

JAERI-M

5971

ガス冷却高速炉の反応率比の実験解析

1975年2月

大杉 俊隆・吉田 弘幸

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、お申しこしてください。

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.

ガス冷却高速炉の反応率比の実験解析

日本原子力研究所動力炉開発管理室

大杉俊隆, 吉田弘幸

(1975年1月14日受理)

PROTEUS 炉から得られたガス冷却高速炉中心での反応率比の実験解析を, JAERI-FAST 群定数セットと, Benoist の定義する非等方拡散理論を用いて行なった。セルの実効断面積は衝突確率法を用いて非均質性を考慮して作成した。

解析の対象とした実験値は, ^{239}Pu の核分裂反応率 (F9) に対する ^{238}U の捕獲反応率 (C8), ^{238}U 及び ^{235}U の核分裂反応率 (F8, F5) の各々の反応率比である。

解析の結果, 各々の反応率比の計算に於て均質計算と非均質計算との差異は認められず, C/E として, C8/F9 , F8/F9 , F5/F9 について各々 1.067 ± 0.017 , 0.972 ± 0.016 , 1.006 ± 0.015 なる値を得た。

Experimental Analysis of the Central Reaction-Rate
Ratios in a Gas-Cooled Fast Reactor

Toshitaka OSUGI and Hiroyuki YOSHIDA
Office of Power Reactor Projects, JAERI

(Received January 14, 1975)

Experimental analysis of the central reaction-rate ratios in a gas-cooled fast reactor, obtained with reactor PROTEUS, has been made with the JAERI-FAST group constants and diffusion theory with anisotropic diffusion coefficients recommended by Benoist. Effective macroscopic group constants were prepared the collision probability method, to consider heterogeneity of the cells.

The relative values of fission rate of ^{239}Pu (F9), ^{238}U (F8) and ^{235}U (F5), and the ratio of ^{238}U capture (C8) to ^{239}Pu fission rates were obtained.

There is no difference in reaction-rate ratio between the homogeneous and heterogeneous systems. The measured to calculated values, C/E, are the 1.067 ± 0.017 , 0.972 ± 0.016 , 1.006 ± 0.015 for C8/F9, F8/F9 and F5/F9, respectively.

目 次

1. 序	1
2. 実験体系と実験値	1
3. 計算体系と計算方法	2
4. 実験値と計算結果との比較	3
5. 結 言	4
参考文献	5

1 序

ガス冷却高速炉の炉物理的問題点として中性子スペクトルの硬化及び軸方向への中性子のストリーミングの問題が指摘されている。これらが系の実効増倍率，反応率に与える影響を精確に把握することは，燃料インベントリー，増殖比等の炉の諸特性を決定する上でガス冷却高速炉の設計上重要な事項となる。特に，軸方向への中性子ストリーミング効果の解析は，解析上の問題点も多くガス冷却高速炉特有の問題として注目されてきた。

PROTEUS 炉実験は，ガス冷却高速炉用の群定数の開発を目的とし，群定数修正のための積分データの収集を行うべく実施された⁽¹⁾。実験では，中央に置かれた代表的なピン型ガス冷却高速炉心燃料領域の中心での中性子スペクトル，各種反応率比及び径方向への反応率分布が測定された。

我々は次の2つの目的でPROTEUS 炉の実験データの解析を行った。

- ① Benoist の方法⁽²⁾による中性子ストリーミング効果の評価法の検討
- ② 従来Na 冷却高速炉の解析に用いられてきたJAERI-FAST Set⁽³⁾によるガス冷却高速炉の解析上の問題点の検討

実験データとしては，中心に於ける ^{239}Pu の核分裂反応率に対する， ^{235}U ， ^{238}U の核分裂反応率及び ^{238}U の捕獲反応率の各々の反応率比が選ばれた。解析は71年2月作成の25群JAERI-FAST群定数セット（一部分ABBNセット⁽⁴⁾）と，Benoistの定義する非等方拡散係数を用いた拡散理論とを用いて行った。参考として，JAERI-FAST Setを用いて解析した原型炉級Na 冷却高速炉の反応率比の実験結果との比較検討も行った。また，最近作成されたJAERI-FAST Set 改訂版を用いてPROTEUS 炉の解析を行い，従来のJAERI-FAST Set (71/2)と簡単な比較検討をした。

2 実験体系と実験値

2.1 実験体系

PROTEUS 炉は，炉心中心にて様々なスペクトルを実現できるように設定された，重水減速及び黒鉛減速の2領域零出力熱中性子炉である。今回のガス冷却高速炉心の模擬に当っては，中央に代表的なピン型ガス冷却高速炉心燃料の領域を設け（FASTゾーン，半径25cm：六角格子，ピッチ1cm，ピンの直径0.67cm），周囲にBUFFERゾーン（Nat. UO_2 ，厚さ10cm）を置き，さらにそのまわりにドライバーとして重水減速及び黒鉛減速のTHERMALゾーンを配したFAST-THERMAL 結合炉心を組んでいる⁽¹⁾。FASTゾーンの上下にはBLANKETゾーンとして，Depleted UO_2 燃料の領域が置かれている。PROTEUS炉心の水平及び垂直断面図をFig 2に示す。FASTゾーンの寸法，BUFFERゾーンの寸法及び物質は，FASTゾーン中心のスペクトルと，FASTゾーンと同じ組成をもつガス冷却高速炉の炉心中心のスペクトルとが一致するように決められる。今回は，FASTゾーンには半径が25cmで PuO_2 - UO_2 燃料，BUFFERゾーンにはNatural UO_2 が用いられている。各ゾーンに用いられている燃

1 序

ガス冷却高速炉の炉物理的問題点として中性子スペクトルの硬化及び軸方向への中性子のストリーミングの問題が指摘されている。これらが系の実効増倍率、反応率に与える影響を精確に把握することは、燃料インベントリー、増殖比等の炉の諸特性を決定する上でガス冷却高速炉の設計上重要な事項となる。特に、軸方向への中性子ストリーミング効果の解析は、解析上の問題点も多くガス冷却高速炉特有の問題として注目されてきた。

PROTEUS 炉実験は、ガス冷却高速炉用の群定数の開発を目的とし、群定数修正のための積分データの収集を行うべく実施された⁽¹⁾。実験では、中央に置かれた代表的なピン型ガス冷却高速炉心燃料領域の中心での中性子スペクトル、各種反応率比及び径方向への反応率分布が測定された。

我々は次の2つの目的でPROTEUS 炉の実験データの解析を行った。

- ① Benoist の方法⁽²⁾による中性子ストリーミング効果の評価法の検討
- ② 従来Na 冷却高速炉の解析に用いられてきたJAERI-FAST Set⁽³⁾によるガス冷却高速炉の解析上の問題点の検討

実験データとしては、中心に於ける²³⁹Pu の核分裂反応率に対する、²³⁵U、²³⁸U の核分裂反応率及び²³⁸U の捕獲反応率の各々の反応率比が選ばれた。解析は71年2月作成の25群JAERI-FAST群定数セット(一部分ABBNセット⁽⁴⁾)と、Benoist の定義する非等方拡散係数を用いた拡散理論とを用いて行った。参考として、JAERI-FAST Setを用いて解析した原型炉級Na 冷却高速炉の反応率比の実験結果との比較検討も行った。また、最近作成されたJAERI-FAST Set 改訂版を用いてPROTEUS 炉の解析を行い、従来のJAERI-FAST Set (71/2) と簡単な比較検討をした。

2 実験体系と実験値

2.1 実験体系

PROTEUS 炉は、炉心中心にて様々なスペクトルを実現できるように設定された、重水減速及び黒鉛減速の2領域零出力熱中性子炉である。今回のガス冷却高速炉心の模擬に当っては、中央に代表的なピン型ガス冷却高速炉心燃料の領域を設け(FASTゾーン、半径25cm:六角格子、ピッチ1cm、ピンの直径0.67cm)、周囲にBUFFERゾーン(Nat. UO₂, 厚さ10cm)を置き、さらにそのまわりにドライバーとして重水減速及び黒鉛減速のTHERMALゾーンを配したFAST-THERMAL 結合炉心を組んでいる⁽¹⁾。FASTゾーンの上下にはBLANKETゾーンとして、Depleted UO₂ 燃料の領域が置かれている。PROTEUS炉心の水平及び垂直断面図をFig 2に示す。FASTゾーンの寸法、BUFFERゾーンの寸法及び物質は、FASTゾーン中心のスペクトルと、FASTゾーンと同じ組成をもつガス冷却高速炉の炉心中心のスペクトルとが一致するように決められる。今回は、FASTゾーンには半径が25cmでPuO₂-UO₂燃料、BUFFERゾーンにはNatural UO₂ が用いられている。各ゾーンに用いられている燃

料の詳細についてTable 1に示す。

2.2 実験値

FASTゾーンの中心に於て、 ^{239}Pu の核分裂率(F9)に対する、 ^{235}U 、 ^{238}U の核分裂率(F5, F8)及び ^{238}U の捕獲反応率(C8)の各々の反応率比(F5/F9, F8/F9, C8/F9)が測定された。測定はいずれもFoilをFASTゾーンの燃料ペレットの間に挿入し、核分裂率の場合には核分裂生成物、 ^{238}U の捕獲反応率の場合には ^{239}Np の γ 線の強度を測定することにより反応率比が求められている。F5/F9, F8/F9の場合には、Track Recorderによる測定も行われ、Foil Activation Methodによる測定値と実験誤差の範囲内で一致することが確かめられ、平均化されている。F8/F9の場合にはPROTEUS 炉のThermal Columnに於ける反応率との比を求める形で決められる。燃料ペレット間へのFoilの挿入の詳細をFig 3に示す。得られた実験値及び測定に伴う誤差を以下に示す。

Ratio	Experimental Value
C8/F9	0.1320±0.0022
F8/F9	0.0322±0.0005
F5/F9	1.022 ±0.015

3 計算体系と計算方法

3.1 計算体系

FASTゾーン及びBLANKETゾーンのセル計算に用いた計算モデルをFig 4に示す。ピッチ1cmで六角状に配置されているセルを、半径0.525cmの等価円柱(等体積)にて近似している。FAST-THERMAL結合炉心の計算モデルとして、簡単の為、THERMALゾーンは重水減速領域のみとした(Fig 5)。THERMALゾーンは炉の臨界性を保つために置かれているものであり、炉心の最も外側にある黒鉛減速領域を重水減速領域にて置き換えても、FASTゾーン中心の中性子スペクトルに対する影響は小さいと判断した為である。FASTゾーン及びBLANKETゾーンのセルの非物質性による系の実効増倍率の変化を計算するため、FASTゾーンとBLANKETゾーンとからのみなる2領域炉心(FAST Single Zone Core)を想定した。これをFig 6に示す。

各ゾーンを構成するセルの各々の物質の原子数密度及びセル平均の原子数密度をTable 2~Table 5に示す。BUFFER及びTHERMALゾーンのセルの詳細が明らかではなかったので次のように仮定した。BUFFERゾーンは直径1.5cmのFuel Rodが六角形状にびっしりつまっているとし、Fuel Rod間はボイドとした。THERMALゾーンの燃料とモデレータ(D₂O)との体積比は1:12とした。

3.2 計算方法

FASTゾーンとBLANKETゾーンに関しては、Fig 4に示されたセルモデルにより、衝突確率法を用いて非物質性を考慮したセル計算⁽⁵⁾を行い実効的炉定数を求めた。拡散係数はBenoistの式⁽²⁾により以下の如く求めた。

料の詳細についてTable 1に示す。

2.2 実験値

FASTゾーンの中心に於て、 ^{239}Pu の核分裂率(F9)に対する、 ^{235}U 、 ^{238}U の核分裂率(F5, F8)及び ^{238}U の捕獲反応率(C8)の各々の反応率比(F5/F9, F8/F9, C8/F9)が測定された。測定はいずれもFoilをFASTゾーンの燃料ペレットの間に挿入し、核分裂率の場合には核分裂生成物、 ^{238}U の捕獲反応率の場合には ^{239}Np の γ 線の強度を測定することにより反応率比が求められている。F5/F9, F8/F9の場合には、Track Recorderによる測定も行われ、Foil Activation Methodによる測定値と実験誤差の範囲内で一致することが確かめられ、平均化されている。F8/F9の場合にはPROTEUS 炉のThermal Columnに於ける反応率との比を求める形で決められる。燃料ペレット間へのFoilの挿入の詳細をFig 3に示す。得られた実験値及び測定に伴う誤差を以下に示す。

Ratio	Experimental Value
C8/F9	0.1320 \pm 0.0022
F8/F9	0.0322 \pm 0.0005
F5/F9	1.022 \pm 0.015

3 計算体系と計算方法

3.1 計算体系

FASTゾーン及びBLANKETゾーンのセル計算に用いた計算モデルをFig 4に示す。ピッチ1cmで六角状に配置されているセルを、半径0.525cmの等価円柱(等体積)にて近似している。FAST-THERMAL結合炉心の計算モデルとして、簡単の為、THERMALゾーンは重水減速領域のみとした(Fig 5)。THERMALゾーンは炉の臨界性を保つために置かれているものであり、炉心の最も外側にある黒鉛減速領域を重水減速領域にて置き換えても、FASTゾーン中心の中性子スペクトルに対する影響は小さいと判断した為である。FASTゾーン及びBLANKETゾーンのセルの非物質性による系の実効増倍率の変化を計算するため、FASTゾーンとBLANKETゾーンとからのみなる2領域炉心(FAST Single Zone Core)を想定した。これをFig 6に示す。

各ゾーンを構成するセルの各々の物質の原子数密度及びセル平均の原子数密度をTable 2~Table 5に示す。BUFFER及びTHERMALゾーンのセルの詳細が明らかではなかったので次のように仮定した。BUFFERゾーンは直径1.5cmのFuel Rodが六角形状にびっしりつまっているとし、Fuel Rod間はボイドとした。THERMALゾーンの燃料とモデレータ(D₂O)との体積比は1:1.2とした。

3.2 計算方法

FASTゾーンとBLANKETゾーンに関しては、Fig 4に示されたセルモデルにより、衝突確率法を用いて非物質性を考慮したセル計算⁽⁵⁾を行い実効的炉定数を求めた。拡散係数はBenoistの式⁽²⁾により以下の如く求めた。

$$D_k = \frac{1}{3} \frac{\sum_i \sum_j \phi_i P_{ijk}^*}{\sum_i \phi_i} \quad (1)$$

但し, D_k : k 方向非等方拡散係数
 $k = R, Z$

ϕ_i : セル内の i 領域の積分中性子束

$$P_{ijk}^* = \frac{P_{ijk}}{\Sigma_j} \quad (2)$$

P_{ijk} : i 領域から発生した中性子が j 領域にて衝突する確率の k 方向成分

Σ_j : j 領域の輸送断面積

なお, 等方拡散係数 D_0 は R 方向拡散係数 D_R と Z 方向拡散係数 D_Z とを用いて次式の如く求める。

$$D_0 = \frac{1}{3} (2D_R + D_Z) \quad (3)$$

拡散係数以外の断面積については次式の如く求めた。

$$\Sigma_x = \frac{\sum_i \sum_m \phi_i \Sigma_{xi}^m}{\sum_i \phi_i} \quad (4)$$

但し, Σ_{xi}^m : i 領域の m 核種の x 反応断面積

BUFFERゾーン, THERMALゾーン及びGRAPHITE REFLECTORに関しては, セルの非物質性によるFASTゾーン中心スペクトルに与える効果は無視できるものとし, 均質領域として取扱うことにした。

群定数としては25群のJAERI-FAST Set (71/2)⁽³⁾を用いた。但し, 重水素についてはABBN Set⁽⁴⁾の値を用いた。熱群の定数はABBN Setの値を用い均質として計算した。

以上のようにして求めた炉定数を用い, 26群2次元拡散計算をCITATION⁽⁶⁾にて行った。(1)式にて求められた, R 方向と Z 方向とに分離された拡散係数 (D_R, D_Z)を用いて, 非等方拡散計算をModified CITATION⁽⁷⁾にて行った。

4 実験値と計算値との比較

4.1 セルの非物質性と実効増倍率

FASTゾーンとBLANKETゾーンの非物質性がどの程度系の実効増倍率 K_{eff} に影響を与えるかを検討するため, Fig 6に示されたモデルについて26群拡散計算を行った。結果を

$$D_k = \frac{1}{3} \frac{\sum_i \sum_j \phi_i P_{ijk}^*}{\sum_i \phi_i} \quad (1)$$

但し, D_k : k 方向非等方拡散係数

$$k = R, Z$$

ϕ_i : セル内の i 領域の積分中性子束

$$P_{ijk}^* = \frac{P_{ijk}}{\Sigma_j} \quad (2)$$

P_{ijk} : i 領域から発生した中性子が j 領域にて衝突する確率の k 方向成分

Σ_j : j 領域の輸送断面積

なお, 等方拡散係数 D_0 は R 方向拡散係数 D_R と Z 方向拡散係数 D_Z とを用いて次式の如く求める。

$$D_0 = \frac{1}{3} (2D_R + D_Z) \quad (3)$$

拡散係数以外の断面積については次式の如く求めた。

$$\Sigma_x = \frac{\sum_i \sum_m \phi_i \Sigma_{xi}^m}{\sum_i \phi_i} \quad (4)$$

但し, Σ_{xi}^m : i 領域の m 核種の x 反応断面積

BUFFERゾーン, THERMALゾーン及びGRAPHITE REFLECTORに関しては, セルの非物質性によるFASTゾーン中心スペクトルに与える効果は無視できるものとし, 均質領域として取扱うことにした。

群定数としては25群のJAERI-FAST Set (71/2)⁽³⁾を用いた。但し, 重水素についてはABBN Set⁽⁴⁾の値を用いた。熱群の定数はABBN Setの値を用い均質として計算した。

以上のようにして求めた炉定数を用い, 26群2次元拡散計算をCITATION⁽⁶⁾にて行った。(1)式にて求められた, R 方向と Z 方向とに分離された拡散係数 (D_R, D_Z)を用いて, 非等方拡散計算をModified CITATION⁽⁷⁾にて行った。

4 実験値と計算値との比較

4.1 セルの非物質性と実効増倍率

FASTゾーンとBLANKETゾーンの非物質性がどの程度系の実効増倍率 K_{eff} に影響を与えるかを検討するため, Fig 6に示されたモデルについて26群拡散計算を行った。結果を

Table 6に示す。セルの非物質効果には、中性子のストリーミングによる負の効果と、核分裂反応断面積の増大・吸収反応断面積の低下等による正の効果が考えられる。これらの正負の効果は打消合っていると考えられるが、今回の解析では、非等方拡散係数を用いたときの非均質効果は -0.066 ($\Delta k/k\%$)と小さな値を得た。

4.2 セルの非物質性と中心反応率化

Fig 5に示されるFAST-THERMAL結合炉心の実効増倍率をTable 7に示す。非等方拡散係数を用いた拡散理論による系の実効増倍率は 1.009 であり、ほぼ臨界とみなしてよい。

FASTゾーン中心に於ける反応率比及びC/EをTable 8に示す。均質計算と非均質計算との差は殆んどなく、中心反応率比に対する非均質効果は非常に小さいと言える。また、C8/F9の場合 (1.067 ± 0.017)を除くと実験値と計算値は実験誤差の範囲内で一致しており、C/EはF8/F9が 0.972 ± 0.016 、F5/F9が 1.006 ± 0.015 となった。

4.3 Na冷却高速炉の実験解析との比較

JAERI-FAST Set (71/2)を用いて行った、原型炉級Na冷却高速炉(板状燃料、零出力炉)の実験解析⁽⁸⁾の結果をTable 9に示す。PROTEUS炉に於ける結果と比較するとF8/F9を除いて、相互のC/Eは各々の実験誤差の範囲で一致する。F8/F9の場合でもその差はC/Eで1%以下である。

4.4 改訂JAERI FAST SetによるPROTEUS炉の反応率比

JAERI FAST Setの改訂版⁽⁹⁾によりPROTEUS炉の反応率比を解析した。但し、FASTゾーン中心での中性子スペクトルは71年2月作成のJAERI FAST Setを用いて得られたものを使っている。これをTable 10に示す。C/Eを見ると、従来のJAERI FAST Setでは数パーセントの差があったC8/F9を含めて全て実験誤差の範囲内で1になっている。

5 結 言

以上の解析の結果得られた結論を以下にまとめる。

- ① 今回の解析の対象となったガス冷却高速炉のセルモデルに対しては、中性子の軸方向ストリーミングを含めた非均質効果は非常に小さい。
- ② Na冷却高速炉に於ける反応率比のC/EとPROTEUS炉に於けるC/Eとの一致が良いことから、JAERI FAST Setはガス冷却高速炉の解析に対して妥当な結果を与えるものと推定できる。特に改訂JAERI FAST Setでは、これまでも問題とされていたC8/F9の値に対しても良い結果を与える。

今後の問題点としては、Benoistの式による拡散係数を用いた中性子の軸方向ストリーミングの解析に対する検討が必要である。最近、Benoistの式による拡散係数は、ガス冷却炉のセルモデルに対しては過小評価しているとの指摘もあり⁽¹⁰⁾、今後の検討が必要である。

Table 6に示す。セルの非物質効果には、中性子のストリーミングによる負の効果と、核分裂反応断面積の増大・吸収反応断面積の低下等による正の効果と考えられる。これらの正負の効果は打消合っていると考えられるが、今回の解析では、非等方拡散係数を用いたときの非均質効果は -0.066 ($\Delta k/k\%$)と小さな値を得た。

4.2 セルの非物質性と中心反応率化

Fig 5に示されるFAST-THERMAL結合炉心の実効増倍率をTable 7に示す。非等方拡散係数を用いた拡散理論による系の実効増倍率は 1.009 であり、ほぼ臨界とみなしてよい。

FASTゾーン中心に於ける反応率比及びC/EをTable 8に示す。均質計算と非均質計算との差は殆んどなく、中心反応率比に対する非均質効果は非常に小さいと言える。また、C8/F9の場合(1.067 ± 0.017)を除くと実験値と計算値は実験誤差の範囲内で一致しており、C/EはF8/F9が 0.972 ± 0.016 、F5/F9が 1.006 ± 0.015 となった。

4.3 Na冷却高速炉の実験解析との比較

JAERI-FAST Set (71/2)を用いて行った、原型炉級Na冷却高速炉(板状燃料、零出力炉)の実験解析⁽⁸⁾の結果をTable 9に示す。PROTEUS炉に於ける結果と比較するとF8/F9を除いて、相互のC/Eは各々の実験誤差の範囲で一致する。F8/F9の場合でもその差はC/Eで1%以下である。

4.4 改訂JAERI FAST SetによるPROTEUS炉の反応率比

JAERI FAST Setの改訂版⁽⁹⁾によりPROTEUS炉の反応率比を解析した。但し、FASTゾーン中心での中性子スペクトルは71年2月作成のJAERI FAST Setを用いて得られたものを使っている。これをTable 10に示す。C/Eを見ると、従来のJAERI FAST Setでは数パーセントの差があったC8/F9を含めて全て実験誤差の範囲内で1になっている。

5 結 言

以上の解析の結果得られた結論を以下にまとめる。

- ① 今回の解析の対象となったガス冷却高速炉のセルモデルに対しては、中性子の軸方向ストリーミングを含めた非均質効果は非常に小さい。
- ② Na冷却高速炉に於ける反応率比のC/EとPROTEUS炉に於けるC/Eとの一致が良いことから、JAERI FAST Setはガス冷却高速炉の解析に対して妥当な結果を与えるものと推定できる。特に改訂JAERI FAST Setでは、これまでも問題とされていたC8/F9の値に対しても良い結果を与える。

今後の問題点としては、Benoistの式による拡散係数を用いた中性子の軸方向ストリーミングの解析に対する検討が必要である。最近、Benoistの式による拡散係数は、ガス冷却炉のセルモデルに対しては過小評価しているとの指摘もあり¹⁰、今後の検討が必要である。

参考文献

- (1) R.Richmond et.al : Measurements of Neutron Spectrum and Reaction Rates in a Gas - Cooled Fast Reactor Lattice , EIR Report # 239 (July 1973)
- (2) P.Benoist : A General Formulation of the Diffusion Coefficient in a Heterogeneous Medium Which may Contain Cavity , AERE-Trans 842 (October 1959)
- (3) S.Katsuragi et.al : JAERI-1195 , 1199 (1970)
- (4) L.P.Abagyan et.al : Group Constants for Nuclear Reactor Calculations, Consultant Bureau , New York (1964)
- (5) 吉田, 大杉, 井原 : to be published .
- (6) T.B.Fowler et.al : Nuclear Reactor Core Analysis Code : CITATION, ORNL-TM-2496 (1969)
- (7) 角谷浩享 : 私信 (January 1974)
- (8) 猪川浩次他 : 私信 (April 1973)
- (9) S.Katsuragi et.al : to be published
- (10) P.Kohler et.al : Axial Neutron Streaming in Gas - Cooled Fast Reactors , N.S.E., 54, 357-360 (1974)

Table 1 Details of Fuel Elements

	PuO ₂ /UO ₂ Rods	Depl. UO ₂ Caps.	Nat. UO ₂ Rods	5% UO ₂ Rods
Fuel Material	PuO ₂ /UO ₂ Pellets	UO ₂ Pellets	UO ₂ Pellets	UO ₂ Pellets
Pu/(Pu+U) (w%)	15.0	-	-	-
Pu240/Pu (w%)	17.6	-	-	-
Pu241/Pu (w%)	3.0	-	-	-
U235/U (w%)	0.43	0.43	Nat.	4.98
Density (g/cm ³)	10.5	10.5	10.6	10.4
Pellet Diameter (cm)	0.670	0.670	1.3	1.016
Pellet Length (cm)	0.7	0.7	2	1.016
Capsule Can Material	Al	Al	Al	Al
Wall Thickness (cm)	0.0085	0.0085		0.01
Fuel Length in Capsule (cm)	5.6	5.6		6
Fuel Rod Can Material	18/8 Steel		Al	Al
Inner Diameter (cm)	0.74		1.34	1.1
Outer Diameter (cm)	0.82		1.50	1.22
Fuel Length in Rod (cm)	Variable		1.47	92
Total Rod Length (cm)	142		1.50	102

Table 2 Concentration of FAST Zone Cell

(atoms $\text{cm}^{-3} \times 10^{24}$)

Nuclide	Fuel Pellet $\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_2$	Capsule Can Al	Rod Can 18/8 Steel	Average of Cell
Pu 239	0.0027413			0.001116
Pu 240	0.0006043			0.000246
Pu 241	0.0001007			0.000041
U 235	0.0000860			0.000035
U 238	0.0195357			0.007953
O	0.0463793			0.018881
Al		0.079426		0.001660
Fe			0.058816	0.006658
Cr			0.016466	0.001864
Ni			0.008507	0.000963

Table 3 Concentration of BLANKET Zone Cell

(atoms $\text{cm}^{-3} \times 10^{24}$)

Nuclide	Fuel Pellet Depl UO_2	Capsule Can Al	Rod Can 18/8 Steel	Average of Cell
U 235	0.0001021			0.0000416
U 238	0.0233461			0.009504
O	0.0464274			0.01890
Al		0.079426		0.001660
Fe			0.058816	0.006658
Cr			0.016466	0.001864
Ni			0.008507	0.000963

Table 4 Concentration of BUFFER Zone Cell

(atoms $\text{cm}^{-3} \times 10^{24}$)

Nuclide	Fuel Pellet Nat. UO_2	Rod Can Al	Average of Cell
U 235	0.0001704		0.0001217
U 238	0.0235017		0.016790
O	0.046871		0.03348
Al		0.079426	0.015258

Table 5 Concentration of THERMAL Zone Cell

(atoms $\text{cm}^{-3} \times 10^{24}$)

Nuclide	Fuel Pellet 5% E. UO_2	Capsule and Rod Can, Al	Moderator D_2O	Average of Cell
U 235	0.001176			0.0000875
U 238	0.022061			0.0016411
O	0.046009		0.0332315	0.0330897
Al		0.079426		0.0018284
D			0.066463	0.059334

Table 6 K_{eff} of PROTEUS FAST Single Zone Model

		K_{eff}	$\Delta K/K$ (%)
Homo		1.004736	
Hetero	Isotropic	1.005078	0.034
	Anisotropic	1.004075	-0.066

Table 7 K_{eff} of PROTEUS FAST-THERMAL Model

		K_{eff}	$\Delta K/K$ (%)
Homo		1.009463	
Hetero	Isotropic	1.009507	0.004
	Anisotropic	1.009446	-0.002

Table 8 Comparison of Experimental and Calculated Values of Reaction Rate Ratios

	Exp	Cal	C/E
C8/F9	0.1320	Homo 0.1409	1.067 \pm 0.017
		Hetero 0.1408	1.067
F8/F9	0.0322	Homo 0.0313	0.972 \pm 0.016
		Hetero 0.0313	0.972
F5/F9	1.022	Homo 1.030	1.008 \pm 0.015
		Hetero 1.028	1.006

Table 9 Reaction Rate Ratios of Prototype LMFBR

	Exp	Cal	C/E
C8/F9	0.1424	Homo 0.1512	1.062 \pm 0.012
		Hetero 0.1499	1.053
F8/F9	0.0238	Homo 0.0252	1.060 \pm 0.012
		Hetero 0.0245	1.031
F5/F9	1.054	Homo 1.056	1.002 \pm 0.012
		Hetero 1.046	0.992

Table 10 Reaction Rate Ratios by Revised JAERI-FAST Set

	Exp	Cal	C/E
C8/F9	0.1320	0.1328	1.006 \pm 0.017
F8/F9	0.0322	0.0326	1.012 \pm 0.016
F5/F9	1.022	1.031	1.009 \pm 0.015

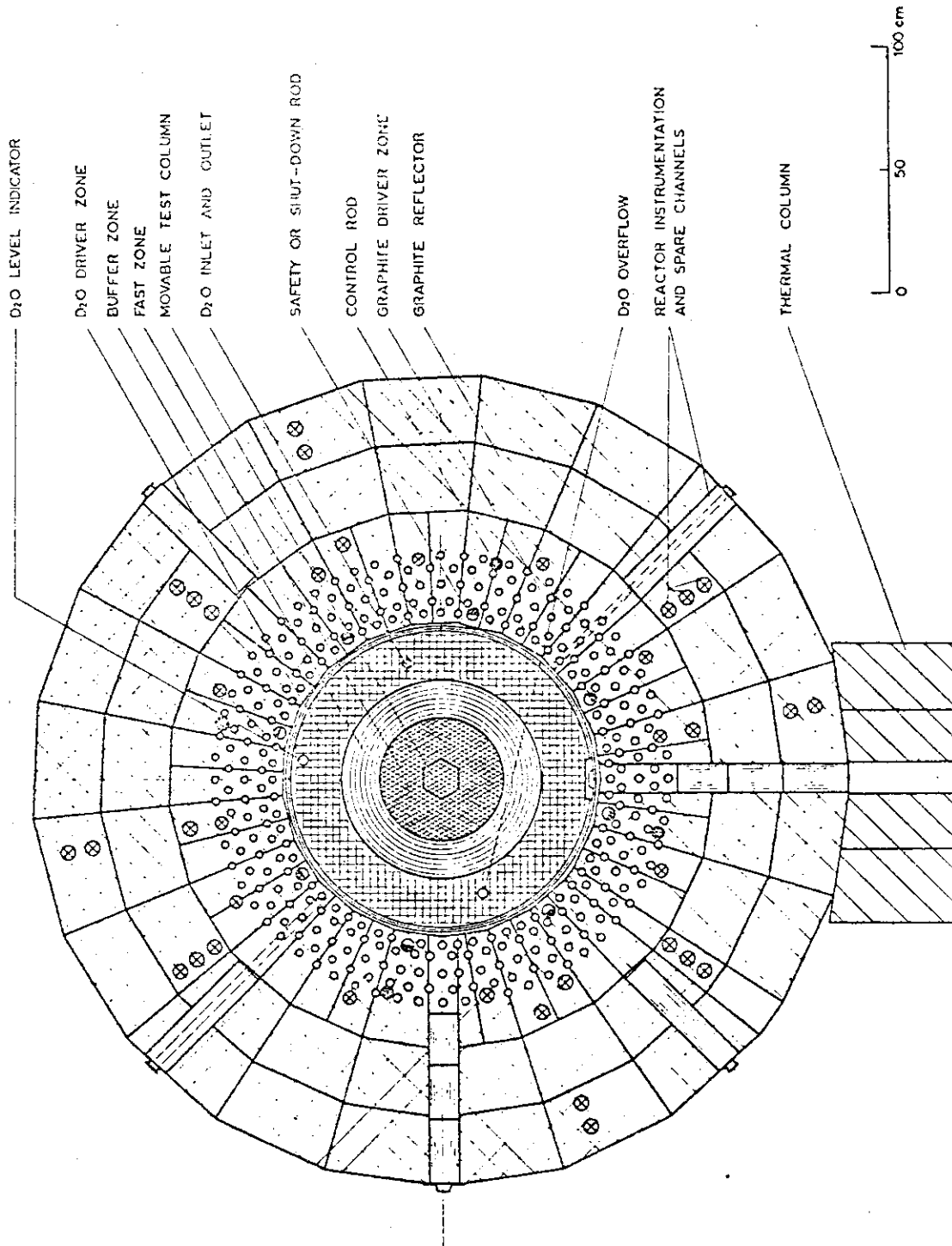


FIG. 1 HORIZONTAL SECTION THROUGH THE PROTEUS REACTOR

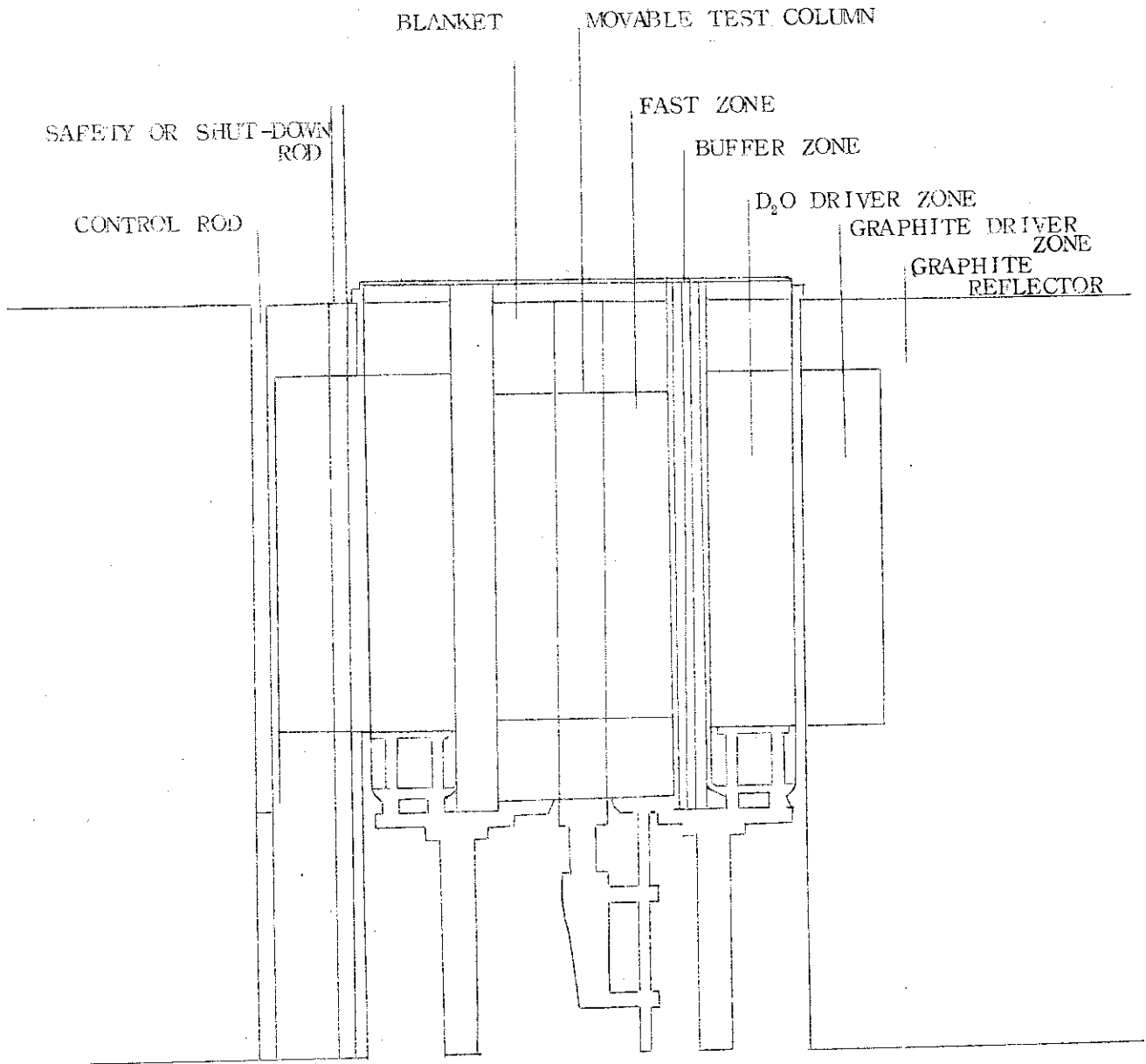


Fig. 2 Vertical Section through the PROTEUS Reactor

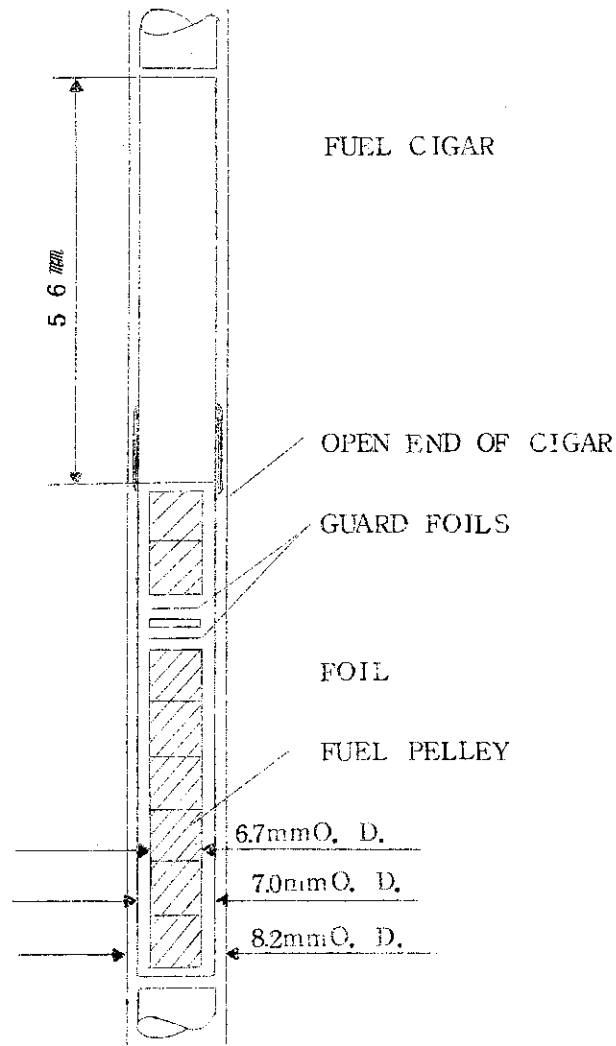


Fig. 3 Foil Mounting in Fuel Rod

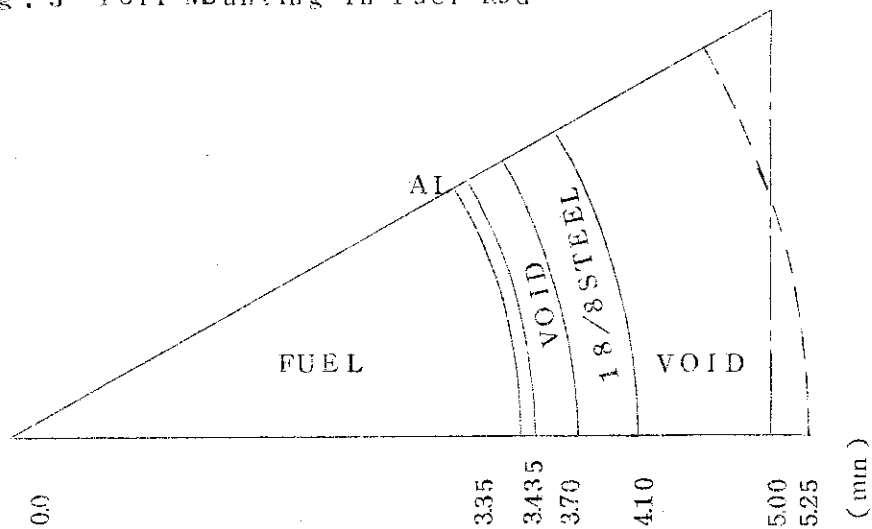


Fig. 4 FAST and BLANKET Zone Cell Model

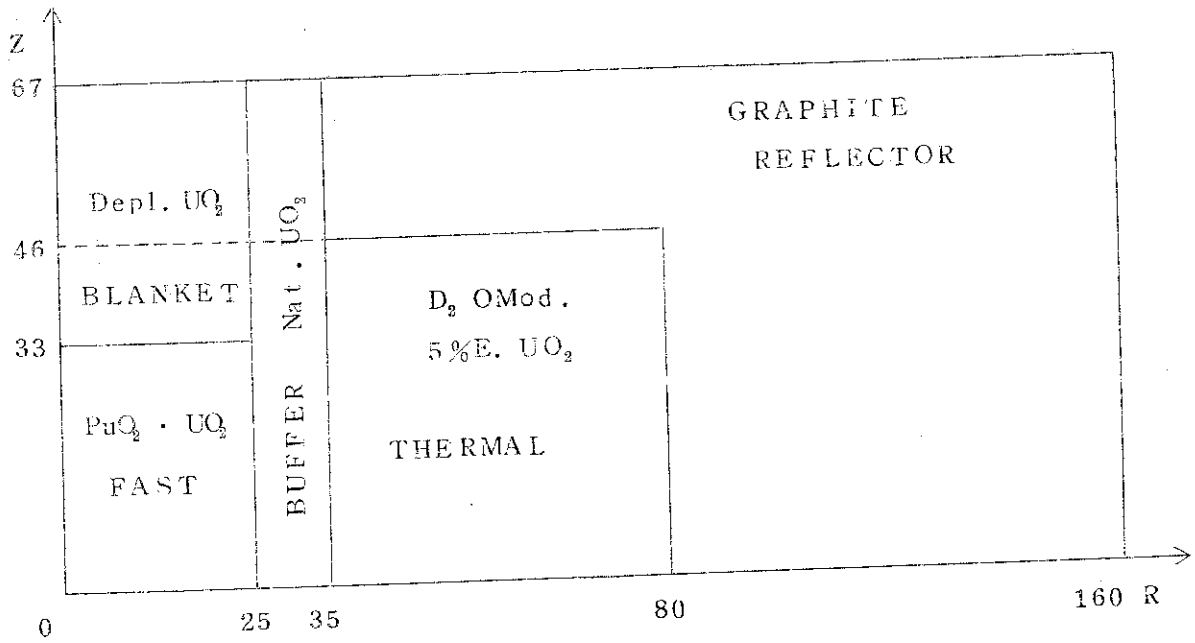


Fig. 5 Calculational Model of PROTEUS FAST-THERMAL Core (cm)

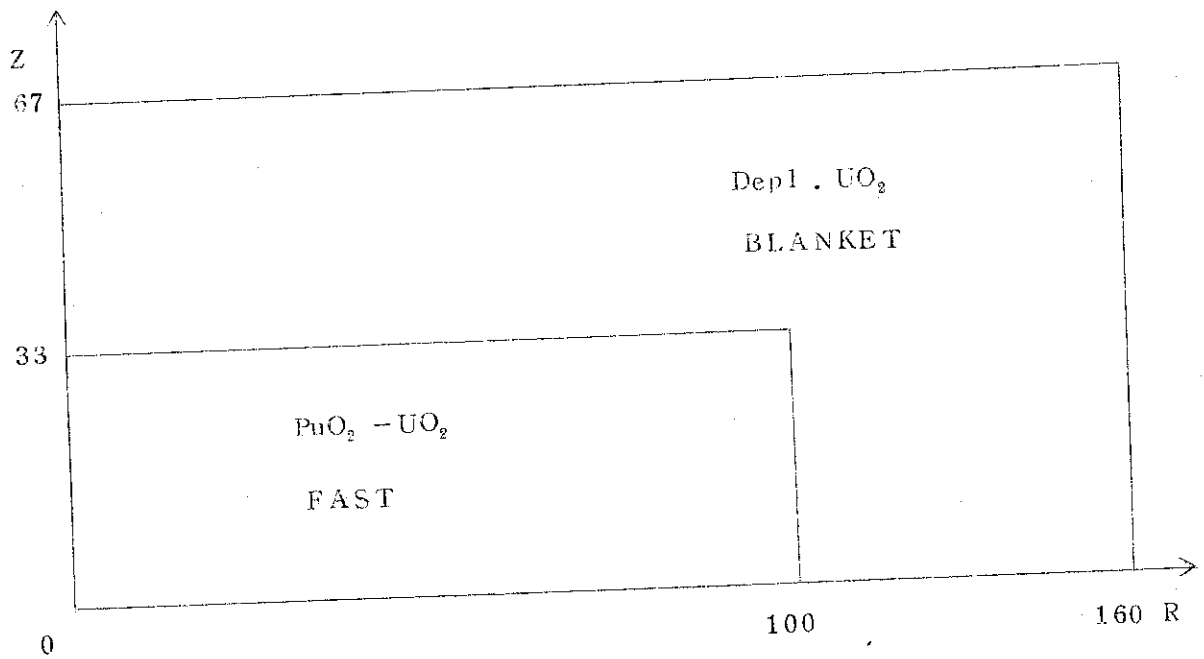


Fig. 6 Calculational Model of PROTEUS FAST Single Zone Core (cm)