

JASPER実験データ集 (IX)

— 軸方向遮蔽再実験 —

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

1999年3月

川崎重工業株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載をする場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194
Japan

JASPER 実験データ集 (IX)

— 軸方向遮蔽再実験 —
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

中尾 誠*、竹村 守雄*

要 旨

本報告書は、1986年に開始されたJASPER (Japanese-American Shielding Program for Experimental Research) 計画の中で企画された一連の実験の中の最後の実験として、1992年8月初めから約1ヶ月間をかけて、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) にて実施された軸方向遮蔽再実験の測定値、実験体系の寸法・組成データ、実験状況、測定システム等の情報を一冊にまとめたものである。作成にあたっては、ORNLから発行された軸方向遮蔽再実験結果報告書の内容を基本とし、それに現地派遣員より報告された情報を補足した。

軸方向遮蔽実験は、液体金属冷却高速炉 (LMR) の炉心上部へ漏洩する放射線を低減するために燃料集合体上部に設けられる軸方向遮蔽体の遮蔽特性を研究するために、1990年に実施された。この実験結果の検討分析において、軸方向遮蔽模擬供試体のストリーミング特性が周囲を取り囲むコンクリート領域からの散乱中性子による影響の可能性が懸念されることになった。このため、代表的体系においてコンクリート領域の前面にリチウムパラフィン層を設けた軸方向遮蔽再実験が、急遽企画実施されることになった。この実験では、ORNL遮蔽実験施設TSF (Tower Shielding Facility) の実験炉 TSR-II (Tower Shielding Reactor -II) のコリメータ後方に設置されたスペクトルモディファイアを経て、LMRの炉心上部すなわちガスペナム領域のスペクトルを模擬した中性子ビームが軸方向遮蔽模擬供試体に入射され、体系後方において各種検出器を用いた中性子測定が行われた。

なお、JASPER計画は日米両国のLMRの現行設計内容の進展に資することを目的として、米国エネルギー省 (USDOE) と動力炉・核燃料開発事業団との協力関係の一環として行われた日米共同遮蔽実験である。

本報告書は、川崎重工業株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

契約番号：10C2696

機構担当部課室：システム技術開発部 炉心技術開発Gr.

* 川崎重工業株式会社 原子力本部 開発部

JASPER Experimental Data Book (IX) - Axial Shield Re-Measurement Experiment -

Makoto Nakao*, Morio Takemura*

A b s t r a c t

This report is intended to make it easier to apply the measured data obtained from the Axial Shield Re-Measurement Experiment, which was conducted at the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) during about one month beginning at the start of August, 1992 as the last one of a series of experiments planned for the Japanese-American Shielding Program for Experimental Research (JASPER) which was started in 1986. For this reason, the information presented includes specifications and measurement data for all configurations, compositions of all materials, characteristics of the measurement system, and daily-basis records of measurements.

Axial Shield Experiment was performed in 1990, to study the neutron attenuation characteristics of the axial shield of liquid metal fast reactor (LMR) which is designed in the fuel assembly to reduce the neutron fluence in regions above the core. However, the investigation of the experimental results showed the capability of the influence to the streaming characteristics by the scattered neutrons from the concrete region surrounding the mockup of axial shield region. So, the Axial Shield Re-Measurement Experiment was newly planned and performed, in which the concrete region was covered by lithium-paraffin layer at the front surface. A spectrum modifier was placed behind the TSR-II reactor of Tower Shielding Facility to mockup the leakage neutron spectrum typical to LMRs. Neutron flux was measured behind the experimental configurations with various types of detectors.

Information presented in this report is based mainly on a report issued by ORNL (ORNL/TM-12276, "Measurements for the JASPER Program Axial Shield Re-Measurement Experiment"). Additional information reported by the assignee is utilized also.

Work performed by Kawasaki Heavy Industries, Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

PNC Liaison : Core Physics Gr., System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center

* Research & Development Dept., Nuclear Systems Division, Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

目次

| | 頁 |
|------------------------------|-----|
| 要旨 | i |
| abstract | ii |
| 目次 | iii |
| 表リスト | iv |
| 図リスト | vi |
| | |
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 実験の概要と工程 | 2 |
| 2.1 実験の概要 | 2 |
| 2.2 実験工程 | 2 |
| 3. 実験体系と供試体データ | 4 |
| 3.1 実験体系 | 4 |
| 3.2 供試体データ | 9 |
| 4. 検出器データ | 33 |
| 5. 測定データ | 36 |
| 6. 測定精度 | 63 |
| | |
| 参考文献 | 66 |
| | |
| 付録 A 軸方向遮蔽再実験体系と測定項目 | 68 |
| 付録 B JASPER 実験記録 | 71 |
| 付録 C JASPER 実験日誌 | 74 |
| 付録 D 軸方向遮蔽再実験で使用された検出器 | 90 |

表リスト

| | 頁 |
|----------|---|
| 表 3.2.1 | スペクトル・モディファイアに使用された 炭素鋼供試体の組成 …………… 15 |
| 表 3.2.2 | アルミニウム供試体の組成 …………… 15 |
| 表 3.2.3 | スペクトル・モディファイアに使用された ボラル供試体の組成 …………… 16 |
| 表 3.2.4 | 径方向ブランケット供試体の組成 …………… 17 |
| 表 3.2.5 | 径方向ブランケット供試体の アルミニウム被覆管の組成…………… 18 |
| 表 3.2.6 | リチウムパラフィン煉瓦の組成 …………… 18 |
| 表 3.2.7 | コンクリートブロックの組成 …………… 19 |
| 表 3.2.8 | B ₄ C均質型集合体の B ₄ C組成 …………… 20 |
| 表 3.2.9 | B ₄ C製ロッドバンドル型集合体中の ステンレス鋼管の組成 …………… 21 |
| 表 3.2.10 | 軸方向遮蔽体供試体のコンクリート製 支持構造物の組成 …………… 22 |
| 表 3.2.11 | 鉛スラブの組成 …………… 23 |
| 表 3.2.12 | 中性子検出器応答実験の実験解析のための 原子数密度…………… 24 |
| 表 5.1 | 軸方向遮蔽実験の体系構成と測定項目 …………… 38 |
| 表 5.2 | 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ A、鉛板後方 25cm) …………… 39 |
| 表 5.3 | 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ A、鉛板後方 25cm) … 40 |
| 表 5.4 | 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ B、鉛板後方 25cm) …………… 41 |
| 表 5.5 | 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ B、鉛板後方 25cm) … 42 |

| | | |
|--------|---|----|
| 表 5.6 | 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm) | 43 |
| 表 5.7 | 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm) ... | 44 |
| 表 5.8 | NE-213 検出器位置 (中性子スペクトル測定位置) での 結果 | 45 |
| 表 5.9 | ボナーボール検出器測定値 (中心軸上、体系後方 30cm、全実験体系) | 46 |
| 表 5.10 | ボナーボール検出器測定値 (中心軸上、体系後方 150cm、全実験体系) | 47 |
| 表 5.11 | 3 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm、全実験体系) | 49 |
| 表 5.12 | 5 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm) | 50 |
| 表 5.13 | 8 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm) | 51 |
| 表 5.14 | ホニャックボタン測定値 (中心水平方向分布、全実験体系) | 52 |

図リスト

| | 頁 |
|--|----|
| 図 3.1.1 軸方向遮蔽実験体系 | 6 |
| 図 3.1.2 軸方向遮蔽実験体系 | 7 |
| 図 3.1.3 軸方向遮蔽実験体系の写真 | 8 |
| 図 3.2.1 半径方向ブランケット供試体 | 25 |
| 図 3.2.2 B ₄ C均質型集合体 | 26 |
| 図 3.2.3 B ₄ Cロッドバンドル型集合体 | 26 |
| 図 3.2.4 B ₄ C製周辺遮蔽型集合体 | 27 |
| 図 3.2.5 B ₄ C製中心遮蔽型集合体 | 27 |
| 図 3.2.6 コンクリート中のアルミニウム製ハニコム | 28 |
| 図 3.2.7 アルミニウム製ハニコムとその周辺 B ₄ C部寸法 | 29 |
| 図 3.2.8 軸方向遮蔽供試体前面のリチウムパラフィンスラブ | 30 |
| 図 3.2.9 軸方向遮蔽供試体とリチウムパラフィンスラブ 中央開口の形状相関 | 31 |
| 図 3.2.10 バックグラウンド測定に使用した リチウムパラフィンブロックの形状 | 32 |
| 図 5.1 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ A、鉛板後方 25cm) | 53 |
| 図 5.2 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ A、鉛板後方 25cm) .. | 54 |
| 図 5.3 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ B、鉛板後方 25cm) | 55 |
| 図 5.4 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ B、鉛板後方 25cm) .. | 56 |
| 図 5.5 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm) | 57 |
| 図 5.6 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm) .. | 58 |

| | | |
|--------|--|----|
| 図 5.7 | 3 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm) | 59 |
| 図 5.8 | 5 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm) | 60 |
| 図 5.9 | 8 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm) | 61 |
| 図 5.10 | ホニャックボタンによる水平方向トラパース測定結果 (体系後方 2.4cm) | 62 |

1. まえがき

軸方向遮蔽再実験は大型高速炉開発のための遮蔽ベンチマーク実験である JASPER 計画の中で企画され、1986 年から 1987 年にかけての半径方向遮蔽体透過実験⁽¹⁾ (JASPER 実験データ集 (I))、ガスペナム・ストリーミング実験⁽²⁾ (JASPER 実験データ集 (II))、1990 年の軸方向遮蔽実験⁽³⁾ (JASPER 実験データ集 (III))、1991 年の炉内貯蔵燃料遮蔽評価実験⁽⁴⁾ (JASPER 実験データ集 (IV))、1991 年から 1992 年にかけての 2 次ナトリウム放射化実験⁽⁵⁾ (JASPER 実験データ集 (V))、1992 年のギャップストリーミング実験⁽⁶⁾ (JASPER 実験データ集 (VII)) に、中性子検出器応答実験⁽⁷⁾ (JASPER 実験データ集 (VIII))、新遮蔽材透過実験⁽⁸⁾ (JASPER 実験データ集 (VI)) に引き続き、1992 年 8 月から 9 月にかけて、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) の遮蔽実験施設 TSF (Tower Shielding Facility) にて実施された。本実験は、これに先立つ軸方向遮蔽実験の結果にもとづき JASPER 計画のなかの最後の実験として追加企画されたものである。すなわち、軸方向遮蔽実験のデータ分析において軸方向遮蔽模擬供試体を取り囲むコンクリート領域からの散乱中性子が試験領域の本来のストリーミング特性に影響を及ぼしている可能性が懸念され、1992 年 4 月に実施された日米解析会議 (於 ORNL) にて再実験が合意された。

本報告書は、実験内容の正確な理解及び測定データの有効利用に資するために、軸方向遮蔽再実験に関する種々の情報を一冊にまとめたものである。作成にあたっては、ORNL から発行された実験結果報告書⁽⁹⁾に記載された測定値、測定システム、実験体系の寸法・組成データ等の内容を基本とし、その上に現地派遣員より報告された実験状況等の情報を追加した。

2. 実験の概要と工程

2.1 実験の概要

大型高速炉開発のための遮蔽ベンチマーク実験である JASPER 計画で、1990 年に終了した軸方向遮蔽実験は燃料集合体ガスプレナムの上方に位置する軸方向遮蔽体に関しての種々の異なる設計の効果に関する知見を広げることと共に、設計上その使用を検討されている材料であるステンレス鋼と炭化ホウ素 (B_4C) の中性子遮蔽性能を比較することを目的として企画された。本実験は、個々の設計形状における中性子ストリーミング効果を計算するための解析手法の検証に有用なデータを得るだけにとどまらず、実験に供された遮蔽設計における上記 2 種類の物質の遮蔽性能を評価するための基本的なデータを得るためにも役立つものである。

しかしながら測定の結果は日本で計算された値との一致が良くなかった。すなわち計算値と実験値の比は期待された値よりもかなり大きい値となった。日本では、この不一致は軸方向遮蔽供試体中のコンクリートの水の含有量の値が正しくないためではないかと考えられた。水の含有量の決定は極めて困難なため、これ以上の試みはなされなかった。したがってコンクリートからの寄与を最小にするため、リチウム・パラフィンスラブを軸方向遮蔽供試体の前後に置いて再実験することになった。

各実験体系の構成及び測定項目を記載した実験計画を付録 A に示す。

2.2 実験工程

軸方向遮蔽実験の再測定は、当初スペクトル・モディファイア (体系 I A) と 2 つの体系 (中心チャンネルに B_4C 製均質型集合体 (体系 II A)、または B_4C 製ロッドバンドル型集合体 (体系 III A) を装荷) が計画されていたが、その前に行われた新遮蔽材透過実験が予定より早く終了したので、中心チャンネルに B_4C

製中心遮蔽型集合体（体系Ⅳ A）、または B₄C 製周辺遮蔽型集合体（体系Ⅴ A）を装荷した体系を追加することにした。また、軸方向遮蔽供試体の後方に置かれた Li-Par ブロックを撤去した状態（体系Ⅱ B）も追加した。

測定は 8 月 3 日に開始され、体系Ⅰ A、Ⅲ A、Ⅳ A、Ⅴ A、Ⅱ A、Ⅱ B の順に実施された。体系Ⅱ が最後に実施されたのは、一旦装荷された B₄C 製均質型集合体は軸方向遮蔽供試体を動かすことなしに取り出すことが不可能であることによる。体系Ⅱ A 及びⅡ B で実施された中性子スペクトル測定時には、 γ 線の寄与を低減するために、検出器と実験体系との間に鉛スラブが 1 枚設置された。

本実験期間中の日毎の測定項目を付録 B の JASPER 実験記録に、また測定状況を付録 C の JASPER 実験日誌にそれぞれ示す。

3. 実験体系と供試体データ

3.1 実験体系

この実験は TSF での JASPER 計画のために行われた軸方向遮蔽実験⁽³⁾の中で研究されたいくつかのモックアップの再実験である。この再実験では一辺が 152.4cm 角で厚さ 10.16cm のリチウム・パラフィンスラブをスペクトル・モディファイアと軸方向遮蔽供試体の間、および体系によっては軸方向遮蔽供試体の直後にも置いた。リチウム・パラフィンスラブは六角集合体に囲むコンクリートを通り抜けてくる中性子の検出器の寄与を小さくした。リチウム・パラフィンスラブは軸方向遮蔽供試体が除かれた場合以外、全てのモックアップで置かれた。

スペクトルと中性子束の測定は 6 つの B_4C 製均質型集合体と以下の (1) ~ (4) のうちの 1 つからなる 7 つの集合体の軸方向遮蔽供試体の後ろでおこなわれた。

- (1) B_4C 製ロッドバンドル型集合体
- (2) B_4C 製中心遮蔽型集合体
- (3) B_4C 製周辺遮蔽型集合体
- (4) B_4C 製均質型集合体

中性子源は Tower Shielding Reactor II (TSR-II) であり液体金属冷却炉 (LMR) 設計を模擬するために体系への入射スペクトルはスペクトル・モディファイアにより変更している。

実験計画 (付録 A) に示されている各実験体系の名称と構成を下記にまとめる。また体系 I A、II A、III A、IV A、V A を図 3.1.1、体系 I A、II B を図 3.1.2 に示す (付録 A の厚さはノミナル値、図 3.1.1、3.1.2 でスラブの右端に記載されている厚さが実際の寸法値)。体系 II ~ V はいずれも体系 I A のスペクトル・モディファイアの後方に設置されたものである。

体系 I A; スペクトル・モディファイア

体系ⅡA；7体すべて B_4C 製均質型集合体＋リチウム・パラフィンスラブ

体系ⅡB；7体すべて B_4C 製均質型集合体

体系ⅢA；中心に B_4C 製ロッドバンドル型集合体、周囲6体を B_4C 製均質型集合体。後方にリチウム・パラフィンスラブ

体系ⅣA；中心に B_4C 製中心遮蔽型集合体、周囲6体を B_4C 製均質型集合体。後方にリチウム・パラフィンスラブ

体系ⅤA；中心に B_4C 製周辺遮蔽型集合体、周囲6体を B_4C 製均質型集合体。後方にリチウム・パラフィンスラブ

それぞれの実験体系は、中心の1体の六角集合体の周囲を6体の六角集合体で取り囲んだ形をしている。全部で7体の六角集合体は全長45cmのアルミニウム製のハチの巣状構造物（以下、「ハニコム」という。）中に装荷され、さらにその周囲は厚さ数cmの B_4C 層によって囲まれた。さらに、その全体が大きなコンクリート製のスラブの中に収納された。実験体系設置時に正面から撮影された写真を図3.1.3に示す。さらに詳細な説明は3.2.6項に示す。

この試験体系は、TSR-II原子炉の前に設けられたコリメーターから水平方向に放出される放射線ビーム上に設置された。その前方（原子炉に近い側）には、現在設計中の高速炉炉心上部の中性子スペクトルを模擬するために、既に実施された半径方向遮蔽体透過実験及びガスプレナム実験で使用されたものと同じスペクトル・モディファイア——鉄、アルミニウム、ボラル（ B_4C とアルミニウムの混合物）の後方に天然ウラン、アルミニウム、ナトリウムから構成された半径方向ブランケット供試体を配置したもの——がコリメータ出口に設置された（図3.1.2参照）。これによって軸方向遮蔽供試体モックアップへ入射する中性子スペクトルが形成された。また中性子スペクトル測定時に γ 線成分の寄与を低減するために実験体系の直後に鉛スラブが設置された。

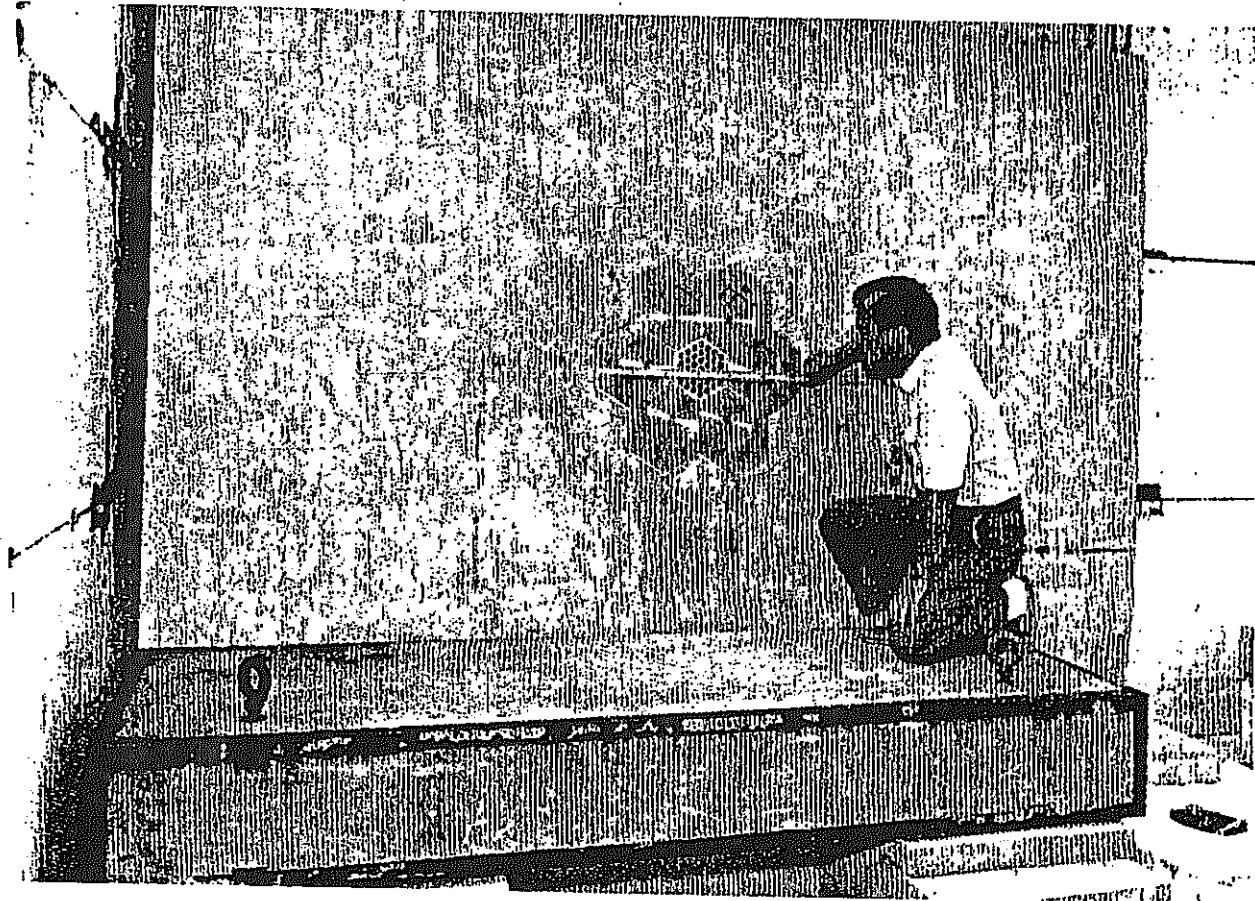


図 3.1.3 軸方向遮蔽再実験体系の写真 (ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 9. A photograph of a typical axial shield mockup.

3.2 供試体データ

各実験体系を構成する供試体に関する説明及びデータを以下に示す。

3.2.1 スペクトル・モディファイア

実験前に実施された計算により、TSR-IIからの中性子ビーム中に10cm厚さの鉄、10cm厚さのアルミニウム、25cm厚さのボラル(B_4C とアルミニウムの混合物)及び20.3cm厚さの半径方向ブランケット供試体を、原子炉に近い方から順に設置することにより、LMR炉心の軸方向遮蔽供試体部に入射する中性子スペクトルを代表するものが得られることが示された(注:寸法はいずれもノミナル値)。実験では、「鉄」は両辺が152.4cm(60インチ)の矩形のスラブ2枚で構成され、その厚さはそれぞれ5.16cm及び5.11cmであった(図3.1.2を参照のこと)。「アルミニウム」はその厚さが合計9.17cmとなる3枚のスラブから、また「ボラル」は厚さ2.54cmのスラブからそれぞれ構成した。いずれのスラブの辺長とも上記鉄スラブと同じであった。鉄、アルミニウム及びボラルの組成を、それぞれ表3.2.1、表3.2.2及び表3.2.3に示す。

半径方向ブランケットを代表するために使用した二酸化ウランを含むスラブは、液体金属冷却高速炉(LMR)開発計画において実施された過去の実験のために製作されたものである。これは外径1.524cmのアルミニウム製円筒中に封入された直径1.397cmの天然二酸化ウランペレットを含んだものである。アルミニウムとペレットの円環状間隙部(幅0.00508 ~ 0.01016cm)にはアルゴンガスが封入されている。これらアルミニウム製円筒は1.608cmのピッチの三角配列で鉛直に並ぶように詰め込まれている。円筒間の隙間にはナトリウムが充填されている。このアルミ製円筒とナトリウムから成る構成物は、全厚11.05cm、辺長152.4cmの鉄製の容器に封入されている。本スペクトル・モディファイアに使用した2体の径方向ブランケットスラブのそれぞれには、522本の棒状の天然ウランが内包されており、その体積はスラブ全体積の64.6%を

占める。これらの 522 本のアルミ製円筒は、交互に 74 本又は 75 本から成る 7 列に並べられている。二酸化ウランの密度は 10.28g/cc (94%理論密度) である。アルミニウム製被覆部の体積比は、11.2% であり、ナトリウム及びアルゴンについてはそれぞれ 23.3% 及び 1% である。二酸化ウランペレット部のスタック長は約 121.9cm である。これらの (天然ウランペレットを含む) ロッドは、1962 年に当時の AEC (Atomic Energy Commission) / RDT (Reactor Development Technology) による FFTF (Fast Flux Test Facility) のための設計基準に適合させるように、1962 年にニューム社 (Numes Corporation) によって製作されたものである。本スラブの図面を図 3.2.1 に示す。二酸化ウランとアルミニウムの組成を、それぞれ表 3.2.4 及び表 3.2.5 に示す。

スペクトルモディファイアの周囲は実験体系に再入射する散乱中性子を少なくし、また検出器に到達するバックグラウンド成分を低減するために 20.3cm (8 インチ) 厚さのリチウム・パラフィンとさらにその外側にある最大 152.4cm (60 インチ) 厚さのコンクリートによって囲まれている。リチウム・パラフィンは小さなブロック形状のものを使用し、その大きさは 10.16cm (4 インチ) 四方、20.3cm (8 インチ) 長である。コンクリートは 61cm 四方、30.48cm (12 インチ) 長のブロックによって構成された。リチウム・パラフィンとコンクリートブロックの組成をそれぞれ表 3.2.6 及び表 3.2.7 に示す。

3.2.2 軸方向遮蔽供試体

軸方向遮蔽再実験のためのモックアップは 1990 年の軸方向遮蔽実験で用いられたものと同じものである。試験された遮蔽供試体は 7 つの六角集合体を組み合わせたもので 1 つの六角集合体を他の 6 つが囲んでいる。今回の実験では中心の六角集合体は実験計画に示すように変したが、外側の 6 つの集合体は常に B₄C 均質型集合体とした。スペクトルモディファイアと軸方向遮蔽供試体の組み合わせは、米国 ALMR の遮蔽設計のいくつかと、わが国のループ型炉配置を

良く模擬している。このスラブのコンクリート中の水の含有量は TSF で実施された実験から $8.0 \pm 0.5 \text{wt}\%$ であることがわかった⁽¹⁰⁾。

3.2.3 B₄C 製均質型集合体

六角柱状 B₄C 製均質型集合体は図 3.2.2 に示すように、B₄C を含む容器とステンレス鋼の板を交互に並べて構成された。B₄C は内のり深さが 7.77cm のアルミニウム製の容器に入れている。B₄C 含有部の幅は容器内面の対面間距離にして 14.37cm である。その外側のアルミニウム板の厚さは 0.627cm であり、本容器の外側寸法（対面間距離）は 15.98cm となる。B₄C 含有部を塞いでいる端板の厚さはいずれも 1.123cm である。B₄C 粉末 (120grit) の密度は 1.41g/cc であり、その組成を表 3.2.8 に示す。ステンレス鋼の板の厚さは 1.25cm である。

本集合体を実験体系に設置する際には、上記 B₄C の入ったアルミニウム製容器を最も原子炉に近い側に一個置き、続いてステンレス鋼の板と交互に並べるように配置された。

3.2.4 B₄C 製ロッドバンドル型集合体

本集合体は B₄C が充填された 37 本のステンレス鋼管のロッド（ピッチ間は 2.38cm）が一様に配置されたものである。ステンレス鋼管の外径は 2.06cm であり、内径及び肉厚はそれぞれ 1.897cm 及び 0.0813cm である。管内の B₄C の平均密度は 1.30g/cc である。これらのロッドはステンレス鋼製ロッドバンドル型集合体と同様に 2.38cm のピッチで配置されている。アルミニウム部の対面間距離は 15.00cm であり、それを包むステンレス鋼板の厚さは図 3.2.3 に示されるようにおよそ 0.465cm である。ステンレス鋼管の組成を表 3.2.9 に示す。

3.2.5 B₄C 製周辺遮蔽型集合体

これは、集合体の中心に冷却材ナトリウムの流路が設けられた B₄C 製の軸方向遮蔽体設計を模擬したものである。図 3.2.4 に示すように、肉厚 0.452cm のステンレス鋼管が B₄C の容器として使われた。中心のアルミニウム製円柱部の長さは 43.412cm であり、その両端には B₄C を封じ込めるためのアルミニウム製端版 (0.794cm 厚さ) が設けられており、これらを合わせた全長は 45cm である。B₄C の体積は 5,760.1cc でありその密度は 1.39g/cc である。

3.2.6 B₄C 製中心遮蔽型集合体

この集合体は図 3.2.5 に示すように中心がアルミニウムに囲まれた直径 12.98cm の B₄C 円柱になっている。アルミニウムの外側はステンレス鋼管で包まれている。中心円柱部の両端にある開口部を 0.476cm 厚のアルミニウム製の板で塞げるように、B₄C 粉末充填部の長さは 44.05cm に制限された。B₄C の体積は 5,846.9cc であり、その密度は 1.38g/cc である。

3.2.7 軸方向遮蔽供試体の支持構造物

軸方向遮蔽供試体は、7体の集合体を組み合わせたものであり、放射線が供試体の軸方向に通過するように、それらの中心軸が原子炉から導かれる放射線の水平方向の中心線と重なるように配置された。これらの集合体をそのように配置するために、図 3.2.6 に示す厚さ 45cm のアルミニウム製のハニコムが過去の実験に使用されたコンクリートスラブを改造したものに組み入れられた。ハニコムそれ自体は、典型的な LMR 設計において集合体間に存在する垂直方向のナトリウム流路を代表している。ハニコムと周囲のコンクリートスラブとの間には、図 3.2.7 に示すようにその厚さが場所によって異なる一層の B₄C 領域が設けられている。この B₄C 層の平均密度は 1.33g/cc である。B₄C 層とコンクリートの間には 0.952cm の厚さの鉄被覆層がある。B₄C 層はハニコムの両端に

ある 0.81cm 厚さのアルミニウム板で塞がれており、この部分の全長はおよそ 46.6cm となる（一方、その内側のハニコムの全長は 45cm である。）。コンクリートスラブは、幅 304.8cm、高さ 213.4cm、厚さ 45cm である。コンクリートスラブの組成を表 3.2.10 に示す。

3.2.8 リチウム・パラフィン遮蔽

リチウム・パラフィン煉瓦からなる 10.16cm 厚さのスラブが、半径方向ブランケット供試体と軸方向遮蔽供試体との間に設置された。これにより、六角柱状の B_4C 均質型集合体周りのコンクリートから散乱されて軸方向遮蔽供試体に戻り検出器に到達する中性子成分に対して、軸方向遮蔽供試体だけを透過する成分を相対的に高めるようにしている。一辺 152.4cm のスラブの中央には十字形の空隙部が存在し、その大きさは軸方向遮蔽供試体の 7 体の六角柱状遮蔽体を囲んでいる B_4C カラーの外縁にほぼ対応するようになっている。この空隙部の形および大きさは図 3.2.8 に示されている。軸方向供試体とリチウム・パラフィンスラブ中央開口の形状相関を図 3.2.9 に示す。

3.2.9 バックグラウンド遮蔽

モックアップ供試体から検出器が遠くに設置され、供試体自体以外からの中性子の検出器への寄与が無視できないような場合、これまでの実験測定ではフォアグラウンド測定とともにバックグラウンド測定も行うのが通例である。バックグラウンド測定では、91.4cm 四方で厚さが 40.6cm のリチウム・パラフィンを入れた容器が、検出器と実験体系の間に、モックアップの最後のスラブの表面から検出器に直接到達する中性子を大幅に減衰させるような位置に設置されてきた。本実験でも軸方向の遮蔽のあとにおかれるリチウム・パラフィンスラブは検出器から shadow-shield となるように設置した。リチウム・パラフィンスラブを除いた II B でもリチウム・パラフィンスラブで覆われた領域は shadow-

shield 領域であると想定した。

初期の軸方向遮蔽実験(1990-91)の計画では六角集合体とそれらを囲む B₄C の領域のみバックグラウンド測定を必要としたが、もう一種類の測定が II A、II B、III A でモックアップに対して行われた。本実験ではこのバックグラウンド測定は体系 II ではモックアップの後ろで、体系 III A では軸方向遮蔽供試体のあとに置かれるリチウム・パラフィンスラブがある場合とない場合にわけて行った。これらの3つの測定は本実験のもともとの計画の一部ではなかったが、初期の実験データと比較するためのデータを得るための試みであり、軸方向遮蔽体の前後におかれるリチウム・パラフィンスラブの影響を評価することができる。

本実験での方法で使用されたバックグラウンド測定用遮蔽体と六角集合体の領域との位置の相関を図 3.2.10 に示す。左側の側面図にあるように遮蔽体の厚さはリチウム・パラフィン煉瓦の幅5個分に対応しており 50.8cm である。これらの煉瓦はリチウム・パラフィンスラブのすぐ後方に設置され、体系を II B にするためリチウム・パラフィンスラブが動かされた後も、そのまま動かさなかった。

3.2.10 鉛スラブ

JASPER 実験では中性子スペクトル測定時に、NE-213 検出器及び反跳陽子検出器の計数に及ぼす γ 線成分の影響が大きい場合には、これを低減するため、検出器と実験体系の間に 1.5 インチ (約 3.81cm) 厚さの鉛板を設置している。この鉛スラブの組成データを表 3.2.11 に示す。

以上の供試体データから、各物質の原子数密度を計算し、日本側での JASPER 実験解析に利用したものを、表 3.2.12 にまとめた。

表 3.2.1 スペクトル・モディファイアに使用された炭素鋼供試体の組成
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 1. Analysis of iron slabs ($\rho = 7.86 \text{ g/cc}$)
used in spectrum modifier

| Element | wt % |
|---------|------|
| Fe | 98.4 |
| C | .25 |
| Cr | .15 |
| Cu | .03 |
| Mn | 1.0 |
| Mo | .02 |
| Ni | .05 |
| Si | .25 |

表 3.2.2 アルミニウム供試体 (Al6061) の組成
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 2. Analysis of 6061 aluminum ($\rho = 2.70 \text{ g/cc}$)

| Element | wt % | ppm |
|---------|------|-----|
| Al | 97.5 | |
| Cr | .22 | |
| Cu | .23 | |
| Fe | .47 | |
| Mg | .86 | |
| Mn | .01 | |
| Si | .63 | |
| Ti | .042 | |
| Zn | .07 | |
| Li | | 3 |
| Ni | | 50 |
| Sn | | <10 |
| V | | 150 |

表 3.2.3 スペクトル・モディファイアに使用されたボラル供試体の組成
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 3. Composition of boron slabs used
in spectrum modifier

| Component | (B ₄ C - 40-43 vol % in B ₄ C-Al mixture) | | |
|------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
| | Density (g/cc) | Elemental Composition (wt %) | With Al Cladding (wt %) |
| B ₄ C | 2.3 | | |
| Al | 2.70 | 65 | ~75 |
| B | | 27.5 | ~19.6 |
| C | | 7.5 | ~5.4 |

表 3.2.4 径方向ブランケット供試体の組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 4. Composition of UO_2 radial blanket

| Component | vol % | Density (g/cc) |
|------------------|-------|----------------|
| UO_2 (pellets) | 64.6 | 10.28 |
| Al (8001) | 11.2 | 2.8 |
| Na | 23.2 | 0.92 |
| Void | 1.0 | --- |

| U content 88.18 wt % of UO_2 | | | |
|--------------------------------|-------|-----------|-------|
| Isotope % | | | |
| ^{234}U | .0053 | ^{236}U | --- |
| ^{235}U | .713 | ^{238}U | 99.28 |

| Metallic Impurities in UO_2 (ppm)* | | | | | |
|--------------------------------------|------|--------|-----|----|-----|
| Al | <20 | Cu | 1 | Na | <20 |
| B | <1 | F | <2 | Ni | <10 |
| Be | <2 | Fe | <20 | Pb | <4 |
| Bi | <2 | H_2O | 2.1 | Si | <20 |
| C | <10 | Li | <1 | Sn | <2 |
| Ca | <20 | Mg | <10 | Ta | <25 |
| Cd | <0.5 | Mn | <4 | Tu | <4 |
| Cl | <3.3 | Mo | <10 | W | <25 |
| Co | <2 | N | 54 | Zr | <25 |
| Cr | <10 | | | | |

* ppm = parts per million

表 3.2.5 径方向ブランケット供試体のアルミニウム被覆管の組成
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 5. Analysis of aluminum used in UO₂ radial blanket cladding ($\rho = 2.7 \text{ g/cc}$)

| Element | wt % | ppm |
|---------|-------|-------|
| Al | Major | |
| Fe | .59 | |
| Ni | 1.13 | |
| B | | <6 |
| Be | | <20 |
| Cd | | <20 |
| Co | | <20 |
| Cr | | <6 |
| Cu | | 52.9 |
| Li | | 6 |
| Mg | | 3.04 |
| Mn | | 11.2 |
| Mo | | <6 |
| Pb | | <20 |
| Si | | 27.5 |
| Sn | | <60 |
| T | | <2000 |
| Ti | | 65.5 |
| V | | 44.2 |
| W | | <60 |
| Zr | | <20 |

表 3.2.6 リチウム・パラフィンの組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 6. Composition of lithiated-paraffin bricks ($\rho = 1.15 \text{ g/cc}$)

| Component | wt % |
|----------------------------------|------|
| C _n H _{2n+2} | 60 |
| Li ₂ CO ₃ | 40 |

表 3.2.7 コンクリートブロックの組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 7. Analysis of 61-cm x 61-cm x 30.5-cm ($\rho = 2.40$ g/cc)
concrete blocks used to surround configuration

| Component | wt% | Component | wt% |
|------------------|------|--------------------------------|------|
| CO ₃ | 41.9 | Al ₂ O ₃ | 2.2 |
| Ca | 27.4 | Fe ₂ O ₃ | .60 |
| SiO ₂ | 18.1 | SO ₃ | .32 |
| H ₂ O | 4.0 | P ₂ O ₅ | .035 |
| Mg | 3.66 | K | .30 |
| O ₂ | 1.4 | | |

The water content in these blocks was found to be 8.3 ± 0.5 wt percent.⁶

表 3.2.8 B₄C 均質型集合体の B₄C 組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 8. Analysis of B₄C in hexagon assemblies ($\rho = 1.41 \text{ g/cc}$)

| Sample # | % Boron | % Carbon | % Boron Nitride |
|----------|---------|----------|-----------------|
| 1 | 78.2 | 20.0 | 1.8 |
| 2 | 78.2 | 20.4 | 1.6 |
| 3 | 78.2 | 20.0 | 1.8 |

| Element | Sample #1* | Sample #2* | Sample #3* |
|---------|------------|------------|------------|
| Al | 5 | 10 | 3 |
| Ca | 5 | 5 | 30 |
| Co | <1 | <1 | <1 |
| Cr | 1 | 3 | 3 |
| Cl | 3 | 5 | 3 |
| Cu | 3 | 3 | 3 |
| Fe | 10 | 50 | 50 |
| Mg | <5 | 10 | 5 |
| Mn | 1 | 3 | 5 |
| Na | 5 | 10 | 30 |
| P | 3 | 3 | 3 |
| Sc | 3 | 3 | 3 |
| Si | <20 | <20 | <20 |
| Ti | 3 | 3 | 10 |

*Parts per million

表 3.2.9 B₄C 製ロッドバンドル型集合体中のステンレス鋼管
(SUS304) の組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 9. Analysis of 304 stainless steel
in tubes used for
boron carbide rod bundle
($\rho = 7.92 \text{ g/cc}$)

| <u>Element</u> | <u>Wt%</u> |
|----------------|------------|
| Fe | 70.3 |
| Co | 0.11 |
| Cr | 18.3 |
| Cu | 0.37 |
| Mn | 1.24 |
| Mo | 0.32 |
| Ni | 9.0 |
| Si | .31 |
| Ti | .023 |

表 3.2.10 軸方向遮蔽体供試体のコンクリート製支持構造物の組成
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 11. Analysis of concrete in axial shield concrete slab ($\rho = 2.40$ g/cc)

| Element | Axial shield concrete (%) |
|--------------------------------|---------------------------|
| Free H ₂ O | 0.97 |
| Bound H ₂ O | 2.44 |
| LOI* | 35.25 |
| SiO ₂ | 9.41 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.94 |
| Al ₂ O ₃ | 1.57 |
| CaO | 36.96 |
| MgO | 13.2 |
| Na ₂ O | 0.022 |
| K ₂ O | 0.53 |
| SO ₃ | 0.16 |
| P ₂ O ₅ | 0.10 |
| CO ₃ | 43.9 |

*LOI (Lost on Ignition) includes the free and bound H₂O and SO₃. To obtain correct wt% for the materials, multiply CO₃ value by .7334 to get CO₂ and when summed the LOI values should not be included.

The water content in this shield was found to be 8.0 ± 0.5 wt percent.*

* R. R. Spencer et al., Measurement of Water Content of Concrete Shielding Used in JASPER Program, ORNL/TM-12325 (to be published).

表 3.2.11 鉛スラブの組成 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 10. Analysis of lead slab used as part of mockup in IIA, IIB
($\rho = 11.35 \text{ g/cc}$)

| Element | wt% | PPM |
|---------|------|-----|
| Lead | 99.9 | |
| Al | | <3 |
| Ag | | 30 |
| B | | <1 |
| Ca | | 1 |
| Cr | | 10 |
| Cu | | 800 |
| Fe | | 1 |
| Li | | 20 |
| Mg | | <3 |
| Mn | | 5 |
| Na | | 1 |
| Ni | | 30 |
| P | | 5 |
| Si | | <3 |
| Sn | | 30 |

表 3.2.12 軸方向遮蔽再実験解析のための原子数密度

単位 : atoms/barn/cm

| 物質 | 水 | 鉄 (炭素鋼) | アルミニウム | Boral | Radial Blanket | ステンレス鋼 (SUS304) | B ₄ C | | | 黒鉛 | リチウム入り パラフィン | Concrete | | | 鉛 |
|----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------------|--------------------|------------------|------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| | | | | | | | ハニカム内 | ハニカム 外周 | スラブ1W | | | S M 側部 | ハニカム 支持 | ブロック | |
| 比重 g/cm ³ | | 7.86 | 2.70 | 0.945 | | 7.88 | 1.41 | 1.33 | 1.42 | 1.62 | 1.15 | 2.37 | 2.40 | 2.40 | 11.34 |
| H | 6.692E-02 | | | | | | | | | | 5.930E-02 | 8.880E-03 | 1.284E-02 | 6.400E-03 | |
| Li ⁶ | | | | | | | | | | | 5.625E-04 | | | | |
| Li ⁷ | | | | | | | | | | | 6.938E-03 | | | | |
| B ¹⁰ | | | | 5.130E-03 | | | 1.217E-02 | 1.148E-02 | 1.226E-02 | | | | | | |
| B ¹¹ | | | | 2.077E-02 | | | 4.931E-02 | 4.651E-02 | 4.966E-02 | | | | | | |
| C | | 9.852E-04 | | 6.450E-03 | | 1.949E-04 | 1.537E-02 | 1.450E-02 | 1.548E-02 | 8.124E-02 | 3.340E-02 | 7.970E-03 | 1.023E-02 | 1.010E-02 | |
| O | 3.346E-02 | | | | 2.962E-02 | | | | | | 1.130E-02 | 4.200E-02 | 4.616E-02 | 4.480E-02 | |
| Na | | | | | 5.590E-03 | | | | | | | 2.730E-05 | 9.927E-06 | | |
| Mg | | | | | | | | | | | | 1.440E-03 | 4.580E-03 | 2.180E-03 | |
| Al | | | 5.906E-02 | 3.650E-02 | 6.999E-03 | | | | | | | 4.140E-04 | 4.306E-04 | 6.240E-04 | |
| Si | | 4.213E-04 | | | | 7.490E-02 | | | | | | 3.840E-03 | 2.190E-03 | 4.350E-03 | |
| K | | | | | | | | | | | | 2.340E-03 | 1.573E-04 | 1.110E-04 | |
| Ca | | | | | | | | | | | | 1.000E-02 | 9.216E-03 | 9.890E-03 | |
| Cr | | | | | | 1.707E-02 | | | | | | | | | |
| Mn | | 8.816E-04 | | | | 1.149E-03 | | | | | | | | | |
| Fe | | 8.340E-02 | 5.823E-04 | 7.700E-04 | | 5.909E-02 | | | | | | 2.640E-04 | 1.647E-04 | 1.090E-04 | |
| Ni | | | | | | 7.600E-03 | | | | | | | | | |
| Pb | | | | | | | | | | | | | | | 3.296E-02 |
| U ²³⁵ | | | | | 1.056E-04 | | | | | | | | | | |
| U ²³⁸ | | | | | 1.470E-02 | | | | | | | | | | |

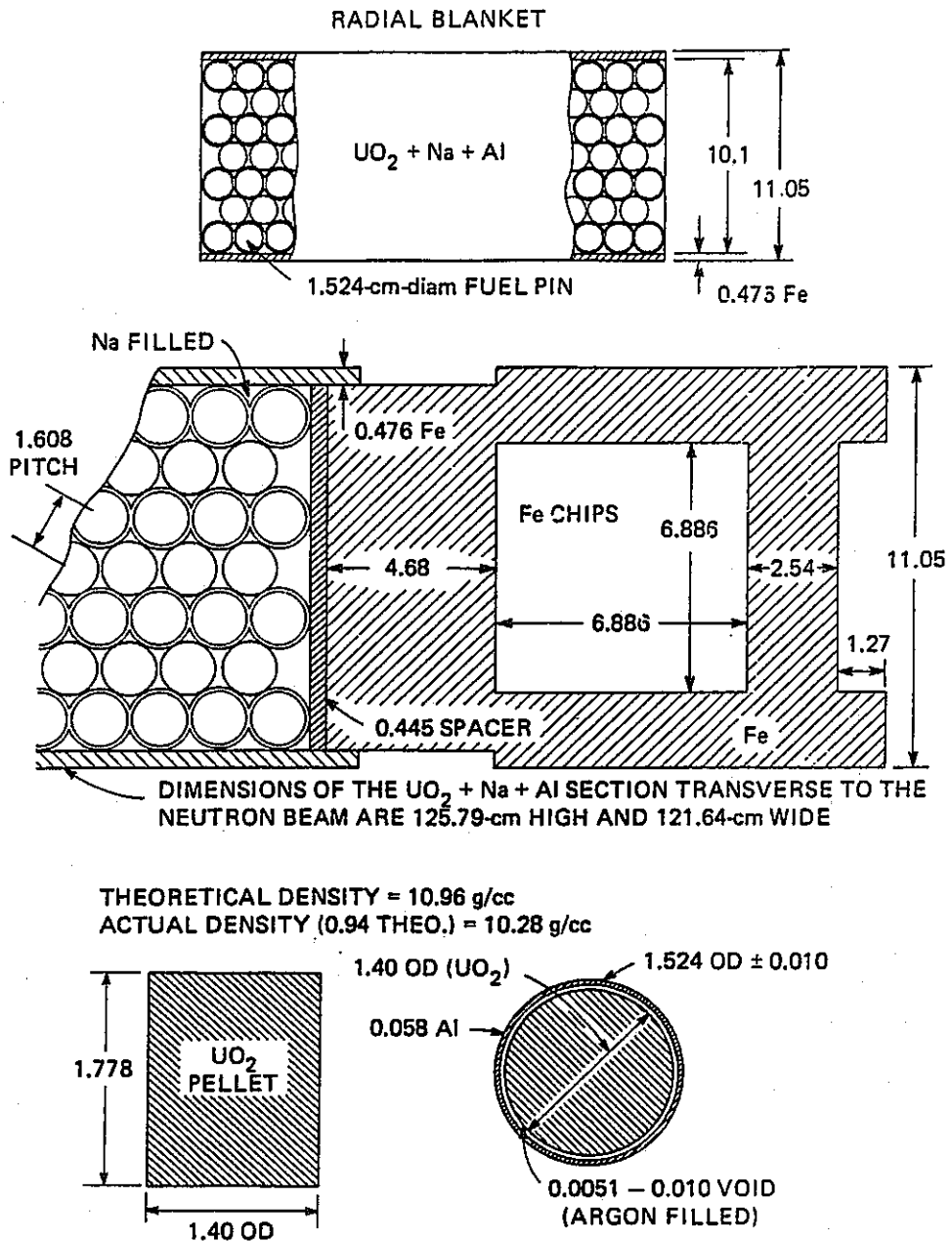
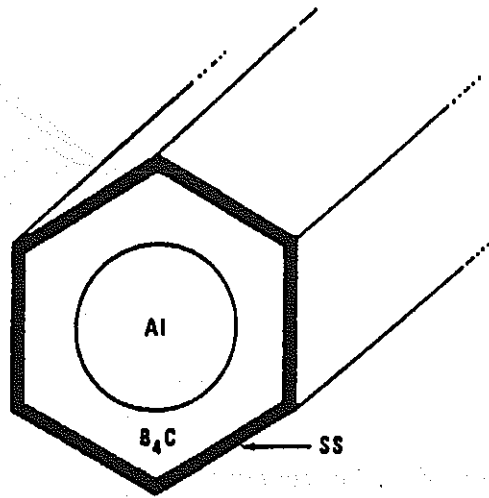


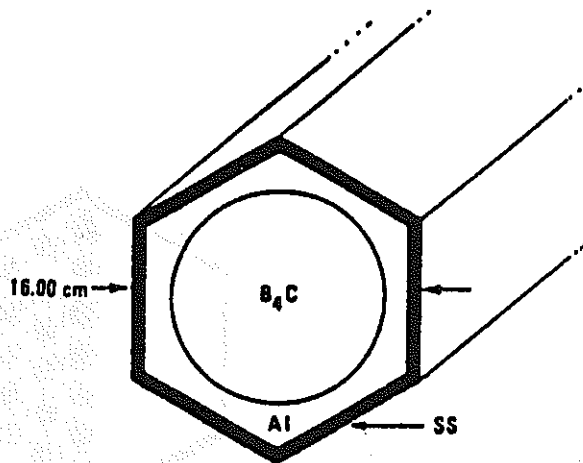
Figure 2. Schematic of radial blanket slab containing UO_2 .

図 3.2.1 半径方向ブランケット供試体 (ORNL/TM-12276 より引用)



Diam of Al cylinder: 8.96 cm
 Length of Al cylinder: 43.412 cm
 Width of hexagon (flat surface to flat surface): 15.99 cm
 Thickness of SS wrapper: 0.452 cm
 Length of SS wrapper: 45 cm
 Volume of B_4C : 5760.1 cc
 Density of B_4C : 1.39 g/cc
 Thickness of Al covers over end of B_4C : 0.794 cm

図 3.2.4 B_4C 製周辺遮蔽型集合体 (ORNL/TM-12276 より引用)



Width of container (flat surface to flat surface): 16.00 cm
 Width of Al (flat surface to flat surface): 15.05 cm
 Thickness of end plates: 0.476 cm
 Diam of B_4C : 13 cm
 Length of B_4C : 44.05 cm
 Volume of B_4C : 5846.9 cc
 Density of B_4C : 1.38 g/cc

Figure 6. B_4C central blockage hexagon assembly.

図 3.2.5 B_4C 製中心遮蔽型集合体 (ORNL/TM-12276 より引用)

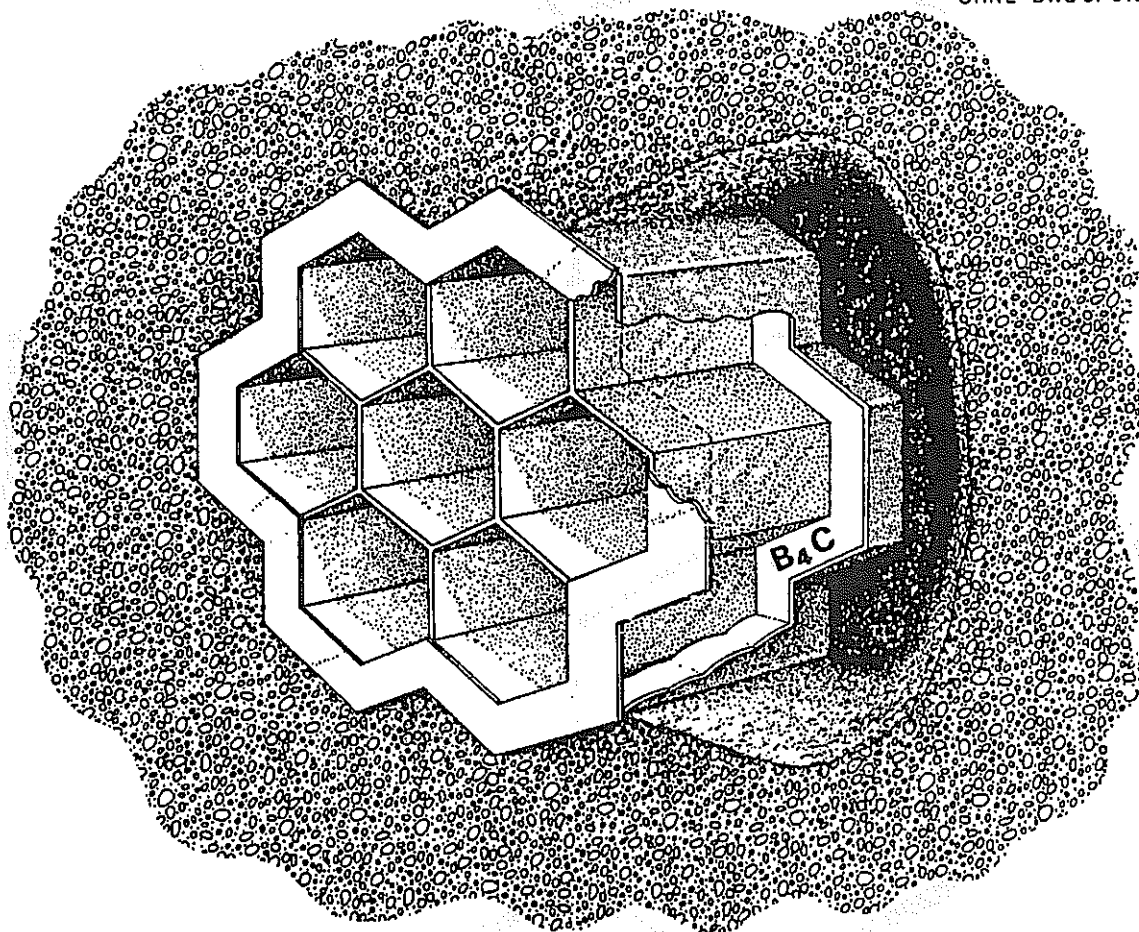
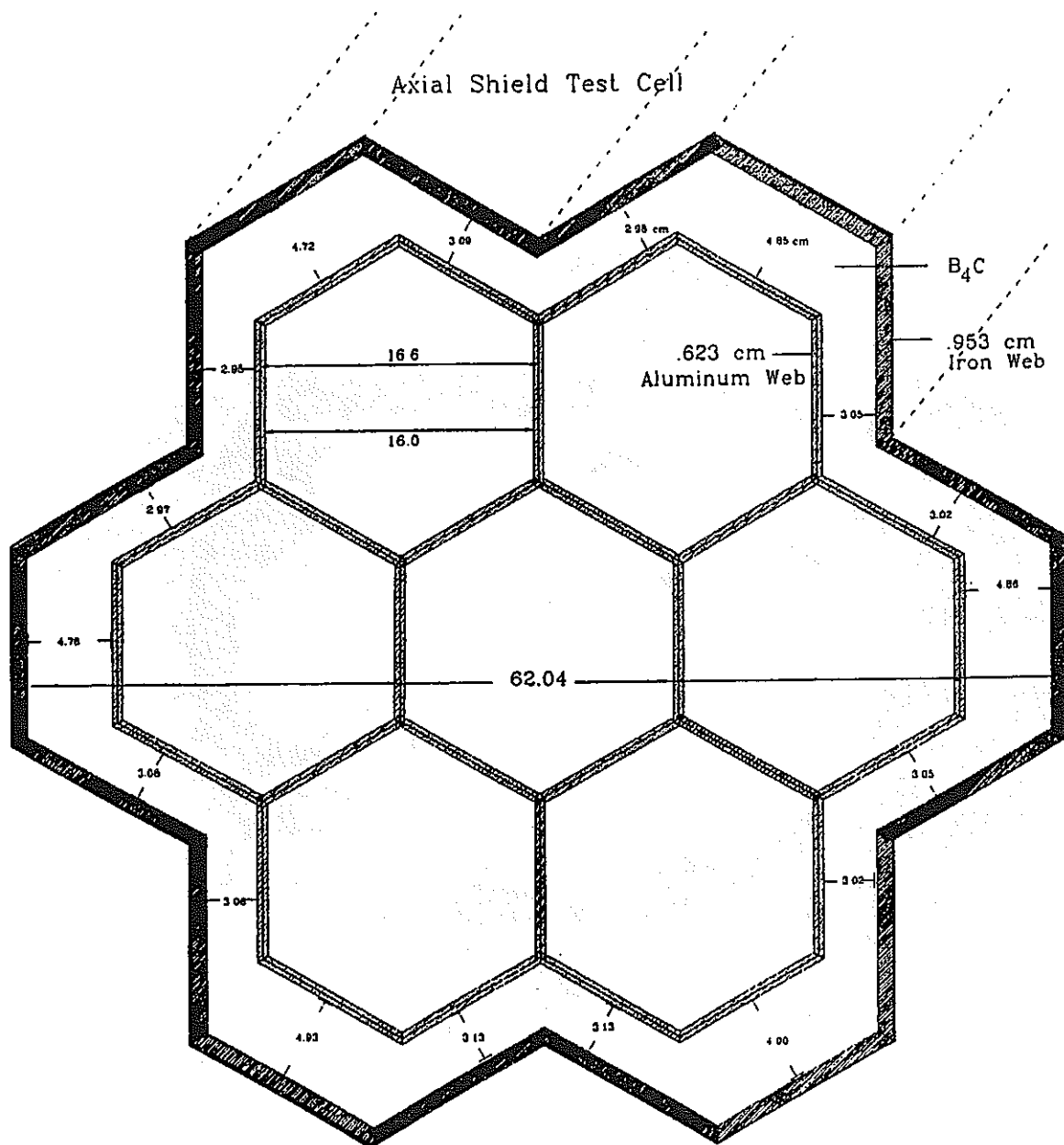


図 3.2.6 コンクリート中のアルミニウム製ハニコム (ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 7. Schematic of the aluminum honeycomb within a concrete slab.



Dimensions in cm

Figure 8. Schematic of aluminum mesh dimensions along with those for the surrounding B₄C collar.

図 3.2.7 アルミニウム製ハニコムとその周辺 B₄C 部寸法図
(ORNL/TM-12276 より引用)

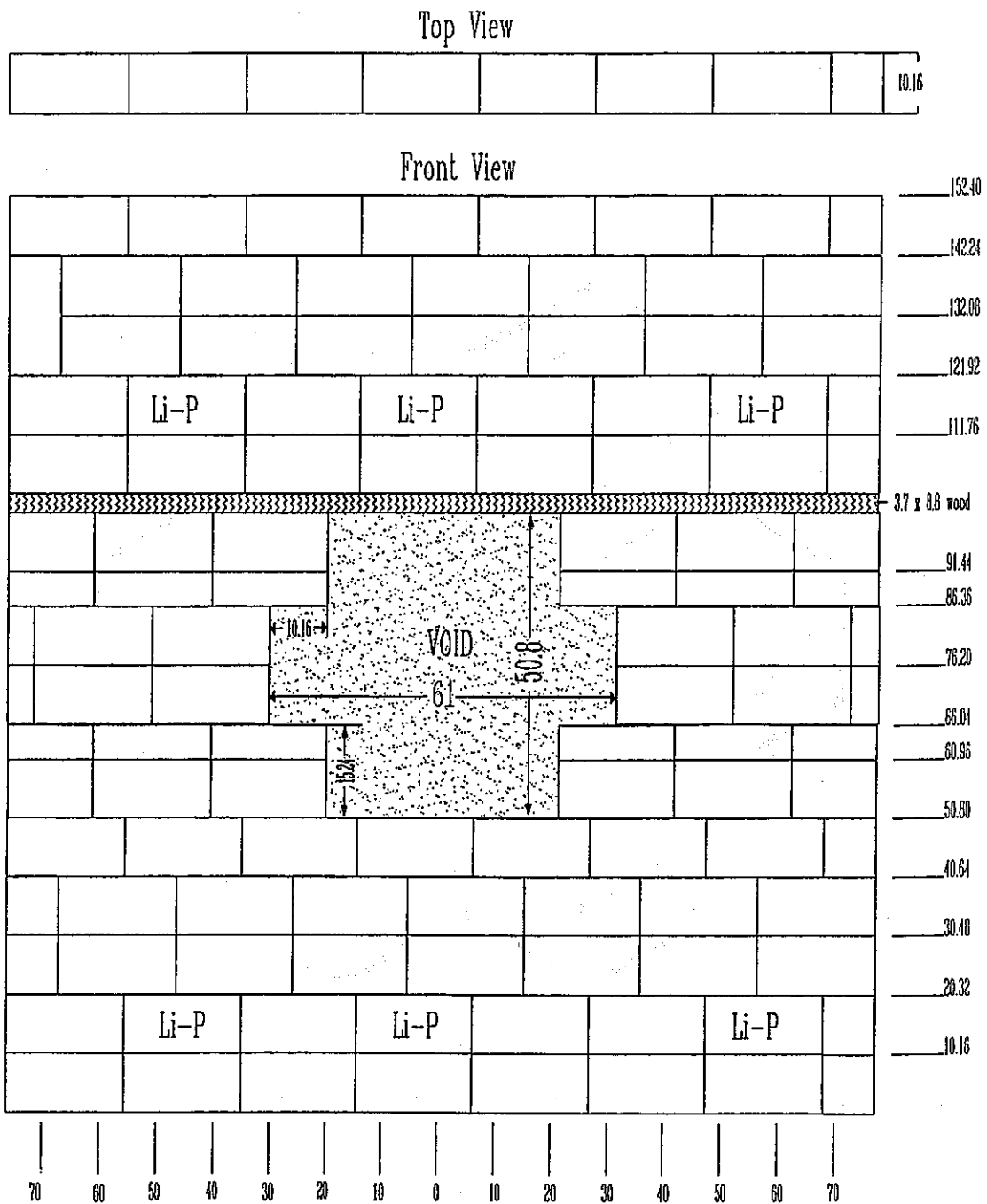


図 3.2.8 軸方向遮蔽供試体前面のリチウムパラフィンスラブ
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 10. Schematic of the lithiated paraffin slabs with void.

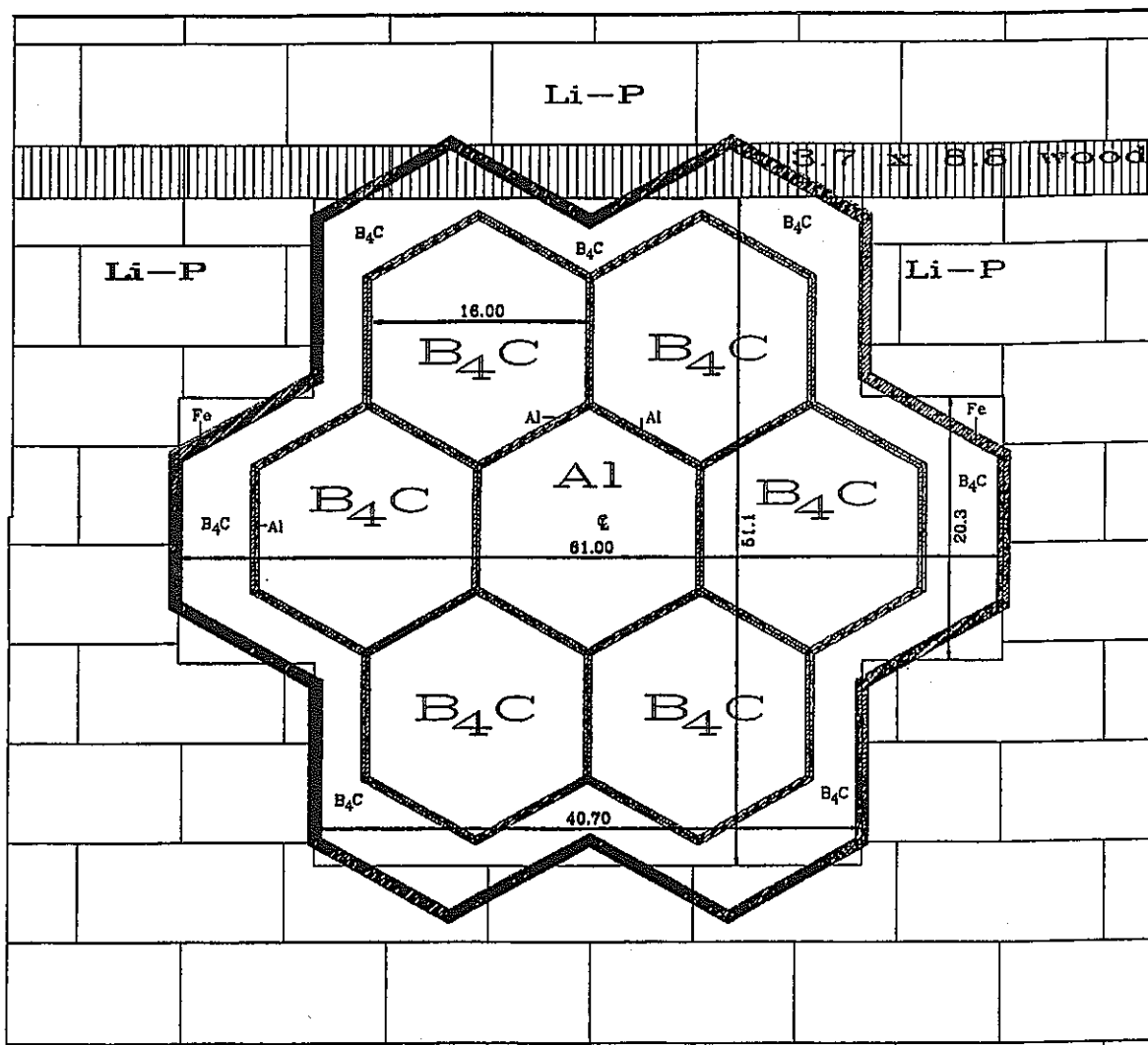


図 3.2.9 軸方向遮蔽供試体とリチウムパラフィンスラブ中央開口の形状相関
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 11. Schematic of the lithiated paraffin slab iris superimposed upon the seven-hexagon arrangement in the axial shield.

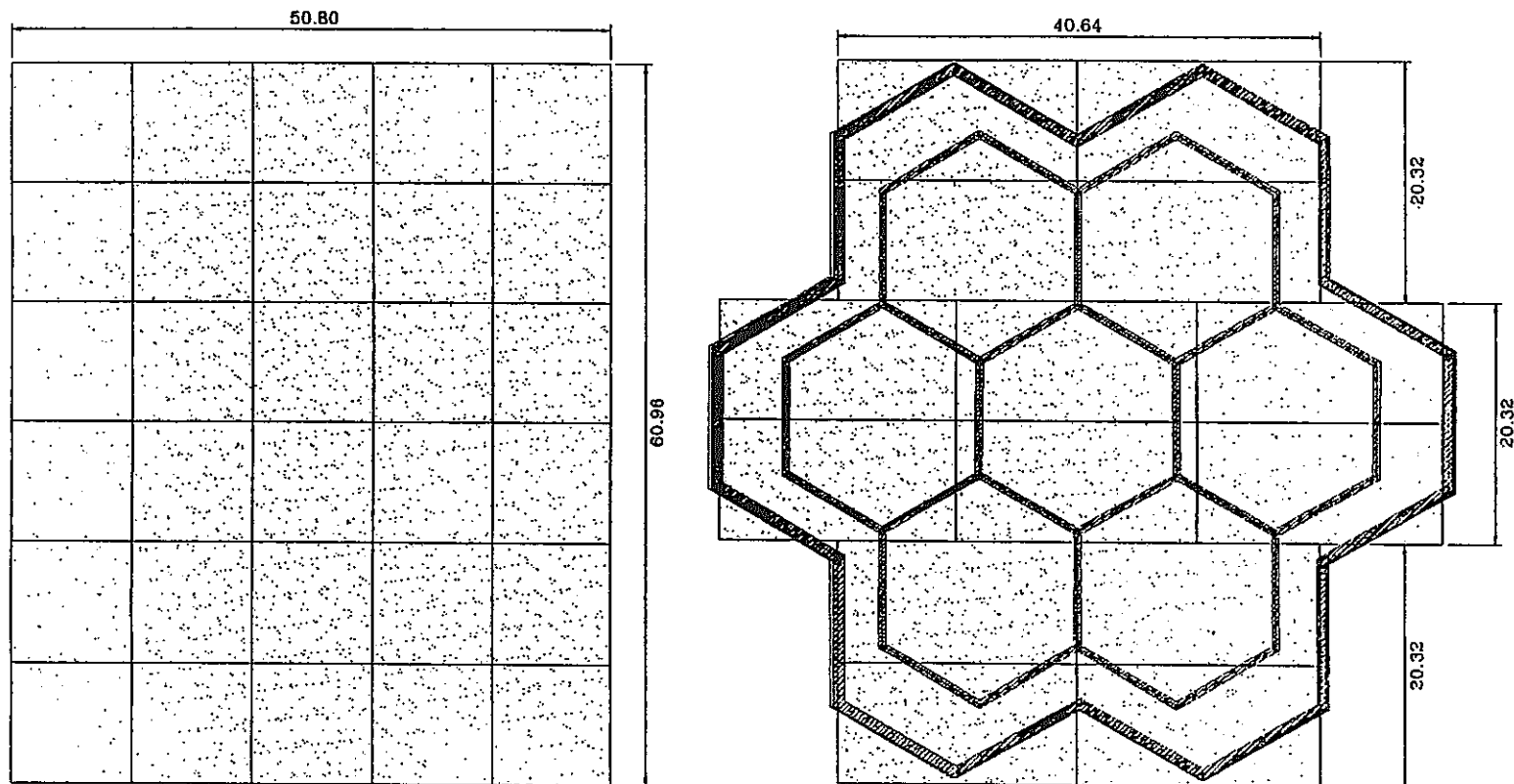


図 3.2.10 バックグラウンド測定に使用したりチウムパラフィンブロックの形状
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 12. Lithiated paraffin background shield (shaded area) for the Axial Shield experiment.

4. 検出器データ

本実験で使用した検出器は大要以下のとおりである。

中性子スペクトル測定では約 50keV から約 15MeV に及ぶ広いエネルギー領域の中性子を測定対象とするために、NE-213 検出器及び反跳陽子検出器を使用した。

実験体系後方へ漏洩する可能性のある中性子ストリーミング成分を詳細に測定するために、形状の小さいホニャックボタン検出器を使用した。また、実験体系を透過してくる中性子がある程度エネルギー別に分離して測定するために、ボナーボール検出系を使用した。

それぞれの検出器及び測定系について以下に示す。また、NE-213 検出器、反跳陽子検出器、ホニャックボタンおよびボナーボール検出器に関するより詳細な説明を付録 D に示す。

① NE-213 検出器を用いた中性子スペクトル測定系

NE-213 液体シンチレータによるスペクトル測定系は、およそ 800keV から 15MeV のエネルギー範囲の中性子スペクトルを測定するものである。本測定系は、中性子によって発生するパルスと γ 線によって発生するパルスとを分離するためにパルス形状識別法を使用している。その結果得られた中性子によるパルス電圧波高分布データは、FERD コード⁽¹¹⁾によってアンフォールドされ、中性子エネルギースペクトルが求められる。

② 反跳陽子検出器を用いた中性子スペクトル測定系

1 気圧、3 気圧、又は 10 気圧の水素ガスを充填した 3 種類の反跳陽子検出器（球形）を用いることにより、およそ 50keV から 1MeV の範囲のエネルギーの中性子を検出できる。本検出器は Benjamin 検出器とも呼ばれる。また、

ORNL の実験結果報告書では” Hydrogen counter” と記されている。

本検出器によるパルス電圧波高分布データは SPEC-4 コード⁽¹²⁾によりアンフォールドされ、中性子エネルギースペクトルが求められる。SPEC-4 コードでは、高エネルギー側の中性子の効果を補正するために、NE-213 検出器の信号をアンフォールドして得られた中性子スペクトルが用いられている。

③ ホニャックボタン検出器

ホニャックボタン検出器は、硫化亜鉛を混ぜた直径 0.635cm、厚さ 0.159cm のボタン形状のルサイトが光電子増倍管上に装填されたものである。この校正方法は、最初にシンチレータを 2 R/hr の γ 線で照射し、計数しきい電圧が 0.06 ボルトの時にあらかじめ定められた計数率が得られるようにアンプのゲインを調整する。この手順により、日毎の測定系のゲインが一定に保たれる。次にシンチレータをその強度が既知の Cf-252 中性子源で照射し、中性子線量と計数率の比を得る。ただしこの実験については、2 R/hr 以上の強い γ 線場で測定を行う時に γ 線が計数に寄与することを防ぐために、高い計数しきい電圧値 (3.5 ボルト) を設けてこの中性子線量と計数率の比を求める必要があった。従って、この検出器の応答は本来の意味の放射線量ともはや一致しないものであるが、測定結果の単位は放射線量によって表記し続けることとした。この 3.5 ボルトの計数しきい電圧の条件では、検出器が応答する中性子エネルギーの下限値は未知であるが、このことは実験体系に存在する小さな隙間 (注 ; 中性子が透過しやすい場所、の意味) での中性子ストリーミング効果を検出するためには、支障はないものと考えられる。

④ ボナーボール検出系

TSF で使用されたボナーボール検出系は、一連の異なる直径を持つポリエチレン球から構成されており、それぞれはその球毎に定まる中性子エネルギー

一応答関数によって重み付けられた中性子束積分値を測定するものである。球の内部に置かれる検出装置は直径が 5.1cm の球形比例計数管であり、0.5 気圧の BF_3 ガス (B-10 濃縮度 96%) がその中に充填されている。広範囲のエネルギーの中性子を測定するために、検出器は裸の状態、カドミウムで包んだ状態、又はカドミウムで包まれた種々の厚さのポリエチレン球殻の中に収納された状態で使用され、それぞれの検出器の名称はそのポリエチレン球の直径で呼ばれる。本実験では、裸、カドミウム付き、3" (インチ)、5"、8"、および 10" の 6 種類のボナーボールが使用された。ボナーボールによる測定値は、中性子スペクトルの計算値を Maerker 他⁽¹³⁾及び Burgart 他⁽¹⁴⁾によって決定されたボナーボール応答関数によってフォールディングすることにより解析的に予測される。

それぞれの検出器による測定結果は、炉心水平面上に位置するよう設置されている 2 個の核分裂計数管により求められる原子炉出力 (単位; ワット (W)) に対して規格化されている。これらの計数管の原子炉出力に対する応答特性は、熱的平衡状態 (熱出力運転) での原子炉発熱量のいくつかの測定によって、既に確認されている。

5. 測定データ

表 5.1 に各実験体系での測定項目の一覧表を示す。以下測定項目毎にその内容と測定結果を示す。

中性子スペクトル測定 (表 5.1 の "Spectra & BB" に対応)

体系 II A、II B 及び III A の 3 つの体系において、放射線ビーム中心軸上での中性子スペクトル測定が実施された。検出器としては、4 章で述べた NE-213 検出器が用いられた。体系 II A、II B では、実験体系と検出器の間に鉛スラブを設置した状態で測定が行われた。測定位置は鉛スラブ後方 25cm である。II A の測定結果を表 5.2 及び表 5.3 並びに図 5.1 及び図 5.2 に示す。また II B の測定結果を表 5.4 及び表 5.5 並びに図 5.3 及び図 5.4 に示す。III A の測定結果を表 5.6 及び表 5.7 並びに図 5.5 及び図 5.6 に示す。また、中性子スペクトル測定時には、同一測定条件で 3"、5" 及び 10" の 3 種類のボナーボールによる測定も実施された。測定結果は下記の表に示す。

スペクトル測定位置ボナーボール応答； 表 5.8

ビーム中心軸上でのボナーボール測定 (表 5.1 の "Bonner Ball Centerline" に対応)

すべての実験体系において、放射線ビーム中心軸上でのボナーボール測定が、体系 後方 30cm 及び 150cm 位置で実施された。測定には、3"、4"、5"、8"、10"、12" の 6 種類のボナーボールが使用された。測定結果は下記の表にまとめられている。

体系後方 30cm 位置 ; 表 5.9

体系後方 150cm 位置 ; 表 5.10

体系後方の水平方向トラバース測定 (表 5.1 の"Traverse"に対応)

本測定は、放射線ビーム中心軸に垂直な方向での中性子束分布を測定するために、実験体系後方 30cm 位置で水平方向にボナーボールを移動させて測定を行ったものである。ボナーボールは 3"、5" 及び 8" のものが利用され、全ての体系で測定が実施された。

測定結果を、下記の図表に示す。図表中で放射線ビーム中心軸からの距離に記されている S 及び N は、それぞれ South 及び North の略語であり、従来の JASPER 実験では実験体系を正面から見て前者は左側を、後者は右側を意味するものである。

ボナーボール測定 ; 表 5.11、5.12、5.13

; 図 5.7、5.8、5.9

ホニャックボタン検出器による水平方向トラバース測定

本測定は、放射線ビーム中心軸に垂直な方向での中性子束分布を測定するために実験体系後方で水平方向にホニャックボタン検出器を移動させて測定を行ったものである。この測定は、体系 I A を除くすべての実験体系において実施された。検出器設置位置は、遠隔操作による移動時に実験体系表面と接触しないような最小限の間隔を設けるよう配慮された結果、実験体系後方 2.37cm 位置とされた。すべての測定結果の一覧表を表 5.14 に示す。また各実験体系毎の測定結果のプロット図を図 5.10 に示す。

表 5.1 軸方向遮蔽再実験の体系構成と測定項目

TABLE 1. Summary Program Plan For Re-Measurement* of a Subset of the Axial Shield Experiment (Rev. 4)

| Configuration** | Spectra & BB | Measurements*** | | Hornyak Button |
|--|--------------|------------------------|---------------|----------------|
| | | Bonner Ball Centerline | Ball Traverse | |
| I. Neutron Spectrum Modifier (SM-1) A. SM-1 (10cm Fe + 9cm Al + 2.5cm boron + 20cm Radial Blanket) + 10 cm Li-Par**** | | x | x | |
| II. Homogeneous Shield Mockup A. I.A + 7 B ₂ C homogeneous type hexagonal assemblies with/without 10 cm Li-Par**** | x | x | x | x |
| B. I.A + 7 B ₂ C homogeneous type hexagonal assemblies with/without 10 cm Li-Par**** | x | x | x | x |
| III. Rod Bundle Shield Mockup A. I.A + 6 B ₂ C homogeneous type hexagonal assemblies around 1 B ₂ C rod bundle type hexagonal assembly + 10 cm Li-Par**** | x | x | x | x |
| IV. Central Blockage Shield Mockup A. I.A + 6 B ₂ C homogeneous type hexagonal assemblies around 1 B ₂ C central blockage type assembly + 10 cm Li-Par**** | | x | x | x |
| V. Central Sodium Channel Shield Mockup A. I.A + 6 B ₂ C homogeneous type hexagonal assemblies around 1 B ₂ C central sodium type hexagonal assembly + 10 cm Li-Par**** | | x | x | x |

* Using special Axial Shield configuration with lithiated paraffin (Li-Par). The Li-Par has an aperture the size of the Axial Shield's hexagonal assembly.

** Nominal Dimensions

*** Spectra & BB: NE-213/Benjamin spectrometer measurements on beam centerline as close as feasible and 3-, 5-, and 10-in Bonner balls at same location.

BB Centerline: 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in. Bonner ball measurements on centerline at 30 & 150cm.

BB Traverse: 3-, 5-, and 8-in. Bonner ball traverses at 30cm behind the shield mockups.

Hornyak Button: Hornyak button (0.25-in-diameter) traverse as close as feasible behind shield mockup.

**** Li-Par covering axial shield (except hexagonal configurations) to width of the SM-1.

表 5.2 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛板後方 25cm)

(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 17. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIA): Run 7940

| Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | | Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | |
|----------------------|--|-------------|----------------------|--|-------------|
| | Lower Limit | Upper Limit | | Lower Limit | Upper Limit |
| 8.11E -01 | 3.45E +02 | 3.49E +02 | 5.94E +00 | 9.61E +00 | 9.97E +00 |
| 9.07E -01 | 3.74E +02 | 3.77E +02 | 6.25E +00 | 8.16E +00 | 8.57E +00 |
| 1.01E +00 | 3.27E +02 | 3.29E +02 | 6.55E +00 | 7.12E +00 | 7.46E +00 |
| 1.11E +00 | 2.56E +02 | 2.57E +02 | 6.84E +00 | 6.33E +00 | 6.58E +00 |
| 1.20E +00 | 1.95E +02 | 1.97E +02 | 7.24E +00 | 5.37E +00 | 5.56E +00 |
| 1.31E +00 | 1.56E +02 | 1.57E +02 | 7.74E +00 | 4.12E +00 | 4.37E +00 |
| 1.41E +00 | 1.39E +02 | 1.41E +02 | 8.24E +00 | 3.11E +00 | 3.37E +00 |
| 1.51E +00 | 1.32E +02 | 1.33E +02 | 8.76E +00 | 2.37E +00 | 2.50E +00 |
| 1.61E +00 | 1.26E +02 | 1.27E +02 | 9.26E +00 | 1.79E +00 | 1.90E +00 |
| 1.71E +00 | 1.19E +02 | 1.20E +02 | 9.74E +00 | 1.37E +00 | 1.46E +00 |
| 1.81E +00 | 1.13E +02 | 1.14E +02 | 1.03E +01 | 1.02E +00 | 1.10E +00 |
| 1.93E +00 | 1.06E +02 | 1.07E +02 | 1.08E +01 | 7.48E -01 | 8.18E -01 |
| 2.10E +00 | 9.43E +01 | 9.54E +01 | 1.12E +01 | 5.51E -01 | 6.04E -01 |
| 2.30E +00 | 7.88E +01 | 7.98E +01 | 1.18E +01 | 3.71E -01 | 4.13E -01 |
| 2.50E +00 | 6.38E +01 | 6.46E +01 | 1.24E +01 | 2.24E -01 | 2.65E -01 |
| 2.70E +00 | 5.12E +01 | 5.20E +01 | 1.32E +01 | 1.32E -01 | 1.57E -01 |
| 2.90E +00 | 4.30E +01 | 4.38E +01 | 1.40E +01 | 6.67E -02 | 8.81E -02 |
| 3.10E +00 | 3.71E +01 | 3.80E +01 | 1.48E +01 | 4.07E -02 | 5.69E -02 |
| 3.30E +00 | 3.23E +01 | 3.30E +01 | 1.56E +01 | 2.24E -02 | 3.73E -02 |
| 3.50E +00 | 2.90E +01 | 2.99E +01 | 1.65E +01 | 6.23E -03 | 1.53E -02 |
| 3.71E +00 | 2.71E +01 | 2.77E +01 | 1.75E +01 | -7.43E -04 | 5.36E -03 |
| 3.91E +00 | 2.55E +01 | 2.60E +02 | 1.85E +01 | -2.49E -03 | 3.45E -03 |
| 4.15E +00 | 2.35E +01 | 2.40E +01 | 1.95E +01 | -2.39E -03 | 1.84E -03 |
| 4.45E +00 | 2.04E +01 | 2.08E +01 | 2.05E +01 | -3.70E -03 | 2.47E -03 |
| 4.75E +00 | 1.72E +01 | 1.76E +01 | 2.16E +01 | -3.61E -03 | 2.87E -03 |
| 5.04E +00 | 1.47E +01 | 1.51E +01 | 2.26E +01 | -2.05E -03 | 2.12E -03 |
| 5.34E +00 | 1.28E +01 | 1.31E +01 | 2.35E +01 | -1.70E -03 | 1.99E -03 |
| 5.64E +00 | 1.12E +01 | 1.16E +01 | | | |

| E1 (MeV) | E2 (MeV) | Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ | Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ |
|----------|----------|---|--|
| 0.811 | 1.000 | 6.86E +01 | 2.73E -01 |
| 1.000 | 1.200 | 5.25E +01 | 1.70E -01 |
| 1.200 | 1.600 | 5.91E +01 | 3.03E -01 |
| 1.600 | 2.000 | 4.56E +01 | 2.40E -01 |
| 2.000 | 3.000 | 6.66E +01 | 4.52E -01 |
| 3.000 | 4.000 | 3.06E +01 | 3.58E -01 |
| 4.000 | 6.000 | 3.23E +01 | 4.02E -01 |
| 6.000 | 8.000 | 1.24E +01 | 2.80E -01 |
| 8.000 | 10.000 | 4.47E +00 | 1.45E -01 |
| 10.000 | 12.000 | 1.42E +00 | 6.20E -02 |
| 12.000 | 16.000 | 4.44E -01 | 4.68E -02 |
| 16.000 | 20.000 | 1.50E -02 | 1.31E -02 |
| 3.000 | 10.000 | 7.97E +01 | 1.19E +00 |
| 1.500 | 15.000 | 2.07E +02 | 2.05E +00 |
| 3.000 | 12.000 | 8.12E +01 | 1.25E +00 |

表 5.3 中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 18. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Runs 1610.B, 1610.C, 1610.A

| N | Energy Boundary (MeV) | | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | Error (%) |
|-------------------|--------------------------|--------|---|--------------|
| <u>RUN 1610.B</u> | | | | |
| 1 | 0.0397 | 0.0450 | 3.08E +03 | 3.37 |
| 2 | 0.0450 | 0.0538 | 2.75E +03 | 2.53 |
| 3 | 0.0538 | 0.0626 | 2.71E +03 | 2.89 |
| 4 | 0.0626 | 0.0750 | 2.68E +03 | 2.25 |
| 5 | 0.0750 | 0.0873 | 2.09E +03 | 3.24 |
| 6 | 0.0873 | 0.1032 | 1.32E +03 | 4.34 |
| 7 | 0.1032 | 0.1208 | 1.42E +03 | 4.09 |
| 8 | 0.1208 | 0.1420 | 1.57E +03 | 3.36 |
| 9 | 0.1420 | 0.1684 | 1.13E +03 | 4.00 |
| 10 | 0.1684 | 0.1984 | 9.49E +02 | 4.70 |
| <u>RUN 1610.C</u> | | | | |
| 1 | 0.1446 | 0.1715 | 1.09E +03 | 1.66 |
| 2 | 0.1715 | 0.1984 | 8.86E +02 | 2.36 |
| 3 | 0.1984 | 0.2320 | 8.22E +02 | 2.32 |
| 4 | 0.2320 | 0.2724 | 8.80E +02 | 2.04 |
| 5 | 0.2724 | 0.3195 | 8.28E +02 | 2.10 |
| 6 | 0.3195 | 0.3800 | 6.88E +02 | 2.18 |
| 7 | 0.3800 | 0.4473 | 5.21E +02 | 2.96 |
| 8 | 0.4473 | 0.5280 | 5.57E +02 | 2.57 |
| 9 | 0.5280 | 0.6154 | 5.57E +02 | 2.64 |
| 10 | 0.6154 | 0.7297 | 4.99E +02 | 2.30 |
| <u>RUN 1610.A</u> | | | | |
| 1 | 0.5243 | 0.6216 | 5.32E +02 | 1.68 |
| 2 | 0.6216 | 0.7297 | 4.70E +02 | 1.87 |
| 3 | 0.7297 | 0.8595 | 4.06E +02 | 1.92 |
| 4 | 0.8595 | 1.0108 | 3.43E +02 | 2.04 |
| 5 | 1.0108 | 1.1838 | 2.36E +02 | 2.69 |
| 6 | 1.1838 | 1.4000 | 1.43E +02 | 3.62 |

表 5.4 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II B、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 21. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIB): Run 7941

| Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | | Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | |
|----------------------------|--|----------------|----------------------------|--|----------------|
| | Lower Limit | Upper Limit | | Lower Limit | Upper Limit |
| 8.11E -01 | 4.99E +02 | 5.06E +02 | 5.94E +00 | 1.32E +01 | 1.37E +01 |
| 9.07E -01 | 5.47E +02 | 5.51E +02 | 6.25E +00 | 1.15E +01 | 1.22E +01 |
| 1.01E +00 | 4.77E +02 | 4.81E +02 | 6.55E +00 | 9.96E +00 | 1.05E +01 |
| 1.11E +00 | 3.74E +02 | 3.77E +02 | 6.84E +00 | 8.67E +00 | 9.08E +00 |
| 1.20E +00 | 2.91E +02 | 2.93E +02 | 7.24E +00 | 7.02E +00 | 7.34E +00 |
| 1.31E +00 | 2.37E +02 | 2.39E +02 | 7.74E +00 | 5.19E +00 | 5.60E +00 |
| 1.41E +00 | 2.11E +02 | 2.13E +02 | 8.24E +00 | 3.73E +00 | 4.16E +00 |
| 1.51E +00 | 1.99E +02 | 2.01E +02 | 8.76E +00 | 2.97E +00 | 3.18E +00 |
| 1.61E +00 | 1.90E +02 | 1.92E +02 | 9.26E +00 | 2.53E +00 | 2.72E +00 |
| 1.71E +00 | 1.80E +02 | 1.82E +02 | 9.74E +00 | 1.99E +00 | 2.14E +00 |
| 1.81E +00 | 1.69E +02 | 1.71E +02 | 1.03E +01 | 1.36E +00 | 1.50E +00 |
| 1.93E +00 | 1.59E +02 | 1.60E +02 | 1.08E +01 | 9.44E -01 | 1.06E +00 |
| 2.10E +00 | 1.43E +02 | 1.45E +02 | 1.12E +01 | 7.63E -01 | 8.52E -01 |
| 2.30E +00 | 1.22E +02 | 1.24E +02 | 1.18E +01 | 5.76E -01 | 6.47E -01 |
| 2.50E +00 | 9.94E +01 | 1.01E +02 | 1.24E +01 | 3.16E -01 | 3.83E -01 |
| 2.70E +00 | 7.84E +01 | 7.98E +01 | 1.32E +01 | 1.68E -01 | 2.09E -01 |
| 2.90E +00 | 6.40E +01 | 6.54E +01 | 1.40E +01 | 1.05E -01 | 1.43E -01 |
| 3.10E +00 | 5.38E +01 | 5.53E +01 | 1.48E +01 | 3.75E -02 | 6.66E -02 |
| 3.30E +00 | 4.61E +01 | 4.73E +01 | 1.56E +01 | 1.37E -02 | 3.84E -02 |
| 3.50E +00 | 4.05E +01 | 4.18E +01 | 1.65E +01 | 1.09E -02 | 2.89E -02 |
| 3.71E +00 | 3.67E +01 | 3.76E +01 | 1.75E +01 | 1.54E -03 | 1.49E -02 |
| 3.91E +00 | 3.39E +01 | 3.48E +01 | 1.85E +01 | -2.27E -03 | 9.17E -03 |
| 4.15E +00 | 3.15E +01 | 3.24E +01 | 1.95E +01 | 3.94E -03 | 5.73E -03 |
| 4.45E +00 | 2.80E +01 | 2.87E +01 | 2.05E +01 | -1.18E -02 | 3.04E -03 |
| 4.75E +00 | 2.34E +01 | 2.41E +01 | 2.16E +01 | -1.24E -02 | 3.19E -03 |
| 5.04E +00 | 1.95E +01 | 2.01E +01 | 2.26E +01 | -5.55E -03 | 4.66E -03 |
| 5.34E +00 | 1.66E +01 | 1.71E +01 | 2.35E +01 | -2.97E -03 | 6.02E -03 |
| 5.64E +00 | 1.47E +01 | 1.53E +01 | | | |

| E1 (MeV) | E2 (MeV) | Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ | Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ |
|-------------|-------------|--|---|
| 0.811 | 1.000 | 1.00E +02 | 4.09E -01 |
| 1.000 | 1.200 | 7.69E +01 | 3.07E -01 |
| 1.200 | 1.600 | 8.95E +01 | 5.10E -01 |
| 1.600 | 2.000 | 6.88E +01 | 3.99E -01 |
| 2.000 | 3.000 | 1.02E +02 | 7.66E -01 |
| 3.000 | 4.000 | 4.28E +01 | 5.82E -01 |
| 4.000 | 6.000 | 4.34E +01 | 6.52E -01 |
| 6.000 | 8.000 | 1.68E +01 | 4.55E -01 |
| 8.000 | 10.000 | 5.87E +00 | 2.36E -01 |
| 10.000 | 12.000 | 1.94E +00 | 1.03E -01 |
| 12.000 | 16.000 | 6.04E -01 | 7.92E -02 |
| 16.000 | 20.000 | 3.24E -02 | 2.68E -02 |
| 3.000 | 10.000 | 1.09E +02 | 1.93E +00 |
| 1.500 | 15.000 | 3.02E +02 | 3.38E +00 |
| 3.000 | 12.000 | 1.11E +02 | 2.03E +00 |

表 5.5 中性子スペクトル測定値 (体系 II B、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 22. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIB) Runs 1611.C, 1611.B, 1611.A

| N | Energy Boundary (MeV) | | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | Error (%) |
|-------------------|--------------------------|--------|---|--------------|
| <u>RUN 1611.C</u> | | | | |
| 1 | 0.0397 | 0.0450 | 4.63E +03 | 2.16 |
| 2 | 0.0450 | 0.0538 | 3.92E +03 | 2.30 |
| 3 | 0.0538 | 0.0626 | 3.88E +03 | 2.61 |
| 4 | 0.0626 | 0.0732 | 3.82E +03 | 2.43 |
| 5 | 0.0732 | 0.0873 | 3.15E +03 | 2.37 |
| 6 | 0.0873 | 0.1014 | 1.92E +03 | 4.44 |
| 7 | 0.1014 | 0.1208 | 2.00E +03 | 3.32 |
| 8 | 0.1208 | 0.1419 | 2.28E +03 | 3.02 |
| 9 | 0.1419 | 0.1666 | 1.61E +03 | 4.01 |
| 10 | 0.1666 | 0.1966 | 1.41E +03 | 4.09 |
| <u>RUN 1611.B</u> | | | | |
| 1 | 0.1433 | 0.1699 | 1.58E +03 | 1.68 |
| 2 | 0.1699 | 0.1966 | 1.32E +03 | 2.31 |
| 3 | 0.1966 | 0.2299 | 1.23E +03 | 2.26 |
| 4 | 0.2299 | 0.2766 | 1.25E +03 | 1.77 |
| 5 | 0.2766 | 0.3232 | 1.18E +03 | 2.20 |
| 6 | 0.3232 | 0.3765 | 9.60E +02 | 2.65 |
| 7 | 0.3765 | 0.4432 | 7.69E +02 | 2.93 |
| 8 | 0.4432 | 0.5231 | 8.31E +02 | 2.51 |
| 9 | 0.5231 | 0.6164 | 8.26E +02 | 2.36 |
| 10 | 0.6164 | 0.7297 | 7.17E +02 | 2.35 |
| <u>RUN 1611.A</u> | | | | |
| 1 | 0.5243 | 0.6216 | 7.82E +02 | 1.57 |
| 2 | 0.6216 | 0.7297 | 6.89E +02 | 1.76 |
| 3 | 0.7297 | 0.8595 | 6.07E +02 | 1.76 |
| 4 | 0.8595 | 1.0108 | 4.84E +02 | 1.99 |
| 5 | 1.0108 | 1.1838 | 3.30E +02 | 2.66 |
| 6 | 1.1838 | 1.4000 | 2.18E +02 | 3.29 |

表 5.6 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 23. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIIA): Run 7939

| Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | | Neutron Energy (MeV) | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | |
|----------------------------|--|----------------|----------------------------|--|----------------|
| | Lower Limit | Upper Limit | | Lower Limit | Upper Limit |
| 8.11E -01 | 3.61E +02 | 3.68E +02 | 5.94E +00 | 1.00E +01 | 1.04E +01 |
| 9.07E -01 | 3.93E +02 | 3.96E +02 | 6.25E +00 | 8.44E +00 | 8.89E +00 |
| 1.01E +00 | 3.46E +02 | 3.48E +02 | 6.55E +00 | 7.41E +00 | 7.78E +00 |
| 1.11E +00 | 2.70E +02 | 2.72E +02 | 6.84E +00 | 6.57E +00 | 6.85E +00 |
| 1.20E +00 | 2.06E +02 | 2.08E +02 | 7.24E +00 | 5.48E +00 | 5.69E +00 |
| 1.31E +00 | 1.64E +02 | 1.66E +02 | 7.74E +00 | 4.22E +00 | 4.51E +00 |
| 1.41E +00 | 1.45E +02 | 1.47E +02 | 8.24E +00 | 3.27E +00 | 3.58E +00 |
| 1.51E +00 | 1.36E +02 | 1.38E +02 | 8.76E +00 | 2.61E +00 | 2.75E +00 |
| 1.61E +00 | 1.30E +02 | 1.31E +02 | 9.26E +00 | 1.95E +00 | 2.08E +00 |
| 1.71E +00 | 1.22E +02 | 1.24E +02 | 9.74E +00 | 1.48E +00 | 1.57E +00 |
| 1.81E +00 | 1.16E +02 | 1.17E +02 | 1.03E +01 | 1.15E +00 | 1.24E +00 |
| 1.93E +00 | 1.09E +02 | 1.10E +02 | 1.08E +01 | 9.14E -01 | 9.94E -01 |
| 2.10E +00 | 9.81E +01 | 9.93E +01 | 1.12E +01 | 6.90E -01 | 7.51E -01 |
| 2.30E +00 | 8.20E +01 | 8.31E +01 | 1.18E +01 | 4.35E -01 | 4.83E -01 |
| 2.50E +00 | 6.51E +01 | 6.60E +01 | 1.24E +01 | 2.28E -01 | 2.75E -01 |
| 2.70E +00 | 5.17E +01 | 5.26E +01 | 1.32E +01 | 1.44E -01 | 1.74E -01 |
| 2.90E +00 | 4.39E +01 | 4.48E +01 | 1.40E +01 | 8.63E -02 | 1.12E -01 |
| 3.10E +00 | 3.86E +01 | 3.96E +01 | 1.48E +01 | 4.91E -02 | 6.94E -02 |
| 3.30E +00 | 3.37E +01 | 3.44E +01 | 1.56E +01 | 2.42E -02 | 4.14E -02 |
| 3.50E +00 | 2.97E +01 | 3.06E +01 | 1.65E +01 | 9.32E -03 | 2.11E -02 |
| 3.71E +00 | 2.72E +01 | 2.78E +01 | 1.75E +01 | -2.25E -03 | 6.29E -03 |
| 3.91E +00 | 2.51E +01 | 2.57E +02 | 1.85E +01 | -4.17E -03 | 3.42E -03 |
| 4.15E +00 | 2.31E +01 | 2.36E +01 | 1.95E +01 | -2.48E -03 | 3.62E -03 |
| 4.45E +00 | 2.07E +01 | 2.12E +01 | 2.05E +01 | -6.18E -03 | 3.10E -03 |
| 4.75E +00 | 1.78E +01 | 1.82E +01 | 2.16E +01 | -6.88E -03 | 2.87E -03 |
| 5.04E +00 | 1.51E +01 | 1.55E +01 | 2.26E +01 | -3.33E -03 | 2.99E -03 |
| 5.34E +00 | 1.32E +01 | 1.36E +01 | 2.35E +01 | -2.00E -03 | 3.57E -03 |
| 5.64E +00 | 1.16E +01 | 1.21E +01 | | | |

| E1 (MeV) | E2 (MeV) | Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ | Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹ |
|-------------|-------------|--|---|
| 0.811 | 1.000 | 7.22E +01 | 2.95E -01 |
| 1.000 | 1.200 | 5.56E +01 | 1.91E -01 |
| 1.200 | 1.600 | 6.18E +01 | 3.24E -01 |
| 1.600 | 2.000 | 4.70E +01 | 2.64E -01 |
| 2.000 | 3.000 | 6.86E +01 | 4.95E -01 |
| 3.000 | 4.000 | 3.13E +01 | 3.84E -01 |
| 4.000 | 6.000 | 3.30E +01 | 4.34E -01 |
| 6.000 | 8.000 | 1.28E +01 | 3.09E -01 |
| 8.000 | 10.000 | 4.84E +00 | 1.65E -01 |
| 10.000 | 12.000 | 1.67E +00 | 7.08E -02 |
| 12.000 | 16.000 | 4.94E -01 | 5.49E -02 |
| 16.000 | 20.000 | 1.85E -02 | 1.74E -02 |
| 3.000 | 10.000 | 8.18E +01 | 1.30E +00 |
| 1.500 | 15.000 | 2.13E +02 | 2.25E +00 |
| 3.000 | 12.000 | 8.35E +01 | 1.37E +00 |

表 5.7 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 24. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIIA) Runs 1609.C, 1609.B, 1609.A

| N | Energy Boundary (MeV) | | Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹) | Error (%) |
|-------------------|--------------------------|--------|---|--------------|
| <u>RUN 1609.C</u> | | | | |
| 1 | 0.0396 | 0.0449 | 3.43E +03 | 4.03 |
| 2 | 0.0449 | 0.0537 | 3.09E +03 | 3.00 |
| 3 | 0.0537 | 0.0626 | 3.09E +03 | 3.39 |
| 4 | 0.0626 | 0.0749 | 3.08E +03 | 2.61 |
| 5 | 0.0749 | 0.0872 | 2.31E +03 | 3.89 |
| 6 | 0.0872 | 0.1031 | 1.46E +03 | 5.20 |
| 7 | 0.1031 | 0.1207 | 1.63E +03 | 4.72 |
| 8 | 0.1207 | 0.1419 | 1.82E +03 | 3.83 |
| 9 | 0.1419 | 0.1683 | 1.28E +03 | 4.67 |
| 10 | 0.1683 | 0.1982 | 1.06E +03 | 5.51 |
| <u>RUN 1609.B</u> | | | | |
| 1 | 0.1445 | 0.1714 | 1.23E +03 | 1.66 |
| 2 | 0.1714 | 0.1982 | 9.86E +02 | 2.39 |
| 3 | 0.1982 | 0.2318 | 9.10E +02 | 2.35 |
| 4 | 0.2318 | 0.2722 | 9.64E +02 | 2.08 |
| 5 | 0.2722 | 0.3259 | 9.28E +02 | 1.80 |
| 6 | 0.3259 | 0.3797 | 7.35E +02 | 2.63 |
| 7 | 0.3797 | 0.4469 | 5.45E +02 | 3.11 |
| 8 | 0.4469 | 0.5275 | 5.75E +02 | 2.72 |
| 9 | 0.5275 | 0.6216 | 5.74E +02 | 2.52 |
| <u>RUN 1609.A</u> | | | | |
| 1 | 0.4486 | 0.5243 | 5.21E +02 | 1.93 |
| 2 | 0.5243 | 0.6216 | 5.50E +02 | 1.53 |
| 3 | 0.6216 | 0.7297 | 4.83E +02 | 1.72 |
| 4 | 0.7297 | 0.8595 | 4.21E +02 | 1.74 |
| 5 | 0.8595 | 1.0108 | 3.51E +02 | 1.88 |
| 6 | 1.0108 | 1.1838 | 2.36E +02 | 2.53 |
| 7 | 1.1838 | 1.4000 | 1.50E +02 | 3.25 |

表 5.8 NE213 検出器位置 (中性子スペクトル測定位置) での
ボナーボール検出器測定値 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 19. Bonner ball measurements on centerline
at NE 213 location (Items IIA, IIB, IIIA)

| Configuration ^a | Detector Location | Bonner ball count rates (s ⁻¹ W ⁻¹) | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|----------------|-----------------|
| | | 3-in-Diam Ball ^c | 5-in-Diam Ball | 10-in-Diam Ball |
| IIA | 25 cm behind lead ^b | 2.77 (-1) ^d | 1.47 (0) | 8.45 (-1) |
| IIB | 25 cm behind lead | 4.15 (-1) | 2.16 (0) | 1.20 (0) |
| IIIA | 25 cm behind lead | 3.12 (-1) | 1.65 (0) | 8.78 (-1) |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bLead slab between configuration and detector (see schematics).

^cForeground only. Count rates without shadow shield between detector and lead slab.

^dRead: 2.77×10^{-1} .

表 5.9 ボナーボール検出器測定値 (中心軸上、体系後方 30cm、全実験体系)
(ORNL/TM-12276 より引用)

**Table 12. Bonner ball measurements on centerline
at 30 cm behind the mockups (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)**

| <u>Configuration^a</u> | <u>Bonner ball count rates (s⁻¹W⁻¹)</u> | | | | | |
|----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | <u>3-inch-diam ball</u> | <u>4-inch-diam ball</u> | <u>5-inch-diam ball</u> | <u>8-inch-diam ball</u> | <u>10-inch-diam ball</u> | <u>12-inch-diam ball</u> |
| IA | 6.07 (2) ^b | 1.89 (3) | 2.53 (3) | 1.85 (3) | 9.02 (2) | 4.56 (2) |
| IIA | 5.56 (-1) | 2.00 (0) | 3.10 (0) | 2.79 (0) | 1.76 (0) | 9.24 (-1) |
| IIB | 5.50 (-1) | 1.94 (0) | 2.95 (0) | 2.74 (0) | 1.66 (0) | 9.26 (-1) |
| IIIA | 6.42 (-1) | 2.31 (0) | 3.50 (0) | 2.98 (0) | 1.79 (0) | 9.84 (-1) |
| IVA | 5.95 (-1) | 2.12 (0) | 3.20 (0) | 2.88 (0) | 1.70 (0) | 9.39 (-1) |
| VA | 8.46 (-1) | 2.98 (0) | 4.31 (0) | 3.36 (0) | 1.90 (0) | 1.01 (0) |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bRead: 6.07 x 10².

表 5.10 ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方 150cm、全実験体系）
 (ORNL/TM-12276 より引用)

Table 13. Bonner ball measurements on centerline at 150 cm behind the mockup
 (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)

| Configuration ^a | Bonner ball count rates (s ⁻¹ W ⁻¹) | | | | | |
|----------------------------|--|-------------------------|------------------|------------|------------------|------------|
| | 3-inch-diam ball | | 4-inch-diam ball | | 5-inch-diam ball | |
| | Foreground ^b | Background ^c | Foreground | Background | Foreground | Background |
| IA | 5.20 (1) ^d | 5.05 (0) | 1.52 (2) | 9.61 (0) | 2.06 (2) | 1.05 (1) |
| IIA | 7.28 (-2) | 5.74 (-3) | 2.42 (-1) | 1.10 (-2) | 3.58 (-1) | 1.28 (-2) |
| IIB | 1.05 (-1) | 1.12 (-2) | 3.08 (-1) | 2.19 (-2) | 4.33 (-1) | 2.48 (-2) |
| IIIA | 8.43 (-2) | 6.81 (-3) | 2.84 (-1) | 1.28 (-2) | 4.09 (-1) | 1.42 (-2) |
| IVA | 7.88 (-2) | 6.51 (-3) | 2.66 (-1) | 1.23 (-2) | 3.81 (-1) | 1.40 (-2) |
| VA | 1.04 (-1) | 6.19 (-3) | 3.39 (-1) | 1.22 (-2) | 4.79 (-1) | 1.39 (-2) |
| IIA ^e | | 6.20 (-3) | | 1.25 (-2) | | 1.54 (-2) |
| IIB ^e | | 2.47 (-2) | | 4.88 (-2) | | 5.86 (-2) |
| IIIA ^e | | 6.54 (-3) | | 1.26 (-2) | | 1.55 (-2) |

表 5.10 (前ページのつづき)

Table 13. (continued)

| <u>Configuration</u> | <u>Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$)</u> | | | | | |
|----------------------|--|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| | <u>8-inch-diam ball</u> | | <u>10-inch-diam ball</u> | | <u>12-inch-diam ball</u> | |
| | <u>Foreground</u> | <u>Background</u> | <u>Foreground</u> | <u>Background</u> | <u>Foreground</u> | <u>Background</u> |
| IA | 1.51 (2) | 5.93 (0) | 7.85 (1) | 3.01 (0) | 4.01 (1) | 1.52 (0) |
| IIA | 2.98 (-1) | 7.39 (-3) | 1.78 (-1) | 4.02 (-3) | 9.98 (-2) | 2.22 (-3) |
| IIB | 3.57 (-1) | 1.48 (-2) | 2.20 (-1) | 8.40 (-3) | 1.23 (-1) | 4.59 (-3) |
| IIIA | 3.24 (-1) | 8.06 (-3) | 1.86 (-1) | 4.39 (-3) | 1.06 (-1) | 2.39 (-3) |
| IVA | 3.11 (-1) | 7.67 (-3) | 1.79 (-1) | 4.32 (-3) | 1.04 (-1) | 2.33 (-3) |
| VA | 3.61 (-1) | 7.76 (-3) | 2.34 (-1) | 4.39 (-3) | 1.29 (-1) | 2.40 (-3) |
| IIA | | 1.25 (-2) | | 8.37 (-3) | | 5.39 (-3) |
| IIB | | 4.42 (-2) | | 2.88 (-2) | | 1.77 (-2) |
| IIIA | | 1.17 (-2) | | 7.68 (-3) | | 4.98 (-3) |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bCount rate without shadow shield between detector and configuration.

^cCount rate with shadow shield between detector and configuration.

^dRead: 5.20×10^1 .

^eCount rate with shadow shield shape that matched the shape of the seven hexagons (see schematic in Figure 12 for dimensions).

表 5.11 3 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm、全実験体系)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 14. 3-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)

| Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$) | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Distance from centerline (cm) | Item IA ^a | Item IIA | Item IIB | Item IIIA | Item IVA | Item VA |
| 100 S | 2.29 (1) ^b | 2.88 (-2) | 6.59 (-2) | | 2.81 (-2) | 2.82 (-2) |
| 90 | 3.12 (1) | 3.43 (-2) | 8.78 (-2) | 3.49 (-2) | 3.43 (-2) | 3.48 (-2) |
| 80 | 4.70 (1) | 3.97 (-2) | 1.17 (-1) | 4.16 (-2) | 3.87 (-2) | 4.04 (-2) |
| 70 | 6.66 (1) | 4.73 (-2) | 1.55 (-1) | 4.92 (-2) | 4.77 (-2) | 4.82 (-2) |
| 60 | 9.40 (1) | 6.62 (-2) | 2.02 (-1) | 7.01 (-2) | 6.61 (-2) | 6.82 (-2) |
| 50 | 1.44 (2) | 1.07 (-1) | 2.60 (-1) | 1.13 (-1) | 1.07 (-1) | 1.09 (-1) |
| 40 | 2.37 (2) | 1.76 (-1) | 3.25 (-1) | 1.89 (-1) | 1.80 (-1) | 1.87 (-1) |
| 35 | 3.07 (2) | 2.36 (-1) | | 2.46 (-1) | 2.32 (-1) | 2.39 (-1) |
| 30 | 3.74 (2) | 2.92 (-1) | 3.98 (-1) | 3.10 (-1) | 2.95 (-1) | 3.07 (-1) |
| 25 | 4.45 (2) | 3.58 (-1) | | 3.82 (-1) | 3.60 (-1) | 3.70 (-1) |
| 20 | 5.09 (2) | 4.10 (-1) | 4.75 (-1) | | | 4.33 (-1) |
| 17 | | 4.53 (-1) | | 4.79 (-1) | 4.70 (-1) | 4.82 (-1) |
| 15 | | 4.80 (-1) | | | | 5.16 (-1) |
| 12 | | 5.14 (-1) | | | | 5.68 (-1) |
| 10 | 5.89 (2) | 5.34 (-1) | 5.61 (-1) | | | 6.33 (-1) |
| 9 | | | | 5.75 (-1) | 5.91 (-1) | |
| 8 | | 5.37 (-1) | | | | 7.07 (-1) |
| 6 | | | | | 6.03 (-1) | |
| 5 | | 5.49 (-1) | | | | 7.88 (-1) |
| 3 | | | | | 5.81 (-1) | |
| 2.5 | | | | | | 8.23 (-1) |
| 0 | 6.17 (2) | 5.51 (-1) | 5.79 (-1) | 6.22 (-1) | 5.80 (-1) | 8.32 (-1) |
| 2.5 | | | | | | 8.33 (-1) |
| 3 | | | | | 5.85 (-1) | |
| 5 | | 5.48 (-1) | | | | 7.82 (-1) |
| 6 | | | | | 6.09 (-1) | |
| 8 | | 5.55 (-1) | | | | 7.22 (-1) |
| 9 | | | | 5.94 (-1) | 5.95 (-1) | |
| 10 | 5.75 (2) | 5.37 (-1) | 5.68 (-1) | | | 6.61 (-1) |
| 12 | | 5.20 (-1) | | | | 5.91 (-1) |
| 15 | | 4.78 (-1) | | | | 5.29 (-1) |
| 17 | | 4.65 (-1) | | 5.00 (-1) | 4.69 (-1) | 5.01 (-1) |
| 20 | 4.91 (2) | 4.14 (-1) | 4.78 (-1) | | | 4.55 (-1) |
| 25 | 4.30 (2) | 3.62 (-1) | | 3.94 (-1) | 3.64 (-1) | 3.92 (-1) |
| 30 | 3.63 (2) | 3.01 (-1) | 4.11 (-1) | 3.28 (-1) | 3.04 (-1) | 3.19 (-1) |
| 35 | 2.84 (2) | 2.38 (-1) | | 2.61 (-1) | 2.41 (-1) | 2.51 (-1) |
| 40 | 2.24 (2) | 1.84 (-1) | 3.27 (-1) | 2.04 (-1) | 1.83 (-1) | 1.97 (-1) |
| 50 | 1.38 (2) | 1.07 (-1) | 2.61 (-1) | 1.22 (-1) | 1.12 (-1) | 1.14 (-1) |
| 60 | 8.69 (1) | 6.97 (-2) | 2.02 (-1) | 7.49 (-2) | 6.91 (-2) | 7.10 (-2) |
| 70 | 6.05 (1) | 4.82 (-2) | 1.50 (-1) | 5.02 (-2) | 4.67 (-2) | 4.88 (-2) |
| 80 | 4.13 (1) | 3.95 (-2) | 1.13 (-1) | 4.06 (-2) | 3.82 (-2) | 4.08 (-2) |
| 85 | 3.37 (1) | | | | 3.46 (-2) | |
| 90 | | | | | | |
| 100 N | | | 6.66 (-2) | | | |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bRead: 2.29×10^1 .

表 5.12 5 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm、全実験体系)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 15. 5-inch Bonner ball traverses through the horizontal
midplane at 30 cm behind a series of configurations
(Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)

| Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$) | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Distance from centerline (cm) | Item IA ^a | Item IIA | Item IIB | Item IIIA | Item IVA | Item VA |
| 100 S | 6.06 (1) ^b | 8.40 (-2) | 2.09 (-1) | | 8.68 (-2) | 8.53 (-2) |
| 90 | 8.58 (1) | 1.07 (-1) | 2.78 (-1) | 1.07 (-1) | 1.08 (-1) | 1.08 (-1) |
| 80 | 1.30 (2) | 1.36 (-1) | 3.87 (-1) | 1.38 (-1) | 1.40 (-1) | 1.37 (-1) |
| 70 | 1.97 (2) | 1.84 (-1) | 5.22 (-1) | 1.91 (-1) | 1.89 (-1) | 1.89 (-1) |
| 60 | 3.01 (2) | 2.89 (-1) | 7.23 (-1) | 3.00 (-1) | 2.96 (-1) | 2.99 (-1) |
| 50 | 4.98 (2) | 5.05 (-1) | 9.84 (-1) | 5.29 (-1) | 5.28 (-1) | 5.31 (-1) |
| 40 | 8.86 (2) | 9.28 (-1) | 1.35 (0) | 9.62 (-1) | 9.58 (-1) | 9.57 (-1) |
| 35 | 1.21 (3) | 1.22 (0) | | 1.29 (0) | 1.27 (0) | 1.26 (0) |
| 30 | 1.50 (3) | 1.59 (0) | 1.85 (0) | 1.64 (0) | 1.66 (0) | 1.64 (0) |
| 25 | 1.81 (3) | | | 2.04 (0) | 2.04 (0) | 2.02 (0) |
| 20 | 2.16 (3) | 2.24 (0) | 2.39 (0) | | 2.40 (0) | 2.39 (0) |
| 17 | | | | 2.62 (0) | 2.64 (0) | 2.60 (0) |
| 15 | | | | | 2.80 (0) | 2.78 (0) |
| 10 | 2.43 (3) | 2.91 (0) | 2.95 (0) | | 3.29 (0) | 3.41 (0) |
| 9 | | | | 3.22 (0) | | |
| 8 | | | | | 3.34 (0) | 3.65 (0) |
| 5 | | 3.02 (0) | | | 3.35 (0) | 3.96 (0) |
| 0 | 2.59 (3) | 3.03 (0) | 3.05 (0) | 3.46 (0) | 3.34 (0) | 4.19 (0) |
| 5 | | 3.01 (0) | | | 3.39 (0) | 3.95 (0) |
| 8 | | | | | 3.33 (0) | 3.66 (0) |
| 9 | | | | 3.36 (0) | | |
| 10 | 2.46 (3) | 2.90 (0) | 2.97 (0) | | 3.22 (0) | 3.42 (0) |
| 15 | | | | | 2.81 (0) | 2.78 (0) |
| 17 | | | | 2.77 (0) | 2.61 (0) | 2.61 (0) |
| 20 | 2.07 (3) | 2.22 (0) | 2.39 (0) | | 2.39 (0) | 2.36 (0) |
| 25 | 1.77 (3) | | | 2.17 (0) | 2.04 (0) | 2.01 (0) |
| 30 | 1.47 (3) | 1.58 (0) | 1.87 (0) | 1.78 (0) | 1.67 (0) | 1.63 (0) |
| 35 | 1.13 (3) | | | 1.41 (0) | 1.29 (0) | 1.29 (0) |
| 40 | 8.41 (2) | 9.56 (-1) | 1.35 (0) | 1.08 (0) | 9.91 (-1) | 9.61 (-1) |
| 50 | 4.83 (2) | 5.20 (-1) | 9.94 (-1) | 5.96 (-1) | 5.37 (-1) | 5.17 (-1) |
| 60 | 2.87 (2) | 2.98 (-1) | 7.28 (-1) | 3.35 (-1) | 3.06 (-1) | 3.00 (-1) |
| 70 | 1.79 (2) | 1.81 (-1) | 5.18 (-1) | 2.02 (-1) | 1.85 (-1) | 1.85 (-1) |
| 80 | 1.18 (2) | 1.30 (-1) | 3.78 (-1) | 1.40 (-1) | 1.33 (-1) | 1.32 (-1) |
| 85 | 9.36 (1) | | | | | |
| 90 | | | 2.83 (-1) | | | |
| 100 N | | | 2.05 (-1) | | | |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bRead: 6.06×10^4 .

表 5.13 8 インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方 30cm、全実験体系)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 16. 8-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)

| Distance from centerline (cm) | Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$) | | | | | |
|-------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Item IA ^a | Item IIA | Item IIB | Item IIIA | Item IVA | Item VA |
| 100 S | 3.53 (1) ^b | 7.16 (-2) | 1.75 (-1) | | 7.18 (-2) | 7.23 (-2) |
| 90 | 5.24 (1) | 9.12 (-2) | 2.38 (-1) | 9.38 (-2) | 8.99 (-2) | 9.22 (-2) |
| 80 | 8.14 (1) | 1.16 (-1) | 3.24 (-1) | 1.19 (-1) | 1.13 (-1) | 1.15 (-1) |
| 70 | 1.25 (2) | 1.62 (-1) | 4.45 (-1) | 1.73 (-1) | 1.57 (-1) | 1.62 (-1) |
| 60 | 2.00 (2) | 2.60 (-1) | 6.12 (-1) | 2.79 (-1) | 2.61 (-1) | 2.64 (-1) |
| 50 | 3.45 (2) | 4.60 (-1) | 8.49 (-1) | 5.00 (-1) | 4.56 (-1) | 4.64 (-1) |
| 40 | 6.14 (2) | 8.28 (-1) | 1.16 (0) | 9.01 (-1) | 8.27 (-1) | 8.49 (-1) |
| 35 | | | | 1.21 (0) | | 1.14 (0) |
| 30 | 1.04 (3) | 1.42 (0) | 1.60 (0) | 1.52 (0) | 1.42 (0) | 1.45 (0) |
| 25 | | | | 1.88 (0) | | 1.80 (0) |
| 20 | 1.47 (3) | 2.05 (0) | 2.10 (0) | | 2.08 (0) | 2.13 (0) |
| 17 | | | | 2.40 (0) | | |
| 15 | | | | | | 2.47 (0) |
| 10 | 1.70 (3) | 2.51 (0) | 2.54 (0) | | 2.66 (0) | 2.83 (0) |
| 9 | | | | 2.83 (0) | | |
| 5 | | | | | | 3.11 (0) |
| 0 | 1.80 (3) | 2.70 (0) | 2.70 (0) | 3.03 (0) | 2.88 (0) | 3.25 (0) |
| 5 | | | | | | 3.10 (0) |
| 9 | | | | 2.83 (0) | | |
| 10 | 1.68 (3) | 2.55 (0) | 2.60 (0) | | 2.66 (0) | 2.83 (0) |
| 15 | | | | | | 2.45 (0) |
| 17 | | | | 2.38 (0) | | |
| 20 | 1.40 (3) | 2.04 (0) | 2.18 (0) | | 2.11 (0) | 2.09 (0) |
| 25 | | | | 1.87 (0) | | 1.76 (0) |
| 30 | 9.78 (2) | 1.41 (0) | 1.68 (0) | 1.53 (0) | 1.44 (0) | 1.45 (0) |
| 35 | | | | 1.19 (0) | | 1.14 (0) |
| 40 | 5.75 (2) | 8.44 (-1) | 1.21 (0) | 9.07 (-1) | 8.90 (-1) | 8.55 (-1) |
| 50 | 3.07 (2) | 4.80 (-1) | 8.78 (-1) | 5.00 (-1) | 4.87 (-1) | 4.69 (-1) |
| 60 | 1.79 (2) | 2.65 (-1) | 6.33 (-1) | 2.88 (-1) | 2.70 (-1) | 2.60 (-1) |
| 70 | 1.10 (2) | 1.61 (-1) | 4.61 (-1) | 1.79 (-1) | 1.64 (-1) | 1.57 (-1) |
| 80 | 6.97 (1) | 1.11 (-1) | 3.34 (-1) | 1.16 (-1) | 1.13 (-1) | 1.08 (-1) |
| 85 | | | | 1.03 (-1) | | |
| 90 | | | 2.46 (-1) | | | |
| 100 N | | | 1.79 (-1) | | | |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bRead: 3.53×10^1 .

表 5.14 ホニャックボタン測定値 (中心面水平方向分布、全実験体系)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Table 20. Hornyak button traverses through the horizontal midplane
at 2.4 cm behind a series of configurations
(Items IIA, IIB, IIIA, IVA, VA)

| Distance from centerline (cm) | Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$) | | | | |
|----------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Item IIA ^a | Item IIB | Item IIIA | Item IVA | Item VA |
| 70 S | | 1.42 (-4) | | | |
| 60 | | 2.21 (-4) | | | |
| 50 | | 3.20 (-4) | | | |
| 40 | | 4.45 (-4) | | | |
| 35 | | 5.07 (-4) | | | |
| 30 | | 6.50 (-4) | | | |
| 28.5 | 8.12 (-4) ^b | | | | |
| 28.4 | | | | | 8.40 (-4) |
| 28.3 | | | 7.85 (-4) | | |
| 28 | | 7.44 (-4) | | 8.14 (-4) | |
| 26 | | 8.72 (-4) | | | |
| 25 | 1.06 (-3) | | 1.03 (-3) | 1.04 (-3) | 1.11 (-3) |
| 24 | | 9.83 (-4) | | | |
| 22 | | 1.10 (-3) | | | |
| 20 | 1.35 (-3) | 1.21 (-3) | 1.31 (-3) | 1.31 (-3) | 1.43 (-3) |
| 16 | | 1.40 (-3) | | | |
| 15 | 1.62 (-3) | | 1.57 (-3) | 1.61 (-3) | 1.72 (-3) |
| 12 | | 1.60 (-3) | | | |
| 10 | 1.82 (-3) | | 1.80 (-3) | 1.85 (-3) | 2.00 (-3) |
| 8.3 | 1.94 (-3) | 1.72 (-3) | 1.89 (-3) | 1.94 (-3) | 2.10 (-3) |
| 7.7 | | | 1.99 (-3) | 2.01 (-3) | 2.17 (-3) |
| 7.0 | | | 1.97 (-3) | 2.02 (-3) | 2.21 (-3) |
| 6.0 | | | 2.01 (-3) | 2.06 (-3) | 2.24 (-3) |
| 5 | 1.98 (-3) | | | | |
| 4 | | 1.77 (-3) | 2.09 (-3) | 2.14 (-3) | 2.31 (-3) |
| 2.5 | | | 2.08 (-3) | 2.16 (-3) | 2.34 (-3) |
| 0 | 1.97 (-3) | 1.78 (-3) | 2.09 (-3) | 2.19 (-3) | 2.37 (-3) |
| 2.5 | | | 2.10 (-3) | 2.16 (-3) | 2.36 (-3) |
| 4 | | 1.78 (-3) | 2.06 (-3) | 2.16 (-3) | 2.31 (-3) |
| 5 | 1.96 (-3) | | | | |
| 6 | | | 2.02 (-3) | 2.10 (-3) | 2.28 (-3) |
| 7 | | | 1.99 (-3) | 2.05 (-3) | 2.26 (-3) |
| 7.7 | | | 1.99 (-3) | 2.02 (-3) | 2.16 (-3) |
| 8.3 | 1.91 (-3) | 1.76 (-3) | 1.93 (-3) | 1.97 (-3) | 2.14 (-3) |
| 10 | 1.83 (-3) | | 1.82 (-3) | 1.87 (-3) | 2.05 (-3) |
| 12 | | 1.59 (-3) | | | |
| 15 | 1.63 (-3) | | 1.59 (-3) | 1.62 (-3) | 1.77 (-3) |
| 16 | | 1.40 (-3) | | | |
| 20 | 1.35 (-3) | 1.19 (-3) | 1.34 (-3) | 1.34 (-3) | 1.46 (-3) |
| 22 | | 1.07 (-3) | | | |
| 24 | | 9.51 (-4) | | | |
| 25 | 1.03 (-3) | | 1.02 (-3) | 1.04 (-3) | 1.13 (-3) |
| 26 | | 8.33 (-4) | | | |
| 28 | | 7.13 (-4) | | | |
| 28.5 | 8.17 (-4) | | 7.97 (-4) | | |
| 28.7 | | | | 7.78 (-4) | |
| 29 | | | | | 8.11 (-4) |
| 30 | | 6.22 (-4) | | | |
| 35 | | 5.21 (-4) | | | |
| 40 | | 4.35 (-4) | | | |
| 50 | | 3.08 (-4) | | | |
| 60 | | 2.10 (-4) | | | |
| 70 N | | 1.32 (-4) | | | |

^aSee experimental program plan in Appendix A for description of configurations.

^bRead: 8.12×10^{-4} .

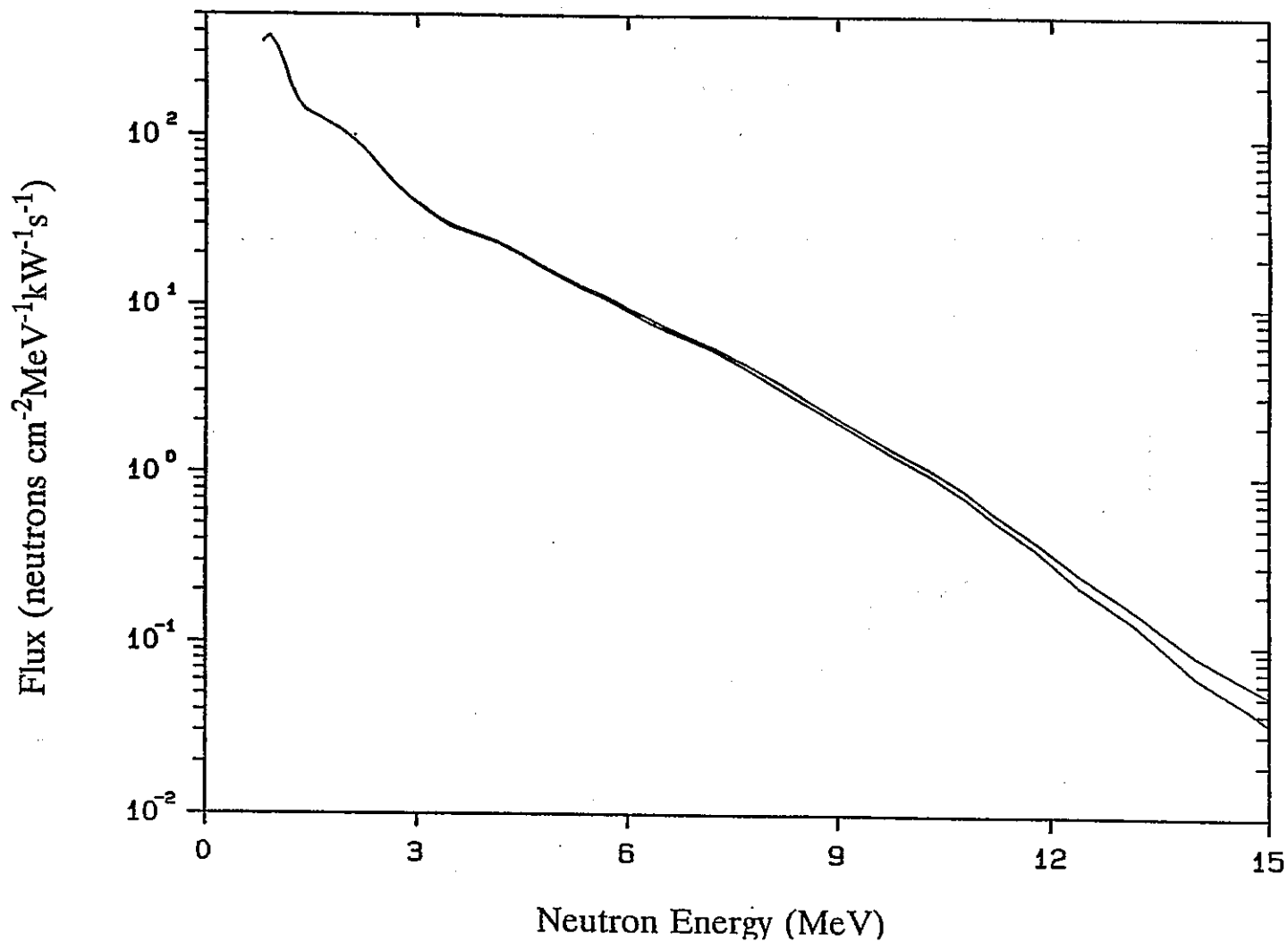


図 5.1 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 16. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Run 7940.

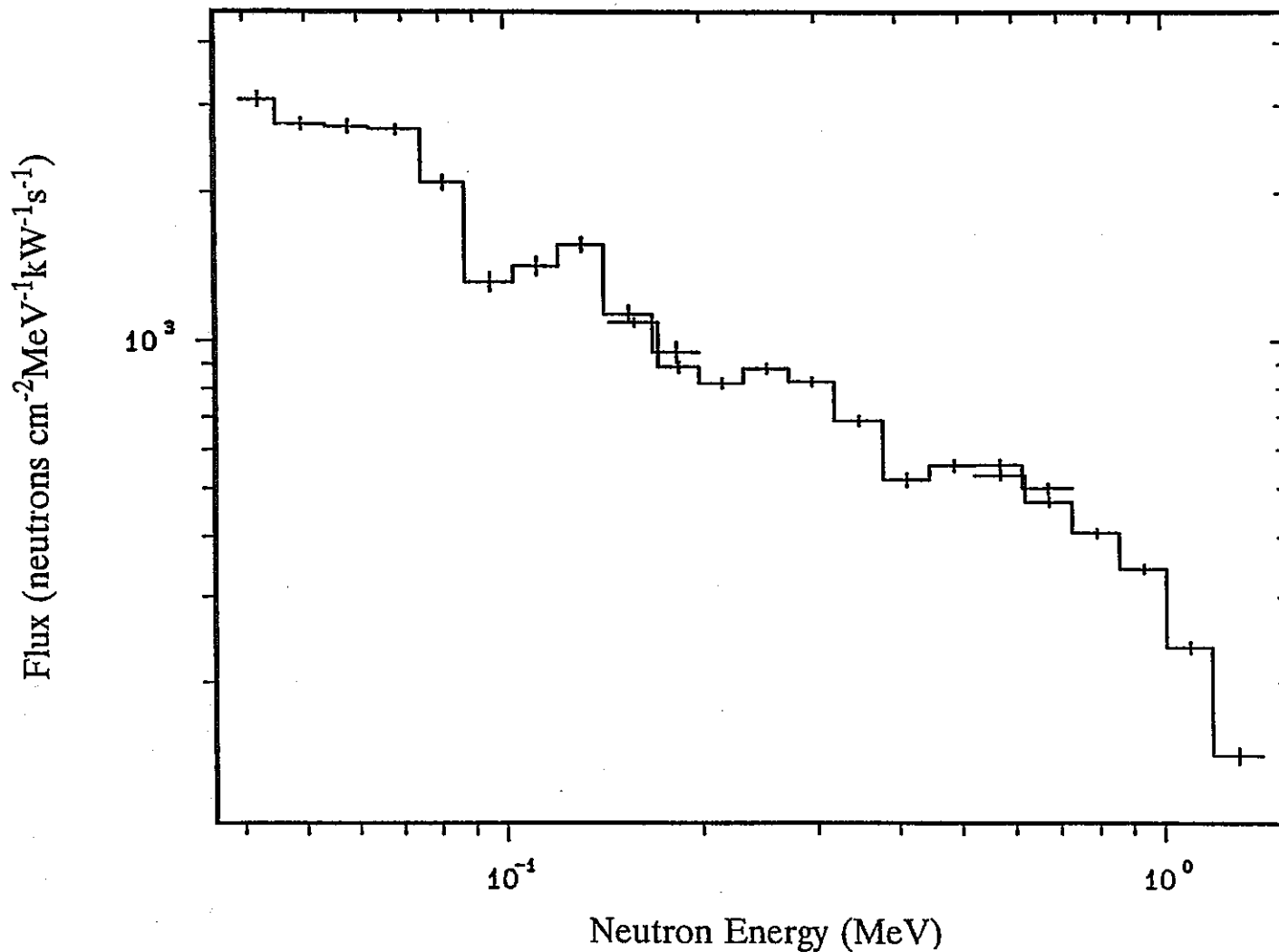


図 5.2 中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 17. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Runs 1610B, 1610C, 1610A.

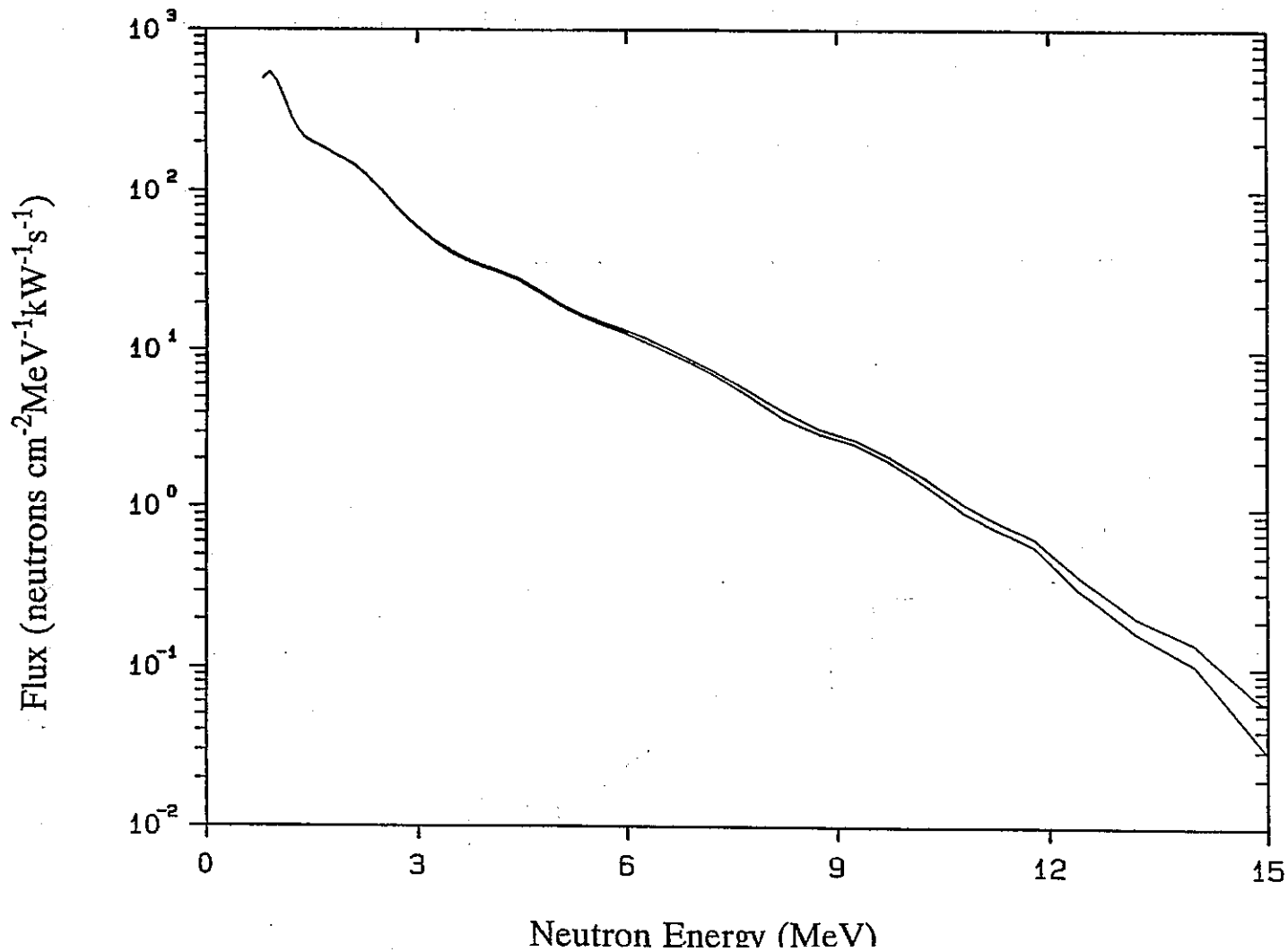


図 5.3 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II B、鉛板後方 25cm)

(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 20. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Run 7940.

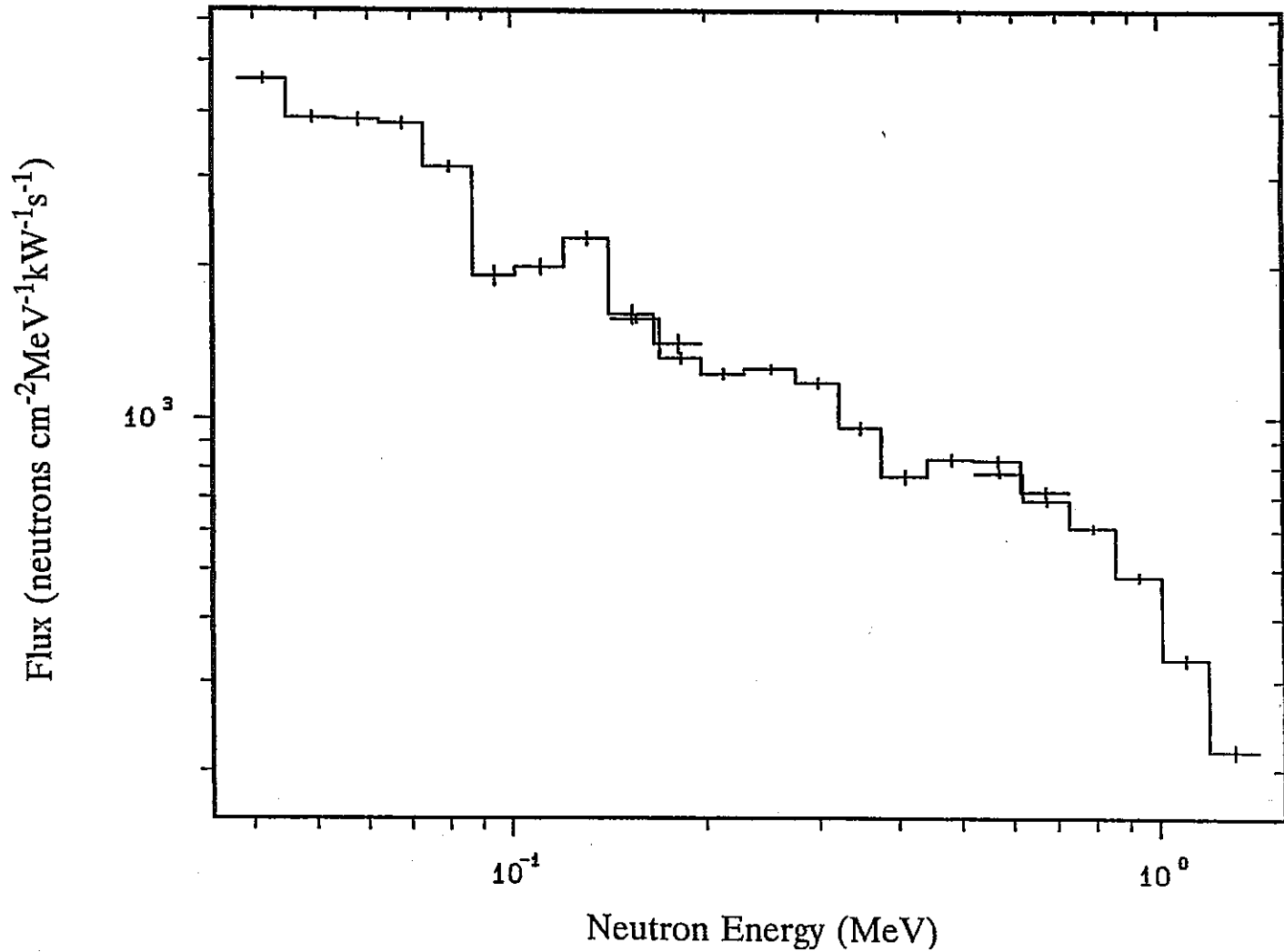


図 5.4 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ B、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 21. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIB) Runs 1611C, 1611B, 1611A.

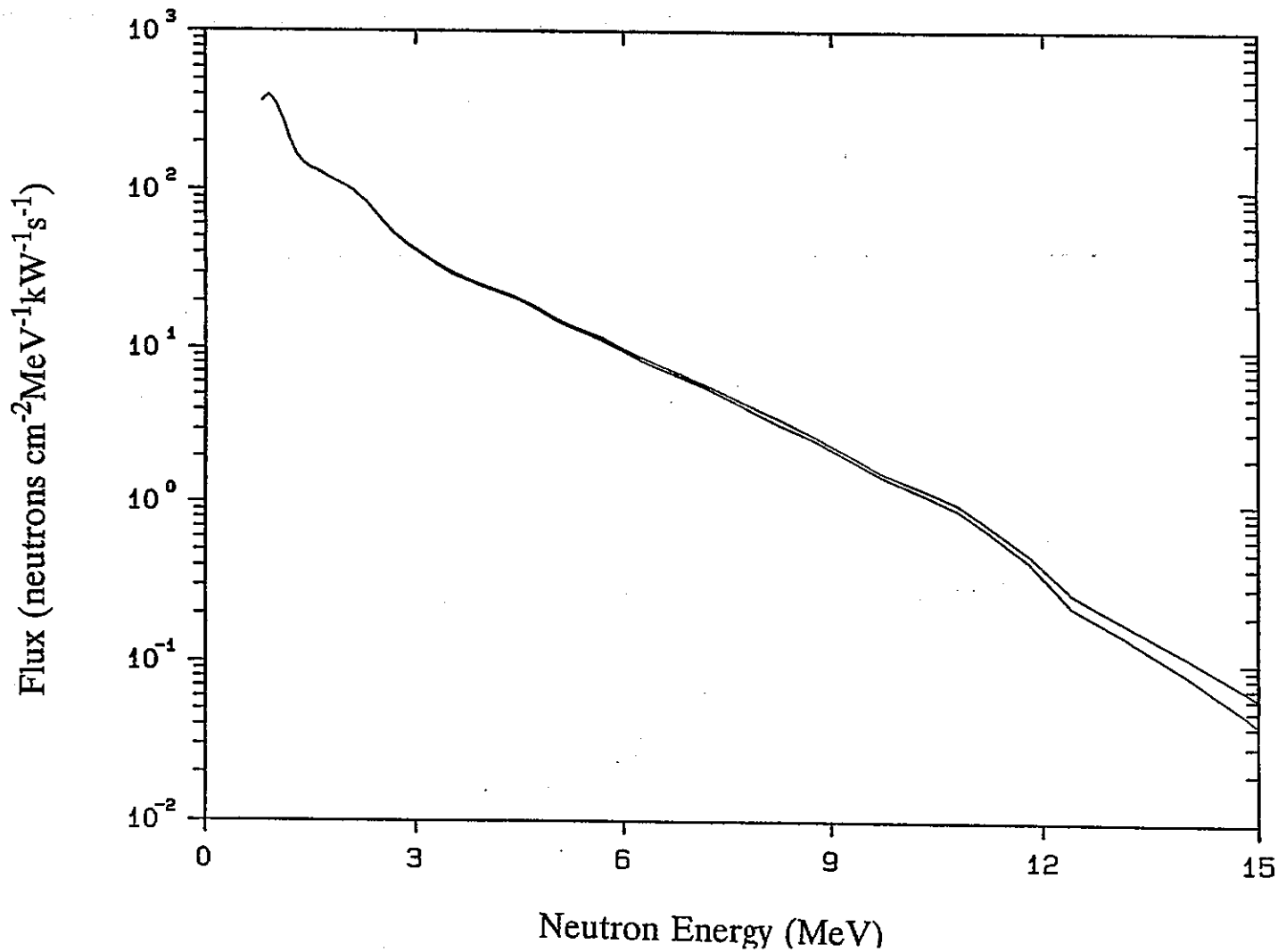


図 5.5 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 22. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIIA) Run 7939.

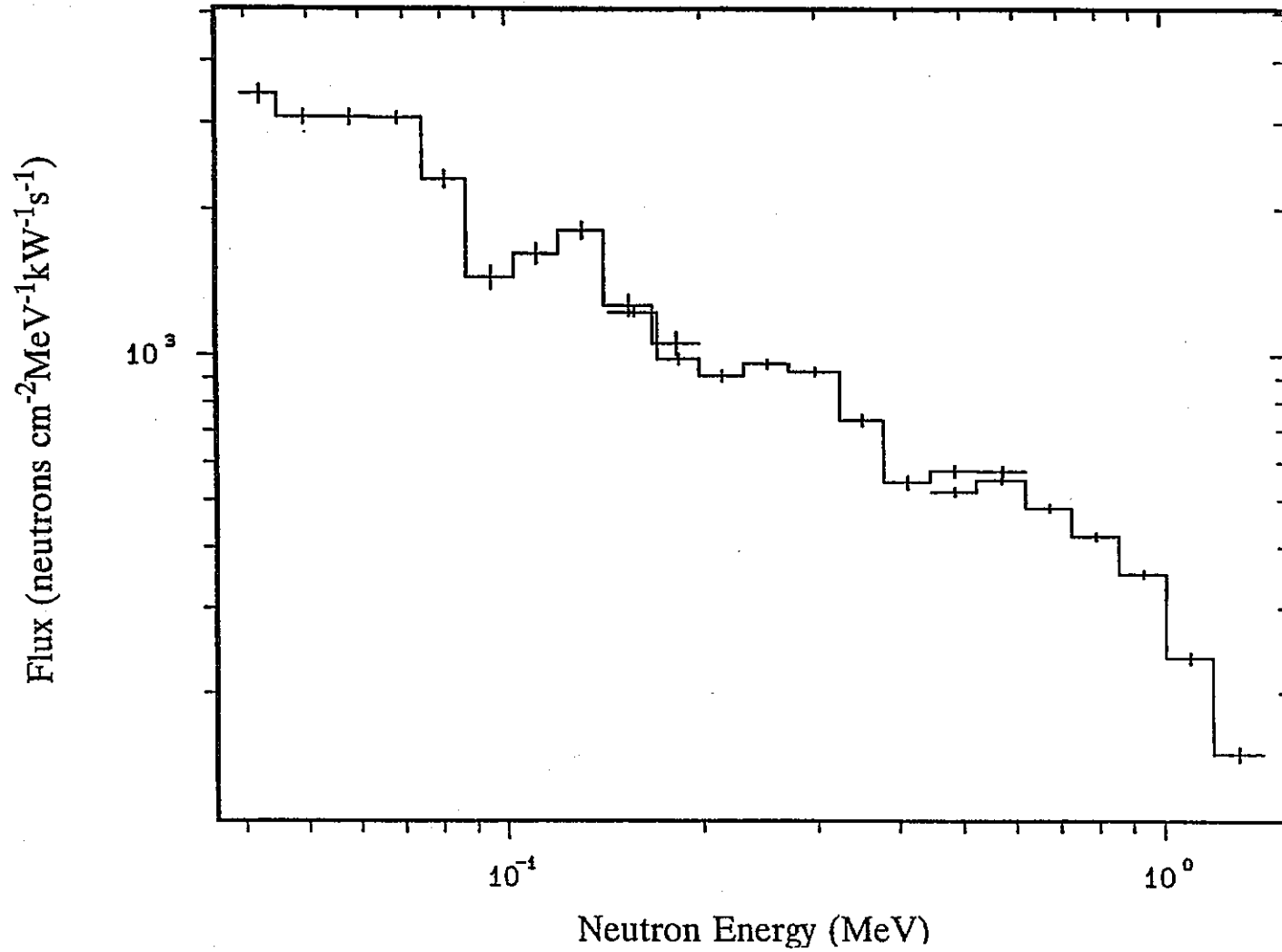


図 5.6 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅲ A、鉛板後方 25cm)

(ORNL/TM-12276 より引用)

Figure 23. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIIA) Runs 1609C, 1609B, 1609A.

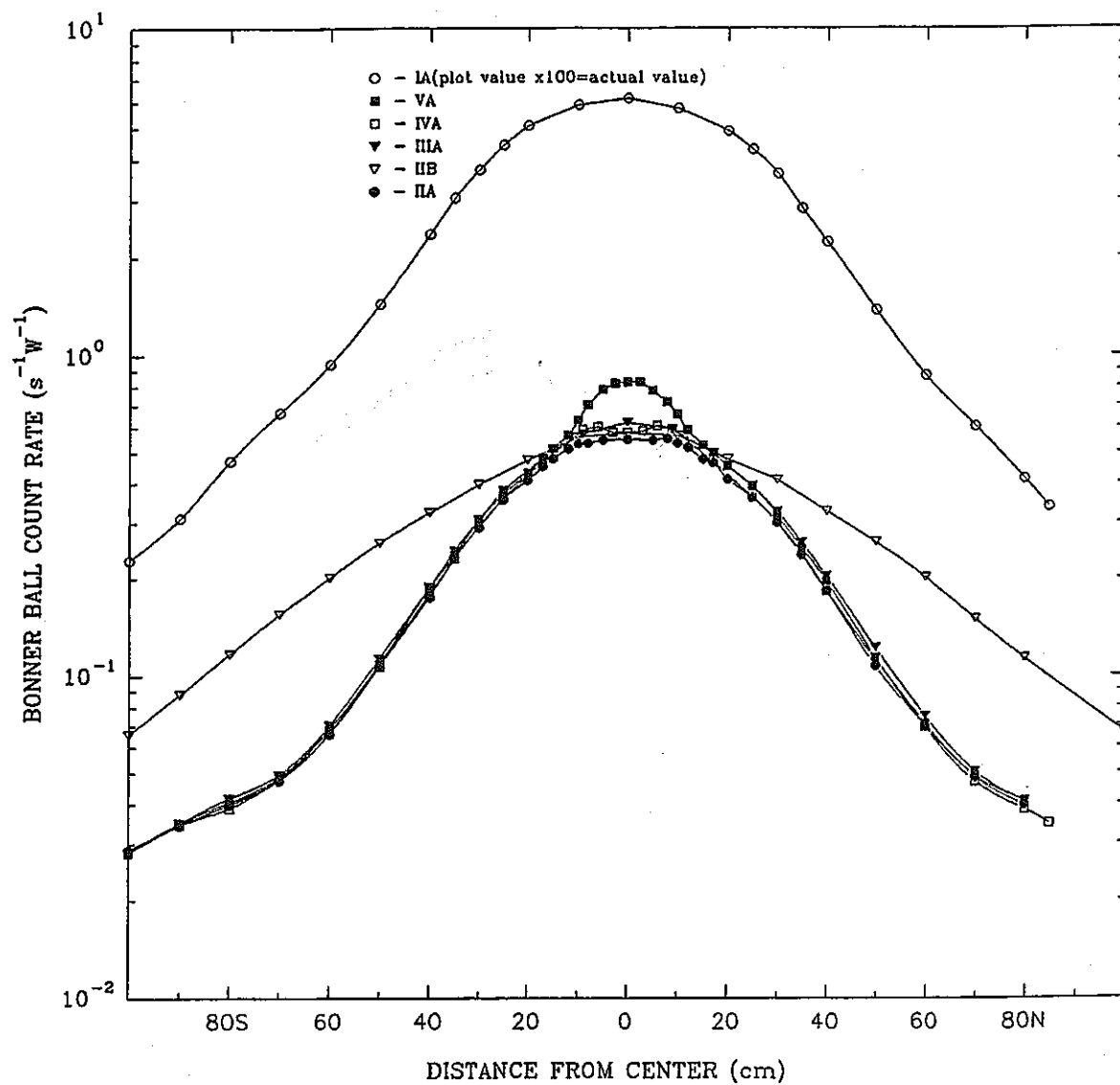


Figure 13. 3-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA).

図 5.7 3 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

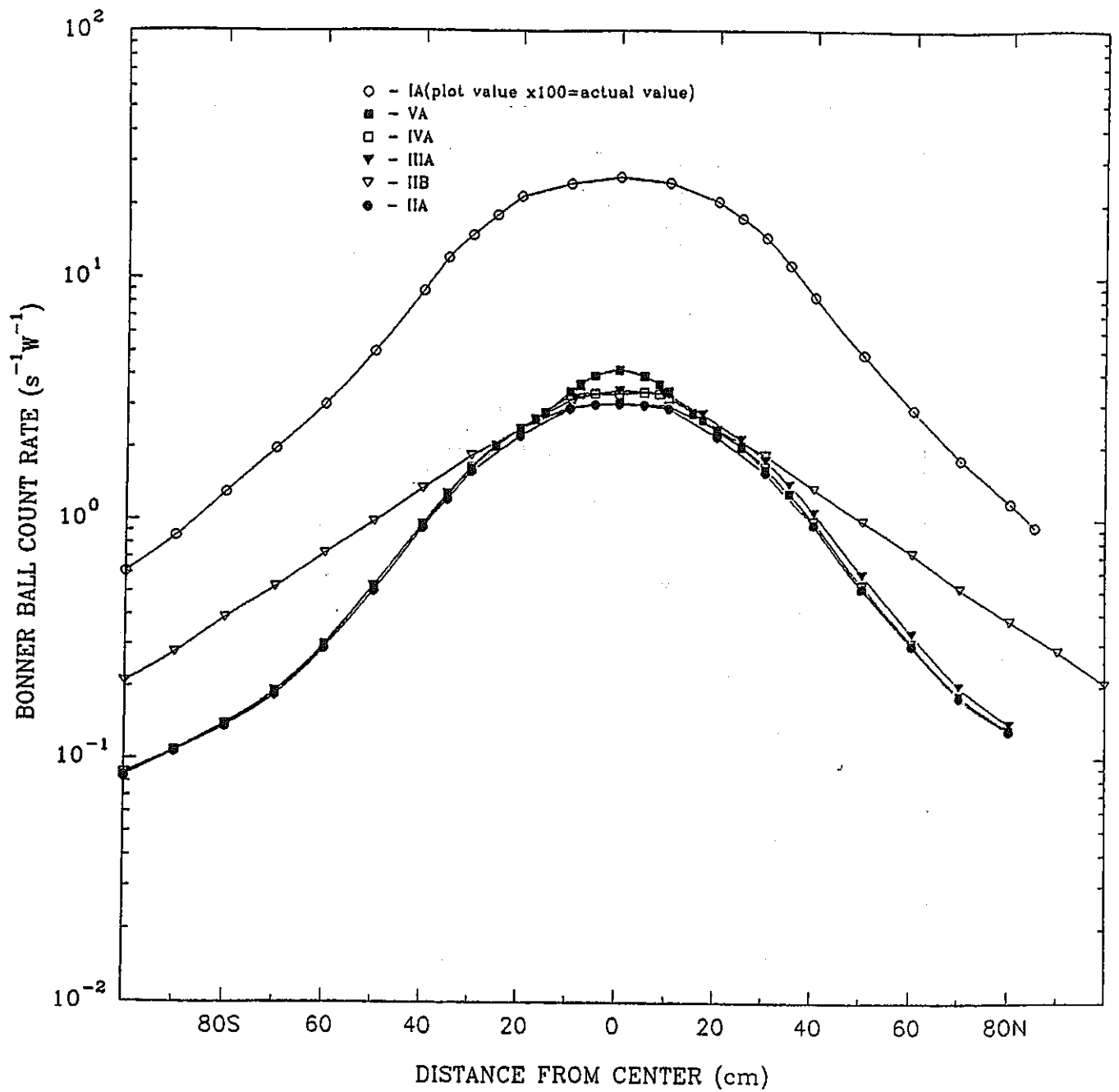


Figure 14. 5-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA).

図 5.8 5 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

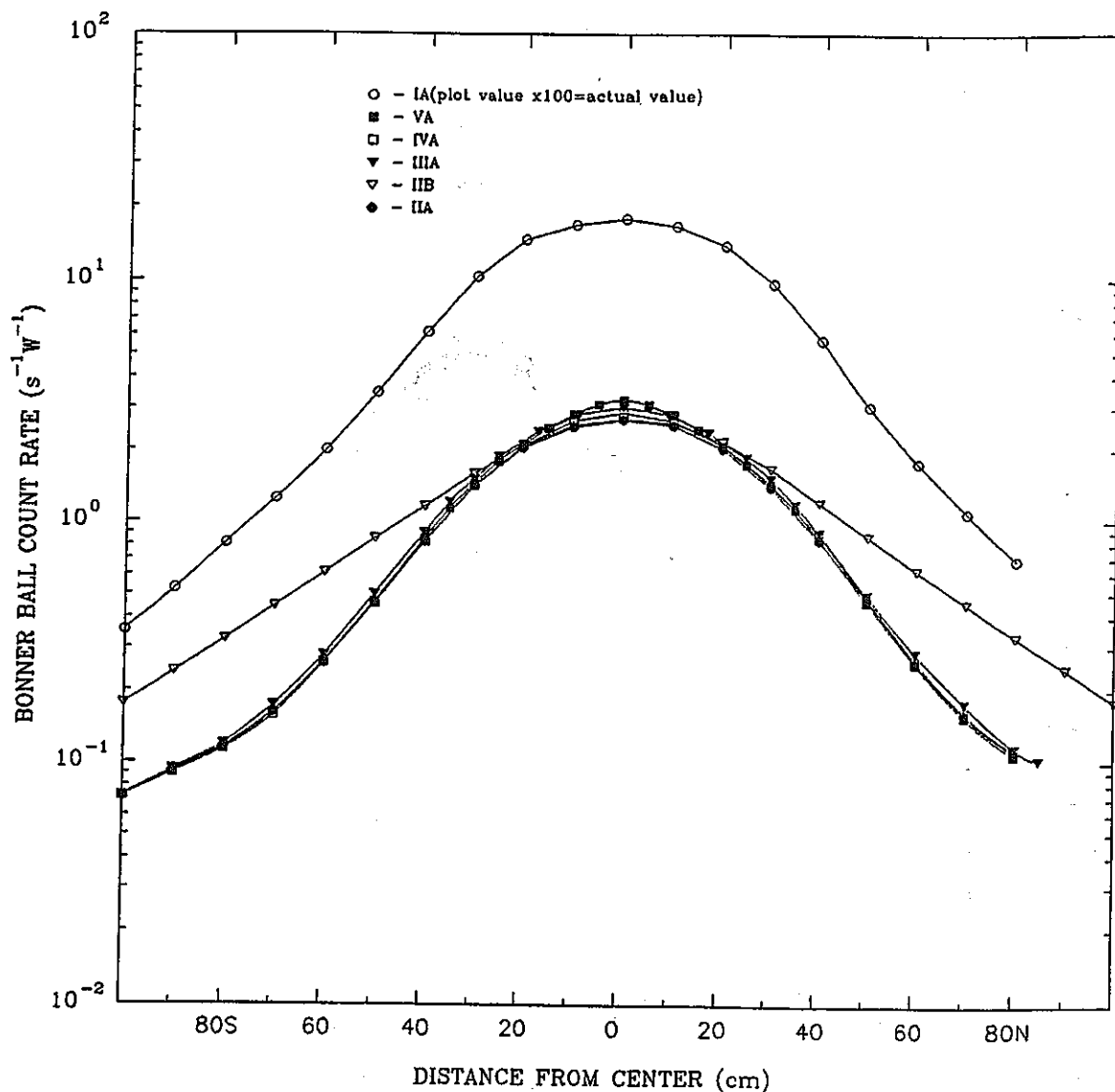


Figure 15. 8-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IA, IIA, IIB, IIIA, IVA, VA).

図 5.9 8 インチボナーボール検出器測定結果 (水平方向分布、体系後方 30cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

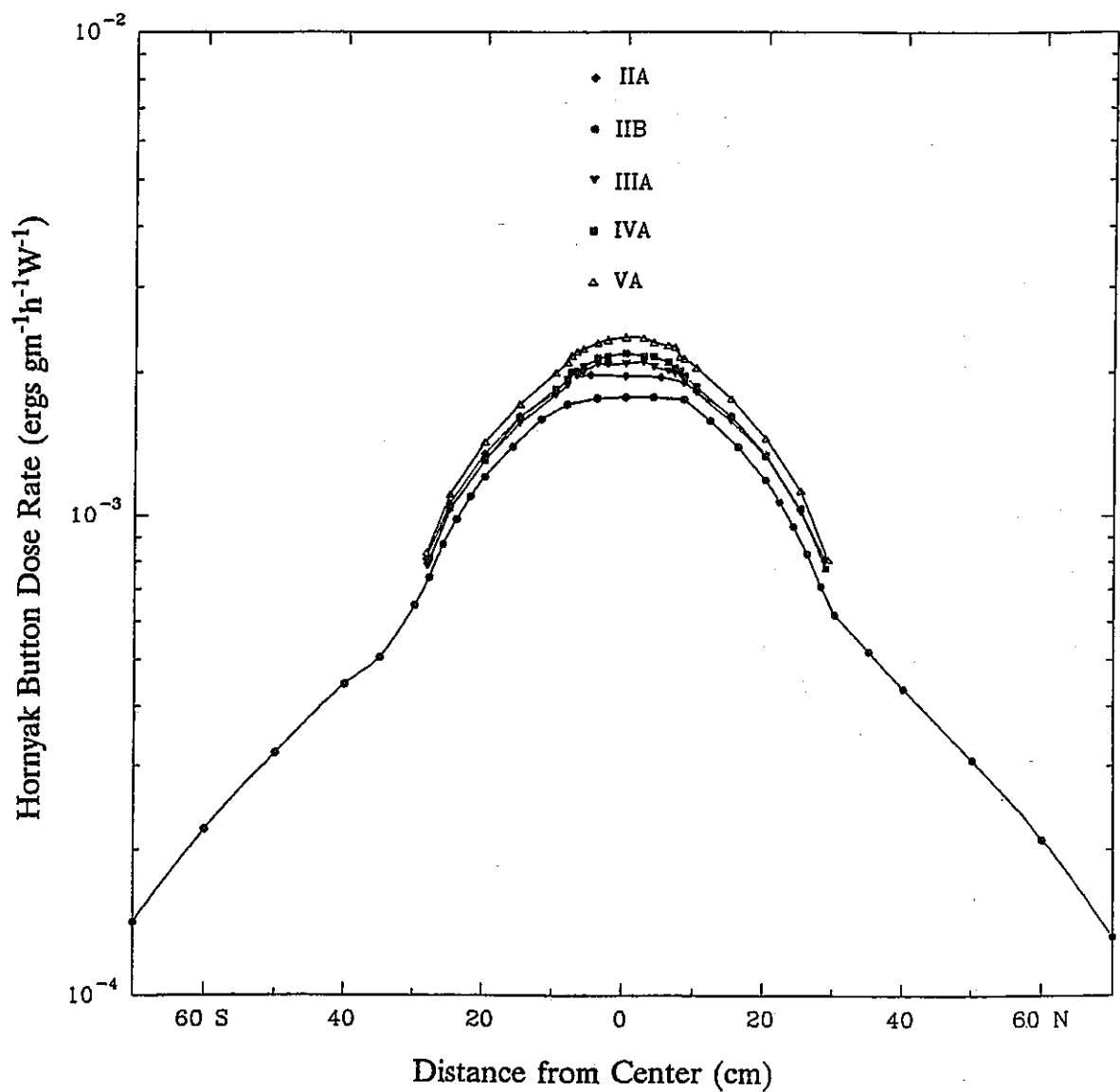


Figure 18. Radial traverses at 2.4 cm behind the axial shield in a series of configurations using the Hornyak button (Items IIA, IIB, IIIA, IVA, VA).

図 5.10 ホニャックボタンによる水平方向トラバース測定結果 (体系後方 2.4cm)
(ORNL/TM-12276 より引用)

6. 測定精度

本実験で使用された検出器及び信号処理系に関する測定精度について、ORNLから発行された実験結果報告書に記述された内容を本章に示す。

測定結果に付随する誤差は、以下のような多数の不確定要素によるものである。

- (1) 実験体系内に必然的に存在する各スラブ間の隙間の大きさ
- (2) 検出器の設置位置
- (3) 検出器の計数率の統計処理及び校正値
- (4) 原子炉出力測定値
- (5) 実験体系がさらされる気象条件の影響

これらのうち、(5) 気象の影響については、理解が困難であり、簡単な評価は不可能である。気象がもたらす不確定要素は、各スラブの間隙やスラブを取り囲むリチウム・パラフィン煉瓦の間に存在する湿分量である。本実験期間中、スラブに到達する湿分量を限定するために、実験体系はビニールシート及び防水布で覆われた。したがって、本実験においては気象が測定値に与える影響は無視出来ると考えられる。

各測定時の TSR-II の炉出力は、原子炉遮蔽体中の炉心中心面上に設置された2個のフィッションチェンバの測定値によって決定された。これらのフィッションチェンバの原子炉出力に対する応答は、本実験に先立って金箔の照射データによって検査されており、同検出器応答値と金箔放射化量の比は従来得られていた値に比べて約5%以内で一致することが確認された。フィッションチェンバは、毎日 Cf252 中性子源を用いて校正され、その校正値の変動量は実験期間を通じて約6%（平均値に対して±約3%）以内であった。また、水平方向トラバース測定中（約60～90分間）に2個のフィッションチェンバにより得られた原子炉出力の変動量は最大で約3%であった。一方、実験が行われた数

ヶ月間では、特定の出力運転時の原子炉出力測定値の変動量は±5%以内であった（注；原子炉オペレータが運転用モニタの指示をもとに、例えば1 kWに設置した場合のデータを数ヶ月分集め、上記実験用フィッションチェンバによる原子炉出力測定値の変動量を評価したもの。TSF 自体の炉出力設定誤差をも含んだ保守的な評価である）。従って、原子炉出力の測定誤差は±5%と仮定した。

計数率の統計誤差はそれぞれの検出器に特有な形式で示される。NE - 213 検出器の測定結果については、計数時の統計誤差とアンフォールド誤差が FERD コードを用いたパルス電圧波高分布のアンフォールド時に考慮されており、計算された（各エネルギー群毎の）中性子束は 68%信頼度を示す上限値及び下限値という形で示されている。類似の誤差が SPEC - 4 コードを用いてアンフォールドされた反跳陽子検出器による測定結果を示した表中に記載されている。NE - 213 検出器、反跳陽子検出器いずれによる中性子スペクトルについても、原子炉出力測定誤差は、アンフォールド用プログラムの中で考慮されていないので、解析結果（に示されている誤差評価）には反映されていない。これについては、上記のように最大±5%であると思われる。

ボナーボール検出器は Cf - 252 中性子源を用いて毎日校正され、その校正值は何年間もの間得られてきた値の平均値に対して±約3%以内で一致していた。トラバース機構によりボナーボールを移動させる時に、検出器位置が中心軸に対していずれかの側に数 mm 程度ずれることがあり得る。この検出器位置の変動は、試験体系後方 30cm において体系中心軸に対して垂直方向に測定する場合（注；水平方向トラバース測定時）には、計数率にして±約2%の変動に対応する。原子炉ビーム中心軸上での体系後方 30cm より遠い場所での測定では、測定場所から横方向へ数 mm ずれた場合の測定誤差は測定値の統計誤差の範囲内であると思われる。

ホニャックボタンによる測定結果の誤差は、激しく変動する外気温の中で検

出器の温度を一定に維持する能力に大きく依存する。水平方向トラバース測定
の前後で行った Cf-252 中性子源による校正値の変化量は平均約 4 % (±約
2 %) であった。この変動量は、原子炉出力や検出器の位置設定等に関する誤
差を組み合わせても、他の検出器について総合的な誤差として引用されている
値である約 5 % を上回るものではない。

トラバース機構を用いた一連の測定結果のそれぞれについて可能性のある誤
差を算出することよりも、一般的に一つの実験の測定結果に対して一種類の値
を誤差として引用する方法を (著者たちは) 好ましいと判断した。したがって、
上記のすべての誤差に対する上限値を考慮することにより、ボナーボール及び
ホニャックボタンの測定値に適用される誤差はいずれも ±約 10 % 以内である
と考えられる。

参考文献

1. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Radial Shield Attenuation Experiment”,ORNL/TM-10371(May, 1987).
2. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Fission Gas Plenum Experiment”,ORNL/TM-10422(June, 1987).
3. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Axial Shield Experiment”,ORNL/TM-11839(August,1991).
4. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program In-Vessel Fuel Storage Experiment”,ORNL/TM-11829(June, 1987).
5. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Intermediate Heat Exchanger Experiment”,ORNL/TM-12064(July, 1992).
6. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Gap Streaming Experiment”,ORNL/TM-11829(June, 1987).
7. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Flux Monitor Experiment”,ORNL/TM-12171(February, 1993).
8. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Special Materials Experiment”,ORNL/TM-12277(February, 1993).
9. F.J.Muckenthaler et al. , “Measurements for the JASPER Program Axial Shield RE-Measurement Experiment”,ORNL/TM-12276(August,1993).
10. R.Spencer et al., “Measurement of Water Content of Concrete Shielding Used in JASPER Program”, ORNL/TM-12325(to be published)
11. B.W.Rust,D.T.Ingersoll,and W.R.Burrus , “A User’s Manual for the FERDO and FERDUnfolding Codes”,ORNL/TM-8720(September 1983)

12. J.O.Johnson and D.T.Ingersoll, "User's Guide for the Revised SPEC-4 Neutron Spectrum Unfolding Code", ORNL/TM-7384(August 1980)
13. R.E.Maerker et al, "Calibration of the Bonner Ball Neutron Detectors Used in the Tower Shielding Facility", ORNL/TM-3465(June 1971)
14. C.E.Burgart and M.B.Emmett, "Monte Carlo Calculations of the Response Functions of Bonner Ball Neutron Detectors", ORNL/TM-3739(April 1972)

付 録 A

軸方向遮蔽再実験体系と測定項目

(ORNL/TM-12276 の APPENDIX A より引用)

APPENDIX A

EXPERIMENTAL PROGRAM PLAN FOR THE JASPER AXIAL SHIELD RE-MEASUREMENT EXPERIMENT

- I. Spectrum Modifier
 - A. Spectrum Modifier (SM-1) (10 cm Fe + 9 cm Al + 2.5 cm boral + 20 cm Radial Blanket) + 10 cm lithiated paraffin with iris (see II)
 1. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind radial blanket
 - b. 150 cm behind radial blanket (foreground and background)
 2. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind the radial blanket
- II. Homogeneous Axial Shield Mockup
 - A. SM-1 + 7 B₄C homogeneous-type assemblies (10 cm lithiated paraffin slab preceding and following axial shield)
 1. NE 213/hydrogen counter spectrum measurements on centerline as close as feasible behind the axial shield
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind axial shield
 - b. 150 cm behind axial shield (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind axial shield
 5. Hornyak button (0.25-in-diameter) horizontal traverse as close as feasible behind axial shield
 - B. SM-1 + 7 B₄C homogeneous-type assemblies (10 cm lithiated paraffin slab preceding axial shield only)
 1. NE 213/hydrogen counter spectrum measurements on centerline as close as feasible behind the axial shield
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind axial shield
 - b. 150 cm behind axial shield (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind axial shield
 5. Hornyak button (0.25-in-diameter) horizontal traverse as close as feasible behind axial shield

III. Rod Bundle Axial Shield Mockup

- A. SM-1 + 6 B₄C homogeneous-type assemblies around one B₄C rod bundle hexagon assembly (10 cm lithiated paraffin slabs preceding and following axial shield)
1. NE 213/hydrogen counter spectrum measurements on centerline as close as feasible behind axial shield
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind axial shield
 - b. 150 cm behind axial shield (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind axial shield
 5. Hornyak button (0.25-in-diameter) horizontal traverse as close as feasible behind axial shield

IV. Central Blockage Shield Mockup

- A. SM-1 + six B₄C homogeneous-type assemblies around one B₄C central blockage hexagon assembly (10 cm lithiated paraffin slabs preceding and following axial shield)
1. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind axial shield
 - b. 150 cm behind axial shield (foreground and background)
 2. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind axial shield
 3. Hornyak button (0.25-in-diam) horizontal traverse as close as feasible behind axial shield

V. Central Sodium Channel Shield Mockup (lithiated paraffin as in IIA)

- A. SM-1 + six B₄C homogeneous-type assemblies around one B₄C central sodium hexagon assembly (10 cm lithiated paraffin slab preceding and following axial shield)
1. 3-, 4-, 5-, 8-, 10-, and 12-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind axial shield
 - b. 150 cm behind axial shield (foreground and background)
 2. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverses at 30 cm behind axial shield
 3. Hornyak button (0.25-in-diam) horizontal traverse as close as feasible behind axial shield

付 録 B

JASPER 実験記録 (1992年8月～9月)

- 軸方向遮蔽再実験 -

J A S P E R 実験記録

(1992年 8月分)

1992. 9. 1. 作成
(軸方向遮蔽実験再測定)

| 月 | 日 | 曜 | 測 定 項 目 | 備 考 |
|----|-----|---|---|----------------------------------|
| 8月 | 3日 | 月 | I-A (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (F.G. at 30 & 150cm) & (B.G. at 150cm)) | |
| | 4日 | 火 | 原子炉点検 | |
| | 5日 | 水 | I-A (3", 5", 8"BB) のR.T. at 30cm | |
| | 6日 | 木 | 原子炉停止 | 体系III-Aへの移行作業 |
| | 7日 | 金 | III-A (NE-213, Benjamin (1, 3, 10 気圧)) at 鉛板後方25cm | |
| | 10日 | 月 | III-A (3", 5", 10"BB) at 鉛板後方25cm (3", 5", 8"BB) のR.T. at 30cm | 鉛板撤去 |
| | 11日 | 火 | 原子炉点検 | |
| | 12日 | 水 | III-A (H.B.) のR.T. at 2.4cm, (8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (F.G.)) at 30 & 150cm | |
| | 13日 | 木 | III-A (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm IV-A (4", 8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm | B.G.測定を2種類実施 IV-Aは協議により追加したもの |
| | 14日 | 金 | IV-A (3", 4", 5"BB (B.G.)) at 150cm, (3", 8"BB) のR.T. at 30cm (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm | |
| | 17日 | 月 | IV-A (5"BB) のR.T. at 30cm, (H.B.) のR.T. at 2.4cm | |
| | 18日 | 火 | 原子炉点検 | 中心チャンネルにB4C 周辺遮蔽型集合体を装荷 |
| | 19日 | 水 | V-A (3", 5", 8"BB) のR.T. at 30cm, (H.B.) のR.T. at 2.4cm | |
| | 20日 | 木 | V-A (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (F.G.)) at 30 & 150cm (12"BB (B.G.)) at 150cm | |
| | 21日 | 金 | V-A (5", 8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm | |
| | 24日 | 月 | V-A (3", 4", 5"BB (B.G.)) at 150cm II-A (NE-213) at 鉛板後方25cm | 中心チャンネルにB4C 均質型集合体を装荷 鉛板を1枚設置 |
| | 25日 | 火 | II-A (Benjamin (1, 3, 10気圧), 3", 5"BB) at 鉛板後方25cm | |
| | 26日 | 水 | II-A (10"BB) at 鉛板後方25cm, (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (B.G.)) at 150cm (3", 4", 5", 8", 10", 12"BB (F.G.)) at 30 & 150cm | |
| | 27日 | 木 | II-A (4", 5"BB (B.G.)) at 150cm, (H.B.) のR.T. at 2.4cm (3", 5", 8"BB) のR.T. at 30cm | |
| | 28日 | 金 | 原子炉点検 | |
| | 31日 | 月 | II-A (3", 4", 5", 8", 10"BB (B.G.)) at 150cm | B.G.測定条件追加 |

(記号) SM: Spectrum Modifier, F.G.; Foreground, B.G.; Background, R.T.; Radial Traverse
BB; Bonner balls, H.B.; Hornyak Button

J A S P E R 実験記録

(1992年 9月分)

1992. 9. 8. 作成
(軸方向遮蔽実験再測定)

| 月 | 日 | 曜 | 測 定 項 目 | 備 考 |
|----|-----|---|--|----------------|
| 9月 | 1日 | 火 | II-A (12"BB(B.G.)) at 150cm II-B (3",4",5",8",10",12"BB((F.G. at 30 & 150cm) & (B.G. at 150cm)) | |
| | 2日 | 水 | II-B (NE-213, Benjamin(1,3,10 気圧)) at 鉛板後方25cm | 鉛板1枚設置 |
| | 3日 | 木 | II-B (3",5",10"BB) at 鉛板後方25cm (3",5",8"BB)のR.T. at 30cm, (H.B.)のR.T. at 2.4cm | 鉛板を撤去 |
| | 4日 | 金 | II-B (3",4",5",8",10",12"BB(B.G.)) at 150cm | 軸方向遮蔽実験の再測定を終了 |
| | 8日 | 火 | | |
| | 9日 | 水 | | |
| | 10日 | 木 | | |
| | 11日 | 金 | | |
| | 14日 | 月 | | |
| | 15日 | 火 | | |
| | 16日 | 水 | | |
| | 17日 | 木 | | |
| | 18日 | 金 | | |
| | 21日 | 月 | | |
| | 22日 | 火 | | |
| | 23日 | 水 | | |
| | 24日 | 木 | | |
| | 25日 | 金 | | |
| | 28日 | 月 | | |
| | 29日 | 火 | | |
| | 30日 | 水 | | |

(記号) SM; Spectrum Modifier, F.G.; Foreground, B.G.; Background, R.T.; Radial Traverse
BB; Bonner balls, H.B.; Hornyak Button

(コメント)

- ・ 9月7日は, "Labor Day" のため休日。

付 録 C

JASPER 実験日誌 (1992年8月～9月)

－ 軸方向遮蔽再実験 －

1992年8月3日(月) 新材料遮蔽実験 体系ⅢC

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定 (体系後方 30cm)

- ① 3"
- ② 10"

☆7月31日及び本日のボナーボール測定値は、7月27日の測定値と良く一致していたので、中性子スペクトル解析結果の見直しに伴うチェック測定を終了することとし、これをもって新材料遮蔽実験の測定を終了した。

☆軸方向遮蔽実験の再測定を行うための体系変更作業

- ① B₄Cスラブ撤去
- ② ポリエチレンスラブ (5cm 厚さ×3枚) を撤去
- ③ 側部及び上部の Li-Par 及びコンクリートスラブを撤去
- ④ 下部サポート (不要になる部分) を撤去
- ⑤ スペクトルモディファイア最後方にある径方向ブランケット供試体の後方に、Li-Par ブロックを積み上げた。軸方向遮蔽実験供試体が後日設置された時に、ハニコム部に相当する領域は空洞とした。(図 3.1 参照)

◎軸方向遮蔽実験再測定 体系 I A (スペクトルモディファイア+10cm Li-Par)

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定

[F.G.測定 at 30&150cm]

- ① 5" ② 3" ③ 4" ④ 8" ⑤ 10" ⑥ 12"

約 1~4W、2~4分/各位置

[B.G.測定 at 150cm]……BG 測定用シールドは、150cm 四方の領域を遮蔽するよう配置

- ① 12" ② 10" ③ 8" ④ 4" ⑤ 5" ⑥ 3"

約 40W×4分

☆前回（2年前）の Li-Par ブロックを置かなかった時の値に比べて、30cm 位置では 0～20%の減少、150cm 位置では F.G.値が 50～60%の減少、B.G.値が約 80%の減少である。

8月4日（火） 原子炉点検日

検出器支持架台を水平方向トラバース測定位置に移動。

8月5日（水） 体系 I A

○体系後方 30cm 位置での水平方向トラバース測定

- ① 5"BB (2～5)W×(3～4)分/各位置
- ② 3"BB (4～16) W×2分/各位置
- ③ 8"BB (2～4)W×(2～4)分/各位置

☆南側から測定し、北側 25cm 位置まで来た時、検出器を動かす度に計数率が大幅に低下する現象が発生した。高圧電源を何度か入れ直し、スイッチバック方式で再現性を確認しながら何とか終了した。現場のケーブルを撤去し、プリアンプ、コネクタ部等のチェックを行うこととなった。

☆明日の軸方向遮蔽実験供試体の搬入に備えて、上部しゃへい体（コンクリートスラブ）の位置を調整。

8月6日（木） 雨。

☆体系 I A から体系 III A へ移行するため、下記の作業を実施。

- ① 50t クレーンを TSF サイトに搬入。

- ② 軸方向遮蔽実験供試体を移動し、体系ⅠAの後方に設置。位置決め時間を要した。
- ③ 上部しゃへい体（コンクリートスラブ）の復旧。
- ④ ハニコム部の周辺6チャンネルにB₄C均質型集合体を、中心チャンネルにB₄Cロッドバンドル型集合体をそれぞれ挿入。
- ⑤ 体系後方にLi-Parブロックを設置。（10cm厚さ、150cm四方、ただし、ハニコム部を除く領域。）（図3.1参照）
- ⑥ 体系後方に鉛スラブ（約3.8cm厚さ）を1枚設置。

8月7日（金） 体系ⅢA（中心；B₄Cロッドバンドル型、周辺；B₄C均質型集合体）
+鉛スラブ1枚

○中性子スペクトル測定（鉛スラブ後方25cm）

- ① NE-213 検出器 約600W×5,000sec
- ② Benjamin 検出器（10気圧H₂ガス） 約30kW×約3600sec
- ③ 同上（3気圧H₂ガス） 約60kW×約3900sec
- ④ 同上（1気圧H₂ガス） 約90kW×約2500sec

8月10日（月） 体系ⅢA+鉛スラブ1枚

○スペクトル測定位置でのボナーボール測定

- ① 5" 約800W×4分
- ② 3" 約4kW×2分
- ③ 10" 同上

☆鉛スラブを除去

○体系後方 30cm での水平方向トラバース測定

- ① 8"BB 約 300W×2 分/各位置
- ② 5"BB 約 400W×2 分/各位置
- ③ 3"BB 約 4 kW×2 分/各位置

前回（2 年前）、Li-Par を配置しない状態で測定された値と比較すると、
ビーム中心軸上で半分程度、Li-Par 直後で 1 割程度に減少している。

8 月 11 日（火）

原子炉週例点検日であり、実験は行われなかった。

8 月 12 日（水） 体系Ⅲ A

○ホニャックボタン（H.B.）による水平方向トラバース測定（体系後方 2.4cm）

炉出力 約 800kW

測定時間 1～2 分/各位置

Li-Par の内側（南北 28cm 以内）の範囲について測定。

測定終了後の放射線量率 35～40mR/hr（中心集合体直後）

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定

（F.G.測定、体系後方 30,150cm）

- ① 5" 約 400W×2 分/各位置
- ② 8" 同上
- ③ 10" 同上
- ④ 4" 同上
- ⑤ 3" 約 4kW×2 分/各位置
- ⑥ 12" 同上

(B.G.測定 (I) 、体系後方 150cm)

BG 測定用シールド (Li-Par、40cm 厚さ) を、体系後面の約 150cm 四方の領域——ハニコム周囲の Li-Par が配置されている範囲——がボナーボールから「見えなく」なるように設置。

- | | |
|-------|------------|
| ① 12" | 約 40kW×2 分 |
| ② 10" | 同上 |
| ③ 8" | 同上 |

8 月 13 日(木) 体系Ⅲ A

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定 (I) 、体系後方 150cm)

- | | |
|------|------------|
| ① 5" | 約 15kW×2 分 |
| ② 4" | 同上 |
| ③ 3" | 同上 |

☆ BG 測定用シールドを撤去

(B.G.測定 (II) 、体系後方 150cm)

ハニコム直後に Li-Par (50cm 厚さ) を積み上げ、10cm 厚さの Li-Par の開口部を遮蔽。

- | | |
|-------|------------|
| ① 3" | 約 15kW×2 分 |
| ② 4" | 同上 |
| ③ 5" | 同上 |
| ④ 8" | 同上 |
| ⑤ 10" | 同上 |
| ⑥ 12" | 同上 |

☆ 二種類の B.G.測定値の比較

B.G.測定 (I) と (II) の差の大きさがボナーボールの径に依存する傾向が見られた。小さな径の場合、差は 10%程度だが、8"で 5 割以上、10"でほぼ 2 倍、12"になると 2 倍以上(II)の測定値の方が大きい。しかし、

- (a) 両方の B.G.測定値とともに F.G.値に比べて数パーセント以下と十分小さいこと
- (b) 2 種類の B.G.測定値ともに中心チャンネルの集合体を入れ替えても大きく変化することは考えられないこと。

の 2 つの理由により、今後の測定体系では B.G.測定 (I) (軸方向遮蔽実験供試体の後方に 10cm 厚さで配置された Li-Par (約 150cm 四方) をカバーするような位置に BG 測定用シールドを設置してボナーボール測定を行う。) だけを実施することとした。

☆中心チャンネルの B₄C ロッドバンドル型集合体を B₄C 中心しゃへい型集合体に変更し、体系 IV A を構成。(協議により追加、中性子スペクトル測定以外の項目について実施予定)

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定、体系後方 150cm)

- ① 12" 約 40kW×3 分
- ② 10" 約 40kW×2 分
- ③ 8" 約 15kW×2 分
- ④ 4" 同上

8 月 14 日 (金) 体系 IV A

○ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定、体系後方 150cm)

- ① 5" 約 8kW×3 分

- ② 3" 同上
 - ③ 4" 約 16kW×2 分
- (F.G.測定、体系後方 30cm、150cm)

- ① 3" 約 4kW×2 分/各位置
- ② 12" 同上
- ③ 10" 約 400W×2 分/各位置
- ④ 8" 同上
- ⑤ 5" 同上
- ⑥ 4" 同上

○ ボナーボールによる 30cm での水平方向トラバース測定

- ① 3" 約 4kW×1 or 2 分/各位置
- ② 8" 同上

8月17日(月) 体系IV A

○ 5" ボナーボールによる体系後方 30cm での水平方向トラバース測定
約 450W×1 分/各位置

トラバース測定中にノイズが発生したため、プリアンプを交換し、校正データを取得した後、再度測定をやり直した。

○ ホニャックボタンによる水平方向トラバース測定 (体系後方 2.4cm)
約 800kW×2 分/各位置

8月18日(火) 原子炉点検日

☆ 中心チャンネルから B₄C 中心しゃへい型集合体を取り出し、B₄C 周辺しゃへい型集合体を装荷した。協議により追加した体系 V A の構成を完了。

8月19日(水) 体系V A (中心; B₄C 周辺しゃへい型集合体、周辺; B₄C 均質型集合体)

○ 体系後方 30cm でのボナーボールによる水平方向トラバース測定

- ① 5" 約 400W×1分/各位置
- ② 8" 同上
- ③ 3" 約 4kW×1分/各位置

○ 体系後方 2.4cm でのホニャックボタンによる水平方向トラバース測定
約 800kW×1分/各位置

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

トラバーサを所定の位置に移動させ、3"ボナーボールの測定を開始したが、ノイズが見られたため、測定を中断し、信号系統をチェック。

8月20日(木) 体系V A

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(F.G.測定、体系後方 30&150cm)

- ① 3" 約 4kW×3分/各位置
- ② 4" 約 400W×3分/"
- ③ 5" 同上
- ④ 8" 同上
- ⑤ 10" 同上

⑥ 12" 約 4kW×2分/各位置

(B.G.測定、体系後方 150cm)

① 12" 約 40kW×2分

8月21日(金) 体系VA

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定、体系後方 150cm)

① 5" 約 15kW×3分

② 12" 同上

③ 10" 同上

④ 8" 約 8kW×3分

☆ この2日間、ボナーボールの信号にノイズがひんぱんに発生したため、検出器、プリアンプ、高圧電源、信号ライン等を変更し、その都度校正データを取り直して測定を行ったので、能率が低下した。

8月24日(月) 体系VA、体系IIA

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

早朝から信号ラインのチェック。10時に測定開始。

(B.G.測定、体系後方 150cm)

① 5" 約 40kW×2分

② 4" 約 40kW×3分

③ 3" 約 40kW×4分

☆ これにて体系ⅤAの測定を終了。

中心チャネルのB₄C周辺しゃへい型集合体を取り出し、B₄C均質型集合体を装荷。体系ⅡAを完成。体系後方に鉛スラブ（約3.8cm厚さ）を一枚設置。

○ 中性子スペクトル測定（鉛スラブ後方25cm）

① NE-213 検出器 約500W×約100分

8月25日（火） 体系ⅡA+鉛スラブ1枚

○ 中性子スペクトル測定 （鉛スラブ後方25cm）

① Benjamin 検出器（H₂ガス充填圧10気圧） 約30kW×3,700秒

② 同上 （同上 1気圧） 約65kW×4,000秒

③ 同上 （同上 3気圧） 約90kW×4,000秒

○ 中性子スペクトル測定位置でのボナーボール測定

① 3" 約4kW×3分

② 5" 約2kW×3分

8月26日（水） 体系ⅡA+鉛スラブ1枚

○ 中性子スペクトル位置でのボナーボール測定

① 10"BB 約400W×3分

☆ 鉛スラブを撤去

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

（F.G測定、体系後方30cm、150cm）

- ① 10" 約 400W×2分/各位置
- ② 12" 同上
- ③ 8" 同上
- ④ 5" 同上
- ⑤ 4" 同上
- ⑥ 3" 同上

(B.G.測定 (その1)、体系後方 150cm)

BG 測定用シールドを 12"ボナーボールからハニコム後部の Li-Par ブロック (約 150cm 四方) が見えなくなるように配置した。

- ① 3" 約 15kW×3分
- ② 4" 同上
- ③ 5" 同上
- ④ 12" 約 40kW×3分
- ⑤ 10" 約 15kW×2分
- ⑥ 8" 同上

(B.G.測定 (その2)、体系後方 150cm)

BG 測定用シールドを実験体系側へ移動させ、5"ボナーボールからハニコム後部の Li-Par ブロック (約 150cm 四方) が見えなくなるように配置した。

- ① 5" 約 15kW×2分

8月27日 (木) 体系Ⅱ A

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

(B.G.測定 (その2)、体系後方 150cm)

- ① 4" 約 4kW×1分/各位置
- ② 3" 同上

○ 体系後方 30cm でのボナーボールによる水平方向のトラバース測定

- ① 3" 約 4kW×1分/各位置
- ② 5" 同上
- ③ 8" 約 1.5kW×1分/各位置

○ 体系後方 2.4cm でのホニャックボタンによる水平方向トラバース測定
約 800kW×1分/各位置

☆ IVFS 実験の再測定に関してグループ内打合わせ

B₄C と IVFS の配置順序に着目した 3 体系。

軸方向遮蔽実験再測定の終了後、直ちに開始する。規制部門の認可は不必要。

今後、管理部門との意思統一が必要。

8月28日(金)

原子炉週例点検日とされ、実験は行われなかった。

8月31日(月) 体系ⅡA

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

(B.G.測定(その3)、体系後方 150cm)

ハニコム部の後方を完全に覆うように Li-Par ブロックを配置

BB 種類; 3"、4"、5"、8"、10"

9月1日(火) 体系ⅡA

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定(その3)、体系後方 150cm)

12" BB

☆ ハニコム部直後の Li-Par を残し、それより外側の Li-Par (当初から軸方向遮蔽実験供試体の後方に設置されてきたもの) を撤去。体系 II B でのバックグラウンド測定を開始。

○ 体系 II B、ビーム中心軸上でのボナーボール測定

(B.G.測定 (その 1)、体系後方 150cm)

3"、4"、5"、8"、10"、12" BB

約 (8~15) kW × (2~3 分)

(F.G.測定、体系後方 30&150cm)

3"、4"、5"、8"、10"、12" BB

約 (0.4~4) kW × (2~3 分)

9月2日 (水) 体系 II B

☆ 鉛スラブ 1 枚を体系後方に設置。

○ 中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方 25cm)

① NE-213 検出器 約 450W × 約 1hr

② Benjamin 検出器 (水素ガス充填圧 10 気圧) 約 20kW × 約 1hr

③ 同上 (同上 3 気圧) 約 50kW × 約 1hr

④ 同上 (同上 1 気圧) 約 70kW × 約 1hr

9月3日 (木) 体系 II B + 鉛スラブ (一枚)

○ 中性子スペクトル位置でのボナーボール測定

① 5" 約 80W × 3 分

② 3" 約 400W × 2 分

③ 10" 同上

☆ 鉛スラブを撤去。

○ 体系後方 30cm での水平方向トラバース測定 (ボナーボール)

- | | |
|------|---------------------|
| ① 8" | 約 400W× (1~2) 分/各位置 |
| ② 5" | 同上 |
| ③ 3" | 同上 |

○ 体系後方 2.4cm でのホニャックボタンによる水平方向トラバース測定

約 800kW×2 分/各位置

9月4日(金) 体系ⅡB

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

(B.G.測定(その2)、体系後方 150cm)

- | | |
|-------|-----------|
| ① 5" | 約 8kW×3 分 |
| ② 4" | 同上 |
| ③ 3" | 同上 |
| ④ 8" | 同上 |
| ⑤ 10" | 同上 |
| ⑥ 12" | 約 8kW×4 分 |

☆ これで軸方向遮蔽実験再測定のすべての測定項目を終了した。と同時に、日米間で公式に確認された実験をすべて終了したことになる。六年半前に JASPER 計画の最初の実験項目である径方向遮蔽実験を開始して以来、約三年半の長期にわたる TSF 停止期間を乗り越えて、8 項目の実験(内 1 項目についてはその再測定も含む)の測定を完了することができた。計画発案以来、その完遂に向けて努力してこられた日米の関係者に深く感謝の意を表したい。

☆ 原子炉運転が可能な 9 月末までの期間を使って、以下の測定を行うことが計画されている。

- SM-1 (最もひんぱんに使われたスペクトルモディファイア) 後方での再現性
確認測定
- IVFS 実験の再測定 (ORNL 解析担当者の発案によるもの)
- ガスプレナム供試体コンクリート部の水分含有量評価測定

付 録 D

軸方向遮蔽再実験で使用された検出器

1. ボナーボール検出器 (Bonner Ball)

ボナーボール検出器（以下、「BB」という。）は、中性子線量を測定するものであるが、以下に示すように、検出器の形状によって、異なるエネルギー領域の中性子線量をある程度分離して測定することが可能であり、かつ測定に要する時間が短いことから、TSFにおける遮蔽実験で広く使用されている。

BBは、直径5.1cmの球形状の比例計数管をポリエチレンの球殻で包み、さらに最外周を厚さ0.03インチのCdで被覆した構造である。比例計数管には、 ^{10}B 濃縮度96%の BF_3 ガスが約0.5気圧で封入されている。JASPER実験では、ポリエチレンの球殻部の厚さを変えることによって、検出器の外径を3インチ～12インチの範囲で変えたものが使用されるが、その他に BF_3 計数管を裸で使用する場合 (bare detector) 及び BF_3 計数管に厚さ0.03インチのCdのみを被覆したものをを使用する場合 (Cd-covered detector) がある。

BBに入射した中性子は、ポリエチレン部で減速されて計数管部に到達し、 ^{10}B の (n, α) 反応により検出される。また、最外周のCdはBBに到達する熱中性子の計数への寄与を防ぐ役割を果たす。したがって、BBは、ポリエチレンの球殻の厚さによって、検出できる中性子のエネルギー特性が定まる。即ち、ポリエチレンを厚くするにしたがって、中性子がよく減速されるため、高エネルギー側の中性子に対する計数効率が低エネルギー側の中性子に対する計数効率に対して相対的に増大するが、その一方で、一度減速材に入った中性子が計数管に到達するまでの過程で、検出器から漏洩したり、外表面のCdや減速材に吸収される効果が増大するため、全体的な計数効率は減少する傾向を持つ。それぞれの径のBBについての入射中性子エネルギーに対する応答値として、ANISNコードによる計算値を ^{252}Cf 中性子源によって校正したものが用意されており、レスポンス関数 (BB Response Function) と呼ばれている。BBの測定値は、計算で得られた中性子エネルギースペクトルにレスポンス関数を重ね合わせた (folding) 値と比較される。米国の解析者が使用しているレスポンス関数は、JASPER実験データ集 (I) のP71-P74に示されているので、本資料では省略する。

2. ホニャックボタン検出器 (Hornyak Buttons)

ホニャックボタン検出器 (Hornyak buttons) は、高速中性子の線量計として使用されるものであり、形状が小さい (直径 0.6~1.2cm) ので、JASPER 実験では高速中性子の空間線量分布を測定するために用いられる。

測定原理は、中性子と陽子との衝突によって発生する反跳陽子によるシンチレーション反応を検出する方式である。構造はルサイト (lucite) というアクリル樹脂中に ZnS (Ag) 結晶を均一に混ぜたものを、ボタン状に形成加工したものである。アクリル樹脂中に存在する水素原子核と入射した高速中性子との衝突によって発生する反跳陽子を、ZnS (Ag) のシンチレーション反応によって検出する。ZnS (Ag) が用いられる理由は、 γ 線の干渉を少なくした中性子測定が可能のためである。ホニャックボタン検出器の中性子と γ 線に対する感度をそれぞれ図1、図2に示す。両図の比較により、かなり強い γ 線が存在しても、計数するパルス波高のしきい値を調節することによって、中性子のみを有効に弁別して測定できることがわかる。検出できる中性子のエネルギー下限値は、 γ 線バックグラウンドの強さや光電子増倍管の雑音の程度によって異なるが、0.2~0.3MeV程度である。

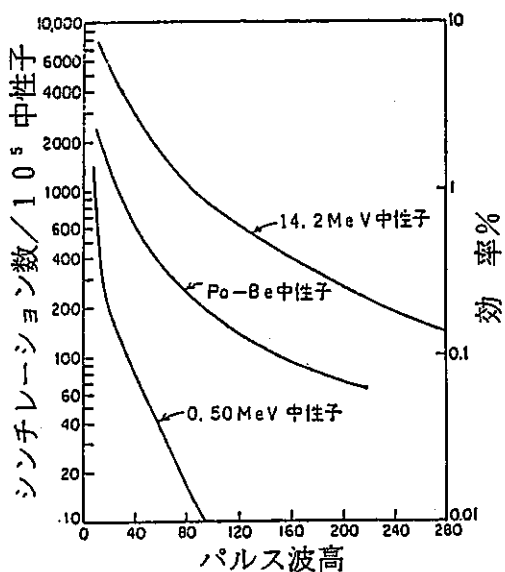


図1 “Hornyak ボタン” に種々の中性子源の中性子をあてたときの、ディスクリミネーターの値に対するパルス波高積分分布と効率、検出器は10gのルーサイト中に1.5gのZnS(Ag)を含んだもの〔W. F. Hornyak, Rev. Sci. Instr., 23: 264 (1952)〕

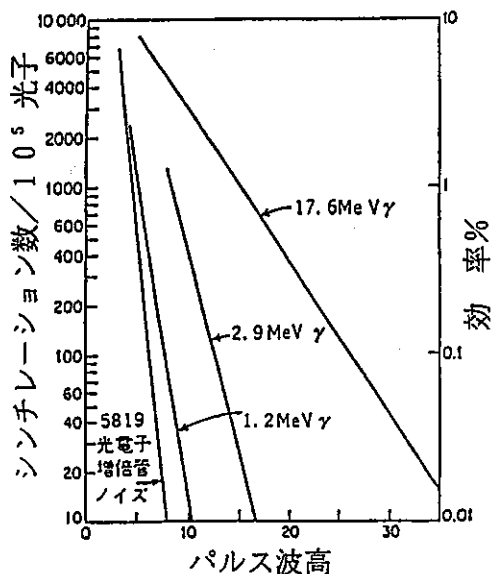


図2 “Hornyak ボタン” に種々のγ線をあてたときの、ディスクリミネーターの値に対するパルス波高積分分布と効率、条件は図10・17のものと同一である〔W. H. Hornyak, Rev. Sci. Instr., 23: 264 (1952)〕

3. NE - 213 検出器

NE - 213 検出器は、800keV から 15MeV の範囲の中性子エネルギースペクトルを得るために使用される。原理的には γ 線のスペクトル計測にも適用できるが、TSFでは良いデータは得られていない(ORNL-5805)。

NE - 213 検出器は液体有機シンチレータであり、中性子の入射により発生する反跳陽子によるシンチレーション反応を検出する方法である。構造は、内径 4.72cm、全長 4.71cm のシリンダーの中に NE - 213 液体有機シンチレータを入れたものである。測定時には、中性子が主として円柱の曲面上から入射するように設置される。このシンチレータの成分は、キシレン、活性体、有機化合物 POPOP(波長シフタとして)、ナフタレン(発光特性を改善するために添加)から作られている。NE - 213 の密度は約 870kg/m^3 で、その組成は $\text{CH}_{1.21}$ である。

NE-213 シンチレータは、反跳陽子及び γ 線によって発生する電子のそれぞれに対して発光するが、両者のパルス波形の相違を利用して、中性子及び γ 線に対するエネルギースペクトルを分離して測定することが出来る。この分離方法としてTSFで使用されているのは、パルスを一度積分処理した後、2次微分回路を通し、得られた波形(bipolar pulse)のゼロクロス点の差によって両者を分離するものである。これは、 γ 線の作る電子の方が、中性子が作る反跳陽子に比べて、減衰時間の短いシンチレーション光を発するという性質を利用している。

このようにして得られた中性子に原因するシンチレーション光の波高分布情報計算コードFERDを用いてエネルギースペクトルに変換される(unfolding)。

4. 反跳陽子計数管 (Hydrogen Counter)

反跳陽子計数管 (Hydrogen Counter) は、50keV ~1MeV の範囲の中性子エネルギースペクトルの測定に使用される検出器であり、Benjamin 計数管とも呼ばれている。測定原理は、中性子と水素原子核との衝突によって発生する反跳陽子が引き起こす電離現象を検出するものである。

検出器は、ステンレス製の球の中心に1本のタングステン製ワイヤが張られた構造であり、ステンレス球が陰極、タングステン製ワイヤが陽極のはたらきをする。球の中には水素ガスが充填されており、JASPER 実験では、水素ガスの内圧をそれぞれ1気圧、3気圧及び10気圧としたものを使用している。球の中心、即ちタングステン製ワイヤの midpoint には、小さな校正用 α 線源が設置されている。

検出器に入射した中性子は、水素の原子核と衝突して反跳陽子をガス中に生じさせる。反跳陽子は電離を起こし、その結果生じる電子は、正に荷電したタングステン製ワイヤに集められる。集められた電荷量から反跳陽子のエネルギーを決定することが出来る。一方、ある決まったエネルギー E_n の中性子は水素原子核との衝突によって、ゼロから E_n までの様々なエネルギーを持つ反跳陽子を発生させる。したがって、この検出器の信号から、中性子線源のエネルギースペクトルを得るためには、詳細な解析が必要である。ORNL では、測定されたパルス電圧の波高分布データから中性子エネルギースペクトルを求める (unfolding) ために、SPEC-4 コードが使用されている。この unfolding を行う際に、高エネルギー側の入力データとして NE-213 検出器の測定データから求められた中性子エネルギースペクトルが用いられる。