

## 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、見かけ上の有感領域は 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、見かけ上の有感領域は 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の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。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  $\pm 20$  mm を実質の有感領域としなければならない。

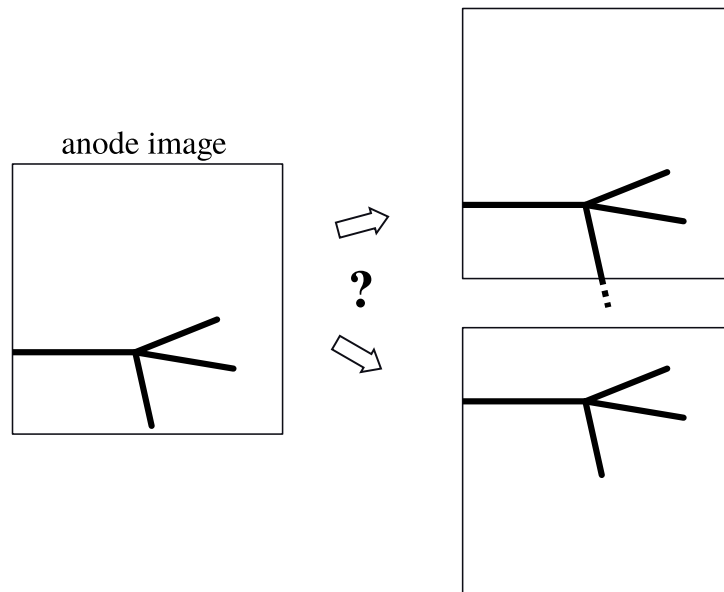


図 1.1: ビームサイズが大きいときの散乱事象。右上のように領域外にトラックが出ているのか、左下のように領域内で停止したのか区別ができない。

有感領域が小さいと領域外に出ていく  $\alpha$  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、ビームを補足すると標的に生成された中性子を制限することになるので、中性子の入射量が低下する。この 2 つの効果を考慮して収量が大きくなるビームサイズを決定する。

## 1.2 シミュレーションによるビームサイズの決定

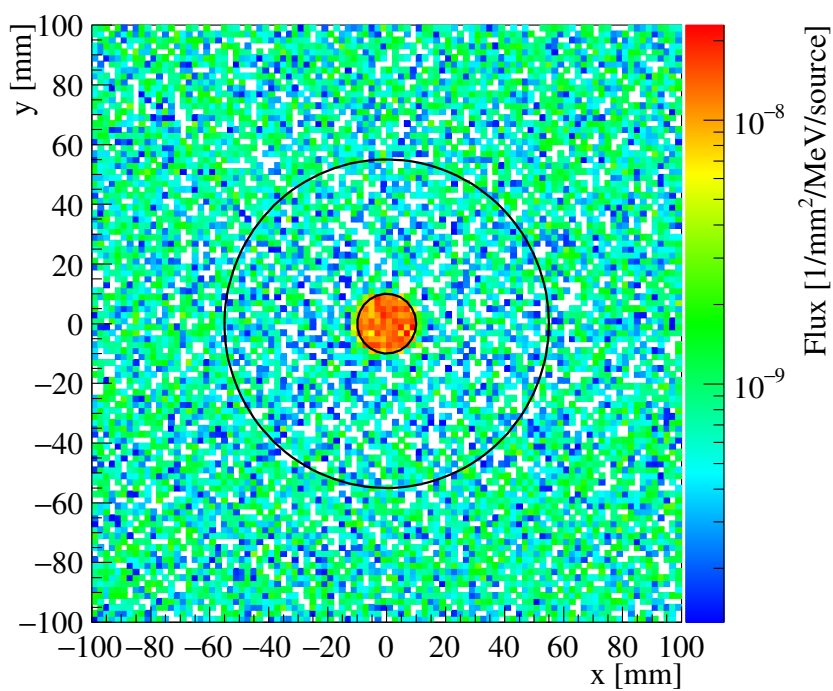
重照射室内のトリチウムターゲットから中性子は  $4\pi$  に等方的に放出していると仮定する。すると、中性子の収量はコリメータの立体角で決定される。トリチウムターゲットから重照射室の大実験室側の壁までの距離は  $1.46 \times 10^3$  mm, 壁の厚さは  $1 \times 10^3$  mm である。コリメータの半径を  $r$  mm とすると、立体角は  $\pi \times r^2 / (2.46 \times 10^3)^2$  となる。図 1.1 のエネルギー分布を仮定して、 $\alpha$  粒子の検出効率を求めた。5–50 mm でのコリメータの立体角の割合と検出効率を表 1.1 に示す。検出効率は 10 mm 以下ではあまり変化がない。5 mm と 10 mm を比較すると、立体角は 4 倍 10 mm の方が大きい。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。

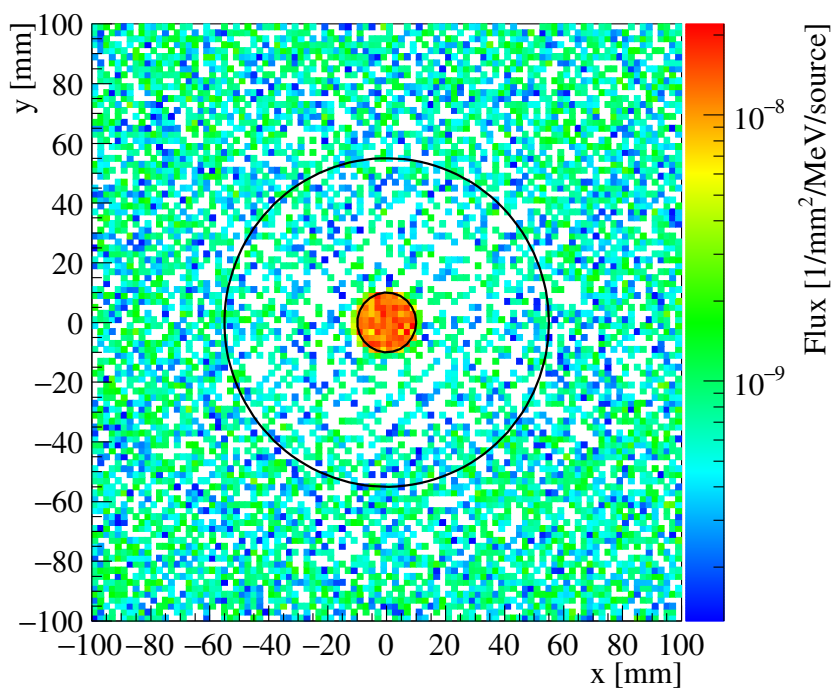
コリメータの半径 (mm)	立体角 (sr)	検出効率 (%)
5	$1.30 \times 10^{-5}$	48.7
10	$5.19 \times 10^{-5}$	48.2
20	$2.08 \times 10^{-4}$	46.6
30	$4.67 \times 10^{-4}$	39.2
40	$8.31 \times 10^{-4}$	26.3
50	$1.30 \times 10^{-3}$	10.3

## 1.3 コリメータの作成

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。図 1.2 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。2 つの中性子の分布に大きな差異は見られない。図 1.3a, 1.3b 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。コリメータの穴の部分に対してポリエチレンまたはホウ素入りポリエチレンの部分は中性子が遮蔽されていることが分かる。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 1.4 に示す。このコリメータは半径 55 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。

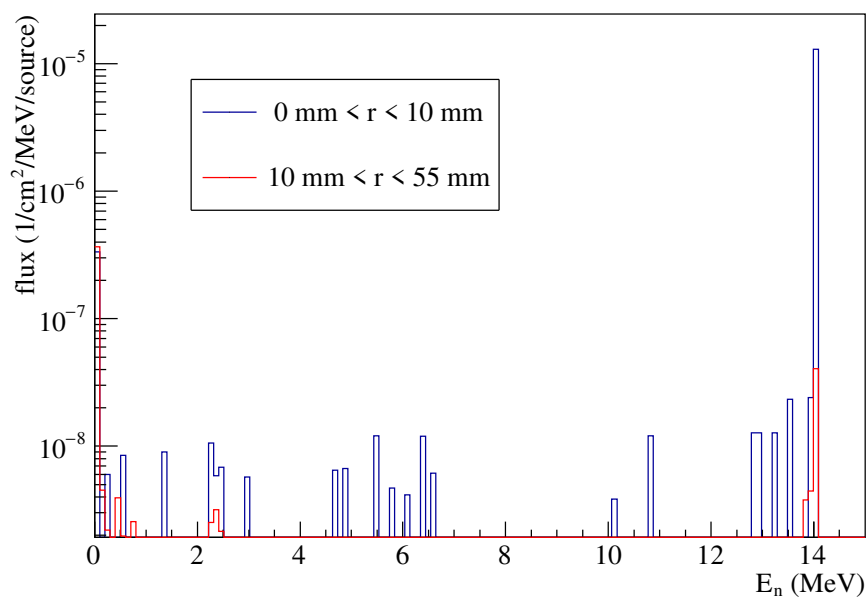


(a) ポリエチレンの場合.

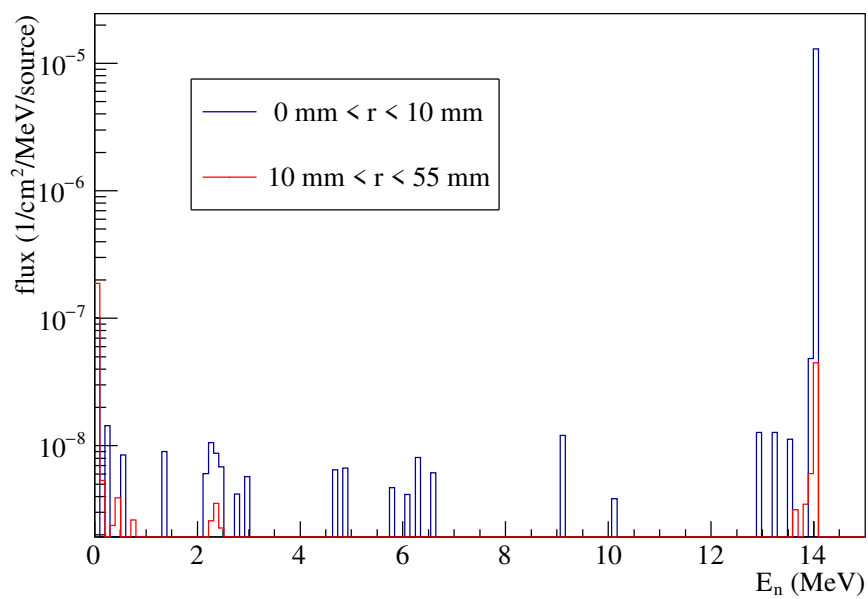


(b) ホウ素入りポリエチレンの場合.

図 1.2: 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 1.3: 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.



図 1.4: ポリエチレンで作成したコリメータ.

## 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  $4.07 \times 10^{-5}$  /MeV/source となる. OKTAVIAN の DC ビームラインで生成される中性子が  $5 \times 10^9$  /s であるとする, コリメータを通過してくる中性子の収量は  $4.07 \times 10^4$  /s となる.

## 1.5 PHITS のインプットファイル

PHITS のインプットファイルを以下に示す. ポリエチレンのコリメータの場合のシミュレーションである.

```

[ T i t l e ]
simulation for neutron collimator

[ P a r a m e t e r s ]
icntl   =  0
itall   =  1
maxcas  = 50000000
maxbch  =  50
file(6) = phits.out

[ S o u r c e ]
s-type  =  1
proj    =  neutron
dir     =  all
r0      =  0.
z0      = -146.4
z1      = -146.4
e0      =  14.

[ M a t e r i a l ]
mat[1] $ Air
      N 8 O 2
mat[2] $ Polyethylene
      C 2 H 4
mat[3] $ Concrete
      O -0.52 Si -0.325 Ca -0.06
      Na -0.015 Fe -0.04 Al -0.04
mat[4] $ Acrylic
      C 5 O 2 H 8
mat[5] $ Methane
      C 1 H 4

[ S u r f a c e ]
$ colimator
100  cz  5.5
101  cz  1.
102  pz  0.
103  pz 100.
$ wall
104  rpp -100. 100. -100. 100. 0. 100.
$ fringe
110  cz  5.5
111  pz 102.
112  pz 104.
$ detector
120  pz 110.
$ room
200  rpp -100. 100. -100. 100. -200. 300.

[ C e l l ]
$ collimator
100  2  -0.9 -100 +101 +102 -103
$ wall

```

```

200  3  -2.5    -104 +100
$ frange
300  4  -1.18   -110 +111 -112
$ detector
400  5  -0.000717 -110 +112 -120
$ room
1000 1  -0.0012  -200 #100 #200 #300 #400
$ void
2000 -1          +200

[ T - C r o s s ]
  title =   Energy distribution in r-z mesh (front)
  mesh =   r-z
  r-type =   1
  nr =      3
           0. 1. 5.5 10
  z-type =   1
  nz =      0
           102.
  e-type =   2
  ne =     150
  emin =    0.
  emax =   15.
  unit =    2
  axis =   eng
  file =   cross_eng_f.out
  output =  f-curr
  part =   all neutron
  gshow =   1
  epsout =  1

[ T - C r o s s ]
  title =   Energy distribution in r-z mesh (rear)
  mesh =   r-z
  r-type =   1
  nr =      2
           0. 1. 5.5
  z-type =   1
  nz =      0
           104.
  e-type =   1
  ne =      3
           0. 13.5 14.5 20.
  unit =    2
  axis =   eng
  file =   cross_eng_r.out
  output =  f-curr
  part =   all neutron
  gshow =   1
  epsout =  1

[ T - C r o s s ]
  title =   Posion distribution in xyz mesh (front)

```

```

    mesh = xyz
    x-type = 2
    nx = 100
    xmin = -10.
    xmax = 10.
    y-type = 2
    ny = 100
    ymin = -10.
    ymax = 10.
    z-type = 1
    nz = 0
    102.
    e-type = 2
    ne = 1
    emin = 0.
    emax = 20.
    unit = 1
    axis = xy
    file = cross_xy_f.out
    output = f-curr
    part = all neutron
    gshow = 1
    epsout = 1

[ T - C r o s s ]
    title = Posion distribution in xyz mesh (rear)
    mesh = xyz
    x-type = 2
    nx = 100
    xmin = -10.
    xmax = 10.
    y-type = 2
    ny = 100
    ymin = -10.
    ymax = 10.
    z-type = 1
    nz = 0
    104.
    e-type = 2
    ne = 1
    emin = 0.
    emax = 20.
    unit = 1
    axis = xy
    file = cross_xy_r.out
    output = f-curr
    part = all neutron
    gshow = 1
    epsout = 1

[ T - 3 D s h o w ]
    output = 3
    material = 4

```



```
      2 3 4 5
x0 = 0.
y0 = 0.
z0 = 0.
e-the = 40.
e-phi = 45.
e-dst = 500.
l-the = 150.
l-phi = 30.
l-dst = 80.
w-wdt = 80.
w-hgt = 100.
w-dst = 300.
heaven = x
line = 2
shadow = 2
resol = 2
file = 3dshow.out
title = Check geometry
epsout = 1

[Mat Name Color]
mat    name      color
1      Air       pastelblue
2      Polyethylene red#yellow
3      Concrete  camel
4      Acrylic   blue

[ E n d ]
```