

K⁰TO実験におけるCharged Vetoの ための読み出しシステムの開発

京大理、岡山大^A、KEK^B、山形大理^C

内藤大地、笹尾登^A、野村正^B、田島靖久^C、南條創、
塩見公志、河崎直樹、増田孝彦、前田陽祐、高橋剛

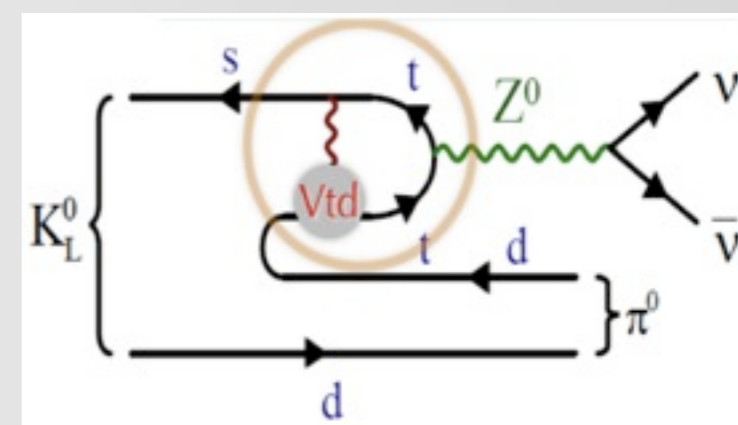
他 K⁰TO Collaboration

Contents

- Introduction
 - KOTO実験
 - Charged Veto(CV)
 - CVにおけるMPPCへの要請
- 冷却素子付き受光面3mm角MPPCの開発
 - レイアウト
 - 性能評価テスト
 - 測定項目
 - セットアップ
 - 結果
- summary

KOTO実験-1

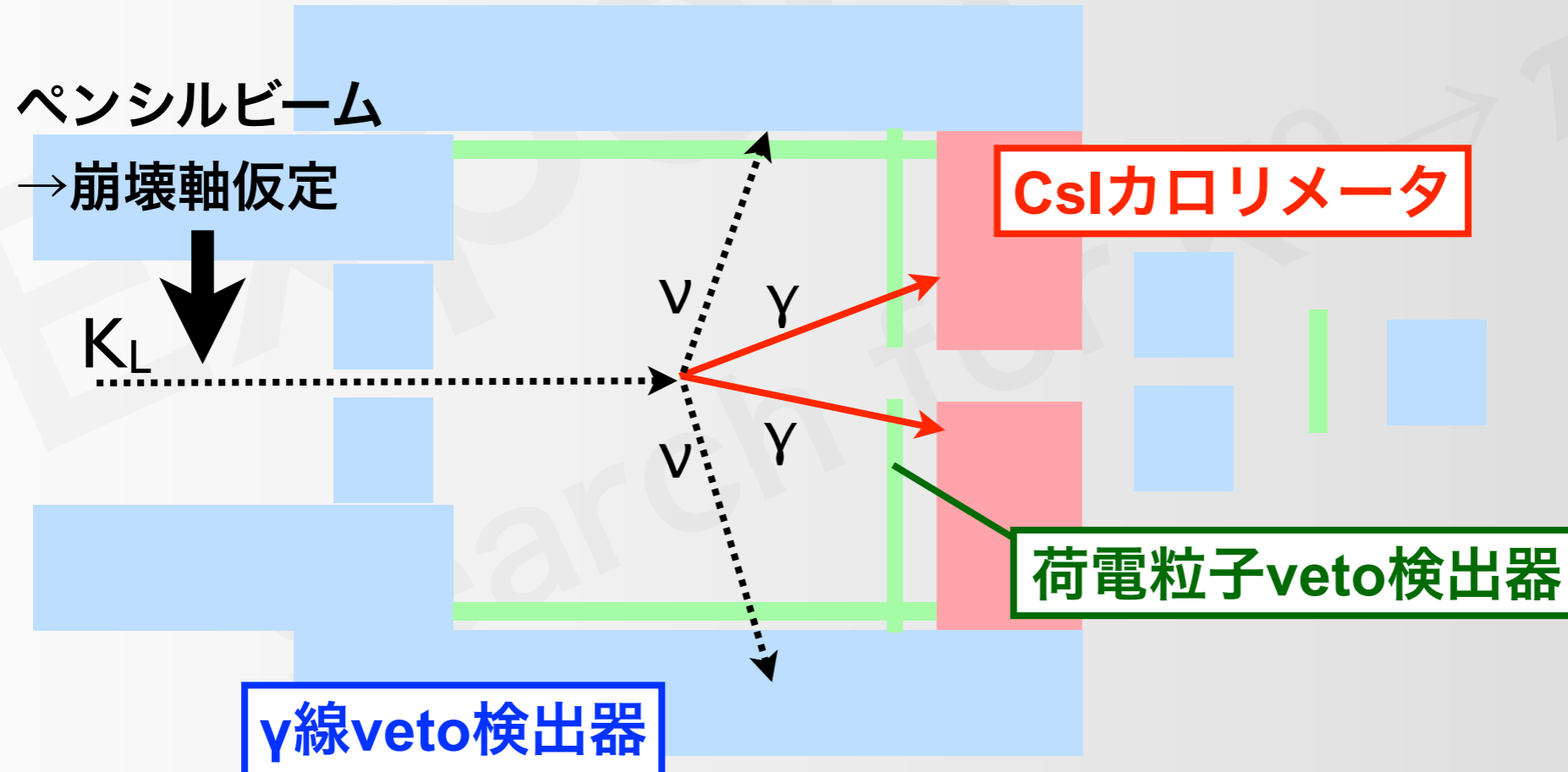
- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 稀崩壊探索実験
- 実験目的
 - 小林益川理論(CKM)の精密検証
 - $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \propto \eta^2$ (η はCKMの複素位相)
 - 新物理の探索
- $\text{Br} \approx 2.5 \times 10^{-11}$, 反応に関わる粒子が中性粒子
 - 実験的困難
- J-PARCで2011年秋物理ラン開始
- 今年度秋は
 - Cslメインカロリメータのエンジニアリングラン
 - ビームコア測定 (r , n)



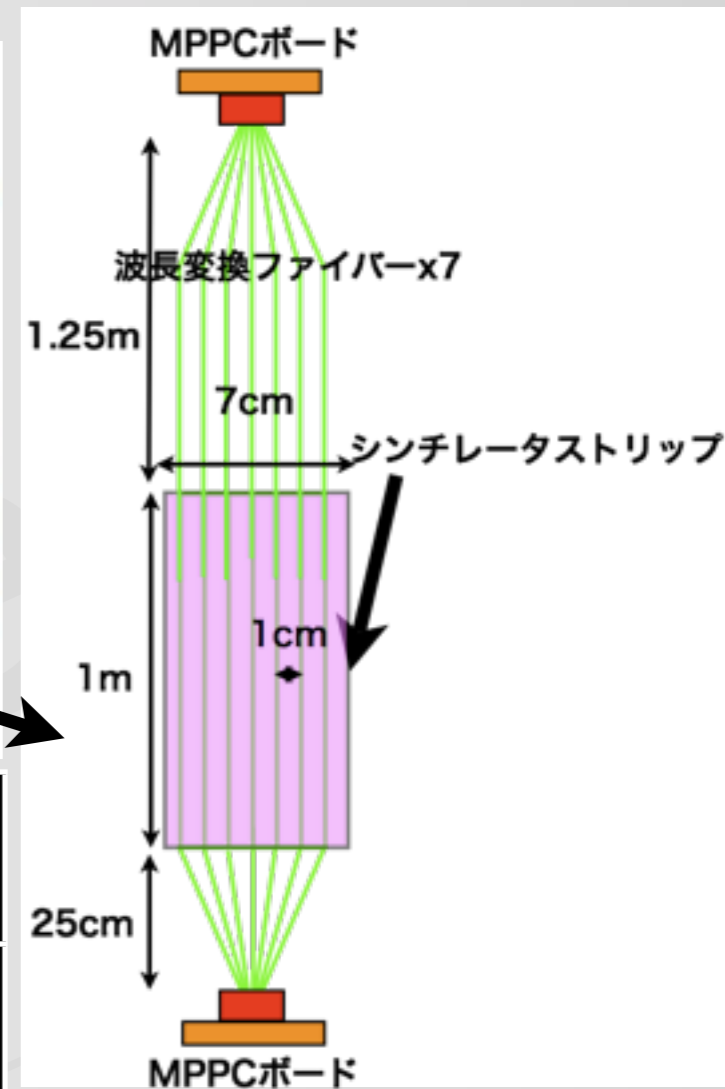
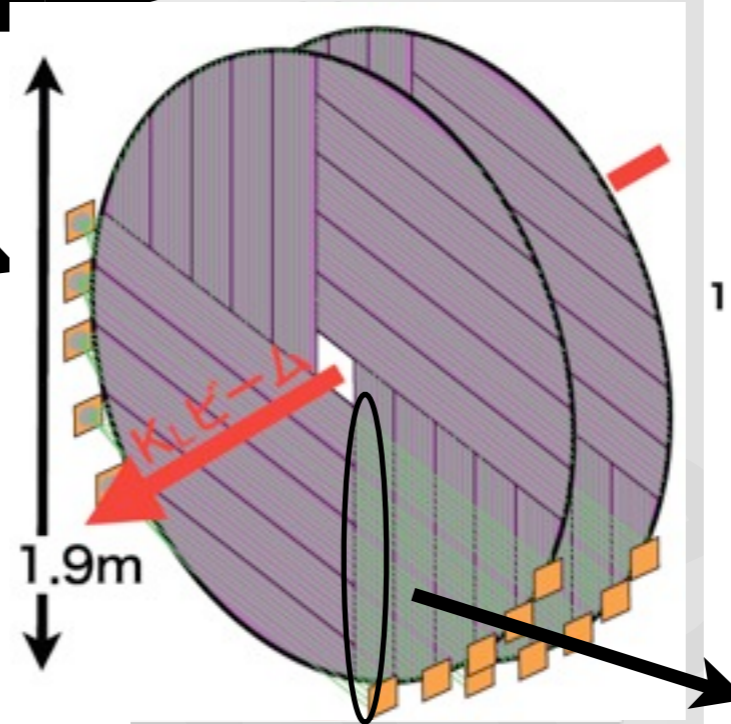
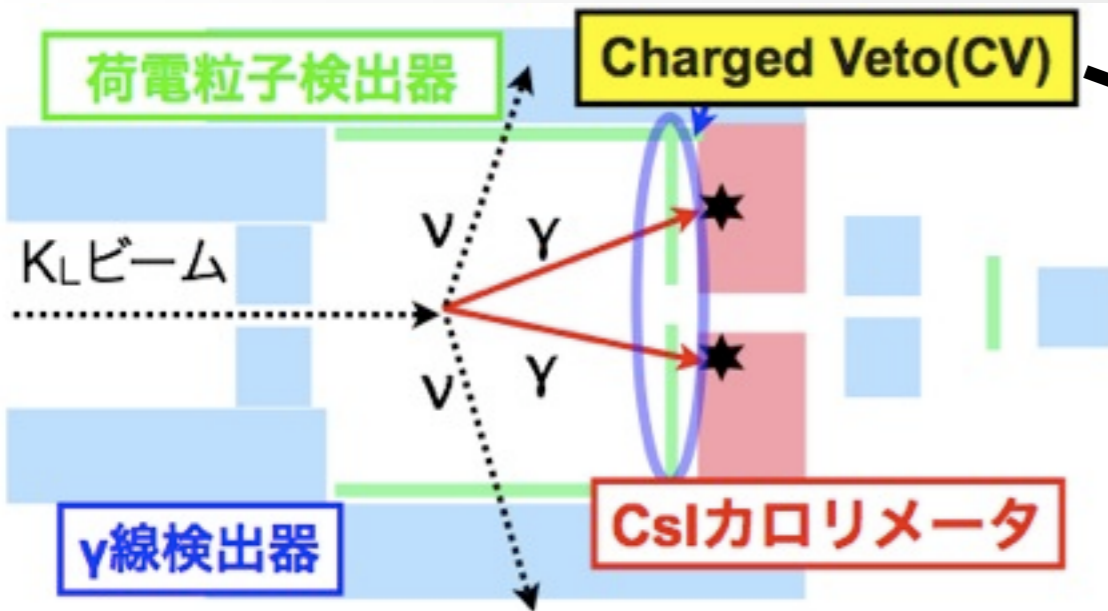
崩壊のダイアグラム

KOTO実験-2～実験原理

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のうち π^0 は生成した瞬間 2γ に崩壊する
→終状態は 2γ 以外何も無い状態
- γ はCslカロリメータで位置とエネルギーを測定
→ π^0 の崩壊位置と横方向運動量を再構成してsignal判定
- 崩壊領域を全立体角Vetoで覆う
→ π^0 以外の粒子が存在しないことを保証



Charged Veto



・CVへの要請

光量	3p.e./100keV
時間分解能	3ns以下

役割：荷電粒子のveto

要請：

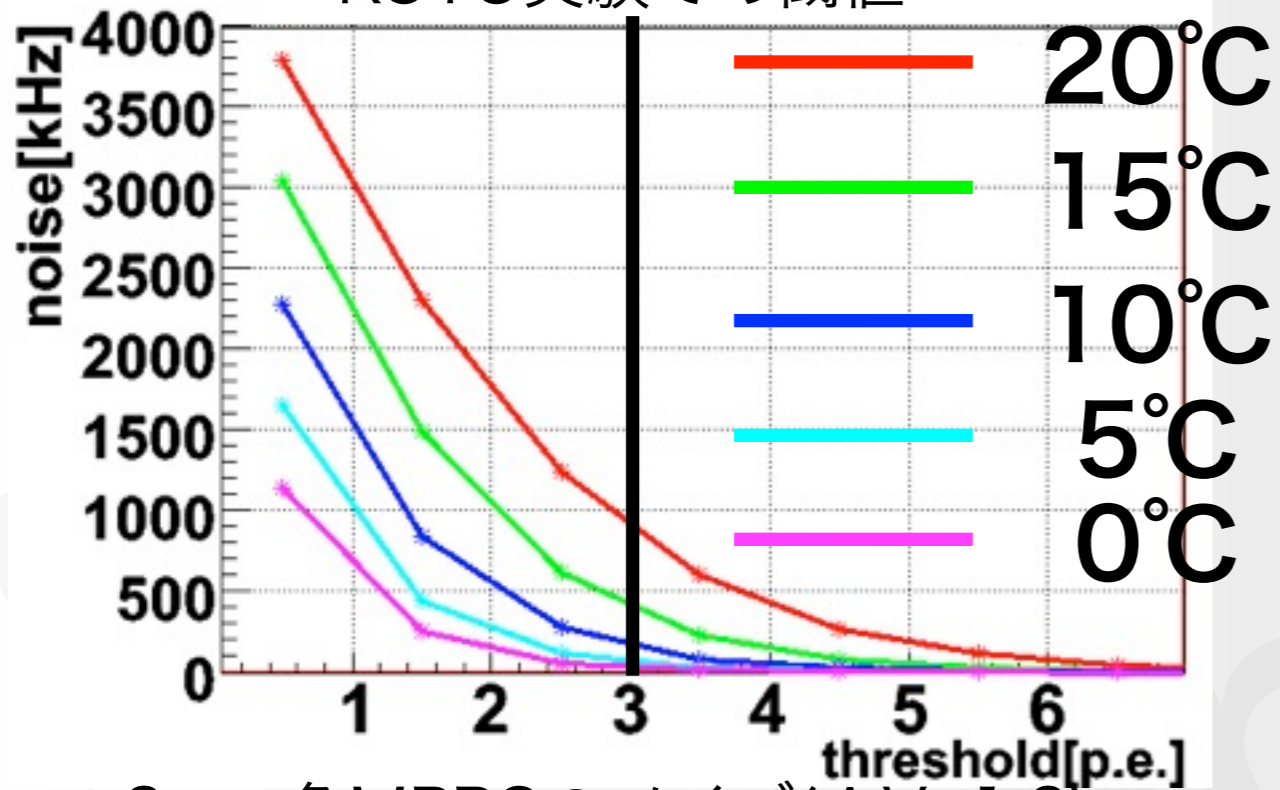
- 荷電粒子に対する高いefficiency → 全域で 99.9%以上
- 低エネルギー(100keV)を検出可能な光量

デザイン：

- 厚さ3mm、幅7cmのシンチレータストリップ100本で構成
- 全域でefficiency確保 → シンチレータに波長変換ファイバーを埋め込む
- 高い光量 → 光検出器としてMPPC採用(受光面3mm角、pixel size 50 μ m)
 - ファイバー(直径1mm)7本まとめ読みで読み出し削減
 - ・チャンネル数約200

CVでのMPPPCに対する要請1

KOTO実験での閾値



3mm角MPPPCのノイズ($\Delta V=1.3$)

cf. ΔV =印可電圧-ブレイクダウンボルテージ

- ノイズレートが高いとノイズを荷電粒子検出と誤認する確率増大
→20°Cだと誤認確率100%
- KOTO実験で誤認確率を十分小さくするには5°C以下に冷却が必要
→冷却素子で冷却 (ペルチェ素子)
- 我々の実験ではMPPPCを真空中(1Pa)で使用
→ペルチェ素子での冷却ではペルチェ素子の放熱が問題



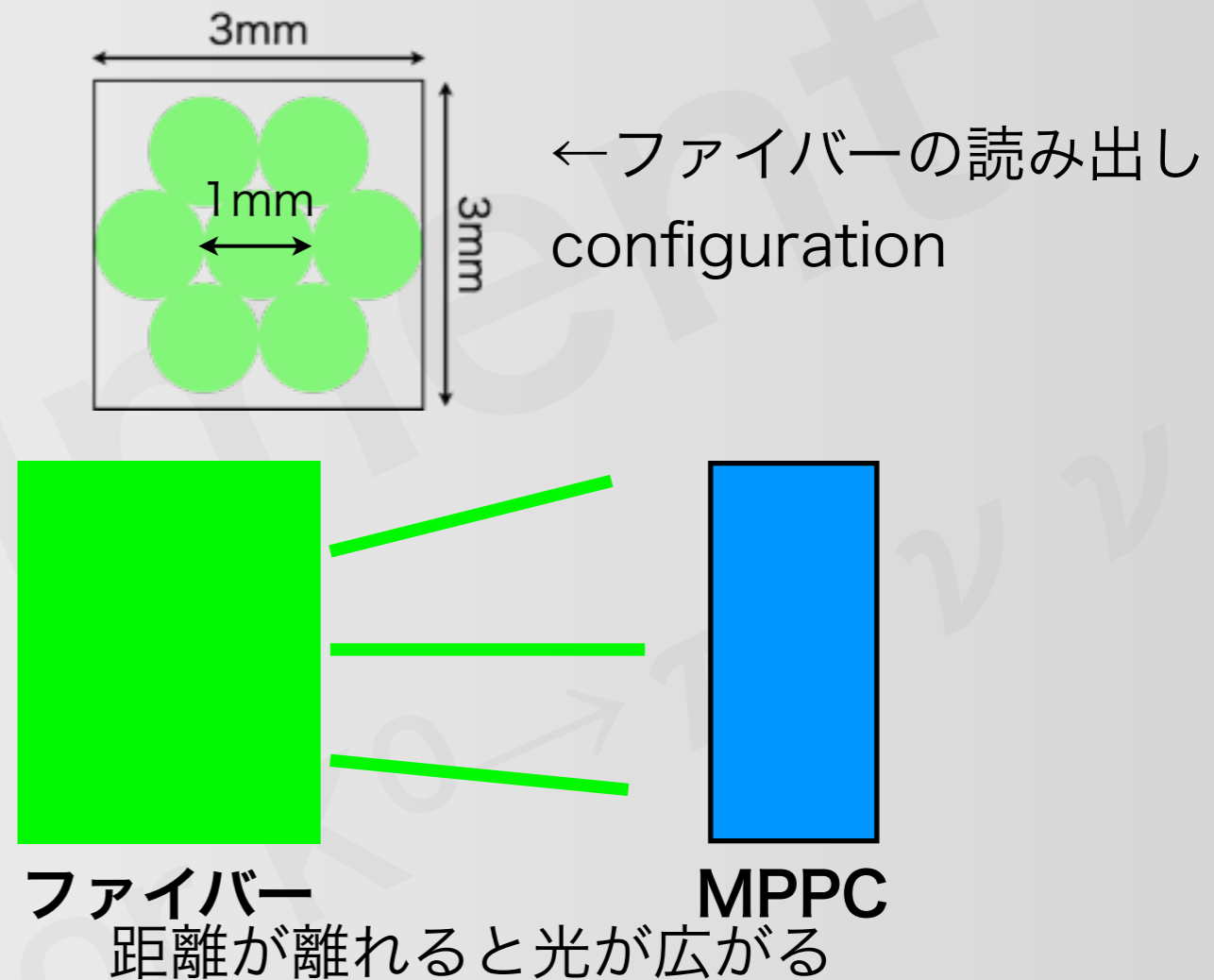
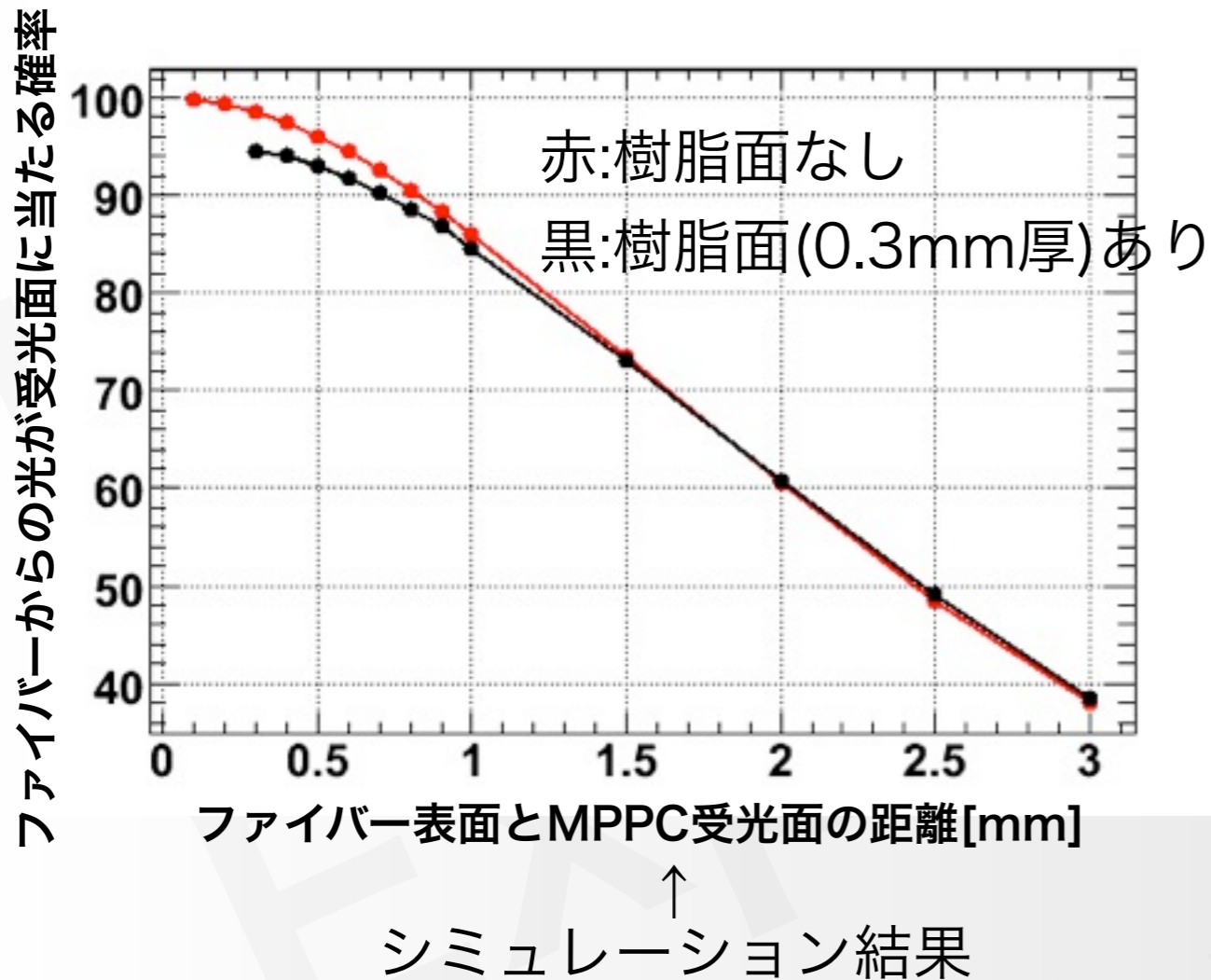
ペルチェ素子

片面で吸熱し、もう片方の面で放熱する

我々の実験で使用するには100mW程度でなければならない

CVでのMPPPCに対する要請1

- ・ファイバー7本を1個のMPPPCで読み出す
- ・なるべく光量をlossせず読み出したい→ファイバーと受光面の距離が問題



ファイバーを受光面から0.5mmまで近づけて読み出したい

冷却素子付きMPPPCの開発

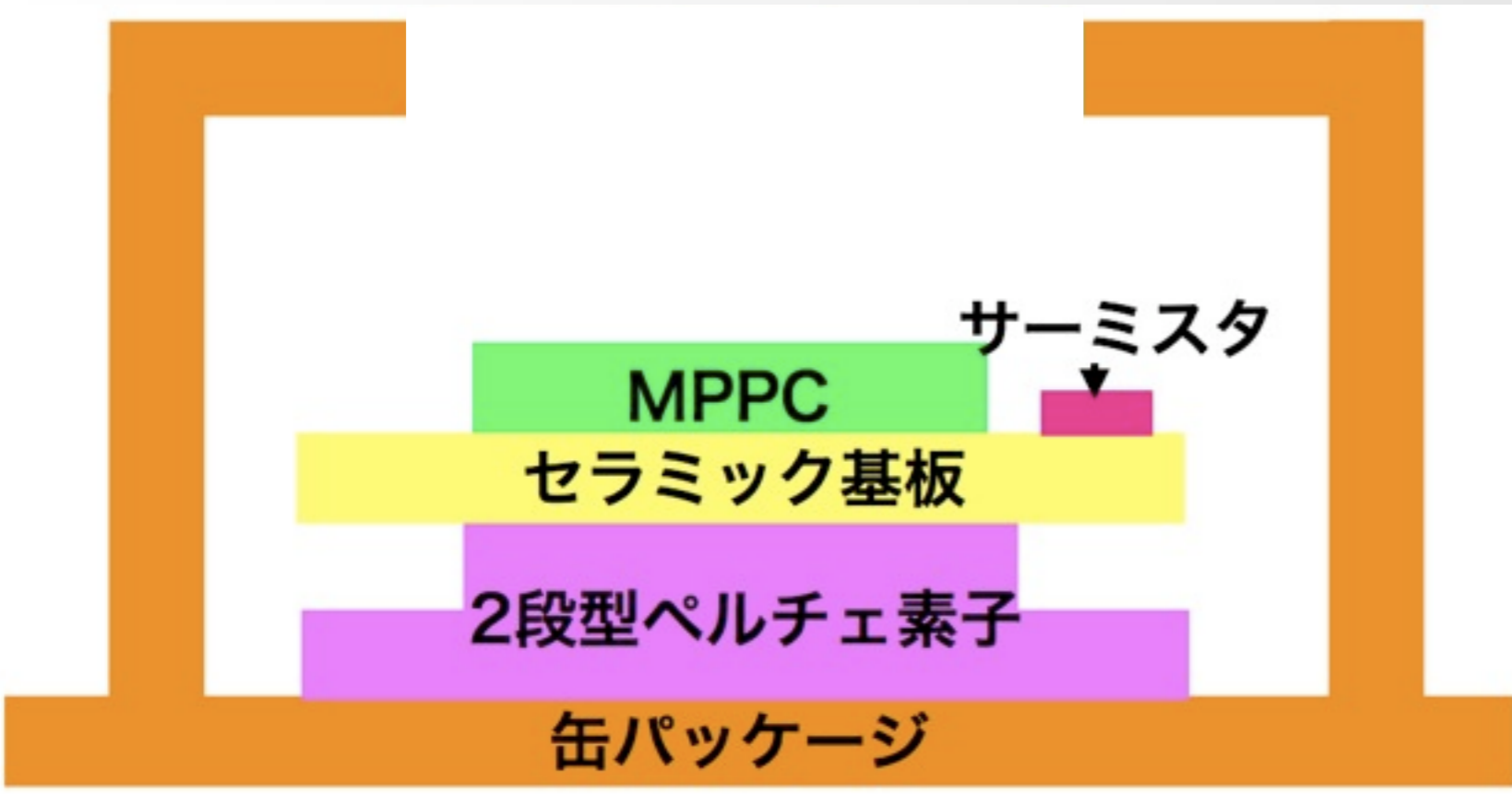
デザインコンセプト

- ・ ダークカウントを減らすために冷却素子を用いて 5°C まで冷却
→ 温度モニターが必要
- ・ ファイバーとMPPPC受光面間を 0.5mm まで近づけられる

問題点

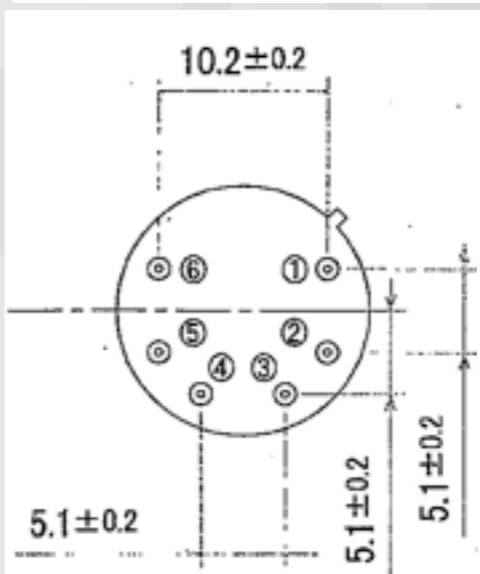
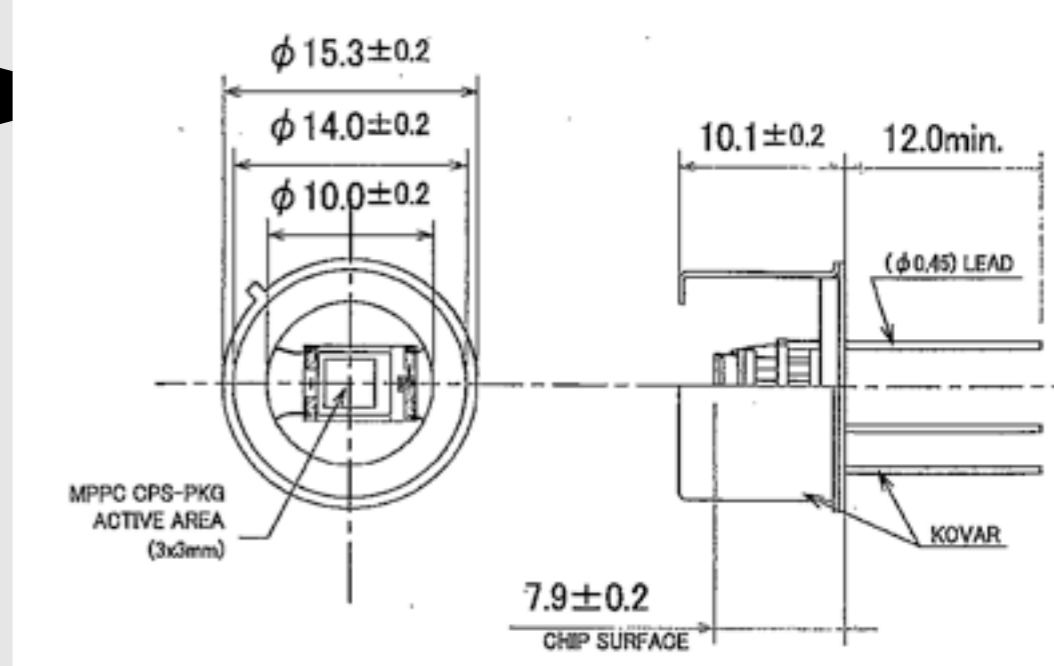
- ・ 5°C まで冷却が可能か
- ・ ペルチェ素子の放熱が 100mW 以下になるか

MPPCレイアウト



KOTOOver レイアウト

市販タイプとの比較



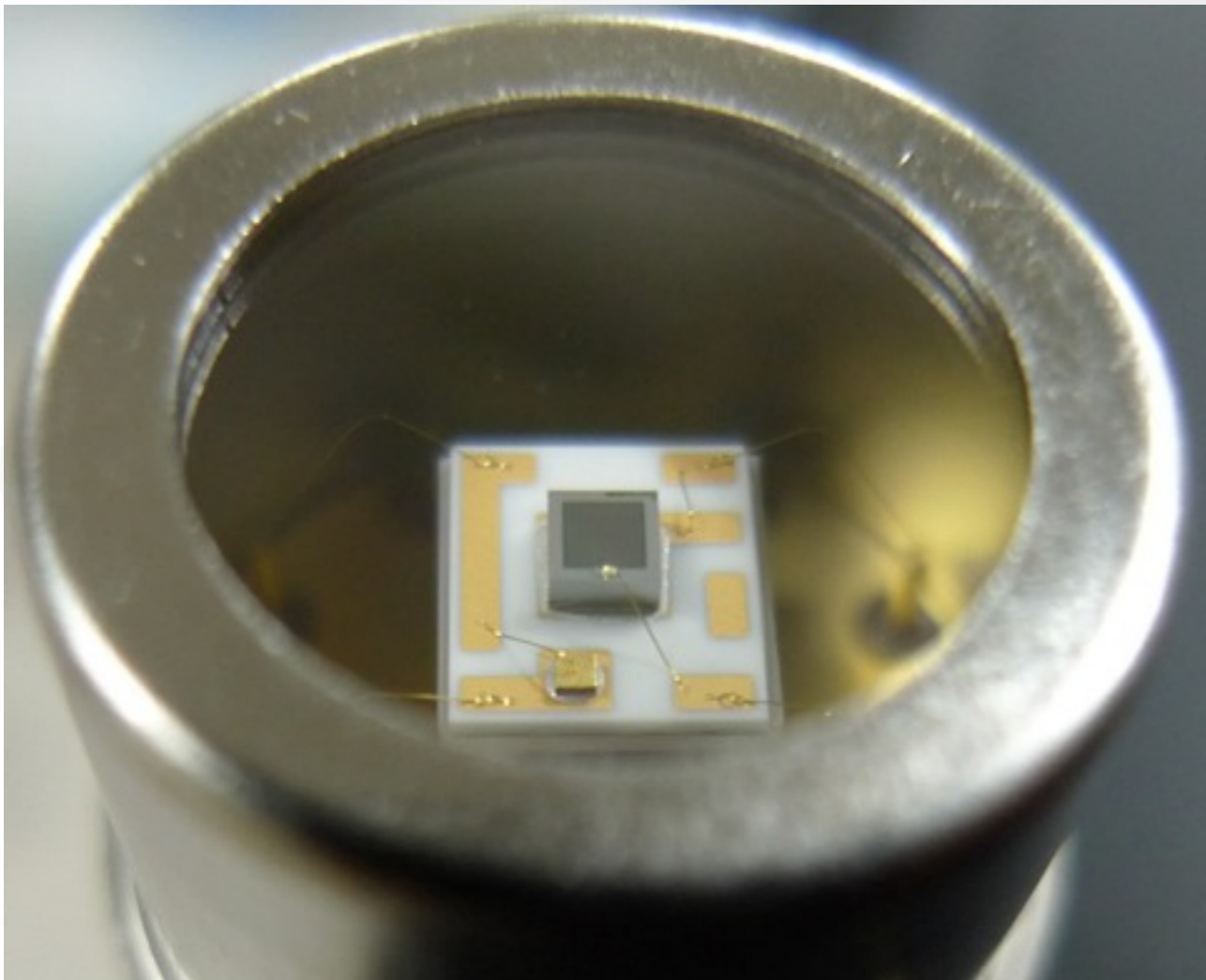
Pin No.	CONNECTION
①	DETECTOR (ANODE)
②	DETECTOR (CATHODE)
③	COOLER (-)
④	COOLER (+)
⑤	THERMISTOR
⑥	THERMISTOR

	ガラス窓	MPPC素子パッケージ	受光面サイズ	温度保証
市販1mm角ver	あり	チップタイプ	1mm	—
KOTOOver	なし	SMD※(表面実装型)	3mm	0°C

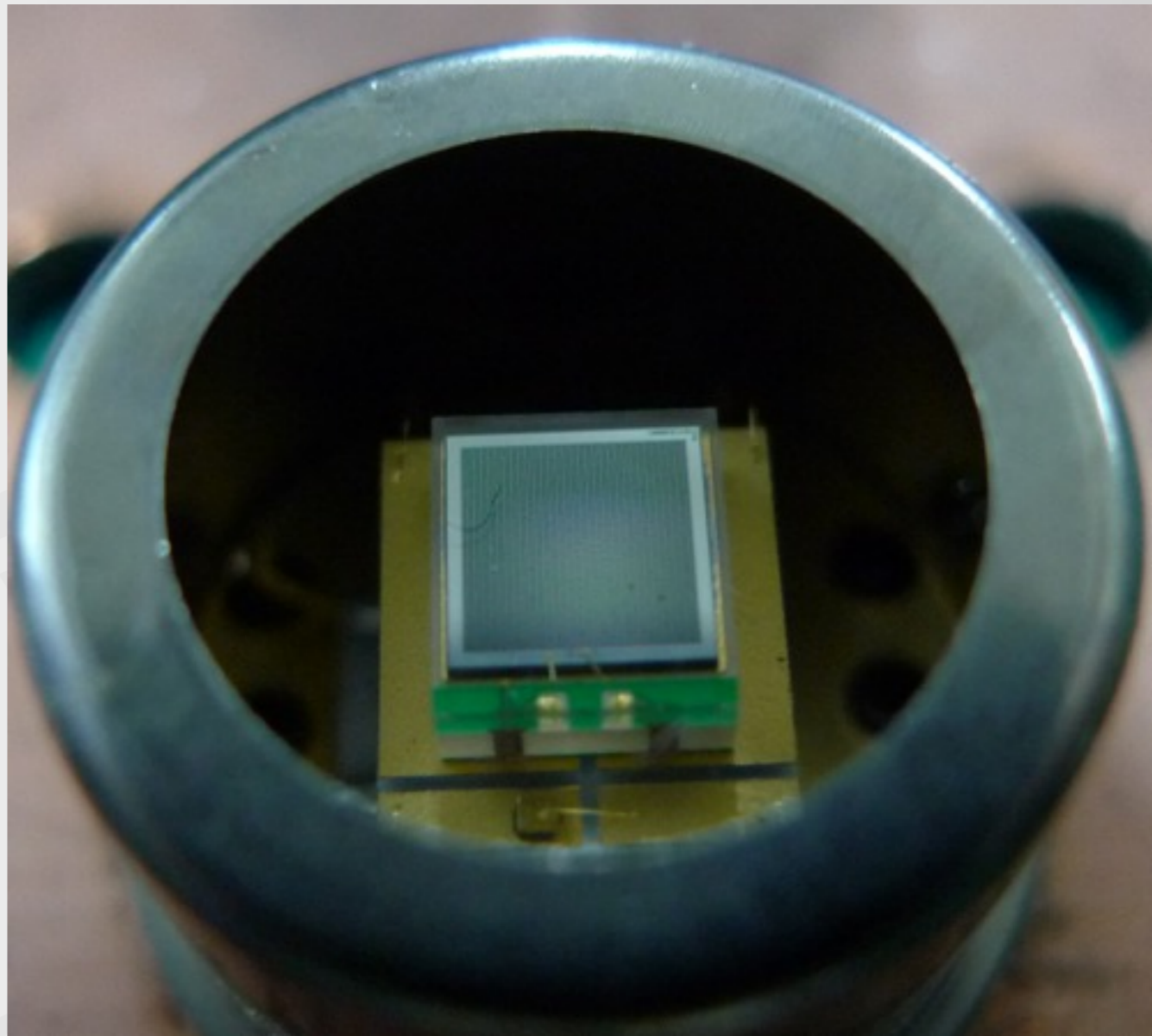
※koto ver には新型 low noise MPPC を実装

浜松ホトニクスと共同開発

実際の素子



市販タイプ



KOTOバージョン

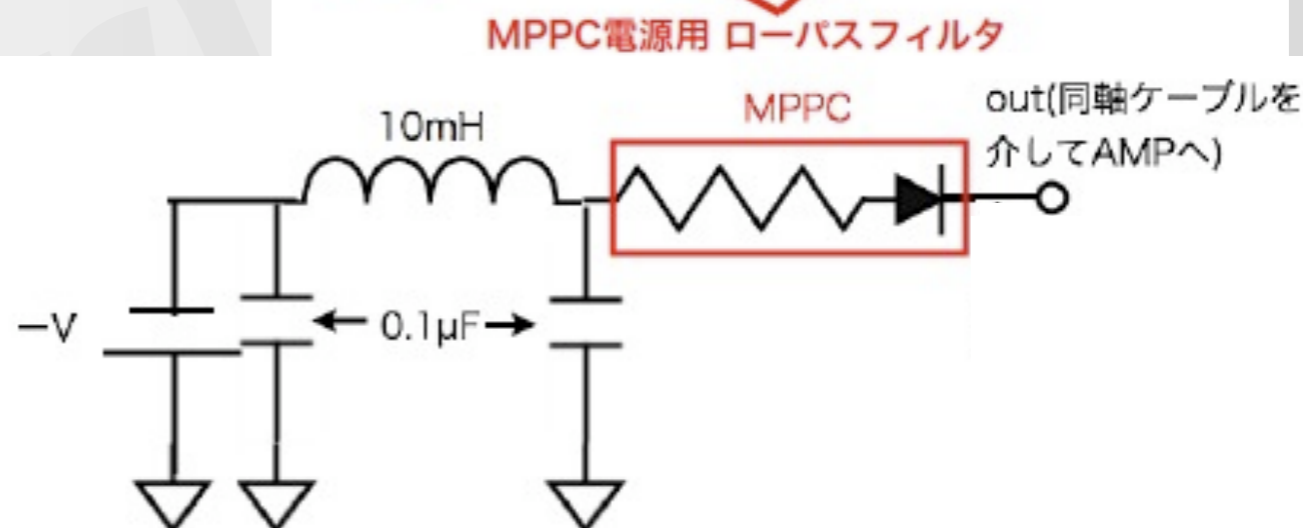
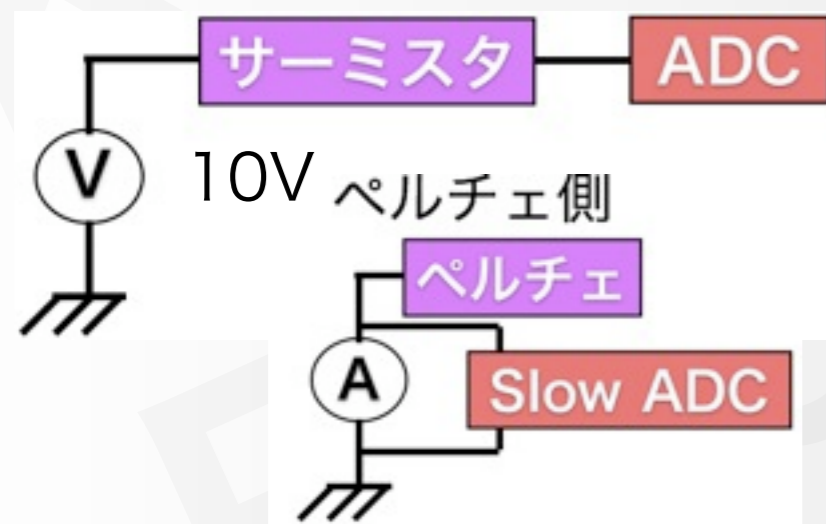
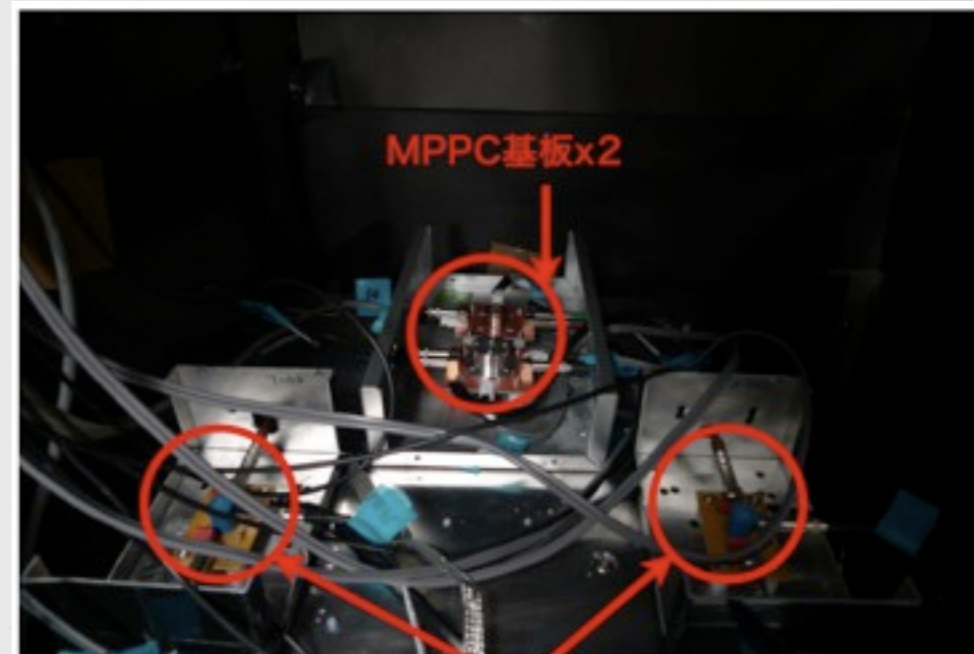
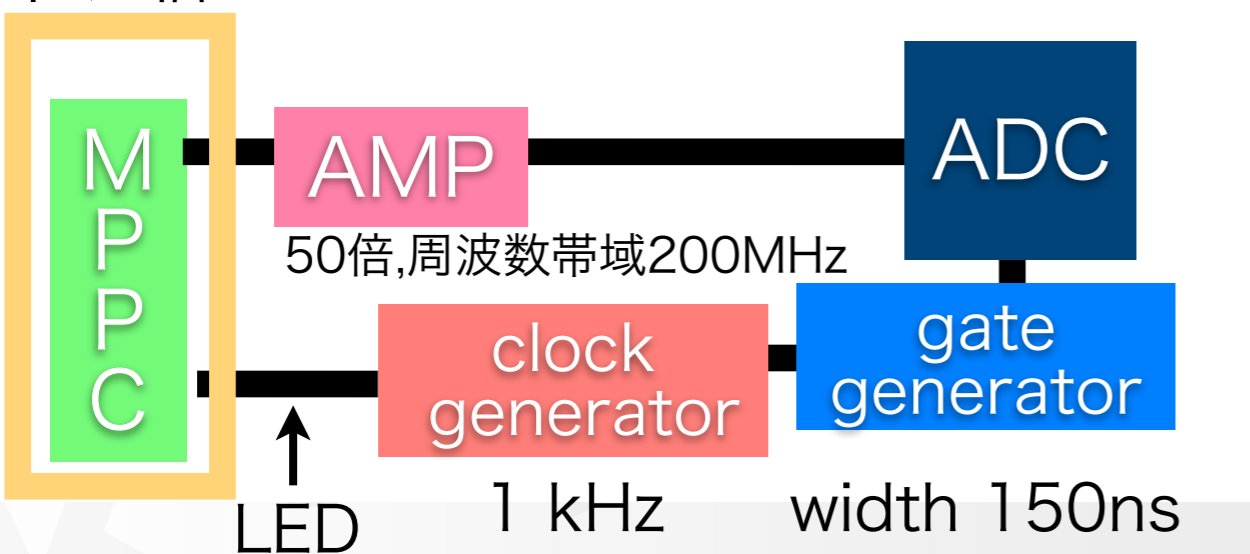
Search for

性能評価テスト-測定項目-

1. ペルチェ素子の動作がMPPCに悪影響があるか(電氣的ノイズの変化等)
 - ・ MPPC波形のcheck
 - ・ ダークカウントノイズの変化
2. 5°Cまで冷却可能か、温度モニターができているか
 - ・ ペルチェ素子の冷却能力&モニター(サーミスタ)のチェック
3. ペルチェ素子による放熱を100mW以下にできるか
 - ・ ペルチェの消費電力測定

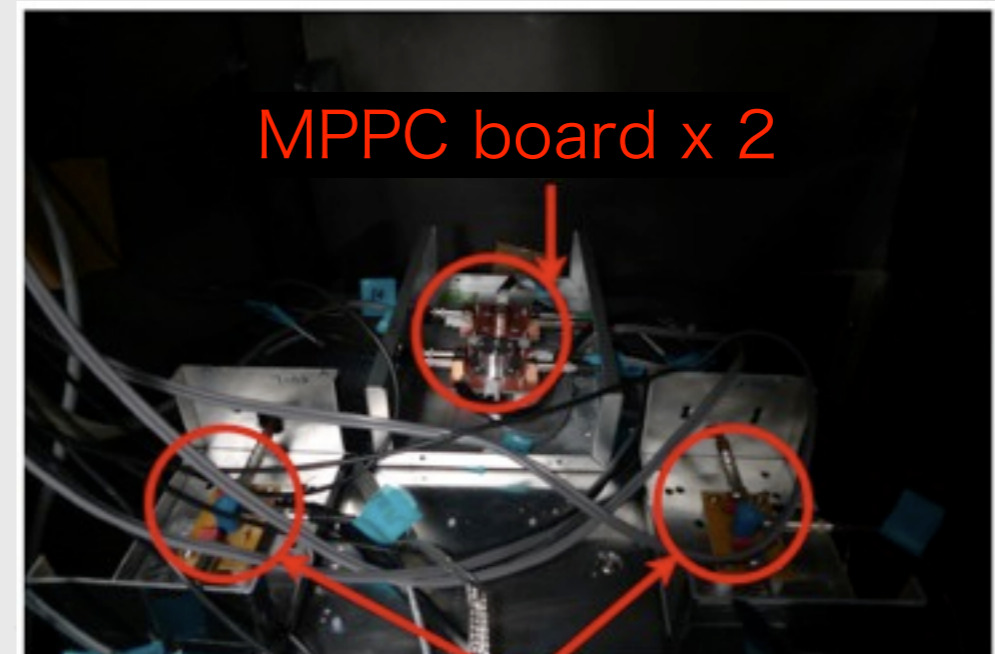
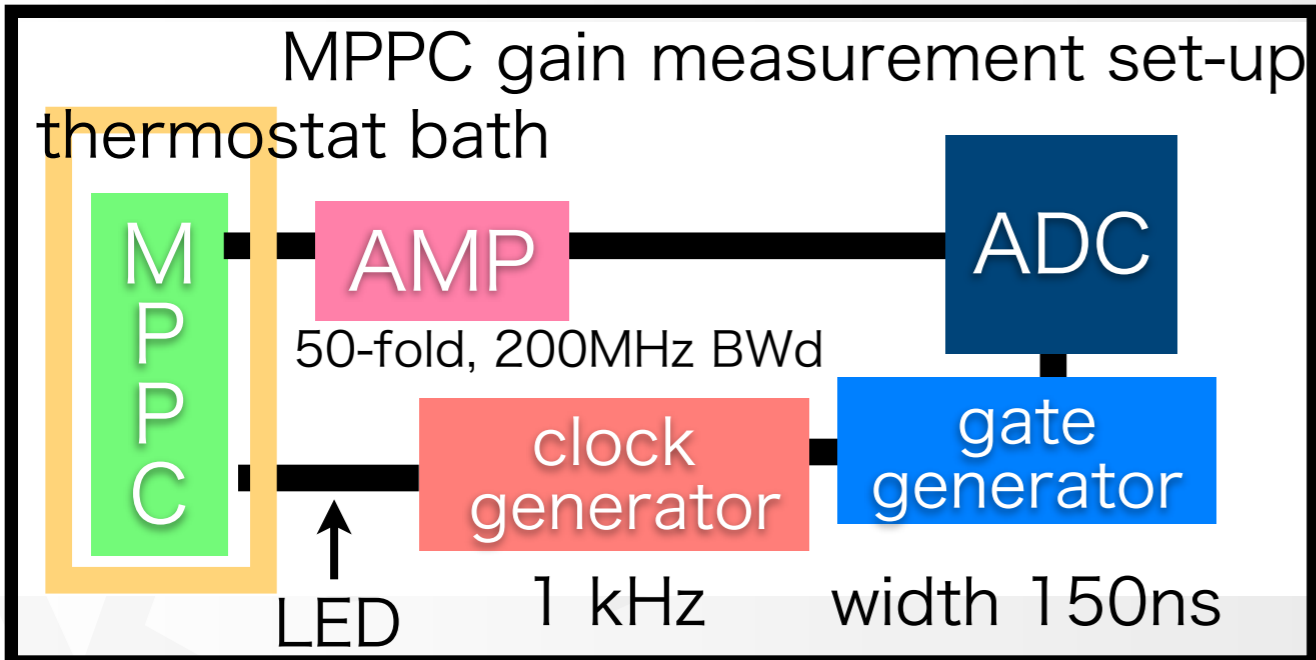
性能評価テスト-セットアップ-

恒温槽 MPPC ゲインを測定セットアップ

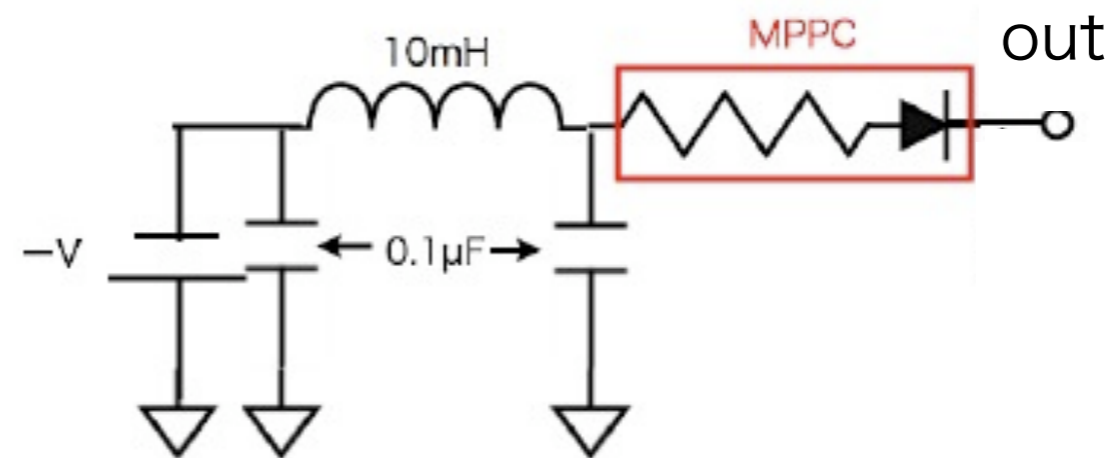
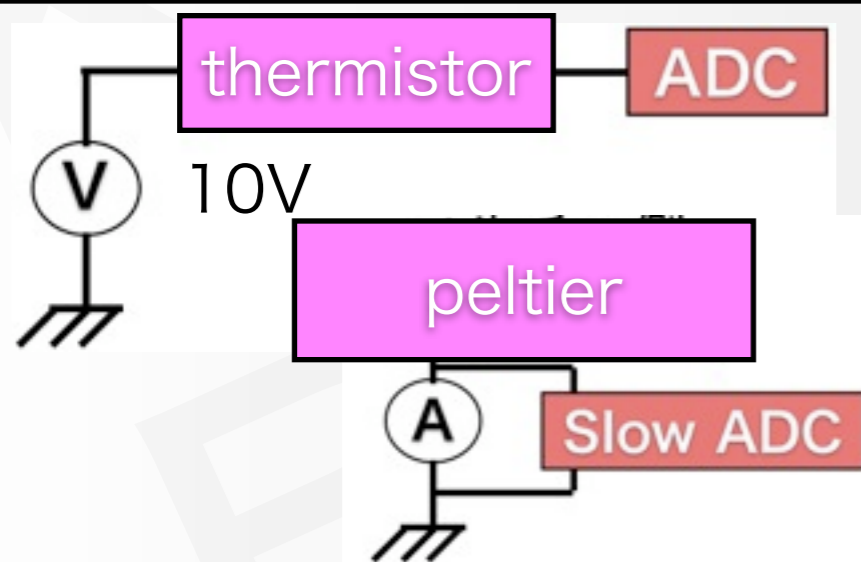


- 波形を測定する時はAMPからの波形をオシロで観測
- ダークカウントノイズはランダムゲートでADCを取って解析
- 恒温槽の温度を変えてダークカウント、ブレイクダウンボルテージを測定
- ペルチェ素子で冷却してダークカウント、ブレイクダウンボルテージを測定

性能評価テスト-セットアップ-



filter for MPPC supply voltage



- 波形を測定する時はAMPからの波形をオシロで観測
- ダークカウントノイズはランダムゲートでADCを取って解析
- 恒温槽の温度を変えてダークカウント、ブレイクダウンボルテージを測定
- ペルチェ素子で冷却してダークカウント、ブレイクダウンボルテージを測定

測定結果 - 波形チェック -

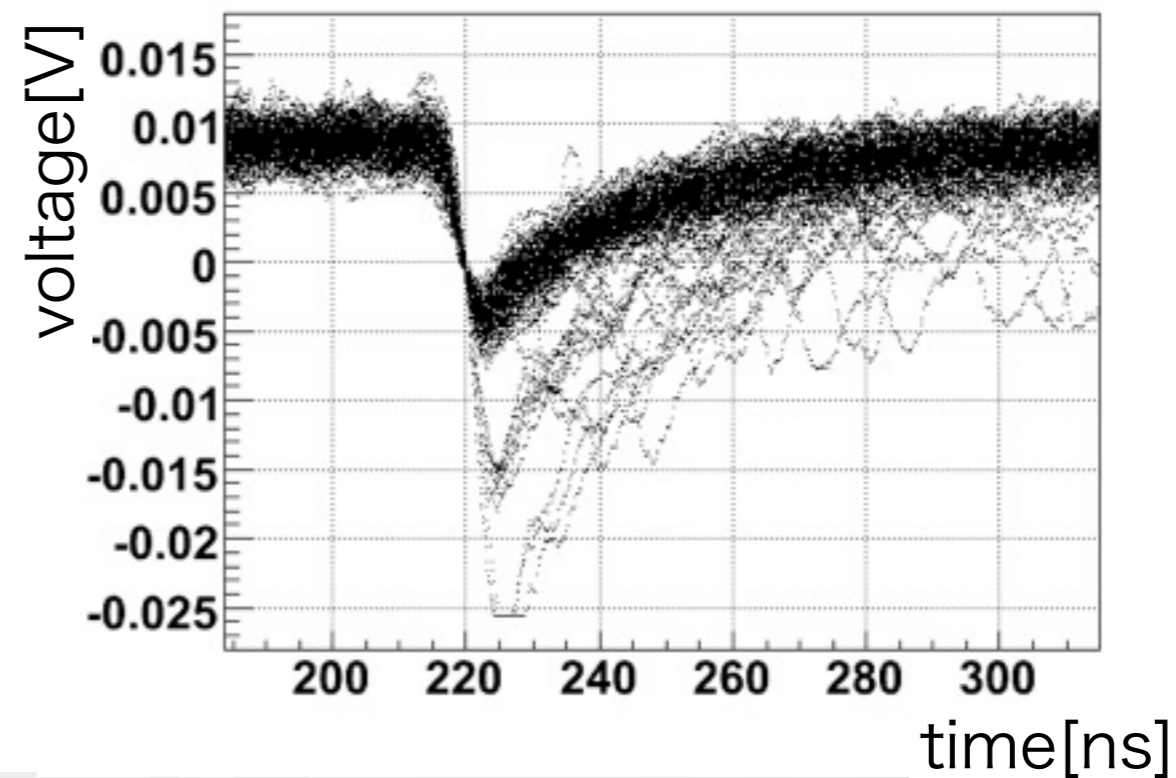
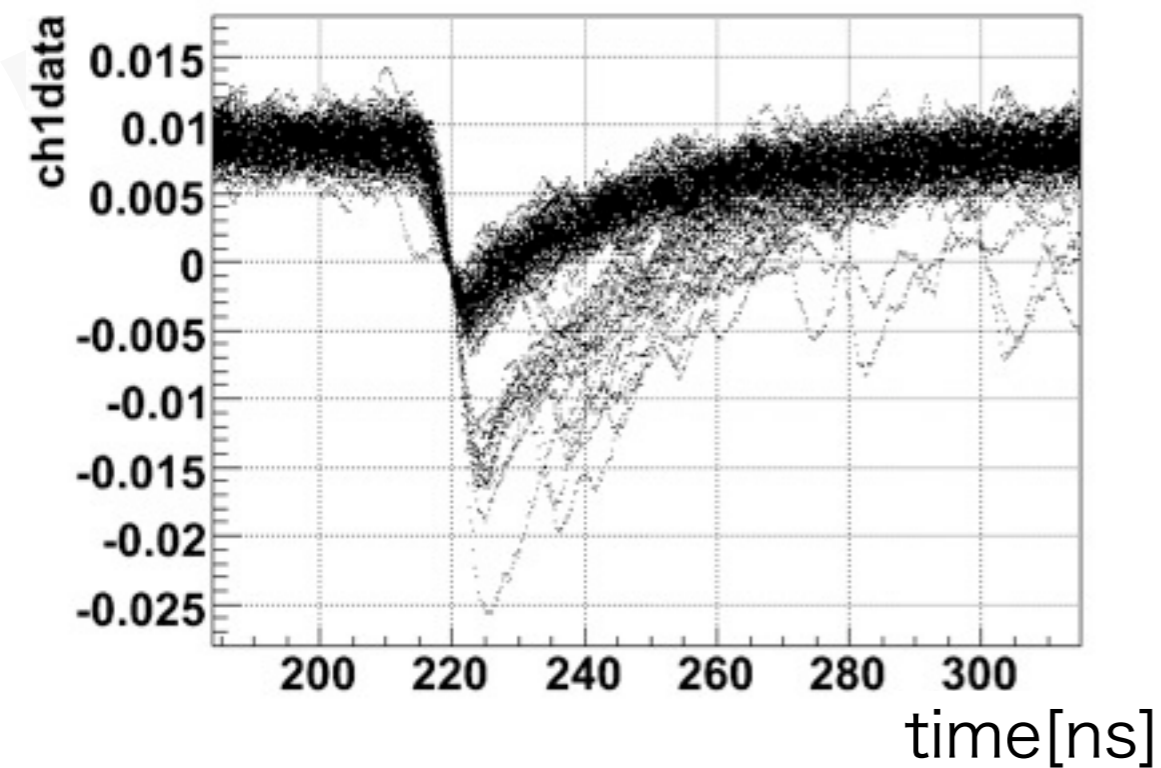
$\Delta V = 1.3V$ で 1 p.e. 閾値でダークカウントを測定

MPPC温度15°C

(恒温槽温度15°C、ペルチェoff)

MPPC温度14°C

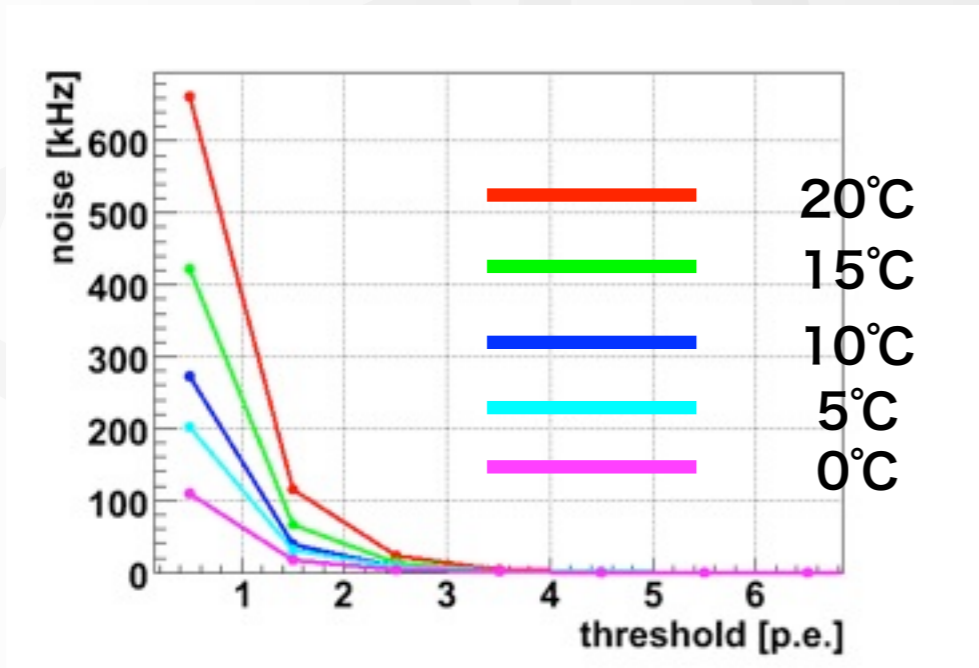
(恒温槽温度20°C、ペルチェon)



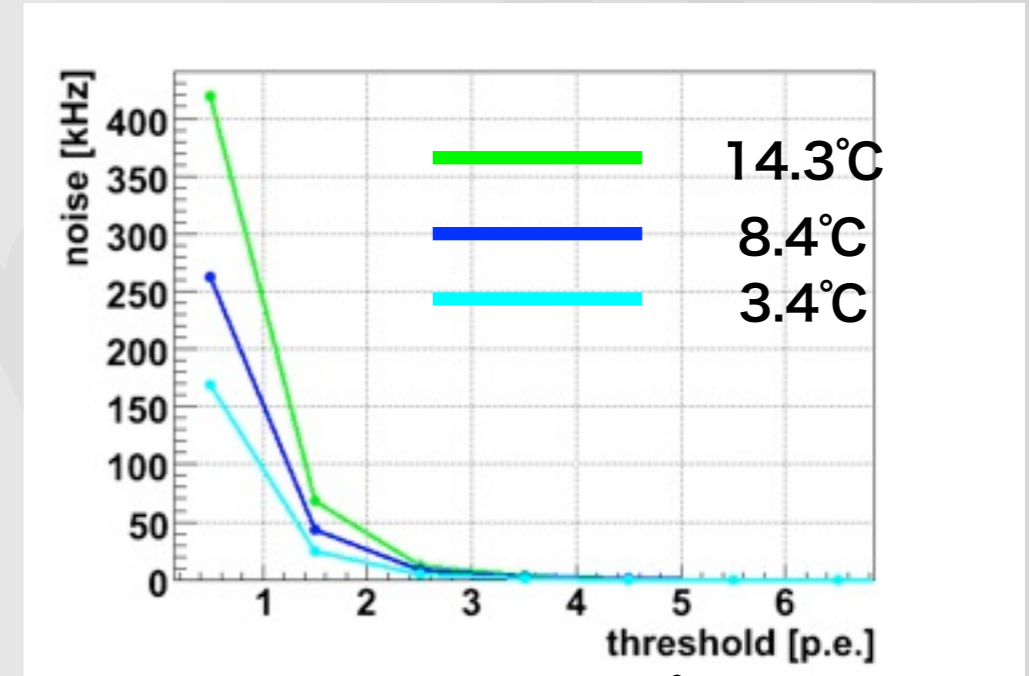
ペルチェ素子を使ってMPPCを冷却しても波形に変化なし

測定結果-ダークカウントノイズ-

- ・ アフターパルス、クロストークの影響含んだ状態で評価
- ・ 測定は全て $\Delta V=1.3V$ 時
- ・ $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 5^{\circ}\text{C}$ でダークカウントノイズ1/6に



KOTO ver, 恒温槽の温度を変化させて測定

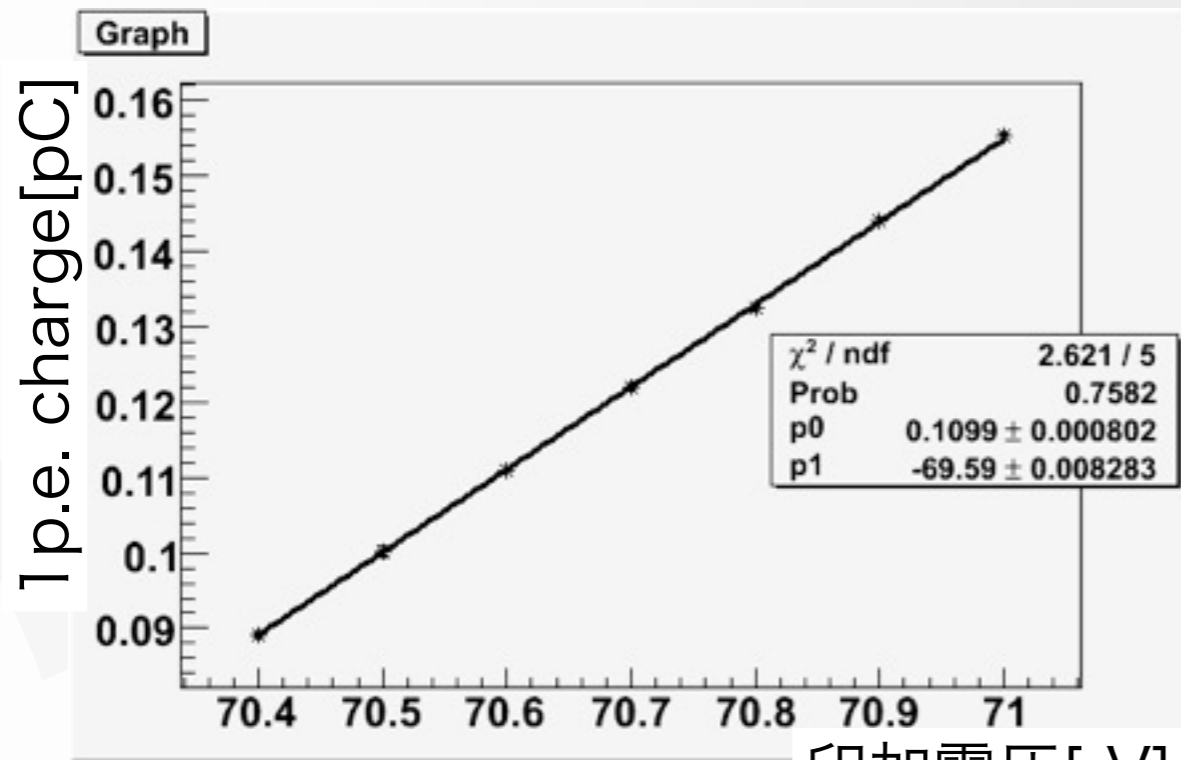


thermal bath : 20°C
cooled by peltier device

ペルチェ素子で冷却しても変化なし

測定結果 -冷却能力&モニターのチェック1-

KOTOバージョンのペルチェ素子に0.1Aかけた時(8°Cに冷却)

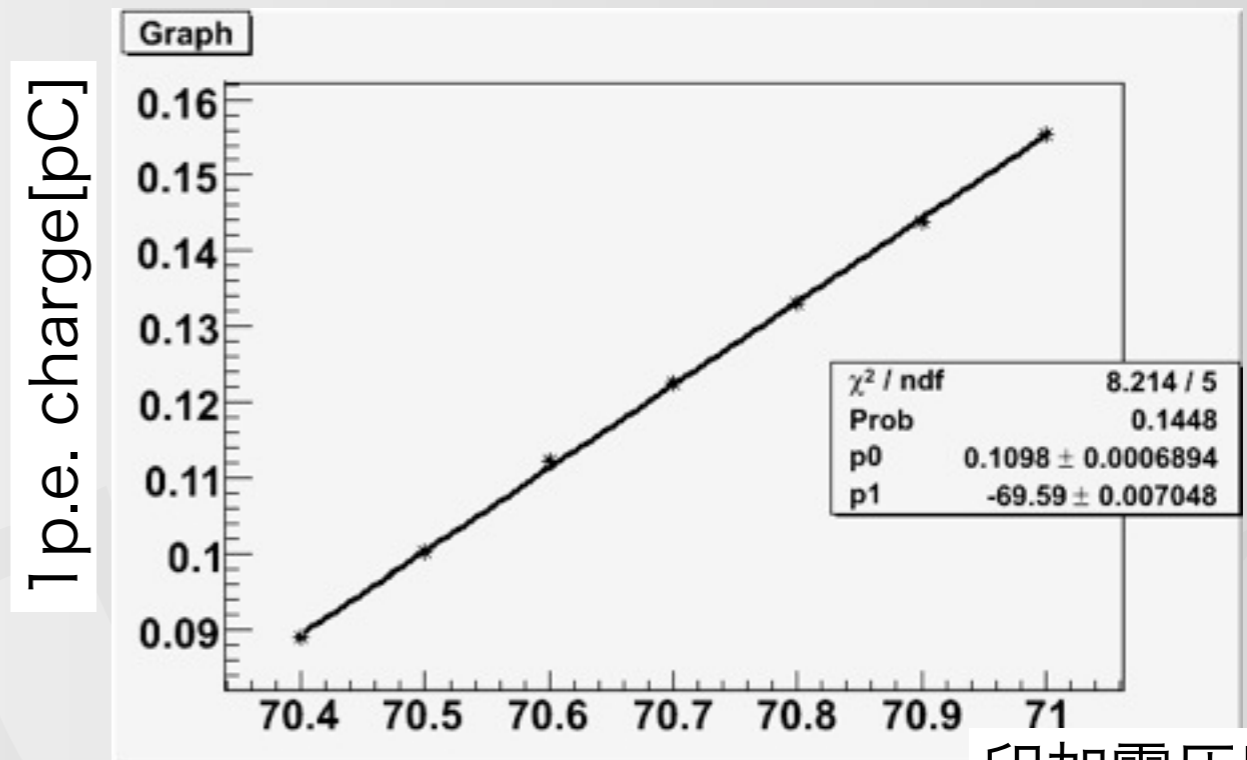


印加電圧 [-V]

印加電圧 Vs 1 p.e. charge

電圧上昇

させて測定



印加電圧 [-V]

印加電圧 Vs 1 p.e. charge

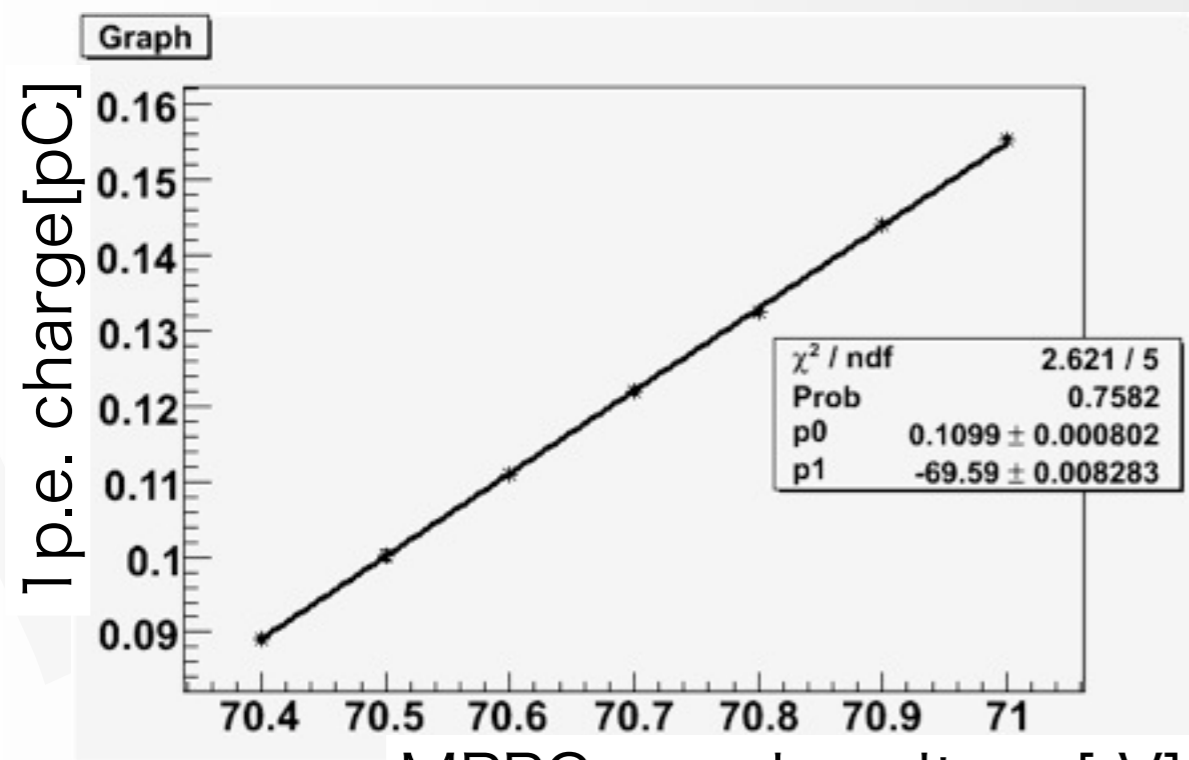
電圧下降

させて測定

- MPPCに印可する電圧が増えても(暗電流が増えて発熱量が増えても)線形性が保たれている。
- MPPCの発熱量(~0.1mW、熱流入が支配的)なのでMPPCの発熱は問題なし。

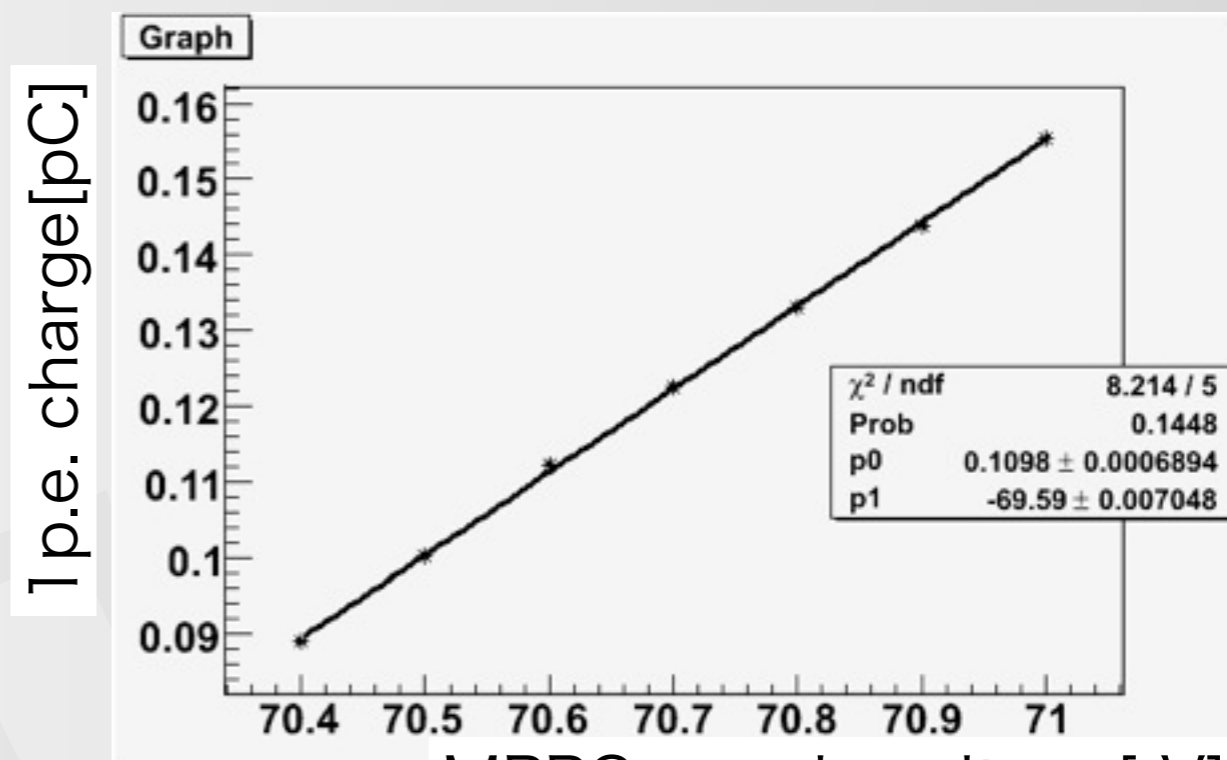
測定結果 -冷却能力&モニターのチェック1-

KOTOバージョンのペルチェ素子に0.1Aかけた時(8°Cに冷却)



MPPC supply voltage[-V]

MPPC supply voltage Vs 1 p.e. charge
measure with uprise voltage

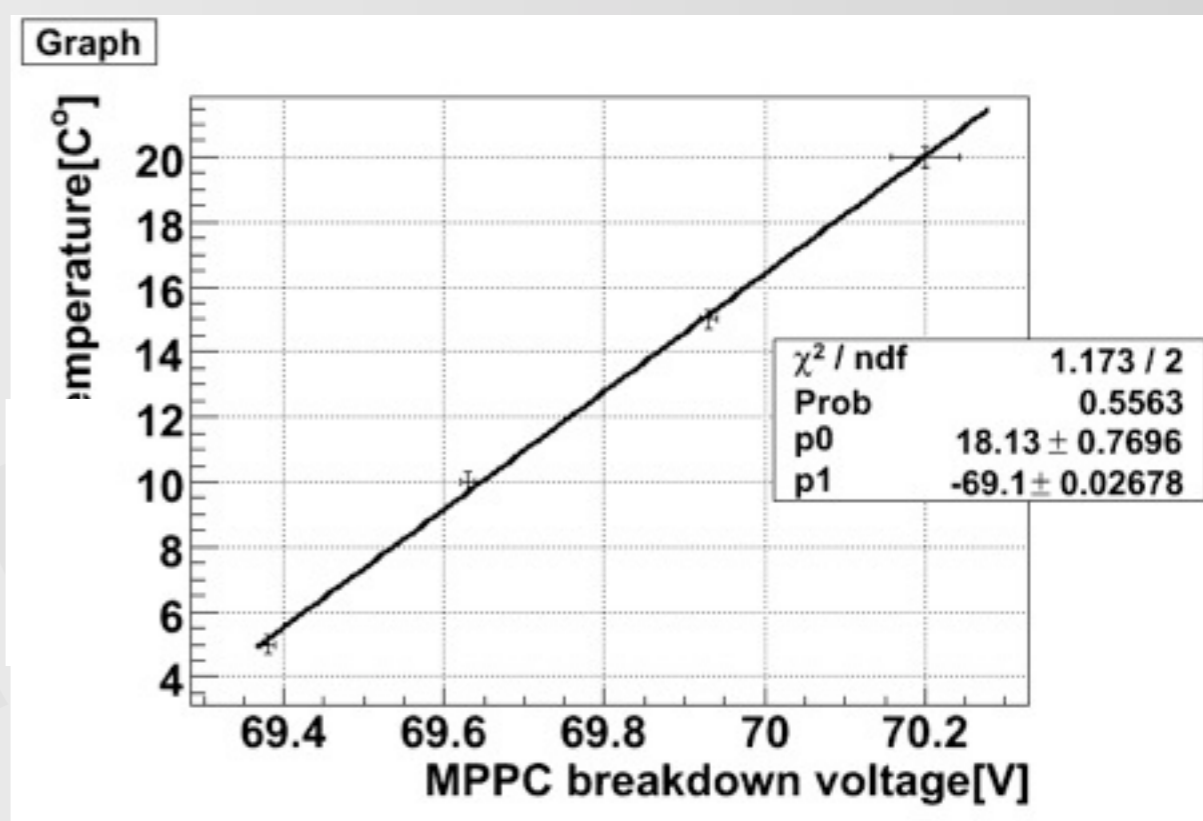
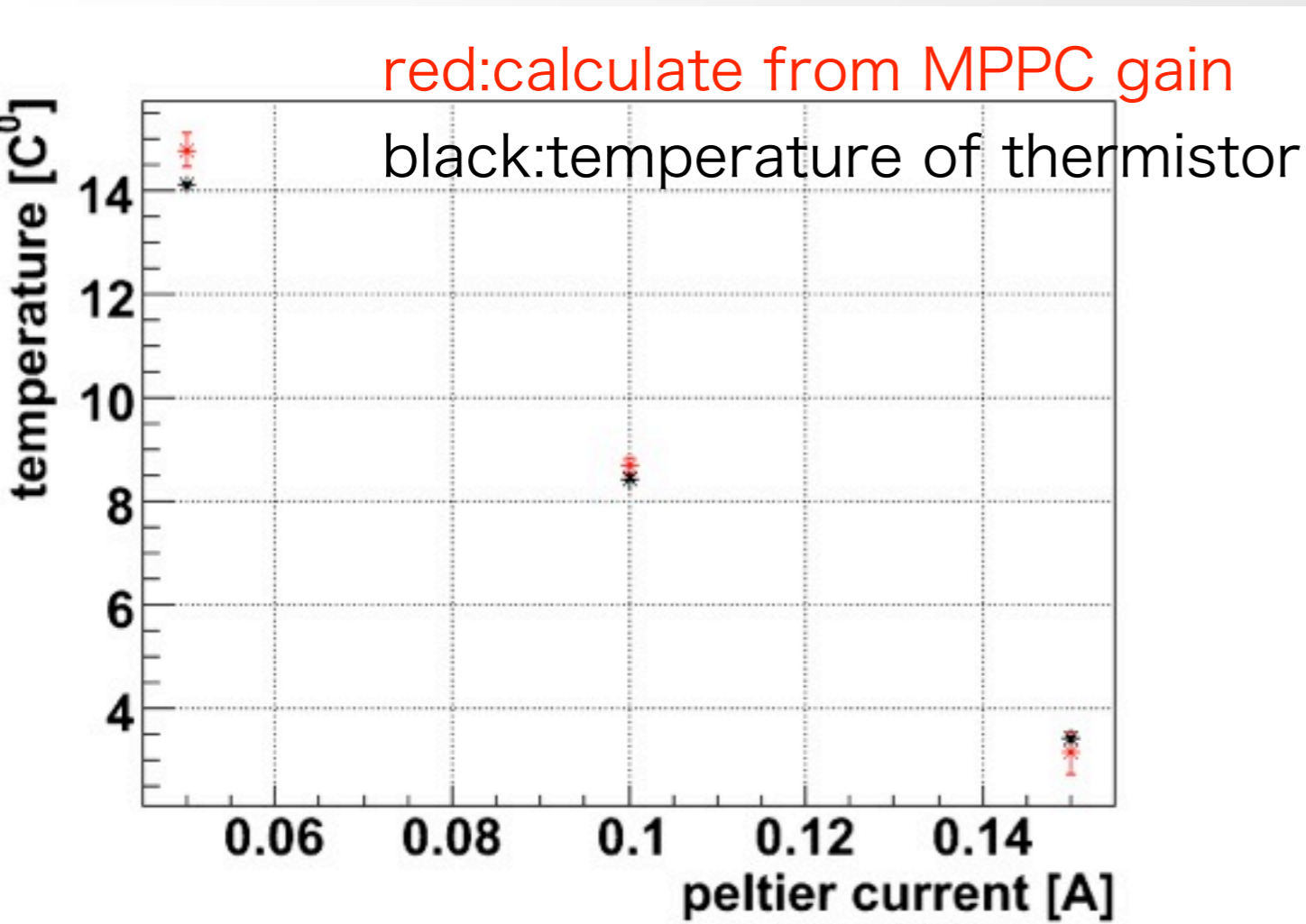


MPPC supply voltage[-V]

MPPC supply voltage Vs 1 p.e. charge
measure with lowering voltage

- MPPCに印可する電圧が増えても(暗電流が増えて発熱量が増えても)線形性が保たれている。
- MPPCの発熱量(~0.1mW、熱流入が支配的)なのでMPPCの発熱は問題なし。

測定結果 -冷却能力&モニターのチェック2-



温度とVbの関係(恒温槽で別に測定)

KOTOバージョン

- KOTO verでちゃんとサーミスタで温度モニターできている。
- KOTO実験で使用する5°Cに冷却するには0.12A流せばよい。

測定結果-消費電力特性-

- ・ペルチェ素子(2段型)の最大消費電力(放熱量)

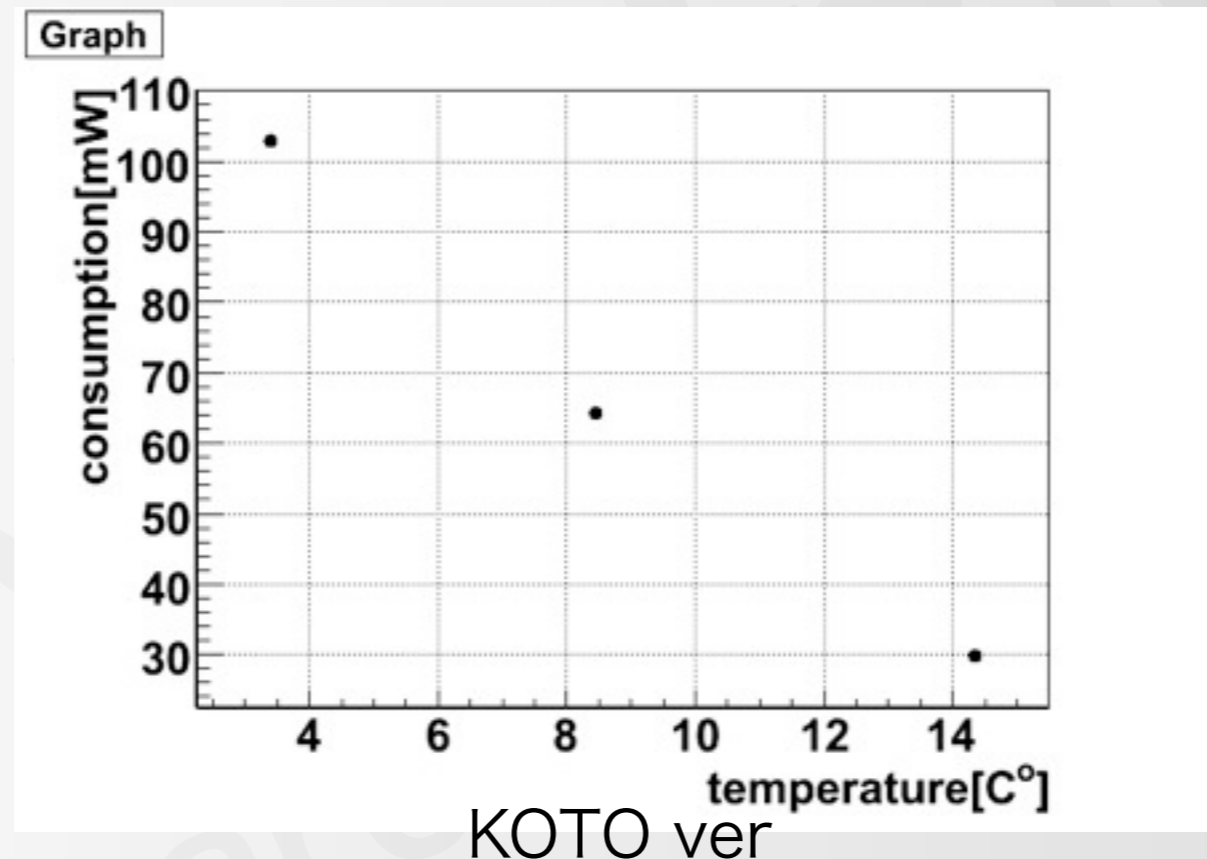
$$\text{消費電力} = S I T_1 + 5 V I / 6 \cdot (T_2 - T_1) / \theta \quad \leftarrow \text{今回は無視}$$

T_1 :サーミスタの温度, V :ペルチェの電圧, I :ペルチェの電流, S :ゼーベック係数

T_2 :ペルチェ素子1段目の放熱側温度, θ :ペルチェ素子の熱抵抗

T_1, V, I を測定することで消費電力を計算

既知



- ・ KOTO実験で使う5°Cでは消費電力が80mW程度
- ・ 消費電力~100mWというKOTO実験の要請を満たす

まとめと今後

- ・ 浜松ホトニクスと冷却素子付き受光面3mm角MPPCを共同開発
 - ・ ペルチェ素子動作環境でのMPPC動作テスト
→OK
 - ・ 冷却能力&モニター
 - ・ MPPCの発熱は問題なし
 - ・ サーミスタでの温度モニターができています
 - ・ KOTO実験の冷却温度 5°C を満たすには 0.12A が必要
 - ・ 消費電力
 - ・ 0.12A 時の消費電力は 80mW であり、 $\sim 100\text{mW}$ というKOTO実験の要請を満たした
- ・ 現在プレ量産版MPPCの性能評価テスト中
- ・ 5月中旬を目処にマスプロ(200個生産)