

JAERI-memo
57-071

1,000MWe非均質炉心LMFBRの核特性
に与える輸送理論適用による効果
(高速炉用炉定数と核特性の研究・IV)
(受託研究)

1982年3月

吉田 弘幸・飯島 進・堀田 雅一*



このJAERI-memo は、日本原子力研究所が所内の利用のため作成した未公開資料ですので、複製、転載を行ってはなりません。公刊物への引用の場合は、必ず著者の承諾を得たうえで私信(Private Communication)とし、memo番号を記載してはなりません。

This JAERI-memo is prepared for internal use in JAERI, as the work is of preliminary nature.

No part of this report shall be reproduced and transmitted in any form or by any means. If you wish to quote a part of this report for your publication, you must deal with this matter as a private communication, with the permission from the author. The JAERI-memo number shall not be quoted in any published work.

編	集	日本原子力研究所
印	刷	日立高速印刷株式会社

1,000 MWe 非均質炉心 LMFBR の核特性に与える
輸送理論適用による効果
(高速炉用炉定数と核特性の研究・Ⅳ)

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部高速炉設計研究室

吉田 弘幸・飯島 進・堀田 雅一*

(1982年3月受理)

この研究の主目的は、非均質炉心 LMFBR の核特性に関する輸送効果を明確にすることである。径方向非均質炉心と通常の均質炉心の概念に基く 2 種の 1000 MWe LMFBR の核特性について、2次元拡散コード PHENIX、2次元輸送コード TWOTRAN および JAERI-Fast Version II・25群断面積セットを用いて検討した。この研究で検討を加えた核特性は、特に非均質炉心 LMFBR に対して重要であると考えられる燃焼による燃料核種変化を含む増殖性、 N_0 、ボイド反応度、出力分布である。この研究の過程において、輸送コード TWOTRAN と拡散-燃焼計算コード PHENIX の燃焼ルーチンを結合することによって、輸送理論に基く燃焼計算コードを作成した。

主な結果は以下の通りである。

- (1) 燃焼に伴う燃料核種の変化は、均質炉心 LMFBR、非均質炉心 LMFBR 共に、拡散近似に基く燃焼コードを用いることによって、十分な精度で推定することが可能である。このことは、非均質炉心 LMFBR の増殖性を拡散近似によって精度よく推定できることを意味している。
- (2) 均質炉心 LMFBR における実効増倍率の輸送効果は、かなり大きく、初装荷状態 (BOL) において $0.6\% \Delta K / K'$ である。この輸送効果は燃焼に伴って緩かに減少する。非均質炉心 LMFBR におけるこの輸送効果は、BOL において $0.95\% \Delta K / K'$ であり、均質炉心の場合と比較してはるかに大きい。この輸送効果は燃焼と共に非常に急激に減少する。

本報告書は、日本原子力研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により行なった研究の成果である。

* 外来研究員 ISL 株式会社

- (3) 炉心領域のみから N_a が除去されることによって生ずる N_a ボイド反応度に関して、輸送理論によって得られる正の反応度は、拡散近似によって得られる結果と比較して、非常に大きくなる。この相違は、BOLにおいて、均質炉心 LMFBR に対して7%、非均質炉心 LMFBR に対して21%である。この輸送効果は、燃焼と共に、均質炉心 LMFBR では緩やかに、非均質炉心 LMFBR では非常に急激に、減少する。
- (4) 均質炉心 LMFBR の出力分布は、拡散コードを用いることで、充分正確に推定できるように思われる。しかし、非均質炉心 LMFBR の、特に BOL での出力分布を推定するためには輸送理論による計算が不可欠である。何故ならば、拡散近似では、内部ブランケット内の出力密度を正しく推定することが困難であるからである。

Effects of Transport Theory Application on
Nuclear Characteristics of A 1,000MWe LMFBR
Based on Heterogeneous Core Concept

Hiroyuki YOSHIDA, Susumu IIJIMA and
Masakazu HOTTA*

Division of Power Reactor Projects, JAERI

(Received March, 1982)

The principal purpose of the present study is to understand so-called transport effect on the nuclear characteristics of the heterogeneous core LMFBR. The nuclear characteristics of two kinds of 1,000 MWe LMFBRs based on radial heterogeneous and conventional homogeneous core concepts have been investigated by using two dimensional diffusion and transport theory codes, PHENIX and TWOTRAN, together with JAERI-Fast Version II.25 group cross-section set. The nuclear characteristics investigated in the study were breeding performance including variation of fuel materials during burnup, sodium-void reactivity and power distribution, which are considered very important especially for heterogeneous core LMFBR. During the course of the study, a two dimensional burnup code based on transport theory has been developed by coupling transport code TWOTRAN with burnup routine in diffusion-burnup code PHENIX.

The followings were revealed:

- (1) Variation of fuel materials during burnup can be estimated with quite good accuracy by using burnup code based on diffusion approximation both for homogeneous and heterogeneous core LMFBRs. This

The work was performed under contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation and Japan Atomic Energy Research Institute.

* On leave from ISL Ltd.

means that the breeding performance of heterogeneous core LMFBR can be also estimated quite accurately with diffusion approximation.

- (2) The transport effect on effective multiplication factor of homogeneous core LMFBR is fairly large, $0.6 \text{ } \Delta k/kk'$ at the beginning of life(BOL), and it decreases slowly with burnup. The corresponding transport effect of heterogeneous core LMFBR is $0.95 \text{ } \Delta k/kk'$ at BOL, which is much larger than that of homogeneous core LMFBR. This transport effect decreases quite rapidly with burnup.
- (3) As for sodium-void reactivity caused by sodium removal only from the core region, the positive reactivity obtained by transport theory is much bigger than that by diffusion approximation, by 7% for homogeneous core LMFBR and by 21% for heterogeneous core LMFBR, at BOL. This transport effect decreases with burnup, slowly for homogeneous core LMFBR and very rapidly for heterogeneous core LMFBR.
- (4) It seems that the power distribution in homogeneous core LMFBR can be estimated quite accurately by using diffusion code. However, transport calculation should be needed to estimate the power distribution in heterogeneous core LMFBR especially at BOL with the strongest heterogeneity, because it is very difficult to estimate power density in the internal blanket by diffusion approximation.

Keywords : Homogeneous Core LMFBR, Heterogeneous Core LMFBR, Two Dimensional Diffusion Calculation, Two Dimensional Transport Calculation, Burnup Calculation, Effective Multiplication Factor, Breeding Performance, Sodium Void Reactivity, Power Distribution, Transport Effect

目 次

1. 序 論	1
2. 計算モデルと計算方法	2
2.1 計算モデル	2
2.2 計算方法	3
3. 計算結果と検討	4
3.1 燃焼に伴なう核種組成変化と実効増倍率	5
3.2 増殖性	6
3.3 N_a ボイド反応度	7
3.4 出力分布	8
4. 結 論	10
参考文献	10

1. 序 論

炉心内にブランケット集合体を配列する非均質炉心の概念を N_a 冷却高速炉 (LMFBR) に適用する利点は、よく知られているように、通常の2領域均質炉心 LMFBR と比較して、増殖性を改善し、かつ LMFBR の安全性の重要な因子である正の N_a ボイド反応度を大巾に低減することができることである。この考え方に立ち、米国の高速原型炉クリンチリバー増殖炉 (CRBR) にこの非均質炉心概念を適用することが、すでに決定されている。米国以外の国々においても、将来の大型高速炉への非均質炉心概念の適用可能性に関する研究を続行中である。

非均質炉心 LMFBR 概念では、炉心内にブランケット集合体をいかに配列するかによって、種々の案が提案されている。いずれにしても、非均質炉心構成は通常の2領域均質炉心のそれと比較して複雑になる。その結果として、炉物理的観点からも、非均質炉心特有の問題が存在する可能性がある。1つは、均質炉心に適用してきた断面積データが非均質炉心に対しても同程度の適用性が期待できるかという問題がある。この問題に関して、1978年度、1979年度に、JAERI-Fast II-70 群断面積セットと ENDFB/4 より作成した断面積セットを用い、均質炉心およびそれと対応できる非均質炉心^{(1),(2)}に対し、広範囲の炉物理特性を計算することによって比較検討した。この結果、両断面積セットによる非均質炉心特性に関する計算値の差は、均質炉心における差と同程度のものであり、非均質炉心に特有の現象は現われなかった。ただし、両断面積セットのデータ自身の相違は、燃料核種に関するものに対してのみであり、冷却材、構造材など軽い核種の断面積データは共通である。軽い核種の共鳴領域の除去断面積の作成方法によって、特に非均質炉心の径方向出力分布に重大な相違を生じることを考えると、 R_{ef} ⁽⁵⁾ (1), (2) だけの比較検討では不十分であり、JENDL, ENDFB/4 による再検討が必要ではないかと考えられる。

第2の問題は、断面積データから実効断面積を求める方法論であろう。非均質炉心では、炉心燃料集合体とブランケット燃料集合体⁽⁴⁾がいたる所で近接しており、空間に依存した実効断面積を作成する必要がある可能性が強い。この可能性の強いことは、ZPPR-7 の出力分布に関する実験において、板状燃料、ピン状燃料の両ケースにおいて、いずれも炉心燃料集合体と内部ブランケット集合体の境界近辺における実験値と解析値の相違が大きいことから、示唆される。

第3の問題は、核特性予測計算手法、特に拡散近似に基く計算手法の妥当性に関する問題である。非均質炉心では、前述のように、組成が大巾に異なる炉心燃料集合体とブランケット燃料集合体が非常に近接して配置されている。このことは、輸送理論の適用が必要であることを示唆するものであるが、より便利でかつ3次元体系まで解析できる拡散近似に基く方法論によって、非均質炉心の主要核特性をどの程度正しく評価できるかを確かめておく必要があると考えられる。

以上あげた問題以外にも非均質炉心核特性評価に係わる多くの問題が存在するであろうが、まず、基本的な3つの問題をシステマティックに解明することが先決であると考えられる。本論文では、上述の第3の問題に関して、拡散近似と輸送理論が均質炉心および非均質炉心の核特性に与える相違について検討を加えた。

非均質炉心では、高い増殖性が期待され、かつ LMFBR の重要な核的安全性因子である正の N_a ボイド反応度の低減が期待されている。増殖性は、仮に倍增時間によって評価されるものと考え、

単位出力当りに要する核分裂性物質の量と核分裂性物質の生成率が核的には重要となる。特に核分裂性物質の生成率を求めるためには燃焼計算を必要とし、燃焼計算に輸送理論の効果を含めることにした。 N_a ボイド反応度に関しては、拡散近似および輸送理論に基き求められた燃焼状態の炉心領域のみから N_a が喪失した場合について、拡散および輸送計算を実施し、 N_a ボイド反応度を求め、比較している。

増殖性と N_a ボイド反応度以外で、非均質炉心の主要核特性として、出力分布があげられる。出力分布についても、燃焼状態の相違を考慮しているが、拡散計算による出力分布は、拡散近似に基き得られた燃焼状態に対する拡散計算の結果であり、輸送計算による出力分布は、輸送理論に基き得られた燃焼状態に対する輸送計算の結果である。

解析対象とした均質炉心、非均質炉心のモデルは、日立製作所(株)が動力炉核燃料開発事業団の受託研究として行なった非均質炉心に関する研究報告書⁽⁵⁾に記載された燃料ピン径 6.5 mm に対応するものであり、2次元 R-Z 体系にモデル化している。使用した断面積セットは、一貫して、JAERI-Fast-II 25群断面積セット⁽⁶⁾である。断面積セット選択の理由は、定数縮約のわずらわしさを省け、かつ断面積セットの相違による輸送理論適用性に対する効果は2次のオーダーであろうと予測したことにある。

2. 計算モデルと計算方法

2.1 計算モデル

均質炉心および非均質炉心は、共に燃料ピン径が 6.5 mm であり、炉心の最大線出力が同一になるように設計されている。均質炉心は、その R-Z 体系モデルを Fig. 1 に示したが、 P_u 富化度の異なる 2 領域炉心であり、その囲りを軸および径方向ブランケットで取囲まれている。炉心の等価半径は 152.8 cm、高さは 100 cm である。したがって、炉心体積は 7.335 ℓ となる。各領域は、物質の体積比のみを考慮して均質化した組成を有するものとした。

非均質炉心は、その R-Z 体系モデルを Fig. 2 に示しているが、炉心内に中心を含む 6 層の内部ブランケットを有するようモデル化している。炉心の装荷燃料の P_u 富化度はすべての炉心領域において一定である。炉心とそれに連がる軸方向ブランケットのピン径は同一である。内部ブランケットおよびそれに連がる軸方向ブランケットの組成は径方向ブランケットの組成と同一である。したがって、非均質炉心に考慮した領域数は 25 となる。内部ブランケットを含む炉心の等価半径は 161.7 cm であるが、炉心高さは均質炉心の高さと等しく 100 cm である。内部ブランケットを含まぬ炉心の体積は、6.354 ℓ となり、均質炉心の炉心体積より低くなる炉心設計になっている。非均質炉心の場合も、均質炉心の場合と同様、25 領域のそれぞれは均質化された組成を有するものとした。

初装荷状態 (Beginning of Life, BOL) の各領域の物質の原子数密度を、均質炉心について Table 1 に、非均質炉心について Table 2 に、それぞれ示した。

今回の研究の主目的は、燃焼状態を含めた非均質炉心核特性の輸送理論効果である。したがって、選択した燃焼状態に関する説明をしておく必要がある。均質炉心、非均質炉心共に、熱出力 2500

MWt, 電気出力 1,000 MWe (効率 40%) で運転され, 燃料交換周期は 1 年, 3 バッチ分散燃料交換方式, 稼働率 80% を仮定した。したがって, 燃料炉内滞在期間は 3 年, 燃料照射日数は 876 EFPD (Equivalent Full Power Days) となる。径方向ブランケットについては 3 バッチ, 1 年燃料交換周期の燃料交換方式を適用することは適当であるとは思えないが, 炉心, 軸方向ブランケット, 内部ブランケット (非均質炉心) に関する燃料交換方式としては適当であろう。

平衡サイクル初期 (Beginning of Equilibrium Cycle ; BOEC) では, 炉内滞在期間が 0 年, 1 年, 2 年の燃料が $1/3$ ずつ混在することになり, 平均的に炉内滞在期間 1 年の燃料で構成されていると考えることができる。平衡サイクル終期 (End of Equilibrium Cycle ; EOEC) では, 同様にして考えると, 平均的に炉内滞在期間 2 年の燃料によって各領域が構成されていると考えることができる。したがって, 炉特性を検討する異なる燃焼状態として, 上述の意味での BOL, BOEC, EOEC とし, 各燃焼状態の組成は後述のワン・スルー燃焼計算の 0 日, 292 EFPD, 584 EFPD での組成でもって代表させることにする。

2.2 計算方法

本研究の主目的は, 均質炉心と非均質炉心の核特性に与える輸送効果の相違を検討することにある。したがって, どの断面積セットをどの程度のエネルギー群数で用いるかの効果は 2 次のオーダーになると予想される。加えて, 群数縮約の煩雑さを省くこともあって, 一貫して JAERI-Fast-II・25 群断面積セット (JFS-II・25) を使用することとした。

燃焼計算コードには, 拡散近似に基く PHENIX コード⁽⁷⁾がある。当然のことながら, 輸送理論に基く 2 次元燃焼コードを所有していないので, Fig. 3 に示すような方法によって燃焼計算への輸送理論の適用を企った。PHENIX は, 組成の相違を考慮して実効断面積を作成する EXPANDA⁽⁸⁾を内蔵するように改良しているので問題はないが, 用いた輸送理論コード TWOTRAN⁽⁹⁾では実効断面積作成と TWOTRAN 内実効断面積入力が必要であり, このため Fig. 3 に示したように PIGEON⁽¹⁰⁾, PEDIT⁽¹⁰⁾を用いている。このようにして得られた実効巨視断面積と TWOTRAN (S_4) によって, 輸送理論に基く各領域の全中性子束を求め, 燃焼計算ルーチンによって核種の時間変化を求めている。

Fig. 3 の燃焼計算ルーチンは, 中性子束の規格化を含め PHENIX のそれと同一である。すなわち, 時刻 t の核種 m の原子数密度を $N^m(t)$ とすると, 領域 R に対して,

$$\begin{aligned} \frac{dN_R^m(t)}{dt} + \lambda^m N_R^m(t) + \sigma_{a,R}^m \cdot \bar{\phi}_R \cdot N_R^m(t) \\ = \lambda^k N_R^k(t) + \sum_j \sigma_{c,R}^j \cdot \bar{\phi}_R \cdot N_R^j(t) + \sum_l \sigma_{f,R}^l \cdot \bar{\phi}_R \cdot N_R^l(t) \end{aligned}$$

である。 λ^m ; 核種 m の崩壊定数, σ_a^m ; 核種 m の領域平均 1 群吸収断面積, σ_c^m ; 核種 m の領域平均 1 群中性子捕獲断面積, σ_f^m ; 核種 m の領域平均 1 群核分裂断面積, $\bar{\phi}$; 領域平均全中性子束, である。

拡散, 輸送コードによる通常の規格化によって求められる時刻 t , 位置 r , エネルギー群 g の中性

子束を $\phi_g(\underline{r}, t)$ とすると、熱出力 2500 MW_t に規格化された中性子束 $\phi_g(\underline{r}, t)$ は、

$$\phi_g(\underline{r}, t) = A(t) \bar{\phi}_g(\underline{r}, t)$$

となる。 $A(t)$ は、時刻 t の規格化定数であり、以下の方法によって求めることとした。

$$P_f(t) = \sum_R \sum_m \sigma_{f,R}^m(t) \cdot \bar{\phi}_R(t) \cdot V_R \cdot N_R^m(t) \cdot C_f^m \times 1.602 \times 10^{-13}$$

$$P_c(t) = \sum_R \sum_m \sigma_{c,R}^m(t) \cdot \bar{\phi}_R(t) \cdot V_R \cdot N_R^m(t) \cdot C_c^m \times 1.602 \times 10^{-13}$$

ここで、 $\bar{\phi}_R(t)$ は、領域平均全中性子束であり、領域 R の体積が V_R であるので、

$$\bar{\phi}_R(t) = \frac{1}{V_R} \sum_g \int_{V_R} \phi_g(\underline{r}, t) d\underline{r}$$

である。また、 C_f^m 、 C_c^m は、それぞれ 1 fission, 1 capture 当りのエネルギーであり MeV/fission, MeV/capture 単位でテーブル化されている。 1.602×10^{-13} は熱出力 (W) への変換係数である。したがって、

$$A(t) = \frac{2500}{P_f(t) + P_c(t)}$$

で求めることになり、 $\bar{\phi}_R = A \cdot \phi_R$ となる。

$\phi_g(\underline{r}, t)$ は、拡散コード PHENIX, 輸送コード TWOTRAN によって計算するが、計算体系は R-Z 体系であり、そのメッシュ構造を Fig. 4 と Fig. 5 に、均質炉心と非均質炉心についてそれぞれ示した。 N_a ボイド反応度の拡散計算ではメッシュ効果が特に非均質炉心に対して大きくなる可能性も考えられるので、Fig. 5 の径方向のメッシュ数を 2 倍にして、検討を加えている。

検討を加えた核特性は、非均質炉心において特に重要視される増殖性、 N_a ボイド反応度、出力分布、である。

3. 計算結果と検討

3.1 燃焼に伴う核種組成変化と実効増倍率

2.2 で述べた燃焼計算の手法を用いて、均質炉心と非均質炉心に対し、拡散近似と輸送理論に基づく核種組成の時間変化を求めた。均質炉心の各領域に対して、Table 3 と Table 4 に拡散近似に基づく 1 年、2 年燃焼時の核種原子数密度を示し、Table 5 と Table 6 に輸送理論に基づく 1 年、2 年燃

焼時の核種原子数密度を示した。また、非均質炉心の各領域に対して、拡散近似の結果を Table 7 と Table 8 に、輸送理論による結果を Table 9 と Table 10 に、それぞれ1年、2年燃焼時の核種原子数密度の形で示した。燃焼時点1年、2年は稼働率80%を考慮すれば、照射年数は 1×0.8 、 2×0.8 年となることを意味し、2.2の意味でのBOEC, EOECを表わすことになる。

特に P_u-239 に着目して、拡散近似と輸送理論による燃焼に伴う原子数変化を見ると、 P_u-239 自身の核分裂、中性子捕獲による消滅よりU-238の中性子捕獲による P_u-239 生成の方が圧倒的に大きい、ブランケット内での相違が顕著である。しかも、均質炉心、非均質炉心を問わず、輸送理論によって求められたブランケット内の P_u-239 生成量は、拡散近似に基いて求められた生成量と比較して、低くなっている。この相違を定量的に調べるためには、領域平均全中性子束、燃焼によって変化する核種の領域平均1群定数を比較することが考えられる。ブランケットに着目するかぎり、 P_u-239 の生成量は、その領域の平均全中性子束とU-238の領域平均1群中性子捕獲断面積によって定まると考えられるからである。均質炉心の各領域の平均全中性子束とU-238の領域平均1群中性子捕獲断面積、 P_u-239 の領域平均1群中性子捕獲断面積と核分裂断面積について、拡散近似と輸送理論の比較をし、Table 11に示した。非均質炉心についても同様の比較をし、Table 12に示した。

均質炉心、非均質炉心共に、1群断面積の拡散近似と輸送理論による相違は小さく、1%内外である。それに比較して、領域平均全中性子では、輸送理論による結果は一般的に拡散近似による結果よりも低く、特に非均質炉心のBOL時、中でもブランケットでの相違が著しい。

BOL, BOEC, EOECにおける実効増倍率についての拡散近似と輸送理論の比較結果をTable 13に示した。均質炉心、非均質炉心共に、予測されるように、輸送理論の結果は拡散近似による結果と比較して、高くなる。均質炉心における実効増倍率の輸送効果は、燃焼に伴って若干小さくなるが、燃焼依存性は無視しても充分である。一方、非均質炉心の場合、実効増倍率に対する輸送効果の燃焼依存性は著しく、非均質性の最も強いBOLにおいて最大となり、燃焼が進み非均質性が緩和されるに従って急激に小さくなる傾向が見られる。

BOLにおける実効増倍率の輸送効果は、均質炉心、非均質炉心共に、輸送効果そのものであるが、BOEC, EOECでは、拡散近似と輸送理論に基いて求められた燃料核種の組成が異なることも考慮しなければならない。均質炉心においては、BOEC, EOEC共に拡散近似で得られた核分裂性 P_u の量が輸送理論による結果と比較して大きく、かつその相違は燃焼の進行に伴って大きくなる傾向がある。したがって、均質炉心における実効増倍率の輸送効果は、燃焼と共に若干小さくなると考えることができる。一方、非均質炉心における実効増倍率の輸送効果が燃焼に伴って急激に小さくなる理由としては、燃焼に伴って内部ブランケットに核分裂性 P_u が生成し、均質炉心に近づくこと、均質炉心と同様に拡散近似によって得られる核分裂性 P_u の量が、BOEC, EOECになるにしたがって輸送理論に基く結果と比較して益々大きくなること、などが考えられる。その内、急激な輸送効果の低下は前者の理由によるものと考えられる。

実効増倍率に対する輸送効果は、特に非均質炉心に対して各燃焼状態を考慮しながら検討する必要がある。

3.2 増殖性

高速増殖炉の増殖性を検討する場合、メジャーとして増殖比を用いることが多い。こゝでも、まず増殖比を用いて、均質炉心および非均質炉心の増殖性に対する輸送効果を検討し、その後、燃焼計算結果に基づき、核分裂性 P_u のバランスの点から増殖性に与える輸送効果を検討する。

増殖比 BR については、通常の定義を用いることにし、以下の式で表わされるものとする。

$$BR = \sum_k BR_k = \frac{\sum_k (\sigma_{c,k}^{28} N_k^{28} + \sigma_{c,k}^{40} \cdot N_k^{40}) \bar{\phi}_k \cdot V_k}{\sum_{1BR} (\sigma_{a,1}^{25} N_1^{25} + \sigma_{a,1}^{49} N_1^{49} + \sigma_{a,1}^{41} N_1^{41}) \bar{\phi}_1 \cdot V_1}$$

ここで、 $\sigma_{c,k}^{28}$, $\sigma_{c,k}^{40}$; 領域 k の U-238, P_u-241 の領域平均 1 群中性子捕獲断面積, N_k , $\bar{\phi}_k$, V_k ; 領域 k の領域平均原子数密度, 全中性子束と体積, $\sigma_{a,1}^{25}$, $\sigma_{a,1}^{49}$, $\sigma_{a,1}^{41}$; 領域 k の U-235, P_u-239 , P_u-241 の領域平均 1 群吸収断面積, である。

Table 14 に、均質炉心と非均質炉心の BOL, BOEC, EOEC の各燃焼状態における拡散近似と輸送理論によって得られた増殖比を比較した。いずれの場合も、輸送理論によって得られた増殖比は、拡散近似によって得られた増殖比と比較して、小さくなっているが、両者の差は小さい。増殖比に対する輸送効果は、均質炉心、非均質炉心共に、燃焼に伴って小さくなる傾向にあるが、その変化の様子は非均質炉心において大きくなる。Table 15, 16 に、均質炉心と非均質炉心に対して、各領域毎の増殖比に対する輸送効果を比較した。非均質炉心の BOL において見られた比較的大きな増殖比に対する輸送効果は、内部ブランケットと軸方向ブランケットにおける効果であり、内部ブランケット内増殖比の輸送効果は、燃焼の進行に伴って急速に小さくなる様子がわかる。

装荷燃料と取出し燃料の差から核分裂性 P_u の余剰量を算出することから増殖性を検討することができる。増殖比は燃焼状態に依存して定義されるが、上述の P_u バランス法では時間積分を行なった結果を利用するので、増殖性をより定量的に検討できる。今回採用した燃料交換法は、全燃料領域 3 バッチ、1 年燃料交換周期に基いている。したがって、BOEC において全燃料領域の 1/3 が新燃料と交換され、EOEC において全燃料領域の 1/3 が 3 年間炉内に滞在した後取出されることになる。また、その差から、平衡サイクルにおける 1 年間当りの核燃料核種の収支を求めることができる。

Table 17 に均質炉心に対する平衡サイクルにおける装荷燃料核種の量を示した。Table 18, 19 には、均質炉心に対する平衡サイクルにおける年間当りの取出し燃料核種の量について拡散近似および輸送理論に基いて計算した結果を示した。Table 20, 21 には、均質炉心に対する平衡サイクルにおいて拡散近似と輸送理論に基いて計算した年間当りの燃料核種の収支を示した。

Table 22 には、非均質炉心に対する平衡サイクルにおける装荷燃料核種の量を示した。Table 23, 24 には、非均質炉心に対する平衡サイクルにおいて拡散近似と輸送理論に基いて計算した年間当りの燃料核種の量を示した。また、Table 25 には、非均質炉心に対する平衡サイクルにおいて拡散近似と輸送理論に基いて計算した年間当りの燃料核種の収支を示した。

均質炉心における 1 年間に増殖した P_u-239 と P_u-241 の和は、拡散近似に基くと 143.7 kg, 輸送理論に基くと 137.0 kg, であり、輸送理論の結果は、拡散近似による結果と比較して、約 4.7% 少なくなる。この相違は、軸および径方向ブランケットにおける P_u-239 生成量の違いからきてい

る。一方、非均質炉心においては、1年間に増殖する P_u-239 と P_u-241 の和は、拡散近似に基づく、184.8 kg、輸送理論に基づく175.6 kg、であり、輸送理論による値は、約5.0%、拡散近似による結果より低くなる。この相違は、内部ブランケット、軸および径方向ブランケット、および炉心すべての領域において、輸送理論に基づく P_u-239 生成量が拡散近似に基づく結果より均等に少な目になっているところからきている。

輸送理論によって得られる実効増倍率は拡散近似によって得られるそれよりも高くなることから、輸送理論に基づく炉心 P_u 富化度は若干さげられ、その結果、増殖性を向上することが可能となる。したがって、均質炉心、非均質炉心共に、拡散近似で求める増殖性は十分な精度を有していると考えられることができる。

3.3 N_a ボイド反応度

N_a ボイド反応度は、炉心から冷却材 N_a が喪失した場合、中性子漏洩増加による負の反応度効果と弾性散乱低下に伴ない中性子スペクトル硬化により η 値増加による正の反応度効果、の競合によって定まるとはよく知られている。大型の均質炉心LMFBRでは、後者の正の効果は圧倒的に大きく、非常に大きな正の N_a ボイド反応度をもたらすものと考えられている。非均質炉心では、炉心燃料集合体とブランケット集合体が炉心内に混在している構造になっているので、炉心燃料集合体でのボイド発生が生じて、インポートランスの低い内部ブランケット集合体に中性子が漏洩しやすくなっていると考えられる。したがって、非均質炉心では、 N_a ボイド反応度を支配する中性子漏洩増加による負の効果が大きくなることが期待され、均質炉心と比較してかなりの正の N_a ボイド反応度の問題を緩和できると考えられている。

非均質炉心では、均質炉心と比較して中性子束分布が複雑となり、その中性子束分布は拡散近似と輸送理論とでは少なからず異なったものになることは、Table 11とTable 12の ϕ の比較からも想像できる。非均質炉心での中性子漏洩増加による N_a ボイド反応度の低下は、中性子束空間分布の計算精度によって大きく影響されるものと予測できる。

こゝでは、均質炉心と非均質炉心の N_a ボイド反応度を拡散近似と輸送近似を用いて計算し、それぞれの炉心の N_a ボイド反応度に対する輸送効果を検討した。ただし、 N_a は炉心のみから完全に喪失するものとした。2次元R-Zモデル(Fig. 4とFig. 5)に対して、直接拡散および輸送計算によって求めた N_a ボイド反応度効果を、Table 27に示し、比較した。特に、拡散近似に基いて、非均質炉心のBOLにおける N_a ボイド反応度を計算する場合、メッシュ間隔が充分小さいことを確認する必要があり、Fig. 5に示したメッシュ構造の中、R方向のメッシュ数を2倍(メッシュ間隔を1/2)した計算を行ない、Table 27の結果と比較した。非均質炉心のBOLにおける拡散近似によって求めた N_a ボイド反応度は、Table 27の0.967% $\Delta K/K$ に対し、R方向メッシュ数を2倍にすることによって0.974% $\Delta K/K$ と約0.7%増加したのみである。したがって、Table 27に示した拡散近似による N_a ボイド反応度は、拡散近似の範ちゅうで充分妥当なものであると云える。輸送理論による結果は、拡散近似ほどメッシュに影響されないことは一般に認められており、かつ拡散近似と同じメッシュ構造を用いているので、Table 27に示した輸送理論による N_a ボイド反応度も充分妥当な計算結果であると云える。

N_a ボイド反応度の拡散近似と輸送理論による計算値の相違を議論する前に、燃焼に伴う N_a ボ

イド反応度の変化を検討してみる。均質炉心、非均質炉心共に、燃焼の進行と共に N_a ボイド反応度が増加している。この理由は、核分裂生成物の蓄積による効果であると考えられる。摂動論的には、 N_a ボイド反応度の弾性除去断面積低下による効果は、

$$\int \delta \Sigma (E' \rightarrow E) \phi (E) \{ \phi^*(E') - \phi^*(E) \} dE' dE$$

である。 $\phi^*(E)$ は中性子エネルギーに対して下に凸の関数となっているので、高いエネルギー領域では、 $\phi^*(E') - \phi(E)$ は正、低いエネルギー領域で負となる。したがって、核分裂生成物の蓄積によって $\phi(E)$ が高エネルギー側にシフトすれば、上記積分量はより正となると考えることができる。

また、 N_a ボイド反応度の燃焼に伴う増加は、均質炉心と比較して、非均質炉心においてより急激である。これは、燃焼の進行に伴ない核分裂生成物の蓄積による増加に加え、均質炉心に近づく効果が付加されることによるものと考えられる。

均質炉心の N_a ボイド反応度については、輸送理論による結果は、拡散近似による結果と比較して、より正の値をとり、燃焼に伴ってその差は小さくなるが、ほぼ一定であると考えられる。燃焼に伴う N_a ボイド反応度に対する輸送効果の減少は、燃焼によってブランケット内に P_u が蓄積し、それによって炉心とブランケット境界での中性子束の急激な変化が緩和されることによるものと考えられる。一方、非均質炉心における N_a ボイド反応度の輸送効果は、均質炉心の場合と同じ傾向を示しているが、特にBOLでは拡散近似による結果と20%程度異なり、燃焼に伴って均質炉心の場合と比較して急激に減少している。燃焼に伴う N_a ボイド反応度の輸送効果の急激な減少は、内部ブランケットでの P_u 蓄積によって内部ブランケットと炉心の均質化が進むことによるものと説明されうるであろう。

BOLにおける非均質炉心の20%にも達する大きな N_a ボイド反応度に対する輸送効果は、非均質度の非常に高い体系の拡散近似と輸送理論による中性子束分布の相違が大きいことから来るものと定性的に解釈できる。このことを定量的に検討するために、Exact 摂動論によって領域毎、反応毎の要素に分解した。拡散近似に対する一次摂動計算にはPERKY⁽¹¹⁾、輸送理論に対するExact 摂動計算にはSNPERT、を使用した。Table 28には拡散近似、Table 29には輸送理論、の結果をそれぞれ示した。

Table 28とTable 29の結果を比較すると、Non-Leakage 項、Leakage 項共に拡散近似の値が輸送理論の値より小さく、その相違は10%、28%である。したがって、 N_a ボイド反応度に対する輸送効果では、Leakage 項が支配的であり、それも最外周の炉心(Core 6)において顕著である。

以上の結果、特に非均質炉心LMFBRの N_a ボイド反応度を解析するには、異なる燃焼状態に対してすべて輸送理論による解析を必要とすることが明らかになった。

3.4 出力分布

非均質炉心は、均質炉心と比較して、その炉心構成が複雑であり、中性子束分布も複雑に空間的に変動することを考えると、出力分布も同様の傾向を示すことが予想できる。したがって、特に非均質炉心の出力分布に関して、拡散近似の妥当性を検討しておく必要がある。

今回採用した原子炉モデルは、R-Zモデルであるが、燃焼の進行に伴う炉内出力分布変動を検討するためには不十分であり、6角メッシュ、3角メッシュ法に基づく3次元体系を選ぶことが必要であり、輸送理論コードの現状を考慮しても少なくとも上述メッシュ法に基づく2次元体系の方が適切であると考えられる。何故ならば、均質炉心、非均質炉心共に、BOLでは領域に対しては均質と考えられるが、BOEC、EOECでは、同じ領域でも、燃焼の異なる集合体が一定の方法で配列され、特に出力分布の観点からは均質とみなされないからである。したがって、本節でのR-Z体系に基づく均質炉心と非均質炉心の出力分布に対する輸送効果の燃焼依存性の検討結果そのものが、実規模炉にもそのまま適用できるとは考えられない。BOLに対しては、各領域の均質性から考えて、ある程度非均質炉心の特徴を把握することができるであろう。拡散近似に関しては、6角メッシュ、3角メッシュおよび竹田氏提唱の修正6角メッシュ法⁽¹²⁾に基づく3次元計算の比較検討を行なっているが、輸送理論に関しては今後の問題であろう。

各領域均質であるとしたR-Zモデルに基づく均質炉心に関して、Fig.6とFig.7にBOLにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、Fig.8とFig.9にBOECにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、Fig.10とFig.11にEOECにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、をそれぞれ拡散近似と輸送理論による結果の比較の形で図示した。

これらの図を比較することによって、BOLにおいて、輸送理論によって求められた径方向出力分布は、拡散近似による結果と比較して、内部炉心では低く、外部炉心では高くなる傾向があるが、燃焼の進行につれて両理論の結果は一致する傾向がみられる。BOLにおける輸送理論の拡散近似に対する相違は、内部炉心、外部炉心、径方向ブランケットで、それぞれ-1.5%、1.1%、-2.3%と、比較的小さい。

各領域均質であるとしたR-Zモデルに基づく非均質炉心に関して、Fig.12とFig.13にBOLにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、Fig.14とFig.15にBOECにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、Fig.16とFig.17にはEOECにおける径方向出力分布と軸方向出力分布、をそれぞれ拡散近似と輸送理論による結果の比較の形で図示した。ここで採用したR-Zモデルでは、最大の非均質性を有するBOLにおいて、拡散近似と輸送理論で求められた径方向出力分布の相違が最大となり、非均質性が緩和される燃焼状態では両者の相違は小さくなっている。非均質炉心の径方向出力分布に対する輸送効果は、均質炉心の場合と同傾向にあり、輸送理論に基づく出力密度は、拡散近似の結果と比較して、炉心中心近傍で最も低く、炉心中心から離れるにしたがって、両者は一致する方向になり、やがて高くなる。BOLにおいて、内部ブランケット第1層～第6層における出力密度の輸送効果は、-12.0%、-9.9%、-8.4%、-6.1%、-4.5%、2.7%であり、炉心第1層～第6層における輸送効果は、-5.7%、-4.5%、-3.2%、-1.1%、0.6%、2.6%である。径方向ブランケットの輸送効果は、-1.5%である。特に内部ブランケットの出力密度の輸送効果が大きく、非均質炉心の出力分布に対する輸送効果は、均質炉心のそれと比較して、格段に大きいことがわかる。

4. 結 論

非均質炉心の核特性に対する輸送効果を、燃焼計算を含めて、均質炉心の場合と比較しながら、検討した。この検討のために、2次元R-Z原子炉モデルを設定し、2次元拡散コードPHENIX、2次元輸送コードTWOTRANと高速炉用核定数セットJAERI-Fast・II25群セットを用いて、特に非均質炉心で重要となる増殖性、 N_2 ボイド反応度、出力分布について解析を加えた。また、燃焼に伴う核種変化の輸送効果を検討するために、輸送コードTWOTRANとPHENIXの燃焼部分を結合して、拡散近似に基く燃焼コードPHENIXの結果と直接比較できるようにした。

本研究によって得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 非均質炉心に対しても、均質炉心と同様、拡散近似に基く燃焼計算で充分である。したがって、増殖性に関しては、拡散近似に基く計算で充分である。
- (2) 実効増倍率に関しては、均質炉心に対する輸送効果を初装荷状態(BOL)において算出しておけば、それを異なる燃焼状態に対しても適用可能である。一方、非均質炉心に対しては、実効増倍率の輸送効果は、均質炉心と比較して、大きくかつその燃焼依存性が強い。したがって、非均質炉心では、異なる燃焼状態に対して、対応する実効増倍率の輸送効果を求める必要がある。
- (3) N_2 ボイド反応度に関しては、非均質炉心における輸送効果は大きく、特にBOLでは20%以上に達する。また；この輸送効果の燃焼依存性も大きく、燃焼の進行と共に急激に減少する。一方、均質炉心での N_2 ボイド反応度の輸送効果は、非均質炉心の場合と比較して非常に小さく、かつその燃焼依存性も小さい。
- (4) 出力分布に関しては、燃焼の進行した炉心に対して、今回採用したR-Zモデルでは不十分であると考えられる。BOLに限って云えば、均質炉心の出力分布予測には拡散近似で十分であるように思われるが、非均質炉心では、特に内部ブランケットの出力密度に対する輸送効果は最大-12%にも達し、輸送理論による解析が不可欠であると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 飯島 進, 吉田弘幸, 堀田雅一; 大型非均質高速炉における炉心特性の検討, JAERI-memo 8266 (1979)。
- (2) 飯島 進, 吉田弘幸, 堀田雅一; 大型非均質LMFBRの核特性計算における断面積の影響, JAERI-memo 8879 (1980)。
- (3) Igarashi S., Nakagawa T., Kikuchi Y., et al.; Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version I, JENDL-1, JAERI-1261 (1979)。
- (4) M. J. Lineberry et al; Physics Studies of A Heterogeneous Liquid - Metal Fast Breeder Reactor; Nuclear Technology, Vol. 44 P21-43 (1979)。
- (5) 提 潔, 漆原 広, 山中庸靖, 上田靖之; 高速増殖炉の増殖性に関する検討(II)。

- (6) H. Takano, A. Hasegawa, M. Nakagawa, Y. Ishiguro and S. Katsuragi ; JAERI -Fast Group Constants Set, Version II, JAERI-1255 (1978)。
- (7) R. D. O'Dell and T. J. Hirons ; PHENIX, A Two-Dimensional Diffusion-Burnup-Refueling Code, LA-4231 (1970)。
- (8) Suzuki, T. and Katsuragi S. ; EXPANDA-5, JAERI-1210 (1972)。
- (9) K. Lathrop et al. ; Theory and Use of the General Geometry TWOTRA Program, LA-4432 (1970)。
- (10) 大杉俊隆, 吉田弘幸, 井原 均 ; 衝突確率法を用いたセル計算コード, PIGEON, JAERI -M6038 (1975)。
- (11) 飯島 進, 他 ; 2次元・3次元拡散摂動理論計算コード; PERKY, JAERI-M6993 (1977)。
- (12) T. Kakeda and Y. Komano ; Extension of Askew's Coarse Mesh Method to Few-Group Problems for Calculating Two-Dimensional Power Distribution in Fast Breeder Reactors, J. of Nucl. Sci. and Tech. 15, 523 - 532 (1978)。
- (13) 堀田雅一, 飯島 進, 吉田弘幸 ; 粗メッシュに基づく3次元拡散コードの高速炉核特性評価への適用性, JAERI-M9638 (1981)。

Table 1 Homo Core Atomic Number Densities at BOL

	INNER CORE	OUTER CORE	RB	AB 1	AB 2
PU-239	6.44495E-04	9.48765E-04	0.0	0.0	0.0
PU-240	2.66688E-04	3.92593E-04	0.0	0.0	0.0
PU-241	1.55568E-04	2.29012E-04	0.0	0.0	0.0
PU-242	4.44480E-05	6.54321E-05	0.0	0.0	0.0
U -235	1.62758E-05	1.78121E-05	3.19078E-05	2.05397E-05	2.37555E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	5.40899E-03	5.91955E-03	1.06040E-02	6.82603E-03	7.89476E-03
O	1.29422E-02	1.49948E-02	2.12719E-02	1.36931E-02	1.58370E-02
NA	1.13336E-02	9.61090E-03	8.14182E-03	1.13336E-02	9.61090E-03
CR	3.73618E-03	4.06584E-03	3.25308E-03	3.73618E-03	4.06584E-03
NI	2.20532E-03	2.39991E-03	1.92017E-03	2.20532E-03	2.39991E-03
MO	2.25111E-04	2.44974E-04	1.96004E-04	2.25111E-04	2.44974E-04
FE	1.31415E-02	1.43010E-02	1.14423E-02	1.31415E-02	1.43010E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 2 Hetero Core Atomic Number Densities at BOL

	IB 1	CORE 1	IB 2	CORE 2	IB 3
PU-239	0.0	1.04234E-03	0.0	1.04234E-03	0.0
PU-240	0.0	4.31312E-04	0.0	4.31312E-04	0.0
PU-241	0.0	2.51598E-04	0.0	2.51598E-04	0.0
PU-242	0.0	7.18853E-05	0.0	7.18853E-05	0.0
U -235	3.19078E-05	1.53447E-05	3.19078E-05	1.53447E-05	3.19078E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	1.06040E-02	5.09957E-03	1.06040E-02	5.09957E-03	1.06040E-02
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	CORE 3	IB 4	CORE 4	IB 5	CORE 5
PU-239	1.04234E-03	0.0	1.04234E-03	0.0	1.04234E-03
PU-240	4.31312E-04	0.0	4.31312E-04	0.0	4.31312E-04
PU-241	2.51598E-04	0.0	2.51598E-04	0.0	2.51598E-04
PU-242	7.18853E-05	0.0	7.18853E-05	0.0	7.18853E-05
U -235	1.53447E-05	3.19078E-05	1.53447E-05	3.19078E-05	1.53447E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	5.09957E-03	1.06040E-02	5.09957E-03	1.06040E-02	5.09957E-03
O	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02
NA	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04
FE	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 2 Hetero Core Atomic Number Densities at BOL (Cont'd)

	IB 6	CORE 6	RB	AB 1	AB 2
PU-239	0.0	1.04234E-03	0.0	0.0	0.0
PU-240	0.0	4.31312E-04	0.0	0.0	0.0
PU-241	0.0	2.51598E-04	0.0	0.0	0.0
PU-242	0.0	7.18853E-05	0.0	0.0	0.0
U -235	3.19078E-05	1.53447E-05	3.19078E-05	3.19078E-05	2.16454E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	1.06040E-02	5.09957E-03	1.06040E-02	1.06040E-02	7.19350E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7
PU-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -235	3.19078E-05	2.16454E-05	3.19078E-05	2.16454E-05	3.19078E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	1.06040E-02	7.19350E-03	1.06040E-02	7.19350E-03	1.06040E-02
O	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	AB 8	AB 9	AB 10	AB 11	AB 12
PU-239	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU-242	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -235	2.16454E-05	3.19078E-05	2.16454E-05	3.19078E-05	2.16454E-05
U -236	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U -238	7.19350E-03	1.06040E-02	7.19350E-03	1.06040E-02	7.19350E-03
O	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FP(PU)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 3 Homo Core Atomic Number Densities at BOEC <<Diffusion >>

	INNER CORE	OUTER CORE	RB	AB 1	AB 2
PU-239	6.55619E-04	9.08069E-04	4.93515E-05	8.45896E-05	6.21531E-05
PU-240	2.85923E-04	4.05108E-04	3.78292E-07	1.80860E-06	7.93443E-07
PU-241	1.13376E-04	1.80980E-04	2.17505E-09	2.89437E-08	7.52406E-09
PU-242	5.02595E-05	7.09777E-05	6.74878E-12	2.47553E-10	3.87644E-11
U -235	1.13407E-05	1.40204E-05	3.03913E-05	1.80125E-05	2.19052E-05
U -236	1.22282E-06	9.35068E-07	4.44441E-07	7.42147E-07	5.38442E-07
U -238	5.16120E-03	5.73461E-03	1.05510E-02	6.73211E-03	7.82695E-03
O	1.29422E-02	1.49948E-02	2.12719E-02	1.36931E-02	1.58370E-02
NA	1.13336E-02	9.61090E-03	8.14182E-03	1.13336E-02	9.61090E-03
CR	3.73618E-03	4.06584E-03	3.25308E-03	3.73618E-03	4.06584E-03
NI	2.20532E-03	2.39991E-03	1.92017E-03	2.20532E-03	2.39991E-03
MO	2.25111E-04	2.44974E-04	1.96004E-04	2.25111E-04	2.44974E-04
FE	1.31415E-02	1.43010E-02	1.14423E-02	1.31415E-02	1.43010E-02
AM-241	4.85444E-06	7.81893E-06	2.26633E-11	3.00611E-10	7.83077E-11
FP(U)	3.09745E-05	2.80429E-05	3.46220E-06	5.56011E-06	4.45706E-06
FP(PU)	2.08708E-04	2.13476E-04	7.55614E-07	3.51812E-06	1.60118E-06

Table 4 Homo Core Atomic Number Densities at EOEC <<Diffusion >>

	INNER CORE	OUTER CORE	RB	AB 1	AB 2
PU-239	6.56545E-04	8.70985E-04	9.79777E-05	1.62694E-04	1.21691E-04
PU-240	3.04152E-04	4.15743E-04	1.40143E-06	6.40500E-06	2.89019E-06
PU-241	8.70457E-05	1.45963E-04	1.45390E-08	1.52679E-07	4.78562E-08
PU-242	5.32410E-05	7.44300E-05	9.41319E-11	2.85809E-09	5.18501E-10
U -235	7.79060E-06	1.09632E-05	2.89220E-05	1.57479E-05	2.01674E-05
U -236	1.99370E-06	1.64031E-06	8.64637E-07	1.36610E-06	1.02493E-06
U -238	4.91390E-03	5.55010E-03	1.04964E-02	6.63429E-03	7.75689E-03
O	1.29422E-02	1.49948E-02	2.12719E-02	1.36931E-02	1.58370E-02
NA	1.13336E-02	9.61090E-03	8.14182E-03	1.13336E-02	9.61090E-03
CR	3.73618E-03	4.06584E-03	3.25308E-03	3.73618E-03	4.06584E-03
NI	2.20532E-03	2.39991E-03	1.92017E-03	2.20532E-03	2.39991E-03
MO	2.25111E-04	2.44974E-04	1.96004E-04	2.25111E-04	2.44974E-04
FE	1.31415E-02	1.43010E-02	1.14423E-02	1.31415E-02	1.43010E-02
AM-241	7.27226E-06	1.27375E-05	3.15845E-10	3.44996E-09	1.04430E-09
FP(U)	5.86202E-05	5.36593E-05	7.14528E-06	1.17109E-05	9.21486E-06
FP(PU)	3.99740E-04	4.05642E-04	2.94951E-06	1.33684E-05	6.18846E-06

Table 5 Homo Core Atomic Number Densities at BOEC <<Transport >>

	INNER CORE	OUTER CORE	RB	AB 1	AB 2
PU-239	6.55781E-04	9.07507E-04	4.84064E-05	8.21780E-05	6.11568E-05
PU-240	2.85926E-04	4.05193E-04	3.65414E-07	1.71591E-06	7.71356E-07
PU-241	1.13538E-04	1.80528E-04	2.11923E-09	2.73891E-08	7.35647E-09
PU-242	5.02481E-05	7.10249E-05	6.46344E-12	2.28228E-10	3.73841E-11
U -235	1.13631E-05	1.39763E-05	3.04199E-05	1.80815E-05	2.19342E-05
U -236	1.21858E-06	9.44552E-07	4.36807E-07	7.24207E-07	5.31251E-07
U -238	5.16252E-03	5.73209E-03	1.05522E-02	6.73512E-03	7.82821E-03
O	1.29422E-02	1.49948E-02	2.12719E-02	1.36931E-02	1.58370E-02
NA	1.13336E-02	9.61090E-03	8.14182E-03	1.13336E-02	9.61090E-03
CR	3.73618E-03	4.06584E-03	3.25308E-03	3.73618E-03	4.06584E-03
NI	2.20532E-03	2.39991E-03	1.92017E-03	2.20532E-03	2.39991E-03
MO	2.25111E-04	2.44974E-04	1.96004E-04	2.25111E-04	2.44974E-04
FE	1.31415E-02	1.43010E-02	1.14423E-02	1.31415E-02	1.43010E-02
AM-241	4.86174E-06	7.79978E-06	2.20743E-11	2.84401E-10	7.65388E-11
FP(U)	3.06781E-05	2.85146E-05	3.30433E-06	5.22303E-06	4.24923E-06
FP(PU)	2.07457E-04	2.16263E-04	7.26942E-07	3.31547E-06	1.54846E-06

Table 6 Homo Core Atomic Number Densities at EOEC<<Transport >>

	INNER CORE	OUTER CORE	RB	AB 1	AB 2
PU-239	6.56865E-04	8.70208E-04	9.58051E-05	1.58913E-04	1.19601E-04
PU-240	3.04289E-04	4.15843E-04	1.34593E-06	6.13414E-06	2.80293E-06
PU-241	8.71345E-05	1.45451E-04	1.39765E-08	1.44700E-07	4.64299E-08
PU-242	5.32527E-05	7.44711E-05	8.87005E-11	2.65572E-09	4.95714E-10
U -235	7.80235E-06	1.09082E-05	2.89873E-05	1.58535E-05	2.02275E-05
U -236	1.99283E-06	1.65092E-06	8.47345E-07	1.34088E-06	1.01049E-06
U -238	4.91488E-03	5.54618E-03	1.04991E-02	6.63963E-03	7.75972E-03
O	1.29422E-02	1.49948E-02	2.12719E-02	1.36931E-02	1.58370E-02
NA	1.13336E-02	9.61090E-03	8.14182E-03	1.13336E-02	9.61090E-03
CR	3.73618E-03	4.06584E-03	3.25308E-03	3.73618E-03	4.06584E-03
NI	2.20532E-03	2.39991E-03	1.92017E-03	2.20532E-03	2.39991E-03
MO	2.25111E-04	2.44974E-04	1.96004E-04	2.25111E-04	2.44974E-04
FE	1.31415E-02	1.43010E-02	1.14423E-02	1.31415E-02	1.43010E-02
AM-241	7.28023E-06	1.26894E-05	3.04851E-10	3.26696E-09	1.01561E-09
FP(U)	5.82652E-05	5.43481E-05	6.79656E-06	1.10654E-05	8.77247E-06
FP(PU)	3.98706E-04	4.09563E-04	2.81671E-06	1.27036E-05	5.96246E-06

Table 7 Hetero Core Atomic Number Densities at BOEC<<Diffusion >>

	IB 1	CORE 1	IB 2	CORE 2	IB 3
PU-239	2.08493E-04	9.77682E-04	2.31944E-04	9.72331E-04	2.43161E-04
PU-240	6.52185E-06	4.45367E-04	6.96019E-06	4.46861E-04	7.65397E-06
PU-241	1.28083E-07	2.04126E-04	1.15620E-07	2.01032E-04	1.32239E-07
PU-242	1.69225E-09	7.77354E-05	1.54532E-09	7.82565E-05	1.85877E-09
U -235	2.56630E-05	1.24601E-05	2.51526E-05	1.22080E-05	2.48346E-05
U -236	1.70156E-06	7.46879E-07	1.72103E-06	8.07837E-07	1.79409E-06
U -238	1.03563E-02	4.96001E-03	1.03161E-02	4.94695E-03	1.02997E-02
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02
AM-241	1.33200E-09	8.79704E-06	1.20301E-09	8.66228E-06	1.37545E-09
FP(U)	2.13052E-05	1.95132E-05	3.38559E-05	2.08347E-05	3.63607E-05
FP(PU)	1.48781E-05	1.97554E-04	1.88987E-05	2.14772E-04	2.09225E-05

	CORE 3	IB 4	CORE 4	IB 5	CORE 5
PU-239	9.69980E-04	2.64411E-04	9.61435E-04	2.88477E-04	9.49662E-04
PU-240	4.48837E-04	9.62050E-06	4.50713E-04	1.08558E-05	4.45025E-04
PU-241	1.99238E-04	1.93158E-07	1.94684E-04	2.22560E-07	1.91593E-04
PU-242	7.87435E-05	3.08998E-09	7.94396E-05	3.77329E-09	7.87735E-05
U -235	1.20433E-05	2.41710E-05	1.16716E-05	2.35159E-05	1.15148E-05
U -236	8.54837E-07	1.99696E-06	9.41391E-07	2.09054E-06	9.35707E-07
U -238	4.93861E-03	1.02739E-02	4.91858E-03	1.02325E-02	4.90683E-03
O	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02
NA	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04
FE	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02
AM-241	8.57505E-06	2.00653E-09	8.37474E-06	2.31194E-09	8.27558E-06
FP(U)	2.10382E-05	3.51413E-05	2.32906E-05	4.54061E-05	3.00945E-05
FP(PU)	2.23834E-04	2.48353E-05	2.50407E-04	3.07128E-05	2.76079E-04

Table 7 Hetero Core Atomic Number Densities at BOEC <<Diffusion >> (Cont'd)

	IB 6	CORE 6	RB	AB 1	AB 2
PU-239	2.67802E-04	9.65033E-04	5.73166E-05	6.28537E-05	5.02549E-05
PU-240	7.82138E-06	4.41407E-04	5.06031E-07	6.77572E-07	5.82177E-07
PU-241	1.28762E-07	2.00015E-04	3.32586E-09	5.79478E-09	5.10292E-09
PU-242	1.80210E-09	7.74387E-05	1.19161E-11	2.46283E-11	2.36129E-11
U -235	2.41426E-05	1.22043E-05	3.01499E-05	2.99231E-05	2.01494E-05
U -236	1.77952E-06	7.72090E-07	5.11382E-07	5.98130E-07	4.41404E-07
U -238	1.02377E-02	4.94425E-03	1.05420E-02	1.05370E-02	7.13909E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.34079E-09	8.64830E-06	3.47683E-11	6.05486E-11	5.33102E-11
FP(U)	6.63476E-05	2.57458E-05	4.28668E-06	3.52635E-06	3.38639E-06
FP(PU)	2.81404E-05	2.27399E-04	1.02745E-06	1.25412E-06	1.13318E-06

	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7
PU-239	7.31118E-05	5.46539E-05	7.75463E-05	5.77146E-05	8.36486E-05
PU-240	8.80065E-07	6.88349E-07	9.95984E-07	7.76198E-07	1.17204E-06
PU-241	7.99711E-09	6.49554E-09	9.65004E-09	7.83432E-09	1.23885E-08
PU-242	3.84803E-11	3.27115E-11	4.95160E-11	4.20317E-11	6.92069E-11
U -235	2.96213E-05	2.00211E-05	2.94799E-05	1.99283E-05	2.92882E-05
U -236	6.75563E-07	4.78799E-07	7.17513E-07	5.07885E-07	7.77074E-07
U -238	1.05249E-02	7.13420E-03	1.05199E-02	7.13088E-03	1.05134E-02
O	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02
AM-241	8.35363E-11	6.78428E-11	1.00783E-10	8.18084E-11	1.29346E-10
FP(U)	4.85802E-06	3.65165E-06	5.16423E-06	3.73296E-06	5.25244E-06
FP(PU)	1.70816E-06	1.34125E-06	1.92798E-06	1.49606E-06	2.24122E-06

	AB 8	AB 9	AB 10	AB 11	AB 12
PU-239	6.42134E-05	9.30447E-05	6.75565E-05	9.24704E-05	5.48222E-05
PU-240	9.54687E-07	1.41123E-06	1.02239E-06	1.35200E-06	6.63608E-07
PU-241	1.05257E-08	1.58256E-08	1.13139E-08	1.44340E-08	5.92410E-09
PU-242	6.26666E-11	9.66230E-11	6.93303E-11	8.57080E-11	2.90497E-11
U -235	1.97410E-05	2.90136E-05	1.96477E-05	2.90330E-05	2.00239E-05
U -236	5.60589E-07	8.46499E-07	5.77402E-07	8.26390E-07	4.68519E-07
U -238	7.12352E-03	1.05022E-02	7.11900E-03	1.05015E-02	7.13342E-03
O	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.09877E-10	1.65192E-10	1.18104E-10	1.50690E-10	6.18846E-11
FP(U)	4.16923E-06	6.42807E-06	5.10251E-06	7.77040E-06	4.27039E-06
FP(PU)	1.85725E-06	2.79383E-06	2.08839E-06	2.80523E-06	1.36598E-06

Table 8 Hetero Core Atomic Number Densities at EOEC <<Diffusion >>

	IB 1	CORE 1	IB 2	CORE 2	IB 3
PU-239	4.30425E-04	9.03248E-04	4.61309E-04	8.96750E-04	4.67961E-04
PU-240	2.82707E-05	4.58831E-04	2.98555E-05	4.60622E-04	3.07570E-05
PU-241	9.75386E-07	1.60911E-04	9.92022E-07	1.57839E-04	1.03341E-06
PU-242	3.13690E-08	8.25287E-05	3.12951E-08	8.30460E-05	3.31499E-08
U -235	1.92516E-05	9.41417E-06	1.85393E-05	9.13069E-06	1.83569E-05
U -236	3.25800E-06	1.46958E-06	3.23566E-06	1.53206E-06	3.26732E-06
U -238	1.00252E-02	4.77759E-03	9.95099E-03	4.75889E-03	9.93725E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02
AM-241	1.90984E-08	1.39708E-05	1.90078E-08	1.36678E-05	2.03182E-08
FP(U)	5.10015E-05	4.33118E-05	7.56198E-05	4.47606E-05	7.83791E-05
FP(PU)	7.15950E-05	4.26384E-04	8.74936E-05	4.47881E-04	9.06466E-05
	CORE 3	IB 4	CORE 4	IB 5	CORE 5
PU-239	8.97214E-04	4.81870E-04	8.90526E-04	4.97091E-04	8.78447E-04
PU-240	4.63010E-04	3.40140E-05	4.64483E-04	3.50877E-05	4.53903E-04
PU-241	1.57420E-04	1.21768E-06	1.54448E-04	1.25653E-06	1.52516E-04
PU-242	8.34577E-05	4.20646E-08	8.39263E-05	4.36158E-08	8.24272E-05
U -235	9.05936E-06	1.79238E-05	8.78763E-06	1.75045E-05	8.77944E-06
U -236	1.55992E-06	3.42244E-06	1.61690E-06	3.41961E-06	1.55686E-06
U -238	4.75475E-03	9.92010E-03	4.73620E-03	9.87856E-03	4.73098E-03
O	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02
NA	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04
FE	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02
AM-241	1.35989E-05	2.53960E-08	1.33067E-05	2.72060E-08	1.32438E-05
FP(U)	4.36987E-05	7.28384E-05	4.52078E-05	8.68761E-05	5.44836E-05
FP(PU)	4.49392E-04	9.57815E-05	4.70932E-04	1.06017E-04	4.93267E-04

Table 8 Hetero Core Atomic Number Densities at EOEC <<Diffusion >> (Cont'd)

	IB 6	CORE 6	RB	AB 1	AB 2
PU-239	4.56091E-04	9.06491E-04	1.05560E-04	1.44226E-04	1.12952E-04
PU-240	2.55843E-05	4.48487E-04	1.61701E-06	3.27691E-06	2.77949E-06
PU-241	7.58270E-07	1.65122E-04	1.77268E-08	5.39304E-08	4.82277E-08
PU-242	2.12380E-08	8.06374E-05	1.23987E-10	5.56575E-10	5.35528E-10
U -235	1.86464E-05	9.92723E-06	2.86967E-05	2.74324E-05	1.83209E-05
U -236	2.94267E-06	1.30966E-06	9.23514E-07	1.31605E-06	9.59477E-07
U -238	9.91075E-03	4.80810E-03	1.04872E-02	1.04437E-02	7.06579E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.64135E-08	1.44783E-05	4.15377E-10	1.04948E-09	9.35886E-10
FP(U)	1.18707E-04	4.59571E-05	8.14820E-06	8.94150E-06	8.13478E-06
FP(PU)	9.33106E-05	4.03541E-04	3.45480E-06	6.55567E-06	5.78390E-06

	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7
PU-239	1.61955E-04	1.18771E-04	1.65867E-04	1.20389E-04	1.69501E-04
PU-240	4.03601E-06	3.07190E-06	4.24980E-06	3.17762E-06	4.46880E-06
PU-241	7.07459E-08	5.52936E-08	7.61351E-08	5.80562E-08	8.16568E-08
PU-242	8.03915E-10	6.48601E-10	8.94032E-10	6.98148E-10	9.93447E-10
U -235	2.69162E-05	1.81567E-05	2.67926E-05	1.81079E-05	2.66843E-05
U -236	1.44014E-06	1.00479E-06	1.47591E-06	1.02167E-06	1.51209E-06
U -238	1.04209E-02	7.05874E-03	1.04161E-02	7.05698E-03	1.04122E-02
O	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02
AM-241	1.39660E-09	1.10295E-09	1.55126E-09	1.20460E-09	1.75520E-09
FP(U)	1.16521E-05	8.52253E-06	1.19823E-05	8.42998E-06	1.16872E-05
FP(PU)	8.42694E-06	6.41259E-06	8.86236E-06	6.57959E-06	9.22439E-06

	AB 8	AB 9	AB 10	AB 11	AB 12
PU-239	1.25755E-04	1.77984E-04	1.26518E-04	1.72005E-04	1.01484E-04
PU-240	3.45896E-06	4.85506E-06	3.43228E-06	4.47246E-06	2.17598E-06
PU-241	6.49338E-08	9.01910E-08	6.34709E-08	8.02125E-08	3.26772E-08
PU-242	8.18994E-10	1.14129E-09	7.90021E-10	9.58416E-10	3.18052E-10
U -235	1.79603E-05	2.64472E-05	1.79402E-05	2.66131E-05	1.86665E-05
U -236	1.06036E-06	1.56240E-06	1.05079E-06	1.49608E-06	8.48615E-07
U -238	7.05038E-03	1.04008E-02	7.04823E-03	1.04059E-02	7.07877E-03
O	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.42594E-09	2.03328E-09	1.44156E-09	1.83131E-09	7.51928E-10
FP(U)	8.82150E-06	1.32529E-05	1.00268E-05	1.49845E-05	8.15937E-06
FP(PU)	7.20272E-06	1.02848E-05	7.41311E-06	9.78375E-06	4.69749E-06

Table 9 Hetero Core Atomic Number Densities at BOEC<<Transport >>

	IB 1	CORE 1	IB 2	CORE 2	IB 3
PU-239	1.94964E-04	9.80363E-04	2.21597E-04	9.74584E-04	2.34650E-04
PU-240	5.69570E-06	4.44436E-04	6.32121E-06	4.46179E-04	7.04418E-06
PU-241	1.06487E-07	2.05755E-04	9.98706E-08	2.02347E-04	1.15832E-07
PU-242	1.30997E-09	7.74316E-05	1.26677E-09	7.80231E-05	1.55461E-09
U -235	2.60730E-05	1.25950E-05	2.54774E-05	1.23164E-05	2.51120E-05
U -236	1.60115E-06	7.13110E-07	1.64876E-06	7.81402E-07	1.72808E-06
U -238	1.03754E-02	4.96673E-03	1.03329E-02	4.95240E-03	1.03136E-02
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02
AM-241	1.10676E-09	8.86851E-06	1.03838E-09	8.71962E-06	1.20392E-09
FP(U)	1.85558E-05	1.90416E-05	2.98870E-05	2.04764E-05	3.32561E-05
FP(PU)	1.28241E-05	1.88716E-04	1.69499E-05	2.07462E-04	1.92065E-05

	CORE 3	IB 4	CORE 4	IB 5	CORE 5
PU-239	9.71258E-04	2.59468E-04	9.61352E-04	2.88560E-04	9.48027E-04
PU-240	4.48158E-04	9.27557E-06	4.50361E-04	1.08198E-05	4.45171E-04
PU-241	2.00120E-04	1.83410E-07	1.94812E-04	2.20144E-07	1.90791E-04
PU-242	7.85490E-05	2.87566E-09	7.93624E-05	3.72053E-09	7.88617E-05
U -235	1.21189E-05	2.43337E-05	1.16857E-05	2.35472E-05	1.14518E-05
U -236	8.35351E-07	1.96662E-06	9.36614E-07	2.08758E-06	9.49360E-07
U -238	4.94222E-03	1.02836E-02	4.91881E-03	1.02351E-02	4.90304E-03
O	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02
NA	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04
FE	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02
AM-241	8.61392E-06	1.90350E-09	8.38011E-06	2.28447E-09	8.24046E-06
FP(U)	2.11286E-05	3.19652E-05	2.38669E-05	4.30676E-05	3.08123E-05
FP(PU)	2.19176E-04	2.36227E-05	2.50048E-04	3.04517E-05	2.81016E-04

Table 9 Hetero Core Atomic Number Densities at BOEC<<Transport >> (Cont'd)

	IB 6	CORE 6	RB	AB 1	AB 2
PU-239	2.74105E-04	9.63034E-04	5.68153E-05	5.72735E-05	4.65350E-05
PU-240	8.21139E-06	4.41494E-04	4.99893E-07	5.65443E-07	4.99829E-07
PU-241	1.38537E-07	1.99064E-04	3.35415E-09	4.56248E-09	4.14797E-09
PU-242	1.99021E-09	7.75331E-05	1.19524E-11	1.77058E-11	1.77645E-11
U -235	2.39597E-05	1.21315E-05	3.01646E-05	3.00967E-05	2.02595E-05
U -236	1.81762E-06	7.87578E-07	5.08274E-07	5.47705E-07	4.09894E-07
U -238	1.02275E-02	4.94014E-03	1.05427E-02	1.05432E-02	7.14332E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.44076E-09	8.60807E-06	3.50260E-11	4.76308E-11	4.32950E-11
FP(U)	6.82861E-05	2.65483E-05	4.10933E-06	3.11830E-06	3.05372E-06
FP(PU)	2.96446E-05	2.33181E-04	1.00935E-06	1.04000E-06	9.69126E-07

	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7
PU-239	6.80434E-05	5.12358E-05	7.31411E-05	5.48066E-05	8.00741E-05
PU-240	7.65116E-07	6.06283E-07	8.88798E-07	7.01852E-07	1.07970E-06
PU-241	6.64070E-09	5.48697E-09	8.32476E-09	6.89307E-09	1.12511E-08
PU-242	2.97767E-11	2.59133E-11	4.03271E-11	3.51486E-11	6.03293E-11
U -235	2.97778E-05	2.01222E-05	2.96153E-05	2.00139E-05	2.93966E-05
U -236	6.31334E-07	4.50314E-07	6.79092E-07	4.83831E-07	7.47107E-07
U -238	1.05307E-02	7.13815E-03	1.05249E-02	7.13426E-03	1.05175E-02
O	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02
AM-241	6.93045E-11	5.72566E-11	8.68611E-11	7.19122E-11	1.17358E-10
FP(U)	4.40910E-06	3.30195E-06	4.82193E-06	3.43253E-06	4.93595E-06
FP(PU)	1.47598E-06	1.17509E-06	1.71340E-06	1.34644E-06	2.05292E-06

	AB 8	AB 9	AB 10	AB 11	AB 12
PU-239	6.22636E-05	9.11182E-05	6.69065E-05	9.22015E-05	5.46407E-05
PU-240	9.01405E-07	1.36109E-06	1.00787E-06	1.35091E-06	6.62539E-07
PU-241	9.88178E-09	1.53390E-08	1.12938E-08	1.46836E-08	6.02443E-09
PU-242	5.71743E-11	9.20223E-11	6.87573E-11	8.72312E-11	2.95403E-11
U -235	1.97978E-05	2.90701E-05	1.96665E-05	2.90399E-05	2.00287E-05
U -236	5.45431E-07	8.32144E-07	5.73635E-07	8.26407E-07	4.68295E-07
U -238	7.12587E-03	1.05045E-02	7.11996E-03	1.05020E-02	7.13377E-03
O	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.03052E-10	1.59947E-10	1.17767E-10	1.53128E-10	6.28635E-11
FP(U)	3.89582E-06	6.19954E-06	4.84942E-06	7.50655E-06	4.11178E-06
FP(PU)	1.74349E-06	2.67909E-06	2.04467E-06	2.78686E-06	1.35570E-06

Table 10 Hetero Core Atomic Number Densities at EOEC<<Transport >>

	IB 1	CORE 1	IB 2	CORE 2	IB 3
PU-239	4.17761E-04	9.04738E-04	4.53890E-04	8.98120E-04	4.61030E-04
PU-240	2.65402E-05	4.57708E-04	2.87361E-05	4.59909E-04	2.95454E-05
PU-241	8.91248E-07	1.61867E-04	9.34801E-07	1.58603E-04	9.68487E-07
PU-242	2.76038E-08	8.22632E-05	2.87704E-08	8.28618E-05	3.02284E-08
U -235	1.96358E-05	9.50934E-06	1.88010E-05	9.20459E-06	1.86083E-05
U -236	3.18287E-06	1.44535E-06	3.19238E-06	1.51454E-06	3.21687E-06
U -238	1.00499E-02	4.78321E-03	9.97042E-03	4.76330E-03	9.95447E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02
AM-241	1.69986E-08	1.40688E-05	1.75199E-08	1.37436E-05	1.87162E-08
FP(U)	4.64124E-05	4.36326E-05	6.94398E-05	4.50120E-05	7.36313E-05
FP(PU)	6.63013E-05	4.20348E-04	8.32968E-05	4.42774E-04	8.67846E-05

	CORE 3	IB 4	CORE 4	IB 5	CORE 5
PU-239	8.97997E-04	4.77190E-04	8.90254E-04	4.97262E-04	8.76501E-04
PU-240	4.62148E-04	3.33123E-05	4.63951E-04	3.50146E-05	4.54069E-04
PU-241	1.58008E-04	1.17968E-06	1.54522E-04	1.24727E-06	1.51700E-04
PU-242	8.32646E-05	4.02361E-08	8.38200E-05	4.31245E-08	8.25027E-05
U -235	9.12035E-06	1.80969E-05	8.80068E-06	1.75524E-05	8.70770E-06
U -236	1.54412E-06	3.40079E-06	1.61191E-06	3.41735E-06	1.57105E-06
U -238	4.75810E-03	9.93440E-03	4.73618E-03	9.88355E-03	4.72548E-03
O	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	1.36858E-02
NA	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	1.07413E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	2.31941E-04
FE	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.35402E-02
AM-241	1.36584E-05	2.44619E-08	1.33139E-05	2.69857E-08	1.31634E-05
FP(U)	4.43462E-05	6.74690E-05	4.62410E-05	8.29039E-05	5.54121E-05
FP(PU)	4.45718E-04	9.26521E-05	4.70850E-04	1.05172E-04	4.99408E-04

Table 10 Hetero Core Atomic Number Densities at EOEC <<Transport >> (Cont'd)

	IB 6	CORE 6	RB	AB 1	AB 2
PU-239	4.63402E-04	9.03992E-04	1.04061E-04	1.36148E-04	1.07972E-04
PU-240	2.65399E-05	4.48509E-04	1.57961E-06	2.93454E-06	2.54263E-06
PU-241	8.01035E-07	1.64098E-04	1.74699E-08	4.70982E-08	4.31150E-08
PU-242	2.29168E-08	8.07150E-05	1.20990E-10	4.57751E-10	4.55952E-10
U -235	1.84322E-05	9.84211E-06	2.87411E-05	2.76756E-05	1.84650E-05
U -236	2.98264E-06	1.32611E-06	9.12864E-07	1.24964E-06	9.20516E-07
U -238	9.89587E-03	4.80231E-03	1.04892E-02	1.04535E-02	7.07202E-03
O	2.12719E-02	1.36858E-02	2.12719E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	8.14182E-03	1.07413E-02	8.14182E-03	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	1.96004E-04	2.31941E-04	1.96004E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.14423E-02	1.35402E-02	1.14423E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.74146E-08	1.43837E-05	4.12425E-10	8.92039E-10	8.16368E-10
FP(U)	1.21296E-04	4.70482E-05	7.77637E-06	8.17369E-06	7.57215E-06
FP(PU)	9.70254E-05	4.10905E-04	3.35286E-06	5.82029E-06	5.26522E-06

	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7
PU-239	1.55063E-04	1.14039E-04	1.59489E-04	1.15965E-04	1.63628E-04
PU-240	3.71112E-06	2.83673E-06	3.94066E-06	2.95436E-06	4.18178E-06
PU-241	6.38211E-08	5.00704E-08	6.94463E-08	5.30866E-08	7.55322E-08
PU-242	6.92951E-10	5.62512E-10	7.82987E-10	6.14239E-10	8.88398E-10
U -235	2.71231E-05	1.82938E-05	2.69826E-05	1.82354E-05	2.68581E-05
U -236	1.38538E-06	9.68507E-07	1.42508E-06	9.87908E-07	1.46681E-06
U -238	1.04295E-02	7.06479E-03	1.04240E-02	7.06263E-03	1.04196E-02
O	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02
NA	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03
CR	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03
NI	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03
MO	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04
FE	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02
AM-241	1.23226E-09	9.80058E-10	1.39288E-09	1.08922E-09	1.61433E-09
FP(U)	1.08737E-05	7.89953E-06	1.13669E-05	7.85936E-06	1.10457E-05
FP(PU)	7.69369E-06	5.88441E-06	8.17108E-06	6.08084E-06	8.57046E-06

	AB 8	AB 9	AB 10	AB 11	AB 12
PU-239	1.22345E-04	1.74280E-04	1.24940E-04	1.70764E-04	1.00635E-04
PU-240	3.28529E-06	4.67871E-06	3.36249E-06	4.43013E-06	2.15038E-06
PU-241	6.12055E-08	8.70846E-08	6.24493E-08	8.01884E-08	3.25758E-08
PU-242	7.52336E-10	1.08227E-09	7.70542E-10	9.55282E-10	3.15746E-10
U -235	1.80577E-05	2.65540E-05	1.79856E-05	2.66485E-05	1.86903E-05
U -236	1.03572E-06	1.53648E-06	1.04118E-06	1.48998E-06	8.44047E-07
U -238	7.05488E-03	1.04056E-02	7.05059E-03	1.04079E-02	7.08006E-03
O	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02	2.12719E-02	1.44302E-02
NA	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02	8.14182E-03	1.07412E-02
CR	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03	3.25308E-03	3.84953E-03
NI	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03	1.92017E-03	2.27223E-03
MO	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04	1.96004E-04	2.31940E-04
FE	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02	1.14423E-02	1.35401E-02
AM-241	1.34233E-09	1.96579E-09	1.42480E-09	1.84080E-09	7.54354E-10
FP(U)	8.27416E-06	1.27507E-05	9.51417E-06	1.44152E-05	7.82275E-06
FP(PU)	6.79294E-06	9.84098E-06	7.20590E-06	9.62549E-06	4.61086E-06

Table 11 Comparison of Region-Averaged Total Neutron Fluxes and 1 Group Cross-Sections of Homogeneous Core, Obtained by Diffusion and Transport Theories.

Region	Diffusion Theory				Transport Theory (S_4)			
	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}

BOL

I. Core	4.869+15	3.319-1	1.928	6.289-1	4.833+15	3.326-1	1.929	6.305-1
O. Core	3.514+15	3.026-1	1.852	5.330-1	3.561+15	3.023-1	1.851	5.321-1
RB	4.524+14	4.105-1	2.622	1.316	4.411+14	4.125-1	2.636	1.329
AB 1	1.158+15	4.459-1	2.761	1.431	1.113+15	4.497-1	2.787	1.454
AB 2	7.596+14	4.207-1	2.620	1.304	7.418+14	4.234-1	2.635	1.319

BOEC

I. Core	5.101+15	3.339-1	1.922	6.261-1	5.098+15	3.345-1	1.923	6.276-1
O. Core	3.607+15	3.066-1	1.856	5.412-1	3.634+15	3.065-1	1.855	5.408-1
RB	4.790+14	4.025-1	2.447	1.148	4.635+14	4.046-1	2.460	1.161
AB 1	1.278+15	4.256-1	2.482	1.172	1.238+15	4.292-1	2.502	1.191
AB-2	8.137+14	4.092-1	2.424	1.119	7.913+14	4.119-1	2.438	1.133

EOEC

I. Core	5.341+15	3.354-1	1.917	6.229-1	5.336+15	3.360-1	1.918	6.244-1
O. Core	3.609+15	3.104-1	1.859	5.486-1	3.647+15	3.104-1	1.859	5.483-1
RB	4.939+14	3.950-1	2.374	1.086	4.801+14	3.971-1	2.385	1.097
AB 1	1.411+15	4.091-1	2.356	1.066	1.368+15	4.125-1	2.373	1.082
AB 2	8.542+14	3.992-1	2.338	1.046	8.340+14	4.019-1	2.350	1.059

ϕ : n/cm²-sec, σ : barn

Table 12-1 Comparison of Region-Averaged Total Neutron Fluxes and 1 Group Cross-Sections of Heterogeneous Core at BOL, Obtained by Diffusion and Transport Theories.

Region	Diffusion Theory				Transport Theory (S_4)			
	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}
IB 1	2.366+15	3.637-1	2.312	1.025	2.163+15	3.683-1	2.331	1.046
CORE 1	2.913+15	3.256-1	1.897	5.865-1	2.770+15	3.238-1	1.895	5.822-1
IB 2	3.028+15	3.192-1	2.054	7.653-1	2.836+15	3.228-1	2.058	7.757-1
CORE 2	3.187+15	3.270-1	1.897	5.895-1	3.063+15	3.263-1	1.897	5.881-1
IB 3	3.206+15	3.182-1	2.046	7.578-1	3.057+15	3.195-1	2.040	7.568-1
CORE 3	3.305+15	3.349-1	1.913	6.111-1	3.224+15	3.336-1	1.913	6.083-1
IB 4	3.386+15	3.319-1	2.110	8.281-1	3.265+15	3.359-1	2.119	8.424-1
CORE 4	3.740+15	3.340-1	1.910	6.081-1	3.725+15	3.331-1	1.910	6.061-1
IB 5	4.000+15	3.110-1	2.016	7.238-1	3.965+15	3.130-1	2.013	7.262-1
CORE 5	4.281+15	3.013-1	1.847	5.209-1	4.356+15	3.012-1	1.847	5.205-1
IB 6	4.284+15	2.670-1	1.856	5.259-1	4.400+15	2.667-1	1.845	5.239-1
CORE 6	3.488+15	2.938-1	1.834	5.022-1	3.579+15	2.932-1	1.833	5.006-1
RB	5.424+14	4.018-1	2.574	1.272	5.331+14	4.044-1	2.591	1.288
AB 1	5.373+14	4.467-1	2.892	1.569	4.833+14	4.503-1	2.922	1.595
AB 2	6.424+14	4.421-1	2.731	1.409	5.894+14	4.441-1	2.745	1.422
AB 3	6.666+14	4.210-1	2.727	1.411	6.131+14	4.241-1	2.749	1.431
AB 4	7.017+14	4.416-1	2.719	1.402	6.506+14	4.445-1	2.737	1.418
AB 5	7.062+14	4.225-1	2.737	1.421	6.602+13	4.245-1	2.755	1.436
AB 6	7.323+14	4.479-1	2.751	1.434	6.886+14	4.506-1	2.769	1.450
AB 7	7.522+14	4.294-1	2.768	1.455	7.124+14	4.343-1	2.793	1.476
AB 8	8.270-14	4.435-1	2.716	1.404	7.934+14	4.467-1	2.836	1.422
AB 9	8.752+14	4.124-1	2.664	1.353	8.490+14	4.152-1	2.684	1.371
AB 10	9.253+14	4.180-1	2.592	1.276	9.068+14	4.214-1	2.611	1.294
AB 11	9.201+14	3.898-1	2.559	1.240	9.097+14	3.923-1	2.574	1.255
AB 12	7.517+14	4.135-1	2.577	1.258	7.426+14	4.163-1	2.593	1.273

ϕ : n/cm²-sec, σ : barn

Table 12-2 Comparison of Region-Averaged Total Neutron Fluxes and 1 Group Cross-Sections of Heterogeneous Core at BOEC, Obtained by Diffusion and Transport Theories.

Region	Diffusion Theory				Transport Theory (S_4)			
	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{238}
IB 1	3.388+15	3.466-1	2.108	8.293-1	3.299+15	3.507-1	2.123	8.473-1
CORE 1	3.970+15	3.245-1	1.887	5.799-1	3.994+15	3.226-1	1.885	5.754-1
IB 2	4.031+15	3.133-1	1.972	6.801-1	3.985+15	3.160-1	1.976	6.881-1
CORE 2	4.105+15	3.256-1	1.886	5.820-1	4.118+15	3.248-1	1.887	5.803-1
IB 3	4.013+15	3.122-1	1.966	6.7641-1	3.971+15	3.133-1	1.964	6.754-1
CORE 3	3.971+15	3.309-1	1.896	5.958-1	3.970-15	3.298-1	1.896	5.935-1
IB 4	3.852+15	3.216-1	1.996	7.106-1	3.781+15	3.247-1	2.001	7.204-1
CORE 4	3.955+15	3.317-1	1.896	5.972-1	3.952+15	3.312-1	1.897	5.963-1
IB 5	3.992+15	3.074-1	1.945	6.513-1	3.958+15	3.090-1	1.945	6.545-1
CORE 5	4.024+15	3.078-1	1.852	5.344-1	4.057+15	3.082-1	1.853	5.352-1
IB 6	3.916+15	2.743-1	1.850	5.264-1	3.975+15	2.742-1	1.850	5.256-1
CORE 6	3.112+15	3.020-1	1.845	5.211-1	3.152+15	3.017-1	1.844	5.202-1
RB	4.906+14	3.953-1	2.409	1.110	4.766+14	3.978-1	2.422	1.123
AB 1	7.897+14	4.247-1	2.574	1.273	7.521+14	4.289-1	2.604	1.301
AB 2	9.053+14	4.264-1	2.500	1.193	8.759+14	4.287-1	2.517	1.208
AB 3	9.170+14	4.052-1	2.477	1.175	8.851+14	4.084-1	2.498	1.195
AB 4	9.364+14	4.247-1	2.483	1.179	9.044+14	4.277-1	2.501	1.196
AB 5	9.156+14	4.052-1	2.474	1.173	8.842+14	4.077-1	2.493	1.190
AB 6	9.120+14	4.276-1	2.490	1.188	8.784+14	4.305-1	2.508	1.205
AB 7	8.864+14	4.088-1	2.478	1.182	8.513+14	4.119-1	2.498	1.201
AB 8	9.096+14	4.246-1	2.465	1.167	8.769+14	4.279-1	2.483	1.184
AB 9	9.096+14	3.978-1	2.422	1.126	8.810-14	4.006-1	2.439	1.142
AB 10	9.094+14	4.084-1	2.405	1.101	8.855+14	4.117-1	2.420	1.116
AB 11	8.798+14	3.844-1	2.390	1.081	8.618+14	3.870-1	2.403	1.094
AB 12	7.009+14	4.075-1	2.418	1.108	6.851+14	4.103-1	2.431	1.122

ϕ : n/cm²-sec, σ : barn

Table 12-3 Comparison of Region-Averaged Total Neutron Fluxes and 1 Group Cross-Sections of Heterogeneous Core at EOEC, Obtained by Diffusion and Transport Theories.

Region	Diffusion Theory				Transport Theory (S ₄)			
	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}	ϕ	σ_c^{238}	σ_f^{239}	σ_c^{239}
IB 1	4.343+15	3.321-1	2.010	7.350-1	4.252+15	3.352-1	2.020	7.472-1
CORE 1	4.848+15	3.250-1	1.880	5.773-1	4.862+15	3.238-1	1.880	5.746-1
IB 2	4.841+15	3.089-1	1.932	6.413-1	4.800+15	3.109-1	1.934	6.472-1
CORE 2	4.812+15	3.259-1	1.880	5.788-1	4.828+15	3.255-1	1.881	5.781-1
IB 3	4.629+15	3.082-1	1.929	6.377-1	4.601+15	3.091-1	1.928	6.395-1
CORE 3	4.461+15	3.293-1	1.887	5.877-1	4.471+15	3.287-1	1.887	5.865-1
IB 4	4.188+15	3.147-1	1.946	6.607-1	4.144+15	3.169-1	1.950	6.675-1
CORE 4	4.080+15	3.306-1	1.888	5.903-1	4.091+15	3.303-1	1.888	5.900-1
IB 5	3.939+15	3.053-1	1.917	6.243-1	3.929+15	3.066-1	1.917	6.269-1
CORE 5	3.776+15	3.132-1	1.857	5.456-1	3.815+15	3.137-1	1.858	5.465-1
IB 6	3.585+15	2.804-1	1.854	5.373-1	3.642+15	2.804-1	1.853	5.367-1
CORE 6	2.785+15	3.089-1	1.853	5.369-1	2.825+15	3.086-1	1.853	5.360-1
RB	4.446+14	3.903-1	2.351	1.062	4.33r+14	3.925-1	2.361	1.073
AB 1	1.050+15	4.033-1	2.401	1.121	1.002+15	4.073-1	2.424	1.143
AB 2	1.156+15	4.111-1	2.376	1.087	1.118+15	4.138-1	2.392	1.102
AB 3	1.150-15	3.903-1	2.347	1.062	1.111+15	3.934-1	2.364	1.079
AB 4	1.149+15	4.093-1	2.362	1.075	1.112+15	4.124-1	2.378	1.090
AB 5	1.102+15	3.902-1	2.345	1.061	1.068+15	3.928-1	2.362	1.077
AB 6	1.069+15	4.110-1	2.365	1.080	1.035+15	4.140-1	2.381	1.095
AB 7	1.003+15	3.923-1	2.345	1.065	9.684+14	3.953-1	2.362	1.081
AB 8	9.782+14	4.096-1	2.353	1.069	9.482+14	4.127-1	2.368	1.084
AB 9	9.360+14	3.861-1	2.320	1.038	9.107+14	3.888-1	2.335	1.052
AB 10	8.929+14	4.004-1	2.329	1.038	8.726+14	4.035-1	2.342	1.052
AB 11	8.430+14	3.797-1	2.326	1.030	8.277+14	3.822-1	2.337	1.042
AB 12	6.558+14	4.027-1	2.360	1.026	6.427+14	4.053-1	2.371	1.074

ϕ : n/cm²-sec, σ : barn

Table 13 Comparison of the Effective Multiplication Factors
Obtained by Diffusion and Transport Theories

	Diffusion	Transport	$\% \Delta k/k$
Homo Core			
BOL	1.04908	1.05584	0.644
BOEC	1.00086	1.00691	0.604
Hetero Core			
BOL	1.04434	1.05427	0.951
BOEC	1.00836	1.01497	0.656
EOEC	0.98438	0.98918	0.488

Table 14 Comparison of the Breeding Ratios Obtained by
Diffusion and Transport Theories

	Diffusion	Transport	δ (%)
Homo Core			
BOL	1.1575	1.1475	- 0.86
BOEC	1.1878	1.1789	- 0.75
EOEC	1.2025	1.1956	- 0.57
Hetero Core			
BOL	1.2300	1.2119	- 1.47
BOEC	1.2432	1.2325	- 0.86
EOEC	1.2379	1.2313	- 0.53

Table 15 Region Components of Breeding Ratio
for Homo Core

	<u>BOL</u>	<u>BOEC</u>	<u>EOEC</u>
(Diffusion)			
Inner Core	0.4959	0.5055	0.5126
Outer Core	0.2773	0.2825	0.2797
Rad. Blanket	0.1844	0.1915	0.1936
Ax. Blanket	0.1997	0.2082	0.2167
<hr/>			
Total Breeding Ratio	1.1575	1.1878	1.2025
(Transport)			
Inner Core	0.4925	0.5054	0.5125
Outer Core	0.2804	0.2841	0.2820
Rad. Blanket	0.1804	0.1860	0.1890
Ax. Blanket	0.1942	0.2034	0.2121
<hr/>			
Total Breeding Ratio	1.1475	1.1789	1.1956

Table 16 Region Components of Breeding Ratio
for Hetero Core

	<u>BOL</u>	<u>BOEC</u>	<u>EOEC</u>
(Diffusion)			
Core	0.5260	0.5305	0.5255
Internal Blanket	0.2790	0.3035	0.3175
Radial Blanket	0.2316	0.2048	0.1822
Axial Blanket	0.1934	0.2044	0.2126
<hr/>			
Total Breeding Ratio	1.2300	1.2432	1.2379
(Transport)			
Core	0.5254	0.5322	0.5282
Internal Blanket	0.2712	0.3014	0.3168
Radial Blanket	0.2285	0.1999	0.1785
Axial Blanket	0.1867	0.1991	0.2079
<hr/>			
Total Breeding Ratio	1.2119	1.2325	1.2313

Table 17 Loaded Fuel at BOEC into Homogeneous Core

(unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Inner Core	355.5	147.7	86.5	24.8	8.8	2971.2
Outer Core	397.4	165.1	96.7	27.8	7.3	2469.0
A. Blanket	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	4929.8
R. Blanket	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	10401.3
Sum	752.9	312.8	183.2	52.6	61.7	20771.3

Table 18 Discharged Fuel at EOEC from Homogeneous Core Obtained by Diffusion Theory

(unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Inner Core	365.5	178.8	29.4	32.2	1.9	2563.2
Outer Core	348.2	179.7	44.1	33.5	3.1	2237.8
A. Blanket	147.7	5.0	0.1	0.0	10.4	4758.8
R. Blanket	144.8	2.1	0.0	0.0	26.6	10242.3
Sum	1006.2	365.6	73.6	65.7	42.0	19802.1

Table 19 Discharged Fuel at EOEC from Homogeneous Core Obtained by Transport Theory

(unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Inner Core	365.7	179.0	29.4	32.2	1.9	2564.1
Outer Core	348.0	179.8	43.8	33.8	3.1	2235.4
A. Blanket	144.6	4.8	0.1	0.0	10.5	4763.1
R. Blanket	141.5	2.0	0.0	0.0	26.7	10246.3
Sum	999.8	365.6	73.3	65.7	42.2	19808.9

Table 20 Balance of Fuel Materials in Equilibrium Cycle
of Homogeneous Core Obtained by Diffusion Theory

(unit; kg/yr)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Inner Core	10.0	31.1	-57.1	7.4	-6.9	-408.0
Outer Core	-49.2	14.6	-52.6	5.7	-4.2	-231.2
A. Blanket	147.7	5.0	0.1	0.0	-4.3	-171.0
R. Blanket	144.8	2.1	0.0	0.0	-4.3	-159.0
Sum	253.3	52.8	-109.6	13.1	-19.7	-969.2

Table 21 Balance of Fuel Materials in Equilibrium Cycle
of Homogeneous Core Obtained by Transport Theory

(unit; kg/yr)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Inner Core	10.2	31.3	-57.1	7.4	-6.9	-407.1
Outer Core	-49.4	14.7	-52.9	5.7	-4.2	-233.6
A. Blanket	144.6	4.8	0.1	0.0	-4.2	-166.7
R. Blanket	141.5	2.0	0.0	0.0	-4.2	-155.0
Sum	246.9	52.8	-109.9	13.1	-19.5	-962.4

Table 22 Loaded Fuel at BOEC into Heterogeneous Core

(Unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Core	876.3	364.1	213.3	61.3	12.7	4269.6
Int. Blanket	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	2595.6
A. Blanket-C	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	4215.8
A. Blanket-I	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	1816.9
R. Blanket	0.0	0.0	0.0	0.0	32.4	10896.0
Sum	876.3	364.1	213.3	143.7	70.7	23793.9

Table 23 Discharged Fuel at EOEC from Heterogeneous Core Obtained by Diffusion Theory

(Unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Core	692.8	394.5	97.4	74.3	5.3	3856.5
Int. Blanket	176.1	12.1	0.4	0.0	1.6	2345.2
A. Blanket-C	100.8	2.5	0.0	0.0	9.6	4101.8
A. Blanket-I	43.5	1.1	0.0	0.0	3.1	1767.8
R. Blanket	163.4	2.5	0.0	0.0	27.5	10716.0
Sum	1176.6	412.7	97.8	74.3	47.1	22787.3

Table 24 Discharged Fuel at EOEC from Heterogeneous Core Obtained by Transport Theory

(Unit : kg)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Core	691.5	394.2	97.0	74.2	5.2	3853.8
Int. Blanket	174.4	11.9	0.4	0.0	1.8	2350.0
A. Blanket-C	98.7	2.4	0.0	0.0	9.7	4104.6
A. Blanket-I	42.1	1.1	0.0	0.0	3.1	1769.6
R. Blanket	161.1	2.5	0.0	0.0	27.6	10719.0
Sum	1167.8	412.1	97.4	74.2	47.4	22797.0

Table 25 Balance of Fuel Materials in Equilibrium Cycle
of Heterogeneous Core Obtained by Diffusion Theory

(Unit: kg/yr)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Core	-183.5	30.4	-115.9	13.0	-7.4	-413.1
Int. Blanket	176.1	12.1	0.4	0.0	-6.1	-250.4
A. Blanket-C	100.8	2.5	0.0	0.0	-2.9	-114.0
A. Blanket-I	43.5	1.1	0.0	0.0	-2.3	-49.1
R. Blanket	163.4	2.5	0.0	0.0	-4.9	-180.0
Sum	300.3	48.6	-115.5	13.0	-23.6	1006.6

Table 26 Balance of Fuel Materials in Equilibrium Cycle
of Heterogeneous Core Obtained by Transport Theory

(Unit: kg/yr)

Region	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	U-235	U-238
Core	-184.8	30.1	-116.3	12.9	-7.5	-415.8
Int. Blanket	174.4	11.9	0.4	0.0	-5.9	-245.6
A. Blanket-C	98.7	2.4	0.0	0.0	-2.8	-111.2
A. Blanket-I	42.1	1.1	0.0	0.0	-2.3	-47.3
R. Blanket	161.1	2.5	0.0	0.0	-4.8	-177.0
Sum	291.5	48.0	-115.9	12.9	-23.3	-996.9

Table 27 Comparison of Na Void Worths Obtained
by Diffusion and Transport Theories,
($\% \Delta k/k$)

	Diffusion	Transport	δ (%)
Home Core			
BOL	2.371	2.531	6.75
BOEC	3.005	3.149	4.79
EOEC	3.532	3.680	4.19
Hetero Core			
BOL	0.967	1.171	21.1
BOEC	1.500	1.695	13.0
EOEC	1.881	2.052	9.09

* Na is removed only from core regions.

Table 28 Na-Void Reactivity in Heterogeneous Core LMFBR
at BOL and It's Contributors Calculated by Exact
Perturbation Method Based on Diffusion Approximation

(% $\Delta k/k$)

Region	Non-Leakage	Leakage	Total
Core 1	0.128	-0.048	0.080
Core 2	0.229	-0.075	0.154
Core 3	0.333	-0.097	0.236
Core 4	0.482	-0.164	0.317
Core 5	0.631	-0.262	0.370
Core 6	0.885	-1.075	-0.190
Sum	2.689	-1.722	0.970

Table 29 Na-Void Reactivity in Heterogeneous Core LMFBR
at BOL and It's Contributors Calculated by Exact
Perturbation Method Based on Transport Theory (S_4)

(% $\Delta k/k$)

Region	Non-Leakage	Leakage	Total
Core 1	0.107	-0.034	0.073
Core 2	0.195	-0.056	0.138
Core 3	0.288	-0.075	0.213
Core 4	0.428	-0.123	0.304
Core 5	0.578	-0.222	0.356
Core 6	0.821	-0.737	0.084
Sum	2.417	-1.248	1.169

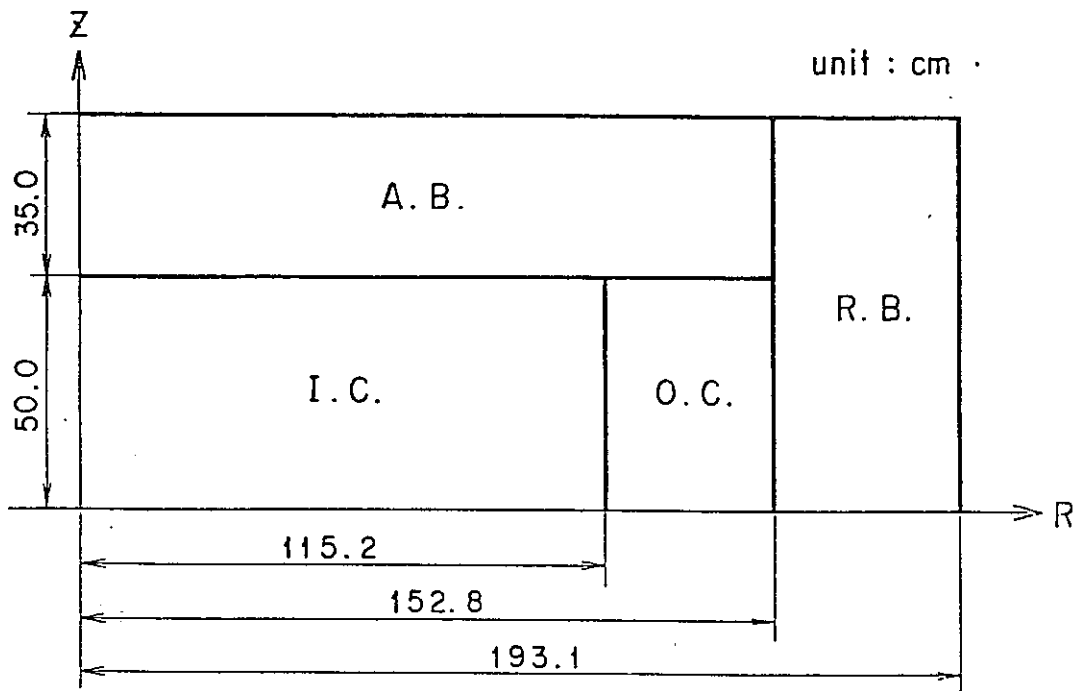


Fig. 1 RZ Configuration of Homogeneous Core

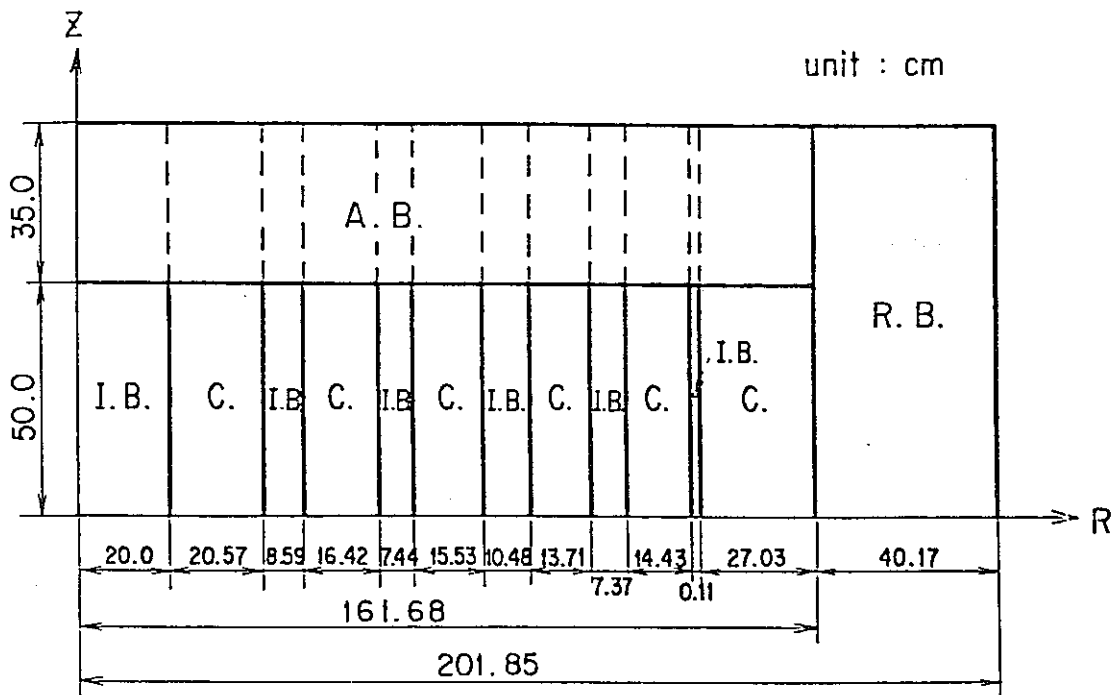


Fig. 2 RZ Configuration of Radial Heterogeneous Core

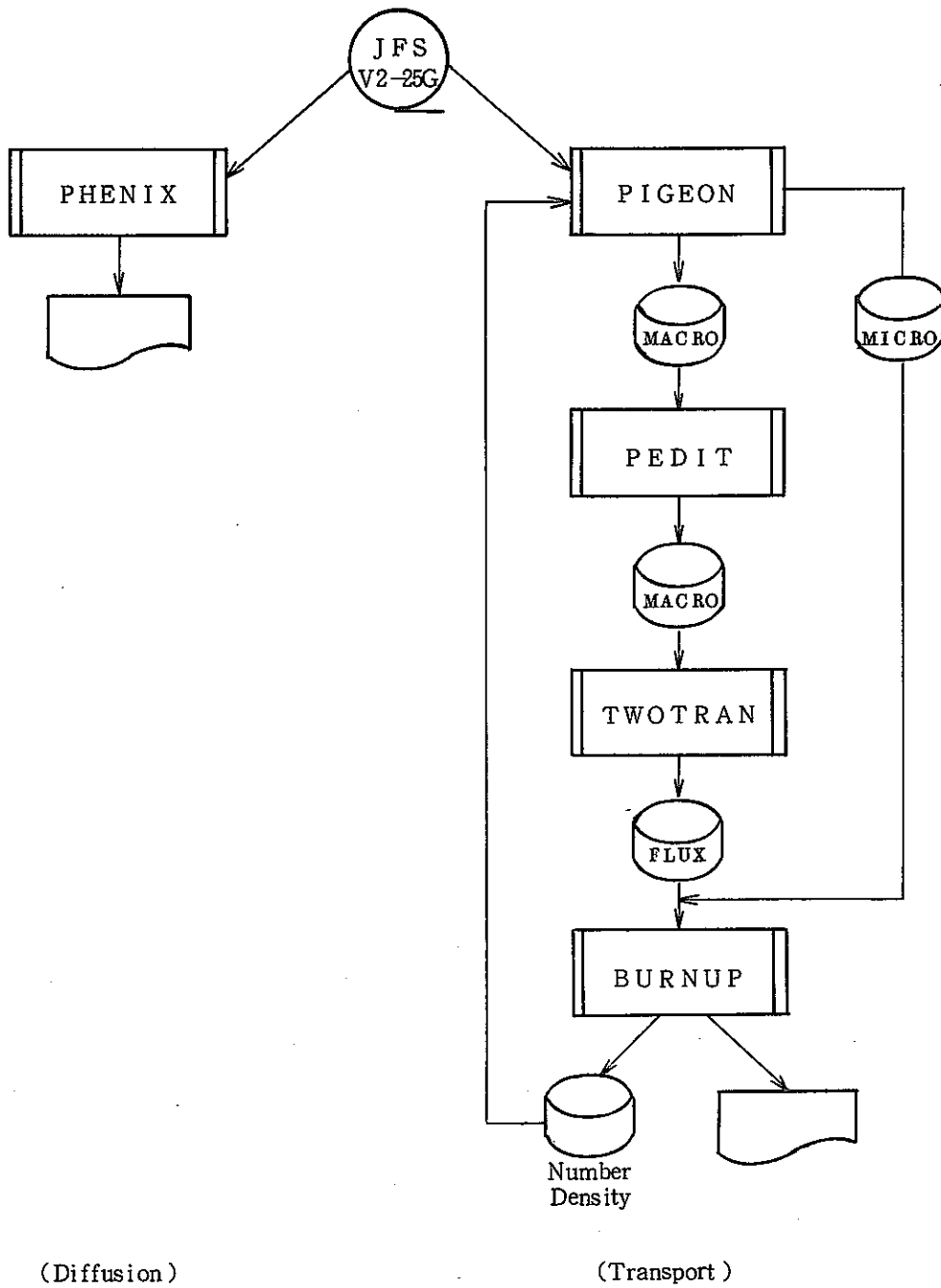


Fig. 3 Burnup Calculation Flow Based on Diffusion and Transport Theories

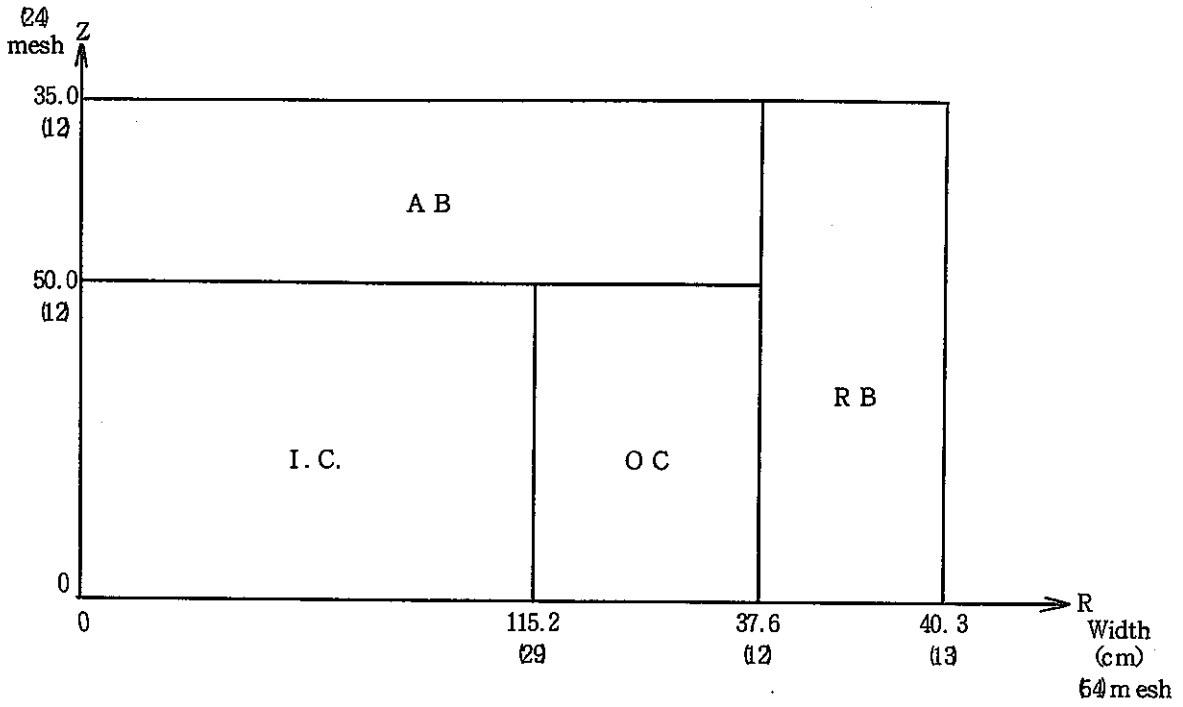


Fig. 4 Space Mesh and Region -width Specification for Homo Core

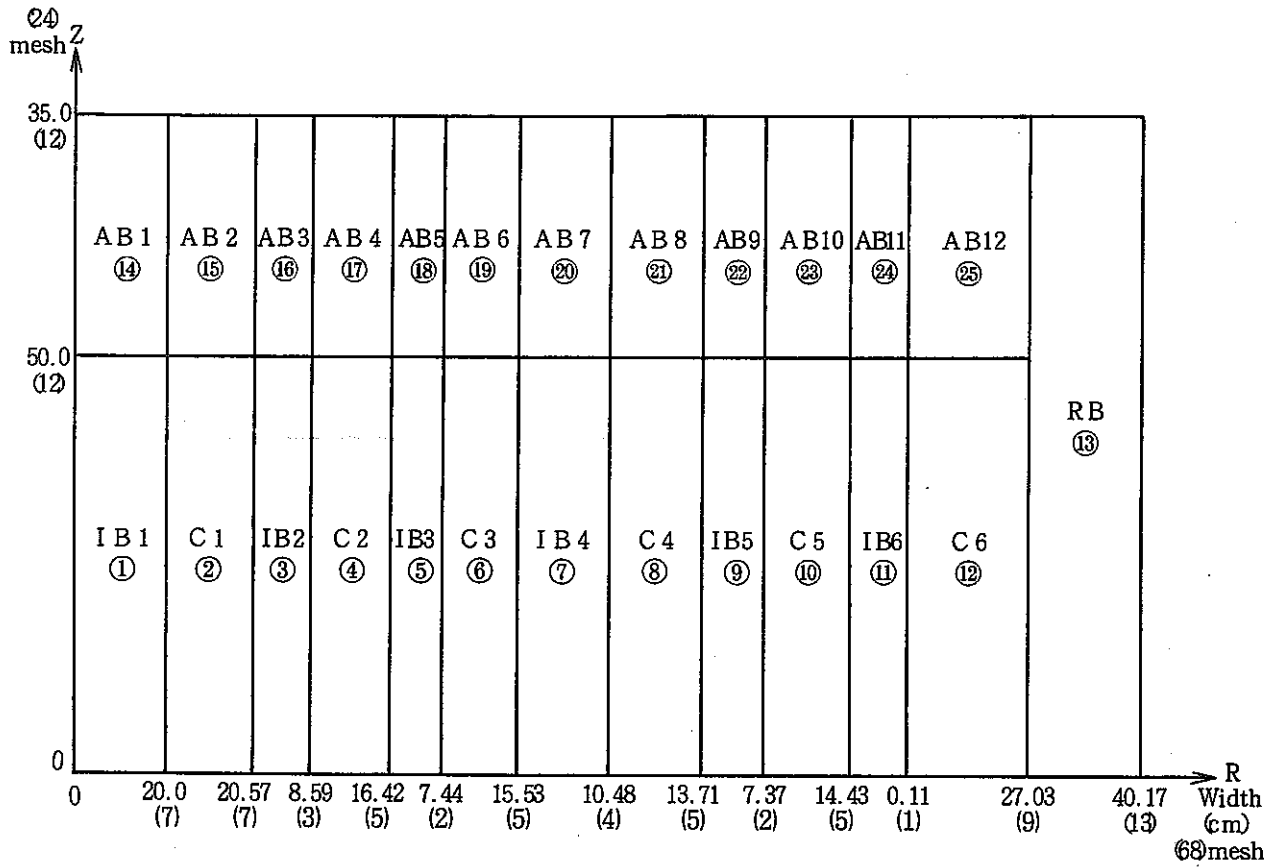


Fig. 5 Space Mesh and Region -width Specification for Hetero Core

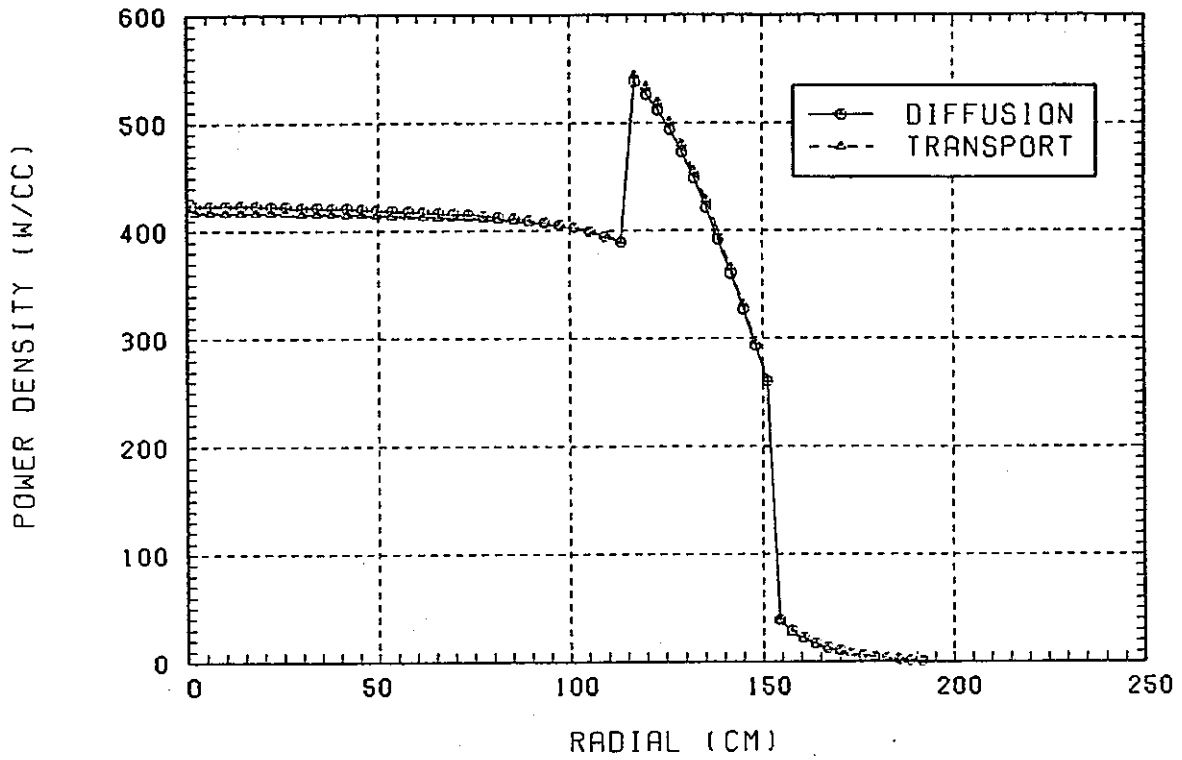


Fig. 6 Radial Power Density Distributions in Homo Core at BOL

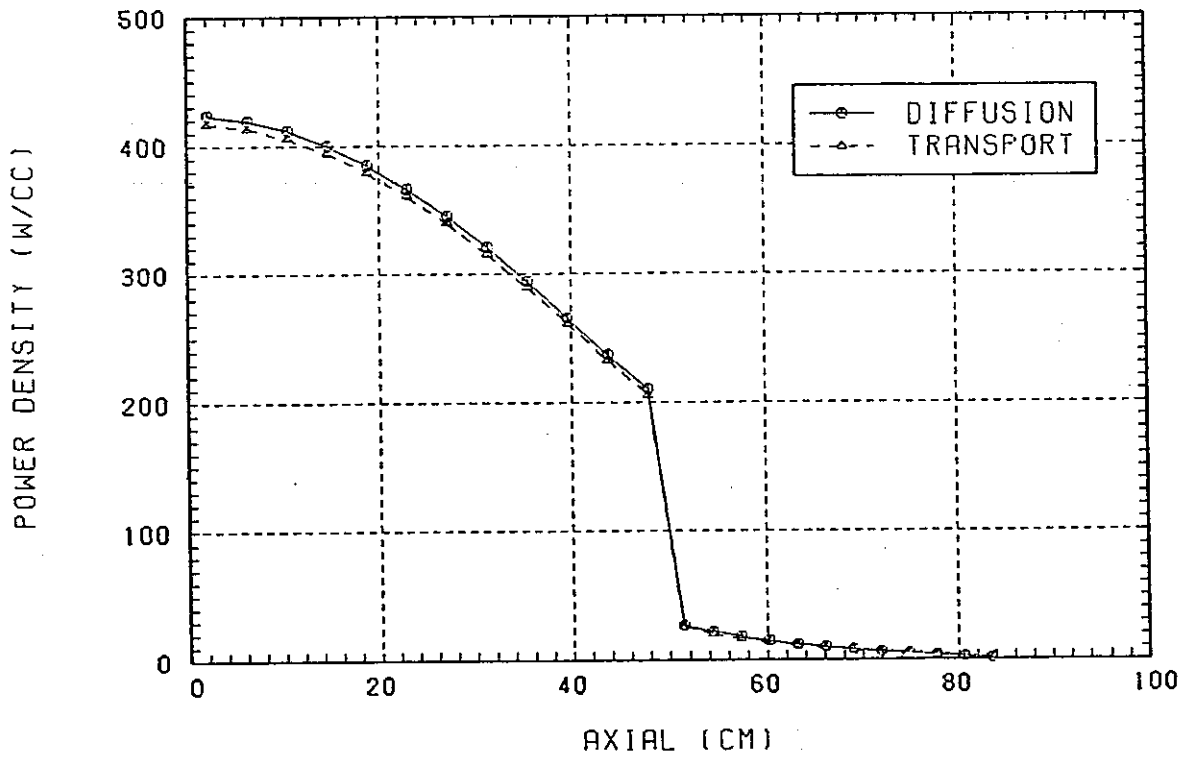


Fig. 7 Axial Power Density Distributions in Homo Core at BOL

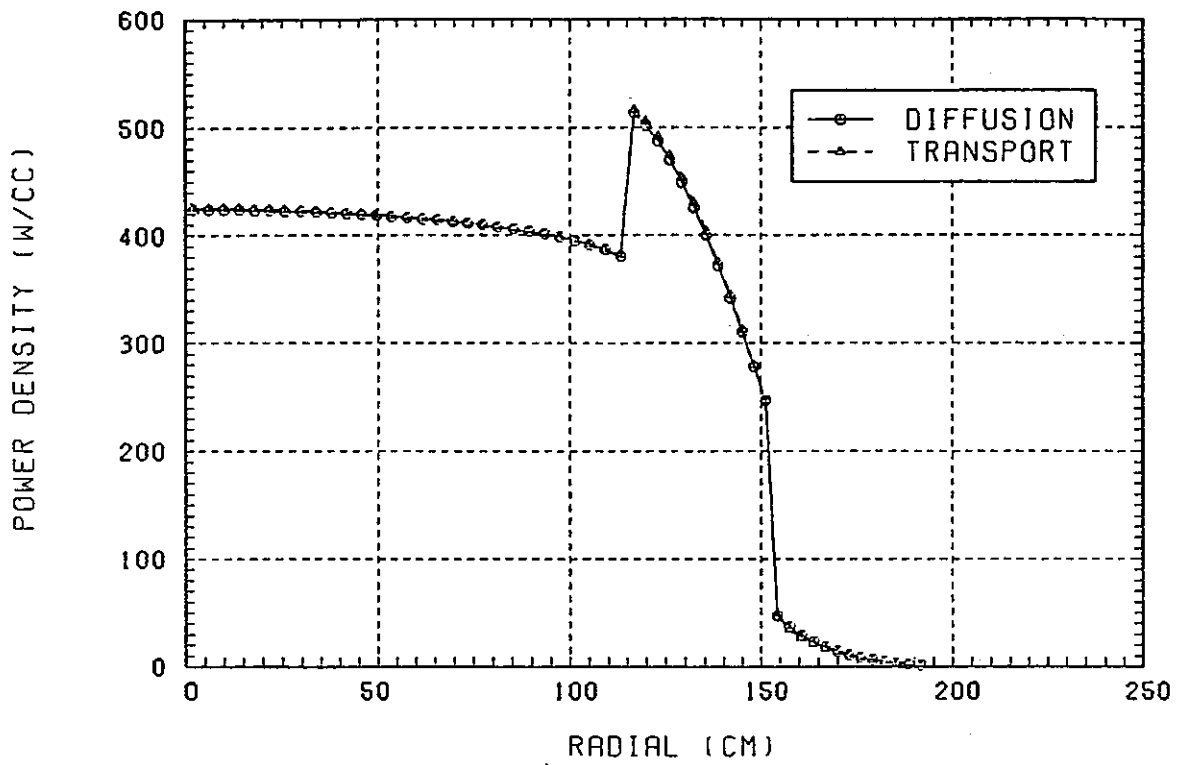


Fig. 8 Radial Power Density Distributions in Homo Core at BOEC

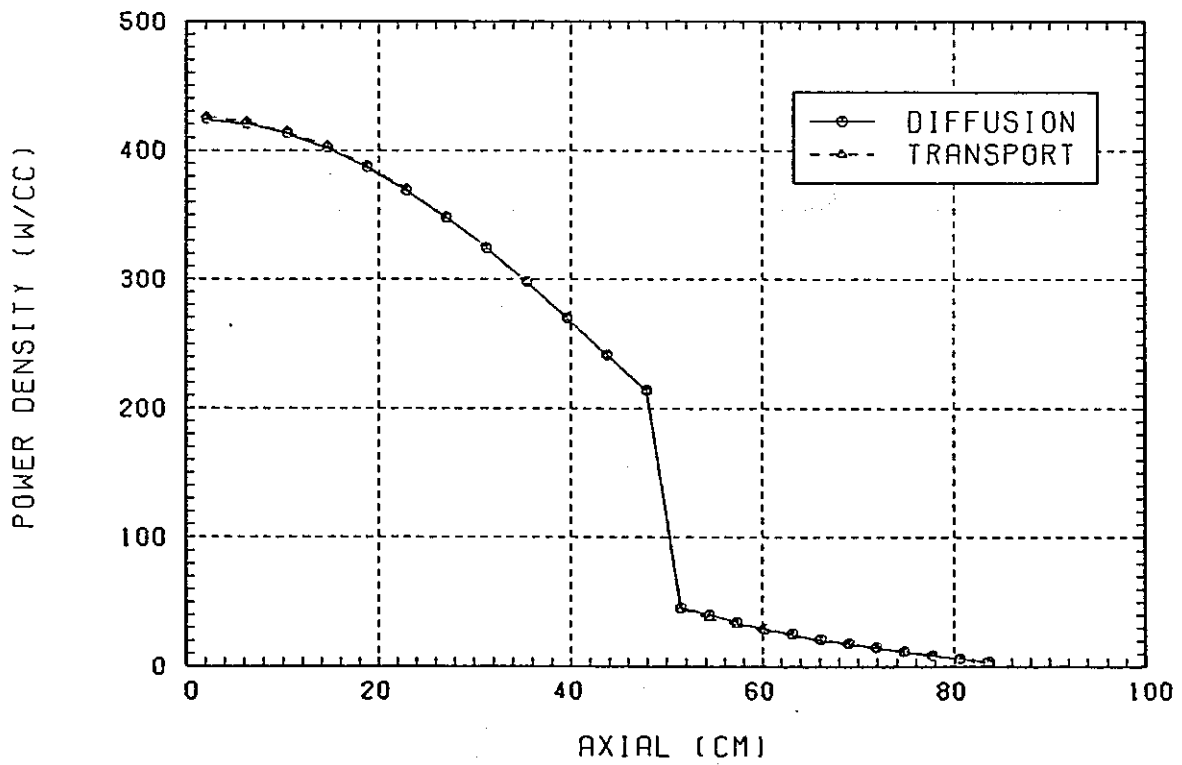


Fig. 9 Axial Power Density Distributions in Homo Core at BOEC

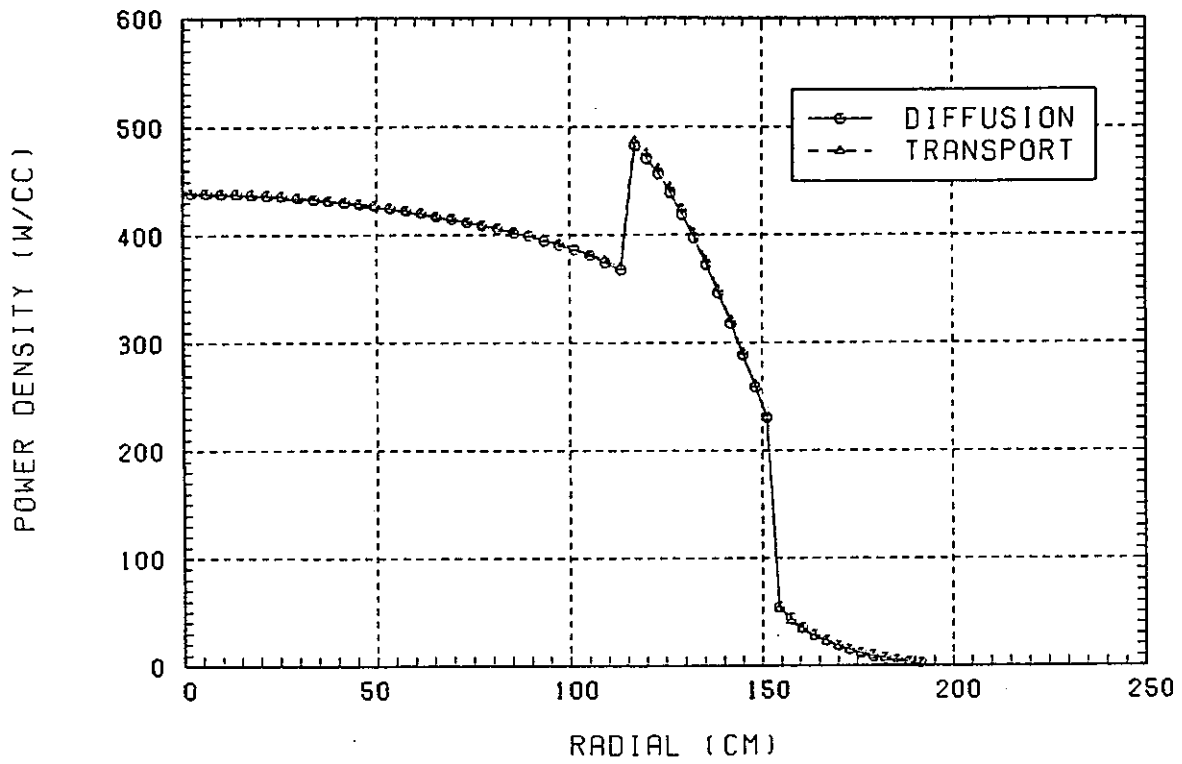


Fig. 10 Radial Power Density Distributions in Homo Core at EOEC

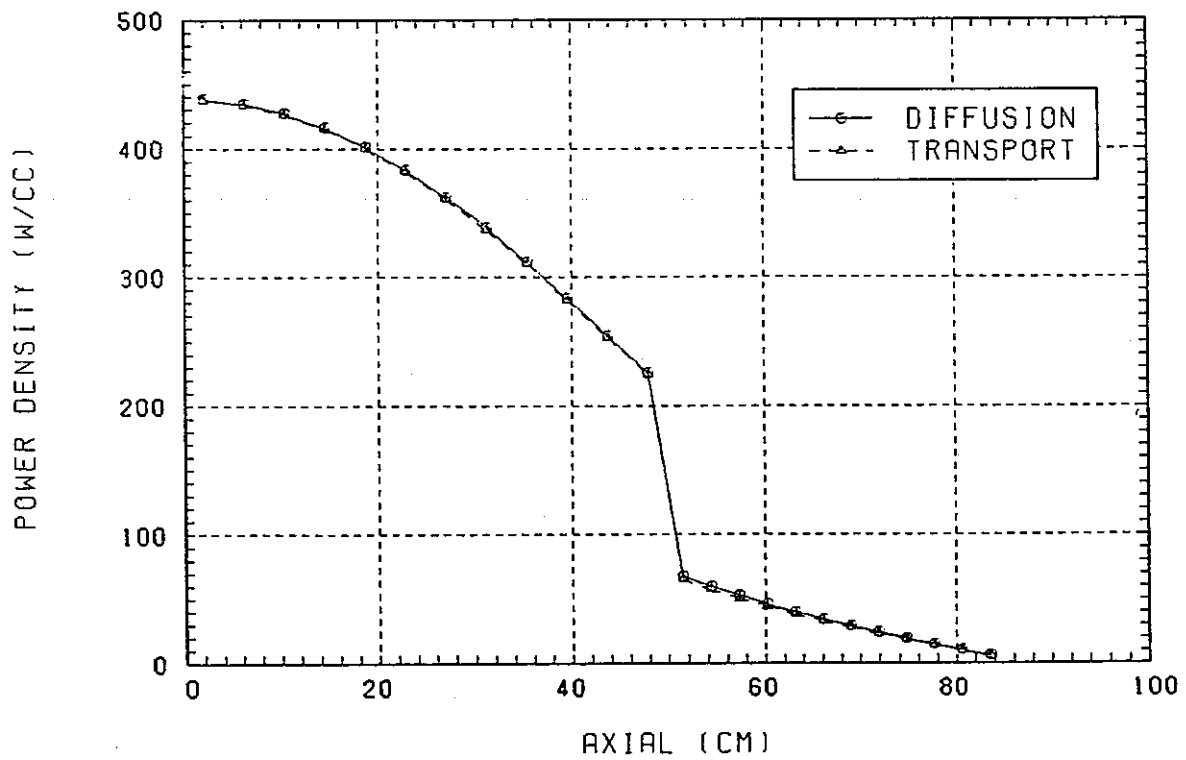


Fig. 11 Axial Power Density Distributions in Homo Core at EOEC

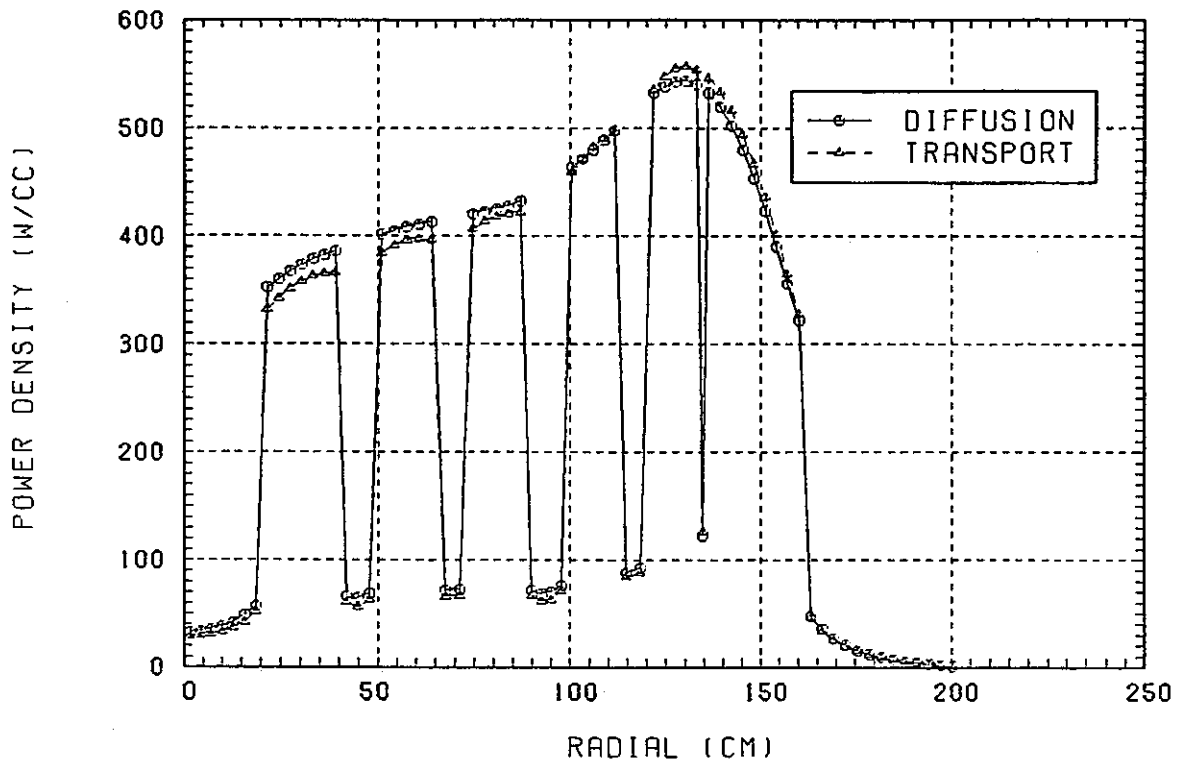


Fig. 12 Radial Power Density Distributions in Hetero Core at BOL

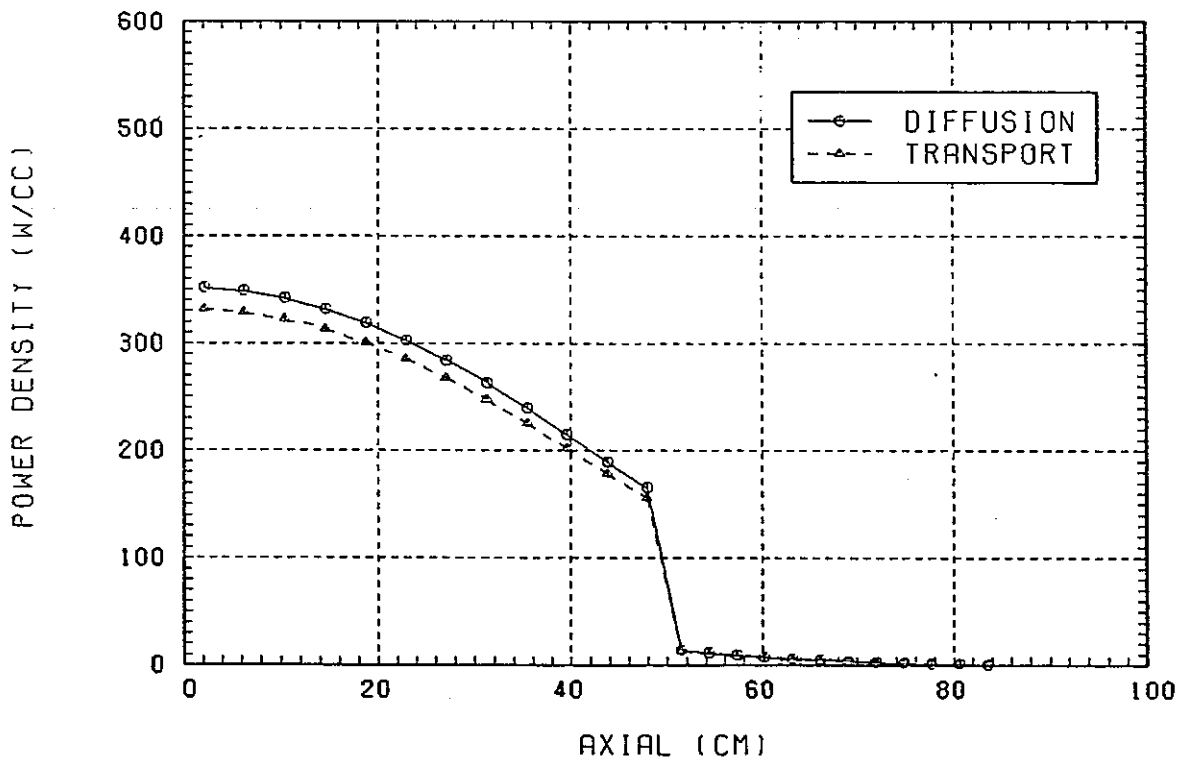


Fig. 13 Axial Power Density Distributions in Hetero Core at BOL

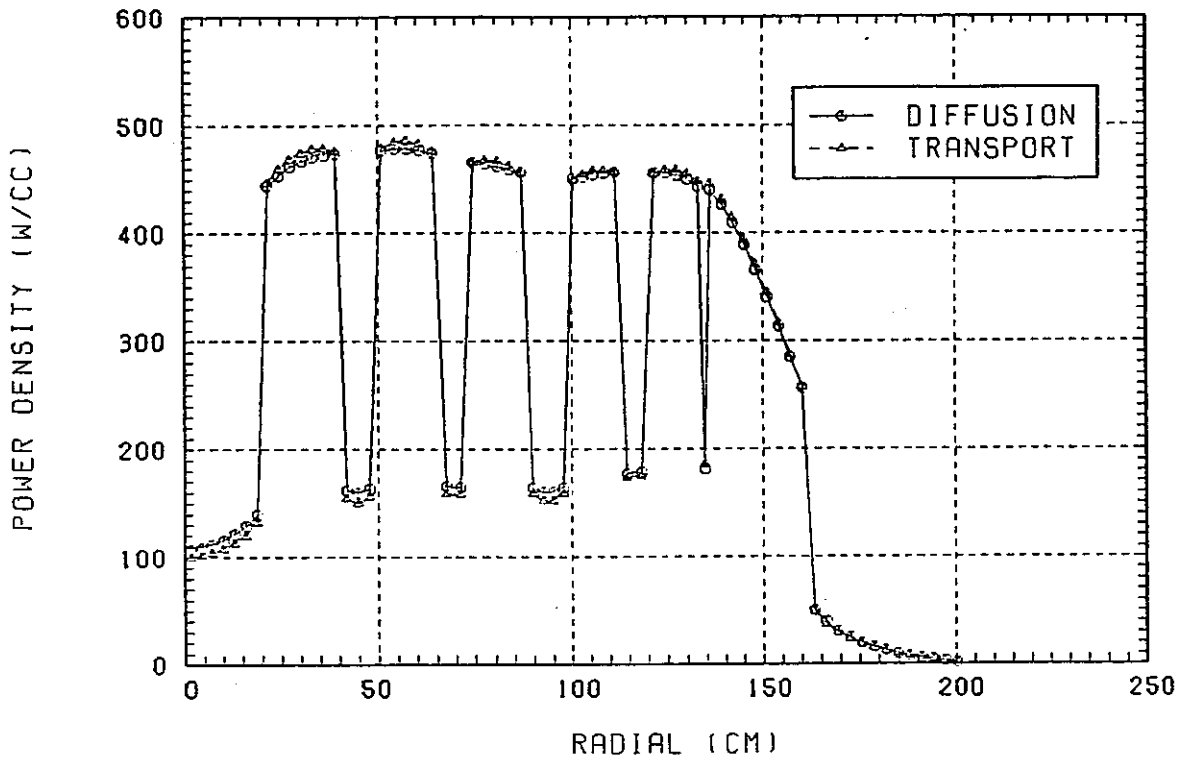


Fig. 14 Radial Power Density Distributions in Hetero Core at BOEC

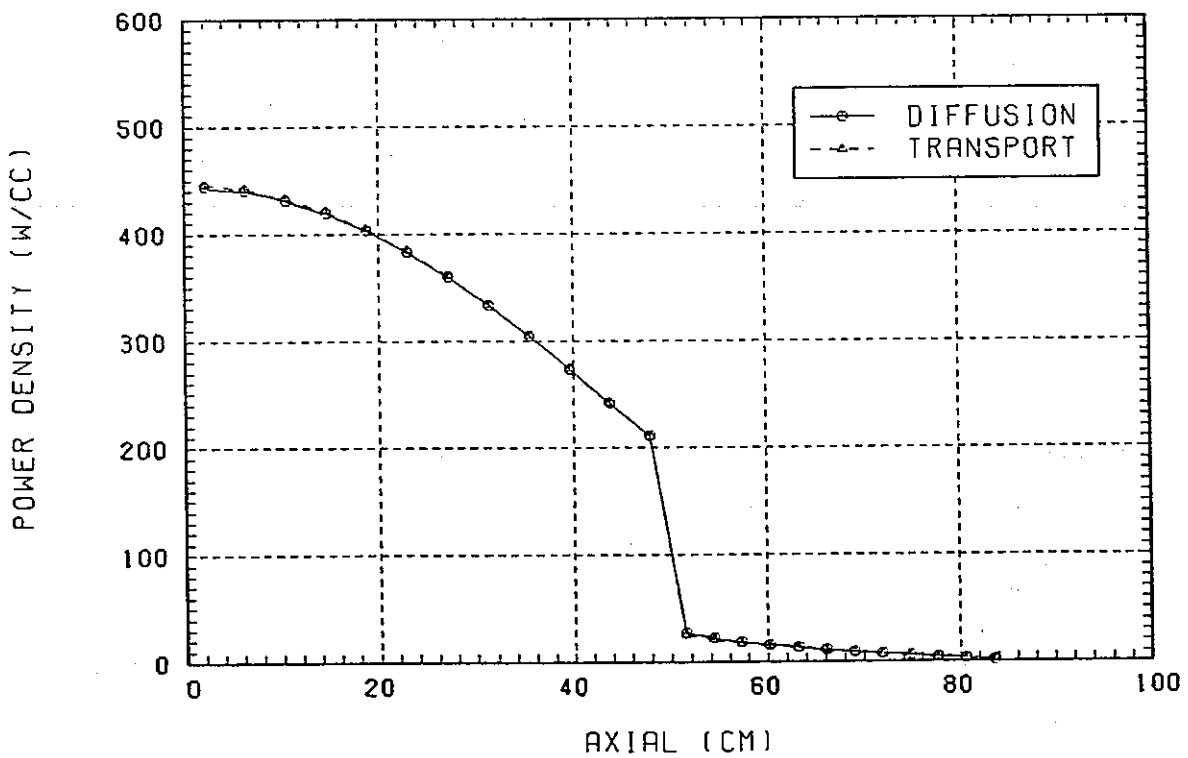


Fig. 15 Axial Power Density Distributions in Hetero Core at BOEC

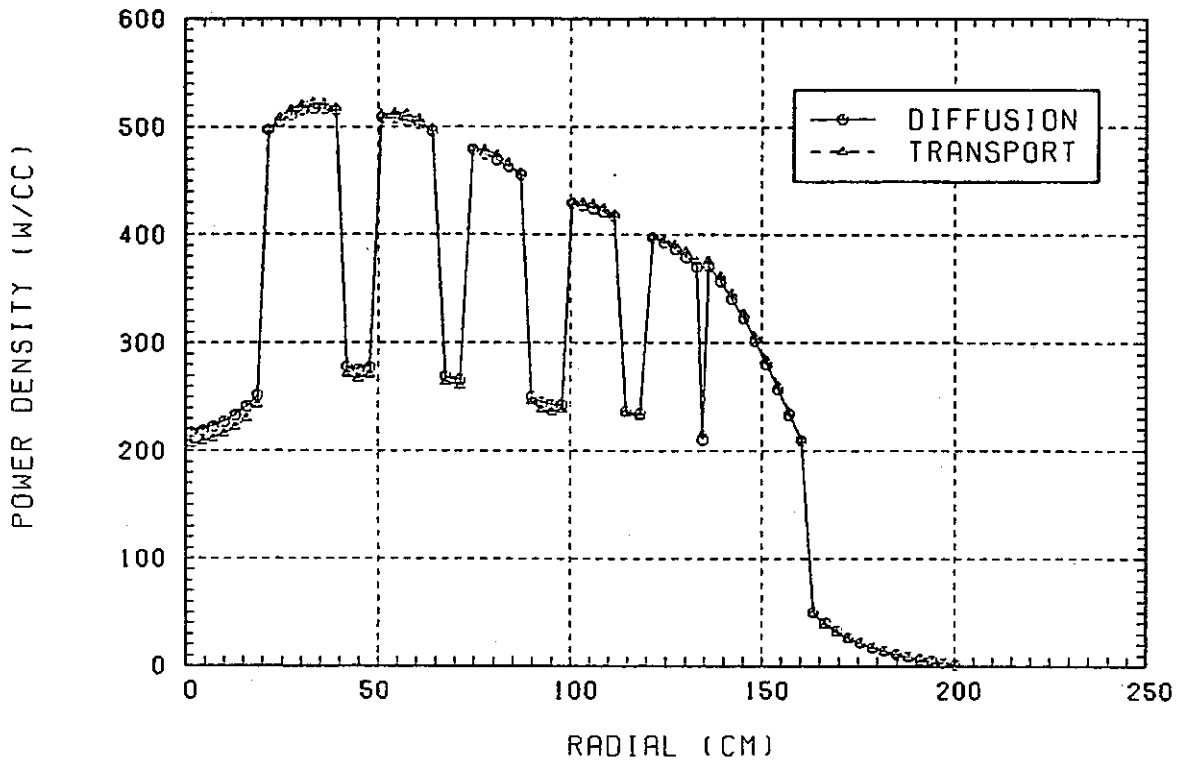


Fig.16 Radial Power Density Distributions in Hetero Core at EOEC

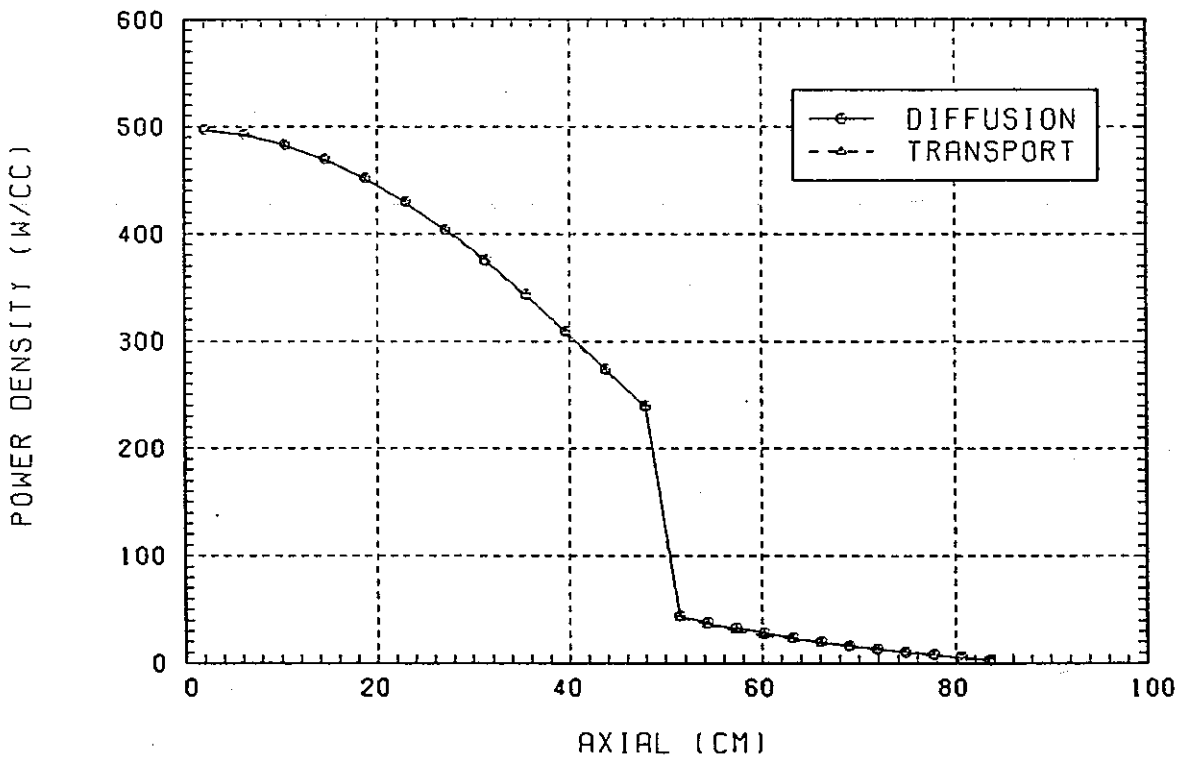


Fig.17 Axial Power Density Distributions in Hetero Core at EOEC