

JAERI-M
9026

KENO-IVコードベンチマーク計算(4)
(硝酸ウラニル水溶液のスラブ・シリンダー体系)

1980年9月

片倉 純一・野村 靖・下桶 敬則・浅野 則雄*

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

KENO-IVコードベンチマーク計算(4)
(硝酸ウラニル水溶液のスラブ・シリンダー体系)

日本原子力研究所東海研究所安全解析部
片倉 純一・野村 靖・下桶 敬則・浅野 則雄*

(1980年7月28日受理)

原研で開発整備中の多群定数ライブラリーMGCLとモンテカルロ計算コードKENO-IVを用いた臨界計算の精度評価を行うため、現在多くの実験体系に対しベンチマーク計算を実施している。本報告書もその一部を成しており、計算対象として硝酸ウラニル水溶液を含むスラブとシリンダーの組合せによる臨界体系を取り上げている。

この体系は、シリンダー配列数や硝酸ウラニル水溶液の高さなどが臨界パラメーターとなっており、更にプレキングラス反射体付き体系と反射体無し体系に分けられる。実験は全部で128ケースに亘っており、すべてのケースを計算した。

反射体付き体系では、MGCLとKENO-IVコードによる計算はかなり良い実効増倍率($k_{eff} \sim 1.0$)を算出する。一方、反射体無しの体系では、 $k_{eff} \sim 0.91$ となり、臨界値よりも約10%低く算出される。このことは、中性子が減速中に体系から漏れ出る体系での計算には改善すべき余地があることを示している。

* 住友原子力工業㈱

KENO-IV Code Benchmark Calculation (4)

(Slab-Cylinder Critical Configuration
of Uranium Nitrate Solution)

Jun'ichi KATAKURA, Yasushi NOMURA,
Takanori SHIMOOKE and Norio ASANO*

Division of Reactor Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 28, 1980)

A series of benchmark tests has been undertaken in JAERI in order to examine the capability of JAERI's criticality safety evaluation system consisting of the Monte Carlo calculation code KENO-IV and the newly developed multi-group constants library MGCL. The present paper describes the results of a test using criticality experiments about slab-cylinder system of uranium nitrate solution.

In all, 128 cases of experiments have been calculated for the slab-cylinder configuration with and without plexiglass reflector, having the various critical parameters such as the number of cylinders and height of the uranium nitrate solution.

It is shown among several important results that the code and library gives a fairly good multiplication factor, that is, $k_{\text{eff}} \sim 1.0$ for heavily reflected cases, whereas $k_{\text{eff}} \sim 0.91$ for the unreflected ones. This suggests the necessity of more advanced treatment of the criticality calculation for the system where neutrons can easily leak out during slowing down process.

Keywords: Criticality Safety Analysis, Uranium Nitrate Solution,
Slab-Cylinder Critical Configuration, KENO-IV Monte Carlo
Code, MGCL Multigroup Constant Library, Benchmark Calculation

* Sumitomo Atomic Energy Ind., Ltd.

目 次

1. はじめに.....	1
2. 実験体系と実験データ	1
3. 計算手法と計算モデル	3
3.1 計算手法	3
3.2 体系の計算モデル	4
4. 計算結果.....	6
5. 考察	8
5.1 反射体が付いていない体系	8
5.2 反射体付きの体系	9
5.3 実効増倍率と漏れ量および四因子	10
6. 結論	11
参考文献	12

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Experimental System and Data	1
3. Calculational Method and the Model	3
3.1 Calculational Method	3
3.2 Calculational Model for the System	4
4. Calculated Results	6
5. Consideration	8
5.1 Unreflected System	8
5.2 Reflected System	9
5.3 Multiplication Factor, Leakage and Four- Factor Formula	10
6. Conclusion	11
References	12

1. はじめに

原研で開発整備中の臨界安全証価コードシステムのうち、多群定数ライブラリーMGOL²⁾とモンテカルロ計算コードKENO-IV³⁾の組合せによる臨界計算の精度評価を行うため、現在多くの実験体系に対してベンチマーク計算を実施しており、本報告もその一部を成している。

本報告で取り上げたのは、G. Tuck and H. E. Clark¹⁾が行った臨界実験のデータである。この実験は硝酸ウラニル水溶液(9.3.2wt% ²³⁵U)を満たした1個のスラブ状タンクと数本のシリンダーを組合せて臨界とした体系である。このような体系が実際に現われる例としては、再処理工場内施設において、床排水管のある場合、円筒容器群から床上にウラニウム溶液が漏れる場合、溶媒抽出系で溶液を下方のタンクに落す場合などが上げられる。

実験はコンクリート壁を有する実験室内で行なわれ、プレキシグラス反射体を付けた実験と、この反射体を付けない実験とに大別される。臨界データは、シリンダー本数や反射体の厚さを変化させた時に臨界となるスラブタンクおよびシリンダー内の硝酸ウラニル水溶液のレベルを測定することにより得られ、全部で128ケース報告されている。

本報告の構成は以下の通りである。第2章で実験体系およびデータについて述べ、第3章で使用計算コード、同データライブラリーおよび計算モデルについて記述する。また、第4章では計算結果を報告し、第5章で結果についての考察を述べる。最後に第6章で若干のまとめを行う。

なお、この報告書で使用した図・表のうち、Fig.1, Fig.3, Table 1~Table 6, Table 18は参考文献1より引用したものである。

2. 実験体系と実験データ

実験体系はSUS316のスラブ状タンクおよびシリンダー群、それにプレキシグラス[methyl-methacrylate, $\text{CH}_2:\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}(\text{CH}_3)$]製の反射体から成り、スラブ状タンクとシリンダーには硝酸ウラニル[$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$]水溶液が入っている。ウラニウムは²³⁵Uが9.3.2wt%に濃縮されたものが用いられた。実験は反射体付きと反射体無しの体系で行なわれているが、反射体付き実験体系の1例をFig.1に示す。シリンダーはスラブ状タンクの底から垂直に立てられ、2枚の軟鋼製の板で支えられている。この板は1辺が152cmの正方形で厚さは0.159cmである。また、この板は軽質量の枠で固定され、スラブ状タンクの底から36cmおよび95cm上方に位置している。なお、軽質量の枠の形状、寸法、組成は与えられていない。

スラブ状タンクの形状および寸法は、内側が1辺120.7cmの正方形で、高さが20.3cmである。また、壁厚は0.15cmであり、底の厚さは0.635cmである。このタンクは、6

1. はじめに

原研で開発整備中の臨界安全証価コードシステムのうち、多群定数ライブラリーMGCL²⁾とモンテカルロ計算コードKENO-IV³⁾の組合せによる臨界計算の精度評価を行うため、現在多くの実験体系に対してベンチマーク計算を実施しており、本報告もその一部を成している。

本報告で取り上げたのは、G. Tuck and H. E. Clark¹⁾が行った臨界実験のデータである。この実験は硝酸ウラニル水溶液（9.3.2wt% ²³⁵U）を満たした1個のスラブ状タンクと数本のシリンダーを組合せて臨界とした体系である。このような体系が実際に現われる例としては、再処理工場内施設において、床排水管のある場合、円筒容器群から床上にウラニウム溶液が漏れる場合、溶媒抽出系で溶液を下方のタンクに落す場合などが上げられる。

実験はコンクリート壁を有する実験室内で行なわれ、プレキシグラス反射体を付けた実験と、この反射体を付けない実験とに大別される。臨界データは、シリンダー本数や反射体の厚さを変化させた時に臨界となるスラブタンクおよびシリンダー内の硝酸ウラニル水溶液のレベルを測定することにより得られ、全部で128ケース報告されている。

本報告の構成は以下の通りである。第2章で実験体系およびデータについて述べ、第3章で使用計算コード、同データライブラリーおよび計算モデルについて記述する。また、第4章では計算結果を報告し、第5章で結果についての考察を述べる。最後に第6章で若干のまとめを行う。

なお、この報告書で使用了図・表のうち、Fig.1, Fig.3, Table 1~Table 6, Table 18は参考文献1より引用したものである。

2. 実験体系と実験データ

実験体系はSUS316のスラブ状タンクおよびシリンダー群、それにプレキシグラス[methyl-methacrylate, $\text{CH}_2:\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}(\text{CH}_3)$]製の反射体から成り、スラブ状タンクとシリンダーには硝酸ウラニル [$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$]水溶液が入っている。ウラニウムは²³⁵Uが9.3.2wt%に濃縮されたものが用いられた。実験は反射体付きと反射体無しの体系で行なわれているが、反射体付き実験体系の1例をFig.1に示す。シリンダーはスラブ状タンクの底から垂直に立てられ、2枚の軟鋼製の板で支えられている。この板は1辺が15.2cmの正方形で厚さは0.159cmである。また、この板は軽質量の枠で固定され、スラブ状タンクの底から3.6cmおよび9.5cm上方に位置している。なお、軽質量の枠の形状、寸法、組成は与えられていない。

スラブ状タンクの形状および寸法は、内側が1辺12.07cmの正方形で、高さが20.3cmである。また、壁厚は0.15cmであり、底の厚さは0.635cmである。このタンクは、6

本の軟鋼製のパイプ（直径15 cm，高さ32 cm，肉厚0.6 cm）で支えられている。ただし、この6本のパイプの配置は与えられておらず、不明である。これらのパイプは、1辺152 cmの正方形で厚さ1.9 cmの軟鋼製テーブル上に置かれている。このテーブル表面はコンクリート床から137 cm上方に位置している。この実験体系と最近接コンクリート壁との距離は3 m以上である。

なお、シリンダー内に溶液を満したり、排水したりするためのホースは、スラブタンク内の溶液中に沈められているが、寸法や配置などは与えられていない。予備実験では、これらのホースの反応度に与える影響やタンク内の残留物などの反応度に与える影響を調べているが、それらの影響は殆んど無視できると報告されており、本計算では無視している。なお、予備実験データも今回の計算ケースには含めてある。

実験に用いられたシリンダーの内径、肉厚、長さをTable 1に示す。これらのシリンダーはスラブタンク内に、1本、4本、9本、16本と正方配列状に並べられるが、各ケースでのシリンダー中心間の距離は外側のシリンダー中心と、スラブタンク内壁との距離の2倍になるように取られる。すなわち、シリンダー中心間の距離は、それぞれシリンダー本数が1本、4本、9本、16本の場合に対し、約120.6 cm，約60.4 cm，約40.2 cm，約30.2 cmである。

硝酸ウラニル水溶液は、水の蒸発により濃度が変化する。各実験ケースには、その実験を行った時点での硝酸ウラニル水溶液の濃度が示されているが、これから水素の原子数密度を求めるために必要な $H/^{235}U$ 原子数比は、各実験ケースごとには示されていない。 $H/^{235}U$ 原子数比は、実験の始めと、最小反射条件での実験の終り、それに全体の実験の終りの3点で測定されているのみである。したがって、各実験ケースでの $H/^{235}U$ 原子数比は濃度に比例して変化するとして、上記の各点でのデータから内挿して求めた値を計算に使用した。この手法による誤差は最大1.5%程度と見積られる。Fig. 2に $H/^{235}U$ 原子数比と濃度の関係を図示する。

実験上の誤差は、スラブタンク内の溶液の厚さに対しては、直径1.0 cmのシリンダーを用いた時±0.3 cmであり、他のシリンダーを用いた時±0.2 cmと報告されている。一方、シリンダー内の溶液の高さに関しては、直径1.0 cm，1.36 cm，1.63 cm，2.13 cmのシリンダーを用いた時±3.0 cmで、直径2.13 cmのシリンダー1本のみを使った実験では±5.0 cm，直径2.24 cm，2.29 cm，2.34 cm，2.39 cmのシリンダー1本のみを使った実験では±2.0 cmであると報告されている。このように、シリンダー内の溶液の高さに対する誤差は、スラブタンク内の溶液の厚さに対する誤差より1桁ほど大きい。ここでの誤差は標準偏差の2倍の信頼度を示している。

実験は、(1) 予備実験（タンク内の溶液注入用のホースや残留物の反応度に与える摂動効果を調べた。シリーズNo 1～10），(2) 最小反射条件での実験（プレキシグラス反射体を付けない。シリーズNo 11～80），(3) シリンダーをスラブ上に配置しての実験（スラブ溶液中にシリンダーを入れない。シリーズNo 81～89），(4) 反射条件での実験（プレキシグラス反射体を付ける。シリーズNo 90～121），(5) 硝酸ウラニルを含む溶液ビンを4×4シリンダー配列の中心付近に置いての実験（シリーズNo 128），とに分類される。(1)～(5)までの臨界条件を、Table 3～Table 7までに示す。(5)の実験におけるシリンダー配列の中心付近を

Fig. 3に示す。

なお、この実験レポートには16群Hansen-Roach断面積セットを用いたKENOコードによる解析計算を6ケースに対し行ったことが報告されている (Table 8参照, シリーズNo 122~127)。これらの解析ケースのうち, シリンダー本数が4本~16本のケースには, 対応する実験データがTable 4にあるが, 0本 (スラブタンクのみ) の体系) および1本のケースについてはTable 3~Table 7までの実験データには含まれていない。これらのケースについてはTable 8に示された条件で計算を行った。

計算する際に用いた各物質の組成あるいは原子数密度をTable 9とTable 10に示す。Table 9には, 硝酸ウランの各濃度での各元素の原子数密度を掲げ, Table 10には, SUS316と軟鋼の物質組成およびプレキシガラスの原子数密度を示す。

3. 計算手法と計算モデル

3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コードKENO-M³⁾により行なう。モンテカルロ法は, 階差近似法やSn法とは異なり, 複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点を持っている。KENO-Mは多群定数を用いるモンテカルロ計算コードであり, Hansen-Roach 16群核断面積データセット⁴⁾を使用しての計算がこれまで多く報告されている。今回の計算には原研で開発整備中の多群定数ライブラリーMGCL²⁾を用いた。MGCLはENDF/B-M⁵⁾の中性子核データをRESEND-D⁶⁾, SUPERTOG⁷⁾, PIXSE⁸⁾等で処理して作成した多群定数でありマスターライブラリーは137群である。MGCLの多群定数はABBNセットやJAERI-FAST-SETと同様に中性子遮蔽因子 $f(\sigma_0^j, T)$ と無限希釈断面積 σ_∞^j による表現方式で与えられている。また, 標準スペクトルも内蔵しており, このスペクトルを用いて他の任意の群数を持つ群定数へ縮約することも可能である。ただし, この標準スペクトルは核分裂スペクトル, $1/E$, およびマックスウェル分布を用いて作成されたものである。

今回の計算は上記マスターライブラリーから標準スペクトルで縮約した26群の多群定数を用いている。しかし, 比較のため137群のライブラリーを使用した計算も実施した。

137群と26群のエネルギー群構造をTable 11に示す。

KENO-Mコードによる計算は, 上記のMGCLライブラリーから作成する巨視的実効断面積セットを用いて行なう。この巨視的実効断面積セットは処理コードMAILにより作成される。MAILでは, 計算対象の各領域の核種個数密度と幾何形状を入力データとして下記の式より巨視的実効断面積 Σ_{eff}^j を求める。

$$\sigma_{eff}^j = \sigma_\infty^j \cdot f(\sigma_0^j, T)$$

Fig. 3に示す。

なお、この実験レポートには16群Hansen-Roach断面積セットを用いたKENOコードによる解析計算を6ケースに対し行ったことが報告されている (Table 8参照, シリーズNo 122~127)。これらの解析ケースのうち, シリンダー本数が4本~16本のケースには, 対応する実験データがTable 4にあるが, 0本 (スラブタンクのみ) の体系) および1本のケースについてはTable 3~Table 7までの実験データには含まれていない。これらのケースについてはTable 8に示された条件で計算を行った。

計算する際に用いた各物質の組成あるいは原子数密度をTable 9とTable 10に示す。Table 9には, 硝酸ウラニルの各濃度での各元素の原子数密度を掲げ, Table 10には, SUS316と軟鋼の物質組成およびプレキシガラスの原子数密度を示す。

3. 計算手法と計算モデル

3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コードKENO-N³⁾により行なう。モンテカルロ法は, 階差近似法やSn法とは異なり, 複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点を持っている。KENO-Nは多群定数を用いるモンテカルロ計算コードであり, Hansen-Roach 16群核断面積データセット⁴⁾を使用しての計算がこれまで多く報告されている。今回の計算には原研で開発整備中の多群定数ライブラリーMGCL²⁾を用いた。MGCLはENDF/B-N⁵⁾の中性子核データをRESEND-D⁶⁾, SUPERTOG⁷⁾, PIXSE⁸⁾等で処理して作成した多群定数でありマスターライブラリーは137群である。MGCLの多群定数はABBNセットやJAERI-FAST-SETと同様に中性子遮蔽因子 $f(\sigma_0^j, T)$ と無限希釈断面積 σ_∞^j による表現方式で与えられている。また, 標準スペクトルも内蔵しており, このスペクトルを用いて他の任意の群数を持つ群定数へ縮約することも可能である。ただし, この標準スペクトルは核分裂スペクトル, $1/E$, およびマックスウェル分布を用いて作成されたものである。

今回の計算は上記マスターライブラリーから標準スペクトルで縮約した26群の多群定数を用いている。しかし, 比較のため137群のライブラリーを使用した計算も実施した。

137群と26群のエネルギー群構造をTable 11に示す。

KENO-Nコードによる計算は, 上記のMGCLライブラリーから作成する巨視的実効断面積セットを用いて行なう。この巨視的実効断面積セットは処理コードMAILにより作成される。MAILでは, 計算対象の各領域の核種個数密度と幾何形状を入力データとして下記の式より巨視的実効断面積 Σ_{eff}^j を求める。

$$\sigma_{eff}^j = \sigma_\infty^j \cdot f(\sigma_0^j, T)$$

$$\sigma_0^j = \frac{1}{N^j} \left(\sum_{i \neq j} N^i \sigma_t^i + \frac{a G}{\ell} \right)$$

$$\Sigma_{eff} = \sum_j N^j \sigma_{eff}^j$$

ここで、

ℓ : 燃料ブロックの平均弦長

G : ダンコフ補正因子

a : ベル補正因子

i, j : 核種を示す添字

計算の流れを Fig. 4 に示す。

M G C L 中の散乱マトリックスは、高速群については SUPERTO G⁷⁾ で、熱群については FLANGE¹¹⁾ または PIXSE⁸⁾ で求められており、中性子散乱の角度依存性は散乱断面積をルジャンドル展開したときの P_0 成分まで考慮されている。MAIL コードでは上記の巨視的断面積の 1 次元データと散乱マトリックスデータを KENO-IV 用ライブラリーに編集している。KENO-IV の中では方向余弦を散乱断面積の P_0 成分と P_1 成分から求めている。

以上述べたごとく、我々の手法では KENO-IV 用のデータ・セットは各計算ケースごとに作成する必要がある。オリジナルの KENO-IV 計算では、KENO-IV 用のデータ・セット（例えば、Hansen-Roach 断面積セット）は各計算ケースで共通に使い、各元素の ID 番号と個数密度を入力し、計算コード内で巨視的断面積を作成する。ただし、中性子の自己遮蔽効果はポテンシャル断面積で取り入れるため、使用者は前もってポテンシャル断面積を計算し、このポテンシャル断面積に対応する微視的断面積を選択し使用することが必要となる。また、非均質効果の計算もコード内では行なわれないので、非均質効果を考慮する必要がある場合には、あらかじめ計算し、ポテンシャル断面積に取り入れるようにしなければならない。

今回の我々の計算では、前に述べたように非均質効果は MAIL コードの処理段階で考慮されており、また、バックグラウンド断面積 σ_0 についてはコードの中で繰返し法により計算され、対応する実効断面積は内挿法で求められる。

3.2 体系の計算モデル

KENO-IV では、3 次元体系の計算用に基本的な形状（例えば、正方体、直方体、シリンダーなど）についてはオプションとして用意されており簡単に入力することが可能である。上記の基本的な形状では記述しきれない体系では、一般形状オプションを用いて入力する。今回の計算では、基本形状で入力を作成することとし、基本形状では記述し得ない体系（No 128 のみ）を一般形状で入力することにした。

次に、体系の計算モデルを、第 2 章の実験体系の所で述べた分類に従って記述する。

(1) 予備実験 (No 1 ~ 10)

この実験は、いわば予備実験であり、スラブ・タンク内の残留物やシリンダー内に溶液を注入したり排水したりするためのホース、それに、水溶液の濃度変化による臨界水位への影響を

調べた実験である。この実験の測定結果は、Table 3に既に示したようにスラブ体系の臨界水位は12.7～13.0 cmで、残留物やホースの影響はほとんど無視出来ることが報告されている。今回の計算においても、残留物やホースについては組成や配置が不明でもあり計算は行っていない。また、No 2はNo 1と同一体系と考えられる。したがって、Table 3に示した実験ケース10ケースのうち、No 2, No 3, No 5, No 6, No 9は計算から除いてある。

計算に用いたモデル化した体系をFig.5, Fig.6に示す。Fig.5は反射体の無い体系であり、Fig.6は反射体付きのNo 10の体系である。

(2) 最小反射条件での実験 (No 11～80)

この実験は実験体系に反射体を設けないで行なわれたが、実験室内の床や壁などによる反射は避けることが出来ず考慮しなければならない。しかしながら、後の計算結果の章で述べるように、床や壁の影響を調べた結果によると実効増倍率の変化はKENO-IV計算の標準偏差 σ の2倍、すなわち 2σ 以内に入ることが確認された。本計算には実験架台のみを取り入れることとした。また、体系外との境界での境界条件は、境界に達した中性子は全て漏れ出るものとして計算を行った。

モデル化されたスラブとシリンダー正方形配列を組合せた体系（シリンダー本数：1本、 2×2 本、 3×3 本、 4×4 本）の例をFig.7, Fig.8, Fig.9, Fig.10に示す。

この実験体系の実験ケースはTable 4に示すように全部で70ケース報告されている。

(8) シリンダーをスラブ上に浮した配置での実験 (No 81～89)

前述の最小反射条件での 4×4 正方形配列のシリンダーをスラブ底面から14.1 cmと28.2 cmの高さに吊り上げた状態で、スラブ・タンク内あるいはシリンダー内の溶液の高さを変えて臨界に近づけている実験である。この体系での実験ケースはTable 5にあるようにNo 81～No 89までの9ケースである。このうちNo 81～No 84までの4ケースは、スラブ底面からシリンダーの底面までの距離が14.1 cmの体系であり、残りのケースが28.2 cmの体系である。ただし、No 89に関しては、Table 5に見られるようにスラブ溶液面とシリンダー底面との距離が28.2 cmで、スラブの厚さが12.4 cmとなっているが、これらの値は、スラブ底面からシリンダーの底面までの距離を28.2 cmに固定したと矛盾することから考えると、スラブ溶液面とシリンダー底面との距離は28.2 cmではなく、15.8 cm ($28.2 \text{ cm} - 12.4 \text{ cm}$)とするのが妥当と思われる。本計算では15.8 cmを採用した。

これらのモデル化された体系の例をFig.11に示す。

(4) 反射条件での実験 (No 90～121)

この実験はスラブ・タンクとシリンダー群をプレキシグラス反射体で囲って行っている。反射体の厚さは、Table 6から分かるように、最大10.2 cmである。この体系の実験ケースは、No 90～No 121までの32ケースである。このうち、No 118～No 121までの4ケースは反射体がなく、(2)の最小反射条件における実験のNo 25～No 28までの4ケースとまったく同一な体系である。

計算は、最小反射条件での実験の計算と同様に、実験架台のみを考慮し、シリンダー支持用のマイルド・スチールや実験室の壁・天井などは無視した。しかし、この体系は反射体で囲ま

れているため、周辺部等からの影響は、最小反射条件の実験の場合より少ないと思われる。事実、シリンダー支持用のマイルド・スチールを計算に入れても実効増倍率にはほとんど影響がなく、その差は0.5%以下である。この反射体付きの体系の計算モデルを図示したものが、Fig.12とFig.13である。Fig.12は、シリンダー配列が 3×3 で、厚さ1.02 cmの反射体の付いた体系を示している。Fig.13は、シリンダー配列が 4×4 の体系を示している。反射体の厚さは、Fig.12と同様1.02 cmである。

(5) 硝酸ウラニル水溶液を含む溶液ビンをシリンダー配列の中心に置いた実験 (No 128)

この実験体系は、 4×4 のシリンダー配列の中心付近に、2個の2リッター入り溶液ビンをつけたもので、中心付近の配置はFig.3のようになっている。また、外側は1.02 cmのプレキシングラス反射体で囲まれている。この実験は、未臨界状態にある配列系の間を、核分裂性物質を含んだ容器が通過する場合の臨界性を模擬している。

この体系を計算するには、他の体系の様に基本形状の組合せで体系を記述するのが不可能であり、一般形状で体系を記述することが必要である。したがって、この体系のみは一般形状を用いて計算を行った。

臨界条件はTable 7に示してある。

(6) その他 (No 122 ~ 127)

報告されている実験ケースは以上であるが、実験者によって16群のHansen-Roach核断面積セットを用いたKENOコードによる計算がTable 8に示した6ケースについて報告されている。このうちの2ケース (No 122とNo 123) については、対応する実験のデータが報告されていないため、ここではTable 8に示す条件で計算を行って彼等の計算結果と比較した。ただし、計算はこれまでと同様に実験架台までを考慮して行った。

なお、KENO-IV計算における中性子数等の条件は全ての計算ケースについて以下のとおりである。

1世代当りの中性子数 : 300
 世代数 : 103
 スキップ世代数 : 3
 初期中性子発生分布 : 一様分布
 中性子の平均重み : 全領域で0.5

4. 計算結果

KENO-IVコードおよびMGCL核断面積ライブラリーを用いた計算結果をTable 12 ~ Table 17までに示す。Table 12に示したのは、予備実験に対応する10ケースの計算結果である。No 2はNo 1と同一の体系と考えられるため計算は行っていない。また、No 3, No 5, No 6, No 9については、先に述べたようにホース類や残留物の組成などが不明であるため、計算は行なわなかった。No 1 ~ No 9は反射体の無い最小反射条件の体系についての結果であり、

れているため、周辺部等からの影響は、最小反射条件の実験の場合より少ないと思われる。事実、シリンダー支持用のマイルド・スチールを計算に入れても実効増倍率にはほとんど影響がなく、その差は0.5%以下である。この反射体付きの体系の計算モデルを図示したものが、Fig.12とFig.13である。Fig.12は、シリンダー配列が 3×3 で、厚さ10.2 cmの反射体の付いた体系を示している。Fig.13は、シリンダー配列が 4×4 の体系を示している。反射体の厚さは、Fig.12と同様10.2 cmである。

(5) 硝酸ウラニル水溶液を含む溶液ビンをシリンダー配列の中心に置いた実験 (No 128)

この実験体系は、 4×4 のシリンダー配列の中心付近に、2個の2リッター入り溶液ビンを付けたもので、中心付近の配置はFig.3の様になっている。また、外側は10.2 cmのプレキシングラス反射体で囲まれている。この実験は、未臨界状態にある配列系の間を、核分裂性物質を含んだ容器が通過する場合の臨界性を模擬している。

この体系を計算するには、他の体系の様に基本形状の組合せで体系を記述するのが不可能であり、一般形状で体系を記述することが必要である。したがって、この体系のみは一般形状を用いて計算を行った。

臨界条件はTable 7に示してある。

(6) その他 (No 122 ~ 127)

報告されている実験ケースは以上であるが、実験者によって16群のHansen-Roach核断面積セットを用いたKENOコードによる計算がTable 8に示した6ケースについて報告されている。このうちの2ケース (No 122とNo 123) については、対応する実験のデータが報告されていないため、ここではTable 8に示す条件で計算を行って彼等の計算結果と比較した。ただし、計算はこれまでと同様に実験架台までを考慮して行った。

なお、KENO-IV計算における中性子数等の条件は全ての計算ケースについて以下のとおりである。

1世代当りの中性子数 : 300
 世代数 : 103
 スキップ世代数 : 3
 初期中性子発生分布 : 一様分布
 中性子の平均重み : 全領域で0.5

4. 計算結果

KENO-IVコードおよびMGCL核断面積ライブラリーを用いた計算結果をTable 12 ~ Table 17までに示す。Table 12に示したのは、予備実験に対応する10ケースの計算結果である。No 2はNo 1と同一の体系と考えられるため計算は行っていない。また、No 3, No 5, No 6, No 9については、先に述べたようにホース類や残留物の組成などが不明であるため、計算は行なわなかった。No 1 ~ No 9は反射体の無い最小反射条件の体系についての結果であり、

実効増倍率の計算値は0.9前後で、これらの平均値は 0.9047 ± 0.0054 である。この値は臨界値1.0より約10%も低い。一方、No 10はプレキシグラス反射体の付いた体系であり、この体系の実効増倍率の計算値は、 0.98356 ± 0.00564 と反射体の無い体系の計算値よりも1.0に近い値となっている。

Table 13には、No 11～No 80までの70ケースについての実効増倍率の計算値を示す。これらの体系にも反射体は付いておらず、実効増倍率の計算値は0.88～0.95と臨界値1.0より低めに算出された。

Table 14は、シリンダーをスラブ内に入れずにスラブの上方に置いた体系の計算結果を示したものである。これらの体系にも反射体は付いていない。実効増倍率の計算値は0.87～0.94である。

Table 15は、プレキシグラス反射体が付いた体系の計算結果を示したものである。反射体の厚さは、最大10.2 cmである。この10.2 cm厚の反射体に囲まれたNo 90～No 97までの体系ではNo 93とNo 97を除くと計算された実効増倍率はほぼ臨界値1.0に近くなっている。No 93とNo 97はシリンダーに溶液が入っていない体系であるが、この体系の実験はスラブ・タンクだけで行なわれたことが報告されており、この体系はNo 10の体系と同一と考えられる。No 93とNo 97を除いたNo 90～No 97までの計算された実効増倍率の平均値は、 0.9997 ± 0.0054 で臨界値1.0に誤差の範囲で入る。

反射体の厚さが次第に減少するにつれて、実効増倍率の計算値が減少するのがTable 15から分かる。特に、反射体が無くなった体系は、すでに述べたTable 13にあるNo 25～No 28と同一体系であり、実効増倍率の計算値は約0.9で臨界値1.0より約10%も低い。

Table 16は、レポートで報告されている計算を我々のシステムで計算した結果で、レポートの値と共に載せたものである。今回の計算では実験架台のテーブルのみ計算に含めている。なお、No 124～No 127はNo 54, No 62, No 25, No 43の4ケースと同一の体系である。我々の計算と実験者による計算を比較すると、我々の計算の方が3～7%低くなっている。

Table 17には、4×4配列の中心近くに硝酸ウラニル水溶液を入れた容器を置いた体系の計算結果を示した。この体系の計算には、KENO-IVコードの一般形状オプションを用いた。この体系にも反射体が付いているが、他の反射体付き体系と同様に臨界値1.0に近い 1.01197 ± 0.00553 の実効増倍率が算出された。

以上、実験ケースの全ケースについて、実効増倍率の計算結果を示したが、これらの計算結果について次章で考察を加える。

5. 考 察

実効増倍率の計算結果をヒストグラムに表わしたものをFig.14に示す。プレキシグラス反射体の付いている体系と付いていない体系の計算結果は、実効増倍率で0.95を境にして分かれる。反射体の無い体系では、ヒストグラムのピークは $k_{eff} = 0.905 \sim 0.910$ の間に現われ、これは臨界値よりも約10%低めである。また、反射体の付いた体系では、実効増倍率は0.95～1.01まで広く分布しているが、10.2 cm厚の反射体で6面を完全に囲った体系では、図の破線で示したように0.98～1.01の範囲に入る。それ以外のものは、反射体の厚さが10.2 cmより薄い体系である。後に示すように、反射体が薄くなるに従い、実効増倍率の計算値は減少する傾向にある。

以上のように、計算を実施した体系は反射体の無い体系と反射体付きの体系に大別される。以下では、反射体の無い体系と反射体付きの体系に分けて議論する。

5.1 反射体が付いていない体系

反射体が付いていない体系では、上に述べたように、実効増倍率の計算値は約0.90で臨界値1.0より約10%も低くなり、今回計算を実施したケースの中ではかなり特異な傾向を示している。

このように、計算値が低くなる原因は種々考えられるが、まず、計算に当たって行った仮定あるいは簡単化について検討する。

- (1) シリンダーおよびスラブタンク以外に計算に含めたのは実験架台のみで、床あるいは壁、天井などは計算には含めなかったが、これらの構造物の影響はどの程度であるか？
- (2) 計算に用いた核データライブラリーのエネルギー群構造は26群であり、この群構造は高速群において粗い構造になっているが（Table 11—参照）、より微細なエネルギー群構造を持つ137群の核データライブラリーを使用すれば、実効増倍率の計算値はどの程度変化するか？
- (3) KENOの計算では1世代当りの中性子数および世代数は変えることが出来るが、今回の計算は1世代当りの中性子数を300とし、世代数は最初の3世代をスキップするとして103世代まで計算することにしたが、中性子数を変化させた時に、どの程度実効増倍率の計算値に影響を及ぼすか？
- (4) (3)と同様KENOでは、中性子の初期発生分希について一様分布、cosine分布、任意の点で中性子を発生させるなどいくつかのオプションがある。中性子分布の収束が速い、すなわち最初の2～3世代で中性子分布が基本モードとなるような場合は、実効増倍率の計算には中性子の初期発生分布の影響は見られないと思うが、今回の計算体系では、初期中性子分布の影響はどの程度であるか？

以上の4点について、検討を加えた結果以下のようなになった。

(1)の実験架台以外の影響については、No 8を取り上げ、床、壁、天井を計算に入れて比較を行った。実験体系と、床・壁・天井との距離については、体系から床までは、137 cm と与えられているが、壁と天井については、体系から3 m以上離れているとしか示されていないため、計算は3 mとして行った。床・壁・天井は、コンクリートで出来ているが、コンクリートの厚さは分からないため、20 cm から約2 mまで厚さをパラメーターとして計算を実施した。計算結果をTable 18に示す。また、横軸にコンクリートの厚さをとり、縦軸に実効増倍率の計算値を図示したものをFig.15に示す。表および図から分かるように、実効増倍率は約2%増加する。しかし、コンクリートの厚さが20 cmより増加しても実効増倍率の計算値は20 cmの時と比べほとんど変化しない。なお、計算値が約2%上がっても依然として臨界値1.0よりは低い値である。

(2)の群構造の影響を見るために、137群MGOLを用いて計算を行った。その計算結果を26群MGOLを用いて計算した結果と比較したものをTable 19に示す。この表を見ると(1)の場合と同様、全体的に約2%程度の増加が見られる。

(3)の中性子数の変化による影響については、No 1の体系を取り上げ、中性子数を標準の300の他に600, 1200, 3000について計算を行って比較した。Table 20にその結果を示す。この表からは、中性子数の変化による実効増倍率の計算値の変化はほとんどなく、標準偏差の2倍の誤差を考えれば、誤差の範囲に入る程度の差異である。

(4)の中性子の初期発生分布については、一様分布の他に、cosine分布の中性子発生と体系の真中から中性子を発生させる場合とを考えた。Table 21にこれらの結果を示す。この表からは、cosine分布と中心から発生させた分布の場合の方が、一様分布の場合よりむしろ少し低く出る。しかし、この程度の差は(3)の場合と同様誤差内に入る。

以上のように、検討した4点については、実効増倍率の計算値を最大約2%増加させる効果があることが分ったが、臨界値1.0には達しない。ちなみに、以上の4つの影響を全て考慮した場合は、Table 22に示すように約3%の増加が見られる。

このように、反射体無しの体系では、現在のデータライブラリーおよび解析コードを前程としている限り、計算結果と実験との一致を得ることは困難に思われる。

ただし、実験データの方にも多少の精度上の問題があるかもしれない。しかし、ここでは解析上の視点からのみ論じて来た。

5.2 反射体付きの体系

先に述べたように、Table 15, Table 17は、プレキシグラス反射体が付いた体系の計算結果を示したものである。反射体の付いていない体系の結果とは大きく異なり、実効増倍率の計算値は1.0に近い値を示す。特に、反射体の厚さが10.2 cmの体系では、満足すべき結果が得られた。ただし、この体系でも、シリンダー内の溶液の高さが低くなり、スラブの厚さが厚くなるにつれ、実効増倍率の計算値は低くなる傾向にある。この様子をFig.16に示す。この図はNo 98~No 101までの計算結果を図示したものである。縦軸には実効増倍率の計算値をとり、横軸にはスラブの厚さをとったものである。

反射体付きの実験では、反射体の厚さを変化させて実験を行っているが、実効増倍率の計算値は反射体が薄くなるにつれて低くなる傾向が見られる。各反射体の厚さにおける実効増倍率の計算値を平均したものを Table 23 に示す。Fig.17 には、反射体の厚さを変えた時の実効増倍率の計算値の変化を示す。黒丸はスラブ・タンクの底側の反射体の厚さを 1.02 cm に固定し、横および上方の反射体の厚さを変化させた時の変化を示しており、白丸は横および上方の反射体の厚さを 0 cm（反射体を付けない）にして、スラブ・タンク底側の反射体の厚さを変えた時の変化を示している。スラブ・タンクの底側の反射体の厚さを 1.02 cm にした時には、横および上方の反射体の厚さが 2.5 cm になるまでは次第に減少するが、2.5 cm から 0 cm（反射体無し）にしても変化は見られない。一方、横および上方の反射体を 0 cm（反射体無し）にして、スラブ・タンク底側の反射体の厚さを変えた時には、1.02 cm から 5.1 cm にしても変化は見られないが、5.1 cm から 0 cm にして反射体を全て取り除いた場合には、急激に減少している。

このように、反射体の厚さが減少するに従い、実効増倍率の計算値も減少するのは、体系からの漏れが過大に評価されているためと考えられる。

次節では、実効増倍率の計算値と漏れ量の関係について調べる。

5.3 実効増倍率と漏れ量および四因子

Fig.18 には、26群MGCLによるKENO計算で得られる実効増倍率と体系から失われる中性子のうち漏れにより失われる割合、すなわち、漏れ量をLとし吸収量をAとした時の $L/(L+A)$ との関係を示す。実効増倍率の計算値が、0.95より大きい反射体付きの体系では明白な関係は見られないが、0.95以下の反射体無しの体系では両者の間にリニアな関係があるように思われる。この部分を図示したのが Fig.19 である。

ところで、実効増倍率 k_{eff} は、上記のL、Aおよび核分裂の割合Fとで次のように現わされる。

$$k_{eff} = \frac{F}{L+A} \quad (5.1)$$

この式を次のように書き変える。

$$k_{eff} = \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{1 + \frac{L}{A}} \quad (5.2)$$

ここで、 F/A は体系内の吸収と核分裂の割合で決まり漏れとは無関係である。実際、同じ濃度の溶液を用いた実験の解析では、シリンダー本数が増加するに従い F/A は Fig.20 に示すように減少するが、スラブ・タンクだけの体系とシリンダー本数が16本の体系との最大の差も0.5%であり、ここで考えている約10%の差を問題とするならば、ほぼ一定と考えられる。すなわち、漏れと実効増倍率の関係は(5.2)式の $1/(1+L/A)$ の項より決まる。

いま、(5.2)式を使い、実効増倍率を臨界値1.0とした時の漏れ量を求め、KENO-Mで出力される漏れ量と比較する。Table 24に、その結果を示すが、裸の体系では、6~15

もKENO-Nの計算の方が多く、これらの体系を平均したものは $1.14 \pm 4.3\%$ である。一方、反射体付きの体系では、反射体の厚さが種々変わっており同一には論じられないが、一応まとめて考えると、これらの体系では $1.2 \sim 1.2\%$ で、平均すると $4.8 \pm 4.3\%$ となり、臨界値1.0を仮定した時とKENO計算で得られる漏れ量にはそれほど差が見られない。このことは、もし、体系の F/A をKENO計算で正当に評価しているとすれば、実効増倍率の計算値が低くなるのは、 L/A を過大に評価しているためであろうと思われる。

最後に、参考までに反射体無しの体系と反射体付きの体系から1例ずつとり、四因子と漏れ量を示す。

実効増倍率 k_{eff} を四因子と漏れない確率で表わすと、次式のようになる。

$$k_{eff} = \epsilon \cdot \eta \cdot f \cdot p \cdot P \quad (5.3)$$

ここで、 ϵ は高速核分裂効果を表わし、 η は再生率、 f は熱中性子利用率、 p は共鳴吸収を逃れる確率を表わしている。また、 P は体系から漏れ出さない確率である。

これらの値について、反射体無しの体系からNo 26を、反射体付きの体系からNo 95を取り上げてTable 25に示す。両者とも、シリンダー本数は16本である。ただし、 η と f は積の形で与えてある。この表からは、 ϵ および $\eta \cdot f$ の値が反射体無しの体系でより大きくなっているが分かる。また、 p および P は逆に反射体付きの体系での方がより大きくなっている。

また、Fig. 21には、各群の漏れの割合（全体の漏れを1.0に規格化した）を図示した。この図からは反射体付きの体系では熱領域での漏れが多いのに対し、反射体無しの体系では高速領域での漏れが多く中性子が熱化される前に体系の外に出て行っているのが分かる。

6. 結 論

高濃縮の硝酸ウラニル水溶液（93.2 wt% ^{235}U ）を含むスラブ・タンクとシリンダー群とを組合せた体系のベンチマーク計算の結果をまとめると次のような結論が導かれる。

- (1) 反射体無しの体系では、実効増倍率の計算値は約0.91であり、臨界値1.0よりも10%近く低く算出される。また、実効増倍率の計算値と漏れ量はほぼニアな関係があり、漏れ量の増加に伴い実効増倍率の計算値は減少する。このことは、KENOの計算で漏れ量を多く見積っていることによるのではないと思われる。
- (2) 反射体付き体系では、反射体の厚さが最も厚い10.2 cmの8ケース（No 90～97）を考えると、実効増倍率の計算値を平均したものは 0.997 ± 0.005 であり、誤差の範囲で臨界値1.0に一致している。反射体の厚さが減少すると、それに伴い実効増倍率も1.0より低く算出されるようになる。
- (3) 上記のことは、26群よりも詳細な群構造を持つ137群ライブラリーを用いても同様であり、群構造にはあまり依存しない特徴である。
- (4) 反射無しの体系で実効増倍率が臨界値1.0よりも約10%程低く算出されたことについて

％もKENO-Mの計算の方が多く、これらの体系を平均したものは $1.14 \pm 4.3\%$ である。一方、反射体付きの体系では、反射体の厚さが種々変わっており同一には論じられないが、一応まとめて考えると、これらの体系では $1.2 \sim 1.2\%$ で、平均すると $4.8 \pm 4.3\%$ となり、臨界値1.0を仮定した時とKENO計算で得られる漏れ量にはそれほど差が見られない。このことは、もし、体系の F/A をKENO-M計算で正当に評価しているとすれば、実効増倍率の計算値が低くなるのは、 L/A を過大に評価しているためであろうと思われる。

最後に、参考までに反射体無しの体系と反射体付きの体系から1例ずつとり、四因子と漏れ量を示す。

実効増倍率 k_{eff} を四因子と漏れない確率で表わすと、次式のようになる。

$$k_{eff} = \epsilon \cdot \eta \cdot f \cdot p \cdot P \quad (5.3)$$

ここで、 ϵ は高速核分裂効果を表わし、 η は再生率、 f は熱中性子利用率、 p は共鳴吸収を逃れる確率を表わしている。また、 P は体系から漏れ出さない確率である。

これらの値について、反射体無しの体系からNo 26を、反射体付きの体系からNo 95を取り上げてTable 25に示す。両者とも、シリンダー本数は16本である。ただし、 η と f は積の形で与えてある。この表からは、 ϵ および $\eta \cdot f$ の値が反射体無しの体系でより大きくなっているが分かる。また、 p および P は逆に反射体付きの体系での方がより大きくなっている。

また、Fig. 21には、各群の漏れの割合（全体の漏れを1.0に規格化した）を図示した。この図からは反射体付きの体系では熱領域での漏れが多いのに対し、反射体無しの体系では高速領域での漏れが多く中性子が熱化される前に体系の外に出て行っているのが分かる。

6. 結 論

高濃縮の硝酸ウラニル水溶液（93.2 wt% ^{235}U ）を含むスラブ・タンクとシリンダー群とを組合せた体系のベンチマーク計算の結果をまとめると次のような結論が導かれる。

- (1) 反射体無しの体系では、実効増倍率の計算値は約0.91であり、臨界値1.0よりも10%近く低く算出される。また、実効増倍率の計算値と漏れ量はほぼニアな関係があり、漏れ量の増加に伴い実効増倍率の計算値は減少する。このことは、KENOの計算で漏れ量を多く見積っていることによるのではないと思われる。
- (2) 反射体付き体系では、反射体の厚さが最も厚い10.2 cmの8ケース（No 90～97）を考えると、実効増倍率の計算値を平均したものは 0.997 ± 0.005 であり、誤差の範囲で臨界値1.0に一致している。反射体の厚さが減少すると、それに伴い実効増倍率も1.0より低く算出されるようになる。
- (3) 上記のことは、26群よりも詳細な群構造を持つ137群ライブラリーを用いても同様であり、群構造にはあまり依存しない特徴である。
- (4) 反射無しの体系で実効増倍率が臨界値1.0よりも約10%程低く算出されたことについて

て、実験室の床、壁、天井の影響の効果や1世代当りの中性子数が不足していたのではないか、あるいは中性子の初期発生分布が適当でなかったのではないか、など検討を加えたが、これらを全て考慮しても約3%増加するにすぎず、依然として約7%程度低く算出される。このことについては、今後に残された課題である。

謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき、日立製作所、住友原子力工業、石川島播磨重工業、日揮、日本原子力事業の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただいた、ここに謝意を表します。又、日本原子力研究所安全解析部長、桂木学氏にも終始貴重な御助言と御協力を得たので感謝いたします。

参 考 文 献

1. GROVER TUCK and HAROLD E. CLARK, "Critical Parameters of a Uranium Solution Slab-Cylinder System", Nucl. Sci. Eng., 40, 407 (1970).
2. Y. NAITO et al., to be published.
3. L.M. PETRIE and N.F. CROSS, "KENO-N, An Improved Monte Carlo Criticality program, "ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (Nov. 1975).
4. G.E. HANSEN and W.H. ROACH, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies, "LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory (1961).
5. M.K. DRAKE, "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library, "BNL-50274, Brookhaven National Laboratory (1970).
6. O. Ozer, "Program RESEND, "BNL-17134, Brookhaven National Laboratory (1972).
7. R.Q. WRIGHT et al., "SUPERTOG: A Program to Generate Group Constants and Pn Scattering Matrices from ENDF/B, "ORNL-TM-2679, Oak Ridge National Laboratory (1969).
8. J.D. MACDOUGALL, "PIXSE, "AEEW-M318, Atomic Energy Establishment Winfrith (1963).

て、実験室の床、壁、天井の影響の効果や1世代当りの中性子数が不足していたのではないか、あるいは中性子の初期発生分布が適当でなかったのではないか、など検討を加えたが、これらを全て考慮しても約3%増加するにすぎず、依然として約7%程度低く算出される。このことについては、今後に残された課題である。

謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき、日立製作所、住友原子力工業、石川島播磨重工業、日揮、日本原子力事業の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただいた、ここに謝意を表します。又、日本原子力研究所安全解析部長、桂木学氏にも終始貴重な御助言と御協力を得たので感謝いたします。

参 考 文 献

1. GROVER TUCK and HAROLD E. CLARK, "Critical Parameters of a Uranium Solution Slab-Cylinder System", Nucl. Sci. Eng., 40, 407 (1970).
2. Y. NAITO et al., to be published.
3. L.M. PETRIE and N.F. CROSS, "KENO-W, An Improved Monte Carlo Criticality program, "ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (Nov. 1975).
4. G.E. HANSEN and W.H. ROACH, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies, "LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory (1961).
5. M.K. DRAKE, "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library, "BNL-50274, Brookhaven National Laboratory (1970).
6. O. Ozer, "Program RESEND, "BNL-17134, Brookhaven National Laboratory (1972).
7. R.Q. WRIGHT et al., "SUPERTOG: A Program to Generate Group Constants and Pn Scattering Matrices from ENDF/B, "ORNL-TM-2679, Oak Ridge National Laboratory (1969).
8. J.D. MACDOUGALL, "PIXSE, "AEEW-M318, Atomic Energy Establishment Winfrith (1963).

9. I.I. BONDARENKO et al., "Group Constants for Nuclear Reactor Calculation," Consultants Bureau, New York (1964).
10. S. KATSURAGI et al., "JAERI Fast Reactor Group Constants System, Part 1 and 2," JAERI 1195, Japan Atomic Energy Research Institute (1970).
11. H.C. HONECK and D.R. FINCH, "FLANGE II : A Code to Process Thermal Neutron Data from an ENDF/B Tape," DP-2179, E.I. Du Pont De Mours & Company (1971).

Table 1
Cylinder Dimensions
Type-316 Stainless Steel

Inside Diameter (cm)	Bottom and Wall Thickness (cm)	Length (cm)
11.0	0.198	131
13.6	0.280	131
16.3	0.280	131
21.3	0.280	131
22.4	0.308	274
22.9	0.308	274
23.4	0.308	183
23.9	0.308	183

Table 2
Fissile Solution Properties
[UO₂(NO₃)₂]

	Test Beginning	End of Unreflected Measurements	Test End
Concentration (g U/liter)	466	499	520
Density (g/cm ³)	1.636	1.685	1.704
Normality	0.59	0.70	0.77
H/ ²³⁵ U atomic ratio ^a	50	46	43

^aDerived from laboratory analyses.

Table 3
Critical Slab Thicknesses

Slab With Minimum Reflector			
Critical Slab ^a Thickness (cm)	Estimated ^b Accuracy (cm)	Uranium Concentrations (g/liter)	Condition of Slab
12.7	±0.3	465	Clean slab tank only
12.7	±0.3	465	Clean slab tank only
12.7	±0.3	465	Slab tank plus 16 dummy cylinders and hoses
12.6	±0.3	465	Clean slab tank only
12.7	±0.3	465	Slab tank plus 0.5 cm of precipitate
12.8	±0.2	495	Slab tank plus 1 cm of precipitate
13.0	±0.2	500	Clean slab tank only
13.0	±0.2	510	Clean slab tank only
13.0	±0.2	520	Slab tank including 1 cm of precipitate.
Reflected Slab ^c			
10.3	±0.2	505	Clean slab tank only

^aIncludes any precipitate present in the slab tank.

^bRepeatability of measurements was ±0.1 cm.

^cReflected slab tank without cylinders, as shown in Fig. 1.

Table 5
Slab-Array* Critical Configuration with
Array Suspended above the Slab

Spacing Between Top of Solution Slab to Bottom of Array (cm)	Slab Thickness (cm)	Solution Height ^a in Cylinders (cm)
9.4	4.7	66
6.9	7.3	49
3.6	10.5	19
2.7	11.4	8
20.4	7.8	67
18.2	10.0	49
16.7	11.4	19
16.4	11.7	10
28.2	12.4	0.3

*Sixteen 16.3-cm-diam cylinders in the minimum reflector array at 485 g U/liter.

^aThis height is measured from the bottom of the cylinders of the array.

Table 4

Experimental Data for Critical Slab-Array
Configuration With Minimum Reflector

Serial No.	Cylinder Diameter (cm)	Array Configuration Number of Cylinders	Slab Thickness (cm)	Array* Height (cm)	Uranium Concentration (g/liter)	
11	11.0	1	12.6	87	465	
12			12.6	37		
13		4	12.3	88		
14			12.4	5		
15			12.5	0		
16		9	12.1	88		
17			12.2	39		
18			12.3	18		
19			12.6	2		
20		16	11.4	88		465
21			11.7	38		
22			11.9	19		
23			12.5	2		
24			12.7	0		
25	13.6	16	10.0	108	520	
26			10.4	69		
27			11.3	26		
28			12.3	4		
29	16.3	1	12.2	88	470	
30			12.2	40		
31			12.3	19		
32			12.3	14		
33		12.5	6			
34		4	12.0	88		480
35			12.2	25		
36			12.3	12		
37			12.6	1		
38		9	10.5	90		485
39			11.0	40		
40			11.8	14		
41			12.4	3		
42		16	16	12.7		0
43	0			78		
44	2.6			64		
45	5.5			50		
46	7.7			37		
47	10.0			20		
48	11.4			8		
49	12.4			3		
50	12.6	0				
51	21.3	1	11.1	88	500	
52			11.1	39		
53			12.4	3		
54		4	8.8	91		500
55			10.1	39		
56			11.0	19		
57			11.8	10		
58		12.7	2			
59		9	0	47		500
60			1.5	43		
61			5.9	32		
62			8.6	23		
63			10.0	15		
64			11.6	7		
65	12.7		1			
66	16		0	26	500	
67		2.7	22			
68		7.5	14			
69		9.1	11			
70		9.5	9			
71	11.8	3				
72	22.4	1	10.8	108	505	
73	22.9	1	10.1	110	505	
74	23.4	1	8.9	111	525	
75			10.3	33		
76			11.4	15		
77	23.9	1	0	112	525	
78			7.7	66		
79			9.7	34		
80			11.9	8		

*Solution height in cylinders of array, measured from top of solution slab.

Table 6
Reflected Slab-Array Critical Configuration Data
(The array consisted of 13.6-cm-diam cylinders.)

Serial No.	Number of Cylinders	Top and Side Reflector Thickness (cm)	Slab Tank Bottom Reflector Thickness (cm)	Slab Thickness (cm)	Array ^a Height (cm)	Uranium Concentration (g/liter)
90	9	10.2	10.2	7.1 ± 0.2	112 ± 1	505
91				8.8 ± 0.2	42 ± 1	
92				9.5 ± 0.2	20 ± 1	
93				10.3 ± 0.2 ^b	0 ± 0	
94	16	10.2	10.2	0 ± 0.2	92 ± 1	505
95				3.8 ± 0.2	61 ± 4	
96				8.1 ± 0.2	26 ± 1	
97				10.3 ± 0.2 ^b	0 ± 0	
98	16	7.6	10.2	0 ± 0.5	96 ± 1	510
99				4.7 ± 0.2	59 ± 2	
100				7.9 ± 0.2	26 ± 2	
101				10.5 ± 0.2	0 ± 2	
102	16	5.1	10.2	0 ± 0.5	105 ± 1	510
103				3.4 ± 0.2	75 ± 1	
104				7.4 ± 0.2	36 ± 1	
105				10.6 ± 0.2	2 ± 1	
106	16	2.5	10.2	0 ± 0.5	149 ^c	515
107				3.3 ± 0.2	114 ± 1	
108				6.0 ± 0.2	72 ± 1	
109				8.6 ± 0.2	30 ± 1	
110				9.8 ± 0.2	9 ± 1	
111	16	0	10.2	8.3 ± 0.2	110.0 ± 0.6	515
112				8.7 ± 0.2	67.5 ± 0.6	
113				9.6 ± 0.2	27.5 ± 0.6	
114	16	0	5.1	8.7 ± 0.2	109.0 ± 0.5	515
115				9.0 ± 0.2	69.5 ± 0.5	
116				9.9 ± 0.2	26.0 ± 0.5	
117				11.0 ± 0.2	7.5 ± 0.5	
118	16	0	0	10.0 ± 0.2	108 ± 1	520
119				10.4 ± 0.2	69 ± 1	
120				11.3 ± 0.2	26 ± 1	
121				12.3 ± 0.2	4 ± 1	

^a Array height measured from top surface of solution in slab.

^b These measurements were made with the slab tank alone.

^c Extrapolated from a solution height of 120 cm.

Table 7
Pass-Through Critical Configuration Data

Serial No.	Bottle Specification			Array Specification		
	outer Diameter (cm)	Wall Thickness (cm)	Height (cm)	Cylinder Diameter (cm)	Number of cylinders	Critical Solution Height (cm)
128	11.4	0.08	229	136	16	88±1

Table 8
Calculated \bar{k}_{eff} for Critical Experimental Assemblies

Serial No.	Number of Cylinders	Uranium Content (g/liter)	Slab Thickness (cm)	Cylinder Solution Height (cm)	Cylinder Radius (cm)	$\bar{k}_{eff} \pm \sigma$ Reflection from Table Only	$\bar{k}_{eff} \pm \sigma$ Reflection from Room and Table
122	0	485	13.0	---	---	0.979 ± 0.009	0.981 ± 0.013 (15) ^a
123	1	520	8.9	111.0	11.68	0.975 ± 0.010	
124	4	500	8.8	91.0	10.67	0.977 ± 0.010	
125	9	500	8.6	22.6	10.67	0.958 ± 0.012	
126	16	520	10.0	108.0	6.79	0.961 ± 0.010 (23) ^a	0.969 ± 0.010 (21) ^a
127	16	495	0.0	78.0	8.13	0.986 ± 0.009 (26) ^a	

^aValue in parentheses is the number of batches averaged. If no value is given, 30 batches were used.

Table 9

Number Densities of Uranyl Nitrate Solution Used in Calculation

Concentration (g/l)	Element				
	²³⁵ U	²³⁸ U	N	O	H
465	1.1104×10^{-3}	7.9996×10^{-5}	2.3808×10^{-3}	3.7339×10^{-2}	5.5631×10^{-2}
470	1.1224×10^{-3}	8.0856×10^{-5}	2.4065×10^{-3}	3.7406×10^{-2}	5.5569×10^{-2}
480	1.1463×10^{-3}	8.2577×10^{-5}	2.4577×10^{-3}	3.7457×10^{-2}	5.5252×10^{-2}
485	1.1582×10^{-3}	8.3437×10^{-5}	2.4833×10^{-3}	3.7441×10^{-2}	5.5015×10^{-2}
495	1.1821×10^{-3}	8.5157×10^{-5}	2.5345×10^{-3}	3.7444×10^{-2}	5.4631×10^{-2}
500	1.1940×10^{-3}	8.6017×10^{-5}	2.5601×10^{-3}	3.7463×10^{-2}	5.4446×10^{-2}
505	1.2060×10^{-3}	8.6878×10^{-5}	2.5858×10^{-3}	3.7418×10^{-2}	5.4149×10^{-2}
510	1.2179×10^{-3}	8.7738×10^{-5}	2.6113×10^{-3}	3.7422×10^{-2}	5.3953×10^{-2}
515	1.2298×10^{-3}	8.8598×10^{-5}	2.6369×10^{-3}	3.7357×10^{-2}	5.3619×10^{-2}
520	1.2418×10^{-3}	8.9458×10^{-5}	2.6625×10^{-3}	3.7349×10^{-2}	5.3397×10^{-2}
525	1.2537×10^{-3}	9.0318×10^{-5}	2.6881×10^{-3}	3.7268×10^{-2}	5.3032×10^{-2}

Table 10

Composition of Stainless Steel.

Mild Steel and Plexiglas

	Type 316	Mild Steel	Plexiglas	
	Stainless Steel		10^{30} atoms/m ³	
Density	7.92 gm/cm ³	7.8 gm/cu ³	.03570	
Carbon	0.042 wt %	0.35 wt %		
Silicon	0.45	0.15		
Phosphorus	0.031	0.04		
Sulfur	0.014	0.05		
Chromium	16.6			
Manganese	1.25	0.9		
Iron	70.313	Remainder		
Nickel	11.3			
Molybdenum	2.1			
Hydrogen				.05666
Oxygen				.01428

Table 11 Energy group Structure in MGCL 137 and MGCL 26

Group NO.		Upper Energy Boundary	Energy width ΔU	Group NO.		Upper Energy Boundary	Energy width ΔU
26Gr	137Gr			26Gr	137Gr		
1	1	16.487 Mev	0.125	4	38	161.63 Kev	0.125
	2	14550	0.125		39	14264	0.125
	3	12840	0.125		40	12588	0.125
	4	11331	0.125		41	11109	0.125
	5	10000	0.125		42	98037	0.125
	6	8825	0.125		43	86517	0.125
	7	7788	0.125		44	76351	0.125
	8	68729	0.125		45	67379	0.125
	9	60653	0.125		46	59462	0.125
	10	53526	0.125		5	47	52475
2	11	47237	0.125	48		46309	0.125
	12	41686	0.125	49		40868	0.125
	13	36788	0.125	50		36066	0.125
	14	32465	0.125	51		31828	0.125
	15	28650	0.125	52		28088	0.125
	16	25284	0.125	53		24788	0.125
	17	22313	0.125	54		21875	0.125
	18	19691	0.125	55		19305	0.125
	19	17377	0.125	56		17036	0.125
	20	15335	0.125	6	57	15034	0.25
	21	13533	0.125		58	11709	0.25
	22	1.1943	0.125		59	91188	0.25
			60		71017	0.25	
3	23	1.0540	0.125	7	61	55308	0.25
	24	930.14 Kev	0.125		62	43075	0.25
	25	82085	0.125		63	33546	0.25
	26	72440	0.125		64	26126	0.25
	27	63928	0.125		65	20347	0.25
	28	56416	0.125		66	15846	0.25
	29	49787	0.125		67	12311	0.25
	30	43937	0.125		68	961.12 ev	0.25
	31	387.74	0.125		69	748.52	0.25
	32	34218	0.125		8	70	58295
	33	30197	0.125	71		45400	0.25
	34	26649	0.125	72		35358	0.25
	35	23518	0.125	73		27536	0.25
	36	20754	0.125	74		21445	0.25
4	37	18316	0.125				

Table 11 Energy group Structure in MGCL 137 and MGCL 26 (continued)

Group NO.	Upper Energy Boundary	Energy width ΔU	Group NO.	Upper Energy Boundary	Energy width ΔU
26 8	137 75	167.02 ev	17	110	0.29792 ev
9	76	130.07	111	0.27699	270
	77	101.30	112	0.25683	270
	78	78.893	113	0.23742	270
	79	61.442	114	0.21871	270
	80	47.851	115	0.20090	270
	81	37.267	116	0.18378	270
10	82	29.023	117	0.16743	270
	83	22.603	118	0.15183	270
	84	17.603	119	0.13700	270
	85	13.710	120	0.12293	270
	86	10.677	121	0.10962	270
	87	8.3153	122	0.09708	270
11	88	6.4760	123	0.085295	270
	89	5.0435	124	0.074274	270
	90	3.9279	125	0.064015	270
	91	3.0590	126	0.054518	270
	92	2.3824	127	0.045783	270
12	93	1.8554	128	0.037811	270
	94	1.6374	129	0.030600	270
	95	1.4450	130	0.024152	270
13	96	1.2752	131	0.018465	270
	97	1.1254	132	0.013541	270
	98	0.99312	133	0.009379	270
14	99	0.87642	134	0.005979	270
	100	0.77344	135	0.003341	270
15	101	0.68256	136	0.001465	270
	102	0.60236	137	0.000352	270
	103	0.53158		0.000033	270
	104	0.46912			
16	105	0.41399			270 m/sec
	106	0.38925			270
	107	0.36528			270
17	108	0.34206			270
	109	0.31961			270

Table 12
Calculated k_{eff} for Critical Slab Thickness

Serial No.	$k_{eff} \pm \sigma$	COMMENT
1	0.90957 ± 0.00516	with Mimimum Ref.
2	same as No 1	"
3	_____	"
4	0.89718 ± 0.00601	"
5	_____	"
6	_____	"
7	0.91475 ± 0.00529	"
8	0.89728 ± 0.00523	"
9	_____	"
Average	0.90515 ± 0.00538	
10	0.98356 ± 0.00564	Reflected Slad

Table 13
Calculated k_{eff} for Minimum Reflector Experiment

Serial No.	$k_{eff} \pm \sigma$	Serial No.	$k_{eff} \pm \sigma$
11	0.90563 ± 0.00588	36	0.93215 ± 0.00555
12	0.91537 ± 0.00568	37	0.89801 ± 0.00635
13	0.89742 ± 0.00583	38	0.90995 ± 0.00607
14	0.89460 ± 0.00566	39	0.91515 ± 0.00581
15	0.90342 ± 0.00582	40	0.90956 ± 0.00569
16	0.90449 ± 0.00569	41	0.90777 ± 0.00587
17	0.90435 ± 0.00569	42	0.90050 ± 0.00542
18	0.89570 ± 0.00560	43	0.94280 ± 0.00607
19	0.89882 ± 0.00501	44	0.92859 ± 0.00638
20	0.90392 ± 0.00546	45	0.94658 ± 0.00624
21	0.91441 ± 0.00560	46	0.93137 ± 0.00571
22	0.88421 ± 0.00615	47	0.92372 ± 0.00615
23	0.90852 ± 0.00550	48	0.90183 ± 0.00537
24	0.91731 ± 0.00512	49	0.92342 ± 0.00523
25	0.90955 ± 0.00625	50	0.89090 ± 0.00543
26	0.98387 ± 0.00593	51	0.90479 ± 0.00575
27	0.90700 ± 0.00516	52	0.90940 ± 0.00555
28	0.89137 ± 0.00511	53	0.90630 ± 0.00538
29	0.91091 ± 0.00581	54	0.90730 ± 0.00546
30	0.90047 ± 0.00631	55	0.91500 ± 0.00603
31	0.90631 ± 0.00493	56	0.90261 ± 0.00569
32	0.89896 ± 0.00656	57	0.91118 ± 0.00578
33	0.90682 ± 0.00528	58	0.91900 ± 0.00535
34	0.92188 ± 0.00536	59	0.93955 ± 0.00609
35	0.91504 ± 0.00512	60	0.94910 ± 0.00553

Table 13 (continued)

Serial No.	$k_{eff} \pm \sigma$	Serial No.	$k_{eff} \pm \sigma$
61	0.93882 \pm 0.00580	71	0.90621 \pm 0.00553
62	0.92308 \pm 0.00503	72	0.93609 \pm 0.00563
63	0.90650 \pm 0.00527	73	0.93994 \pm 0.00629
64	0.91606 \pm 0.00535	74	0.93436 \pm 0.00642
65	0.90732 \pm 0.00567	75	0.92177 \pm 0.00598
66	0.93026 \pm 0.00631	76	0.92113 \pm 0.00586
67	0.92984 \pm 0.00508	77	0.94029 \pm 0.00552
68	0.91091 \pm 0.00587	78	0.93568 \pm 0.00616
69	0.91088 \pm 0.00526	79	0.92560 \pm 0.00572
70	0.90142 \pm 0.00581	80	0.89264 \pm 0.00497

Table 14

Calculated k_{eff} for Array Suspended above the Slab

Serial No.	Spacing between Slab Bottom and cylinder Bottom	Slab Thickness (cm)	Solution Height in Cylinders (cm)	$k_{eff} \pm \sigma$
81	14.1 cm	4.7	66	0.93737 \pm 0.00583
82		7.3	49	0.91581 \pm 0.00591
83		10.5	19	0.89831 \pm 0.00535
84		11.4	8	0.88051 \pm 0.00641
85	28.2 cm	7.8	67	0.93848 \pm 0.00672
86		10.0	49	0.92811 \pm 0.00512
87		11.4	19	0.88405 \pm 0.00548
88		11.7	10	0.87125 \pm 0.00601
89		12.4	0.3	0.89509 \pm 0.00627

Table 15

Calculated k_{eff} for Reflected Array

Serial No	Top and Side Reflector Thickness (cm)	Slab Tank Bottom Reflector Thickness (cm)	$k_{eff} \pm \sigma$
90	10.2	10.2	1.00958 ± 0.00609
91			0.99482 ± 0.00538
92			0.99014 ± 0.00511
93			0.98356 ± 0.00564 (same as No10)
94	"	"	1.00509 ± 0.00563
95			0.99940 ± 0.00509
96			0.99936 ± 0.00528
97			0.98356 ± 0.00564 (same as No10)
98	7.6	10.2	1.00947 ± 0.00553
99			0.99632 ± 0.00615
100			0.98264 ± 0.00518
101			0.97964 ± 0.00542
102	5.1	10.2	0.98007 ± 0.00529
103			0.98614 ± 0.00545
104			0.96708 ± 0.00566
105			0.98456 ± 0.00601
106	2.5	10.2	0.96347 ± 0.00554
107			0.95714 ± 0.00577
108			0.95668 ± 0.00577
109			0.96993 ± 0.00516
110			0.95447 ± 0.00552
111	0	10.2	0.96535 ± 0.00580
112			0.95923 ± 0.00553
113			0.96656 ± 0.00536
114	0	5.1	0.96125 ± 0.00541
115			0.96493 ± 0.00566
116			0.95683 ± 0.00493
117			0.97953 ± 0.00535
118	0	0	0.90955 ± 0.00625 (same as No25)
119			0.91387 ± 0.00593 (same as No26)
120			0.90700 ± 0.00516 (same as No27)
121			0.89137 ± 0.00516 (same as No28)

Table 16
Comparison between Present Calculated Values
and
Reported Values

Serial No	Present (Reflection from Table Only)	Reported	
		Reflection from Table only	Reflection from Room and Table
122	0.92061 ± 0.00633	0.979 ± 0.009	0.981 ± 0.013 (15) ^a
123	0.92829 ± 0.00652	0.975 ± 0.010	
124	0.90730 ± 0.00546 ^b	0.977 ± 0.010	
125	0.90308 ± 0.00503 ^c	0.958 ± 0.012	
126	0.90955 ± 0.00625 ^d	0.961 ± 0.010 (23) ^a	0.969 ± 0.010 (21) ^a
127	0.94280 ± 0.00607 ^e	0.986 ± 0.009 (26) ^a	

a Value in parentheses is the number of batches averaged.
If no value is given, 30 batches were used.

b This case is the same one as No. 54.

c This case is the same one as No. 62.

d This case is the same one as No. 25.

e This case is the same one as No. 43.

Table 17
Calculated k_{eff} for Pass-Through Configuration

Serial No	Critical Solution Height (cm)	$k_{eff} \pm \sigma$
128	88 ± 1	1.01197 ± 0.00553

* This case was calculated with general geometry option in
KENO - IV code.

Table 18
Effect of Room Environment

Table only	Concrete Thickness (cm)		
	20	52.5	188
0.89728 ± 0.00523	0.91787 ± 0.00536	0.92267 ± 0.00563	0.91815 ± 0.00533

Table 20
Effect of Neutron Numbers per Batch

Neutron Numbers per Batch			
300	600	1200	3000
0.90957 ± 0.00516	0.90957 ± 0.00400	0.90408 ± 0.00275	0.90914 ± 0.00206

Table 19 (1)

Comparison between the Results of k_{eff} obtained
by 26 Group and 137 Group Libraries

No.	26 group	137 group
1	0.90957±0.00516	0.91789±0.00647
2	—	—
3	—	—
4	0.89718±0.00601	0.91918±0.00532
5	—	—
6	—	—
7	0.91475±0.00529	0.91740±0.00556
8	0.89723±0.00523	0.93225±0.00539
9	—	—
10	0.98356±0.00564	0.99609±0.00568
11	0.90563±0.00588	0.92469±0.00565
12	0.91537±0.00568	0.91913±0.00602
13	0.89742±0.00583	0.91325±0.00511
14	0.89460±0.00566	0.90580±0.00549
15	0.90342±0.00582	0.90610±0.00546
16	0.90449±0.00569	0.92139±0.00572
17	0.90435±0.00569	0.92236±0.00520
18	0.89570±0.00560	0.91352±0.00619
19	0.89882±0.00501	0.92878±0.00536
20	0.90392±0.00546	0.91638±0.00574
21	0.91441±0.00560	0.92141±0.00606
22	0.88621±0.00615	0.90918±0.00503
23	0.90852±0.00550	0.91980±0.00578
24	0.91731±0.00512	0.92784±0.00581
25	0.90955±0.00625	0.92270±0.00553
26	0.91387±0.00593	0.92401±0.00576
27	0.90700±0.00516	0.91871±0.00514
28	0.89137±0.00511	0.91029±0.00570
29	0.91091±0.00581	0.92939±0.00517
30	0.90047±0.00631	0.92999±0.00548
31	0.90631±0.00493	0.91795±0.00568
32	0.89896±0.00656	0.92099±0.00531
33	0.90682±0.00528	0.92790±0.00509
34	0.92188±0.00536	0.93108±0.00569
35	0.91504±0.00512	0.93135±0.00539

Table 19 (2)

No	26 group	137 group
36	0.93215±0.00555	0.96116±0.00508
37	0.89801±0.00635	0.91984±0.00550
38	0.90995±0.00607	0.93283±0.00543
39	0.91515±0.00581	0.93015±0.00617
40	0.90956±0.00569	0.92428±0.00584
41	0.90777±0.00587	0.92708±0.00600
42	0.90050±0.00542	0.91418±0.00581
43	0.94280±0.00607	0.94038±0.00651
44	0.92859±0.00638	0.94586±0.00577
45	0.94658±0.00624	0.93938±0.00555
46	0.93137±0.00571	0.93838±0.00557
47	0.92372±0.00615	0.92543±0.00609
48	0.90183±0.00537	0.91761±0.00529
49	0.92342±0.00523	0.93084±0.00535
50	0.89090±0.00543	0.90703±0.00572
51	0.90479±0.00575	0.93837±0.00579
52	0.90940±0.00555	0.92694±0.00677
53	0.90634±0.00538	0.91584±0.00589
54	0.90730±0.00546	0.90704±0.00588
55	0.91500±0.00603	0.92990±0.00639
56	0.90261±0.00569	0.93483±0.00588
57	0.91118±0.00578	0.92324±0.00527
58	0.91900±0.00535	0.93285±0.00640
59	0.93955±0.00609	0.94836±0.00604
60	0.94910±0.00553	0.96244±0.00533
61	0.93882±0.00580	0.95775±0.00680
62	0.92308±0.00503	0.95633±0.00617
63	0.90650±0.00527	0.91673±0.00545
64	0.91606±0.00535	0.92990±0.00619
65	0.90732±0.00567	0.91707±0.00540
66	0.93026±0.00631	0.93708±0.00625
67	0.92984±0.00508	0.94254±0.00505
68	0.91091±0.00587	0.92593±0.00505
69	0.91088±0.00526	0.93829±0.00507
70	0.90142±0.00581	0.90887±0.00535
71	0.90621±0.00553	0.92735±0.00541
72	0.93609±0.00563	0.94039±0.00572

Table 19 (3)

No	26 group	137 group
73	0.93994±0.00629	0.94946±0.00620
74	0.93436±0.00642	0.94811±0.00595
75	0.92177±0.00598	0.94066±0.00571
76	0.92113±0.00586	0.92434±0.00521
77	0.94029±0.00552	0.95532±0.00549
78	0.93568±0.00616	0.95684±0.00524
79	0.92560±0.00572	0.94927±0.00567
80	0.89264±0.00497	0.91547±0.00612
81	0.93737±0.00583	0.94906±0.00630
82	0.91581±0.00591	0.93533±0.00527
83	0.89831±0.00535	0.91733±0.00519
84	0.88051±0.00641	0.90691±0.00608
85	0.93848±0.00672	0.96174±0.00555
86	0.92811±0.00512	0.92667±0.00589
87	0.88405±0.00548	0.90654±0.00591
88	0.87125±0.00601	0.89061±0.00583
89	0.89509±0.00627	0.91153±0.00498
90	1.00958±0.00609	1.01384±0.00432
91	0.99482±0.00538	1.00403±0.00560
92	0.99014±0.00511	1.00700±0.00545
93	—	—
94	1.00509±0.00563	1.00848±0.00485
95	0.99940±0.00509	1.00699±0.00541
96	0.99936±0.00528	1.00570±0.00487
97	—	—
98	1.00947±0.00553	1.00492±0.00485
99	0.99632±0.00615	0.99998±0.00539
100	0.98264±0.00518	0.98504±0.00545
101	0.97964±0.00542	0.98258±0.00548
102	0.98007±0.00529	1.00342±0.00569
103	0.98614±0.00545	0.99694±0.00527
104	0.96708±0.00566	0.99278±0.00571
105	0.98456±0.00601	1.00555±0.00545
106	0.96347±0.00554	0.97358±0.00586
107	0.95714±0.00577	0.98460±0.00551
108	0.95668±0.00577	0.96961±0.00577
109	0.96998±0.00516	0.98867±0.00508

Table 19 (4)

No	26 group	137 group
110	0.95447 ± 0.00552	0.96780 ± 0.00517
111	0.96535 ± 0.00580	0.95768 ± 0.00545
112	0.95923 ± 0.00553	0.97145 ± 0.00583
113	0.96656 ± 0.00536	0.97548 ± 0.00543
114	0.96125 ± 0.00541	0.97375 ± 0.00561
115	0.96493 ± 0.00566	0.97383 ± 0.00563
116	0.95683 ± 0.00493	0.97661 ± 0.00565
117	0.97953 ± 0.00535	0.98918 ± 0.00591
118	—	—
119	—	—
120	—	—
121	—	—
122	0.92061 ± 0.00633	0.94016 ± 0.00620
123	0.92829 ± 0.00652	0.96839 ± 0.00564
124	—	—
125	—	—
126	—	—
127	—	—
128	1.01197 ± 0.00553	1.01042 ± 0.00566

Table 21
Effect of Initial Distribution

No	Initial Distribution of Neutron		
	flat	cosine	center
1	0.90957 ± 0.00516	0.90547 ± 0.00535	0.90634 ± 0.00555

Table 22
Corrected Calculation included
four effects

No	Original Calculation	Corrected Calculation
1	0.90957 ± 0.00516	0.93307 ± 0.00576

Table 23
Averaged Multiplication Factors Calculated
by KENO-IV with Various Reflector Thickness

Top and Side Reflector Thickness (cm)	Slab Tank Bottom Reflector Thickness (cm)	$\bar{k}_{eff} \pm \sigma$
1 0.2	1 0.2	0.99705 ± 0.00542
7.6	1 0.2	0.99136 ± 0.00553
5.1	1 0.2	0.97947 ± 0.00558
2.5	1 0.2	0.96073 ± 0.00553
0	1 0.2	0.96372 ± 0.00555
0	5.1	0.96529 ± 0.00531
0	0	0.90440 ± 0.00553

Table 24 (1)

Comparison of Leakage

No	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^K$ ¹⁾	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^T$ ²⁾	δ (%) ³⁾
1	0.49520	0.44583	11.07
2	—	—	—
3	—	—	—
4	0.50243	0.44569	12.73
5	—	—	—
6	—	—	—
7	0.49237	0.44518	10.60
8	0.50182	0.44477	12.83
9	—	—	—
10	0.14500	0.13125	10.48
11	0.49828	0.44551	11.84
12	0.49244	0.44583	11.76
13	0.50244	0.44538	12.81
14	0.50376	0.44540	13.10
15	0.49874	0.44513	12.04
16	0.49809	0.44487	11.96
17	0.49694	0.44410	11.90
18	0.50321	0.44430	13.26
19	0.50093	0.44468	12.65
20	0.49640	0.44327	11.99
21	0.49130	0.44335	10.82
22	0.50624	0.44304	14.27
23	0.49517	0.44337	11.68
24	0.48996	0.44407	10.33
25	0.49121	0.44066	11.47
26	0.48859	0.44049	10.92
27	0.49340	0.44031	12.06
28	0.50253	0.44020	14.16
29	0.49485	0.44551	11.07
30	0.50010	0.44496	12.39
31	0.49770	0.44502	11.84
32	0.49946	0.44403	12.48
33	0.49632	0.44494	11.55
34	0.48880	0.44463	9.93
35	0.49163	0.44458	10.58

Table 24 (2)

No	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^K$ ¹⁾	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^T$ ²⁾	(%) ³⁾
36	0.48395	0.44697	8.27
37	0.50114	0.44403	12.86
38	0.49260	0.44323	10.66
39	0.49049	0.44328	10.65
40	0.49263	0.44256	11.31
41	0.49487	0.44261	11.81
42	0.49799	0.44254	12.53
43	0.47374	0.44207	7.16
44	0.48112	0.44156	8.96
45	0.47163	0.44193	6.72
46	0.48084	0.44165	8.87
47	0.48584	0.44121	10.12
48	0.49523	0.43980	12.60
49	0.48444	0.44017	10.06
50	0.50311	0.43982	14.39
51	0.49915	0.44537	12.08
52	0.49596	0.44442	11.60
53	0.49797	0.44150	12.19
54	0.49599	0.44369	11.79
55	0.49252	0.44477	10.74
56	0.49850	0.44400	12.28
57	0.49283	0.44341	11.15
58	0.48922	0.44365	10.27
59	0.47969	0.44495	7.81
60	0.47328	0.44461	6.45
61	0.47843	0.44415	7.72
62	0.48712	0.44318	9.92
63	0.49336	0.44124	11.81
64	0.48841	0.44161	10.60
65	0.49342	0.44104	11.88
66	0.48076	0.44083	9.06
67	0.48065	0.44058	9.09
68	0.48964	0.43910	11.51
69	0.48815	0.43859	10.15
70	0.49506	0.43878	12.83
71	0.49220	0.43843	12.26

Table 24 (3)

No	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^{K 1)}$	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^{T 2)}$	δ (%) ³⁾
72	0.48117	0.44559	7.99
73	0.48068	0.44699	7.53
74	0.48264	0.44595	8.23
75	0.48761	0.44316	10.03
76	0.48642	0.44204	10.04
77	0.48029	0.44762	7.30
78	0.48149	0.44568	8.03
79	0.48659	0.44421	9.54
80	0.50098	0.44176	13.40
81	0.47762	0.44350	7.69
82	0.48926	0.44291	10.47
83	0.49928	0.44216	12.92
84	0.50796	0.44153	15.05
85	0.47746	0.44382	7.58
86	0.48405	0.44394	9.03
87	0.50777	0.44326	14.56
88	0.51494	0.44295	16.25
89	0.50307	0.44338	13.46
90	0.16165	0.16917	-4.44
91	0.14564	0.14057	3.61
92	0.13971	0.13014	7.35
93	—	—	—
94	0.15491	0.16029	-3.35
95	0.15453	0.15362	5.91
96	0.13782	0.13721	4.44
97	—	—	—
98	0.22415	0.23012	-2.60
99	0.21851	0.21630	1.23
100	0.19416	0.17841	8.83
101	0.18420	0.16728	10.11
102	0.32075	0.30635	4.70
103	0.30327	0.29274	3.60
104	0.27736	0.25500	8.77
105	0.24642	0.23309	5.72
106	0.41066	0.38833	5.75
107	0.39982	0.37356	7.03

Table 24 (4)

No	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^{K 1)}$	$\left(\frac{L}{L+A}\right)^{T 2)}$	δ (%) ³⁾
108	0.37425	0.34601	8.16
109	0.32828	0.30693	6.96
110	0.31559	0.28323	11.42
111	0.38548	0.36339	6.08
112	0.37521	0.34830	7.73
113	0.35014	0.32739	6.95
114	0.42570	0.40205	5.88
115	0.41640	0.39353	5.81
116	0.41063	0.38266	7.31
117	0.39169	0.37725	3.83
118	—	—	—
119	—	—	—
120	—	—	—
121	—	—	—
122	0.49002	0.44561	9.97
123	0.48638	0.44564	9.14
124	—	—	—
125	—	—	—
126	—	—	—
127	—	—	—
128	0.15616	0.16558	-5.69

(1) $\left(\frac{L}{L+A}\right)^K$: Calculated leakage fraction from KENO-N
out-put

(2) $\left(\frac{L}{L+A}\right)^T$: Calculated leakage fraction, assuming k_{eff}
= 1.0

(3) δ : Deviation of leakage fraction (%)

Table 25
Four Factors in Unreflected
and Reflected Arrays

	ϵ	$\eta \cdot f$	P	\mathbb{P}
0.26 ¹⁾	1.49	1.97	0.610	0.511
0.95 ²⁾	1.35	1.11	0.789	0.845

(1): Unreflected array

(2): Reflected array

$$\epsilon = 1 + \frac{(\nu \sum_f \phi) \text{ epi}}{(\nu \sum_f \phi) \text{ th}}$$

$$\eta \cdot f = \frac{(\nu \sum_f \phi) \text{ th}}{(\sum_a \phi) \text{ th}}$$

$$P = \frac{(\sum_a \phi) \text{ th}}{A}$$

$$\mathbb{P} = \frac{A}{L + A}$$

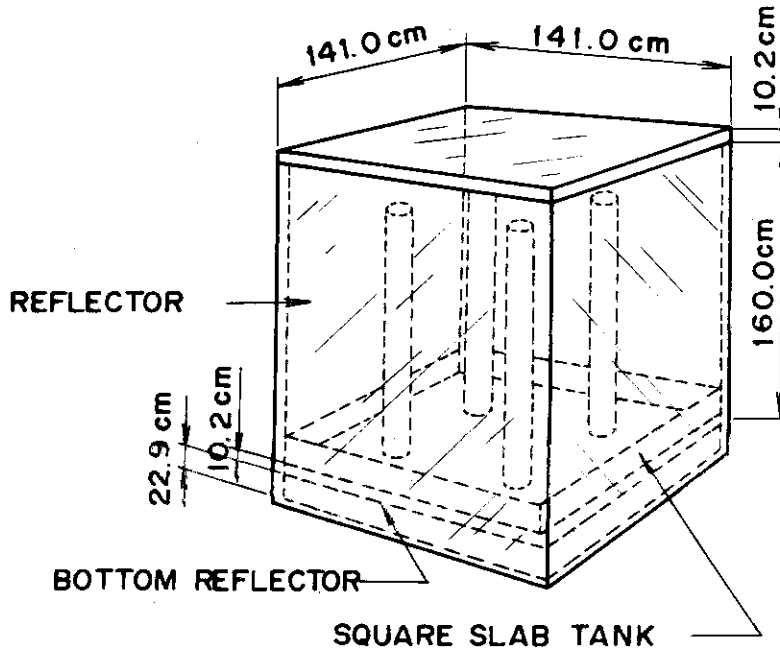


Fig. 1 Typical reflected experimental configuration.
 (This figure is cited from ref.1).)

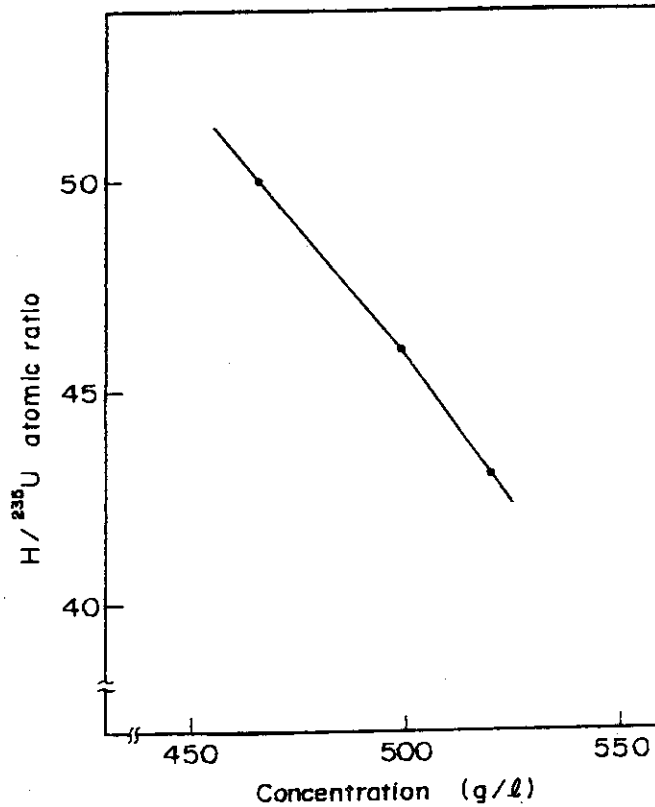
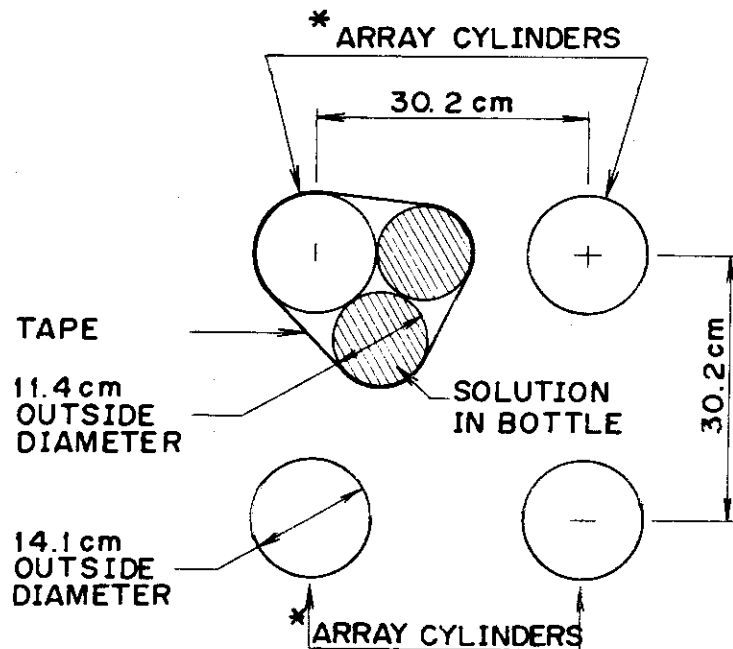


Fig. 2 Interpolation scheme of H/²³⁵U atomic ratio from uranium concentration.

A solid circle indicates a reported value in ref.1).



Only the inner 4 cylinders of the 16 cylinder array are shown

Fig. 3 Placement of solution bottles in the array.
(This figure is cited from ref 1).)

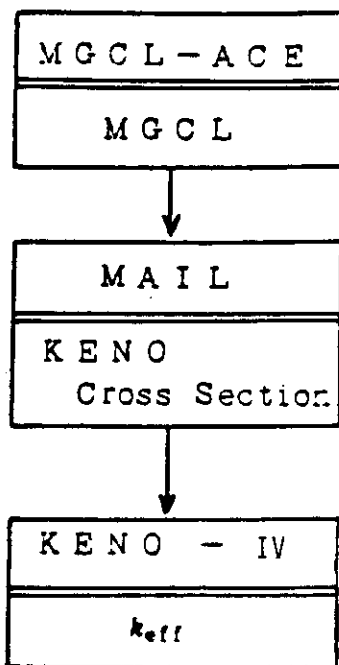


Fig. 4 Flow diagram for KENO-IV calculation,

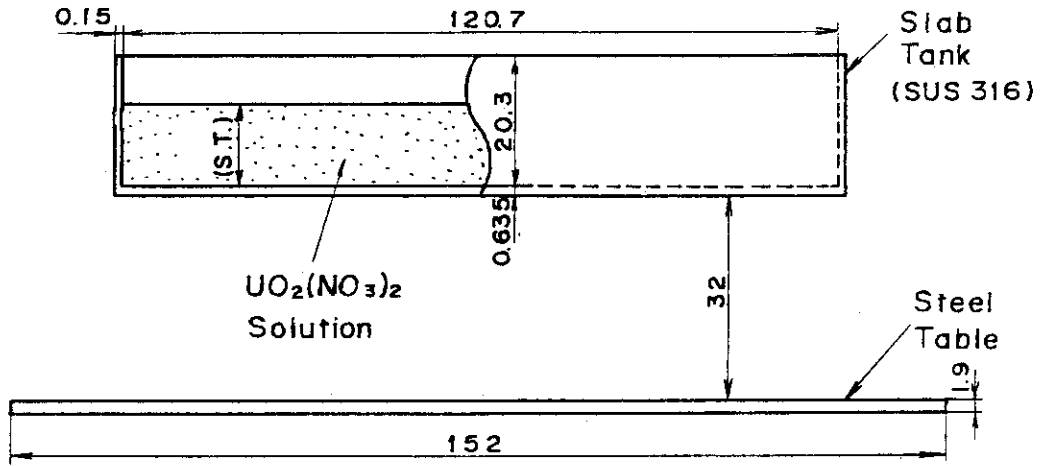


Fig. 5 Typical dimension of the minimum reflector configuration without cylinder.

[S.T.] indicates a slab thickness, which is a parameter of criticality.

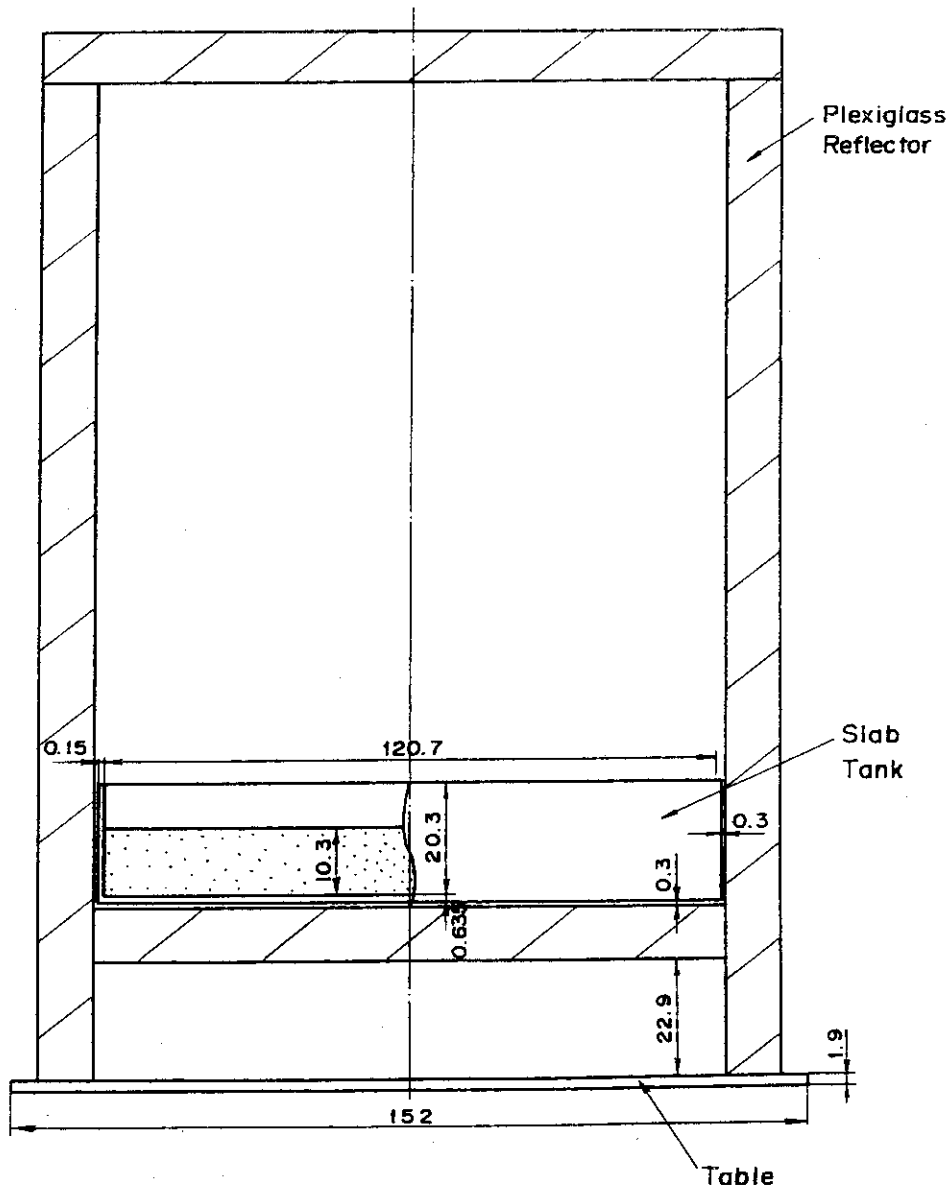


Fig. 6 Typical dimension of reflected slab tank.

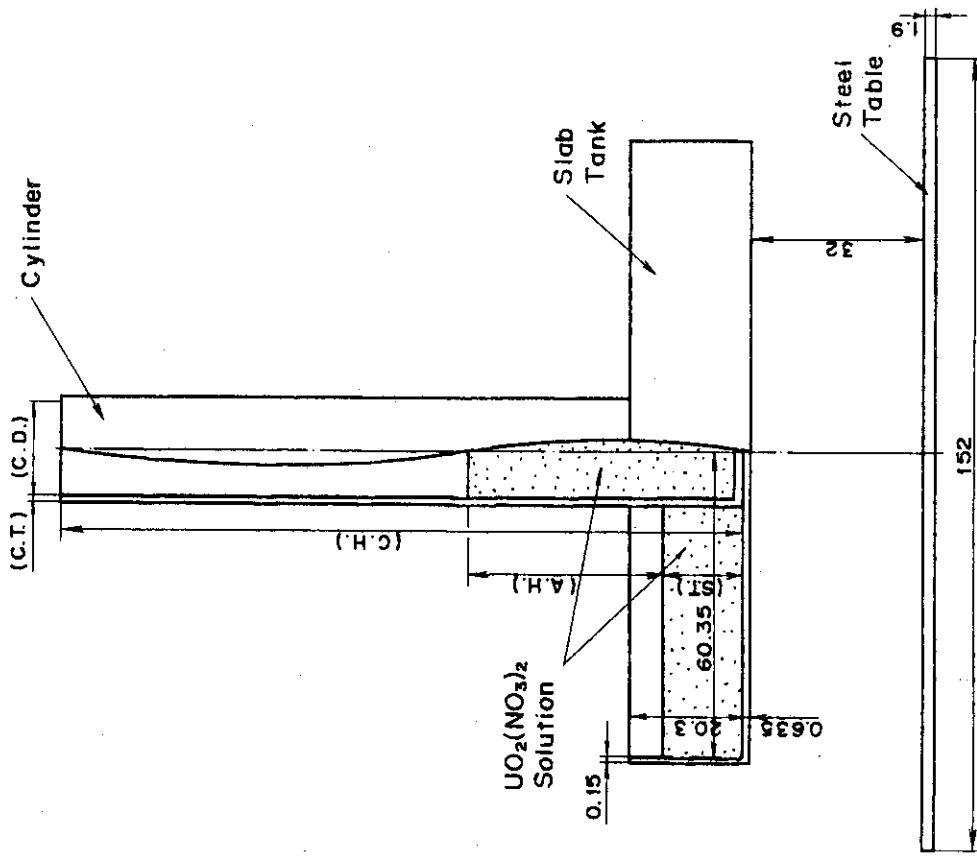


Fig. 7 Typical dimension of the minimum reflector configuration with one cylinder.

- [C.D.] ; Cylinder diameter
- [C.T.] ; Cylinder wall thickness
- [C.H.] ; Cylinder height
- [S.T.] ; Slab thickness
- [A.H.] ; Array height given in Table 4

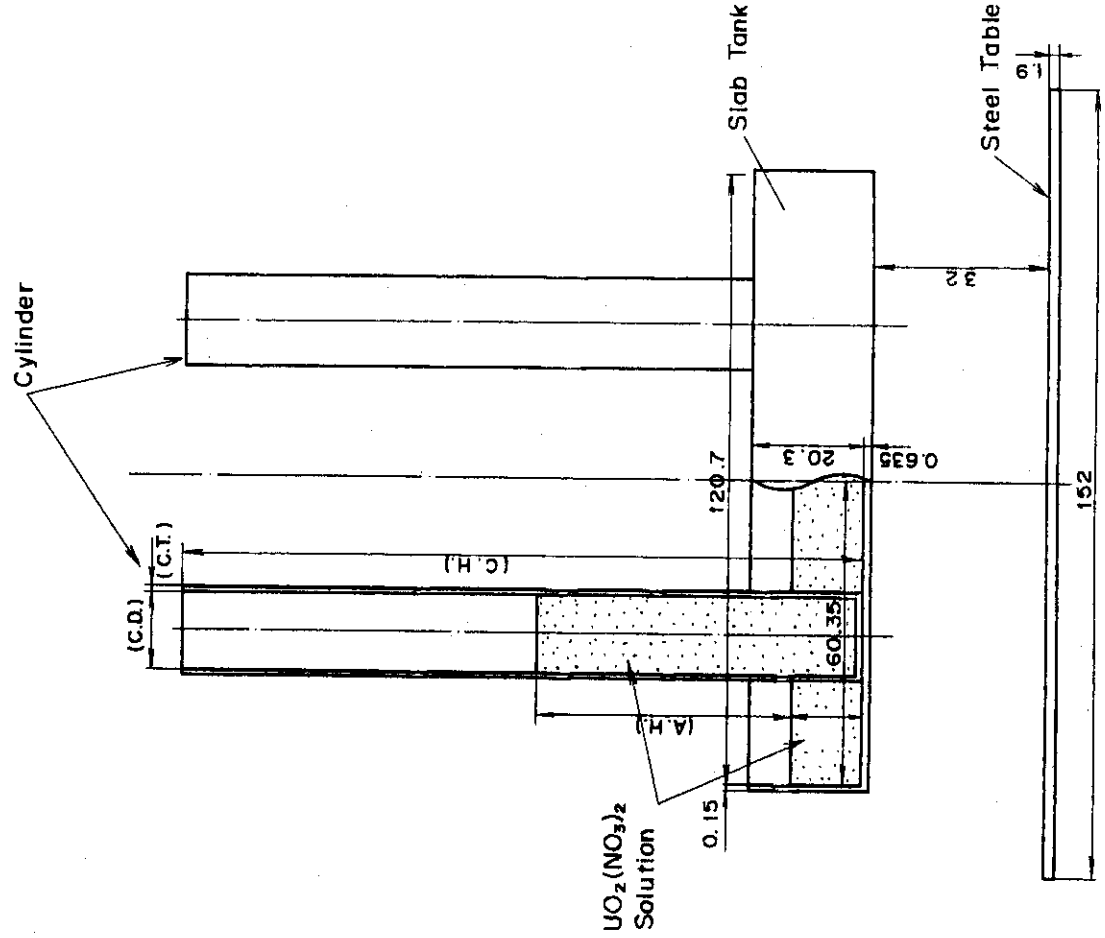


Fig. 8 Typical dimension of the minimum reflector configuration with 2x2 cylinder array.

The parameters have the same means as in Fig. 7.

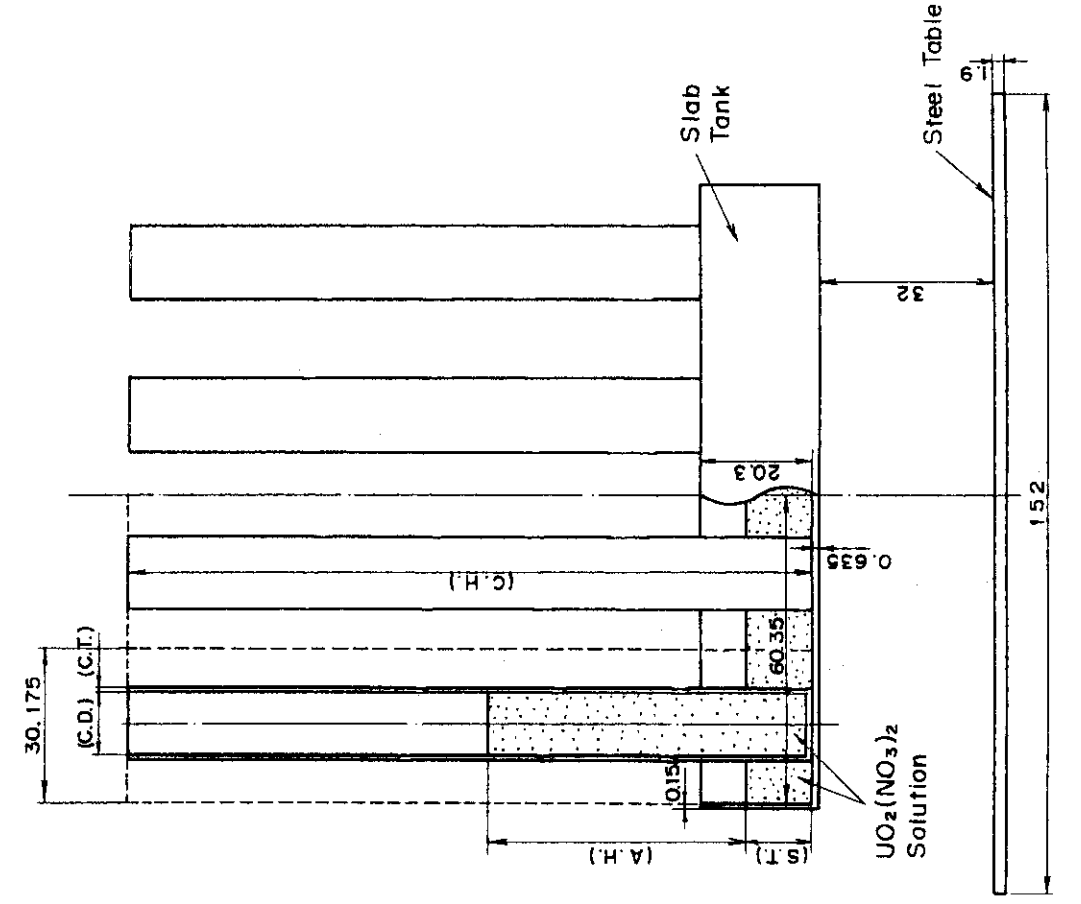


Fig.10 Typical dimension of the minimum reflector configuration with 4x4 cylinder array.

The parameters have the same means as in Fig. 7 .

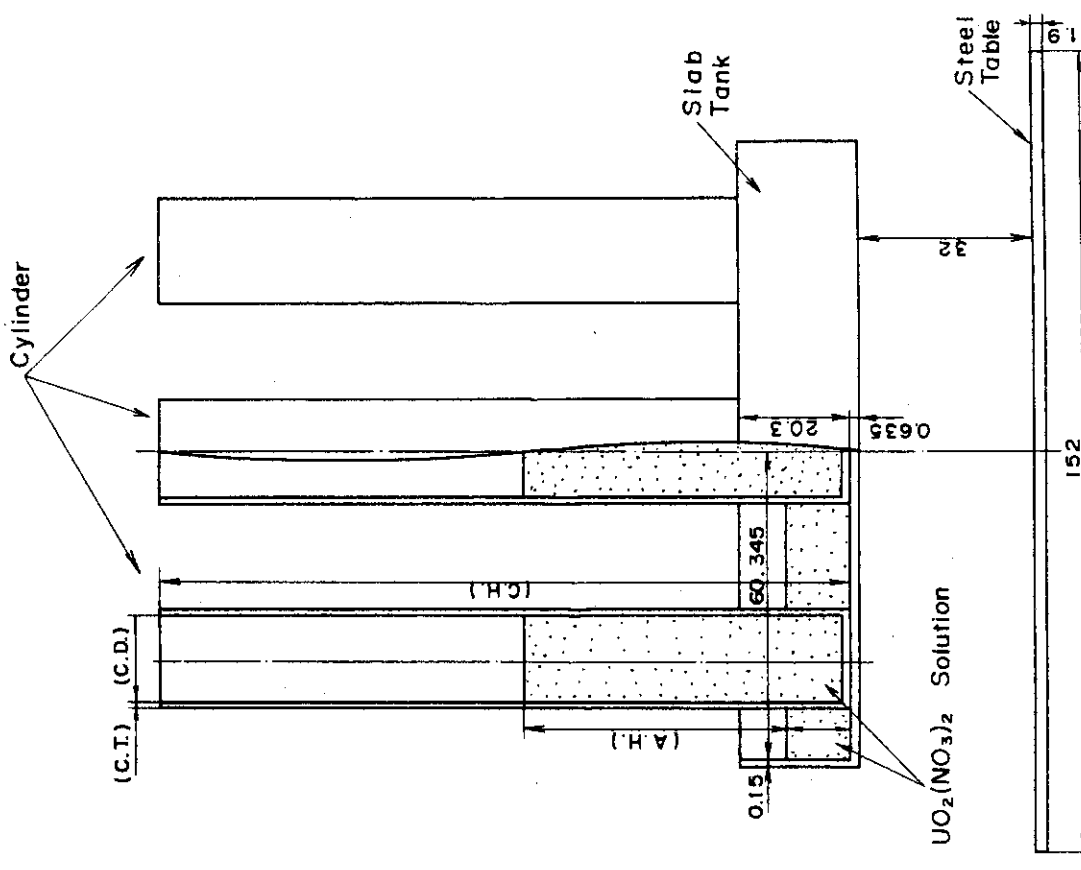


Fig. 9 Typical dimension of the minimum reflector configuration with 3x3 cylinder array.

The parameters have the same means as in Fig. 7 .

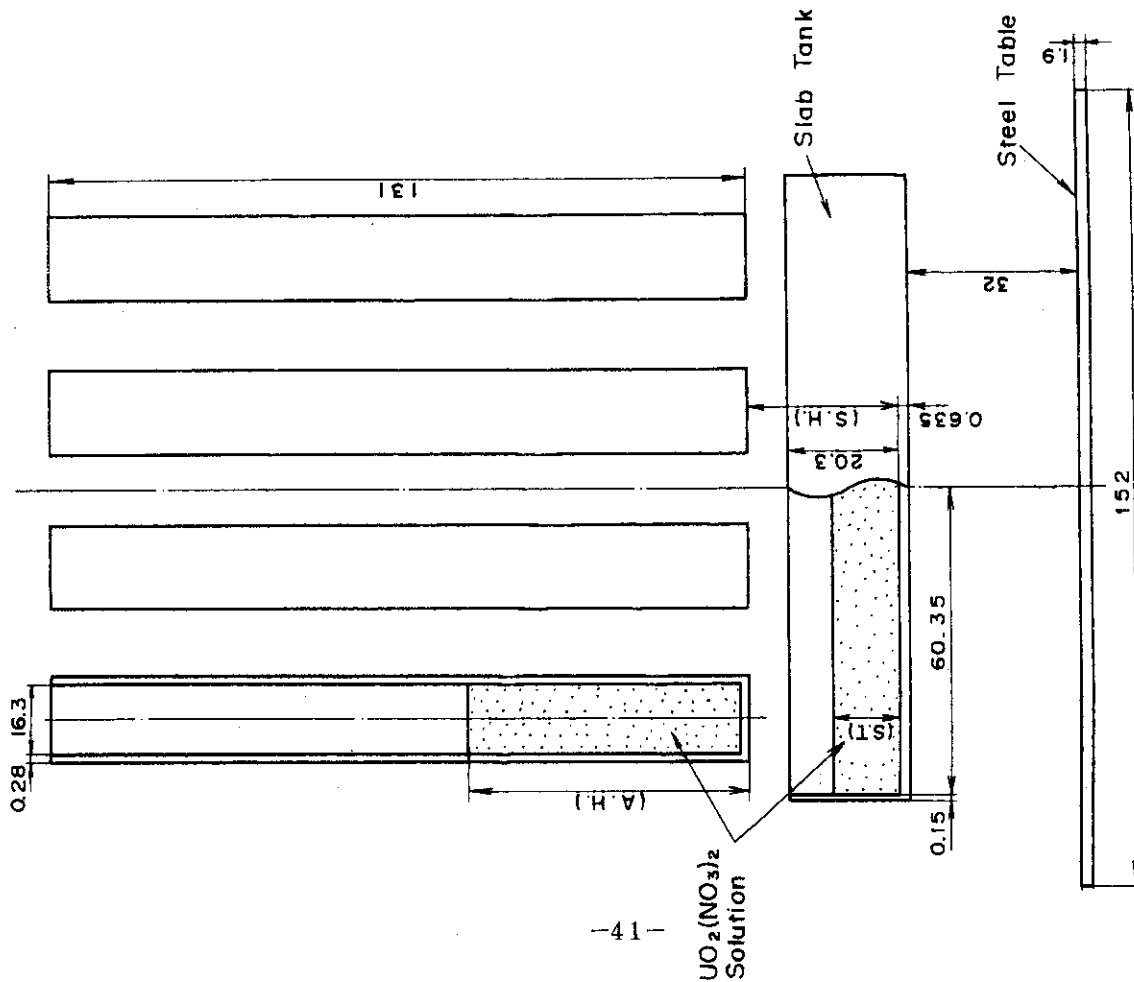


Fig. 11 Typical dimension of the 4x4 cylinder array suspended above slab.
[S.H.] ; Suspended height

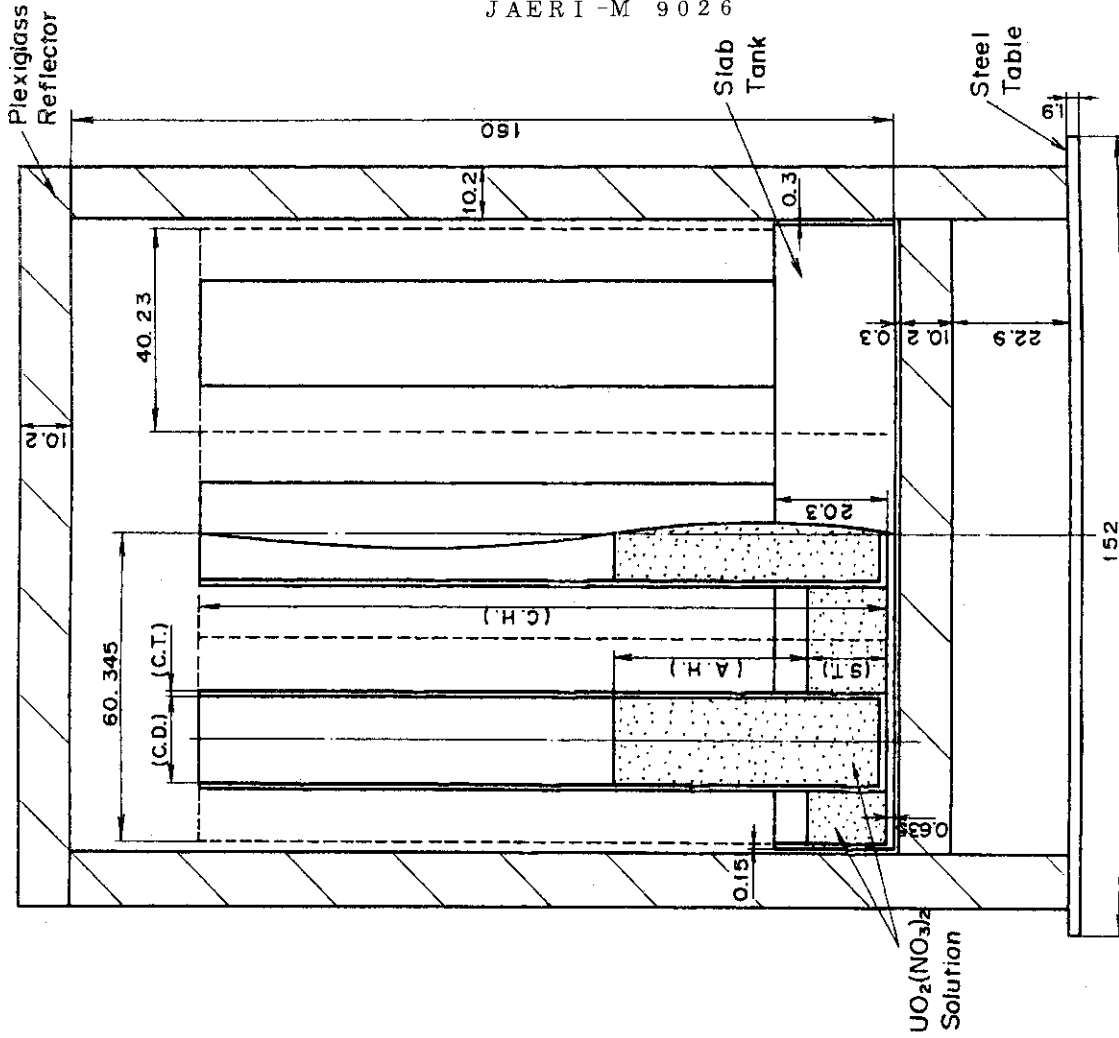


Fig. 12 Typical dimension of the reflected 3x3 cylinder array.
The parameters have the same means as in Fig. 7.

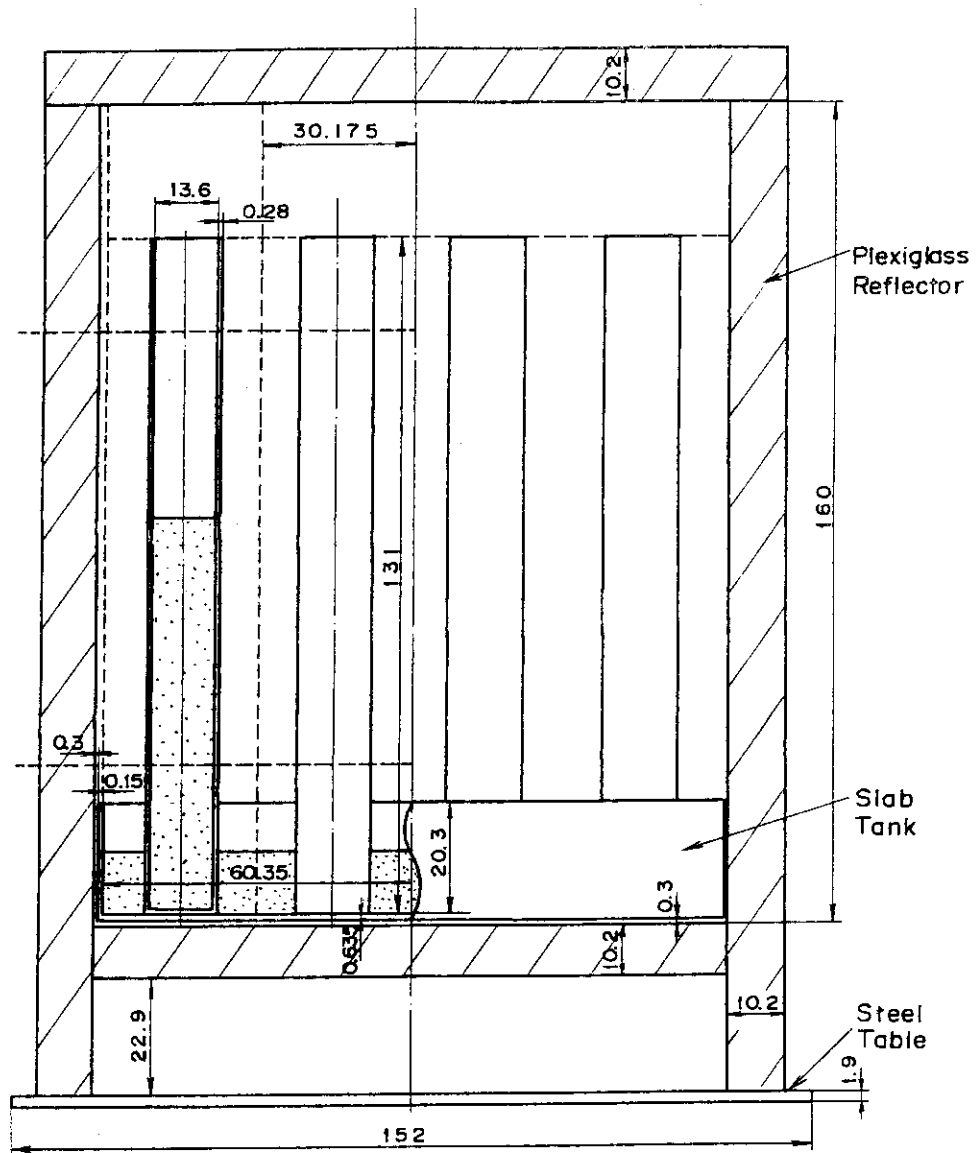


Fig. 13 Typical dimension of the reflected 4x4 cylinder array.

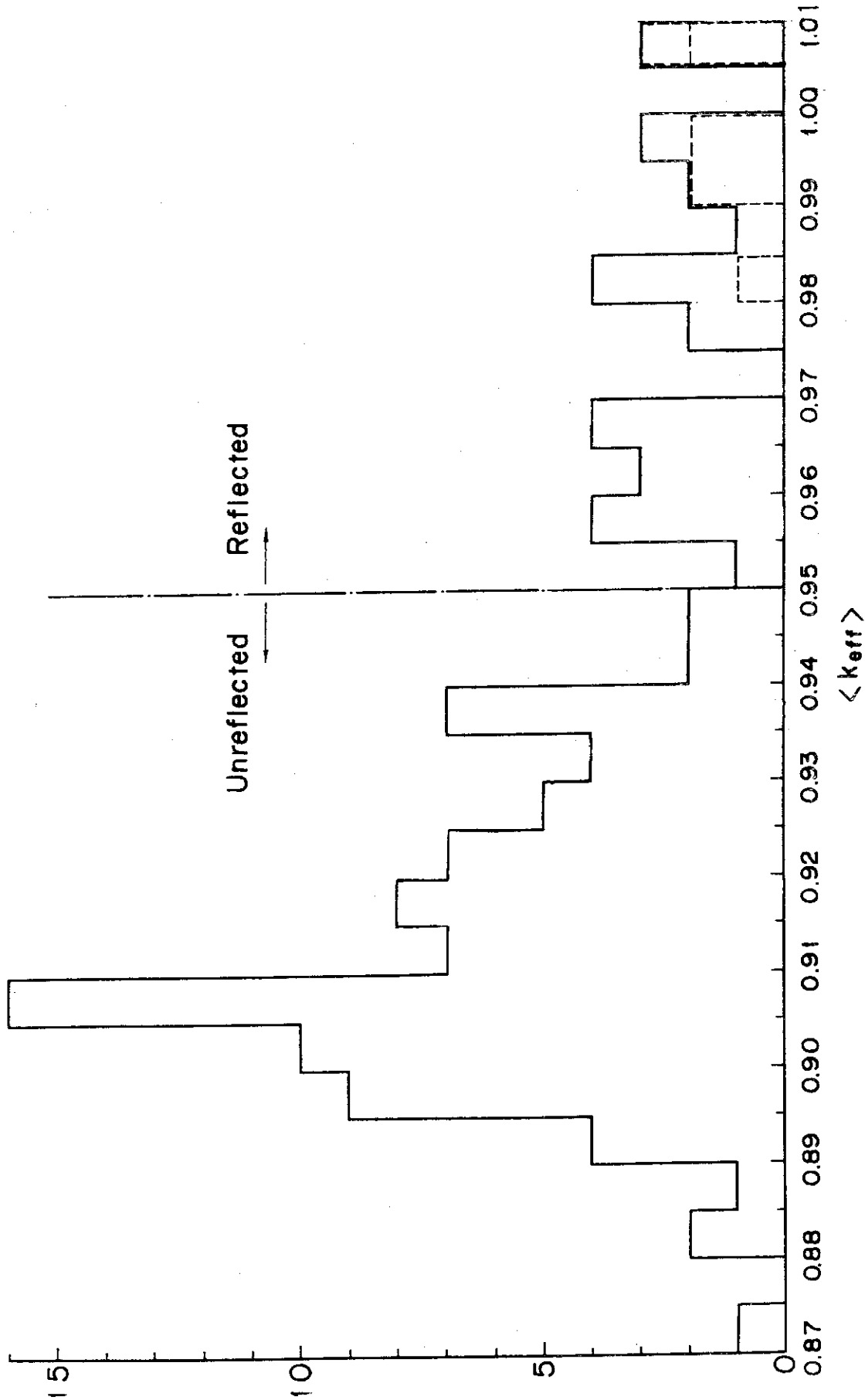


Fig. 14 Histogram of calculated multiplication factor (K_{eff}). Calculated K_{eff} 's are divided into two groups; one has the values lower than 0.95, which corresponds to the unreflected arrais, the other has the values greater than 0.95, which corresponds to the reflected arrais.

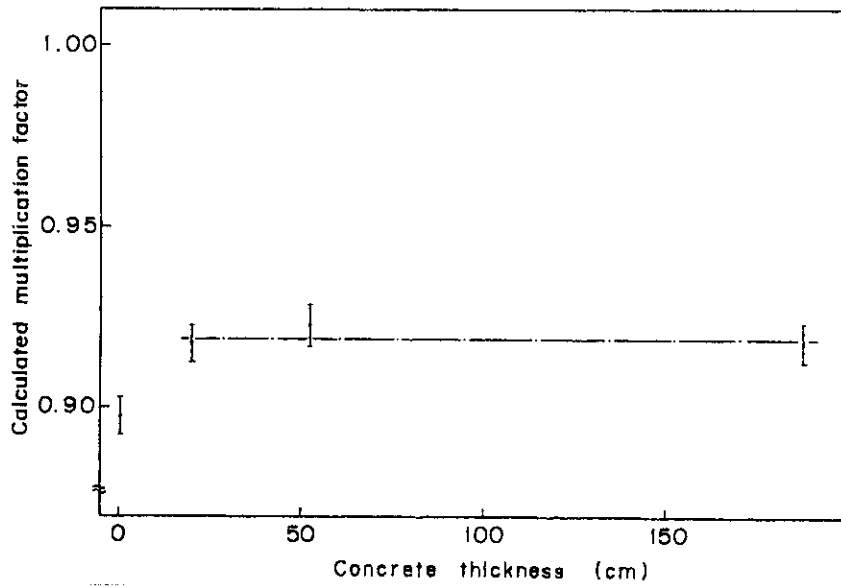


Fig. 15 Variation of calculated k_{eff} with concrete thickness.
 Floor, wall and ceiling have the same concrete thickness.

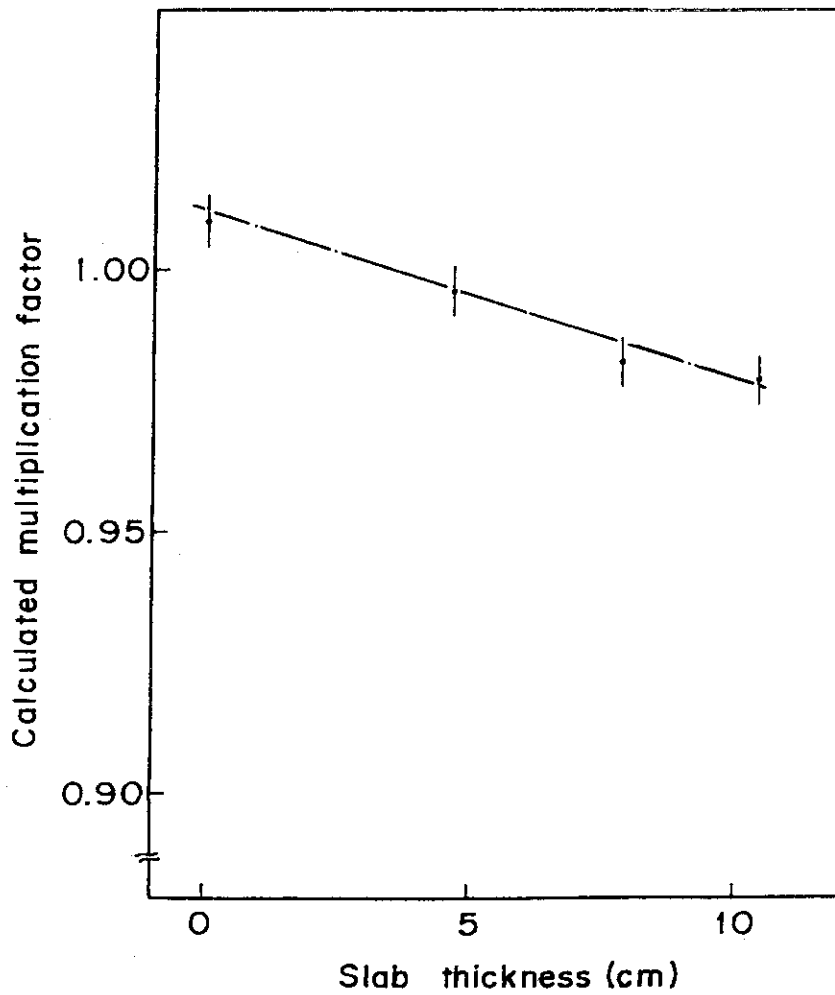


Fig. 16 Variation of calculated k_{eff} with slab thickness.
 These are the reflected array with 10.2 cm plexiglass reflector.

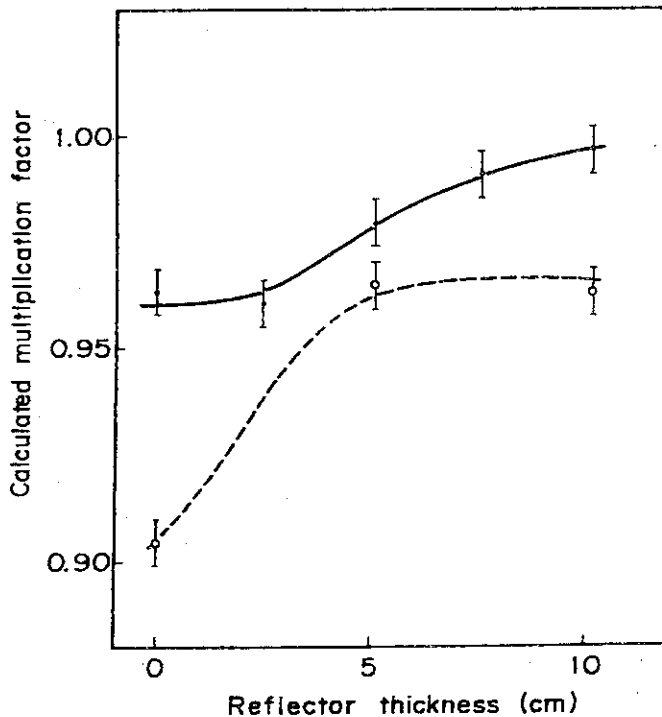


Fig. 17 Variation of calculated k_{eff} with reflector thickness. Closed circles indicate the change of k_{eff} with top and side reflector thickness. Bottom reflector thickness is fixed to be 10.2 cm. Open circles indicate the change of k_{eff} with bottom reflector thickness. Top and side reflector thickness are fixed to be 0 cm.

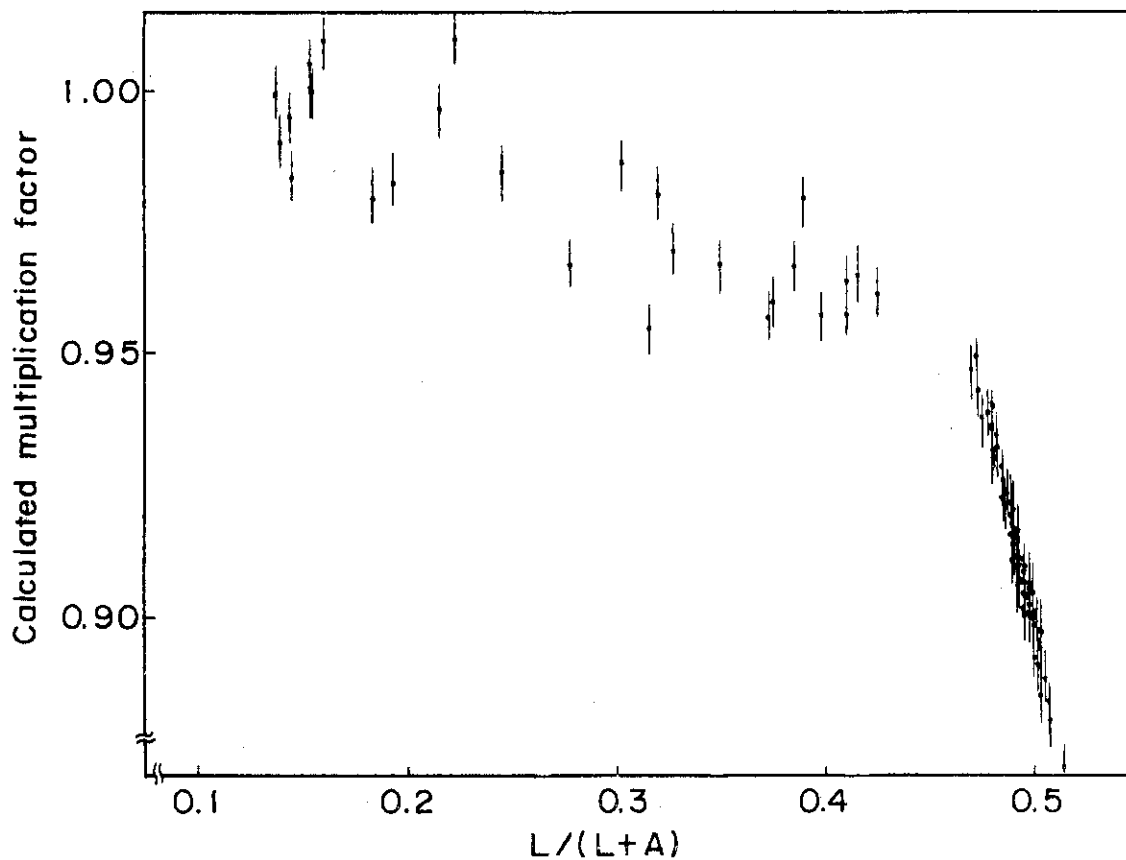


Fig. 18 Relation of calculated k_{eff} with leakage fraction. L and A indicate leakage and absorption, respectively.

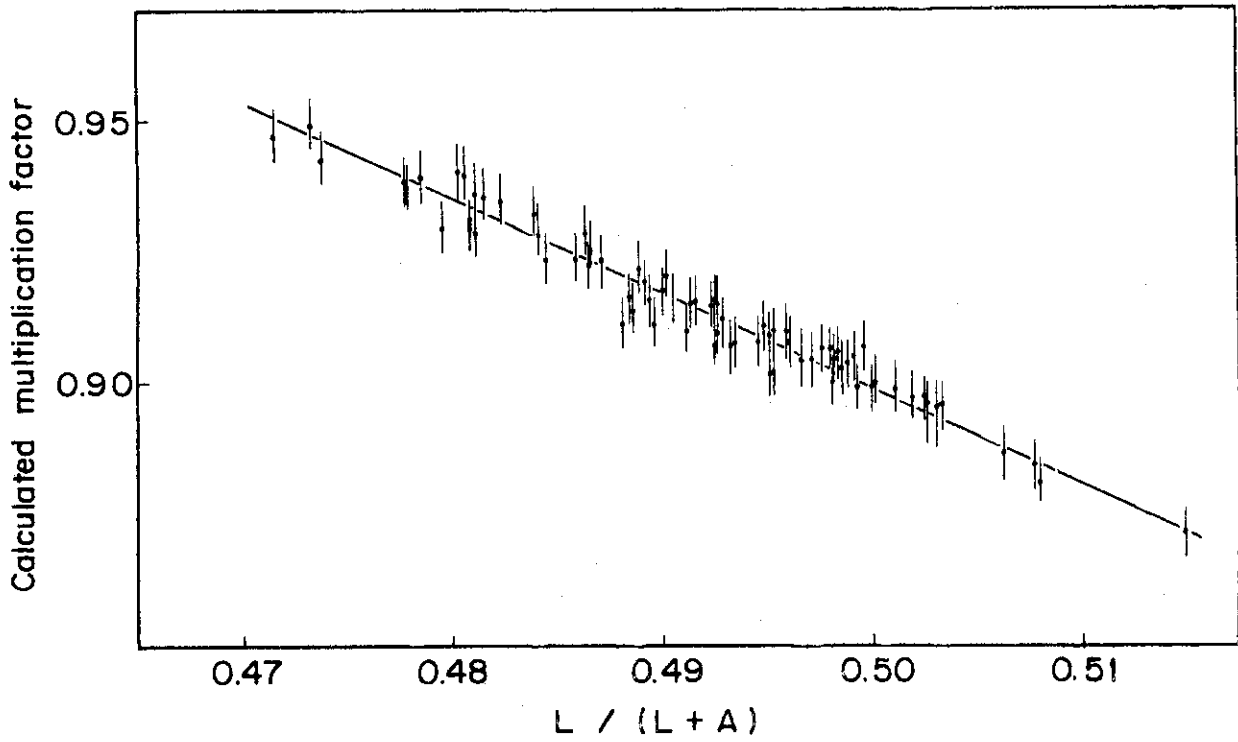


Fig. 19 Relation of calculated k_{eff} with leakage fraction for reflected array.

L and A indicate the same notation as in Fig. 17.

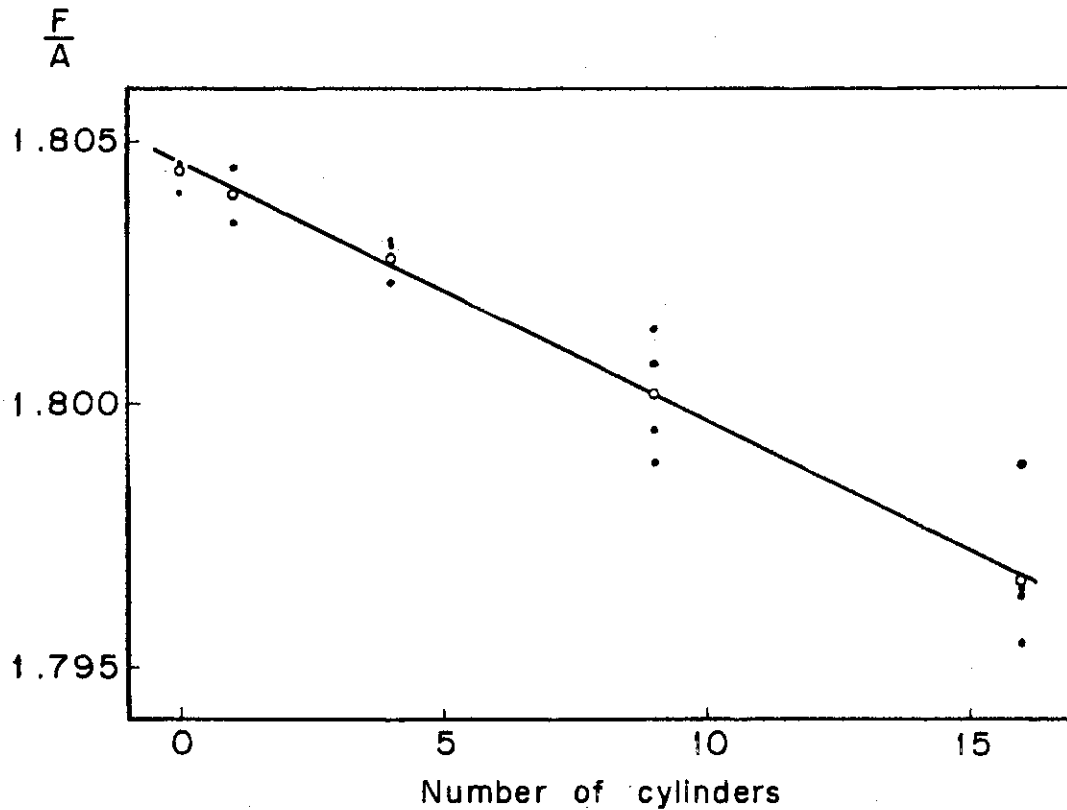


Fig. 20 Variation of F/A with the number of cylinders.

F is a fission fraction and A is an absorption fraction. Closed circles are calculated values from KENO-output. Open circles are the averaged values.

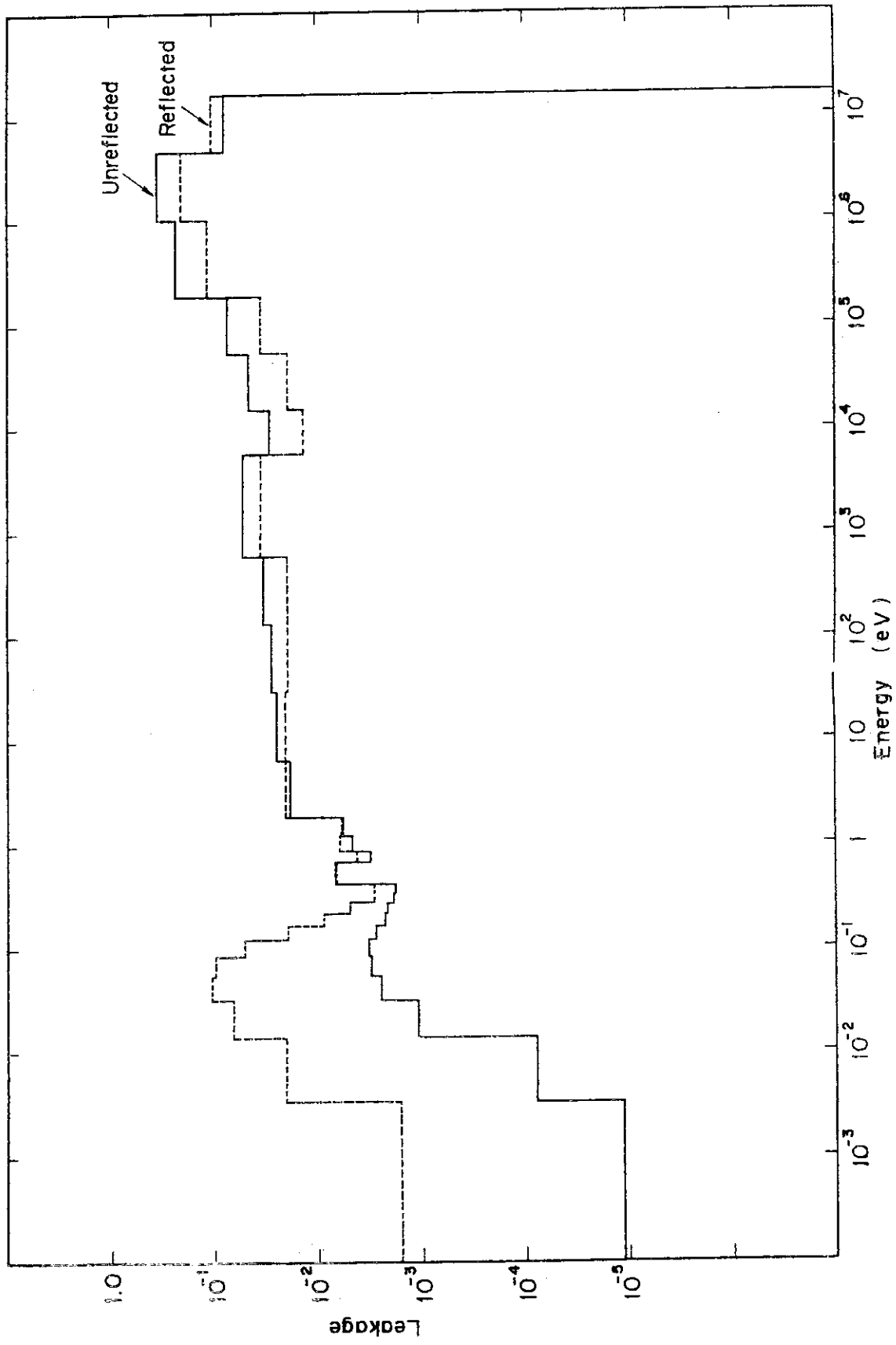


Fig. 21 Examples of normalized leakages for an unreflected and a reflected array.
 Straight line is for an unreflected array; dotted line is for a reflected array.