

JASPER実験データ集 (Ⅷ)

— 中性子検出器応答実験 —

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998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下さい。

〒311-1393 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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technology Management Section, System Engineering Division, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki-Ken, 311-1393, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

JASPER 実験データ集 (VIII) — 中性子検出器応答実験 —

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7番目の実験として、1992年5月初めから約2ヶ月間をかけて、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) にて実施された中性子検出器応答実験の測定値、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から発行された中性子検出器応答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。

中性子検出器応答実験は、高速炉原子炉容器内に設置が検討されている中性子検出系(NIS)に関する遮蔽性能と中性子ストリーミング特性を把握すると共に、この中性子輸送評価に適用される解析手法の精度の検証と向上のためのデータベースを提供するため企画された。ORNL遮蔽実験施設 TSF (Tower Shielding Facility) の実験炉 TSR-II (Tower Shielding Reactor-II) のコリメータ後方に、スペクトルモディファイアおよびNIS近傍のモックアップ—炉内燃料貯蔵槽(IVFS)があるものと無いもの両ケースあり—が設置され、各種検出器を用いた中性子測定が行われた。広いエネルギー範囲にわたる中性子が、ビーム軸に直交する方向での分布及びビーム軸上において、ほぼ全体系においてポナーボールにより測定された。さらに、高速中性子のビーム軸上でのエネルギースペクトル及び低エネルギー中性子束のビーム軸に直交する方向の分布が、スペクトロメータ及びフィッションチェンバにより測定された。

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：09C1954

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 (VIII) - Flux Monitor Experiment -

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 Flux Monitor Experiment, which was conducted at the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) during about two months beginning at the start of May, 1992 as the seventh 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 Flux Monitor Experiment was planned to examine the shielding concerns and neutron transport characteristics pertaining to the neutron instrumentation systems (NIS) designed to monitor neutron flux within the reactor vessel of an advanced fast reactor, for verification and improvement of the analysis method to be applied to the shielding design. A spectrum modifier and a mockup around NIS was placed, with or without an in-vessel fuel storage region, behind the TSR-II reactor of Tower Shielding Facility. Neutron flux was measured behind the configurations or in situ with various types of detectors. The integral neutron flux in wide energy region was measured with Bonner ball detectors on the axis and on radial traverse in almost all configurations. Fast neutron spectrum was further measured with spectrometers and also radial distribution of low energy neutron with fission chambers.

Information presented in this report is based mainly on a report issued by ORNL (ORNL/TM-12171, "Measurements for the JASPER Program Flux Monitor 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, Oarai 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	5
3.1 実験体系	5
3.2 供試体データ	6
3.3 組成と原子数密度	11
4. 検出器データ	35
5. 測定データ	37
6. 測定精度	61
参考文献	63
付録 A 中性子検出器応答実験体系と測定項目	65
付録 B JASPER実験記録	68
付録 C JASPER実験日誌	71
付録 D 中性子検出器応答実験で使用された検出器	86

表 リ ス ト

	頁
表2.2.1 中性子検出器応答実験の実験体系とその実施期間	4
表3.2.1 炭素鋼スラブの組成	13
表3.2.2 アルミニウムスラブの組成	13
表3.2.3 ボラルスラブの組成	14
表3.2.4 径方向ブランケット供試体の組成	15
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	16
表3.2.6 リチウムパラフィン煉瓦の組成	16
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	17
表3.2.8 ステンレス鋼スラブの組成	17
表3.2.9 軸方向遮蔽供試体の支持コンクリートの組成	18
表3.2.10 B ₄ C スラブ供試体の B ₄ Cの組成	19
表3.2.11 黒鉛の組成	20
表3.2.12 B ₄ C 均質型集合体の B ₄ Cの組成	21
表3.2.13 鉛スラブの組成	22
表3.3.1 中性子検出器応答実験の実験解析のための原子数密度	23
表5.1 中性子検出器応答実験測定項目	40
表5.2 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)	41
表5.3 中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)	42
表5.4 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛スラブ後方25cm)	43
表5.5 中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛スラブ後方25cm)	44
表5.6 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	45

表5.7	ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方30cm）	..	46
表5.8	ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方150cm）	..	47
表5.9	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）	49
表5.10	核分裂計数管測定値（水平方向分布、体系後方30cm）	50
表5.11	5インチボナーボール検出器測定値 （水平方向分布、体系内ポイド中）	51
表5.12	核分裂計数管測定値（水平方向分布、体系内ポイド中）	..	52

図 リ ス ト

	頁
図3.1.1 軸方向遮蔽供試体前面のリチウムパラフィンスラブ	24
図3.1.2 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	25
図3.1.3 実験体系構成図 - 体系 I A、I B、II A	26
図3.1.4 実験体系構成図 - 体系 II A、II B、II C	27
図3.1.5 実験体系構成図 - 体系 II D、II E、II F	28
図3.2.1 径方向ブランケット供試体	29
図3.2.2 軸方向遮蔽供試体のハニカムと支持コンクリート	30
図3.2.3 B ₄ C スラブ供試体	31
図3.2.4 IVFS供試体に用いられた SPERT燃料棒	32
図3.2.5 燃料ピン貯蔵容器 (IVFS供試体)	33
図3.2.6 B ₄ C 均質型集合体	34
図5.1 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)	53
図5.2 中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)	54
図5.3 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛スラブ後方25cm)	55
図5.4 中性子スペクトル測定値 (体系 II A、鉛スラブ後方25cm)	56
図5.5 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)	57
図5.6 核分裂計数管測定値 (水平方向分布、体系後方30cm)	58
図5.7 5インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系内ポイド中)	59
図5.8 核分裂計数管測定値 (水平方向分布、体系内ポイド中)	60

1. ま え が き

中性子検出器応答実験は、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))、ガスパレナム・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))、ギャップストリーミング実験⁽⁶⁾(JASPER実験データ集(VII))に引き続き、1992年5月から6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、中性子検出器応答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⁽⁷⁾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

中性子検出器応答実験は、高速炉の原子炉容器内の中性子束モニターとして設置される核計装システム (NIS) - 当初の国内実証炉設計研究では径方向遮蔽外周部、米国ALMR設計では炉心上部に設置 - にかかわる遮蔽特性を確かめ、またNIS の中性子ガイド部 (ナトリウム窓) を透過して来る中性子の遮蔽解析精度を把握するため企画された。なお遮蔽設計上、NIS の炉内での設置位置の成立性は炉心廻りの遮蔽構造に影響され、モニター位置での中性子束を高めるため遮蔽体領域に中性子ガイド部を設ける場合は、NIS の外側の遮蔽が問題となってくる。

中性子検出器応答実験は8体系からなり、スペクトルモディファイアである体系Iと、中性子ガイド部の透過を模擬した体系IIとに分けられ、さらに体系IIは炉内燃料貯蔵 (IVFS) 供試体を含む体系と含まない体系がある。

中性子束の測定は、全8体系について供試体直後および後方のビーム軸上の2点で実施され、重要体系では供試体後方あるいは供試体間に設けられたボイド領域においてビーム軸と直交する水平方向の分布も測定された。また高速中性子のエネルギースペクトルが、代表2体系において供試体直後のビーム軸上で測定された。

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

本実験はギャップストリーミング実験に引き続き、1992年5月13日から6月22日まで測定が行われた。最初に体系Iとしてスペクトルモディファイア SM-1 (高速炉径方向ブラケットからの漏洩中性子スペクトルを模擬) およびこれにステンレス鋼可動遮蔽体の模擬多重層を追加したA、Bの2体系、さらに体系IIとして内径15cmの中性子ガイド穴のある遮蔽層を模擬した供試体 - 軸方向遮蔽実験に利用された軸方向遮蔽模擬供試体において、中央にアルミ遮蔽を、周辺に6体の B_4C 均質型集合体を配置したものを体系Iの後方に設置したAからFまでの6体系で測定が実施された。各体系の測定実施期間を表2.2.1に示す。実験計画の順に実験体系が構成されたが、厳しい工程の都合上、体系II-Dは最後にまわされた。

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。

表2. 2. 1 中性子検出器(NIS)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5月13日	5/6～8：ギャップストリーミング実験終了後の 原子炉停止&点検 5/11～12：SM構成
I-B	1992年5月14日～5月19日	
II-A	1992年5月21日～6月1日	5/20：軸方向遮蔽実験供試体設置 5/22：原子炉点検 ：中性子スペクトル信号処理系チェック 5/27：原子炉点検
II-B	1992年6月3日～6月5日	6/2：原子炉点検
II-C	1992年6月8日～6月10日	6/9：原子炉点検 ：IVFSモックアップ構成開始(倉庫)
II-E	1992年6月11日～6月15日	
II-F	1992年6月15日～6月18日	6/16：原子炉点検
II-D	1992年6月18日～6月22日	6/19：チェック測定追加 6/23：原子炉点検 ：IVFSモックアップ解体

3. 実験体系と供試体データ

3.1 実験体系

実験は、TSR-II (Tower Shielding Reactor -II) のコリメータから水平方向にとり出された中性子を、その後方に設置した供試体に入射させ、供試体を透過した中性子を測定する。コリメータ付近の形状およびコリメータに入射する中性子角度線束は、JASPER実験データ集 (I) にまとめられている。中性子は、高速炉でのブランケット漏洩スペクトルを模擬するためのスペクトルモディファイアならびにステンレス鋼可動遮蔽体を模擬したスラブ多重層を経て、NIS 領域の遮蔽構造を模擬した実験供試体に入射する。この供試体は、軸方向遮蔽実験に使われた軸方向遮蔽模擬供試体において、中性子ガイド部を模擬した六角柱状のアルミニウムを中央に挿入し、その廻りに六角柱状の B_4C 均質型集合体を6体配置した構成となっている。これを、以降は軸方向遮蔽供試体と略称する。この供試体と上流側に設置されたステンレス鋼スラブとの間には、図3.1.1 に示すリチウムパラフィン煉瓦から構成された 10.16cm厚さのスラブが設置されている。このスラブの中央には図3.1.2 に示すように、軸方向遮蔽供試体の6体の B_4C 均質型集合体を取り囲む B_4C 層の外形状に対応した開口が設けられている。軸方向遮蔽供試体の後方には遮蔽スラブを配置し、関連する領域全体のモックアップ体系を構成している。このモックアップ体系は、IVFS供試体を含む体系と含まない体系とに大きく別けられる。いずれも軸方向遮蔽供試体とこれに続く遮蔽スラブとの間には、約35cmの厚さのボイド部が設けられ、径方向の中性子束分布をはかるためのフィッションチェンバを当部で移動できるようになっている。IVFS供試体の外形は標準的なスラブのものより小さく、IVFS供試体の中心をビーム軸に合わせるため、リチウムパラフィン煉瓦が周囲に詰められた。

供試体の上下左右はコンクリートブロックで囲み、周辺に漏洩する中性子を反射させると共に、検出器位置のバックグラウンドの低減をはかっている。

体系 I シリーズおよび体系 II シリーズの各実験体系の構成を、下記の図に示す。これらの図に記されている供試体厚さは、中性子ビーム軸上での、従って供試体中央部の実測寸法である。 B_4C スラブの場合には、ステンレス鋼被覆の厚さを含んだ寸法となっている。また炉心中心から各スラブあるいは供試体までの距離は、中性子ビーム軸上で測定されたものである。

体系図	体系番号
図3.1.3	体系ⅠA、ⅠB、ⅡA
図3.1.4	体系ⅡA、ⅡB、ⅡC
図3.1.5	体系ⅡD、ⅡE、ⅡF

3.2 供試体データ

3.2.1 スペクトルモディファイア

スペクトルモディファイアは、各10cm厚さの鉄とアルミニウム及び2.5cm厚のボラルに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3.1.3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、合計厚さが2.54cmのボラルスラブ2枚、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。IVFS供試体を除いて、いずれのスラブも一辺が152.4cm角の外形をしている。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。

”径方向ブランケット”供試体と呼ばれている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TSFで実施された初期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1.40cm(他のJASPER実験結果報告書では1.397cmと表記)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(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。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、全体厚11.05cm、辺長152.4cmの鉄製の容器に封入されている。径方向ブランケットスラブのそれぞれには、522本のアルミニウム製円筒、いわゆる燃料棒が存在し、その体積はスラブ全体積の64.6%を占める。これらの燃料棒は、交互に74本又は75本から成る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。アルミニウム製円筒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。これらの燃料棒は、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大旨適合するように、1962年にニューム社 (Numes Corporation) によって製作されたものである。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。

軸方向遮蔽供試体を除きスペクトルモディファイアおよびその後方に設置された全ての供試体スラブは、その側部、上部および下部を、リチウムパラフィン煉瓦で取り囲まれている。厚さは一定ではないが、側部は20.3cmとなっている。供試体スラブは、20.3cm厚さのリチウムパラフィン層と10.2cm厚さのコンクリート層を組み合わせた30.5cm厚さのスラブによって支持され、リチウムパラフィン層がスラブに隣接して配置された。モックアップ内で各スラブを固定するためのスラブ上部にあるステンレス製の金具のため、上部でのリチウムパラフィン層は20cmから30.5cmの間の厚さとなっている。リチウムパラフィンの周囲は、すべての場合において、61cm以上の厚さのコンクリートで取り囲まれており、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モックアップの周りにさらにコンクリートを設置した。リチウムパラフィンとコンクリートの成分を表3.2.6および表3.2.7に示す。

3.2.2 アルミニウムスラブ

径方向可動遮蔽体のモックアップを構成している厚さ1.27cmのアルミニウムスラブはナトリウムを模擬しており、スペクトルモディファイアの径方向ブランケットの直後に設置されている。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スラブ (表3.2.3)と同様A16061である。

3.2.3 ステンレス鋼スラブ

径方向可動遮蔽体のモックアップを構成している3層のステンレス鋼スラブは、厚さは2層が5.15cm、1層が5.27cmのものであり、矩形の一辺の長さは152.4cm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3.2.8に示す。六角柱状のB₄C均質型集合体に使われているステンレス鋼も同じ304タイプのものである。

3.2.4 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、ステンレス鋼スラブ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 B₄C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 B₄C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3.1.1 に示されている。リチウムパラフィンの組成を表3.2.6 に示したものと同一である。

3.2.5 軸方向遮蔽供試体

中性子検出器応答実験の供試体には、1990年に実施された軸方向遮蔽実験のために製作された45cm厚さ軸方向遮蔽模擬供試体が使われた。この供試体は、中心1体とこれを囲む6体の六角柱状の遮蔽集合体が集まったものとなっている。この実験では、中性子モニターの応答を高めるための中性子ガイド部（ナトリウム窓）を模擬するため、中心の1体はアルミニウムとなっている。多重層のスラブと軸方向遮蔽供試体の六角柱は、米国ALMRの遮蔽設計およびわが国ループ型炉の NIS配置を良く模擬している。中心1体の周りを囲む6体は、軸方向遮蔽実験で用いられた B₄C均質型集合体が配置されている。これらの集合体を水平に配置するため、図3.2.2 に示すアルミニウム製のハチの巣状構造物（以下、「ハニカム」という。）がコンクリートスラブの中に据えつけられた。ハニカム自体は高速炉の典型的な軸方向遮蔽設計において集合体間に存在するナトリウム流路を模擬するものとなっている。

ハニカムとこれを囲むコンクリートスラブの間には平均密度 1.3g/ccの B₄C層が存在し、図3.1.2 に示すようにその幅は場所によって異なっている。なお軸方向遮蔽実験の実験結果報告書⁽³⁾では、B₄C層の平均密度は1.33g/cc、また B₄C層とコンクリートスラブとの間には厚さ0.952cm の鉄被覆層が存在するとの記載がある。B₄C層はハニカムの両端にある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 B₄C層部の全長は45cmだけである。

コンクリートスラブは、幅 304.8cm、高さ 213.4cm、厚さ45cmである。このスラブの分析組成を表3.2.9 に示す。しかし、この実験結果報告書に記載の組成は、軸方向遮蔽

実験の実験結果報告書と同じであるため、この実験解析時の検討（JASPER実験解析（VI）、1992年）から当時設定し直した組成を適用するのが妥当と考えられる。

3.2.6 B₄Cスラブ

JASPER実験に使用された B₄Cスラブは、一辺 152.4cm長さの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。本実験に利用されたスラブは、図3.2.3のうち 1W と表記されたものである。ステンレス鋼板を含めた実際のスラブの厚さは16.95cm であり、これは図中に示すようにスラブ中心で測定されたものである。一定の厚さを保持出来るように、相対的に薄い外板どおしの間にスペーサピンが使用されている。B₄C の密度は、1.42g/ccである。B₄C粉末の分析組成を表3.2.10に示す。このスラブの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（ORNL/TM-11839）⁽³⁾ から類似の B₄Cサンプルには数%オーダーのBNが存在していることが示唆される。

3.2.7 黒鉛

側面が 10.16cm角で、長さが 30.48cm又は 121.9cmの黒鉛片を組み合わせて積み重ねることにより、一辺の長さ 152.4cm、厚さ20.3cmの黒鉛層が形成された。黒鉛片の表面は中性子ストリーミングを引き起こすような隙間が発生しないように、精密に機械加工されている。黒鉛の組成と密度を表3.2.11に示す。

3.2.8 燃料ピン貯蔵容器（IVFS供試体）

本実験に用いられた合計1200本の燃料ピンはフロリダ大学から手に入れたものである。これらの燃料ピンは、もともとはアイダホ州アイダホフォールスの米国AEC の原子炉試験基地 (National Reactor Testing Station) で実施された出力急昇実験（Special Power Excursion Reactor Test； SPERT）のために製作されたものであり、SPERT燃料と呼ばれている。燃料ピンは、304 ステンレス鋼管の中に濃縮度4.81%の二酸化ウラン焼結ペレットが密封されたものである。二酸化ウランペレットとステンレス鋼製の端栓との間には、アルミナ製のインシュレータが存在する。燃料およびフィッションガスの膨張を許容するため、ピン上部およびペレット周囲に、ガス空間が設けられており、また燃料ペレット上部には、ペレットを適切な位置に保持するためのバネが存在する。

典型的な SPERT燃料ピンの特性を、その概念図と共に図3.2.4 に示す。燃料部の長さおよび両端部を含むピンの全長は、それぞれ 91.44cm及び106.51cmである。燃料ペレットの外径は 1.067cmであり、被覆管外径は 1.184cm、肉厚は 0.051cmである。二酸化ウランペレットの密度は 10.08g/ccであり、ピン 1 本中のウラン235 の重量は35.2g である。図中には示されていないが、各ピンの上部および下部には端栓と被覆管が接続された位置に溶接ビードがある。この溶接ビード部の外径はステンレス鋼管の外径(1.184 cm) よりわずかに大きく(1.20cm)、このため容器の製作時にいくつかの最終的な微小変更が必要となった。

最大の中性子増倍効果を与えるため、本実験では1148本のピンが、“厚い”容器に詰め込まれた。容器は図3.2.5 に示すように、ステンレス鋼製であり、幅94.96cm、厚さ18.31cm、高さ111.3cm である。燃料ピンは容器の中に鉛直となるように配置され、77本の列が8列と76本の列が7列、それぞれ交互に並び、ピン間隔(ピッチ)は溶接ビード部の外径に基づく1.20cmの三角ピッチとなっている。溶接部の外径がピン外径より大きいため、ピン間にはわずかな空間が存在する。

IVFS供試体をモックアップに設置する場合には、その中心を原子炉の放射線ビームの中心軸上に位置決めするため、下部に支持物として20.3cm厚のリチウムパラフィンが用いられた。同様に容器の横幅は通常の実験用スラブに比べて小さいため、容器と両側コンクリートとの間に生じた空隙は、リチウムパラフィン煉瓦により塞がれた。

3.2.9 B₄C均質型集合体

六角柱状 B₄C均質型集合体は図3.2.6 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、対面間の内のり幅が14.73cm のアルミニウム製の容器に入れられている。容器の板厚は0.627cm であり、外側寸法(対面間)は15.98cm となっている。B₄C を封入している端板の厚さは両端共に1.123cm である。B₄C 粉末(120grit) は密度1.41g/ccであり、その組成を表3.2.12に示す。ステンレス鋼の板厚は1.25cmである。当六角柱状集合体をハニカム内に設置する際には、原子炉に最も近い側にB₄C 容器を一個挿入し、その後にステンレス鋼板とB₄C 容器とを交互に詰めた。

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1層あるいは2層設置している。本実験では体系I-Bおよび体系II-Aにおいてスペクトル測定が実施されているが、後者にのみ鉛が1層だけ設置された。この鉛スラブの組成データを表3.2.13に示す。

3.2.11 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、既に組成を示したりチウムパラフィン煉瓦からなる40.6cm厚、一片91.4cm長の矩形のシャドウシールドが、実験供試体から直接到達する成分が大幅に低減されるように、供試体と検出器の間に設置された。このバックグラウンド測定は体系後方150cmの中心軸上でのボナーボール測定時に実施された。軸方向遮蔽供試体の後方にスラブが存在しない場合のバックグラウンド測定においては、典型的な152.4cm角のスラブがあたかも存在すると仮定して、シャドウシールドを配置した。

なお他の実験結果報告書⁽⁶⁾では、ボナーボールは大きさが異なるのに対しシャドウシールドの大きさは決まっていることから、このバックグラウンド測定には幾らかの誤差が含まれており、測定結果の利用においてはこれを考慮すべきであることが記載されている。このリチウムパラフィン煉瓦は、既に示したのと同じ組成である。

3.3 組成と原子数密度

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3.3.1にまとめた。

軸方向遮蔽供試体のコンクリートの組成は、前述の実験結果報告書記載の組成表のものを見直した数値である。すなわち表3.2.9を適用した軸方向遮蔽実験の実験解析では、計算値が測定値を過大評価することが明らかとなり、コンクリートの組成のサーベイ計算を実施して、水密度を8.0%と設定し直したものである。また B_4C の組成も、前述の実験結果報告書記載の組成表のものではBとCの原子数存在比が4.3となる

ため、実験データ集（I）記載の算出法に従い、この存在比を4.0とし、 B^{10} の同位体存在比を19.8%としたものである。

表3.2.1 炭素鋼スラブの組成 (ORNL/TM-12171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-12171より引用)

**Table 2. Analysis of aluminum slabs ($\rho = 2.70 \text{ g/cc}$)
used in spectrum modifier**

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-12171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-12171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	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-12171より引用)

Table 5. Analysis of aluminum used in UO_2 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
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煉瓦の組成 (ORNL/TM-12171より引用)

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

Component	wt %
C_nH_{2n+2}	60
Li_2CO_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-12171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 ステンレス鋼スラブの組成 (ORNL/TM-12171より引用)

Table 8. Analysis of type 304 stainless steel ($\rho = 7.92$ 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3.2.9 軸方向遮蔽供試体の支持コンクリートの組成
(ORNL/TM-12171より引用)

Table 9. Analysis of concrete in axial shield concrete slab
($\rho = 2.40 \text{ g/cc}$)

Element	Axial shield concrete (%)
Free H ₂ O	.97
Bound H ₂ O	2.44
LOI*	35.25
SiO ₂	9.41
Fe ₂ O ₃	.94
Al ₂ O ₃	1.57
CaO	36.96
MgO	13.2
Na ₂ O	.022
K ₂ O	.53
SO ₃	.16
P ₂ O ₅	.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.

表3.2.10 B₄Cスラブ供試体の B₄Cの組成 (ORNL/TM-12171より引用)

Table 10. 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3.2.11 黒鉛の組成 (ORNL/TM-12171より引用)

Table 11. Analysis of graphite used in shield mockup ($\rho = 1.62 \text{ g/cc}$)

Metallic Impurities in Carbon (ppm)					
Ag	<0.5	Ge	<5	Sb	<10
Al	12.5	Hg	<10	Si	100
B	1.5	In	<10	Sn	<10
Ba	<5	K	<100	Sr	<10
Be	<0.5	Li	<2	Ta	<10
Bi	<10	Mg	7.5	Te	<25
Ca	150	Mn	<1	Ti	30
Cd	<25	Mo	<5	V	100
Co	<10	Na	<5	W	<5
Cr	<10	Nb	<5	Zn	10
Cu	7.5	Ni	<10	Zr	<5
Fe	50	Pb	<5		
Ga	<10	Rb	<5		

表3.2.12 B₄C均質型集合体の B₄Cの組成 (ORNL/TM-12171より引用)

Table 12. 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3.2.13 鉛スラブの組成 (ORNL/TM-12171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

表3.3.1 中性子検出器応答実験の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 ₂ 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									

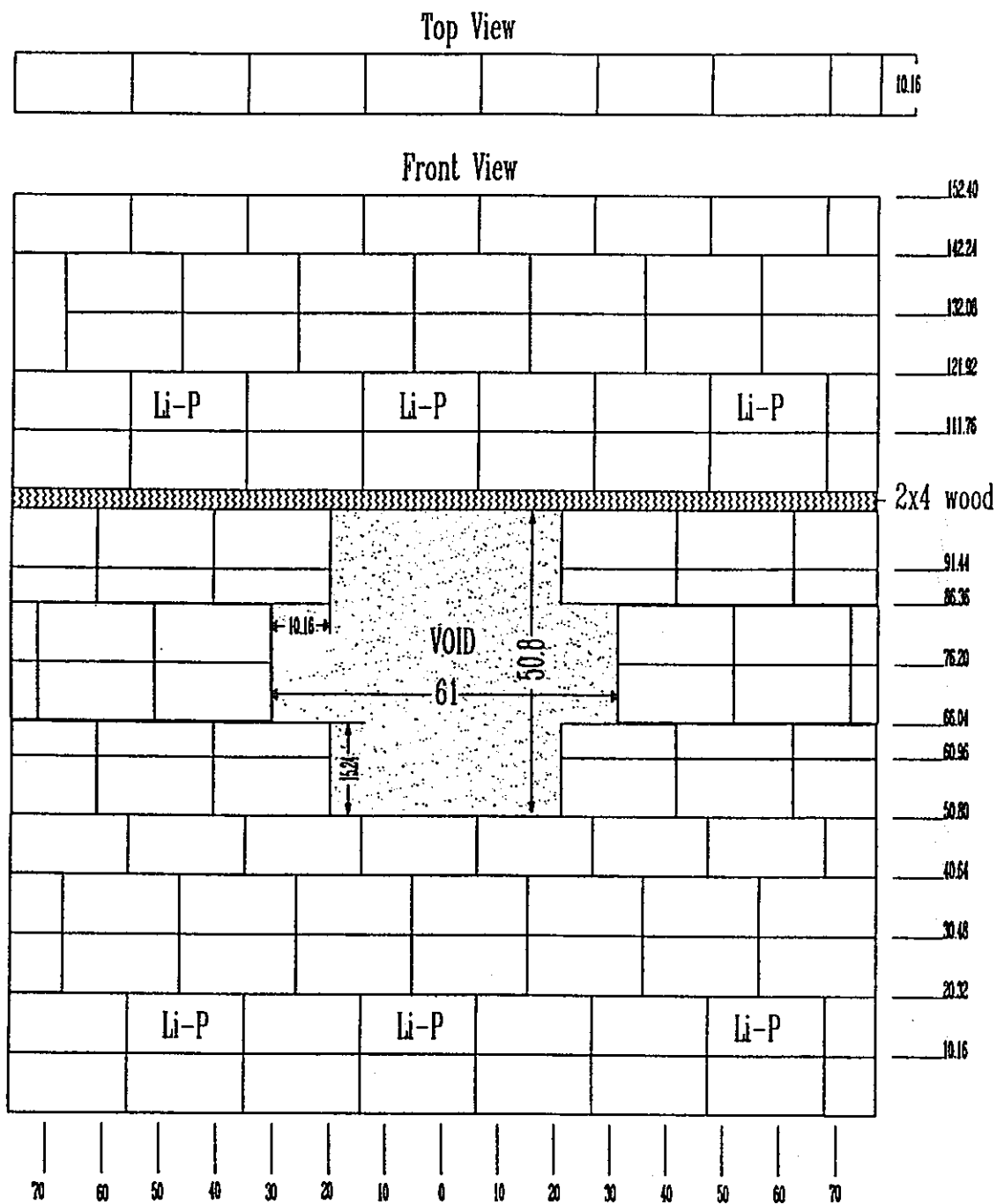


図3.1.1 軸方向遮蔽供試体前面のリチウムパラフィンスラブ (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 1. Schematic of the lithiated paraffin slabs with iris.

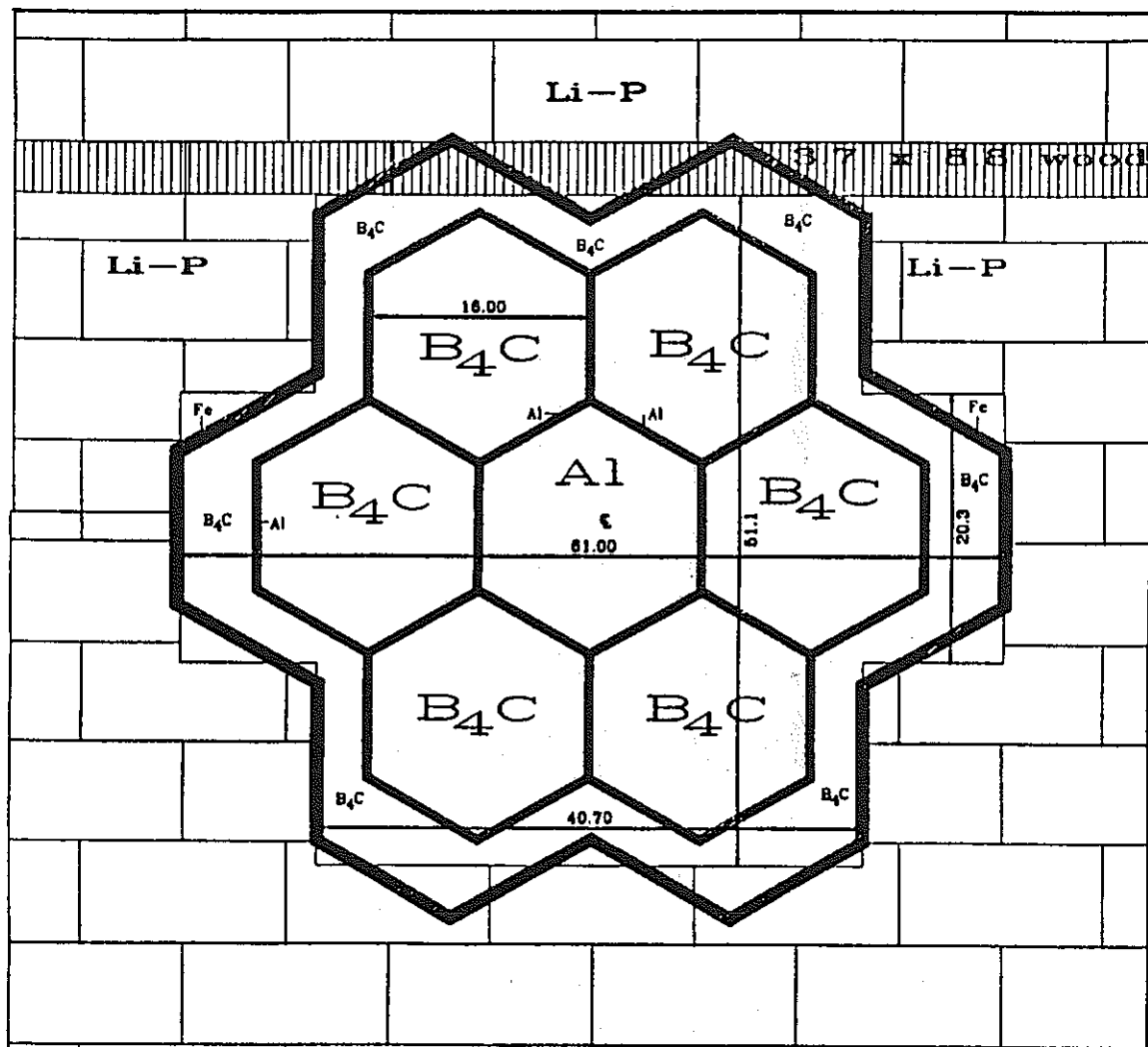


図3.1.2 軸方向遮蔽供試体とリチウムパラフィンスラブ中央開口の形状相関
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 2. Schematic of the superimposed lithiated paraffin slab iris upon the seven-hexagon arrangement in the axial shield.

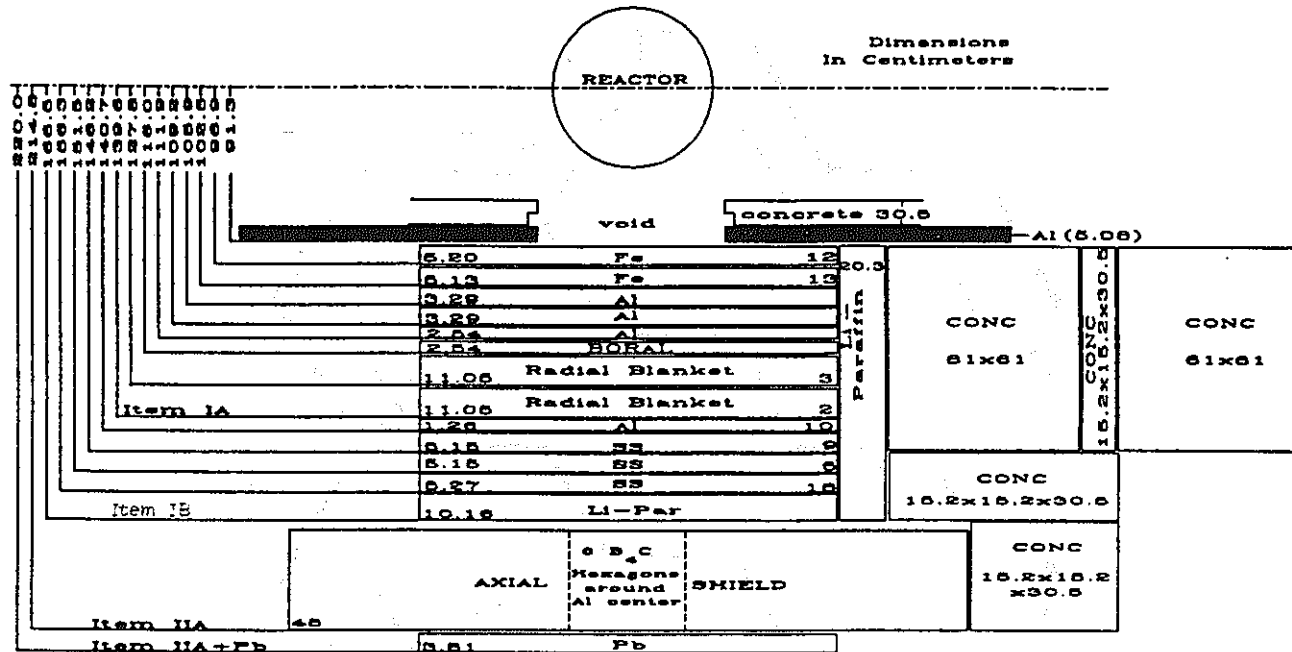


図3.1.3 実験体系構成図 一体系 I A、I B、II A (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 14. Schematic of SM plus shield configuration for Item IIA plus lead slab.

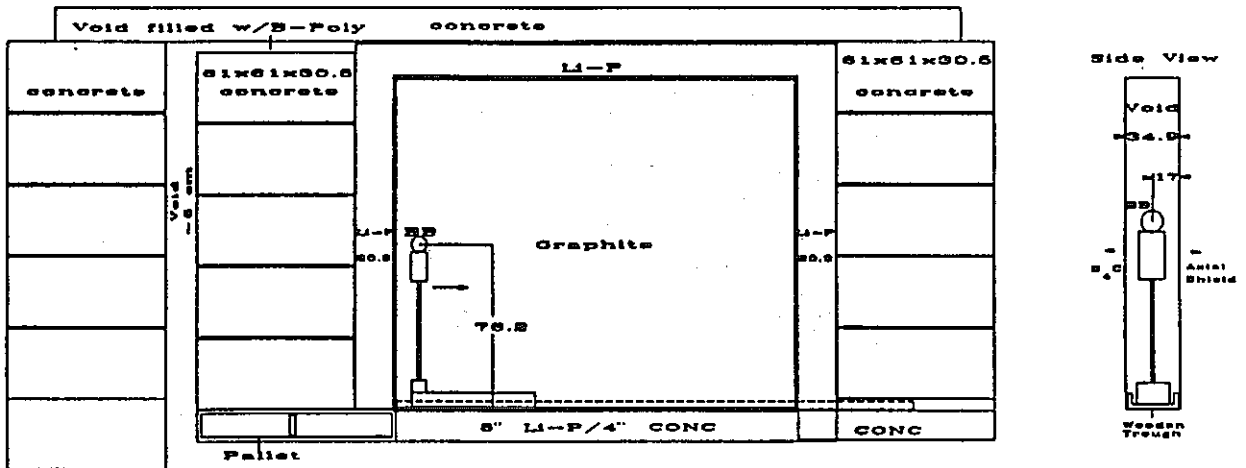
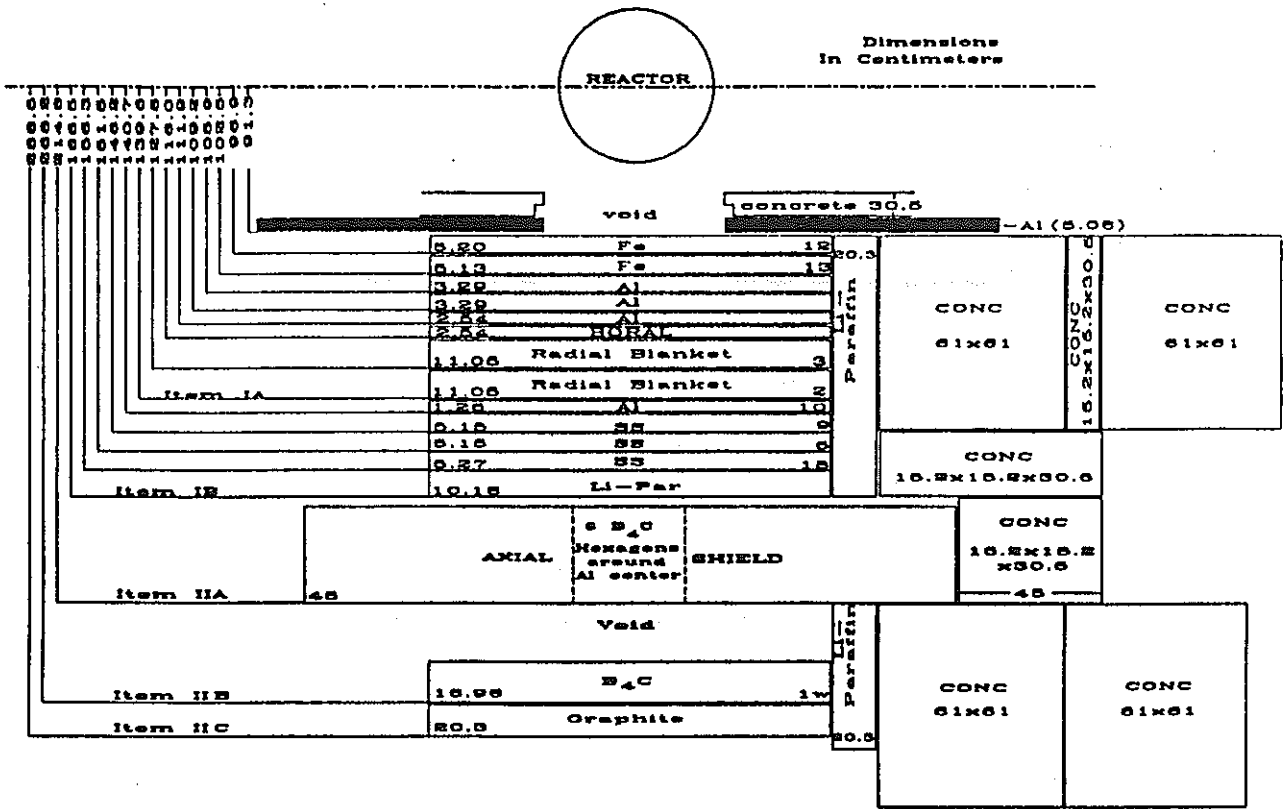


図3.1.4 実験体系構成図 - 体系II A、II B、II C (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 3. Schematic of SM plus shield configuration for Items IA, IB, IIA, IIB, IIC.

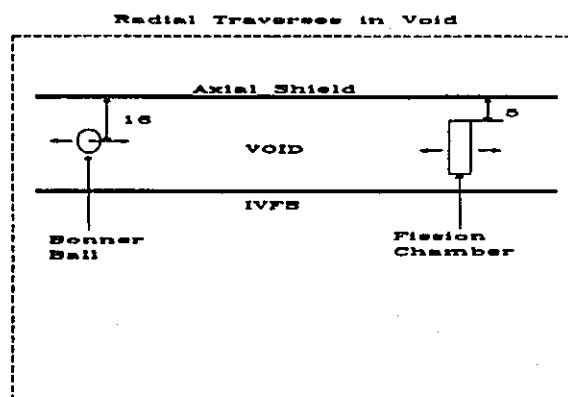
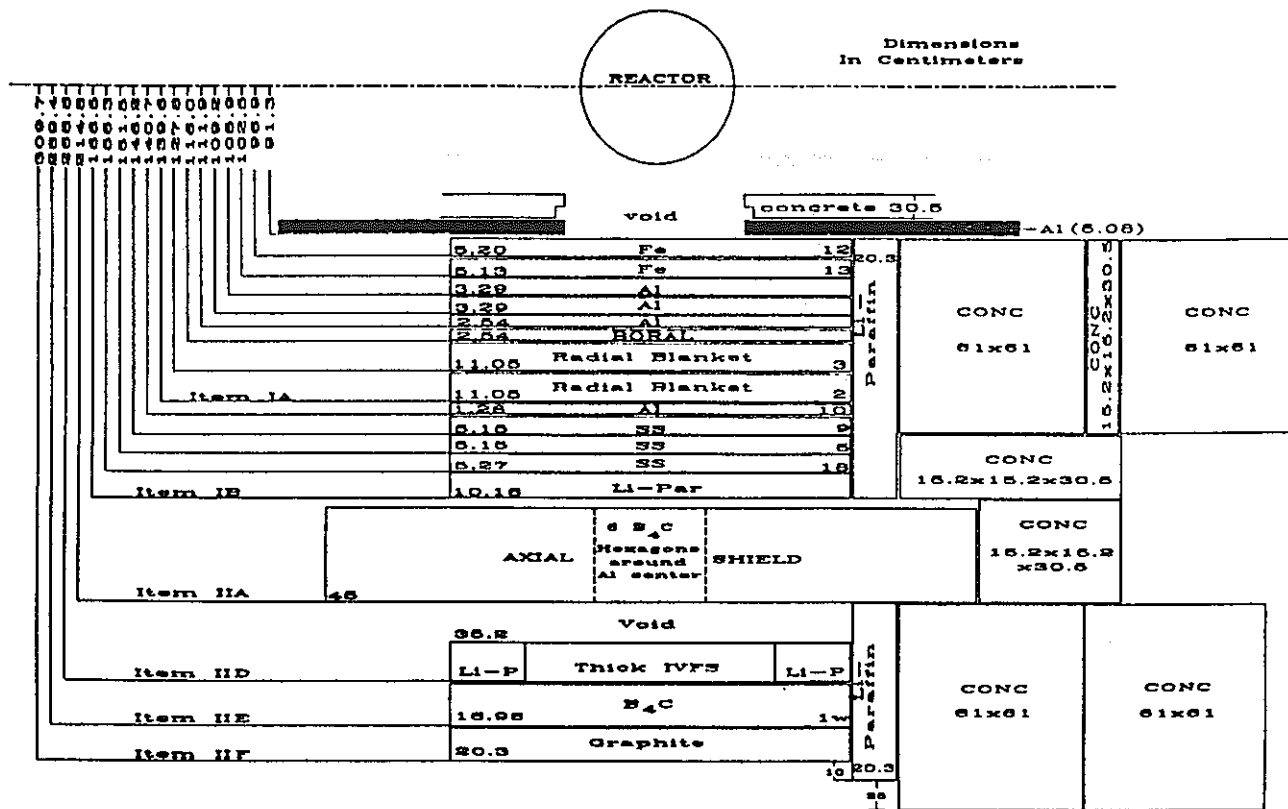


図3.1.5 実験体系構成図 - 体系 II D、II E、II F (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 19. Schematic of SM plus shield configurations for Items IB, IIA, IID, IIE, IIF.

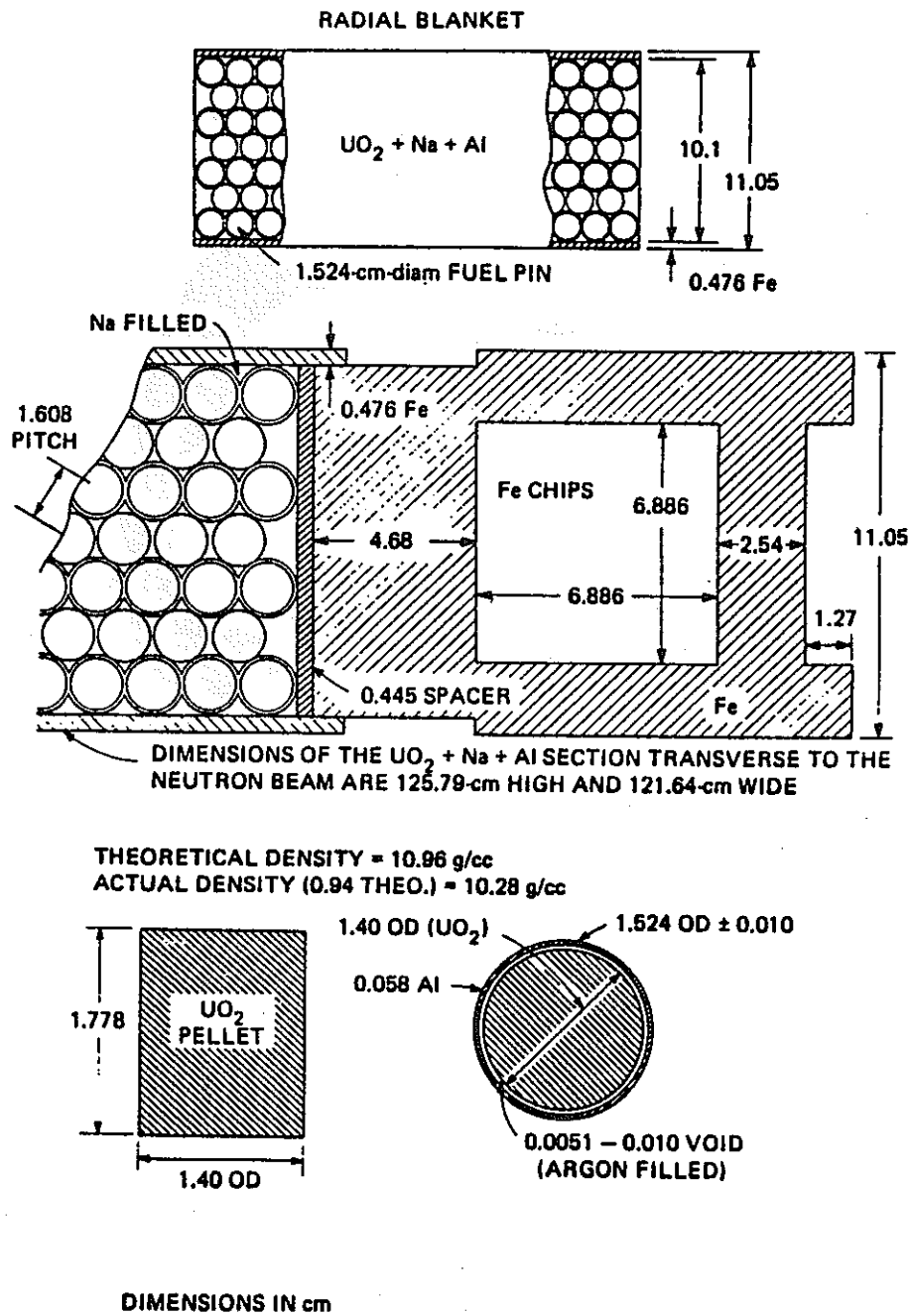


図3.2.1 径方向ブランケット供試体 (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 4. Schematic of radial blanket slab containing UO_2 .

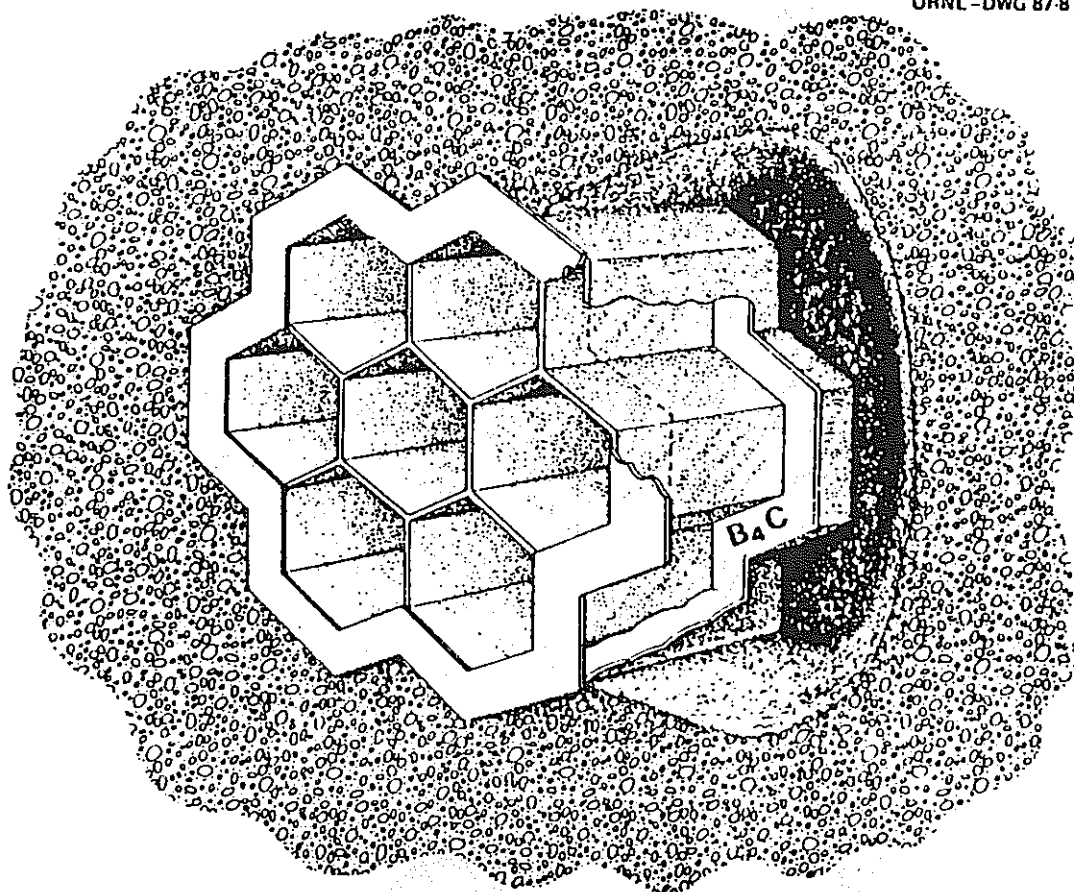
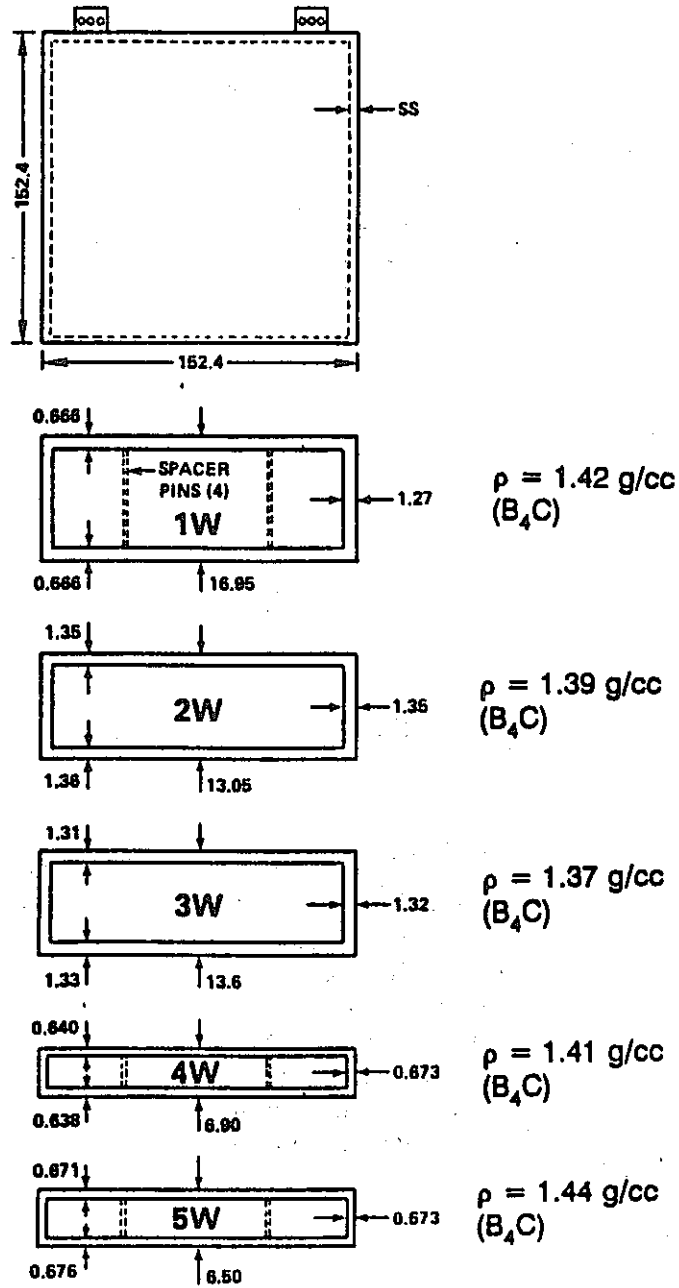


図3.2.2 軸方向遮蔽供試体のハニカムと支持コンクリート
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 5. Schematic of the aluminum honeycomb within a concrete slab.

B₄C CONTAINERS



(ALL DIMENSIONS ARE IN CENTIMETERS)

図3.2.3 B₄Cスラブ供試体 (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 6. Schematic of stainless steel containers used for boron carbide shield slabs.

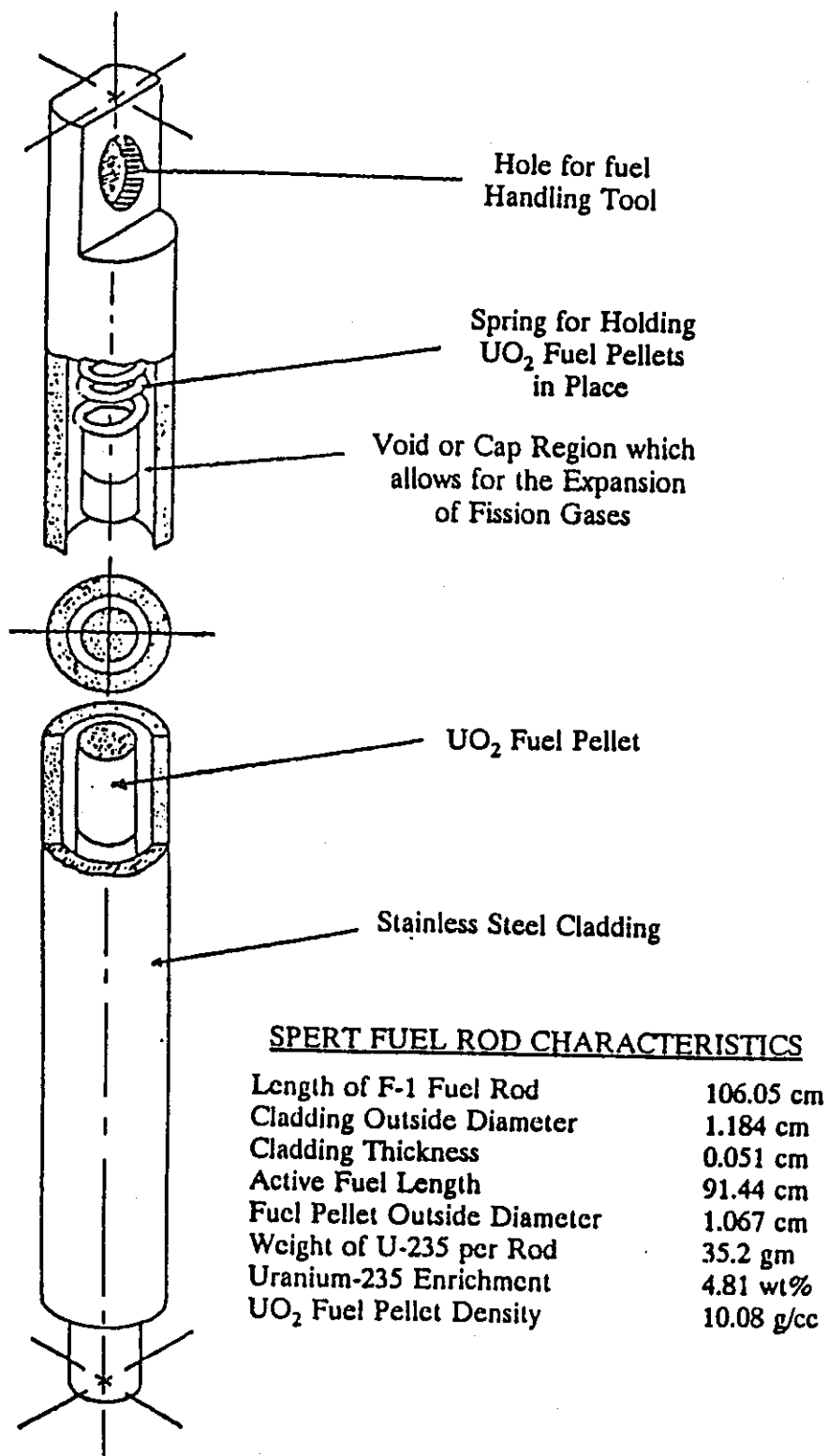


図3.2.4 IVFS供試体に用いられた SPERT燃料棒 (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 7. Isometric of the SPERT fuel rod containing Uranium-Dioxide fuel pellets.

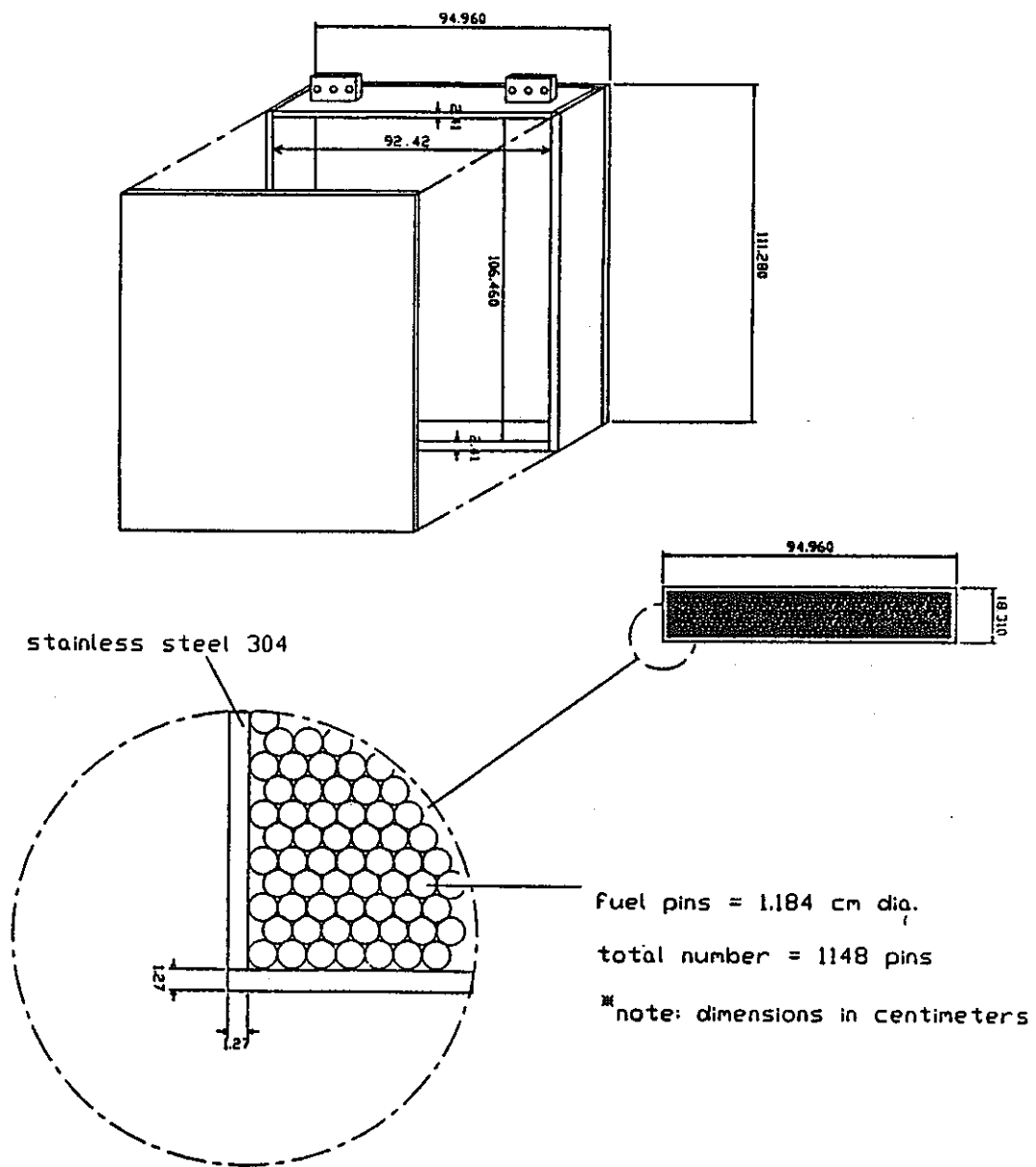
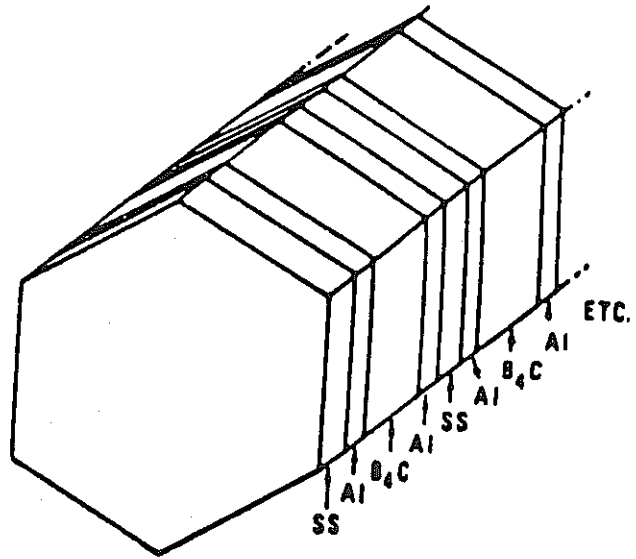


図3.2.5 燃料ピン貯蔵容器 (IVFS供試体) (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 8. Schematic of thick IVFS mockup (slab #1)



Depth of B_4C in container: 7.77 cm (4 total)
 Width of B_4C : 14.73 cm
 End plate thickness: 1.123 cm
 Wall thickness of container: .627 cm
 Width of container (flat surface to flat surface): 15.98 cm
 Density of B_4C : 1.41 g/cc
 Thickness of SS pieces: 1.25 cm (4 total)

図3.2.6 B_4C 均質型集合体 (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 9. B_4C homogeneous-type assembly.

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。さらに、中性子検出器応答の評価に資するため、これと同じ検出原理・応答特性を有するフィッションチェンバを使用した。

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、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。その結果得られる中性子によるパルス電圧波高分布データは、FERDコード⁽⁸⁾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⁽⁹⁾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 フィッションチェンバ

本実験では、実験体系を透過してくる熱中性子の測定のために、TSF で通常使用される測定系に加えてフィッションチェンバが使用された。有感部は、表面積 31cm^2 、厚さ 0.0254cm のニッケル製円板上に塗布された 93.15%濃縮ウラン 29mg (U-235は 27mg)である。本検出器は日常的に原子炉出力のモニターに用いられているフィッションチェンバと同一タイプのものであり、それらの予備品としても使用されるものである。本実験において、フィッションチェンバは熱中性子による核分裂反応率を直接測定する手段として使用された。フィッションチェンバの熱中性子に対する応答特性は、同一位置における金箔の照射結果と比較された。この校正方法により、裸の状態とカドミウム製カバーで覆った状態の2種類のフィッションチェンバ測定値の差の熱中性子に対する感度係数として、 $0.637 \text{ (neutron/cm}^2\text{/sec) / (count/minute)}$ が得られた。

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⁽¹⁰⁾及び Burgart他⁽¹¹⁾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に設置されている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)

表5.1 の体系 I -B および II -A 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。体系 II -A の測定では、 γ 線が計数に及ぼす影響を低減するため、約3.81cm (1.5 インチ) 厚さの鉛スラブ1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)。周辺部から漏洩してくる放射線の影響を低減するため、検出器は出来るだけ実験体系に近付けた。体系 I -B ではスペクトルモディファイアに隣接するステンレス鋼可動遮蔽体モックアップのステンレス鋼スラブ後方40cmの位置、体系 II -A では鉛スラブ後方25cmの位置に設置された。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 -B 表5.2 及び表5.3 ならびに図5.1 及び図5.2

体系 II -A 表5.4 及び表5.5 ならびに図5.3 及び図5.4

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5.6

なお、実験日誌ではボナーボールとして3"、8"及び10"の3種類が記載されているが、応答値の比較からは、やはり実験結果報告書に記載のとおり、8"ではなく5"のものが使われたと判断される。

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、裸(BF₃球のみ)、Cdカバー付き、ポリエチレンおよびCdカバー付きの3"、5"、8"、10"の6種類のボナーボールが使用

された。150cm 後方位置では、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が見えなくなるよう、ほぼ中間位置にリチウムパラフィン煉瓦（91.4cm四方、40.6cm厚さ）を設置した状態で実施された。

測定結果は下記の図表にまとめられている。

体系後方 30cm 位置 表5.7

体系後方150cm 位置 表5.8

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あるいは核分裂計数管を移動させて測定を行ったものである。

ボナーボールは 5" のものが利用され、体系 I -B、II -A、II -B、II -D、II -Eで測定が実施された。核分裂計数管では、裸のものとCdカバー付きのものとので、体系 I -B、II -Aで測定が行われた。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5.9 及び図5.5

核分裂計数管測定 表5.10及び図5.6

体系内ボイド中の水平方向トラバース測定（表5.1 の"In Void"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、軸方向遮蔽供試体とその後方のスラブの間の約35cm幅のボイド中で水平方向にボナーボールあるいは核分裂計数管を移動させて行ったものである。

測定は体系 II -Bおよび II -Eにおいて、5" ボナーボールおよび裸あるいはCdカバー付の核分裂計数管を用いて行われた。5" ボナーボールは、体系 II -Bでは軸遮蔽後方17cm位置で、また体系 II -Eでは16cm位置で移動された。核分裂計数管は、いずれの体系も有感部を軸方向遮蔽供試体から5cm後方位置で移動された。

測定結果を、下記の図表に示す。

ボナーホール測定 表5.11及び図5.7

核分裂計数管測定 表5.12及び図5.8

表5.1 中性子検出器応答実験測定項目

Configuration *	Measurements **					
	Spectra & BB	Bonner Ball			Fission Counter	
		Centerline	Traverse	In Void	Traverse	In Void
I. Spectrum Modifier (SM-1) and Removable Radial Shield (RRS) Mockups						
A. SM(10cm Fe + 9cm Al + 2.54cm boral + 20cm Radial Blanket)		×				
B. I.A + 1.3cm Al + 15cm SS +10cm Li-Par ***	×	×	×		×	
II. RSS plus 15cm-dia Neutron Guide						
A. I.B + Axial Shield with hexagonal Al center	×	×	×		×	
B. II.A + 30cm void + 15cm B ₄ C		×	×	×		×
C. II.B + 20cm graphite		×				
D. II.A + 30cm void + Thick IVFS mockup		×	×			
E. II.D + 15cm B ₄ C		×	×	×		×
F. II.E + 20cm graphite		×				

* 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 : bare, Cd-covered, 3-, 5-, 8-, and 10-in. Bonner ball measurements on centerline at 30cm and at 150cm.

BB Traverse : 5-in. Bonner ball traverse at 30cm behind the shield mockups.

BB In Void : 5-inch Bonner ball horizontal traverses in the void behind the axial shield.

Fission Counter Traverse : U-235 fission chamber in horizontal traverse at 30cm behind mockup.

Fission Counter in Void : U-235 fission chamber in horizontal traverse in the void behind the axial shield.

*** 10cm Li-Par preceding and covering (except the hexagonal configuration) axial shield 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 I B、後方40cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Table 16. Fast neutron fluxes (>0.8 MeV) on centerline
at 40 cm behind the stainless steel (Item IB): Run 7927A

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	3.04E +04	3.06E +04	5.94E +00	1.76E +02	1.90E +02
9.07E -01	2.89E +04	2.90E +04	6.25E +00	1.40E +02	1.54E +02
1.01E +00	2.39E +04	2.40E +04	6.55E +00	1.18E +02	1.30E +02
1.11E +00	1.94E +04	1.95E +04	6.84E +00	1.07E +02	1.17E +02
1.20E +00	1.59E +04	1.59E +04	7.24E +00	9.76E +01	1.05E +02
1.31E +00	1.28E +04	1.29E +04	7.74E +00	7.86E +01	8.95E +01
1.41E +00	1.05E +04	1.06E +04	8.24E +00	6.33E +01	7.55E +01
1.51E +00	8.79E +03	8.85E +03	8.76E +00	5.54E +01	6.11E +01
1.61E +00	7.40E +03	7.45E +03	9.26E +00	4.60E +01	5.13E +01
1.71E +00	6.26E +03	6.31E +03	9.74E +00	4.20E +01	4.63E +01
1.81E +00	5.34E +03	5.39E +03	1.03E +01	4.11E +01	4.52E +01
1.93E +00	4.50E +03	4.54E +03	1.08E +01	3.75E +01	4.12E +01
2.10E +00	3.57E +03	3.61E +03	1.12E +01	3.04E +01	3.34E +01
2.30E +00	2.76E +03	2.80E +03	1.18E +01	2.27E +01	2.51E +01
2.50E +00	2.15E +03	2.18E +03	1.24E +01	1.59E +01	1.81E +01
2.70E +00	1.73E +03	1.76E +03	1.32E +01	8.63E +00	1.01E +01
2.90E +00	1.47E +03	1.50E +03	1.40E +01	1.53E +00	2.80E +00
3.10E +00	1.25E +03	1.28E +03	1.48E +01	-3.88E -01	6.90E -01
3.30E +00	9.97E +02	1.02E +03	1.56E +01	1.94E +00	2.88E +00
3.50E +00	7.83E +02	8.10E +02	1.65E +01	2.50E +00	3.38E +00
3.71E +00	6.32E +02	6.52E +02	1.75E +01	2.44E -01	8.48E -01
3.91E +00	5.20E +02	5.38E +02	1.85E +01	-3.02E -01	1.86E -01
4.15E +00	4.34E +02	4.51E +02	1.95E +01	-7.16E -02	3.87E -01
4.45E +00	3.81E +02	3.95E +02	2.05E +01	-5.22E -01	1.67E -01
4.75E +00	3.32E +02	3.45E +02	2.16E +01	-6.63E -01	6.13E -02
5.04E +00	2.86E +02	2.98E +02	2.26E +01	-3.11E -01	1.85E -01
5.34E +00	2.47E +02	2.59E +02	2.35E +01	-1.30E -01	2.93E -01
5.64E +00	2.12E +02	2.26E +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	5.37E +03	1.40E +01
1.000	1.200	3.97E +03	9.69E +00
1.200	1.600	4.44E +03	1.42E +01
1.600	2.000	2.23E +03	9.85E +00
2.000	3.000	2.36E +03	1.71E +01
3.000	4.000	8.48E +02	1.20E +01
4.000	6.000	6.19E +02	1.37E +01
6.000	8.000	2.25E +02	1.08E +01
8.000	10.000	1.10E +02	6.71E +00
10.000	12.000	6.92E +01	3.31E +00
12.000	16.000	2.50E +01	2.75E +00
16.000	20.000	3.37E +00	1.22E +00
3.000	10.000	1.80E +03	4.35E +01
1.500	15.000	7.31E +03	7.91E +01
3.000	12.000	1.87E +03	4.68E +01

表5.3 中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Table 17. Neutron fluxes (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 40 cm behind the stainless steel (Item IB) Runs 1598.C, 1598.B, 1598.A

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1598.C</u>				
1	0.0387	0.0456	9.90E +05	2.64
2	0.0456	0.0542	9.67E +05	2.42
3	0.0542	0.0645	8.24E +05	2.64
4	0.0645	0.0748	9.13E +05	2.67
5	0.0748	0.0886	9.24E +05	2.09
6	0.0886	0.1040	5.88E +05	3.17
7	0.1040	0.1212	5.79E +05	3.20
8	0.1212	0.1436	7.94E +05	1.84
9	0.1436	0.1694	4.96E +05	2.67
10	0.1694	0.1986	3.61E +05	3.47
11	0.1986	0.2347	2.78E +05	3.82
12	0.2347	0.2760	3.04E +05	3.24
<u>RUN 1598.B</u>				
1	0.1988	0.2344	2.70E +05	1.56
2	0.2344	0.2760	3.04E +05	1.29
3	0.2760	0.3235	3.01E +05	1.20
4	0.3235	0.3769	2.04E +05	1.63
5	0.3769	0.4481	1.36E +05	1.86
6	0.4481	0.5253	1.14E +05	2.19
7	0.5253	0.6203	1.14E +05	1.73
<u>RUN 1598.A</u>				
1	0.4430	0.5257	1.07E +05	1.36
2	0.5257	0.6203	1.07E +05	1.25
3	0.6203	0.7266	9.79E +04	1.21
4	0.7266	0.8565	6.04E +04	1.53
5	0.8565	1.0101	3.06E +04	2.49
6	1.0101	1.1873	2.09E +04	3.18
7	1.1873	1.4000	1.43E +04	3.79

表5.4 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系II A、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Table 21. Fast neutron fluxes (>0.8 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Run 7930A

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	6.17E +01	6.28E +01	5.94E +00	8.11E -01	8.73E -01
9.07E -01	6.56E +01	6.60E +01	6.25E +00	7.00E -01	7.66E -01
1.01E +00	5.56E +01	5.60E +01	6.55E +00	6.28E -01	6.82E -01
1.11E +00	4.15E +01	4.17E +01	6.84E +00	5.86E -01	6.29E -01
1.20E +00	3.01E +01	3.03E +01	7.24E +00	5.21E -01	5.55E -01
1.31E +00	2.26E +01	2.28E +01	7.74E +00	4.22E -01	4.71E -01
1.41E +00	1.87E +01	1.90E +01	8.24E +00	3.58E -01	4.11E -01
1.51E +00	1.65E +01	1.68E +01	8.76E +00	3.07E -01	3.32E -01
1.61E +00	1.49E +01	1.51E +01	9.26E +00	2.54E -01	2.77E -01
1.71E +00	1.35E +01	1.37E +01	9.74E +00	2.18E -01	2.37E -01
1.81E +00	1.22E +01	1.24E +01	1.03E +01	1.85E -01	2.03E -01
1.93E +00	1.09E +01	1.10E +01	1.08E +01	1.56E -01	1.71E -01
2.10E +00	8.98E +00	9.13E +00	1.12E +01	1.31E -01	1.43E -01
2.30E +00	7.03E +00	7.17E +00	1.18E +01	9.87E -02	1.08E -01
2.50E +00	5.50E +00	5.62E +00	1.24E +01	5.60E -02	6.51E -02
2.70E +00	4.33E +00	4.44E +00	1.32E +01	2.43E -02	3.00E -02
2.90E +00	3.54E +00	3.65E +00	1.40E +01	1.42E -02	1.92E -02
3.10E +00	2.97E +00	3.09E +00	1.48E +01	1.00E -02	1.41E -02
3.30E +00	2.58E +00	2.68E +00	1.56E +01	6.12E -03	9.53E -03
3.50E +00	2.26E +00	2.38E +00	1.65E +01	3.10E -03	5.49E -03
3.71E +00	2.01E +00	2.10E +00	1.75E +01	2.92E -04	2.07E -03
3.91E +00	1.82E +00	1.89E +00	1.85E +01	-6.65E -04	8.50E -04
4.15E +00	1.68E +00	1.75E +00	1.95E +01	-6.10E -04	6.74E -04
4.45E +00	1.54E +00	1.60E +00	2.05E +01	-1.97E -03	-4.42E -06
4.75E +00	1.36E +00	1.42E +00	2.16E +01	-2.15E -03	-8.64E -05
5.04E +00	1.19E +00	1.25E +00	2.26E +01	-7.47E -04	6.05E -04
5.34E +00	1.06E +00	1.11E +00	2.35E +01	-1.25E -04	1.06E -03
5.64E +00	9.26E -01	9.90E -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	1.20E +01	4.98E -02
1.000	1.200	8.58E +00	2.79E -02
1.200	1.600	8.14E +00	4.79E -02
1.600	2.000	5.01E +00	3.45E -02
2.000	3.000	5.94E +00	6.27E -02
3.000	4.000	2.38E +00	4.90E -02
4.000	6.000	2.55E +00	6.05E -02
6.000	8.000	1.17E +00	4.83E -02
8.000	10.000	5.98E -01	2.93E -02
10.000	12.000	2.99E -01	1.38E -02
12.000	16.000	1.01E -01	1.08E -02
16.000	20.000	5.78E -03	3.56E -03
3.000	10.000	6.70E +00	1.88E -01
1.500	15.000	1.96E +01	3.19E -01
3.000	12.000	7.00E +00	2.02E -01

表5.5 中性子スペクトル測定値 (体系ⅡA、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Table 22. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline
at 25 cm behind the lead (Item ⅡA) Runs 1601.A, 1600.B, 1601.B

N	Energy Boundary (MeV)		Flux (neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	Error (%)
<u>RUN 1601.A</u>				
1	0.0394	0.0464	4.27E +03	1.92
2	0.0464	0.0551	4.09E +03	1.75
3	0.0551	0.0639	4.85E +03	1.58
4	0.0639	0.0744	4.75E +03	1.35
5	0.0744	0.0884	2.73E +03	1.71
6	0.0884	0.1041	1.03E +03	4.27
7	0.1041	0.1216	1.35E +03	3.21
8	0.1216	0.1443	1.72E +03	1.93
9	0.1443	0.1688	7.22E +02	4.47
10	0.1688	0.1986	5.23E +02	5.38
11	0.1986	0.2353	4.99E +02	4.77
<u>RUN 1600.B</u>				
1	0.1681	0.1986	5.23E +02	2.22
2	0.1986	0.2353	4.86E +02	2.20
3	0.2353	0.2720	6.19E +02	1.88
4	0.2720	0.3209	4.89E +02	1.80
5	0.3209	0.3820	3.00E +02	2.41
6	0.3820	0.4431	2.17E +02	3.64
7	0.4431	0.5226	1.61E +02	3.83
8	0.5226	0.6204	1.46E +02	3.48
<u>RUN 1601.B</u>				
1	0.4447	0.5216	1.59E +02	2.62
2	0.5216	0.6204	1.42E +02	2.36
3	0.6204	0.7302	1.11E +02	2.82
4	0.7302	0.8510	8.26E +01	3.53
5	0.8510	1.0047	6.36E +01	3.51
6	1.0047	1.1804	3.99E +01	4.79
7	1.1804	1.4000	2.14E +01	6.88

表 5.6 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-12171より引用）

**Table 18. Bonner ball measurements on centerline
at NE 213 location behind a series of configurations**

<u>Configuration^a</u>	<u>Detector Location</u>	<u>Count rates (s⁻¹W⁻¹)</u>		
		<u>3-in-Diam Ball</u>	<u>5-in-Diam Ball</u>	<u>10-in-Diam Ball</u>
IB	40 cm behind SS	1.48 (2) ^b	5.59 (2)	1.68 (2)
IIA	25 cm behind lead ^c	5.83 (-1)	2.36 (0)	5.85 (-1)

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

^bRead: 1.48×10^2 .

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

表5.7 ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方30cm）
（ORNL/TM-12171より引用）

Table 14. Bonner ball measurements on centerline at 30 cm behind a series of configurations

Configuration ^a	Count rate (s ⁻¹ W ⁻¹)					
	Bare Detector	Cd-Covered Detector	3-in-Diam Ball	5-in-Diam Ball	8-in-Diam Ball	10-in-Diam Ball
IA	3.22 (1) ^b	1.00 (1)	6.60 (2)	3.14 (3)	2.24 (3)	1.22 (3)
IB	2.58 (1)	9.17 (0)	2.17 (2)	7.98 (2)	5.09 (2)	2.38 (2)
IIA	1.26 (-1)	2.01 (-2)	1.08 (0)	4.18 (0)	2.31 (0)	9.44 (-1)
IIB	7.49 (-4)	8.85 (-5)	5.83 (-3)	3.18 (-2)	2.42 (-2)	1.34 (-2)
IIC	1.81 (-3)	2.66 (-4)	3.60 (-3)	8.23 (-3)	4.26 (-3)	2.13 (-3)
IID	1.58 (-3)	6.27 (-4)	3.81 (-2)	2.11 (-1)	1.62 (-1)	9.25 (-2)
IIE	5.23 (-4)	3.79 (-5)	2.16 (-3)	1.58 (-2)	1.59 (-2)	1.01 (-2)
IIF	1.01 (-3)	1.30 (-4)	1.87 (-3)	5.08 (-3)	3.08 (-3)	1.64 (-3)

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

^bRead: 3.22×10^1 .

表5.8 ボナーボール検出器測定値（中心軸上、体系後方150cm）
（ORNL/TM-12171より引用）

Table 15. Bonner ball measurements on centerline at 150 cm behind a series of configurations

Configuration ^a	Count rate (s ⁻¹ W ⁻¹)						
	Bare Detector		Cd-Covered Detector		3-in-Diam Ball		
	Foreground ^b	Background ^c	Background ^d	Foreground	Background	Foreground	Background
IA	2.08 (1) ^e	1.69 (1)		3.26 (0)	1.57 (0)	1.21 (2)	2.04 (1)
IB	3.54 (0)	1.36 (0)		7.97 (-1)	1.03 (-1)	1.68 (1)	9.91 (-1)
IIA	3.94 (-2)	9.15 (-3)		2.60 (-3)	3.19 (-4)	1.07 (-1)	3.39 (-3)
IIB	1.06 (-3)	1.11 (-3)	1.05 (-3)	5.70 (-5)	5.03 (-5)	1.20 (-3)	5.28 (-4)
IIC	1.28 (-3)	1.15 (-3)	1.00 (-3)	8.02 (-5)	4.46 (-5)	9.15 (-4)	4.61 (-4)
IID	1.10 (-3)	1.06 (-3)		1.50 (-4)	7.29 (-5)	4.87 (-3)	8.71 (-4)
IIE	7.37 (-4)	7.69 (-4)	7.43 (-4)	3.63 (-5)	3.68 (-5)	6.13 (-4)	3.51 (-4)
IIF	7.78 (-4)	6.92 (-4)	6.70 (-4)	4.78 (-5)	3.31 (-5)	5.31 (-4)	3.06 (-4)

Table 15. (continued)

<u>Configuration</u>	<u>Count rate (s⁻¹W⁻¹)</u>					
	<u>5-in-Diam Ball</u>		<u>8-in-Diam Ball</u>		<u>10-in-Diam Ball</u>	
	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>	<u>Foreground</u>	<u>Background</u>
IA	5.49 (2)	4.83 (1)	3.86 (2)	2.36 (1)	1.94 (2)	1.13 (1)
IB	5.87 (1)	1.91 (0)	3.77 (1)	8.56 (-1)	1.83 (1)	3.78 (-1)
IIA	4.02 (-1)	6.03 (-3)	2.22 (-1)	2.79 (-3)	9.24 (-2)	1.30 (-3)
IIB	5.10 (-3)	1.01 (-3)	3.95 (-3)	4.90 (-4)	2.23 (-3)	2.32 (-4)
IIC	1.94 (-3)	8.06 (-4)	9.70 (-4)	3.98 (-4)	4.93 (-4)	1.77 (-4)
IID	2.46 (-2)	1.97 (-3)	1.88 (-2)	9.97 (-4)	1.07 (-2)	4.91 (-4)
IIE	2.74 (-3)	6.72 (-4)	2.50 (-3)	3.42 (-4)	1.55 (-3)	1.56 (-4)
IIF	1.20 (-3)	5.81 (-4)	6.68 (-4)	2.54 (-4)	3.39 (-4)	1.13 (-4)

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

^bCount rates without shadow shield between detector and configuration.

^cCount rates with shadow shield between detector and configuration.

^dCount rates with cadmium over face of shadow shield.

^eRead: 2.08×10^1 .

表5.9 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-12171より引用)

Table 19. 5-inch Bonner ball horizontal traverses
 through midplane at 30 cm behind mockup

Distance from Centerline (cm)	Count rates ($s^{-1}W^{-1}$)				
	Item IB ^a	Item IIA	Item IIB	Item IID	Item IIE
96 S	1.75 (1) ^b				
95			3.66 (-3)		1.94 (-3)
90	2.27 (1)				2.26 (-3)
85			5.07 (-3)		
80	3.26 (1)	1.18 (-1)		2.65 (-2)	3.01 (-3)
75			7.15 (-3)		
70	4.47 (1)	1.72 (-1)		3.75 (-2)	4.15 (-3)
60	6.98 (1)	2.44 (-1)	1.10 (-2)	5.56 (-2)	5.67 (-3)
55			1.28 (-2)		
50	1.23 (2)	3.76 (-1)		8.13 (-2)	7.62 (-3)
45			1.64 (-2)	9.63 (-2)	
40	2.36 (2)	6.17 (-1)		1.12 (-1)	9.73 (-3)
35		7.66 (-1)	2.05 (-2)	1.29 (-1)	
30	4.29 (2)	1.08 (0)		1.44 (-1)	1.21 (-2)
27.5		1.24 (0)			
25		1.48 (0)	2.50 (-2)	1.59 (-1)	
20	6.07 (2)	2.06 (0)	2.68 (-2)	1.75 (-1)	1.38 (-2)
15		2.73 (0)	2.88 (-2)	1.86 (-1)	
10	7.30 (2)	3.48 (0)	3.00 (-2)	1.93 (-1)	1.51 (-2)
5			3.07 (-2)	2.00 (-1)	
0	7.54 (2)	4.13 (0)	3.14 (-2)	2.02 (-1)	1.54 (-2)
5				2.04 (-1)	
10	7.19 (2)	3.65 (0)	3.02 (-2)	1.94 (-1)	1.50 (-2)
15		2.95 (0)		1.86 (-1)	
20	5.96 (2)	2.17 (0)	2.73 (-2)	1.74 (-1)	1.38 (-2)
25		1.56 (0)		1.60 (-1)	
30	4.19 (2)	1.13 (0)	2.32 (-2)	1.42 (-1)	1.19 (-2)
35		8.60 (-1)		1.26 (-1)	
40	2.43 (2)	6.40 (-1)	1.88 (-2)	1.10 (-1)	9.73 (-3)
45				9.47 (-2)	
50	1.31 (2)	4.00 (-1)	1.47 (-2)	7.97 (-2)	7.58 (-3)
55				6.51 (-2)	
60	7.68 (1)	2.51 (-1)	1.13 (-2)		5.64 (-3)
69			8.88 (-3)		
70	4.76 (1)	1.70 (-1)			4.15 (-3)
80	3.37 (1)	1.20 (-1)			3.04 (-3)
85					2.66 (-3)
90 N	2.42 (1)				

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

^bRead: 1.75×10^1 .

表5.10 核分裂計数管測定値（水平方向分布、体系後方30cm）
（ORNL/TM-12171より引用）

Table 20. Bare and Cd-covered fission chamber
horizontal traverses through midplane at 30 cm behind mockup

Distance from Centerline (cm)	Count rates ($s^{-1}W^{-1}$)			
	Item IB ^a		Item IIA	
	Bare Detector	Cd-covered Detector	Bare Detector	Cd-covered Detector
100 S	6.03 (-2) ^b	1.07 (-2)		
90	7.27 (-2)	1.51 (-2)		
80	9.16 (-2)	2.13 (-2)	1.38 (-3)	3.82 (-5)
70	1.10 (-1)	2.71 (-2)	1.82 (-3)	5.23 (-5)
60	1.41 (-1)	3.74 (-2)	2.22 (-3)	7.17 (-5)
50	1.92 (-1)	5.90 (-2)	2.63 (-3)	1.05 (-4)
40	2.76 (-1)	1.01 (-1)	2.83 (-3)	1.53 (-4)
30	3.80 (-1)	1.67 (-1)	2.78 (-3)	2.37 (-4)
27.5			2.74 (-3)	
25			2.69 (-3)	3.06 (-4)
20	4.93 (-1)	2.33 (-1)	2.70 (-3)	4.18 (-4)
15			2.79 (-3)	5.92 (-4)
10	5.56 (-1)	2.69 (-1)	2.86 (-3)	7.76 (-4)
5			2.93 (-3)	8.86 (-4)
0	5.71 (-1)	2.81 (-1)	2.98 (-3)	9.20 (-4)
5			2.94 (-3)	8.97 (-4)
10	5.50 (-1)	2.71 (-1)	2.91 (-3)	8.01 (-4)
15			2.85 (-3)	6.35 (-4)
20	4.88 (-1)	2.28 (-1)	2.80 (-3)	4.47 (-4)
25			2.84 (-3)	3.23 (-4)
27.5			2.93 (-3)	
30	3.72 (-1)	1.66 (-1)	2.96 (-3)	2.46 (-4)
40	2.59 (-1)	1.03 (-1)	2.98 (-3)	1.59 (-4)
50	1.84 (-1)	6.25 (-2)	2.80 (-3)	1.11 (-4)
60	1.39 (-1)	4.01 (-2)	2.38 (-3)	7.70 (-5)
70	1.06 (-1)	2.78 (-2)	1.89 (-3)	5.36 (-5)
80 N	8.68 (-2)	2.07 (-2)	1.48 (-3)	3.86 (-5)

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

^bRead: 6.03×10^{-2} .

表5.11 5インチボナーボール検出器測定値（水平方向分布、体系内ポイド中）
（ORNL/TM-12171より引用）

Table 24. 5-inch Bonner ball horizontal traverse
through midplane behind axial shield in the void

Distance from Centerline (cm)	Count rates ($s^{-1}W^{-1}$)	
	Item IIB ^{a,b}	Item IIE ^c
65 S	4.65 (-1) ^d	6.91 (-1)
60	5.39 (-1)	8.04 (-1)
50	7.45 (-1)	1.14 (0)
40	1.07 (0)	1.62 (0)
35	1.37 (0)	
30	1.78 (0)	2.54 (0)
25	2.36 (0)	3.21 (0)
20	3.32 (0)	4.24 (0)
15	4.89 (0)	5.96 (0)
10	6.87 (0)	7.84 (0)
5	8.06 (0)	9.31 (0)
0	8.43 (0)	9.55 (0)
5	7.95 (0)	9.01 (0)
10	6.68 (0)	7.49 (0)
15	4.85 (0)	5.48 (0)
20	3.36 (0)	4.00 (0)
25	2.44 (0)	3.05 (0)
30	1.80 (0)	2.40 (0)
35	1.40 (0)	
40	1.12 (0)	1.58 (0)
50 N	7.49 (-1)	1.09 (0)

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

^bDetector located at 17 cm behind axial shield concrete piece.

^cDetector located at 16 cm behind axial shield concrete piece.

^dRead: 4.65×10^{-1} .

表5.12 核分裂計数管測定値（水平方向分布、体系内ポイド中）
（ORNL/TM-12171より引用）

Table 23. Bare and Cd-covered fission chamber
horizontal traverses through midplane
at 5 cm behind axial shield in the void

Distance from Centerline (cm)	Count rates ($s^{-1}W^{-1}$)			
	Item IIB ^a		Item IIE	
	Bare Detector	Cd-covered Detector	Bare Detector	Cd-covered Detector
65 S	4.51 (-3) ^b	2.23 (-4)	6.70 (-3)	3.89 (-4)
60	5.15 (-3)	2.40 (-4)	7.39 (-3)	4.15 (-4)
55			8.19 (-3)	4.53 (-4)
50	6.42 (-3)	2.82 (-4)	8.88 (-3)	5.01 (-4)
45			9.47 (-3)	5.53 (-4)
40	6.98 (-3)	3.52 (-4)	9.46 (-3)	6.00 (-4)
35	6.03 (-3)	3.84 (-4)	8.25 (-3)	6.36 (-4)
30	4.42 (-3)	3.87 (-4)	5.98 (-3)	6.22 (-4)
27.5	3.56 (-3)	3.92 (-4)	4.96 (-3)	
25	3.07 (-3)	4.20 (-4)	4.38 (-3)	6.60 (-4)
22.5	2.79 (-3)	4.72 (-4)	4.12 (-3)	
20	2.66 (-3)	5.50 (-4)	4.02 (-3)	8.22 (-4)
17.5	2.55 (-3)	6.91 (-4)	4.06 (-3)	
15	2.75 (-3)	9.41 (-4)	4.30 (-3)	1.26 (-3)
12.5	3.22 (-3)	1.38 (-3)	4.80 (-3)	
10	4.02 (-3)	2.18 (-3)	5.80 (-3)	2.55 (-3)
7.5	4.78 (-3)	2.92 (-3)	6.55 (-3)	
5	5.09 (-3)	3.33 (-3)	6.81 (-3)	3.52 (-3)
2.5	5.31 (-3)	3.55 (-3)	6.96 (-3)	
0	5.36 (-3)	3.66 (-3)	7.15 (-3)	3.68 (-3)
2.5	5.41 (-3)	3.57 (-3)	6.89 (-3)	
5	5.11 (-3)	3.41 (-3)	6.60 (-3)	3.39 (-3)
7.5	4.83 (-3)	3.12 (-3)	6.04 (-3)	
10	4.14 (-3)	2.46 (-3)	5.19 (-3)	2.22 (-3)
12.5	3.32 (-3)	1.66 (-3)	4.42 (-3)	
15	2.78 (-3)	1.08 (-3)	4.14 (-3)	1.14 (-3)
17.5	2.60 (-3)	7.86 (-4)	4.07 (-3)	
20	2.61 (-3)	6.15 (-4)	4.12 (-3)	7.77 (-4)
22.5	2.72 (-3)	4.98 (-4)	4.27 (-3)	
25	3.05 (-3)	4.49 (-4)	4.73 (-3)	6.58 (-4)
27.5	3.59 (-3)	4.02 (-4)	5.61 (-3)	
30	4.43 (-3)	3.90 (-4)	6.82 (-3)	6.44 (-4)
32.5		3.92 (-4)	8.19 (-3)	
35	6.39 (-3)	3.96 (-4)	9.13 (-3)	6.33 (-4)
40	7.53 (-3)	3.80 (-4)	1.01 (-2)	6.06 (-4)
45	7.63 (-3)	3.39 (-4)	9.88 (-3)	5.58 (-4)
50 N	7.05 (-3)	3.05 (-4)	9.16 (-3)	5.01 (-4)

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

^bRead: 4.51×10^{-3} .

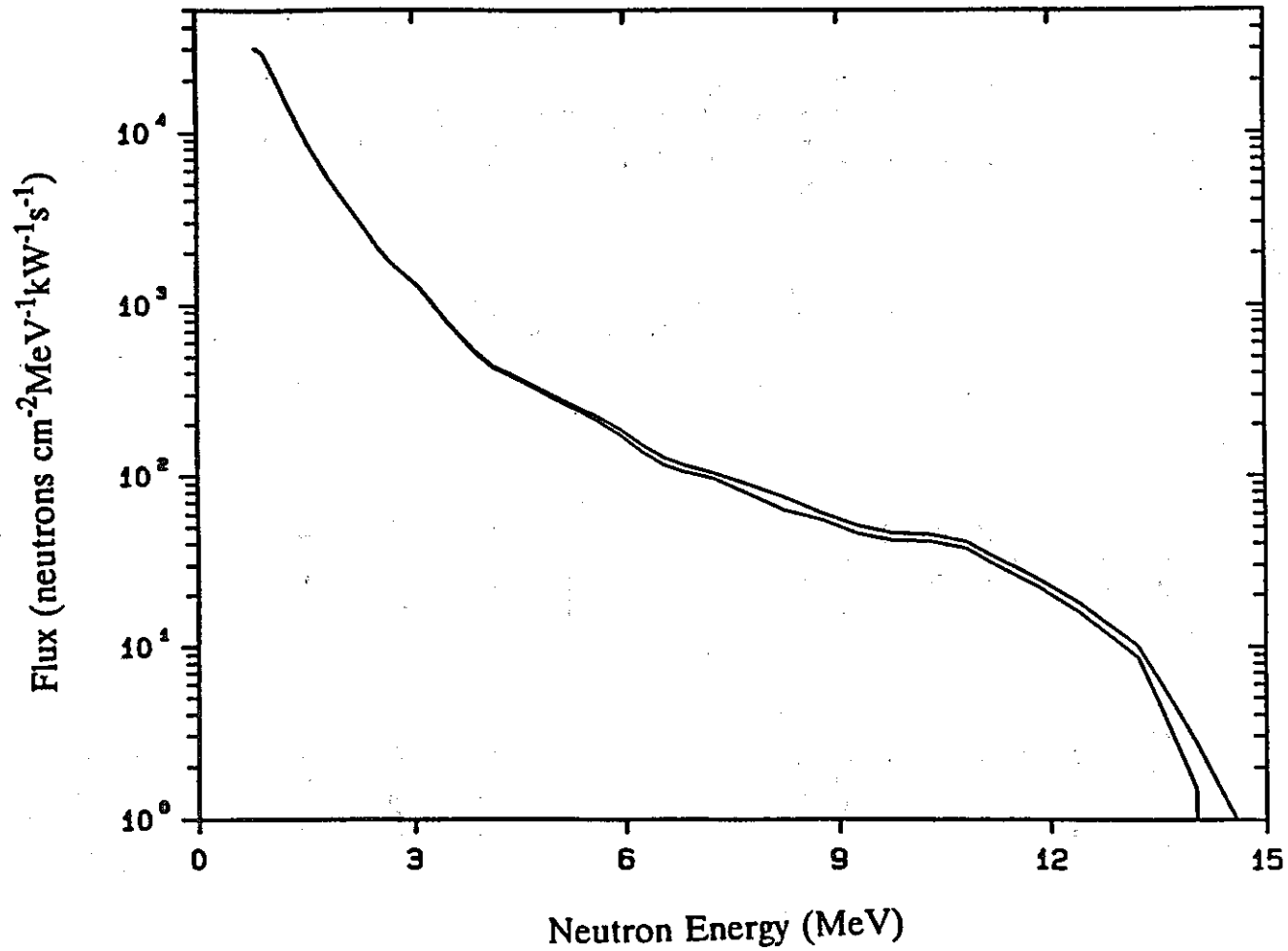


図5.1 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 10. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 40 cm behind the stainless steel (Item IB) Run 7927A.

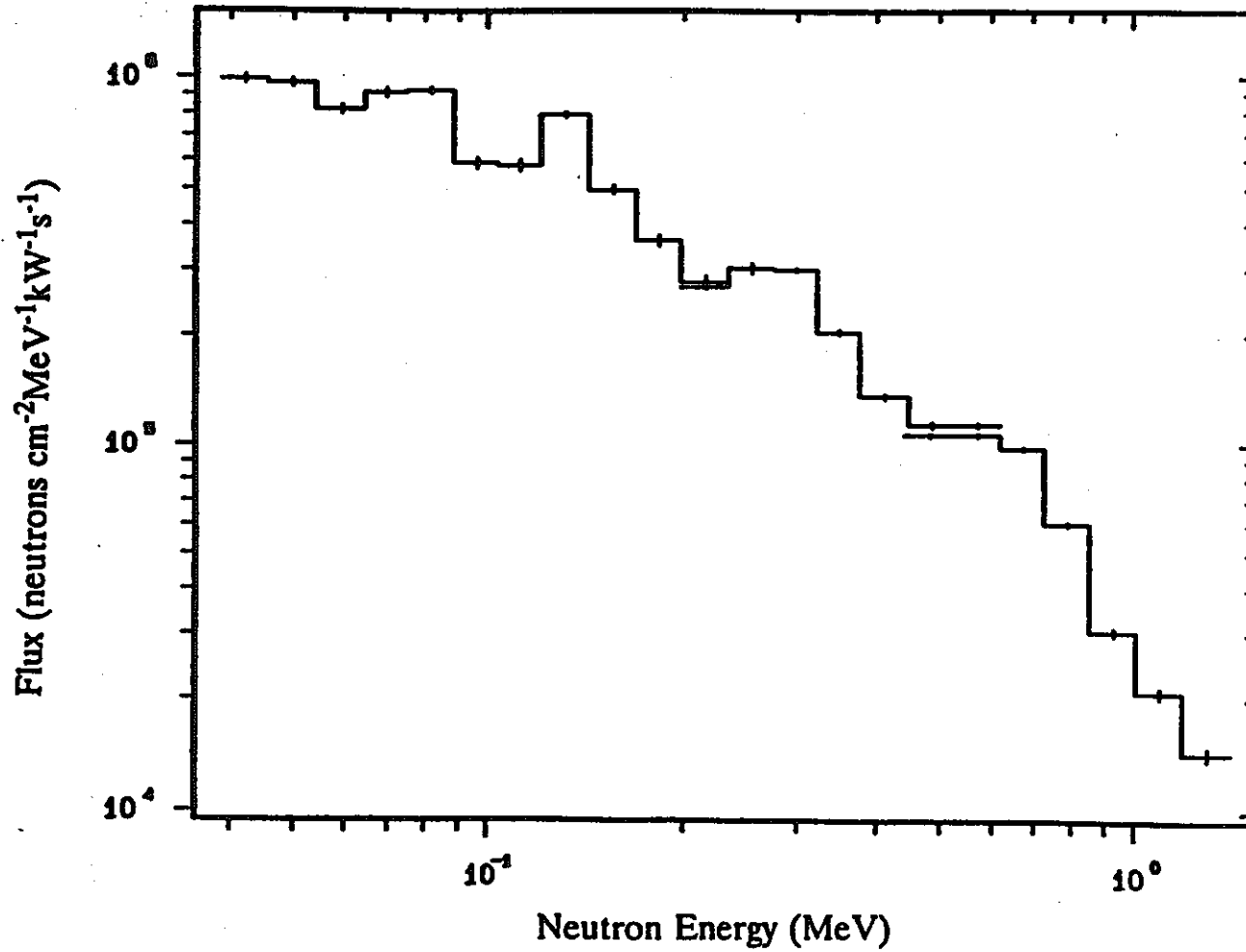


図5.2 中性子スペクトル測定値 (体系 I B、後方40cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 11. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 40 cm behind the stainless steel (Item IB) Runs 1598.C, 1598.B, 1598.A.

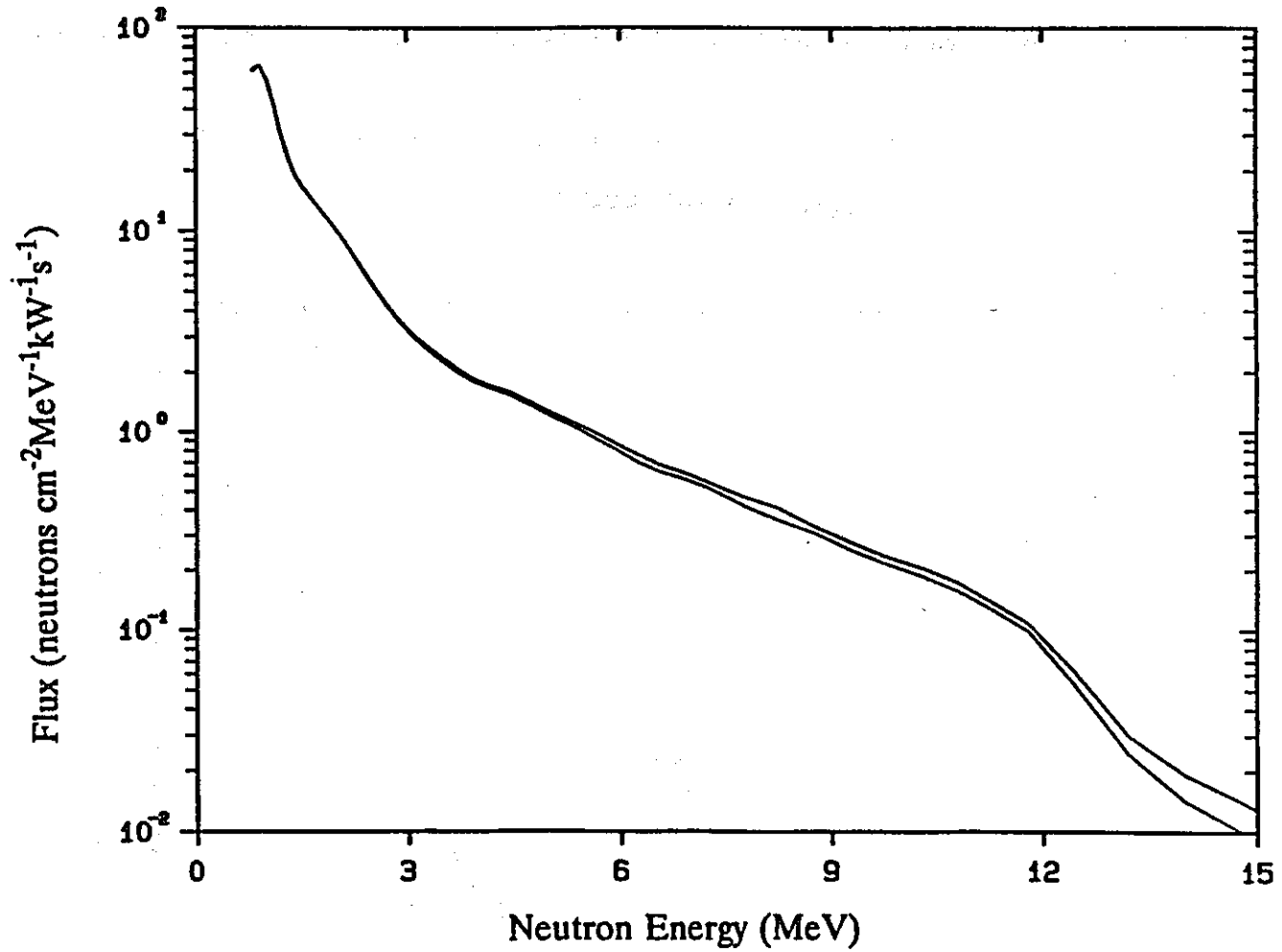


図5.3 高エネルギー中性子スペクトル測定値 (体系ⅡA、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 15. Spectrum of high-energy neutrons (>0.8 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Run 7930A.

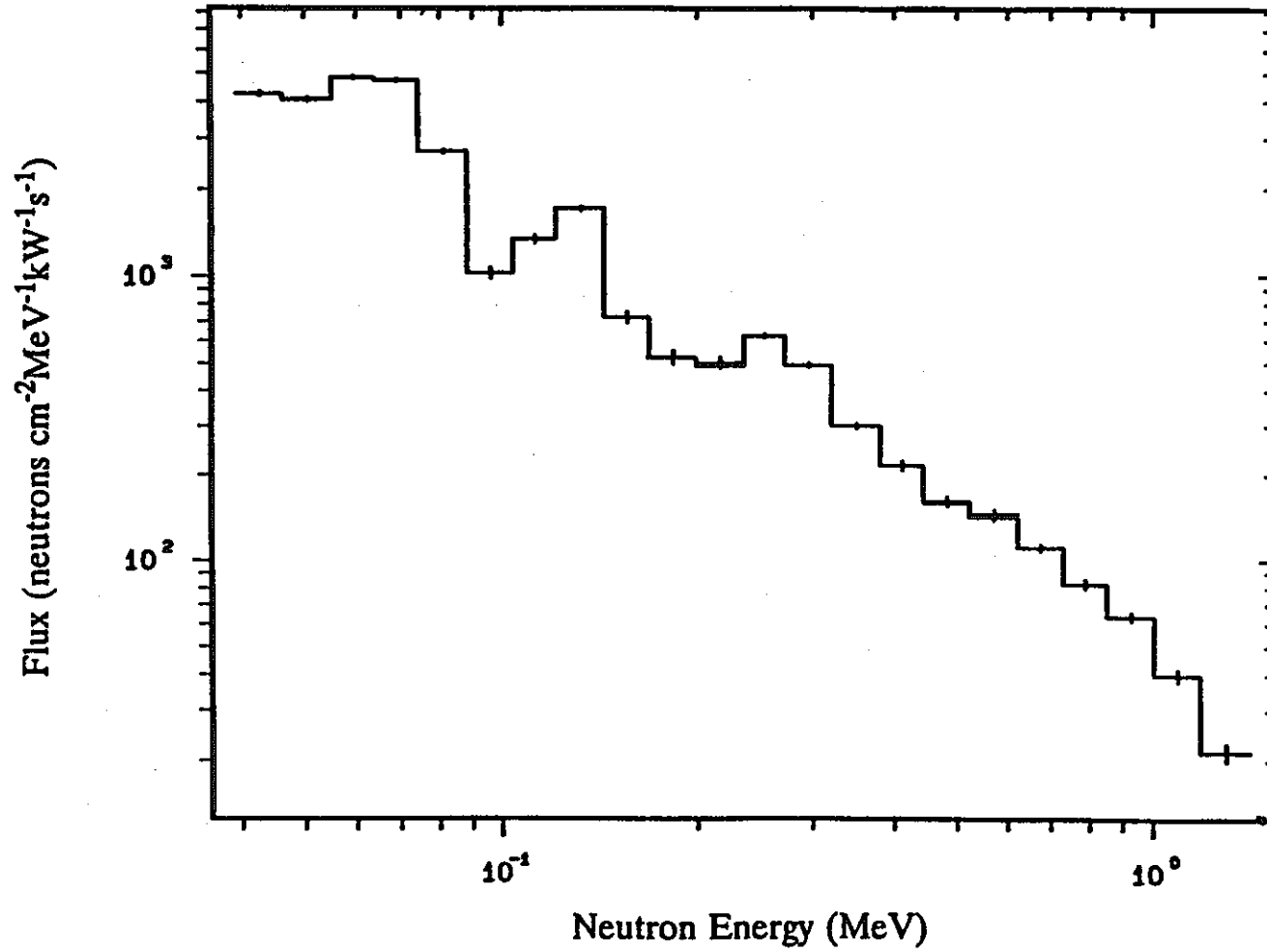


図5.4 中性子スペクトル測定値 (体系Ⅱ A、鉛スラブ後方25cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 16. Neutron spectrum (50 keV to 1.4 MeV) on centerline at 25 cm behind the lead slab (Item IIA) Runs 1601.A, 1600.B, 1601.B.

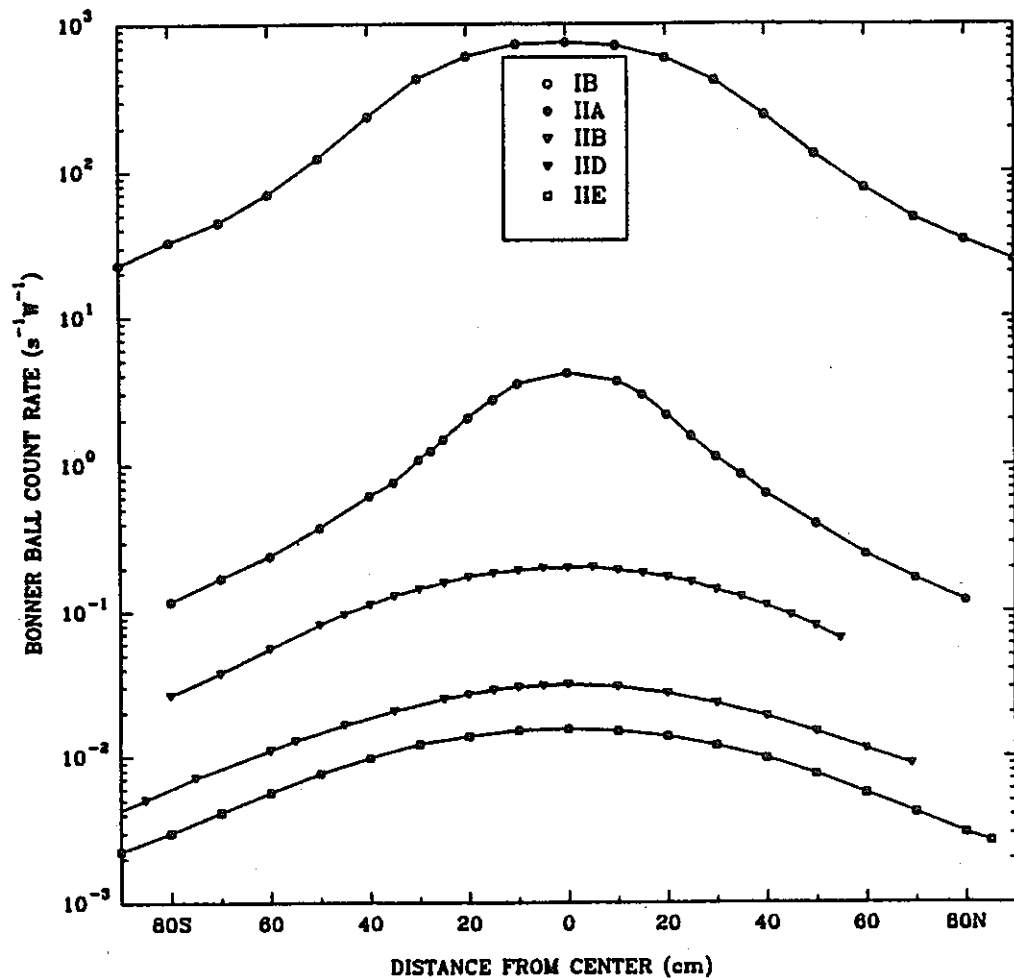


図5.5 5インチボナーボール検出器測定値（水平方向分布、体系後方30cm）
（ORNL/TM-12171より引用）

Figure 12. 5-inch Bonner ball horizontal traverses through midplane at 30 cm behind the mockup.

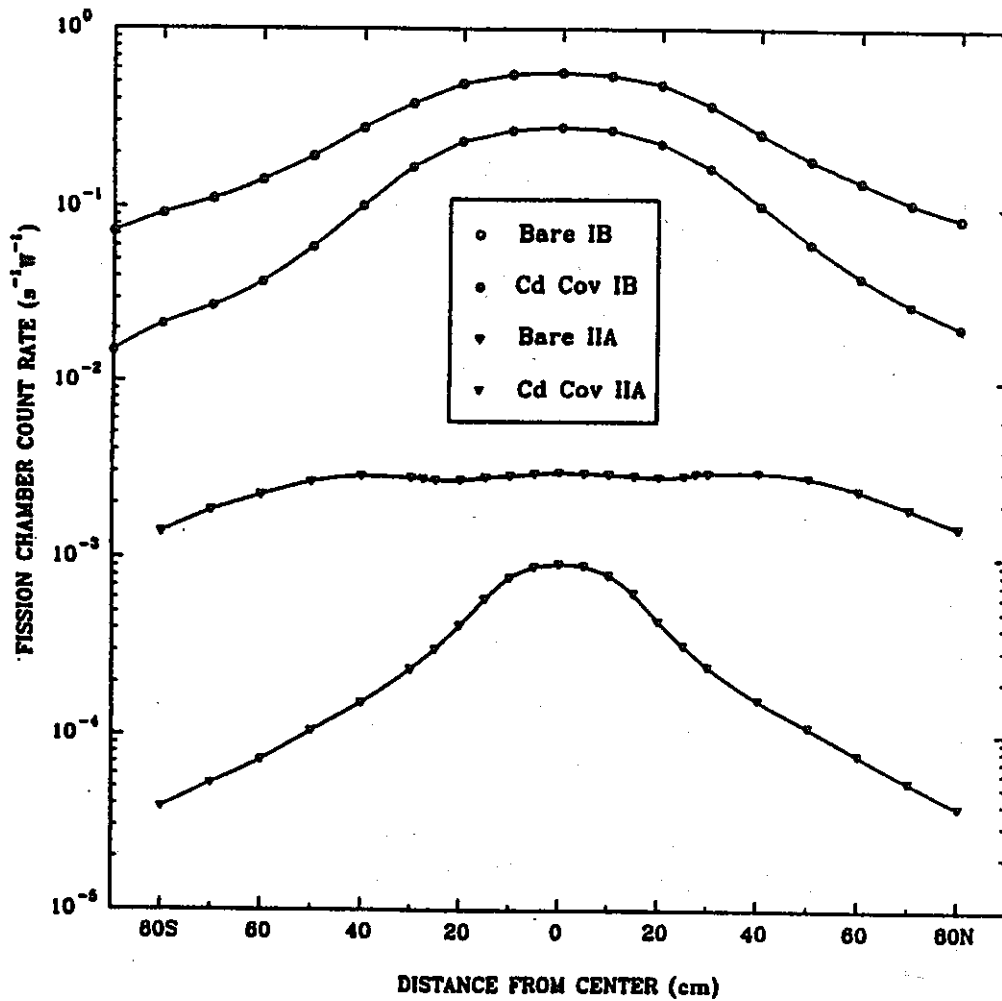


図5.6 核分裂計数管測定値 (水平方向分布、体系後方30cm)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 13. Bare and Cd-covered fission chamber horizontal traverses through midplane at 30 cm behind the mockup.

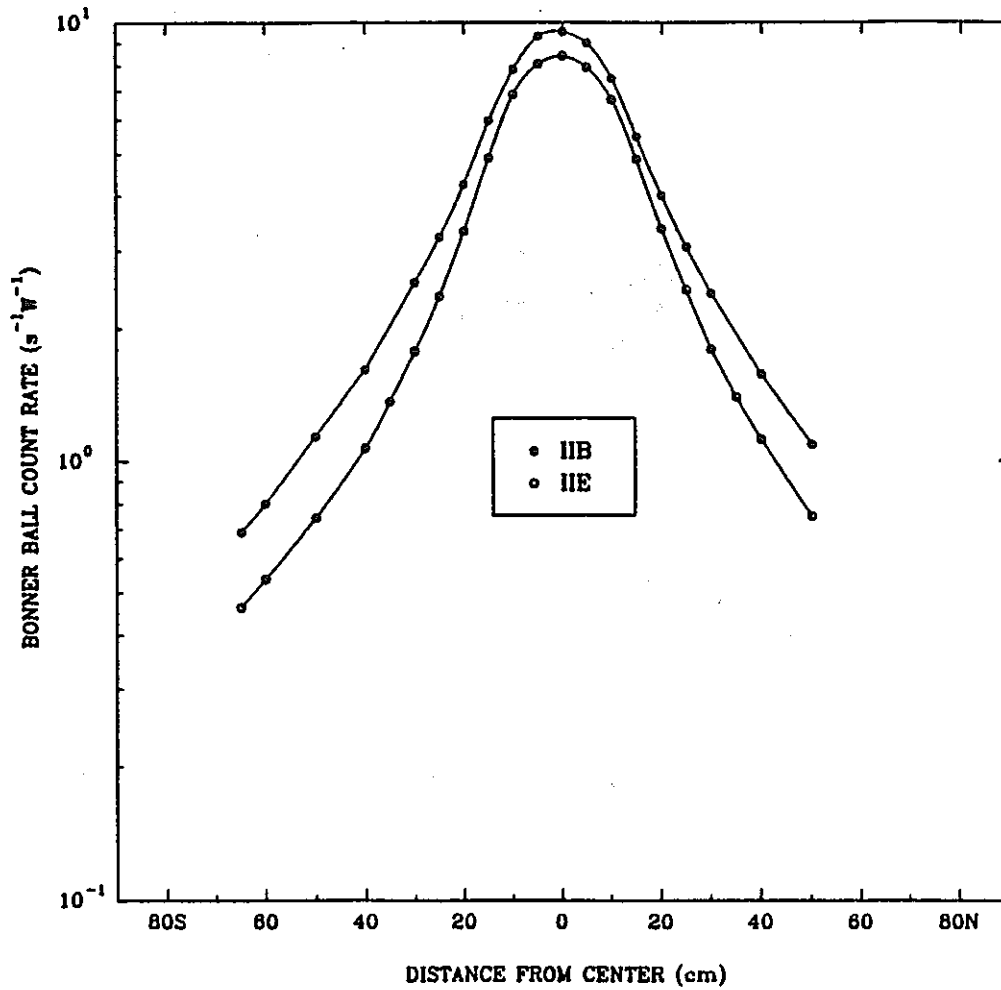


図5.7 5インチボナーボール検出器測定値 (水平方向分布、体系内ポイド中)
(ORNL/TM-12171より引用)

Figure 18. 5-inch Bonner ball horizontal traverses through midplane in the void behind the axial shield.

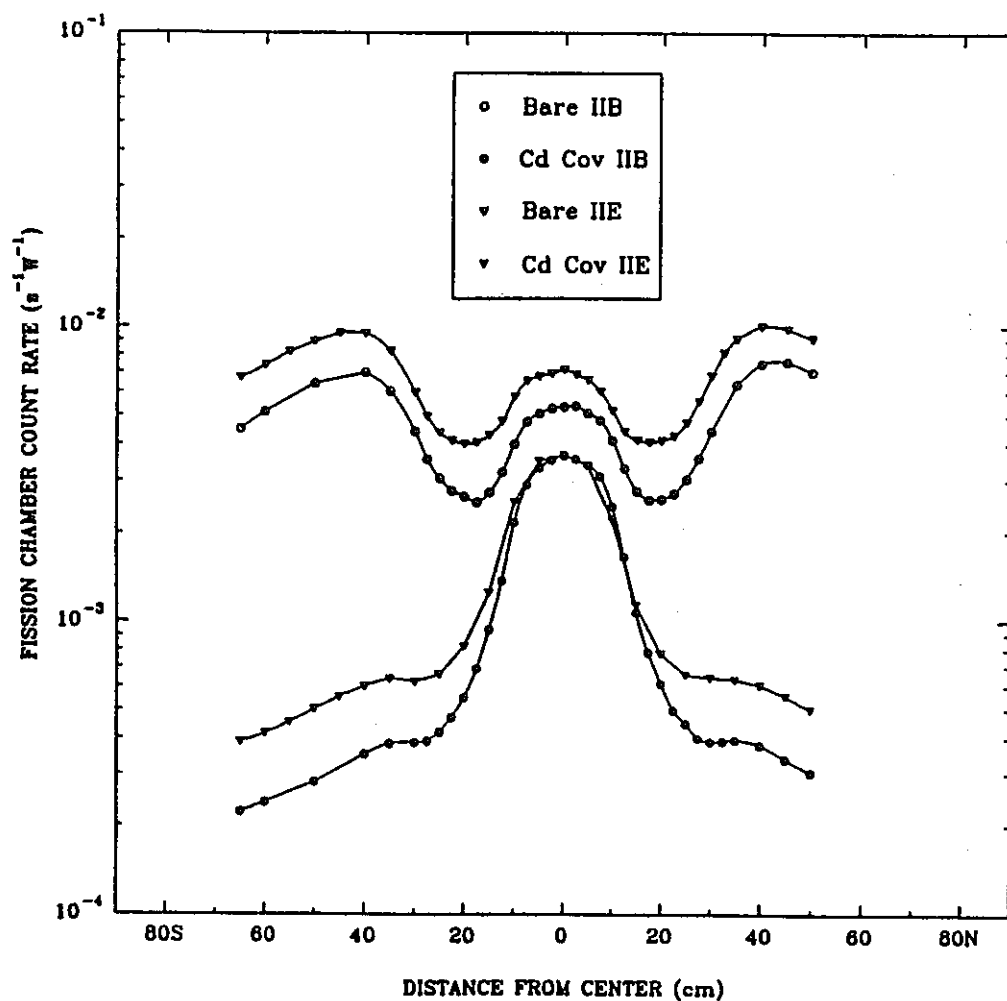


図5.8 核分裂計数管測定値（水平方向分布、体系内ポイド中）
 (ORNL/TM-12171より引用)

Figure 17. Bare and Cd-covered fission chamber horizontal traverses through midplane at 5 cm behind the axial shield in the void (Item IIB, IIE).

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。なお実験日誌によれば、黒鉛を放置しておくことと湿気を含む恐れがあるため、黒鉛層の構成は週末を避ける考慮もされている。

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。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。

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。得られた校正值は、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従う。

以上から、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、一般的にある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、ボナーボールおよびフィッションチェンバの両測定結果に対する誤差は±10%以下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-11989 (January,1992) .
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-12140 (February,1993).
7. F.J.Muckenthaler et al., "Measurements for the JASPER Program Flux Monitor Experiment" , ORNL/TM-12171 (February,1993).
8. 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) .
9. J.O.Johnson and D.T.Ingersoll , " User's Guide for the Revised SPEC-4 Neutron Spectrum Unfolding Code " , ORNL/TM-7384 (August 1980).

10. R.B.Maerker et al., " Calibration of the Bonner Ball Neutron Detectors Used at the Tower Shielding Facility " , ORNL/TM-3465 (June 1971).

11. 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

中性子検出器応答実験体系と測定項目

(ORNL/TM-12171 の APPENDIX A より引用)

APPENDIX A

EXPERIMENTAL PROGRAM PLAN FOR THE JASPER FLUX MONITOR EXPERIMENT

- I. Spectrum Modifier + RRS Mockup
- A. SM (10 cm Fe + 9 cm Al + 2.5 cm boral + 20 cm radial blanket) + concrete on sides of modifier
1. 3-, 5-, 8-, and 10-in Bonner ball measurements on centerline:
 - a. 30 cm behind spectrum modifier
 - b. 150 cm behind spectrum modifier (foreground and background)
- B. IA + 1.3 cm Al + 15 cm SS + 10 cm Li Par with seven hexagonal iris
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. Bare, cadmium (Cd)-covered, 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. U²³⁵ fission chamber horizontal traverse at 30 cm behind mockup (bare and Cd-covered)
 5. 5-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
- II. RRS + Axial Shield
- A. SM + 1.3 cm Al + 15 cm SS plus axial shield with Aluminum hexagonal center surrounded by B₄C homogeneous hexagons. Precede axial shield with 10 cm lithiated paraffin covering face of SM with 7 hexagonal holes matching axial shield.
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. Bare, Cd-covered, 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. U²³⁵ fission chamber horizontal traverse at 30 cm behind mockup (bare and Cd-covered)
 5. 5-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup

- B. II.A + 30 cm void + 15 cm B₄C
1. Bare, Cd-covered, 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)
 2. 5-in Bonner ball horizontal traverse in middle of void
 3. 5-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
 4. ²³⁵U fission chamber horizontal traverse at 5 cm in the void (bare and Cd-covered)
- C. II.A + 30 cm void + 15 cm B₄C + 20 cm graphite
1. Bare, Cd-covered, 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)
- D. II.A + 30 cm void + thick IVFS mockup
1. Bare, Cd-covered, 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)
 2. 5-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
- E. II.A + 30 cm void + thick IVFS mockup + 15 cm B₄C
1. Bare, Cd-covered, 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)
 2. 5-in Bonner ball horizontal traverse in middle of void
 3. 5-in Bonner ball horizontal traverse at 30 cm behind shield mockup
 4. ²³⁵U fission chamber horizontal traverse at 5 cm in the void (bare and Cd-covered)
- F. II.A + 30 cm void + thick IVFS + 15 cm B₄C + 20 cm graphite
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)

付 録 B

JASPER実験記録 (1992年5月~6月)

— 中性子検出器応答実験 —

J A S P E R 実験記録

(1992年 5月分)

1992. 6. 1. 作成
(ギャップ・ストリーミング実験及びN I S実験)

月 日	曜	測 定 項 目	備 考
5月 1日	金	Ⅲ-H (3°, 5°, 8°BB のR.T.) at 30cm Ⅲ-HH (3°, 5°, 8°BB のR.T.) at 30cm	体系Ⅲ-HHはⅢ-Hの後方に15cm厚さのポリエチレンを設置した状態
4日	月	体系Ⅱ-Fへの移行作業を開始	
5日	火	Na放射化量が大きく、移行作業を中断	
6日	水	原子炉停止	今後行うべき実験に必要な日数を検討した結果、体系Ⅱ-Fの測定を割愛し、ギャップ・ストリーミング実験を終了することに決定。
7日	木	原子炉停止	
8日	金	原子炉点検	
11日	月	中性子検出器 (N I S) 実験のスペクトル・モディファイアの構成作業	
12日	火	同 上	
13日	水	I-A (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB (F.G. & B.G)) at 30 & 150cm	N I S実験を開始
14日	木	I-B (NE-213) at 40cm	
15日	金	I-B (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB (FG)) at 30 & 150cm, (8°, 10°BB (BG)) at 150cm	
18日	月	I-B (bare, Cd.c, 3°, 5°BB (B.G.)) at 150cm (5°BB, FC (bare & Cd.c)) のR.T. at 30cm	
19日	火	I-B (Benjamin (1,3,10 気圧))	
20日	水	体系Ⅱ-Aの構成作業	軸方向遮蔽実験供試体設置
21日	木	Ⅱ-A (NE-213, Benjamin (10気圧)) at 鉛板後方25cm	体系後方に鉛板1枚設置
22日	金	原子炉点検	
26日	火	Ⅱ-A (NE-213, Benjamin (10, 3気圧), 5°BB) at 鉛板後方25cm	
27日	水	原子炉点検	
28日	木	Ⅱ-A (NE-213, Benjamin (10, 1気圧), 3°BB) at 鉛板後方25cm	
29日	金	Ⅱ-A (10°BB) at 鉛板後方25cm, (bare, Cd.c, 3°, 8°, 10°BB (B.G.)) at 150cm (bare, Cd.c, 3°, 5°, 8°, 10°BB (F.G.)) at 30 & 150cm	

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

(コメント)

・ 25日は、"Memorial Day" (戦没将兵記念日) のため、休日。

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幅ポイド	
4日	木	NIS II - B (Cd.c F.C.) のR.T. in 35cm幅ポイド, (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幅ポイド (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

付 録 C

JASPER実験日誌 (1992年5月~6月)

— 中性子検出器応答実験 —

1992年5月13日(水) 中性子検出器(NIS)実験の測定を開始。

体系I-A (SM-1)

10 cm Fe + 9 cm Al + 2.54 cm boron + 20 cm Radial Blanket

体系周囲は最低 20 cm の厚さの Li-Par ブロックで取り囲まれ、さらにその外側にコンクリートが配置されている。

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

[1] F.G.測定 (体系後方 30 cm、150 cm)

- | | |
|--------------|---------------|
| ① 5" | 約 1 W×2 分、5 分 |
| ② bare | 約 15 W×3 分 |
| ③ Cd-covered | 約 40 W×3 分 |
| ④ 3" | 1.6 W×2 分 |
| ⑤ 8" | 約 1 W×5 分 |
| ⑥ 10" | 1.6 W×6 分 |

[2] B.G.測定 (体系後方 150 cm)

上記①～⑥のボナーボールについて、Li-Par ブロックを実験体系とボナーボールの間に設置した状態で測定を行った。

☆ 体系I-Bの構成作業を開始。

5月14日(木) 体系I-B (SM-1 + 1.3 cm Al + 15 cm SS + 10 cm Li-Par)

☆ Al、SUSの各スラブを追加した後、その後方に軸方向遮蔽実験供試体のハニコム部より外側の領域を遮蔽するような配置で、Li-Par ブロックを積み上げた。厚さは 10 cm である。配置図を図-1に示す。安定な状態とするために、結構時間がかかる。

○ 中性子スペクトル測定

① NE-213 検出器 (SUS スラブ後方 40 cm 位置)

約 7 W×9000 sec

γ/n 比 約 3

Li-Par wall behind SM

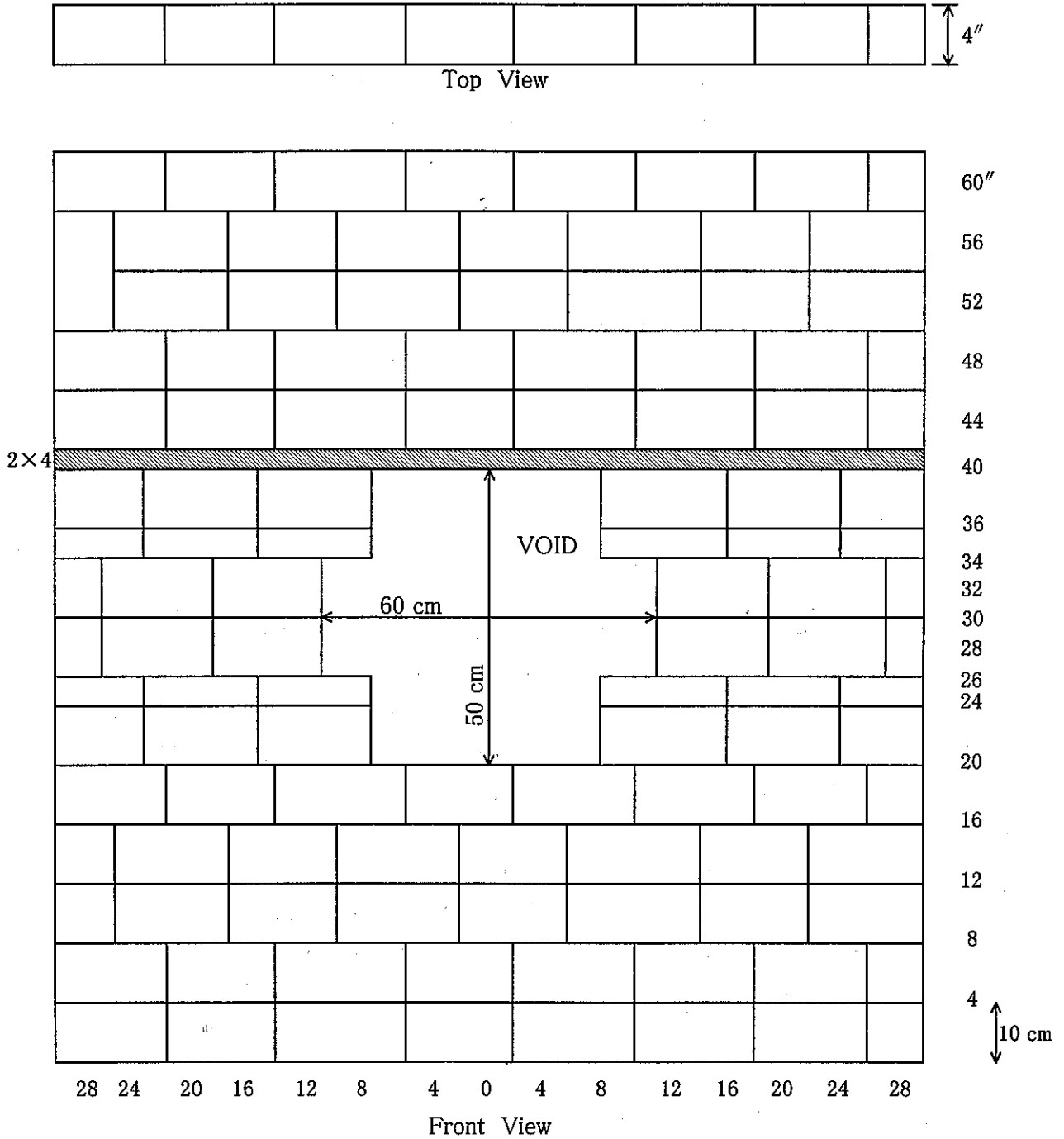


図-1 NIS実験の体系 I-B 後方に設置された Li-Par ブロックの配置図

5月15日(金) 体系I-B

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

[1] F.G.測定

3"、5"、10" BB 30、40、150 cm 位置

8"、bare、Cd-covered 30、150 cm 位置

[2] B.G.測定

8"、10" BB 150 cm 位置

☆ 本日は Benjamin 検出器による測定が行われる予定であったが、プリアンプ不良のためボナーボール測定に変更された。以前に比べて、このような処置が機敏に行われるようになってきた。このような変更は、必ず PNC 駐在員と ORNL 責任者の了解の下で行うこととしているので、日々変わっていく現場の状況を把握しておくことが必要である。

5月18日(月) 体系I-B

○ 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 150 cm 位置)

① 5"	約 70 W×3 分	↓
② 3"	約 70 W×3 分	SUS スラブ表面
③ bare	約 70 W×4 分	からの距離
④ Cd-covered	約 140 W×6 分	

○ 水平方向トラバース測定 (体系後方 30 cm 位置)

① 5"	約 4~8 W×3 分/各位置	} 必ず対にして 測定する。
② Fission Counter (F.C.)	約 4 kW×1 分/各位置	
③ Cd-covered F.C.		

5月19日(火) 体系I-B

○ 中性子スペクトル測定 (信号処理系トラブルのため、2時間近く測定開始が遅れた。)

- ① Benjamin 検出器 (10 気圧) 約 150 W×1 hr
- ② Benjamin 検出器 (3 気圧) 約 400 W×1 hr
- ③ Benjamin 検出器 (1 気圧) 約 300 W×2500 sec

5月20日(水)

☆ 体系Ⅰ-Bから体系Ⅱ-Aへの移行作業

体系Ⅰ-Bの後方に軸方向遮蔽実験供試体を設置。体系Ⅰ-Bで、ステンレス鋼スラブの直後に設置したLi-Parブロックを崩さないように、10トン近い同供試体を据え付けるのは至難の技であった。位置決めは、ハニコムの中心チャンネルに、ロッドを抜いたロッドバンドル型集合体を設置し、中心の穴からステンレス鋼スラブ上に描いた中心マークが見えるようにして行った。TSFの従業員総出で作業を行い、丸一日がかりで、同供試体周囲の遮蔽体追設作業の一部のみを残して概ね完成。機器保守・放管の担当者にもJASPER実験の意義を説明する必要が発生し、面白い質問が出てくることもある。総じてみんな協力的だが、時にガクッとするようなことを聞かれる。例をいくつか挙げる。

- CRBRというのは何の略語か？ どの国のプロジェクトか？
- PNCはJAERIのどの部門に属しているのか？
- 日本は全ての電気を原発でまかなおうとしているのか？
- PNCは今までに原爆をいくつ作ったのか？

5月21日(木) 体系Ⅱ-A +鉛スラブ1枚

- 中性子スペクトル測定(γ線成分低減のために、鉛スラブ1枚を軸方向遮蔽実験供試体の表面に設置)

測定位置；鉛スラブ表面より25cm位置、ビーム中心軸上

- ① NE-213 検出器 約2kW×2時間
- ② Benjamin 検出器 (水素ガス充填圧10気圧)

測定を開始したが、途中でノイズが発生したため、炉停止。

明日の炉点検時に信号系をチェックして来週再度測定することに決定。

5月22日(金)

原子炉点検日。

中性子スペクトル信号処理系のチェック。

5月25日(月) Memorial Dayで休日。

5月26日(火) 体系Ⅱ-A+鉛スラブ1枚

○ 中性子スペクトル測定(鉛板後方25 cm)

① NE-213 検出器 約4 kW×約1 hr

② Benjamin 検出器(水素ガス充填圧10気圧)

約60 kW×約1 hr

③ Benjamin 検出器(水素ガス充填圧3気圧)

約200 W×約1 hr

信号処理系へのノイズの混入は防止出来たが、高エネルギー領域での①と②のオーバーラップ誤差が大きいことが問題視され、再測定となる。

5月27日(水)

原子炉点検日。

5月28日(木) 体系Ⅱ-A+鉛スラブ1枚

○ 中性子スペクトル測定(鉛板後方25 cm)

① NE-213 検出器 約2 kW×2 hr

② Benjamin 検出器(水素ガス充填圧1気圧)

約80 kW×約5000 秒

③ Benjamin 検出器(水素ガス充填圧10気圧)

約40 kW×約1 hr

オーバーラップ領域の問題が解決したので、中性子スペクトル測定を終了した。

○ NE-213 位置(中性子スペクトル測定位置)でのボナーボール測定

① 3" BB 約80 W×2分

② 8" BB 約80 W×2分

5月29日(金) 体系Ⅱ-A+鉛板1枚

○ NE-213位置(中性子スペクトル測定位置)でのボナーボール測定

① 10" BB 約80W×4分

○ ピ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 10" 約160W×2分、5分

② 8" 約400W×2分

③ bare 約400W×4分、5分

④ 5" 約150W×2分、4分

⑤ 3" 約400W×2分、4分

⑥ Cd-covered 約4kW×2分、5分

[B.G.測定、at 体系後方150cm]

① Cd-covered 約80kW×5分

② bare 約8kW×3分

③ 3" 約8kW×3分

④ 8" 約40kW×2分

⑤ 10" 約15kW×2分

6月1日(月) NIS実験 体系Ⅱ-A

○ ビーム中心軸上での測定

① 5" BB (B.G.) 約 40 kW×3分 体系後方 30 cm 位置

○ 体系後方 30 cm での水平方向トラバース測定

① 5" BB 約 800 W×(2~5)分/各位置

② bare F.C. 約 80 kW × 2分/各位置

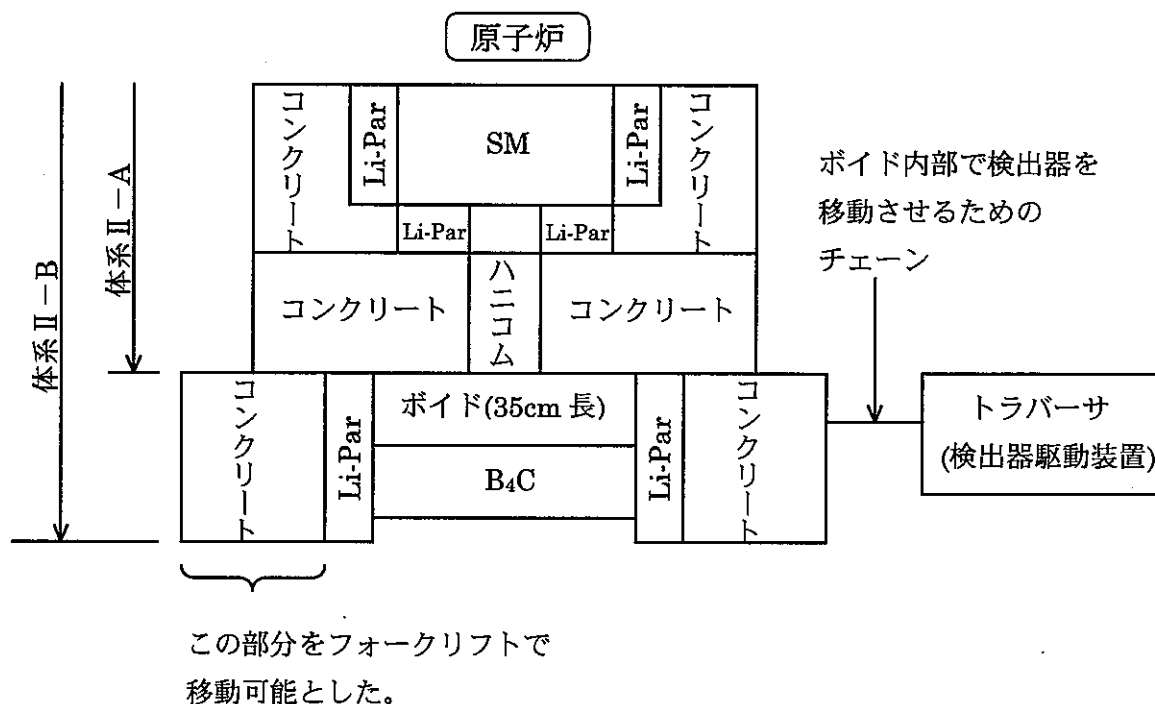
③ Cd-covered F.C. 約 750 kW× 2分/各位置

☆ これにて体系Ⅱ-Aの測定を終了し、体系Ⅱ-Bの構成作業を開始。

6月2日(火) 原子炉点検日。体系Ⅱ-Bへの移行作業。

☆ 軸方向遮蔽実験供試体の後方に約 35 cm 長の空間(ボイド)を設け、その後方に 15 cm 厚さの B₄C スラブを設置する作業を続行。ボイド内部でのトラバース測定を可能にするためのセッティングに手間を要した。

[体系Ⅱ-B 設置後の概念図]



6月3日(水) 体系Ⅱ-B

☆ 体系Ⅱ-Bへの移行作業を続行。最後にボイド内に検出器及びケーブルをセット。

○ ボイド内での水平方向トラバース測定

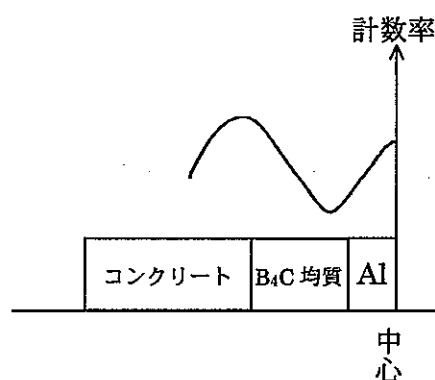
① 5" BB 約 150 W×2分/各位置
軸方向供試体後面から 17cm 位置で測定

② bare F.C. 約 40 kW×2分/各位置
軸方向供試体後面から 5 cm 位置で測定
ハニコム中の B₄C 均質集合体後方で計
数率が減少する傾向が見られた。

(右図)

③ Cd-covered F.C. 約 400 kW×2分/各位置

②と同じ位置で測定を開始したが、時間切れで途中で打ち切り。
南側 25~60 cm の範囲で測定。



6月4日(木) 体系Ⅱ-B

○ ボイド内での水平方向トラバース測定

① Cd-covered F.C. 約 400 kW×1分 or 2分/各位置
昨日の③の続き。南側 25 cm~北側 50 cm の範囲で測定

○ 体系後方での水平方向トラバース測定

① 5" BB 約 15 kW×1分 or 2分/各位置 (体系後方 30 cm)

○ 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 & 150 cm)

① 5" BB 約 15 kW×2分

② 3" BB 約 40 kW×2分

③ bare BB 約 80 kW×2分

④ 8" BB 約 15 kW×2分、4分

⑤ 10" BB 約 40 kW×2分、4分

6月5日(金) 体系Ⅱ-B

○ ビーム中心軸上でのボナーボール測定

① Cd-covered (F.G.)	at 30 & 150 cm	約 800 kW×3分、5分
② Cd-covered (B.G.)	at 150 cm	約 800 kW×2分
③ bare (B.G.)	at 150 cm	約 150 kW×2分
④ 3" (B.G.)	at 150 cm	約 150 kW×4分
⑤ bare (B.G.シールドに Cd 箔をかぶせた状態)		
	at 150 cm	約 150 kW×3分
⑥ 5" (B.G.)	at 150 cm	約 150 kW×3分
⑦ 8" (B.G.)	at 150 cm	約 150 kW×5分
⑧ 10" (B.G.)	at 150 cm	約 400 kW×4分

☆ 体系Ⅱ-Bの測定を終了。体系Ⅱ-Cに移行して黒鉛を積んでしまうと、週末の2日間で湿気を含む恐れがあるので、実験体系はそのままにしておき、体系Ⅱ-Dで使用する稠密型 IVFS モックアップの構成作業を倉庫内にて開始した。

6月8日(月) 体系Ⅱ-C

☆ 体系Ⅱ-BからⅡ-Cへの移行作業を行った。

体系Ⅱ-B最後部の15 cm厚さ B₄C スラブの後方に黒鉛層(20 cm厚さ)を形成するように黒鉛の角材(10 cm角×120 cm長及び30 cm長の2種類)を組み合わせて設置した後、その周囲に20 cm厚さのLi-Parブロックを設置。

○ 体系Ⅱ-Cにて、ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定] 体系後方 30 cm & 150 cm

① 5"	約 150 kW
② 3"	約 150 kW
③ bare	約 400 kW
④ Cd-covered	約 800 kW
⑤ 8"	約 150 kW
⑥ 10"	約 400 kW

[B.G.測定]	体系後方 150 cm
① 10"	約 800 kW
② 8"	約 400 kW
③ 3"	約 150 kW
④ bare	約 150 kW

6月9日（火） 原子炉点検日

倉庫の中で一日中、燃料ピン（計 約 1200 本）を目視検査して稠密型 IVFS モックアップに装荷する作業を繰り返し、ほぼ完成。約半年間の保管状態はきわめて良好であり、心配された表面のサビはほとんど発生していなかった。

6月10日（水） 体系Ⅱ-C

。 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 150 cm
① 5"	約 400 kW×2 分
② Cd-covered	約 800 kW
③ bare	(B.G.シールドを Cd 板で覆った測定)
[F.G.測定]	体系後方 30 cm
① bare	約 400 kW

☆ 昨日の雨によって黒鉛が湿気を含み、測定値に変化が生じていないかどうか再現性をチェックするために測定。8日（月）の測定値との差は2%程度であったため、問題無しと判断された。これにて体系Ⅱ-Cの測定を終了。

依然として工程が厳しいため、工程に与える影響が大きいボイド内でのトラバース測定を含む体系Ⅱ-Eを先行して実施することを決定。

☆ 体系Ⅱ-CからⅡ-Eへの移行作業

- ① 黒鉛撤去
- ② 側部パラフィン撤去
- ③ 上部コンクリートしゃへい体撤去

- ④ ボイド上部のパラフィンを撤去
- ⑤ B₄C スラブ撤去
- ⑥ 稠密型 IVFS モックアップを設置
- ⑦ 同モックアップの周囲に生じる空間に Li-Par を設置
- ⑧ ボイド上部の Li-Par を復旧
- ⑨ B₄C スラブ設置
- ⑩ 上部コンクリートしゃへい体設置

所要時間 計 5 時間

6 月 11 日 (木) 体系Ⅱ-E

☆ ボイド内での測定準備

- ① トラバーサを実験体系側部へ移動
- ② 可搬型しゃへい体を動かして、ボイド内部に検出器を設置
- ③ 可搬型しゃへい体を復旧

○ ボイド内部での水平方向トラバーサ測定

- ① 5" ボナーボール 約 160 W×2 分/各位置
軸方向供試体後面から 16 cm 位置で測定
- ② bare F.C. 約 40 kW×2 分/各位置
- ③ Cd-covered F.C. 約 400 kW×1 分/各位置

②、③共、Fission Chamber の有感部は軸方向供試体後面から 5 cm 位置に設置された。

ボイド内部での放射線量率 約 10 mR/hr、検出器、ケーブル、移動用治具を撤去。

○ 体系後方 30 cm での水平方向トラバーサ測定

- ① 5" BB 約 150 kW×1 分/各位置

6月12日(金) 体系Ⅱ-E

- 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 cm & 150 cm
 - BB 種類; bare、Cd-covered、3"、5"、8"、10"
 - [B.G.測定] 体系後方 150 cm
 - BB 種類; 3"、8"、10"

6月15日(月) 体系Ⅱ-E

- 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 150 cm
 - BB 種類; bare、Cd-covered、5"

☆ bare BB については、B.G.測定用しゃへい体 (Li-Par ブロック集合体) に Cd 板をかぶせた状態での測定を追加した。

☆ 体系Ⅱ-F への移行作業

20 cm の黒鉛層を B₄C スラブ後方に設置

- 体系Ⅱ-F にて、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 & 150 cm
 - BB 種類; bare、Cd-covered、3"

6月16日(火)

週例の原子炉点検日。実験は行われなかった。

6月17日(水) 体系Ⅱ-F

- 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 & 150 cm

BB 種類; 5"、8"、10"

[B.G.測定] 体系後方 150 cm

BB 種類; bare、3"、8"、10"

6月18日(木) 体系Ⅱ-F

- 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 150 cm

- ① 5" 約 800 kW×2 分
- ② Cd-covered 約 800 kW×5 分
- ③ bare 約 150 kW×4 分

- ☆ 体系Ⅱ-F の測定を終了し、体系Ⅱ-D への移行作業を行う。

- ① 黒鉛を撤去
- ② 側部 Li-Par、コンクリートブロックを撤去
- ③ B₄C スラブを撤去
- ④ 側部 Li-Par を再設置

- 体系Ⅱ-D にて、ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定] 体系後方 30 & 150 cm

- ① Cd-covered 約 400 kW×2 分、4 分
- ② bare 約 150 kW×2 分
- ③ 3" 約 80 kW ×2 分
- ④ 8" 約 8 kW ×2 分

6月19日(金) 体系Ⅱ-D

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

[F.G.測定] 体系後方 30 & 150 cm

- ① 5" 約 8 kW × 2 分
- ② 10" 約 8 kW × 2 分、4 分

[B.G.測定] 体系後方 150 cm

- ① 10" 約 80 kW × 4 分
- ② 8" 同上
- ③ 5" 約 80 kW × 2 分
- ④ 3" 約 800 kW × 2 分
- ⑤ bare 約 800 kW × 4 分
- ⑥ Cd-covered 同上

[F.G.測定] 体系後方 30 & 150 cm

- ① bare 約 400 kW × 2 分
 - ② Cd-covered 同上
 - ③ 3" 約 20 kW × 4 分
- 昨日の測定時の高圧電源の電圧設定が誤っていた可能性があるため再度測定を行った。

6月22日(月) 体系Ⅱ-D

○ ビーム中心軸上のボナーボール測定

- ① 8" BB (F.G.) at 30 & 150 cm 約 15 kW × 2 分

○ 体系後方 30 cm での水平方向トラバース測定 (5" BB)
約 8 kW × 2 分 / 各位置

☆ これにて NIS 実験の測定をすべて終了した。実験体系の撤去を開始。

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

☆ NIS 実験体系の撤去作業

☆ 稠密型 IVFS から燃料ピン (1148 本) を輸送容器に戻す作業

(以上)

付 録 D

中性子検出器応答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) 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(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POPPOP(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)。

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。