

180mTaの半減期測定のためのHPGe検出器のγ線検出効率の評価

阪大理, 阪大RCNP^A,
佐久間幹人, 吉田斉, 野田健太, 安田圭吾,
高草元, 白井竜太, 西川隆博, 梅原さおり^A

1. 研究目的

研究目的

- 180mTaの半減期測定のためにHPGe検出器のγ線検出効率を評価する

方法

- 133Ba線源によるγ線をHPGe検出器に当てる実験を行い、その様子をモンテカルロシミュレーション(MC)によって再現、比較する

180mTa

- 天然に存在する唯一の核異性体
- β崩壊やEC崩壊によって9+から6+への遷移
- 半減期がまだわかっていない
→下限値は1.5 × 10¹⁹年
- 崩壊の際に93.3 keVから350.9 keVまでのγ線を3本ずつ放出する
→133Baの81 keVと356 keVのγ線を用いてHPGe検出器の検出効率を評価

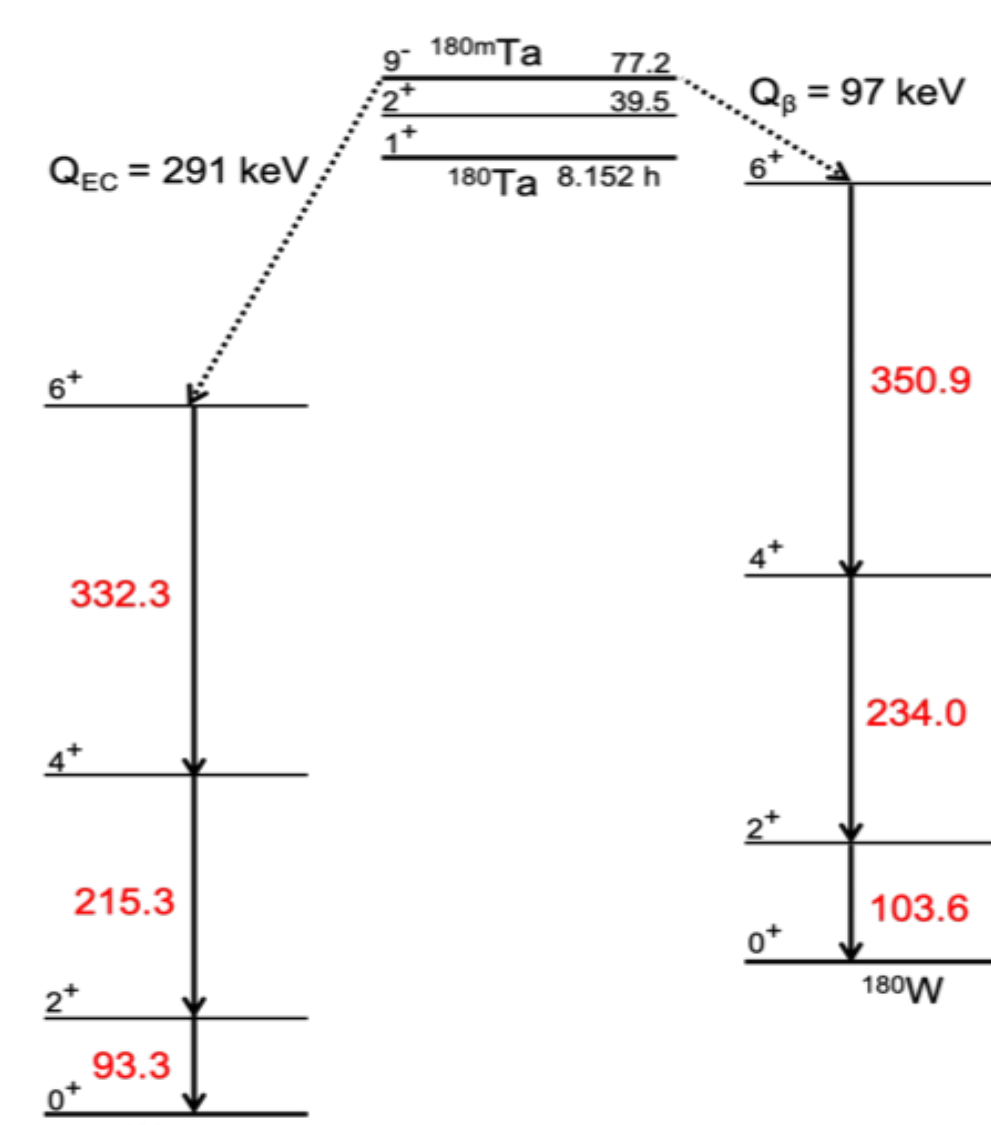


図1-1. 180mTa崩壊図

2. HPGe検出器

HPGe検出器

- キャンベラ社製p型同軸HPGe検出器を用いた
- 設計図によるHPGe検出器の断面図を図2-1に示した

γ線源

- 測定には鉛によってコリメートした133Ba線源を用いた(図2-2)

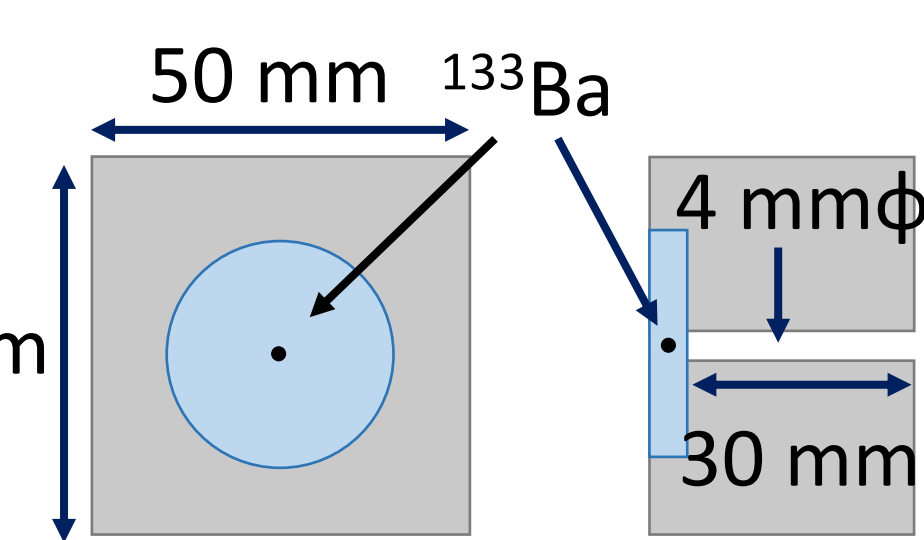
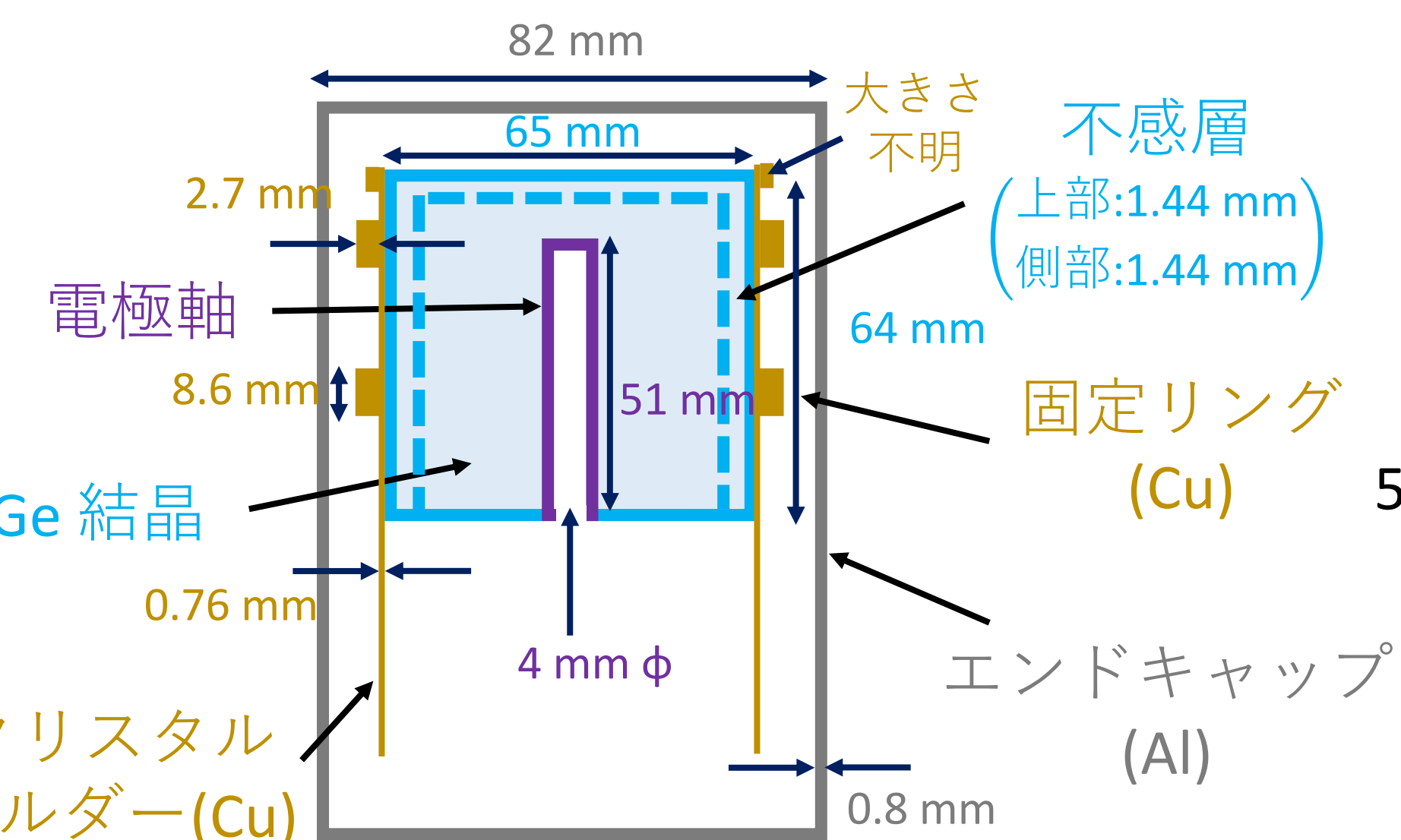


図2-2. 鉛コリメーター

図2-1. 設計図によるHPGe検出器

3. 実験

実験場所

神岡地下実験施設

実験

- 計数率の垂直方向と水平方向の場所依存性を調べる2つの実験を行った
- 1. 水平方向**
 - 線源を検出器の上に乗せ、数mm間隔でずらして測定した
- 2. 垂直方向**
 - 線源を検出器の横から当て、アクリル板を用いて数mm間隔で上にずらして測定した(図3-1)

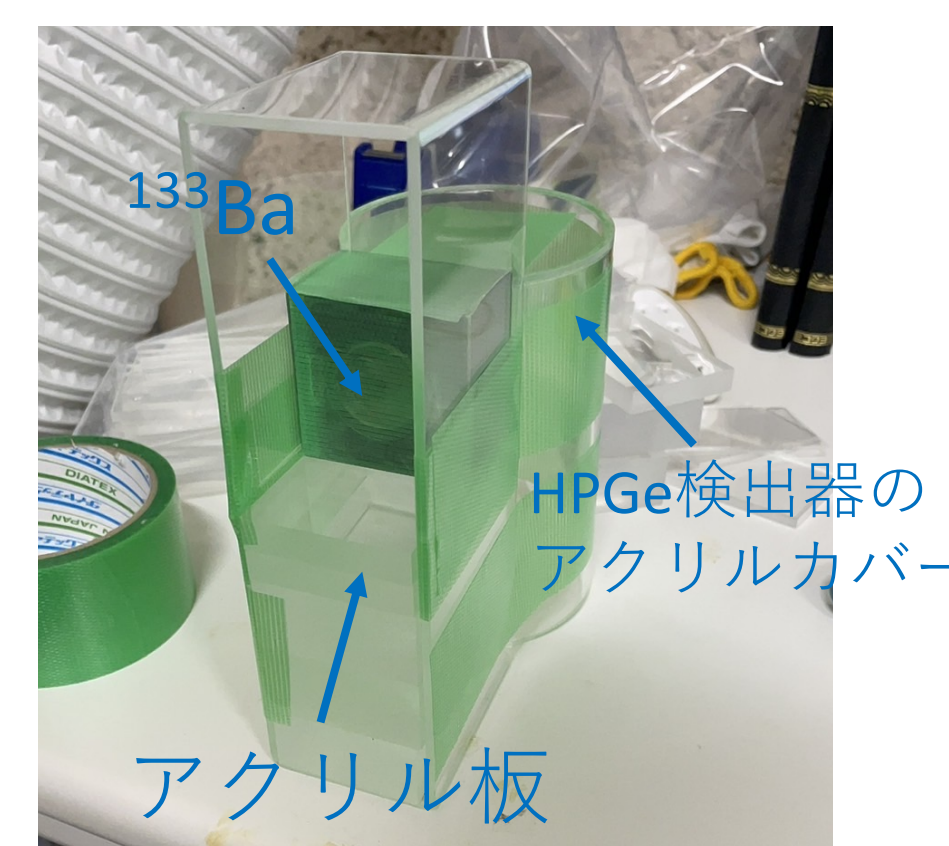


図3-1. 133Ba線源とアクリル板

4. MC

解析

- それぞれの実験を元に、場所ごとの計数率を調べた

MC(モンテカルロシミュレーション)

- 実験から得たグラフをMC上で再現し、重ね書きした(図4-1, 図4-2)
- HPGe検出器内部のGe結晶や固定リングなどの内部構造の場所や大きさ、不感層の厚さなどを変数として調整した結果、実験を再現することができた

5. 分析

分析方法

- MCによる実験の再現度を定量的に評価するため、EXP(実験)/MCの値について調べた。
- 81 keVの計数率で0.1未満 (Maxの10%) の測定点の結果は測定に与える影響が小さいため無視した
- 図4-1の32mmの計数率はEXPとMCの差が大きいのので除外した
→EXPとMCのGe結晶の直径が1 mm程ずれている可能性があり、81 keVにおける半値幅の差から、除外による影響は1~2%と考えられる

EXP/MC	平均	標準偏差
水平方向 81 keV	1.009	0.091
356 keV	0.994	0.119
垂直方向 81 keV	0.989	0.108
356 keV	1.050	0.089

表5-1. EXP/MCの平均と標準偏差

MCによる検出効率の誤差は14%とした

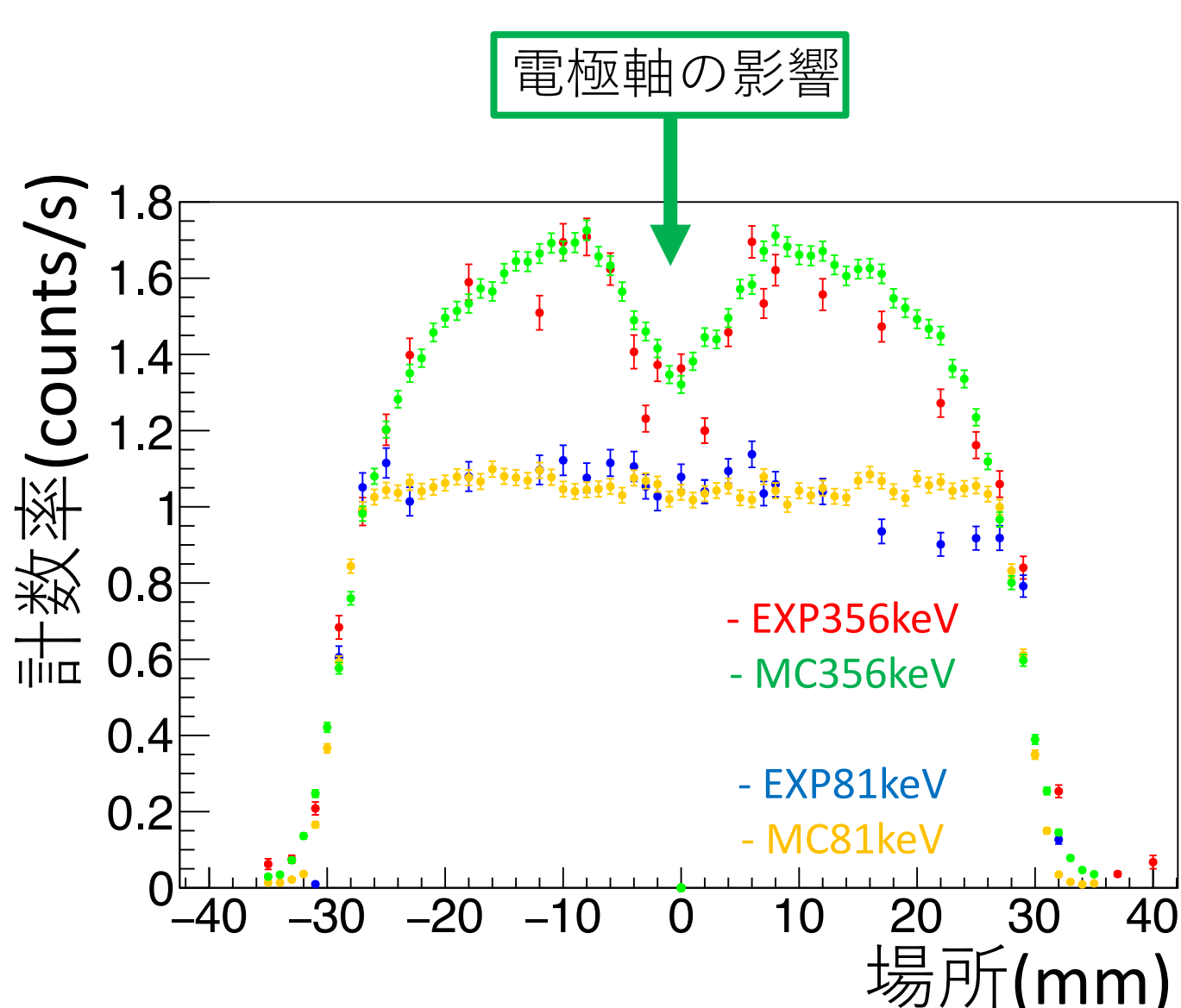


図4-1. 水平方向依存性

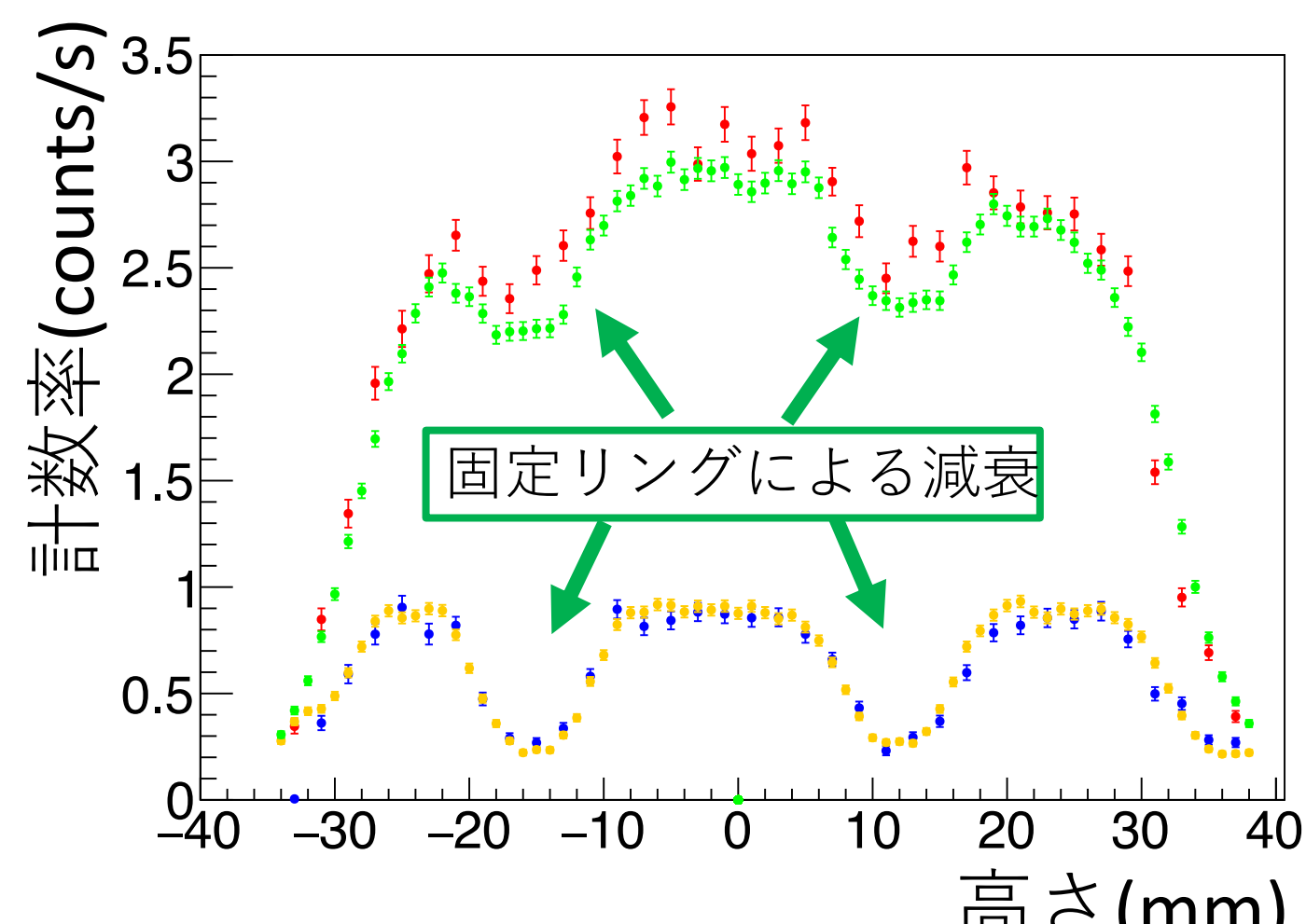


図4-2. 垂直方向依存性

HPGe検出器

- 実験値を最もよく再現するMCに用いたHPGe検出器の内部構造のうち、設計図と異なるものを以下にまとめた(図6-1)

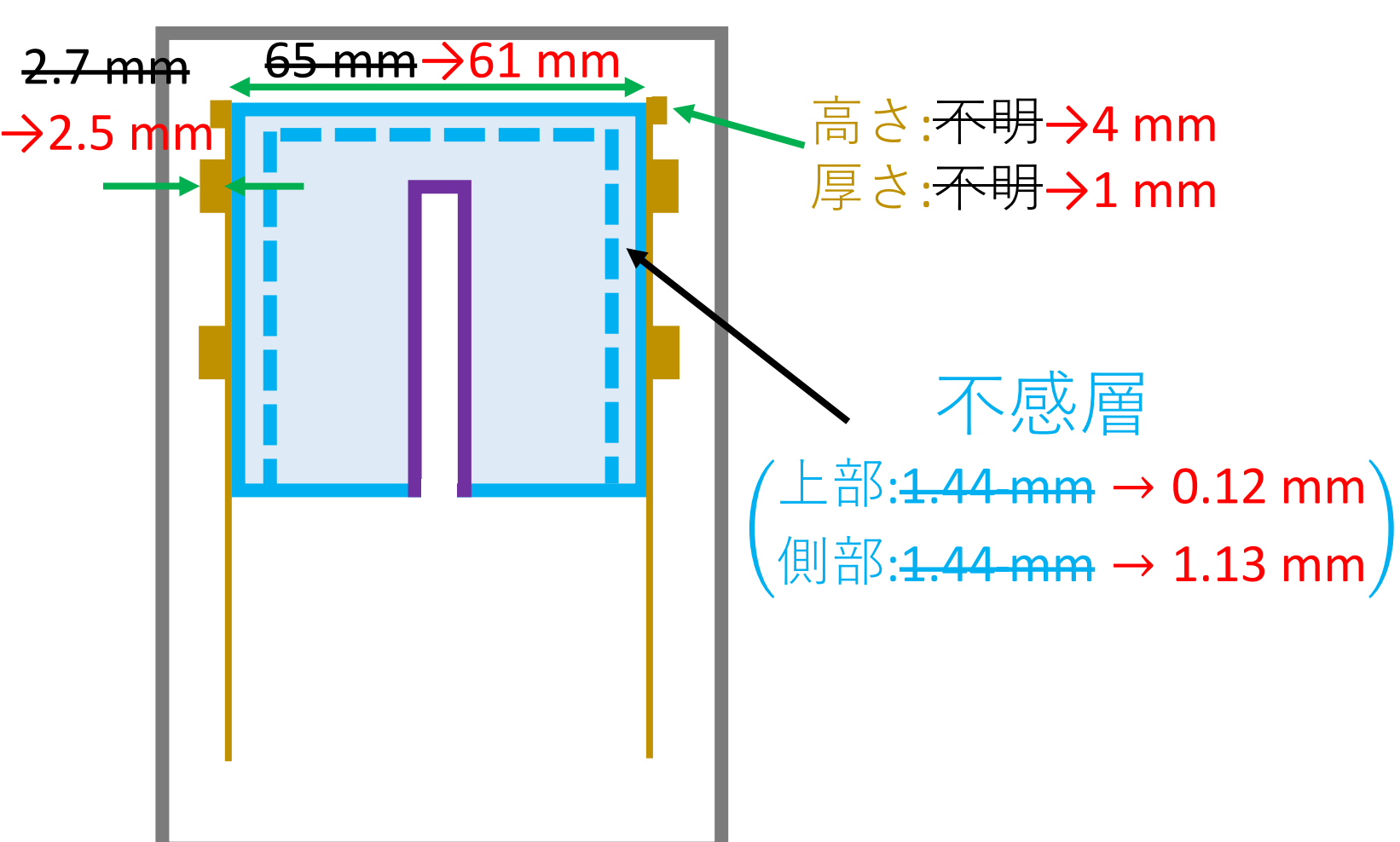


図6-1. MCによるHPGe検出器

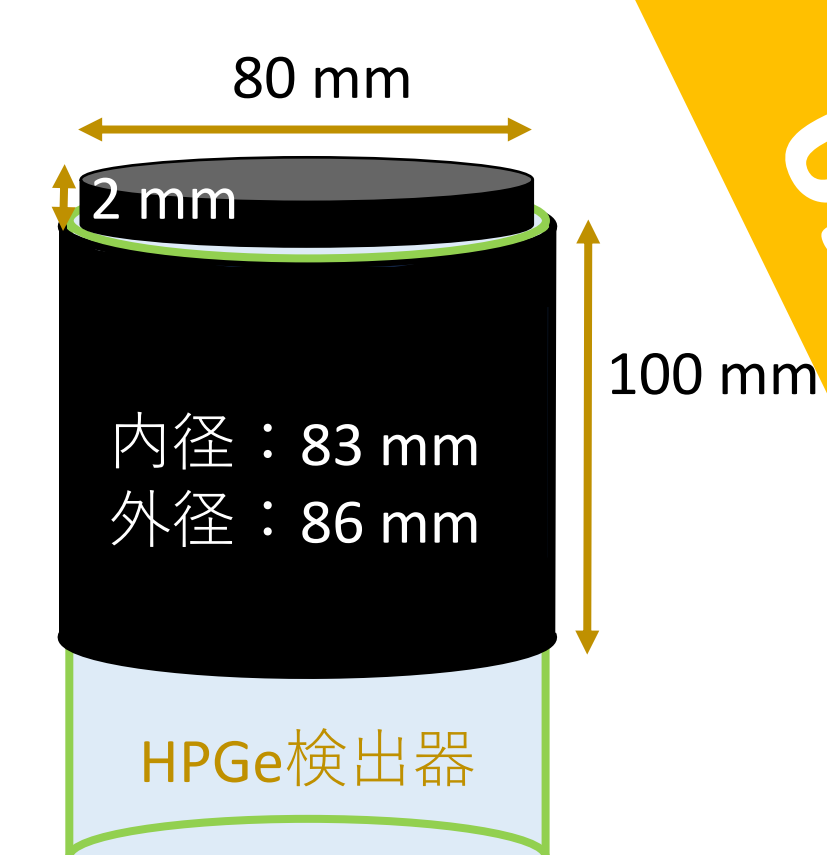


図6-2. 180mTa試料

6. 結果

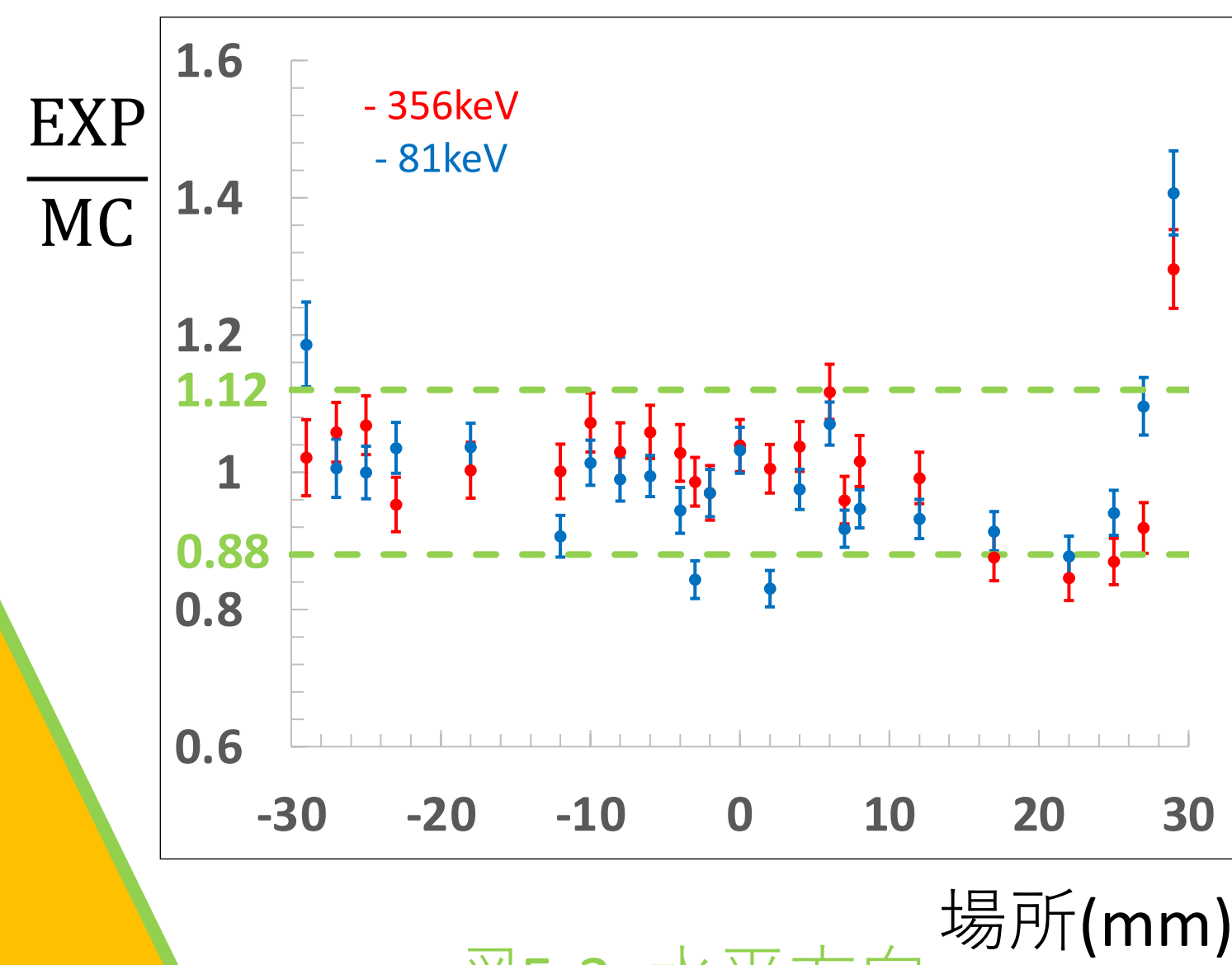


図5-2. 水平方向

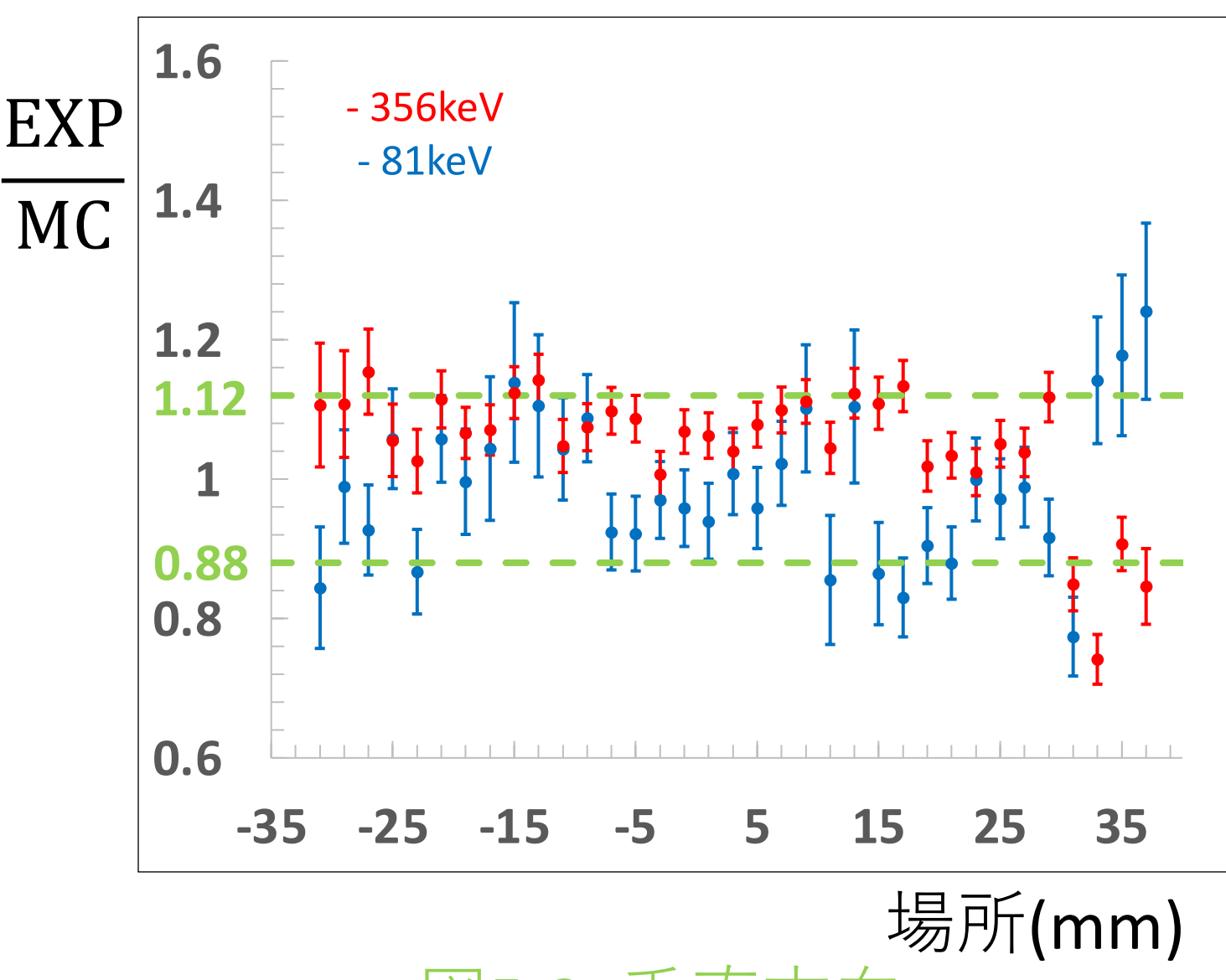


図5-3. 垂直方向

検出効率

- 実際の180mTa半減期測定は、図6-2のような180mTa試料を用いて行われる
- MC上で180mTa試料の形と、180mTaの崩壊によって放出される6本のγ線を再現し、その検出効率を求めた
- MCによる統計誤差は0.7%以下であるため無視した

133Ba線源強度の誤差が約3%あるため、総じて17%の誤差とした

エネルギー(keV)	検出効率(%)
93.3	0.22 ± 0.04
103.6	0.34 ± 0.06
215.3	2.38 ± 0.40
234	2.56 ± 0.44
332.3	2.86 ± 0.49
350.9	2.84 ± 0.48

表6-3. 180mTa検出効率

7. 今後の課題

測定について

- 線源の強度の誤差や手作業での測定による誤差などが、検出効率にどの程度影響を与えるか詳しく調べる必要がある

検出効率について

- MCで実験をより正確に再現することにより、検出効率の誤差10%以下を目指す

さらに検出効率を上げるために

- Ge結晶の直径を、設計図での65 mmに対し、MCでの61 mmでは小さく見積りすぎていたため、正確に調整する
- 検出効率の回転対称性についても確認していく
- 不感層を直方体型で定義しているが、実際には角が丸まっていると考えられるため、その曲率を求める必要がある