

JAERI-M
82-201

使用済燃料輸送キャスクの遮蔽安全実験(1)
—PWR使用済燃料による「キャスクの形状評価
のための実験」—

1982年12月

田中 俊一・山路 昭雄*・坂本 幸夫・片倉 純一
内藤 俣孝・足立 守・近藤 真・佐藤 博
内山 順三・小林 忠義・広瀬 彰・伊藤 忠春
喜多川 勇・宮西 秀至・笹島 文雄・山原 武

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、お申しこしてください。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, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

使用済燃料輸送キャスクの遮蔽安全実験(1)
- PWR使用済燃料による「キャスクの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⁺¹・山路 昭雄^{*}・坂本 幸夫⁺²・片倉 純一⁺²
内藤 淑孝⁺²・足立 守⁺³・近藤 真⁺³・佐藤 博⁺³
内山 順三⁺³・小林 忠義⁺³・広瀬 彰⁺³・伊藤 忠春⁺³
喜多川 勇⁺³・宮西 秀至⁺³・笹島 文雄⁺³・山原 武⁺⁴

- + 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ィの検証実験計画に基づき、PWR燃料集合体とこれを収納した使用済燃料輸送キャスクを利用した「キャスクの形状評価のための実験」を実施した。この実験は使用済燃料輸送キャスクの遮蔽解析コード、および同データライブラリィの妥当性を総合的に評価することを目的とするもので、輸送キャスク周辺における、ガンマ線線量率分布、ガンマ線エネルギースペクトル、中性子線量等量率分布、熱、熱外中性子分布、速中性子エネルギースペクトル、および輸送キャスク内の燃料集合体近傍でのガンマ線線量率、 $^{235}\text{U}(n, f)$ 反応率、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ 反応率分布、さらにキャスク上蓋内部のガンマ線線量率分布が測定された。

本報告書では、測定値の他に実験の条件、方法、検出器の特性等、測定値の解析に必要なデータが述べられている。

Shielding Experiments for Evaluating a Shielding Safety Evaluation
Code System to Spent Fuel Processing Facilities - (1)

— SHIELDING EXPERIMENT OF A SPENT FUEL TRANSPORT CASK FOR A PWR SPENT
FUEL ASSEMBLY —

Shun-ichi TANAKA⁺¹, Akio YAMAJI^{*}, Yukio SAKAMOTO⁺², Jun-ichi KATAKURA⁺²
Yoshitaka NAITO⁺², Mamoru ADACHI⁺³, Makoto KONDO⁺³, Hiroshi SATO⁺³
Junzo UCHIYAMA⁺³, Tadayoshi KOBAYASHI⁺³, Akira HIROSE⁺³, Tadaharu ITO⁺³
Isamu KITAGAWA⁺³, Hideshi MIYANISHI⁺³, Fumio SASAJIMA⁺³ and
Takeshi YAMAHARA⁺⁴

+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)

Shielding experiments of a spent fuel transport cask were performed using a PWR spent fuel assembly according to the experimental plan to confirm the reliability of a shielding safety evaluation code system and data libraries. The purpose of the experiments is to obtain the data by which the overall reliability of a shielding safety evaluation code system and the nuclear data libraries are examined. The measurements were made on gamma rays and neutrons outside and inside a spent fuel transport cask. The distributions outside the cask were measured for gamma-ray exposure dose rate, neutron dose equivalent rate, energy spectra of gamma rays and fast neutrons, and thermal and epithermal neutron reaction rate. And, the distributions inside the cask were measured for gamma-ray exposure dose rate and reaction rates of $^{235}\text{U}(n,f)$ and $^{232}\text{Th}(n,f)$ reactions. The gamma-ray exposure dose distribution was also taken in the cask lid.

* Ship Research Institute

This report gives the data on experimental conditions and detector characteristics necessary for the analysis of the measured data as well as the detail of measured data.

Keyword : Shielding Experiment, Spent Fuel Transport Cask, PWR Spent Fuel, Gamma-ray Dose, Gamma-ray Energy Spectrum, Neutron Dose, Thermal Neutron Intensity, Fission Rate, Fast Neutron Energy Spectrum, TLD, NE213 Scintillator, Rem-counter, ^3He Detector, Radcon, ^{235}U Fission Counter, ^{232}Th Fission Counter

目 次

1. 序言	1
2. 実験方法	1
2.1 輸送キャスク周囲の測定方法	1
2.2 輸送キャスク内の測定方法	2
3. 測定器の特性	2
3.1 ガンマ線検出器の特性	3
3.2 中性子検出器の特性	3
4. 測定結果	5
4.1 輸送キャスク周囲の測定結果	5
4.1.1 ガンマ線の測定	5
4.1.2 中性子の測定	5
4.2 輸送キャスク内の測定結果	6
4.2.1 ガンマ線の測定	6
4.2.2 中性子の測定	7
4.3 輸送キャスク上蓋内部のガンマ線線量率分布	7
5. まとめ	8
謝 辞	9
参考文献	10
付録 実験解析のための，輸送キャスクおよび燃料集合体のモデル化，および各領域 の原子密度	57

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental Procedures	1
2.1 Method of the Experiments outside the Cask	1
2.2 Method of the Experiments inside the Cask	2
3. Characteristics of Detector	2
3.1 Gamma-ray Detector	3
3.2 Neutron Detector	3
4. Experimental Results	5
4.1 Results of the Measurements outside the Cask	5
4.1.1 Gamma-ray Measurements	5
4.1.2 Neutron Measurements	5
4.2 Results of the Measurements inside the Cask	6
4.2.1 Gamma-ray Measurements	6
4.2.2 Neutron Measurements	7
5. Summary	8
Acknowledgements	9
References	10
Appendix : Modeling of the Experimental Configuration and the Atomic Densities	57

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燃料集合体一体を収納したNH-25使用済燃料輸送キャスク（日本核燃料開発K.K., NFD所有）を用いて昭和56年11月から昭和57年1月にかけて「キャスク形状評価のための実験」が行れた。この実験は使用済燃料輸送キャスクの遮蔽解析コード、および同データライブラリの妥当性を、実用PWR型使用済燃料と同輸送キャスクを利用して総合的に評価することを目的とするものである。

本実験では、初めにC燃料集合体（燃焼度 ≈ 3600 MWD/T, 冷却時間 ≈ 1050 d.）を収納した輸送キャスクを原研燃料試験施設のサービスエリア床上に縦置きにし、キャスク周囲でのガンマ線、中性子の線量率、エネルギースペクトル等の測定を行い、次に、キャスクを燃料試験施設の燃料貯蔵プール内に沈め、実験用キャスク上蓋と測定用案内管を有する燃料バスケットを交換した後、キャスク内側でのガンマ線、中性子の線量率、反応率等の測定を行った。

以下、第2章において実験方法を、第3章において実験に用いた測定器の特性を、第4章に測定結果を、第5章で測定結果についての考察とまとめをそれぞれ述べる。

2. 実験方法

2.1 輸送キャスク周囲の測定方法

PWR使用済燃料集合体一体を収納したNH-25輸送キャスクを床上に縦置きにし、キャスクの外表面から100 cmまで、ガンマ線、中性子の線量率分布、反応率分布、エネルギースペクトル等を測定した。

Photo. 1は燃料試験施設サービスエリアの測定位置に設置されたNH-25輸送キャスクの写真である。Fig. 1 (1)およびFig. 1 (2)は、輸送キャスクの断面図と組立図を示す。また、Fig. 2にPWR用集合体容器（燃料バスケット）の断面図、Fig. 3に燃料集合体の構造図を示す。燃料集合体は燃料バスケットに入った状態で輸送キャスクに収納されている。

Fig. 4およびFig. 5は測定位置とキャスクとの幾何学的位置関係を示すもので、キャスクの上下方向をZ軸とし、Z軸の原点はキャスク本体の上面とし、下方向をプラス、上方向をマイナスにとっている。なお、Fig. 4に示すように、キャスクを垂直に立てた場合にキャスクの内筒と燃料バスケットの間隙の水位は、 $Z = 2390$ mmになる。これは、燃料集合体を収納したNH-25輸送キャスクを現地から搬出する際、水位調整のため内筒と燃料バスケットの間の水を約70ℓ抜き取ったことによるものである。Fig. 5は輸送キャスクの胴体部の断面を上方向から見たもので、Aの方向を 0° とし、時計と逆方向に角度が増加するように定義した輸送キャスクの円周に沿った測定位置（A～H）を示している。図に示すように、R軸の距離は輸送キャスク表

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ィの検証実験計画に基づき、PWR燃料集合体一体を収納したNH-25使用済燃料輸送キャスク（日本核燃料開発K.K., NFD所有）を用いて昭和56年11月から昭和57年1月にかけて「キャスク形状評価のための実験」が行れた。この実験は使用済燃料輸送キャスクの遮蔽解析コード、および同データライブラリィの妥当性を、実用PWR型使用済燃料と同輸送キャスクを利用して総合的に評価することを目的とするものである。

本実験では、初めにC燃料集合体（燃焼度 ~ 3600 MWD/T, 冷却時間 ~ 1050 d.）を収納した輸送キャスクを原研燃料試験施設のサービスエリア床上に縦置きにし、キャスク周囲でのガンマ線、中性子の線量率、エネルギースペクトル等の測定を行い、次に、キャスクを燃料試験施設の燃料貯蔵プール内に沈め、実験用キャスク上蓋と測定用案内管を有する燃料バスケットを交換した後、キャスク内側でのガンマ線、中性子の線量率、反応率等の測定を行った。

以下、第2章において実験方法を、第3章において実験に用いた測定器の特性を、第4章に測定結果を、第5章で測定結果についての考察とまとめをそれぞれ述べる。

2. 実験方法

2.1 輸送キャスク周囲の測定方法

PWR使用済燃料集合体一体を収納したNH-25輸送キャスクを床上に縦置きにし、キャスクの外表面から100 cmまで、ガンマ線、中性子の線量率分布、反応率分布、エネルギースペクトル等を測定した。

Photo. 1は燃料試験施設サービスエリアの測定位置に設置されたNH-25輸送キャスクの写真である。Fig. 1 (1)およびFig. 1 (2)は、輸送キャスクの断面図と組立図を示す。また、Fig. 2にPWR用集合体容器（燃料バスケット）の断面図、Fig. 3に燃料集合体の構造図を示す。燃料集合体は燃料バスケットに入った状態で輸送キャスクに収納されている。

Fig. 4およびFig. 5は測定位置とキャスクとの幾何学的位置関係を示すもので、キャスクの上下方向をZ軸とし、Z軸の原点はキャスク本体の上面とし、下方向をプラス、上方向をマイナスにとっている。なお、Fig. 4に示すように、キャスクを垂直に立てた場合にキャスクの内筒と燃料バスケットの間隙の水位は、 $Z = 2390$ mmになる。これは、燃料集合体を収納したNH-25輸送キャスクを現地から搬出する際、水位調整のため内筒と燃料バスケットの間の水を約70ℓ抜き取ったことによるものである。Fig. 5は輸送キャスクの胴体部の断面を上方向から見たもので、Aの方向を 0° とし、時計と逆方向に角度が増加するように定義した輸送キャスクの円周に沿った測定位置（A～H）を示している。図に示すように、R軸の距離は輸送キャスク表

面からの距離をとっている。なお、A～Hは45°間隔でとられている。

2.2 輸送キャスク内の測定方法

燃料集合体を収納した輸送キャスクを燃料試験施設の燃料貯蔵プール内に沈め、水中においてキャスク内のガンマ線線量率、中性子反応率分布およびキャスク上蓋内部のガンマ線線量率分布の測定を行った。この際、輸送キャスク内の測定のため、燃料バスケットは、Fig. 6の測定器案内管付の実験用燃料バスケットと入れ替えられた。また、キャスクの上蓋(Fig. 7)も測定器案内管を通すための貫通孔を持ち、かつ上蓋内部の鉛領域でのガンマ線線量率をTLDにより測定できるように製作された実験用キャスク上蓋と交換された。Photo. 2は実験用キャスク上蓋で、Photo. 3は上蓋内部測定用に作った鉛のプラグセットである。Fig. 7に示すように実験用上蓋は、測定器案内管用の孔の部分を除き、実際の上蓋と全く同じ構造である。一方、実験用燃料バスケットはFig. 2の燃料バスケットと比べ中心胴体部のステンレス板の肉厚が薄くなっているなど一部異っている。これは輸送キャスクの内筒と燃料バスケット間に約50mm直径の測定器案内管を入れるための空間的制約から生じたものである。

輸送キャスク内の測定ではFig. 4, Fig. 5に示した測定器案内管(A, E)に沿って、ガンマ線線量率分布、熱中性子速中性子の反応率分布が測定された。また、キャスク上蓋内部はガンマ線線量率分布が測定された。

3. 測定器の特性

輸送キャスクの外側と内側では、ガンマ線、中性子の強度、スペクトル等が非常に異なっていることや、水中での測定では使用できる測定器に制約があること等を考慮し、必要な測定値が得られるよう複数種の測定器を利用した。

すなわち、輸送キャスク外側でのガンマ線線量率はUD-200 STLDにより測定し、また、ガンマ線のエネルギースペクトルはNE 213 シンチレータにより測定した。一方、中性子線量等量率はレムカウンタで、熱、熱外中性子は ^3He 比例計数管により測定した。熱、熱外中性子については一部の点で ^{235}U 核分裂計数管により測定も行った。これは輸送キャスク内での熱、熱外中性子の測定は ^{235}U 核分裂計数管のみで行われることから、輸送キャスク内外での測定データを解析結果と比較する際の規格化データとすることを目的としたものである。また、速中性子のエネルギースペクトルもNE 213 シンチレータを利用して幾つかの点で測定した。さらに、速中性子の空間分布の測定も、NE 213 シンチレータを用いて行われた。

一方、輸送キャスク内でのガンマ線線量率はラドコン線量計により、中性子は ^{232}Th および ^{235}U 核分裂計数管を用いて測定した。また、キャスク上蓋の内部でのガンマ線線量率の減衰は、 ^7LiF TLDにより測定した。

以下に、これら測定器の特性を述べる。

面からの距離をとっている。なお、A～Hは45°間隔でとられている。

2.2 輸送キャスク内の測定方法

燃料集合体を収納した輸送キャスクを燃料試験施設の燃料貯蔵プール内に沈め、水中においてキャスク内のガンマ線線量率、中性子反応率分布およびキャスク上蓋内部のガンマ線線量率分布の測定を行った。この際、輸送キャスク内の測定のため、燃料バスケットは、Fig. 6の測定器案内管付の実験用燃料バスケットと入れ替えられた。また、キャスクの上蓋(Fig. 7)も測定器案内管を通すための貫通孔を持ち、かつ上蓋内部の鉛領域でのガンマ線線量率をTLDにより測定できるように製作された実験用キャスク上蓋と交換された。Photo. 2は実験用キャスク上蓋で、Photo. 3は上蓋内部測定用に作った鉛のプラグセットである。Fig. 7に示すように実験用上蓋は、測定器案内管用の孔の部分を除き、実際の上蓋と全く同じ構造である。一方、実験用燃料バスケットはFig. 2の燃料バスケットと比べ中心胴体部のステンレス板の肉厚が薄くなっているなど一部異っている。これは輸送キャスクの内筒と燃料バスケット間に約50mm直径の測定器案内管を入れるための空間的制約から生じたものである。

輸送キャスク内の測定ではFig. 4, Fig. 5に示した測定器案内管(A, E)に沿って、ガンマ線線量率分布、熱中性子速中性子の反応率分布が測定された。また、キャスク上蓋内部はガンマ線線量率分布が測定された。

3. 測定器の特性

輸送キャスクの外側と内側では、ガンマ線、中性子の強度、スペクトル等が非常に異なっていることや、水中での測定では使用できる測定器に制約があること等を考慮し、必要な測定値が得られるよう複数種の測定器を利用した。

すなわち、輸送キャスク外側でのガンマ線線量率はUD-200 STLDにより測定し、また、ガンマ線のエネルギースペクトルはNE 213 シンチレータにより測定した。一方、中性子線量等量率はレムカウンタで、熱、熱外中性子は ^3He 比例計数管により測定した。熱、熱外中性子については一部の点で ^{235}U 核分裂計数管により測定も行った。これは輸送キャスク内での熱、熱外中性子の測定は ^{235}U 核分裂計数管のみで行われることから、輸送キャスク内外での測定データを解析結果と比較する際の規格化データとすることを目的としたものである。また、速中性子のエネルギースペクトルもNE 213 シンチレータを利用して幾つかの点で測定した。さらに、速中性子の空間分布の測定も、NE 213 シンチレータを用いて行われた。

一方、輸送キャスク内でのガンマ線線量率はラドコン線量計により、中性子は ^{232}Th および ^{235}U 核分裂計数管を用いて測定した。また、キャスク上蓋の内部でのガンマ線線量率の減衰は、 ^7LiF TLDにより測定した。

以下に、これら測定器の特性を述べる。

3.1 ガンマ線検出器の特性

(1) 熱蛍光線量計 (TLD)

輸送キャスク外側でのガンマ線線量率の測定に使用したUD-200S TLD (松下電器K. K.製) はガンマ線に対するエネルギー応答特性が空気の応答特性と比例するように2mm ϕ ×10mm長さのガラスアンプルに封入したCaSO₄(Tm) TLDをさらにガンマ線フィルタで覆ったもので、空気に対する相対感度はFig. 8の通りである。

また、キャスクの上蓋内部でのガンマ線線量率の測定に利用した⁷LiFTLDは、ガンマ線に対する実効原子番号が8.2で、空気の原子番号に近く、Fig. 9に示すように広範囲のエネルギー領域で、空気とほぼ比例するエネルギー応答特性を有している。

UD-200Sも⁷LiFTLDも、同じようにガンマ線の照射線量測定に利用できるが、感度の点でUD-200S TLDの方が優れている。ただし、形状が⁷LiFTLDと比べかなり大きいという難点がある。これらTLDの絶対校正は、⁶⁰Coガンマ線の標準場を利用して行った。

(2) ラドコン線量計

輸送キャスク内の高レベルのガンマ線線量率の測定は、米国Victreen社製の500-6 A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. 10に示すように0.326 cm³と非常に小さい。このため、エネルギーの高いガンマ線に対しても検出器壁との間に荷電平衡を維持するため、実際の測定に際しては、549mg/cm²厚の亚克力製のビルドアップキャップで先端の検出部を覆った。このビルドアップキャップの使用により、50 keVから2 MeVのガンマ線に対する相対感度が空気とほぼ一致し、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~10 MeVまでのガンマ線に対する相対感度のズレも10%以下である。Fig. 11は原研⁶⁰Co照射室で、化学線量計により予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。

(3) NE 213 検出器

2"φ×2" NE 213液体シンチレーション検出器は、0.75 MeVから11.5 MeVのエネルギー領域でガンマ線に対する応答特性が得られている¹⁾。また、中性子とガンマ線のパルス波形弁別に分離できるという特長があり、速中性子やガンマ線のエネルギースペクトル測定に利用される。Fig. 12はNE 213検出器によるガンマ線エネルギースペクトル測定系のブロックダイアグラムで、後述する速中性子のエネルギースペクトルも同じ回路系を用いて測定した。

多重波高分析器に集積されたガンマ線の波高スペクトルデータからエネルギースペクトルへの変換は、FORISTコード²⁾を利用してアンフォールディングすることにより行った。

3.2 中性子検出器の特性

(1) レムカウンタ

輸送キャスク外側での中性子線量率はStudsvik社製5502D型レムカウンタにより測定した。このレムカウンタはFig. 13に示すように熱中性子から20 MeV中性子までいわゆる“レムレスポンス”に近い応答特性を持っている。絶対値の校正は予じめエネルギースペクトルと強さの分

っている Am-Be 中性子源を利用して行った。

(2) ^3He 比例計数管

輸送キャスクの外側での熱および熱外中性子の測定は ^3He 比例計数管により行った。この検出器は米国 Texas Nuclear Corp. 製、直径 1 インチ、長さ 12 インチの円筒状のステンレス管の内部に約 4 気圧の ^3He ガスと 2 気圧の Kr ガスを封入したものである。 ^3He 比例計数管による熱、熱外中性子の測定は $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 反応を利用するもので、この反応は低エネルギーの中性子に対し $1/v$ 型の断面積を示すと共に、0.025 eV の熱中性子に対し約 5400 barn という大きい断面積を有している。また、この反応は +764 keV の Q 値を持つため、ガンマ線や他の中性子核反応との弁別が容易にできる。Fig. 14 に測定系のブロックダイアグラムを示す。

熱中性子に対する検出効率の校正は、原研線量計測課の校正課内の黒鉛パイルからの熱中性子を利用し、既に校正済みの BF_3 検出器（富士電機製、Type-NDB41201）と比較測定することにより行った。結果として得られた Cd カットオフエネルギー以下の中性子に対する本 ^3He 検出器の検出効率は 4.79×10^{-22} reaction rate/cps で熱中性子束への変換効率は $0.101 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} / \text{cps}$ である。

(3) 核分裂計数管

核分裂計数管は主として、ガンマ線バックグラウンドが非常に大きい輸送キャスク内部の中性子測定に利用した。

Fig. 15 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、ガンマ線バックグラウンドと検出器それ自体から出るアルファ線のパイルアップを避けるため、10~20 nsec 巾の信号処理を行った。測定に用いた検出器は英国 Centronic 社製の FC-165 A 型 ^{235}U および ^{232}Th 核分裂計数管で、約 $30 \text{ mm} \phi \times 100 \text{ mm}$ 長さの有効長があり、それぞれの核分裂物質が約 $1 \text{ mg} / \text{cm}^2$ の厚さで、 165 cm^2 の面積で塗付されている。

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、 ^{235}U 核分裂計数管の校正は、 ^3He と同じく熱中性子により行い、一方 ^{232}Th 核分裂計数管の校正は ^{252}Cf 中性子源スペクトルを利用して行った。こうして得られたそれぞれの検出効率は

^{235}U 計数管について

① 水中での測定用ステンレス管に入れた時

$$6.04 \times 10^{-21} \text{ reaction/cps}$$

② ステンレス管に入れない時

$$5.71 \times 10^{-21} \text{ reaction/cps}$$

^{232}Th 計数管について

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

である。なお、これらの検出効率を求める際に利用したそれぞれの核分裂反応断面積は $^{235}\text{U}(n, f)$ 反応は ENDF/B-V より、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ は SAND-II ライブラリ³⁾より採った。また、 ^{252}Cf のエネルギースペクトルは、次式により求めた。⁴⁾

$$\phi(E) = 0.373 \exp(-0.88E) \sinh(\sqrt{2.0E}).$$

(4) NE 213 検出器

ガンマ線のエネルギースペクトル測定の場合と同一の NE213 検出器により速中性子のエネルギー

スペクトルを測定した。この場合の測定回路は Fig. 12 の通りで、NE 213 検出器からの中性子信号のみを波形弁別により選別し、得られた波高分布からガンマ線の場合と同じく FORIST コードによりアンフォールディングすることによりエネルギースペクトルを求めた。この際、アンフォールディングに用いた中性子に対する応答関数は FORIST ライブラリ²⁾内蔵のものを利用した。FORIST ライブラリには 0.26 MeV から 21.8 MeV のエネルギー範囲の中性子に対する応答関数が含まれている。

4. 測定結果

4.1 輸送キャスク周囲の測定結果

4.1.1 ガンマ線の測定

Table 1 ~ 4 に、UD-200 STLD で測定した輸送キャスク表面、表面から 100 cm およびキャスクの上蓋上部付近のガンマ線線量率分布を示す。Fig. 16~20 はこれらの測定値を図示したもので、図・表の測定誤差は、測定点 1 ケ所につき 2 個の TLD を利用して得た測定値のバラツキを意味している。輸送キャスク胴体部では、A-line, G-line とほぼ同じような線量率分布を示している。Fig. 18 は、高さを変えて輸送キャスク周囲の線量率の変化を見たものである。0°, 90°, 180°, 270° は燃料集合体の面に向いた部分で、45°, 135°, 225°, 315° は燃料集合体の角の部分に面している。燃料の中心領域の高さでは面と角の測定点にわずかの差が認められるが、輸送キャスク表面では全体として周方向についての大きな線量率の変化は認められない。Z = 0 cm の測定値が他の測定値と比べて特にバラツキが大きいのは、キャスク上面付近ではキャスクの構造が複雑になっており、この構造の影響を受けたものと予想される。

Table 5~11 は、NE 213 検出器で測定した輸送キャスク表面から 20 cm および 100 cm の位置でのガンマ線エネルギースペクトルである。これらの表で ϕ upper, ϕ lower は、FORIST コードで波高分布をアンフォールディングして得られるエネルギースペクトルの信頼性領域を意味しており、 ϕ average はこれらの平均値である。Fig. 21 から 27 は、これらの表を図示したものである。NE 213 検出器のエネルギー分解能は十分でないため、明確なピークは検出されないが、 $H(n, \gamma)$ や $^{55}Fe(n, \gamma)$ 反応によって生じる二次ガンマ線と思われるピークが 2.2 MeV, 7.5 MeV 付近に認められる。輸送キャスク胴体部で得られたガンマ線スペクトルはいずれもよく似た形をしており、2 ~ 3 MeV 以上に幾つかのピークがあり、それ以下で急激に増加している。NE 213 検出器では 1 MeV 以下のスペクトル測定ができないので、全体のガンマ線線量率に寄与する二次ガンマ線の割合は実験的に明らかにできないが、核分裂生成物からのガンマ線エネルギーを越える高い二次ガンマ線が輸送キャスク外側に出てくることを測定結果は示している。

4.1.2 中性子の測定

Table 12~14 に、レムカウンタで測定した輸送キャスク周囲の中性子線量等量率分布を示す。表の誤差は計測値の統計誤差を意味している。Fig. 28~31 はこれらの測定結果を図示したもので

スペクトルを測定した。この場合の測定回路は Fig. 12 の通りで、NE 213 検出器からの中性子信号のみを波形弁別により選別し、得られた波高分布からガンマ線の場合と同じく FORIST コードによりアンフォールディングすることによりエネルギースペクトルを求めた。この際、アンフォールディングに用いた中性子に対する応答関数は FORIST ライブラリ²⁾内蔵のものを利用した。FORIST ライブラリには 0.26 MeV から 21.8 MeV のエネルギー範囲の中性子に対する応答関数が含まれている。

4. 測定結果

4.1 輸送キャスク周囲の測定結果

4.1.1 ガンマ線の測定

Table 1 ~ 4 に、UD-200 STLD で測定した輸送キャスク表面、表面から 100 cm およびキャスクの上蓋上部付近のガンマ線線量率分布を示す。Fig. 16~20 はこれらの測定値を図示したもので、図・表の測定誤差は、測定点 1 ケ所につき 2 個の TLD を利用して得た測定値のバラツキを意味している。輸送キャスク胴体部では、A-line, G-line とほぼ同じような線量率分布を示している。Fig. 18 は、高さを変えて輸送キャスク周囲の線量率の変化を見たものである。0°, 90°, 180°, 270° は燃料集合体の面に向いた部分で、45°, 135°, 225°, 315° は燃料集合体の角の部分に面している。燃料の中心領域の高さでは面と角の測定点にわずかの差が認められるが、輸送キャスク表面では全体として周方向についての大きな線量率の変化は認められない。Z = 0 cm の測定値が他の測定値と比べて特にバラツキが大きいのは、キャスク上面付近ではキャスクの構造が複雑になっており、この構造の影響を受けたものと予想される。

Table 5~11 は、NE 213 検出器で測定した輸送キャスク表面から 20 cm および 100 cm の位置でのガンマ線エネルギースペクトルである。これらの表で ϕ upper, ϕ lower は、FORIST コードで波高分布をアンフォールディングして得られるエネルギースペクトルの信頼性領域を意味しており、 ϕ average はこれらの平均値である。Fig. 21 から 27 は、これらの表を図示したものである。NE 213 検出器のエネルギー分解能は十分でないため、明確なピークは検出されないが、 $H(n, \gamma)$ や $^{55}Fe(n, \gamma)$ 反応によって生じる二次ガンマ線と思われるピークが 2.2 MeV, 7.5 MeV 付近に認められる。輸送キャスク胴体部で得られたガンマ線スペクトルはいずれもよく似た形をしており、2 ~ 3 MeV 以上に幾つかのピークがあり、それ以下で急激に増加している。NE 213 検出器では 1 MeV 以下のスペクトル測定ができないので、全体のガンマ線線量率に寄与する二次ガンマ線の割合は実験的に明らかにできないが、核分裂生成物からのガンマ線エネルギーを越える高い二次ガンマ線が輸送キャスク外側に出てくることを測定結果は示している。

4.1.2 中性子の測定

Table 12~14 に、レムカウンタで測定した輸送キャスク周囲の中性子線量等量率分布を示す。表の誤差は計測値の統計誤差を意味している。Fig. 28~31 はこれらの測定結果を図示したもので

である。ガンマ線の場合と同様、 $Z=180$ cm 付近で、キャスク表面から 20 cm の位置で約 0.55 ~ 0.65 mrem/hr の最大値を示している。レムカウンタは、それ自体の容積が大きいのでキャスク表面での測定は行ってないが、キャスク胴体部の最大値で、中性子の線量等量率はガンマ線の $1/4 \sim 1/5$ 程度になっている。A-line と G-line の測定結果は、燃料長領域ではほぼ同じ分布を示しているが $Z=0$ cm では大きな差異を示している。これは、輸送キャスク上部の構造の違いによるものと考えられる。なお、Fig. 28 には輸送キャスクの中心軸上に沿った測定値も示した。Fig. 30 は、 $Z=372.7$ cm, $R=20$ cm での周方向分布の測定である。

Table 15~17 は、 ^3He 検出器で測定した熱、熱外中性子の反応率分布である。Bare の測定値は ^3He 検出器そのもので測定したもので、Cd-covered で示した測定値は検出器を 1 mm 厚の Cd 板で覆った場合の測定値で約 0.5 eV 以上の中性子による反応率である。Fig. 32~35 はこれらの結果を図示したものである。熱中性子、熱外中性子とも $Z=180$ cm 付近で最大値を示しており、Cd 比は 10~20 の間で変化している。また、Fig. 34 の測定結果は、輸送キャスク上部では、熱、熱外中性子とも周囲についてはほとんど平坦な分布であることを示している。しかし、Fig. 35 に見られるように輸送キャスク上部付近では、熱中中性子の分布がキャスクから離れるにつれて少し上昇している。

Table 19 は ^{235}U 核分裂計数管で測定した中性子の反応率分布で、Fig. 36 はこれを図示したものである。Fig. 36 の分布は ^3He 検出器による Fig. 32 の分布と非常によく一致している。

Table 20~22 は、NE 213 検出器で測定した中性子の波高分布を FORIST コードによりアンフォールディングして求めた速中中性子のエネルギースペクトルで、 ϕ_{upper} , ϕ_{lower} は得られたスペクトルの信頼性区間である。Fig. 37~39 はこれらの結果を図示したものである。輸送キャスクの外側ではガンマ線に比べ速中中性子の強度がかなり低く、Fig. 12 に示した回路系によって中性子とガンマ線の波型弁別を行っても、ガンマ線パルスの混入を完全に避けることができない。このため、Fig. 37~39 に見られるように 4.5 MeV 近傍のスペクトルに小さなコブが存在している。これは前に示したガンマ線スペクトルに見られるように輸送キャスクの外側では $\text{H}(n, \gamma)$ 反応によると思われる約 2 MeV のガンマ線がかなり強く出ており、このガンマ線のパルスが中性子の波高分布に混入したことにより生じたものと考えられる。

4.2 輸送キャスク内の測定結果

4.2.1 ガンマ線の測定

Table 23 (Fig. 40) は、ラドコン線量計で測定したキャスク内部のガンマ線線量率分布である。Fig. 40 に見られるように、燃料領域でのガンマ線線量率分布はほとんど平坦であり、A-line, E-line の対称性もかなりよく、輸送キャスクの外側で見られた $Z=180$ cm 近傍の極大値も存在しない。

ラドコン線量計による測定誤差の一つとして、ラドコンからの微小電流をエレクトロメータによって読み取る時の誤差があり、数 10 R/hr 以上で 10% 以下、10 R/hr の測定で 20~30% 程度である。また、実際の測定ではラドコン線量計は SUS-304 製の肉厚 0.5 mm のカウンタ水封管に入っており、さらにこの水封管は 3 mm 厚のアルミニウムからなる測定器案内管の中に入る

ため、これらの管壁でのガンマ線の吸収が起るが、測定値はこれらの補正は行っていない。管壁での吸収に伴う誤差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誤差は大よそ次の通りである。

ガンマ線エネルギー	推定誤差 (%)
1.0 MeV	0 ~ 7.2%
0.5 "	0 ~ 9.5%
0.1 "	9 ~ 15 %
0.08 "	18 ~ 34 %

ここで、推定誤差の上限値は、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。

4.2.2 中性子の測定

Table 24, 25 はそれぞれ ^{235}U , ^{232}Th 核分裂計数管により測定した反応率分布である。これらの結果を図示した Fig. 41, 42 に見られるように、主として熱、熱外中性子の分布を表す ^{235}U 核分裂計数管の測定結果も、速中性子の分布を表す ^{232}Th 核分裂計数管の測定結果も、ガンマ線と同様、燃料長領域ではほぼ平坦な分布をしている。また、A-line と E-line はほぼ対称的な分布を示しているが、 $^{235}\text{U}(n, f)$ の反応率は E-line の方が約 10% 大きくなっている。一方、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ の反応率は上下で A-line と E-line の測定値の大小が逆転している。これらの原因として、燃料集合体を測定器案内管付のバスケットに収納した時の集合体とバスケット間の隙、あるいは 40mm 直径の案内管に 34mm ϕ のカウンタ水封管を入れた時の水平方向の変動等の他、燃料集合体自体の線源強度の空間変化も考えられるが、本測定結果からだけではいずれに帰因するか判断できない。

Table 24, 25 の測定結果の誤差は、それぞれの計数管による計数率の統計誤差で、この他の誤差としてガンマ線の場合と同様、測定器案内管の管壁での吸収も考えられる。しかし、この吸収は $^{232}\text{Th}(n, f)$ の反応率ではほとんど無視しうる程度で、 $^{235}\text{U}(n, f)$ 反応率に対しても 1% 以下である。

4.3 輸送キャスク上蓋内部のガンマ線線量率分布

Table 26 は ^7LiF TLD により測定した上蓋内部の鉛領域でのガンマ線線量率分布である。実験用上蓋の A, E の測定器案内管用孔に沿った部分で、Fig. 43 に示すような鉛プラグセットを利用して測定したものである。Fig. 44 は Table 26 の平均値を図示したもので、ガンマ線はこの領域内で指数関数的な減衰をしている。この測定では Fig. 43 に示したように 7ヶ所の TLD 用のスペースが鉛層内に一列に設けられているため、この空間部分での鉛遮蔽が薄くなっている。燃料集合体から上蓋の下面に入射するガンマ線の線源領域に比べてこのスペースはかなり小さいのでそれ程大きな影響はないと推定されるが、このスペースがない場合に比べ測定値は幾分過大評価になっていると考えられる。また、 ^7LiF TLD の実効原子番号は約 8.2 で鉛は 82

でありガンマ線に対する断面積が非常に異っている。このため鉛内に置いた ${}^7\text{LiF}$ TLDのガンマ線に対する応答特性は空気中で得られた応答特性と異ってくる。今回の測定では、鉛媒質の影響を出来るだけ避けるため、1mm厚のABS樹脂カプセルに入れた ${}^7\text{LiF}$ TLDをさらに0.5mm厚のAlケースに入れている。厳密には鉛体系内でのガンマ線の線量率をレントゲン単位で表すことは出来ないが、ABS樹脂およびAlケースの利用により ${}^7\text{LiF}$ TLDの応答特性が鉛媒質の影響を受けていないと仮定してTable 26の測定結果をR/hrの単位で与えている。

5. ま と め

PWR使用済燃料集合体とNH-25輸送キャスクを用いて“キャスク形状評価のための実験”を実施した。この実験は、一連の遮蔽安全実験計画の中の最初の実験で、準備した測定技術や実験装置を検証するとともに、今後予定されている実験についての情報を豊富に得ることができた。以下に本実験で得られた成果と検討結果をまとめて述べる。

- 1) 輸送キャスク周囲の測定では、輸送キャスク表面（または表面から20cm）および表面から100cm離れた位置を中心に、キャスク上部等を含め、ガンマ線線量率分布、ガンマ線エネルギースペクトル、中性子線量等量率分布、熱・熱外中性子反応率分布、速中性子エネルギースペクトルの測定データが得られた。
- 2) 輸送キャスク内部の測定では、燃料集合体に近接した位置で、ガンマ線線量率分布の他 ${}^{235}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による熱中性子（熱外中性子を含む）、速中性子反応率分布、それにキャスク上蓋内部でのガンマ線線量率分布の測定データが得られた。
- 3) 輸送キャスク内の燃料集合体近傍でのガンマ線、中性子の空間分布はほぼ平坦であるにもかかわらず、キャスク周囲の測定では $Z=180\text{cm}$ 付近で、いずれの測定値も極大値を示した。これは、第2章でも述べたように、燃料集合体を収納したNH-25輸送キャスクから発送前に約70ℓの水抜きを行っているため、キャスクを垂直に立てた時、キャスクの内筒とバスケットの間の水位が $Z=239\text{cm}$ になることによるものと考えられる。したがって、輸送キャスクの胴体部の構造は全く同じであるが、 $Z=239\text{cm}$ を境にして、上記の間隙の間に水の有無が生じるので、測定値の解析の際にはこの水位について考慮する必要がある。
- 4) 輸送キャスク外側でのガンマ線のエネルギースペクトルには、中性子の捕獲や非弾性散乱によって生じたと考えられるエネルギーの高い二次ガンマ線のスペクトルが表われている。燃料の高燃焼度化と共に中性子の発生量が増加し、結果として二次ガンマ線の寄与も増加すると考えられ、本実験で得られたエネルギースペクトルの測定値を用いて二次ガンマ線の解析法を評価、検討できる。
- 5) 今回の測定では、燃料集合体近傍で最大 $2 \times 10^4 \text{ R/hr}$ のガンマ線線量率を示し、輸送キャスク表面では最大で $2 \sim 3 \text{ mR/hr}$ であり、胴体部で約7桁の減衰が見られた。一方、熱中性子に関しては ${}^{235}\text{U}$ 核分裂計数管の測定値は同じ位置で約4桁強の減衰である。また、速中性子に関しては ${}^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定は輸送キャスク外側での測定値がないので直接的な比較はできないが、NE 213検出器により測定した中性子スペクトルを用いて

でありガンマ線に対する断面積が非常に異っている。このため鉛内に置いた ${}^7\text{LiF}$ TLDのガンマ線に対する応答特性は空気中で得られた応答特性と異ってくる。今回の測定では、鉛媒質の影響を出来るだけ避けるため、1mm厚のABS樹脂カプセルに入れた ${}^7\text{LiF}$ TLDをさらに0.5mm厚のAlケースに入れている。厳密には鉛体系内でのガンマ線の線量率をレントゲン単位で表すことは出来ないが、ABS樹脂およびAlケースの利用により ${}^7\text{LiF}$ TLDの応答特性が鉛媒質の影響を受けていないと仮定してTable 26の測定結果をR/hrの単位で与えている。

5. ま と め

PWR使用済燃料集合体とNH-25輸送キャスクを用いて“キャスク形状評価のための実験”を実施した。この実験は、一連の遮蔽安全実験計画の中の最初の実験で、準備した測定技術や実験装置を検証するとともに、今後予定されている実験についての情報を豊富に得ることができた。以下に本実験で得られた成果と検討結果をまとめて述べる。

- 1) 輸送キャスク周囲の測定では、輸送キャスク表面（または表面から20cm）および表面から100cm離れた位置を中心に、キャスク上部等を含め、ガンマ線線量率分布、ガンマ線エネルギースペクトル、中性子線量等量率分布、熱・熱外中性子反応率分布、速中性子エネルギースペクトルの測定データが得られた。
- 2) 輸送キャスク内部の測定では、燃料集合体に近接した位置で、ガンマ線線量率分布の他 ${}^{235}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による熱中性子（熱外中性子を含む）、速中性子反応率分布、それにキャスク上蓋内部でのガンマ線線量率分布の測定データが得られた。
- 3) 輸送キャスク内の燃料集合体近傍でのガンマ線、中性子の空間分布はほぼ平坦であるにもかかわらず、キャスク周囲の測定では $Z=180\text{cm}$ 付近で、いずれの測定値も極大値を示した。これは、第2章でも述べたように、燃料集合体を収納したNH-25輸送キャスクから発送前に約70ℓの水抜きを行っているため、キャスクを垂直に立てた時、キャスクの内筒とバスケットの間の水位が $Z=239\text{cm}$ になることによるものと考えられる。したがって、輸送キャスクの胴体部の構造は全く同じであるが、 $Z=239\text{cm}$ を境にして、上記の間隙の間に水の有無が生じるので、測定値の解析の際にはこの水位について考慮する必要がある。
- 4) 輸送キャスク外側でのガンマ線のエネルギースペクトルには、中性子の捕獲や非弾性散乱によって生じたと考えられるエネルギーの高い二次ガンマ線のスペクトルが表われている。燃料の高燃焼度化と共に中性子の発生量が増加し、結果として二次ガンマ線の寄与も増加すると考えられ、本実験で得られたエネルギースペクトルの測定値を用いて二次ガンマ線の解析法を評価、検討できる。
- 5) 今回の測定では、燃料集合体近傍で最大 $2 \times 10^4 \text{ R/hr}$ のガンマ線線量率を示し、輸送キャスク表面では最大で $2 \sim 3 \text{ mR/hr}$ であり、胴体部で約7桁の減衰が見られた。一方、熱中性子に関しては ${}^{235}\text{U}$ 核分裂計数管の測定値は同じ位置で約4桁強の減衰である。また、速中性子に関しては ${}^{232}\text{Th}$ 核分裂計数管による測定は輸送キャスク外側での測定値がないので直接的な比較はできないが、NE 213検出器により測定した中性子スペクトルを用いて

の推定では、約3桁弱の減衰となる。

今回使用した使用済燃料では、キャスクの側部外表面での中性子の線量はガンマ線の1/4~1/5であるが、燃料の履歴、輸送キャスクの構造により中性子の寄与がさらに大きくなる場合も予想され、本実験で得られた中性子に関する各種の測定値は、中性子計算手法の評価と確立を計る上で役立つものと考えらる。

- 6) 本実験のために準備した各種測定器、測定治具等はほぼ満足すべき機能を果し、当初予定した通りの測定値を得ることができた。すなわち、燃料集合体近傍のガンマ線線量率の測定に用いたラドコン線量計は、水封管に封入した状態で、約40mのケーブルを延長するという悪条件であったが極めて良好に作動し、燃料近傍で 2×10^4 R/hr を記録した。このラドコン測定系はあと2桁程度余裕があり、更に高燃焼度で冷却時間が短い燃料から放出される高線量ガンマ線に対しても十分測定が可能である。

また、 2×10^4 R/hr という高線量下においてガンマ線のパイルアップを除き 10^3 n/cm²・sec オーダーの速中性子を²³²Th核分裂計数管により測定できたことは、本実験で用いた約10nsecの速い信号処理システムの有効性を実証するものである。

- 7) 今回の実験では輸送キャスク内のガンマ線線量率分布、キャスク外側でのガンマ線エネルギースペクトル、キャスク内外での中性子の詳細な測定値等が得られた。実際の使用済燃料輸送キャスクに関して、従来こうした詳細な測定がなされた例はなく、輸送キャスクの遮蔽計算手法を確立する上で、これらの測定結果は貴重である。

謝 辞

PWR燃料による「キャスク形状評価実験」は、昭和54年度以来準備が進められてきた一連の実験計画の中の最初の実験である。本計画がここに至るまでには、前安全解析部長桂木学氏(現安全工学部長)、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多大な努力があったことを記し、深甚の意を表します。また、燃料集合体、輸送キャスクの受入れをはじめ、本実験を実施するについては岩本多実前燃料試験室室長、八巻治恵燃料試験技術課長、板倉敦燃料試験課長をはじめ、実用燃料試験室室員の方々の多大な協力を得ました。ここ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。篤く感謝致します。本実験に用い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とを記し、篤く御礼申し上げます。

の推定では、約3桁弱の減衰となる。

今回使用した使用済燃料では、キャスクの側部外表面での中性子の線量はガンマ線の1/4~1/5であるが、燃料の履歴、輸送キャスクの構造により中性子の寄与がさらに大きくなる場合も予想され、本実験で得られた中性子に関する各種の測定値は、中性子計算手法の評価と確立を計る上で役立つものと考ええる。

- 6) 本実験のために準備した各種測定器、測定治具等はほぼ満足すべき機能を果し、当初予定した通りの測定値を得ることができた。すなわち、燃料集合体近傍のガンマ線線量率の測定に用いたラドコン線量計は、水封管に封入した状態で、約40mのケーブルを延長するという悪条件であったが極めて良好に作動し、燃料近傍で 2×10^4 R/hr を記録した。このラドコン測定系はあと2桁程度余裕があり、更に高燃焼度で冷却時間が短い燃料から放出される高線量ガンマ線に対しても十分測定が可能である。

また、 2×10^4 R/hr という高線量下においてガンマ線のパイルアップを除き 10^3 n/cm²・sec オーダーの速中性子を²³²Th核分裂計数管により測定できたことは、本実験で用いた約10nsecの速い信号処理システムの有効性を実証するものである。

- 7) 今回の実験では輸送キャスク内のガンマ線線量率分布、キャスク外側でのガンマ線エネルギースペクトル、キャスク内外での中性子の詳細な測定値等が得られた。実際の使用済燃料輸送キャスクに関して、従来こうした詳細な測定がなされた例はなく、輸送キャスクの遮蔽計算手法を確立する上で、これらの測定結果は貴重である。

謝 辞

PWR燃料による「キャスク形状評価実験」は、昭和54年度以来準備が進められてきた一連の実験計画の中の最初の実験である。本計画がここに至るまでには、前安全解析部長桂木学氏(現安全工学部長)、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多大な努力があったことを記し、深甚の意を表します。また、燃料集合体、輸送キャスクの受入れをはじめ、本実験を実施するについては岩本多実前燃料試験室室長、八巻治恵燃料試験技術課長、板倉敦燃料試験課長をはじめ、実用燃料試験室室員の方々の多大な協力を得ました。ここ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。篤く感謝致します。本実験に用い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とを記し、篤く御礼申し上げます。

References

- 1) Ingersoll D.T. and Wehring B.W. : Nucl. Instr. Meth., 147, 551 (1977)
- 2) FORIST Spectra Unfolding Code, Radiation Shielding Information Center, ORNL, PSR-92
- 3) Mceloy W.N. et al. : AFWL-TR-67-41 (1967)
- 4) Stoddard D.H. and Hootman H.E. : DP-1246 (1971)

Table 1 Gamma-ray exposure dose rate at R=0 cm along the 8-directions of A, B, C, D, E, F, G, and H

Position		Exposure dose at R = 0 cm (mR/hr)							
Pos. No.	Z (cm)	A	B	C	D	E	F	G	H
-3	-100.0	0.174(±0.005)	---	0.205(±0.002)	---	0.184(±0.013)	---	0.146(±0.005)	---
-2	-40.0	0.165(±0.003)	---	0.247(±0.004)	---	0.222(±0.001)	---	0.171(±0.004)	---
-1	0.0	0.187(±0.078)	0.511(±0.196)	0.568(±0.107)	0.539(±0.290)	0.274(±0.061)	0.447(±0.086)	0.536(±0.103)	0.253(±0.065)
0	45.0	2.19 (±0.466)	1.10 (±0.192)	1.01 (±0.037)	1.33 (±0.231)	1.51 (±0.092)	0.993(±0.022)	0.955(±0.022)	1.08 (±0.086)
1	82.7	1.30 (±0.023)	1.29 (±0.067)	1.14 (±0.052)	1.02 (±0.016)	---	1.10 (±0.096)	1.21 (±0.022)	1.10 (±0.009)
2	131.0	2.51 (±0.096)	1.84 (±0.050)	2.03 (±0.014)	1.93 (±0.045)	2.43 (±0.081)	2.06 (±0.077)	2.31 (±0.071)	1.97 (±0.032)
3	179.4	2.96 (±0.024)	2.28 (±0.0)	2.39 (±0.029)	2.37 (±0.025)	2.71 (±0.03)	2.21 (±0.001)	2.65 (±0.056)	2.33 (±0.032)
4	227.7	2.83 (±0.009)	2.24 (±0.11)	2.32 (±0.003)	2.08 (±0.048)	2.59 (±0.024)	1.99 (±0.005)	2.28 (±0.093)	2.25 (±0.085)
5	276.0	2.44 (±0.040)	1.77 (±0.035)	1.78 (±0.030)	---	1.94 (±0.048)	1.54 (±0.016)	1.51 (±0.003)	1.54 (±0.048)
6	324.4	2.30 (±0.038)	1.87 (±0.060)	2.09 (±0.051)	1.83 (±0.125)	1.97 (±0.019)	1.68 (±0.068)	1.75 (±0.021)	1.64 (±0.014)
7	372.7	2.35 (±0.036)	1.91 (±0.031)	1.95 (±0.063)	1.91 (±0.022)	1.66 (±0.148)	1.54 (±0.063)	1.51 (±0.057)	1.60 (±0.001)
8	421.0	1.83 (±0.080)	1.46 (±0.078)	1.75 (±0.053)	1.53 (±0.014)	1.62 (±0.030)	1.24 (±0.030)	1.21 (±0.055)	1.20 (±0.001)
9	462.0	0.490(±0.123)	0.32 (±0.062)	0.51 (±0.065)	0.47 (±0.060)	0.51 (±0.075)	0.32 (±0.049)	0.33 (±0.054)	0.33 (±0.051)

Table 2 Gamma-ray exposure dose rate at R=100 cm along E and G lines

Position		Exposure dose at R = 100 cm (mR/hr)	
Pos. No.	Z (cm)	E	G
-2	-40.0	0.240(\pm 0.002)	0.209(\pm 0.014)
-1	0.0	0.390(\pm 0.009)	0.356(\pm 0.007)
0	45.0	0.549(\pm 0.008)	0.501(\pm 0.007)
1	82.7	0.635(\pm 0.006)	0.589(\pm 0.006)
2	131.0	0.767(\pm 0.045)	0.764(\pm 0.008)
3	179.4	0.902(\pm 0.022)	0.847(\pm 0.008)
4	227.7	0.905(\pm 0.010)	0.828(\pm 0.014)
5	276.0	0.827(\pm 0.027)	0.751(\pm 0.011)
6	324.4	0.770(\pm 0.01)	0.664(\pm 0.019)
7	372.7	0.693(\pm 0.005)	0.608(\pm 0.007)
8	421.0	0.486(\pm 0.036)	0.457(\pm 0.017)
9	462.0	0.271(\pm 0.009)	0.258(\pm 0.009)

Table 3 Gamma-ray exposure dose rate on the upper surface of the cask

Radius	[mR/hr]					
	A	B	C	D	E	G
22 cm *	—	0.246(\pm 0.01)	0.390(\pm 0.021)	0.282(\pm 0.018)	—	0.373(\pm 0.003)
44 *	0.580(\pm 0.205)	—	0.487(\pm 0.154)	—	0.651(\pm 0.212)	0.537(\pm 0.121)

* distance from the center of the cask lid

Table 4 Gamma-ray exposure dose rate at Z=0 cm, -40 cm, and -100 cm along the axis of the cask

Z (cm)	[mR/hr]		
	0	-40	-100
	0.438(\pm 0.001)	0.274(\pm 0.007)	0.200(\pm 0.008)

Table 5 Gamma-ray energy spectrum at Z=45 cm and R=20 cm on the A-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.900D+06	0.838D+04	0.856D+04	0.847D+04	0.630D+07	0.981D-01	0.295D+00	0.197D+00
0.100D+07	0.139D+03	0.224D+03	0.182D+03	0.640D+07	0.112D+00	0.297D+00	0.204D+00
0.110D+07	0.924D+02	0.111D+03	0.101D+03	0.650D+07	0.128D+00	0.302D+00	0.215D+00
0.120D+07	0.395D+03	0.410D+03	0.403D+03	0.660D+07	0.146D+00	0.311D+00	0.162D+00
0.130D+07	0.278D+03	0.287D+03	0.282D+03	0.670D+07	0.160D+00	0.323D+00	0.242D+00
0.140D+07	0.132D+03	0.145D+03	0.139D+03	0.680D+07	0.173D+00	0.336D+00	0.254D+00
0.150D+07	0.573D+02	0.657D+02	0.615D+02	0.690D+07	0.185D+00	0.345D+00	0.265D+00
0.160D+07	0.292D+02	0.336D+02	0.314D+02	0.700D+07	0.195D+00	0.352D+00	0.274D+00
0.170D+07	0.194D+02	0.229D+02	0.212D+02	0.710D+07	0.204D+00	0.356D+00	0.280D+00
0.180D+07	0.164D+02	0.183D+02	0.174D+02	0.720D+07	0.209D+00	0.357D+00	0.283D+00
0.190D+07	0.131D+02	0.163D+02	0.147D+02	0.730D+07	0.209D+00	0.358D+00	0.283D+00
0.200D+07	0.934D+01	0.141D+02	0.117D+02	0.740D+07	0.205D+00	0.357D+00	0.281D+00
0.210D+07	0.626D+01	0.113D+02	0.877D+01	0.750D+07	0.197D+00	0.356D+00	0.277D+00
0.220D+07	0.407D+01	0.810D+01	0.609D+01	0.760D+07	0.187D+00	0.353D+00	0.270D+00
0.230D+07	0.261D+01	0.518D+01	0.389D+01	0.770D+07	0.174D+00	0.348D+00	0.261D+00
0.240D+07	0.164D+01	0.303D+01	0.233D+01	0.780D+07	0.161D+00	0.341D+00	0.251D+00
0.250D+07	0.920D+00	0.184D+01	0.138D+01	0.790D+07	0.149D+00	0.331D+00	0.240D+00
0.260D+07	0.511D+00	0.126D+01	0.887D+00	0.800D+07	0.137D+00	0.319D+00	0.228D+00
0.270D+07	0.367D+00	0.962D+00	0.664D+00	0.810D+07	0.128D+00	0.305D+00	0.216D+00
0.280D+07	0.298D+00	0.840D+00	0.569D+00	0.820D+07	0.120D+00	0.289D+00	0.205D+00
0.290D+07	0.257D+00	0.785D+00	0.521D+00	0.830D+07	0.113D+00	0.274D+00	0.194D+00
0.300D+07	0.715D+00	0.489D+00	0.489D+00	0.840D+07	0.108D+00	0.259D+00	0.184D+00
0.310D+07	0.281D+00	0.646D+00	0.463D+00	0.850D+07	0.105D+00	0.245D+00	0.175D+00
0.320D+07	0.250D+00	0.626D+00	0.438D+00	0.860D+07	0.103D+00	0.232D+00	0.167D+00
0.330D+07	0.230D+00	0.609D+00	0.412D+00	0.870D+07	0.101D+00	0.222D+00	0.162D+00
0.340D+07	0.193D+00	0.584D+00	0.388D+00	0.880D+07	0.101D+00	0.213D+00	0.157D+00
0.350D+07	0.180D+00	0.559D+00	0.370D+00	0.890D+07	0.102D+00	0.207D+00	0.155D+00
0.360D+07	0.167D+00	0.549D+00	0.358D+00	0.900D+07	0.103D+00	0.203D+00	0.153D+00
0.370D+07	0.159D+00	0.549D+00	0.354D+00	0.910D+07	0.104D+00	0.201D+00	0.153D+00
0.380D+07	0.158D+00	0.544D+00	0.356D+00	0.920D+07	0.106D+00	0.200D+00	0.153D+00
0.390D+07	0.162D+00	0.563D+00	0.363D+00	0.930D+07	0.109D+00	0.200D+00	0.155D+00
0.400D+07	0.169D+00	0.575D+00	0.372D+00	0.940D+07	0.112D+00	0.200D+00	0.156D+00
0.410D+07	0.176D+00	0.585D+00	0.380D+00	0.950D+07	0.116D+00	0.200D+00	0.156D+00
0.420D+07	0.189D+00	0.582D+00	0.385D+00	0.960D+07	0.120D+00	0.201D+00	0.161D+00
0.430D+07	0.199D+00	0.569D+00	0.384D+00	0.970D+07	0.125D+00	0.201D+00	0.163D+00
0.440D+07	0.208D+00	0.545D+00	0.376D+00	0.980D+07	0.129D+00	0.201D+00	0.165D+00
0.450D+07	0.212D+00	0.515D+00	0.363D+00	0.990D+07	0.134D+00	0.200D+00	0.167D+00
0.460D+07	0.211D+00	0.485D+00	0.348D+00	0.100D+08	0.138D+00	0.198D+00	0.168D+00
0.470D+07	0.206D+00	0.461D+00	0.334D+00	0.101D+08	0.141D+00	0.196D+00	0.168D+00
0.480D+07	0.205D+00	0.441D+00	0.323D+00	0.102D+08	0.143D+00	0.193D+00	0.168D+00
0.490D+07	0.202D+00	0.432D+00	0.317D+00	0.103D+08	0.146D+00	0.190D+00	0.167D+00
0.500D+07	0.198D+00	0.432D+00	0.315D+00	0.104D+08	0.144D+00	0.186D+00	0.165D+00
0.510D+07	0.193D+00	0.438D+00	0.315D+00	0.105D+08	0.142D+00	0.181D+00	0.161D+00
0.520D+07	0.185D+00	0.444D+00	0.315D+00	0.106D+08	0.139D+00	0.175D+00	0.157D+00
0.530D+07	0.177D+00	0.446D+00	0.311D+00	0.107D+08	0.134D+00	0.168D+00	0.151D+00
0.540D+07	0.167D+00	0.439D+00	0.303D+00	0.108D+08	0.128D+00	0.160D+00	0.144D+00
0.550D+07	0.157D+00	0.423D+00	0.290D+00	0.109D+08	0.121D+00	0.152D+00	0.136D+00
0.560D+07	0.148D+00	0.398D+00	0.273D+00	0.110D+08	0.113D+00	0.142D+00	0.128D+00
0.570D+07	0.138D+00	0.369D+00	0.254D+00	0.111D+08	0.105D+00	0.132D+00	0.118D+00
0.580D+07	0.122D+00	0.346D+00	0.234D+00	0.112D+08	0.957D-01	0.122D+00	0.109D+00
0.590D+07	0.106D+00	0.327D+00	0.217D+00	0.113D+08	0.866D-01	0.111D+00	0.987D-01
0.600D+07	0.941D-01	0.313D+00	0.203D+00	0.114D+08	0.775D-01	0.999D-01	0.887D-01
0.610D+07	0.883D-01	0.303D+00	0.195D+00	0.115D+08	0.686D-01	0.890D-01	0.788D-01
0.620D+07	0.898D-01	0.297D+00	0.193D+00				

Table 6 Gamma-ray energy spectrum at Z=82.7 cm and R=20 cm on the A-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.9000+06	0.386D+03	0.534D+03	0.460D+03	0.6300+07	0.841D+00	0.150D+01	0.117D+01
0.1000+07	0.511D+03	0.555D+03	0.533D+03	0.6400+07	0.877D+00	0.148D+01	0.118D+01
0.1100+07	0.508D+03	0.526D+03	0.517D+03	0.6500+07	0.913D+00	0.147D+01	0.119D+01
0.1200+07	0.456D+03	0.475D+03	0.465D+03	0.6600+07	0.946D+00	0.147D+01	0.121D+01
0.1300+07	0.377D+03	0.401D+03	0.389D+03	0.6700+07	0.966D+00	0.148D+01	0.123D+01
0.1400+07	0.285D+03	0.305D+03	0.295D+03	0.6800+07	0.984D+00	0.150D+01	0.124D+01
0.1500+07	0.209D+03	0.224D+03	0.217D+03	0.6900+07	0.100D+01	0.151D+01	0.126D+01
0.1600+07	0.159D+03	0.173D+03	0.166D+03	0.7000+07	0.102D+01	0.151D+01	0.126D+01
0.1700+07	0.131D+03	0.141D+03	0.136D+03	0.7100+07	0.103D+01	0.150D+01	0.126D+01
0.1800+07	0.116D+03	0.121D+03	0.119D+03	0.7200+07	0.103D+01	0.147D+01	0.123D+01
0.1900+07	0.997D+02	0.113D+03	0.106D+03	0.7300+07	0.102D+01	0.144D+01	0.119D+01
0.200D+07	0.823D+02	0.105D+03	0.936D+02	0.7400+07	0.995D+00	0.139D+01	0.119D+01
0.210D+07	0.663D+02	0.890D+02	0.777D+02	0.7500+07	0.958D+00	0.134D+01	0.115D+01
0.220D+07	0.507D+02	0.668D+02	0.587D+02	0.7600+07	0.911D+00	0.128D+01	0.109D+01
0.230D+07	0.355D+02	0.443D+02	0.399D+02	0.7700+07	0.856D+00	0.121D+01	0.103D+01
0.240D+07	0.225D+02	0.266D+02	0.245D+02	0.7800+07	0.798D+00	0.114D+01	0.970D+00
0.250D+07	0.156D+02	0.156D+02	0.140D+02	0.7900+07	0.740D+00	0.107D+01	0.905D+00
0.260D+07	0.645D+01	0.940D+01	0.793D+01	0.8000+07	0.684D+00	0.999D+00	0.842D+00
0.270D+07	0.363D+01	0.605D+01	0.484D+01	0.8100+07	0.634D+00	0.929D+00	0.782D+00
0.280D+07	0.236D+01	0.457D+01	0.342D+01	0.8200+07	0.590D+00	0.861D+00	0.726D+00
0.290D+07	0.164D+01	0.393D+01	0.279D+01	0.8300+07	0.551D+00	0.798D+00	0.675D+00
0.300D+07	0.155D+01	0.344D+01	0.250D+01	0.8400+07	0.517D+00	0.740D+00	0.629D+00
0.310D+07	0.160D+01	0.308D+01	0.234D+01	0.8500+07	0.487D+00	0.688D+00	0.588D+00
0.320D+07	0.145D+01	0.292D+01	0.222D+01	0.8600+07	0.459D+00	0.645D+00	0.551D+00
0.330D+07	0.129D+01	0.289D+01	0.209D+01	0.8700+07	0.431D+00	0.605D+00	0.518D+00
0.340D+07	0.117D+01	0.271D+01	0.194D+01	0.8800+07	0.405D+00	0.570D+00	0.488D+00
0.350D+07	0.107D+01	0.253D+01	0.180D+01	0.8900+07	0.380D+00	0.539D+00	0.459D+00
0.360D+07	0.955D+00	0.243D+01	0.169D+01	0.9000+07	0.356D+00	0.509D+00	0.433D+00
0.370D+07	0.866D+00	0.238D+01	0.162D+01	0.9100+07	0.333D+00	0.481D+00	0.407D+00
0.380D+07	0.827D+00	0.238D+01	0.160D+01	0.9200+07	0.310D+00	0.453D+00	0.382D+00
0.390D+07	0.823D+00	0.240D+01	0.161D+01	0.9300+07	0.289D+00	0.425D+00	0.357D+00
0.400D+07	0.842D+00	0.245D+01	0.164D+01	0.9400+07	0.269D+00	0.398D+00	0.333D+00
0.410D+07	0.876D+00	0.249D+01	0.168D+01	0.9500+07	0.249D+00	0.370D+00	0.310D+00
0.420D+07	0.946D+00	0.250D+01	0.172D+01	0.9600+07	0.232D+00	0.344D+00	0.288D+00
0.430D+07	0.102D+01	0.248D+01	0.175D+01	0.9700+07	0.215D+00	0.319D+00	0.267D+00
0.440D+07	0.110D+01	0.242D+01	0.176D+01	0.9800+07	0.201D+00	0.296D+00	0.248D+00
0.450D+07	0.116D+01	0.232D+01	0.174D+01	0.9900+07	0.187D+00	0.274D+00	0.231D+00
0.460D+07	0.118D+01	0.222D+01	0.170D+01	0.100D+08	0.176D+00	0.255D+00	0.216D+00
0.470D+07	0.116D+01	0.212D+01	0.164D+01	0.101D+08	0.166D+00	0.239D+00	0.202D+00
0.480D+07	0.112D+01	0.200D+01	0.156D+01	0.102D+08	0.157D+00	0.225D+00	0.191D+00
0.490D+07	0.105D+01	0.191D+01	0.148D+01	0.103D+08	0.150D+00	0.213D+00	0.182D+00
0.500D+07	0.959D+00	0.183D+01	0.140D+01	0.104D+08	0.143D+00	0.204D+00	0.174D+00
0.510D+07	0.875D+00	0.177D+01	0.132D+01	0.105D+08	0.138D+00	0.196D+00	0.167D+00
0.520D+07	0.805D+00	0.171D+01	0.126D+01	0.106D+08	0.130D+00	0.184D+00	0.162D+00
0.530D+07	0.763D+00	0.165D+01	0.120D+01	0.107D+08	0.130D+00	0.180D+00	0.157D+00
0.540D+07	0.750D+00	0.159D+01	0.117D+01	0.108D+08	0.126D+00	0.179D+00	0.153D+00
0.550D+07	0.762D+00	0.153D+01	0.115D+01	0.109D+08	0.120D+00	0.170D+00	0.149D+00
0.560D+07	0.791D+00	0.148D+01	0.114D+01	0.110D+08	0.120D+00	0.170D+00	0.145D+00
0.570D+07	0.817D+00	0.146D+01	0.114D+01	0.111D+08	0.116D+00	0.164D+00	0.140D+00
0.580D+07	0.810D+00	0.147D+01	0.114D+01	0.112D+08	0.113D+00	0.159D+00	0.136D+00
0.590D+07	0.795D+00	0.150D+01	0.115D+01	0.113D+08	0.109D+00	0.153D+00	0.131D+00
0.600D+07	0.787D+00	0.151D+01	0.115D+01	0.114D+08	0.104D+00	0.146D+00	0.125D+00
0.610D+07	0.792D+00	0.152D+01	0.116D+01	0.115D+08	0.992D-01	0.992D-01	0.119D+00
0.620D+07	0.811D+00	0.151D+01	0.116D+01	0.115D+08			

Table 7 Gamma-ray energy spectrum at Z=179.4 cm and R=20 cm on the A-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.900D+06	0.267D+03	0.588D+03	0.428D+03	0.630D+07	0.326D+01	0.519D+01	0.422D+01
0.100D+07	0.667D+03	0.727D+03	0.697D+03	0.640D+07	0.337D+01	0.518D+01	0.427D+01
0.100D+07	0.676D+03	0.705D+03	0.690D+03	0.650D+07	0.351D+01	0.521D+01	0.436D+01
0.100D+07	0.650D+03	0.666D+03	0.648D+03	0.660D+07	0.366D+01	0.527D+01	0.447D+01
0.100D+07	0.575D+03	0.611D+03	0.593D+03	0.670D+07	0.381D+01	0.536D+01	0.458D+01
0.140D+07	0.508D+03	0.539D+03	0.523D+03	0.680D+07	0.393D+01	0.545D+01	0.469D+01
0.150D+07	0.444D+03	0.469D+03	0.457D+03	0.690D+07	0.405D+01	0.551D+01	0.478D+01
0.160D+07	0.386D+03	0.411D+03	0.398D+03	0.700D+07	0.413D+01	0.552D+01	0.482D+01
0.170D+07	0.348D+03	0.365D+03	0.356D+03	0.710D+07	0.418D+01	0.548D+01	0.483D+01
0.180D+07	0.320D+03	0.324D+03	0.324D+03	0.720D+07	0.417D+01	0.538D+01	0.478D+01
0.190D+07	0.279D+03	0.301D+03	0.290D+03	0.730D+07	0.412D+01	0.523D+01	0.467D+01
0.200D+07	0.229D+03	0.249D+03	0.249D+03	0.740D+07	0.401D+01	0.503D+01	0.452D+01
0.210D+07	0.176D+03	0.223D+03	0.145D+03	0.750D+07	0.384D+01	0.480D+01	0.432D+01
0.220D+07	0.126D+03	0.164D+03	0.145D+03	0.760D+07	0.363D+01	0.454D+01	0.408D+01
0.230D+07	0.835D+02	0.107D+03	0.951D+02	0.770D+07	0.339D+01	0.425D+01	0.382D+01
0.240D+07	0.511D+02	0.630D+02	0.571D+02	0.780D+07	0.313D+01	0.395D+01	0.354D+01
0.250D+07	0.285D+02	0.372D+02	0.328D+02	0.790D+07	0.287D+01	0.365D+01	0.326D+01
0.260D+07	0.158D+02	0.233D+02	0.195D+02	0.800D+07	0.261D+01	0.334D+01	0.298D+01
0.270D+07	0.102D+02	0.160D+02	0.131D+02	0.810D+07	0.237D+01	0.304D+01	0.270D+01
0.280D+07	0.732D+01	0.130D+02	0.102D+02	0.820D+07	0.215D+01	0.275D+01	0.245D+01
0.290D+07	0.594D+01	0.116D+02	0.878D+01	0.830D+07	0.194D+01	0.247D+01	0.221D+01
0.300D+07	0.558D+01	0.102D+02	0.788D+01	0.840D+07	0.176D+01	0.222D+01	0.199D+01
0.310D+07	0.542D+01	0.894D+01	0.718D+01	0.850D+07	0.159D+01	0.199D+01	0.179D+01
0.320D+07	0.484D+01	0.851D+01	0.668D+01	0.860D+07	0.145D+01	0.178D+01	0.161D+01
0.330D+07	0.445D+01	0.834D+01	0.640D+01	0.870D+07	0.131D+01	0.160D+01	0.146D+01
0.340D+07	0.434D+01	0.823D+01	0.629D+01	0.880D+07	0.119D+01	0.145D+01	0.131D+01
0.350D+07	0.429D+01	0.822D+01	0.626D+01	0.890D+07	0.107D+01	0.129D+01	0.118D+01
0.360D+07	0.414D+01	0.829D+01	0.622D+01	0.900D+07	0.983D+00	0.116D+01	0.106D+01
0.370D+07	0.396D+01	0.832D+01	0.614D+01	0.910D+07	0.861D+00	0.104D+01	0.952D+00
0.380D+07	0.384D+01	0.823D+01	0.604D+01	0.920D+07	0.767D+00	0.936D+00	0.851D+00
0.390D+07	0.379D+01	0.811D+01	0.595D+01	0.930D+07	0.680D+00	0.838D+00	0.759D+00
0.400D+07	0.376D+01	0.808D+01	0.592D+01	0.940D+07	0.600D+00	0.748D+00	0.674D+00
0.410D+07	0.379D+01	0.813D+01	0.596D+01	0.950D+07	0.528D+00	0.668D+00	0.597D+00
0.420D+07	0.390D+01	0.816D+01	0.603D+01	0.960D+07	0.464D+00	0.590D+00	0.527D+00
0.430D+07	0.408D+01	0.811D+01	0.610D+01	0.970D+07	0.407D+00	0.522D+00	0.464D+00
0.440D+07	0.427D+01	0.794D+01	0.611D+01	0.980D+07	0.357D+00	0.461D+00	0.409D+00
0.450D+07	0.439D+01	0.767D+01	0.603D+01	0.990D+07	0.314D+00	0.406D+00	0.360D+00
0.460D+07	0.437D+01	0.737D+01	0.587D+01	1.000D+08	0.278D+00	0.359D+00	0.318D+00
0.470D+07	0.424D+01	0.705D+01	0.564D+01	0.101D+08	0.247D+00	0.317D+00	0.282D+00
0.480D+07	0.405D+01	0.676D+01	0.540D+01	0.102D+08	0.221D+00	0.282D+00	0.251D+00
0.490D+07	0.385D+01	0.654D+01	0.519D+01	0.103D+08	0.200D+00	0.251D+00	0.225D+00
0.500D+07	0.371D+01	0.637D+01	0.504D+01	0.104D+08	0.181D+00	0.225D+00	0.203D+00
0.510D+07	0.363D+01	0.627D+01	0.495D+01	0.105D+08	0.165D+00	0.203D+00	0.184D+00
0.520D+07	0.362D+01	0.621D+01	0.492D+01	0.106D+08	0.151D+00	0.183D+00	0.167D+00
0.530D+07	0.368D+01	0.615D+01	0.491D+01	0.107D+08	0.138D+00	0.167D+00	0.152D+00
0.540D+07	0.375D+01	0.608D+01	0.492D+01	0.108D+08	0.126D+00	0.152D+00	0.139D+00
0.550D+07	0.381D+01	0.599D+01	0.490D+01	0.109D+08	0.115D+00	0.138D+00	0.127D+00
0.560D+07	0.382D+01	0.587D+01	0.484D+01	0.110D+08	0.104D+00	0.126D+00	0.115D+00
0.570D+07	0.376D+01	0.574D+01	0.475D+01	0.111D+08	0.937D-01	0.104D+00	0.104D+00
0.580D+07	0.361D+01	0.564D+01	0.463D+01	0.112D+08	0.838D-01	0.103D+00	0.935D-01
0.590D+07	0.344D+01	0.555D+01	0.449D+01	0.113D+08	0.743D-01	0.103D+00	0.834D-01
0.590D+07	0.344D+01	0.555D+01	0.449D+01	0.114D+08	0.654D-01	0.925D-01	0.739D-01
0.600D+07	0.329D+01	0.545D+01	0.437D+01	0.115D+08	0.571D-01	0.823D-01	0.648D-01
0.610D+07	0.321D+01	0.534D+01	0.428D+01				
0.620D+07	0.320D+01	0.525D+01	0.423D+01				

Table 8 Gamma-ray energy spectrum at Z=179.4 cm and R=20 cm on the G-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.9000+06	0.2180+03	0.4990+03	0.3580+03	0.6300+07	0.5230+01	0.8090+01	0.6660+01
0.9500+07	0.5990+03	0.6500+03	0.6250+03	0.6400+07	0.5190+01	0.7860+01	0.6520+01
0.9900+07	0.6310+03	0.6570+03	0.6440+03	0.6500+07	0.5130+01	0.7630+01	0.6380+01
0.1200+07	0.5930+03	0.6160+03	0.6050+03	0.6600+07	0.5080+01	0.7470+01	0.6270+01
0.1300+07	0.5410+03	0.5710+03	0.5560+03	0.6700+07	0.5050+01	0.7380+01	0.6210+01
0.1400+07	0.4720+03	0.5090+03	0.4900+03	0.6800+07	0.5060+01	0.7350+01	0.6200+01
0.1500+07	0.4160+03	0.4310+03	0.4310+03	0.6900+07	0.5120+01	0.7340+01	0.6230+01
0.1600+07	0.3710+03	0.4020+03	0.3870+03	0.7000+07	0.5220+01	0.7340+01	0.6280+01
0.1700+07	0.3360+03	0.3630+03	0.3490+03	0.7100+07	0.5320+01	0.7330+01	0.6330+01
0.1800+07	0.3140+03	0.3240+03	0.3190+03	0.7200+07	0.5410+01	0.7280+01	0.6340+01
0.1900+07	0.2760+03	0.3150+03	0.2960+03	0.7300+07	0.5440+01	0.7180+01	0.6310+01
0.2000+07	0.2410+03	0.3050+03	0.2730+03	0.7400+07	0.5410+01	0.7040+01	0.6220+01
0.2100+07	0.2070+03	0.2680+03	0.2380+03	0.7500+07	0.5500+01	0.6840+01	0.6070+01
0.2200+07	0.1670+03	0.2070+03	0.1870+03	0.7600+07	0.5120+01	0.6590+01	0.5860+01
0.2300+07	0.1210+03	0.1420+03	0.1320+03	0.7700+07	0.4850+01	0.6300+01	0.5600+01
0.2400+07	0.7890+02	0.8980+02	0.8440+02	0.7800+07	0.4620+01	0.5980+01	0.5300+01
0.2500+07	0.4710+02	0.5490+02	0.5100+02	0.7900+07	0.4330+01	0.5620+01	0.4980+01
0.2600+07	0.2740+02	0.3390+02	0.3070+02	0.8000+07	0.4030+01	0.5250+01	0.4640+01
0.2700+07	0.1660+02	0.2240+02	0.1950+02	0.8100+07	0.3750+01	0.4870+01	0.4310+01
0.2800+07	0.1030+02	0.1710+02	0.1370+02	0.8200+07	0.3480+01	0.4500+01	0.3980+01
0.2900+07	0.2800+02	0.1450+02	0.1100+02	0.8300+07	0.3200+01	0.4130+01	0.3590+01
0.3000+07	0.6880+01	0.1260+02	0.9730+01	0.8400+07	0.3000+01	0.3790+01	0.3390+01
0.3100+07	0.6880+01	0.1130+02	0.9080+01	0.8500+07	0.2790+01	0.3460+01	0.3130+01
0.3200+07	0.6230+01	0.1080+02	0.8510+01	0.8600+07	0.2590+01	0.3160+01	0.2870+01
0.3300+07	0.5420+01	0.1030+02	0.7870+01	0.8700+07	0.2400+01	0.2880+01	0.2640+01
0.3400+07	0.4780+01	0.9740+01	0.7260+01	0.8800+07	0.2220+01	0.2620+01	0.2420+01
0.3500+07	0.4310+01	0.9380+01	0.6850+01	0.8900+07	0.2040+01	0.2380+01	0.2210+01
0.3600+07	0.4100+01	0.9420+01	0.6760+01	0.9000+07	0.1860+01	0.2160+01	0.2010+01
0.3700+07	0.4280+01	0.9740+01	0.7010+01	0.9100+07	0.1690+01	0.1950+01	0.1820+01
0.3800+07	0.4830+01	1.0200+02	0.7520+01	0.9200+07	0.1510+01	0.1760+01	0.1630+01
0.3900+07	0.5530+01	0.1080+02	0.8160+01	0.9300+07	0.1350+01	0.1570+01	0.1460+01
0.4000+07	0.6150+01	0.1140+02	0.8780+01	0.9400+07	0.1190+01	0.1400+01	0.1300+01
0.4100+07	0.6610+01	0.1190+02	0.9270+01	0.9500+07	0.1040+01	0.1240+01	0.1140+01
0.4200+07	0.6990+01	0.1210+02	0.9560+01	0.9600+07	0.9070+00	0.1080+01	0.9960+00
0.4300+07	0.7220+01	0.1200+02	0.9620+01	0.9700+07	0.7820+00	0.9440+00	0.8630+00
0.4400+07	0.7300+01	0.1160+02	0.9470+01	0.9800+07	0.6680+00	0.8170+00	0.7420+00
0.4500+07	0.7160+01	0.1110+02	0.9120+01	0.9900+07	0.5670+00	0.7020+00	0.6350+00
0.4600+07	0.6780+01	0.1050+02	0.8620+01	0.4780+00	0.6010+00	0.6010+00	0.5400+00
0.4700+07	0.6220+01	0.9770+01	0.8000+01	0.1000+08	0.4780+00	0.4780+00	0.4570+00
0.4800+07	0.5570+01	0.9030+01	0.7300+01	0.1010+08	0.4020+00	0.5130+00	0.4570+00
0.4900+07	0.4850+01	0.8310+01	0.6580+01	0.1020+08	0.3370+00	0.4370+00	0.3870+00
0.5000+07	0.4140+01	0.7650+01	0.5900+01	0.1030+08	0.2820+00	0.3740+00	0.3280+00
0.5100+07	0.3530+01	0.7100+01	0.5310+01	0.1040+08	0.2370+00	0.3210+00	0.2790+00
0.5200+07	0.3110+01	0.6670+01	0.4890+01	0.1050+08	0.2010+00	0.2780+00	0.2390+00
0.5300+07	0.2950+01	0.6400+01	0.4680+01	0.1060+08	0.1720+00	0.2430+00	0.2080+00
0.5400+07	0.3050+01	0.6300+01	0.4680+01	0.1070+08	0.1500+00	0.2160+00	0.1830+00
0.5500+07	0.3360+01	0.6400+01	0.4880+01	0.1080+08	0.1340+00	0.1950+00	0.1640+00
0.5600+07	0.3800+01	0.6650+01	0.5220+01	0.1090+08	0.1210+00	0.1780+00	0.1500+00
0.5700+07	0.4240+01	0.7050+01	0.5640+01	0.1100+08	0.1100+00	0.1660+00	0.1390+00
0.5800+07	0.4590+01	0.7530+01	0.6060+01	0.1110+08	0.1060+00	0.1660+00	0.1310+00
0.5900+07	0.4870+01	0.7960+01	0.6410+01	0.1120+08	0.1020+00	0.1490+00	0.1250+00
0.6000+07	0.5060+01	0.8240+01	0.6650+01	0.1130+08	0.1130+00	0.1420+00	0.1200+00
0.6100+07	0.5180+01	0.8340+01	0.6760+01	0.1140+08	0.9540-01	0.1370+00	0.1160+00
0.6200+07	0.5230+01	0.8270+01	0.6750+01	0.1150+08	0.9270-01	0.1320+00	0.1120+00

Table 9 Gamma-ray energy spectrum at Z=276 cm and R=20 cm on the A-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy(MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.9000+06	0.2840+03	0.5550+03	0.4200+03	0.6300+07	0.2420+01	0.3810+01	0.3110+01
0.1000+07	0.5280+03	0.5710+03	0.5490+03	0.6400+07	0.2490+01	0.3770+01	0.3130+01
0.1100+07	0.5400+03	0.5620+03	0.5510+03	0.2560+01	0.2560+01	0.3160+01	0.3160+01
0.1200+07	0.5130+03	0.5420+03	0.5270+03	0.6600+07	0.2630+01	0.3760+01	0.3200+01
0.1300+07	0.4760+03	0.5030+03	0.4900+03	0.2680+01	0.2680+01	0.3230+01	0.3230+01
0.1400+07	0.4250+03	0.4480+03	0.4360+03	0.3270+01	0.3270+01	0.3200+01	0.3200+01
0.1500+07	0.3660+03	0.3880+03	0.3770+03	0.3820+01	0.3820+01	0.3300+01	0.3300+01
0.1600+07	0.3130+03	0.3350+03	0.3240+03	0.2760+01	0.2760+01	0.3300+01	0.3300+01
0.1700+07	0.2810+03	0.2950+03	0.2880+03	0.3770+01	0.3770+01	0.3290+01	0.3290+01
0.1800+07	0.2560+03	0.2650+03	0.2610+03	0.3700+01	0.3700+01	0.3240+01	0.3240+01
0.1900+07	0.2230+03	0.2390+03	0.2310+03	0.2790+01	0.2790+01	0.3170+01	0.3170+01
0.2000+07	0.1840+03	0.2130+03	0.1990+03	0.2750+01	0.2750+01	0.3090+01	0.3090+01
0.2100+07	0.1440+03	0.1800+03	0.1620+03	0.2460+01	0.2460+01	0.3070+01	0.3070+01
0.2200+07	0.1060+03	0.1370+03	0.1210+03	0.2570+01	0.2570+01	0.2940+01	0.2940+01
0.2300+07	0.7160+02	0.9120+02	0.8140+02	0.2430+01	0.2430+01	0.2610+01	0.2610+01
0.2400+07	0.4440+02	0.5470+02	0.4960+02	0.2550+01	0.2550+01	0.2250+01	0.2250+01
0.2500+07	0.2490+02	0.3240+02	0.2860+02	0.1950+01	0.1950+01	0.2060+01	0.2060+01
0.2600+07	0.1380+02	0.2010+02	0.1690+02	0.1780+01	0.1780+01	0.2250+01	0.2250+01
0.2700+07	0.8650+01	0.1340+02	0.1100+02	0.2340+01	0.2340+01	0.2060+01	0.2060+01
0.2800+07	0.5820+01	0.1040+02	0.8130+01	0.1620+01	0.1620+01	0.2140+01	0.2140+01
0.2900+07	0.4320+01	0.8850+01	0.6590+01	0.8000+07	0.8000+07	0.1950+01	0.1950+01
0.3000+07	0.3900+01	0.7550+01	0.5730+01	0.8200+07	0.8200+07	0.1760+01	0.1760+01
0.3100+07	0.3850+01	0.6630+01	0.5240+01	0.8300+07	0.8300+07	0.1590+01	0.1590+01
0.3200+07	0.3460+01	0.6380+01	0.4920+01	0.8400+07	0.8400+07	0.1440+01	0.1440+01
0.3300+07	0.3060+01	0.6230+01	0.4650+01	0.8500+07	0.8500+07	0.1330+01	0.1330+01
0.3400+07	0.2820+01	0.5970+01	0.4390+01	0.8600+07	0.8600+07	0.1300+01	0.1300+01
0.3500+07	0.2630+01	0.5740+01	0.4190+01	0.8700+07	0.8700+07	0.1180+01	0.1180+01
0.3600+07	0.2480+01	0.5680+01	0.4080+01	0.8800+07	0.8800+07	0.1070+01	0.1070+01
0.3700+07	0.2420+01	0.5720+01	0.4070+01	0.8900+07	0.8900+07	0.9830+00	0.9830+00
0.3800+07	0.2480+01	0.5720+01	0.44130+01	0.9000+07	0.9000+07	0.9000+00	0.9000+00
0.3900+07	0.2570+01	0.5880+01	0.4220+01	0.6380+00	0.6380+00	0.8250+00	0.8250+00
0.4000+07	0.2620+01	0.6030+01	0.4320+01	0.5780+00	0.5780+00	0.7560+00	0.7560+00
0.4100+07	0.2670+01	0.6150+01	0.4410+01	0.5240+00	0.5240+00	0.6910+00	0.6910+00
0.4200+07	0.2760+01	0.6160+01	0.4460+01	0.6300+00	0.6300+00	0.5330+00	0.5330+00
0.4300+07	0.2850+01	0.6080+01	0.4470+01	0.4760+00	0.4760+00	0.4570+00	0.4570+00
0.4400+07	0.2950+01	0.5870+01	0.4410+01	0.3580+00	0.3580+00	0.4160+00	0.4160+00
0.4500+07	0.3010+01	0.5580+01	0.4290+01	0.3260+00	0.3260+00	0.3780+00	0.3780+00
0.4600+07	0.2970+01	0.5270+01	0.4120+01	0.2990+00	0.2990+00	0.3450+00	0.3450+00
0.4700+07	0.2840+01	0.4970+01	0.3900+01	0.2740+00	0.2740+00	0.3150+00	0.3150+00
0.4800+07	0.2670+01	0.4670+01	0.3670+01	0.2530+00	0.2530+00	0.2890+00	0.2890+00
0.4900+07	0.2460+01	0.4400+01	0.3220+01	0.2340+00	0.2340+00	0.2660+00	0.2660+00
0.5000+07	0.2260+01	0.4190+01	0.3050+01	0.2170+00	0.2170+00	0.2460+00	0.2460+00
0.5100+07	0.2080+01	0.4020+01	0.3050+01	0.2010+00	0.2010+00	0.2280+00	0.2280+00
0.5200+07	0.1970+01	0.3880+01	0.2930+01	0.1870+00	0.1870+00	0.2110+00	0.2110+00
0.5300+07	0.1940+01	0.3770+01	0.2860+01	0.1740+00	0.1740+00	0.1960+00	0.1960+00
0.5400+07	0.1970+01	0.3700+01	0.2830+01	0.1620+00	0.1620+00	0.1820+00	0.1820+00
0.5500+07	0.2050+01	0.3640+01	0.2850+01	0.1500+00	0.1500+00	0.1690+00	0.1690+00
0.5600+07	0.2160+01	0.3610+01	0.2880+01	0.1380+00	0.1380+00	0.1560+00	0.1560+00
0.5700+07	0.2250+01	0.3620+01	0.2940+01	0.1270+00	0.1270+00	0.1430+00	0.1430+00
0.5800+07	0.2270+01	0.3700+01	0.2990+01	0.1160+00	0.1160+00	0.1310+00	0.1310+00
0.5900+07	0.2270+01	0.3780+01	0.3030+01	0.1050+08	0.1050+08	0.1190+00	0.1190+00
0.6000+07	0.2280+01	0.3840+01	0.3060+01	0.1040+08	0.1040+08	0.1130+00	0.1130+00
0.6100+07	0.2310+01	0.3850+01	0.3080+01	0.1060+08	0.1060+08	0.1070+00	0.1070+00
0.6200+07	0.2350+01	0.3840+01	0.3090+01	0.1070+08	0.1070+08	0.1070+00	0.1070+00
				0.1140+08	0.1140+08	0.8370-01	0.9550-01
				0.1150+08	0.1150+08	0.7380-01	0.8450-01

Table 10 Gamma-ray energy spectrum at Z=276 cm and R=20 cm on the G-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy (keV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.900D+06	0.103D+02	0.260D+03	0.135D+03	0.630D+07	0.311D+01	0.472D+01	0.394D+01
0.100D+07	0.397D+03	0.416D+03	0.406D+03	0.640D+07	0.311D+01	0.460D+01	0.386D+01
0.110D+07	0.435D+03	0.462D+03	0.448D+03	0.650D+07	0.311D+01	0.449D+01	0.380D+01
0.120D+07	0.420D+03	0.430D+03	0.425D+03	0.660D+07	0.310D+01	0.441D+01	0.375D+01
0.130D+07	0.348D+03	0.389D+03	0.369D+03	0.670D+07	0.309D+01	0.436D+01	0.373D+01
0.140D+07	0.306D+03	0.337D+03	0.322D+03	0.680D+07	0.308D+01	0.434D+01	0.371D+01
0.150D+07	0.278D+03	0.298D+03	0.288D+03	0.690D+07	0.309D+01	0.431D+01	0.370D+01
0.160D+07	0.240D+03	0.262D+03	0.251D+03	0.700D+07	0.310D+01	0.427D+01	0.368D+01
0.170D+07	0.213D+03	0.231D+03	0.222D+03	0.710D+07	0.310D+01	0.420D+01	0.365D+01
0.180D+07	0.203D+03	0.208D+03	0.206D+03	0.720D+07	0.308D+01	0.410D+01	0.359D+01
0.190D+07	0.179D+03	0.204D+03	0.191D+03	0.730D+07	0.303D+01	0.398D+01	0.351D+01
0.200D+07	0.151D+03	0.189D+03	0.170D+03	0.740D+07	0.295D+01	0.383D+01	0.339D+01
0.210D+07	0.121D+03	0.158D+03	0.139D+03	0.750D+07	0.284D+01	0.366D+01	0.325D+01
0.220D+07	0.898D+02	0.116D+03	0.103D+03	0.760D+07	0.269D+01	0.347D+01	0.308D+01
0.230D+07	0.603D+02	0.747D+02	0.675D+02	0.770D+07	0.253D+01	0.327D+01	0.290D+01
0.240D+07	0.365D+02	0.443D+02	0.404D+02	0.780D+07	0.235D+01	0.306D+01	0.270D+01
0.250D+07	0.199D+02	0.262D+02	0.230D+02	0.790D+07	0.217D+01	0.284D+01	0.251D+01
0.260D+07	0.110D+02	0.164D+02	0.137D+02	0.800D+07	0.200D+01	0.263D+01	0.232D+01
0.270D+07	0.719D+01	0.116D+02	0.939D+01	0.810D+07	0.185D+01	0.242D+01	0.213D+01
0.280D+07	0.512D+01	0.991D+01	0.661D+01	0.820D+07	0.170D+01	0.222D+01	0.196D+01
0.290D+07	0.421D+01	0.901D+01	0.610D+01	0.830D+07	0.157D+01	0.203D+01	0.180D+01
0.300D+07	0.408D+01	0.798D+01	0.603D+01	0.840D+07	0.145D+01	0.185D+01	0.165D+01
0.310D+07	0.408D+01	0.705D+01	0.556D+01	0.850D+07	0.134D+01	0.169D+01	0.151D+01
0.320D+07	0.316D+01	0.670D+01	0.516D+01	0.860D+07	0.124D+01	0.154D+01	0.139D+01
0.330D+07	0.291D+01	0.620D+01	0.455D+01	0.870D+07	0.114D+01	0.140D+01	0.127D+01
0.340D+07	0.278D+01	0.600D+01	0.435D+01	0.880D+07	0.104D+01	0.128D+01	0.116D+01
0.350D+07	0.267D+01	0.604D+01	0.435D+01	0.890D+07	0.946D+00	0.117D+01	0.106D+01
0.360D+07	0.267D+01	0.604D+01	0.435D+01	0.900D+07	0.856D+00	0.107D+01	0.963D+00
0.370D+07	0.267D+01	0.623D+01	0.445D+01	0.910D+07	0.771D+00	0.972D+00	0.872D+00
0.380D+07	0.283D+01	0.647D+01	0.465D+01	0.920D+07	0.690D+00	0.880D+00	0.785D+00
0.390D+07	0.309D+01	0.675D+01	0.492D+01	0.930D+07	0.615D+00	0.794D+00	0.704D+00
0.400D+07	0.337D+01	0.704D+01	0.520D+01	0.940D+07	0.545D+00	0.712D+00	0.629D+00
0.410D+07	0.364D+01	0.726D+01	0.545D+01	0.950D+07	0.481D+00	0.636D+00	0.559D+00
0.420D+07	0.385D+01	0.739D+01	0.562D+01	0.960D+07	0.424D+00	0.566D+00	0.493D+00
0.430D+07	0.398D+01	0.739D+01	0.568D+01	0.970D+07	0.372D+00	0.502D+00	0.437D+00
0.440D+07	0.404D+01	0.722D+01	0.563D+01	0.980D+07	0.327D+00	0.445D+00	0.386D+00
0.450D+07	0.401D+01	0.690D+01	0.545D+01	0.990D+07	0.289D+00	0.395D+00	0.342D+00
0.460D+07	0.385D+01	0.649D+01	0.517D+01	0.100D+08	0.256D+00	0.350D+00	0.303D+00
0.470D+07	0.360D+01	0.603D+01	0.481D+01	0.101D+08	0.228D+00	0.313D+00	0.270D+00
0.480D+07	0.327D+01	0.553D+01	0.440D+01	0.102D+08	0.206D+00	0.281D+00	0.243D+00
0.490D+07	0.290D+01	0.508D+01	0.399D+01	0.103D+08	0.206D+00	0.255D+00	0.221D+00
0.500D+07	0.252D+01	0.469D+01	0.361D+01	0.104D+08	0.172D+00	0.233D+00	0.203D+00
0.510D+07	0.221D+01	0.438D+01	0.330D+01	0.105D+08	0.160D+00	0.216D+00	0.188D+00
0.520D+07	0.201D+01	0.417D+01	0.309D+01	0.106D+08	0.151D+00	0.202D+00	0.176D+00
0.530D+07	0.195D+01	0.404D+01	0.299D+01	0.107D+08	0.143D+00	0.191D+00	0.167D+00
0.540D+07	0.203D+01	0.400D+01	0.301D+01	0.108D+08	0.137D+00	0.182D+00	0.159D+00
0.550D+07	0.222D+01	0.404D+01	0.313D+01	0.109D+08	0.133D+00	0.174D+00	0.153D+00
0.560D+07	0.248D+01	0.414D+01	0.331D+01	0.110D+08	0.127D+00	0.167D+00	0.147D+00
0.570D+07	0.272D+01	0.429D+01	0.351D+01	0.111D+08	0.123D+00	0.160D+00	0.142D+00
0.580D+07	0.288D+01	0.451D+01	0.370D+01	0.112D+08	0.118D+00	0.154D+00	0.136D+00
0.590D+07	0.299D+01	0.471D+01	0.385D+01	0.113D+08	0.114D+00	0.147D+00	0.131D+00
0.600D+07	0.305D+01	0.483D+01	0.394D+01	0.114D+08	0.109D+00	0.140D+00	0.124D+00
0.610D+07	0.309D+01	0.486D+01	0.398D+01	0.114D+08	0.104D+00	0.133D+00	0.118D+00
0.620D+07	0.311D+01	0.481D+01	0.396D+01	0.115D+08	0.104D+00	0.133D+00	0.118D+00

Table 11 Gamma-ray energy spectrum at Z=179.4 cm and R=100 cm on the A-line (photons/cm**2*sec*MeV)

Energy(MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$	Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.9000+06	0.330D+02	0.190D+03	0.112D+03	0.630D+07	0.155D+01	0.230D+01	0.192D+01
0.1000+07	0.302D+03	0.328D+03	0.315D+03	0.640D+07	0.148D+01	0.219D+01	0.183D+01
0.1100+07	0.334D+03	0.344D+03	0.339D+03	0.650D+07	0.140D+01	0.206D+01	0.173D+01
0.1200+07	0.322D+03	0.335D+03	0.328D+03	0.660D+07	0.132D+01	0.193D+01	0.163D+01
0.1300+07	0.288D+03	0.309D+03	0.298D+03	0.670D+07	0.125D+01	0.183D+01	0.153D+01
0.1400+07	0.245D+03	0.265D+03	0.256D+03	0.680D+07	0.115D+01	0.174D+01	0.145D+01
0.1500+07	0.211D+03	0.225D+03	0.218D+03	0.690D+07	0.110D+01	0.167D+01	0.139D+01
0.1600+07	0.180D+03	0.194D+03	0.187D+03	0.700D+07	0.107D+01	0.161D+01	0.134D+01
0.170D+07	0.157D+03	0.168D+03	0.163D+03	0.710D+07	0.105D+01	0.156D+01	0.130D+01
0.180D+07	0.142D+03	0.148D+03	0.145D+03	0.720D+07	0.103D+01	0.151D+01	0.127D+01
0.190D+07	0.122D+03	0.139D+03	0.131D+03	0.730D+07	0.102D+01	0.146D+01	0.124D+01
0.200D+07	0.101D+03	0.129D+03	0.115D+03	0.740D+07	0.100D+01	0.141D+01	0.120D+01
0.210D+07	0.802D+02	0.108D+03	0.940D+02	0.750D+07	0.970D+00	0.136D+01	0.116D+01
0.220D+07	0.603D+02	0.789D+02	0.696D+02	0.760D+07	0.928D+00	0.130D+01	0.111D+01
0.230D+07	0.412D+02	0.509D+02	0.461D+02	0.770D+07	0.879D+00	0.124D+01	0.106D+01
0.240D+07	0.254D+02	0.299D+02	0.277D+02	0.780D+07	0.825D+00	0.118D+01	0.100D+01
0.250D+07	0.139D+02	0.174D+02	0.157D+02	0.790D+07	0.772D+00	0.111D+01	0.942D+00
0.260D+07	0.736D+01	0.106D+02	0.898D+01	0.800D+07	0.723D+00	0.105D+01	0.885D+00
0.270D+07	0.430D+01	0.699D+01	0.564D+01	0.810D+07	0.681D+00	0.984D+00	0.833D+00
0.280D+07	0.269D+01	0.536D+01	0.402D+01	0.820D+07	0.647D+00	0.926D+00	0.787D+00
0.290D+07	0.183D+01	0.456D+01	0.320D+01	0.830D+07	0.621D+00	0.873D+00	0.747D+00
0.300D+07	0.164D+01	0.390D+01	0.277D+01	0.840D+07	0.601D+00	0.824D+00	0.713D+00
0.310D+07	0.170D+01	0.343D+01	0.256D+01	0.850D+07	0.584D+00	0.781D+00	0.683D+00
0.320D+07	0.156D+01	0.334D+01	0.245D+01	0.860D+07	0.570D+00	0.740D+00	0.655D+00
0.330D+07	0.139D+01	0.327D+01	0.235D+01	0.870D+07	0.554D+00	0.702D+00	0.628D+00
0.340D+07	0.129D+01	0.311D+01	0.220D+01	0.880D+07	0.534D+00	0.667D+00	0.601D+00
0.350D+07	0.121D+01	0.295D+01	0.208D+01	0.890D+07	0.511D+00	0.631D+00	0.571D+00
0.360D+07	0.114D+01	0.288D+01	0.201D+01	0.900D+07	0.484D+00	0.595D+00	0.539D+00
0.370D+07	0.112D+01	0.291D+01	0.202D+01	0.910D+07	0.453D+00	0.557D+00	0.505D+00
0.380D+07	0.118D+01	0.301D+01	0.210D+01	0.920D+07	0.421D+00	0.518D+00	0.469D+00
0.390D+07	0.131D+01	0.317D+01	0.224D+01	0.930D+07	0.387D+00	0.478D+00	0.432D+00
0.400D+07	0.148D+01	0.336D+01	0.242D+01	0.940D+07	0.352D+00	0.438D+00	0.395D+00
0.410D+07	0.165D+01	0.355D+01	0.260D+01	0.950D+07	0.319D+00	0.400D+00	0.359D+00
0.420D+07	0.184D+01	0.367D+01	0.275D+01	0.960D+07	0.287D+00	0.363D+00	0.325D+00
0.430D+07	0.200D+01	0.370D+01	0.285D+01	0.970D+07	0.258D+00	0.328D+00	0.293D+00
0.440D+07	0.211D+01	0.364D+01	0.287D+01	0.980D+07	0.232D+00	0.296D+00	0.264D+00
0.450D+07	0.213D+01	0.348D+01	0.280D+01	0.990D+07	0.209D+00	0.267D+00	0.238D+00
0.460D+07	0.205D+01	0.326D+01	0.266D+01	1.00D+08	0.189D+00	0.241D+00	0.215D+00
0.470D+07	0.188D+01	0.301D+01	0.244D+01	0.101D+08	0.171D+00	0.218D+00	0.195D+00
0.480D+07	0.166D+01	0.271D+01	0.218D+01	0.102D+08	0.156D+00	0.198D+00	0.177D+00
0.490D+07	0.140D+01	0.243D+01	0.191D+01	0.103D+08	0.143D+00	0.180D+00	0.161D+00
0.500D+07	0.116D+01	0.217D+01	0.166D+01	0.104D+08	0.131D+00	0.164D+00	0.147D+00
0.510D+07	0.952D+00	0.196D+01	0.146D+01	0.105D+08	0.120D+00	0.149D+00	0.135D+00
0.520D+07	0.819D+00	0.181D+01	0.132D+01	0.106D+08	0.110D+00	0.136D+00	0.123D+00
0.530D+07	0.773D+00	0.173D+01	0.125D+01	0.107D+08	0.100D+00	0.125D+00	0.112D+00
0.540D+07	0.812D+00	0.173D+01	0.127D+01	0.108D+08	0.911D-01	0.114D+00	0.102D+00
0.550D+07	0.925D+00	0.178D+01	0.135D+01	0.109D+08	0.833D-01	0.103D+00	0.927D-01
0.560D+07	0.109D+01	0.187D+01	0.148D+01	0.110D+08	0.737D-01	0.934D-01	0.836D-01
0.570D+07	0.126D+01	0.201D+01	0.163D+01	0.111D+08	0.655D-01	0.841D-01	0.748D-01
0.580D+07	0.139D+01	0.217D+01	0.178D+01	0.112D+08	0.576D-01	0.752D-01	0.664D-01
0.590D+07	0.149D+01	0.231D+01	0.190D+01	0.113D+08	0.502D-01	0.667D-01	0.585D-01
0.600D+07	0.156D+01	0.240D+01	0.198D+01	0.114D+08	0.434D-01	0.587D-01	0.510D-01
0.610D+07	0.159D+01	0.242D+01	0.201D+01	0.115D+08	0.371D-01	0.511D-01	0.441D-01
0.620D+07	0.158D+01	0.239D+01	0.199D+01				

Table 12 Neutron dose equivalent rate along the A- and G-lines at
R=20 cm and 100 cm

Pos. No.	Position		Dose equivalent (mrem/hr)			G* (R = 20 cm)
	Z (cm)		A* (R = 20 cm)	A* (R = 100 cm)		
-2	-	40.0	1.95(±0.12) - 02	2.29(±0.24) - 02	—	—
-1		0.0	3.39(±0.33) - 02	4.31(±0.41) - 02	—	6.87(±0.56) - 02
0		45.0	8.42(±0.58) - 02	—	—	8.03(±0.79) - 02
1		82.7	1.26(±0.10) - 01	9.80(±0.87) - 02	—	9.74(±1.00) - 02
2		131.0	4.14(±0.18) - 01	—	—	4.94(±0.19) - 01
3		179.4	5.60(±0.21) - 01	2.08(±0.13) - 01	—	6.46(±0.22) - 01
4		227.7	5.05(±0.20) - 01	—	—	5.77(±0.21) - 01
4.5		251.9	4.44(±0.19) - 01	—	—	—
5		276.0	3.84(±0.12) - 01	2.02(±0.12) - 01	—	4.25(±0.18) - 01
6		324.4	3.51(±0.16) - 01	—	—	3.73(±0.17) - 01
7		372.7	3.23(±0.16) - 01	1.33(±0.10) - 01	—	2.98(±0.15) - 01
8		421.0	1.72(±0.12) - 01	—	—	1.52(±0.11) - 01
9		462.0	7.87(±0.78) - 02	6.57(±0.32) - 02	—	6.35(±0.60) - 02

* line shown in Fig. 5

Table 13 Neutron dose equivalent rate along the axis
of the cask

		[mrem/hr]
Z*(cm)	18.0	40.0
	2.72(±0.25) - 02	1.91(±0.19) - 02

* distance from the center of the cask lid

Table 14 Neutron dose equivalent rate along R=20 cm
at Z=372.7 cm

R = 20 cm, Z = 372.7 cm

Position (angle)	Dose equivalent (mrem/hr)
A	3.23(±0.16) - 01
E	3.50(±0.16) - 01
F	3.20(±0.16) - 01
G	2.82(±0.15) - 01
H	2.98(±0.13) - 01

Table 15 Reaction rate of ${}^3\text{He}(n,p)$ with and without Cd-cover
along A- and G-lines at R=20 cm and 100 cm

[sec^{-1}]

Position		A-line						G-line	
Pos. No.	Z (cm)	R = 20 cm		R = 100 cm		R = 20 cm		Cd-covered	
		Bare	Cd-covered	Bare	Cd-covered	Bare	Cd-covered		
-2	-40.0	7.54×10^{-22}	7.73×10^{-23}	1.04×10^{-21}	9.70×10^{-23}	9.02×10^{-22}	8.78×10^{-23}		
-1	0.0	9.12	1.18×10^{-22}	1.34	1.20×10^{-22}	1.17×10^{-21}	1.29×10^{-22}		
0	45.0	1.51×10^{-21}	1.96	2.41	1.71	2.04	1.86		
1	82.7	3.95	2.83	3.40	2.15	5.14	2.89		
2	131.0	1.39×10^{-20}	7.20	5.33	3.42	1.75×10^{-20}	9.74		
3	179.4	1.83	1.04×10^{-21}	6.48	4.00	2.35	1.35×10^{-21}		
4	227.7	1.53	9.02×10^{-22}	—	3.77	1.92	1.09		
5	276.0	9.45×10^{-21}	6.24	5.34	3.35	1.15	7.44×10^{-22}		
6	324.4	8.73	5.71	—	2.74	1.05	5.95		
7	372.7	8.30	5.14	3.90	2.40	8.74×10^{-21}	5.42		
8	421.0	4.94	3.23	3.11	2.26	4.94	2.76		
9	462.0	1.81	1.67	2.15	1.86	1.81	1.33		

Table 16 Reaction rate of $^3\text{He}(n,p)$ with and without Cd-cover along $R=0$ cm to the upper direction of the cask

Z(cm)	[sec ⁻¹]	
	Bare	Cd-covered
0	4.25×10^{-22}	9.60×10^{-23}
-40	6.10	8.16

Table 17 Reaction rate of $^3\text{He}(n,p)$ with and without Cd-cover around the cask $Z=40$ cm and $R=0$ cm

Pos. (Angle)	[sec ⁻¹]	
	Bare	Cd-covered
A-2 (0°C)	8.16×10^{-22}	6.86×10^{-23}
B-2 (45°C)	8.54	—
C-2 (90°C)	7.87	8.78×10^{-23}
D-2 (135°C)	9.07	—
E-2 (180°C)	8.67	8.06×10^{-23}
F-2 (225°C)	9.17	—
G-2 (270°C)	8.67	8.06×10^{-23}
H-2 (315°C)	9.02	—

Table 18 Reaction rate of $^{235}\text{U}(n,f)$ along the A-line
at R=20 cm

Position		Reaction Rate (Bare)
Pos. No.	Z(cm)	
-2	- 40.0	$8.06(\pm 0.28) \times 10^{-23}$
-1	0.0	$9.96(\pm 0.71)$
0	45.0	$1.71(\pm 0.17) \times 10^{-22}$
1	82.7	$4.27(\pm 0.20)$
3	179.4	$1.86(\pm 0.03) \times 10^{-21}$
5	276.0	$9.85(\pm 0.11) \times 10^{-22}$
7	372.7	$8.33(\pm 0.31)$
9	462.0	$1.85(\pm 0.12)$

Table 19 Reaction rate of $^{235}\text{U}(n,f)$ around the upper
surface of the cask

Position		Reaction Rate (Bare)
Z(cm)	ℓ(cm) [§]	
-40.0*	0.0	$8.90(\pm 0.63) \times 10^{-23}$
	56.0	$1.67(\pm 0.02) \times 10^{-22}$
0.0**	0.0	$4.23(\pm 0.20) \times 10^{-23}$
276.0	156.0	$5.63(\pm 0.08) \times 10^{-22}$

* On the axis line of cask

** On the surface of cask lid

§ Distance from Z-axis

Table 21 Fast neutron energy spectrum at Z=372.7 cm and R=20 cm on the G-line (n/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.200D+07	0.955D+00	0.114D+01	0.105D+01
0.220D+07	0.817D+00	0.912D+00	0.864D+00
0.240D+07	0.669D+00	0.774D+00	0.722D+00
0.260D+07	0.560D+00	0.669D+00	0.615D+00
0.280D+07	0.490D+00	0.587D+00	0.539D+00
0.300D+07	0.440D+00	0.523D+00	0.482D+00
0.320D+07	0.395D+00	0.466D+00	0.430D+00
0.340D+07	0.348D+00	0.409D+00	0.379D+00
0.360D+07	0.303D+00	0.356D+00	0.329D+00
0.380D+07	0.265D+00	0.311D+00	0.288D+00
0.400D+07	0.236D+00	0.277D+00	0.257D+00
0.420D+07	0.218D+00	0.254D+00	0.236D+00
0.440D+07	0.205D+00	0.237D+00	0.221D+00
0.460D+07	0.194D+00	0.222D+00	0.208D+00
0.480D+07	0.179D+00	0.204D+00	0.192D+00
0.500D+07	0.160D+00	0.181D+00	0.171D+00
0.520D+07	0.138D+00	0.156D+00	0.147D+00
0.540D+07	0.115D+00	0.130D+00	0.123D+00
0.560D+07	0.954D-01	0.108D+00	0.102D+00
0.580D+07	0.796D-01	0.922D-01	0.859D-01
0.600D+07	0.678D-01	0.812D-01	0.745D-01
0.620D+07	0.597D-01	0.731D-01	0.664D-01
0.640D+07	0.541D-01	0.657D-01	0.599D-01
0.660D+07	0.491D-01	0.592D-01	0.541D-01
0.680D+07	0.429D-01	0.542D-01	0.485D-01
0.700D+07	0.364D-01	0.496D-01	0.430D-01
0.720D+07	0.309D-01	0.446D-01	0.378D-01
0.740D+07	0.265D-01	0.394D-01	0.329D-01
0.760D+07	0.229D-01	0.343D-01	0.286D-01
0.780D+07	0.200D-01	0.297D-01	0.248D-01
0.800D+07	0.174D-01	0.258D-01	0.216D-01
0.820D+07	0.152D-01	0.225D-01	0.189D-01
0.840D+07	0.133D-01	0.197D-01	0.165D-01
0.860D+07	0.117D-01	0.171D-01	0.144D-01
0.880D+07	0.103D-01	0.149D-01	0.126D-01
0.900D+07	0.925D-02	0.132D-01	0.112D-01
0.920D+07	0.835D-02	0.120D-01	0.102D-01

Table 20 Fast neutron energy spectrum at Z=179.4 cm and R=20 cm on the G-line (n/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.200D+07	0.218D+01	0.256D+01	0.237D+01
0.220D+07	0.188D+01	0.206D+01	0.197D+01
0.240D+07	0.158D+01	0.175D+01	0.166D+01
0.260D+07	0.135D+01	0.151D+01	0.143D+01
0.280D+07	0.118D+01	0.132D+01	0.125D+01
0.300D+07	0.103D+01	0.117D+01	0.110D+01
0.320D+07	0.890D+00	0.104D+01	0.963D+00
0.340D+07	0.766D+00	0.903D+00	0.834D+00
0.360D+07	0.659D+00	0.778D+00	0.718D+00
0.380D+07	0.574D+00	0.679D+00	0.627D+00
0.400D+07	0.517D+00	0.611D+00	0.564D+00
0.420D+07	0.486D+00	0.569D+00	0.528D+00
0.440D+07	0.469D+00	0.543D+00	0.506D+00
0.460D+07	0.453D+00	0.519D+00	0.486D+00
0.480D+07	0.425D+00	0.482D+00	0.453D+00
0.500D+07	0.380D+00	0.430D+00	0.405D+00
0.520D+07	0.326D+00	0.368D+00	0.347D+00
0.540D+07	0.272D+00	0.306D+00	0.289D+00
0.560D+07	0.225D+00	0.254D+00	0.239D+00
0.580D+07	0.189D+00	0.213D+00	0.201D+00
0.600D+07	0.162D+00	0.183D+00	0.172D+00
0.620D+07	0.142D+00	0.161D+00	0.151D+00
0.640D+07	0.127D+00	0.144D+00	0.135D+00
0.660D+07	0.114D+00	0.130D+00	0.122D+00
0.680D+07	0.101D+00	0.118D+00	0.110D+00
0.700D+07	0.900D-01	0.107D+00	0.985D-01
0.720D+07	0.799D-01	0.961D-01	0.880D-01
0.740D+07	0.708D-01	0.852D-01	0.780D-01
0.760D+07	0.615D-01	0.755D-01	0.685D-01
0.780D+07	0.522D-01	0.672D-01	0.597D-01
0.800D+07	0.440D-01	0.598D-01	0.519D-01
0.820D+07	0.376D-01	0.531D-01	0.454D-01
0.840D+07	0.327D-01	0.472D-01	0.400D-01
0.860D+07	0.290D-01	0.419D-01	0.355D-01
0.880D+07	0.261D-01	0.374D-01	0.318D-01
0.900D+07	0.239D-01	0.336D-01	0.288D-01
0.920D+07	0.224D-01	0.305D-01	0.264D-01

Table 22 Fast neutron energy spectrum at Z=179.4 cm and R=100 cm on the A-line (n/cm**2*sec*MeV)

Energy (MeV)	ϕ_{upper}	ϕ_{lower}	$\phi_{average}$
0.200D+07	0.486D+00	0.747D+00	0.616D+00
0.220D+07	0.470D+00	0.557D+00	0.513D+00
0.240D+07	0.393D+00	0.471D+00	0.432D+00
0.260D+07	0.338D+00	0.406D+00	0.372D+00
0.280D+07	0.300D+00	0.360D+00	0.330D+00
0.300D+07	0.271D+00	0.322D+00	0.297D+00
0.320D+07	0.242D+00	0.286D+00	0.264D+00
0.340D+07	0.212D+00	0.250D+00	0.231D+00
0.360D+07	0.184D+00	0.216D+00	0.200D+00
0.380D+07	0.161D+00	0.190D+00	0.175D+00
0.400D+07	0.146D+00	0.171D+00	0.158D+00
0.420D+07	0.136D+00	0.159D+00	0.148D+00
0.440D+07	0.130D+00	0.150D+00	0.140D+00
0.460D+07	0.122D+00	0.140D+00	0.131D+00
0.480D+07	0.111D+00	0.127D+00	0.119D+00
0.500D+07	0.977D-01	0.111D+00	0.104D+00
0.520D+07	0.831D-01	0.948D-01	0.889D-01
0.540D+07	0.693D-01	0.803D-01	0.748D-01
0.560D+07	0.576D-01	0.686D-01	0.631D-01
0.580D+07	0.486D-01	0.591D-01	0.539D-01
0.600D+07	0.417D-01	0.517D-01	0.467D-01
0.620D+07	0.358D-01	0.460D-01	0.409D-01
0.640D+07	0.309D-01	0.414D-01	0.361D-01
0.660D+07	0.267D-01	0.375D-01	0.321D-01
0.680D+07	0.231D-01	0.341D-01	0.286D-01
0.700D+07	0.202D-01	0.310D-01	0.256D-01
0.720D+07	0.178D-01	0.279D-01	0.228D-01
0.740D+07	0.158D-01	0.249D-01	0.203D-01
0.760D+07	0.140D-01	0.222D-01	0.181D-01
0.780D+07	0.123D-01	0.196D-01	0.160D-01
0.800D+07	0.107D-01	0.173D-01	0.140D-01
0.820D+07	0.912D-02	0.152D-01	0.122D-01
0.840D+07	0.770D-02	0.133D-01	0.105D-01
0.860D+07	0.656D-02	0.116D-01	0.908D-02
0.880D+07	0.572D-02	0.102D-01	0.796D-02
0.900D+07	0.514D-02	0.927D-02	0.720D-02
0.920D+07	0.481D-02	0.884D-02	0.682D-02
0.940D+07	0.474D-02	0.877D-02	0.675D-02
0.960D+07	0.487D-02	0.890D-02	0.688D-02
0.980D+07	0.512D-02	0.905D-02	0.709D-02
0.100D+08	0.529D-02	0.914D-02	0.722D-02
0.102D+08	0.524D-02	0.907D-02	0.715D-02
0.104D+08	0.487D-02	0.871D-02	0.679D-02
0.106D+08	0.424D-02	0.795D-02	0.610D-02
0.108D+08	0.350D-02	0.670D-02	0.510D-02
0.110D+08	0.276D-02	0.507D-02	0.391D-02

Table 23 Gamma-ray exposure dose rate along A- and E-lines inside the cask

Z (cm)	Dose Rate (R/hr)		Z (cm)	Dose Rate (R/hr)	
	A-line	E-line		A-line	E-line
- 25.0	—	—	199.0	1.95×10^4	2.17×10^4
- 1.0	1.56×10^0	—	224.0	1.97	2.17
11.5	—	1.74×10^1	249.0	1.95	2.11
24.0	4.80×10^1	4.98	274.0	1.93	2.14
29.0	—	7.20	299.0	1.96	2.12
39.0	—	2.09×10^2	324.0	1.97	2.06
49.0	5.52	10^2	349.0	2.04	2.08
64.0	3.22×10^3	3.08×10^3	374.0	2.06	2.03
74.0	6.78	5.90	399.0	1.95	1.89
99.0	1.18×10^4	1.19×10^4	424.0	1.49	1.34
124.0	1.84	1.91	449.0	4.34×10^3	3.40×10^3
149.0	1.99	2.15	452.5	—	1.90
174.0	1.96	2.16	457.5	—	1.47

Table 24 Reaction rate of $^{235}\text{U}(n,f)$ without Cd-cover along the A- and E-lines inside the cask

z (cm)	Reaction Rate (1/sec)	
	A-line	E-line
22.6	$2.41 (\pm 2.84) \times 10^{-23}$	—
35.1	$9.42 (\pm 1.38) \times 10^{-22}$	—
47.6	$6.92 (\pm 0.30) \times 10^{-21}$	$7.93 (\pm 0.36) \times 10^{-21}$
60.1	$4.16 (\pm 0.092) \times 10^{-20}$	$4.02 (\pm 0.091) \times 10^{-20}$
72.6	$1.92 (\pm 0.020) \times 10^{-19}$	$2.05 (\pm 0.020) \times 10^{-19}$
85.1	$7.35 (\pm 0.060)$	$8.20 (\pm 0.064)$
97.6	$1.90 (\pm 0.010) \times 10^{-18}$	$2.11 (\pm 0.010) \times 10^{-18}$
110.1	$3.38 (\pm 0.010)$	$3.79 (\pm 0.014)$
122.6	$5.13 (\pm 0.016)$	$5.73 (\pm 0.017)$
135.1	$6.56 (\pm 0.018)$	$7.41 (\pm 0.019)$
147.6	$7.34 (\pm 0.019)$	$8.27 (\pm 0.020)$
172.6	$7.52 (\pm 0.019)$	$8.46 (\pm 0.021)$
197.6	$7.86 (\pm 0.020)$	$8.86 (\pm 0.021)$
222.6	$7.94 (\pm 0.020)$	$9.01 (\pm 0.021)$
247.6	$7.31 (\pm 0.019)$	$8.34 (\pm 0.021)$
272.6	$7.86 (\pm 0.020)$	$8.93 (\pm 0.021)$
297.6	$7.79 (\pm 0.019)$	$8.70 (\pm 0.021)$
322.6	$7.58 (\pm 0.020)$	$8.34 (\pm 0.021)$
347.6	$7.88 (\pm 0.019)$	$8.61 (\pm 0.021)$
372.6	$7.14 (\pm 0.019)$	$7.67 (\pm 0.020)$
397.6	$6.15 (\pm 0.018)$	$6.47 (\pm 0.018)$
410.1	$5.06 (\pm 0.016)$	$5.22 (\pm 0.016)$
422.6	$3.36 (\pm 0.013)$	$3.44 (\pm 0.013)$
435.1	$1.66 (\pm 0.009)$	$1.62 (\pm 0.009)$
447.6	$5.16 (\pm 0.032) \times 10^{-19}$	$4.76 (\pm 0.049) \times 10^{-19}$
461.6	$7.58 (\pm 0.12) \times 10^{-20}$	$6.91 (\pm 0.12) \times 10^{-20}$

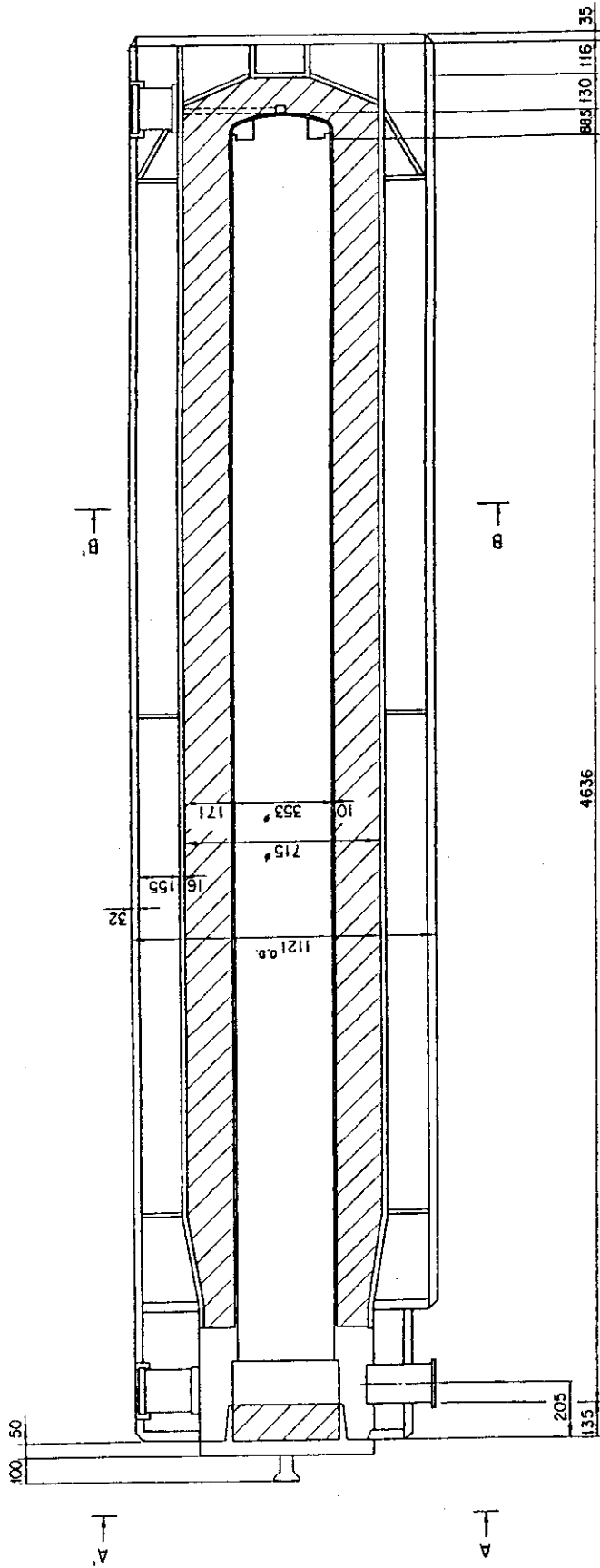
Table 25 Reaction rate of $^{232}\text{Th}(n,f)$ along the A- and E-lines inside the cask

Z (cm)	Reaction Rate (1/sec)	
	A-line	E-line
72.6	$8.76 (\pm 0.60) \times 10^{-24}$	$1.08 (\pm 0.098) \times 10^{-23}$
97.6	$1.05 (\pm 0.025) \times 10^{-22}$	$1.04 (\pm 0.024) \times 10^{-22}$
112.6	$1.95 (\pm 0.10)$	—
122.6	$2.99 (\pm 0.13)$	$2.99 (\pm 0.17) \times 10^{-22}$
147.6	$4.48 (\pm 0.21)$	$4.51 (\pm 0.21)$
172.6	$4.33 (\pm 0.13)$	$4.99 (\pm 0.22)$
197.6	$4.42 (\pm 0.16)$	$5.09 (\pm 0.19)$
222.6	$4.55 (\pm 0.21)$	$4.82 (\pm 0.18)$
247.6	$4.33 (\pm 0.048)$	$4.33 (\pm 0.18)$
272.6	$4.70 (\pm 0.19)$	$4.51 (\pm 0.19)$
297.6	$4.79 (\pm 0.19)$	$4.33 (\pm 0.23)$
322.6	$4.67 (\pm 0.22)$	$4.18 (\pm 0.21)$
347.6	$4.45 (\pm 0.22)$	$4.21 (\pm 0.21)$
372.6	$4.42 (\pm 0.11)$	$3.78 (\pm 0.17)$
397.6	$3.82 (\pm 0.17)$	$3.21 (\pm 0.19)$
422.6	$2.34 (\pm 0.13)$	$1.78 (\pm 0.037)$
447.6	$2.23 (\pm 0.37) \times 10^{-23}$	$2.27 (\pm 0.13) \times 10^{-23}$

Table 26 Gamma-ray exposure dose rate within the cask lid measured by using ^7LiF TLD

Position *	Dose (mR/hr)		
	A-line	E-line	Average
1	1.93 - 03	2.28 - 03	2.11 - 03
2	5.05	5.12	5.09
3	2.77 - 02	2.59 - 02	2.68 - 02
4	1.12 - 01	1.10 - 01	1.11 - 01
5	5.98	5.48	5.73
6	3.20 + 00	3.13 + 00	3.17 + 00
7	2.54 + 01	2.48 + 01	2.51 + 01

* see Fig. 43



(mm)

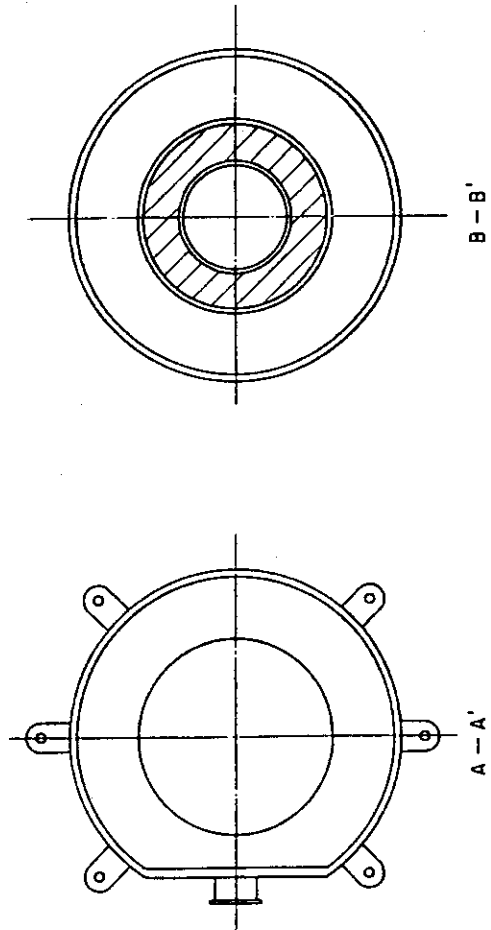


Fig.1(1) Cross sectional view of the NH-25 cask

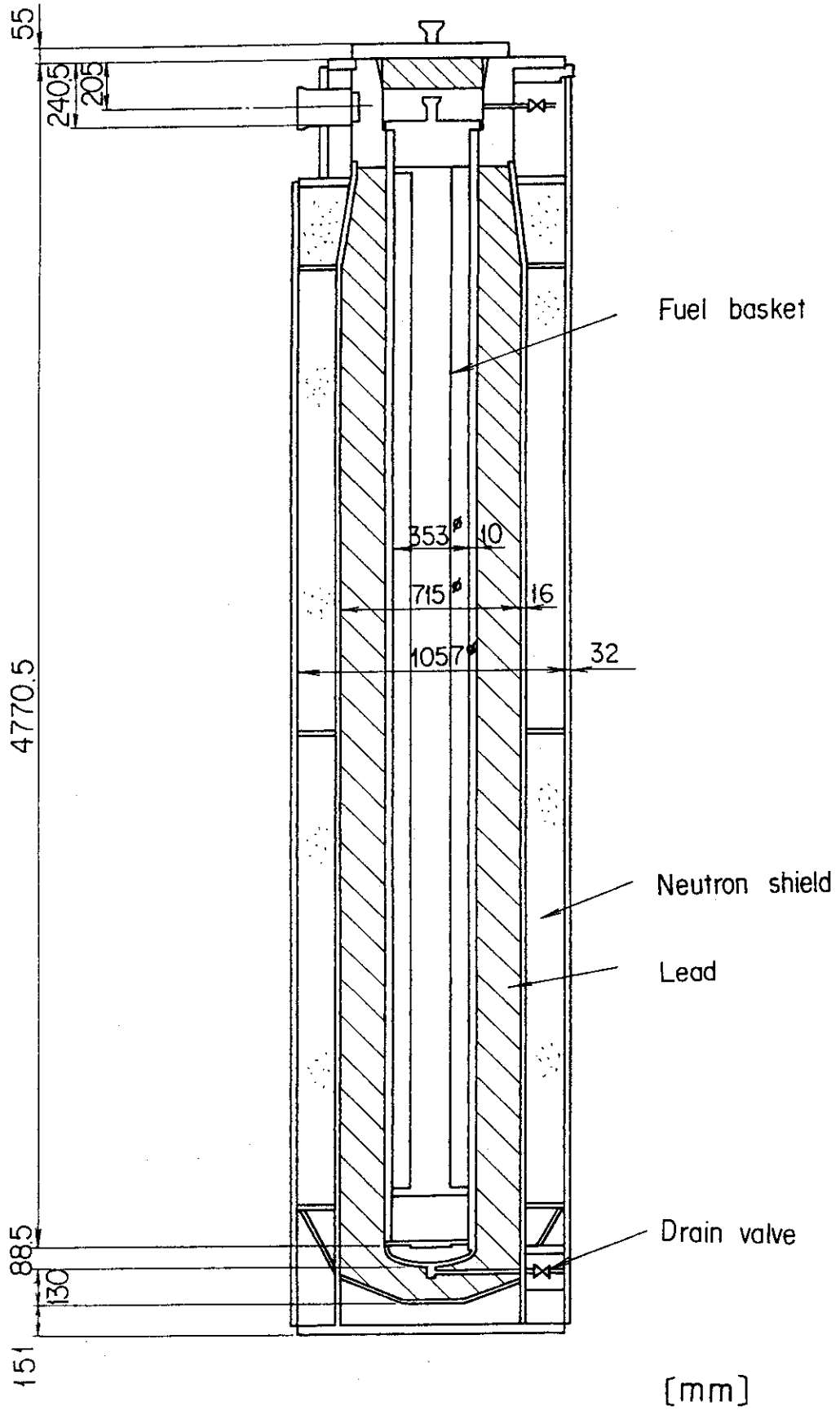


Fig.1(2) The assembly plan of the NH-25 cask including a PWR fuel assembly

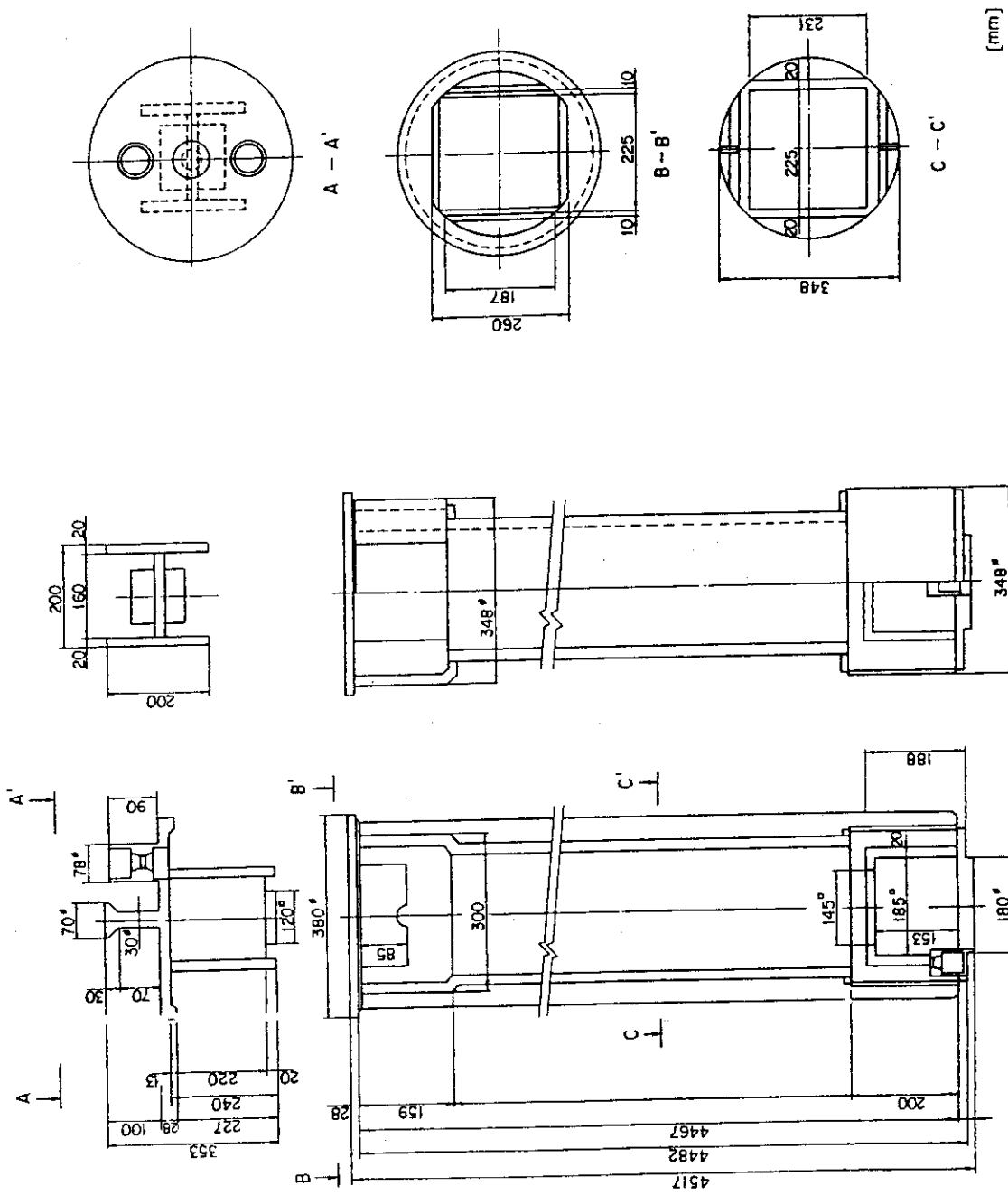


Fig.2 Cross sectional view of a standard type basket for PWR fuel assembly for the NH-25 cask

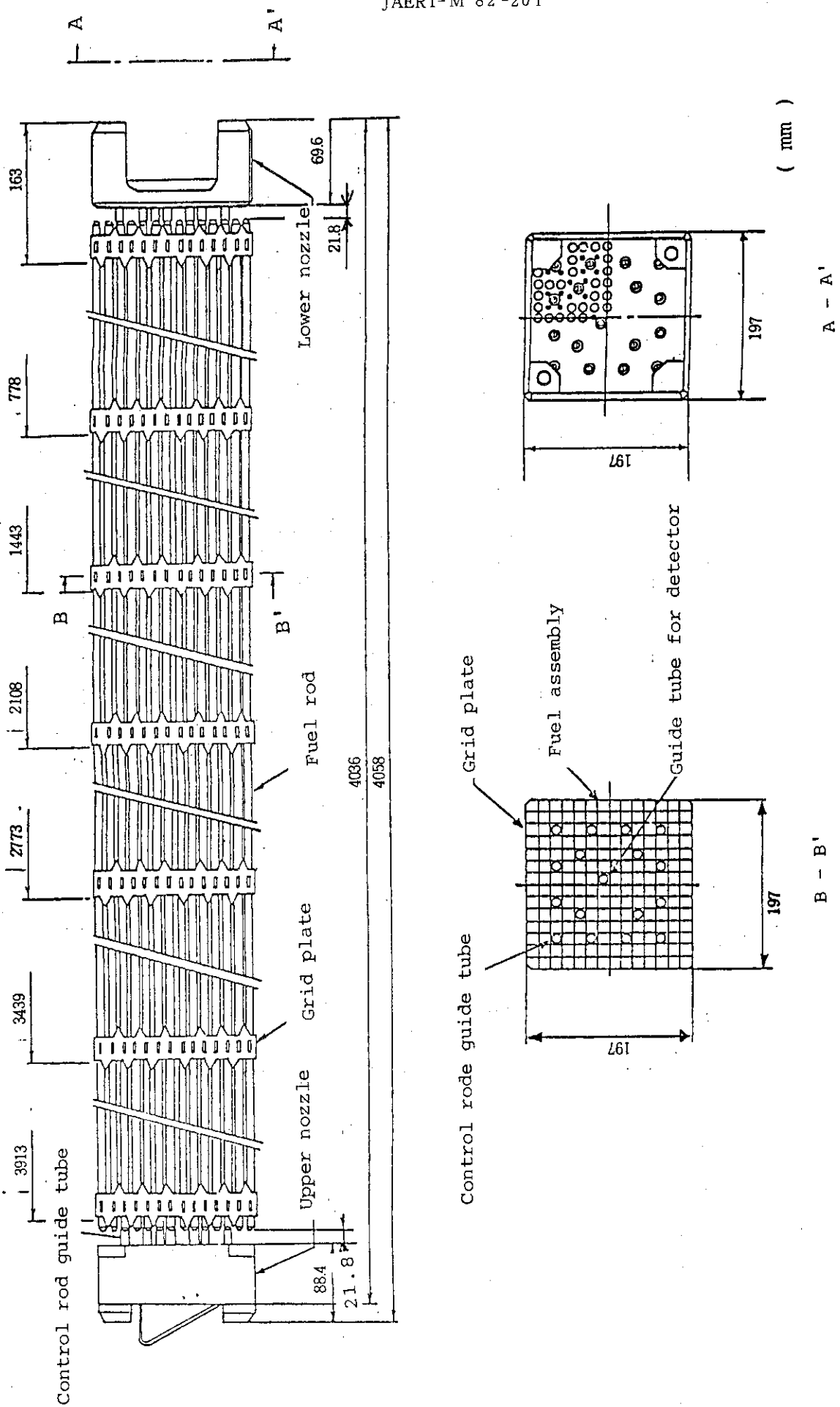


Fig.3 Cross sectional view of a PWR fuel assembly used for the present experiments

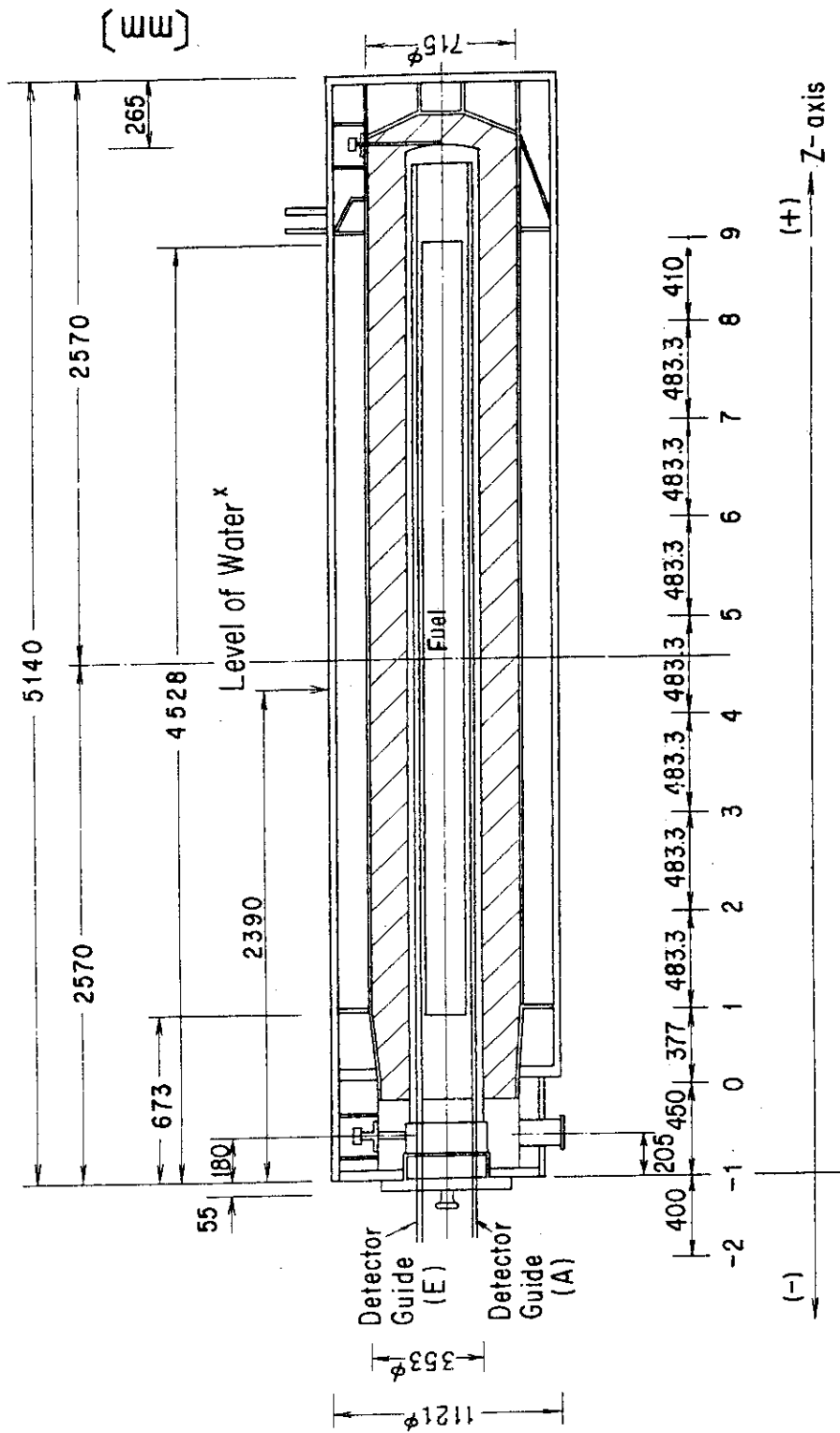


Fig.4 The vertical plan for the measurements, where the origin of Z-axis is placed on the upper level of the cask

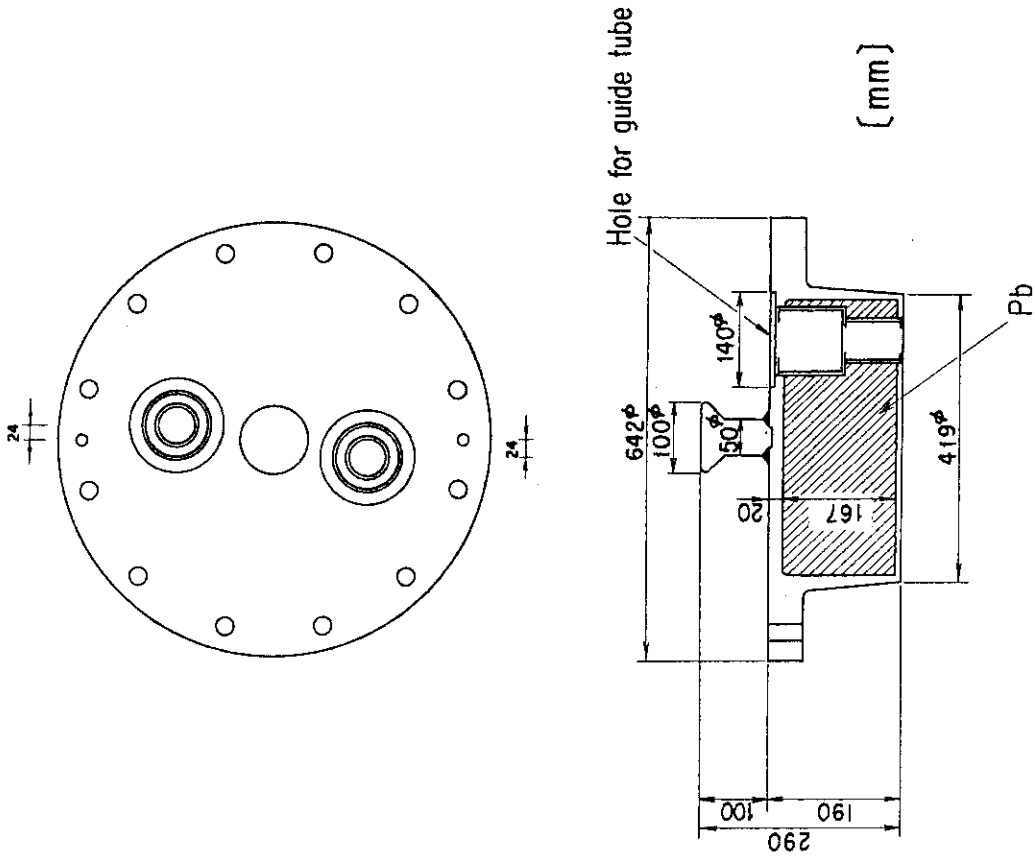
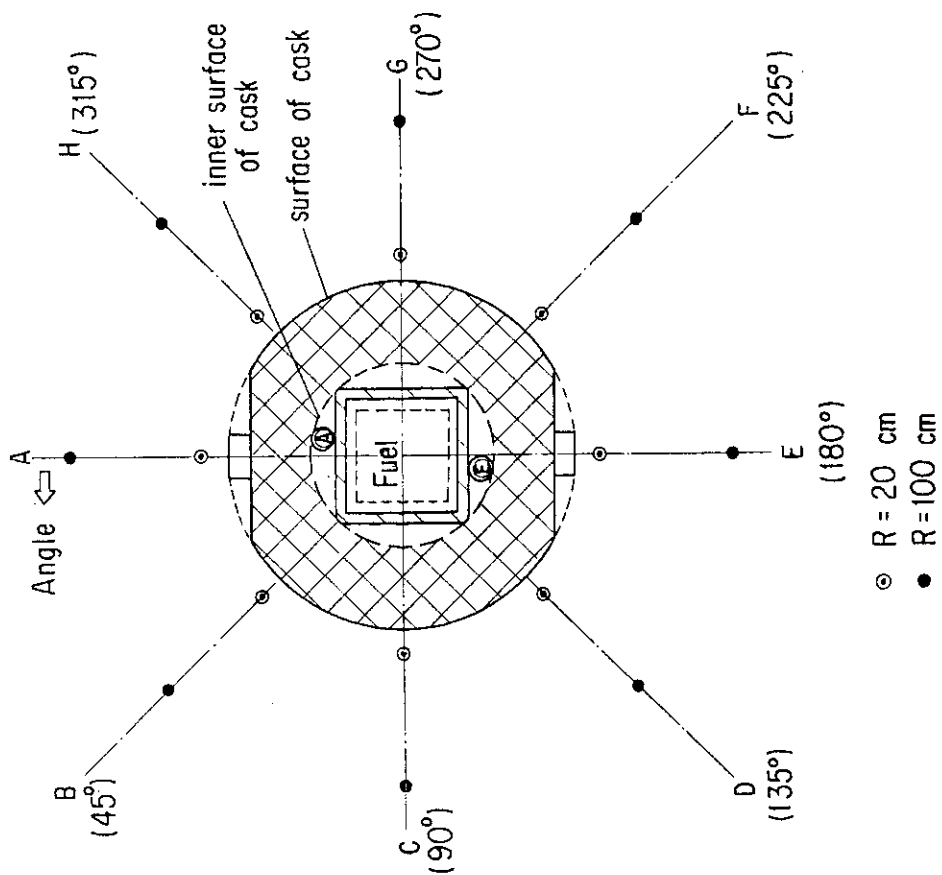


Fig. 7 Cross sectional view of the cask lid with the measured holes



(R : Distance from the surface of the cask)

Fig. 5 The radial plan for the measurements, where the distance of R-direction is equal to that from the surface of the cask and angle is increased from A to B, C, ... lines

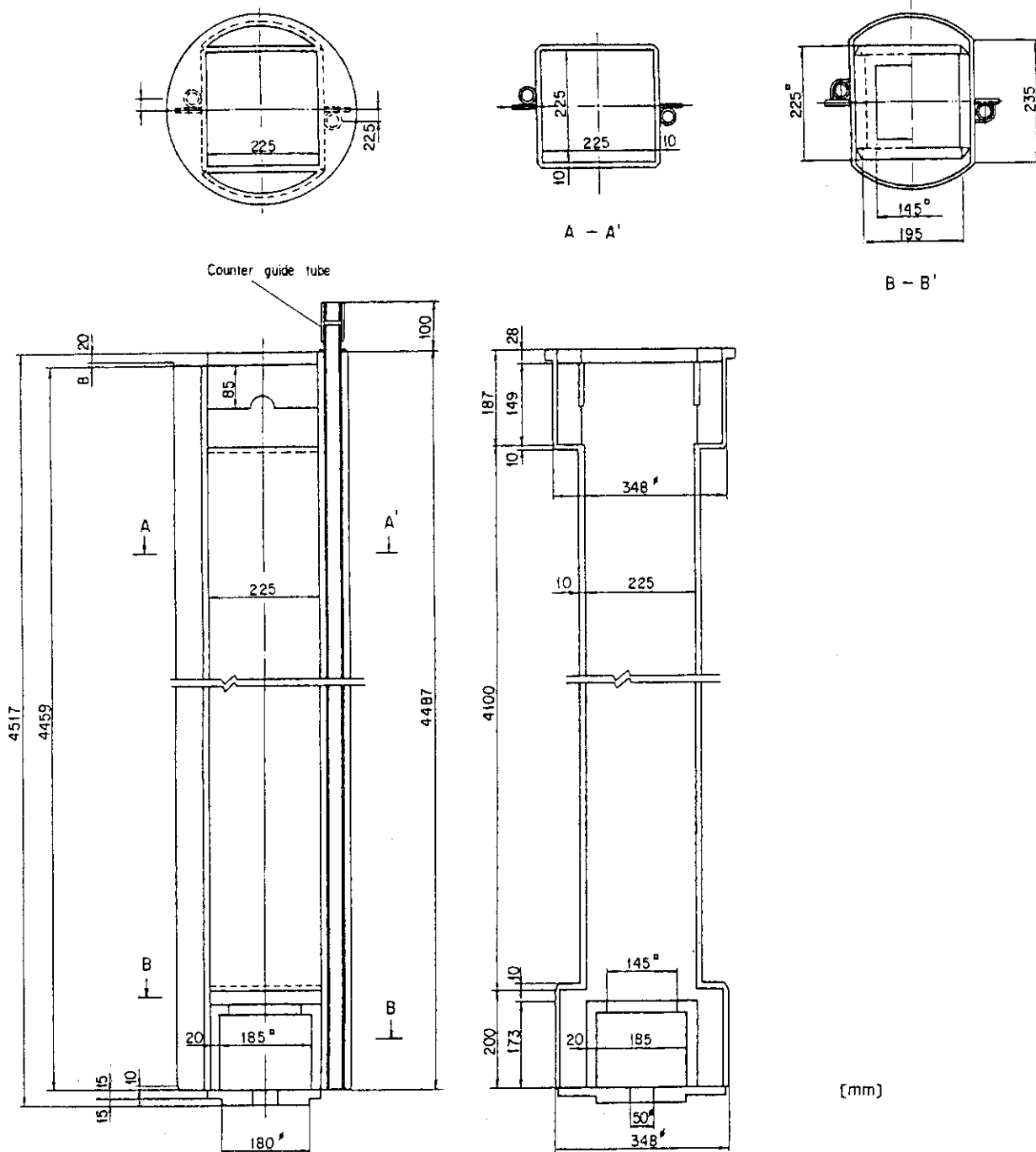


Fig.6 Cross sectional view of the PWR fuel assembly basket with counter guide tubes for the measurements inside of the cask

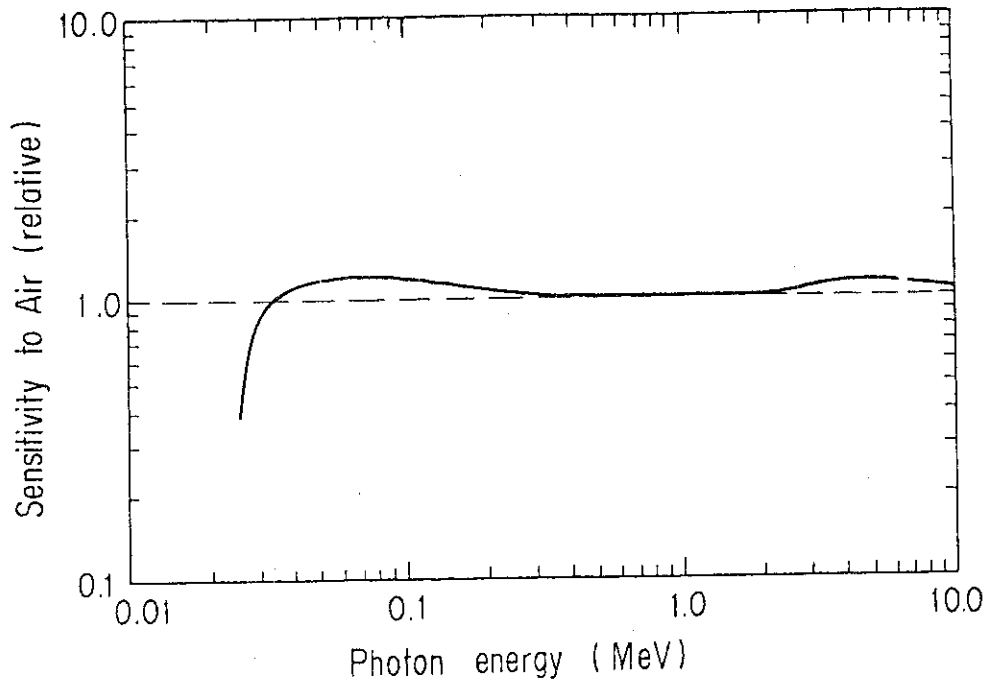


Fig.8 Energy response of UD-200S TLD to gamma rays normalized to that of air

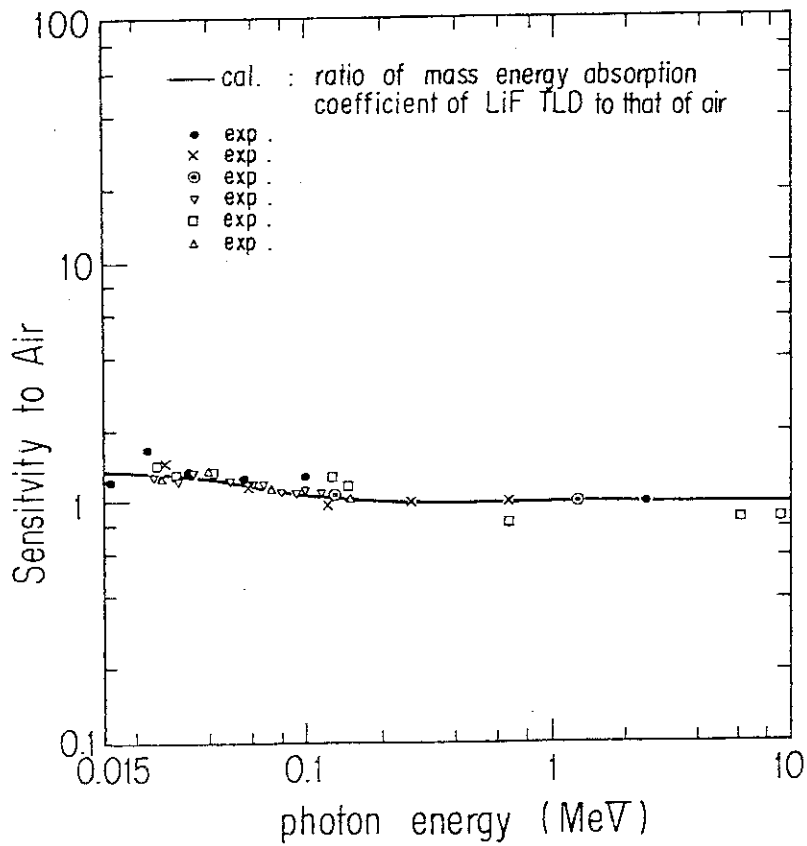
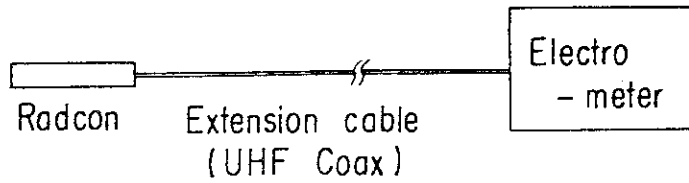


Fig.9 Energy response of ${}^6\text{LiF}$ TLD to gamma rays normalized to that of air



Radcon : Model 500-6A

Electrometer : Model 500

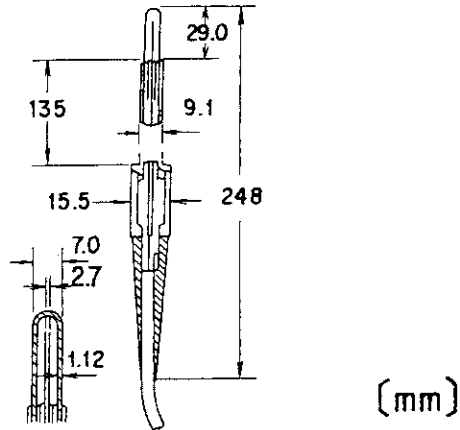


Fig.10 Model 500-6A type Radcon dosimeter and the measuring system

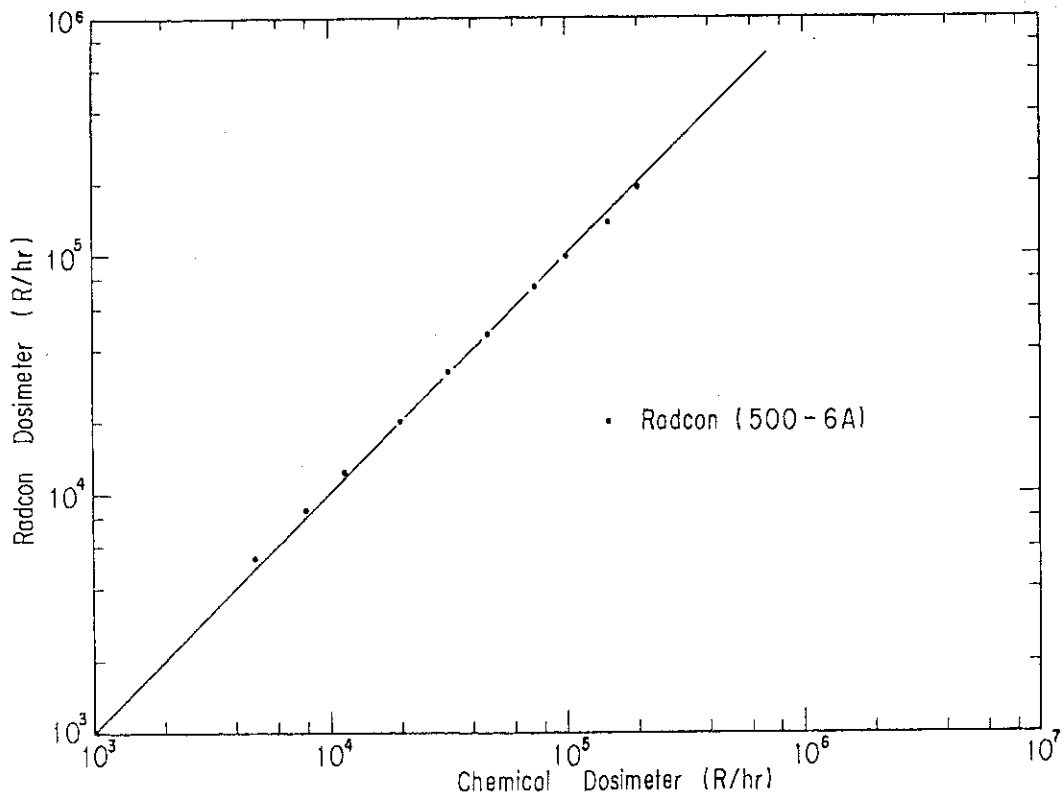
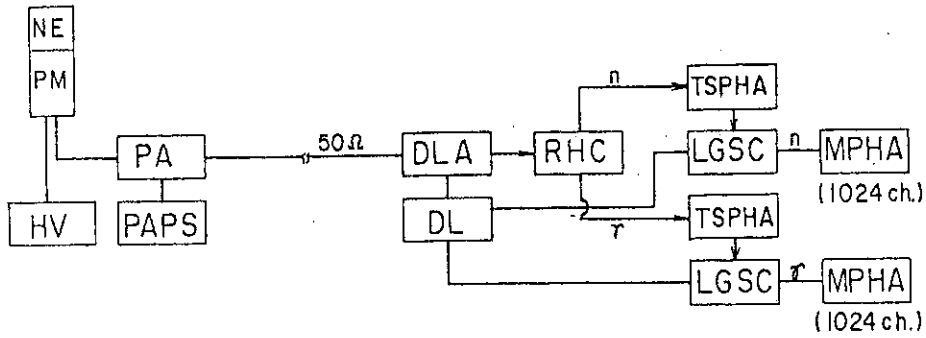


Fig.11 Calibration curve of the 500-6A type Radcon dosimeter for a Fricke dosimeter



- NE : 2" x 2" NE213 Liquid Scintillator
- PM : Photomultiplier (RCA 6810A)
- HV : High Voltage Power Supply
- PA : Pre-amplifier
- PAPS : Pre-amp Power Supply
- DLA : Delay Line Amplifier (ORTEC 460)
- DL : Delay Line
- RHC : Risetime to Height Converter (JAERI 154A)
- TSPHA : Timing Single Channel Pulse Height Analyzer
- LGSC : Linear Gate and Slow Coincidence
- MPHA : Multi-Channel Pulse Height Analyzer

Fig.12 Block diagram of NE213 detector system for neutron and gamma-ray energy spectrum measurements

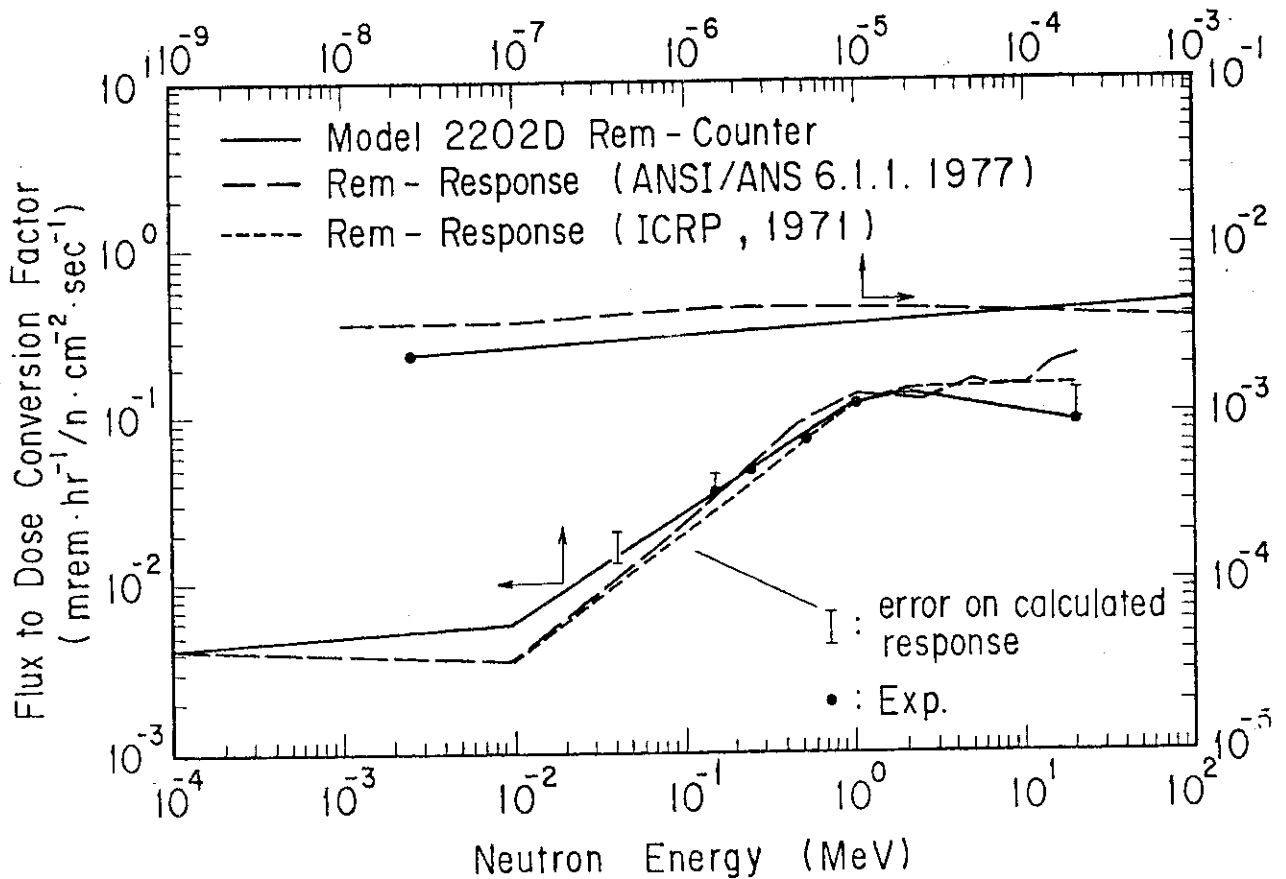
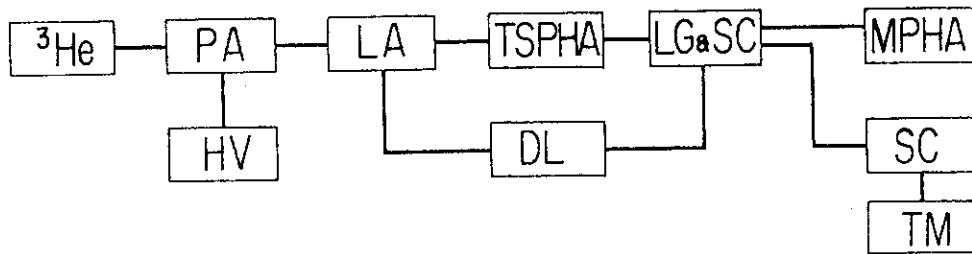
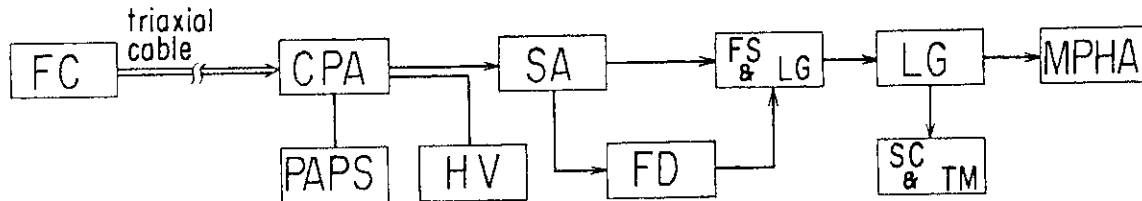


Fig.13 Comparisons between the neutron flux to dose conversion factors recommended by ICRP, ANSI/ANS and the energy response of Studsvik 2202D rem-counter



- He : ^3He proportional counter
- PA : Pre-amplifier
- HV : High-voltage power supply
- TSPHA : Timing single channel pulse height analyzer
- DL : Delay line amplifier
- LG&SC : Linear gate and slow coincidence
- MPHA : Multi-channel pulse height analyzer
- SC : Scaler
- TM : Timer

Fig.14 Block diagram of ^3He detector system



- 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 : Scaler and timer
- MPHA : Multi-channel pulse height analyzer

Fig.15 Block diagram of ^{235}U and ^{232}Th fission counter for neutron measurements

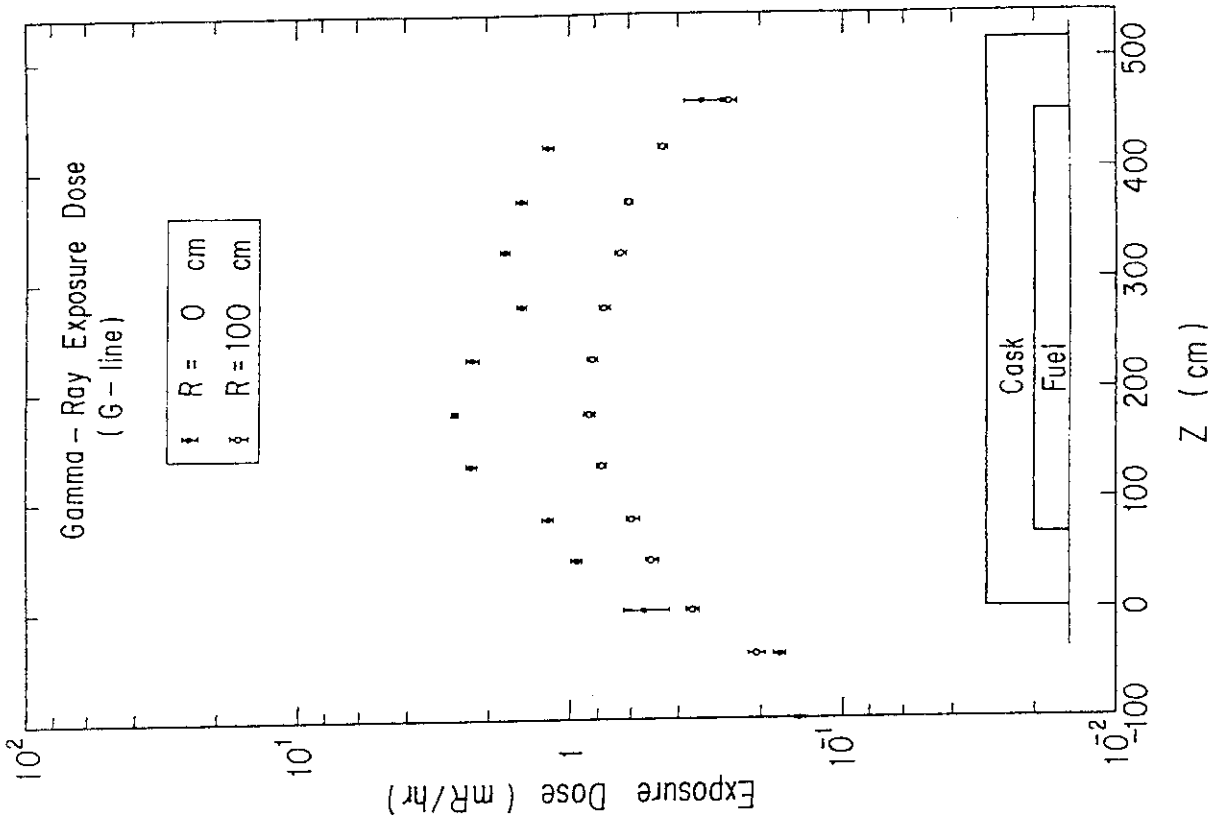


Fig. 17 Distributions along the G-line of gamma-ray exposure dose at R=0 cm and 100 cm

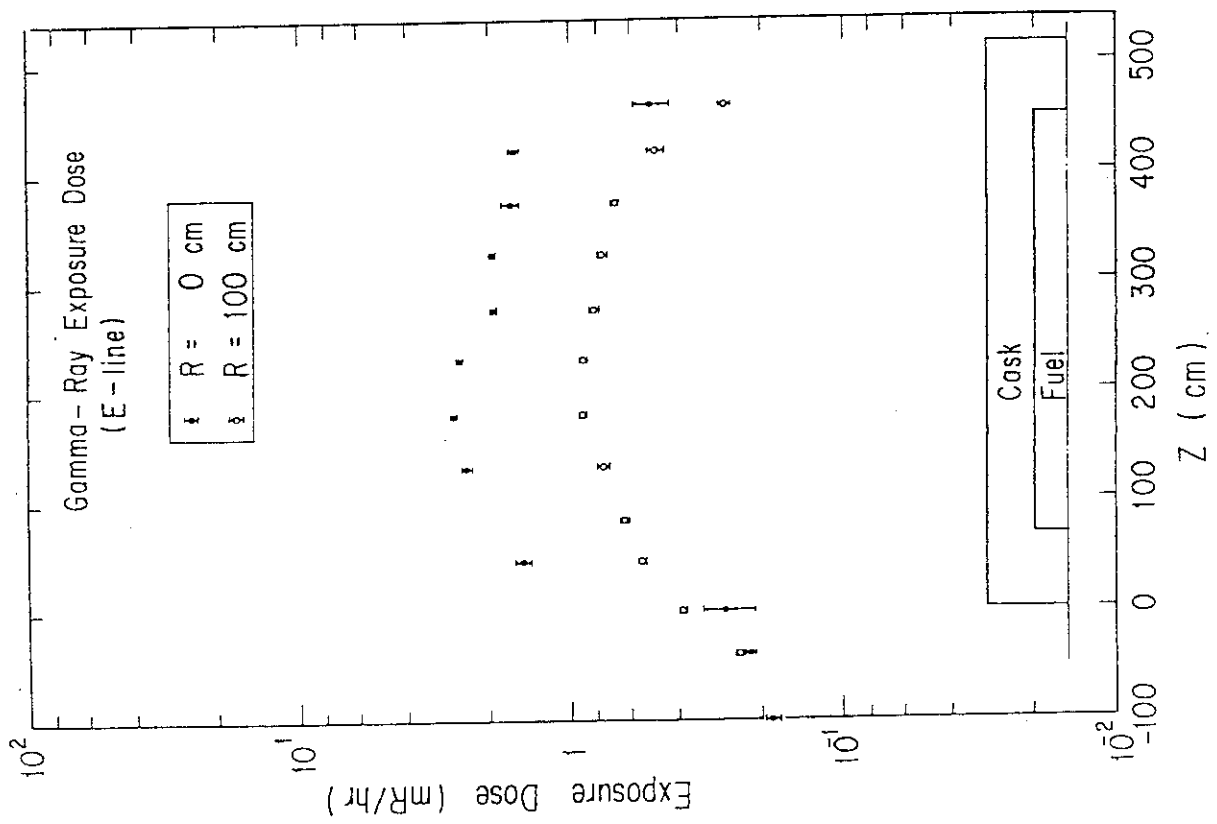


Fig. 16 Distributions along the E-line of gamma-ray dose at R=0 cm and 100 cm

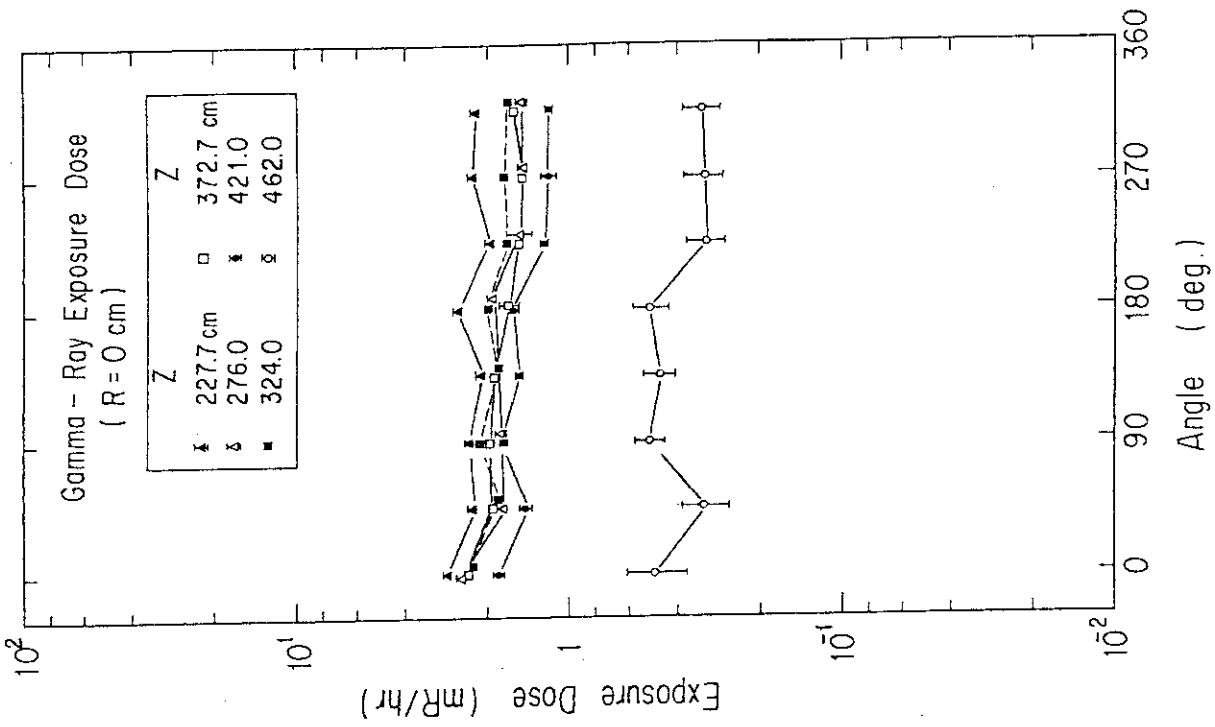


Fig. 18(1) Angular distribution of gamma-ray exposure dose at R=0 cm for a few Z positions

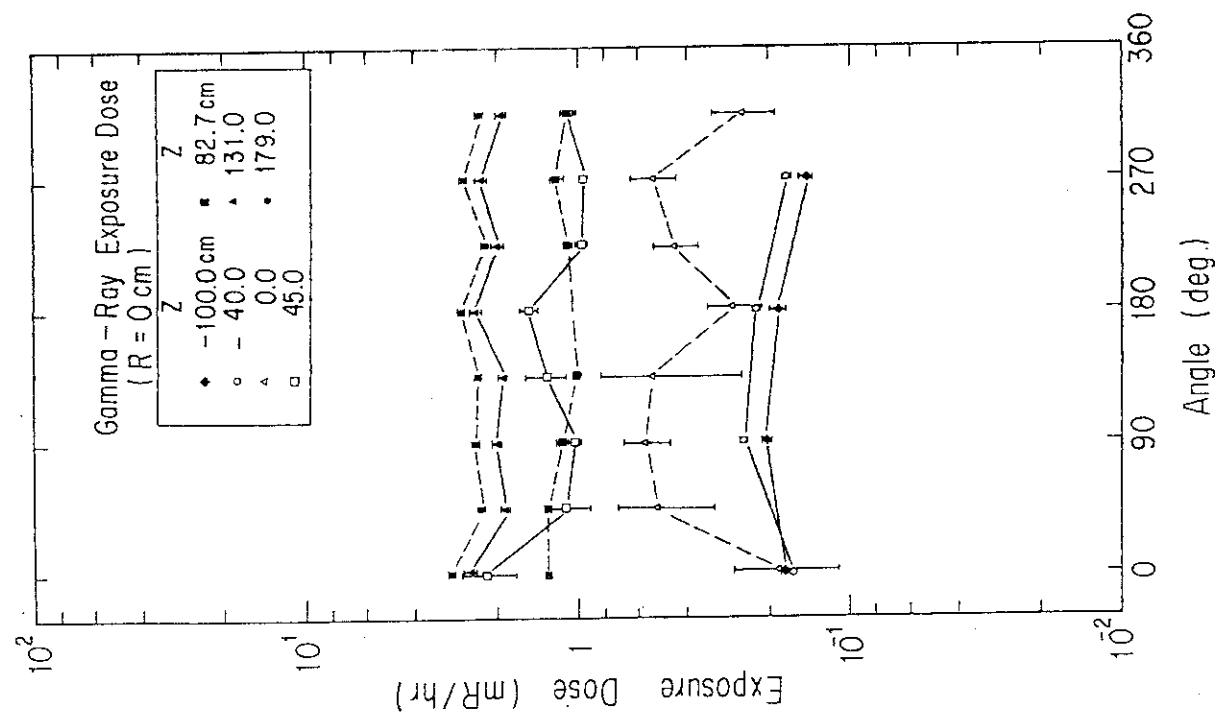


Fig. 18(2) Angular distribution of gamma-ray exposure dose at R=0 cm for a few Z position

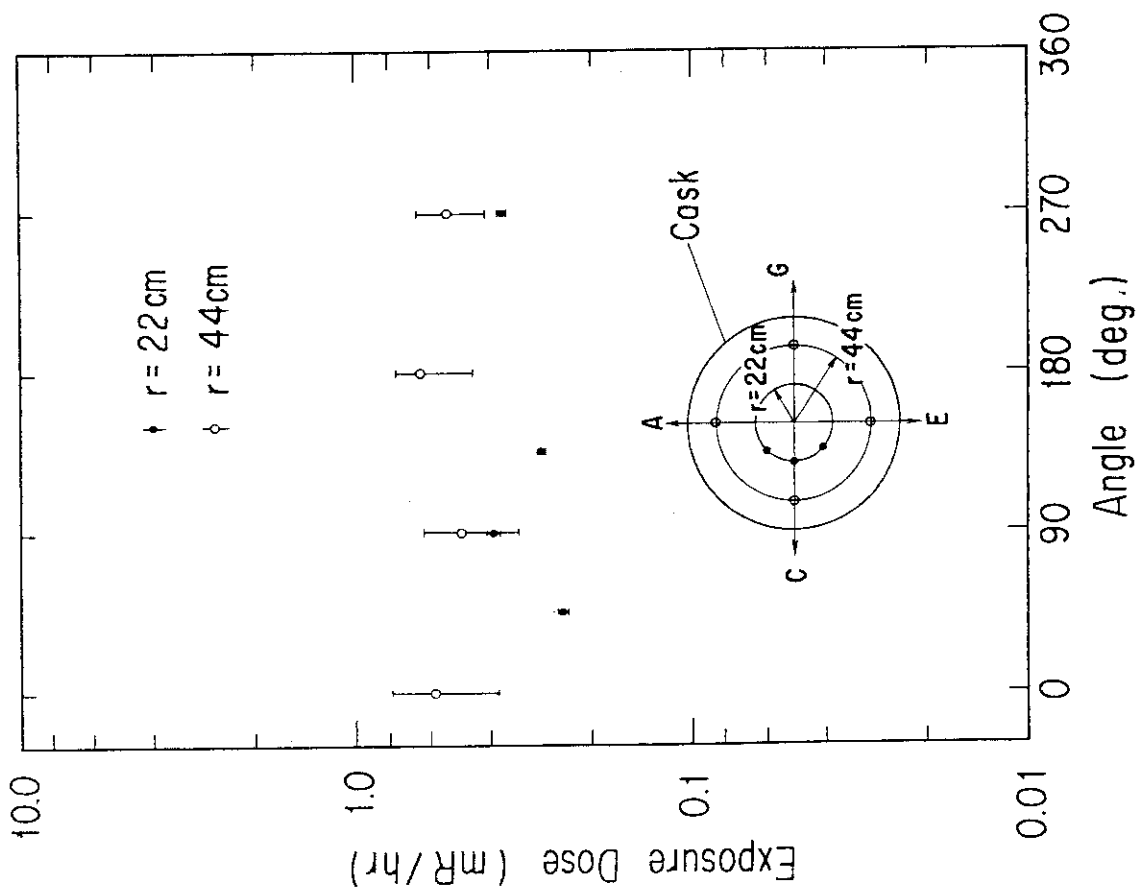


Fig. 19 Gamma-ray exposure dose distribution on the upper surface of the cask

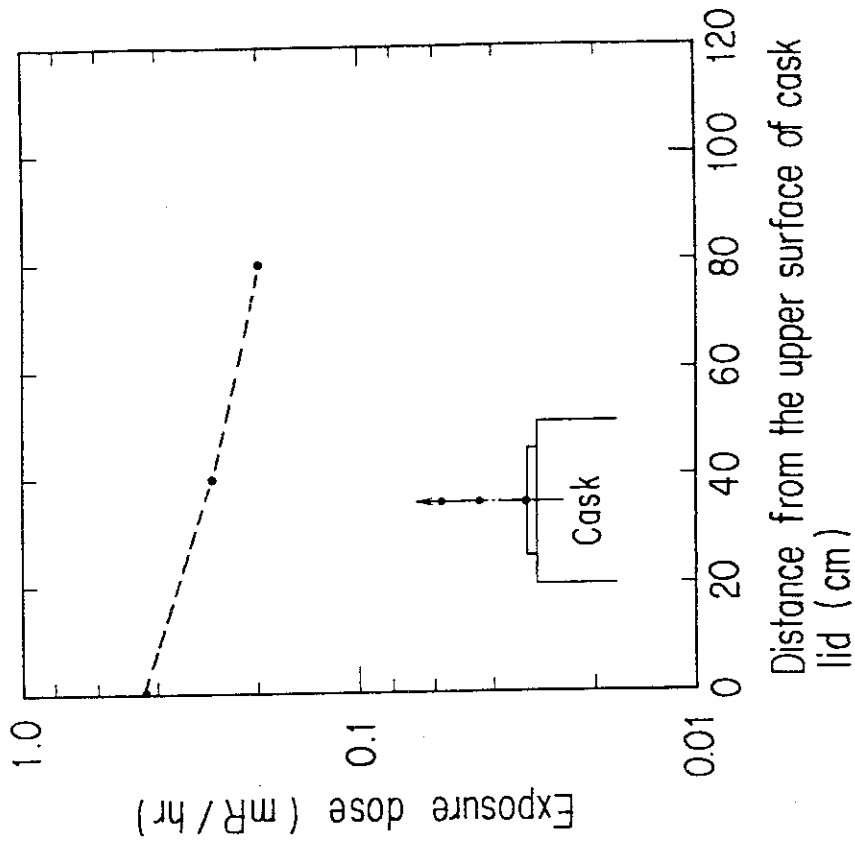


Fig. 20 Gamma-ray exposure dose distribution along the axis of the cask

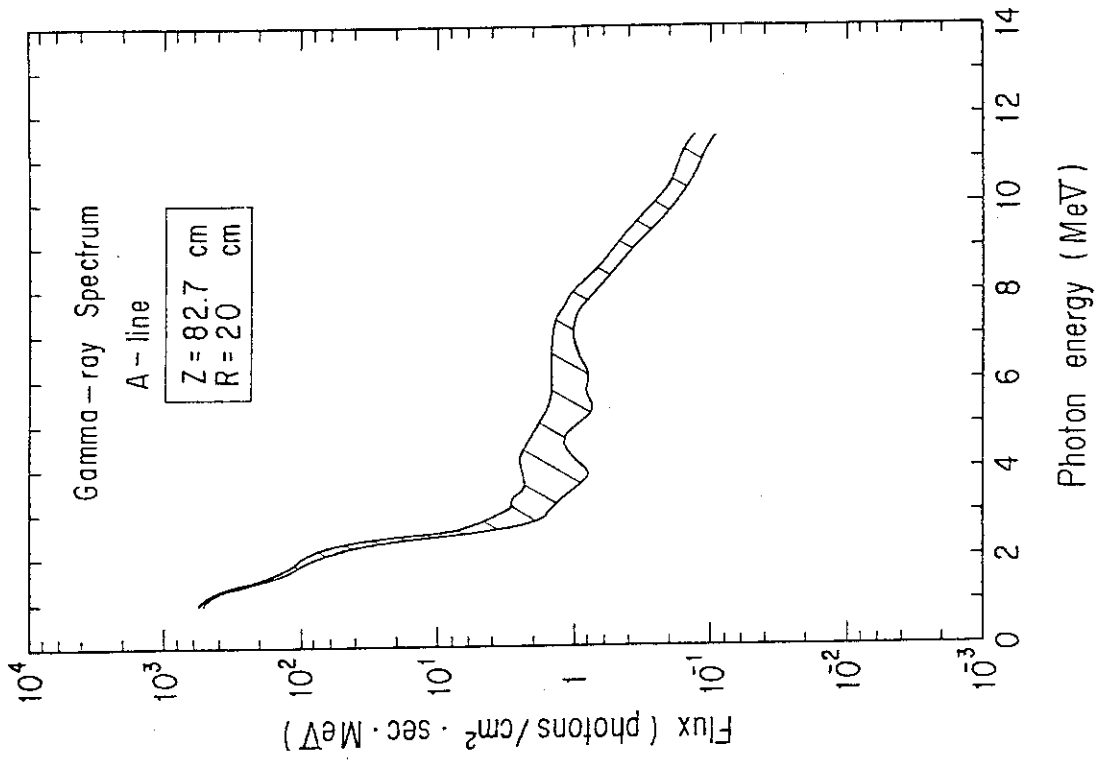


Fig.22 Gamma-ray energy spectrum along the A-line at Z=82.7 cm and R=20 cm

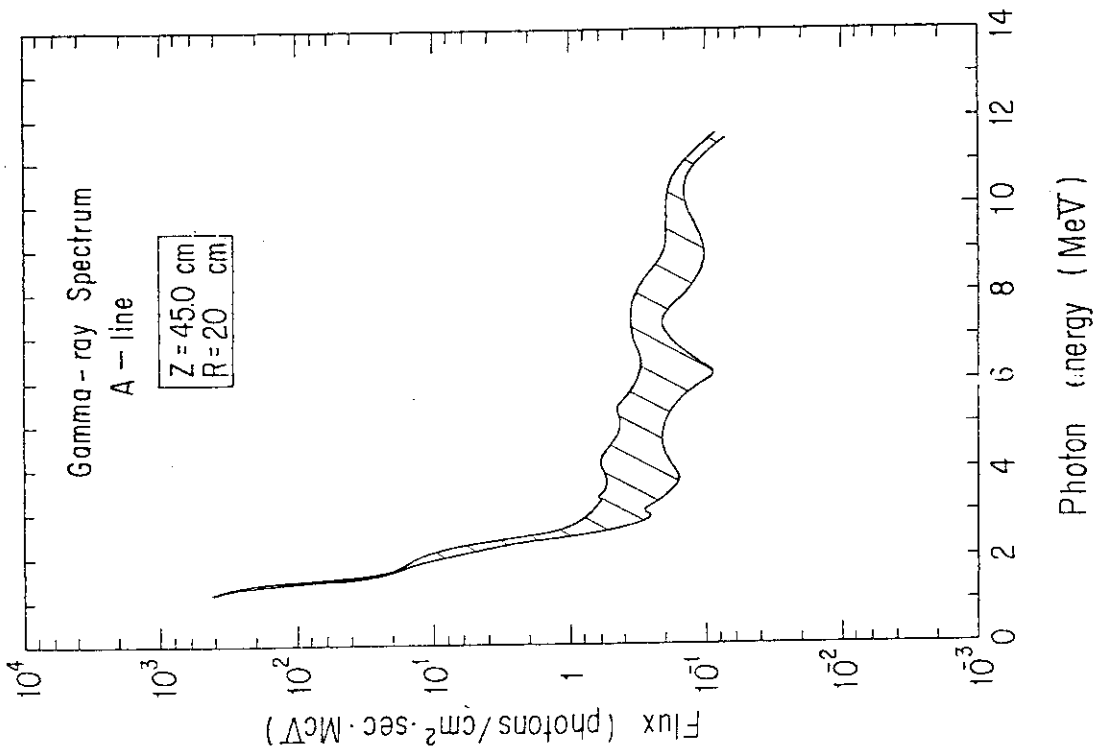


Fig.21 Gamma-ray energy spectrum along the A-line at Z=45 cm and R=20 cm

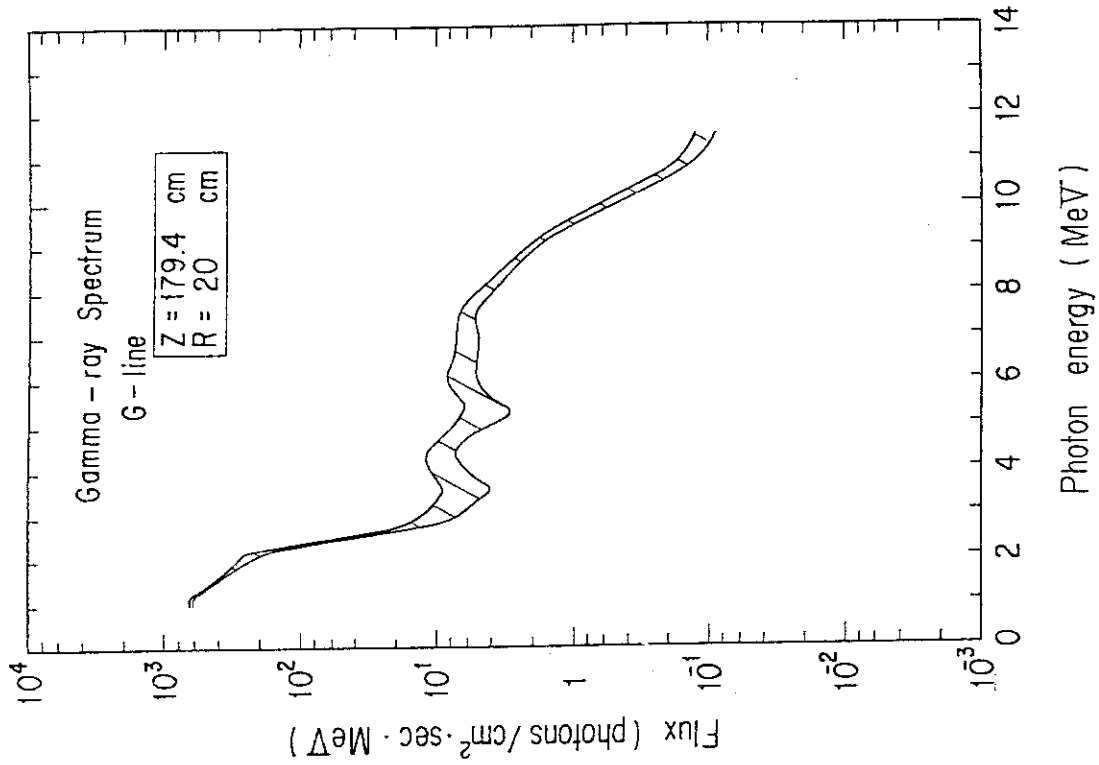


Fig.24 Gamma-ray energy spectrum along the G-line at Z=179.4 cm and R=20 cm

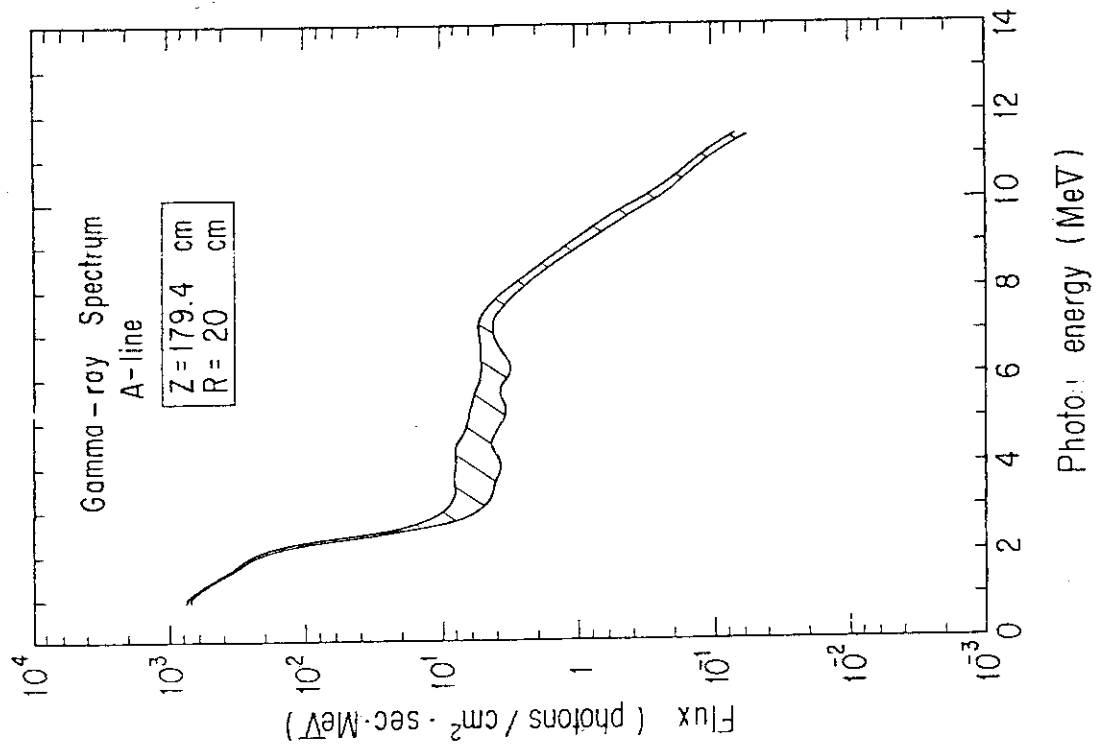


Fig.23 Gamma-ray energy spectrum along the A-line at Z=179.4 cm and R=20 cm

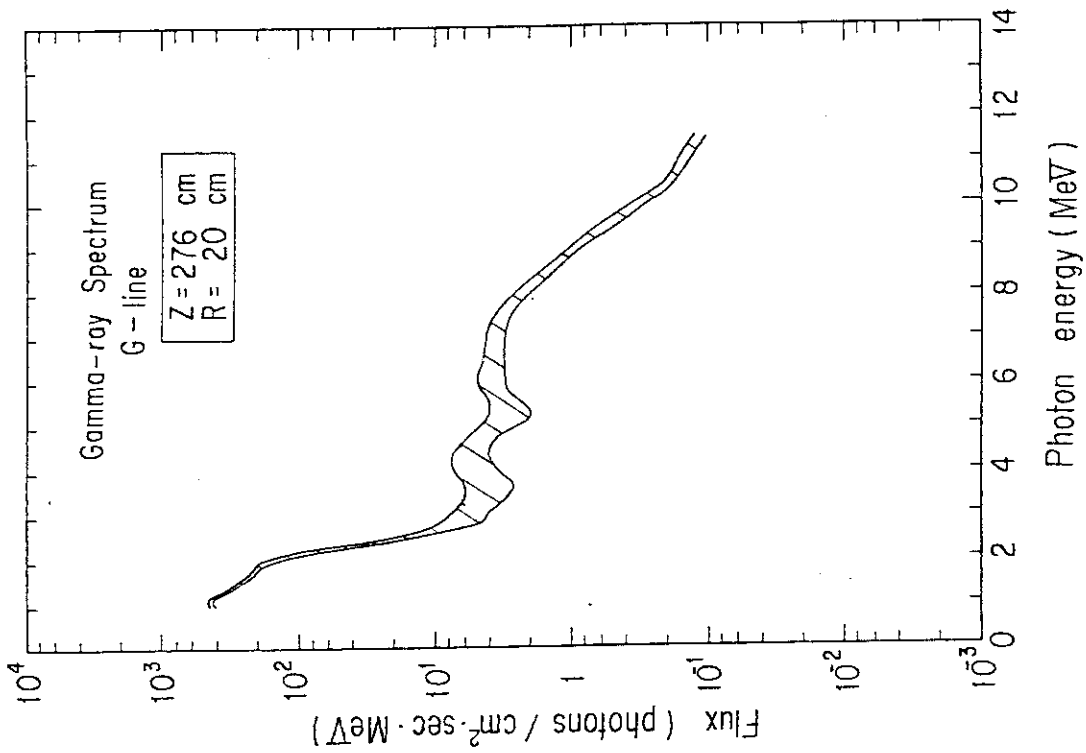


Fig.26 Gamma-ray energy spectrum along the G-line at Z=276 cm and R=20 cm

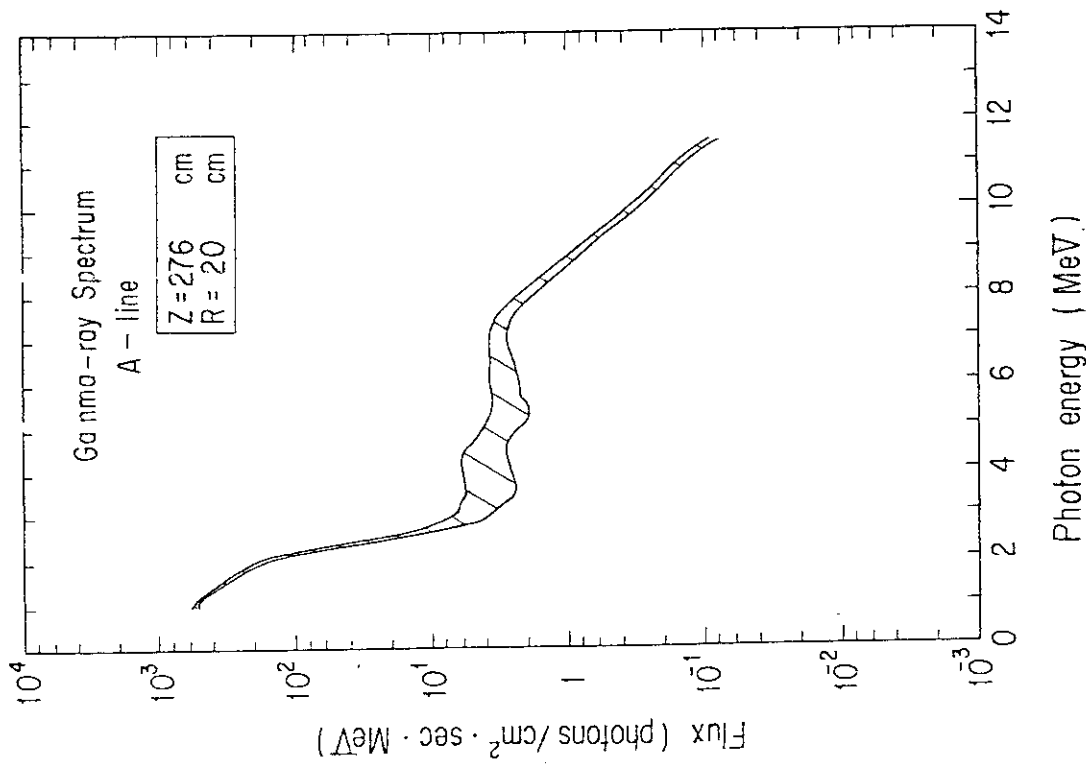


Fig.25 Gamma-ray energy spectrum along the A-line at Z=276 cm and R=20 cm

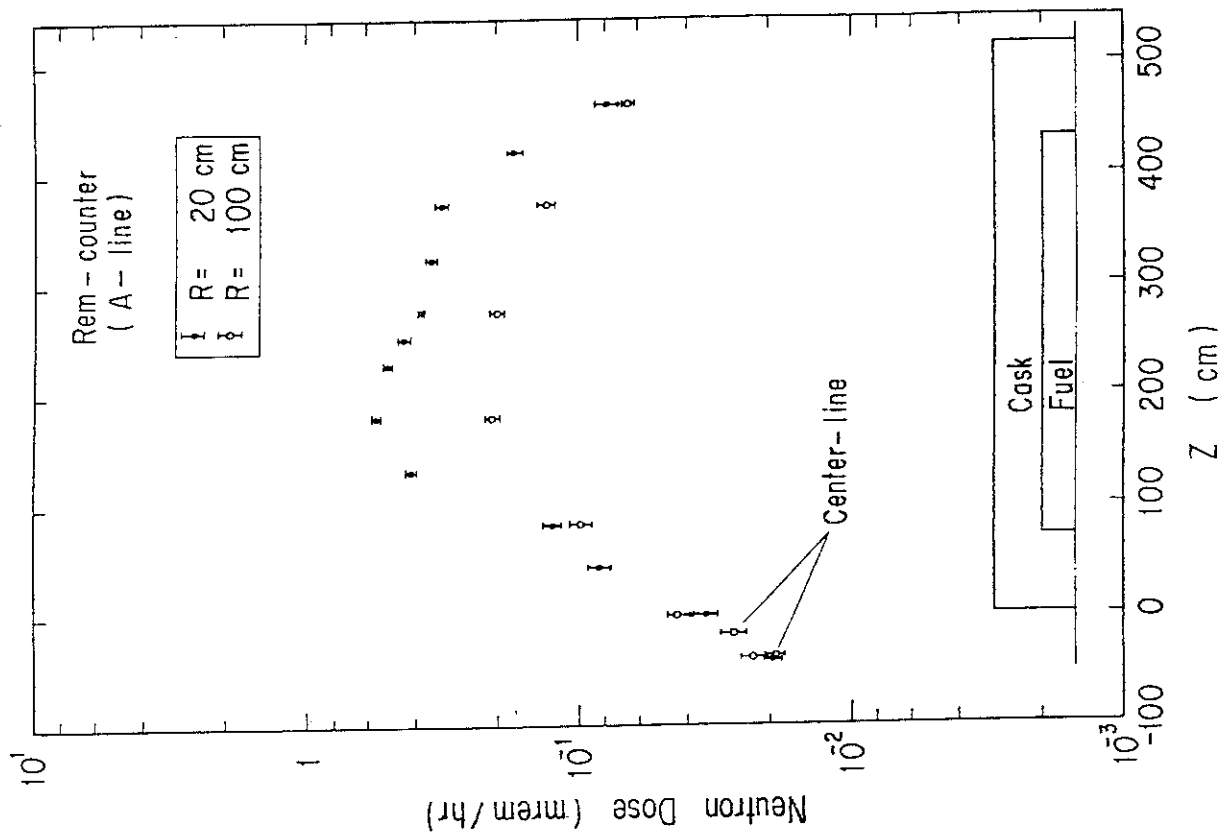


Fig. 28 Neutron dose equivalent distributions along the A-line at R=20 cm and 100 cm. The values indicated by "center line" represents the measurements along the axis of the cask.

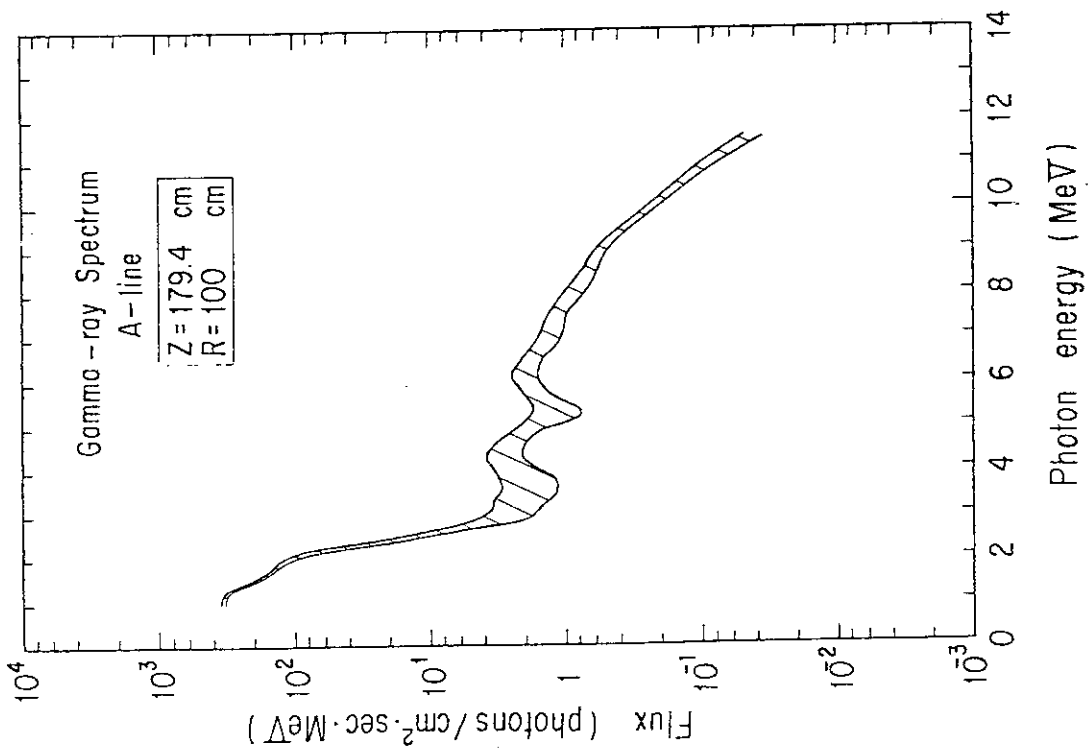


Fig. 27 Gamma-ray energy spectrum along the A-line at Z=179.4 cm and 100 cm

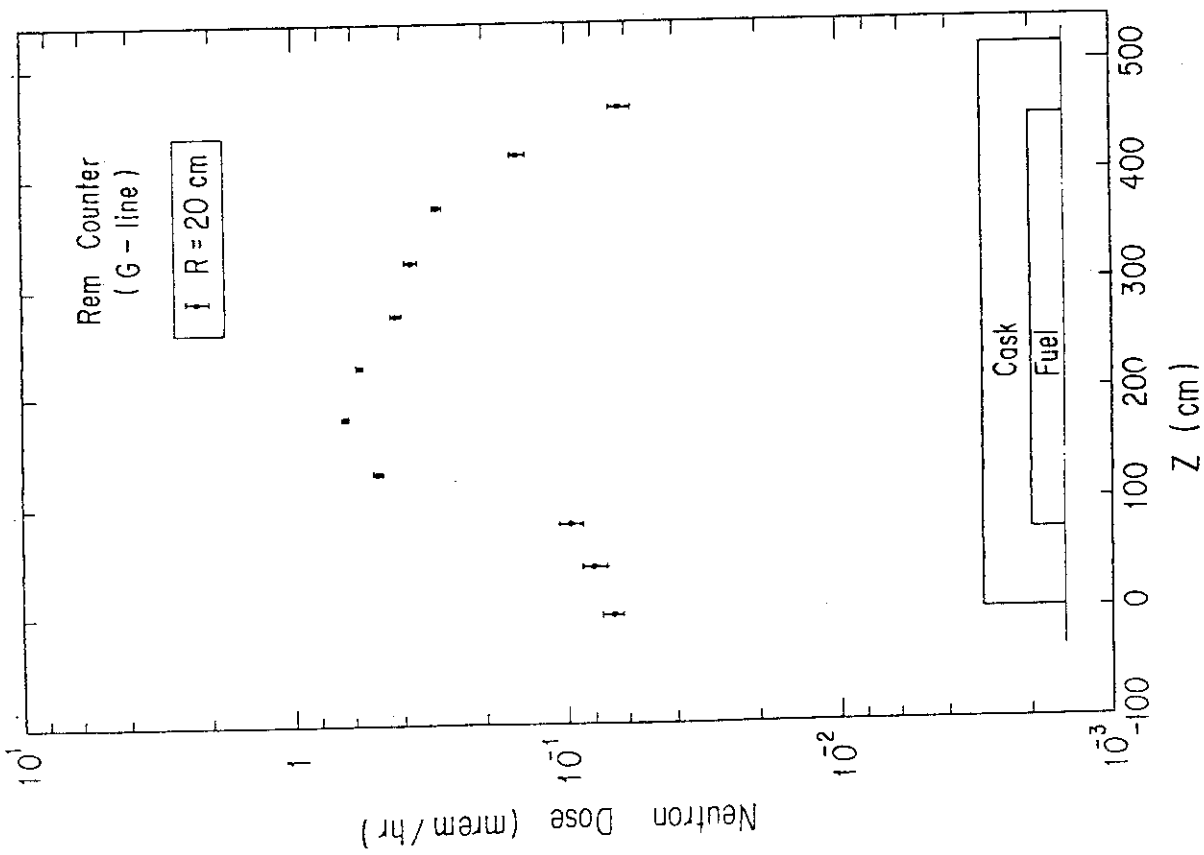


Fig.29 Neutron dose equivalent distribution along the G-line at R=20 cm

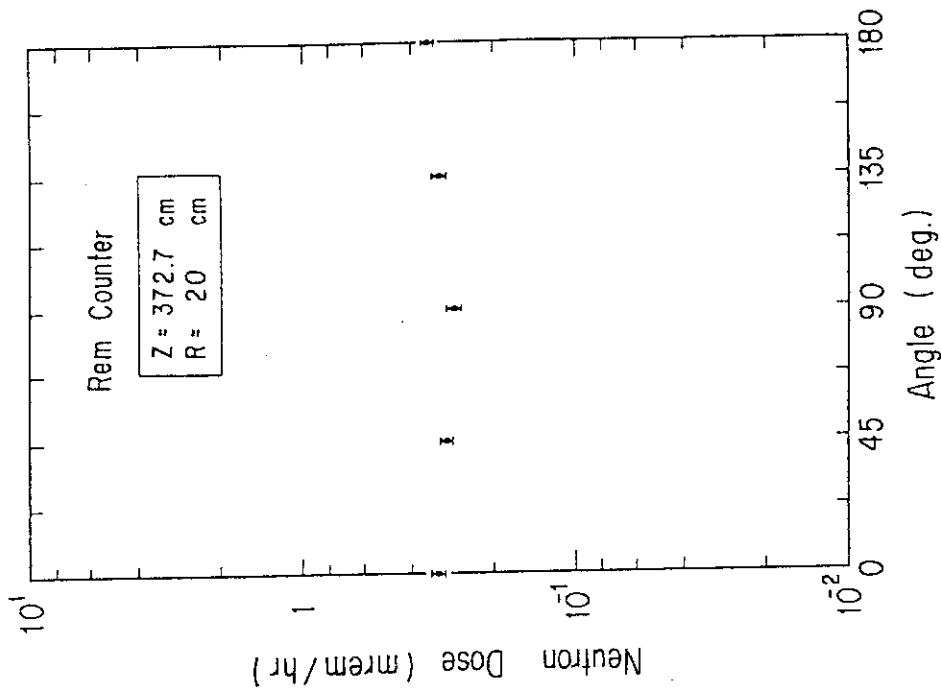


Fig.30 Distribution of neutron dose equivalent around the cask at R=20 cm at the height of Z=372.7 cm

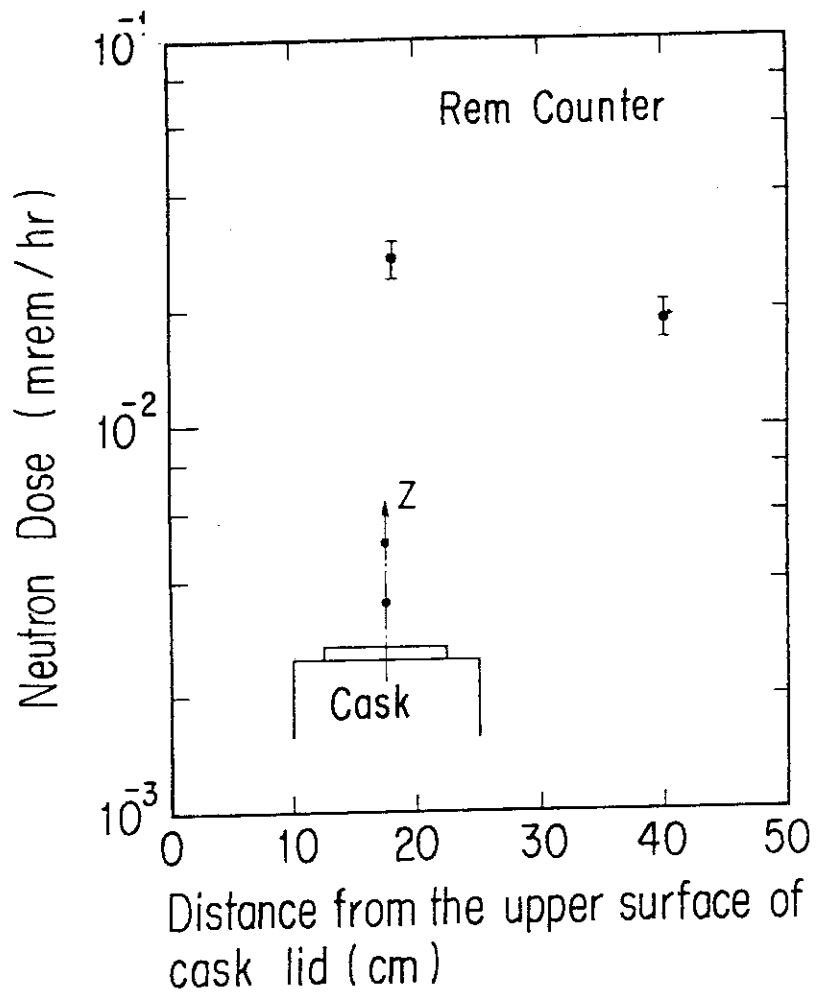


Fig.31 Neutron dose equivalent distribution along the axis of the cask

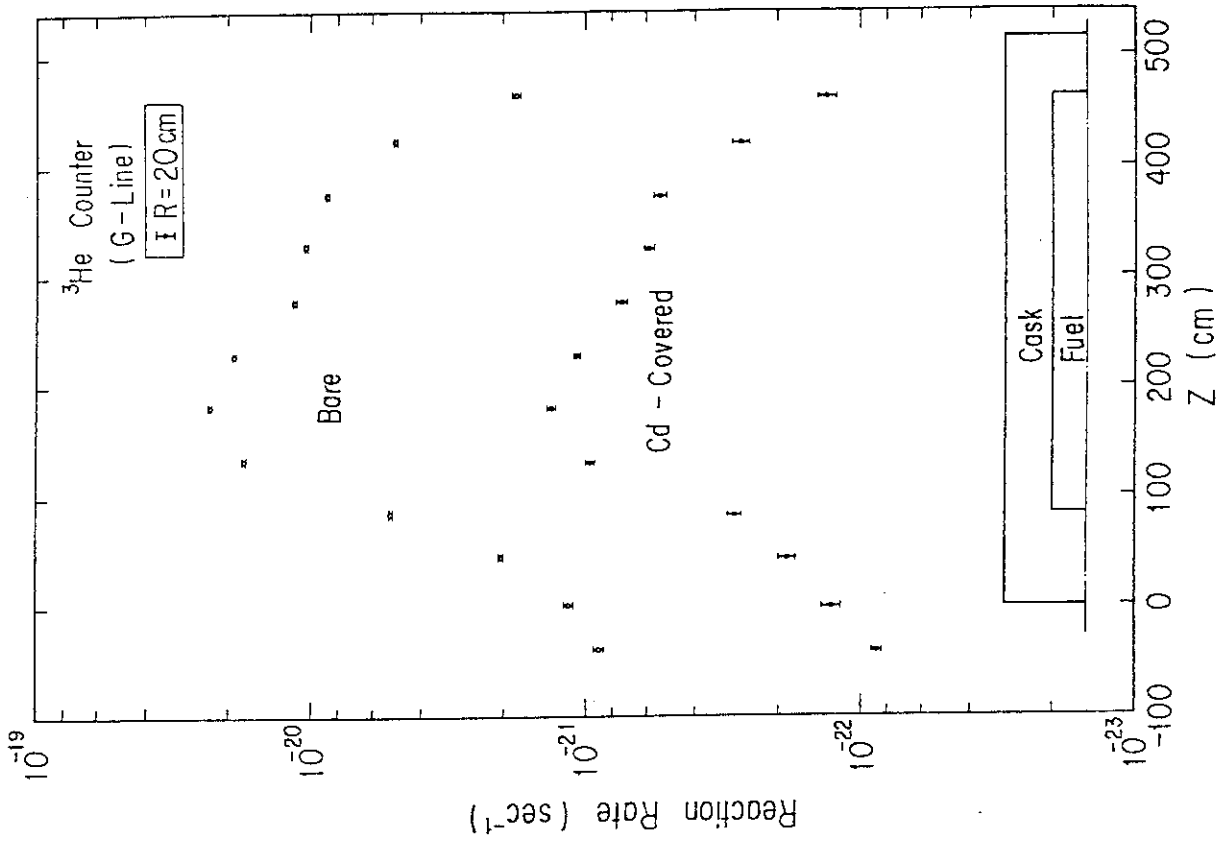


Fig. 33 Distributions of thermal and epithermal neutrons measured by ³He counter along the G-line at R=20 cm

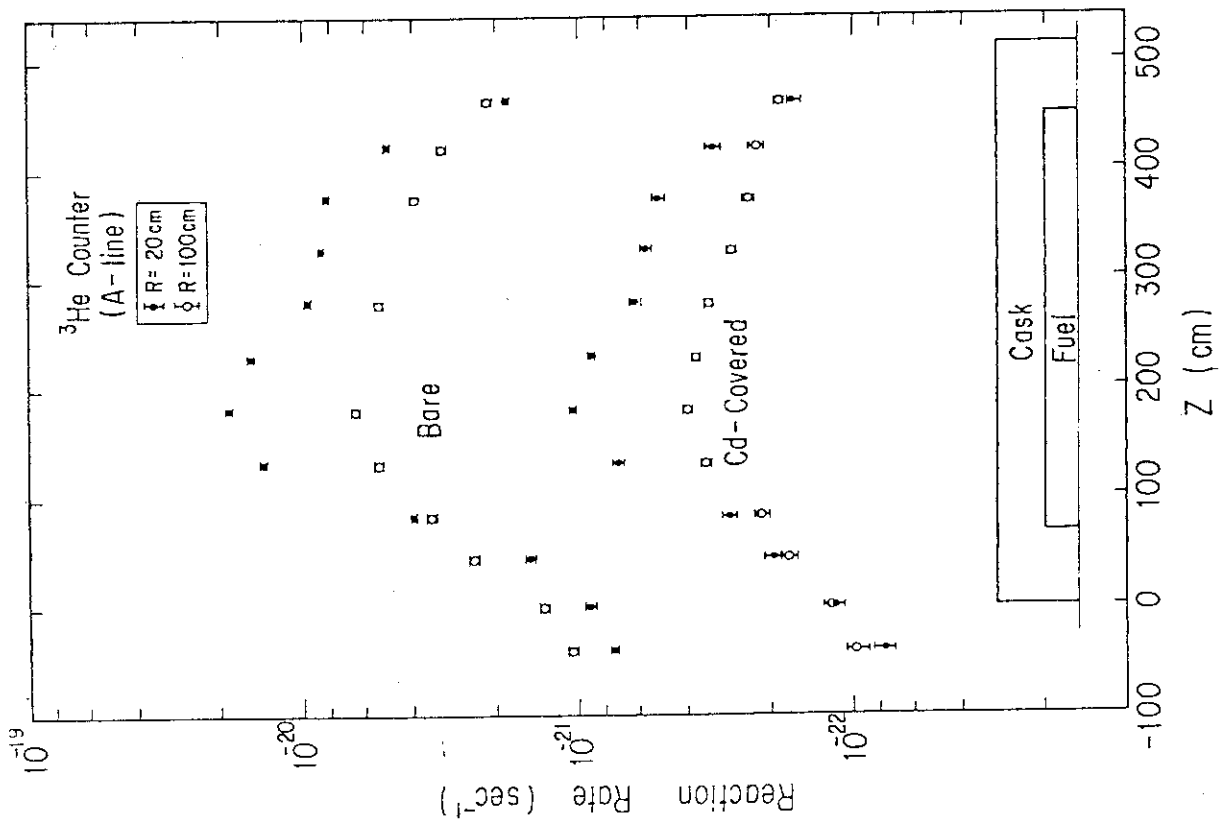


Fig. 32 Distributions of thermal and epithermal neutrons measured by ³He counter along the A-line at R=20 cm and 100 cm

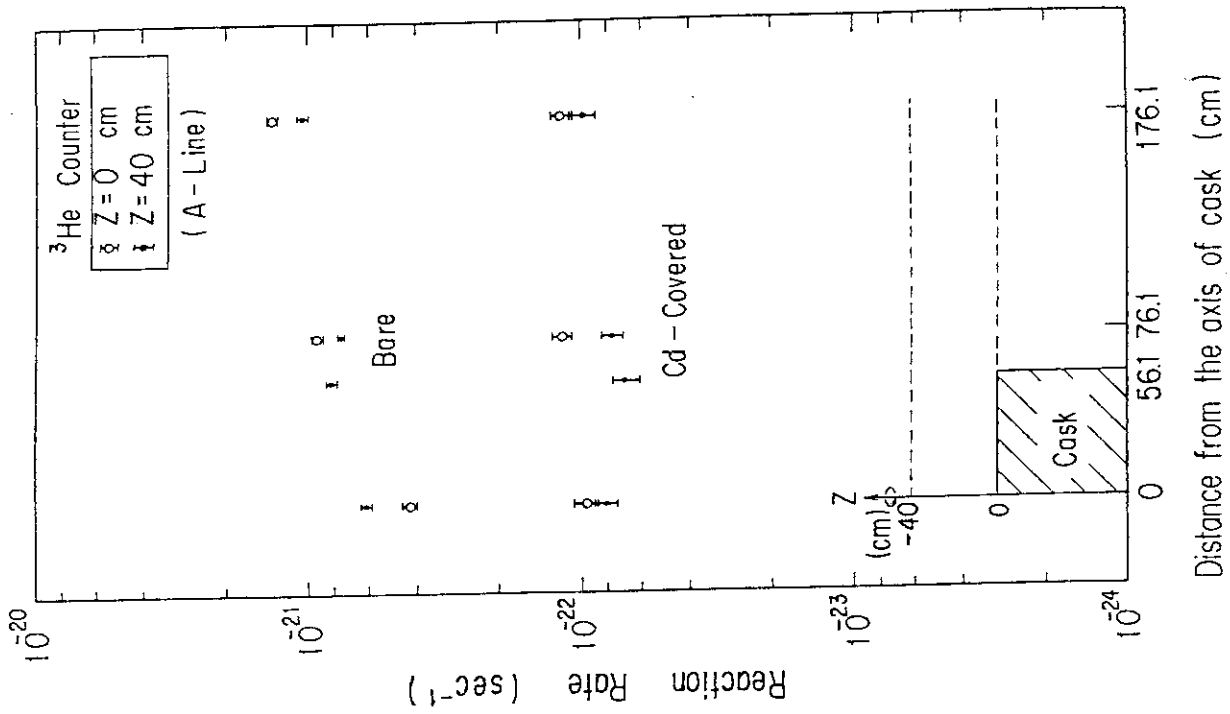


Fig. 35 Distributions of thermal and epithermal neutrons measured by ³He counter to radial direction to radial direction at Z=0 cm and -40 cm

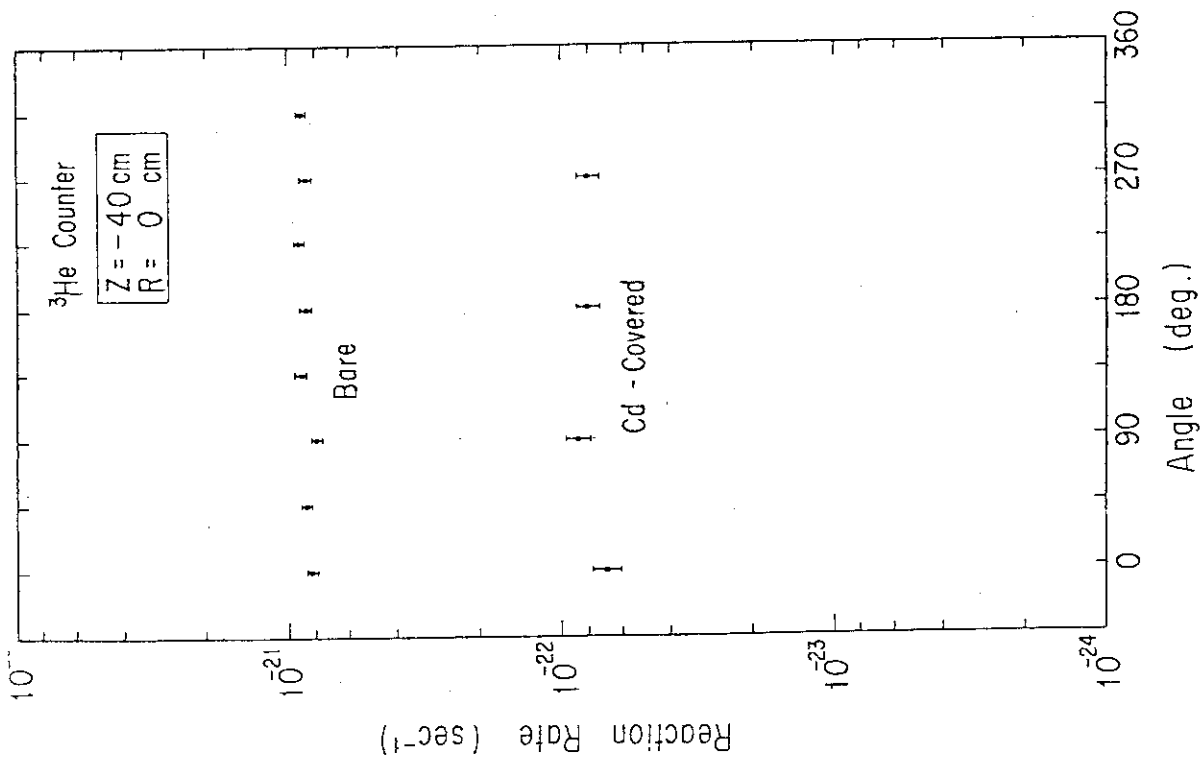


Fig. 34 Distribution of thermal and epithermal neutrons around the cask measured by ³He counter Z=-40 cm and R=0 cm

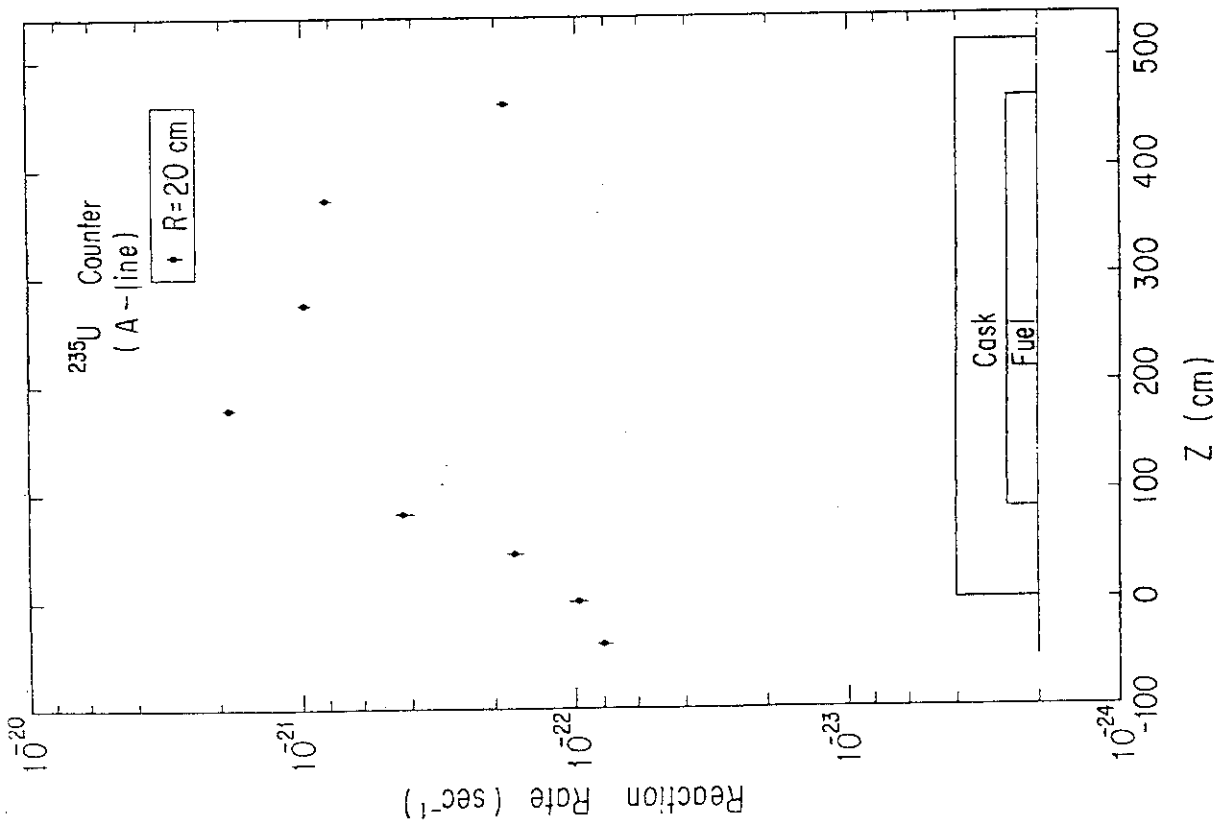


Fig. 36 Distribution of ²³⁵U(n,f) reaction rate along the A-line at R=20 cm

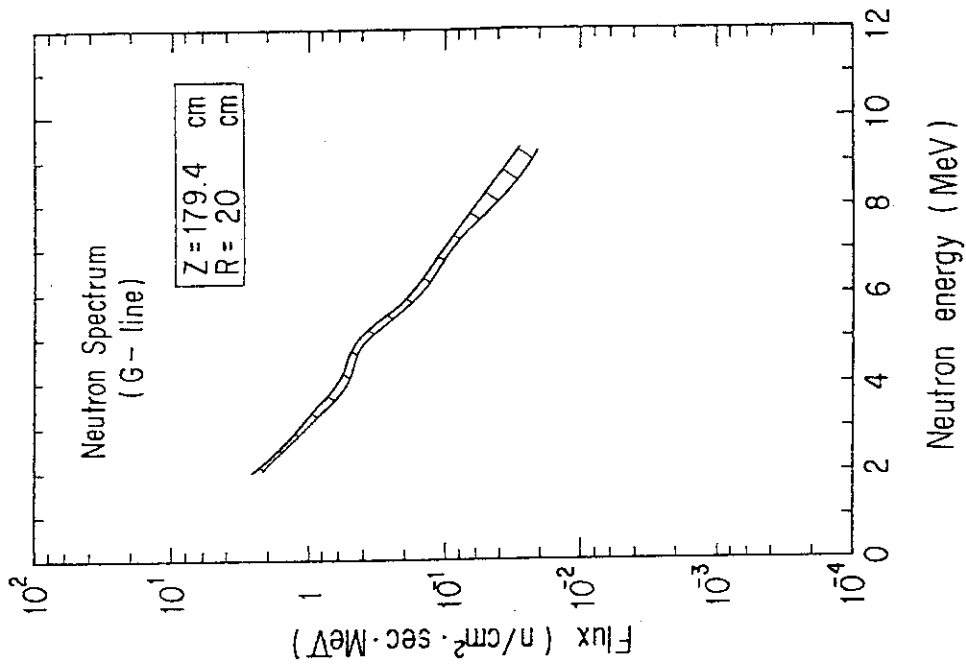


Fig. 37 Fast neutron energy spectrum on the G-line at Z=179.4 cm and R=20 cm

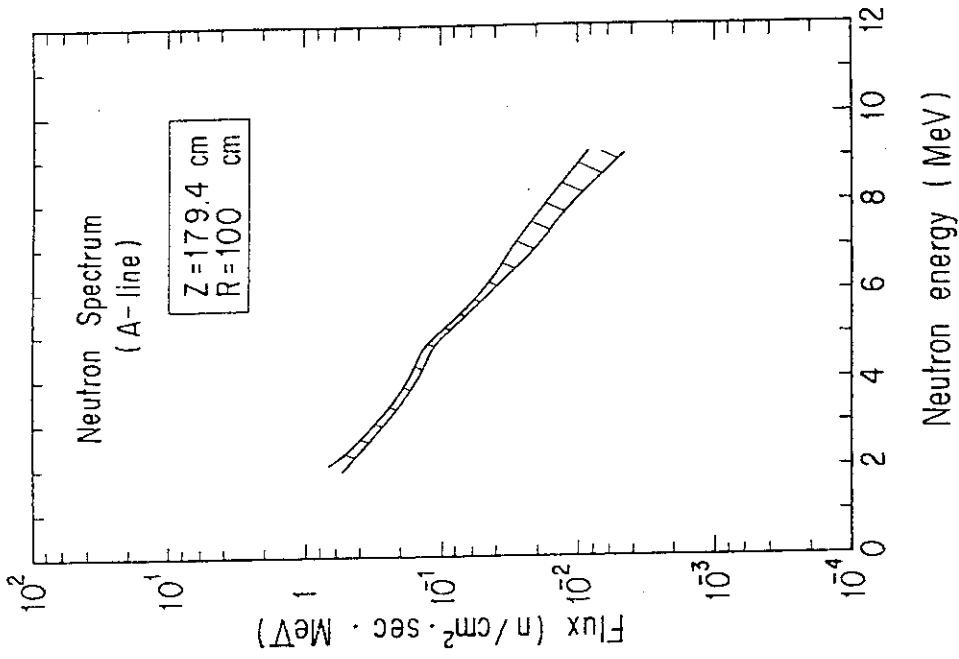


Fig. 39 Fast neutron energy spectrum on the A-line at Z=179.4 cm and R=100 cm

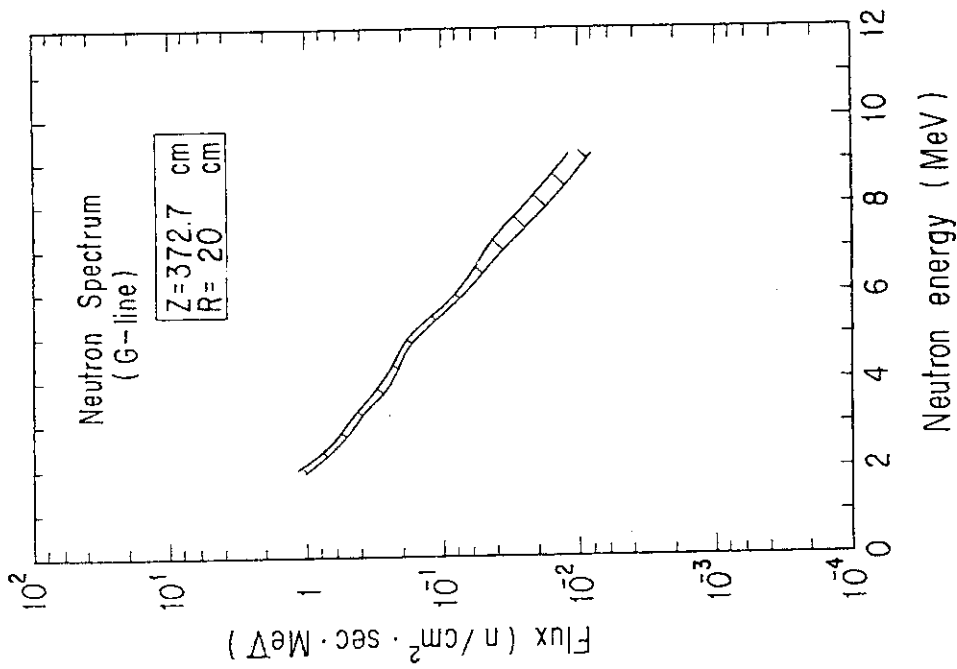


Fig. 38 Fast neutron energy spectrum on the G-line at Z=372.7 cm and R=20 cm

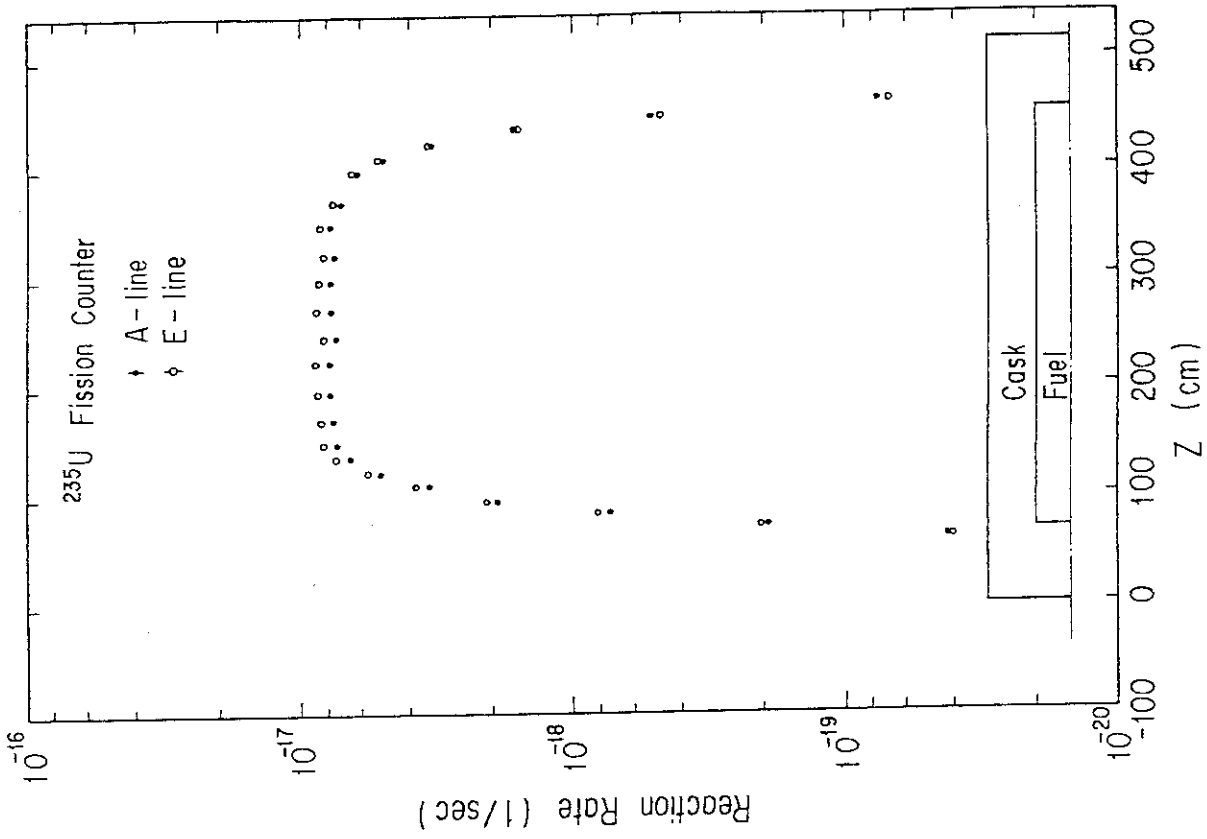


Fig. 41 Distributions of ²³⁵U (n, f) reaction rate along the A- and E-lines inside the cask

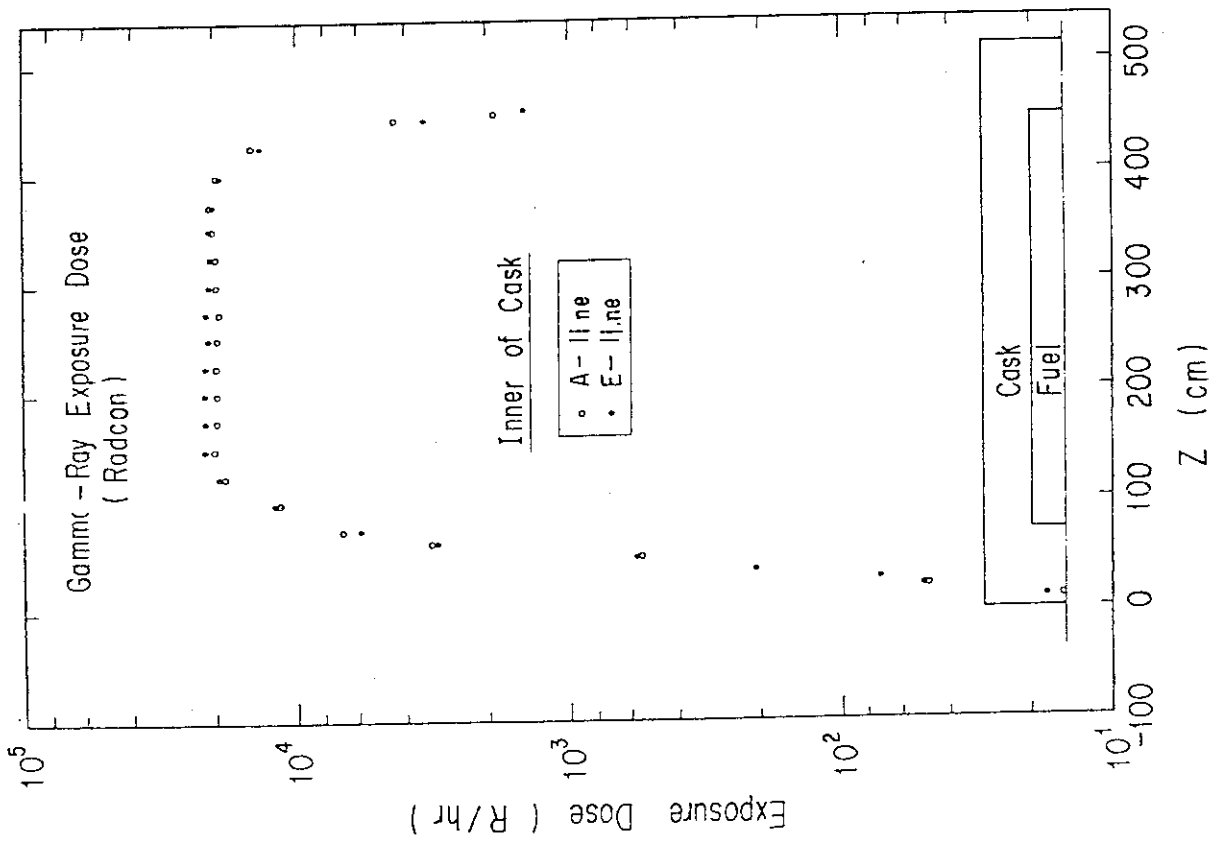


Fig. 40 Distributions of gamma-ray exposure dose along the A- and E-lines inside the cask

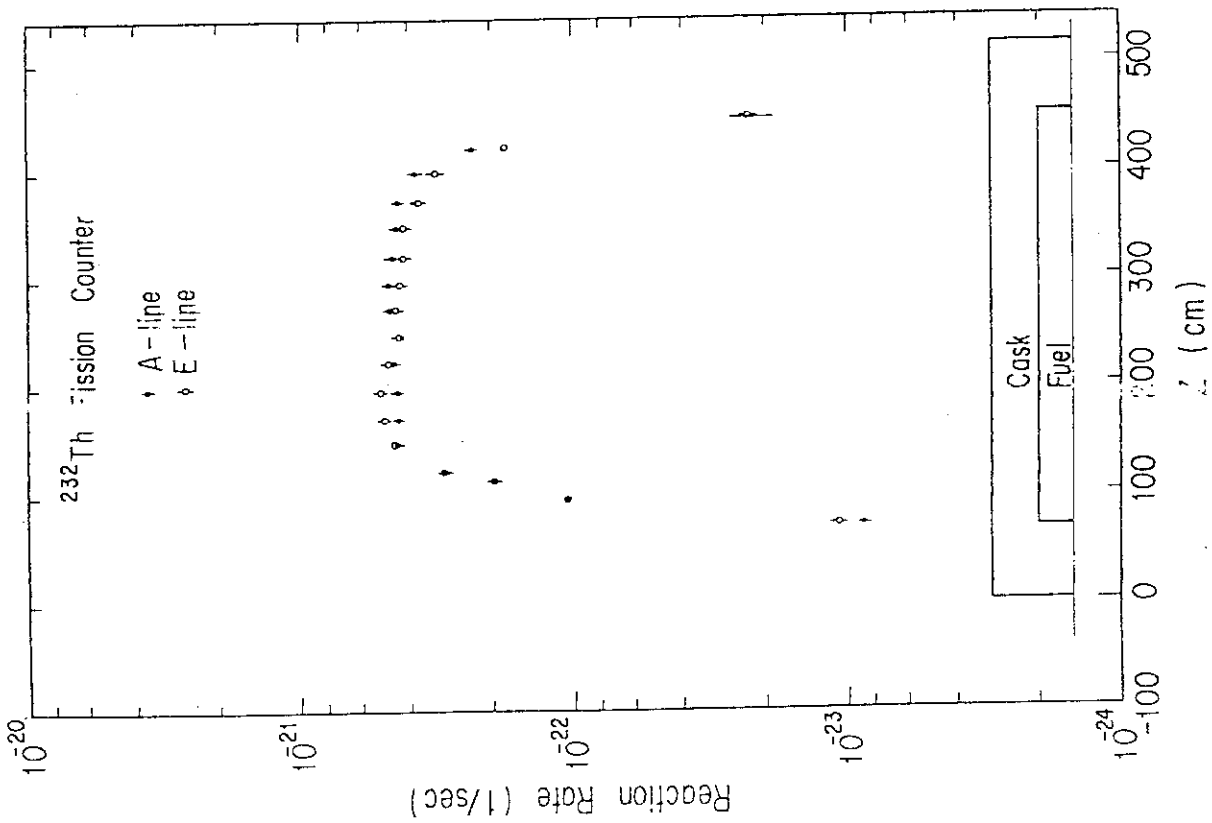


Fig. 42 Distributions of ²³²Th (n, f) reaction rate along the A- and E-lines inside the cask

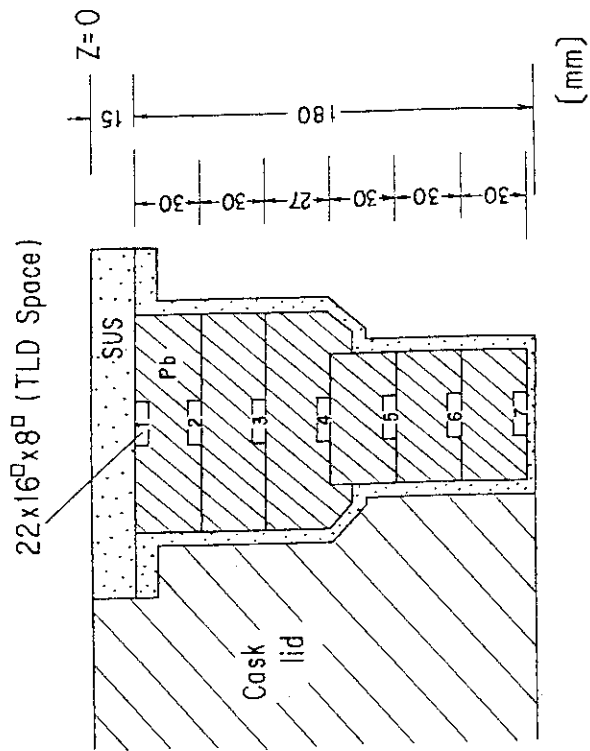


Fig. 43 Cross sectional view of the Pb-plug set to the cask lid

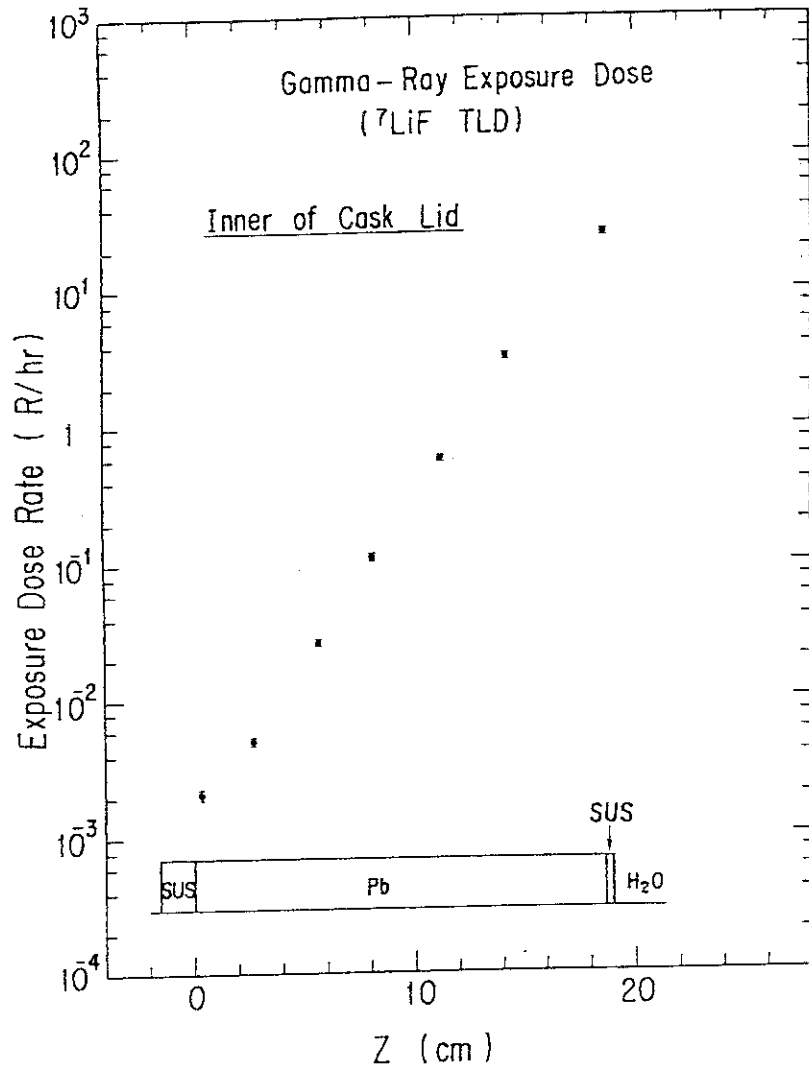


Fig.44 Gamma-ray exposure dose distribution in the cask lid

付 録 実験解析のための、輸送キャスクおよび燃料集 合体のモデル化、および各領域の原子密度

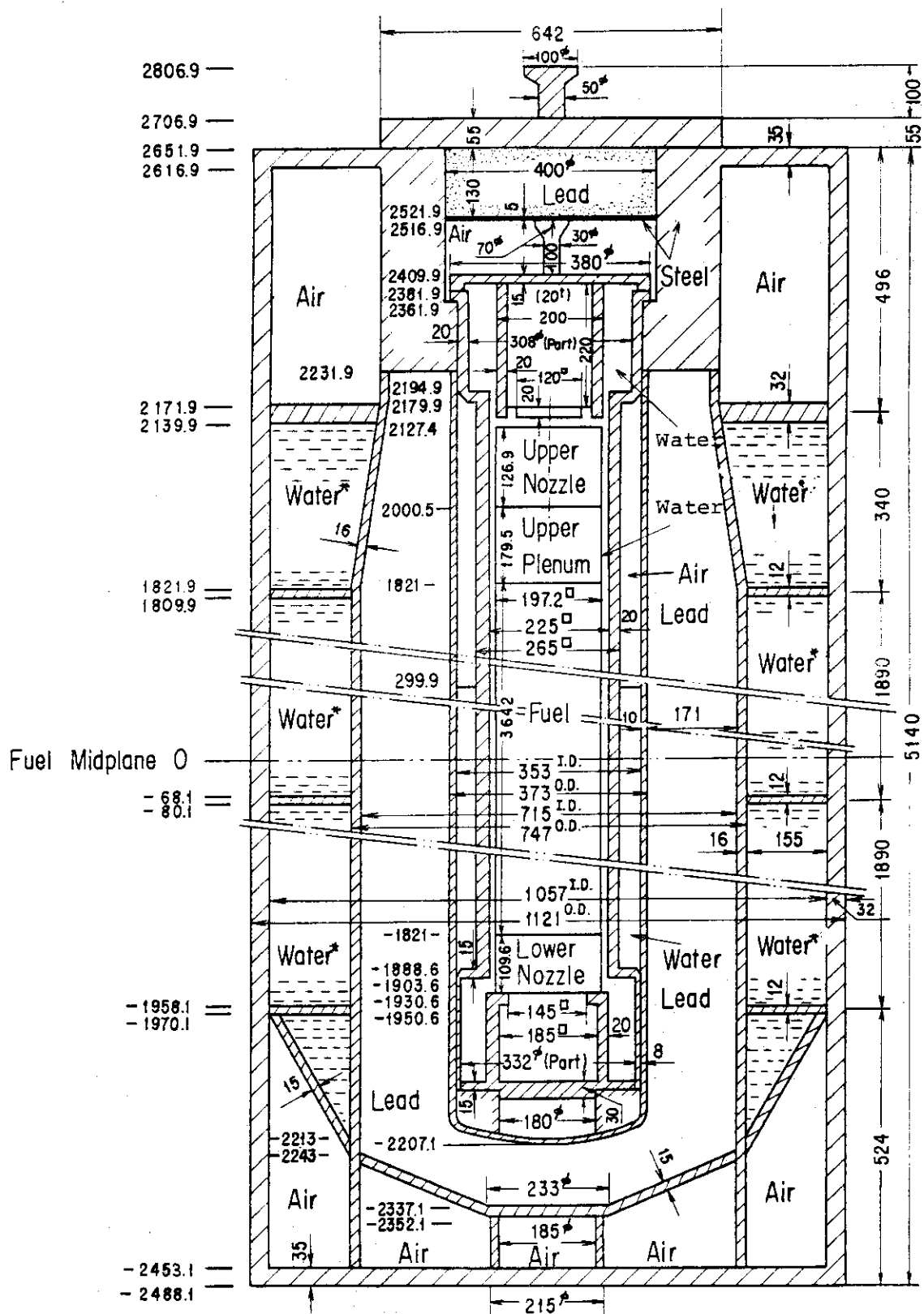
本実験に用いた輸送キャスクおよび燃料集合体は、複雑な3次元形状をしている。このため、遮蔽安全解析コードによる解析にあたっては、全体の実験体系について適当な形状のモデル化を必要とする。Fig. A-1は、本実験体系のモデル化の一例で、Table A-1は各領域の原子密度組成である。

Table A-1 Atomic densities of the structural materials of the transport cask and a PWR fuel assembly

Atomic Number Densities of Fuel Assembly and Cask Structures (1/barn·cm)

Nuclide	Upper		Lower		Steel	Lead	Water*	Air
	Fuel region ¹⁾	Nozzle	Upper Plenum	Lower Nozzle				
H	3.945×10^{-2}	5.010×10^{-2}	3.637×10^{-2}	4.890×10^{-2}			6.565×10^{-2}	
C			2.570×10^{-5}		3.173×10^{-4}		1.185×10^{-2}	
N								3.653×10^{-5}
O	3.408×10^{-2}	2.506×10^{-2}	1.820×10^{-2}	2.447×10^{-2}			2.690×10^{-2}	9.125×10^{-6}
Si		2.978×10^{-4}	1.466×10^{-4}	2.854×10^{-4}	1.741×10^{-3}			
Cr		3.343×10^{-3}	1.418×10^{-3}	3.482×10^{-3}	1.741×10^{-2}			
Mn		2.735×10^{-4}	1.405×10^{-4}	2.553×10^{-4}	1.734×10^{-3}			
Fe		9.568×10^{-3}	4.702×10^{-3}	9.195×10^{-3}	5.787×10^{-2}			
Ni		2.804×10^{-3}	6.570×10^{-4}	3.547×10^{-3}	8.112×10^{-3}			
Zr	4.366×10^{-3}	2.579×10^{-3}	4.255×10^{-3}	3.052×10^{-3}				
Mo		1.478×10^{-4}		2.280×10^{-4}				
Pb							3.296×10^{-2}	
²³⁵ U								
²³⁸ U								

Note; 1) The dimension is 197.2 x 197.2 x 3642 mm. Fuel, water and clad are contained in this region.



Water*: Mixture of H₂O and Ethylene-glycol Dimensions in mm

Fig.A-1 A model of the geometry of the experimental configuration

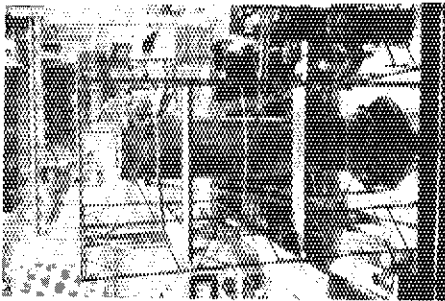


Photo.1 NH-25 spent fuel transport cask standing at the experimental area

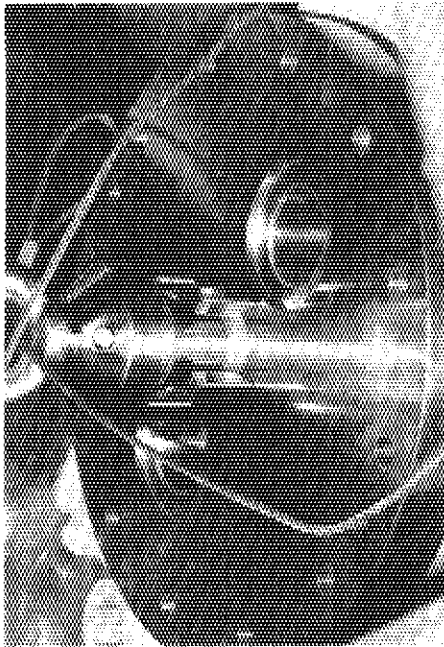


Photo.2 Cask lid of NH-25 cask with two measured holes for the present experiments

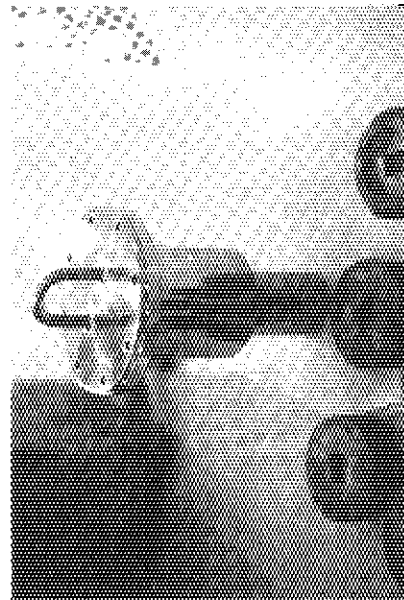


Photo.3 The Pb-plug set used for the gamma-ray dose measurements within the cask lid