

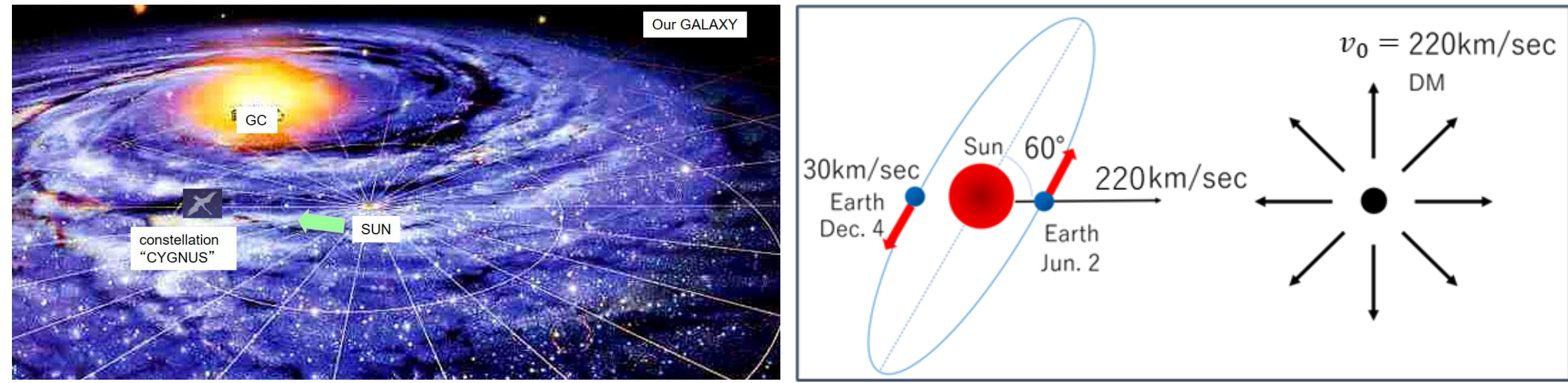
暗黒物質方向感度検出器の開発に向けたZnWO₄シンチレータの評価

東京大学, 関谷研究室 修士1年, 河内弘輝

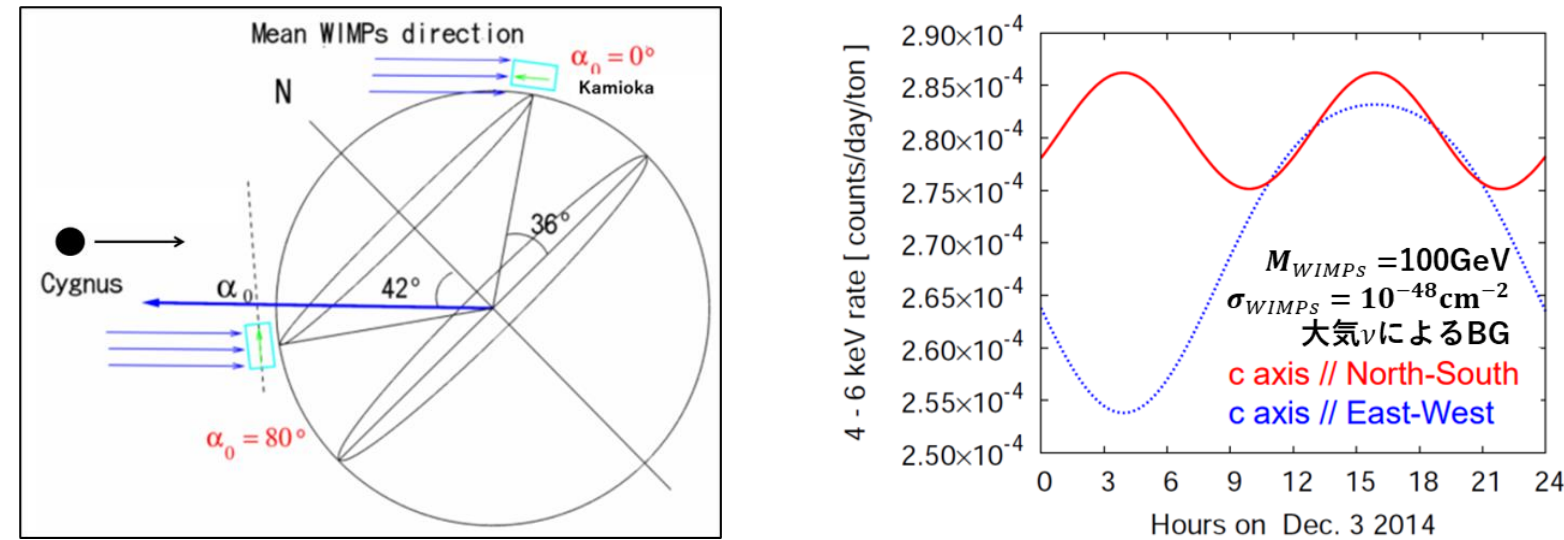
1. 研究目的

○ WIMPsが飛来する方向

- WIMPsは銀河内を $v_0 = 220 \text{ km/s}$ のマクスウェル分布に従い飛び交う。
- 太陽系は銀河系を約秒速220kmではなくちょう座の方向に進む。
- はくちょう座の方向からWIMPsが降り注ぐ。

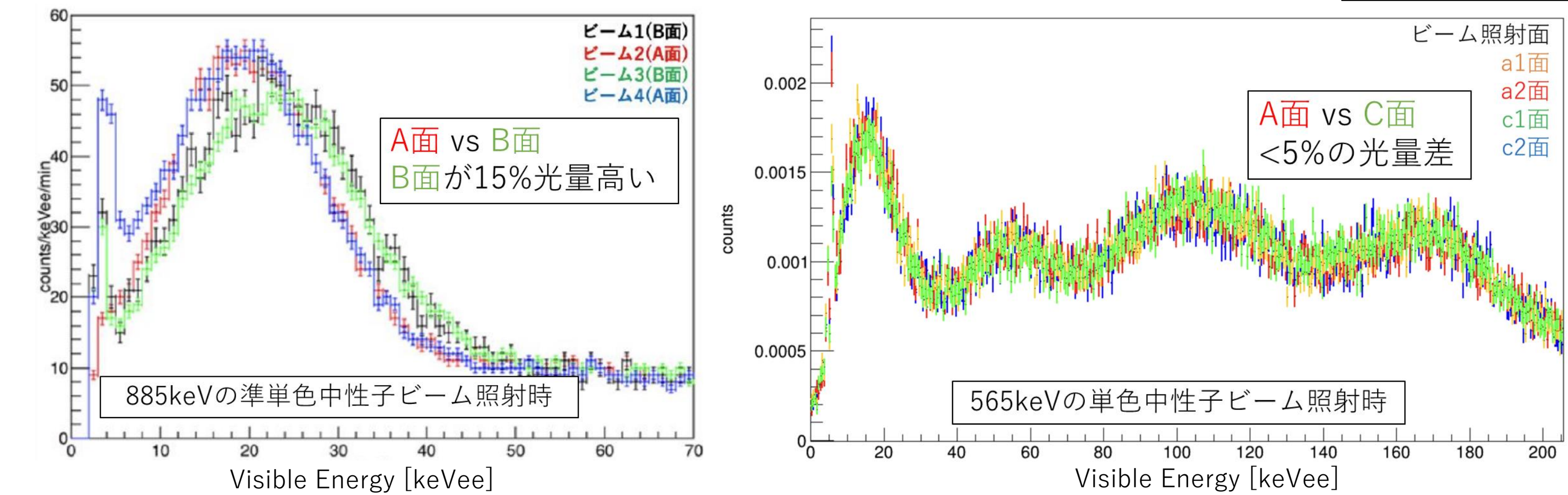
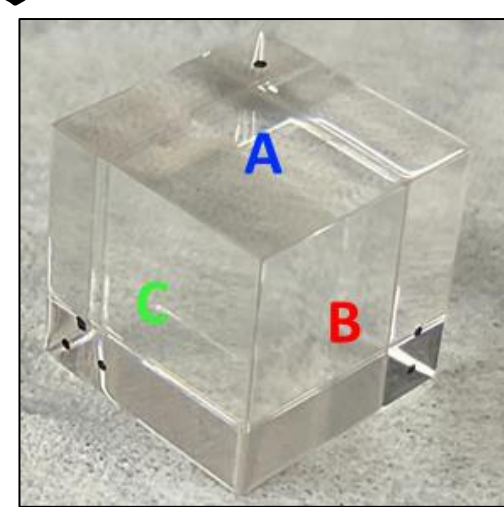


- はくちょう座の方向は地球の自転で日周変化する。
- 発光異方性のあるシンチレータでイベントレートの日周変化を捉える。



○ 発光異方性のあるZnWO₄結晶シンチレータ

- 無色透明の単斜晶系結晶。
- 発光量はNaIの23%程度。
- 発光時定数が長い(約20μs)ためPMTからの信号が離散的になる。
- 先行研究では中性子ビームによる酸素原子核反跳の測定が2度(ビームエネルギーは885keVと565keV)行われ、発光の異方性が確認された。

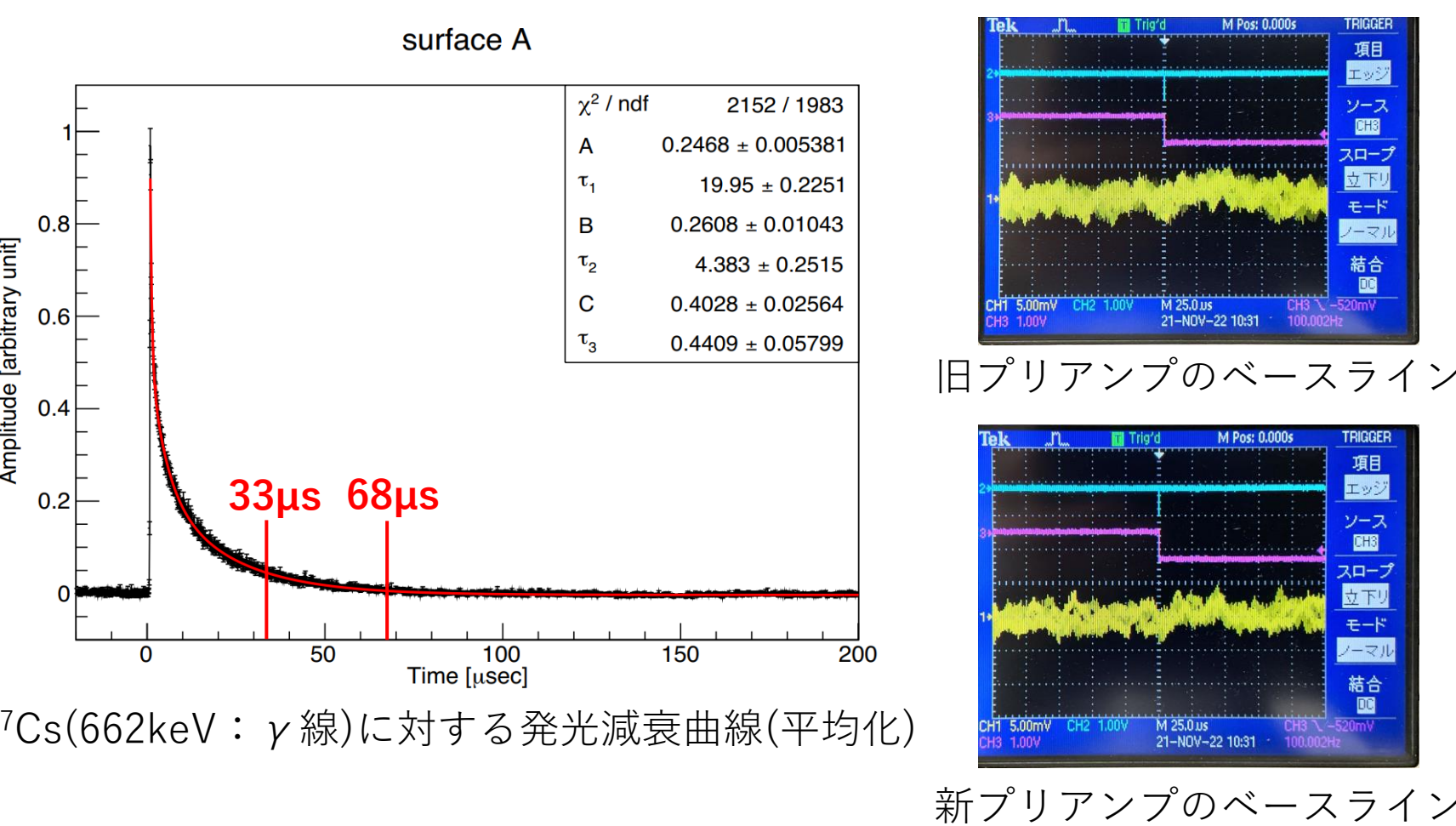
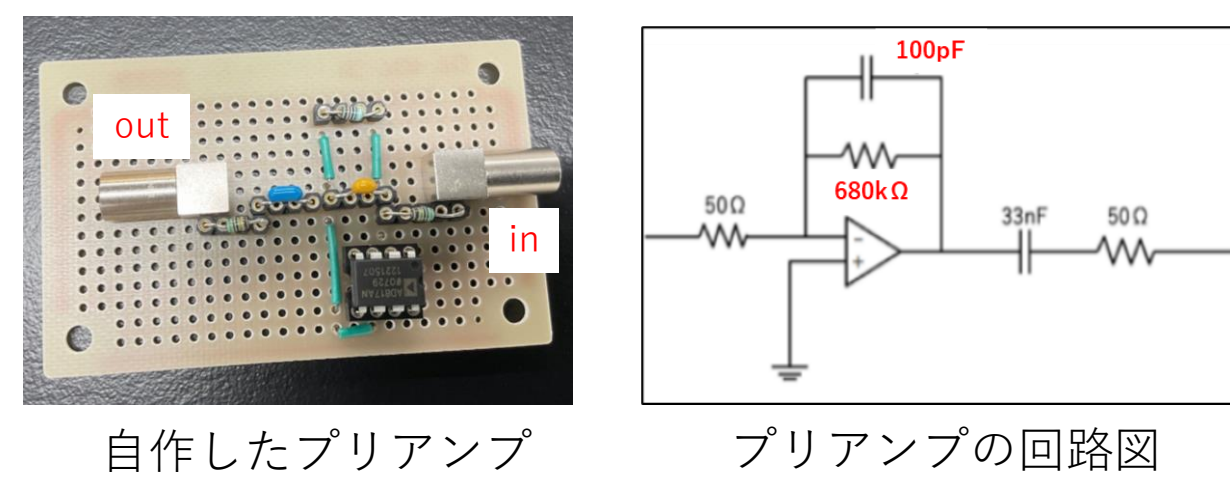


→原子核反跳エネルギー100keV以下での測定のためには集光量の向上が必要。

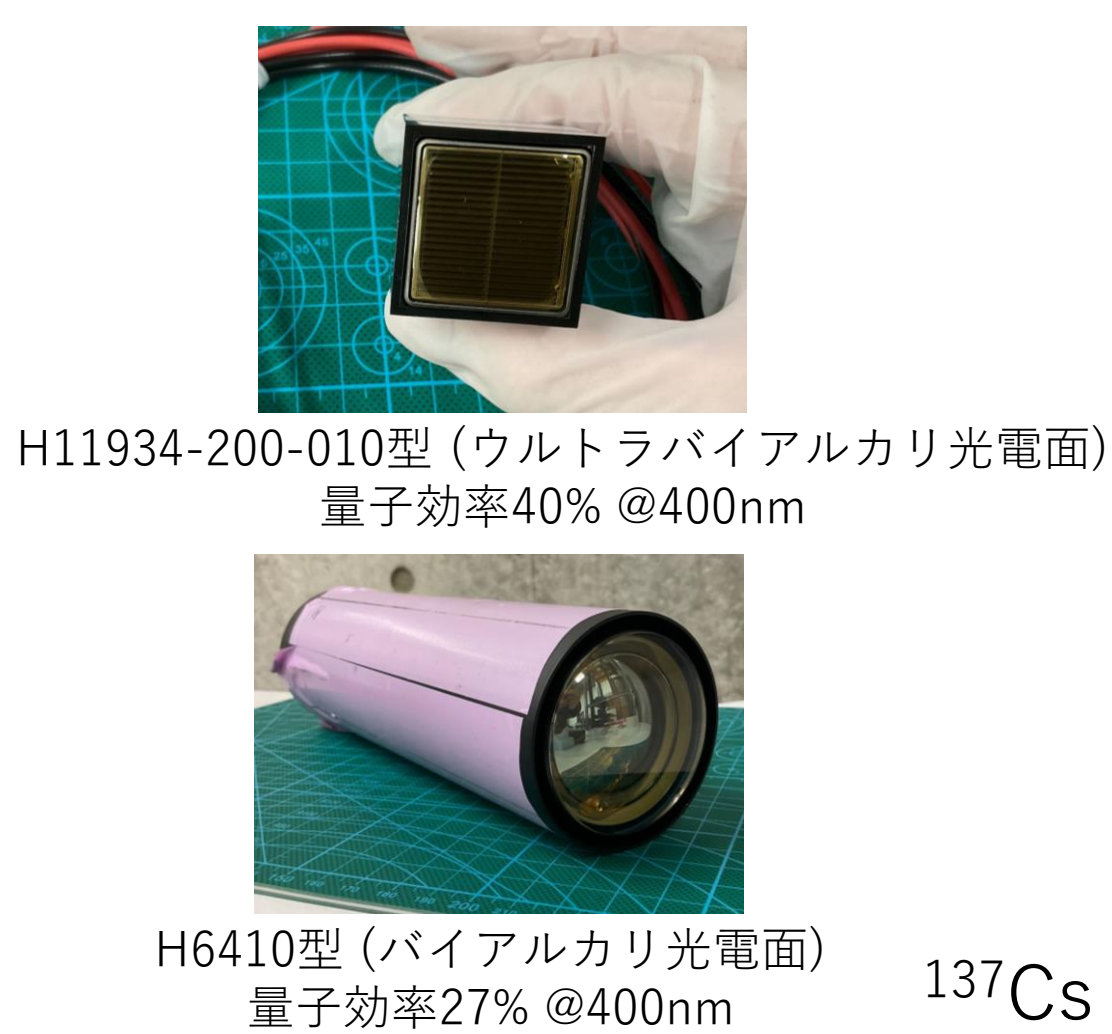
2. 低エネルギー測定に向けた集光量向上

○ プリアンプ時定数の最適化

- 離散的な信号を積分する。
- 積分時定数を33μsから68μsにする。
- 同時にノイズを低減する。
- プリアンプとフィルターを自作した。



○ 高量子効率のPMT(R11934-200-010)



○ 反射材の最適化

- アルミ蒸着シート**
 - 厚さ50μmでPETのフィルムに0.04~0.06μmのアルミが蒸着してある。
 - 2枚重ねにし外側をテフロンテープで2周巻き固定することで隙間をなくす。
 - 先行研究では集光率が最も高い。
 - 隙間ができると付け外し毎の光量差が生じる。
 - グリースが染みないので時間経過で光量が安定する。
- テフロンテープ**
 - 厚さは100μm。
 - 1枚では簡単に透過するので7周巻いて透過を抑えた。
 - 集光率がアルミ蒸着シートよりも高い。
 - 隙間ができにくく取り付け毎の光量差が生じにくい。
 - グリースが染みるので時間経過で光量が不安定のまま。



137Cs (662keV) 0.46 ± 0.01 p.e./keV → 0.58 ± 0.01 p.e./keV
光量が約1.26倍になっていることを確認した。

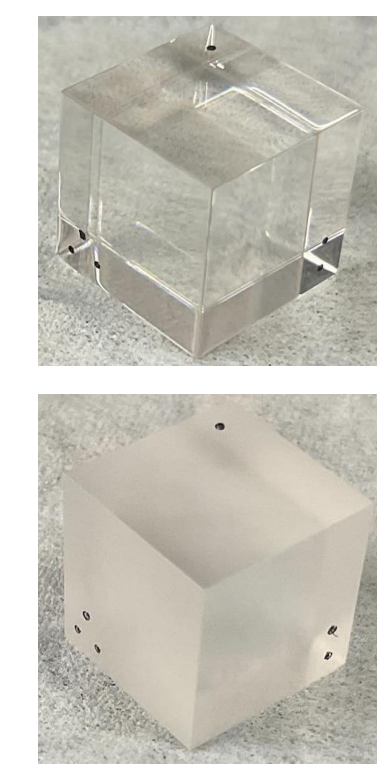
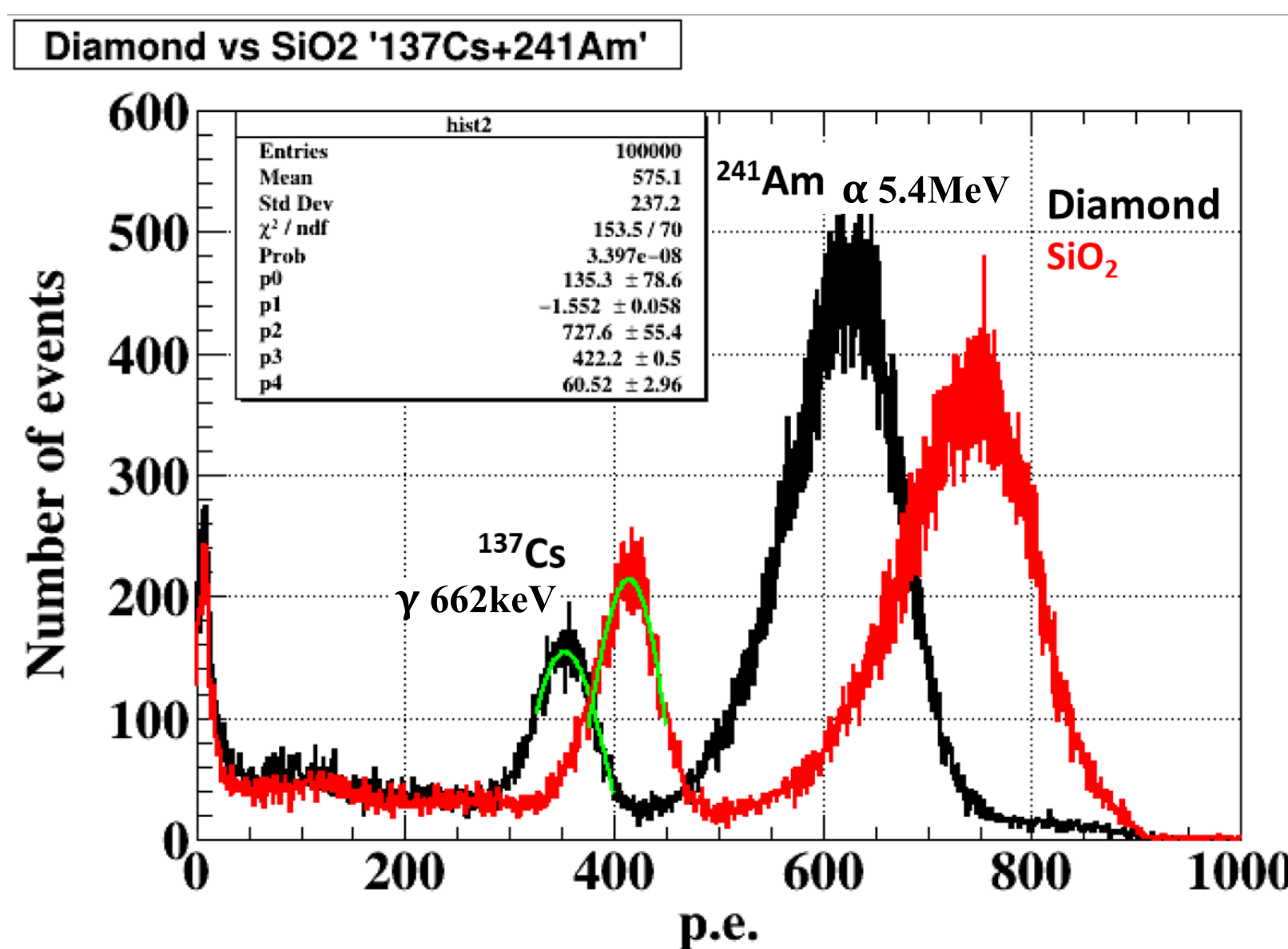
→光量の時間変化が少ない**アルミ蒸着シート**を反射材に選んだ。

他にも様々な条件で系統誤差の原因を検証した。
→結晶の表面状態(反射材+グリース)の変化が主な要因。

3. 低RI結晶の集光量評価

ダイヤモンドパウダー研磨 vs 高純度SiO₂パウダー研磨

従来はダイヤモンドパウダーでの鏡面研磨だが、高純度SiO₂パウダーで研磨した場合表面状態は粗いが放射性不純物は少ないと思われる。
→暗黒物質探索に向けた検出器の低BG化に活用できる。



ダイヤモンドパウダー研磨
0.53 ± 0.01 p.e./keV

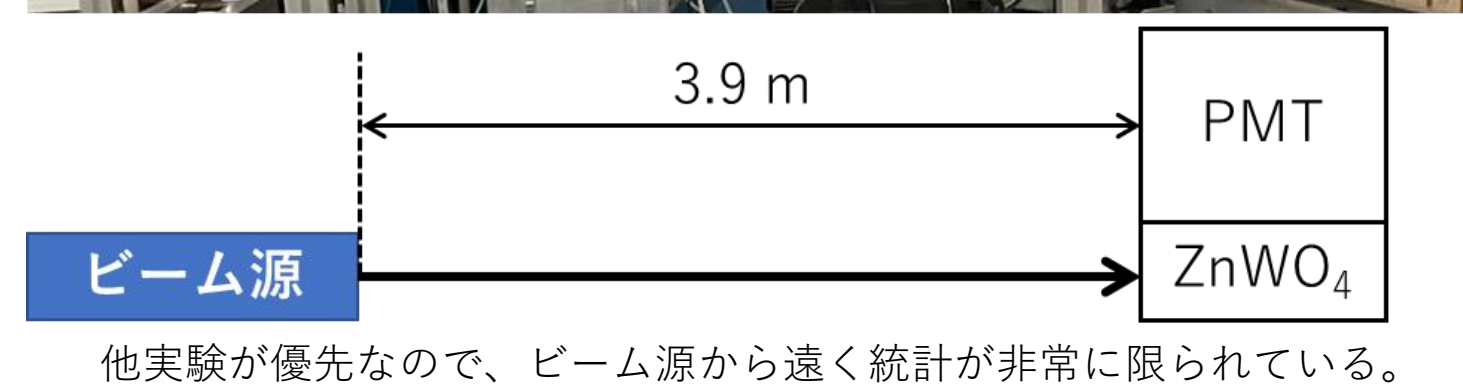
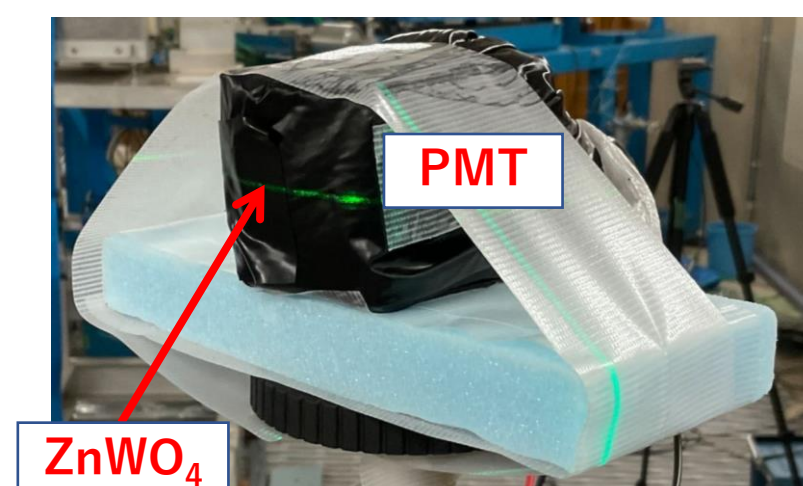
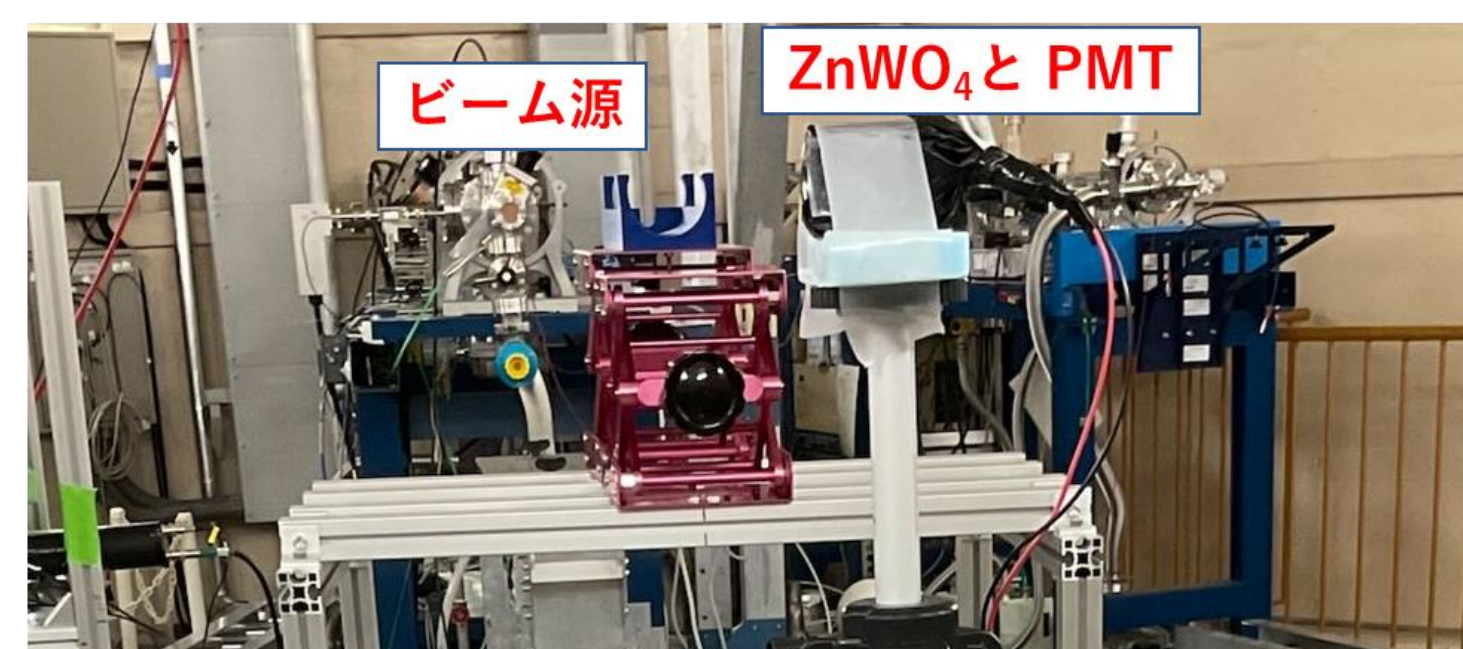
SiO₂パウダー研磨
0.62 ± 0.03 p.e./keV

→SiO₂パウダー研磨の方が光量が1.2倍大きい。
表面状態の粗さによりむしろ集光量が増加することが分かった。

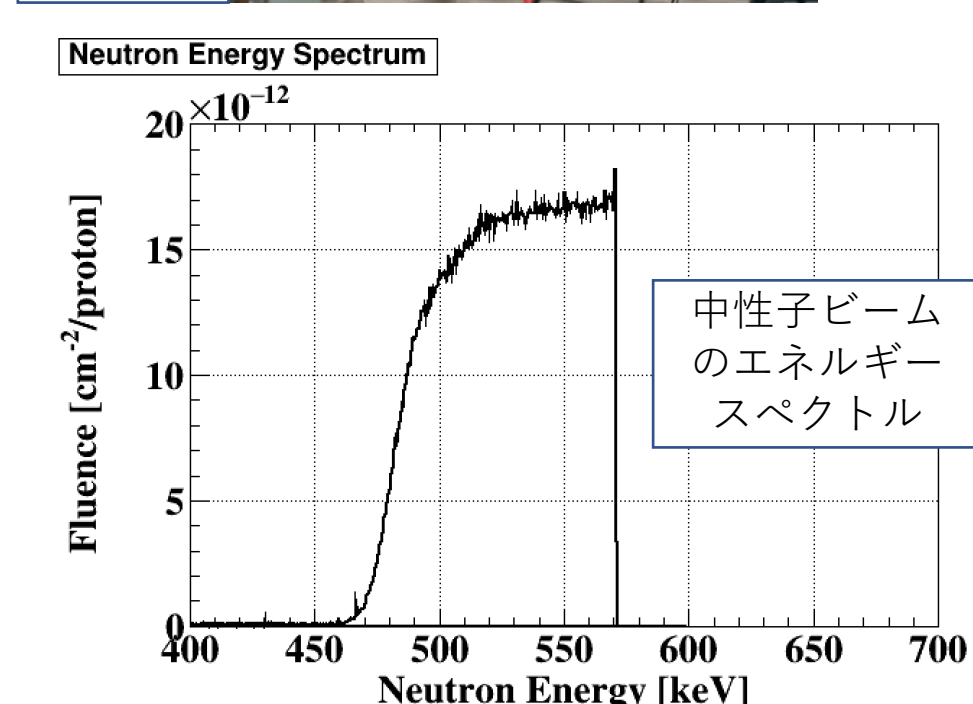
4. 中性子ビームシミュレーション

○ 予備的なビーム試験

中性子に対する発光応答を確認するため、6月頃に産総研で中性子ビーム試験を予定。
→他の実験の随伴として予備的にビーム試験(2022/12/22)を行った。

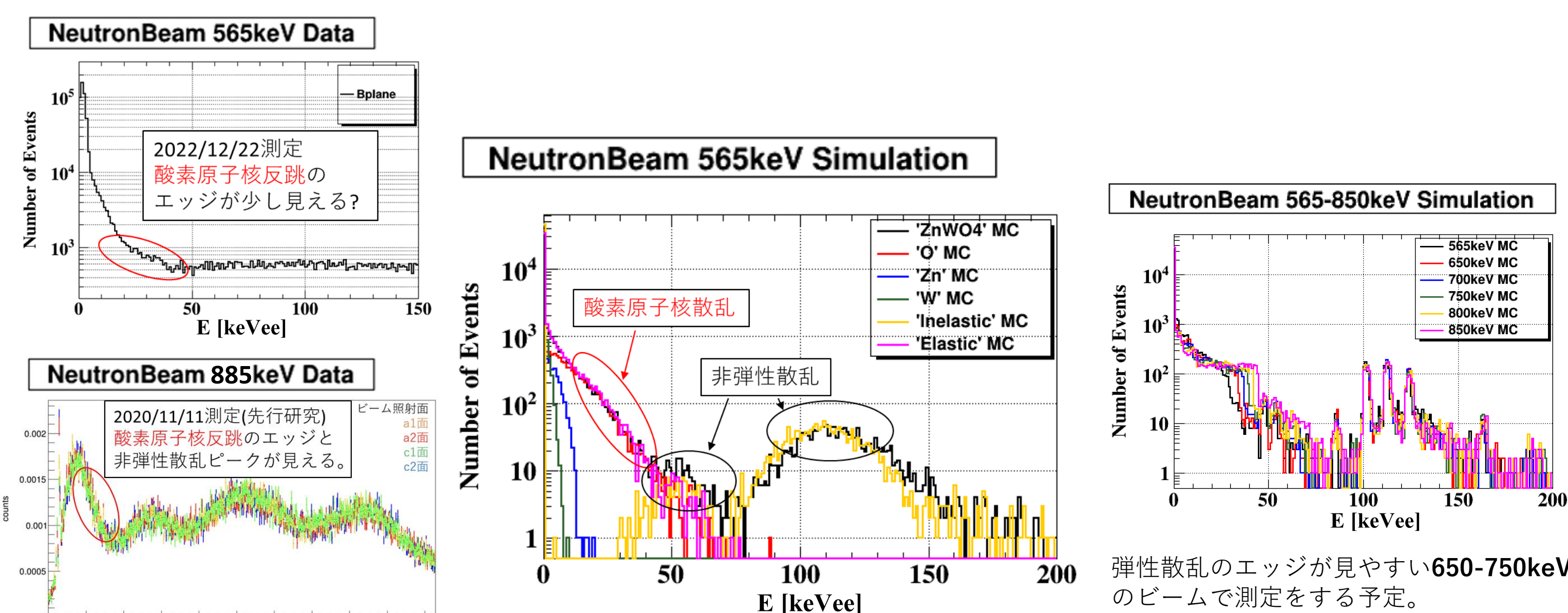


他実験が優先なので、ビーム源から遠く統計が非常に限られている。



- 応答スペクトルをGeant4でシミュレーションした。
- 565keVビームでの測定結果とシミュレーション結果を比較した。

○ シミュレーション結果とデータとの比較



5. まとめ

○プリアンプとフィルターを作成し1p.e.が測定できるようになった。

○時定数を33μsから68μsにすることで集光量が**0.58 p.e./keV**になった。

○紫外線アルカリ光電面のPMTを用いることで**光量が1.26倍**となり、先行研究よりも低エネルギーまで観測可能になった。

○結晶の付け外しや時間経過による光量の変化は、結晶の表面状態(反射材+グリース)による影響が大きいことがわかった。
・光量の時間変化が少ない**アルミ蒸着シート**を反射材に採用した。

○SiO₂研磨の結晶にするとさらに**光量が1.2倍**になることを確認した。

○次回の中性子ビーム試験に向けて、予備実験とGeant4を用いたシミュレーションを行った。

今後の展望

- ZnWO₄結晶を用いて中性子に対する100keV以下での応答を調べる。
- ZnWO₄結晶に含まれる放射性不純物の評価を行い暗黒物質に対する感度を見積もる。