

「常陽」の照射試験における
中性子照射量の精度向上

(研究報告書)

1999年3月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

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

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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section ,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,
Japan.

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1998

「常陽」の照射試験における中性子照射量の精度向上

(研究報告書)

伊藤主税*1、青山卓史*2、佐井川拓也*3、栢井智彦*3

要 旨

高速実験炉「常陽」では、多重放射化箔法に基づく原子炉ドシメトリーにより、実測ベースの中性子スペクトルを評価し、核計算で求めた中性子照射量の精度と信頼性を確保している。本研究では、「常陽」の代表的な照射場である燃料領域と反射体領域で照射した照射試験用集合体について、「常陽」炉心管理コードシステム"MAGI"で求めた中性子照射量の計算値が、ドシメトリーによりどのように改善されるかを評価した。また、測定反応率からスペクトルを求める上で重要な断面積セットがドシメトリーに与える影響についても評価した。

本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- (1) ドシメータの反応率測定結果を用いて、計算による中性子束の初期推定スペクトルをアジャストすることにより、反応率のC/Eがほぼ1に改善され、その誤差が低減される。
- (2) ドシメトリー用断面積セットをENDF/B-VからJENDL-3に更新したことにより、Co及びScの中性子捕獲断面積の誤差が低減され、10~100keVのエネルギー領域における中性子スペクトルの評価精度を向上できた。
- (3) 今回評価した「常陽」の燃料領域及び反射体領域における照射試験(集合体名:C3M, SMIR-23)について、ドシメトリー結果から求めた"MAGI"の高速中性子束計算値に対する補正量は約10~30%であり、炉心管理コードシステムによる計算結果の改善割合を明らかにした。

*1 元大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部技術課 (現科学技術庁)

*2 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 実験炉部技術課

*3 検査開発株式会社

Improvement of Material Dosimetry for Irradiation Test in JOYO

Chikara ITO*, Takafumi AOYAMA**, Takuya SAIKAWA*** and Tomohiko MASUI***

ABSTRACT

The material dosimetry using the multiple foil activation method has been carried out in order to assure the accuracy and reliability of neutron fluences for the irradiation tests in the experimental fast reactor "JOYO".

In this study, the neutron fluences were calculated by the JOYO core management code system "MAGI" for the subassemblies which were irradiated at the positions around control rods or reflector boundary in the JOYO Mk-II core.

Improvement of neutron fluence was evaluated when the "MAGI" calculation was corrected with the dosimetry results. The difference of the neutron spectrum adjustment was also investigated between ENDF/B-V and JENDL-3 dosimetry files.

The major results obtained are summarized as follows;

- (1) The reaction rates of the dosimeters calculated by the adjusted neutron spectrum agreed well with the measured values, and its error was reduced.
- (2) The neutron spectrum adjusted using JENDL-3 dosimetry file was significantly improved than that by ENDF/B-V in the energy range of 10~100 keV, because of the less error of the neutron capture cross sections of Co and Sc.
- (3) It showed that the correction rate of the "MAGI" calculation by the dosimetry results ranged 10~30% for the subassemblies of the JOYO irradiation test.

*Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, Oarai Engineering Center, JNC (Presently at Science and Technology Agency)

**Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, Oarai Engineering Center, JNC

***Inspection and Development Company Ltd.

目次

1. 緒言	1
2. 照射試験の概要	1
2.1 照射試験用集合体及び照射履歴	1
2.2 ドシメータセット	1
3. 測定・解析方法	2
3.1 反応率測定	2
3.2 “NEUPAC”によるアジャストメント	2
3.3 炉心管理コードシステムによる計算	3
4. 測定・解析結果	3
4.1 反応率	3
4.2 中性子スペクトル及び照射量	4
5. 評価	4
6. 結言	5
謝辞	5
参考文献	5

表リスト

表 2.1	ドシメータの照射位置	7
表 4.1	反応率測定結果(C3M).....	8
表 4.2	反応率測定結果(SMIR-23)	8
表 4.3	アジャスト前後の反応率のC/E(C3M)	9
表 4.4	アジャスト前後の反応率のC/E(SMIR-23)	10
表 4.5	C3Mのドシメトリー結果.....	11
表 4.6	SMIR-23のドシメトリー結果	11

図リスト

図 2.1	C3MとSMIR-23の装荷履歴	13
図 2.2	C3Mの装荷位置.....	15
図 2.3	SMIR-23の装荷位置	15
図 2.4	C3Mの概略構造.....	17
図 2.5	SMIR-23の概略構造	19
図 3.1	“NEUPAC”による中性子スペクトル解析フロー.....	21
図 4.1	C3Mのアジャスト後の中性子スペクトル.....	23
図 4.2	SMIR-23のアジャスト後の中性子スペクトル	23
図 4.3	C3Mの改善率及びスペクトル比.....	25
図 4.4	SMIR-23の改善率及びスペクトル比	27
図 5.1	C3M周りの高速中性子とC/E	29

1. 緒言

高速炉における照射試験では、中性子スペクトルなかでも高速中性子照射量を精度良く評価することが重要である。高速実験炉「常陽」では、原子炉ドシメトリーにより実測ベースの中性子スペクトルを評価し、核計算で算出した中性子照射量の精度と信頼性を確保している[1],[2],[3]。

本研究では、「常陽」照射用炉心(Mk-II炉心)の代表的な照射場である燃料領域と反射体領域において照射された照射試験用集合体の中性子照射量を評価した。これらの集合体は、内部構造が非均質であること、制御棒との隣接位置あるいは燃料領域と反射体領域の境界で照射されており、局所的な中性子束勾配やスペクトル変化が大きいため、炉心管理コードシステム"MAGI"[1]によるHex-Z体系の7群拡散計算では計算精度が低下する。そこで、これらの照射試験における中性子照射量について、多重放射化箔法に基づく実測ドシメトリーにより"MAGI"の計算値がどのように改善されるかを評価した。また、測定反応率からスペクトルを求める上で重要な断面積セットがドシメトリーに与える影響についても評価した。

2. 照射試験の概要

2.1 照射試験用集合体及び照射履歴

本研究では、代表的な2種類の照射試験用集合体を選定した。

1体は、C型特殊燃料集合体(C3M)で、「常陽」Mk-II炉心の第9サイクルから第23rdサイクル(昭和61年2月12日～平成3年9月10日)まで照射された。C3M集合体の照射履歴と照射位置を図2.1及び図2.2に示すが、定格出力100MWt換算の積算照射時間は836.7EFPDであり、全中性子照射量は炉中心高さレベルで約 1.9×10^{23} n/cm²である。このC3M集合体は、照射開始の第9サイクルから第20thサイクルまでは炉心第3列(炉心アドレス[3E1])において照射され、その後炉心第2列(炉心アドレス[2D2])に移動し、第21stサイクルから照射終了の第23rdサイクルまで照射されており、いずれも制御棒に隣接した位置に装荷された。

もう1体は、構造材料照射用反射体(SMIR-23)であり、第24thサイクルから第25thサイクルまで(平成4年3月14日～平成4年11月29日)照射された。SMIR-23集合体の照射履歴を図2.1に示すが、積算照射時間は109.9EFPDであり、全中性子照射量は炉中心高さレベルの上方約6.5cmで約 1.8×10^{22} n/cm²である。このSMIR-23集合体は、図2.3に示すように燃料領域と反射体領域との境界に装荷された。

2.2 ドシメータセット

ドシメータセットとして、C3M及びSMIR-23集合体の照射位置における中性子スペクトルのエネルギー領域に感度を有するFe, Cu, Co, Scの放射化箔と²³⁷Np, ²³⁵Uの核分裂箔を

選定し、これらを組込んだドシメータキャプセルを照射試験用集合体に装填した。それぞれの集合体へのドシメータ装荷位置は、表2.1に示すとおりである。

C3M集合体は、図2.4に示すように二重のラッパ管を有し、ドシメータキャプセルは、内側ラッパ管と外側ラッパ管との隙間部で、軸方向に炉中心高さレベルと燃料領域の上・下端に相当する3ヶ所とエントランスノズル部1ヶ所の合計4ヶ所に取付けられた。

一方、SMIR-23集合体は、図2.5に示すように軸心管の周囲に6つのコンパートメントが配置された構造であり、ドシメータキャプセルは3つのコンパートメントの側面に、それぞれ軸方向に炉中心高さレベルと燃料領域の上方あるいは下方位置の2ヶ所ずつ、合計6ヶ所に取付けられた。

3. 測定・解析方法

3.1 反応率測定

照射終了後、ドシメータは集合体から取出され、高純度Ge半導体検出器によりその放射化量が測定される^[4]。次に、測定された放射化量と、ドシメータ重量及び同位体存在比、「常陽」プラントデータ収録システム“JOYDAS”^[5]により採取した原子炉運転履歴データ、照射終了時からの冷却時間等を用いて反応率を算出した。また、ドシメータ形状に起因する γ 線自己吸収補正や、核分裂反応に対する燃焼効果補正（標的核種の中性子捕獲で生成した高次のアクチニドの核分裂によるFP生成成分を全FP生成量から差引くことにより標的核種のみ核分裂反応を算出するための補正）を行った。

「常陽」のドシメトリシステムによる反応率の測定精度については、東京大学の高速中性子源炉「弥生」の標準中性子場で実施した国内の主要機関とのブライントテストや米国アルゴンヌ国立研究所の実験炉EBR-IIとの相互比較を通じて、誤差 $\pm 2\sim 4\%$ の信頼性を有することを確認している^[6]。

なお、C3M集合体は、前述のように照射期間中に炉心第3列から第2列に移動しているが、反応率解析では、両位置における中性子スペクトルの形状は変わらないものと仮定して、終始炉心第2列で照射したものと見なし、第3列で照射した期間については中性子照射量を保存するように第2列位置相当の照射時間に補正した。

3.2 “NEUPAC”によるアジャストメント

次に、3.1で得られたドシメータの反応率を用いて、“NEUPAC-Jlog”^[7]により中性子スペクトルをアジャストした。ドシメトリ用断面積及び共分散ファイルには、従来米国の評価済み核データファイルENDF/B-V^[8]を使用してきたが、原研シグマ委員会ドシメトリ積分テストWGで評価・編集された103群($10^{-3}\text{eV}\sim 20\text{MeV}$)のJENDL-3ドシメトリファイル^[9]を導入した。また、アジャストメントに用いる中性子束の初期推定スペクトルは、

二次元輸送計算コード"DOT3.5"^[10]により計算した。

ここで、アジャストする際に入力する誤差として、初期推定スペクトルについては、各エネルギー群の"DOT3.5"の計算値に一律30%の自己分散を与えた(共分散はなしと仮定)。また、反応率測定値の誤差については、自己分散として反応率と原子炉出力の誤差を、共分散として原子炉出力の誤差を与えた。"NEUPAC-Jlog"によりアジャストされた中性子スペクトルを用いて、全中性子照射量、高速中性子照射量、フェライト鋼の弾き出し損傷量(dpa)、He生成量等を評価した。ドシメータの放射化量測定から中性子照射量評価までの一連の解析フローを図3.1に示す。

3.3 炉心管理コードシステムによる計算

ドシメトリーによる実測ベースの中性子照射量評価値を核計算値と比較した。

照射中の中性子束は、「常陽」炉心管理コードシステム"MAGI"により求めたC3M及びSMIR-23集合体が装荷された炉心位置における各運転サイクルの初期と末期の計算値の平均を用いた。"MAGI"では、3次元六角格子 (Hex-Z) について7群拡散理論により核特性を計算している。X-Y平面は、集合体ピッチを81.5mmとする331の六角格子に分割している(実際の炉心構成マトリックスへの装荷集合体数は313体、うち燃料集合体は67体)。また、軸方向は、燃料部55cm(燃料部は各メッシュ5cmで11分割)とその上下のステンレス鋼反射体部を含む140cmの計算範囲を20メッシュに分割している。炉定数セットには、JENDL-2に基づくJFS-3-J2^[11]の70群断面積を領域依存のスペクトルで7群に縮約したものを使用した。

また、「MAGI」で求めた中性子束の集合体平均値から、1群ポテンシャル理論コード"ESPRIT-J"^[1]を用いて集合体内部の中性子束分布を計算し、着目する試験片位置の中性子照射量を求めた。これは、「常陽」の照射試験の中性子照射量評価に用いている標準的計算法である。

4. 測定・解析結果

4.1 反応率

ドシメータの反応率測定結果を、C3M集合体については表4.1に、SMIR-23集合体については表4.2に示す。また、中性子スペクトルをアジャストすることにより、"DOT3.5"の初期推定スペクトルによる反応率計算値がどのように改善されたかを確認した。これについては、アジャスト前後の反応率を表4.3 (C3M)、表4.4 (SMIR-23) にそれぞれ示した。なお、ここでは、断面積セットの違いが改善効果へ及ぼす影響を評価するため、JENDL-3とENDF/B-Vの両ドシメトリーファイルを使用した場合の結果について比較した。

4.2 中性子スペクトル及び照射量

JENDL-3ドシメトリーファイルを用いて"NEUPAC"により中性子スペクトルをアジャストした。アジャスト前後の中性子スペクトルを図4.1 (C3M) 及び図4.2 (SMIR-23) にそれぞれ示す。また、アジャストによる中性子スペクトルの改善率 (アジャスト前の誤差/アジャスト後の誤差) 及びスペクトル比 (初期値/最終解) を図4.3及び図4.4にそれぞれ示す。

アジャストした中性子スペクトルから求めた全中性子照射量、1MeV以上の高速中性子照射量、フェライト鋼の弾き出し損傷量(DPA)を"MAGI"、"ESPRIT-J"の計算結果及びC/Eと併せて表4.5及び表4.6にそれぞれ示す。

5. 評価

ドシメータによる反応率測定値と断面積セットを用いて中性子スペクトルをアジャストした結果、反応率のC/Eが大きく改善されていることがわかる。表4.3及び表4.4より、C3M集合体ではアジャスト前の平均約1.5~1.7からアジャスト後の約1.1~1.2へ、SMIR-23集合体では平均約1.2~1.4から約0.8~1.0へ反応率のC/Eが改善されており、誤差も減少している。また、アジャストメントに用いた断面積セットの違いを比較すると、JENDL-3はENDF/B-Vに比べてCoとScの反応率の誤差が小さくなっており、JENDL-3を用いた場合、これらのドシメータが感度を有する10~100keV近傍のスペクトルの改善率が大きくなっている (図4.3及び図4.4参照)。

"NEUPAC"による全中性子照射量及び0.1MeV以上の高速中性子照射量を"MAGI"の拡散計算値と比較した結果 (表4.5及び表4.6参照)、"MAGI"の計算値は実測ドシメトリーで補正することにより、全中性子照射量で約10~40%、材料の照射試験で重要な高速中性子照射量で約10~30%の改善が見られた。これまでに実施してきたドシメトリー結果から、燃料領域においては中性子照射量のC/E ("MAGI"/"NEUPAC") は 1 ± 0.05 程度を達成しているが、図5.1に示すようにC3M集合体は照射位置を炉心第3列から第2列に変更したことで、制御棒に隣接した位置であったため、"MAGI"の計算精度が低下し、改善率が大きくなったものと考えられる。

一方、"ESPRIT-J"による計算値については、SMIR-23集合体内の中性子照射量のC/E ("ESPRIT-J"/"NEUPAC") は、表4.6に示すように均質モデルで計算した"MAGI"に比べてC/Eの空間依存性が少なくなり、ばらつきも小さい。C3M集合体については、"MAGI"のC/Eと概ね同じ傾向を示している。

今後、計算コードや核定数の改良による炉心管理法の高度化と、He蓄積型中性子フルーエンスモニタ (HAFM) 等の新ドシメトリー技術の実用化を進め、「常陽」の照射技術の精度と信頼性のさらなる向上を図る予定である[12], [13], [14]。

6. 結 言

「常陽」の照射試験における中性子照射量の評価精度を向上させるため、Mk-II炉心の燃料領域と反射体領域で照射された照射試験用集合体について、多重放射化箔法に基づく原子炉ドシメトリーにより実測ベースの中性子照射量を求め、炉心管理コードシステム"MAGI"による計算値の改善割合を評価した。また、測定反応率からスペクトルを求める上で重要な断面積セットがドシメトリーに与える影響についても評価した。

本研究で得られた成果は以下のとおりである。

- (1) ドシメータの反応率測定結果を用いて、計算による中性子束の初期推定スペクトルをアジャストすることにより、反応率のC/Eがほぼ1に改善され、その誤差が低減される。
- (2) ドシメトリー用断面積セットをENDF/B-VからJENDL-3に更新したことにより、Co及びScの中性子捕獲断面積の誤差が低減され、10～100keVのエネルギー領域における中性子スペクトルの評価精度を向上できた。
- (3) 今回評価したC3M及びSMIR-23集合体について、ドシメトリー結果を用いた"MAGI"の高速中性子束計算値の補正量は約10～30%であり、炉心管理コードシステムの核計算値に対する改善割合を明らかにできた。

謝 辞

本報告書の作成にあたり、「MAGI」による計算については株式会社アイ・ティ・ジェイ加藤雄一氏に、また、「ESPRIT-J」による計算については照射管理課北村了一副主任研究員及び関根隆研究員（現技術課）にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 有井祥夫、青山卓史、鈴木惣十：高速実験炉「常陽」MK-II炉心の炉心・燃料管理経
験、日本原子力学会誌、Vol. 39、No. 4、pp. 315～325 (1997)。
- [2] 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 実験炉部：特集「常陽」20周年、動燃
技報、No. 104、pp. 1～93 (1997)。

- [3] 青山卓史、宇佐美晋、伊藤主税：実践！放射線計測応用技術 高速炉、原子力eye、Vol. 45、No. 1、pp. 55 ~ 59 (1999).
- [4] H. Baba, "Usage of the BOB75 -Series Programs for the Analysis of Ge(Li) Gamma-ray Spectra," JAERI-M 7017, Japan Atomic Energy Research Institute (1977).
- [5] 八木昭、他：高速実験炉「常陽」における支援システムの開発と実績、動燃技報、No. 76、pp. 73 ~ 79 (1990).
- [6] 佐々木誠、鈴木惣十：「常陽」ドシメトリー試験の計画と現状、動力炉技報、No. 38、pp. 72 ~ 96 (1981).
- [7] M. Nakazawa and A. Sekiguchi: The Basic Reports of J1 - Unfolding Code "NEUPAC," UTNL-R0096 (1981).
- [8] B. A. Magurno and P. G. Young, "ENDF-201 Supplement 1", BNL-NCS-17541, Brookhaven National Laboratory (1985).
- [9] M. Nakazawa et al.: JENDL Dosimetry File, JAERI 1325 (1992).
- [10] W. A. Rhoades et al., "DOT3.5 Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code," CCC-276 (1977).
- [11] H. TAKANO and K. KANEKO, "Revision of Fast Reactor Group Constant Set JFS-3-J2," JAERI-M 89-141, Japan Atomic Energy Research Institute (1989).
- [12] T. Aoyama et al.: Current Status and Upgrading Activity of Reactor Material Dosimetry in the Experimental Fast Reactor "JOYO," Proceedings of the 9th International Symposium on Reactor Dosimetry, Prague, Czech Republic, September 2 - 6, 1996, pp. 302 - 310 (1998).
- [13] 関根隆、北村了一、青山卓史：「常陽」照射試験における照射条件評価精度の向上、JNC TN9400 99-017 (1999).
- [14] 伊藤主税、青山卓史：He蓄積型中性子フルエンスモニタの測定精度、PNC TN9410 98-008 (1998).

表2.1 ドシメータの装荷位置

集合体名	ドシメータセット No.	炉中心からの 径方向距離 (c m)	炉中心レベルからの 軸方向距離 (c m)	ドシメータの種類
C3M	D21	[3E1] : 24.45	27.5	Fe,Co,Sc, ²³⁷ Np, ²³⁵ U
	D31		0.0	Fe,Cu,Co,Sc, ²³⁷ Np, ²³⁵ U
	D41	[2D2] : 14.12	-27.5	Fe,Cu,Co,Sc, ²³⁷ Np, ²³⁵ U
	D11		-155.7	Cu,Co
SMIR-23	D S	34.07	6.5	Fe,Cu,Co,Sc, ²³⁷ Np, ²³⁵ U
	M1		-20.2	Co,Sc
	M2	39.45	6.5	Fe,Cu,Co,Sc
	M3		-53.5	Fe,Co,Sc
	M4	38.74	40.8	Fe,Sc
	M5		6.5	Fe,Cu,Co,Sc

表4.1 反応率測定結果 (C3M)

核反応	反応率 (reaction/sec/atom/100MWt)			
	Z = -155.7cm	Z = -27.5cm	Z = +0cm	Z = +27.5cm
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	—	2.20×10^{-11} (3.10)	4.25×10^{-11} (3.15)	2.14×10^{-11} (3.07)
$^{63}\text{Cu}(n,\alpha)^{60}\text{Co}$	6.52×10^{-16} (2.01)	1.18×10^{-19} (1.82)	2.20×10^{-18} (2.05)	—
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	1.10×10^{-11} (1.84)	4.17×10^{-10} (1.96)	8.16×10^{-11} (2.02)	1.29×10^{-10} (1.91)
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	—	7.63×10^{-11} (2.98)	8.58×10^{-11} (2.02)	4.90×10^{-11} (2.36)
$^{237}\text{Np}(n,f)^{137}\text{Cs}$	—	5.97×10^{-10} (5.86)	1.25×10^{-9} (5.86)	5.08×10^{-10} (5.87)
$^{235}\text{U}(n,f)^{137}\text{Cs}$	—	3.81×10^{-9} (6.42)	4.35×10^{-9} (6.42)	2.19×10^{-9} (6.42)

注) ・ ()内は1 σ %誤差を示す。

・ Zは炉中心レベルからの軸方向距離を示す。

表4.2 反応率測定結果 (SMIR-23)

核反応	反応率 (reaction/sec/atom/100MWt)			
	Z = -53.5cm	Z = -20.2cm	Z = +6.5cm	Z = +40.8cm
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	— M3: 4.10×10^{-13} (3.26)	—	DS: 2.13×10^{-11} (3.08) M2: 1.02×10^{-11} (3.11) M5: 9.44×10^{-12} (3.11)	— M4: 1.40×10^{-12} (3.12)
$^{63}\text{Cu}(n,\alpha)^{60}\text{Co}$	—	—	DS: 1.35×10^{-13} (1.49) M2: 5.86×10^{-14} (1.51) M5: 5.61×10^{-14} (1.52)	—
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	— M3: 1.20×10^{-9} (1.86)	M1: 5.64×10^{-10} (1.48)	DS: 4.12×10^{-10} (1.48) M2: 8.91×10^{-10} (1.89) M5: 1.04×10^{-9} (1.90)	—
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	— M3: 9.51×10^{-11} (3.01)	M1: 9.36×10^{-11} (2.90)	DS: 1.01×10^{-10} (2.90) M2: 1.17×10^{-10} (2.91) M5: 1.19×10^{-10} (2.96)	— M4: 7.28×10^{-11} (3.14)
$^{237}\text{Np}(n,f)^{137}\text{Cs}$	—	—	DS: 7.13×10^{-10} (5.82)	—
$^{235}\text{U}(n,f)^{137}\text{Cs}$	—	—	DS: 4.20×10^{-9} (6.35)	—

注) ・ ()内は1 σ %誤差を示す。

・ Zは炉中心レベルからの軸方向距離を示す。

表4.3 アジャスト前後の反応率のC/E (C3M)

断面積 ライブラリ	ドシメータ セットNo.	核反応	アジャスト前		アジャスト後	
			CALC./EXP.	C/E ERROR ²	CALC./EXP.	C/E ERROR ²
JENDL-3	D21 (Z ¹ =+27.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	2.19	23.6	1.06	5.6
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.59	18.6	1.20	14.4
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.85	12.8	1.17	9.0
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.79	14.1	1.06	6.2
		⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	0.94	19.5	1.04	8.0
		平均	1.67	8.5	1.11	4.3
	D31 (Z=0cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	1.12	13.0	0.98	6.0
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.65	18.6	1.20	14.6
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.56	13.1	1.08	8.9
⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc		1.64	14.2	1.08	6.0	
⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn		1.46	19.6	1.02	8.2	
⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co		2.03	21.6	1.09	9.1	
平均	1.58	7.4	1.08	3.9		
D41 (Z=-27.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	2.41	26.2	1.05	5.6	
	²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.38	18.6	1.18	14.6	
	²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.50	12.2	1.06	9.1	
	⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.56	12.5	1.07	6.5	
	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	0.96	19.5	1.02	8.1	
	⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	1.32	21.0	1.08	8.9	
平均	1.52	8.8	1.08	3.9		
ENDF/B-V	D21 (Z ¹ =+27.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	2.18	35.2	1.43	31.5
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.61	18.5	1.19	14.4
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.86	12.8	1.23	9.6
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.74	29.9	1.12	28.1
		⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	0.95	19.6	1.03	8.1
		平均	1.67	12.2	1.20	9.9
	D31 (Z=0cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	1.18	28.4	0.92	27.0
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.66	18.5	1.18	14.6
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.57	13.1	1.16	9.6
⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc		1.56	29.9	1.17	27.9	
⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn		1.48	19.8	1.03	8.2	
⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co		2.17	22.4	1.09	8.9	
平均	1.60	9.3	1.09	7.3		
D41 (Z=-27.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	2.38	37.1	1.47	32.0	
	²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.40	18.4	1.17	14.5	
	²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.51	12.2	1.15	9.5	
	⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.55	29.1	1.20	27.9	
	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	0.98	19.6	1.01	8.2	
	⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	1.45	21.9	1.07	8.7	
平均	1.55	11.9	1.18	8.8		

注) ¹Zは炉中心レベルからの軸方向距離を示す。*²C/E ERRORは相対誤差(1 σ %)を示す。

表4.4 アジャスト前後の反応率のC/E (SMIR-23)

断面積 ライブラリ	ドシメータ セットNo.	核反応	アジャスト前		アジャスト後	
			CALC./EXP.	C/E ERROR ^{*3}	CALC./EXP.	C/E ERROR ^{*3}
JENDL-3	DS (R ^{*1} =34.07cm) (Z ^{*2} =+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	0.60	22.6	1.00	5.4
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.43	18.6	1.04	14.5
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.04	12.7	1.01	8.9
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	0.91	14.1	0.97	6.9
		⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	1.39	19.5	0.98	8.2
		⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	1.62	21.2	1.00	8.6
	平均	1.17	8.0	1.00	3.8	
	M2 (R=39.45cm) (Z=+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	1.50	26.4	0.99	5.5
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.01	11.6	0.97	6.6
⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn		0.96	19.3	0.97	8.3	
⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co		1.20	20.3	1.00	8.5	
平均	1.17	11.0	0.98	3.7		
M5 (R=38.74cm) (Z=+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	0.85	26.1	0.96	5.6	
	⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	0.89	12.3	0.95	7.1	
	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	1.62	19.4	0.96	8.3	
	⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	1.98	20.7	0.98	8.5	
平均	1.34	10.7	0.96	3.7		
ENDF/B-V	DS (R=34.07cm) (Z=+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	0.59	34.4	0.64	31.7
		²³⁷ Np(n, f) ¹³⁷ Cs	1.46	18.4	1.06	14.5
		²³⁵ U(n, f) ¹³⁷ Cs	1.05	12.6	0.93	9.8
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	0.88	29.8	0.83	28.2
		⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	1.41	19.7	0.98	8.2
		⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	1.76	22.1	1.01	8.5
	平均	1.19	9.2	0.91	6.9	
	M2 (R=39.45cm) (Z=+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	1.47	37.3	1.09	32.3
		⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	1.02	28.8	0.82	28.4
⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn		0.99	19.5	0.98	8.4	
⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co		1.33	21.3	1.01	8.4	
平均	1.20	14.8	0.97	11.2		
M5 (R=38.74cm) (Z=+6.5cm)	⁵⁹ Co(n, γ) ⁶⁰ Co	0.84	37.0	0.72	32.5	
	⁴⁵ Sc(n, γ) ⁴⁶ Sc	0.88	29.1	0.60	28.7	
	⁵⁴ Fe(n, p) ⁵⁴ Mn	1.65	19.6	0.99	8.3	
	⁶³ Cu(n, α) ⁶⁰ Co	2.17	21.7	1.01	8.5	
平均	1.39	12.6	0.83	9.4		

- 注) ・^{*1}Rは炉中心からの径方向距離を示す。
 ・^{*2}Zは炉中心レベルからの軸方向距離を示す。
 ・^{*3}C/E ERRORは相対誤差 (1 σ %) を示す。

表4.5 C3Mのドシメトリー結果

セットNo.	評価量	中性子照射量($\times 10^{22}$ n/cm ²)とDPA			C/E	
		ドシメトリー(E)	核計算(C)		MAGI	ESPRIT-J
			MAGI	ESPRIT-J		
D21 z=+27.5cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	8.83 \pm 0.58 6.03 \pm 0.57 30.7 \pm 2.0	12.3 7.93	12.7	1.39 1.32	1.44
D31 z=±0cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	18.8 \pm 1.1 13.8 \pm 1.2 69.6 \pm 4.4	24.0 16.5	22.0	1.28 1.20	1.17
D41 z=-27.5cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	11.2 \pm 0.8 7.28 \pm 0.73 36.2 \pm 2.5	15.0 9.13	15.0	1.34 1.25	1.34

表4.6 SMIR-23のドシメトリー結果

セットNo.	評価量	中性子照射量($\times 10^{22}$ n/cm ²)とDPA			C/E	
		ドシメトリー(E)	核計算(C)		MAGI	ESPRIT-J
			MAGI	ESPRIT-J		
DS R=34.1cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	2.04 \pm 0.13 1.21 \pm 0.11 5.76 \pm 0.38	1.84 1.08	2.03	0.90 0.89	1.00
M5 R=38.7cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	1.69 \pm 0.14 0.85 \pm 0.11 3.83 \pm 0.37	1.84 1.08	1.75	1.09 1.27	1.04
M2 R=39.5cm	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$ DPA	1.61 \pm 0.13 0.85 \pm 0.10 3.83 \pm 0.36	1.84 1.08	1.69	1.14 1.26	1.06
		平均(1 σ)	Φ_{total} $\Phi_{>0.1MeV}$		1.04 \pm 0.13 1.14 \pm 0.22	1.03 \pm 0.03

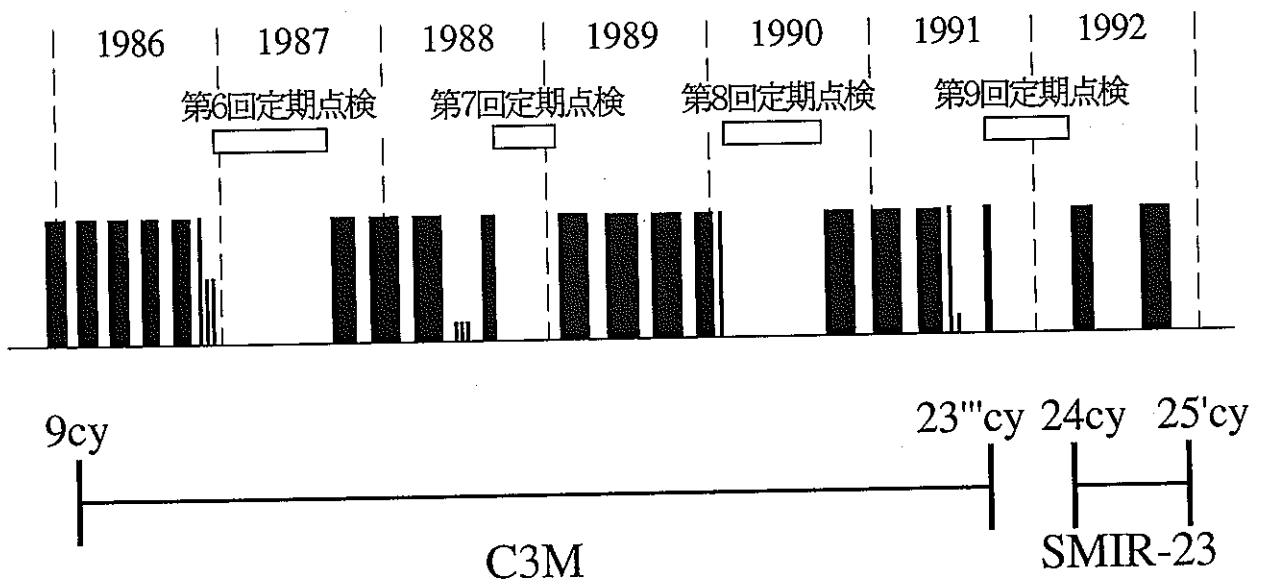


図2.1 C3MとSMIR-23の装荷履歴

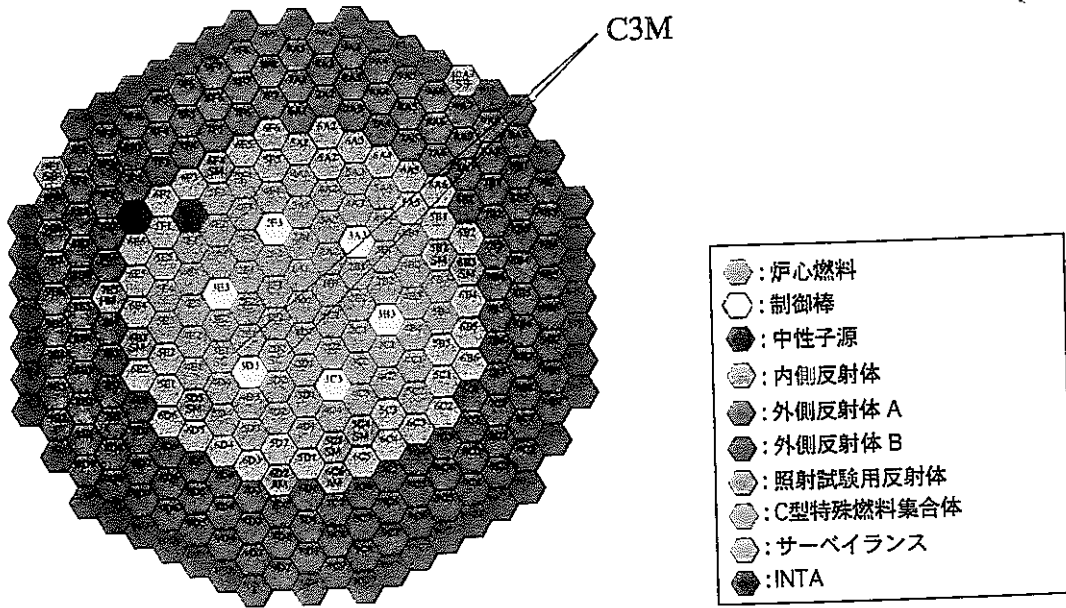


図2.2 C3Mの装荷位置

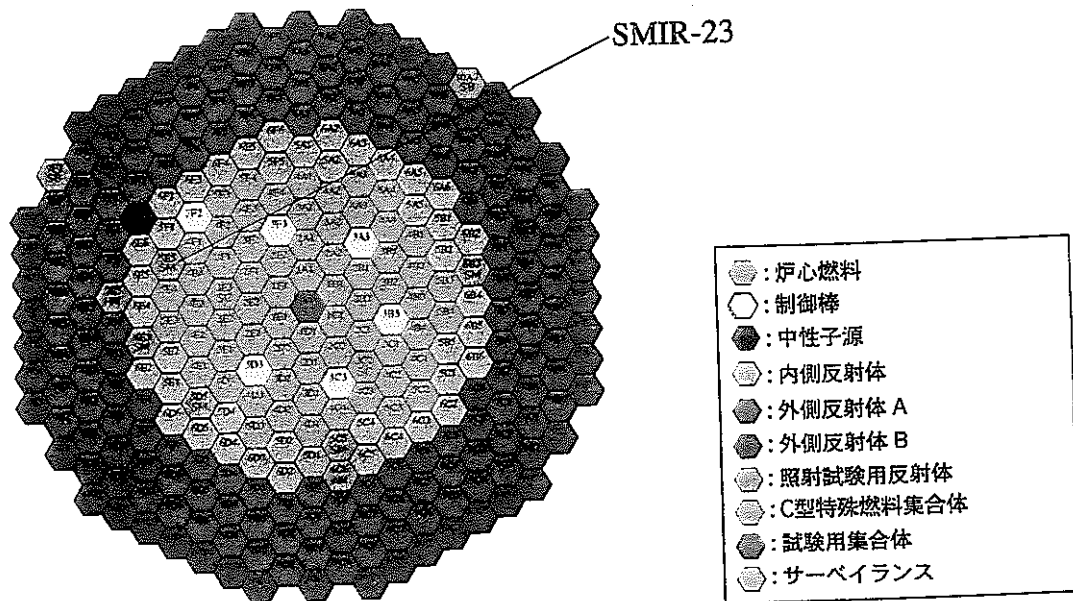


図2.3 SMIR-23の装荷位置

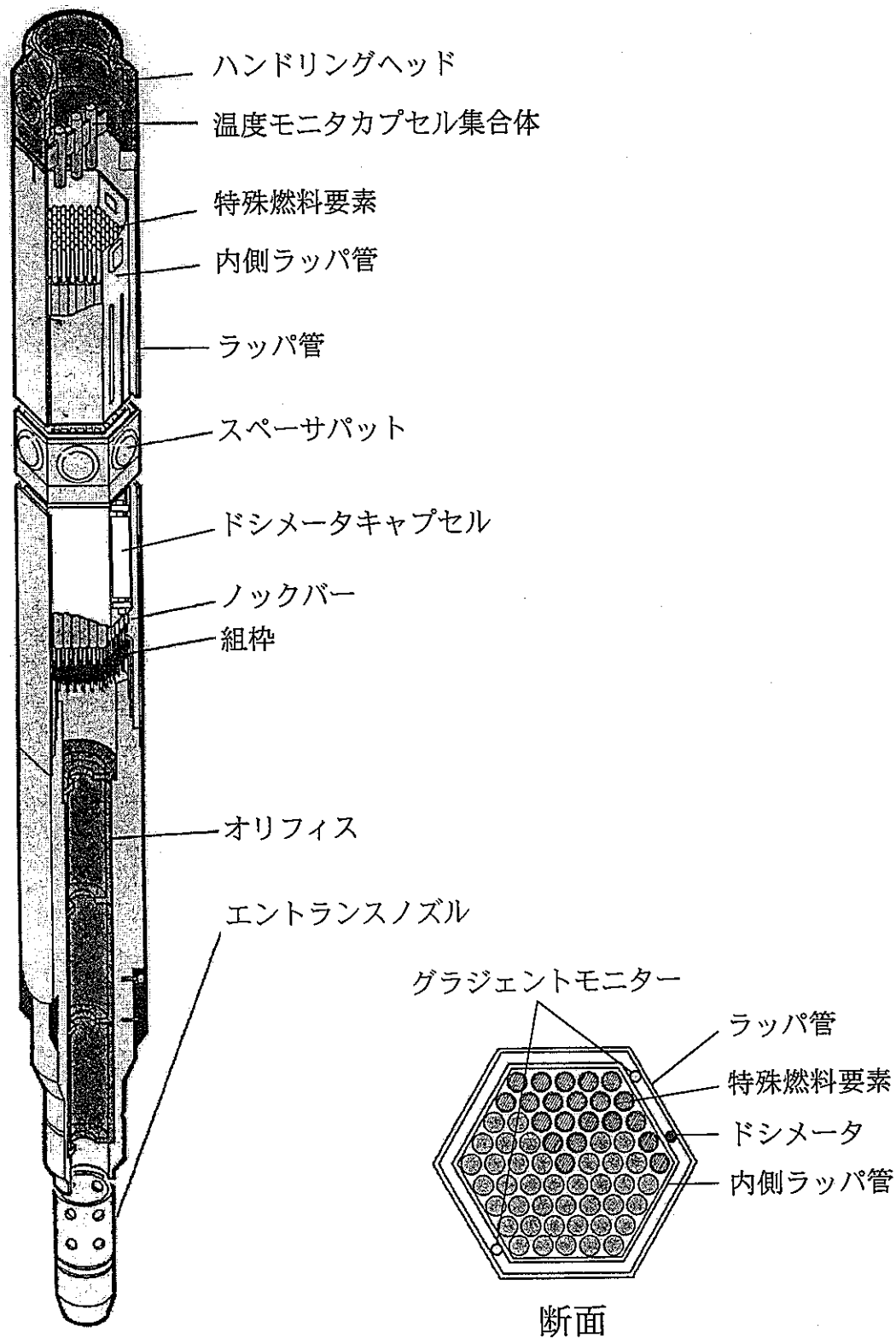


図 2.4 C3Mの概略構造

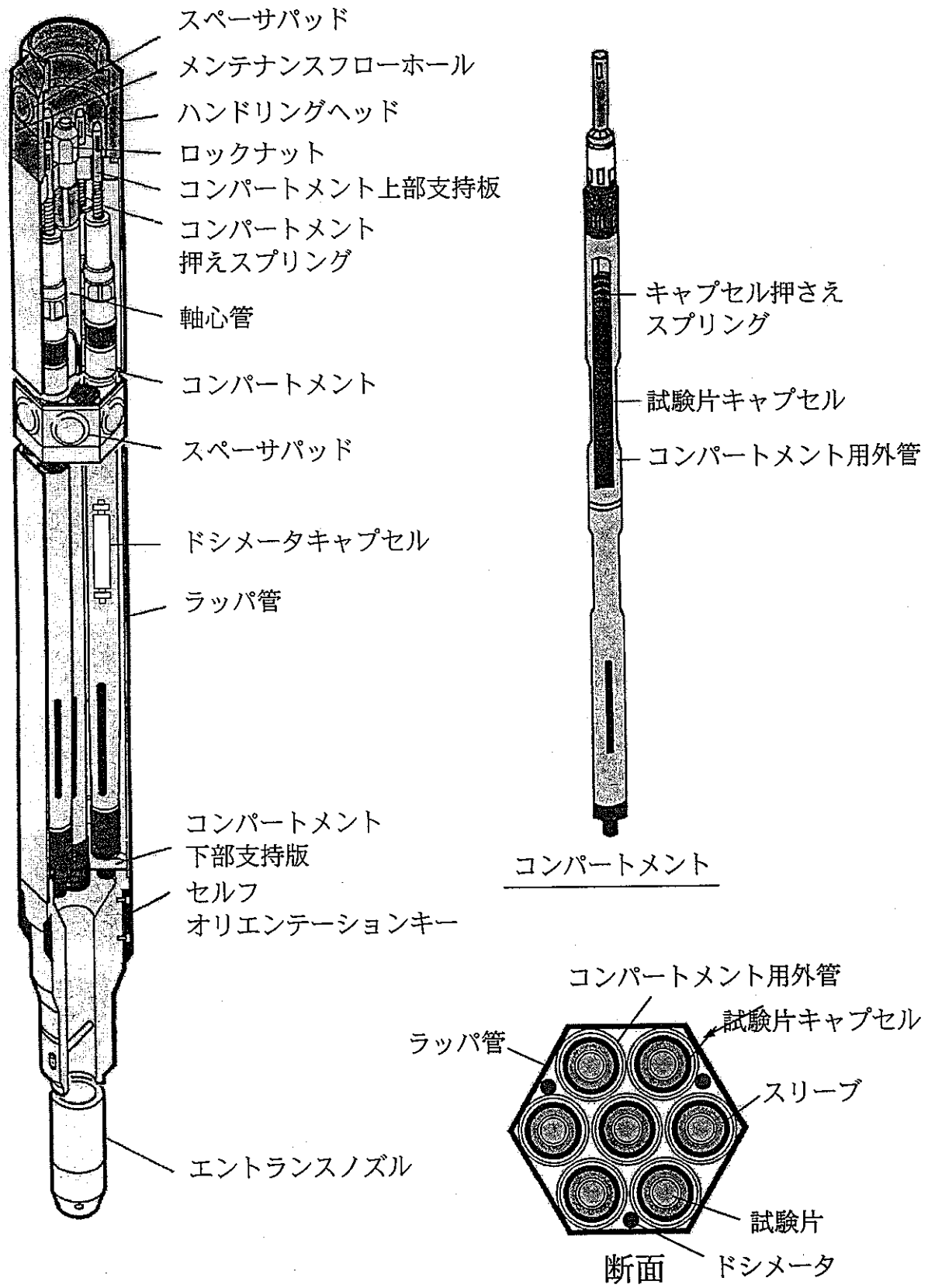


図2.5 SMIR-23の概略構造

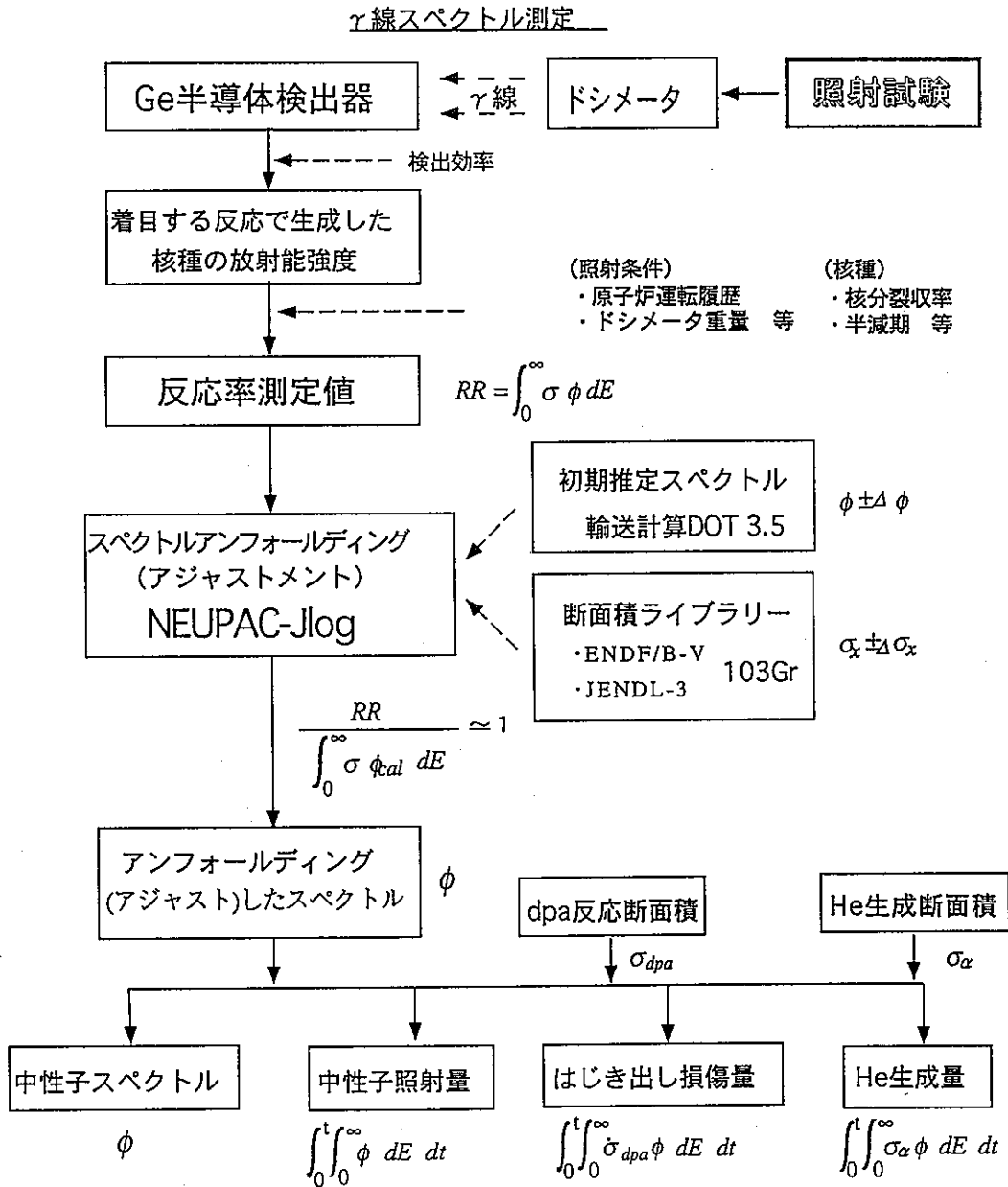


図 3.1 “NEUPAC”による中性子スペクトル解析フロー

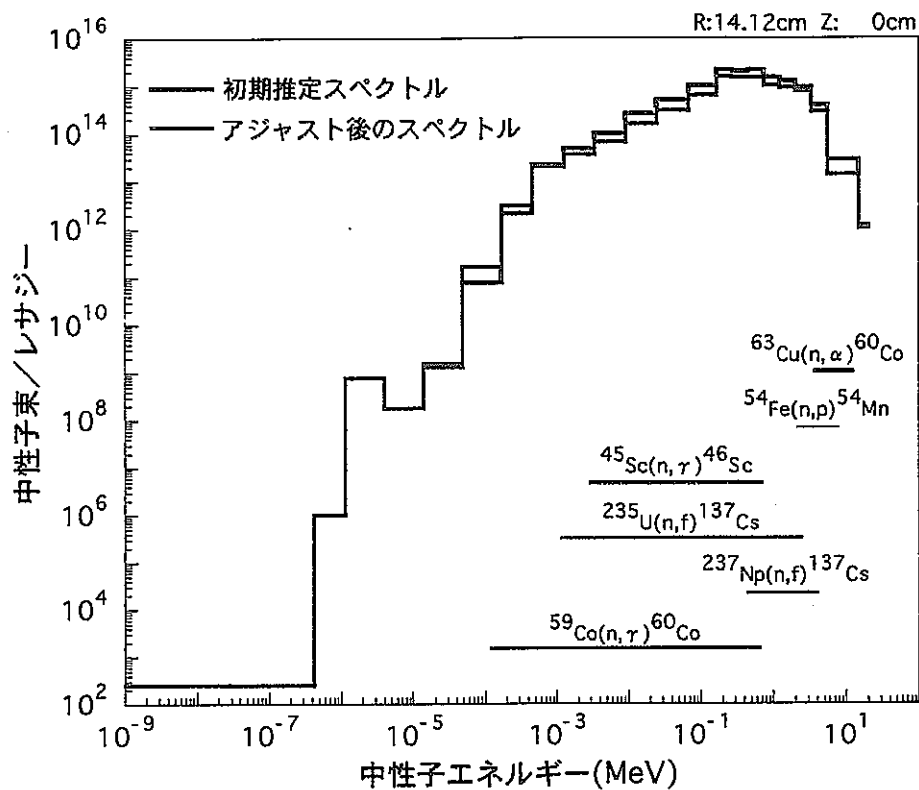


図4.1 C3Mのアジャスト後の中性子スペクトル

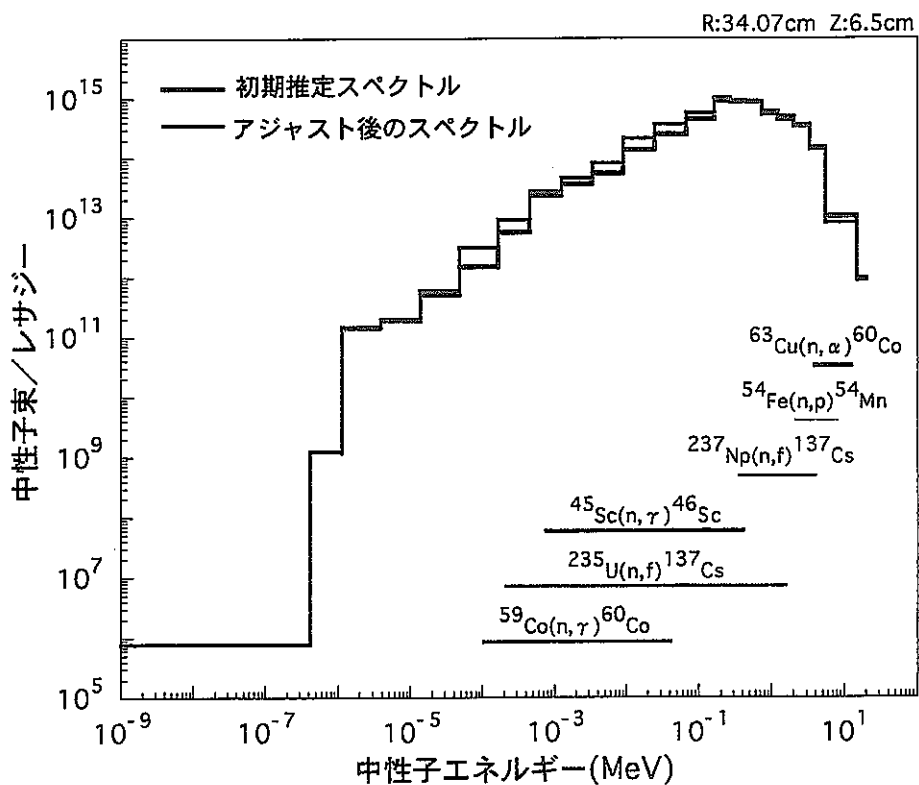


図4.2 SMIR-23のアジャスト後の中性子スペクトル

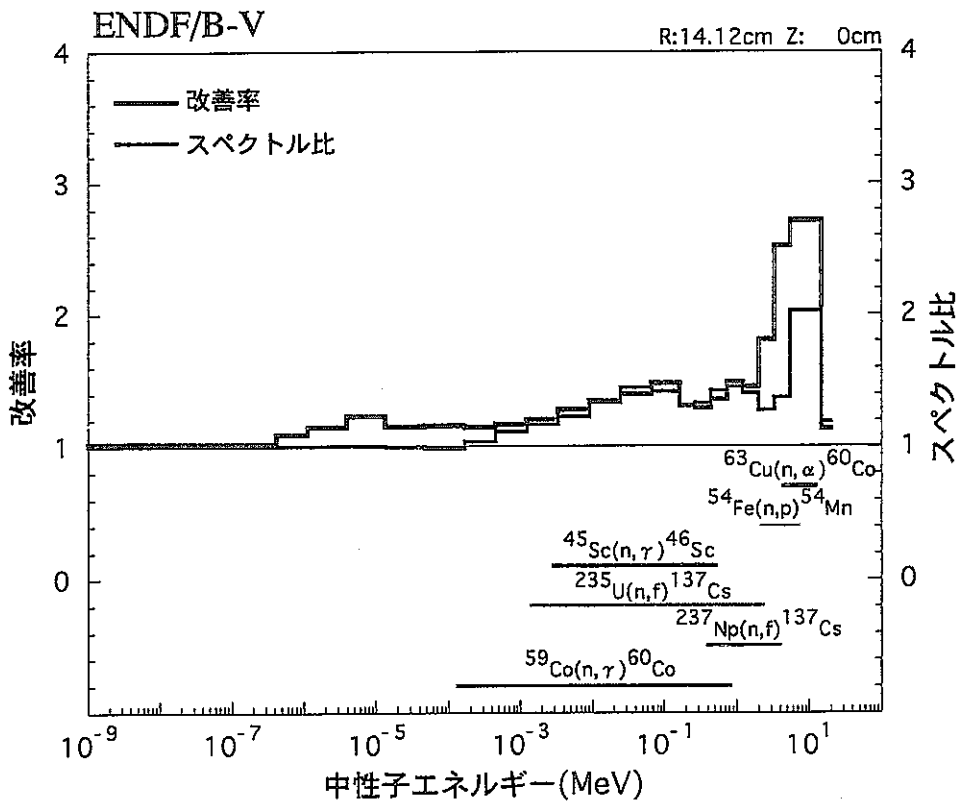
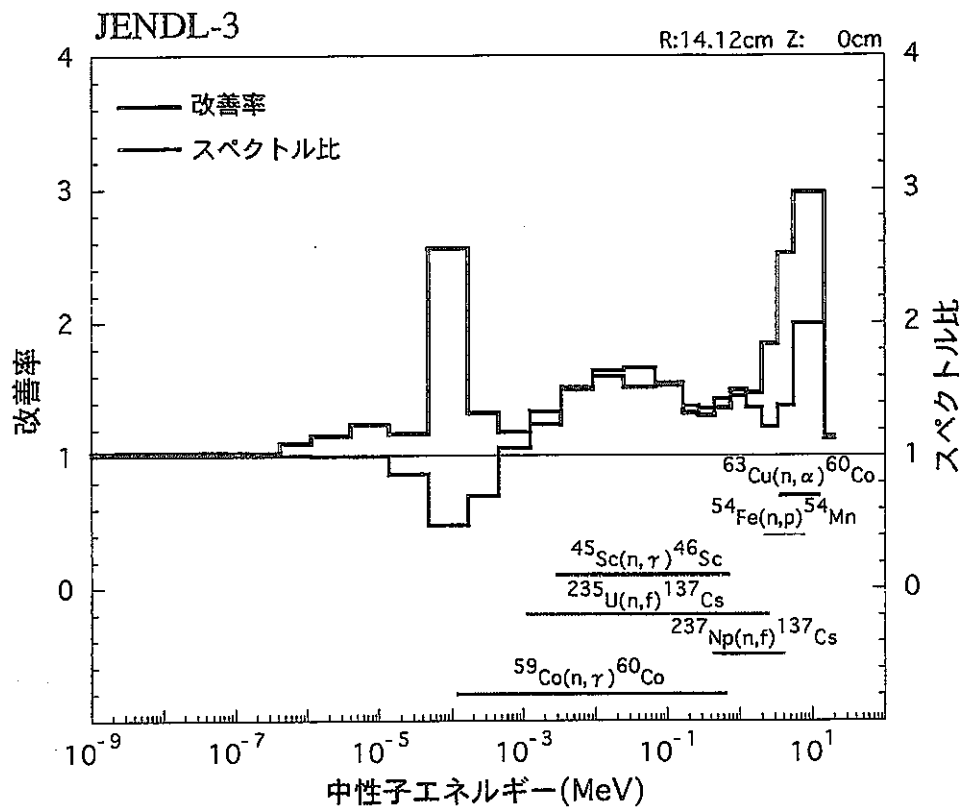


図4.3 C3Mの改善率及びスペクトル比

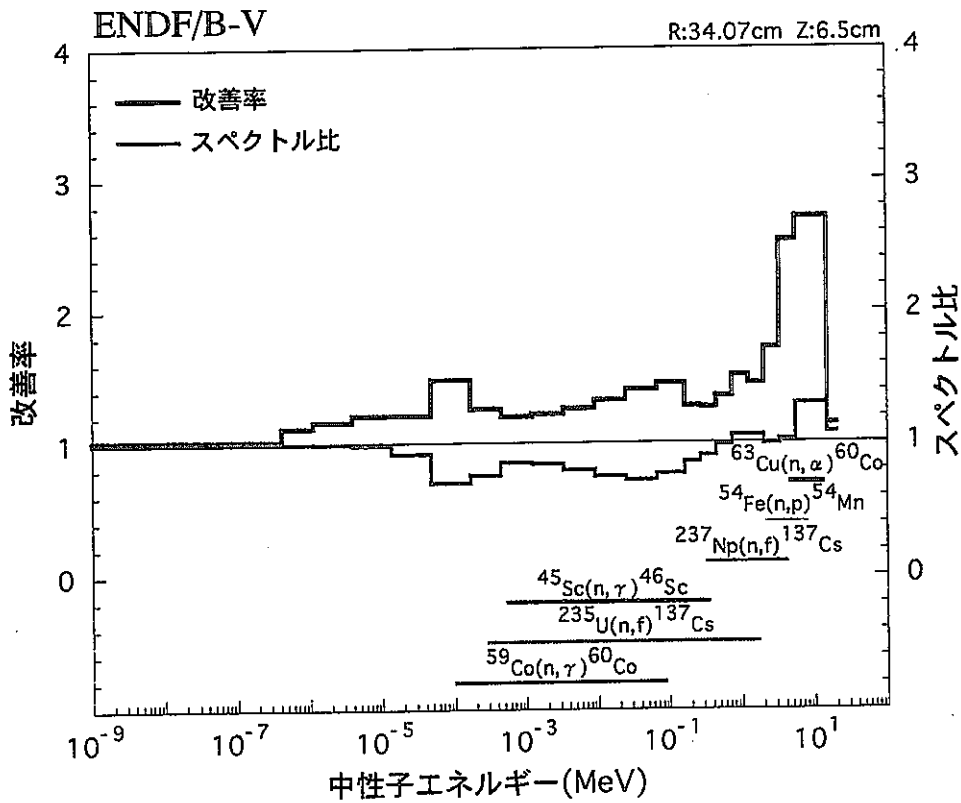
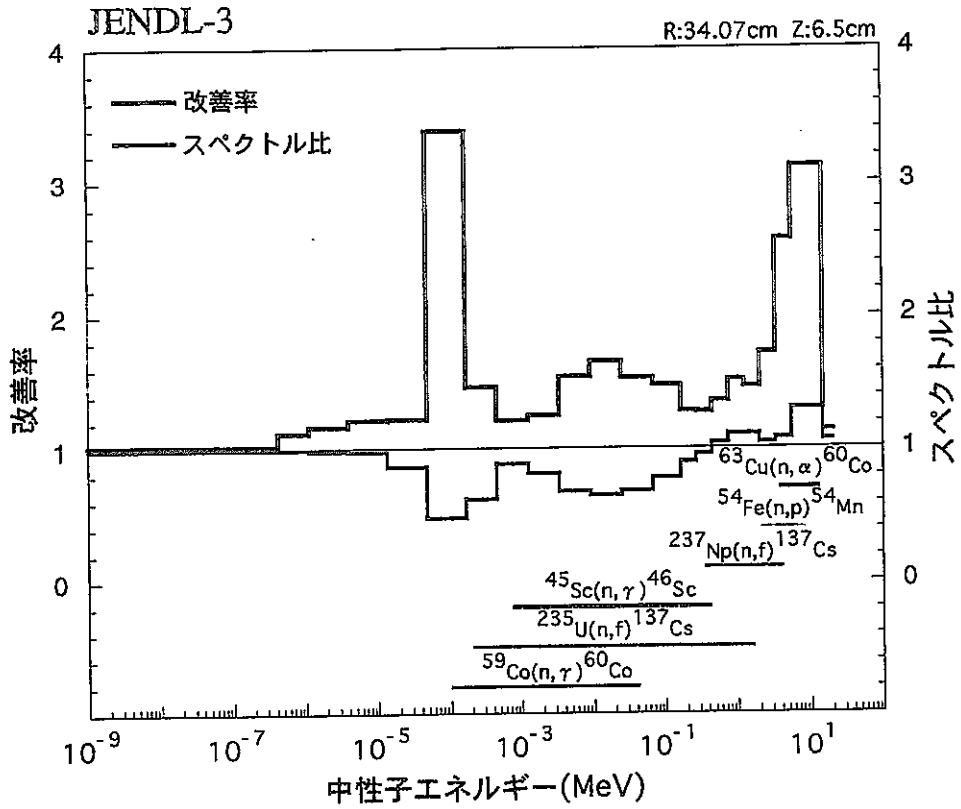


図4.4 SMIR-23の改善率及びスペクトル比

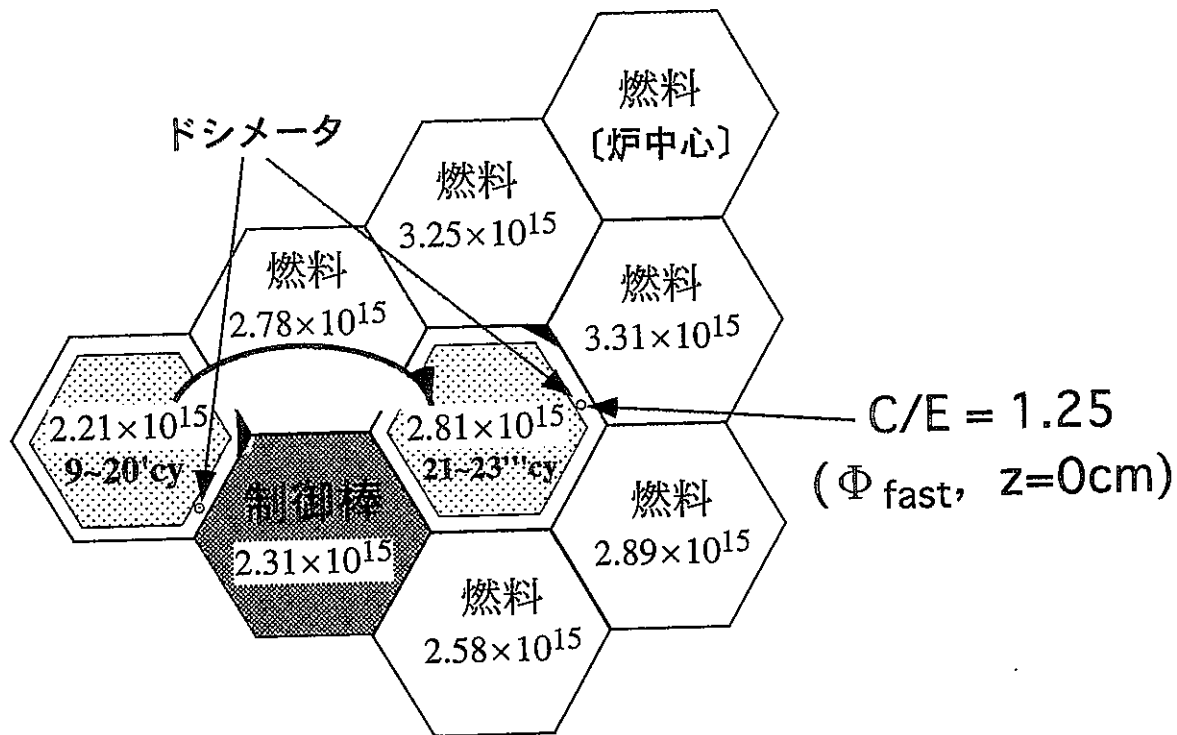


図5.1 C3M周りの高速中性子束とC/E