

MEG II実験のための背景ガンマ線同定用 陽電子検出器の開発の現状

中浦 正太、MEGII collaboration
(the University of Tokyo)
21st ICEPP Symposium
11 Feb. 2015



- RDC紹介
- MPPC選定
- 検出器形状最適化
- スケジュール
- まとめ

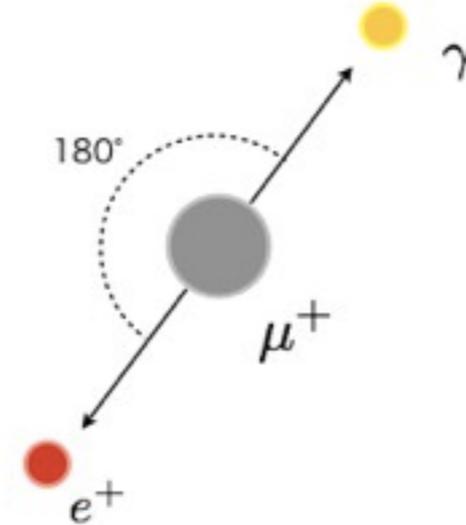
RDC紹介

• MEG実験が対象とする物理:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$$

* 静止muonの単純な2体崩壊

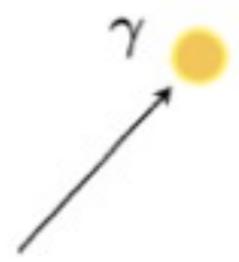
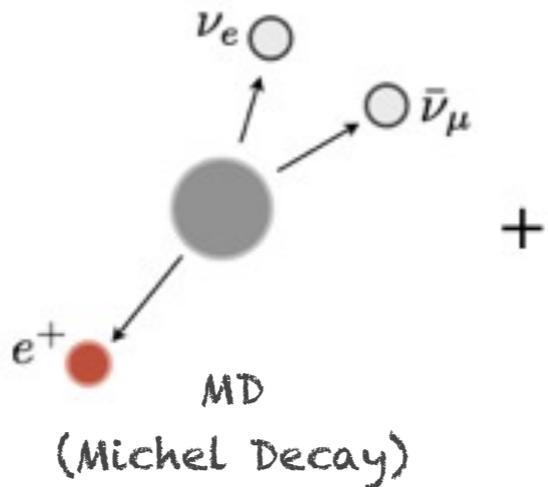
- E=52.8MeV
- back-to-back
- 同時刻



CLAV!

* 主なバックグラウンド:

アクシデンタルバックグラウンド
(偶発的ヒット)

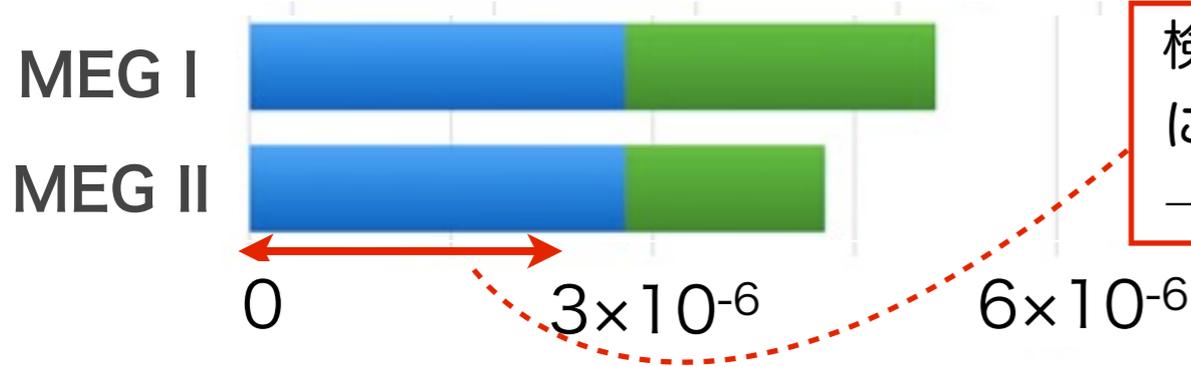


background γ source

- ① **AIF** (Annihilation In Flight)
MDからの陽電子が
検出器内の電子と対消滅を起こす
- ② **RMD** (Radiative Muon Decay)

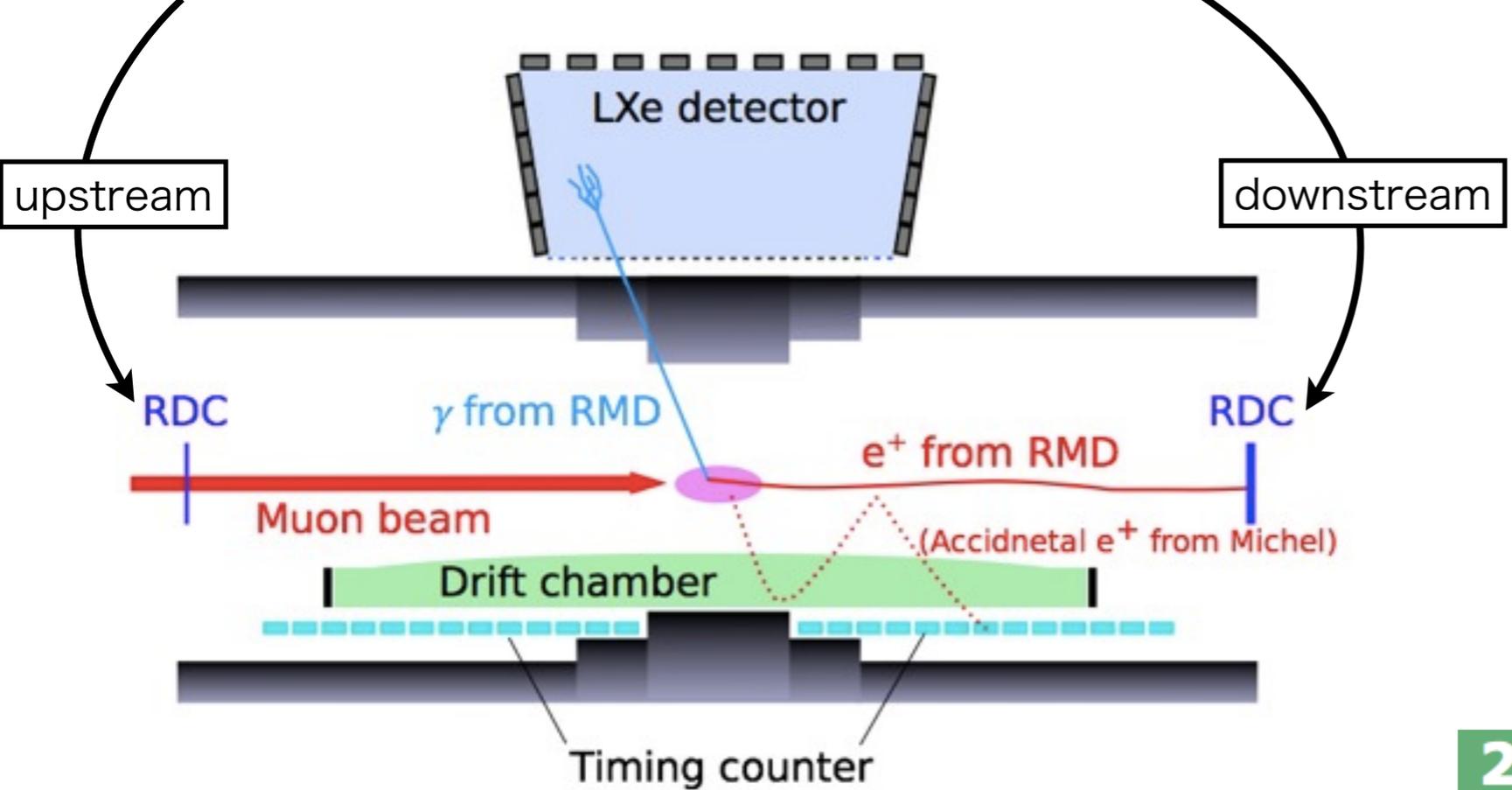
バックグラウンドとなる光子数(μ 粒子崩壊1イベントあたり)

■ RMD ■ AIF [γ 線のエネルギー $> 0.9 \times m_{\mu} / 2$ を要求]



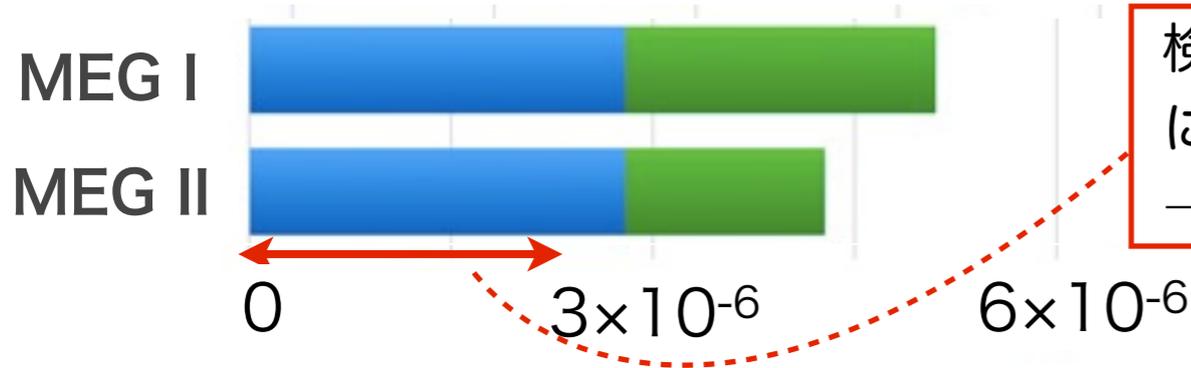
検出器内の物質軽減ではRadiative Muon Decay(RMD)によるバックグラウンドイベントは減らない！
→別の方法で減らすことはできないか？

RDC : Radiative Decay Counter



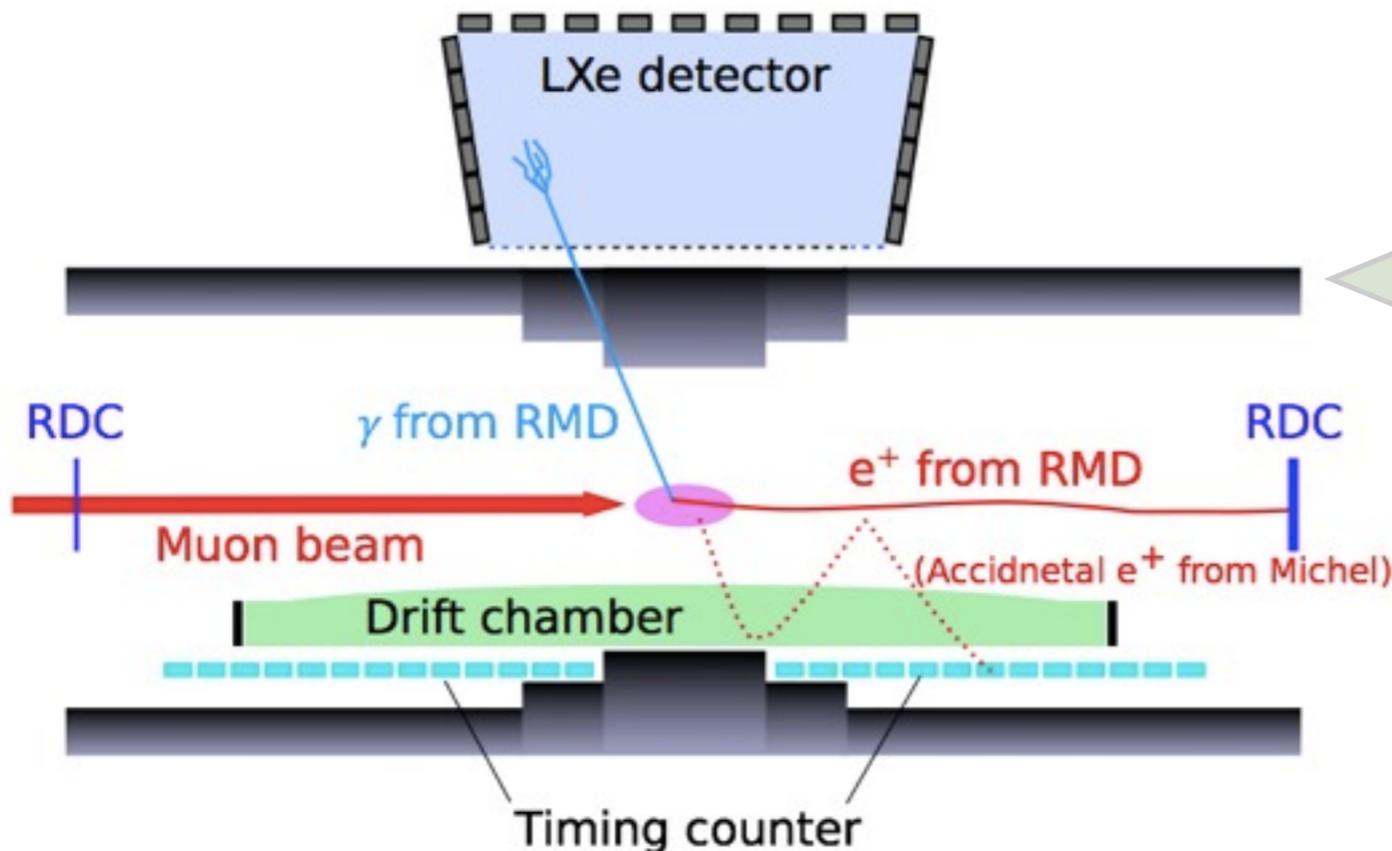
バックグラウンドとなる光子数(μ 粒子崩壊1イベントあたり)

■ RMD ■ AIF [γ 線のエネルギー $> 0.9 \times m_{\mu}/2$ を要求]



検出器内の物質軽減ではRadiative Muon Decay(RMD)によるバックグラウンドイベントは減らない！
→別の方法で減らすことはできないか？

RDC : Radiative Decay Counter



コンセプト

- ・ アクシデンタルバックグラウンドにおけるRMD起源のバックグラウンド γ には **低運動量陽電子(2~5MeV)**が付随
- ・ これを観測してRMD起源のバックグラウンド γ を**同定**する！

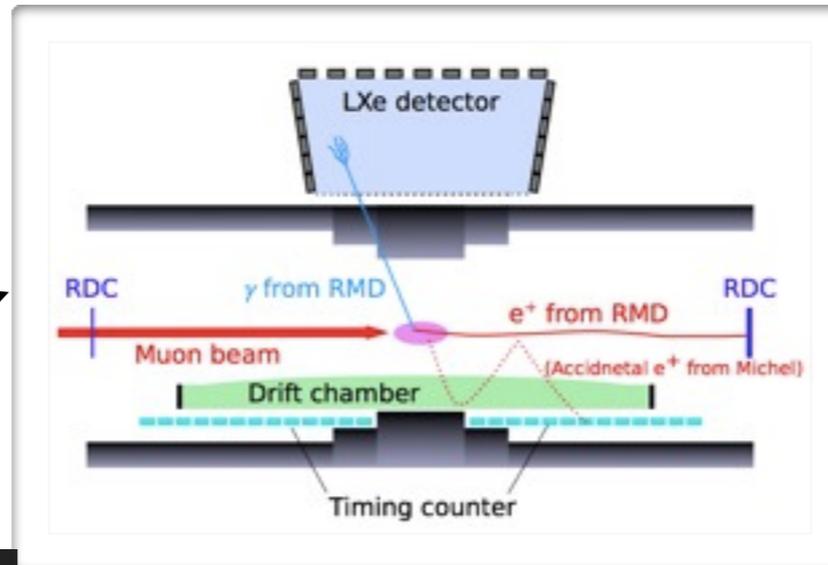


| | 感度(3 years) |
|--------------------------|----------------------------------|
| Default | 5.0×10^{-14} |
| RDC Downstream | 4.3×10^{-14} |
| RDC Downstream +UPstream | ★ $3.9 \sim 4.1 \times 10^{-14}$ |

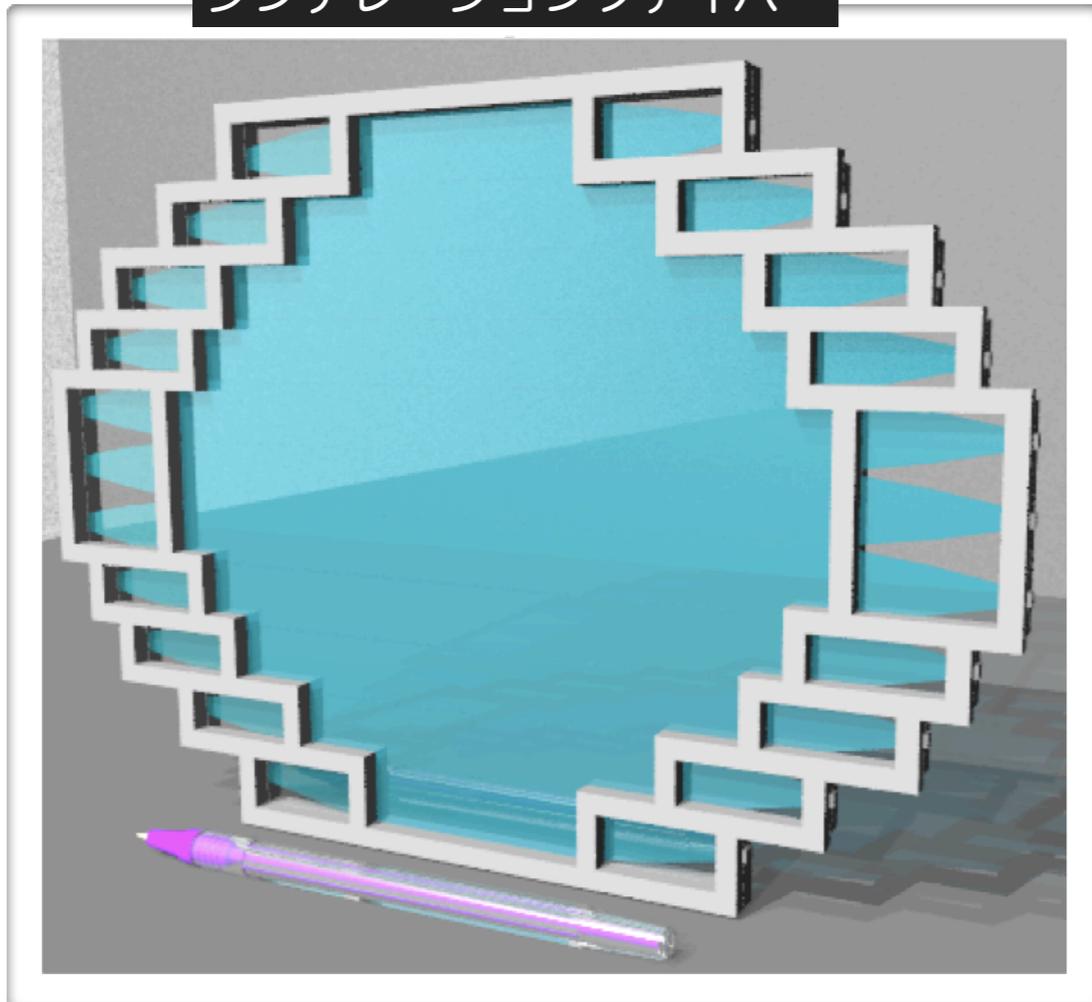
RDCの導入によりMEGIIでの感度がさらに30%程度改善見込み！

22~28%

★ detection efficiencyに依存(50%~80%)



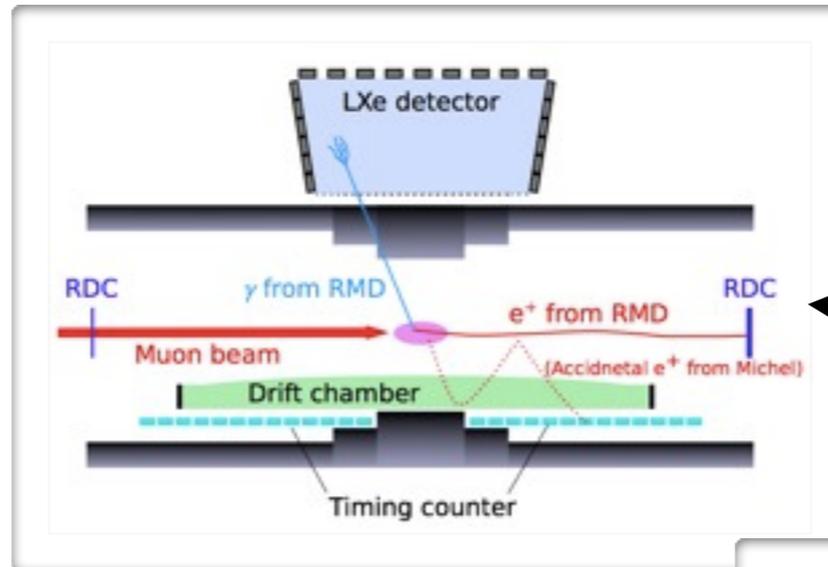
シンチレーションファイバー



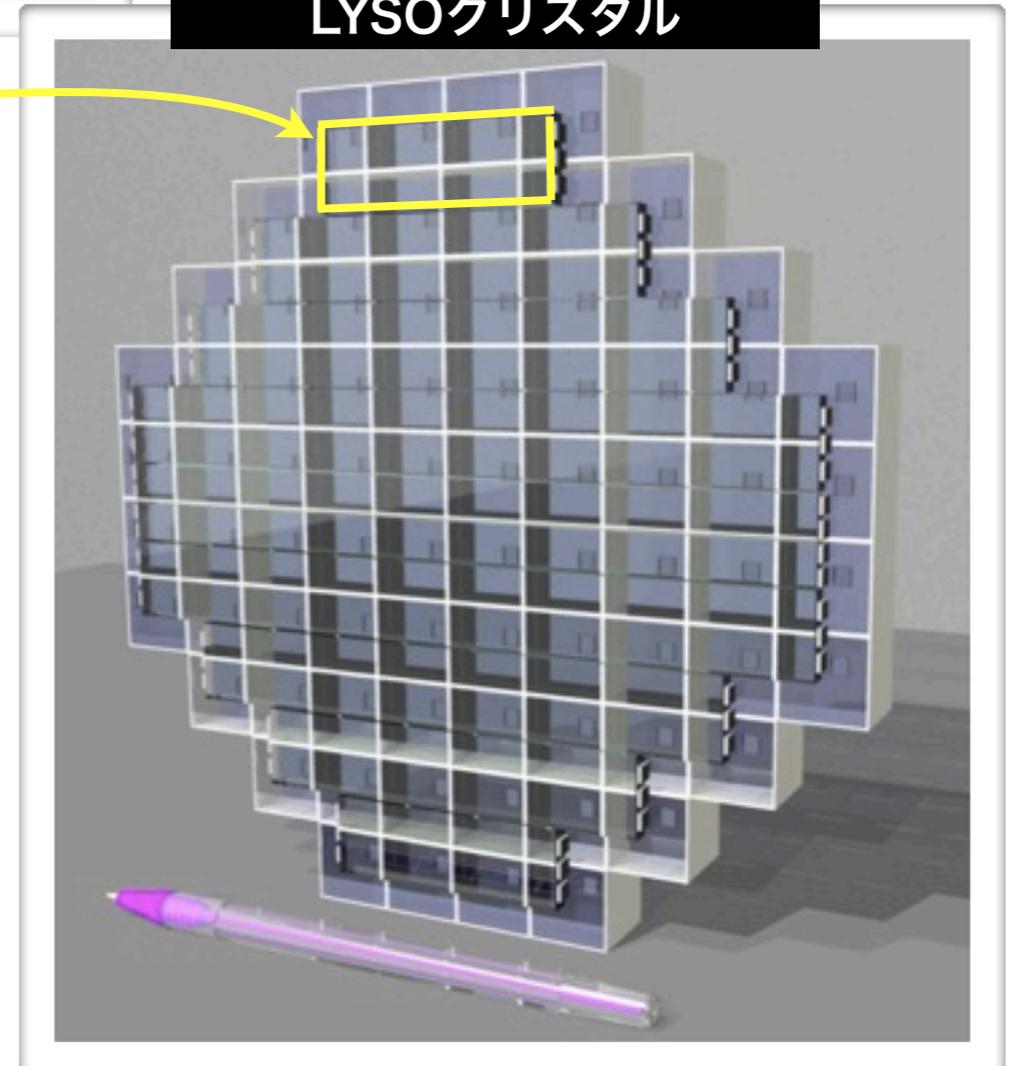
- μ^+ ビームに影響を与えずにRMD起源の低運動量 e^+ を検出する必要
- シンチレーションファイバー
 - 厚み $250\mu\text{m}$ 、704本
 - 両端でまとめてMPPCで読み出し
 - 時間情報取得(γ とのcoincidence)
 - E depositの違いで μ と e を分離

• μ^+ ビームへの影響を調査中
導入はその結果次第

already approved!



プラスチックシンチレーター
LYSOクリスタル



- **プラスチックシンチレーター** 10本
長さ6~18cm、幅2cm、厚み5mm
主に時間情報取得 (γ との coincidence)
MPPCで読み出し
- **LYSOクリスタル** 76個
2×2×2cm³
エネルギー情報取得
(Michel decay と Radiative muon decay の separation)
MPPCで読み出し

MPPC選定

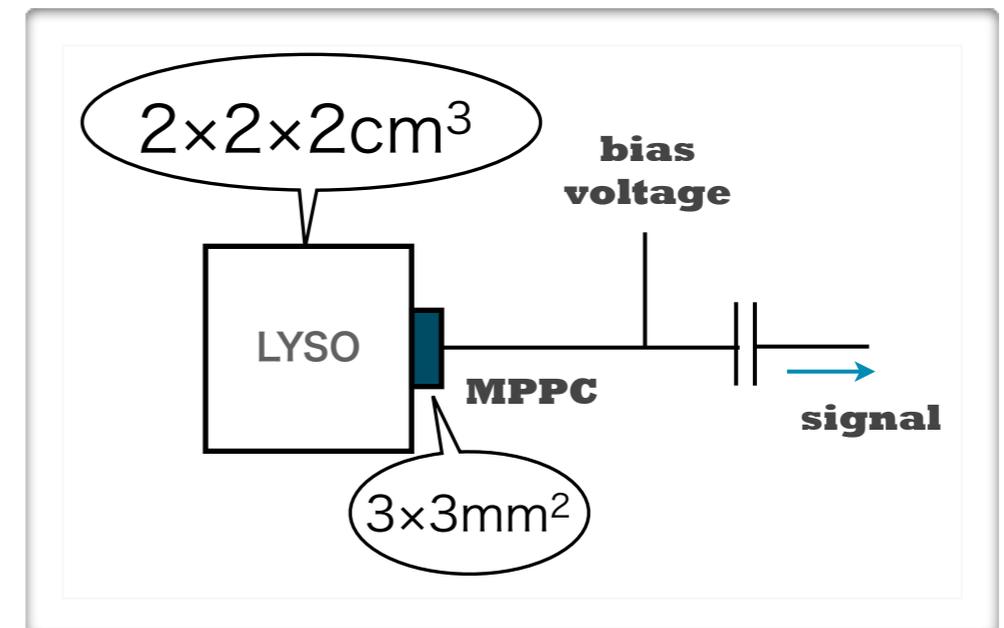


• MPPCの候補

- ・クリスタルの信号読み出しにMPPC(3×3mm²)を用いる。
候補は4つ。
 - ・ 50μm, 25μm, 15μm (ピクセルサイズの違い)
 - ・ 50μm, crosstalk suppress model(クロストーク抑制機構)

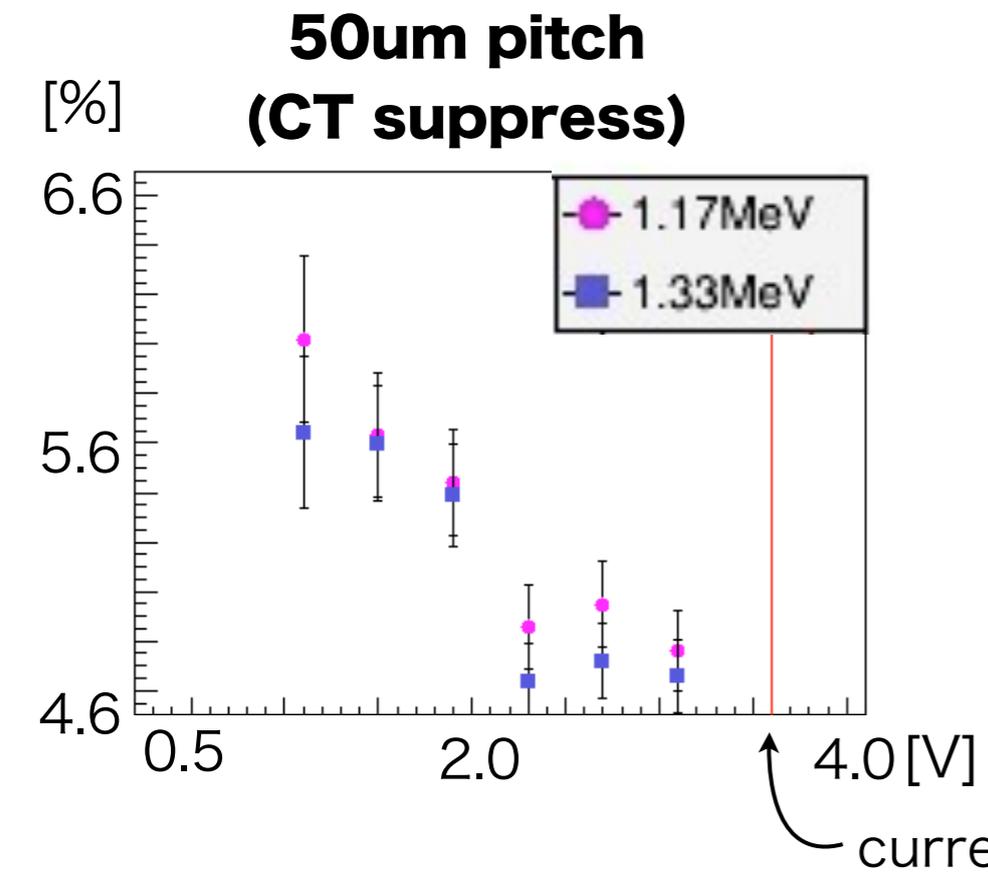
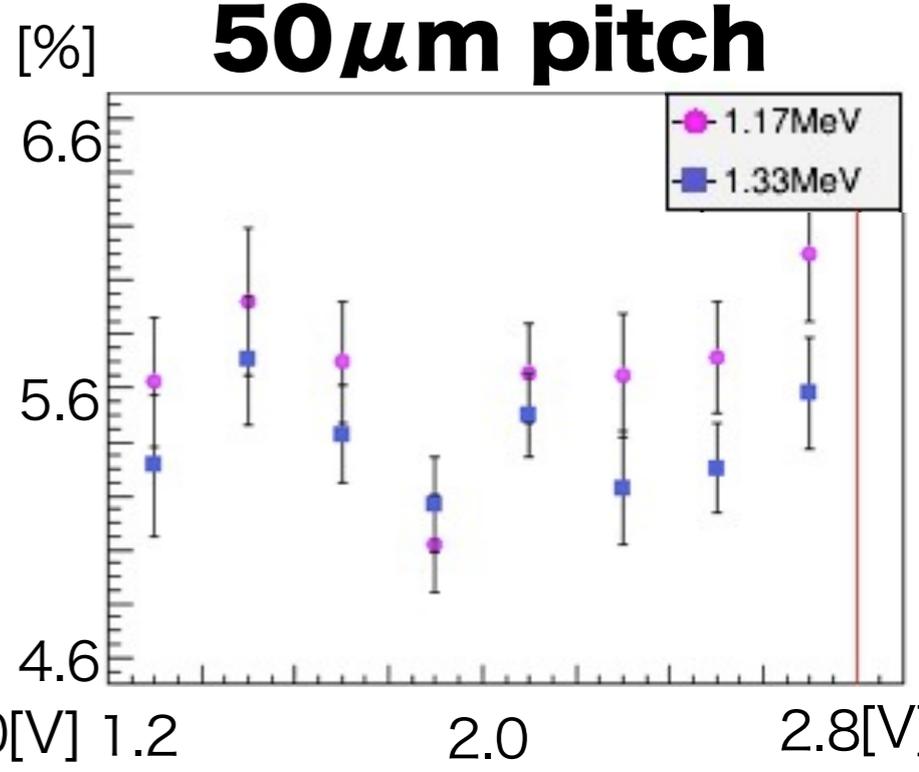
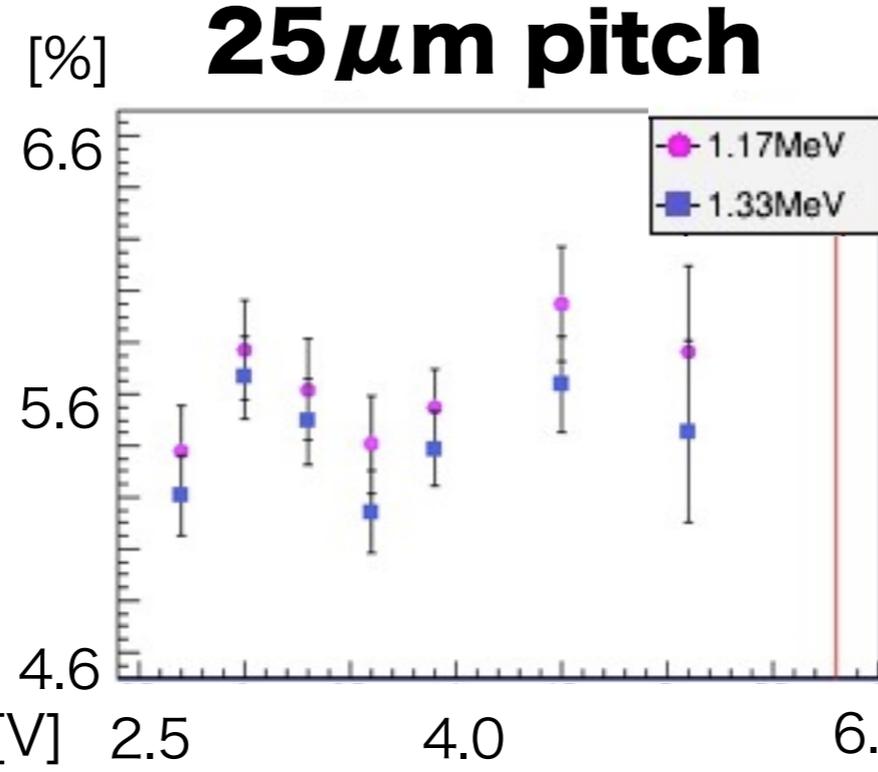
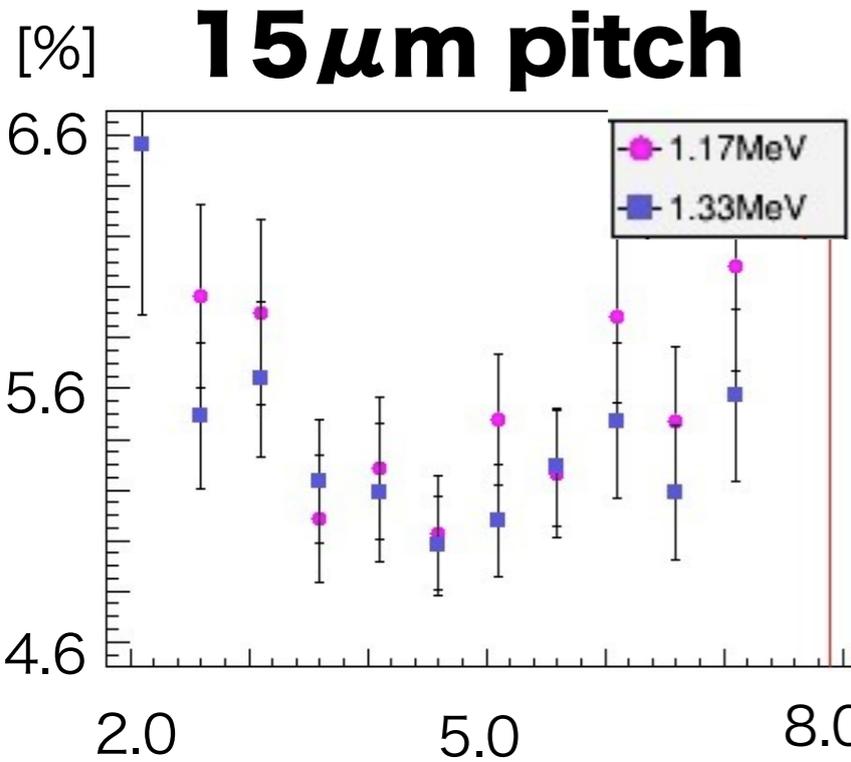
• ポイント

- ・ 分解能
 - ・ saturation
 - ・ current
 - ・ S/N
- source
宇宙線
- single photoelectron



• ピクセルサイズによる違い

- ・ gainはピッチサイズ²に比例
→currentの大小やS/Nの良し悪しはピクセルサイズに依存
- ・ ピクセルサイズが小さい(単位領域あたりのピクセル数が多い)
とsaturationは小さい

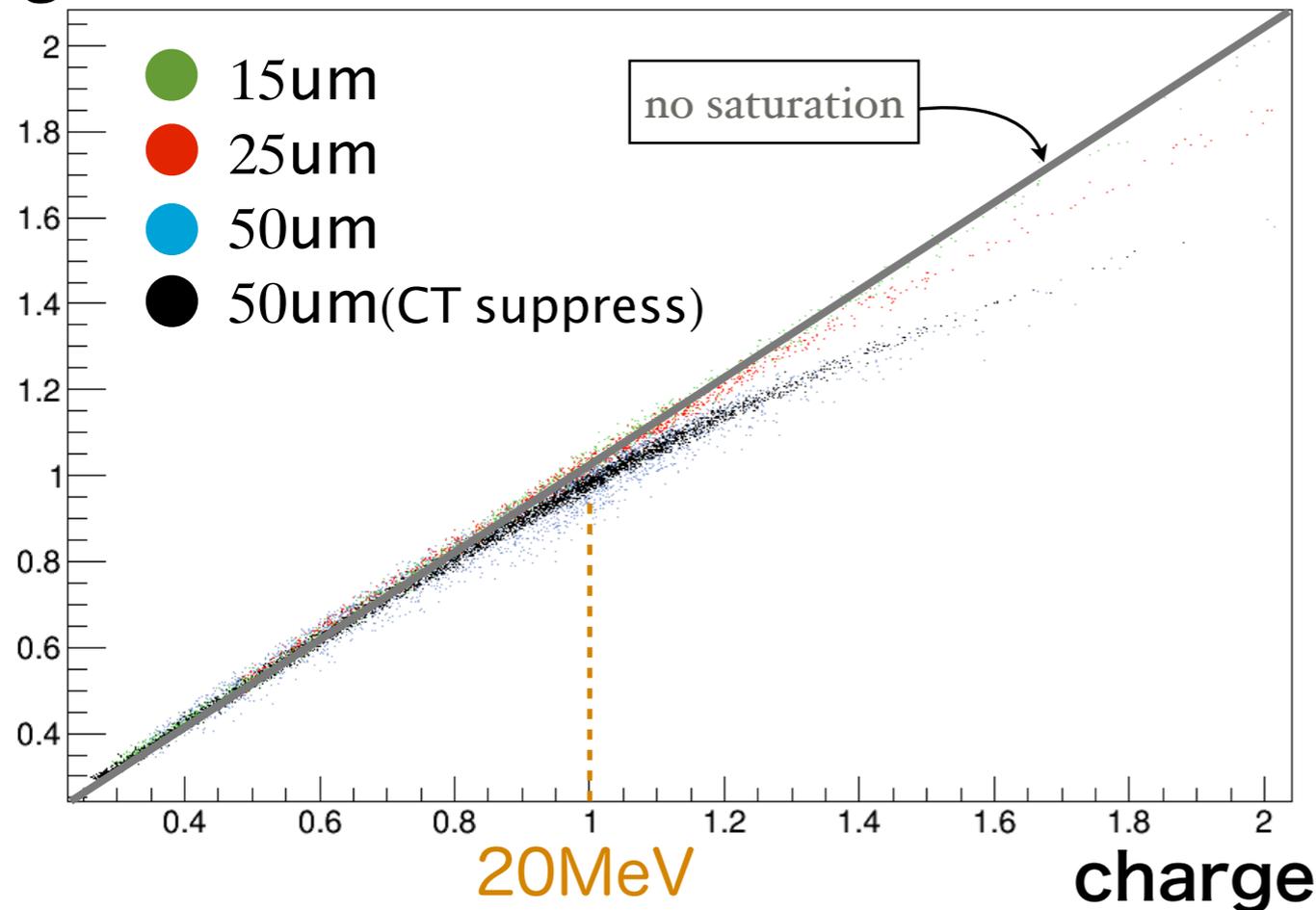


- overvoltage vs 分解能[%]
- ^{60}Co の光電ピーク(1.17MeV, 1.33MeV)を利用
- required value: 8%@1MeV
- 全ての候補で条件クリア

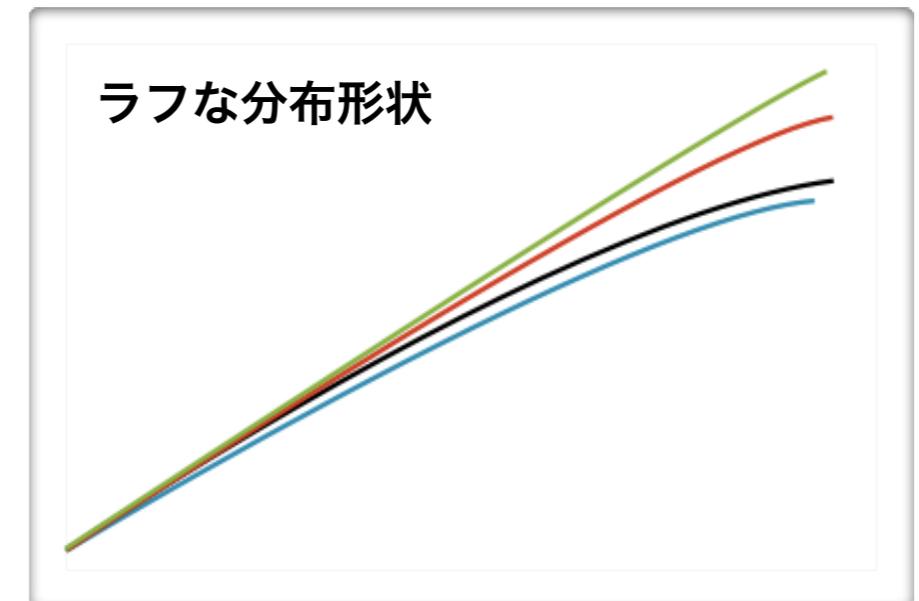


- 数MeV領域ではMPPCピクセルでのsaturationによって波形変化が観測され始める→波形解析によるpileup分離には好ましくない
- それぞれ分解能が最良のovervoltageで宇宙線データを取得

height



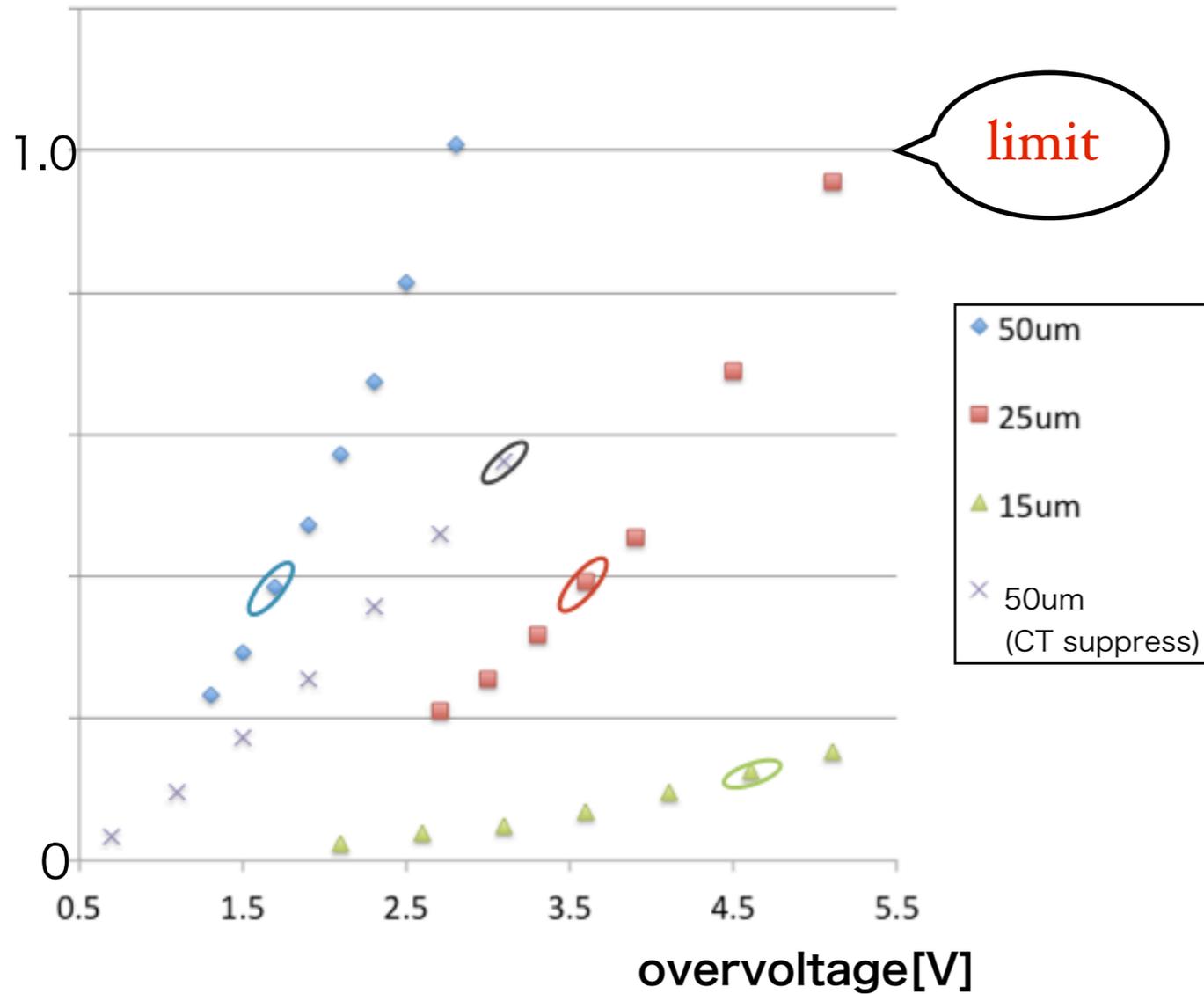
- ランダウピーク[20MeV]でのchargeを揃える
- 低エネルギーで波形を揃えるようにheightを定数倍
- ランダウピークでのheightを比較(saturationの程度)



- saturationの程度は主にピクセルサイズに依存



current[mA]

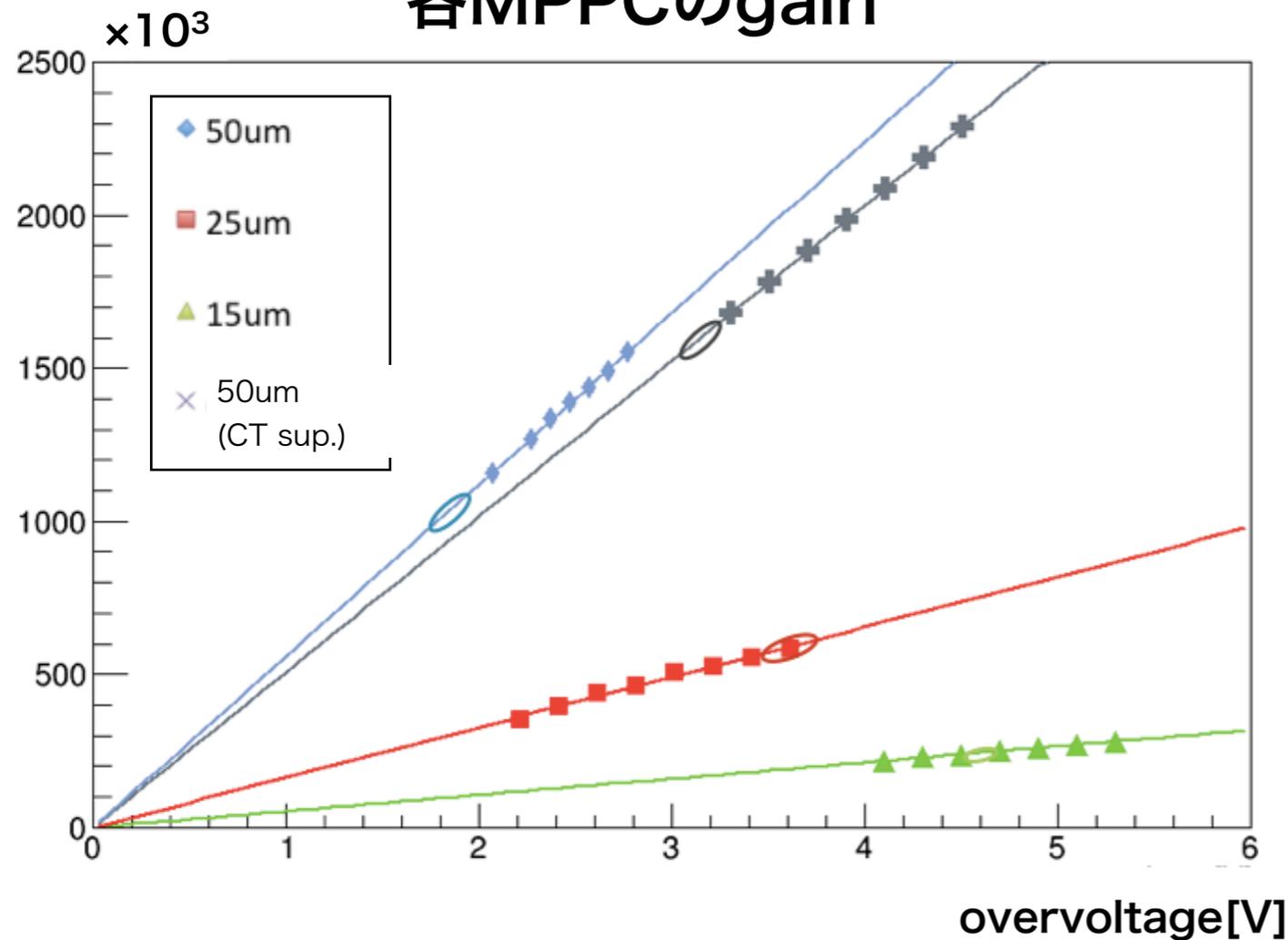


○ は分解能が最良の点

- MPPCは2mAが電流限界値 (limitを1mAに設定)
- ^{60}Co でのデータから運用時の電流を予想
 - hit rate: 1 MHz
 - energy: 4.1 MeV
 - $(\# \text{ of p.e.}) \times \text{gain} \times (\text{hit rate}) \times e$
 $\times (\text{crosstalkとafterpulseによる影響を補正するfactor})$



各MPPCのgain



○ は分解能が最良の点

- gainをdarkのcharge分布から算出
- gainはMPPCのキャパシタンスCに比例
- Cは[ピクセルサイズ]²に比例
→おおむね再現
- overvoltageが同じであれば pixel sizeの大小はS/Nの大小
- すべての候補でsingleが観測
→すべてok



- 分解能が最良のovervoltageでは

| MPPC type | 分解能 | saturation | current | S/N |
|-----------------------|-----|------------|---------|-------|
| 15um | ok | best | best | worst |
| 25um | ok | ok | ok | ok |
| 50um | ok | worst | ok | best |
| 50um (CT suppress) | ok | bad | worst | best |

- 波形解析によるpileup分離の観点から、50 μ mとCT suppressは好ましくない
- 15 μ mはS/Nが最も悪い
- **25 μ m**が余裕をもった運用に適している

overvoltageを下げれば
saturation,currentは小さくなる

- 分解能が最良のovervoltageでは

| MPPC type | 分解能 | S/N |
|-----------------------|-----|------|
| 15um | | st |
| 25um | | x |
| 50um | | best |
| 50um (CT suppress) | | best |

MPPCは
25 μm pitch
に決定

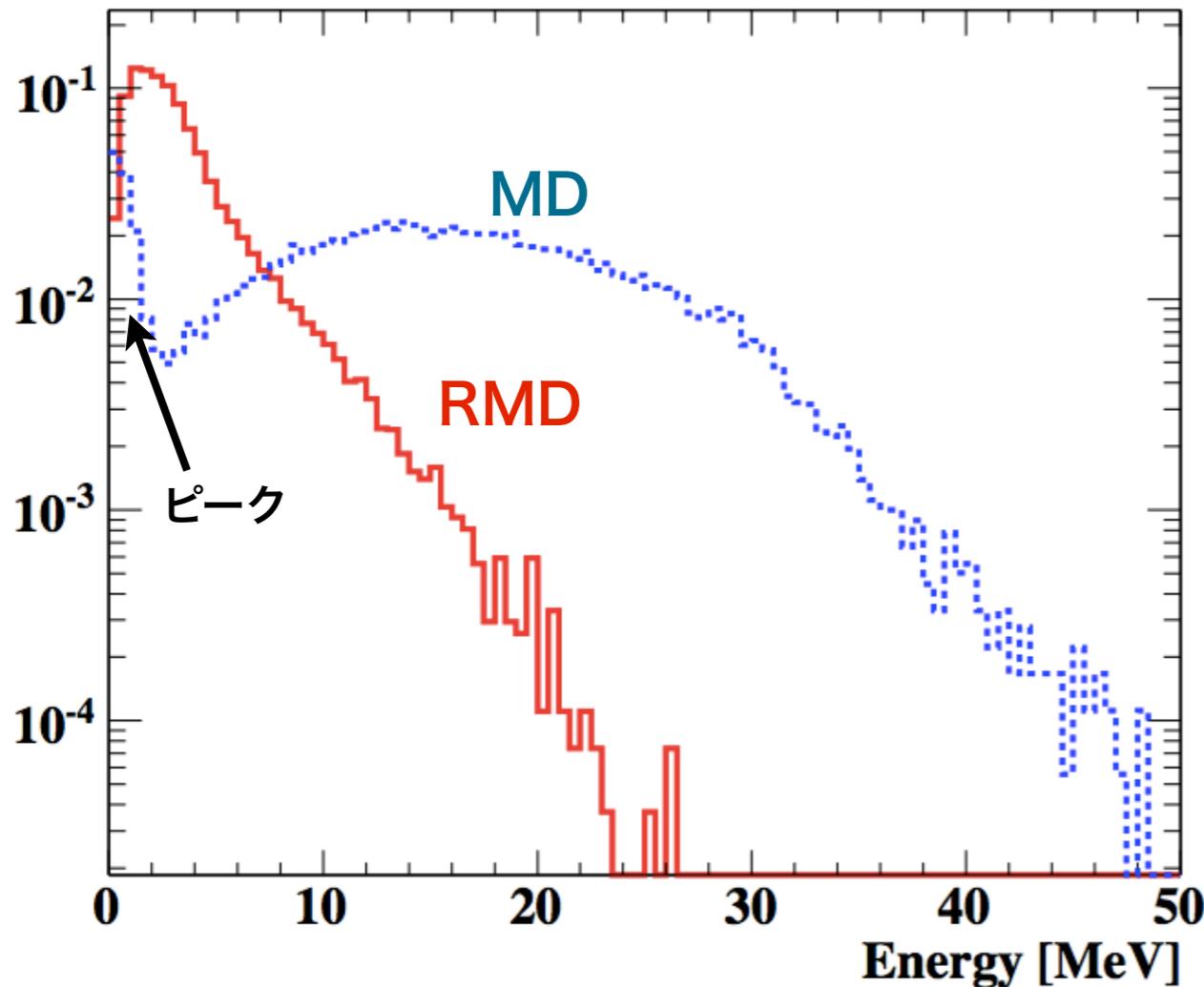
- 波形解析による評価では、50μmとCT suppressは好ましくない
- 15μmはS/Nが最も悪い
- **25μmが余裕をもった運用に適している**

overvoltageを下げれば saturation,currentは小さくなる

検出器形状最適化



simulated energy deposit
in downstream detector



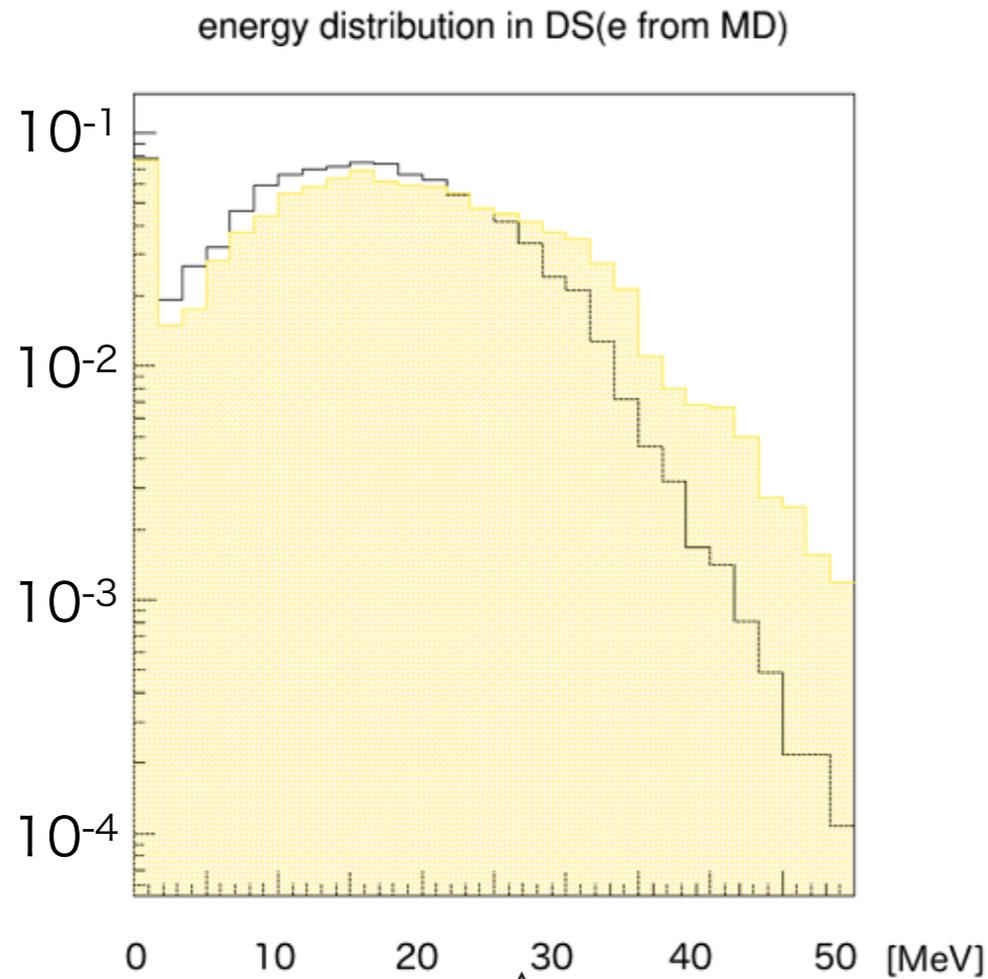
(RMDは γ のエネルギーが48MeV以上を要求)

- 低エネルギー領域でのピークの原因は何か?
 - Radiative muon decayとMichel decayを区別したい
- これら2つの分布をよりよく分離できないか?

検出器ジオメトリの変更で上記2点を調べる

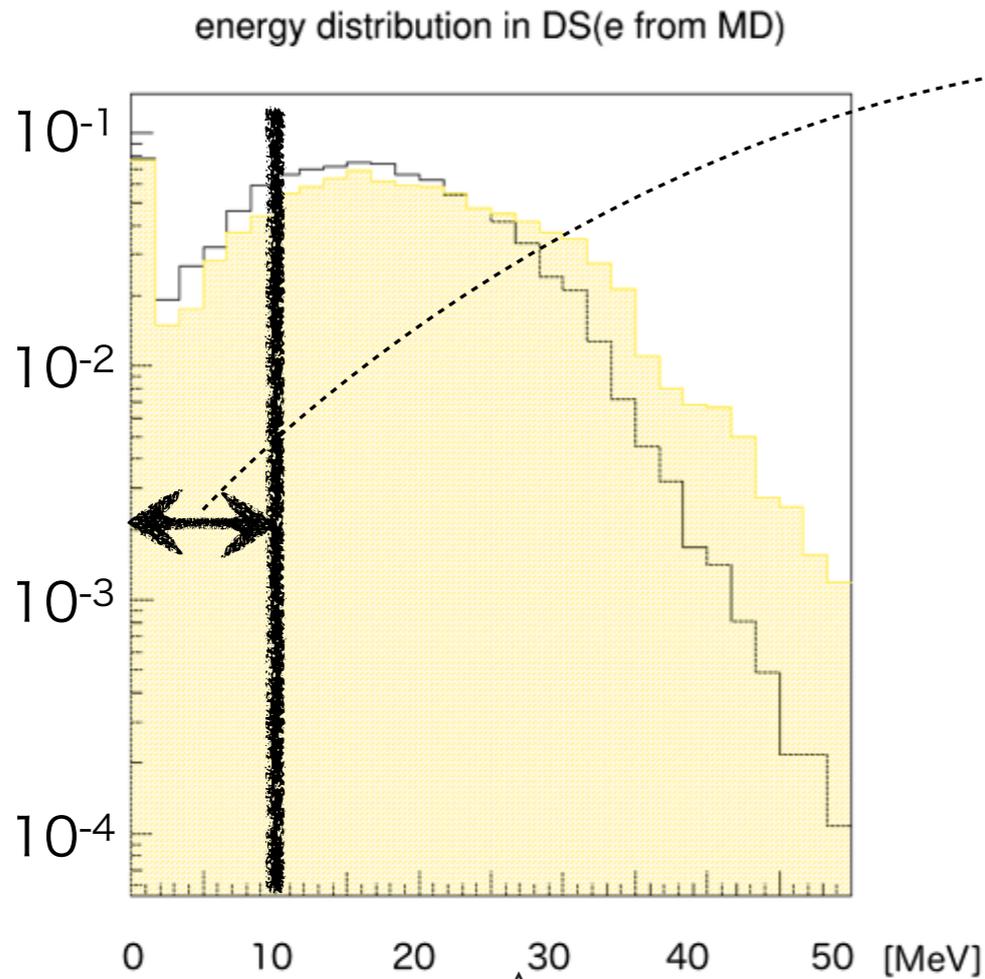
条件

- targetで静止したmuonの標準模型における崩壊
- 方向： 4π
- トリガー条件:
プラスチックシンチレータでのヒット
- クリスタル、プラスチックシンチレータの厚みを変化させる



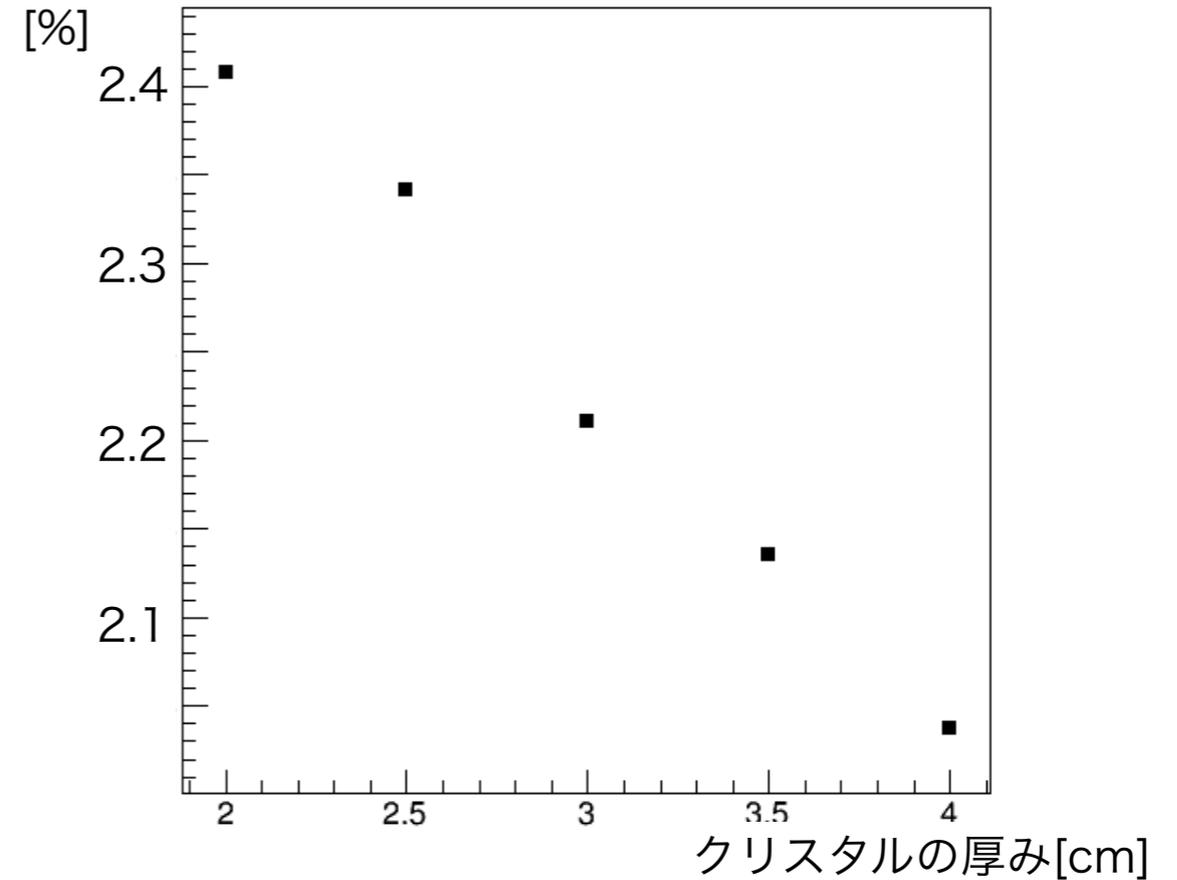
黒 : 厚み=2cm(default)
黄 : 厚み=4cm (space limitation)

- E=0付近でのピークは、陽電子がドリフトチェンバーにあたり対消滅で生じた γ が入射するイベントと確認
- プラスチックシンチレータの厚み変更等では改善できない
- **プラスチックシンチレータの厚みはdefaultの5mmで決定**



黒 : 厚み=2cm(default)
黄 : 厚み=4cm (space limitation)

μ^+ 崩壊1イベントあたりに10MeV以下のEを持つ
 e^+ がDownstreamで検出される確率



- ・最大でも10%強の改善
→厚くしてもRMDによる感度改善には1%程度しか効かない見積もり
- ・RDC設置のスペースは小さい
- ・残り時間等を鑑みて
defaultの値2cmにクリスタルの厚みを決定
(RMD(typical)に2~5MeV)が十分見える)

スケジュール



downstream

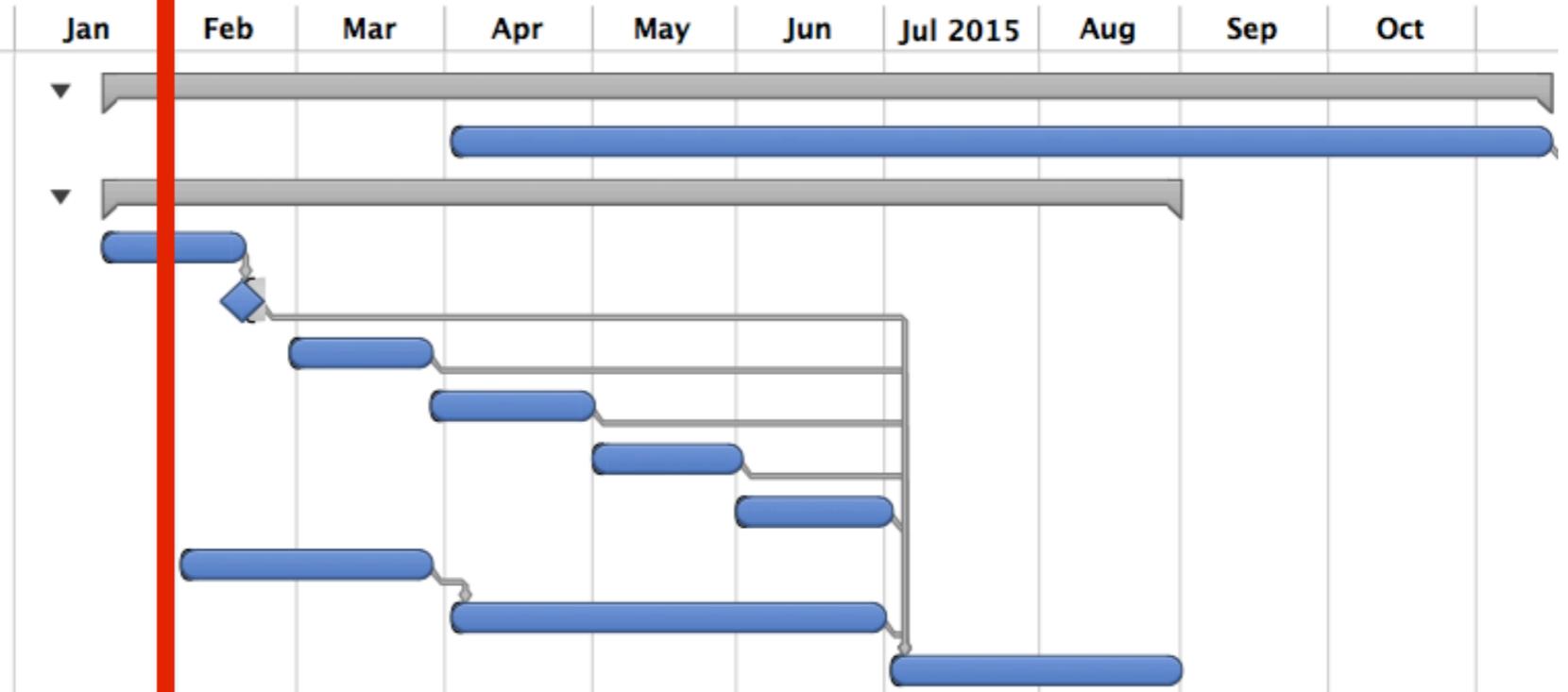
we are here

▼ 1.1.2) DS detector

• 1.1.2.1) Mechanics

▼ 1.1.2.2) Detector

- 1.1.2.2.1) R&D of MPPC connection
- ◆ 1.1.2.2.2) Decision of connection scheme
- 1.1.2.2.3) MPPC test for crystals
- 1.1.2.2.4) LYSO crystal test
- 1.1.2.2.5) Plastic scintillator test
- 1.1.2.2.6) MPPC test for PS
- 1.1.2.2.7) Holder design
- 1.1.2.2.8) Holder production
- 1.1.2.2.9) Assembly and tests



- 今年の秋から始まるMEG II pre-Engineering runに向けて準備を進める
- クリスタルからの信号読み出し方法をR&D中(MPPC直列接続?)
- クリスタル用MPPC100個は到着済(2~3月でmass test)
- その後クリスタル、プラスチックシンチレーター等のtestも開始
- 並行してRDC検出器のホルダー設計・生産をおこなう



- バックグラウンド事象を積極的に同定する新しいコンセプトの検出器RDCを開発中
- RDCの導入により感度は最大30%程度の改善が見込まれる
- 下流側検出器についてはMEGIIへの組み込みが承認済であり作成に着手している

- クリスタル読み出し用MPPCは $25\mu\text{m}$ pitchを使用する
- 実機用の100個が到着済
- クリスタルは2cm、プラスチックシンチレータは5mmの厚みで最終決定し発注済

- 11月のマウントに向けテストを随時行う



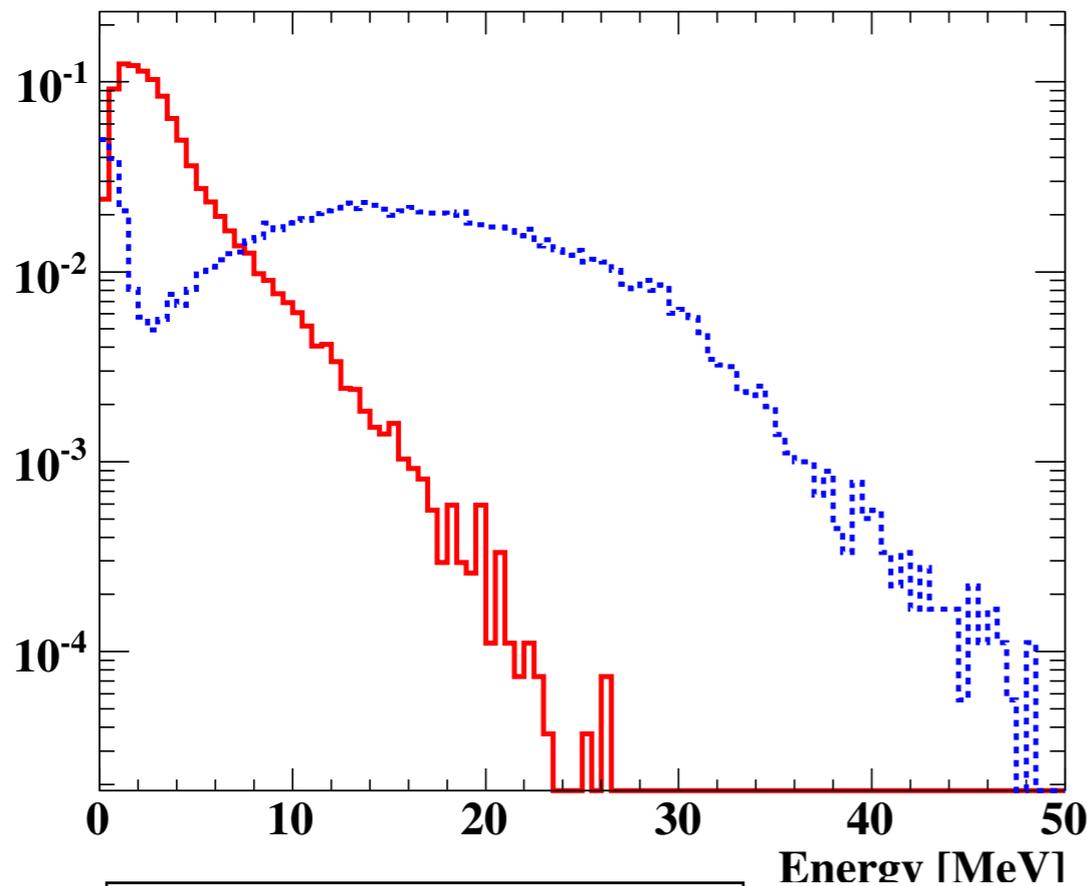
ENSD

21st ICEPP Symposium

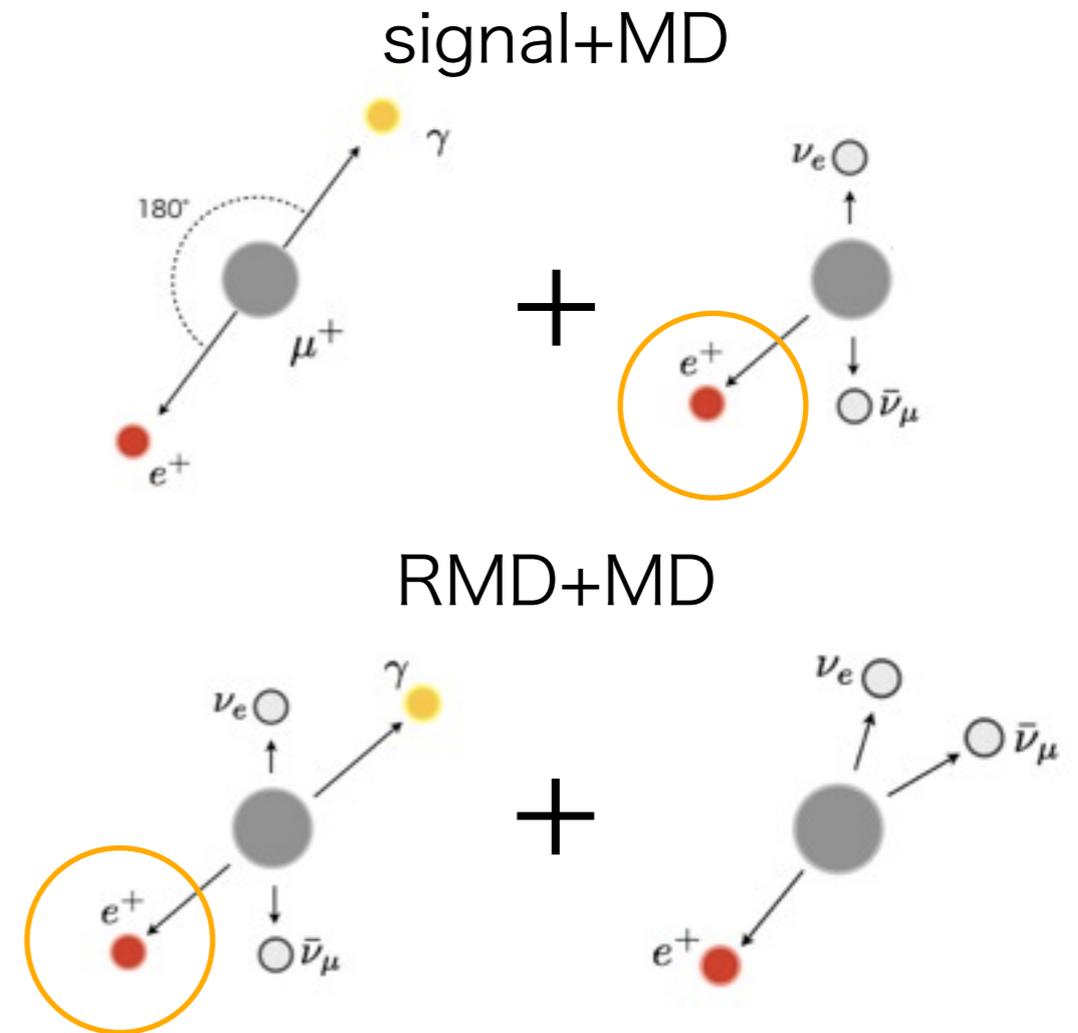


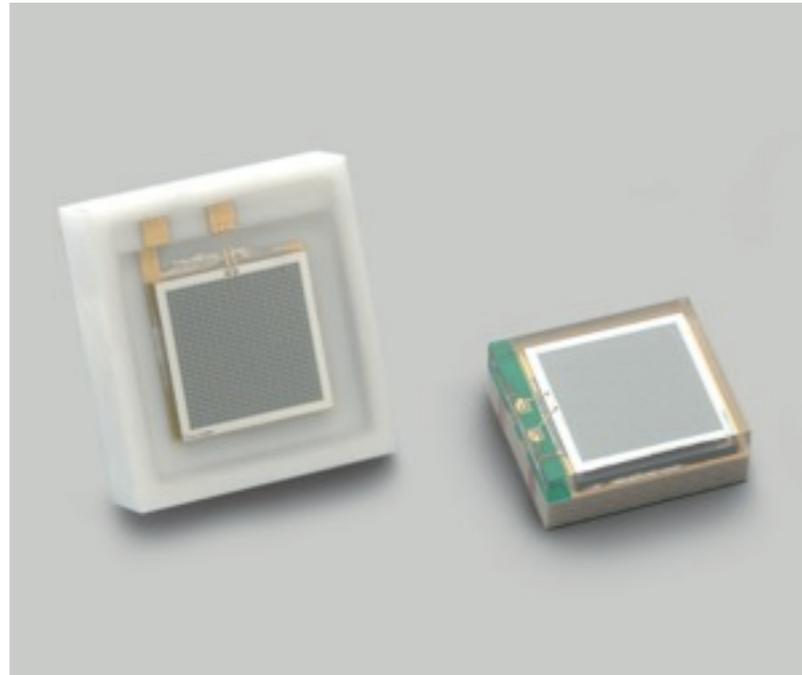
backup

- Downstreamでは
シグナル γ 線&数十MeVの陽電子の偶発的ヒットと
RMD由来の γ 線&数MeVの陽電子の偶発的ヒットを区別したい
- **LYSO結晶**でエネルギー測定
- 10MeV程度まで(特に5MeV付近)の領域で
良いエネルギー分解能が必要



RMDとMDの e^+
エネルギースペクトラム

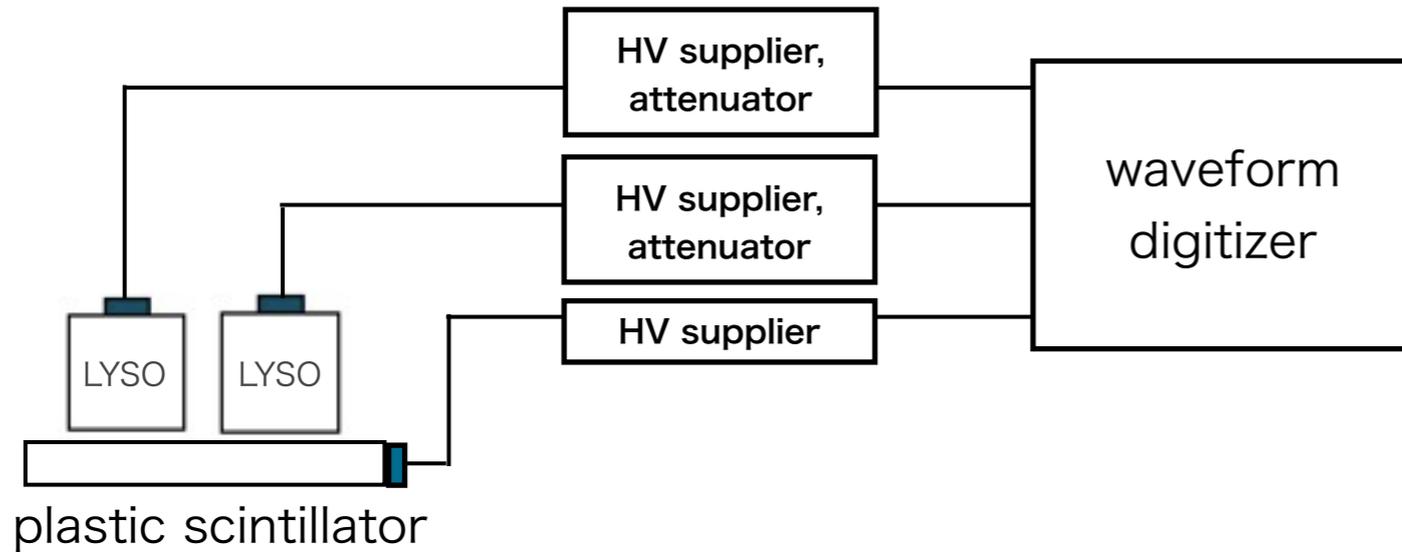




- ・ 複数のAPDピクセルからなる光検出器
- ・ 逆バイアスをかけガイガーモードで駆動
- ・ MPPC S12572-015,-025,-50
- ・ 低アフターパルス

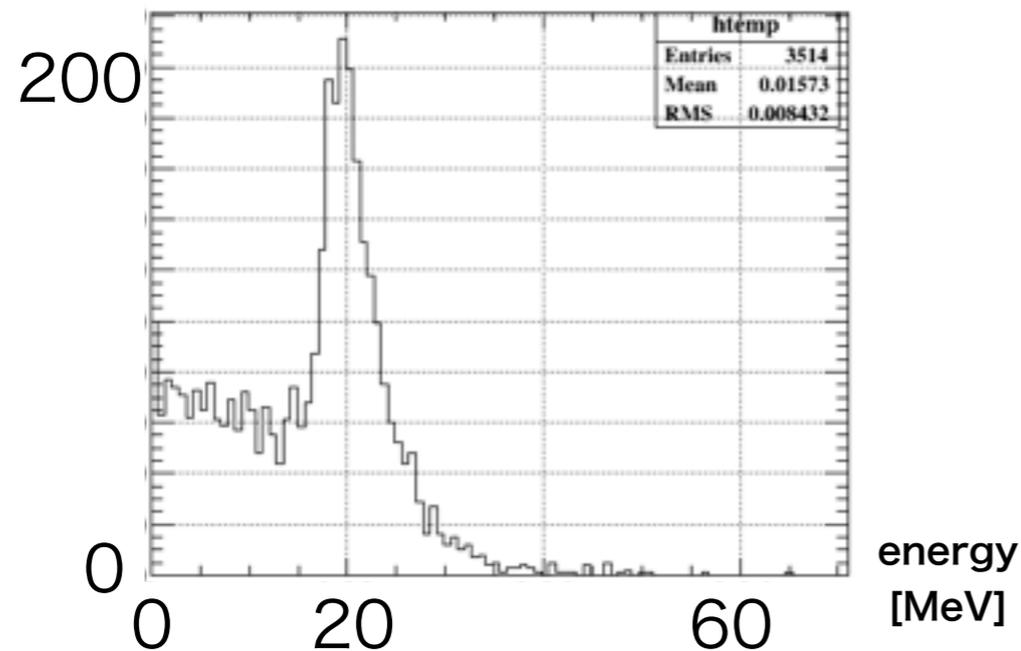
| | -015P | -025P | -050P |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 有効受光面サイズ | 3×3mm ² | 3×3mm ² | 3×3mm ² |
| ピクセルサイズ | 15μm | 25μm | 50μm |
| ピクセル数 | 40000 | 14400 | 3600 |

setup



- 数十MeVの領域:宇宙線
- 6×2×0.5cm³のプラスチックシンチレーターでトリガー

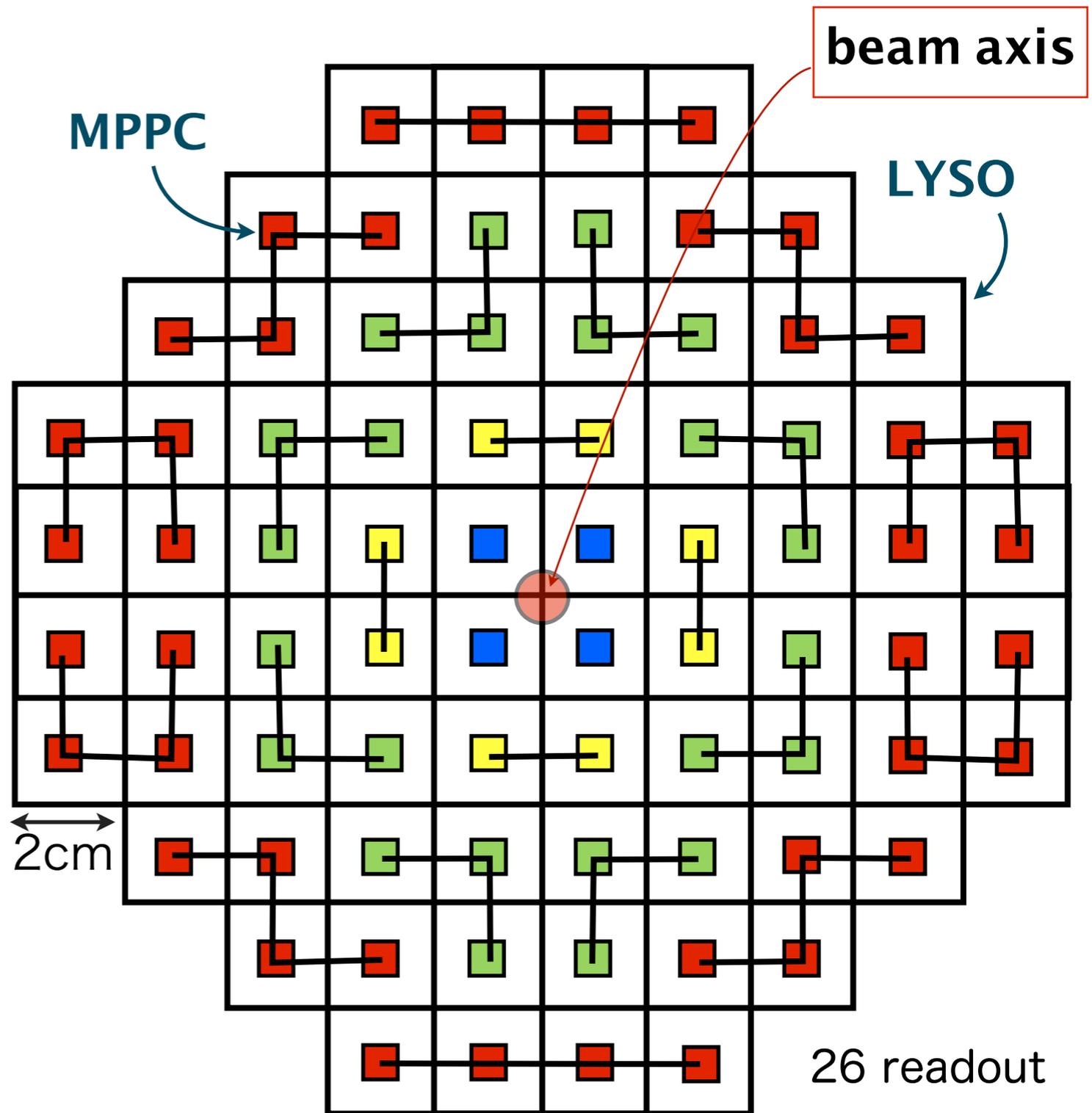
simulation



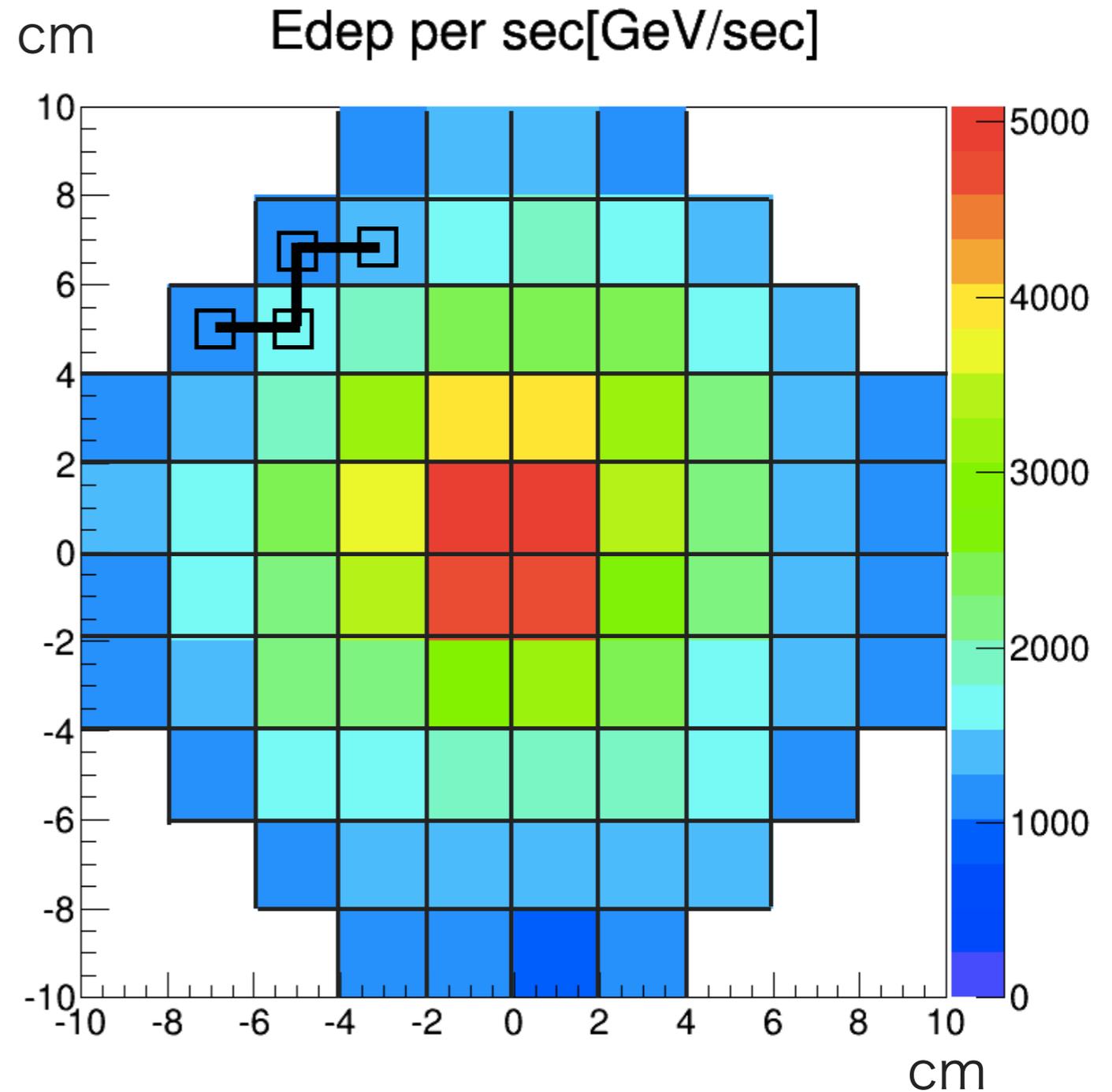
- ランダウピークのエネルギー値をsimulationで調べる
- LYSO密度7.3g/cm³
- 天頂角分布を実装
- ピークは**20MeV**程度と算出



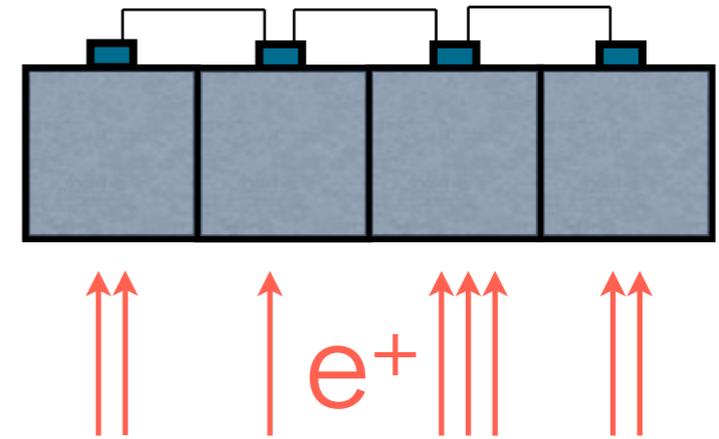
- 高いヒットレート
→ pileup 起こりやすい
- 中心付近では接続数小



- stopping rate : 10^8 [1/sec]
- 中心付近ではEdep大
- 直列接続されているcrystalでもEdepは違う
(最大1.6倍)

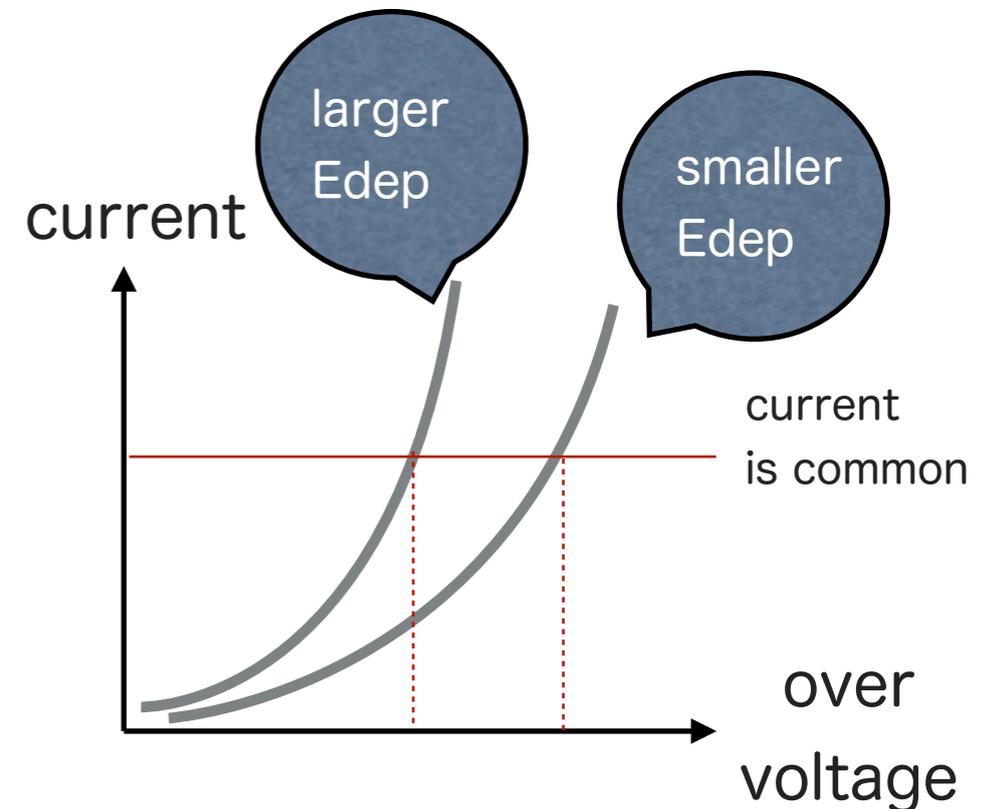


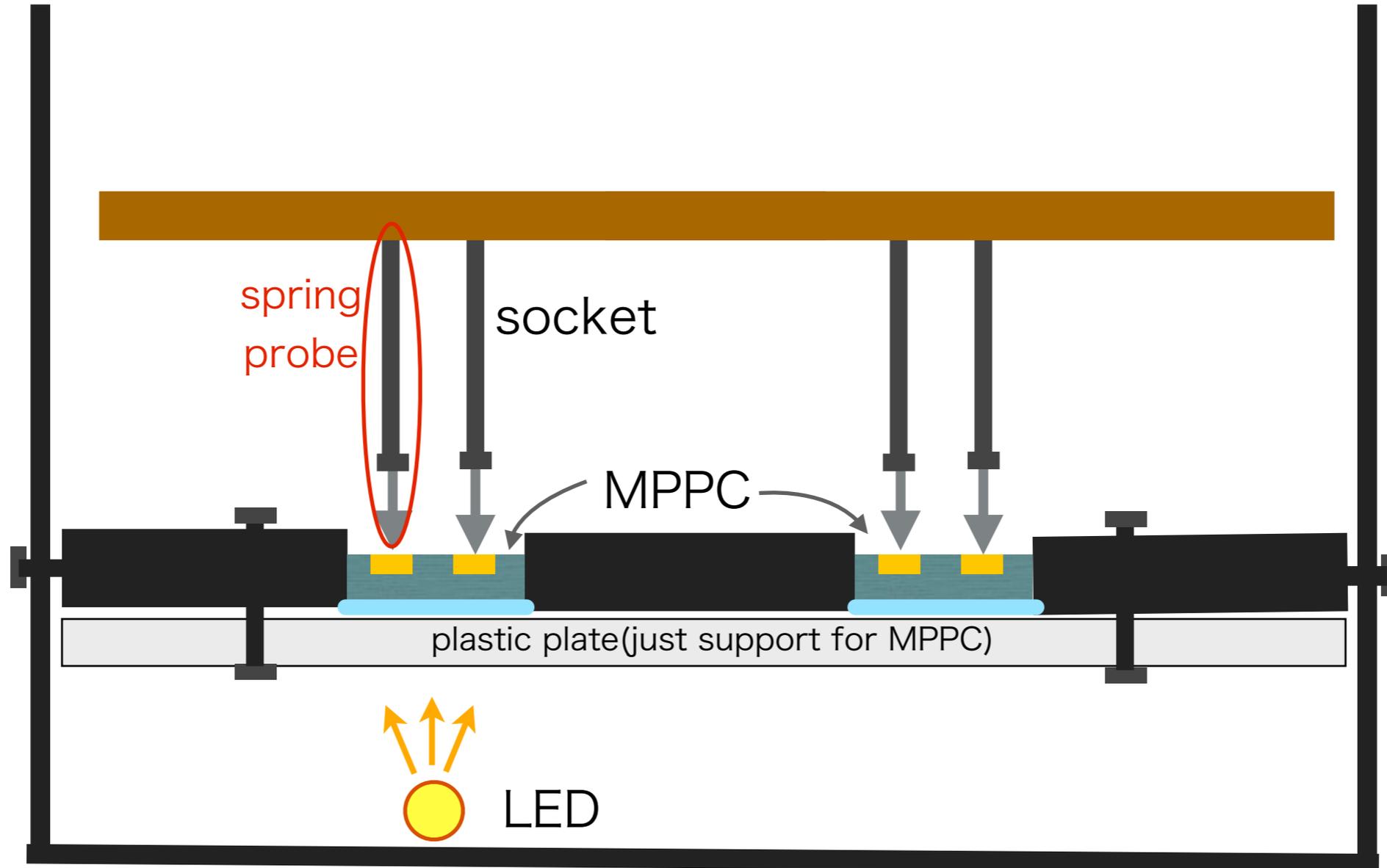
- 直列接続されたMPPCがカップルした
クリスタルでのEdepに違いがあると
ゲインが変化する可能性



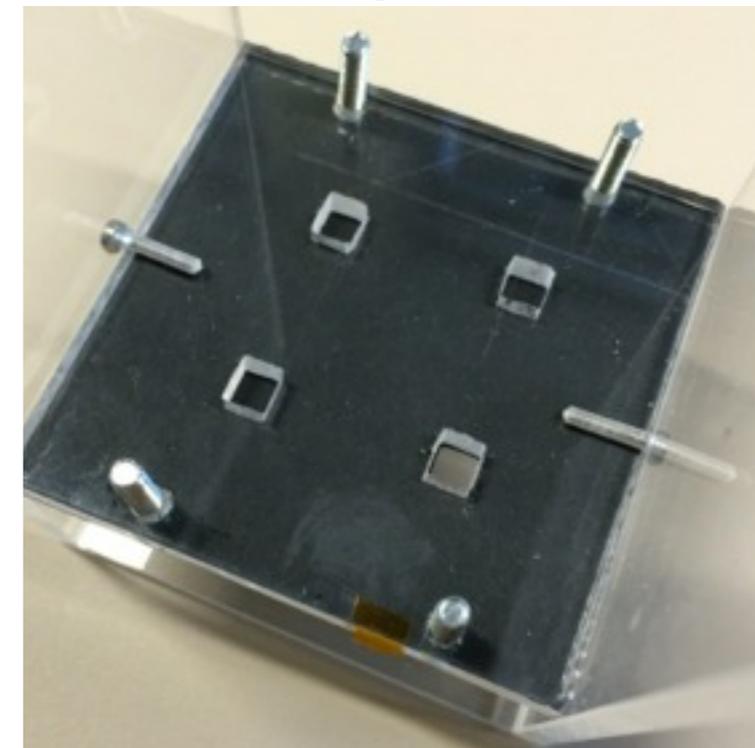
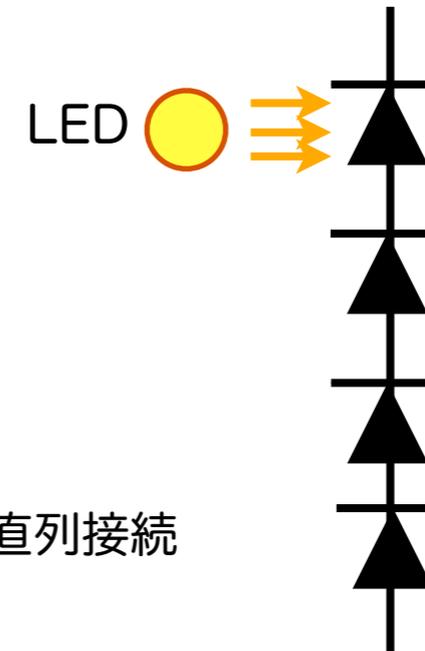
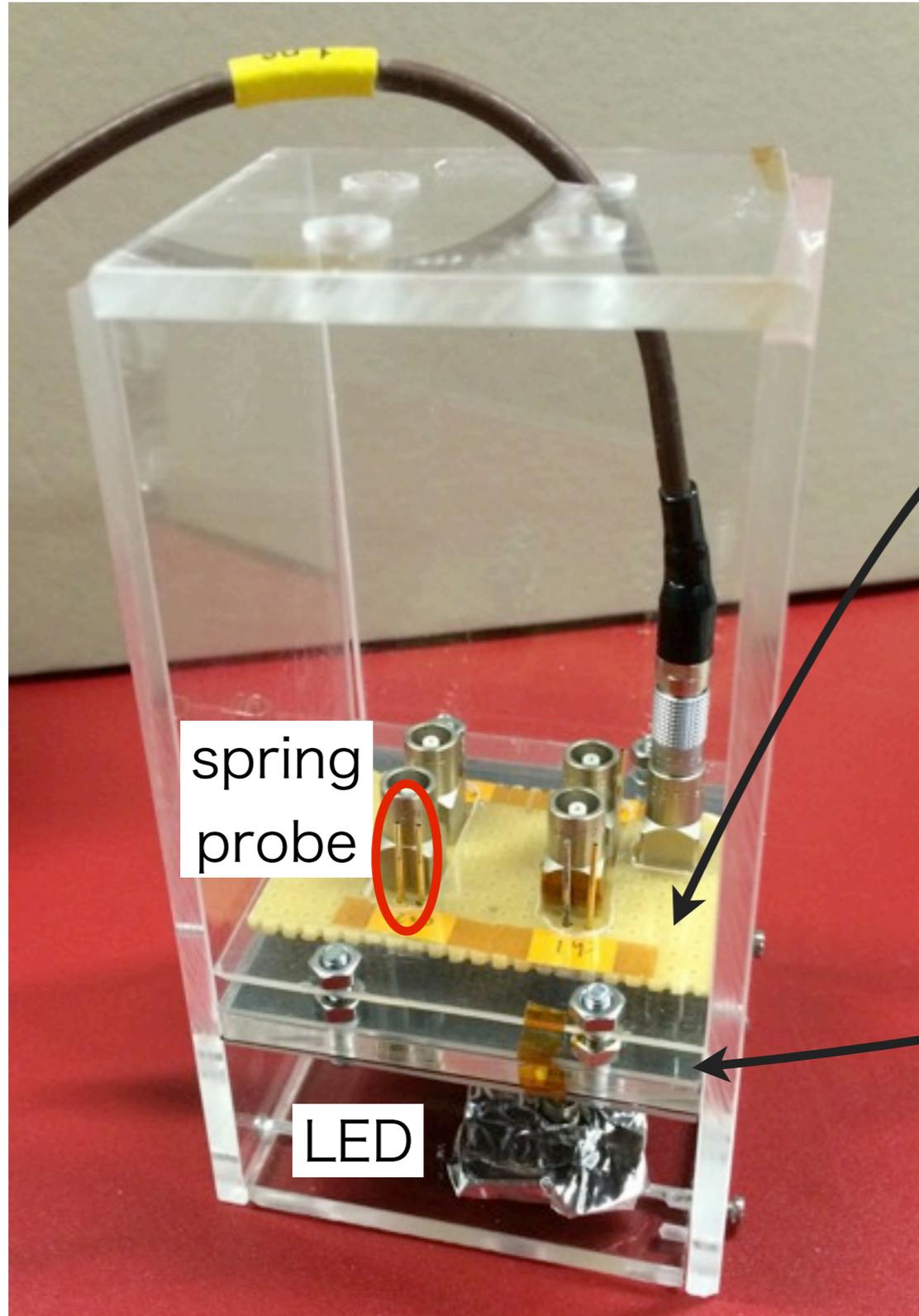
reason

- MPPCでの電流はクリスタルでのEdepに依存
- 電流は共通(直列)
- Edepが違えばgainも違う

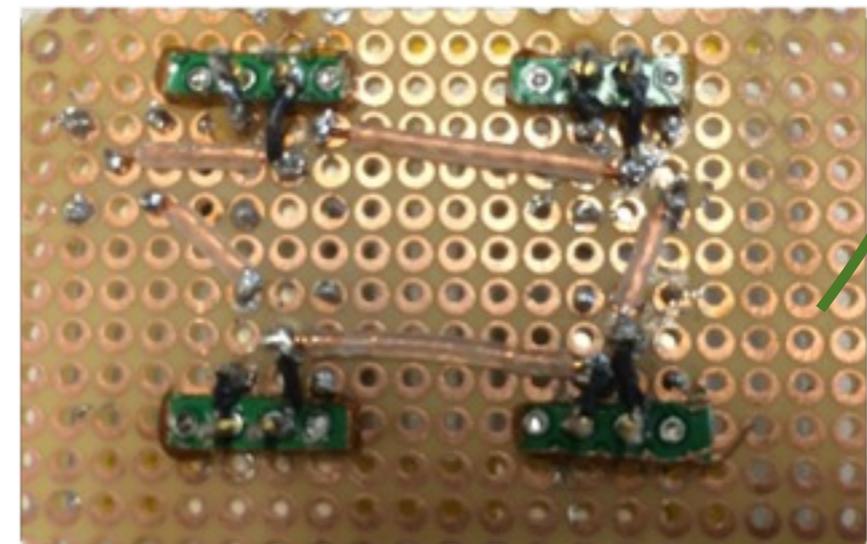
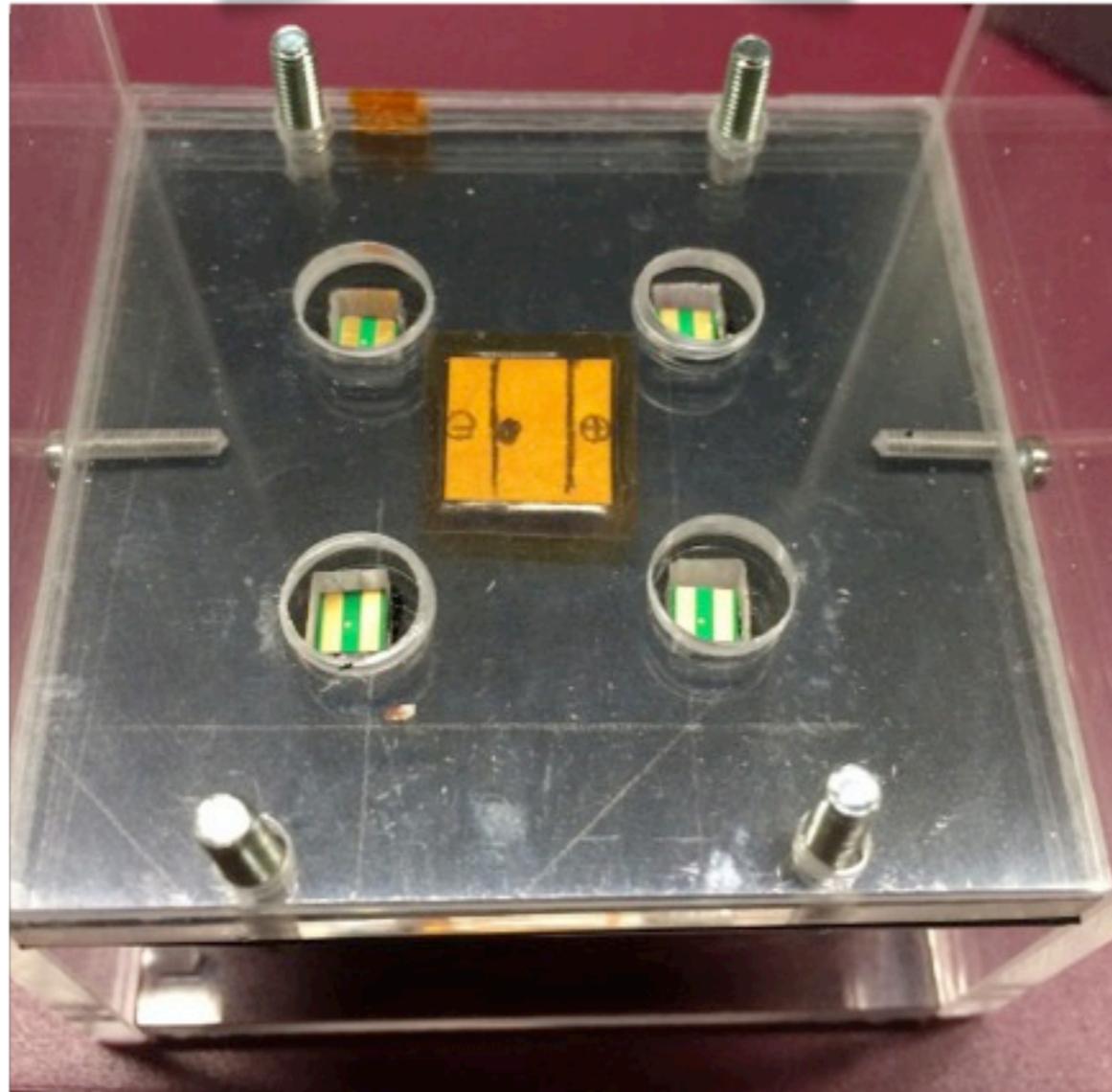
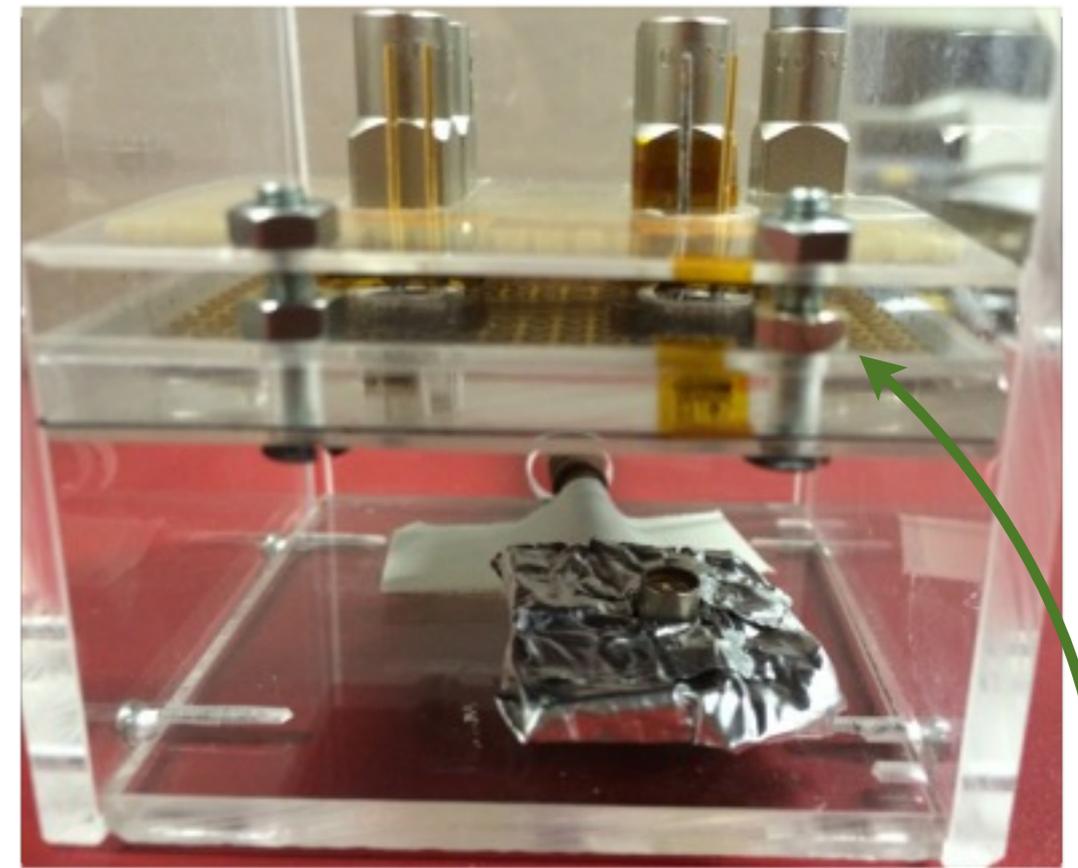
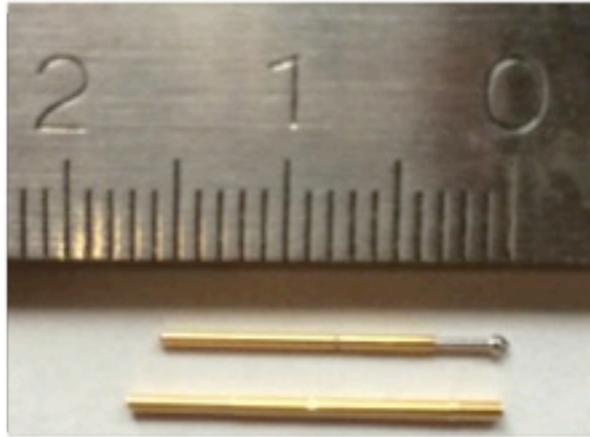


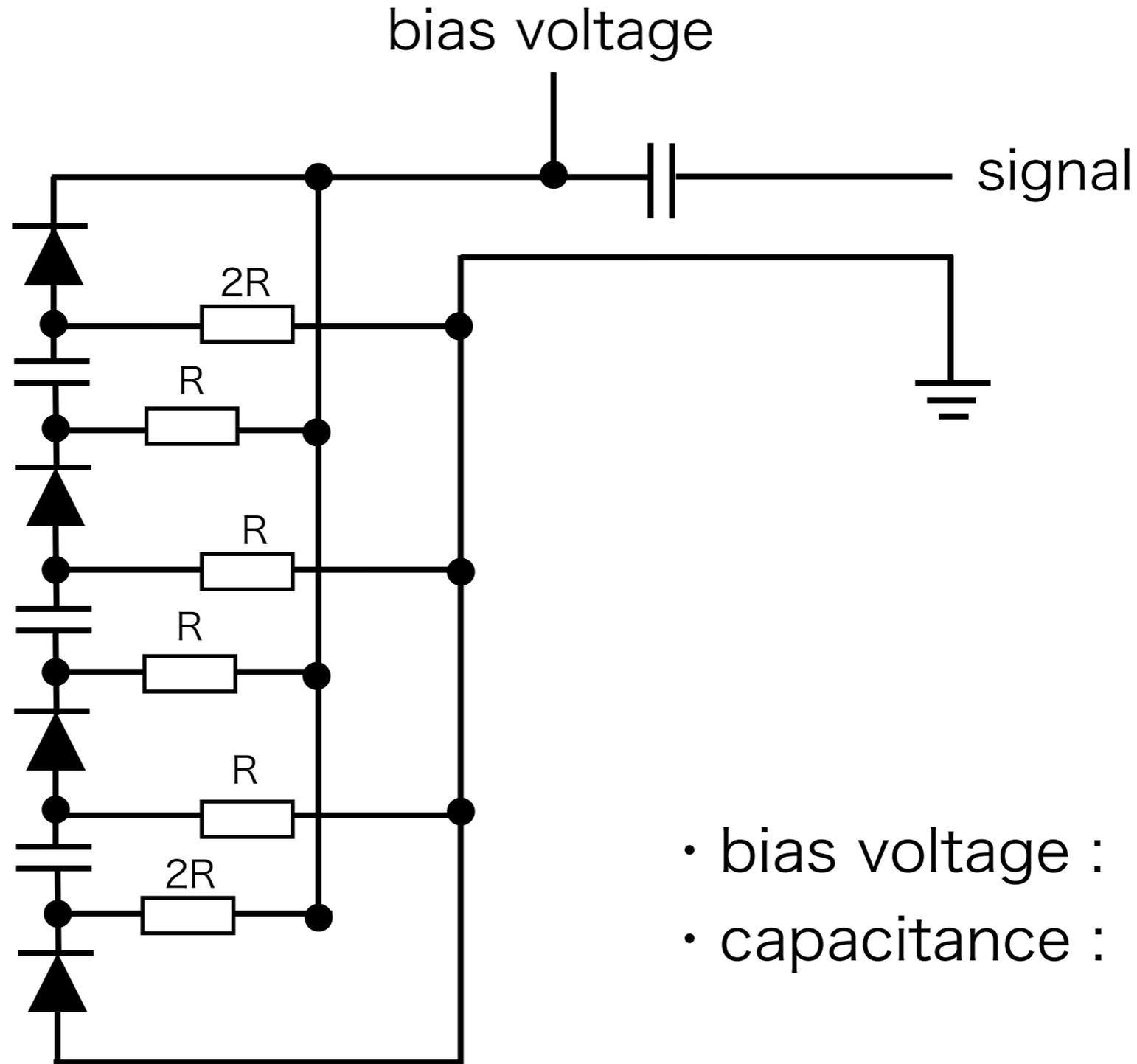


- MPPCは表面実装型
- 読み出しにはspring probeを用いる



4個MPPC用の穴をあける
3個は遮光シートで覆う





- bias voltage : parallel
- capacitance : series