限定資料

JNC TJ3440 2001—005

放射化箔の放射化解析及び検討

（核燃料サイクル開発機構　契約業務報告書）

2001年3月

株式会社CRC総合研究所

この資料は，核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるため，特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては，複製，転載，引用等を行わないよう，また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。
〒914-8510
福井県敦賀市明神町 3
核燃料サイクル開発機構
敦賀本部　新型転換炉ふげん発電所
技　術　課

限定資料
JNC TJ3440 2001−005
2001年 3月

放射化箔の放射化解析及び検討

山口 勝義*[1]、嶋田 秀充*[1]

要 旨

新型転換炉ふげん発電所内に中性子束を評価するために金箔を設置した。この金箔に対する比放射能をMCNPを用いて以下の３種類の体系で評価した。

（１） 主蒸気管室
（２） 重水タンク室
（３） マニホールド付近

前報告書[1]では同様な解析を単純な解析体系で行なった。その為、解析体系の単純化による解析結果への影響が大きかった。本報告書では、実際の体系を模擬した解析体系で検討行った。その結果、（２）と（３）に対する比放射能の解析では、解析値と実測推定値とは50%の範囲で一致した。しかし、（１）の解析では解析値は実測推定値の約80%であった。

また、（１）と（２）の体系に対しては、１０枚重ねの金箔を用いて金箔内の反応率分布を評価し、解析結果が測定結果と良く一致することを確認した。

前報告書で用いた生体遮蔽内側のスペクトルを用いて金箔、コバルト箔、ニッケル箔の比放射能を評価した。金箔及びニッケル箔の解析結果は実測値とよく一致したが、コバルト箔では解析結果は実測値の約1/2となった。

単純な形状でのANISNの中性子スペクトルの解析精度をMCNPの結果と比較することで検討した。それぞれのコードで用いている手法及び断面積は異なるが、スペクトルは良く一致した。

本報告書は、株式会社CRC総合研究所が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究の成果である。（契約番号：12C2847）
核燃料サイクル開発機構担当者：白鳥 芳武
（敦賀本部 新型転換炉ふげん発電所 環境保全課）

＊[1]：株式会社CRC総合研究所

目次

1．目的 ……1
2．経緯 ……1
3．解析条件 ……1
　3．1　材料と原子個数密度 ……1
　3．2　計算コードと断面積 ……3
　3．3　スペクトル ……3
4．Pre-sn コード(ANISN)と MCNP コードによる解析結果の比較検討……9
　4．1　解析条件 ……9
　4．2　結果と検討 ……9
5．解析モデルの検討 ……31
　5．1　主蒸気管室の体系 ……31
　5．2　重水タンク室の体系 ……32
　5．3　マニホールド付近 ……33
6．25 群スペクトルの作成 ……49
　6．1　主蒸気管室解析条件 ……49
　6．2　重水タンク付近解析条件 ……49
　6．3　マニホールド付近解析条件 ……49
　6．4　結果 ……50
7．.大型金箔の自己遮蔽効果の検討 ……81
　7．1　主蒸気系 ……81
　7．2　重水系 ……81
8．その他の金属箔の放射化量解析 ……85
　8．1　解析条件 ……85
　8．2　結果 ……85
9．まとめ ……136
10．参考文献 ……137

図表リスト

3 章

表 3.1-1　原子個数密度
表 3.2-1　^{17}N の β-n 崩壊の中性子スペクトル
表 3.2-2　D(γ、n)反応の中性子スペクトル
表 3.2-3　面線源スペクトル
図 3.1-1　金箔 1 枚と 10 枚重ね

4 章

表 4.1-1　47 群構造とスペクトル
図 4.1-1　ANISN と MCNP 比較に用いる形状(MCNP)
図 4.1-2　ANISN と MCNP 比較に用いる形状(ANISN)
図 4.1-3　主蒸気管形状
図 4.3-1　壁表面でのスペクトル
図 4.3-2　壁表面から 1m 離れたスペクトル
図 4.3-3　全断面積比（主蒸気管内蒸気）
図 4.3-4　全断面積比（主蒸気管の管）
図 4.3-5　全断面積比（主蒸気管保温材）
図 4.3-6　全断面積比（空気）
図 4.3-7　全断面積比（コンクリート）
図 4.3-8　全断面積比（コンクリート続き）
図 4.3-9　吸収断面積比（主蒸気管内蒸気）
図 4.3-10　吸収断面積比（主蒸気管の管）
図 4.3-11　吸収断面積比（主蒸気管保温材）
図 4.3-12　吸収断面積比（空気）
図 4.3-13　吸収断面積比（コンクリート）
図 4.3-14　吸収断面積比（コンクリート続き）
図 4.3-15　全断面積比（領域平均）
図 4.3-16　吸収断面積比（領域平均）

5 章

表 5.1-1　主蒸気管室壁配置の影響評価ケース
表 5.1-2　主蒸気管室壁の長さの影響評価ケース
表 5.2-1　重水タンク室壁配置の影響評価ケース
表 5.3-1　マニホールド付近壁高さの影響評価ケース

図 5.1-1　主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状(CASE5.1-1)
図 5.1-2　主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状(CASE5.1-2)
図 5.1-3　主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状(CASE5.1-3)
図 5.1-4　主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状(CASE5.1-4)
図 5.1-5　主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状(CASE5.1-5)
図 5.1-6　主蒸気管室壁長さの換算係数への影響の感度解析形状
図 5.1-7　壁の配置 vs 換算係数、比放射能
図 5.1-8　壁の長さ vs 換算係数、比放射能
図 5.2-1　重水タンク室壁の換算係数への影響の感度解析形状
図 5.2-2　重水タンク形状
図 5.2-3　壁の配置 vs 換算係数、比放射能
図 5.3-1　マニホールド付近壁高さの換算係数への影響の感度解析形状
図 5.3-2　一次冷却水管
図 5.3-3　壁高さ vs 比放射能、換算係数

6 章
表 6.4-1　25 群中性子束スペクトル（中性子束で規格化、主蒸気管室）
表 6.4-2　25 群中性子束スペクトル（レサジ-、主蒸気管室）
表 6.4-3　4 群中性子束スペクトル（主蒸気管室）
表 6.4-4　3 群中性子束スペクトル（主蒸気管室）
表 6.4-5　比放射能（主蒸気管室）
表 6.4-6　25 群中性子束スペクトル（中性子束で規格化、重水タンク室）
表 6.4-7　25 群中性子束スペクトル（レサジ-、重水タンク室）
表 6.4-8　4 群中性子束スペクトル（重水タンク室）
表 6.4-9　3 群中性子束スペクトル（重水タンク室）
表 6.4-10　比放射能（重水タンク室）
表 6.4-11　25 群中性子束スペクトル（中性子束で規格化、マニホールド付近）
表 6.4-12　25 群中性子束スペクトル（レサジ-、マニホールド付近）
表 6.4-13　4 群中性子束スペクトル（マニホールド付近）
表 6.4-14　3 群中性子束スペクトル（マニホールド付近）
表 6.4-15　比放射能（マニホールド付近）
表 6.4-16　換算係数の纏め
図 6.1-1　主蒸気管室解析形状
図 6.2-1　重水タンク室解析形状
図 6.2-2　ダクトの配置
図 6.3-1　マニホールド解析形状

図 6.4-1　主蒸気管室①②でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-2　主蒸気管室③④でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-3　主蒸気管室①②でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-4　主蒸気管室③④でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-5　相対中性子束空間分布（主蒸気管室）
図 6.4-6　重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-7　重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-8　重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-9　重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-10　相対中性子束空間分布（重水タンク室）
図 6.4-11　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-12　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-13　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-14　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-15　相対中性子束空間分布（マニホールド付近）

7 章
図 7.1-1　金箔内反応率分布(主蒸気管室)
図 7.2-1　金箔内反応率分布(重水タンク室)

8 章
表 8.-1　解析ケース
表 8.2.1-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）
表 8.2.1-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
表 8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
表 8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
表 8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）
表 8.2.2-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔無）
表 8.2.2-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔無）
表 8.2.2-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔無）
表 8.2.3-1　金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
表 8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
表 8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
表 8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
表 8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）
表 8.2.3-6　金箔全体の反応率分布（ケース１、箔有）

表 8.2.3-7　カドミウムカバー付金箔全体の反応率分布（ケース２、箔有）
表 8.2.3-8　コバルト箔全体の反応率分布（ケース３、箔有）
表 8.2.3-9　カドミウムカバー付コバルト箔全体の反応率分布（ケース４、箔有）
表 8.2.3-10　ニッケル箔全体の反応率分布（ケース５、箔有）
表 8.2.4-1　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束スペクトル（ケース１、箔有）
表 8.2.4-2　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束スペクトル（ケース２、箔有）
表 8.2.4-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔有）
表 8.2.4-4　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース４、箔有）
表 8.2.4-5　ニッケル箔前面の中性子束スペクトル（ケース５、箔有）
表 8.2.4-6　金箔前面の中性子束（ケース１、箔有）
表 8.2.4-7　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔有）
表 8.2.4-8　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔有）
表 8.2.4-9　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束（ケース４、箔有）
表 8.2.4-10　ニッケル箔前面の中性子束（ケース５、箔有）
表 8.2.5-1　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束スペクトル（ケース１、箔無）
表 8.2.5-2　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束スペクトル（ケース２、箔無）
表 8.2.5-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔無）
表 8.2.5-4　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束（ケース１、箔無）
表 8.2.5-5　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔無）
表 8.2.5-6　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔無）
表 8.2.6-1　金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)$ ミクロ断面積（ケース１、箔有）
表 8.2.6-2　カドミウムカバー付金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)$ ミクロ断面積（ケース２、箔有）
表 8.2.6-3　コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)$ミクロ断面積（ケース３、箔有）
表 8.2.6-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)$ミクロ断面積（ケース４、箔有）
表 8.2.6-5　ニッケル箔全体の $^{58}Ni(n,p)^{58}Co$ ミクロ断面積（ケース５、箔有）
表 8.2.7-1　金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース１、箔有）
表 8.2.7-2　カドミウムカバー付金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース２、箔有）
表 8.2.7-3　コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース３、箔有）
表 8.2.7-4　カドミウムカバー付コバルト全体の $^{59}Co(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース４、箔有）
表 8.2.7-5　ニッケル箔全体の $^{58}Ni(n,p)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース５、箔有）
表 8.2.8-1　金箔全体の比放射能（ケース１、箔有）

表 8.2.8-2　カドミウムカバー付金箔全体の比放射能（ケース２、箔有）
表 8.2.8-3　コバルト箔全体の比放射能（ケース３、箔有）
表 8.2.8-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の比放射能（ケース４、箔有）
表 8.2.8-5　ニッケル箔全体の比放射能（ケース５、箔有）
表 8.2.8-6　比放射能と換算係数のまとめ
図 8.1-1　MCNP 評価体系（金箔）
図 8.1-2　MCNP 評価体系（カドミウムカバー付金箔）
図 8.1-3　MCNP 評価体系（コバルト箔）
図 8.1-4　MCNP 評価体系（カドミウムカバー付コバルト箔）
図 8.1-5　MCNP 評価体系（ニッケル箔）
図 8.2.1-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）
図 8.2.1-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
図 8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
図 8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
図 8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）
図 8.2.1-6　３群金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）
図 8.2.1-7　３群カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
図 8.2.1-8　３群コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
図 8.2.1-9　３群カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
図 8.2.1-10　３群ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）
図 8.2.3-1　金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
図 8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
図 8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
図 8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
図 8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）
図 8.2.3-6　３群金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
図 8.2.3-7　３群カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
図 8.2.3-8　３群コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
図 8.2.3-9　３群カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
図 8.2.3-10　３群ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）
図 8.2.8-1　コバルト箔の比放射能と照射日数の関係
図 8.2.8-2　カドミウムカバー付コバルト箔の比放射能と照射日数の関係
図 8.2.8-3　ニッケル箔の比放射能と照射日数の関係

1．目的

新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」という）を廃止した場合に、発電所内に残存している放射能量を評価しておくことは、大量に発生すると見込まれる放射性廃棄物の分類、処分方法の決定等に関し重要であるので、可能な限り正確に評価しておくことが要求される。

「ふげん」では、格納容器内にある機器、配管、コンクリート等の放射能量の評価を行なうために、放射化箔（金箔、ニッケル箔、コバルト箔）によって格納容器内の中性子束を測定している。特に金箔については約５eV のエネルギー帯に大きな吸収断面積を有することから、放射化断面積の取り扱いに関して難しい点があり、ORIGEN79 による放射化計算が難しいものとなっている。

こうした共鳴吸収の効果を正確に取扱うことの出来るコードとしてモンテカルロコードがあるので、代表的な熱中性子束スペクトルや主蒸気系の ^{17}N や重水系の光中性子のよる中性子スペクトル解析及び放射化量について解析し、その結果の検討と行なう。

2. 経緯

これまで「ふげん」格納容器内に設置された金箔の放射化量を MCNP コードを用いて評価した[1]。実測推定値との比較により、MCNP の本問題への適用可能性が示されたが、解析体系が結果に与える影響も大きいことが分かった。よって、本報告書では、より実際の体系を模擬して金箔内放射化量を評価する。

3．解析条件

解析に用いた材料の個数密度、解析コード及びスペクトルについて記述する。

3．1　材料と原子個数密度

材料の原子個数密度を表 3.1-1 に示し、それらの算出時に用いた仮定、条件等を以下で纏める。

(1) 金箔

金箔は 100%金として評価した。実際は、99.99%の金を使用しており、不純物も微量混入している可能性があるが、不純物の断面積及びその量の観点から、解析対象量（金の中性子捕獲反応、金箔内中性子束等）に対する影響は十分に小さいと考えられる。金箔の密度を算出する際には、核燃料サイクル開発機構殿の金箔購入時のデータ（平均値）を用いた。以下に金箔１枚の重量と体積を示す。

金箔重量(g / 枚) ：　3.27

金箔体積(cm³)　：　0.166（半径：2.3cm、厚さ：0.01cm）

これらから表 3.1-1 中の原子個数密度を算出した。本解析での金箔の使用方法を図 3.1-1 に示す。金箔は１枚または 10 枚重ねで用いたが、何れの場合でも金箔はポリエチレンで包んで用いた。

また、カドミウムカバー付金箔も使用した。上記方法で算出した密度を用いたが、その直径は若干小さいものを用いた。

カドミウムカバー付き金箔体積(cm³)：0.113（半径：0.6cm、厚さ：0.01cm）

(2) ポリエチレン

金箔を包むために用いた。その厚さは金箔表面ですべて等しいとした（図 3.1-1 参照）。密度は低密度ポリエチレン[2]のものを用いた。

(3) コンクリート

金箔を固定するための壁である生体遮蔽材の材質。その含水量は 7.54wt%（核燃料サイクル開発機構殿提示）とした。

(4) 空気

敦賀の平均湿度 73%の空気を用いた[3]。

(5) コバルト箔

コバルト箔及びカドミウムカバー付コバルト箔の組成、形状は核燃料サイクル開発機構殿より提示された。密度は理科年表記載値[3]を使用した。以下にコバルト箔１枚の重量と体積を示す。

コバルト箔重量(g/枚)　：　1.007

コバルト箔体積(cm³)　：　0.113(半径：0.6cm、厚さ：0.1cm)

(6) ニッケル箔

ニッケル箔の組成、形状は核燃料サイクル開発機構殿より提示された。密度は理科年表記載値[3]を使用した。以下にニッケル箔１枚の重量と体積を示す。

ニッケル箔重量(g/枚)　：　1.007

ニッケル箔体積(cm³)　：　0.113(半径：0.6cm、厚さ：0.1cm)

(7) カドミウムカバー

カドミウムカバーの組成、形状は核燃料サイクル開発機構殿より提示された。密度は理科年表記載値[3]を使用した。解析では、２枚のカドミウム箔を用いて金箔及びコバルト箔を挟んだ。以下にカドミウム箔１枚の重量と体積を示す。

カドミウム箔重量(g/枚)　：　0.489

カドミウム箔体積(cm³)　：　0.057(半径：0.6cm、厚さ：0.05cm)

3．2　計算コードと断面積

連続エネルギーモンテカルロ計算コード MCNP と 1 次元 Sn 法輸送計算コード ANISN を用いた。ANISN は、単純化解析体系でのスペクトル解析精度を MCNP と比較検討するために用いた。なお、ANISN の解析値は核燃料サイクル開発機構殿提示値を用いた。

MCNP4B

JENDL3.2 を基にした連続エネルギーライブラリー（FSXLIB3.2）を使用した。MCNP 入力時に用いる核種ごとの識別記号（ZAID）を表 3.1-1 に示す。但し、金については、上記ライブラリーにデータがないので、ENDFB-VI.1 を基にした MCNP のオリジナルライブラリーを使用した。

ANISN

中性子４７群断面積(DLC-75/BUGLE-80)[6]を使用した。Sn 法での角度変数を 16 分割した。

3．3　線源スペクトル

本報告書で用いた ^{17}N の β-n 崩壊の中性子スペクトル、D(γ、n)反応の中性子スペクトル、生体遮蔽内側スペクトルを表 3.2-1、表 3.2-2、表 3.2-3 にそれぞれ示す。それぞれ前報告書[1]のものと同じである。

表3.1-1　　原子個数密度

物質	核種	MCNP-Library*	個数密度(#/bn-cm)
コンクリート	H	1001.37c	1.2668E-02
水分量	C	6012.37c	3.6310E-04
7.54%	O	8016.37c	4.8140E-02
	Na	11023.37c	7.0229E-04
	Mg	12000.37c	5.6982E-04
	Al	13027.37c	3.0424E-03
	Si	14000.37c	1.5546E-02
	S	16000.37c	7.3432E-05
	K	19000.37c	2.9887E-04
	Ca	20000.37c	3.0101E-03
	Mn	25055.37c	6.5751E-05
	Fe	26000.37c	6.6854E-04
炭素鋼	C	6012.37c	8.2658E-04
	Si	14000.37c	5.0499E-05
	P	15031.37c	2.2895E-05
	S	16000.37c	4.1285E-05
	Mn	25055.37c	9.8102E-04
	Fe	26000.37c	8.4296E-02
金箔	Au	79197.60c**	6.0159E-02
19.32 g/cm^3			
ポリエチレン	C	6012.37c	3.9500E-02
	H	1001.37c	7.8999E-02
0.92 g/cm^3			
空気	H	1001.37c	8.4382E-07
	C	6012.37c	7.5847E-09
	N	7014.37c	3.9099E-05
	O	8016.37c	1.0956E-05
軽水	H	1001.37c	5.0987E-02
(549K、飽和水)	O	8016.37c	2.5494E-02
0.7627g/cm^3			

物質	核種	MCNP-Library*	個数密度(#/bn-cm)
主蒸気管			
管	C	6012.37c	1.2989E-03
(JISG3456	Si	14000.37c	3.7872E-04
STPT49)	P	15031.37c	5.3419E-05
	S	16000.37c	5.1601E-05
	Mn	25055.37c	5.5932E-04
	Fe	26000.37c	8.3573E-02
保温材	Ca	20000.37c	8.8133E-04
($CaSiO_3$)	Si	14000.37c	8.8133E-04
0.17g/cm^3	O	8016.37c	2.6440E-03
蒸気	H	1001.37c	2.1594E-03
	O	8016.37c	1.0797E-03
重水タンク			
重水	D	1002.37c	6.4660E-02
	O	8016.37c	3.2330E-02
ヘリウム	He	2004.37c	4.0285E-05
タンク	Fe	26000.37c	5.7430E-02
(SUS304)	C	6012.37c	3.1690E-04
	Si	14000.37c	1.6940E-03
	Mn	25055.37c	1.7320E-03
	Ni	28000.37c	8.5100E-03
	Cr	24000.37c	1.7380E-02
SUS316L	C	6012.37c	1.1928E-04
	Si	14000.37c	1.7003E-03
	Mn	25055.37c	1.7385E-03
	P	15031.37c	6.1671E-05
	S	16000.37c	4.4679E-05
	Ni	28000.37c	1.1391E-02
	Cr	24000.37c	1.5613E-02
	Mo	42000.37c	1.2444E-03
	Fe	26000.37c	5.4215E-02

*JENDL-Libraryを基本的に使用(ZAID.37c)
**JENDL-Libraryが無いのでENDF/VI-Libraryを使用

表3.1-1　　原子個数密度(続き)

物質	核種	MCNP-Library*	個数密度(#/bn-cm)
コバルト箔	Co	27059.37c	9.0852E-02
	C	6012.37c	4.4623E-06
8.9 g/cm3	Si	14000.37c	3.8166E-06
	Fe	26000.37c	9.5972E-06
	P	15031.37c	3.4607E-06
	S	16000.37c	1.6715E-06
	Cu	29000.37c	5.0605E-06
ニッケル箔	Ni	28000.37c	9.0879E-02
	C	6012.37c	1.7853E-05
8.902 g/cm3	Si	14000.37c	5.7262E-06
	Mn	25055.37c	9.7579E-07
	P	15031.37c	1.7308E-06
	S	16000.37c	1.6718E-06
	Co	27059.37c	9.0964E-07
	Fe	26000.37c	2.8798E-06
Cdカバー	Cd	48000.37c	4.6335E-02
	Pd		
8.65 g/cm3	^{102}Pd	46102.37c	3.9941E-09
	^{104}Pd	46104.37c	4.3622E-08
	^{105}Pd	46105.37c	8.7440E-08
	^{106}Pd	46106.37c	1.0702E-07
	^{108}Pd	46108.37c	1.0361E-07
	^{110}Pd	46110.37c	4.5894E-08
	Fe	26000.37c	9.3277E-08
	Cu	29000.37c	7.3775E-07
	Zn***	30000.40c	7.9661E-08

*JENDL-Libraryを基本的に使用(ZAID.37c)
**JENDL-Library及びENDF/VI-Libraryがないので計算では無視

表3.2-1　^{17}Nのβ-n崩壊中性子スペクトル

エネルギー(MeV)	発生割合
3.83E-01	0.38
8.84E-01	0.006
1.17E+00	0.501
1.70E+00	0.0695

表3.2-2　D(γ、n)中性子スペクトル

エネルギー(MeV)	発生割合
2.58E-01	0.824
2.98E-01	0.0013
1.95E+00	67
2.35E+00	0.038
2.45E+00	4.9
3.32E+00	0.076

表3.2-3　　面線源スペクトル*

(n/cm²/s)

エネルギー群	中性子エネルギーの上限 (MeV)	生体遮へい内側	相対中性子束
1	1.4918E+01	7.58E+02	3.38E-04
2	1.1052E+01	3.53E+03	1.57E-03
3	8.1873E+00	7.56E+03	3.37E-03
4	6.0653E+00	1.08E+04	4.80E-03
5	4.4933E+00	1.18E+04	5.25E-03
6	3.3287E+00	2.01E+04	8.97E-03
7	2.4660E+00	3.06E+04	1.36E-02
8	1.8268E+00	3.97E+04	1.77E-02
9	1.3534E+00	4.32E+04	1.92E-02
10	1.0026E+00	1.08E+05	4.79E-02
11	6.0810E-01	9.82E+04	4.37E-02
12	3.6883E-01	9.97E+04	4.44E-02
13	2.2371E-01	1.52E+05	6.77E-02
14	8.6617E-02	1.44E+05	6.39E-02
15	2.4788E-02	1.11E+05	4.95E-02
16	9.1188E-03	1.05E+05	4.69E-02
17	3.3546E-03	1.01E+05	4.49E-02
18	1.2341E-03	1.01E+05	4.48E-02
19	5.5400E-04	9.85E+04	4.38E-02
20	1.6702E-04	1.22E+05	5.45E-02
21	4.7851E-05	1.23E+05	5.46E-02
22	1.3710E-05	1.19E+05	5.28E-02
23	3.9279E-06	1.13E+05	5.04E-02
24	1.1254E-06	7.97E+04	3.55E-02
25	4.1399E-07	4.04E+05	1.80E-01
下限中性子エネルギー	1.0000E-09		

*DOT計算値(JNC殿提示)

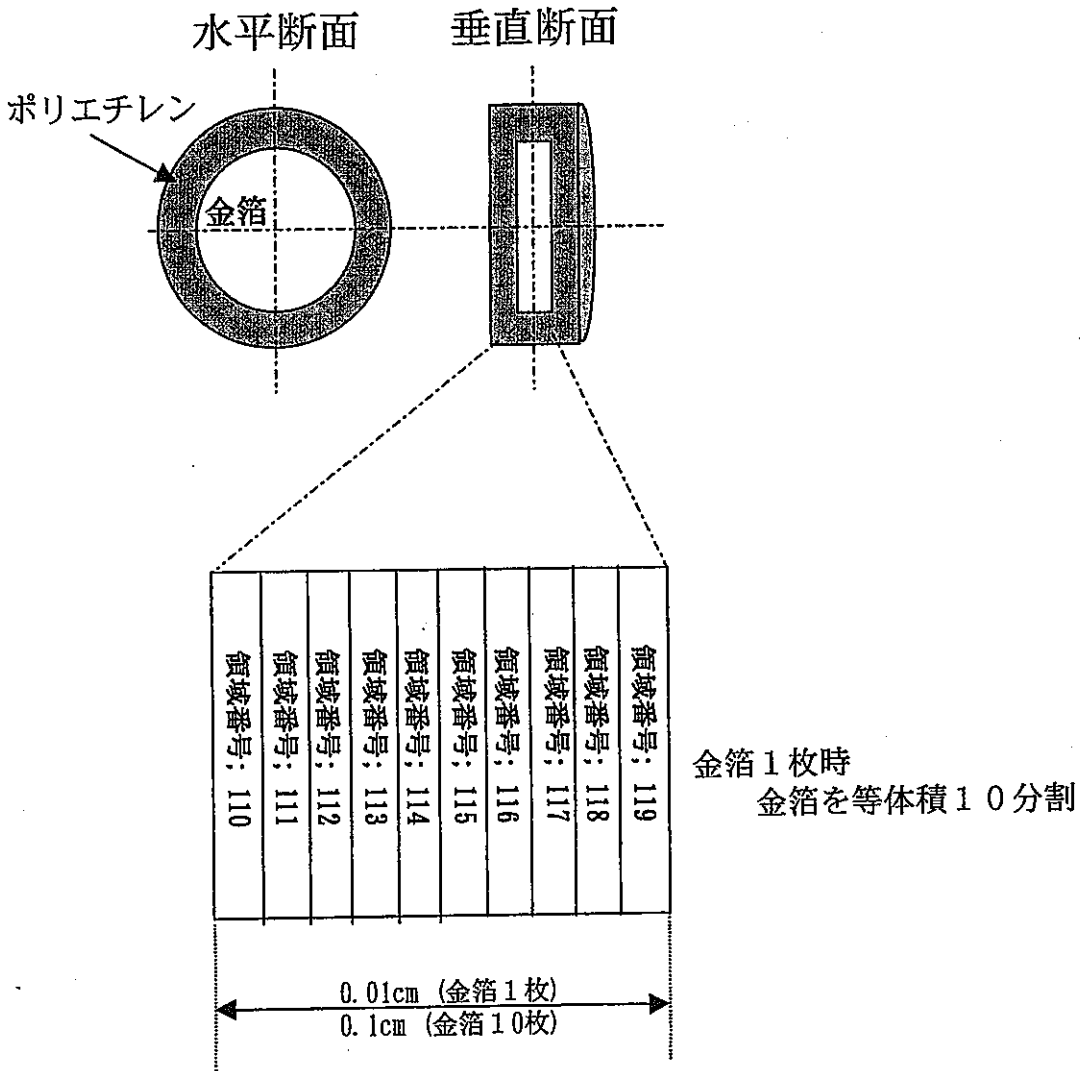


図3.1-1　　金箔1枚と10枚重ね

4．Pre-sn コード(ANISN)と MCNP コードによる解析結果の比較検討

MCNP で解析を行なう利点として、解析形状設定の自由度が大きいこと、連続エネルギー断面積が使用可能であることが挙げられる。一方、計算時間が長いという欠点がある。よって、単純な解析体系では、計算時間の短い決定論的手法を用いてスペクトル等が計算可能であることが望ましい。

本章では、決定論的手法として 1 次元 Sn 法輸送計算コード ANISN を使用し、その中性子束スペクトル解析精度を検討する。ANISN によって得られた中性子束スペクトルは MCNP の結果と比較する。

4．1　解析条件

MCNP で用いた幾何体系とその仕様を図 4.1-1、ANISN の幾何体系とその仕様を図 4.1-2 に示す。また、主蒸気管形状の詳細を図 4.1-3 に示す。ANISN 計算は 1 次元軸対象（無限円柱）とし、MCNP の計算はそれと同等のモデルを用いた。

中性子束スペクトルの比較は、壁表面と壁から 1m 離れた位置で 47 群で行なった。47 群の群構造を表 4.1-1 に示す。

(a)	スペクトル	表 3.2-1（^{17}N の β-n 崩壊による）[4]
(b)	線源	等方発生分布（主蒸気管内で発生）
(c)	追跡粒子	中性子
(d)	解析体系	図 4.1-1（MCNP 解析体系）
		図 4.1-2（ANISN 解析体系）
		図 4.1-3（主蒸気管形状）

4．2　計算結果

壁表面とそれから 1m 離れた位置での比較結果を図 4.3-1、図 4.3-2 にそれぞれに示す。また、その計算値を表 4.1-1 に纏める。MCNP のスペクトルは相対的に硬い。

MCNP から得られる各領域（例：コンクリート）での全断面積と ANISN の全断面積の比較を図 4.3-3～図 4.3-8、同様に吸収断面積の比較を図 4.3-9～図 4.3-14 に示す。高いエネルギー領域では、特に吸収断面積が一致していない。MCNP の吸収断面積の構成要素を以下に示す。下記以外の吸収断面積の要素は相対的にゼロに等しいので無視した。

(n, γ)、(n,p)、(n,d)、(n,t)、(n,^{3}He)、(n, α)

p：陽子、d：重水素、t：トリチウム

また、各領域（例：主蒸気管内水蒸気）での断面積の比較を図 4.3-15（全断面積）及び図 4.3-16（吸収断面積）に示す。これらは、領域内での各核種の個数密度を重みとして平

均化した。これらにおいても、高いエネルギー領域は不一致を示す。さらに、全断面積の低いエネルギー領域では、ANISN の断面積が若干大きい。

断面積は若干異なるが、スペクトルは比較的よく合っている。単純な体系での ANISN のスペクトル解析精度が十分であることが確認された。

表4.1-1　　47群構造とスペクトル*

エネルギー群	中性子エネルギーの上限 (MeV)	壁表面 (MCNP)	壁表面 (ANISN)	壁表面 ANI/MC	壁から1m (MCNP)	壁から1m (ANISN)	壁から1m ANI/MC
1	1.7333E+01	-	-	-	-	-	-
2	1.4191E+01	-	-	-	-	-	-
3	1.2214E+01	-	-	-	-	-	-
4	1.0000E+01	-	-	-	-	-	-
5	8.6071E+00	-	-	-	-	-	-
6	7.4082E+00	-	-	-	-	-	-
7	6.0653E+00	-	-	-	-	-	-
8	4.9659E+00	-	-	-	-	-	-
9	3.6788E+00	-	-	-	-	-	-
10	3.0119E+00	-	-	-	-	-	-
11	2.7253E+00	-	-	-	-	-	-
12	2.4660E+00	-	-	-	-	-	-
13	2.3653E+00	-	-	-	-	-	-
14	2.3457E+00	-	-	-	-	-	-
15	2.2313E+00	-	-	-	-	-	-
16	1.9205E+00	3.65E-03	4.56E-03	1.25	5.01E-03	5.98E-03	1.19
17	1.6530E+00	3.64E-03	3.33E-03	0.92	3.75E-03	3.45E-03	0.92
18	1.3534E+00	4.35E-02	4.54E-02	1.04	5.51E-02	5.60E-02	1.02
19	1.0026E+00	2.61E-02	2.39E-02	0.92	2.90E-02	2.68E-02	0.92
20	8.2085E-01	1.32E-02	1.37E-02	1.04	1.26E-02	1.40E-02	1.11
21	7.4274E-01	1.92E-02	1.86E-02	0.97	1.87E-02	1.82E-02	0.97
22	6.0810E-01	1.29E-02	1.33E-02	1.03	1.26E-02	1.30E-02	1.03
23	4.9787E-01	2.32E-02	4.02E-02	1.73	2.80E-02	4.66E-02	1.66
24	3.6883E-01	3.72E-02	3.42E-02	0.92	4.15E-02	3.67E-02	0.88
25	2.9720E-01	6.15E-02	4.94E-02	0.80	6.30E-02	4.97E-02	0.79
26	1.8316E-01	4.24E-02	3.88E-02	0.92	4.15E-02	3.80E-02	0.92
27	1.1109E-01	2.90E-02	2.79E-02	0.96	2.83E-02	2.71E-02	0.96
28	6.7379E-02	2.43E-02	2.30E-02	0.94	2.37E-02	2.21E-02	0.93
29	4.0868E-02	1.06E-02	9.69E-03	0.92	1.01E-02	9.27E-03	0.92
30	3.1828E-02	7.95E-03	7.58E-03	0.95	7.51E-03	7.14E-03	0.95
31	2.6058E-02	3.53E-03	3.45E-03	0.98	3.63E-03	3.59E-03	0.99
32	2.4176E-02	4.12E-03	3.96E-03	0.96	4.01E-03	3.87E-03	0.96
33	2.1875E-02	1.46E-02	1.40E-02	0.96	1.41E-02	1.36E-02	0.96
34	1.5034E-02	2.59E-02	2.43E-02	0.93	2.50E-02	2.32E-02	0.93
35	7.1017E-03	2.45E-02	2.32E-02	0.95	2.37E-02	2.24E-02	0.95
36	3.3546E-03	2.31E-02	2.13E-02	0.92	2.23E-02	2.06E-02	0.92
37	1.5846E-03	3.65E-02	3.41E-02	0.93	3.50E-02	3.28E-02	0.94
38	4.5400E-04	2.07E-02	1.94E-02	0.94	1.99E-02	1.87E-02	0.94
39	2.1445E-04	2.01E-02	1.88E-02	0.93	1.93E-02	1.81E-02	0.94
40	1.0130E-04	2.57E-02	2.41E-02	0.94	2.49E-02	2.33E-02	0.93
41	3.7267E-05	3.08E-02	2.88E-02	0.93	2.97E-02	2.78E-02	0.94
42	1.0677E-05	1.78E-02	1.66E-02	0.93	1.72E-02	1.60E-02	0.94
43	5.0435E-06	2.29E-02	2.14E-02	0.93	2.21E-02	2.06E-02	0.93
44	1.8554E-06	1.69E-02	1.54E-02	0.92	1.63E-02	1.49E-02	0.92
45	8.7642E-07	1.67E-02	1.49E-02	0.89	1.62E-02	1.44E-02	0.89
46	4.1399E-07	6.41E-02	4.37E-02	0.68	6.19E-02	4.21E-02	0.68
47	1.0000E-07	2.74E-01	3.19E-01	1.17	2.64E-01	3.10E-01	1.17
下限エネルギー	1.0000E-11						

*全中性子束で規格化

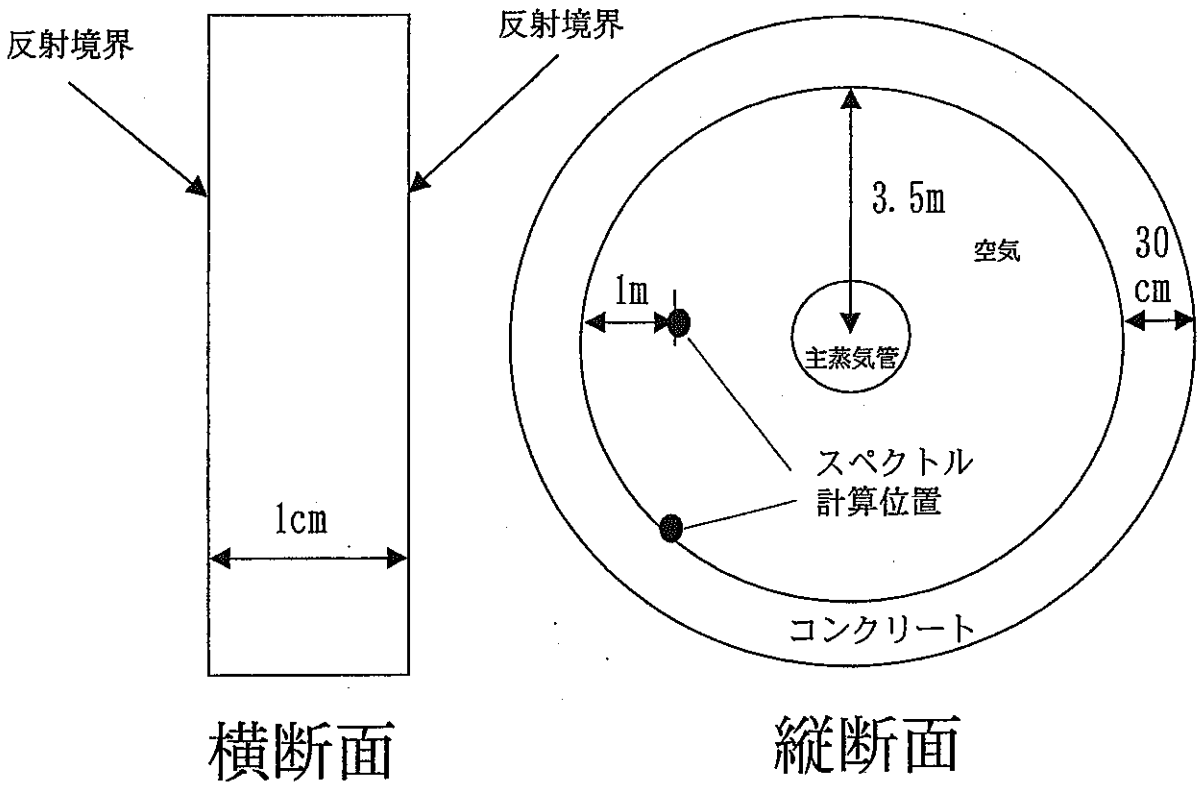


図4.1-1　ANISNとMCNP比較に用いる形状(MCNP)
(主蒸気管形状は図4.1-3)

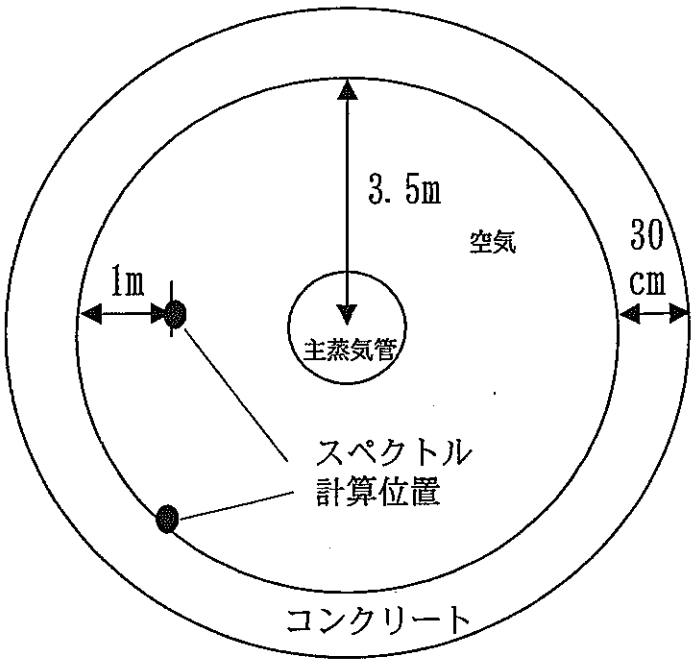


図4.1-2 ANISNとMCNP比較に用いる形状(ANISN)

(紙面に対して垂直方向は無限延長、主蒸気管形状は図4.1-3)

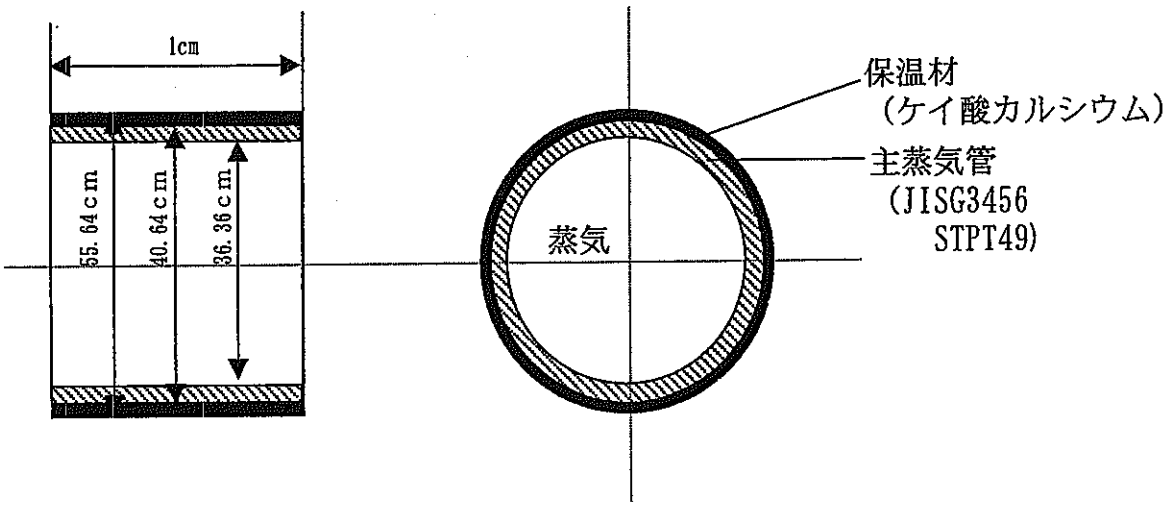

1cm
55.64cm
40.64cm
36.36cm
蒸気
保温材
（ケイ酸カルシウム）
主蒸気管
（JISG3456
STPT49）

図4.1-3　　主蒸気管形状

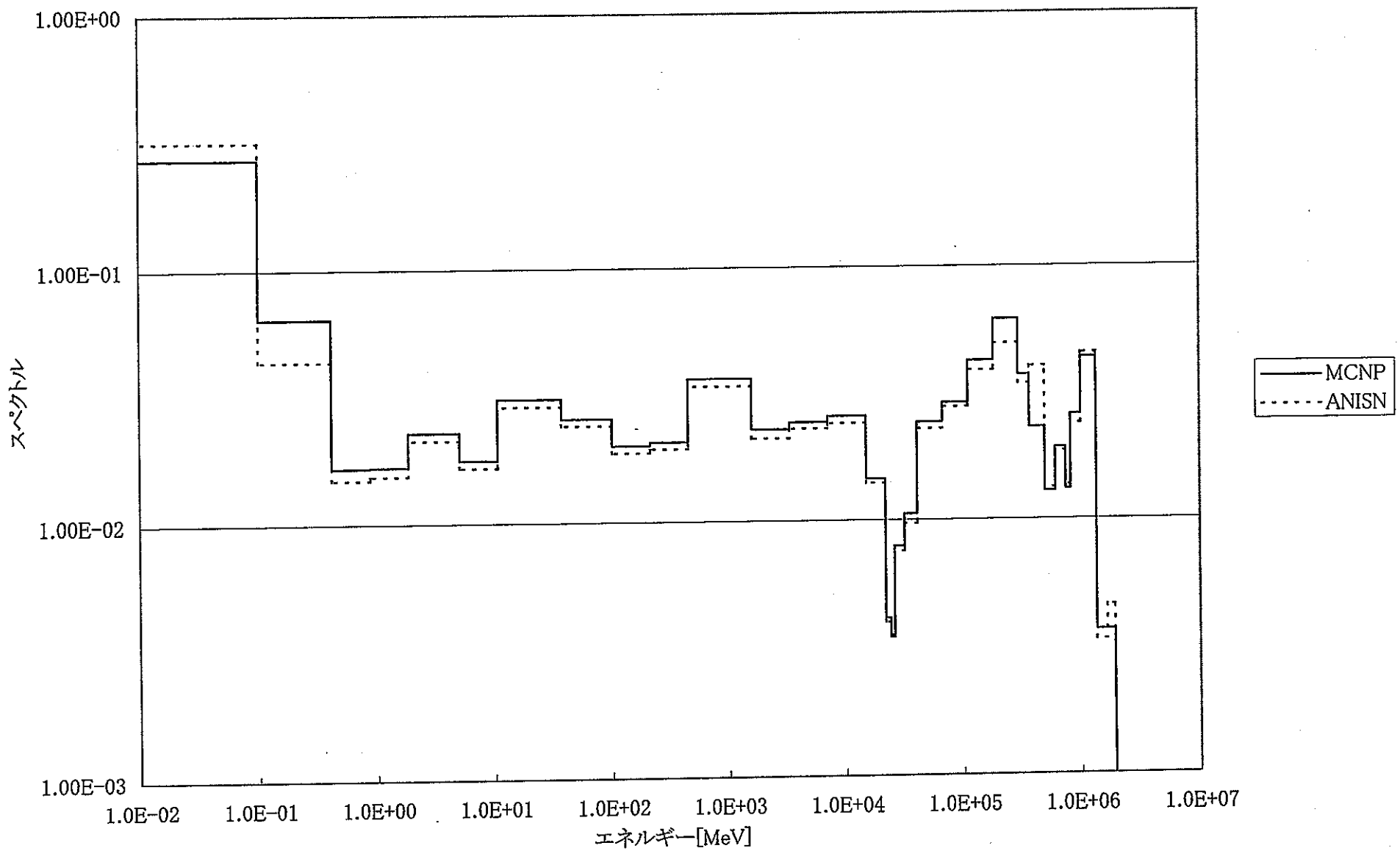


図4.3-1　　壁表面でのスペクトル

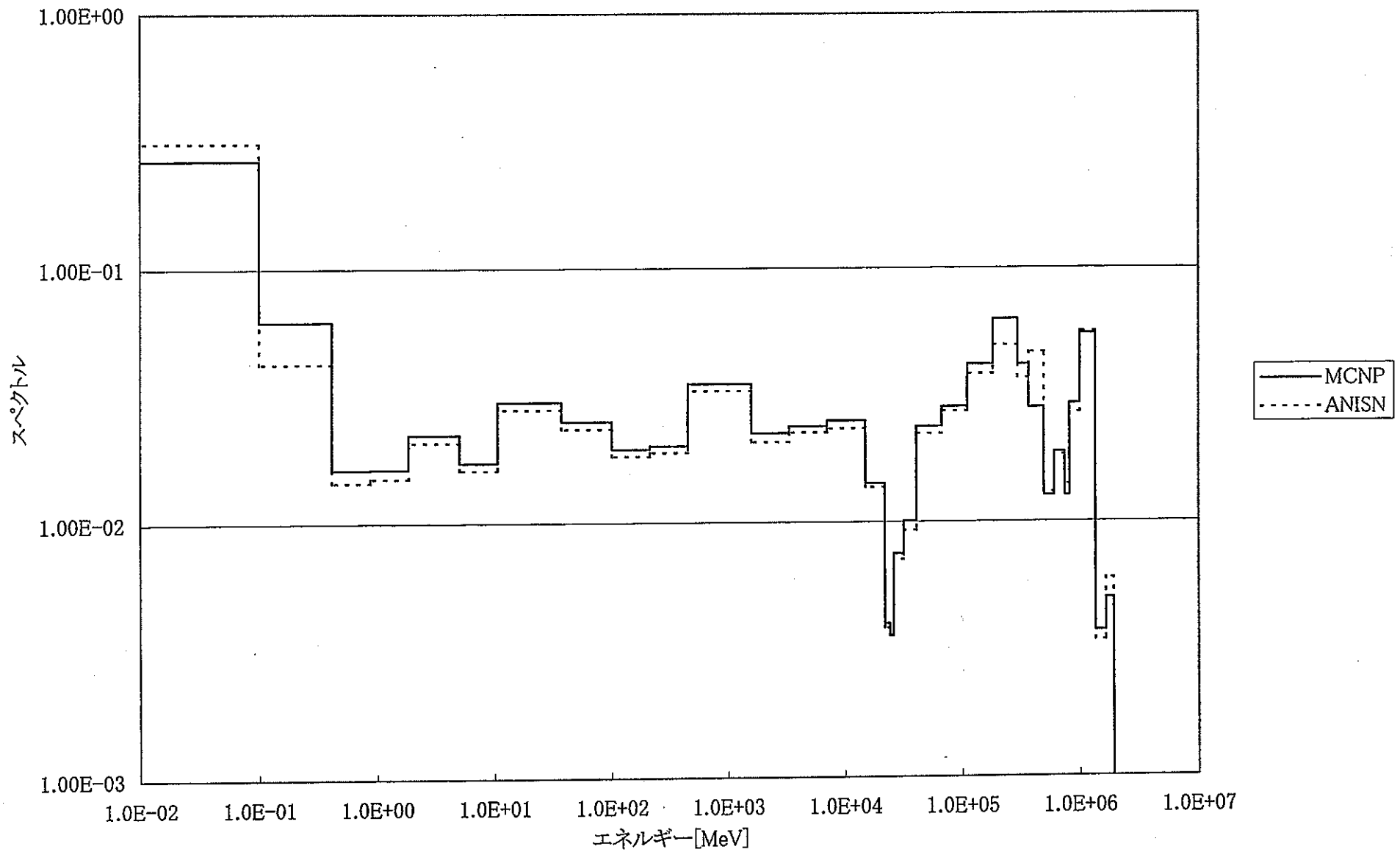


図4.3-2　壁表面から1m離れた位置でのスペクトル

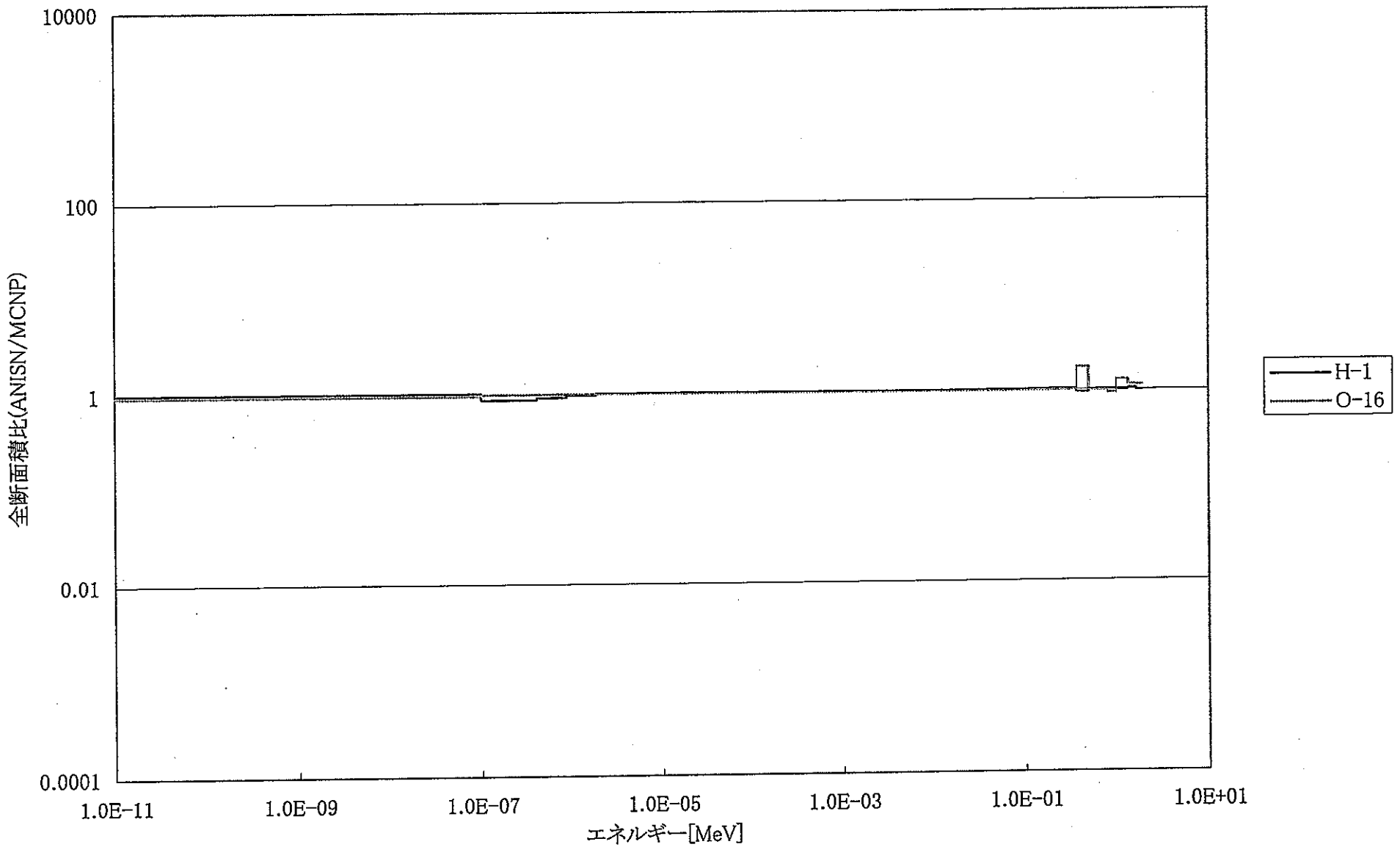


図4.3-3　全断面積比(主蒸気管内蒸気)

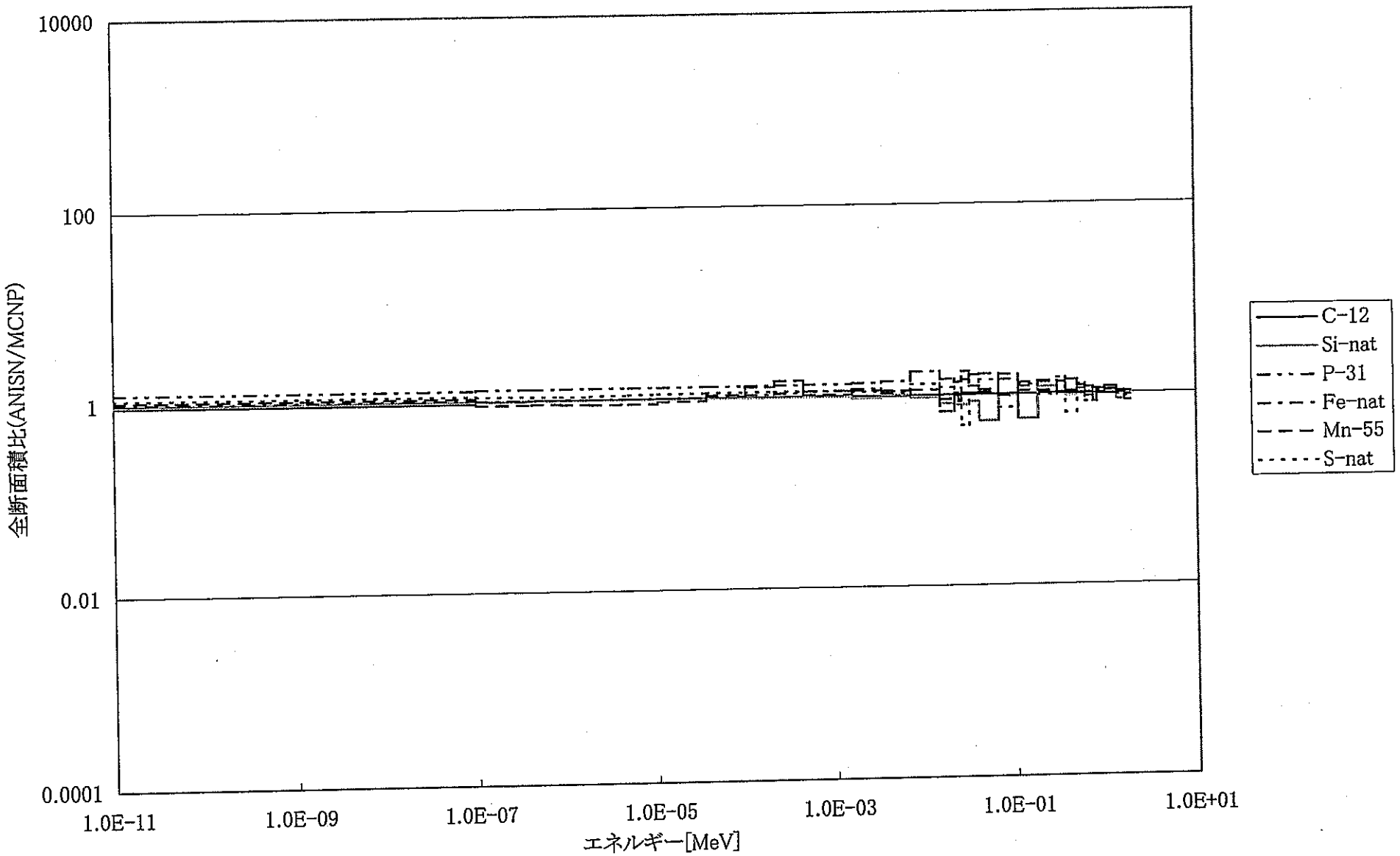


図4.3-4　　全断面積比(主蒸気管の管)

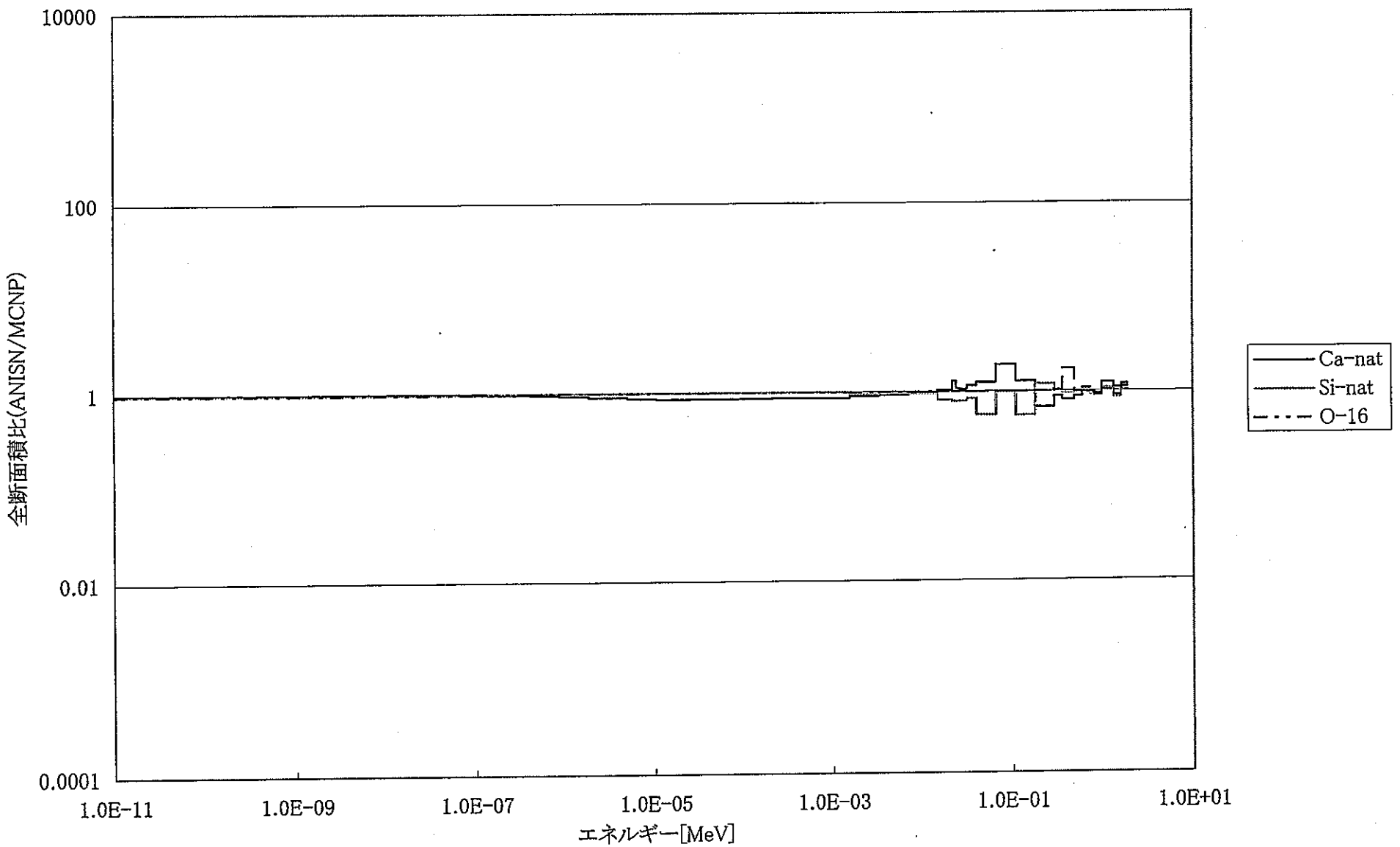


図4.3-5　　全断面積比(主蒸気管保温材)

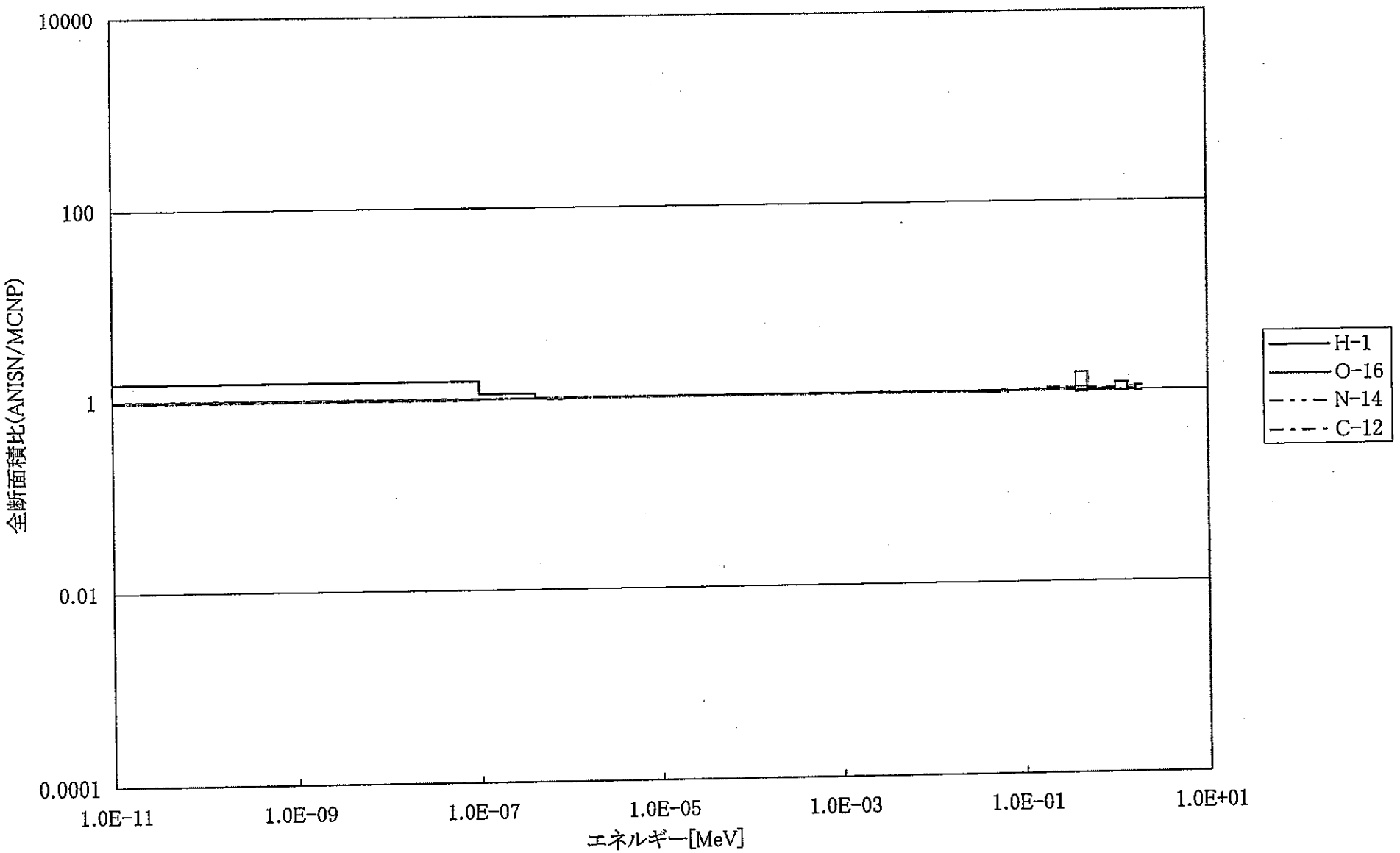


図4.3-6　　全断面積比(空気)

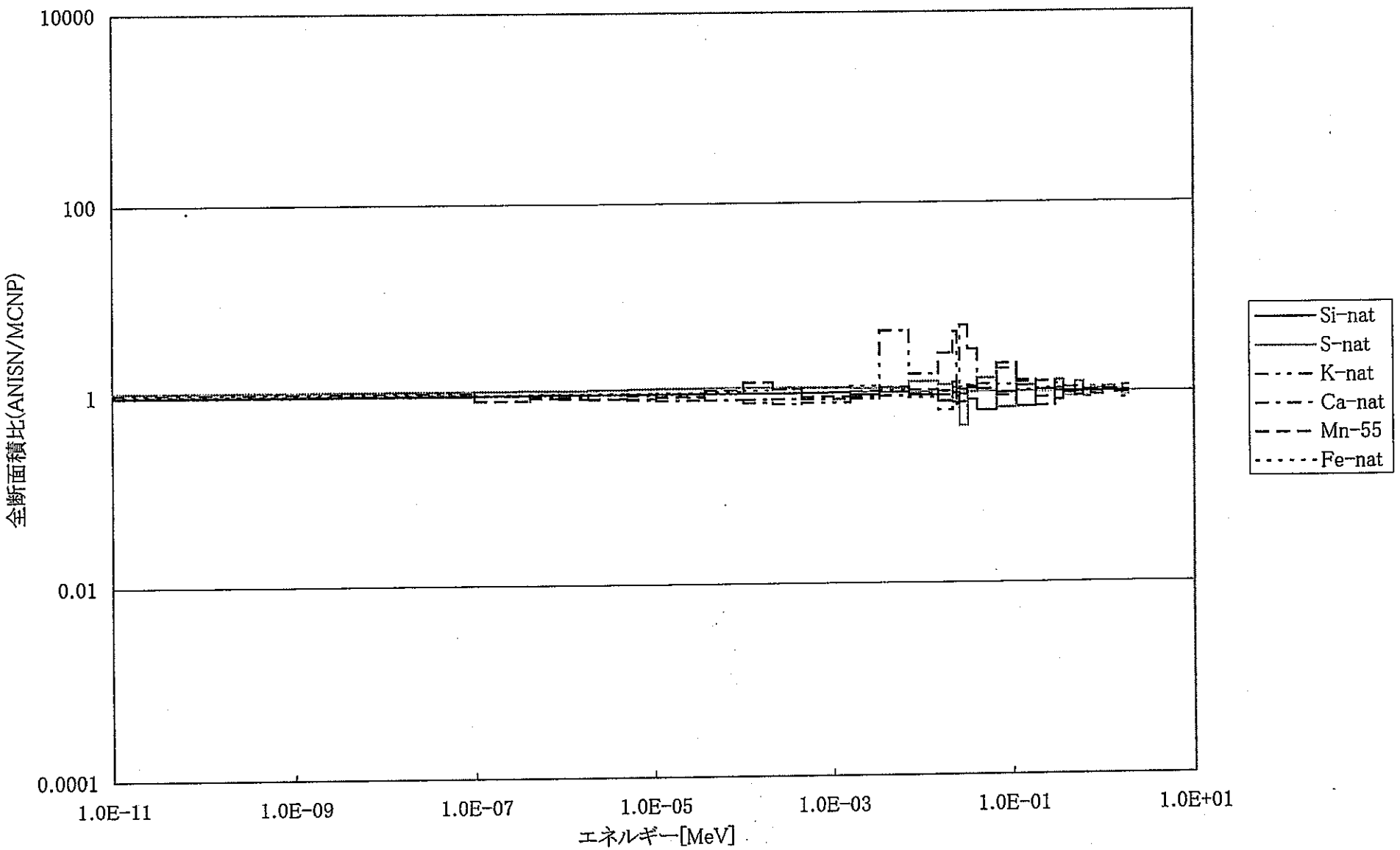


図4.3-7　　全断面積比(コンクリート)

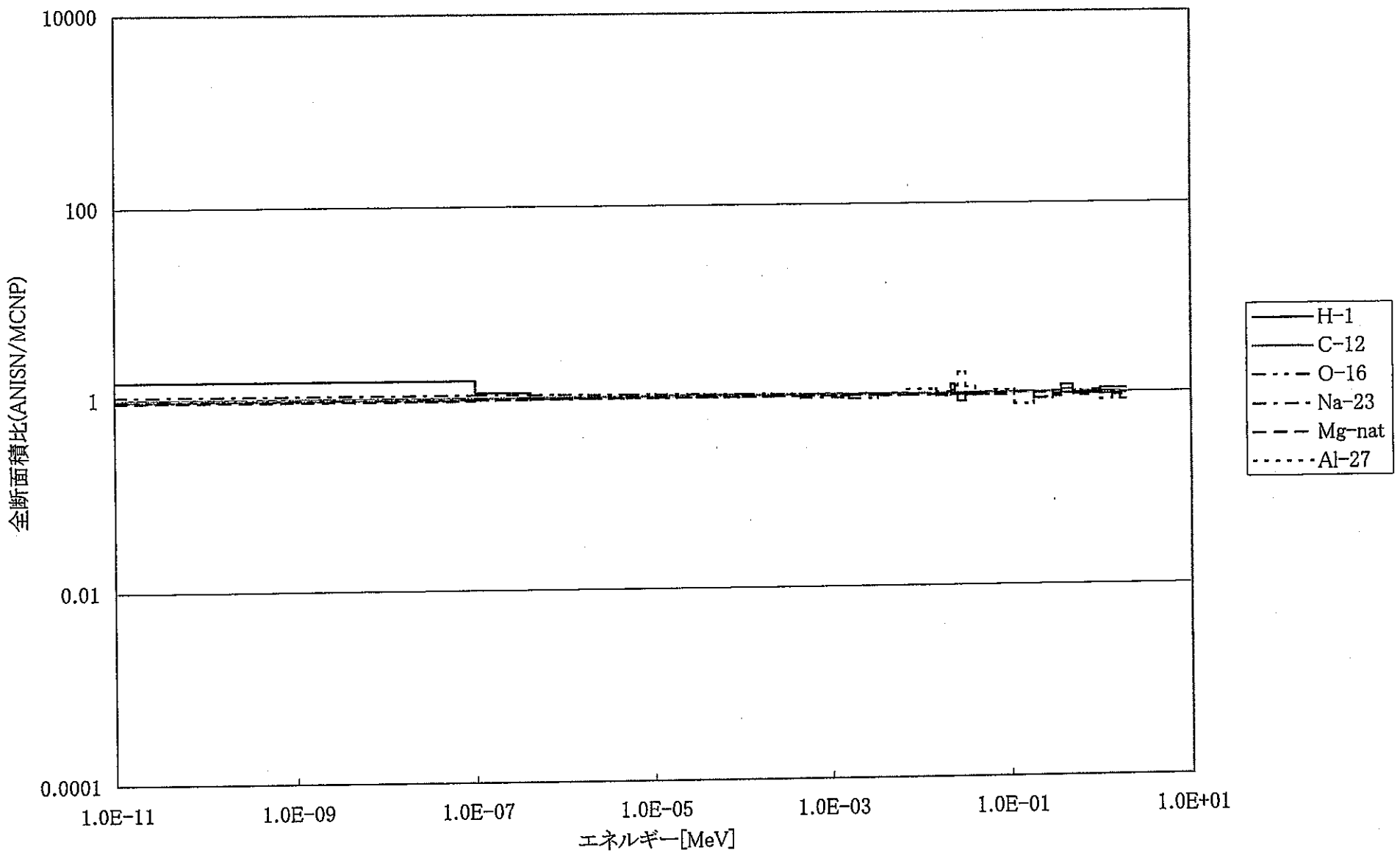


図4.3-8　　全断面積比(コンクリート続き)

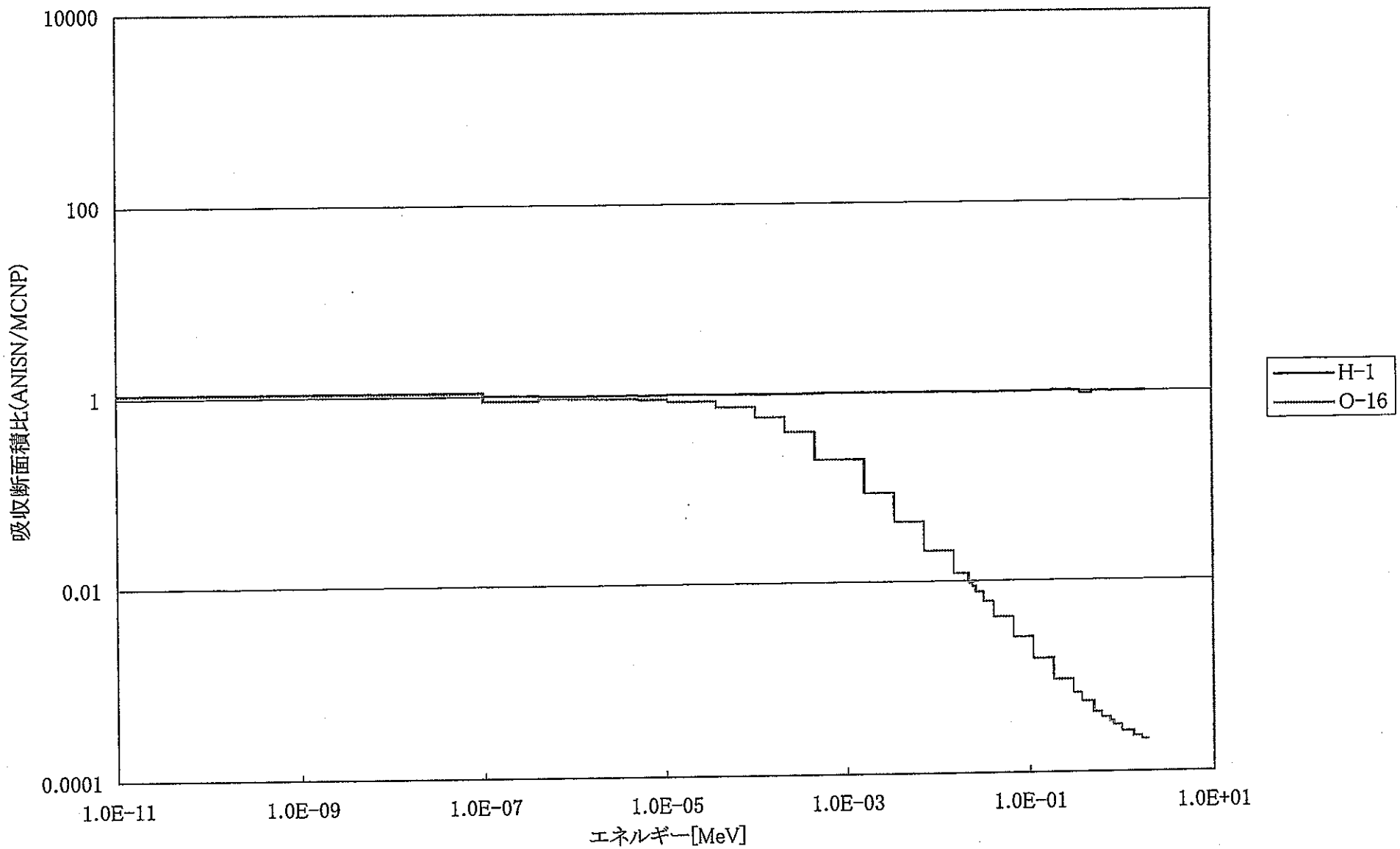


図4.3-9　吸収断面積比(主蒸気管内蒸気)

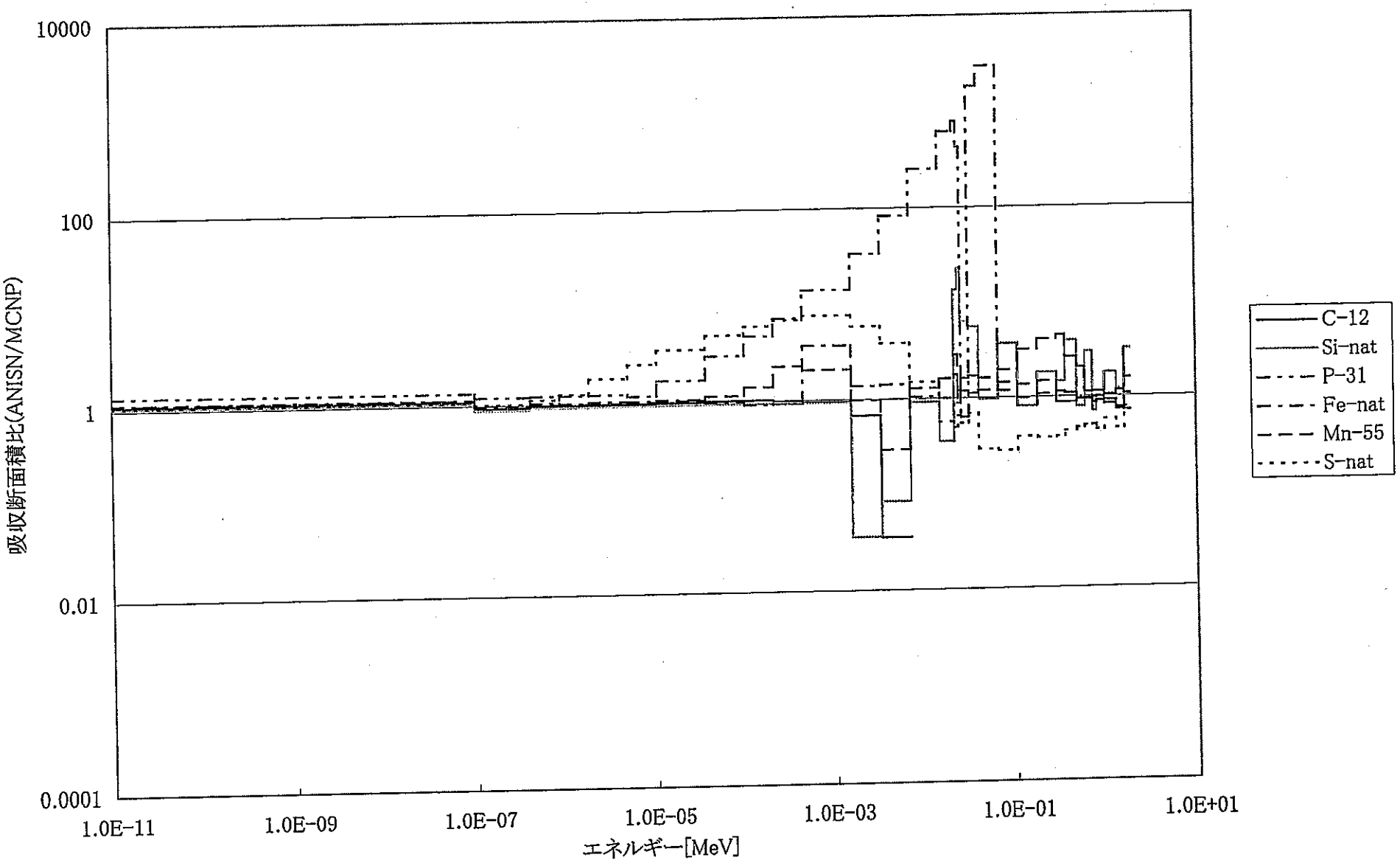


図4.3-10　　吸収断面積比(主蒸気管の管)

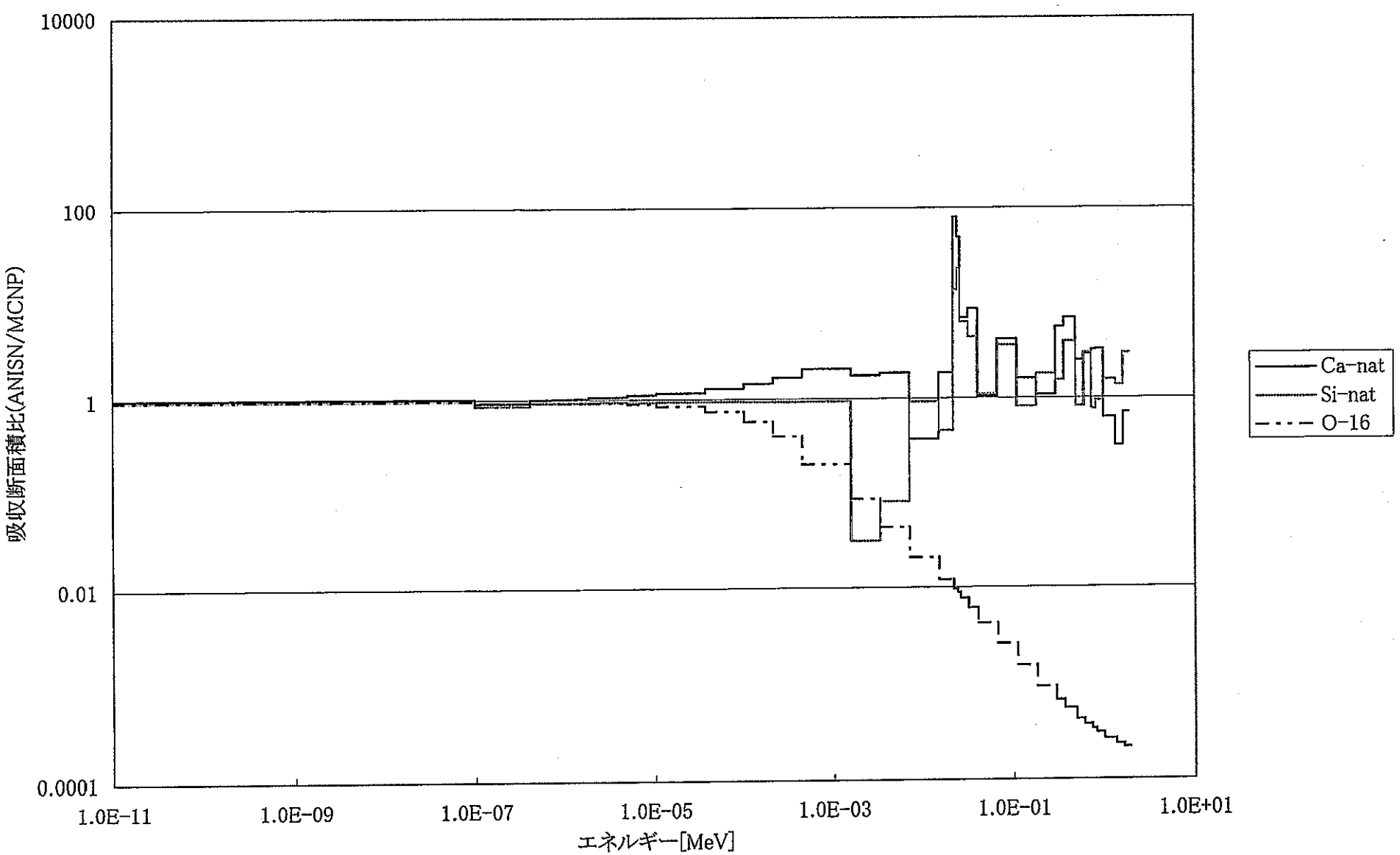


図4.3-11　　吸収断面積比(主蒸気管保温材)

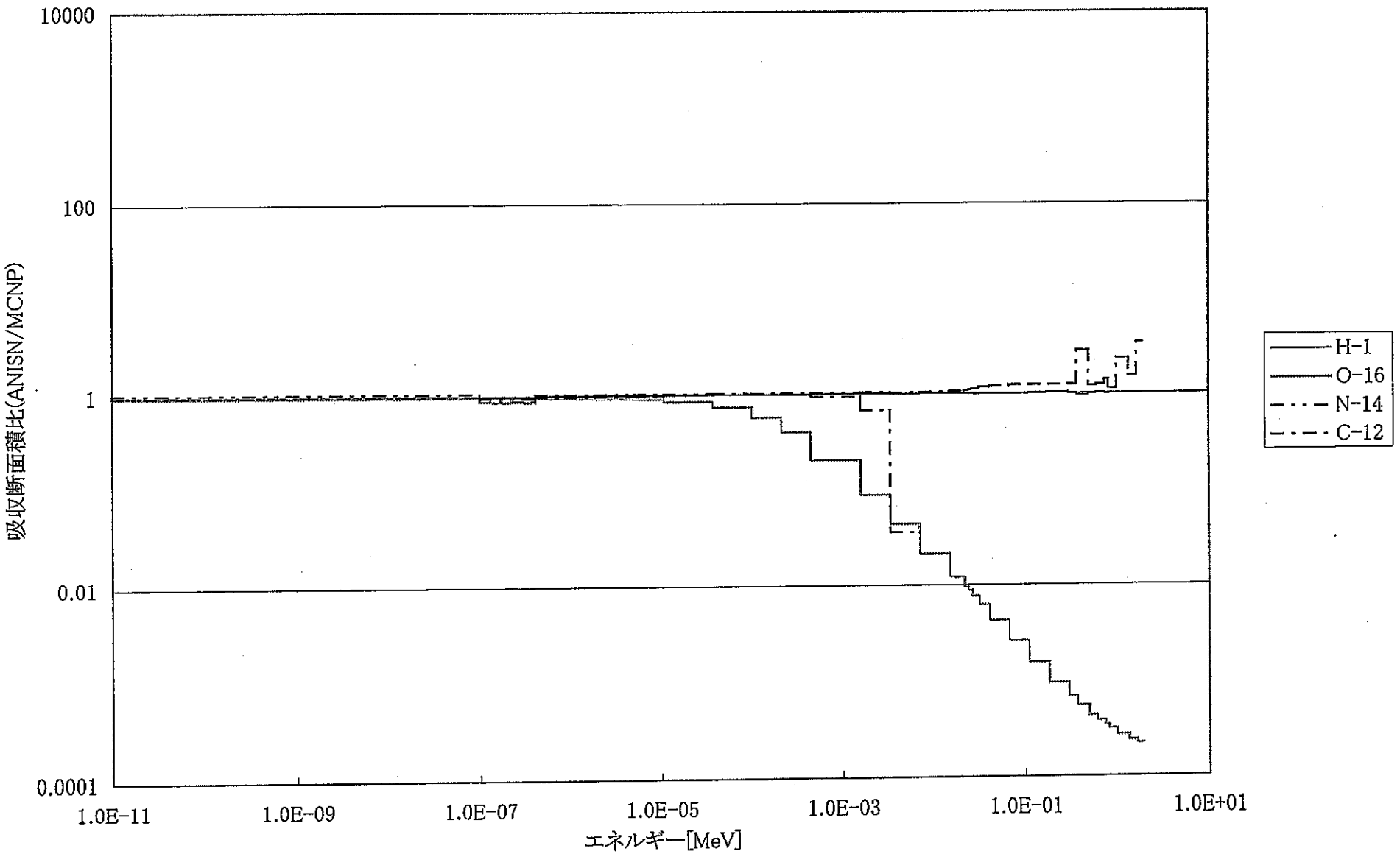


図4.3-12　　吸収断面積比(空気)

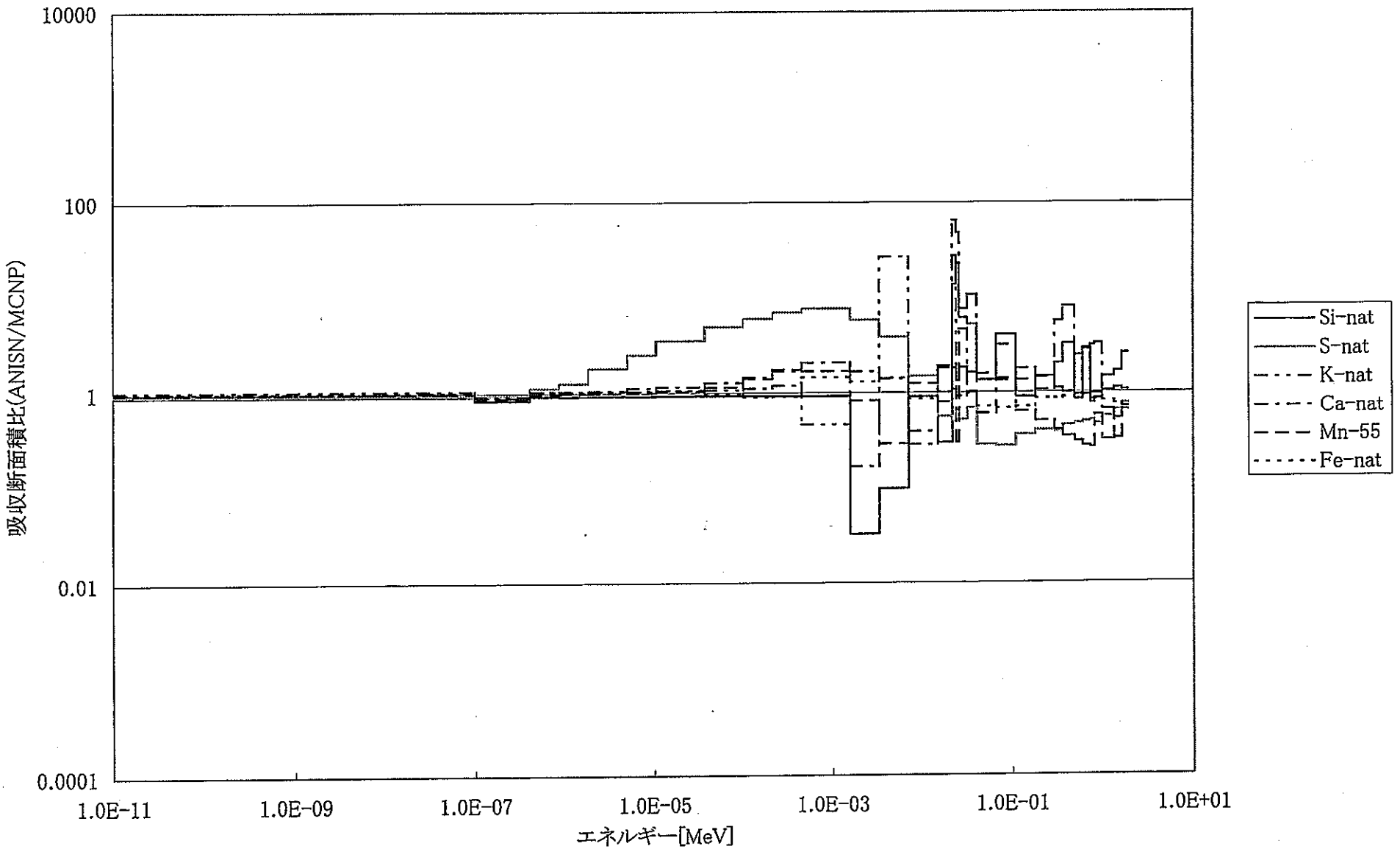


図4.3-13　　吸収断面積比(コンクリート)

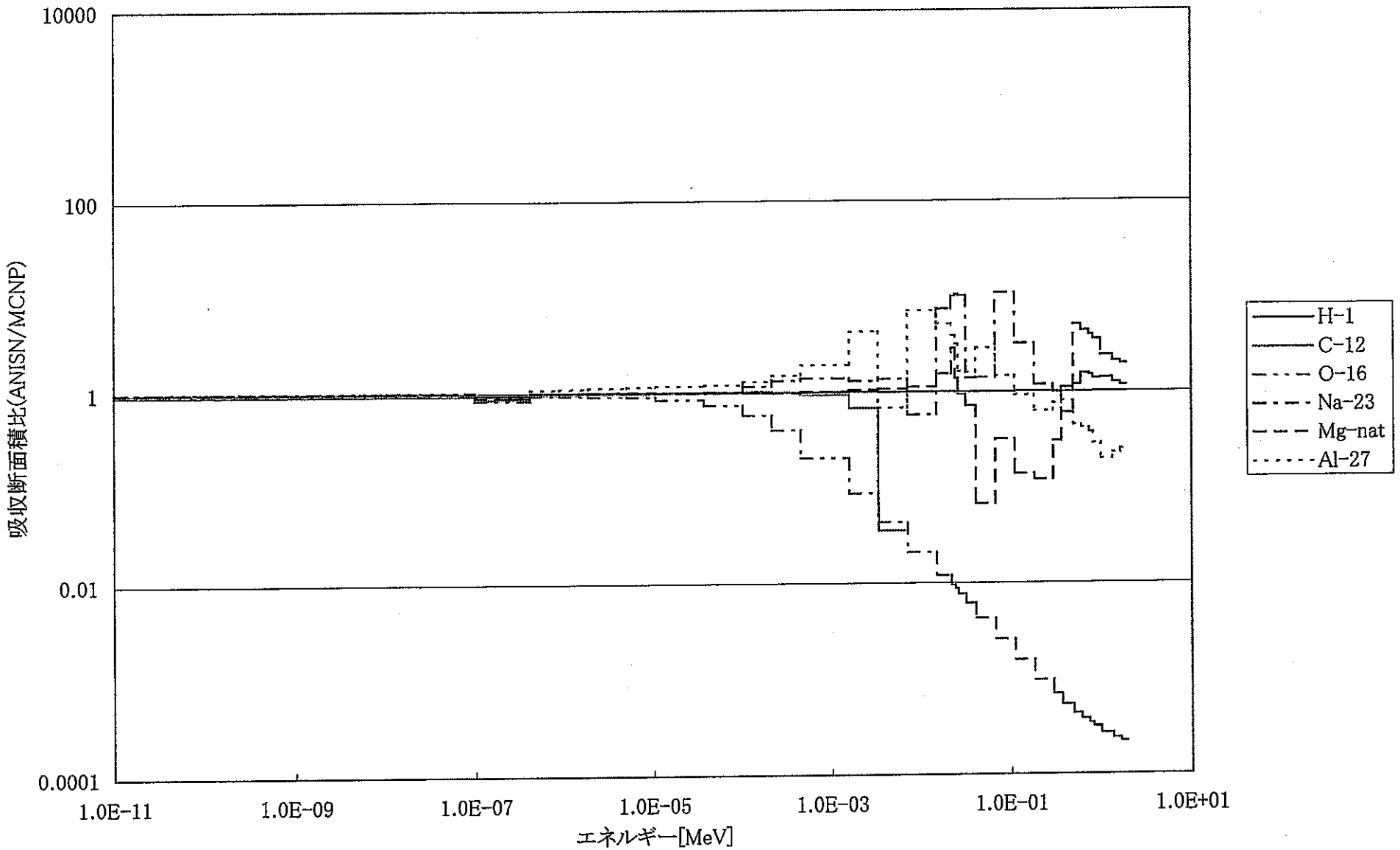


図4.3-14　　吸収断面積比(コンクリート続き)

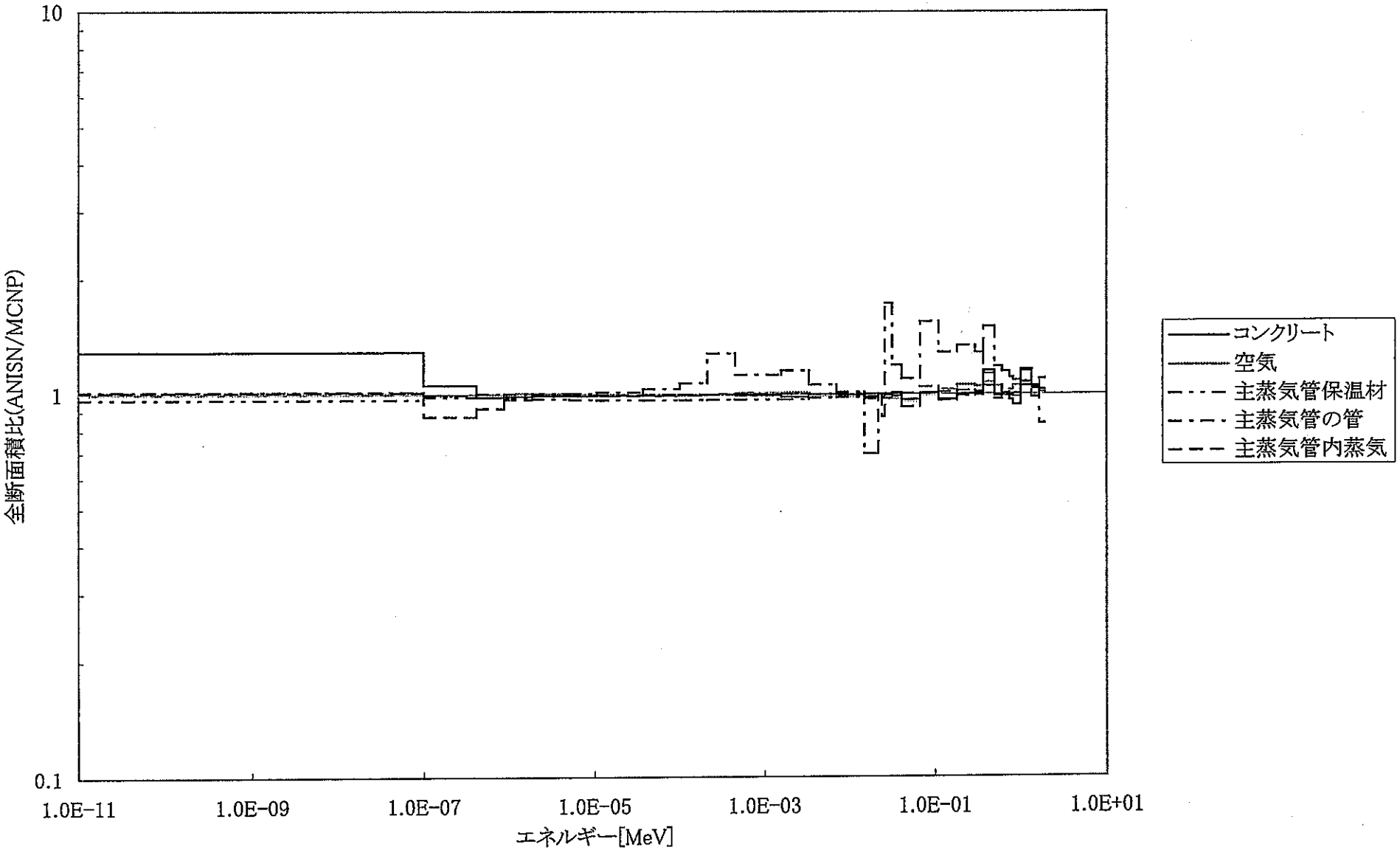


図4.3-15　　全断面積比(領域平均)

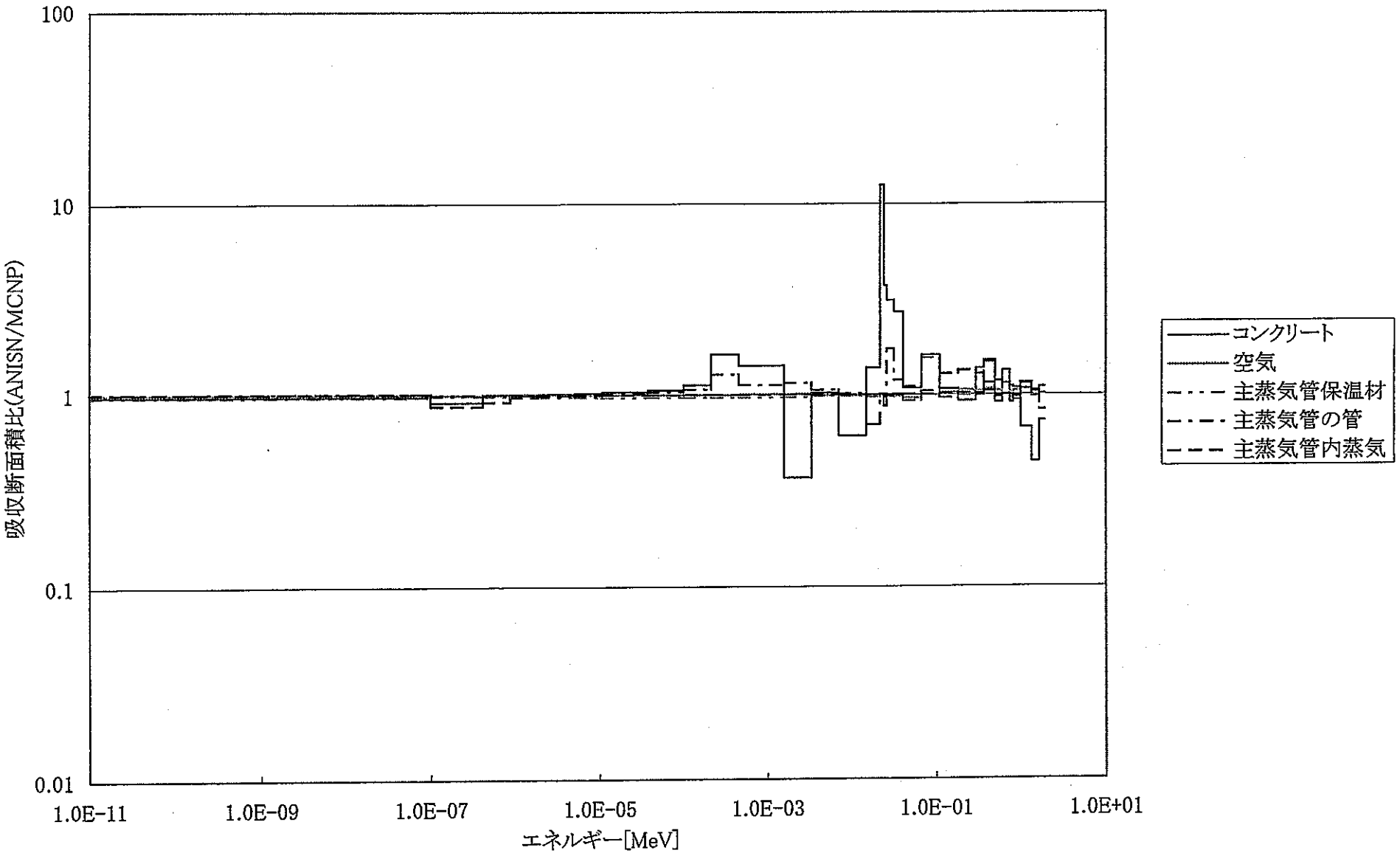


図4.3-16　　吸収断面積比(領域平均)

5．解析モデルの検討

本章では、主蒸気管室、重水タンク室、マニホールド付近の適当な解析体系を選択する。

前報告書[1]では解析体系を単純化した。その単純化が少なからず結果に影響を与えることが判明した。よって、壁の配置、壁の長さ等をパラメータとして解析体系が結果（比放射能または換算係数）に与える影響を評価する。なお、比放射能の定義は単位中性子束当りの比放射能、換算係数の定義は単位中性子束当りの比放射能の逆数である。

主蒸気管室の評価では壁の配置と壁の長さ、重水タンク室では壁の配置、マニホールド付近では壁の高さをパラメータとした評価を行なう。

5．1　主蒸気管室の体系

5．1．1　解析条件

●壁の配置

前報告書[1]では金箔設置用のコンクリート壁１枚を模擬して解析を行なった。しかし、主蒸気管室は角筒状で４面コンクリート壁で覆われている。先ず、壁の配置をパラメータとする。壁の配置を変更して５ケースの解析を行なった。解析ケースを表 5.1-1 に纏めると共に図 5.1-1～図 5.1-5 にそれらの体系を示す。

●壁の長さ

壁の配置の検討の大部分のケースで壁を有限の長さとした。実際の壁は金箔の大きさに比して十分に長い。よって、壁の長さが解析結果に与える影響の評価も行なう。解析ケースを表 5.1-2 に纏めるとともに、図 5.1-6 に体系を示す。

5．1．2　計算条件

(a)　スペクトル	表 3.2-1（^{17}N の β・n 崩壊による）[4]
(b)　線源	等方発生分布（主蒸気管内で発生）
(c)　追跡粒子	中性子
(d)　解析体系	図 5.1-1（CASE5.1-1　15m/0 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-2（CASE5.1-2　15m/1 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-3（CASE5.1-3　15m/2 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-4（CASE5.1-4　15m/3 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-5（CASE5.1-5　15m/4 枚　鏡面反射　金箔１枚）
	図 5.1-6（CASE5.1-6　0.5m/4 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-6（CASE5.1-7　1.0m/4 枚　真空境界　金箔１枚）
	図 5.1-6（CASE5.1-8　2.0m/4 枚　真空境界　金箔１枚）

5．1．3　結果と検討

●壁の配置

壁の配置の４ケースの比放射能と換算係数を図 5.1-7 にまとめる。壁の数を増やすほど比放射能（換算係数）が増大（減少）する。このことは壁での中性子散乱が無視できないこと意味しているので、以後の主蒸気管に関する解析では４方を壁に囲まれた体系とする。

●壁の長さ

壁の長さの３ケースの比放射能と換算係数を図 5.1-8 にまとめる。壁が長くなるほど比放射能（換算係数）が増大（減少）する。このことは線源の長さが無視できないことを意味するので、以後の解析では無限延長とする。

主蒸気管室の体系は角筒状とし、その長さを無限延長とした解析体系が適当である。実際の主蒸気管室は角筒状で、金箔に比して十分に長い。これらからも選択した体系は妥当と考えられる。

5．2　重水タンク室の体系

5．2．1　解析条件

前報告書[1]では金箔設置用のコンクリート壁１枚を模擬して解析を行なった。しかし、重水タンク室はコンクリート壁で覆われた大きな部屋であるので、本体系についても壁の配置の検討を行なう。解析ケースを表 5.2-1 に纏めると同時に、図 5.2-1 と図 5.2-2 に体系を示す。

重水タンク中で発生した中性子は、タンクから抜けるまでに重水と反応を繰り返し十分に熱化していると考えられる。このことにより、壁数を増大した場合の体系での結果に与える影響は小さいことが予想される。

5．2．2　計算条件

(a)　スペクトル	表 3.2-2（D(γ、n)反応の中性子スペクトル）[4]
(b)　線源	等方発生分布（重水タンク内重水中で発生）
(c)　追跡粒子	中性子
(d)　解析体系	図 5.2-1（CASE5.2-1　1m/2 枚　鏡面反射　金箔１枚）
	図 5.2-1（CASE5.2-2　1m/4 枚　鏡面反射　金箔１枚）
	図 5.2-2（重水タンク形状）

5．2．3　結果と検討

壁の配置の２ケースの比放射能と換算係数を図 5.2-3 にまとめる。図 5.2-1 中の A+B から A+B+C+D に壁数を増やすと比放射能（換算係数）が減少（増大）する。比放射能は A+B と A+B+C+D のケースで同じか、A+B の方が若干大きくなった。

重水タンク室の解析体系は壁 A+B+C+D を用いた体系とする。壁数増大による効果が小さいことと、A+B+C+D の壁を用いた方が実際の体系に近い為である。

5．3　マニホールド付近の体系

5．3．1　解析条件

マニホールド付近の天井は十分高いので、解析体系では天井が計算結果に与える効果は無視した。一方、天井の高さに比較して壁の間隔はせまいので、壁の高さのみをパラメータとして、それが解析結果に与える影響を評価した。解析ケースを表 5.3-1 に纏めると同時に解析体系とその仕様を図 5.3-1、図 5.3-2 に示す。壁の高さを 6m、12m として２ケースの評価を行なった。なお、前報告書[1]では本体系は解析していない。

5．3．2　計算条件

(a)	スペクトル	表 3.2-1（^{17}N の β・n 崩壊による）[4]
(b)	線源	等方発生分布（主蒸気管内で発生）
(c)	追跡粒子	中性子
(d)	解析体系	図 5.3-1（CASE5.3-1　6 m/3 枚　鏡面反射　金箔１枚）
		図 5.3-1（CASE5.3-2　12m/3 枚　鏡面反射　金箔１枚）
		図 5.3-2（一次冷却水管形状）

5．3．3　結果と検討

壁の高さの２ケースの比放射能と換算係数を図 5.3-3 にまとめる。壁を高くすると比放射能（換算係数）が若干増大（減少）するが、壁の高さの効果は小さい。

マニホールド付近の体系は壁の高さを６ｍとした。これは、実務上の制約（解析時間）から決定した。実際の体系を考慮すると壁の高さは出来るだけ高くすべきだが、本体系では天井から中性子が漏洩するので、解析に時間がかかる。

表5.1-1 主蒸気管室壁配置の影響評価ケース

	壁の長さ [m]	壁枚数 [枚]	境界条件
CASE 5.1-1	15	0	真空境界
CASE 5.1-2	15	1	真空境界
CASE 5.1-3	15	2	真空境界
CASE 5.1-4	15	3	真空境界
CASE 5.1-5	1	4	鏡面反射

表5.1-2 主蒸気管室壁の長さの影響評価ケース

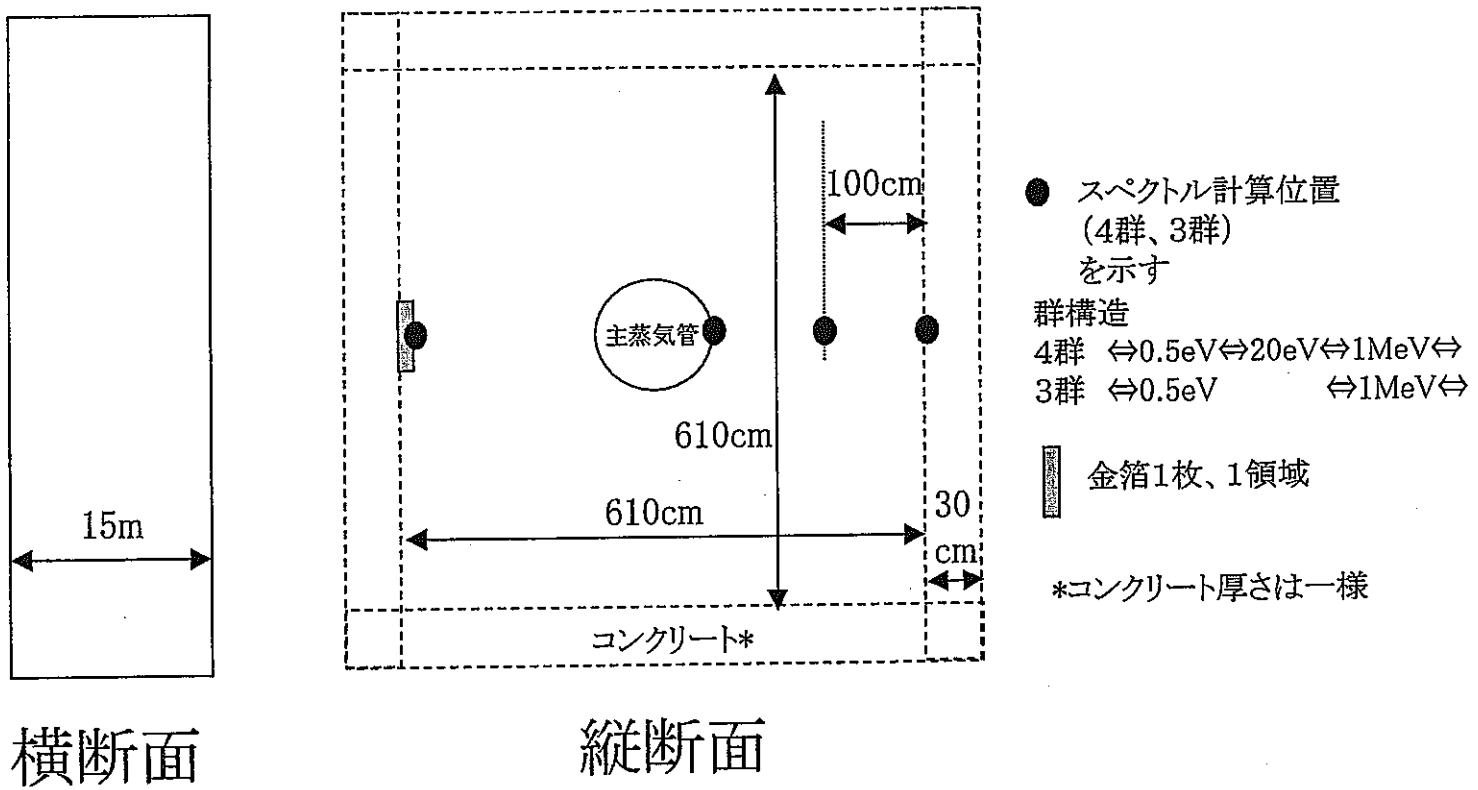
	壁の長さ [m]	壁枚数 [枚]	境界条件
CASE 5.1-6	0.5	4	真空境界
CASE 5.1-7	1	4	真空境界
CASE 5.1-8	2	4	真空境界

表5.2-1 重水タンク室壁配置の影響評価ケース

	壁の長さ [m]	壁枚数 [枚]	境界条件
CASE 5.2-1	1	2	鏡面反射
CASE 5.2-2	1	4	鏡面反射

表5.3-1 マニホールド付近壁高さの影響評価ケース

	壁の高さ [m]	壁枚数 [枚]	境界条件
CASE 5.3-1	6	3	鏡面反射
CASE 5.3-2	12	3	鏡面反射



点線はコンクリート無を意味する

図5.1-1 主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-1)

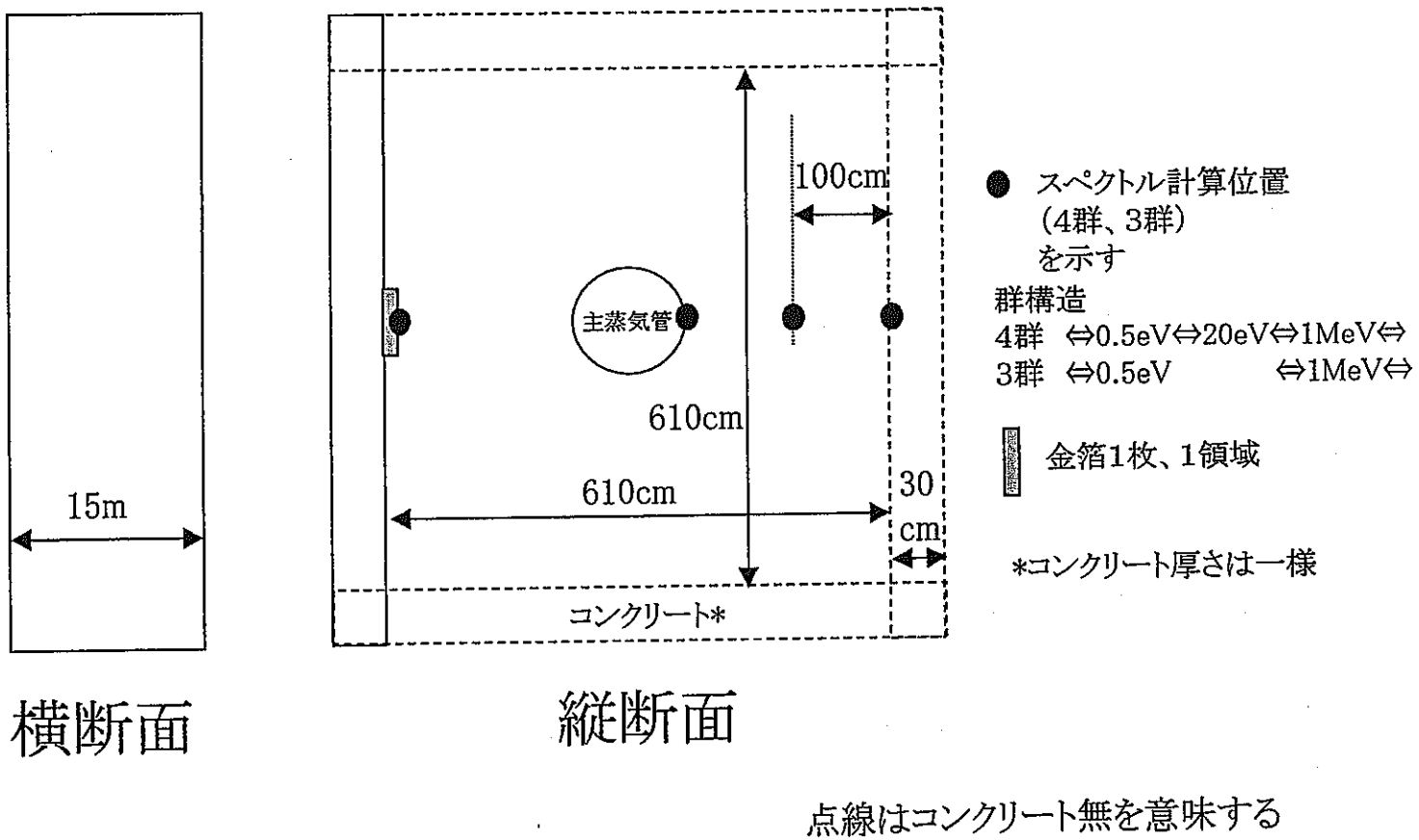


図5.1-2 主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-2)

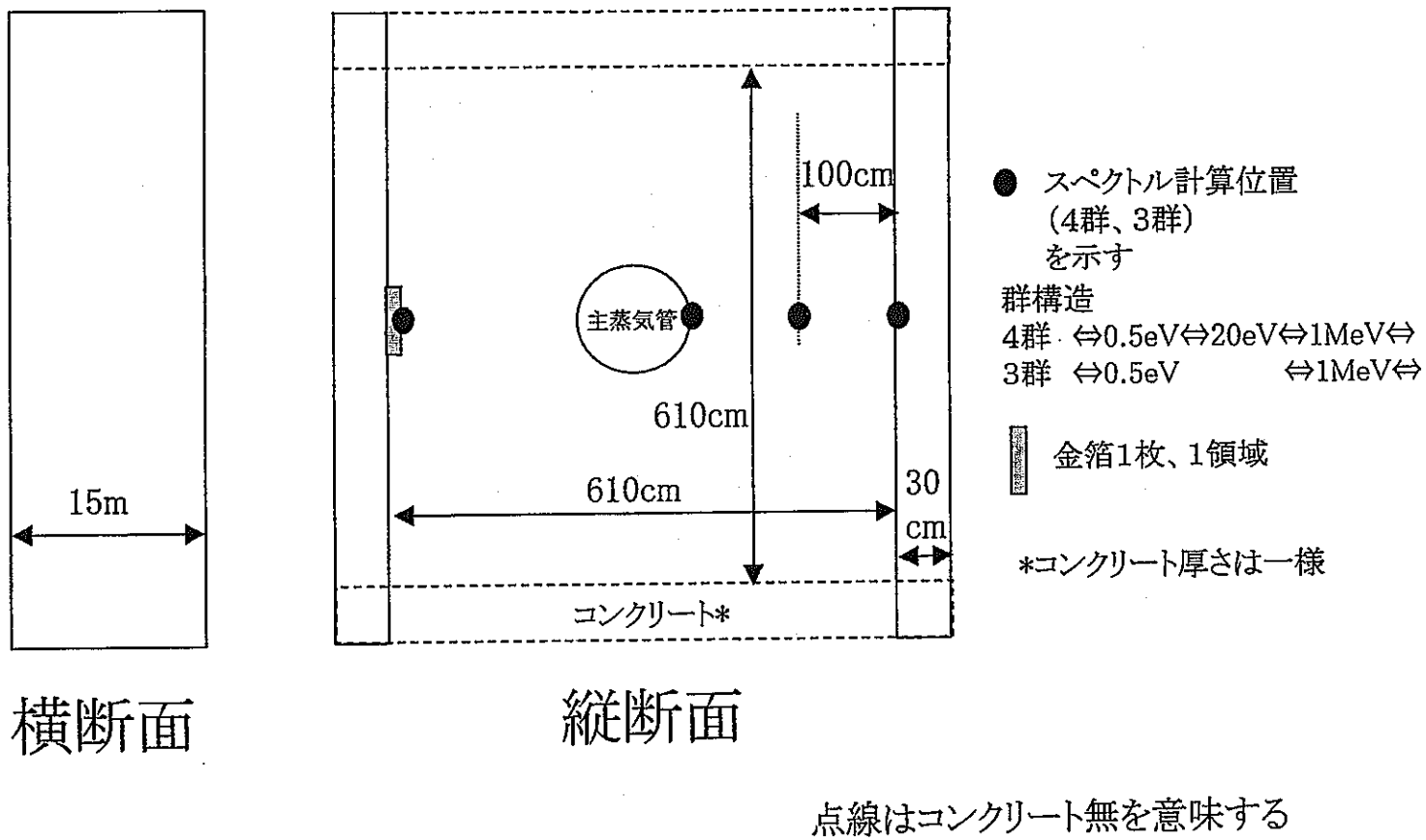


図5.1-3 主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-3)

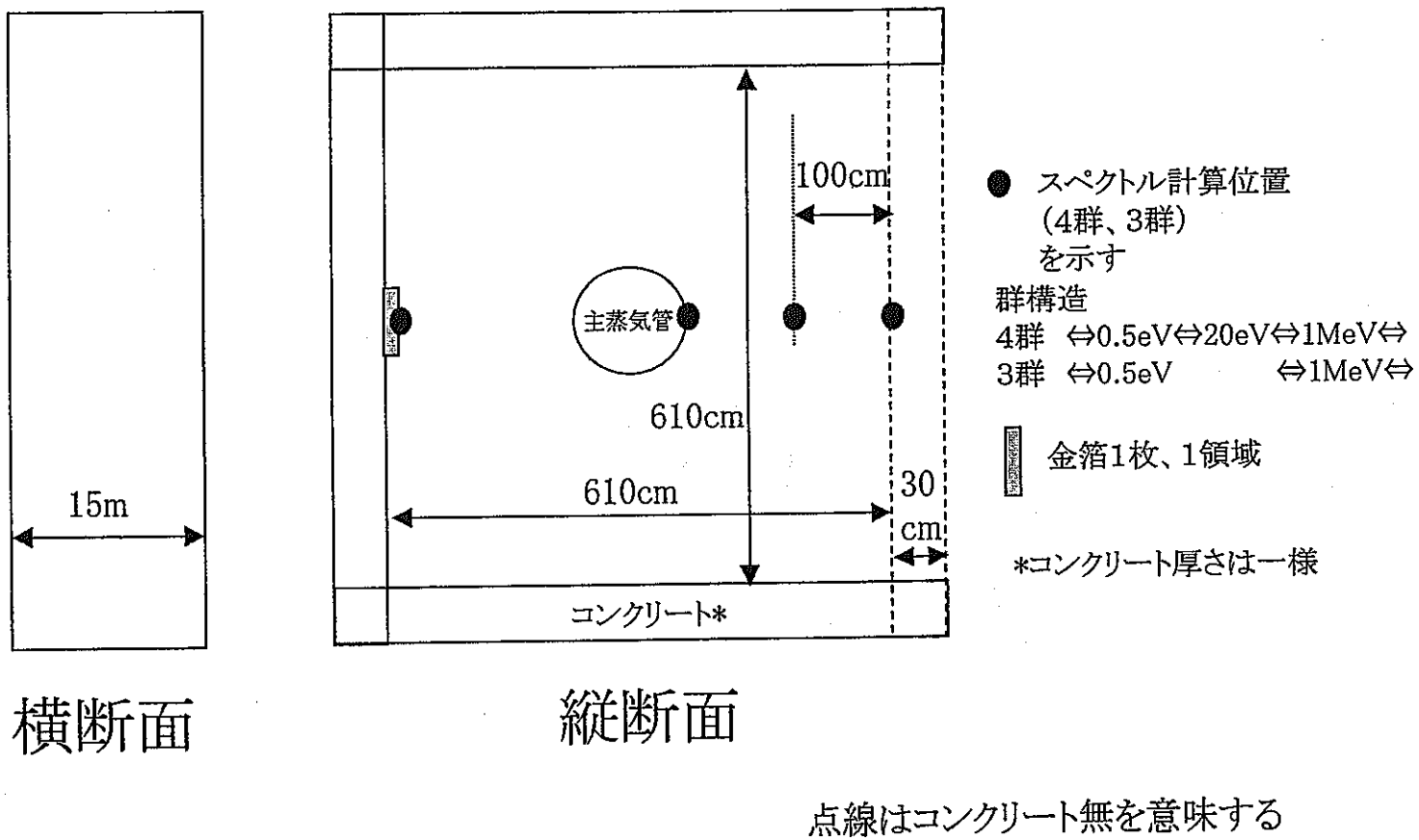


図5.1-4 主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-4)

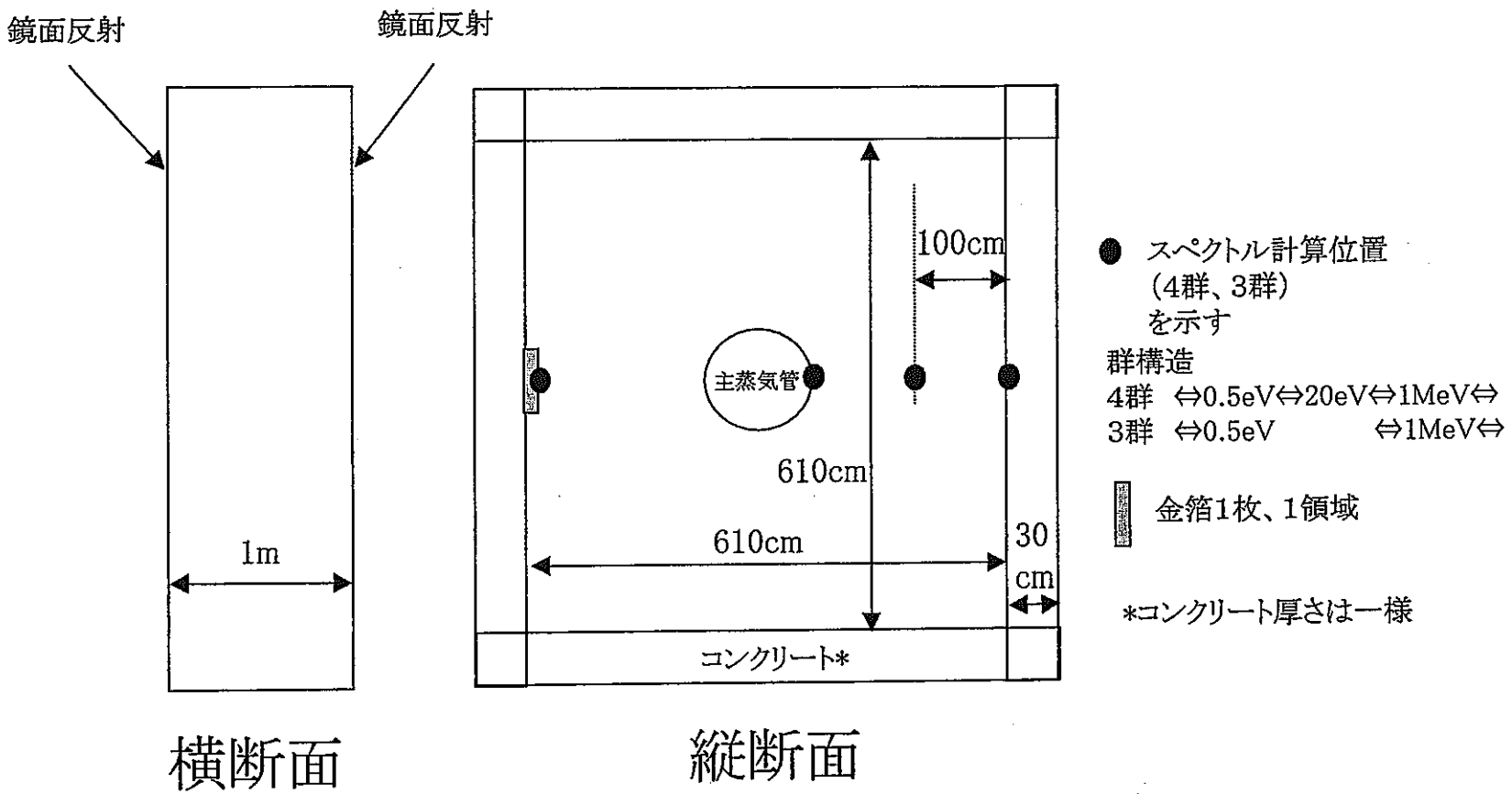


図5.1-5 主蒸気管室壁配置の換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-5)

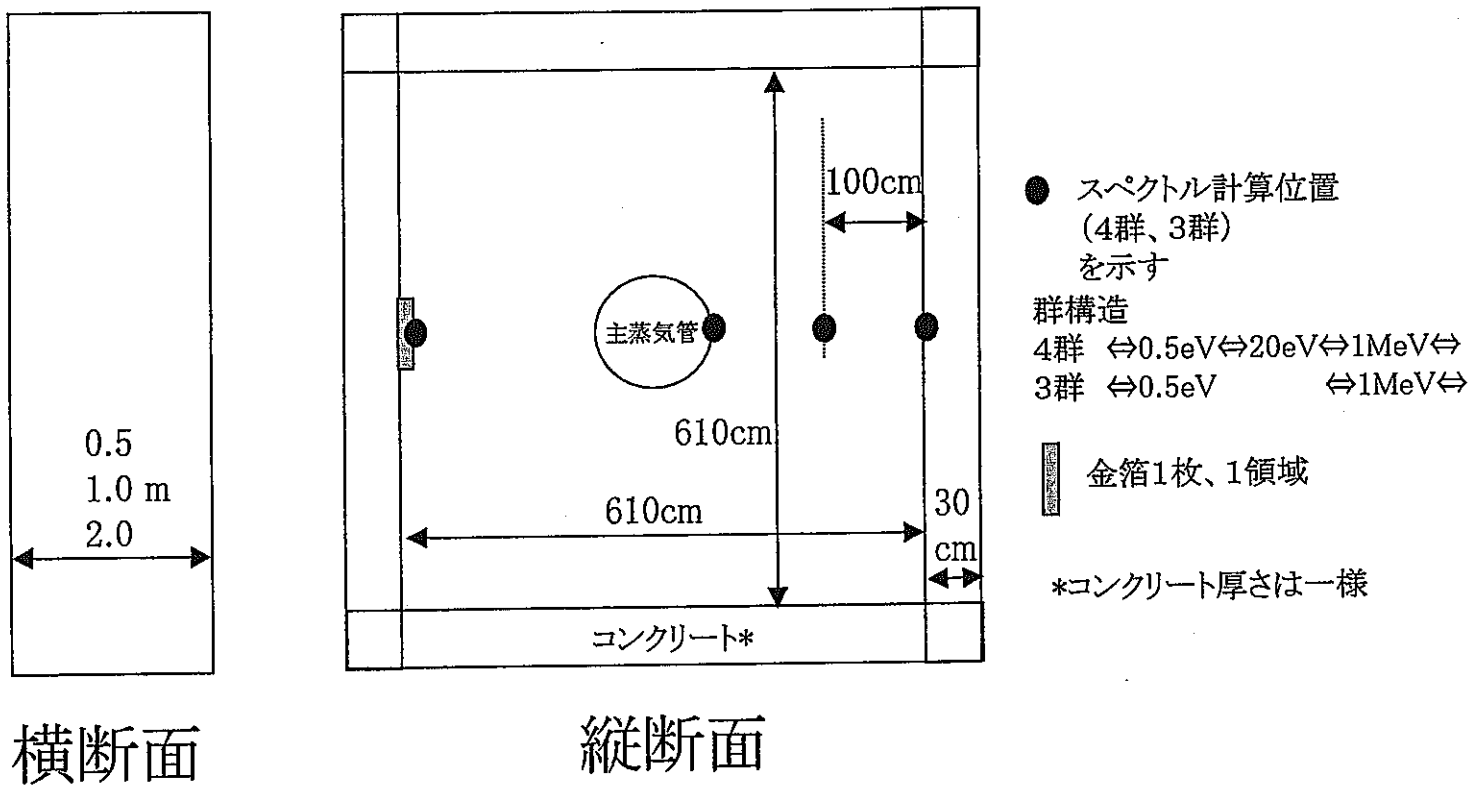


図5.1-6　主蒸気管室長さの換算係数への影響の感度解析形状
(CASE5.1-6/7/8)

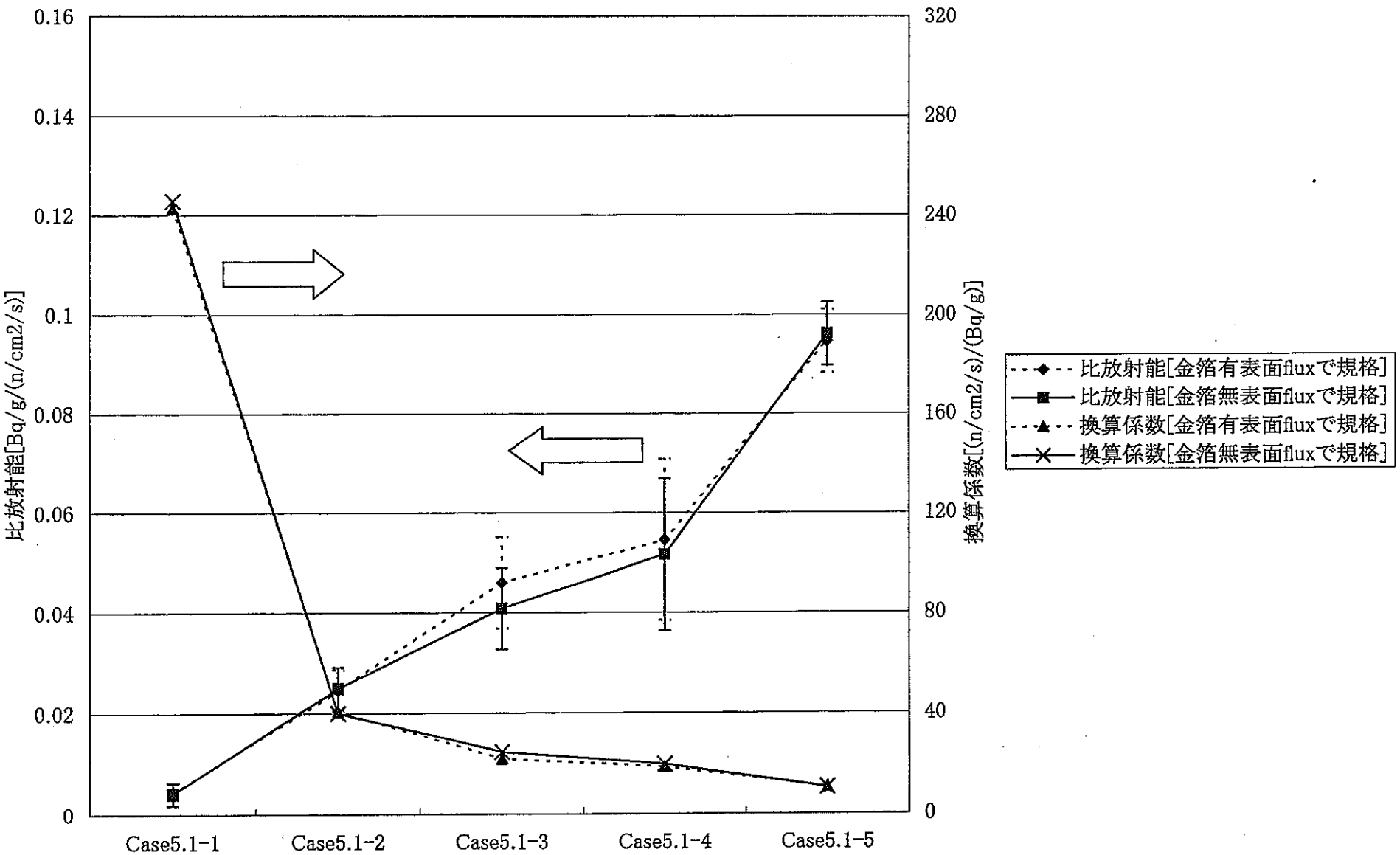


図5.1-7 壁の配置vs換算係数、比放射能

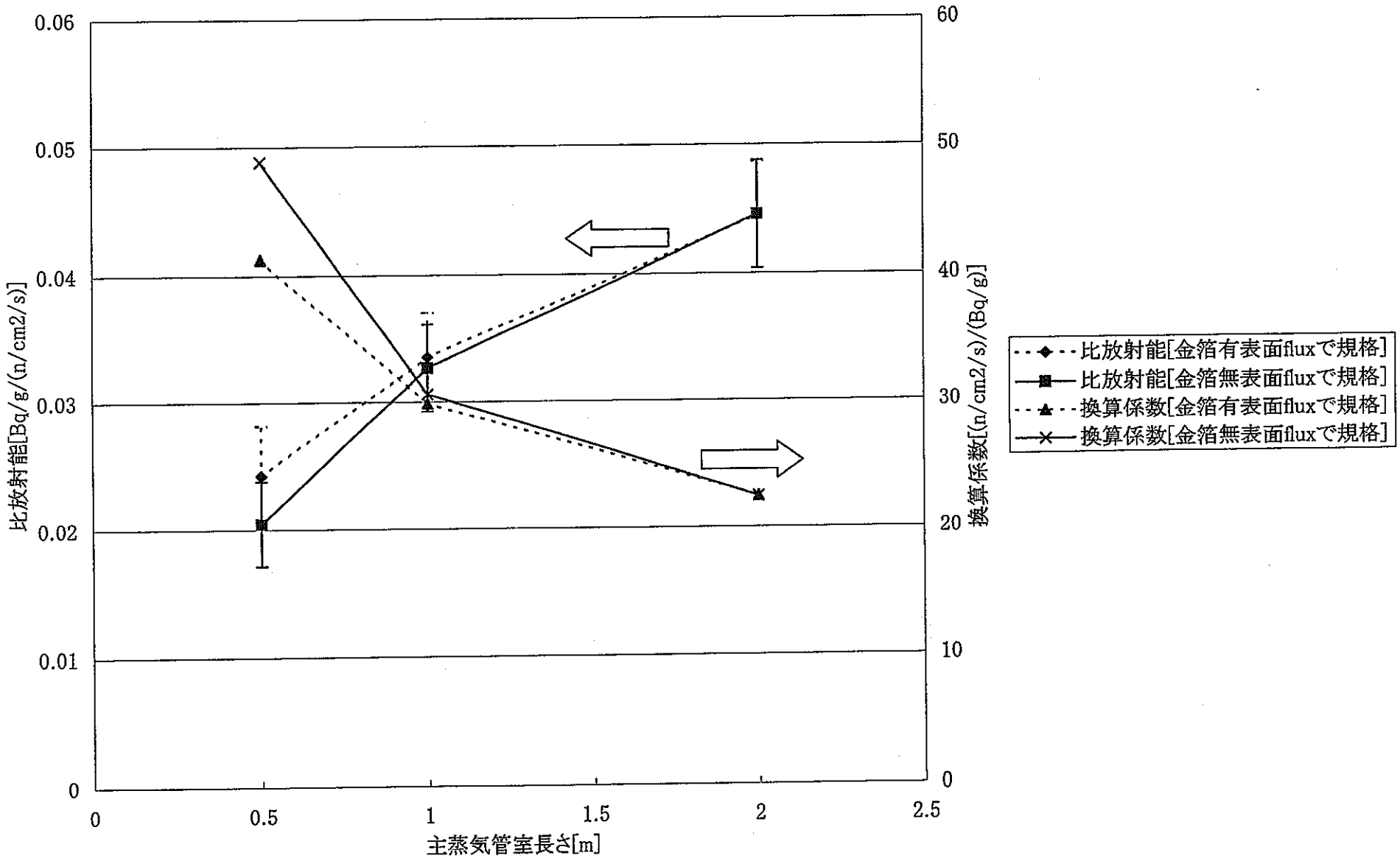


図5.1-8 主蒸気管室長さvs換算係数、比放射能

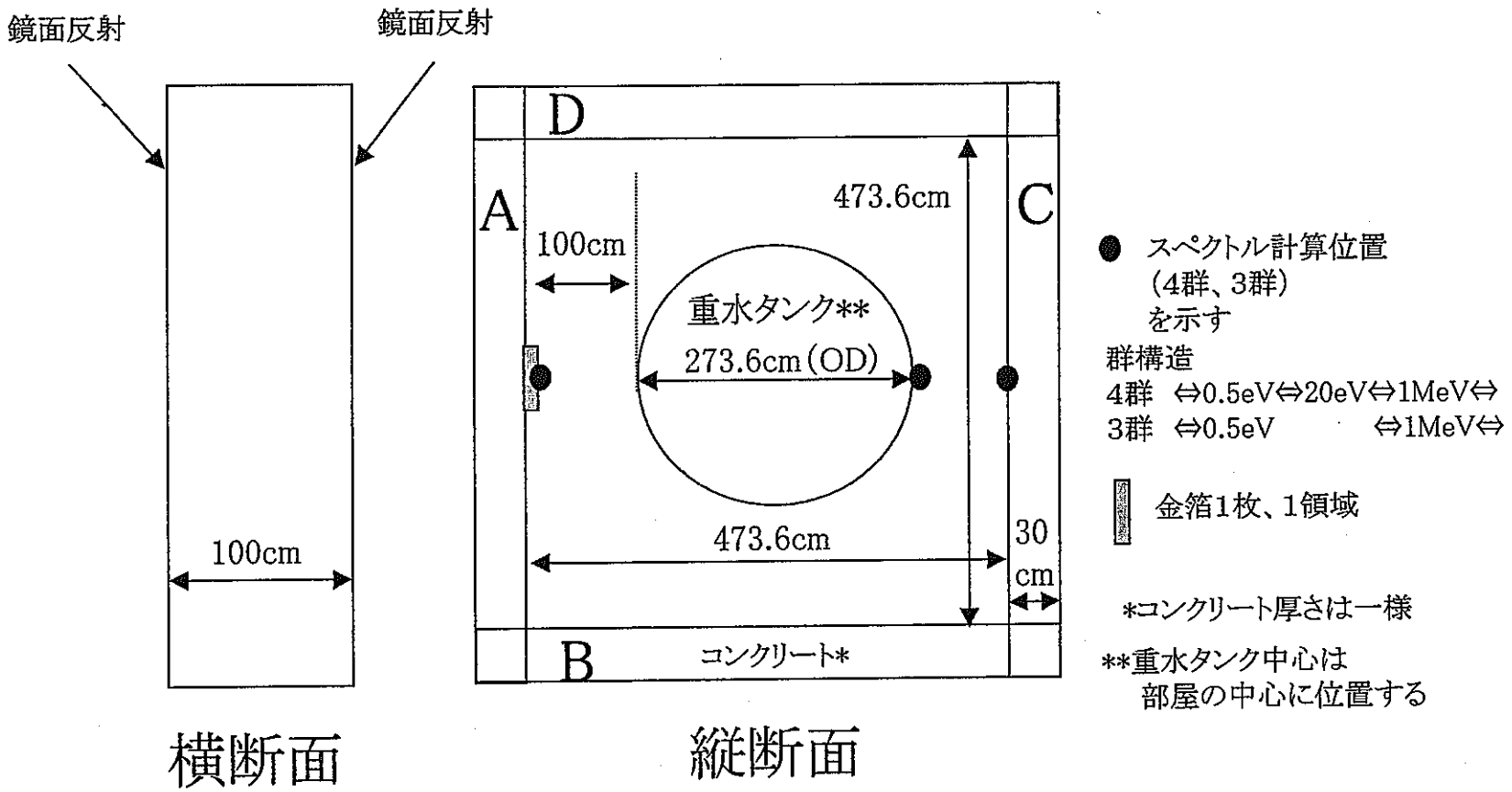


図5.2-1　重水タンク室壁の換算係数への影響の感度解析形状

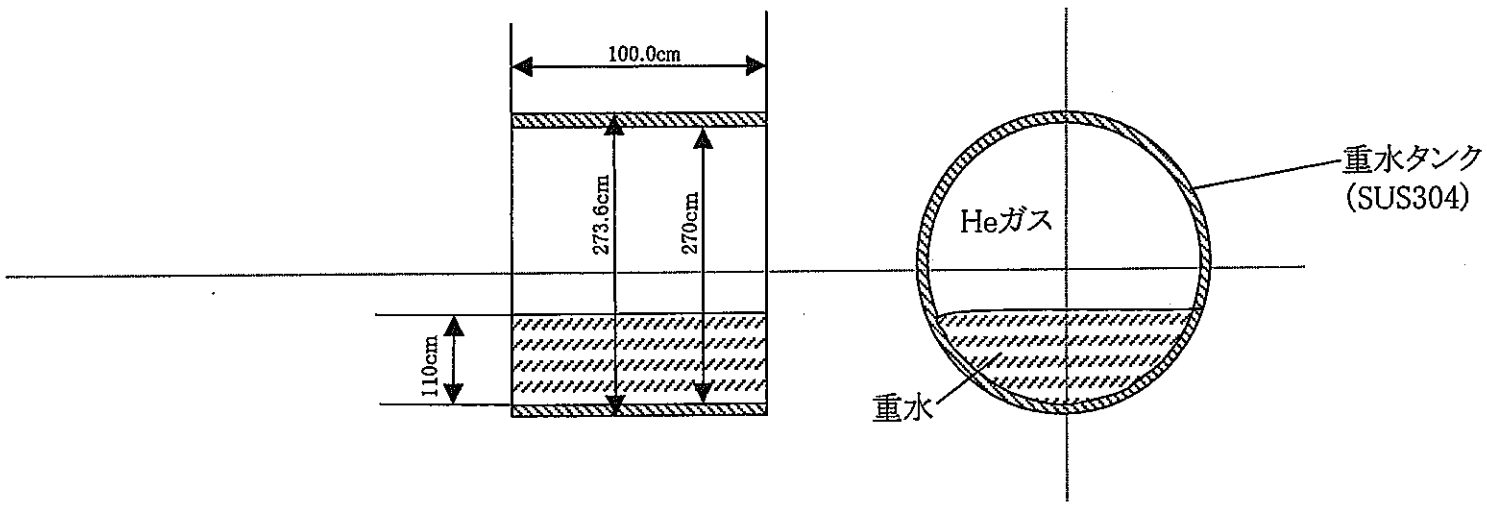


図5.2-2　　重水タンク形状

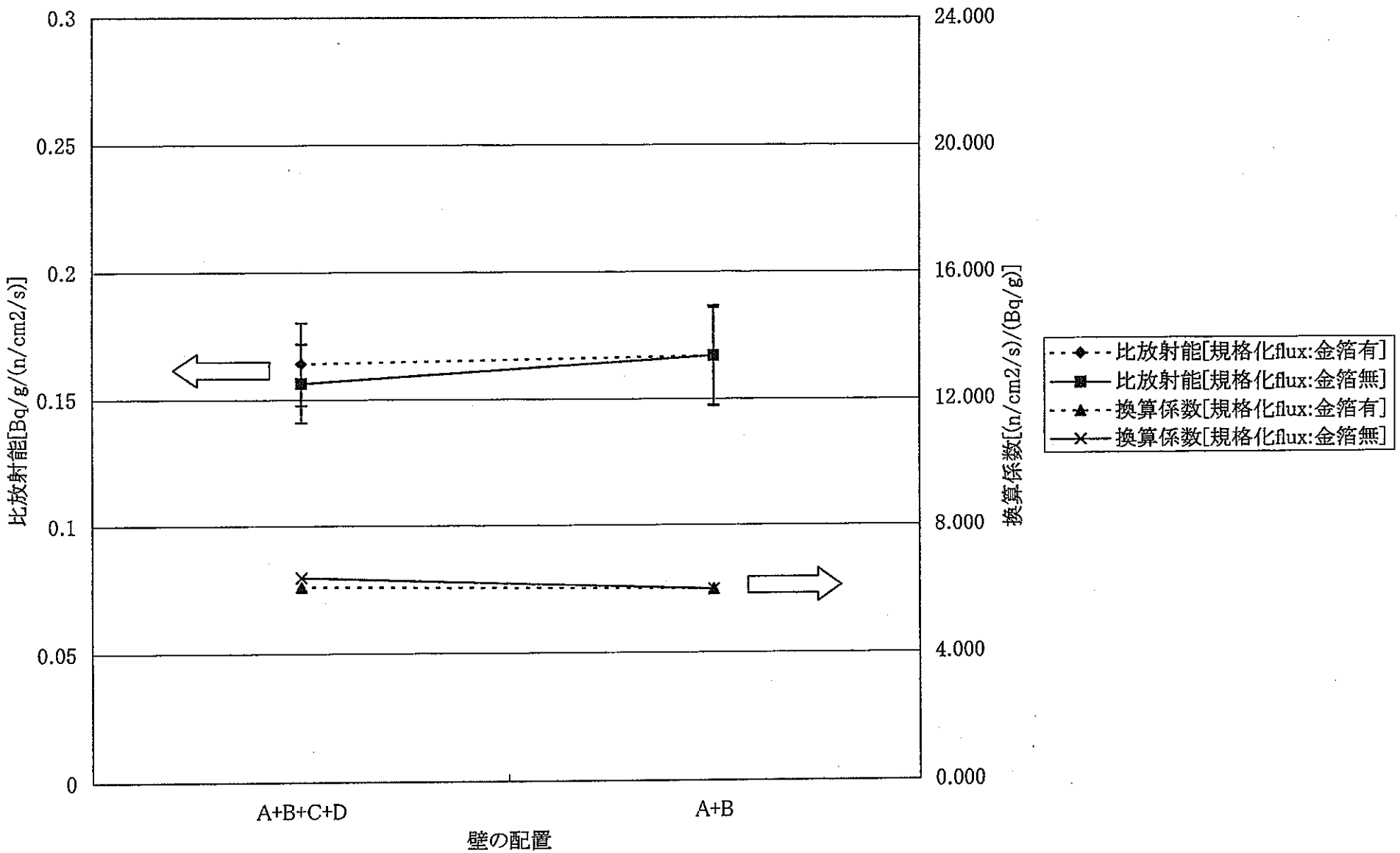


図5.2-3　壁の配置vs換算係数、比放射能

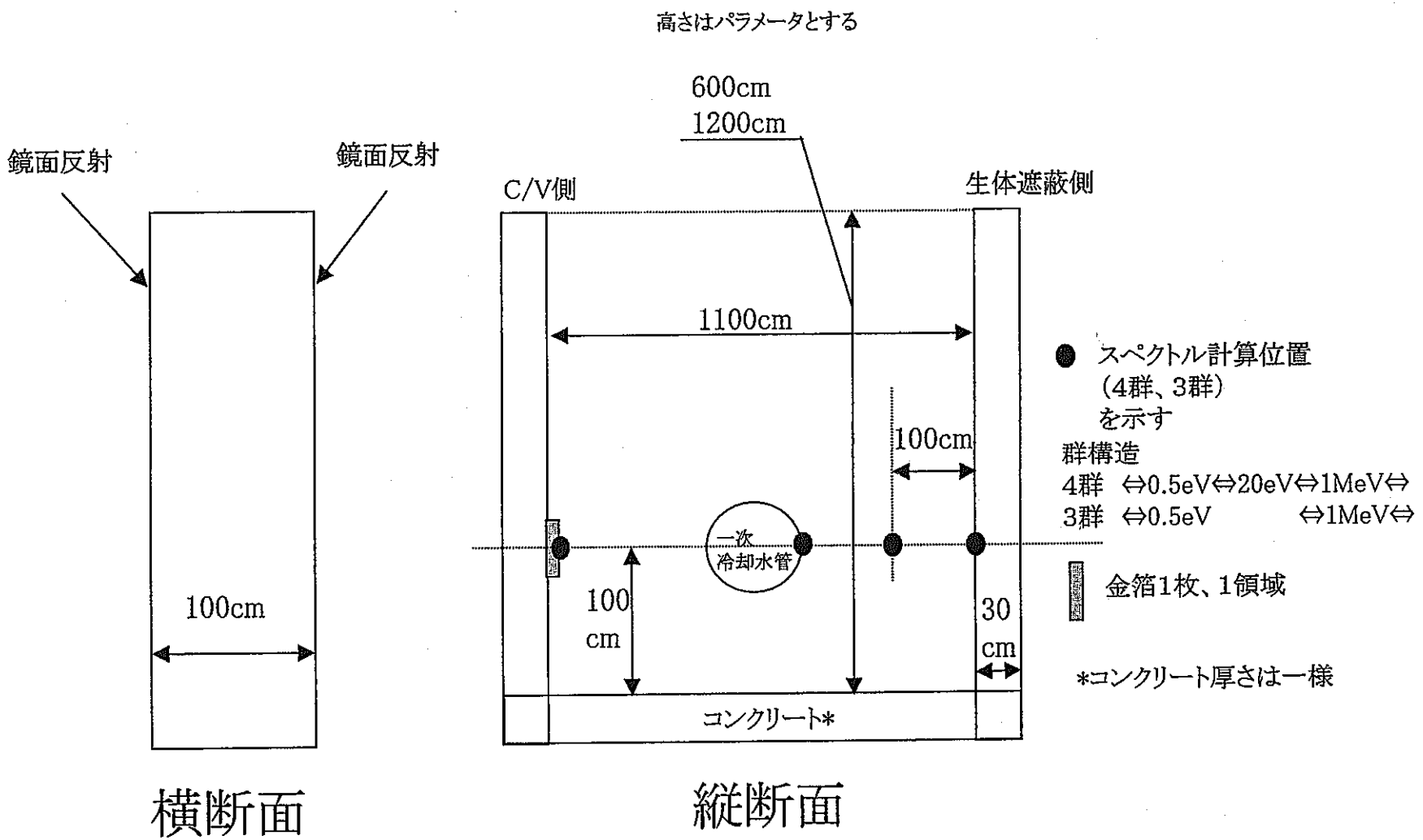


図5.3-1 マニホールド付近壁高さの換算係数への影響の感度解析形状

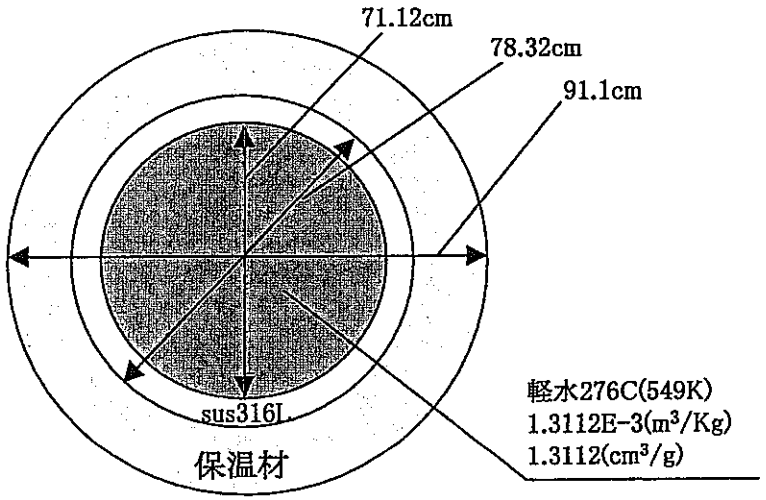

71.12cm
78.32cm
91.1cm
sus316L
保温材
軽水276C(549K)
1.3112E-3(m³/Kg)
1.3112(cm³/g)

図5.3-2　一次冷却水管

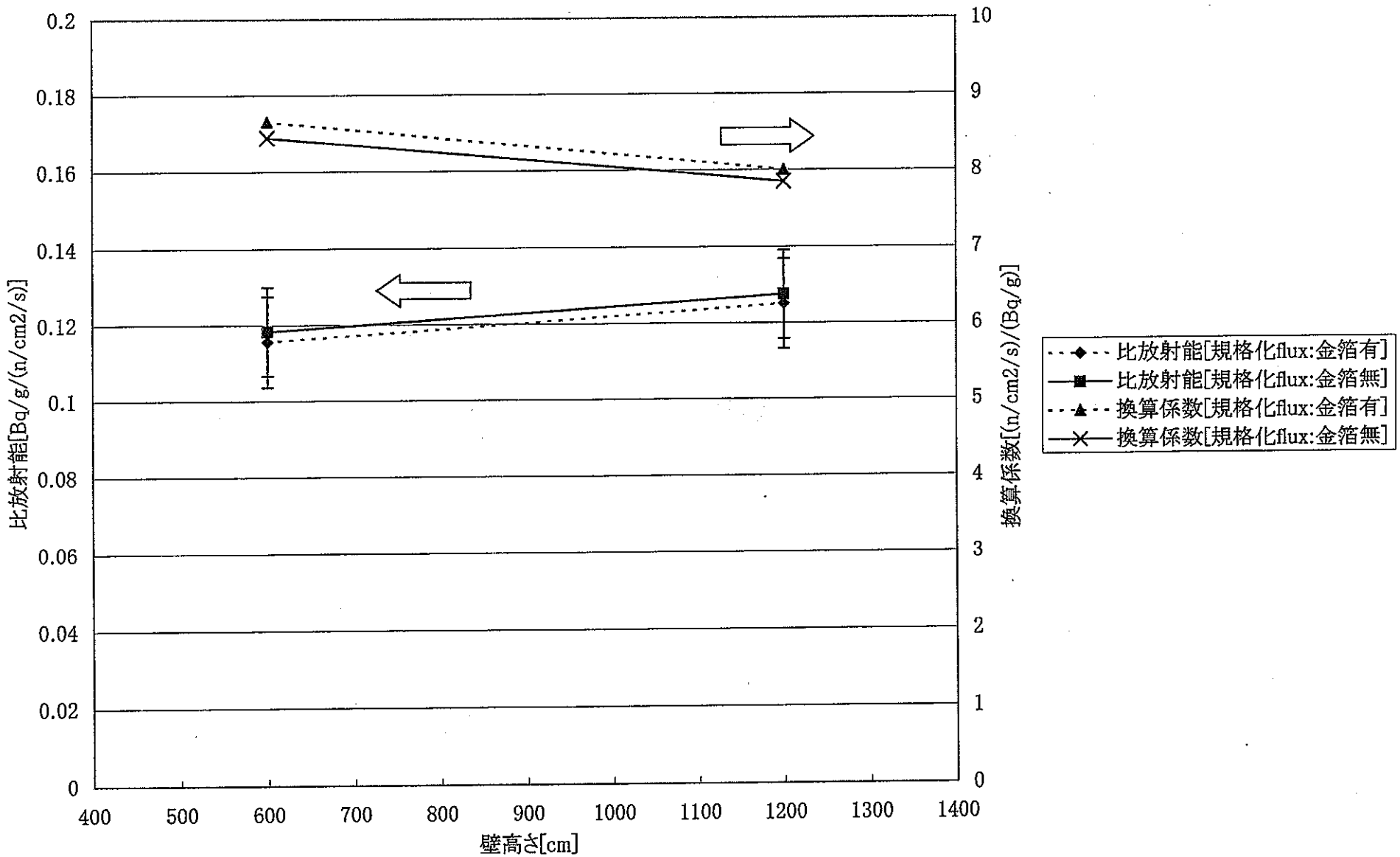


図5.3-3　　壁高さvs比放射能、換算係数

6．25群スペクトルの作成

5章で決定した主蒸気管室、重水タンク室及びマニホールド付近の解析体系をもちいて、25群のスペクトルを求める。また、それぞれの体系での金箔の比放射能及び換算係数を求める。本解析で得られた25群中性子束スペクトルは、ボナボール検出器を用いた測定結果をアンフォールディングするために用いる予定である。

6．1　主蒸気管室解析条件

(a)　スペクトル　　表3.2-1（^{17}Nのβ-n崩壊による）[4]

(b)　線源　　等方発生分布（主蒸気管内で発生）

(c)　追跡粒子　　中性子

(d)　解析体系　　図6.1-1（主蒸気管室形状）
図4.1-3（主蒸気管形状）
図3.1-1（金箔、金箔は1枚）

6．2　重水タンク室解析条件

(a)　スペクトル　　表3.2-2（D(γ、n)反応の中性子スペクトル）[4]

(b)　線源　　等方発生分布（重水タンク内重水中で発生）

(c)　追跡粒子　　中性子

(d)　解析体系　　図6.2-1（重水タンク室形状）
図6.2-2（ダクト形状）
図5.2-2（重水管形状）
図3.1-1（金箔、金箔は1枚）

本解析では金箔を貼り付けたダクトを模擬した為、5章での体系とは若干異なる。5章で得られ体系は重水タンク室の形状を決めるために行なった。よって、ダクトを用いた体系においても、本解析で5章の結果を使用する必要がある。

6．3　マニホールド付近解析条件

(a)　スペクトル　　表3.2-1（^{17}Nのβ-n崩壊による）[4]

(b)　線源　　等方発生分布（一次冷却水管内で発生）

(c)　追跡粒子　　中性子

(d)　解析体系　　図6.3-1　（マニホールド付近形状）
図5.3-2（一次冷却水管形状）
図3.1-1（金箔、金箔は1枚）

6．4　結果

全中性子束で規格化した中性子束スペクトル及びレサジ-でのスペクトル、中性子束空間分布、比放射能をそれぞれの解析体系で図示する。下記の丸内の番号はそれぞれの体系でのスペクトルの計算位置（図 6.1-1、図 6.2-1、図 6.3-1 参照）を示す。

主蒸気管室

表 6.4-1	25 群中性子束スペクトル
表 6.4-2	25 群中性子束スペクトル-レサジ-
表 6.4-3	4 群中性子束スペクトル
表 6.4-4	3 群中性子束スペクトル
表 6.4-5	比放射能
図 6.4-1	主蒸気管室①②でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-2	主蒸気管室③④でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-3	主蒸気管室①②でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-4	主蒸気管室③④でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-5	相対中性子束空間分布

重水タンク室

表 6.4-6	25 群中性子束スペクトル
表 6.4-7	25 群中性子束スペクトル-レサジ-
表 6.4-8	4 群中性子束スペクトル
表 6.4-9	3 群中性子束スペクトル
表 6.4-10	比放射能
図 6.4-6	重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-7	重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-8	重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-9	重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-10	相対中性子束空間分布

表 6.4-10 の比放射能の算出には、中性子束として金箔無しでの中性子束が必要である。しかし、本体系では金箔を設置したダクトを模擬しているために、解析体系は重水タンクを中心に非対称になっている。よって、金箔無しの中性子束は 1 回の解析で算出することが出来ないので、金箔無しの中性子束として壁表面⑧の中性子束を代用し、表の比放射能を算出した。。

マニホールド付近

表 6.4-11	25 群中性子束スペクトル

表 6.4-12　25 群中性子束スペクトル-レサジ-
表 6.4-13　4 群中性子束スペクトル
表 6.4-14　3 群中性子束スペクトル
表 6.4-15　比放射能
図 6.4-11　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-12　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル（全中性子束）
図 6.4-13　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-14　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル（レサジ-）
図 6.4-15　相対中性子束空間分布

それぞれの体系での換算係数を前報告書[1]の結果とともに表 6.4-16 に纏める。本評価では、体系がコンクリート壁で囲まれている。よって、前報告書[1]の同体系と比べて中性子束スペクトルが軟らかくなり、換算係数が小さくなっている。（2）と（3）では、解析値は実測推定値に対しそれぞれ約 30%、約 50%小さくなった。（1）に対する同様の比較では約 80%小さくなった。

表6.4-1　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化、主蒸気管室）

エネルギー (MeV)	金箔内① スペクトル	管表面② スペクトル	管と壁の中間③ スペクトル	壁表面④ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	3.103E-01 (4.910E-03)	1.171E-01 (2.382E-03)	3.080E-01 (6.012E-03)	3.333E-01 (5.835E-03)
1.125E-06	2.387E-02 (1.878E-03)	8.003E-03 (4.418E-04)	1.918E-02 (1.144E-03)	2.112E-02 (1.193E-03)
3.928E-06	2.714E-02 (1.559E-03)	1.023E-02 (6.133E-04)	2.410E-02 (1.302E-03)	2.590E-02 (1.493E-03)
1.371E-05	2.466E-02 (1.468E-03)	1.166E-02 (5.386E-04)	2.594E-02 (1.269E-03)	2.805E-02 (2.056E-03)
4.785E-05	3.531E-02 (2.836E-03)	1.407E-02 (7.016E-04)	2.909E-02 (1.611E-03)	2.931E-02 (1.741E-03)
1.670E-04	3.381E-02 (2.029E-03)	1.476E-02 (6.553E-04)	2.721E-02 (1.391E-03)	3.219E-02 (1.954E-03)
5.540E-04	3.312E-02 (1.812E-03)	1.793E-02 (2.549E-03)	3.195E-02 (3.431E-03)	3.166E-02 (1.704E-03)
1.234E-03	2.167E-02 (1.288E-03)	1.112E-02 (5.061E-04)	2.045E-02 (1.250E-03)	2.327E-02 (1.663E-03)
3.355E-03	2.974E-02 (1.677E-03)	1.711E-02 (9.754E-04)	2.873E-02 (1.941E-03)	3.114E-02 (2.854E-03)
9.119E-03	3.473E-02 (1.842E-03)	2.372E-02 (2.787E-03)	2.915E-02 (1.611E-03)	3.160E-02 (1.961E-03)
2.479E-02	4.060E-02 (1.929E-03)	2.822E-02 (8.070E-04)	3.374E-02 (1.654E-03)	3.867E-02 (1.866E-03)
8.662E-02	5.826E-02 (2.427E-03)	4.929E-02 (1.395E-03)	5.424E-02 (1.992E-03)	6.100E-02 (3.516E-03)
2.237E-01	8.331E-02 (3.057E-03)	8.309E-02 (1.580E-03)	8.725E-02 (9.215E-03)	7.552E-02 (2.553E-03)
3.688E-01	8.619E-02 (2.674E-03)	1.835E-01 (2.240E-03)	9.014E-02 (2.610E-03)	7.966E-02 (2.588E-03)
6.081E-01	3.740E-02 (1.580E-03)	9.692E-02 (1.383E-03)	3.978E-02 (1.366E-03)	4.075E-02 (4.176E-03)
1.003E+00	6.146E-02 (2.244E-03)	8.081E-02 (3.110E-03)	6.946E-02 (3.974E-03)	5.876E-02 (2.092E-03)
1.353E+00	4.997E-02 (1.427E-03)	2.030E-01 (2.181E-03)	6.685E-02 (2.680E-03)	5.025E-02 (3.844E-03)
1.827E+00	8.418E-03 (7.307E-04)	2.938E-02 (6.531E-04)	1.471E-02 (5.452E-03)	7.861E-03 (5.864E-04)
2.466E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4-2　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化しレサジーで表現、主蒸気管室）

エネルギー (MeV)	金箔内① スペクトル	管表面② スペクトル	管と壁の中間③ スペクトル	壁表面④ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	2.919E-02 (4.619E-04)	1.102E-02 (2.241E-04)	2.897E-02 (5.655E-04)	3.135E-02 (5.489E-04)
1.125E-06	2.387E-02 (1.878E-03)	8.003E-03 (4.418E-04)	1.918E-02 (1.144E-03)	2.112E-02 (1.192E-03)
3.928E-06	2.171E-02 (1.247E-03)	8.181E-03 (4.907E-04)	1.928E-02 (1.042E-03)	2.072E-02 (1.194E-03)
1.371E-05	1.973E-02 (1.174E-03)	9.328E-03 (4.309E-04)	2.075E-02 (1.015E-03)	2.244E-02 (1.645E-03)
4.785E-05	2.825E-02 (2.269E-03)	1.126E-02 (5.613E-04)	2.327E-02 (1.289E-03)	2.345E-02 (1.393E-03)
1.670E-04	2.705E-02 (1.623E-03)	1.180E-02 (5.242E-04)	2.177E-02 (1.113E-03)	2.575E-02 (1.563E-03)
5.540E-04	2.762E-02 (1.511E-03)	1.496E-02 (2.126E-03)	2.664E-02 (2.862E-03)	2.641E-02 (1.421E-03)
1.234E-03	2.706E-02 (1.608E-03)	1.389E-02 (6.319E-04)	2.554E-02 (1.560E-03)	2.906E-02 (2.076E-03)
3.355E-03	2.974E-02 (1.677E-03)	1.711E-02 (9.754E-04)	2.873E-02 (1.941E-03)	3.114E-02 (2.854E-03)
9.119E-03	3.473E-02 (1.842E-03)	2.372E-02 (2.787E-03)	2.915E-02 (1.611E-03)	3.160E-02 (1.961E-03)
2.479E-02	4.060E-02 (1.929E-03)	2.822E-02 (8.070E-04)	3.374E-02 (1.654E-03)	3.867E-02 (1.866E-03)
8.662E-02	4.657E-02 (1.940E-03)	3.939E-02 (1.115E-03)	4.336E-02 (1.593E-03)	4.875E-02 (2.810E-03)
2.237E-01	8.780E-02 (3.222E-03)	8.757E-02 (1.666E-03)	9.195E-02 (9.711E-03)	7.959E-02 (2.691E-03)
3.688E-01	1.724E-01 (5.349E-03)	3.671E-01 (4.480E-03)	1.803E-01 (5.220E-03)	1.593E-01 (5.175E-03)
6.081E-01	7.480E-02 (3.159E-03)	1.938E-01 (2.766E-03)	7.955E-02 (2.732E-03)	8.151E-02 (8.353E-03)
1.003E+00	1.229E-01 (4.487E-03)	1.616E-01 (6.220E-03)	1.389E-01 (7.948E-03)	1.175E-01 (4.185E-03)
1.353E+00	1.665E-01 (4.756E-03)	6.767E-01 (7.271E-03)	2.228E-01 (8.932E-03)	1.675E-01 (1.281E-02)
1.827E+00	2.807E-02 (2.436E-03)	9.794E-02 (2.177E-03)	4.905E-02 (1.818E-02)	2.621E-02 (1.955E-03)
2.466E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4-3　　4群中性子スペクトル（全中性子束で規格化、主蒸気管室）

位置	1群	2群	3群	4群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 2E-5MeV	2E-5MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束	中性子束
①	5.851E-02 (1.632E-03)	5.464E-01 (9.138E-03)	7.898E-02 (2.723E-03)	3.161E-01 (5.157E-03)
②	2.327E-01 (2.393E-03)	6.159E-01 (7.210E-03)	3.277E-02 (1.039E-03)	1.186E-01 (2.390E-03)
③	8.165E-02 (6.107E-03)	5.319E-01 (1.371E-02)	7.455E-02 (2.465E-03)	3.119E-01 (6.086E-03)
④	5.823E-02 (3.901E-03)	5.251E-01 (1.030E-02)	7.912E-02 (3.074E-03)	3.376E-01 (5.884E-03)

表6.4-4　　3群中性子スペクトル（全中性子束で規格化、主蒸気管室）

位置	1群	2群	3群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束
①	5.851E-02 (1.632E-03)	6.253E-01 (9.945E-03)	3.161E-01 (5.157E-03)
②	2.327E-01 (2.393E-03)	6.486E-01 (7.435E-03)	1.186E-01 (2.390E-03)
③	8.165E-02 (6.107E-03)	6.065E-01 (1.447E-02)	3.119E-01 (6.086E-03)
④	5.823E-02 (3.901E-03)	6.042E-01 (1.120E-02)	3.376E-01 (5.884E-03)

表6.4-5　　比放射能（主蒸気管室）

Flux	1群	2群	3群	TOTAL
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV	
	比放射能	比放射能	比放射能	比放射能
金箔有 Flux	1.307E-05 (4.994E-07)	2.300E-02 (1.340E-03)	7.484E-02 (1.493E-03)	9.785E-02 (1.901E-03)
金箔無 Flux	1.292E-05 (5.097E-07)	2.273E-02 (1.321E-03)	7.396E-02 (1.428E-03)	9.670E-02 (1.856E-03)

表6.4.6　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化、重水タンク室）

エネルギー(MeV)	金箔内⑤ スペクトル	管表面⑥ スペクトル	管と壁の中間⑦ スペクトル	壁表面⑧ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	5.981E-01 (1.935E-02)	5.909E-01 (1.943E-02)	6.533E-01 (2.020E-02)	6.416E-01 (1.952E-02)
1.125E-06	1.890E-02 (2.482E-03)	2.207E-02 (2.723E-03)	2.284E-02 (3.513E-03)	2.205E-02 (2.540E-03)
3.928E-06	2.583E-02 (3.581E-03)	3.630E-02 (4.071E-03)	2.409E-02 (2.873E-03)	3.131E-02 (3.140E-03)
1.371E-05	2.291E-02 (2.454E-03)	2.683E-02 (2.689E-03)	3.000E-02 (2.925E-03)	2.752E-02 (2.497E-03)
4.785E-05	2.996E-02 (3.708E-03)	2.679E-02 (3.438E-03)	2.070E-02 (1.979E-03)	2.390E-02 (3.001E-03)
1.670E-04	2.788E-02 (2.477E-03)	3.927E-02 (1.437E-02)	2.500E-02 (3.529E-03)	3.358E-02 (6.089E-03)
5.540E-04	2.945E-02 (3.199E-03)	2.552E-02 (3.763E-03)	2.852E-02 (4.139E-03)	2.655E-02 (2.943E-03)
1.234E-03	1.514E-02 (2.424E-03)	1.737E-02 (2.134E-03)	1.356E-02 (1.986E-03)	1.633E-02 (2.064E-03)
3.355E-03	2.472E-02 (2.563E-03)	2.327E-02 (2.801E-03)	2.103E-02 (4.640E-03)	2.042E-02 (3.574E-03)
9.119E-03	1.752E-02 (2.321E-03)	2.528E-02 (3.642E-03)	1.688E-02 (1.982E-03)	2.939E-02 (9.379E-03)
2.479E-02	3.570E-02 (1.326E-02)	2.560E-02 (5.648E-03)	1.966E-02 (2.384E-03)	1.701E-02 (2.431E-03)
8.662E-02	2.689E-02 (2.790E-03)	3.000E-02 (3.063E-03)	3.098E-02 (3.125E-03)	2.869E-02 (3.455E-03)
2.237E-01	2.739E-02 (2.997E-03)	2.455E-02 (2.799E-03)	2.188E-02 (2.220E-03)	1.980E-02 (2.519E-03)
3.688E-01	2.323E-02 (5.048E-03)	1.628E-02 (2.438E-03)	1.034E-02 (1.910E-03)	1.245E-02 (2.317E-03)
6.081E-01	9.003E-03 (1.544E-03)	1.379E-02 (2.043E-03)	1.369E-02 (2.436E-03)	8.254E-03 (1.741E-03)
1.003E+00	1.516E-02 (1.873E-03)	1.312E-02 (1.766E-03)	1.474E-02 (2.611E-03)	1.602E-02 (2.390E-03)
1.353E+00	2.375E-02 (1.412E-02)	7.894E-03 (1.228E-03)	8.368E-03 (1.518E-03)	7.192E-03 (1.271E-03)
1.827E+00	1.318E-02 (2.292E-03)	1.285E-02 (1.619E-03)	1.194E-02 (2.158E-03)	1.016E-02 (1.419E-03)
2.466E+00	1.530E-02 (1.652E-03)	2.230E-02 (2.274E-03)	1.249E-02 (1.299E-03)	7.802E-03 (1.058E-03)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4.7　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化しレサジー表現、重水タンク室）

エネルギー (MeV)	金箔内⑤ スペクトル	管表面⑥ スペクトル	管と壁の中間⑦ スペクトル	壁表面⑧ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	5.626E-02 (1.820E-03)	5.558E-02 (1.828E-03)	6.145E-02 (1.900E-03)	6.035E-02 (1.836E-03)
1.125E-06	1.890E-02 (2.482E-03)	2.206E-02 (2.723E-03)	2.284E-02 (3.513E-03)	2.204E-02 (2.539E-03)
3.928E-06	2.066E-02 (2.865E-03)	2.904E-02 (3.257E-03)	1.927E-02 (2.299E-03)	2.505E-02 (2.512E-03)
1.371E-05	1.833E-02 (1.963E-03)	2.146E-02 (2.151E-03)	2.400E-02 (2.340E-03)	2.202E-02 (1.997E-03)
4.785E-05	2.397E-02 (2.966E-03)	2.143E-02 (2.750E-03)	1.656E-02 (1.583E-03)	1.912E-02 (2.401E-03)
1.670E-04	2.230E-02 (1.981E-03)	3.141E-02 (1.150E-02)	2.000E-02 (2.823E-03)	2.687E-02 (4.871E-03)
5.540E-04	2.456E-02 (2.668E-03)	2.129E-02 (3.139E-03)	2.379E-02 (3.452E-03)	2.214E-02 (2.455E-03)
1.234E-03	1.890E-02 (3.027E-03)	2.169E-02 (2.664E-03)	1.693E-02 (2.480E-03)	2.038E-02 (2.577E-03)
3.355E-03	2.472E-02 (2.563E-03)	2.327E-02 (2.802E-03)	2.103E-02 (4.640E-03)	2.042E-02 (3.574E-03)
9.119E-03	1.752E-02 (2.321E-03)	2.528E-02 (3.642E-03)	1.688E-02 (1.982E-03)	2.939E-02 (9.378E-03)
2.479E-02	3.570E-02 (1.326E-02)	2.560E-02 (5.648E-03)	1.965E-02 (2.384E-03)	1.701E-02 (2.431E-03)
8.662E-02	2.149E-02 (2.230E-03)	2.398E-02 (2.448E-03)	2.476E-02 (2.498E-03)	2.293E-02 (2.762E-03)
2.237E-01	2.887E-02 (3.159E-03)	2.588E-02 (2.950E-03)	2.306E-02 (2.340E-03)	2.087E-02 (2.655E-03)
3.688E-01	4.646E-02 (1.010E-02)	3.257E-02 (4.876E-03)	2.068E-02 (3.820E-03)	2.491E-02 (4.634E-03)
6.081E-01	1.801E-02 (3.088E-03)	2.759E-02 (4.087E-03)	2.738E-02 (4.872E-03)	1.651E-02 (3.482E-03)
1.003E+00	3.032E-02 (3.746E-03)	2.623E-02 (3.532E-03)	2.948E-02 (5.221E-03)	3.204E-02 (4.779E-03)
1.353E+00	7.917E-02 (4.706E-02)	2.631E-02 (4.093E-03)	2.789E-02 (5.061E-03)	2.397E-02 (4.237E-03)
1.827E+00	4.394E-02 (7.641E-03)	4.285E-02 (5.398E-03)	3.979E-02 (7.193E-03)	3.386E-02 (4.732E-03)
2.466E+00	5.100E-02 (5.506E-03)	7.432E-02 (7.580E-03)	4.162E-02 (4.330E-03)	2.601E-02 (3.526E-03)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4-8　4群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化、重水タンク室）

位置	1群	2群	3群	4群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 2E-5MeV	2E-5MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束	中性子束
⑤	5.224E-02 (1.444E-02)	2.743E-01 (1.781E-02)	7.239E-02 (5.776E-03)	6.010E-01 (1.944E-02)
⑥	4.304E-02 (3.151E-03)	2.731E-01 (1.880E-02)	8.922E-02 (6.127E-03)	5.947E-01 (1.951E-02)
⑦	3.289E-02 (2.987E-03)	2.313E-01 (1.082E-02)	7.880E-02 (5.559E-03)	6.570E-01 (2.027E-02)
⑧	2.515E-02 (2.279E-03)	2.474E-01 (1.501E-02)	8.098E-02 (5.005E-03)	6.464E-01 (1.962E-02)

表6.4-9　3群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化、重水タンク室）

位置	1群	2群	3群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束
⑤	5.224E-02 (1.444E-02)	3.467E-01 (1.946E-02)	6.010E-01 (1.944E-02)
⑥	4.304E-02 (3.151E-03)	3.623E-01 (2.044E-02)	5.947E-01 (1.951E-02)
⑦	3.289E-02 (2.987E-03)	3.101E-01 (1.272E-02)	6.570E-01 (2.027E-02)
⑧	2.515E-02 (2.279E-03)	3.284E-01 (1.637E-02)	6.464E-01 (1.962E-02)

表6.4-10　比放射能（重水タンク室）

Flux	1群	2群	3群	TOTAL
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV	
	比放射能	比放射能	比放射能	比放射能
金箔有 Flux	1.072E-05 (3.529E-06)	2.127E-02 (2.928E-03)	1.423E-01 (4.206E-03)	1.636E-01 (5.055E-03)
金箔無 Flux*	1.050E-05 (3.430E-06)	2.083E-02 (2.885E-03)	1.394E-01 (4.040E-03)	1.602E-01 (4.969E-03)

*壁表面のFluxを代用

表6.4-11　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化、マニホールド付近）

エネルギー (MeV)	金箔内⑨ スペクトル	管表面⑩ スペクトル	管と壁の中間⑪ スペクトル	壁表面⑫ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	3.435E-01 (1.090E-02)	2.187E-01 (4.837E-03)	2.960E-01 (7.489E-03)	3.450E-01 (1.089E-02)
1.125E-06	2.616E-02 (2.611E-03)	1.976E-02 (1.068E-03)	2.543E-02 (1.984E-03)	2.530E-02 (3.231E-03)
3.928E-06	2.824E-02 (2.716E-03)	2.568E-02 (1.190E-03)	3.254E-02 (3.976E-03)	2.889E-02 (3.269E-03)
1.371E-05	2.737E-02 (2.667E-03)	2.654E-02 (1.337E-03)	2.638E-02 (2.279E-03)	3.220E-02 (3.064E-03)
4.785E-05	3.174E-02 (2.838E-03)	2.535E-02 (1.350E-03)	3.163E-02 (2.378E-03)	3.498E-02 (3.610E-03)
1.670E-04	3.671E-02 (3.712E-03)	2.789E-02 (1.243E-03)	3.774E-02 (4.476E-03)	3.392E-02 (2.972E-03)
5.540E-04	3.531E-02 (5.239E-03)	2.607E-02 (1.275E-03)	2.730E-02 (2.316E-03)	3.229E-02 (4.149E-03)
1.234E-03	2.535E-02 (2.595E-03)	2.076E-02 (1.216E-03)	2.117E-02 (1.882E-03)	2.708E-02 (4.162E-03)
3.355E-03	3.264E-02 (3.293E-03)	2.553E-02 (1.276E-03)	3.015E-02 (2.883E-03)	2.662E-02 (2.667E-03)
9.119E-03	3.439E-02 (3.799E-03)	2.294E-02 (1.140E-03)	3.166E-02 (2.883E-03)	2.963E-02 (3.271E-03)
2.479E-02	3.367E-02 (2.909E-03)	3.598E-02 (1.660E-03)	3.543E-02 (2.392E-03)	3.055E-02 (2.988E-03)
8.662E-02	5.423E-02 (3.939E-03)	5.961E-02 (2.798E-03)	6.319E-02 (3.491E-03)	5.943E-02 (4.459E-03)
2.237E-01	7.298E-02 (4.808E-03)	8.473E-02 (2.272E-03)	7.116E-02 (3.636E-03)	7.514E-02 (6.312E-03)
3.688E-01	6.290E-02 (4.563E-03)	1.050E-01 (2.737E-03)	7.722E-02 (3.953E-03)	6.263E-02 (4.870E-03)
6.081E-01	3.936E-02 (3.219E-03)	6.529E-02 (1.963E-03)	4.720E-02 (2.796E-03)	4.076E-02 (3.983E-03)
1.003E+00	6.786E-02 (6.267E-03)	8.443E-02 (2.320E-03)	7.326E-02 (3.948E-03)	6.177E-02 (4.211E-03)
1.353E+00	4.009E-02 (2.900E-03)	1.069E-01 (2.354E-03)	6.145E-02 (3.045E-03)	4.630E-02 (3.650E-03)
1.827E+00	7.522E-03 (1.160E-03)	1.883E-02 (8.839E-04)	1.105E-02 (1.205E-03)	7.462E-03 (1.147E-03)
2.466E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4-12　25群中性子束スペクトル（全中性子束で規格化しレサジーで表現、マニホールド付近）

エネルギー(MeV)	金箔内⑨ スペクトル	管表面⑩ スペクトル	管と壁の中間⑪ スペクトル	壁表面⑫ スペクトル
1.000E-11	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.140E-07	3.231E-02 (1.025E-03)	2.057E-02 (4.550E-04)	2.785E-02 (7.044E-04)	3.246E-02 (1.025E-03)
1.125E-06	2.616E-02 (2.611E-03)	1.976E-02 (1.068E-03)	2.542E-02 (1.984E-03)	2.530E-02 (3.231E-03)
3.928E-06	2.260E-02 (2.173E-03)	2.054E-02 (9.522E-04)	2.604E-02 (3.181E-03)	2.311E-02 (2.615E-03)
1.371E-05	2.189E-02 (2.134E-03)	2.123E-02 (1.070E-03)	2.110E-02 (1.823E-03)	2.576E-02 (2.451E-03)
4.785E-05	2.539E-02 (2.270E-03)	2.028E-02 (1.080E-03)	2.530E-02 (1.902E-03)	2.798E-02 (2.888E-03)
1.670E-04	2.937E-02 (2.969E-03)	2.231E-02 (9.946E-04)	3.019E-02 (3.581E-03)	2.714E-02 (2.378E-03)
5.540E-04	2.945E-02 (4.370E-03)	2.174E-02 (1.063E-03)	2.277E-02 (1.932E-03)	2.693E-02 (3.460E-03)
1.234E-03	3.165E-02 (3.240E-03)	2.591E-02 (1.518E-03)	2.644E-02 (2.350E-03)	3.382E-02 (5.197E-03)
3.355E-03	3.264E-02 (3.293E-03)	2.553E-02 (1.276E-03)	3.015E-02 (2.883E-03)	2.662E-02 (2.667E-03)
9.119E-03	3.439E-02 (3.799E-03)	2.293E-02 (1.140E-03)	3.166E-02 (2.883E-03)	2.963E-02 (3.271E-03)
2.479E-02	3.367E-02 (2.908E-03)	3.598E-02 (1.660E-03)	3.543E-02 (2.392E-03)	3.055E-02 (2.988E-03)
8.662E-02	4.335E-02 (3.149E-03)	4.764E-02 (2.236E-03)	5.050E-02 (2.790E-03)	4.750E-02 (3.564E-03)
2.237E-01	7.691E-02 (5.067E-03)	8.930E-02 (2.395E-03)	7.500E-02 (3.832E-03)	7.919E-02 (6.652E-03)
3.688E-01	1.258E-01 (9.127E-03)	2.101E-01 (5.474E-03)	1.544E-01 (7.906E-03)	1.253E-01 (9.741E-03)
6.081E-01	7.872E-02 (6.438E-03)	1.306E-01 (3.926E-03)	9.441E-02 (5.592E-03)	8.152E-02 (7.965E-03)
1.003E+00	1.357E-01 (1.253E-02)	1.689E-01 (4.641E-03)	1.465E-01 (7.897E-03)	1.235E-01 (8.422E-03)
1.353E+00	1.336E-01 (9.667E-03)	3.563E-01 (7.848E-03)	2.048E-01 (1.015E-02)	1.543E-01 (1.216E-02)
1.827E+00	2.508E-02 (3.868E-03)	6.278E-02 (2.947E-03)	3.683E-02 (4.018E-03)	2.488E-02 (3.823E-03)
2.466E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
3.329E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
4.493E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
6.065E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
8.187E+00	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.105E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)
1.492E+01	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)	0.000E+00 (0.000E+00)

括弧内は誤差

表6.4-13　4群中性子スペクトル（全中性子束で規格化、マニホールド付近）

位置	1群	2群	3群	4群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 2E-5MeV	2E-5MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束	中性子束
⑨	4.761E-02 (3.182E-03)	5.166E-01 (1.695E-02)	8.715E-02 (4.991E-03)	3.486E-01 (1.100E-02)
⑩	1.260E-01 (2.578E-03)	5.757E-01 (7.841E-03)	7.651E-02 (2.293E-03)	2.218E-01 (4.844E-03)
⑪	7.297E-02 (3.330E-03)	5.355E-01 (1.297E-02)	9.145E-02 (5.274E-03)	3.001E-01 (7.566E-03)
⑫	5.376E-02 (3.878E-03)	5.064E-01 (1.687E-02)	9.031E-02 (5.896E-03)	3.495E-01 (1.098E-02)

表6.4-14　3群中性子スペクトル（全中性子束で規格化、マニホールド付近）

位置	1群	2群	3群
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV
	中性子束	中性子束	中性子束
⑨	4.761E-02 (3.182E-03)	6.038E-01 (1.852E-02)	3.486E-01 (1.100E-02)
⑩	1.260E-01 (2.578E-03)	6.522E-01 (8.526E-03)	2.218E-01 (4.844E-03)
⑪	7.297E-02 (3.330E-03)	6.269E-01 (1.467E-02)	3.001E-01 (7.566E-03)
⑫	5.376E-02 (3.878E-03)	5.967E-01 (1.874E-02)	3.495E-01 (1.098E-02)

表6.4-15　比放射能（マニホールド付近）

Flux	1群	2群	3群	TOTAL
	14.9MeV ～ 1.0MeV	1.0MeV ～ 5E-7MeV	5E-7MeV ～ 1E-11MeV	
	比放射能	比放射能	比放射能	比放射能
金箔有 Flux	1.080E-05 (9.873E-07)	3.032E-02 (4.131E-03)	7.921E-02 (3.227E-03)	1.096E-01 (5.098E-03)
金箔無 Flux	1.083E-05 (1.056E-06)	3.042E-02 (4.157E-03)	7.947E-02 (3.149E-03)	1.099E-01 (5.150E-03)

表6.4-16　　換算係数の纏め

		場所	比放射能	誤差	換算係数	誤差
本報	解析値	主蒸気管室	9.67E-02	1.86E-03	10.34	1.98E-01
		重水タンク	1.64E-01	5.06E-03	6.11	1.89E-01
		マニホールド	1.10E-01	5.15E-03	9.10	4.26E-01
	実測推定値*	主蒸気管室	-	-	15.1～22.0	-
		重水タンク	-	-	7.6～8.3	-
		マニホールド	-	-	12.7～14.4	-
前報[1]	解析値	主蒸気管室	3.21E-02	1.69E-03	31.20	1.65E+00
		重水タンク	1.38E-01	1.70E-02	7.26	8.94E-01
		マニホールド	-	-	-	-
	実測推定値**	主蒸気管室	-	-	23.3	-
		重水タンク	-	-	23.2	-
		マニホールド	-	-	13.17	-

*核燃料サイクル開発機構殿提示

**1999-EDP-99 原子炉建屋等の中性子束分布評価(一次評価);核燃料サイクル開発機構殿提示

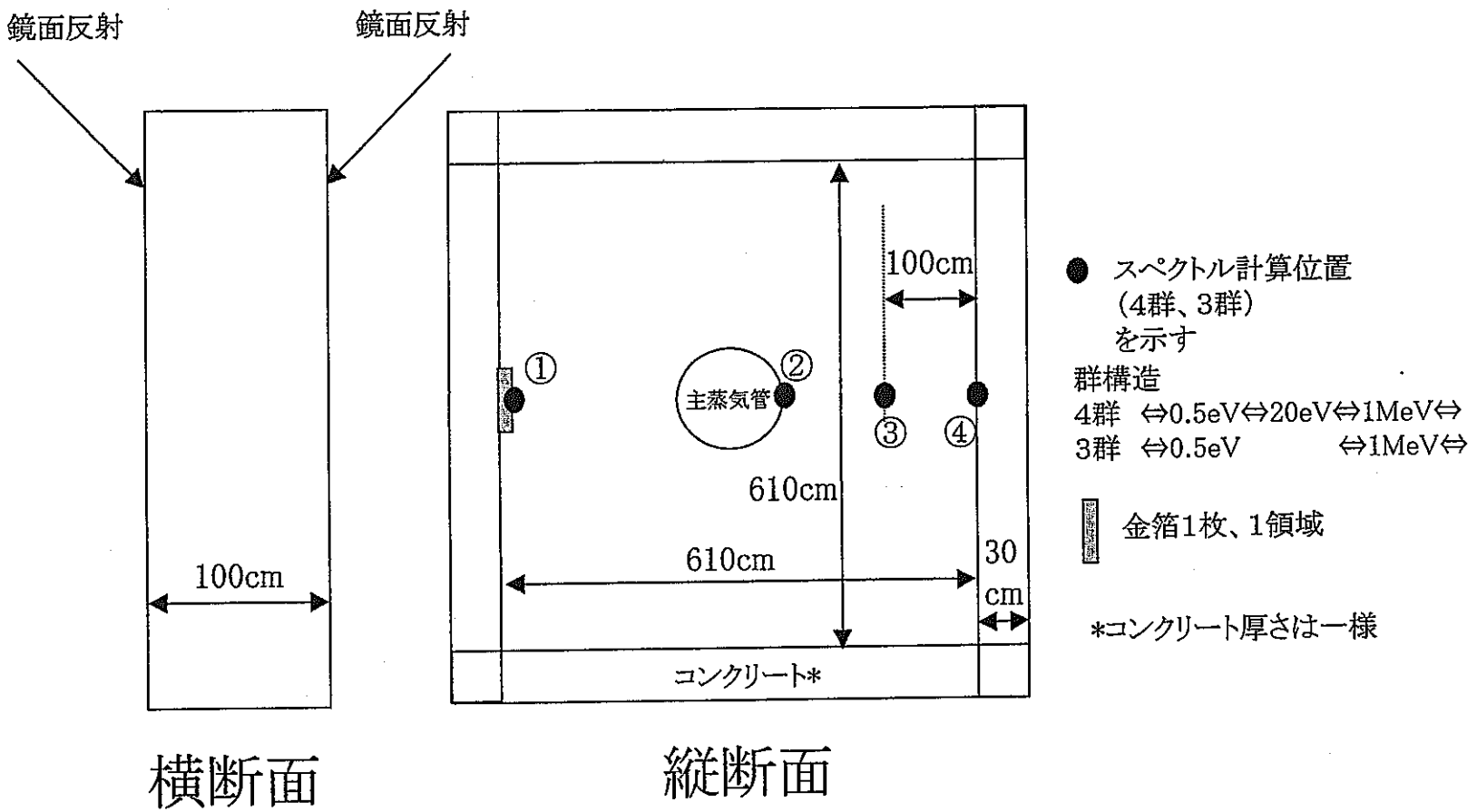


図6.1-1　主蒸気管室解析形状

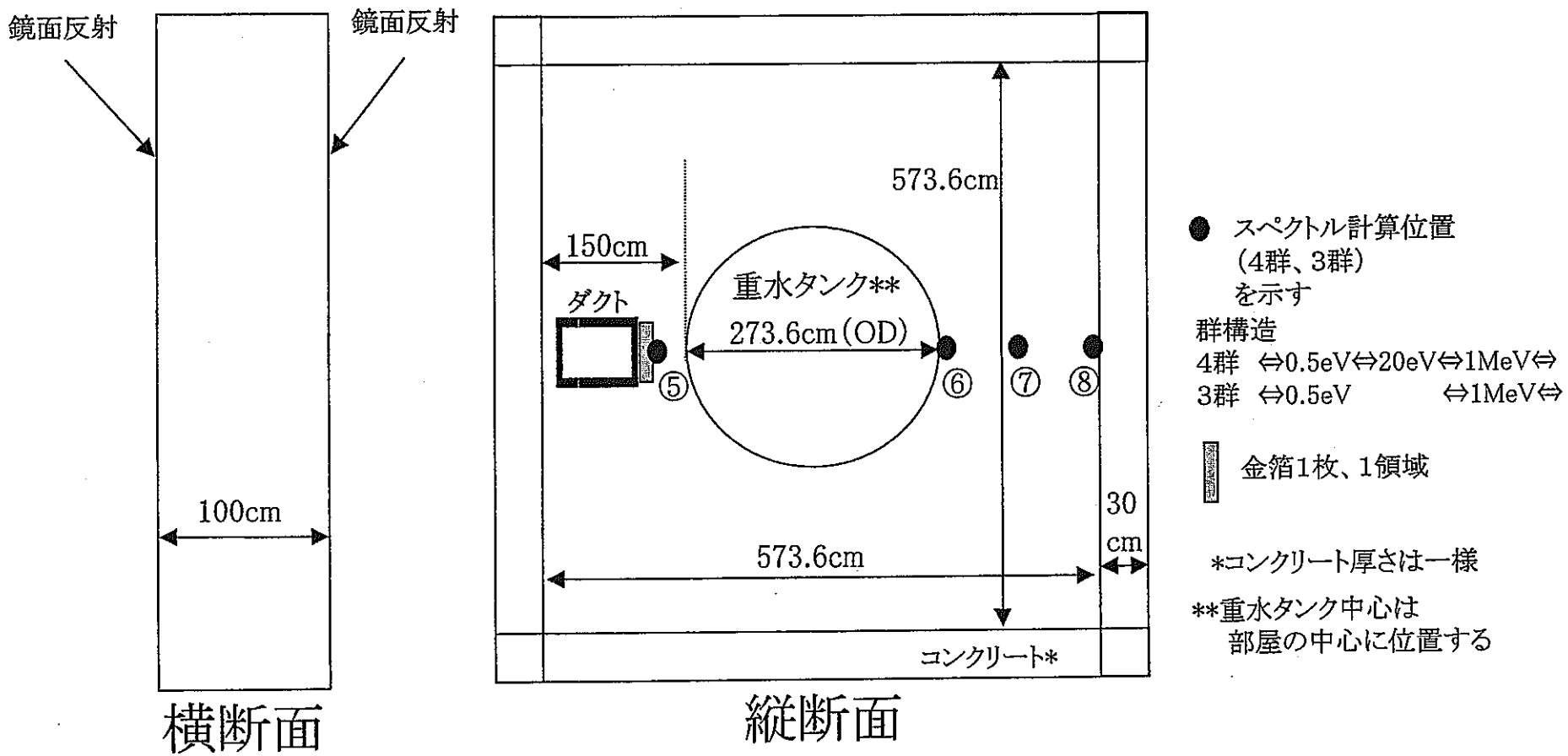


図6.2-1 重水タンク室解析形状
(ダクト表面に金箔を配置)

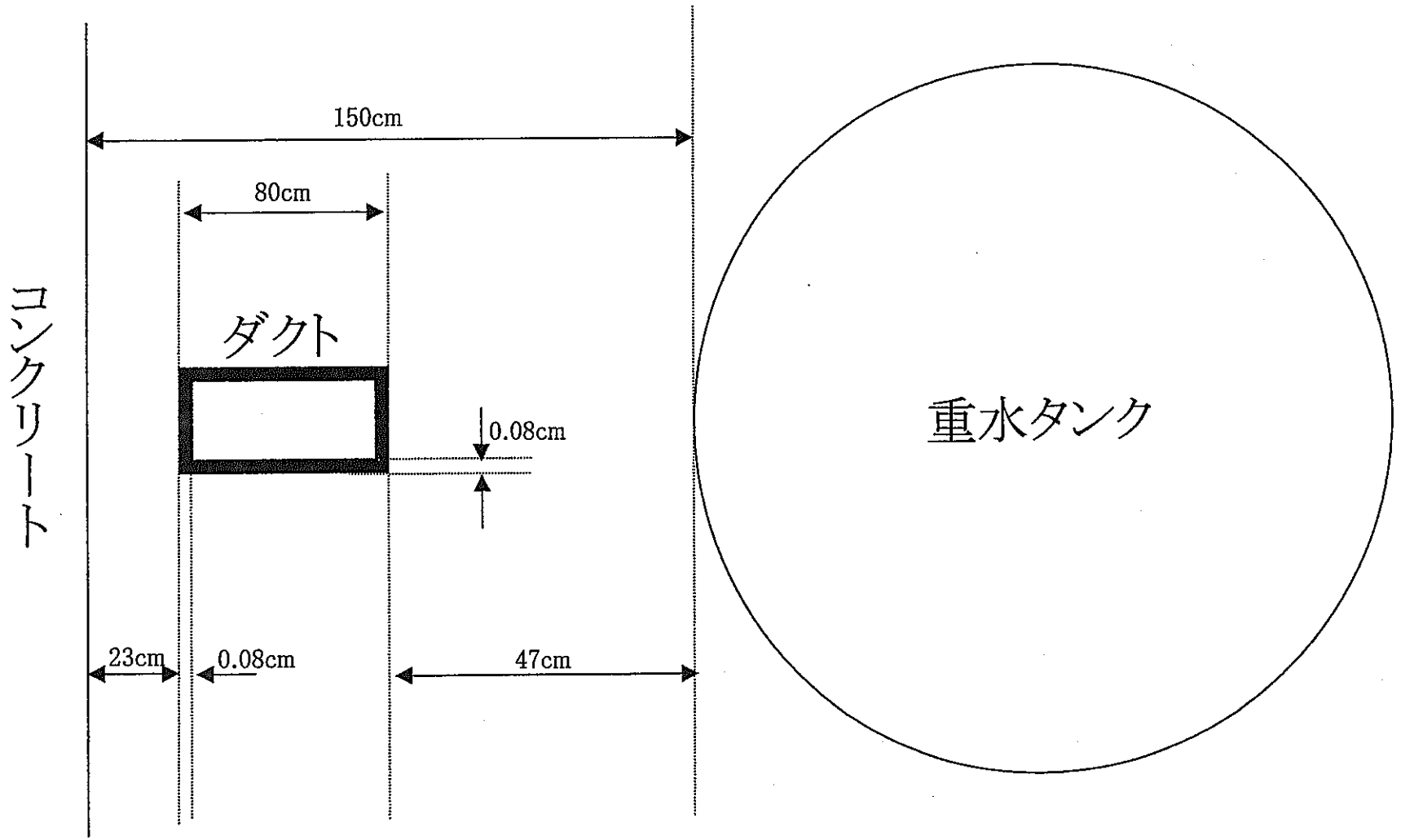


図6.2-2　　ダクトの配置

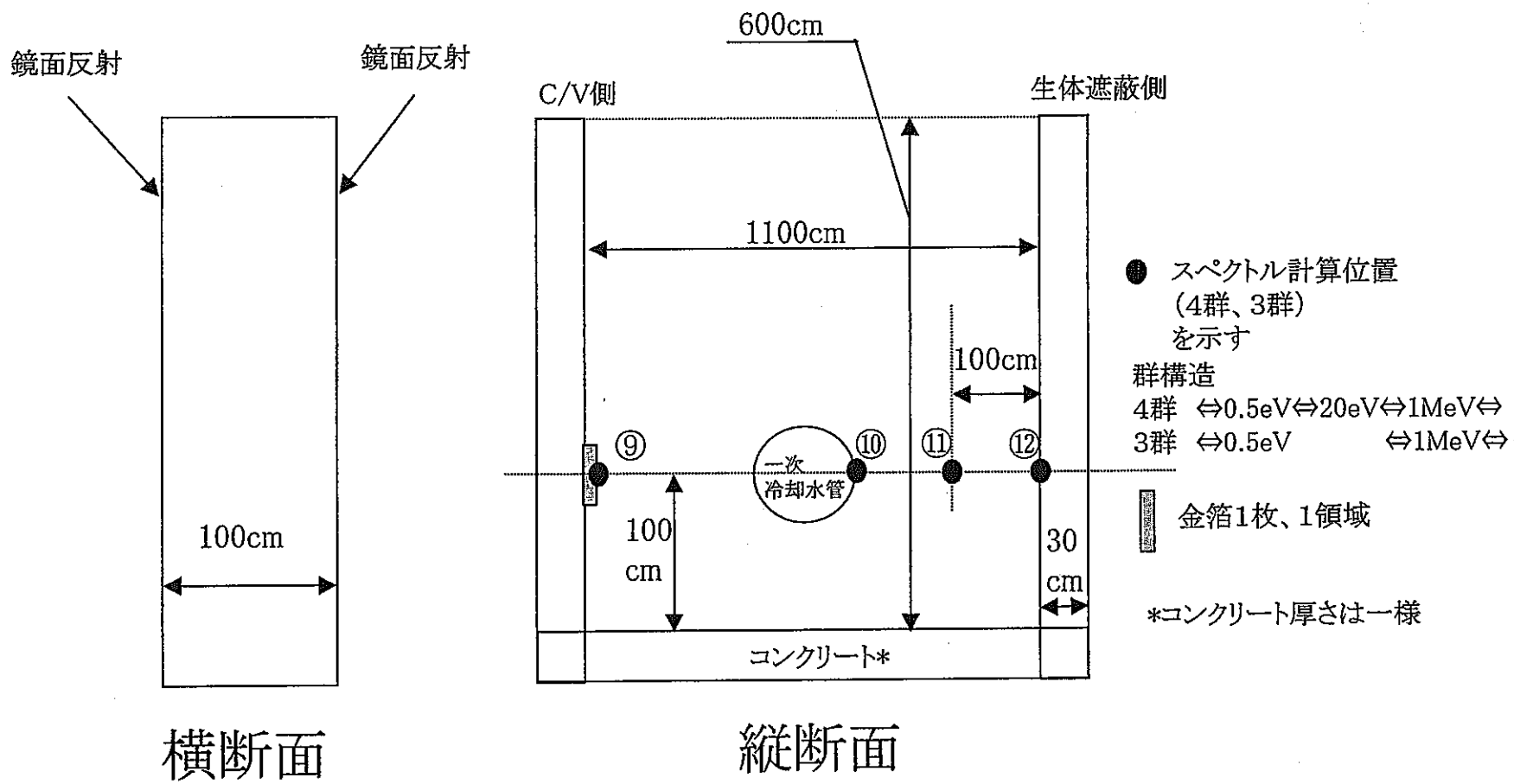


図6.3-1 マニホールド解析形状

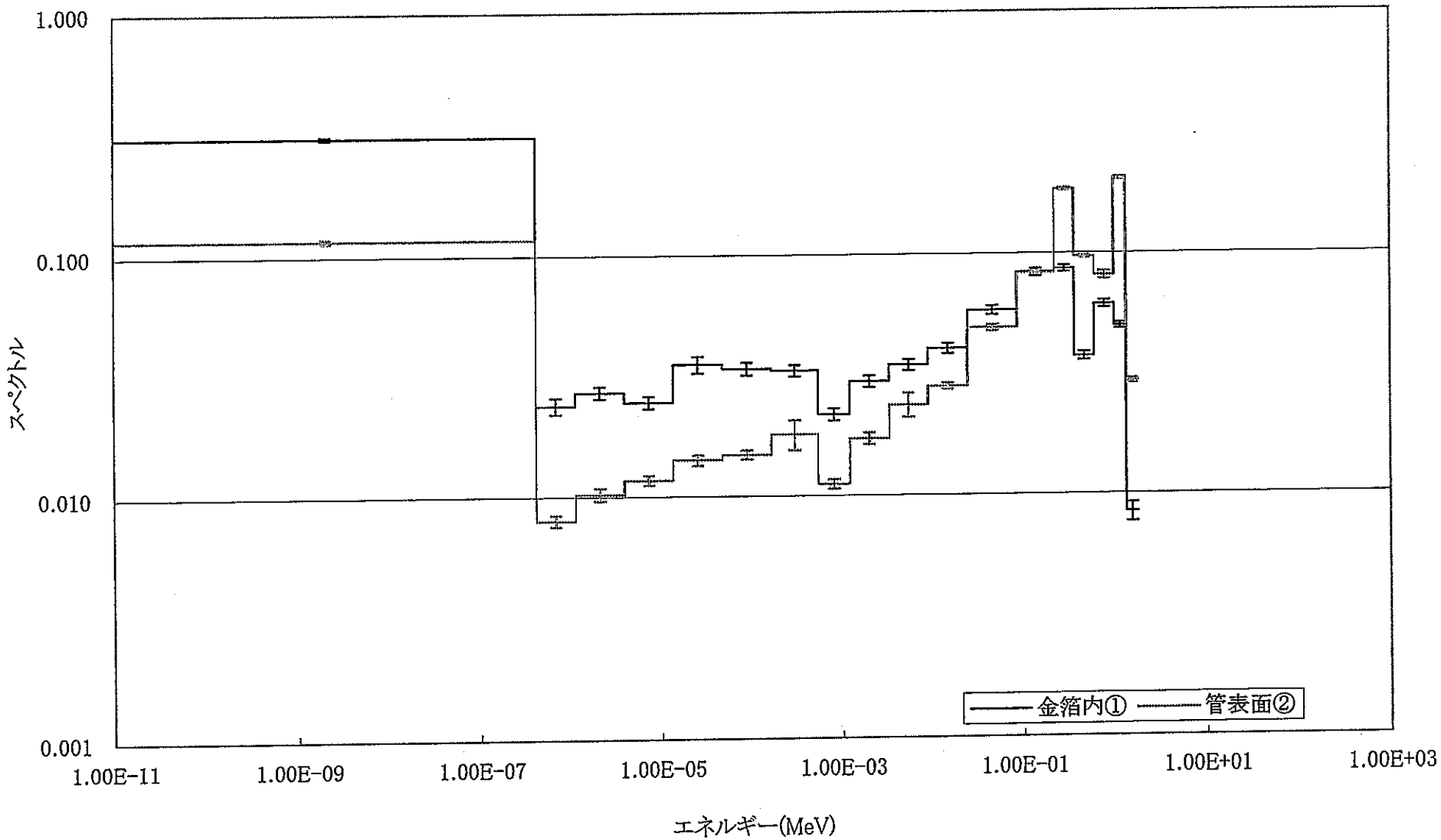


図6.4-1　　主蒸気管室①②でのスペクトル（全中性子束）

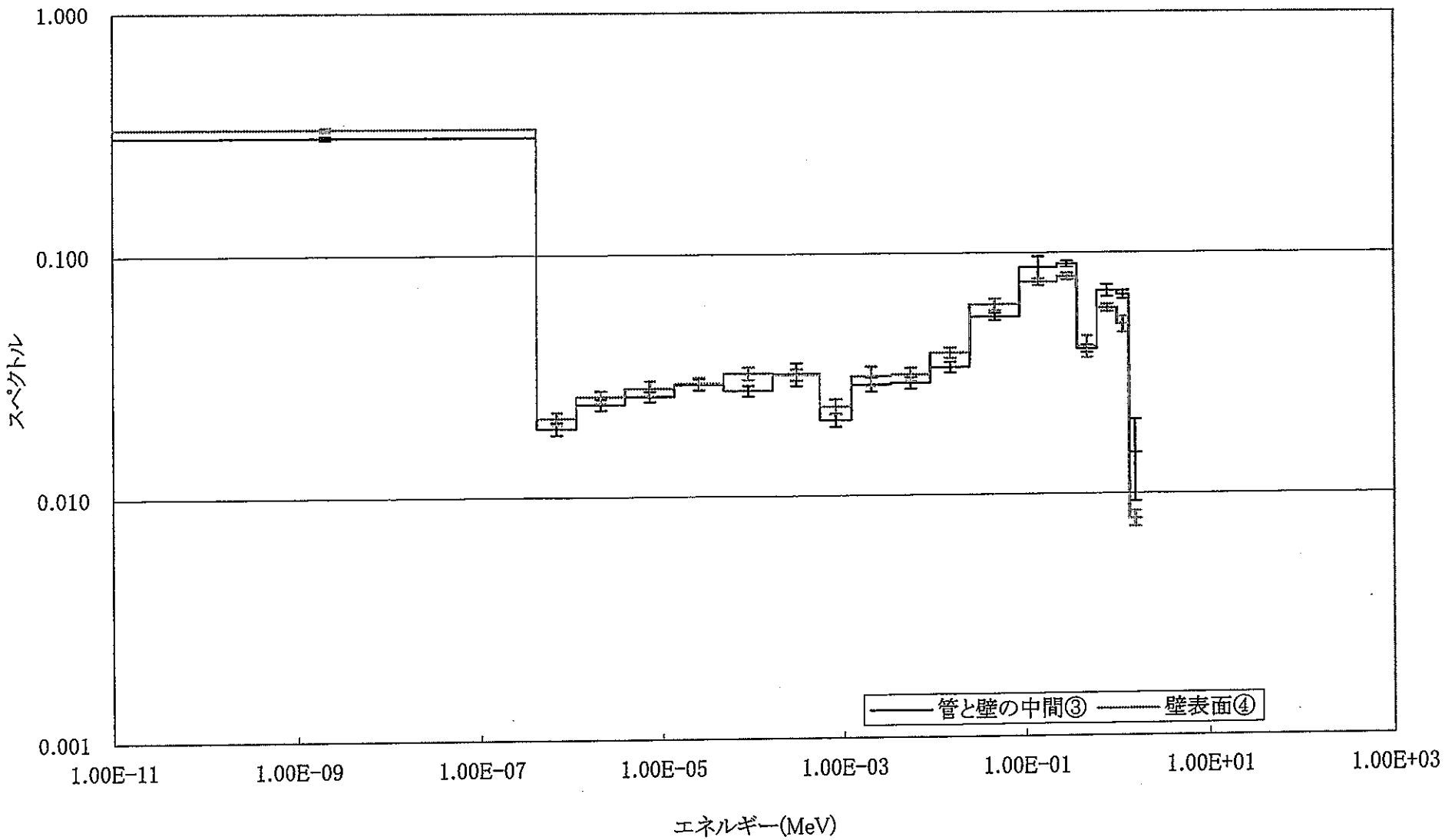


図6.4-2　　主蒸気管室③④のスペクトル（全中性子束）

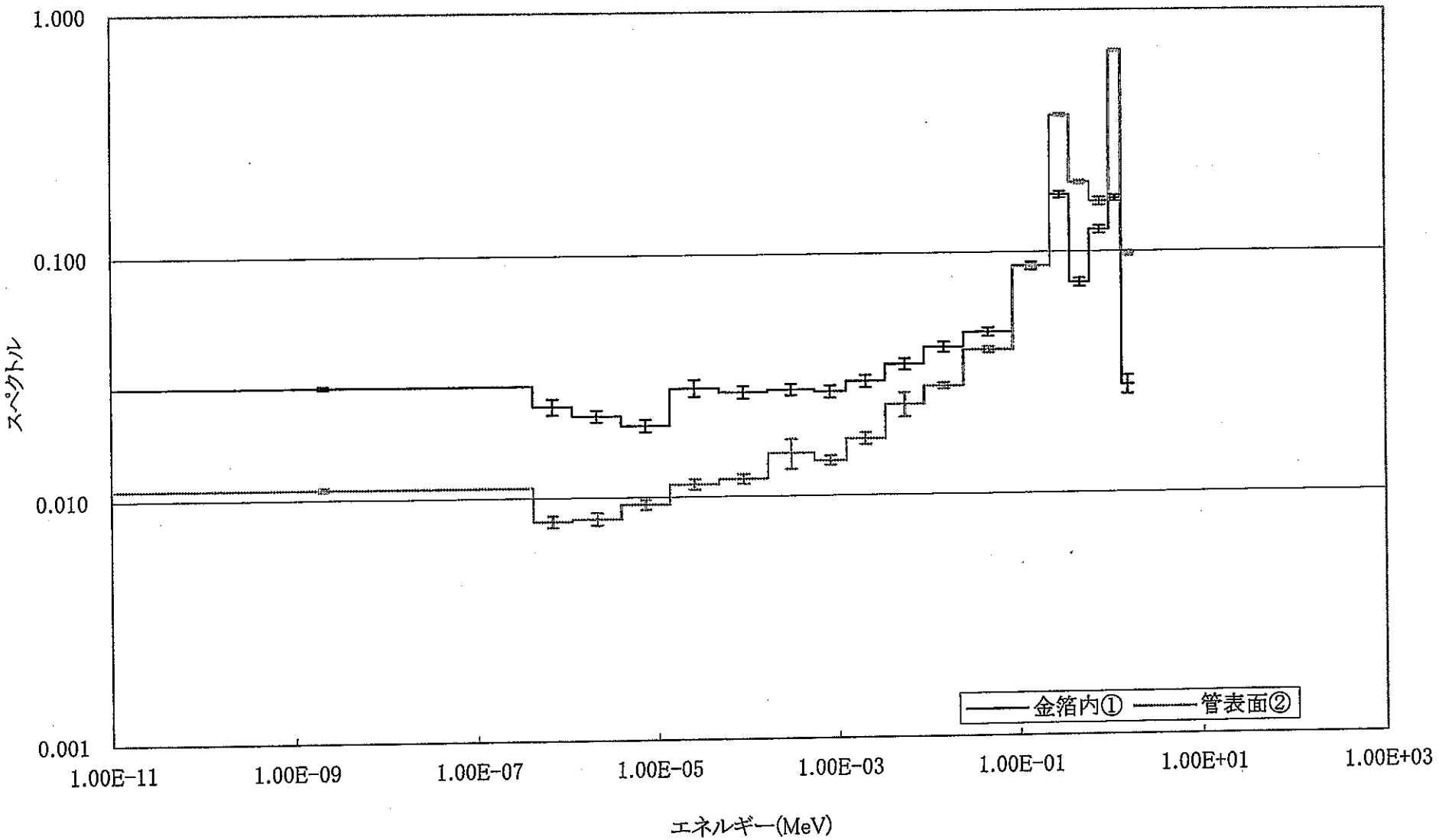


図6. 4-3　　主蒸気管室①②でのスペクトル（レサジー）

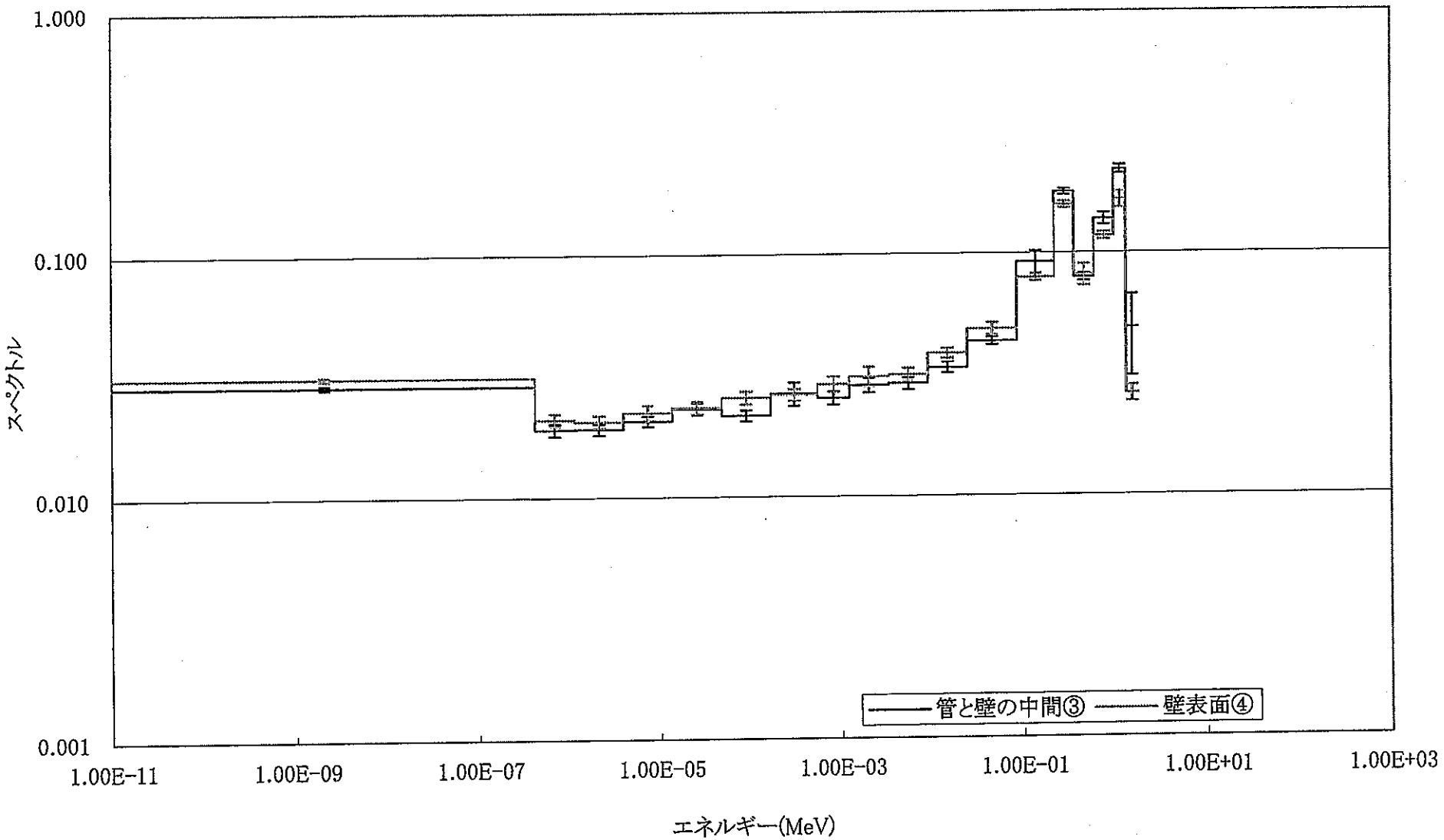


図6. 4-4　　主蒸気管室③④のスペクトル（レサジー）

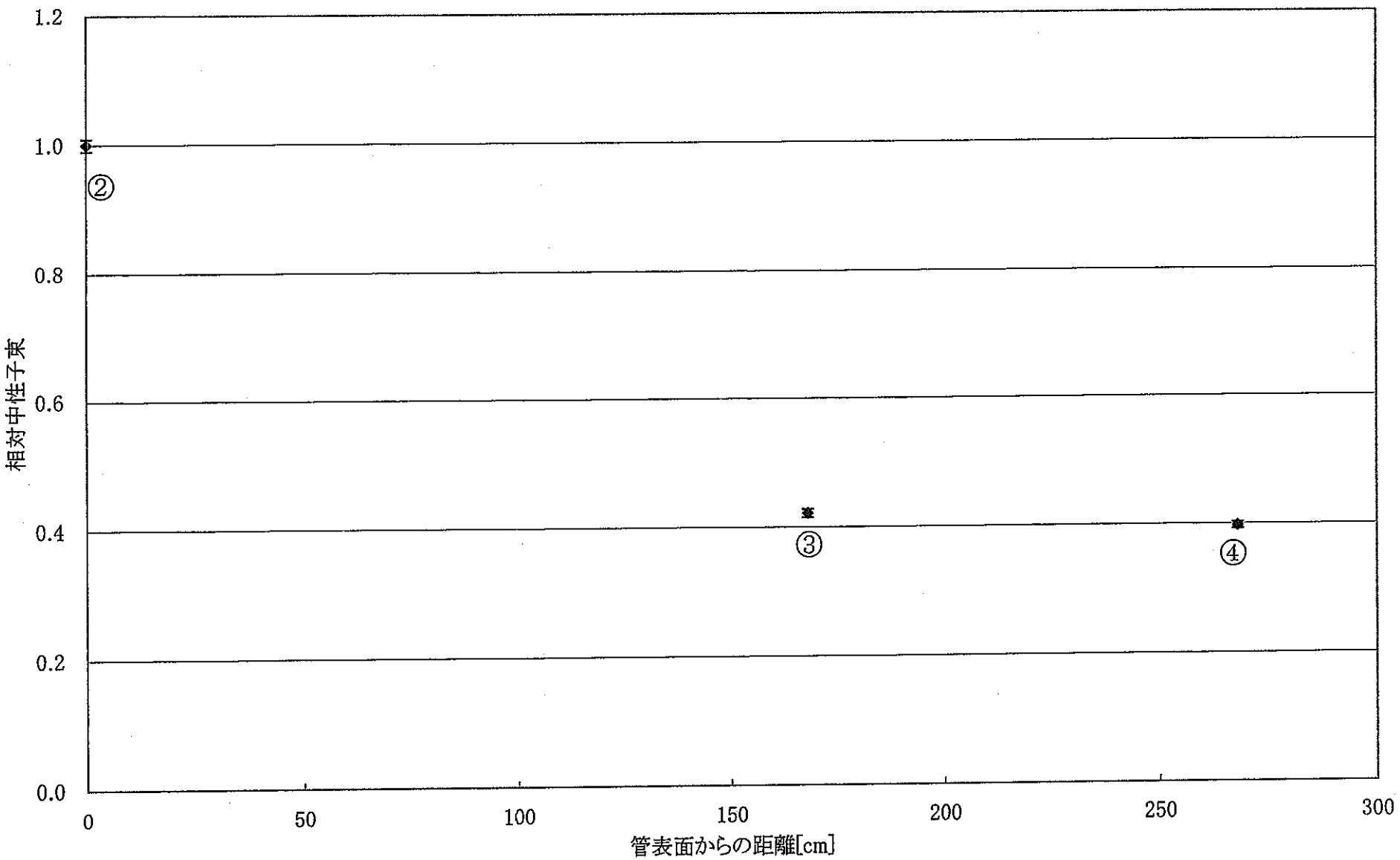


図6.4-5　相対中性子束空間分布（主蒸気管室）

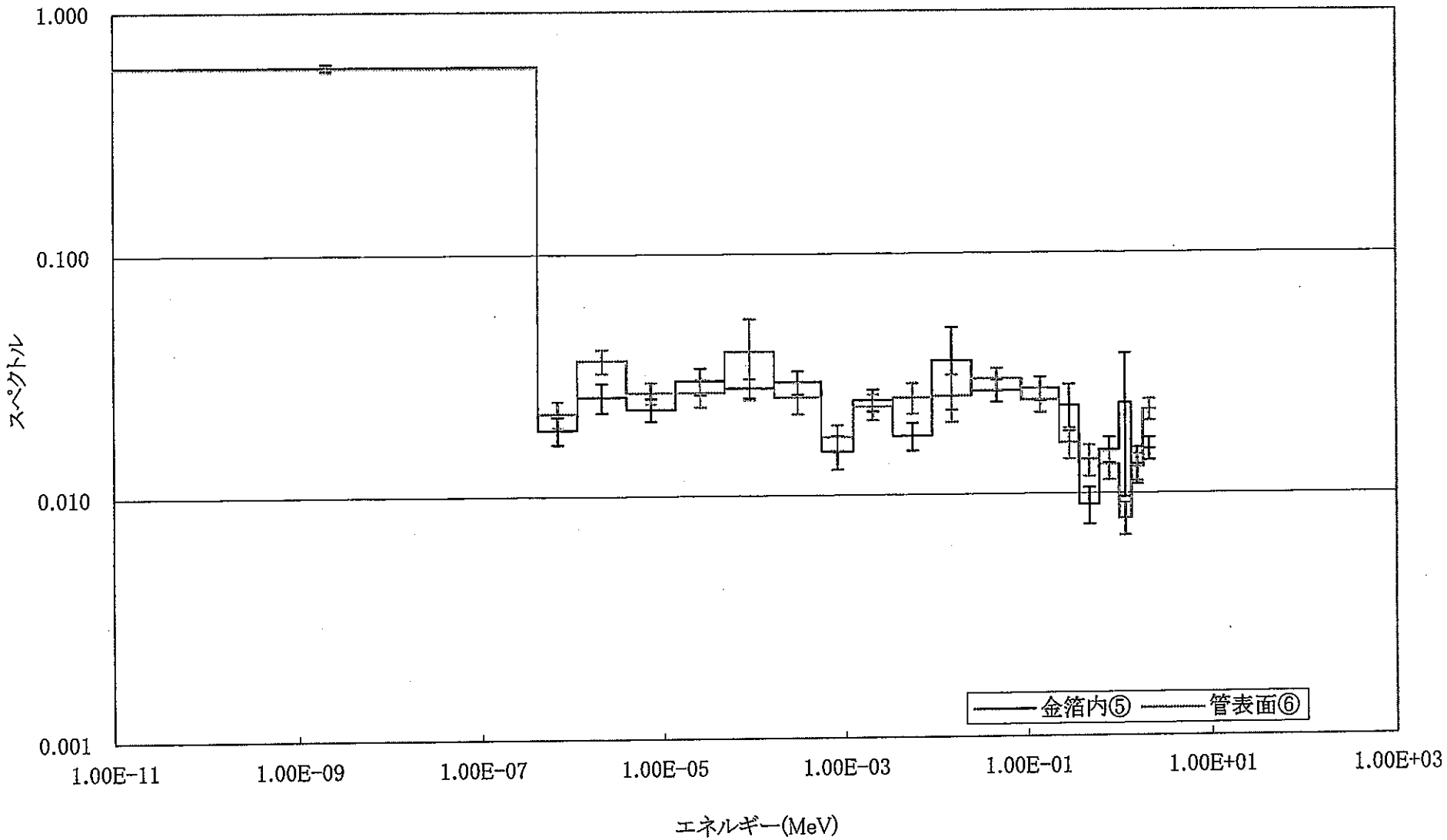


図6.4-6　　重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（全中性子束）

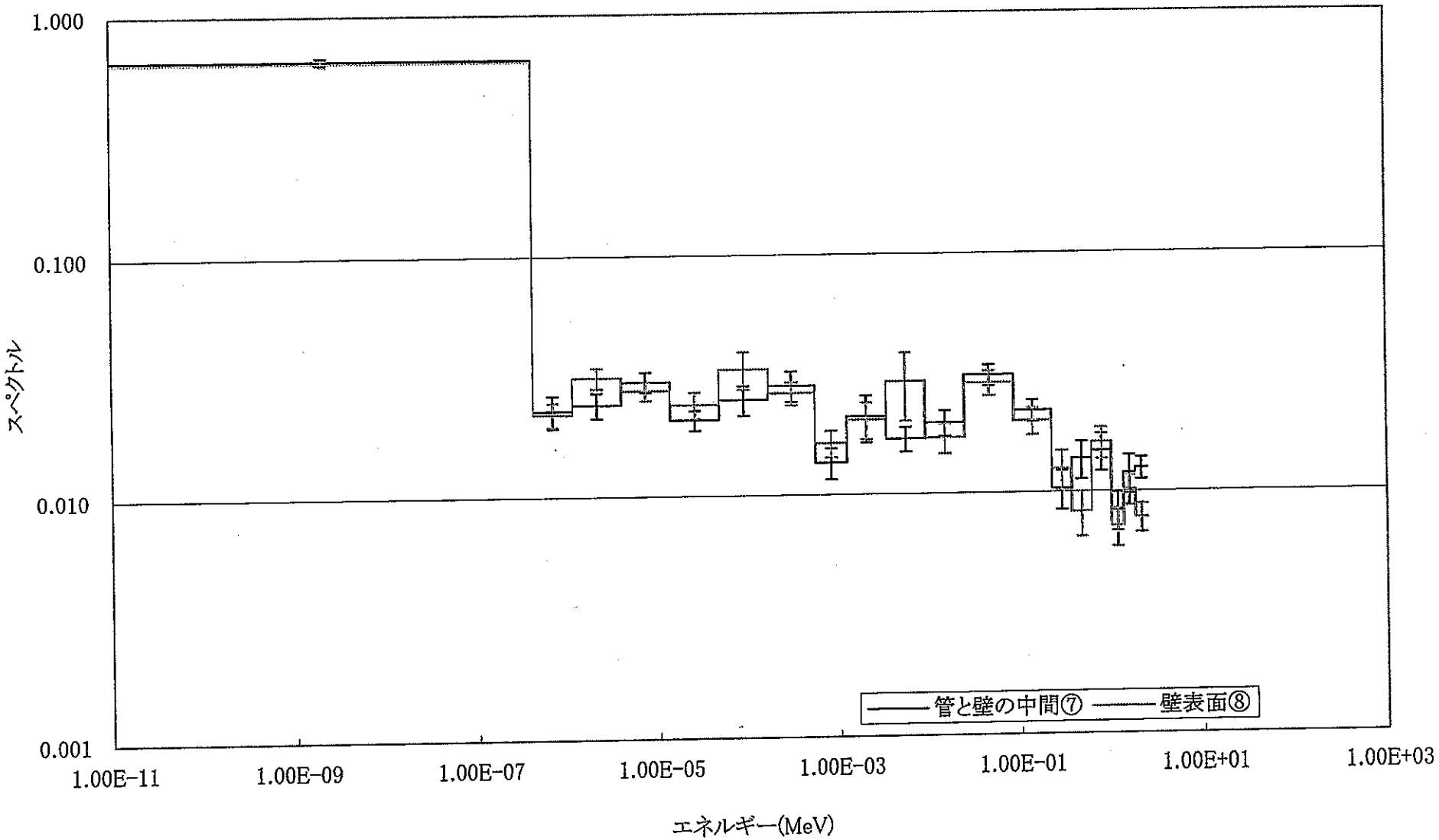


図6. 4-7　　重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（全中性子束）

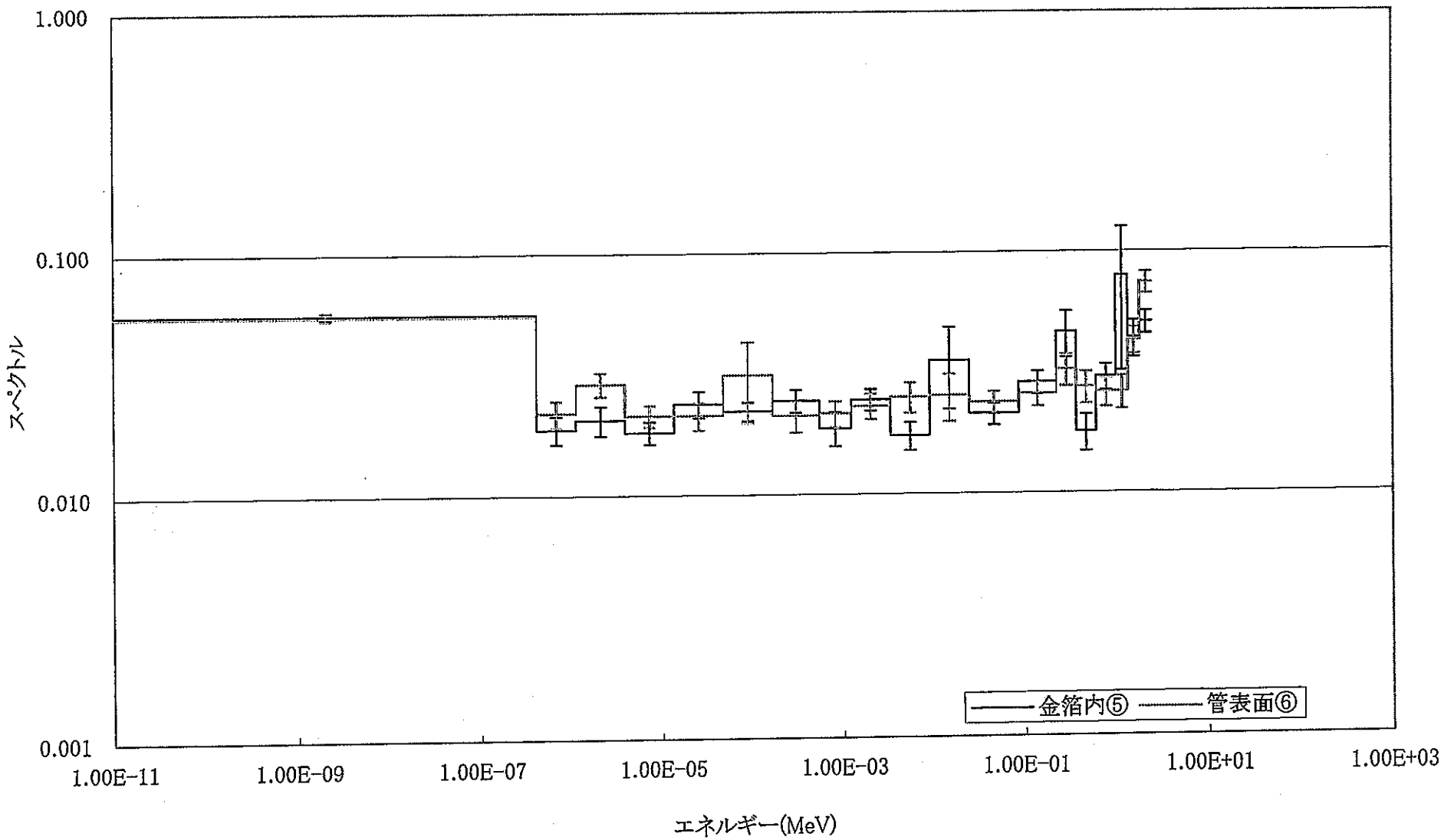


図6. 4-8　　重水タンク室⑤⑥でのスペクトル（レサジー）

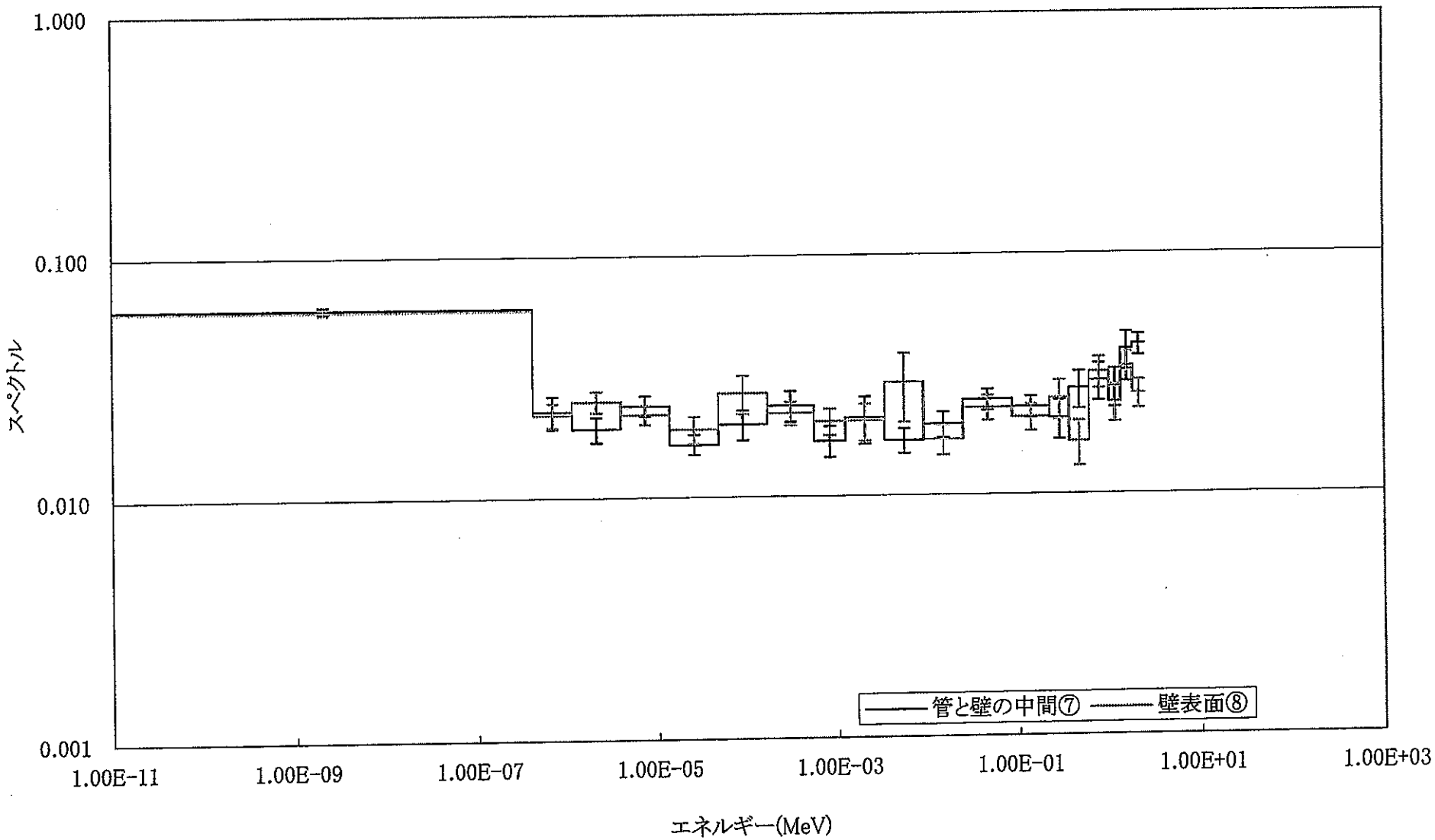


図6.4-9　　重水タンク室⑦⑧でのスペクトル（レサジー）

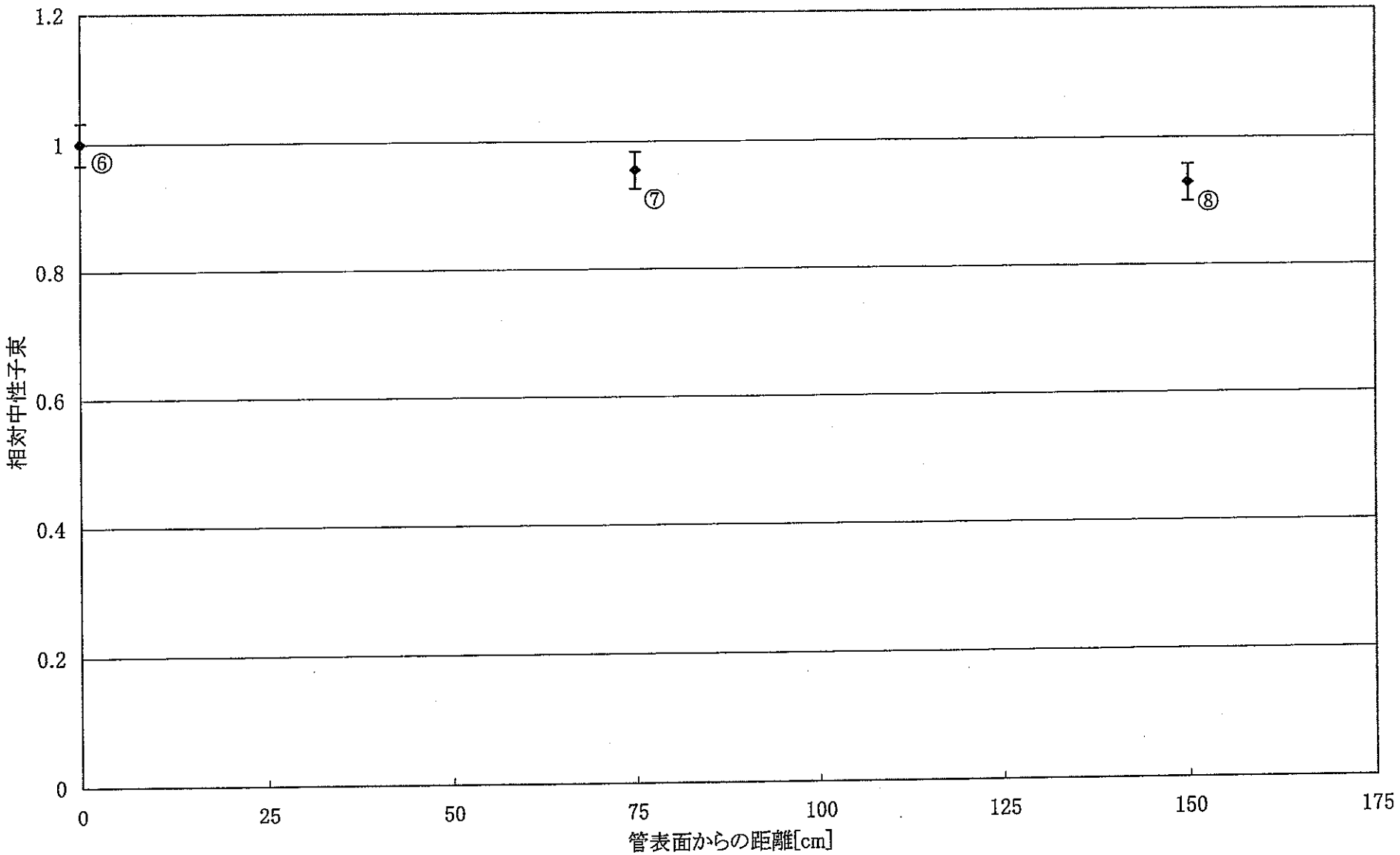


図6.4-10　相対中性子束空間分布(重水タンク室)

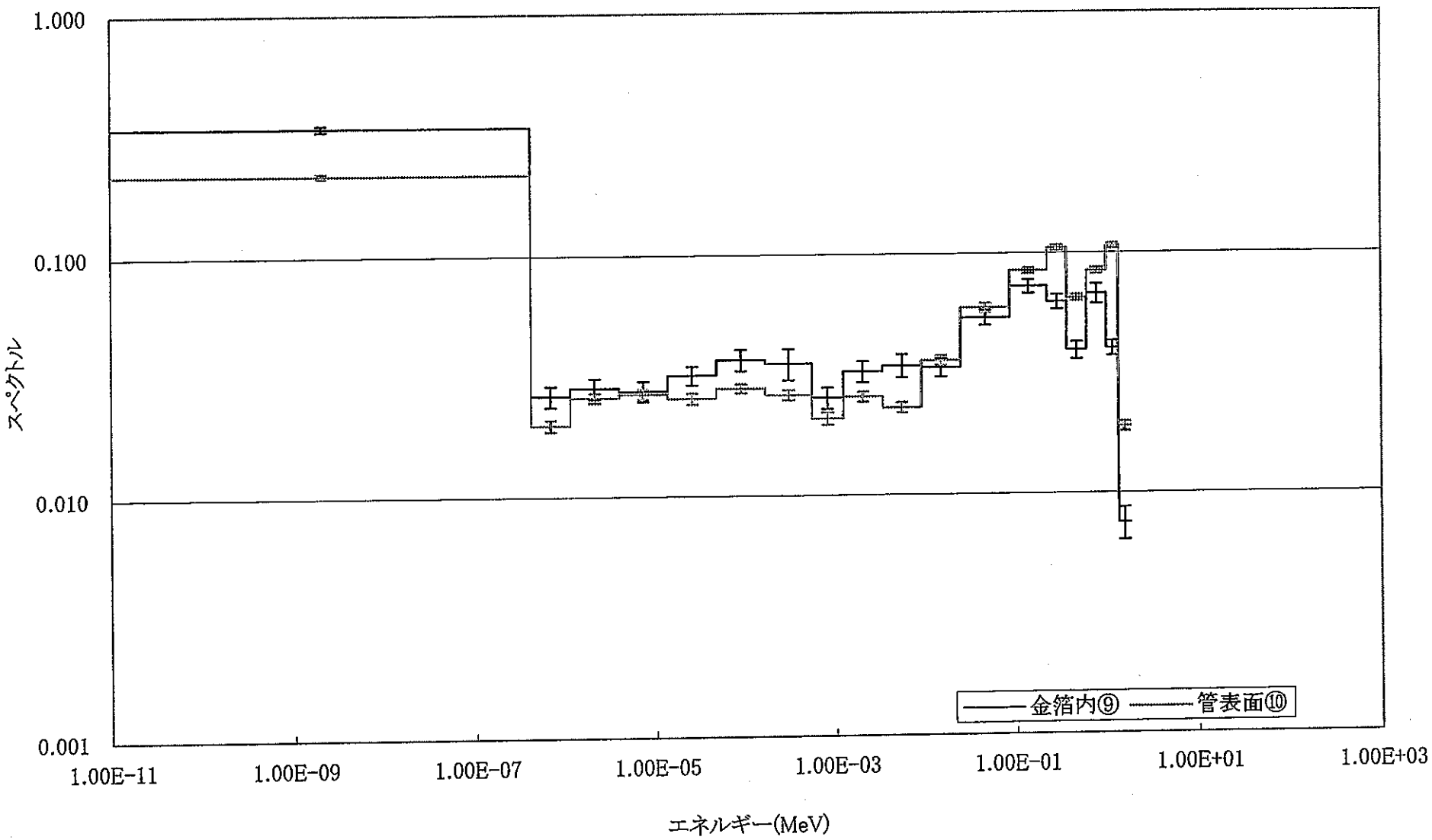


図6. 4-11　　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（全中性子束）

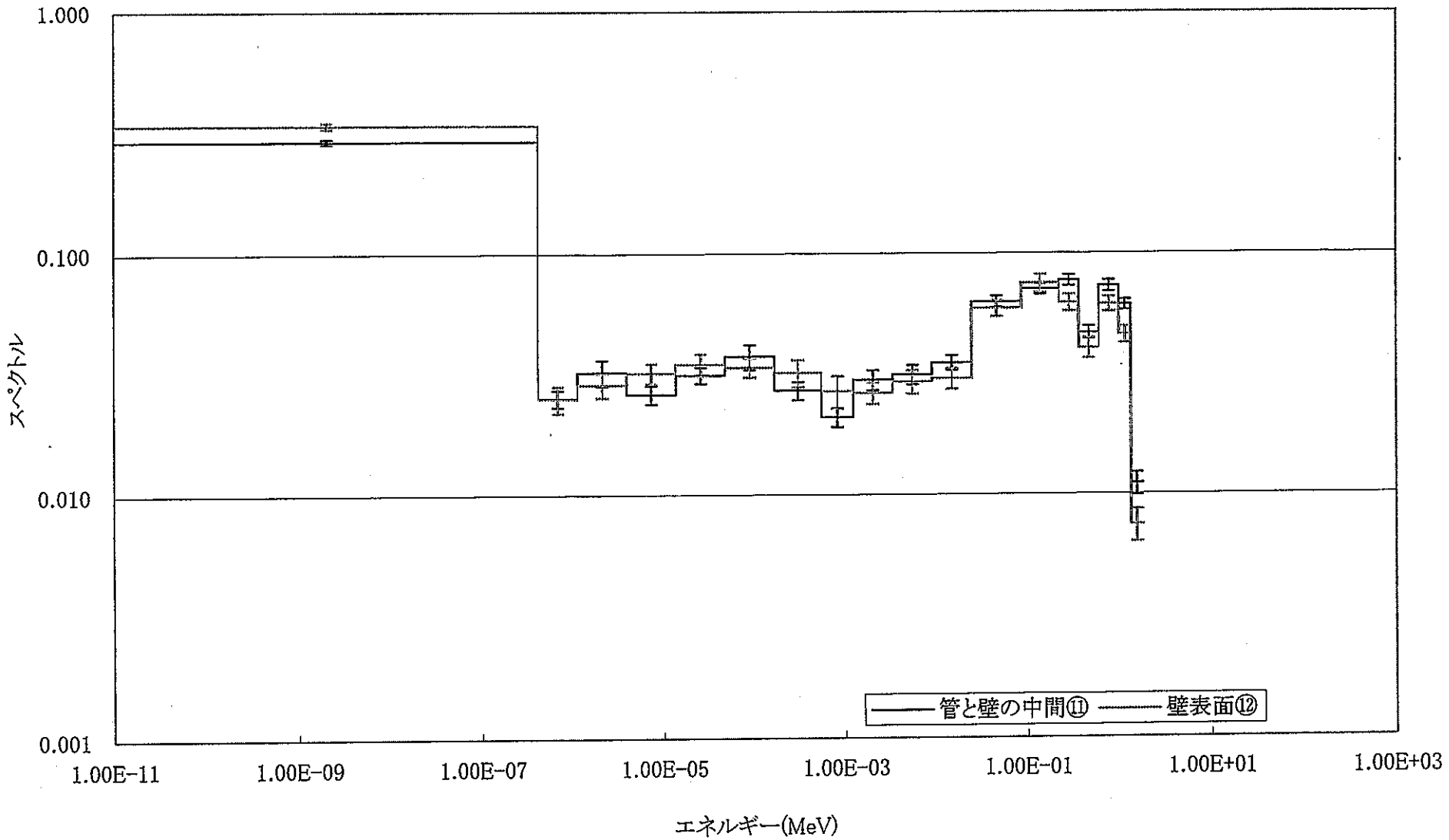


図6. 4-12　　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル(全中性子束)

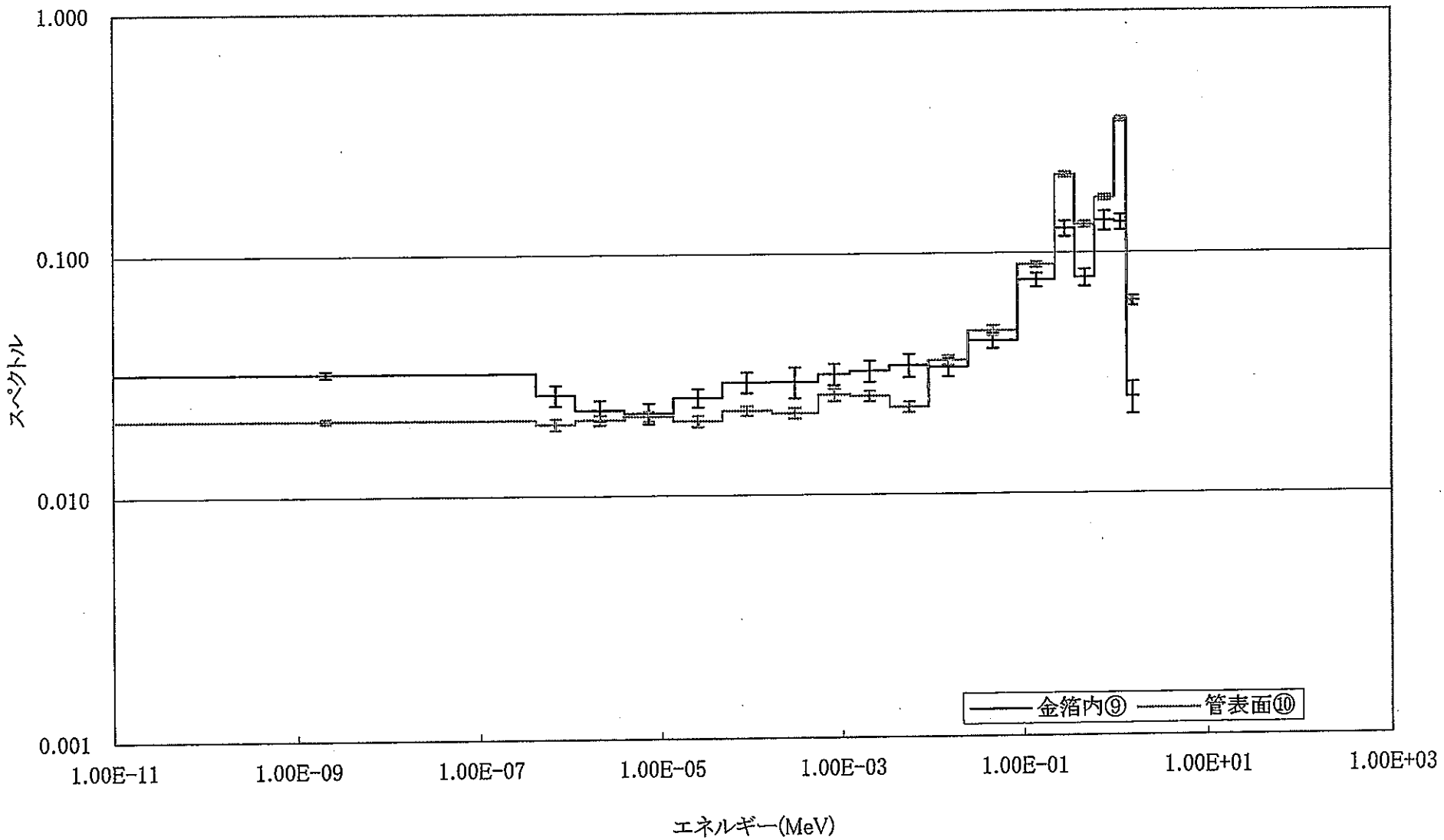


図6. 4-13　　マニホールド付近⑨⑩でのスペクトル（レサジー）

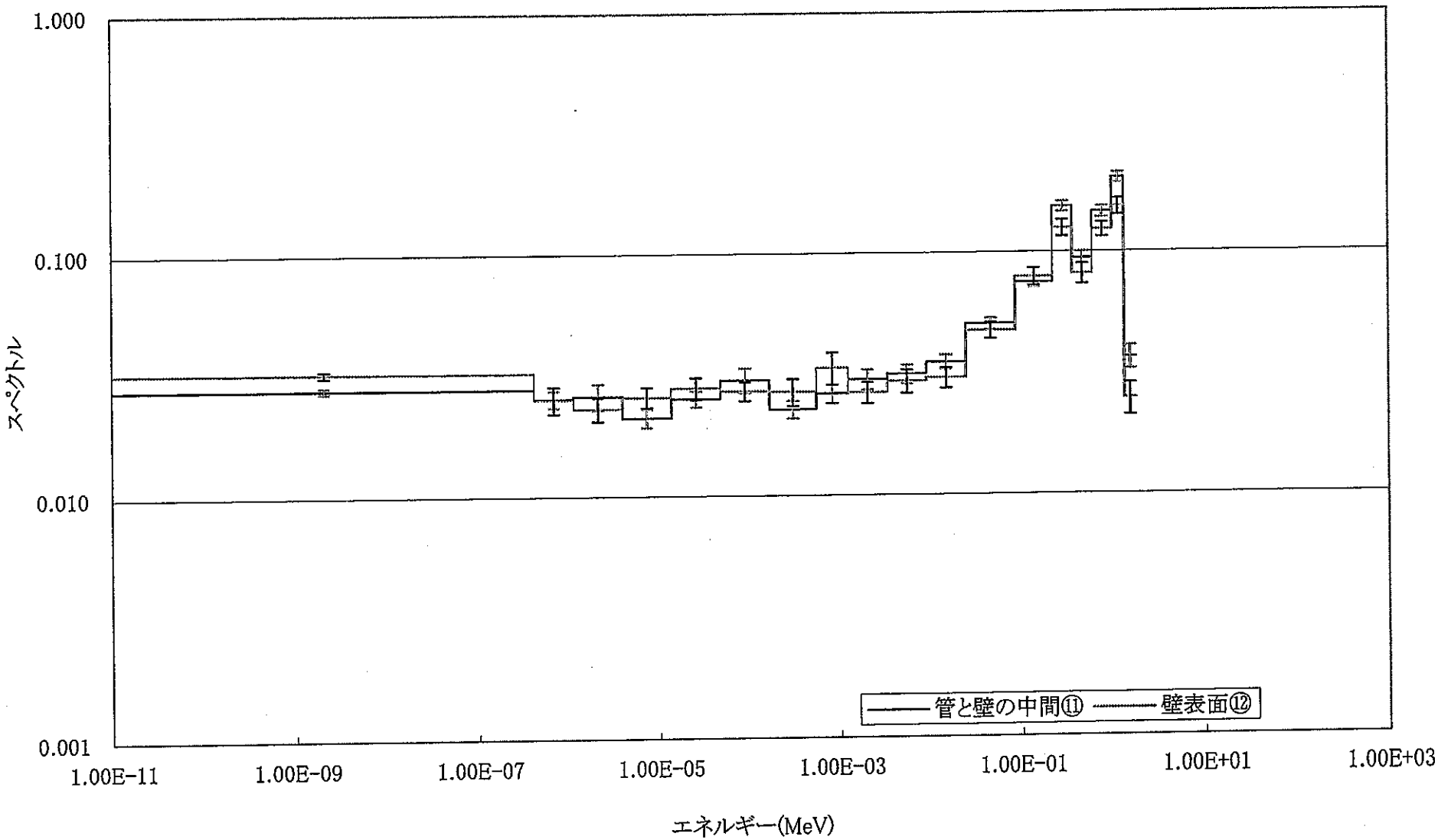


図6. 4-14　　マニホールド付近⑪⑫でのスペクトル（レサジー）

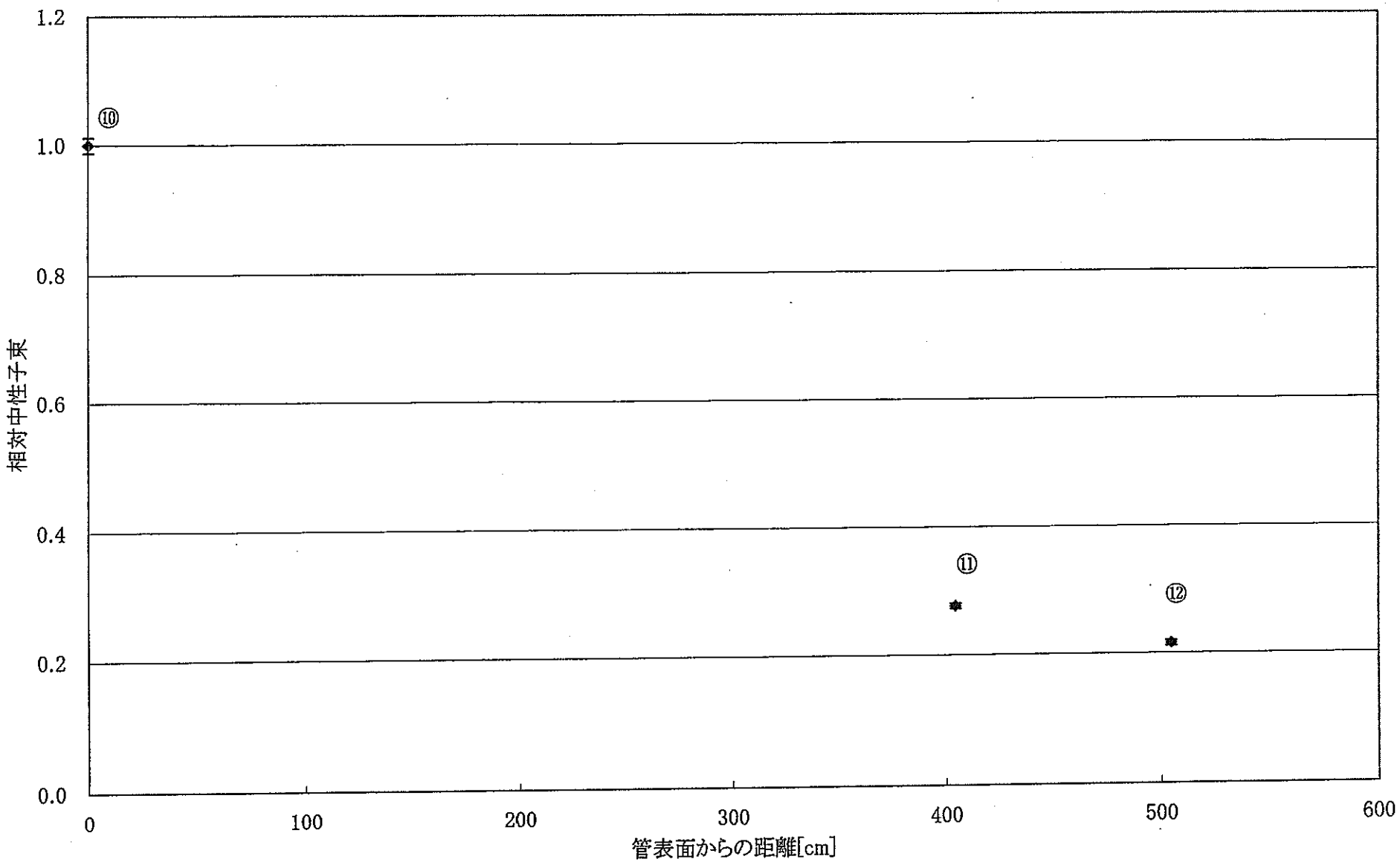


図6.4-15　　相対中性子束空間分布（マニホールド付近）

7．.大型金箔の自己遮蔽効果の検討

5章で決定した解析体系を用いて、主蒸気管系（主蒸気室）及び重水系（重水タンク室）に配置した金箔内（１０枚重ね）の中性子束分布を解析し、測定値（核燃料サイクル機構殿貸与）と比較する。

7．1　主蒸気系

7．1．1　条件

(a)　スペクトル　　表 3.2-1（^{17}N の β-n 崩壊による）[4]

(b)　線源　　等方発生分布（主蒸気管内で発生）

(c)　追跡粒子　　中性子

(d)　解析体系　　図 6.1-1（全体系）

図 4.1-3（主蒸気管形状）

図 3.1-1（金箔、金箔は 10 枚）

7．1．2　結果と検討

図 7.1-1 に金箔内での相対反応率分布を示す。MCNP による相対反応率分布は測定値とよくあっているが、測定値の空間分布の歪みが解析値のそれよりも大きい。

6章で算出した換算係数は、解析値が実測推定値よりも小さい。これは解析でのスペクトルが軟らかいことを意味している。6章と本章での解析体系の違いは金箔の厚さだけなので、本章でのスペクトルも6章と同様の傾向を示していると考えられる。また、前報[1]の生体遮蔽内側及び外側スペクトルを用いた解析結果より、軟らかいスペクトルの方が反応率の空間分布が歪むことが分かっている。この考え方を本章の結果に適用すると、前報[1]の結果と整合性が取れていることが分かる。すなわち、測定値の空間分布が解析値に比して大きく歪んでいる。

7．2　重水系

7．2．1　条件

(a)　スペクトル　　表 3.2-2（D(γ、n)反応の中性子スペクトル）[4]

(b)　線源　　等方発生分布（重水タンク内重水中で発生）

(c)　追跡粒子　　中性子

(d)　解析体系　　図 6.2-1（全体系）

図 5.2-2（重水タンク形状）

図 3.1-1（金箔、金箔は 10 枚）

7．2．2　結果と検討

図 7.2-1 に金箔内での相対反応率分布を示す。MCNP による相対反応率分布は測定値とよくあっているが、測定値の空間分布の歪みが解析値のそれよりも大きい。

重水系についても、7.1.2 と同様な検討ができる。6章で算出した換算係数は、解析値が

実測推定値よりも小さいので、解析でのスペクトルが測定でのスペクトルよりも軟らかい。図 7.2-1 の測定値の最小値は解析値のそれよりも小さく、前報[1]の結果と整合性が取れている。

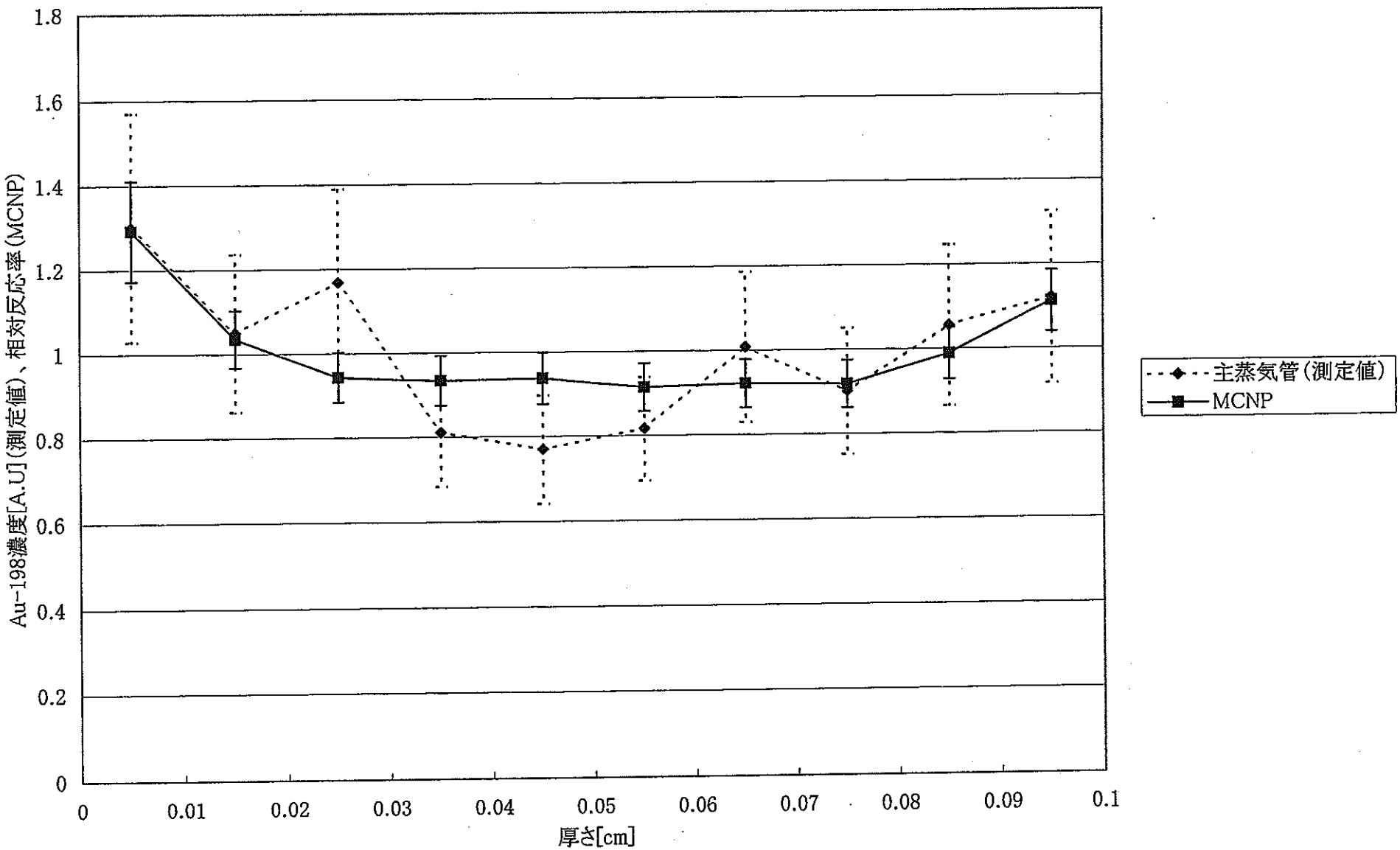


図7.1-1　　金箔内反応率分布(主蒸気管)

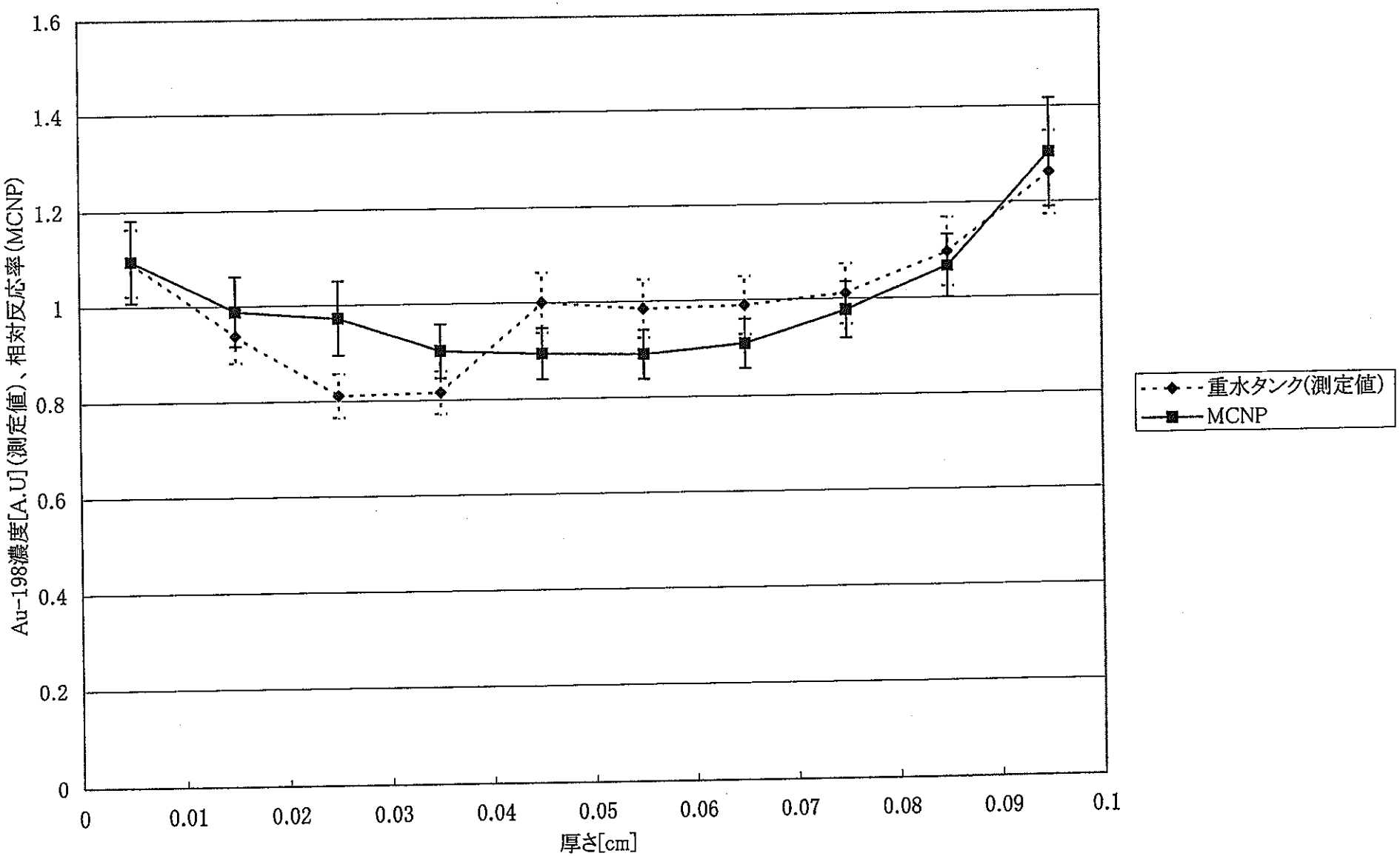


図7.2-1　金箔内反応率分布(重水タンク)

8．その他の金属箔の放射化量解析

金箔、カドミウムカバー付き金箔、コバルト箔、カドミウムカバー付きコバルト箔、ニッケル箔の放射化量を、生体遮蔽内側スペクトル（表 3.2-3）を用いて求める。解析ケースを表 8-1 に示す。

8．1　解析条件

(a) スペクトル　　表 3.2-3（生体遮蔽内側スペクトル）

一番低いエネルギー群の中性子発生確率は 296K のマックスウェル分布を用いる。その他のエネルギー群では群内で一様確率分布を用いて発生させる。

(b) 線源　　等方発生分布

(c) 追跡粒子　　中性子

(d) 解析体系　　図 8.1-1　MCNP 解析体系（金箔）

金箔半径：2.3cm、厚さ：0.01cm

図 8.1-2　MCNP 解析体系（カドミウムカバー付金箔）

金箔半径：0.6cm、厚さ：0.01cm

カドミウムカバー半径：0.6cm、厚さ：0.05cm

図 8.1-3　MCNP 解析体系（コバルト箔）

コバルト箔半径：0.6cm、厚さ：0.1cm

図 8.1-4　MCNP 解析体系（カドミウムカバー付コバルト箔）

コバルト箔半径：0.6cm、厚さ：0.1cm

カドミウムカバー半径：0.6cm、厚さ：0.05cm

図 8.1-5　MCNP 解析体系（ニッケル箔）

ニッケル箔半径：0.6cm、厚さ：0.1cm

それぞれの箔は等体積１０分割した。分割後の領域番号の付与の仕方は図 3.1-1 の金箔分割方法と同様である。尚、表 3.2-3 のスペクトル算出時にコンクリート等の構造材効果をすでに考慮している。その為、本評価では箔後部に構造材を用いていない。

8．2　結果

8．2．1　箔内の中性子束分布（箔有）

表の中性子束分布は箔内の各領域の体積平均で、単位時間（秒）あたりに線源で１個の中性子が発生した場合の絶対値（線源強度：１中性子/秒）である。一方、図は各領域面中性子束分布を示す。

表 8.2.1-1　　金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）

表 8.2.1-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
表 8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
表 8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
表 8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）
図 8.2.1-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）
図 8.2.1-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
図 8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
図 8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
図 8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）
図 8.2.1-6　３群金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）
図 8.2.1-7　３群カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）
図 8.2.1-8　３群コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）
図 8.2.1-9　３群カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）
図 8.2.1-10　３群ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）

８．２．２　箔内の中性子束分布（箔無）

箔がない場合の箔位置での中性子束分布を示す。中性子束分布は箔内の各領域の体積平均で、単位時間（秒）あたりに線源で１個の中性子が発生した場合の絶対値（線源強度：１中性子/秒）である。

表 8.2.2-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔無）
表 8.2.2-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔無）
表 8.2.2-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔無）

８．２．３　箔内の反応率分布（箔有）

表の反応率分布は、単位時間（秒）当りに１個の中性子が線源で発生した場合（線源強度：１中性子/秒）の各領域での反応率の絶対値である。一方、図は金箔内での相対反応率分布を示す。

表 8.2.3-1　金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
表 8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
表 8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
表 8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
表 8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）
表 8.2.3-6　金箔全体の反応率分布（ケース１、箔有）
表 8.2.3-7　カドミウムカバー付金箔全体の反応率分布（ケース２、箔有）
表 8.2.3-8　コバルト箔全体の反応率分布（ケース３、箔有）
表 8.2.3-9　カドミウムカバー付コバルト箔全体の反応率分布（ケース４、箔有）

表 8.2.3-10　ニッケル箔全体の反応率分布（ケース５、箔有）
図 8.2.3-1　金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
図 8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
図 8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
図 8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
図 8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）
図 8.2.3-6　３群金箔内反応率分布（ケース１、箔有）
図 8.2.3-7　３群カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）
図 8.2.3-8　３群コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）
図 8.2.3-9　３群カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）
図 8.2.3-10　３群ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）

８．２．４　箔前面の中性子束スペクトル（箔有）

箔前面の３群中性子束のスペクトルを示す。。

表 8.2.4-1　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束スペクトル（ケース１、箔有）
表 8.2.4-2　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束スペクトル（ケース２、箔有）
表 8.2.4-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔有）
表 8.2.4-4　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース４、箔有）
表 8.2.4-5　ニッケル箔前面の中性子束スペクトル（ケース５、箔有）
表 8.2.4-6　金箔前面の中性子束（ケース１、箔有）
表 8.2.4-7　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔有）
表 8.2.4-8　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔有）
表 8.2.4-9　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束（ケース４、箔有）
表 8.2.4-10　ニッケル箔前面の中性子束（ケース５、箔有）

８．２．５　箔前面の中性子束スペクトル（箔無）

箔が無い場合での箔前面位置での３群中性子束のスペクトルを示す。

表 8.2.5-1　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束スペクトル（ケース１、箔無）
表 8.2.5-2　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束スペクトル（ケース２、箔無）
表 8.2.5-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔無）
表 8.2.5-4　金箔前面（線源側、箔有）の中性子束（ケース１、箔無）
表 8.2.5-5　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔無）
表 8.2.5-6　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔無）

８．２．６　解析対象としたミクロ反応断面積

解析対象とした箔全体のミクロ断面積を全群と３群で表に示す。各群の断面積は以下の式で計算した。

$$ミクロ断面積=\int \Phi \sigma dE / \int \Phi dE$$

対象とした反応を以下に示す。

金箔	:	$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$
コバルト箔	:	$^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$
ニッケル箔	:	$^{58}Ni(n,p)^{58}Co$

表 8.2.6-1　金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)$ ミクロ断面積（ケース１、箔有）

表 8.2.6-2　カドミウムカバー付金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)$ ミクロ断面積（ケース２、箔有）

表 8.2.6-3　コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)$ミクロ断面積（ケース３、箔有）

表 8.2.6-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)$ミクロ断面積（ケース４、箔有）

表 8.2.6-5　ニッケル箔全体の $^{58}Ni(n,p)^{58}Co$ ミクロ断面積（ケース５、箔有）

８．２．７　解析対象とした実効ミクロ反応断面積

本報告書の実効ミクロ断面積とは、金箔の反応率が既知の場合に、金箔が無い場合の中性子束を求めるための断面積である。その算出方法は前報告書[1]で記述した。

箔全体の実効ミクロ断面積を全群と３群で表に示す。

表 8.2.7-1　金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース１、箔有）

表 8.2.7-2　カドミウムカバー付金箔全体の $^{197}Au(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース２、箔有）

表 8.2.7-3　コバルト箔全体の $^{59}Co(n,\gamma)_{eff}$ ミクロ断面積（ケース３、箔有）

表 8.2.7-4　カドミウムカバー付コバルト全体の $^{59}Co(n,\gamma)_{eff}$ミクロ断面積（ケース４、箔有）

表 8.2.7-5　ニッケル箔全体の $^{58}Ni(n,p)_{eff}$ミクロ断面積（ケース５、箔有）

８．２．８　比放射能

箔全体の比放射能を全群と３群で表に示す。また、それぞれの箔での比放射能と換算係数を表 8.2.8-6 に纏める。比放射能は以下の算出は以下の式による。

$$比放射能=R[1-EXP(-\lambda t)] / 箔体積 / 箔密度\ [Bq/g] \qquad (1)$$

R　：箔全体の反応率

t　：照射時間（炉運転期間）

λ　：崩壊定数

金箔の半減期は 2.694 日と照射期間（約半年）に比べて短い。よって、金箔の場合は、

比放射能=R / 箔体積 / 箔密度［Bq / g］　　（2）

となる。コバルト箔、ニッケル箔の半減期はそれぞれ 5.271 年、70.88 日なので、比放射能は照射期間に依存する。よって、（1）式を用いる。

表 8.2.8-1　金箔全体の比放射能（ケース１、箔有）
[比放射能: 5.98E-2(n/cm2/s)/(Bq/g)]、換算係数: 16.7(n/cm2/s)/(Bq/g)]

表 8.2.8-2　カドミウムカバー付金箔全体の比放射能（ケース２、箔有）
[比放射能: 2.56E-2(n/cm2/s)/(Bq/g)]、換算係数: 39.1(n/cm2/s)/(Bq/g)]

表 8.2.8-3　コバルト箔全体の比放射能（ケース３、箔有）
[比放射能: 5.23E-2(n/cm2/s)/(Bq/g)]、換算係数: 19.1(n/cm2/s)/(Bq/g)]

表 8.2.8-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の比放射能（ケース４、箔有）
[比放射能: 2.87E-2(n/cm2/s)/(Bq/g)]、換算係数: 34.8(n/cm2/s)/(Bq/g)]

表 8.2.8-5　ニッケル箔全体の比放射能（ケース５、箔有）
[比放射能: 8.49E-5(n/cm2/s)/(Bq/g)]、換算係数: 1.18E-4(n/cm2/s)/(Bq/g)]

表 8.2.8-6　比放射能と換算係数の纏め

図 8.2.8-1　コバルト箔の比放射能と照射日数の関係

図 8.2.8-2　カドミウムカバー付コバルト箔の比放射能と照射日数の関係

図 8.2.8-3　ニッケル箔の比放射能と照射日数の関係

表 8.2.8-6 以外の表では、比放射能を（2）に従って算出した。表 8.2.8-6 では、照射日数を 180 日と仮定して比放射能を算出した。金箔、ニッケル箔、コバルト箔の解析値と実測値は 2 倍以内で一致した。本解析では金属箔を支持するためのコンクリートを用いていない。このため、金箔については自己遮蔽の効果を小さく見積もったことになり、このことが、計算値を実測値に比して大きくした可能性がある。また、すべての金属箔について金属箔支持材（コンクリート）による反射効果を考慮してないため、金属箔表面の中性子束を小さく見積もった。このことが、実測値と計算値の差となった可能性がある。今後、解析条件、解析体系等の検討が必要である。

表8-1　解析ケース

放射化箔	箔厚(mm)	箔直径(mm)	Cd厚さ(mm)	線源スペクトル
金箔	0.1	46	-	生体遮蔽内側(但し、熱領域はマックスウェル分布)
Cdカバー付金箔	0.1	12	0.5	生体遮蔽内側(但し、熱領域はマックスウェル分布)
Co箔	1	12	-	生体遮蔽内側(但し、熱領域はマックスウェル分布)
Cdカバー付Co箔	1	12	0.5	生体遮蔽内側(但し、熱領域はマックスウェル分布)
Ni箔	1	12	-	生体遮蔽内側(但し、熱領域はマックスウェル分布)
Cdカバー	0.5	12	-	-

表中括弧内はエラー

表8.2.1-1　金箔内中性子束分布（ケース１、箔有）[n/cm^2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	2.192E-05 (1.199E-06)	1.800E-04 (3.725E-06)	2.331E-05 (5.991E-07)
	111	2.295E-05 (1.609E-06)	1.840E-04 (4.324E-06)	2.417E-05 (6.140E-07)
	112	2.325E-05 (1.665E-06)	1.876E-04 (4.277E-06)	2.443E-05 (5.449E-07)
	113	2.396E-05 (1.433E-06)	1.815E-04 (3.648E-06)	2.456E-05 (4.421E-07)
	114	2.476E-05 (1.589E-06)	1.800E-04 (3.726E-06)	2.595E-05 (5.476E-07)
	115	2.422E-05 (1.467E-06)	1.898E-04 (4.556E-06)	2.638E-05 (5.646E-07)
	116	2.394E-05 (1.422E-06)	2.766E-05 (4.154E-06)	2.766E-05 (6.472E-07)
	117	2.470E-05 (2.124E-06)	1.810E-04 (3.783E-06)	2.818E-05 (5.749E-07)
	118	2.550E-05 (1.704E-06)	1.786E-04 (3.785E-06)	2.890E-05 (5.403E-07)
	119	2.873E-05 (2.589E-06)	1.801E-04 (3.404E-06)	3.033E-05 (5.489E-07)

表8.2.1-2　カドミウムカバー付金箔内中性子束分布（ケース２、箔有）[n/cm^2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	2.138E-05 (1.988E-06)	1.736E-04 (4.912E-06)	1.980E-06 (8.308E-07)
	111	2.129E-05 (1.961E-06)	1.758E-04 (5.010E-06)	1.350E-06 (4.027E-07)
	112	2.026E-05 (1.787E-06)	1.744E-04 (4.919E-06)	1.208E-06 (4.183E-07)
	113	2.119E-05 (1.829E-06)	1.714E-04 (4.662E-06)	9.143E-07 (3.193E-07)
	114	2.210E-05 (2.018E-06)	1.695E-04 (4.561E-06)	8.985E-07 (4.127E-07)
	115	2.068E-05 (1.798E-06)	1.684E-04 (4.445E-06)	8.951E-07 (3.410E-07)
	116	1.857E-05 (1.428E-06)	8.380E-07 (4.530E-06)	8.380E-07 (2.951E-07)
	117	1.796E-05 (1.269E-06)	1.744E-04 (4.639E-06)	1.165E-06 (5.300E-07)
	118	1.876E-05 (1.358E-06)	1.762E-04 (4.635E-06)	1.499E-06 (6.345E-07)
	119	1.911E-05 (1.520E-06)	1.782E-04 (4.758E-06)	1.060E-06 (4.256E-07)

表中括弧内はエラー

表8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布（ケース３、箔有）[n/cm²/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	1.998E-05 (1.994E-06)	1.665E-04 (5.193E-06)	1.775E-05 (1.624E-06)
	111	1.678E-05 (1.702E-06)	1.632E-04 (5.207E-06)	1.701E-05 (1.199E-06)
	112	1.732E-05 (1.755E-06)	1.674E-04 (5.325E-06)	1.847E-05 (1.181E-06)
	113	1.769E-05 (1.682E-06)	1.705E-04 (5.439E-06)	2.112E-05 (1.533E-06)
	114	1.744E-05 (1.556E-06)	1.756E-04 (5.568E-06)	1.943E-05 (1.251E-06)
	115	2.011E-05 (2.001E-06)	1.824E-04 (5.691E-06)	2.524E-05 (1.865E-06)
	116	1.875E-05 (1.668E-06)	2.405E-05 (5.403E-06)	2.405E-05 (1.570E-06)
	117	1.988E-05 (2.100E-06)	1.888E-04 (5.852E-06)	2.772E-05 (1.566E-06)
	118	1.958E-05 (2.048E-06)	1.962E-04 (5.983E-06)	2.921E-05 (1.393E-06)
	119	1.678E-05 (1.480E-06)	1.972E-04 (5.659E-06)	3.753E-05 (1.895E-06)

表8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース４、箔有）[n/cm²/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	2.031E-05 (1.426E-06)	1.669E-04 (3.723E-06)	1.129E-05 (9.438E-07)
	111	1.848E-05 (1.240E-06)	1.645E-04 (3.619E-06)	1.233E-05 (1.037E-06)
	112	1.724E-05 (1.178E-06)	1.668E-04 (3.652E-06)	1.053E-05 (7.888E-07)
	113	1.734E-05 (1.243E-06)	1.688E-04 (3.748E-06)	1.220E-05 (9.907E-07)
	114	1.714E-05 (1.176E-06)	1.737E-04 (3.769E-06)	1.096E-05 (8.616E-07)
	115	2.022E-05 (1.545E-06)	1.838E-04 (4.062E-06)	1.204E-05 (1.009E-06)
	116	1.808E-05 (1.255E-06)	1.222E-05 (3.708E-06)	1.222E-05 (1.095E-06)
	117	1.900E-05 (1.347E-06)	1.819E-04 (3.983E-06)	1.086E-05 (1.006E-06)
	118	1.995E-05 (1.492E-06)	1.844E-04 (4.039E-06)	9.039E-06 (9.111E-07)
	119	1.695E-05 (1.178E-06)	1.901E-04 (4.143E-06)	5.492E-06 (7.518E-07)

表中括弧内はエラー

表8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布（ケース５、箔有）[n/cm2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	1.983E-05 (1.362E-06)	1.522E-04 (3.318E-06)	3.043E-05 (1.406E-06)
	111	1.737E-05 (1.155E-06)	1.520E-04 (3.313E-06)	3.151E-05 (1.396E-06)
	112	1.836E-05 (1.373E-06)	1.594E-04 (3.474E-06)	3.330E-05 (1.369E-06)
	113	1.662E-05 (1.102E-06)	1.596E-04 (3.399E-06)	3.339E-05 (1.423E-06)
	114	1.929E-05 (1.383E-06)	1.700E-04 (3.672E-06)	3.500E-05 (1.442E-06)
	115	1.905E-05 (1.350E-06)	1.738E-04 (3.684E-06)	3.792E-05 (1.676E-06)
	116	1.888E-05 (1.288E-06)	3.937E-05 (3.495E-06)	3.937E-05 (1.646E-06)
	117	2.047E-05 (1.517E-06)	1.798E-04 (3.721E-06)	3.840E-05 (1.402E-06)
	118	1.872E-05 (1.281E-06)	1.884E-04 (3.824E-06)	4.138E-05 (1.527E-06)
	119	1.790E-05 (1.096E-06)	2.052E-04 (4.125E-06)	4.684E-05 (1.714E-06)

表中括弧内はエラー

表8.2.2-1　金箔内中性子束分布（ケース1、箔無）[n/cm2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	5.259E-10 (7.710E-11)	4.651E-07 (7.436E-08)	1.098E-05 (1.559E-07)
	111	4.633E-10 (6.111E-11)	2.897E-07 (3.108E-08)	1.102E-05 (1.311E-07)
	112	5.403E-10 (9.935E-11)	2.534E-07 (2.519E-08)	1.105E-05 (1.237E-07)
	113	4.743E-10 (5.986E-11)	2.458E-07 (2.534E-08)	1.100E-05 (1.199E-07)
	114	4.809E-10 (6.016E-11)	2.641E-07 (2.678E-08)	1.120E-05 (1.332E-07)
	115	5.834E-10 (1.024E-10)	2.410E-07 (1.757E-08)	1.151E-05 (1.461E-07)
	116	6.239E-10 (1.169E-10)	2.502E-07 (1.804E-08)	1.153E-05 (1.475E-07)
	117	5.443E-10 (7.075E-11)	2.781E-07 (2.289E-08)	1.164E-05 (1.490E-07)
	118	4.934E-10 (5.423E-11)	3.352E-07 (3.295E-08)	1.176E-05 (1.587E-07)
	119	4.832E-10 (4.967E-11)	6.421E-07 (9.837E-08)	1.190E-05 (1.595E-07)

表8.2.2-2　カドミウムカバー付金箔中性子束分布（ケース２、箔無）[n/cm2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	1.384E-09 (1.643E-10)	3.042E-06 (1.561E-07)	1.750E-06 (8.016E-08)
	111	1.559E-09 (2.041E-10)	2.220E-06 (9.056E-08)	1.689E-06 (4.595E-08)
	112	1.330E-09 (1.083E-10)	2.070E-06 (7.618E-08)	1.723E-06 (4.825E-08)
	113	1.192E-09 (7.163E-11)	2.043E-06 (7.988E-08)	1.774E-06 (5.340E-08)
	114	1.511E-09 (1.972E-10)	2.171E-06 (1.161E-07)	1.790E-06 (4.921E-08)
	115	1.572E-09 (1.947E-10)	2.040E-06 (6.629E-08)	1.858E-06 (5.425E-08)
	116	1.636E-09 (1.996E-10)	2.115E-06 (6.854E-08)	1.962E-06 (8.729E-08)
	117	1.555E-09 (1.595E-10)	2.343E-06 (8.832E-08)	1.921E-06 (6.168E-08)
	118	1.416E-09 (1.219E-10)	2.718E-06 (1.217E-07)	1.988E-06 (8.311E-08)
	119	1.432E-09 (1.421E-10)	4.158E-06 (2.345E-07)	2.002E-06 (6.507E-08)

表中括弧内はエラー

表8.2.2-3　コバルト箔中性子束分布（ケース３、箔無）[n/cm2/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	5.502E-10 (7.714E-11)	3.988E-07 (4.754E-08)	8.251E-06 (1.485E-07)
	111	4.876E-10 (6.125E-11)	3.316E-07 (3.538E-08)	8.351E-06 (1.236E-07)
	112	5.645E-10 (9.942E-11)	2.688E-07 (2.599E-08)	8.440E-06 (1.148E-07)
	113	4.986E-10 (5.998E-11)	2.630E-07 (2.640E-08)	8.487E-06 (1.129E-07)
	114	5.052E-10 (6.026E-11)	2.686E-07 (2.382E-08)	8.708E-06 (1.263E-07)
	115	6.075E-10 (1.025E-10)	2.576E-07 (1.976E-08)	9.046E-06 (1.402E-07)
	116	6.477E-10 (1.170E-10)	2.673E-07 (2.037E-08)	9.122E-06 (1.414E-07)
	117	5.680E-10 (7.089E-11)	2.959E-07 (2.480E-08)	9.288E-06 (1.421E-07)
	118	5.174E-10 (5.438E-11)	3.478E-07 (3.363E-08)	9.476E-06 (1.545E-07)
	119	5.078E-10 (4.982E-11)	6.627E-07 (9.867E-08)	9.687E-06 (1.569E-07)

表中括弧内はエラー

表8.2.3-1　金箔内反応率分布（ケース１、箔有）[#/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	9.631E-10 (4.883E-11)	1.269E-06 (5.546E-08)	2.185E-06 (5.156E-08)
	111	1.036E-09 (8.783E-11)	1.164E-06 (2.899E-08)	2.280E-06 (5.222E-08)
	112	1.043E-09 (9.369E-11)	1.248E-06 (3.768E-08)	2.322E-06 (4.923E-08)
	113	1.095E-09 (7.631E-11)	1.280E-06 (4.148E-08)	2.364E-06 (4.776E-08)
	114	1.115E-09 (8.699E-11)	1.370E-06 (3.452E-08)	2.478E-06 (4.783E-08)
	115	1.081E-09 (7.589E-11)	1.452E-06 (3.674E-08)	2.516E-06 (4.680E-08)
	116	1.080E-09 (7.507E-11)	1.599E-06 (4.622E-08)	2.678E-06 (6.105E-08)
	117	1.139E-09 (1.326E-10)	1.780E-06 (4.752E-08)	2.757E-06 (5.624E-08)
	118	1.140E-09 (9.208E-11)	2.161E-06 (6.570E-08)	2.839E-06 (4.798E-08)
	119	1.333E-09 (1.535E-10)	3.724E-06 (1.419E-07)	3.021E-06 (5.620E-08)

表8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース２、箔有）[#/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	6.811E-11 (9.248E-11)	7.515E-08 (6.129E-08)	8.568E-09 (5.487E-08)
	111	6.837E-11 (9.514E-11)	7.761E-08 (6.466E-08)	5.810E-09 (2.712E-08)
	112	6.691E-11 (9.272E-11)	8.103E-08 (6.632E-08)	4.945E-09 (2.750E-08)
	113	7.196E-11 (1.055E-10)	8.851E-08 (8.363E-08)	3.305E-09 (1.923E-08)
	114	7.600E-11 (1.177E-10)	9.060E-08 (8.827E-08)	3.629E-09 (2.955E-08)
	115	6.920E-11 (9.711E-11)	9.199E-08 (8.299E-08)	4.297E-09 (3.076E-08)
	116	6.036E-11 (7.370E-11)	1.030E-07 (1.552E-07)	4.266E-09 (2.710E-08)
	117	5.795E-11 (6.787E-11)	1.177E-07 (1.316E-07)	7.047E-09 (6.165E-08)
	118	6.095E-11 (7.541E-11)	1.456E-07 (1.885E-07)	6.229E-09 (4.424E-08)
	119	6.297E-11 (8.967E-11)	2.653E-07 (4.230E-07)	3.879E-09 (2.675E-08)

表中括弧内はエラー

表8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布（ケース３、箔有）[#/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	9.628E-11 (1.062E-11)	1.811E-07 (9.920E-09)	5.731E-07 (4.963E-08)
	111	8.325E-11 (9.762E-12)	1.903E-07 (1.159E-08)	5.779E-07 (4.769E-08)
	112	8.989E-11 (1.050E-11)	1.959E-07 (1.306E-08)	6.412E-07 (4.099E-08)
	113	9.009E-11 (9.634E-12)	1.840E-07 (1.092E-08)	7.091E-07 (4.947E-08)
	114	9.013E-11 (9.796E-12)	2.158E-07 (1.447E-08)	6.585E-07 (4.139E-08)
	115	9.730E-11 (1.092E-11)	2.356E-07 (1.375E-08)	8.731E-07 (6.177E-08)
	116	9.257E-11 (1.014E-11)	2.389E-07 (1.311E-08)	8.851E-07 (6.675E-08)
	117	9.323E-11 (1.054E-11)	2.930E-07 (1.822E-08)	1.018E-06 (5.943E-08)
	118	9.081E-11 (1.038E-11)	2.863E-07 (1.672E-08)	1.107E-06 (5.698E-08)
	119	8.172E-11 (8.739E-12)	3.918E-07 (2.188E-08)	1.479E-06 (7.698E-08)

表8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース４、箔有）[#/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	9.628E-11 (6.942E-12)	2.019E-07 (8.390E-09)	3.915E-07 (3.207E-08)
	111	9.036E-11 (6.647E-12)	1.899E-07 (8.428E-09)	4.033E-07 (3.418E-08)
	112	8.869E-11 (6.921E-12)	1.951E-07 (8.999E-09)	3.480E-07 (2.648E-08)
	113	8.776E-11 (6.985E-12)	1.906E-07 (7.917E-09)	4.192E-07 (3.785E-08)
	114	8.258E-11 (5.938E-12)	2.019E-07 (8.702E-09)	3.742E-07 (3.233E-08)
	115	9.964E-11 (8.610E-12)	2.248E-07 (1.008E-08)	3.988E-07 (3.283E-08)
	116	8.679E-11 (6.427E-12)	2.279E-07 (9.492E-09)	3.928E-07 (3.417E-08)
	117	9.235E-11 (7.350E-12)	2.510E-07 (1.045E-08)	3.658E-07 (3.260E-08)
	118	8.936E-11 (6.277E-12)	2.743E-07 (1.126E-08)	3.066E-07 (2.778E-08)
	119	8.089E-11 (6.415E-12)	3.638E-07 (1.504E-08)	2.013E-07 (2.648E-08)

表中括弧内はエラー

表8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布（ケース５、箔有）[#/s]

		1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E
領域番号	110	1.853E-09 (2.976E-10)	5.039E-12 (6.314E-13)	8.565E-21 (9.778E-22)
	111	1.473E-09 (2.178E-10)	4.916E-12 (6.118E-13)	9.558E-21 (1.004E-21)
	112	1.500E-09 (2.190E-10)	4.909E-12 (5.527E-13)	9.662E-21 (9.387E-22)
	113	1.665E-09 (3.214E-10)	5.296E-12 (6.908E-13)	9.107E-21 (7.326E-22)
	114	1.808E-09 (3.115E-10)	5.571E-12 (6.909E-13)	1.089E-20 (1.819E-21)
	115	1.784E-09 (3.049E-10)	5.930E-12 (8.431E-13)	1.121E-20 (1.495E-21)
	116	1.965E-09 (3.926E-10)	4.410E-12 (5.261E-13)	1.134E-20 (1.059E-21)
	117	2.253E-09 (4.458E-10)	4.595E-12 (5.239E-13)	1.075E-20 (8.234E-22)
	118	1.895E-09 (2.808E-10)	5.036E-12 (6.289E-13)	1.133E-20 (9.895E-22)
	119	1.630E-09 (2.141E-10)	5.196E-12 (6.088E-13)	1.248E-20 (1.152E-21)

表中の括弧内はエラー

表8.2.3-6　金箔全体の反応率（ケース１、箔有）[#/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.103E-08 (5.248E-10)	1.705E-05 (3.358E-07)	2.544E-05 (3.206E-07)	4.250E-05 (4.632E-07)

表8.2.3-7　カドミウムカバー付金箔全体の反応率（ケース２、箔有）[#/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	6.628E-10 (7.324E-10)	1.137E-06 (8.918E-07)	5.198E-08 (1.715E-07)	1.189E-06 (9.086E-07)

表8.2.3-8　コバルト箔全体の反応率（ケース３、箔有）[#/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	9.053E-10 (4.951E-11)	2.413E-06 (7.160E-08)	8.522E-06 (2.604E-07)	1.094E-05 (2.692E-07)

表8.2.3-9　カドミウムカバー付コバルト箔全体の反応率（ケース４、箔有）[#/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	8.947E-10 (3.413E-11)	2.321E-06 (4.924E-08)	3.601E-06 (1.335E-07)	5.923E-06 (1.424E-07)

表8.2.3-10　ニッケル箔全体の反応率（ケース５、箔有）[#/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.783E-08 (1.551E-09)	5.090E-11 (3.083E-12)	1.049E-19 (6.010E-21)	1.788E-08 (1.551E-09)

表中の括弧内はエラー

表8.2.4-1　金箔前面の中性子束スペクトル（ケース１、箔有）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	8.383E-02 (1.640E-03)	7.603E-01 (6.103E-03)	1.559E-01 (2.271E-03)

表8.2.4-2　カドミウムカバー付金箔の中性子束スペクトル（ケース２、箔有）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	9.674E-02 (5.145E-03)	8.998E-01 (2.038E-02)	3.423E-03 (2.349E-03)

表8.2.4-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔有）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	6.482E-02 (4.786E-03)	7.555E-01 (2.243E-02)	1.797E-01 (9.333E-03)

表8.2.4-4　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース４、箔有）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	8.401E-02 (4.435E-03)	9.087E-01 (1.992E-02)	7.331E-03 (2.336E-03)

表8.2.4-5　ニッケル箔前面の中性子束スペクトル（ケース５、箔有）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	6.658E-02 (3.496E-03)	7.461E-01 (1.544E-02)	1.873E-01 (6.810E-03)

表中の括弧内はエラー

表8.2.4-6　金箔前面の中性子束（ケース１、箔有）[n/cm²/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.593E-05 (2.999E-07)	1.445E-04 (8.711E-07)	2.962E-05 (4.021E-07)	1.901E-04 (9.883E-07)

表8.2.4-7　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔有）[n/cm²/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.573E-05 (7.999E-07)	1.463E-04 (2.404E-06)	5.567E-07 (3.819E-07)	1.626E-04 (2.537E-06)

表8.2.4-8　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔有）[n/cm²/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.450E-05 (1.032E-06)	1.690E-04 (3.769E-06)	4.021E-05 (1.933E-06)	2.237E-04 (4.295E-06)

表8.2.4-9　カドミウムカバー付コバルト箔前面の中性子束（ケース４、箔有）[n/cm²/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.434E-05 (7.253E-07)	1.551E-04 (2.465E-06)	1.251E-06 (3.983E-07)	1.707E-04 (2.577E-06)

表8.2.4-10　ニッケル箔前面の中性子束（ケース５、箔有）[n/cm²/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.560E-05 (7.910E-07)	1.748E-04 (2.725E-06)	4.388E-05 (1.479E-06)	2.342E-04 (3.139E-06)

表中の括弧内はエラー

表8.2.5-1　金箔前面の中性子束スペクトル（ケース１、箔無）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	6.658E-02 (3.496E-03)	7.461E-01 (1.544E-02)	1.873E-01 (6.810E-03)

表8.2.5-2　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束スペクトル（ケース２、箔無）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	6.658E-02 (3.496E-03)	7.461E-01 (1.544E-02)	1.873E-01 (6.810E-03)

表8.2.5-3　コバルト箔前面の中性子束スペクトル（ケース３、箔無）

	１群 E > 1.0MeV	２群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	３群 0.5 eV ≧ E
金箔前面	6.658E-02 (3.496E-03)	7.461E-01 (1.544E-02)	1.873E-01 (6.810E-03)

表中の括弧内はエラー

表8.2.5-4　金箔前面の中性子束（ケース１、箔無）[n/cm^2/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.648E-05 (3.069E-07)	1.608E-04 (9.559E-07)	3.994E-05 (5.173E-07)	2.172E-04 (1.108E-06)

表8.2.5-5　カドミウムカバー付金箔前面の中性子束（ケース２、箔無）[n/cm^2/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.554E-05 (1.125E-06)	1.562E-04 (3.558E-06)	3.632E-05 (1.883E-06)	2.081E-04 (4.099E-06)

表8.2.5-6　コバルト箔前面の中性子束（ケース３、箔無）[n/cm^2/s]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.392E-05 (1.006E-06)	1.546E-04 (3.555E-06)	3.913E-05 (1.896E-06)	2.077E-04 (4.091E-06)

表中の括弧内はエラー

表8.2.6-1　金箔全体の^{197}Au(n, γ)　ミクロ断面積（ケース１、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.521E-02 (2.846E-03)	9.324E+00 (2.156E-01)	9.643E+01 (1.753E+00)	1.819E+01 (2.753E-01)

表8.2.6-2　カドミウムカバー付金箔全体の^{197}Au(n, γ)　ミクロ断面積（ケース２、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.839E-02 (4.842E-03)	9.643E+00 (5.544E-01)	6.469E+01 (1.964E+01)	8.985E+00 (5.012E-01)

表8.2.6-3　コバルト箔全体の^{59}Co(n, γ)　ミクロ断面積（ケース３、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.780E-03 (3.577E-04)	1.315E+00 (4.498E-02)	3.492E+01 (1.541E+00)	4.820E+00 (1.385E-01)

表8.2.6-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の^{59}Co(n, γ)　ミクロ断面積（ケース４、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.714E-03 (2.477E-04)	1.287E+00 (3.149E-02)	3.277E+01 (1.770E+00)	2.817E+00 (7.527E-02)

表8.2.6-5　ニッケル箔全体の^{58}Ni(n, p)　ミクロ断面積（ケース５、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.366E-01 (9.589E-03)	4.252E-05 (1.860E-06)	4.079E-13 (1.852E-14)	1.128E-02 (6.928E-04)

表中の括弧内はエラー

表8.2.7-1　金箔全体の^{197}Au(n, γ)$_{eff}$　ミクロ断面積（ケース1、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	3.543E-02 (3.115E-03)	5.556E+00 (1.659E-01)	3.340E+01 (8.756E-01)	1.026E+01 (1.702E-01)

表8.2.7-2　カドミウムカバー付金箔全体の^{197}Au(n, γ)$_{eff}$　ミクロ断面積（ケース2、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.408E-02 (6.852E-03)	7.998E+00 (5.488E-01)	1.639E+00 (5.014E-01)	6.297E+00 (3.687E-01)

表8.2.7-3　コバルト箔全体の^{59}Co(n, γ)$_{eff}$　ミクロ断面積（ケース３、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.379E-03 (4.481E-04)	1.107E+00 (4.491E-02)	1.579E+01 (7.770E-01)	3.738E+00 (1.067E-01)

表8.2.7-4　カドミウムカバー付コバルト箔全体の^{59}Co(n, γ)$_{eff}$　ミクロ断面積（ケース４、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.313E-03 (3.458E-04)	1.066E+00 (3.295E-02)	6.726E+00 (3.849E-01)	2.028E+00 (5.680E-02)

表8.2.7-5　ニッケル箔全体の^{58}Ni(n, p)$_{eff}$　ミクロ断面積（ケース５、箔有）

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.279E-01 (1.097E-02)	3.508E-05 (1.627E-06)	2.910E-13 (1.395E-14)	9.165E-03 (5.630E-04)

表中の括弧内はエラー

表8.2.8-1　金箔全体の比放射能（ケース１、箔有）　[Bq/g/(n/cm2/s)]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.552E-05 (7.432E-07)	2.400E-02 (4.885E-04)	3.582E-02 (4.869E-04)	5.984E-02 (7.201E-04)

表8.2.8-2　カドミウムカバー付金箔全体の比放射能（ケース２、箔有）　[Bq/g/(n/cm2/s)]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	1.428E-05 (1.579E-05)	2.449E-02 (1.922E-02)	1.120E-03 (3.695E-03)	2.563E-02 (1.959E-02)

表8.2.8-3　コバルト箔全体の比放射能（ケース３、箔有）　[Bq/g/(n/cm2/s)]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.331E-06 (2.517E-07)	1.154E-02 (4.111E-04)	4.077E-02 (1.482E-03)	5.231E-02 (1.649E-03)

表8.2.8-4　カドミウムカバー付箔全体の比放射能（ケース４、箔有）　[Bq/g/(n/cm2/s)]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	4.338E-06 (1.862E-07)	1.125E-02 (3.258E-04)	1.746E-02 (7.331E-04)	2.872E-02 (8.925E-04)

表8.2.8-5　ニッケル箔全体の比放射能（ケース５、箔有）　[Bq/g/(n/cm2/s)]

	1群 E > 1.0MeV	2群 1.0MeV ≧ E > 0.5 eV	3群 0.5 eV ≧ E	TOTAL
金箔全体	8.468E-05 (7.462E-06)	2.418E-07 (1.503E-08)	4.983E-16 (2.938E-17)	8.493E-05 (7.459E-06)

表8.2.8-6　　比放射能と換算係数の纏め

	比放射能*	換算係数(C)*	換算係数実測推定値(E)	C/E
金箔	5.984E-02 (7.201E-04)	17	8.2～8.7	1.98
カドミウムカバー付金箔	2.563E-02 (1.959E-02)	39	24.5～26.1	1.54
コバルト箔	3.284E-03 (1.035E-04)	304	204～222	1.43
カドミウムカバー付コバルト箔	1.803E-03 (5.603E-05)	555	1520～1700	0.34
ニッケル箔	7.031E-05 (6.176E-06)	14222	27200～34400	0.46

*金箔以外の箔では、180日照射と仮定

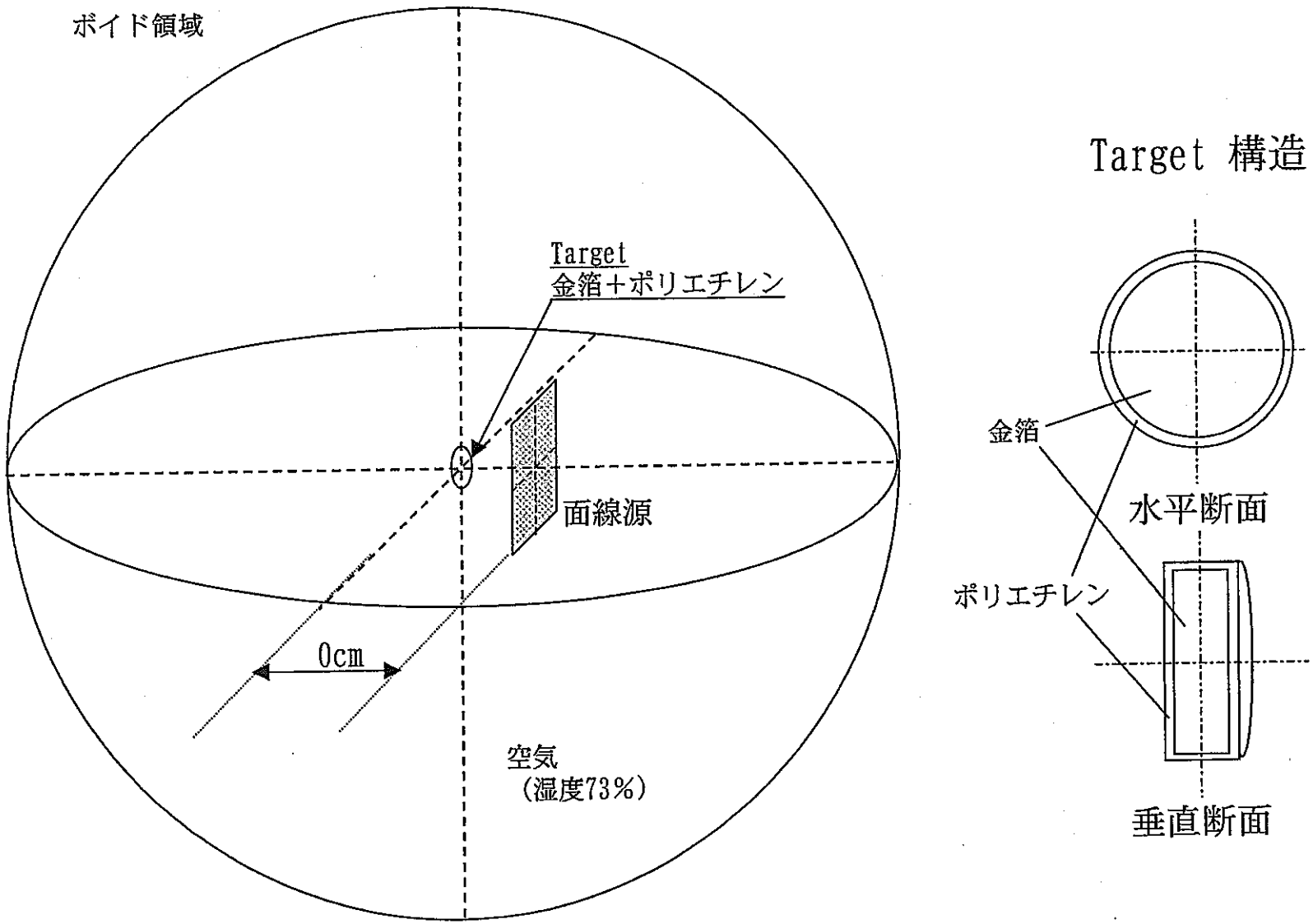


図8.1-1　　MCNP評価体系（金箔）

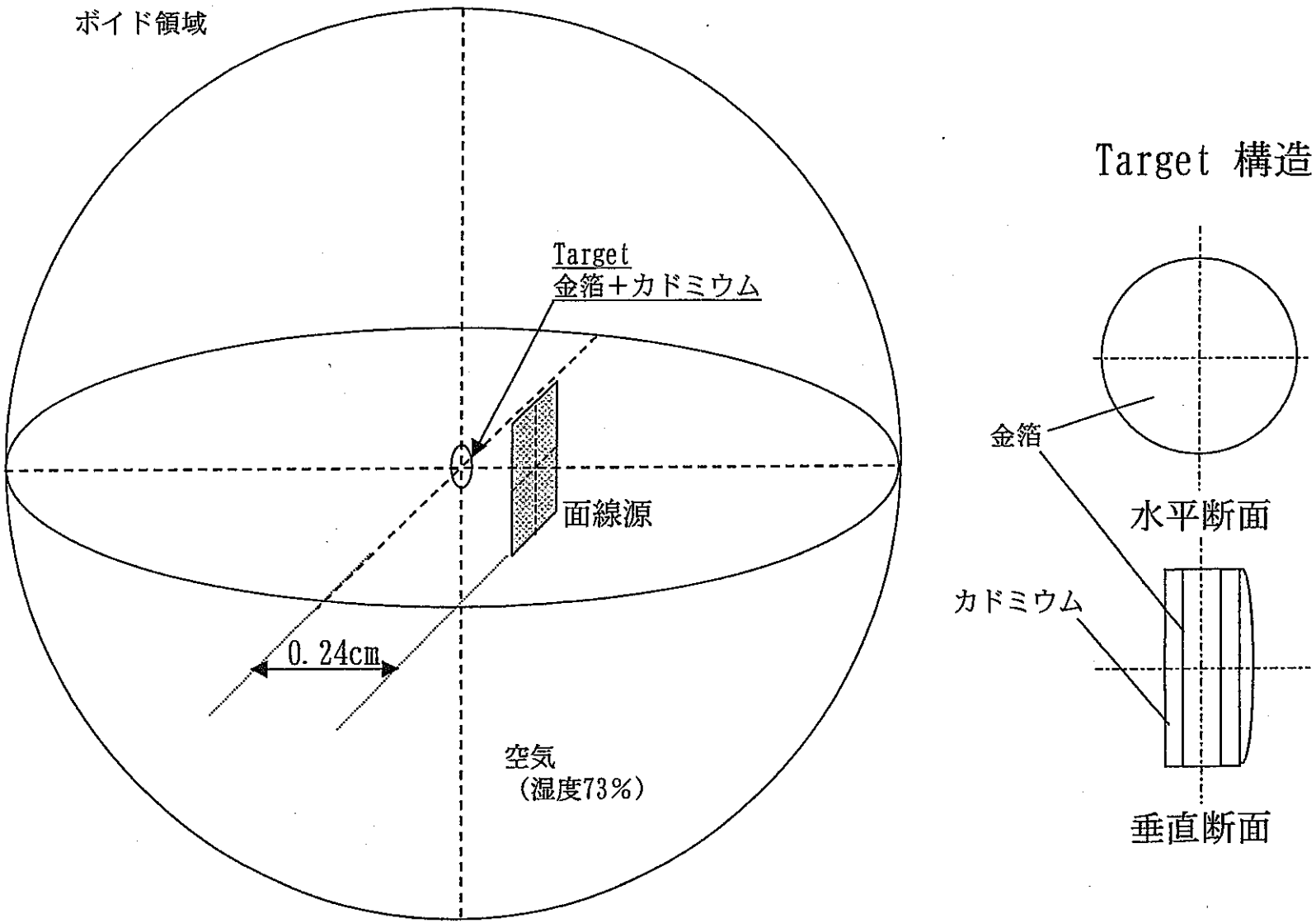


図8.1-2　　MCNP評価体系（Cdカバー付金箔）

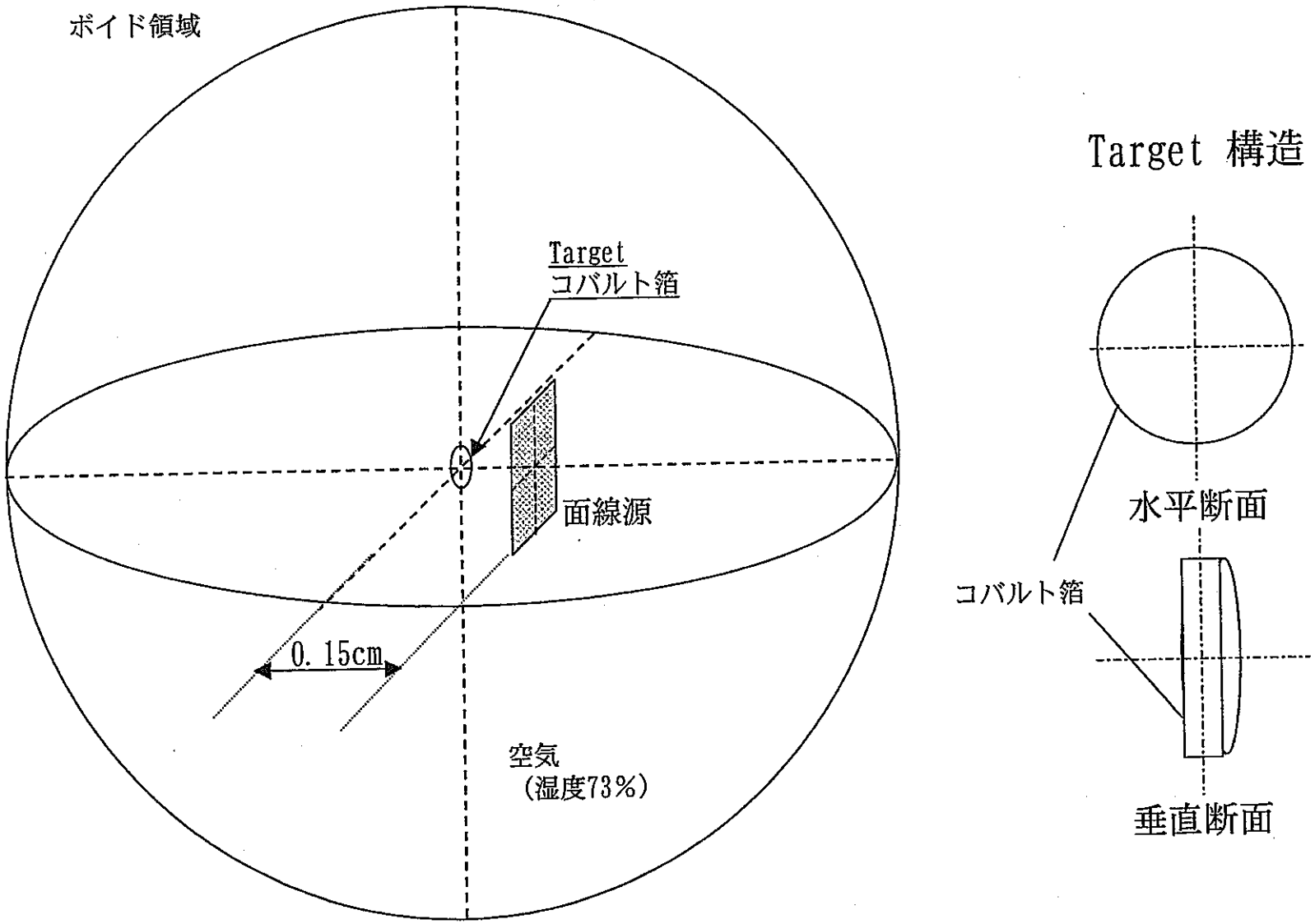


図8.1-3　MCNP評価体系（コバルト箔）

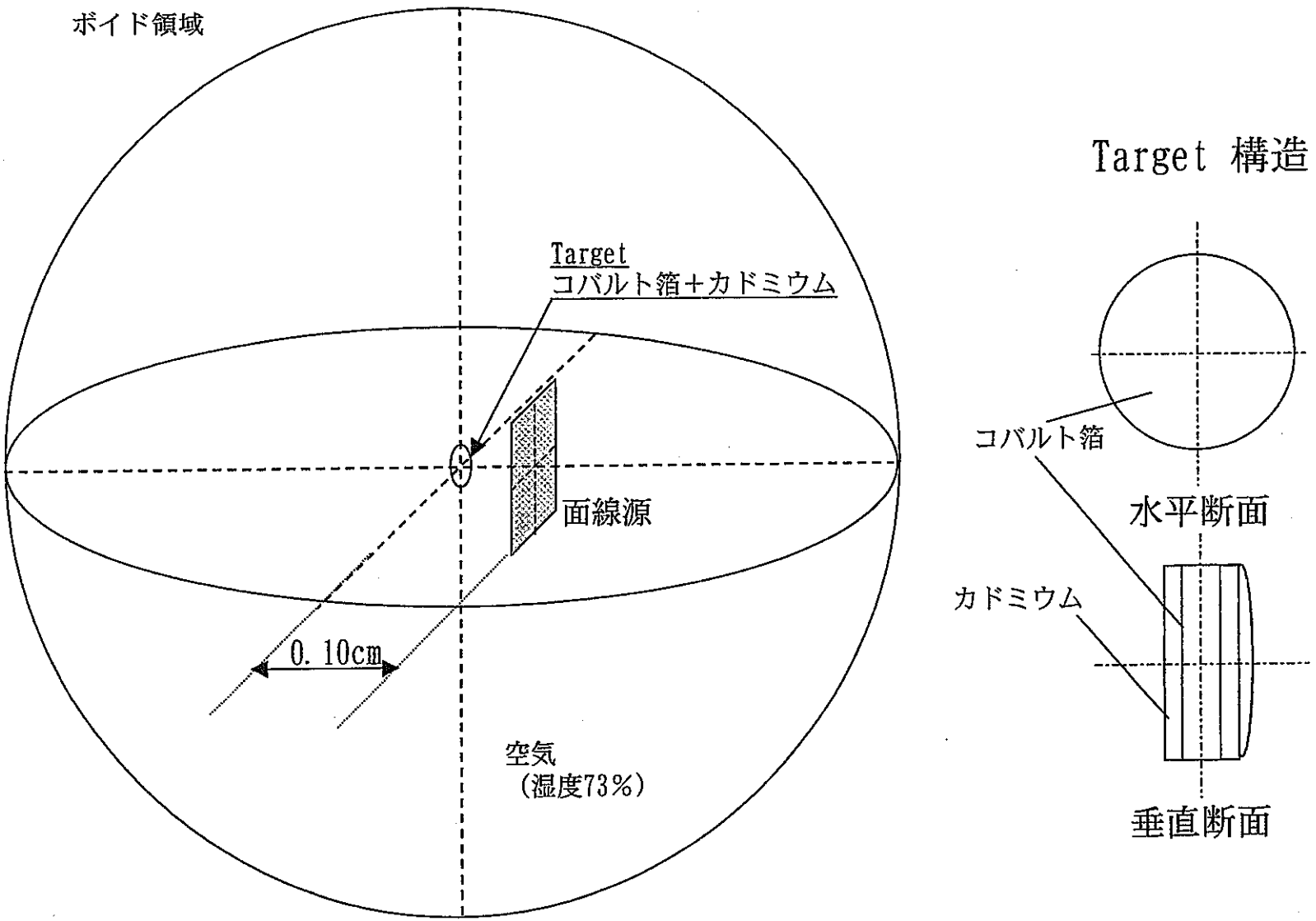


図8.1-4　MCNP評価体系（Cdカバー付コバルト箔）

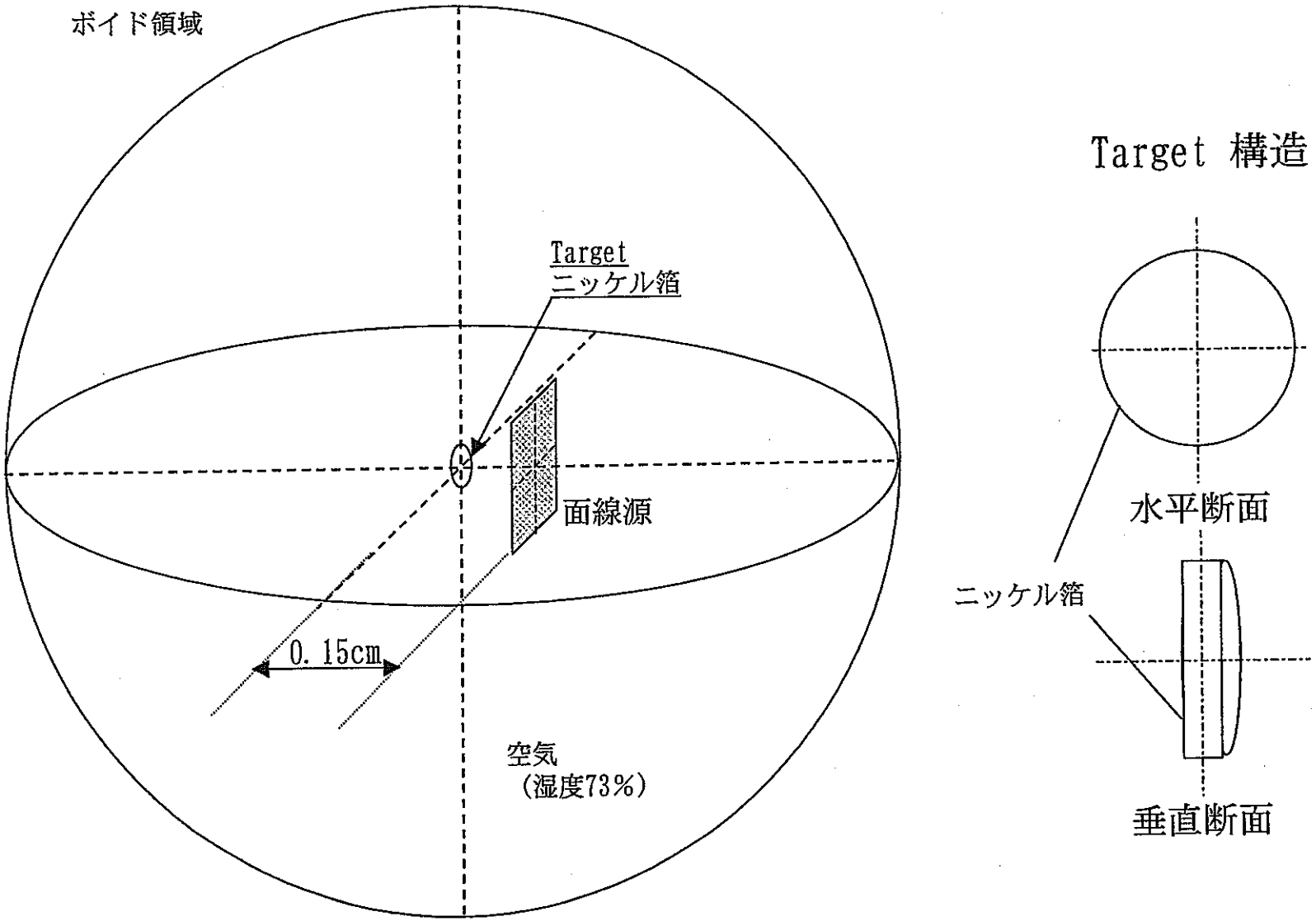


図8.1-5　MCNP評価体系（ニッケル箔）

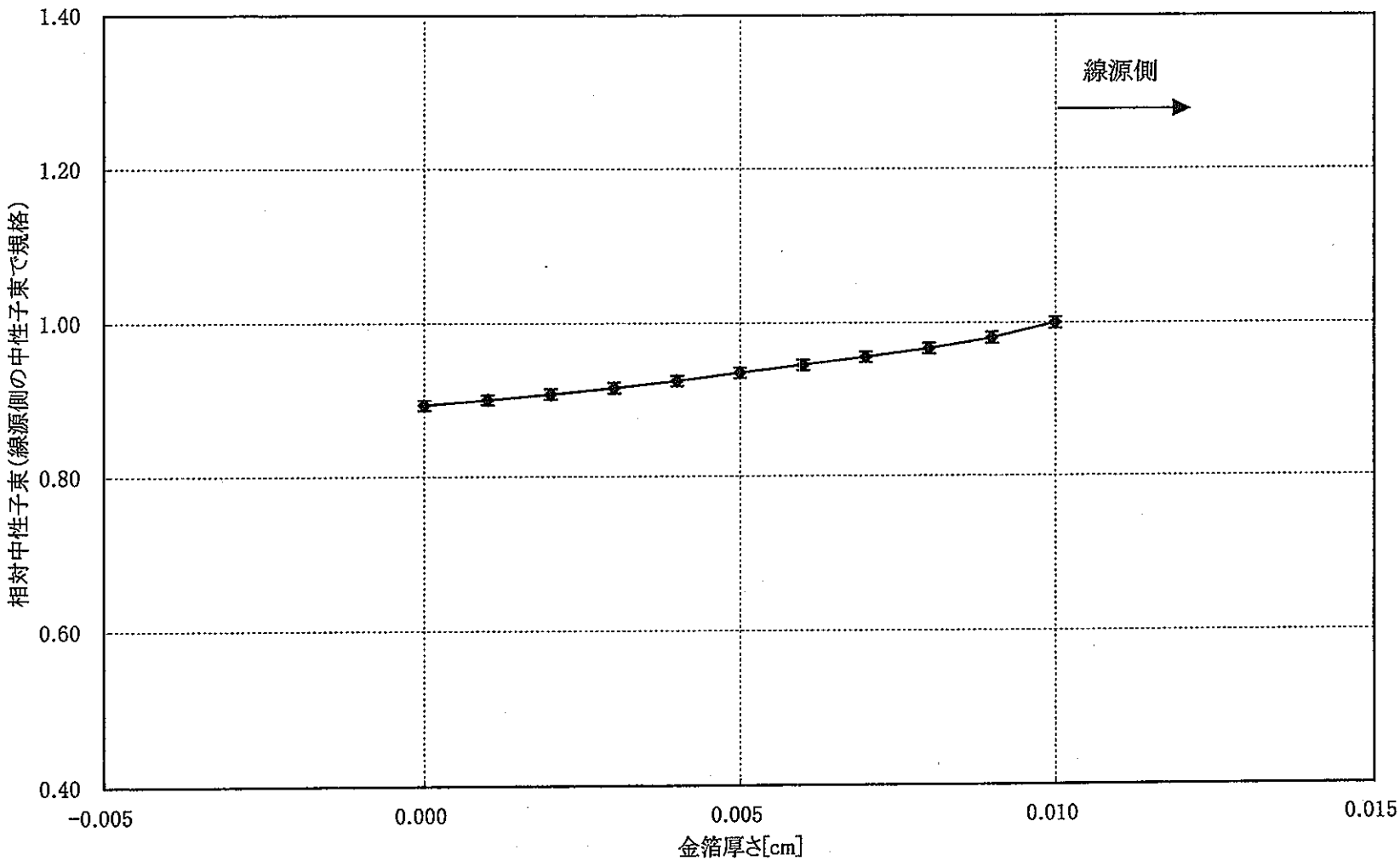


図8.2.1-1　金箔内中性子束分布(ケース1、箔有)

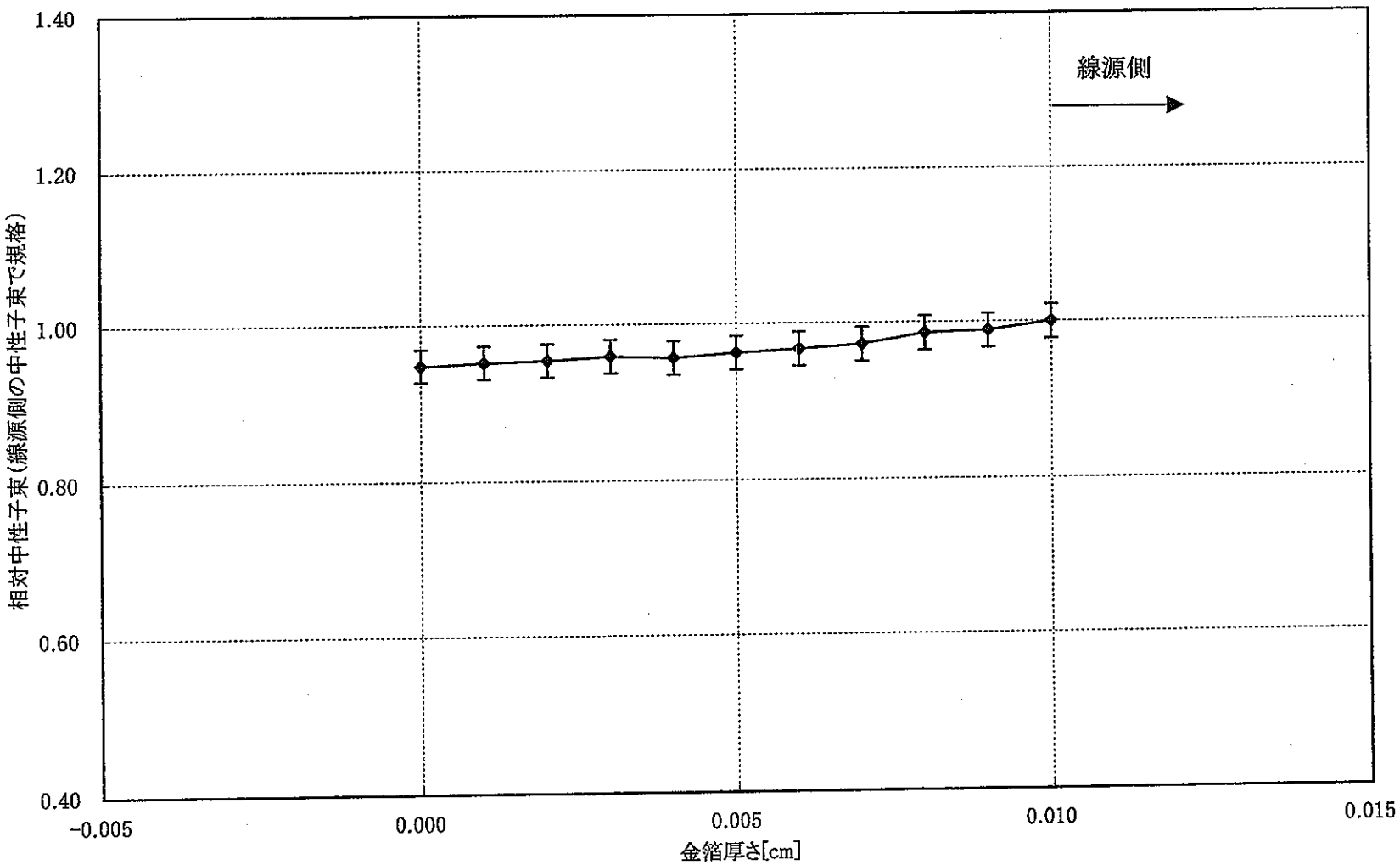


図8.2.1-2　3群カドミウムカバー付金箔内中性子束分布(ケース2、箔有)

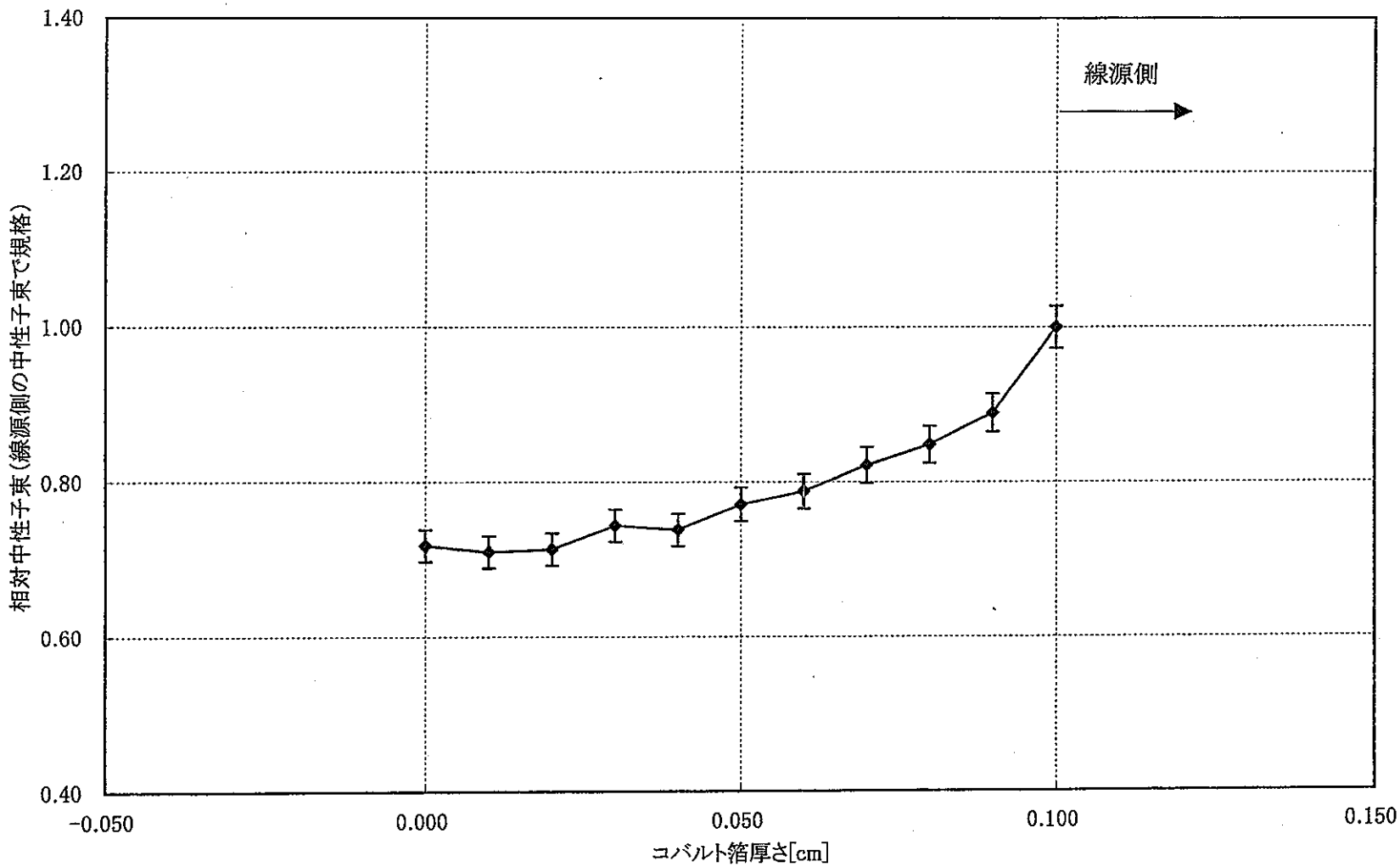


図8.2.1-3　コバルト箔内中性子束分布(ケース3、箔有)

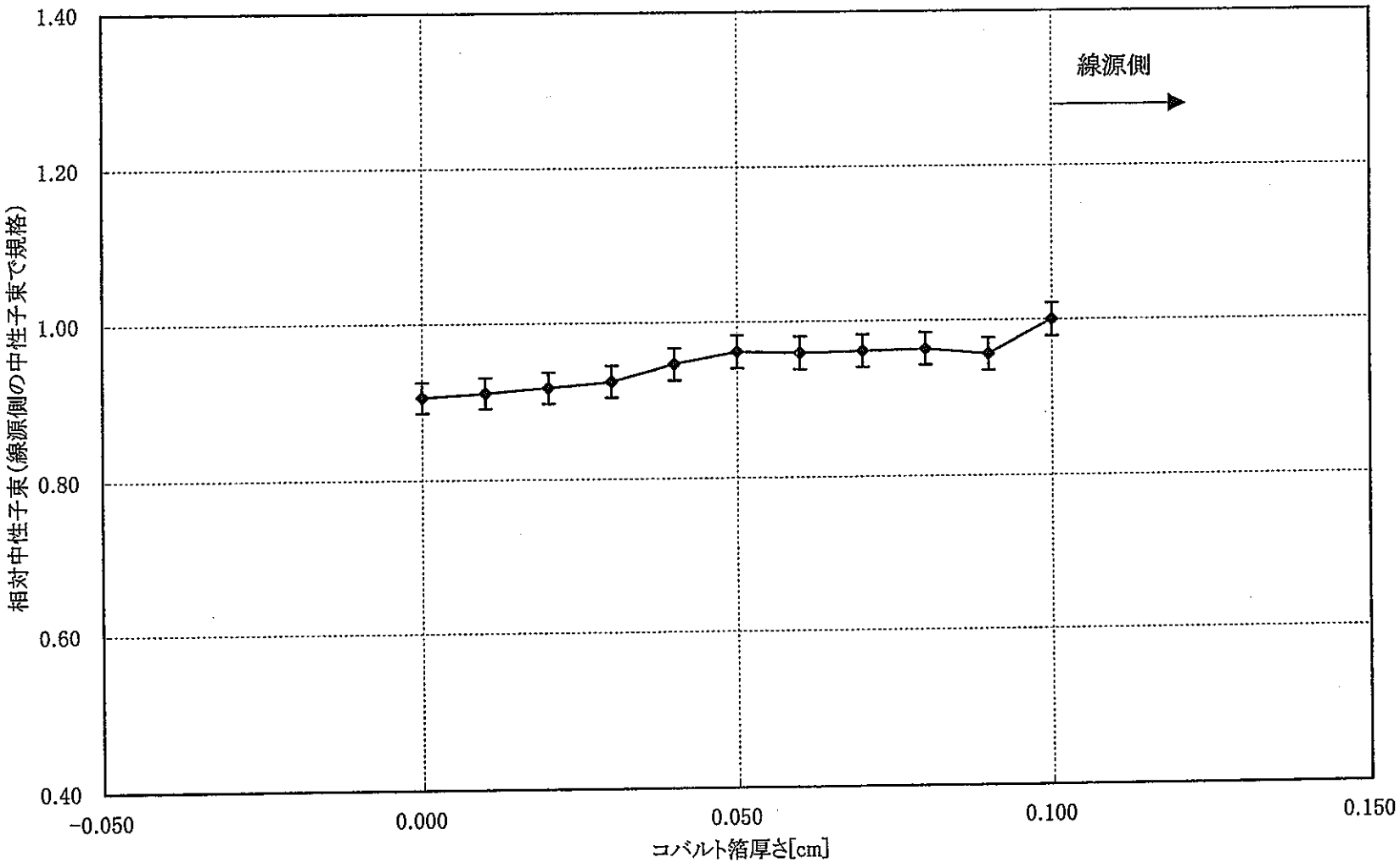


図8.2.1-4　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース4、箔有）

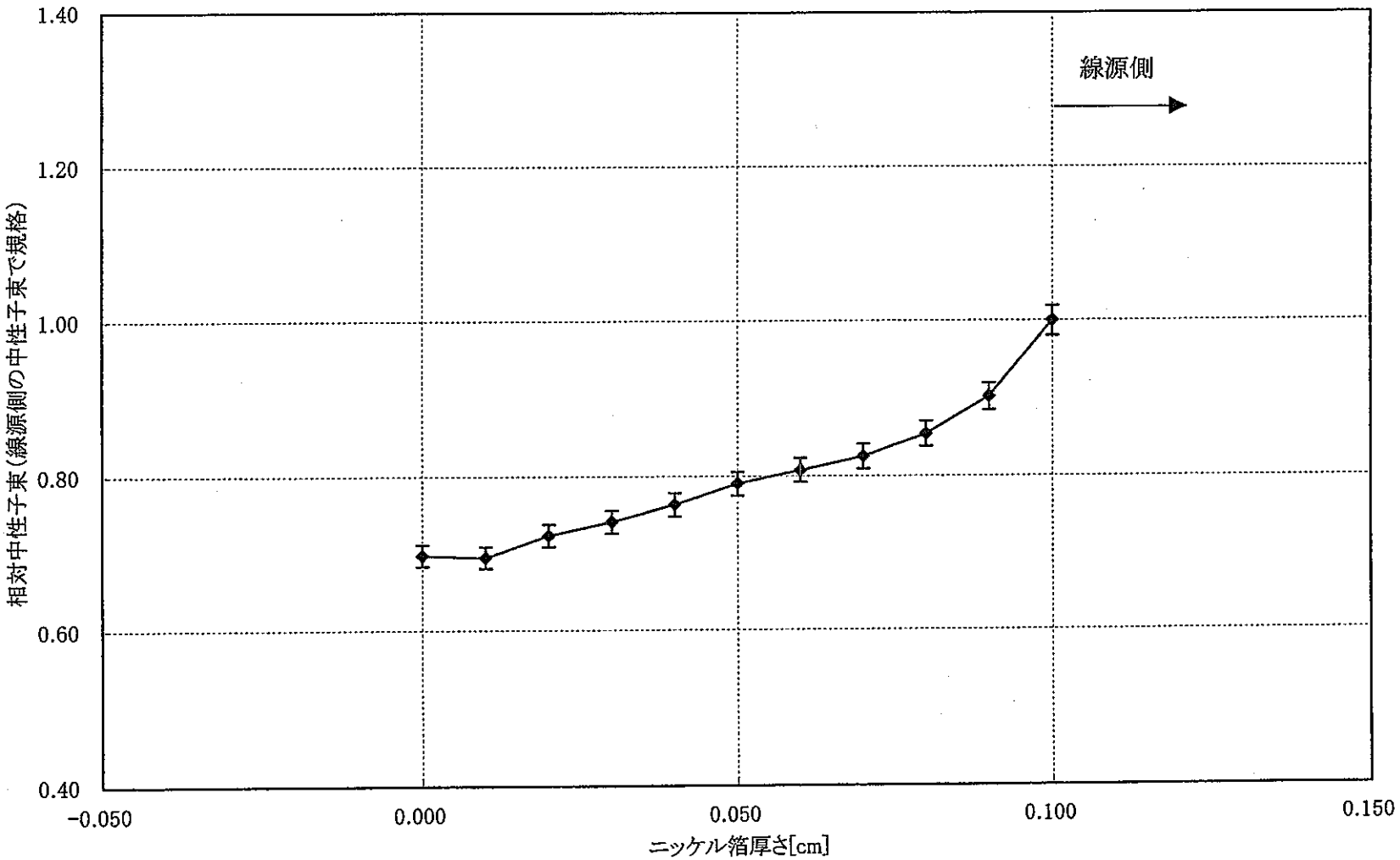


図8.2.1-5　ニッケル箔内中性子束分布(ケース5、箔有)

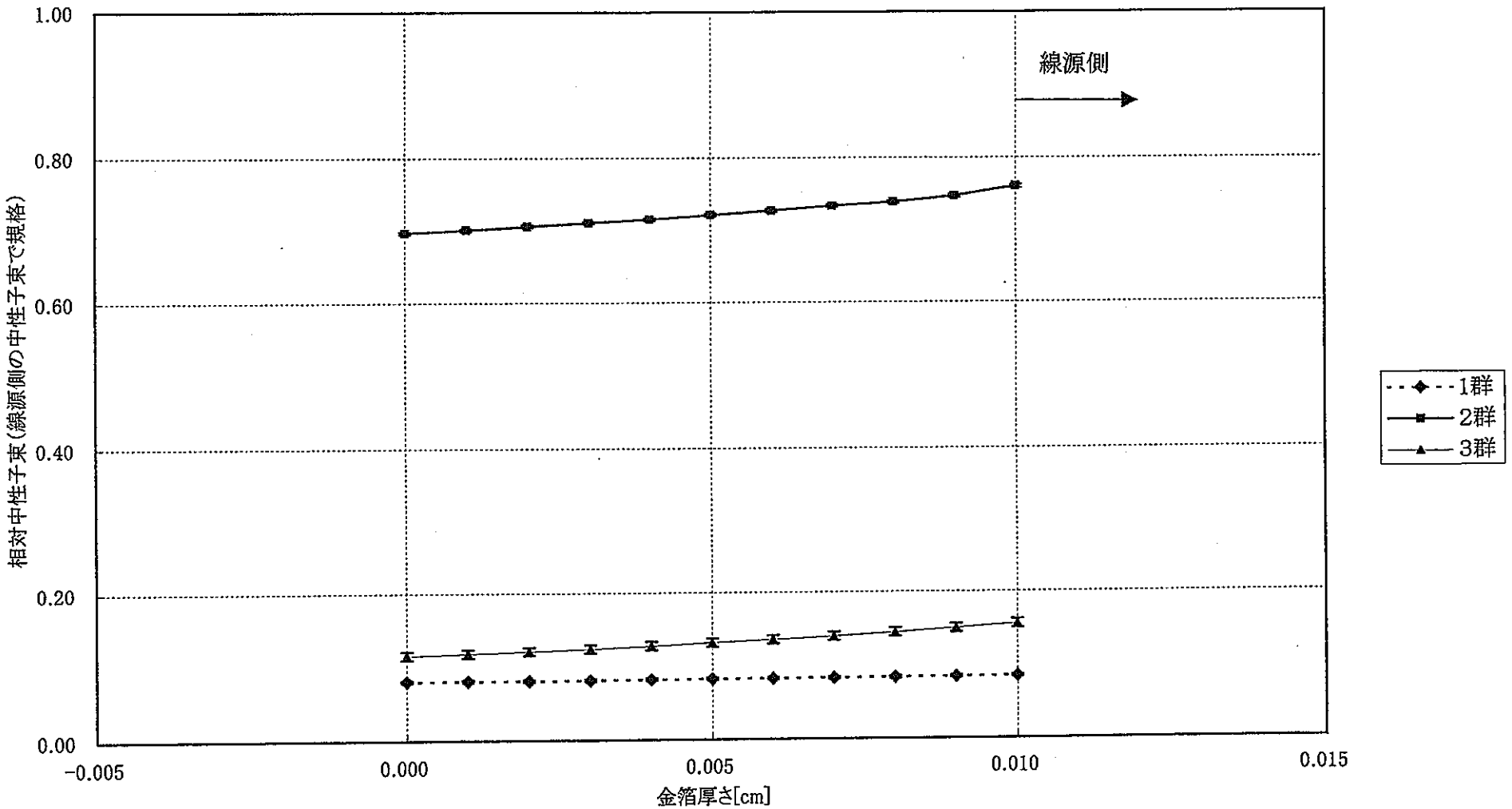


図8.2.1-6　3群金箔内中性子束分布(ケース1、箔有)

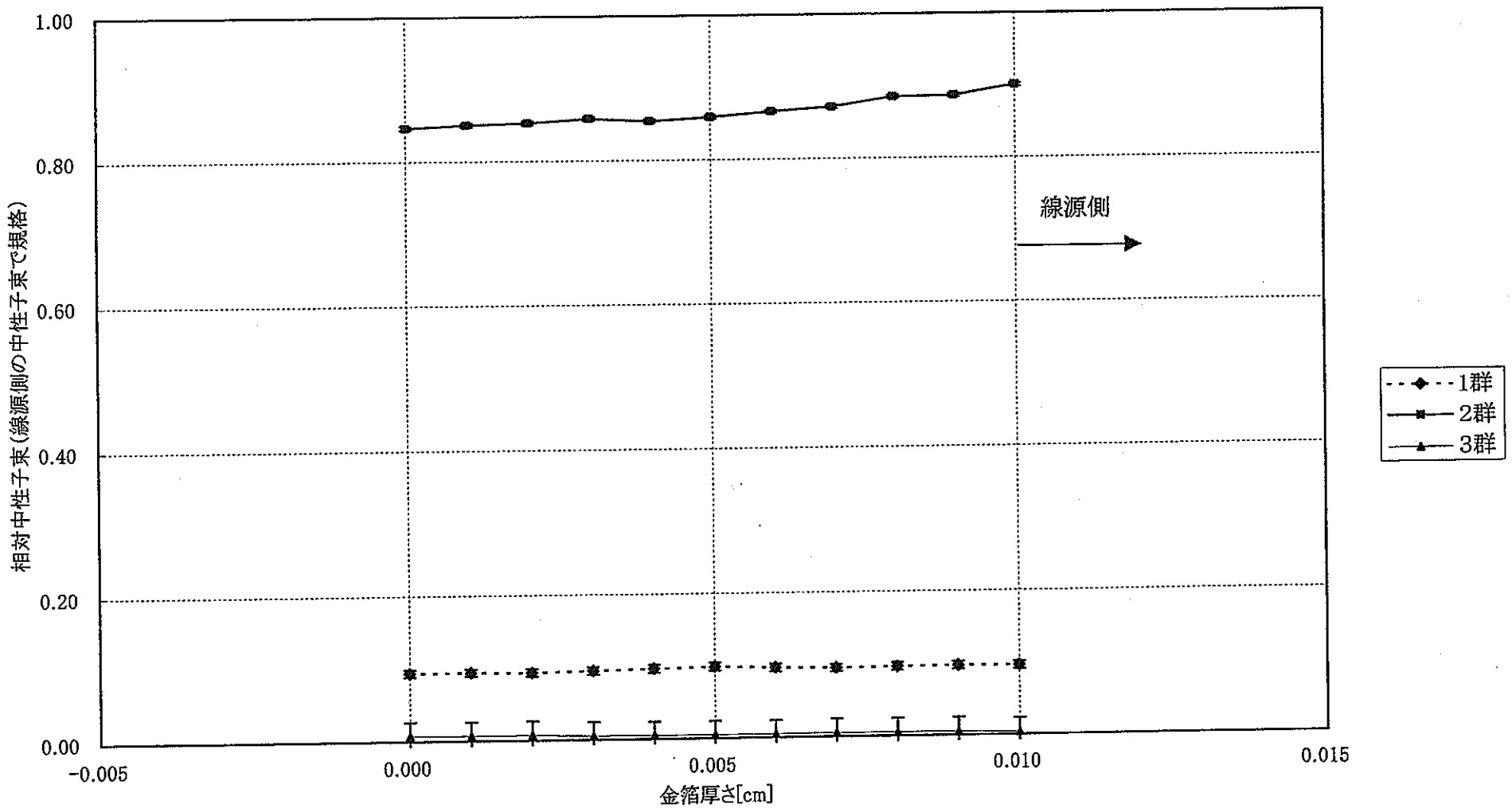


図8.2.1-7　3群カドミウムカバー付金箔内中性子束分布(ケース2、箔有)

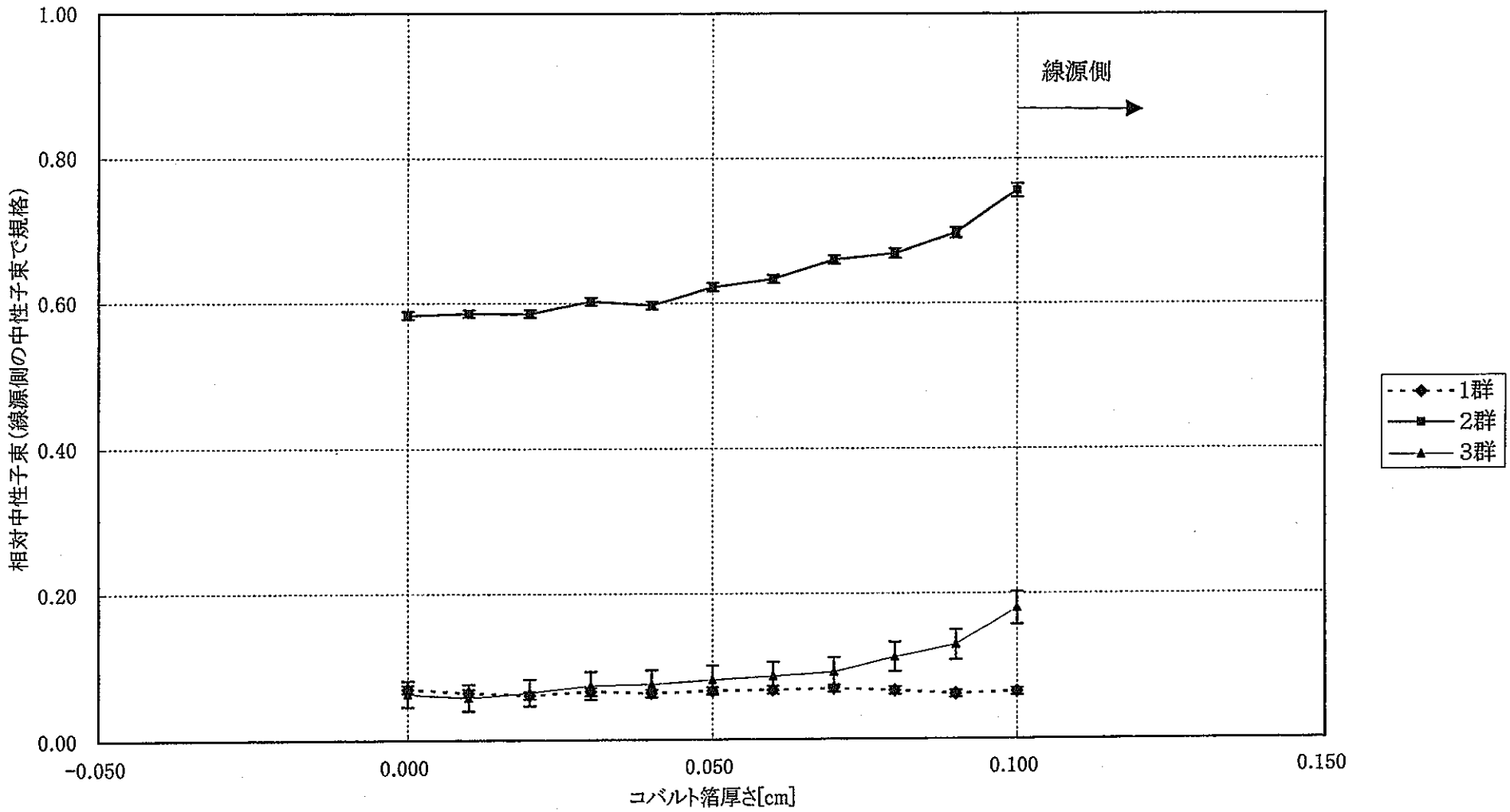


図8.2.1-8　3群コバルト箔内中性子束分布(ケース3、箔有)

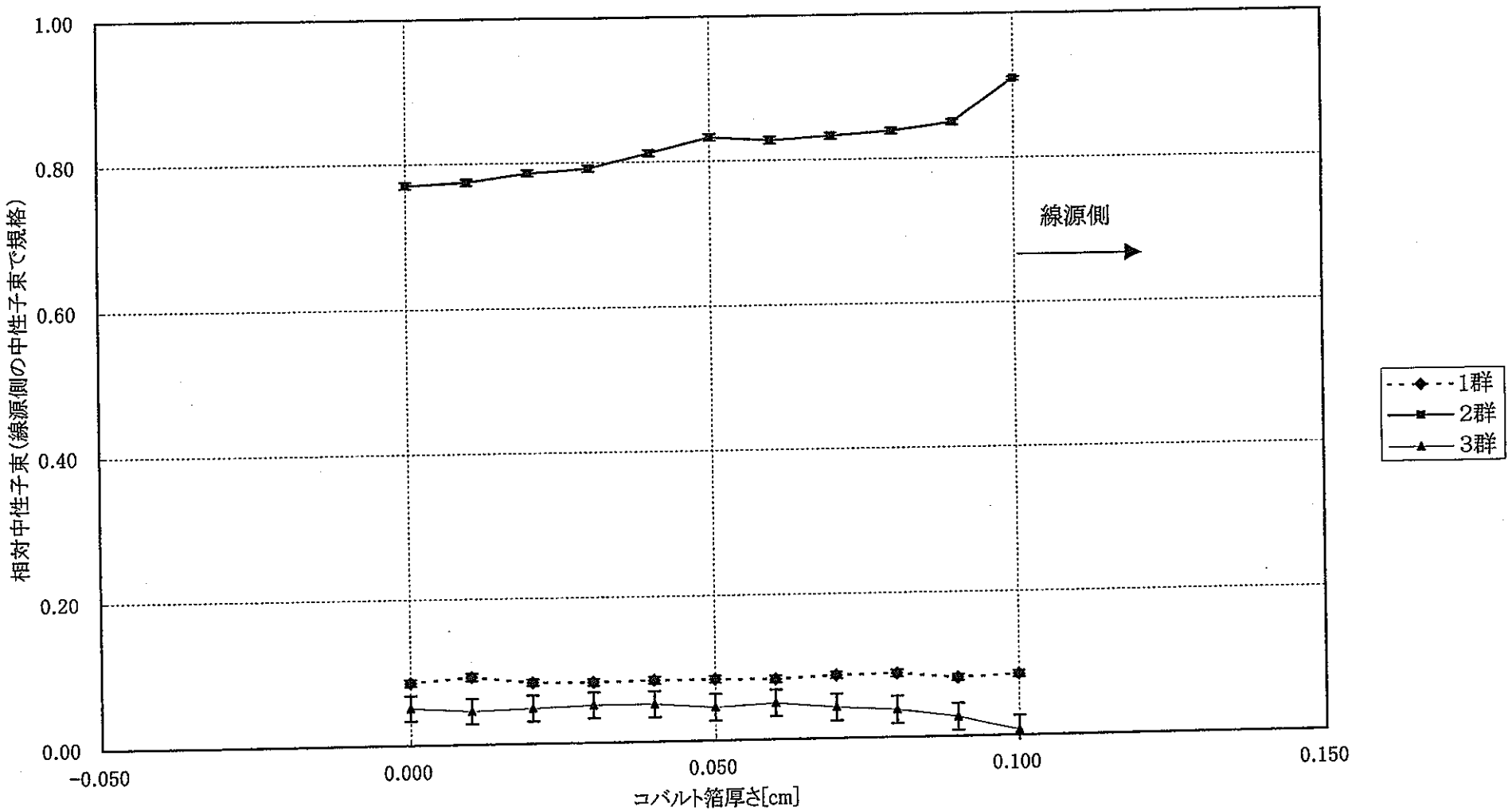


図8.2.1-9　カドミウムカバー付コバルト箔内中性子束分布（ケース4、箔有）

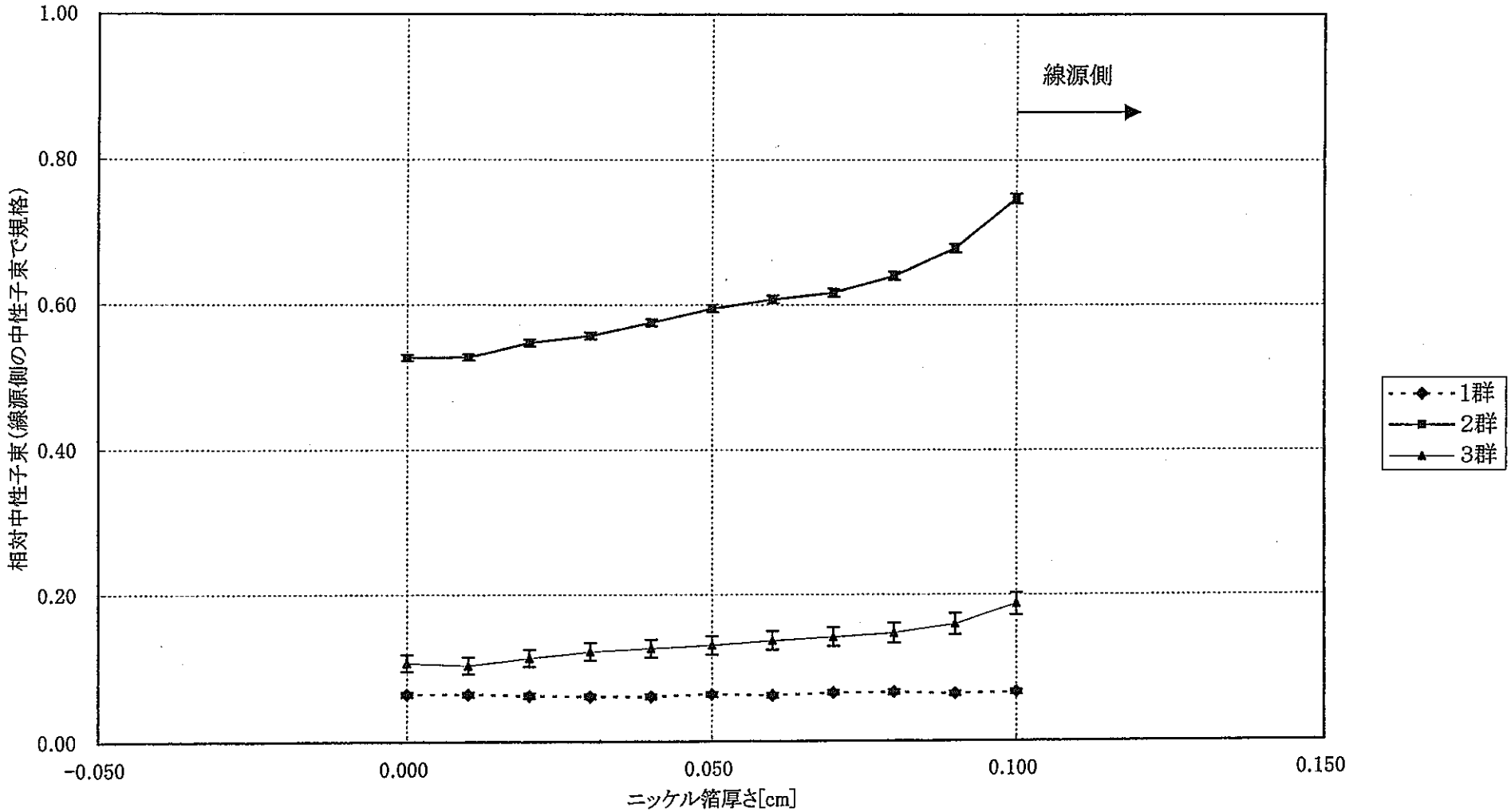


図8.2.1-10　3群ニッケル箔内中性子束分布(ケース5、箔有)

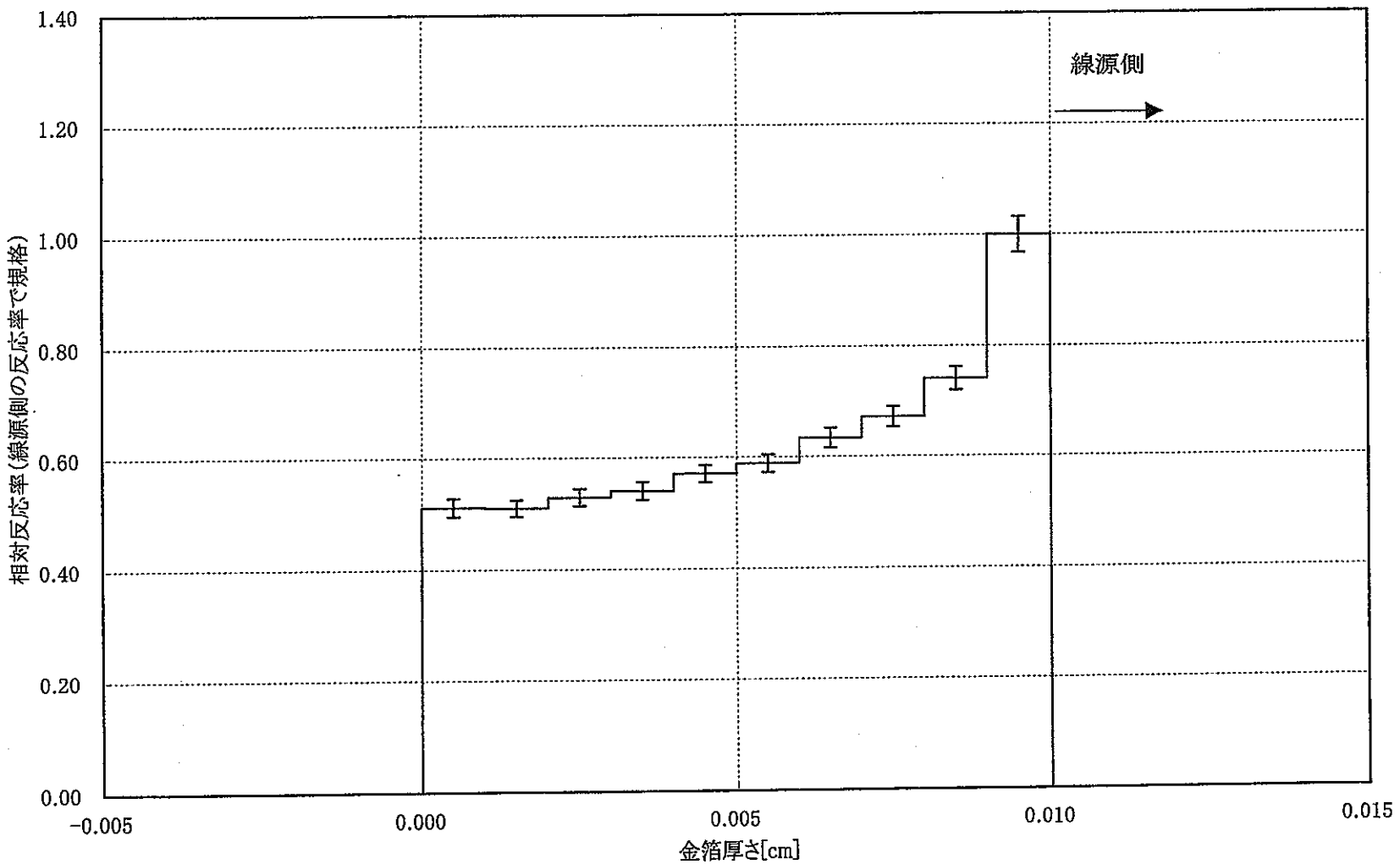


図8.2.3-1　金箔内反応率分布(ケース1、箔有)

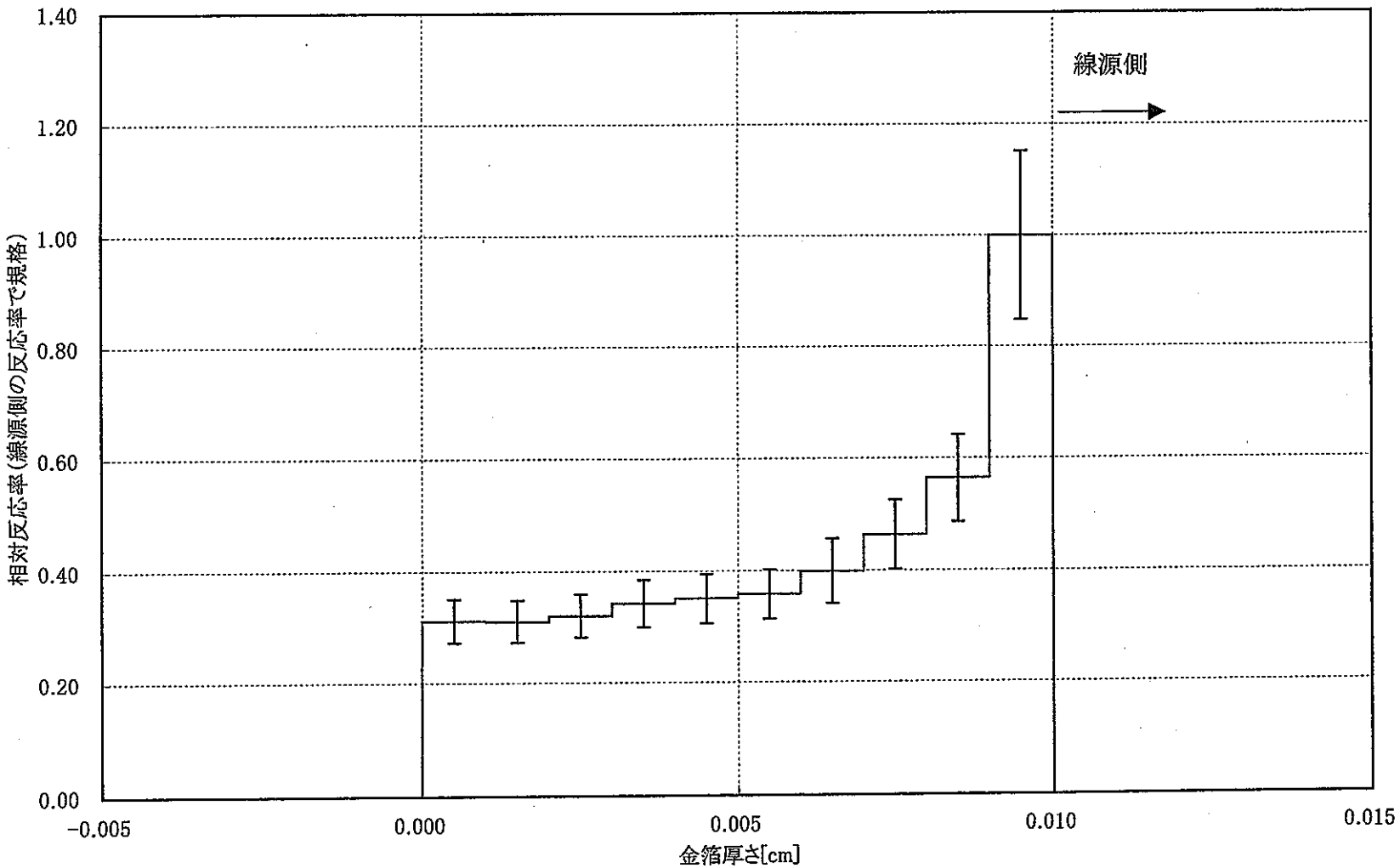


図8.2.3-2　カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース2、箔有）

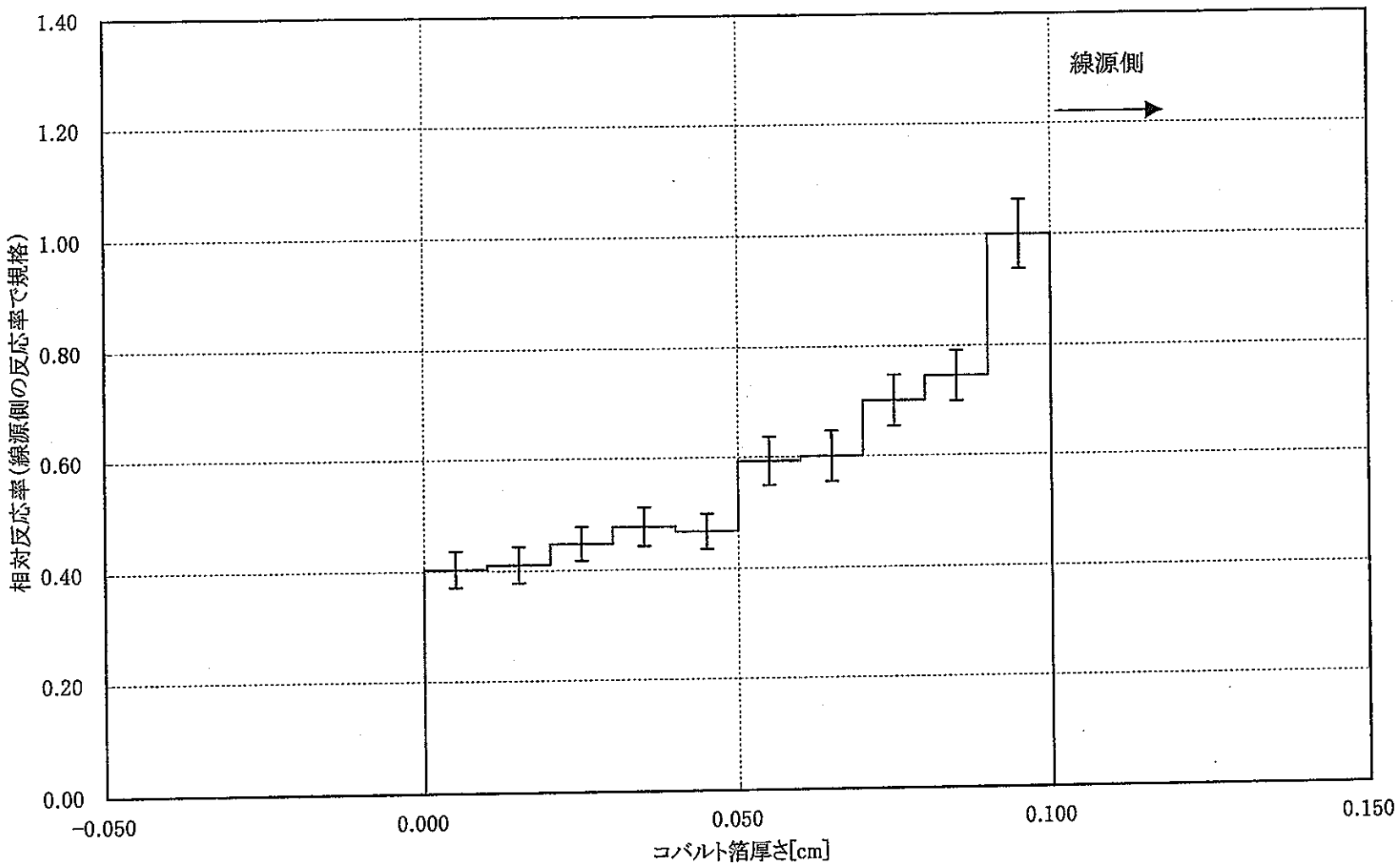


図8.2.3-3　コバルト箔内反応率分布(ケース3、箔有)

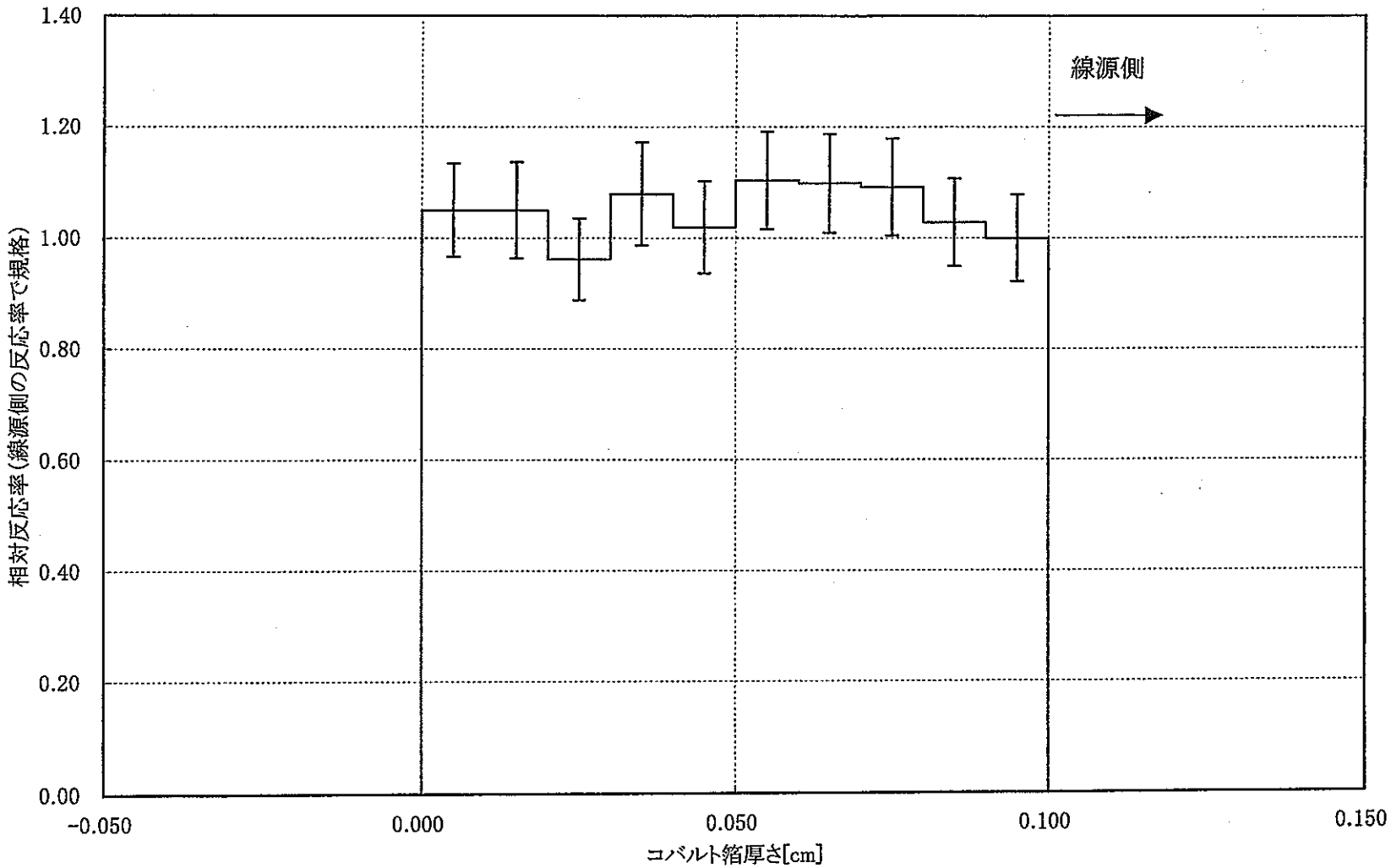


図8.2.3-4　カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース4、箔有）

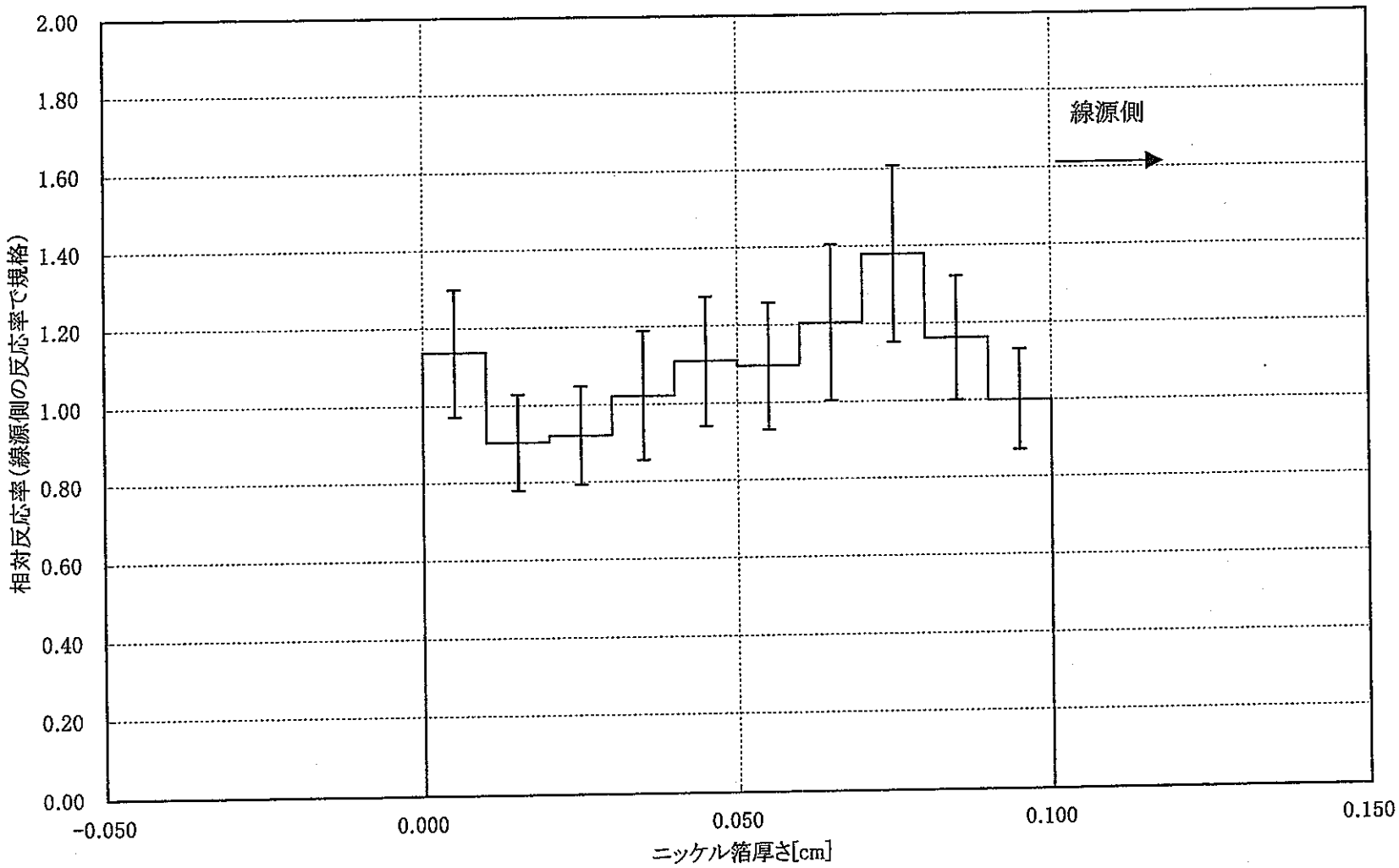


図8.2.3-5　ニッケル箔内反応率分布(ケース5、箔有)

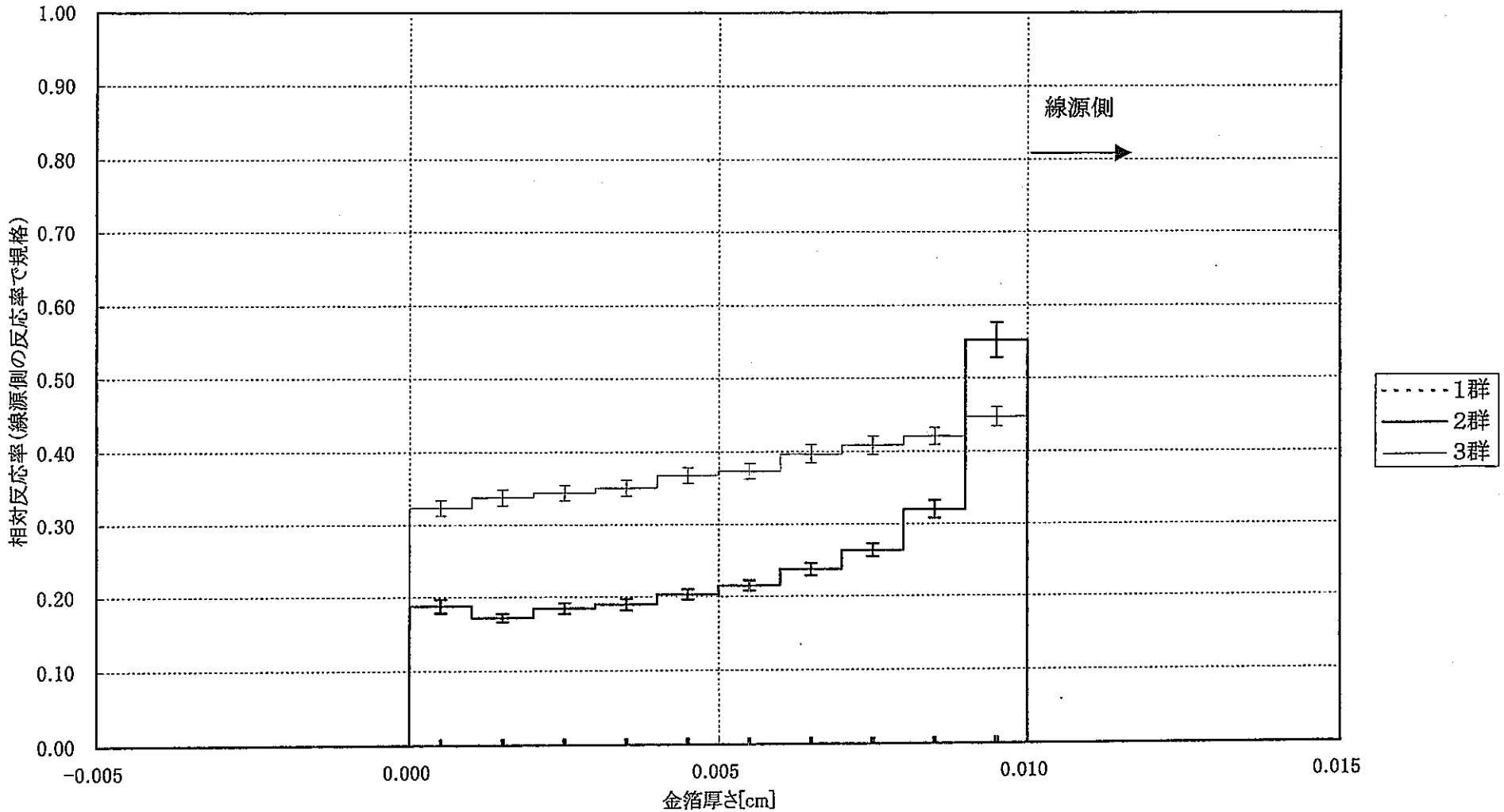


図8.2.3-6　3群金箔内反応率分布(ケース1、箔有)

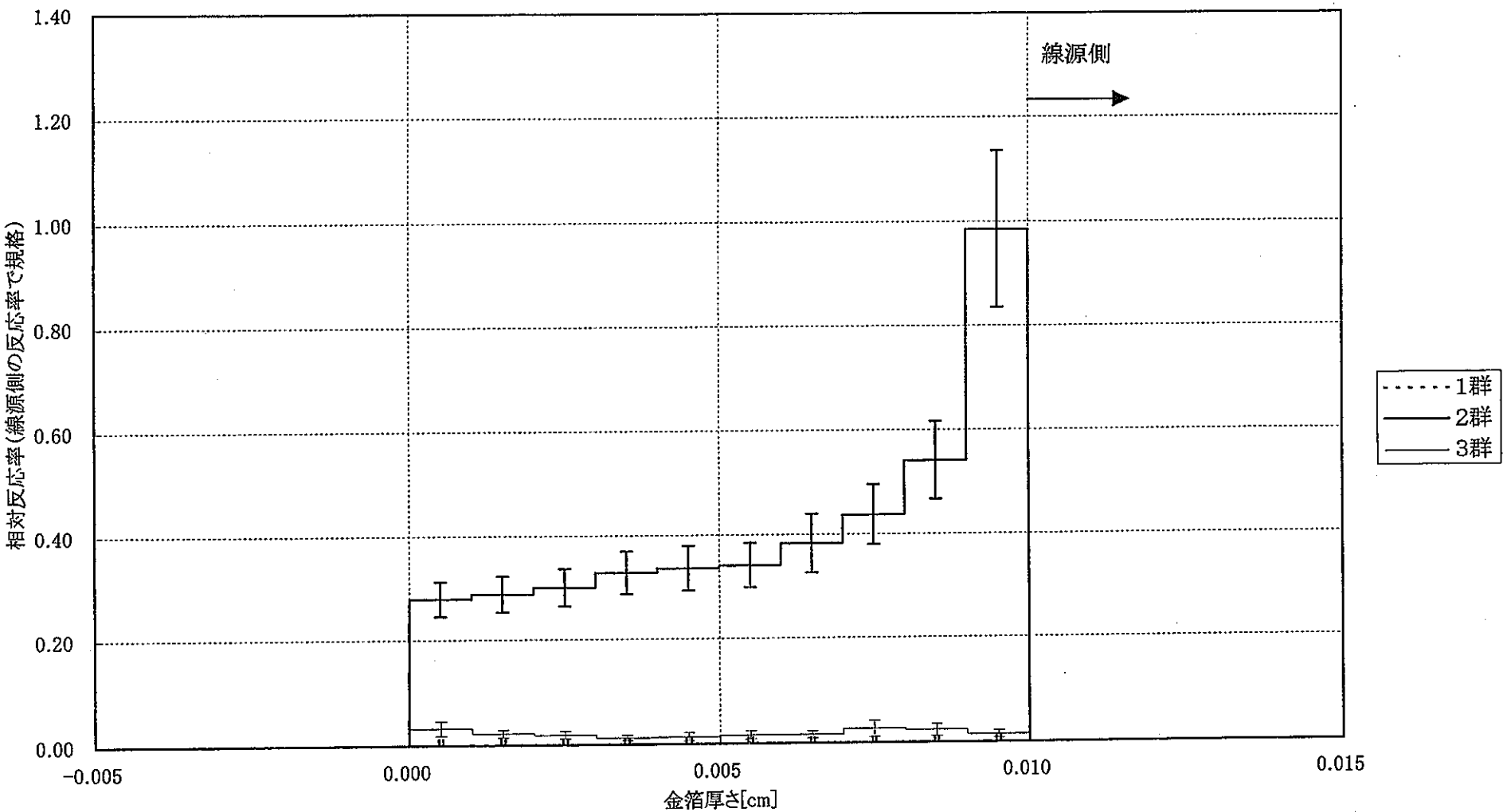


図8.2.3-7　3群カドミウムカバー付金箔内反応率分布（ケース2、箔有）

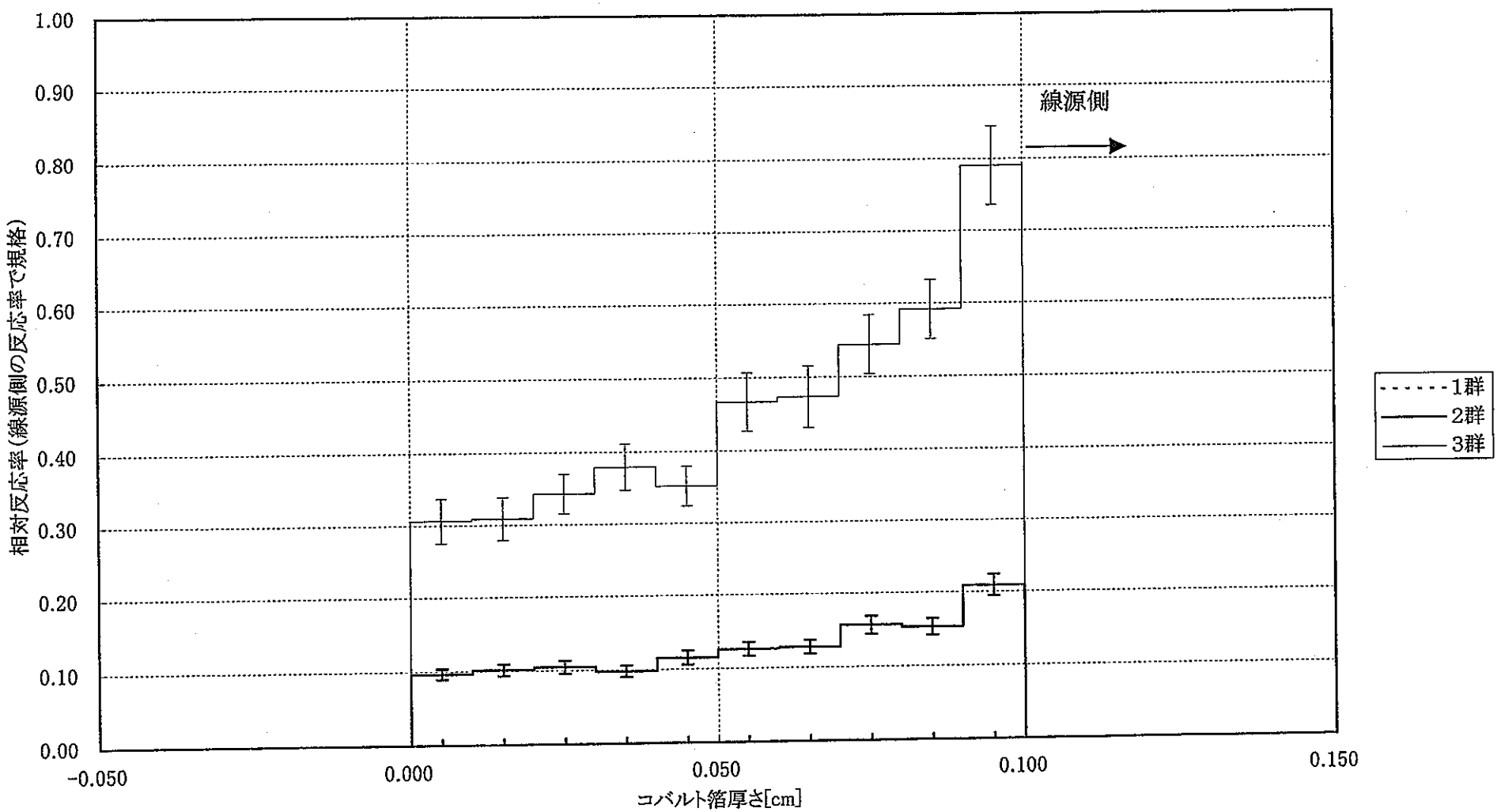


図8.2.3-8　3群コバルト箔内反応率分布（ケース3、箔有）

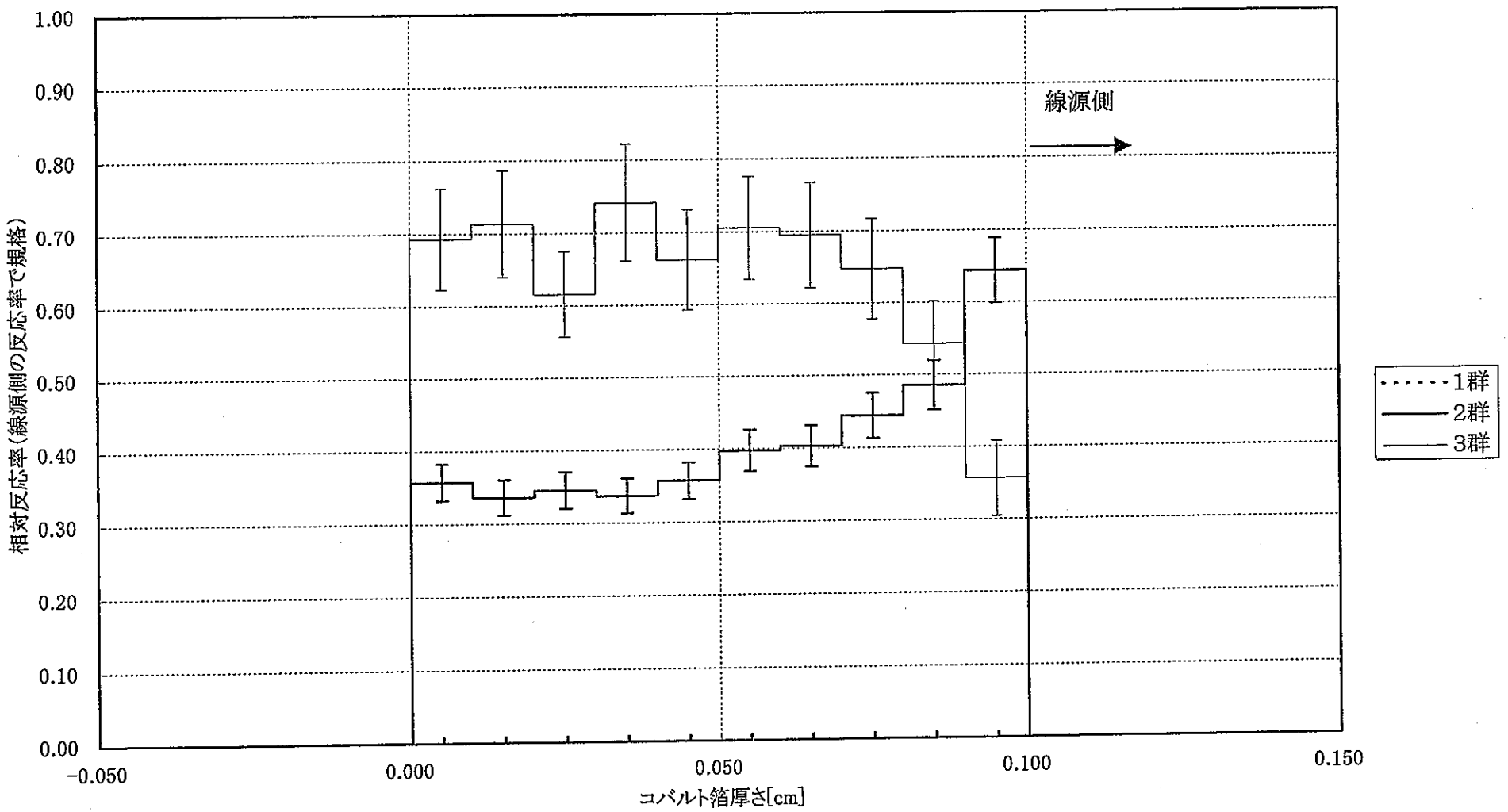


図8.2.3-9　3群カドミウムカバー付コバルト箔内反応率分布（ケース4、箔有）

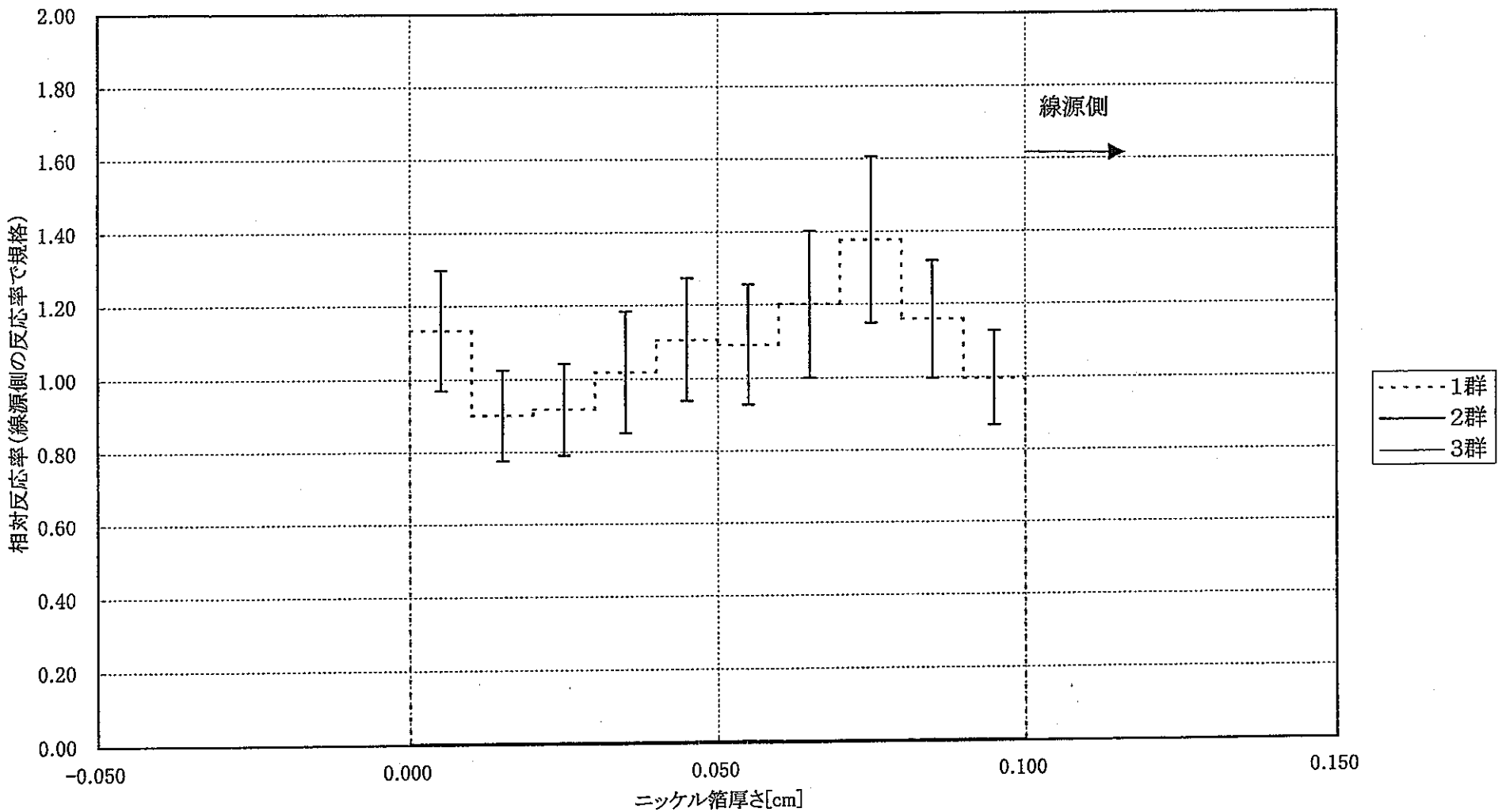


図8.2.3-10　3群ニッケル箔内反応率分布(ケース5、箔有)

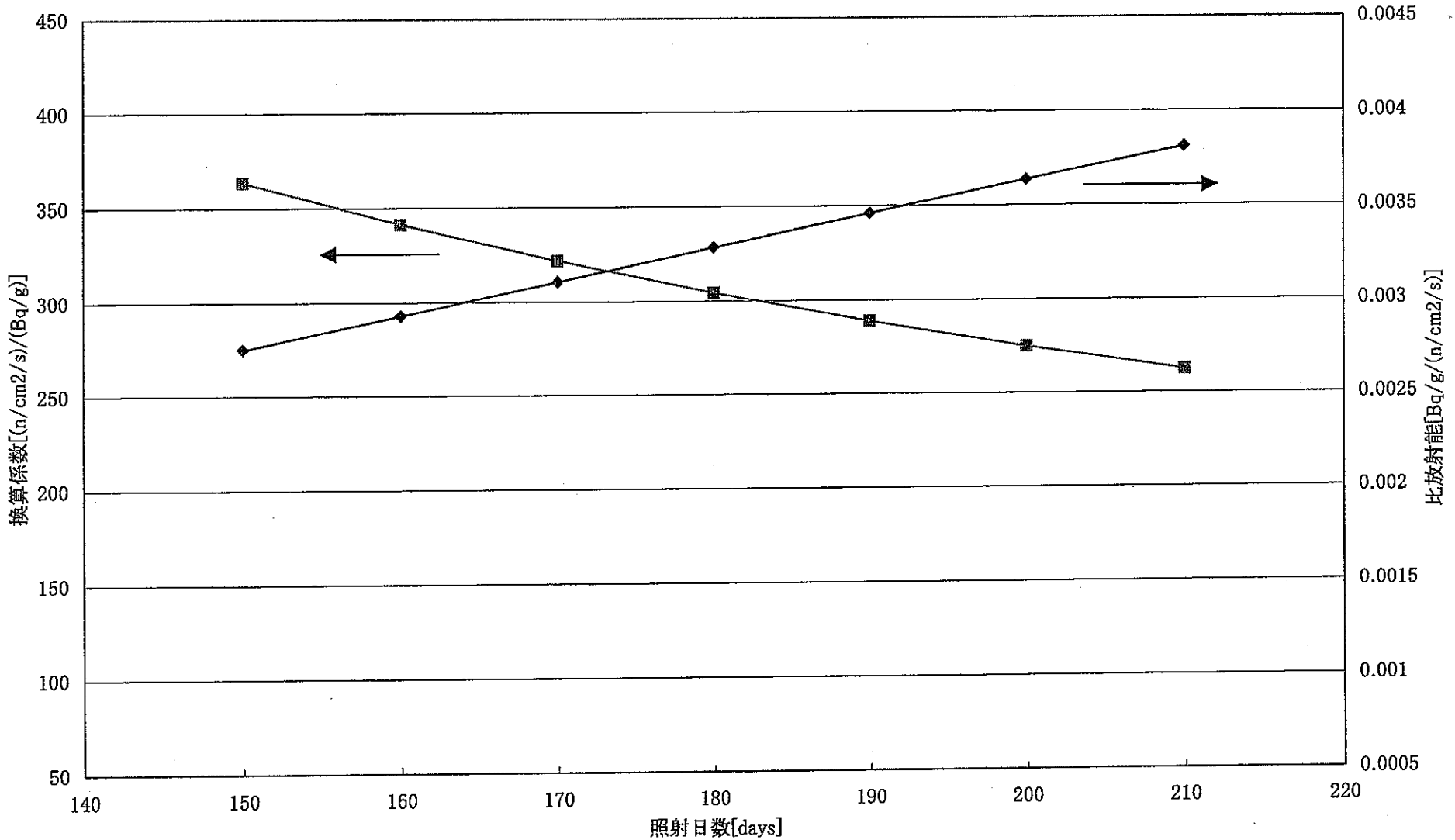


図8.2.8-1　コバルト箔の比放射能と照射日数の関係

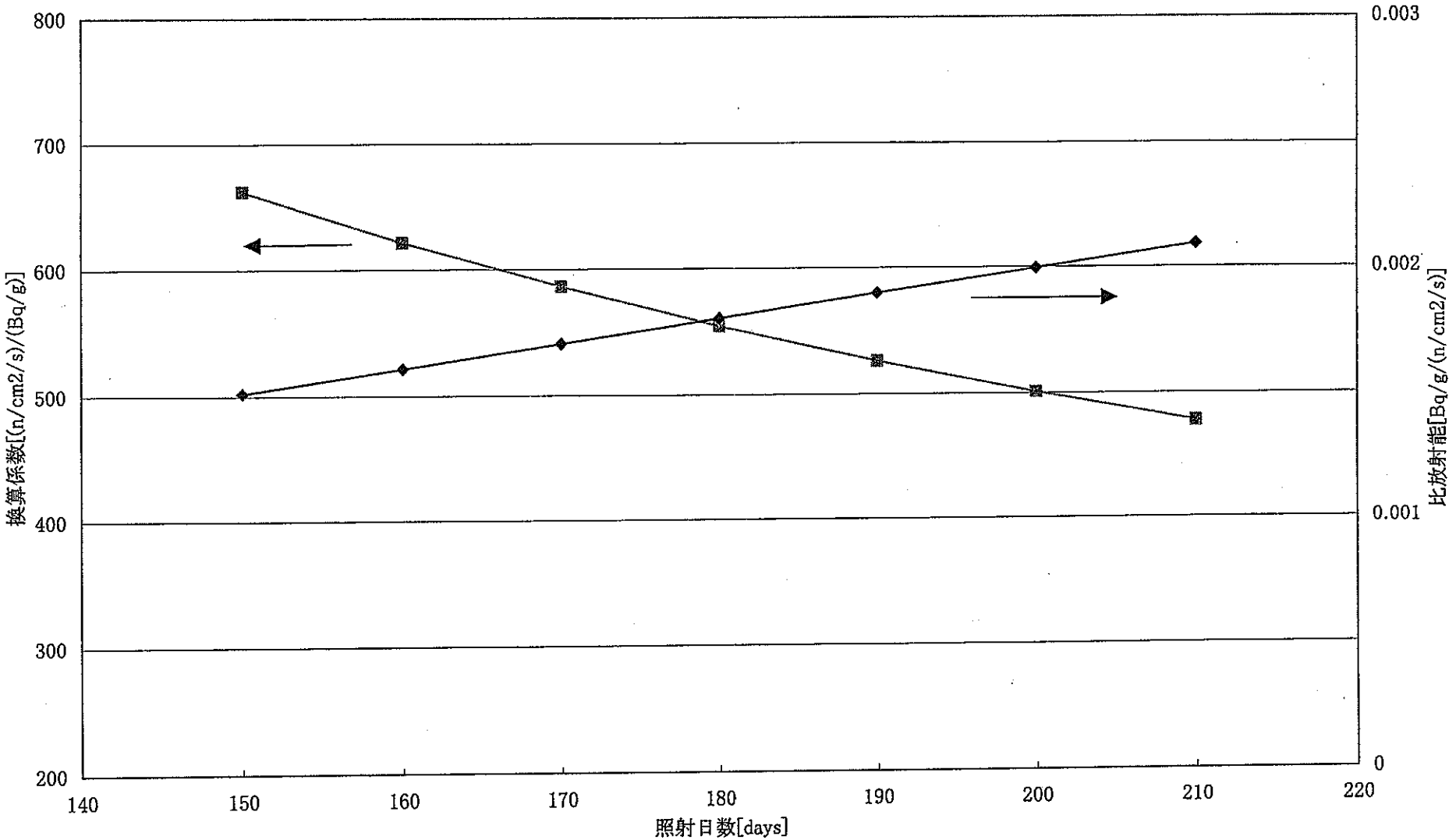


図8.2.8-2　カドミウムカバー付コバルト箔の比放射能と照射日数の関係

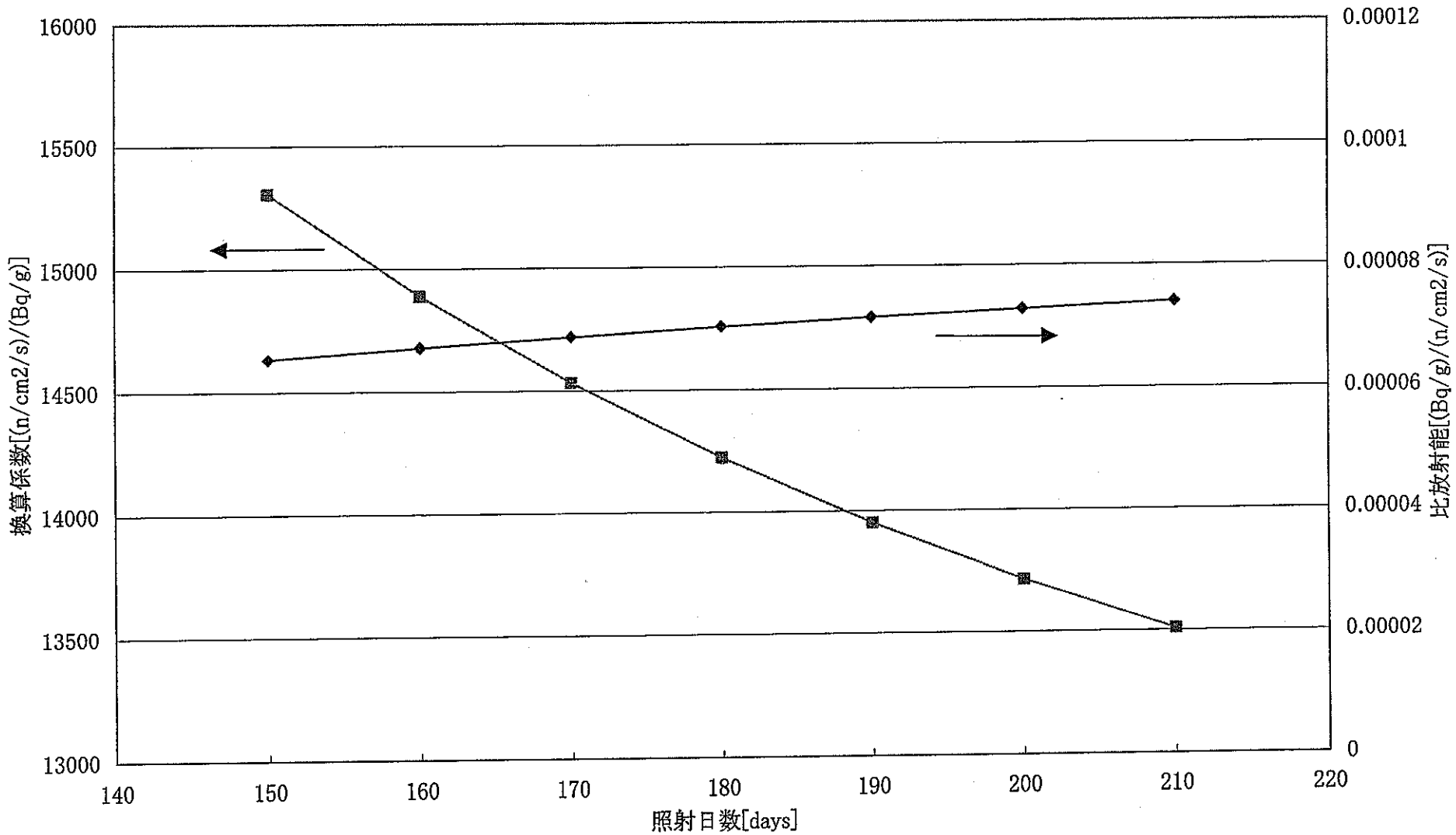


図8.2.8-3　　ニッケル箔の比放射能と照射日数の関係

9．まとめ

新型転換炉ふげん発電所内に中性子束を評価するために金箔を設置した。この金箔に対する比放射能をMCNPを用いて以下の3種類の体系で評価した。

（1）主蒸気管室

（2） 重水タンク室

（3） マニホールド付近

前報告書[1]では同様な解析を単純な解析体系で行なった。その為、解析体系の単純化による解析結果への影響が大きかった。本報告書では、解析体系の検討を行うことで上記3種類の体系に対する適当な解析体系を決定した。それらの解析体系を用いて比放射能を計算した。その結果、（2）と（3）に対する比放射能解析では、解析値は実測推定値に対しそれぞれ約30%、約50%小さくなった。（1）に対する同様の比較では約80%小さくなった。（1）の体系については、さらに詳細な解析を行なう事も含めた検討が今後必要と考えられる。

また、（1）と（2）の体系に対しては、比放射能を検討するだけでなく、１０枚重ねの金箔を用いて金箔内の反応率分布を評価した。測定値及び計算値の誤差は若干大きいが、それぞれの体系で解析結果は測定結果と良く一致した。

前報告書で用いた生体遮蔽内側のスペクトルを用いた解析も実施した。このスペクトルを用いて金箔、コバルト箔、ニッケル箔の比放射能を評価した。金箔及びニッケル箔の解析結果は実測値とよく一致したが、コバルト箔の解析結果は実測値の約1/2となった。今後、解析形状等の検討が必要である。

単純な形状では、MCNPのような時間のかかる確率論的手法でなくな決定論的手法で中性子束スペクトル等を予測を行なう方が効率がよい。本報告書では、MCNPの結果と比較することで、ANISNの中性子束スペクトル解析精度を検討した。それぞれのコードで用いている手法及び断面積は異なるが、スペクトルは良く一致した。単純な形状でのANISNのスペクトル解析精度が確認された。

１０．参考文献

[1] JNC ZJ3410 2000-019 大型金箔の放射化解析及び検討

[2] 岩波　理化学辞典　第５版

[3] 理科年表　国立天文台編　平成１２年

[4] ANL-5800

[5] Table of Isotopes, Eight Edition Volume 1, Richard B. Firestone et al.

[6] DLC75/BUGLE80 Coupled 47 Neutron, 20 Gamma-Ray, P3, Cross Section Library for LWR Shielding Calculations