

JAERI - M  
83-100

軽水減速低濃縮ウラン格子中における  
鉄反射体の反応度効果の測定

1983年7月

村上 清信・須崎 武則・広瀬 秀幸

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村 日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 原子力資料サービス

軽水減速低濃縮ウラン格子中における鉄反射体の  
反応度効果の測定

日本原子力研究所東海研究所安全工学部  
村上清信・須崎武則・広瀬秀幸

(1983年6月3日受理)

2.6 w/o  $UO_2$  燃料棒と水の正方格子から成る矩形炉心の近傍に鉄反射体が存在するような体系において、鉄反射体の厚さが変化した場合、あるいは、炉心と鉄反射体間の距離が変化した場合に、鉄反射体が炉心に与える反応度効果を調べるために、軽水臨界実験装置(TCA)を用いて臨界実験を行った。実験では、水対燃料体積比が3.0および1.5の格子炉心について、鉄反射体の厚さを0~60 mmまで変化させた場合、および炉心と鉄反射体間の距離を0~120 mmまで変化させた場合について臨界水位を測定した。水対燃料体積比が1.5の場合については、鉄反射体と炉心の間境界に挿入した固定吸収体の効果についても測定した。

鉄反射体の厚さを増加させた場合の臨界水位は、鉄反射体の厚さが15 mmまでは、鉄反射体の厚さの増加に伴って上昇した。すなわち反応度効果が負であることを示した。さらに鉄反射体の厚さを増加させると、臨界水位は単調に低下した。

鉄反射体と炉心の間境界に固定吸収体がある場合について、鉄反射体の厚さを増加させた場合の臨界水位は、鉄反射体の厚さの増加に伴って単調に低下した。

鉄反射体の反応度効果は、炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合、約3 cm (1.5 格子ピッチ) 離れた所で最大値を示し、かつまたこの臨界水位は、水反射体だけの場合の値よりも低く、鉄板が水よりも大きな反応度効果を持つ反射体であることが明らかとなった。

Measurement of reactivity effect for iron plate reflector  
in light-water moderated low enriched UO<sub>2</sub> lattices

Kiyonobu MURAKAMI, Takenori SUZAKI  
and Hideyuki HIROSE

Department of Nuclear Safety Research,  
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 3, 1983)

Critical experiments were performed by using the Tank-type Critical Assembly (TCA) to evaluate the reactivity effect of a system existing an iron plate reflector close to a light-water moderated rectangular fuel lattices, which consisted of 2.6 w/o UO<sub>2</sub> fuel rods. Thickness of the iron plate reflector and distance between the iron reflector and core was changed parametrically. In the experiment, critical water levels were obtained in case of changing the thickness of the iron reflector from 0 to 60 mm, and the distance between the core and the iron reflector from 0 to 120 mm for the lattice of water to fuel volume ratio was 3.0 and 1.5. And the reactivity effect of a cadmium neutron absorber plate inserted between the core and the iron reflector was measured for a lattice of which volume ratio was 1.5.

The critical water level increased to the change of the thickness of iron reflector from 0 to 15 mm, however, the water level decreased monotonously for the thickness larger than 15 mm.

The reactivity effect of iron reflector was increased monotonously depending on the increment of the thickness, when a cadmium neutron absorber plate was located between the lattice and the iron reflector.

The maximum reactivity effect was obtained when the distance between the lattice surface to the iron reflector was 3 cm, and the reactivity effect was larger than that of water reflector.

Keywords: Reactivity Effect, Fuel Rod, Light-water Lattice, Iron Reflector, Critical Experiment, Neutron Absorber Plate, Low Enriched Fuel, UO<sub>2</sub>, Thickness, Distance.

## 目 次

1. 序 .....	1
2. 実験装置 .....	1
2.1 軽水臨界実験装置 .....	1
2.2 燃料棒 .....	2
2.3 鉄反射体 .....	2
2.4 Cd 吸収板 .....	2
2.5 炉心の構成 .....	2
3. 測定方法および結果 .....	3
3.1 測定方法 .....	3
3.2 測定結果 .....	3
3.2.1 水対燃料体積比 3.0 炉心 .....	3
3.2.2 水対燃料体積比 1.5 炉心 .....	4
3.3 中性子束分布 .....	4
4. 結 論 .....	5
謝 辞 .....	5
参考文献 .....	5

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental facility .....	1
2.1 Light-water moderated critical assembly .....	1
2.2 Fuel rods .....	2
2.3 Iron reflector .....	2
2.4 Cadmium absorber plate .....	2
2.5 Core construction .....	2
3. Experiment .....	3
3.1 Methods for reactivity and flux distribution measurements .....	3
3.2 Experimental results .....	3
3.2.1 Core with water to fuel volume ratio of 3.0 .....	3
3.2.2 Core with water to fuel volume ratio of 1.5 .....	4
3.3 Neutron flux distributions .....	4
4. Conclusion .....	5
Acknowledgements .....	5
Reference .....	5

## 1. 序

使用済燃料集合体の輸送容器や貯蔵施設においては、遮蔽材や構造材として大量の鋼材が使用されている。これらの鉄材が中性子反射体として、その内部の燃料集合体領域に対してどのような反応度効果を与えるかを調べることは、臨界安全上きわめて重要である。また、これらの燃料輸送、貯蔵にかかわる容量あるいは密度を増すため、各種の固定吸収体の使用が試みられつつあり、固定吸収体の反応度効果を正確に知る必要がある。特に、燃料領域と鉄反射体の間の境界に置かれた固定吸収体の反応度効果は、鉄反射体厚さ、燃料領域からの距離等により複雑に変化することが予想される。さらに、このような体系に関する計算手法としては、鉄反射体の速い中性子に対する共鳴散乱の効果精度良く取扱う必要があるため、通常の軽水減速体系で用いられる少数群組分け拡散近似に基づく計算では、精度が不十分である可能性がある。

以上のような問題点について検討するためのベンチマークデータを得るため、軽水臨界実験装置(TCA)を用いて臨界実験を行った。実験は、炉心タンクの中央部に、濃縮度2.6 w/oUO<sub>2</sub>燃料棒を格子状に配列した炉心を構成し、その外側に鉄反射体を配置した体系を作り、鉄反射体の厚さを変えた場合、および炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合について、臨界水位を測定した。実験は、水対燃料体積比3.0および1.5の格子体系について行った。鉄反射体の厚さは、0~60 mmまで変えた。水対燃料体積比が1.5の炉心については、鉄反射体と炉心の間の境界に固定吸収体(厚さ0.5 mmのCd板)がある場合についても臨界水位を測定した。これらの測定した臨界水位と、鉄反射体の無い軽水反射体(厚さ60 cm以上)の場合の臨界水位の差を求め、以前の実験から得られている微分水位反応度を用いて反応度に換算し、鉄反射体の厚さおよび炉心と鉄反射体間の距離をパラメータとして整理し、図示した。

水対燃料体積比が1.5の炉心における金の放射化率分布を、鉄反射体の無い軽水反射の場合、厚さ60 mmの鉄反射体がある場合、固定吸収体と軽水反射体がある場合、および固定吸収体と厚さ60 mmの鉄反射体がある場合について測定した。

## 2. 実験装置

### 2.1 軽水臨界実験装置(TCA)

TCAは軽水減速低濃縮UO<sub>2</sub>およびPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料格子の炉物理特性を測定するための臨界実験装置である。炉心は上部開放型の直径1.8 m高さ2.1 mの円筒状ステンレススチール製タンクの中央部に構成される。燃料棒は上方から挿入され、上下2枚の燃料格子板によって固定される。この格子板は実験の種類によって交換することが出来る構造になっており、単純な炉心から複雑な動力炉の模擬炉心まで広範囲な実験が行えるように設計されている。反応度の制御は炉

## 1. 序

使用済燃料集合体の輸送容器や貯蔵施設においては、遮蔽材や構造材として大量の鋼材が使用されている。これらの鉄材が中性子反射体として、その内部の燃料集合体領域に対してどのような反応度効果を与えるかを調べることは、臨界安全上きわめて重要である。また、これらの燃料輸送、貯蔵にかかわる容量あるいは密度を増すため、各種の固定吸収体の使用が試みられつつあり、固定吸収体の反応度効果を正確に知る必要がある。特に、燃料領域と鉄反射体の間の境界に置かれた固定吸収体の反応度効果は、鉄反射体厚さ、燃料領域からの距離等により複雑に変化することが予想される。さらに、このような体系に関する計算手法としては、鉄反射体の速い中性子に対する共鳴散乱の効果精度良く取扱う必要があるため、通常の軽水減速体系で用いられる少数群組分け拡散近似に基づく計算では、精度が不十分である可能性がある。

以上のような問題点について検討するためのベンチマークデータを得るため、軽水臨界実験装置(TCA)を用いて臨界実験を行った。実験は、炉心タンクの中央部に、濃縮度2.6 w/oUO<sub>2</sub>燃料棒を格子状に配列した炉心を構成し、その外側に鉄反射体を配置した体系を作り、鉄反射体の厚さを変えた場合、および炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合について、臨界水位を測定した。実験は、水対燃料体積比3.0および1.5の格子体系について行った。鉄反射体の厚さは、0~60 mmまで変えた。水対燃料体積比が1.5の炉心については、鉄反射体と炉心の間の境界に固定吸収体(厚さ0.5 mmのCd板)がある場合についても臨界水位を測定した。これらの測定した臨界水位と、鉄反射体の無い軽水反射体(厚さ60 cm以上)の場合の臨界水位の差を求め、以前の実験から得られている微分水位反応度を用いて反応度に換算し、鉄反射体の厚さおよび炉心と鉄反射体間の距離をパラメータとして整理し、図示した。

水対燃料体積比が1.5の炉心における金の放射化率分布を、鉄反射体の無い軽水反射の場合、厚さ60 mmの鉄反射体がある場合、固定吸収体と軽水反射体がある場合、および固定吸収体と厚さ60 mmの鉄反射体がある場合について測定した。

## 2. 実験装置

### 2.1 軽水臨界実験装置(TCA)

TCAは軽水減速低濃縮UO<sub>2</sub>およびPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料格子の炉物理特性を測定するための臨界実験装置である。炉心は上部開放型の直径1.8 m高さ2.1 mの円筒状ステンレススチール製タンクの中央部に構成される。燃料棒は上方から挿入され、上下2枚の燃料格子板によって固定される。この格子板は実験の種類によって交換することが出来る構造になっており、単純な炉心から複雑な動力炉の模擬炉心まで広範囲な実験が行えるように設計されている。反応度の制御は炉



心タンクの水位を制御することによって行われる。

## 2.2 燃料棒

実験に使用した燃料棒は、 $^{235}\text{U}$ 濃縮度 2.6 w/o、ペレット直径 12.5 mm、ペレット密度 10.4 g/cm<sup>3</sup>、燃料有効部長 1441.5 mmで、被覆管はアルミニウムである。燃料棒の詳細を Fig. 1 に示す。

## 2.3 鉄反射体

鉄反射体としては、厚さ 3.2 mm の鋼板 2 枚、厚さ 6 mm の鋼板 20 枚を使用した。鋼板の大きさは、巾 375 mm、長さ 1645 mm で、材質は一般構造用鋼材 (JIS-G 3101, SS-41) である。鋼板の分析値を Table 1 に示す。鉄反射体の厚さは、鋼板の組合せと枚数を変えることにより行った。鋼板の締付は、鋼板の下端より 51 cm、102 cm、161 cm の 3 ケ所で行った。鋼板の枚数により鉄反射体の厚さを変えたために、鋼板と鋼板の間に水の層が出来た。この水の層の平均厚さは、次のようにして求めた。鉄反射体を構成した状態で、反射体厚さを 6 ケ所についてマイクロメーターで測定した。その平均値から鋼板のみの厚さを差し引き、全水層の厚さを求めた。この結果、1 水層当りの平均値は  $0.15 \pm 0.06$  mm であった。

## 2.4 固定吸収体

固定吸収体としては、厚さ 0.5 mm、巾 375 mm、長さ 1000 mm のカドミウム板 2 枚を用い、鋼板表面に張り付けて使用した。固定吸収体みの場合は、厚さ 3 mm のアクリル板に張り付けて使用した。軽水をアクリル板で置換することによる反応度効果は、次の理由から十分に小さい。アクリル板のみが炉心と水反射体の境界にある場合と、無い場合について臨界水位を測定したところ、約 2 mm の差があり、アクリル板が約 3 $\phi$  の正の反応度効果を与えることがわかった。これは、アクリルの水素原子密度が水の約 85% であり、熱中性子の吸収が少ないためであると考えられる。今回の実験では、アクリル板は固定吸収体の外側にあり、アクリル板中の熱中性子束は十分低いため、水との置換による反応度効果は無視出来る。

## 2.5 炉心の構成

炉心タンクの中央部に、燃料格子間隔 22.93 mm (水対燃料体積比 : 3.0) の場合は 15 $\times$ 15、燃料格子間隔 18.49 mm (水対燃料体積比 : 1.5) の場合は 19 $\times$ 23 の矩形平断面炉心を構成した。鉄反射体は、炉心の相対する 2 側面に設置した。実験体系の平面図を Fig. 2, 3 にそれぞれ示す。炉心と鉄反射体間の距離を変える実験では、Fig. 2 および 3 に示した体系において、片側の鉄反射体を除いた体系である。炉心の垂直方向断面を Fig. 4 に示す。実験を行った炉心の臨界水位は、燃料有効部上端よりも低い範囲であった。したがって、炉心の上部は水の無いドライ

格子であり、炉心の下部には約30 cm、水平方向には50 cm以上の水反射体がある。実験中における水温の変化は、11.8～15.8℃の範囲であった。

### 3. 測定方法および結果

#### 3.1 測定方法

臨界水位は、原子炉出力が数ワットで一定レベルを保つ様に炉心タンク内水位の調整を行い、その時の水位を最小目盛が0.2 mmのサーボ・マノメーターにより測定した。鉄反射体の厚さや、炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合のある基準炉心に対する臨界水位の変化を、以下に示す式を用いて反応度に換算した。

$$\rho = -\frac{C}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{1}{H_0 + \lambda} \right)^2 - \left( \frac{1}{H_1 + \lambda} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $\rho$  : 反応度 (cent)

$H_0$  : 基準炉心の臨界水位 (cm)

$H_1$  : 鉄反射体の厚さや、炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合の臨界水位 (cm)

$\lambda$  : 垂直方向の反射体節約 (cm)

$C$  : 比例定数 (cent・cm<sup>2</sup>)

比例定数および垂直方向の反射体節約は、以前に行った水位と炉周期および出力分布の測定結果<sup>1)</sup>から、燃料格子間隔22.93 mmについて  $(7.48 \pm 0.06) \times 10^6$  cent・cm<sup>2</sup> および  $11.1 \pm 0.5$  cm、燃料格子間隔18.49 mmについて  $(7.57 \pm 0.11) \times 10^6$  cent・cm<sup>2</sup> および  $12.6 \pm 0.3$  cm とそれぞれ得られている。

中性子束分布は、炉心と鉄反射体を横切る方向に、直径0.5 mmの金線を2本（1本は裸、他の1本は肉厚0.5 mm、内径1 mmのカドミウムパイプの中を通してある）張り、一定の炉出力で照射した後、金線を炉心から取り出し、その放射化分布を測定することにより求めた。金線の測定では、燃料格子、鉄反射体、固定吸収体および水反射体等による中性子束分布の変化を考慮し、金線を適当な長さのセグメントに切断した後、 $r$ 線を計測した。 $r$ 線の測定には、直径3インチ、長さ3インチのウエルタイプのNaI (Tl) シンチレーション検出器を用い、エネルギーが0.3 MeV以上の $r$ 線を計測した。計測値には、減衰時間、計測時間、バックグランドおよび重量の補正を行った。測定系のブロック図をFig. 5に示す。

#### 3.2 測定結果

##### 3.2.1 水対燃料体積比3.0炉心

水対燃料体積比が3.0の炉心において、鉄反射体の厚さを変えた実験、および炉心と鉄反射体間の距離を変えた実験の一覧をTable 2に示す。鉄反射体の厚さを変えたことによる反応度変

格子であり、炉心の下部には約30 cm、水平方向には50 cm以上の水反射体がある。実験中における水温の変化は、11.8～15.8℃の範囲であった。

### 3. 測定方法および結果

#### 3.1 測定方法

臨界水位は、原子炉出力が数ワットで一定レベルを保つ様に炉心タンク内水位の調整を行い、その時の水位を最小目盛が0.2 mmのサーボ・マノメーターにより測定した。鉄反射体の厚さや、炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合のある基準炉心に対する臨界水位の変化を、以下に示す式を用いて反応度に換算した。

$$\rho = -\frac{C}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{1}{H_0 + \lambda} \right)^2 - \left( \frac{1}{H_1 + \lambda} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $\rho$  : 反応度 (cent)

$H_0$  : 基準炉心の臨界水位 (cm)

$H_1$  : 鉄反射体の厚さや、炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合の臨界水位 (cm)

$\lambda$  : 垂直方向の反射体節約 (cm)

$C$  : 比例定数 (cent・cm<sup>2</sup>)

比例定数および垂直方向の反射体節約は、以前に行った水位と炉周期および出力分布の測定結果<sup>1)</sup>から、燃料格子間隔22.93 mmについて  $(7.48 \pm 0.06) \times 10^6$  cent・cm<sup>2</sup> および  $11.1 \pm 0.5$  cm、燃料格子間隔18.49 mmについて  $(7.57 \pm 0.11) \times 10^6$  cent・cm<sup>2</sup> および  $12.6 \pm 0.3$  cm とそれぞれ得られている。

中性子束分布は、炉心と鉄反射体を横切る方向に、直径0.5 mmの金線を2本（1本は裸、他の1本は肉厚0.5 mm、内径1 mmのカドミウムパイプの中を通してある）張り、一定の炉出力で照射した後、金線を炉心から取り出し、その放射化分布を測定することにより求めた。金線の測定では、燃料格子、鉄反射体、固定吸収体および水反射体等による中性子束分布の変化を考慮し、金線を適当な長さのセグメントに切断した後、 $r$ 線を計測した。 $r$ 線の測定には、直径3インチ、長さ3インチのウエルタイプのNaI(Tl)シンチレーション検出器を用い、エネルギーが0.3 MeV以上の $r$ 線を計測した。計測値には、減衰時間、計測時間、バックグランドおよび重量の補正を行った。測定系のブロック図をFig. 5に示す。

#### 3.2 測定結果

##### 3.2.1 水対燃料体積比3.0炉心

水対燃料体積比が3.0の炉心において、鉄反射体の厚さを変えた実験、および炉心と鉄反射体間の距離を変えた実験の一覧をTable 2に示す。鉄反射体の厚さを変えたことによる反応度変

化を Fig. 6 に示す。鉄反射体の厚さが増加すると負の反応度が加わり、厚さが 13.5 mm のとき最大の負の反応度効果を与え、それ以上厚さが増加すると負の反応度は減少することがわかる。

炉心と厚さ 60 mm の鉄反射体間の距離を変えた場合の反応度変化を Fig. 7 に示す。鉄反射体が炉心の近くにあるときは、負の反応度効果を与えるが、炉心から離れるにつれ正の反応度効果を与え、距離が約 30 mm のとき最大値を示し、さらに離れると正の反応度効果は減少する。

### 3.2.2 水対燃料体積比 1.5 炉心

水対燃料体積比が 1.5 の炉心において、鉄反射体の厚さを変えた実験、および炉心と鉄反射体間の距離を変えた実験の一覧を Table 3 に示す。鉄反射体の厚さを変えたことによる反応度変化を Fig. 8 に示す。この図から、鉄反射体だけの場合は、鉄反射体の厚さが増加すると負の反応度が加わり、厚さが 15 mm のとき最大の負の反応度効果を与え、それ以上に厚さが増加すると負の反応度効果は減少する。一方、鉄反射体と炉心の間の境界に固定吸収体がある場合には、鉄反射体の厚さの増加とともに、固定吸収体の負の反応度効果は減少する。すなわち、このような配置における鉄反射体は、正の反応度効果を与え、鉄反射体の厚さとともに増加する。

炉心と鉄反射体間の距離を変えた場合の反応度変化を Fig. 9 に示す。この図から、厚さ 60 mm の鉄反射体の場合、鉄反射体が炉心の近くにあるときには、負の反応度効果を与えるが、炉心から離れるにつれ正の反応度効果を与え、距離が約 37 mm のときに最大値を示し、さらに遠ざかると正の反応度効果は減少し、約 90 mm 離れると効果は無視出来る。厚さが 18 mm の鉄反射体、炉心側表面に固定吸収体を付した厚さ 60 mm の鉄反射体、および固定吸収体のみの場合には、炉心から離れるにつれて負の反応度効果は小さくなるだけで、正の反応度効果は与えない。

### 3.3 中性子束分布

測定の結果得られたエピカドミウムおよびサブカドミウム中性子束の値を Table 4～7 に示す。表中の測定値のうち境界から十分離れた炉心中の値について、最少二乗法により余弦関数にフィッティングした後、炉心中心での値を 1.0 に規格化した分布をエピカドミウムおよびサブカドミウム中性子束について Fig. 10 および 11 に示す。エピカドミウム中性子束分布を見ると、鉄反射体による分布の変化は、炉心内ではほとんど見られないが、鉄反射体の外の水反射体中において、最大約 60% 程度のもち上がりが見られる。固定吸収体による炉心内の分布の変化は、鉄反射体がある場合にはほとんど見られず、鉄反射体が無い場合には固定吸収体から炉心中央部付近まで分布の大きな低下が見られる。

一方、サブカドミウム中性子束分布を見ると、鉄反射体がある場合、リフレクターピークの位置が鉄反射体の外側、約 30 mm の水反射体中に移っており、ピークの値は約 40% 程度に低くなっている。また、鉄反射体中の分布の値は、非常に小さい。固定吸収体による分布の変化は、鉄反射体が無い場合には固定吸収体位置での分布の落込みが大きく、それが炉心内に及んでいる。水反射体中でのリフレクターピークの位置はほとんど変わらないが、ピークの値は約 60% 程度に低くなっている。鉄反射体がある場合、鉄反射体中の分布は、固定吸収体の近くでほとんど 0 となり、水反射体からの流れ込みによる分布となっている。

## 4. 結 論

今回の実験結果から、下記の結論を得た。

- (1) 炉心の外側に鉄反射体がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は鉄反射体の厚さの増加と共に負の反応度効果を与え、厚さが約14mmのところでは最大値を示し、さらに厚さが増加すると負の反応度効果は減少した。
- (2) 鉄反射体と炉心との境界に固定吸収体（0.5 mm厚Cd板）がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、鉄反射体の厚さの増加と共に正の反応度効果を与え、固定吸収体の負の反応度効果を著しく減少させる。
- (3) 鉄反射体を炉心から遠ざけた場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、負から正に変わり、約30mm離れたところで最大値を示し、さらに遠ざけると正の反応度効果は減少する。

## 謝 辞

この実験の計画および実施にあたり、有意義な御指導、御鞭達をいただきました臨界安全研究室室長小林岩夫氏、およびTCAの運転にあたり、種々御協力下さいましたTCAグループ新田一雄、青木功、三好慶典の諸氏に深く感謝いたします。

鋼板中の不純物の分析にあたり、種々御協力下さいました動力試験炉部技術課畠山睦夫、鎌田崇および原子炉化学部分析センター室長代理星野昭および同センター伊藤光雄の諸氏に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) TSURUTA, H. et al. : Critical sizes on light-water moderated  $\text{UO}_2$  and  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  lattices, JAERI-1254 (1978)

## 4. 結 論

今回の実験結果から、下記の結論を得た。

- (1) 炉心の外側に鉄反射体がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は鉄反射体の厚さの増加と共に負の反応度効果を与え、厚さが約14mmのところでは最大値を示し、さらに厚さが増加すると負の反応度効果は減少した。
- (2) 鉄反射体と炉心との境界に固定吸収体（0.5 mm厚Cd板）がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、鉄反射体の厚さの増加と共に正の反応度効果を与え、固定吸収体の負の反応度効果を著しく減少させる。
- (3) 鉄反射体を炉心から遠ざけた場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、負から正に変わり、約30mm離れたところで最大値を示し、さらに遠ざけると正の反応度効果は減少する。

## 謝 辞

この実験の計画および実施にあたり、有意義な御指導、御鞭達をいただきました臨界安全研究室室長小林岩夫氏、およびTCAの運転にあたり、種々御協力下さいましたTCAグループ新田一雄、青木功、三好慶典の諸氏に深く感謝いたします。

鋼板中の不純物の分析にあたり、種々御協力下さいました動力試験炉部技術課畠山睦夫、鎌田崇および原子炉化学部分析センター室長代理星野昭および同センター伊藤光雄の諸氏に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) TSURUTA, H. et al. : Critical sizes on light-water moderated  $UO_2$  and  $PuO_2-UO_2$  lattices, JAERI-1254 (1978)

## 4. 結 論

今回の実験結果から、下記の結論を得た。

- (1) 炉心の外側に鉄反射体がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は鉄反射体の厚さの増加と共に負の反応度効果を与え、厚さが約14mmのところでは最大値を示し、さらに厚さが増加すると負の反応度効果は減少した。
- (2) 鉄反射体と炉心の間の境界に固定吸収体（0.5 mm厚Cd板）がある場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、鉄反射体の厚さの増加と共に正の反応度効果を与え、固定吸収体の負の反応度効果を著しく減少させる。
- (3) 鉄反射体を炉心から遠ざけた場合、鉄反射体の炉心に与える反応度効果は、負から正に変わり、約30mm離れたところで最大値を示し、さらに遠ざけると正の反応度効果は減少する。

## 謝 辞

この実験の計画および実施にあたり、有意義な御指導、御鞭達をいただきました臨界安全研究室室長小林岩夫氏、およびTCAの運転にあたり、種々御協力下さいましたTCAグループ新田一雄、青木功、三好慶典の諸氏に深く感謝いたします。

鋼板中の不純物の分析にあたり、種々御協力下さいました動力試験炉部技術課畠山睦夫、鎌田崇および原子炉化学部分析センター室長代理星野昭および同センター伊藤光雄の諸氏に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) TSURUTA, H. et al. : Critical sizes on light-water moderated  $\text{UO}_2$  and  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$  lattices, JAERI-1254 (1978)

Table 1 Impurities in steel reflector

Component	Concentration (w/o)	
	3.2mm <sup>t</sup> steel	6.0mm <sup>t</sup> steel
C	0.039	0.058
Mn	0.25	0.25
Ni	0.03	0.01
Cr	0.04	0.02
Cu	0.05	0.01
Mo	0.02	0.01
Al	0.01	0.01
Si	0.01	0.01



Table 2 List of experimental core (V.R.=3.0)

Run no.	Date	Reflector	Water gap (mm)	Critical water level (mm)	Reactivity ( $\rho$ )	Note
6725	Dec.10, '80	Fe 60mm x 2	0	1011.4	- 58.1	Standard core
6726	Dec.10, '80	Fe 48mm x 2	0	1081.3	- 91.9	
6728	Dec.10, '80	Fe 30mm x 2	0	1244.5	-154.8	
6729	Dec.10, '80	Fe 18mm x 2	0	1371.1	-184.8	
6730	Dec.10, '80		0	915.4	0	
6732	Dec.11, '80	Fe 6mm x 2	0	1266.6	-157.9	
6733	Dec.11, '80	Fe 12mm x 2	0	1388.7	-188.7	
6734	Dec.11, '80	Fe 24mm x 2	0	1316.6	-171.5	
6735	Dec.11, '80	Fe 36mm x 2	0	1177.9	-129.9	
6737	Dec.19, '80	Fe 3mm x 2	0	1138.2	-115.4	
6738	Dec.19, '80	Fe 9mm x 2	0	1352.5	-180.4	
6739	Dec.19, '80	Fe 15mm x 2	0	1384.8	-187.9	
6746	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	0	960.2	- 29.1	
6747	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	22.93	887.5	20.2	
6748	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	45.86	889.1	18.9	
6749	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	68.79	902.5	9.1	
6750	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	91.72	906.2	6.5	
6751	Dec.24, '80	Fe 60mm x 1	114.65	908.0	5.2	

Table 3 List of experimental core (V.R.=1.5)

Run no.	Date	Reflector	Water gap (mm)	Critical water level (mm)	Reactivity ( $\rho$ )	Note
6769	Apr. 21, '81		0	629.1	0	Standard core
6770	Apr. 21, '81	Fe 6mm x 2	1	697.3	-104.8	
6771	Apr. 21, '81	Fe 12mm x 2	1	716.1	-129.4	
6772	Apr. 21, '81	Fe 18mm x 2	1	716.4	-129.7	
6773	Apr. 21, '81	Fe 30mm x 2	1	700.8	-109.5	
6774	Apr. 21, '81	Fe 42mm x 2	1	683.3	- 85.3	
6776	Apr. 22, '81	Fe 54mm x 2	1	667.7	- 62.4	
6777	Apr. 22, '81	Fe 60mm x 2	1	660.8	- 51.8	
6778	Apr. 22, '81	Fe 48mm x 2	1	675.1	- 73.4	
6779	Apr. 22, '81	Fe 36mm x 2	1	692.2	- 97.8	
6780	Apr. 22, '81	Fe 24mm x 2	1	710.2	-121.9	
6781	Apr. 22, '81	Fe 3mm x 2	1	677.8	- 77.4	
6783	Apr. 23, '81	Fe 9mm x 2	1	713.1	-125.6	
6784	Apr. 23, '81	Fe 15mm x 2	1	719.3	-133.4	
6787	Apr. 28, '81	Cd 0.5mm x 2	0.5	953.6	-338.1	
6788	Apr. 28, '81	Cd+Fe 3mm x 2	0.5	908.5	-309.2	
6789	Apr. 28, '81	Cd+Fe 9mm x 2	0.5	862.9	-275.9	
6791	Apr. 29, '81	Cd+Fe 15mm x 2	0.5	828.3	-247.4	
6793	Apr. 29, '81	Cd+Fe 6mm x 2	0.5	885.7	-293.1	
6794	Apr. 29, '81	Cd+Fe 18mm x 2	0.5	815.2	-235.7	
6795	Apr. 29, '81	Cd+Fe 30mm x 2	0.5	770.6	-192.2	
6796	Apr. 29, '81	Cd+Fe 42mm x 2	0.5	742.1	-160.8	
6798	Apr. 30, '81	Cd+Fe 54mm x 2	0.5	720.5	-134.9	
6799	Apr. 30, '81	Cd+Fe 60mm x 2	0.5	711.4	-123.4	
6800	Apr. 30, '81	Cd+Fe 48mm x 2	0.5	729.3	-145.7	
6801	Apr. 30, '81	Cd+Fe 36mm x 2	0.5	754.9	-175.3	
6802	Apr. 30, '81	Cd+Fe 24mm x 2	0.5	791.8	-213.6	
6803	Apr. 30, '81	Cd+Fe 12mm x 2	0.5	849.6	-265.2	
6804	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	0.5	660.7	- 57.9	
6805	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	18.99	632.4	- 11.4	
6806	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	37.48	625.4	0.8	
6807	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	55.97	622.5	6.0	
6808	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	74.46	623.5	4.2	
6809	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	92.95	624.2	3.0	
6810	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	111.44	625.7	0.4	
6811	May 7, '81	Cd+Fe 60mm x 1	129.93	625.7	0.4	
6813	May 12, '81	Fe 60mm x 1	130.43	624.5	2.5	
6814	May 12, '81	Fe 60mm x 1	111.94	623.7	3.8	
6816	May 12, '81	Fe 60mm x 1	93.45	623.7	3.9	
6817	May 12, '81	Fe 60mm x 1	74.96	622.7	5.6	
6818	May 12, '81	Fe 60mm x 1	56.47	620.4	9.4	
6819	May 12, '81	Fe 60mm x 1	37.98	618.9	12.6	
6820	May 12, '81	Fe 60mm x 1	19.49	620.4	9.9	
6821	May 12, '81	Fe 60mm x 1	1	640.0	- 24.4	
6823	May 13, '81	Fe 18mm x 1	1	662.9	- 61.4	
6825	May 13, '81	Fe 18mm x 1	19.49	639.6	- 23.8	
6826	May 13, '81	Fe 18mm x 1	37.98	628.8	- 5.2	
6827	May 13, '81	Fe 18mm x 1	56.47	625.1	1.4	
6828	May 13, '81	Fe 18mm x 1	74.96	624.2	3.0	
6829	May 13, '81	Fe 18mm x 1	93.45	624.9	1.8	
6830	May 13, '81	Fe 18mm x 1	111.94	625.7	0.4	
6831	May 13, '81	Fe 18mm x 1	130.43	625.1	1.3	
6833	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	129.93	625.8	2.3	
6834	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	111.44	627.4	- 2.7	
6835	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	92.95	626.9	- 1.8	
6836	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	74.46	628.0	- 3.8	
6837	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	55.97	633.7	- 13.7	
6838	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	37.48	648.7	- 38.8	
6839	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	18.99	679.4	- 85.9	
6840	May 13, '81	Cd 0.5mm x 1	0.5	734.5	-158.2	

Table 4 Au activity and cadmium ratio-1.0  
in core

Distance (cm)	sub-Cd (cps/mg)	Cd cover (cps/mg)	R <sub>cd</sub> - 1.0
0.0	4.91	2.79	1.76
0.92	5.39		
1.85	5.17	2.81	1.84
2.77	5.39		
3.70	4.71	2.73	1.73
4.62	5.14		
5.55	4.80	2.69	1.79
6.47	5.17		
7.40	4.47	2.56	1.75
8.32	4.65		
9.24	4.13	2.43	1.70
10.16	4.68		
11.08	4.01	2.30	1.74
12.02	4.07		
12.94	3.40	2.09	1.63
13.87	3.84		
14.79	3.31	1.90	1.74
15.72	3.53		
16.64	3.05	1.76	1.73
17.57	3.33		
18.49	2.79	1.43	1.95
19.41	3.42		
20.35	3.69	1.18	3.12
21.10	4.91		
21.61	6.53		
21.86		1.03	
22.11	7.61		
22.86	8.58	0.90	9.53
23.86	9.04	0.75	12.05
24.86	8.89	0.59	15.07
25.86	8.07	0.46	17.54
26.61	7.48		
26.86		0.38	
27.11	6.93		
27.61	6.47		
27.86		0.29	
28.11	6.07		
28.86	5.22	0.23	22.70
29.86	4.30	0.21	20.48
31.36	3.21	0.13	24.69
33.36	2.18	0.08	26.20
35.36	1.43	0.05	31.44
37.36	0.94	0.03	28.11
39.36	0.63	0.02	36.23
41.36	0.40	0.01	30.07
43.36	0.27		

Table 5 Au activity and cadmium ratio-1.0 in core with steel reflector Table 6 Au activity and cadmium ratio-1.0 in core with Cd plate

Distance (cm)	sub-Cd (cps/mg)	Gd cover (cps/mg)	R <sub>cd-1.0</sub>
0.0	7.19	4.14	1.74
0.92	8.04		
1.35	7.68	4.16	1.35
2.77	8.32		
3.70	7.22	4.09	1.77
4.62	7.78		
5.55	7.02	3.96	1.77
6.47	7.76		
7.40	6.66	3.83	1.74
8.32	6.91		
9.24	6.30	3.61	1.75
10.17	6.98		
11.09	6.16	3.36	1.83
12.02	6.04		
12.94	5.22	3.10	1.68
13.87	5.62		
14.79	4.94	2.84	1.74
15.72	5.21		
16.64	4.40	2.54	1.73
17.57	4.42		
18.49	3.57	2.16	1.65
19.41	3.53		
20.33	2.88	1.88	1.53
21.08	2.31		
21.61	1.43		
21.86		1.59	
22.11	0.96		
22.86	0.66	1.34	0.50
23.86	0.49	1.12	0.43
24.86	0.47	0.98	0.48
25.86	0.69	0.84	0.82
26.61	0.94		
26.86		0.71	
27.11	1.39		
27.61	2.39		
27.86		0.67	
28.11	3.49		
28.86	4.61	0.63	7.31
29.86	5.19	0.50	10.31
31.36	5.09	0.33	15.42
33.36	4.03	0.20	19.80
35.36	2.88	0.12	23.59
37.36	1.95	0.06	30.08
39.36	1.17	0.04	31.85
41.36	0.76	0.02	36.79

Distance (cm)	sub-Cd (cps/mg)	Cd cover (cps/mg)	R <sub>cd-1.0</sub>
0.0	9.55	5.52	1.73
0.92	10.31		
1.35	10.16	5.52	1.84
2.77	11.11		
3.70	9.78	5.41	1.81
4.62	10.92		
5.55	8.92	5.22	1.71
6.47	9.68		
7.40	8.92	4.97	1.79
8.32	9.02		
9.24	7.79	4.61	1.69
10.16	8.37		
11.08	7.38	4.23	1.74
12.02	7.96		
12.94	6.83	3.86	1.77
13.87	6.81		
14.79	5.90	3.35	1.76
15.72	6.10		
16.64	5.10	2.85	1.79
17.57	5.00		
18.49	3.77	2.31	1.63
19.41	3.50		
20.34	2.37	1.78	1.33
20.94	1.69		
21.22	1.59		
21.49	3.08		
21.74	4.60		
21.86		1.50	
22.11	6.33		
22.86	8.82	1.23	7.19
23.86	10.35	1.05	9.32
24.86	10.79	0.85	12.63
25.86	10.27	0.65	15.79
26.61	9.52		
26.96		0.52	
27.11	9.01		
27.61	8.37		
27.86		0.40	
28.11	7.80		
28.86	6.83	0.32	21.20
29.86	5.90	0.25	23.97
31.36	4.42	0.17	25.31
33.36	2.98	0.11	26.69
35.36	2.01	0.07	27.34
37.36	1.33	0.05	29.13
39.36	0.88	0.03	32.02

Table 7 Au activity and cadmium ratio-1.0  
in core with Cd plate and steel reflector

Distance (cm)	sub-Cd (cps/mg)	Gd cover (cps/mg)	R <sub>cd-1.0</sub>
0.0	5.39	3.24	1.67
0.92	5.77		
1.85	5.78	3.21	1.80
2.77	6.33		
3.70	5.62	3.16	1.78
4.62	6.13		
5.55	5.04	3.04	1.66
6.47	5.80		
7.40	5.23	2.91	1.80
8.32	5.38		
9.24	4.54	2.74	1.66
10.16	4.98		
11.08	4.36	2.58	1.69
12.02	4.88		
12.94	4.13	2.37	1.74
13.87	4.23		
14.79	3.60	2.13	1.69
15.72	3.92		
16.64	3.35	1.89	1.77
17.57	3.28		
18.49	2.62	1.63	1.61
19.41	2.44		
20.34	1.68	1.37	1.23
20.94	1.16		
21.22	0.58		
21.49	0.11		
21.74	0.12		
21.86		1.10	
22.11	0.06		
22.86	0.12	0.94	0.13
23.86	0.17	0.80	0.22
24.86	0.22	0.69	0.32
25.86	0.46	0.60	0.77
26.61	0.70		
26.86		0.53	
27.11	0.99		
27.61	1.67		
27.86		0.48	
28.11	2.53		
28.86	3.23	0.42	7.62
29.86	3.74	0.36	10.32
31.36	3.67	0.25	14.53
33.36	2.96	0.15	19.18
35.36	2.11	0.09	24.62
37.36	1.40	0.05	29.34
39.36	0.89	0.03	31.71
41.36	0.57	0.02	32.53

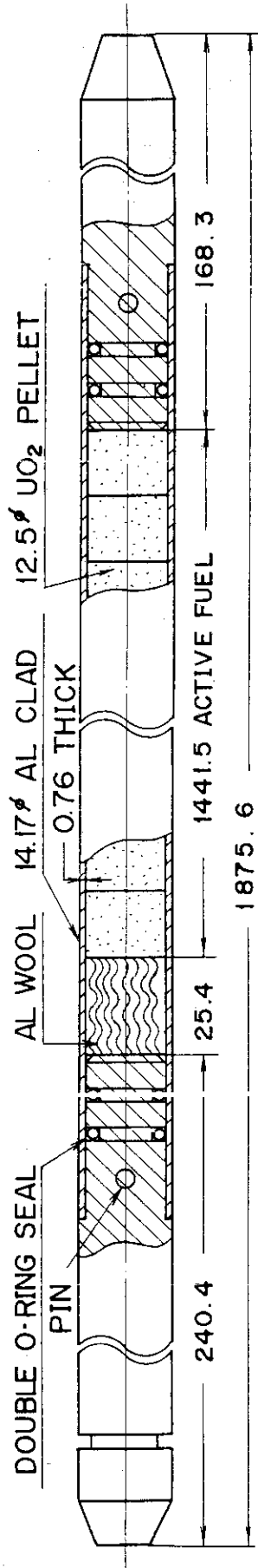


Fig. 1 Fuel rod

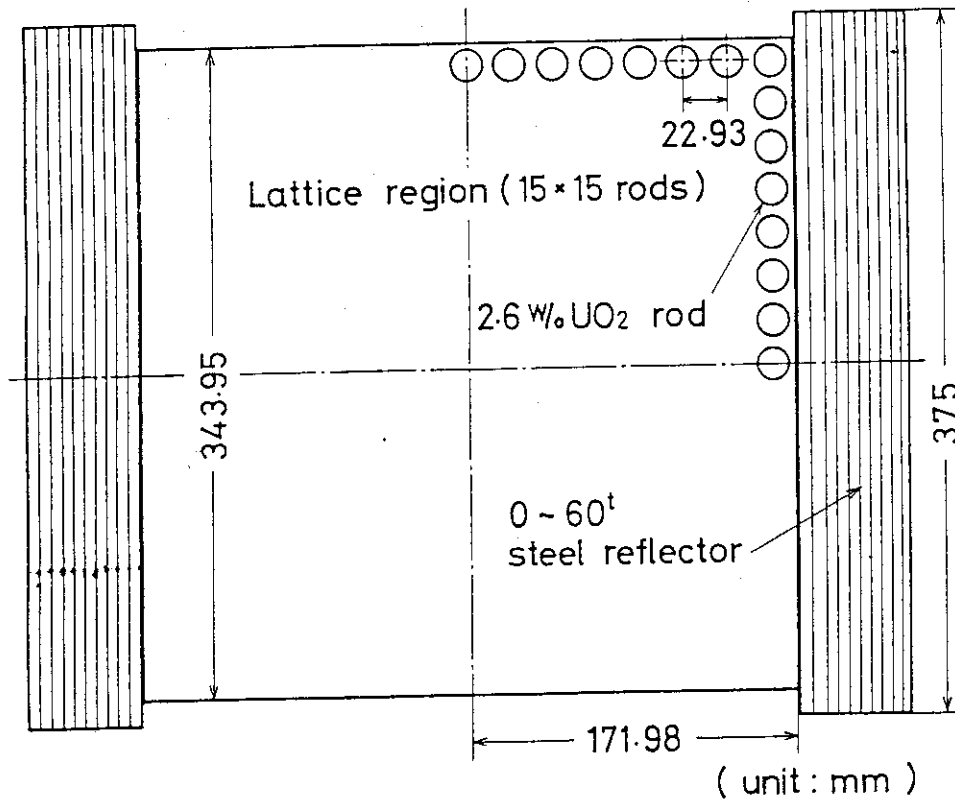


Fig. 2 Plan view of a typical experimental core (V.R.=3.0)

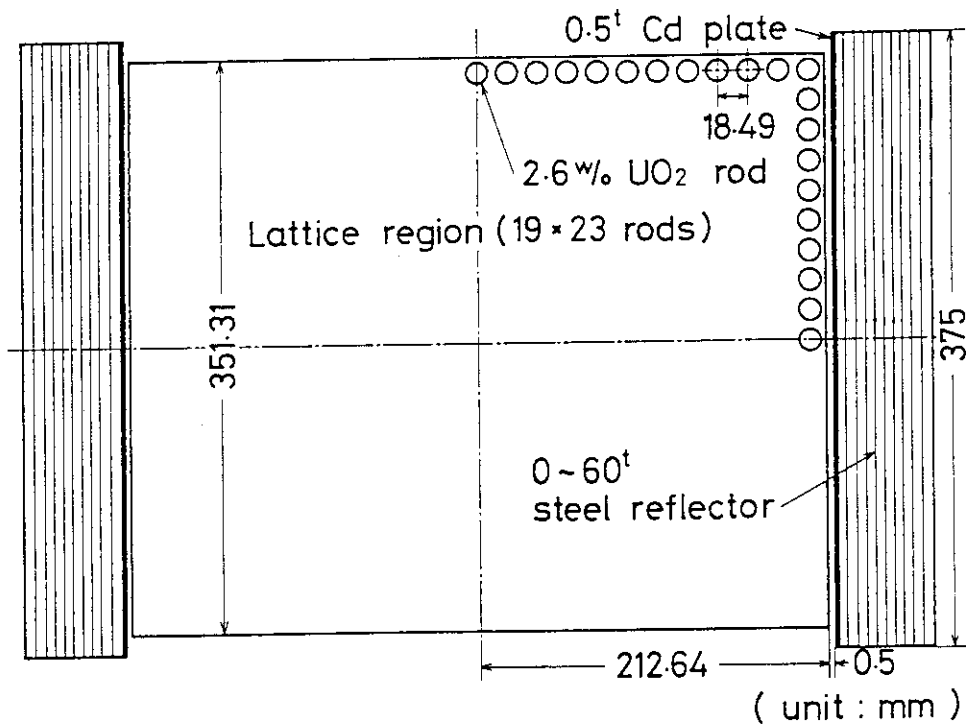


Fig. 3 Plan view of a typical experimental core (V.R.=1.5)

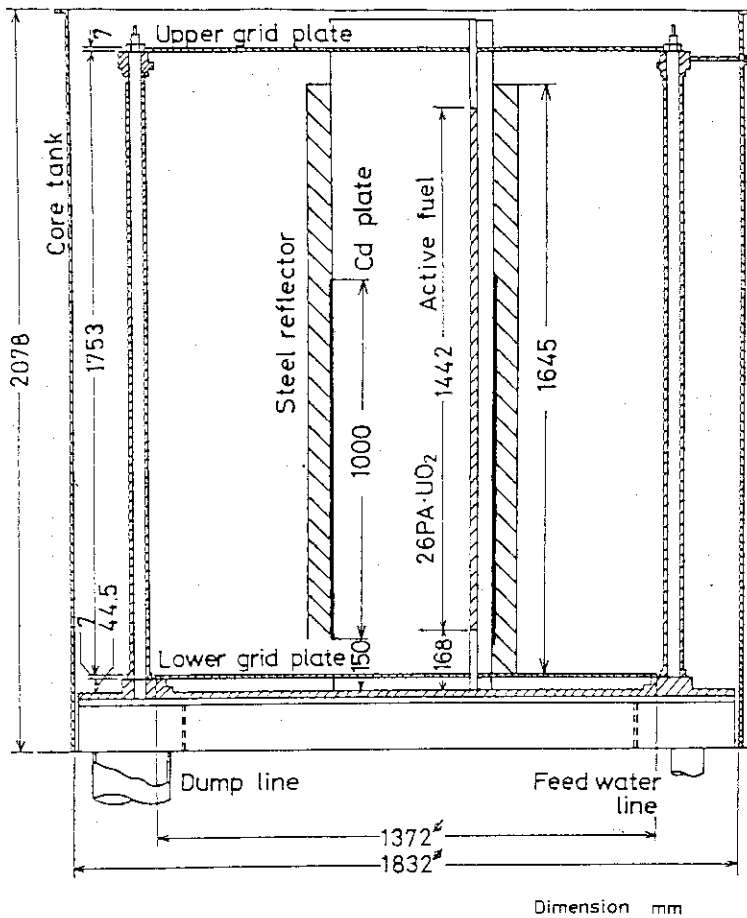


Fig. 4 Vertical arrangement of experimental core

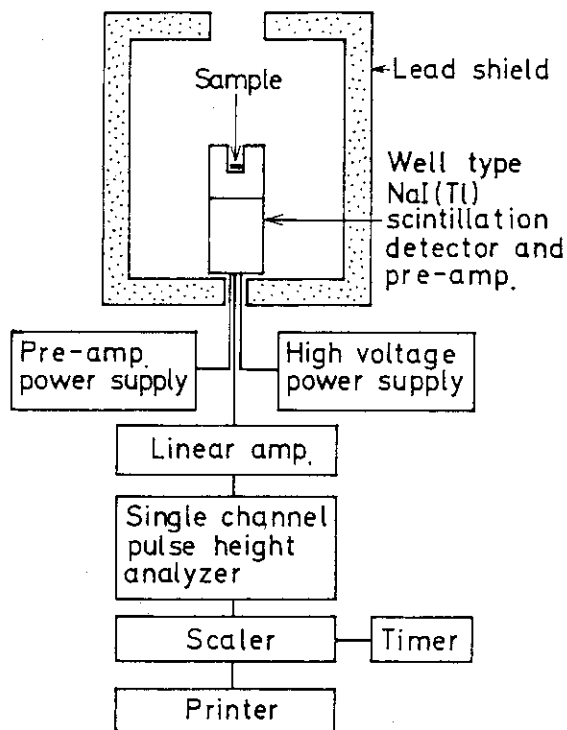


Fig. 5 Block diagram of Y-ray counting system for neutron density distribution measurement



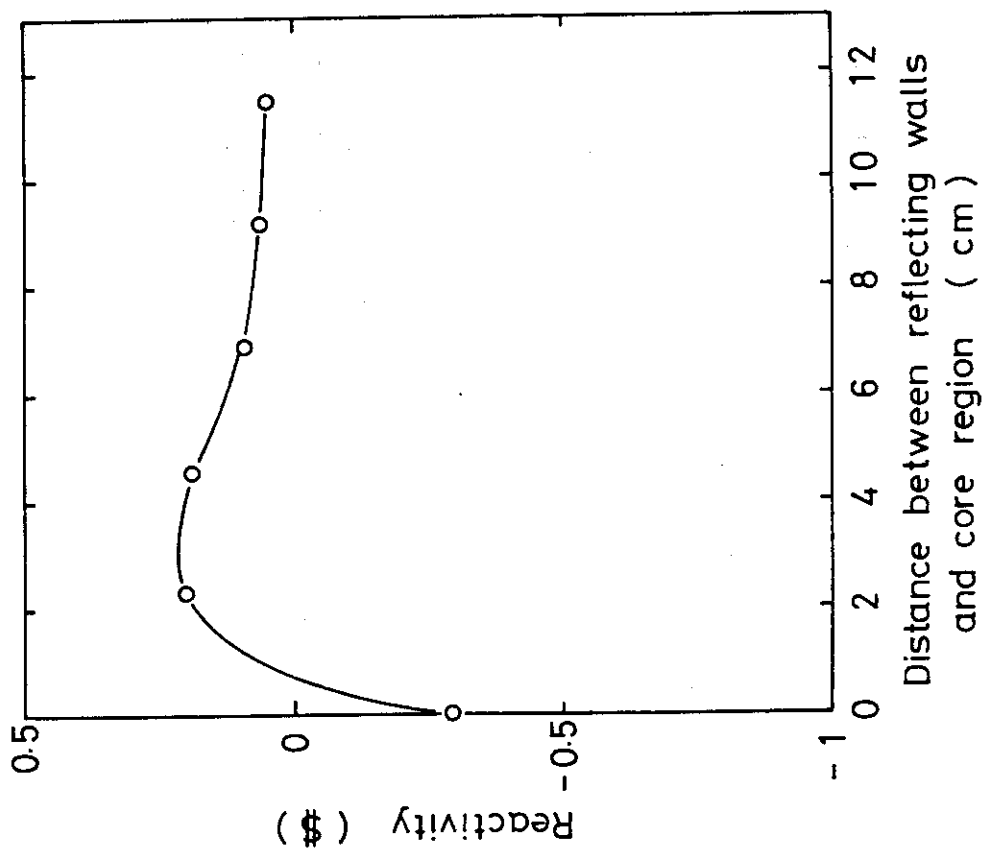


Fig. 7 Change of reactivity worth according to increase of distance between reflecting wall and core region (V.R.=3.0)

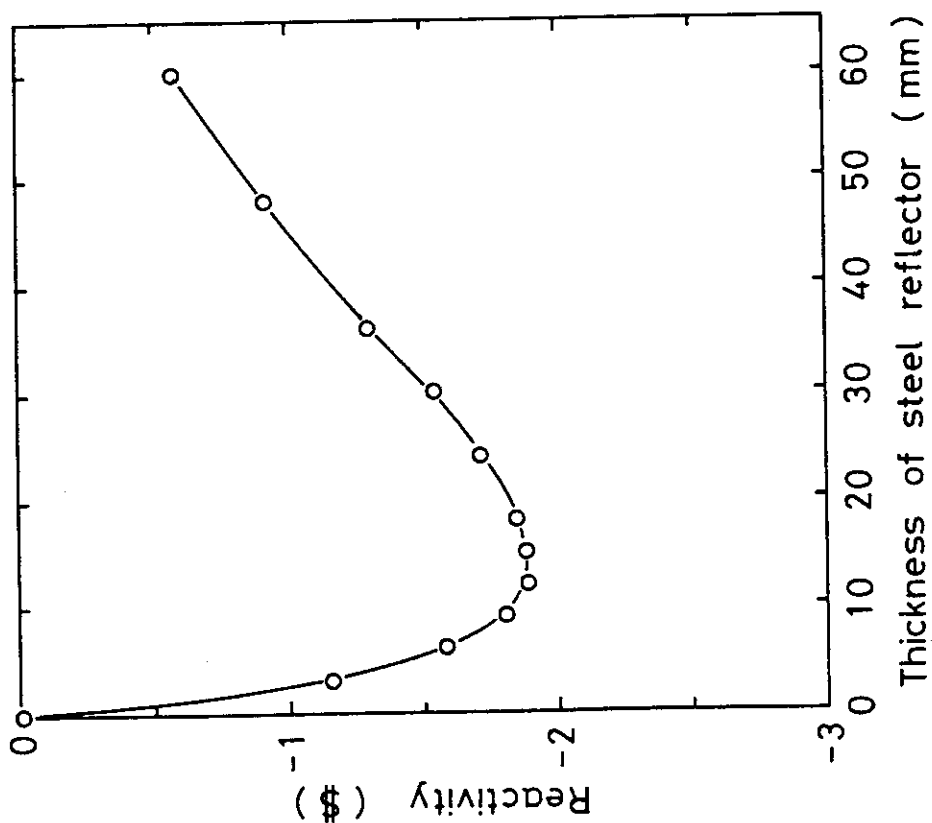


Fig. 6 Change of reactivity worth according to increase of steel reflector thickness (V.R.=3.0)

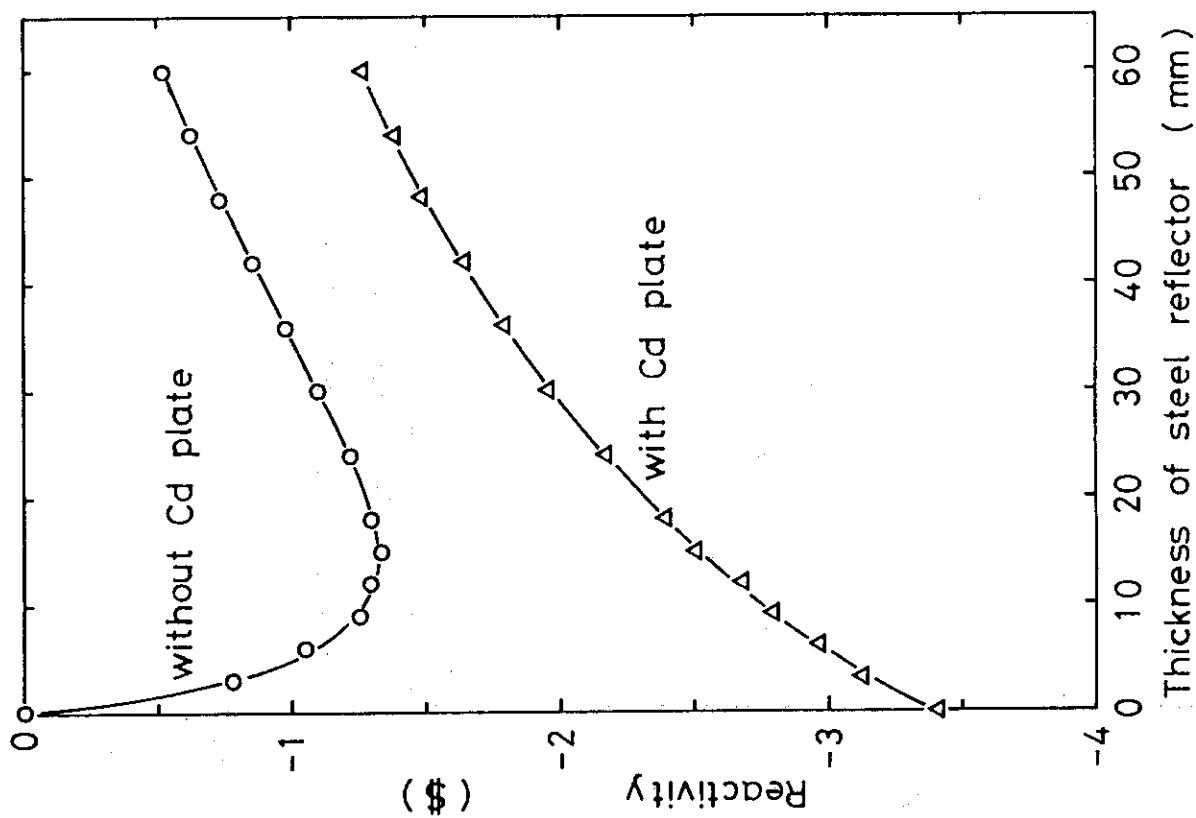


Fig. 8  
Change of reactivity worth according to increase of steel reflector thickness (V.R.=1.5)

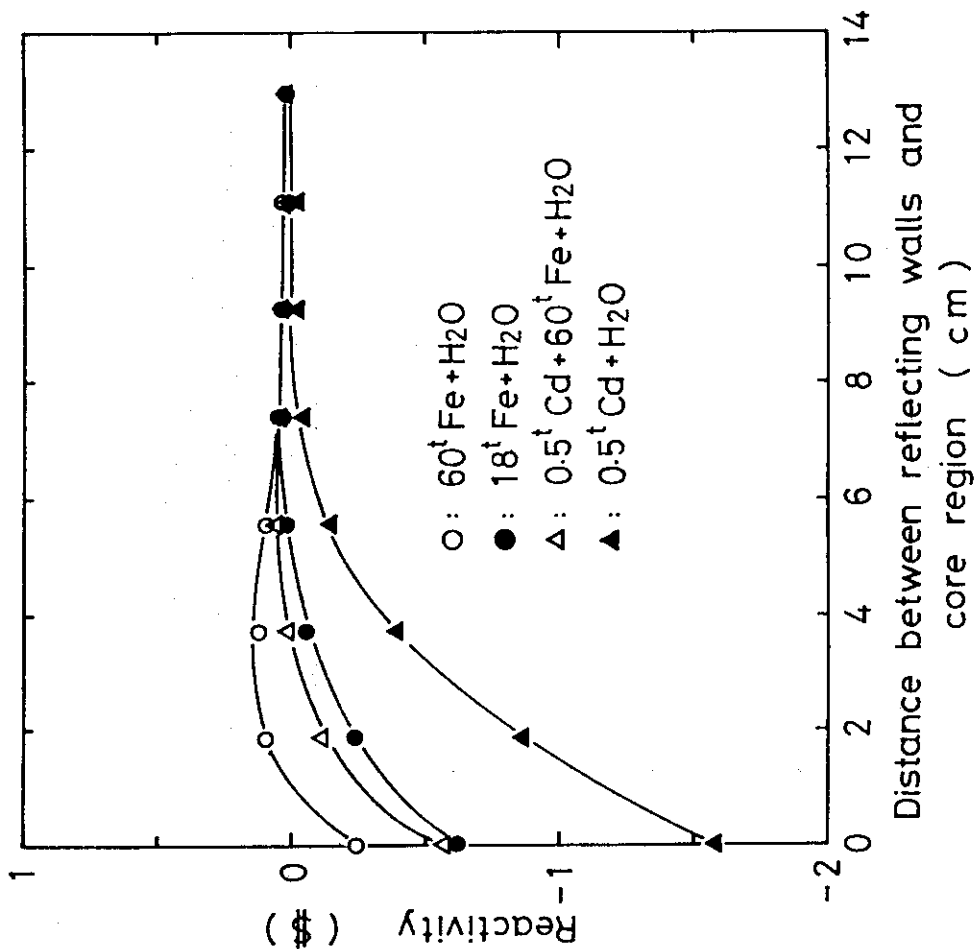


Fig. 9  
Change of reactivity worth according to increase of distance between reflecting walls and core region (V.R.=1.5)

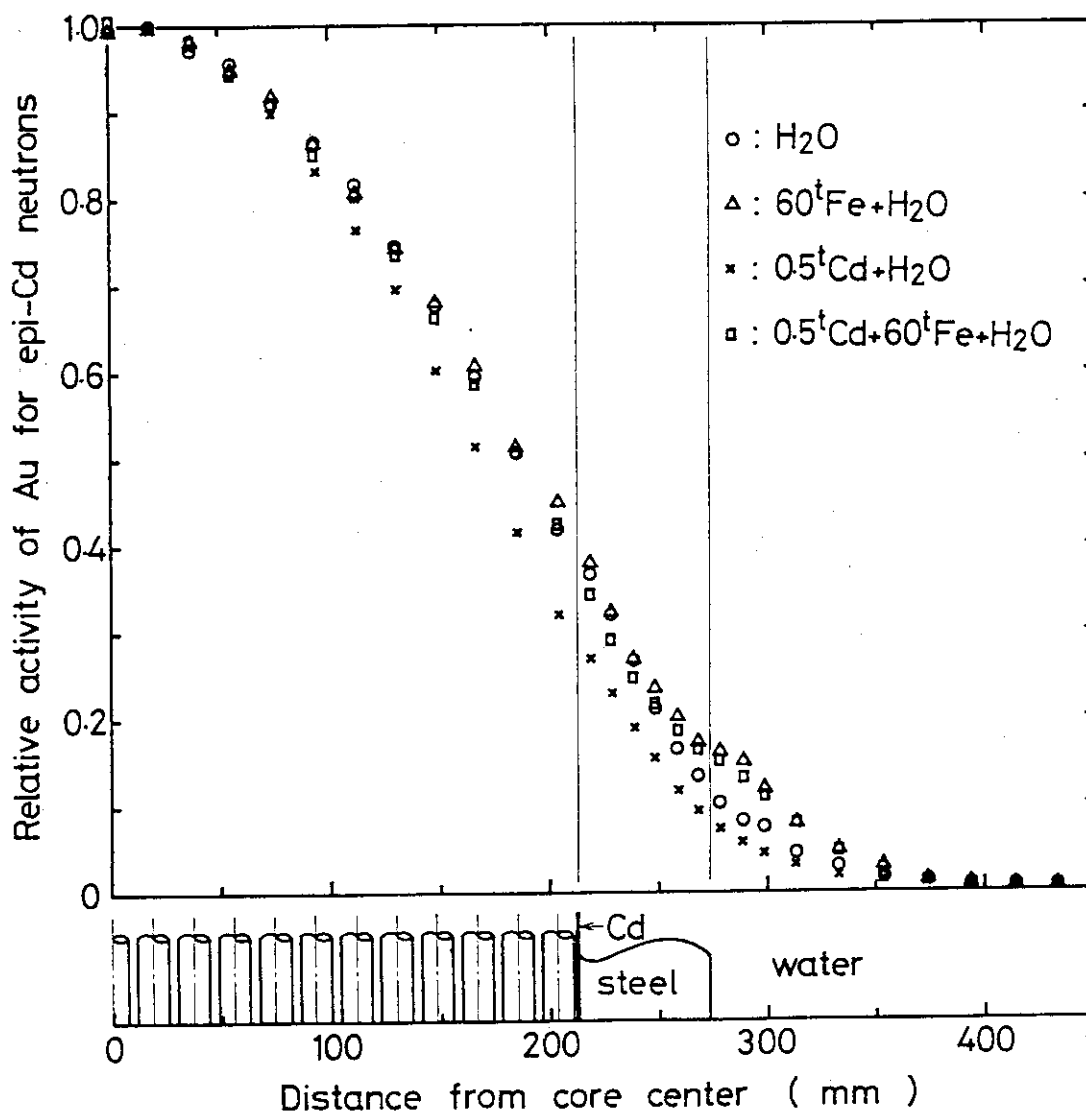


Fig. 10 Epi-thermal neutron density distribution in core with reflecting walls

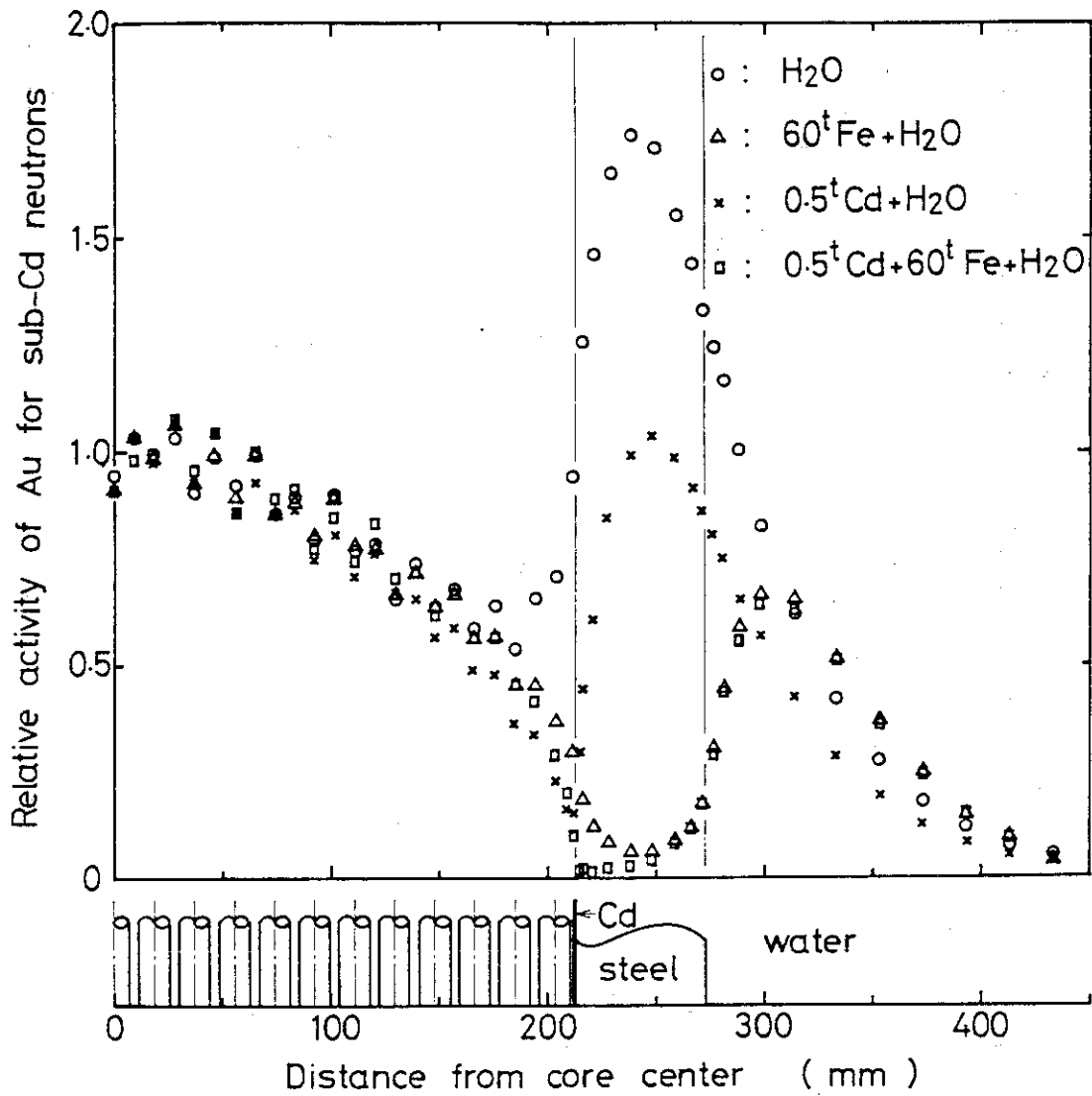


Fig. 11 Thermal neutron density distribution in core with reflecting walls