

JAERI-M

7608

ガス冷却高速炉の非均質効果に関する検討

1978年3月

大杉俊隆・吉田弘幸・太田文夫*

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ガス冷却高速炉の非均質効果に関する検討

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部

大杉俊隆・吉田弘幸・太田文夫*

(1978年2月15日受理)

ピン型燃料の 1000 MWe ガス冷却高速炉 (GCFR) の非均質効果の検討を行なった。検討の対象とした炉特性は、臨界性および増殖性に関連した諸特性 (臨界性, 中性子スペクトル, 中性子束分布, 出力分布および増殖比) と GCFR において安全性の観点から重要と考えられている 3 つの反応度効果 (ドップラー効果, ヘリウム・ボイド効果および蒸気侵入効果) である。また, 上記の炉特性を各燃焼時点毎 ($T = 0, 1, 2$ 年) に計算し, 非均質効果の燃焼依存性を検討した。セル計算は衝突確率法に基づいて行ない, 方向依存拡散係数は Benoist の式により求めている。また比較のため, 300 MWe GCFR についても簡単に非均質効果の検討を行なった。

得られた結論は以下の通りである。

- (1) 臨界性に対する非均質効果は比較的大きく, $-0.46\% \Delta K/K$ であり, 燃焼と共に若干小さくなる。
- (2) 蒸気侵入効果に対する非均質効果は非常に大きく, 侵入した水の量 0.01 g/cc に対して $0.05\% \Delta K/K$, 0.03 g/cc に対して $0.12\% \Delta K/K$, 0.05 g/cc に対して $0.14\% \Delta K/K$ となる。燃焼と共に若干大きくなる。
- (3) 他の諸特性についての非均質効果は無視できる大きさである。
- (4) 300 MWe GCFR についても 1000 MWe GCFR と同様の結論が得られた。

* 外来研究員, 日本情報サービス (株)

Studies on Heterogeneity Effects in Gas-Cooled Fast Reactor

Toshitaka OSUGI, Hiroyuki YOSHIDA and Fumio OHTA*

Division of Power Reactor Projects, JAERI

(Received February 15, 1978)

Heterogeneity effect in a gas-cooled fast reactor (GCFR) of power 1000 MWe, with helium-cooled pin type fuel, has been studied. Reactor characteristics (criticality, neutron spectrum, neutron flux distribution, power distribution, doppler reactivity effect, helium-void effect and steam ingress reactivity effect) are calculated at each burn-up step (T=0, 1, 2 yr) with homogeneous and heterogeneous reactor constants. Cell calculation is made by collision probability method, and directional diffusion constants are based on Benoist's formula. Heterogeneity effect of in 300 MWe GCFR was also studied for comparison.

Following are the results,

- (1) Heterogeneity effect on the criticality (multiplication factor) is $-0.46 \text{ \%} \Delta k/k$. It decreases with burn-up.
- (2) Heterogeneity effect on the steam ingress reactivity effect varies with ingress steam density ; $0.05 \text{ \%} \Delta k/k$ for 0.01 g/cc, 0.12 for 0.03 and 0.14 for 0.05. It increases slightly with burn-up.
- (3) Heterogeneity effects on other reactor characteristics are insignificant.
- (4) Heterogeneity effects in 300 MWe GCFR are not much different from those in 1000 MWe GCFR.

Keywords : Gas-Cooled Fast Reactor, Heterogeneity Effect, Collision Probability Method, Benoist's Formula, Steam Ingress Reactivity Coefficient, Doppler Effect, Helium Void Effect, Burn-up, Multiplication Factor

* Japan Information Service, Tokyo

目 次

1. 序	1
2. 計算体系と計算方法	2
3. 1000 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果	3
3.1 臨界性	4
3.2 エネルギー・スペクトル	4
3.3 中性子束分布および出力分布	5
3.4 増殖比	6
3.5 ドップラー効果	7
3.6 ヘリウム・ボイド効果	8
3.7 蒸気侵入効果	9
4. 300 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果	11
5. まとめ	13
参考文献	15

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation Model and Computational Method	2
3. Heterogeneity Effect of 1000 MWe Gas-Cooled Fast Reactor	3
3.1 Criticality	4
3.2 Energy Spectrum	4
3.3 Neutron Flux Distribution and Power Distribution	5
3.4 Breeding Ratio	6
3.5 Doppler Reactivity Effect	7
3.6 Helium-Void Reactivity Effect	8
3.7 Steam Ingress Reactivity Effect	9
4. Heterogeneity Effect of 300 MWe Gas-Cooled Fast Reactor	11
5. Conclusion	13
Reference	15

1. 序

現在、高速増殖炉開発の主流としてはナトリウムを冷却材とした液体金属冷却高速増殖炉(LMFBR)が考えられているが、一方で、高増殖性などの燃料経済性あるいは安全性の観点から、ヘリウムを冷却材としたガス冷却高速増殖炉(GCFR)が注目されている。GCFRの燃料形態としては、ピン型燃料あるいは被覆粒子型燃料などが検討されてきたが、燃料要素および燃料集合体の製作上の技術的問題、また高増殖性の追求などの点からピン型燃料のGCFRが有望とされている。

本報告は、原子炉モデルとしてピン型燃料のGCFRを選び、GCFRの炉心特性の解析上の問題点として指摘されてきた燃料要素内の微細構造および冷却材チャンネルでの中性子ストリーミングによる非均質効果の検討を行なったものである。上記非均質効果は、従来熱中性子炉の炉特性解析あるいは高速炉においても実験解析上では重要な問題とされていたが、LMFBRのようなピン型燃料の高速炉では無視できる大きさであるとされていたものである。ところが、ヘリウムを冷却材とするGCFRの検討が進むに従い、ヘリウムの中性子反応断面積が小さいことおよび冷却材の体積比が従来のLMFBRの場合より大きいことなどの点から燃料集合体内の微細構造による非均質効果が注目されてきた。すなわち、GCFRでは冷却チャンネルはほぼボイド状態であると仮定でき、冷却チャンネルを通しての中性子のストリーミングが炉特性解析上どの程度の影響をもたらすかが重要な問題となる。

検討の対象としたGCFRモデルは、主として米国GA社の設計による1000 MWe GCFR⁽¹⁾に基づくものである。燃料集合体内の微細構造のモデル化の差による非均質効果の差異をみるため、セルモデルとして燃料ピン領域とそれ以外の被覆材、冷却材からなる領域の2領域に分割する通常のセルモデルの他に、中性子のストリーミングを強調するため、より細かく領域を分割したセルモデルの2つを検討の対象とした。また、燃焼の進行による炉内の組成変化が非均質効果にどの程度の影響を与えるかを検討するため、燃焼初期、燃焼1年、燃焼2年の各々の時点で炉特性の非均質効果を計算した。なお、今回の検討の対象とした1000 MWe GCFRの炉特性の燃焼効果についての均質断面積を用いての解析は既に報告されている⁽²⁾。

第2章に本解析に用いた計算体系および計算方法を示す。

第3章では、1000 MWe GCFRの非均質効果について報告する。対象とした炉特性は、臨界性および増殖性に関連した諸特性(臨界性、中性子スペクトル、中性子束分布、出力分布および増殖比)とGCFRにおいて安全性の観点から重要と考えられている3つの反応度効果(ドップラー効果、ヘリウムボイド効果、蒸気侵入効果)である。

第4章では参考として行なった300 MWe GCFRの非均質効果について報告する。対象とした炉特性は臨界性および反応度効果(ドップラー効果、ヘリウムボイド効果、蒸気侵入効果)である。

第5章では検討結果についてのまとめを行なう。

2. 計算体系と計算方法

2.1 計算体系

本報告書において考慮している原子炉モデルの炉心はそれぞれプルトニウム富化度の異なる4つの領域(炉心1~炉心4)により構成される。1000 MWe GCFRの場合簡単のため、軸方向および径方向ブランケットはそれぞれ1つの領域として扱っている。300 MWe GCFRでは軸方向ブランケットは炉心と対応して4つの領域に分けている。これらの原子炉モデルの2次元RZモデルを1000 MWe GCFRについてFig. 1に、300 MWe GCFRについてFig. 2に示す。それぞれの原子炉モデルの各領域の平均の原子数密度を1000 MWe GCFRについてTable 1に、300 MWe GCFRについてTable 2に示す。なお、1000 MWe GCFRについては、燃焼初期、燃焼1年、燃焼2年の各燃焼時点における原子数密度を合わせ示している。

セルモデルは、上記の原子炉モデルの各領域の組成をそれぞれ1つのセルモデルにより代表させ得るように作成した。1000 MWe GCFRに対しては燃料ペレット、クラッド、冷却チャンネルおよび構造材の4つの領域からなるモデル(HETERO-4R)と、燃料ペレットおよびその他(クラッド、冷却チャンネルおよび構造材)の2つの領域からなるモデル(HETERO-2R)との2つのセルモデルを作成した。HETERO-4Rモデルは中性子のストリーミングを強調するように考慮したものである。300 MWe GCFRについてはHETERO-2Rモデルのみを作成した。これらのセルモデルは、それぞれの原子炉モデルの各領域毎について作成し、燃料ペレットの径および各物質の体積比がそれぞれ保存されるようにセルモデルの各領域の寸法を定めている。これらのセルモデルを1000 MWe GCFRについてFig. 3に、300 MWe GCFRについてはFig. 4に示す。また、燃焼初期におけるこれらのセルモデルの各領域毎の原子数密度を1000 MWe GCFRについてTable 3に、300 MWe GCFRについてTable 4に示す。なお、両原子炉モデル共、反射体領域については微細構造を考慮していない。

2.2 計算手法

Fig. 3, Fig. 4に示したセルモデルを用いてセル計算を行ないFig. 1, Fig. 2の原子炉モデルの各領域の非均質実効断面積を作成する。セル計算を行なわないで、各領域の組成の体積比のみを考慮して作成した均質実効断面積を別に用意する。即ち、各領域の実効断面積は1000 MWe GCFRの場合には

- (1) HOMO モデル
- (2) HETERO-2R モデル
- (3) HETERO-4R モデル

の3つの方法で作成し、300 MWe GCFRの場合には

- (1) HOMO モデル

(2) HETERO-2R モデル

の2つの方法で作成する。これらのモデルを用いて得られた実効断面積と Fig. 1, Fig. 2 の原子炉モデルとにより、それぞれの炉の諸特性を計算し、HOMO モデルを用いた場合と HETERO モデルを用いた場合の相互の比較から非均質効果の検討をする。

計算に使用した炉定数は、1000 MWe GCFR の場合 ENDF/B-III のデータを ABBN 型の 25 群断面積セットとしたものである。300 MWe GCFR の場合は JAERI FAST 25 群断面積セット⁽³⁾ Version II Revised を使用した。セル計算は、衝突確率法を用いたセル計算コード「PIGEON」⁽⁴⁾ により行った。Benoist の式により、方向に依存した拡散係数を求め、原子炉モデルの計算は拡散コード「CITATION」⁽⁵⁾ を修正して、非等方拡散係数を用いる修正拡散理論によって行った。摂動計算コードとしては「PERKY」⁽⁶⁾ を用いた。

1000 MWe GCFR の場合には燃焼による炉の諸特性の変化およびそれら諸特性の非均質効果を解析した。燃焼時点は初期(0年)、1年、2年である。但し、利用率を0.8としたので燃焼日数はそれぞれ0日、292日、584日である。燃焼による各核種の原子数密度の変化は拡散理論を用いた燃焼計算コード「APOLLO」⁽⁷⁾ を用いて計算した。この時簡単のため、実効断面積としては全て HOMO モデルによるものを用いた。すなわち、各領域平均の原子数密度の変化を HOMO モデルにより求め、各燃焼時点において、セルモデル中の燃料ペレットの原子数密度を体積比を用いて再計算し、新たに計算された原子数密度を用いてセル計算を行ない、各燃焼時点での非均質実効炉定数とした。

3. 1000 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果

ガス冷却高速炉において、主要と考えられる炉特性についてその非均質効果を検討した。1000 MWe GCFR については以下の項目について検討した。

1. 臨界性
2. エネルギー・スペクトル
3. 中性子束分布および出力分布
4. 増殖比
5. ドップラー効果
6. ヘリウム・ボイド効果
7. 蒸気侵入効果

解析は、各セル計算によって得られた実効断面積を用いて同一の手法により各炉特性を求め、それぞれのセルモデルについて直接比較することにより行なった。ただし、ドップラー効果およびヘリウム・ボイド効果の解析は拡散理論に基く一次摂動論によって行なった。また、蒸気侵入効果については、Exact Perturbation による解析も合わせ行なった。

Table 5 に、各燃焼時点についてそれぞれのセル計算によって得られた各核種の実効微視断面積を一群化してまとめた。これらの実効一群断面積は種々の炉特性を計算するに際しての基本となる量である。また、実効一群断面積の変動がどの程度炉特性への変動をもたらすかの目安にも

(2) HETERO-2R モデル

の2つの方法で作成する。これらのモデルを用いて得られた実効断面積と Fig. 1, Fig. 2 の原子炉モデルとにより、それぞれの炉の諸特性を計算し、HOMO モデルを用いた場合と HETERO モデルを用いた場合の相互の比較から非均質効果の検討をする。

計算に使用した炉定数は、1000 MWe GCFR の場合 ENDF/B-III のデータを ABBN 型の 25 群断面積セットとしたものである。300 MWe GCFR の場合は JAERI FAST 25 群断面積セット⁽³⁾ Version II Revised を使用した。セル計算は、衝突確率法を用いたセル計算コード「PIGEON」⁽⁴⁾ により行った。Benoist の式により、方向に依存した拡散係数を求め、原子炉モデルの計算は拡散コード「CITATION」⁽⁵⁾ を修正して、非等方拡散係数を用いる修正拡散理論によって行った。摂動計算コードとしては「PERKY」⁽⁶⁾ を用いた。

1000 MWe GCFR の場合には燃焼による炉の諸特性の変化およびそれら諸特性の非均質効果を解析した。燃焼時点は初期 (0 年)、1 年、2 年である。但し、利用率を 0.8 としたので燃焼日数はそれぞれ 0 日、292 日、584 日である。燃焼による各核種の原子数密度の変化は拡散理論を用いた燃焼計算コード「APOLLO」⁽⁷⁾ を用いて計算した。この時簡単のため、実効断面積としては全て HOMO モデルによるものを用いた。すなわち、各領域平均の原子数密度の変化を HOMO モデルにより求め、各燃焼時点において、セルモデル中の燃料ペレットの原子数密度を体積比を用いて再計算し、新たに計算された原子数密度を用いてセル計算を行ない、各燃焼時点での非均質実効炉定数とした。

3. 1000 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果

ガス冷却高速炉において、主要と考えられる炉特性についてその非均質効果を検討した。1000 MWe GCFR については以下の項目について検討した。

1. 臨界性
2. エネルギー・スペクトル
3. 中性子束分布および出力分布
4. 増殖比
5. ドップラー効果
6. ヘリウム・ボイド効果
7. 蒸気侵入効果

解析は、各セル計算によって得られた実効断面積を用いて同一の手法により各炉特性を求め、それぞれのセルモデルについて直接比較することにより行なった。ただし、ドップラー効果およびヘリウム・ボイド効果の解析は拡散理論に基く一次摂動論によって行なった。また、蒸気侵入効果については、Exact Perturbation による解析も合わせ行なった。

Table 5 に、各燃焼時点についてそれぞれのセル計算によって得られた各核種の実効微視断面積を一群化してまとめた。これらの実効一群断面積は種々の炉特性を計算するに際しての基本となる量である。また、実効一群断面積の変動がどの程度炉特性への変動をもたらすかの目安にも

なる。反応の種類は、核分裂による中性子発生数 $\nu\sigma_f$ 、核分裂断面積 σ_f 、捕獲断面積 σ_c の3種類である。これらの微視断面積は、原子炉モデルの各領域の平均的な中性子スペクトルを用いて一群に縮約され、各領域毎に定義している。Table 5 の中のセル番号とセルモデルとの関係は以下のごとくになっている。

セル番号	セルモデル
Cell-1	HOMO Model
Cell-2	HETERO-4 R Model
Cell-3	HETERO-2 R Model

3.1 臨界性

各燃焼時点（燃焼初期、燃焼1年、燃焼2年）における実効増倍係数を、それぞれのセルモデルについて Table 6 に示す。臨界性に対する非均質効果 ΔH_c を、HOMO モデルを用いた場合の実効増倍係数 K^{HOMO} と HETERO モデルを用いた場合の実効増倍係数 K^{HETERO} とから次式の如く定義する。

$$\Delta H_c = \frac{K^{\text{HETERO}} - K^{\text{HOMO}}}{K^{\text{HOMO}}}$$

上式により計算した ΔH_c を下表に示す。

ΔH_c : Heterogeneity Effect for Multiplication Factor
(% $\Delta K/K$)

Cell Model	Burn-up Year		
	T = 0	T = 1	T = 2
HETERO-4R	-0.459	-0.439	-0.421
HETERO-2R	-0.339	-0.324	-0.311

各燃焼時点における各セルモデルによる実効増倍係数に対する非均質効果は全て負であり、燃焼が進むにつれ小さくなる傾向がある。燃焼初期において HETERO-4 R モデルでは -0.46%、HETERO-2 R モデルでは -0.34% の非均質効果となり、中性子のストリーミングをより強調したモデルである HETERO-4 R モデルの方が 35% 程非均質効果が大きくなっている。2年間燃焼させた場合の非均質効果は HETERO-4 R モデルで -0.42%、HETERO-2 R モデルで -0.31% となり、燃焼初期の非均質効果と比較して両モデル共 8% 程小さくなる。

3.2 エネルギー・スペクトル

各燃焼時点、各セルモデル、各領域の中性子束の平均的なエネルギー・スペクトルを Table 7 に示す。非均質セルモデルでは、均質モデルによる計算と比較して炉のスペクトルを硬めに計算

する。炉心部分のスペクトルをみると、HETEROモデルによる計算では200 keV以上のエネルギー群に属する中性子の割合が増し、200 keV以下のエネルギー群に属する中性子の割合が減少している。Fig. 5に、燃焼初期の炉心1におけるHOMOモデル (Cell-1) によるスペクトル ϕ_g^{HOMO} と HETERO-4Rモデル (Cell-2) によるスペクトル $\phi_g^{\text{HETERO-4R}}$ との差 $\Delta\phi_g$ を図示する。

$$\Delta\phi_g = \phi_g^{\text{HETERO-4R}} - \phi_g^{\text{HOMO}}$$

ただし、 $\phi_g^{\text{HETERO-4R}}$ 、 ϕ_g^{HOMO} はそれぞれ

$$\sum_g \phi_g^{\text{HETERO-4R}} = \sum_g \phi_g^{\text{HOMO}} = 1.0$$

となるように規格化している。燃焼が進行しても $\Delta\phi_g$ の値は殆ど変化しない。

3.3 中性子束分布および出力分布

Table 8に径方向および軸方向の中性子束分布を示す。中性子束はエネルギー群について和をとり、中心にもっとも近いメッシュ点 ($R=13.789$ cm, $Z=2.470$ cm) にて1.0になるように規格してある。均質モデルと非均質モデルとによる中性子束分布の差は殆どない。

Table 9に径方向および軸方向の出力分布を示す。中性子束の場合と同様各ケース毎に中心にもっとも近いメッシュ点 ($R=13.789$ cm, $Z=2.470$ cm) にて1.0に規格化してある。出力分布の場合もセルモデルの相違による差は小さい。Fig. 6に各燃焼時点毎の径方向および軸方向の出力分布を図示しておく。

中性子束分布、出力分布共セルモデルの相違による分布の差は非常に小さいが、両分布とも、非均質モデルによるものが内部の炉心では小さく、外部炉心 (炉心4) およびブランケット内では若干大きくなるという一定の傾向はある。そこで、各領域の出力分担率 P_k を計算し、Table 10に示しておく。ただし

$$\sum_{\text{Reactor}} P_k = 1.0$$

である。

セルモデルの相違による P_k の差を

$$\Delta P_k = P_k^{\text{HETERO}} - P_k^{\text{HOMO}}$$

P_k^{HETERO} ; HETEROモデルによるk領域の出力分担率

P_k^{HOMO} ; HOMOモデルによるk領域の出力分担率

として下表に示す。燃焼の進行と共に、 ΔP_k は炉心1～炉心3ではより小さく、炉心4およびブランケットではより大きくなる。

ΔP_k : Heterogeneity Effect of Region wise Power Distribution

Region	Cell No. (Cell Model)	Burn-up		
		0 year	1 year	2 year
Core 1	Cell-2 (HETERO-4R)	0.00002	-0.00039	-0.00097
	Cell-3 (HETERO-2R)	0.00005	-0.00035	-0.00075
Core 2	Cell-2 (HETERO-4R)	-0.00077	-0.00090	-0.00101
	Cell-3 (HETERO-2R)	-0.00059	-0.00069	-0.00077
Core 3	Cell-2 (HETERO-4R)	-0.00015	-0.00015	-0.00016
	Cell-3 (HETERO-2R)	-0.00012	-0.00011	-0.00011
Core 4	Cell-2 (HETERO-4R)	0.00020	0.00018	0.00018
	Cell-3 (HETERO-2R)	0.00016	0.00015	0.00015
Ax. B1	Cell-2 (HETERO-4R)	0.00036	0.00076	0.00113
	Cell-3 (HETERO-2R)	0.00026	0.00057	0.00086
Ra. B1	Cell-2 (HETERO-4R)	0.00035	0.00060	0.00084
	Cell-3 (HETERO-2R)	0.00025	0.00043	0.00063

3.4 増殖比

各セルモデルを用いて各燃焼時点における増殖比を計算した。第k領域の増殖比 $(BR)_k$ を以下の式にて定義した。

$$(BR)_k = \frac{\sum_m \sum_g N_k^m \sigma_{c,k}^{m,g} \phi_k^g}{\sum_{k'} \sum_{m'} \sum_g N_{k'}^{m'} \sigma_{a,k'}^{m',g} \phi_{k'}^g}$$

ここで、添字 m, m' はそれぞれ親物質核種 (U-238, Pu-240) と核分裂核種 (U-235, Pu-239, Pu-241) を示し、 g はエネルギー群である。 N_k^m ($N_{k'}^{m'}$) は第k領域 (第k'領域) の親物質核種 m (核分裂核種 m') の原子数密度であり、 $\sigma_{c,k}^{m,g}$ ($\sigma_{a,k'}^{m',g}$) は第k領域 (第k'領域) の親物質核種 m (核分裂核種 m') のエネルギー群 g における微視的捕獲断面積 (微視的吸収断面積) である。 ϕ_k^g は第k領域で積分されたエネルギー群 g の中性子束である。各燃焼時点における増殖比は、それぞれの燃焼時点における上記の諸量を用いて計算した。

各燃焼時点における $(BR)_k$ を Table 11 に示す。増殖比に対する比均質効果は小さく全増殖比に対して HETERO-4R モデル (Cell-2) で 1% 以下であり、燃焼に伴う非均質効果の変動も小さい。炉心とブランケットを分けてみると、ブランケットでは HETERO-4R では 2%, HETERO-2R モデルでは 1.5% 程 HOMO モデルより増殖比が大きくなるが、炉心部では殆んど変わらない。

増殖比の非均質効果 $\Delta H_{B,k}$ を以下のように定義する。

$$\Delta H_{B,k} = (BR)_k^{\text{HETERO}} - (BR)_k^{\text{HOMO}}$$

$(BR)_k^{\text{HETERO}}$; HETERO モデルによる第 k 領域の増殖比

$(BR)_k^{\text{HOMO}}$; HOMO モデルによる第 k 領域の増殖比

この $\Delta H_{B,k}$ を炉心とブランケットとに分けて計算し下表に示す。

$\Delta H_{B,k}$: Heterogeneity Effect of Breeding Ratio

		Burn-up		
Region	Cell Model	T=0 year	T=1 year	T=2 year
Core	HETERO-4R	-0.00121	-0.00206	-0.00275
	HETERO-2R	-0.00089	-0.00154	-0.00209
Blanket	HETERO-4R	0.01344	0.01323	0.01299
	HETERO-2R	0.01018	0.01004	0.00990
Total	HETERO-4R	0.01224	0.01117	0.01024
	HETERO-2R	0.00930	0.00849	0.00781

3.5 ドップラー効果

ドップラー反応度効果は高速炉において最も確かな負のフィードバック効果として期待されているものである。炉の運転温度は炉心部が 1500°K, ブランケット部は 800°K とし, 炉心部のみの温度を 1500°K から 2100°K まで上昇させ 2 次元拡散理論に基づく一次摂動法によりドップラー効果を求めた。計算結果を Table 12 に示す。炉心内の各領域毎に, 漏洩項と非漏洩項とに分けて示してある。

ドップラー反応度効果は正の値をもつ漏洩項と負の値をもつ非漏洩項とからなるが, 漏洩項の大きさは小さく非漏洩項の 1% 以下である。燃焼の進行に伴うドップラー反応度効果の変動をみると, 燃焼 1 年で約 10%, 燃焼 2 年で約 20% 小さくなる。これは, 燃焼と共に核分裂生成物が蓄積し, 炉のスペクトルが硬化するためである。燃焼初期におけるドップラー効果を HETERO-4R モデルと HOMO モデルとで比較すると, HETERO-4R モデルの方が約 0.63% 小さい。これは先の節でみたように, 炉心部の中性子スペクトルが HETERO-4R モデルの方が硬いためである。燃焼 2 年の時点では HETERO-4R モデルは HOMO モデルよりも約 0.73% 程ドップラー効果を小さく計算する。

ドップラー反応度効果に対する非均質効果 ΔH_D を以下の式のように定義する。

$$\Delta H_D = \Delta \rho_D^{\text{HETERO}} - \Delta \rho_D^{\text{HOMO}}$$

$\Delta \rho_D^{\text{HETERO}}$; HETERO モデルによるドップラー反応度効果

$\Delta\rho_D^{\text{HOMO}}$; HOMO モデルによるドップラー反応度効果

この ΔH_D を漏洩項, 非漏洩項に分けて以下の表に示す。

ΔH_D : Heterogeneity Effect of Doppler Reactivity Effect [%ΔK/K]

	Cell Model	Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
Non leakage	HETERO-4R	0.001650	0.001626	0.001538
	HETERO-2R	0.000987	0.001001	0.000971
Leakage	HETERO-4R	-0.000147	-0.000147	-0.000140
	HETERO-2R	-0.000150	-0.000147	-0.000140
Total	HETERO-4R	0.001503	0.001478	0.001397
	HETERO-2R	0.000837	0.000853	0.000830

ドップラー反応度効果に対する非均質効果を上表のようにそれぞれのセルモデルによる反応度効果の差の形でみると, 非均質効果の燃焼に対する変動は殆んどなくほぼ一定である。また, HETERO-2R モデルによる非均質効果は HETERO-4R モデルによる非均質効果の約60%程度の大きさである。

今回の解析では, 全燃焼期間を通して HOMO モデルと HETERO モデルとによるドップラー反応度効果の差異は 1%以内であり小さいと言える。ただし, 今回のセル計算では, 共鳴の自己遮蔽因子の計算に際してセル内の微細構造が厳密に考慮されていないので, この点の検討が必要になる可能性もある。

3.6 ヘリウム・ボイド効果

LMFBR におけるナトリウム・ボイド効果に対応するものとして, GCFR にはヘリウム・ボイド効果がある。ナトリウム・ボイド効果ほど厳しい安全上の問題を生じることはないとされているが, ヘリウム・ボイド効果も正の反応度効果をもつのでその大きさと内容の検討をしておくことは GCFR の安全解析上重要である。

ヘリウム・ボイド効果の計算もまたドップラー効果の計算と同様に 2次元拡散理論に基づく一次摂動法によって行なった。結果を Table 13 に示す。各領域毎に漏洩項と非漏洩項とに分けて示してある。GCFR のボイド効果は各領域で全て正であり燃焼の進行と共に大きくなる。HOMO モデルの場合, 燃焼 2 年で燃焼初期と比較して約 26%大きくなる。HETERO-4R モデルによるボイド効果を HOMO モデルによるボイド効果と比較すると, HETERO-4R モデルのボイド効果の方が燃焼初期で -3.3%, 燃焼 1 年で -2.9%, 燃焼 2 年で -2.6%小さくなる。

ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果 ΔH_V を次式のごとく定義し, 下表に示す。

$$\Delta H_V = \Delta\rho_V^{\text{HETERO}} - \Delta\rho_V^{\text{HOMO}}$$

$\Delta\rho_V^{\text{HETERO}}$; HETERO モデルによるヘリウム・ボイド効果

$\Delta\rho_V^{\text{HOMO}}$; HOMO モデルによるヘリウム・ボイド効果

ΔH_V : Heterogeneity Effect of Helium Void Reactivity Effect [% $\Delta K/K$]

	Cell Model	Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
Non-leakage	HETERO-4R	-0.005282	-0.005811	-0.006324
	HETERO-2R	-0.006514	-0.006925	-0.007342
Leakage	HETERO-4R	-0.012763	-0.012246	-0.011712
	HETERO-2R	-0.010095	-0.009713	-0.009345
Total	HETERO-4R	-0.018045	-0.018057	-0.018036
	HETERO-2R	-0.016609	-0.016638	-0.016688

ΔH_V の燃焼依存性は殆んど無く、またセルモデルの相違による差も小さい。すなわち、HETERO-4R モデルで-0.018% $\Delta K/K$ 、HETERO-2R モデルで-0.017% $\Delta K/K$ 程度であり、全燃焼期間を通して変動は小さい。また、 ΔH_V を漏洩項と非漏洩項に分けてみると、漏洩項の割合が大きく HETERO-4R モデルの場合漏洩項は非漏洩項の約 2 倍、HETERO-2R モデルで約 1.5 倍である。

3.7 蒸気侵入効果

LMFBR と比較して GCFR に特有な反応度効果として、蒸気侵入効果がある。これは二次冷却系の高圧水蒸気が熱交換器を通して炉心内に侵入した場合の反応度効果である。蒸気侵入による反応度効果の内容としては、衝突断面積の増大に伴う漏洩項の変化と、水素の減速効果によるスペクトルシフトに伴う項の変化とがある。このうち、漏洩項については漏洩の減少により常に正の反応度をもたらす物理的解釈は明瞭であるが、スペクトルシフトによる反応度の変化は、侵入した水の量、およびその炉内の位置、炉心物質の組成等によって正または負の値になり複雑な挙動を示す。ここでは、各燃焼時点について炉内全ての冷却材チャンネルに 0.01 g/cc, 0.03 g/cc, 0.05 g/cc の各蒸気量が侵入した場合のそれぞれの反応度効果を各セルモデルを用いて計算した。計算は各ケースについて拡散理論に基づく二次元計算を行ない、基準となる系の実効増倍係数 K と蒸気が侵入した系の実効増倍係数 K_S とから以下の式により蒸気侵入による反応度効果 $\Delta\rho_S$ を求めた。

$$\Delta\rho_S = \frac{K_S - 1}{K_S} - \frac{K - 1}{K}$$

Table 14 に燃焼時点 (T = 0 year, T = 1 year, T = 2 year)、侵入した蒸気量 (0.01 g/cc, 0.03 g/cc, 0.05 g/cc) およびセルモデル (HOMO モデル, HETERO-4R モデル, HETERO

- 2R モデル) をパラメータとして変化させたそれぞれの系の実効増倍係数を示す。Table 15に上記の各ケースの反応度効果を、Fig. 7に反応度効果を侵入した蒸気量に対してプロットしたグラフを示す。蒸気侵入効果は侵入した蒸気量に対しかなり複雑な形となり、各燃焼時点によってその傾向は大きく変わる。燃焼初期 (T=0 year) の場合は、ある一定の蒸気量 (今回の場合約 0.015 g/cc) までは反応度効果は負であるが、それ以上の蒸気量に対しては反応度効果は正となり蒸気量にほぼ比例して大きくなる。燃焼時点 T=1 year, T=2 year では、今回仮定した蒸気量の範囲では全て負の反応度効果となる。特に、燃焼時点 T=2 year の場合には、蒸気量が増すに従い、反応度効果は負の側に大きくなる。

蒸気侵入による反応度効果の非均質効果 ΔH_s を、HOMOモデルを用いた蒸気侵入効果 $\Delta \rho_s^{\text{HOMO}}$ と HETEROモデルを用いた蒸気侵入効果 $\Delta \rho_s^{\text{HETERO}}$ とから次式のごとく定義し、各燃焼時点、各蒸気侵入量に対して求めた結果を以下の表に示す。

$$\Delta H_s = \Delta \rho_s^{\text{HETERO}} - \Delta \rho_s^{\text{HOMO}}$$

ΔH_s : Heterogeneity Effect of Steam Ingress Reactivity Effect (% $\Delta K/K$)

Steam Density	Cell Model	Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
0.01 g/cc	HETERO-4R	0.0523	0.0574	0.0615
	HETERO-2R	0.0451	0.0495	0.0528
0.03 g/cc	HETERO-4R	0.1176	0.1259	0.1347
	HETERO-2R	0.0943	0.1023	0.1103
0.05 g/cc	HETERO-4R	0.1427	0.1537	0.1677
	HETERO-2R	0.1020	0.1156	0.1294

この ΔH_s を各燃焼時点に対してプロットした結果を Fig. 8 に示す。蒸気侵入効果の非均質効果 ΔH_s は各燃焼時点、各蒸気侵入量に対して全て正の値をもち、燃焼の進行および蒸気侵入量に対し増加する。燃焼の進行に対し、非均質効果は燃焼初期と比較して1年の燃焼で7~13%、2年の燃焼で15~27%大きくなる。蒸気侵入量に対しては、0.01 g/cc のときの非均質効果を基準とすると、0.03 g/cc のとき約2倍、0.05 g/cc のときは約3倍となる。非均質セルモデルの相違による非均質効果の相違をみると HETERO-2Rモデルの方が HETERO-4Rモデルよりも蒸気侵入量 0.01 g/cc に対して約14%、0.03 g/cc に対して約20%、0.05 g/cc に対しては23~30%小さくなる。蒸気侵入量 0.01 g/cc および 0.03 g/cc に対しては、セルモデルの相違による非均質効果の相違の燃焼依存性はみられないが、蒸気侵入量 0.05 g/cc に対しては若干の燃焼依存性がみられる。

Table 16に二次元拡散理論に基づく Exact Perturbation Methodにより求めた蒸気侵入による反応度効果を示す。Exact Perturbation Methodにより求めた反応度効果の値と、2つの系の実

効増倍係数を比較することから求めた反応度効果の値とはよく一致しており、それらの相違は各ケースについて0.5%以下である。Table 16に示された反応度効果の値を用いて、蒸気侵入による反応度効果の非均質効果 ΔH_g を、漏洩項と非漏洩項とに分けて計算した結果をHETERO-4Rモデルについて下表に示す。

Leakage and Non-Leakage Term of ΔH_g : HETERO-4M Model [% $\Delta K/K$]

Steam Density		Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
0.01 g/cc	Non-leakage	0.03522	0.04054	0.04479
	Leakage	0.01677	0.01597	0.01524
0.03 g/cc	Non-leakage	0.08094	0.08341	0.08765
	Leakage	0.04089	0.03829	0.03617
0.05 g/cc	Non-leakage	0.10326	0.09248	0.08985
	Leakage	0.05954	0.05535	0.05181

上表から、蒸気侵入による反応度効果の非均質効果の内容として、非漏洩項が漏洩項の約2倍の大きさを持ち、漏洩項は燃焼の進行と共に減少するが、非漏洩項は蒸気量が小さいとき(0.01 g/cc, 0.03 g/cc)は燃焼と共に増大するが、蒸気量が0.05 g/ccになると逆に減少することが判る。

4. 300 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果

原型炉級ガス冷却高速炉について参考までに簡単な非均質効果の検討を行なった。原子炉モデルとしてはGA社の設計による300 MWe GCFR⁽⁹⁾を選んだ。検討の対象とした炉特性は以下の4つである。

- (1) 臨界性
- (2) ドップラー効果
- (3) ヘリウム・ボイド効果
- (4) 蒸気侵入効果

またセルモデルとしては、簡単のため以下の2つとした。

- (1) HOMO モデル
- (2) HETERO-2R モデル

計算は二次元拡散理論に基づき各系についてそれぞれパラメータを変化させた場合の実効増倍係数を計算し、直接実効増倍係数を比較して炉特性を求めた。また、Exat Perturbation Methodによる計算も合わせ行なった。

効増倍係数を比較することから求めた反応度効果の値とはよく一致しており、それらの相違は各ケースについて0.5%以下である。Table 16に示された反応度効果の値を用いて、蒸気侵入による反応度効果の非均質効果 ΔH_g を、漏洩項と非漏洩項とに分けて計算した結果をHETERO-4Rモデルについて下表に示す。

Leakage and Non-Leakage Term of ΔH_g : HETERO-4M Model [% $\Delta K/K$]

Steam Density		Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
0.01 g/cc	Non-leakage	0.03522	0.04054	0.04479
	Leakage	0.01677	0.01597	0.01524
0.03 g/cc	Non-leakage	0.08094	0.08341	0.08765
	Leakage	0.04089	0.03829	0.03617
0.05 g/cc	Non-leakage	0.10326	0.09248	0.08985
	Leakage	0.05954	0.05535	0.05181

上表から、蒸気侵入による反応度効果の非均質効果の内容として、非漏洩項が漏洩項の約2倍の大きさを持ち、漏洩項は燃焼の進行と共に減少するが、非漏洩項は蒸気量が小さいとき(0.01 g/cc, 0.03 g/cc)は燃焼と共に増大するが、蒸気量が0.05 g/ccになると逆に減少することが判る。

4. 300 MWe ガス冷却高速炉の非均質効果

原型炉級ガス冷却高速炉について参考までに簡単な非均質効果の検討を行なった。原子炉モデルとしてはGA社の設計による300 MWe GCFR⁽⁸⁾を選んだ。検討の対象とした炉特性は以下の4つである。

- (1) 臨界性
- (2) ドップラー効果
- (3) ヘリウム・ボイド効果
- (4) 蒸気侵入効果

またセルモデルとしては、簡単のため以下の2つとした。

- (1) HOMO モデル
- (2) HETERO-2R モデル

計算は二次元拡散理論に基づき各系についてそれぞれパラメータを変化させた場合の実効増倍係数を計算し、直接実効増倍係数を比較して炉特性を求めた。また、Exat Perturbation Methodによる計算も合わせ行なった。

300 MWe GCFR の場合、燃焼効果は考慮せず燃焼初期の炉心とし、炉の温度は 300°K、各冷却チャンネルには 85 atm の He が存在する系を基準系とした。ドップラー効果は、基準系の炉心の温度を 300°K から 900°K にすることにより求めた。ヘリウム・ボイド効果は、炉心と軸方向ブランケットのヘリウムの原子数密度を 0.0 にすることにより計算した。蒸気侵入効果は、炉心と軸方向ブランケット内の冷却材チャンネルの He を抜き、0.041 g/cc の H₂O が侵入したものと計算した。

Table 17 に各系の実効増倍係数を HOMO モデル、HETERO-2R モデルのそれぞれについて示す。

以下各炉特性について非均質効果の検討を行なうことにする。

(1) 臨界性

臨界性に対する非均質効果 ΔH_0 を、HOMO モデルによる実効増倍係数 K^{HOMO} と HETERO-2R モデルによる実効増倍係数 $K^{\text{HETERO-2R}}$ とから次式により定義する。

$$\Delta H_0 = \frac{K^{\text{HETERO-2R}} - K^{\text{HOMO}}}{K^{\text{HOMO}}}$$

上式により ΔH_0 を求めると

$$\Delta H_0 = -0.2379 \% \Delta K / K$$

となる。この ΔH_0 を、Exact Perturbation Method により、各領域毎に、漏洩項と非漏洩項とに分離して Table 18 に示す。全ての領域において漏洩項は炉心部で大きい。臨界性に対する非均質効果を 1000 MWe GCFR と 300 MWe GCFR とで比較すると、300 MWe GCFR の場合の方が約 30 % 小さい。

(2) ドップラー効果

基準系の実効増倍係数 K と、炉心の温度を 300°K から 900°K に上げた系の実効増倍係数 K_D とからドップラー効果 $\Delta \rho_D$ を以下の式のごとく定義し、各セルモデルについてそれぞれ求める。

$$\Delta \rho_D = \frac{K_D - 1}{K_D} - \frac{K - 1}{K}$$

HOMO モデルによるドップラー効果 $\Delta \rho_D^{\text{HOMO}}$ と HETERO-2R モデルによるドップラー効果 $\Delta \rho_D^{\text{HETERO}}$ とから、ドップラー効果に対する非均質効果 ΔH_D を次式から求める。

$$\Delta H_D = \Delta \rho_D^{\text{HETERO-2R}} - \Delta \rho_D^{\text{HOMO}}$$

$\Delta \rho_D^{\text{HOMO}}$ 、 $\Delta \rho_D^{\text{HETERO-2R}}$ 、 ΔH_D を以下に示す。

$$\Delta \rho_D^{\text{HOMO}} = -0.4682 \% \Delta K / K K'$$

$$\Delta \rho_D^{\text{HETERO-2R}} = -0.4678 \% \Delta K / K K'$$

$$\Delta H_D = -0.0004 \% \Delta K / K K'$$

HOMO モデルによるドップラー効果と HETERO-2R モデルによるドップラー効果との差は殆んどなく、ドップラー効果に対する非均質効果は無視できると言える。これは先の 1000 MWe GCFR の場合に得られた結論と一致している。Table 19 に Exact Perturbation Method により得られたドップラー効果を示しておく。

(3) ヘリウム・ボイド効果

ドップラー効果と同様の定義により、HOMOモデルによるヘリウム・ボイド効果 $\Delta\rho_V^{\text{HOMO}}$ 、HETERO-2Rモデルによるヘリウム・ボイド効果 $\Delta\rho_V^{\text{HETERO-2R}}$ 、ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果 ΔH_V を計算し以下に示す。

$$\begin{aligned}\Delta\rho_V^{\text{HOMO}} &= 0.2286 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_V^{\text{HETERO-2R}} &= 0.2206 \% \Delta K / KK' \\ \Delta H_V &= -0.0080 \% \Delta K / KK'\end{aligned}$$

ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果は負であり、HETERO-2Rモデルによるボイド効果の方が約3.5%小さい。これは先にみた1000 MWe GCFRの場合と同様の結果である。Table 20にExact Perturbation Methodによるヘリウム・ボイド効果の値を示しておく。

(4) 蒸気侵入効果

ドップラー効果と同様の定義により、HOMOモデルによる蒸気侵入効果 $\Delta\rho_S^{\text{HOMO}}$ 、HETERO-2Rモデルによる蒸気侵入効果 $\Delta\rho_S^{\text{HETERO-2R}}$ 、蒸気侵入効果に対する非均質効果 ΔH_S を計算し以下に示す。

$$\begin{aligned}\Delta\rho_S^{\text{HOMO}} &= -0.0725 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_S^{\text{HETERO-2R}} &= -0.0107 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_S &= 0.0618 \% \Delta K / KK'\end{aligned}$$

ΔH_S は正の値をもち、定性的には1000 MWe GCFRの場合と同様の傾向を示す。Table 21にExact Perturbation Methodによる蒸気侵入効果の値を示す。

5. ま と め

ピン型燃料に基づくガス冷却高速炉の燃料要素内の微細構造による非均質効果の検討を行なった。原子炉モデルとしてはGA社社の設計による1000 MWe GCFRを選び、比較のため同じくGA社の設計による300 MWe GCFRについても簡単な検討を加えた。検討の対象とした炉特性は、臨界性および増殖性に関連した諸特性（臨界性、中性子スペクトル、中性子束分布、出力分布および増殖比）とGCFRにおいて安全性の観点から重要と考えられている3つの反応度効果（ドップラー効果、ヘリウム・ボイド効果および蒸気侵入効果）である。また、上記の炉特性は各燃焼時点毎（ $T=0$ 、 $T=1$ year、 $T=2$ year）に計算し、非均質効果の燃焼依存性を検討した。セル計算は衝突確率法に基づいて行ない、方向依存性拡散係数はBenoistの式により求めた。セルモデルとしては、燃料ピン領域とそれ以外の領域の2領域に分割する通常のセルモデル（HETERO-2R）の他に、中性子のストリーミングを強調するため燃料要素内を4つの領域により細かく分割したモデル（HETERO-4R）を用意した。

臨界性

臨界性に対する非均質効果は負であり、燃焼初期（ $T=0$ ）の場合、HETERO-4Rモデルで $-0.46 \% \Delta K / K$ 、HETERO-2Rモデルで $-0.34 \% \Delta K / K$ である。非均質効果の燃焼依存性は小さいが、セルモデルによる相異は約35%程あり無視できぬ大きさである。

(3) ヘリウム・ボイド効果

ドップラー効果と同様の定義により、HOMOモデルによるヘリウム・ボイド効果 $\Delta\rho_V^{\text{HOMO}}$ 、HETERO-2Rモデルによるヘリウム・ボイド効果 $\Delta\rho_V^{\text{HETERO-2R}}$ 、ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果 ΔH_V を計算し以下に示す。

$$\begin{aligned}\Delta\rho_V^{\text{HOMO}} &= 0.2286 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_V^{\text{HETERO-2R}} &= 0.2206 \% \Delta K / KK' \\ \Delta H_V &= -0.0080 \% \Delta K / KK'\end{aligned}$$

ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果は負であり、HETERO-2Rモデルによるボイド効果の方が約3.5%小さい。これは先にみた1000 MWe GCFRの場合と同様の結果である。Table 20にExact Perturbation Methodによるヘリウム・ボイド効果の値を示しておく。

(4) 蒸気侵入効果

ドップラー効果と同様の定義により、HOMOモデルによる蒸気侵入効果 $\Delta\rho_S^{\text{HOMO}}$ 、HETERO-2Rモデルによる蒸気侵入効果 $\Delta\rho_S^{\text{HETERO-2R}}$ 、蒸気侵入効果に対する非均質効果 ΔH_S を計算し以下に示す。

$$\begin{aligned}\Delta\rho_S^{\text{HOMO}} &= -0.0725 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_S^{\text{HETERO-2R}} &= -0.0107 \% \Delta K / KK' \\ \Delta\rho_S &= 0.0618 \% \Delta K / KK'\end{aligned}$$

ΔH_S は正の値をもち、定性的には1000 MWe GCFRの場合と同様の傾向を示す。Table 21にExact Perturbation Methodによる蒸気侵入効果の値を示す。

5. ま と め

ピン型燃料に基づくガス冷却高速炉の燃料要素内の微細構造による非均質効果の検討を行なった。原子炉モデルとしてはGA社社の設計による1000 MWe GCFRを選び、比較のため同じくGA社の設計による300 MWe GCFRについても簡単な検討を加えた。検討の対象とした炉特性は、臨界性および増殖性に関連した諸特性（臨界性、中性子スペクトル、中性子束分布、出力分布および増殖比）とGCFRにおいて安全性の観点から重要と考えられている3つの反応度効果（ドップラー効果、ヘリウム・ボイド効果および蒸気侵入効果）である。また、上記の炉特性は各燃焼時点毎（ $T=0$ 、 $T=1$ year、 $T=2$ year）に計算し、非均質効果の燃焼依存性を検討した。セル計算は衝突確率法に基づいて行ない、方向依存性拡散係数はBenoistの式により求めた。セルモデルとしては、燃料ピン領域とそれ以外の領域の2領域に分割する通常のセルモデル（HETERO-2R）の他に、中性子のストリーミングを強調するため燃料要素内を4つの領域により細かく分割したモデル（HETERO-4R）を用意した。

臨界性

臨界性に対する非均質効果は負であり、燃焼初期（ $T=0$ ）の場合、HETERO-4Rモデルで $-0.46 \% \Delta K / K$ 、HETERO-2Rモデルで $-0.34 \% \Delta K / K$ である。非均質効果の燃焼依存性は小さいが、セルモデルによる相異は約35%程あり無視できぬ大きさである。

エネルギー・スペクトル

非均質セルモデルに基づく計算では、炉のスペクトルが硬くなり、200 keV以上のエネルギー群に属する中性子の割合が増し、200 keV以下のエネルギー群に属する中性子の割合が減少する。

中性子束分布および出力分布

非均質セルモデルに基づく計算では均質モデルによる計算と比較して炉の周辺部では大きく、炉の内部では小さいという傾向はあるが、その差は非常に小さく無視できる。

増殖比

増殖比に対する非均質効果は正である。その大きさは1%以下であり無視できる。

ドップラー効果

ドップラー効果に対する非均質効果は正である。その大きさは1%以下であり無視できる。ただし、我々の用いたセル計算には、共鳴の自己遮蔽因子の計算に際してセル内の微細構造が厳密には考慮されていないので、この点に関して検討の余地がある。

ヘリウム・ボイド効果

ヘリウム・ボイド効果に対する非均質効果は負である。その大きさは-3%程度であり無視できる。

蒸気侵入効果

蒸気侵入効果自体は、侵入した水の量、侵入した水の炉内での位置、炉心内物質の組成（濃縮度、燃焼、吸収物質の存在等）のパラメーターの変化に対して正になったり負になったりかなり複雑な挙動を示す。しかし、その非均質効果を均質モデル、非均質モデルのそれぞれの反応度効果の差の形で定義すると常に正の値をとり、HETERO-4Rモデルの場合燃焼初期で、侵入した水の量0.01 g/ccに対して0.05% $\Delta K/K$ 、0.03 g/ccに対して0.12% $\Delta K/K$ 、0.05 g/ccに対して0.14% $\Delta K/K$ となり無視できない大きさである。燃焼に対する依存性をみると、燃焼1年について約10%程大きくなる。また、非均質セルモデルの相異による非均質効果の相異をみると、HETERO-2Rモデルの方がHETERO-4Rモデルよりも14~30%程小さくなる。

300 MWe GCFR の場合

臨界性、ドップラー効果、ヘリウム・ボイド効果、蒸気侵入効果の4つの項目について非均質効果の検討を行なったが、1000 MWe GCFR とほぼ同様の結論が得られた。非均質効果自身の大きさは異なるが、1000 MWe GCFR と比較して特殊な問題は特に存在しないといえる。

参 考 文 献

- (1) ORNL: An evaluation of gas-cooled fast reactor, WASH-1089 (April 1969).
- (2) 吉田弘幸, 他: 1000 MWe ガス冷却高速炉の臨界性, 増殖性および安全性に関連した炉物理性能の燃焼効果, JAERI-M 7423 (1977年12月)
- (3) S. Katsuragi et al.: JAERI-1195 (1970) and JAERI-1199 (1970).
- (4) 大杉俊隆, 他: 高速炉設計用計算プログラム1, 衝突確率法を用いたセル計算コード PIGEON, JAERI-M 6308 (1975年3月)
- (5) T.B. Fowler et al.: Nuclear reactor core analysis code; CITATION, ORNL-TM-2496 (1969).
- (6) 飯島 進, 他: 高速炉設計用計算プログラム2 (2次元・3次元拡散摂動理論計算コード: PERKY), JAERI-M 6993 (1977年2月)
- (7) 猪川浩次: APOLLO, 高速炉の長期燃焼解析用2次元多群拡散・燃焼計算コード, JAERI-M 5886 (1974年10月)
- (8) B. Pellaud: Physics design of GCFR demonstration reactor, GA-10509 (1971).

Table 1 Region Average Atomic Number Densities of 1000 MWe GCFR

(1) Start-up Core

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	Core 1	Core 2	Core 3	Core 4	A. BLANKET	R. BLANKET	REFLECTOR
Pu-239	4.7481E-4	6.7829E-4	7.8464E-4	9.7937E-4			
Pu-240	1.6581E-4	2.3686E-4	2.7400E-4	3.4200E-4			
Pu-241	9.0440E-5	1.2920E-4	1.4946E-4	1.8655E-4			
Pu-242	2.2609E-5	3.2300E-5	3.7363E-5	4.6636E-5			
U-238	5.6538E-3	5.3314E-3	5.1628E-3	4.8544E-3	6.3596E-3	1.0980E-2	
U-235	1.1330E-5	1.0684E-5	1.0346E-5	9.7284E-6	1.2745E-5	2.2004E-5	
U-236							
FP-235							
FP-239							
AM-241							
Q	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2745E-2	2.2004E-2	
CR	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	2.1542E-3	9.9761E-3
Fe	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	8.3851E-3	3.8832E-2
Ni	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.3467E-3	6.2369E-3
He	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	3.6782E-4	3.6782E-4

(2) Burn-up 1 year

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	Core 1	Core 2	Core 3	Core 4	A. BLANKET	R. BLANKET	REFLECTOR
Pu-239	5.3144E-4	6.6512E-4	7.4714E-4	9.0961E-4	6.0671E-5	6.2375E-5	
Pu-240	1.8181E-4	2.5058E-4	2.8584E-4	3.5671E-4	7.8387E-7	5.6131E-7	
Pu-241	6.6240E-5	9.6852E-5	1.1713E-4	1.5150E-4	6.0137E-9	4.3247E-9	
Pu-242	2.5098E-5	3.5179E-5	4.0103E-5	4.9809E-5	2.7818E-11	1.2687E-11	
U-238	5.4029E-3	5.1181E-3	4.9936E-3	4.7229E-3	6.2926E-3	1.0912E-2	
U-235	8.0222E-6	7.8887E-6	8.0959E-6	7.9248E-6	1.1596E-5	2.0760E-5	
U-236	7.0129E-7	5.7578E-7	4.6418E-7	3.8494E-7	2.8582E-7	3.2295E-7	
FP-235	3.5508E-5	3.6670E-5	3.0910E-5	2.1969E-5	4.5093E-6	4.5253E-6	
FP-239	1.6284E-4	2.0207E-4	1.8899E-4	1.9000E-4	1.8930E-6	1.1692E-6	
AM-241	2.7557E-6	4.0434E-6	4.8660E-6	6.2453E-6	6.0852E-11	4.4825E-11	
Q	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2745E-2	2.2004E-2	
CR	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	2.1542E-3	9.9761E-3
Fe	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	8.3851E-3	3.8832E-2
Ni	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.3467E-3	6.2369E-3
He	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	3.6782E-4	3.6782E-4

Table 1 Cont'd

(3) Burn-up 2 year

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	Core 1	Core 2	Core 3	Core 4	A.BLANKET	R.BLANKET	REFLECTOR
Pu-239	5.6451E-4	6.4984E-4	7.1519E-4	8.5191E-4	1.1865E-4	1.2058E-4	
Pu-240	1.9889E-4	2.6225E-4	2.9542E-4	3.6794E-4	3.0302E-6	2.0536E-6	
Pu-241	5.0716E-5	7.5558E-5	9.4537E-5	1.2582E-4	4.1214E-8	2.5596E-8	
Pu-242	2.6294E-5	3.6584E-5	4.1625E-5	5.1793E-5	3.9495E-10	1.5281E-10	
U-238	5.1512E-3	4.9154E-3	4.8345E-3	4.5988E-3	6.2221E-3	1.0845E-2	
U-235	5.5934E-6	5.8435E-6	6.3782E-6	6.4971E-6	1.0514E-5	1.9626E-5	
U-236	1.1512E-6	9.5608E-7	7.9322E-7	6.7164E-7	5.4331E-7	6.0799E-7	
FP-235	7.2050E-5	7.0710E-5	5.8928E-5	4.1998E-5	9.7117E-6	9.2715E-6	
FP-239	3.4054E-4	3.9121E-4	3.5950E-4	3.5860E-4	7.6943E-6	4.4668E-6	
AM-241	4.2766E-6	6.4836E-6	8.1013E-6	1.0670E-5	8.3899E-10	5.5634E-10	
Q	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2838E-2	1.2745E-2	2.2004E-2	
CR	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	1.8773E-3	2.1542E-3	9.9761E-3
Fe	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	7.3073E-3	8.3851E-3	3.8832E-2
Ni	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.1736E-3	1.3467E-3	6.2369E-3
He	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	5.9940E-4	3.6782E-4	3.6782E-4

Table 2 Region Average Atomic Number Densities of 300 MWe GCFR

(1) Core (unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nuclide	Core 1	Core 2	Core 3	Core 4
U-235	1.241-5	1.166-5	1.130-5	1.140-5
U-238	4.892-3	4.595-3	4.455-3	4.491-3
Pu-239	8.499-4	9.716-4	1.074-3	1.321-3
Pu-240	1.646-4	1.883-4	2.080-4	2.559-4
Pu-241	2.656-5	3.036-5	3.355-5	4.127-5
Pu-242	2.125-5	2.429-5	2.684-5	3.301-5
He	4.928-4	4.991-4	4.999-4	4.862-4
O	1.193-2	1.164-2	1.161-2	1.230-2
Cr	2.310-3	2.310-3	2.310-3	2.310-3
Fe	9.170-3	9.170-3	9.170-3	9.170-3
Ni	1.810-3	1.810-3	1.810-3	1.810-3
Mo	2.660-4	2.660-4	2.660-4	2.660-4

(2) Axial and Radial Blanket, Reflector (unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nuclide	AB-1	AB-2	AB-3	AB-4	R.Blanket	Reflector
U-235	1.572-5	1.532-5	1.524-5	1.614-5	2.402-5	
U-238	6.194-3	6.036-3	6.016-3	6.363-3	9.468-3	
He	4.928-4	4.991-4	4.999-4	4.862-4	3.748-4	1.757-4
O	1.184-2	1.154-2	1.150-2	1.230-2	1.898-2	
Cr	2.310-3	2.310-3	2.310-3	2.310-3	1.964-3	1.063-2
Fe	9.170-3	9.170-3	9.170-3	9.170-3	8.450-3	4.577-2
Ni	1.810-3	1.810-3	1.810-3	1.810-3	1.670-3	9.045-3
Mo	2.660-4	2.660-4	2.660-4	2.660-4	2.450-4	1.327-3

Table 3 Atomic Number Densities in Cell Models for 1000 MWe GCFR

(1) Core-1

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239	1.6395E-3				1.6395E-3	
Pu-240	5.7255E-4				5.7255E-4	
Pu-241	3.1229E-4				3.1229E-4	
Pu-242	7.8070E-5				7.8070E-5	
U-238	1.9523E-2				1.9523E-2	
U-235	3.9123E-5				3.9123E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4330E-2				4.4330E-2	
CR		1.5641E-2		1.5641E-2		2.6426E-3
Fe		6.0880E-2		6.0880E-2		1.0286E-2
Ni		9.7778E-3		9.7778E-3		1.6520E-3
He			1.0153E-3			8.4375E-4

(2) Core-2

(unit; 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239	2.3422E-3				2.3422E-3	
Pu-240	8.1789E-4				8.1789E-4	
Pu-241	4.4614E-4				4.4614E-4	
Pu-242	1.1153E-4				1.1153E-4	
U-238	1.8410E-2				1.8410E-2	
U-235	3.6892E-5				3.6892E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4330E-2				4.4330E-2	
CR		1.5641E-2		1.5641E-2		2.6426E-3
Fe		6.0880E-2		6.0880E-2		1.0286E-2
Ni		9.7778E-3		9.7778E-3		1.6520E-3
He			1.0153E-3			8.4375E-4

Table 3 Cont'd

(3) Core-3

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239	2.7094E-3				2.7094E-3	
Pu-240	9.4614E-4				9.4614E-4	
Pu-241	5.1609E-4				5.1609E-4	
Pu-242	1.2902E-4				1.2902E-4	
U-238	1.7827E-2				1.7827E-2	
U-235	3.5725E-5				3.5725E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4330E-2				4.4330E-2	
CR		1.5641E-2		1.5641E-2		2.6426E-3
Fe		6.0880E-2		6.0880E-2		1.0286E-2
Ni		9.7778E-3		9.7778E-3		1.6520E-3
He			1.0153E-3			8.4375E-4

(4) Core-4

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239	3.3818E-3				3.3818E-3	
Pu-240	1.1809E-3				1.1809E-3	
Pu-241	6.4417E-4				6.4417E-4	
Pu-242	1.6104E-4				1.6104E-4	
U-238	1.6763E-2				1.6763E-2	
U-235	3.3593E-5				3.3593E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4330E-2				4.4330E-2	
CR		1.5641E-2		1.5641E-2		2.6426E-3
Fe		6.0880E-2		6.0880E-2		1.0286E-2
Ni		9.7778E-3		9.7778E-3		1.6520E-3
He			1.0153E-3			8.4375E-4

Table 3 Cont'd

(5) A. Blanket

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239						
Pu-240						
Pu-241						
Pu-242						
U-238	2.1960E-2				2.1960E-2	
U-235	4.4009E-5				4.4009E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4009E-2				4.4009E-2	
CR		1.5641E-2		1.5641E-2		2.6426E-3
Fe		6.0880E-2		6.0880E-2		1.0286E-2
Ni		9.7778E-3		9.7778E-3		1.6520E-3
He			1.0153E-3			8.4375E-4

(6) R. Blanket

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	HETERO-4R				HETERO-2R	
	Fuel	Can.	He	St.	Fuel	Can. He. St.
Pu-239						
Pu-240						
Pu-241						
Pu-242						
U-238	2.1962E-2				2.1962E-2	
U-235	4.4012E-5				4.4012E-5	
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	4.4012E-2				4.4012E-2	
CR		1.5635E-2		1.5635E-2		4.3080E-3
Fe		6.0858E-2		6.0858E-2		1.6768E-2
Ni		9.7743E-3		9.7743E-3		2.6931E-3
He			1.0153E-3			7.3556E-4

Table 4 Atomic Number Densities in Cell Models
for 300 MWe GCFR

(1) Core

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	Core 1		Core 2	
	Fuel	Can, He, St.	Fuel	Can, He, St.
U-235	4.273-5		4.124-5	
U-238	1.685-2		1.626-2	
Pu-239	2.927-3		3.437-3	
Pu-240	5.669-4		6.659-4	
Pu-241	9.146-5		1.074-4	
Pu-242	7.317-5		8.591-5	
He	3.509-5	6.801-4	3.509-5	6.820-4
O	4.108-2		4.117-2	
Cr		3.254-3		3.221-3
Fe		1.292-2		1.279-2
Ni		2.550-3		2.523-3
Mo		3.747-4		3.709-4

Nucleide	Core 3		Core 4	
	Fuel	Can, He, St.	Fuel	Can, He, St.
U-235	4.011-5		3.825-5	
U-238	1.581-2		1.507-2	
Pu-239	3.811-3		4.431-3	
Pu-240	7.383-4		8.585-4	
Pu-241	1.191-4		1.385-4	
Pu-242	9.526-5		1.108-4	
He	3.509-5	6.822-4	3.509-5	6.777-4
O	4.121-2		4.127-2	
Cr		3.216-3		3.291-3
Fe		1.277-2		1.306-2
Ni		2.520-3		2.578-3
Mo		3.703-4		3.789-4

Table 4 Cont'd

(2) Axial Blanket and Radial Blanket

(unit: 10^{24} atoms/cm³)

Nucleide	Axial Blanket 1		Axial Blanket 2		Axial Blanket 3	
	Fuel	Can, He structure	Fuel	Can, He structure	Fuel	Can, He structure
U-235	5.416-5		5.416-5		5.416-5	
U-238	2.135-2		2.135-2		2.135-2	
O	4.128-2		4.128-2		4.128-2	
He	3.509-5	6.801-4	3.509-5	6.820-4	3.509-5	6.822-4
Cr		3.254-3		3.221-3		3.216-3
Fe		1.292-3		1.279-3		1.277-3
Ni		2.550-3		2.523-3		2.520-3
Mo		3.747-4		3.709-4		3.703-4

Nucleide	Axial Blanket 4		Radial Blanket	
	Fuel	Can, He structure	Fuel	Can, He structure
U-235	5.416-5		3.753-5	
U-238	2.135-2		1.479-2	
O	4.128-2		2.966-2	
He	3.509-5	6.777-4		1.041-4
Cr		3.291-3		5.456-3
Fe		1.306-3		2.347-2
Ni		2.578-3		4.639-3
Mo		3.789-4		6.806-4

Table 5 Effective One-Group Constants of 1000 MWe GCFR

Start-up Core		Start-up Core		
Core 1		Core 1		
$\nu\sigma_f$	σ_c	(unit: barn)		
Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Cell-3
Pu-239	5.3800	5.3796	0.4990	0.4995
Pu-240	1.0955	1.0992	0.3979	0.3982
Pu-241	7.3258	7.3192	0.4288	0.4291
Pu-242	0.8734	0.8774	0.3320	0.3322
U-238	0.1186	0.1194	0.2886	0.2888
U-235	4.8271	4.8220	0.5630	0.5635
U-236				
FP-235				
FP-239				
AM-241				
O	0.0	0.0	0.0009	0.0009
CR			0.0159	0.0159
FE			0.0097	0.0097
Ni			0.0310	0.0309
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Cell-1 : HOMO Model

Cell-2 : HETERO-4R Model

Cell-3 : HETERO-2R Model

Table 5 Cont'd

Start-up Core Core 1				Start-up Core Core 2			
Nucleide	σ _f			Nucleide	σ _f		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.8311	1.8308	1.8311	Pu-239	5.2750	5.2762	5.2767
Pu-240	0.3621	0.3633	0.3631	Pu-240	1.2238	1.2284	1.2278
Pu-241	2.4586	2.4562	2.4571	Pu-241	6.9491	6.9454	6.9473
Pu-242	0.2865	0.2878	0.2876	Pu-242	1.0042	1.0090	1.0083
U-238	0.0427	0.0430	0.0430	U-238	0.1432	0.1442	0.1441
U-235	1.9671	1.9648	1.9657	U-235	4.5559	4.5528	4.5543
U-236				U-236			
FP-235				FP-235			
FP-239				FP-239			
AM-241				AM-241			
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
CR				CR			
FE				FE			
Ni				Ni			
He	0.0	0.0	0.0	He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year Core 2		Burn-up 1 year Core 2		
Nucleide	$\nu\sigma_f$	σ_c		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
		(unit: barn)		
Pu-239	5.2747	0.4343	0.4333	0.4337
Pu-240	1.2059	0.3551	0.3545	0.3547
Pu-241	6.9717	0.3890	0.3883	0.3885
Pu-242	0.9861	0.2904	0.2899	0.2901
U-238	0.1396	0.2685	0.2680	0.2682
U-235	4.5748	0.5088	0.5079	0.5082
U-236	0.2965	0.4828	0.4821	0.4823
FP-235	0.0	0.3657	0.3651	0.3653
FP-239	0.0	0.4243	0.4235	0.4238
AM-241	1.3436	0.9849	0.9825	0.9834
O	0.0	0.0011	0.0011	0.0011
CR		0.0145	0.0145	0.0145
FE		0.0091	0.0091	0.0091
NI		0.0314	0.0314	0.0314
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up Core Core 3		Start-up Core Core 3		
Nucleide	$\nu\sigma_f$	σ_c		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	5.2607	0.4124	0.4120	0.4122
Pu-240	1.2745	0.3413	0.3410	0.3411
Pu-241	6.8644	0.3744	0.3740	0.3741
Pu-242	1.0564	0.2780	0.2778	0.2778
U-238	0.1539	0.2593	0.2590	0.2591
U-235	4.4943	0.4891	0.4885	0.4887
U-236				
FP-235				
FP-239				
AM-241				
O	0.0	0.0012	0.0012	0.0012
CR		0.0140	0.0140	0.0140
FE		0.0089	0.0089	0.0089
NI		0.0321	0.0320	0.0320
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up Core Core 3				Start-up Core Core 4			
Nucleide	σ _f (unit: barn)			Nucleide	νσ _f (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.7818	1.7824	1.7824	Pu-239	5.3257	5.3269	5.3269
Pu-240	0.4196	0.4209	0.4208	Pu-240	1.2349	1.2382	1.2378
Pu-241	2.2944	2.2939	2.2943	Pu-241	7.0651	7.0635	7.0639
Pu-242	0.3449	0.3464	0.3462	Pu-242	1.0170	1.0205	1.0201
U-238	0.0554	0.0557	0.0557	U-238	0.1475	0.1483	0.1483
U-235	1.8245	1.8240	1.8243	U-235	4.6329	4.6314	4.6318
U-236				U-236			
FP-235				FP-235			
FP-239				FP-239			
AM-241				AM-241			
0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
CR				CR			
FE				FE			
NI				NI			
He	0.0	0.0	0.0	He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up Core Core 4		Start-up Core Core 4		
Nucleide	σ_c	σ_f		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4455	1.8060	1.8062	1.8062
Pu-240	0.3630	0.4067	0.4078	0.4076
Pu-241	0.3958	2.3643	2.3636	2.3637
Pu-242	0.3006	0.3322	0.3332	0.3331
U-238	0.2714	0.0530	0.0533	0.0533
U-235	0.5186	1.8828	1.8821	1.8822
U-236				
FP-235				
FP-239				
AM-241				
O	0.0012	0.0	0.0	0.0
CR	0.0146			
FE	0.0093			
Ni	0.0322			
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Start-up Core Core 4		Start-up Core Core 4		
Nucleide	σ_c	σ_f		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4455	0.4450	0.4451	0.4451
Pu-240	0.3630	0.3628	0.3628	0.3628
Pu-241	0.3958	0.3954	0.3955	0.3955
Pu-242	0.3006	0.3004	0.3004	0.3004
U-238	0.2714	0.2712	0.2712	0.2712
U-235	0.5186	0.5181	0.5182	0.5182
U-236				
FP-235				
FP-239				
AM-241				
O	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
CR	0.0146	0.0146	0.0147	0.0147
FE	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093
Ni	0.0322	0.0322	0.0322	0.0322
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up Core AX. BL.		Start-up Core AX. BL.			
$\nu\sigma_f$ (unit: barn)		σ_c (unit: barn)			
Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239					
Pu-240					
Pu-241					
Pu-242					
U-238	0.0545	0.0544	0.3798	0.3797	0.3796
U-235	6.6572	6.6533	0.9517	0.9511	0.9510
U-236					
FP-235					
FP-239					
AM-241					
O	0.0	0.0	0.0004	0.0004	0.0004
CR			0.0221	0.0221	0.0221
FE			0.0126	0.0126	0.0125
Ni			0.0311	0.0311	0.0311
He	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Nucleide	Start-up AX. BL.			Start-up RA. BL.		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239						
Pu-240						
Pu-241						
Pu-242						
U-238	0.0197	0.0197	0.0197	0.0567	0.0566	0.0565
U-235	2.7326	2.7310	2.7309	6.6262	6.6286	6.6277
U-236						
FP-235						
FP-239						
AM-241						
O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CR						
FE						
NI						
He	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up RA. BL.		Start-up RA. BL.			
σ_c		σ_f			
(unit: barn)		(unit: barn)			
Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239					
Pu-240					
Pu-241					
Pu-242					
U-238	0.3736	0.3737	0.0205	0.0204	0.0204
U-235	0.9446	0.9451	2.7195	2.7205	2.7201
U-236					
FP-235					
FP-239					
AM-241					
O	0.0004	0.0004	0.0	0.0	0.0
CR	0.0223	0.0227			
FE	0.0129	0.0129			
NI	0.0315	0.0315			
He	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Start-up Core Reflector		Burn-up 1 year Core 1		
σ_c		$\nu\sigma_f$		
Nuclide		Cell-1	Cell-2	Cell-3
		(unit: barn)		
Pu-239		5.3454	5.3451	5.3459
Pu-240		1.1118	1.1156	1.1150
Pu-241		7.2371	7.2308	7.2334
Pu-242		0.8903	0.8943	0.8937
U-238		0.1216	0.1225	0.1224
U-235		4.7667	4.7618	4.7638
U-236		0.2601	0.2616	0.2614
FP-235		0.0	0.0	0.0
FP-239		0.0	0.0	0.0
AM-241		1.2928	1.2954	1.2953
O		0.0	0.0	0.0
CR				
FE				
NI				
He		0.0	0.0	0.0

Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-3
	(unit: barn)		
Pu-239			
Pu-240			
Pu-241			
Pu-242			
U-238			
U-235			
U-236			
FP-235			
FP-239			
AM-241			
O			
CR	0.0335	0.0333	0.0331
FE	0.0197	0.0196	0.0196
NI	0.0389	0.0388	0.0388
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year Core 1		Burn-up 1 year Core 1					
Nucleide	σ_c	(unit: barn)			(unit: barn)		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4844	0.4831	0.4835	1.8184	1.8181	1.8184	
Pu-240	0.3880	0.3872	0.3875	0.3673	0.3686	0.3684	
Pu-241	0.4206	0.4196	0.4199	2.4277	2.4254	2.4263	
Pu-241	0.3218	0.3211	0.3213	0.2920	0.2932	0.2930	
U-238	0.2857	0.2851	0.2853	0.0438	0.0441	0.0441	
U-235	0.5516	0.5504	0.5508	1.9417	1.9396	1.9404	
U-236	0.5173	0.5164	0.5167	0.0963	0.0969	0.0968	
FP-235	0.4030	0.4021	0.4024	0.0	0.0	0.0	
FP-239	0.4662	0.4651	0.4655	0.0	0.0	0.0	
AM-241	1.1064	1.1030	1.1042	0.3921	0.3927	0.3927	
O	0.0009	0.0009	0.0009	0.0	0.0	0.0	
CR	0.0157	0.0156	0.0156				
FE	0.0096	0.0096	0.0096				
Ni	0.0310	0.0310	0.0310				
He	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Table 5 Cont'd

Start-up Core Core 2		Start-up Core Core 2		
Nucleide	σ_c	σ_f		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4292	1.7890	1.7892	1.7894
Pu-240	0.3523	0.4033	0.4048	0.4046
Pu-241	0.3854	2.3253	2.3238	2.3245
Pu-242	0.2883	0.3284	0.3299	0.3297
U-238	0.2652	0.0515	0.0519	0.0519
U-235	0.5041	1.8515	1.8500	1.8506
U-236				
FP-235				
FP-239				
AM-241				
0	0.0011	0.0	0.0	0.0
CR	0.0143			
FE	0.0091			
NI	0.0316			
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year
Core 2
σf

Nuclide	(unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.7897	1.7899	1.7901
Pu-240	0.3976	0.3990	0.3988
Pu-241	2.3337	2.3322	2.3329
Pu-242	0.3226	0.3241	0.3239
U-238	0.0503	0.0506	0.0506
U-235	1.8598	1.8583	1.8589
U-236	0.1097	0.1104	0.1103
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.4047	0.4057	0.4057
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
Ni			
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 1 year
Core 3
σf

Nuclide	(unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	5.2672	5.2693	5.2695
Pu-240	1.2468	1.2509	1.2504
Pu-241	6.9131	6.9120	6.9130
Pu-242	1.0283	1.0326	1.0321
U-238	0.1484	0.1495	0.1494
U-235	4.5321	4.5309	4.5317
U-236	0.3137	0.3155	0.3153
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	1.3799	1.3841	1.3838
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
Ni			
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year Core 3		Burn-up 1 year Core 3		
Nucleide	σ_c	σ_f		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
		(unit: barn)		
Pu-239	0.4225	1.7853	1.7858	1.7859
Pu-240	0.3472	0.4107	0.4120	0.4118
Pu-241	0.3811	2.3121	2.3116	2.3119
Pu-242	0.2832	0.3360	0.3373	0.3372
U-238	0.2642	0.0534	0.0538	0.0537
U-235	0.4981	1.8409	1.8403	1.8407
U-236	0.4747	0.1160	0.1166	0.1166
FP-235	0.3573	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.4146	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.9573	0.4147	0.4158	0.4157
O	0.0011	0.0	0.0	0.0
CR	0.0143			
FE	0.0090			
NI	0.0319			
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year
Core 4

Nucleide	σ _f (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	5.3293	5.3304	5.3304
Pu-240	1.2082	1.2113	1.2110
Pu-241	7.1042	7.1026	7.1030
Pu-242	0.9899	0.9932	0.9929
U-238	0.1422	0.1430	0.1429
U-235	4.6654	4.6639	4.6643
U-236	0.3003	0.3017	0.3016
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	1.3732	1.3763	1.3762
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
NI			
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 1 year
Core 4

Nucleide	σ _c (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4546	0.4542	0.4543
Pu-240	0.3679	0.3676	0.3677
Pu-241	0.4017	0.4014	0.4015
Pu-242	0.3045	0.3043	0.3043
U-238	0.2761	0.2758	0.2759
U-235	0.5264	0.5259	0.5260
U-236	0.4995	0.4992	0.4992
FP-235	0.3842	0.3839	0.3839
FP-239	0.4443	0.4440	0.4440
AM-241	1.0425	1.0414	1.0415
O	0.0011	0.0011	0.0011
CR	0.0149	0.0149	0.0149
FE	0.0094	0.0094	0.0094
NI	0.0320	0.0320	0.0320
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year Core 4		Burn-up 1 year AX, BL									
Nucleide	of	(unit: barn)			vof	(unit: barn)					
		Cell-1	Cell-2	Cell-3		Cell-1	Cell-2	Cell-3			
Pu-239		1.8084	1.8086	1.8087		6.4418	6.4399	6.4397			
Pu-240		0.3982	0.3991	0.3990		0.7864	0.7861	0.7861			
Pu-241		2.3787	2.3780	2.3781		9.6702	9.6662	9.6654			
Pu-242		0.3235	0.3246	0.3245		0.5501	0.5499	0.5498			
U-238		0.0511	0.0514	0.0514		0.0612	0.0611	0.0611			
U-235		1.8970	1.8963	1.8964		6.2973	6.2937	6.2933			
U-236		0.1110	0.1115	0.1115		0.1361	0.1360	0.1360			
FP-235		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0			
FP-239		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0			
AM-241		0.4138	0.4146	0.4146		1.2375	1.2361	1.2358			
O		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0			
CR											
FE											
Ni											
He		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0			

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year
AX. BL.

Nucleide	σ_c (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.9282	0.9272	0.9271
Pu-240	1.0349	1.0420	1.0391
Pu-241	0.6552	0.6548	0.6547
Pu-242	0.6933	0.6945	0.6938
U-238	0.3664	0.3662	0.3662
U-235	0.8748	0.8742	0.8741
U-236	0.8405	0.8400	0.8398
FP-235	0.7447	0.7441	0.7440
FP-239	0.8423	0.8418	0.8416
AM-241	2.1715	2.1703	2.1696
O	0.0004	0.0004	0.0004
CR	0.0213	0.0213	0.0213
FE	0.0121	0.0121	0.0121
NI	0.0309	0.0309	0.0308
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 1 year
AX. BL.

Nucleide	σ_f (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	2.2135	2.2128	2.2128
Pu-240	0.2627	0.2626	0.2626
Pu-241	3.2695	3.2681	3.2679
Pu-242	0.1826	0.1825	0.1825
U-238	0.0221	0.0221	0.0221
U-235	2.5829	2.5815	2.5813
U-236	0.0507	0.0506	0.0506
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.3869	0.3864	0.3864
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
NI			
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year RA. BL.		Burn-up 1 year RA. BL.		
$\nu\sigma_f$		σ_c		
(unit: barn)		(unit: barn)		
Nucleide	Cell-1	Cell-2	Cell-1	Cell-2
Pu-239	6.5305	6.5326	0.9597	0.9603
Pu-240	0.7781	0.7778	1.1055	1.1119
Pu-241	9.8294	9.8329	0.6702	0.6705
Pu-242	0.5419	0.5416	0.7147	0.7162
U-238	0.0602	0.0602	0.3666	0.3666
U-235	6.3959	6.3973	0.8954	0.8958
U-236	0.1338	0.1337	0.8610	0.8615
FP-235	0.0	0.0	0.7672	0.7676
FP-239	0.0	0.0	0.8675	0.8681
AM-241	1.2498	1.2494	2.2439	2.2459
0	0.0	0.0	0.0004	0.0004
CR			0.0219	0.0219
FE			0.0126	0.0126
NI			0.0314	0.0313
He	0.0	0.0	0.0	0.0
			Cell-3	Cell-3
			0.9600	0.9600
			1.1095	1.1095
			0.6703	0.6703
			0.7156	0.7156
			0.3666	0.3666
			0.8956	0.8956
			0.8613	0.8613
			0.7674	0.7674
			0.8678	0.8678
			2.2449	2.2449
			0.0004	0.0004
			0.0219	0.0219
			0.0126	0.0126
			0.0313	0.0313
			0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 1 year RA. BL.		Burn-up 1 year Reflector		
Nucleide	σ_f	σ_c		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
		(unit: barn)		
Pu-239	2.2446	2.2454	2.2451	
Pu-240	0.2600	0.2598	0.2598	
Pu-241	3.3241	3.3253	3.3247	
Pu-242	0.1799	0.1798	0.1797	
U-238	0.0218	0.0217	0.0217	
U-235	2.6238	2.6244	2.6241	
U-236	0.0498	0.0497	0.0497	
FP-235	0.0	0.0	0.0	
FP-239	0.0	0.0	0.0	
AM-241	0.3910	0.3909	0.3909	
O	0.0	0.0	0.0	
CR			0.0307	0.0306
FE			0.0180	0.0179
NI			0.0366	0.0365
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year Core 1		Burn-up 2 year Core 1		
Nucleide	$\nu\sigma_f$	σ_c		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
		(unit: barn)		
Pu-239	5.3205	0.4731	0.4718	0.4722
Pu-240	1.1225	0.3803	0.3795	0.3798
Pu-241	7.1731	0.4140	0.4131	0.4134
Pu-242	0.9014	0.3141	0.3133	0.3136
U-238	0.1236	0.2834	0.2829	0.2831
U-235	4.7232	0.5426	0.5414	0.5418
U-236	0.2642	0.5090	0.5082	0.5085
FP-235	0.0	0.3938	0.3929	0.3932
FP-239	0.0	0.4563	0.4553	0.4556
AM-241	1.2951	1.0782	1.0749	1.0760
0	0.0	0.0009	0.0009	0.0009
CR		0.0155	0.0155	0.0155
FE		0.0095	0.0095	0.0095
NI		0.0310	0.0310	0.0310
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year Core 1		Burn-up 2 year Core 2		
Nucleide	σf	(unit: barn)		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.8093	5.2731	5.2740	5.2746
Pu-240	0.3708	1.1914	1.1957	1.1951
Pu-241	2.4055	6.9869	6.9829	6.9849
Pu-242	0.2955	0.9715	0.9759	0.9754
U-238	0.0445	0.1368	0.1377	0.1376
U-235	1.9235	4.5879	4.5846	4.5861
U-236	0.0979	0.2910	0.2927	0.2925
FP-235	0.0	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.3924	1.3335	1.3370	1.3369
O	0.0	0.0	0.0	0.0
CR				
FE				
Ni				
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year Core 2		of Core 2		
Nucleide	σ_c	(unit: barn)		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4379	0.4369	0.4373	0.4373
Pu-240	0.3571	0.3565	0.3567	0.3567
Pu-241	0.3916	0.3909	0.3911	0.3911
Pu-242	0.2919	0.2914	0.2916	0.2916
U-238	0.2711	0.2707	0.2708	0.2708
U-235	0.5123	0.5113	0.5116	0.5116
U-236	0.4848	0.4842	0.4844	0.4844
FP-235	0.3677	0.3670	0.3672	0.3672
FP-239	0.4269	0.4261	0.4264	0.4264
AM-241	0.9927	0.9903	0.9911	0.9911
O	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011
CR	0.0147	0.0146	0.0147	0.0147
FE	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092
Ni	0.0313	0.0313	0.0313	0.0313
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Burn-up 2 year Core 2		of Core 2		
Nucleide	σ_c	(unit: barn)		
		Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.7899	1.7900	1.7902	1.7902
Pu-240	0.3930	0.3943	0.3941	0.3941
Pu-241	2.3395	2.3379	2.3386	2.3386
Pu-242	0.3180	0.3194	0.3192	0.3192
U-238	0.0493	0.0496	0.0496	0.0496
U-235	1.8656	1.8641	1.8648	1.8648
U-236	0.1077	0.1083	0.1083	0.1083
FP-235	0.0	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.4021	0.4030	0.4030	0.4030
O	0.0	0.0	0.0	0.0
CR				
FE				
Ni				
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
Core 3

Nucleide	$\nu\sigma_f$ (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	5.2714	5.2733	5.2735
Pu-240	1.2244	1.2283	1.2279
Pu-241	6.9502	6.9489	6.9500
Pu-242	1.0056	1.0097	1.0092
U-238	0.1440	0.1450	0.1449
U-235	4.5611	4.5598	4.5607
U-236	0.3050	0.3067	0.3065
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	1.3652	1.3690	1.3689
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
Ni			
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 2 year
Core 3

Nucleide	σ_c (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4302	0.4297	0.4299
Pu-240	0.3518	0.3515	0.3516
Pu-241	0.3863	0.3859	0.3861
Pu-242	0.2872	0.2870	0.2871
U-238	0.2682	0.2679	0.2680
U-235	0.5051	0.5045	0.5047
U-236	0.4796	0.4793	0.4794
FP-235	0.3624	0.3621	0.3622
FP-239	0.4207	0.4203	0.4204
AM-241	0.9751	0.9739	0.9743
O	0.0011	0.0011	0.0011
CR	0.0145	0.0145	0.0145
FE	0.0091	0.0091	0.0091
Ni	0.0318	0.0317	0.0317
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year Core 4		Burn-up 2 year Core 4		
Core of		Core of		
Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-1	Cell-2
	(unit: barn)			
Pu-239	1.7878	1.7882	5.3312	5.3323
Pu-240	0.4035	0.4047	1.1869	1.1898
Pu-241	2.3257	2.3250	7.1340	7.1323
Pu-242	0.3288	0.3300	0.9683	0.9714
U-238	0.0518	0.0522	0.1379	0.1387
U-235	1.8536	1.8529	4.6899	4.6885
U-236	0.1128	0.1134	0.2920	0.2933
FP-235	0.0	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.4108	0.4119	1.3589	1.3618
0	0.0	0.0	0.0	0.0
CR				
FE				
Ni				
He	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
Core 4

Nucleide	σ_c (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.4616	0.4612	0.4612
Pu-240	0.3716	0.3714	0.3714
Pu-241	0.4063	0.4060	0.4060
Pu-242	0.3076	0.3074	0.3074
U-238	0.2798	0.2796	0.2797
U-235	0.5324	0.5319	0.5320
U-236	0.5033	0.5030	0.5030
FP-235	0.3882	0.3879	0.3879
FP-239	0.4492	0.4488	0.4489
AM-241	1.0571	1.0560	1.0561
O	0.0011	0.0011	0.0011
CR	0.0151	0.0151	0.0152
FE	0.0094	0.0094	0.0094
Ni	0.0319	0.0318	0.0319
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 2 year
Core 4

Nucleide	σ_f (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	1.8101	1.8103	1.8103
Pu-240	0.3913	0.3922	0.3921
Pu-241	2.3896	2.3889	2.3891
Pu-242	0.3167	0.3176	0.3175
U-238	0.0496	0.0499	0.0499
U-235	1.9078	1.9070	1.9072
U-236	0.1080	0.1085	0.1084
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.4101	0.4109	0.4108
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
Ni			
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
AX. Bl.

Burn-up 2 year
AX. Bl.

Nucleide	vof (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	6.1965	6.1951	6.1948
Pu-240	0.8200	0.8201	0.8200
Pu-241	9.2184	9.2149	9.2140
Pu-242	0.5865	0.5867	0.5866
U-238	0.0675	0.0676	0.0675
U-235	6.0384	6.0352	6.0348
U-236	0.1492	0.1492	0.1492
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	1.2379	1.2369	1.2367
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
Ni			
He	0.0	0.0	0.0

Nucleide	σ_c (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.8442	0.8434	0.8433
Pu-240	0.7351	0.7365	0.7357
Pu-241	0.6163	0.6159	0.6158
Pu-242	0.6156	0.6166	0.6160
U-238	0.3551	0.3549	0.3548
U-235	0.8197	0.8191	0.8190
U-236	0.7785	0.7781	0.7780
FP-235	0.6818	0.6812	0.6811
FP-239	0.7719	0.7714	0.7712
AM-241	1.9759	1.9747	1.9740
O	0.0005	0.0005	0.0005
CR	0.0206	0.0206	0.0206
FE	0.0117	0.0117	0.0117
Ni	0.0308	0.0308	0.0308
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
AX. BL.

Nucleide	σ_f (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	2.1268	2.1263	2.1262
Pu-240	0.2735	0.2735	0.2735
Pu-241	3.1142	3.1130	3.1127
Pu-242	0.1943	0.1944	0.1944
U-238	0.0244	0.0244	0.0244
U-235	2.4751	2.4737	2.4736
U-236	0.0555	0.0555	0.0555
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.3857	0.3854	0.3853
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
NI			
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 2 year
RA. BL.

Nucleide	$\sigma_{\sigma f}$ (unit: barn)		
	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	6.3436	6.3451	6.3444
Pu-240	0.7963	0.7961	0.7960
Pu-241	9.5123	9.5147	9.5133
Pu-242	0.5622	0.5621	0.5621
U-238	0.0638	0.0638	0.0638
U-235	6.2217	6.2225	6.2219
U-236	0.1412	0.1412	0.1412
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	1.2498	1.2494	1.2493
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
NI			
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
RA. BL.

σ_c (unit: barn)

Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	0.8991	0.8995	0.8992
Pu-240	0.8043	0.8063	0.8055
Pu-241	0.6439	0.6441	0.6440
Pu-242	0.6579	0.6591	0.6586
U-238	0.3602	0.3602	0.3602
U-235	0.8581	0.8583	0.8582
U-236	0.8174	0.8178	0.8176
FP-235	0.7232	0.7235	0.7233
FP-239	0.8178	0.8182	0.8180
AM-241	2.1054	2.1067	2.1059
O	0.0005	0.0005	0.0005
CR	0.0215	0.0215	0.0215
FE	0.0124	0.0124	0.0124
NI	0.0313	0.0313	0.0313
He	0.0	0.0	0.0

Burn-up 2 year
RA. BL.

σ_f (unit: barn)

Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239	2.1789	2.1794	2.1792
Pu-240	0.2658	0.2657	0.2657
Pu-241	3.2153	3.2161	3.2156
Pu-242	0.1864	0.1864	0.1863
U-238	0.0230	0.0230	0.0230
U-235	2.5514	2.5517	2.5515
U-236	0.0525	0.0525	0.0525
FP-235	0.0	0.0	0.0
FP-239	0.0	0.0	0.0
AM-241	0.3903	0.3902	0.3901
O	0.0	0.0	0.0
CR			
FE			
NI			
He	0.0	0.0	0.0

Table 5 Cont'd

Burn-up 2 year
 Reflector
 σ_c (unit: barn)

Nuclide	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Pu-239			
Pu-240			
Pu-241			
Pu-242			
U-238			
U-235			
U-236			
FP-235			
FP-239			
AM-241			
O			
CR	0.0288	0.0287	0.0287
FE	0.0168	0.0167	0.0167
NI	0.0350	0.0350	0.0349
He	0.0	0.0	0.0

Table 6 Multiplication Factor K_{eff}
 for 1000 MWe GCFR

Cell-Model	Burn-up Year		
	T = 0	T = 1	T = 2
HOMO	1.031204	1.007661	0.988411
HETERO-4R	1.026475	1.003239	0.984252
HETERO-2R	1.027711	1.004396	0.985339

Table 7 Neutron Flux Energy Spectrum of 1000 MWe GCFR

Start-up Core Core 1				Start-up Core Core 2			
Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00228	0.00228	0.00228	1	0.00279	0.00279	0.00279
2	0.01035	0.01036	0.01034	2	0.01265	0.01266	0.01264
3	0.02183	0.02185	0.02182	3	0.02665	0.02668	0.02664
4	0.04500	0.04510	0.04505	4	0.05385	0.05398	0.05393
5	0.05637	0.05652	0.05648	5	0.06592	0.06608	0.06604
6	0.14706	0.14744	0.14736	6	0.15843	0.15881	0.15874
7	0.15366	0.15394	0.15388	7	0.15936	0.15955	0.15951
8	0.15604	0.15600	0.15597	8	0.15473	0.15459	0.15459
9	0.14630	0.14608	0.14611	9	0.13839	0.13812	0.13816
10	0.10375	0.10348	0.10354	10	0.09451	0.09425	0.09431
11	0.07182	0.07163	0.07171	11	0.06319	0.06304	0.06311
12	0.03919	0.03904	0.03910	12	0.03340	0.03330	0.03334
13	0.02527	0.02522	0.02527	13	0.02061	0.02060	0.02063
14	0.01291	0.01289	0.01291	14	0.00997	0.00997	0.00999
15	0.00541	0.00541	0.00542	15	0.00385	0.00386	0.00387
16	0.00197	0.00198	0.00198	16	0.00127	0.00128	0.00128
17	0.00059	0.00060	0.00060	17	0.00035	0.00035	0.00035
18	0.00014	0.00014	0.00014	18	0.00007	0.00007	0.00007
19	0.00004	0.00004	0.00004	19	0.00002	0.00002	0.00002
20	0.00001	0.00001	0.00001	20	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	21	↑	↑	↑
22	↑	↑	↑	22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑	23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓	24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0	25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0	SUM	1.0	1.0	1.0

Cell-1 : HOMO Model
 Cell-2 : HETERO-4R Model
 Cell-3 : HETERO-2R Model

Table 7 Cont'd

Start-up Core
Core 3

Start-up Core
Core 4

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00302	0.00302	0.00302
2	0.01370	0.01372	0.01370
3	0.02885	0.02888	0.02884
4	0.05752	0.05763	0.05759
5	0.06959	0.06971	0.06968
6	0.16088	0.16116	0.16111
7	0.15943	0.15953	0.15951
8	0.15279	0.15262	0.15262
9	0.13525	0.13500	0.13505
10	0.09185	0.09166	0.09171
11	0.06111	0.06103	0.06109
12	0.03207	0.03202	0.03205
13	0.01956	0.01958	0.01961
14	0.00932	0.00935	0.00936
15	0.00353	0.00355	0.00355
16	0.00113	0.00115	0.00114
17	0.00030	0.00031	0.00031
18	0.00006	0.00006	0.00006
19	0.00002	0.00002	0.00002
20	0.0	0.0	0.0
21	↑	↑	↑
22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00291	0.00291	0.00290
2	0.01318	0.01318	0.01316
3	0.02771	0.02771	0.02768
4	0.05491	0.05496	0.05492
5	0.06655	0.06661	0.06658
6	0.15539	0.15557	0.15555
7	0.15556	0.15566	0.15565
8	0.15213	0.15201	0.15201
9	0.13790	0.13773	0.13776
10	0.09566	0.09551	0.09556
11	0.06473	0.06468	0.06472
12	0.03458	0.03454	0.03456
13	0.02149	0.02153	0.02155
14	0.01065	0.01068	0.01069
15	0.00434	0.00437	0.00437
16	0.00159	0.00160	0.00160
17	0.00052	0.00053	0.00053
18	0.00015	0.00015	0.00015
19	0.00006	0.00006	0.00006
20	0.00001	0.00001	0.00001
21	0.0	0.0	0.0
22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Start-up Core

AX. BL.

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00098	0.00097	0.00097
2	0.00443	0.00439	0.00438
3	0.00936	0.00928	0.00927
4	0.02183	0.02167	0.02167
5	0.02989	0.02983	0.02984
6	0.10777	0.10765	0.10768
7	0.12740	0.12766	0.12770
8	0.14841	0.14860	0.14863
9	0.15972	0.15985	0.15986
10	0.12666	0.12659	0.12657
11	0.09762	0.09762	0.09759
12	0.05883	0.05876	0.05873
13	0.04413	0.04412	0.04411
14	0.02779	0.02778	0.02777
15	0.01624	0.01623	0.01623
16	0.00947	0.00946	0.00946
17	0.00480	0.00480	0.00481
18	0.00272	0.00272	0.00273
19	0.00118	0.00118	0.00119
20	0.00051	0.00051	0.00051
21	0.00011	0.00011	0.00011
22	0.00009	0.00009	0.00009
23	0.00006	0.00006	0.00006
24	0.00003	0.00003	0.00003
25	0.00002	0.00003	0.00003
SUM	1.0	1.0	1.0

Start-up Core

RA. BL.

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00105	0.00104	0.00104
2	0.00475	0.00472	0.00471
3	0.00981	0.00976	0.00975
4	0.02234	0.02224	0.02224
5	0.03062	0.03058	0.03058
6	0.10815	0.10805	0.10807
7	0.12387	0.12395	0.12398
8	0.14647	0.14651	0.14652
9	0.16002	0.16005	0.16006
10	0.12854	0.12853	0.12852
11	0.09862	0.09866	0.09866
12	0.06056	0.06055	0.06054
13	0.04358	0.04363	0.04362
14	0.02714	0.02717	0.02716
15	0.01588	0.01591	0.01505
16	0.00932	0.00934	0.00934
17	0.00471	0.00473	0.00473
18	0.00268	0.00269	0.00269
19	0.00113	0.00114	0.00113
20	0.00048	0.00048	0.00048
21	0.00010	0.00010	0.00010
22	0.00008	0.00008	0.00008
23	0.00005	0.00005	0.00005
24	0.00003	0.00003	0.00003
25	0.00003	0.00003	0.00003
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Start-up Core Reflector				Burn-up 1 year Core 1			
Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00013	0.00013	0.00013	1	0.00234	0.00234	0.00233
2	0.00057	0.00056	0.00056	2	0.01059	0.01059	0.01057
3	0.00139	0.00136	0.00136	3	0.02235	0.02238	0.02234
4	0.00512	0.00503	0.00504	4	0.04626	0.04636	0.04631
5	0.00950	0.00943	0.00945	5	0.05778	0.05792	0.05788
6	0.06152	0.06121	0.06140	6	0.14820	0.14858	0.14850
7	0.08482	0.08523	0.08549	7	0.15460	0.15487	0.15482
8	0.10715	0.10780	0.10805	8	0.15638	0.15633	0.15631
9	0.13359	0.13433	0.13450	9	0.14562	0.14540	0.14543
10	0.12150	0.12192	0.12189	10	0.10274	0.10247	0.10253
11	0.11032	0.11047	0.11035	11	0.07076	0.07057	0.07065
12	0.06350	0.06348	0.06333	12	0.03837	0.03824	0.03829
13	0.07531	0.07517	0.07496	13	0.02446	0.02442	0.02446
14	0.06298	0.06273	0.06256	14	0.01226	0.01224	0.01227
15	0.04877	0.04848	0.04836	15	0.00496	0.00496	0.00497
16	0.03676	0.03647	0.03640	16	0.00171	0.00172	0.00172
17	0.02696	0.02671	0.02667	17	0.00048	0.00049	0.00049
18	0.01960	0.01939	0.01938	18	0.00010	0.00010	0.00010
19	0.01325	0.01310	0.01310	19	0.00002	0.00003	0.00003
20	0.00824	0.00813	0.00814	20	0.0	0.0	0.0
21	0.00461	0.00455	0.00455	21	↑	↑	↑
22	0.00245	0.00242	0.00242	22			
23	0.00118	0.00116	0.00116	23			
24	0.00050	0.00049	0.00049	24	↓	↓	↓
25	0.00028	0.00027	0.00027	25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0	SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Burn-up 1 year
Core 2

Burn-up 1 year
Core 3

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00270	0.00271	0.00270
2	0.01225	0.01227	0.01224
3	0.02586	0.02589	0.02585
4	0.05280	0.05292	0.05287
5	0.06482	0.06498	0.06494
6	0.15642	0.15679	0.15672
7	0.15868	0.15887	0.15883
8	0.15533	0.15520	0.15520
9	0.13974	0.13948	0.13952
10	0.09597	0.09571	0.09578
11	0.06448	0.06433	0.06440
12	0.03418	0.03408	0.03412
13	0.02110	0.02109	0.02112
14	0.01016	0.01016	0.01017
15	0.00387	0.00388	0.00388
16	0.00124	0.00125	0.00125
17	0.00032	0.00033	0.00033
18	0.00006	0.00006	0.00006
19	0.00001	0.00002	0.00002
20	0.0	0.0	0.0
21	↑	↑	↑
22			
23	↓	↓	↓
24			
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00290	0.00290	0.00289
2	0.01313	0.01314	0.01312
3	0.02768	0.02771	0.02767
4	0.05578	0.05588	0.05584
5	0.06777	0.06788	0.06785
6	0.15815	0.15842	0.15837
7	0.15840	0.15851	0.15849
8	0.15351	0.15335	0.15335
9	0.13718	0.13695	0.13699
10	0.09398	0.09379	0.09384
11	0.06301	0.06292	0.06298
12	0.03326	0.03320	0.03323
13	0.02037	0.02040	0.02042
14	0.00972	0.00975	0.00975
15	0.00365	0.00367	0.00367
16	0.00115	0.00116	0.00116
17	0.00030	0.00030	0.00030
18	0.00006	0.00006	0.00006
19	0.00001	0.00001	0.00002
20	0.0	0.0	0.0
21	↑	↑	↑
22			
23	↓	↓	↓
24			
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Burn-up 1 year
Core 4

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00279	0.00278	0.00278
2	0.01263	0.01263	0.01261
3	0.02659	0.02658	0.02655
4	0.05320	0.05324	0.05321
5	0.06478	0.06483	0.06481
6	0.15287	0.15305	0.15302
7	0.15460	0.15470	0.15469
8	0.15278	0.15267	0.15267
9	0.13975	0.13958	0.13962
10	0.09770	0.09756	0.09761
11	0.06655	0.06650	0.06650
12	0.03573	0.03569	0.03571
13	0.02229	0.02233	0.02234
14	0.01103	0.01107	0.01107
15	0.00445	0.00448	0.00448
16	0.00159	0.00161	0.00160
17	0.00049	0.00050	0.00050
18	0.00013	0.00013	0.00013
19	0.00004	0.00005	0.00005
20	0.00001	0.00001	0.00001
21	0.0	0.0	0.0
22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Burn-up 1 year
AX. BL.

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00112	0.00111	0.00110
2	0.00504	0.00500	0.00499
3	0.01065	0.01058	0.01057
4	0.02426	0.02413	0.02412
5	0.03276	0.03272	0.03272
6	0.11204	0.11197	0.11199
7	0.13050	0.13076	0.13080
8	0.14974	0.14990	0.14993
9	0.15896	0.15905	0.15906
10	0.12471	0.12466	0.12465
11	0.09530	0.09528	0.09526
12	0.05695	0.05688	0.05685
13	0.04218	0.04218	0.04216
14	0.02608	0.02607	0.02606
15	0.01472	0.01471	0.01471
16	0.00811	0.00811	0.00811
17	0.00386	0.00386	0.00387
18	0.00185	0.00186	0.00186
19	0.00076	0.00076	0.00076
20	0.00027	0.00028	0.00027
21	0.00006	0.00006	0.00006
22	0.00005	0.00005	0.00005
23	0.00003	0.00003	0.00003
24	0.00001	0.00001	0.00001
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Burn-up 1 year
RA. BL.

Burn-up 1 year
Reflector

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00112	0.00112	0.00112
2	0.00509	0.00506	0.00505
3	0.01052	0.01048	0.01047
4	0.02360	0.02352	0.02351
5	0.03214	0.03210	0.03211
6	0.11012	0.11005	0.11006
7	0.12527	0.12536	0.12538
8	0.14713	0.14716	0.14718
9	0.15982	0.15984	0.15985
10	0.12784	0.12781	0.12781
11	0.09771	0.09774	0.09774
12	0.05975	0.05973	0.05972
13	0.04269	0.04273	0.04275
14	0.02628	0.02631	0.02630
15	0.01502	0.01505	0.01504
16	0.00847	0.00849	0.00849
17	0.00409	0.00410	0.00410
18	0.00205	0.00206	0.00206
19	0.00082	0.00083	0.00083
20	0.00030	0.00031	0.00031
21	0.00006	0.00006	0.00006
22	0.00005	0.00005	0.00005
23	0.00003	0.00003	0.00003
24	0.00001	0.00002	0.00002
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00025	0.00025	0.00025
2	0.00111	0.00110	0.00110
3	0.00272	0.00268	0.00268
4	0.00890	0.00879	0.00880
5	0.01542	0.01531	0.01534
6	0.07530	0.07489	0.07509
7	0.09668	0.09698	0.09725
8	0.11356	0.11409	0.11433
9	0.13433	0.13498	0.13512
10	0.11837	0.11875	0.11871
11	0.105103	0.10526	0.10513
12	0.05981	0.05981	0.05966
13	0.07003	0.06994	0.06974
14	0.05776	0.05758	0.05741
15	0.04395	0.04373	0.04362
16	0.03245	0.03223	0.03217
17	0.02332	0.02314	0.02311
18	0.01642	0.01627	0.01626
19	0.01087	0.01075	0.01075
20	0.00659	0.00652	0.00652
21	0.00366	0.00361	0.00362
22	0.00193	0.00190	0.00191
23	0.00091	0.00089	0.00090
24	0.00037	0.00037	0.00037
25	0.00018	0.00018	0.00017
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7. Cont'd

Burn-up 2 year
Core 1

Burn-up 2 year
Core 2

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00236	0.00236	0.00236
2	0.01072	0.01072	0.01070
3	0.02265	0.02267	0.02264
4	0.04716	0.04725	0.04721
5	0.05879	0.05893	0.05889
6	0.14881	0.14918	0.14911
7	0.15526	0.15552	0.15547
8	0.15677	0.15671	0.15669
9	0.14525	0.14502	0.14505
10	0.10211	0.10184	0.10190
11	0.07006	0.06988	0.06995
12	0.03781	0.03768	0.03773
13	0.02387	0.02383	0.02387
14	0.01176	0.01175	0.01177
15	0.00461	0.00461	0.00462
16	0.00151	0.00152	0.00152
17	0.00040	0.00041	0.00041
18	0.00008	0.00008	0.00008
19	0.00002	0.00002	0.00002
20	0.0	0.0	0.0
21	↕	↕	↕
22	↕	↕	↕
23	↕	↕	↕
24	↕	↕	↕
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00263	0.00263	0.00263
2	0.01193	0.01194	0.01192
3	0.02521	0.02524	0.02520
4	0.05198	0.05209	0.05204
5	0.06397	0.06412	0.06408
6	0.15475	0.15511	0.15504
7	0.15815	0.15835	0.15831
8	0.15589	0.15577	0.15576
9	0.14087	0.14061	0.14065
10	0.09717	0.09691	0.09697
11	0.06551	0.06537	0.06544
12	0.03479	0.03469	0.03473
13	0.02146	0.02145	0.02149
14	0.01027	0.01028	0.01029
15	0.00385	0.00387	0.00387
16	0.00120	0.00121	0.00121
17	0.00030	0.00030	0.00030
18	0.00005	0.00005	0.00006
19	0.00001	0.00001	0.00001
20	0.0	0.0	0.0
21	↕	↕	↕
22	↕	↕	↕
23	↕	↕	↕
24	↕	↕	↕
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Burn-up 2 year
Core 3

Burn-up 2 year
Core 4

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00279	0.00279	0.00279
2	0.01266	0.01267	0.01265
3	0.02673	0.02675	0.02671
4	0.05439	0.05448	0.05444
5	0.06632	0.06642	0.06639
6	0.15589	0.15615	0.15610
7	0.15758	0.15769	0.15767
8	0.15414	0.15399	0.15399
9	0.13877	0.13856	0.13859
10	0.09572	0.09553	0.09559
11	0.06454	0.06446	0.06452
12	0.03421	0.03415	0.03418
13	0.02101	0.02104	0.02106
14	0.01001	0.01004	0.01005
15	0.00373	0.00375	0.00375
16	0.00115	0.00116	0.00116
17	0.00029	0.00030	0.00029
18	0.00005	0.00005	0.00005
19	0.00001	0.00001	0.00001
20	0.0	0.0	0.0
21	↑	↑	↑
22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00269	0.00269	0.00268
2	0.01219	0.01218	0.01216
3	0.02582	0.02567	0.02564
4	0.05185	0.05188	0.05184
5	0.06338	0.06343	0.06340
6	0.15084	0.15101	0.15098
7	0.15384	0.15395	0.15393
8	0.15333	0.15324	0.15324
9	0.14125	0.14110	0.14113
10	0.09936	0.09922	0.09926
11	0.06801	0.06796	0.06801
12	0.03664	0.03660	0.03662
13	0.02291	0.02295	0.02296
14	0.01132	0.01135	0.01135
15	0.00452	0.00455	0.00455
16	0.00158	0.00159	0.00159
17	0.00047	0.00048	0.00048
18	0.00011	0.00012	0.00012
19	0.00003	0.00004	0.00004
20	0.0	0.00001	0.00001
21	↑	0.0	0.0
22	↑	↑	↑
23	↑	↑	↑
24	↓	↓	↓
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 (Cont'd)

Burn-up 2 year

Burn-up 2 year

AX. BL.

RA. BL.

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00124	0.00123	0.00123
2	0.00562	0.00558	0.00557
3	0.01187	0.01181	0.01180
4	0.02657	0.02646	0.02645
5	0.03547	0.03545	0.03545
6	0.11602	0.11599	0.11600
7	0.13333	0.13358	0.13361
8	0.15082	0.15096	0.15099
9	0.15799	0.15805	0.15806
10	0.12269	0.12262	0.12262
11	0.09293	0.09289	0.09289
12	0.05508	0.05500	0.05498
13	0.04029	0.04029	0.04028
14	0.02447	0.02446	0.02445
15	0.01336	0.01336	0.01336
16	0.00699	0.00700	0.00700
17	0.00314	0.00315	0.00315
18	0.00132	0.00133	0.00133
19	0.00052	0.00052	0.00052
20	0.00016	0.00016	0.00017
21	0.00004	0.00004	0.00004
22	0.00004	0.00004	0.00004
23	0.00002	0.00002	0.00002
24	0.0	0.00001	0.00001
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00120	0.00119	0.00119
2	0.00543	0.00540	0.00540
3	0.01123	0.01119	0.01118
4	0.02487	0.02480	0.02479
5	0.03366	0.03363	0.03363
6	0.11216	0.11211	0.11212
7	0.12669	0.12679	0.12681
8	0.14774	0.14777	0.14779
9	0.15946	0.15947	0.15948
10	0.12693	0.12689	0.12690
11	0.09662	0.09663	0.09663
12	0.05881	0.05878	0.05877
13	0.04172	0.04176	0.04175
14	0.02540	0.02543	0.02542
15	0.01420	0.01423	0.01422
16	0.00773	0.00774	0.00774
17	0.00358	0.00359	0.00359
18	0.00162	0.00163	0.00163
19	0.00063	0.00064	0.00064
20	0.00021	0.00021	0.00021
21	0.00005	0.00005	0.00005
22	0.00004	0.00004	0.00004
23	0.00002	0.00002	0.00002
24	0.00001	0.00001	0.00001
25	0.0	0.0	0.0
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 7 Cont'd

Burn-up 2 year

Reflector

Energy Group	Cell-1	Cell-2	Cell-3
1	0.00035	0.00034	0.00034
2	0.00154	0.00152	0.00152
3	0.00377	0.00373	0.00373
4	0.01193	0.01180	0.01181
5	0.02013	0.02001	0.02004
6	0.08611	0.08566	0.08587
7	0.10593	0.10617	0.10643
8	0.11843	0.11890	0.11911
9	0.13467	0.13524	0.13536
10	0.11567	0.11602	0.11597
11	0.10079	0.10094	0.10081
12	0.05679	0.05680	0.05666
13	0.06574	0.06568	0.06549
14	0.05356	0.05341	0.05326
15	0.04012	0.03994	0.03985
16	0.02911	0.02894	0.02888
17	0.02059	0.02044	0.02041
18	0.01417	0.01406	0.01405
19	0.00924	0.00915	0.00915
20	0.00552	0.00547	0.00547
21	0.00305	0.00302	0.00302
22	0.00160	0.00158	0.00158
24	0.00074	0.00074	0.00074
24	0.00030	0.00030	0.00030
25	0.00014	0.00014	0.00014
SUM	1.0	1.0	1.0

Table 8 Total Neutron Flux Distributions of 1000 MWe GCFR

Start-up Core
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	1.00574	1.00540	1.00547
	3	30.832	1.01119	1.01052	1.01066
	4	36.481	1.01645	1.01545	1.01567
	5	41.366	1.02152	1.020119	1.02048
	6	45.732	1.02636	1.02471	1.02507
	7	49.715	1.03095	1.02898	1.02940
	8	53.403	1.03525	1.03296	1.03345
	9	56.852	1.03922	1.03663	1.03718
	10	60.103	1.04282	1.03994	1.04055
	11	63.187	1.04601	1.04285	1.04351
	12	66.128	1.04874	1.04531	1.04603
	13	68.943	1.05096	1.04728	1.04804
	14	71.648	1.05261	1.04871	1.04951
	15	74.254	1.05365	1.04953	1.05037
	Core-2	16	76.772	1.05400	1.04970
17		81.195	1.05323	1.04867	1.04957
18		87.236	1.04204	1.03724	1.03818
19		92.884	1.02190	1.01703	1.01797
20		98.208	0.99410	0.98936	0.99028
21		103.258	0.95990	0.95544	0.95630
Core-3	22	108.072	0.92035	0.91633	0.91710
	23	112.671	0.87645	0.87299	0.87364
	24	117.081	0.82799	0.82519	0.82572
Core-4	25	121.330	0.77592	0.77386	0.77424
	26	125.444	0.72113	0.71988	0.72011
RA, BL.	27	129.435	0.66347	0.66304	0.66312
	28	133.306	0.60456	0.60492	0.60489
RA, BL.	29	138.131	0.50406	0.50510	0.50497
	30	143.813	0.38300	0.38456	0.38429

Table 8 Cont'd

Start-up Core
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.28679	0.28862	0.28825
	32	154.551	0.21277	0.21467	0.21425
	33	159.650	0.15694	0.15876	0.15834
	34	164.591	0.11534	0.11701	0.11660
	35	169.387	0.08460	0.08608	0.08570
	36	174.052	0.06201	0.06330	0.06295
	37	178.595	0.04552	0.04664	0.04632
	38	183.025	0.03362	0.03460	0.03431
Refl.	39	189.062	0.02270	0.02342	0.02320
	40	196.557	0.01008	0.01040	0.01031

Table 8 Cont'd

Start-up Core
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	2.470	1.0	1.0	1.0
	2	7.410	0.99406	0.99414	0.99412
	3	12.350	0.98224	0.98246	0.98240
	4	17.290	0.96460	0.96506	0.96493
	5	22.230	0.94130	0.94205	0.94184
	6	27.170	0.91250	0.91361	0.91331
	7	32.110	0.87844	0.87998	0.87957
	8	37.050	0.83939	0.84143	0.84089
	9	41.990	0.79571	0.79830	0.79761
	10	46.930	0.74781	0.75099	0.75015
	11	51.870	0.69618	0.69998	0.69899
	12	56.810	0.64142	0.64586	0.64472
	13	61.750	0.58426	0.58934	0.58805
	14	66.690	0.52561	0.53129	0.52988
	AX.BL.	15	71.630	0.46665	0.47283
16		76.600	0.40865	0.41515	0.41368
17		81.600	0.35417	0.36094	0.35944
18		86.600	0.30428	0.31123	0.30969
19		91.600	0.25936	0.26636	0.26480
20		96.600	0.21948	0.22640	0.22484
21		101.600	0.18448	0.19122	0.18967
22		106.600	0.15409	0.16056	0.15904
23		111.600	0.12793	0.13407	0.13260
24		116.600	0.10561	0.11138	0.10997
25		121.600	0.08674	0.09213	0.09078
26		126.600	0.07941	0.07397	0.07467
Ref1.		27	131.600	0.05791	0.06260
	28	137.850	0.04187	0.04551	0.04454
	29	145.350	0.01939	0.02109	0.02065

Table 8 Cont'd

Burn-up 1 year
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	0.99859	0.99839	0.99844
	3	30.832	0.99711	0.99674	0.99682
	4	36.481	0.99554	0.99498	0.99510
	5	41.366	0.99384	0.99310	0.99326
	6	45.732	0.99200	0.99108	0.99127
	7	49.715	0.98998	0.98890	0.98912
	8	53.403	0.98778	0.98653	0.98678
	9	56.852	0.98536	0.98395	0.98424
	10	60.103	0.98270	0.98114	0.98145
	11	63.187	0.97976	0.97806	0.97840
	12	66.128	0.97654	0.97470	0.97506
	13	68.943	0.97298	0.97101	0.97139
	14	71.648	0.96905	0.96697	0.96737
	15	74.254	0.96470	0.96253	0.96294
	Core-2	16	76.772	0.95992	0.95766
17		81.195	0.95031	0.94795	0.94838
18		87.236	0.92953	0.92712	0.92755
19		92.884	0.90295	0.90061	0.90102
20		98.208	0.87149	0.86933	0.86971
21		103.258	0.83600	0.83412	0.83444
Core-3	22	108.072	0.79722	0.79571	0.79596
	23	112.671	0.75584	0.75478	0.75495
	24	117.081	0.71163	0.71109	0.71115
Core-4	25	121.330	0.66521	0.66524	0.66520
	26	125.444	0.61725	0.61788	0.61773
	27	129.435	0.56754	0.56877	0.56853
	28	133.306	0.51732	0.51912	0.51880
RA. BL.	29	138.131	0.43293	0.43510	0.43474
	30	143.813	0.33157	0.33390	0.33348

Table 8 Cont'd

Burn-up 1 year
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.25072	0.25306	0.25260
	32	154.551	0.18816	0.19038	0.18991
	33	159.650	0.14058	0.14261	0.14215
	34	164.591	0.10476	0.10656	0.10613
	35	169.387	0.07794	0.07951	0.07912
	36	174.052	0.05794	0.05928	0.05893
	37	178.595	0.04304	0.04419	0.04388
	38	183.025	0.03203	0.03303	0.03275
Refl.	39	189.062	0.02175	0.02249	0.02227
	40	196.557	0.00980	0.01014	0.01005

Table 8 Cont'd

Burn-up 1 year
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	2.470	1.0	1.0	1.0
	2	7.410	0.99420	0.99428	0.99426
	3	12.350	0.98264	0.98287	0.98281
	4	17.290	0.96541	0.96587	0.96575
	5	22.230	0.94262	0.94339	0.94320
	6	27.170	0.91446	0.91561	0.91531
	7	32.110	0.88114	0.88273	0.88232
	8	37.050	0.84293	0.84502	0.84448
	9	41.990	0.80015	0.80280	0.80213
	10	46.930	0.75320	0.75646	0.75564
	11	51.870	0.70257	0.70647	0.70549
	12	56.810	0.64881	0.65337	0.65225
	13	61.750	0.59264	0.59786	0.59659
	14	66.690	0.53493	0.54077	0.53938
	AX.BL.	15	71.630	0.47682	0.48319
16		76.600	0.41977	0.42648	0.42500
17		81.600	0.36622	0.37320	0.37168
18		86.600	0.31699	0.32415	0.32260
19		91.600	0.27245	0.27967	0.27808
20		96.600	0.23266	0.23981	0.23822
21		101.600	0.19747	0.20445	0.20287
22		106.600	0.16662	0.17336	0.17180
23		111.600	0.13978	0.14620	0.14468
24		116.600	0.11658	0.12264	0.12117
25		121.600	0.09663	0.08496	0.10092
26		126.600	0.07962	0.07026	0.08360
27		131.600	0.06525	0.07026	0.06895
Ref1.	28	137.850	0.04743	0.05135	0.05032
	29	145.350	0.02238	0.02424	0.02376

Table 8 Cont'd

Burn-up 2 year
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	0.99373	0.99363	0.99365
	3	30.832	0.98758	0.98738	0.98743
	4	36.481	0.98140	0.98112	0.98118
	5	41.366	0.97518	0.97480	0.97489
	6	45.732	0.96888	0.96841	0.96852
	7	49.715	0.96248	0.96193	0.96206
	8	53.403	0.95599	0.95535	0.95550
	9	56.852	0.94937	0.94865	0.94882
	10	60.103	0.94261	0.94182	0.94200
	11	63.187	0.93569	0.93484	0.93503
	12	66.128	0.92859	0.92768	0.92788
	13	68.943	0.92129	0.92032	0.92054
	14	71.648	0.91376	0.91275	0.91297
	15	74.254	0.90598	0.90493	0.90516
	Core-2	16	76.772	0.89792	0.89685
17		81.195	0.88269	0.88161	0.88184
18		87.236	0.85593	0.85490	0.85512
19		92.884	0.82545	0.82455	0.82474
20		98.208	0.79189	0.79120	0.79135
21		103.258	0.75585	0.75543	0.75553
Core-3	22	108.072	0.71782	0.71774	0.71778
	23	112.671	0.67834	0.67865	0.67861
	24	117.081	0.63713	0.63786	0.63775
Core-4	25	121.330	0.59460	0.59580	0.59560
	26	125.444	0.55126	0.55294	0.55265
	27	129.435	0.50688	0.50903	0.50867
	28	133.306	0.46246	0.46505	0.46462
RA. BL.	29	138.131	0.38873	0.39154	0.39108
	30	143.813	0.30023	0.30301	0.30252

Table 8 Cont'd

Burn-up 2 year
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.22930	0.23195	0.23144
	32	154.551	0.17403	0.17646	0.17596
	33	159.650	0.13162	0.13379	0.13332
	34	164.591	0.09935	0.10125	0.10082
	35	169.387	0.07487	0.07651	0.07613
	36	174.052	0.05633	0.05774	0.05739
	37	178.595	0.04227	0.04348	0.04317
	38	183.025	0.03166	0.03270	0.03242
Ref1.	39	189.062	0.02159	0.02236	0.02215
	40	196.557	0.00985	0.01020	0.01011

Table 8 Cont'd

Burn-up 2 year
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	2.470	1.0	1.0	1.0
	2	7.410	0.99435	0.99443	0.99441
	3	12.350	0.98309	0.98333	0.98328
	4	17.290	0.96631	0.96678	0.96667
	5	22.230	0.94411	0.94490	0.94471
	6	27.170	0.91667	0.91784	0.91755
	7	32.110	0.88418	0.88580	0.88540
	8	37.050	0.84690	0.84904	0.84852
	9	41.990	0.80515	0.80786	0.80720
	10	46.930	0.75929	0.76262	0.76182
	11	51.870	0.70978	0.71378	0.71282
	12	56.810	0.65717	0.66185	0.66074
	13	61.750	0.60212	0.60749	0.60624
	14	66.690	0.54550	0.55152	0.55014
	AX.BL.	15	71.630	0.48839	0.49497
16		76.600	0.43243	0.43937	0.43788
17		81.600	0.37988	0.38708	0.38556
18		86.600	0.33131	0.33869	0.33712
19		91.600	0.28708	0.29453	0.29292
20		96.600	0.24727	0.25945	0.25305
21		101.600	0.21176	0.21902	0.21740
22		106.600	0.18033	0.18735	0.18575
23		111.600	0.15266	0.15938	0.15782
24		116.600	0.12842	0.13481	0.13329
25		121.600	0.10728	0.11332	0.11185
26		126.600	0.08933	0.09463	0.09320
27		131.600	0.07313	0.07850	0.07712
Ref1.	28	137.850	0.05336	0.05757	0.05648
	29	145.350	0.02551	0.02753	0.02702

Table 9 Pointwise Power Distributions of 1000 MWe GCFR

Start-up Core
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	1.00529	1.00495	1.00503
	3	30.832	1.01031	1.00963	1.00978
	4	36.481	1.01516	1.01415	1.01438
	5	41.366	1.01985	1.01852	1.01883
	6	45.732	1.02438	1.02275	1.02312
	7	49.715	1.02875	1.02681	1.02725
	8	53.403	1.03295	1.03073	1.03123
	9	56.852	1.03698	1.03449	1.03505
	10	60.103	1.04085	1.03809	1.03871
	11	63.187	1.04455	1.04155	1.04222
	12	66.128	1.04808	1.04486	1.04558
	13	68.943	1.05145	1.04804	1.04879
	14	71.648	1.05467	1.05108	1.05187
	15	74.254	1.05774	1.05401	1.05482
	Core-2	16	76.772	1.06067	1.05683
17		81.195	1.41308	1.40709	1.40829
18		87.236	1.40092	1.39478	1.39601
19		92.884	1.37550	1.36939	1.37061
20		98.208	1.33950	1.33363	1.33480
21		103.258	1.29512	1.28969	1.29077
Core-3	22	108.072	1.24415	1.23934	1.24029
	23	112.671	1.33732	1.33250	1.33341
	24	117.081	1.26605	1.26225	1.26295
Core-4	25	121.330	1.18899	1.18630	1.18678
	26	125.444	1.33389	1.33168	1.33199
Core-4	27	129.435	1.23071	1.22980	1.22987
	28	133.306	1.12667	1.12671	1.12666
RA. BL.	29	138.131	0.16009	0.16093	0.16070
	30	143.813	0.09183	0.09245	0.09226

Table 9 Cont'd

Start-up Core
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.05483	0.05528	0.05513
	32	154.551	0.03400	0.03433	0.03422
	33	159.650	0.02182	0.02207	0.02199
	34	164.591	0.01445	0.01465	0.01458
	35	169.387	0.00985	0.01001	0.00996
	36	174.052	0.00695	0.00704	0.00700
	37	178.595	0.00501	0.00512	0.00508
	38	183.025	0.00380	0.00389	0.00386
Refl.	39	189.062	0.0	0.0	0.0
	4.0	196.557	0.0	0.0	0.0

Table 9 Cont'd

Start-up Core
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
Core-1	1	2.470	1.0	1.0	1.0
	2	7.410	0.99411	0.99419	0.99417
	3	12.350	0.98237	0.98261	0.98255
	4	17.290	0.96488	0.96536	0.96523
	5	22.230	0.94178	0.94256	0.94235
	6	27.170	0.91324	0.91441	0.91409
	7	32.110	0.87951	0.88113	0.88068
	8	37.050	0.84086	0.84301	0.84241
	9	41.990	0.79766	0.80037	0.79961
	10	46.930	0.75030	0.75363	0.75270
	11	51.870	0.69930	0.70324	0.70215
	12	56.810	0.64526	0.64987	0.64858
	13	61.750	0.58901	0.59423	0.59278
	14	66.690	0.53173	0.53746	0.53589
	AX.BL.	15	71.630	0.47535	0.48136
16		76.600	0.05933	0.06042	0.06015
17		81.600	0.04405	0.04499	0.04474
18		86.600	0.03297	0.03377	0.03355
19		91.600	0.02489	0.02557	0.02538
20		96.600	0.01895	0.01954	0.01937
21		101.600	0.01456	0.01507	0.01492
22		106.600	0.01129	0.01173	0.01160
23		111.600	0.00883	0.00921	0.00910
24		116.600	0.00698	0.00732	0.00722
25		121.600	0.00558	0.00588	0.00579
26		126.600	0.00453	0.00481	0.00472
Refl.		27	131.600	0.00377	0.00403
	28	137.850	0.0	0.0	0.0
	29	145.350	0.0	0.0	0.0

Table 9 Cont'd

Burn-up 1 year
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	0.99834	0.99815	0.99819
	3	30.832	0.99664	0.99626	0.99635
	4	36.481	0.99485	0.99429	0.99442
	5	41.366	0.99297	0.99224	0.99240
	6	45.732	0.99099	0.99009	0.99028
	7	49.715	0.98890	0.98783	0.98806
	8	53.403	0.98670	0.98548	0.98575
	9	56.852	0.98439	0.98303	0.98332
	10	60.103	0.98196	0.98047	0.98079
	11	63.187	0.97942	0.97782	0.97816
	12	66.128	0.97677	0.97505	0.97542
	13	68.943	0.97400	0.97219	0.97257
	14	71.648	0.97111	0.96923	0.96962
	15	74.254	0.96811	0.96618	0.96658
	Core-2	16	76.772	0.96499	0.96303
17		81.195	1.17286	1.17000	1.17053
18		87.236	1.14946	1.14665	1.14716
19		92.884	1.11799	1.11533	1.11581
20		98.208	1.08024	1.07785	1.07828
21		103.258	1.03765	1.03565	1.03601
Core-3	22	108.072	0.99138	0.98988	0.99013
	22	112.671	1.04763	1.04642	1.04659
	24	117.081	0.98834	0.98786	0.98789
Core-4	25	121.330	0.92570	0.92598	0.92587
	26	125.444	1.02539	1.02639	1.02609
Core-4	27	129.435	0.94471	0.94657	0.946113
	28	133.306	0.86368	0.86615	0.865623
RA.BL.	29	138.131	0.16716	0.16832	0.168053
	30	143.813	0.10694	0.10783	0.107610

Table 9 Cont'd

Burn-up 1 year
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.07143	0.07213	0.07196
	32	154.551	0.04939	0.04996	0.04982
	33	159.650	0.03509	0.03556	0.03544
	34	164.591	0.02546	0.02586	0.02575
	35	169.387	0.01881	0.01916	0.01906
	36	174.052	0.01416	0.01455	0.01437
	37	178.595	0.01091	0.01118	0.01109
	38	183.025	0.00876	0.00899	0.00892
Ref1.	39	189.062	0.0	0.0	0.0
	40	196.557	0.0	0.0	0.0

Table 9 Cont'd

Burn-up 1 year
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
	1	2.470	1.0	1.0	
	2	7.410	0.99424	0.99432	0.99430
	3	12.350	0.98275	0.98299	0.98293
	4	17.290	0.96563	0.96611	0.96598
	5	22.230	0.94300	0.94380	0.94359
	6	27.170	0.91503	0.91623	0.91591
	7	32.110	0.88196	0.88361	0.88317
Core-1	8	37.050	0.84403	0.84620	0.84563
	9	41.990	0.80158	0.80433	0.80360
	10	46.930	0.75499	0.75835	0.75746
	11	51.870	0.70471	0.70872	0.70766
	12	56.810	0.65131	0.65597	0.65473
	13	61.750	0.59550	0.60078	0.59939
	14	66.690	0.53830	0.54412	0.54261
	15	71.630	0.48133	0.48748	0.48594
	16	76.600	0.09722	0.09889	0.09851
	17	81.600	0.07905	0.08061	0.08025
	18	86.600	0.06821	0.06628	0.06594
	19	91.600	0.05351	0.05489	0.05456
	20	96.600	0.04441	0.04571	0.04539
AX. BL.	21	101.600	0.03700	0.03824	0.03793
	22	106.600	0.03093	0.03210	0.03180
	23	111.600	0.02593	0.02704	0.02675
	24	116.600	0.02182	0.02288	0.02258
	25	121.600	0.01847	0.01949	0.01919
	26	126.600	0.01581	0.01679	0.01650
	27	131.600	0.01385	0.01479	0.01451
Ref1.	28	137.850	0.0	0.0	0.0
	29	145.350	0.0	0.0	0.0

Table 9 Cont'd

Burn-up 2 year
Radial Distribution-1

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
Core-1	1	13.789	1.0	1.0	1.0
	2	23.883	0.99359	0.99349	0.99351
	3	30.832	0.98731	0.98711	0.98716
	4	36.481	0.98102	0.98073	0.98080
	5	41.366	0.97469	0.97431	0.97441
	6	45.732	0.96833	0.96786	0.96798
	7	49.715	0.96191	0.96137	0.96150
	8	53.403	0.95545	0.95483	0.95498
	9	56.852	0.94893	0.94825	0.94842
	10	60.103	0.94236	0.94162	0.94180
	11	63.187	0.93573	0.93494	0.93513
	12	66.128	0.92904	0.92820	0.92841
	13	68.943	0.92229	0.92142	0.92163
	14	71.648	0.91547	0.91459	0.91481
	15	74.254	0.90859	0.90771	0.90792
	Core-2	16	76.772	0.90165	0.90077
17		81.195	1.02635	1.02511	1.02537
18		87.236	0.99695	0.99584	0.99608
19		92.884	0.96256	0.96166	0.96186
20		98.208	0.92443	0.92380	0.92395
21		103.258	0.88352	0.88324	0.88333
Core-3	22	108.072	0.84060	0.84074	0.84075
	23	112.671	0.87619	0.87676	0.87667
	24	117.081	0.82455	0.82567	0.82548
Core-4	25	121.330	0.77089	0.77260	0.77229
	26	125.444	0.84345	0.84595	0.84547
	27	129.435	0.77664	0.77976	0.77916
	28	133.306	0.70983	0.71337	0.71272
RA.BL.	29	138.131	0.17633	0.17782	0.17752
	30	143.813	0.12024	0.12143	0.12118

Table 9 Cont'd

Burn-up 2 year
Radial Distribution-2

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center(cm)			
RA.BL.	31	149.278	0.08498	0.08594	0.08575
	32	154.551	0.06164	0.06265	0.06228
	33	159.650	0.04555	0.04626	0.04609
	34	164.591	0.03413	0.03474	0.03459
	35	169.387	0.02587	0.02640	0.02626
	36	174.052	0.01985	0.02031	0.02018
	37	178.595	0.01551	0.01592	0.01580
	38	183.025	0.01256	0.01292	0.01281
Ref1.	39	189.062	0.0	0.0	0.0
	40	196.557	0.0	0.0	0.0

00000	00000	00000	00000	00	00000
00000	00000	00000	00000	00	00000
00000	00000	00000	00000	00	00000
00000	00000	00000	00000	00	00000

Table 9 Cont'd

Burn-up 2 year
Axial Distribution

	Flux Point		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
	Point Num.	Distance from Core Center (cm)			
Core-1	1	2.470	1.0	1.0	1.0
	2	7.410	0.99438	0.99446	0.99444
	3	12.350	0.98318	0.98343	0.98337
	4	17.290	0.96649	0.96698	0.96686
	5	22.230	0.94442	0.94523	0.94502
	6	27.170	0.91713	0.91834	0.91803
	7	32.110	0.88483	0.88650	0.88608
	8	37.050	0.84777	0.84997	0.84941
	9	41.990	0.80625	0.80904	0.80833
	10	46.930	0.76063	0.76404	0.76318
	11	51.870	0.71133	0.71540	0.71437
	12	56.810	0.65886	0.66360	0.66240
	13	61.750	0.60388	0.60927	0.60792
	14	66.690	0.54733	0.55328	0.55181
	AX.BL.	15	71.630	0.49062	0.49696
16		76.600	0.13405	0.13629	0.13581
17		81.600	0.11307	0.11523	0.11477
18		86.600	0.09581	0.09791	0.09745
19		91.600	0.08142	0.08346	0.08300
20		96.600	0.06931	0.07129	0.07828
21		101.600	0.05902	0.06094	0.06048
22		106.600	0.05026	0.05212	0.05166
23		111.600	0.04279	0.04458	0.04412
24		116.600	0.03644	0.03818	0.03771
25		121.600	0.03112	0.03280	0.03233
26		126.600	0.02680	0.02842	0.02795
27		131.600	0.02353	0.02509	0.02464
Ref1.	28	137.850	0.0	0.0	0.0
	29	145.350	0.0	0.0	0.0

Table 10 Regionwise Power Distributions of 1000 MWe GCFR

REgion	Cell No.	T=0 year	T-1 year	T=2 years
Core 1	Cell-1	0.27307	0.29940	0.31591
	Cell-2	0.27309	0.29891	0.31494
	Cell-3	0.27312	0.29905	0.31516
Core 2	Cell-1	0.35446	0.33140	0.31138
	Cell-2	0.35369	0.33050	0.31037
	Cell-3	0.35387	0.33071	0.31061
Core 3	Cell-1	0.16543	0.14886	0.13574
	Cell-2	0.16528	0.14871	0.13558
	Cell-3	0.16531	0.14875	0.13563
Core 4	Cell-1	0.16157	0.14296	0.12845
	Cell-2	0.16177	0.14314	0.12863
	Cell-3	0.16173	0.14311	0.12860
AX.BL.	Cell-1	0.01506	0.03092	0.04718
	Cell-2	0.01542	0.03168	0.04831
	Cell-3	0.01532	0.03149	0.04804
RA.BL.	Cell-1	0.03041	0.04646	0.06133
	Cell-2	0.03076	0.04706	0.06217
	Cell-3	0.03066	0.04689	0.06196

Cell-1 : HOMO Model

Cell-2 : HETERO-4R Model

Cell-3 : HETERO-2R Model

Table 11 Breeding Ratios of 1000 MWe GCFR

		Cell No.	T=0 year	T=1 year	T=2 year
Core	1	Cell-1	0.34009	0.34406	0.34114
		Cell-2	0.33978	0.34310	0.33964
		Cell-3	0.33990	0.34335	0.34000
	2	Cell-1	0.28865	0.27884	0.26786
		Cell-2	0.28776	0.27778	0.26668
		Cell-3	0.28797	0.27803	0.26695
	3	Cell-1	0.11349	0.10831	0.10336
		Cell-2	0.11334	0.10815	0.10318
		Cell-3	0.11337	0.10818	0.10323
	4	Cell-1	0.09186	0.08771	0.08390
		Cell-2	0.09200	0.08784	0.08402
		Cell-3	0.09197	0.08781	0.08400
	Total	Cell-1	0.83409	0.81892	0.79627
		Cell-2	0.83288	0.81686	0.79352
		Cell-3	0.83320	0.81738	0.79418
BL.	AX.BL.	Cell-1	0.23621	0.24319	0.24963
		Cell-2	0.24284	0.24966	0.25589
		Cell-3	0.24124	0.24810	0.25440
	RA.BL.	Cell-1	0.45647	0.44555	0.43884
		Cell-2	0.46328	0.45231	0.44557
		Cell-3	0.46161	0.45067	0.44397
	Total	Cell-1	0.69268	0.68874	0.68847
		Cell-2	0.70612	0.70197	0.70146
		Cell-3	0.70286	0.69878	0.69837
Total	Cell-1	1.52676	1.50766	1.48474	
	Cell-2	1.53900	1.51883	1.49498	
	Cell-3	1.53606	1.51615	1.49255	

Cell-1 : HOMO Model

Cell-2 : HETERO-4R Model

Cell-3 : HETERO-2R Model

Table 12 Doppler Reactivity Effects of 1000 MWe GCFR
by First Order Perturbation Method

(1) T=0 year

(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	NON-LEAKAGE	-1.11456E-3	-1.10836E-3	-1.11102E-3
	LEAKAGE	0.00504E-3	0.00452E-3	0.00451E-3
	TOTAL	-1.10952E-3	-1.10384E-3	-1.10651E-3
Core 2	NON-LEAKAGE	-0.84993E-3	-0.84147E-3	-0.84449E-3
	LEAKAGE	0.00592E-3	0.005405E-3	0.00539E-3
	TOTAL	-0.84401E-3	-0.83606E-3	-0.83910E-3
Core 3	NON-LEAKAGE	-0.27369E-3	-0.27191E-3	-0.27266E-3
	LEAKAGE	0.00456E-3	0.00422E-3	0.00423E-3
	TOTAL	-0.26913E-3	-0.26769E-3	-0.26843E-3
Core 4	NON-LEAKAGE	-0.18170E-3	-0.18164E-3	-0.18184E-3
	LEAKAGE	0.00139E-3	0.00129E-3	0.00128E-3
	TOTAL	-0.18031E-3	-0.18034E-3	-0.18056E-3
SUM	NON-LEAKAGE	-2.41987E-3	-2.40337E-3	-2.41000E-3
	LEAKAGE	0.01691E-3	0.01544E-3	0.01541E-3
	TOTAL	-2.40296E-3	-2.38793E-3	-2.39459E-3

Table 12 Cont'd

(3) T=1 year

(unit: $\Delta K/K$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	NON-LEAKAGE	-1.06269E-3	-1.05465E-3	-1.05761E-3
	LEAKAGE	0.00526E-3	0.00473E-3	0.00474E-3
	TOTAL	-1.05742E-3	-1.04992E-3	-1.05287E-3
Core 2	NON-LEAKAGE	-0.73056E-3	-0.72343E-3	-0.72596E-3
	LEAKAGE	0.00599E-3	0.00549E-3	0.00548E-3
	TOTAL	-0.72457E-3	-0.71794E-3	-0.72048E-3
Core 3	NON-LEAKAGE	-0.23035E-3	-0.22911E-3	-0.22968E-3
	LEAKAGE	0.00406E-3	0.00376E-3	0.00377E-3
	TOTAL	-0.22629E-3	-0.22535E-3	-0.22591E-3
Core 4	NON-LEAKAGE	-0.15177E-3	-0.15193E-3	-0.15212E-3
	LEAKAGE	0.00198E-3	0.00185E-3	0.00184E-3
	TOTAL	-0.14979E-3	-0.15008E-3	-0.15028E-3
SUM	NON-LEAKAGE	-2.17537E-3	-2.15911E-3	-2.16536E-3
	LEAKAGE	0.01730E-3	0.01583E-3	0.01583E-3
	TOTAL	-2.15807E-3	-2.14329E-3	-2.14954E-3

Table 12 Cont'd

(3) T=2 year

(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	NON-LEAKAGE	-0.98592E-3	-0.97691E-3	-0.97992E-3
	LEAKAGE	0.00524E-3	0.00472E-3	0.00472E-3
	TOTAL	-0.98067E-3	-0.97219E-3	-0.97519E-3
Core 2	NON-LEAKAGE	-0.63072E-3	-0.62484E-3	-0.62696E-3
	LEAKAGE	0.00578E-3	0.00530E-3	0.00530E-3
	TOTAL	-0.62494E-3	-0.61954E-3	-0.62166E-3
Core 3	NON-LEAKAGE	-0.19657E-3	-0.19575E-3	-0.19619E-3
	LEAKAGE	0.00358E-3	0.00332E-3	0.00332E-3
	TOTAL	-0.19299E-3	-0.19244E-3	-0.19287E-3
Core 4	NON-LEAKAGE	-0.12965E-3	-0.12998E-3	-0.13009E-3
	LEAKAGE	0.00215E-3	0.00201E-3	0.00201E-3
	TOTAL	-0.12750E-3	-0.12797E-3	-0.12808E-3
SUM	NON-LEAKAGE	-1.94286E-3	-1.92748E-3	-1.93315E-3
	LEAKAGE	0.01676E-3	0.01536E-3	0.01536E-3
	TOTAL	-1.92610E-3	-1.91213E-3	-1.91780E-3

Table 13 Helium Void Reactivity Effects of 1000 MWe GCFR
by First Order Perturbation Method

(1) T=0 year

(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	2.70828E-3	2.68459E-3	2.68146E-3
	Leakage	-0.23118E-3	-0.25263E-3	-0.24845E-3
	Total	2.47710E-3	2.43196E-3	2.43302E-3
Core 2	Non-Leakage	2.38826E-3	2.35977E-3	2.35577E-3
	Leakage	-0.30091E-3	-0.32646E-3	-0.32148E-3
	Total	2.08735E-3	2.03331E-3	2.03429E-3
Core 3	Non-Leakage	0.82008E-3	0.81198E-3	0.80990E-3
	Leakage	-0.22123E-3	-0.23500E-3	-0.23221E-3
	Total	0.59885E-3	0.57697E-3	0.57769E-3
Core 4	Non-Leakage	0.56263E-3	0.55819E-3	0.55667E-3
	Leakage	-0.37767E-3	-0.39495E-3	-0.39127E-3
	Total	0.18496E-3	0.16324E-3	0.16541E-3
AX. BL.	Non-Leakage	0.40252E-3	0.41311E-3	0.41180E-3
	Leakage	-0.29950E-3	0.33477E-3	-0.32736E-3
	Total	0.10302E-3	0.07833E-3	0.08444E-3
RA. BL.	Non-Leakage	0.28708E-3	0.28840E-3	0.28811E-3
	Leakage	-0.22795E-3	-0.24224E-3	-0.23861E-3
	Total	0.05913E-3	0.04616E-3	0.04949E-3
SUM	Non-Leakage	7.16885E-3	7.11603E-3	7.10371E-3
	Leakage	-1.65843E-3	-1.78606E-3	-1.75938E-3
	Total	5.51042E-3	5.32997E-3	5.34433E-3

Table 13 Cont'd

(2) T=1 year

(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	3.24443E-3	3.21230E-3	3.20988E-3
	Leakage	-0.24105E-3	-0.26404E-3	-0.25961E-3
	Total	3.00338E-3	2.94826E-3	2.95026E-3
Core 2	Non-Leakage	2.52427E-3	2.49471E-3	2.49147E-3
	Leakage	-0.28852E-3	-0.31253E-3	-0.30785E-3
	Total	2.23575E-3	2.18218E-3	2.18363E-3
Core 3	Non-Leakage	0.82011E-3	0.81292E-3	0.81111E-3
	Leakage	-0.20127E-3	-0.21368E-3	-0.21117E-3
	Total	0.61884E-3	0.59924E-3	0.59994E-3
Core 4	Non-Leakage	0.54693E-3	0.54309E-3	0.54175E-3
	Leakage	-0.32078E-3	-0.33592E-3	-0.33272E-3
	Total	0.22572E-3	0.20717E-3	0.20903E-3
AX.BL.	Non-Leakage	0.45608E-3	0.46830E-3	0.46643E-3
	Leakage	-0.30015E-3	-0.33539E-3	-0.32806E-3
	Total	0.15593E-3	0.13291E-3	0.13837E-3
RA.BL.	Non-Leakage	0.27313E-3	0.27508E-3	0.27461E-3
	Leakage	-0.19568E-3	-0.20835E-3	-0.20516E-3
	Total	0.07745E-3	0.06673E-3	-0.06945E-3
SUM	Non-Leakage	7.86451E-3	7.80640E-3	7.79526E-3
	Leakage	-1.54744E-3	-1.66990E-3	-1.64457E-3
	Total	6.31707E-3	6.13650E-3	6.15069E-3

Table 13 Cont'd

(3) T=2 year

(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	3.69260E-3	3.65118E-3	3.64943E-3
	Leakage	-0.25047E-3	-0.27397E-3	-0.26958E-3
	Total	3.44213E-3	3.37720E-3	3.37986E-3
Core 2	Non-Leakage	2.60513E-3	2.57546E-3	2.57293E-3
	Leakage	-0.27945E-3	-0.30190E-3	-0.29765E-3
	Total	2.32569E-3	2.27357E-3	2.27528E-3
Core 3	Non-Leakage	0.81169E-3	0.80543E-3	0.80389E-3
	Leakage	-0.18323E-3	-0.19442E-3	-0.19224E-3
	Total	0.62846E-3	0.61101E-3	0.61165E-3
Core 4	Non-Leakage	0.53091E-3	0.52847E-3	0.52719E-3
	Leakage	-0.27603E-3	-0.28941E-3	-0.28668E-3
	Total	0.25488E-3	0.23906E-3	0.24051E-3
AX.BL.	Non-Leakage	0.51444E-3	0.52842E-3	0.52598E-3
	Leakage	-0.30104E-3	-0.33620E-3	-0.32895E-3
	Total	0.21340E-3	0.19222E-3	0.19704E-3
RA.BL.	Non-Leakage	0.26548E-3	0.26806E-3	0.26740E-3
	Leakage	-0.17181E-3	-0.18325E-3	-0.18039E-3
	Total	0.09367E-3	0.084807E-3	0.087013E-3
SUM	Non-Leakage	8.42025E-3	8.35701E-3	8.34683E-3
	Leakage	-1.46202E-3	-1.57914E-3	-1.55547E-3
	Total	6.95823E-3	6.77787E-3	6.79135E-3

Table 14 Multiplication Factors of Steam Ingressed System of 1000 MWe GCFR

Steam Density	Cell Model	Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
0.01 g/cc	HOMO	1.029127	0.999140	0.974594
	HETERO-4R	1.024944	0.995331	0.971098
	HETERO-2R	1.026105	0.996399	0.972085
0.03 g/cc	HOMO	1.039296	0.998002	0.964335
	HETERO-4R	1.035737	0.994885	0.961603
	HETERO-2R	1.036745	0.995796	0.962425
0.05 g/cc	HOMO	1.050779	1.000639	0.959862
	HETERO-4R	1.047425	0.997790	0.957474
	HETERO-2R	1.048290	0.998558	0.958154

Table 15 Steam Ingress Reactivity Effects of 1000 MWe GCFR

 $(\Delta k/kk\%)$

Steam Density	Cell Model	Burn-up		
		T=0 year	T=1 year	T=2 year
0.01 g/cc	HOMO	-0.2014	-0.8456	-1.3979
	HETERO-4R	-0.1492	-0.7882	-1.3364
	HETERO-2R	-0.1563	-0.7962	-1.3451
0.03 g/cc	HOMO	0.7847	-0.9586	-2.4359
	HETERO-4R	0.9023	-0.8327	-2.3012
	HETERO-2R	0.8790	-0.8563	-2.3255
0.05 g/cc	HOMO	1.8983	-0.6969	-2.8883
	HETERO-4R	2.0410	-0.5432	-2.7207
	HETERO-2R	2.0002	-0.5813	-2.7590

Table 16 Steam Ingress Reactivity Effect of 1000 MWe GCFR
by Exact Perturbation Method

T=0 year

H₂O = 0.01 g/cc(unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-1.25015E-3	-1.09002E-3	-1.11230E-3
	Leakage	0.23289E-3	0.26274E-3	0.25725E-3
	Total	-1.01726E-3	-0.82729E-3	-0.85505E-3
Core 2	Non-Leakage	0.28314E-3	0.46075E-3	0.45665E-3
	Leakage	0.29815E-3	0.33236E-3	0.32611E-3
	Total	0.58129E-3	0.79312E-3	0.78276E-3
Core 3	Non-Leakage	0.41298E-3	0.47077E-3	0.47340E-3
	Leakage	0.22055E-3	0.23884E-3	0.23557E-3
	Total	0.63353E-3	0.70961E-3	0.70897E-3
Core 4	Non-Leakage	0.08590E-3	0.09451E-3	0.10004E-3
	Leakage	0.31997E-3	0.34011E-3	0.33621E-3
	Total	0.40587E-3	0.43462E-3	0.43625E-3
AX.BL.	Non-Leakage	-1.78250E-3	-1.83085E-3	-1.84332E-3
	Leakage	0.30230E-3	0.34845E-3	0.33901E-3
	Total	-1.48019E-3	-1.48241E-3	-1.50431E-3
RA.BL.	Non-Leakage	-1.34491E-3	-1.34724E-3	-1.35509E-3
	Leakage	0.21471E-3	0.23332E-3	0.22881E-3
	Total	-1.13019E-3	-1.11392E-3	-1.12629E-3
Reflector	Non-Leakage	-0.00730E-3	-0.00852E-3	-0.00819E-3
	Leakage	0.00261E-3	0.00304E-3	0.00291E-3
	Total	-0.00469E-3	-0.00548E-3	-0.00528E-3
SUM	Non-Leakage	-3.60284E-3	-3.25061E-3	-3.28881E-3
	Leakage	1.59119E-3	1.75886E-3	1.72586E-3
	Total	-2.01164E-3	-1.49175E-3	-1.56294E-3

Table 16 Cont'd

T=1 year

H₂O = 0.01 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-4.33749E-3	-4.13816E-3	-4.16269E-3
	Leakage	0.23976E-3	0.27062E-3	0.26510E-3
	Total	-4.09773E-3	-3.86754E-3	-3.89759E-3
Core 2	Non-Leakage	-2.38447E-3	-2.19571E-3	-2.20705E-3
	Leakage	0.28679E-3	0.31866E-3	0.31298E-3
	Total	-2.09768E-3	-1.87705E-3	-1.89407E-3
Core 3	Non-Leakag3	-0.36901E-3	-0.31391E-3	-0.31343E-3
	Leakage	0.19962E-3	0.21598E-3	0.21310E-3
	Total	-0.16939E-3	-0.09792E-3	-0.10033E-3
Core 4	Non-Leakage	-0.27939E-3	-0.26873E-3	-0.26463E-3
	Leakage	0.27550E-3	0.29303E-3	0.28976E-3
	Total	-0.00389E-3	0.02431E-3	0.02513E-3
AX.BL.	Non-Leakage	-1.51610E-3	-1.55998E-3	-1.56897E-3
	Leakage	0.30339E-3	0.34927E-3	0.34002E-3
	Total	-1.21270E-3	-1.21071E-3	-1.22895E-3
RA.BL.	Non-Leakage	-1.05626E-3	-1.05987E-3	-1.06563E-3
	Leakage	0.18735E-3	0.20389E-3	0.19987E-3
	Total	-0.86891E-3	-0.85598E-3	-0.86577E-3
Reflector	Non-Leakage	-0.00542E-3	-0.00639E-3	-0.00619E-3
	Leakage	0.00462E-3	0.00530E-3	0.00510E-3
	Total	-0.00080E-3	-0.00109E-3	-0.00109E-3
SUM	Non-Leakage	-9.94813E-3	-9.54274E-3	-9.58860E-3
	Leakage	1.49703E-3	1.65675E-3	1.62593E-3
	Total	-8.45110E-3	-7.88599E-3	-7.96266E-3

Table 16 Cont'd

T=2 year

H₂O = 0.01 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-0.72761E-2	-0.70385E-2	-0.70675E-2
	Leakage	0.02457E-2	0.02767E-2	0.02712E-2
	Total	-0.70304E-2	-0.67619E-2	-0.67963E-2
Core 2	Non-Leakage	-0.43703E-2	-0.41782E-2	-0.41942E-2
	Leakage	0.02703E-2	0.03067E-2	0.03015E-2
	Total	-0.40933E-2	-0.38715E-2	-0.38928E-2
Core 3	Non-Leakage	-0.09216E-2	-0.08708E-2	-0.08715E-2
	Leakage	0.01809E-2	0.01956E-2	0.019304E-2
	Total	-0.07407E-2	-0.06752E-2	-0.06785E-2
Core 4	Non-Leakage	-0.05430E-2	-0.05322E-2	-0.05291E-2
	Leakage	0.02394E-2	0.02549E-2	0.02520E-2
	Total	-0.03036E-2	-0.02773E-2	-0.02771E-2
AX.B.L	Non-Leakage	-0.13925E-2	-0.14312E-2	-0.14377E-2
	Leakage	0.03043E-2	0.03499E-2	0.03409E-2
	Total	-0.10882E-2	-0.10813E-2	-0.10968E-2
RA.BL.	Non-Leakage	-0.08816E-2	-0.08853E-2	-0.08896E-2
	Leakage	0.01666E-2	0.01816E-2	0.01780E-2
	Total	-0.07150E-2	-0.07037E-2	-0.07116E-2
Reflector	Non-Leakage	-0.00053E-2	-0.00063E-2	-0.00062E-2
	Leakage	0.00070E-2	0.00080E-2	0.00078E-2
	Total	0.00017E-2	0.00018E-2	0.00016E-2
SUM	Non-Leakage	-1.53904E-2	-1.49425E-2	-1.49958E-2
	Leakage	0.14211E-2	0.15735E-2	0.15432E-2
	Total	-1.39694E-2	-1.33690E-2	-1.34514E-2

Table 16 Cont'd

T=0 year

H₂O = 0.03 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	1.47178E-3	1.82099E-3	1.74196E-3
	Leakage	0.60062E-3	0.67513E-3	0.66043E-3
	Total	2.07240E-3	2.49612E-3	2.40239E-3
Core 2	Non-Leakage	5.35729E-3	5.71166E-3	5.67838E-3
	Leakage	0.76706E-3	0.85232E-3	0.83580E-3
	Total	6.12435E-3	6.56397E-3	6.51418E-3
Core 3	Non-Leakage	2.58988E-3	2.70763E-3	2.70451E-3
	Leakage	0.56460E-3	0.60995E-3	0.60146E-3
	Total	3.15448E-3	3.31757E-3	3.30597E-3
Core 4	Non-Leakage	1.18666E-3	1.19942E-3	1.20586E-3
	Leakage	0.82214E-3	0.87252E-3	0.86276E-3
	Total	2.00880E-3	2.07194E-3	2.06861E-3
AX.BL.	Non-Leakage	-3.73209E-3	-3.77008E-3	-3.80054E-3
	Leakage	0.74172E-3	0.84913E-3	0.82559E-3
	Total	-2.99037E-3	-2.92095E-3	-2.97494E-3
RA.BL.	Non-Leakage	-3.07940E-3	-3.06407E-3	-3.08491E-3
	Leakage	0.54592E-3	0.59122E-3	0.57982E-3
	Total	-2.53347E-3	-2.47286E-3	-2.50509E-3
Reflector	Non-Leakage	-0.01273E-3	-0.01471E-3	-0.01415E-3
	Leakage	0.00479E-3	0.00552E-3	0.00530E-3
	Total	-0.00794E-3	-0.00919E-3	-0.00885E-3
SUM	Non-Leakage	3.78141E-3	4.59085E-3	4.43111E-3
	Leakage	4.04685E-3	4.45578E-3	4.37115E-3
	Total	7.82826E-3	9.04662E-3	8.80226E-3

Table 16 Cont'd

T=1 year

H₂O = 0.03 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-6.21475E-3	-5.81602E-3	-5.88831E-3
	Leakage	0.60062E-3	0.67490E-3	0.66077E-3
	Total	-5.61413E-3	-5.14112E-3	-5.22754E-3
Core 2	Non-Leakage	-2.24928E-3	-1.88114E-3	-1.92065E-3
	Leakage	0.71897E-3	0.79626E-3	0.78173E-3
	Total	-1.53032E-3	-1.08489E-3	-1.13892E-3
Core 3	Non-Leakage	0.27015E-3	0.37881E-3	0.37401E-3
	Leakage	0.50145E-3	0.54120E-3	0.53391E-3
	Total	0.77164E-3	0.92001E-3	0.90791E-3
Core 4	Non-Leakage	0.08055E-3	0.09485E-3	0.10100E-3
	Leakage	0.70234E-3	0.74531E-3	0.73719E-3
	Total	0.78286E-3	0.84016E-3	0.83819E-3
AX.BL.	Non-Leakage	-2.84766E-3	-2.90594E-3	-2.92790E-3
	Leakage	0.74237E-3	0.84936E-3	0.82643E-3
	Total	-2.10529E-3	-2.05658E-3	-2.10147E-3
RA.BL.	Non-Leakage	-2.34285E-3	-2.33833E-3	-2.35465E-3
	Leakage	0.47850E-3	0.51877E-3	0.50861E-3
	Total	-1.86435E-3	-1.81955E-3	-1.84604E-3
Reflector	Non-Leakage	-0.01226E-3	-0.01424E-3	0.01380E-3
	Leakage	0.00991E-3	0.01131E-3	0.01089E-3
	Total	-0.00235E-3	-0.00293E-3	-0.00029E-3
SUM	Non-Leakage	-13.3161E-3	-12.4820E-3	-12.6303E-3
	Leakage	3.75419E-3	4.13710E-3	4.05953E-3
	Total	-9.56192E-3	-8.34491E-3	-8.57077E-3

Table 16 Cont'd

T=2 year

H₂O = 0.03 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-1.34528E-2	-1.30019E-2	-1.30734E-2
	Leakage	0.06023E-2	0.06757E-2	0.06619E-2
	Total	-1.28505E-2	-1.23262E-2	-1.24115E-2
Core 2	Non-Leakage	-0.77606E-2	-0.73929E-2	-0.74358E-2
	Leakage	0.068107E-2	0.07520E-2	0.07388E-2
	Total	-0.70795E-2	-0.66408E-2	-0.66969E-2
Core 3	Non-Leakage	-0.13436E-2	-0.12462E-2	-0.12510E-2
	Leakage	0.04485E-2	0.04837E-2	0.04773E-2
	Total	-0.08951E-2	-0.07625E-2	-0.07738E-2
Core 4	Non-Leakage	-0.07145E-2	-0.07020E-2	-0.06966E-2
	Leakage	0.06062E-2	0.06437E-2	-0.06366E-2
	Total	-0.01083E-2	-0.00583E-2	-0.00599E-2
AX.BL.	Non-Leakage	-0.25872E-2	-0.26398E-2	-0.26570E-2
	Leakage	0.07431E-2	0.08489E-2	0.08266E-2
	Total	-0.18441E-2	-0.17909E-2	-0.18303E-2
RA.BL.	Non-Leakage	-0.19555E-2	-0.19526E-2	-0.19655E-2
	Leakage	0.04269E-2	0.04634E-2	0.04543E-2
	Total	-0.15286E-2	-0.14891E-2	-0.15113E-2
Reflector	Non-Leakage	-0.00150E-2	-0.00172E-2	-0.00168E-2
	Leakage	0.00158E-2	0.00179E-2	0.00173E-2
	Total	-0.00008E-2	0.00007E-2	0.00005E-2
SUM	Non-Leakage	-2.78292E-2	-2.69527E-2	-2.70960E-2
	Leakage	0.35238E-2	0.38855E-2	0.38128E-2
	Total	-2.43054E-2	-2.30672E-2	-2.32832E-2

Table 16 Cont'd

T=0 year

H₂O = 0.05 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	0.43462E-2	0.47773E-2	0.46416E-2
	Leakage	0.08834E-2	0.09945E-2	0.09677E-2
	Total	0.52296E-2	0.57718E-2	0.56092E-2
Core 2	Non-Leakage	1.04491E-2	1.08392E-2	1.07698E-2
	Leakage	0.11308E-2	0.12576E-2	0.12278E-2
	Total	1.15799E-2	1.20968E-2	1.19976E-2
Core 3	Non-Leakage	0.47032E-2	0.48310E-2	0.48180E-2
	Leakage	0.08313E-2	0.08988E-2	0.08834E-2
	Total	0.55345E-2	0.57298E-2	0.57014E-2
Core 4	Non-Leakage	0.23508E-2	0.23464E-2	0.23498E-2
	Leakage	0.12150E-2	0.12901E-2	0.12732E-2
	Total	0.35658E-2	0.36364E-2	0.36229E-2
AX.BL.	Non-Leakage	-0.47125E-2	-0.46723E-2	-0.47185E-2
	Leakage	0.10505E-2	0.11996E-2	0.11615E-2
	Total	-0.36620E-2	-0.34726E-2	-0.35570E-2
RA.BL.	Non-Leakage	-0.41663E-2	-0.41164E-2	-0.41478E-2
	Leakage	0.07979E-2	0.08629E-2	0.08447E-2
	Total	-0.33683E-2	-0.32535E-2	-0.33031E-2
Reflector	Non-Leakage	-0.00138E-2	-0.00158E-2	-0.00152E-2
	Leakage	0.00054E-2	0.00062E-2	0.00059E-2
	Total	-0.00084E-2	-0.00096E-2	-0.00093E-2
SUM	Non-Leakage	1.29567E-2	1.39893E-2	1.36976E-2
	Leakage	0.59144E-2	0.65098E-2	0.63642E-2
	Total	1.88711E-2	2.04991E-2	2.00618E-2

Table 16 Cont'd

T=1 year

 $H_2O = 0.05 \text{ g/cc}$ (unit: $\Delta k/k$)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-6.59910E-3	-6.15330E-3	-6.26410E-3
	Leakage	0.85960E-3	0.96732E-3	0.94196E-3
	Total	-5.73950E-3	-5.18960E-3	-5.32214E-3
Core 2	Non-Leakage	-1.20214E-3	-0.81243E-3	-0.87603E-3
	Leakage	1.03412E-3	1.14703E-3	1.12109E-3
	Total	-0.16802E-3	0.33460E-3	0.24506E-3
Core 3	Non-Leakage	1.08316E-3	1.19295E-3	1.18230E-3
	Leakage	0.72563E-3	0.78382E-3	0.77081E-3
	Total	1.80879E-3	1.97677E-3	1.95311E-3
Core 4	Non-Leakage	0.61665E-3	0.60774E-3	0.61444E-3
	Leakage	1.03033E-3	1.09371E-3	1.07955E-3
	Total	1.64698E-3	1.70146E-3	1.69399E-3
AX.BL.	Non-Leakage	-3.17038E-3	-3.20121E-3	-3.23488E-3
	Leakage	1.05041E-3	1.20182E-3	1.16368E-3
	Total	-2.11998E-3	-1.99939E-3	-2.07120E-3
RA.BL.	Non-Leakage	-3.05638E-3	-3.03461E-3	-3.06020E-3
	Leakage	0.70238E-3	0.76042E-3	0.74401E-3
	Total	-2.35400E-3	-2.27418E-3	-2.31619E-3
Reflector	Non-Leakage	-0.01652E-3	-0.01902E-3	-0.01844E-3
	Leakage	0.01309E-3	0.01489E-3	0.01434E-3
	Total	-0.00343E-3	-0.00412E-3	-0.00410E-3
SUM	Non-Leakage	-12.34470E-3	-11.41999E-3	-11.65690E-3
	Leakage	5.41556E-3	5.96902E-3	5.83544E-3
	Total	-6.92917E-3	-5.45084E-3	-5.82148E-3

Table 16 Cont'd

T=2 year

H₂O = 0.05 g/cc

(unit: Δk/k)

		HOMO	HETERO-4R	HETERO-2R
Core 1	Non-Leakage	-1.67856E-2	-1.63181E-2	-1.64129E-2
	Leakage	0.08472E-2	0.09520E-2	0.09278E-2
	Total	-1.59384E-2	-1.53660E-2	-1.54851E-2
Core 2	Non-Leakage	-0.94787E-2	-0.91048E-2	-0.91630E-2
	Leakage	0.09641E-2	0.10663E-2	0.10432E-2
	Total	-0.85146E-2	-0.80385E-2	-0.81198E-2
Core 3	Non-Leakage	-0.14094E-2	-0.13185E-2	-0.13256E-2
	Leakage	0.06418E-2	0.06929E-2	0.06816E-2
	Total	-0.07675E-2	-0.06256E-2	-0.06440E-2
Core 4	Non-Leakage	-0.06312E-2	-0.06447E-2	-0.06368E-2
	Leakage	0.08847E-2	0.09395E-2	0.09274E-2
	Total	0.02535E-2	0.02948E-2	0.02906E-2
AX.BL.	Non-Leakage	-0.28856E-2	-0.29197E-2	-0.29465E-2
	Leakage	0.10505E-2	0.12002E-2	0.11629E-2
	Total	-0.18351E-2	-0.17195E-2	-0.17835E-2
RA.BL.	Non-Leakage	-0.25626E-2	-0.25456E-2	-0.25663E-2
	Leakage	0.06287E-2	0.06813E-2	0.06647E-2
	Total	-0.19339E-2	-0.18642E-2	-0.18998E-2
Reflector	Non-Leakage	-0.00223E-2	-0.00254E-2	-0.00248E-2
	Leakage	0.00214E-2	0.00242E-2	0.00234E-2
	Total	-0.00009E-2	-0.00012E-2	-0.00014E-2
SUM	Non-Leakage	-3.37753E-2	-3.28768E-2	-3.30758E-2
	Leakage	0.50384E-2	0.55565E-2	0.54328E-2
	Total	-2.87369E-2	-2.73203E-2	-2.76431E-2

Table 17 Multiplication Factors of 300 MWe GCFR

	HOMO	HETERO-2R
Reference	1.072778	1.070226
Doppler	1.067416	1.064894
Helium Void	1.075415	1.072759
Steam Ingress	1.071944	1.070104

Table 18 Heterogeneity Effects of Multiplication Factor of 300 MWe GCFR with Exact Perturbation Method

($\Delta k/k\%$)

Region	Non Leakage	Leakage	Total
Core 1	-0.02352	0.05368	0.03016
Core 2	-0.01665	0.03931	0.02266
Core 3	-0.01633	0.04832	0.03199
Core 4	-0.00852	0.05256	0.04404
Core total	-0.06502	0.19387	0.12885
Ax. Bl. 1	-0.00070	0.03960	0.03890
Ax. Bl. 2	-0.00045	0.02569	0.02524
Ax. Bl. 3	-0.00037	0.02430	0.02393
Ax. Bl. 4	-0.00021	0.01517	0.01496
Ax. Bl. total	-0.00173	0.10476	0.10303
Radial Blanket	-0.00112	0.00760	0.00648
Total	-0.06787	0.30623	0.23836

Table 19 Doppler Effects of 300 MWe GCFR with
Exact Perturbation Method

($\Delta k/k\%$)

Region	Cell Model	Non Leakage	Leakage	Total
Core 1	HOMO	-0.22460	0.00179	-0.22281
	HETERO-2R	-0.22313	0.00169	-0.22144
Core 2	HOMO	-0.11708	0.00142	-0.11566
	HETERO-2R	-0.11652	0.00133	-0.11519
Core 3	HOMO	-0.09765	0.00211	-0.09554
	HETERO-2R	-0.09746	0.00198	-0.09548
Core 4	HOMO	-0.06664	0.00149	-0.06515
	HETERO-2R	-0.06688	0.00141	-0.06547
Total	HOMO	-0.50597	0.00681	-0.49916
	HETERO-2R	-0.50399	0.00641	-0.49759

Table 20 Helium Void Effects of 300 MWe GCFR
with Exact Perturbation Method

($\Delta k/k\%$)				
Region	Cell Model	Non Leakage	Leakage	Total
Core 1	HOMO	0.14725	-0.02597	0.12128
	HETERO-2R	0.14501	-0.02718	0.11783
Core 2	HOMO	0.08640	-0.02048	0.06592
	HETERO-2R	0.08512	-0.02138	0.06374
Core 3	HOMO	0.07680	-0.02960	0.04720
	HETERO-2R	0.07581	-0.03066	0.04515
Core 4	HOMO	0.04984	-0.04352	0.00632
	HETERO-2R	0.04942	-0.04465	0.00477
Core total	HOMO	0.36029	-0.11957	0.24072
	HETERO-2R	0.35536	-0.12387	0.23149
Ax.Bl. 1	HOMO	0.01695	-0.00983	0.00712
	HETERO-2R	0.01715	-0.01039	0.00676
Ax.Bl. 2	HOMO	0.01003	-0.00709	0.00294
	HETERO-2R	0.01017	-0.00751	0.00266
Ax.Bl. 3	HOMO	0.01024	-0.01053	-0.00029
	HETERO-2R	0.01041	-0.01118	-0.00077
Ax.Bl. 4	HOMO	0.00878	-0.01356	-0.00478
	HETERO-2R	0.00893	-0.01439	-0.00546
Ax.Bl. total	HOMO	0.04600	-0.04101	0.00499
	HETERO-2R	0.04666	-0.04347	0.00319
Total	HOMO	0.40629	-0.16058	0.24571
	HETERO-2R	0.40202	-0.16734	0.23468

Table 21 Steam Ingress Reactivity Effects of 300 MWe GCFR
with Exact Perturbation Method

($\Delta k/kk'$ %)				
Region	Cell Model	Non Leakage	Leakage	Total
Core 1	HOMO	0.04584	0.07976	0.12560
	HETERO-2R	0.06289	0.08443	0.14732
Core 2	HOMO	0.14788	0.06278	0.21066
	HETERO-2R	0.15916	0.06620	0.22536
Core 3	HOMO	0.22530	0.08810	0.31340
	HETERO-2R	0.23593	0.09208	0.32801
Core 4	HOMO	0.05584	0.11018	0.16602
	HETERO-2R	0.05720	0.11401	0.17121
Core total	HOMO	0.47486	0.34082	0.81568
	HETERO-2R	0.51518	0.35672	0.87190
Ax.Bl. 1	HOMO	-0.43332	0.05041	-0.38291
	HETERO-2R	-0.43342	0.05386	-0.37956
Ax.Bl. 2	HOMO	-0.25200	0.03335	-0.21865
	HETERO-2R	-0.25261	0.03567	-0.21694
Ax.Bl. 3	HOMO	-0.21400	0.03233	-0.18167
	HETERO-2R	-0.21166	0.03456	-0.17710
Ax.Bl. 4	HOMO	-0.13095	0.02096	-0.10999
	HETERO-2R	-0.13261	0.02243	-0.11018
Ax.Bl. total	HOMO	-1.03027	0.13705	-0.89322
	HETERO-2R	-1.03030	0.14652	-0.88378
Total	HOMO	-0.55541	0.47787	-0.07754
	HETERO-2R	-0.51512	0.50324	-0.01188

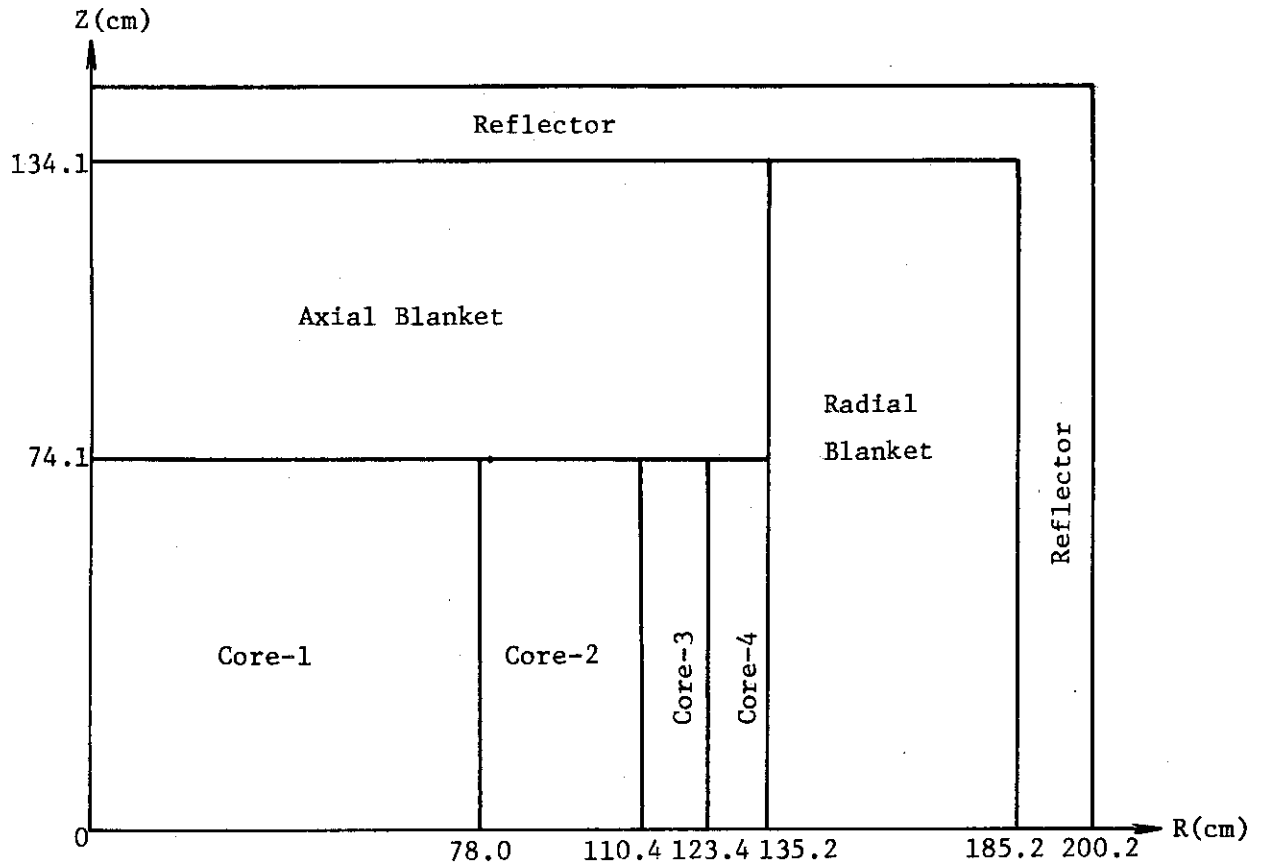


Fig. 1 2RZ Model for 1000 MWe GCFR

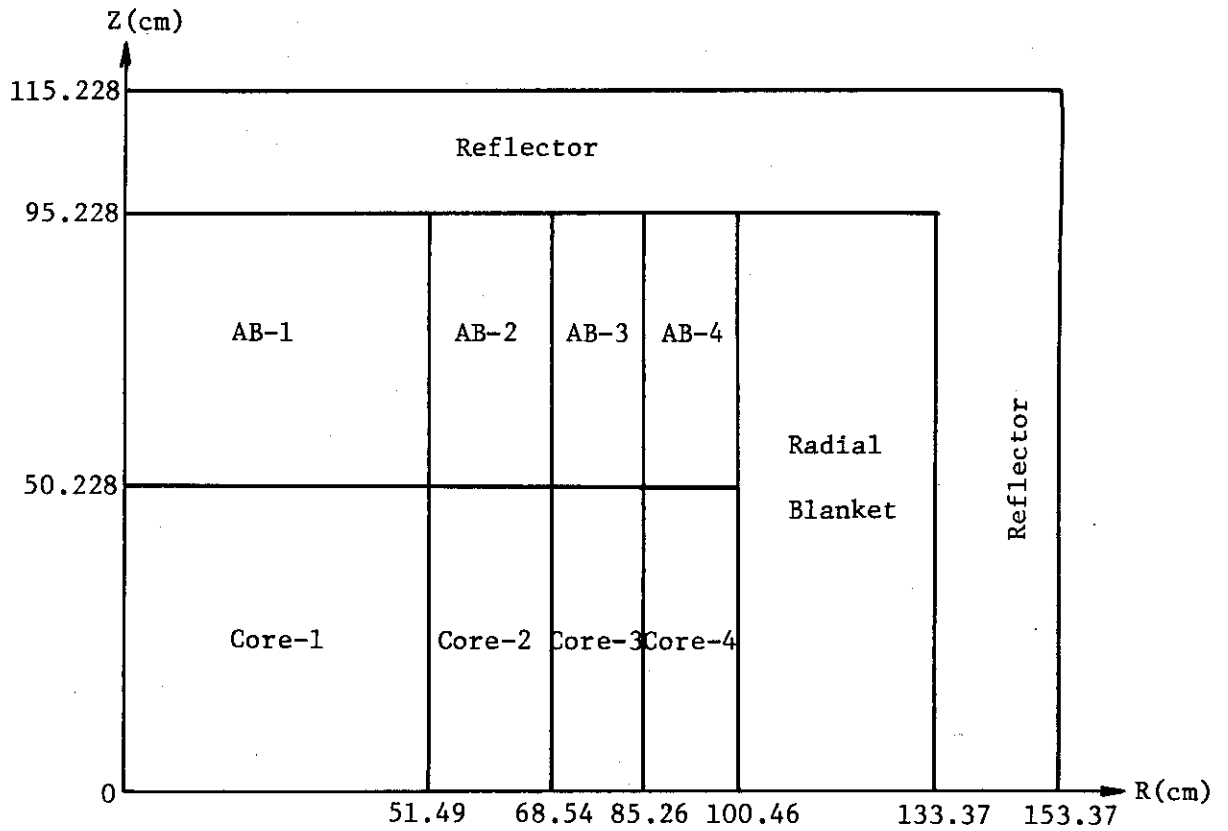
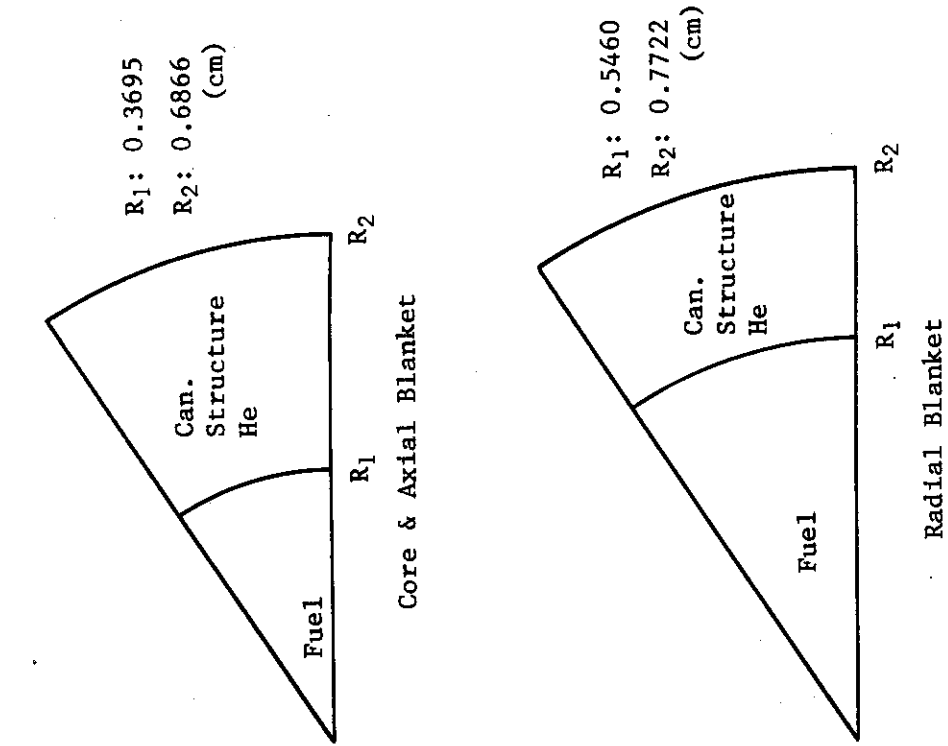


Fig. 2 2RZ Model for 300 MWe GCFR

HETERO-2R Model



HETERO-4R Model

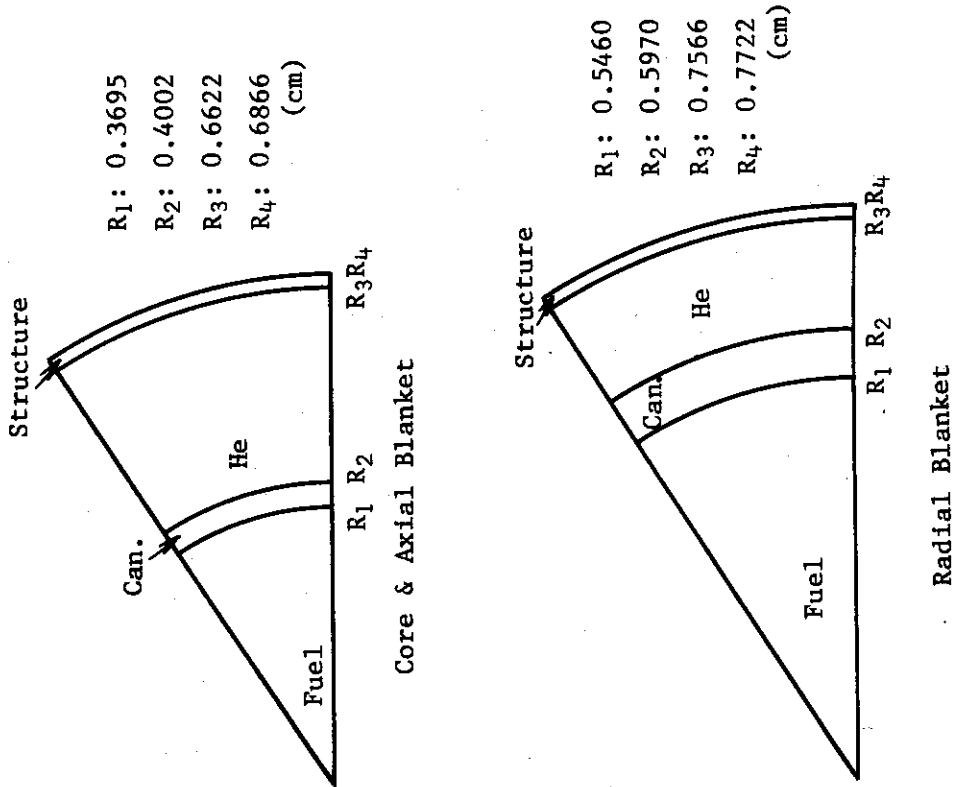


Fig. 3 Cell Models for 1000 MWe GCFR

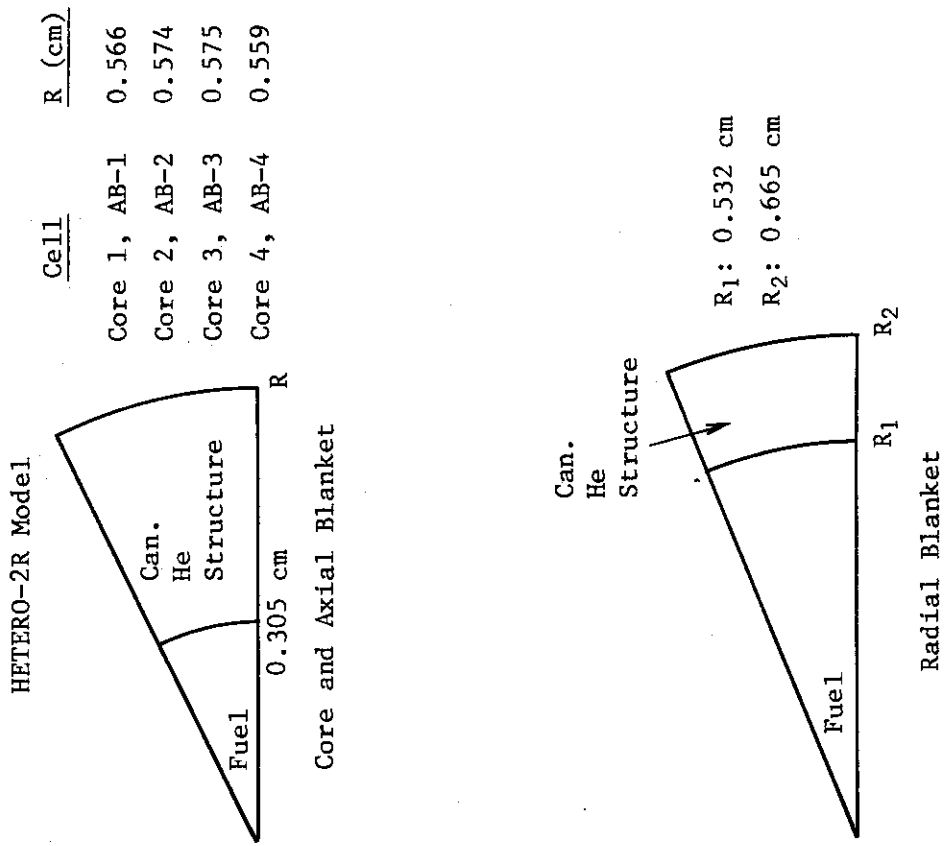


Fig. 4 Cell Models for 300 MWe GCFR

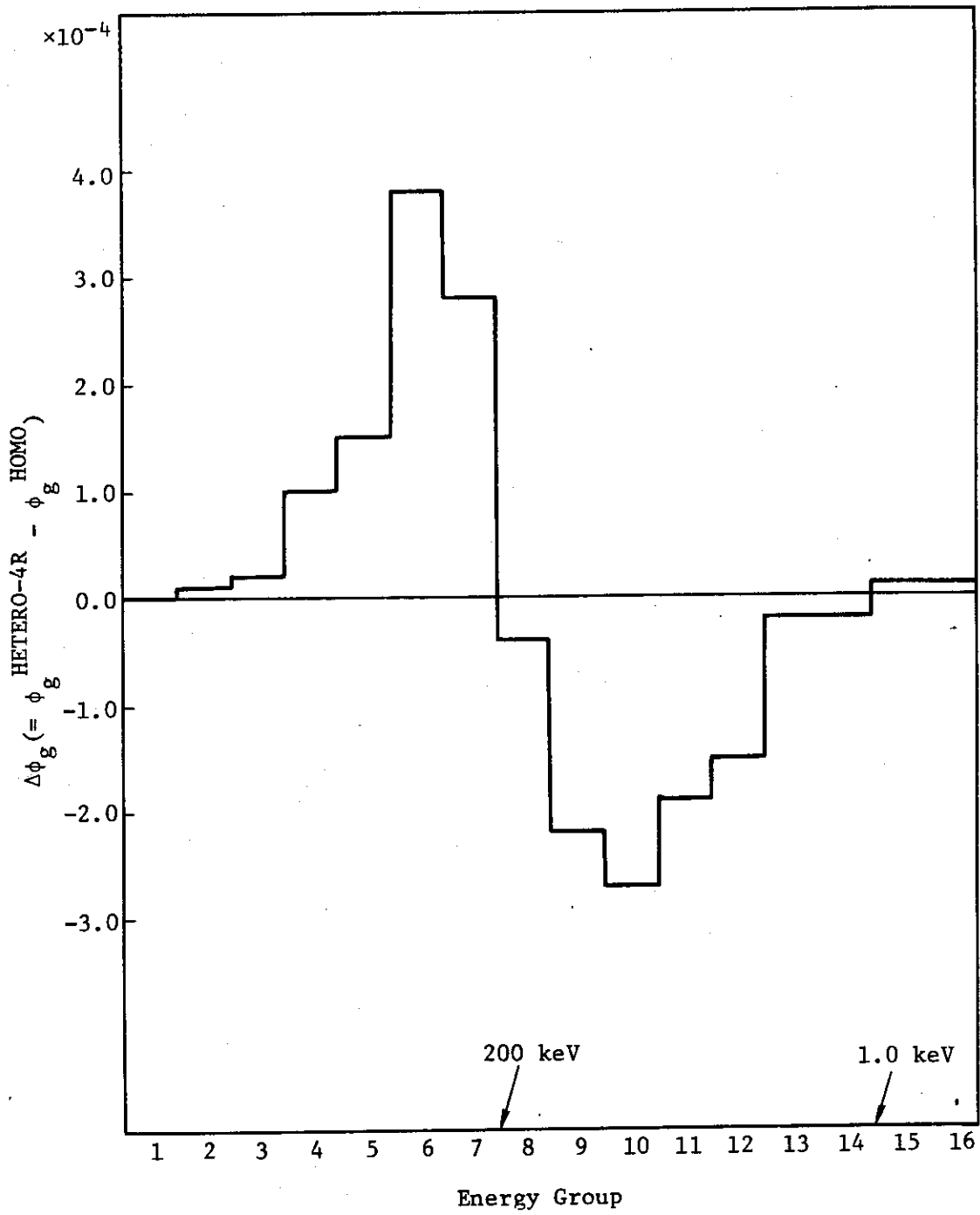


Fig. 5 Difference of Neutron Energy Spectrum between HETERO-4R Model and HOMO Model.
 Start-up Core : Core 1

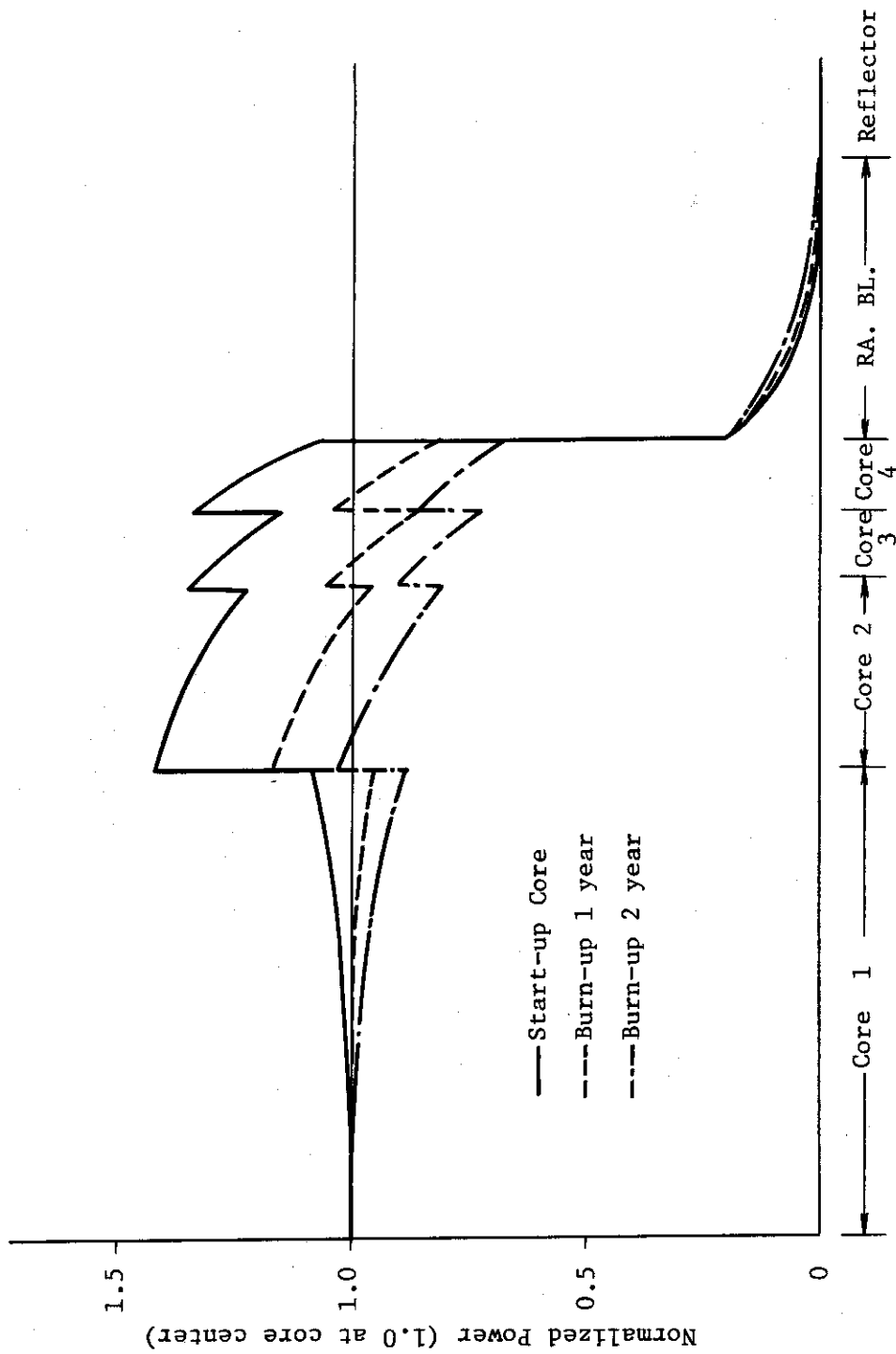


Fig. 6 Power Distributions of 1000 MWe GCFR at different burn-up states
(1) Radial Distribution

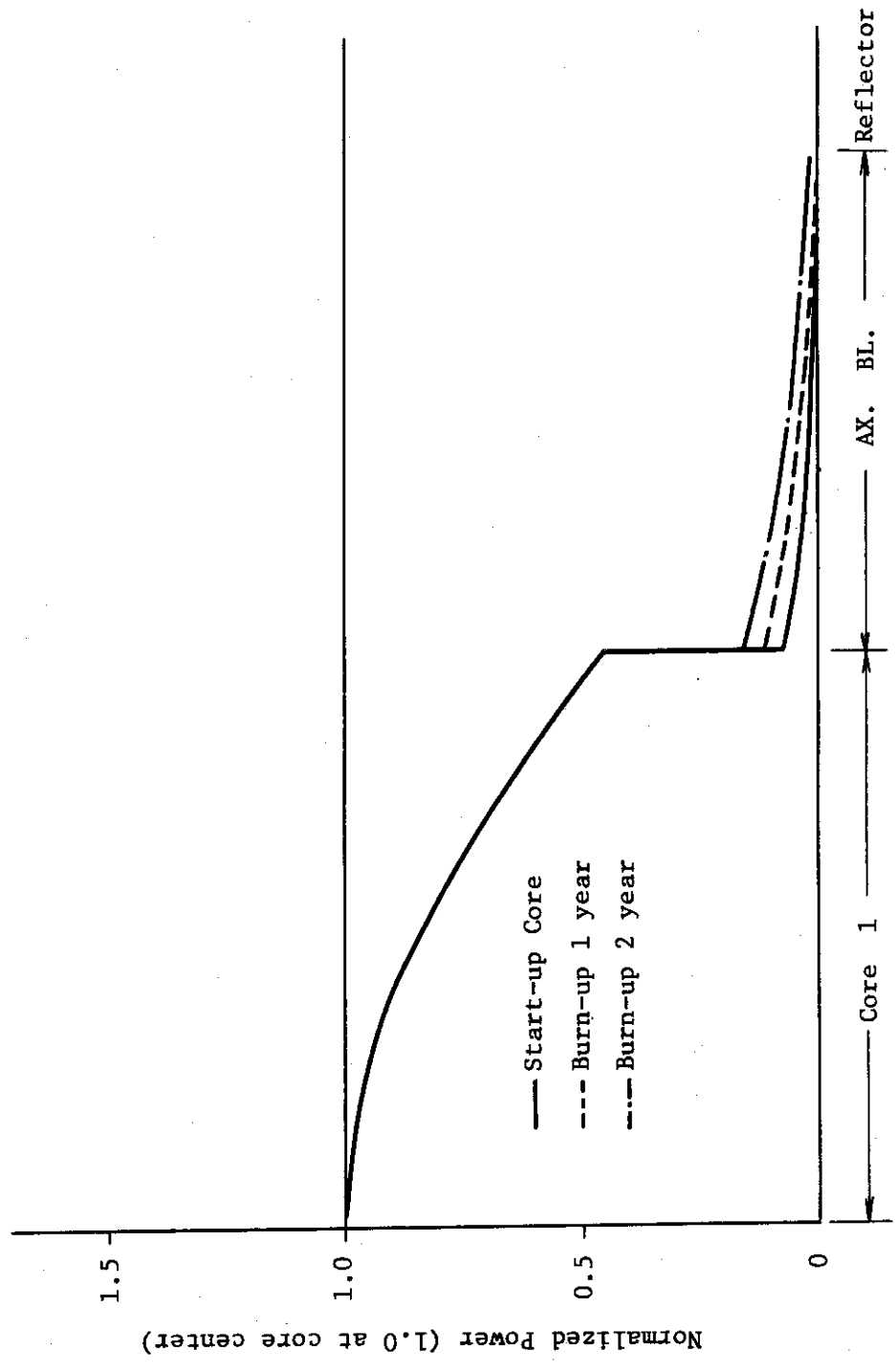


Fig. 6 Power Distributions of 1000 MWe GCFR at different burn-up states
(2) Axial Distribution

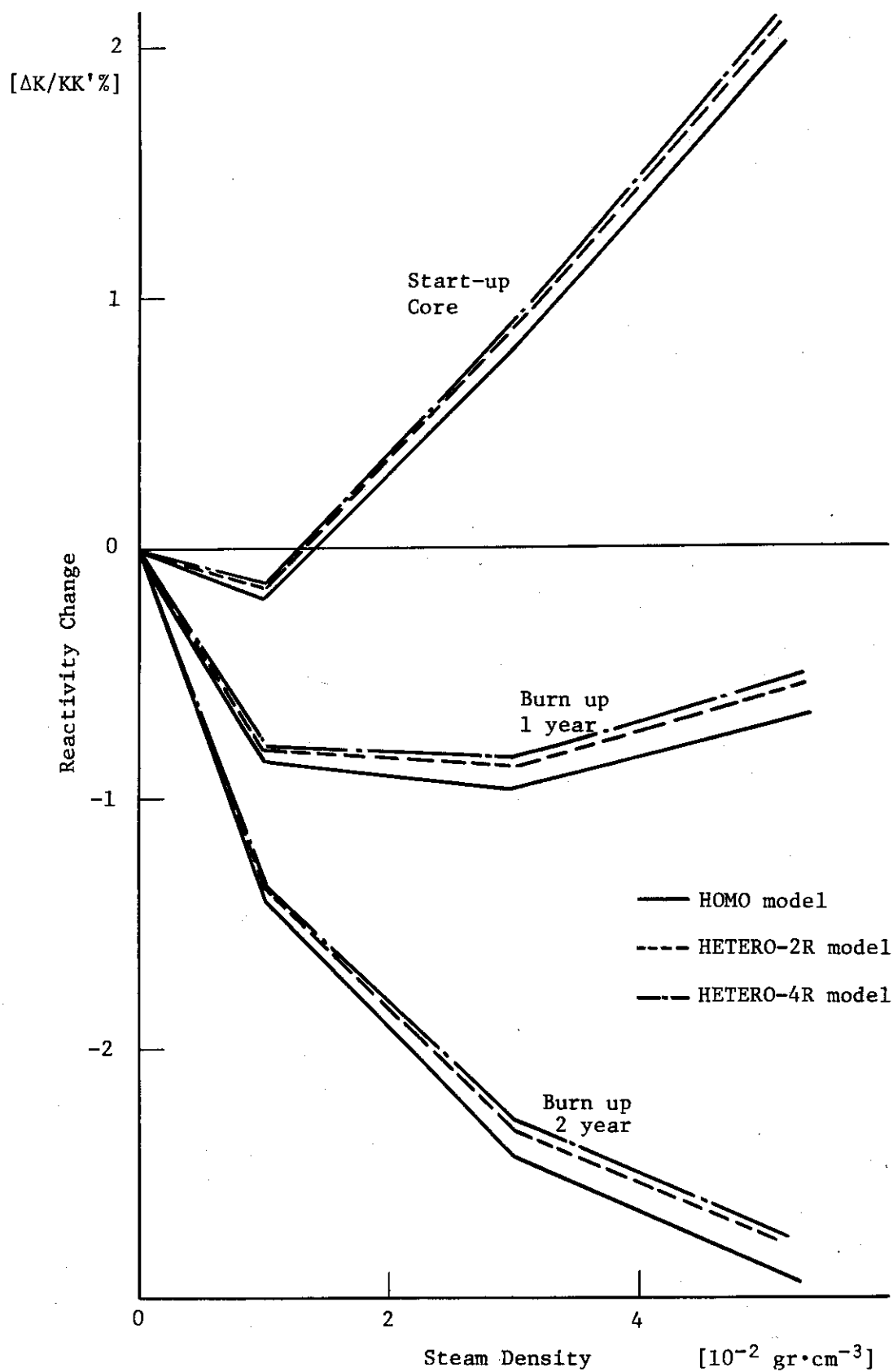


Fig. 7 Steam Ingress Reactivity Effects

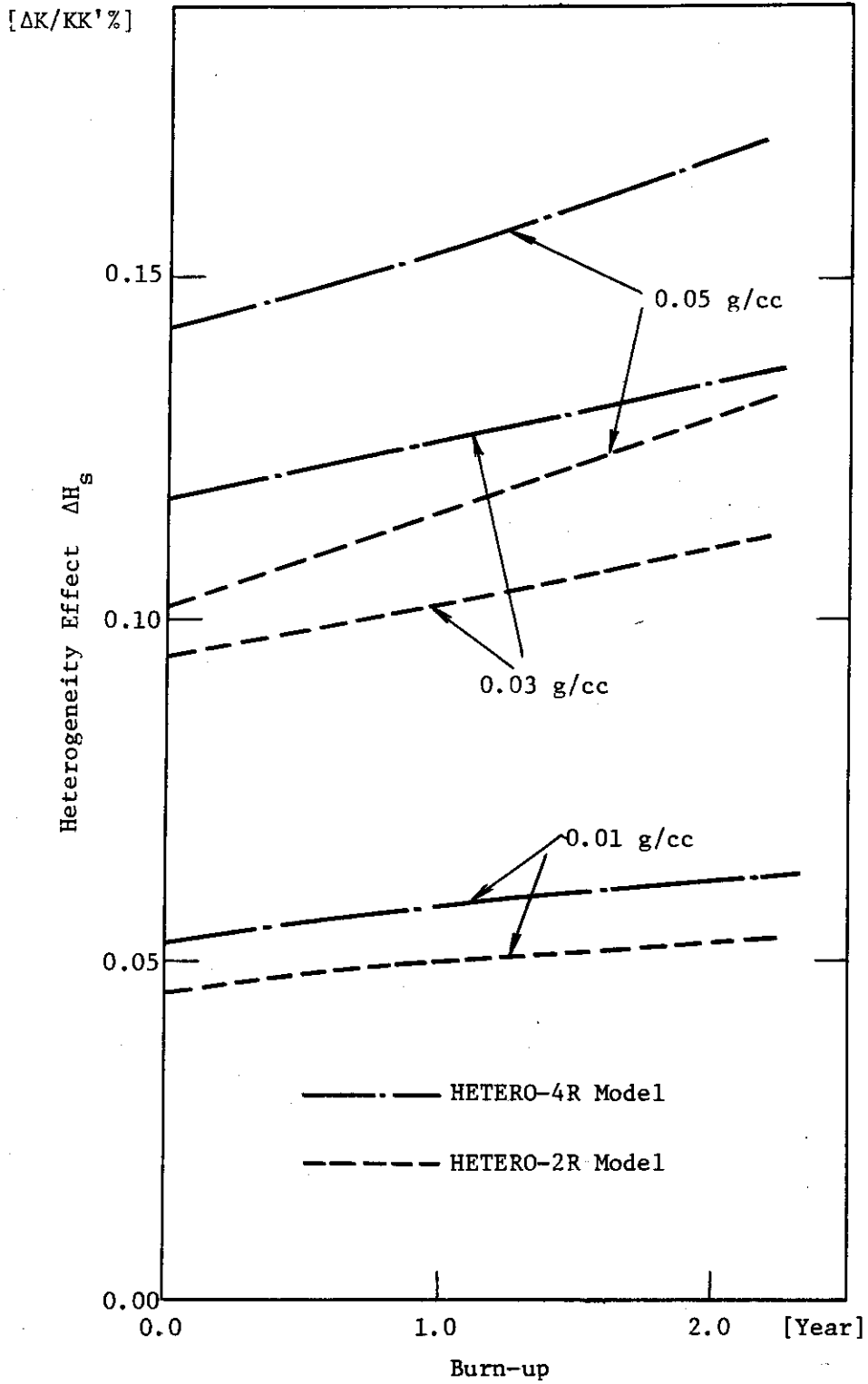


Fig. 8 Heterogeneity Effect of Steam Ingress Reactivity Effects