

放射線劣化により暗電流が増加した MPPCの低温での性能回復

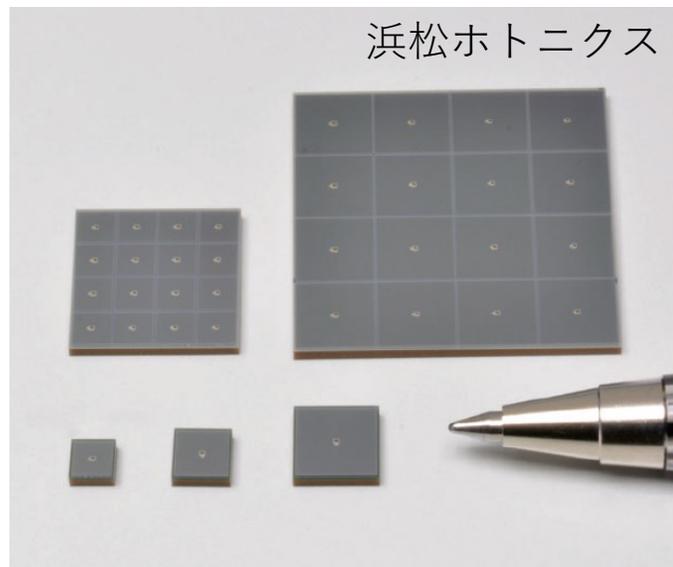
丹羽怜太

高橋弘充, 川端弘治, 深澤泰司, 須田祐介, 中村謙吾, 堀友哉 (広島大学)

光検出器MPPC (Si-PM)

ガンマ線検出に使われるシンチレータ検出器では、シンチレーション光の読み出し：光検出器が必要

MPPC：小型 (<1cm)、高ゲイン、低電圧 (<60V)
⇒キューブサットでの利用に適している



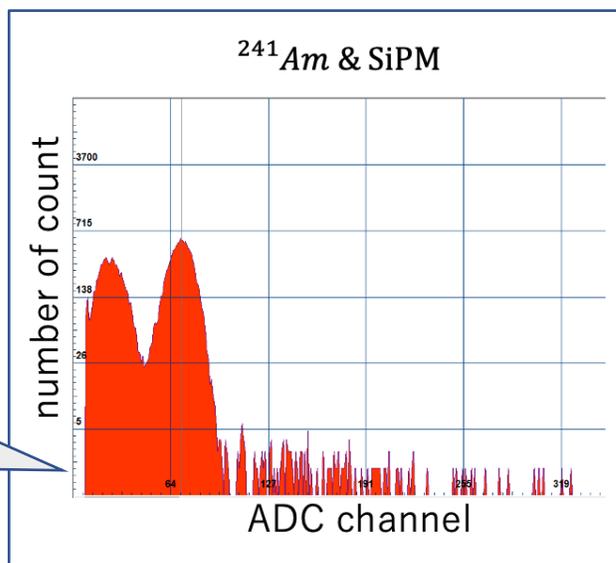
	検出効率 (%)	増幅率	暗電流	動作電圧 (V)	サイズ (cm)
フォトダイオード	80	1	低	数10	1
アバランシェ フォトダイオード	70	100	中	数100	1
MPPC (Si-PM)	50	10⁶	高	数10	1
光電子増倍管	40	10 ⁷	低	1000	10

研究内容

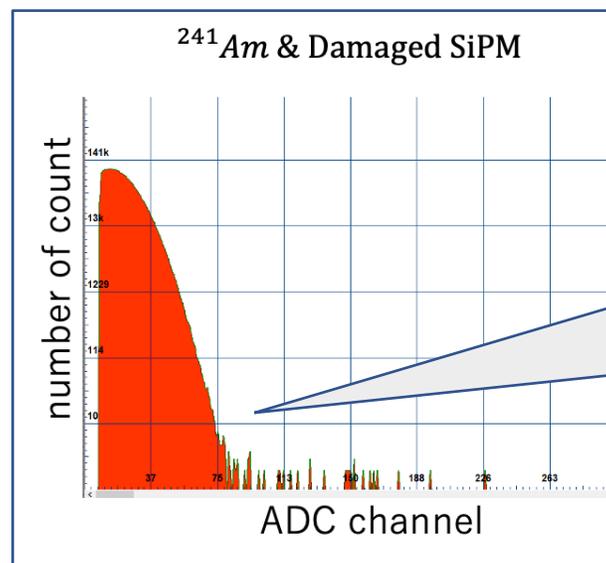
低温でのMPPCの動作を調べる

- 液体アルゴンのシンチレーション光の測定
 - 液体アルゴンは -186°C
 - 低温でのMPPC動作確認が必要
- MPPCは宇宙線にさらされると暗電流が増加する(放射劣化)
 - どこまで温度を下げれば暗電流を減らせるか？

通常のMPPC
での ^{241}Am
のスペクトル



放射線
劣化



放射線劣化で増加
した暗電流により
ピークがノイズに
埋もれるMPPC

放射線によって性能が悪化する

MPPC・シンチレータ

- ・ S13360-6050CS
- ・ S13360-6050VE

200MeVの陽子線を1krad照射
= 1年間低地球周回軌道で使用

	受光面サイズ[mm]	ピクセルピッチ[μm]	ピクセル数	状態
6050CS	6.0×6.0	50	14400	新品
6050VE	6.0×6.0	50	14336	放射線劣化

シンチレータ

	CsI(Tl)	BGO
密度 [g/cm^3]	4.53	7.13
大きさ [cm^3]	1×1×1	1×1×1
発光波長 [nm]	540	480
減衰時間 [ns]	1050	300
発光量 [photons/keV]	54	8-10



CsI



BGO

実験セットアップ

真空ポンプ + ステージ + 冷凍機

ステージ



CsI + 光学ラバー + MPPC



ステージに固定された検出器

冷凍機

- ヘリウムガスを用いた冷凍機
- 最大出力でステージの温度を 20K 付近まで下げることができる



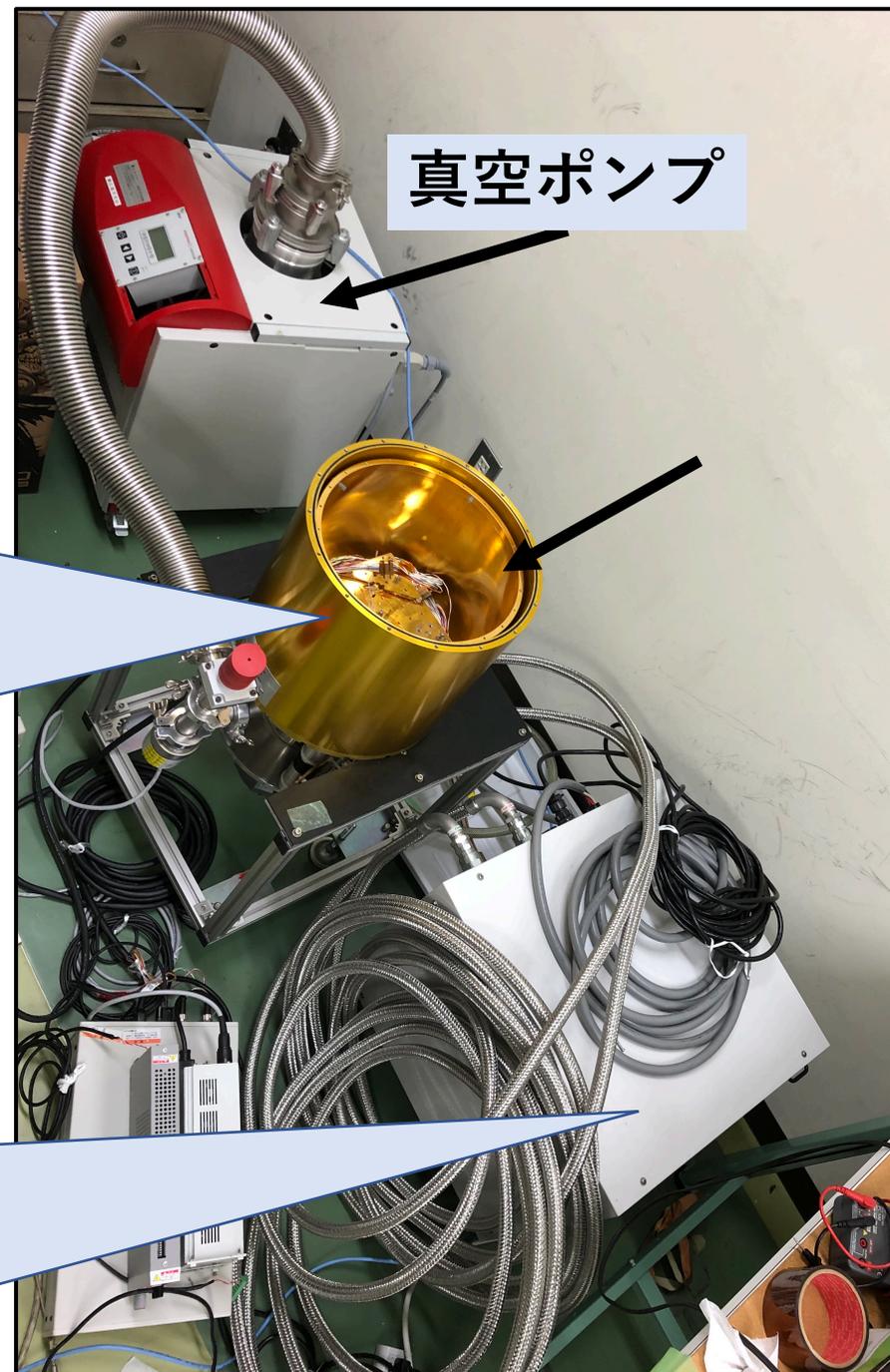
パラメータ(100K 設定)

A : 真空槽温度

B : ステージ温度

1 : 設定温度

※ヒーター出力 : High設定 6%



真空ポンプ

放射線劣化したMPPCの低温での振る舞い

MPPCを冷却

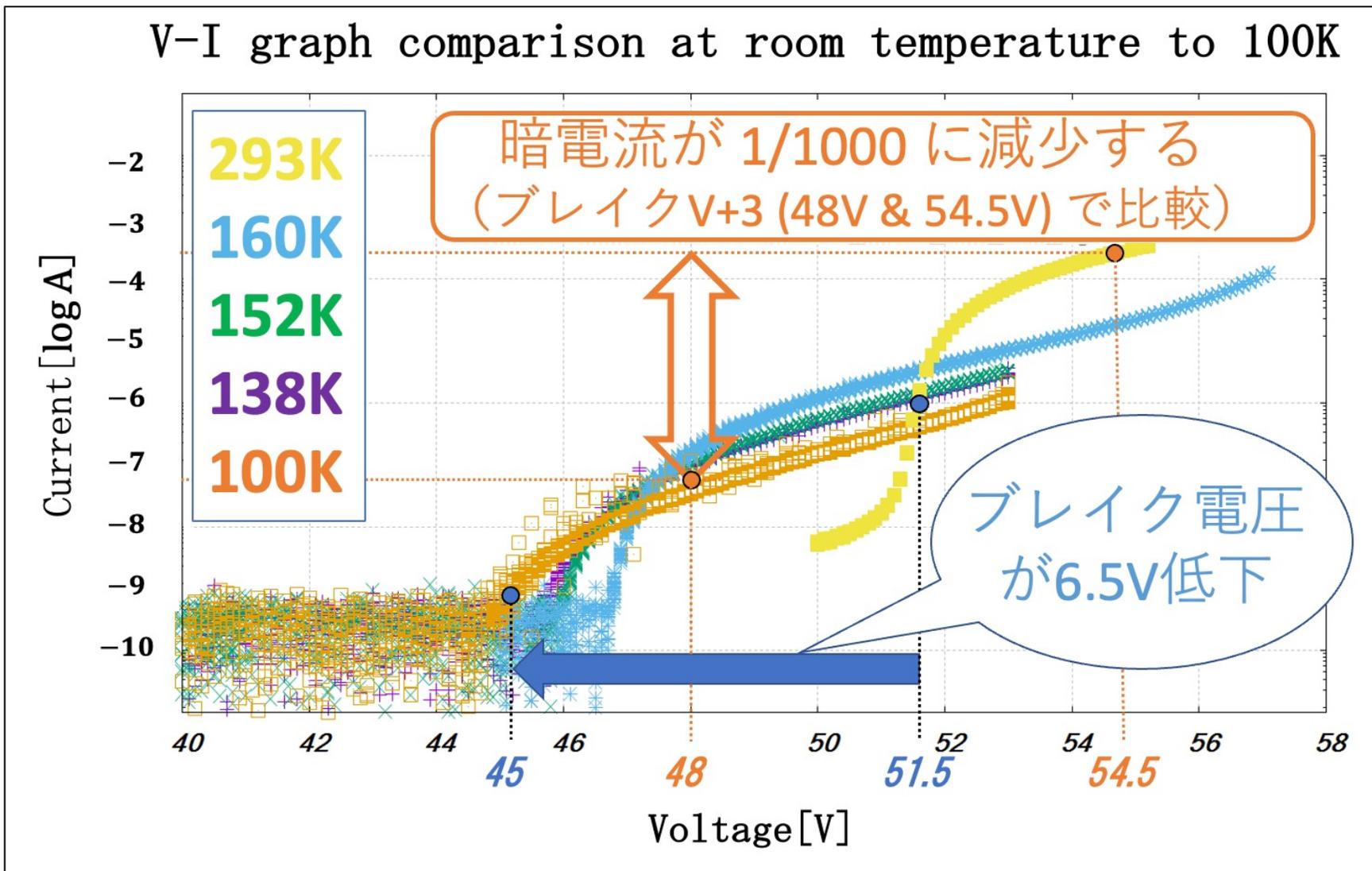
293K → 100K

- ブレイク電圧の低下

295K → 100K で
6.5V の低下

- 暗電流の減少

室温の約 1/1000
まで減少



低温にするとブレイク電圧の低下し、暗電流も減少する

冷却過程での検出器の変化

①冷却開始後、ピークが連続的に右に移動

温度を下げていくとMPPCのブレイク値が下がる



冷却過程では電圧一定だと増幅率が徐々に上がる



右方向へのピークのシフト

②191K以下になるとピークが左に移動を開始

低温になるとシンチレータの減衰時間が延びる

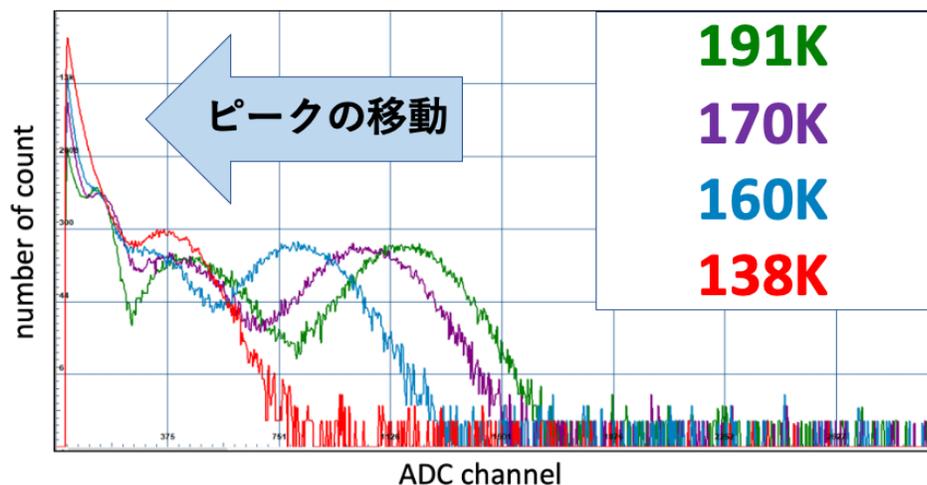
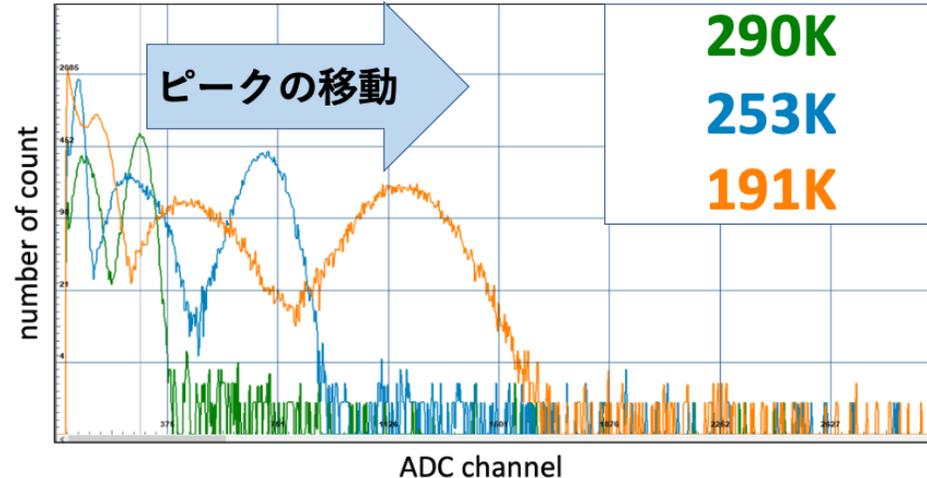


整形増幅器のシェーピングタイム内に
必要な光量を集めきれない



左方向へのピークのシフト

各温度での ^{241}Am スペクトル
一定の電圧で冷却しながら測定



冷却によってMPPC・シンチレータどちらも性能・性質が変化する

CsI(Tl)からBGOへ

シンチレータを低温下におく



励起状態の空間的、
エネルギー的分布が少なくなる



束縛状態にいる電子が抜け出す確率が低下

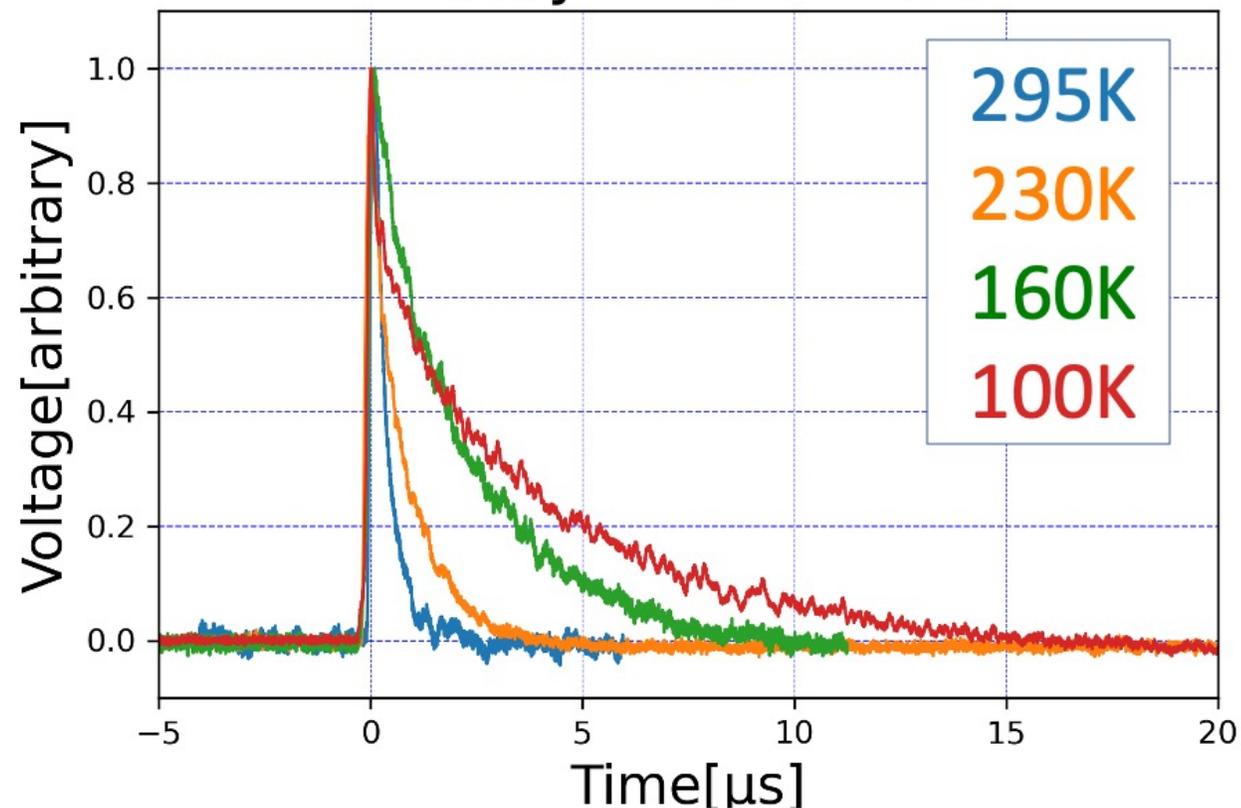


励起されてから活性化物質へ遷移するまでの
時間が長くなり蛍光時間が長くなる



減衰時間の短いBGOを用いて低温測定を行う

Decay time of BGO

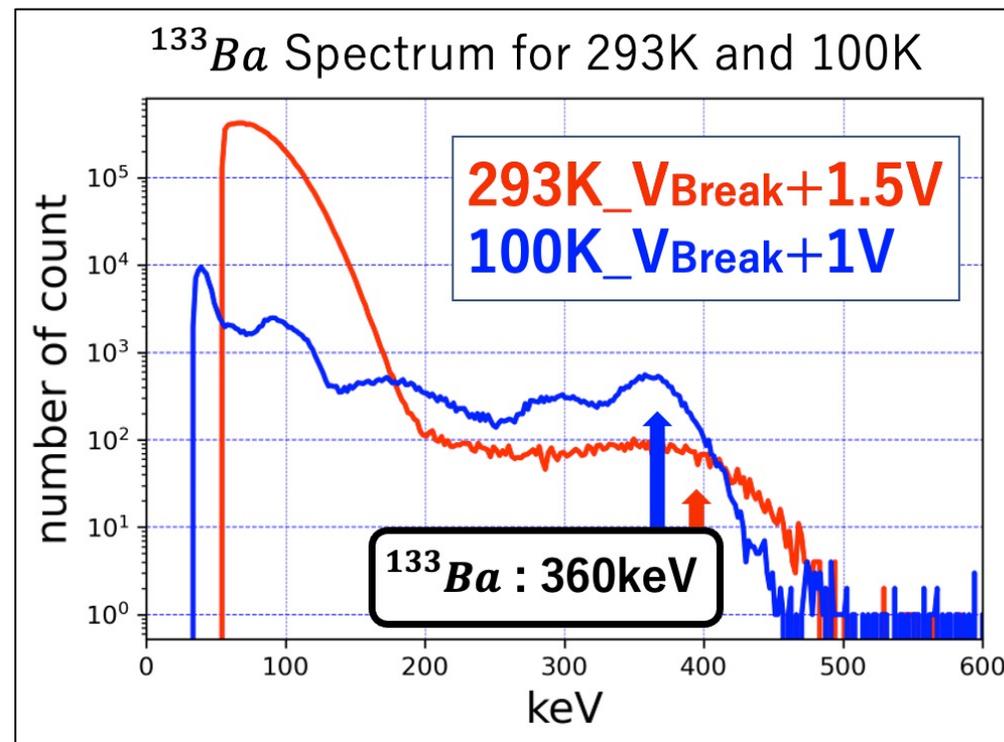
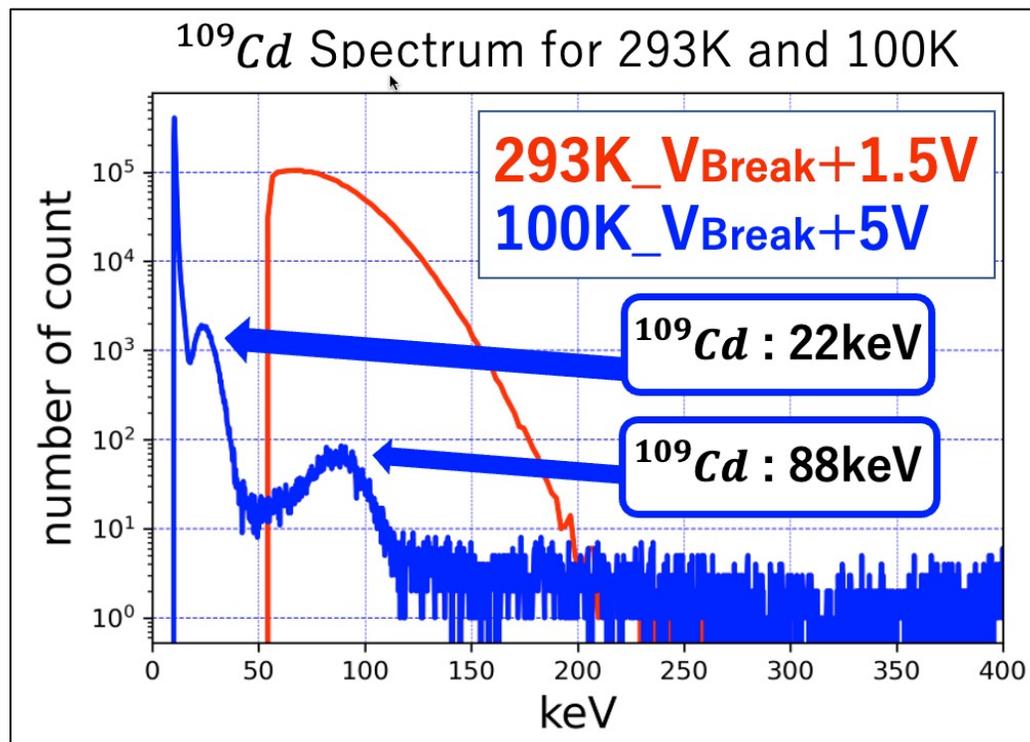


BGOでも低温(100K)では減衰時間が10 μ sほどまで延びる
100Kでのシェーピングタイムは3 μ sが適正と判断

放射線劣化MPPC & BGOで低温測定

室温ではノイズで見られなかった低エネルギー側のピークも100Kでは確認できる

室温(293K)と低温100Kでの比較 (^{109}Cd :左と ^{133}Ba :右)



⇒ 線源の特徴的なスペクトル形状が確認できるようになる

結論

- 100Kの低温下でもMPPCが正常に動くことを確認できた
- 放射線劣化により暗電流が増加したMPPCでも低温にすることで暗電流の減少を確認できた
- 低温下にするすることで放射線劣化したMPPCでも性能が回復することを確認した

今後の予定

- 放射線劣化を起こしていないMPPCで100K以下での暗電流の変化を調べる
- 比較的減衰時間の早いGAGGやプラスチックシンチレータでも調べる
- MPPC単体での検出効率を調べる