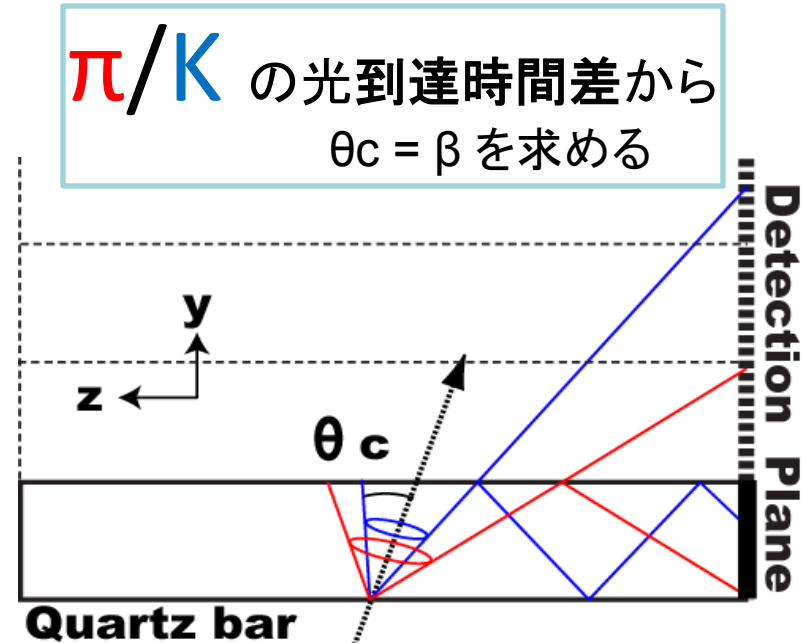
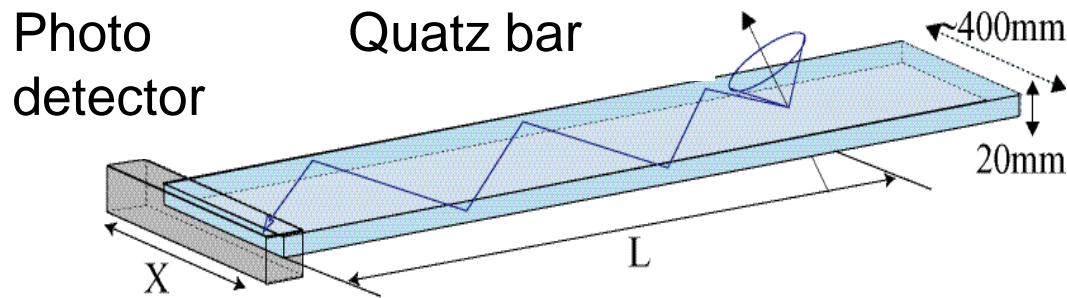


TOPカウンターのための光検出器
寿命対策MCP-PMTの基本性能

2010.3.11.Thu
名古屋大学
高エネルギー物理学研究室 (N研)
有田義宣

TOPカウンターについて

- 次期B-Factory $\Rightarrow e^+ e^-$ で $\sqrt{s} \sim 10.58 GeV$ ($\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$)
- BELLE II 検出器の粒子識別装置
- TOP(Time Of Propagation)カウンター

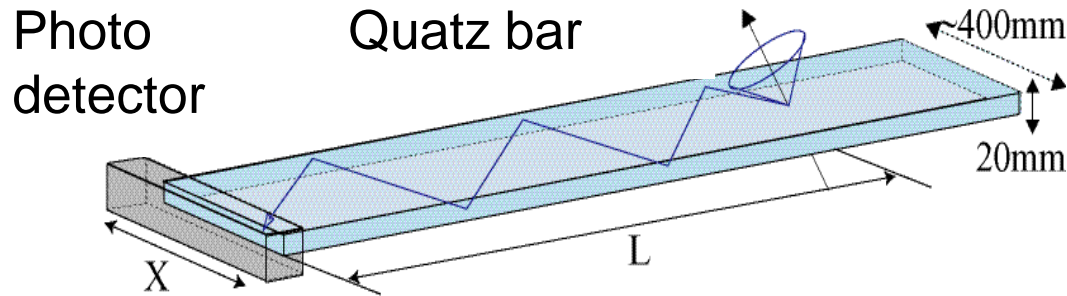


$$\cos(\theta_c) = \frac{1}{n\beta}$$

(θ_c : Cherenkov angle)

TOPカウンターについて

- 次期B-Factory $\Rightarrow e^+ e^-$ で $\sqrt{s} \sim 10.58 GeV$ ($\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$)
- BELLE II 検出器の粒子識別装置
- TOP(Time Of Propagation)カウンター



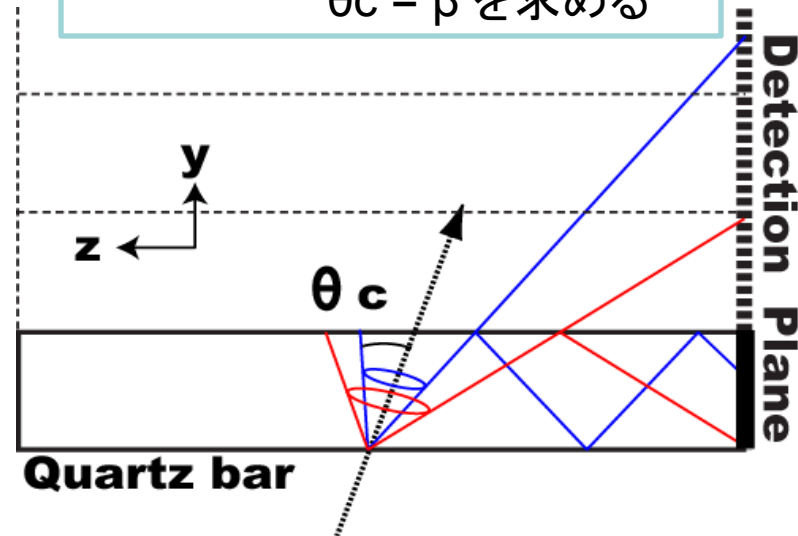
$$TOP \text{ 識別能力} \propto \frac{\sqrt{\text{検出光子数}}}{\text{時間分解能}}$$

光検出器への要求

- 一光子検出 時間分解能 $< 40ps$
- 量子効率(\propto 検出光子) $> 20\%$ (@400nm)

学術創成 研究発表会 2010

π/K の光到達時間差から
 $\theta_c = \beta$ を求める



$$\cos(\theta_c) = \frac{1}{n\beta}$$

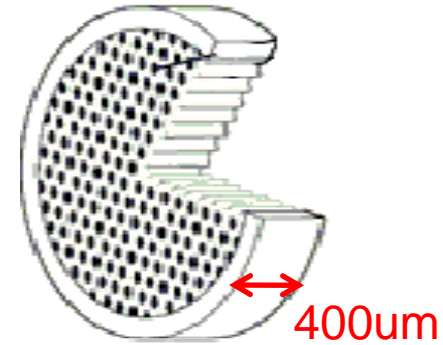
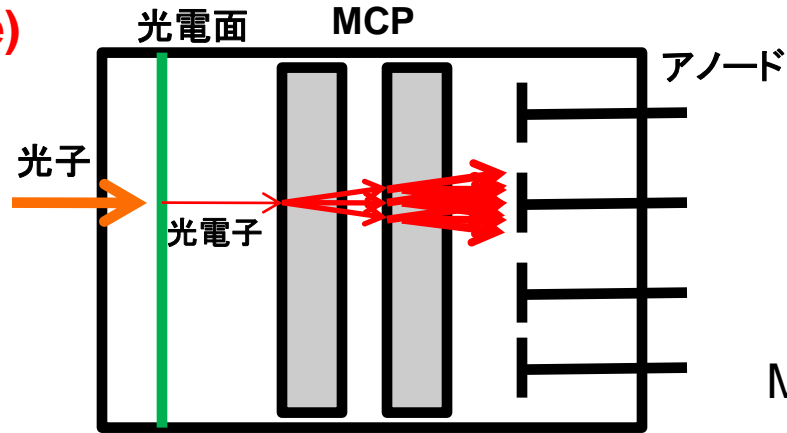
(θ_c : Cherenkov angle)

MCP-PMTの原理、開発の観点

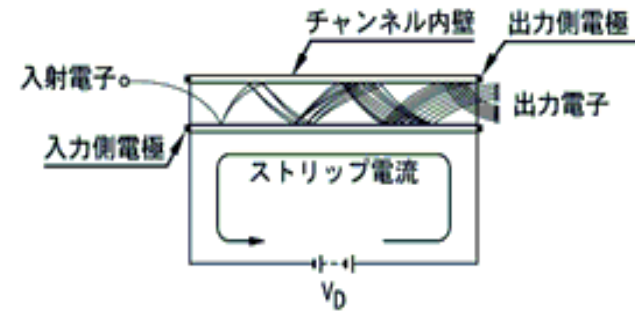
MCP(Micro Channel Plate) を光電子増幅部に用いた光検 出器

○MCPは直径10um程度のガ
ラスパイプを多数重ねたような
構造

○各チャンネルが独立な二次
電子増幅部



Micro Channel Plate

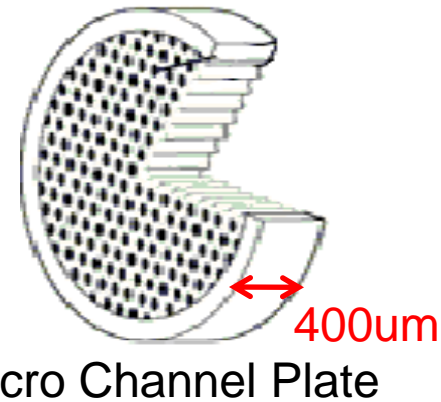
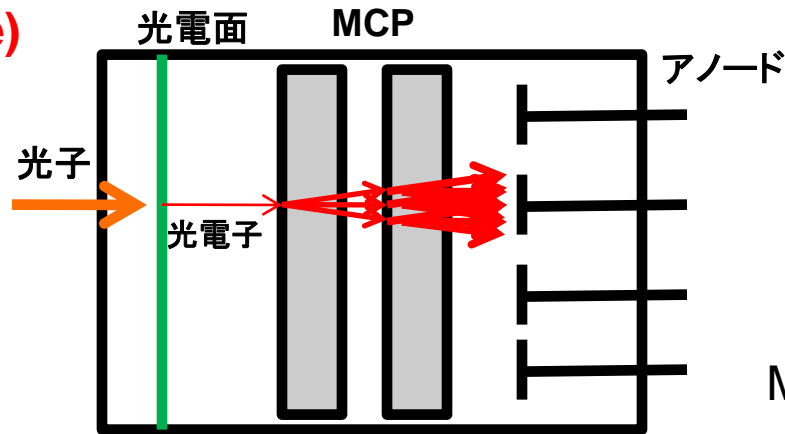


MCP-PMTの原理、開発の観点

MCP(Micro Channel Plate) を光電子増幅部に用いた光検 出器

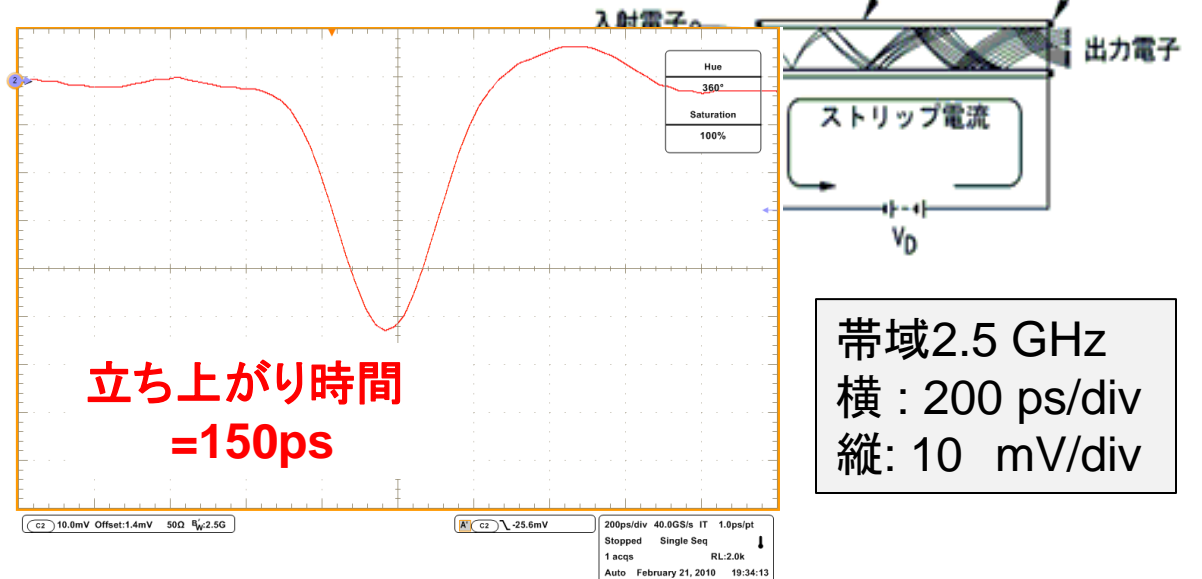
○MCPは直径10 μ m程度のガ
ラスパイプを多数重ねたような
構造

○各チャンネルが独立な二次
電子増幅部



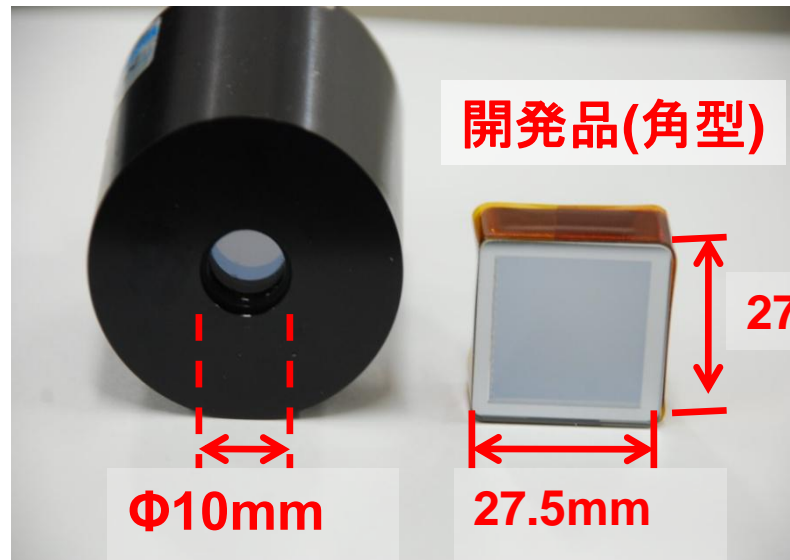
MCP-PMTの特徴

1. 超高速応答
(応答時間 \sim 400ps)
2. 高い電子増幅率
 $\sim 10^6$ (MCP二段内蔵)
3. 磁場中で使用可能
4. チャンネル分割による
位置情報



MCP-PMTの原理、開発の観点

従来品(丸型)



角型MCP-PMTの性能

- 有効面積 22.5x22.5 cm²(約6倍)
- Gain 1~2 × 10⁶
- 時間分解能 ~35ps
- マルチアルカリ光電面
- マルチアノード(4 or 4x4ch)

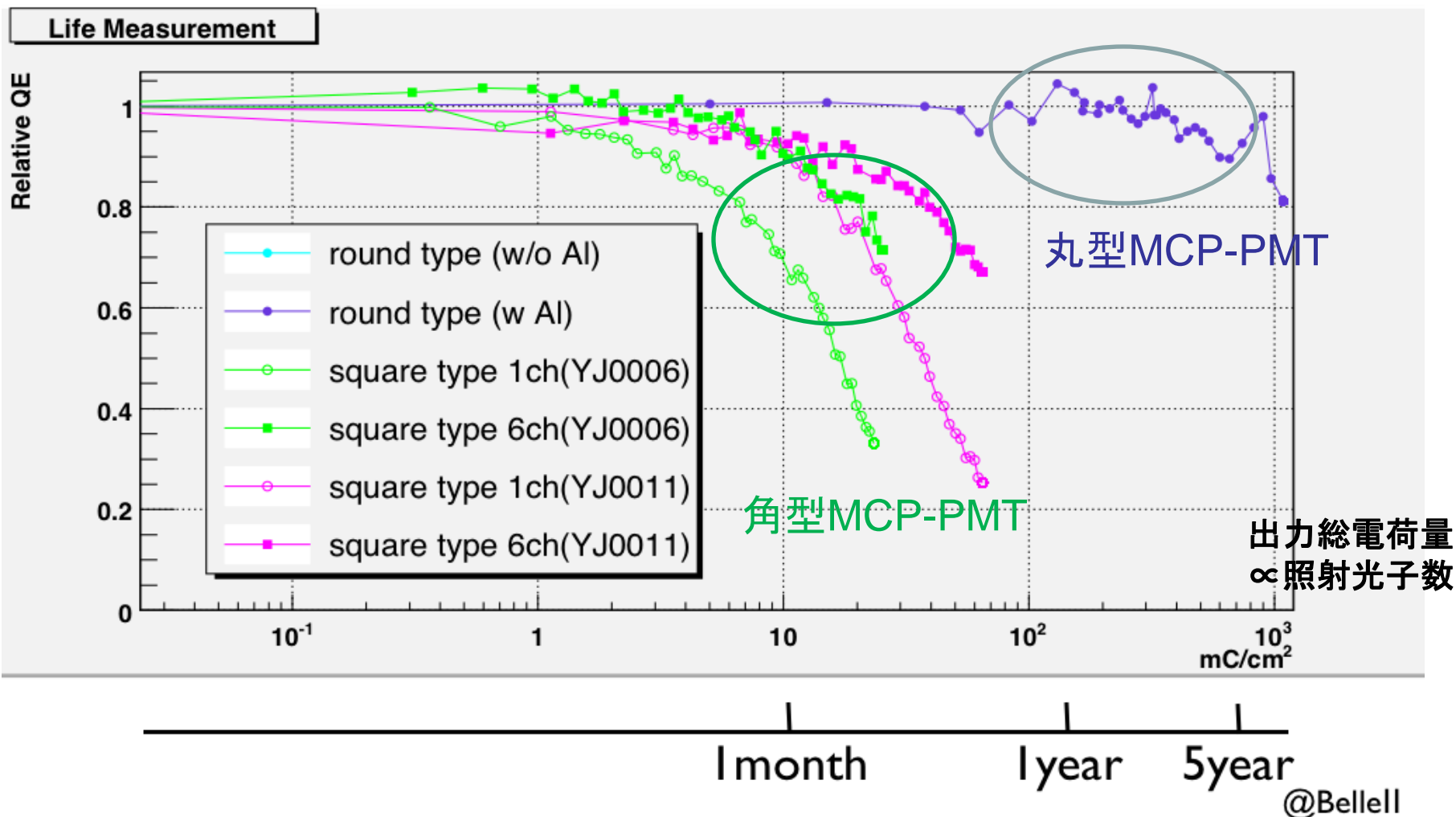
角型MCP-PMTはTOPカウンターの光検出器として十分な性能を達成している

○残っている課題

寿命問題

⇒ 光照射に伴った量子効率(Q.E)の低下

MCP-PMTの寿命(QE劣化)



角型はBELLE II 環境下で、半年の間にQEが30%以上低下する

QE劣化の原因と対策

中性ガスによる光電面劣化

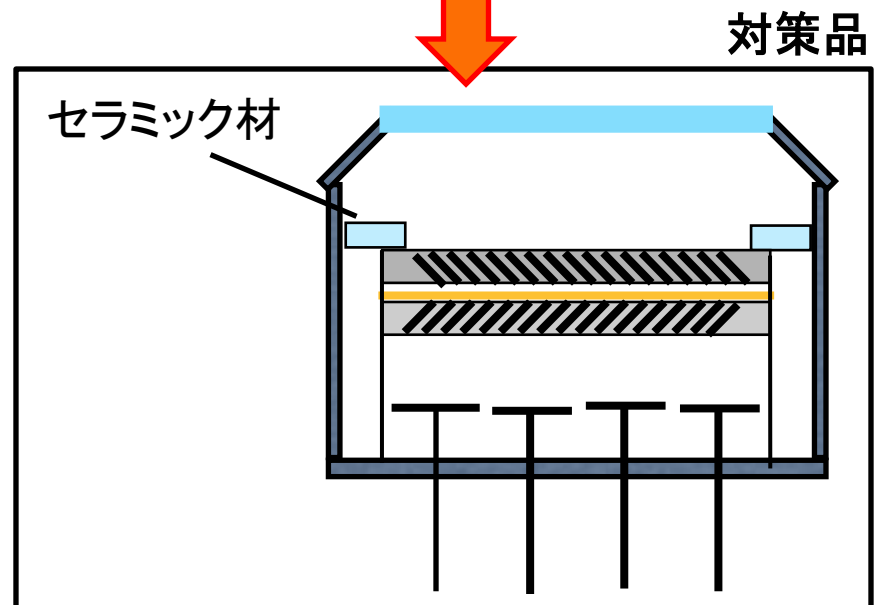
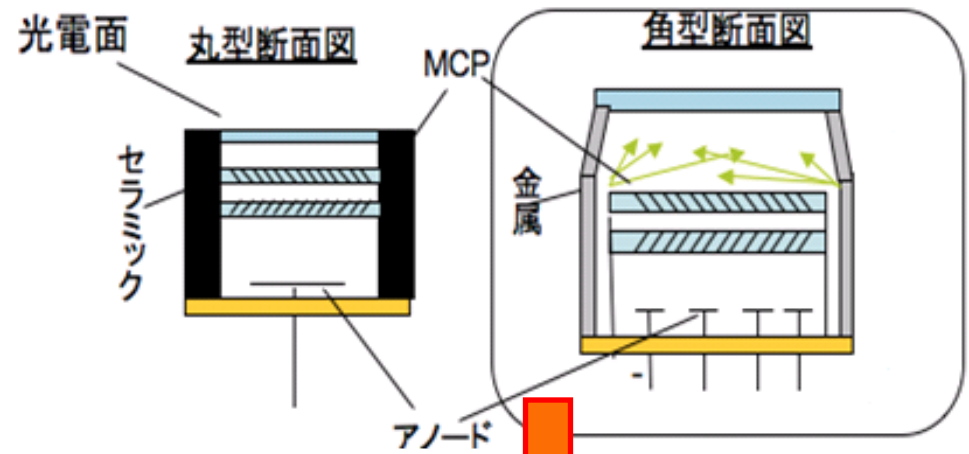
丸型と角型のPMTの構造の違い

→中性ガスが原因ではないかと

仮説をたてた

対策

□中性ガスを経路をセラミック材によってブロックする



QE劣化の原因と対策

中性ガスによる光電面劣化

丸型と角型のPMTの構造の違い
→中性ガスが原因ではないかと仮説をたてた

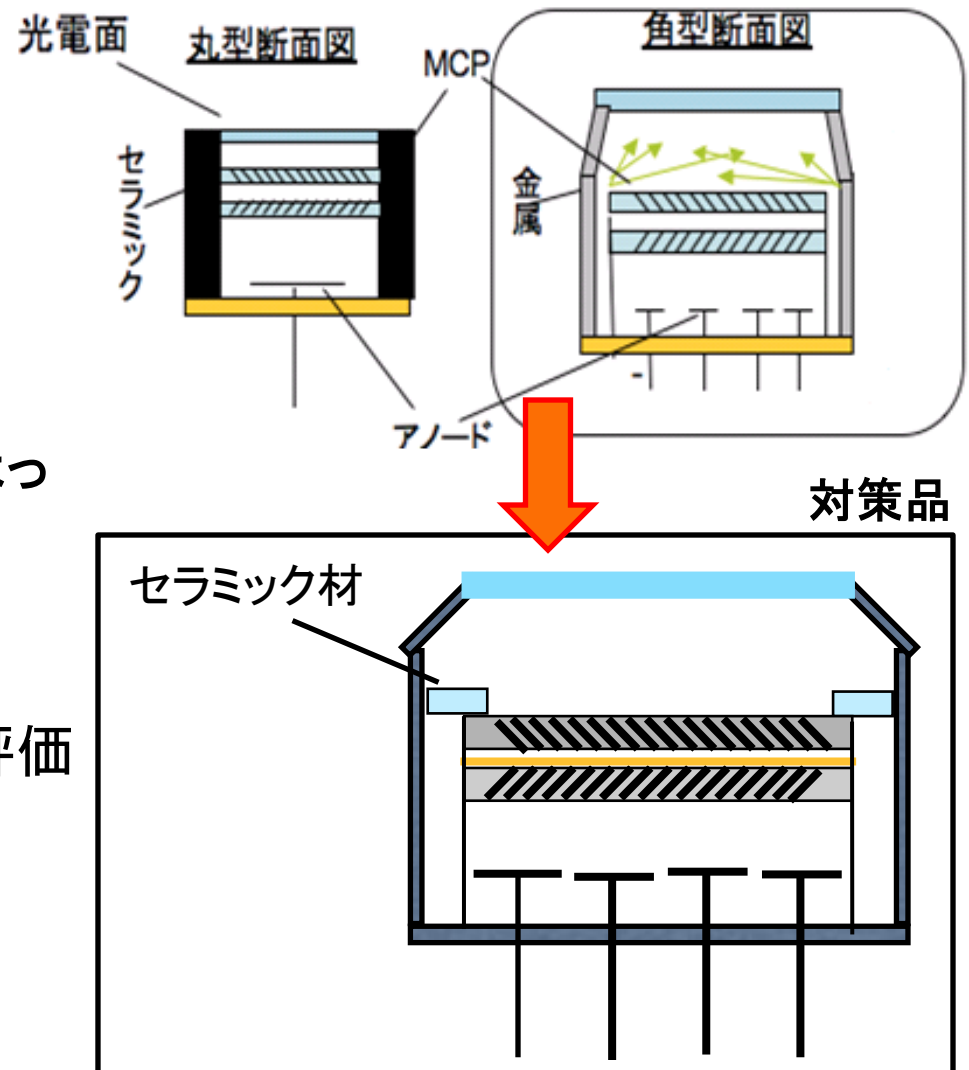
対策

□中性ガスを経路をセラミック材によってブロックする

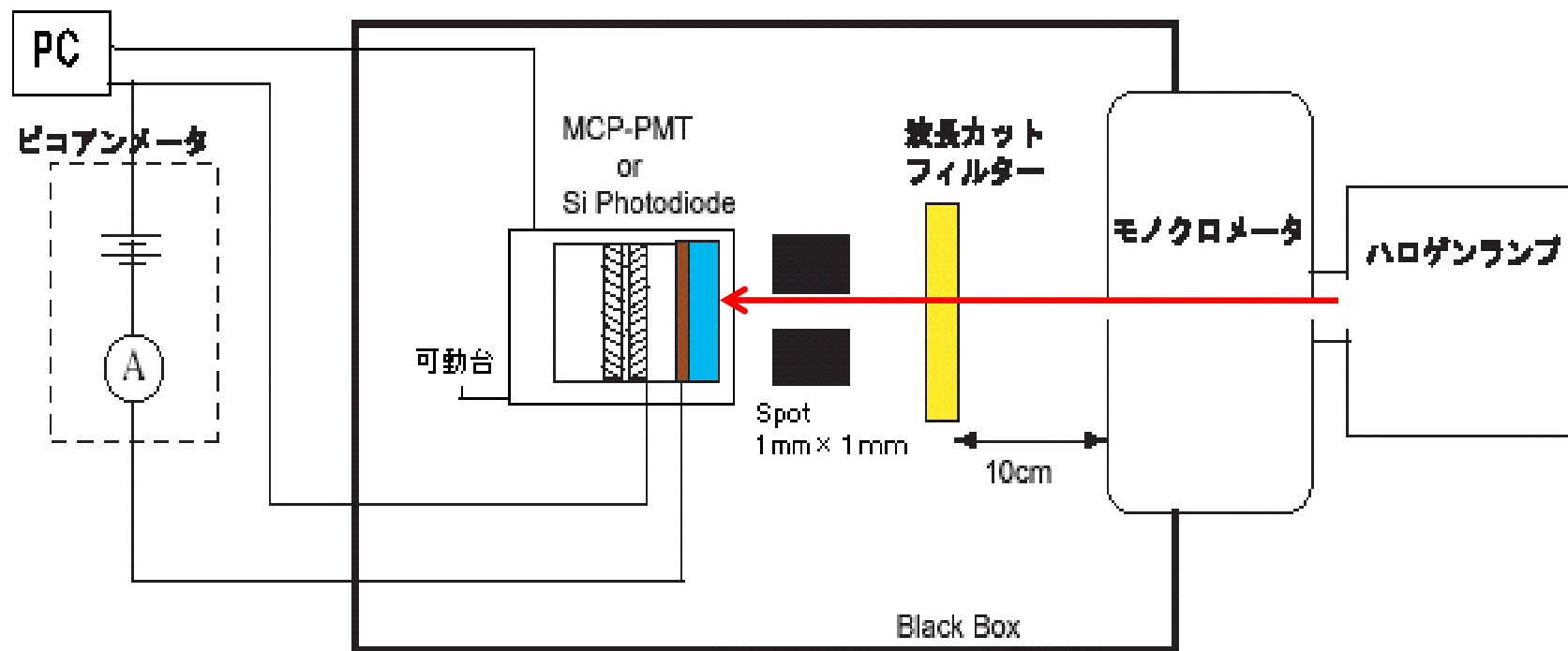
対策品MCP-PMTを製作

基本的な性能を満たしているか評価

- ・Q.E
- ・Gain
- ・時間分解能



Q.E測定 セットアップ



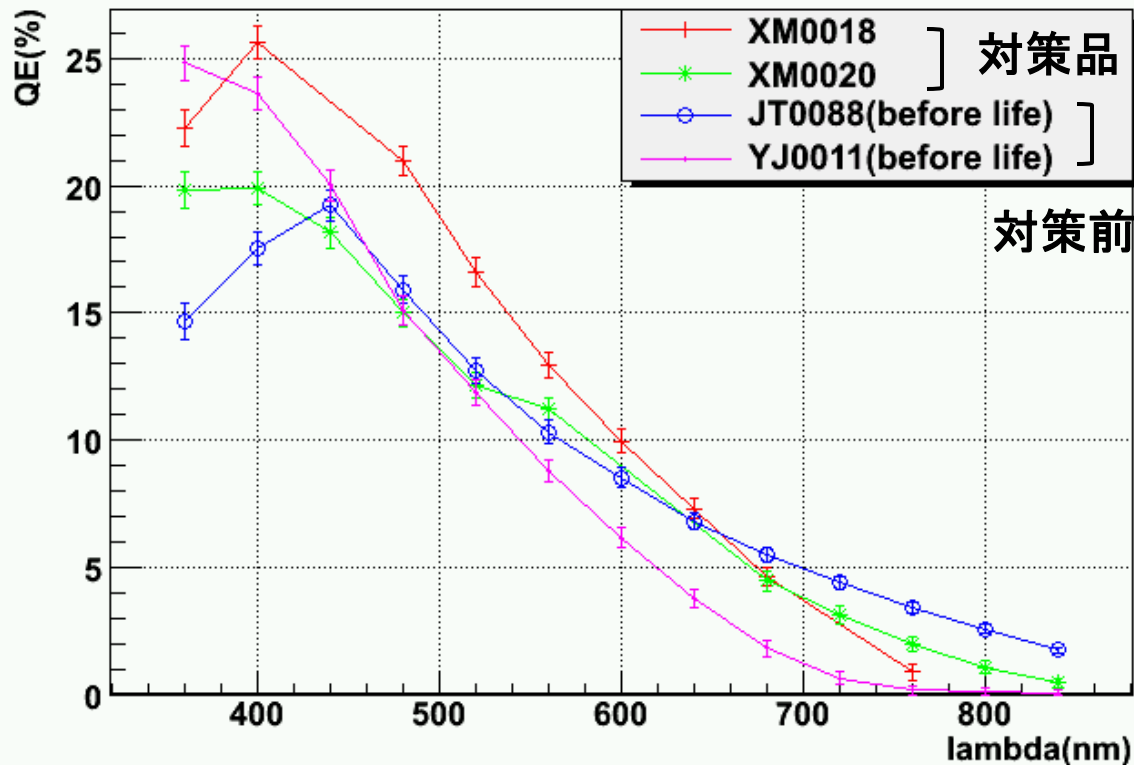
- ・モノクロメータで波長選別
- ・低波長測定のための波長カットフィルタ(600nm以下カット)

流れる電流 = 光量 × Q.E を測定
⇒ 光量はリファレンスのフォトダイオードで決定

$$Q.E_{MCP} = \frac{I_{MCP}}{I_{ref}} \times Q.E_{ref}$$

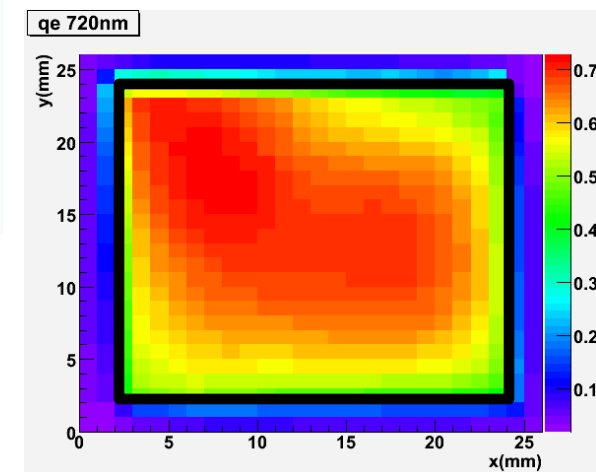
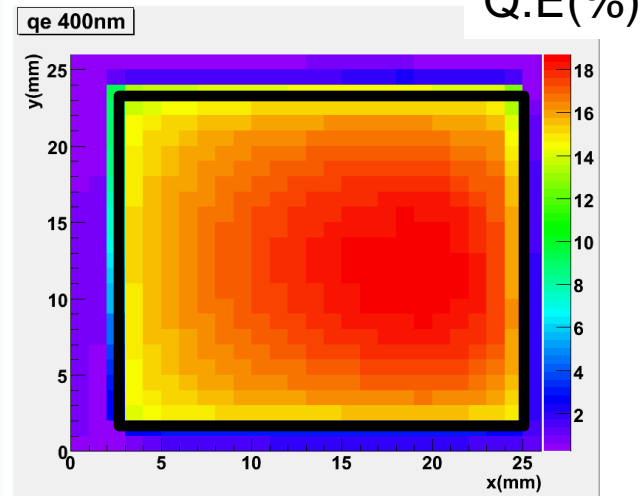
Q.E測定結果

MCP-PMT Q.E



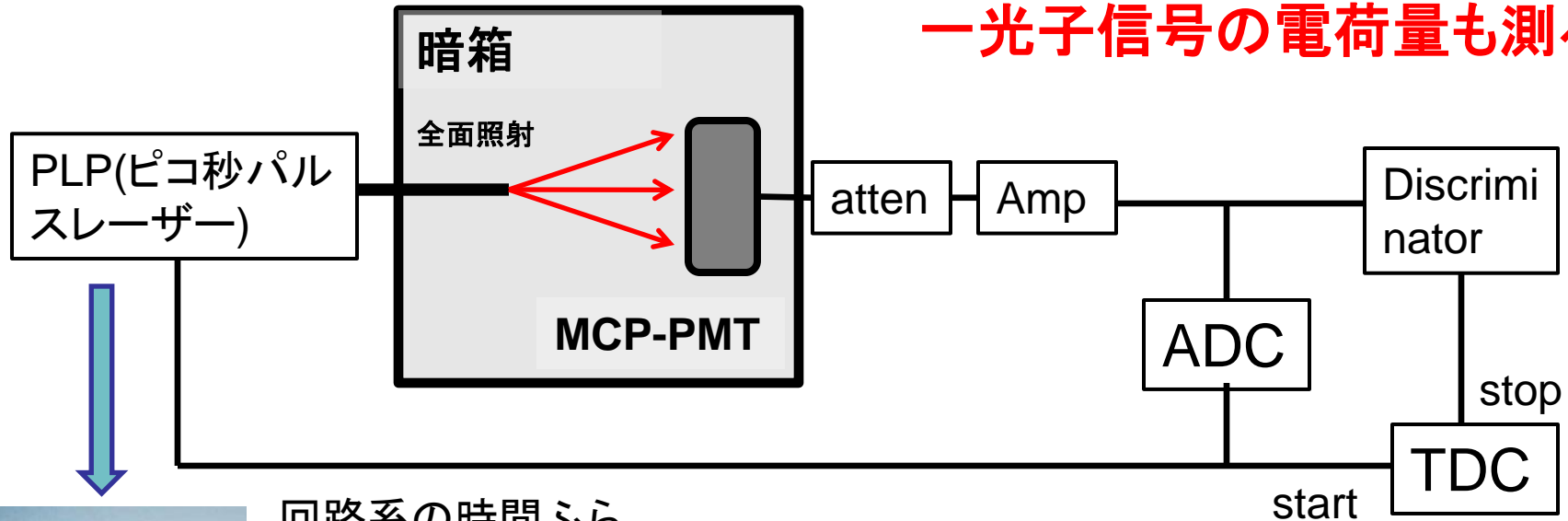
- 寿命対策品についていずれもQ.Eは20%以上 (@400nm)
- 対策前と比較して特別な悪化はみられない
- 2次元分布から、有感領域の欠損はみられない

二次元QE分布



時間分解能&Gain測定 セットアップ

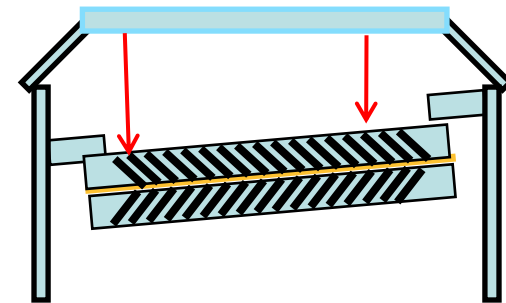
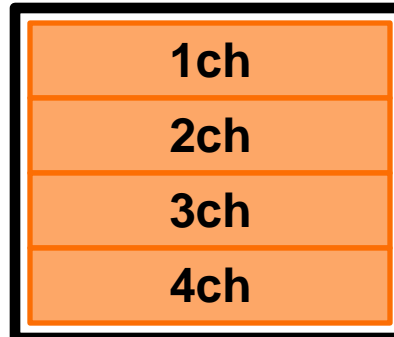
レーザーから光子を照射して信号が出てくるまでの時間を測る
—光子信号の電荷量も測る



回路系の時間ふらつき~10ps

アノード構造

光は全面に照射

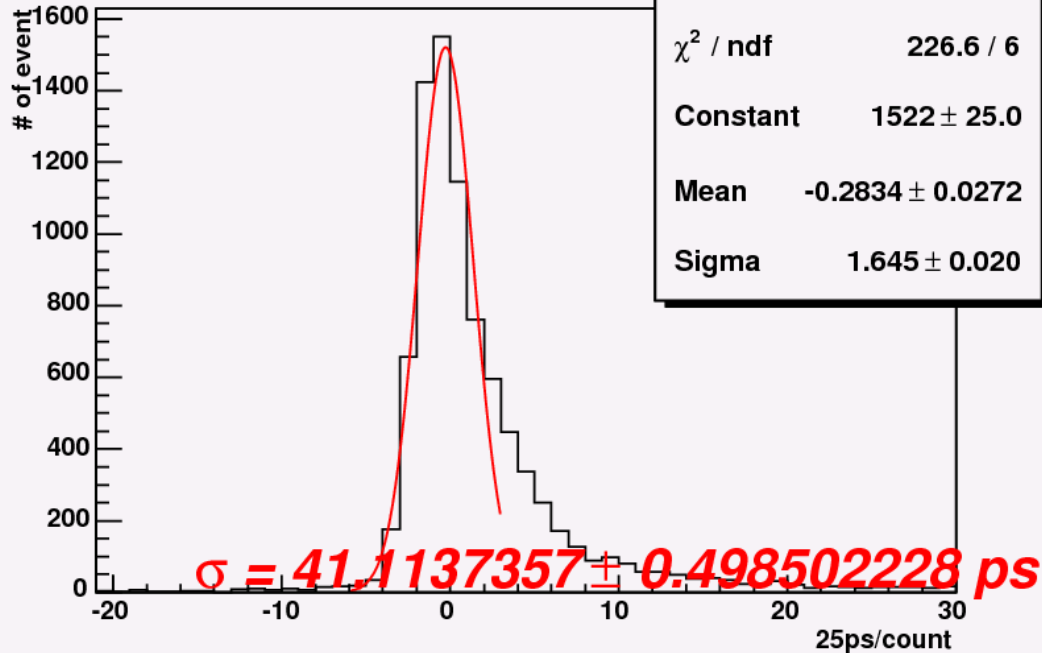


ピコ秒パルスレーザー (PiLAS社製)

$\lambda=630\text{nm}$
パルス幅(FWHM)
=35ps

時間分解能 測定結果

時間分布



時間分解能チャンネル依存性

1ch $40.3 \pm 0.8 \text{ ps}$

2ch $41.1 \pm 0.5 \text{ ps}$

3ch $41.8 \pm 0.7 \text{ ps}$

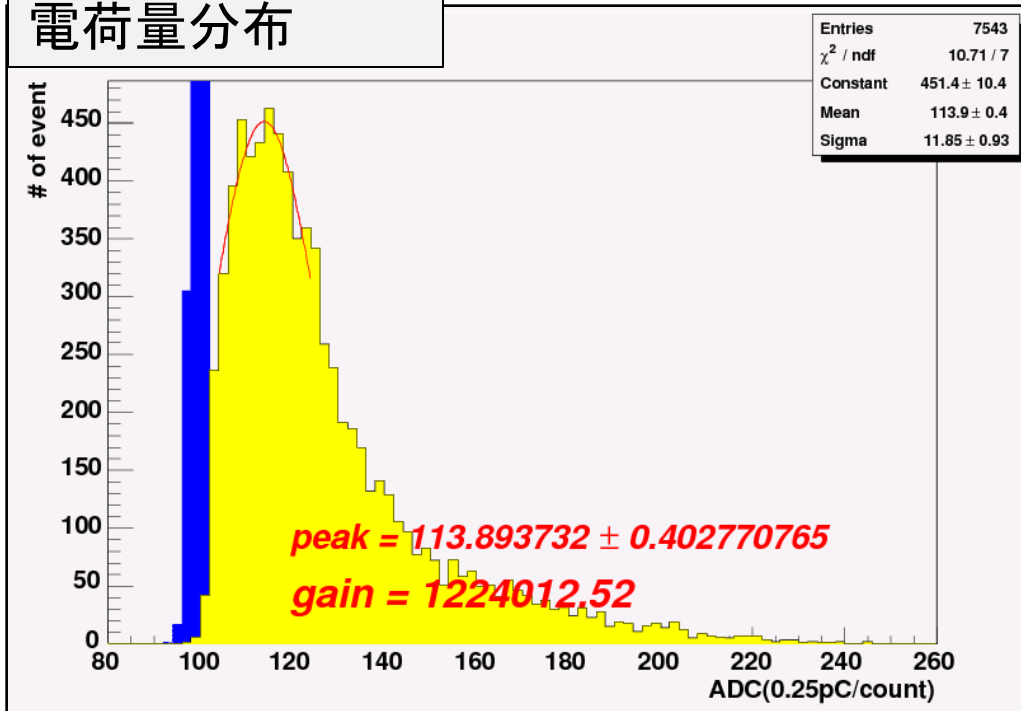
4ch $40.5 \pm 0.8 \text{ ps}$

寿命対策前 $\sigma = 38 \sim 43 \text{ ps}$

- すべてのチャンネルについて、時間分解能がおよそ41ps
- 寿命対策前のMCP-PMTと比べて、同程度の値

Gain 測定結果

電荷量分布



チャンネル別 Gain

1ch	1.7×10^6
2ch	1.6×10^6
3ch	1.2×10^6
3ch	1.1×10^6

寿命対策前 $1 \sim 2 \times 10^6$

- すべてのチャンネルにおいてGain $> 10^6$
- 寿命対策前のもと同程度の値

まとめ

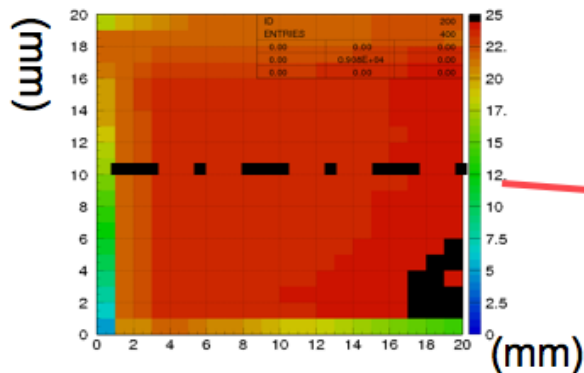
- BELLE II に搭載する粒子識別装置TOPカウンターの光検出器として角型MCP-PMTの開発を行っている
- 角型MCP-PMTはQ.Eの劣化という問題を抱えており、その対策としてセラミック材をMCP上に載せて中性ガスをブロックするという対策を行ない、その対策品について性能を評価した
- 結果、対策品が次の性能をもち、TOPカウンターに搭載する光検出器として十分な性能をもち、対策によって性能の悪化がないことを確認した
 - ・QE>20%
 - ・時間分解能 約41ps
 - ・Gain > 10^6



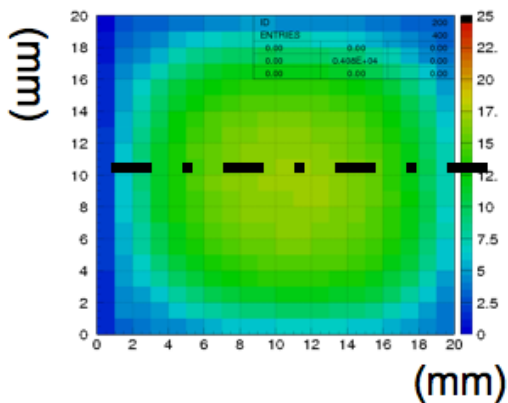
説明用

光電面量子効率の測定結果

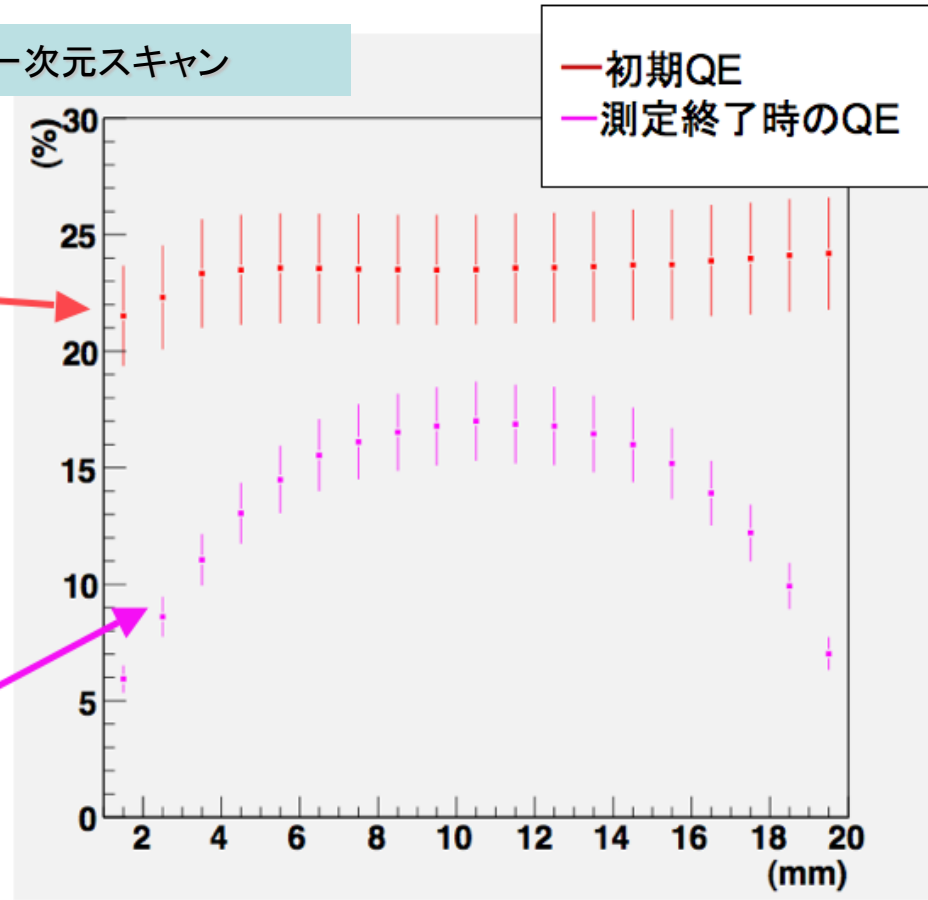
寿命測定前QE面一様性



寿命測定後 QE面一様性



一次元スキャン

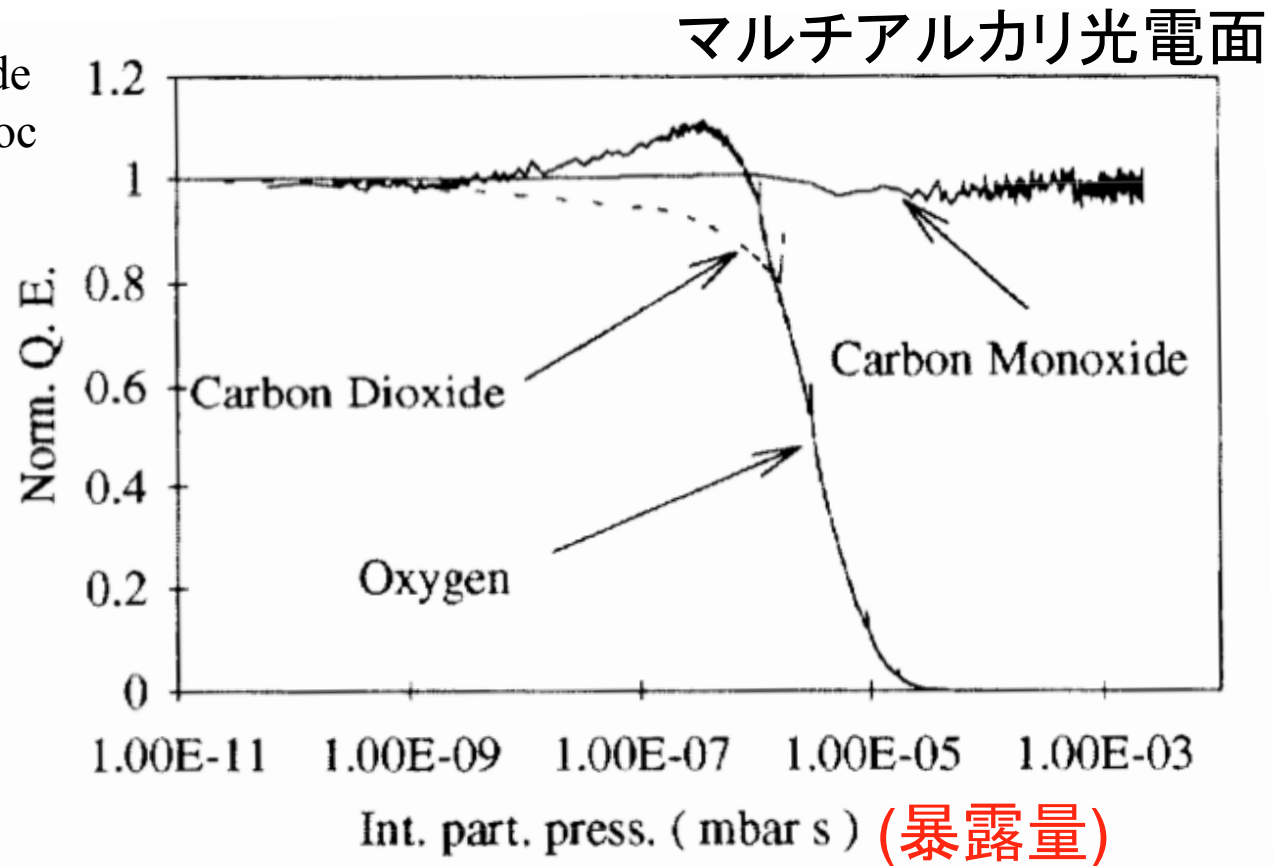


側管側での劣化の速さを確認

中性ガスによるダメージ

by P.Michelato ,etc

Multialkali Thin Photocathode
for Hight Brightness guns,proc
,EPAC94



光検出器の重要性⇒MCP-PMT

TOPカウンター識別能力 $S[\sigma]$

$$S \sim \frac{\Delta TOF + \Delta TOP}{\sigma} \times \sqrt{N}$$

π/K (@ $P=4\text{GeV}/c$)のとき、 $(\Delta TOF + \Delta TOP) > 35\text{psec}$.
 $S \sim 4$ を目指すには・・・

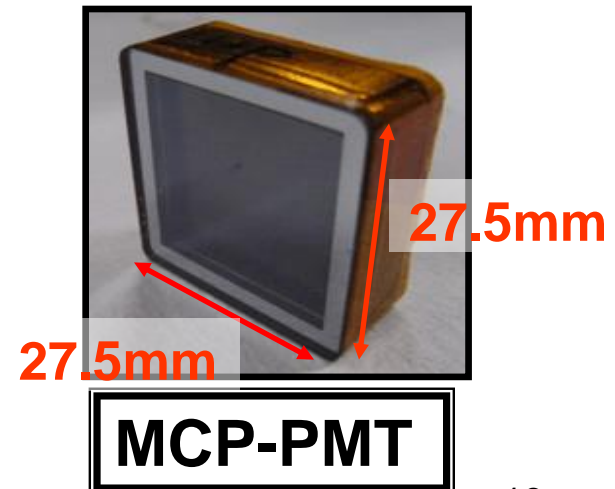
- ΔTOF
TOPカウンターまでの到達時間差
- ΔTOP
TOPカウンター内、 θ_c の差によるCherenkov光の到達時間差
- σ
TOPカウンターの時間分解能
- N
検出光子数

1. 時間分解能 $\sigma < 40\text{psec}$

2. 検出光子数 $N > 20$ 個

(光検出器への要求)

MCP(Micro Channel Plate)型PMT
が最適



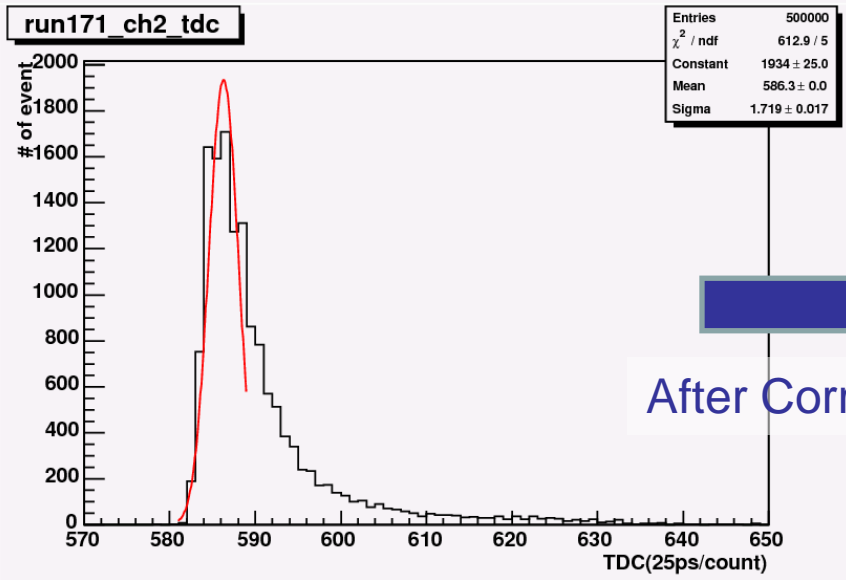
寿命対策品の時間分解能測定

OMCP-PMTのTTS(Transit Time Spread)の測定

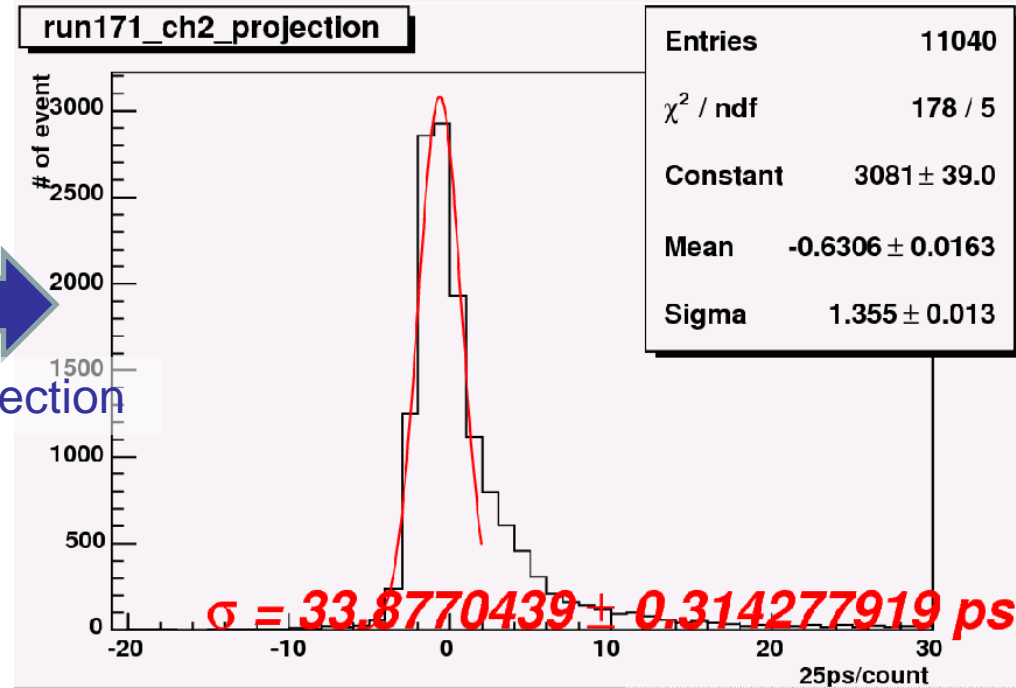
チェック項目

一光子検出での時間分解能が40ps以下であるか？

一光子応答 測定結果



After Correction



○横軸は25psec/bin

○テール成分は低波高信号の閾値をきるタイミングの遅れによるもの

⇒補正を行って評価

時間分解能 $33.9 \pm 0.3 \text{ ps}$

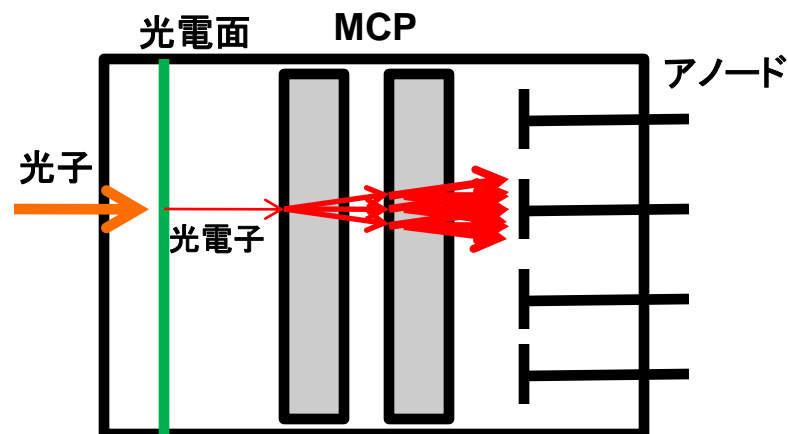
- ・目標の時間分解能<40psをクリア
- ・寿命対策前と比較しても同程度の値

寿命対策品の検出効率の評価

検出効率は
「量子効率(Q.E)」と「収集効率(C.E)」
できまる。
C.EはMCP-PMTの開口率できまっ
ていて、およそ60%程度

Q.Eを測定する

⇒400nm波長の光でQE>17%



寿命測定セットアップ

□LEDを使って光検出器に負荷を与える

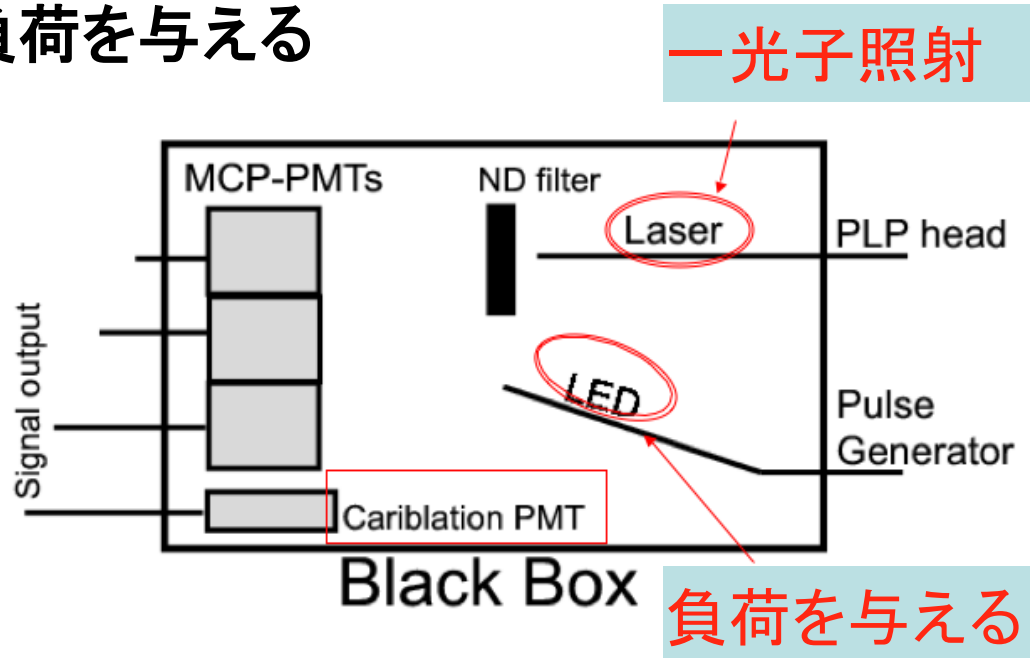
⇒検出光子数約40個/cm²/1pulse

⇒Pulse Rate 1~20kHz

□性能測定

⇒2~3日に一度LEDを止めて測定を行う

⇒Q.E.の変化を確かめる



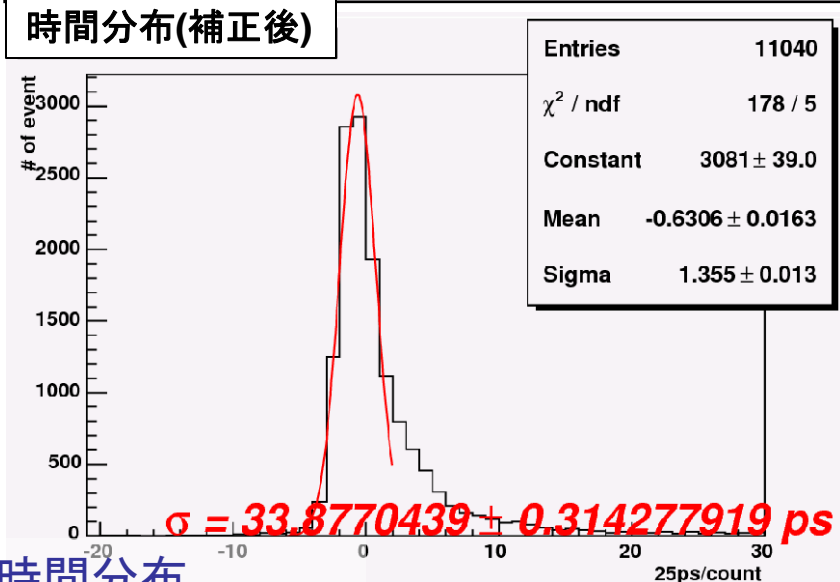
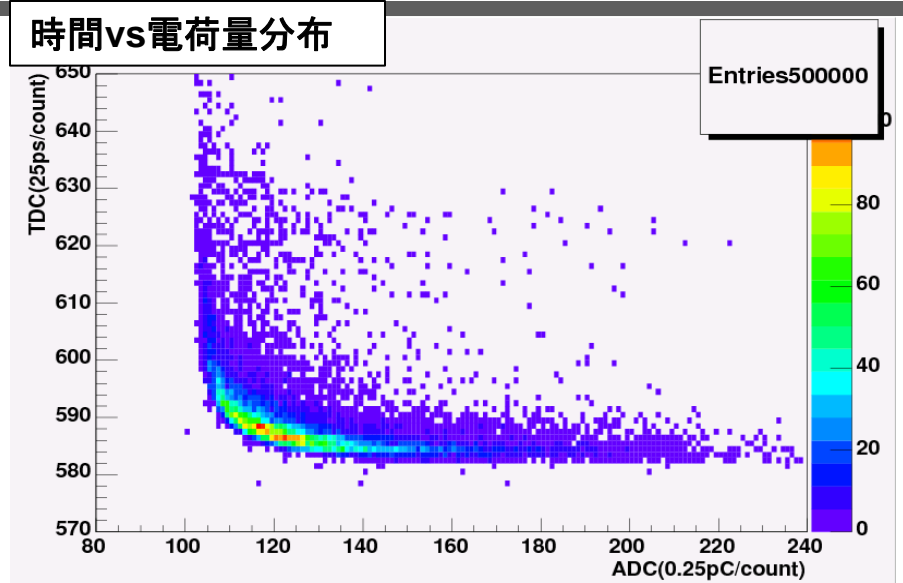
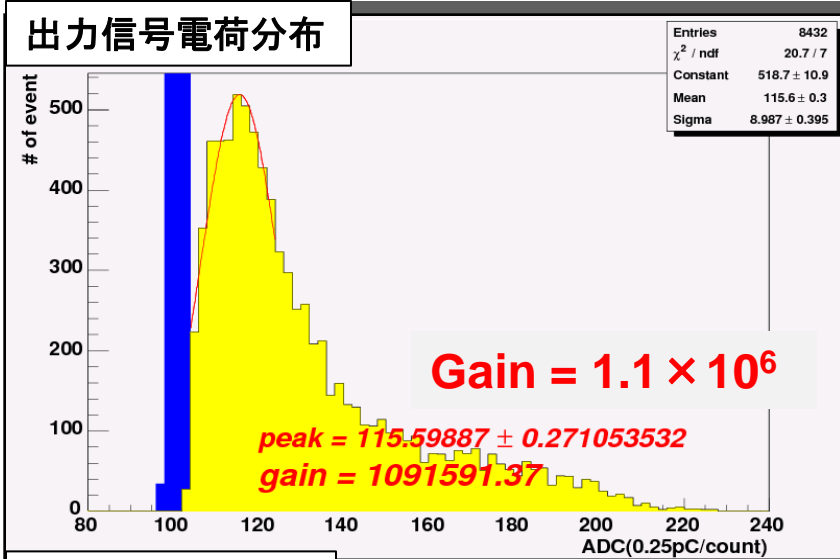
測定項目

1. 検出光子数(一光子照射)

⇒相対Q.E.(Calibration PMTを使って光量を校正)

2. LED照射時の出力電荷量⇒累積出力電荷量に反映

一光子応答 測定結果



○時間のテール成分は低波高信号の
閾値をきるタイミングの遅れによるもの
⇒補正を行って評価

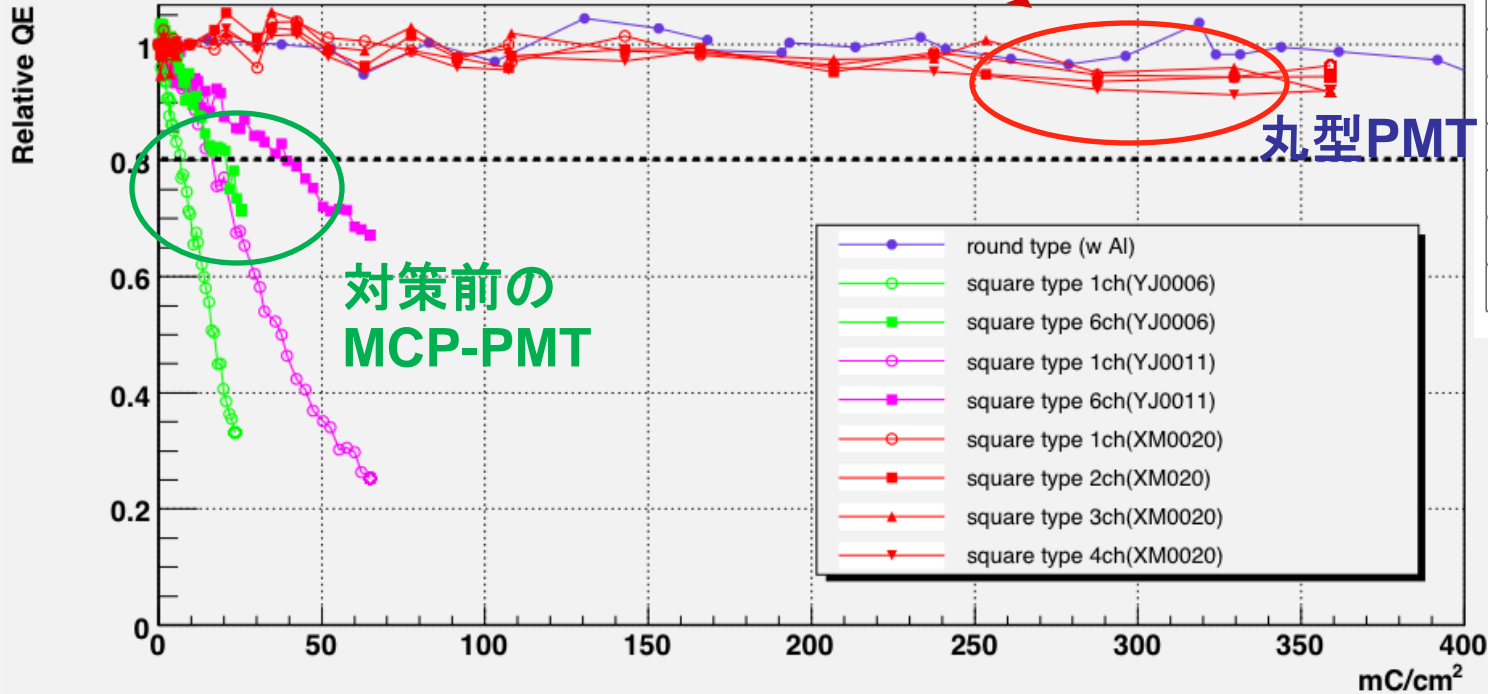
時間分解能 $33.9 \pm 0.3 \text{ ps}$

- ・目標の時間分解能 $<40\text{ps}$ をクリア
- ・寿命対策前と比較しても同程度の値

時間分布
After Correction

寿命測定結果

Life Measurement



SerialNumber	XM0020
寿命測定開始日	2009/10/27
寿命測定終了日	2009/12/24
温度	20 ~ 23°C
湿度	20 ~ 60%
LED パルス周波数	1~20kHz
LED パルス幅	10ns
LED による検出光子数	20 ~ 30

出力総電荷量
∝ 照射光子数

0.5 year 1year 1.5year 2year 2.5year 3year
@Belle-II

これまでの角型MCP-PMTの10倍以上の寿命(3年以上)
MCP-PMTはTOPカウンターの光検出器として実用に耐えうる