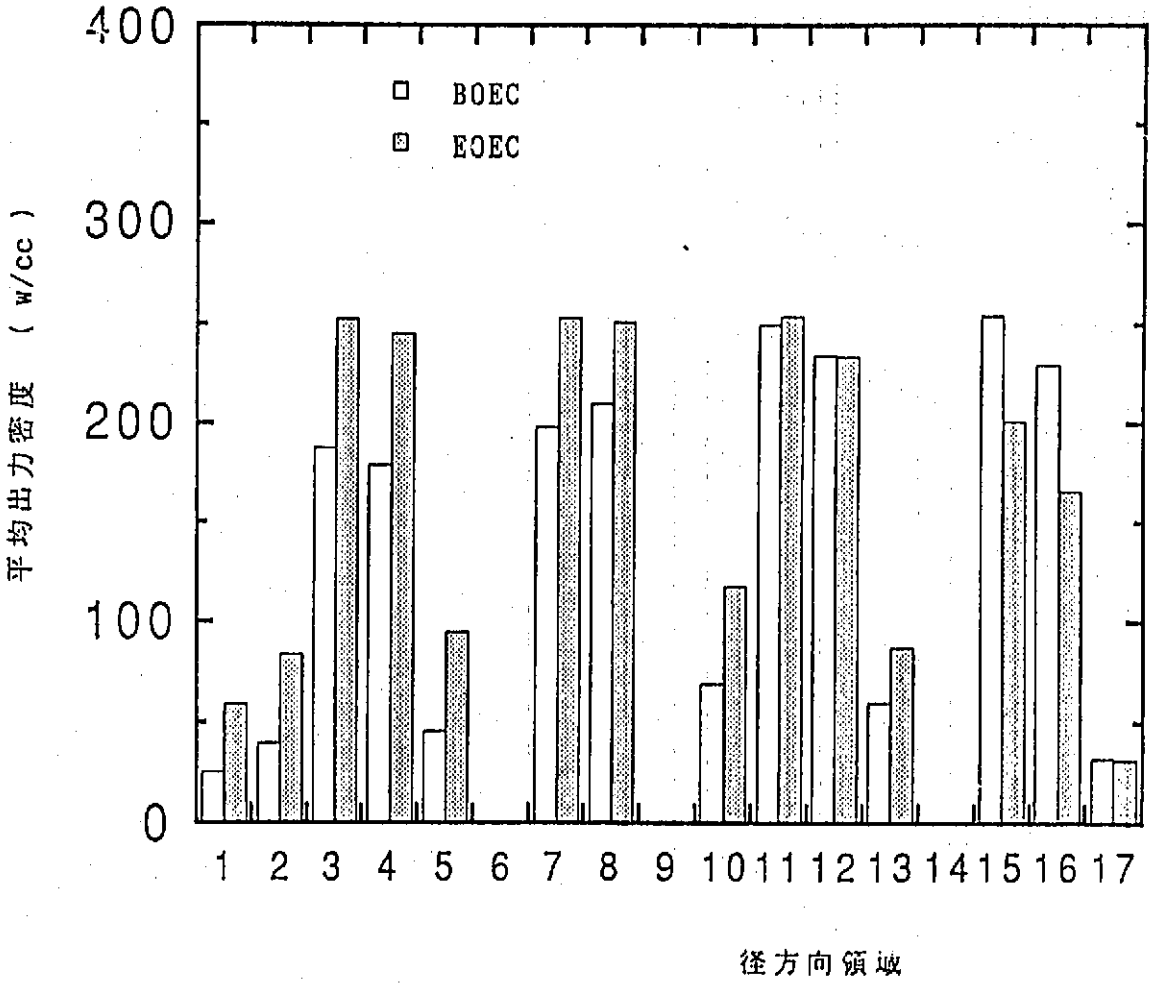


図3.4-28 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU : CORE 5 wt% , IBL 15 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

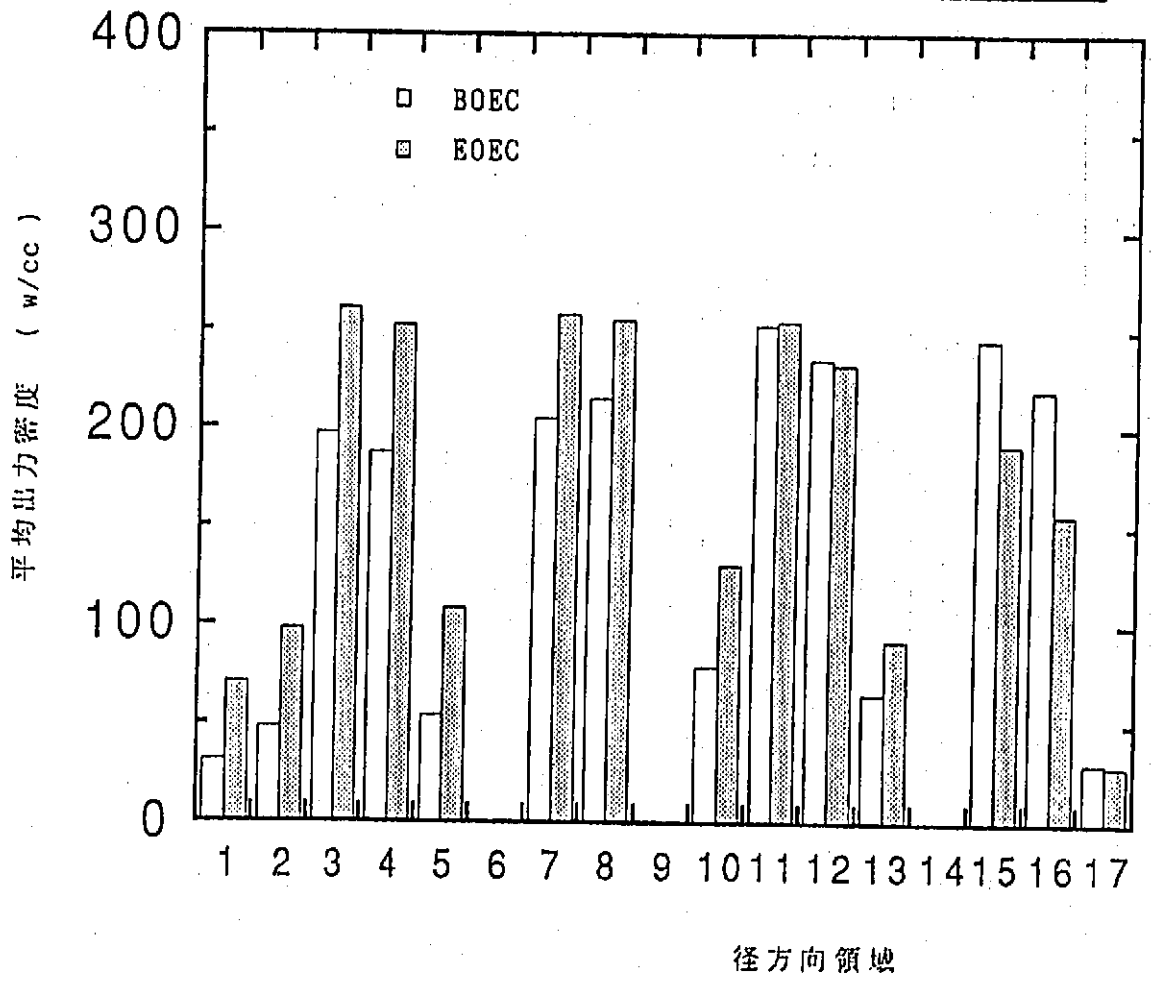


図3.4-29 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 25 wt%)

	径方向領域番号
炉心燃料	3,4,7,8,11,12,15,16
内部ブランケット燃料	1,2,5,10,13
径ブランケット燃料	17
制御棒	6,9,14

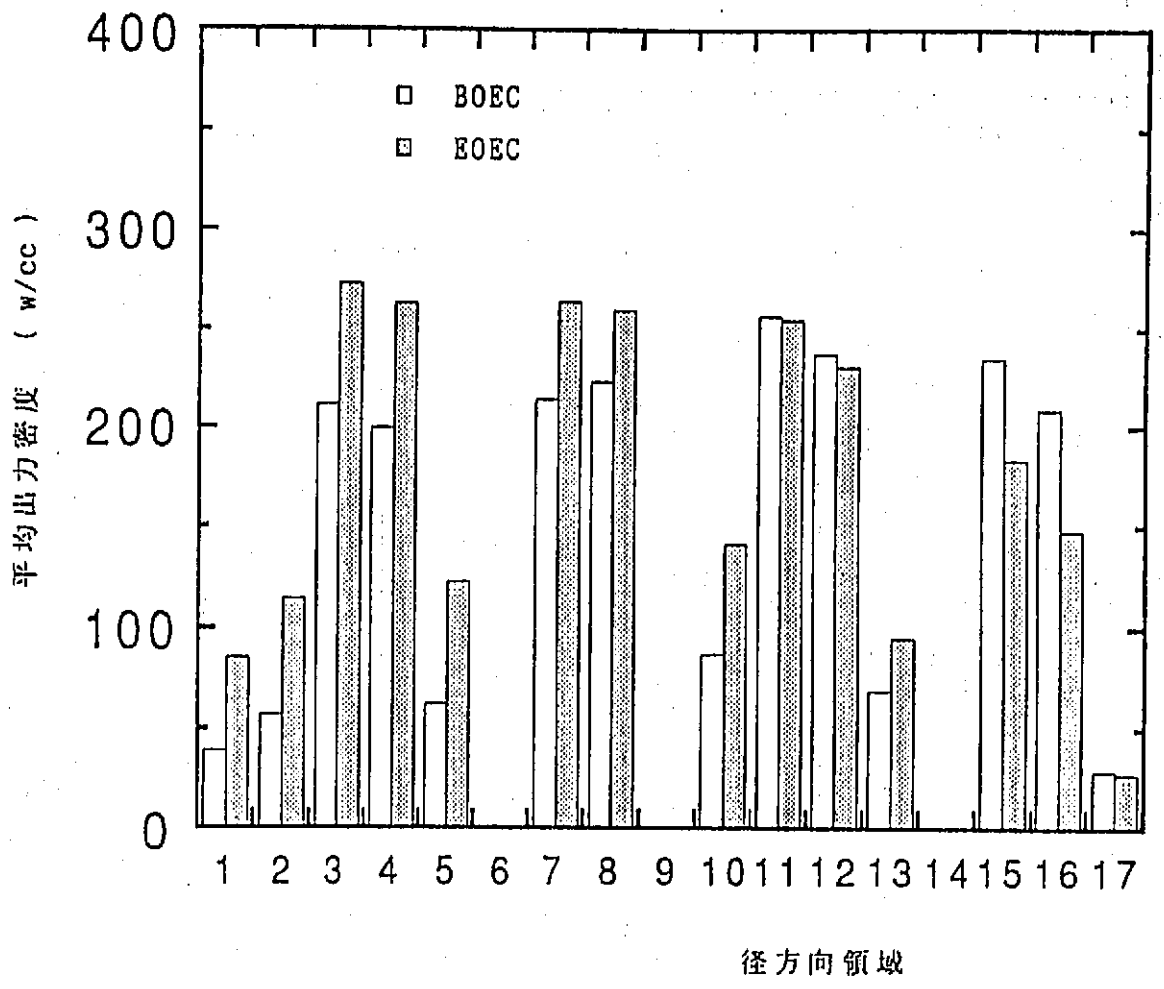


図3.4-30 平均出力密度の燃焼変化 [炉心高さ]
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

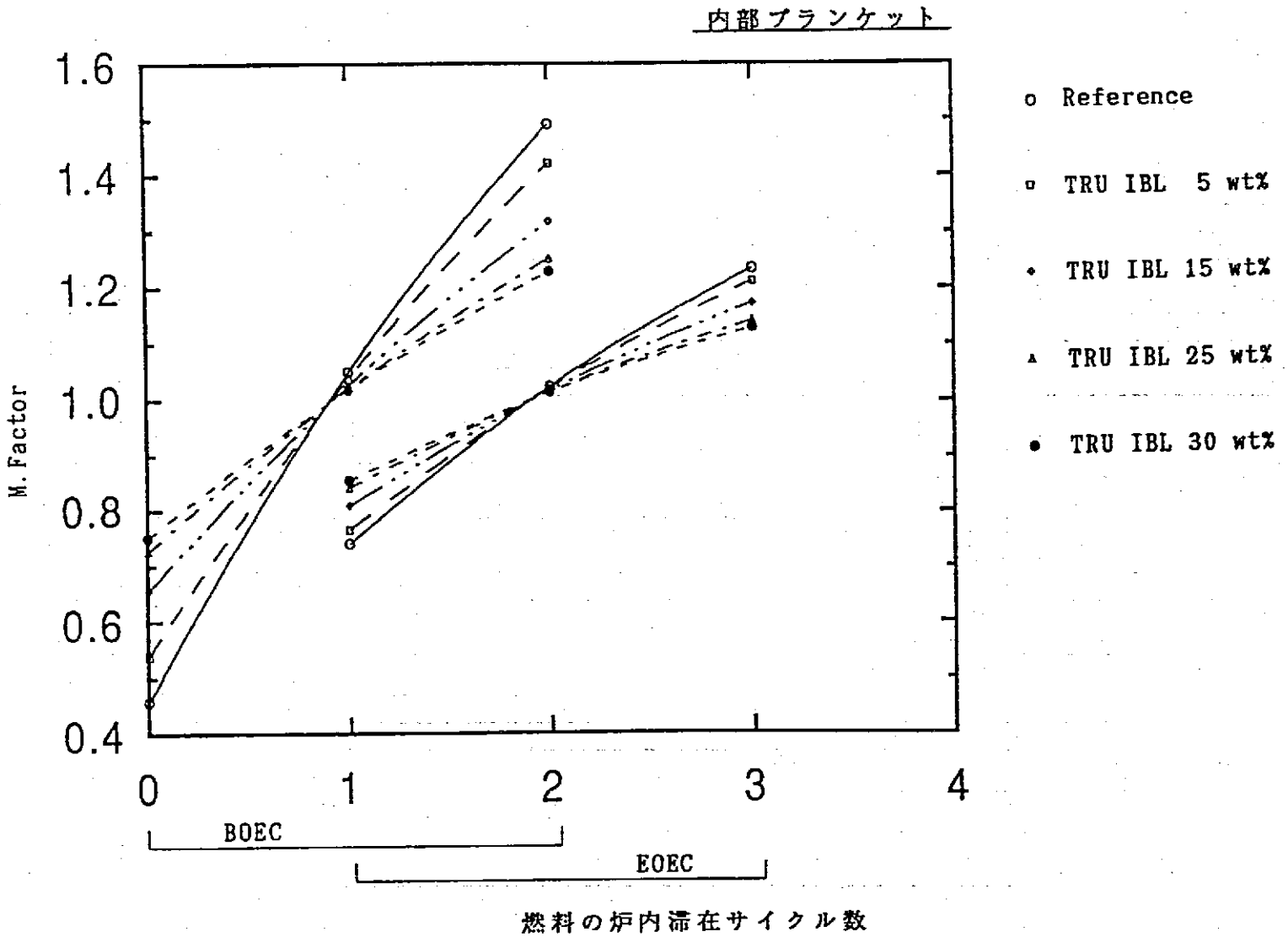


図3.4-31　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
IBL，第２リング（R-Reg. 10 ; Z-Reg. 6）

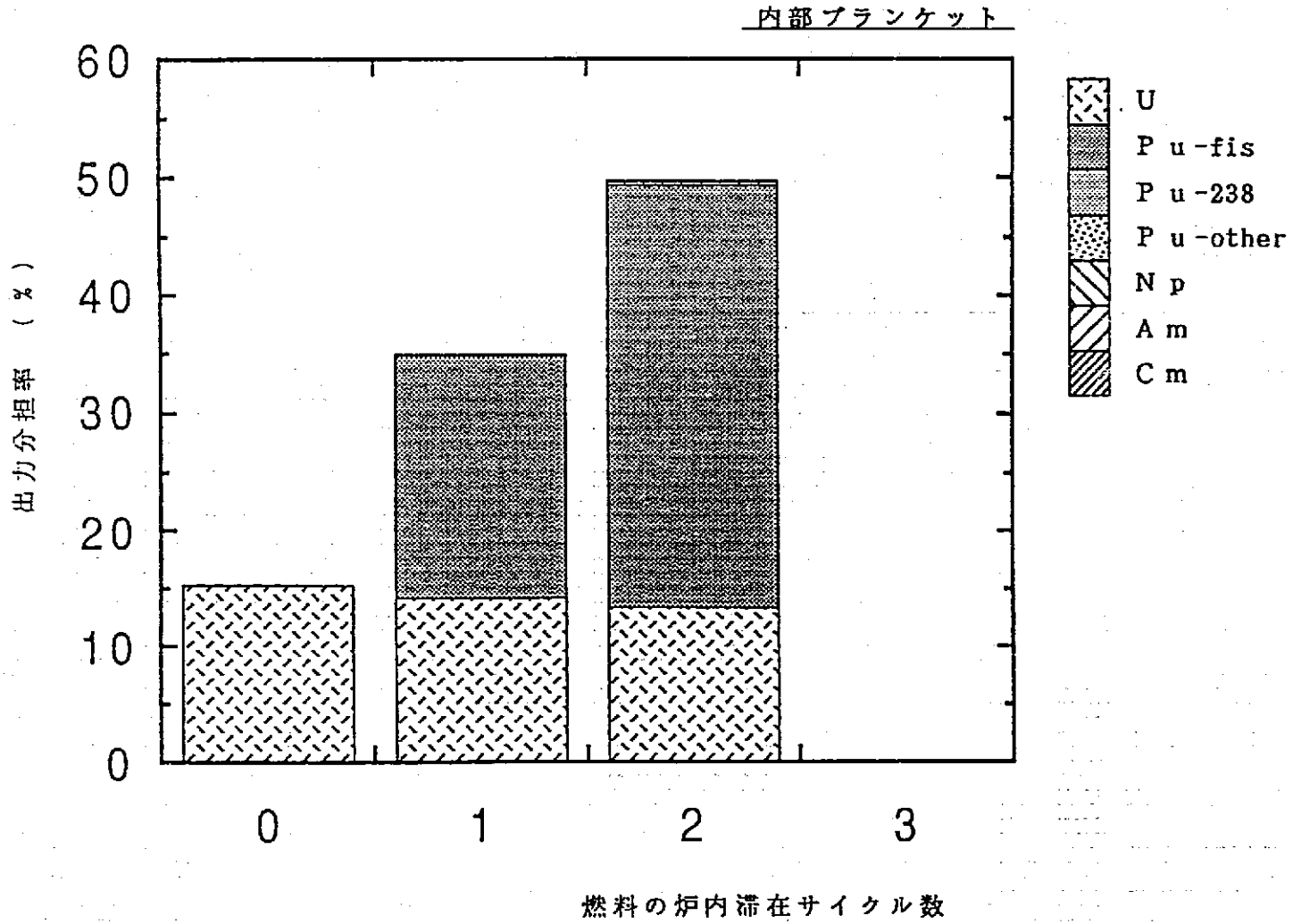


図3.4-32　燃焼に伴う出力分担率の変化［Reference］
IBL，第2リング（R-Reg. 10；Z-Reg. 6）

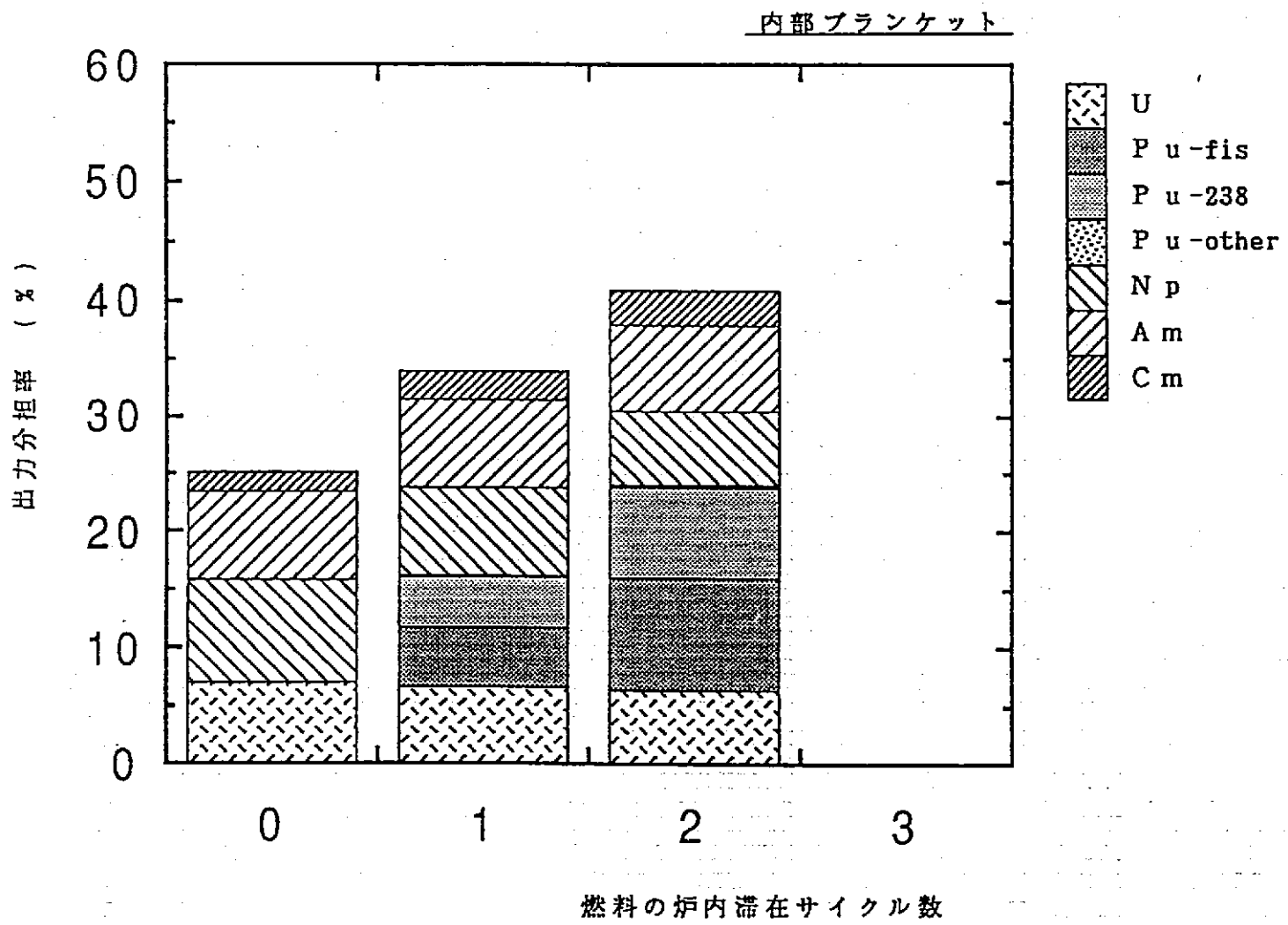


図3.4-33 燃焼に伴う出力分担率の変化［TRU IBL 30 wt%］
IBL，第2リング（R-Reg. 10 ; Z-Reg. 6）

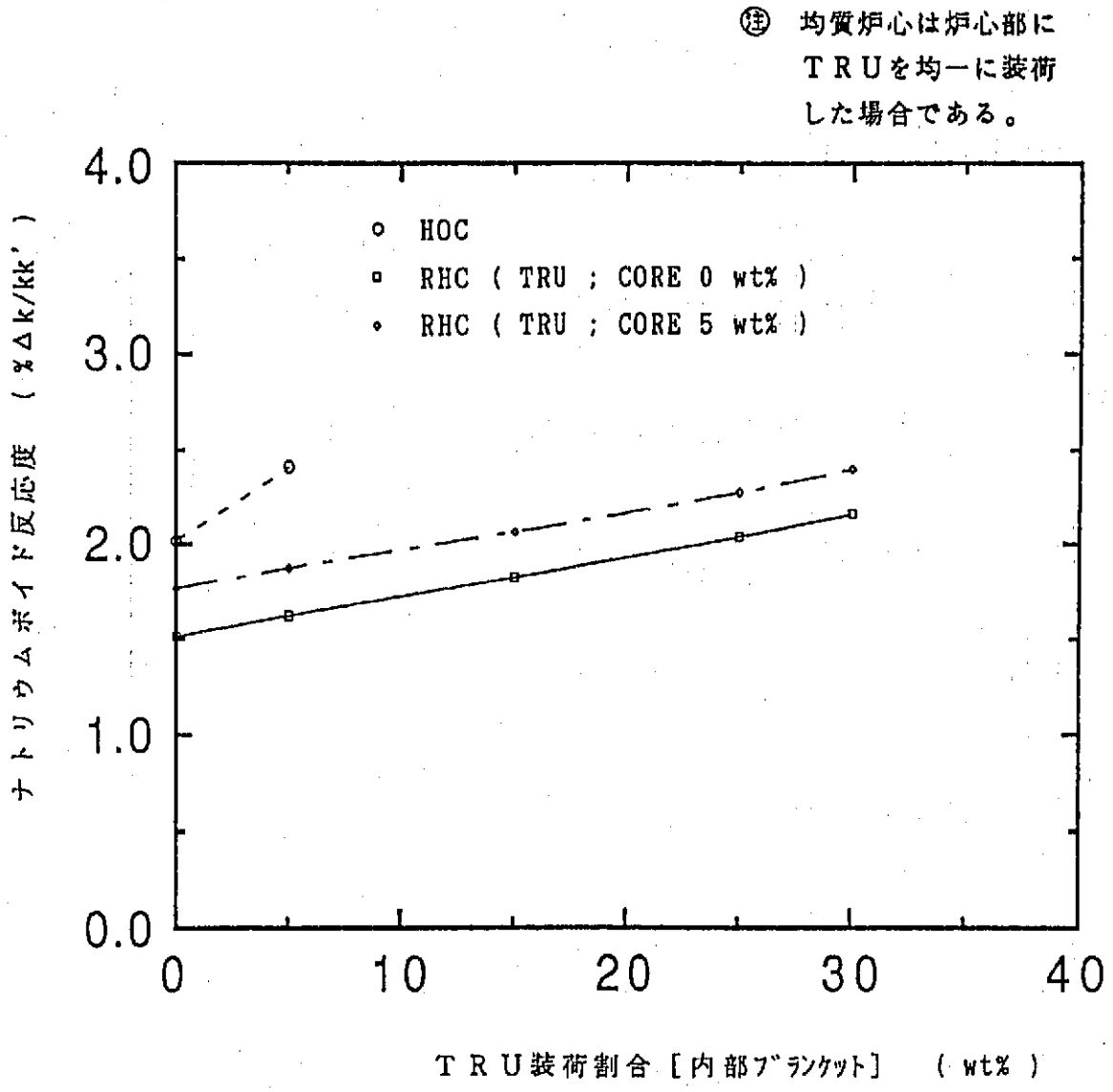


図3.4-34 ＴＲＵ装荷によるナトリウムボイド反応度の変化

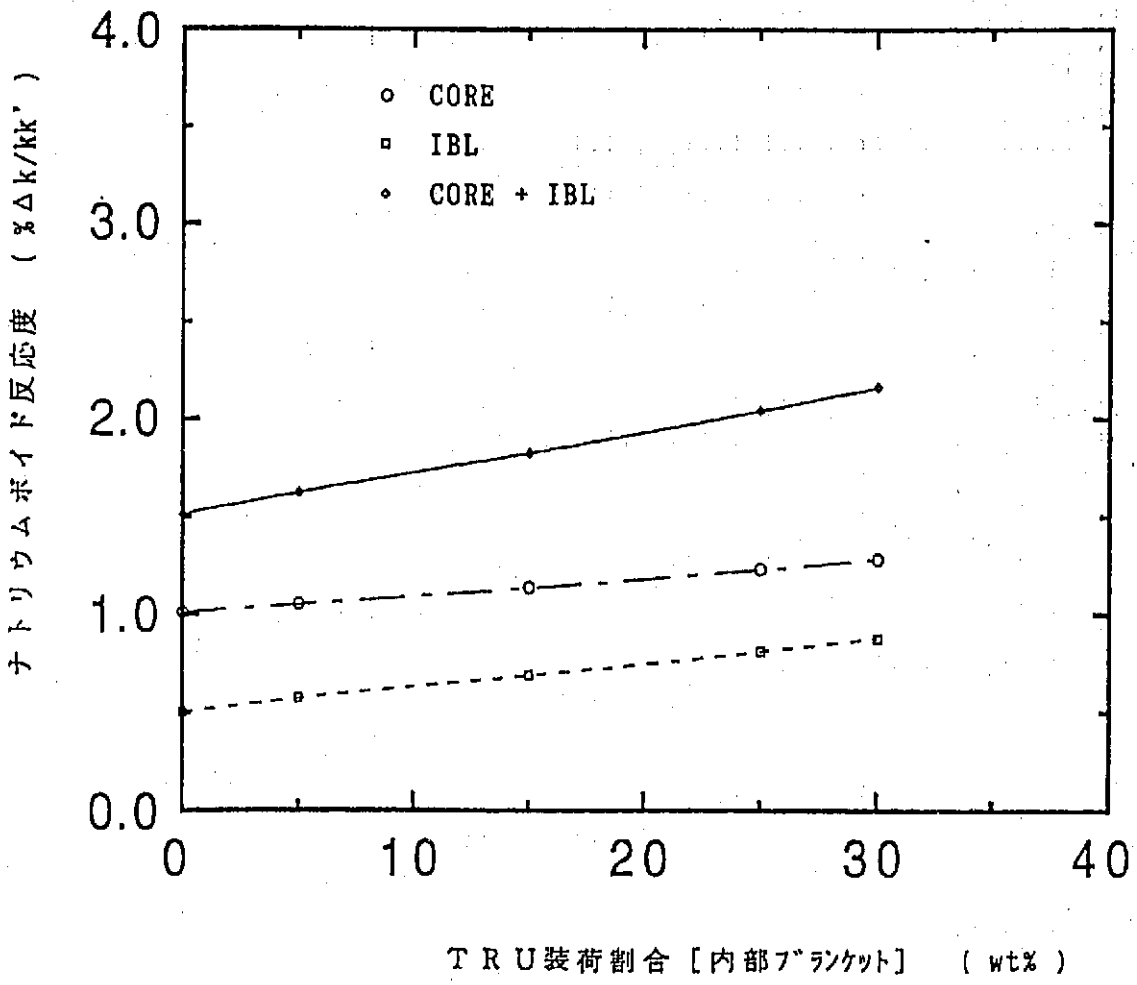


図3.4-35 TRU装荷によるナトリウムボイド反応度の変化
RHC (TRU ; CORE 0 wt%)

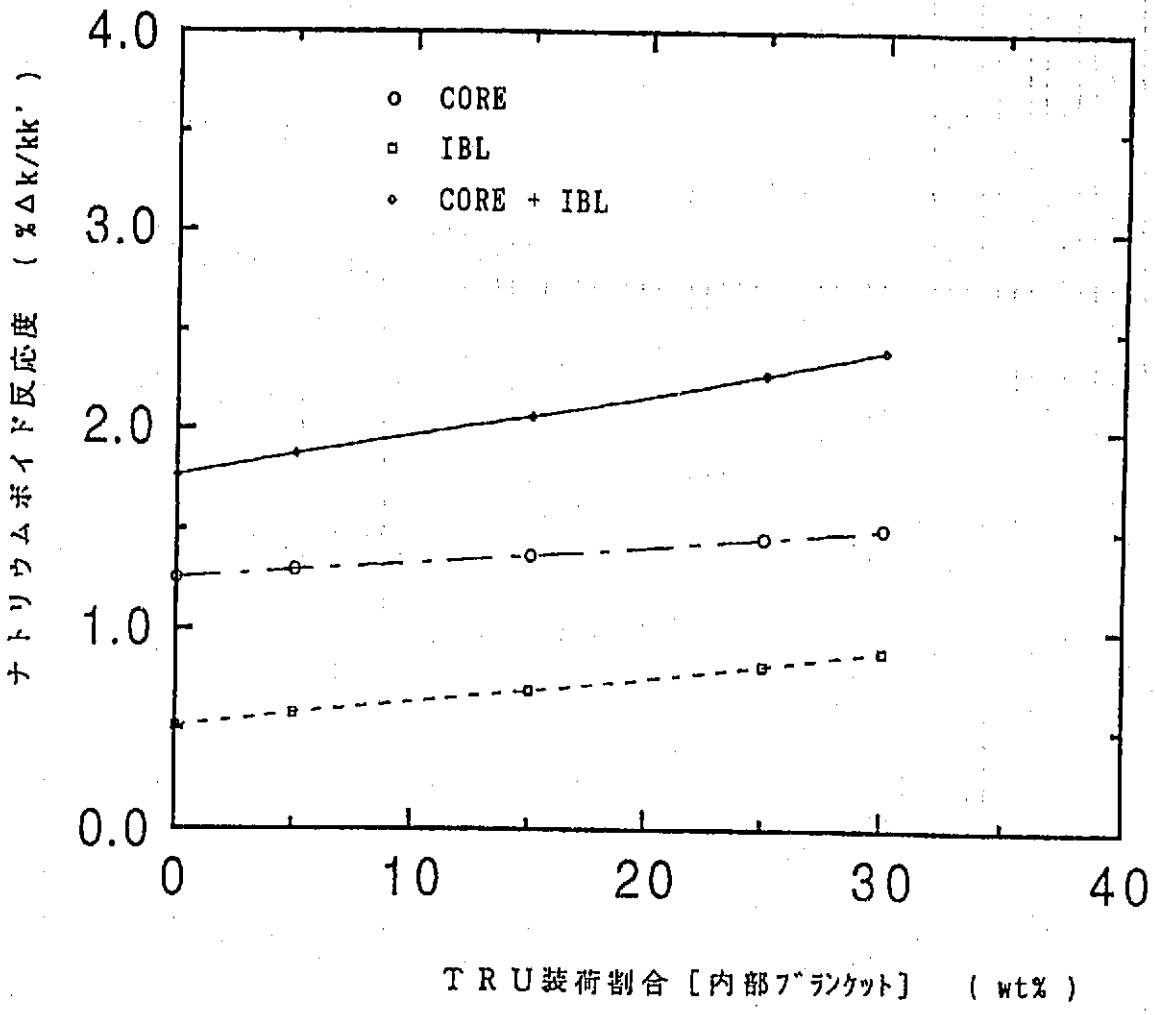


図3.4-36　ＴＲＵ装荷によるナトリウムボイド反応度の変化
RHC（ TRU ; CORE 5 wt% ）

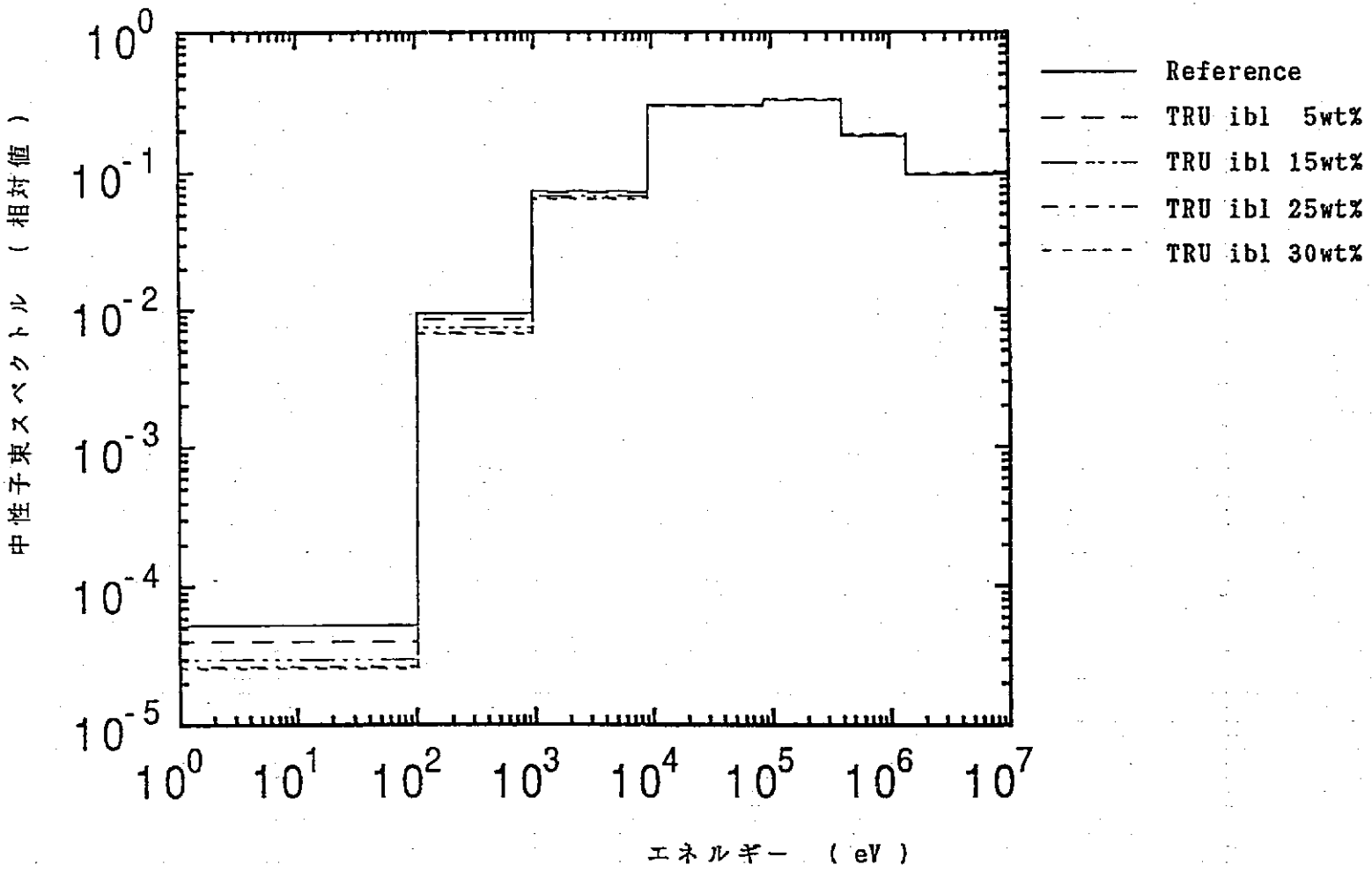


図3.4-37　ＴＲＵ装荷による中性子束スペクトル（炉心平均）の変化
RHC , EOEC

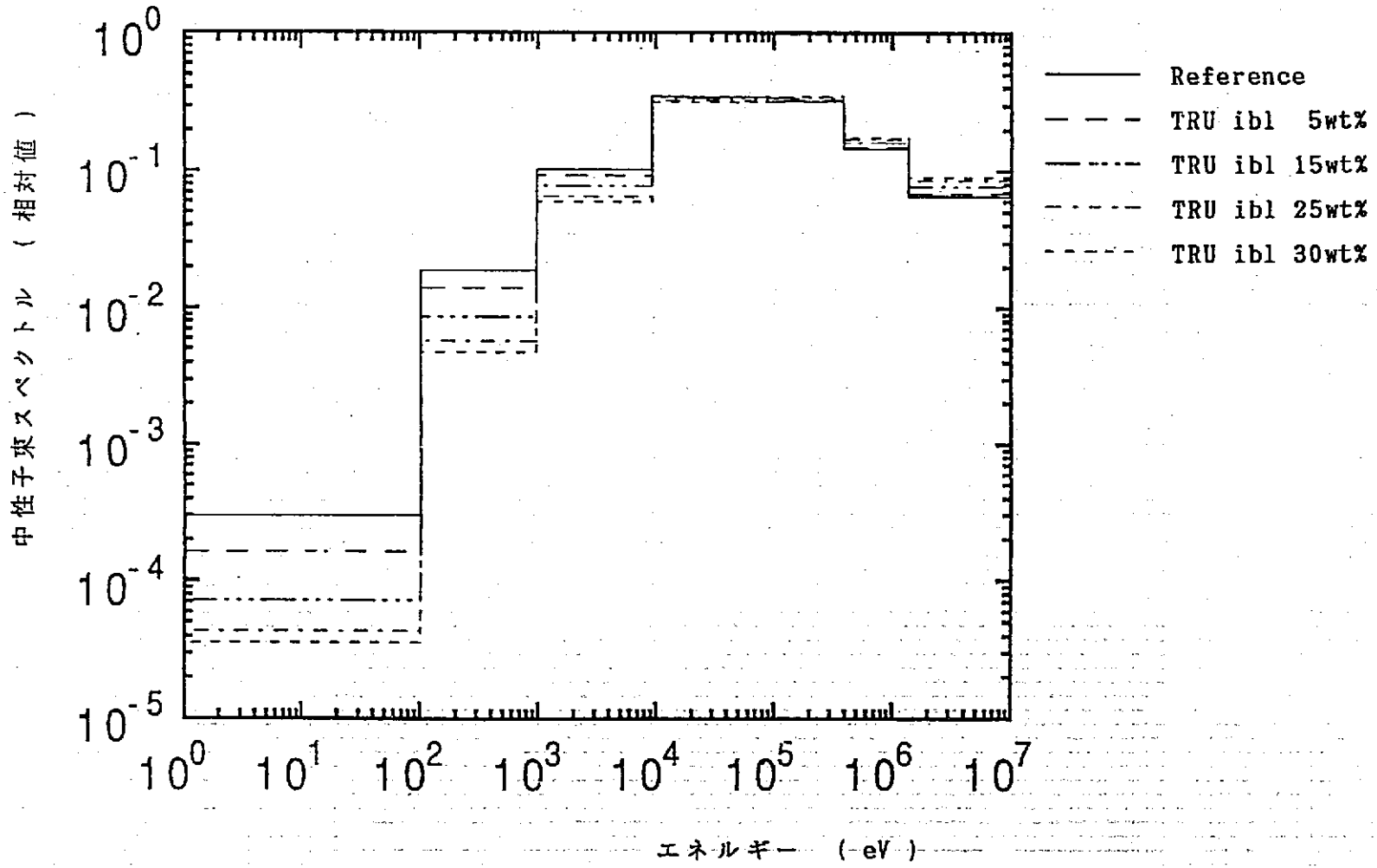


図3.4-38　ＴＲＵ装荷による中性子束スペクトル（内部ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ平均）の変化
RHC , EOEC

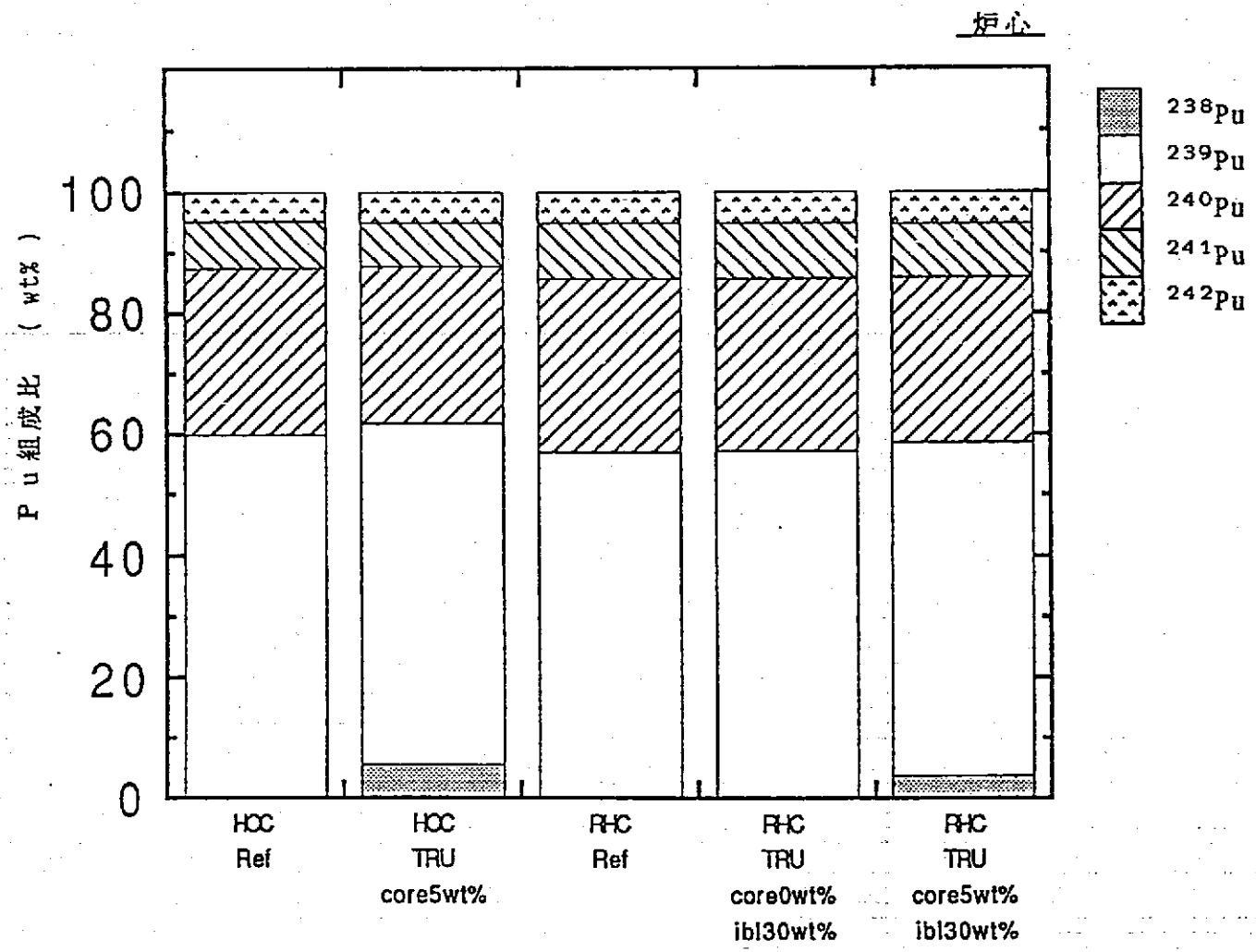


図3.4-39　ＴＲＵ装荷による取出Ｐｕ組成比の変化
CORE

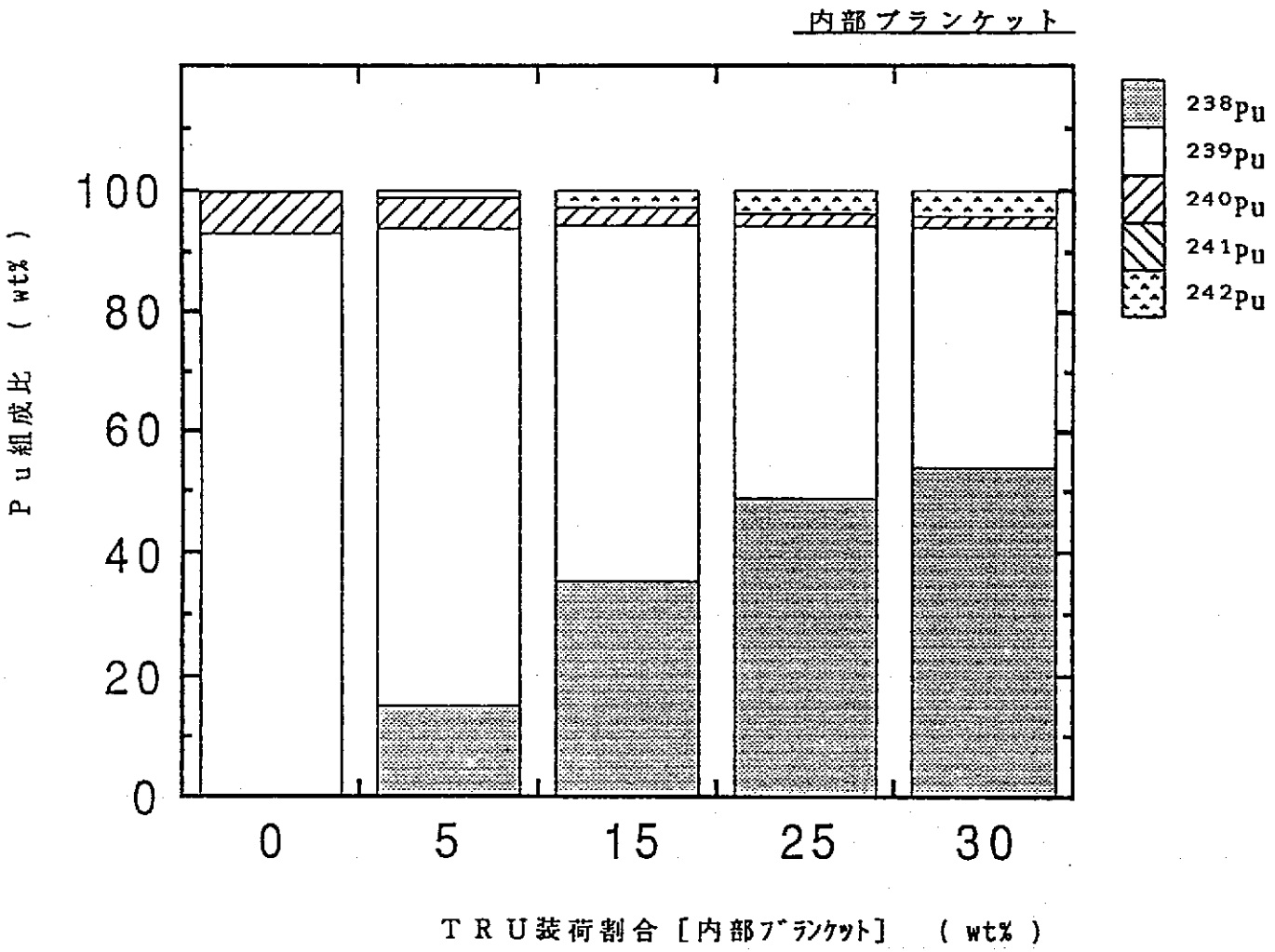


図3.4-40 TRU装荷による取出Pu組成比の変化
RHC , IBL (TRU : CORE 0 wt%)

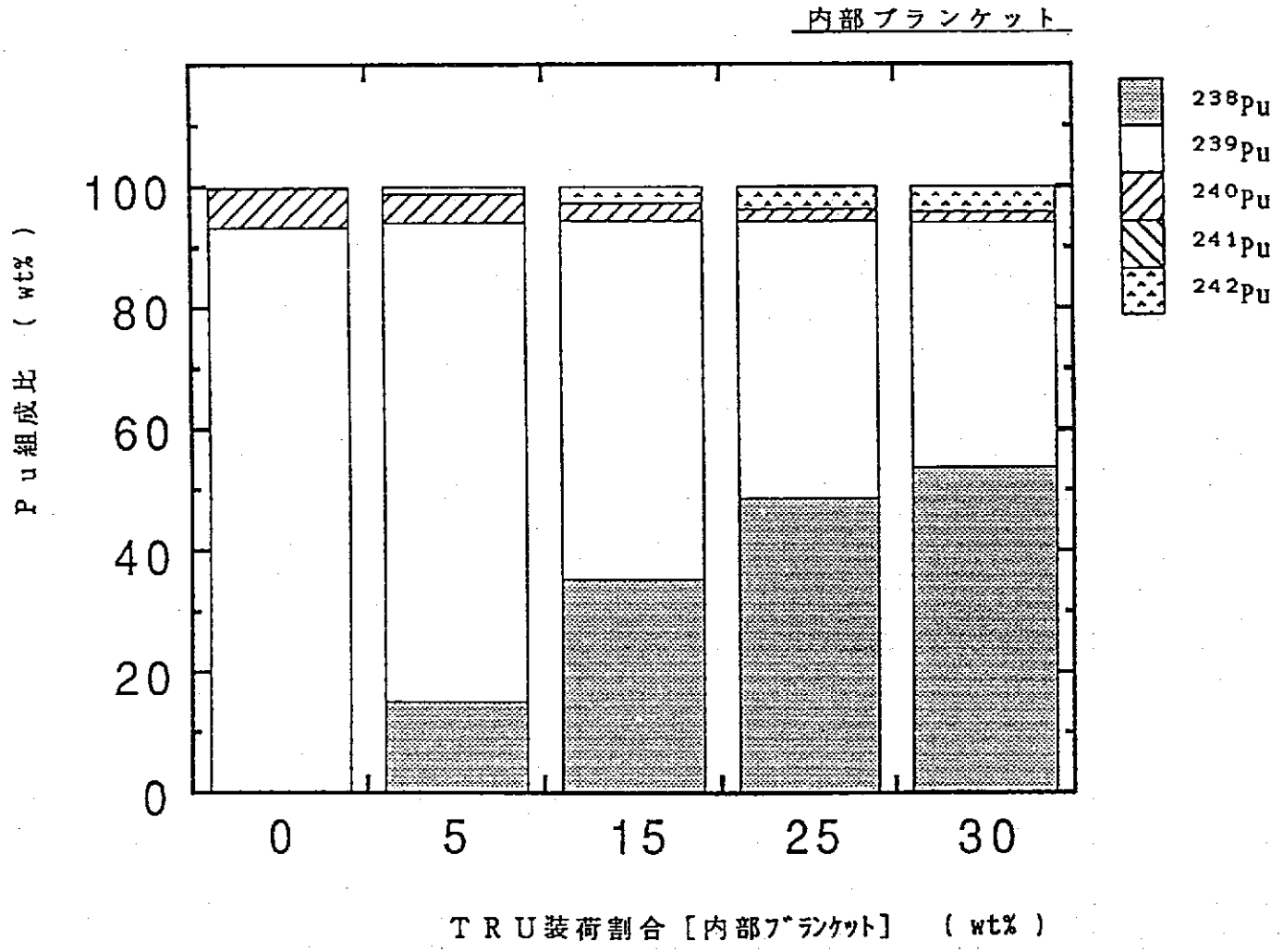


図3.4-41　ＴＲＵ装荷による取出Ｐｕ組成比の変化
RHC , IBL (TRU ; CORE 5 wt%)

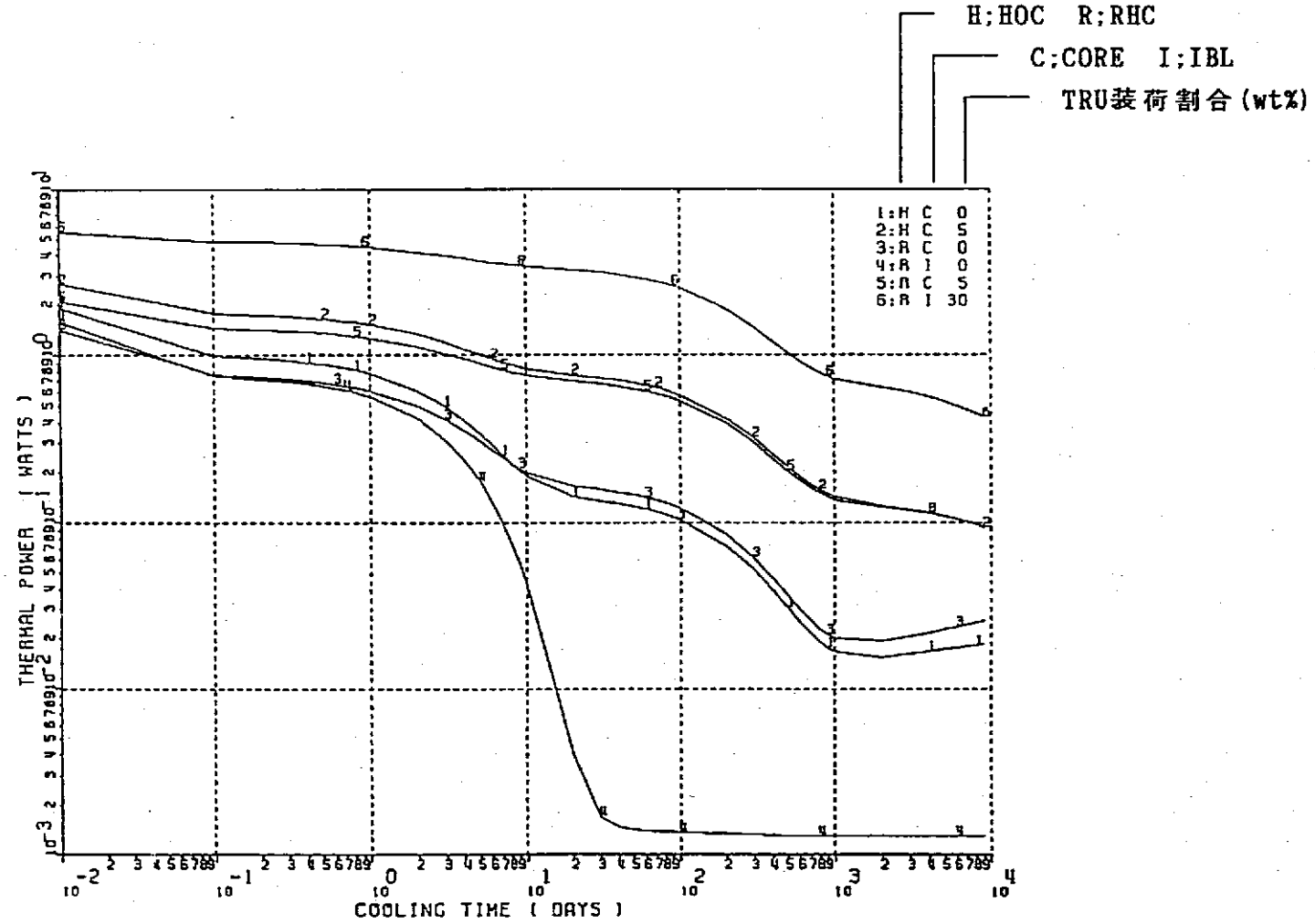


図3.4-42 炉停止後のアクチナイドの崩壊熱［燃料ペレット1cc当たり］

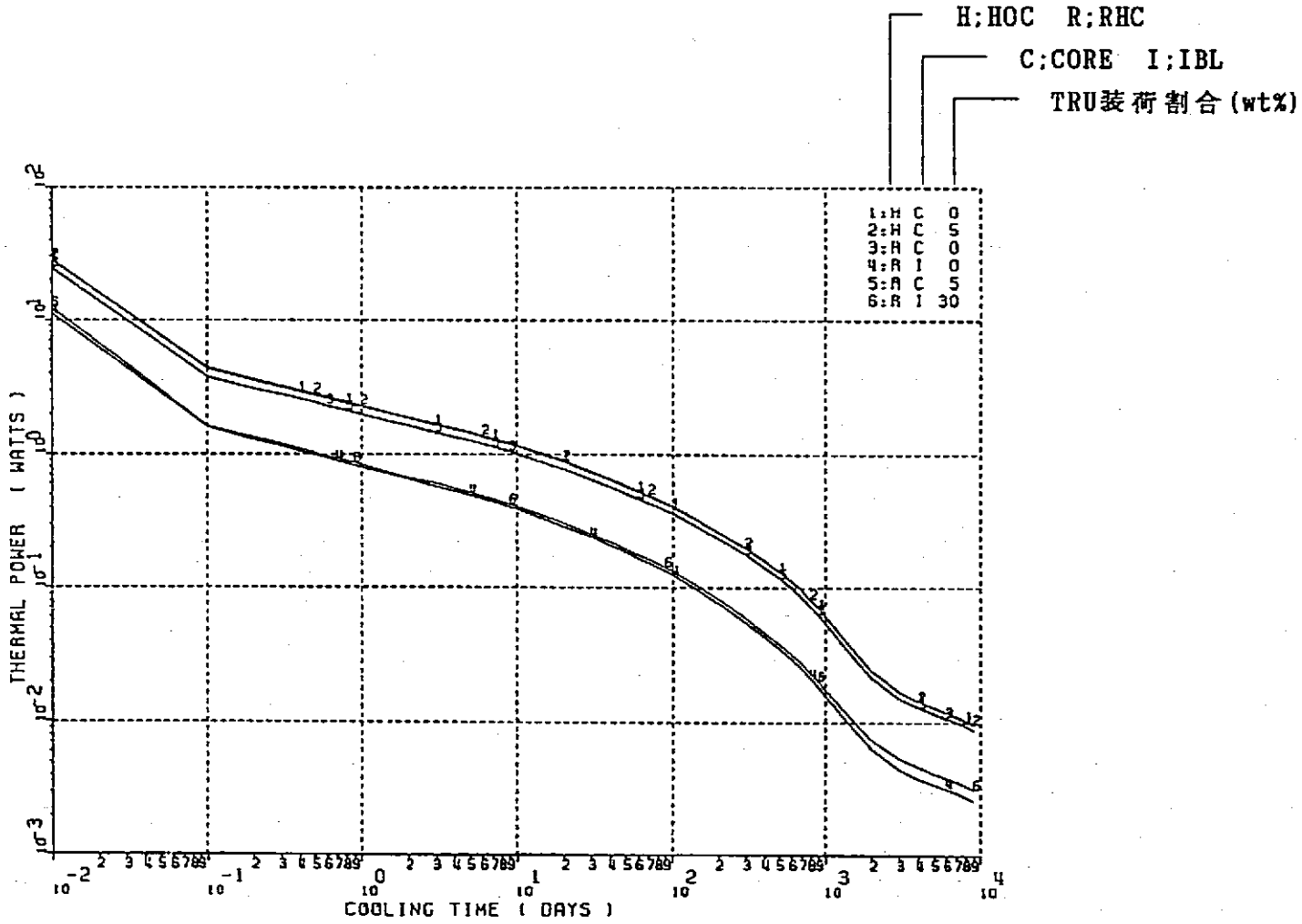


図3.4-43 炉停止後のＦＰの崩壊熱［燃料ペレット１cc当たり］

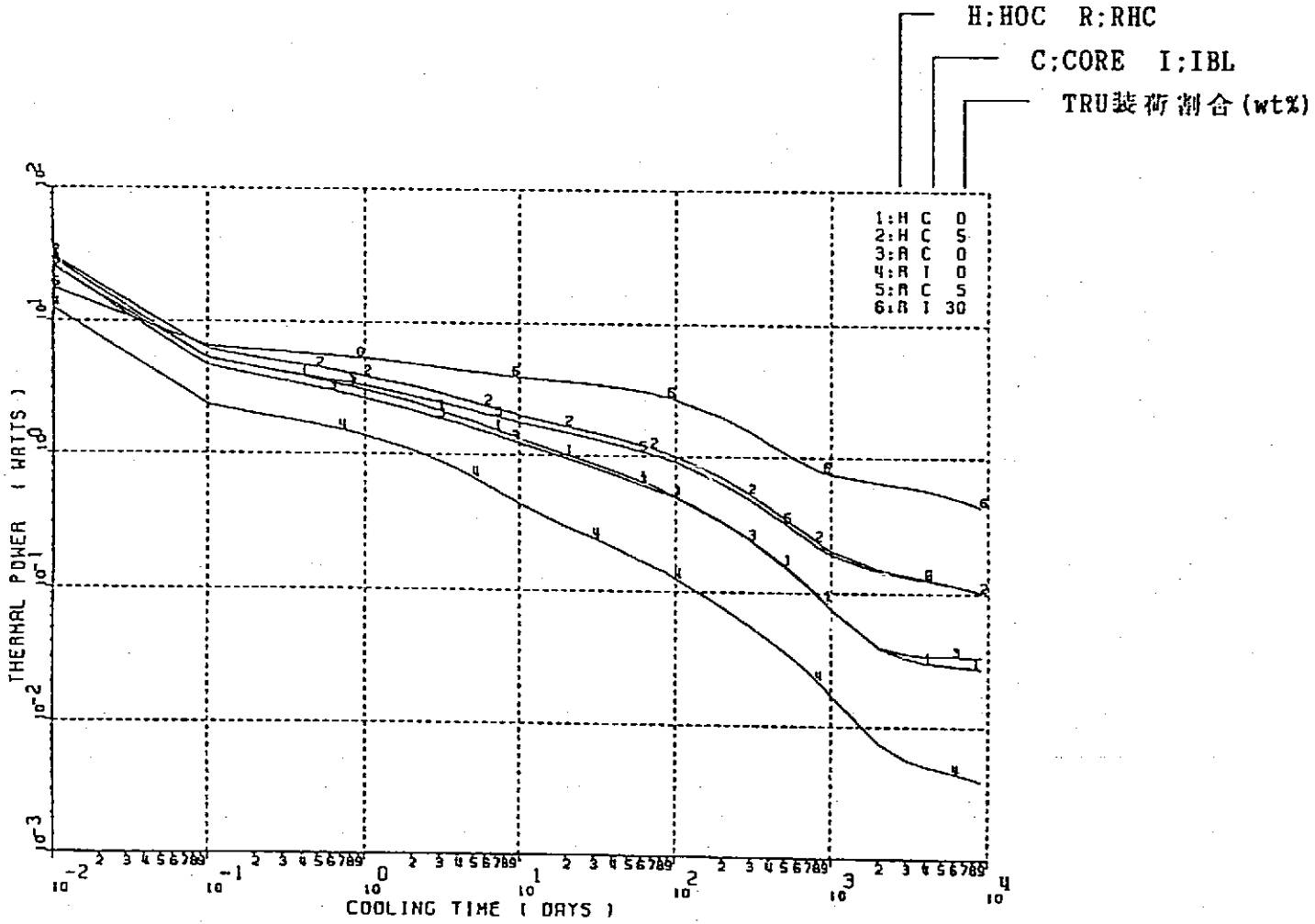


図3.4-44 炉停止後の全崩壊熱（アクチナイド+ＦＰ）
［燃料ペレット１cc当たり］

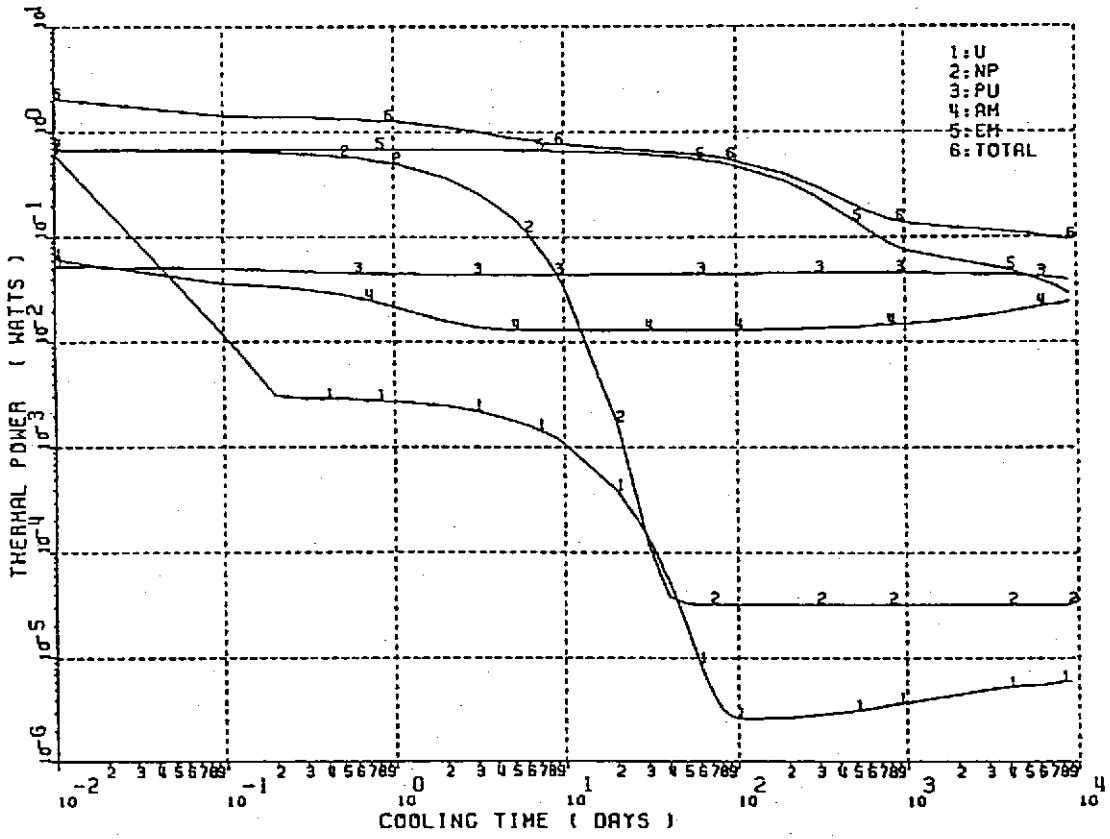


図3.4-45　炉停止後の主要元素の崩壊熱
[炉心燃料ペレット1cc当たり]
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

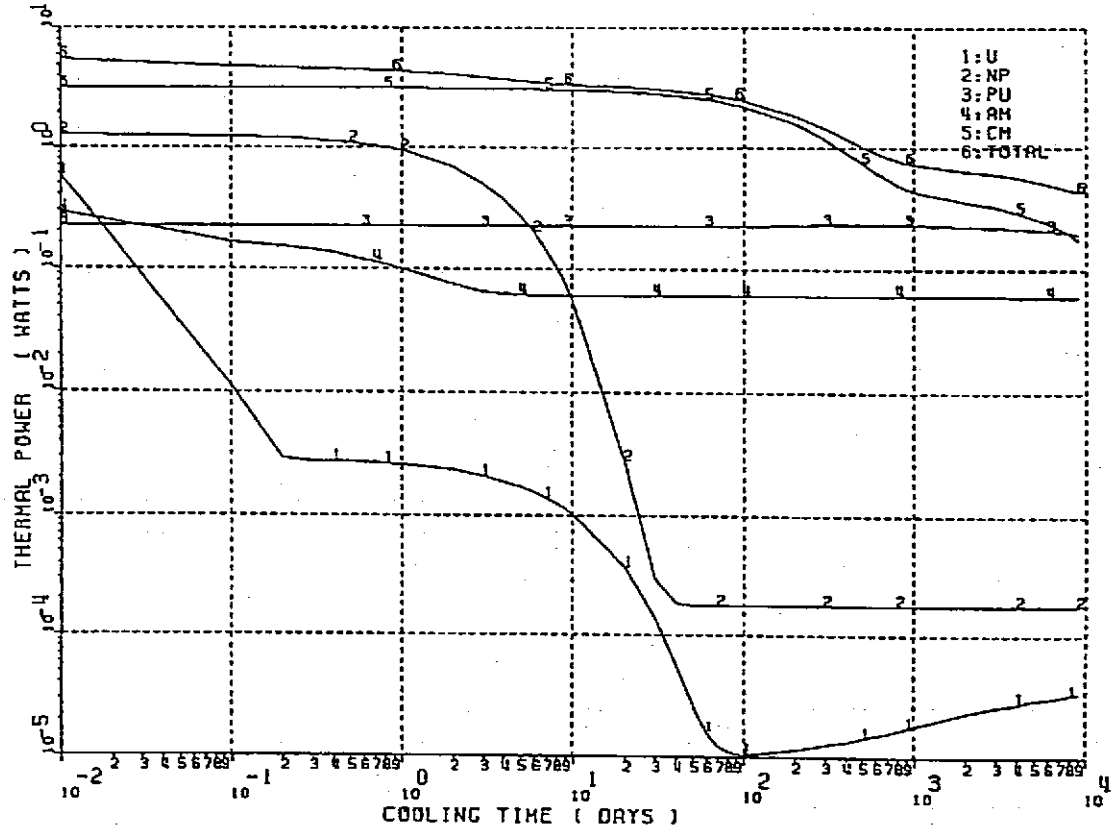


図3.4-46　炉停止後の主要元素の崩壊熱
［内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

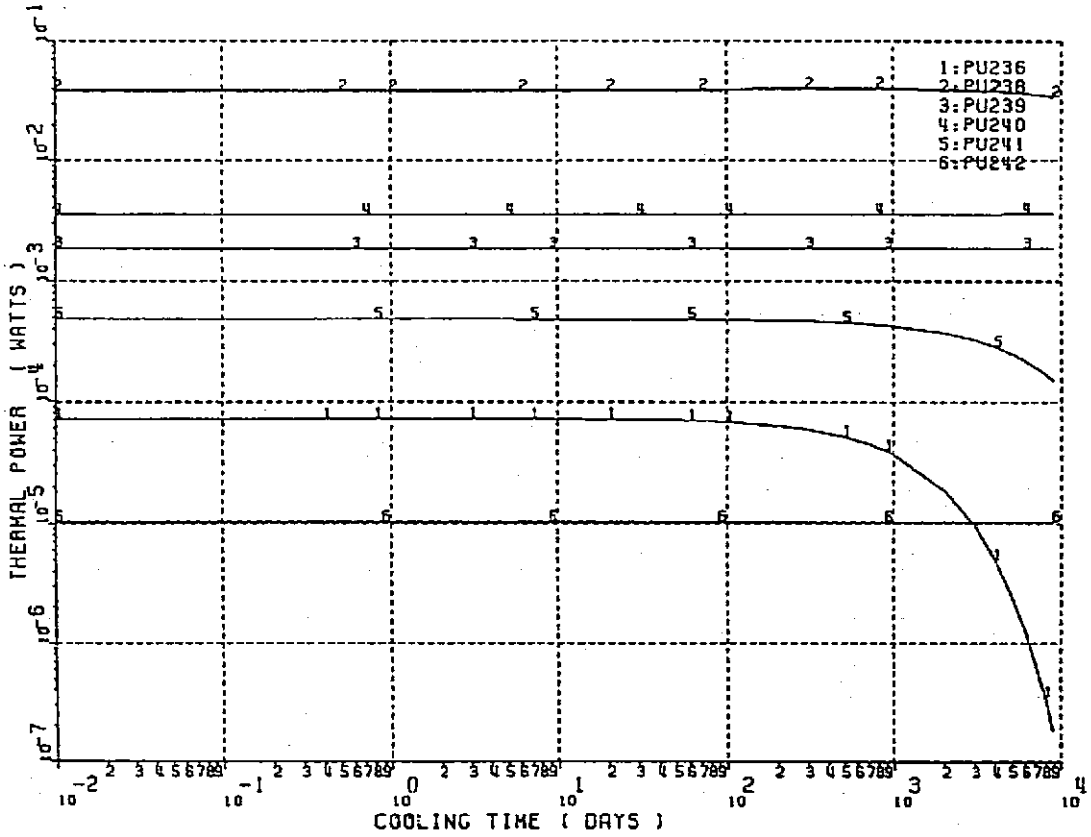


図3.4-47　炉停止後のＰｕ核種の崩壊熱
［炉心燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU : CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

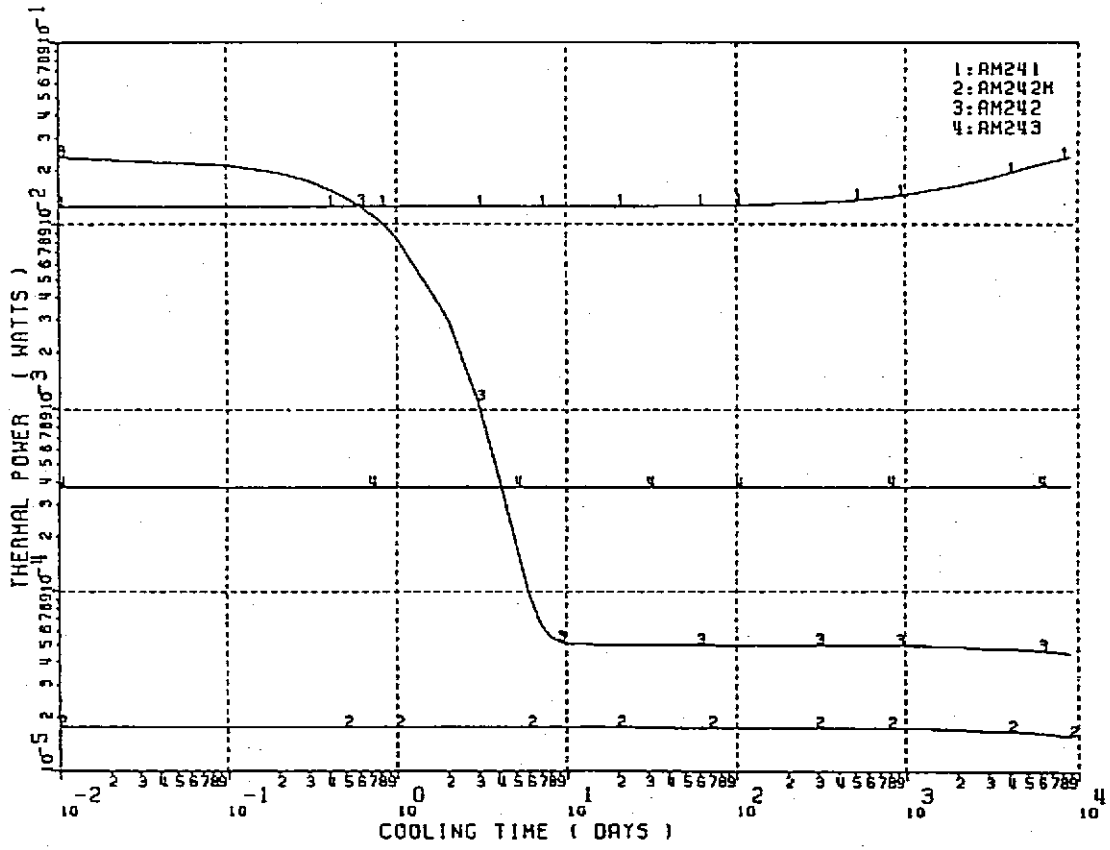


図3.4-48　炉停止後のＡｍ核種の崩壊熱
［炉心燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

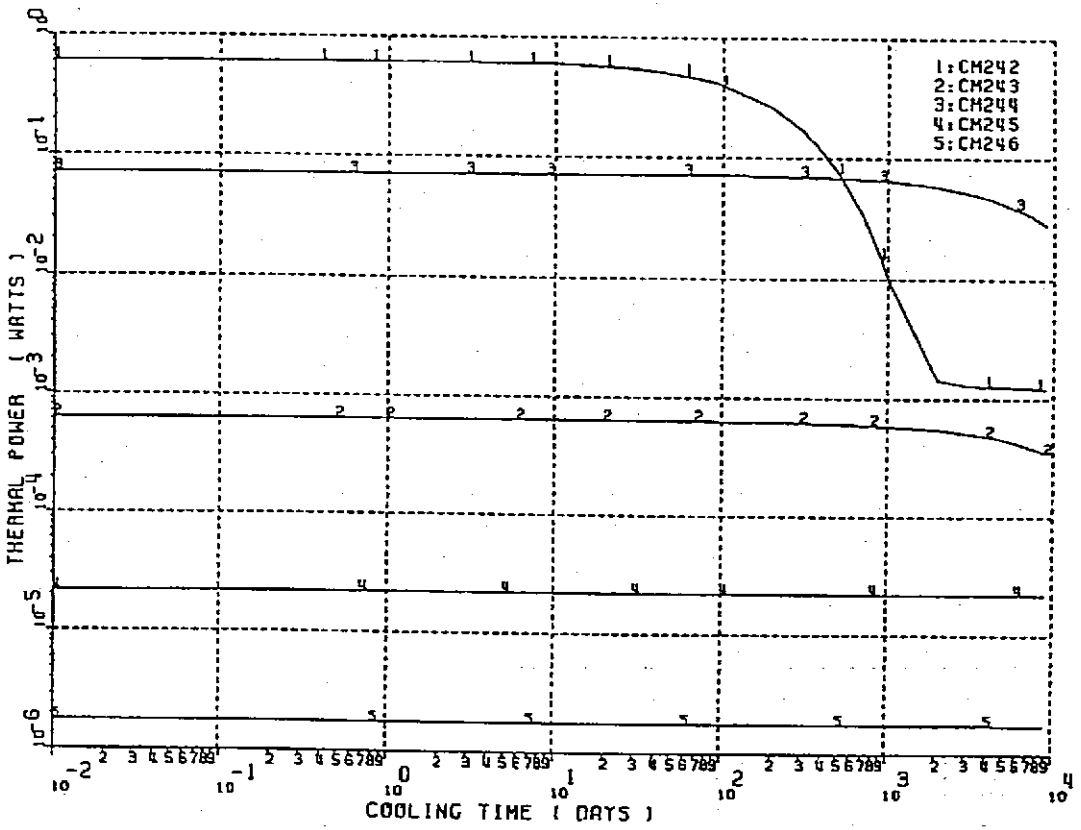


図3.4-49　炉停止後のＣｍ核種の崩壊熱
［炉心燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

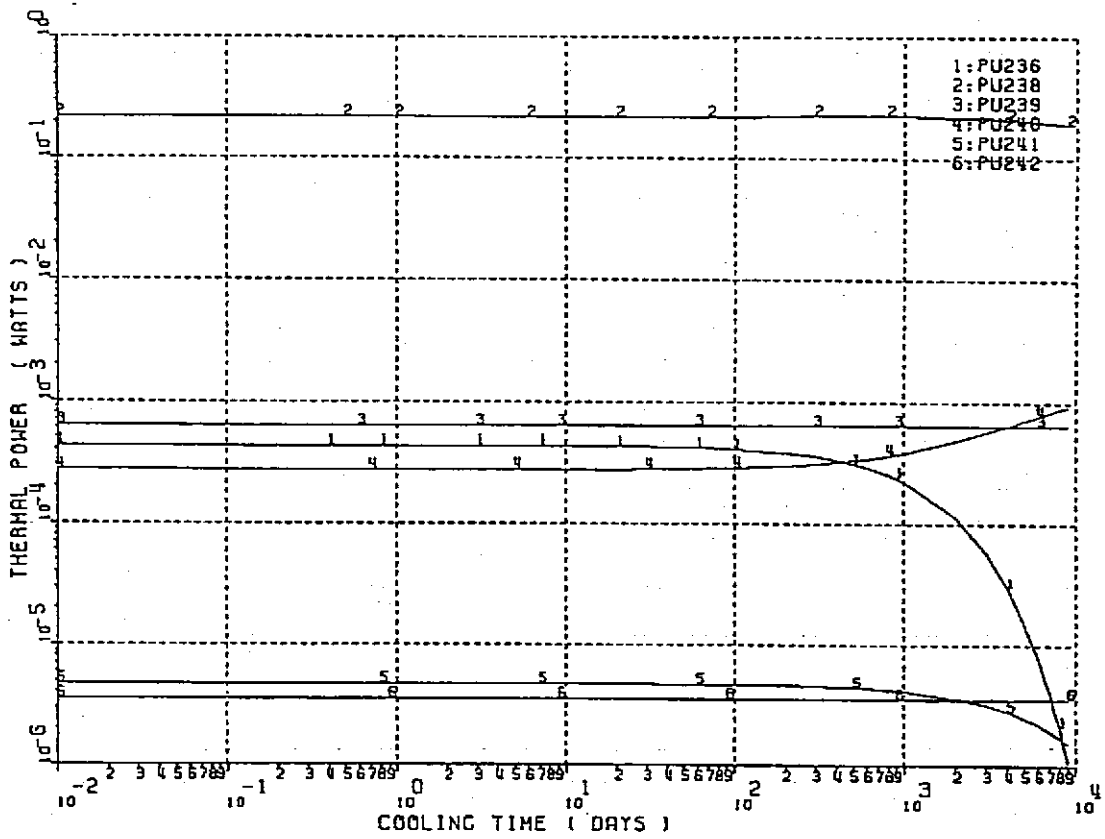


図3.4-50　炉停止後のＰｕ核種の崩壊熱
［内部ブランケット燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

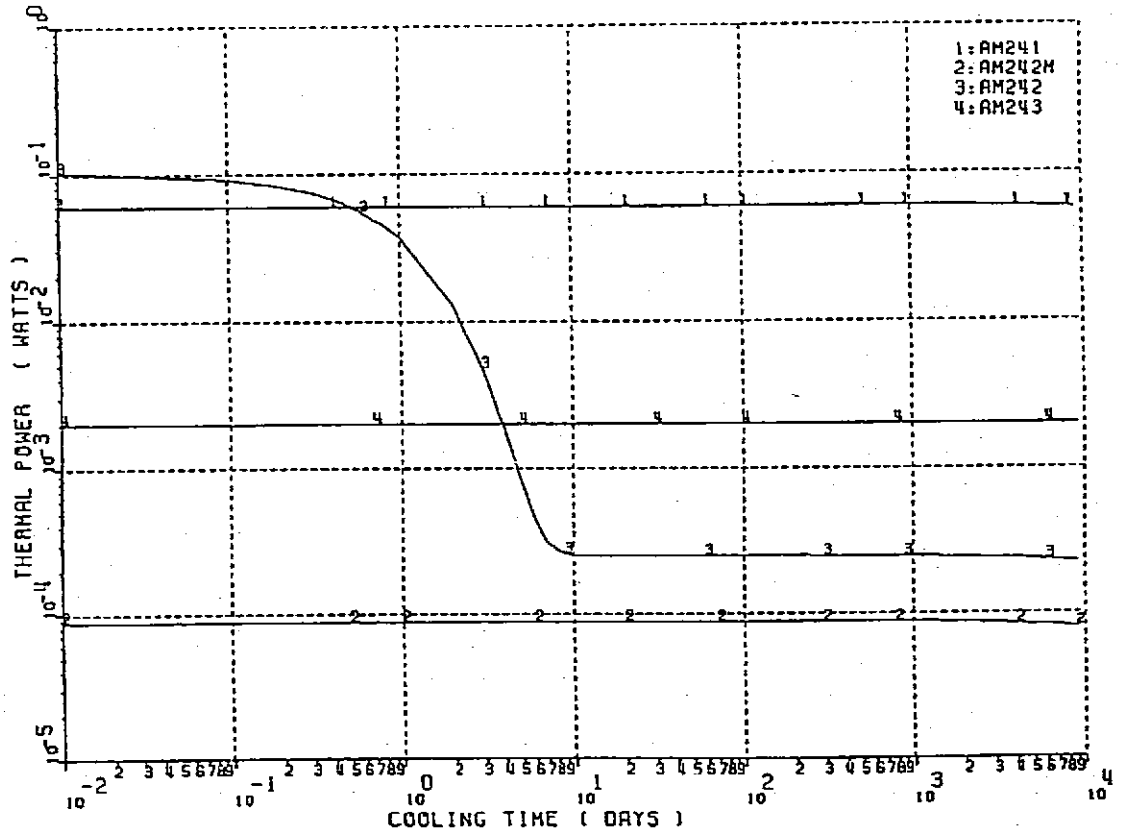


図3.4-51　炉停止後のＡｍ核種の崩壊熱
［内部ブランケット燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

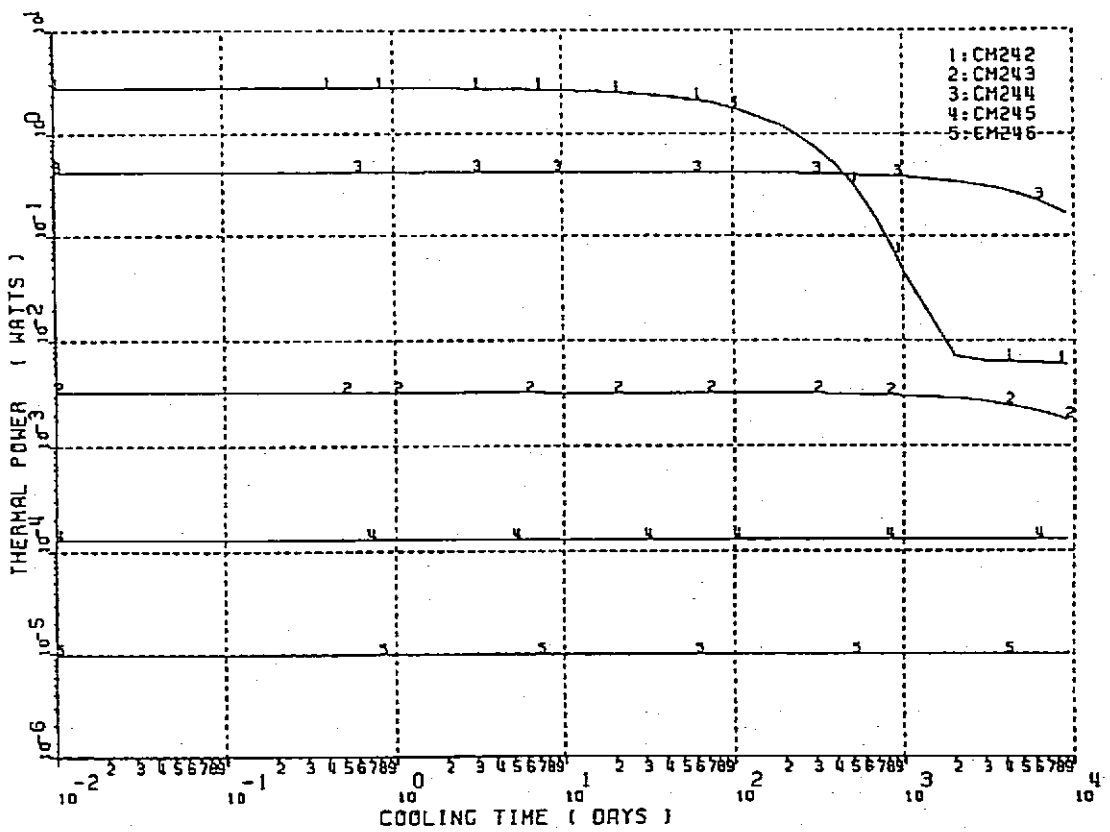


図3.4-52　炉停止後のＣｍ核種の崩壊熱
［内部ブランケット燃料ペレット１cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

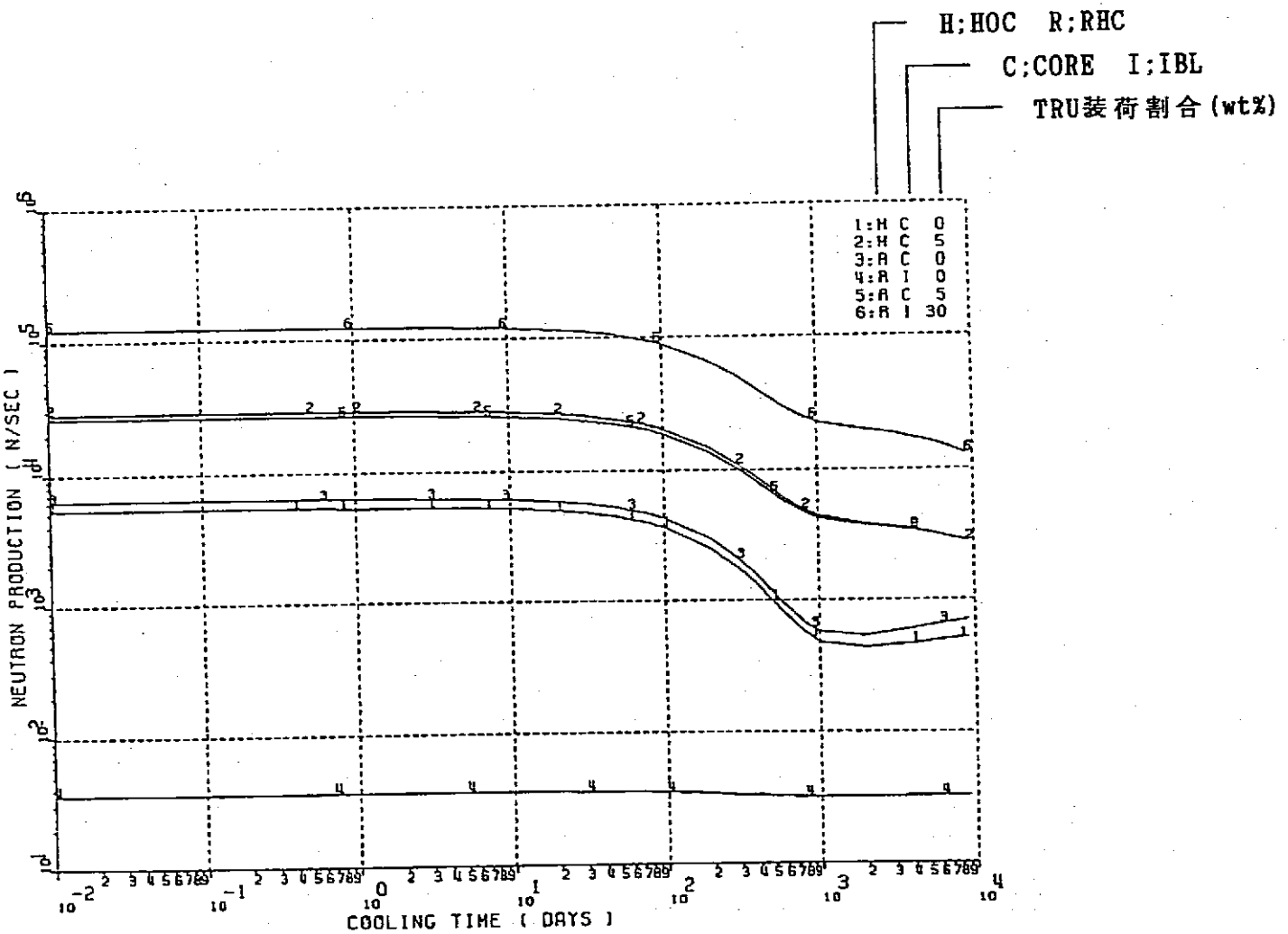


図3.4-53 炉停止後の（α，n）による中性子発生量
［燃料ペレット1cc当たり］

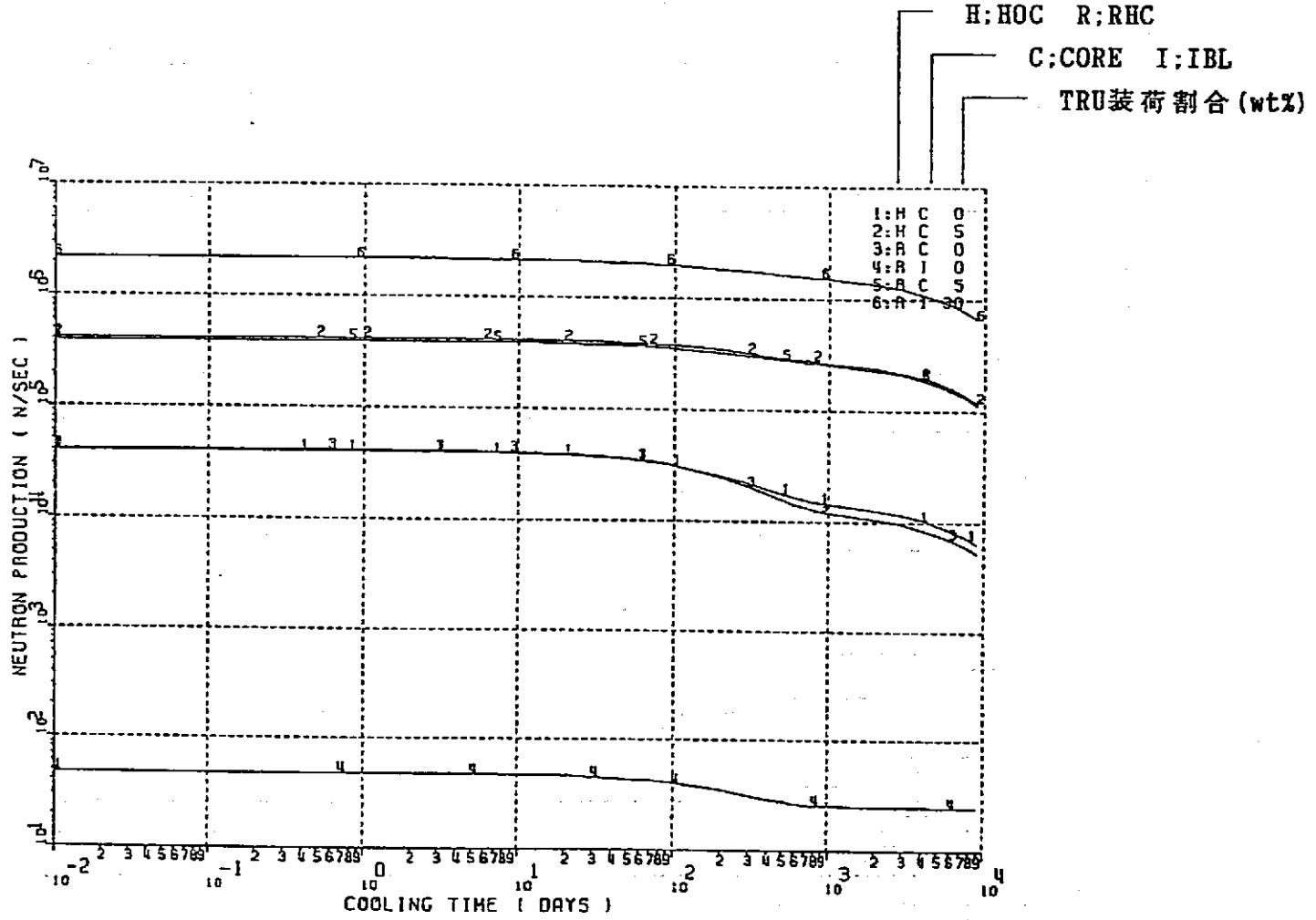


図3.4-54　炉停止後の自発核分裂による中性子発生量
［燃料ペレット1cc当たり］

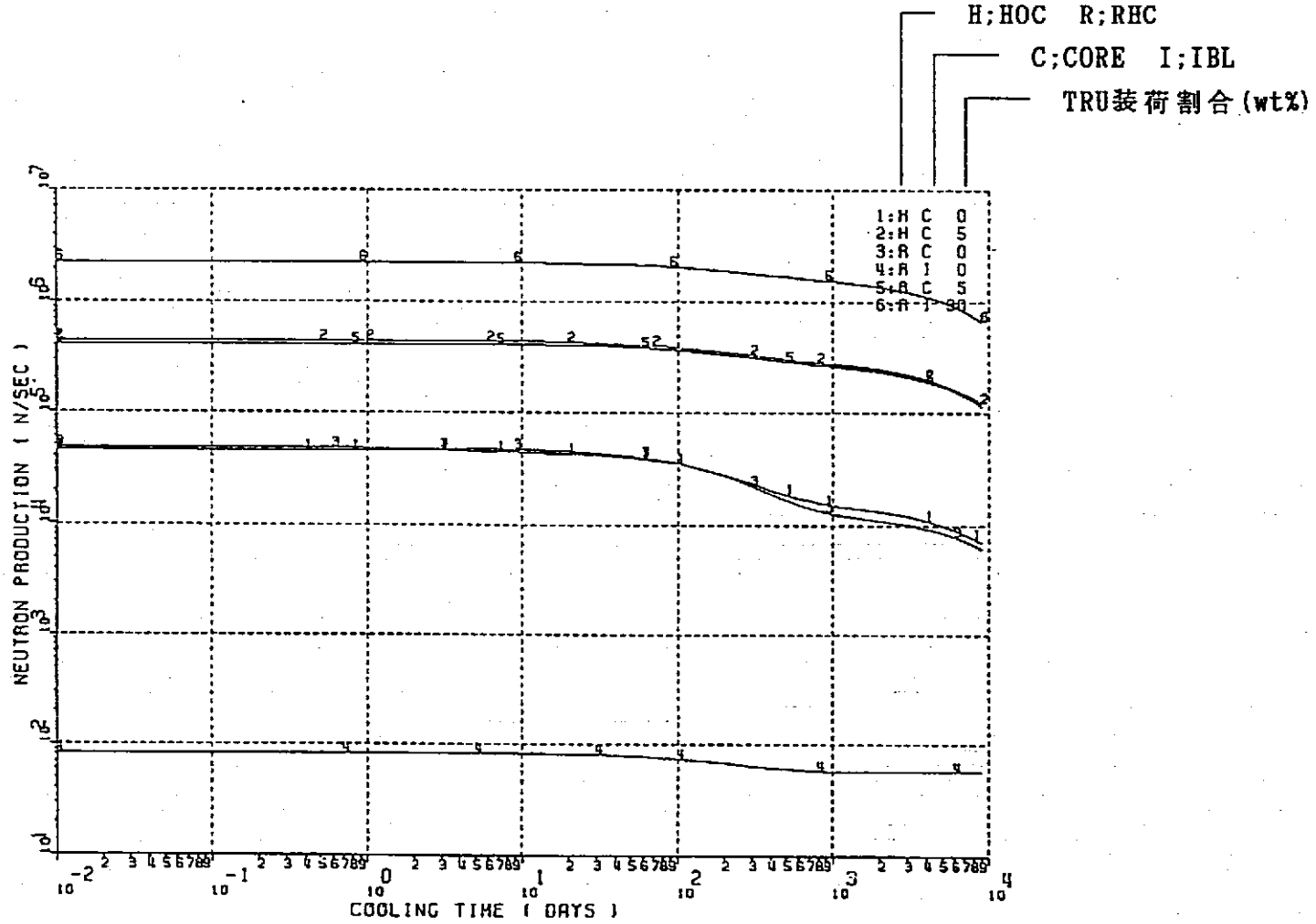


図3.4-55 炉停止後の全中性子発生量［燃料ペレット1cc当たり］

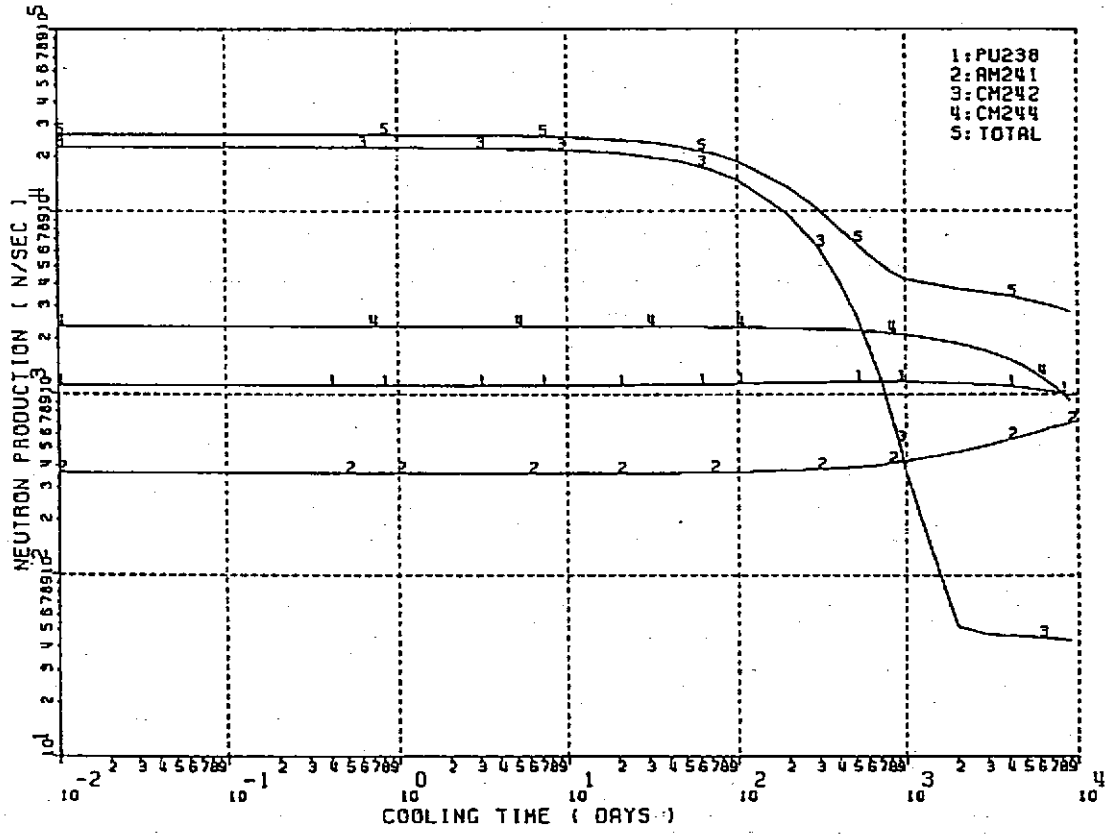


図3.4-56　炉停止後の主要核種の（α，n）による中性子発生量
［炉心燃料ペレット1cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

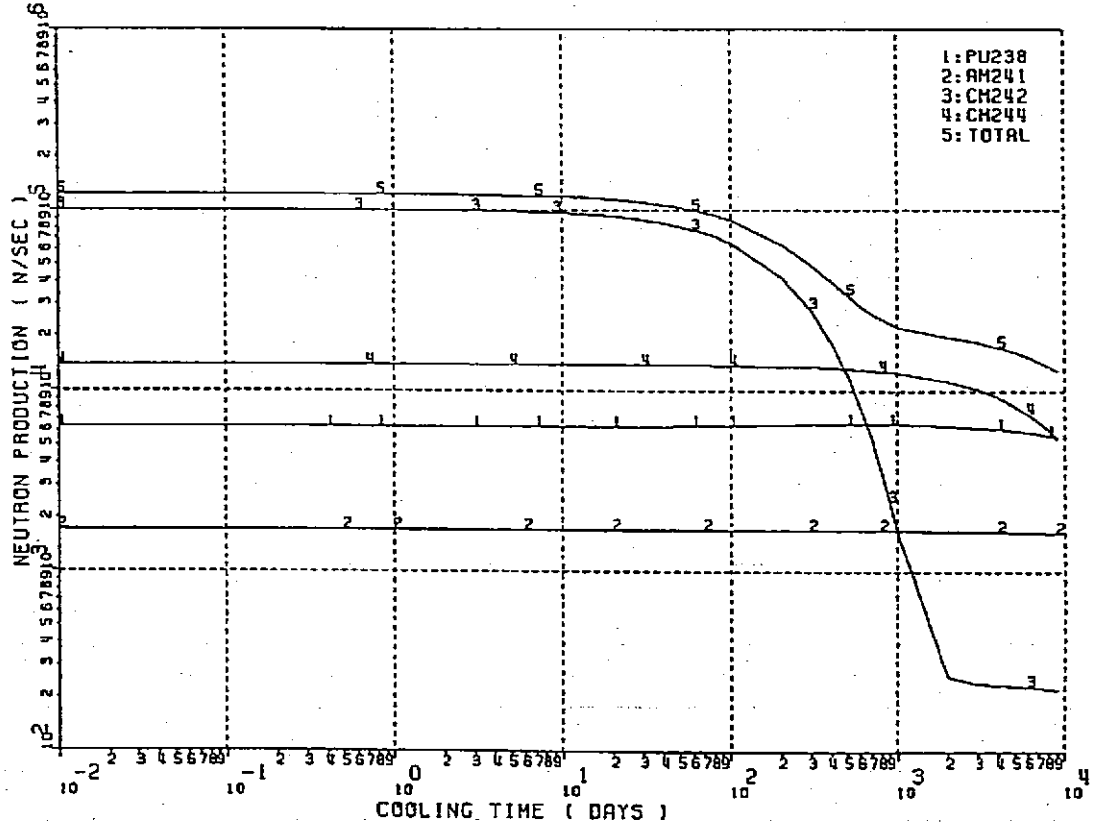


図3.4-57　炉停止後の主要核種の（α，n）による中性子発生量
［内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

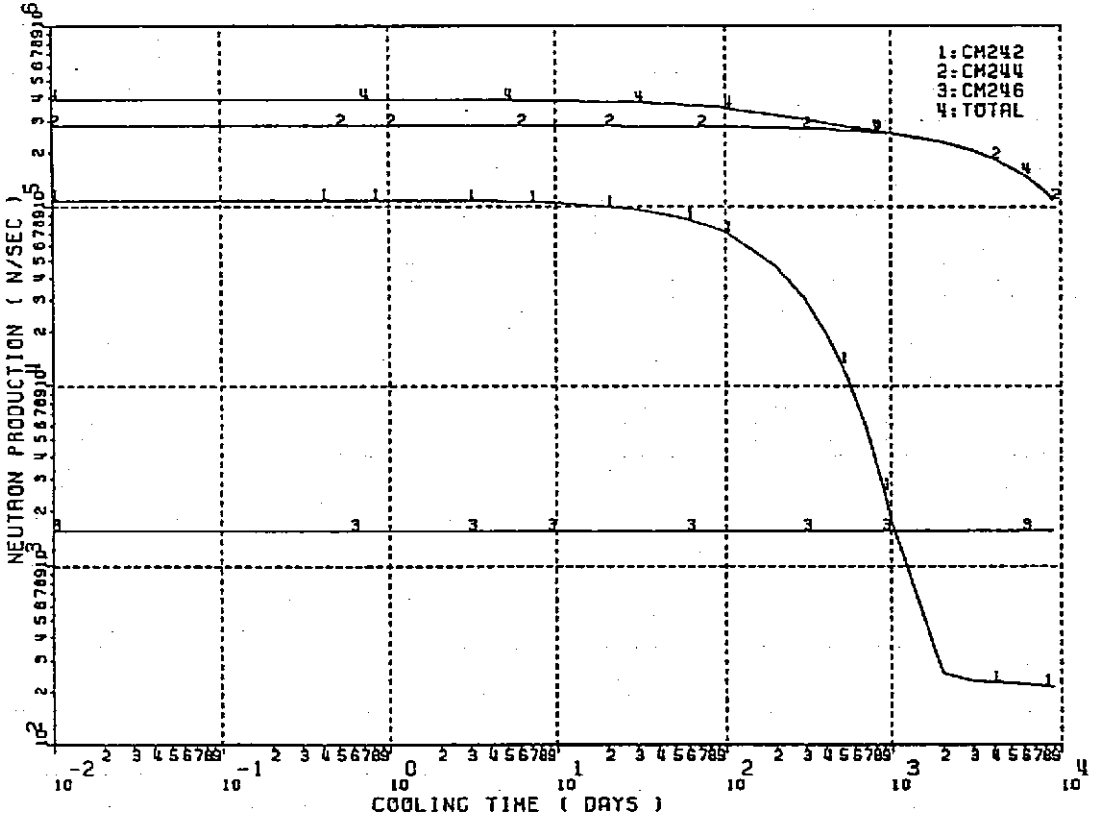


図3.4-58　炉停止後の主要核種の自発核分裂による中性子発生量
［炉心燃料ペレット1cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

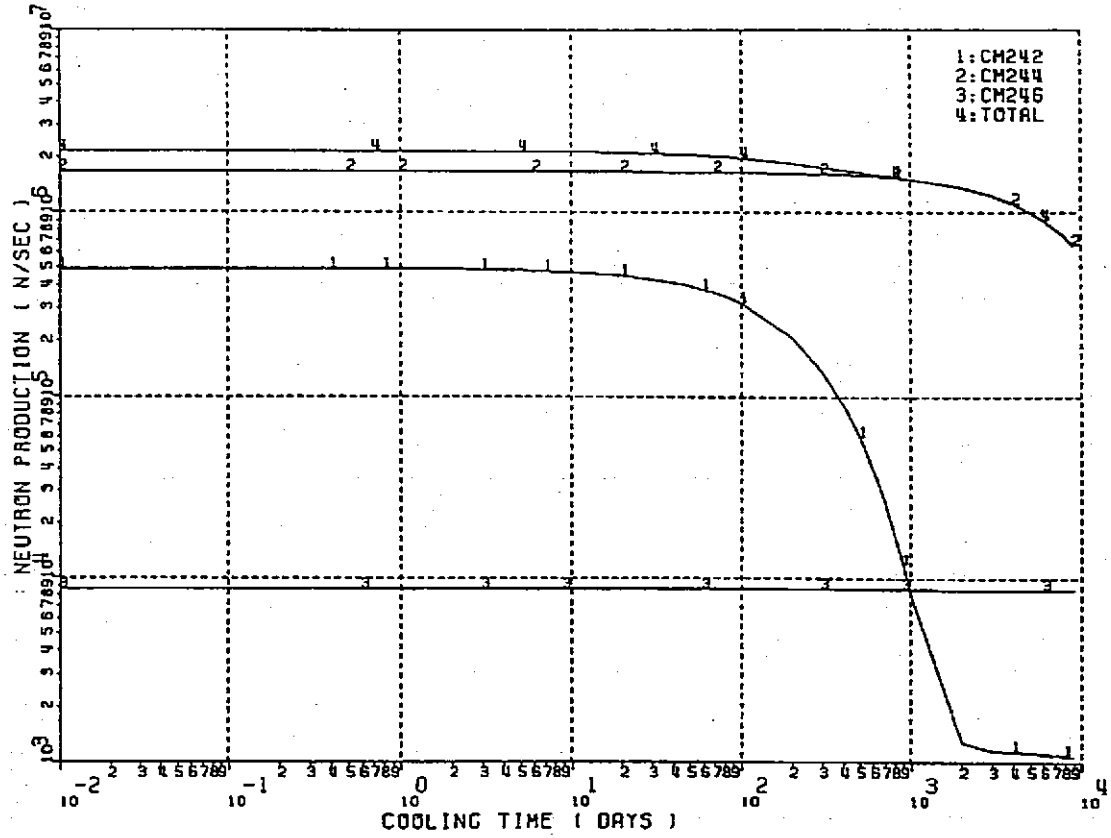


図3.4-53　炉停止後の主要核種の自発核分裂による中性子発生量
［内部ブランケット燃料ペレット1cc当たり］
RHC (TRU ; CORE 5 wt% , IBL 30 wt%)

3.5 ＴＲＵ装荷炉心としての特徴

標準的な径方向非均質炉心を設定し、炉心燃料にＴＲＵを装荷しない場合とＴＲＵを装荷した（均一に5%装荷）場合について、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷量をパラメーター（ 5%～30%）に、ＴＲＵの消滅量及び炉心特性を均質炉心と比較評価し、ＴＲＵ径方向非均質炉心の特徴を摘出した。

主要な特性については、次の結果が得られた。

(1) ＴＲＵ消滅量

a. 均質炉心とほぼ同等の消滅特性が得られた。径方向非均質炉心においては、内部ブランケット割合が約30% であるので、内部ブランケット燃料のみにＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵ装荷割合が約15wt% と均質炉心の5%均一装荷炉心はほぼ同等の消滅量である。

b. ＴＲＵ消滅量は、ＴＲＵ装荷割合に比例して増大し、30wt% 装荷で約410kg／年 （炉心部にＴＲＵ装荷無し）～約540kg／年 （炉心部にＴＲＵを5wt%均一装荷）である。

c. Ｎｐ及びＡｍの消滅量は大きいが、^{238}Ｐｕ 及びＣｍは逆に蓄積される。

(2) 炉心特性

a. 燃焼反応度減少量は、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷割合が多くなるほど減少し、ＴＲＵの装荷割合が30wt% でほぼ0%Δρ/cy になる。ＴＲＵを装荷することにより、燃焼反応度減少量をほぼゼロにすることが可能である。

b. 増殖特性は、ＴＲＵ装荷割合が多くなるほど減少するが、ＴＲＵの装荷割合が約30wt% で基準の均質炉心と同程度である。ＴＲＵを装荷することにより増殖特性が悪くなるのは、^{238}Ｕ の量が減少するためである。

c. 中性子照射量は、ＴＲＵを装荷することにより大きくなるが、その割合は小さい。径方向非均質炉心は、ＴＲＵを装荷しても基準の均質炉心

に比べて約20% 小さい。

d. ナトリウムボイド反応度は、ＴＲＵを装荷することにより大きくなるが、ＴＲＵの装荷割合が25wt% で基準の均質炉心とほぼ同等の約2.0%Δk/kk' である。

e. 内部ブランケット燃料の取出時のＰｕ組成比は、ＴＲＵを装荷することにより、^{238}Ｐｕ の割合が大きくなり、装荷時のＰｕ組成比と大きく異なる。

f. 取出燃料の崩壊熱は、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、通常の炉心燃料の約７倍であり、ＴＲＵを5wt%装荷した炉心燃料の約３倍である。

g. 取出燃料の中性子発生数は、内部ブランケット燃料にＴＲＵを30wt% 装荷すると、通常の炉心燃料の約50倍であり、ＴＲＵを5wt%装荷した炉心燃料の約５倍である。

ＴＲＵ消滅炉心としての径方向非均質炉心は、炉心特性上悪影響を及ぼすものはなく、消滅処理特性としても均質炉心とほぼ同等である。

径方向非均質炉心の特徴である燃焼反応度減少量の低減、増殖比の向上、ナトリウムボイド反応度の低減、中性子照射量の低減等は、ＴＲＵを装荷しても、均質炉心に比べて優れた点であることに変わりはない。

ただし、取出燃料の崩壊熱及び中性子源強度は、通常の燃料の数倍から数十倍であり、ＴＲＵを5wt%装荷した均質炉心の炉心燃料と同等の崩壊熱或いは中性子線源強度に抑えるには、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷の割合は、10% 程度とする心要があることが分かった。

(3) 径方向非均質炉心の特徴

非均質炉心において内部ブランケットの割合は、軸方向非均質炉心は約10% に対し、径方向非均質炉心は約30% である。よって、内部ブランケットのみにＴＲＵを装荷すると仮定した場合には、径方向非均質炉心の方が

ＴＲＵを装荷できる割合が大きく、柔軟性を有していると考えられることから、非均質炉心としては径方向非均質炉心を選定して検討した。

径方向非均質炉心では、炉心内部にブランケット燃料を有しており、ＴＲＵの装荷方式として、炉心部と内部ブランケットの両方に或いは内部ブランケットのみに装荷でき、また、燃料製造仮定も異なるので装荷割合に自由度がある。

一方、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵを多量（本検討では30wt%）にしても、炉心特性としてはほとんど変化していない。

さらに、多量のＴＲＵを含有した燃料の製造が可能と仮定すれば、内部ブランケットのみに装荷することにより、ＴＲＵの消滅量は年間約40kg～約410kg である。また、炉心部にもＴＲＵを5wt%装荷すると、ＴＲＵの消滅量は約540kg／年 まで増加する。（均質炉心の消滅量は、5wt%均一装荷で約140kg／年 である。）

なお、取出燃料の崩壊熱及び中性子源強度は、ＴＲＵの装荷割合を増加させていくとＴＲＵを5wt%装荷した均質炉心の炉心燃料を上回るので、これが、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷する際の制限条件となる可能性がある。

これらのことから、径方向非均質炉心は、ＴＲＵ装荷量増大の可能性、燃料取扱い上のリスク低減の可能性、炉心運用の多様化の可能性、集合体材料選択幅の増大の可能性があることが確認できた。

3.6 まとめと今後の検討課題

高速増殖炉の炉心内部にブランケット燃料を配置する、いわゆる非均質炉心は、燃焼反応度減少量の低減、増殖比の向上、ナトリウムボイド反応度の低減、中性子照射量の低減等の観点から、均質炉心に比べて優れたポテンシャルがあることが指摘されている。

ＴＲＵ消滅処理炉心においても、ＴＲＵ装荷量増大の可能性、燃料取扱い上のリスク低減の可能性、炉心運用の多様化の可能性、集合体材料選択幅の増大の可能性等、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷する非均質炉心が考えられる。非均質炉心としては、代表的な径方向非均質炉心及び軸方向非均質炉心の検討が広く知られているが、内部ブランケット燃料にＴＲＵを混入させることにより、ＴＲＵの炉心内への装荷量を増大させ、ＴＲＵ消滅量を増大させる観点から、内部ブランケット燃料の割合が大きくなる径方向非均質炉心を本研究の対象とした。本研究では、ＴＲＵ燃料及びＴＲＵブランケット燃料からなる径方向非均質炉心の検討を行った。

ＴＲＵの消滅処理と有効活用の方策の一つとして、標準的な径方向非均質炉心を設定し、炉心燃料にＴＲＵを装荷しない場合とＴＲＵを装荷した（均一に5%装荷）場合について、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷量をパラメーター（ 5%～30%）に、ＴＲＵの消滅量及び炉心特性を評価し、ＴＲＵ径方向非均質炉心の特徴を摘出した。

主な結果は、次のとおりである。

(1) ＴＲＵ消滅炉心としての径方向非均質炉心は、炉心特性上悪影響を及ぼすものはなく、消滅処理特性としても均質炉心とほぼ同等である。

(2) 径方向非均質炉心の特徴である燃焼反応度減少量の低減、増殖比の向上、ナトリウムボイド反応度の低減、中性子照射量の低減等は、ＴＲＵを装荷しても、均質炉心に比べて優れた点であることに変わりはない。

(3) 取出燃料の崩壊熱及び中性子源強度は、ＴＲＵの装荷割合を増加させてい

くと大きくなるので、内部ブランケット燃料へのＴＲＵ装荷に対する制限条件となる可能性がある。

これらのことから、径方向非均質炉心は、ＴＲＵ装荷量増大の可能性、燃料取扱い上のリスク低減の可能性、炉心運用の多様化の可能性、集合体材料選択幅の増大の可能性があることが確認できた。

問題点としては、内部ブランケット燃料にＴＲＵを装荷すると、

(1) ＴＲＵの装荷割合を増加させると、取出燃料のＰｕのうち、^{238}Ｐｕ の割合が増えていき、この^{238}Ｐｕ の影響が、燃料を再処理し炉心へ再装荷の際にＰｕ組成比が問題になる可能性がある。燃料リサイクルの炉心特性を検討する心要がある。

(2) また、ＴＲＵの装荷割合を増加させると、取出燃料の崩壊熱及び中性子源強度が大きくなるので、これらを含めた燃料取扱い上の制限条件の確定が重要な課題である。崩壊熱及び中性子線源強度は、Ｃｍの寄与が大半を占めているのでＴＲＵの消滅処理としては、Ｃｍを除いたＮｐ＋Ａｍ或いはＮｐのみの装荷方法が考えられる。

4. 燃料ピン単位での装荷方式の解析

4.1 検討の着眼点と検討フロー

炉心燃料にＮｐ，Ａｍ，Ｃｍからなるマイナーアクチナイド（ＭＡ）を混入させ、炉心に装荷しＭＡを燃料として利用しつつ消滅・変換させる方法として、ＭＡを混在させた燃料（ＴＲＵ燃料）ピンを通常の混合酸化物燃料（ＭＯＸ燃料）ピンと併用し、炉心に装荷することが考えられる。この様なＭＡの燃料ピン単位での装荷方式の特徴は次のように考えられる。

(a) 全炉心燃料への一様混入方式に比べ、TRU燃料ピンの製造本数を少なくできる。

(b) MOX燃料ピンと TRU燃料ピンの製造ラインを独立に設定でき、ＭＡ消滅処理規模の要求条件に柔軟な対応が可能となる。

(c) 照射後燃料の取扱い・再処理等についても２つのラインを必要とするが、MOX燃料ピン・ TRU燃料ピン再処理・取扱を夫々最適化出来る。

(d) MOX燃料ピンの照射挙動は十分把握されたいるが、ＭＡを混入するTRU燃料ピンの照射挙動の把握について同等の経験が蓄積されるまでには時間がかかる。経過措置として MOX燃料と TRU燃料ピンを含む集合体の炉内滞在時間に違いをつける等の炉心の運用によりＭＡの消滅処理の促進に有効と考えられる。

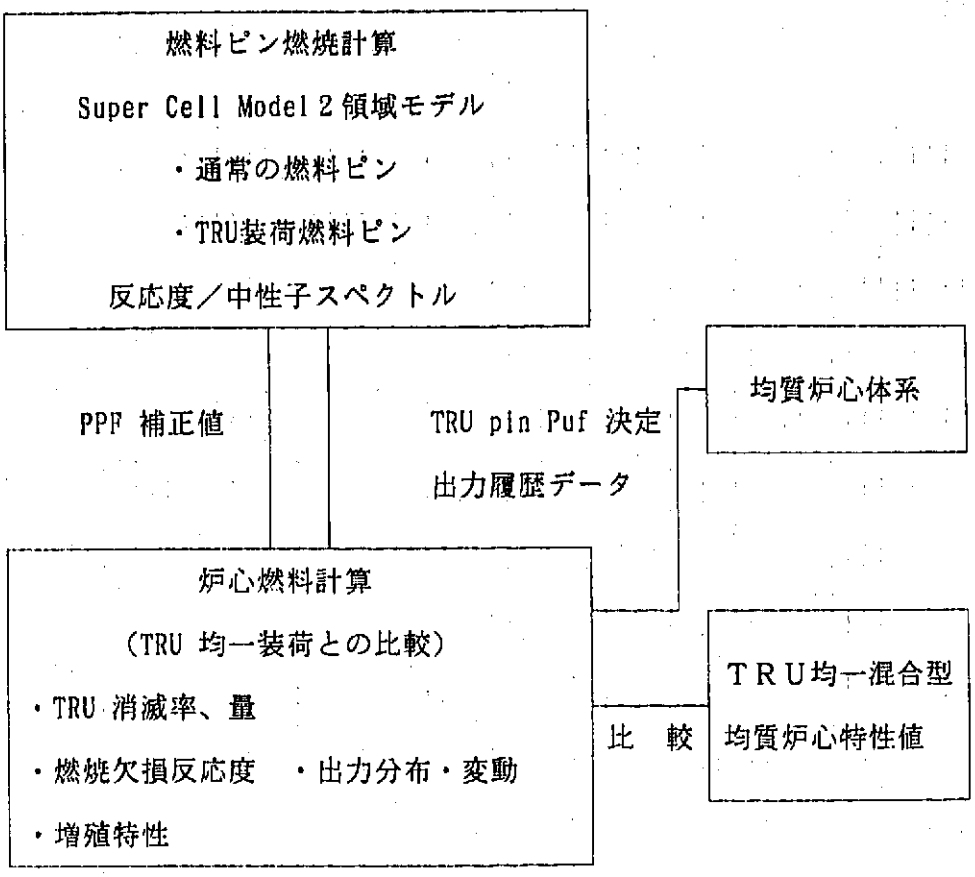
この様な特徴を有する燃料ピン単位の装荷方式の検討を、全炉心に一様に5%のＭＡを均一混合する場合のＭＡ装荷量とほぼ同等となるＴＲＵ燃料ピン装荷を想定して行った。この場合、ＴＲＵ燃料ピンを混在する燃料集合体の数を少なくするために、ＭＡ混在率を高めたＴＲＵ燃料ピンを炉心に装荷することになる。炉心設計への影響が大きい燃焼に伴う出力変動・出力ミスマッチファクターを中心に検討した。ＴＲＵ燃料としてＭＡを混入するピンにはプルトニウムを含む燃料タイプを選定した。また、ＴＲＵ燃料を装荷する炉心でも、ドライバー燃料としての通常ＭＯＸ燃料については、基準ＭＯＸ燃料炉心として運転されてきた炉心の平衡取替燃料をそのまま継続使用し、ＴＲＵ燃料を装荷す

るために特別にＰｕ富化度の調整等を行わないことを前提とした。

ＴＲＵ燃料としてＭＯＸ燃料ピンとの混在型集合体を想定し、消滅処理特性への影響を検討した。検討の内容は次のものである。図4.1-1 には炉心特性・TRU混在燃料ピン出力変動計算フローを示した。

(a) 混在型集合体内の TRU燃料ピンの消滅特性計算手法に関する検討を行うためにスーパーセル燃焼モデル算により TRU燃料ピン部分/MOX燃料ピン部分の中性子束と臨界性について、ランプ化／均質化モデルによる違いを調べた。

(b) 燃料ピン単位での装荷方式の特徴の摘出するための炉心燃焼解析を行ない MOX燃料/TRU燃料の出力変化等への影響を調べた。



ピン単位装荷ＴＲＵ消滅処理炉心の解析

図４．１－１　ピン単位での装荷方式の解析フロー

4.2 炉心の設定

1000MWe 均質炉（図4.2-1 ）において、ＭＯＸ燃料装荷炉心の平衡炉心のある時点から集合体内にＭＡを含むＴＲＵ燃料ピンとＭＯＸ燃料ピンから構成される混合型燃料集合体を通常燃料と同様に均一分散バッチ方式で装荷する場合を想定する。ＴＲＵ燃料の装荷割合いは、全炉心の平衡サイクル燃料にＭＡを均一5%混入させて炉心に装荷する均一混合型の燃料交換一回当りの装荷量と同程度とするために下記の様に想定した。ＴＲＵ燃料のＭＡ混在率をパラメータとして次のようなケースを選んだ。

	ケース１	ケース２	ケース３
ＴＲＵ燃料のＭＡ混在割合い	～３０％	～３０％	～１５％
集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合	～１／３	～１／２	～２／３
炉心内ＴＲＵ集合体割合	～１／２	～１／３	～１／２
全炉心ＴＲＵ混合割合	～５％	～５％	～５％

基準とした比較用均質炉心は付録A.1 にまとめた特性を有している。ＭＯＸ燃料のＰｕ富化度は内外炉心で15.3%/19.3% （軽水炉取出し燃料の即時再処理により得られるＰｕ組成）である。１サイクルの運転長さは15ヵ月で３バッチ燃料交換である。検討炉心の設定とＴＲＵ燃料のＰｕ混在量は次の様に決定する。

(a) ＴＲＵ燃料集合体は基準炉心用燃料と同一ピン仕様とする。

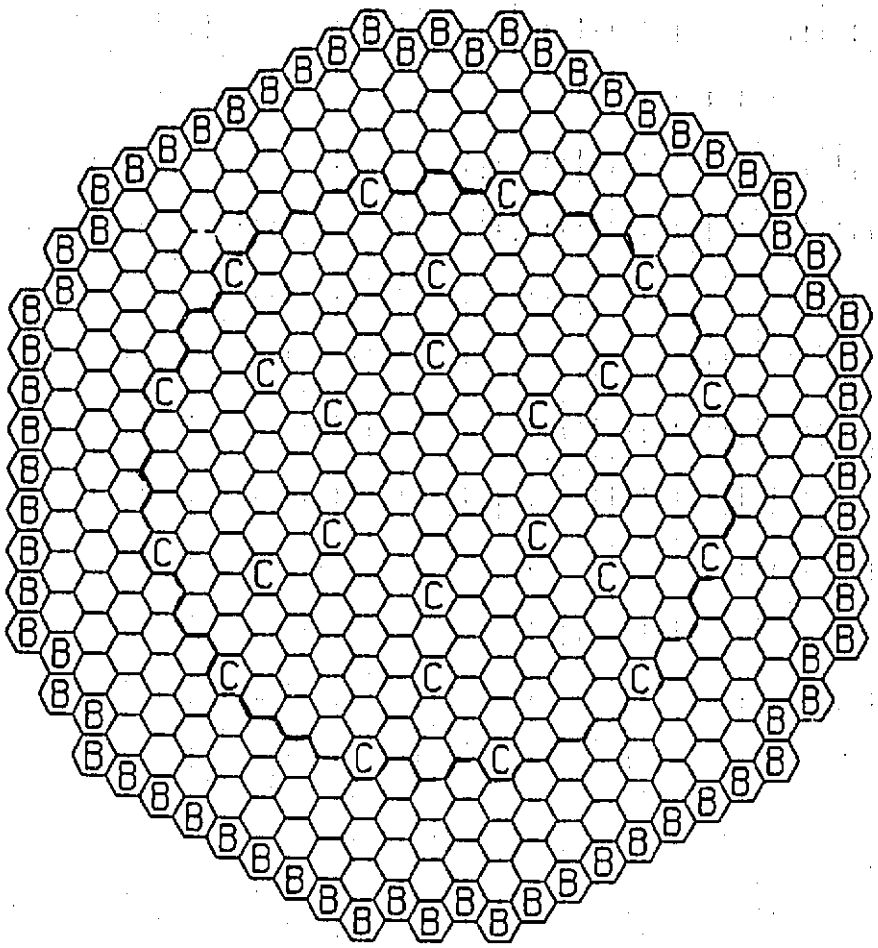
(b) 炉心本数は基準炉心と同一とし、ＭＯＸ燃料は基準炉心と同一のＰｕ富化度であり、ＴＲＵ消滅処理のために特別なＰｕ富化度の設定は行わない。

(c) したがって、ＴＲＵ燃料[illegible]の体系においても、１サイクルの運転長さ15ヵ月・３バッチ燃料交換パターンはそのまま継続する。

(d) ＴＲＵ燃料装荷位置は限定せず、均一分散バッチ方式をＴＲＵ燃料にも適用することとする。

(e) 炉心の反応度はＴＲＵ燃料ピンのＰｕ富化度を調整することにより行う。この結果、燃料の種類はＭＯＸ燃料２種類の他、ＴＲＵ燃

料ピン（内側／外側炉心用）に2種類用意することになる。



⬡	炉心燃料集合体	355体
Ⓒ	制御棒	24体
Ⓑ	径ブランケット燃料集合体	72体

図4.2－1　ピン単位での装荷方式の解析対象炉心(1000MWe均質炉心)

4.3 ＴＲＵ燃料ピン混在型集合体の特性計算手法の検討

4.3.1 ランプ化モデル

集合体にＴＲＵ燃料ピンとＭＯＸ燃料ピンを混在配置する場合でも、高速炉スペクトル体系の中性子の平均自由行程約15cmに対して、約8mm のＴＲＵ燃料ピンは十分に小さく、ＴＲＵ燃料ピンとＭＯＸ燃料ピンの混在を燃料ピン本数を“重み”とする体積平均により平均組成を定義することにより中性子束分布計算用のマクロ定数を求めることが出来ると考えられる。この見通しを数値的に確認するためにＭＯＸ燃料ピンとＴＲＵ燃料ピンの領域をそれぞれランプ化したSuper Cell ModelによりＴＲＵ燃料ピン混在型集合体の燃焼特性計算を行い、集合体内の中性子スペクトル，ＭＡ核種を混在させることによる局所的な中性子束分布の歪みの大きさ等を調べた。

集合体内ＴＲＵ燃料ピンの配置としては、集合体の中央部にＴＲＵ燃料ピンをまとめた配置を想定した。Np237 等の中性子吸収断面積がU238と異なる物質がピン束としてまとめて装荷する場合がランプ効果として最も影響が大きいと考えられるためである。ＴＲＵ燃料ピンを集合体内で分散配置する場合を想定するとランプ化効果・非均質効果はさらに小さくなる方向となると考えられる。

一集合体をSuper Cell Model化し、炉心平均集合体出力 6.6MWthで３サイクル（４５ヵ月）のセル燃焼計算（7g）を実施する。図4.3-1 に計算モデルを示した。

・単純均質化モデル　　；TRU/MOX pinを体積比で平均した集合体内均質組成。

・TRU-pin ランプ配置モデル；TRU/MOX pin領域はそれぞれ体積平均均質化組成だが集合体内は２領域に分離

集合体均質／非均質モデルの違いをsuper cell計算で比較した。尚、MOX/TRU 燃料ピンの実効断面積は、それぞれの領域の平均組成にもとずくバックグラウンド断面積によって自己遮蔽因子を決定する単純均質化モデルを共通に適用している。

4.3.2 ランプ化効果

計算は前述の３ケースについて行った。パラメータは集合体内 TRU-pin 割合いとTRU 混在割合いである。基準ＭＯＸ燃料は内側炉心燃料（Ｐｕ富化度15.3% ）ピンである。基準ＭＯＸ燃料の重核量をＭＡに置換してＴＲＵ燃料ピン組成を設定し、燃焼末期の反応度調整のためのＰｕ量の変更は行っていない。

比較特性は燃焼に伴う反応度変化(K-effective) 、ランプ化領域の平均中性子束と集合体平均中性子束の比（flux advantage/disadvantage factor）、実効断面積、原子数密度の変化量とした。

燃焼に伴う反応度変化－－図4.3-2 ～図4.3-4 にケース１～３に対応した均質化／ランプ化モデルによる比較を示す。

実効増倍率はTRU pin 領域，混在割合いに対して、均質モデルと非均質モデルでは0.3 ～0.1%Δρの違いで小さい。燃焼が進むと差は小さくなる傾向にある。ＭＡの混入により燃焼に伴う反応度の増加がみれらる。この点は
ＭＯＸ燃料の場合との違いが大きい部分である。

中性子束の比－－集合体平均中性子束とランプ化領域の平均中性子束の比を表4.3-1 ～表4.3-3 に示す。

flux advantage/disadvantage factor ; 0.3%程度でTRU/MOX pin 領域のtotal fluxの相違は小さい。また、Ｐｕが含まれるＴＲＵ燃料ピンについては燃焼状態によらず違いは小さい。

中性子スペクトル－－ランプ化領域における７群スペクトルを表4.3-4 から表4.3-6 に各ケース毎に示した。

実効断面積－－ランプ化領域におけるＭＡ核種の１群定数を表4.3-7 から表4.3-8 に示す。

実効断面積は中性子スペクトルの違いを通して約10% までの違いが見られる。

平均原子数密度－－ランプ化領域内の燃焼領域毎の組成を炉心高さ部について平均化し、均質／ランプ化モデルの比較を表4.3-9 ～表4.3-14に各ケース毎に示した。

原子数密度の集合体平均変化量は均質／ランプ化モデルでほぼ一致することにより、反応度変化が両モデルで一致することが確認できる。ＴＲＵ燃料ピン部分では、Pu238,Am242mの生成により出力の燃焼変化が小さくなる傾向も原子数密度の変化内訳から理解できる。

これらの検討結果から、ＴＲＵ燃料ピンに関する限り、Super Cell Model では領域ランプ化の効果は小さいことが示された。これはＦＢＲスペクトルの特徴を反映した結果である。

ＴＲＵ燃料ピン混在型集合体を装荷した炉心の特性計算のためには、炉心全体の中性子束分布を反映したgrobalな分布と集合体内の詳細分布を重ね合せる必要があるが、

> 炉心全体の反応度等の特性はＭＯＸ／ＴＲＵ燃料ピンの装荷パターンにしたがった混合を燃焼計算に反映することにより予測できること、ＭＯＸ燃料／ＴＲＵ燃料の組成を別々に反映した着目位置における出力変化を重ね合せることにより評価が可能なことを示している。

以下の計算では、上記の方針によりピン単位の装荷方式の定量的な評価を行った。

表4.3-1　Flux Advantage Factors/ Disadvantage Factors (1)－－ケース1

1集合体のFlux　TRU pin(1/3)-30%

	ϕ_{AV}	ϕ_{TRU}/ϕ_{AV}	ϕ_{MOX}/ϕ_{AV}
0day	3.304+15	1.007	0.996
228days	3.302+15	1.006	0.997
456days	3.282+15	1.005	0.997
684days	3.262+15	1.005	0.997
912days	3.244+15	1.004	0.998
1140days	3.230+15	1.004	0.998
1368days	3.221+15	1.003	0.998

表4.3-2　Flux Advantage Factors/ Disadvantage Factors (2)－－ケース2

1集合体のFlux　TRU pin(1/2)-30%

	ϕ_{AV}	ϕ_{TRU}/ϕ_{AV}	ϕ_{MOX}/ϕ_{AV}
0day	3.396+15	1.005	0.995
228days	3.369+15	1.005	0.996
456days	3.324+15	1.004	0.996
684days	3.282+15	1.004	0.997
912days	3.248+15	1.003	0.997
1140days	3.221+15	1.003	0.997
1368days	3.202+15	1.003	0.998

表4.3－3　Flux Advantage Factors / Disadvantage Factors (3)　－　ケース3

1集合体のFlux　TRU pin(2/3)-16%

	ϕ_{AV}	ϕ_{TRU}/ϕ_{AV}	ϕ_{MOX}/ϕ_{AV}
0day	3.306+15	1.002	0.997
228days	3.304+15	1.002	0.997
456days	3.285+15	1.001	0.998
684days	3.265+15	1.001	0.998
912days	3.248+15	1.001	0.998
1140days	3.235+15	1.001	0.998
1368days	3.225+15	1.001	0.998

表4.3－4　中性子スペクトル(1)　－　ケース1

TRU pin(1/3)-30%

GROUP	0 day		1368 days	
	$\phi_{TRU,i}$ / $\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}$ / $\phi_{MOX,total}$	$\phi_{TRU,i}$ / $\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}$ / $\phi_{MOX,total}$
1	8.000 E -02	8.293 E -02	7.608 E -02	7.972 E -02
2	1.788 E -01	1.802 E -01	1.737 E -01	1.756 E -01
3	3.869 E -01	3.895 E -01	3.838 E -01	3.850 E -01
4	3.012 E -01	2.987 E -01	3.108 E -01	3.080 E -01
5	5.055 E -02	4.647 E -02	5.287 E -02	4.925 E -02
6	2.616 E -03	2.186 E -03	2.812 E -03	2.422 E -03
7	3.407 E -06	2.040 E -06	3.606 E -06	2.389 E -06

表4.3－5　中性子スペクトル(2)　－　ケース2

TRU pin(1/2)-30%

GROUP	0 day		1368 days	
	$\phi_{TRU,i}/\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}/\phi_{MOX,total}$	$\phi_{TRU,i}/\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}/\phi_{MOX,total}$
1	8.395 E -02	8.702 E -02	7.888 E -02	8.253 E -02
2	1.844 E -01	1.857 E -01	1.780 E -01	1.798 E -01
3	3.913 E -01	3.936 E -01	3.869 E -01	3.880 E -01
4	2.929 E -01	2.902 E -01	3.048 E -01	3.019 E -01
5	4.545 E -02	4.168 E -02	4.908 E -02	4.565 E -02
6	2.083 E -03	1.737 E -03	2.396 E -03	2.063 E -03
7	2.406 E -06	1.438 E -06	2.807 E -06	1.855 E -06

表4.3－6　中性子スペクトル(3)　－　ケース3

TRU pin(2/3)-16%

GROUP	0 day		1368 days	
	$\phi_{TRU,i}$ / $\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}$ / $\phi_{MOX,total}$	$\phi_{TRU,i}$ / $\phi_{TRU,total}$	$\phi_{MOX,i}$ / $\phi_{MOX,total}$
1	7.942 E -02	8.151 E -02	7.565 E -02	7.779 E -02
2	1.786 E -01	1.794 E -01	1.737 E -01	1.742 E -01
3	3.868 E -01	3.883 E -01	3.834 E -01	3.835 E -01
4	3.009 E -01	2.994 E -01	3.103 E -01	3.080 E -01
5	5.160 E -02	4.893 E -02	5.400 E -02	5.138 E -02
6	2.711 E -03	2.451 E -03	2.910 E -03	2.659 E -03
7	3.704 E -06	2.678 E -06	3.946 E -06	3.018 E -06

表4.3－7　実効断面積の比較(1)　－　ケース2

TRU pin(1/2)-30%　　TRU pin region

核種	0 day		1368 days	
	σ_{cap}	σ_{fis}	σ_{cap}	σ_{fis}
Np^{237}	1.195 E +00	3.491 E +01	1.235 E +00	3.380 E -01
Pu^{238}	6.388 E -01	1.115 E +00	6.535 E -01	1.105 E +00
Am^{241}	1.486 E +00	3.420 E -01	1.525 E +00	3.306 E -01
Am^{242m}	3.436 E -01	2.841 E +00	3.508 E -01	2.878 E +00
Am^{243}	1.195 E +00	2.776 E -01	1.232 E +00	2.679 E -01
Cm^{242}	4.013 E -01	5.303 E -01	4.140 E -01	5.152 E -01
Cm^{243}	1.616 E -01	2.947 E +00	1.675 E -01	2.974 E +00
Cm^{244}	4.068 E -01	4.598 E -01	4.186 E -01	4.469 E -01
Cm^{245}	1.447 E -01	2.388 E +00	1.485 E -01	2.412 E +00

表4.3－8　実効断面積の比較(2)　－　均一MA5％混入の場合

TRU 5%-uniform　　TRU pin region

核種	0 day		1368 days	
	σ_{cap}	σ_{fis}	σ_{cap}	σ_{fis}
Np^{237}	1.337 E +00	3.192 E -01	1.350 E +00	3.130 E -01
Pu^{238}	6.984 E -01	1.094 E +00	7.002 E -01	1.008 E +00
Am^{241}	1.622 E +00	3.113 E -01	1.635 E +00	3.049 E -01
Am^{242m}	3.695 E -01	2.980 E +00	3.719 E +00	2.992 E +00
Am^{243}	1.324 E +00	2.512 E -01	1.337 E +00	2.458 E -01
Cm^{242}	4.485 E -01	4.903 E -01	4.524 E -01	4.817 E -01
Cm^{243}	1.832 E -01	3.058 E +00	1.850 E -01	3.065 E +00
Cm^{244}	4.541 E -01	4.257 E -01	4.574 E -01	4.183 E -01
Cm^{245}	1.593 E -01	2.483 E +00	1.604 E -01	2.490 E +00

表4.3－9　原子数密度の燃焼による変化比較(I)　－　ケース1　ＴＲＵ領域

NUMBER DENSITY　(1/3 HETERO : TRU 30% :　ランプ化モデル　　(Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	1.917E-05	1.245E-15	6.290E-03	5.665E-14	6.587E-04	2.714E-04	1.577E-04	4.486E-05	9.460E-04
1368 DAYS	8.465E-06	2.008E-06	5.645E-03	5.568E-04	7.280E-04	2.828E-04	7.449E-05	9.787E-05	4.770E-04
±	-1.071E-05	2.008E-06	-6.450E-04	5.568E-04	6.930E-05	1.140E-05	-8.321E-05	5.301E-05	-4.690E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	2.400E-06	4.850E-04	2.843E-08	1.583E-06	1.555E-04	8.009E-06		1.576E-03	
1368 DAYS	4.320E-05	2.835E-04	3.332E-05	3.923E-06	2.335E-04	2.508E-05		8.623E-04	
±	4.080E-05	-2.015E-04	3.329E-05	2.340E-06	7.800E-05	1.707E-05		-7.137E-04	

NUMBER DENSITY　(1/3 HOMO : TRU 30% :　集合体均一化モデル (Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.423E-05	1.314E-15	7.952E-03	2.140E-14	8.328E-04	3.431E-04	1.993E-04	5.671E-05	3.405E-04
1368 DAYS	1.061E-05	2.561E-06	7.136E-03	2.046E-04	8.597E-04	3.556E-04	9.390E-05	8.058E-05	1.826E-04
±	-1.362E-05	2.561E-06	-8.160E-04	2.046E-04	2.690E-05	1.250E-05	-1.054E-04	2.387E-05	-1.579E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	8.641E-07	1.746E-04	1.023E-08	5.700E-07	5.596E-05	2.883E-06		5.675E-04	
1368 DAYS	1.620E-05	1.062E-04	1.275E-05	1.478E-06	8.622E-05	9.215E-06		3.108E-04	
±	1.534E-05	-6.840E-05	1.274E-05	9.080E-07	3.026E-05	6.332E-06		-2.567E-04	

表4.3－10　原子数密度の燃焼による変化比較(2)　－　ケース1　MOX領域

NUMBER DENSITY　(1/3 HETERO : TRU 30% :　ランプ化モデル　　(Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.708E-05	1.358E-15	8.887E-03	1.000E-15	9.308E-04	3.834E-04	2.228E-04	6.337E-05	3.936E-15
1368 DAYS	1.174E-05	2.895E-06	7.968E-03	3.763E-06	9.360E-04	3.980E-04	1.048E-04	7.080E-05	1.859E-05
±	-1.534E-05	2.895E-06	-9.190E-04	3.763E-06	5.200E-06	1.460E-04	-1.180E-04	7.430E-06	1.859E-05
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.000E-15	1.659E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15		1.426E-15	
1368 DAYS	9.400E-07	7.393E-06	1.104E-06	6.812E-08	1.725E-06	8.539E-08		4.102E-06	
±	9.400E-07	7.393E-06	1.104E-06	6.812E-08	1.725E-06	8.539E-08		4.102E-06	

NUMBER DENSITY　(1/3 HOMO : TRU 30% :　集合体均一化モデル (Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.423E-05	1.317E-15	7.952E-03	2.161E-14	8.328E-04	3.431E-04	1.993E-04	5.671E-05	3.405E-04
1368 DAYS	1.056E-05	2.577E-06	7.132E-03	2.060E-04	8.620E-04	3.568E-04	9.393E-05	8.080E-05	1.819E-04
±	-1.367E-05	2.577E-06	-8.200E-04	2.060E-04	2.920E-05	1.370E-05	-1.054E-04	2.409E-05	-1.586E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	8.641E-07	1.746E-04	1.023E-08	5.700E-07	5.596E-05	2.883E-06		5.675E-04	
1368 DAYS	1.625E-05	1.059E-04	1.282E-05	1.496E-06	8.661E-05	9.302E-06		3.096E-04	
±	1.539E-05	-6.870E-05	1.281E-05	9.260E-07	3.065E-05	6.419E-06		-2.579E-04	

表4.3－11　原子数密度の燃焼による変化比較(3)　－　ケース2　ＴＲＵ領域

NUMBER DENSITY　(1/2 HETERO : TRU 32% :　ランプ化モデル　　(Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	1.863E-05	1.236E-15	6.114E-03	5.972E-14	6.404E-04	2.639E-04	1.533E-04	4.361E-05	1.010E-03
1368 DAYS	8.281E-06	1.922E-06	5.491E-03	5.822E-04	7.059E-04	2.718E-04	7.196E-05	9.864E-05	5.101E-04
±	-1.035E-05	1.922E-06	-6.230E-04	5.822E-04	6.550E-05	7.900E-06	-8.134E-05	5.503E-05	-4.999E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	2.562E-06	5.177E-04	3.008E-08	1.690E-06	1.659E-04	8.549E-06		1.683E-03	
1368 DAYS	4.554E-05	3.035E-04	3.470E-05	4.044E-06	2.479E-04	2.607E-05		9.257E-04	
±	4.298E-05	-2.142E-04	3.467E-05	2.354E-06	8.200E-05	1.752E-05		-7.573E-04	

NUMBER DENSITY　(1/2 HOMO : TRU 32% :　集合体均一化モデル (Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.294E-05	1.295E-15	7.528E-03	3.014E-14	7.885E-04	3.249E-04	1.887E-04	5.369E-05	4.948E-04
1368 DAYS	1.014E-05	2.381E-06	6.760E-03	2.889E-04	8.182E-04	3.329E-04	8.841E-05	8.426E-05	2.584E-04
±	-1.280E-05	2.381E-06	-7.680E-04	2.889E-04	2.970E-05	8.000E-06	-1.003E-04	3.057E-05	-2.364E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.256E-06	2.537E-04	1.474E-08	8.281E-07	8.131E-05	4.189E-06		8.245E-04	
1368 DAYS	2.283E-05	1.518E-04	1.760E-05	2.037E-06	1.226E-04	1.295E-05		4.536E-04	
±	2.157E-05	-1.019E-04	1.759E-05	1.209E-06	4.129E-05	8.761E-06		-3.709E-04	

表4.3－12　原子数密度の燃焼による変化比較(4)　－　ケース2　MOX領域

NUMBER DENSITY　(1/2 HETERO : TRU 32% :　ランプ化モデル　　(Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.708E-05	1.355E-15	8.887E-03	1.000E-15	9.308E-04	3.834E-04	2.228E-04	6.337E-05	3.936E-15
1368 DAYS	1.183E-05	2.847E-06	7.974E-03	3.738E-06	9.281E-04	3.931E-04	1.041E-04	7.035E-05	1.860E-05
±	-1.525E-05	2.847E-06	-9.130E-04	3.738E-06	-2.700E-06	9.700E-06	-1.187E-04	6.980E-06	1.860E-05
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.000E-15	1.649E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15		1.462E-15	
1368 DAYS	9.223E-07	7.189E-06	1.074E-06	6.481E-06	1.638E-06	7.932E-08		4.345E-06	
±	9.223E-07	7.189E-06	1.074E-06	6.481E-06	1.638E-06	7.932E-08		4.345E-06	

NUMBER DENSITY　(1/2 HOMO : TRU 32%　集合体均一化モデル (Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.294E-05	1.297E-15	7.528E-03	3.046E-14	7.885E-04	3.249E-04	1.887E-04	5.369E-05	4.948E-04
1368 DAYS	1.009E-05	2.397E-06	6.757E-03	2.912E-04	8.206E-04	3.341E-04	8.843E-05	8.453E-05	2.573E-04
±	-1.285E-05	2.397E-06	-7.710E-04	2.912E-04	3.210E-05	9.200E-06	-1.003E-04	3.084E-05	-2.375E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.256E-06	2.537E-04	1.474E-08	8.281E-07	8.131E-05	4.189E-06		8.245E-04	
1368 DAYS	2.291E-05	1.513E-04	1.770E-05	2.063E-06	1.232E-04	1.307E-05		4.518E-04	
±	2.165E-05	-1.024E-04	1.769E-05	1.235E-06	4.189E-05	8.881E-06		-3.727E-04	

表4.3－13　原子数密度の燃焼による変化比較(5)　－　ケース3　ＴＲＵ領域

NUMBER DENSITY　(2/3 HETERO : TRU 16% :　ランプ化モデル　　(Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.288E-05		7.509E-03		4.864E-04	3.241E-04	1.882E-04	5.356E-05	5.019E-04
1368 DAYS	1.002E-05	2.424E-06	6.736E-03	3.007E-04	8.271E-04	3.372E-04	8.883E-05	8.544E-05	2.601E-04
±	-1.286E-05	2.424E-06	-7.730E-04	3.007E-04	3.407E-04	1.310E-05	-9.937E-05	3.188E-05	-2.418E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.274E-06	2.573E-04	1.488E-08	8.399E-07	8.249E-05	4.250E-06		8.365E-04	
1368 DAYS	2.348E-05	1.530E-04	1.834E-05	2.158E-06	1.266E-04	1.359E-05		4.558E-04	
±	2.221E-05	-1.043E-04	1.833E-05	1.318E-06	4.411E-05	9.340E-06		-3.807E-04	

NUMBER DENSITY　(2/3 HOMO : TRU 16% :　集合体均一化モデル (Lumped MOX領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.440E-05	1.318E-15	8.005E-03	2.035E-14	8.384E-04	3.454E-04	2.007E-04	5.709E-05	3.212E-04
1368 DAYS	1.066E-05	2.590E-06	7.181E-03	1.942E-04	8.658E-04	3.589E-04	9.464E-05	8.017E-05	1.729E-04
±	-1.374E-05	2.590E-06	-8.240E-04	1.942E-04	2.740E-05	1.350E-05	-1.061E-04	2.308E-05	-1.483E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	8.153E-07	1.647E-04	9.523E-09	5.376E-07	5.279E-05	2.720E-06		5.353E-04	
1368 DAYS	1.537E-05	1.005E-04	1.214E-05	1.411E-06	8.170E-05	8.762E-06		2.927E-04	
±	1.455E-05	-6.420E-05	1.213E-05	8.734E-07	2.891E-05	6.042E-06		-2.426E-04	

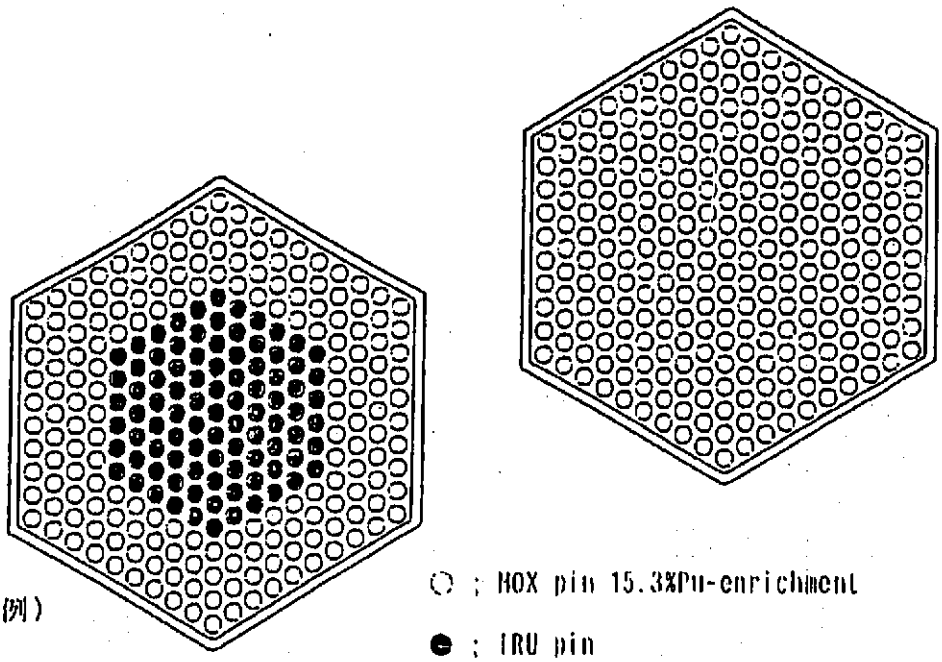
表4.3－14　原子数密度の燃焼による変化比較(6)　－　ケース3　ＭＯＸ領域

NUMBER DENSITY　(2/3 HETERO : TRU 16%　　ランプ化モデル　　(Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.708E-05	1.358E-15	8.887E-03	1.000E-15	9.308E-04	3.834E-04	2.228E-04	6.337E-05	3.936E-15
1368 DAYS	1.173E-05	2.902E-06	7.968E-03	3.785E-06	9.372E-04	3.988E-04	1.049E-04	7.086E-05	1.859E-05
±	-1.535E-05	2.902E-06	-9.190E-04	3.785E-06	6.400E-06	1.540E-05	-1.179E-04	7.490E-06	1.859E-05
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	1.000E-15	1.661E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15	1.000E-15		1.430E-15	
1368 DAYS	9.427E-07	7.424E-06	1.108E-06	6.861E-08	1.737E-06	8.631E-08		4.146E-06	
±	9.427E-07	7.424E-06	1.108E-06	6.861E-08	1.737E-06	8.631E-08		4.146E-06	

NUMBER DENSITY　(2/3 HOMO : TRU 16% :　集合体均一化モデル (Lumped TRU領域)

	U^{235}	U^{236}	U^{238}	Pu^{238}	Pu^{239}	Pu^{240}	Pu^{241}	Pu^{242}	Am^{241}
0 DAY	2.440E-05	1.321E-15	8.005E-03	2.057E-14	8.384E-04	3.454E-04	2.007E-04	5.709E-05	3.212E-04
1368 DAYS	1.060E-05	2.606E-06	7.177E-03	1.957E-04	8.683E-04	3.603E-04	9.467E-05	8.040E-05	1.722E-04
±	-1.380E-05	2.606E-06	-8.280E-04	1.957E-04	2.990E-05	1.490E-05	-1.060E-04	2.331E-05	-1.490E-04
	Am^{242m}	Am^{243}	Cm^{242}	Cm^{243}	Cm^{244}	Cm^{245}		Np^{237}	
0 DAY	8.153E-07	1.647E-04	9.523E-09	5.376E-07	5.279E-05	2.720E-06		5.353E-04	
1368 DAYS	1.543E-05	1.002E-04	1.221E-05	1.429E-06	8.211E-05	8.848E-06		2.915E-04	
±	1.461E-05	-6.450E-05	1.220E-05	8.914E-07	2.932E-05	6.128E-06		-2.438E-04	

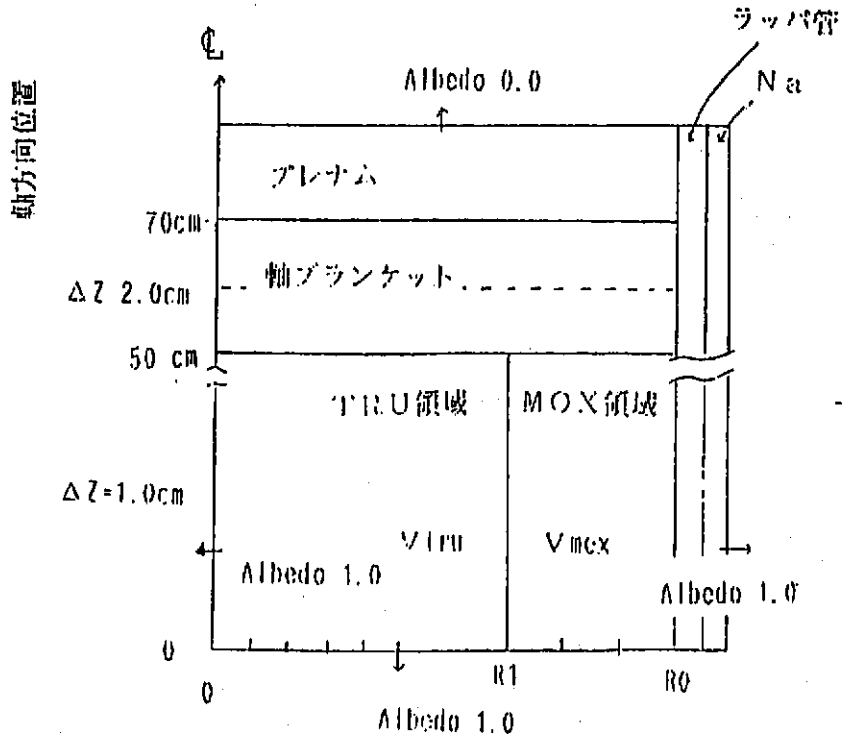


(TRU pin 1/3 の例)

○ ; MOX pin 15.3%Pu-enrichment

● ; TRU pin

(単位ピンセル均質化)



Super Cell Rurnup 計算

6．6 Mwth/SA

45ケ月一定出力で炉内滞在

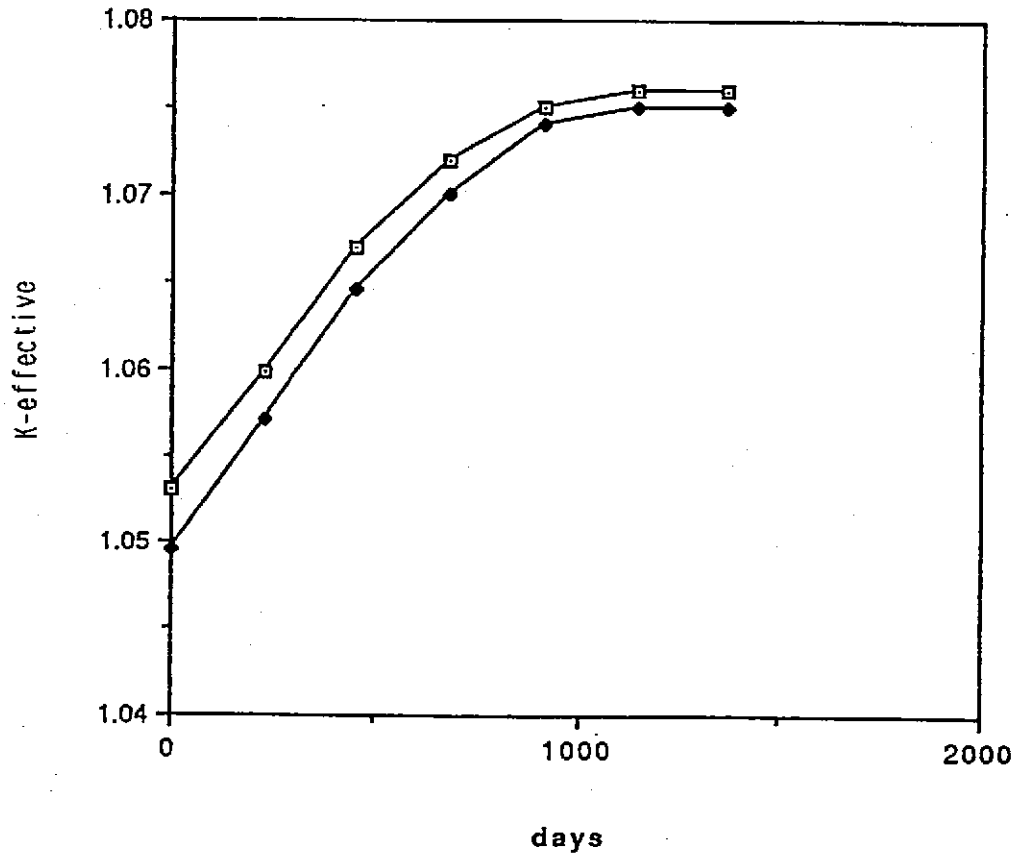
径方向10列ピン列単位

軸方向炉心部10分割

R1/R0の設定

TRU pin 割合い	Vtr : Vmox
TRU pin 1/2	0.49 : 0.51
TRU pin 1/3	0.36 : 0.64
TRU pin 1/4	0.46 : 0.36

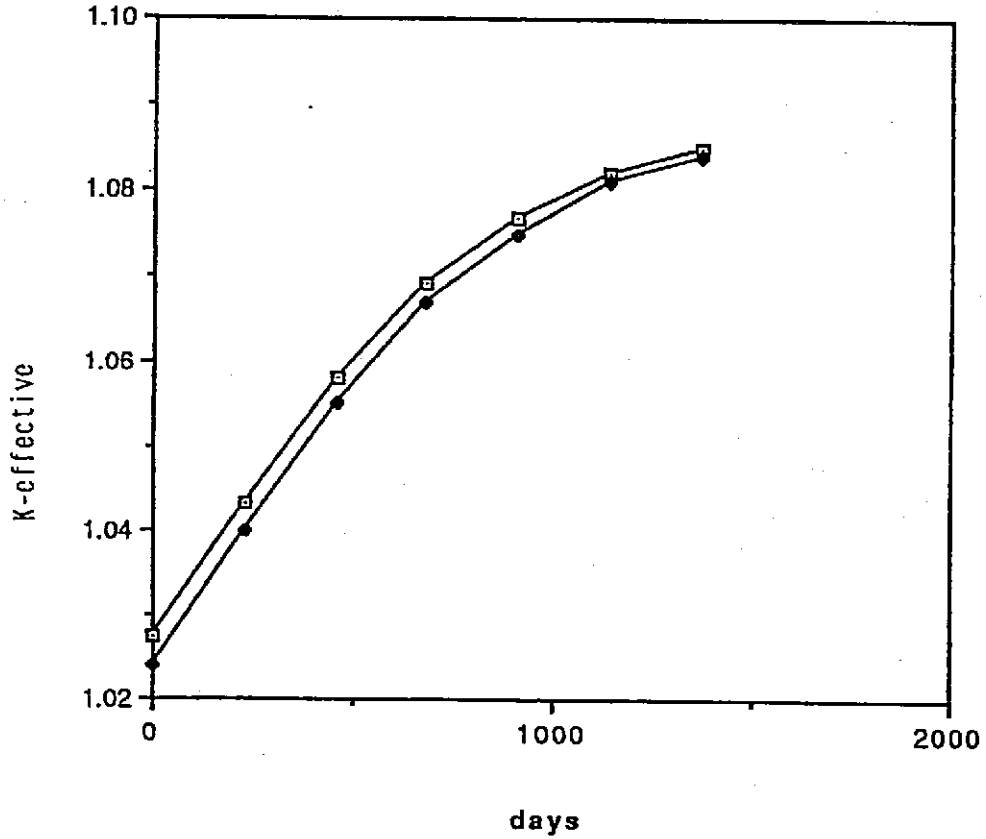
図4.3－1 Super Cell Modelによる燃焼計算



TRU pin(1/3)-30% K-effective

燃焼サイクル	均一混合	lumped
初期	1.0530	1.0495
7.5 months	1.0598	1.0571
15.0	1.0667	1.0646
22.5	1.0718	1.0701
30.0	1.0750	1.0736
37.7	1.0764	1.0752
45.0	1.0760	1.0750

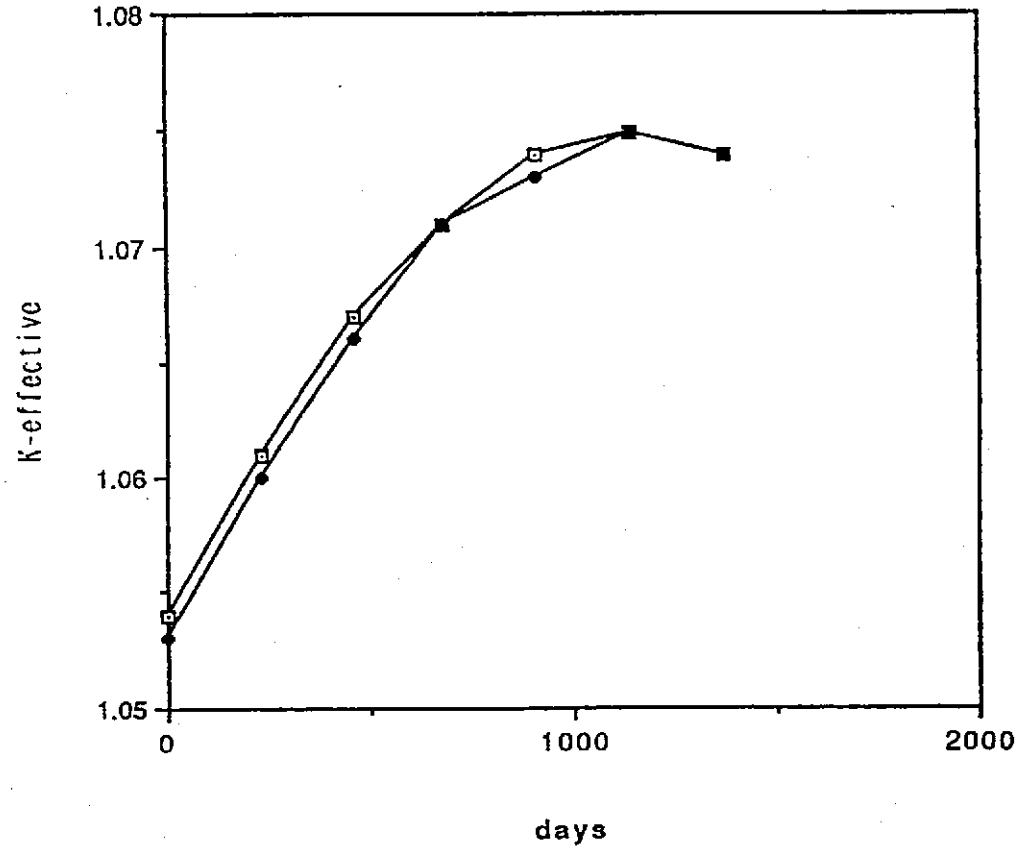
図4.3－2　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(1)
－ケース1 ；K-effectiveの燃焼変化－



TRU pin(1/2)-30% K-effective

燃焼サイクル	均一混合	lumped
初期	1.0275	1.0241
7.5 months	1.0433	1.0405
15.0	1.0576	1.0553
22.5	1.0687	1.0668
30.0	1.0768	1.0752
37.7	1.0820	1.0806
45.0	1.0850	1.0836

図4.3－3　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(2)
－ケース2；K-effectiveの燃焼変化－



TRU pin(2/3)-16% K-effective

燃焼サイクル	均一混合	lumped
初期	1.0544	1.0532
7.5 months	1.0606	1.0596
15.0	1.0668	1.0660
22.5	1.0714	1.0707
30.0	1.0741	1.0735
37.7	1.0751	1.0745
45.0	1.0744	1.0739

図4.3－4　Super Cell燃焼計算における均質／ランプ化モデルの違い(3)
－ケース3；K-effectiveの燃焼変化－

4.4 ＴＲＵ消滅処理特性と炉心特性

4.4.1 ＴＲＵ消滅処理特性

ＴＲＵの燃料ピン単位の装荷における平衡サイクルでのＴＲＵの装荷量及び取出量を表4.4-1 に示す。また、平衡サイクルでのＴＲＵの消滅量及び消滅率を表4.4-2 に示す。

ＴＲＵ装荷量は、ＴＲＵの装荷方法（ＴＲＵの混合割合、ピン割合、集合体割合）により、ＴＲＵを均一に5wt%装荷した均質炉心の比べて2kg ～ 6kgの差がある。これは、平衡サイクル末期の反応度（k_{eff}が1.002 になるように）を保つためにＴＲＵ燃料ピンの富化度調整を行っており、ＴＲＵを装荷した場合、ＴＲＵ燃料の全重量が多少変化しているためである。

一方、ＴＲＵ燃料ピンのＰｕ富化度が多少変化しても炉心平均のＰｕ富化度の変化は1%以下であり、炉心の中性子束のレベル及び分布はほとんど変化しない。

上記の理由から、本検討でのＴＲＵの消滅量及び消滅率は、ＴＲＵの装荷方法（ＴＲＵの混合割合、ピン割合、集合体割合）を変えても一定である。また、ＴＲＵの燃料ピン単位の装荷方法におけるＴＲＵの消滅量及び消滅率は、ＴＲＵを均一に5wt%装荷した均質炉心と同じ179kg/cy及び30%となっている。

4.4.2 炉心特性

炉心特性を表4.4-3 に示す。

本検討での消滅処理特性の計算（燃焼計算）は、同一領域に新旧燃料をミックスした二次元ＲＺで行っている。一方、ＴＲＵ燃料ピンのＰｕ富化度が多少変化しても炉心平均のＰｕ富化度の変化は1%以下である。よって、炉心の中性子束はほとんど変化しない。

上記の理由から、本検討での炉心特性は、ＴＲＵの装荷方法（ＴＲＵの混合割合、ピン割合、集合体割合）を変えてもほとんど同じであり、ＴＲＵを均一に5wt%装荷した均質炉心とも同じとなっている。

ただし、最大出力密度については、ＴＲＵピンが最大となりＴＲＵの装荷方法（ＴＲＵの混合割合、ピン割合、集合体割合）により、大きく差がでてくる。これは、出力ミスマッチファクターの違いによるものであり、第4.5 節で詳細に検討することとする。

表4.4-1　ＴＲＵの装荷量と取出量

全炉心ＴＲＵ混合割合	(wt%)	5	5	5	5
ＴＲＵ混合割合	(wt%)	15	10	15	30
集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合		1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内ＴＲＵ燃料集合体割合		1/3	1/2	1/2	1/2
ＴＲＵ装荷量	(kg/cy)	590	589	590	593
ＴＲＵ取出量	(kg/cy)	411	410	411	414

表4.4-2　ＴＲＵの消滅量と消滅率

全炉心ＴＲＵ混合割合	(wt%)	5	5	5	5
ＴＲＵ混合割合	(wt%)	15	10	15	30
集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合		1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内ＴＲＵ燃料集合体割合		1/3	1/2	1/2	1/2
ＴＲＵ消滅量	(kg/cy)	179	179	179	179
ＴＲＵ消滅率	(%/cy)	30	30	30	30

表4.4-3　燃料ピン単位でのＴＲＵ装荷による炉心特性（均質炉心）

全炉心ＴＲＵ含有量	(wt%)	5	5	5	5
ＴＲＵ混合割合	(wt%)	15	10	15	30
集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合		1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内ＴＲＵ集合体割合		1/3	1/2	1/2	1/2
Ｐｕ富化度（炉心平均）	(wt%)	17.99	17.95	17.99	18.13
ＭＯＸ燃料ピン					
内側炉心	(wt%)	15.30	15.30	15.30	15.30
外側炉心	(wt%)	19.30	19.30	19.30	19.30
ＴＲＵ燃料ピン					
内側炉心	(wt%)	17.05	16.40	17.05	19.55
外側炉心	(wt%)	21.51	20.69	21.51	24.67
燃焼反応度減少量	(%Δρ)	2.03	2.03	2.03	2.02
増殖比（ＭＯＥＣ）					
炉　心		0.774	0.774	0.774	0.773
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.169	0.169	0.169	0.170
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ		0.128	0.128	0.128	0.128
合　計		1.071	1.071	1.072	1.071
出力分担率（ＢＯＥＣ）					
炉　心	(%)	94.69	94.69	94.69	94.69
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	2.83	2.83	2.83	2.83
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	2.48	2.48	2.48	2.48
炉心部出力密度（ＢＯＥＣ）					
平　均	(w/cc)	239.78	239.78	239.78	239.78
最　大					
内側炉心	(w/cc)	361.71	346.74	361.71	420.81
外側炉心	(w/cc)	431.85	419.72	431.85	468.57
出力分担率（ＥＯＥＣ）					
炉　心	(%)	92.85	92.85	92.85	92.85
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	4.29	4.29	4.29	4.29
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	(%)	2.86	2.86	2.86	2.86
炉心部出力密度（ＥＯＥＣ）					
平　均	(w/cc)	235.13	235.13	235.13	235.13
最　大					
内側炉心	(w/cc)	418.36	398.55	418.36	486.07
外側炉心	(w/cc)	380.38	365.07	380.38	426.66
最大線出力					
ＢＯＥＣ					
内側炉心	(w/cm)	373.68	358.21	373.68	434.74
外側炉心	(w/cm)	446.14	433.61	446.14	484.07
ＥＯＥＣ					
内側炉心	(w/cm)	432.20	411.74	432.20	502.15
外側炉心	(w/cm)	392.97	377.16	392.97	440.78
炉心燃料部燃焼度					
取出平均	(MWd/t)	92,000	92,000	92,000	92,000
取出最大	(MWd/t)	158,000	151,000	158,000	179,000
ピークフルエンス（≧0.1MeV）					
炉　心	(nvt)	2.87E23	2.87E23	2.87E23	2.87E23
ナトリウムボイド反応度					
炉　心	(%Δk/kk')	2.397	2.396	2.397	2.399

4.5 ピン出力経年変化と二重ミスマッチファクター

4.5.1 ピン出力経年変化

平衡サイクル初期及び平衡サイクル末期のＴＲＵ装荷によるピン出力経年変化を図4.5-1 及び図4.5-2 に示す。同図は、サイクル初期或いはサイクル末期において、着目した燃料領域の平均出力（新旧燃料の平均出力）に対する新旧燃料の出力比（付録A.2.7 ミスマッチファクター参照）である。

ＴＲＵの装荷方法としてＴＲＵの炉心平均装荷割合を一定として、ＴＲＵ装荷割合を15wt% から30wt% に増加させる（逆に集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合を1/2 にする）と、ＴＲＵを装荷した燃料ピンの出力は、内側炉心では約10～17% 増大し、外側炉心では約8 ～15% 増大する。

内側炉心における平衡サイクル初期の及び平衡サイクル末期のミスマッチファクターを図4.5-3 から図4.5-4 に示す。また、外側炉心における平衡サイクル初期の及び平衡サイクル末期のミスマッチファクターを図4.5-3 から図4.5-4 に示す。

ＴＲＵ装荷割合を増加させて集合体内ＴＲＵ燃料ピン割合を減少させると、燃料の炉内滞在サイクル数が同一のミスマッチファクターは直線的に増大する。後述するが、ミスマッチファクターは、通常のＭＯＸ燃料ピンが1.05程度であるのに対し、ＴＲＵ30wt% で集合体内ピン割合が1/3 の場合のT.ＲＵ燃料ピンは1.2 ～1.3 である。これは、燃料の最大線出力が大きくなることを意味しており、炉心運用上の制約が生ずる場合があることを示唆している。

4.5.2 二重ミスマッチファクター

ＴＲＵ装荷による二重ミスマッチファクターを図4.5-7 から図4.5-10に示す。同図は、ある燃焼領域において、最大出力ピンを有する集合体内の平均出力と最大出力の比（集合体内ミスマッチファクター）、最大出力ピンを有する集合体単位の出力とそれを有する領域の平均出力の比（領域内

ミスマッチファクター）及び両方のミスマッチファクターを掛け合わせた二重ミスマッチファクター（前項の最大ミスマッチファクターと同じである）をプロットしたものである。

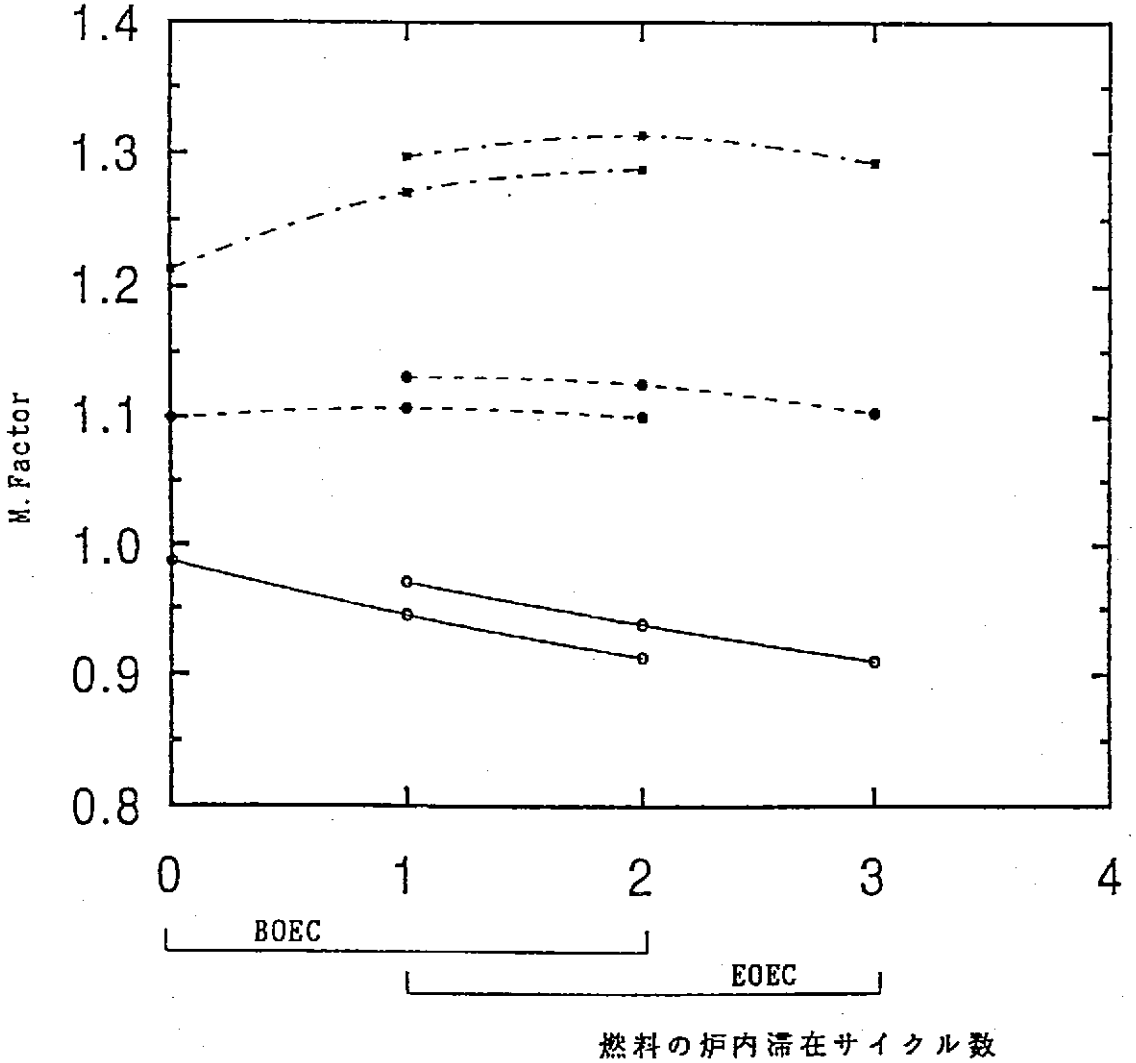
燃料ピン単位でＴＲＵを装荷し、ＴＲＵ装荷割合を増加させてＴＲＵピンを減少させると、領域内ミスマッチファクターはほぼ一定であるが、集合体内ミスマッチファクターはＴＲＵピン本数に反比例して大きくなる。通常のＭＯＸ燃料ピンは燃焼によりピン出力が減少するのに対し、ＴＲＵ燃料ピンはピン出力が減少しない、このために、最大出力はＴＲＵ燃料ピンに発生している。これが、ミスマッチファクター（出力ピーキング係数）を大きくしている要因である。

燃焼にともなう核種毎の出力分担率の変化を図4.5-11及び図4.5-12に示す。同図は、炉心内ＴＲＵ集合体割合が1/2 、集合体内ＴＲＵピン割合が1/3 、ＴＲＵ装荷割合が30wt% （全炉心ＴＲＵ装荷割合5wt%）におけるピン単位ＴＲＵ装荷方法の出力分担を示したものであり、新旧燃料の合計が100%になるように規格化したものである。

通常のＭＯＸ燃料ピンは燃焼によりピン出力が減少するのに対し、ＴＲＵ燃料ピンはピン出力が減少しないで新旧燃料の出力変動が小さいことが分かる。燃焼により、Ｐｕ-fiss 、Ｎｐ及びＡｍの出力分担は減少するが、^{237}Ｎｐ 及びＡｍの照射により^{238}Ｐｕ 及びＣｍが生成され、これらの出力分担が大きくなっている。ＴＲＵを装荷することにより、燃焼による出力変動が緩和されることを示している。

しかし、ＴＲＵをピン単位で装荷した場合、ＴＲＵ燃料ピンに出力ピークが発生し、ＭＯＸ燃料ピンに対するピーキング係数より大きくなる。このことは、ＴＲＵを燃料ピン単位で装荷する方式に対する制約となる。ＭＯＸ燃料の仕様（平衡燃料Ｐｕ富化度）を変更しないで、ＴＲＵ燃料ピンを含む混合型集合体を装荷しＴＲＵの消滅処理及び有効利用を図るためには、出力ピーキング係数へのインパクトを緩和するように混合型集合体の装荷位置を限定することが有効であると考察される。或いは、ＴＲＵ燃料

ピンの許容線出力の確定が重要な課題であるが、最大線出力を許容範囲に納めるために、炉心平均出力密度を下げて炉心を大きくする等の対応が考えられる。いずれにしても、ＴＲＵのピン単位での装荷方法による燃料製造及び照射後の再処理等の利点を生かすには、プラント運用上の工夫が心要であると考えられる。



□ MOX PIN
● TRU PIN
} TRU 5wt%(15wt%,2/3,1/2)

□ MOX PIN
■ TRU PIN
} TRU 5wt%(30wt%,1/3,1/2)

㊟ MOX PIN の数値は、ＴＲＵの装荷方法に関係なくほぼ同じであり、プロット点が重なっている

図4.5-1　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
内側炉心・炉中心（R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7）

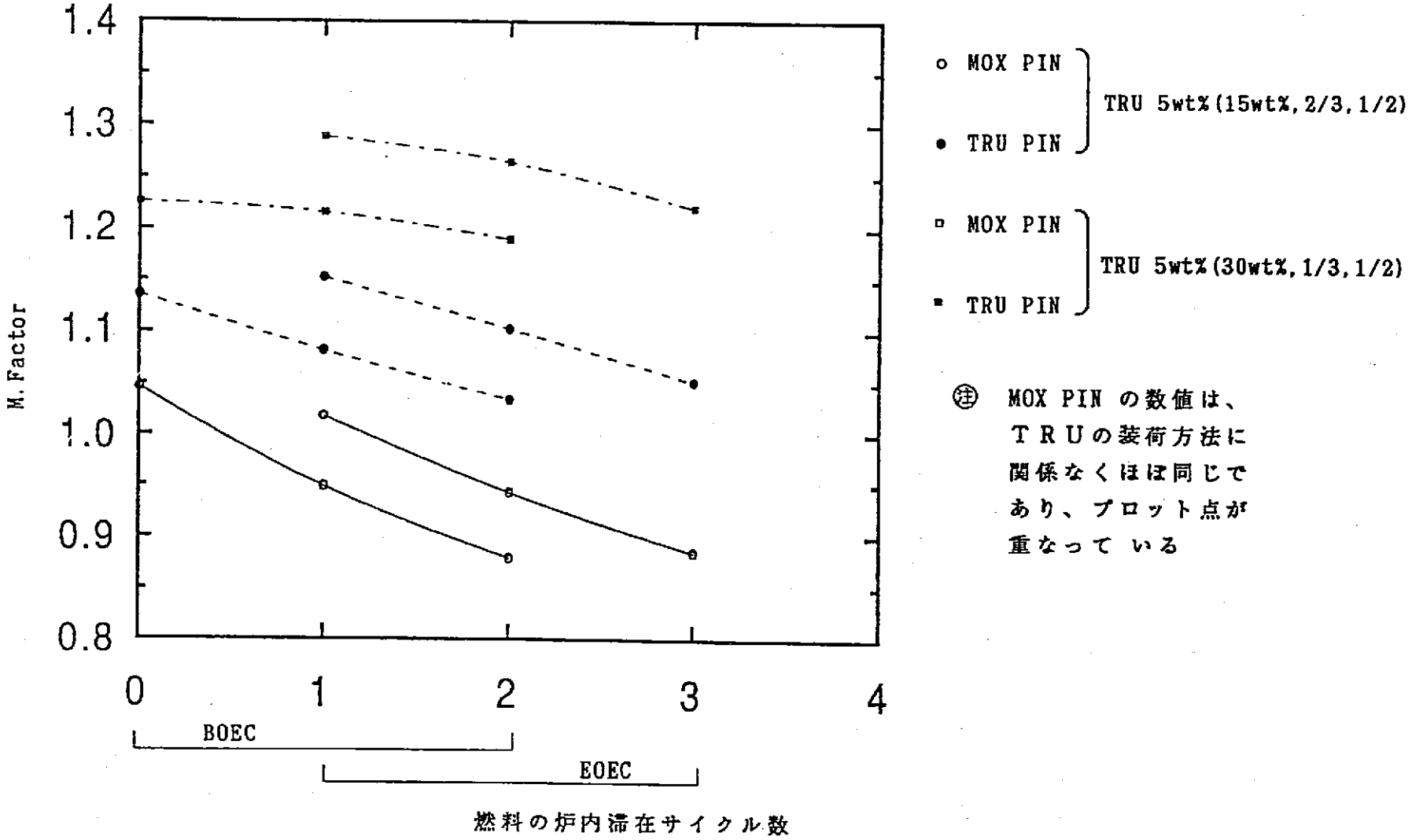
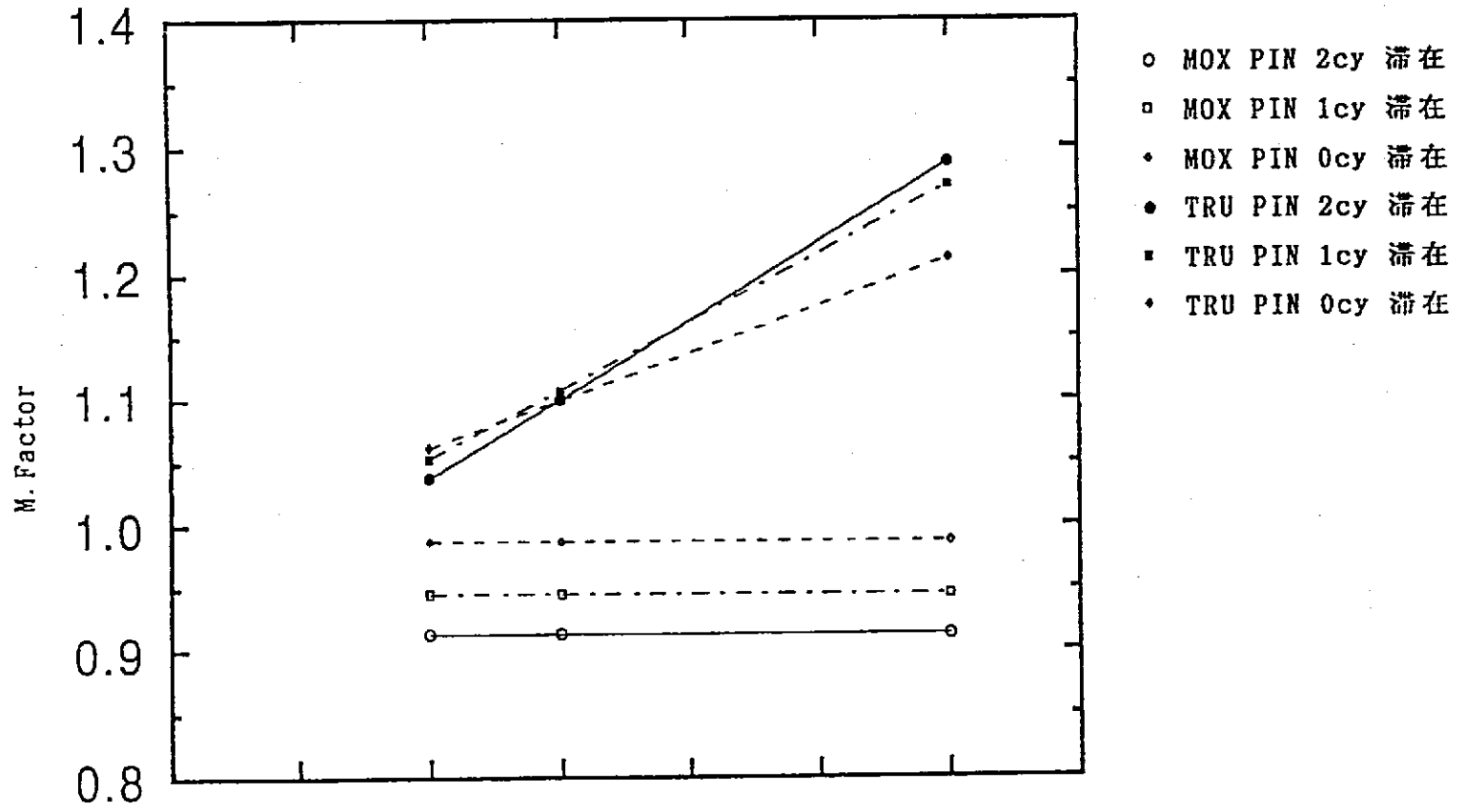
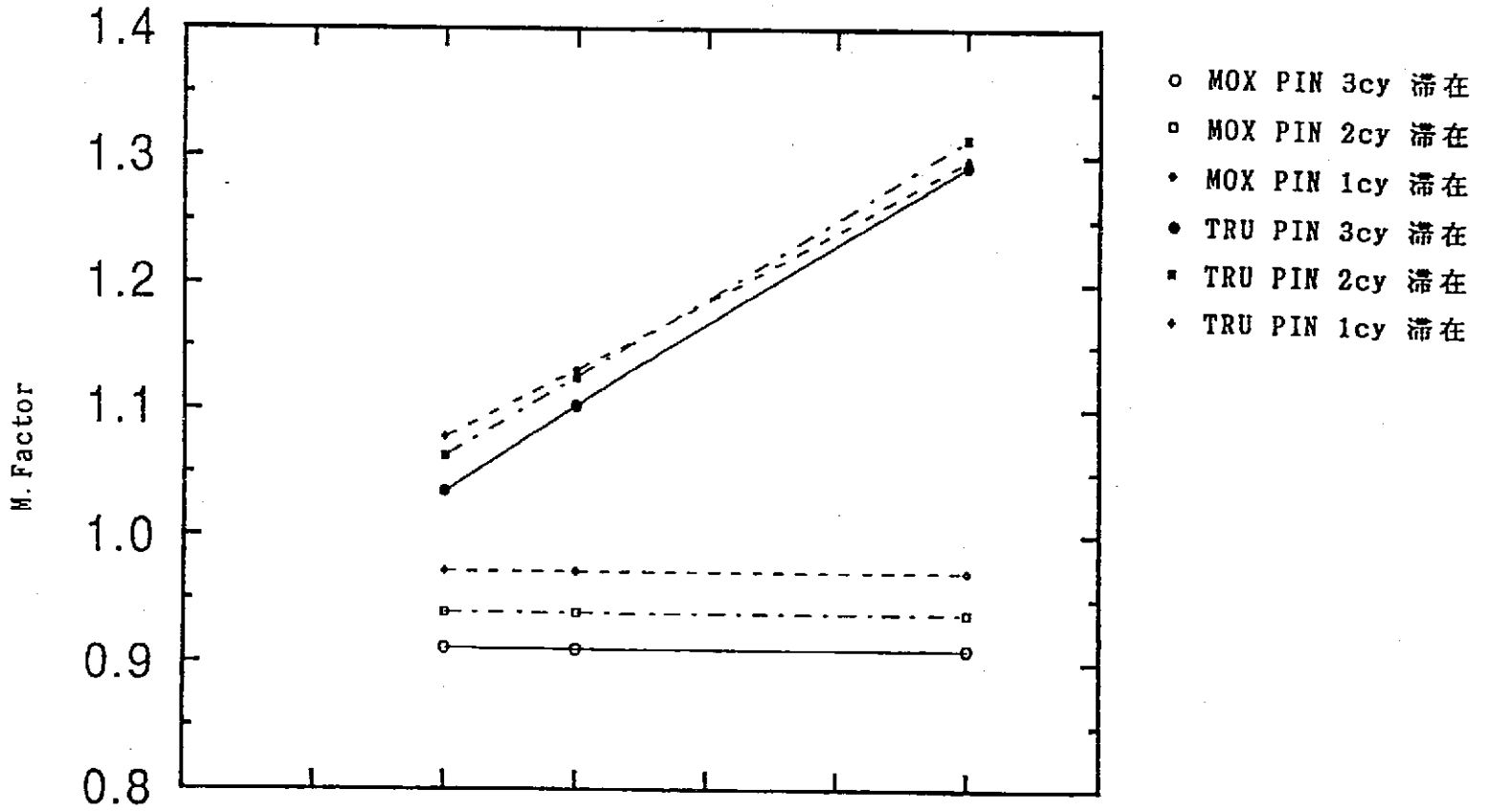


図4.5-2　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
外側炉心・最内周 (R-Reg. 12 ; Z-Reg. 7)



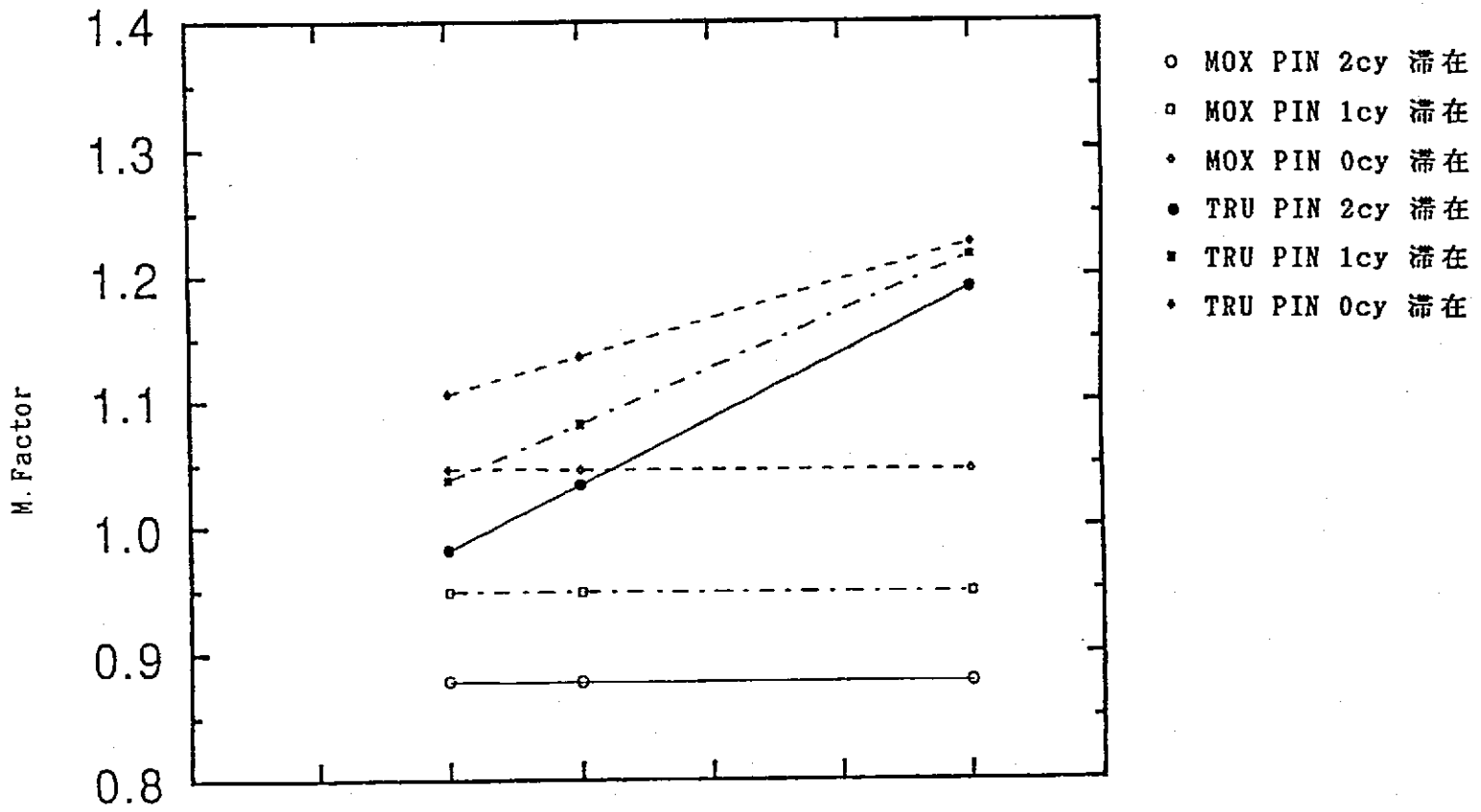
TRU混合割合 (%)	10	15	30
集合体内TRUピン割合	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	5	5	5

図4.5-3　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
BOEC，内側炉心・炉中心（R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7）



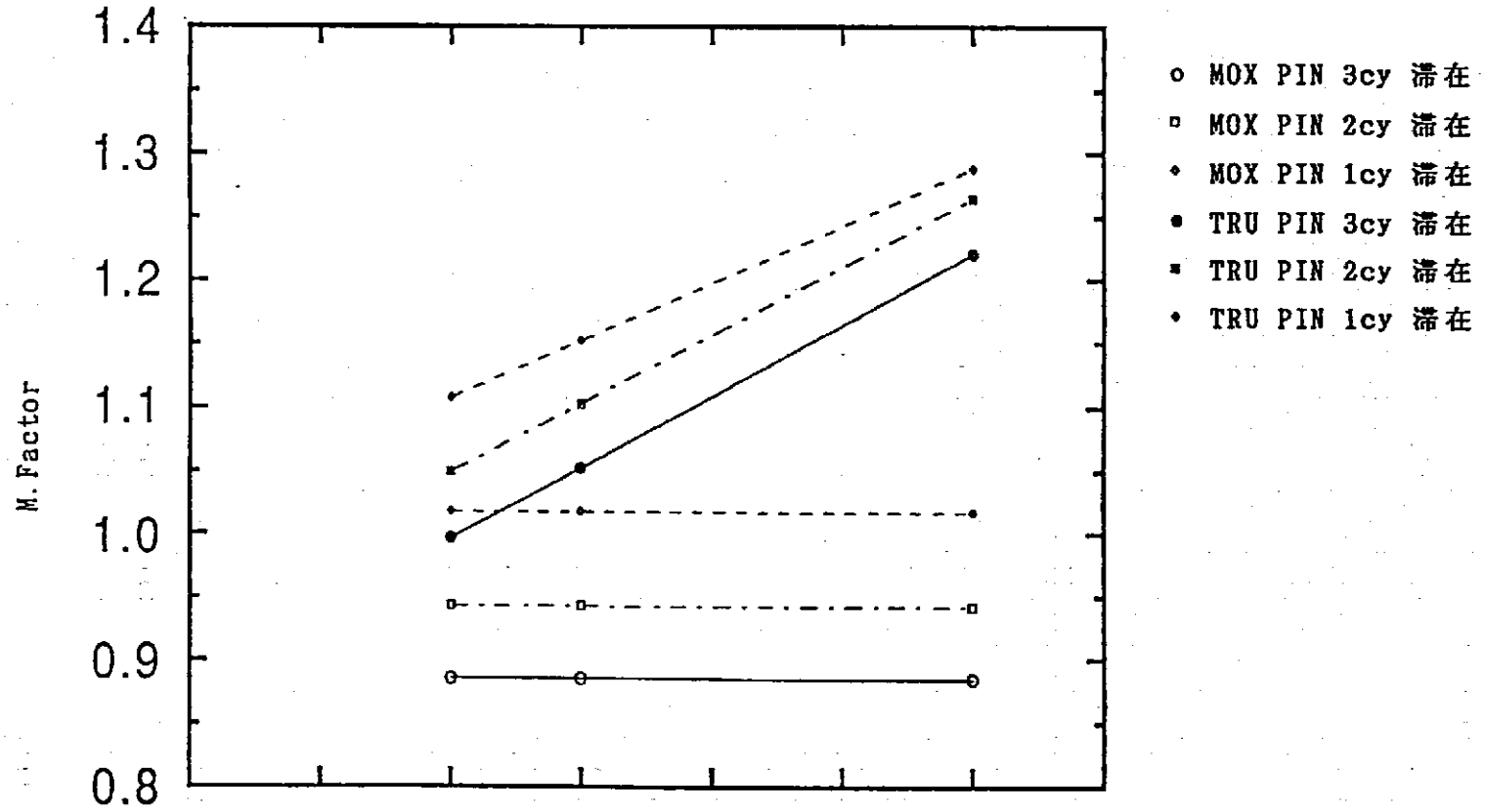
TRU混合割合 (%)	10	15	30
集合体内TRUピン割合	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	5	5	5

図4.5-4　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
EOEC，内側炉心・炉中心（R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7）



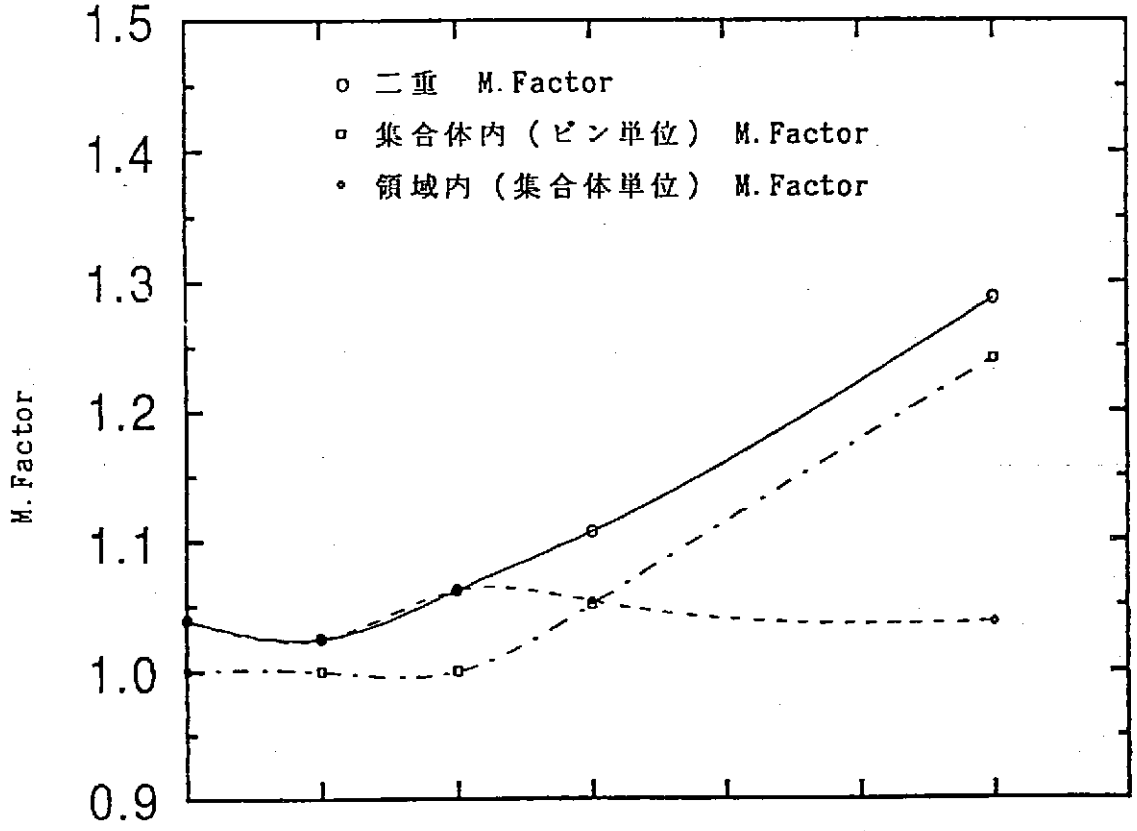
TRU混合割合 (%)	10	15	30
集合体内TRUピン割合	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	5	5	5

図4.5-5　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
BOEC，外側炉心・最内周（R-Reg. 12 ; Z-Reg. 7）



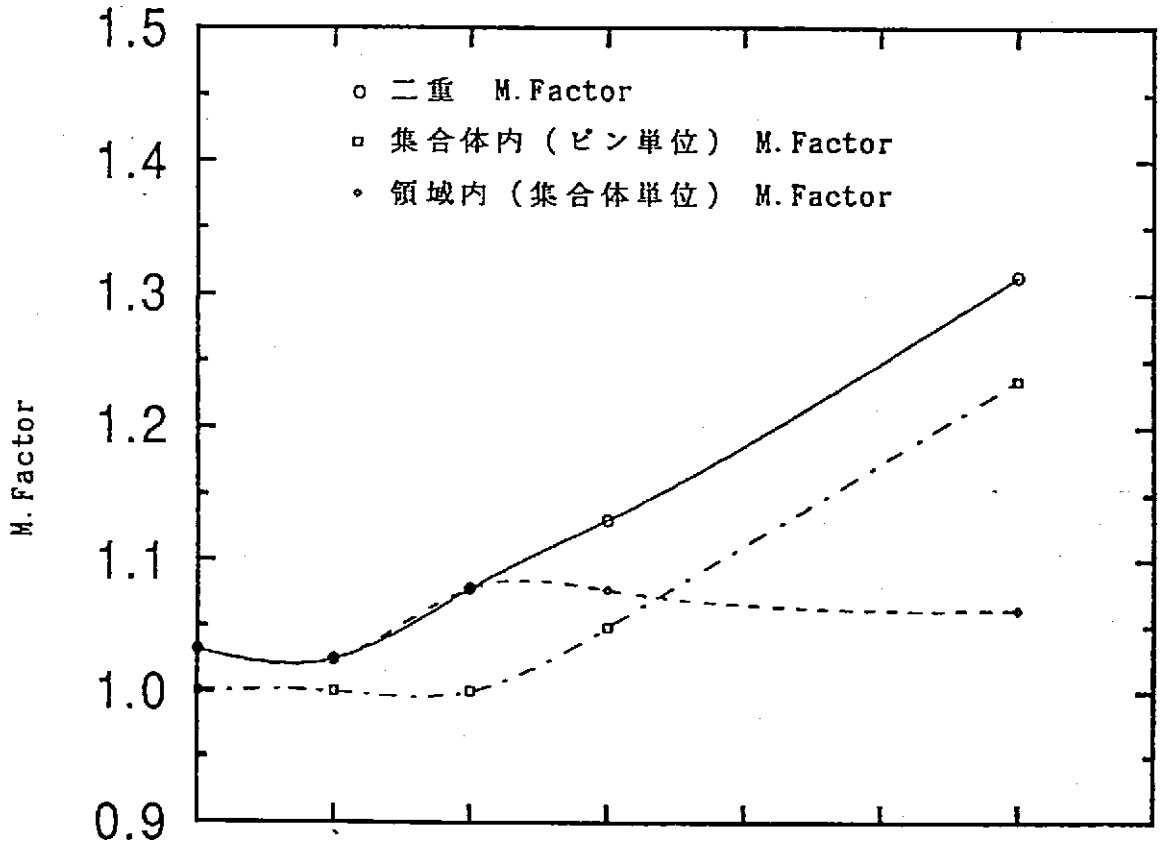
TRU混合割合 (%)	10	15	30
集合体内TRUピン割合	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	5	5	5

図4.5-6　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
EOEC，外側炉心・最内周（R-Reg. 11 ; Z-Reg. 7）



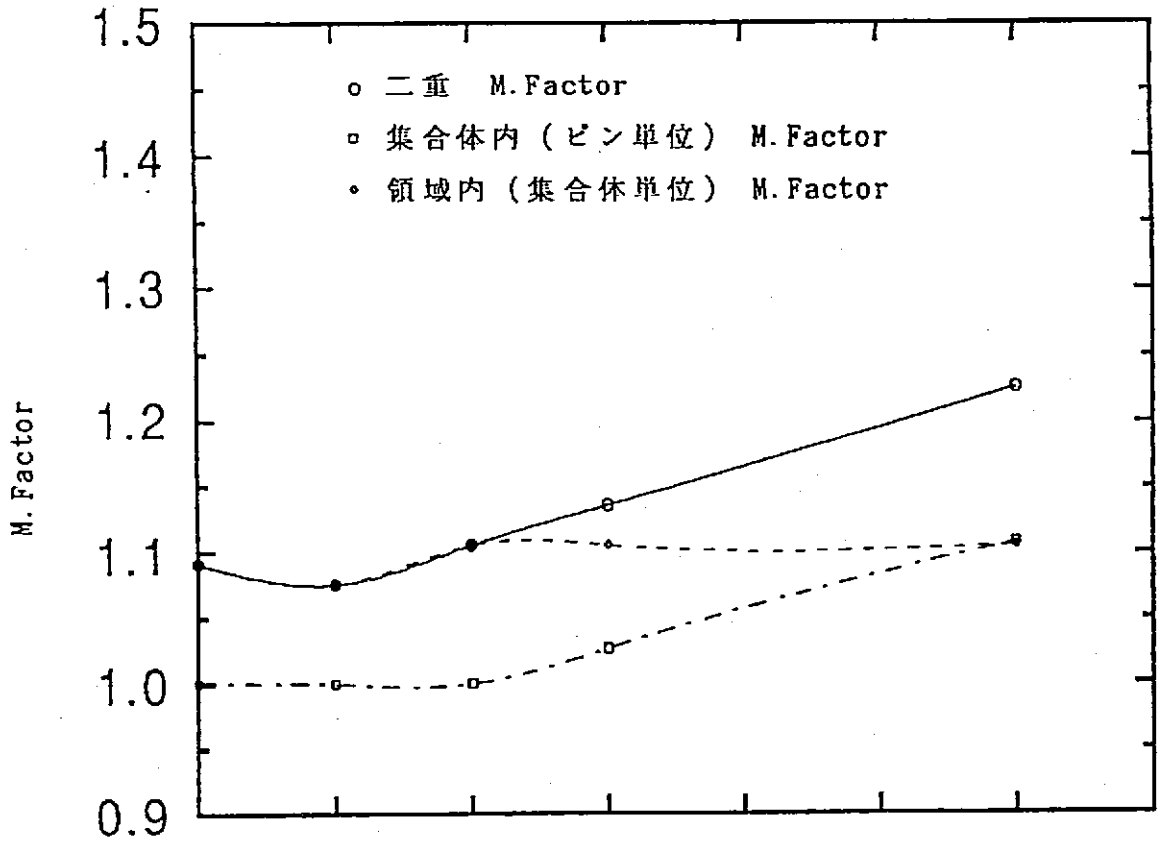
TRU混合割合 (%)	0	5	10	15	30
集合体内TRUピン割合	0	1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	0	1/1	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	0	5	5	5	5

図4.5-7 ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
BOEC，内側炉心・炉中心（R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7）



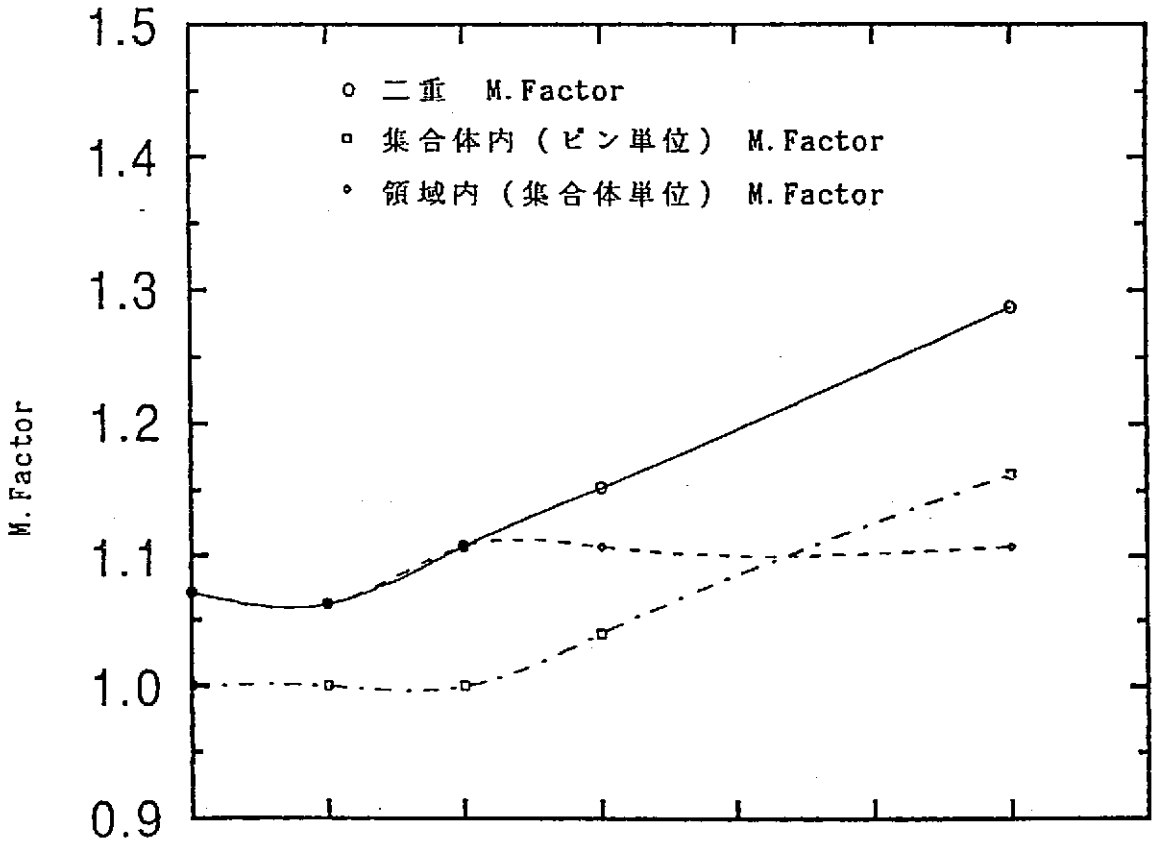
TRU混合割合 (%)	0	5	10	15	30
集合体内TRUピン割合	0	1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	0	1/1	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	0	5	5	5	5

図4.5-8　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
EOEC，内側炉心・炉中心（R-Reg. 1；Z-Reg. 7）



TRU混合割合 (%)	0	5	10	15	30
集合体内TRUピン割合	0	1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	0	1/1	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	0	5	5	5	5

図4.5-9 ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
BOEC，外側炉心・最内周（R-Reg. 12 ; Z-Reg. 7）



TRU混合割合 (%)	0	5	10	15	30
集合体内TRUピン割合	0	1/1	1/1	2/3	1/3
炉心内TRU集合体割合	0	1/1	1/2	1/2	1/2
全炉心TRU混合割合(%)	0	5	5	5	5

図4.5-10　ＴＲＵ装荷によるミスマッチファクターの変化
EOEC，外側炉心・最内周（R-Reg. 12 ; Z-Reg. 7）

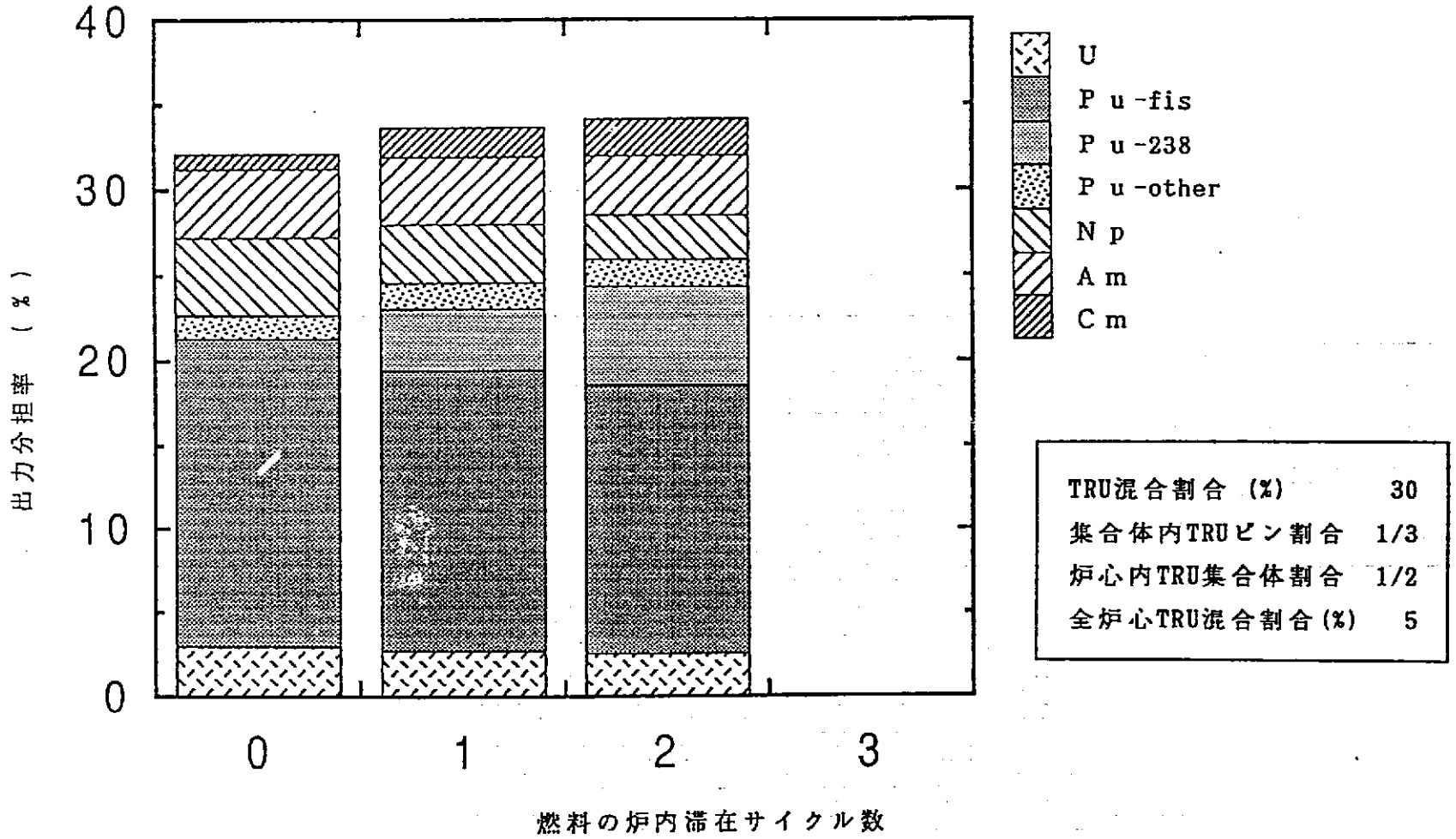


図4.5-11 ＴＲＵピン(TRU 30wt%)の燃焼に伴う出力分担率の変化 [BOEC]
内側炉心・炉中心 (R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7)

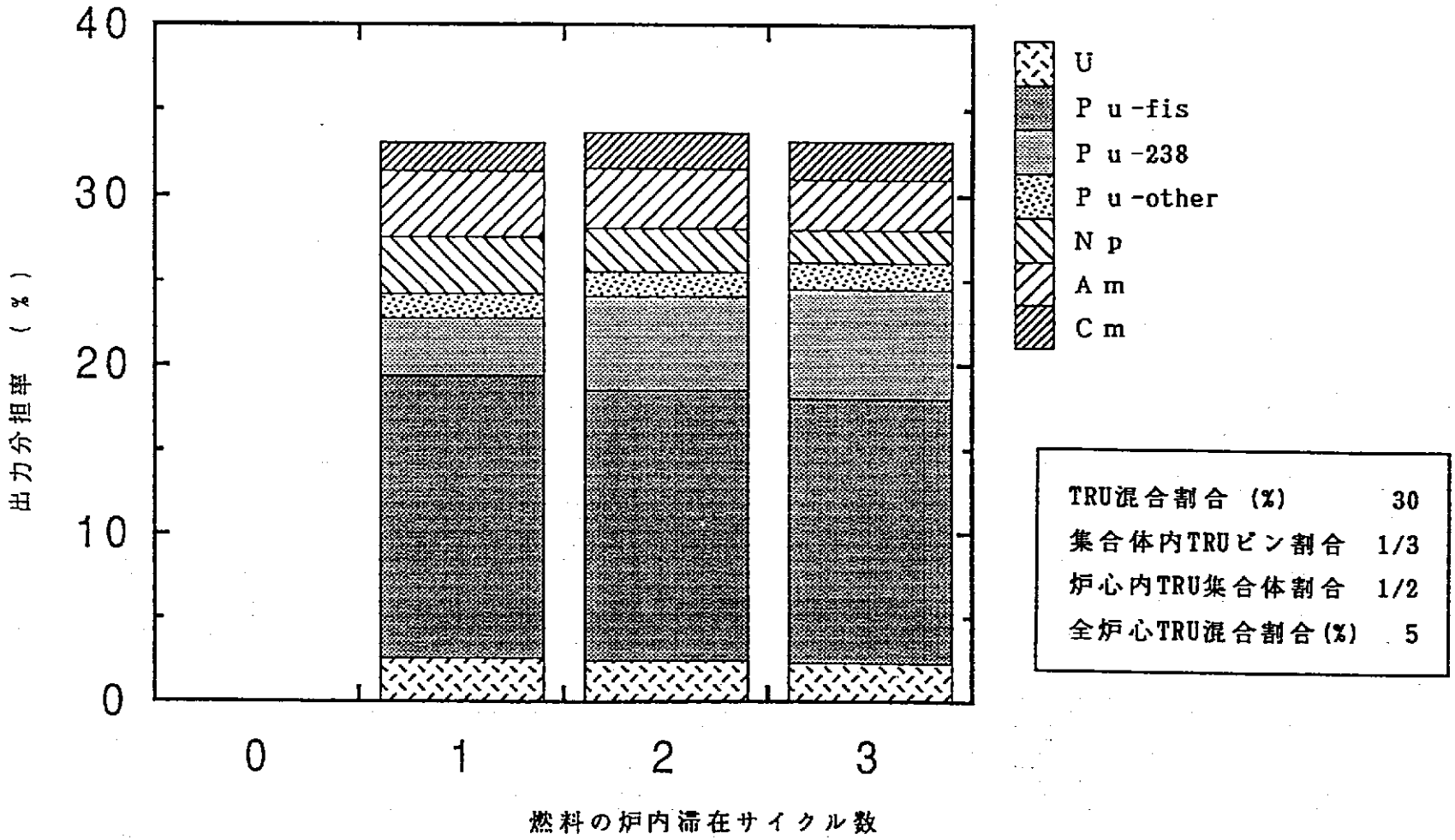


図4.5-12 ＴＲＵピン(TRU 30wt%)の燃焼に伴う出力分担率の変化 [EOEC]
内側炉心・炉中心 (R-Reg. 1 ; Z-Reg. 7)

4.6 ＴＲＵ装荷方式としての特徴

集合体内にＭＯＸ燃料ピンとＴＲＵ燃料ピンの配置する混合型集合体を、均一分散配置を想定して炉心燃焼計算を行い、均一混合方式による消滅率・炉心特性との比較により燃料ピン単位での装荷方式の特徴を摘出した。ＭＯＸ燃料炉心体系にＴＲＵ燃料ピン混合型集合体を本数で全炉心の１／３～１／２の割合いで装荷すると、炉心の特性等については次の結果が得られた。

(1) TRU燃料ピン不均一混合型集合体を装荷することによっても、全炉心燃料に一律にＴＲＵを装荷した均質装荷タイプと同等な消滅特性を持つ。

(2) TRU燃料ピンを装荷することによって１サイクル当りの燃焼反応度は小さくなる。増殖比などの全炉心特性にはＴＲＵの全炉心装荷とピン単位の混合型装荷では顕著な違いは生じない。

(3) この理由は、基本的には出力分布平坦化を指向し TRU燃料ピン混合型集合体を均一分散バッチによる燃料交換方式を採用していること等により、集合体内中性子束分布が平坦なことに関係している。

(4) 炉心設計に係わる最も大きな要因は、 TRU燃料ピンと MOX燃料ピンの線出力の照射による変化率の違いが大きいことである。 MOX燃料ピンは内外炉心もとに燃焼によりピン出力が減少するのに対して、 TRU燃料ピンはピン出力が減少しない。これはＭＡの混合率にも依存するがNp237 の照射によりPu238 が生成するなどのＭＡ消滅処理反応が顕著になり、局所的な出力変化が MOX燃料ピンと異なるためである。ＭＡの混在率が10% 以上のTRU燃料ピンに出力ピキングが発生し、 MOX燃料ピンに対するピーキング係数より大きくなる。このことはＭＡの炉内装荷方式に対する制約となる。

(5) 炉心をＭＯＸ燃料と同一の範囲で、ＭＯＸ燃料の仕様を変更しない場合でも TRU燃料ピンを含む混合型集合体を装荷しＭＡの消滅処理・有効利用を図るためには、出力ピーキング係数へのインパクトを緩和するために、混合型燃料集合体の装荷位置を限定することが有効である。例えば外側炉心の外周２層に集中して装荷することが炉心サイズの拡大を避ける方向である。いわゆる３領域炉心タイプとすることが考えられる。この場合は炉

心集合体数として約 1/3となり、ＭＡ混合率15% ～30% のピンを使用することにより、全炉心に一律5%のＭＡ混在率を持つ TRU燃料集合体装荷と同等のＭＡ装荷量を確保出来る。炉心の外側領域にＴＲＵを配置するので中性子束レベルが低下する。その結果、単位時間の消滅速度は低下するが、高速中性子フルエンスも低下するので炉内滞在時間を長期化するなどの工夫が考えられる。 MOX燃料との集合体出力ミスマッチを小さくするために、TRU燃料と MOX燃料 を同一の流量領域には配置しない等の工夫をすることによりＭＡ消滅量を増加させることが可能となる。

4.7 まとめと今後の課題

ＴＲＵの消滅処理と有効活用の方策のひとつとして、ＭＡの混在率を高めたＴＲＵ燃料をピン単位で装荷する方式の特徴と炉心設計への影響を検討した。その結果、

(1) ＭＡ混合率が10% 以上の TRU燃料ピンは照射に伴う出力変動が MOX燃料の場合と大きくことなることに起因して、出力ピーキング係数が増大する。

(2) MOX燃料炉心で最適化された炉心体系では、 TRU燃料ピンの装荷位置には制約がつく。均質炉心では外側炉心に配置するなどの工夫と流量領域との関係で TRU燃料ピン混合型燃料集合体を最適化することによりＭＡ消滅量の最大化をはかることになる。

(3) したがって、燃料製造・照射後の再処理では MOX燃料と TRU燃料を区別する等の長所短所、炉心プラント運用方法の変更等との関連でピン単位の装荷方式の利点が決められることになる。

(4) 炉心設計ではＴＲＵ燃料ピンの許容線出力の確定が最重要課題である。

5. おわりに

5.1 まとめと今後の検討課題

ＦＢＲシステムを利用してＵ及びＰｕ以外のマイナーアクチナイド（Np, Am, Cm；ＭＡ）を消滅処理をする上で、ＭＡの特性を最大限に活用して炉心特性の向上による経済性の向上を図りつつ、ＭＡ利用の柔軟性を把握することは燃料サイクル全体との関係を把握する上で重要である。本年度の検討では、積極的にＭＡを炉心に装荷する３つの炉心概念の検討を進めた。ここでは、全体としてのまとめと今後の課題の一部を具体的に示した。

(1) 燃料交換不要超長寿命型ＭＡ消滅処理炉心 ＴＲＵ－ＳＬＬＣ

1000MWe/300MWe級炉心を対象に、ＭＡ消滅処理能力と炉心特性をＭＯＸ－ＳＬＬＣとの比較を通して評価した。

(a) ＭＡを適切に混合するＴＲＵ燃料を使用するＴＲＵ－ＳＬＬＣでは、反応度寿命の長期化（炉心平均燃焼度の増大）と集合体出力分布の平坦化（出口温度向上による経済性を向上）と変動の抑制を両立できることが示された。これは、ＭＡの消滅処理と同時にプラント経済性の向上とが両立することを意味している。特に、従来の1300MWe級 の炉心サイズを有する低出力密度の300MWe級ＴＲＵ－ＳＬＬＣでは、ＭＡ混合燃料（ＭＡ平均混合率約20wt%） を利用することで30～40年炉心を達成できるポテンシャルが示された。参考までに炉心形状；過剰反応度について同一条件を課した場合、ＭＯＸ燃料のみで構成した低出力密度１バッチ炉心の反応度寿命は約８年であったことを付記しておく。

(b) ＳＬＬＣ炉心の特徴の一つである低線出力化のもとでは、混合するＭＡ成分の量・バラツキ等への対応に柔軟性があり、安全性の確保の観点からも好ましい点があると考えられる。これらの性質を有することから300MWe級ＴＲＵ－ＳＬＬＣ以上の出力規模で30年以上の反応度寿命、炉心平均燃焼度約20万MWd/t 程度が達成でき，大量のＭＡを消

減し、しかも核分裂性Ｐｕ（Pu239 ）の炉内インベントリー量は30～40年間にわたり減少させない" ACTIVE STORAGE" としての側面を兼ね備えていることが示された。

(c) 炉心平均取出し燃焼度の約20万MWd/t という高燃焼度化の達成と被覆管への高速中性子フルエンスへの要求条件は通常炉心の高燃焼度化への要求レベルと同等であることが確認された。

(2) 非均質炉心型ＭＡ消滅処理炉心

ＭＡ混合ＴＲＵ燃料で炉心を構成する均質型炉心の炉心特性から見た成立性の評価につづいて、ＭＡをブランケット燃料に混合させるＴＲＵ燃料を利用する非均質型ＭＡ消滅処理炉心のＭＡ消滅特性と炉心特性の関係を調べた。

非均質型ＭＡ消滅処理炉心では、ＴＲＵ内部ブランケットの配置方式として径方向・軸方向非均質炉心が代表的な配置として考えられる。ここでは、内部ブランケットの量を増大できることからＭＡの装荷量を大きくすることができと考えられる径方向非均質型炉心ＭＡ消滅処理炉心を検討対象とした。

(a) ＭＡ内部ブランケットの配置は、ＭＯＸ燃料炉心で、炉心特性の観点から最適化された体系の内部ブランケットを配置を利用でき、ブランケット燃料と置換えＭＡ消滅処理を図ることにより炉心特性燃焼反応度変化、出力分布等）は好ましい方向になる。

(b) ＭＡを混合したブランケット燃料を装荷することによるＭＡ消滅特性は次の様になった。1000MWe級 の径方向非均質炉心では、ＭＡ混合率30wt% のＴＲＵ内部ブランケット燃料を使用することによるＭＡ消滅量は約500kg/年間である。燃料にもＭＡを5wt%混合することによりＭＡ消滅量は約680/年間であった。1000MWe級 均質炉心で燃料にＭＡを5wt%一様に混合する場合はＭＡ消滅量は約200kg/年間であり、非均質型炉心では内部ブランケット部へのＭＡ混合率の調整によりＭＡ消

減能力が柔軟に変更出来ることを示している。

(c) ブランケット燃料へのＭＡ混合はＴＲＵ燃料開発の過程で、燃料へのＭＡ混合と同様にまたは先行して開発研究が実施されるものと予想され、ＭＡ消滅処理能力の早期実証のためのひとつのオプションであろう。ブランケット型ＴＲＵ燃料装荷は、炉特性へのインパクトが小さく出来るなどＭＡ混合の選択幅が大きいことが示された。

(3) 燃料ピン単位の装荷

ＭＯＸ燃料炉心の基本燃料仕様を変更せず、ＴＲＵ燃料ピン・集合体の製造容量を増大させない範囲で、発電・ＭＡ消滅処理を兼ねる炉心として、燃料ピン単位の装荷する炉心を調べた。ＭＯＸ燃料のＰｕ富化度は変更せず、取出し燃焼度を同一とする範囲で、ＴＲＵ燃料ピンを含む燃料のピーキング係数に着目した評価を行った。炉心へのＭＡ装荷を全集合体に一律均一混合する均質型ＴＲＵ燃料炉心のＭＡ消滅量と同等の消滅特性を得るためにはＭＡ混合率の高いピンを製造する必要がある。その結果として、燃焼特性にＭＯＸピンとの違いが大きくなり、ピーキング係数大きくなる。炉心サイズの増大を招かずに多くのＭＡを装荷するためには炉心をＭＯＸ／ＴＲＵ燃料領域と２領域化する等の配置の工夫が必要であることが示された。

(4) 今後の検討課題

ＴＲＵ消滅処理炉心に関する今後の検討項目は多いが、ここではその一部として本検討結果をもとに摘出させるものを記した。

(a) 反応度係数評価の詳細化

炉心概念によらずＭＡを燃料として利用することによる炉心安全特性への影響はドップラー係数、冷却材密度係数、ナトリウムボイド係数が従来のＭＯＸ炉心の特性から変化する。これらの特性値の変化量は混合させるＭＡ量に大きく依存するが、ＴＲＵ燃料利用炉心の安全

評価の進捗と合せて計算法の詳細化による評価をしておく必要がある。

ＭＡの主構成核種であるNp237及びAm241がU238よりも大きな中性子吸収断面積を持つこと、いずれもthreshold fission すること等と関連して、ＭＯＸ燃料についても指摘されている燃料ピン非均質効果を考慮し、ドップラー係数／ナトリウムボイド係数を調べ、影響の大きさを把握しておくことは意義がある。

(b) Ｐｕ組成比の影響評価

ＭＡ消滅処理・活用を図ることにより、Ｐｕ組成比が大きく変化する場合がある。特に、Pu238 はNp237 からの変換により大幅に増加する。この影響を調べることは、燃料サイクル全体としてＰｕ利用、ＭＡ消滅処理能力の評価にも関連すると考えられる。Np237 を消滅することにより、Pu238 等が大量に生成されるのでＰｕ利用の観点からＭＡ消滅処理による結果生ずるＰｕ組成比の各種炉心の特性に与える影響を検討する必要がある。

(c) 300MWeクラスＴＲＵ－ＳＬＬＣについて、３０～４０年間の運転でＭＡの消滅と同時に、プルトニウムを保存する”Active Storage”としてのポテンシャルがあることが摘出された。このポテンシャルを確認できたことにより、1300MWe クラスの通常ＦＢＲ炉心と同様のサイズで構成出来る300MWe級のTRU-SLLC炉心を炉心・安全の観点でフィジビリティーを評価することは次のステップとして重要と考えられる。ＭＡ消滅処理と資源有効利用・貯蔵の観点で今後の燃料サイクル全体の中での位置付けの評価データとして意義がある。

謝　辞

本報告書の作成にあたっては、株式会社東芝　川島正俊氏、森木保幸氏に多大な御協力を頂きました。ここに、厚く感謝の意を表します。

参考文献

1. 原、若林、高性能FBRの検討-TRU添加による高度化-、PNC SN9410 89-134、1989.

2. 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.

3. K.KUSTERS, A Review on Improvements of Evaluated Minor Transactinium Isotope Neutron Data, Their Qualification by Integral Experiments, and Remaining Data Requirements , Nucl., Technol., 71, p296, 1985.

4. M. KAWASHIMA, et al., Neutronic Feasibility of an LMFBR Super Long-Life Core (SLLC), Nucl., Engng., Design, 106, 1988.

5. 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.

6. T. NAKAGAWA, Summary of JENDL-2 General Purpose File, Japan Atomic Energy Research Institute report, JAERI-M 84-103 ,1984.

7. W.P.BARTHOLD, J.C.BEITEL, Physics Aspects in the Design of Heterogeneous Cores, CONF-780401, Advances in Reactor Physics, p423, 1978.

8. 青木他、非均質炉心の安全性に関する研究(I)、SJ201 79-25、東芝、1979.

9. A. G. CROFF, A User's Manual for the ORIGEN2 Computer Code, Oak Ridge National Laboratory report, ORNL/TM-7175, 1980.

A．1　均質炉心の基準仕様と炉心特性

A．1．1　基準炉心

均質炉心における基準炉心の炉心主要仕様及び炉心構成要素の主要仕様を表A．1－1及び表A．1－2に示す。また、均質炉心の炉心構成及び二次元RZ計算の体系図を図A．1－1及び図A．1－2に示す。さらに、構造材の組成データ及び密度データを表A．1－3及び表A．1－4に示す。

A．1．2　燃料の組織

ＴＲＵの組成としては、軽水炉取り出しの燃料から製造されたものを、ＴＲＵとして再装荷するまでの時間（冷却時間）を５年と仮定して使用した。ＴＲＵとして組成比を表A．1－5に示す。

ＴＲＵ装荷における特性解析では、ＴＲＵの装荷量に相当するUの量を減らす（ＴＲＵ燃料としてはUとＴＲＵの置換である）こととした。

Ｐｕ富化度は、前年度設定された値を使用した。

A．1．3　ＴＲＵ消滅処理特性

均質炉心の平衡サイクルにおける重金属燃料の装荷量と取り出し量を表A．1－6に示す。また、ＴＲＵ５ｗｔ％を炉心部に均一に装荷した均質炉心の平衡サイクルにおけるＴＲＵ燃料の消滅量及び消滅率をA．1－7に示す。

A．1．4　炉心特性

ＴＲＵ５ｗｔ％を均質炉心の炉心部に均一に装荷した場合の燃焼反応度減少量、増殖比、最大線出力、ナトリウムボイド反応度等の主要な炉心特性を表A．1－8に示す。

なお、同表には、ＴＲＵ５ｗｔ％を均質炉心の炉心部に均一に装荷した場合に、Ｐｕ富化度を基準炉心（ＴＲＵ燃料を装荷していない通常のＭＯＸ燃料炉心）と同一にした炉心の特性も示してある。このときのＰｕ富化度は。平衡サイクル末期で実効増倍率（ｋｅｆｆ）が1.002になるように設定した。

表A．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　（℃）	375	
原子炉出口温度　（℃）	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) ﾌﾞ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，Ｃ遮蔽体　（体）	270	（3層）
h) 合　計　（体）	799	

表A. 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	ギャップ	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，Ｃ遮蔽体	－	－	20.0	20.0	60.0	

表A．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	$PuO_2 \cdot UO_2$	$PuO_2 \cdot UO_2$
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）		$PuO_2/(PuO_2+UO_2)$
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化(w/o)	$Pu^{239}:Pu^{240}:Pu^{241}:Pu^{242}$	
初装荷炉心	58：24：14：4	
平衡炉心	58：24：14：4	
4) ウラン同位元素化(w/o)	$U^{235}:U^{238}$	
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A. 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	
b) プルトニウム富化度　(W/O)		$PuO_2/(PuO_2 \cdot UO_2)$
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)	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	
b) 外　径　(mm)	8.3	
c) 内　径　(mm)	7.4	
e) ペレット間ギャップ　(mm)	0.18	直径ギャップ
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A．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) ラッパー管		
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	
c) 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A. 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	
b) 燃料要素配列ピッチ　(mm)	14.46	p／d＝1.08
	正三角形配列	
c) 燃料要素数　(本)	127	
d) ラッパー管		
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，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，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，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，Cペレット密度　(%TD)	95	

表A. 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
（mm）	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A．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A．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	$\rho = 7.977 - 3.547 \times 10^{-4} \cdot T$ ここで　ρ　密度　（g／cm³） T　温度　（℃） 適用範囲　室温～ 850℃
フェライト／ マルテンサイト鋼	$\rho = 7.679 - 2.291 \times 10^{-4} \cdot T$ ここで　ρ　密度　（g／cm³） T　温度　（℃） 適用範囲　室温～ 850℃

表A.1-5　ＴＲＵ燃料の組成比

核種	組成比*1) （ wt% ）
Ｎｐ	49.138
^{237}Np	100.000
Ａｍ	45.563
^{241}Am	65.810
^{242m}Am	0.168
^{243}Am	34.022
Ｃｍ	5.299
^{242}Cm	0.017
^{243}Cm	0.955
^{244}Cm	94.157
^{245}Cm	4.871

*1)　ＬＷＲ取出
冷却時間は５年と仮定

表A.1-6　重金属燃料の装荷量と取出量（均質炉心：炉心部）
－ 平衡サイクル －

［ 単位 ：kg ］

	ＴＲＵ 0wt% 装荷	ＴＲＵ 5wt% 装荷*1)
重金属燃料の装荷量	11,710	11,740
U	9,680	9,150
Ｐｕ	2,030	2,000
ＴＲＵ	0	587
Ｎｐ		288.5
Ａｍ		267.6
Ｃｍ		31.1
重金属燃料の取出量	10,630	10,600
U	8,670	8,210
Ｐｕ	1,920	1,980
ＴＲＵ	45	410
Ｎｐ	4.0	162.2
Ａｍ	36.9	186.7
Ｃｍ	4.4	61.1

*1)　炉心部にＴＲＵを5wt%均一に装荷した炉心

表A.1-7　ＴＲＵ燃料の消滅量及び消滅率（均質炉心：炉心部）
－ 平衡サイクル －

	ＴＲＵ 5wt% 装荷*1)
消滅量	
ＴＲＵ　（kg）	177
Ｎｐ　（kg）	126
Ａｍ　（kg）	81
Ｃｍ　（kg）	- 30
消滅率	
ＴＲＵ　（％）	30
Ｎｐ　（％）	44
Ａｍ　（％）	30
Ｃｍ　（％）	- 96

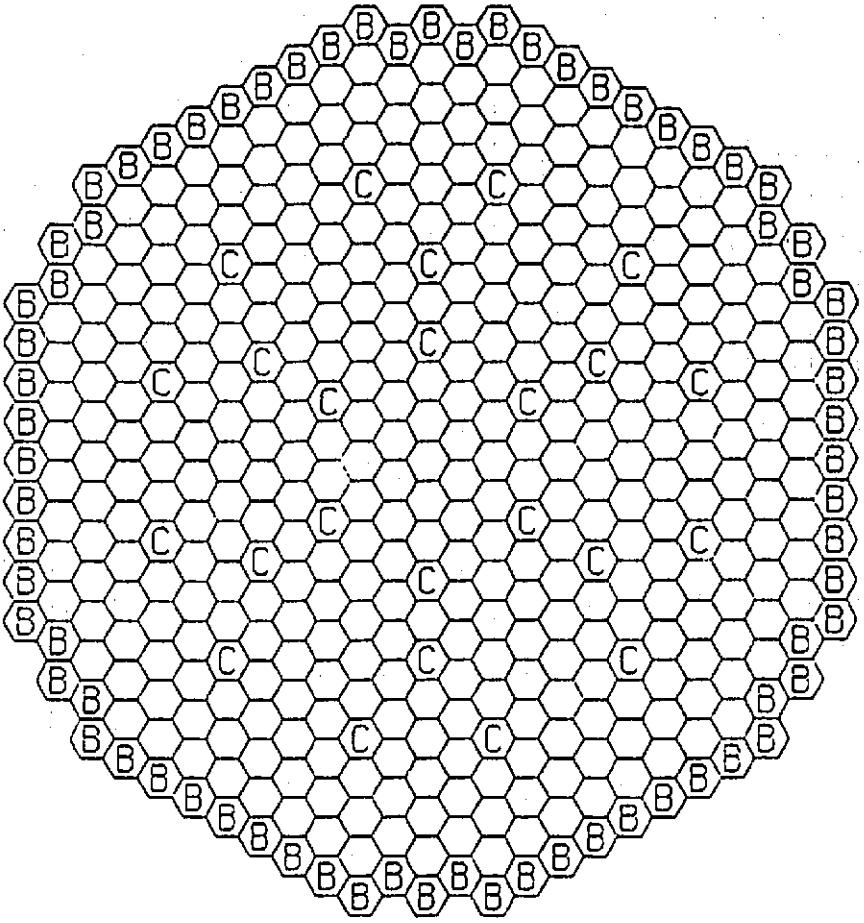
*1)　炉心部にＴＲＵを5wt%均一に装荷した炉心

表A.1-8　ＴＲＵ装荷による炉心特性（均質炉心）

ＴＲＵ装荷量*1) (wt%)	0	5	5*2)
Ｐｕ富化度（炉心平均） (wt%)	17.33	17.92	17.91
内側炉心 (wt%)	15.30	16.20	15.81
外側炉心 (wt%)	19.30	19.60	19.95
燃焼反応度減少量 (%Δρ)	3.62	2.04	2.03
増殖比（ＭＯＥＣ）			
炉　心	0.808	0.776	0.774
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	0.163	0.170	0.169
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ	0.124	0.120	0.128
合　計	1.095	1.066	1.072
出力分担率（ＢＯＥＣ）			
炉　心 (%)	94.77	94.92	94.69
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ (%)	2.81	2.88	2.83
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ (%)	2.42	2.20	2.48
炉心部出力密度（ＢＯＥＣ）			
平　均 (W/cc)	239.97	240.36	239.77
最　大			
内側炉心 (W/cc)	338.58	377.49	334.76
外側炉心 (W/cc)	411.22	388.07	407.51
出力分担率（ＥＯＥＣ）			
炉　心 (%)	92.80	93.04	92.85
軸ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ (%)	4.31	4.36	4.30
径ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ (%)	2.89	2.60	2.85
炉心部出力密度（ＥＯＥＣ）			
平　均 (W/cc)	234.98	235.60	235.11
最　大			
内側炉心 (W/cc)	370.16	403.96	378.64
外側炉心 (W/cc)	352.06	342.60	349.73
最大線出力			
ＢＯＥＣ			
内側炉心 (W/cm)	349.79	389.98	345.84
外側炉心 (W/cm)	424.83	400.92	420.99
ＥＯＥＣ			
内側炉心 (W/cm)	382.41	417.33	391.17
外側炉心 (W/cm)	363.71	353.94	361.30
炉心燃料部燃焼度			
取出平均 (MWd/t)	92,000	92,000	92,000
取出最大 (MWd/t)	137,000	146,000	144,000
ピークフルエンス（≧0.1MeV）			
炉　心 (nvt)	2.78E23	3.18E23	2.87E23
ナトリウムボイド反応度			
炉　心 (%Δk/kk')	2.018	2.408	2.396

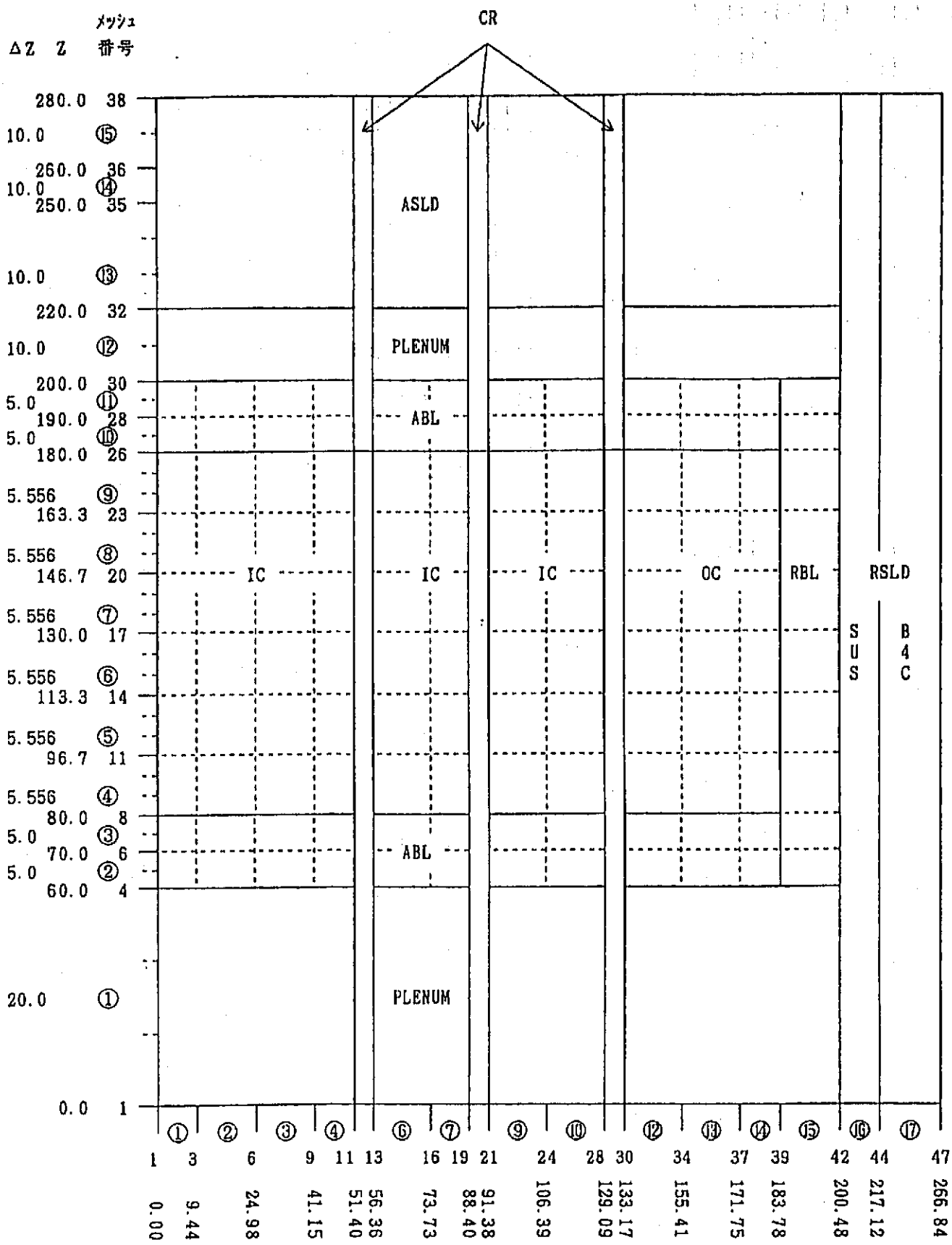
*1)　炉心部に均一に装荷

*2)　基準炉心(TRU 0 wt%)と同じＰｕ富化度比(IC/OC)とした場合の特性



⬡	炉心燃料集合体	355体
Ⓒ	制御棒	24体
Ⓑ	径ブランケット燃料集合体	72体

図A.1-1　均質炉心の炉心構成



図A.1-2 二次元RZ計算体系

A.2 基本用語の定義式

A.2.1 ＴＲＵ割合

$$TR = \frac{(TRU)O_2}{PuO_2 + UO_2 + (TRU)O_2}$$

TR	；	ＴＲＵ割合	(wt%)
(TRU)O2	；	酸化物ＴＲＵの重量	(kg)
PuO2	；	酸化物Ｐｕの重量	(kg)
UO2	；	酸化物Ｕの重量	(kg)

A.2.2 Ｐｕ富化度

$$PE = \frac{PuO_2}{PuO_2 + UO_2}$$

PE	；	Ｐｕ富化度	(wt%)
PuO_2	；	酸化物Ｐｕの重量	(kg)
UO_2	；	酸化物Ｕの重量	(kg)

A.2.3　増殖比

$$BR = \frac{^{928}C + ^{940}C}{^{949}A + ^{941}A + ^{941}D}$$

^{298}C　；　^{238}Uの中性子捕獲

^{940}C　；　^{240}Puの中性子捕獲

^{949}A　；　^{239}Puの中性子吸収（核分裂＋捕獲）

^{941}A　；　^{241}Puの中性子吸収（核分裂＋捕獲）

^{941}D　；　^{241}Puの崩壊

A.2.4　ＴＲＵ消滅量

$$TEW = ITW - OTW$$

TEW　；　ＴＲＵ消滅量　(kg)

BTW　；　ＴＲＵの１サイクル当たりの装荷重量　(kg)

ETW　；　ＴＲＵの１サイクル当たりの取出重量　(kg)

A.2.5　ＴＲＵ消滅率

$$TER = \frac{ITW - OTW}{ITW} \times 100$$

TER　；　ＴＲＵ消滅率　(%)

ITW　；　ＴＲＵの１サイクル当たりの装荷重量　(kg)

OTW　；　ＴＲＵの１サイクル当たりの取出重量　(kg)

A.2.6 年間のＴＲＵ消滅量

$$TEY = \frac{TEW \times 365}{EFPD}$$

TEY	：	年間のＴＲＵ消滅量	(kg/年)
TEW	：	サイクルのＴＲＵ消滅量	(kg/cy)
EFPD	：	燃焼期間［456日／cy］	

A.2.7 ミスマッチファクター

ミスマッチファクターは、領域の平均出力密度とその領域内の新旧燃料の平均出力密度の比である。

$$MF = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} r^i N^i \sigma_f^i \phi\right]_l}{\sum_{l=1}^{L}\left[\sum_{i=1}^{n} r^i N^i \sigma_f^i \phi\right]_l / L}$$

MF	：	ミスマッチファクター	
N	：	原子数密度	($\times 10^{24}$ n/cc)
σ_f	：	核分裂ミクロ断面積	($\times 10^{-24}$cm^2)
ϕ	：	領域平均中性子束	(n/cm^2 sec)
r	：	核分裂当たりの放出エネルギー	(MeV)
i	：	燃料核種	
l	：	新旧燃料（サブ領域）	
L	：	新旧燃料の数（サブ領域数）	

A.3　燃焼チェーン

本検討で使用した燃焼計算（群定数；JFS-3-J2セット）のための簡易化チェーンを図 A3.1-1 に示した。U235からCm245 までの主要核種変換チェーンである。以下に、燃焼チェーンの特徴を簡単にまとめる。

- 半減期が数日程度の短い崩壊過程は無視して、中性子捕獲反応等により直接次の核種に変換されるとする。ただし、Np239 のβ崩壊定数のみは考慮している。
- Np237 の生成反応ととして、U235-U236(n,γ) 反応の他に、U238の(n,2n)反応による寄与を考慮する。
- Am241 の中性子捕獲反応に伴う変換では、Am242mを考慮し、寿命が16時間と短いAm242gは無視し、Am241 の中性子捕獲反応に伴う直接の生成核種としてCm242,Pu242 を扱っている。Am242mが半減期152 年でAm242gへ変換する効果は無視している。Am241 の中性子捕獲反応によるAm242m,Am242g 生成の分岐比は0.20(ORIGEN-2 ライブラリーと同一）としているので、結果的に次の様にしている。

  Am241 の中性子捕獲反応に伴う変換で、20.0% がAm242mになり、
  66.2% がCm242 になり、
  13.8% がPu242 となる。

- α崩壊の半減期は、Pu238 が87.4y, Cm242が162.8d, Cm243 が28.5y, Cm244が18.1y とした。
- Ｎｐ，Ａｍ，Ｃｍ同位元素の核分裂生成物のlump化断面積はNp237 FPはU238 FP,その他はPu239 FP扱いとした。

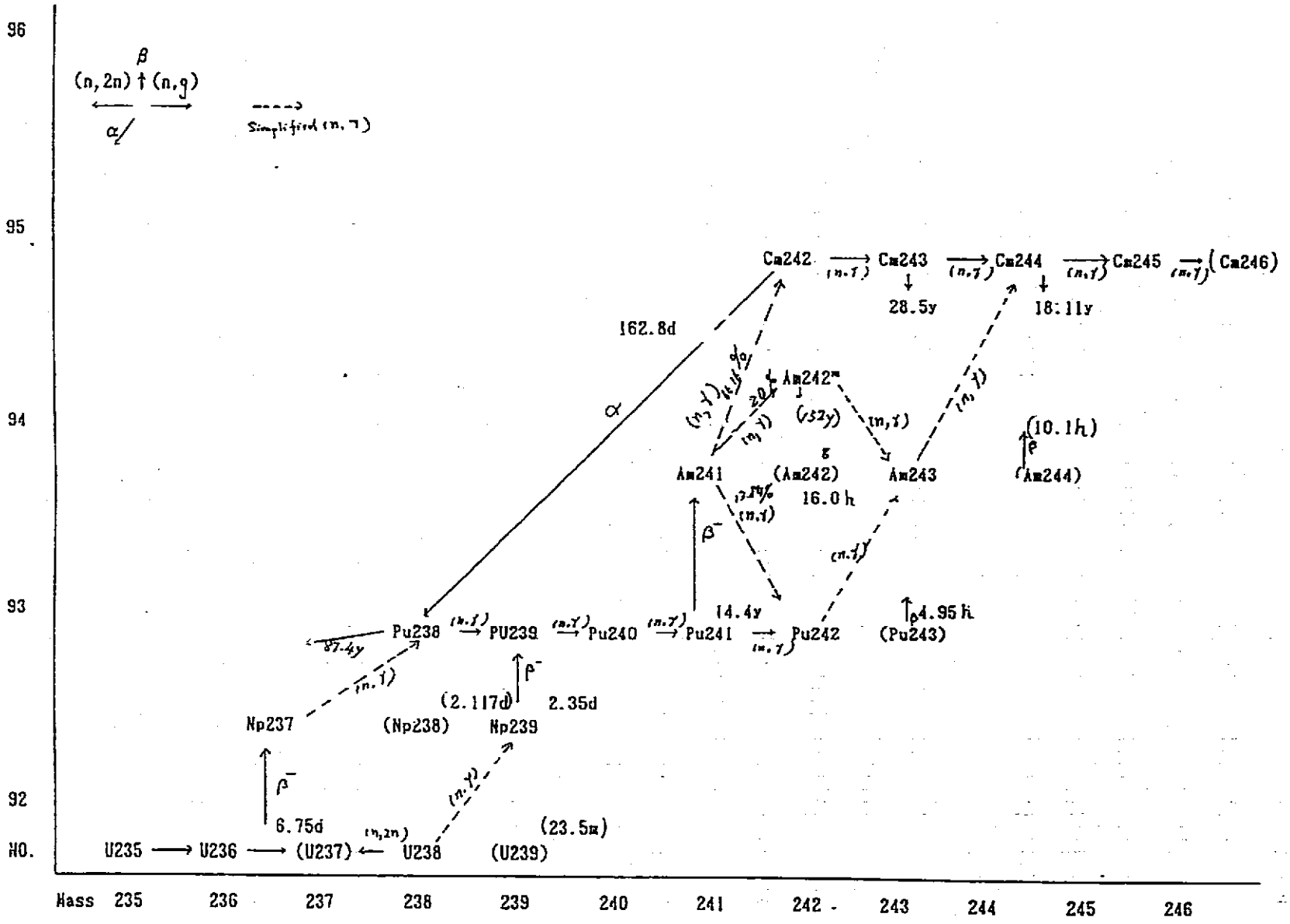


図 A3.1-1 燃焼計算のための簡易化チェーン

A.4 炉定数の群構造

群定数化したJFS-3-J2セットのエネルギー群構造及び核分裂スペクトルを表A.4-1 に示す。

表A.4-1 JFS-3-J2セットのエネルギー群構造及び核分裂スペクトル (1/2)

Group			Upper energy	Lower energy	Lethargy width	Fission Spectra*
1	1	1	10.0 (MeV)	7.7880 (MeV)	0.250	8.3498E-3
		2	7.7880	6.0653	0.250	2.2710E-2
	2	3	6.0653	4.7237	0.250	4.5869E-2
		4	4.7237	3.6788	0.250	7.3294E-2
	3	5	3.6788	2.8650	0.250	9.7428E-2
		6	2.8650	2.2313	0.250	1.1210E-1
	4	7	2.2313	1.7377	0.250	1.1520E-1
		8	1.7377	1.3534	0.250	1.0837E-1
2	5	9	1.3534	1.0540	0.250	9.5137E-2
		10	1.0540	0.82085	0.250	7.9137E-2
	6	11	0.82085	0.63928	0.250	6.3114E-2
		12	0.63928	0.49787	0.250	4.8710E-2
		13	0.49787	0.38774	0.250	3.6643E-2
3	7	14	0.38774	0.30197	0.250	2.7021E-2
		15	0.30197	0.23518	0.250	1.9618E-2
		16	0.23518	0.18316	0.250	1.4072E-2
	8	17	0.18316	0.14264	0.250	9.9987E-3
		18	0.14264	0.11109	0.250	7.0524E-3
		19	0.11109 (MeV)	0.086517(MeV)	0.250	4.9459E-3
4	9	20	86.517 (keV)	67.379 (keV)	0.250	3.4531E-3
		21	67.379	52.475	0.250	2.4025E-3
		22	52.475	40.868	0.250	1.6671E-3
	10	23	40.868	31.828	0.250	1.1543E-3
		24	31.828	24.788	0.250	7.9794E-4
		25	24.788	19.305	0.250	5.5089E-4
	11	26	19.305	15.034	0.250	3.7995E-4
		27	15.034	11.709	0.250	2.6185E-4
		28	11.709	9.1188	0.250	1.8035E-4
5	12	29	9.1188	7.1017	0.250	1.2416E-4
		30	7.1017	5.5308	0.250	8.5444E-5
		31	5.5308	4.3074	0.250	5.8784E-5
	13	32	4.3074	3.3546	0.250	4.0433E-5
		33	3.3546	2.6126	0.250	2.7806E-5
		34	2.6126	2.0347	0.250	1.9120E-5
	14	35	2.0347	1.5846	0.250	1.3146E-5
		36	1.5846	1.2341	0.250	9.0376E-6
		37	1.2341 (keV)	0.96112(keV)	0.250	5.3758E-6

* ^{239}Pu

表A.4-1 JFS-3-J2セットのエネルギー群構造及び核分裂スペクトル (2/2)

Group			Upper energy	Lower energy	Lethargy width	Fission spectra
6	15	38	961.12 (eV)	748.52 (eV)	0.250	0.0
		39	748.52	582.95	0.250	以下同
		40	582.95	454.00	0.250	
	16	41	454.00	353.58	0.250	
		42	353.58	275.36	0.250	
		43	275.36	214.45	0.250	
	17	44	214.45	167.02	0.250	
		45	167.02	130.07	0.250	
		46	130.07	101.30	0.250	
7	18	47	101.30	78.893	0.250	
		48	78.893	61.442	0.250	
		49	61.442	47.851	0.250	
	19	50	47.851	37.267	0.250	
		51	37.267	29.023	0.250	
		52	29.023	22.603	0.250	
	20	53	22.603	17.603	0.250	
		54	17.603	13.710	0.250	
		55	13.710	10.677	0.250	
	21	56	10.677	8.3153	0.250	
		57	8.3153	6.4760	0.250	
		58	6.4760	5.0435	0.250	
	22	59	5.0435	3.9279	0.250	
		60	3.9279	3.0590	0.250	
		61	3.0590	2.3824	0.250	
	23	62	2.3824	1.8554	0.250	
		63	1.8554	1.4450	0.250	
		64	1.4450	1.1254	0.250	
	24	65	1.1254	0.87642	0.250	
		66	0.87642	0.68256	0.250	
		67	0.68256	0.53158	0.250	
	25	68	0.53158	0.41399	0.250	
		69	0.41399	0.32242	0.250	
		70	0.32242 (eV)	10^{-5}	10.65	

A.5 径方向非均質炉心のインベントリー

径方向非均質炉心の基準炉心及びＴＲＵ装荷炉心における炉心及び内部ブランケットの燃料物質のインベントリーを表A.5-1 から表A.5-20に示す。

表A.5-1　径方向非均質炉心［ Reference ］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	74.66	0.300	0.000	62.02	0.256	0.000	50.97	0.216	0.000	11.05	13.84	0.181	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.74	0.011	0.000	5.03	0.021	0.000	-2.29	2.29	0.030	0.000
U-238	24816.49	99.700	0.000	24164.26	99.733	0.000	23531.79	99.763	0.000	632.47	7639.69	99.789	0.000
U-Total	24891.15	75.977	0.000	24229.02	76.301	0.000	23587.79	76.575	0.000	641.23	7655.82	76.793	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	3.54	100.000	5.316	6.72	63.169	5.478	-3.18	3.18	100.000	5.671
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.92	36.831	3.194	-3.92	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	3.54	0.011	5.316	10.64	0.035	8.673	-7.10	3.18	0.032	5.671
Pu-238	0.00	0.000	0.000	2.61	0.035	0.000	7.23	0.102	0.000	-4.62	4.62	0.205	0.000
Pu-239	4564.99	58.002	0.000	4299.03	57.638	0.000	4052.92	57.173	0.000	246.11	1279.47	56.675	0.000
Pu-240	1888.66	23.997	0.000	1918.55	25.722	0.000	1938.88	27.351	0.000	-20.33	649.88	28.787	0.000
Pu-241	1101.98	14.002	0.000	907.04	12.161	0.000	746.13	10.525	0.000	160.91	206.41	9.143	0.000
Pu-242	314.77	3.999	0.000	331.49	4.444	0.000	343.75	4.849	0.000	-12.26	117.18	5.191	0.000
Pu-Fiss	5666.97	72.004	0.000	5206.08	69.798	0.000	4799.05	67.698	0.000	407.03	1485.88	65.818	0.000
Pu-Total	7870.40	24.023	0.000	7458.73	23.489	0.000	7088.91	23.013	0.000	369.82	2257.57	22.645	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	48.11	79.973	72.222	85.82	78.392	69.932	-37.71	37.71	76.463	67.213
Am-242m	0.00	0.000	0.000	1.08	1.799	1.625	2.54	2.319	2.069	-1.46	1.46	2.953	2.596
Am-243	0.00	0.000	0.000	10.97	18.227	16.461	21.12	19.289	17.207	-10.15	10.15	20.584	18.094
Am-Total	0.00	0.000	0.000	60.16	0.189	90.307	109.48	0.355	89.208	-49.31	49.31	0.495	87.903
Cm-242	0.00	0.000	0.000	1.70	58.244	2.549	3.28	50.345	2.675	-1.58	1.58	43.957	2.824
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.05	1.696	0.074	0.13	2.037	0.108	-0.08	0.08	2.313	0.149
Cm-244	0.00	0.000	0.000	1.14	39.002	1.707	2.99	45.902	2.439	-1.86	1.86	51.482	3.308
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.03	1.050	0.046	0.11	1.698	0.090	-0.08	0.08	2.222	0.143
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.008	0.000	0.00	0.017	0.001	0.00	0.00	0.025	0.002
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	2.92	0.009	4.377	6.52	0.021	5.313	-3.60	3.60	0.036	6.425
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	66.62	0.210	100.000	122.72	0.398	100.000	-56.10	56.10	0.563	100.000
Metal-Total	32761.55	100.000	0.000	31754.36	100.000	0.000	30803.34	100.000	0.000	951.02	9969.49	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-2　径方向非均質炉心［ Reference ］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	81.92	0.300	0.000	69.98	0.262	0.000	59.25	0.226	0.000	10.73	16.57	0.194	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.82	0.011	0.000	5.25	0.020	0.000	-2.42	2.42	0.028	0.000
U-238	27231.73	99.700	0.000	26686.22	99.728	0.000	26136.77	99.754	0.000	549.46	8527.79	99.778	0.000
U-Total	27313.65	100.000	0.000	26759.03	98.356	0.000	26201.26	96.819	0.000	557.76	8546.79	95.383	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	1.71	100.000	99.146	3.42	47.474	97.844	-1.71	1.71	100.000	96.575
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.78	52.526	108.256	-3.78	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	1.71	0.006	99.146	7.20	0.027	206.100	-5.49	1.71	0.019	96.575
Pu-238	0.00	0.000	0.000	0.20	0.045	0.000	0.53	0.062	0.000	-0.33	0.33	0.081	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	427.52	95.982	0.000	806.22	94.453	0.000	-378.70	382.48	92.850	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	17.18	3.857	0.000	44.96	5.268	0.000	-27.78	27.78	6.745	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.51	0.113	0.000	1.79	0.210	0.000	-1.29	1.29	0.313	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	0.01	0.003	0.000	0.06	0.007	0.000	-0.05	0.05	0.012	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	428.03	96.095	0.000	808.01	94.663	0.000	-379.98	383.76	93.163	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	445.42	1.637	0.000	853.57	3.154	0.000	-408.15	411.93	4.597	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	0.01	97.138	0.806	0.07	95.836	1.993	-0.06	0.06	95.517	3.149
Am-242m	0.00	0.000	0.000	0.00	1.296	0.011	0.00	1.824	0.038	0.00	0.00	1.954	0.064
Am-243	0.00	0.000	0.000	0.00	1.567	0.013	0.00	2.339	0.049	0.00	0.00	2.529	0.083
Am-Total	0.00	0.000	0.000	0.01	0.000	0.830	0.07	0.000	2.079	-0.06	0.06	0.001	3.297
Cm-242	0.00	0.000	0.000	0.00	95.161	0.023	0.00	92.228	0.071	0.00	0.00	91.689	0.117
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.00	1.824	0.000	0.00	2.529	0.002	0.00	0.00	2.659	0.003
Cm-244	0.00	0.000	0.000	0.00	2.964	0.001	0.00	5.117	0.004	0.00	0.00	5.512	0.007
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.00	0.051	0.000	0.00	0.125	0.000	0.00	0.00	0.139	0.000
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.001	0.000	0.00	0.001	0.000	0.00	0.00	0.001	0.000
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.024	0.00	0.000	0.077	0.00	0.00	0.000	0.128
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	1.72	0.006	100.000	3.49	0.013	100.000	-1.77	1.77	0.020	100.000
Metal-Total	27313.65	100.000	0.000	27206.17	100.000	0.000	27062.10	100.000	0.000	144.07	8960.48	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-3　径方向非均質炉心［TRU:core 0wt% ibl 5wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	74.43	0.300	0.000	61.98	0.257	0.000	51.09	0.217	0.000	10.89	13.92	0.182	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.68	0.011	0.000	4.92	0.021	0.000	-2.24	2.24	0.029	0.000
U-238	24729.52	99.700	0.000	24089.15	99.732	0.000	23464.59	99.762	0.000	624.56	7618.61	99.788	0.000
U-Total	24803.95	75.706	0.000	24153.81	76.061	0.000	23520.60	76.365	0.000	633.21	7634.77	76.611	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	3.58	100.000	5.322	6.79	63.828	5.486	-3.21	3.21	100.000	5.682
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.85	36.172	3.109	-3.85	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	3.58	0.011	5.322	10.63	0.035	8.596	-7.06	3.21	0.032	5.682
Pu-238	0.00	0.000	0.000	2.60	0.034	0.000	7.20	0.101	0.000	-4.60	4.60	0.202	0.000
Pu-239	4616.59	58.001	0.000	4342.70	57.635	0.000	4088.64	57.167	0.000	254.05	1288.66	56.662	0.000
Pu-240	1910.18	23.999	0.000	1936.49	25.701	0.000	1954.03	27.321	0.000	-17.54	654.27	28.768	0.000
Pu-241	1114.39	14.001	0.000	918.25	12.187	0.000	755.34	10.561	0.000	162.92	208.55	9.170	0.000
Pu-242	318.34	4.000	0.000	334.74	4.443	0.000	346.84	4.850	0.000	-12.10	118.21	5.198	0.000
Pu-Fiss	5730.99	72.002	0.000	5260.95	69.822	0.000	4843.98	67.729	0.000	416.97	1497.21	65.832	0.000
Pu-Total	7959.51	24.294	0.000	7534.78	23.727	0.000	7152.05	23.221	0.000	382.73	2274.29	22.821	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	48.83	80.397	72.689	87.10	78.818	70.420	-38.27	38.27	76.891	67.722
Am-242m	0.00	0.000	0.000	1.08	1.775	1.605	2.54	2.296	2.052	-1.46	1.46	2.932	2.582
Am-243	0.00	0.000	0.000	10.83	17.828	16.119	20.87	18.886	16.874	-10.04	10.04	20.177	17.771
Am-Total	0.00	0.000	0.000	60.74	0.191	90.413	110.51	0.359	89.345	-49.77	49.77	0.499	88.076
Cm-242	0.00	0.000	0.000	1.69	58.979	2.515	3.28	51.246	2.648	-1.59	1.59	44.965	2.807
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.05	1.674	0.071	0.13	2.017	0.104	-0.08	0.08	2.296	0.143
Cm-244	0.00	0.000	0.000	1.10	38.334	1.635	2.88	45.102	2.331	-1.78	1.78	50.599	3.159
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.03	1.006	0.043	0.10	1.619	0.084	-0.07	0.07	2.117	0.132
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.007	0.000	0.00	0.016	0.001	0.00	0.00	0.023	0.001
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	2.87	0.009	4.265	6.39	0.021	5.168	-3.53	3.53	0.035	6.243
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	67.18	0.212	100.000	123.69	0.402	100.000	-56.51	56.51	0.567	100.000
Metal-Total	32763.46	100.000	0.000	31755.77	100.000	0.000	30800.19	100.000	0.000	955.58	9965.57	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-4　径方向非均質炉心［TRU;core 0wt% ibl 5wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	78.02	0.300	0.000	67.80	0.266	0.000	58.35	0.233	0.000	9.45	16.56	0.203	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.37	0.009	0.000	4.47	0.018	0.000	-2.10	2.10	0.026	0.000
U-238	25927.26	99.700	0.000	25452.91	99.725	0.000	24966.70	99.749	0.000	486.21	8156.21	99.772	0.000
U-Total	26005.28	94.996	0.000	25523.08	93.650	0.000	25029.52	92.384	0.000	493.55	8174.87	91.194	0.000
Np-237	673.10	100.000	49.141	603.83	100.000	47.884	538.88	99.386	46.726	64.95	159.42	100.000	45.702
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.33	0.614	0.289	-3.33	0.00	0.000	0.000
Np-Total	673.10	2.459	49.141	603.83	2.216	47.884	542.21	2.001	47.015	61.62	159.42	1.778	45.702
Pu-238	0.00	0.000	0.000	74.24	15.813	0.000	140.60	15.507	0.000	-66.37	66.37	15.063	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	376.47	80.194	0.000	720.08	79.415	0.000	-343.60	346.94	78.739	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	12.71	2.707	0.000	34.01	3.750	0.000	-21.30	21.30	4.834	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.32	0.069	0.000	1.18	0.130	0.000	-0.86	0.86	0.194	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	5.71	1.217	0.000	10.86	1.198	0.000	-5.15	5.15	1.170	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	376.79	80.263	0.000	721.26	79.545	0.000	-344.46	347.79	78.934	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	469.45	1.723	0.000	906.73	3.347	0.000	-437.28	440.61	4.915	0.000
Am-241	410.69	65.808	29.983	363.34	64.568	28.813	319.03	63.275	27.663	44.31	92.59	61.933	26.542
Am-242m	1.05	0.168	0.076	7.83	1.391	0.621	13.10	2.599	1.136	-5.27	5.62	3.761	1.612
Am-243	212.34	34.025	15.502	191.55	34.041	15.191	172.06	34.126	14.920	19.49	51.29	34.306	14.702
Am-Total	624.08	2.280	45.561	562.72	2.065	44.625	504.19	1.861	43.719	58.53	149.49	1.668	42.857
Cm-242	0.01	0.017	0.001	8.37	8.863	0.664	12.47	11.319	1.081	-4.10	4.10	10.283	1.177
Cm-243	0.69	0.955	0.051	0.91	0.959	0.072	1.12	1.015	0.097	-0.21	0.44	1.112	0.127
Cm-244	68.33	94.157	4.988	79.60	84.257	6.312	88.92	80.695	7.710	-9.32	32.10	80.423	9.202
Cm-245	3.54	4.871	0.258	5.54	5.863	0.439	7.56	6.862	0.656	-2.02	3.20	8.020	0.918
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.06	0.059	0.004	0.12	0.109	0.010	-0.06	0.06	0.162	0.019
Cm-Total	72.57	0.265	5.298	94.47	0.347	7.491	110.19	0.407	9.555	-15.72	39.91	0.445	11.442
TRU-Total	1369.75	5.004	100.000	1261.02	4.627	100.000	1153.26	4.257	100.000	107.76	348.82	3.891	100.000
Metal-Total	27375.04	100.000	0.000	27253.54	100.000	0.000	27092.84	100.000	0.000	160.70	8964.31	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-5　径方向非均質炉心 [TRU:core 0wt% ibl 15wt%] のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	74.31	0.300	0.000	62.06	0.257	0.000	51.36	0.219	0.000	10.69	14.08	0.184	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.61	0.011	0.000	4.81	0.020	0.000	-2.20	2.20	0.029	0.000
U-238	24690.00	99.700	0.000	24061.48	99.732	0.000	23448.78	99.761	0.000	612.70	7617.30	99.787	0.000
U-Total	24764.31	75.571	0.000	24126.14	75.963	0.000	23504.94	76.294	0.000	621.20	7633.57	76.555	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	3.63	100.000	5.391	6.88	64.720	5.554	-3.26	3.26	100.000	5.748
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.75	35.280	3.028	-3.75	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	3.63	0.011	5.391	10.64	0.035	8.582	-7.01	3.26	0.033	5.748
Pu-238	0.00	0.000	0.000	2.56	0.034	0.000	7.10	0.099	0.000	-4.54	4.54	0.199	0.000
Pu-239	4644.38	58.016	0.000	4362.54	57.652	0.000	4104.52	57.199	0.000	258.02	1293.86	56.722	0.000
Pu-240	1920.55	23.991	0.000	1942.07	25.665	0.000	1956.02	27.258	0.000	-13.95	654.13	28.677	0.000
Pu-241	1120.40	13.996	0.000	923.86	12.209	0.000	760.54	10.599	0.000	163.32	210.15	9.213	0.000
Pu-242	320.07	3.998	0.000	335.95	4.440	0.000	347.65	4.845	0.000	-11.70	118.39	5.190	0.000
Pu-Fiss	5764.78	72.011	0.000	5286.40	69.861	0.000	4865.06	67.798	0.000	421.34	1504.01	65.934	0.000
Pu-Total	8005.40	24.429	0.000	7566.98	23.825	0.000	7175.83	23.292	0.000	391.15	2281.07	22.876	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	49.28	80.923	73.216	88.02	79.382	71.013	-38.75	38.75	77.506	68.397
Am-242m	0.00	0.000	0.000	1.06	1.744	1.578	2.51	2.262	2.023	-1.45	1.45	2.892	2.552
Am-243	0.00	0.000	0.000	10.55	17.333	15.683	20.35	18.356	16.421	-9.80	9.80	19.602	17.298
Am-Total	0.00	0.000	0.000	60.89	0.192	90.476	110.88	0.360	89.458	-49.99	49.99	0.501	88.247
Cm-242	0.00	0.000	0.000	1.66	59.756	2.470	3.23	52.234	2.606	-1.57	1.57	46.084	2.767
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.05	1.650	0.068	0.12	1.992	0.099	-0.08	0.08	2.272	0.136
Cm-244	0.00	0.000	0.000	1.05	37.622	1.555	2.73	44.218	2.206	-1.69	1.69	49.611	2.979
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.03	0.965	0.040	0.10	1.541	0.077	-0.07	0.07	2.011	0.121
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.007	0.000	0.00	0.015	0.001	0.00	0.00	0.022	0.001
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	2.78	0.009	4.133	6.18	0.020	4.988	-3.40	3.40	0.034	6.005
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	67.30	0.212	100.000	123.95	0.402	100.000	-56.65	56.65	0.568	100.000
Metal-Total	32769.70	100.000	0.000	31760.42	100.000	0.000	30808.48	100.000	0.000	951.95	9971.29	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-6　径方向非均質炉心［TRU;core 0wt% ibl 15wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	70.10	0.300	0.000	62.10	0.270	0.000	54.49	0.241	0.000	7.61	15.76	0.213	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.80	0.008	0.000	3.46	0.015	0.000	-1.66	1.66	0.022	0.000
U-238	23298.56	99.700	0.000	22919.08	99.722	0.000	22527.74	99.743	0.000	391.34	7374.85	99.764	0.000
U-Total	23368.66	84.991	0.000	22982.98	84.072	0.000	22585.69	83.214	0.000	397.29	7392.26	82.414	0.000
Np-237	2027.97	100.000	49.141	1846.51	100.000	48.106	1670.56	99.840	47.119	175.95	500.04	100.000	46.187
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.68	0.160	0.076	-2.68	0.00	0.000	0.000
Np-Total	2027.97	7.376	49.141	1846.51	6.755	48.106	1673.24	6.165	47.194	173.27	500.04	5.575	46.187
Pu-238	0.00	0.000	0.000	189.15	36.661	0.000	364.38	36.147	0.000	-175.23	175.23	35.416	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	303.75	58.874	0.000	592.26	58.753	0.000	-288.51	291.19	58.851	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	8.11	1.572	0.000	22.30	2.212	0.000	-14.19	14.19	2.868	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.17	0.033	0.000	0.64	0.064	0.000	-0.47	0.47	0.096	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	14.76	2.861	0.000	28.46	2.823	0.000	-13.70	13.70	2.769	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	303.92	58.907	0.000	592.90	58.817	0.000	-288.98	291.66	58.947	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	515.93	1.887	0.000	1008.04	3.714	0.000	-492.11	494.79	5.516	0.000
Am-241	1237.28	65.807	29.981	1112.79	64.717	28.991	993.11	63.567	28.011	119.69	292.74	62.344	27.040
Am-242m	3.15	0.168	0.076	21.03	1.223	0.548	35.61	2.280	1.004	-14.59	15.64	3.330	1.444
Am-243	639.73	34.025	15.502	585.64	34.060	15.257	533.58	34.153	15.050	52.07	161.18	34.325	14.887
Am-Total	1880.16	6.838	45.559	1719.46	6.290	44.796	1562.30	5.756	44.065	157.16	469.56	5.235	43.371
Cm-242	0.04	0.017	0.001	21.74	7.981	0.566	33.31	10.655	0.939	-11.56	11.58	10.241	1.069
Cm-243	2.09	0.955	0.051	2.47	0.907	0.064	2.90	0.926	0.082	-0.43	1.12	0.992	0.104
Cm-244	205.92	94.157	4.990	232.79	85.452	6.065	256.01	81.907	7.221	-23.22	91.86	81.264	8.485
Cm-245	10.65	4.871	0.258	15.29	5.614	0.398	20.07	6.422	0.566	-4.78	8.33	7.371	0.770
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.13	0.047	0.003	0.28	0.089	0.008	-0.15	0.15	0.132	0.014
Cm-Total	218.70	0.795	5.299	272.42	0.997	7.097	312.57	1.152	8.816	-40.14	113.04	1.260	10.441
TRU-Total	4126.83	15.009	100.000	3838.39	14.041	100.000	3545.42	13.063	100.000	292.97	1082.64	12.070	100.000
Metal-Total	27495.49	100.000	0.000	27337.31	100.000	0.000	27141.83	100.000	0.000	195.48	8969.68	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-7　径方向非均質炉心［TRU;core 0wt% ibl 25wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	74.63	0.300	0.000	62.41	0.257	0.000	51.75	0.219	0.000	10.66	14.22	0.185	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.59	0.011	0.000	4.77	0.020	0.000	-2.18	2.18	0.028	0.000
U-238	24800.68	99.700	0.000	24172.16	99.732	0.000	23559.46	99.761	0.000	612.70	7654.19	99.786	0.000
U-Total	24875.30	75.921	0.000	24237.16	76.298	0.000	23615.98	76.623	0.000	621.18	7670.59	76.892	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	3.69	100.000	5.563	6.99	65.255	5.727	-3.30	3.30	100.000	5.923
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.72	34.745	3.050	-3.72	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	3.69	0.012	5.563	10.71	0.035	8.777	-7.03	3.30	0.033	5.923
Pu-238	0.00	0.000	0.000	2.51	0.034	0.000	6.96	0.098	0.000	-4.45	4.45	0.198	0.000
Pu-239	4576.90	58.013	0.000	4306.97	57.710	0.000	4056.89	57.308	0.000	250.08	1279.27	56.870	0.000
Pu-240	1892.64	23.990	0.000	1912.18	25.622	0.000	1923.74	27.175	0.000	-11.56	642.44	28.560	0.000
Pu-241	1104.39	13.998	0.000	910.65	12.202	0.000	749.33	10.585	0.000	161.31	206.81	9.194	0.000
Pu-242	315.45	3.998	0.000	330.80	4.433	0.000	342.14	4.833	0.000	-11.33	116.48	5.178	0.000
Pu-Fiss	5681.28	72.012	0.000	5217.62	69.912	0.000	4806.22	67.894	0.000	411.40	1486.09	66.064	0.000
Pu-Total	7889.38	24.079	0.000	7463.10	23.494	0.000	7079.05	22.968	0.000	384.05	2249.46	22.549	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	48.59	81.136	73.320	86.86	79.624	71.163	-38.27	38.27	77.784	68.601
Am-242m	0.00	0.000	0.000	1.04	1.733	1.566	2.45	2.246	2.008	-1.41	1.41	2.871	2.532
Am-243	0.00	0.000	0.000	10.26	17.130	15.480	19.78	18.129	16.203	-9.52	9.52	19.345	17.061
Am-Total	0.00	0.000	0.000	59.89	0.189	90.367	109.09	0.354	89.374	-49.20	49.20	0.493	88.194
Cm-242	0.00	0.000	0.000	1.62	60.160	2.449	3.15	52.660	2.580	-1.53	1.53	46.494	2.735
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.04	1.638	0.067	0.12	1.983	0.097	-0.07	0.07	2.267	0.133
Cm-244	0.00	0.000	0.000	1.01	37.254	1.516	2.62	43.838	2.148	-1.62	1.62	49.250	2.897
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.03	0.942	0.038	0.09	1.505	0.074	-0.06	0.06	1.968	0.116
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.007	0.000	0.00	0.015	0.001	0.00	0.00	0.021	0.001
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	2.70	0.008	4.071	5.98	0.019	4.899	-3.28	3.28	0.033	5.883
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	66.28	0.209	100.000	122.06	0.396	100.000	-55.78	55.78	0.559	100.000
Metal-Total	32764.68	100.000	0.000	31766.54	100.000	0.000	30820.82	100.000	0.000	945.72	9975.83	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-8　径方向非均質炉心［TRU;core 0wt% ibl 25wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	62.14	0.300	0.000	55.46	0.272	0.000	49.06	0.245	0.000	6.40	14.31	0.218	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.46	0.007	0.000	2.82	0.014	0.000	-1.36	1.36	0.021	0.000
U-238	20646.15	99.700	0.000	20325.96	99.721	0.000	19989.96	99.741	0.000	336.00	6546.05	99.761	0.000
U-Total	20708.28	74.985	0.000	20382.88	74.366	0.000	20041.85	73.804	0.000	341.04	6561.73	73.298	0.000
Np-237	3394.65	100.000	49.139	3112.02	100.000	48.226	2833.73	99.921	47.346	278.29	853.25	100.000	46.502
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.24	0.079	0.037	-2.24	0.00	0.000	0.000
Np-Total	3394.65	12.292	49.139	3112.02	11.354	48.226	2835.97	10.443	47.383	276.06	853.25	9.531	46.502
Pu-238	0.00	0.000	0.000	287.97	50.247	0.000	558.94	49.624	0.000	-270.97	270.97	48.781	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	256.31	44.723	0.000	506.12	44.934	0.000	-249.80	252.04	45.373	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	5.95	1.038	0.000	16.65	1.478	0.000	-10.70	10.70	1.927	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.11	0.019	0.000	0.43	0.038	0.000	-0.32	0.32	0.058	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	22.77	3.972	0.000	44.21	3.925	0.000	-21.45	21.45	3.861	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	256.43	44.743	0.000	506.55	44.973	0.000	-250.13	252.36	45.431	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	573.11	2.091	0.000	1126.36	4.148	0.000	-553.25	555.49	6.205	0.000
Am-241	2071.47	65.813	29.986	1875.33	64.773	29.061	1684.40	63.679	28.143	190.94	499.56	62.517	27.225
Am-242m	5.28	0.168	0.076	33.06	1.142	0.512	56.23	2.126	0.940	-23.17	24.93	3.120	1.359
Am-243	1070.79	34.020	15.500	986.83	34.085	15.293	904.50	34.195	15.112	82.34	274.59	34.364	14.965
Am-Total	3147.54	11.397	45.562	2895.23	10.563	44.866	2645.13	9.741	44.195	250.10	799.07	8.926	43.549
Cm-242	0.06	0.017	0.001	33.58	7.533	0.520	52.09	10.289	0.870	-18.51	18.53	10.153	1.010
Cm-243	3.50	0.955	0.051	3.95	0.886	0.061	4.49	0.887	0.075	-0.54	1.71	0.936	0.093
Cm-244	344.65	94.156	4.989	383.51	86.038	5.943	417.84	82.529	6.981	-34.33	149.21	81.734	8.132
Cm-245	17.83	4.872	0.258	24.52	5.501	0.380	31.46	6.215	0.526	-6.94	12.89	7.059	0.702
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.19	0.042	0.003	0.40	0.080	0.007	-0.22	0.22	0.119	0.012
Cm-Total	366.04	1.325	5.299	445.75	1.626	6.908	506.29	1.864	8.459	-60.54	182.56	2.039	9.949
TRU-Total	6908.22	25.015	100.000	6453.00	23.543	100.000	5985.15	22.040	100.000	467.86	1834.88	20.497	100.000
Metal-Total	27616.50	100.000	0.000	27408.99	100.000	0.000	27155.59	100.000	0.000	253.40	8952.10	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-9　径方向非均質炉心［TRU:core 0wt% ibl 30wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	74.98	0.300	0.000	62.72	0.258	0.000	51.99	0.219	0.000	10.73	14.26	0.185	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.61	0.011	0.000	4.80	0.020	0.000	-2.19	2.19	0.028	0.000
U-238	24919.26	99.700	0.000	24286.80	99.732	0.000	23674.09	99.761	0.000	612.71	7693.72	99.787	0.000
U-Total	24994.24	76.305	0.000	24352.12	76.651	0.000	23730.88	76.955	0.000	621.25	7710.17	77.210	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	3.72	100.000	5.704	7.06	65.413	5.872	-3.33	3.33	100.000	6.072
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.73	34.587	3.105	-3.73	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	3.72	0.012	5.704	10.79	0.035	8.977	-7.07	3.33	0.033	6.072
Pu-238	0.00	0.000	0.000	2.48	0.034	0.000	6.87	0.098	0.000	-4.39	4.39	0.198	0.000
Pu-239	4501.48	57.998	0.000	4247.43	57.767	0.000	4009.25	57.417	0.000	238.17	1266.05	57.008	0.000
Pu-240	1862.75	24.000	0.000	1881.48	25.589	0.000	1893.04	27.111	0.000	-11.56	632.48	28.479	0.000
Pu-241	1086.77	14.002	0.000	895.84	12.184	0.000	736.92	10.554	0.000	158.91	203.34	9.156	0.000
Pu-242	310.42	4.000	0.000	325.50	4.427	0.000	336.59	4.820	0.000	-11.09	114.57	5.159	0.000
Pu-Fiss	5588.25	72.000	0.000	5143.26	69.950	0.000	4746.18	67.971	0.000	397.09	1469.40	66.164	0.000
Pu-Total	7761.42	23.695	0.000	7352.72	23.143	0.000	6982.68	22.643	0.000	370.04	2220.83	22.240	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	47.79	81.135	73.213	85.42	79.636	71.071	-37.63	37.63	77.810	68.525
Am-242m	0.00	0.000	0.000	1.02	1.735	1.566	2.41	2.246	2.005	-1.39	1.39	2.868	2.526
Am-243	0.00	0.000	0.000	10.09	17.129	15.457	19.43	18.118	16.169	-9.34	9.34	19.322	17.017
Am-Total	0.00	0.000	0.000	58.91	0.185	90.235	107.26	0.348	89.245	-48.36	48.36	0.484	88.068
Cm-242	0.00	0.000	0.000	1.60	60.272	2.447	3.09	52.685	2.572	-1.49	1.49	46.434	2.721
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.04	1.637	0.066	0.12	1.984	0.097	-0.07	0.07	2.270	0.133
Cm-244	0.00	0.000	0.000	0.98	37.151	1.509	2.57	43.819	2.140	-1.59	1.59	49.312	2.890
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.02	0.933	0.038	0.09	1.498	0.073	-0.06	0.06	1.963	0.115
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.007	0.000	0.00	0.014	0.001	0.00	0.00	0.021	0.001
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	2.65	0.008	4.061	5.87	0.019	4.883	-3.22	3.22	0.032	5.860
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	65.28	0.205	100.000	120.19	0.390	100.000	-54.91	54.91	0.550	100.000
Metal-Total	32755.66	100.000	0.000	31770.12	100.000	0.000	30837.47	100.000	0.000	932.65	9985.90	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-10　径方向非均質炉心［TRU:core 0wt% ibl 30wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	58.12	0.300	0.000	51.95	0.272	0.000	45.98	0.245	0.000	5.97	13.40	0.218	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.34	0.007	0.000	2.59	0.014	0.000	-1.25	1.25	0.020	0.000
U-238	19310.06	99.700	0.000	19013.59	99.721	0.000	18697.36	99.741	0.000	316.23	6120.45	99.761	0.000
U-Total	19368.17	69.983	0.000	19066.87	69.486	0.000	18745.92	69.050	0.000	320.95	6135.11	68.674	0.000
Np-237	4081.92	100.000	49.135	3746.16	100.000	48.255	3413.94	99.939	47.410	332.22	1028.42	100.000	46.604
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.07	0.061	0.029	-2.07	0.00	0.000	0.000
Np-Total	4081.92	14.749	49.135	3746.16	13.652	48.255	3416.01	12.583	47.439	330.15	1028.42	11.512	46.604
Pu-238	0.00	0.000	0.000	338.09	55.452	0.000	656.97	54.774	0.000	-318.88	318.88	53.884	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	239.28	39.246	0.000	474.76	39.582	0.000	-235.47	237.54	40.140	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	5.33	0.874	0.000	15.02	1.252	0.000	-9.69	9.69	1.637	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.10	0.016	0.000	0.38	0.032	0.000	-0.28	0.28	0.048	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	26.90	4.412	0.000	52.29	4.360	0.000	-25.40	25.40	4.291	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	239.38	39.262	0.000	475.14	39.614	0.000	-235.76	237.83	40.188	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	609.70	2.222	0.000	1199.43	4.418	0.000	-589.72	591.79	6.624	0.000
Am-241	2490.97	65.807	29.985	2257.20	64.783	29.075	2027.84	63.691	28.161	229.36	600.96	62.510	27.233
Am-242m	6.35	0.168	0.076	39.21	1.125	0.505	66.68	2.094	0.926	-27.48	29.59	3.078	1.341
Am-243	1287.93	34.025	15.503	1187.83	34.092	15.301	1089.35	34.215	15.128	98.48	330.83	34.412	14.992
Am-Total	3785.25	13.677	45.564	3484.24	12.698	44.881	3183.88	11.728	44.215	300.37	961.38	10.761	43.566
Cm-242	0.07	0.017	0.001	39.67	7.444	0.511	61.62	10.218	0.856	-21.95	21.97	10.129	0.996
Cm-243	4.21	0.955	0.051	4.69	0.881	0.060	5.30	0.879	0.074	-0.61	2.01	0.925	0.091
Cm-244	414.60	94.158	4.991	459.18	86.161	5.915	498.49	82.660	6.923	-39.31	177.51	81.838	8.044
Cm-245	21.44	4.870	0.258	29.17	5.473	0.376	37.18	6.166	0.516	-8.02	15.16	6.991	0.687
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.22	0.041	0.003	0.47	0.078	0.007	-0.25	0.25	0.116	0.011
Cm-Total	440.32	1.591	5.300	532.93	1.942	6.865	603.06	2.221	8.375	-70.13	216.90	2.428	9.829
TRU-Total	8307.49	30.017	100.000	7763.33	28.292	100.000	7200.87	26.524	100.000	562.46	2206.71	24.701	100.000
Metal-Total	27675.66	100.000	0.000	27439.90	100.000	0.000	27148.29	100.000	0.000	291.62	8933.61	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-11　径方向非均質炉心［TRU;core 5wt% ibl 0wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	70.10	0.300	0.000	58.54	0.257	0.000	48.44	0.218	0.000	10.11	13.26	0.184	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.47	0.011	0.000	4.54	0.020	0.000	-2.07	2.07	0.029	0.000
U-238	23302.52	99.700	0.000	22701.67	99.732	0.000	22120.59	99.761	0.000	581.08	7186.43	99.787	0.000
U-Total	23372.61	71.188	0.000	22762.69	71.607	0.000	22173.57	72.000	0.000	589.12	7201.75	72.361	0.000
Np-237	807.33	100.000	49.137	703.81	100.000	45.817	611.30	99.421	42.788	92.50	176.61	100.000	40.116
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.56	0.579	0.249	-3.56	0.00	0.000	0.000
Np-Total	807.33	2.459	49.137	703.81	2.214	45.817	614.86	1.997	43.037	88.95	176.61	1.775	40.116
Pu-238	0.00	0.000	0.000	102.10	1.363	0.000	190.29	2.646	0.000	-88.19	88.19	3.817	0.000
Pu-239	4533.23	57.995	0.000	4251.40	56.765	0.000	3993.37	55.534	0.000	258.02	1256.61	54.388	0.000
Pu-240	1876.30	24.004	0.000	1897.43	25.335	0.000	1910.18	26.564	0.000	-12.76	638.19	27.622	0.000
Pu-241	1094.38	14.001	0.000	902.24	12.047	0.000	742.53	10.326	0.000	159.71	205.08	8.876	0.000
Pu-242	312.72	4.001	0.000	336.27	4.490	0.000	354.44	4.929	0.000	-18.17	122.41	5.298	0.000
Pu-Fiss	5627.61	71.995	0.000	5153.64	68.812	0.000	4735.90	65.860	0.000	417.73	1461.69	63.264	0.000
Pu-Total	7816.63	23.808	0.000	7489.44	23.560	0.000	7190.82	23.349	0.000	298.62	2310.48	23.215	0.000
Am-241	492.75	65.819	29.991	467.93	65.614	30.462	441.11	65.261	30.875	26.82	137.43	64.731	31.217
Am-242m	1.26	0.168	0.076	11.57	1.623	0.753	19.64	2.906	1.375	-8.07	8.49	3.997	1.927
Am-243	254.64	34.013	15.498	233.65	32.763	15.211	215.17	31.833	15.060	18.49	66.39	31.272	15.081
Am-Total	748.65	2.280	45.566	713.16	2.243	46.426	675.92	2.195	47.310	37.24	212.31	2.133	48.226
Cm-242	0.01	0.016	0.001	13.30	11.162	0.866	19.62	13.865	1.373	-6.31	6.32	12.313	1.435
Cm-243	0.83	0.955	0.051	1.17	0.981	0.076	1.51	1.071	0.106	-0.35	0.62	1.213	0.141
Cm-244	81.95	94.157	4.988	97.75	82.038	6.364	110.76	78.294	7.753	-13.01	40.32	78.569	9.160
Cm-245	4.24	4.872	0.258	6.86	5.755	0.446	9.42	6.656	0.659	-2.56	3.97	7.741	0.902
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.08	0.064	0.005	0.16	0.113	0.011	-0.08	0.08	0.164	0.019
Cm-Total	87.03	0.265	5.297	119.16	0.375	7.757	141.47	0.459	9.902	-22.31	51.32	0.516	11.658
TRU-Total	1643.01	5.004	100.000	1536.12	4.832	100.000	1428.69	4.639	100.000	107.43	440.24	4.423	100.000
Metal-Total	32832.25	100.000	0.000	31788.24	100.000	0.000	30796.63	100.000	0.000	991.61	9952.47	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-12　径方向非均質炉心［TRU:core 5wt% ibl 0wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	81.92	0.300	0.000	70.18	0.262	0.000	59.56	0.227	0.000	10.62	16.69	0.195	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.77	0.010	0.000	5.16	0.020	0.000	-2.39	2.39	0.028	0.000
U-238	27231.73	99.700	0.000	26690.18	99.727	0.000	26148.62	99.753	0.000	541.55	8535.69	99.777	0.000
U-Total	27313.65	100.000	0.000	26763.12	98.378	0.000	26213.34	96.859	0.000	549.78	8554.77	95.439	0.000
Np-237	0.00	0.000	0.000	1.75	100.000	99.221	3.49	48.307	98.029	-1.74	1.74	100.000	96.859
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.73	51.693	104.898	-3.73	0.00	0.000	0.000
Np-Total	0.00	0.000	0.000	1.75	0.006	99.221	7.21	0.027	202.927	-5.47	1.74	0.019	96.859
Pu-238	0.00	0.000	0.000	0.20	0.045	0.000	0.53	0.063	0.000	-0.33	0.33	0.081	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	422.36	96.105	0.000	797.48	94.624	0.000	-375.12	378.85	93.075	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	16.44	3.741	0.000	43.05	5.108	0.000	-26.61	26.61	6.538	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.47	0.107	0.000	1.67	0.198	0.000	-1.20	1.20	0.295	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	0.01	0.002	0.000	0.06	0.007	0.000	-0.05	0.05	0.011	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	422.83	96.212	0.000	799.16	94.822	0.000	-376.32	380.05	93.370	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	439.48	1.615	0.000	842.79	3.114	0.000	-403.31	407.04	4.541	0.000
Am-241	0.00	0.000	0.000	0.01	97.229	0.736	0.06	95.975	1.826	-0.05	0.05	95.668	2.895
Am-242m	0.00	0.000	0.000	0.00	1.272	0.010	0.00	1.793	0.034	0.00	0.00	1.920	0.058
Am-243	0.00	0.000	0.000	0.00	1.498	0.011	0.00	2.232	0.042	0.00	0.00	2.412	0.073
Am-Total	0.00	0.000	0.000	0.01	0.000	0.757	0.07	0.000	1.903	-0.05	0.05	0.001	3.026
Cm-242	0.00	0.000	0.000	0.00	95.332	0.020	0.00	92.527	0.063	0.00	0.00	92.011	0.105
Cm-243	0.00	0.000	0.000	0.00	1.783	0.000	0.00	2.473	0.002	0.00	0.00	2.600	0.003
Cm-244	0.00	0.000	0.000	0.00	2.837	0.001	0.00	4.883	0.003	0.00	0.00	5.259	0.006
Cm-245	0.00	0.000	0.000	0.00	0.047	0.000	0.00	0.116	0.000	0.00	0.00	0.129	0.000
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.00	0.001	0.000	0.00	0.001	0.000	0.00	0.00	0.001	0.000
Cm-Total	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.021	0.00	0.000	0.068	0.00	0.00	0.000	0.114
TRU-Total	0.00	0.000	0.000	1.76	0.006	100.000	3.56	0.013	100.000	-1.80	1.80	0.020	100.000
Metal-Total	27313.65	100.000	0.000	27204.37	100.000	0.000	27063.42	100.000	0.000	140.95	8963.61	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-13　径方向非均質炉心 [TRU;core 5wt% ibl 5wt%] のインベントリー　(炉心)

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	69.90	0.300	0.000	58.51	0.258	0.000	48.51	0.219	0.000	9.99	13.31	0.185	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.42	0.011	0.000	4.45	0.020	0.000	-2.04	2.04	0.028	0.000
U-238	23227.41	99.700	0.000	22638.42	99.732	0.000	22065.25	99.761	0.000	573.17	7169.30	99.786	0.000
U-Total	23297.31	70.957	0.000	22699.35	71.406	0.000	22118.22	71.818	0.000	581.13	7184.64	72.189	0.000
Np-237	807.33	100.000	49.135	705.78	100.000	45.854	614.06	99.434	42.837	91.72	177.40	100.000	40.135
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.49	0.566	0.244	-3.49	0.00	0.000	0.000
Np-Total	807.33	2.459	49.135	705.78	2.220	45.854	617.55	2.005	43.080	88.22	177.40	1.782	40.135
Pu-238	0.00	0.000	0.000	100.29	1.328	0.000	187.33	2.587	0.000	-87.04	87.04	3.742	0.000
Pu-239	4576.90	57.991	0.000	4287.12	56.777	0.000	4025.13	55.577	0.000	261.99	1267.14	54.478	0.000
Pu-240	1894.64	24.006	0.000	1912.57	25.330	0.000	1922.54	26.546	0.000	-9.97	641.51	27.581	0.000
Pu-241	1105.19	14.003	0.000	911.85	12.076	0.000	750.53	10.363	0.000	161.31	207.08	8.903	0.000
Pu-242	315.77	4.001	0.000	338.92	4.489	0.000	356.85	4.927	0.000	-17.93	123.18	5.296	0.000
Pu-Fiss	5682.08	71.994	0.000	5198.97	68.854	0.000	4775.66	65.941	0.000	423.31	1474.22	63.381	0.000
Pu-Total	7892.49	24.038	0.000	7550.75	23.753	0.000	7242.38	23.516	0.000	308.37	2325.95	23.370	0.000
Am-241	492.75	65.815	29.989	469.53	65.674	30.505	443.92	65.367	30.967	25.62	138.63	64.864	31.365
Am-242m	1.26	0.168	0.076	11.44	1.600	0.743	19.47	2.866	1.358	-8.03	8.45	3.951	1.911
Am-243	254.68	34.017	15.500	233.97	32.726	15.201	215.73	31.767	15.049	18.24	66.65	31.185	15.079
Am-Total	748.69	2.280	45.566	714.95	2.249	46.449	679.11	2.205	47.375	35.83	213.73	2.147	48.355
Cm-242	0.01	0.017	0.001	13.12	11.077	0.853	19.41	13.830	1.354	-6.28	6.29	12.358	1.422
Cm-243	0.83	0.954	0.051	1.15	0.972	0.075	1.48	1.055	0.103	-0.33	0.61	1.191	0.137
Cm-244	81.99	94.159	4.990	97.35	82.170	6.325	110.03	78.414	7.676	-12.69	40.01	78.650	9.053
Cm-245	4.24	4.870	0.258	6.78	5.719	0.440	9.25	6.592	0.645	-2.47	3.89	7.641	0.880
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.07	0.062	0.005	0.15	0.110	0.011	-0.08	0.08	0.160	0.018
Cm-Total	87.07	0.265	5.299	118.47	0.373	7.697	140.32	0.456	9.789	-21.85	50.88	0.511	11.511
TRU-Total	1643.09	5.004	100.000	1539.19	4.842	100.000	1433.50	4.655	100.000	105.70	442.00	4.441	100.000
Metal-Total	32832.89	100.000	0.000	31789.29	100.000	0.000	30797.59	100.000	0.000	991.70	9952.59	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-14　径方向非均質炉心［TRU;core 5wt% ibl 5wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	78.02	0.300	0.000	67.87	0.266	0.000	58.54	0.234	0.000	9.33	16.68	0.204	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.34	0.009	0.000	4.41	0.018	0.000	-2.07	2.07	0.025	0.000
U-238	25927.26	99.700	0.000	25456.86	99.725	0.000	24974.61	99.749	0.000	482.26	8160.16	99.771	0.000
U-Total	26005.28	94.996	0.000	25527.07	93.665	0.000	25037.56	92.414	0.000	489.51	8178.91	91.240	0.000
Np-237	673.10	100.000	49.141	604.61	100.000	47.911	540.45	99.395	46.782	64.16	160.21	100.000	45.789
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.29	0.605	0.285	-3.29	0.00	0.000	0.000
Np-Total	673.10	2.459	49.141	604.61	2.218	47.911	543.74	2.007	47.067	60.87	160.21	1.787	45.789
Pu-238	0.00	0.000	0.000	73.17	15.752	0.000	138.63	15.461	0.000	-65.46	65.46	15.034	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	373.10	80.324	0.000	713.33	79.557	0.000	-340.23	343.52	78.893	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	12.28	2.643	0.000	32.82	3.661	0.000	-20.54	20.54	4.718	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.30	0.066	0.000	1.11	0.124	0.000	-0.81	0.81	0.186	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	5.64	1.215	0.000	10.73	1.197	0.000	-5.09	5.09	1.169	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	373.40	80.390	0.000	714.44	79.681	0.000	-341.04	344.33	79.079	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	464.49	1.704	0.000	896.63	3.309	0.000	-432.13	435.42	4.857	0.000
Am-241	410.69	65.808	29.983	363.74	64.574	28.823	319.87	63.296	27.688	43.87	93.03	61.983	26.588
Am-242m	1.05	0.168	0.076	7.76	1.377	0.615	12.98	2.568	1.123	-5.22	5.57	3.711	1.592
Am-243	212.34	34.025	15.502	191.80	34.049	15.198	172.50	34.136	14.932	19.29	51.49	34.306	14.716
Am-Total	624.08	2.280	45.561	563.29	2.067	44.636	505.35	1.865	43.744	57.94	150.08	1.674	42.896
Cm-242	0.01	0.017	0.001	8.26	8.787	0.655	12.31	11.249	1.066	-4.05	4.05	10.235	1.158
Cm-243	0.69	0.955	0.051	0.90	0.953	0.071	1.10	1.004	0.095	-0.20	0.43	1.096	0.124
Cm-244	68.33	94.157	4.988	79.35	84.371	6.288	88.47	80.833	7.658	-9.12	31.90	80.569	9.116
Cm-245	3.54	4.871	0.258	5.49	5.832	0.435	7.45	6.808	0.645	-1.97	3.14	7.942	0.899
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.05	0.057	0.004	0.12	0.107	0.010	-0.06	0.06	0.158	0.018
Cm-Total	72.57	0.265	5.298	94.05	0.345	7.453	109.45	0.404	9.474	-15.40	39.59	0.442	11.315
TRU-Total	1369.75	5.004	100.000	1261.96	4.630	100.000	1155.25	4.264	100.000	106.71	349.88	3.903	100.000
Metal-Total	27375.04	100.000	0.000	27253.53	100.000	0.000	27092.73	100.000	0.000	160.80	8964.22	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-15　径方向非均質炉心［TRU;core 5wt% ibl 15wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	69.86	0.300	0.000	58.66	0.258	0.000	48.79	0.220	0.000	9.87	13.41	0.187	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.36	0.010	0.000	4.36	0.020	0.000	-2.00	2.00	0.028	0.000
U-238	23219.51	99.700	0.000	22638.42	99.731	0.000	22073.15	99.760	0.000	565.27	7174.57	99.786	0.000
U-Total	23289.37	70.925	0.000	22699.45	71.397	0.000	22126.30	71.833	0.000	573.14	7189.98	72.230	0.000
Np-237	806.94	100.000	49.137	707.35	100.000	45.901	617.21	99.449	42.946	90.14	178.84	100.000	40.320
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.42	0.551	0.238	-3.42	0.00	0.000	0.000
Np-Total	806.94	2.457	49.137	707.35	2.225	45.901	620.63	2.015	43.184	86.72	178.84	1.797	40.320
Pu-238	0.00	0.000	0.000	97.95	1.297	0.000	183.38	2.534	0.000	-85.42	85.42	3.681	0.000
Pu-239	4584.84	58.000	0.000	4291.09	56.813	0.000	4025.13	55.632	0.000	265.96	1265.74	54.540	0.000
Pu-240	1897.03	23.998	0.000	1911.38	25.306	0.000	1918.15	26.511	0.000	-6.78	639.12	27.539	0.000
Pu-241	1106.79	14.001	0.000	913.85	12.099	0.000	752.53	10.401	0.000	161.31	207.61	8.946	0.000
Pu-242	316.21	4.000	0.000	338.68	4.484	0.000	356.13	4.922	0.000	-17.44	122.85	5.294	0.000
Pu-Fiss	5691.62	72.002	0.000	5204.94	68.913	0.000	4777.67	66.033	0.000	427.27	1473.35	63.486	0.000
Pu-Total	7904.87	24.073	0.000	7552.95	23.756	0.000	7235.32	23.490	0.000	317.63	2320.74	23.314	0.000
Am-241	492.35	65.801	29.981	470.73	65.729	30.546	445.92	65.460	31.027	24.82	139.30	64.956	31.406
Am-242m	1.26	0.168	0.076	11.26	1.572	0.731	19.19	2.818	1.335	-7.93	8.35	3.895	1.883
Am-243	254.64	34.032	15.506	234.18	32.698	15.196	216.09	31.722	15.036	18.08	66.80	31.149	15.060
Am-Total	748.24	2.279	45.563	716.17	2.253	46.473	681.20	2.212	47.398	34.96	214.45	2.154	48.349
Cm-242	0.01	0.017	0.001	12.87	10.954	0.835	19.08	13.746	1.327	-6.20	6.21	12.351	1.399
Cm-243	0.83	0.954	0.051	1.13	0.962	0.073	1.44	1.037	0.100	-0.31	0.59	1.165	0.132
Cm-244	81.95	94.157	4.990	96.78	82.345	6.280	109.06	78.588	7.588	-12.28	39.60	78.788	8.927
Cm-245	4.24	4.872	0.258	6.67	5.678	0.433	9.05	6.522	0.630	-2.38	3.79	7.541	0.854
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.07	0.060	0.005	0.15	0.107	0.010	-0.08	0.08	0.155	0.018
Cm-Total	87.03	0.265	5.300	117.53	0.370	7.627	138.77	0.451	9.656	-21.24	50.26	0.505	11.330
TRU-Total	1642.21	5.001	100.000	1541.05	4.847	100.000	1437.19	4.666	100.000	103.86	443.54	4.456	100.000
Metal-Total	32836.45	100.000	0.000	31793.45	100.000	0.000	30802.23	100.000	0.000	991.22	9954.27	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-16　径方向非均質炉心［TRU:core 5wt% ibl 15wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	70.10	0.300	0.000	62.06	0.270	0.000	54.49	0.241	0.000	7.57	15.79	0.214	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.80	0.008	0.000	3.44	0.015	0.000	-1.64	1.64	0.022	0.000
U-238	23298.56	99.700	0.000	22919.08	99.722	0.000	22523.79	99.743	0.000	395.29	7370.90	99.764	0.000
U-Total	23368.66	84.991	0.000	22982.94	84.076	0.000	22581.72	83.222	0.000	401.22	7388.33	82.426	0.000
Np-237	2027.97	100.000	49.141	1846.51	100.000	48.116	1671.34	99.841	47.144	175.16	500.83	100.000	46.237
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.66	0.159	0.075	-2.66	0.00	0.000	0.000
Np-Total	2027.97	7.376	49.141	1846.51	6.755	48.116	1674.01	6.169	47.220	172.50	500.83	5.587	46.237
Pu-238	0.00	0.000	0.000	188.36	36.558	0.000	362.24	36.056	0.000	-173.89	173.89	35.336	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	303.95	58.993	0.000	591.46	58.871	0.000	-287.52	290.18	58.967	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	8.02	1.556	0.000	21.96	2.186	0.000	-13.95	13.95	2.834	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.17	0.032	0.000	0.63	0.063	0.000	-0.46	0.46	0.094	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	14.74	2.862	0.000	28.37	2.824	0.000	-13.63	13.63	2.769	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	304.12	59.025	0.000	592.09	58.934	0.000	-287.98	290.64	59.061	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	515.23	1.885	0.000	1004.67	3.703	0.000	-489.44	492.10	5.490	0.000
Am-241	1237.28	65.807	29.981	1112.39	64.711	28.987	992.71	63.546	28.002	119.69	292.74	62.302	27.026
Am-242m	3.15	0.168	0.076	20.99	1.221	0.547	35.49	2.272	1.001	-14.50	15.55	3.310	1.436
Am-243	639.73	34.025	15.502	585.64	34.068	15.261	533.98	34.182	15.062	51.66	161.58	34.388	14.917
Am-Total	1880.16	6.838	45.559	1719.02	6.289	44.794	1562.18	5.757	44.065	156.85	469.87	5.242	43.380
Cm-242	0.04	0.017	0.001	21.69	7.972	0.565	33.10	10.620	0.934	-11.41	11.42	10.154	1.054
Cm-243	2.09	0.955	0.051	2.46	0.905	0.064	2.87	0.923	0.081	-0.41	1.11	0.986	0.102
Cm-244	205.92	94.157	4.990	232.55	85.475	6.060	255.45	81.969	7.205	-22.90	91.54	81.390	8.451
Cm-245	10.65	4.871	0.258	15.24	5.602	0.397	19.94	6.400	0.563	-4.70	8.26	7.340	0.762
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.13	0.047	0.003	0.27	0.088	0.008	-0.15	0.15	0.131	0.014
Cm-Total	218.70	0.795	5.299	272.07	0.995	7.089	311.64	1.148	8.790	-39.57	112.47	1.255	10.383
TRU-Total	4126.83	15.009	100.000	3837.60	14.039	100.000	3545.16	13.065	100.000	292.44	1083.17	12.084	100.000
Metal-Total	27495.49	100.000	0.000	27335.77	100.000	0.000	27134.21	100.000	0.000	201.56	8963.61	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-17 径方向非均質炉心 [TRU;core 5wt% ibl 25wt%] のインベントリー （炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	70.29	0.300	0.000	59.05	0.259	0.000	49.18	0.221	0.000	9.87	13.56	0.187	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.36	0.010	0.000	4.35	0.020	0.000	-2.00	2.00	0.028	0.000
U-238	23365.76	99.700	0.000	22780.73	99.731	0.000	22215.46	99.760	0.000	565.27	7223.32	99.785	0.000
U-Total	23436.06	71.383	0.000	22842.14	71.832	0.000	22268.99	72.253	0.000	573.15	7238.87	72.643	0.000
Np-237	806.94	100.000	49.137	707.74	100.000	45.956	618.39	99.452	43.065	89.35	179.63	100.000	40.518
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.41	0.548	0.237	-3.41	0.00	0.000	0.000
Np-Total	806.94	2.458	49.137	707.74	2.226	45.956	621.80	2.017	43.302	85.95	179.63	1.803	40.518
Pu-238	0.00	0.000	0.000	97.12	1.309	0.000	181.72	2.555	0.000	-84.59	84.59	3.706	0.000
Pu-239	4497.51	58.009	0.000	4219.64	56.889	0.000	3965.59	55.757	0.000	254.05	1248.52	54.694	0.000
Pu-240	1860.35	23.995	0.000	1872.71	25.248	0.000	1878.29	26.409	0.000	-5.58	625.70	27.410	0.000
Pu-241	1085.17	13.997	0.000	895.84	12.078	0.000	737.72	10.372	0.000	158.11	203.61	8.920	0.000
Pu-242	310.06	3.999	0.000	332.05	4.477	0.000	349.01	4.907	0.000	-16.96	120.32	5.271	0.000
Pu-Fiss	5582.68	72.006	0.000	5115.48	68.966	0.000	4703.31	66.129	0.000	412.16	1452.14	63.614	0.000
Pu-Total	7753.10	23.615	0.000	7417.36	23.325	0.000	7112.33	23.076	0.000	305.03	2282.74	22.908	0.000
Am-241	492.35	65.801	29.981	469.93	65.713	30.514	444.72	65.441	30.970	25.22	138.90	64.951	31.331
Am-242m	1.26	0.168	0.076	11.19	1.564	0.726	19.04	2.802	1.326	-7.86	8.28	3.870	1.867
Am-243	254.64	34.032	15.506	234.01	32.723	15.195	215.81	31.757	15.029	18.20	66.68	31.179	15.040
Am-Total	748.24	2.279	45.563	715.14	2.249	46.436	679.57	2.205	47.325	35.56	213.85	2.146	48.239
Cm-242	0.02	0.017	0.001	12.76	10.892	0.829	18.86	13.664	1.313	-6.09	6.10	12.235	1.376
Cm-243	0.83	0.954	0.051	1.12	0.957	0.073	1.42	1.029	0.099	-0.30	0.58	1.156	0.130
Cm-244	81.95	94.156	4.990	96.58	82.430	6.271	108.61	78.708	7.564	-12.04	39.35	78.950	8.877
Cm-245	4.24	4.872	0.258	6.63	5.661	0.431	8.96	6.494	0.624	-2.33	3.74	7.506	0.844
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.07	0.060	0.005	0.15	0.106	0.010	-0.08	0.08	0.153	0.017
Cm-Total	87.03	0.265	5.300	117.16	0.368	7.608	138.00	0.448	9.610	-20.83	49.84	0.500	11.243
TRU-Total	1642.22	5.002	100.000	1540.04	4.843	100.000	1435.96	4.659	100.000	104.08	443.32	4.449	100.000
Metal-Total	32831.37	100.000	0.000	31799.54	100.000	0.000	30820.69	100.000	0.000	978.85	9964.94	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-18　径方向非均質炉心［TRU;core 5wt% ibl 25wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	62.14	0.300	0.000	55.34	0.272	0.000	48.87	0.244	0.000	6.48	14.23	0.217	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.47	0.007	0.000	2.84	0.014	0.000	-1.37	1.37	0.021	0.000
U-238	20646.15	99.700	0.000	20322.01	99.721	0.000	19982.06	99.742	0.000	339.95	6542.10	99.762	0.000
U-Total	20708.28	74.985	0.000	20378.83	74.366	0.000	20033.76	73.809	0.000	345.06	6557.70	73.313	0.000
Np-237	3394.65	100.000	49.139	3107.69	100.000	48.217	2827.04	99.921	47.341	280.66	850.89	100.000	46.517
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.25	0.079	0.038	-2.25	0.00	0.000	0.000
Np-Total	3394.65	12.292	49.139	3107.69	11.341	48.217	2829.28	10.424	47.378	278.41	850.89	9.513	46.517
Pu-238	0.00	0.000	0.000	290.34	50.127	0.000	561.71	49.497	0.000	-271.37	271.37	48.645	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	259.69	44.835	0.000	511.28	45.054	0.000	-251.59	253.84	45.502	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	6.04	1.043	0.000	16.82	1.482	0.000	-10.78	10.78	1.933	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.11	0.020	0.000	0.44	0.039	0.000	-0.33	0.33	0.058	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	23.03	3.976	0.000	44.58	3.928	0.000	-21.54	21.54	3.862	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	259.80	44.854	0.000	511.72	45.092	0.000	-251.92	254.16	45.561	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	579.21	2.114	0.000	1134.82	4.181	0.000	-555.61	557.86	6.237	0.000
Am-241	2071.47	65.813	29.986	1872.13	64.756	29.047	1679.19	63.650	28.119	192.94	497.55	62.484	27.200
Am-242m	5.28	0.168	0.076	33.32	1.153	0.517	56.51	2.142	0.946	-23.19	24.95	3.133	1.364
Am-243	1070.79	34.020	15.500	985.62	34.092	15.292	902.48	34.208	15.113	83.14	273.78	34.383	14.967
Am-Total	3147.54	11.397	45.562	2891.08	10.550	44.856	2638.19	9.720	44.178	252.89	796.29	8.902	43.532
Cm-242	0.06	0.017	0.001	33.92	7.597	0.526	52.25	10.317	0.875	-18.34	18.36	10.084	1.004
Cm-243	3.50	0.955	0.051	3.96	0.886	0.061	4.50	0.889	0.075	-0.54	1.71	0.939	0.093
Cm-244	344.65	94.156	4.989	383.84	85.975	5.955	417.84	82.498	6.997	-34.00	148.88	81.786	8.139
Cm-245	17.83	4.872	0.258	24.55	5.500	0.381	31.49	6.216	0.527	-6.93	12.87	7.072	0.704
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.19	0.042	0.003	0.41	0.080	0.007	-0.22	0.22	0.119	0.012
Cm-Total	366.04	1.325	5.299	446.45	1.629	6.927	506.48	1.866	8.481	-60.03	182.04	2.035	9.952
TRU-Total	6908.22	25.015	100.000	6445.22	23.520	100.000	5971.71	22.001	100.000	473.52	1829.22	20.450	100.000
Metal-Total	27616.50	100.000	0.000	27403.26	100.000	0.000	27142.54	100.000	0.000	260.72	8944.78	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-19　径方向非均質炉心［TRU:core 5wt% ibl 30wt%］のインベントリー　（炉心）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	70.72	0.300	0.000	59.40	0.258	0.000	49.45	0.221	0.000	9.95	13.62	0.187	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	2.38	0.010	0.000	4.38	0.020	0.000	-2.00	2.00	0.028	0.000
U-238	23504.12	99.700	0.000	22919.08	99.731	0.000	22345.91	99.760	0.000	573.17	7261.53	99.785	0.000
U-Total	23574.84	71.827	0.000	22980.86	72.252	0.000	22399.74	72.646	0.000	581.12	7277.16	73.005	0.000
Np-237	806.94	100.000	49.141	707.74	100.000	46.003	618.00	99.449	43.132	89.75	179.23	100.000	40.580
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	3.42	0.551	0.239	-3.42	0.00	0.000	0.000
Np-Total	806.94	2.459	49.141	707.74	2.225	46.003	621.42	2.015	43.371	86.33	179.23	1.798	40.580
Pu-238	0.00	0.000	0.000	97.12	1.333	0.000	181.52	2.594	0.000	-84.39	84.39	3.752	0.000
Pu-239	4410.18	57.992	0.000	4148.19	56.925	0.000	3907.63	55.840	0.000	240.55	1232.93	54.816	0.000
Pu-240	1825.67	24.007	0.000	1837.23	25.212	0.000	1842.82	26.334	0.000	-5.58	614.14	27.305	0.000
Pu-241	1064.76	14.001	0.000	878.62	12.057	0.000	723.31	10.336	0.000	155.31	199.61	8.875	0.000
Pu-242	304.23	4.001	0.000	325.94	4.473	0.000	342.66	4.897	0.000	-16.72	118.13	5.252	0.000
Pu-Fiss	5474.93	71.993	0.000	5026.81	68.982	0.000	4630.95	66.176	0.000	395.87	1432.53	63.691	0.000
Pu-Total	7604.84	23.170	0.000	7287.11	22.911	0.000	6997.94	22.696	0.000	289.17	2249.20	22.564	0.000
Am-241	492.35	65.808	29.983	468.73	65.682	30.467	442.71	65.390	30.899	26.02	138.10	64.902	31.267
Am-242m	1.25	0.168	0.076	11.18	1.566	0.727	18.99	2.805	1.326	-7.81	8.23	3.869	1.864
Am-243	254.56	34.025	15.502	233.73	32.752	15.192	215.33	31.805	15.028	18.40	66.45	31.229	15.044
Am-Total	748.16	2.279	45.562	713.64	2.244	46.386	677.03	2.196	47.252	36.61	212.78	2.135	48.175
Cm-242	0.01	0.017	0.001	12.75	10.884	0.828	18.77	13.622	1.310	-6.02	6.03	12.133	1.364
Cm-243	0.83	0.955	0.051	1.12	0.956	0.073	1.42	1.029	0.099	-0.30	0.58	1.158	0.130
Cm-244	81.91	94.153	4.988	96.54	82.439	6.275	108.49	78.748	7.572	-11.96	39.26	79.040	8.888
Cm-245	4.24	4.874	0.258	6.63	5.661	0.431	8.95	6.495	0.625	-2.32	3.73	7.516	0.845
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.07	0.060	0.005	0.15	0.106	0.010	-0.08	0.08	0.153	0.017
Cm-Total	86.99	0.265	5.298	117.10	0.368	7.611	137.77	0.447	9.616	-20.67	49.67	0.498	11.245
TRU-Total	1642.09	5.003	100.000	1538.49	4.837	100.000	1432.80	4.647	100.000	105.69	441.68	4.431	100.000
Metal-Total	32821.78	100.000	0.000	31806.46	100.000	0.000	30833.90	100.000	0.000	972.56	9968.04	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合

表A.5-20　径方向非均質炉心［TRU;core 5wt% ibl 30wt%］のインベントリー　（内部ブランケット）

核種	初装荷			平衡初期			平衡末期			消滅量	取出		
	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)	(kg)	(kg)	*1) (wt%)	*2) (wt%)
U-235	58.12	0.300	0.000	51.79	0.272	0.000	45.70	0.244	0.000	6.09	13.28	0.217	0.000
U-236	0.00	0.000	0.000	1.36	0.007	0.000	2.62	0.014	0.000	-1.26	1.26	0.021	0.000
U-238	19310.06	99.700	0.000	19005.68	99.721	0.000	18681.54	99.742	0.000	324.14	6112.55	99.763	0.000
U-Total	19368.17	69.983	0.000	19058.83	69.485	0.000	18729.87	69.050	0.000	328.96	6127.10	68.675	0.000
Np-237	4081.92	100.000	49.135	3738.29	100.000	48.241	3400.95	99.939	47.385	337.34	1023.30	100.000	46.572
Np-239	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	2.09	0.061	0.029	-2.09	0.00	0.000	0.000
Np-Total	4081.92	14.749	49.135	3738.29	13.629	48.241	3403.04	12.546	47.414	335.25	1023.30	11.470	46.572
Pu-238	0.00	0.000	0.000	343.31	55.318	0.000	664.48	54.643	0.000	-321.17	321.17	53.750	0.000
Pu-239	0.00	0.000	0.000	244.29	39.362	0.000	482.70	39.694	0.000	-238.41	240.50	40.250	0.000
Pu-240	0.00	0.000	0.000	5.50	0.886	0.000	15.41	1.268	0.000	-9.92	9.92	1.660	0.000
Pu-241	0.00	0.000	0.000	0.10	0.016	0.000	0.39	0.032	0.000	-0.29	0.29	0.049	0.000
Pu-242	0.00	0.000	0.000	27.42	4.418	0.000	53.06	4.363	0.000	-25.64	25.64	4.291	0.000
Pu-Fiss	0.00	0.000	0.000	244.39	39.379	0.000	483.09	39.726	0.000	-238.70	240.80	40.299	0.000
Pu-Total	0.00	0.000	0.000	620.61	2.263	0.000	1216.05	4.483	0.000	-595.44	597.53	6.697	0.000
Am-241	2490.97	65.807	29.985	2251.20	64.758	29.051	2018.23	63.642	28.120	232.97	597.36	62.442	27.187
Am-242m	6.35	0.168	0.076	39.72	1.142	0.513	67.29	2.122	0.937	-27.57	29.69	3.103	1.351
Am-243	1287.93	34.025	15.503	1185.41	34.100	15.297	1085.72	34.236	15.127	99.69	329.62	34.455	15.002
Am-Total	3785.25	13.677	45.564	3476.33	12.674	44.861	3171.24	11.691	44.185	305.09	956.66	10.723	43.540
Cm-242	0.07	0.017	0.001	40.36	7.549	0.521	62.18	10.277	0.866	-21.83	21.85	10.057	0.994
Cm-243	4.21	0.955	0.051	4.72	0.883	0.061	5.34	0.882	0.074	-0.62	2.02	0.929	0.092
Cm-244	414.60	94.158	4.991	459.99	86.051	5.936	499.71	82.590	6.962	-39.72	177.92	81.890	8.097
Cm-245	21.44	4.870	0.258	29.27	5.476	0.378	37.34	6.172	0.520	-8.07	15.22	7.006	0.693
Cm-246	0.00	0.000	0.000	0.22	0.042	0.003	0.48	0.079	0.007	-0.25	0.25	0.117	0.012
Cm-Total	440.32	1.591	5.300	534.56	1.949	6.898	605.04	2.231	8.430	-70.49	217.26	2.435	9.888
TRU-Total	8307.49	30.017	100.000	7749.17	28.252	100.000	7177.23	26.460	100.000	571.94	2197.22	24.627	100.000
Metal-Total	27675.66	100.000	0.000	27428.62	100.000	0.000	27125.24	100.000	0.000	303.38	8921.85	100.000	0.000

*1) 全燃料に対する核種毎の重量割合　　*2) 全ＴＲＵに対する核種毎の重量割合