

JAERI - M  
82-202

使用済燃料輸送キャスクの遮蔽安全実験(2)  
—PWR使用済燃料による「線源形状評価のための実験」—

1982年12月

田中俊一・山路昭雄・坂本幸夫・内藤淑孝

足立 守・佐藤 博・内山順三・飯田省三

小林忠義・広瀬 彰・野村 勇

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

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。  
入手の問合せは、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）で複写による実費請求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, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 高野高速印刷

使用済燃料輸送キャスクの遮蔽安全実験(2)  
— PWR 使用済燃料による「線源形状評価のための実験」—

日本原子力研究所東海研究所

田中俊一<sup>+1</sup>・山路昭雄<sup>\*</sup>・坂本幸夫<sup>+2</sup>・内藤淑孝<sup>+2</sup>  
足立 守<sup>+3</sup>・佐藤 博<sup>+3</sup>・内山順三<sup>+3</sup>・飯田省三<sup>+3</sup>  
小林忠義<sup>+3</sup>・広瀬 彰<sup>+3</sup>・野村 勇<sup>+4</sup>

+ 1 原子炉工学部

+ 2 安全解析部

+ 3 研究炉管理部

+ 4 実用燃料試験室

(1982年12月9日受理)

使用済燃料取扱施設の遮蔽安全性評価コードシステム、同データライブラリの検証実験計画に基づき、PWR 使用済燃料集合体を利用した「線源形状評価のための実験」を行った。この実験は複数の燃料集合体を近接して置いた時、これらの集合体を1つの体積線源と見なして解析を行う場合の形状近似の手法を評価、検討するために必要な測定データを取得することを目的とするもので、照射履歴の異なる3体のPWR 使用済燃料集合体が実験に用いられた。実験は水中においてそれぞれの集合体ごとの測定と3体の集合体を近接して設置した時の測定の計4回行われた。集合体周囲のガンマ線線量率、<sup>235</sup>Uおよび<sup>232</sup>Thの核分裂反応率分布が測定され、使用済燃料からの中性子発生量はガンマ線と比べ燃料の燃焼度に強く依存すること、3体の実験では中性子の増倍があることなどが実験的に明らかにされた。

本報告書では、詳細な測定結果と合せ、これらの解析に必要な実験条件、測定器の特性などが述べられている。

\* 船舶技術研究所

Shielding Experiments for Evaluating a Shielding Safety Evaluation  
Code System to Spent Fuel Processing Facilities - (2)

— EXPERIMENTS FOR THE ASSESSMENT ON SOURCE GEOMETRY OF PWR SPENT  
FUEL ASSEMBLIES —

Shun-ichi TANAKA<sup>+1</sup>, Akio YAMAJI\*, Yukio SAKAMOTO<sup>+2</sup>, Yoshitaka NAITO<sup>+2</sup>  
Mamoru ADACHI<sup>+3</sup>, Hiroshi SATO<sup>+3</sup>, Junzo UCHIYAMA<sup>+3</sup>, Shozo IIDA<sup>+3</sup>  
Tadayoshi KOBAYASHI<sup>+3</sup>, Akira HIROSE<sup>+3</sup> and Isamu NOMURA<sup>+4</sup>

- +1 Division of Reactor Engineering
- +2 Division of Nuclear Safety Evaluation
- +3 Division of Research Reactor Operation
- +4 Division of Reactor Fuel Examination

Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 9, 1982)

Experiments to assess the source geometry approximation technique were performed based on the experimental plan to confirm the reliability of a shielding safety evaluation code system and data libraries. The present experiments is to take the data by which the analytical procedures can be confirmed on the approximation of the source geometry of spent fuel assemblies. For the purposes, four kinds of experiment were made using three spent fuel assemblies of the PWR with different irradiation histories, that is three experiments for each assembly and an experiment using altogether those assemblies. The distributions of gamma-ray exposure dose rate,  $^{235}\text{U}(n,f)$  and  $^{232}\text{Th}(n,f)$  reaction rates to neutrons were measured around the fuel assemblies set in a spent fuel pond. The strong dependency of neutron intensity was found on the burn-up of the fuel assemblies in the comparison with that of gamma rays. A multiplication of neutrons was also recognized in the experiment using three assemblies.

---

\* Ship Research Institute

This report gives the data of experimental conditions and detector characteristics necessary for the analysis by a shielding computer code as well as the detail of measured data.

Keywords : Shielding Experiment, PWR Spent Fuel Assemblies, Source Geometry Approximation, Gamma-ray Dose, Fission Rate, Radcon,  $^{235}\text{U}$  Fission Counter,  $^{232}\text{Th}$  Fission Counter

## 目 次

1. 序言	1
2. 実験方法	1
3. 測定器の特性	2
3.1 ラドコン線量計	2
3.2 核分裂計数管	2
4. 測定結果	4
4.1 ガンマ線線量率分布測定	4
4.2 中性子の反応率分布測定	5
4.2.1 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管による測定	5
4.2.2 $^{232}\text{Th}$ 核分計数管による測定	5
5. 考察とまとめ	5
謝 辞	7
参考文献	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Procedure .....	1
3. Characteristics of Detector .....	2
3.1 Radcon Dosimeter .....	2
3.2 Fission Counter .....	2
4. Experimental Results .....	4
4.1 Distributions of Gamma-ray Exposure Dose Rate .....	4
4.2 Distributions of Neutron Reaction Rate .....	5
4.2.1 Measurements by $^{235}\text{U}$ Fission Counter .....	5
4.2.2 Measurements by $^{232}\text{Th}$ fission counter .....	5
5. Discussion and summary .....	5
Acknowledgements .....	7
References .....	7

## 1. 序 言

使用済燃料取扱施設の遮蔽安全性評価コードシステム、同データライブラリの検証実験計画に基づき、PWR燃料集合体3体を利用して昭和57年6月2日より、約1ヶ月にわたって「線源形状評価のための実験」を実施した。本実験は複数の燃料集合体が近接して置かれた時、これらの集合体を一つの体積線源として見なして解析を行う場合の形状近似の手法を評価、検討するために必要な測定データを取得することを目的としている。

実験には「キャスク形状評価のための実験」<sup>1)</sup>に用いた1体の燃料集合体の他に、2体のPWR燃料集合体を加え、計3体の燃料集合体を利用した。測定は、日本原子力研究所燃料試験施設の燃料貯蔵プール内にセットした水中スタンドにそれぞれの燃料集合体一本づつ垂直に立てた場合、および3体を同時に垂直に立てた場合について、水中スタンドに付設した測定器用案内管を利用して燃料集合体周辺のガンマ線線量率分布、熱中性子および速中性子の反応率分布を測定した。

以下、第2章において実験の方法、第3章において実験に用いた測定器の特性を述べ、第4章に測定結果を示し、測定結果についての考察とまとめを第5章で述べる。

## 2. 実 験 方 法

本実験は当初、燃焼度や冷却時間等、線源強度特性の揃った4体の集合体による実験計画が立てられたが、こうした燃料集合体を早期に入手することの困難さから、実際には「キャスク形状評価のための実験」に用いたC集合体（燃焼度：約36,000MWD/t、冷却時間：約1270d.）、およびC集合体と線源特性の異なるA集合体（燃焼度：約8,400MWD/t、冷却時間：約1440d.）、B集合体（燃焼度：約18,000MWD/t、冷却時間：670d.）による実験を行った。このため、本実験では3体の集合体の組合せによる線源形状評価のための測定と合せ、それぞれの集合体のガンマ線、中性子の線源強度特性を評価するための測定を行った。もとより、それぞれの集合体から放出されるガンマ線、中性子の線源強度、線源強度分布、エネルギースペクトル等の評価は遮蔽安全実験計画の中の「線源強度評価のための実験」結果を待たなければならないが、本実験では水中に直立しているそれぞれの燃料集合体の周囲のガンマ線線量率並びに、熱中性子および速中性子反応率分布を同一条件下で詳細に測定することにより、個々の集合体の体積線源としての線源強度特性を把握することを試みた。このため、PWR燃料集合体による「線源形状評価のための実験」ではA、B、Cそれぞれの燃料集合体についての3つの実験と、3つの集合体を組合せた場合の実験の計4種類の測定を行った。

Photo. 1は実験に用いた集合体用水中スタンドの写真で、Fig. 1は水中スタンドの平面図と垂直断面図である。水中スタンドには、PWRまたはBWR使用済燃料集合体4体を収納することができます、その周囲でのガンマ線、中性子の測定を行うため17本の測定器案内管が付設されている。測定は、カウンタ水封管に封入したラドコン線量計、および<sup>235</sup>U、<sup>232</sup>Th核分裂計数管を測定器案内管に沿って移動させながら行った。Photo. 2はカウンタ水封管の検出部で、この中にそれぞれの検出器

## 1. 序 言

使用済燃料取扱施設の遮蔽安全性評価コードシステム、同データライブラリの検証実験計画に基づき、PWR燃料集合体3体を利用して昭和57年6月2日より、約1ヶ月にわたって「線源形状評価のための実験」を実施した。本実験は複数の燃料集合体が近接して置かれた時、これらの集合体を一つの体積線源として見なして解析を行う場合の形状近似の手法を評価、検討するために必要な測定データを取得することを目的としている。

実験には「キャスク形状評価のための実験」<sup>1)</sup>に用いた1体の燃料集合体の他に、2体のPWR燃料集合体を加え、計3体の燃料集合体を利用した。測定は、日本原子力研究所燃料試験施設の燃料貯蔵プール内にセットした水中スタンドにそれぞれの燃料集合体一本づつ垂直に立てた場合、および3体を同時に垂直に立てた場合について、水中スタンドに付設した測定器用案内管を利用して燃料集合体周辺のガンマ線線量率分布、熱中性子および速中性子の反応率分布を測定した。

以下、第2章において実験の方法、第3章において実験に用いた測定器の特性を述べ、第4章に測定結果を示し、測定結果についての考察とまとめを第5章で述べる。

## 2. 実 験 方 法

本実験は当初、燃焼度や冷却時間等、線源強度特性の揃った4体の集合体による実験計画が立てられたが、こうした燃料集合体を早期に入手することの困難さから、実際には「キャスク形状評価のための実験」に用いたC集合体（燃焼度：約36,000MWD/t、冷却時間：約1270d.）、およびC集合体と線源特性の異なるA集合体（燃焼度：約8,400MWD/t、冷却時間：約1440d.）、B集合体（燃焼度：約18,000MWD/t、冷却時間：670d.）による実験を行った。このため、本実験では3体の集合体の組合せによる線源形状評価のための測定と合せ、それぞれの集合体のガンマ線、中性子の線源強度特性を評価するための測定を行った。もとより、それぞれの集合体から放出されるガンマ線、中性子の線源強度、線源強度分布、エネルギースペクトル等の評価は遮蔽安全実験計画の中の「線源強度評価のための実験」結果を待たなければならないが、本実験では水中に直立しているそれぞれの燃料集合体の周囲のガンマ線線量率並びに、熱中性子および速中性子反応率分布を同一条件下で詳細に測定することにより、個々の集合体の体積線源としての線源強度特性を把握することを試みた。このため、PWR燃料集合体による「線源形状評価のための実験」ではA、B、Cそれぞれの燃料集合体についての3つの実験と、3つの集合体を組合せた場合の実験の計4種類の測定を行った。

Photo. 1は実験に用いた集合体用水中スタンドの写真で、Fig. 1は水中スタンドの平面図と垂直断面図である。水中スタンドには、PWRまたはBWR使用済燃料集合体4体を収納することができます、その周辺でのガンマ線、中性子の測定を行うため17本の測定器案内管が付設されている。測定は、カウンタ水封管に封入したラドコン線量計、および<sup>235</sup>U、<sup>232</sup>Th核分裂計数管を測定器案内管に沿って移動させながら行った。Photo. 2はカウンタ水封管の検出部で、この中にそれぞれの検出器

が密封されている。

Fig. 2 は測定器案内管と各燃料集合体の位置関係を示すもので、測定は C 燃料集合体を中心にして行い、C 燃料集合体のみの測定値に対し、A, B の燃料集合体からの寄与が分るような測定を行った。このため、図中の A, B, C の位置に、それぞれの燃料集合体を一体づつ置いて、それぞれの集合体についての測定を行い、次に、A, B, C 3 体を図中の位置に同時に設置し測定を行った。Fig. 3 は、測定器と燃料集合体の高さ関係を示したもので、高さ方向 Z 軸の原点は燃料集合体の中心の位置とし、上方向をプラス、下方向をマイナスとしている。後述する測定結果は Fig. 2 の測定器案内管の位置番号と Fig. 3 の Z 軸での高さによってすべて表現されている。

Fig. 4(1)~4(4) は、A, B, C 各燃料集合体の断面図、および燃料棒の断面図である。燃料集合体 C は  $14 \times 14$  の正方格子状に燃料棒が配列されており、この中に、燃料棒 179 本、制御棒案内管 16 本、計測用案内管 1 本が組み込まれている。一方、A および B 燃料集合体は、別に行われた試験のため、Fig. 4(3) に示すように A については 10 本、B については 25 本の燃料棒が引抜かれている。

### 3. 測定器の特性

#### 3.1 ラドコン線量計

燃料集合体周囲のガンマ線線量率は、米国 Victreen 社製の 500-6A 型ラドコン線量計により行った。この検出器は電離箱型の線量計で、検出部の容積は Fig. 5 に示すように  $0.326 \text{ cm}^3$  である。実際の使用にあたってはエネルギーの高いガンマ線に対して検出器壁との間に荷電平衡を維持するため、 $5.49 \text{ mg/cm}^2$  厚のアクリル製のビルドアップキャップで検出器の先端部を覆った。このビルドアップキャップの使用により 50 keV から 2 MeV のガンマ線に対し、空気に対する相対感度がほぼ一致し、1~2%以下の精度でガンマ線の照射線量率が測定できる。また、2 MeV を超えるガンマ線に対する相対感度のずれも 10%以下であり、使用済燃料から放出されるガンマ線のエネルギーは最大 3MeV 程度のため、数%以下の精度で照射線量率が測定できる。Fig. 6 は日本原子力研究所の  $^{60}\text{Co}$  照射室で、化学線量計により予め校正された場を利用して行ったラドコン線量計の校正曲線である。<sup>1)</sup>

なお、本線量計は先に実施した「PWR 燃料によるキャスク形状評価実験」においてキャスク内部での測定に用いたラドコン線量計と同じものである。

#### 3.2 核分裂計数管

燃料集合体周囲の熱中性子（熱外中性子）は  $^{235}\text{U}$  核分裂計数管により、速中性子は  $^{232}\text{Th}$  核分裂計数管により測定した。この核分裂計数管は英国 Centronic 社製の FC-165 A 型核分裂計数管で、約 30 mm 直径 × 100 mm 長の有効体積があり、それぞれの核分裂物質が約  $1 \text{ mg/cm}^2$  厚で  $165 \text{ cm}^2$  の面積に塗付されたものである。Fig. 7 は核分裂計数管による中性子測定系のブロックダイアグラムで、高線量のガンマ線と検出器自身から放出されるアルファ線のパイルアップパルスの混入を避けるため、

が密封されている。

Fig. 2 は測定器案内管と各燃料集合体の位置関係を示すもので、測定は C 燃料集合体を中心にして行い、C 燃料集合体のみの測定値に対し、A, B の燃料集合体からの寄与が分るような測定を行った。このため、図中の A, B, C の位置に、それぞれの燃料集合体を一体づつ置いて、それぞれの集合体についての測定を行い、次に、A, B, C 3 体を図中の位置に同時に設置し測定を行った。Fig. 3 は、測定器と燃料集合体の高さ関係を示したもので、高さ方向 Z 軸の原点は燃料集合体の中心の位置とし、上方向をプラス、下方向をマイナスとしている。後述する測定結果は Fig. 2 の測定器案内管の位置番号と Fig. 3 の Z 軸での高さによってすべて表現されている。

Fig. 4(1)~4(4) は、A, B, C 各燃料集合体の断面図、および燃料棒の断面図である。燃料集合体 C は  $14 \times 14$  の正方格子状に燃料棒が配列されており、この中に、燃料棒 179 本、制御棒案内管 16 本、計測用案内管 1 本が組み込まれている。一方、A および B 燃料集合体は、別に行われた試験のため、Fig. 4(3) に示すように A については 10 本、B については 25 本の燃料棒が引抜かれている。

### 3. 測定器の特性

#### 3.1 ラドコン線量計

燃料集合体周囲のガンマ線線量率は、米国 Victreen 社製の 500-6A 型ラドコン線量計により行った。この検出器は電離箱型の線量計で、検出部の容積は Fig. 5 に示すように  $0.326 \text{ cm}^3$  である。実際の使用にあたってはエネルギーの高いガンマ線に対して検出器壁との間に荷電平衡を維持するため、 $5.49 \text{ mg/cm}^2$  厚のアクリル製のビルドアップキャップで検出器の先端部を覆った。このビルドアップキャップの使用により 50 keV から 2 MeV のガンマ線に対し、空気に対する相対感度がほぼ一致し、1~2%以下の精度でガンマ線の照射線量率が測定できる。また、2 MeV を超えるガンマ線に対する相対感度のずれも 10%以下であり、使用済燃料から放出されるガンマ線のエネルギーは最大 3 MeV 程度のため、数%以下の精度で照射線量率が測定できる。Fig. 6 は日本原子力研究所の  $^{60}\text{Co}$  照射室で、化学線量計によりはじめ校正された場を利用して行ったラドコン線量計の校正曲線である。<sup>1)</sup>

なお、本線量計は先に実施した「PWR 燃料によるキャスク形状評価実験」においてキャスク内部での測定に用いたラドコン線量計と同じものである。

#### 3.2 核分裂計数管

燃料集合体周囲の熱中性子（熱外中性子）は  $^{235}\text{U}$  核分裂計数管により、速中性子は  $^{232}\text{Th}$  核分裂計数管により測定した。この核分裂計数管は英国 Centronic 社製の FC-165 A 型核分裂計数管で、約  $30 \text{ mm}$  直径 ×  $100 \text{ mm}$  長の有効体積があり、それぞれの核分裂物質が約  $1 \text{ mg/cm}^2$  厚で  $165 \text{ cm}^2$  の面積に塗付されたものである。Fig. 7 は核分裂計数管による中性子測定系のブロックダイアグラムで、高線量のガンマ線と検出器自身から放出されるアルファ線のパイルアップパルスの混入を避けるため、

10 ~ 20 nsec という短い時間で信号処理を行っている。

これらの核分裂計数管による測定値は、それぞれの核分裂反応の反応率として得られる。

$^{235}\text{U}$ 核分裂計数管の熱中性子に対する検出効率を  $\eta$  (neutron  $\cdot \text{cm}^2/\text{cps}$ ) とすると、熱中性子に対する  $^{235}\text{U}$  ( $n, f$ ) 反応の反応率は次式で与えられる。

$$\int_0^{\infty} \sigma(E) \phi(E) dE = \eta \cdot \bar{\sigma} \cdot C \quad [1/\text{sec}] \quad (1)$$

ここで、

$\sigma(E)$  : エネルギ  $E$  の中性子に対する  $^{235}\text{U}$  ( $n, f$ ) 反応の反応断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$\phi(E)$  : 热中性子束 ( $\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ )

$C$  :  $^{235}\text{U}$  計数管の計数率 (cps)

$\bar{\sigma}$  :  $^{235}\text{U}$  ( $n, f$ ) 反応の平均断面積 ( $\text{cm}^2$ )

(1式で、 $^{235}\text{U}$  計数管の計数率から、反応率を求めるための変換係数は、黒鉛パイアルからの熱中性子場において、はじめ較正されている BF 比例計数管と比較測定することにより求めた。黒鉛パイアルからの熱中性子場は Maxwell 分布しているとし、0.025 eV に対する  $^{235}\text{U}$  ( $n, f$ ) 反応の断面積を  $582 \text{ barn}^{(2)}$  とした時の変換係数は  $6.04 \times 10^{-21} \text{ reactions/cps}$  である。

一方、 $^{232}\text{Th}$  核分裂計数管の検出効率は線源強度の分っている  $^{252}\text{Cf}$  中性子源を用いて測定した。すなわち  $^{232}\text{Th}$  計数管の検出効率を  $\eta$  とすると、 $^{252}\text{Cf}$  中性子スペクトル  $\phi^{cf}(E)$  の場におかれた  $^{232}\text{Th}$  計数管による計数率  $C$  は次式で与えられる。

$$C = \eta \int_0^{\infty} \sigma_{Th}^{cf}(E) \cdot \phi^{cf}(E) dE \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{Th}^{cf}(E)$  はエネルギー  $E$  の中性子に対する  $^{232}\text{Th}$  ( $n, f$ ) 反応の反応断面積で、 $^{252}\text{Cf}$  中性子源からのエネルギースペクトルは次式で与えられる<sup>(3)</sup>。

$$\phi^{cf}(E) = 0.373 \exp(-0.88E) \sinh(\sqrt{2.0E}) \quad (3)$$

$^{252}\text{Cf}$  中性子による  $^{232}\text{Th}$  計数管の校正は空気中において点状の  $^{252}\text{Cf}$  中性子源と  $^{232}\text{Th}$  計数管を 100 cm 離して計数率を測定し、これと ENDF/B-V より採った  $\sigma_{Th}^{cf}(E)$  を用いて変換定数を求めた。こうして得られた  $^{232}\text{Th}$  計数管の計数率から反応率への変換定数は

$$3.03 \times 10^{-21} \quad [\text{reaction}/\text{cps}]$$

である。

Fig. 8 は  $^{252}\text{Cf}$  中性子源のスペクトル  $\phi^{cf}(E)$  と、このスペクトルに対する  $^{232}\text{Th}$  ( $n, f$ ) の反応断面積の積を中性子エネルギーの関数として図示したものである。図に見られるように、 $^{252}\text{Cf}$  中性子スペクトルに対する  $^{232}\text{Th}$  ( $n, f$ ) の反応率は 1.5 ~ 4 MeV のエネルギー領域で最も大きくなる。燃料集合体近傍のエネルギースペクトルは  $^{252}\text{Cf}$  のスペクトルと必ずしも同じにならないが、Fig. 8 に示したように使用済燃料からの中性子スペクトルは  $^{252}\text{Cf}$  のスペクトルと良く似ており、 $^{252}\text{Cf}$  中性子による  $^{232}\text{Th}$  核分裂計数管の校正值に含まれるスペクトルの違いによって生じる誤差は無視し

うると考えられる。

## 4. 測 定 結 果

### 4.1 ガンマ線線量率分布測定

Table 1～3に、A, B, Cそれぞれの燃料集合体をFig. 3に示した位置にセットした時の集合体周辺のガンマ線線量率の測定結果を示す。Fig. 9(1)～11(2)はこれらの結果を図示したものである。これらの図において、 $Z = \pm 70\text{ cm}$ 付近に見られる測定値の谷間は、Fig. 2に示した水中スタンドに取付けられている20mm厚のSUS板でできている集合体支持板による影響である。この谷間が集合体より離れるにつれて大きくなっているのは測定に使用したラドコン線量計の検出部がFig. 5に示したように小さく支持板にはさみ隠れてしまうようになるため支持板の透過距離が大きい遠方ほど谷の深さが大きくなるものと考えられる。Fig. 9(1)においてJとEは燃料集合体の胴体の部分に面している対称的な位置にあり、それぞれの位置での測定値は10～20%程度で一致している。また、Fig. 9(1)～9(2)においてC, D, Kの位置、L, Aの位置、H, Mの位置およびO, Pの位置はそれぞれが燃料集合体から同じ距離にあるが、そこで測定値は同じグループ内ではさみ同じ分布であり、A燃料集合体によるガンマ線線量率分布は集合体の中心を原点としてさみ対称的になっていることを示している。同様のこととは、B, Cそれぞれの燃料集合体に関するFig. 10, Fig. 11の測定結果にも見られる。

Table 4はA, B, C 3体の燃料集合体を同時に設置した時のガンマ線線量率の測定結果で、Fig. 12(1)～Fig. 12(3)はそれを図示したものである。

ガンマ線線量率測定における測定誤差は、主にラドコン線量計からの微小電流の読み取り誤差によるもので、数10R/hr以上の測定値では10%以下であるが、それ以下では20～30%程度になる。この他、実際の測定ではラドコン線量計はSUS-304製の肉厚0.5mmのカウンタ水封管に封入される。また、カウンタ水封管は外径50mm、内径42mmのAl製の測定器案内管を通して所定の位置にセットされる。このため、ラドコン線量計に入射するガンマ線は0.5mm厚のSUS-304と4mm厚のAlによって一部吸収され、測定値は過少評価となる。これら管壁での吸収効果はガンマ線のエネルギーによって異なるが、ガンマ線の吸収断面積から推定した値は次の通りである。

ガンマ線エネルギー	推定誤差 (%)
1.0 MeV	0～9
0.5	0～12
0.1	11～30
0.08	20～41

ここで、推定誤差（吸収率）の上限値は、全吸収断面積を用いて算出した値で、下限値は光電吸収断面積を用いて算出した値である。

## 4.2 中性子の反応率分布測定

### 4.2.1 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管による測定

Table 5～7はA, B, Cそれぞれの燃料集合体周辺で、 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管により測定した $^{235}\text{U}$ (n, f)反応の反応率分布で、Table 8は3体を同時にセットした時の測定結果である。Fig. 13からFig. 16はこれらの結果を図示したもので、ガンマ線の場合と同じように、対称的な位置関係にある測定値は全体として20%程度のバラツキ以内にある。

Table 5～8の測定誤差は計数率の統計誤差で、この他、ガンマ線の場合と同様、測定器案内管の管壁での中性子の吸収もあるが、4mm厚のAlによる熱中性子の吸収は1%以下で無視しうる量である。また、核分裂計数管は有効長が約100mmあるので、Z軸方向についての位置の誤差となる。

### 4.2.2 $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定

Table 9, 10はBおよびC燃料集合体周辺での $^{232}\text{Th}$ (n, f)反応の反応率分布の測定結果で、Fig. 17, 18はそれらを図示したものである。A燃料集合体については中性子強度が小さく $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定はされていない。Table 11はA, B, C3体の燃料集合体を同時にセットした時の測定結果で、Fig. 19はそれらを図示したものである。

Table 9～11の測定誤差は $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による計数率の統計誤差である。この他、 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管と同じく測定器案内管の管壁での中性子の吸収も誤差要因として考えられるが、 $^{232}\text{Th}$ (n, f)反応を起す速中性子に対しては、この効果は無視できる。また、 $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管と $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管の構造が全く同じであり、Z軸方向の位置の誤差は、 $^{235}\text{U}$ 計数管の場合と全く同じである。

## 5. 考察とまとめ

燃焼度、冷却日数の非常に異ったA, B, Cの3体の燃料集合体について得られたガンマ線、中性子の測定結果から幾つかの特長を把握することができる。

Table 12と13は、それぞれの集合体の胴体部(b点)と角の位置(a点)でのガンマ線線量率と $^{235}\text{U}$ 計数管による反応率の平均値を比較したもので、Fig. 20と21はそれらを図示したものであり、A, B, C集合体からのガンマ線、中性子の強度の比は燃料中心部で次のようになる。

	Pos.	Ratio to A*		
		A	B	C
ガンマ線	a	1.0	6.4	10.5
	b	1.0	5.0	9.3
中性子	a	1.0	34.7	401
	b	1.0	35.4	481

(\* Z = ± 120 cm, 0 cmの3点の平均値)

## 4.2 中性子の反応率分布測定

### 4.2.1 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管による測定

Table 5～7はA, B, Cそれぞれの燃料集合体周辺で、 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管により測定した $^{235}\text{U}$ (n, f)反応の反応率分布で、Table 8は3体を同時にセットした時の測定結果である。Fig. 13からFig. 16はこれらの結果を図示したもので、ガンマ線の場合と同じように、対称的な位置関係にある測定値は全体として20%程度のバラツキ以内にある。

Table 5～8の測定誤差は計数率の統計誤差で、この他、ガンマ線の場合と同様、測定器案内管の管壁での中性子の吸収もあるが、4mm厚のAlによる熱中性子の吸収は1%以下で無視しうる量である。また、核分裂計数管は有効長が約100mmあるので、Z軸方向についての位置の誤差となる。

### 4.2.2 $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定

Table 9, 10はBおよびC燃料集合体周辺での $^{232}\text{Th}$ (n, f)反応の反応率分布の測定結果で、Fig. 17, 18はそれらを図示したものである。A燃料集合体については中性子強度が小さく $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定はされていない。Table 11はA, B, C3体の燃料集合体を同時にセットした時の測定結果で、Fig. 19はそれらを図示したものである。

Table 9～11の測定誤差は $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による計数率の統計誤差である。この他、 $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管と同じく測定器案内管の管壁での中性子の吸収も誤差要因として考えられるが、 $^{232}\text{Th}$ (n, f)反応を起す速中性子に対しては、この効果は無視できる。また、 $^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管と $^{235}\text{U}$ 核分裂計数管の構造が全く同じであり、Z軸方向の位置の誤差は、 $^{235}\text{U}$ 計数管の場合と全く同じである。

## 5. 考察とまとめ

燃焼度、冷却日数の非常に異ったA, B, Cの3体の燃料集合体について得られたガンマ線、中性子の測定結果から幾つかの特長を把握することができる。

Table 12と13は、それぞれの集合体の胴体部(b点)と角の位置(a点)でのガンマ線線量率と $^{235}\text{U}$ 計数管による反応率の平均値を比較したもので、Fig. 20と21はそれらを図示したものであり、A, B, C集合体からのガンマ線、中性子の強度の比は燃料中心部で次のようになる。

	Pos.	Ratio to A*		
		A	B	C
ガンマ線	a	1.0	6.4	10.5
	b	1.0	5.0	9.3
中性子	a	1.0	34.7	401
	b	1.0	35.4	481

(\* Z = ±120cm, 0cmの3点の平均値)

3つの集合体は、冷却日数が異なるので、一概に比較できないが、ガンマ線と比べ中性子は燃焼度の増加と共に急激に増加していることを示している。

次に、3つの集合体の相乗効果を見たのがTable 14から16である。すなわち、燃料の中心領域での測定値について、A, B, Cの集合体、それぞれ単独で測定した値の加算値( $\beta$ )と3体での測定値( $\alpha$ )の比を、ガンマ線線量率、 $^{235}\text{U}(n, f)$ 、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ 反応率ごとに求めたものである。I点はA, B, C 3体の寄与のある位置で、EとCの位置ではB燃料集合体の寄与がほど無視できると考えられ、一方、HとGの位置ではA燃料集合体の寄与が無視できると考えられる。Table 14に見られるように、ガンマ線線量率の比はC燃料集合体からの寄与が大部分を占めるC点で1.11になっているが他の点ではほど1になっていることが分る。一方、 $^{235}\text{U}$ の核分裂反応率の比はI点で1.31、他の点でも1.10～1.14と明らかに1より大きな値になっている。測定点が少ないので $^{235}\text{U}$ の核分裂反応率より誤差は大きいが、 $^{232}\text{Th}$ の核分裂反応率もI点で1.18、H点で1.12になっている。以上の結果は、A, B, C 3体の集合体配置においては、それぞれ単独の場合より中性子実効増倍係数  $k_{\text{eff}}$ が増加しており、その効果はA-C, 又はB-Cによって狭まれているE, Hの点より3体の集合体によって囲れているI点で最も大きくなっている。 $k_{\text{eff}}$ の増加により、核分裂ガンマ線の増加もあるはずであるが、中性子に対する  $k_{\text{eff}}$  の直接的効果と比べ、ガンマ線の場合には蓄積されている核分裂生成物からのガンマ線に隠れてしまったものと考えられる。

以上の考察と合せ、本実験によって得られた結果は次のようにまとめられる。

- (1) PWR型燃料集合体の上下方向に沿った測定では、燃料集合体のための水中スタンドの構造による影響を除くと、いずれの集合体についてもガンマ線、中性子ともほど均一な分布をしている。また、周囲方向についても、幾何学的に対称な位置ではほど同じ測定値を示している。
- (2) 燃料集合体の中性子強度は、ガンマ線の強度と比べ燃焼率に強く依存し、A, B, C燃料集合体の燃焼率は約1:2:4の比になっているのに対し、中性子強度は1:35:480になっている。
- (3) 本実験の配置において、3体の集合体の実験では中性子実効増倍係数  $k_{\text{eff}}$  の増加によるものと考えられる中性子強度の増加が認められた。複数の燃料集合体を近接して収納する輸送キャスクの遮蔽計算では、中性子の線源計算の一つとして使用済燃料集合体に関する精度のよい臨界計算法も合せて確立しておく必要があるが、本実験結果は、こうした計算法の評価にも役立つと考えられる。
- (4) 線源強度の正確な把握は、別に行われる「線源強度評価実験」の結果を待たなければならないが、今回の実験で燃焼度、冷却日数の非常に異なる3体の燃料集合体について得られたガンマ線、中性子の測定結果は、「線源形状評価」のみならず、ORIGENコード<sup>5)</sup>等による線源強度計算法を抱括的に評価する上で貴重である。

## 謝 詞

PWR燃料による「線源形状評価実験」は、昭和54年度以来準備が進められてきた遮蔽安全実験計画の一つであり、本実験に致るまでには前安全解析部長桂木学氏、前原子炉データ解析室長下樋敬則氏、現安全解析部長平田実穂氏、同次長佐藤一男氏、同前事務長塚越亮一氏をはじめ多くの方々による計画遂行のための多大な努力がありました。こゝに記して深甚の意を表します。また、燃料集合体の受入れ、利用をはじめ、水中スタンドの製作、各種許認可手続きに関して岩本多実前燃料試験室長、八巻治恵燃料試験技術課長、坂倉敦燃料試験課長をはじめ、実用燃料試験室の方々から多大な協力を得ました。こゝに記して謝意を表します。さらに、朝岡卓見原子炉工学部長、松浦祥次郎原子炉工学部次長、鈴木友雄遮蔽研究室長からは本実験の遂行に当って、多くの御援助と貴重な御意見をいただきました。篤く御礼申し上げます。また、核分裂計数管による中性子測定に関し、若山直昭原子炉計測室長、同研究室山岸秀志氏から懇切な御指導を受けました。こゝに記して謝意を表します。

## References

- 1) Tanaka S. et al. : "Shielding Experiment of a Spent Fuel Transport Cask for PWR Spent Fuel Assembly", JAERI-M 82-201 (1982)
- 2) Stehn J.R. et al. : "Neutron Cross Sections", BNL-325 supplement No.2 (1965)
- 3) Stoddard D.H. and Hootman H.E. : " $^{252}\text{Cf}$  Shielding Guide", DP-1246 (1971)
- 4) Hubbell J.H. : "Photon Cross Section, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV", NSRDS-NBS 29 (1969)
- 5) Bell M.J. : "ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-4628 (1973)

## 謝 詞

PWR燃料による「線源形状評価実験」は、昭和54年度以来準備が進められてきた遮蔽安全実験計画の一つであり、本実験に致るまでには前安全解析部長桂木学氏、前原子炉データ解析室長下樋敬則氏、現安全解析部長平田実穂氏、同次長佐藤一男氏、同前事務長塚越亮一氏をはじめ多くの方々による計画遂行のための多大な努力がありました。こゝに記して深甚の意を表します。また、燃料集合体の受入れ、利用をはじめ、水中スタンドの製作、各種許認可手続きに関して岩本多実前燃料試験室長、八巻治恵燃料試験技術課長、坂倉敦燃料試験課長をはじめ、実用燃料試験室の方々から多大な協力を得ました。こゝに記して謝意を表します。さらに、朝岡卓見原子炉工学部長、松浦祥次郎原子炉工学部次長、鈴木友雄遮蔽研究室長からは本実験の遂行に当って、多くの御援助と貴重な御意見をいただきました。篤く御礼申し上げます。また、核分裂計数管による中性子測定に関し、若山直昭原子炉計測室長、同研究室山岸秀志氏から懇切な御指導を受けました。こゝに記して謝意を表します。

## References

- 1) Tanaka S. et al. : "Shielding Experiment of a Spent Fuel Transport Cask for PWR Spent Fuel Assembly", JAERI-M 82-201 (1982)
- 2) Stehn J.R. et al. : "Neutron Cross Sections", BNL-325 supplement No.2 (1965)
- 3) Stoddard D.H. and Hootman H.E. : " $^{252}\text{Cf}$  Shielding Guide", DP-1246 (1971)
- 4) Hubbell J.H. : "Photon Cross Section, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV", NSRDS-NBS 29 (1969)
- 5) Bell M.J. : "ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-4628 (1973)

Table 1(1) Gamma-ray exposure dose rate around the A-fuel assembly

pos.	z (cm)	counter guide tube						L
		A	C	D	E	H	I	
12	280							
11	260							
10	240	5.40+00	6.60+00	4.20+00	1.14+01	4.20+00	1.08+01	3.60+00
9	220	9.00	1.38+01	1.44+01	2.22	4.20+00	1.32+01	1.14+01
8	200	5.52+01	8.88	1.02+02	1.53+02	2.40+01	8.76	1.69+02
7	190	9.54	1.90+02	2.29	4.35	4.50	2.10+02	5.29
6	180	1.32+02	2.65	3.20	6.78	6.00	3.03	2.31+02
5	160	1.78	3.43	4.37	1.03+03	8.10	3.84	1.15+02
4	140	2.52	5.41	6.90	1.70	1.09+02	5.98	2.17
3	120	2.69	5.77	7.14	1.90	1.12	5.88	2.29
2	80	2.46	6.12	7.50	2.11	1.02	6.36	2.53
1.75	70	1.33	4.42	5.50	1.84	6.30+01	4.61	2.18
1.50	60	1.94	5.18	6.36	1.86	8.16	5.39	2.19
1.25	50	2.68	5.80	7.08	2.00	1.06+02	6.12	2.34
1	40	3.17	6.36	7.80	2.08	1.29+02	7.02	2.43
0	0	2.63	5.64	6.96	1.98	1.09	6.30	2.32
-1	-40	2.68	5.69	6.90	2.06	1.10	6.66	2.37
-1.5	-60	2.42	5.80	7.02	2.18	1.07	7.26	2.60
-1.75	-70	1.36	4.55	5.14	2.00	7.02+01	5.90	2.35
-2	-80	2.08	5.60	6.72	2.18	9.42	6.90	2.50
-2.5	-100	3.22	6.30	7.50	2.15	1.46+02	7.68	2.55
-3	-120	2.84	6.24	7.62	2.35	1.28	8.16	2.82
-3.5	-140	2.36	5.24	6.47	2.04	1.07	6.90	2.46
-4	-160	1.42	3.18	3.92	1.27	6.12+01	4.13	1.58
-5	-180	7.38+01	1.74	2.28	7.32+02	3.48	2.28	9.60+02
-6	-200	6.60+00	3.48+01	4.80+01	2.05	2.28+01	2.74+02	5.46+01

Table 1(2) continued

pos.	z (cm)	counter guide tube			P
		M	O	P	
9	220	9.00+00			
8	200	3.12+01			
7	190	4.86	1.08+01	1.20+01	
6	180	6.54	1.74	1.92	
5	160	8.70	2.28	2.40	
4	140	1.11+02	2.58	2.64	
3	120	1.06	2.82	2.76	
2	80	8.51+01	2.46	1.86	
1.75	70	4.02	1.32	4.20+00	
1.50	60	6.54	1.92	1.38+01	
1.25	50	9.12	2.58	2.34	
1	40	1.22+02	3.36	3.36	
0	0	9.36+01	2.52	2.16	
-1	-40	9.60	2.40	2.16	
-1.5	-60	9.66	2.28	1.86	
-1.75	-70	5.58	1.68	8.40+00	
-2	-80	7.56	2.10	1.74+01	
-2.5	-100	1.33+02	3.48	3.84	
-3	-120	1.12	2.82	2.82	
-3.5	-140	8.82+01	2.22	1.86	
-4	-160	4.26	1.50	1.20	
-5	-180	1.80	8.40+00	6.00+00	

Table 2(1) Gamma-ray exposure dose rate around the B-fuel assembly

pos.	z (cm)	counter guide tube						K
		E	F	G	H	I	J	
11	260	4.80+00	5.40+00	9.60+00	1.68+01	3.60+00	4.80+00	3.60+00
10	240	2.70+01	2.46+01	4.02+01	6.60	3.90+01	2.10+01	1.20+01
9	220	1.19+02	2.57+02	4.12+02	7.57+02	3.84+02	1.15+02	2.94
8	200	1.97	4.89	9.57	2.32+03	8.55	1.95	4.62
7	190	2.80	6.75	1.36+03	3.47	1.24+03	2.75	6.72
6	180	4.27	1.06+03	2.28	6.38	2.06	4.22	9.12
5	160	6.04	1.55	3.57	1.01+04	3.25	6.05	1.15+02
4	140	6.64	1.75	3.95	1.16	3.65	6.94	1.27
3	120	6.47	1.58	3.97	1.20	3.81	6.74	1.13
2	80	4.60	9.21+02	2.97	1.06	3.08	4.71	7.02+01
1.75	70	5.76	1.37+03	3.54	1.10	3.45	6.09	1.03+02
1.25	50	6.64	1.78	3.89	1.17	3.73	7.04	1.22
1	40	7.36	2.01	4.16	1.19	3.91	7.62	1.46
0	0	6.73	1.77	3.78	1.11	3.60	7.13	1.28
-1	-40	6.73	1.77	3.82	1.15	3.66	7.13	1.25
-1.5	-60	6.23	1.55	3.72	1.13	3.63	6.69	1.16
-1.75	-70	4.66	9.73+02	3.16	1.07	3.17	5.02	7.98+01
-2	-80	5.90	1.38+03	3.63	1.14	3.53	6.16	1.09+02
-2.5	-100	7.22	1.92	3.85	1.10	3.69	7.66	1.51
-3	-120	6.81	1.74	3.81	1.14	3.74	7.24	1.28
-3.5	-140	6.28	1.58	3.56	1.09	3.56	6..66	1.16
-4	-160	4.51	1.07	2.46	7.56+03	2.55	4.82	8.04+01
-5	-180	2.50	5.09+02	1.35	4.50	1.58	2.76	4.20
-6	-200	4.44+01	1.27	1.97+02	1.11	3.82+02	4.80+01	3.00

Table 2(2) continued

pos.	Z (cm)	L	M	N	O	P	Q
counter guide tube							
11	260		1.20+01	1.20+01	3.60+00	4.80+00	6.00+00
10	240		6.12	4.44	4.20+01	1.44+01	2.82+01
9	220		6.93+02	4.22+02	3.58+02	3.90	2.24+02
8	200		2.16+01	1.98+03	9.14	8.74	3.97
7	190		3.48	3.04	1.32+03	1.20+03	7.62
6	180		4.62	5.74	2.35	2.01	1.03+02
5	160		5.46	9.48	3.86	3.31	1.31
4	140		6.06	1.11+04	4.52	3.89	1.45
3	120		4.98	1.18	4.69	4.15	1.79
2	80		1.98	1.08	3.57	3.31	5.70+01
1.75	70		4.44	1.11	4.36	3.83	1.10+02
1.5	60		6.00	1.17	4.72	4.15	1.43
1.25	50		7.26	1.20	4.94	4.35	1.79
1	40		5.70	1.14	4.58	4.14	1.45
0	0		5.76	1.19	4.61	4.26	1.43
-1	-40		5.34	1.18	4.48	4.19	1.22
-1.5	-60		2.82	1.13	3.74	3.74	2.11
-1.75	-70		4.62	1.20	4.40	4.09	1.07+02
-2	-80		7.62	1.16	4.62	4.23	1.64
-2.5	-100		6.24	1.17	4.66	4.31	1.48
-3	-120		5.40	1.13	4.38	4.07	1.29
-3.5	-140		3.72	8.09+03	3.15	2.95	8.70+01
-4	-160		2.10	4.89	1.85	1.78	4.02
-5	-180		1.31	4.21+02	4.85+02		8.17+02
-6	-200						2.09

Table 3(1) Gamma-ray exposure dose rate around the C-fuel assembly

pos.	Z (cm)	counter tube					G	H	I
		A	B	C	D	E			
11	260		4.80+00			6.00+00	1.26+01	1.38+01	1.98+01
10	240		2.04+01	1.98+01		2.88+01	6.54	3.85+02	7.68
9	220	4.32+01	6.72	7.38	6.28+02	3.96	6.26+02	1.25+03	6.41+02
8	200	3.73+02	5.99+02	6.12+02	4.86+01	1.24+03	3.81+02		1.45+03
7	190	6.87+02	1.31+03	7.68	3.15	7.09	1.07+03	3.32	
6	180	1.04+03	2.06	2.04	1.09+02	5.80	1.07+03	2.29	6.25
5	160	1.73	3.39	3.37	1.45	9.55	1.76	3.75	2.37
4	140	2.89	5.26	5.20	1.84	1.58+04	2.56	5.72	1.01+04
3	120	3.47	6.17	6.31	2.11	1.89	3.10	6.82	3.65
2	80	3.38	6.24	6.57	1.88	2.00	2.94	6.93	5.69
1.75	70								6.72
1.5	60								7.19
1.25	50								2.05
1	40	3.73	6.42	6.73	2.56	2.04	3.34	7.14	2.18
0	0	3.57	6.14	6.45	2.25	2.04	3.16	6.90	2.21
-1	-40	3.51	5.91	6.41	2.11	2.09	3.11	6.77	2.28
-1.5	-60	3.03					2.85		8.04
-1.75	-70	2.54					2.00		
-2	-80	2.88	5.25	5.91	1.57	2.11	2.33	6.23	2.31
-2.5	-100				2.79				7.95
-3	-120	3.26	5.35	6.27	2.20	2.20	2.91	6.44	2.37
-3.5	-140				2.00				8.63
-4	-160	2.22	4.16	5.05	1.48	1.89	2.24	5.19	2.06
-5	-180	1.33	2.48	3.17	7.02+01	1.23	1.32	3.11	7.39
-6	-200	4.06+02	7.18+02	1.01	4.31+03	3.86+02	9.38+02	4.40+03	4.64
									1.82

Table 3(2) continued

pos.	Z (cm)	J	K	L	M	N	O	P	Q
counter guide tube									
11	260								
10	240								
9	220								
8	200	1.78+02	4.32+01		1.55+02	5.04+01	4.74+01		
7	190	3.19	7.02	3.42+01	2.89	8.22	7.32	1.56+01	4.08+01
6	180	4.70	9.54	4.62	4.39	1.13+02	1.06+02	2.46	5.34
5	160	7.04	1.24+02	5.82	6.82	1.52	1.39	2.88	6.48
4	140	1.00+03	1.60	6.90	9.42	1.91	1.79	3.30	7.86
3	120	1.18	1.77	7.50	1.25+03	2.12	2.02	3.42	8.34
2	80	1.18	1.58	6.30	1.15	1.85	1.93	3.06	6.84
1.75	70								
1.5	60								
1.25	50								
1	40	1.36	2.11	9.72	1.32	2.57	2.36	4.02	1.04+02
0	0	1.36	1.93	7.26	1.37	2.33	2.22	3.42	8.52+01
-1	-40	1.39	1.95	7.14	1.43	2.33	2.23	2.94	8.04
-1.5	-60								
-1.75	-70								
-2	-80	1.21	1.59	4.44	1.24	1.68	1.84	2.82	5.40
-2.5	-100	1.53	2.35	1.00+02		2.56	2.49		9.48
-3	-120	1.49	2.05	7.80+01	1.52	2.33	2.30	3.54	8.34
-3.5	-140	1.42	1.88	6.72		2.11	2.11		7.56
-4	-160	1.34	1.42	4.86	1.25	1.58	1.65	2.16	5.04
-5	-180	7.03+02	6.78+01	2.16	7.81+02	8.10+01	9.12+01	8.40+00	2.16
-6	-200	2.10			2.35		7.20+00		

Table 4(1) Gamma-ray exposure dose rate around three fuel assemblies arranged in a L-shape

pos.	Z (cm)	counter guide tube							I
		A	B	C	D	E	F	G	
11	260	4.20+00	5.40+00	4.20+00	3.00+01	6.00+00	3.06+01	2.52+01	3.06+01
10	240	1.98+01	2.58+01	1.07+02	2.22+01	1.62+02	7.26	1.12+02	1.81+02
9	220	5.46	8.04	1.36+03	7.35	1.37+02	1.55+03	6.35+02	1.16+02
8	200	4.57+02	6.57+02	1.62+03	2.20	2.91	3.92	1.25+03	1.08+03
7	190	8.27	1.36+03	1.97	2.56	3.95	6.93	2.44	5.35
6	180	1.23+03	2.20	3.51	3.95	5.28	1.12+04	3.08	3.93
5	160	2.96	5.38	6.15	8.44	1.84	4.54	9.81	9.81
4	140	3.54	6.32	7.28	9.05	2.17	5.26	1.13+04	3.99
3	120	3.47	6.43	7.67	9.46	2.34	4.87	1.13	6.06
2	80	7.75	70	2.24	6.92	8.07	8.07	3.24	9.66
1.5	60	3.20	3.76	6.70	9.04	2.41	5.61	1.19	1.12+04
1.25	50	3.97	6.60	8.04	9.85	2.41	5.00	1.10	3.09
1	40	3.79	6.60	7.89	9.03	2.41	5.01	1.10	1.12+04
0	0	-40	3.72	6.42	7.97	9.01	2.51	4.60	1.18
-1	-60	3.41	8.54	8.86	9.96	2.67	4.78	1.09	3.30
-1.5	-70	2.32	6.86	7.62	8.67	2.53	3.90	1.03	1.22
-2	-80	2.97	5.81	9.77	9.77	2.67	5.22	1.09	3.24
-2.5	-100	3.71	5.90	7.93	9.96	2.67	4.78	1.09	1.22
-3	-120	3.50	5.90	7.93	8.64	4.44	4.44	3.36	1.28
-3.5	-140	3.22	4.56	6.21	5.66	2.26	3.38	8.22+03	9.84+03
-4	-160	2.59	2.69	3.76	3.38	1.36	1.80	4.74	1.49
-5	-180	1.57	7.62+02	1.24	1.07	4.61+03	2.20+02	1.10	6.00
-6	-200	4.80+02	7.62+02	1.24	4.61+03	2.20+02	1.10	4.29+03	1.93

Table 4(2) continued

pos.	Z (cm)	J	K	L	M	N	O	P	Q
counter guide tube									
11	260	2.04+01	1.32+01	4.20+00	2.28+01	1.68+01	1.50+01	6.00+00	1.20+01
10	240	6.30	3.24	1.50+01	8.88	5.52	4.86	2.04+01	3.54
9	220	4.42+02	1.57+02	9.18	8.70+02	4.23+02	3.76+02	5.46	2.59+02
8	200	9.72	3.25	1.54+02	2.50+03	9.05	8.40	7.92	4.45
7	190	1.44+03	4.62	2.17	3.77	1.30+03	1.21+03	1.12+02	6.18
6	180	2.36	6.63	3.08	7.06	2.30	2.06	1.52	1.06+03
5	160	3.73	9.96	4.40	1.15+04	3.84	3.49	1.99	1.66
4	140	4.22	1.09+03	4.90	1.35	4.50	4.18	2.23	2.01
3	120	4.53	1.14	4.57	1.44	4.66	4.49	1.99	2.01
2	80	3.67	8.82+02	2.60	1.30	3.60	3.60	1.11	1.27
1.75	70	9.93	3.80	1.33	4.28	4.13	4.13	1.81	1.78
1.5	60	4.01	1.09+03	4.84	1.42	4.71	4.49	2.24	2.17
1.25	50	4.40	1.17	5.42	1.45	4.93	4.73	2.66	2.36
1	40	4.58	1.10	4.94	1.38	4.61	4.51	2.35	2.26
0	0	4.44	1.13	4.94	1.43	4.65	4.64	2.32	2.29
-1	-40	4.53	1.15	4.53	1.42	4.67	4.60	2.05	2.08
-1.5	-60	4.63	2.81	9.00+02	2.72	1.37	3.76	3.97	1.42
-1.75	-70	4.30	1.07+03	3.98	1.45	4.41	4.50	1.83	1.83
-2	-80	4.65	1.20	5.59	1.42	4.70	4.73	2.77	2.38
-2.5	-100	4.65	1.24	5.25	1.47	4.64	4.81	2.41	2.33
-3	-120	4.88	1.11	4.64	1.43	4.39	4.53	2.08	2.15
-3.5	-140	4.45	7.74+02	3.26	1.01	3.17	3.28	1.52	1.58
-4	-160	2.08	4.96	1.94	6.24+03	1.89	2.03	7.86+01	9.30+02
-5	-180	7.91+02	2.17	5.76+02	1.82	4.93+02	5.79+02	9.00	2.44
-6	-200								

Table 5(1)  $^{235}\text{U}$  fission rate around the A-fuel assembly

pos.	Z (cm)	counter guide tube			
		A	C	D	E
8	200				H
7	190				
6	180	(4.34±0.67)+02	(3.34±0.58)+02	(6.92±0.73)+02	
5	160				
4	140				
3	120	(5.62±0.24)+03	(5.43±0.24)+03	(1.13±0.03)+04	
2	80				
1	40				
0	0	(1.08±0.09)+03	(5.56±0.24)+03	(4.71±0.21)+03	(1.21±0.05)+04
-1	-40				(2.73±0.41)+02
-2	-80				
-3	-120	(5.22±0.24)+03	(4.49±0.21)+03	(1.29±0.04)+04	
-4	-160				
-5	-180				
-6	-200	(1.11±0.34)+02	(1.82±0.43)+02	(2.73±0.53)+02	

Table 5(2) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube				M
		I	J	K	L	
8	200	(3.04±2.16)+01				
7	190					
6	180	(4.07±0.49)+02	(8.71±0.94)+02	(3.16±0.43)+02		
5	160	(1.83±0.14)+03				
4	140	(3.49±0.18)+03				
3	120	(4.86±0.21)+03	(1.25±0.06)+04	(5.77±0.24)+03		
2	80	(5.40±0.24)+03				
1	40	(5.34±0.24)+03				
0	0	(5.59±0.24)+03	(1.29±0.06)+04	(4.98±0.21)+03	(1.23±0.02)+03	(3.04±0.43)+02
-1	-40	(5.53±0.24)+03				
-2	-80	(5.92±0.24)+03				
-3	-120	(6.04±0.24)+03	(9.20±0.49)+03	(5.50±0.24)+03		
-4	-160	(4.22±0.21)+03				
-5	-180	(1.64±0.13)+03				
-6	-200	(1.92±0.44)+02	(3.95±0.64)+02	(1.94±0.34)+02		

Table 6(1)  $^{235}\text{U}$  fission rate around the B-fuel assembly

pos.	Z (cm)	E	F	G	H	I	J
				counter guide tube			
8	200					(3.02±1.51)+02	
7	190					(9.84±2.72)+02	
6	180	(6.82±2.29)+02	(1.89±0.38)+03	(5.96±0.67)+03	(1.61±0.11)+04	(6.82±0.60)+03	
5	160					(4.14±0.18)+04	
4	140					(9.78±0.30)+04	
3	120	(1.01±0.08)+04	(4.65±0.19)+04	(1.94±0.04)+05	(4.33±0.05)+05	(1.64±0.04)+05	(9.42±0.85)+03
2	80					(1.85±0.04)+05	
1	40					(1.97±0.04)+05	
0	0	(1.13±0.09)+04	(4.31±0.18)+04	(1.97±0.04)+05	(4.35±0.05)+05	(1.73±0.04)+05	(1.01±0.08)+04
-1	-40					(1.77±0.04)+05	
-2	-80					(1.79±0.04)+05	
-3	-120	(1.16±0.10)+04	(3.60±0.16)+04	(1.62±0.04)+05	(4.08±0.05)+05	(1.58±0.04)+05	(9.84±0.85)+03
-4	-160					(9.05±0.24)+04	
-5	-180					(3.35±0.16)+04	
-6	-200	(8.33±2.47)+02	(1.13±0.29)+03	(3.62±0.53)+03	(7.00±0.72)+03	(2.72±0.45)+03	(9.05±2.60)+02

Table 6(2) continued

pos.	z (cm)	counter guide tube			Q
		N	M	P	
8	200				$(1.36 \pm 0.32) + 03$
7	190	$(1.12 \pm 0.09) + 04$	$(6.28 \pm 0.66) + 03$	$(6.10 \pm 0.66) + 03$	
6	180				
5	160				
4	140	$(8.45 \pm 1.57) + 02$	$(3.94 \pm 0.05) + 05$	$(2.01 \pm 0.04) + 05$	$(1.64 \pm 0.04) + 05$
3	120				$(3.62 \pm 1.04) + 02$
2	80				$(3.29 \pm 0.16) + 04$
1	40				
0	0	$(6.64 \pm 1.39) + 02$	$(4.30 \pm 0.05) + 05$	$(2.09 \pm 0.04) + 05$	$(1.93 \pm 0.04) + 05$
-1	-40				$(4.83 \pm 1.21) + 02$
-2	-80				$(4.03 \pm 0.18) + 04$
-3	-120	$(5.73 \pm 1.32) + 02$	$(4.05 \pm 0.05) + 05$	$(1.95 \pm 0.04) + 05$	$(1.92 \pm 0.04) + 05$
-4	-160				$(8.45 \pm 1.57) + 02$
-5	-180				$(4.07 \pm 0.18) + 04$
-6	-200	$(5.73 \pm 0.66) + 03$	$(3.51 \pm 0.07) + 03$	$(3.32 \pm 0.50) + 03$	$(1.29 \pm 0.31) + 03$

Table 7(1)  $^{235}\text{U}$  fission rate around the C-fuel assembly

pos.	z (cm)	A	B	C	D	E	F
8	200	(1.67±0.18)+03	(2.16±0.04)+03	(2.05±0.25)+03	(3.98±0.34)+03	(1.21±0.12)+03	
7	190	(1.26±0.08)+04	(5.60±0.13)+04	(4.71±0.19)+04	(1.08±0.03)+05	(1.75±0.11)+04	
6	180						
5	160						
4	140						
3	120	(3.97±0.05)+05	(2.14±0.01)+06	(1.78±0.01)+06	(4.75±0.02)+06	(4.50±0.06)+05	
2	80						
1	40						
0	0	(4.30±0.05)+05	(2.13±0.01)+06	(2.12±0.01)+06	(1.09±0.09)+04	(5.87±0.02)+06	(4.88±0.06)+05
-1	-40						
-2	-80						
-3	-120	(3.92±0.05)+05	(1.56±0.01)+06	(2.10±0.01)+06	(1.13±0.09)+04	(5.98±0.02)+06	(4.26±0.05)+05
-4	-160						
-5	-180						
-6	-200						

Table 7(2) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube				E
		G	H	I	J	
8	200	(2.55±0.13)+03	(3.41±0.16)+03	(1.63±0.16)+03		
7	190	(5.65±0.21)+04	(1.23±0.02)+05	(1.03±0.09)+04		
6	180			(4.68±0.19)+04		
5	160			(3.85±0.05)+05		
4	140			(1.06±0.01)+06		
3	120	(2.23±0.01)+06	(5.18±0.02)+06	(1.76±0.01)+06		
2	80			(2.14±0.01)+06		
1	40			(2.38±0.01)+06		
0	0	(2.46±0.01)+06	(6.22±0.02)+06	(2.37±0.01)+06		
-1	-40			(1.41±0.03)+06		
-2	-80			(2.67±0.01)+06		
-3	-120	(2.11±0.01)+06	(6.04±0.02)+06	(2.70±0.01)+06		
-4	-160			(2.75±0.01)+06		
-5	-180			(1.93±0.01)+06		
-6	-200			(7.73±0.06)+05		
				(8.45±0.24)+04		

Table 7 (3) continued

pos.	z (cm)	counter			p	q
		M	N	O		
8	200					
7	190					
6	180					
5	160					
4	140					
3	120					
2	80					
1	40					
0	0	$(1.41 \pm 0.03) + 0.05$	$(1.21 \pm 0.08) + 0.04$	$(1.13 \pm 0.07) + 0.04$	$(1.01 \pm 0.22) + 0.03$	$(2.64 \pm 0.26) + 0.03$
-1	-40					
-2	-80					
-3	-120					
-4	-160					
-5	-180					
-6	-200					

Table 8(1)  $^{235}\text{U}$  fission rate around three fuel assemblies  
arranged in a L-shape

Pos.	Z (cm)	counter guide tube					
		A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)
8	200	(1.10±0.24)+03	(2.49±0.43)+03	(2.11±0.40)+03		(6.16±1.21)+00	(9.84±2.72)+02
7	190	(1.96±0.12)+04	(5.92±0.21)+04	(5.81±0.21)+04			
6	180						
5	160						
4	140						
3	120	(4.26±0.05)+05	(2.15±0.01)+06	(2.00±0.01)+06	(1.23±0.03)+05	(5.40±0.02)+06	(5.38±0.07)+05
2	80						
1	40						
0	0	(4.87±0.06)+05	(2.14±0.01)+06	(2.49±0.01)+06	(1.57±0.04)+05	(6.74±0.02)+06	(5.66±0.07)+05
-1	-40						
-2	-80						
-3	-120	(4.49±0.06)+05	(1.54±0.01)+06	(2.32±0.01)+06	(1.52±0.03)+05	(7.24±0.02)+06	
-4	-160						
-5	-180						
-6	-200		(4.24±0.18)+04				

Table 8(2) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube				J	K	L
		G	H	I				
8	200	(2.57±0.36)+03	(4.38±0.57)+03	(3.47±0.42)+03	(7.54±2.41)+02	(5.28±2.00)+02		
7	190	(8.09±0.24)+04	(1.53±0.04)+05	(1.55±0.09)+04	(6.94±0.18)+04	(2.10±0.13)+04	(5.96±0.67)+03	(1.29±0.31)+03
6	180				(5.63±0.05)+05			
5	160				(1.43±0.01)+06			
4	140				(2.35±0.01)+06	(4.47±0.06)+05	(1.09±0.03)+05	(2.25±0.13)+04
3	120	(2.63±0.01)+06	(6.03±0.39)+06					
2	80				(2.83±0.01)+06			
1	40				(3.19±0.02)+06			
0	0	(2.90±0.01)+06	(7.24±0.02)+06	(3.08±0.02)+06	(6.04±0.06)+05	(1.47±0.04)+05	(3.16±0.16)+04	
-1	-40				(3.43±0.02)+06			
-2	-80				(3.56±0.02)+06			
-3	-120	(2.50±0.01)+06	(7.11±0.02)+06	(3.49±0.02)+06	(6.34±0.06)+05	(1.61±0.04)+05	(3.45±0.16)+04	
-4	-160				(2.40±0.01)+06			
-5	-180				(9.60±0.06)+05			
-6	-200				(9.90±0.30)+04			

Table 8(3) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube			P	Q
		M	N	O		
8	200	(1.36±0.32)+03		(7.54±2.41)+02		
7	190					
6	180	(3.21±0.16)+04	(1.26±0.10)+04	(1.26±0.10)+04		(2.26±0.41)+03
5	160					
4	140					
3	120	(7.79±0.06)+05	(2.97±0.05)+05	(2.29±0.04)+05	(1.86±0.31)+03	(4.48±0.18)+04
2	80					
1	40					
0	0	(9.60±0.06)+05	(3.26±0.05)+05	(2.90±0.05)+05	(2.92±0.38)+03	(5.95±0.21)+04
-1	-40					
-2	-80					
-3	-120	(9.42±0.06)+05	(2.93±0.05)+05	(2.86±0.05)+05	(2.92±0.38)+03	(6.04±0.21)+04
-4	-160					
-5	-180					
-6	-200					

Table 9  $^{232}\text{Th}$  fission rate around the B-fuel assembly

pos.	Z (cm)	counter guide tube		
		H	I	M
0	0	$(2.32 \pm 0.32) + 01$	$(5.91 \pm 1.76) + 00$	$(2.53 \pm 0.34) + 01$

Table 10 (1)  $^{232}\text{Th}$  fission rate around the C-fuel assembly

pos.	Z (cm)	counter guide tube			E
		A	B	C	
6	180				$(5.61 \pm 4.06) + 00$
3	120				$(3.03 \pm 0.30) + 02$
0	0	$(3.42 \pm 0.09) + 01$	$(8.48 \pm 1.06) + 01$	$(1.19 \pm 0.19) + 02$	$(3.73 \pm 0.21) + 02$
-3	-120				

Table 10 (2) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube			I
		F	G	H	
6	180				
3	120			$(2.64 \pm 0.32) + 02$	$(8.00 \pm 0.94) + 01$
0	0	$(3.36 \pm 0.18) + 01$	$(1.19 \pm 0.14) + 02$	$(3.61 \pm 0.15) + 02$	$(1.14 \pm 0.12) + 02$
-3	-120			$(4.24 \pm 0.24) + 02$	$(1.33 \pm 0.15) + 02$

Table 11(1)  $^{232}\text{Th}$  fission rate around three fuel assemblies  
arranged in a L-shape

pos.	Z (cm)	counter guide tube			F	G
		A	B	C		
3	120				$(3.51 \pm 0.24) + 02$	
0	0	$(3.61 \pm 0.33) + 01$	$(1.20 \pm 0.10) + 02$	$(1.12 \pm 0.11) + 02$	$(4.15 \pm 0.12) + 02$	$(3.91 \pm 0.18) + 01$
-3	-120				$(4.67 \pm 0.27) + 02$	$(1.24 \pm 0.12) + 02$

Table 11(2) continued

pos.	Z (cm)	counter guide tube			M	O
		I	J	K		
3	120	$(3.91 \pm 0.24) + 02$	$(9.51 \pm 1.24) + 01$			
0	0	$(4.30 \pm 0.06) + 02$	$(1.42 \pm 0.03) + 02$		$(6.06 \pm 0.21) + 01$	$(6.73 \pm 0.46) + 01$
-3	-120	$(4.85 \pm 0.27) + 02$	$(1.53 \pm 0.16) + 02$			$(1.05 \pm 0.19) + 01$

Table 12 Comparisons of gamma-ray exposure dose rate among A, B, and C fuel assemblies

Radcon

Exposure Dose (R/hr)

Pos. No.	Z (cm)	Fuel	A		B		C	
			b	a	b	a	b	a
12	280	-	-	-	-	-	-	-
11	260	$4.5 \times 10^0$	-	-	$4.8 \times 10^0$	$3.30 \times 10^0$	$6.00 \times 10^0$	$2.85 \times 10^0$
10	240	$1.11 \times 10^1$	$4.65 \times 10^0$	-	$1.44 \times 10^1$	9.30	$2.88 \times 10^1$	$1.85 \times 10^1$
9	220	2.19	$1.32 \times 10^1$	-	6.36	$4.14 \times 10^1$	$5.07 \times 10^2$	7.08
8	200	$1.61 \times 10^2$	9.39	-	$7.25 \times 10^2$	$3.94 \times 10^2$	$1.25 \times 10^3$	$6.20 \times 10^2$
7	190	4.82	$2.15 \times 10^2$	-	$2.15 \times 10^3$	9.07	$3.24 \times 10^3$	$1.36 \times 10^3$
6	180	7.47	3.07	-	3.26	$1.28 \times 10^3$	6.03	2.19
5	160	$1.17 \times 10^3$	4.02	-	6.06	2.18	9.83	3.54
4	140	1.94	6.28	-	9.79	3.50	$1.61 \times 10^4$	5.47
3	120	2.10	6.38	-	$1.14 \times 10^4$	4.00	1.90	6.51
2	80	2.32	6.72	-	1.19	4.16	2.03	6.73
1 3/4	70	2.01	4.85	-	1.07	3.23	-	-
1 2/4	60	2.03	5.67	-	1.11	3.80	-	-
1 1/4	50	2.17	6.37	-	1.17	4.12	-	-
1	40	2.26	7.13	-	1.20	4.34	2.11	6.99
0	0	2.15	6.33	-	1.13	4.03	2.13	6.81
-1	-40	2.22	6.45	-	1.17	4.09	2.19	6.78
-1 2/4	-60	2.39	6.73	-	1.16	4.01	-	-
-1 3/4	-70	2.18	5.22	-	1.10	3.45	-	-
-2	-80	2.34	6.41	-	1.17	3.91	2.21	6.34
-2 1/2	-100	2.35	7.17	-	1.13	4.10	-	-
-3	-120	2.59	7.41	-	1.16	4.11	2.29	6.67
-3 1/2	-140	2.25	6.26	-	1.11	3.95	-	-
-4	-160	1.43	3.80	-	$7.83 \times 10^3$	3.06	1.98	5.45
-5	-180	$8.46 \times 10^2$	2.11	-	4.70	1.93	1.25	3.35
-6	-200	2.40	$4.01 \times 10^1$	-	1.21	$6.95 \times 10^2$	$4.36 \times 10^3$	1.12

detector  
position

● a

● b

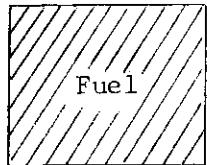


Table 13 Comparisons of  $^{235}\text{U}$  fission rate among A, B, and C assemblies

## U-235 Fission Counter

Pos. No.	Z (cm)	Reaction Rate (barn/cm <sup>2</sup> ·sec)					
		Fuel		A		B	
		b	a	b	a	b	a
3	200					$3.70 \times 10^3$	$2.10 \times 10^3$
7	190						
6	180	$7.82 \times 10^2$	$3.73 \times 10^2$	$1.37 \times 10^4$	$6.29 \times 10^3$	$1.16 \times 10^5$	$5.16 \times 10^4$
5	160						
4	140						
3	120	$1.19 \times 10^4$	$5.42 \times 10^3$	$4.14 \times 10^5$	$1.81 \times 10^5$	$4.97 \times 10^6$	$1.98 \times 10^6$
2	80						
1	40						
0	0	$1.25 \times 10^4$	$5.21 \times 10^3$	$4.33 \times 10^5$	$1.93 \times 10^5$	$6.05 \times 10^6$	$2.27 \times 10^6$
-1	-40						
-2	-80						
-3	-120	$1.11 \times 10^4$	$5.31 \times 10^3$	$4.07 \times 10^5$	$1.77 \times 10^5$	$6.01 \times 10^6$	$2.13 \times 10^6$
-4	-160						
-5	-180						
-6	-200	$3.34 \times 10^2$	$1.70 \times 10^2$	$6.37 \times 10^3$	$3.29 \times 10^3$		

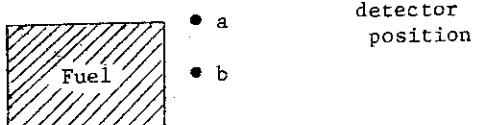


Table 14 Multiplication effect to the gamma-ray exposure dose rate due to assembling A, B, and C assemblies

Pos.	No.	Z(cm)	Exposure Dose Rate (R/hr)				Sum of A,B,C( $\beta$ )	Ratio (= $\alpha/\beta$ )	
			A	B	C	ABC( $\alpha$ )			Average
I	120	$5.88 \times 10^2$	$3.65 \times 10^3$	$6.72 \times 10^3$	$1.12 \times 10^4$	$1.10 \times 10^4$	1.022	0.994	
	0	6.30	3.60	7.71	1.18	1.19	0.988		
	-120	8.16	3.74	8.63	1.28	1.32	0.971		
E	120	$1.90 \times 10^3$	-	$1.89 \times 10^4$	$2.17 \times 10^4$	$2.08 \times 10^4$	1.044	1.071	
	0	1.98	-	2.04	2.41	2.24	1.076		
	-120	2.35	-	2.20	2.67	2.44	1.094		
C	120	$5.77 \times 10^2$	-	$6.31 \times 10^3$	$7.28 \times 10^3$	$6.89 \times 10^3$	1.057		
	0	5.64	-	6.45	7.89	7.01	1.126	1.111	
	-120	6.24	-	6.27	7.93	6.89	1.151		
H	120	-	$1.16 \times 10^4$	$1.91 \times 10^4$	$3.09 \times 10^4$	$3.07 \times 10^4$	1.006		
	0	-	1.11	2.21	3.24	3.32	0.976	0.980	
	-120	-	1.14	2.37	3.36	3.51	0.957		
G	120	-	$3.95 \times 10^3$	$6.82 \times 10^3$	$1.13 \times 10^4$	$1.08 \times 10^4$	1.046		
	0	-	3.78	6.90	1.10	1.07	1.028	1.044	
	-120	-	3.81	6.44	1.09	1.03	1.058		

Table 15 Multiplication effect to the  $^{235}\text{U}$  fission rate due to assembling A, B, and C fuel assemblies

Pos.		Reaction Rate ( $^{235}\text{U}$ )				Sum of A,B,C( $\beta$ )	Ratio ( $\alpha/\beta$ )	
No.	Z(cm)	A	B	C	ABC( $\alpha$ )		Average	
I	120	$4.86 \times 10^3$	$1.64 \times 10^5$	$1.76 \times 10^6$	$2.35 \times 10^6$	$1.92 \times 10^6$	1.221	1.309
	0	5.59	1.73	2.14	3.08	2.31	1.332	
	-120	6.04	1.58	2.38	3.49	2.54	1.375	
E	120	$1.13 \times 10^4$	-	$4.75 \times 10^6$	$5.40 \times 10^6$	$4.76 \times 10^6$	1.134	1.137
	0	1.21	-	5.87	6.74	5.88	1.146	
	-120	1.29	-	5.98	6.78	5.99	1.131	
C	120	$5.62 \times 10^3$	-	$1.78 \times 10^6$	$2.00 \times 10^6$	$1.79 \times 10^6$	1.074	1.110
	0	5.56	-	2.12	2.49	2.13	1.087	
	-120	5.22	-	2.10	2.32	2.11	1.169	
H	120	-	$4.33 \times 10^5$	$5.18 \times 10^6$	$6.03 \times 10^6$	$5.61 \times 10^6$	1.118	1.129
	0	-	4.35	6.22	7.24	6.66	1.169	
	-120	-	4.08	6.04	7.11	6.08	1.100	
G	120	-	$1.94 \times 10^5$	$2.23 \times 10^6$	2.63	$2.42 \times 10^6$	1.085	1.092
	0	-	1.97	2.46	2.90	2.66	1.091	
	-120	-	1.62	2.11	2.50	2.27	1.100	

Table 16 Multiplication effect to the  $^{232}\text{Th}$  fission rate due to assembling A, B, and C fuel assemblies

Pos.		Reaction Rate ( $^{232}\text{Th}$ )			Sum of B,C( $\beta$ )	Ratio (= $\alpha/\beta$ )
No.	Z(cm)	B	C	ABC( $\alpha$ )		
I	0	$5.91 \times 10^0$	$1.14 \times 10^2$	$1.42 \times 10^2$	$1.20 \times 10^2$	1.184
H	0	$2.32 \times 10^1$	$3.61 \times 10^2$	$4.30 \times 10^2$	$3.84 \times 10^2$	1.119

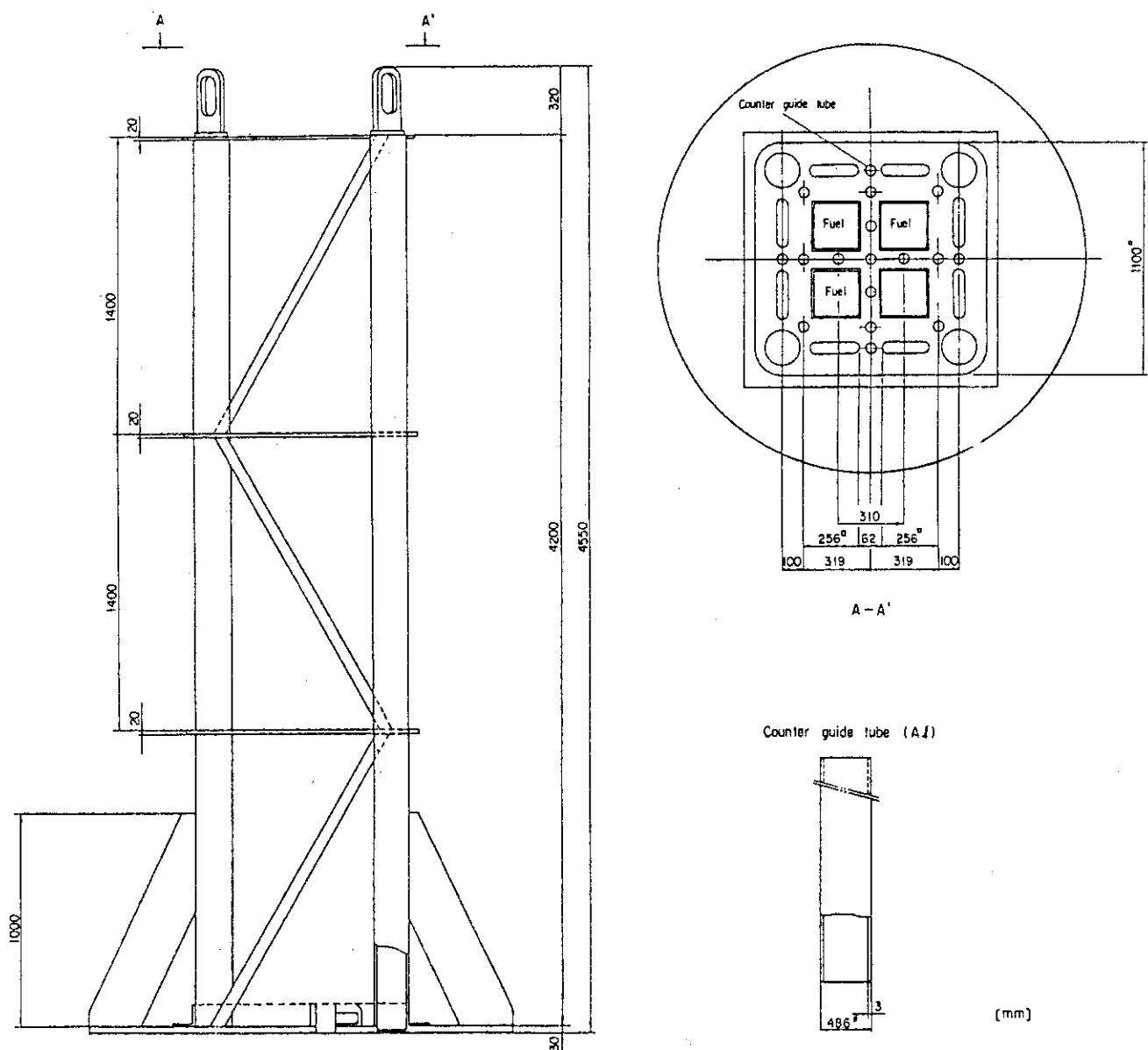
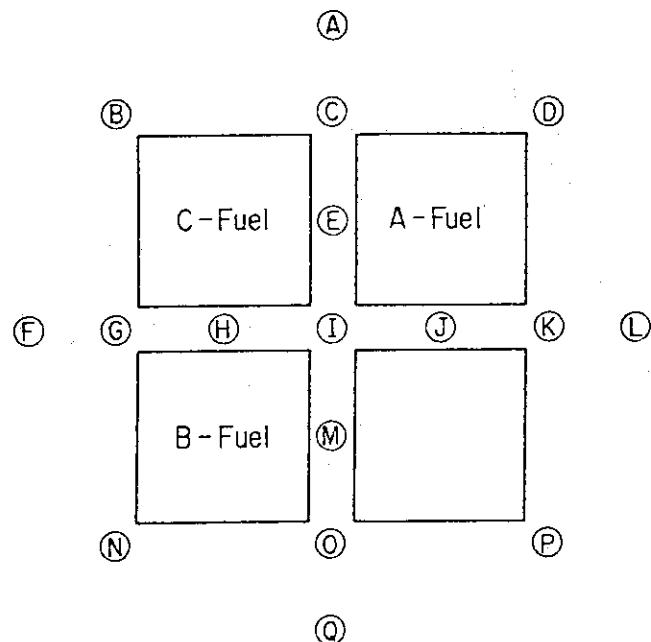


Fig.1 A plane view and a vertical cross sectional view of the fuel assembly stand



(A) ~ (Q) : Guide tube

Fig.2 The positions of A, B, and C fuel assemblies in the fuel stand and the postions of counter guide tubes

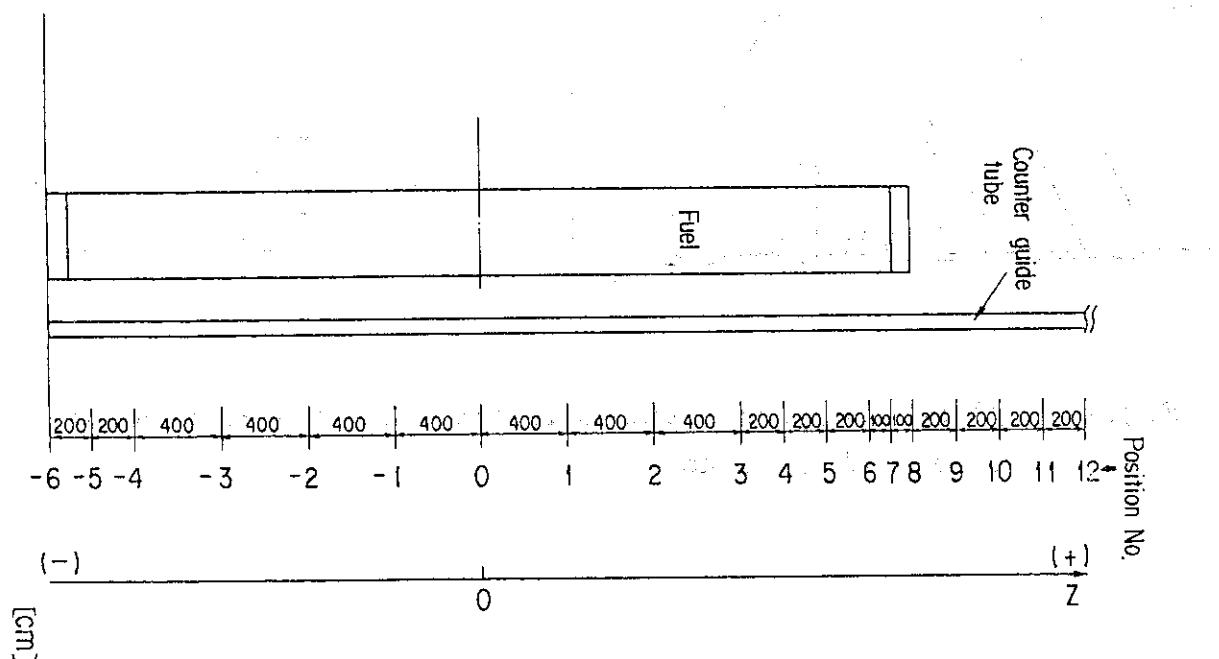


Fig.3 The vertical plan of the measurements along Z-axis, where the origin is placed on the center of fuel assembly

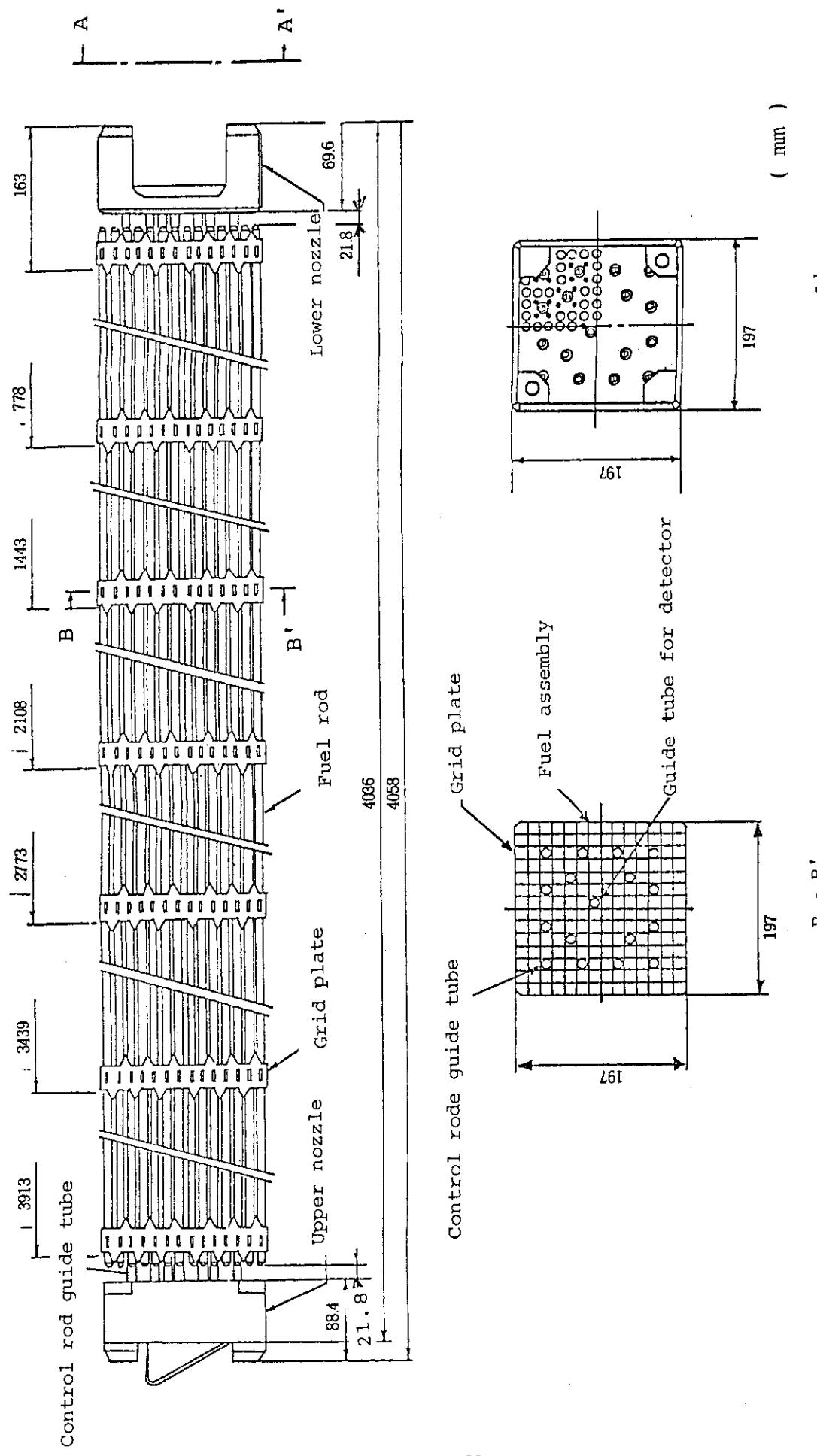


Fig. 4(1) Dimensions of the C-fuel assembly and the cross sectional view

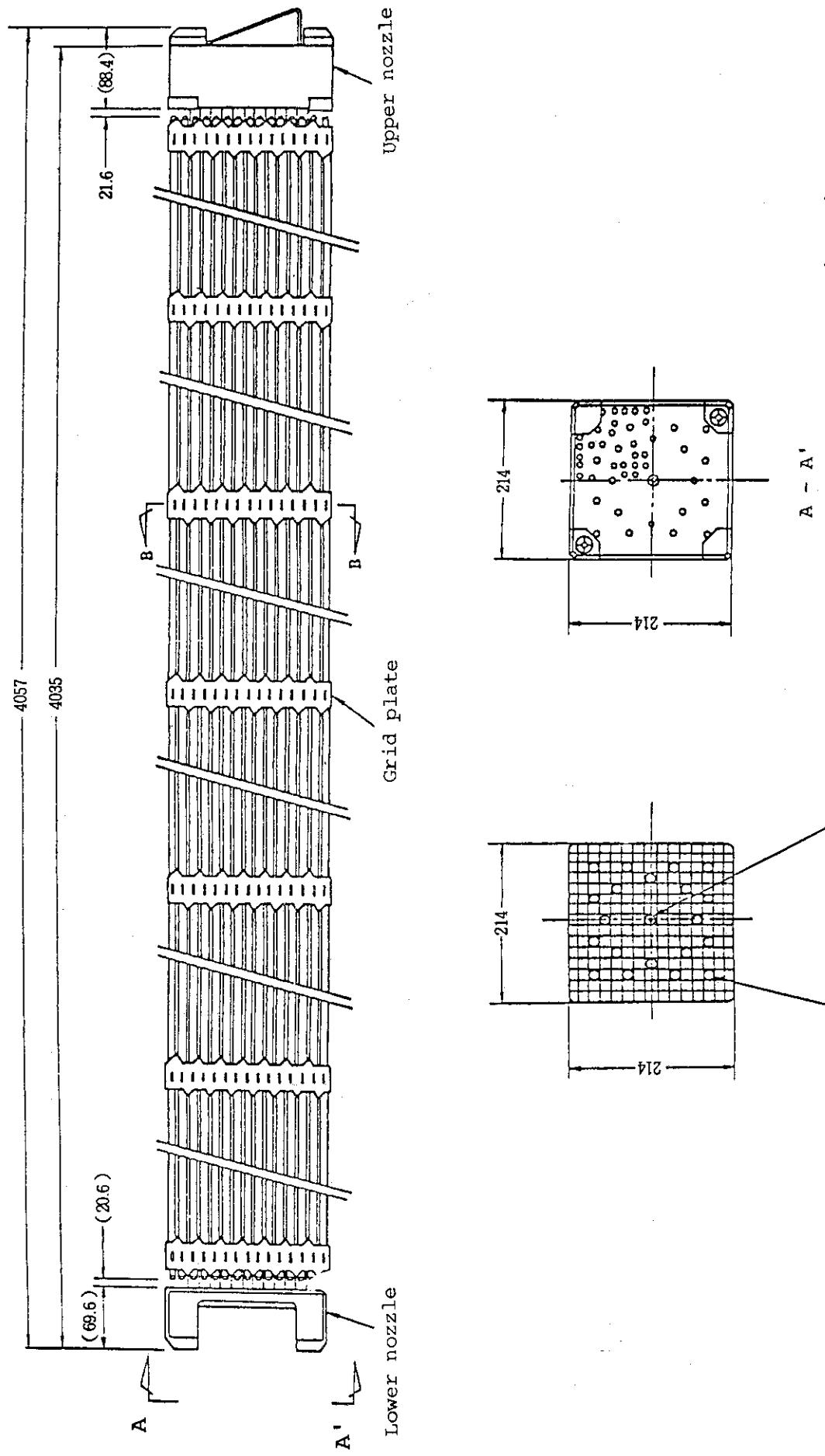


Fig.4(2) Dimensions of the A and B fuel assembly and the cross sectional view

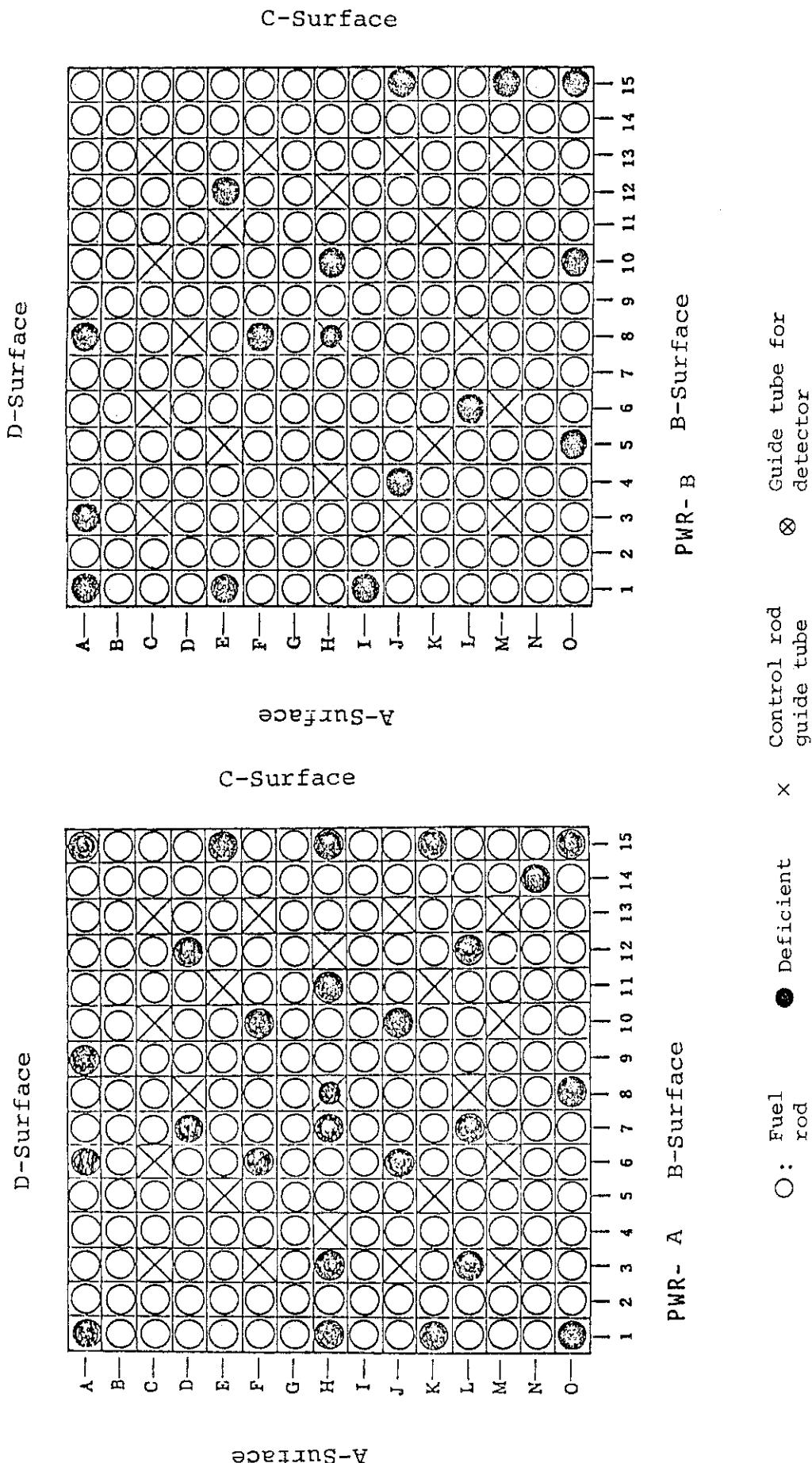


Fig.4 (3) Cross sectional views of the A and B fuel assemblies

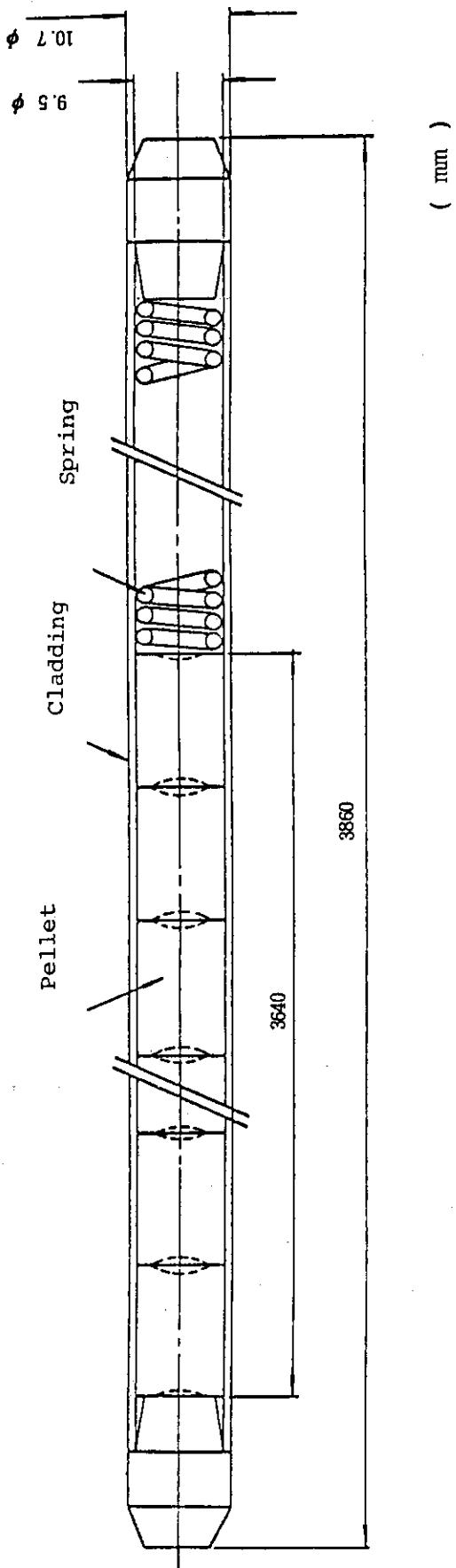
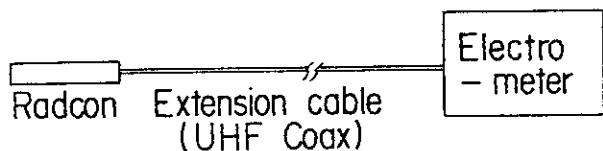


Fig.4(4) Dimensions of a fuel rod



Radcon : Model 500 - 6A  
Electrometer : Model 500

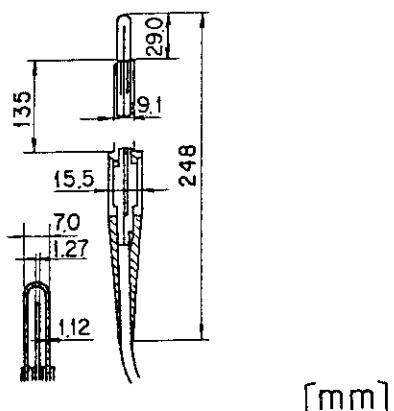


Fig.5 Model 500-6A Radcon dosimeter and the measuring system

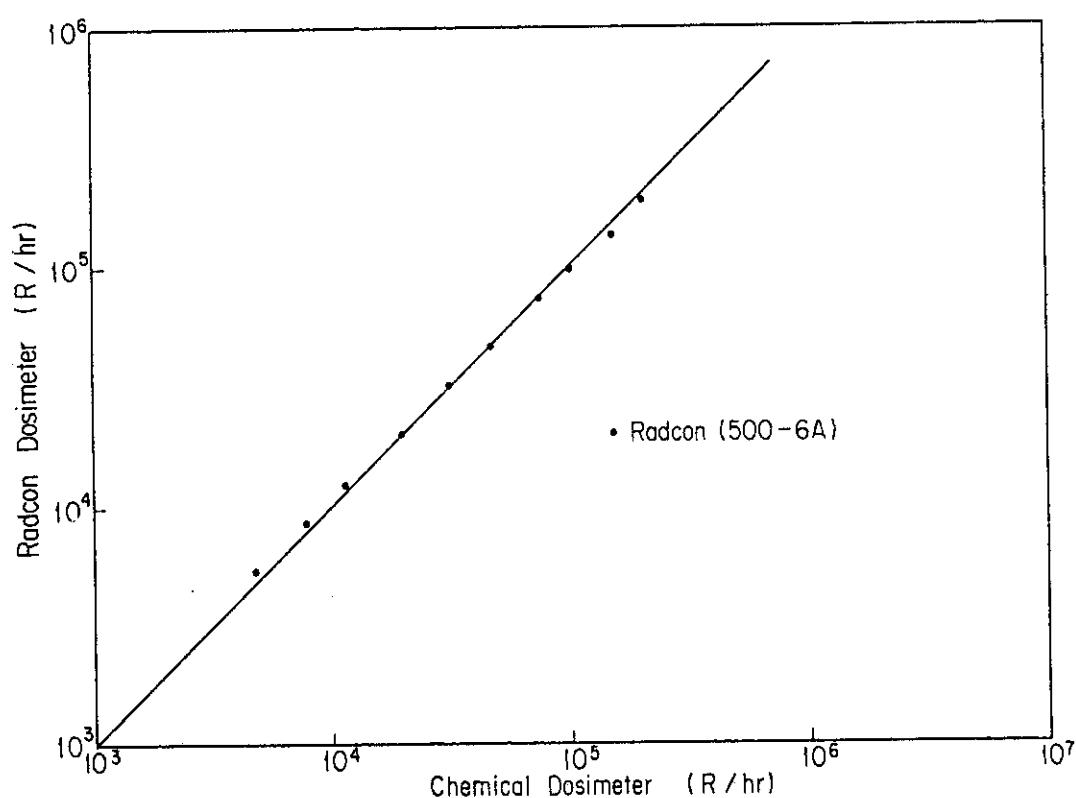
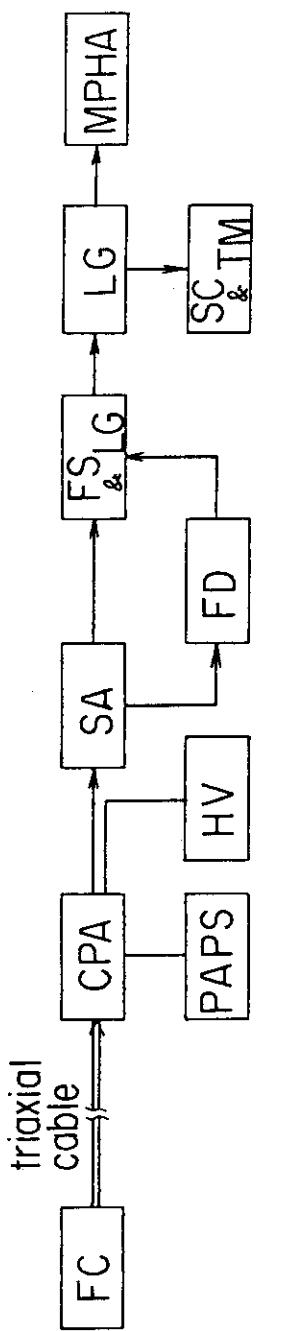


Fig.6 Calibration curve of the 500-6A type Radcon dosimeter for a Frike dosimeter



FC : Fission counter  
 CPA : Current - type preamplifier  
 PAPS : Preamp. power supply  
 HV : High voltage power supply  
 SA : Shaping amplifier  
 FD : Fast discriminator  
 FS & LG : Fast stretcher and linear gate  
 LG : Linear gate  
 SC & TM : Scalor and timer  
 MPHA : Multi - channel pulse height analyzer

Fig. 7 Block diagram of  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  fission counter for neutron measurements

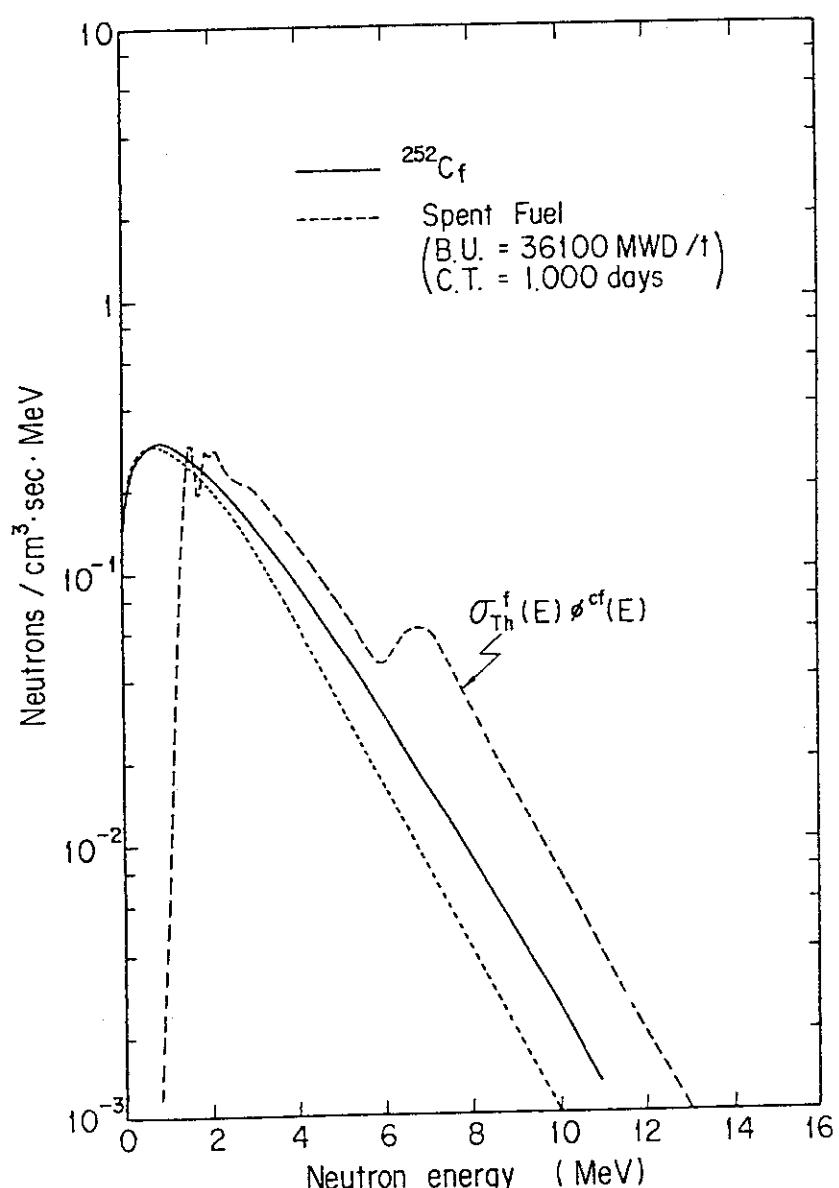


Fig.8 Comparison of the energy spectra emitted from  $^{252}\text{Cf}$  and spent fuel calculated by the ORIGEN2 code, and the energy dependence of  $^{232}\text{Th}(n,f)$  reaction rate weighted by the  $^{252}\text{Cf}$  neutron spectrum

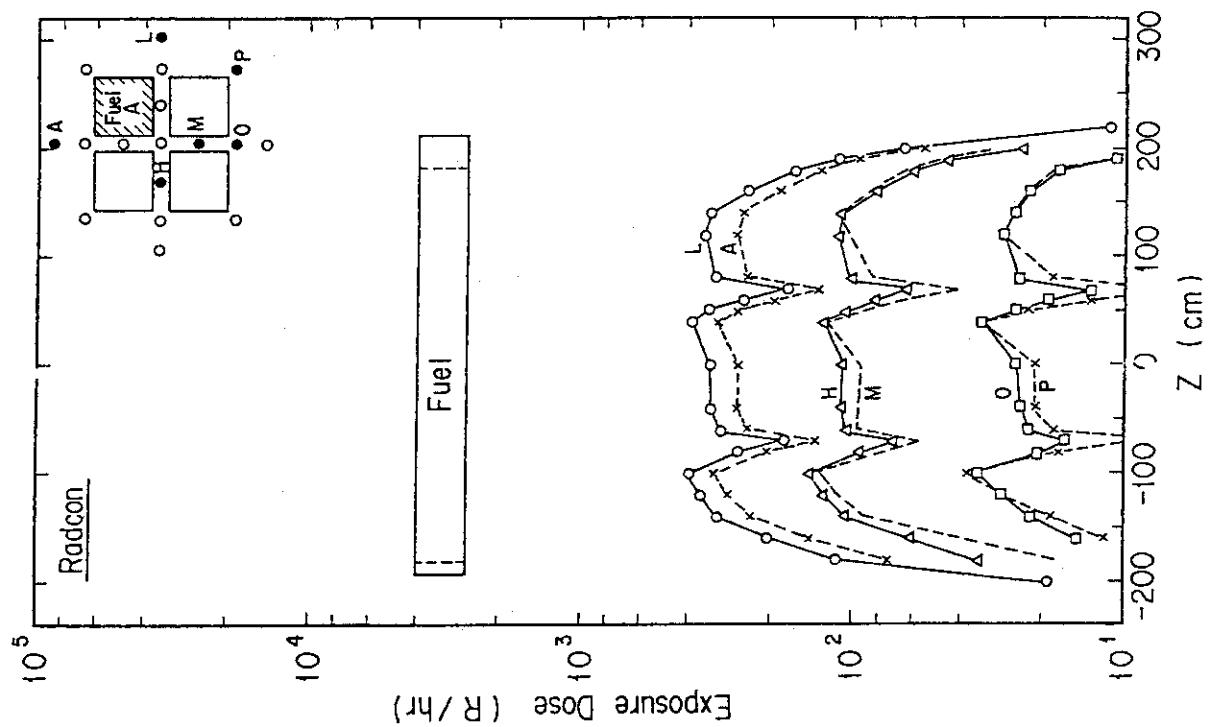


Fig. 9 (2) continued

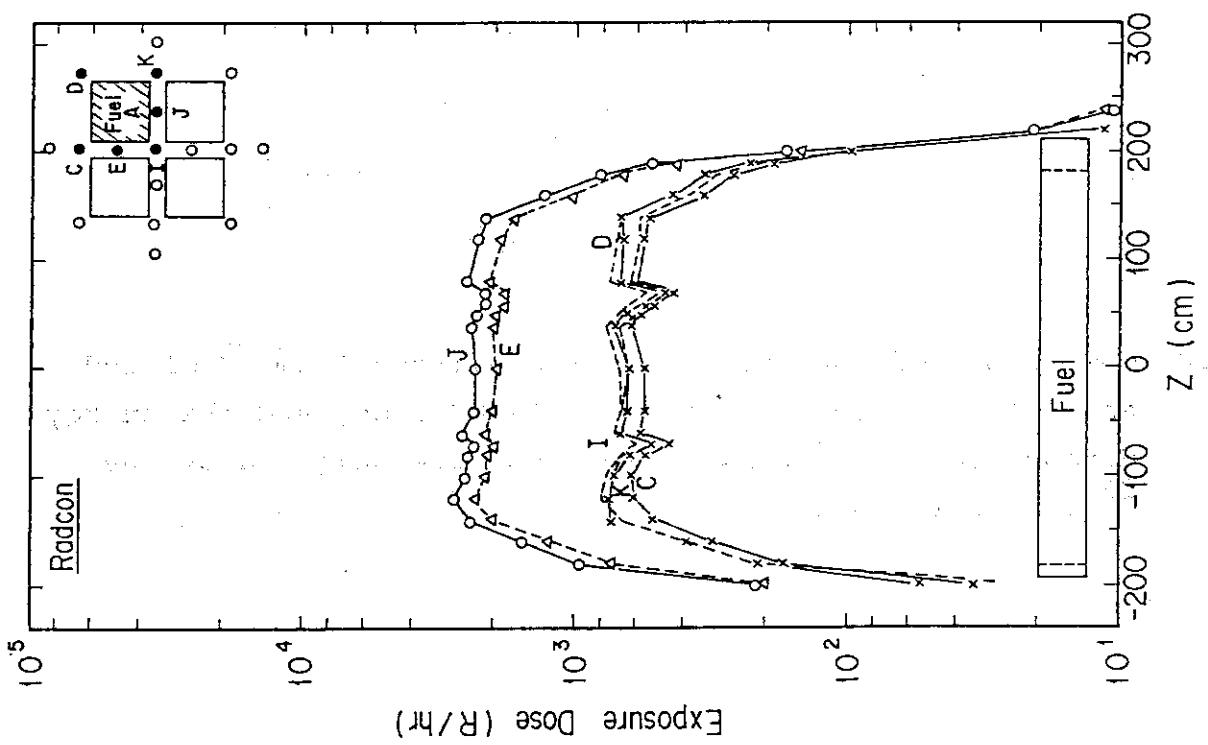


Fig. 9 (1) Distributions of gamma-ray exposure dose rate around the A-fuel assembly

Fig. 9 (2)

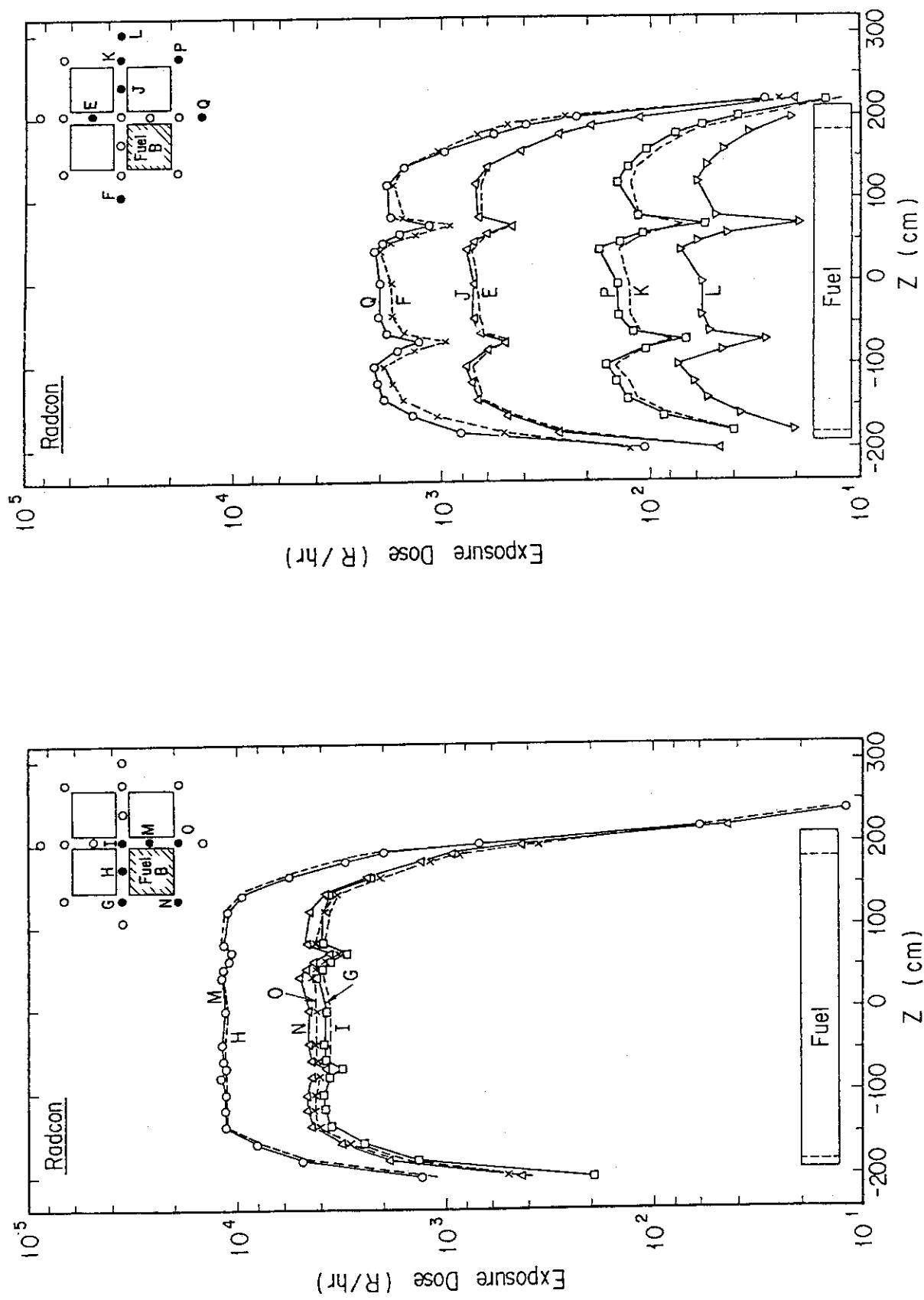


Fig.10(1) Distributions of gamma-ray exposure dose  
rate around the B-fuel assembly

Fig.10(2) continued

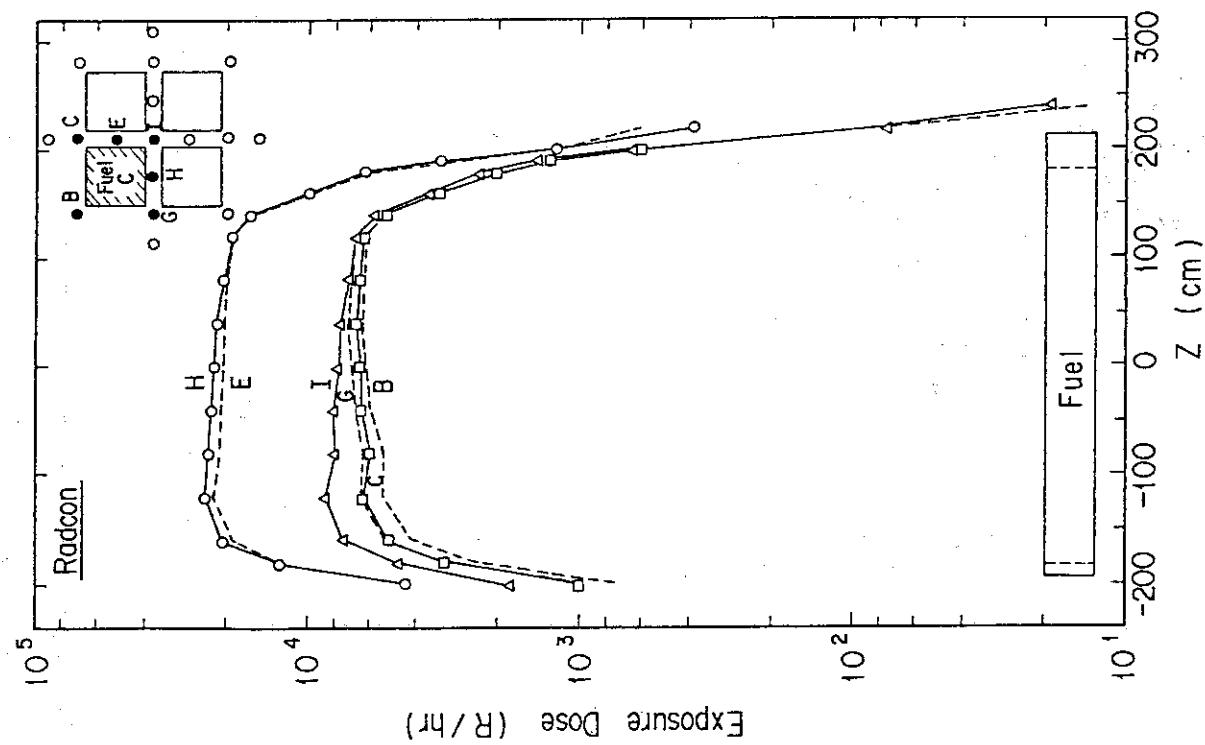
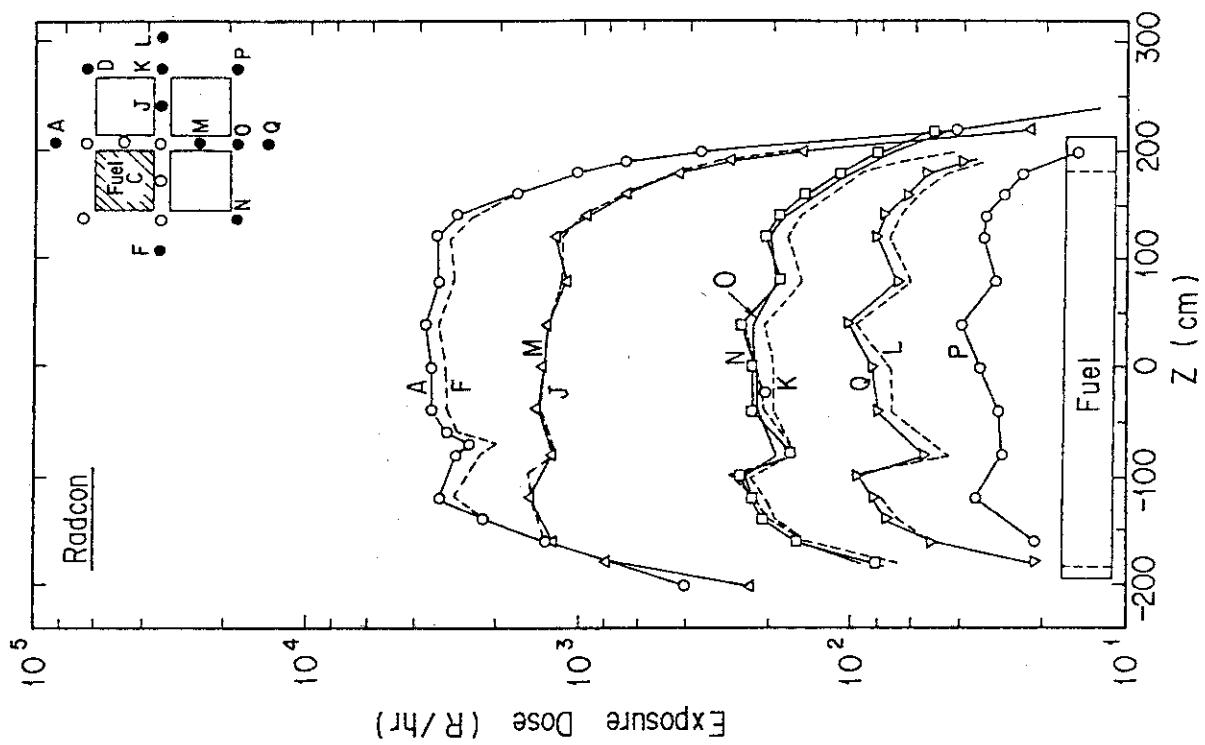


Fig.11(1) Distributions of gamma-ray exposure dose rate around the C-fuel assembly

Fig.11(2) continued

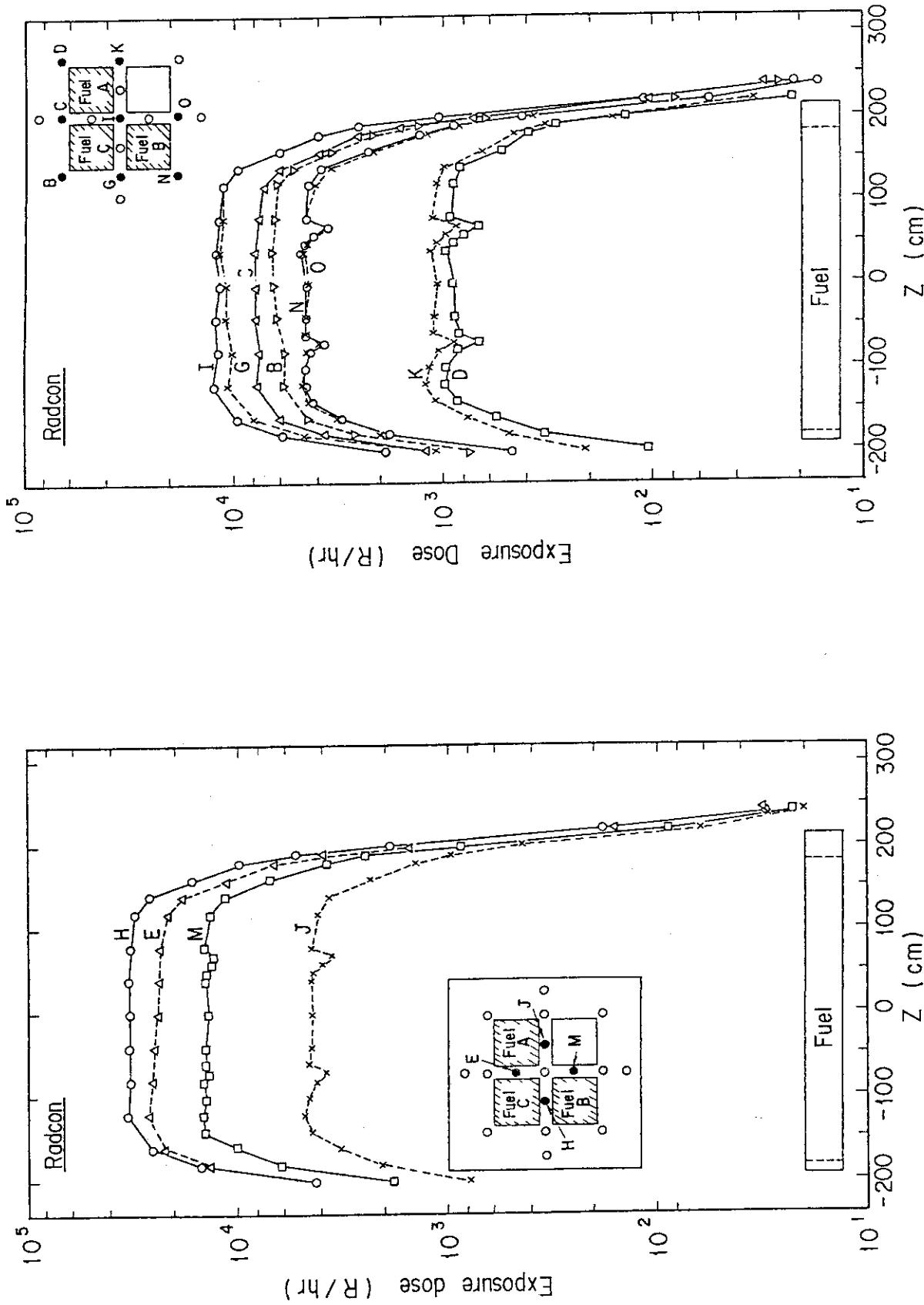


Fig.12(1) Distributions of gamma-ray exposure dose rate around three fuel assemblies arranged in a L-shape

Fig.12(2) continued

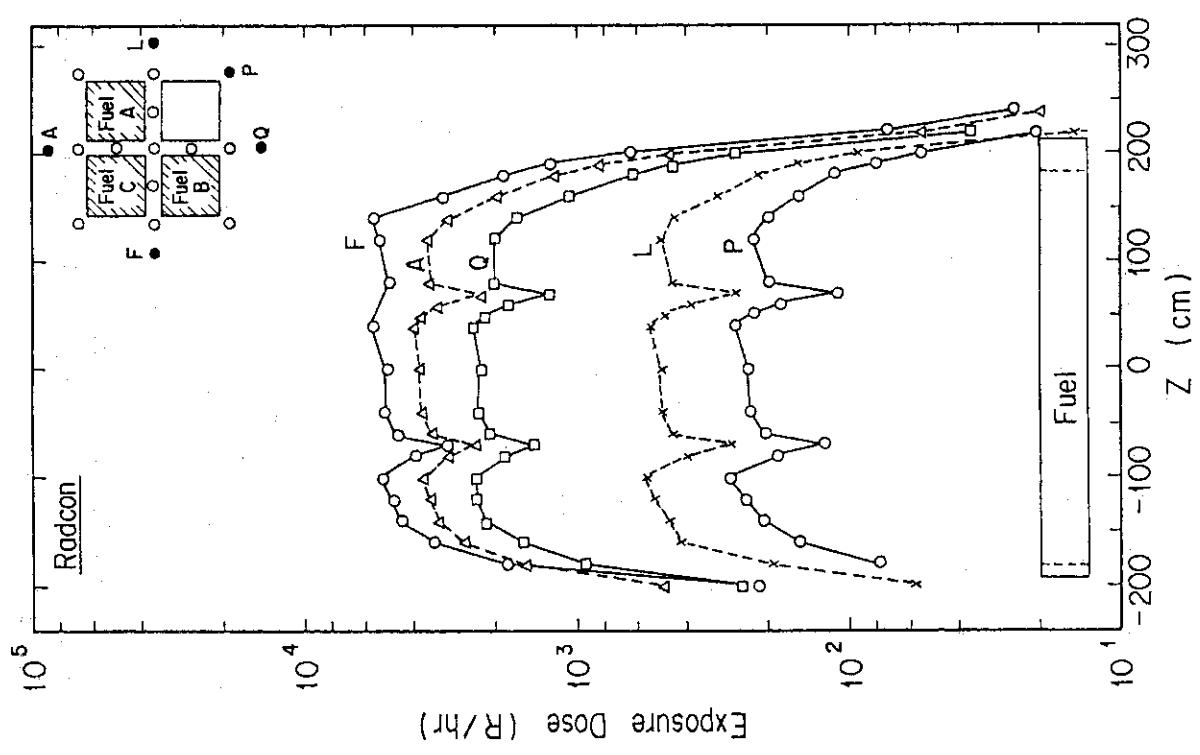


Fig. 12(3) continued

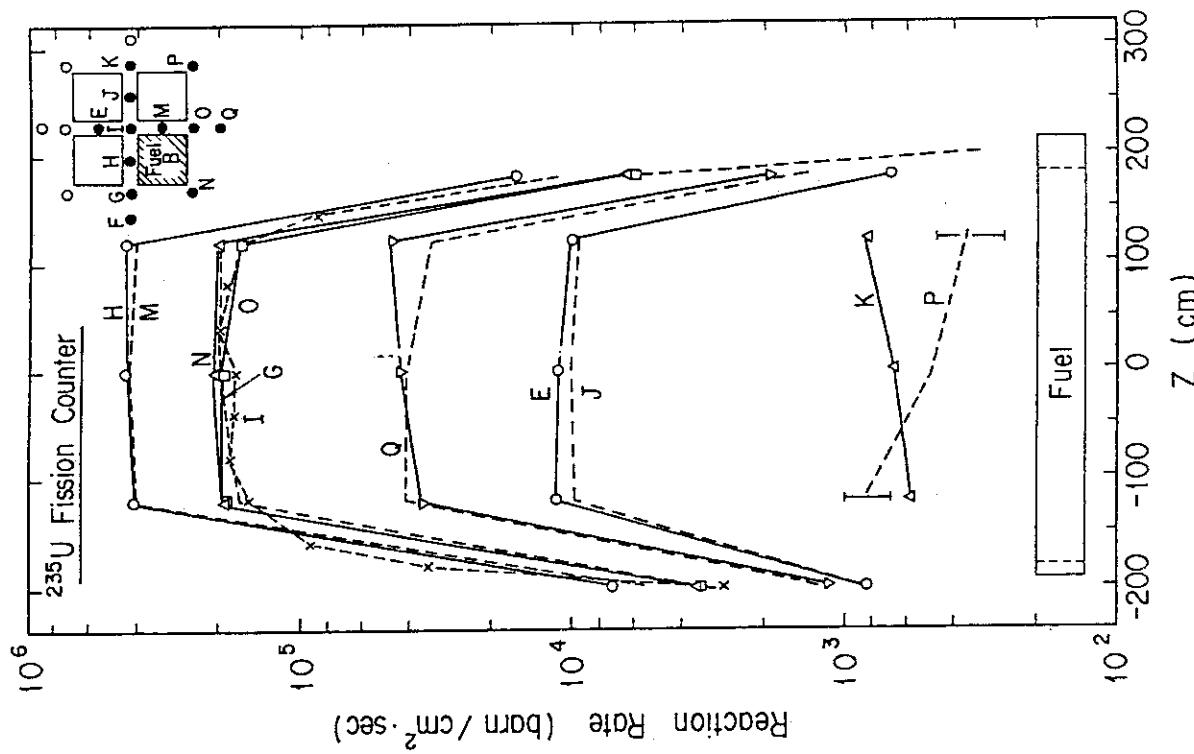


Fig. 13 Distributions of 235U fission rate around the A-fuel assemblies

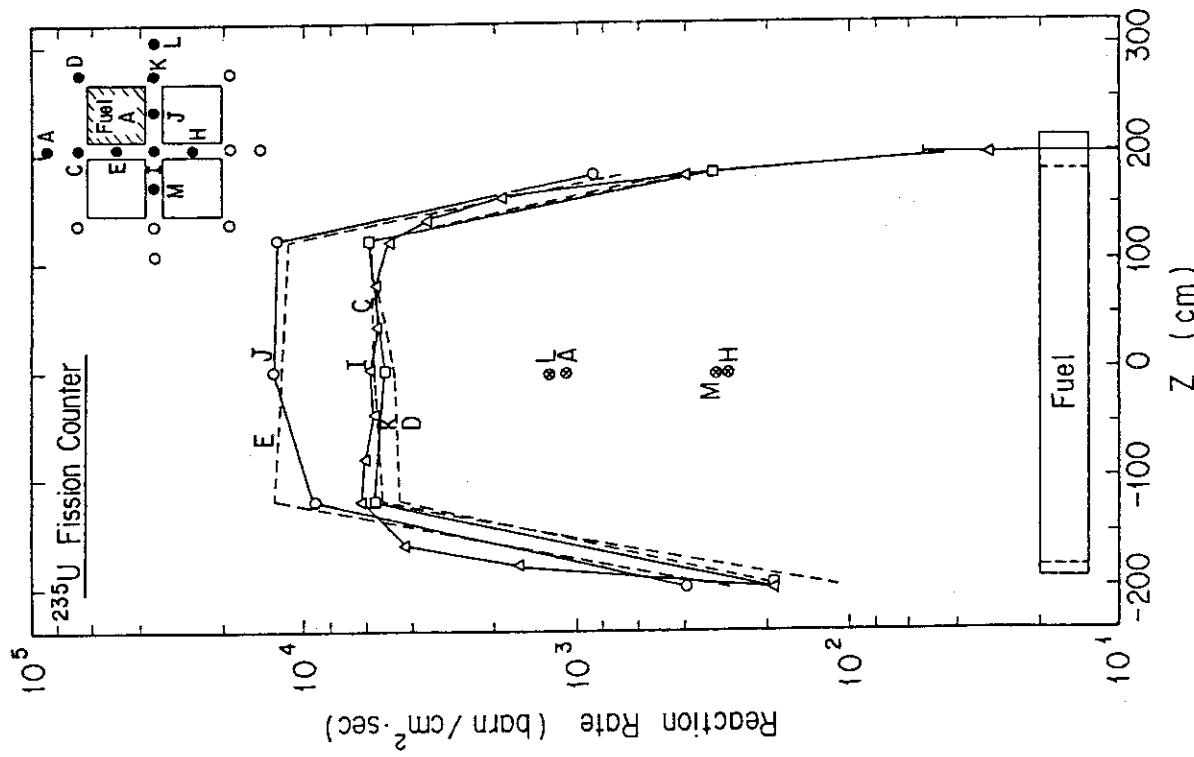


Fig. 14 Distributions of 235U fission rate around the B-fuel assemblies

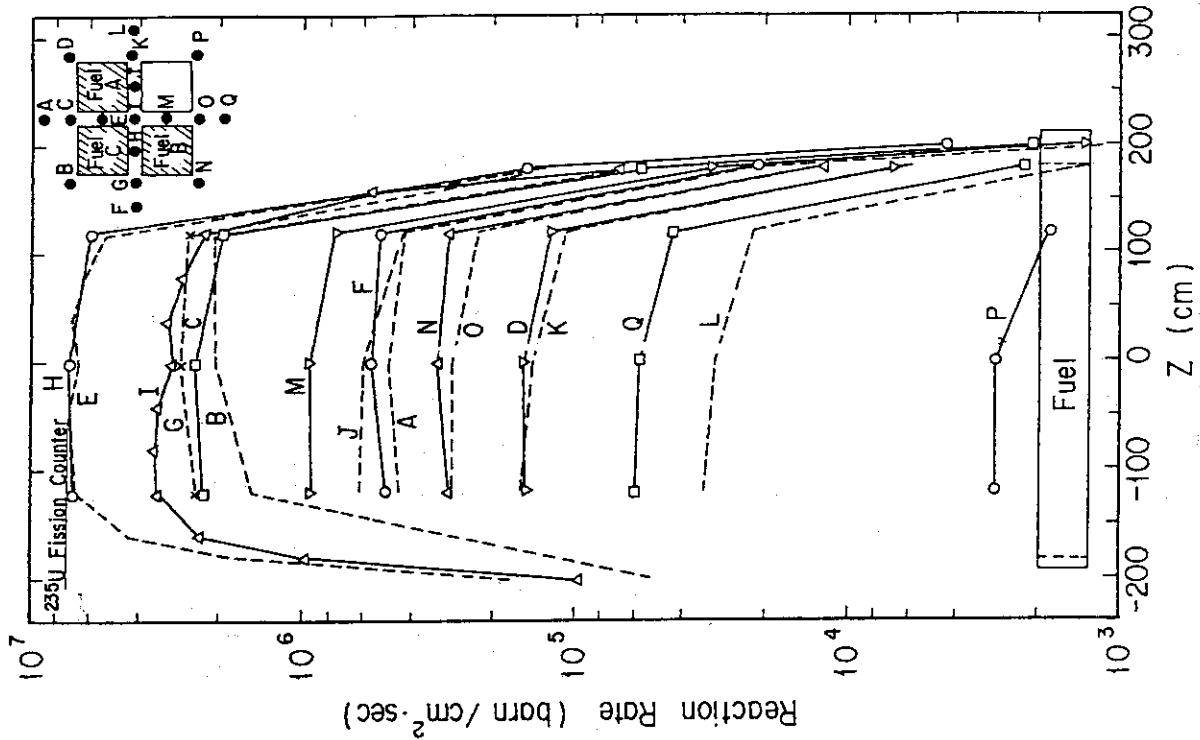


Fig.15 Distributions of 235U fission rate around the C-fuel assemblies

Fig.16 Distributions of 235U fission rate around three fuel assemblies arranged in a L-shape

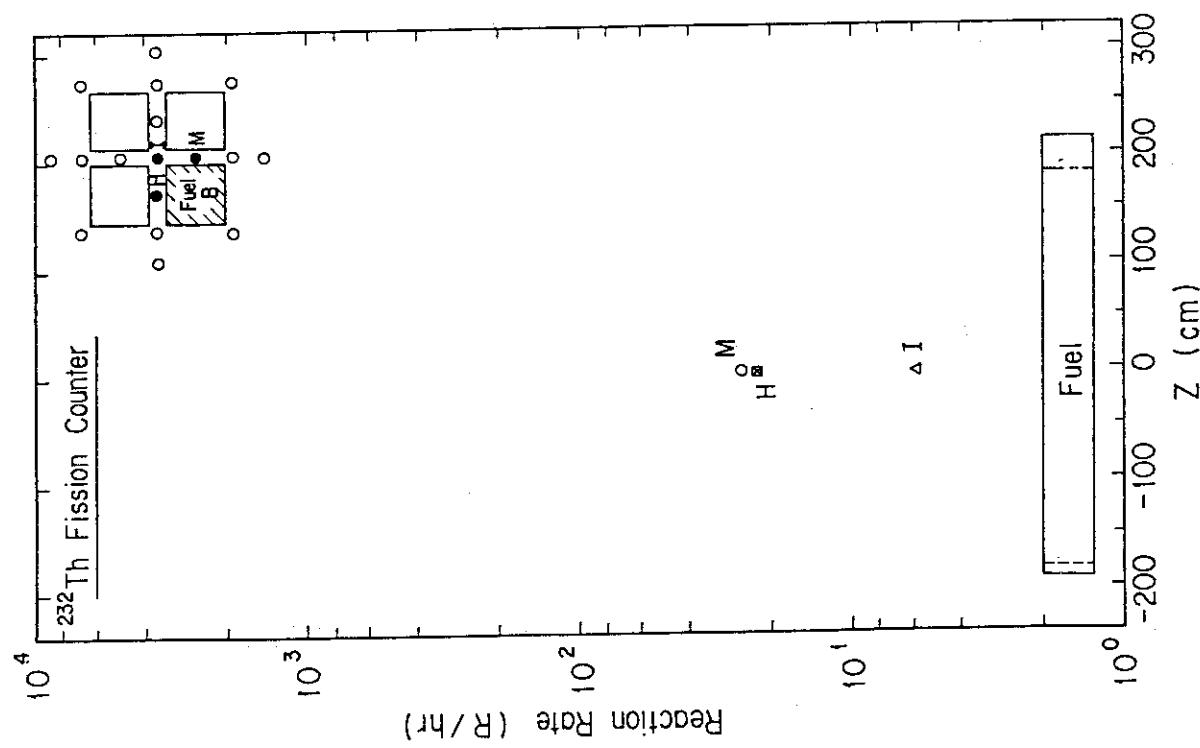


Fig.17 Distributions of 232<sup>Th</sup> fission rate around the B-fuel assembly

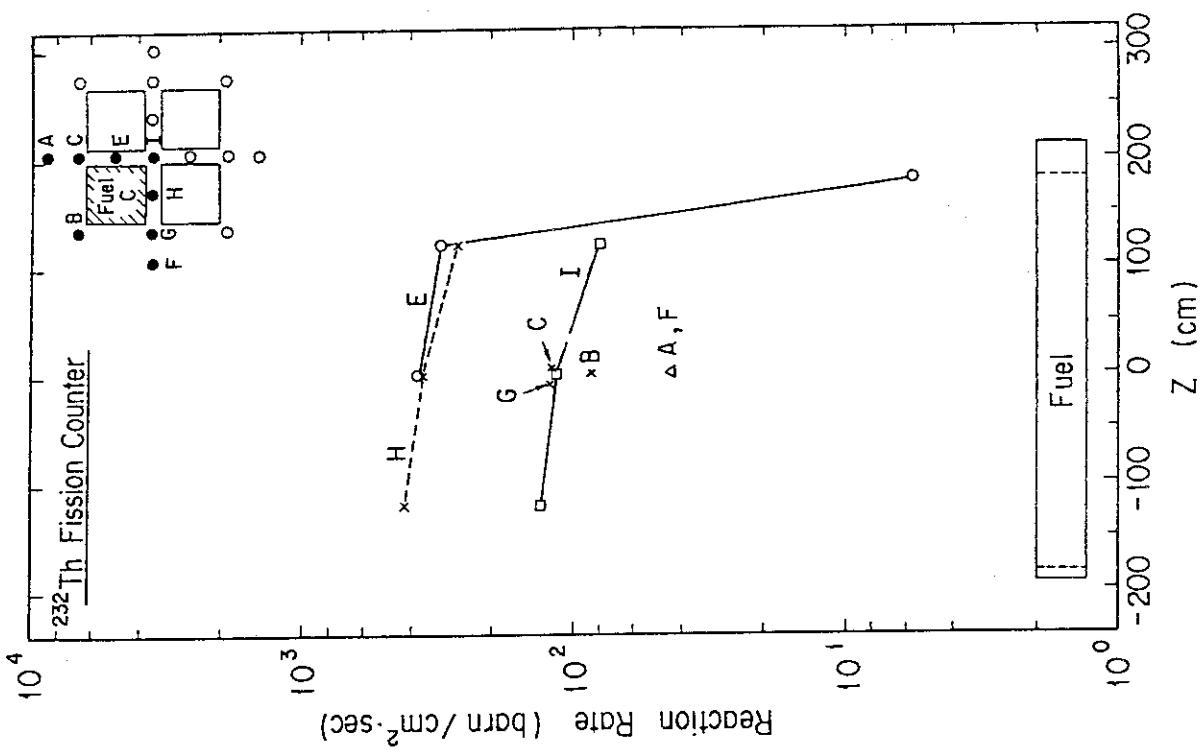


Fig.18 Distributions of 232<sup>Th</sup> fission rate around the C-fuel assembly

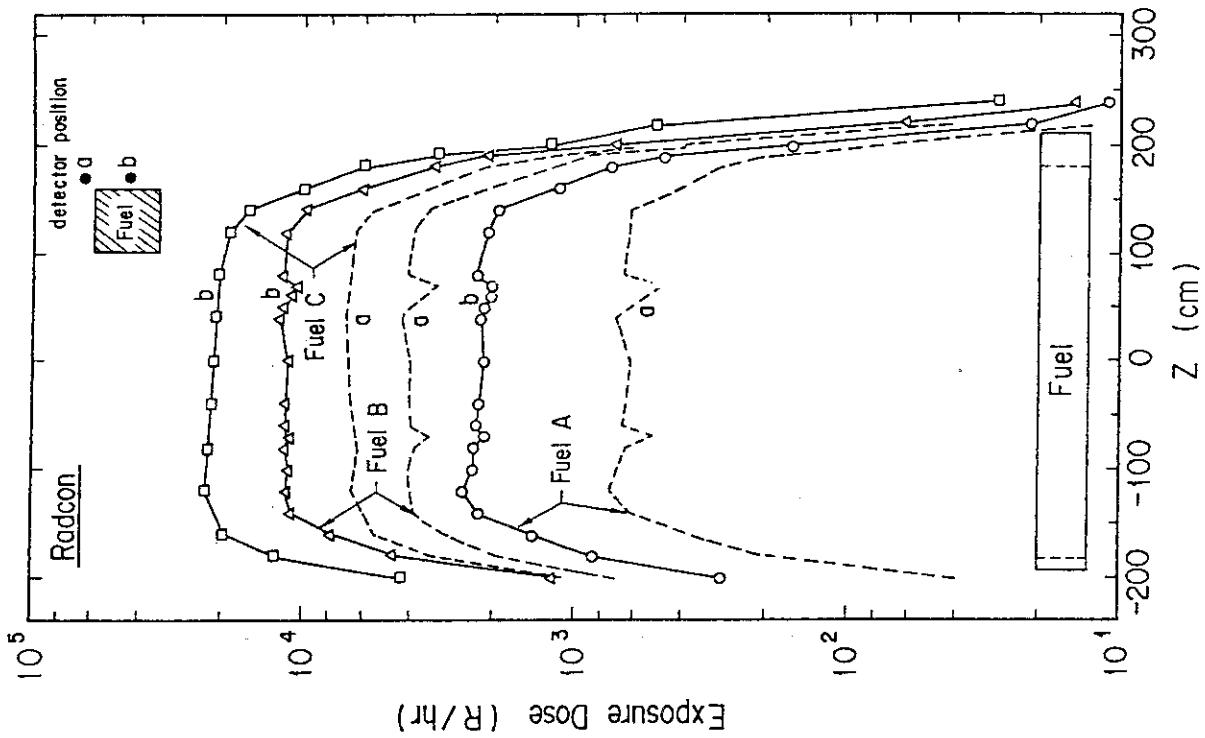
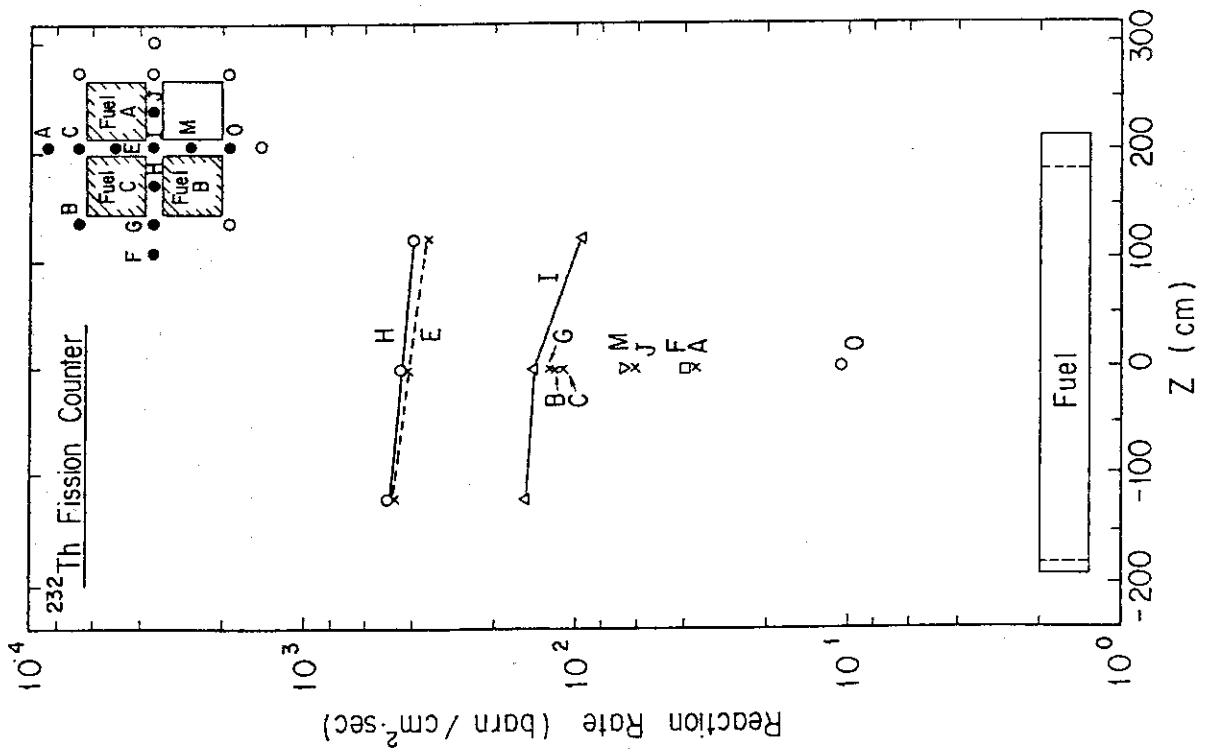


Fig.19 Distributions of  $^{232}\text{Th}$  fission rate around three fuel assemblies arranged in a L-shape  
 Fig.20 Comparisons of the gamma-ray exposure dose rate distribution between A, B, and C fuel assemblies at the side and the corner positions of the assembly



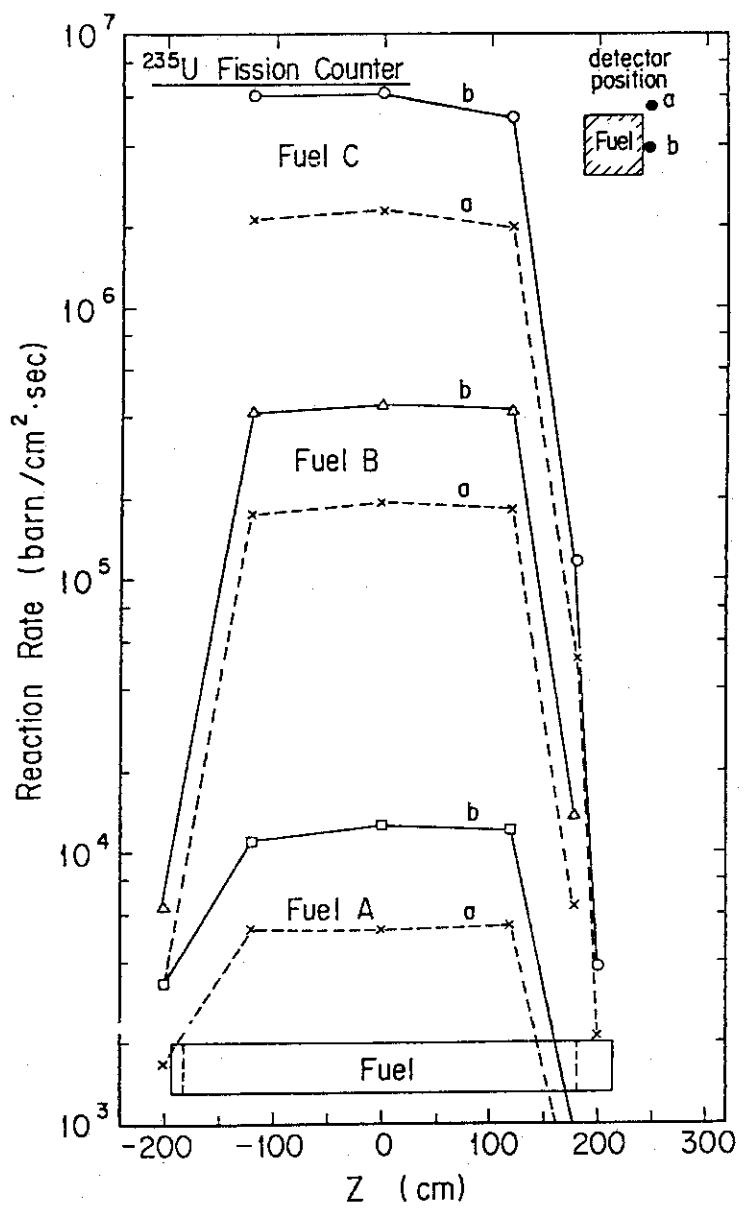


Fig.21 Comparisons of the  $^{235}\text{U}$  fission rate distribution between A, B, and C fuel assemblies at the side and the corner positions of the assembly

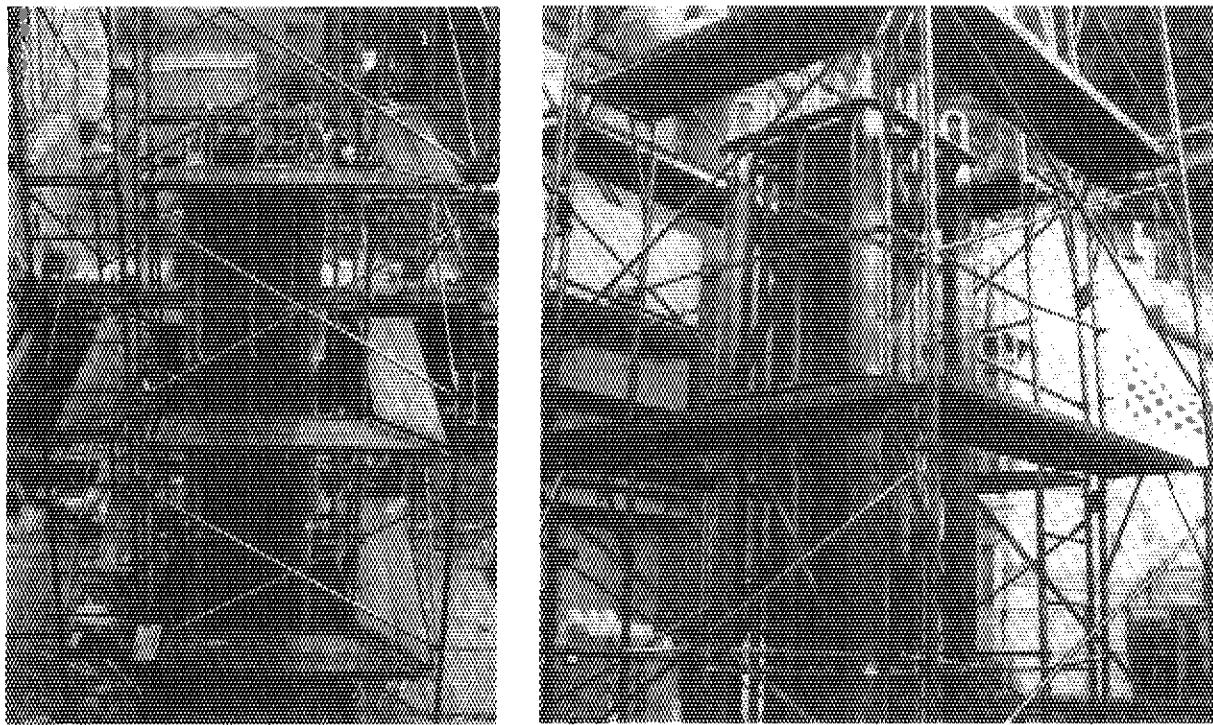


Photo.1 The fuel assembly stand for the present experiment

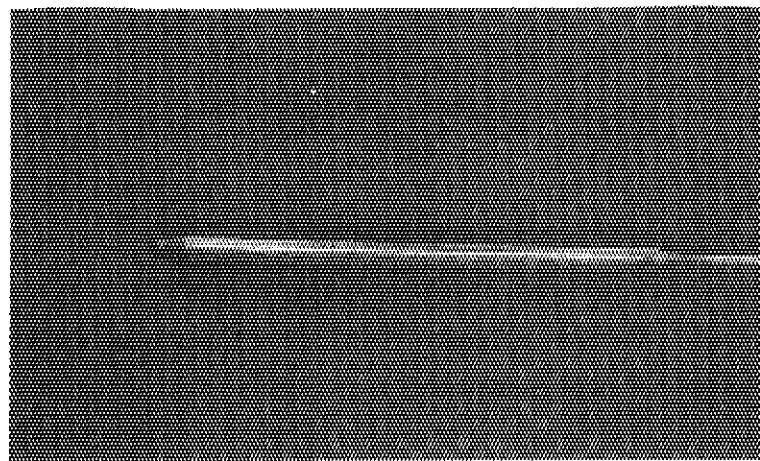


Photo.2 The water proofed type counter housing for a 500-6A type  
Radcon dosimeter and  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  fission counters