

第 1 章

中性子ビーム

1.1 ビームサイズを制限する必要性

中性子ビームは可能な限り空間的な広がりが小さいことが望ましい。例えば、半径 50 mm の広がりを持つ中性子ビームを用いると、散乱点が y 軸方向に 100 mm の広がりを持つ。しかし、MAIKo TPC はトラックの周囲に発生した電子が読み出し面に到達する時間差を用いて y 座標を検出しているため、絶対値を決定できない。すると、図 1.1 のように、ビーム入射範囲のどこで散乱が起きたのか判別できない。図 1.1 の例では、取得されたデータが同じであっても上の場合にはトラックが有感領域から出てしまっている。トラックの長さや方向から α 粒子のエネルギーと運動量を決定するには、トラックが有感領域中で停止しなければならない。どちらの場合でも確実に有感領域中で停止したと保証するためには、散乱点から y 軸方向に ± 20 mm を実質の有感領域としなければならない。実質の有感領域が小さいと領域外に出ていく α 粒子の数が増えてしまい、解析に使えるイベントの割合（検出効率）が減少してしまう。そのため、中性子ビームの y 軸方向のサイズは可能な限り小さいのが望ましい。その反面、ビームを細くすると中性子のビーム量が低下してしまう。

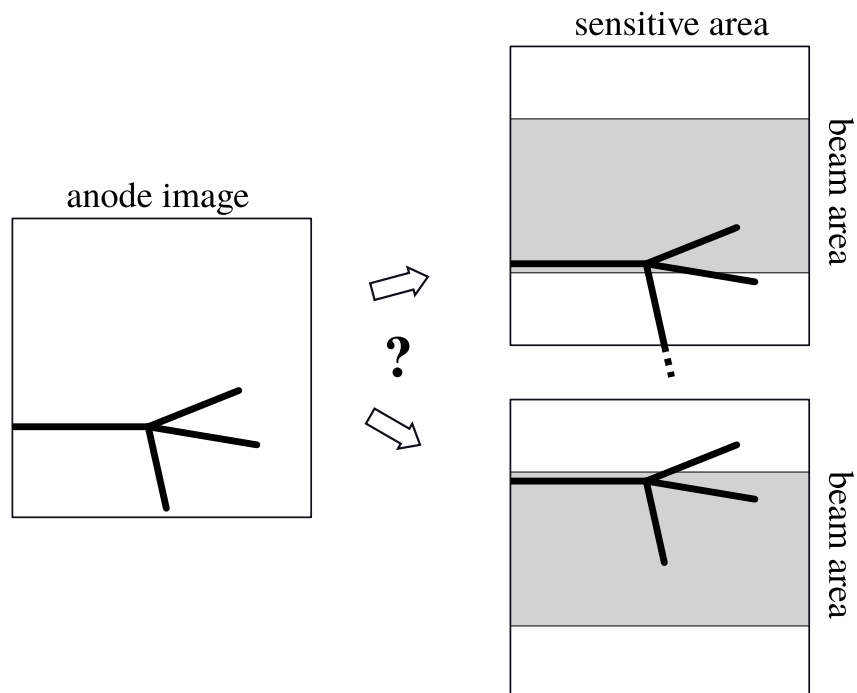


図 1.1: ビームサイズが大きいときの散乱事象．右上のように領域外にトラックが出ているのか，右下のように領域内で停止したのか区別ができない．

1.2 立体角と検出効率によるビームサイズの決定

重照射室内のトリチウムターゲットから中性子が 4π に等方的に放出していると仮定すると，中性子の収量はコリメータの立体角で決定される．重照射室の模式図を図 1.2 に示す．トリチウムターゲットから重照射室の大実験室側の壁までの距離は $1.46 \times 10^3 \text{ mm}$ ，壁の厚さは $1.00 \times 10^3 \text{ mm}$ である．この壁に半径 55 mm の穴が設けられており，そこから大実験室側へ中性子を取り出す．この壁の穴にコリメータを設置することで任意の形に中性子ビームの形状を設定できる．ここでは，円柱の中央に半径 $r \text{ mm}$ の穴が開いたコリメータを考える．すると，立体角は $\pi \times r^2 / (2.46 \times 10^3)^2$ となる．

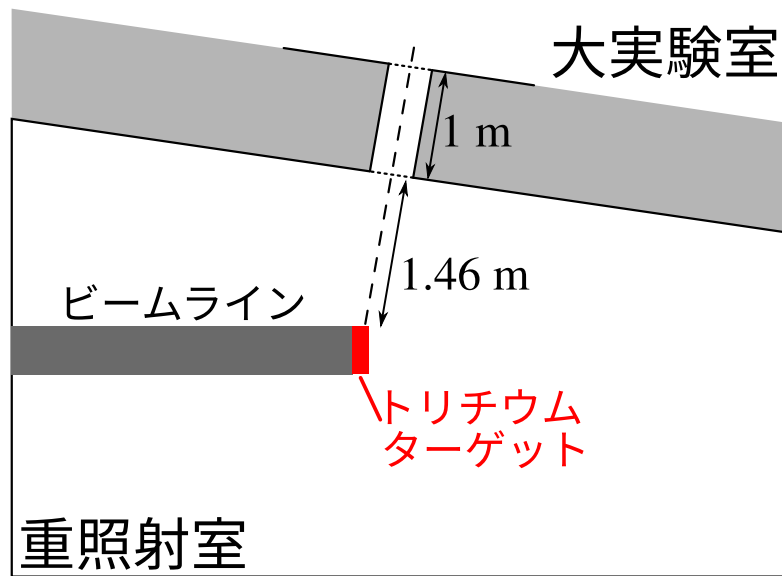


図 1.2: 重照射室の模式図。トリチウムターゲットから大実験室まで 2.46 m である。

図??のエネルギー分布，ビームの通る円柱内で一様な散乱点を仮定して， α 粒子の検出効率を求めた．半径 1–50 mm でのコリメータの立体角の割合と検出効率を表 1.1 に示す．検出効率は 10 mm 以下ではほとんど変化がない．1, 5, 10 mm を比較すると，立体角は 10 mm が最も大きい．大きな検出効率を持ちつつ，立体角が大きい 10 mm のコリメータを用いる．

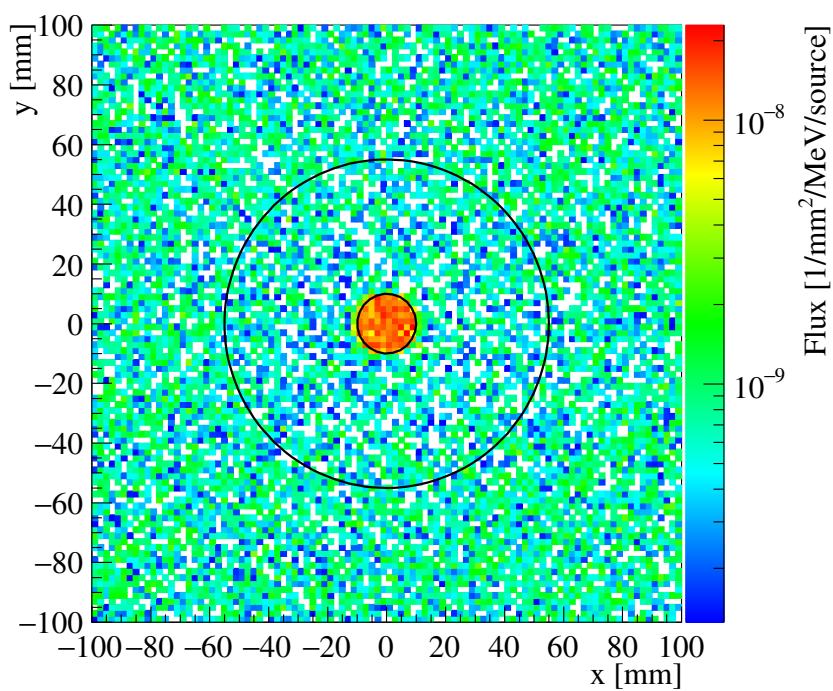
表 1.1: コリメータの半径とコリメータの立体角，検出効率．

コリメータの半径 (mm)	立体角 (sr)	検出効率 (%)
1	5.19×10^{-7}	48.9
5	1.30×10^{-5}	48.7
10	5.19×10^{-5}	48.2
20	2.08×10^{-4}	46.6
30	4.67×10^{-4}	39.2
40	8.31×10^{-4}	26.3
50	1.30×10^{-3}	10.3

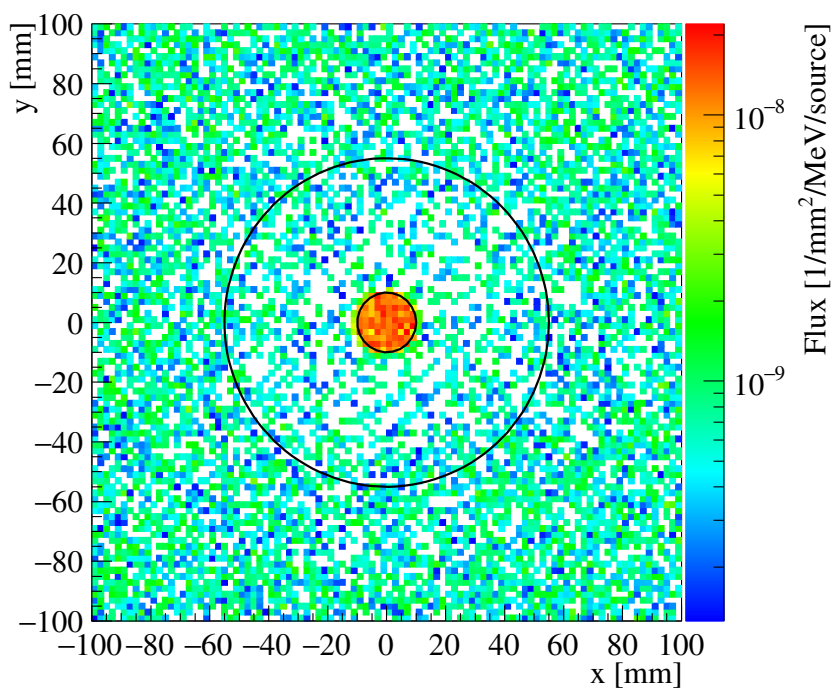
1.3 コリメータの材質

中性子を遮蔽する物質として，陽子を多く含むポリエチレンや吸収断面積が大きいホウ素が広く用いられている．ポリエチレンとホウ素入りポリエチレンでの中性子の遮蔽度合いを PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) ver. 3.14 [?] を用いて計算した．PHITS は原子力機構が中心となって開発を行っている物質中での放射線の挙動をシミュレートするモンテカルロ計算コードである．PHITS の入力ファイルを付録??に示す．図 1.3 は中性子がコリメータを通過したときの位置分布である．図 1.4 はコリメータを通過した

後の中性子のエネルギー分布である。青色のヒストグラムはコリメータの中心から 0–10 mm の範囲の中性子、赤色のヒストグラムはコリメータの中心から 10–55 mm の範囲の中性子のエネルギー分布である。ポリエチレン、ホウ素入りポリエチレンともにコリメータの穴の部分に対して遮蔽されている部分は中性子の量が 2 桁以上少なく、十分に遮蔽できていることが分かる。また、通過してきた中性子のエネルギーはほとんど 14 MeV であり、単色エネルギーが損なわれていないことが分かる。

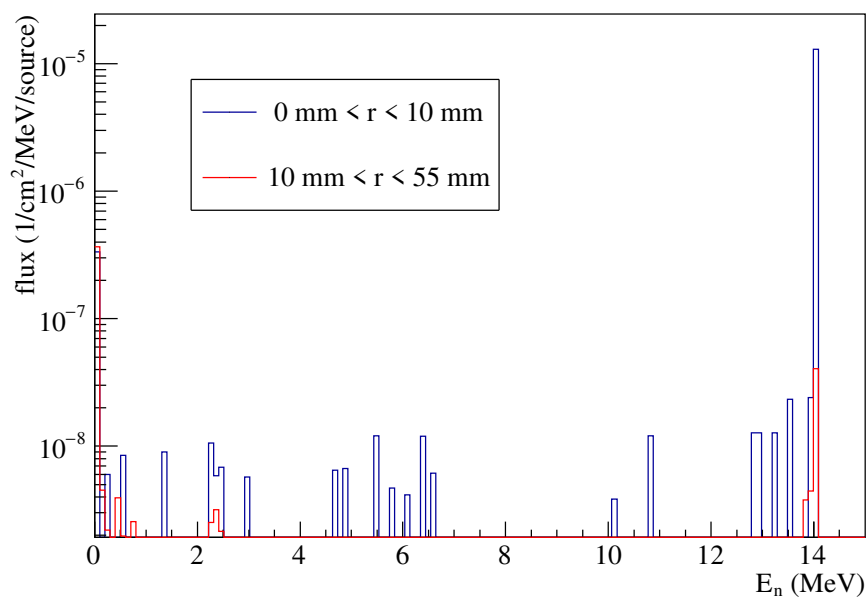


(a) ポリエチレンの場合.

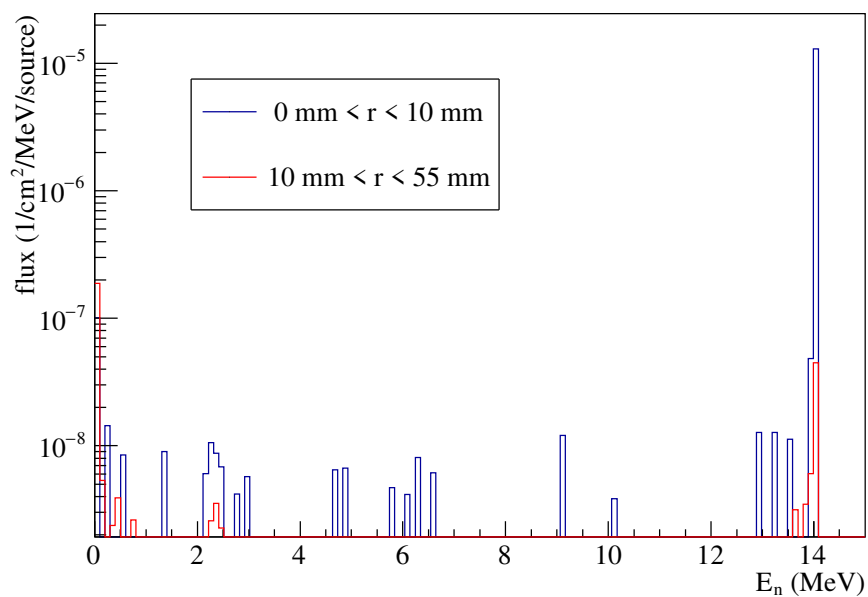


(b) ホウ素入りポリエチレンの場合.

図 1.3: コリメータ通過後の中性子の位置分布. 2つの円はコリメータの穴と外縁を表す.



(a) ポリエチレンコリメータの場合.



(b) ホウ素入りポリエチレンコリメータの場合.

図 1.4: 中性子のエネルギー分布. 0–10 mm はコリメータの穴の部分, 10–55 mm はコリメータの部分である.

ポリエチレンとホウ素入りポリエチレンでは同程度にコリメートできているので, 本実験ではコストの面からポリエチレンを用いたコリメータを採用した. 実際に作成したコリメータを図 1.5 に示す. このコリ

メータは半径 53 mm，高さ 100 mm の円柱の中心に半径 10 mm の穴を開けた構造になっている．壁の厚さが 1000 mm であるため，このコリメータ 10 個を中性子の取り出し穴に挿入する．

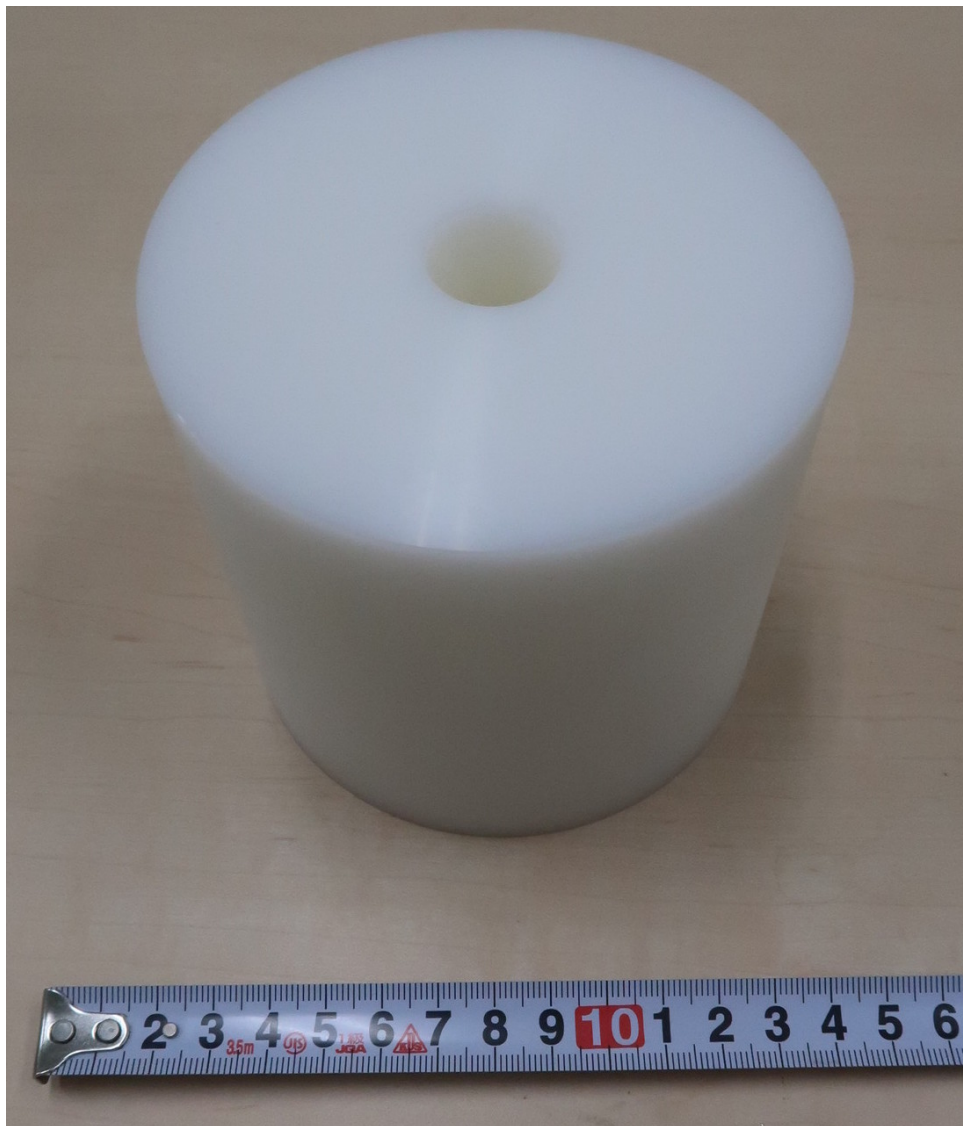


図 1.5: ポリエチレンで作成したコリメータ．半径 53 mm，長さ 100 mm の円柱の中央に，半径 1 mm の穴が開いている．

1.4 中性子の収量

PHITS による計算では 0–10 mm の範囲の 13.9–14.1 MeV の中性子が通過してくる割合は $8.14 \times 10^{-4} \%$ となる．OKTAVIAN の DC ビームラインで生成される中性子が $5 \times 10^9/\text{s}$ であるとするとき，コリメータを通過してくる 14 MeV 中性子の量は $4.07 \times 10^4/\text{s}$ となる．