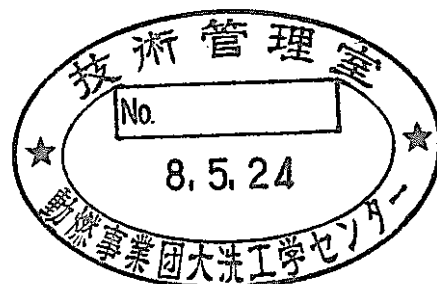


J A S P E R 実験データ集 (VI)

— 新遮蔽材透過実験 —

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1996年3月



川崎重工業株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

JASPER 実験データ集 (VI)

—新遮蔽材透過実験—

毛利 智聡*、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計8個の一連の実験の中の最後の実験として、1992年6月末から約1ヶ月間かけて、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) にて実施された新遮蔽材透過実験の測定値、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から発行された新遮蔽材透過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。

新遮蔽材透過実験は、高速炉の遮蔽合理化のための高性能遮蔽材料の開発に資する実験データを取得する目的で企画された。遮蔽材料として水素を含有し中性子遮蔽性能の優れた金属であるジルコニウムハイドライド ($ZrH_{1.7}$) を対象とした。ORNL遮蔽実験施設 TSF (Tower Shielding Facility) の実験炉 TSR-II (Tower Shielding Reactor-II) のコリメータ直後に、入射させる中性子スペクトルを模擬するスペクトル・モディファイア、およびジルコニウムハイドライド模擬多重層を設置した実験体系のもと、その後方で各種検出器を用いた中性子測定が行われた。ジルコニウムハイドライド模擬多重層は、既にTSFに存在していたジルコニウムスラブと、水素を含有するポリエチレンスラブを組み合わせ構成された。同様な実験測定がポリエチレンだけの厚いスラブについても実施された。広いエネルギー範囲にわたる中性子束の測定が全8体系で、また高速中性子のエネルギースペクトルの測定も大部分の体系で行われた。

なお、JASPER計画は日米両国の液体金属冷却炉 (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動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：07C2999

事業団担当部課室および担当者：基盤技術開発部 炉心技術開発室 石川 眞

* 川崎重工業株式会社 原子力本部 技術部

JASPER Experimental Data Book (VI)

- Special Materials Experiment -

Tomoaki Mouri*
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 Special Materials Experiment, which was conducted at the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) during about a month beginning at the end of June, 1992 as the last one of a series of eight 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.

The Special Materials Experiment was planned to obtain the data of neutron attenuation characteristics of selected shielding materials for use in advanced fast reactors. The material of particular interest for the experiment was zirconium hydride that is rich in hydrogen. The mockup slabs for the special materials were preceded by the spectrum modifier behind the TSR-II reactor of Tower Shielding Facility. The layer of zirconium hydride was simulated with a combination of zirconium and polyethylene slabs. The thick layer of polyethylene with no zirconium was installed in some configurations. Neutron flux was measured behind the configurations with various types of detectors. The integral neutron flux in wide energy region was measured in eight configurations and neutron spectrum in high energy region was measured also in almost all configurations.

Information presented in this report is based mainly on a report issued by ORNL (ORNL/TM-12277, "Measurements for the JASPER Program Special Materials Experiment"). Additional information reported by the assignee is utilized also.

Work performed by Kawasaki Heavy Industries, Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Makoto Ishikawa, Core Physics Section, Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center

* Engineering Department, 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	5
4. 検出器データ	28
5. 測定データ	30
6. 測定精度	70
参考文献	72
付録 A 新遮蔽材透過実験体系と測定項目	74
付録 B JASPER実験記録	77
付録 C JASPER実験日誌	80
付録 D 新遮蔽材透過実験で使用された検出器	93

表 リ ス ト

	頁
表2.2.1 新遮蔽材透過実験の実験体系とその実施期間	3
表3.2.1 炭素鋼スラブの組成	9
表3.2.2 アルミニウムスラブの組成	9
表3.2.3 ボラルスラブの組成	10
表3.2.4 半径方向ブランケット供試体の組成	11
表3.2.5 半径方向ブランケット供試体被覆部のアルミニウムの組成 ..	12
表3.2.6 リチウムパラフィンブロックの組成	12
表3.2.7 実験体系周囲の61cm×61cm×30.5cmのコンクリート ブロックの組成	13
表3.2.8 SM後方供試体側部の小コンクリートブロックの組成	14
表3.2.9 ステンレス鋼スラブの組成	15
表3.2.10 ポリエチレンスラブの組成	16
表3.2.11 ジルコニウムスラブの組成	16
表3.2.12 炭化ホウ素(B ₄ C)の組成	17
表3.2.13 鉛スラブの組成	18
表5.1 新遮蔽材透過実験測定項目	32
表5.2 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系I A、鉛スラブ後方25cm)	33
表5.3 中性子スペクトル測定値(体系I A、鉛スラブ後方25cm) ..	34
表5.4 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II B、鉛スラブ後方25cm)	35
表5.5 中性子スペクトル測定値(体系II B、鉛スラブ後方25cm) ..	36
表5.6 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II C、鉛スラブ後方25cm)	37
表5.7 中性子スペクトル測定値(体系II C、鉛スラブ後方25cm) ..	38
表5.8 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II D、鉛スラブ後方25cm)	39

	頁
表5.9	中性子スペクトル測定値（体系ⅡD、鉛スラブ後方25cm） .. 40
表5.10	高エネルギー中性子スペクトル測定値 （体系ⅢA、鉛スラブ後方25cm） 41
表5.11	中性子スペクトル測定値（体系ⅢA、鉛スラブ後方25cm） .. 42
表5.12	高エネルギー中性子スペクトル測定値 （体系ⅢB、鉛スラブ後方25cm） 43
表5.13	中性子スペクトル測定値（体系ⅢB、鉛スラブ後方25cm） .. 44
表5.14	高エネルギー中性子スペクトル測定値 （体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm） 45
表5.15	中性子スペクトル測定値（体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm） .. 46
表5.16	NE-213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結果） 47
表5.17	ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方30cm） .. 48
表5.18	ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方150cm） .. 49
表5.19	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） 50
表5.20	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） 51
表5.21	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） 52

	頁
図5.13 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm)	65
図5.14 中性子スペクトル測定値 (体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm) ..	66
図5.15 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)	67
図5.16 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)	68
図5.17 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)	69

	頁
図5.13 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm)	65
図5.14 中性子スペクトル測定値 (体系ⅢC、鉛スラブ後方25cm) ..	66
図5.15 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)	67
図5.16 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)	68
図5.17 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)	69

1. ま え が き

新遮蔽材透過実験は、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⁾⁽²⁾及びガスプレナム・ストリーミング実験⁽³⁾⁽⁴⁾、1990年の軸方向遮蔽実験⁽⁵⁾⁽⁶⁾、1991年の炉内貯蔵燃料遮蔽評価実験⁽⁷⁾⁽⁸⁾、1991年から1992年にかけての2次ナトリウム放射化実験⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、1992年のギャップストリーミング実験⁽¹¹⁾、中性子検出器応答実験⁽¹²⁾に引き続き、同年6月末から約1ヶ月間かけて、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、新遮蔽材透過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⁽¹³⁾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

新遮蔽材透過実験は、高速炉の遮蔽合理化のための高性能遮蔽材料の開発に資する実験データを取得する目的で企画された。遮蔽材料として水素を含有し中性子遮蔽性能の優れた金属であるジルコニウムハイドライド ($ZrH_{1.7}$) を対象とした。実験に必要な大きさのジルコニウムハイドライドを準備するのは容易ではないため、既にTSFに存在していたジルコニウムスラブを利用し、これに水素を含有するポリエチレンスラブを組み合わせ、ジルコニウムハイドライドを模擬した。実験体系は、TSR-II (Tower Shielding Reactor-II) のコリメータから水平方向に放出された中性子が、スペクトル・モディファイアおよびアルミニウム・ステンレス鋼多重層を経て、ジルコニウムハイドライド模擬多重層に入射するよう配置され、実験体系の後方で各種検出器を用いた広範囲のエネルギー領域にわたる中性子測定が行われた。同様な実験測定がポリエチレンだけの厚いスラブについても実施された。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

本実験は中性子検出器応答実験に引き続いて行われ、1992年6月24日から7月31日にかけて、ジルコニウム体系（ポリエチレン・ジルコニウム多重層）、ポリエチレン体系の順に測定が行われた。表2.2.1に、実験体系名称及びそれぞれの実施期間をその実施順に示す。実施順序は「薄い」体系から「厚い」体系へと進むように決められた。

中性子検出器応答実験終了後、新遮蔽材透過実験と共通であるスペクトル・モディファイアを残して実験体系を解体し、最初の測定がこのモディファイア体系（体系I-A）で開始された。続いてアルミニウム・ステンレス鋼多重層スラブ、ポリエチレンスラブ、ジルコニウムスラブ、 B_4C スラブが体系の後方に順次追加され、体系II-AからII-Dまでの測定が行われた。この後スペクトル・モディファイアを残して実験体系を解体し、再びポリエチレンスラブ第1層、第2層、 B_4C スラブが順次体系の後方に追加され、体系III-AからIII-Cの測定が行われた。中性子スペクトル測定時には、検出器に γ 線が入射するのを遮蔽するため、実験体系後端に鉛スラブを配置している。

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。

表 2.2.1 新遮蔽材透過実験の実験体系とその実施期間

実験体系	実施期間	備 考
I-A	1992年 6月24日～ 6月26日	NIS 実験終了 (22日)、原子炉点検 (23日) のあと本実験に移る。25日前半まで鉛板設置
II-A	1992年 6月29日	
II-B	1992年 7月 1日～ 7月 8日	6日前半まで鉛板設置
II-C	1992年 7月 9日～ 7月13日	10日前半まで鉛板設置
II-D	1992年 7月15日～ 7月17日	16日前半まで鉛板設置
III-A	1992年 7月17日～ 7月22日	21日原子炉点検日に鉛板撤去
III-B	1992年 7月22日～ 7月24日	23日から24日前半まで鉛板設置
III-C	1992年 7月24日～ 7月31日	29日から30日まで鉛板設置

3. 実験体系と供試体データ

3.1 実験体系

実験体系は、基本的に一辺が152.4cm (5ft) の正方形の供試体を中心軸に沿って順次積層して構成され、その辺方向の周囲はリチウムパラフィンブロックが、さらにその周囲にコンクリートブロックが配置された。各実験体系の構成を図3.1.1～3.1.7に示す。これらの図に記されている供試体厚さは、供試体中央部の実測寸法である。以下、各実験体系の特徴を示す。

3.1.1 スペクトル・モディファイア

TSF の放射線ビームを大型高速炉の炉心径方向遮蔽体へ入射する中性子スペクトルを代表するものに変換するために、体系I-Aの鉄・アルミニウム・ボラル・径方向ブランケットの各供試体を組み合わせたスペクトル・モディファイアが使用された。図3.1.1では、スペクトル・モディファイアの後端に鉛スラブが追加されているが、中性子スペクトル測定時（及びスペクトル測定位置でのボナーボール測定時）にのみ γ 線成分の影響を減ずるためのものである（以下の体系でも同様）。

3.1.2 ジルコニウム体系

体系II-AからII-Dの4体系である。体系II-Aは、大型高速炉の炉心径方向遮蔽体にジルコニウムハイドライドを適用することを想定して、第1層目に存在するステンレス鋼遮蔽体を模擬した体系である。ジルコニウムハイドライドは5.31cm厚さのポリエチレンと4.95cm厚さのジルコニウムの多重層で代用されているが、解析から⁽¹⁴⁾7.4cm厚さ相当のジルコニウムハイドライドを模擬していると評価されている。体系II-Dは、ジルコニウムハイドライドを透過した中性子は水素によるエネルギー減速により軟スペクトルとなり、後方にB₄C層を設置すると遮蔽効果がさらに期待されることから、これを想定したものとなっている（ポリエチレン体系の体系III-Cも同様）。

3.1.3 ポリエチレン体系

体系III-AからIII-Cの3体系である。ポリエチレン10.53cm および 15.74cm透過後の測定が行われている。またジルコニウム体系と同じ目的で、ポリエチレン後方にB₄C

スラブを設置した体系も測定されている。

3.2 供試体データ

3.2.1 スペクトル・モディファイア構成要素

スペクトル・モディファイアは、10cm厚さの鉄と10cm厚さのアルミニウム及び2.5cmのボラルに20.3cm厚さの径方向ブランケット供試体を加えれば実験体系に入射するよう望まれる中性子スペクトルが得られることが計算により知られていたため、図3.1.1に示すように、その厚さがそれぞれ5.20cm及び5.13cmの鉄スラブ2枚、その合計厚さが9.12cmとなる3枚のアルミニウムスラブ、厚さが2.54cmのボラルスラブ、ならびに径方向ブランケット供試体2体を組み合わせて構成された。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供試体」と記された二酸化ウランを含むスラブは、液体金属冷却型高速炉(LMFBR)開発計画において実施された実験のため過去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間の円環状間隙部(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。以上のように二酸化ウランペレットを配置したものが、図3.2.1に示すように、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された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(注:ペレットを積み重ねた形)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522本のアルミニウム製円筒は、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及びナトリウム部の全体に対する体積比は、それぞれ11.2%及び23.3%であり、ペレットとアルミニウム円筒間のボイド領域(アルゴンガス)の体積比は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。また、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。

3.2.2 リチウムパラフィンブロック及びコンクリートブロック

スペクトル・モディファイアとその後方に設置された供試体スラブの周囲は、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厚のリチウムパラフィン領域で取り囲まれ、更にその外側はコンクリート領域で取り囲まれている。リチウムパラフィン領域は一辺10.16cmの正方断面、長さ20.16cmのブロックから構成されており、その組成を表3.2.6に示す。コンクリート領域は、スペクトル・モディファイアの周囲では一辺61cmの正方断面、厚さ30.48cmのブロックから、それより後方では一辺15.24cmの正方断面、長さ30.5cmのブロックから構成されている。各コンクリートブロックの組成を表3.2.7及び表3.2.8に示す。後者については、水密度が $7.5 \pm 0.5 \text{wt}\%$ と報告されている。

中央部の供試体スラブは基本的に一辺が152.4cmの大きさであるが、ポリエチレンスラブおよびジルコニウムスラブは一辺がこれより短くなっている。実験レポートにおいて当スラブ外周は、水平断面図(図3.1.3あるいは図3.1.4)ではポリエチレン、垂直断面図(図3.1.3)ではリチウムパラフィンと一見矛盾した記載となっている。又JASPER実験日誌(付録C)においては、当空隙部を両物質で遮蔽した旨記録されている。これらについて派遣員に問い合わせた結果、基本的にはリチウムパラフィンブロックで空隙部を充填し、どうしても残った狭い間隙部にはポリエチレンを代わりに充填したことが確認された。

3.2.3 アルミニウムスラブ

スペクトル・モディファイアとジルコニウムハイドライド模擬多重層との間に配置されたステンレス鋼遮蔽体の模擬多重層には、2.16cmのアルミニウムスラブが配置されている。これはLMFBRの冷却材ナトリウムを模擬するために使用されたものであり、スラブの材質は、既に示したスペクトル・モディファイア中に使用されたアルミニウムと同様A16061である。

3.2.4 ステンレス鋼スラブ

上記のステンレス鋼遮蔽体の模擬多重層に使用されたステンレス鋼スラブは、厚さは5.15cmまたは5.27cmのものである。材質は典型的な304ステンレス鋼であり、その組成

を表3.2.9 に示す。

3.2.5 ポリエチレンスラブ

ポリエチレンスラブは 122cm四方の外形をしており、厚さが5.22cm、5.31cm、5.31cmの3枚が利用された。その組成を表3.2.10に示す。

3.2.6 ジルコニウムスラブ

ジルコニウムスラブは、図3.1.3 に示したように、鉄枠のなかに5本のジルコニウムブロックを積み重ねて構成されている。各ジルコニウムブロックは断面が122cmx20.3cmで厚さが4.95cmである。その組成を表3.2.11に示す。幅7.62cmの鉄枠は内のり 122cm四方であるため、最上段には5.07cm厚さのポリエチレン層が詰められている。このポリエチレンは、1g当たり27.5 μ g のボロンが分析されている。なおスラブは、ジルコニウム領域の中心が中性子ビーム軸に一致するように設置された。

3.2.7 B₄Cスラブ

JASPER実験に使用された B₄Cスラブは、ステンレス鋼製容器の中に120grit の B₄C粉末を充填したものである。B₄C部の厚さは、ノミナル値で5.08cm(2インチ)、10.16cm(4インチ)及び15.24cm(6インチ)の3種類であり、図3.2.2 において4W及び5W、2W及び3W、ならびに1Wと表記されたものがそれぞれの厚さのスラブに対応している。ステンレス鋼板を含めた実際のスラブの厚さは、図中に示すように中心で測定されたものである。ノミナル厚さ 5cm及び15cmのスラブには一定の厚さを保持出来るように、相対的に薄い外板間にスペーサピンが使用された。いずれのスラブも両辺の長さは152.4cm(60インチ)であった。B₄Cの密度は、スラブ1W、2W、3W、4W、5Wにおいて、それぞれ1.42、1.39、1.37、1.41、1.44(単位はいずれもg/cc)である。このうち新遮蔽材透過実験には1Wのスラブが利用された。B₄C粉末の組成を表3.2.12に示す。これらのスラブについて、構成物質として窒化ボロン(BN)の量は与えられていないが、以前の分析結果⁽⁵⁾から類似の B₄Cサンプルには数%オーダーのBNが存在したことが示唆される。

3.2.8 鉛スラブ

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に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1層あるいは2層設置した。この鉛スラブの組成データを表3.2.13に示す。

表3.2.1 炭素鋼スラブの組成 (ORNL/TM-12277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 アルミニウムスラブの組成 (ORNL/TM-12277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 ボラルスラブの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 3. Composition of boral 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 半径方向ブランケット供試体の組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 4. Composition of UO₂ 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 UO₂

Isotope %			
²³⁴ U	.0053	²³⁶ U	---
²³⁵ U	.713	²³⁸ U	99.28

Metallic Impurities in UO₂ (ppm)*

Al	<20	Cu	1	Na	<20
B	<1	F	<2	Ni	<10
Be	<2	Fe	<20	Pb	<4
Bi	<2	H ₂ O	2.1	Si	<20
C	<10	Li	<1	Sn	<2
Ca	<20	Mg	<10	Ta	<25
Cd	<0.5	Mn	<4	Ti	<4
Cl	<3.3	Mo	<10	W	<25
Co	<2	N	54	Zr	<25
Cr	<10				

*ppm = parts per million

表3.2.5 半径方向ブランケット供試体被覆部のアルミニウムの組成
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 5. Analysis of aluminum used in UO₂ radial blanket cladding ($\rho = 2.7$ 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
Ta		<2000
Ti		65.5
V		44.2
W		<60
Zr		<20

表3.2.6 リチウムパラフィンブロックの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

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

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

表3.2.7 実験体系周囲の61cm×61cm×30.5cmのコンクリートブロックの組成
(ORNL/TM-12277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		

表3.2.8 SM後方供試体側部の小コンクリートブロックの組成
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 12. Composition of the small
concrete blocks on each side of the
mockup beyond spectrum modifier
($\rho = 2.39 \text{ g/cc}$)

Element	wt %
C	10.36
O	49.03
Ca	38.05
Fe	0.37
Si	0.78
Mg	0.23
S	0.17
P	0.04
Na	0.03
K	0.04
H	0.42
R*	0.47
	99.99

*R is an unspecified mix of Al, Ti, Cr, and possibly other traces of metals.

表3.2.9 ステンレス鋼スラブの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 8. Analysis of type 304 stainless steel ($\rho = 7.92 \text{ g/cc}$)

Element	wt%	
	Lower	Upper
Fe	68.1	- 71.2
Cr	18.0	- 19.1
Ni	8.8	- 9.8
Mn	1.04	- 1.65
Si	0.33	- 0.65
C	0.024	- 0.085
O ₂	0.013	- 0.021
P		0.028
S		0.022
Mo		0.30
Cu		0.26
Co		0.10

表3.2.10 ポリエチレンスラブの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 9. Analysis of polyethylene
slabs ($\rho = 0.955 \text{ g/cc}$)

Element	wt %	ppm
H	14.4	
C	85.6	
Na		<140
Cr		<140
Si		<140
P		<140

表3.2.11 ジルコニウムスラブの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 10. Analysis of zirconium
($\rho = 6.54 \text{ g/cc}$)

Element	wt %
Hf	1.8
Zr	98.2

表3.2.12 炭化ホウ素(B₄C)の組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 11. Analysis of boron carbide used in shield mockups

Element	wt%	ppm
B	76.7	
C	19.52	
Al		50
Ca		800
Cl		10
Co		<1
Cr		2
Cu		<1
Fe		600
Mg		25
Mn		10
Na		1
P		2
S		5
Si		50
Ti		225

表3.2.13 鉛スラブの組成 (ORNL/TM-12277より引用)

Table 13. Analysis of lead slabs ($\rho = 11.35 \text{ g/cc}$)

Element	wt%	PPM
Pb	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

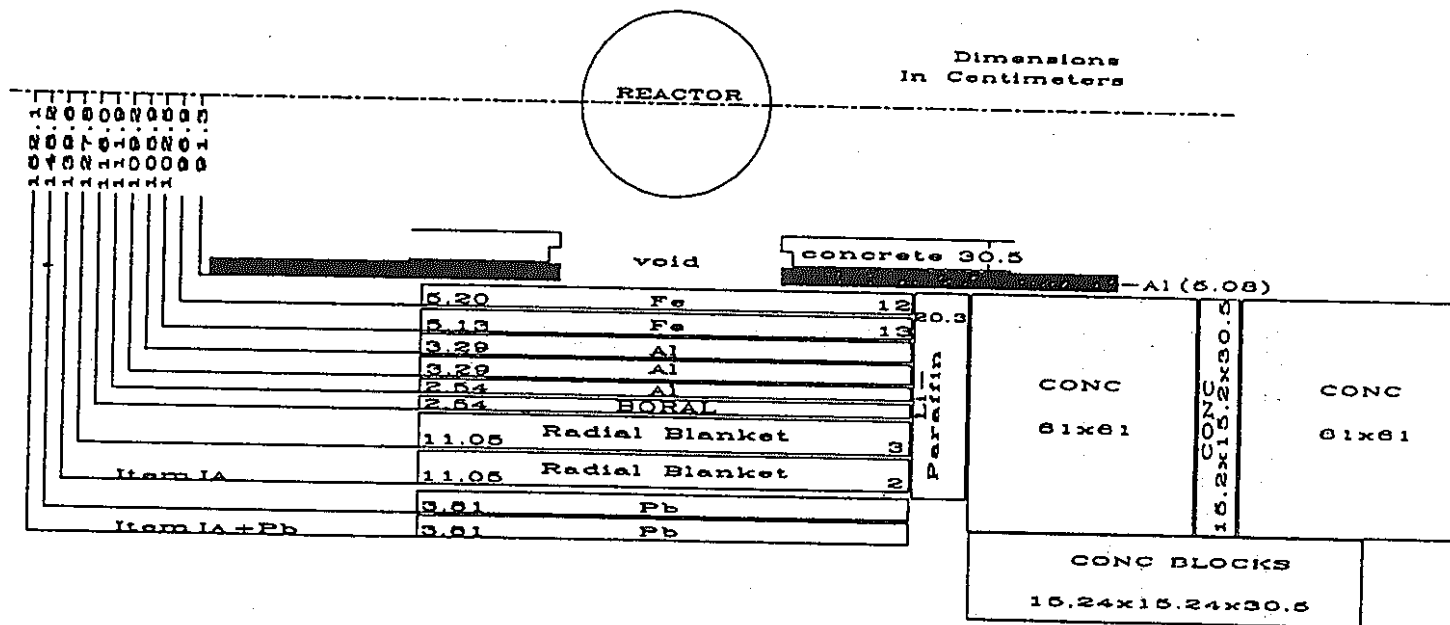


図3.1.1 実験体系構成図 (体系 I A) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 1. Schematic of SM-1 (Fe + Al + boral + radial blankets). Items IA and IA plus lead. Note: Lithiated paraffin covers four sides of the configuration.

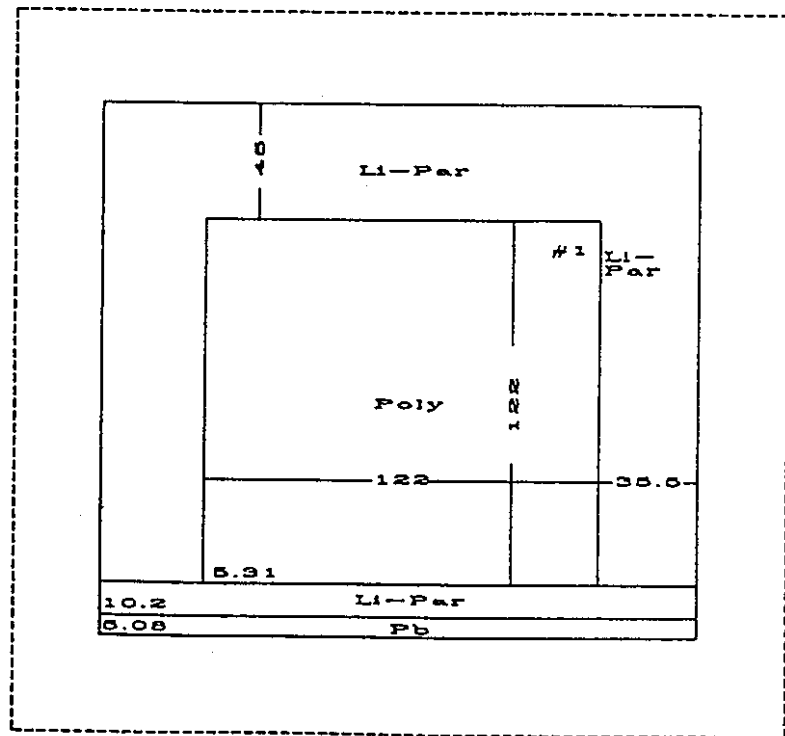
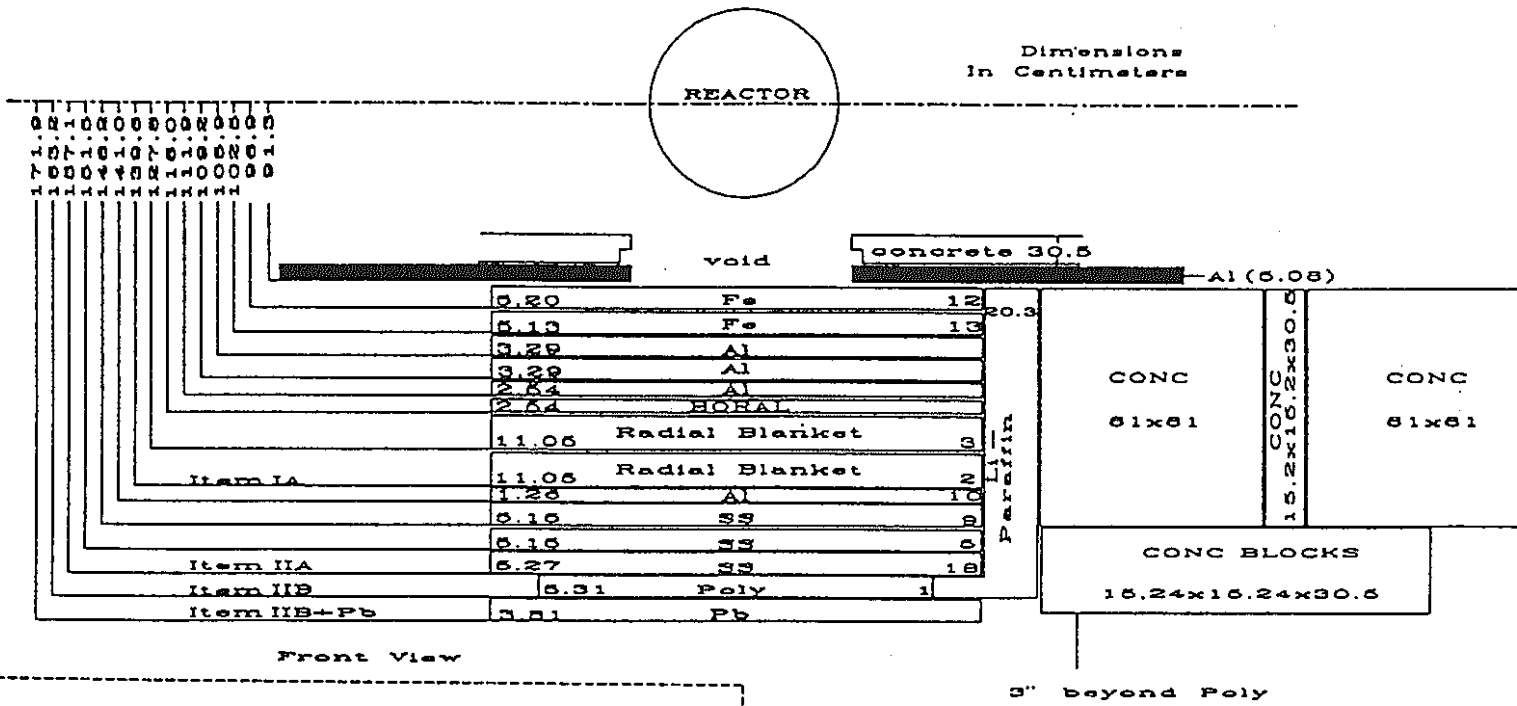


Figure 6. Schematic of SM-1 plus shield configuration for Items IIA, IIB, and IIB plus lead.

図3.1.2 実験体系構成図 (体系II AおよびII B)

(ORNL/TM-12277より引用)

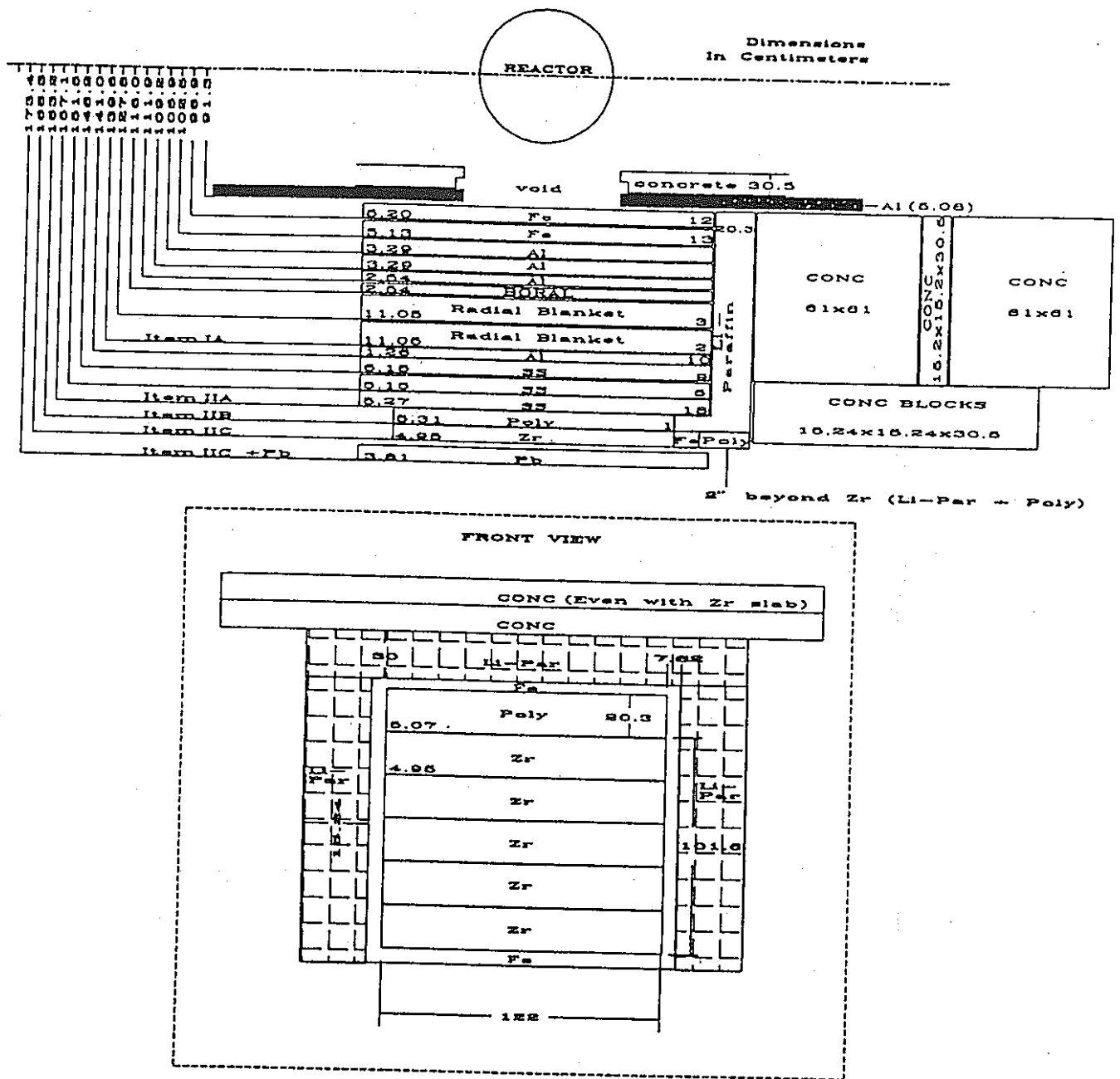


図3.1.3 実験体系構成図 (体系II C) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 12. Schematic of SM-1 plus shield configuration for Items IIC and IIC plus lead.

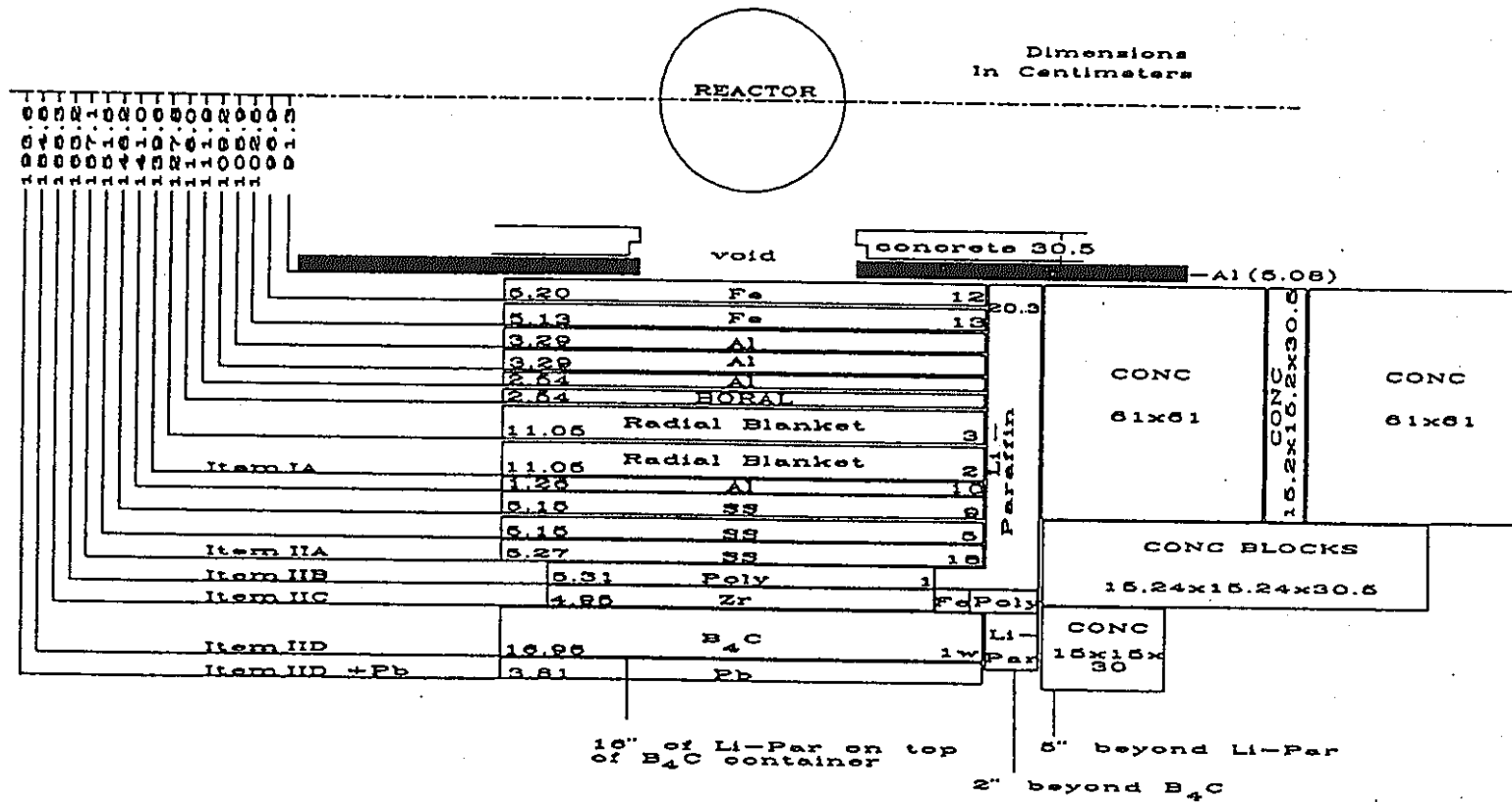
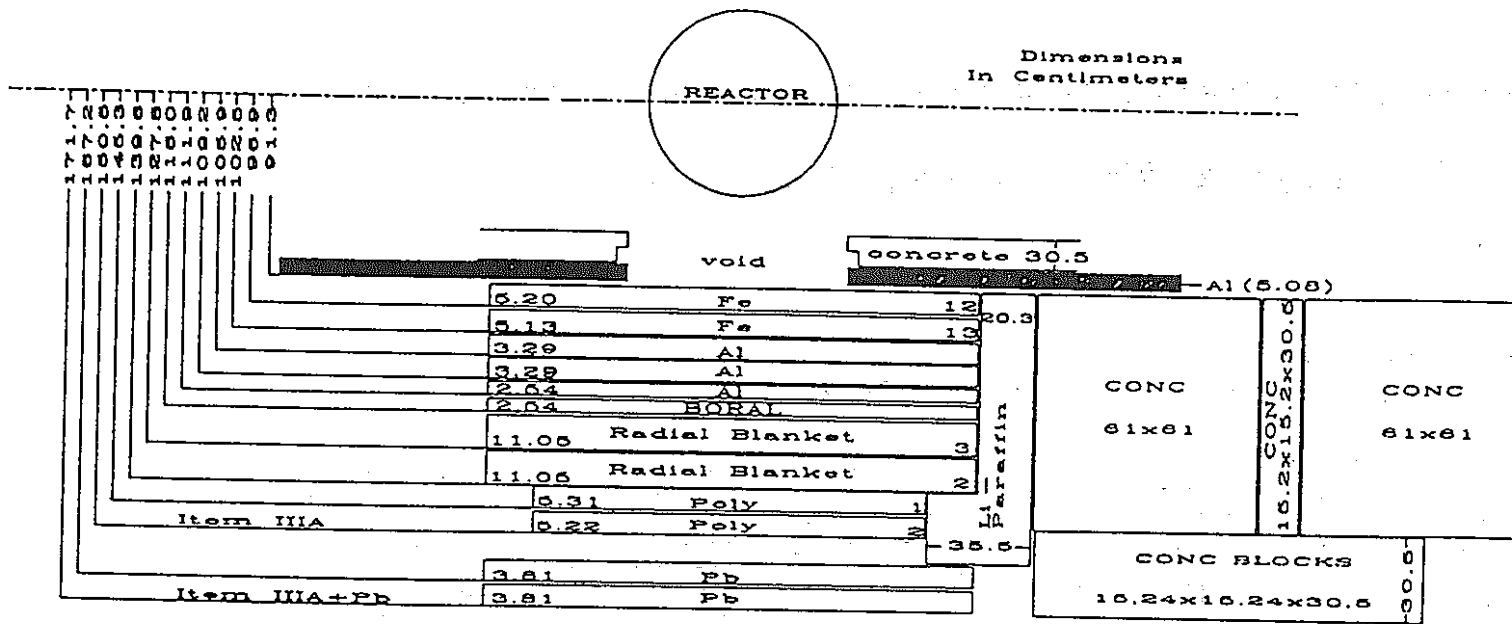


図3.1.4 実験体系構成図 (体系IID) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 15. Schematic of SM-1 plus shield configuration for Items IID and IID plus lead.



Front View

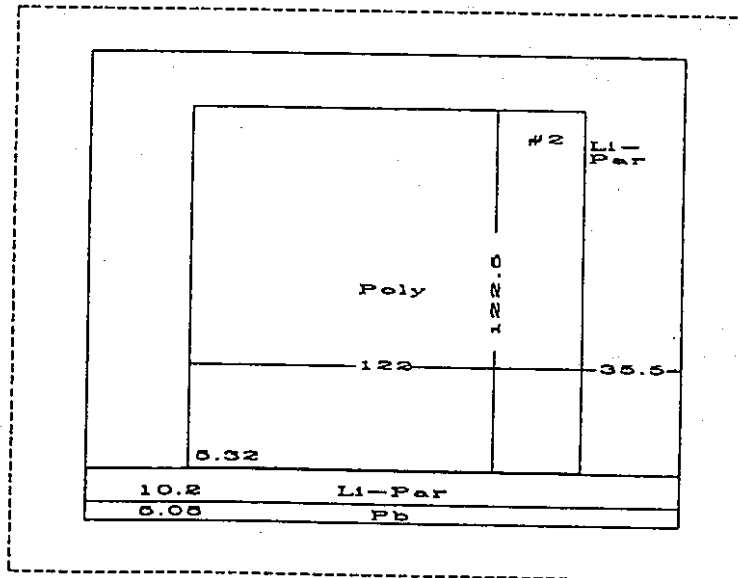


Figure 18. Schematic of SM-1 plus shield configuration
for Items IIIA and IIIA plus lead.

図3.1.5 実験体系構成図 (体系III A)
(ORNL/TM-12277より引用)

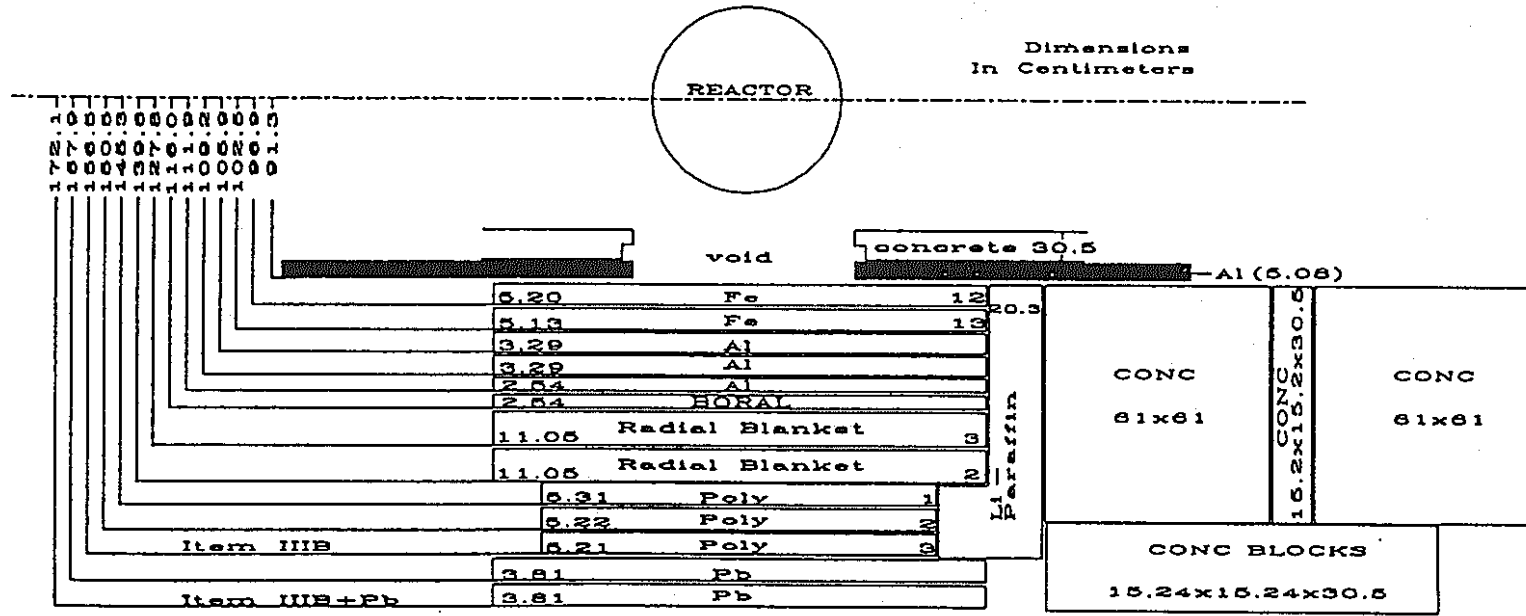


図3.1.6 実験体系構成図 (体系III B) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 21. Schematic of SM-1 plus shield configuration for Items IIB and IIB plus lead.

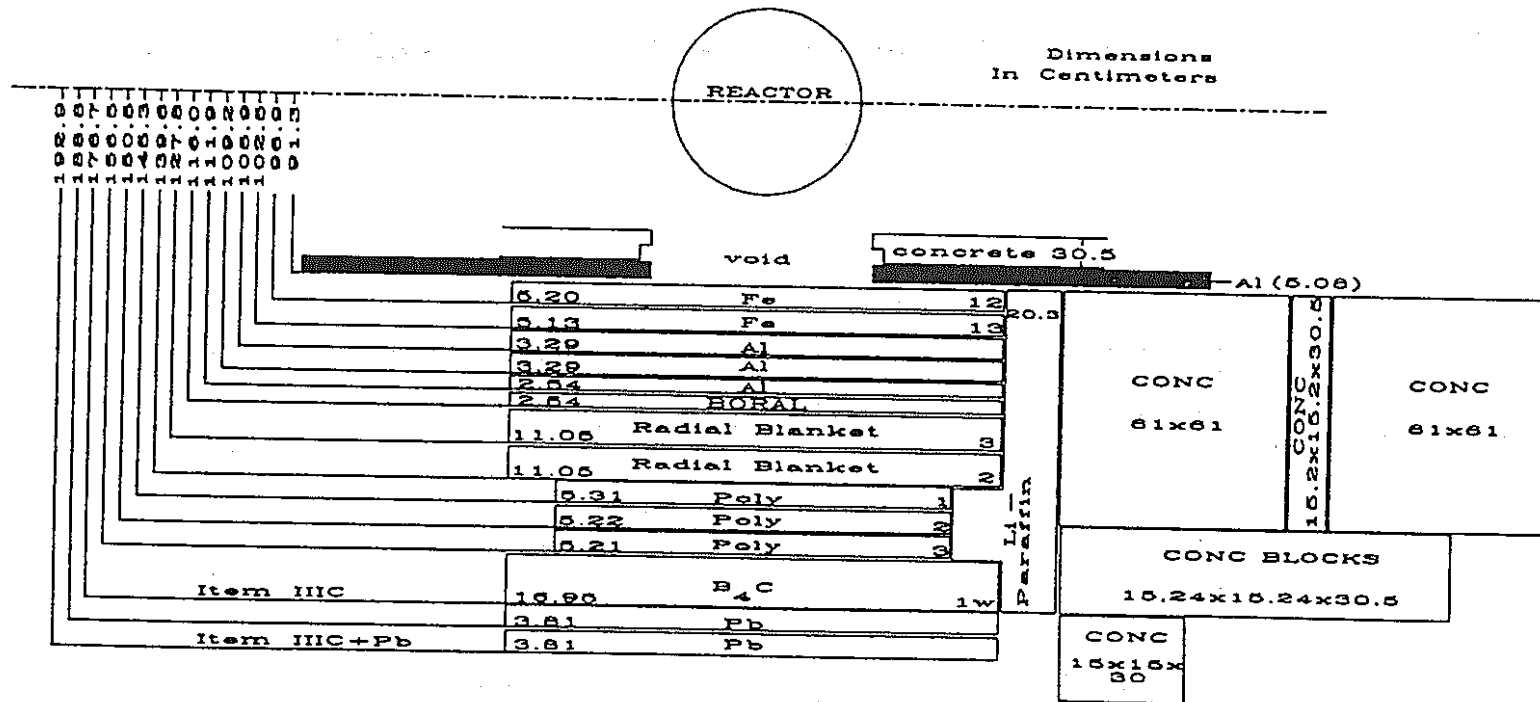
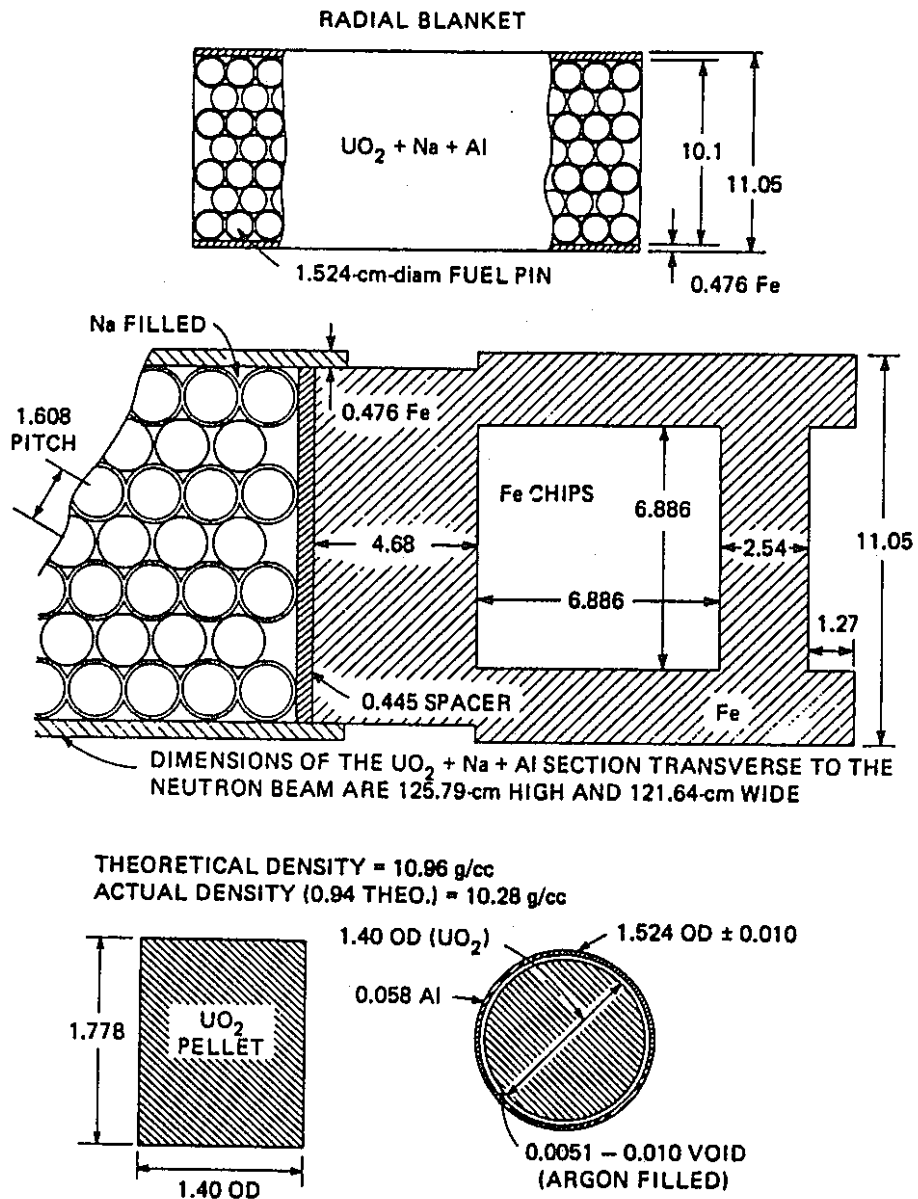


図3.1.7 実験体系構成図 (体系III C) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 24. Schematic of SM-1 plus shield configuration for Items IIC and IIC plus lead.



DIMENSIONS IN cm

図3.2.1 半径方向ブランケット供試体 (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 2. Schematic of radial blanket slab containing UO_2 .

B₄C CONTAINERS

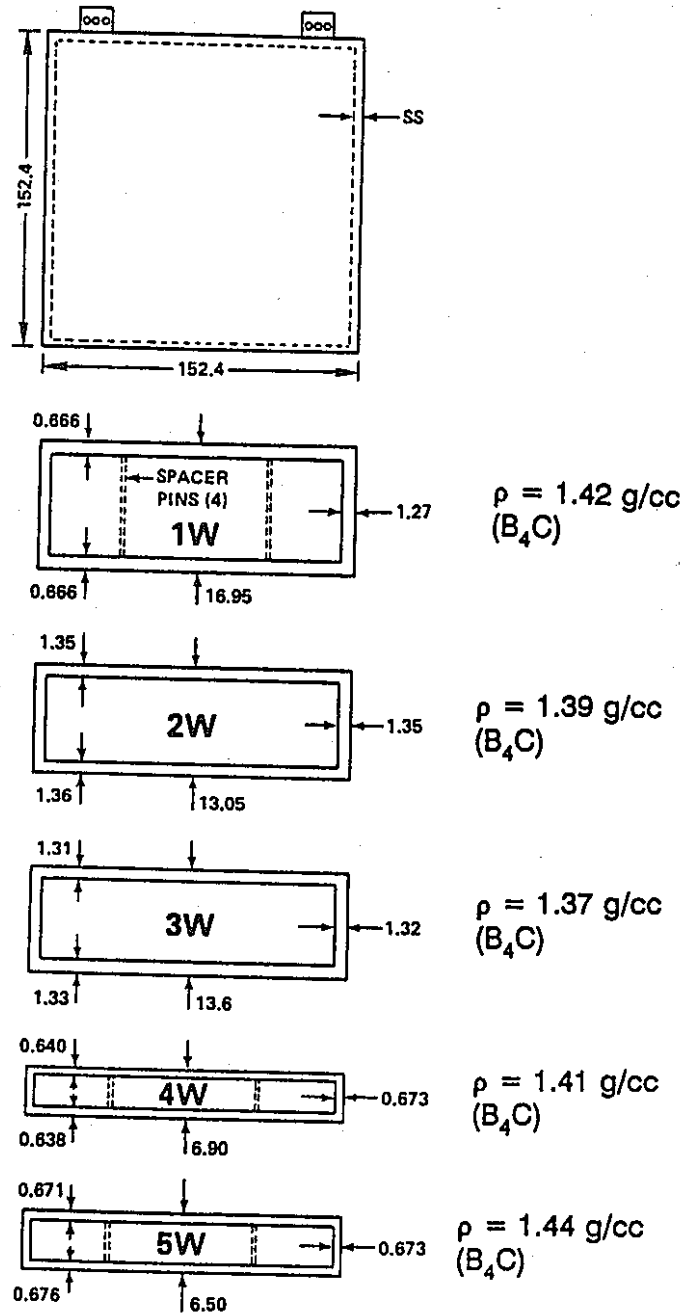


図3.2.2 B₄C スラブ供試体 (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 3. Schematic of stainless steel containers used for boron carbide shield slabs.

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。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、反跳陽子検出器及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。その結果得られる中性子によるパルス電圧波高分布データは、FERDコード⁽¹⁶⁾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⁽¹⁶⁾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 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BF₃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、その直径が3”(インチ)、5”、8”及び10”の4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⁽¹⁷⁾及びBurgart 他⁽¹⁸⁾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。

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)

表5.1 の体系Ⅱ-Bを除く全7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。検出器は、第4章で記したNE-213検出器と3種類の水素充填圧の反跳陽子検出器が用いられた。いずれの測定も γ 線が計数に及ぼす影響を低減するために、約3.81cm (1.5 インチ) 厚さの鉛スラブ1枚ないし2枚が実験体系と検出器の間に設置された(第3章の実験体系構成図を参照のこと)。検出器は鉛スラブ後方25cm位置に設置された。これは、検出器を出来るだけ実験体系に近付けることによって鉛スラブより外側から漏洩してくる放射線の影響を低減するためである。測定結果は、NE-213 検出器と反跳陽子検出器による中性子スペクトル評価結果のそれぞれが、アンフォールディング誤差を含んだ形式で、表と図により与えられている。測定が行われた体系と図表番号の対応関係を以下に示す。

体系Ⅰ-A	表5.2 及び表5.3 ならびに図5.1 及び図5.2
体系Ⅱ-B	表5.4 及び表5.5 ならびに図5.3 及び図5.4
体系Ⅱ-C	表5.6 及び表5.7 ならびに図5.5 及び図5.6
体系Ⅱ-D	表5.8 及び表5.9 ならびに図5.7 及び図5.8
体系Ⅲ-A	表5.10及び表5.11ならびに図5.9 及び図5.10
体系Ⅲ-B	表5.12及び表5.13ならびに図5.11及び図5.12
体系Ⅲ-C	表5.14及び表5.15ならびに図5.13及び図5.14

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。それらの結果を表5.16に示す。

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 の2箇所で行われた。測定には、3"、5"、8" 及び10" の4種類のボナーボールが使用された。30cm位置では、検出器と実験体系の間に何も置かない状

態での測定（フォアグラウンド測定）のみが行われたのに対し、150cm 位置では、フォアグラウンド測定に加えてバックグラウンド測定も行われた。これは、実験体系以外の領域から漏洩してボナーボール計数率に寄与する中性子成分を評価するために実施されたものである。バックグラウンド測定は、検出器位置から実験体系の最後部スラブ（1.52m四方）が見えなくなる、ほぼ中間位置にリチウムパラフィン充填スラブ（91cm四方、40.6cm厚さ）を設置した状態で実施された。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5.17

体系後方150cm 位置 表5.18

ボナーボールによる水平方向トラバース測定（表5.1 の"Bonner Ball 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。使用されたボナーボールは 3"、5" 及び 8" の3種類であり、測定が行われた体系は II-B~D 及び III-B~C の5体系であった。それぞれのボナーボールによる測定結果を、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、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。

3" ボナーボール 表5.19 及び 図5.15

5" ボナーボール 表5.20 及び 図5.16

8" ボナーボール 表5.21 及び 図5.17

表 5.1 新遮蔽材透過實驗測定項目

Configuration*	Spectra & BB	Measurements**	
		Bonner Ball Centerline	Bonner Ball Traverse
I. Spectrum Modifiers			
A SM-1 (10cmFe+9cmAl+2.5cmBoral+20cmRadial Blanket)	×	×	
II. SM-1 + Zirconium			
A SM-1 + 1.3cmAl + 15cmSS		×	
B SM-1 + 1.3cmAl + 15cmSS + 5cmPolyethylene	×	×	×
C SM-1 + 1.3cmAl + 15cmSS + 5cmPolyethylene + 5cm Zirconium	×	×	×
D SM-1 + 1.3cmAl + 15cmSS + 5cmPolyethylene + 5cm Zirconium + 15cmB ₄ C	×	×	×
III. SM-1 + Polyethylene			
A SM-1 + 10cmPolyethylene	×	×	
B SM-1 + 10cmPolyethylene + 5cmPolyethylene	×	×	×
C SM-1 + 10cmPolyethylene + 5cmPolyethylene + 15cmB ₄ C	×	×	×

* nominal dimensions

** Spectra & BB : NE-213/Benjamin, 3-,5-,10-in BB on beam centerline
 BB Centerline : 3-,5-,8-,10-in BB on centerline at 30cm & 150cm behind
 BB Traverse : 3-,5-,8-in BB traverses at 30cm behind

表5.2 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 I A、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 14. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IA): Run 7931.A

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	1.84E +05	1.86E +05	5.94E +00	1.80E +03	1.87E +03
9.07E -01	1.68E +05	1.69E +05	6.25E +00	1.42E +03	1.51E +03
1.01E +00	1.28E +05	1.28E +05	6.55E +00	1.15E +03	1.23E +03
1.11E +00	1.01E +05	1.01E +05	6.84E +00	9.81E +02	1.03E +03
1.20E +00	8.79E +04	8.85E +04	7.24E +00	7.83E +02	8.24E +02
1.31E +00	7.97E +04	8.03E +04	7.74E +00	5.31E +02	5.80E +02
1.41E +00	7.32E +04	7.37E +04	8.24E +00	3.74E +02	4.21E +02
1.51E +00	6.69E +04	6.75E +04	8.76E +00	2.87E +02	3.12E +02
1.61E +00	6.05E +04	6.09E +04	9.26E +00	2.15E +02	2.37E +02
1.71E +00	5.42E +04	5.46E +04	9.74E +00	1.67E +02	1.84E +02
1.81E +00	4.84E +04	4.89E +04	1.03E +01	1.25E +02	1.40E +02
1.93E +00	4.30E +04	4.34E +04	1.08E +01	8.06E +01	9.40E +01
2.10E +00	3.70E +04	3.74E +04	1.12E +01	5.29E +01	6.31E +01
2.30E +00	3.13E +04	3.16E +04	1.18E +01	3.49E +01	4.33E +01
2.50E +00	2.62E +04	2.65E +04	1.24E +01	2.18E +01	2.98E +01
2.70E +00	2.13E +04	2.15E +04	1.32E +01	1.32E +01	1.87E +01
2.90E +00	1.68E +04	1.70E +04	1.40E +01	4.32E +00	9.10E +00
3.10E +00	1.29E +04	1.32E +04	1.48E +01	1.59E +00	5.48E +00
3.30E +00	1.02E +04	1.04E +04	1.56E +01	2.53E +00	5.76E +00
3.50E +00	8.15E +03	8.37E +03	1.65E +01	1.91E +00	4.60E +00
3.71E +00	6.67E +03	6.83E +03	1.75E +01	-2.52E -01	1.82E +00
3.91E +00	5.68E +03	5.82E +03	1.85E +01	-5.91E -01	1.07E +00
4.15E +00	4.85E +03	4.99E +03	1.95E +01	-5.11E -01	1.05E +00
4.45E +00	4.16E +03	4.27E +03	2.05E +01	-1.22E +00	1.17E +00
4.75E +00	3.56E +03	3.66E +03	2.16E +01	-1.36E +00	1.15E +00
5.04E +00	3.02E +03	3.11E +03	2.26E +01	-8.71E -01	8.35E -01
5.34E +00	2.56E +03	2.64E +03	2.35E +01	-7.16E -01	7.49E -01
5.64E +00	3.16E +03	2.25E +03			

E1 (MeV)	E2 (MeV)	Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹	Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹
0.811	1.000	3.11E +04	1.01E +02
1.000	1.200	2.10E +04	6.44E +01
1.200	1.600	2.97E +04	1.08E +02
1.600	2.000	1.99E +04	8.16E +01
2.000	3.000	2.67E +04	1.42E +02
3.000	4.000	8.83E +03	9.54E +01
4.000	6.000	6.57E +03	9.73E +01
6.000	8.000	1.95E +03	6.00E +01
8.000	10.000	5.51E +02	2.74E +01
10.000	12.000	1.59E +02	1.19E +01
12.000	16.000	4.55E +01	1.00E +01
16.000	20.000	4.51E +00	4.05E +00
3.000	10.000	1.79E +04	2.81E +02
1.500	15.000	7.11E +04	5.49E +02
3.000	12.000	1.81E +04	2.92E +02

表5.3 中性子スペクトル測定値 (体系 I A、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 15. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IA) Runs 1602.C, 1602.B, 1602.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1602.C</u>				
1	0.0380	0.0451	5.46E +06	1.63
2	0.0451	0.0539	5.11E +06	1.55
3	0.0539	0.0628	4.80E +06	1.84
4	0.0628	0.0734	4.42E +06	1.79
5	0.0734	0.0875	3.66E +06	1.72
6	0.0875	0.1035	2.82E +06	2.17
7	0.1035	0.1211	2.77E +06	2.18
8	0.1211	0.1424	2.53E +06	2.12
9	0.1424	0.1671	2.04E +06	2.40
10	0.1671	0.1972	1.80E +06	2.35
11	0.1972	0.2308	1.50E +06	2.68
12	0.2308	0.2732	1.26E +06	2.56
<u>RUN 1602.B</u>				
1	0.1942	0.2337	1.51E +06	1.10
2	0.2337	0.2732	1.22E +06	1.51
3	0.2732	0.3193	1.06E +06	1.59
4	0.3193	0.3786	7.40E +05	1.88
5	0.3786	0.4444	5.10E +05	2.70
6	0.4444	0.5234	6.02E +05	2.03
7	0.5234	0.6156	5.30E +05	1.99
<u>RUN 1602.A</u>				
1	0.4521	0.5284	5.45E +05	1.26
2	0.5284	0.6156	5.28E +05	1.17
3	0.6156	0.7245	3.65E +05	1.33
4	0.7245	0.8553	2.49E +05	1.62
5	0.8553	1.0078	1.28E +05	2.75
6	1.0078	1.1821	9.01E +04	3.62
7	1.1821	1.4000	7.91E +04	3.33

表5.4 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II B、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 19. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIB): Run 7932

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	3.82E +03	3.94E +03	5.94E +00	5.65E +01	6.22E +01
9.07E -01	4.05E +03	4.10E +03	6.25E +00	4.75E +01	5.42E +01
1.01E +00	3.65E +03	3.69E +03	6.55E +00	3.99E +01	4.56E +01
1.11E +00	3.13E +03	3.17E +03	6.84E +00	3.60E +01	4.01E +01
1.20E +00	2.67E +03	2.70E +03	7.24E +00	3.16E +01	3.52E +01
1.31E +00	2.25E +03	2.29E +03	7.74E +00	2.45E +01	2.87E +01
1.41E +00	1.94E +03	1.97E +03	8.24E +00	1.82E +01	2.24E +01
1.51E +00	1.72E +03	1.74E +03	8.76E +00	1.42E +01	1.65E +01
1.61E +00	1.53E +03	1.55E +03	9.26E +00	1.20E +01	1.41E +01
1.71E +00	1.36E +03	1.38E +03	9.74E +00	1.05E +01	1.23E +01
1.81E +00	1.19E +03	1.22E +03	1.03E +01	8.09E +00	9.70E +00
1.93E +00	1.03E +03	1.05E +03	1.08E +01	5.82E +00	7.24E +00
2.10E +00	8.25E +02	8.44E +02	1.12E +01	4.79E +00	5.98E +00
2.30E +00	6.49E +02	6.66E +02	1.18E +01	4.04E +00	5.02E +00
2.50E +00	5.17E +02	5.31E +02	1.24E +01	2.58E +00	3.54E +00
2.70E +00	4.05E +02	4.19E +02	1.32E +01	1.17E +00	1.90E +00
2.90E +00	3.34E +02	3.47E +02	1.40E +01	8.54E -01	1.52E +00
3.10E +00	2.69E +02	2.83E +02	1.48E +01	7.98E -01	1.32E +00
3.30E +00	2.08E +02	2.19E +02	1.56E +01	6.03E -01	1.00E +00
3.50E +00	1.65E +02	1.77E +02	1.65E +01	2.41E -01	5.45E -01
3.71E +00	1.40E +02	1.50E +02	1.75E +01	-9.22E -02	1.43E -01
3.91E +00	1.25E +02	1.34E +02	1.85E +01	-8.75E -02	9.26E -02
4.15E +00	1.19E +02	1.27E +02	1.95E +01	-5.94E -02	1.15E -01
4.45E +00	1.16E +02	1.23E +02	2.05E +01	-8.41E -02	1.83E -01
4.75E +00	1.07E +02	1.14E +02	2.16E +01	-1.00E -01	1.80E -01
5.04E +00	9.19E +01	9.79E +01	2.26E +01	-1.06E -01	8.44E -02
5.34E +00	7.52E +01	8.08E +01	2.35E +01	-1.13E -01	5.05E -02
5.64E +00	6.34E +01	6.97E +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	7.51E +02	5.59E +00
1.000	1.200	6.37E +02	3.61E +00
1.200	1.600	8.14E +02	5.98E +00
1.600	2.000	4.93E +02	4.36E +00
2.000	3.000	5.54E +02	7.73E +00
3.000	4.000	1.87E +02	5.62E +00
4.000	6.000	1.90E +02	6.57E +00
6.000	8.000	7.50E +01	4.71E +00
8.000	10.000	3.00E +01	2.57E +00
10.000	12.000	1.27E +01	1.31E +00
12.000	16.000	6.13E +00	1.30E +00
16.000	20.000	4.75E -01	4.55E -01
3.000	10.000	4.82E +02	1.95E +01
1.500	15.000	1.71E +03	3.53E +01
3.000	12.000	4.95E +02	2.08E +01

表5.5 中性子スペクトル測定値 (体系II B、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 20. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIB) Runs 1603.C, 1603.B, 1603.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1603.C</u>				
1	0.0448	0.0536	7.14E +04	2.05
2	0.0536	0.0624	4.68E +04	3.48
3	0.0624	0.0747	3.75E +04	3.38
4	0.0747	0.0870	3.47E +04	4.18
5	0.0870	0.1028	3.11E +04	3.92
6	0.1028	0.1204	2.68E +04	4.61
7	0.1204	0.1415	2.56E +04	4.41
8	0.1415	0.1679	2.44E +04	3.99
9	0.1679	0.1977	2.12E +04	4.48
<u>RUN 1603.B</u>				
1	0.1459	0.1653	2.34E +04	2.32
2	0.1653	0.1977	2.14E +04	1.73
3	0.1977	0.2302	1.90E +04	2.23
4	0.2302	0.2755	1.75E +04	1.91
5	0.2755	0.3209	1.69E +04	2.26
6	0.3209	0.3793	1.45E +04	2.23
7	0.3793	0.4441	1.15E +04	2.81
8	0.4441	0.5284	1.08E +04	2.40
<u>RUN 1603.A</u>				
1	0.3759	0.4521	1.11E +04	1.24
2	0.4521	0.5284	1.06E +04	1.45
3	0.5284	0.6156	9.82E +03	1.43
4	0.6156	0.7245	7.14E +03	1.61
5	0.7245	0.8553	5.10E +03	1.95
6	0.8553	1.0078	3.70E +03	2.41
7	1.0078	1.1821	2.92E +03	2.78
8	1.1821	1.4000	2.48E +03	2.57

表5.6 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II C、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 24. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIC): Run 7933

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	2.55E +03	2.62E +03	5.94E +00	3.35E +01	3.69E +01
9.07E -01	2.68E +03	2.71E +03	6.25E +00	2.86E +01	3.26E +01
1.01E +00	2.38E +03	2.40E +03	6.55E +00	2.46E +01	2.79E +01
1.11E +00	2.02E +03	2.05E +03	6.84E +00	2.14E +01	2.38E +01
1.20E +00	1.72E +03	1.74E +03	7.24E +00	1.75E +01	1.95E +01
1.31E +00	1.46E +03	1.47E +03	7.74E +00	1.38E +01	1.62E +01
1.41E +00	1.25E +03	1.27E +03	8.24E +00	1.12E +01	1.37E +01
1.51E +00	1.09E +03	1.11E +03	8.76E +00	9.14E +00	1.05E +01
1.61E +00	9.58E +02	9.73E +02	9.26E +00	6.85E +00	8.05E +00
1.71E +00	8.37E +02	8.50E +02	9.74E +00	5.44E +00	6.46E +00
1.81E +00	7.25E +02	7.38E +02	1.03E +01	4.63E +00	5.56E +00
1.93E +00	6.11E +02	6.23E +02	1.08E +01	3.71E +00	4.55E +00
2.10E +00	4.89E +02	5.00E +02	1.12E +01	3.01E +00	3.70E +00
2.30E +00	3.83E +02	3.93E +02	1.18E +01	2.62E +00	3.18E +00
2.50E +00	2.95E +02	3.03E +02	1.24E +01	1.79E +00	2.34E +00
2.70E +00	2.28E +02	2.35E +02	1.32E +01	8.04E -01	1.18E +00
2.90E +00	1.79E +02	1.87E +02	1.40E +01	3.82E -01	7.46E -01
3.10E +00	1.41E +02	1.49E +02	1.48E +01	2.87E -01	5.34E -01
3.30E +00	1.16E +02	1.22E +02	1.56E +01	2.28E -01	4.80E -01
3.50E +00	9.78E +01	1.05E +02	1.65E +01	4.21E -02	2.21E -01
3.71E +00	8.46E +01	9.03E +01	1.75E +01	-7.18E -02	9.92E -02
3.91E +00	7.68E +01	8.19E +01	1.85E +01	-9.24E -02	4.70E -02
4.15E +00	7.14E +01	7.62E +01	1.95E +01	-1.05E -01	3.11E -02
4.45E +00	6.57E +01	6.98E +01	2.05E +01	-1.06E -01	9.54E -02
4.75E +00	6.01E +01	6.39E +01	2.16E +01	-9.36E -02	1.17E -01
5.04E +00	5.25E +01	5.60E +01	2.26E +01	-7.39E -02	7.90E -02
5.34E +00	4.37E +01	4.70E +01	2.35E +01	-6.96E -02	5.66E -02
5.64E +00	3.76E +01	4.13E +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	4.96E +02	3.33E +00
1.000	1.200	4.13E +02	2.16E +00
1.200	1.600	5.23E +02	3.44E +00
1.600	2.000	3.01E +02	2.54E +00
2.000	3.000	3.19E +02	4.48E +00
3.000	4.000	1.07E +02	3.24E +00
4.000	6.000	1.10E +02	3.83E +00
6.000	8.000	4.39E +01	2.72E +00
8.000	10.000	1.79E +01	1.47E +00
10.000	12.000	7.74E +00	7.60E -01
12.000	16.000	3.50E +00	7.05E -01
16.000	20.000	1.08E -01	3.20E -01
3.000	10.000	2.78E +02	1.13E +01
1.500	15.000	1.01E +03	2.05E +01
3.000	12.000	2.86E +02	1.21E +01

表5.7 中性子スペクトル測定値 (体系II C、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 25. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIC) Runs 1604.C, 1604.B, 1604.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1604.C</u>				
1	0.0448	0.0536	3.76E +04	2.13
2	0.0536	0.0624	2.90E +04	3.09
3	0.0624	0.0730	2.43E +04	3.40
4	0.0730	0.0870	2.24E +04	3.01
5	0.0870	0.1011	1.92E +04	4.00
6	0.1011	0.1187	1.67E +04	4.00
7	0.1187	0.1398	1.74E +04	3.50
8	0.1398	0.1662	1.46E +04	3.57
<u>RUN 1604.B</u>				
1	0.1205	0.1466	1.74E +04	1.32
2	0.1466	0.1662	1.49E +04	2.30
3	0.1662	0.1987	1.38E +04	1.69
4	0.1987	0.2313	1.22E +04	2.19
5	0.2313	0.2769	1.11E +04	1.88
6	0.2769	0.3225	1.08E +04	2.20
7	0.3225	0.3812	8.94E +03	2.23
8	0.3812	0.4463	7.25E +03	2.74
9	0.4463	0.5310	7.02E +03	2.26
<u>RUN 1604.A</u>				
1	0.3808	0.4452	6.94E +03	1.50
2	0.4452	0.5310	6.89E +03	1.20
3	0.5310	0.6169	6.21E +03	1.44
4	0.6169	0.7241	4.59E +03	1.60
5	0.7241	0.8529	3.45E +03	1.84
6	0.8529	1.0031	2.53E +03	2.24
7	1.0031	1.1854	2.00E +03	2.36
8	1.1854	1.4000	1.55E +03	2.58

表5.8 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II D、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 26. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IID): Run 7934

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	4.04E +02	4.14E +02	5.94E +00	5.37E +00	5.94E +00
9.07E -01	4.40E +02	4.44E +02	6.25E +00	4.74E +00	5.40E +00
1.01E +00	3.77E +02	3.80E +02	6.55E +00	4.48E +00	5.02E +00
1.11E +00	2.82E +02	2.85E +02	6.84E +00	4.04E +00	4.45E +00
1.20E +00	2.01E +02	2.04E +02	7.24E +00	3.48E +00	3.83E +00
1.31E +00	1.48E +02	1.51E +02	7.74E +00	3.07E +00	3.50E +00
1.41E +00	1.23E +02	1.26E +02	8.24E +00	2.74E +00	3.19E +00
1.51E +00	1.10E +02	1.12E +02	8.76E +00	2.19E +00	2.42E +00
1.61E +00	9.99E +01	1.02E +02	9.26E +00	1.48E +00	1.69E +00
1.71E +00	9.17E +01	9.36E +01	9.74E +00	1.11E +00	1.29E +00
1.81E +00	8.51E +01	8.69E +01	1.03E +01	1.01E +00	1.17E +00
1.93E +00	7.82E +01	7.99E +01	1.08E +01	9.00E -01	1.05E +00
2.10E +00	6.80E +01	6.97E +01	1.12E +01	6.54E -01	7.75E -01
2.30E +00	5.47E +01	5.62E +01	1.18E +01	4.63E -01	5.60E -01
2.50E +00	4.13E +01	4.25E +01	1.24E +01	3.57E -01	4.50E -01
2.70E +00	3.17E +01	3.29E +01	1.32E +01	1.91E -01	2.58E -01
2.90E +00	2.74E +01	2.87E +01	1.40E +01	8.12E -02	1.40E -01
3.10E +00	2.45E +01	2.58E +01	1.48E +01	7.51E -02	1.21E -01
3.30E +00	2.10E +01	2.20E +01	1.56E +01	7.99E -02	1.18E -01
3.50E +00	1.73E +01	1.85E +01	1.65E +01	5.11E -02	8.21E -02
3.71E +00	1.53E +01	1.62E +01	1.75E +01	-4.41E -03	1.98E -02
3.91E +00	1.46E +01	1.55E +01	1.85E +01	-1.84E -02	4.10E -04
4.15E +00	1.42E +01	1.49E +01	1.95E +01	-1.10E -02	7.01E -03
4.45E +00	1.26E +01	1.33E +01	2.05E +01	-2.33E -02	4.23E -03
4.75E +00	1.02E +01	1.09E +01	2.16E +01	-2.66E -02	2.28E -03
5.04E +00	8.37E +00	8.93E +00	2.26E +01	-1.15E -02	8.16E -03
5.34E +00	7.39E +00	7.92E +00	2.35E +01	-3.88E -03	1.30E -02
5.64E +00	6.38E +00	7.01E +00			

E1 (MeV)	E2 (MeV)	Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹	Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹
0.811	1.000	8.06E +01	5.09E -01
1.000	1.200	5.82E +01	2.94E -01
1.200	1.600	5.41E +01	4.81E -01
1.600	2.000	3.49E +01	3.64E -01
2.000	3.000	4.53E +01	6.86E -01
3.000	4.000	1.91E +01	5.24E -01
4.000	6.000	1.95E +01	6.21E -01
6.000	8.000	8.23E +00	4.65E -01
8.000	10.000	4.03E +00	2.63E -01
10.000	12.000	1.65E +00	1.31E -01
12.000	16.000	7.46E -01	1.21E -01
16.000	20.000	6.31E -02	4.67E -02
3.000	10.000	5.08E +01	1.88E +00
1.500	15.000	1.44E +02	3.27E +00
3.000	12.000	5.24E +01	2.01E +00

表5.9 中性子スペクトル測定値 (体系II D、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 27. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IID) Runs 1605.C, 1605.B, 1605.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1605.C</u>				
1	0.0376	0.0446	1.27E +04	0.88
2	0.0446	0.0534	5.55E +03	1.66
3	0.0534	0.0621	3.18E +03	3.19
4	0.0621	0.0726	2.50E +03	3.73
5	0.0726	0.0866	2.39E +03	3.18
6	0.0866	0.1006	2.07E +03	4.18
7	0.1006	0.1181	1.78E +03	4.19
8	0.1181	0.1392	1.71E +03	3.98
9	0.1392	0.1654	1.56E +03	3.75
<u>RUN 1605.B</u>				
1	0.1200	0.1459	1.76E +03	1.34
2	0.1459	0.1654	1.45E +03	2.41
3	0.1654	0.1978	1.29E +03	1.84
4	0.1978	0.2303	1.09E +03	2.50
5	0.2303	0.2757	9.61E +02	2.25
6	0.2757	0.3211	9.22E +02	2.71
7	0.3211	0.3795	7.61E +02	2.81
8	0.3795	0.4443	6.12E +02	3.58
9	0.4443	0.5222	6.69E +02	3.00
10	0.5222	0.6195	6.77E +02	2.51
11	0.6195	0.7297	5.81E +02	2.72
<u>RUN 1605.A</u>				
1	0.5243	0.6216	6.27E +02	1.92
2	0.6216	0.7297	5.53E +02	2.11
3	0.7297	0.8595	5.10E +02	1.98
4	0.8595	1.0108	4.15E +02	2.10
5	1.0108	1.1838	2.68E +02	2.79
6	1.1838	1.4000	1.34E +02	4.35

表5.10 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III A、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 28. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIA): Run 7935

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	8.18E +03	8.41E +03	5.94E +00	4.60E +02	4.80E +02
9.07E -01	9.13E +03	9.25E +03	6.25E +00	3.82E +02	4.05E +02
1.01E +00	8.82E +03	8.92E +03	6.55E +00	3.27E +02	3.47E +02
1.11E +00	8.27E +03	8.38E +03	6.84E +00	2.80E +02	2.94E +02
1.20E +00	7.85E +03	7.95E +03	7.24E +00	2.22E +02	2.33E +02
1.31E +00	7.43E +03	7.53E +03	7.74E +00	1.68E +02	1.82E +02
1.41E +00	7.06E +03	7.15E +03	8.24E +00	1.22E +02	1.35E +02
1.51E +00	6.72E +03	6.80E +03	8.76E +00	8.04E +01	8.70E +01
1.61E +00	6.33E +03	6.41E +03	9.26E +00	5.64E +01	6.22E +01
1.71E +00	5.93E +03	6.00E +03	9.74E +00	4.49E +01	4.94E +01
1.81E +00	5.57E +03	5.64E +03	1.03E +01	3.51E +01	3.93E +01
1.93E +00	5.18E +03	5.25E +03	1.08E +01	2.54E +01	2.91E +01
2.10E +00	4.59E +03	4.66E +03	1.12E +01	1.69E +01	1.98E +01
2.30E +00	4.02E +03	4.08E +03	1.18E +01	1.10E +01	1.33E +01
2.50E +00	3.49E +03	3.54E +03	1.24E +01	7.85E +00	1.01E +01
2.70E +00	2.90E +03	2.95E +03	1.32E +01	5.39E +00	6.91E +00
2.90E +00	2.45E +03	2.50E +03	1.40E +01	2.87E +00	4.26E +00
3.10E +00	2.05E +03	2.10E +03	1.48E +01	1.65E +00	2.63E +00
3.30E +00	1.66E +03	1.71E +03	1.56E +01	1.24E +00	2.09E +00
3.50E +00	1.40E +03	1.45E +03	1.65E +01	6.22E -01	1.22E +00
3.71E +00	1.26E +03	1.29E +03	1.75E +01	-1.63E -01	2.83E -01
3.91E +00	1.14E +03	1.18E +03	1.85E +01	-2.99E -01	7.02E -02
4.15E +00	1.05E +03	1.08E +03	1.95E +01	-2.10E -01	1.14E -01
4.45E +00	9.63E +02	9.89E +02	2.05E +01	-2.92E -01	2.06E -01
4.75E +00	8.46E +02	8.71E +02	2.16E +01	-3.10E -01	2.12E -01
5.04E +00	7.25E +02	7.47E +02	2.26E +01	-1.94E -01	1.50E -01
5.34E +00	6.28E +02	6.49E +02	2.35E +01	-1.52E -01	1.50E -01
5.64E +00	5.43E +02	5.65E +02			

E1 (MeV)	E2 (MeV)	Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹	Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹
0.811	1.000	1.70E +03	1.30E +01
1.000	1.200	1.68E +03	1.04E +01
1.200	1.600	2.86E +03	1.81E +01
1.600	2.000	2.26E +03	1.50E +01
2.000	3.000	3.52E +03	2.89E +01
3.000	4.000	1.52E +03	2.18E +01
4.000	6.000	1.54E +03	2.41E +01
6.000	8.000	5.50E +02	1.55E +01
8.000	10.000	1.59E +02	7.37E +00
10.000	12.000	4.77E +01	3.27E +00
12.000	16.000	1.81E +01	2.76E +00
16.000	20.000	8.55E -01	8.89E -01
3.000	10.000	3.78E +03	6.90E +01
1.500	15.000	1.03E +04	1.23E +02
3.000	12.000	3.82E +03	7.23E +01

表5.11 中性子スペクトル測定値 (体系ⅢA、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 29. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIA) Runs 1606.C, 1606.B, 1606.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1606.C</u>				
1	0.0394	0.0447	5.97E +04	3.20
2	0.0447	0.0534	3.41E +04	3.78
3	0.0534	0.0622	2.31E +04	6.43
4	0.0622	0.0744	2.16E +04	5.51
5	0.0744	0.0867	2.18E +04	6.37
6	0.0867	0.1025	1.86E +04	6.44
7	0.1025	0.1200	1.79E +04	6.92
8	0.1200	0.1410	1.82E +04	6.32
9	0.1410	0.1673	1.68E +04	6.00
10	0.1673	0.1971	1.46E +04	6.86
<u>RUN 1606.B</u>				
1	0.1436	0.1703	1.52E +04	2.92
2	0.1703	0.1971	1.42E +04	3.66
3	0.1971	0.2371	1.28E +04	3.14
4	0.2371	0.2772	1.27E +04	3.78
5	0.2772	0.3240	1.32E +04	3.60
6	0.3240	0.3841	1.31E +04	3.17
7	0.3841	0.4509	1.12E +04	3.87
8	0.4509	0.5310	1.28E +04	3.10
<u>RUN 1606.A</u>				
1	0.3808	0.4452	1.13E +04	2.82
2	0.4452	0.5310	1.19E +04	2.24
3	0.5310	0.6169	1.09E +04	2.85
4	0.6169	0.7241	9.69E +03	2.85
5	0.7241	0.8529	9.18E +03	2.79
6	0.8529	1.0031	7.74E +03	3.16
7	1.0031	1.1854	7.33E +03	2.99
8	1.1854	1.4000	7.22E +03	2.76

表5.12 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III B、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 30. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIB): Run 7936

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	2.36E +03	2.43E +03	5.94E +00	2.18E +02	2.25E +02
9.07E -01	2.68E +03	2.72E +03	6.25E +00	1.89E +02	1.96E +02
1.01E +00	2.64E +03	2.67E +03	6.55E +00	1.64E +02	1.70E +02
1.11E +00	2.49E +03	2.52E +03	6.84E +00	1.40E +02	1.44E +02
1.20E +00	2.37E +03	2.40E +03	7.24E +00	1.11E +02	1.15E +02
1.31E +00	2.26E +03	2.29E +03	7.74E +00	8.41E +01	8.88E +01
1.41E +00	2.17E +03	2.20E +03	8.24E +00	6.09E +01	6.59E +01
1.51E +00	2.08E +03	2.10E +03	8.76E +00	4.44E +01	4.67E +01
1.61E +00	1.98E +03	2.00E +03	9.26E +00	3.17E +01	3.37E +01
1.71E +00	1.87E +03	1.89E +03	9.74E +00	2.32E +01	2.47E +01
1.81E +00	1.76E +03	1.78E +03	1.03E +01	1.76E +01	1.91E +01
1.93E +00	1.67E +03	1.69E +03	1.08E +01	1.35E +01	1.47E +01
2.10E +00	1.52E +03	1.54E +03	1.12E +01	9.85E +00	1.08E +01
2.30E +00	1.33E +03	1.35E +03	1.18E +01	6.93E +00	7.69E +00
2.50E +00	1.16E +03	1.17E +03	1.24E +01	4.74E +00	5.48E +00
2.70E +00	9.77E +02	9.91E +02	1.32E +01	2.69E +00	3.15E +00
2.90E +00	8.30E +02	8.45E +02	1.40E +01	1.16E +00	1.55E +00
3.10E +00	7.03E +02	7.19E +02	1.48E +01	5.71E -01	8.88E -01
3.30E +00	5.99E +02	6.13E +02	1.56E +01	4.20E -01	6.96E -01
3.50E +00	5.25E +02	5.40E +02	1.65E +01	2.59E -01	4.58E -01
3.71E +00	4.77E +02	4.89E +02	1.75E +01	-3.53E -02	1.11E -01
3.91E +00	4.46E +02	4.56E +02	1.85E +01	-1.03E -01	2.72E -02
4.15E +00	4.23E +02	4.33E +02	1.95E +01	-5.75E -02	4.74E -02
4.45E +00	4.01E +02	4.09E +02	2.05E +01	-1.21E -01	4.07E -02
4.75E +00	3.70E +02	3.78E +02	2.16E +01	-1.35E -01	3.38E -02
5.04E +00	3.33E +02	3.41E +02	2.26E +01	-6.42E -02	4.61E -02
5.34E +00	2.91E +02	2.98E +02	2.35E +01	-3.30E -02	6.42E -02
5.64E +00	2.51E +02	2.58E +02			

E1 (MeV)	E2 (MeV)	Integral neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹	Error neutrons cm ⁻² kW ⁻¹ s ⁻¹
0.811	1.000	4.99E +02	4.51E +00
1.000	1.200	5.03E +02	2.72E +00
1.200	1.600	8.77E +02	5.33E +00
1.600	2.000	7.17E +02	4.07E +00
2.000	3.000	1.17E +03	8.22E +00
3.000	4.000	5.57E +02	6.68E +00
4.000	6.000	6.73E +02	7.72E +00
6.000	8.000	2.71E +02	5.25E +00
8.000	10.000	8.31E +01	2.62E +00
10.000	12.000	2.52E +01	1.11E +00
12.000	16.000	8.60E +00	8.64E -01
16.000	20.000	3.55E -01	2.96E -01
3.000	10.000	1.58E +03	2.24E +01
1.500	15.000	3.71E +03	3.77E +01
3.000	12.000	1.61E +03	2.35E +01

表5.13 中性子スペクトル測定値 (体系III B、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 31. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIB) Runs 1607.C, 1607.B, 1607.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1607.C</u>				
1	0.0452	0.0523	1.33E +04	3.48
2	0.0523	0.0629	7.81E +03	4.40
3	0.0629	0.0736	5.90E +03	6.82
4	0.0736	0.0860	5.75E +03	6.77
5	0.0860	0.1019	5.81E +03	5.77
6	0.1019	0.1197	4.71E +03	7.34
7	0.1197	0.1409	4.56E +03	7.06
8	0.1409	0.1658	4.56E +03	6.74
<u>RUN 1607.B</u>				
1	0.1184	0.1387	4.54E +03	3.27
2	0.1387	0.1658	4.03E +03	3.33
3	0.1658	0.1996	3.76E +03	3.43
4	0.1996	0.2334	3.57E +03	4.32
5	0.2334	0.2740	3.20E +03	4.67
6	0.2740	0.3214	3.62E +03	4.12
7	0.3214	0.3755	3.58E +03	4.20
8	0.3755	0.4431	3.01E +03	4.49
9	0.4431	0.5243	3.34E +03	3.78
<u>RUN 1607.A</u>				
1	0.3838	0.4486	3.02E +03	2.81
2	0.4486	0.5243	3.21E +03	2.60
3	0.5243	0.6216	3.02E +03	2.40
4	0.6216	0.7297	2.65E +03	2.86
5	0.7297	0.8595	2.62E +03	2.71
6	0.8595	1.0108	2.28E +03	2.98
7	1.0108	1.1838	2.23E +03	2.96
8	1.1838	1.4000	2.14E +03	2.60

表5.14 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III C、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 32. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item IIC): Run 7938

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	8.39E +02	8.57E +02	5.94E +00	4.02E +01	4.16E +01
9.07E -01	9.46E +02	9.56E +02	6.25E +00	3.47E +01	3.64E +01
1.01E +00	8.63E +02	8.69E +02	6.55E +00	3.06E +01	3.20E +01
1.11E +00	7.09E +02	7.16E +02	6.84E +00	2.68E +01	2.79E +01
1.20E +00	5.74E +02	5.80E +02	7.24E +00	2.13E +01	2.21E +01
1.31E +00	4.85E +02	4.91E +02	7.74E +00	1.52E +01	1.62E +01
1.41E +00	4.44E +02	4.50E +02	8.24E +00	1.15E +01	1.25E +01
1.51E +00	4.24E +02	4.30E +02	8.76E +00	9.07E +00	9.59E +00
1.61E +00	4.07E +02	4.12E +02	9.26E +00	7.06E +00	7.52E +00
1.71E +00	3.89E +02	3.94E +02	9.74E +00	5.28E +00	5.63E +00
1.81E +00	3.71E +02	3.76E +02	1.03E +01	3.72E +00	4.05E +00
1.93E +00	3.51E +02	3.55E +02	1.08E +01	2.74E +00	3.03E +00
2.10E +00	3.16E +02	3.20E +02	1.12E +01	2.05E +00	2.27E +00
2.30E +00	2.64E +02	2.68E +02	1.18E +01	1.36E +00	1.54E +00
2.50E +00	2.16E +02	2.19E +02	1.24E +01	8.72E -01	1.04E +00
2.70E +00	1.78E +02	1.81E +02	1.32E +01	5.89E -01	6.98E -01
2.90E +00	1.55E +02	1.59E +02	1.40E +01	3.18E -01	4.09E -01
3.10E +00	1.39E +02	1.43E +02	1.48E +01	1.82E -01	2.53E -01
3.30E +00	1.23E +02	1.26E +02	1.56E +01	7.76E -02	1.37E -01
3.50E +00	1.11E +02	1.14E +02	1.65E +01	1.83E -02	5.65E -02
3.71E +00	1.02E +02	1.04E +02	1.75E +01	-7.58E -03	1.98E -02
3.91E +00	9.46E +01	9.68E +01	1.85E +01	-9.50E -03	1.58E -02
4.15E +00	8.78E +01	8.99E +01	1.95E +01	-5.83E -03	1.33E -02
4.45E +00	8.01E +01	8.19E +01	2.05E +01	-1.72E -02	1.14E -02
4.75E +00	7.01E +01	7.18E +01	2.16E +01	-1.92E -02	1.08E -02
5.04E +00	6.10E +01	6.26E +01	2.26E +01	-9.93E -03	9.52E -03
5.34E +00	5.36E +01	5.50E +01	2.35E +01	-6.79E -03	1.04E -02
5.64E +00	4.65E +01	4.81E +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	1.74E +02	9.93E -01
1.000	1.200	1.45E +02	6.69E -01
1.200	1.600	1.86E +02	1.16E +00
1.600	2.000	1.50E +02	9.25E -01
2.000	3.000	2.27E +02	1.82E +00
3.000	4.000	1.16E +02	1.47E +00
4.000	6.000	1.30E +02	1.68E +00
6.000	8.000	5.08E +01	1.16E +00
8.000	10.000	1.71E +01	5.92E -01
10.000	12.000	5.24E +00	2.54E -01
12.000	16.000	1.86E +00	1.98E -01
16.000	20.000	5.58E -02	5.65E -02
3.000	10.000	3.13E +02	4.92E +00
1.500	15.000	7.40E +02	8.35E +00
3.000	12.000	3.18E +02	5.17E +00

表5.15 中性子スペクトル測定値 (体系III C、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 33. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slabs (Item III C) Runs 1608.B, 1608.C, 1608.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1608.B</u>				
1	0.0393	0.0463	5.93E +03	1.79
2	0.0463	0.0550	2.70E +03	3.50
3	0.0550	0.0655	1.86E +03	4.84
4	0.0655	0.0759	1.77E +03	5.94
5	0.0759	0.0899	1.71E +03	5.09
6	0.0899	0.1056	1.61E +03	5.48
7	0.1056	0.1248	1.50E +03	5.33
<u>RUN 1608.C</u>				
1	0.0911	0.1046	1.59E +03	2.18
2	0.1046	0.1248	1.28E +03	2.25
3	0.1248	0.1450	1.30E +03	2.61
4	0.1450	0.1720	1.22E +03	2.48
5	0.1720	0.1990	1.16E +03	3.08
6	0.1990	0.2328	1.08E +03	3.06
7	0.2328	0.2732	1.05E +03	3.02
8	0.2732	0.3272	1.05E +03	2.58
<u>RUN 1608.A</u>				
1	0.2307	0.2736	1.10E +03	1.88
2	0.2736	0.3272	1.01E +03	1.94
3	0.3272	0.3808	9.21E +02	2.52
4	0.3808	0.4452	8.04E +02	2.78
5	0.4452	0.5310	9.42E +02	2.01
6	0.5310	0.6169	1.00E +03	2.20
7	0.6169	0.7241	9.27E +02	2.08
8	0.7241	0.8259	9.53E +02	1.84
9	0.8529	1.0031	8.38E +02	1.94
10	1.0031	1.1854	6.37E +02	2.21
11	1.1854	1.4000	4.48E +02	2.82

表5.16 NE-213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結果（ORNL/TM-12277より引用）

Table 16. Bonner ball measurements on centerline
at NE 213 location (Items IA, IIB-D, IIIA-C)

Configuration ^a	Detector Location	Bonner ball count rates (s ⁻¹ W ⁻¹)		
		3-in-Diam Ball ^c	5-in-Diam Ball ^c	8-in-Diam Ball ^c
IA	25 cm behind lead ^b	4.69 (2) ^d	2.17 (3)	7.65 (2)
IIB	25 cm behind lead	2.95 (1)	5.79 (1)	1.63 (1)
IIC	25 cm behind lead	1.45 (1)	3.37 (1)	9.89 (0)
IID	25 cm behind lead	1.72 (-1)	1.28 (0)	7.78 (-1)
IIIA	25 cm behind lead	1.04 (1)	3.56 (1)	2.53 (1)
IIIB	25 cm behind lead	2.63 (0)	1.01 (1)	8.36 (0)
IIIC	25 cm behind lead	1.82 (-1)	1.91 (0)	1.87 (0)

^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 configuration.

^dRead: 4.69 x 10².

編者注) 8-in-Diam は 10-in-Diam の誤記

表5.17 ボナーボール検出器測定値 (中心軸上、体系後方30cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 17. Bonner ball measurements on centerline
at 30 cm behind mockups (Items IA, IIA-D, IIIA-C)

Configuration ^a	Bonner ball count rates (s ⁻¹ W ⁻¹)			
	3-in-Diam Ball	5-in-Diam Ball	8-in-Diam Ball	10-in-Diam Ball
IA	6.75 (2) ^b	3.34 (3)	2.32 (3)	1.19 (3)
IIA	2.41 (2)	9.69 (2)	6.44 (2)	3.18 (2)
IIB	4.81 (1)	9.28 (1)	4.94 (1)	2.39 (1)
IIC	2.01 (1)	4.36 (1)	2.41 (1)	1.22 (1)
IID	2.20 (-1)	1.65 (0)	1.60 (0)	1.01 (0)
IIIA	2.47 (1)	7.25 (1)	7.03 (1)	5.04 (1)
IIIB	4.76 (0)	1.74 (1)	1.92 (1)	1.48 (1)
IIIC	2.40 (-1)	2.71 (0)	3.84 (0)	3.05 (0)

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

^bRead: 6.75 x 10².

表5.18 ボナーボール検出器測定値 (中心軸上、体系後方150cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 18. Bonner ball measurements on centerline at 150 cm behind mockups (Items IA, IIA-D, IIIA-C)

<u>Configuration^d</u>	<u>Bonner ball count rates (s⁻¹W⁻¹)</u>							
	<u>3-in-Diam Ball</u>		<u>5-in-Diam Ball</u>		<u>8-in-Diam Ball</u>		<u>10-in-Diam Ball</u>	
	<u>Foreground^b</u>	<u>Background^c</u>	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>
IA	1.29 (2) ^d	2.87 (1)	5.81 (2)	7.14 (1)	3.94 (2)	3.53 (1)	2.01 (2)	1.65 (1)
IIA	4.43 (1)	6.97 (0)	1.65 (2)	1.60 (1)	1.11 (2)	7.61 (0)	5.36 (1)	3.52 (0)
IIB	8.62 (0)	7.21 (-1)	1.70 (1)	1.26 (0)	9.78 (0)	5.67 (-1)	4.81 (0)	2.66 (-1)
IIC	4.02 (0)	4.33 (-1)	8.69 (0)	7.84 (-1)	4.88 (0)	3.66 (-1)	2.44 (0)	1.77 (-1)
IID	4.85 (-2)	1.10 (-2)	3.22 (-1)	3.34 (-2)	3.21 (-1)	2.15 (-2)	1.95 (-1)	1.14 (-2)
IIIA	4.51 (0)	4.84 (-1)	1.35 (1)	1.11 (0)	1.36 (1)	7.31 (-1)	9.78 (0)	4.43 (-1)
IIIB	9.60 (-1)	1.46 (-1)	3.43 (0)	3.58 (-1)	3.97 (0)	2.48 (-1)	3.10 (0)	1.59 (-1)
IIIC	5.22 (-2)	1.55 (-2)	4.99 (-1)	5.57 (-2)	7.14 (-1)	4.55 (-2)	5.70 (-1)	3.11 (-2)

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

^bCount rates without shadow shield between detector and configuration.

^cCount rates with shadow shield between detector and configuration.

^dRead: 1.29 x 10².

表5.19 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)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 21. 3-inch Bonner ball traverses through the
horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations
(Items IIB-D, IIB-C)

Distance from Centerline (cm)	Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$)				
	Item IIB ^a	Item IIC	Item IID	Item IIB	Item IIC
100 S		5.14 (0) ^b	5.30 (-2)	7.53 (-1)	
96.4					6.57 (-2)
90		7.26 (0)	7.09 (-2)	1.01 (0)	7.59 (-2)
80	1.30 (1)	9.93 (0)	9.85 (-2)	1.47 (0)	9.45 (-2)
70	1.72 (1)	1.22 (1)	1.21 (-1)	1.99 (0)	1.16 (-1)
60	2.28 (1)	1.40 (1)	1.44 (-1)	2.82 (0)	1.40 (-1)
50	3.08 (1)	1.54 (1)	1.63 (-1)	3.25 (0)	1.63 (-1)
40	3.76 (1)	1.70 (1)	1.79 (-1)	3.86 (0)	1.89 (-1)
30	4.23 (1)	1.87 (1)	2.00 (-1)	4.36 (0)	2.10 (-1)
20	4.65 (1)	1.97 (1)	2.10 (-1)	4.73 (0)	2.26 (-1)
10	4.89 (1)	2.06 (1)	2.17 (-1)	5.05 (0)	2.36 (-1)
0	4.89 (1)	2.06 (1)	2.19 (-1)	5.07 (0)	2.39 (-1)
10	4.77 (1)	2.00 (1)	2.19 (-1)	4.92 (0)	2.33 (-1)
20	4.43 (1)	1.90 (1)	2.10 (-1)	4.61 (0)	2.23 (-1)
30	3.95 (1)	1.77 (1)	1.95 (-1)	4.24 (0)	2.05 (-1)
40	3.46 (1)	1.59 (1)	1.80 (-1)	3.64 (0)	1.82 (-1)
50	2.77 (1)	1.39 (1)	1.58 (-1)	3.09 (0)	1.58 (-1)
60	2.11 (1)	1.22 (1)	1.44 (-1)	2.60 (0)	1.33 (-1)
65	1.80 (1)				
70		1.01 (1)	1.21 (-1)	1.88 (0)	1.10 (-1)
75			1.11 (-1)	1.62 (0)	
80 N		7.64 (0)			8.81 (-2)

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

^bRead: 5.14×10^0 .

表5.20 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)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 22. 5-inch Bonner ball traverses through the
horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations
(Items IIB-D, IIB-C)

Distance from Centerline (cm)	Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$)				
	Item IIB ^a	Item IIC	Item IID	Item IIB	Item IIC
100 S		7.04 (0) ^b	2.96 (-1)	2.22 (0)	
92.9					5.53 (-1)
90		1.08 (1)	4.35 (-1)	3.11 (0)	6.00 (-1)
80	2.52 (1)	1.71 (1)	6.31 (-1)	4.66 (0)	8.39 (-1)
70	3.21 (1)	2.48 (1)	8.11 (-1)	6.48 (0)	1.11 (0)
60	4.34 (1)	3.06 (1)	9.81 (-1)	9.13 (0)	1.42 (0)
50	5.73 (1)	3.35 (1)	1.15 (0)	1.11 (1)	1.72 (0)
40	6.96 (1)	3.68 (1)	1.31 (0)	1.33 (1)	2.04 (0)
30	8.04 (1)	4.05 (1)	1.45 (0)	1.52 (1)	2.34 (0)
20	8.82 (1)	4.29 (1)	1.54 (0)	1.67 (1)	2.53 (0)
10	9.08 (1)	4.42 (1)	1.63 (0)	1.78 (1)	2.65 (0)
0	9.30 (1)	4.48 (1)	1.61 (0)	1.79 (1)	2.66 (0)
10	8.96 (1)	4.32 (1)	1.58 (0)	1.74 (1)	2.60 (0)
20	8.37 (1)	4.08 (1)	1.51 (0)	1.65 (1)	2.46 (0)
30	7.33 (1)	3.75 (1)	1.42 (0)	1.48 (1)	2.26 (0)
40	6.38 (1)	3.35 (1)	1.26 (0)	1.28 (1)	1.97 (0)
50	5.20 (1)	2.99 (1)	1.12 (0)	1.07 (1)	1.65 (0)
60	3.86 (1)	2.65 (1)	9.85 (-1)	8.60 (0)	1.33 (0)
65	3.31 (1)				
70		2.23 (1)	7.98 (-1)	6.18 (0)	1.02 (0)
75			6.97 (-1)	5.21 (0)	
80 N		1.64 (1)			7.66 (-1)

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

^bRead: 7.04×10^0 .

表5.21 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)
(ORNL/TM-12277より引用)

Table 23. 8-inch Bonner ball traverses through the
horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations
(Items IIB-D, IIIB-C)

Distance from Centerline (cm)	Bonner ball count rates ($s^{-1}W^{-1}$)				
	Item IIB ^a	Item IIC	Item IID	Item IIIB	Item IIIC
100 S		3.95 (0) ^b	2.61 (-1)	1.94 (0)	
90		6.15 (0)	3.76 (-1)	2.90 (0)	
80	1.36 (1)	9.73 (0)	5.69 (-1)	4.51 (0)	1.04 (0)
70	1.74 (1)	1.36 (1)	7.43 (-1)	6.71 (0)	1.43 (0)
60	2.43 (1)	1.67 (1)	9.13 (-1)	9.31 (0)	1.87 (0)
50	3.21 (1)	1.83 (1)	1.08 (0)	1.19 (1)	2.34 (0)
40	3.81 (1)	2.02 (1)	1.24 (0)	1.43 (1)	2.83 (0)
30	4.39 (1)	2.16 (1)	1.37 (0)	1.64 (1)	3.25 (0)
20	4.87 (1)	2.37 (1)	1.52 (0)	1.82 (1)	3.56 (0)
10	4.99 (1)	2.42 (1)	1.58 (0)	1.92 (1)	3.78 (0)
0	5.13 (1)	2.44 (1)	1.59 (0)	1.95 (1)	3.85 (0)
10	4.85 (1)	2.34 (1)	1.58 (0)	1.89 (1)	3.78 (0)
20	4.69 (1)	2.20 (1)	1.49 (0)	1.78 (1)	3.63 (0)
30	4.10 (1)	2.03 (1)	1.35 (0)	1.59 (1)	3.32 (0)
40	3.58 (1)	1.80 (1)	1.23 (0)	1.37 (1)	2.90 (0)
50	2.88 (1)	1.59 (1)	1.06 (0)	1.12 (1)	2.47 (0)
60	2.10 (1)	1.43 (1)	9.08 (-1)	8.75 (0)	1.99 (0)
70	1.43 (1)	1.15 (1)	7.40 (-1)	6.20 (0)	1.52 (0)
75			6.41 (-1)	5.09 (0)	
80 N		8.44 (0)			1.10 (0)

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

^bRead: 3.95×10^0 .

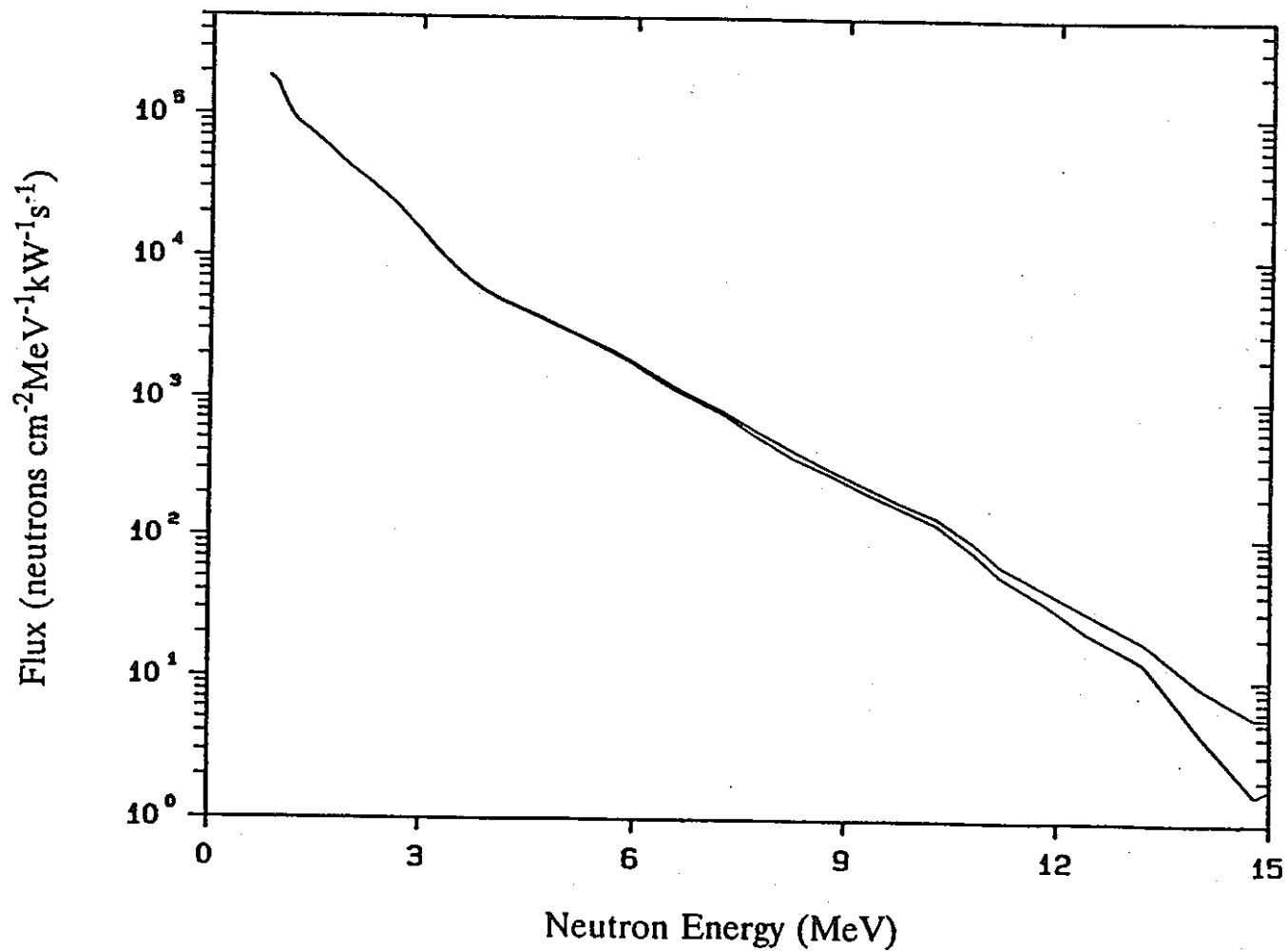


図5.1 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 I A、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 4. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IA) Run 7931.

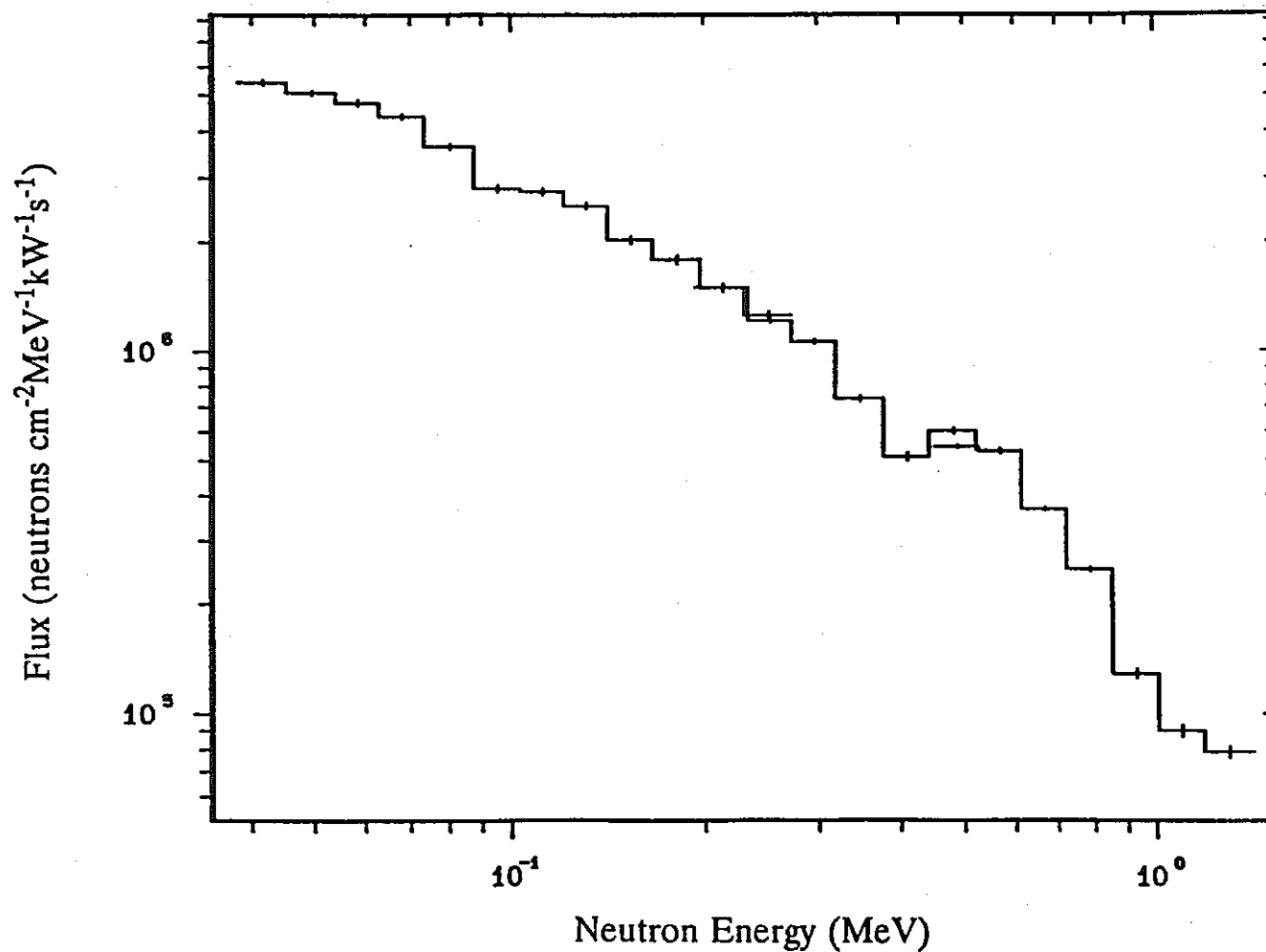


図5.2 中性子スペクトル測定値 (体系 I A、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 5. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IA) Runs 1602.C, 1602.B, 1602.A.

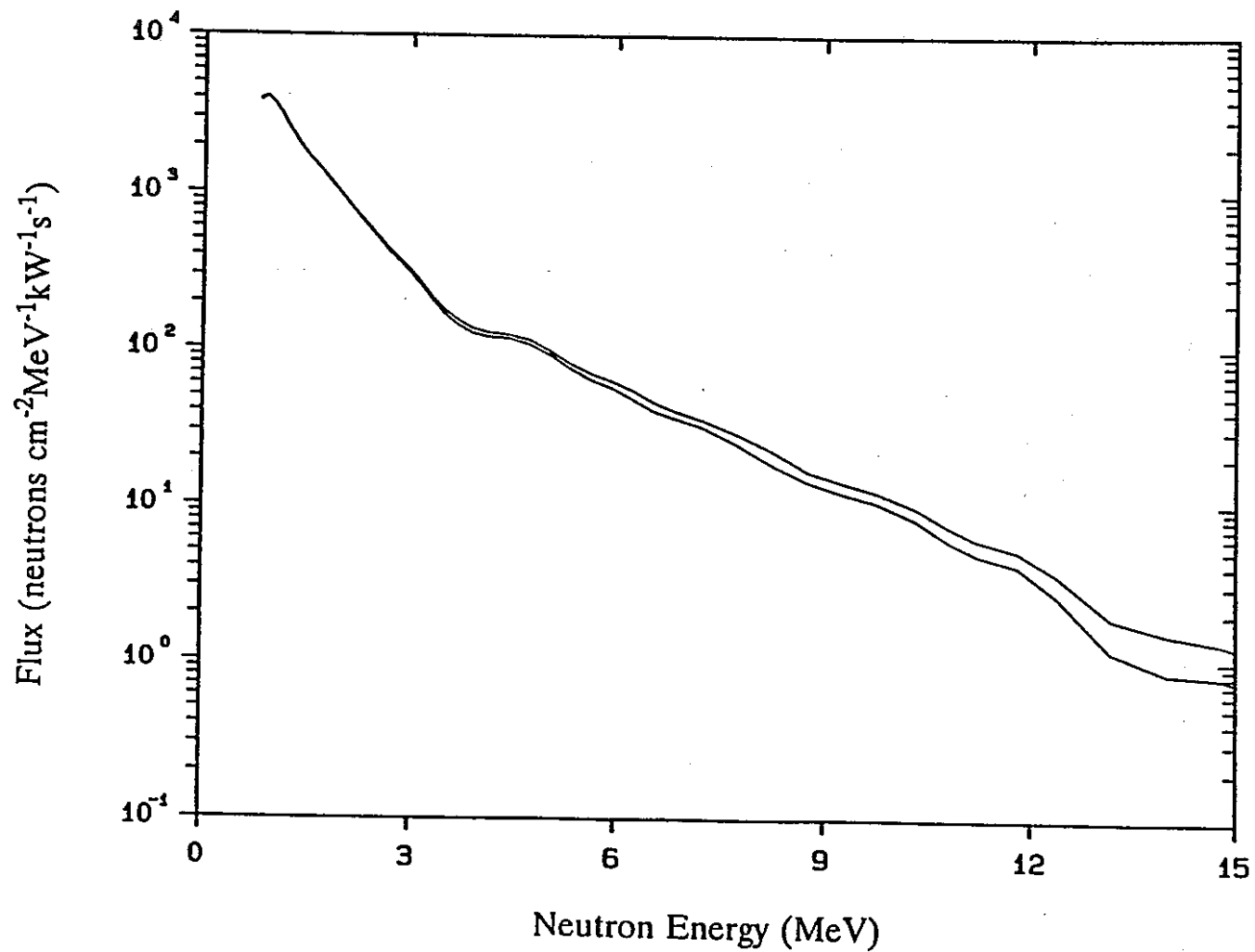


図5.3 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II B、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 7. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIB) Run 7932.

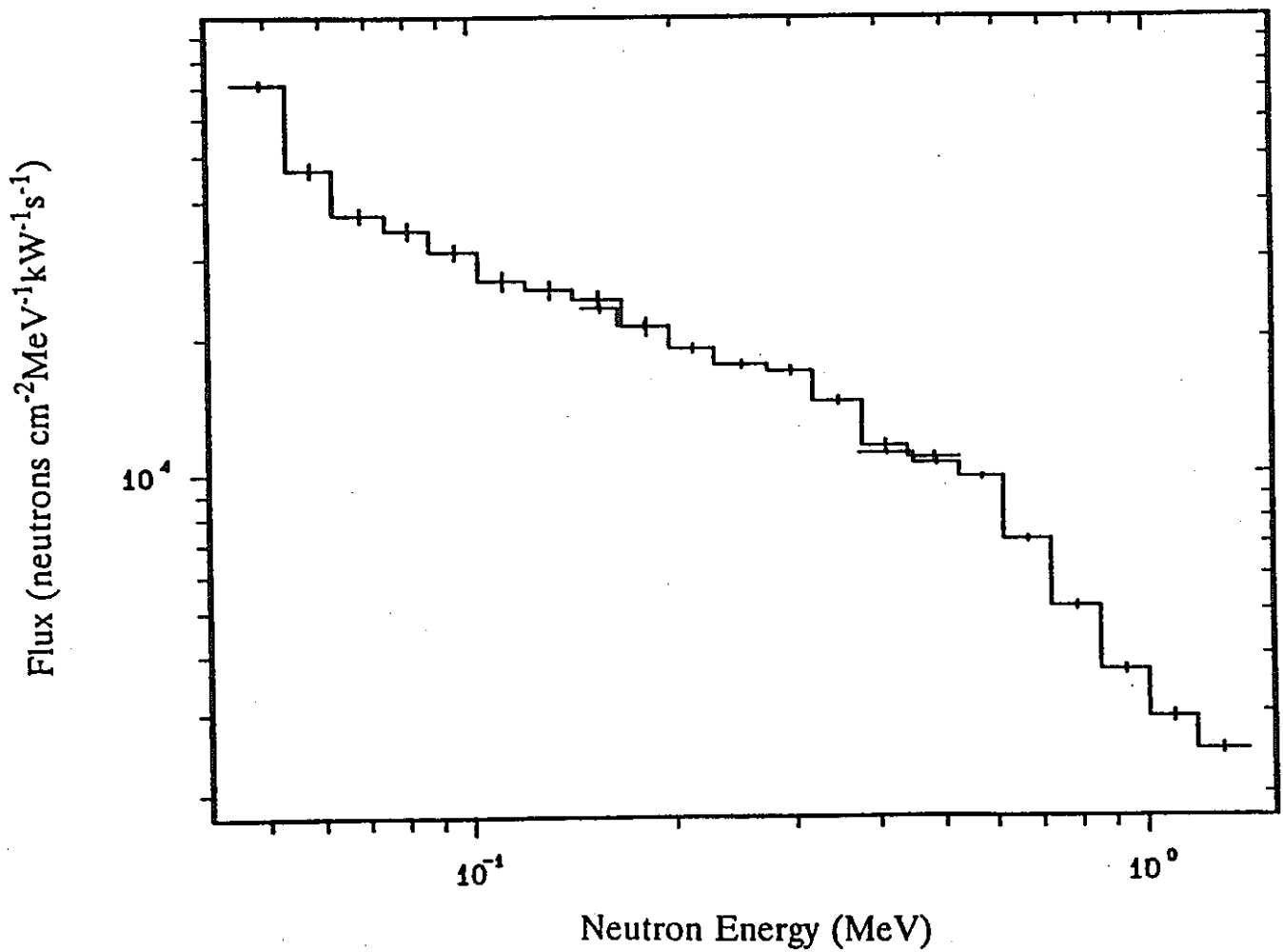


図5.4 中性子スペクトル測定値 (体系II B、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 8. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIB) Runs 1603.C, 1603.B, 1603.A.

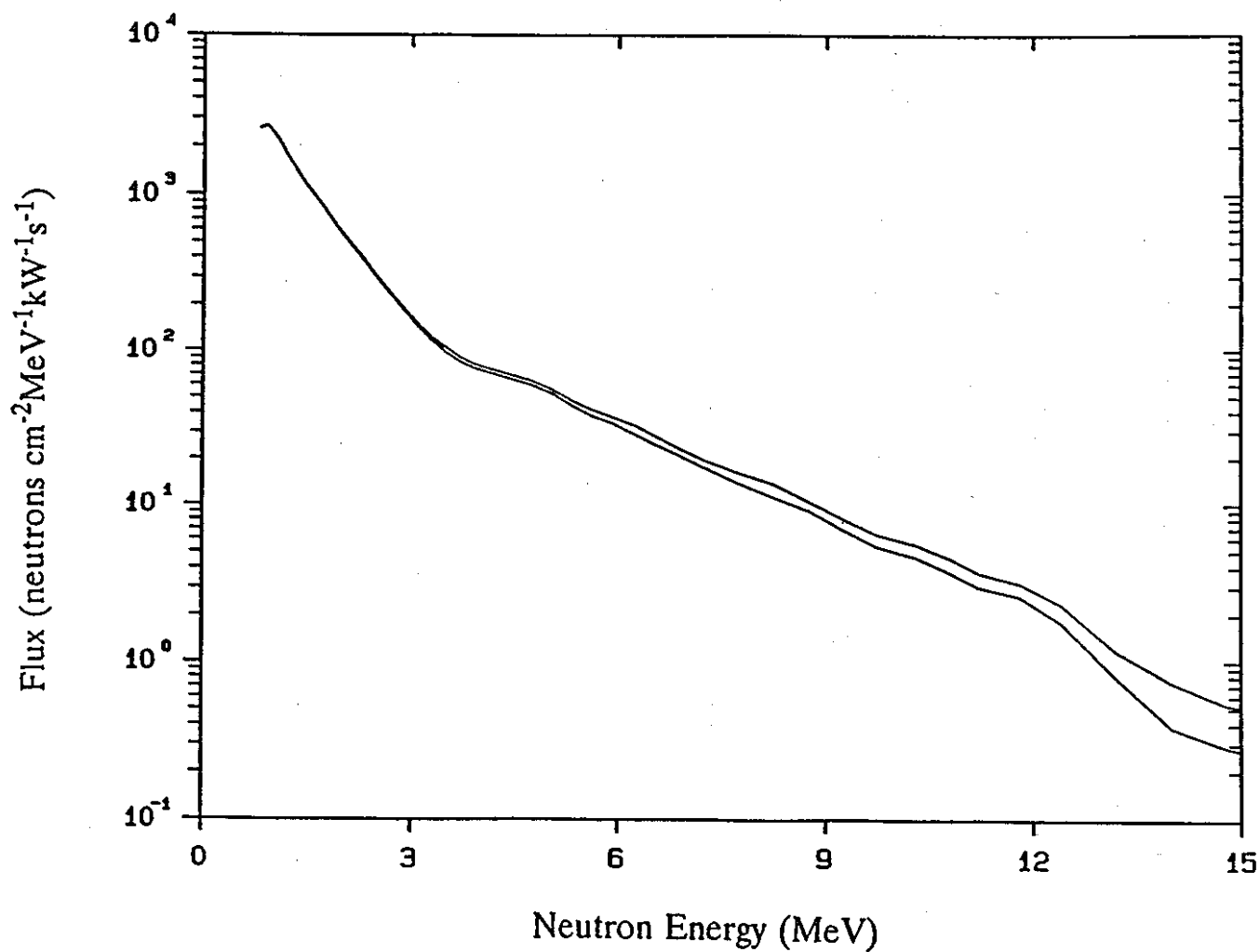


図5.5 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II C、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 13. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIC) Run 7933.

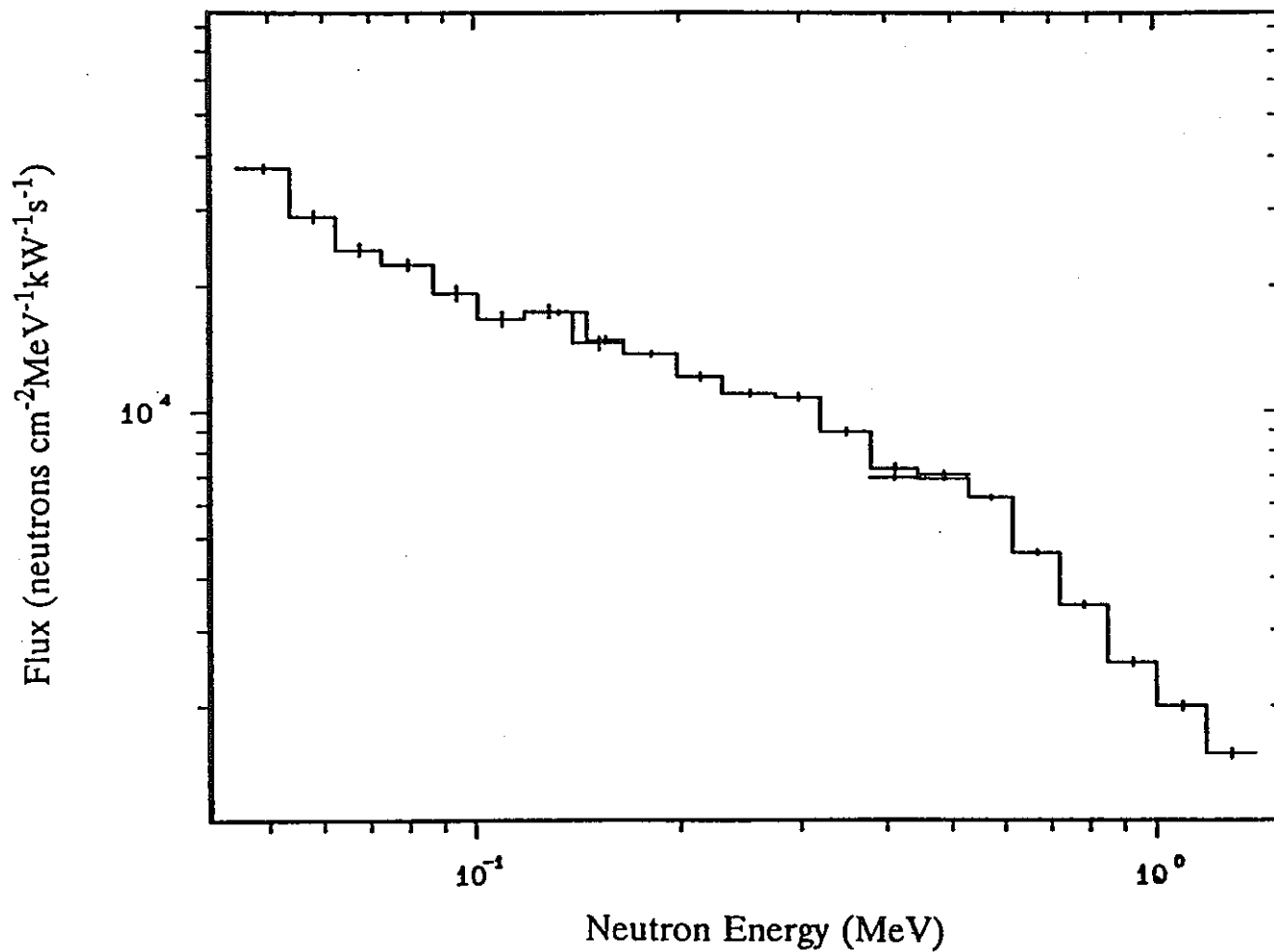


図5.6 中性子スペクトル測定値 (体系II C、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 14. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIC) Runs 1604.C, 1604.B, 1604.A.

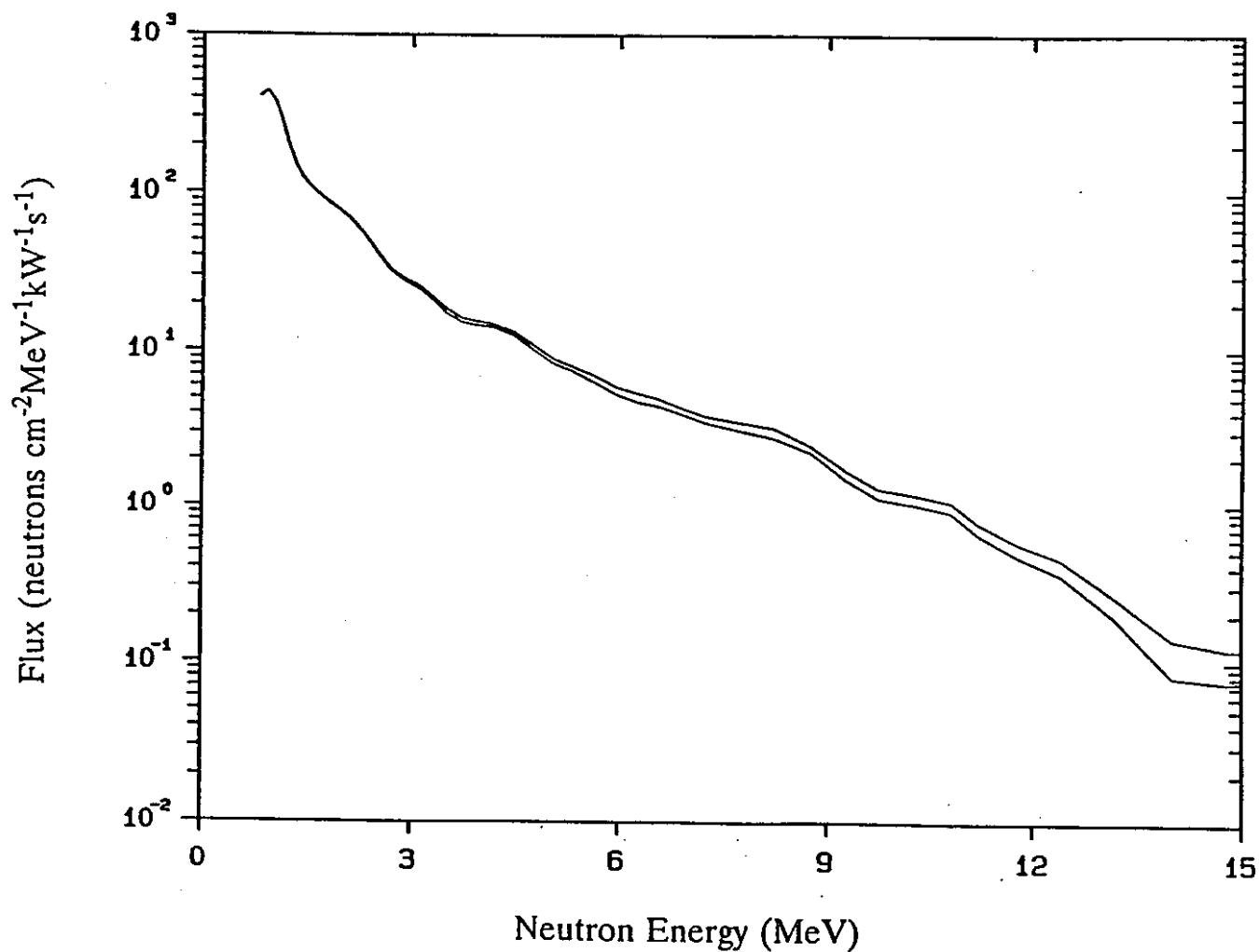


図5.7 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II D、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 16. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IID) Run 7934.

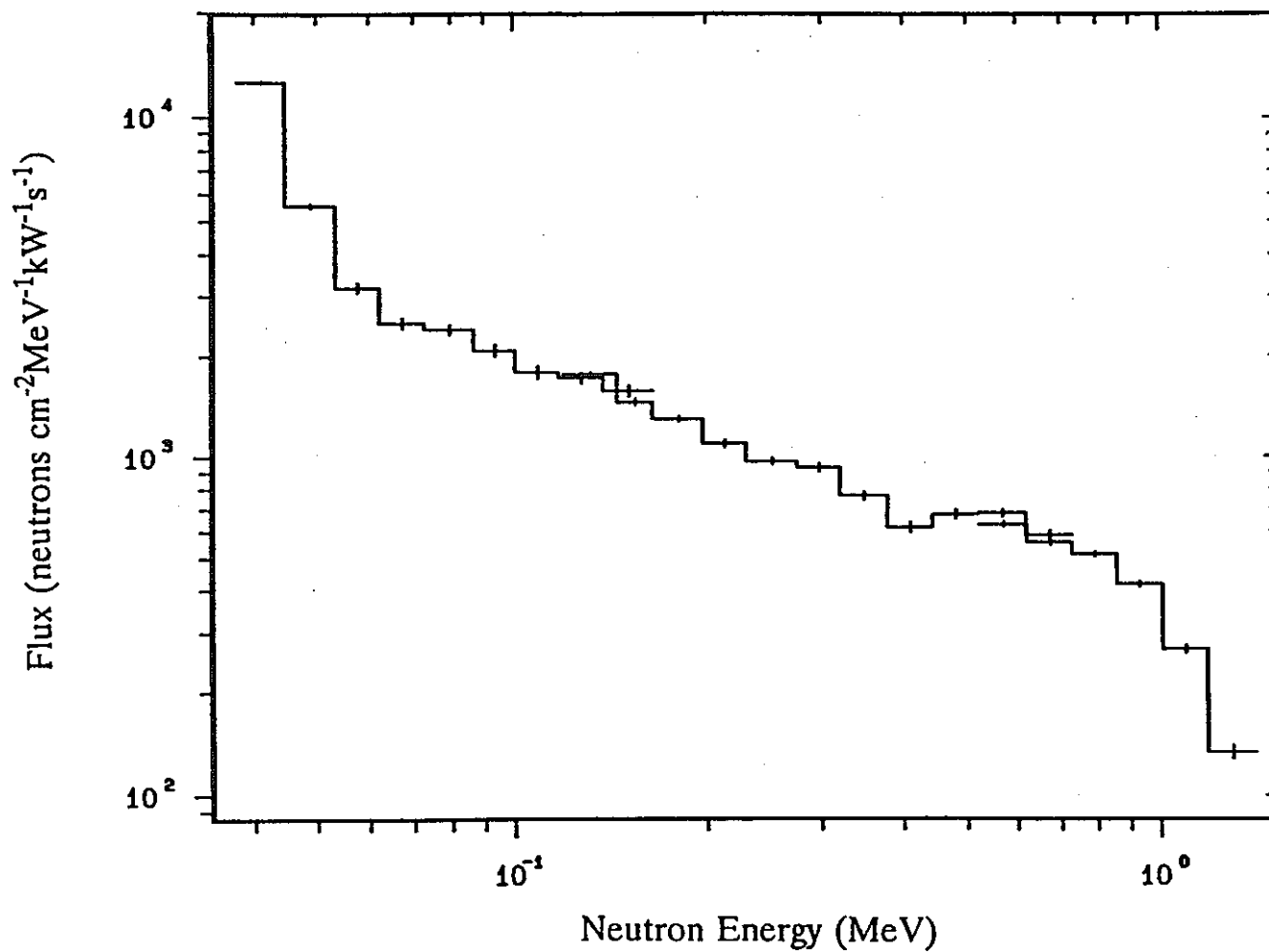


図5.8 中性子スペクトル測定値 (体系II D、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 17. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IID) Runs 1605.C, 1605.B, 1605.A.

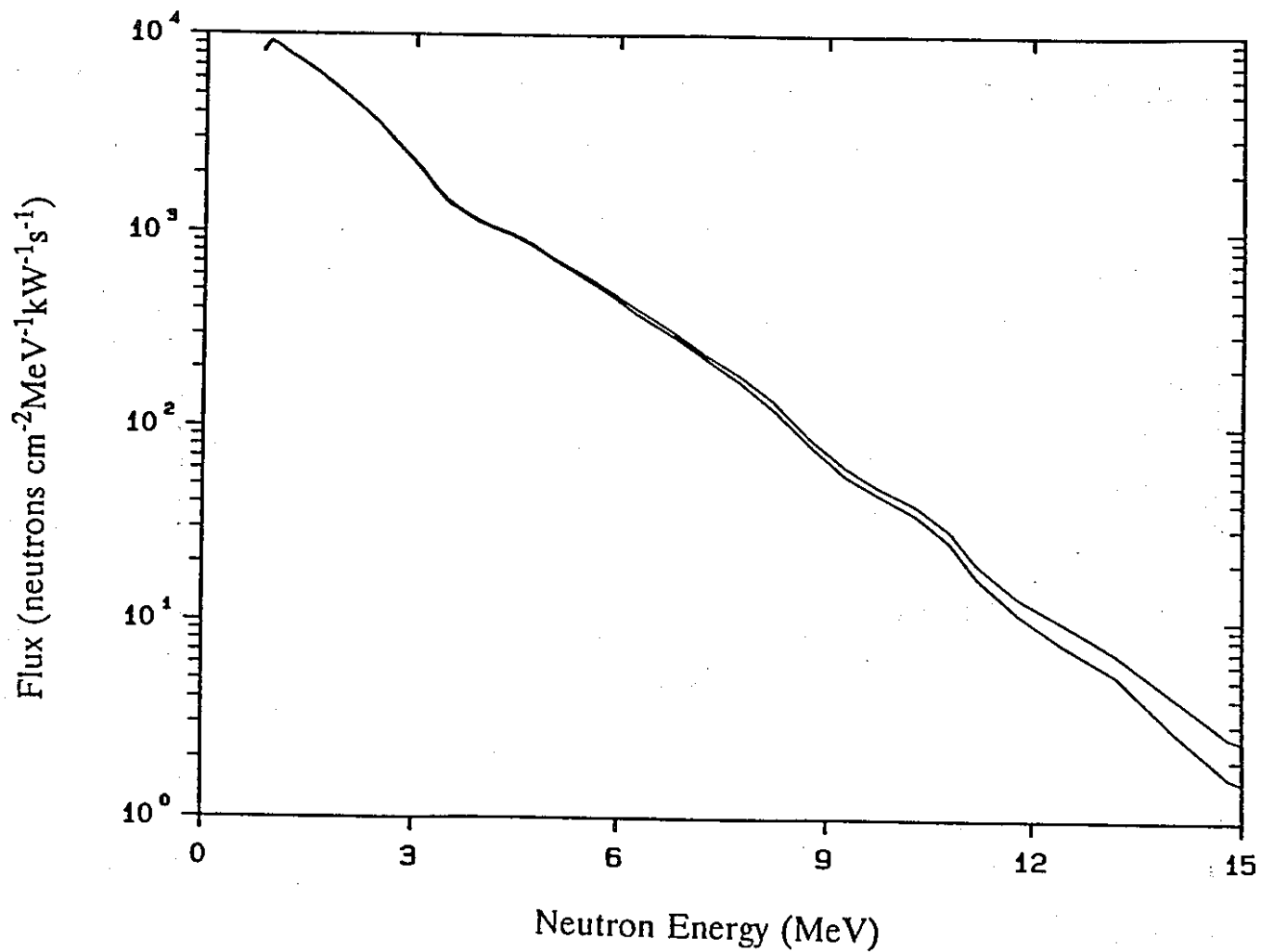


図5.9 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III A、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 19. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIA) Run 7935.

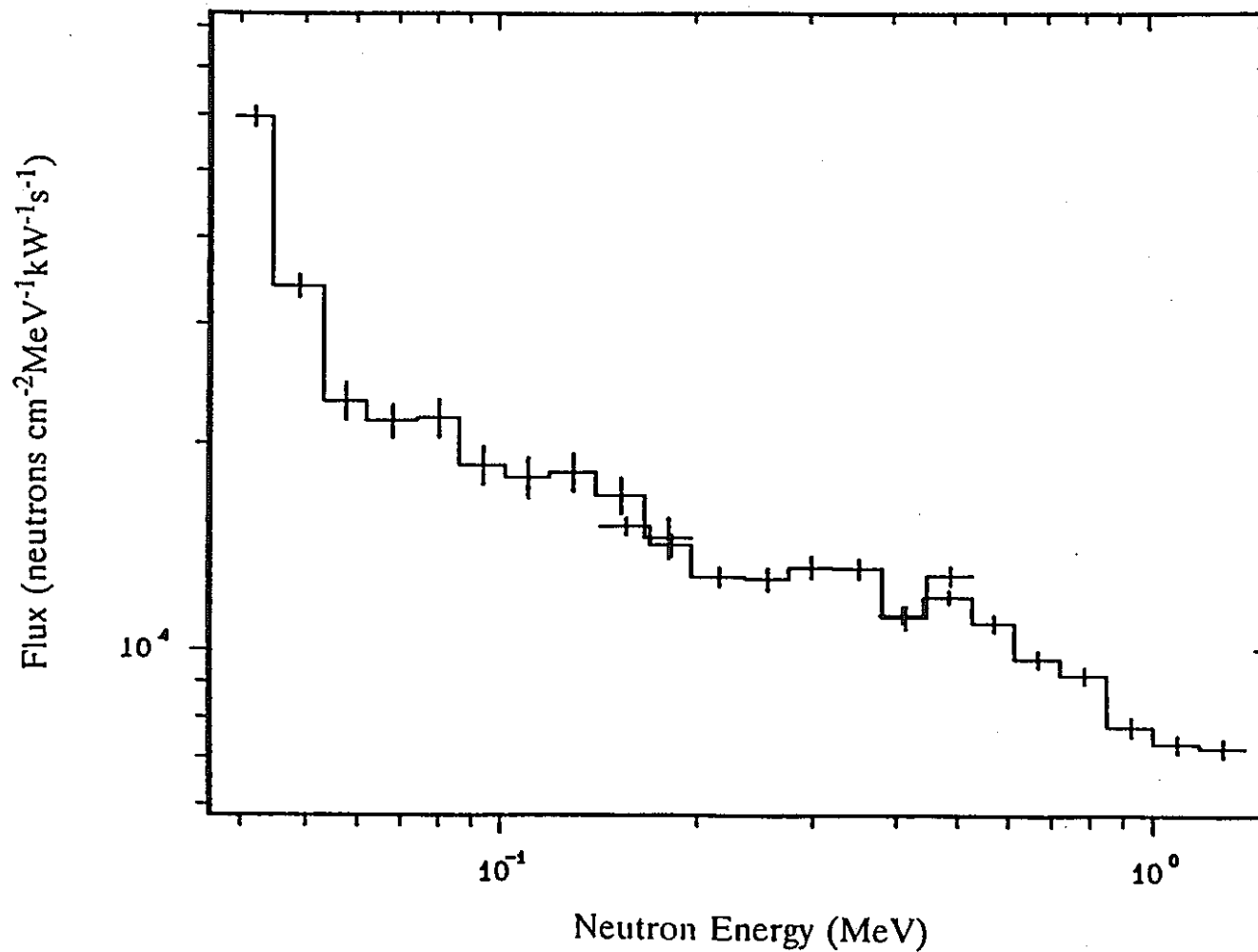


図5.10 中性子スペクトル測定値 (体系ⅢA、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 20. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIA) Runs 1606.C, 1606.B, 1606.A.

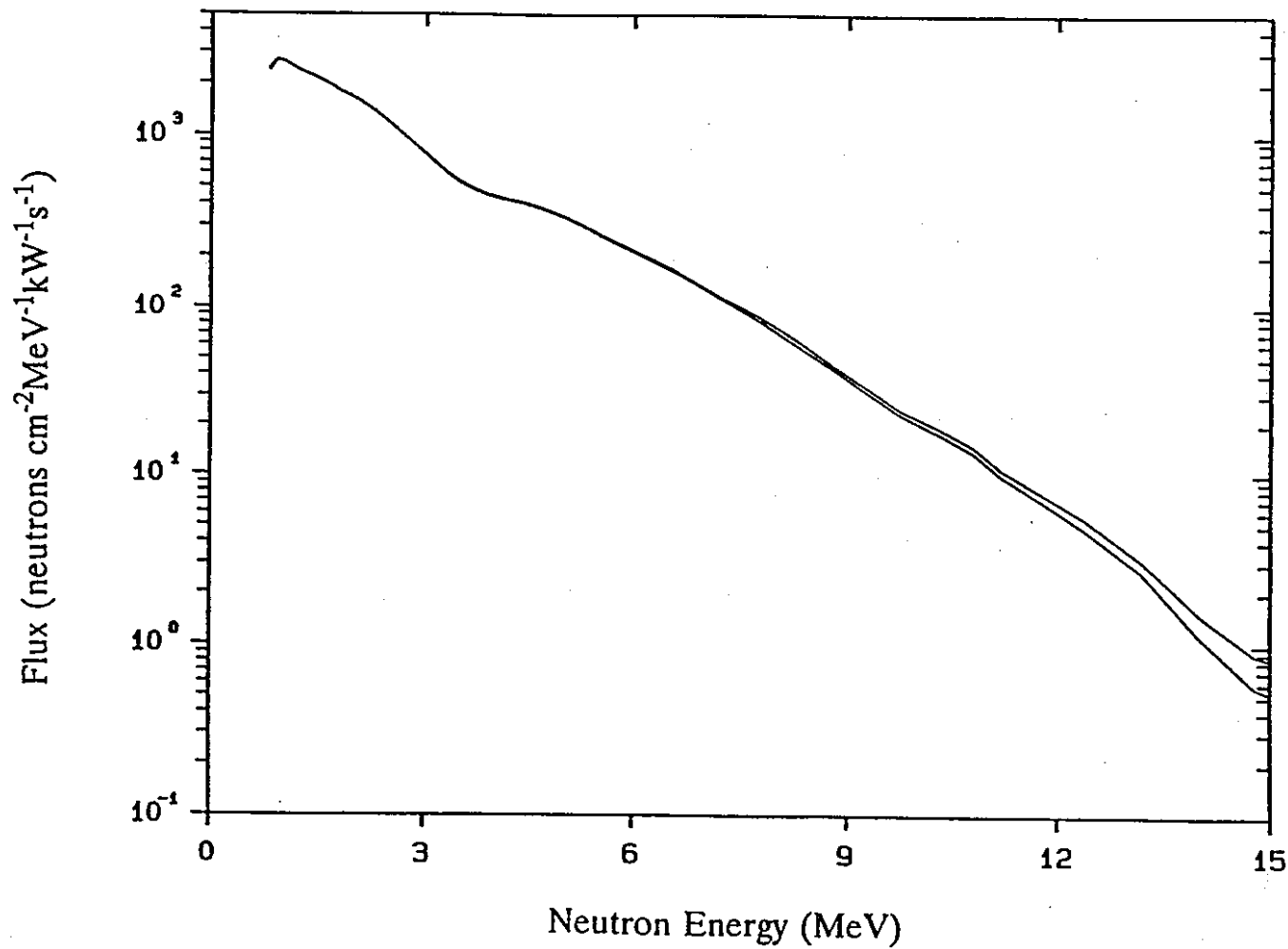


図5.11 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III B、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 22. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIB) Run 7936.

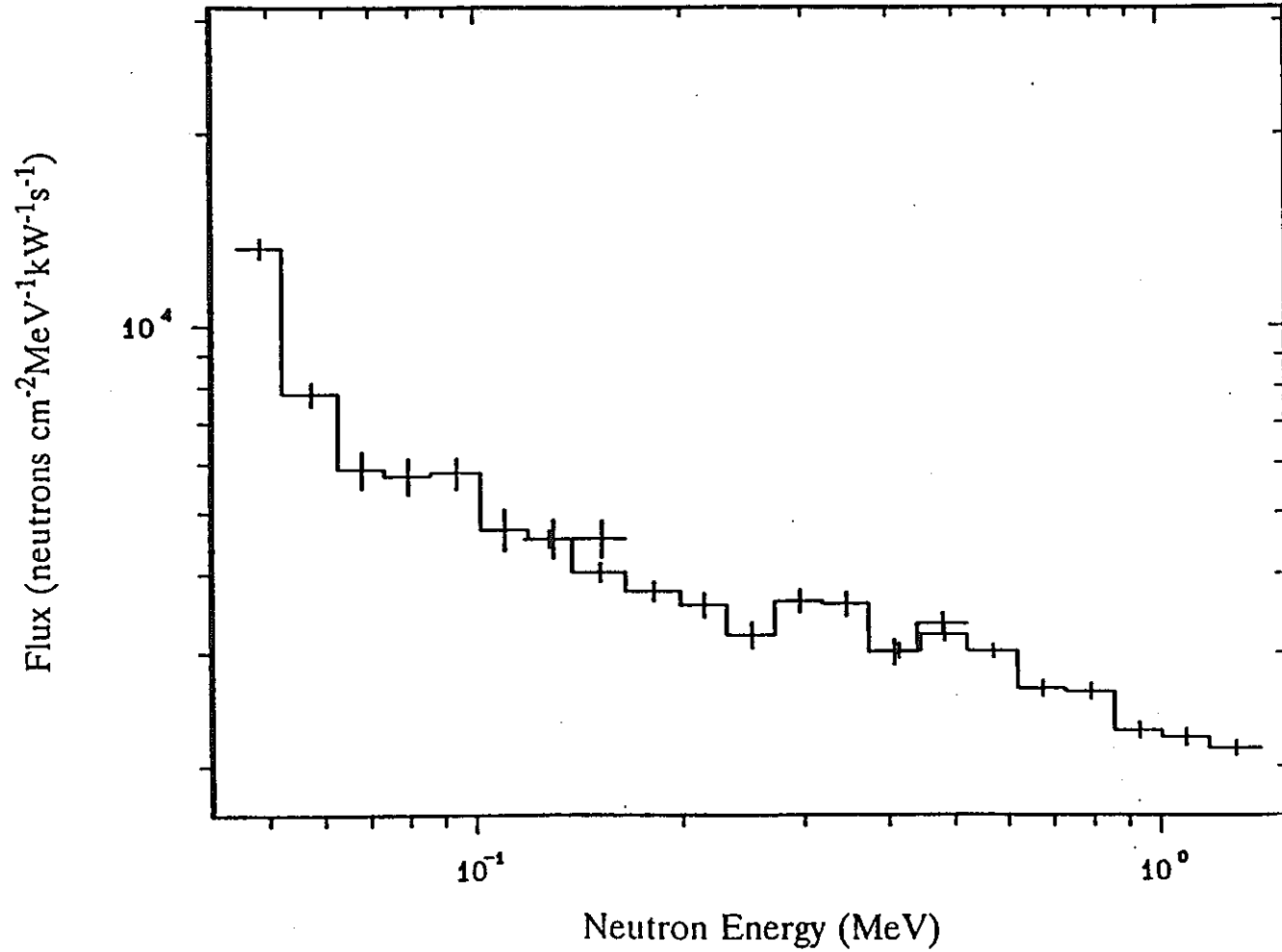


図5.12 中性子スペクトル測定値 (体系III B、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/IM-12277より引用)

Figure 23. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item IIIB) Runs 1607.C, 1607.B, 1607.A.

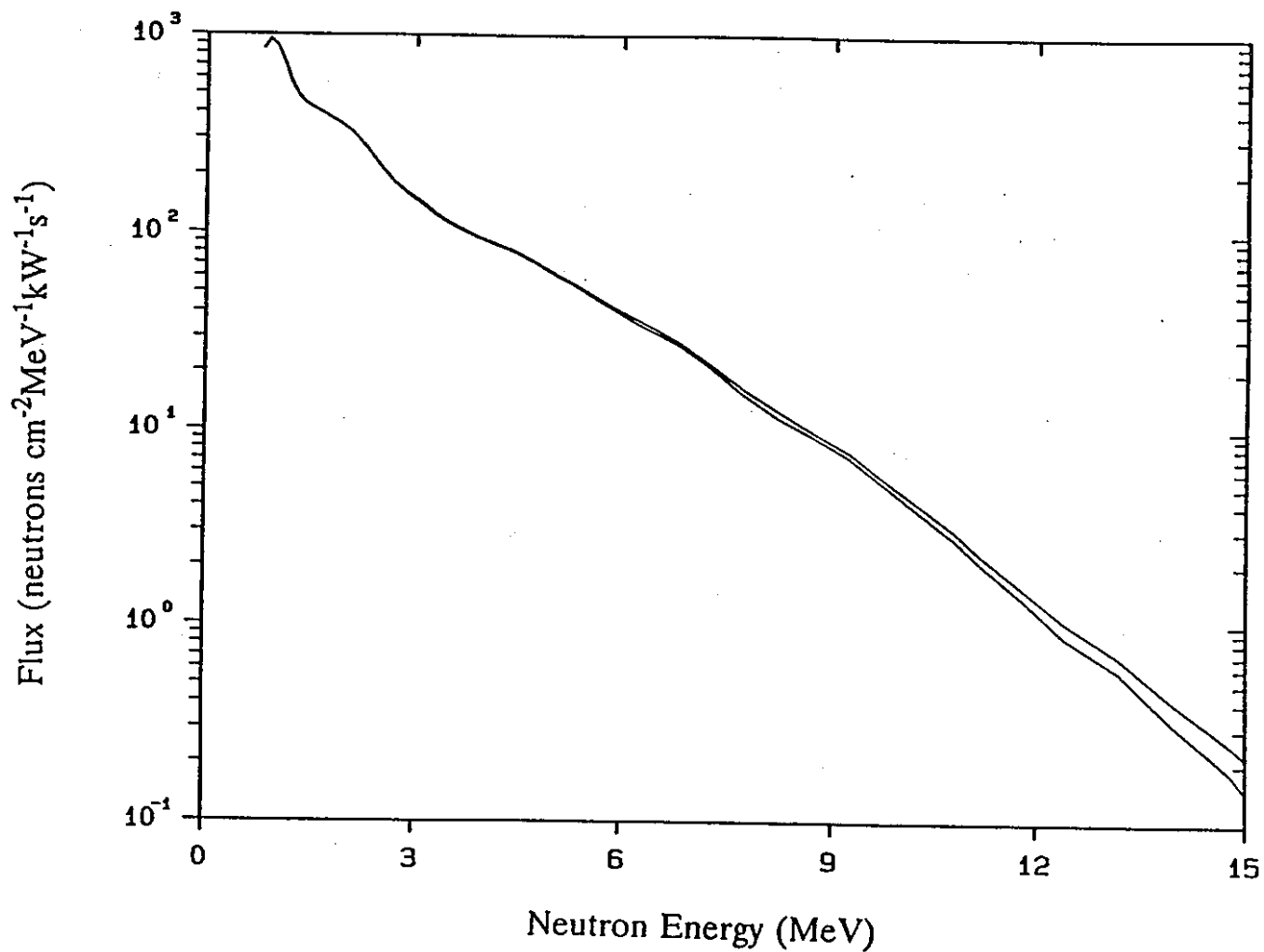


図5.13 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系III C、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 25. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item III C) Run 7938.

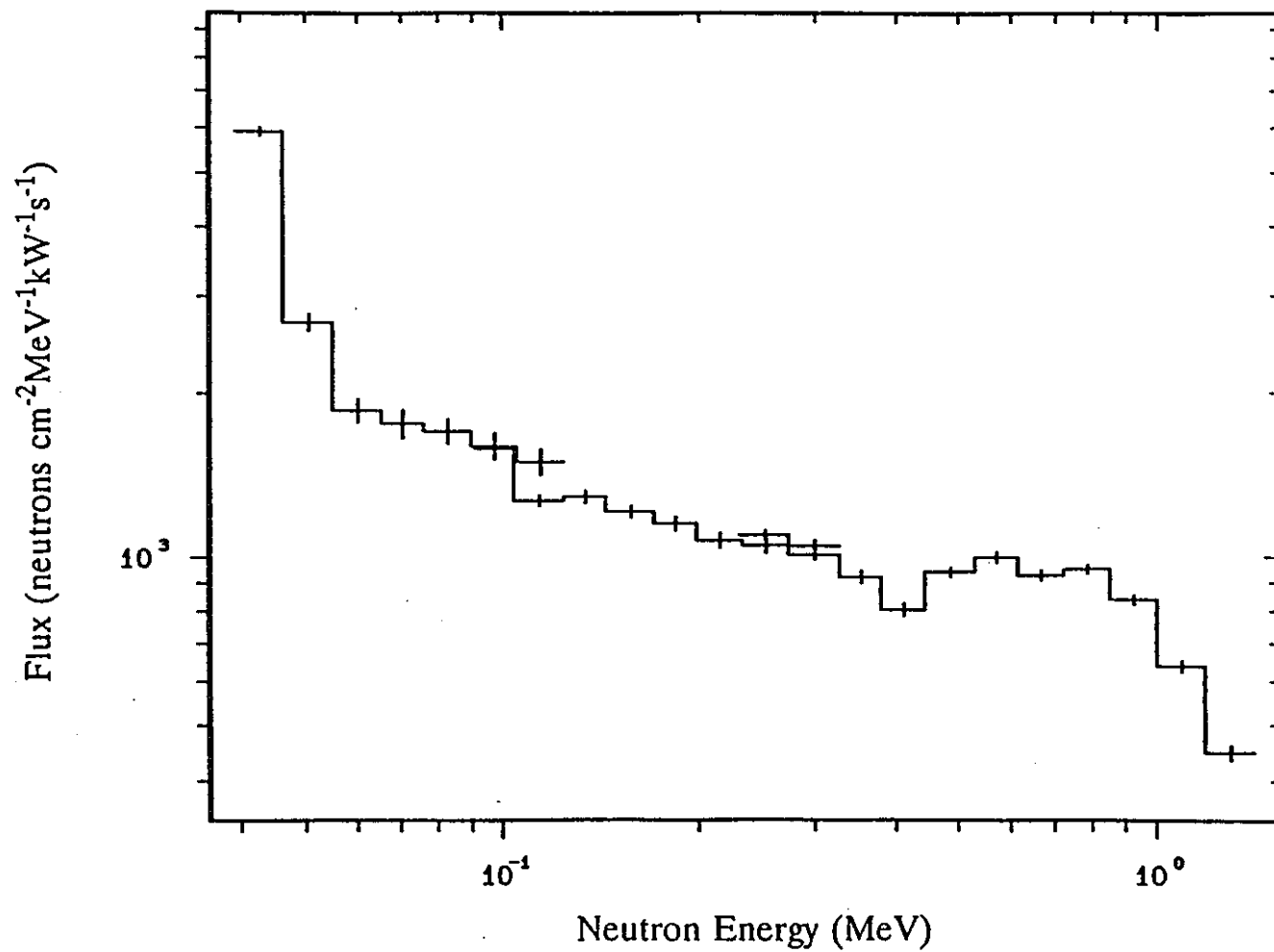


図5.14 中性子スペクトル測定値 (体系III C、鉛スラブ後方25cm) (ORNL/TM-12277より引用)

Figure 26. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slabs (Item III C) Runs 1608B, 1608C, 1608A.

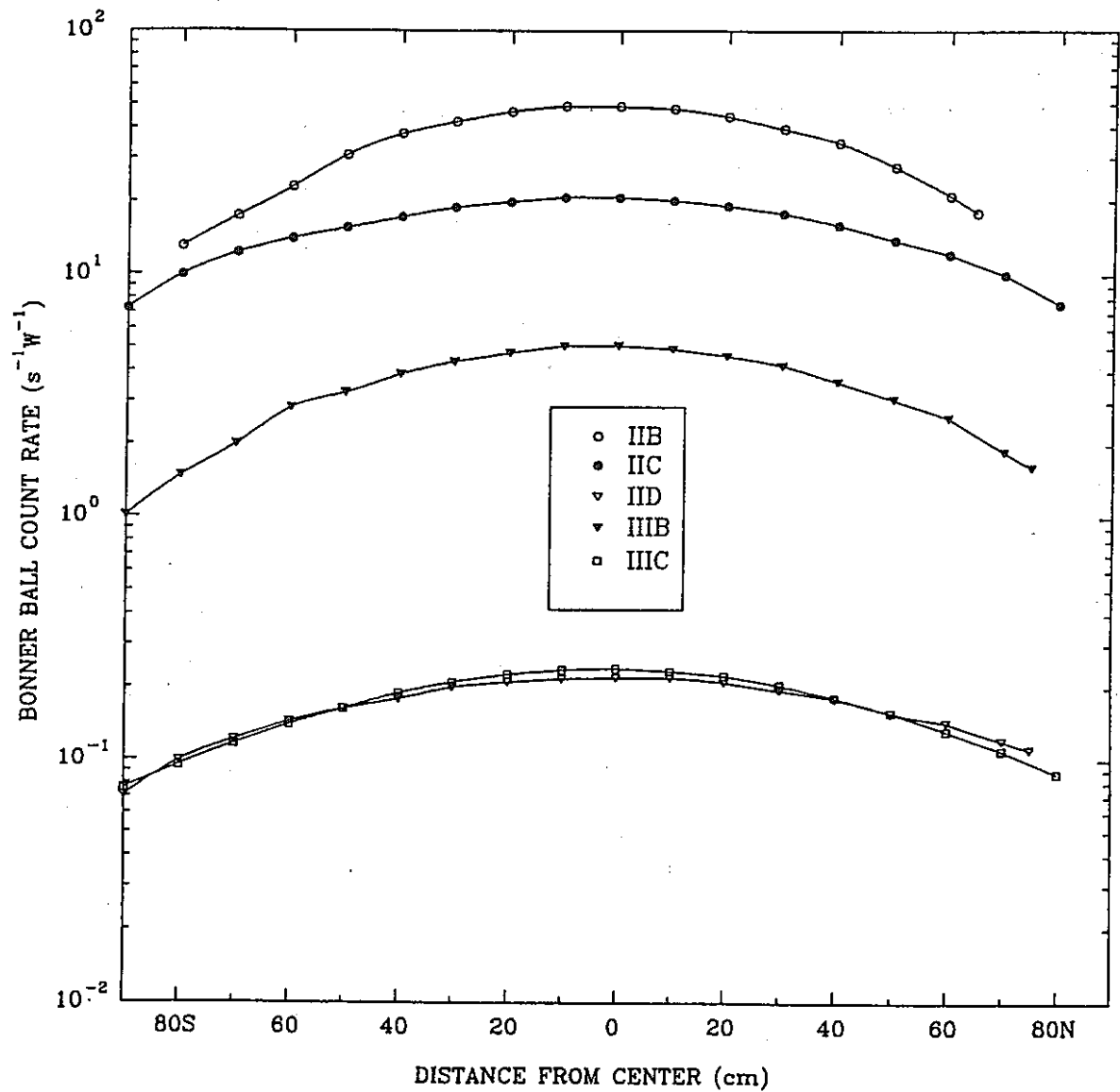


図5.15 3インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方30cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Figure 9. 3-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IIB-D, IIIB, C).

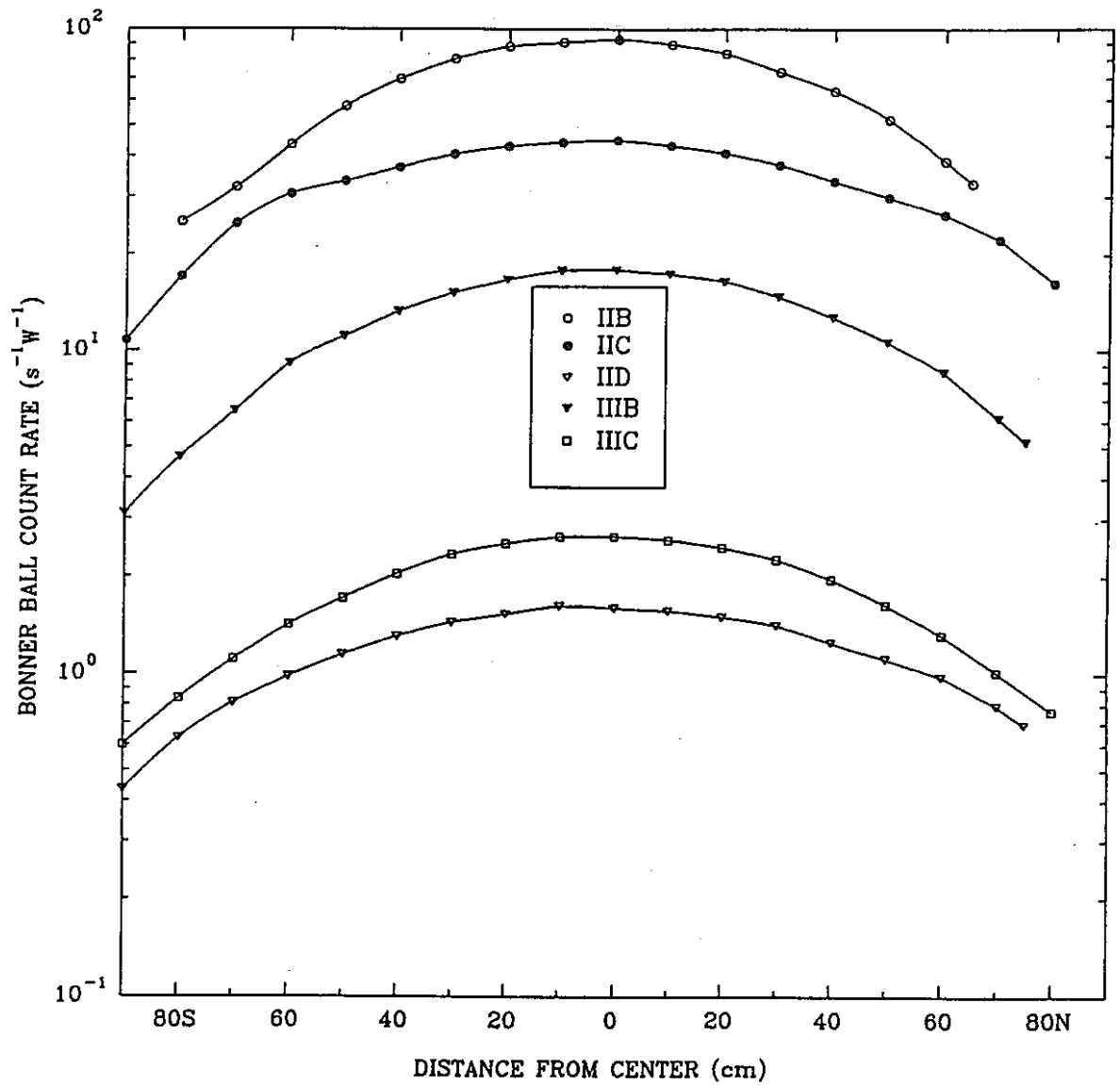


図5.16 5インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方30cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Figure 10. 5-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IIB-D, IIIB, C).

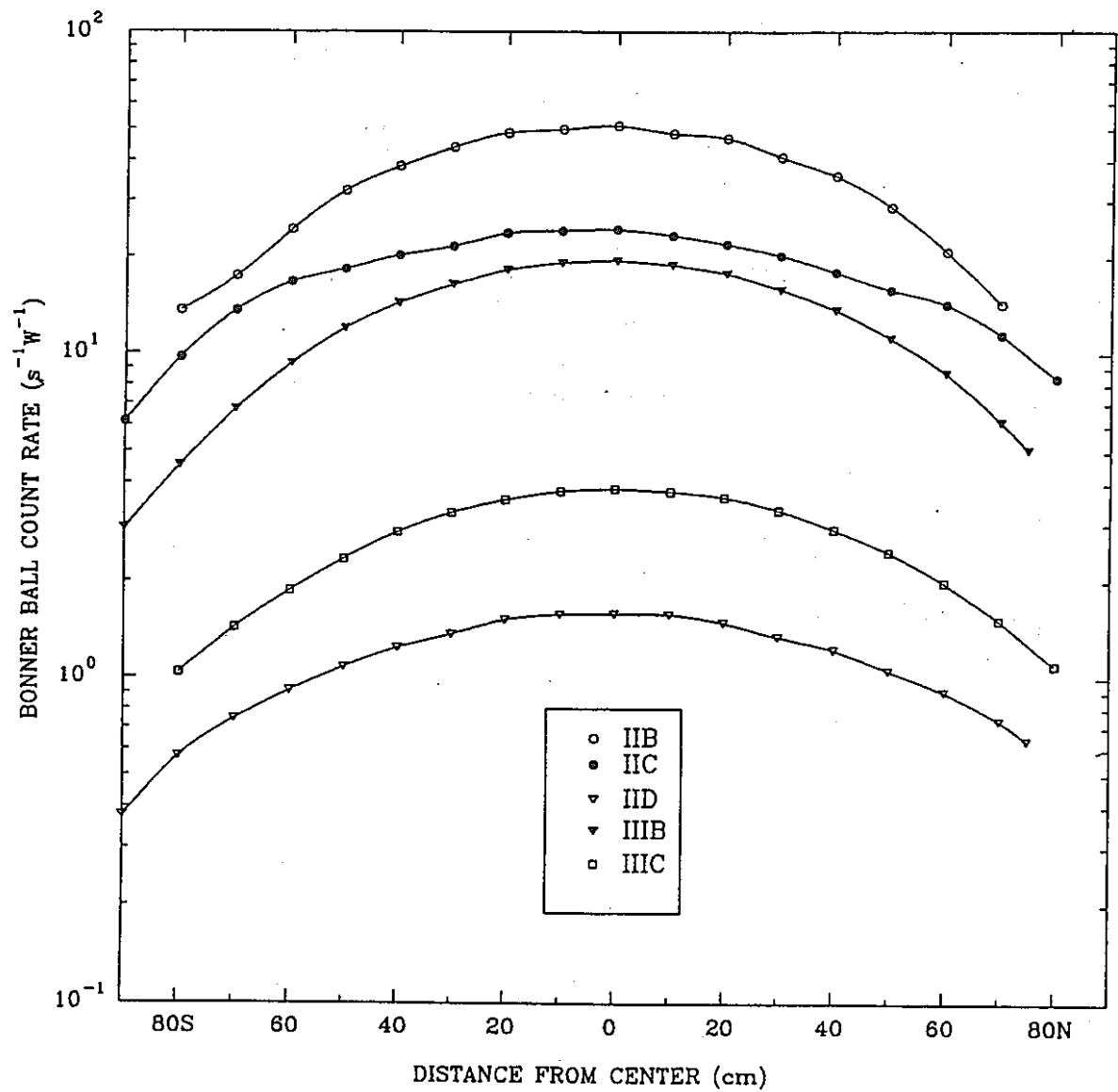


図5.17 8インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系後方30cm)
(ORNL/TM-12277より引用)

Figure 11. 8-inch Bonner ball traverses through the horizontal midplane at 30 cm behind a series of configurations (Items IIB-D, IIIB, C).

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⁽¹³⁾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ブロック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1kW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水素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、水素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、その校正値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。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、ボナーボール測定値に対する誤差は±10%以下であると考えられる。

本実験においてボナーボールと対応して使用されたフィッションチェンバは、アクリル製容器にCf-252中性子源を入れて発生させた熱中性子束を用いて毎日校正された。得られた校正値は、実験期間中の平均値に対して±約5%以内の範囲にあった。フィッションチェンバ測定位置の移動に関する評価は、ボナーボールについて既に記した内容と同様であり、測定誤差の決定方法はボナーボールについて記したものにしよう。

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. JASPER実験データ集 (I) 一半径方向遮蔽体透過実験一
PNC SN2410 88-005, 1988年 3月, JASPERサブワーキングGr.
3. F.J.Muckenthaler et al., "Measurements for the JASPER Program Fission Gas Plenum Experiment ", ORNL/TM-10422 (June,1987).
4. JASPER実験データ集 (II) 一ガスペナム・ストリーミング実験一
PNC SN2410 89-001, 1989年 3月, JASPERサブワーキングGr.
5. F.J.Muckenthaler et al., "Measurements for the JASPER Program Axial Shield Experiment", ORNL/TM-11839 (August,1991).
6. JASPER実験データ集 (III) 一軸方向遮蔽実験一
PNC ZN9450 92-001, 1992年 3月, 庄野他
7. F.J.Muckenthaler et al., "Measurements for the JASPER Program In-Vessel Fuel Storage Experiment ", ORNL/TM-11989 (January,1992) .
8. JASPER実験データ集 (IV) 一炉内貯蔵燃料遮蔽評価実験 (IVFS実験) 一
PNC ZN9450 92-008, 1992年12月, 庄野他
9. F.J.Muckenthaler et al., "Measurements for the JASPER Program Intermediate Heat Exchanger Experiment ", ORNL/TM-12064 (July,1992).

10. JASPER実験データ集 (V) —中間熱交換器二次ナトリウム放射化実験 (IHX実験) —
PNC ZN9450 92-009, 1993年 1月, 庄野他
11. F.J.Muckenthaler et al., " Measurements for the JASPER Program
Gap Streaming Experiment " , ORNL/TM-12140 (February,1993).
12. F.J.Muckenthaler et al., " Measurements for the JASPER Program
Flux Monitor Experiment" , ORNL/TM-12171 (February,1993).
13. F.J.Muckenthaler et al., " Measurements for the JASPER Program
Special Materials Experiment " , ORNL/TM-12277 (February,1993).
14. JASPER実験解析 (VIII) PNC ZN9410 94-099, 1994年 3月, 庄野他
15. B.W.Rust, D.T.Ingersoll, and W.R.Burrus, " A User's Manual for the FERDO
and FERD Unfolding Codes " , ORNL/TM-8720 (September 1983) .
16. J.O.Johnson and D.T.Ingersoll, " User's Guide for the Revised SPEC-4
Neutron Spectrum Unfolding Code" , ORNL/TM-7384 (August 1980).
17. R.B.Maerker et al., " Calibration of the Bonner Ball Neutron Detectors Used
at the Tower Shielding Facility" , ORNL/TM-3465 (June 1971).
18. 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

新遮蔽材透過実験体系と測定項目

(ORNL/TM-12277 の Appendix A より引用)

APPENDIX A

EXPERIMENTAL PROGRAM PLAN FOR THE JASPER SPECIAL MATERIALS EXPERIMENT

- I. Spectrum Modifier (SM-1)
 - A. SM-1 (10 cm Fe + 9 cm Al + 2.5 cm boral + 20 cm Radial Blanket)
 - 1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 - 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 - 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
- II. SM-1 + zirconium
 - A. SM-1 + 1.3 cm Al + 15 cm SS
 - 1. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 - B. SM-1 + 1.3 cm Al + 15 cm SS + 5 cm polyethylene
 - 1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 - 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 - 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 - 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
 - C. SM-1 + 1.3 cm Al + 15 cm SS + 5 cm polyethylene + 5 cm zirconium
 - 1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 - 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 - 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 - 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup

- D. SM-1 + 1.3 cm Al + 15 cm SS + 5 cm polyethylene + 5 cm zirconium + 15 cm B₄C
1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup

III. SM-1 + polyethylene

- A. SM-1 + 10 cm polyethylene
1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
- B. SM-1 + 10 cm polyethylene + 5 cm polyethylene
1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
- C. SM-1 + 10 cm polyethylene + 5 cm polyethylene + 15 cm B₄C
1. NE 213/Benjamin spectrometer measurements on centerline as close as feasible behind shield mockup
 2. 3-, 5-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline at NE 213 location
 3. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind shield mockup
 - b. 150 cm behind shield mockup (foreground and background)
 4. 3-, 5-, and 8-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup

付 録 B

JASPER実験記録 (1992年6月～7月)

- 新遮蔽材透過実験 -

J A S P E R 実験記録

(1992年 6月分)

1992. 6. 30. 作成
(中性子検出器 (NIS) 実験及び新材料遮蔽実験)

月 日	曜	測 定 項 目	備 考
6月 1日	月	NIS II - A (5°BB(B.G.)) at 150cm, (5°BB, (bare & Cd.c)F.C.) のR.T. at 30cm	
2日	火	原子炉点検	体系II-Bへの移行作業を継続
3日	水	NIS II - B (5°BB, (bare & Cd.c)F.C.) のR.T. in 35cm幅ボイド	
4日	木	NIS II - B (Cd.c F.C.) のR.T. in 35cm幅ボイド, (5°BB)のR.T. at 30cm (bare, 3°, 5°, 8°, 10°BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
5日	金	NIS II - B (Cd.c BB(FG)) at 30/150cm, (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB(B.G.)) at 150cm	
8日	月	NIS II - C (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB(F.G.)) at 30 & 150cm (bare, 3°, 8°, 10°BB(B.G.)) at 150cm	
9日	火	原子炉点検	稠密型IVFSモックアップの構成作業
10日	水	NIS II - C (Cd.c, 5°BB(B.G.)) at 150cm, (bare BB(F.G.)) at 30cm	
11日	木	NIS II - E (5°BB, (bare & Cd.c)F.C.) のR.T. in 35cm幅ボイド (5°BB) のR.T. at 30cm	
12日	金	NIS II - E (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB(F.G.)) at 30 & 150cm (3°, 8°, 10°BB(BG)) at 150cm	
15日	月	NIS II - E (bare, Cd.c, 5°BB(B.G.)) at 150cm NIS II - F (bare, Cd.c, 3°BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
16日	火	原子炉点検	
17日	水	NIS II - F (5°, 8°, 10°BB(F.G.)) at 30/150cm, (bare, 3°, 8°, 10°BB(B.G.)) at 150cm	
18日	木	NIS II - F (bare, Cd.c, 5°BB(B.G.)) at 150cm NIS II - D (bare, Cd.c, 3°, 8°BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
19日	金	NIS II - D (bare, Cd.c, 3°, 5°, 10°BB(F.G.)) at 30 & 150cm (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB(B.G.)) at 150cm	チェック測定を追加
22日	月	NIS II - D (8°BB(F.G.)) at 30 & 150cm (5°BB)のR.T. at 30cm	NIS実験の測定を終了
23日	火	原子炉点検	IVFSモックアップの解体作業
24日	水	Sp. I - A (NE-213) at 鉛板後方25cm	鉛スラブ 2枚使用
25日	木	Sp. I - A (Benjamin(1,3,10気圧), (3°, 5°, 10°BB)) at NE-213位置 (10°BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
26日	金	Sp. I - A (3°, 5°, 8°BB(F.G.)) at 30 & 150cm, (3°, 5°, 8°, 10°BB(B.G.)) at 150cm	
29日	月	Sp. II - A (3°, 5°, 8, 10°BB(FG)) at 30 & 150cm, (3°, 5°, 8°, 10°BB(BG)) at 150cm	
30日	火	原子炉点検	

(記号) SM: Spectrum Modifier, F.G.: Foreground, B.G.: Background, R.T.: Radial Traverse
BB: Bonner balls, F.C.: Fission Chamber, Cd.c; Cadmium covered

(コメント)

体系記号の前に実験名称の略号を付記した。
NIS---- 中性子検出器実験, Sp.---- 新材料遮蔽実験

J A S P E R 実験記録

(1992年 7月分)

1992. 7.31. 作成
(新材料遮蔽実験)

月 日	曜	測 定 項 目	備 考
7月 1日	水	II - B (NE-213, Benjamin(10気圧)) at 鉛板後方25cm	鉛板1枚を体系後方に設置
6日	月	II - B (Benjamin(1,3 気圧), (3",5",10")BB) at 鉛板後方25cm (8"BB)のR.T. at 30cm	鉛板を撤去
7日	火	原子炉点検	
8日	水	II - B (3",5" BB)のR.T. at 30cm, (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
9日	木	II - C (NE-213, Benjamin(10 気圧), (3",5"BB)) at 鉛板後方25cm	鉛板1枚設置
10日	金	II - C (Benjamin(1,3 気圧), 10"BB) at 鉛板後方25cm (3",5"BB) のR.T. at 30cm	鉛板を撤去
13日	月	II - C (8"BB)のR.T. at 30cm, (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
14日	火	原子炉点検	体系II - Dへ移行, 鉛板を1枚設置
15日	水	II - D (NE-213, Benjamin(3,10 気圧), (3",5",10"BB)) at 鉛板後方 25cm	
16日	木	II - D (Benjamin(1 気圧)) at 鉛板後方 25cm (鉛板撤去) (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm, (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm	
17日	金	II - D (3",5",10"BB) のR.T. at 30cm III - A (3",5",10"BB) at 鉛板後方25cm	体系III - Aへ移行, 鉛板2枚設置
20日	月	III - A (NE-213, Benjamin(1,3,10 気圧)) at 鉛板後方25cm	
21日	火	原子炉点検	鉛板2枚を撤去
22日	水	III - A (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm, (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm III - B (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm, (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm	
23日	木	III - B (NE-213, Benjamin(1,3,10 気圧)) at 鉛板後方25cm	鉛板2枚を設置
24日	金	III - B (3",5",10"BB) at 鉛板後方25cm, (鉛板撤去), (3",5",8"BB) のR.T. at 30cm III - C (3",5",8",10"BB(F.G.)) at 30 & 150cm	
27日	月	III - C (3",5",8",10"BB(B.G.)) at 150cm, (3",5",8"BB) のR.T. at 30cm	
28日	火	原子炉点検	鉛板2枚を設置
29日	水	III - C (NE-213, Benjamin(1,3,10 気圧), (3",5",10"BB)) at 鉛板後方25cm	
30日	木	III - C (Benjamin(1,3気圧)) at 鉛板後方25cm	鉛板撤去
31日	金	III - C (3",5",8"BB(F.G.)) at 30cm	

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

(コメント)

2日(木)及び3日(金)は独立記念日を祝う休日であった。

付 録 C

JASPER実験日誌 (1992年6月～7月)

— 新遮蔽材透過実験 —

6月23日(火)

原子炉点検日。下記の作業を並行して実施。

☆旧コントロールボールのサイト外搬出作業

☆N I S実験体系の撤去作業

☆稠密型 I V F S から燃料ピン (1148本) を輸送容器に戻す作業

6月24日(水) 新材料遮蔽実験を開始

☆新材料遮蔽実験のスペクトル・モディファイアの構成作業が完了。

・体系 I - A にて中性子スペクトル測定

NE-213検出器

γ線の寄与を低減するため、体系後方に1.5 インチ厚さの鉛板2枚を設置し、その後方25cm位置で測定

6月25日(木) 体系 I - A

・中性子スペクトル測定 (昨日のNE-213測定位置と同位置)

①Benjamin検出器

水素ガス充填圧 1, 3, 10 気圧

②3", 5", 10" BB

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定

①10" BB(F.G.) at 30 & 150cm

6月26日(金) 体系 I - A

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定(F.G.) 体系後方 30 & 150cm

BB種類; 3", 5", 8"

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定(B.G.) 体系後方 150cm

BB種類; 3", 5", 8", 10"

☆体系 II - A への移行作業開始

6月29日(月) 体系 II - A

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定 (3", 5", 8", 10" の各BB)

F.G.測定 (体系後方 30 & 150cm)

B.G.測定 (体系後方 150cm)

(6月29日分の続き)

☆体系Ⅱ-Aの測定を終了。体系Ⅱ-Bに必要なポリエチレンスラブが入手出来ていないため、待機状態に入る。背景を下記に示す。

T S F 所有のポリエチレンスラブよりサンプルを取り、化学分析を行ったところ、約5 w/o のボロンが含有されていることが判明した。測定結果に及ぼす影響をチェックするために、体系Ⅲ-B (スペクトル・モディファイア後方に15cmのポリエチレン層を設置した体系) でボロン含有量 0, 5, 32 (w/o) の3ケースについて、体系後方でポナーボール応答が計算された。その結果を下記に示す。

ボロン含有量 (w/o)	ポナーボール計数率 (計算値)					
	3"	4"	5"	8"	10"	12"
0	23.63	83.28	152.0	234.0	220.5	193.3
5	10.93	41.99	78.76	125.5	119.2	104.8
32	7.178	34.70	70.56	123.9	119.4	104.8

(by 1-D DORT)

上記の結果より、5w/oのボロンが含有されていることによって、ポナーボール応答はボロンが含有していない場合の半分以下に減少することが示唆される。この原因は、ボロンが含有されていない場合には、ポリエチレン中で減速された中性子がスペクトル・モディファイア最後部の径方向ブランケット供試体中のウランの核分裂反応を引き起こし、その結果発生する高速中性子が、ポナーボールの計数率を増加させることによると推定されている。

チェック計算を行うまでは、たとえポリエチレン中にボロンが含まれていてもその影響は熱領域に限定され、ポナーボール応答には影響しないと考えられていたが、ファクタ2以上の影響は試験後解析で大きな問題を引き起こす可能性があるので、T S F 所有ポリエチレンスラブの使用は、ひとまず保留することにし、新たにポリエチレンスラブを購入することとした。

(6月29日分の続き)

幸い、一週間以内に納入できる業者が見つかり約5cm厚さのポリエチレンスラブが3枚発注された。問題点は、その大きさが約120cm角であり、実験体系の大きさ(約150cm角)よりひと回り小さいことである。本実験で使用される予定のZrスラブ(約110cm×約120cm)より大きいことは確かであるが、ポリエチレンスラブの周り及びZrスラブとの間に発生する空間をどのようにして遮蔽するかが難しい課題となりそうな状況である。

6月30日(火) 体系Ⅱ-A→Ⅱ-B、原子炉点検日

☆ポリエチレンスラブ3枚が納入された。厚さ2インチ(約5cm)、辺長4フィート(約120cm)

そのうちの1枚を体系Ⅱ-Aの後方に設置し、その周囲に生じた空間をLi-Parブロック、鉛ブロック及びボロン入りポリエチレン片等で遮蔽する作業を実施した。規格どおりでない寸法の部品が1つでも加わると、全体を隙間なしに埋めることが困難になる。炎天下の中、試行錯誤を繰り返し、5名×数時間の労働後、ようやく完成。

☆γ線の寄与を低減するために、1.5インチ厚さの鉛スラブを1枚設置。

7月1日(水) 新材料遮蔽実験 体系Ⅱ-B+鉛スラブ1枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm)

①NE-213検出器 約10W×約2時間

②Benjamin検出器 (水素ガス充填圧 10気圧) 約1.5kW×約1時間

7月2日(木)、3日(金)

独立記念日(4日(土))にちなんで休日とされた。

7月6日(月) 体系Ⅱ-B+鉛スラブ1枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm)

①Benjamin検出器 (水素ガス 3気圧) 約3.5kW×約3,000秒

② 同上 (水素ガス 1気圧) 同上

(7月6日分の続き)

・スペクトル測定位置でのボナーボール測定

- | | | |
|---|--------|------------|
| ① | 5" BB | 約40W × 約3分 |
| ② | 3" BB | 同上 |
| ③ | 10" BB | 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

- | | | |
|---|-------|-----------------|
| ① | 8" BB | 約15W × 1分 / 各位置 |
|---|-------|-----------------|

7月7日(月) 原子炉点検のため、実験は行われなかった。

7月8日(月) 体系II-B

・体系後方30cmでの水平方向トラバース測定

- | | | | |
|---|-------|-----------------|-----------|
| ① | 5" BB | 約15W × 1分 / 各位置 | 10cm間隔で測定 |
| ② | 3" BB | 同上 | 同上 |

・ビーム中心軸上でのBB測定

[F.G.測定 at 体系後方 30cm, 150cm]

- | | | |
|---|--------|-------------------|
| ① | 3" BB | } 約50W × 2分 / 各位置 |
| ② | 5" BB | |
| ③ | 8" BB | |
| ④ | 10" BB | |

[B.G.測定 at 体系後方 150cm]

- | | | |
|---|--------|--------------------|
| ① | 10" BB | } 約400W × 2分 / 各位置 |
| ② | 8" BB | |
| ③ | 5" BB | |
| ④ | 3" BB | |

☆B.G.測定では、実験体系後面の5ft (約152cm) 四方の領域が検出器から「見えなくなる」位置にLi-Parを配置した。

☆体系II-Bの測定を終了。

7月9日(木) 体系II-C + 鉛スラブ1枚

☆Zrスラブ(縦40インチ(約102cm) × 横48インチ(約122cm))を設置。

ビーム中心に位置決めした後、同スラブの外周部をLi-Parブロック及びポリエチレン板等を用いて遮蔽。鉛スラブを1枚設置。

(7月9日分の続き)

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm位置)

①NE-213検出器 約40W × 約2時間

②Benjamin検出器 (水素ガス圧 10気圧) 約3kW × 4000秒

・スペクトル測定位置でのボナーボール測定

① 5" BB 約15W × 2分

② 3" BB 約15W × 3分

7月10日(金) 体系II-C + 鉛スラブ1枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm位置)

①Benjamin検出器 (水素ガス圧力 3気圧)

② 同上 (水素ガス圧力 1気圧)

・スペクトル測定位置でのボナーボール測定

① 8" BB

☆鉛スラブを撤去

・体系後方30cm位置での水平方向トラバース測定

① 3" BB

② 5" BB

7月13日(月) 体系II-C

・体系後方30cm位置での水平方向トラバース測定

① 8" BB 約40W × 1分 / 各位置

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定

[F.G.測定 at 体系後方 30cm, 150cm]

① 8" BB
② 3" BB
③ 5" BB
④ 10" BB } 約40W × 2分

[B.G.測定 at 体系後方150cm]

⑤ 10" BB
⑥ 8" BB
⑦ 5" BB
⑧ 3" BB } 約400W × 2分

(7月13日分の続き)

{ F.G.測定 at 体系後方150cm , Zrスラブのフレーム部 (約5cm 幅) 南側を
Li-Parで遮蔽 }

- | | | | | |
|---|-------|-----------|---|-----------------|
| ⑨ | 3" BB | 約40W × 2分 | } | ②, ③と有意な差は見られず。 |
| ⑩ | 5" BB | 同上 | | |

☆体系II-Dへの移行作業を実施。

B₄C スラブ (1W) をZr後方に追設した。側部には20cm幅のLi-Parブロック及びその外側に30cm幅のコンクリートブロックを配置した。上部にはLi-Parブロックが約30cm積み、その上方は、開放空間とされた。下部は、20cm厚さのLi-Par層を内包したコンクリートスラブで支持された状態。

鉛スラブ1枚をB₄Cスラブ後方に設置。

7月14日 (火) 原子炉の週例点検のため、実験は行なわれなかった。

7月15日 (水) 体系II-D + 鉛スラブ1枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm位置)

- | | | | |
|---|-------------|---------------|--------------|
| ① | NE-213検出器 | 約160W × 約100分 | |
| ② | Benjamin検出器 | (10気圧 水素ガス) | 約15kW × 約1時間 |
| ③ | 同上 | (3気圧 水素ガス) | 約40kW × 約1時間 |

・スペクトル測定位置でのボナーボール測定

- | | | |
|---|--------|------------|
| ① | 5" BB | 約80W × 3分 |
| ② | 3" BB | 約400W × 3分 |
| ③ | 10" BB | 約400W × 2分 |

7月16日 (木) 体系II-D + 鉛スラブ1枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm位置)

- | | | | |
|---|-------------|------------|--------------|
| ① | Benjamin検出器 | (1気圧 水素ガス) | 約40kW × 約2時間 |
|---|-------------|------------|--------------|

☆中性子スペクトル測定を終了し、鉛スラブを撤去。

・ビーム中心軸上でのボナーボール測定

[F.G.測定 at 体系後方 30cm , 150cm]

- | | | |
|---|--------|---------|
| ① | 5" BB | 約1.5 kW |
| ② | 3" BB | 約4 kW |
| ③ | 8" BB | 約4 kW |
| ④ | 10" BB | 約1.5 kW |

[B.G.測定 at 体系後方150cm]

- ① 10" BB 約15 kW × 3分
- ② 8" BB 約 8 kW × 3分
- ③ 5" BB 同 上
- ④ 3" BB 同 上

☆水平方向トラバース測定の準備完了。

7月17日(金) 体系Ⅱ-D

・体系後方30cmでの水平方向トラバース

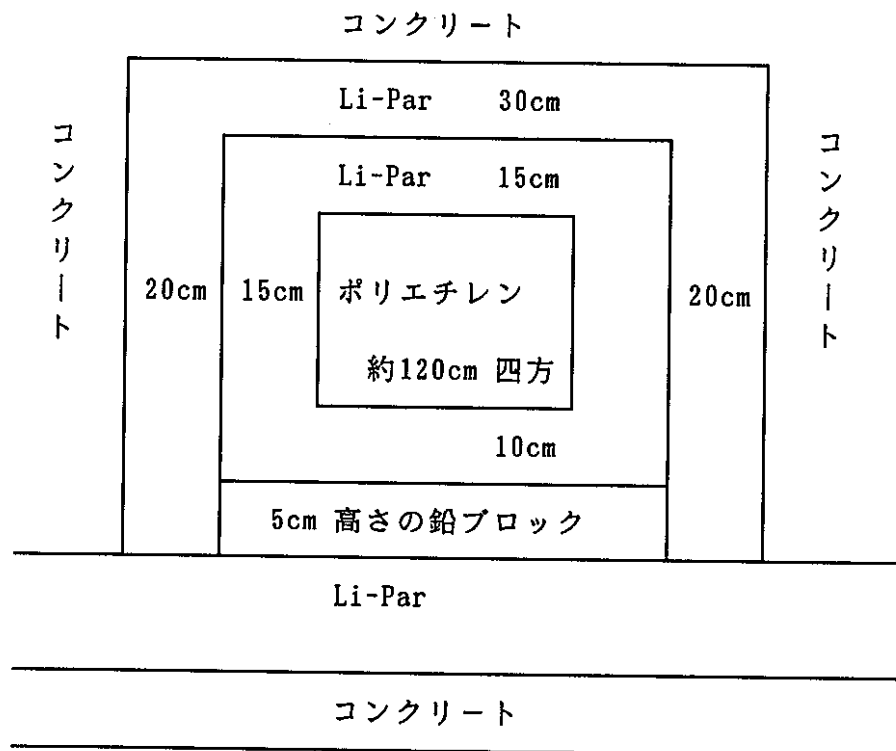
- ① 5" BB 約 2kW × 1分または2分/各位置
- ② 3" BB 約 4kW × 同 上
- ③ 8" BB 約 2kW × 同 上

☆これにて体系Ⅱ-Dの測定を終了し、体系Ⅲ-Aへの移行作業を実施。

☆体系Ⅲ-Aの概念図を次に示す。

約120cm四方のポリエチレン板をビーム中心に位置決めするために、5cm高さの鉛ブロックと10cm高さのLi-Parブロックを下に置いた。側部及び上部のLi-Parブロックは、ポリエチレンスラブに対して約10cm後方へ突き出ている。

体系後方に鉛スラブを2枚設置。



(7月17日分の続き)

体系Ⅲ-A + 鉛スラブ2枚

・中性子スペクトル測定(予定)位置でのボナーボール測定(鉛スラブ後方25cm)

- | | | |
|---|--------|------------|
| ① | 3" BB | 約15 W × 2分 |
| ② | 5" BB | 同上 |
| ③ | 10" BB | 同上 |

7月20日(月) 体系Ⅲ-A + 鉛スラブ2枚

・鉛スラブ後方25cmでの中性子スペクトル測定

- | | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|
| ① | NE-213検出器 | 約8W × 約80分 | |
| ② | Benjamin検出器 | (10気圧 水素ガス) | 約900 W × 約1時間 |
| ③ | 同上 | (3気圧 水素ガス) | 約3 kW × 同上 |
| ④ | 同上 | (1気圧 水素ガス) | 約5 kW × 同上 |

7月21日(火) 原子炉の週例点検

鉛スラブ2枚を撤去。 good timing

7月22日(水) 体系Ⅲ-A

・ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定 at 30 & 150cm]

- | | | | |
|------|------|------|-------|
| ① 5" | ② 3" | ③ 8" | ④ 10" |
|------|------|------|-------|

炉出力 約40W

[B.G.測定 at 150cm]

- | | | | |
|-------|------|------|------|
| ① 10" | ② 5" | ③ 8" | ④ 3" |
|-------|------|------|------|

炉出力 約150 ~ 400W

☆体系Ⅲ-Aの測定を終了した。

5cm厚さのポリエチレンスラブ1枚を追加し、体系Ⅲ-Bを構成。

・体系Ⅲ-Bで、ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定 at 30cm & 150cm]

- | | | | |
|------|------|------|-------|
| ① 3" | ② 5" | ③ 8" | ④ 10" |
|------|------|------|-------|

炉出力 約80W

(7月22日分の続き)

[B.G.測定 at 150cm]

① 10" ② 8" ③ 5" ④ 3"

炉出力 約400W

7月23日(木) 体系Ⅲ-B

☆早朝、鉛スラブ2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位置)

①NE-213検出器	約40W ×約80分
②Benjamin検出器	(10気圧 水素ガス) 約 5kW ×約1時間
③ 同 上	(3気圧 水素ガス) 約 10kW ×約70分
④ 同 上	(1気圧 水素ガス) 約 15kW ×約70分

中性子スペクトルの解析プロセスがルーチン化してきたことと、炉出力が低くてすむことの両方の理由により、測定に要する時間が短くなってきた。今日は1日で中性子スペクトル測定をすべて終了させることを目標にして作業が行われ、見事に成功した。早朝6時頃から夕方まで、測定員と運転・保守員の呼吸がうまく合っていた。昨日も、計16回の炉運転を行って、2つの体系でのボナーボール測定をすべて終了させており、JASPER実験を9月末までに確実に終了させるという目標に向かって約10名のTSF従業員の気持ちが一つになってきた感を受ける。作業中に他人の分担内容について「あれは済んだか?」とか、「次の手順はもう決めたか?」などと互いに確認し合う光景がひんぱんに見られる様になってきた。日本では平凡なシーンだが2年間アメリカ生活を体験した身には、ひどく新鮮に映る。原子力開発華やかなりし頃のアメリカには、このような気風が充満していたらしい。それにしても、毎日つきあっている同僚たちが、「高速炉開発」という目標をもっていないことは、歴史の成せる業とは言え、かえすがえすも残念である。

7月24日(金) 体系Ⅲ-B + 鉛スラブ2枚

・中性子スペクトル測定位置でのボナーボール測定

① 5" BB	約 40 W × 2 分
② 3" BB	約 80 W × 2 分
③ 10" BB	約 40 W × 2 分

(7月24日分の続き)

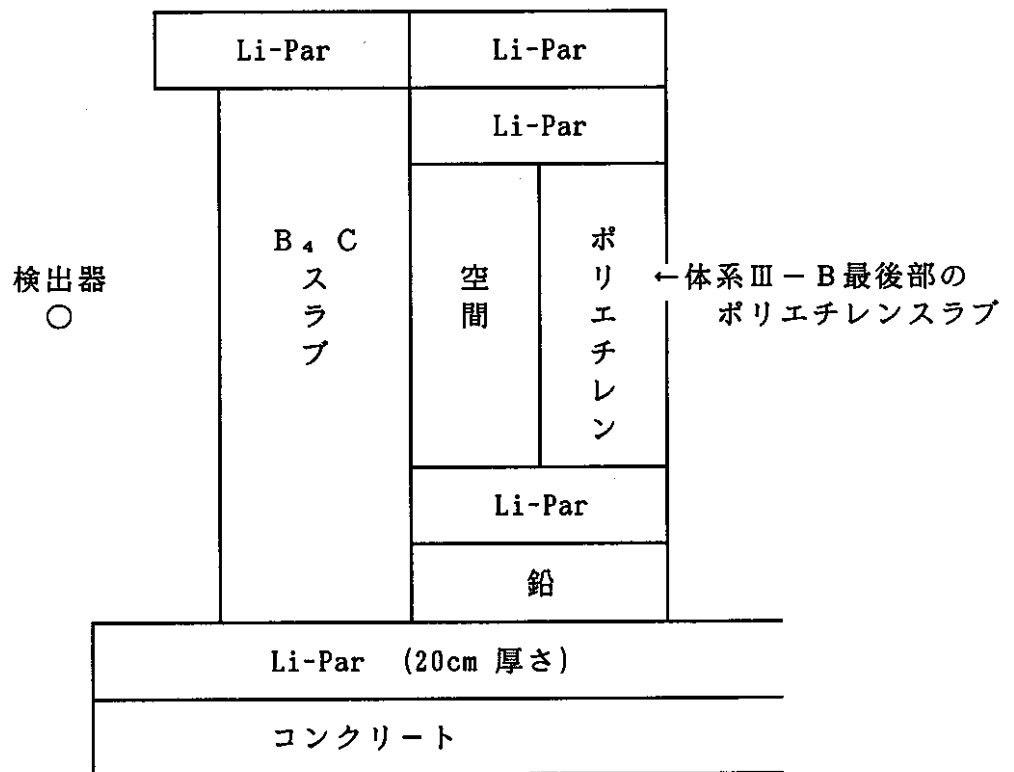
☆鉛スラブ2枚を撤去

・体系後方30cm位置での水平方向トラバース測定

- | | |
|---------|-----------------|
| ① 8" BB | 約150 W × 1分/各位置 |
| ② 5" BB | 約 80 W × 1分/各位置 |
| ③ 3" BB | 約150 W × 1分/各位置 |

☆体系Ⅲ-Bの測定を終了し、体系Ⅲ-Cへの移行作業を行った。

15cm B₄Cスラブ (No.1W)を追加し、その周囲にLi-Parブロック、さらにその周囲にコンクリートブロックを配置。このとき、B₄Cスラブとその前方にあるポリエチレンスラブとの間には約5cmの空間が生じた。(下図)



(体系Ⅲ-C最後部の側面図)

・体系Ⅲ-Cにて、ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定 at 30 & 150cm]

- | | |
|----------|-----------------|
| ① 3" BB | 約400 W × 3.6分 |
| ② 5" BB | 約400 W × 2分/各位置 |
| ③ 8" BB | 同 上 |
| ④ 10" BB | 同 上 |

7月27日(月) 体系Ⅲ-C

・ビーム中心軸上のボナーボール測定 [B.G.測定 at 150cm]

BB種類 : 3", 5", 8", 10"

・体系後方30cm位置での水平方向トラバース測定

- ① 3" BB
- ② 5" BB
- ③ 8" BB

7月28日(火) 原子炉週例点検日

体系後方に鉛スラブを2枚設置。 good timing

7月29日(水) 体系Ⅲ-C + 鉛スラブ2枚

・中性子スペクトル測定 (鉛スラブ後方25cm位置)

- ① NE-213
- ② Benjamin (10気圧 水素ガス) 約15kW×約1時間
- ③ 同上 (1気圧 水素ガス) 約60kW×約2時間
- ④ 同上 (3気圧 水素ガス) 約50kW×約1時間

・中性子スペクトル測定位置でのボナーボール測定

3", 5", 10" の各BBについて実施。

7月30日(木) 体系Ⅲ-C + 鉛スラブ2枚

昨日のスペクトル解析結果を検討した結果、チェックのため下記の測定を行うこととなった。

① Benjamin検出器 (3気圧)

昨日、約50kW出力で測定した時にはデッドタイム7%程度であった。

スペクトルの高エネルギー側にピークが見られるため、より低い炉出力で長時間測定を試みた。約27kWで2時間運転。デッドタイム4%程度

② Benjamin検出器 (3気圧)

①と同様のねらいだが、検出部を予備品と交換して測定

③ Benjamin検出器 (1気圧)

①、②の測定によって高エネルギー側の数値が見直されたため、再測定を行う必要が生じる。

☆鉛スラブ2枚を撤去。

7月31日(金) 体系Ⅲ-C

・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]

- | | |
|---------|-------------|
| ① 5" BB | 約400 W × 2分 |
| ② 3" BB | 同上 |
| ③ 8" BB | 同上 |

☆スペクトルデータの見直しにより、ボナーボールの測定値も念のため確認することとなった。10"BB の測定中、信号系にノイズが発生し、測定が中断。夕方まで復旧せず。来週早々に本チェック測定を終えて、軸方向遮蔽実験の再測定が開始される予定

- 以上 -

付 録 D

新遮蔽材透過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、ポリエチレンの厚さ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) (PNC SN2410 88-005) のP71-P74に示されているので、本資料では省略する。

2. 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。^{*1}

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(波長シフトとして)、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/m³で、その組成は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)のゼロス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は、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)

*1 ORNL-5805より

3. 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中心には、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。