PNC T J 2602 87-002

高速炉炉体まわり遮蔽効果評価実験 I.

----- 陽子反跳型飛跡検出器とその遮蔽プラグストリーミング実験への応用 -----

昭和62年 3月

受託研究報告書

東京大学 工学部 原子力工学科

周 英明.

62. 5. 12

技術情報室

目次

1. 序論

2. 陽子反跳型飛跡検出器
   2.1 構成と測定原理
   2.2 感度とその方向依存性
   2.3 高エネルギー反跳陽子に対する CR-39 検出器の感度

3. 燃料集合体下部遮蔽プラグストリーミング実験
   3.1 緒言
   3.2 ストリーミング実験体系
   3.3 測定結果

4. 結論

Appendix

弥生B運転位置ファーストコラム内に漏洩する
高速中性子ビームの線源としての特性.(UTNL-R-0188).

要旨

ポリエチレン板のラジエーターと CR-39 などのポリカーボネイト板を組合せた 陽子反跳型の固体飛跡検出器は、高速中性子のイメージャーとして保健物理分野で近年盛んに研究され利用されつつある。

この検出器は電子のサイズも小さく、かつ約0.1 MeV以上の高速中性子のみを高感度で検出できる可能性を持っており、遮蔽実験特にストリーミング実験に有用であると思われる。

ここでは Am-Be や 14MeV 中性子源を用いた較正実験により、その感度の精度・方向依存性を検討した。

次にこの検出器を FBR 燃料集合体の下部の遮蔽プラグのストリーミング測定に利用した。

得られた主な結論は次のとおりである。

1. この検出器は遮蔽実験に使用できる。精度は相対測定を行う場合 5%以下絶対値の比較を行う場合は 20%以下と思われる。

2. 高速中性子フルエンスとして 5×10^{7} n/cm² ~ 10^{8} n/cm² の照射が適当である。

3. 入射方向依存性はあるので（20%程度）なるべく垂直入射に近い条件で用いるのがのぞましい。

4. 14MeV中性子線源を用いて、水素を含有する体系内で測定を行う場合は0.5mm厚程度の鉄などでカバーをすることがのぞましい。

5. 遮蔽プラグストリーミングの実験に利用したところ、減衰率やストリーミング係数を定めるのに有用であることがわかった。

1. 序

近年 高速中性子の個人モニターとして CR-39などを用いた陽子反跳型飛跡検出器が発達してきている。この検出器は素子のサイズも小さく、かつ、約0.1MeV以上の高速中性子のみを高感度で検出できる利点を持っている。

遮蔽実験の分野では従来高速中性子の測定は しきい放射化箔や、核分裂計数管や NE213液体シンチレータを用いていた。しかし前者は感度が低く、原子炉出力が小さい場合は測定できなかった。又後者は γ線との弁別が困難で、かつ検出器のサイズも供試体との相互作用が無視できるほど小さくはない。

弥生は出力が小さいので、高感度小型の高速中性子検出器が遮蔽実験のために待望されていた。上記の陽子反跳型飛跡検出器は、この要求を満しうる可能性がある。ここでは、測定精度などの点でこの検出器が遮蔽実験に用いうるか否かを校正実験により検討し、これをストリーミング実験に応用する。

対象とするストリーミング実験は、FBR炉心構造体下部のしゃへいプラグである。このプラグのストリーミングは、約10年前に弥生で測定されたことがあるが、なお、設計上の最重要項目の1つである。

ここでは弥生ファーストコラムに漏洩する高速中性子ビームの特性が詳しく判明したので、このビームを用いて、以前に弥生ふぁーすとこらむでの実験に使用した供試体を今回は

ファーストコラムにセットしてストリーミングを測定した。

なお、JASPER計画でも遮蔽ブロックのストリーミング実験が計画されているので、弥生では直接設計に役立つデータを得るよりは、計算方法の妥当性の検討のしやすいデータを得ることを目的とし、計算との比較がやりやすい小型の体系を用いている。

2. 陽子反跳型飛跡検出器

2.1 構成と測定原理

陽子反跳飛跡検出器は、高速中性子によって反跳された陽子がプラスチック表面に作る飛跡を測定し、高速中性子フルエンスを求めるものである。

その構成は水素原子を含む材料の板と飛跡を作らせる材料の板を密着し重ね合せたものである。これを照射後分離し、飛跡をエッチングした後計数が行われる。

近年保健物理分野での高速中性子の個人モニターとしての用途のために開発されすでに市販もされている。

日本では4代田保安用品(株)と長瀬ランダーウア(株)より、それぞれ、市販されている。

前者の検出器の構成は、1mm厚のポリエチレン板(0.5mm厚のものの2枚より成る)と約1.6mm厚のCR-39と呼ばれるポリカーボネイト板を密着させたもので、その大きさは1cm×2cmである。
照射後強アルカリ性の液体で飛跡のあるCR-39の板をエッチングし、ルービックスの飛跡計数装置を用いて自動計数を行っている。計数しているのは1cm×2cmの板のうち長手方向の端の部分の両側0.5~1mmと約5mmの部分(ここには素子の番号がある)を除いたところであり、この長さの中にある1cm巾の部分を5本の線でスイープし計数している。1cmの巾のうちやはり両側の0.5~1mmの部分は除かれている。

このようにして計数に使われる面積は 0.23〜0.4cm² である。

一方 後者(長瀬ランダウア)の素子は、1mm厚のポリエチレン板にやはり約1mm厚のポリカーボネイト板を重ね合せたものである。ポリカーボネイトとしては以前はCR-39が用いられていたが、バックグラウンド(当初からあるキズ)の少いTS-1Wを現在は用いている。素子のサイズは千代田保安のものよりはるかに小さく 5mm×1cm である。エッチングはやはり強アルカリの溶液で行うが、千代田保安のものほど強くはない。計数は目視で行われている。読みとりに使われる面積は 3.363mm² と千代田保安のものより1ケタ少く、計数の統計精度をかせぐという観点では欠点である。なお長瀬ランダウアのCR-39を使った旧タイプの素子はCR-39とポリエチレンとの間に薄いマイラー膜をはさんでCR-39を保護していた。

2.2 感度とその方向依存性

検出器の感度は
① 素子の構成
② エッチング条件
③ 読み取り方法
に依存する

まず素子の構成に関しては、ポリエチレンとポリカーボネイトの間にマイラーやサランラップのような薄い膜を用いるかどうかが影響する。又、バッジケースをつけた状態では、ケースによって生じる反跳陽子の

影響が高エネルギー中性子照射の場合に生じる可能性がある。

次にエッチング条件に関しては、液の濃度、温度、エッチング時間により、測定下限が変わる可能性がある。

飛跡の読み取り方法についても、目視の場合は陽子以外の飛跡の判別や、測定下限を低くできるとの利点があるが、測定下限にあいまいさがあり又、読み取りに時間がかかるため計数をあまり上げられないなどの欠点がある。一方フィルターをつけて、機械読み取りする場合はこうした欠点はないかわりに、測定下限は少し高くなる。

いずれの会社の素子の感度は電総研のバンデグラーフを用いて求められている。図2.1に千代田保安の素子の感度のエネルギー依存性を示す。この素子の場合は強いエッチングをしてかつフィルターをかけて、機械で自動読み取りを行っており、0.1MeV以上で全く感度が立上がっている。図2.2には長瀬ランダウアのCR-39を用いた旧タイプの素子の感度のエネルギー依存性を図2.3にはTS-16を用いた現在の素子のエネルギー依存性を示す。目視で読み取っているため、20keVまで感度がある。実用時には50keV付近が下限であると聞いているがこれにはかなりあいまいさがあるかもしれない。各感度曲線の相違は、前記した感度に依存する3つの因子の影響であり、このことから、遮蔽実験使用時にはこの3つの因子を感度曲線を取った時と同一

にして測定することが重要である。なお、現在のところ測定はそれぞれ各会社に素子を返送して行ってもらっているので、それが正しく行われているかどうかの完全な保障はないが、例えばCf-252を用いて校正照射したものを実験に使用した素子に混ぜて同時に処理測定することで、これをチェックすることはできる。

高速中性子の入射方向に対する感度の依存性としては千代田保安のものについては図2.4が長瀬のものは、米国のランダウア社のものとして図2.5が発表されている。

素子の感度のエネルギーと方向依存性については千代田保安のものについては、バックケースの無い条件でのものを測定する必要があり、長瀬ランダウア社のものについては14MeV中性子に対する感度を測定する必要がある。方向依存性については両者とも測定する必要がある。これらの測定を行った。

以下 千代田保安の素子をCR-39、長瀬ランダウアの素子をTS-16と呼ぶことにする。
(以前は誤ってTS-11と呼んでいた。)

まずAm-Be線源を用いて、CR-39とTS-16検出器の感度と方向依存性を測定した。

照射体系図を図2.6に示す。

照射は「弥生」実験準備室のグレーティングピット上で行い、Am-Be線源から50cm離してCR-39素子とTS-16素子をセットした。

素子の面に直角に入射する場合を0°とし角度を変えて素子をセットした。180°は裏返し、即ち、ポリエチレン側ではなく、CR-39側に中性子が入射する場合である。素子は3コずつセットしたが、バッジケース付の場合はバッジケースに1コ入れたものを50cmの円周上にお互いに離して設置した。

CR-39検出器の測定結果を表2.1にTS-16検出器の結果を表2.2に示す。

表2.1のCR-39の測定結果を見ると同じ角度での3個の素子の測定値のばらつきは、90°の場合を除いて5%以内であり、遮蔽実験のための測定要求精度を満足している。90°の場合は素子を完全に中性子の入射方向と平行にするのがむつかしかったのでばらつきが大きくなったと思われる。

入射角度に関する依存性は感度をcosθ,(θは角度)で除した値をもとめても0°の値より小さい。詳細な測定のためにはこの角度依存性を考慮しなければならないだろうが、線源に垂直な単位面積当りの感度のばらつきは20%以内であり、そう大きくはない。それゆえ、0°の場合の感度をスカラー中性子束をかけて素子の反応率を求めこれを実験値と比較して議論をすることもできるであろう。

バッジケース付の場合がバッジケース無の場合にくらべて約13.4%感度が小さくなっている理由はよくわからない。バッジケースによる高速中性子の減衰は、除去断面積を0.13cm⁻¹ケースの厚さを2mmとしたexp(−0.13×0.2)=0.974である。Am-Be線源は、プラスチック製の

吊下げ用容器(市販の35mmフィルムの入っているプラスチック容器)に入れられており、容器の径が3cmと大きいので中での線源位置に不確定がある。仮に1cmずれていたとして $\left(\frac{51}{49}\right)^2 = 1.083$ のずれがあるが測定値の差をこれでは説明しきれない。
なお、Am-Beの場合中性子エネルギーが低いので、プラスチックケースより放出される反跳陽子はCR-39にトラックを作るには至らない。

次にTS-16検出器のAm-Be線源による校正結果を表2.2に示す。感度は、cosθで除いても0°の値にはならない。その差は、CR-39の場合と比較的よく似ている。又180°の場合(裏返しの場合)の感度の0°の場合に対する感度の比は0.623である。CR-39の場合は0.662であった。いずれも似た値であるが、これはCR-39やTS-16中のHの密度とポリエチレンのHの密度の比が約2/3であることから説明できるとの意見もある。

0°の場合の感度をこれまでに求められている感度と比較すると、Am-Be線源より放出される中性子エネルギーを約3.5MeVと仮定して、CR-39の場合は4代田保安測定値/今回の比は2.58/2.68で よく一致していると考えてよい。TS-16の場合は、長瀬ランダウア測定値/今回 = 7.8/6.13と少し差がある。

14MeV中性子に対する感度と方向依存性をブランケット棟のコックロフト加速器で用いて求めた。測定体系を図2.7に示す。発生中性子数のモニターとしてはTh-232 fission chamberを用いている。

CR-39検出器に対する測定結果を表2.3に示す。測定の統計精度に関しては、バッジケース無の45°やバッジケース付の0°で5%を越えているものがある。これは読みとりピット数が100個～200個と小さいため(読み取り面積 0.228 cm²)。統計精度が上がらなかったものと思われる。中性子フルエンスとしては 10^7 n/cm² 以上を照射することが必要である

14MeV中性子照射の場合はケースで発生する反跳陽子のエネルギーも高くCR-39にトラックを作る可能性があるが、バッジケース無し有の結果を比較すると若干ケース有の場合の方が大きいものの、そう大きい差はない。又従来バッジケース付の条件で求められている14MeV中性子に対する感度(図2.4)との比は 4代目保安測定値/今回 = 1.3/1.63 でやや大きい。ケース無の場合の値は 1.45×10^{-4} tracks·cm⁻²n⁻¹ であるのでこの差の中に入ってしまう。

角度による感度の変化は、Am-Be線源の場合とちがって、線源方向に垂直な単位面積当りにするとかえって大きくなる。

TS-16検出器に対する測定結果を表2.4に示す。この場合は、読み取りピット数が100以下であるので統計精度は悪くなっている。又、45°の場合の感度も cosθで割って換算するとCR-39と同様高くなっている。

以上より CR-39, TS-16 検出器の感度と、方向依存性について次のようにまとめられる

1. CR-39 検出器, TS-16 検出器とも充分な数のトラックが出来る照射をし、3個の平均で反応率を求めると遮蔽実験の要求精度(5%)を満す。
特に CR-39 検出器は、読み取り面積が広く有利である。

2. CR-39 検出器のバッチケースの感度に対する影響は、14 MeV の場合は若干(10~5%)あるが、既にバッジケース付で測定されている感度曲線を否定するほど大きいものではない。
Am-Be 線源の場合約15%の差があったが、これについては今後再実験が必要である。

3. 方向依存性については、エネルギーによってことなる。即ち Am-Be では中性子ビームに垂直な単位面積当りの感度は 0°の場合より他の場合が小さく、14 MeV では 0の場合より大きい。
TS-16, CR-39 検出器ともなるべく垂直ビム照射の条件に近い照射で利用するのがのぞましい。中性子束の角度分布が等方に近い体系内で用いるのは好ましくない。

方向依存性を図にまとめたものとして CR-39 のものを図2.7A, TS-16 のものを図2.7B に示す。

2.3. 高エネルギー反跳陽子に対するCR-39検出器の感度

14MeV中性子を線源として ポリエチレンなどの遮蔽体中での反応率を CR-39検出器で測定する時には、14MeV中性子によって反跳された遮蔽体からの高エネルギー陽子が 1mmのポリエチレンを貫通してCR-39表面にトラックを作る可能性がある。

protonの各種物質中での飛程を表2.5に示す。12MeVのprotonのポリエチレン中での飛程は2.75mmで、1mmより大きい。

検出器を鉄板又は鉛板などで遮蔽してこれを防ぐことが考えられる。

パラフィンブロックを用いて1回屈曲分子を作り、その中に①裸のCR-39検出器と②両面を2mm厚の鉛板でシールドしたもの、③表側(線源側)を2mmの鉛で、裏側を0.5mmの鉄でシールドしたものの3種類を各々3個ずつ上記分子の第1脚と第2脚において照射をした。結果を表2.6に示す。体系の概略図を図2.8に示す

第一脚；第二脚とも各カバーに応じて有意な差がある。両面を鉛でカバーした場合も裏面を鉄にした場合よりも測定値が大きいのは Pb(n,2n)反応の寄与ではないかと考えられる。今回使用した 2mm厚×1cm×6cm×2枚のカバーにより15%程度中性子の増加があると考えられる。裏面を鉄とした場合はこの効果は半減すると思われる。

一方鉄板を使用した場合でも Fe(n,p) 反応により陽子が発生し、それがトラックを作る可能性がある。しかしこの陽子のエネルギーは数MeV以下の成分が多く、鉄板自身に1mmのポリエチレンラジエーターで阻止されるとみなされる。
(図2.9に Ni-60より放出される陽子のエネルギー分布を示す。Feより放出される陽子もこれと類似のエネルギーをもつと考えられる。)
これらのことより、14MeV中性子を線源として水素を含有する物質中で使用する場合には0.5mm程度の鉄板で検出器を密閉する必要があると結論づけられる。なお、核分裂線源の場合は、発生する中性子の飛程が短く、ポリエチレンラジエーター中で阻止されるので、この必要はない。

なお、14MeV中性子を線源とした場合は、炭素の反跳によると思われる大きい飛跡が観測されているとの事である。これはポリエチレンラジエーターの炭素に起因すると思われるが、感度の検定の際にこの飛跡も計数している場合は、通常の測定の時にもそれを含めて計数する必要がある。(通常こうされている。)

3. 限燃料集合体下部遮蔽プラグズ用ーミング実験

3.1 線源

実験は「弥生」B運転位置、ファーストコラムで行った。設備されている36cm厚の重コンクリート板の外側にほぼ同じ厚さの普通コンクリートと鉄の積層板（普通コンクリート29.5cm厚、鉄板の厚さ6cm）を設置し、その中央の20.5cmφの孔より漏洩する高速中性子を線源として利用した。高速中性子は、弥生炉心の発電ランプラ消表面より漏洩してくる。この体系を図3.1に示す

この線源特性は、実験により詳しく測定され、Appendix Aにまとめられている。高速中性子は2枚のコンクリート板で十分コリメートされ20.5cmφの孔のみから漏洩していると考えてよい。

3.2. ストリーミング実験体系

実験用の供試体は遮蔽プラグの流路を模擬したプラグを挿入して作る非均質体系とアルミニウム板と鉄板を組み合せて作る均質体系に分けられる。

非均質体系に用いる遮蔽プラグとこれを挿入する鉄遮蔽ブロックを図3.2に示す。

均質体系に用いるアルミニウムと鉄板との層状ブロックを図3.3に示す。

非均質体系をセットした体系を図を図3.4に示す。遮蔽プラグを挿入した鉄遮蔽ブロックの線源側には1.0cm厚のアルミニウム板を置いている。厳密にはFBR遮蔽プラグ入射面のスペクトルを模擬するようなスペクトルモディファイアを作製して設置すべきである。但し陽子反跳飛跡検出器では約100 keV以上を測定するので、スペクトルの形に何桁もの大きい差が生じているわけではない。なお、厳密には角度分布も一致させるべきである。

鉄遮蔽ブロックには図3.2に示したように中心に1個とまわりに6個、合計7個の遮蔽プラグを挿入する穴がある。今回はそのうちの中心の1個のみに種々の遮蔽プラグを交互に挿入し、まわりの6個には穴のない鉄プラグを挿入した。その理由はまわりの6個も含めると直径32cmφの線源ビームが必要となるが、「弥生」ファーストコラムの線源ビームの径は20.5cmφであるためである。

中央の穴にそう入する遮蔽プラグの径は図3.2に示したように約9cmφであり、線源ビームの径20.5cmφより小さい。

遮蔽プラグは図3.2に示したように次の4種類があり、それぞれ略称で呼ぶことにする

1. 直管6個穴
   直径23.2mmの穴が6個まっすぐに貫通しているもの。穴の周囲は鉄(以下同じ)。
2. 曲管6個穴
   直径23.2mmの穴が貫通しているが、それが中央で折れ曲っているもの
3. 同心円穴
   直径70mmまでは鉄ブロックで、その外径90mmとの間に穴があるもの
4. 中心大穴
   中央部に57mmφの穴があるもの。

これらの穴の中には、アルミニウム粒をつめて、平均密度が、ナトリウムの約1g/cm³とほぼ等しくなるようにしている。各プラグに充てんされたアルミニウム粒の重量を表3.1に示す。

なお、遮蔽プラグの木作部(アルミ粒をつめた部分)と、鉄部の体積比はいずれのプラグの場合も約0.4:0.6となっている。

これらのプラグはいずれも約10年前に弥生で遮蔽実験に使用したものである。(UTNL-R-0125レポート参照。) 鉄の遮蔽ブロックのまわりには、アルミニウムのカラーを置いて遮蔽プラグの中心と弥生よりの線源ビームの中心が

一致するようにしている。(図3.4参照) このアルミニウムカラーも当時のものであり、タテにクレーンでつれるように加工して用いている。

10年前とちがっているのは、次の2点である

イ. 全体均質体系と呼ぶ鉄板とアルミ板の積層体系

今回は、鉄板 1cm厚のもの 18枚
アルミ板 1cm厚のもの 8枚
アルミ板 0.5cm厚のもの 1枚
層状のボイド部の合計 4.5cm の
厚さ 31cm の体系を用いている(注)(図3.3参照)

ロ. プラグ均質体系と呼ぶ 直径 89.2mmφの
(89.2mmφにしたのは 90mmφの穴に入れるため)
鉄板(厚さ12mmのもの) 15枚と2.4mm厚1枚
とアルミ板(厚さ3mmのもの) 18枚
を組合せた層状プラグ。(途中にボイド部を入れて長さ30cmとする)

前者は、図3.5に示すようにセットして測定に用いられた。
後者は図3.4に示す体系で前述の90mmφの遮蔽プラグのかわりにそう入して用いられた。

いずれも遮蔽プラグのある場合を比較するための測定を行うものであるが、これらの測定値の単純な比較からストリーミング係数を求めるのは次のような理由で困難がある。

(注) 全体均質体系の厚さが31cmとプラグの長さ30cmより1cm多いのはプラグをさし込むしゃへいブロックに1cmのアルミ板がついているためである。スペクトルモディファイヤーの厚さを11cmと考え、全体均質体系の1cmのアルミ板がり枚になっていると考えた。

即ち、弥生より漏洩するビームの径は20.5cmφであり、遮蔽プラグの径は9cmφであり、その周囲は鉄である。均質体系の鉄とアルミ、ボイドの体積比を決める際に、この周囲の鉄の部分をどれだけ含めるかで、体積比が変わるが、正確に決める方法がない。例えばビームの径が20.5cmφなので、20.5cmφの内側にある鉄とアルミの体積で均質体系を定ずるとすると、実際は20.5cmφの外側に高速中性子はしみ出しているので正確ではない。一方9cmφのプラグの部分だけの均質化で均質体系を定ずしようとしても無理がある。(鉄ブロックの中にプラグのための領域を作ることだけでストリーミングを生じさせている。)

ちなみに上記のイロ、2つの供試体の体積比は次のとおりである。

イ. 全体均質体系

鉄：アルミ：ボイド = 0.58：0.27：0.15

ロ. プラグ均質体系

鉄：アルミ：ボイド = 0.61：0.18：0.21

3.3 測定結果

測定は CR-39, TS-16 検出器と レムカウンタで行った。

CR-39 検出器の寸法は 1cm × 2cm、TS-16 検出器の寸法は 0.5cm × 1cm であり、いずれも 遮蔽プラグにある穴の寸法より小さい。これらの検出器は、遮蔽プラグの穴の位置（最もストリーミングの大きいと思われる位置）にセットして照射をした。

CR-39 検出器の測定結果を 表3.2 に
TS-16 検出器の測定結果を 表3.3 に示す。

CR-39, TS-16 検出器とも 鉄カバーは用いていない。

CR-39 検出器の測定誤差のうち最大のものは ±5.18% であり、TS-16 検出器では ±4.98% である。

実験結果は 減衰率と ストリーミング係数として整理してある。

減衰率とは 供試体を置いた時の、供試体入射面、既アルミニウム板(10cm)への入射面での反応率を基準として、減衰率を求めたものである。

ストリーミング係数は 全体均質体系の出口の反応率を基準として、比較したものである。

供試体をセットしない状態での百分率も参考のためかめてある。

ストリーミング係数は当然ながら1コ穴が最も大きく、直管6コ穴がそれに次いでいる。1コ穴の1.8近い大きいストリーミング係数はアルミニウム10cmのスペクトルモディファイアーを理実のFBRのスペクトルを模擬するものに変更すればもっと小さくなるであろう。

CR-39とTS-16検出器で測定した減衰率とストリーミング係数の比較を表3,4に示す。

両者の検出器で感度のエネルギー依存性がかなりことなるので両者を厳密に比較することはできないが
ストリーミング係数はほぼ似た値を与えている。

TS-16検出器の方が減衰率が小さいのはこちらの方が測定下限が低いためと思われる。

レムカウンターの測定結果を表3.5に示す。

レムカウンターは Studsvik の AD2202D型の減速材付(ポリエチレン付)中性子線量計で検出器の直径は約22cmあり、TS-16やCR-39検出器とことなり、遮蔽プラグの寸法(9cm$^{\phi}$)より大きい。

レムカウンターは線源出口(2枚のコンクリート板の外側の面)より60cmの点、即ち、供試体を置いてプラグの外側の面より約20cm(実測値は19.3cm)の点にセットして測定した。

カウント数からレム値への換算は
カタログによると3.6cpsが1mrem/hに相当する

測定結果を表3.5に示す。減衰率はCR-39やTS-16検出器より小さい。これは低エネルギー中性子までレムカウンターは計数するためである。又、ストリーミング係数が1より小さくなっている場合があるのはレムカウンターの直径が大きいため、検出される中性子のうち遮蔽プラグに相当する中央の90mm$^{\phi}$のところだけでなく、その周囲の部分を通ってきたものが、全体均質体系の場合、遮蔽プラグを置いた場合より大きいためと思われる。遮蔽プラグを使用している場合は、この部分はすべて鉄であるが全体均質体系の場合は、鉄板、アルミ板ボイドの層状になっている。

4. 結論、

1. CR-39, TS-16 検出器は ストリーミング実験で 高速中性子の反応率を測定するのに有用であり、測定精度は相対値で約5%である

2. 炉心下部の遮蔽プラグのストリーミングに関して、モックアップ体系ではないが減衰率とストリーミング係数が測定された。この結果は3次元コードの検証などに有用であろう。

表2.1 CR-39検出器の感度と方向依存性（Am-Be線源）

照射日 昭和61年5月8日～14日
フルエンス 1.97×10^{7} n/cm²

1. バッシングケース無

角度	素子番号	エッチピット密度 tracks/cm²	平均±分散（分散の%）	感度 10^{-4} tracks/n（相対感度）	線源に垂直な平均飛程から換算した感度（相対感度）	コメント（本日対比）
0°（素子に垂直入射）	TEST 1	6138	6091	3.092	←	バッシングケース有より15%大きい
	2	5925	±121	(1.0)		
	3	6211	(±1.99%)			
30°	TEST 4	4980	4856	2.465	2.846	
	5	4893	±119	(0.797)		
	6	4696	(±2.45%)			
45°	TEST 7	3441	3391	1.721	2.434	
	8	3182	±154	(0.556)		
	9	3549	(±4.54%)			
60°	TEST 10	2443	2516	1.277	2.554	
	11	2646	±92.2	(0.413)		
	12	2459	(±3.66%)			
90°	TEST 13	981	1059	0.5374	∞	
	14	1038	±93.3	(0.173)		
	15	1157	(±6.93%)			
135°	TEST 16	2672	2744	1.393	2.786	
	17	2692	±88.5	(0.450)		
	18	2869	(±3.22%)			
180°（素子の裏側より入射）	TEST 19	4116	4034	2.048	←	0°の感度に対する比 =0.662
	20	4059	±79.2	(0.662)		
	21	3927	(±1.96%)			

2. バッシングケース（付録1）

0°	TEST 31	5628	5281	2.68		・ケース無の場合の感度に対する比 =0.866 ・X-ray の場合に比べ[illegible]
	32	5028	±253			
	33	5188	(±4.80%)			

(注1) バッシングケースは千代田保安用品(株)のプラスチック製ケース。
追散実験使用時は常にバッシングケース無で使用している。
(注2) 感度 $\propto \cos\theta$，ここでθは検出器面と線源方向とのなす角度

表2.2 TS-16 検出器の感度と方向依存性.(Am-Be 線源).

照射日 昭和61年5月9日～14日

フルエンス 1.72×10^7 n/cm²

(注) TS-11 検出器は常にケース無で使っていた

角度	素子番号	読み取り出力 tracks/3.363mm²	エッチピット密度 tracks/cm²	平均	感度 10^{-4}·tracks·n⁻¹ (相対値)	線源に単純面積 感度
0°	T-10	350	10407	10541 ±134 (±1.29%)	6.13 (注3) (1.0)	←
	-11	359	10675			
30°	T-12	276	8207	←	4.77 (0.778)	5.5
45°	T-13	205	6096	←	3.54 (0.577)	5.0
90°	T-14	110	3271	←	1.90 (0.310)	
180°	T-15	221	6572	←	3.82 (0.623)	(注2

(注1) 感度 × $\frac{1}{\cos\theta}$.

(注2) 0°の感度に対する比は 0.623

(注3) メーカーの校正値より約20%低い

表2.3 CR-39 検出器の感度と方向 依存性 (14MeV 中性子線)

照射日 昭和61年5月9日

1. バッジケース無

角度	素子番号	エッチピット密度 tracks/cm²	平均 ±分散 (±分散%)	照射中性子フルエンス ×10⁹ n/cm²	感度 10⁻⁴ tracks·n⁻¹ (相対値)	線源方向二重 線面積 感度
0° (14.8MeV)	TEST 22 23 24	3603 3385 3505	3498 ±89.1 (±2.55%)	2.41	1.45 (注1) (0.97)	←
0° (14.8MeV)	TEST 25 26 27	774 791 759	775 ±13.1 (±1.69%)	0.5	1.55 (注2) (1.03)	←
45° (14.6MeV)	TEST 28 29 30	769 638 689	699 ±53.9 (±7.71%)	0.496	1.41 (0.94)	1.99

2 バッジケース付

0° (14.8MeV)	TEST-34 35 36	4111 4129 3789	4009 ±156 (±3.90%)	2.46	1.63 (注3) (1.02)	←
0° (14.8MeV)	TEST-37 38 39	717 854 739	770 ±60.1 (±7.80%)	0.486	1.58 (注4) (0.98)	←
45° (14.6MeV)	TEST-40 41 42	2928 3158 2942	3009 ±105 (±3.50%)	2.42	1.24 (0.772)	1.75

(注1) X-6 校正値より 12% 高い
(注2) 〃 20% 高い
(注3) 〃 26% 高い
(注4) 〃 22% 高い

表2.4 TS-16 検出器の感度と方向依存性（14MeV中性子感度）

照射日　昭和61年5月9日

角度（中性子エネルギー）	素子番号	読み取りピット数 tracks/3.38mm²	平均エッチピット密度 tracks/cm²	中性子フルエンス $10^7 \cdot n\,cm^{-2}$	感度 10^{-4} tracks n^{-1}	総合方向加重平均面積当り感度
0°（14.8MeV）	T-1	284	7980	2.41	3.26	←
	2	236	±619		(0.97)	
	3	275	(±7.75%)			
0°（14.8MeV）	T-4	56	1725	0.500	3.45	←
	5	62	±84.1		(1.03)	
	6	56	(±4.88%)			
45°（14.6MeV）	T-7	41	1388	0.496	2.80	3.96
	8	55	±178	-	(0.834)	
	9	44	(±12.8%)			

表25 陽子の各種物質中での飛程

物質	陽子エネルギー MeV	飛程 mm
ポリエチレン	12	2.75
	5	0.58
	1	0.0285
Pb	15	0.53
	1	0.00832
Cd	15	0.58
	1	0.0812
Fe	15	0.508
	1	0.00635
Al	15	1.1
	1	0.014
空気	15	250×10^3

表2.6 CR-39 検出器測定結果（高エネルギー反跳陽子のある場での検出器カバーの影響）.

照射場所	カバーの種類	検出器No.		ピット個数 tracks/cm²	平均 (±分散の%)	比.
第一脚 (DT線源 正視)	裸	T1	-13	14002	14381	1.0
			-14	14566	(±1.86%)	
			-15	14577		
	両面鉛	T1	-16	13957	13985	0.972
			-17	13922	(±0.468%)	
			-18	14075		
	表面鉛 裏鉄	T1	-19	13466	13311	0.926
			-20	13065	(±1.32%)	
			-21	13403		
第二脚	裸	T1	-22	8589	8129	1.0
			-23	7826	(±4.07%)	
			-24	7973		
	両面鉛	T1	-25	7700	7585	0.933
			-26	7445	(±1.39%)	
			-27	7611		
	表面鉛, 裏鉄	T1	-28	7274	7159	0.881
			-29	7191	(±1.52%)	
			-30	7013		

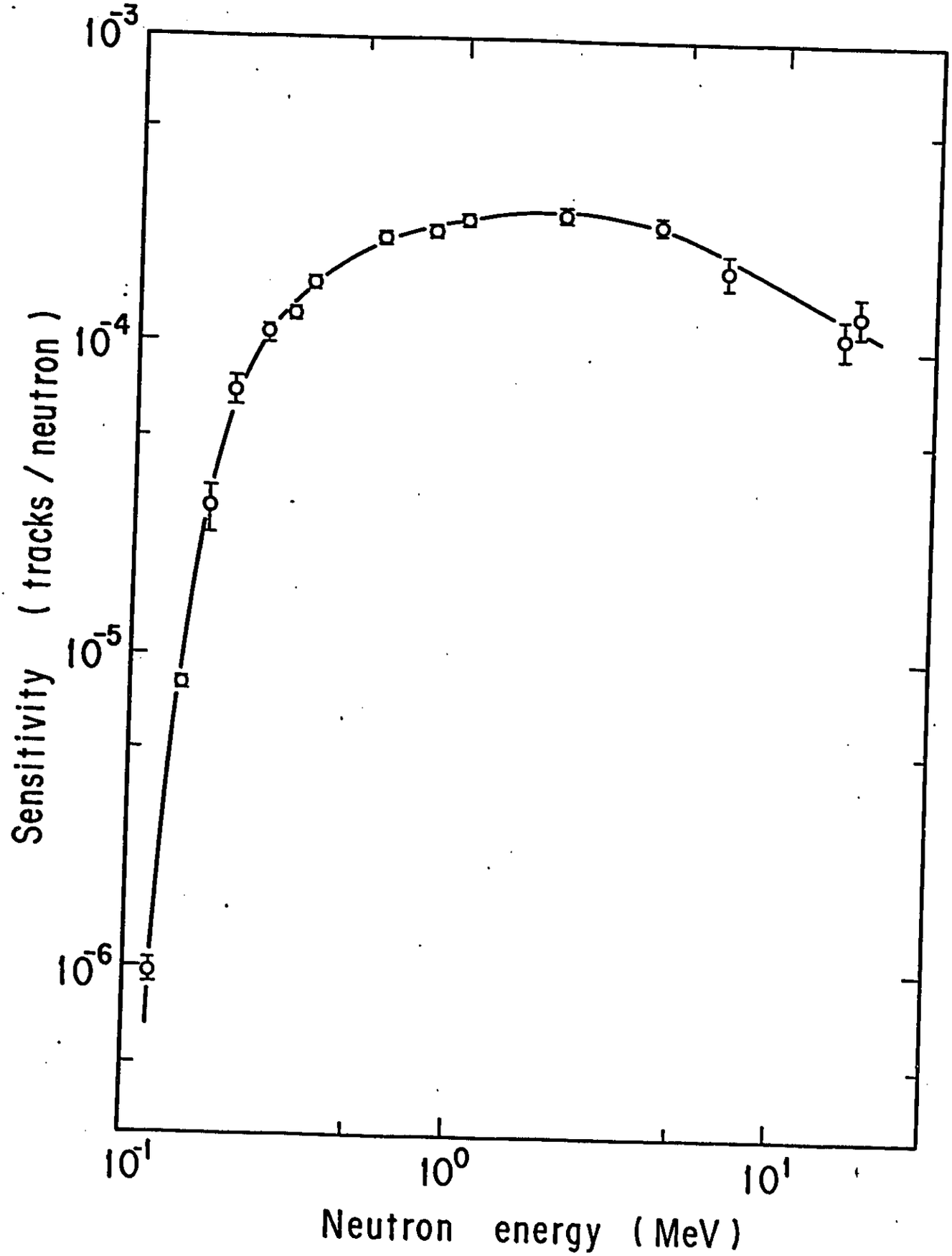


図2.1 CR-39（4代目保安電子）の感度のエネルギー依存性

Fig. 2

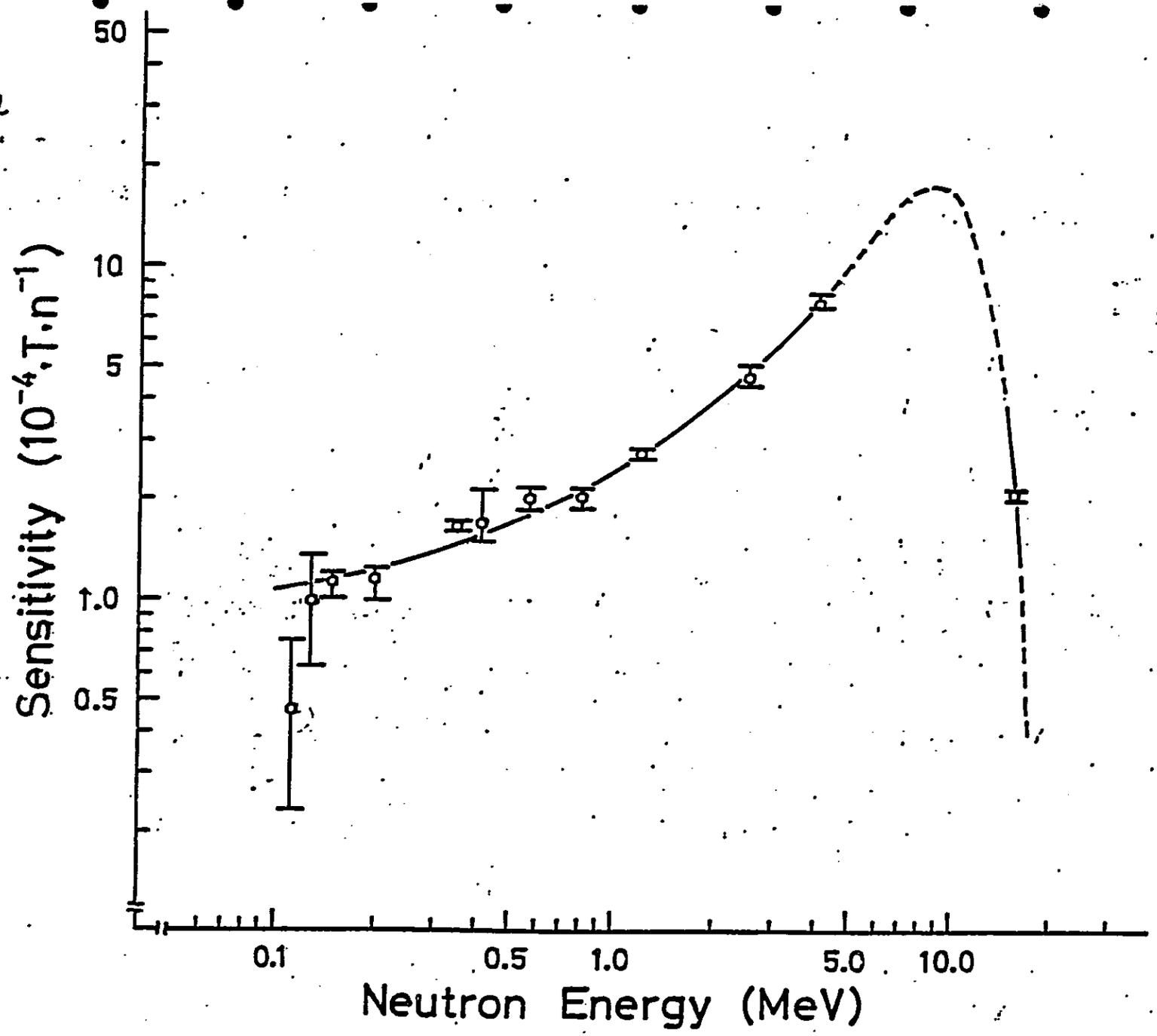


図 2.2　長瀬ランダウア 旧素子の感度のエネルギー依存性

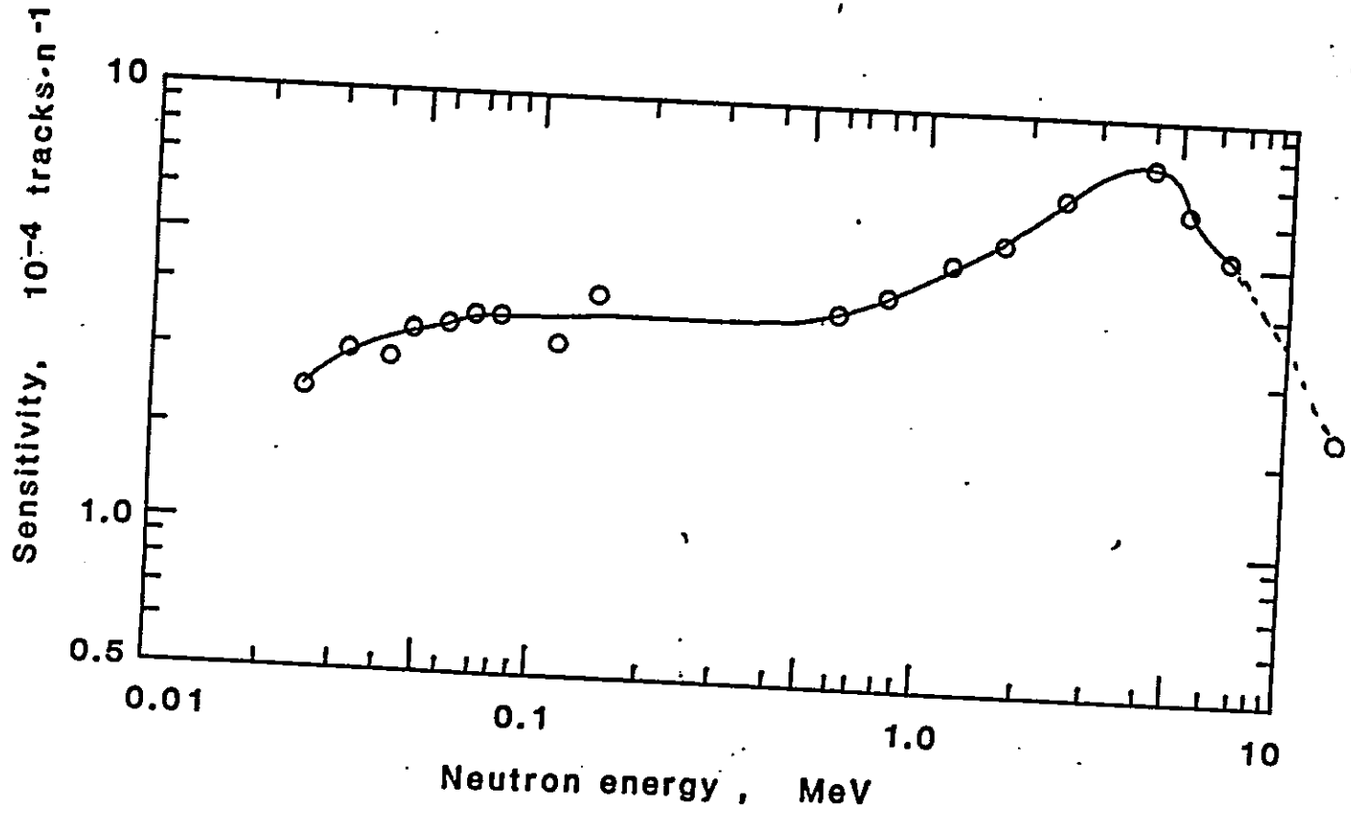


図 2.3 長瀬ランダウア 新素子(TS-1b)の感度のエネルギー依存性

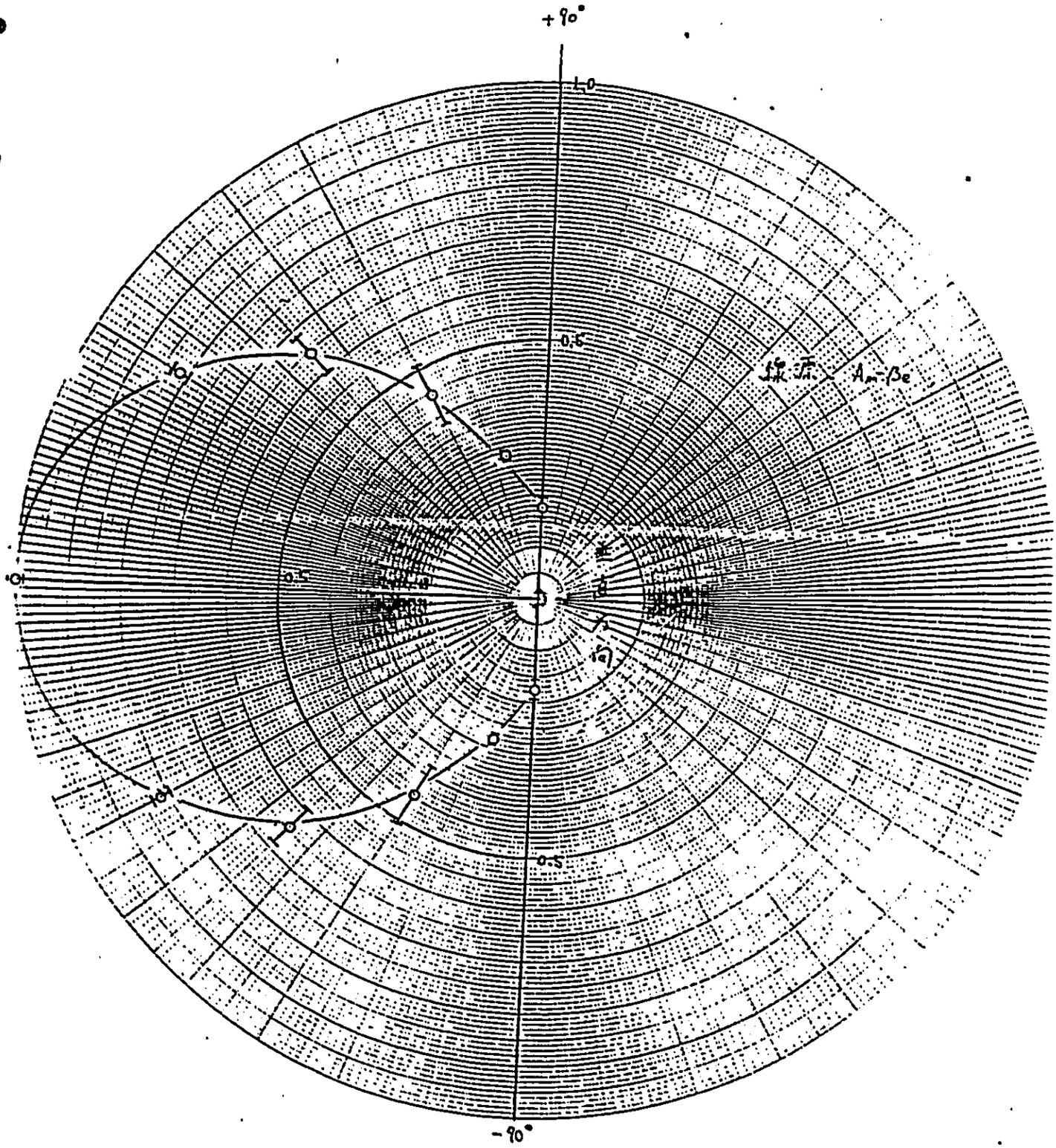


图 2.4 NPB 方向特性（垂直方向）

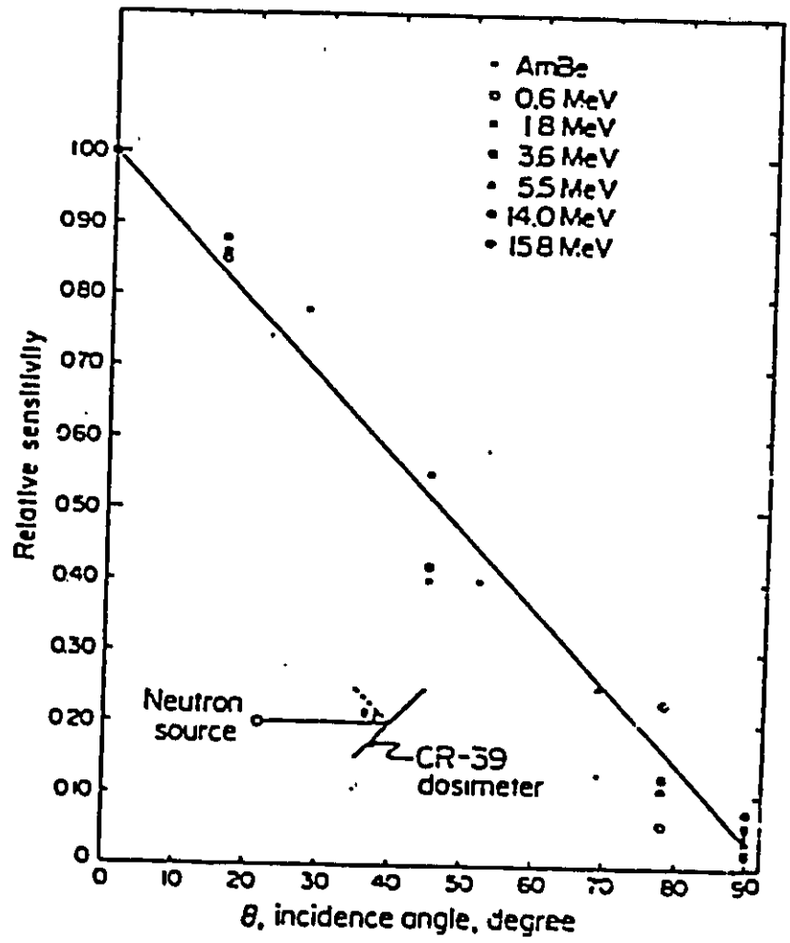
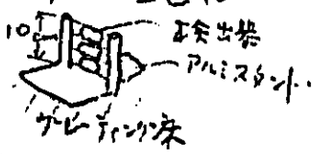


FIG. 2.5 Directional dependence of CR-39 neutron dosimeter. Although the theoretical directional dependence is not quite a straight line, the data can be adequately represented by a linear fall off. The data shows that the directional dependence is independent of neutron energy.

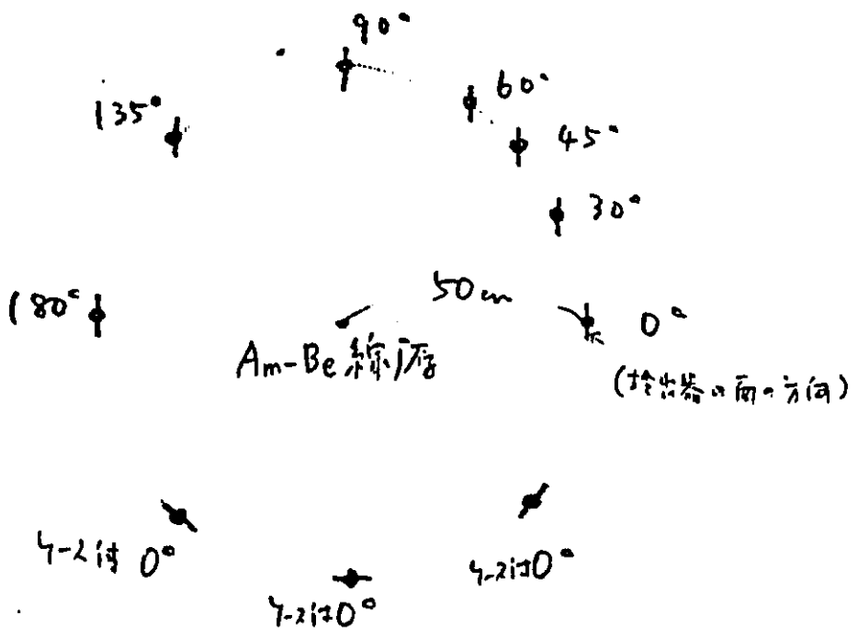
図2.6 CR-39 検出器 / TS-16 検出器 照射体系図 (Am-Be線源)

場所 「弥生」実験準備室グレーティングピット上

検出器の支持 2mm厚のアルミ板を加工して、スタンドを作り、それに検出器を床に垂直になるようにとめた。



線源までの距離 50cm (下図参照)

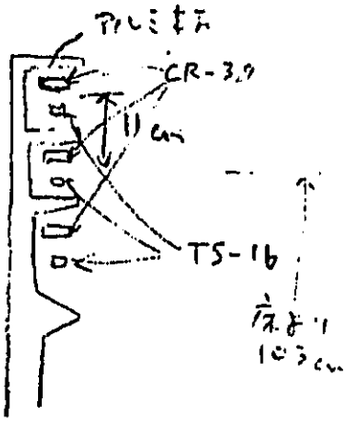


照射日 昭和61年5月 8日～14日 (CR-39)
5月 9日 ～14日 (TS-11)

図2.7 CR-39 検出器 / TS-16 検出器 照射体系図（14MeV中性子源）

場所　東大・工学部 原子力工学 研究施設
ブランケット棟　中性子実験室

検出器の支持　2mm 厚の アルミ板！



線源までの距離.　0°の時 … 61.8 cm
45°の時 … 87.5 cm

線源強度モニター
Th-232 μ fission chamber.
（感度 1.166 × 10⁸ n/Thモニタカウント）

照射日　昭和61年5月9日

中性子のエネルギー　0°の時 14.8 MeV
45°の時 14.6 MeV

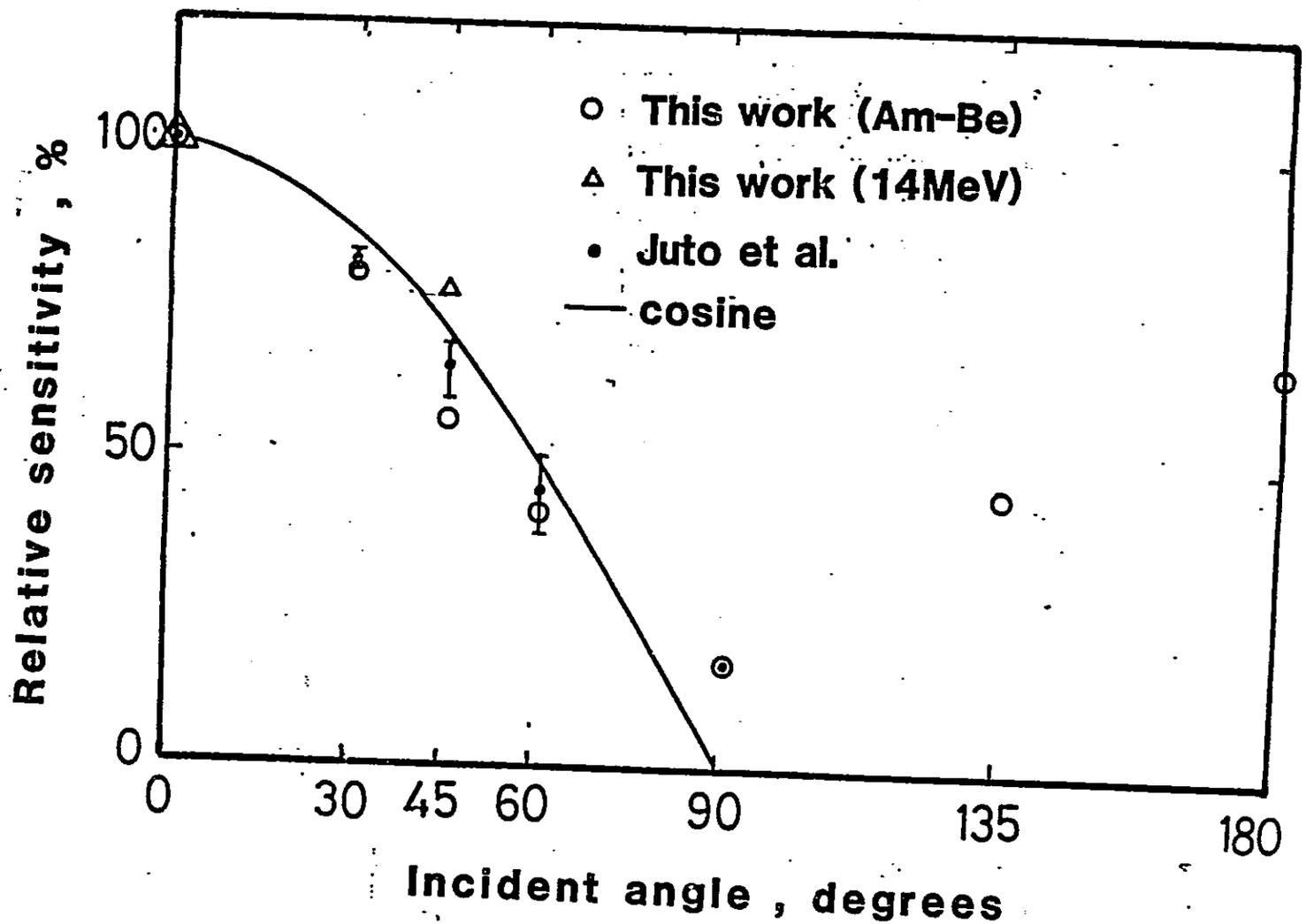


図 2.7A. 4代目保安の電子(CR-39)の方向依存性

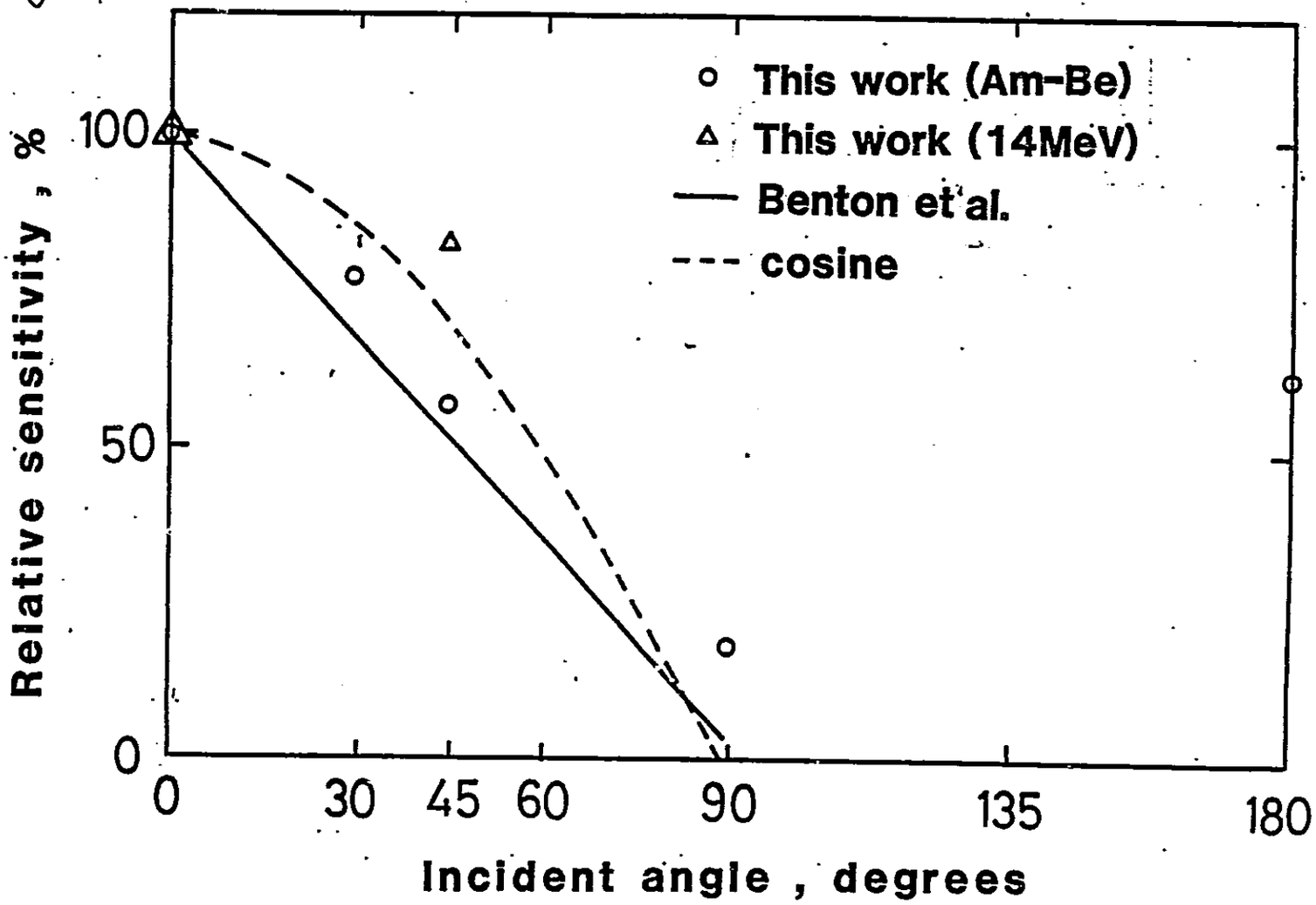


図 2.7B 巨漸ランクロア表示(TS-UO)の方向依存性

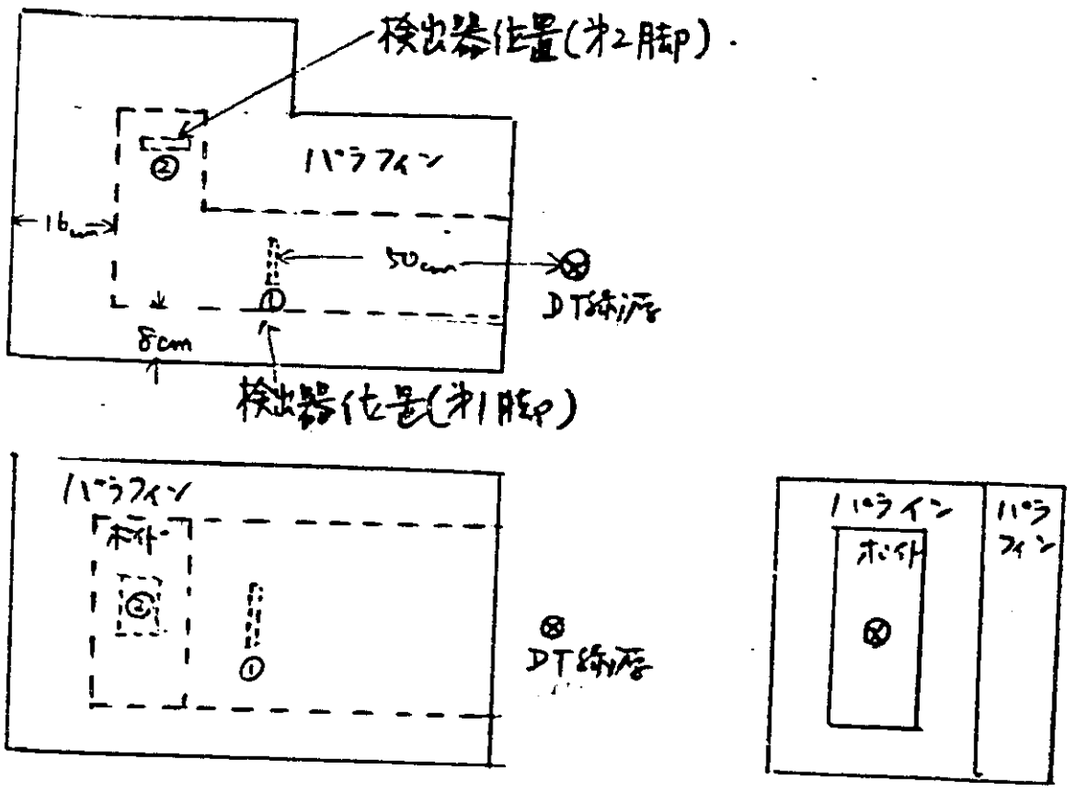


図2.8　検出器カバーの効果の測定のための照射体系

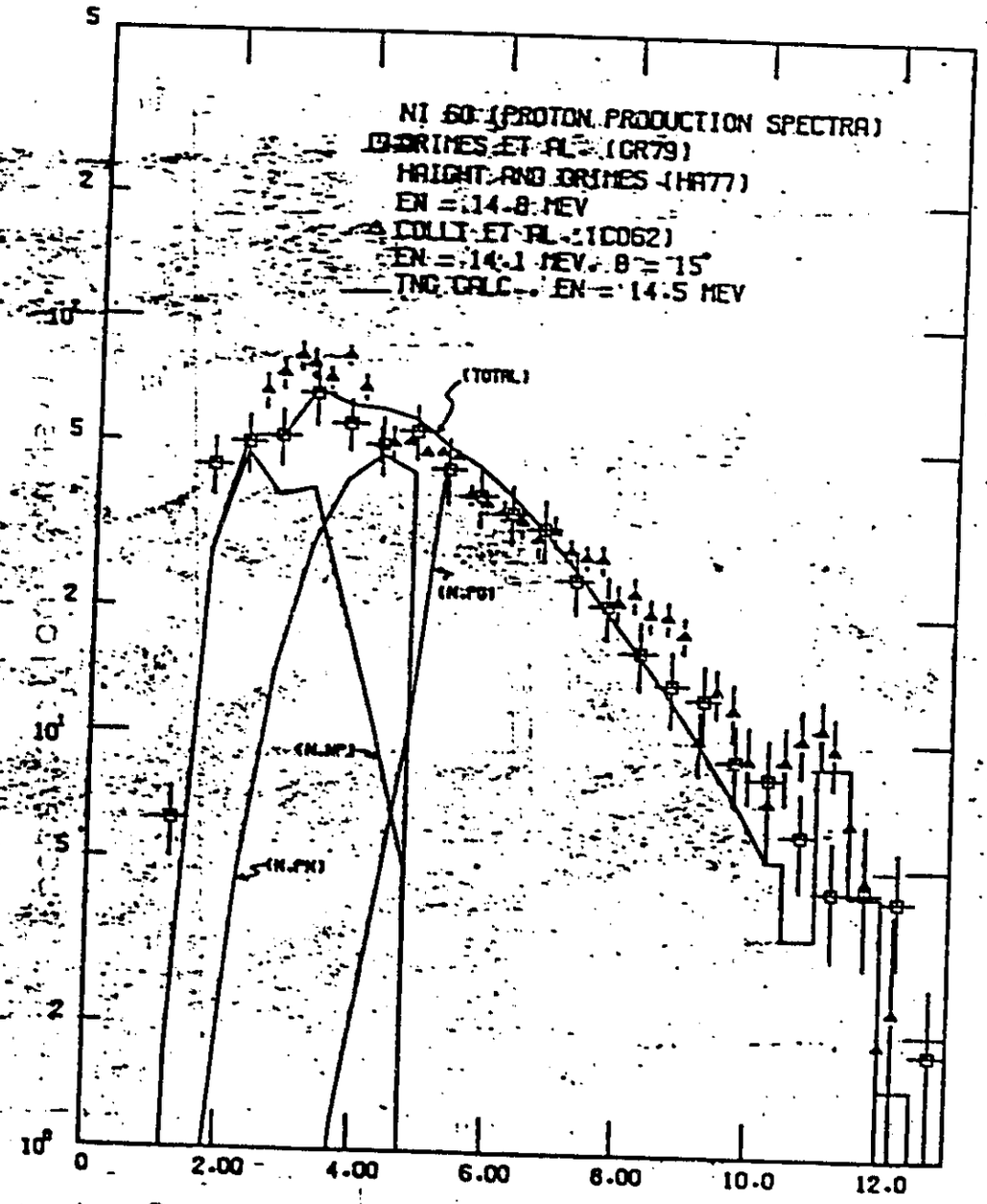


図2.9 Ni-60より放出される陽子のエネルギー分布
from D. M. Hetrick et al. (ORNL) 核データ Santa Fe 会議より
1985年 May

表3.1 遮蔽プラグに充てんしたアルミニウム粒の重量

プラグのタイプ	重量 g
1コ大穴	880
直管6コ穴	910
曲管6コ穴	915
同心円穴	885 (4月実験時)
同心円穴	860 (5月実験時)

表3.2 CR-39 検出器測定結果（遮蔽プラグストリーミング実験）

アルミニウム10cm厚のスタッフトルモディファイヤー使用.

1. 昭和61年4月24日～25日 実験

体系	検出器No.	読み取りピット数 trades/0.396cm²	平均エッチピット密度 trades/cm²	照射時間 W・分	1W・分当りのエッチピット密度	減衰率	ストリーミング係数
ソース 供試体なし	TEST-1	3731	11668	5	2334		
供試体付ソース	-2	4189	13151	5	2630	1.0	
均大穴 プラグ出口	-3	6075	19951	500	39.90	0.0149	1.80
曲管60穴 プラグ出口	-4	4843	15431	500	30.86	0.0117	1.39
全体均質体系	-5	3545	11089	500	22.18	0.00843	1.0 (base)
曲管60穴 プラグ出口	-6	4448	14050	500	28.10	0.0107	1.27
同心円穴 プラグ出口	BG-1	3952	12365	500	24.73	0.00940	1.11

2. 昭和61年5月23，24日 実験

プラグ均質体系 プラグ出口	T1-1	2642	11736	500	23.5	0.00945	1.15
	2	2807	±403				
	3	2826	(±3.43%)				
全体均質体系 出口.	T1-4	538	2026	100	20.3	0.00816	1.0 (base)
	5	484	±105				
	6	485	(±5.18%)				
ソース (供試体付)	T1-7	2666	11591	4.66	2487.3	1.0 (base)	
	8	2874	±501				
	9	2641	(±4.32%)				
同心円穴 プラグ出口	T1-10	612	2424.7	100	24.2	0.00973	1.19
	11	588	±38.4				
	12	603	(±1.58%)				

表3.3 TS-16検出器測定結果（遮蔽プラグストリーミング実験）

1. 実験日 昭和61年4月24日,25日

体系	検出器No.	検出器の計数値 track/2.38mm²	平均の計数率 密度 track/cm²	照射時間 W・分	1W・分当りのエッチピット密度	減衰率	ストリーミング係数	
ソース 供試体なし	1	937	29666 ±1294 (±4.36%)	5	5933			
	2	1037						
	3	1019						
同上 うすかしに検出器つけた	4	929	27252 ±371 (±1.36%)	5	5450			
	5	904						
Al板のうしろ (スペクトルをそろえるため)	6	2159	64600 ±401 (±0.621%)	20	3230			
	7	2186						
供試体付ソース	8	1449	43354 ±624 (±1.44%)	5	8672	1.0 (base)		
	9	1438						
	10	1487						
1口大穴 プラグ出口	11	3102	91406 ±833 (±0.911%)	500	182.8	0.0211	1.75	1.39
	12	3046						
直管6口 プラグ出口	13	2265	66686 ±617 (±0.926%)	500	133.4	0.0154	1.28	
	14	2215						
	15	2248						
曲管6口 プラグ出口	16	2192	65408 ±523 (±0.8%)	500	130.8	0.0151	1.26	1.0
	17	2224						
	18	2183						
曲管6口 プラグ出口 (周囲6口Al閉鎖)	19	2146	67157 ±3345 (±4.98%)	506	132.7	0.0153	1.29	
	20	2371						
直管6口 プラグ出口	21	2206	67975 ±2379 (±3.5%)	500	135.9	0.0157	1.30	
	22	2366						
周囲4口 プラグ出口	23	2055	62355 ±1268 (±2.00%)	500	124.7	0.0144	1.20	
	24	2139						
全体遮蔽 体系出口	25	1732	52681 ±580 (1.11%)	500	104.2	0.0120	1.00 (base)	
	26	1771						

2. 実験日 昭和61年5月22,23日.

プラグ遮蔽体系 (体系プラグ出口)	27			500				
	28							
	29.							

表3.4 CR-39検出器とTS-16検出器で測定した減衰率とストリーミング係数の比較

体系	減衰率(attenuation factor) CR-39	減衰率(attenuation factor) TS-16	ストリーミング係数(streaming factor) CR-39	ストリーミング係数(streaming factor) TS-16
ソース (source)	1.0	1.0	—	—
1コ大穴 (one large hole)	0.0149	0.0211	1.80	1.75
直管6コ穴 (six straight holes)	0.0117	0.0154 0.0157	1.39	1.28 1.30
曲管6コ穴 (six bent holes)	0.0107	0.0151	1.27	1.26
同じ円穴 (cylindrical hole)	0.00940 0.00973	0.0144	1.11 1.19	1.20
全体均質 (homogeneous)	0.00843	0.0120	1.0	1.0
プラグ均質 (homogeneous plug)	0.00945		1.15	

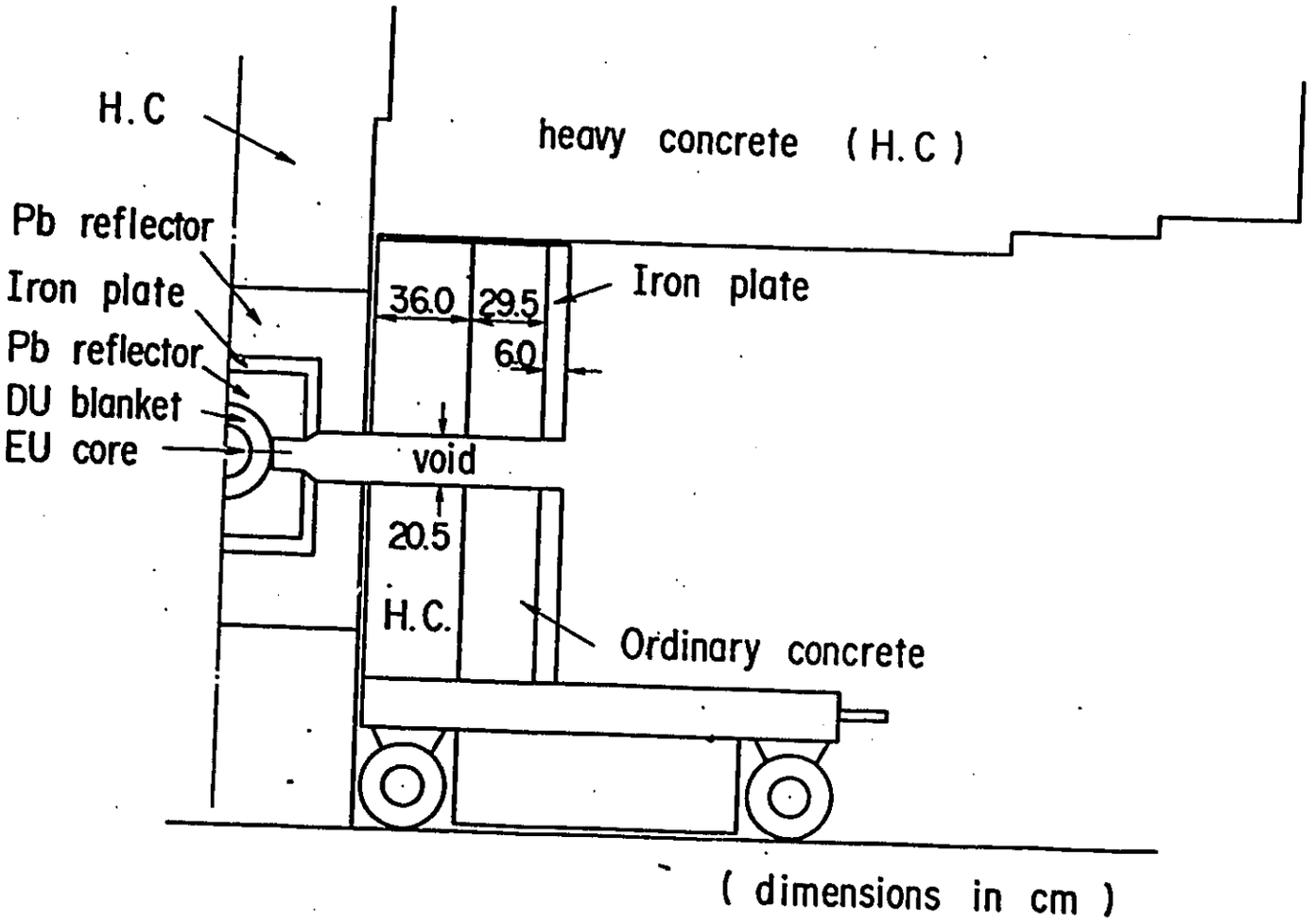
表3.5 レムカウンター測定結果（遮蔽プラグストリーミング実験）.

実験日. 昭和61年5月22,23日

測定No.	体系(測定位置)	出力 W	平均 CPS	出力当り CPS	減衰率	ストリーミング係数
1	供試体なしソース	0.103	1224	11883	1.0 (注1)	
2	中心大穴プラグ出口	1	429.8	429.8	0.0361	1.061
3	直管6コ穴プラグ出口	1	421.7	421.7	0.0355	1.041
4	曲管6コ穴プラグ出口	1	400.5	400.5	0.0337	0.989 (注2)
5	プラグ炒質体系出口	1	386.2	386.2	0.0325	0.954
7	全体炒質体系出口	1	404.9	404.9	0.0341	1.0
9	同心円穴プラグ出口	1	401.0	401.0	0.0337	0.990

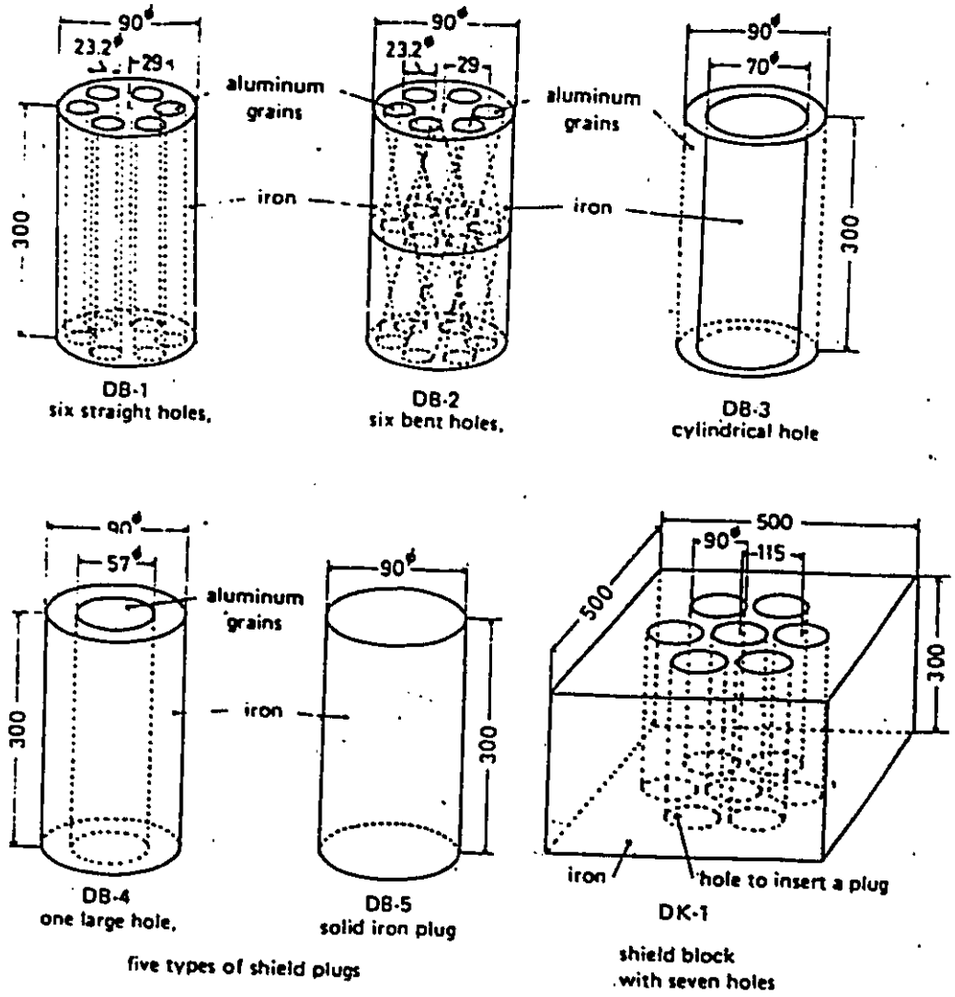
(注1) CR-39, TS-16 検出器の時の減衰率は供試体をつけた状態でのソース強度の測定値を1.0として計算しているが レムカウンターの時は 供試体付ではソースを測定できないので 供試体なしソースの強度をもとに減衰率を計算した.

(注2) run No.4,5,9.などの体系でストリーミング係数が1.0より小さくなっているのは これらの体系（run No.2~5,と9の体系）では、90mmφのプラグの部分を除いて周囲は鉄でできているためである。ホモ平板プラグは このプラグ部分のAlと鉄の構成を模擬しているので平均密度が小さくなっている。



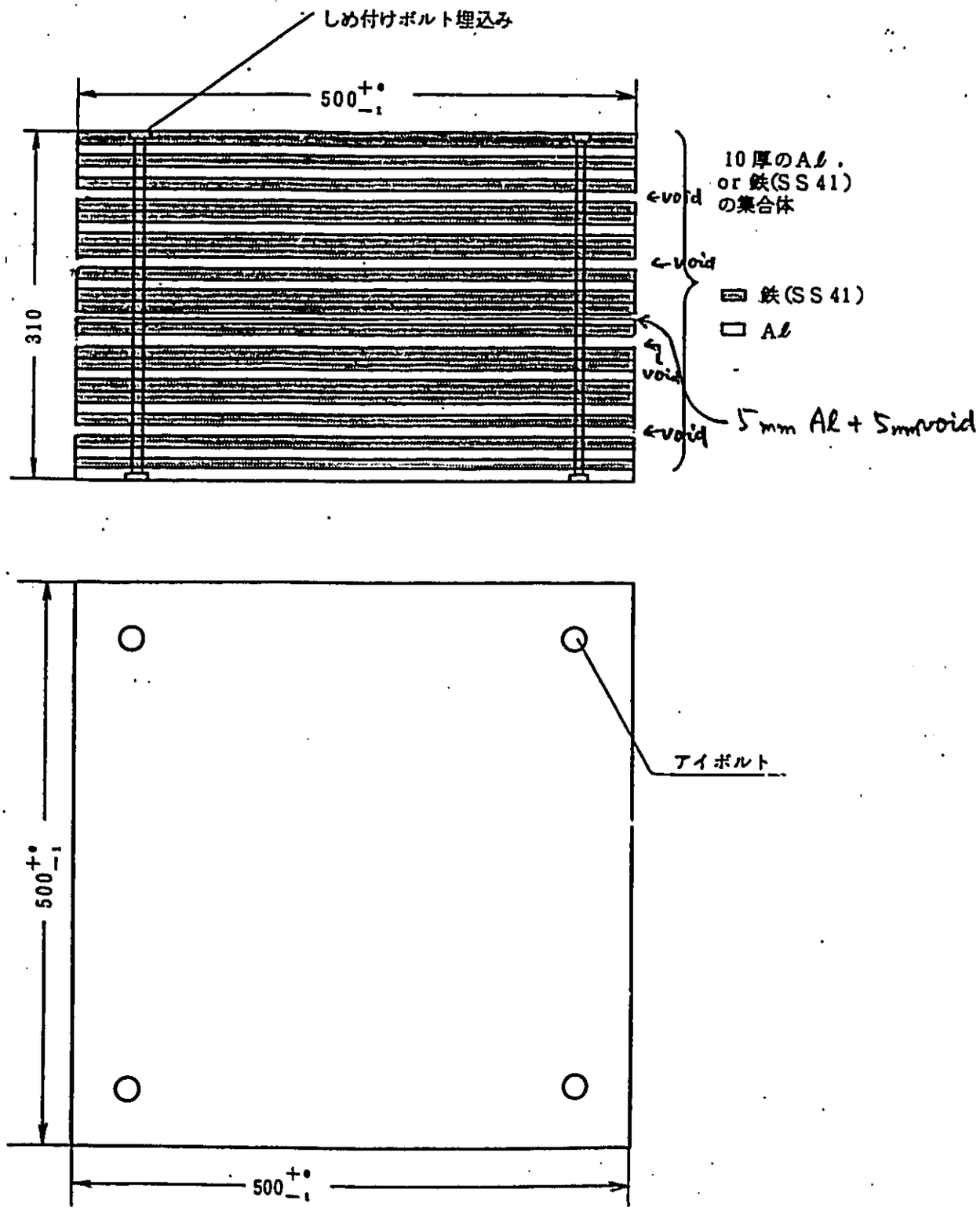
Source

图 3.1 强源体系



HETEROGENEOUS SYSTEM

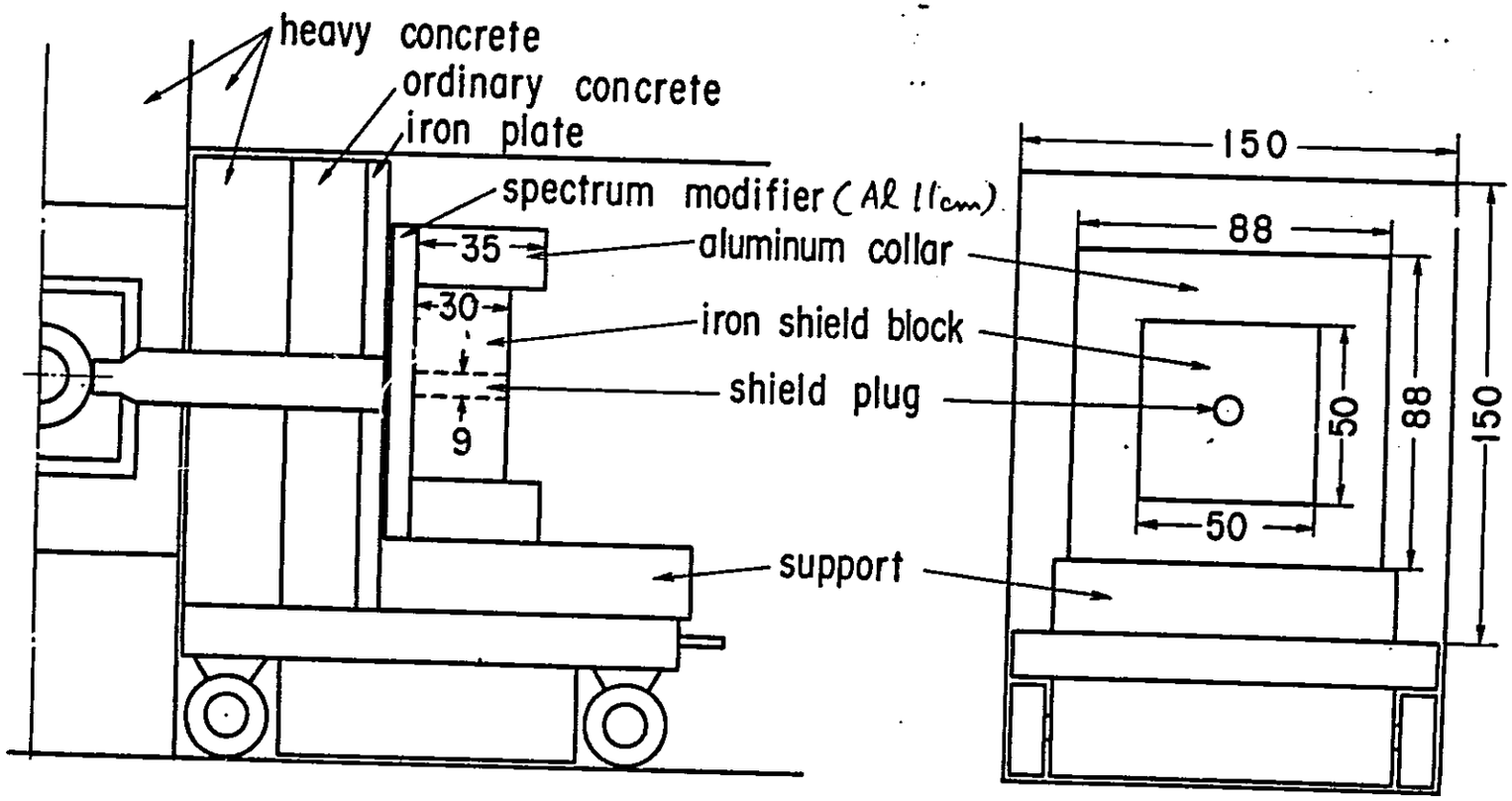
図3.2 遮蔽プラグと鉄ブロック



(全体均質体系).

図 3.3. 均質平板体系用 アルミニウム・鉄層状ブロック.

鉄板 1cm × 18枚
Aℓ板 1cm × 8枚
Aℓ板 0.5cm × 1枚.
ボイド部合計 4.5cm



(dimensions in cm)

図 3.4 ストリーミング実験体系（非均質体系）

Heterogeneous configuration

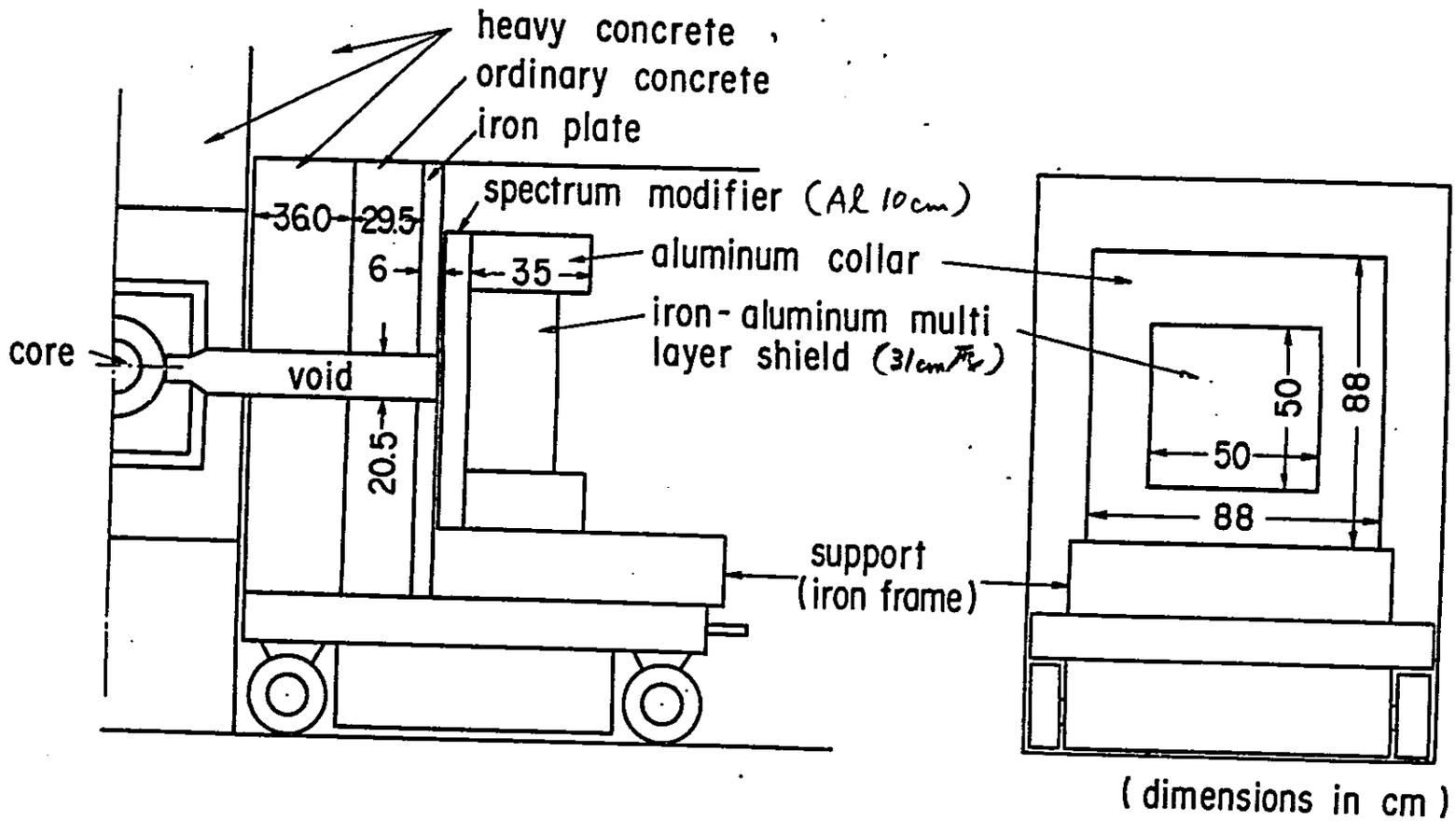


図 3.5 ストリーミング実験体系(均質体系).

Homogeneous configuration

UTNL—R

0188

Appendix.

弥生B運転位置ファーストコラム内に漏洩する高速中性子ビームの線源としての特性

昭和61年5月

岡　芳明，秋山雅胤
橋倉宏行，近藤駿介

1.まえがき

「弥生」で遮蔽実験等を行い、 それを中性子輸送計算により解析しようとする時、遮蔽体に入射する中性子の線源条件（線源の特性）をどうやって求めるかが問題になる。

その方法の１つは、「弥生」炉心と実験用供試体を含む体系について、中性子輸送計算を行い、実験用供試体に入射する角中性子束を求めることである。「弥生」炉心はグロ-リー孔、 グレ-ジング孔やビ-ム孔が円柱形の燃料部やブランケット部に開孔しているので、形状の正確な模擬には三次元モンテカルロ計算が必要である。しかし、現在ではモンテカルロ計算で、遮蔽体の解析に必要な角中性子束を求めるのは、計算時間の点でほとんど不可能である。そこで２次元Sn中性子輸送計算法がそのかわりに用いられる。この場合は、形状の近似が不充分なことによる誤差が入る。又、炉心から遮蔽体部までの中性子透過に関する誤差は、いずれの方法を用いても入ることになる。しかし広くて強い面状の線源を用いて遮蔽実験を行いたい時には、供試体入射部の中性子束分布を角度依存性まで含めて、実験的に決めることは不可能なので、やむをえずこの方法が用いられる。例えば「弥生」B位置上部コラムでの遮蔽実験には、 炉心部を含めた２次元輸送計算で求めた遮蔽体入射面での中性子スペクトルを、入射面で実験的に求めた箔反応率にあうように修正して(アンフォ-ルディングして）供試体解析の線源としていた。[1] これにより空間分布、エネルギ-スペクトルの誤差は減ることになる、但し中性子束の角度分布は実験による情報がないので修正されない。しかしこの方法は大変繁雑であり、 実験解析各にこうしたことを行っていては大変である 。また、 線源条件は供試体入射面の全メッシュ点での角度中性子束という大量のデ-タとして与えられるため、 コンパクトにレポ-トなどにそれを記載できないという欠点もある。

第２の方法は、線源条件を実験的に決めることである。実験で中性子束の角度分布を決めることはほとんど不可能であるが、線源がコリメ-トされたビ-ム状である時は、角度分布に関するあいまいさが減るので、この方法によって供試体に

入射する線源の特性を比較的精度よく求めることができる。又、解析を行う際には、炉心部を含めた計算を行う必要はなく、供試体入射部に線源を設定してやればよい。（周囲の散乱体は計算体系に含める必要がある。）

遮蔽実験のためには、一般的に言って線源強度はなるべく強い方がのぞましい。「弥生」でビーム状の強い線源の得られる位置は、ファーストコラム内及びサーマルコラム内である。但し、36cm 厚の重コンクリート板1枚をコリメータとしていたのでは、その中央の直径20.5cm のビーム孔を通って漏洩する中性子の総量に比して、重コンクリート部を透過して漏洩する中性子量も、その部分の面積が広いのでかなりあると思われる。そこで、コリメータとして重コンクリート板に重ねて、もう1枚普通コンクリートよりなる厚さ約36cm の遮蔽板をつけて充分ビームをコリメートして、その外側に遮蔽実験用供試体を置いた実験がいくつかなされている。それらには次のものがある。(図1-3参照)

1.キャビティ・ダクト体系ストリーミング測定実験［2］,［3］

2.劣化ウラン層状体系透過実験［4］,［5］

3.狭小間隙ストリーミング測定実験［6］,［7］

これらの実験を通じて、線源の特性についてもほぼ明らかにできたと考えられるので本報告を作成した。

2.ファーストコラムに漏洩する高速中性子の特性

線源の特性は遮蔽実験用供試体を置かない状態で求めた。その体系を図4に示す。「弥生」炉心で発生した高速中性子は、劣化ウラン金属のブランケットを通り、鉛の反射体を貫通するビーム孔を通じて、36cm 厚の重コンクリート板と35.5cm 厚の普通コンクリート板（うち6cm 厚は鉄板）の中央に開いた20.5cm 直径のビーム孔を通じて、ファーストコラムに漏洩する。図中のX印のついている面での線源の特性が求めたいものである。

重コンクリート板、普通コンクリート板と、それに付属する6cm の鉄板の原子数密度を表1に示す。弥生炉心部に関する原子数密度は、参考文献(1)を参照され

たい。

2-1.線源スペクトルの決定

線源のスペクトルを全エネルギ-領域について明らかにするために、核分裂計数管と放射化箔の反応率を図4に示した線源の中央（X印の点）で測定した。用いた検出器は次の１９種類である。

A.核分裂計数管(■,f,c)

(1) U-235 ■,f,c

(2) U-235 ■,f,c カドミウムフィルタ付

(3) U-235 ■,f,c ボロンフィルタ付

(4) U-238 ■,f,c

B.放射化箔

(1) $^{27}Al(n,\gamma)$

(2) $^{27}Al(n,\alpha)$

(3) $^{115}In(n,n')$

(4) $^{58}Ni(n,p)$

(5) $^{56}Fe(n,p)$

(6) $^{55}Mn(n,\gamma)$カドミウムフィルタ付

(7) $^{55}Mn(n,\gamma)$ボロンフィルタ付

(8) $^{186}W(n,\gamma)$カドミウムフィルタ付

(9) $^{186}W(n,\gamma)$

(10) $^{63}Cu(n,\gamma)$

(11) $^{63}Cu(n,\gamma)$カドミウムフィルタ付

(12) $^{63}Cu(n,\gamma)$

(13) $^{197}Au(n,\gamma)$

(14) $^{197}Au(n,\gamma)$カドミウムフィルタ付

(15) $^{197}Au(n,\gamma)$ボロンフィルタ付

その測定結果を表２に示す。 なおボロンフィルタは船舶技研の厚さ5mmの濃縮B-10の球殻状フィルタ-である。

これらの反応率をもとに、 SAND-Ⅱにより unfolding を行いソ-ススペクトルを求めた。 SAND-Ⅱでは620群のスペクトルが得られるが、通常の解析ではDLC-2構造の100 群定数が1次元Sn輸送計算でよく用いられるので、620群で得たスペクトルからこの群構造の100群の中性子スペクトルを作った。 DLC-2の群構造を表3に、この構造で示した弥生の炉出が1ワット当りの図4 のX印の位置での線源の群中性子束を表4 に示す。なお第100 群には1 mm厚のカドミウムフィルタ- を線源ビ-ムにかぶせて実験することを想定してそれがついた状態のものにしてある。(普通コンクリ-ト内面で発生する熱中性子を除くため。)

これが本報告の中心となる結果である。実験解析ではこのスペクトルを計算の線源（境界線源）として用いるとよい。このスペクトルの形を図5 に示す。点線は2 次元計算などに用いる少数群(13群）のスペクトルであり、これは100群のスペクトルを縮約して求められる。

線源スペクトルの誤差の程度を知るために、測定した反応率が測定誤差も含めた上限であった場合と下限であった場合の2ケ-スについてそれぞれの反応率値を用いてSAND-Ⅱでアンフォ-ルディングを行った。 それを100群の群中性子束結果として表5に示してある。ここで上限とは測定値をE、その測定誤差をe とした時に E+e の反応率のことであり下限値とは E-e のことである。13 群のスペクトルについて、その誤差の程度を示したものを図6に示す。これには100群のスペクトル（中央値）も示してある。

2-2.線源のスペクトルのパラメ-タ表示

線源スペクトルをパラメ-タ表示式で表わすことは簡易計算などの際有用である。 ここでは前記の100群表示のスペクトルが求まる以前に少数の反応率から求めて使用していたパラメ-タ表示式を示す。 反応率としては表6に示す8種の測定値が使われた。 パラメ-タ表示式は次の4つのモ-ドであらわすと仮定されてい

る。

$$\phi(E) = a_1 x(E) + a_2 \phi_{in}(E) + a_3 \phi_{el}(E) + a_4 M(E)$$

ここで第１項は核分裂スペクトルのモ-ド

第２項は非弾性散乱によるスペクトルのモ-ド

第３項は弾性散乱によるスペクトルのモ-ド

第４項はマクスウェル分布によるスペクトルのモ-ド

である。各モ-ドのスペクトルの形は不変として a1,a2,a3,a4 を表6 の測定値にあうようにして決めたパラメ-タ表示式は次のようになる。

$$\begin{aligned}\phi(E) = {} & 8.60\times10^{-4} E^{0.5} \exp(-7.75\times10^{-4} E) \\ & +2.00\times10^{-2} E^{-0.2} \exp(-4.42\times10^{-5} E^{1.5}) \\ & +2.50\times10^{1} E^{-0.7} \exp(-3.76\times10^{-3} E - 0.0316 E^{-0.5}) \\ & +2.20\times10^{8} E \exp(-E/2.58\times10^{-5}) \quad ,(\ E \text{ in keV}\ )\end{aligned}$$

表6にはこの表示式によって求めた反応率をCとして測定値との比をC/Eで示してある。

このスペクトル表示式は、前記のSAND-Ⅱのアンフォ-ルディングの初期スペクトルとしても用いられている。 簡易計算などでない場合は、表4に示した100 群のものを線源のスペクトルとして用いるのがのぞましい。 図7にはこのスペクトル表示式によりあらわされるスペクトルの形を参考のため示す。正確なスペクトル（図6）とはやや形が異なっている。

2-3.線源の空間的広がり

線源の角度分布に関する情報を知る手がかりとして、 線源ビ-ムの広がりを種々の検出器で測定した。まず2インチ径のNE213シンチレ-タと、直径5cmの球形水素ガス比例計数管(2気圧と8 気圧)を用いて、線源面と線源面からビ-ム軸方向に40cm離れた面での、ビ-ムの広がりをカウントレ-トで測定した。その結果を図8に示す。高速中性子ビ-ムは40cmの間でほとんど広がっていないことがわかる。

次にカドミウムカバ-をつけた直径6mmの金箔で測定した線源面とそれからビ-

ム軸方向に5cm 離れた面でのビ-ムの広がり(反応率の分布)を図9に示す。又、図10には、カドミウムカバ-なしの金箔の反応率で測定したビ-ムの広がりを示す。「弥生」は高速炉であるので、熱中性子は普通コンクリ-トを貫通しているビ-ム孔の内面で発生したものと思われる。なおファ-ストコラムの壁は、重コンクリ-トでできているので、ほとんど熱中性子は発生しない。

また、 ビ-ム上のみならず遮蔽板の部分も含めた面での反応率分布が、カドミウムカバ-を付けた金箔とカバ-無の金箔で測定されている。ビ-ム出口面(線源面,Z=0cm)での結果を表7に、 そこからビ-ム軸方向に5cm離れた面(Z=5cm)での測定結果を相対値で表8 に示す。

又、U-235 マイクロフィッションチェンバ- にボロンフィルタ- とカドミウムフィルタ-をつけてZ=15cmの面で測定した反応率を相対値で表9 に示す。 R=11cmより大きいところはビ-ムからかくれている面であるが低エネルギ-中性子のしみ出しが少しあることがわかる。 この低エネルギ-中性子のしみ出しの影響が、供試体内の反応率分布の解析に与える影響を求めた例は、 参考文献(5)の劣化ウラン・アルミニウム層状体系の実験解析にあり、 そのP.96-99に結果が述べられている。 それによると、その影響による劣化ウラン体系での反応率の増加はAu(n,γ)と^{235}U(n,f)反応率とも6%以内であるとしている。精度のよい実験のためには低エネルギ-中性子吸収用のボロン層などを、 コンクリ-ト遮蔽板(コリメ-タ)の外側に置いて実験する方がよいかもしれない。

2-4.NE213シンチレ-タと球形水素ガス比例計数管で求めた線源の高速中性子スペクトル

線源の高速中性子のスペクトルが、以前にキャビティ・ダクト体系及びスリット・ダクト体系のストリ-ミング測定実験の際に、2インチのNE213シンチレ-タと8気圧と2気圧の 5cm径の球形水素ガス比例計数管で求められている。 [2],[3] アンフォ-ルディングはNE213についてはVerbinskiのレスポンスを用いてFERDORコ-ドで球形水素ガス比例計数管についてはSPEC-4コ-ドを用いて行われた。

キャビティ・ダクト体系はすでに示した図1である。 スリット・ダクト体系を図11に示す。 線源スペクトルの測定位置は、いずれも図のA点であり、この測定の時は、 図の中に示されている漏洩したビ-ムの当る140cm厚の普通コンクリ-トに6cmの鉄板のついた巨大なブロックは置かれていない。 即ち供試体はセットしないで、 線源のみを測定している。その測定結果をやはりDLC-2 の100群構造で表10に示す。

キャビティ・ダクト体系のスペクトルは、本来、表4 や図5 に示した反応率のアンフォ-ルディングで求めた線源のスペクトルと一致すべきものである。 単位をそろえて比較したところ、20-50%の差がある群もあるが、大体よく一致していることがわかった。 高速中性子のみを解析するならば、表10 に示したものを線源条件として使用してもよいと思われる。

3.まとめ

ファ-ストコラム内に漏洩する中性子束の、全エネルギ-にわたるスペクトルが求められた。このスペクトルを解析の線源条件として用いると、炉心を含めて解析する場合に比して、ずっと容易にこの線源を使って行われた実験の解析を行うことができるであろう。 なお、輸送計算のモデルは普通コンクリ-ト遮蔽板も含めて作り、 その内部境界線源として上記のスペクトルを用いることがのぞましい。これにより供試体と遮蔽板との相互干渉を計算で考慮できる。

引用文献

(1)Y.Oka et al. "Neutron and Gamma-Ray Penetrations through Thick Iron" Nucl.Sci.Eng.73 259-273(1980)

(2)福本英士，修士論文 昭和57年3月

(3)橋倉宏行 他，「ダクトストリ-ミング実験Ⅱ,Ⅲ」UTNL-R-0121(昭和57年3月)

(4)片岡一芳,卒業論文(昭和60年3月)

(5)児玉徹彦,修士論文(昭和61年3月)

(6)築島千尋,卒業論文(昭和60年3月)

(7)Y.Oka et al. "Neutron Streaming through Narrow and Long Annulus" J.Nucl.Sci.Technol.23 387-394(1986)

Table 1 Atomic number densities of the regions ($\times 10^{24}$ atoms/cm^3)

element	(1) heavy concrete	(2) ordinary concrete	(3) iron plate (SS41)
H	4.997-2*	1.568-2	-
B	-	-	8.759-7
C	-	-	7.095-4
O	4.379-2	4.265-2	-
Na	-	5.001-4	-
Mg	-	3.134-4	-
Al	1.890-4	2.146-3	-
Si	1.043-3	1.276-2	4.383-4
P	-	2.158-5	3.515-5
S	-	5.838-5	2.658-5
K	-	3.009-4	-
Ca	2.200-3	3.816-3	-
Ti	-	8.375-5	-
Cr	-	-	9.105-6
Mn	-	9.734-4	8.962-4
Fe	2.552-2	5.746-4	8.347-2
Ni	-	-	8.065-6
Cu	-	-	-
Pb	-	5.807-7	-

*read as 4.997×10^{-2}

Table 2 Reaction rates of source spectrum measurment experiment

Reaction		Reaction rate (n/atom/s/W)	Error (%)
Au(n,g)	bare	7.973-18	7.654
	Cd-cover	4.847-18	7.634
	B-cover	3.069-18	7.632
235U(n,f)	bare	8.706-18	5.000
	Cd-cover	2.531-18	5.000
	B-cover	3.355-20	5.000
63Cu(n,g)	Cd-cover	3.940-20	34.260
	B-cover	1.758-20	34.340
55Mn(n,g)	Cd-cover	1.200-19	7.674
	B-cover	3.108-20	7.747
186W(n,g)	Cd-cover	4.355-18	7.806
	B-cover	9.619-20	7.750
238U(n,f)		1.556-20	5.000
58Ni(n,p)		3.771-21	7.552
115In(n,n)		8.606-21	7.798
27Al(n,a)		3.189-23	7.965
56Fe(n,p)		5.637-23	7.651
27Al(n,p)		8.303-23	13.550
63Cu(n,g)	bare	1.407-19	34.210

Table 3. DLC-2 type energy group structure

☆☆☆ NEUTRON GROUP ☆☆☆

GROUP	ENERGY RANGE		GROUP	ENERGY RANGE	
1	1.4918E+07	1.3499E+07	51	8.6617E+04	6.7379E+04
2	1.3499E+07	1.2214E+07	52	6.7379E+04	5.2475E+04
3	1.2214E+07	1.1052E+07	53	5.2475E+04	4.0868E+04
4	1.1052E+07	1.0000E+07	54	4.0868E+04	3.1828E+04
5	1.0000E+07	9.0484E+06	55	3.1828E+04	2.4788E+04
6	9.0484E+06	8.1873E+06	56	2.4788E+04	1.9305E+04
7	8.1873E+06	7.4082E+06	57	1.9305E+04	1.5034E+04
8	7.4082E+06	6.7032E+06	58	1.5034E+04	1.1709E+04
9	6.7032E+06	6.0653E+06	59	1.1709E+04	9.1188E+03
10	6.0653E+06	5.4881E+06	60	9.1188E+03	7.1017E+03
11	5.4881E+06	4.9659E+06	61	7.1017E+03	5.5308E+03
12	4.9659E+06	4.4933E+06	62	5.5308E+03	4.3075E+03
13	4.4933E+06	4.0657E+06	63	4.3075E+03	3.3546E+03
14	4.0657E+06	3.6788E+06	64	3.3546E+03	2.6126E+03
15	3.6788E+06	3.3287E+06	65	2.6126E+03	2.0347E+03
16	3.3287E+06	3.0119E+06	66	2.0347E+03	1.5846E+03
17	3.0119E+06	2.7253E+06	67	1.5846E+03	1.2341E+03
18	2.7253E+06	2.4660E+06	68	1.2341E+03	9.6112E+02
19	2.4660E+06	2.2313E+06	69	9.6112E+02	7.4852E+02
20	2.2313E+06	2.0190E+06	70	7.4852E+02	5.8295E+02
21	2.0190E+06	1.8268E+06	71	5.8295E+02	4.5400E+02
22	1.8268E+06	1.6530E+06	72	4.5400E+02	3.5357E+02
23	1.6530E+06	1.4957E+06	73	3.5357E+02	2.7536E+02
24	1.4957E+06	1.3534E+06	74	2.7536E+02	2.1445E+02
25	1.3534E+06	1.2246E+06	75	2.1445E+02	1.6702E+02
26	1.2246E+06	1.1080E+06	76	1.6702E+02	1.3007E+02
27	1.1080E+06	1.0026E+06	77	1.3007E+02	1.0130E+02
28	1.0026E+06	9.0718E+05	78	1.0130E+02	7.8893E+01
29	9.0718E+05	8.2085E+05	79	7.8893E+01	6.1442E+01
30	8.2085E+05	7.4274E+05	80	6.1442E+01	4.7851E+01
31	7.4274E+05	6.7206E+05	81	4.7851E+01	3.7267E+01
32	6.7206E+05	6.0810E+05	82	3.7267E+01	2.9023E+01
33	6.0810E+05	5.5023E+05	83	2.9023E+01	2.2603E+01
34	5.5023E+05	4.9787E+05	84	2.2603E+01	1.7603E+01
35	4.9787E+05	4.5049E+05	85	1.7603E+01	1.3710E+01
36	4.5049E+05	4.0762E+05	86	1.3710E+01	1.0677E+01
37	4.0762E+05	3.6883E+05	87	1.0677E+01	8.3153E+00
38	3.6883E+05	3.3373E+05	88	8.3153E+00	6.4760E+00
39	3.3373E+05	3.0197E+05	89	6.4760E+00	5.0435E+00
40	3.0197E+05	2.7324E+05	90	5.0435E+00	3.9279E+00
41	2.7324E+05	2.4724E+05	91	3.9279E+00	3.0590E+00
42	2.4274E+05	2.2371E+05	92	3.0590E+00	2.3824E+00
43	2.2371E+05	2.0242E+05	93	2.3824E+00	1.8554E+00
44	2.0242E+05	1.8316E+05	94	1.8554E+00	1.4450E+00
45	1.8316E+05	1.6573E+05	95	1.4450E+00	1.1254E+00
46	1.6573E+05	1.4996E+05	96	1.1254E+00	8.7642E-01
47	1.4996E+05	1.3569E+05	97	8.7642E-01	6.8256E-01
48	1.3569E+05	1.2277E+05	98	6.8256E-01	5.3158E-01
49	1.2277E+05	1.1109E+05	99	5.3158E-01	4.1399E-01
50	1.1109E+05	8.6617E+04	100	4.1399E-01	1.0000E-03

Table.4 Group flux and spectrum of the source neutrons

Energy group No.	Average group flux [n/cm²/s/w]	Neutron spectrum [n/cm²/s/lethargy/w]
1	3.0529 E+00 #	3.0529 E+01
2	7.2885 E+00	7.2885 E+01
3	1.5379 E+01	1.5379 E+02
4	2.9576 E+01	2.9576 E+02
5	5.4360 E+01	5.4359 E+02
6	1.0056 E+02	1.0056 E+03
7	1.9132 E+02	1.9132 E+03
8	3.5735 E+02	3.5735 E+03
9	6.1455 E+02	6.1455 E+03
10	7.2198 E+02	7.2198 E+03
11	5.5359 E+02	5.5359 E+03
12	4.8861 E+02	4.8861 E+03
13	5.5188 E+02	5.5188 E+03
14	6.8856 E+02	6.8856 E+03
15	9.0570 E+02	9.0570 E+03
16	1.1735 E+03	1.1735 E+04
17	1.4271 E+03	1.4271 E+04
18	1.8441 E+03	1.8441 E+04
19	2.2150 E+03	2.2149 E+04
20	2.8736 E+03	2.8736 E+04
21	3.3372 E+03	3.3372 E+04
22	3.7352 E+03	3.7352 E+04
23	3.9700 E+03	3.9700 E+04
24	3.5198 E+03	3.5198 E+04
25	2.8002 E+03	2.8002 E+04
26	2.8220 E+03	2.8220 E+04
27	2.9401 E+03	2.9401 E+04
28	3.3372 E+03	3.3372 E+04
29	3.3139 E+03	3.3139 E+04
30	3.6639 E+03	3.6639 E+04
31	4.0271 E+03	4.0271 E+04
32	4.3980 E+03	4.3979 E+04
33	4.7121 E+03	4.7121 E+04
34	4.8951 E+03	4.8951 E+04
35	4.9973 E+03	4.9973 E+04
36	4.9956 E+03	4.9956 E+04
37	5.0441 E+03	5.0441 E+04
38	4.9120 E+03	4.9120 E+04
39	4.7236 E+03	4.7236 E+04
40	4.5869 E+03	4.5869 E+04
41	4.6672 E+03	4.6672 E+04
42	3.4095 E+03	3.4095 E+04
43	4.0143 E+03	4.0143 E+04
44	3.8337 E+03	3.8337 E+04
45	3.6787 E+03	3.6787 E+04
46	3.4684 E+03	3.4684 E+04
47	3.2916 E+03	3.2916 E+04
48	3.0993 E+03	3.0993 E+04
49	2.9250 E+03	2.9250 E+04
50	6.3849 E+03	2.5539 E+04

#read as $3.0529*10^{0}$

Table.4(continued)

Energy group No.	Average group flux	Neutron spectrum
51	5.6163 E+03	2.2465 E+04
52	4.8743 E+03	1.9497 E+04
53	4.4022 E+03	1.7609 E+04
54	3.8896 E+03	1.5558 E+04
55	3.5139 E+03	1.4056 E+04
56	3.2264 E+03	1.2906 E+04
57	2.9955 E+03	1.1982 E+04
58	2.8058 E+03	1.1223 E+04
59	2.8048 E+03	1.1219 E+04
60	2.8942 E+03	1.1577 E+04
61	3.2955 E+03	1.3182 E+04
62	3.2314 E+03	1.2925 E+04
63	4.1393 E+03	1.6557 E+04
64	3.3597 E+03	1.3439 E+04
65	2.3585 E+03	9.4340 E+03
66	3.3129 E+03	1.3252 E+04
67	4.4742 E+03	1.7897 E+04
68	2.6124 E+03	1.0450 E+04
69	4.0258 E+03	1.6103 E+04
70	3.7822 E+03	1.5129 E+04
71	2.8135 E+03	1.1254 E+04
72	1.7559 E+03	7.0236 E+03
73	2.4063 E+03	9.6250 E+03
74	2.7857 E+03	1.1143 E+04
75	3.1726 E+03	1.2690 E+04
76	3.2762 E+03	1.3105 E+04
77	2.5826 E+03	1.0330 E+04
78	2.0316 E+03	8.1262 E+03
79	2.3350 E+03	9.3398 E+03
80	2.5760 E+03	1.0304 E+04
81	2.1097 E+03	8.4386 E+03
82	2.0321 E+03	8.1284 E+03
83	1.9381 E+03	7.7522 E+03
84	2.0090 E+03	8.0358 E+03
85	1.9849 E+03	7.9396 E+03
86	1.9514 E+03	7.8054 E+03
87	1.8761 E+03	7.5042 E+03
88	1.8580 E+03	7.4318 E+03
89	1.7918 E+03	7.1670 E+03
90	1.7036 E+03	6.8144 E+03
91	1.6164 E+03	6.4654 E+03
92	1.5144 E+03	6.0574 E+03
93	1.3929 E+03	5.5716 E+03
94	1.2320 E+03	4.9278 E+03
95	1.1037 E+03	4.4146 E+03
96	9.5102 E+02	3.8041 E+03
97	7.8530 E+02	3.1412 E+03
98	5.6968 E+02	2.2787 E+03
99	3.2371 E+02	1.2948 E+03
100	1.2168 E+02	2.0192 E+01

Table5. Upper and lower group flux of the source neutrons

Energy group No.	Lower energy [eV]	Upper energy [eV]	Lower group flux [n/cm²/s/W]	Upper group flux [n/cm²/s/W]
1	1.3499 E+07 *	1.4918 E+07	2.8243 E+00	3.2815 E+00
2	1.2214 E+07	1.3499 E+07	6.7370 E+00	7.8400 E+00
3	1.1052 E+07	1.2214 E+07	1.4206 E+01	1.6552 E+01
4	1.0000 E+07	1.1052 E+07	2.7306 E+01	3.1846 E+01
5	9.0484 E+06	1.0000 E+07	5.0178 E+01	5.8541 E+01
6	8.1873 E+06	9.0484 E+06	9.2868 E+01	1.0825 E+02
7	7.4082 E+06	8.1873 E+06	1.7686 E+02	2.0577 E+02
8	6.7032 E+06	7.4082 E+06	3.3068 E+02	3.8401 E+02
9	6.0653 E+06	6.7032 E+06	5.6791 E+02	6.6119 E+02
10	5.4881 E+06	6.0653 E+06	6.6224 E+02	7.8171 E+02
11	4.9659 E+06	5.4881 E+06	5.0346 E+02	6.0372 E+02
12	4.4933 E+06	4.9659 E+06	4.4266 E+02	5.3455 E+02
13	4.0657 E+06	4.4933 E+06	5.0016 E+02	6.0361 E+02
14	3.6788 E+06	4.0657 E+06	6.2633 E+02	7.5079 E+02
15	3.3287 E+06	3.6788 E+06	8.2992 E+02	9.8149 E+02
16	3.0119 E+06	3.3287 E+06	1.0837 E+03	1.2633 E+03
17	2.7253 E+06	3.0119 E+06	1.3265 E+03	1.5277 E+03
18	2.4660 E+06	2.7253 E+06	1.7351 E+03	1.9531 E+03
19	2.2313 E+06	2.4660 E+06	2.1013 E+03	2.3286 E+03
20	2.0190 E+06	2.2313 E+06	2.7632 E+03	2.9839 E+03
21	1.8268 E+06	2.0190 E+06	3.2279 E+03	3.4465 E+03
22	1.6530 E+06	1.8268 E+06	3.6193 E+03	3.8510 E+03
23	1.4957 E+06	1.6530 E+06	3.8284 E+03	4.1116 E+03
24	1.3534 E+06	1.4957 E+06	3.2629 E+03	3.7766 E+03
25	1.2246 E+06	1.3534 E+06	2.4473 E+03	3.1531 E+03
26	1.1080 E+06	1.2246 E+06	2.4112 E+03	3.2328 E+03
27	1.0026 E+06	1.1080 E+06	2.4772 E+03	3.4029 E+03
28	9.0718 E+05	1.0026 E+06	2.7863 E+03	3.8880 E+03
29	8.2085 E+05	9.0718 E+05	2.7210 E+03	3.9068 E+03
30	7.4274 E+05	8.2085 E+05	3.0252 E+03	4.3025 E+03
31	6.7206 E+05	7.4274 E+05	3.3305 E+03	4.7237 E+03
32	6.0810 E+05	6.7206 E+05	3.6265 E+03	5.1694 E+03
33	5.5023 E+05	6.0810 E+05	3.8427 E+03	5.5814 E+03
34	4.9787 E+05	5.5023 E+05	3.9461 E+03	5.8441 E+03
35	4.5049 E+05	4.9787 E+05	3.9799 E+03	6.0146 E+03
36	4.0762 E+05	4.5049 E+05	3.9426 E+03	6.0486 E+03
37	3.6883 E+05	4.0762 E+05	3.9609 E+03	6.1274 E+03
38	3.3373 E+05	3.6883 E+05	3.8601 E+03	5.9639 E+03
39	3.0197 E+05	3.3373 E+05	3.7249 E+03	5.7223 E+03
40	2.7324 E+05	3.0197 E+05	3.6420 E+03	5.5317 E+03
41	2.4724 E+05	2.7324 E+05	3.1349 E+03	6.1995 E+03
42	2.2371 E+05	2.4724 E+05	2.7501 E+03	4.0689 E+03
43	2.0242 E+05	2.2371 E+05	3.2655 E+03	4.7631 E+03
44	1.8316 E+05	2.0242 E+05	3.1536 E+03	4.5138 E+03
45	1.6573 E+05	1.8316 E+05	3.0489 E+03	4.3085 E+03
46	1.4996 E+05	1.6573 E+05	2.8901 E+03	4.0467 E+03
47	1.3569 E+05	1.4996 E+05	2.7481 E+03	3.8351 E+03
48	1.2277 E+05	1.3569 E+05	2.5861 E+03	3.6125 E+03
49	1.1109 E+05	1.2277 E+05	2.4189 E+03	3.4311 E+03
50	8.6617 E+04	1.1109 E+05	5.2304 E+03	7.5393 E+03

* read as 1.3499×10^{7}

Table.5(continued)

Energy group No.	Lower energy	Upper energy	Lower group flux	Upper group flux
51	6.7379 E+04	8.6617 E+04	4.5430 E+03	6.6896 E+03
52	5.2475 E+04	6.7379 E+04	3.8925 E+03	5.8560 E+03
53	4.0868 E+04	5.2475 E+04	3.4645 E+03	5.3398 E+03
54	3.1828 E+04	4.0868 E+04	3.0686 E+03	4.7106 E+03
55	2.4788 E+04	3.1828 E+04	2.7356 E+03	4.2022 E+03
56	1.9305 E+04	2.4788 E+04	2.4792 E+03	3.9736 E+03
57	1.5034 E+04	1.9305 E+04	2.2783 E+03	3.7126 E+03
58	1.1709 E+04	1.5034 E+04	2.0191 E+03	3.5924 E+03
59	9.1188 E+03	1.1709 E+04	2.0991 E+03	3.5105 E+03
60	7.1017 E+03	9.1188 E+03	2.2525 E+03	3.5358 E+03
61	5.5308 E+03	7.1017 E+03	2.6516 E+03	3.9393 E+03
62	4.3075 E+03	5.5308 E+03	2.5206 E+03	3.9421 E+03
63	3.3546 E+03	4.3075 E+03	3.6926 E+03	4.5859 E+03
64	2.6126 E+03	3.3546 E+03	2.8773 E+03	3.8420 E+03
65	2.0347 E+03	2.6126 E+03	1.9287 E+03	2.7883 E+03
66	1.5846 E+03	2.0347 E+03	2.8663 E+03	3.7595 E+03
67	1.2341 E+03	1.5846 E+03	4.2870 E+03	4.6615 E+03
68	9.6112 E+02	1.2341 E+03	2.4793 E+03	2.7455 E+03
69	7.4852 E+02	9.6112 E+02	3.9417 E+03	4.1098 E+03
70	5.8295 E+02	7.4852 E+02	3.4756 E+03	4.0887 E+03
71	4.5400 E+02	5.8295 E+02	2.4233 E+03	3.2036 E+03
72	3.5357 E+02	4.5400 E+02	1.6833 E+03	1.8285 E+03
73	2.7536 E+02	3.5357 E+02	2.2931 E+03	2.5194 E+03
74	2.1445 E+02	2.7536 E+02	2.7454 E+03	2.8259 E+03
75	1.6702 E+02	2.1445 E+02	3.1883 E+03	3.1569 E+03
76	1.3007 E+02	1.6702 E+02	3.2995 E+03	3.2529 E+03
77	1.0130 E+02	1.3007 E+02	2.5909 E+03	2.5742 E+03
78	7.8893 E+01	1.0130 E+02	2.0087 E+03	2.0544 E+03
79	6.1442 E+01	7.8893 E+01	2.4508 E+03	2.2191 E+03
80	4.7851 E+01	6.1442 E+01	2.5923 E+03	2.5596 E+03
81	3.7276 E+01	4.7851 E+01	2.1841 E+03	2.0352 E+03
82	2.9023 E+01	3.7276 E+01	2.0416 E+03	2.0226 E+03
83	2.2603 E+01	2.9023 E+01	1.8714 E+03	2.0047 E+03
84	1.7603 E+01	2.2603 E+01	2.0345 E+03	1.9834 E+03
85	1.3710 E+01	1.7603 E+01	1.6322 E+03	2.3376 E+03
86	1.0677 E+01	1.3710 E+01	1.5400 E+03	2.3627 E+03
87	8.3153 E+00	1.0677 E+01	1.6030 E+03	2.1491 E+03
88	6.4760 E+00	8.3153 E+00	1.4732 E+03	2.2427 E+03
89	5.0435 E+00	6.4760 E+00	1.5794 E+03	2.0041 E+03
90	3.9279 E+00	5.0435 E+00	1.5460 E+03	1.8612 E+03
91	3.0590 E+00	3.9279 E+00	1.3174 E+03	1.9153 E+03
92	2.3824 E+00	3.0590 E+00	1.1314 E+03	1.8973 E+03
93	1.8554 E+00	2.3824 E+00	1.0378 E+03	1.7480 E+03
94	1.4450 E+00	1.8554 E+00	1.0881 E+03	1.3758 E+03
95	1.1254 E+00	1.4450 E+00	9.6202 E+02	1.2453 E+03
96	8.7642 E-01	1.1254 E+00	7.6113 E+02	1.1409 E+03
97	6.8256 E-01	8.7642 E-01	6.1630 E+02	9.5429 E+02
98	5.3158 E-01	6.8256 E-01	4.8920 E+02	6.5017 E+02
99	4.1399 E-01	5.3158 E-01	2.9400 E+02	3.5341 E+02
100	1.0000 E-03	4.1399 E-01	1.0707 E+02	1.3628 E+02

Table 6 Experimental reaction rates at the exit of the source beam and ratios to the reaction rates calculated from the formula

type of reactions	experimental reaction rate $n \cdot atom^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Watt^{-1}$ and error in percent	C/E
$^{27}Al(n,\alpha)$	3.19 - 23 * ± 7.9 %	0.76
$^{58}Ni(n,p)$	3.77 - 21 ± 7.6 %	1.02
$^{115}In(n,n')$	8.61 - 21 ± 7.8 %	0.74
$^{197}Au(n,\gamma)$	7.97 - 18 ± 7.6 %	0.77
$^{197}Au(n,\gamma)$ Cd-covered	4.85 - 18 ± 7.6 %	1.19
$^{235}U(n,f)$ Cd-covered	2.53 - 18 ± 5 %	0.85
$^{238}U(n,f)$	1.57 - 20 ± 5 %	1.36
$^{6}LiF+CaSO_4$ TLD (UD136N)	1.792 - 3 ** ± 8 %	1.27

* read as 3.19×10^{-23}

** unit : R, ^{60}Co equivalence$\cdot s^{-1} \cdot Watt^{-1}$

Table 7 Radial relative reaction rate distribution at Z=0.0cm

R (cm)	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0
Z=0.0cm bare	1.0	0.989	0.891	0.442	0.134	0.075	0.059	0.047
Z=0.0cm Cd-cover	1.0	0.959	0.886	0.423	0.166	0.088	0.061	0.050

Table 8 Radial relative reaction rate distribution at Z=5.0cm

R (cm)	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0
Z=5.0cm bare	1.0	0.736	0.881	0.401	0.276	0.212	0.116	0.082
Z=5.0cm Cd-cover	1.0	0.945	0.785	0.444	0.199	0.163	0.112	0.084

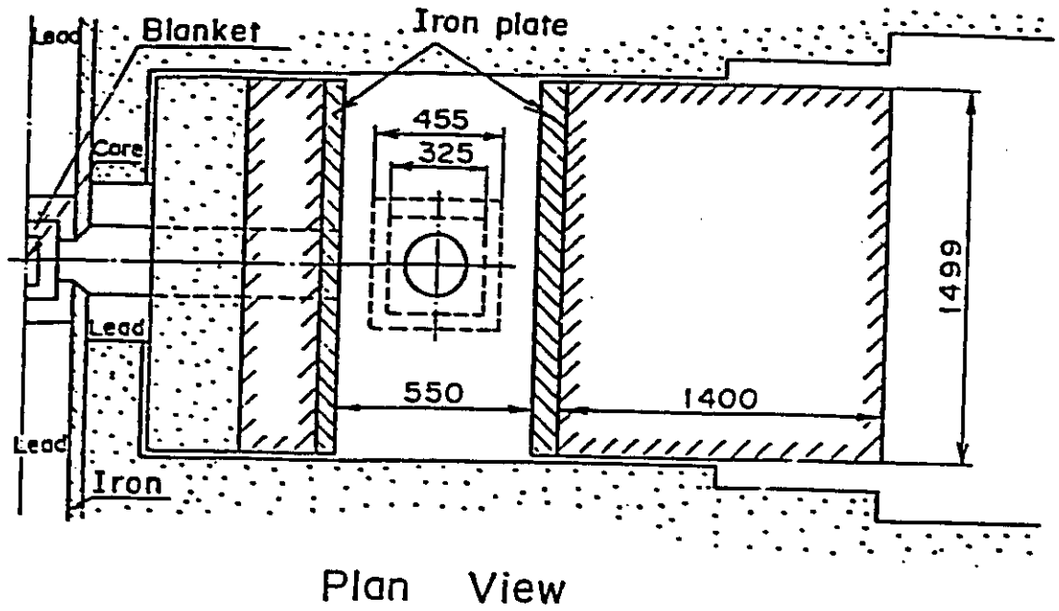
Table 9 Relative reaction rate distribution of fission rate at Z=15.0(cm)

R (cm)	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	11.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
Cd	1.0	0.99	0.99	0.98	0.94	0.90	0.88	0.82	0.60	0.42	0.32	0.25
B-10	1.0	1.0	1.0	0.99	0.97	0.93	0.89	0.76	0.42	0.24	0.16	0.13

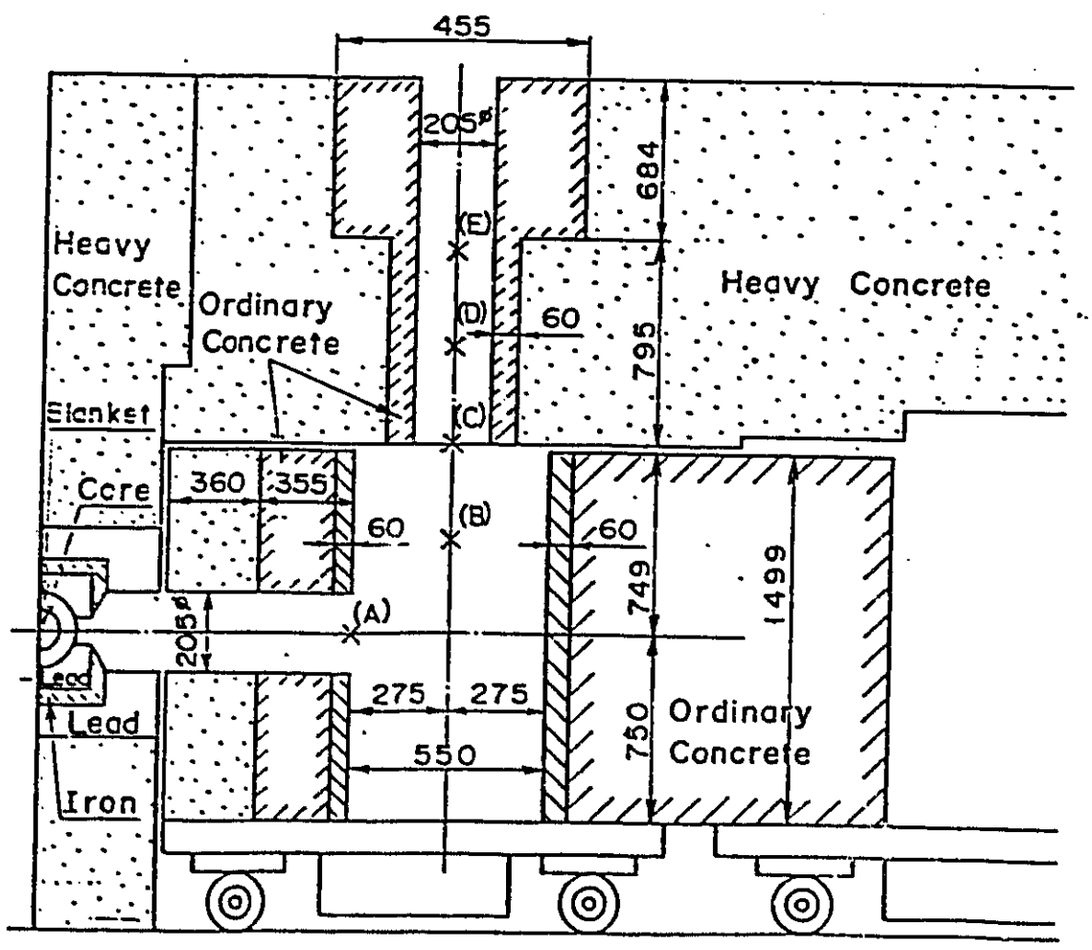
Table 10 Source Spectrum at the end of the collimater in neutrons / $cm^2 \cdot sec \cdot MeV \cdot watt$

Group	Energy Range		Slit-duct Geometry	Cavity-duct Geometry
1	1.4918+07	1.3499+07	0.0	0.0
2	1.3499+07	1.2214+07	0.0	0.0
3	1.2214+07	1.1052+07	0.0	0.0
4	1.1052+07	1.0000+07	7.6	0.0
5	1.0000+07	9.0484+06	16.4	51.5
6	9.0484+06	8.1873+06	28.7	74.7
7	8.1873+06	7.4082+06	43.8	163.8
8	7.4082+06	6.7032+06	76.1	251.5
9	6.7032+06	6.0653+06	150.7	482.2
10	6.0653+06	5.4881+06	248.9	759.6
11	5.4881+06	4.9659+06	416.3	1164.9
12	4.9659+06	4.4933+06	622.8	1723.7
13	4.4933+06	4.0657+06	869.8	2341.3
14	4.0657+06	3.6788+06	1065.9	3188.2
15	3.6788+06	3.3287+06	1359.3	4007.4
16	3.3287+06	3.0119+06	1922.0	4931.6
17	3.0119+06	2.7253+06	2480.8	6412.3
18	2.7253+06	2.4660+06	2729.6	7720.3
19	2.4660+06	2.2313+06	3265.3	9161.5
20	2.2313+06	2.0190+06	3596.3	11002.8
21	2.0190+06	1.8268+06	5652.5	12113.6
22	1.8268+06	1.6530+06	7558.5	13406.7
23	1.6530+06	1.4957+06	10203.2	16726.9
24	1.4957+06	1.3534+06	13691.7	26113.3
25	1.3534+06	1.2246+06	21057.7	33146.6
26	1.2246+06	1.1080+06	28708.1	45670.5
27	1.1080+06	1.0026+06	44852.1	65816.1
28	1.0026+06	9.0718+05	51088.2	73648.1
29	9.0718+05	8.2085+05	46567.5	68937.3
30	8.2085+05	7.4274+05	71266.5	119448.0
31	7.4274+05	6.7206+05	54813.3	88603.0
32	6.7206+05	6.0810+05	70971.8	112184.0
33	6.0810+05	5.5023+05	109880.5	108272.0
34	5.5023+05	4.9787+05	108762.1	113210.0
35	4.9787+05	4.5049+05	98711.2	151427.0
36	4.5049+05	4.0762+05	109472.9	150386.0
37	4.0762+05	3.6883+05	126954.1	186580.0
38	3.6883+05	3.3373+05	144071.8	204258.0
39	3.3373+05	3.0197+05	161004.3	215170.0
40	2.7324+05	2.7324+05	174314.6	234336.0
41	2.7324+05	2.4724+05	182309.7	243803.0
42	2.4724+05	2.2371+05	182309.7	211532.0
43	2.2371+05	2.0242+05	175727.3	174000.0
44	2.0242+05	1.8316+05	182036.0	222584.0
45	1.8316+05	1.6573+05	216336.9	233577.0
46	1.6573+05	1.4996+05	226117.0	232000.0
47	1.4996+05	1.3569+05	210885.0	336518.0
48	1.3569+05	1.2277+05	259336.7	287350.0
49	1.2277+05	1.1109+05	262996.8	245312.0
50	1.1109+05	8.6617+04	——	——

* DLC-2 Energy Structure (12)



Plan View



Elevation

Fig. 1. Experimental arrangement of the Cavity-duct geometry

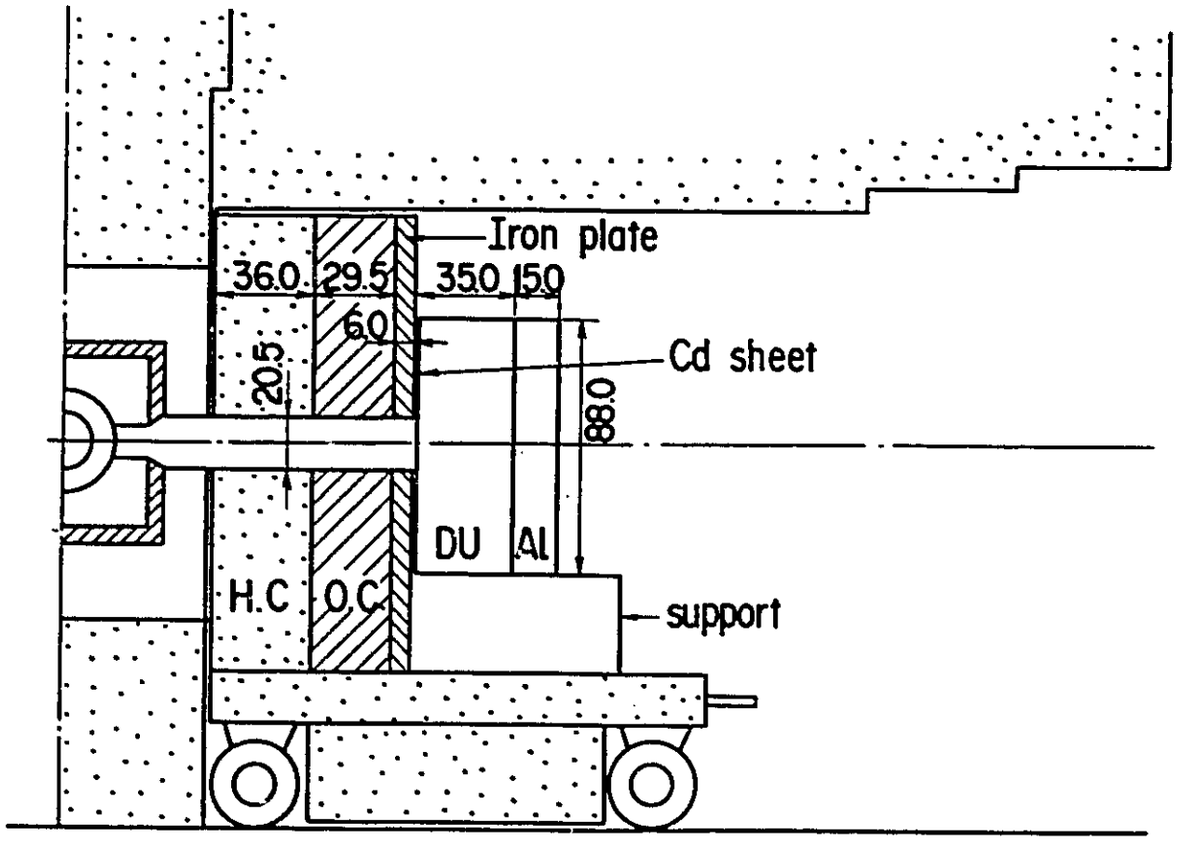


図2.劣化ウラン・アルミニウム層状体系透過実験

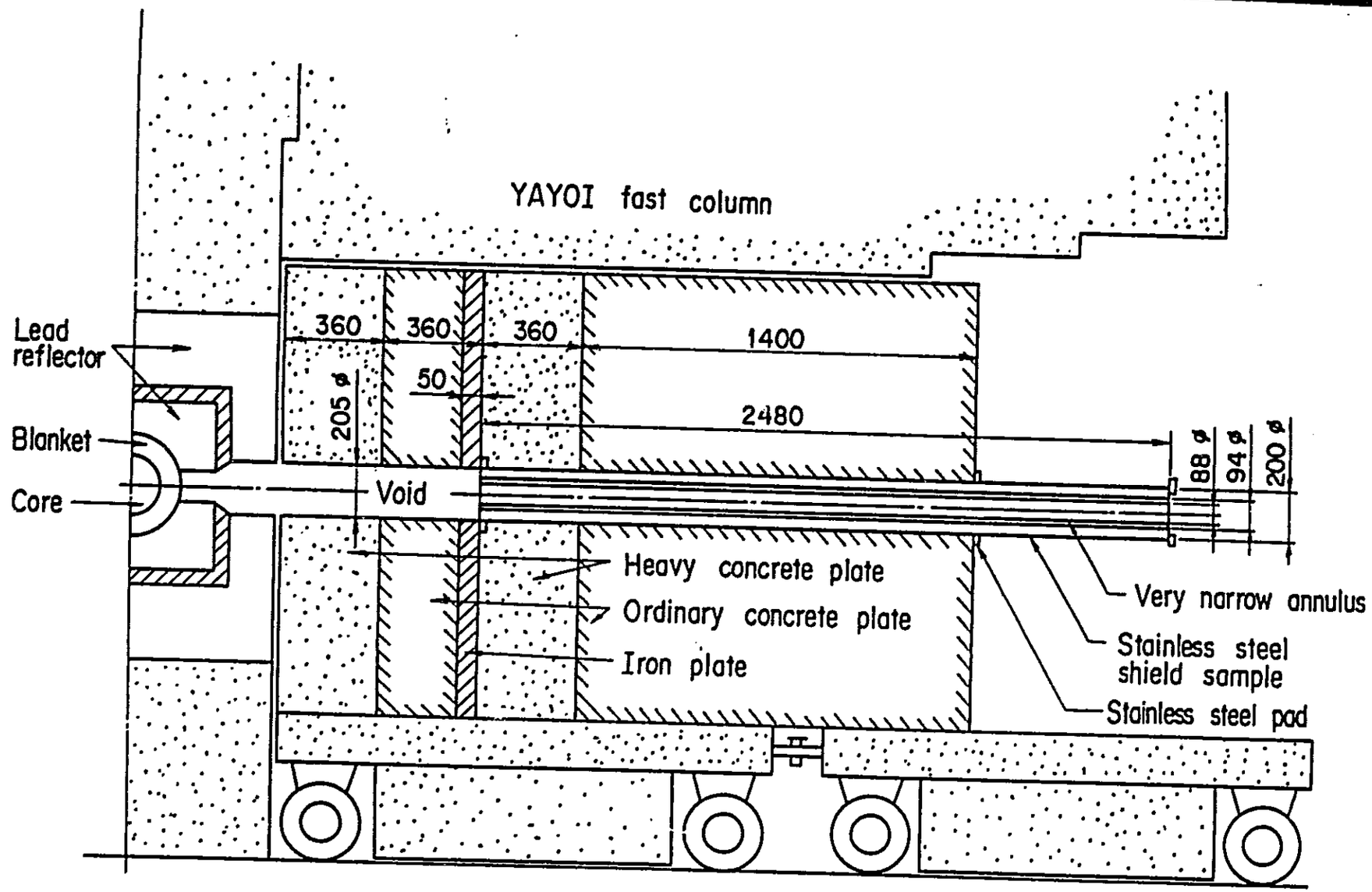


図3.狭小間隙ストリ-ミング実験

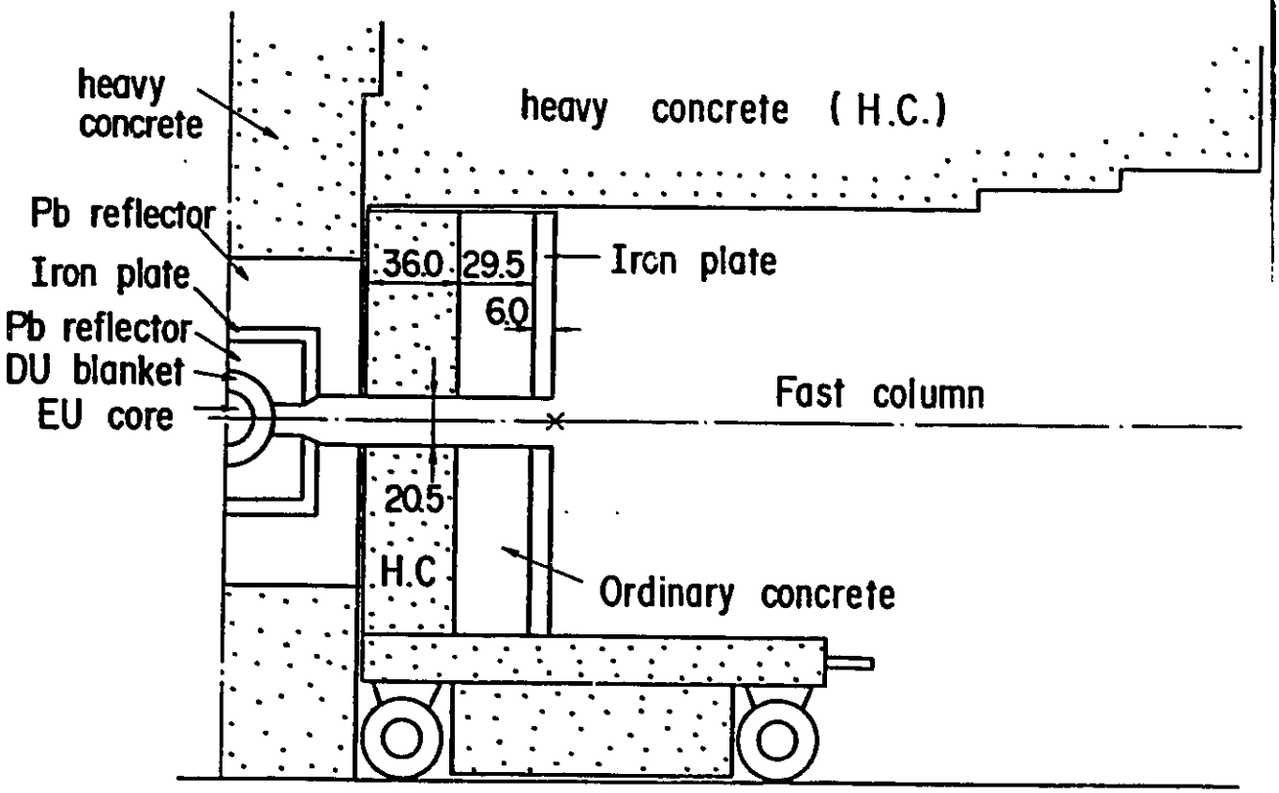


図4.線源の特性が求められた体系(寸法 cm)

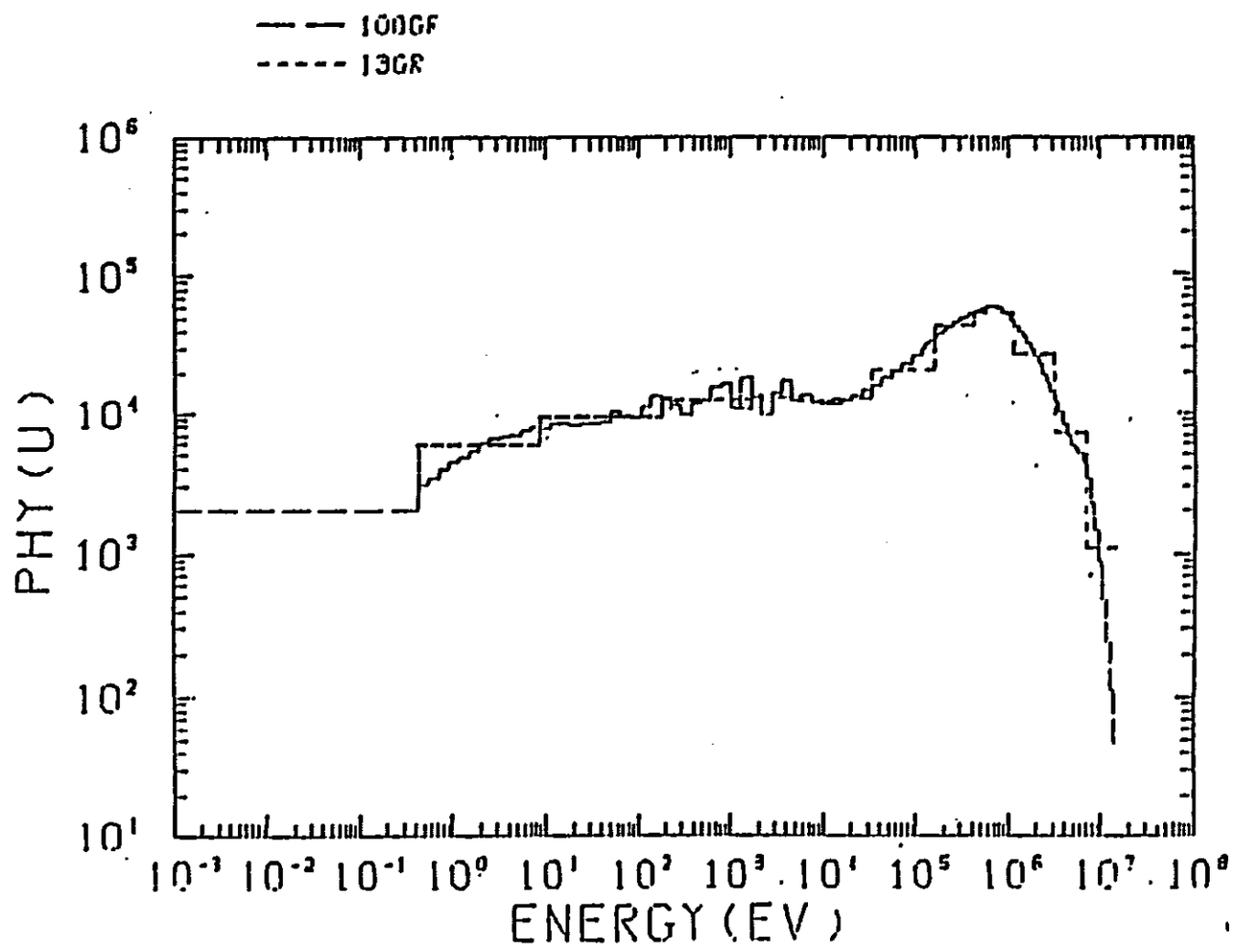


図5.線源の中性子スペクトル(100群と13群)

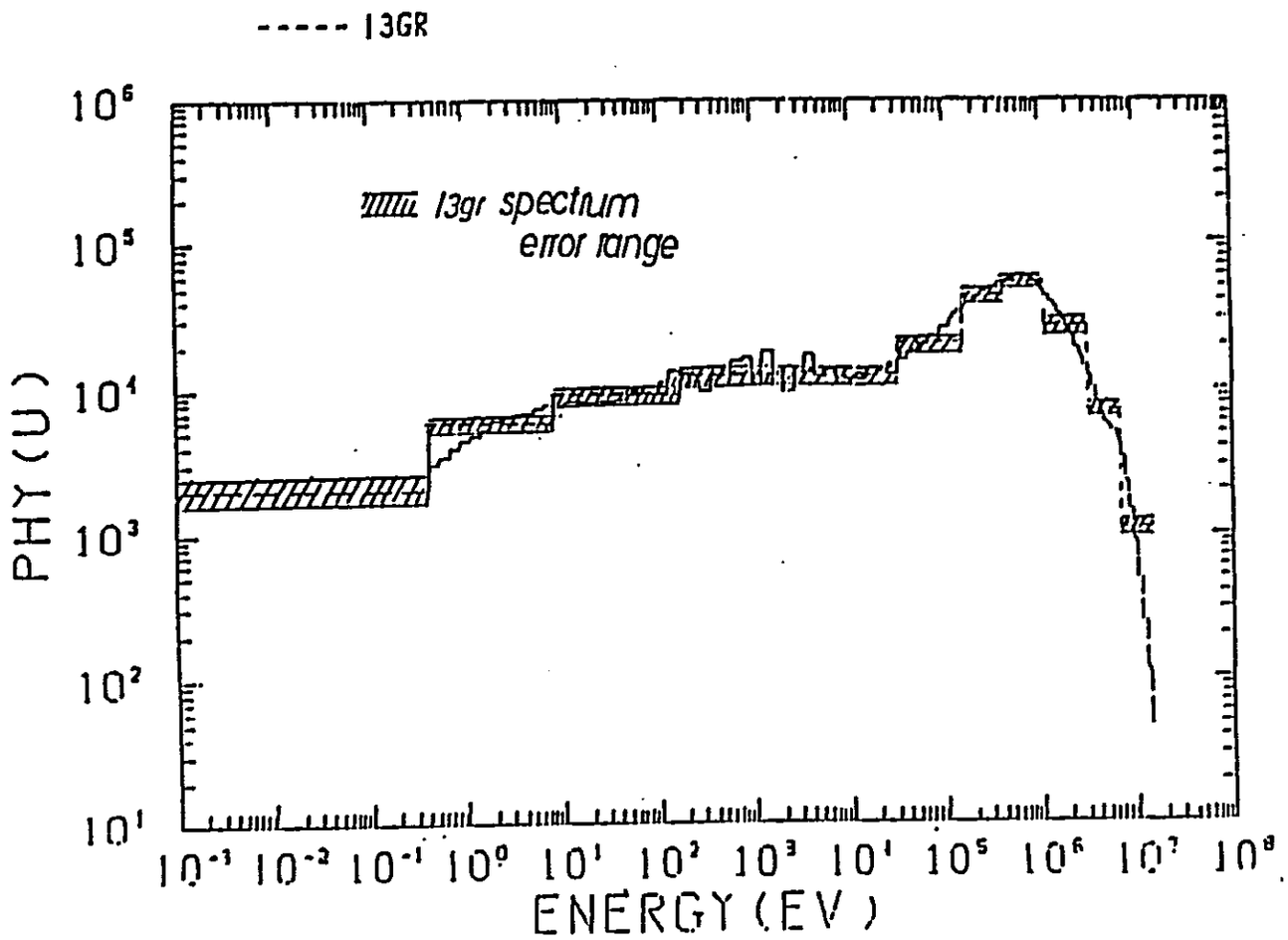


図6.線源の中性子スペクトルの上限値と下限値(13群)

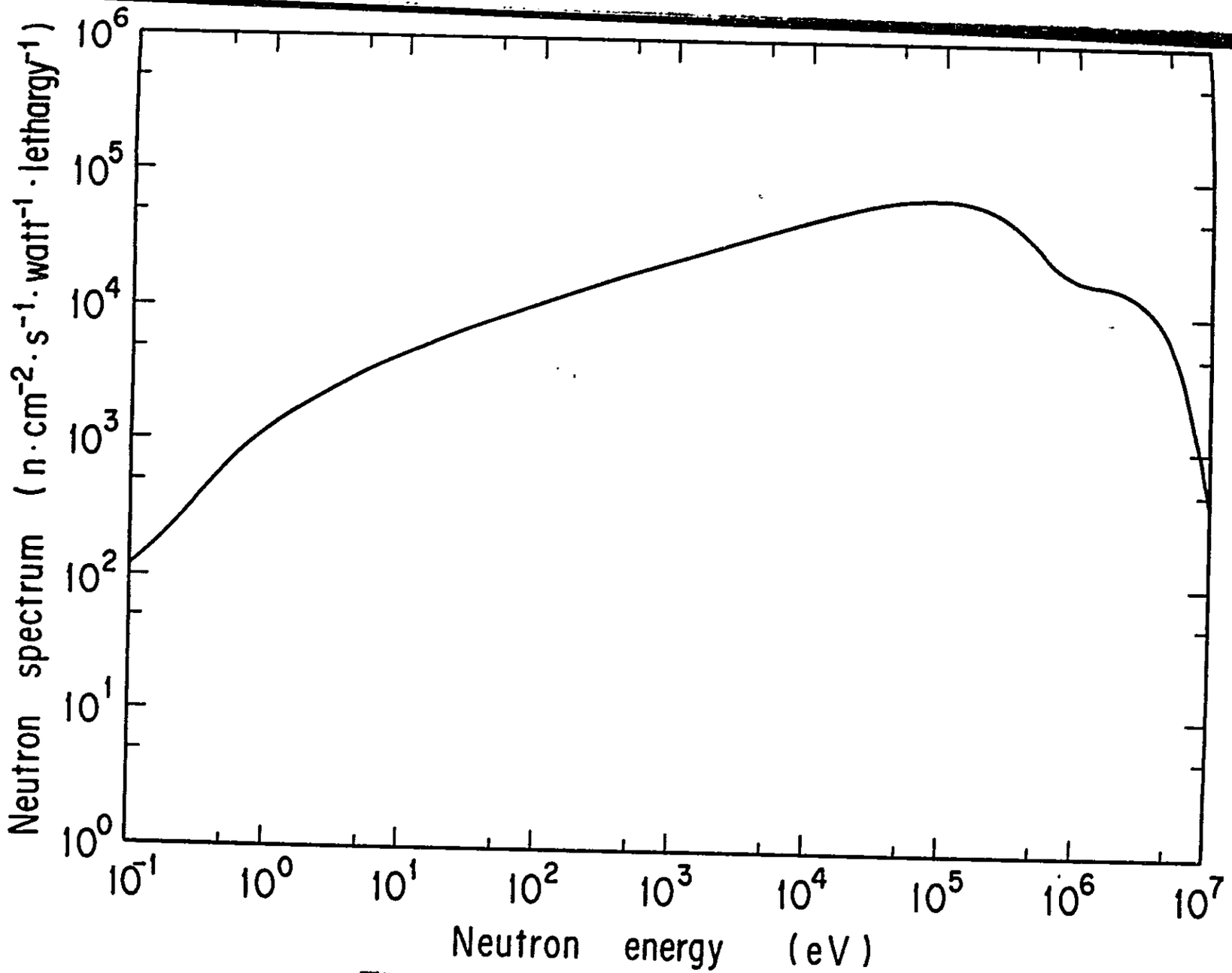


図7.スペクトル表示式によってあらわされた線源のスペクトル

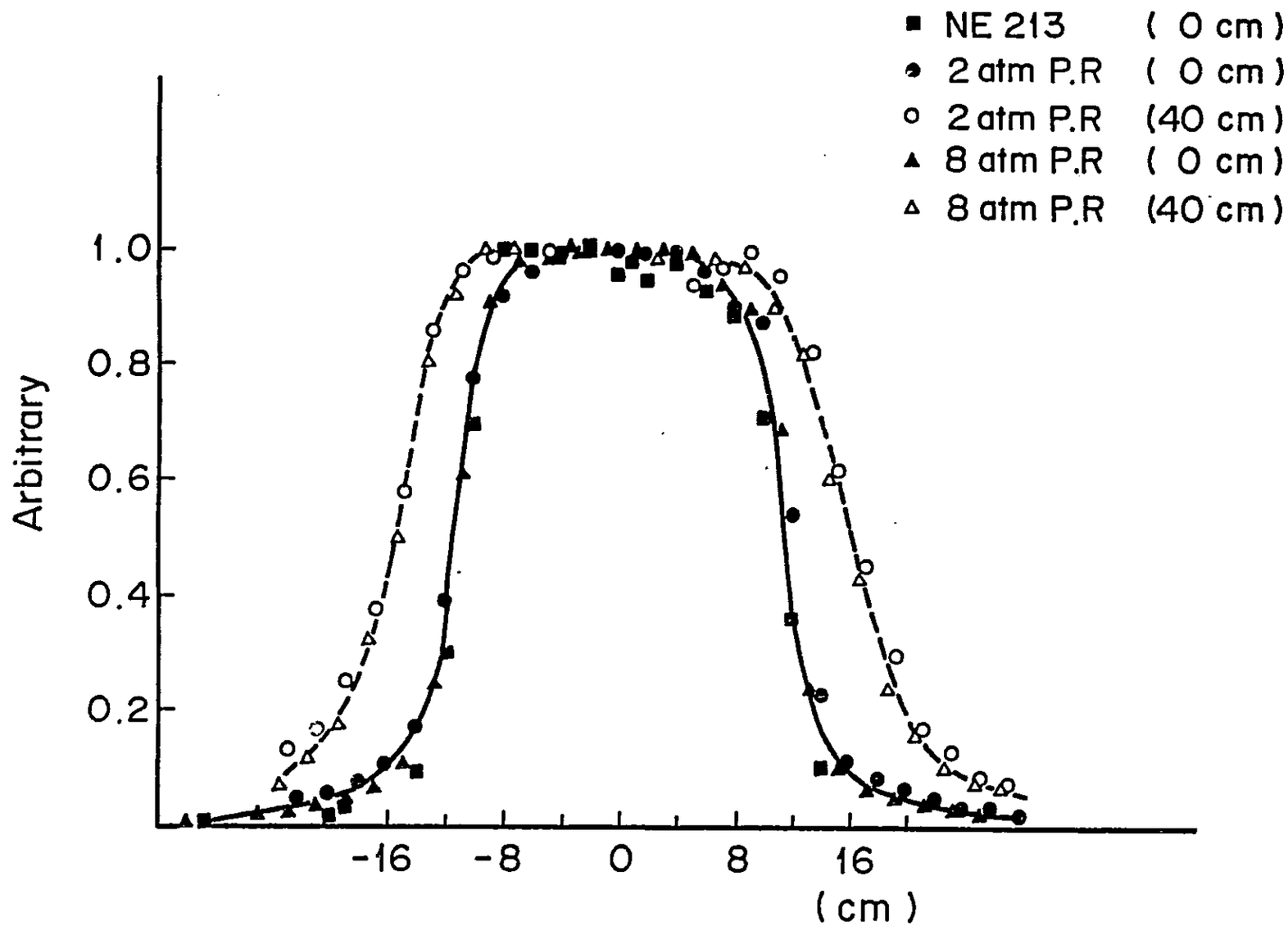


図8.NE213シンチレータと球形水素ガス比例計数管で測定したビームの広がり（線源面0cmと40cm離れた面）

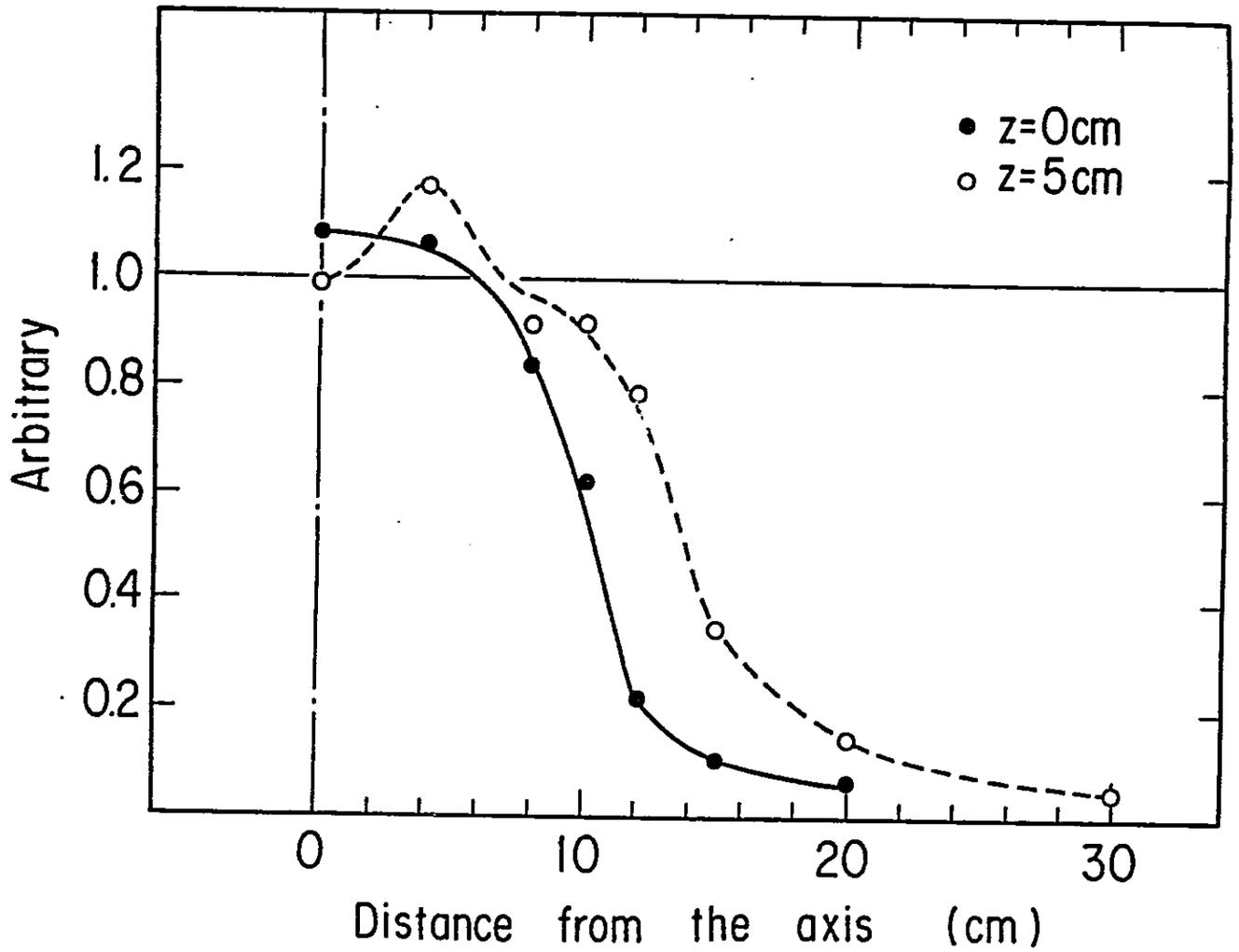


図9.カドミウムカバー付金箔の反応率の分布(線源面及び5cm離れた面)

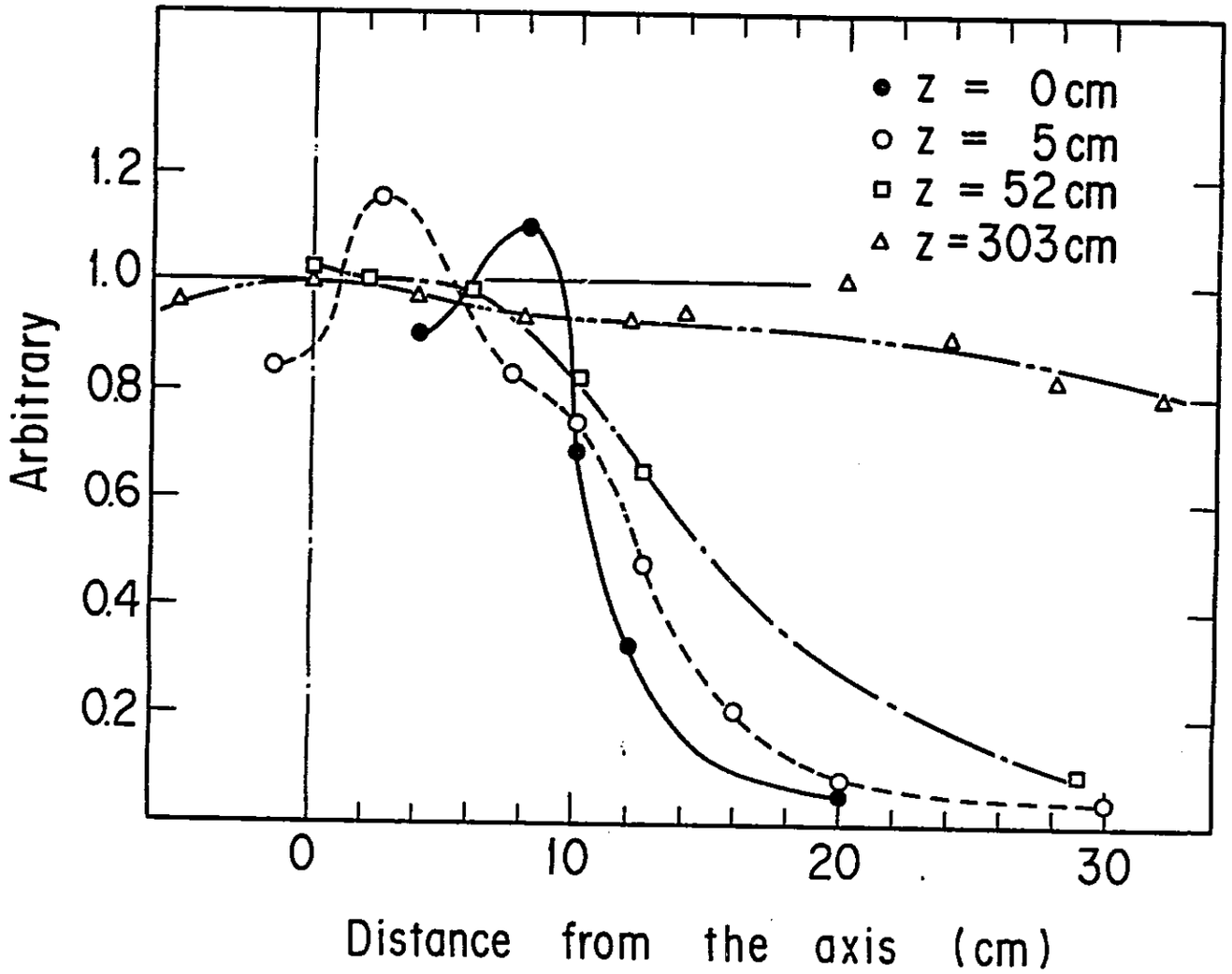


図10カドミウムカバ-無の金箔の反応率分布

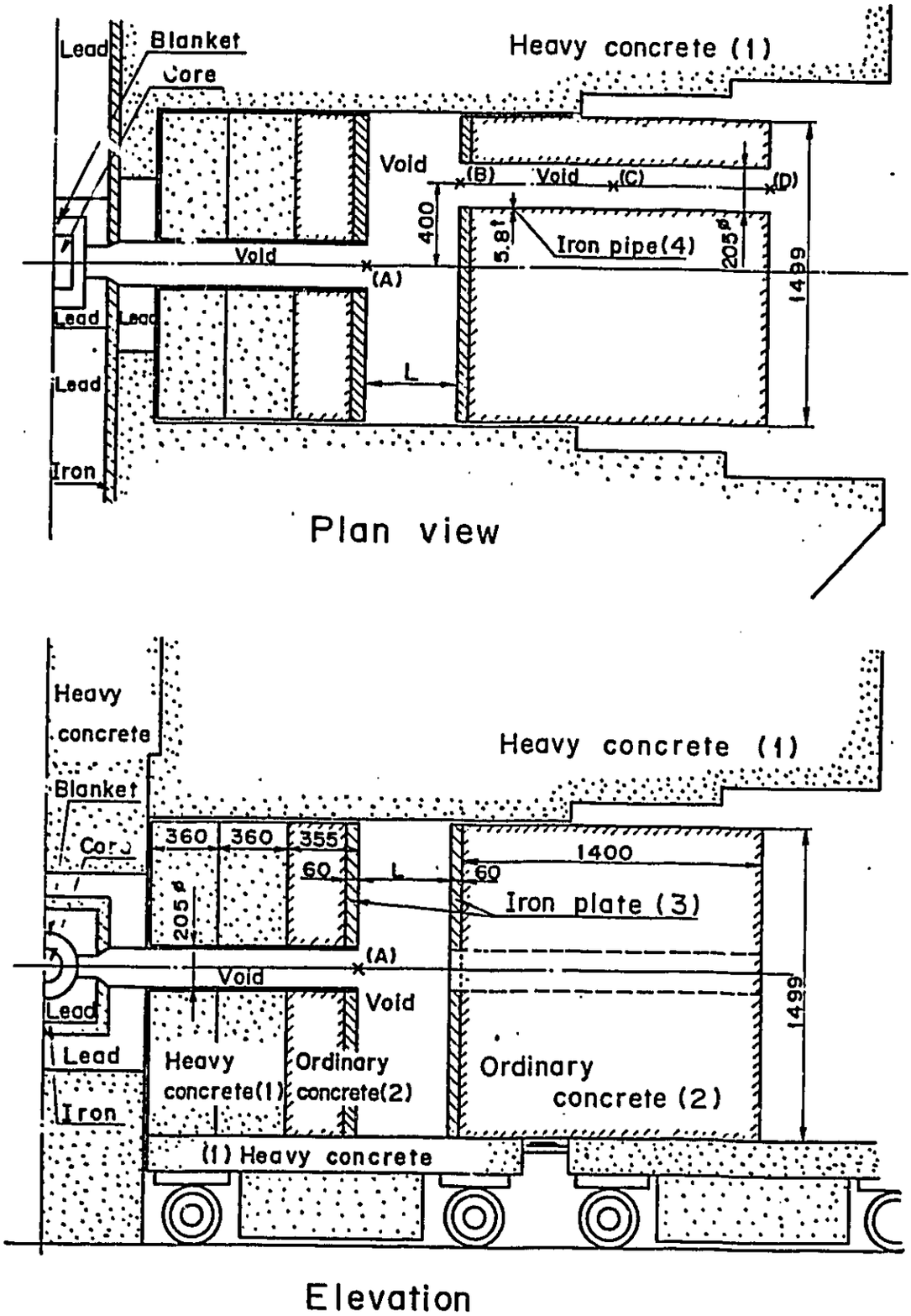


Fig. 11 Experimental arrangement of the Slit-duct geometry.