

第 1 章

中性子コリメータ

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細いのが望ましい。例えば、半径 50 mm の幅を持っている中性子ビームを用いると、散乱点が y 軸方向に 100 mm の幅を持つ。grid の座標を $y = 0$ mm, plate の座標を $y = 140$ mm とし、ビームの中心が $y = 70$ mm の位置にあるとすると、中性子ビームは $y = 20$ –120 mm の範囲に入射する。この時 $y = 120$ mm の位置で散乱が起きると、有感領域は grid 方向に 120 mm, plate 方向に 20 mm となる。反対に、 $y = 20$ mm の位置で散乱が起きると、有感領域は grid 方向に 20 mm, plate 方向に 120 mm となる。しかし、MAIKo TPC は y 座標を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検出しているため、 y 座標の絶対値を決定することができない。すると、図 1.1 のように、 $y = 120$ mm と $y = 20$ mm のどちらで散乱が起きたのかを区別できない。この例では、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。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、検出効率が低下する。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入射量が低下してしまう。

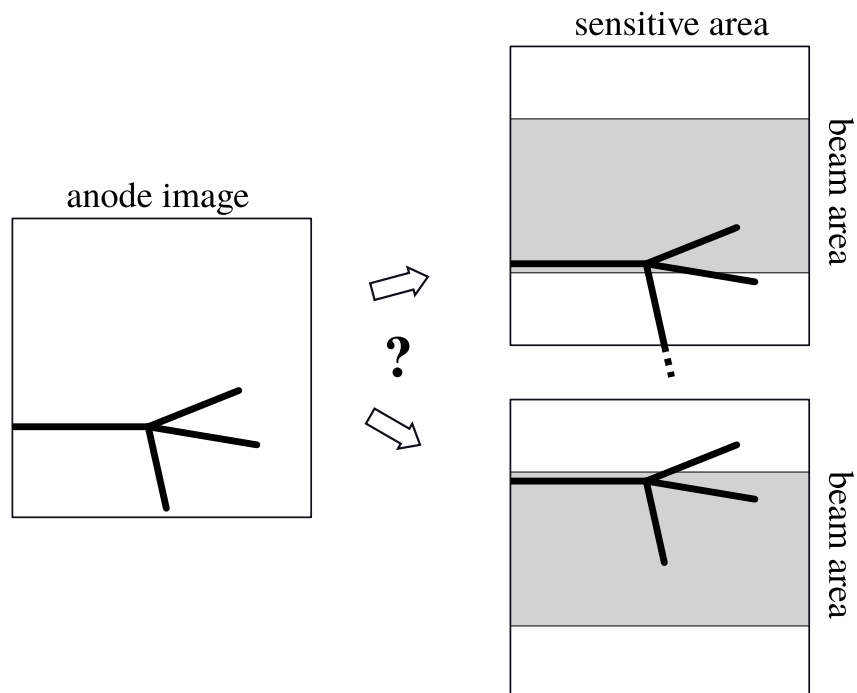


図 1.1: ビームサイズが大きいときの散乱事象. 右上のように領域外にトラックが出ているのか, 左下のように領域内で停止したのか区別ができない.

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は 4π に等方的に放出していると仮定する. 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 $1 \times 10^3 \text{ mm}$ である. この壁に半径 55 mm の穴が開いており, 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. コリメータの穴の半径を $r \text{ mm}$ とすると, 立体角は $\pi \times r^2 / (2.46 \times 10^3)^2$ となる.

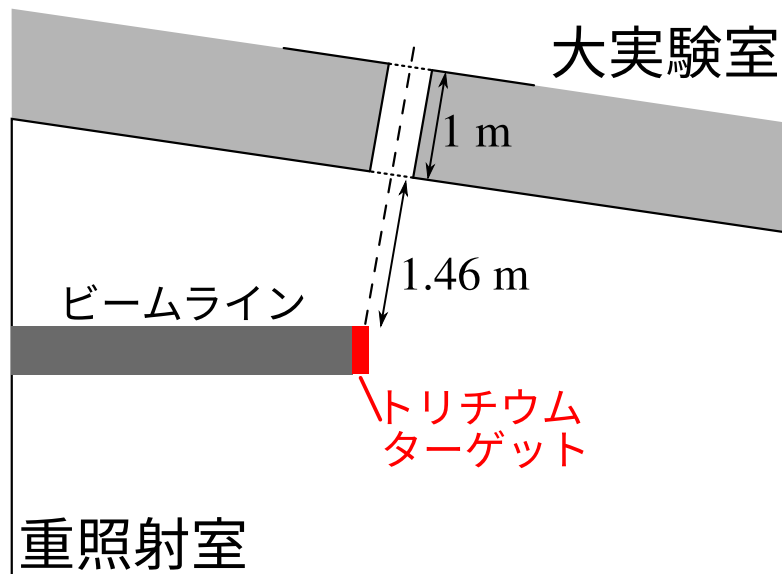


図 1.2: 重照射室の模式図。トリチウムターゲットから大実験室まで 2.46 m である。

MAIKo TPC ではトラックの長さや方向からエネルギーと運動量を決定するため、トラック全体を正しく抽出することが必要となり、MAIKo TPC の有感領域内で停止しない α 粒子は解析に用いることができない。ここで、MAIKo TPC の有感領域中で全ての α 粒子が停止する割合を検出効率とする。検出効率が大きくなるような実験条件が望ましい。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、中性子の収量が大きい 10 mm のコリメータを用いる。

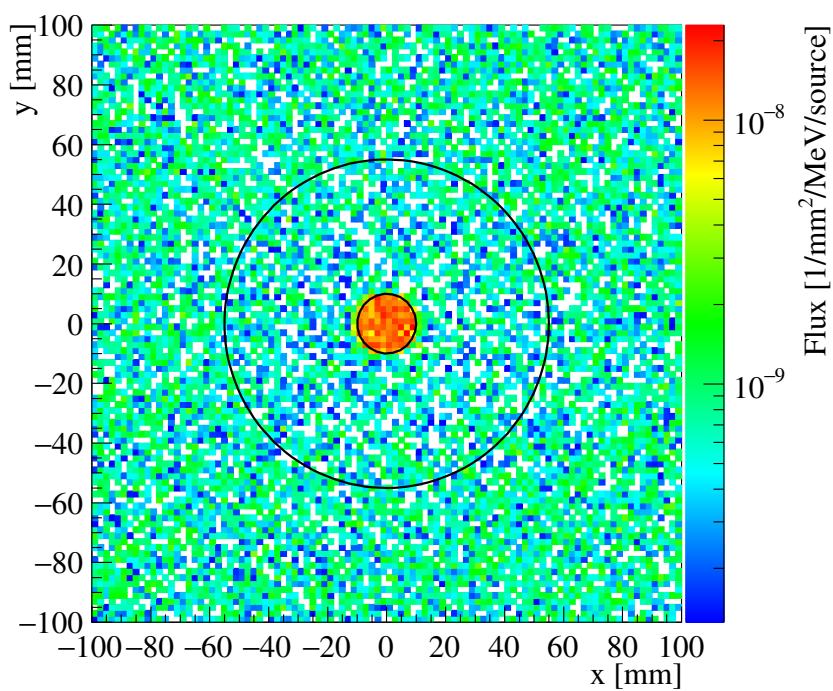
表 1.1: コリメータの半径とコリメータの立体角，検出効率。

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

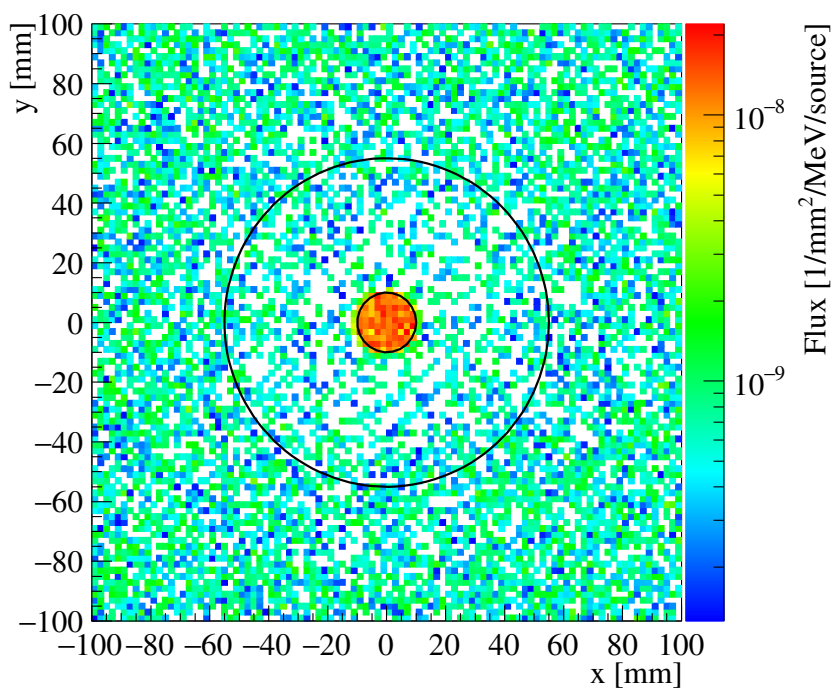
1.3 コリメータの材質

中性子を遮蔽する材料として、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 14 MeV の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 0–10 mm の範囲の中性子、赤色のヒストグラムは 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 桁近く少ないことが分かる。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、単色エネルギーが汚れていないことが分かる。

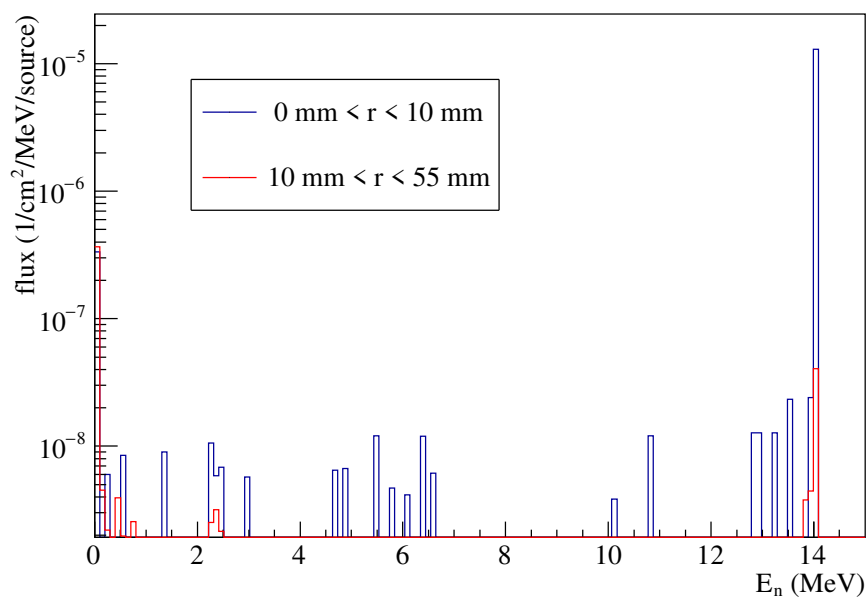


(a) ポリエチレンの場合.

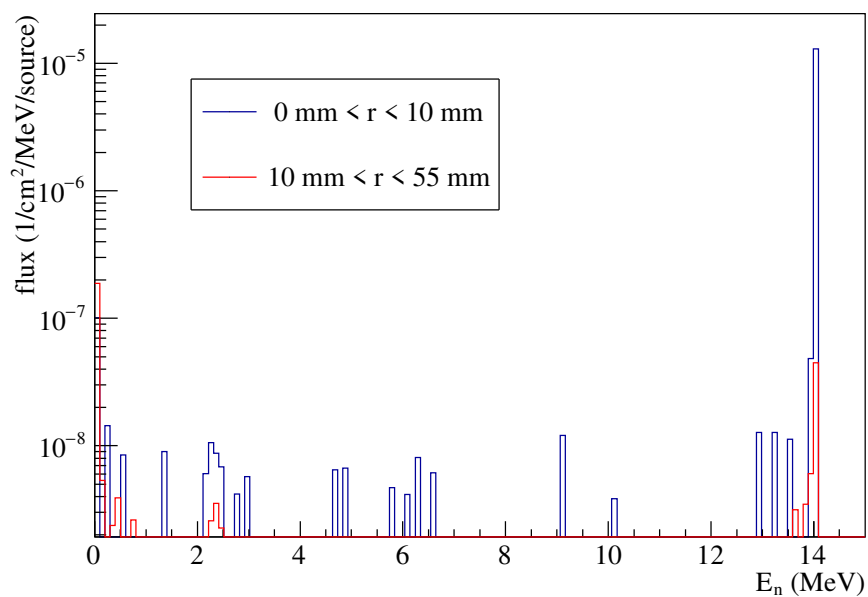


(b) ホウ素入りポリエチレンの場合.

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作成した. 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 の中性子は 4.07×10^{-5} /MeV/source となる．OKTAVIAN の DC ビームラインで生成される中性子が 5×10^9 /s であるとする，コリメータを通過してくる 14 MeV 中性子の量は 4.07×10^4 /s となる．