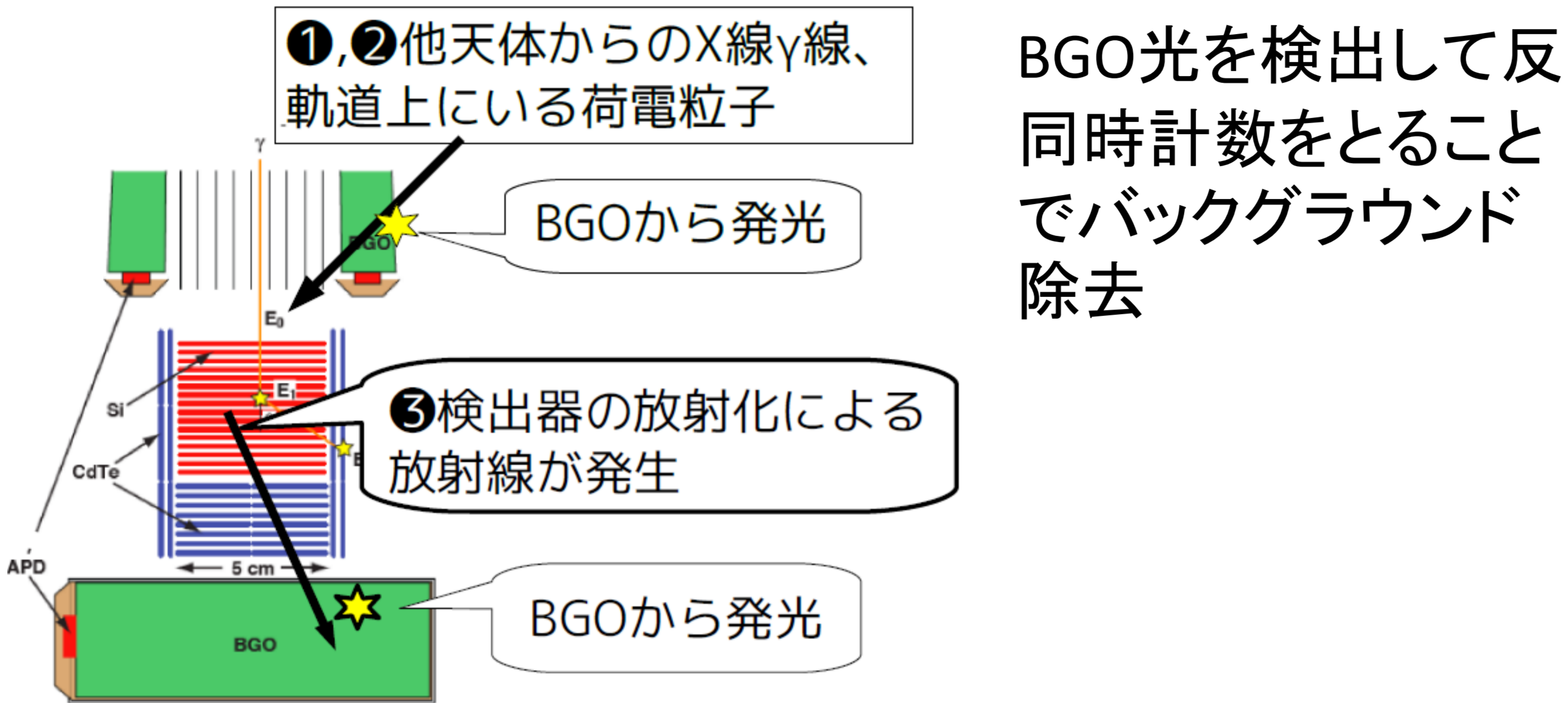


MPPCを用いたアクティブシールド開発に向けた実験

○中川崇之・宇井崇紘・深澤泰司・大杉節・水野恒史・高橋弘充・大野雅功 (広島大学)

アクティブシールドの重要性

- X線・γ線の観測では様々なバックグラウンドが存在
- ①他の天体からのX線・γ線などの放射線
 - ②軌道上の荷電粒子や中性子
 - ③検出器内部の放射化バックグラウンド



BGO光を検出して反同時計数をとることでバックグラウンド除去

X線天文衛星「すざく」ではこのBGOアクティブシールドにより高感度の観測が実現

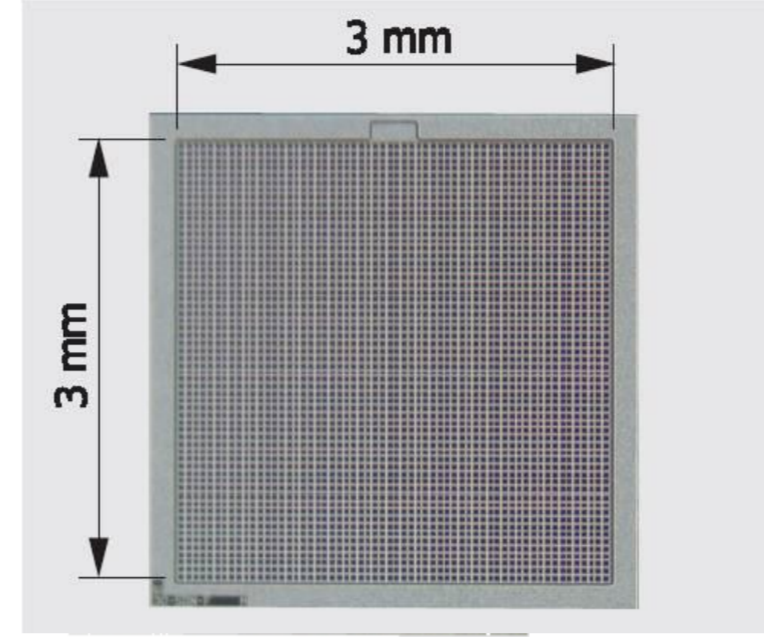
従来の光センサーでは低エネルギーの微弱光は読み出せない

今回は、微弱光まで感度のあるMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)という光センサーが従来の光センサーに比べどのような性質を持つか、また、相性の良いシンチレータの組合せはないかを検証する実験を行った。

MPPCの動作原理

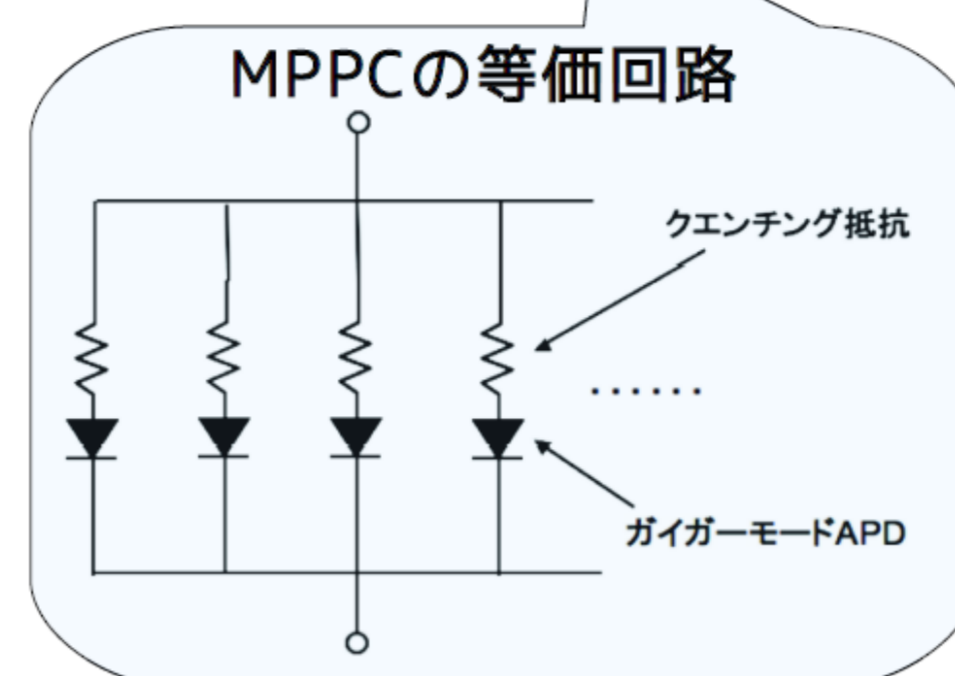
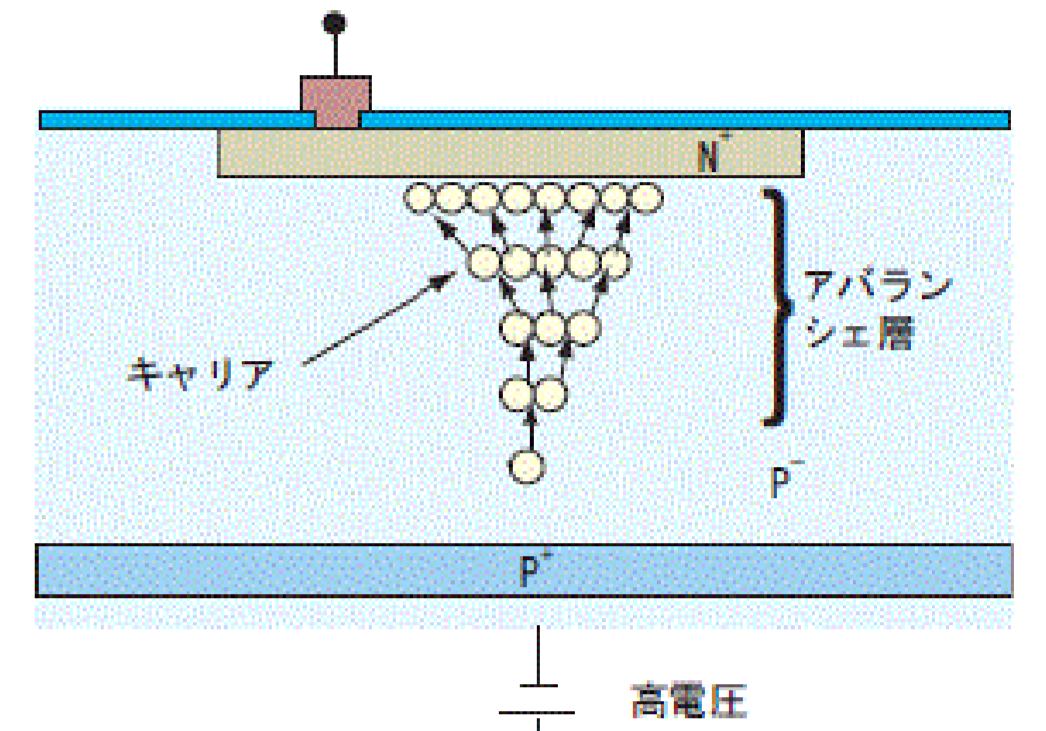
	大きさ(mm)	動作電圧(V)	増倍率	量子効率(%)
PMT	10 ~ 760	700 ~ 1800	10 ^{5~8}	20 ~ 30
APD	0.04 ~ 10	~400	1 ~ 100	~80
MPPC	1 ~ 6	~80	10 ^{5~6}	40 ~ 70

ガイガーモードAPDのアレイ



ガイガーモード

入射光子数によらず一定の電荷を放出



浜松ホトニクス 半導体センサーハンドブックより

ガイガーモードAPD単体では光子到来の有無しか得られない

アレイ化することで光検出したAPDピクセル数を計測し、入射放射線のエネルギーが分かる

各種シンチレータと光センサーとの性能比較

結果

複数の光センサー × シンチレータを組合せ Cs¹³⁷(662 keV)のエネルギー分解能を測定比較

実験方法



検出器部分は恒温槽で20°Cに保つ

測定したシンチレータ

シンチレータ	密度 (g/cm ³)	潮解性	減衰時定数 (ns)	発光量 (photon/MeV)	発光波長 (nm)	形状(cm)
LaBr	5.29	あり	30-40	63000	380	直径1.27・高さ1.27の円柱
NaI	3.67	あり	230	39000	420	直径1.27・高さ1.27の円柱
GAGG*	6.63	なし	90	60000	520	1×1×1 立方体
BGO	7.13	なし	300	8000	480	1×1×1 立方体
GSO	7.13	なし	30-60	9000	430	1×1×3 直方体

* Gd, Al, Ga, ガーネット結晶

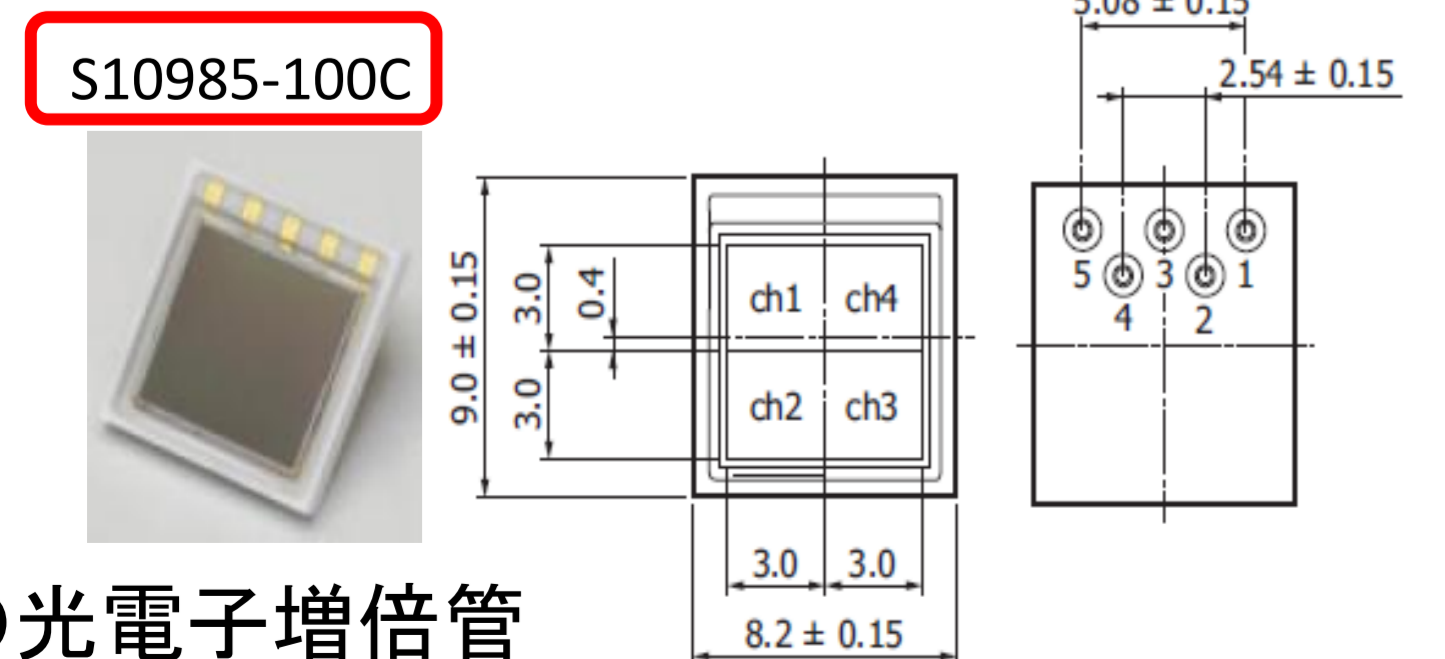


測定した光センサー

●MPPC (浜松ホトニクス製) ・S10362シリーズ

	受光面サイズ (mm)	ピクセルサイズ (μm)	ピクセル数
S10362-33-025C	3×3	25×25	14400
S10362-33-050C		50×50	3600
S10362-33-100C		100×100	900

●S10985シリーズ



●光電子増倍管 ・R6231

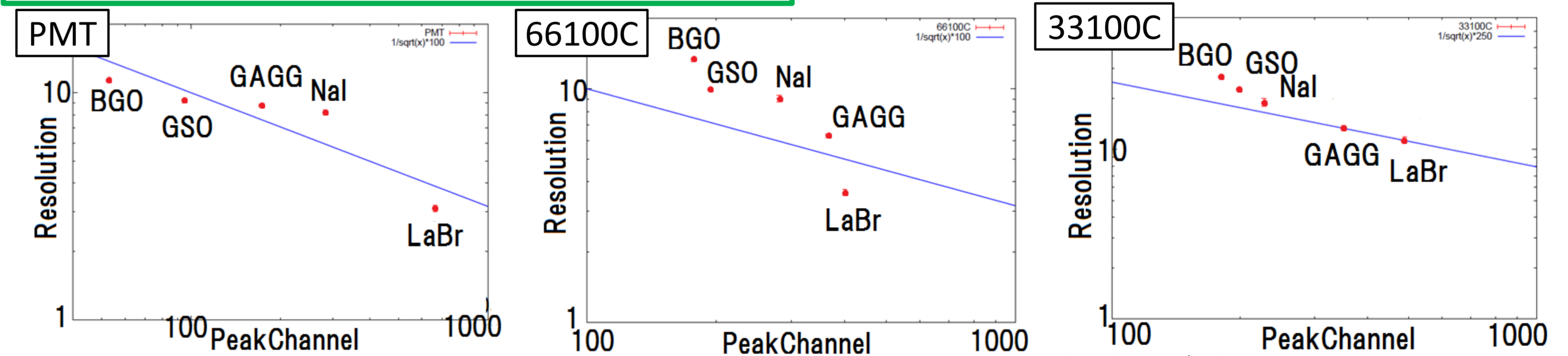


浜松ホトニクス MPPCデータシート

受光面積6×6のMPPCはPMTと同程度のエネルギー分解能を実現している。

入射光子数の影響

エネルギー分解能と入射光子数の間には $R \propto 1/\sqrt{N}$ の関係がある

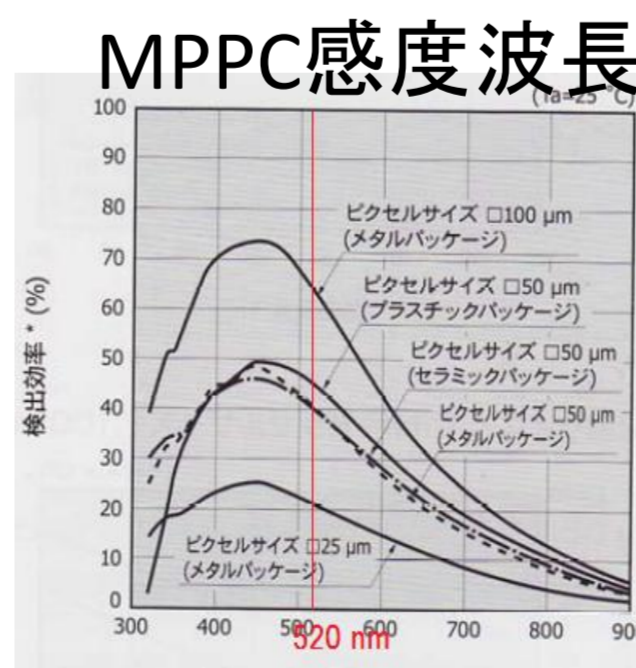


受光面積6×6のMPPCは3×3のMPPCに比べて分解能が良い
⇒受光面積が4倍になることで分解能も約2倍良い

GAGG(520 nm)についてはPMTよりもMPPCの方が良い

感度波長の影響

MPPCの方が長波長側まで感度を持っている

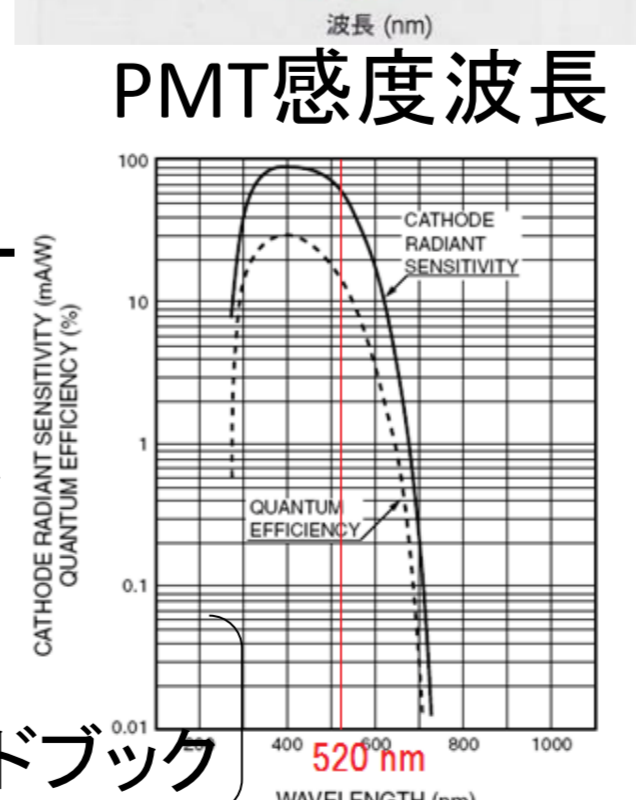


受光面積 × 検出効率

(PMT) 1 × 0.15 ≒ 0.15

(MPPC) 0.36 × 0.65 ≒ 0.23

GAGGの場合検出光子数が逆転



まとめ

MPPCは底面積が1 cm 程度のシンチレータであればMPPC(6×6 mm)はPMTと同等のエネルギー分解能が得られることが確認できた。また、発光波長が長波長(>500 nm)のシンチレータの場合はMPPCの方が有利。MPPCは動作電圧が70 V程度と低く、非常に小型なので限定された空間では非常に有利。

GAGGと受光面積6×6のMPPC、PMTを組合せて様々なγ線を当てた時のスペクトル MPPCでは低エネルギー側は11 keV程度まで読み出せる

