

JAERI-Tech
97-068



NMTC/JAERI-MCNP4Aコードシステムによる
熱・冷中性子輸送計算

1998年1月

伊賀公紀*・高田 弘・永尾忠司

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力公済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 株高野高速印刷

NMTC/JAERI-MCNP4Aコードシステムによる熱・冷中性子輸送計算

日本原子力研究所東海研究所中性子科学研究中心

伊賀公紀*・高田 弘・永尾忠司

(1997年12月2日受理)

水冷のタンタルターゲット、減速材及び反射体から成る核破碎中性子源について、NMTC/JAERI-MCNP4Aコードシステムを用いて熱・冷中性子の輸送計算を行い、中性子科学研究計画における核設計への本コードシステムの適用性を調べた。計算では、減速材に軽水及び液体水素を用いた場合に放出される中性子のエネルギースペクトルについて、パルス特性を良くするための炭化水素 (B_4C) デカッパーの有無による強度変化、外部中性子線源位置による強度変化等の計算結果が実験結果に基づく半実験式に物理的に妥当な値のパラメータを用いて再現できることを確認した。しかしながら、放出中性子の時間スペクトルを精度良く評価するためには、MCNP4Aによる計算で反射体やデカッパー領域に適当なインポーテンスを設定する工夫が必要であることがわかった。本計算によって、NMTC/JAERI-MCNP4Aコードシステムを今後の核破碎中性子源の核設計に適用できることを確認した。

Transport Calculation of Thermal and Cold Neutrons Using
NMTC/JAERI-MCNP4A Code System

Kiminori IGA*, Hiroshi TAKADA and Tadashi NAGAO

Center for Neutron Science
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 2, 1997)

In order to investigate the applicability of the NMTC/JAERI-MCNP4A code system to the neutronics design study in the neutron science research project of JAERI, transport calculations of thermal and cold neutrons are performed with the code system on a spallation neutron source composed of light water cooled tantalum target with a moderator and a reflector system. The following neutronic characteristics are studied in the calculation : the variation of the intensity of neutrons emitted from a light water moderator or a liquid hydrogen with/without the B₄C decoupler, which are installed to produce sharp pulse, and that dependent on the position of external source neutrons in the tantalum target. The calculated neutron energy spectra are reproduced well by the semi-empirical formula with the parameter values reliable in physical meanings. It is found to be necessary to employ proper importance sampling technique in the statistics. It is confirmed from this work that the NMTC/JAERI-MCNP4A code system is applicable to the neutronics design study of spallation neutron sources proposed for the neutron science research project.

Keywords : Transport Calculation, Thermal Neutrons, Cold Neutrons, NMTC/JAERI,
MCNP4A, Spallation Neutron Source, Tantalum Target, Water Moderator,
Liquid Hydrogen Moderator, B₄C Decoupler, Emission Time Spectrum

* Kyushu University

目 次

1. はじめに	1
2. 計 算	2
2.1 計算環境	2
2.2 計算体系	2
2.3 計算方法	3
2.4 計算項目	5
3. 結果及び考察	7
3.1 デカップラーの効果	7
3.2 減速材物質依存性	7
3.3 外部中性子線源位置による放出中性子強度の変化	8
3.4 1.5GeV陽子入射の場合の放出中性子強度	9
3.5 放出中性子の時間スペクトル	9
4. ま と め	11
謝 辞	11
参考文献	12

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation	2
2.1 Calculation Environment	2
2.2 Calculation Model	2
2.3 Calculation Procedure	3
2.4 Calculation Items	5
3. Results and Discussion	7
3.1 Effects of Decoupler on Neutron Energy Spectrum	7
3.2 Moderator Material Dependence on Neutron Energy Spectrum	7
3.3 Neutron Intensity Dependent on the Position of External Source Neutrons	8
3.4 Neutron Intensity for 1.5 GeV Proton Incidence	9
3.5 Neutron Emission Time Spectrum	9
4. Summary	11
Acknowledgments	11
References	12

1. はじめに

日本原子力研究所では、高エネルギー大強度陽子ビームを用いて得られる強力な中性子及びその他の粒子を利用して広範囲な基礎研究と消滅処理等の原子力技術開発の新しい展開を図ることを目的として、中性子科学研究計画構想を立案し、陽子加速器の開発とともに、各種の研究施設の概念検討に着手している。この研究施設の一つとして、核破碎中性子を物性研究等に利用する中性子散乱施設がある。ここでは、1.5 GeV, 3.33 mA (5 MW) 程度の陽子を水銀、タンタルなどの重いターゲットに入射させ、核破碎反応により発生した中性子を軽水、液体水素、固体メタン等の減速材で減速させて meV ~ 数十 meV の熱・冷エネルギーの中性子とし、これを利用する。

核破碎中性子源施設については、国内では 500 MeV 陽子加速器を利用した高エネルギー加速器研究機構の中性子源 (KENS: 10 μ A 陽子) が稼働している。世界的には、英国のラザフォード・アップルトン研究所で 160 kW (800 MeV, 200 μ A 陽子) 入射による核破碎中性子源 (ISIS) が稼働しているほか、最大強度を有する施設としてスイスのポールシェラー研究所の 600 kW (600 MeV, 1 mA 陽子) の核破碎中性子源 (SINQ) の運転が開始された。欧州では、さらに強力な 5 MW の陽子ビームを利用する欧州核破碎中性子源 (European Spallation Source, ESS) の設計研究が進められている。また米国でも同様な計画がある。中性子科学研究計画で想定している MW 級の核破碎中性子源については、ESS の計画に匹敵する規模となるものである。

核破碎中性子源施設の設計では、入射陽子 1 個当たりにできるだけ高い強度の中性子ビームを得るためにターゲット・減速材・反射体の配置の決定、これらの周囲に設置する遮蔽の設計、さらに、ターゲット、減速材、反射体の冷却能力を評価するための発熱量評価等を目的として、GeV 領域から熱・冷エネルギー領域に亘る核計算を行う必要がある。諸外国の核破碎中性子源の核設計では、20 MeV 以上のエネルギー領域の粒子輸送計算のための高エネルギー核子・中間子輸送コードと 20 MeV 以下の中性子輸送コードを組み合わせた LAHET-MCNP コードシステム (LCS)¹⁾ や HERMES コードシステム²⁾ が用いられている。

筆者らの研究室では、NMTC/JAERI³⁾-MCNP4A⁴⁾ コードシステムを用いて、加速器による TRU 消滅処理システムの設計、核破碎中性子測定実験解析を行っているが、熱・冷エネルギー領域の輸送計算については、まだ行った実績がない。本作業では、熱冷エネルギー領域の中性子輸送計算に対する、NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムの適用性を確認することを目的として計算を行った。

2. 計 算

2. 1 計算環境

計算には、富士通（株）社製ワークステーション S-4/20 (OS: Solaris 2.4) を使用した。このワークステーションの性能は、主プロセッサが SuperSPARCII (75MHz) であり、演算速度は SPECrate_int 92:5726, SPECrate_fp 92:5439 である。

2. 2 計算体系

核破碎中性子源の形状としては、ESS のターゲット・減速材・反射体集合体の概念⁵⁾を採用した。この集合体の鳥瞰図を図1に示す。図2にはターゲット・減速材の配置の概要を示す。また、表1には核破碎中性子源の主要部分の寸法を示す。核破碎中性子源各部の寸法の詳細については、図3～7に示す。

2. 2. 1 ターゲット

ターゲット部については、陽子ビームが入射する水冷タンタルターゲットを中心に、その両側にニッケル反射体部、さらに最外部に冷却水を循環させるパイプ部を配置して構成される。タンタルターゲット、ニッケル反射体及び冷却水循環パイプの寸法を表1に示す。これらのターゲット構成物は厚さ 1 cm の HT-9 (耐照射性に優れた高速炉用フェライト合金) 製の容器に収納される。ここで、タンタルターゲットとニッケル反射体には冷却水流路が設けられている。タンタルターゲットの発熱密度はビーム入射面付近が最も大きく、そこから徐々に減少する。このため、タンタルターゲットの組成はビーム入射方向に従ってタンタルと水の比率が 10 段階で変化するように設計されている。計算に用いたタンタル、ニッケル及び冷却水の原子数密度を表2に示す。また、ターゲット容器 (HT-9) の原子数密度を表3に示す。

2. 2. 2 減速材

減速材はターゲット上部と下部に 2 台ずつ、計 4 台が配置される構造とした。各々の減速材の寸法は表1に示す通りであり、これらはアルミニウム容器（上面と底面の厚さが 3.5 mm、側面の厚さが 3.0 mm）に収納される。ターゲット上部と下部に配置する減速材の中心間の距離は各々 25 cm とし、前段減速材とターゲット部の前面が揃うように配置した。また、タンタルターゲット表面と減速材の隙間は 1 cm とした。減速材で減速された中性子はビーム入射軸に対して 30°～150° の範囲で 8 方向に取り出すことを想定した。このため、ターゲット前部に置く減速材はビーム入射軸に対して 60°、ターゲット後部に置く減速材は 80° の角度で配置した。減速材物質としては、軽水と液体水素の 2 ケースを選択した。

2. 2. 3 反射体

反射体は金属ベリリウムであり、ターゲット部と減速材部を囲みこむ構造とした。反射体の外形寸法を表1に示す。反射体には減速材で減速された中性子を取り出すための中性子輸送管が挿入される空間として、ビーム入射軸に対して $30^\circ \sim 150^\circ$ の範囲で減速材が外側から見えるように空隙を設けている。空隙の周囲には厚さ 0.65 cm の炭化水素(B_4C)デカップラーを取り付ける構造とした。表4に B_4C デカップラーの数密度を示す。

実験施設では分光器等の検出器はターゲット・減速材・反射体集合体から離れた位置に設置されるので、これを模擬するために本計算では点検出器を減速材から 790 cm の位置に置き、中性子輸送管を通って放出される中性子だけを計数するようにした。図8にターゲットと検出器の位置関係を示す。

2. 3 計算方法

2. 3. 1 NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムによる計算

NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムにおける計算の流れを図9に示す。NMTC/JAERI コードは、高エネルギー陽子がターゲットに入射した場合の核破碎反応及び物質中の粒子輸送をモンテカルロ法によってシミュレーションする。核破碎反応については BERTINI により開発された核内カスケードモデル⁶⁾と DRESNER により開発された蒸発モデル⁷⁾により計算される。ここで、核分裂反応は蒸発過程との競合過程として取り扱われている。⁸⁾ 物質中の粒子輸送については、中性子の接続エネルギーを 20 MeV とし、荷電粒子の切断エネルギーを 2 MeV とした。NMTC/JAERI による計算の入力データと、ヒストリー集計用の入力データの例を図10、11に示す。ここで、減速材で減速された中性子を取り出すために反射体中に配置する中性子輸送管領域については、簡単のため、ベリリウム反射体が充填された体系とした。核破碎中性子の大部分はタンタルターゲット部で生成されるので、中性子輸送管領域にベリリウム反射体が充填したことが中性子発生数に与える影響はほとんどない。

次に、MCNP4A コードでは NMTC/JAERI による計算で得られた 20 MeV 以下の中性子の情報を外部線源として計算を行った。このとき、中性子輸送管領域については実際の配置を考慮した。MCNP4A による計算用に設定した体系の面番号と領域番号を図12～16に示す。ここで、丸囲みで示された数字は領域番号、数字だけのものは面番号を各々表す。MCNP4A で用いた核データは、JENDL Fusion File⁹⁾を基本とし、これに含まれていない核種については JENDL 3.2¹⁰⁾に収納されているデータを用いた。熱・冷中性子の輸送計算に必要な $S(\alpha, \beta)$ テーブルは THERX2 等の核データを用いた。輸送計算で考慮した粒子は中性子のみで、出力タリー用のエネルギー群の構造は $3.10 \times 10^5 \sim 2.00 \times 10^7$ eV の範囲で 36 群とした。各群のエネルギー境界値を表5に示す。また、図17には MCNP4A の入力データ例を示す。

2. 3. 2 半実験式によるフィッティング

NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムによる計算結果から熱・冷中性子スペクトル特性を評価するためにフィッティングを行った。軽水によって減速される中性子のエネルギースペクトル $\varphi(E)$ は次のような半実験式で表現できることが報告されている。¹¹⁾

$$E\varphi(E) = E\varphi_{th}(E) + \Delta(E)\varphi_{epi}(E) \quad (1)$$

$$E\varphi_{th}(E) = J \left(\frac{E}{E_T} \right)^2 e^{-\frac{E}{E_T}} \quad (2)$$

$$E\varphi_{epi}(E) = \varphi_{lev} \left(\frac{E}{1 \text{eV}} \right)^\alpha \quad (3)$$

$$\Delta(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(\frac{a}{\sqrt{E}} - b)}{}} \quad (4)}$$

ここで、 $\varphi_{th}(E)$ は熱平衡スペクトル、 $\varphi_{epi}(E)$ は減速領域のスペクトルである。 φ_{lev} は 1 eV での減速中性子束、 J はマックスウェル分布中性子のエネルギー積分、 E_T は特性温度を各々意味する。これらの値はフィッティングによって決定される。また、減速領域のスペクトルを形を決めるパラメータ α についてもフィッティングによって求められる。体系が理想的な無限大媒質であれば、 $\alpha = 0$ となり、減速領域のスペクトルは $1/E$ に比例する分布となる。 $\Delta(E)$ は接続関数と呼ばれており、 a, b の値はフィッティングによって決定される。

一方、液体水素によって減速される中性子のエネルギースペクトルについては、以下に示す半実験式で表現できることが報告されている。¹¹⁾

$$\varphi(E) = \varphi_{th}(E) + \theta_{cut}(E)\varphi_{epi}(E) \quad (5)$$

$$\varphi_{th}(E) = J \frac{E}{E_T^2} e^{-\frac{E}{E_T}} \quad (6)$$

$$\theta_{cut}(E) = 1 - e^{-x} (1 + x + 0.5x^2) \quad (7)$$

$$x = \begin{cases} 0 & E < E_{cut} \\ \beta(E - E_{cut}) & E \geq E_{cut} \end{cases}$$

$$\varphi_{epi}(E) = \rho(E) \frac{\varphi_{lev}}{E} \left(\frac{E}{1 \text{eV}} \right)^\alpha \quad (8)$$

$$\rho(E) = 1 + \delta e^{-y} (1 + y + 0.5y^2) \quad (9)$$

$$y = \begin{cases} 0 & E < E_p \\ \gamma(E - E_p) & E \geq E_p \end{cases}$$

この場合、熱平衡成分及び減速領域のスペクトルについては、軽水による減速中性子スペクトルと同様の式で記述されるが、接続関数 $\theta_{cu}(E)$ の形が変わる。これに伴って、フィッティングによって決定されるパラメータとして a, b, α の他に、 $E_{cu}, E_p, \beta, \gamma$ 及び δ が導入される。

2. 4 計算項目

今回の検討では、タンタルターゲット内で蒸発スペクトルを有する中性子を発生させ、これを外部中性子線源として減速材から放出される中性子スペクトルに対するデカップラーの効果、減速材物質依存性を調べた。また、タンタルターゲット内における中性子の発生位置の変化に対応したスペクトル強度の変化についても調べた。さらに、1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に放出される中性子のエネルギースペクトルも計算した。これらの計算において使用した外部中性子線源の種類、減速材、デカップラー等の組み合わせの条件を表 6 に示す。

2. 4. 1 デカップラーの効果

中性子散乱実験では、時間分解能を向上させるため中性子放出パルスが短く整っていることが必要な場合がある。デカップラーは反射体で散乱し減速した熱中性子を吸収することにより、中性子放出パルスの時間的に長く継続するテール部分を切る役目をする。ただし、熱中性子が吸収されるために中性子の全放出強度はデカップラーをつけることにより減少する。

デカップラーを付けた場合と付けない場合の中性子強度の比がある値より小さくなるとき、このエネルギー E をカットオフエネルギーと呼ぶ。デカップラーをつけた場合の中性子強度を I 、つけない場合の強度を I_0 とすると、この比は ^{10}B の吸収断面積 σ_a を用いて次のように表される。

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-N \sigma_a x) \quad (10)$$

ここで、 N は ^{10}B の原子数密度 (個/cm³)、 x はデカップラーの厚さ (cm) である。本計算では $I/I_0 = 0.01$ となるエネルギーをカットオフエネルギーとした。中性子は主に ^{10}B で吸収されるため、 ^{10}B の原子数密度として $N = 2.1689 \times 10^{22}$ (個/cm³)、デカップラーの厚さ $x = 0.65$ (cm) を用いると、この場合の吸収断面積の値は $\sigma_a = 327$ (barn) となる。JENDL 3.2

の断面積データによると、 $\sigma_a = 327$ (barn) となる中性子エネルギーは約 3.5 eV である。即ち、カットオフエネルギー 3.5 eV である。

ここでは、デカップラーを付けた場合と付けない場合について計算を行い、デカップラーの有無による放出中性子強度の変化、放出中性子時間スペクトルのテール部分の変化を調べた。この場合の外部中性子線源はタンタルターゲット内で一様に分布する平均エネルギー 2.2 MeV の蒸発スペクトルとした。

2. 4. 2 減速材物質依存性

核破碎中性子源では種々のエネルギーの中性子を得て各々の特徴に応じた中性子散乱実験を行う。熱中性子を得るために常温の軽水減速材、冷中性子を得るために 20 K の液体水素減速材を各々設置した。十分に広い体系内で減速した中性子のエネルギースペクトルは Maxwell 分布で近似できるため、最確エネルギー E_T は $E_T = kT$ で与えられる。ここで、 k は Boltzmann 定数、 T は絶対温度である。ここで、絶対温度として、軽水減速材の場合は 293.5 K、液体水素減速材の場合は 20 K を代入して最確エネルギーを求めるとき、その値は各々 25 meV、1.7 meV となる。

軽水減速材を用いた場合と液体水素減速材を用いた場合について、NMTC/JAER-MCNP4A コードシステムを用いた計算を行い、エネルギースペクトルのピーク位置を確認をした。この場合の外部中性子線源もタンタルターゲット内で一様に分布する蒸発スペクトルとした。

2. 4. 3 外部中性子線源位置による放出中性子強度の変化

タンタルターゲットで発生した中性子は、発生点から減速材位置まで輸送されたのち、減速材で減速され熱・冷中性子として放出される。したがって、中性子の発生点が減速材から遠くなると減速材へ流入する中性子数が減少するため放出中性子強度が弱くなる。ここでは、中性子の発生点を変化させた場合に、減速材から放出される中性子の強度がどの程度変化するかを調べた。この場合の外部中性子線源として、タンタルターゲット内の限定された位置で発生する蒸発スペクトルを仮定した。

2. 4. 4 1.5 GeV 陽子入射の場合の放出中性子強度

中性子科学研究計画における核破碎ターゲットでは 1.5 GeV の陽子を入射して中性子を発生させることを想定している。この場合、ターゲットで発生する中性子は入射面近傍にピークを有するポアソン分布的な強度分布となることが知られている。また、中性子のエネルギースペクトルも蒸発スペクトルよりも硬い分布となる。ここでは、陽子入射により発生する 20 MeV 以下の中性子の位置、エネルギー及び放出角度を NMTC/JAERI コードを用いて計算し、その結果を MCNP4A コードの外部中性子線源として入力し中性子輸送計算を行い、減速される中性子のエネルギースペクトルを求め、ピークの位置を確認した。

3. 結果及び考察

MCNP4Aコードを用いた中性子輸送計算で得られた放出中性子のエネルギースペクトル計算結果の例を表7に示す。また、MCNP4Aコードによる計算条件と計算時間の結果を表8に、NMTC/JAERIコードによる計算時間を表9に示す。

3. 1 デカップラーの効果

デカップラーの効果は軽水減速材を使用した場合について計算を行った。デカップラーを付けた場合と付けない場合のエネルギースペクトル計算値を図18に示す。図20には、単位レサジー当たりのエネルギースペクトルを示す。これらの図から、デカップラーを付けることによりカットオフエネルギー以下の中性子数が少なくなること、熱エネルギー以上の中性子はエネルギーの増加とともにほぼ $1/E$ に比例して減少することがわかる。ここで、図18の結果で熱平衡成分に着目して(2)式によるフィッティングを行った結果を表10及び図19に示す。フィッティングの結果得たJ値の比較により、デカップラーを付けない場合にカットオフエネルギー3.5 eV以下の中性子強度がデカップラーを付けた場合よりも約4倍大きくなることがわかる。また、デカップラーの有無による中性子放出時間スペクトルを図21に示す。今回の計算ではスペクトル形状の変化が確認できるほどの統計量がないため、デカップラーを付けることによりテール部分が少なくなることを確認することはできなかつた。

3. 2 減速材物質依存性

中性子エネルギースペクトルの減速材物質依存性はデカップラーを付けた条件で計算を行った。軽水減速材を用いた場合と液体水素減速材を用いた場合の放出中性子エネルギースペクトルを各々図22及び図23に示す。図24と図25には単位レサジー当たりに規格化した中性子エネルギースペクトルを示す。ここで、図22と図23では、中性子スペクトルの熱平衡成分と減速成分について、2.3.2項に記した半実験式によってフィッティングした結果も示す。フィッティングによって求めたパラメータ値については表11と表12に示す。これらの結果から、放出中性子スペクトルの特性温度は軽水減速材を用いた場合は35 meV程度、液体水素減速材を用いた場合は4.4 meV程度であることがわかる。これらの値はMaxwell分布を仮定して予測される25 meV(常温)、1.7 meV(20K)よりもいくらか高い温度である。減速領域のスペクトルの勾配を示すパラメータ α は軽水減速材の場合にも液体水素減速材の場合にも0.10前後の正の値となっている。したがって、減速領域の中性子スペクトルは $1/E$ よりも幾分緩やかな勾配を持つ。この特徴は単位レサジー当たりに規格化した中性子エネルギースペクトルの結果図からも伺える。これは、ターゲット・減速材・反射体集合体は熱・冷中性子を取り出すための中性子輸送管用の空隙を有し、漏れが多い体系となっていることに起因する。

表11と表12において、フィッティングから求めたJ値について検出器の配置位置に

よって違いが見られる。減速材から放出される中性子強度の放出角度による違いについては、次の関係で表せる。¹²⁾

$$I_\theta = \frac{1 + \sqrt{3}}{1 + \sqrt{3} \cos\theta} I_0 \quad (11)$$

ここで、 I_0 は減速材表面から垂直方向に放出される中性子の強度、 θ は減速材表面の法線方向に対する放出角度を表す。本計算の場合、図 8 に示すように、45°、60° 及び 150° 方向の検出器はターゲット前部に置いた減速材から放出される中性子を検出し、90° 方向についてはターゲット後部の減速材からの中性子検出する。ここでは、45°、60° 及び 150° 方向の中性子強度 J 値について (11) 式による規格化を適用する。ターゲット前部に置いた減速材が入射ビーム軸に対して 30° 傾いていることを考慮して、各々検出器位置方向の角度を法線方向に対する角度に換算して規格化した結果を表 13 に示す。規格化した中性子強度は角度間で幾分差があるものの概ね一致する。

検出器の位置によって中性子スペクトルの特性温度や規格化した中性子強度にはばらつきが生じた理由としては、ピーク位置付近でもまだ 10 ~ 20 % の統計誤差があること（表 7 参照）、及び、スペクトルの算出時に用いたエネルギー間隔が必ずしも十分に細かくないので（表 5 参照）フィッティングに用いたデータ数が十分でないことがフィッティング結果に敏感に影響したことが挙げられる。しかしながら、上記した結果を用いて減速材から放出される中性子スペクトルの特性がわかる。したがって、MCNP4A コードを熱・冷エネルギー領域の中性子輸送計算に適用できると結論づけられる。

3. 3 外部中性子線源位置による放出中性子強度の変化

減速材として軽水を用い、デカップラーを付けた体系において、中性子の発生位置をターゲット前部に置いた減速材の直下、ターゲット後部に置いた減速材の直下（前段減速材の 25 cm 後方）及び後段減速材の 25 cm 後方とした計算結果として、図 26 にターゲット前部に置いた減速材から放出される中性子のエネルギースペクトルを、図 27 にターゲット後部に置いた減速材から放出される中性子のエネルギースペクトルを各々示す。外部中性子線源位置が減速材の直下より 25 cm 離れると中性子強度が 7 ~ 8 分の 1 になる。また、50 cm 離れた場合はスペクトル形状が異なっているように見えるが、これは統計誤差が大きいことによると思われる。統計量を上げた計算を行うことによって、スペクトル形状の一一致が得られると思われる。この結果は、放出中性子強度を強くするために減速材の位置を中性子発生量の多い部位に置かなければならぬという実験結果¹³⁾を裏付けている。このことは、実際の陽子入射の場合の中性子発生分布を用いれば MCNP4A コードを用いて減速材位置の最適化を行うことができることを示している。

3. 4 1.5 GeV 陽子入射の場合の放出中性子強度

1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に発生する核破碎中性子空間分布を図 28 に示す。図 29 には発生中性子のエネルギー分布を示す。ここで、発生中性子の平均エネルギーは 2.6 MeV である。NMTC/JAERI コードによる中性子発生情報を MCNP4A コードに入力して計算を行った場合の放出中性子のエネルギースペクトルを図 30 ~ 33 に示す。ここで、図 32 と図 33 は単位レサジー当たりに規格化したエネルギースペクトルである。図 30 と図 31 には、2.3.2 項に記した半実験式によってフィッティングした結果も示す。フィッティングによって求めたパラメータ値については表 14 と表 15 に示す。これらの結果から、放出中性子スペクトルの特性温度は軽水減速材を用いた場合は 35 meV 程度、液体水素減速材を用いた場合は 4.0 meV 程度であることがわかる。これらの値は Maxwell 分布を仮定して予測される 25 meV (常温)、1.7 meV (20K) よりもいくらか高い温度であり、蒸発スペクトルを仮定した計算の場合と同様の傾向にある。ターゲット・減速材・反射体集合体が漏れの多い体系であるために、減速領域のスペクトルの勾配を示すパラメータ α は軽水減速材の場合にも液体水素減速材の場合にも 0.15 程度の正の値となっている。この計算でフィッティングで使用したパラメータのうち、 J 値、 ϕ_{1eV} 値等の絶対値を決定するもの以外で、スペクトルの形状を決めるパラメータについては、蒸発スペクトルを仮定した場合の結果と大きな差異はないが、計算結果を良く再現している。したがって、核破碎中性子によって発生する線源中性子のスペクトルが幾分異なっていることは熱・冷中性子領域には影響しないと言える。

核破碎中性子源の強度を示す指標として、 J 値を単位入射電流値及び単位放出立体角当たりに規格化し、(1/cm²/s/sr/μA) の単位で表した値が用いられる。90° 方向の中性子強度をこの単位に規格化すると、NMTC/JAERI コードによる計算からタンタルターゲットでは 1.5 GeV 陽子 1 個当たり 31 個の中性子が発生するとの結果が得られているので、軽水減速材の場合の熱中性子強度は 1.1×10^9 (n/cm²/s/sr/μA)、液体水素減速材の場合の冷中性子強度は 3.4×10^8 (n/cm²/s/sr/μA) となる。実際の設計では、この中性子強度値ができるだけ大きくなるように、減速材の配置位置等を最適化することが課題である。

3. 5 放出中性子の時間スペクトル

核破碎中性子源を設計する場合に、放出中性子の時間スペクトルについても考慮する必要がある。図 34、35 に液体水素減速材と軽水減速材を用いた場合の時間スペクトルの計算例を各々示す。図 34 から、液体水素減速材の場合、幅が数百 μsec のパルスが取り出されるとする。しかしながら、統計量が少ないためはっきりとしたスペクトル形状の確認はできない。また、約 1500 μsec 経過した時点に中性子が観測されている。これは他の減速材又は反射体部を通過して時間的に遅れて検出器位置に到達した中性子を計数している結果と考えられる。これに対して、軽水減速材の場合の時間スペクトルは比較的明瞭な形をしている。しかしながら、パルス幅が msec に近いくらい長い。軽水の場合の熱中性子は 100~200 μsec 程度のパルス幅になることが知られているので¹³⁾、今回の計算では、他の減速材又は反

射体部を通過して時間的に遅れて検出器位置に到達した中性子を重複して計数していることが長いパルス幅になった原因と考えられる。したがって、今後の計算では、デカップラー部、反射体部に適当なインポータンスを設定して、回り込みの中性子を重複して計数しないように工夫する必要がある。

今回の計算の統計誤差から判断して、十分な統計誤差で結果を得るためにには計算時間を10倍程度長くしなければならない。しかしながら、時間間隔の取り方を広くするなど観測条件を幾らか緩めることによって、計算時間の伸びを2～5倍程度に抑えることができる可能性がある。特に液体水素減速材の場合は時間スペクトルのテールが長くなるため、この方法は有用であると思われる。

4.まとめ

ESS の設計で検討されたターゲット・減速材・反射体集合体の概念に基づいた核破碎中性子源について、NMTC/JAERI と MCNP4A の二つの計算コード用の入力データを作成し、減速材から放出される中性子のエネルギースペクトル、時間スペクトルの計算を行い、次の事を確認した。

- 1) デカップラーを取り付けることによって、カットオフエネルギー以下では中性子強度が少なくなり、カットオフエネルギー以上では、エネルギースペクトルがエネルギーの増加とともに $E^{-0.85} \sim E^{-0.90}$ の勾配で減少する。
- 2) 放出中性子のエネルギースペクトルのピーク位置が、与えられた寸法の軽水減速材の場合は 35 meV 付近、液体水素減速材の場合は 4 meV 付近となり、無限体系におけるエネルギー最確値よりもやや大きい。
- 3) 中性子の発生位置が減速材より遠くなるほど中性子強度が弱くなる。
- 4) 中性子放出時間スペクトルの計算は数週間かかるが、時間幅を広げることにより 2~3 倍速く計算できる可能性がある。この場合、デカップラー部、反射体部に適当なインポータンスを設定して、回り込みの中性子を重複して計数しないように工夫する必要がある。
- 5) 熱・冷中性子エネルギースペクトルの計算結果を実験結果に基づく半実験式を用いてフィッティングして得られた特性温度、減速領域の勾配等のパラメータの値は物理的に妥当な値であった。

以上のことから、NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムを今後の核破碎中性子源の設計に適用できること結論付けられる。

謝　　辞

本計算は原子炉工学部粒子線利用研究室（現・中性子科学研究中心・粒子線工学研究室）の平成 8 年度夏期実習テーマとして実施された。実習テーマの実施に当たり、安田秀志室長に頂いた御指導に感謝致します。MCNP4A コードの利用については、高エネルギー中性子研究室の前川藤夫氏及び住友原子力工業（株）の小迫和明氏から貴重な助言、ご協力を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

4.まとめ

ESS の設計で検討されたターゲット・減速材・反射体集合体の概念に基づいた核破碎中性子源について、NMTC/JAERI と MCNP4A の二つの計算コード用の入力データを作成し、減速材から放出される中性子のエネルギースペクトル、時間スペクトルの計算を行い、次の事を確認した。

- 1) デカップラーを取り付けることによって、カットオフエネルギー以下では中性子強度が少なくなり、カットオフエネルギー以上では、エネルギースペクトルがエネルギーの増加とともに $E^{-0.85} \sim E^{-0.90}$ の勾配で減少する。
- 2) 放出中性子のエネルギースペクトルのピーク位置が、与えられた寸法の軽水減速材の場合は 35 meV 付近、液体水素減速材の場合は 4 meV 付近となり、無限体系におけるエネルギー最確値よりもやや大きい。
- 3) 中性子の発生位置が減速材より遠くなるほど中性子強度が弱くなる。
- 4) 中性子放出時間スペクトルの計算は数週間かかるが、時間幅を広げることにより 2~3 倍速く計算できる可能性がある。この場合、デカップラー部、反射体部に適当なインポータンスを設定して、回り込みの中性子を重複して計数しないように工夫する必要がある。
- 5) 熱・冷中性子エネルギースペクトルの計算結果を実験結果に基づく半実験式を用いてフィッティングして得られた特性温度、減速領域の勾配等のパラメータの値は物理的に妥当な値であった。

以上のことから、NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムを今後の核破碎中性子源の設計に適用できると結論付けられる。

謝　　辞

本計算は原子炉工学部粒子線利用研究室（現・中性子科学研究中心・粒子線工学研究室）の平成 8 年度夏期実習テーマとして実施された。実習テーマの実施に当たり、安田秀志室長に頂いた御指導に感謝致します。MCNP4A コードの利用については、高エネルギー中性子研究室の前川藤夫氏及び住友原子力工業（株）の小迫和明氏から貴重な助言、ご協力を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Prael R. E., Lichtenstein H.: "Users Guide to LCS: The LAHET Code System", LA-UR-89-3014, (1989).
- 2) Cloth P., Filges D., Neef R. D., Sterzenbach G., Reul Ch., Armstrong T. W., Colborn B. L., Anders B., Brückmann H.: "HERMES A Monte Carlo Program System for Beam Materials Interaction Studies", Jü1-2203, (1988).
- 3) 中原 康明、筒井 恒夫：“高エネルギー核反応及び核子・中間子輸送シミュレーションコードシステム NMTC/JAERI”, JAERI-M 82-198, (1982).
- 4) Briesmeister J. F. (Ed.) : MCNP A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4A, LA-12625, (1993).
- 5) Filges D., Neef R. D., Schaal H.: "Nuclear Studies of Different Target Systems for The European Spallation Source (ESS)", Joint Proc. of the 13th Mtg. Oof the Int. Collaboration on Advanced Neutron Sources held at Paul Scherrer Institute, Oct. 11-14, 1995 and 4th Plenary Mtg. Oof the European Spallation Source Project, ESS held at Weinfelden, Oct. 16-19, 1995, PSI-Proceedings 95-02, 537 (1995).
- 6) Bertini H. W. : Phys. Rev., 188, 1711 (1969).
- 7) Dresner L. W. : "EVAP - A Fortran Program for Calculating the Evaporation of Various Particles from Excited Compound Nuclei", ORNL-TM-196 (1962).
- 8) Nakahara Y. : J. Nucl. Sci. Technol., 20, 511 (1983).
- 9) Chiba S., Yu B., Fukahori T. : "Evaluation of JENDL Fusion File", Proc. of the 1991 Symp. on Nucl. Data, Nov. 28-29, 1991, JAERI, Tokai, Japan, JAERI-M 92-027, pp. 35-44 (1992).
- 10) Shibata K., Nakagawa T., Asami T., Fukahori T., Narita T., Chiba S., Mizumoto M., Hasegawa A., Kikuchi Y., Nakajima Y., Igarasi S. : " Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3 -JENDL-3-", JAERI-1319, (1990); Nakagawa T., Shibata K., Chiba S., Fukahori T., Nakajima Y., Kikuchi Y., Kawano T., Kanda Y., Ohsawa T., Matsunobu H., Kawai M., Zukeran A., Watanabe T., Igarasi S., Kosako K., Asami T.: J. Nucl. Sci. Technol., 32, 1259 (1995).
- 11) Ferguson P. D., Russell G. J., Pitcher E. J. : "Reference Moderator Calculated Performance for The LANSCE Upgrade Project", pp. 510-517, in Ref. 5.
- 12) Carpenter J. M., Marmer G. J. : "Evaluation of the ZGS Injector-Booster as an Instense Neutron Generator", Appendix C, ANL/SSS-72-1 (1972).
- 13) 鬼柳 善明：“高性能スポレーションパルス中性子源の中性子工学に関する研究”、北海道大学博士論文、(1993).

表1 核破碎中性子源各部の主要寸法

部 位	寸 法			備 考
	縦	横	長さ	
ターゲット部				
タンタルターゲット	14 cm	14 cm	69 cm	
ニッケル反射体	14 cm	13 cm	69 cm	
冷却水循環パイプ	14 cm	10 cm	69 cm	
減速材部				
(軽水又は液体水素)	10 cm	10 cm	5 cm	アルミニウム容器に 収納
反射体部				
(金属ベリリウム)	90 cm	80 cm	105 cm	

表2 計算に用いたタンタル、ニッケル及び水の数密度 [cm⁻³]

タンタルターゲット部			
領域番号	Ta	H	O
1	4.288 x 10 ²²	1.496 x 10 ⁻²²	7.481 x 10 ⁻²¹
2	4.420 x 10 ²²	1.337 x 10 ⁻²²	6.683 x 10 ⁻²¹
3	4.526 x 10 ²²	1.208 x 10 ⁻²²	6.039 x 10 ⁻²¹
4	4.615 x 10 ²²	1.102 x 10 ⁻²²	5.508 x 10 ⁻²¹
5	4.751 x 10 ²²	9.368 x 10 ⁻²¹	4.684 x 10 ⁻²¹
6	4.861 x 10 ²²	8.019 x 10 ⁻²¹	4.010 x 10 ⁻²¹
7	5.009 x 10 ²²	6.226 x 10 ⁻²¹	3.113 x 10 ⁻²¹
8	5.022 x 10 ²²	6.082 x 10 ⁻²¹	3.038 x 10 ⁻²¹
9	5.051 x 10 ²²	5.730 x 10 ⁻²¹	2.865 x 10 ⁻²¹
10	5.098 x 10 ²²	5.142 x 10 ⁻²¹	2.571 x 10 ⁻²¹
ニッケル反射体部			
領域番号	Ni	H	O
13	7.045 x 10 ²²	1.496 x 10 ²²	7.481 x 10 ²¹
14	7.026 x 10 ²²	1.337 x 10 ²²	6.683 x 10 ²¹
15	7.441 x 10 ²²	1.208 x 10 ²²	6.039 x 10 ²¹
16	7.582 x 10 ²²	1.102 x 10 ²²	5.508 x 10 ²¹
17	7.806 x 10 ²²	9.368 x 10 ²¹	4.684 x 10 ²¹
18	7.990 x 10 ²²	8.019 x 10 ²¹	4.010 x 10 ²¹
19	8.234 x 10 ²²	6.226 x 10 ²¹	3.113 x 10 ²¹
20	8.255 x 10 ²²	6.082 x 10 ²¹	3.038 x 10 ²¹
21	8.302 x 10 ²²	5.730 x 10 ²¹	2.865 x 10 ²¹
22	8.381 x 10 ²²	5.142 x 10 ²¹	2.571 x 10 ²¹

表3 計算に用いた HT-9 の数密度

核 種	数密度 [cm ⁻³]
Fe	7.058 x 10 ²²
Ni	3.962 x 10 ²⁰
Cr	1.073 x 10 ²²
C	7.745 x 10 ¹⁹
Mo	4.848 x 10 ²⁰
Mn	4.233 x 10 ²⁰
Si	6.624 x 10 ²⁰
W	1.265 x 10 ²⁰
V	3.013 x 10 ²⁰

表4 計算に用いた B₄C の数密度

核 種	数密度 [cm ⁻³]
¹⁰ B	2.190 x 10 ²²
¹¹ B	8.730 x 10 ²²
¹² C	1.199 x 10 ²²

表5 計算に用いたエネルギー群構造

群番	エネルギー 境界値 (eV)	群番	エネルギー 境界値(MeV)	群番	エネルギー 境界値(MeV)
1	2.0 x 10 ⁷	14	1.28 x 10 ⁰	27	9.38 x 10 ⁻³
2	1.69 x 10 ⁷	15	8.76 x 10 ⁻¹	28	5.98 x 10 ⁻³
3	4.72 x 10 ⁷	16	6.02 x 10 ⁻¹	29	3.33 x 10 ⁻³
4	1.05 x 10 ⁶	17	4.14 x 10 ⁻¹	30	1.47 x 10 ⁻³
5	1.83 x 10 ⁵	18	3.42 x 10 ⁻¹	31	8.89 x 10 ⁻⁴
6	5.25 x 10 ⁵	19	2.77 x 10 ⁻¹	32	5.39 x 10 ⁻⁴
7	1.50 x 10 ⁴	20	2.19 x 10 ⁻¹	33	3.52 x 10 ⁻⁴
8	5.53 x 10 ³	21	1.67 x 10 ⁻¹	34	1.47 x 10 ⁻⁴
9	5.83 x 10 ²	22	1.23 x 10 ⁻¹	35	8.89 x 10 ⁻⁵
10	1.30 x 10 ²	23	8.53 x 10 ⁻²	36	5.39 x 10 ⁻⁵
11	2.90 x 10 ¹	24	5.45 x 10 ⁻²		3.10 x 10 ⁻⁵
12	6.48 x 10 ⁰	25	3.06 x 10 ⁻²		
13	1.86 x 10 ⁰	26	1.35 x 10 ⁻²		

表6 热・冷中性子輸送計算問題の概要

番号	条件	物質	入力ファイル名	出力ファイル名	備考
1	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	Ess1.inp	ESS1.out	JENDL-FF データを使用
2	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O なし Ta ターゲット内 蒸発スペクトル		ESS2.out	時間スペクトルは計算していない
3	Moderator Decoupler 線源	LH ₂ (ortho) B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	Ess3.inp	ESS3.out	meV 以下のエネルギー構造が荒い
4	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O なし Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	Ess2.inp	ESS2R.out	
5	Moderator Decoupler 線源	LH ₂ (ortho) B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	Ess4.inp	ESS4.out	時間スペクトルは計算していない
6	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C $z = 23.5 \pm 1 \text{ cm}$ で 蒸発スペクトル	Ess5.inp	ESS5.out	線源位置は前段減速材中心位置に相当

表 6 熱・冷中性子輸送計算問題の概要 (つづき)

番号	条件	物質	入力ファイル名	出力ファイル名	備考
7	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C $z = 46.5 \pm 1 \text{ cm}$ で 蒸発スペクトル	Ess6.inp	ESS6.out	線源位置は後 段減速材中心 位置に相当
8	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C $z = 73.5 \pm 1 \text{ cm}$ で 蒸発スペクトル	Ess7.inp	ESS7.out	
9	Moderator Decoupler 線源	LH ₂ (ortho) B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	Ess8.inp	ESS8.out	ケース 3 及び 5 の再計算
10	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射 に よる中性子分布	Ess9.inp	ESS9.out	JENDL-FF によ る Be のデータ の不都合か? 途中終了
11	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射 に よる中性子分布	Ess10.inp	ESS10.out	JENDL-FF から JENDL-3.2 に データを変更
12	Moderator Decoupler 線源	LH ₂ (ortho) B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射 に よる中性子分布	Ess11.inp	ESS11.out	JENDL-3.2 データを使用

表7 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射させた場合に減速材から放出される 20 MeV 以下の中性子エネルギースペクトル計算結果

Lower Energy(eV)	Upper Energy (eV)	45°		60°	
		Spectrum (/eV/cm ² /S.n.)	Error	Spectrum (/eV/cm ² /S.n.)	Error
3.10E-05	5.39E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.39E-05	8.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
8.89E-05	1.47E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.47E-04	3.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3.52E-04	5.39E-04	1.85E-20	1.85E-20	2.71E-11	2.71E-11
5.39E-04	8.89E-04	8.60E-09	8.58E-09	1.08E-09	1.03E-09
8.89E-04	1.47E-03	5.70E-10	5.23E-10	3.97E-10	1.95E-10
1.47E-03	3.33E-03	2.01E-09	6.05E-10	8.11E-10	2.63E-10
3.33E-03	5.98E-03	3.20E-09	9.15E-10	3.42E-09	1.06E-09
5.98E-03	9.38E-03	4.65E-09	9.40E-10	3.47E-09	8.28E-10
9.38E-03	1.35E-02	7.11E-09	1.14E-09	5.99E-09	1.09E-09
1.35E-02	3.06E-02	1.17E-08	1.49E-09	7.51E-09	8.17E-10
3.06E-02	5.45E-02	1.06E-08	1.10E-09	8.35E-09	7.67E-10
5.45E-02	8.53E-02	7.66E-09	7.17E-10	6.44E-09	5.90E-10
8.53E-02	1.23E-01	4.10E-09	4.68E-10	4.36E-09	5.75E-10
1.23E-01	1.67E-01	1.86E-09	2.89E-10	1.77E-09	2.76E-10
1.67E-01	2.19E-01	7.87E-10	1.16E-10	1.08E-09	1.90E-10
2.19E-01	2.77E-01	8.33E-10	1.85E-10	4.54E-10	8.24E-11
2.77E-01	3.42E-01	3.91E-10	7.83E-11	4.05E-10	7.74E-11
3.42E-01	4.14E-01	4.60E-10	1.15E-10	4.25E-10	1.18E-10
4.14E-01	6.02E-01	3.61E-10	7.05E-11	3.34E-10	5.22E-11
6.02E-01	8.76E-01	2.54E-10	4.92E-11	2.97E-10	6.02E-11
8.76E-01	1.28E+00	2.32E-10	6.00E-11	1.39E-10	2.20E-11
1.28E+00	1.86E+00	9.18E-11	1.98E-11	1.19E-10	2.00E-11
1.86E+00	6.48E+00	5.38E-11	8.48E-12	5.26E-11	5.64E-12
6.48E+00	2.90E+01	1.48E-11	1.33E-12	1.45E-11	1.32E-12
2.90E+01	1.30E+02	3.63E-12	2.89E-13	3.94E-12	3.28E-13
1.30E+02	5.83E+02	1.02E-12	7.23E-14	8.73E-13	6.70E-14
5.83E+02	5.53E+03	1.44E-13	8.94E-15	1.42E-13	9.92E-15
5.53E+03	1.50E+04	3.29E-14	2.99E-15	3.19E-14	2.87E-15
1.50E+04	5.25E+04	1.13E-14	8.83E-16	9.73E-15	8.33E-16
5.25E+04	1.83E+05	3.97E-15	2.88E-16	3.85E-15	2.96E-16
1.83E+05	1.05E+06	7.83E-16	5.18E-17	8.60E-16	5.06E-17
1.05E+06	4.72E+06	7.53E-17	6.28E-18	8.17E-17	7.51E-18
4.72E+06	1.69E+07	1.36E-17	1.36E-18	7.93E-18	8.59E-19
1.69E+07	2.00E+07	5.58E-18	1.44E-18	6.37E-18	1.53E-18

表 7 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射させた場合に減速材から放出される 20 MeV 以下の中性子エネルギースペクトル計算結果 (つづき)

Lower Energy (eV)	Upper Energy (eV)	90°		150°	
		Spectrum (/eV/cm ² /S.n.)	Error	Spectrum (/eV/cm ² /S.n.)	Error
3.10E-05	5.39E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.39E-05	8.89E-05	3.36E-34	3.36E-34	0.00E+00	0.00E+00
8.89E-05	1.47E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.47E-04	3.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3.52E-04	5.39E-04	9.21E-10	9.21E-10	6.69E-24	6.69E-24
5.39E-04	8.89E-04	4.50E-11	4.50E-11	0.00E+00	0.00E+00
8.89E-04	1.47E-03	3.71E-10	2.59E-10	6.16E-11	5.48E-11
1.47E-03	3.33E-03	6.94E-10	2.11E-10	5.63E-10	2.21E-10
3.33E-03	5.98E-03	2.90E-09	8.71E-10	1.44E-09	4.48E-10
5.98E-03	9.38E-03	4.67E-09	9.08E-10	2.27E-09	5.01E-10
9.38E-03	1.35E-02	7.40E-09	1.24E-09	5.63E-09	1.07E-09
1.35E-02	3.06E-02	8.25E-09	8.31E-10	6.93E-09	8.20E-10
3.06E-02	5.45E-02	1.21E-08	1.20E-09	8.80E-09	8.31E-10
5.45E-02	8.53E-02	7.02E-09	7.32E-10	5.95E-09	6.22E-10
8.53E-02	1.23E-01	3.19E-09	3.54E-10	3.15E-09	3.58E-10
1.23E-01	1.67E-01	1.39E-09	1.99E-10	1.33E-09	1.68E-10
1.67E-01	2.19E-01	1.05E-09	1.75E-10	9.78E-10	2.06E-10
2.19E-01	2.77E-01	6.18E-10	1.11E-10	5.88E-10	1.02E-10
2.77E-01	3.42E-01	3.28E-10	7.71E-11	3.69E-10	1.33E-10
3.42E-01	4.14E-01	2.91E-10	6.58E-11	1.47E-10	3.43E-11
4.14E-01	6.02E-01	2.16E-10	3.28E-11	2.59E-10	5.17E-11
6.02E-01	8.76E-01	1.94E-10	3.88E-11	1.92E-10	3.90E-11
8.76E-01	1.28E+00	1.51E-10	2.99E-11	1.47E-10	2.56E-11
1.28E+00	1.86E+00	1.54E-10	3.42E-11	1.05E-10	2.05E-11
1.86E+00	6.48E+00	4.44E-11	4.77E-12	4.06E-11	4.47E-12
6.48E+00	2.90E+01	1.16E-11	1.10E-12	1.34E-11	1.28E-12
2.90E+01	1.30E+02	3.05E-12	2.74E-13	2.79E-12	2.57E-13
1.30E+02	5.83E+02	7.58E-13	6.18E-14	8.10E-13	7.41E-14
5.83E+02	5.53E+03	1.22E-13	9.10E-15	1.12E-13	9.17E-15
5.53E+03	1.50E+04	2.73E-14	3.04E-15	3.38E-14	3.30E-15
1.50E+04	5.25E+04	9.33E-15	8.50E-16	9.62E-15	9.59E-16
5.25E+04	1.83E+05	2.90E-15	2.13E-16	3.55E-15	2.86E-16
1.83E+05	1.05E+06	7.31E-16	4.52E-17	8.48E-16	5.18E-17
1.05E+06	4.72E+06	6.61E-17	5.85E-18	9.35E-17	8.91E-18
4.72E+06	1.69E+07	8.02E-18	1.13E-18	9.58E-18	1.32E-18
1.69E+07	2.00E+07	5.81E-18	1.46E-18	3.76E-18	9.95E-19

表8 主な計算ケースに対するMCNP4Aコードによる計算時間

番号	項目	計算条件	入射中性子数	計算時間 ()内はソース中 性子1個当たり
1	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	100,000	540 min (0.323 sec)
2	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O なし Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	100,000	621 min (0.393 sec)
3	Moderator Decoupler 線源	Lq.H ₂ (ortho) B ₄ C Ta ターゲット内 蒸発スペクトル	150,000	882 min (0.353 sec)
4	Moderator Decoupler 線源	H ₂ O B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射 に よる中性子分布	100,000	843 min (0.506 sec)
5	Moderator Decoupler 線源	Lq.H ₂ (ortho) B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射 に よる中性子分布	100,000	847 min (0.508 sec)

表9 主な計算ケースに対するNMTC/JAERIコードによる計算時間

項目	計算条件	入射陽子数	計算時間 ()内は入射陽子 1個当たり
Target Moderator Decoupler 線源	Ta H ₂ O B ₄ C 1.5 GeV 陽子入射	15,000	128 min (0.511 sec)

表10 ターゲット部の線源スペクトルを蒸発スペクトルと仮定した場合に軽水減速材から 90° 方向へ放出される中性子エネルギースペクトルのフィッティング結果

体 系	パラメータ	
	J (1/cm ² /S.n)	E_T (meV)
Decoupler なし	3.1×10^{-8}	31
B ₄ C Decoupler 付き	8.3×10^{-9}	35

表11 ターゲット部の線源スペクトルを蒸発スペクトルと仮定した場合に B₄C デカップラー付きの液体水素減速材から放出される中性子エネルギースペクトルのフィッティング結果

検出器 位置	パラメータ								
	J (1/cm ² /eV/S.n)	E_T (meV)	φ_{TeV} (1/cm ² /eV/S.n)	α	β	E_{cut} (meV)	γ	δ	E_p (meV)
45°	1.1×10^{-10}	4.0	7.9×10^{-11}	0.15	400	1.2	190	1.7	14
60°	1.5×10^{-10}	4.5	8.6×10^{-11}	0.15	450	1.4	190	1.2	15
90°	2.2×10^{-10}	4.7	1.1×10^{-10}	0.15	550	1.3	190	1.7	13
150°	1.2×10^{-10}	4.4	6.8×10^{-11}	0.15	430	1.2	190	1.7	12

表12 ターゲット部の線源スペクトルを蒸発スペクトルと仮定した場合に B₄C デカップラー付きの軽水減速材から放出される中性子エネルギースペクトルのフィッティング結果

検出器 位置	パラメータ			
	J (1/cm ² /S.n)	E_T (meV)	φ_{TeV} (1/cm ² /S.n)	α
45°	5.2×10^{-10}	35	1.2×10^{-10}	0.07
60°	5.4×10^{-10}	32	9.6×10^{-11}	0.07
90°	8.3×10^{-10}	36	1.5×10^{-10}	0.07
150°	5.2×10^{-10}	40	9.8×10^{-11}	0.07

表13 減速材から放出される中性子強度の検出器位置を考慮した規格化

検出器 位置	法線に対 する角度	軽水減速材		液体水素減速材	
		J	J_0	J	J_0
		($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)
45°	15°	5.2×10^{-10}	5.3×10^{-10}	1.1×10^{-10}	1.1×10^{-10}
60°	0°	5.4×10^{-10}	5.4×10^{-10}	1.5×10^{-10}	1.5×10^{-10}
150°	30°	5.2×10^{-10}	5.7×10^{-10}	1.2×10^{-10}	1.3×10^{-10}

表14 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から放出される中性子エネルギースペクトルのフィッティング結果

検出器 位置	パラメータ								
	J ($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	E_T (meV)	ϕ_{TeV} ($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	α	β	E_{cut} (meV)	γ	δ	E_p (meV)
45°	1.8×10^{-10}	3.8	1.4×10^{-10}	0.17	400	1.2	190	1.7	14
60°	2.1×10^{-10}	3.8	1.4×10^{-10}	0.17	450	1.4	190	1.2	15
90°	2.9×10^{-10}	6.0	1.2×10^{-10}	0.17	550	1.3	190	1.7	13
150°	2.0×10^{-10}	4.3	1.3×10^{-10}	0.17	430	1.2	190	1.7	12

表15 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から放出される中性子エネルギースペクトルのフィッティング結果

検出器 位置	パラメータ			
	J ($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	E_T (meV)	ϕ_{TeV} ($1/\text{cm}^2/\text{S.n}$)	α
45°	1.0×10^{-9}	33	2.0×10^{-10}	0.10
60°	8.7×10^{-10}	37	1.6×10^{-10}	0.10
90°	9.6×10^{-10}	35	1.5×10^{-10}	0.10
150°	8.0×10^{-10}	38	1.5×10^{-10}	0.10

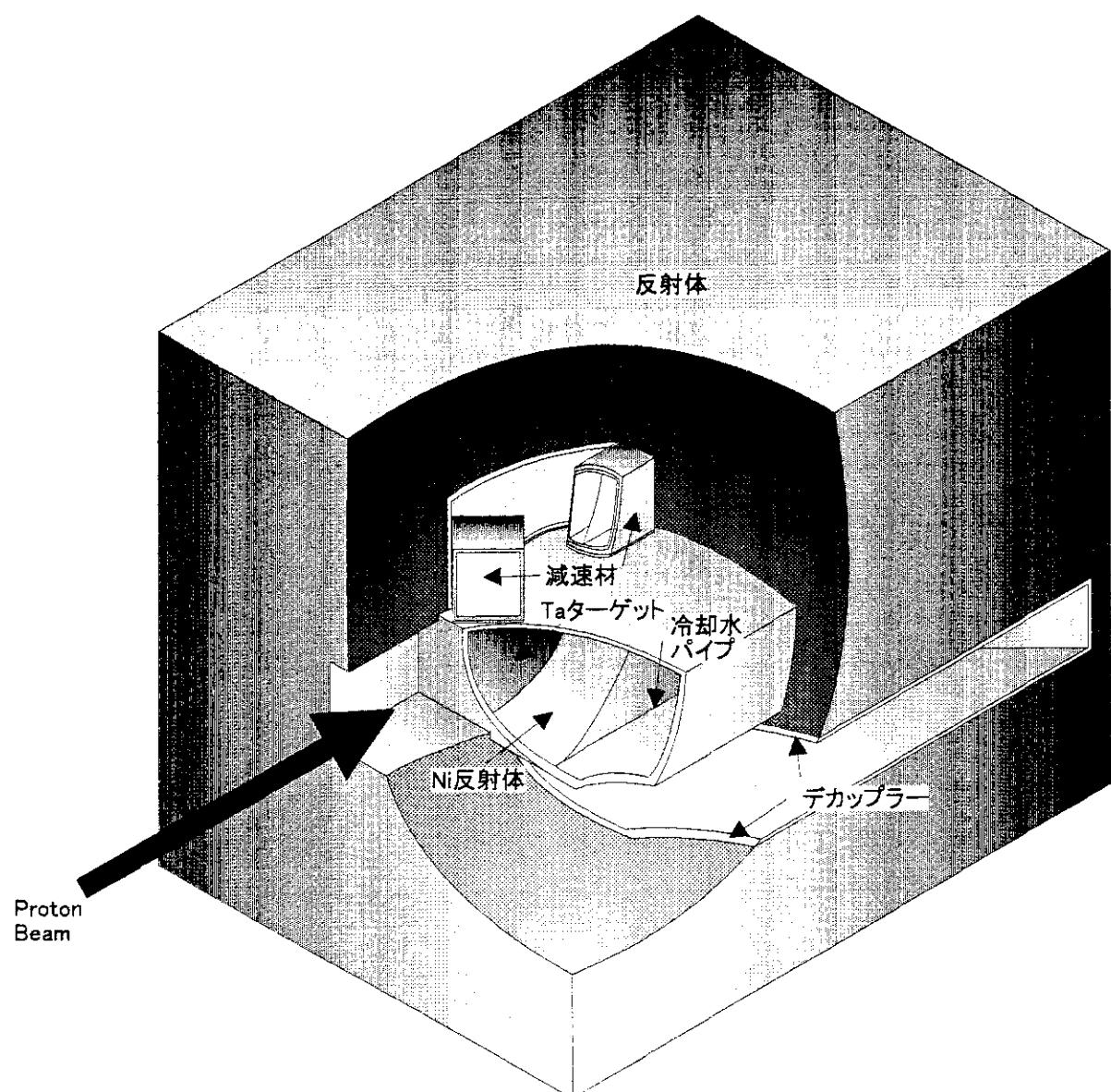


図1 ターゲット・反射体・減速材体系の鳥瞰図

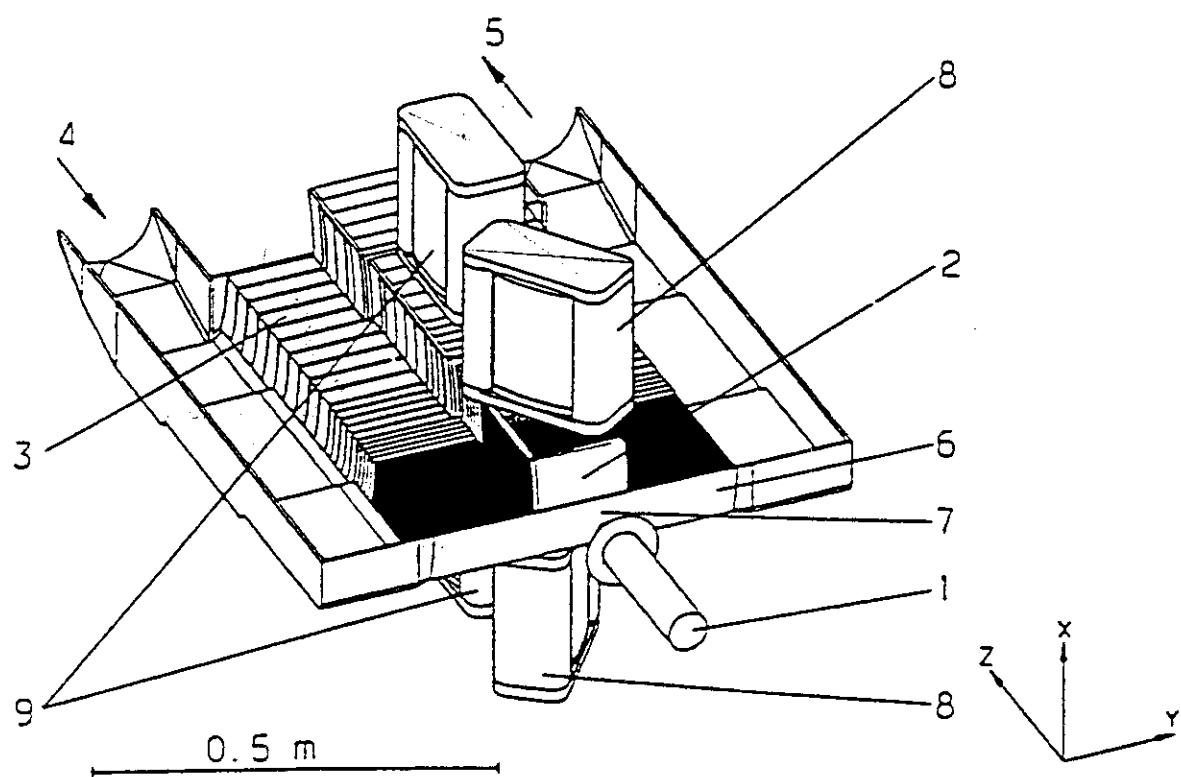


図2 ターゲットと減速材の配置の概要図⁵⁾

(1:陽子ビーム、2:タンタルターゲット板集合体、3:ウイング型ニッケル反射体板集合体、4:冷却材入口、5:冷却材出口、6:ターゲット容器、7:ビーム窓、8:低温減速材、9:室温減速材)

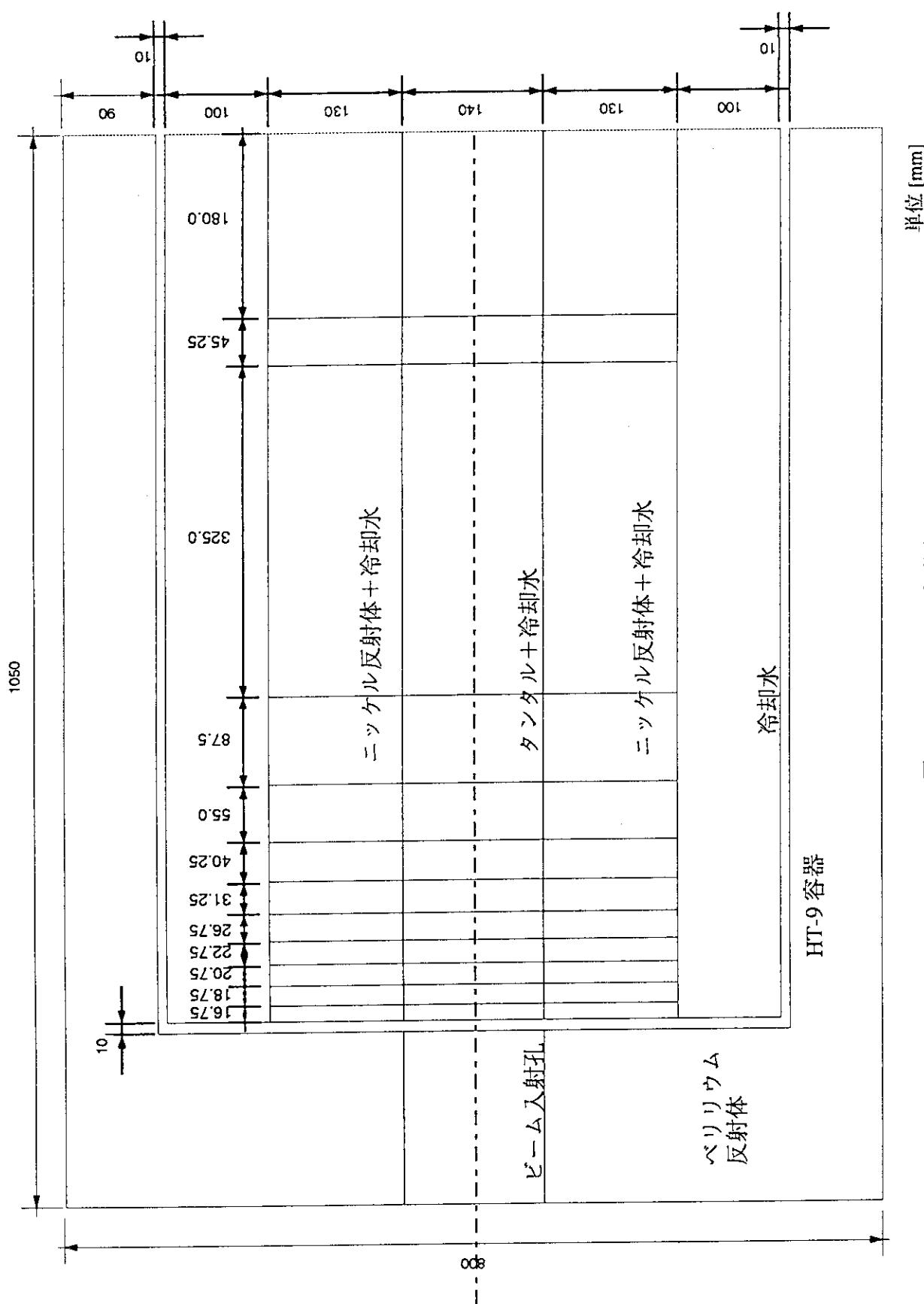
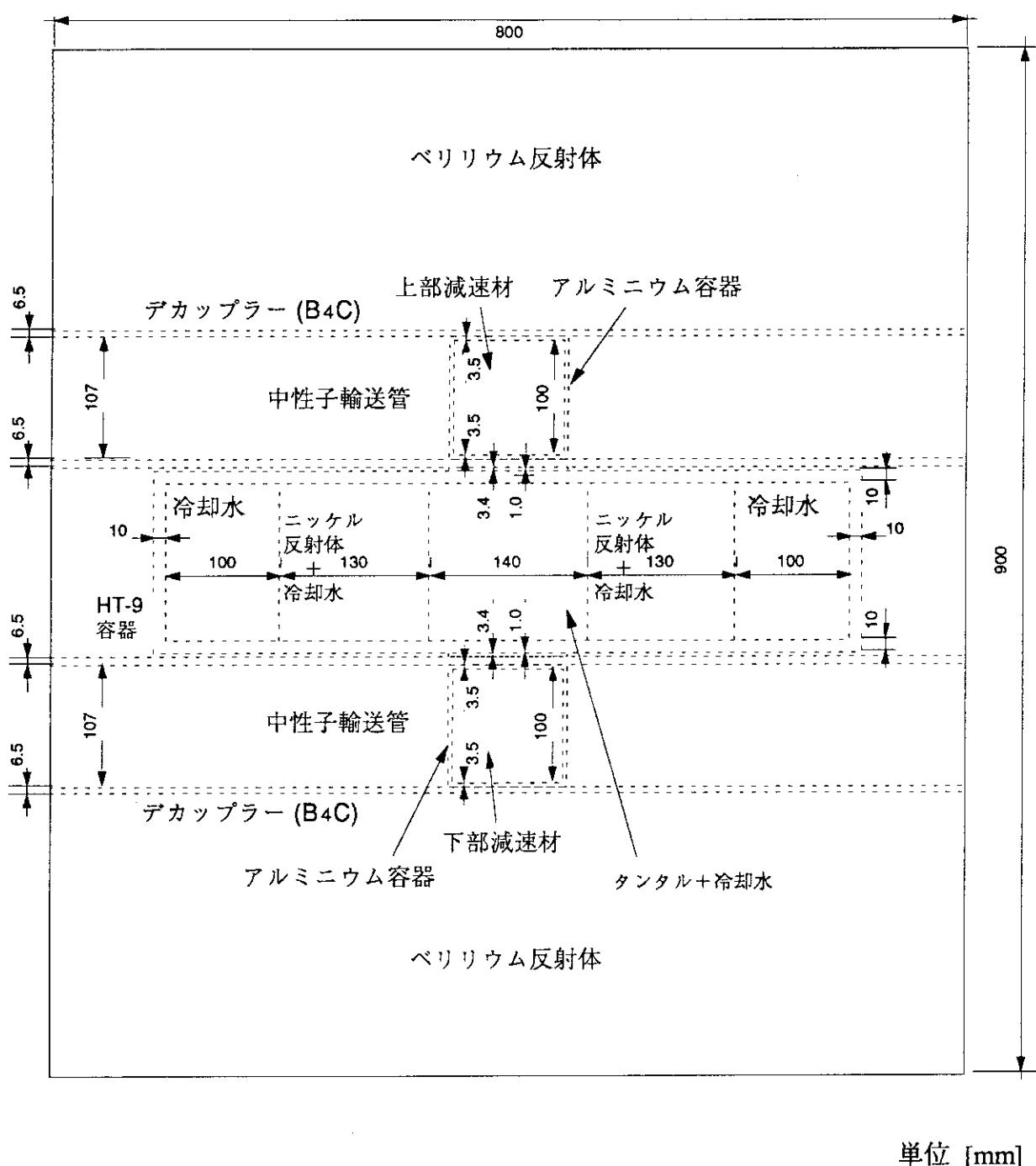


図3 ターゲット平面図



単位 [mm]

図4 ターゲット・減速材・反射体体系正面図

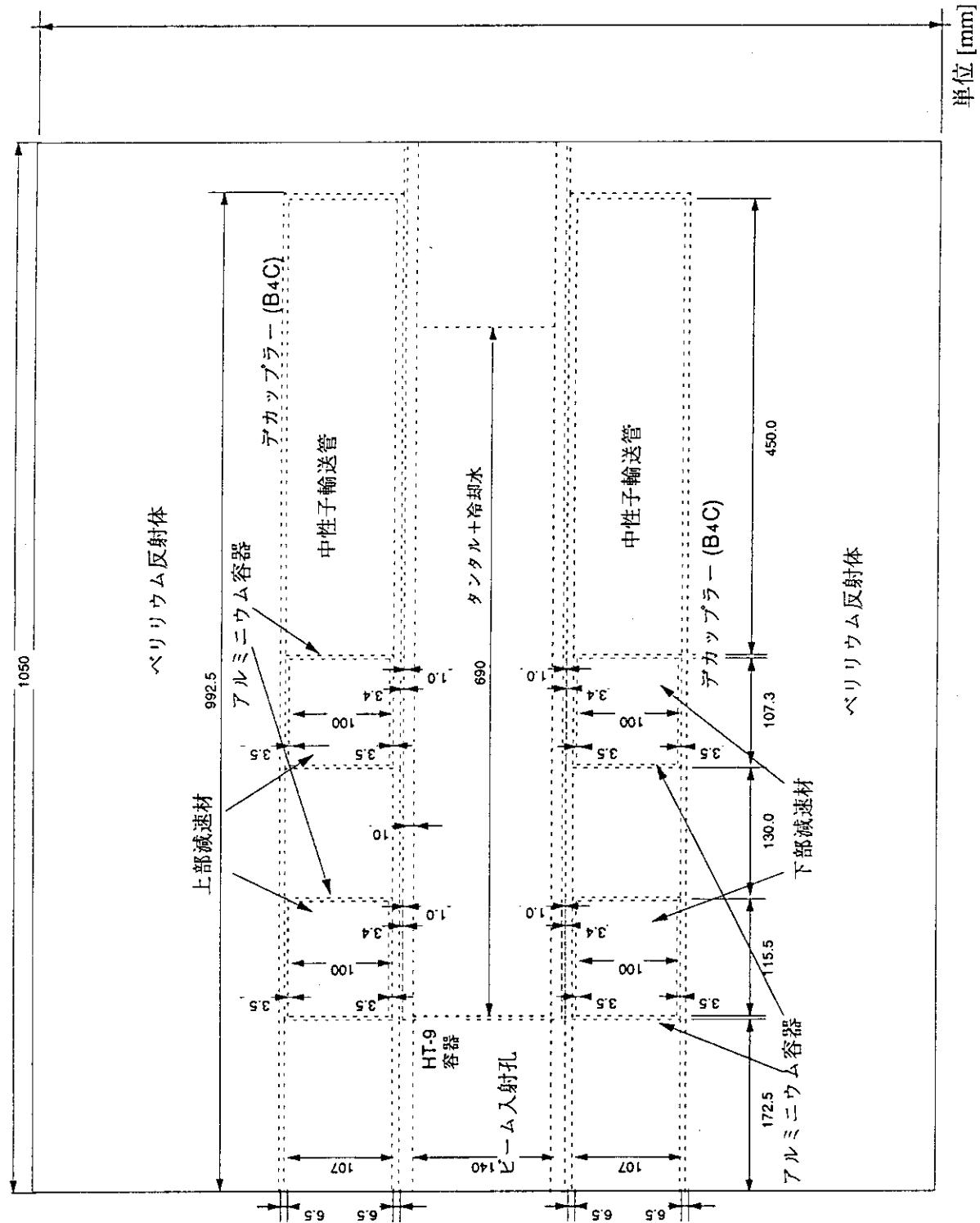


図5 ターゲット・減速材・反射体体系侧面図

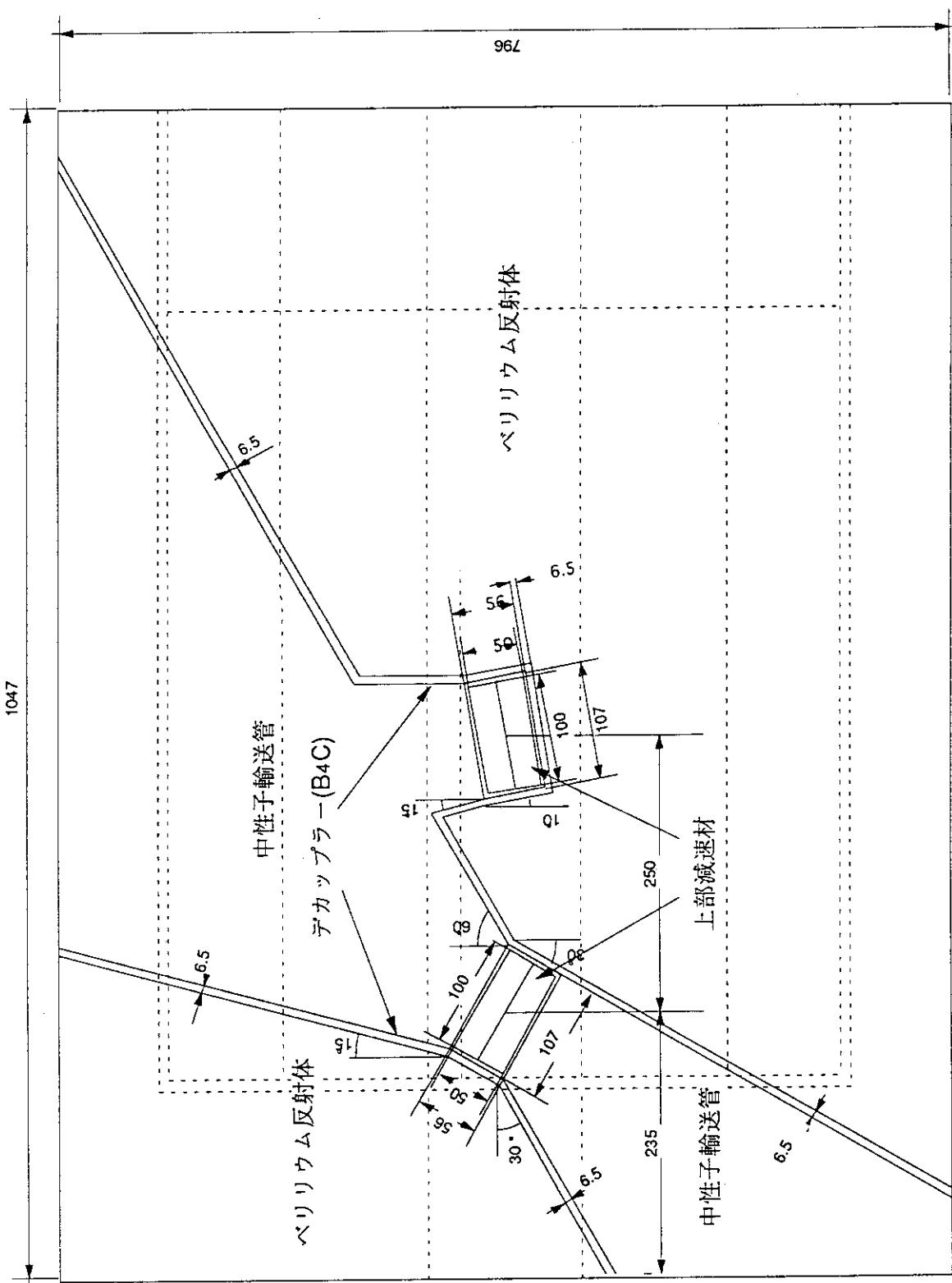


図6 上部減速材・反射体部平面図

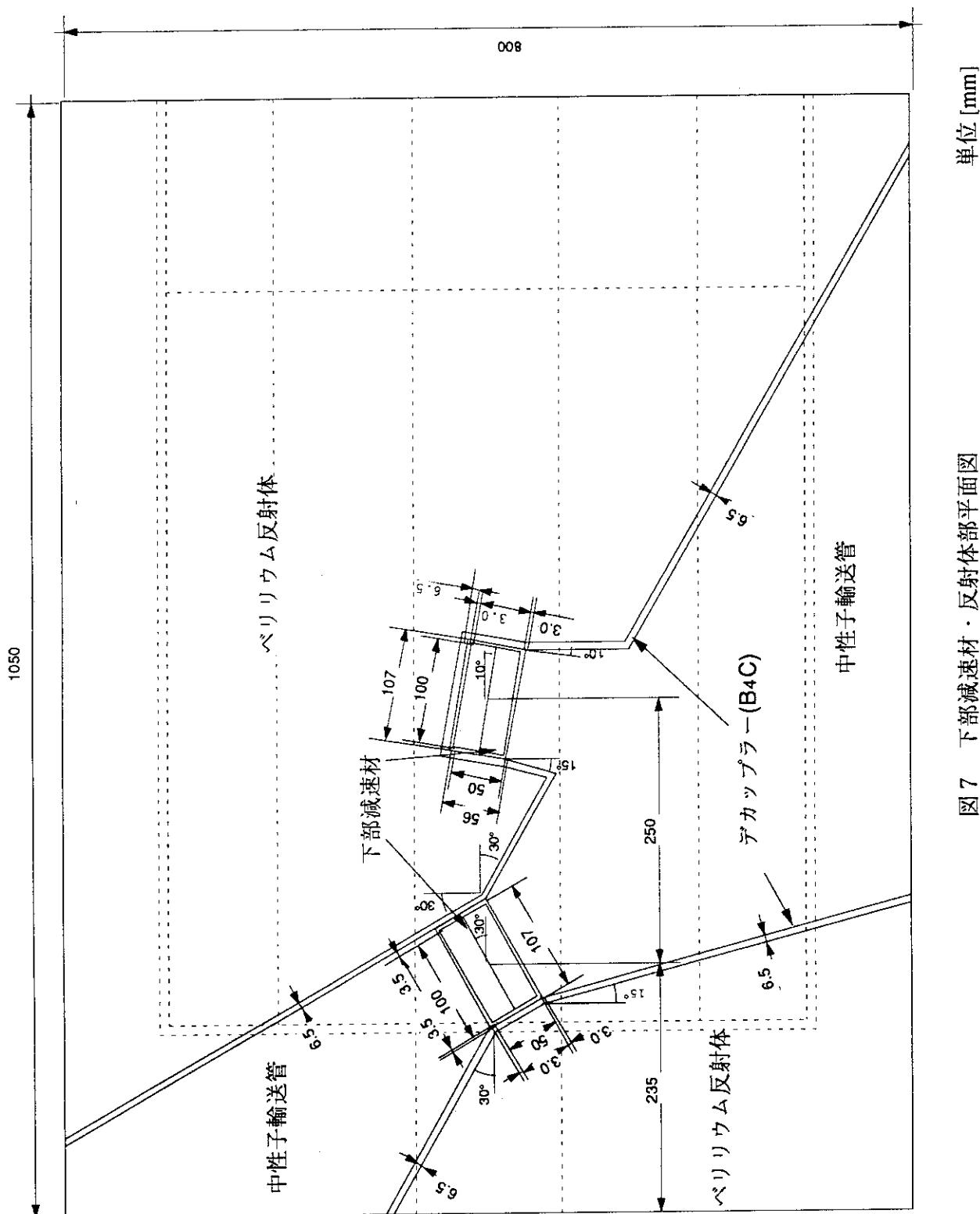


圖 7 下部減速材・反射体部平面圖

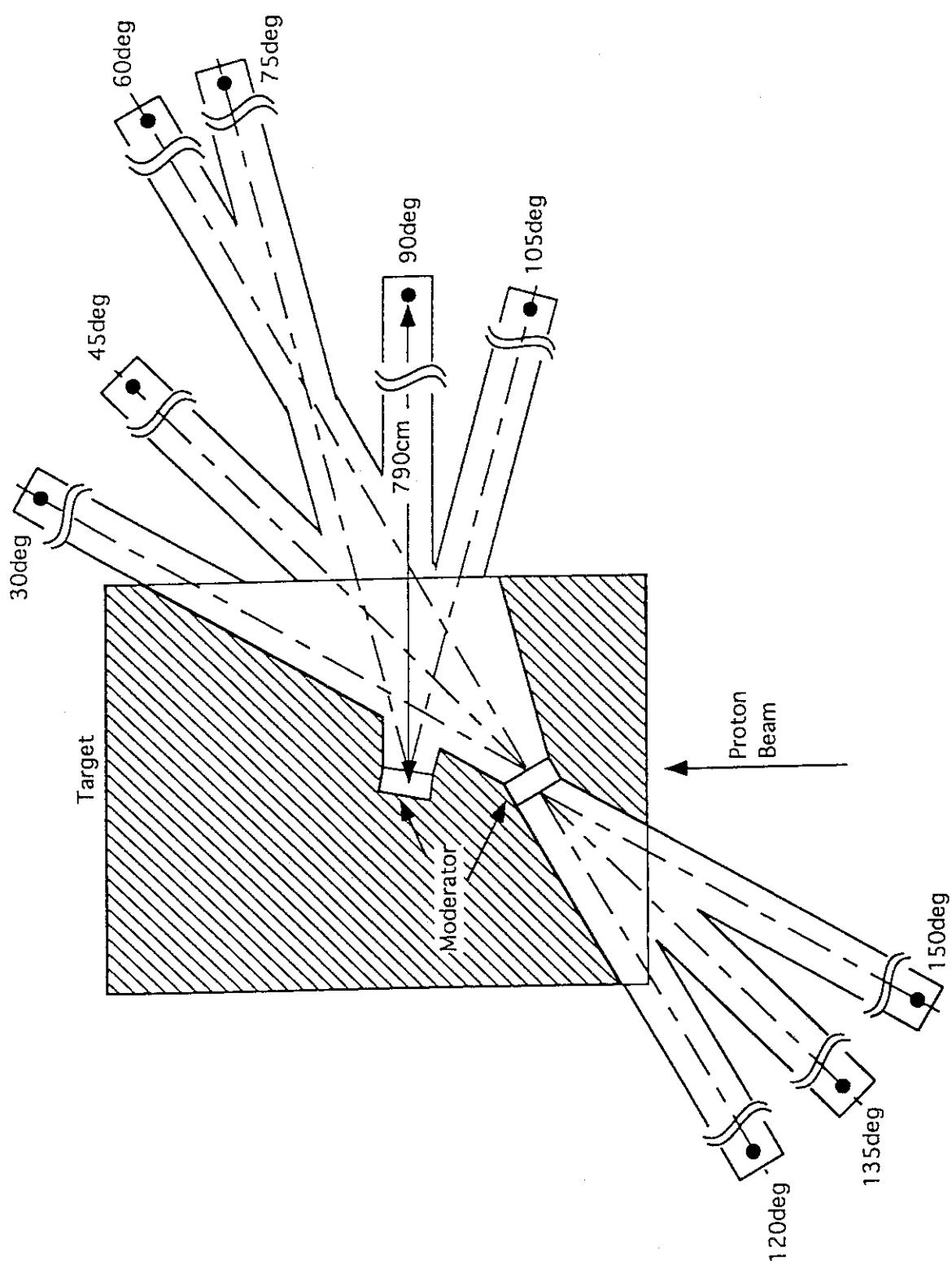


図8 ターゲット・反射体・減速材体系と中性子検出器の位置関係

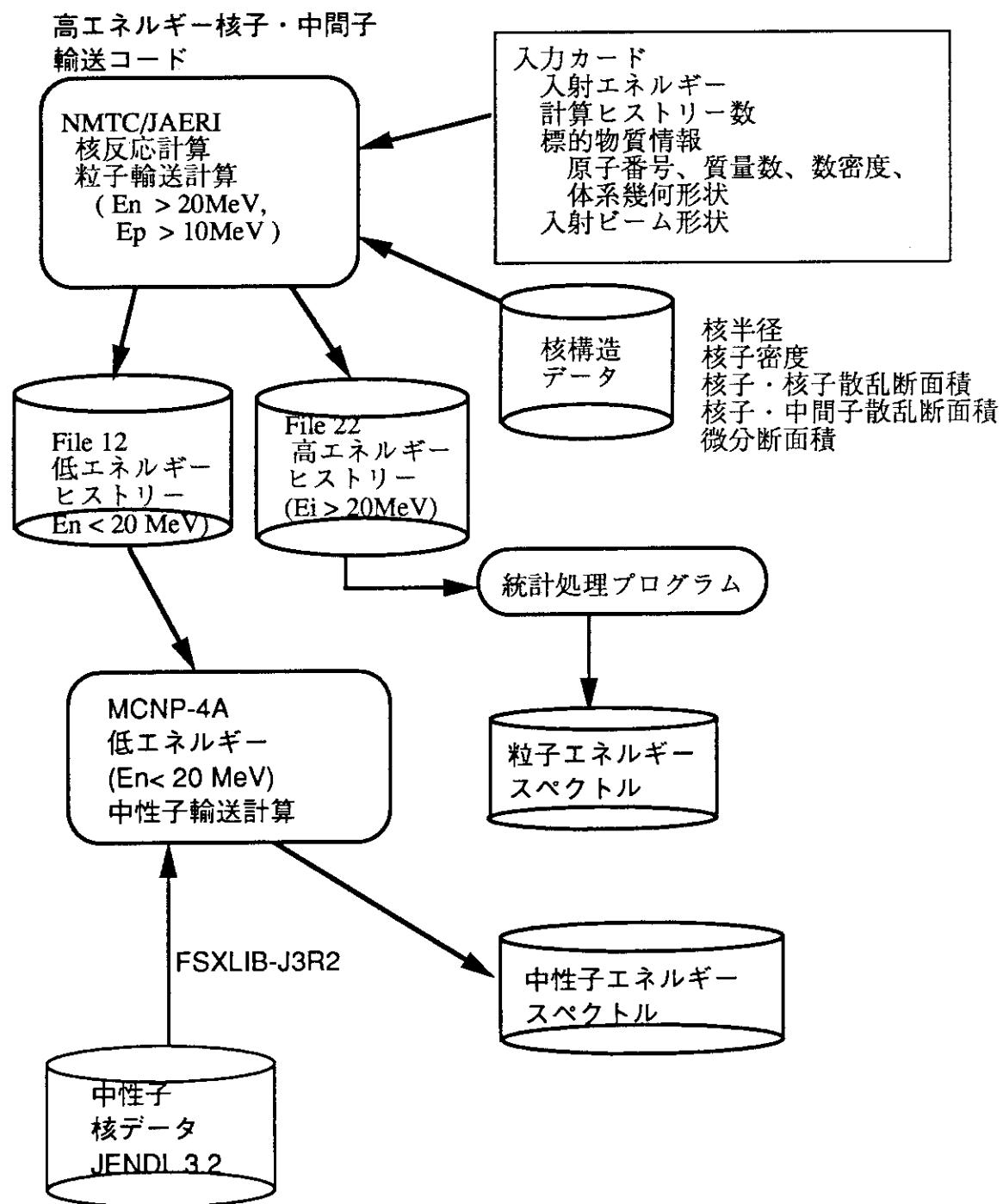


図 9 NMTC/JAERI-MCNP4A コードシステムの計算フロー

ESS Ta target

0000000001							
1500.	2.	20.	25	10	10	0	
1	23	21	11	0	22		
0.	0.	1					
1	1	2	2				
1. 49600E-2		2					
8.	16. 7. 48060E-3						
73.	181. 3. 05970E-2						
1. 33653E-2		2					
8.	16. 6. 68267E-3						
73.	181. 3. 15520E-2						
1. 20771E-2		2					
8.	16. 6. 03855E-3						
73.	181. 3. 23084E-2						
1. 10154E-2		2					
8.	16. 5. 50769E-3						
73.	181. 3. 29363E-2						
9. 36822E-3		2					
8.	16. 4. 68411E-3						
73.	181. 3. 39103E-2						
8. 01920E-3		2					
8.	16. 4. 00960E-3						
73.	181. 3. 47200E-2						
6. 22609E-3		2					
8.	16. 3. 11304E-3						
73.	181. 3. 57516E-2						
6. 08182E-3		2					
8.	16. 3. 03818E-3						
73.	181. 3. 58545E-2						
5. 73029E-3		2					
8.	16. 2. 86514E-3						
73.	181. 3. 60571E-2						
5. 14154E-3		2					
8.	16. 2. 57138E-3						
73.	181. 3. 64000E-2						
1. 49600E-2		6					
8.	16. 7. 48060E-3						
28.	58. 4. 77636E-2						
28.	60. 1. 84573E-2						
28.	61. 8. 80597E-4						
28.	62. 2. 57839E-3						
28.	64. 8. 17194E-4						
1. 33653E-2		6					
8.	16. 6. 68267E-3						
28.	58. 4. 92499E-2						
28.	60. 1. 90317E-2						
28.	61. 9. 08000E-4						
28.	62. 2. 65862E-3						
28.	64. 8. 42624E-4						
1. 20771E-2		6					
8.	16. 6. 03855E-3						
28.	58. 5. 04497E-2						

図10 NMTC/JAERIの入力ファイル

28.	60. 1. 94953E-2
28.	61. 9. 30120E-4
28.	62. 2. 72339E-3
28.	64. 8. 63152E-4
1. 10154E-2	6
8.	16. 5. 50769E-3
28.	58. 5. 14088E-2
28.	60. 1. 98659E-2
28.	61. 9. 47802E-4
28.	62. 2. 77516E-3
28.	64. 8. 79560E-4
9. 36822E-3	6
8.	16. 4. 68411E-3
28.	58. 5. 29220E-2
28.	60. 2. 04507E-2
28.	61. 9. 75701E-4
28.	62. 2. 85685E-3
28.	64. 9. 05450E-4
8. 01920E-3	6
8.	16. 4. 00960E-3
28.	58. 5. 41749E-2
28.	60. 2. 09348E-2
28.	61. 9. 99880E-4
28.	62. 2. 92449E-3
28.	64. 9. 26886E-4
6. 22609E-3	6
8.	16. 3. 11304E-3
28.	58. 5. 58234E-2
28.	60. 2. 15719E-2
28.	61. 1. 02919E-3
28.	62. 3. 01348E-3
28.	64. 9. 55091E-4
6. 08182E-3	6
8.	16. 3. 03818E-3
28.	58. 5. 59658E-2
28.	60. 2. 16269E-2
28.	61. 1. 03182E-3
28.	62. 3. 02116E-3
28.	64. 9. 57527E-4
5. 73029E-3	6
8.	16. 2. 86514E-3
28.	58. 5. 62856E-2
28.	60. 2. 17549E-2
28.	61. 1. 03771E-3
28.	62. 3. 03843E-3
28.	64. 9. 62999E-4
5. 14154E-3	6
8.	16. 2. 57138E-3
28.	58. 5. 68268E-2
28.	60. 2. 24625E-2
28.	61. 1. 04769E-3
28.	62. 3. 06743E-3
28.	64. 9. 72258E-4

図10 NMT/JAERIの入力ファイル(つづき)

2.	22849E-2	1
8.		16. 1. 11142E-2
0.		30
6.		12. 7. 82217E-5
14.		28. 6. 10641E-4
14.		29. 3. 12011E-5
14.		30. 2. 06682E-5
23.		51. 3. 01309E-4
24.		50. 4. 62614E-4
24.		52. 8. 99038E-3
24.		53. 1. 02505E-3
24.		54. 2. 55457E-4
25.		55. 4. 23307E-4
26.		54. 4. 12213E-3
26.		56. 6. 47118E-2
26.		57. 1. 54580E-3
26.		58. 2. 18812E-4
28.		58. 2. 68653E-4
28.		60. 1. 03816E-4
28.		61. 4. 95304E-6
28.		62. 1. 45025E-5
28.		64. 4. 59642E-6
42.		92. 7. 68907E-5
42.		94. 4. 42146E-5
42.		95. 7. 61150E-5
42.		96. 7. 99935E-5
42.		97. 4. 58144E-5
42.		98. 1. 15142E-4
42.		100. 4. 66386E-5
74.		182. 3. 34020E-5
74.		183. 1. 82193E-5
74.		184. 3. 88868E-5
74.		186. 3. 59325E-5
0.		1
4.		9. 1. 22950E-1
0.		1
13.		27. 6. 00400E-2
0.		1
7.		14. 5. 5600E-05
1	1 1. 1, 39 -2, 40 3, 13 -4, 25 5, 45 -6, 2	
2	2 1. 1, 39 -2, 40 3, 14 -4, 26 6, 1 -7, 3	
3	3 1. 1, 39 -2, 40 3, 15 -4, 27 7, 2 -8, 4	
4	4 1. 1, 39 -2, 40 3, 16 -4, 28 8, 3 -9, 5	
5	5 1. 1, 39 -2, 40 3, 17 -4, 29 9, 4 -10, 6	
6	6 1. 1, 39 -2, 40 3, 18 -4, 30 10, 5 -11, 7	
7	7 1. 1, 39 -2, 40 3, 19 -4, 31 11, 6 -12, 8	
8	8 1. 1, 39 -2, 40 3, 20 -4, 32 12, 7 -13, 9	
9	9 1. 1, 39 -2, 40 3, 21 -4, 33 13, 8 -14, 10	
10	10 1. 1, 39 -2, 40 3, 22 -4, 34 14, 9 -15, 11	
11	21 1. 1, 39 -2, 40 3, 23 -4, 35 15, 10 -16, 12	
12	20 1. 1, 39 -2, 40 3, 24 -4, 36 16, 11 -31, 70	
13	11 1. 1, 39 -2, 40 17, 37 -3, 1 5, 43 -6, 14	
14	12 1. 1, 39 -2, 40 17, 37 -3, 2 6, 13 -7, 15	
15	13 1. 1, 39 -2, 40 17, 37 -3, 3 7, 14 -8, 16	

図10 NMTC/JAERIの入力ファイル（つづき）

16	14	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 4	8, 15	-9, 17
17	15	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 5	9, 16	-10, 18
18	16	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 6	10, 17	-11, 19
19	17	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 7	11, 18	-12, 20
20	18	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 8	12, 19	-13, 21
21	19	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 9	13, 20	-14, 22
22	20	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 10	14, 21	-15, 23
23	21	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 11	15, 22	-16, 24
24	20	1.	1, 39	-2, 40	17, 37	-3, 12	16, 23	-31, 70
25	11	1.	1, 39	-2, 40	4, 1	-18, 38	5, 44	-6, 26
26	12	1.	1, 39	-2, 40	4, 2	-18, 38	6, 25	-7, 27
27	13	1.	1, 39	-2, 40	4, 3	-18, 38	7, 26	-8, 28
28	14	1.	1, 39	-2, 40	4, 4	-18, 38	8, 27	-9, 29
29	15	1.	1, 39	-2, 40	4, 5	-18, 38	9, 28	-10, 30
30	16	1.	1, 39	-2, 40	4, 6	-18, 38	10, 29	-11, 31
31	17	1.	1, 39	-2, 40	4, 7	-18, 38	11, 30	-12, 32
32	18	1.	1, 39	-2, 40	4, 8	-18, 38	12, 31	-13, 33
33	19	1.	1, 39	-2, 40	4, 9	-18, 38	13, 32	-14, 34
34	20	1.	1, 39	-2, 40	4, 10	-18, 38	14, 33	-15, 35
35	21	1.	1, 39	-2, 40	4, 11	-18, 38	15, 34	-16, 36
36	20	1.	1, 39	-2, 40	4, 12	-18, 38	16, 35	-31, 70
37	21	1.	1, 39	-2, 40	19, 41	5, 43	-31, 70	
					-17, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24			
38	21	1.	1, 39	-2, 40	-20, 42	5, 44	-31, 70	
					18, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36			
39	22	1.	21, 51, 53, 61, 63, 77, 78, 79, 19, 41	-20, 42	25, 49, 75, 76	-31, 70		
				-1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21,				
				22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 45				
40	22	1.	-22, 52, 54, 62, 64, 80, 81, 82	19, 41	-20, 42	25, 50, 75, 76	-31, 70	
				2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21,				
				22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 45				
41	22	1.	21, 61	-22, 62	23, 47	-19, 37, 39, 40, 43	25, 75	-31, 70
42	22	1.	21, 63	-22, 64	-24, 48	20, 38, 39, 40, 44	25, 76	-31, 70
43	22	1.	1, 39	-2, 40	19, 41	-3, 45	25, 75	-5, 13, 37
44	22	1.	1, 39	-2, 40	-20, 42	4, 45	25, 76	-5, 25, 38
45	22	1.	1, 39	-2, 40	3, 43	-4, 44	25, 46	-5, 1
46	25	1.	1, 49	-2, 50	3, 75	-4, 76	30, 69	-25, 45
47	23	1.	21, 61	-22, 62	25, 75	-23, 41	-31, 70	28, 67
48	23	1.	21, 63	-22, 64	25, 76	-29, 68	-31, 70	24, 42
49	23	1.	21, 77, 61, 63	-1, 46	3, 75	-4, 76	30, 69	-25, 39
50	23	1.	-22, 80, 62, 64	2, 46	3, 75	-4, 76	30, 69	-25, 40
51	21	1.	43, 71	-21, 39	46, 61	-47, 63	48, 77	-49, 78
52	21	1.	22, 40	-44, 72	46, 62	-47, 64	48, 80	-49, 81
53	21	1.	43, 73	-21, 39	46, 61	-47, 63	50, 78	-51, 79
54	21	1.	22, 40	-44, 74	46, 62	-47, 64	50, 81	-51, 82
55	21	1.	32, 83	-33, 71	36, 95	-37, 97	38, 87	-39, 89
56	21	1.	34, 72	-35, 84	36, 96	-37, 98	38, 88	-39, 90
57	21	1.	32, 85	-33, 73	36, 99	-37, 101	40, 91	-41, 93
58	21	1.	34, 74	-35, 86	36, 100	-37, 102	40, 92	-41, 94
59	23	1.	46, 61	-47, 63	26, 65	-42, 77, 78, 79, 83, 85	30, 69	-31, 70
60	23	1.	46, 62	-47, 64	-27, 66	45, 80, 81, 82, 84, 86	30, 69	-31, 70
61	23	1.	26, 65	-21, 39, 41, 47, 49, 75	28, 67	30, 69	-31, 70	
				-46, 59, 51, 53, 71, 73, 77, 78, 79, 83, 85, 87, 89, 91, 93, 95, 99				

図10 NMTC/JAERIの入力ファイル(つづき)

62 23 1. 22, 40, 41, 50, 47, 75 -27, 66 28, 67 30, 69 -31, 70
 -46, 52, 54, 60, 72, 74, 80, 81, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 100
 63 23 1. 26, 65 -21, 39, 42, 48, 49, 76 -29, 68 30, 69 -31, 70
 47, 51, 53, 59, 71, 73, 77, 78, 79, 83, 85, 87, 89, 91, 93, 97, 101
 64 23 1. 22, 40, 42, 48, 50, 76 -27, 66 -29, 68 30, 69 -31, 70
 47, 52, 54, 60, 72, 74, 80, 81, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 98, 102
 65 6666 -26, 59, 61, 63
 66 6666 27, 60, 62, 64
 67 6666 -28, 47, 61, 62, 75
 68 6666 29, 48, 63, 64, 76
 69 6666 -30, 46, 49, 50, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 75, 76, 77, 80
 70 6666 31, 47, 48, 39, 40, 41, 42, 12, 24, 36, 37, 38, 59, 60, 61, 62, 63, 64,
 79, 82
 71 24 1. -43, 51 33, 55, 87, 89, 95, 97 46, 61 -47, 63 48, 77 -49, 78
 72 24 1. 44, 52 -34, 56, 88, 90, 96, 98 46, 62 -47, 64 48, 80 -49, 81
 73 24 1. -43, 53 33, 57, 91, 93, 99, 101 46, 61 -47, 63 50, 78 -51, 79
 74 24 1. 44, 54 -34, 58, 92, 94, 100, 102 46, 62 -47, 64 50, 81 -51, 82
 75 23 1. 28, 67 30, 69 -3, 46, 49, 50 21, 61 -22, 62 -25, 39, 40, 41, 43, 47
 76 23 1. -29, 68 30, 69 4, 46, 49, 50 21, 63 -22, 64 -25, 39, 40, 42, 44, 48
 77 23 1. 46, 61 -47, 63 30, 69 -48, 51, 71, 83, 87 42, 59 -21, 49, 39
 78 23 1. 46, 61 -47, 63 49, 51, 71, 83, 89 -50, 73, 53, 85, 91 42, 59 -21, 39
 79 23 1. 46, 61 -47, 63 51, 73, 53, 85, 93 -31, 70 42, 59 -21, 39
 80 23 1. 46, 62 -47, 64 30, 69 -48, 72, 52, 84, 88 22, 50, 40 -45, 60
 81 23 1. 46, 62 -47, 64 49, 52, 72, 90, 84 -50, 54, 74, 86, 92 22, 40 -45, 60
 82 23 1. 46, 62 -47, 64 51, 54, 74, 86, 94 -31, 70 22, 40 -45, 60
 83 24 1. 42, 59 -32, 55, 87, 89, 95, 97 46, 61 -47, 63 48, 77 -49, 78
 84 24 1. -45, 60 35, 56, 88, 90, 96, 98 46, 62 -47, 64 48, 80 -49, 81
 85 24 1. 42, 59 -32, 57, 91, 93, 99, 101 46, 61 -47, 63 50, 78 -51, 79
 86 24 1. -45, 60 35, 58, 92, 94, 100, 102 46, 62 -47, 64 50, 81 -51, 82
 87 24 1. 48, 77 -38, 55, 95, 97 46, 61 -47, 63 32, 83 -33, 71
 88 24 1. 48, 80 -38, 56, 96, 98 46, 62 -47, 64 34, 72 -35, 84
 89 24 1. 39, 55, 95, 97 -49, 78 46, 61 -47, 63 32, 83 -33, 71
 90 24 1. 39, 56, 96, 98 -49, 81 46, 62 -47, 64 34, 72 -35, 84
 91 24 1. 50, 78 -40, 57, 99, 101 46, 61 -47, 63 32, 85 -33, 73
 92 24 1. 50, 81 -40, 58, 100, 102 46, 62 -47, 64 34, 74 -35, 86
 93 24 1. 41, 57, 99, 101 -51, 79 46, 61 -47, 63 32, 85 -33, 73
 94 24 1. 41, 58, 100, 102 -51, 82 46, 62 -47, 64 34, 74 -35, 86
 95 24 1. 46, 61 -36, 55 38, 87 -39, 89 32, 83 -33, 71
 96 24 1. 46, 62 -36, 56 38, 88 -39, 90 34, 72 -35, 84
 97 24 1. -47, 63 37, 55 38, 87 -39, 89 32, 83 -33, 71
 98 24 1. -47, 64 37, 56 38, 88 -39, 90 34, 72 -35, 84
 99 24 1. 46, 61 -36, 57 40, 91 -41, 93 32, 85 -33, 73
 100 24 1. 46, 62 -36, 58 40, 92 -41, 94 34, 74 -35, 86
 101 24 1. -47, 63 37, 57 40, 91 -41, 93 32, 85 -33, 73
 102 24 1. -47, 64 37, 58 40, 92 -41, 94 34, 74 -35, 86

1 PX	-7.000
2 PX	7.000
3 PY	-7.000
4 PY	7.000
5 PZ	18.000
6 PZ	19.675
7 PZ	21.550
8 PZ	23.625

図10 NMTC/JAERIの入力ファイル（つづき）

図10 NMTC/JAERIの入力ファイル（つづき）

1
 0.0 1500. 1.0 100
 3 13 102 45 1
 0.000 18.0000 87.000 105.000
 0.000 18.0000 19.675 21.550 23.625 25.900 28.575
 31.700 35.7250 41.225 49.975 82.475 87.000 105.000
 0.000 20.000 22.500 25.000 27.500 30.000 35.000
 40.000 45.000 50.000 55.000 60.000 65.000 70.000
 80.000 90.000 100.000 110.000 120.000 140.000 160.000
 180.000 200.000 225.000 250.000 275.000 300.000 325.000
 350.000 375.000 400.000 450.000 500.000 550.000 600.000
 650.000 700.000 750.000 800.000 900.000 1000.000 1100.000
 1200.000 1300.000 1400.000 1500.000
 ANG 0.0 180.0
 328.300 367.500 406.700 445.900 524.300 612.500 788.900
 1078.000 1715.000 6370.000 886.900 3528.000 304.850 341.250
 377.650 414.050 486.850 568.750 732.550 1001.000 1592.500
 5915.000 823.550 3276.000 304.850 341.250 377.650 414.050
 486.850 568.750 732.550 1001.000 1592.500 5915.000 823.550
 3276.000 12180.000 12180.000 5280.000 5280.000 1408.000 1408.000
 322.000 322.000 196.000 3332.000 12672.000 12672.000 238.000
 238.000 59.920 59.920 59.920 59.920 500.000 500.000
 500.000 500.000 14876.400 14876.400 144522.00 144522.00 144522.00
 144522.00 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
 20.972 20.972 20.972 20.972 8976.000 8976.000 1189.188
 936.936 3351.348 1189.188 936.936 3351.348 20.972 20.972
 20.972 20.972 19.600 19.600 19.600 19.600 19.600
 19.600 19.600 19.600 30.000 30.000 30.000 30.000
 30.000 30.000 30.000 30.000
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 1 1 1
 0 0 40
 3 11 1
 1 2 3
 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 1
 1 REGION NO. 1
 17
 BNDZ 0.0000E+1 1.8000E+1 2.2000E+1 2.6000E+1 3.0000E+1
 3.4000E+1 3.8000E+1 4.2000E+1 4.6000E+1 5.0000E+1
 5.5000E+1 6.0000E+1 6.5000E+1 7.0000E+1 7.5000E+1
 8.0000E+1 8.7000E+1 1.0500E+2

図11 NMTC/JAERIのヒストリー集計用入力データ例

28

23 19

5

1

2

卷之三

図12 計算領域定義用ターゲット部平面図

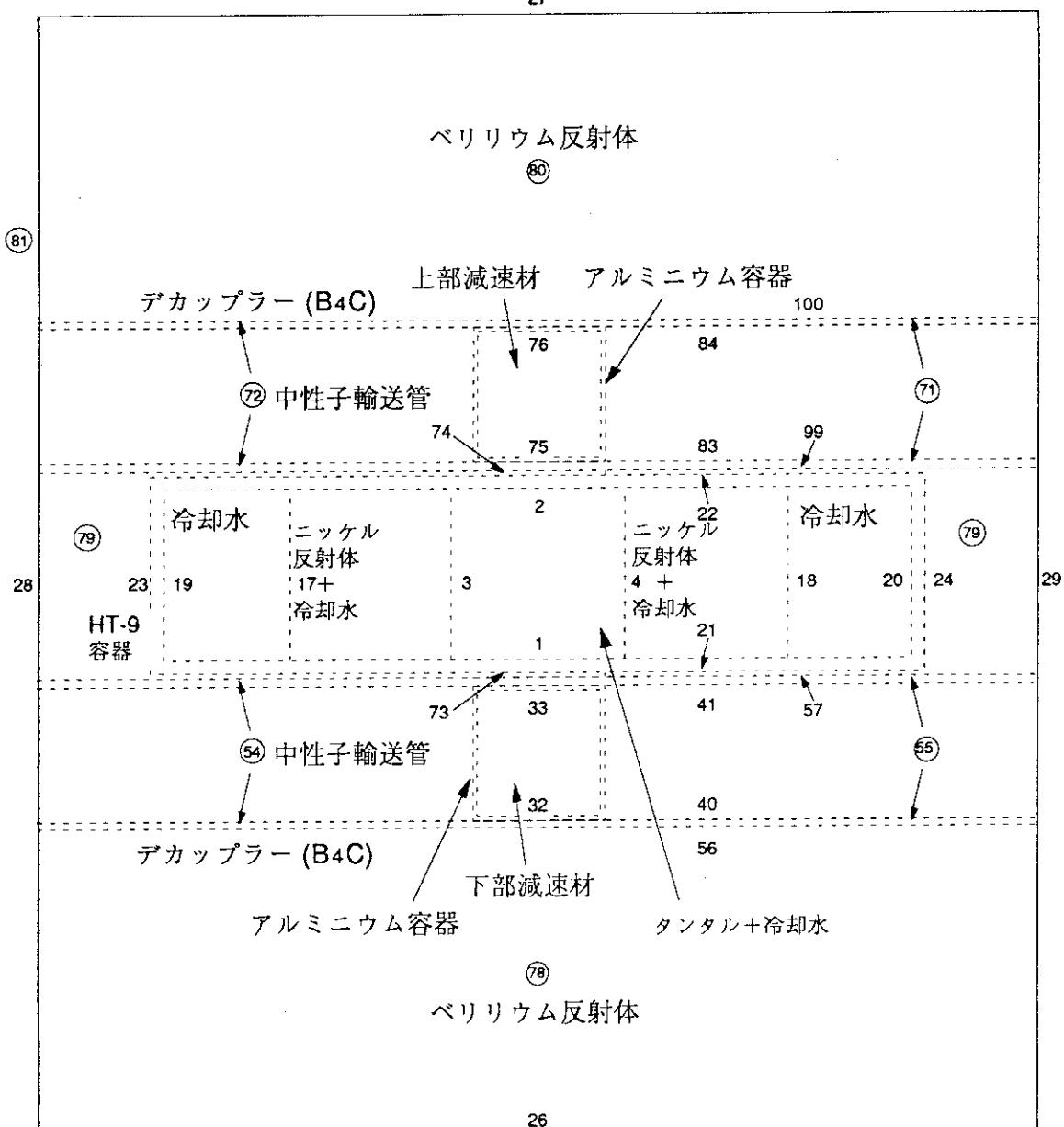


図13 ターゲット・減速材・反射体体系計算領域定義用正面図

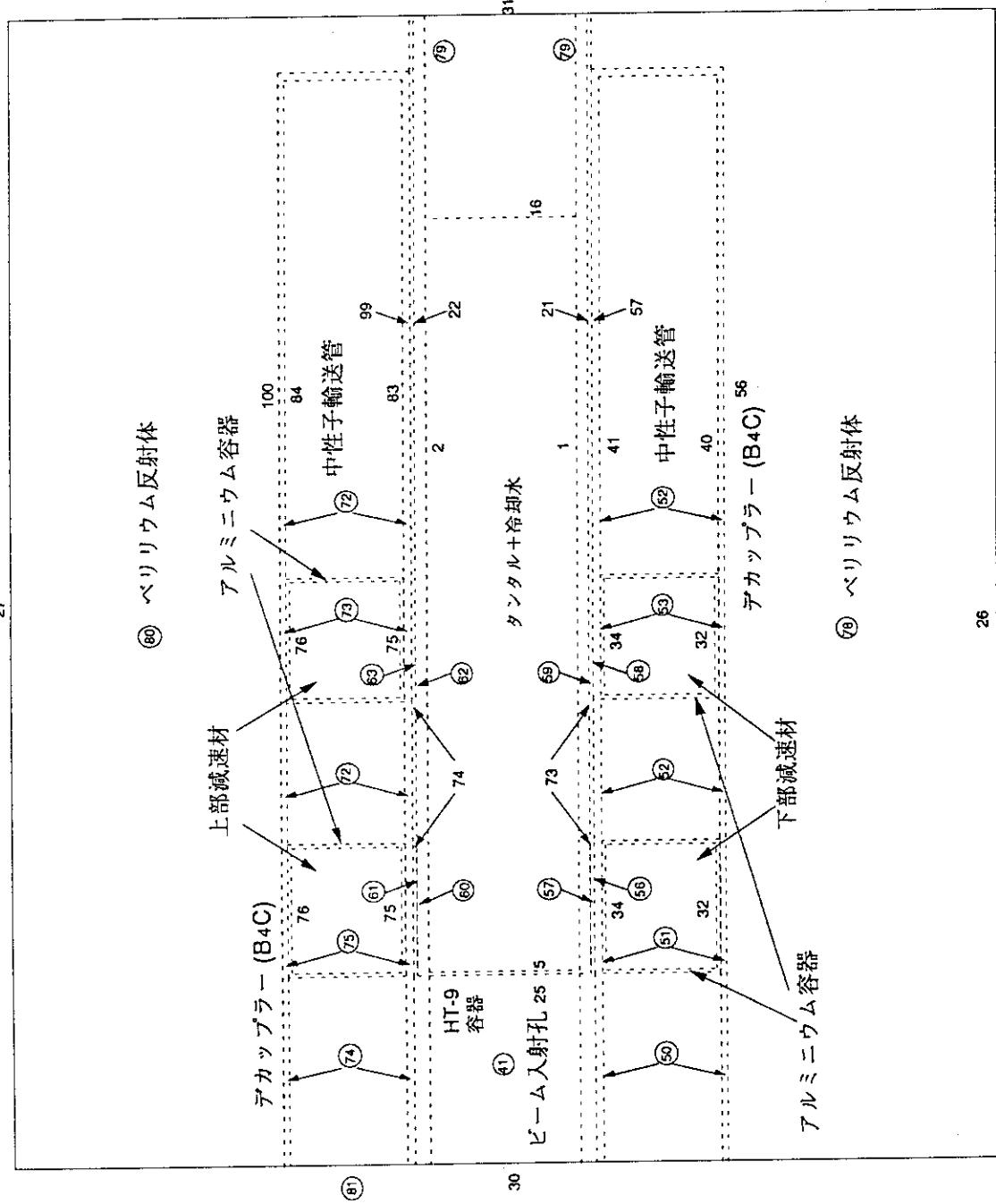


図 14 計算領域定義用ターゲット・減速材・反射体体系側面図
 境界線に付けた数字は計算で定義した面番号、○囲みの数字は計算で定義した領域番号を示す。

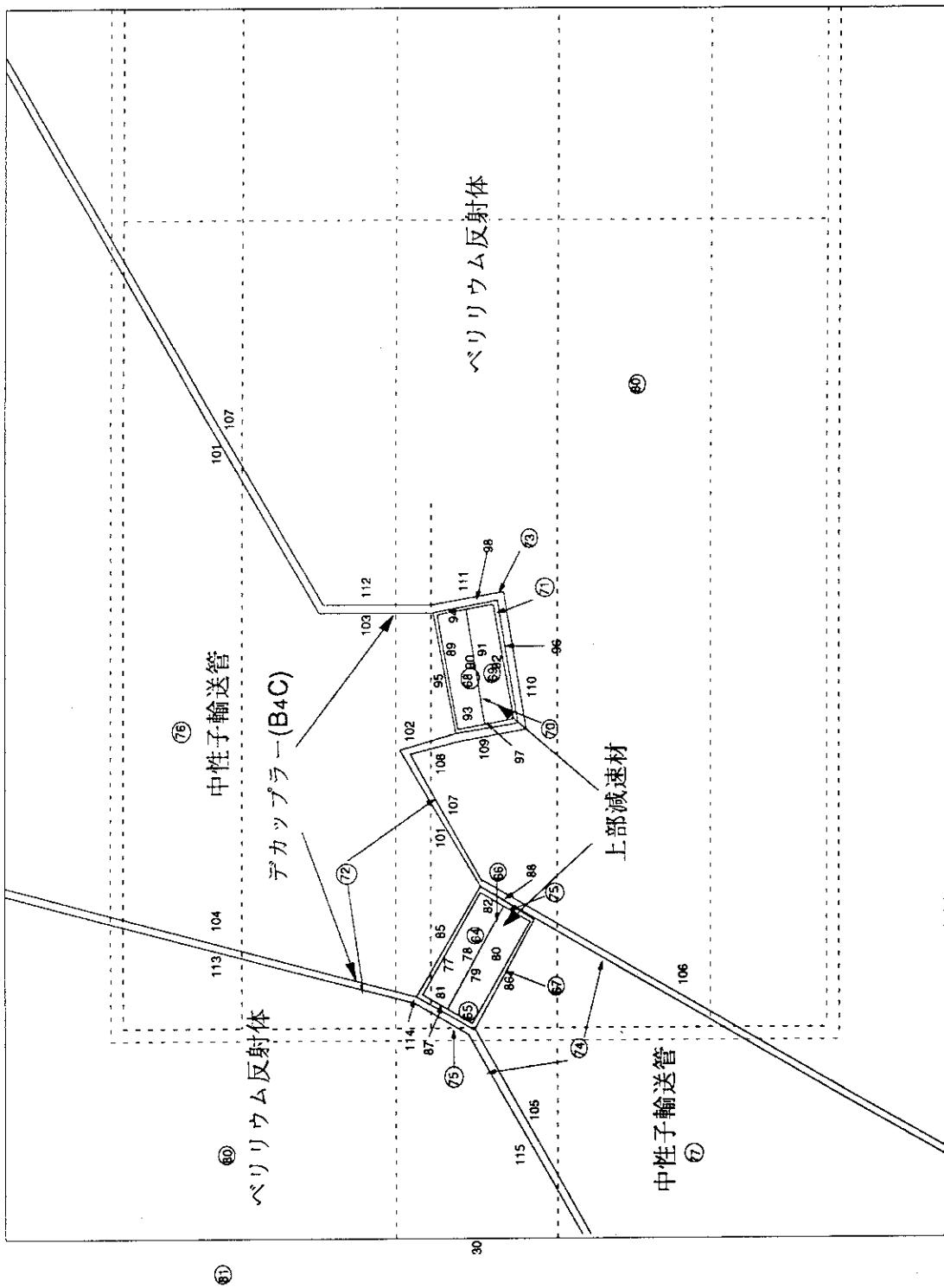
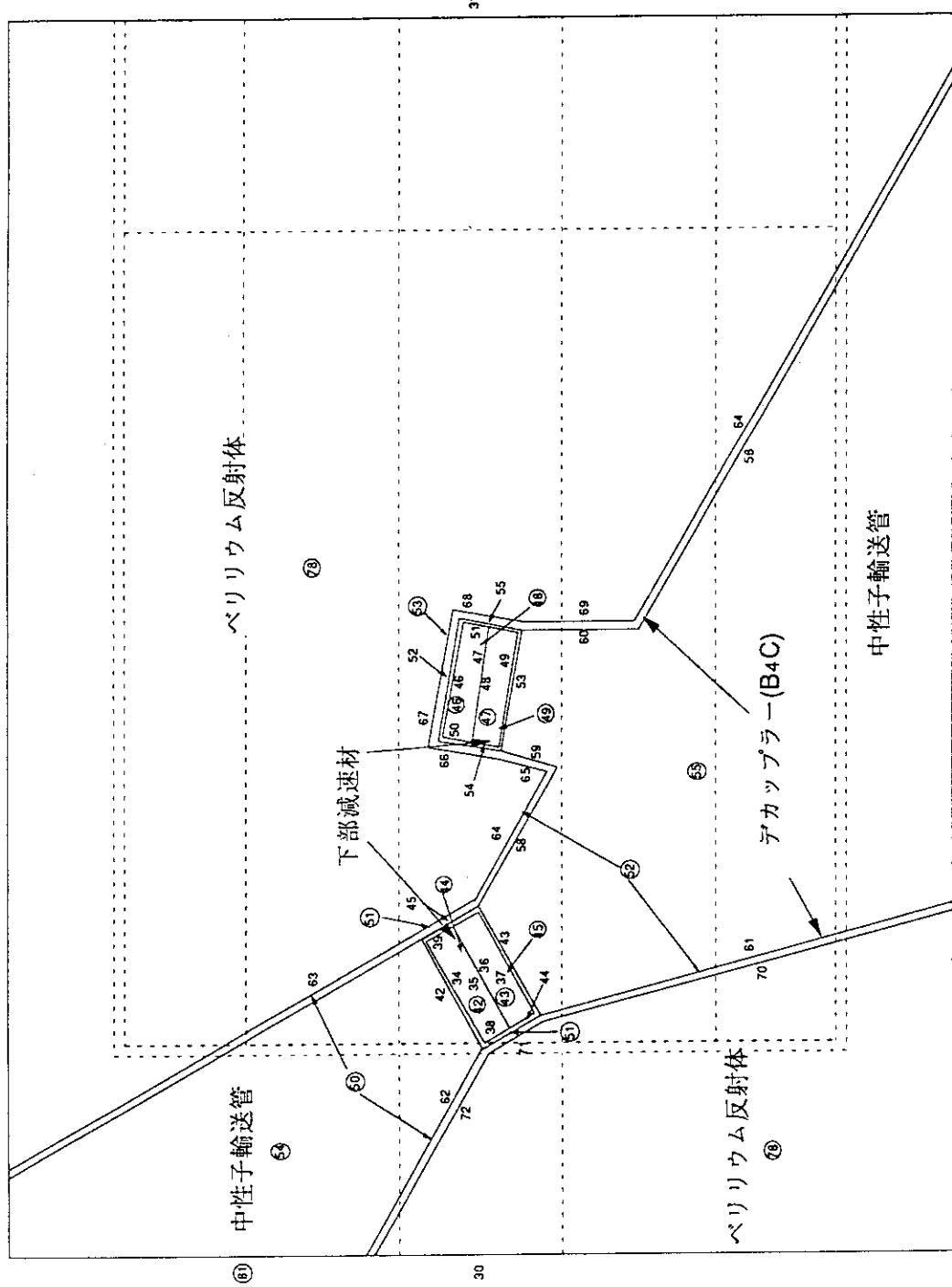


図15 計算領域定義用上部減速材：反射体部平面



```

78      34 -1.840E+0  57 -99 28 -29 30 -31
          #(21 -22 23 -24 25 -31)
          #(1 -2 3 -4 30 -25)
          #(57 -21 42 44 -43 -45)
          #(57 -21 -52 54 53 -55)
          #(22 -99 -85 87 86 -88)
          #(22 -99 95 97 -96 -98)
79      34 -1.84E+0  26 -57 28 -29 30 -31
          #(56 -57 42 71 -43 -63)
          #(56 -57 -67 66 63 -68)
          #(56 -57 30 72 -42 -63 28)
          #(56 -57 43 70 -29 -64)
          #(56 -57 65 64 -69 -53)
80      34 -1.840E+0  99 -27 28 -29 30 -31
          #(99 -100 -85 114 86 -106)
          #(99 -100 95 109 -110 -111)
          #(99 -100 113 85 -107 28 -31)
          #(99 -100 107 108 -95 -112)
          #(99 -100 -86 115 30 -29 -106)
81      31 -1.785E-4 (-117 -116 29) : (-118 -116 29)
          : (-119 -116 -28) : (-120 -116 (-30:29))
82      0           -116 # (-117 -116 29) # (-118 -116 29)
          # (-119 -116 -28) # (-120 -116 (-30:29))
          # (26 -27 28 -29 30 -31)
83      0           116

1      PX  -7.000
2      PX   7.000
3      PY  -7.000
4      PY   7.000
5      PZ  18.000
6      PZ  19.675
7      PZ  21.550
8      PZ  23.625
9      PZ  25.900
10     PZ  28.575
11     PZ  31.700
12     PZ  35.725
13     PZ  41.225
14     PZ  49.975
15     PZ  82.475
16     PZ  87.000
17     PY -20.000
18     PY  20.000
19     PY -30.000
20     PY  30.000
21     PX  -8.000
22     PX   8.000
23     PY -31.000
24     PY  31.000
25     PZ  17.000
26     PX -45.000
27     PX  45.000

```

図17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル（つづき）

```

28    PY -40.000
29    PY 40.000
30    PZ 0.000
31    PZ 105.000
32    PX -19.350
33    PX -9.350
34    P 0.000 1.732 1.000 18.500
35    P 0.000 1.732 1.000 23.400
36    P 0.000 1.732 1.000 23.600
37    P 0.000 1.732 1.000 28.500
38    P 0.000 -0.577 1.000 17.727
39    P 0.000 -0.577 1.000 29.274
40    PX -19.700
41    PX -9.000
42    P 0.000 1.732 1.000 17.900
43    P 0.000 1.732 1.000 29.100
44    P 0.000 -0.577 1.000 17.322
45    P 0.000 -0.577 1.000 29.678
46    P 0.000 -5.671 1.000 62.897
47    P 0.000 -5.671 1.000 48.788
48    P 0.000 -5.671 1.000 48.212
49    P 0.000 -5.671 1.000 34.103
50    P 0.000 0.176 1.000 43.423
51    P 0.000 0.176 1.000 53.577
52    P 0.000 -5.671 1.000 64.625
53    P 0.000 -5.671 1.000 32.375
54    P 0.000 0.176 1.000 43.067
55    P 0.000 0.176 1.000 53.933
56    PX -20.350
57    PX -8.350
58    P 0.000 -1.732 1.000 29.968
59    P 0.000 0.268 1.000 43.235
60    PZ 53.284
61    P 0.000 -0.268 1.000 18.898
62    P 0.000 -1.732 1.000 17.032
63    P 0.000 -0.577 1.000 30.429
64    P 0.000 -1.732 1.000 31.268
65    P 0.000 0.268 1.000 42.562
66    P 0.000 0.176 1.000 42.407
67    P 0.000 -5.671 1.000 68.368
68    P 0.000 0.176 1.000 54.593
69    PZ 53.934
70    P 0.000 -0.268 1.000 18.225
71    P 0.000 -0.577 1.000 16.571
72    P 0.000 -1.732 1.000 15.732
73    PX -8.010
74    PX 8.010
75    PX 9.350
76    PX 19.350
77    P 0.000 -1.732 1.000 28.500
78    P 0.000 -1.732 1.000 23.600
79    P 0.000 -1.732 1.000 23.400
80    P 0.000 -1.732 1.000 18.500

```

図17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル(つづき)

81 P 0.000 0.577 1.000 17.726
 82 P 0.000 0.577 1.000 29.274
 83 PX 9.000
 84 PX 19.700
 85 P 0.000 -1.732 1.000 29.100
 86 P 0.000 -1.732 1.000 17.900
 87 P 0.000 0.577 1.000 17.322
 88 P 0.000 0.577 1.000 29.678
 89 P 0.000 5.671 1.000 34.103
 90 P 0.000 5.671 1.000 48.212
 91 P 0.000 5.671 1.000 48.788
 92 P 0.000 5.671 1.000 62.897
 93 P 0.000 -0.176 1.000 43.423
 94 P 0.000 -0.176 1.000 53.577
 95 P 0.000 5.671 1.000 32.375
 96 P 0.000 5.671 1.000 64.625
 97 P 0.000 -0.176 1.000 43.067
 98 P 0.000 -0.176 1.000 53.933
 99 PX 8.350
 100 PX 20.350
 101 P 0.000 1.732 1.000 29.968
 102 P 0.000 -0.268 1.000 43.235
 103 PZ 53.284
 104 P 0.000 0.268 1.000 18.898
 105 P 0.000 1.732 1.000 17.032
 106 P 0.000 0.577 1.000 30.429
 107 P 0.000 1.732 1.000 31.268
 108 P 0.000 -0.268 1.000 42.562
 109 P 0.000 -0.176 1.000 42.407
 110 P 0.000 5.671 1.000 68.368
 111 P 0.000 -0.176 1.000 54.593
 112 PZ 53.934
 113 P 0.000 0.268 1.000 18.225
 114 P 0.000 0.577 1.000 16.571
 115 P 0.000 1.732 1.000 15.732
 116 C/X 0.000 36.00 800.000
 117 1 C/Y -14.350 0.000 5.000
 118 2 C/Y -14.350 0.000 5.000
 119 3 C/Y 14.350 0.000 5.000
 120 4 C/Y 14.350 0.000 5.000

MODE N
 IMP:N 1 79R 1 0 0
 C MATERIAL CARDS
 C <<Ta+H2O -1>>
 M1 73181.37C 6.5650E-1
 8016.37C 1.1450E-1
 1001.37C 2.2900E-1
 MT1 LWT.R.01T
 C <<Ta+H2O -2>>
 M2 73181.37C 6.8800E-1
 8016.37C 1.0400E-1
 1001.37C 2.0800E-1

図17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル(つづき)

```

MT2      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -3>>
M3      73181. 37C 7. 1411E-1
        8016. 37C 9. 5290E-2
        1001. 37C 1. 9060E-1
MT3      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -4>>
M4      73181. 37C 7. 3643E-1
        8016. 37C 8. 7870E-2
        1001. 37C 1. 7570E-1
MT4      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -5>>
M5      73181. 37C 7. 7153E-1
        8016. 37C 7. 6170E-2
        1001. 37C 1. 5230E-1
MT5      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -6>>
M6      73181. 37C 8. 0168E-1
        8016. 37C 6. 6120E-2
        1001. 37C 1. 3220E-1
MT6      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -7>>
M7      73181. 37C 8. 4282E-1
        8016. 37C 5. 2380E-2
        1001. 37C 1. 0480E-1
MT7      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -8>>
M8      73181. 37C 8. 4631E-1
        8016. 37C 5. 1190E-2
        1001. 37C 1. 0250E-1
MT8      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -9>>
M9      73181. 37C 8. 5458E-1
        8016. 37C 4. 8470E-2
        1001. 37C 9. 6950E-2
MT9      LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -10>>
M10     73181. 37C 8. 6853E-1
        8016. 37C 4. 3890E-2
        1001. 37C 8. 7580E-2
MT10     LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -11>> (H2O)
M11     8016. 37C 3. 3333E-1
        1001. 37C 6. 6667E-1
MT11     LWTR. 01T
C       <<Ta+H2O -12>> (Ni+H2O -10)
M12     28000. 37C 9. 1574E-1
        8016. 37C 2. 8090E-2
        1001. 37C 5. 6170E-2
MT12     LWTR. 01T
C       <<Ni+H2O -1>>
M13     28000. 37C 7. 5807E-1
        8016. 37C 8. 0630E-2
        1001. 37C 1. 6130E-1

```

図 1 7 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル（つづき）

```

MT13    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -2>>
M14    28000.37C 7.8371E-1
      8016.37C 7.2090E-2
      1001.37C 1.4420E-1
MT14    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -3>>
M15    28000.37C 8.0424E-1
      8016.37C 6.5260E-2
      1001.37C 1.3050E-1
MT15    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -4>>
M16    28000.37C 8.2946E-1
      8016.37C 5.9640E-2
      1001.37C 1.1090E-1
MT16    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -5>>
M17    28000.37C 8.4745E-1
      8016.37C 5.0850E-2
      1001.37C 1.0170E-1
MT17    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -6>>
M18    28000.37C 8.6916E-1
      8016.37C 4.3610E-2
      1001.37C 8.7230E-2
MT18    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -7>>
M19    28000.37C 8.9813E-1
      8016.37C 3.3960E-2
      1001.37C 6.7910E-2
MT19    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -8>>
M20    28000.37C 9.0053E-1
      8016.37C 3.3150E-2
      1001.37C 6.6320E-2
MT20    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -9>>
M21    28000.37C 9.0618E-1
      8016.37C 3.1270E-2
      1001.37C 6.2550E-2
MT21    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -10>>
M22    28000.37C 9.1574E-1
      8016.37C 2.8090E-2
      1001.37C 5.6170E-2
MT22    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -11>> (H2O)
M23    8016.37C 3.3333E-1
      1001.37C 6.6667E-1
MT23    LWTR. 01T
C      <<Ni+H2O -12>> (Ni+H2O -10)
M24    28000.37C 9.1574E-1
      8016.37C 2.8090E-2
      1001.37C 5.6170E-2

```

図17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル（つづき）

```

MT24    LWTR. 01T
C      <<H2O>>
M25    8016. 37C 3. 3333E-1
       1001. 37C 6. 6667E-1
MT25    LWTR. 01T
C      <<Target Vessel (HT-9) >>
M26    26000. 37C 8. 4239E-1
       28000. 37C 4. 7290E-3
       24000. 37C 1. 2810E-1
       6012. 37C 9. 2430E-4
       42000. 37C 5. 7860E-3
       25055. 37C 5. 0520E-3
       14000. 37C 7. 9060E-3
       74000. 41C 1. 5100E-3
       23051. 37C 3. 5960E-3
C      <<Moderator H2O>>
M27    8016. 37C 3. 3333E-1
       1001. 37C 6. 6667E-1
MT27    LWTR. 01T
C      <<Poison>> (H2O)
M28    8016. 37C 3. 3333E-1
       1001. 37C 6. 6667E-1
MT28    LWTR. 01T
C      <<Moderator cover (Al)>>
M29    13027. 37C 1. 0000E-0
C      <<Decoupler (B4C)>>
M30    5010. 37C 1. 5920E-1
       5011. 37C 6. 4080E-1
       6012. 37C 2. 0000E-1
C      <<Void (He)>>
M31    2004. 37C 1. 0000E-0
C      <<Premoderator -1>> (H2O)
M32    8016. 37C 3. 3333E-1
       1001. 37C 6. 6667E-1
MT32    LWTR. 01T
C      <<Premoderator -2>> (H2O)
M33    8016. 37C 3. 3333E-1
       1001. 37C 6. 6667E-1
MT33    LWTR. 01T
C      <<Reflector (Be)>>
M34    4009. 37C 1. 0000E-0
MT34    BE. 01T
C      <<Beam window (HT-9)>>
M35    26000. 37C 8. 4239E-1
       28000. 37C 4. 7290E-3
       24000. 37C 1. 2810E-1
       6012. 37C 9. 2430E-4
       42000. 37C 5. 7860E-3
       25055. 37C 5. 0520E-3
       14000. 37C 7. 9060E-3
       74000. 41C 1. 5100E-3
       23051. 37C 3. 5960E-3

```

図 17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル（つづき）

```

C
*TR1    0.000 0.000 23.500
        0.0 90.0 90.0 90.0 30.0 60.0 90.0 120.0 30.0 1
*TR2    0.000 0.000 48.500
        0.0 90.0 90.0 90.0 0.0 90.0 90.0 90.0 0.0 1
*TR3    0.000 0.000 23.500
        0.0 90.0 90.0 90.0 45.0 135.0 90.0 45.0 45.0 1
*TR4    0.000 0.000 23.500
        0.0 90.0 90.0 90.0 60.0 150.0 90.0 30.0 60.0 1

C      SOURCE CARDS
C SDEF  X D1 Y D2 Z D3
C SI1   H -45.0 45.0
C SP1   0 1
C SI2   H -40.0 40.0
C SP2   0 1
C SI3   H 0.0 105.0
C SP3   0 1
C SPA   -5
NPS   100000
C      PRINT CONTROL (FULL OUTPUT)
PRINT
C      TRANSPORT CALC. WITH NMTC HISTRY FILE
CTME  2400
C      CUT OFF ENERGY SET
CUT:N  0 3.10E-11
C      TALLY CARD
FC5   1 45deg 2 60deg 3 90deg 4 150deg
F5:N   14.350 -564.829 588.329 1
       -14.350 689.509 421.588 1
       -14.350 790.000 48.500 1
       14.350 -389.584 -651.279 1
T0    3.0000E+5 3.0400E+5 3.0800E+5 3.1200E+5 3.1600E+5
       3.2000E+5 3.2400E+5 3.2800E+5 3.3200E+5 3.3600E+5
       3.4000E+5 3.4400E+5 3.4800E+5 3.5200E+5 3.5600E+5
       3.6000E+5 3.6400E+5 3.6800E+5 3.7200E+5 3.7600E+5
       3.8000E+5 3.8400E+5 3.8800E+5 3.9200E+5 3.9600E+5
       4.0000E+5 4.0400E+5 4.0800E+5 4.1200E+5 4.1600E+5
       4.2000E+5 4.2400E+5 4.2800E+5 4.3200E+5 4.3600E+5
       4.4000E+5 4.4400E+5 4.4800E+5 4.5200E+5 4.5600E+5
       4.6000E+5 4.6400E+5 4.6800E+5 4.7200E+5 4.7600E+5
       4.8000E+5 4.8400E+5 4.8800E+5 4.9200E+5 4.9600E+5
       5.0000E+5 5.0400E+5 5.0800E+5 5.1200E+5 5.1600E+5
       5.2000E+5 5.2400E+5 5.2800E+5 5.3200E+5 5.3600E+5
       5.4000E+5 5.4400E+5 5.4800E+5 5.5200E+5 5.5600E+5
       1.0000E+12
E0    5.393E-11 8.892E-11 1.466E-10 3.520E-10 5.393E-10 8.892E-10
       1.4660E-9 3.3341E-9 5.9790E-9 9.3790E-9 1.3541E-8 3.0600E-8
       5.4518E-8 8.5295E-8 1.2293E-7 1.6743E-7 2.1878E-7 2.7699E-7
       3.4206E-7 4.1399E-7 6.0236E-7 8.7642E-7 1.2752E-6 1.8554E-6
       6.4760E-6 2.9023E-5 1.3007E-4 5.8295E-4 5.5308E-3 1.5034E-2
       5.2475E-2 1.8316E-1 1.0540E+0 4.7237E+0 1.6870E+1 2.0000E+1

```

図17 軽水減速材の場合のMCNP入力ファイル（つづき）

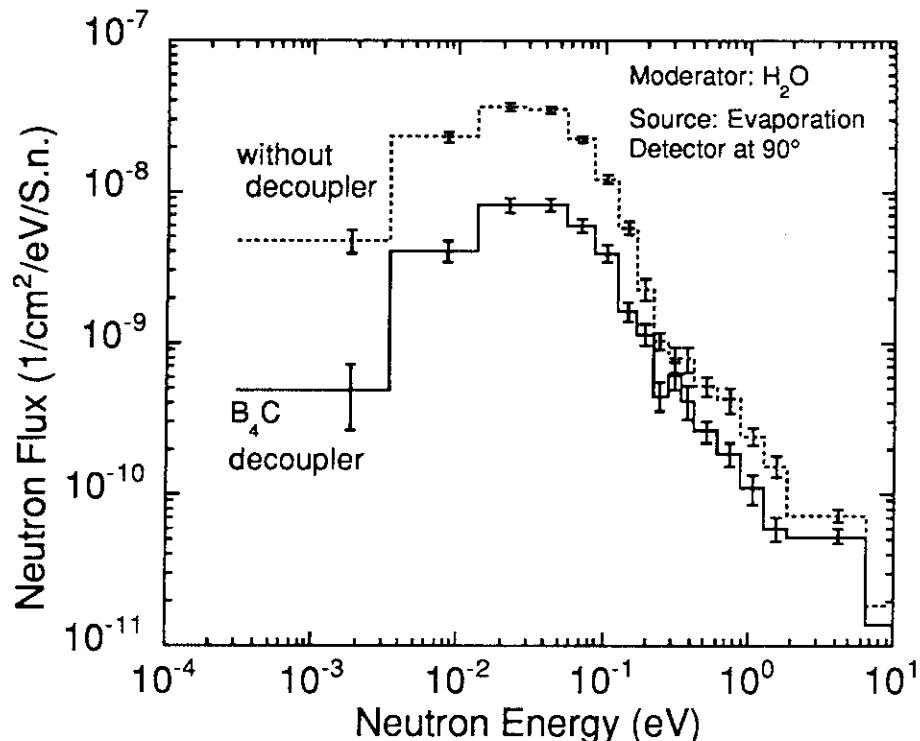


図1.8 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に軽水減速材から90°方向へ放出される中性子エネルギースペクトル計算値。実線はB₄Cデカッpler付きの場合、点線はデカッplerなしの場合の結果を表す。

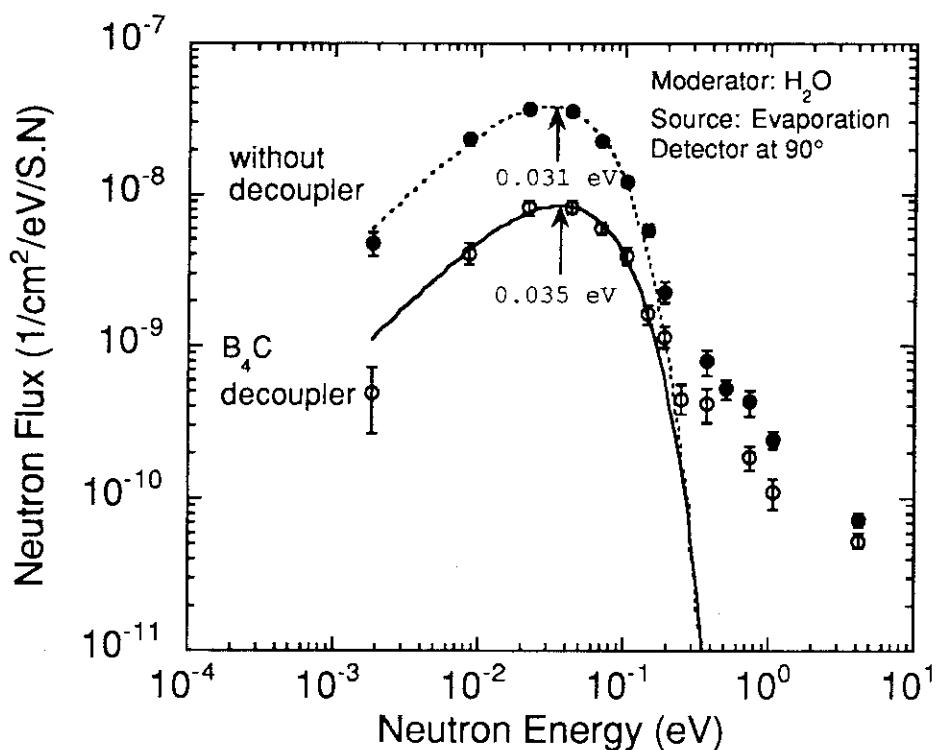


図1.9 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に軽水減速材から90°方向へ放出される中性子エネルギースペクトルの熱平衡成分をフィティングした結果。

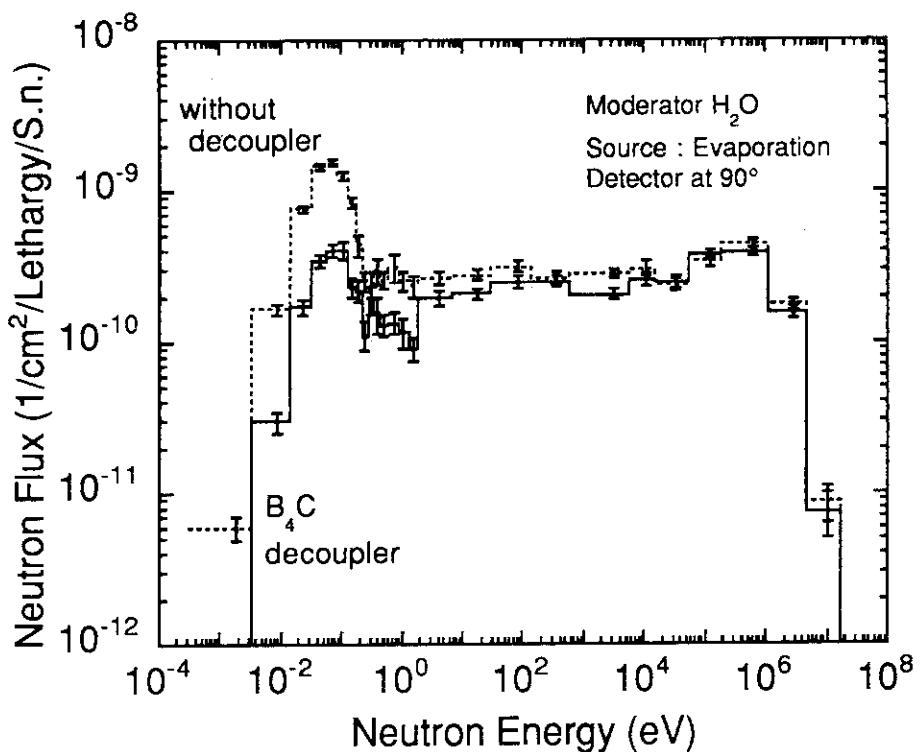


図20 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に軽水減速材から90°方向へ放出される中性子束計算値。実線及び点線の脚注は図18と同様である。

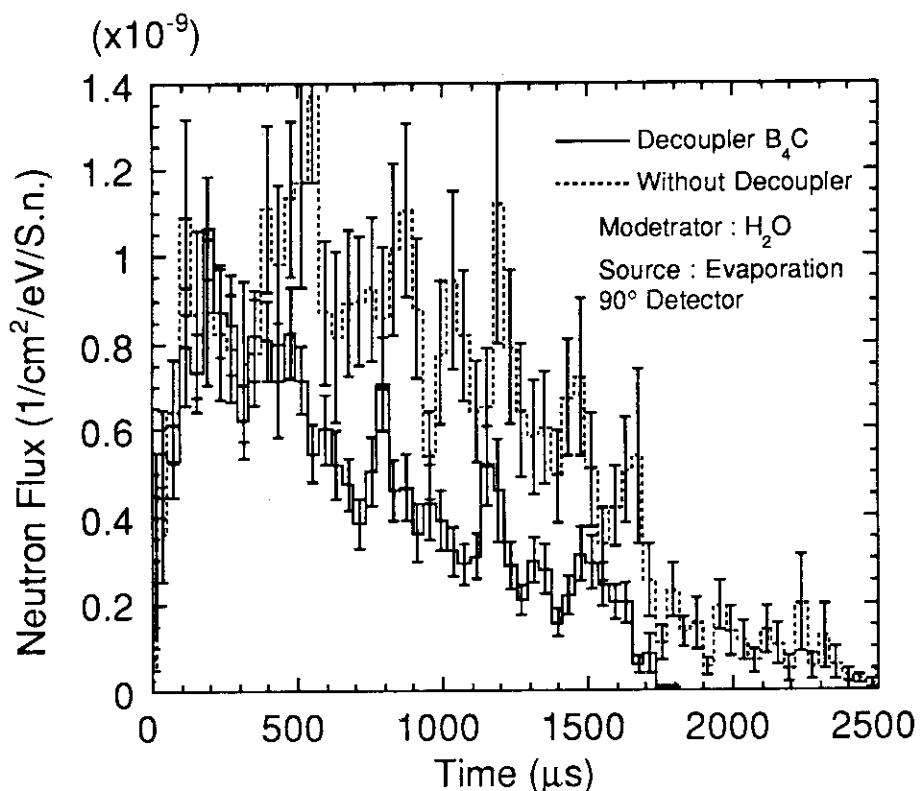


図21 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に軽水減速材から90°方向へ放出される中性子の時間スペクトル計算値。実線はB₄Cデカップラー付きの場合、点線はデカップラーなしの場合の結果を表す。

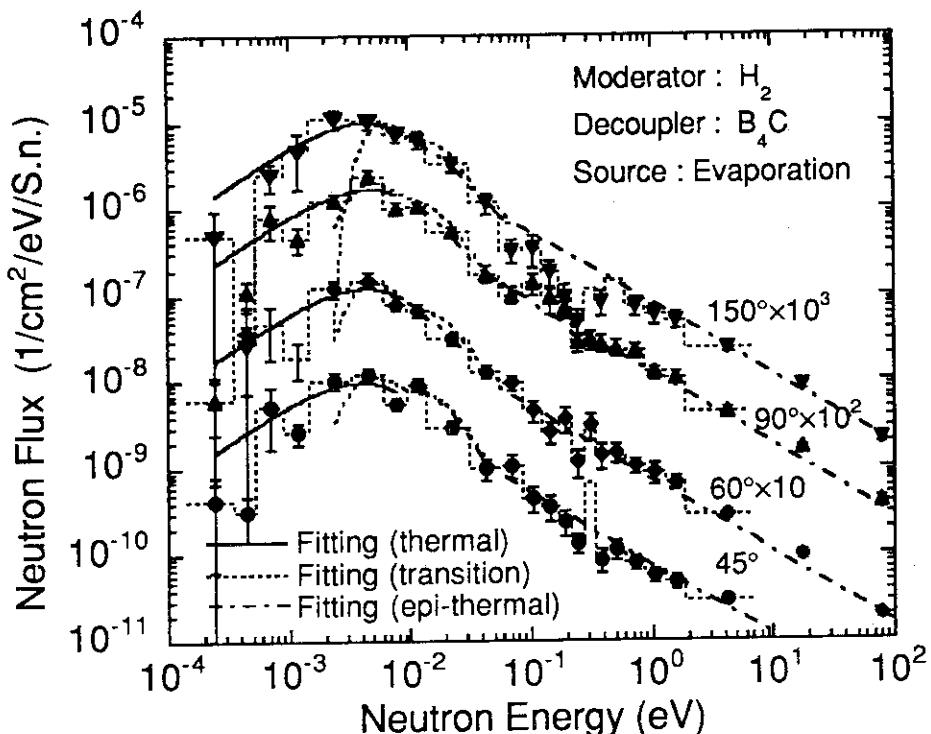


図2-2 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から $45^\circ \sim 150^\circ$ 方向へ放出される中性子エネルギースペクトル計算値。実線、点線、一点鎖線は熱平衡成分、遷移領域成分及び減速成分を各々フィッティングした結果を表す。

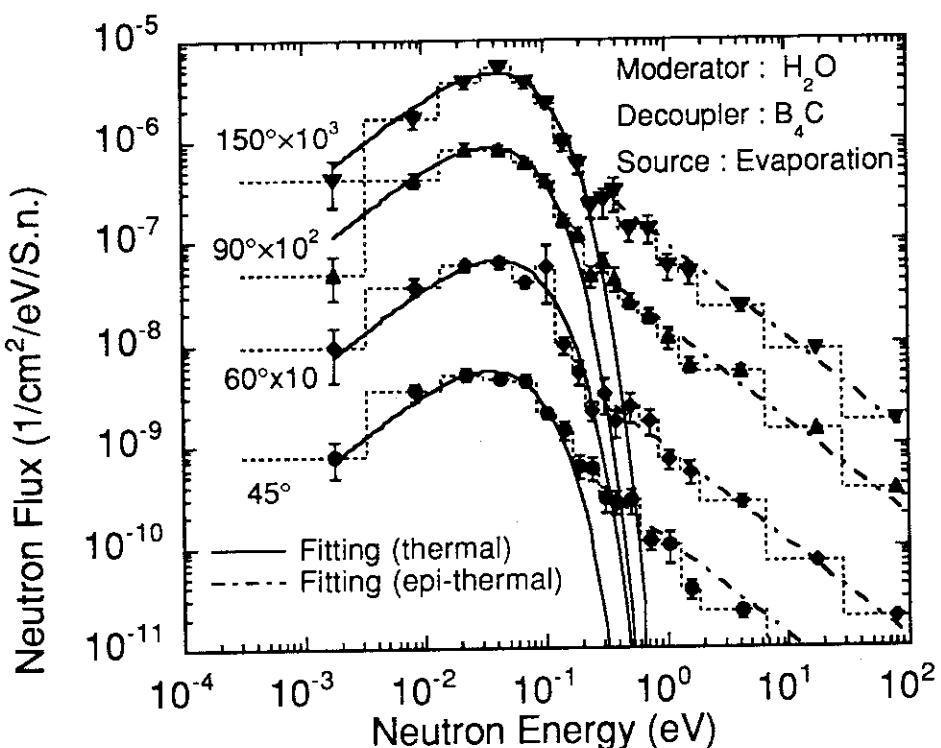


図2-3 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から $45^\circ \sim 150^\circ$ 方向へ放出される中性子エネルギースペクトル計算値。実線及び一点鎖線は各々熱平衡成分及び減速成分をフィッティングした結果を表す。

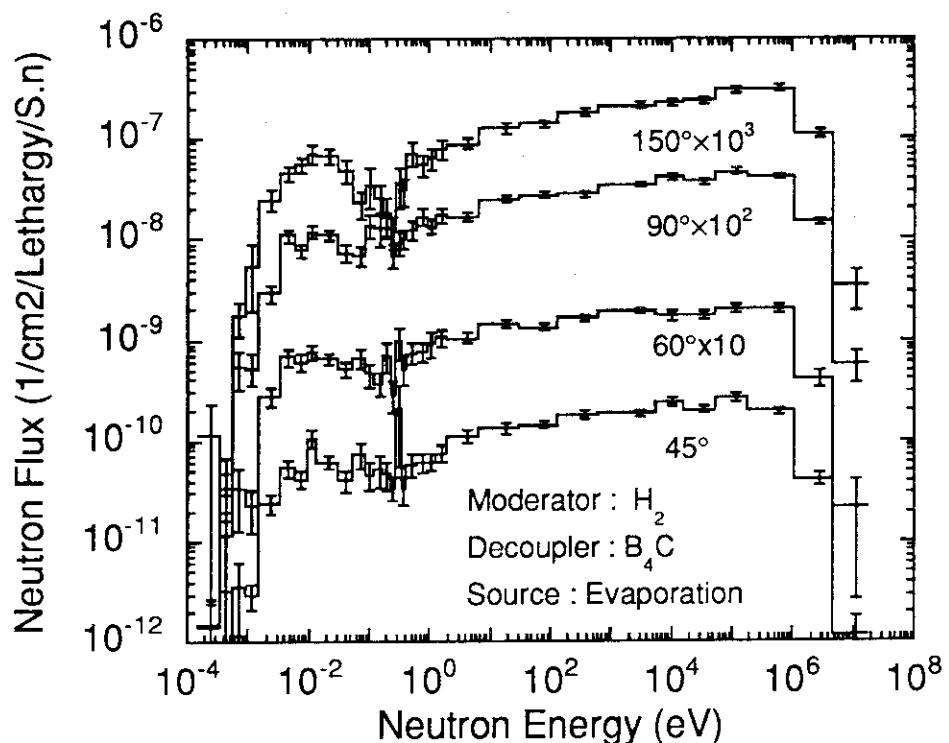


図24 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から 45° ~ 150° 方向へ放出される中性子束計算値を各々 10 倍毎にスケールを変えて表示した結果。

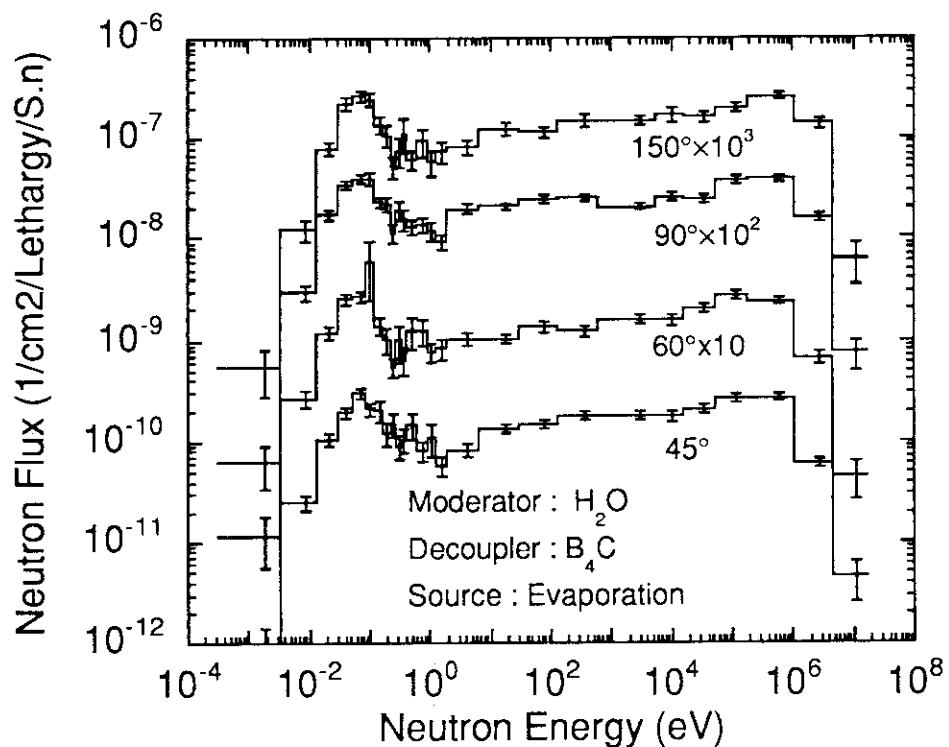


図25 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から 45° ~ 150° 方向へ放出される中性子束計算値を各々 10 倍毎にスケールを変えて表示した結果。

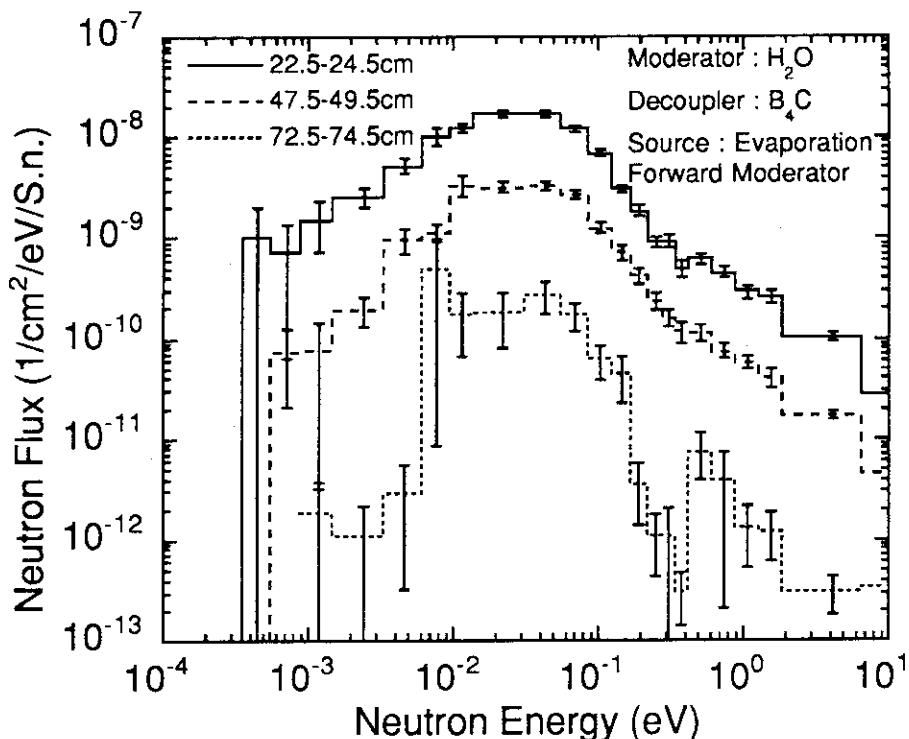


図 26 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定し、線源位置を 3 通りに固定した場合にターゲット前部に置いた B_4C デカップラー付きの軽水減速材から放出される中性子エネルギースペクトル計算値。

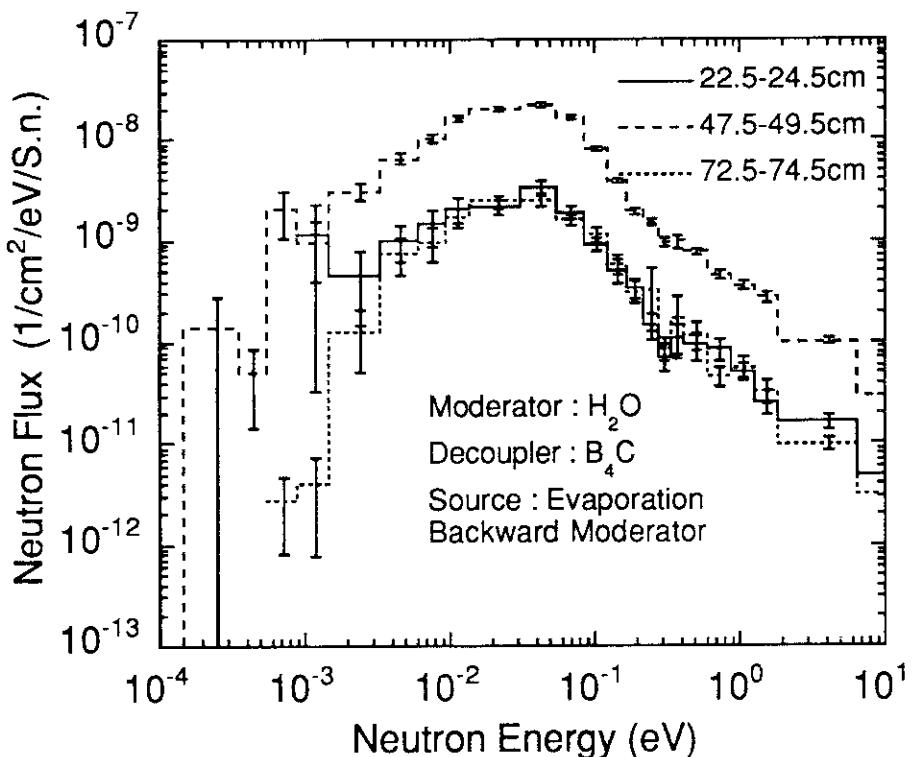


図 27 ターゲット部の線源を蒸発スペクトルと仮定し、線源位置を 3 通りに固定した場合にターゲット後部に置いた B_4C デカップラー付きの軽水減速材から放出される中性子エネルギースペクトル計算値。

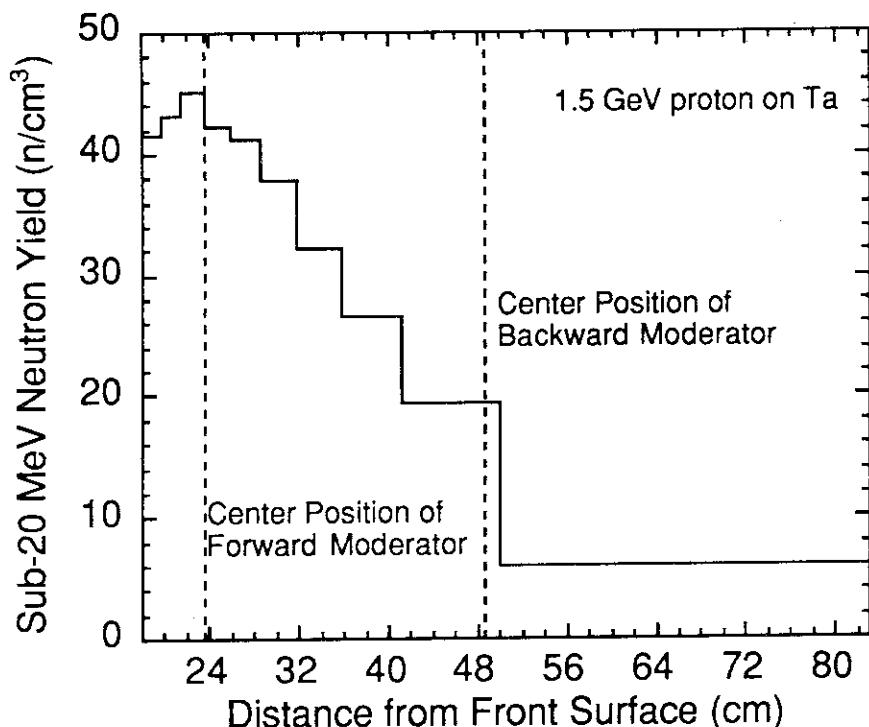


図28 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合にターゲット内で発生する20 MeV以下の中性子の分布。

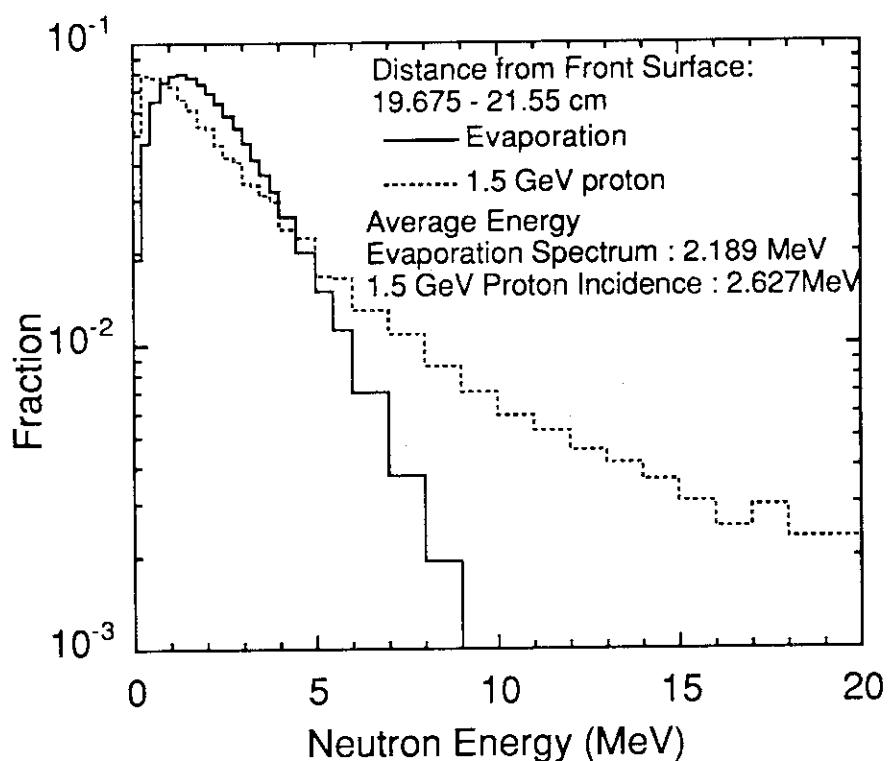


図29 平均エネルギー 2.2 MeV の蒸発スペクトルと 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合にターゲットで発生する中性子エネルギースペクトル計算値の比較。

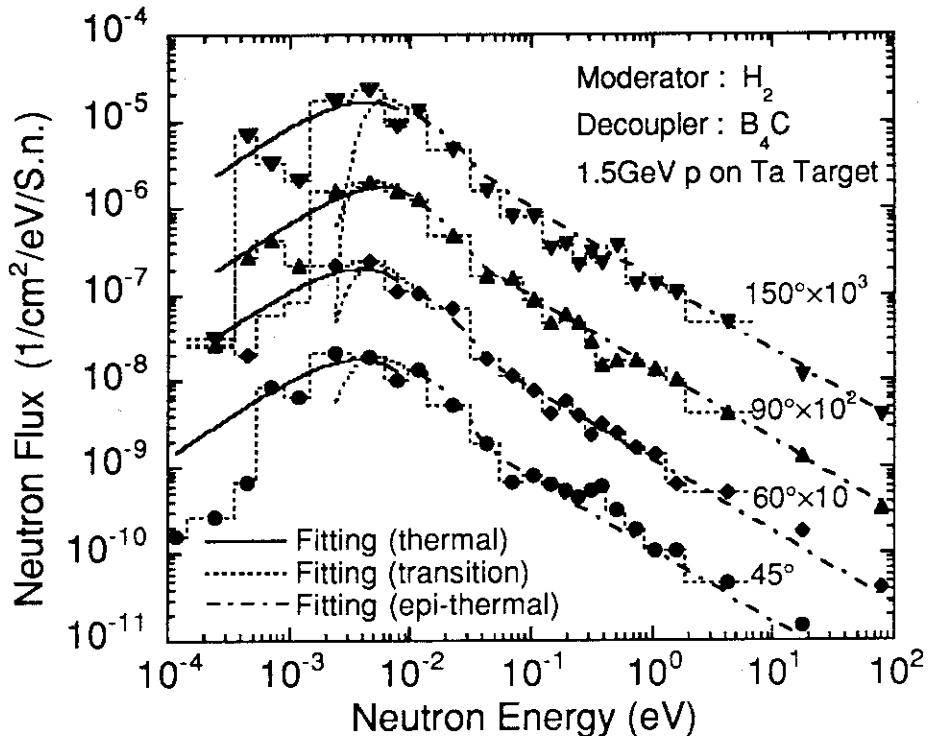


図3.0 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から $45^\circ \sim 150^\circ$ 方向へ放出される中性子エネルギースペクトル計算値。実線、点線、一点鎖線は各々熱平衡成分、遷移領域成分及び減速領域成分をフィッティングした結果を表す。

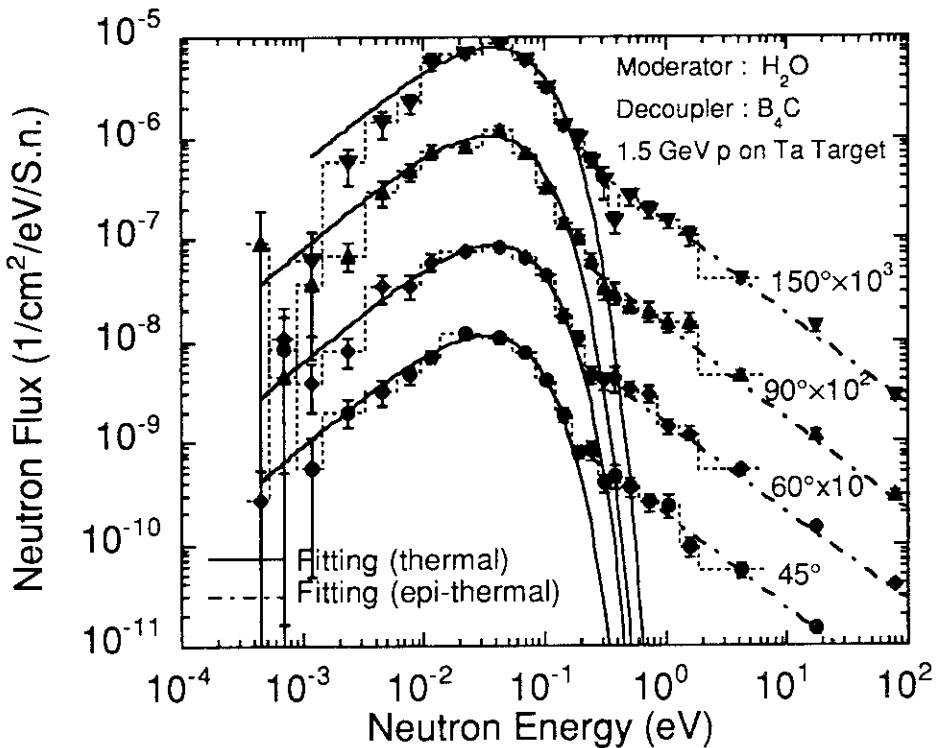


図3.1 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から $45^\circ \sim 150^\circ$ 方向へ放出される中性子エネルギースペクトル計算値。実線及び一点鎖線は各々熱平衡成分及び減速領域成分をフィッティングした結果を表す。

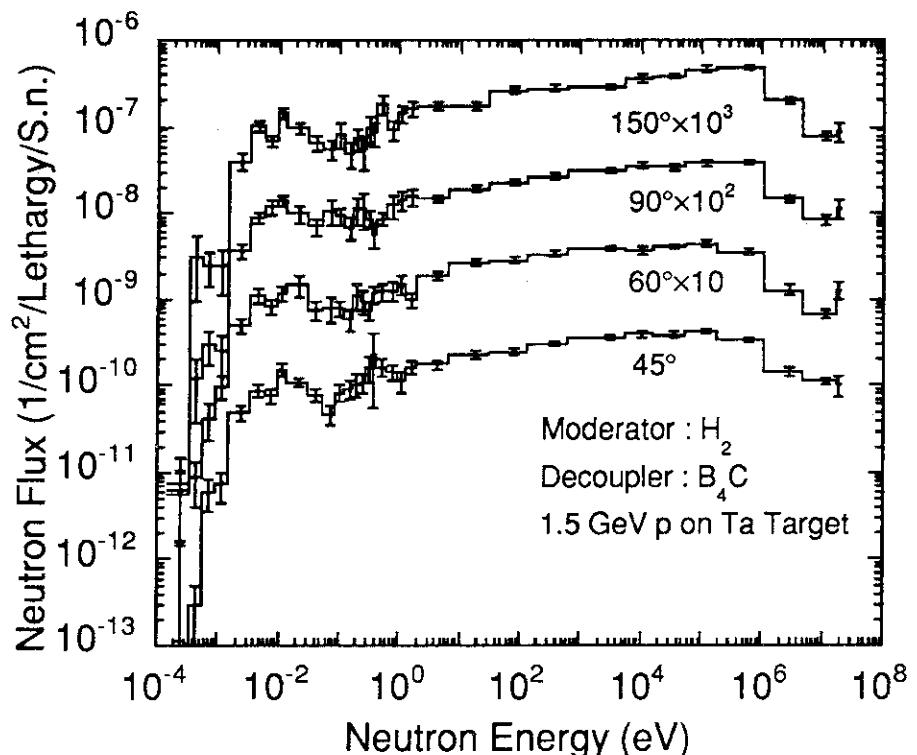


図 3.2 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から 45° ~ 150° 方向へ放出される中性子束計算値を各々 10 倍毎にスケールを変えて表示した結果。

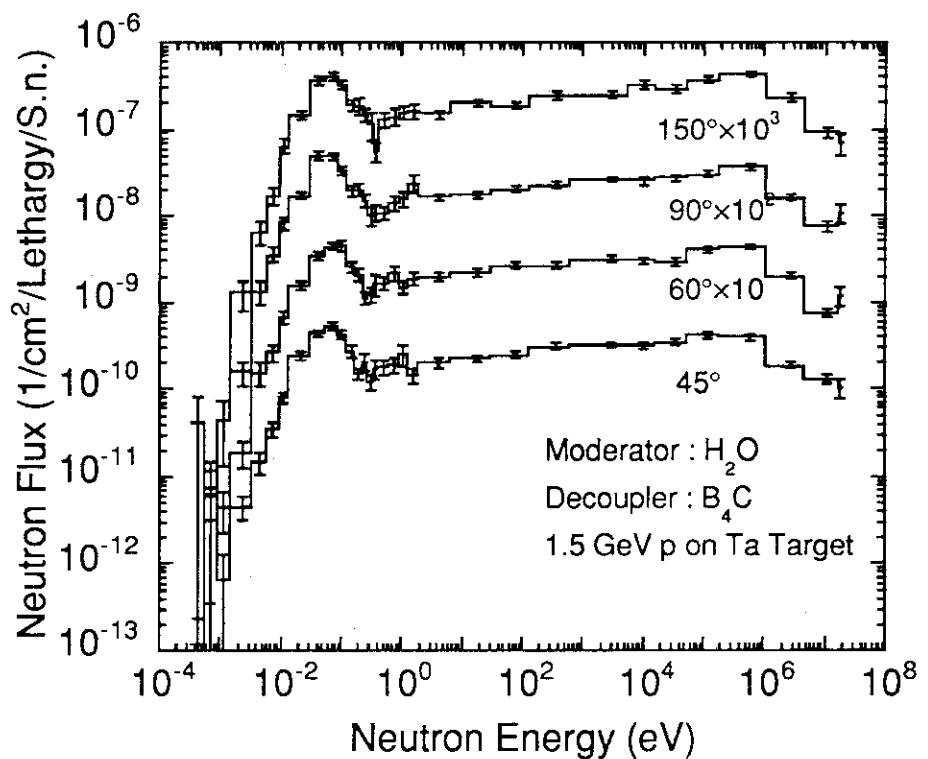


図 3.3 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から 45° ~ 150° 方向へ放出される中性子束計算値を各々 10 倍毎にスケールを変えて表示した結果。

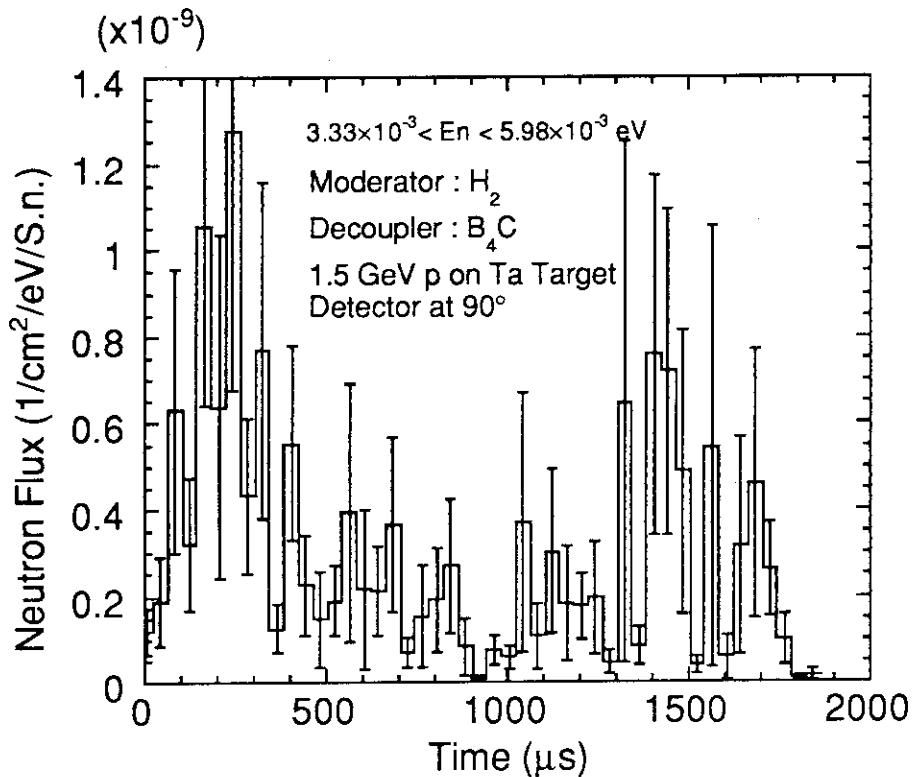


図3.4 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの液体水素減速材から 90° 方向へ放出される中性子の時間スペクトル計算値。

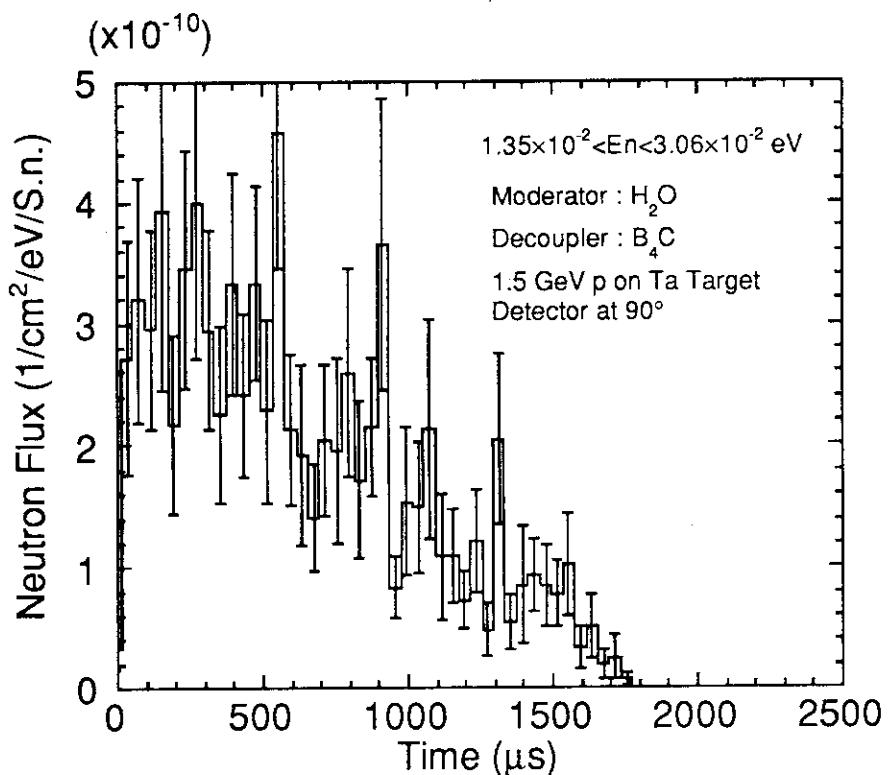


図3.5 1.5 GeV 陽子をタンタルターゲットに入射した場合に B_4C デカップラー付きの軽水減速材から 90° 方向へ放出される中性子の時間スペクトル計算値。