

MCP-PMT光電面の長寿命化

高エネルギー物理学研究室

神野高幸

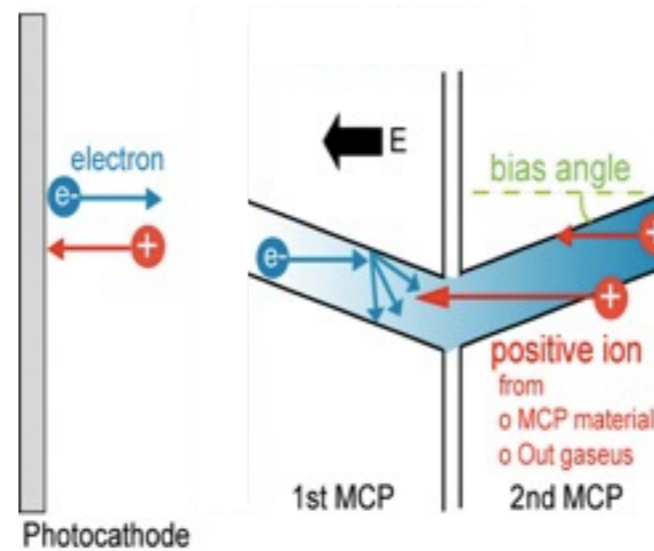
- 1 introduction
- 2 長寿命化対策
- 3 測定結果

introduction

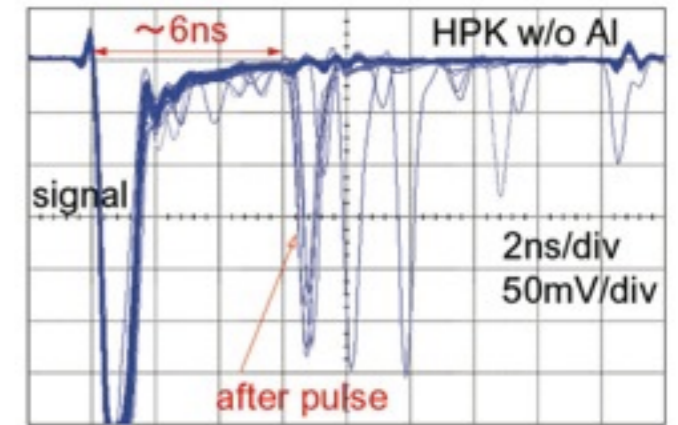
●PMTの一般的劣化要因

- ▶イオンフィードバック仮説
 - MCP-PMTは影響を受け易い
- ▶MCP-PMT長寿命化対策
 - MCP上にAl膜を蒸着

従来の丸型では有効性を確認



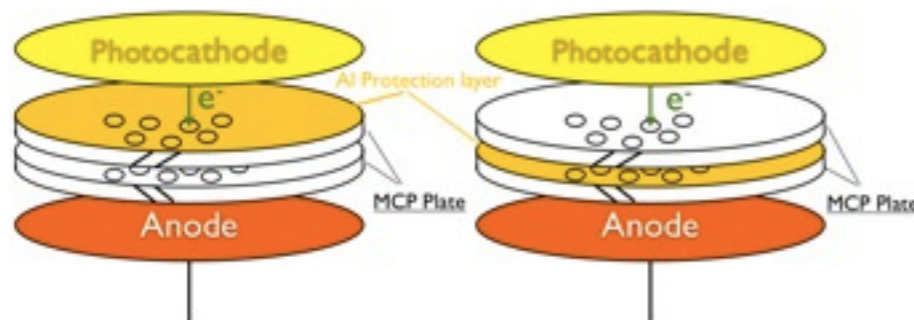
MCP-PMT断面図



イオンフィードバック起源の
アフターパルス

● 角型MCP-PMTで寿命測定を行う

(TOPカウンター専用)



蒸着したAl膜の様子

昨年度測定

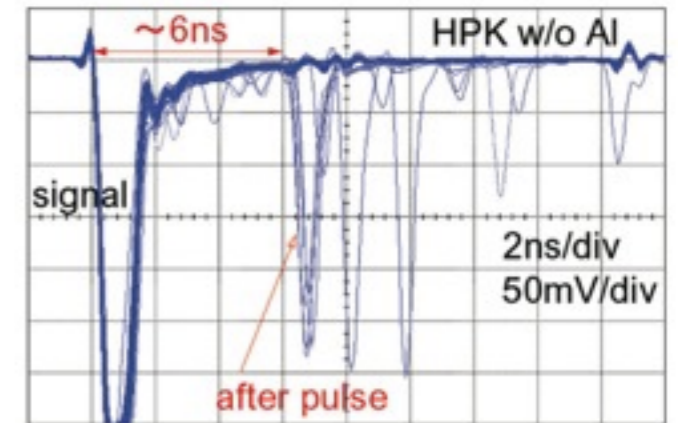
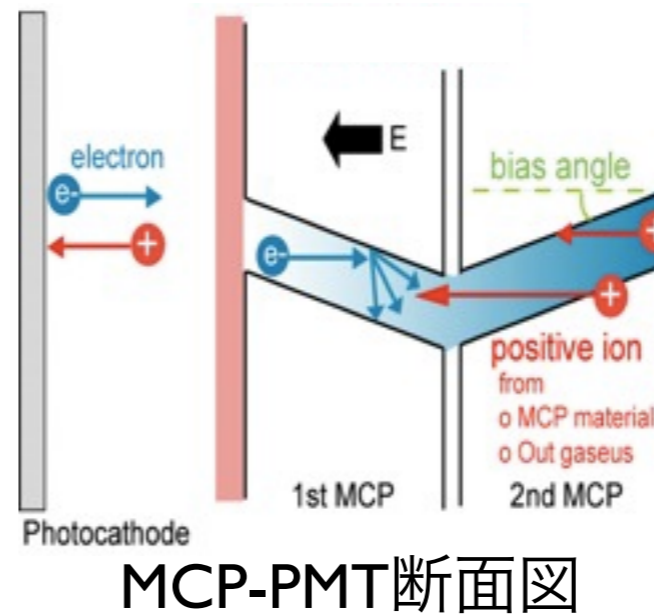
PMTの種類	CT0790(丸型)	YJ0006(角型)	YJ0011(角型)
Al膜蒸着位置	前段MCP	前段MCP	後段MCP
Q.E.(@400nm)	21(%)	9(%)	23(%)
収集効率	37(%)	36(%)	60(%)
アノード	シングル	16	16

introduction

●PMTの一般的劣化要因

- ▶イオンフィードバック仮説
 - MCP-PMTは影響を受け易い
- ▶MCP-PMT長寿命化対策
 - MCP上にAl膜を蒸着

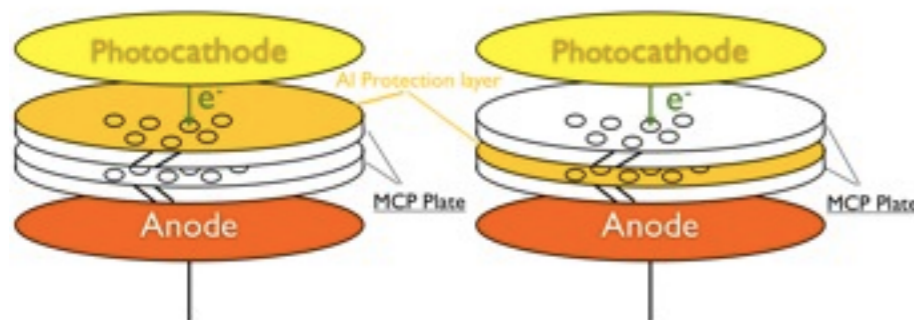
従来の丸型では有効性を確認



イオンフィードバック起源の
アフターパルス

● 角型MCP-PMTで寿命測定を行う

(TOPカウンター専用)



蒸着したAl膜の様子

昨年度測定

PMTの種類	CT0790(丸型)	YJ0006(角型)	YJ0011(角型)
Al膜蒸着位置	前段MCP	前段MCP	後段MCP
Q.E.(@400nm)	21(%)	9(%)	23(%)
収集効率	37(%)	36(%)	60(%)
アノード	シングル	16	16

寿命測定

●寿命の評価基準

▶TOPカウンターがBelle-II実験で数年間 $3.5\sigma@4\text{GeV}/c$ 以上の性能を維持

-出力電荷量 $120\text{mC}/\text{cm}^2/\text{year}$

-Q.E. $16\%@400\text{nm}$ (平均的なQ.E.が20%より8割)まで落ちたところが寿命

	Belle(現在)	Belle-II
ルミノシティ($1/\text{cm}^2/\text{s}$)	$\sim 2 \times 10^{34}$	$\sim 8 \times 10^{35}$
検出光子数($1/\text{cm}^2/\text{s}$)	3400	68000
出力電荷量($\text{mC}/\text{cm}^2/\text{year}$)	~ 6	~ 120

← 超高輝度実験

●測定方法

▶LEDを使って光検出器に負荷を与える

-検出光子数約40個 $/\text{cm}^2/1\text{pulse}$

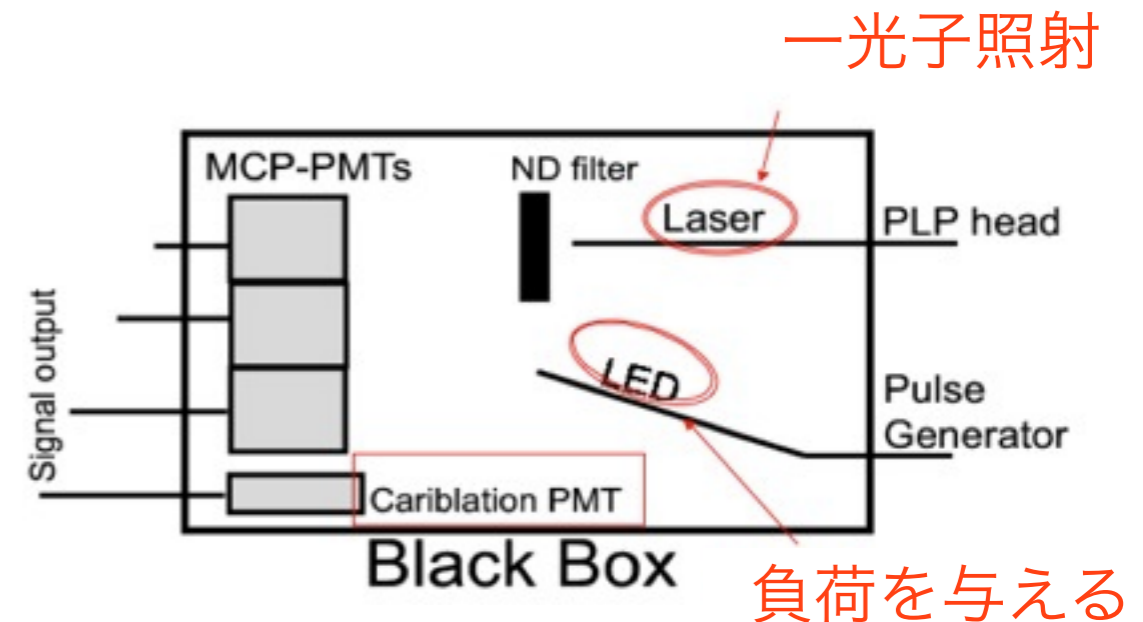
-Pulse Rate $1\sim 20\text{kHz}$

▶性能測定

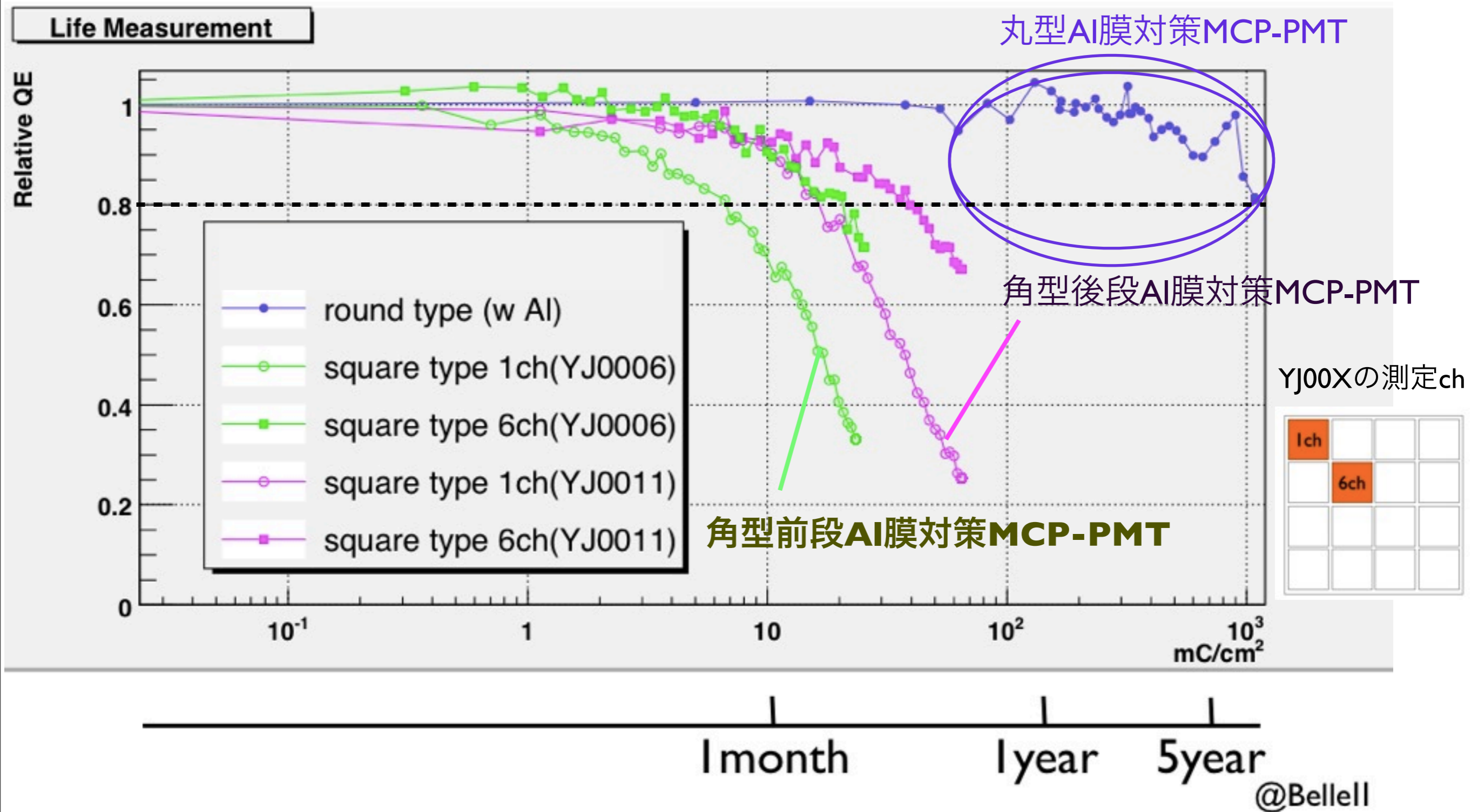
-2~3日に一度LEDを止めて測定を行う

測定項目

- 検出光子数(一光子照射)⇒相対Q.E.(Calibration PMTを使って規格化)
- LED照射時の出力電荷量分布⇒累積出力電荷量



寿命測定結果



▶角型Al膜対策品では実用可能な寿命が実現できない

▶角型の劣化にch依存性がある

長寿命化対策

劣化要因の考察

▶ 光電面の劣化に局所的破壊があるか?

YJ0011

$$Q.E.(\lambda) = T(\lambda) \cdot A \cdot (h\nu - \phi)^2$$

T(λ): 窓材の透過率

A: 表面の状態(∝占有率)

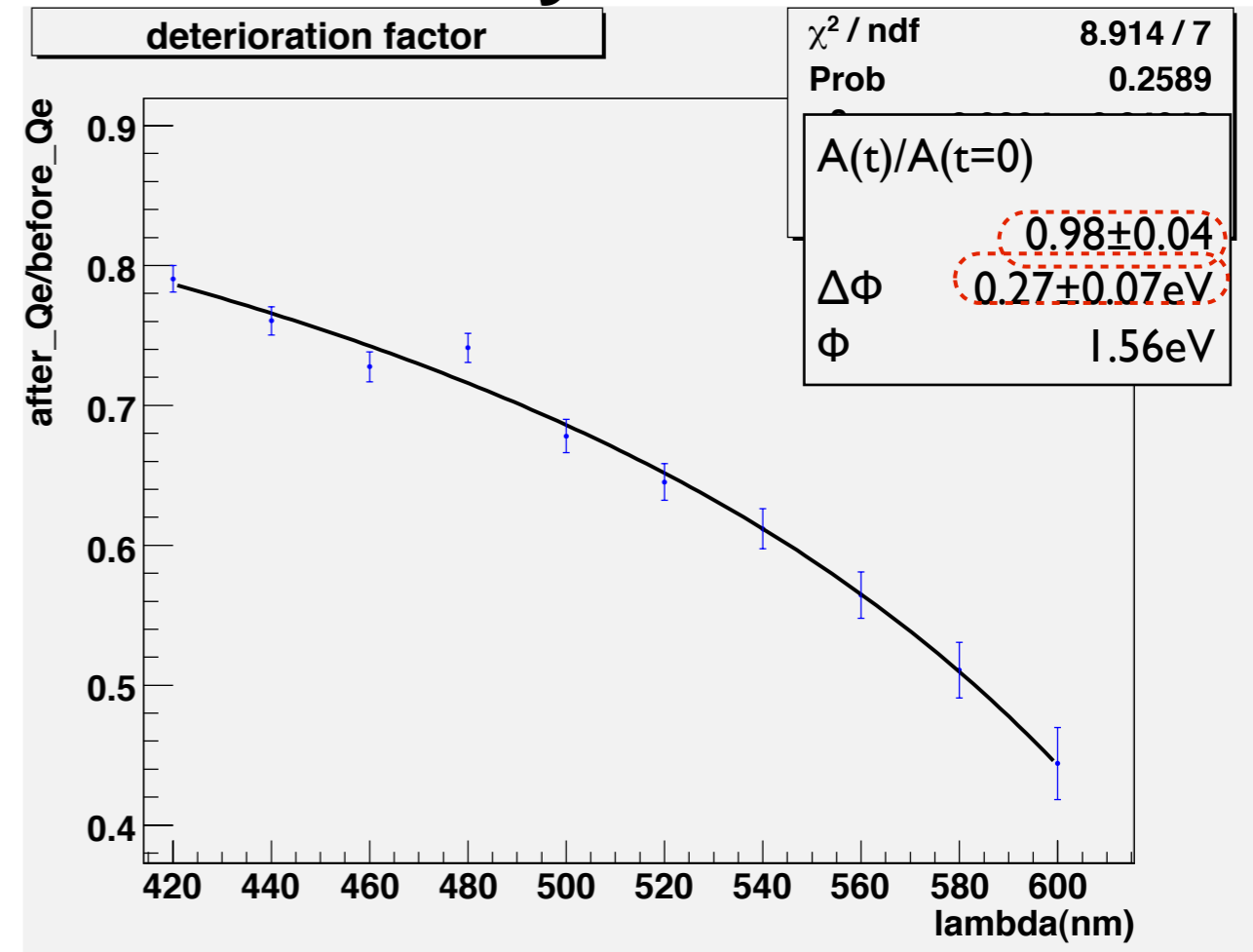
Φ: 仕事関数



光電面が局所的に破壊された
Aの変化 → 全波長で劣化比が等しくなる

光電面の性質変化
Φの変化 → 波長によって劣化比が変化

$$f(\lambda) = \frac{Q.E.(\lambda, t)}{Q.E.(\lambda, t=0)} = \frac{A(t)}{A(t=0)} \left(1 - \frac{\Delta\phi}{hc/\lambda - \phi(t=0)}\right)^2$$



仕事関数の増加を確認

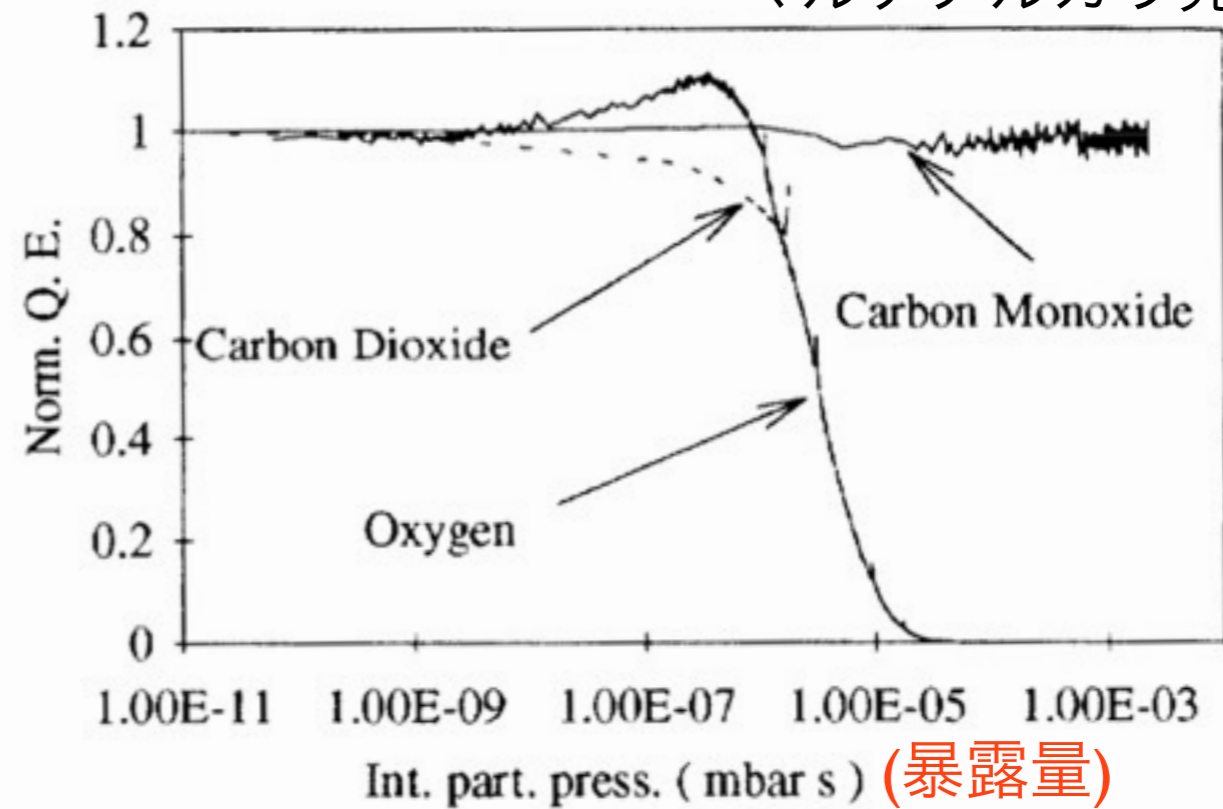
劣化要因の考察

●中性ガスの影響

- ▶一部の中性ガスが光電面を劣化させる

by P.Michelato ,etc
Multialkali Thin Photocathode
for Hight Brightness guns,proc
,EPAC94

マルチアルカリ光電面

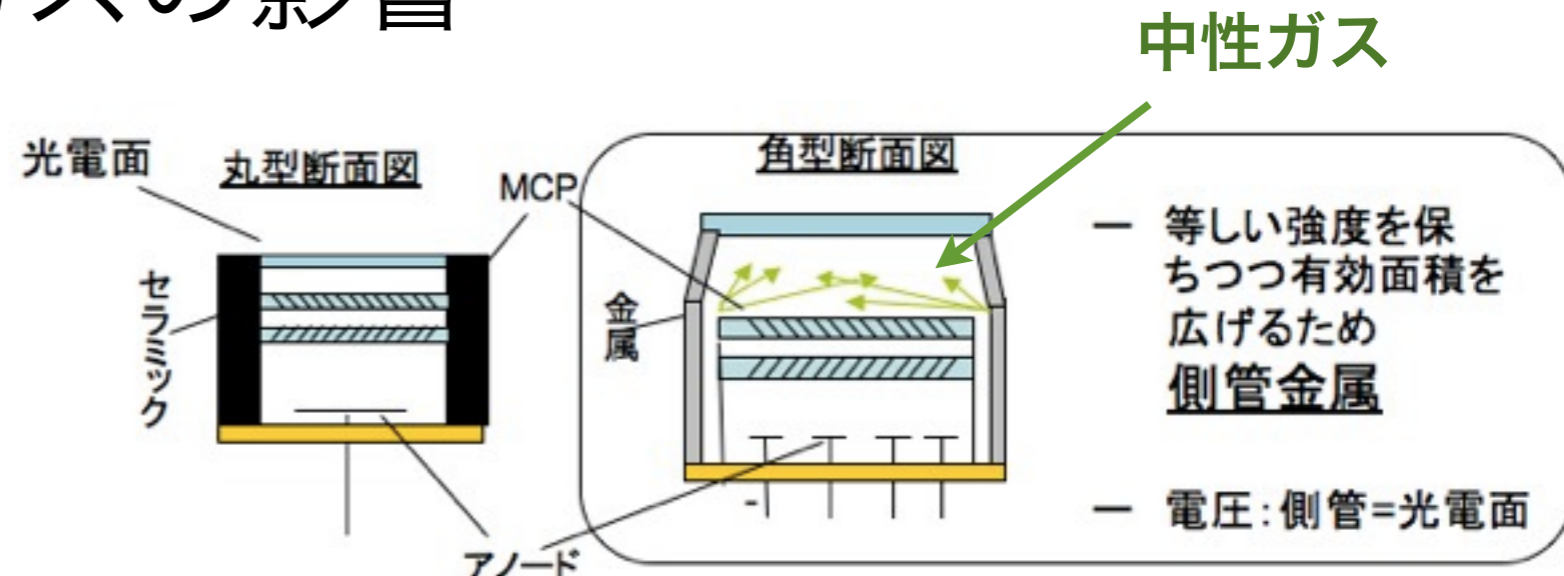


●MCP-PMTでの中性ガスの影響

- ▶内部構造の違い



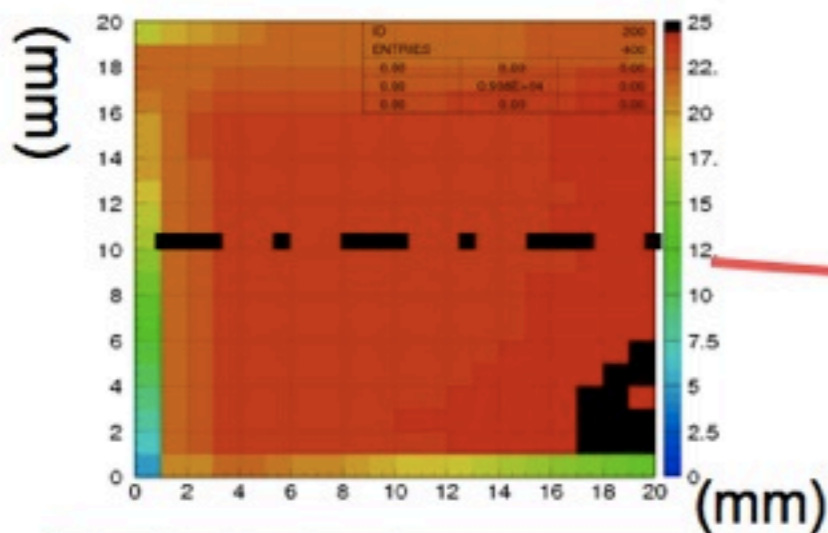
- 角型と丸型の寿命の違い
- 寿命のチャンネル依存性



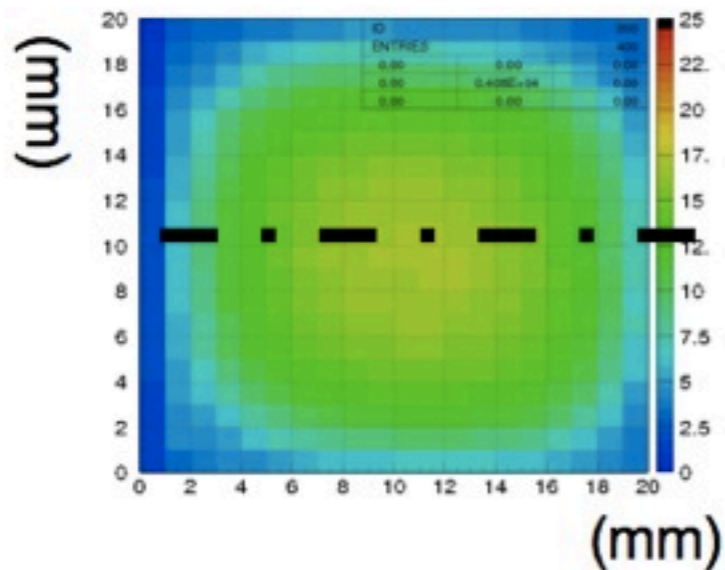
光電面量子効率の測定結果

(YJ0011)

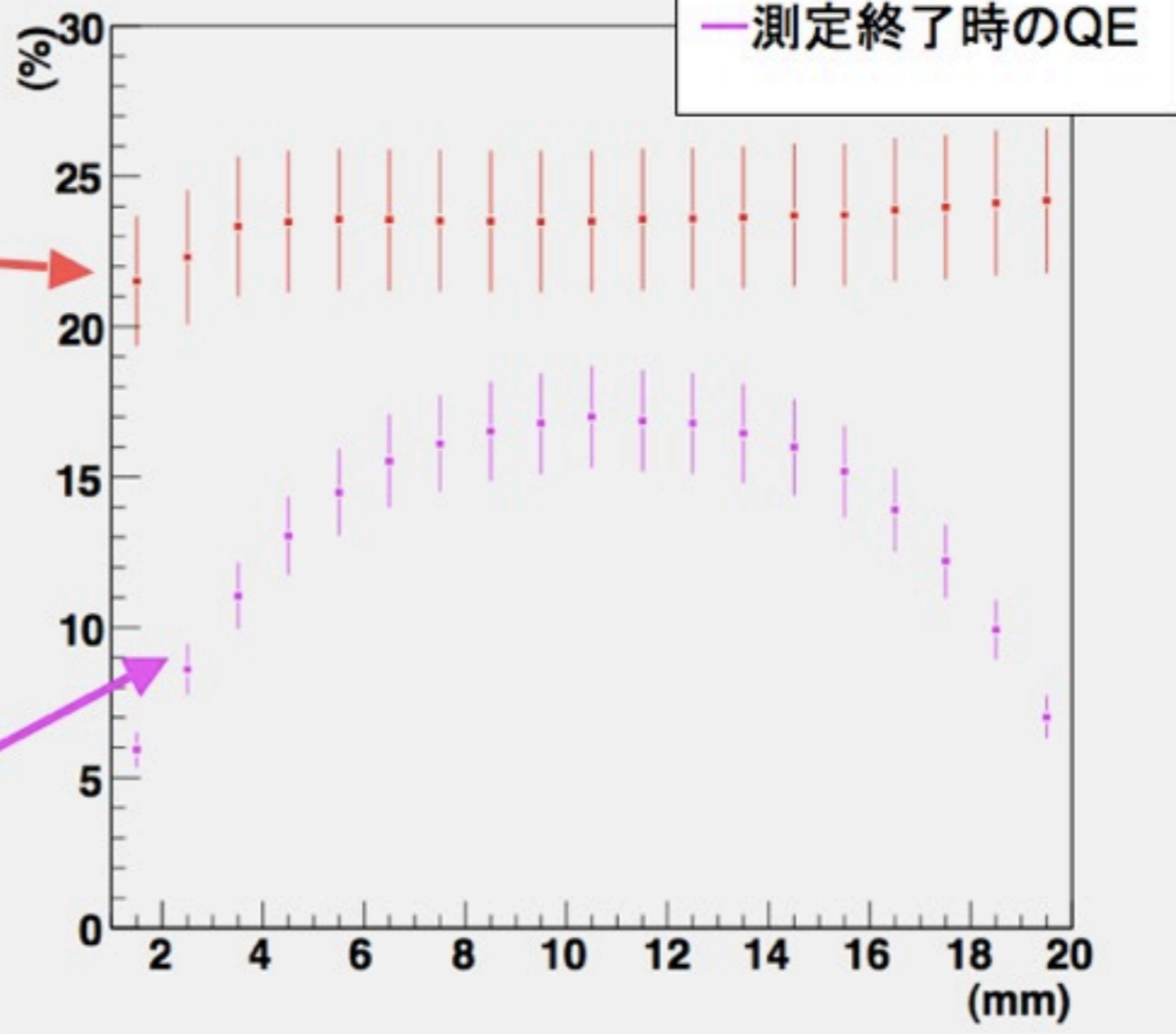
寿命測定前QE面一様性



寿命測定後 QE面一様性



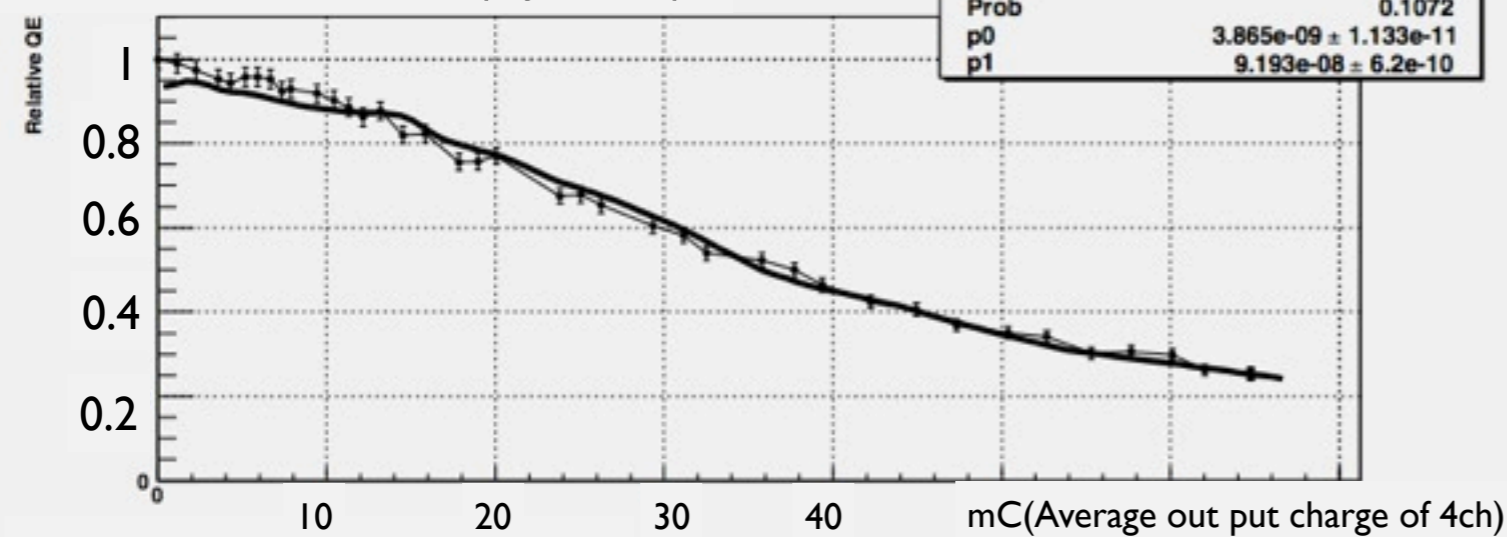
一次元スキャン



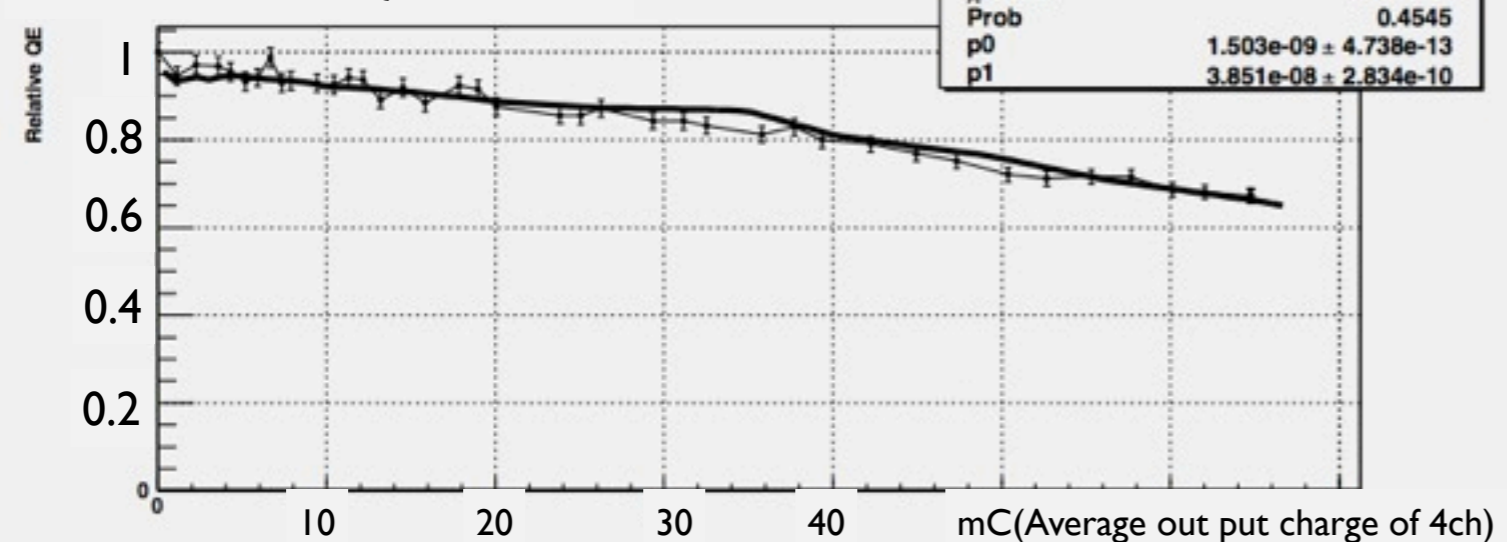
側管側での劣化の速さを確認

中性ガスの定量的評価

1ch Relative Q.E.(YJ0011)



6ch Relative Q.E.



- 中性ガスの暴露量

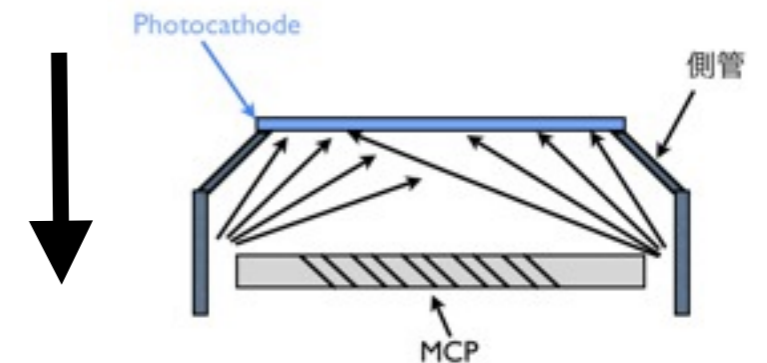
▶ 実験値 $I_{ch}/6ch = 2.4 \pm 0.2$ 倍

側管からの影響が小さければ1に近づく

側管からランダムな方向に発生した

中性ガスを計算

$I_{ch}/6ch = 2.55 \pm 0.01$ 倍



光電面に影響を与えるのは

側管とMCPの隙間から来た

中性ガス

YJ0011の寿命測定の結果に P.Michelato の結果をfittingしたもの

すべき長寿命対策

MCPと側管の間を通過してくる中性ガスを抑える

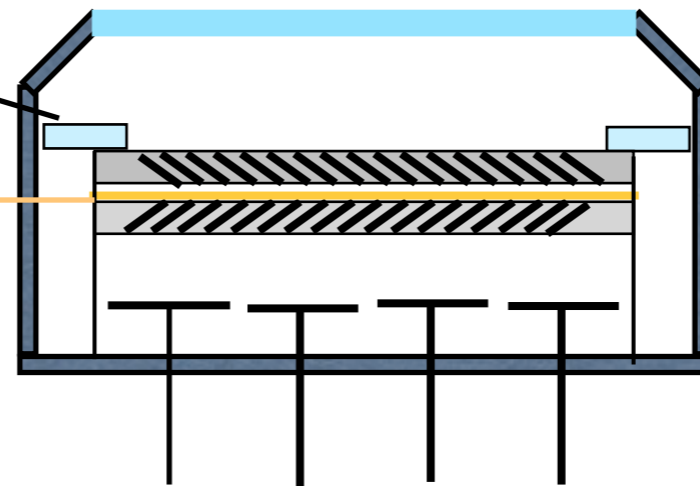
長寿命対策品

● 対策内容

- ▶ MCPと側管の間をセラミックで塞ぐ。
- ▶ MCPに残る残留ガスを電子で叩きだす(スクラビング)。

セラミック対策

Al膜対策



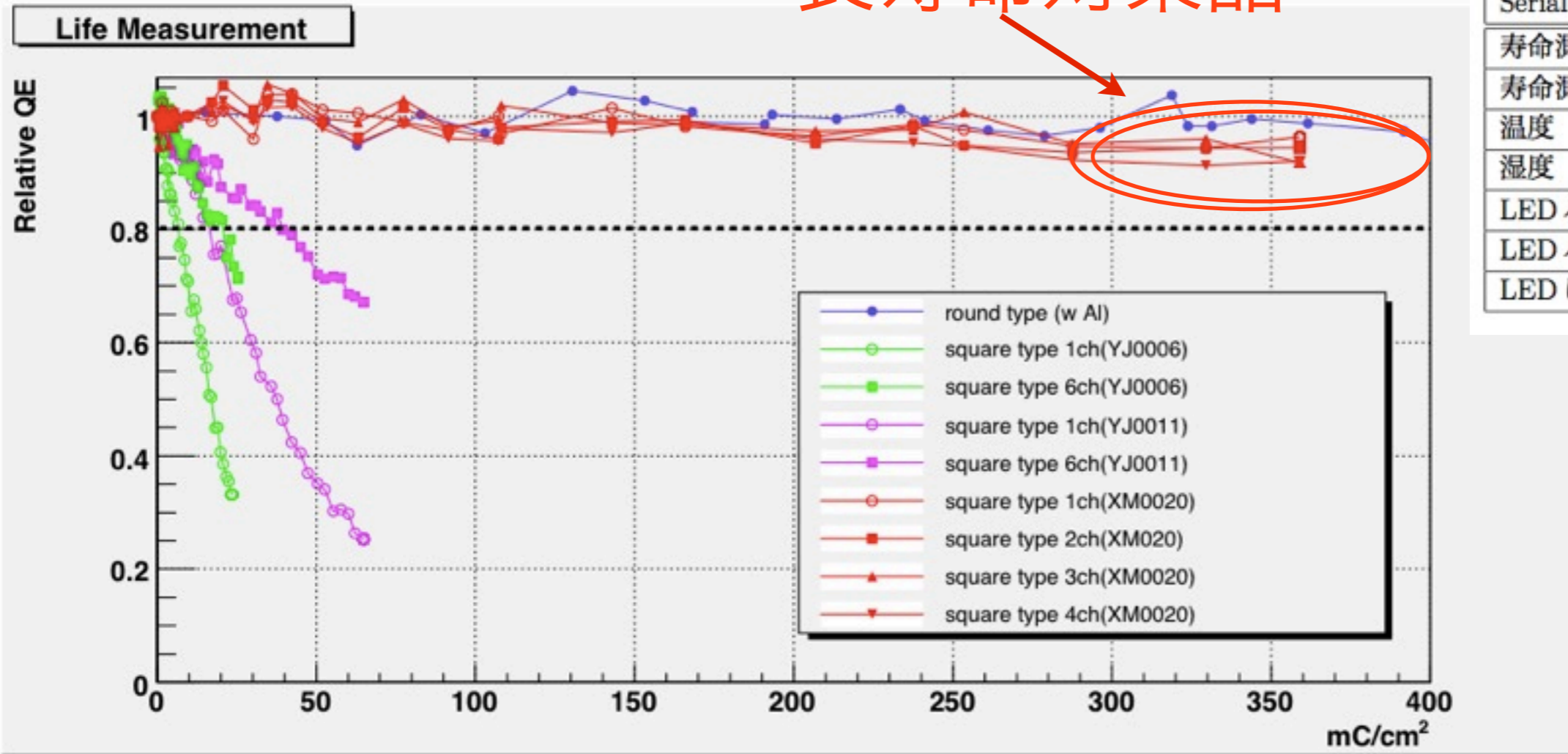
試作品の構造

長寿命対策品の測定結果

長寿命対策品の測定結果

● 寿命測定結果

長寿命対策品



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	20 ~ 23°C
LED パルス幅	10ns
LED による検出光子数	20 ~ 30

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

▶劣化の仕方にchannel依存性が見えない →対策がうまく行っている

▶少なくとも3年以上使用可能(10倍以上の長寿命化を確認)

実用化に十分なMCP-PMTである事を実証

まとめ

TOPカウンター実用化に向けた課題である

MCP-PMT光電面の寿命について開発研究を行った

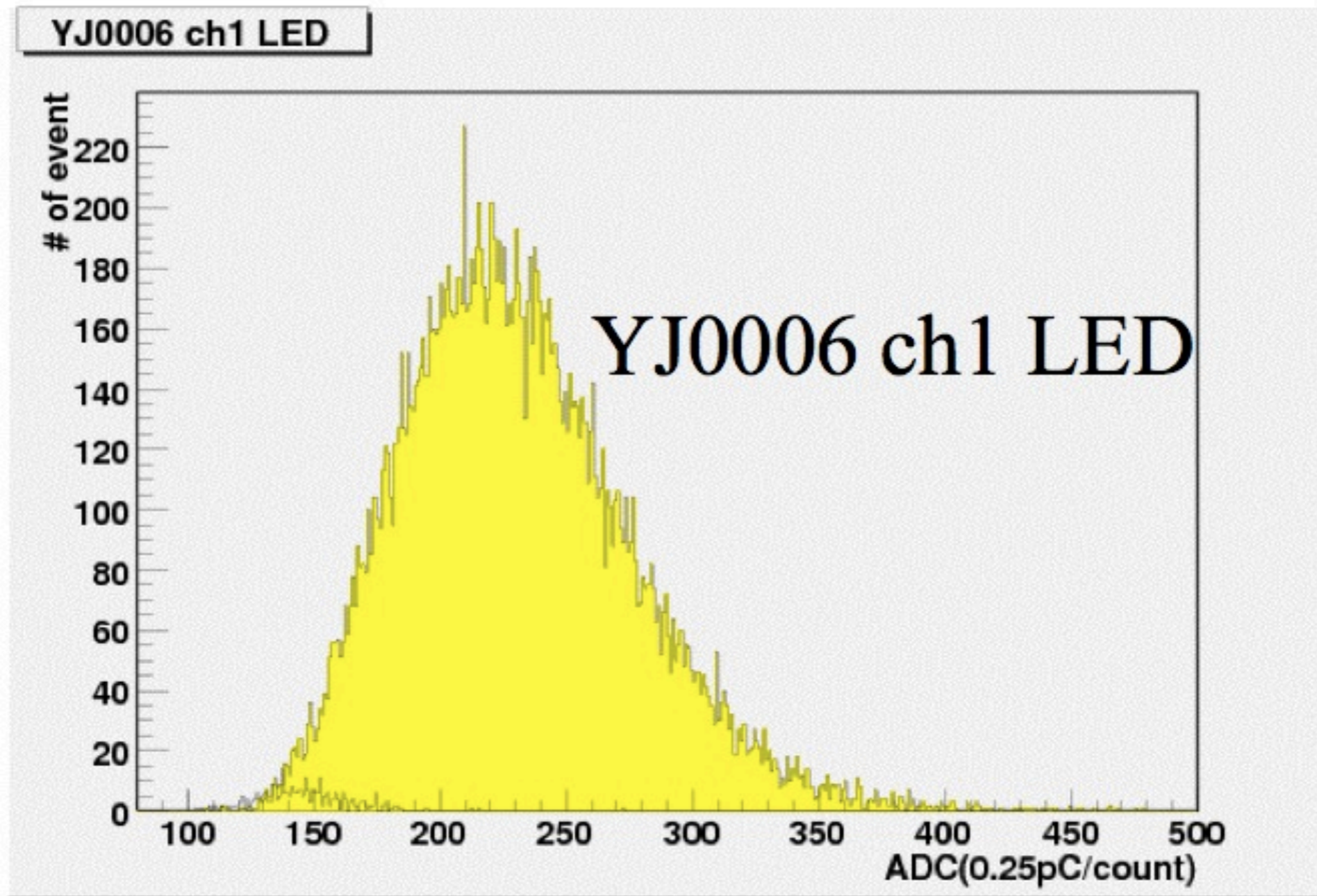
- イオンフィードバック仮説をもとにAI膜対策を施した角型MCP-PMTで寿命測定
 - ▶効果が見られない→イオンフィードバック対策の有効性が低い
- 中性ガスに着目
 - ▶内部構造から中性ガスは光電面の側管側を速く劣化させる
 - 光電面量子効率を測定する事で中性ガスの影響を確認
 - ▶中性ガスの側管とMCPの隙間からの暴露量を調べた事で隙間を塞ぐ事が長寿命化に有効であると考え
- 中性ガス対策を行った試作品を製作

3年以上使用可能(10倍以上の長寿命化)@Belle-II

TOPカウンター実用化に向けた課題を解決

Back up

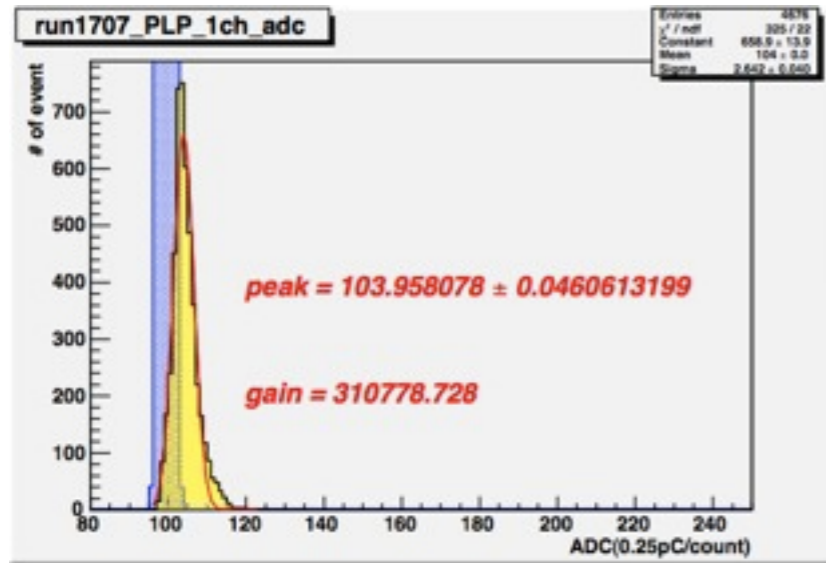
出力電荷量



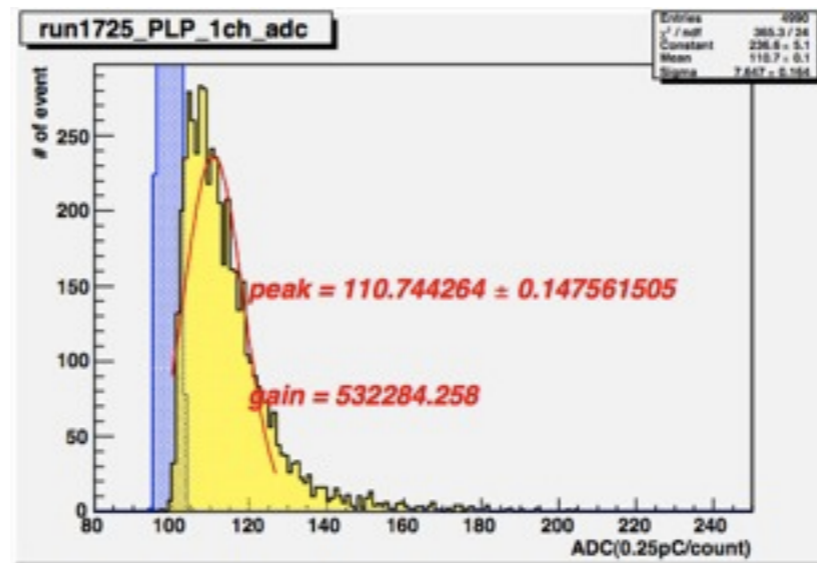
XM0020基本性能

- ADC分布1ch

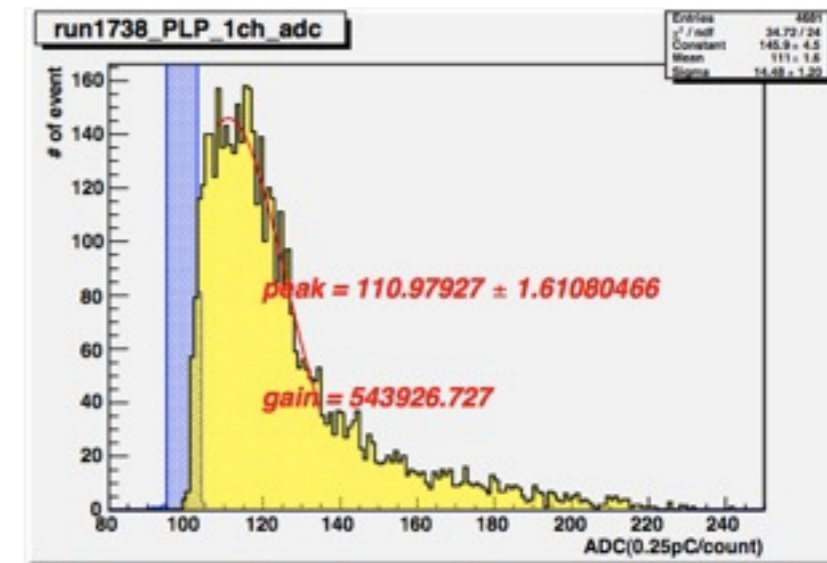
HV3400 ATTE0dB



HV3600 ATTE0dB



HV3700 ATTE0dB



最大印可電圧by HPK

	1ch	2ch	3ch	4ch
Mean Gain (HV3700)	1.2×10^6	1.2×10^6	1.2×10^6	2.7×10^6

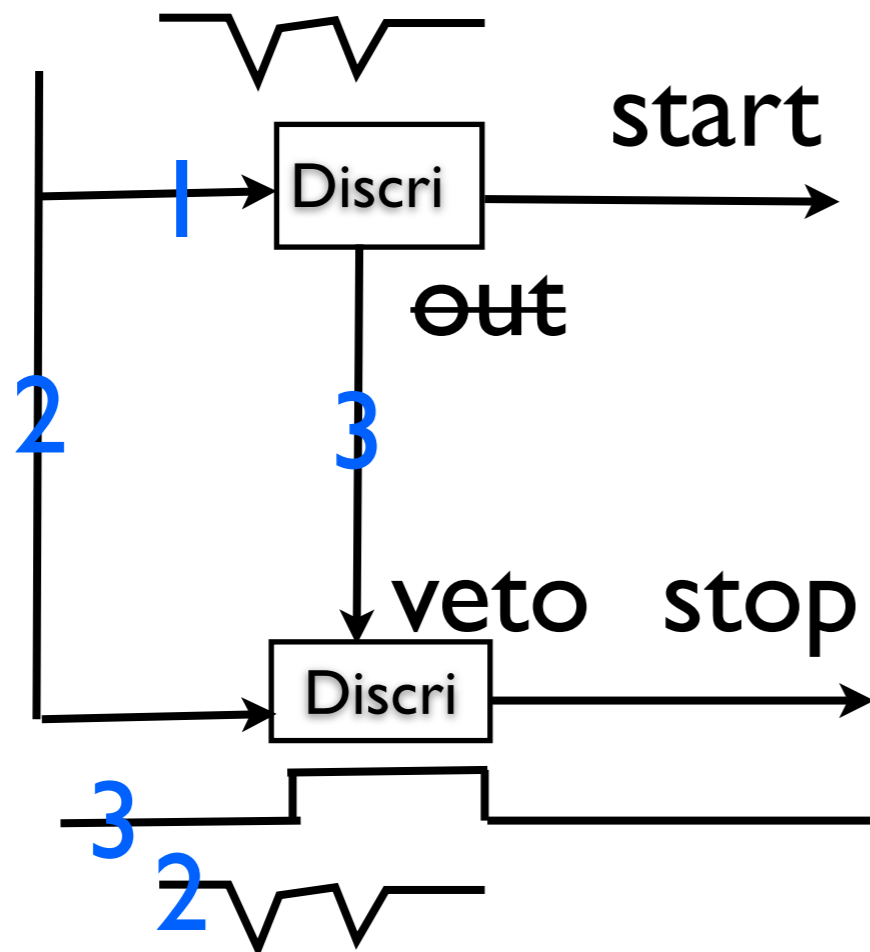
その他

(after pulseから中性ガスの成分を調べる)

- 概要

本信号とafter pulseの時間差がionの質量差によってできると考える。この時間差を測定する事でMCP内に多く存在するガスの種類を調べる

測定方法

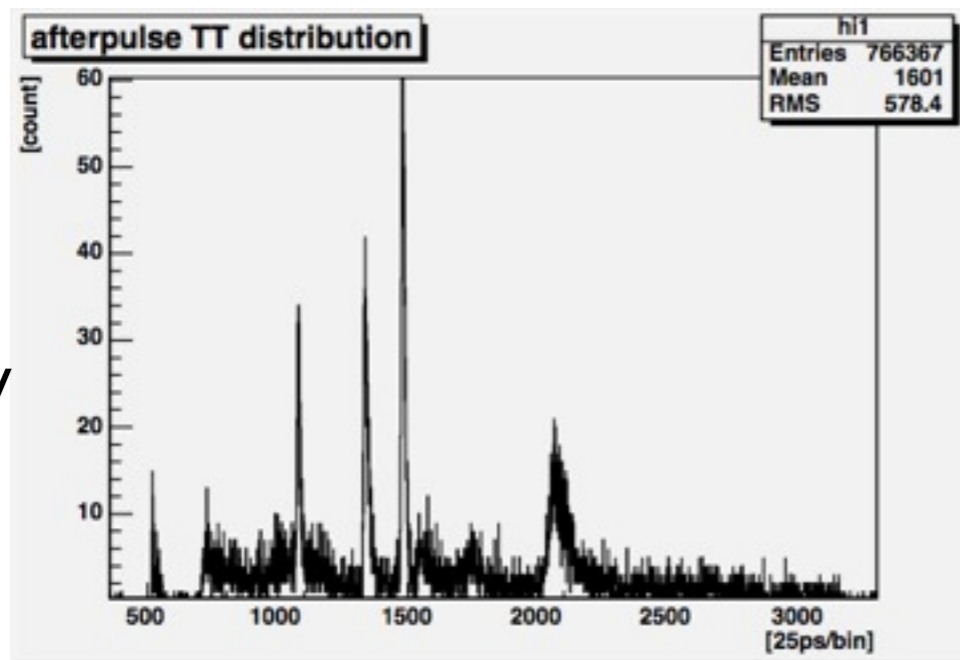
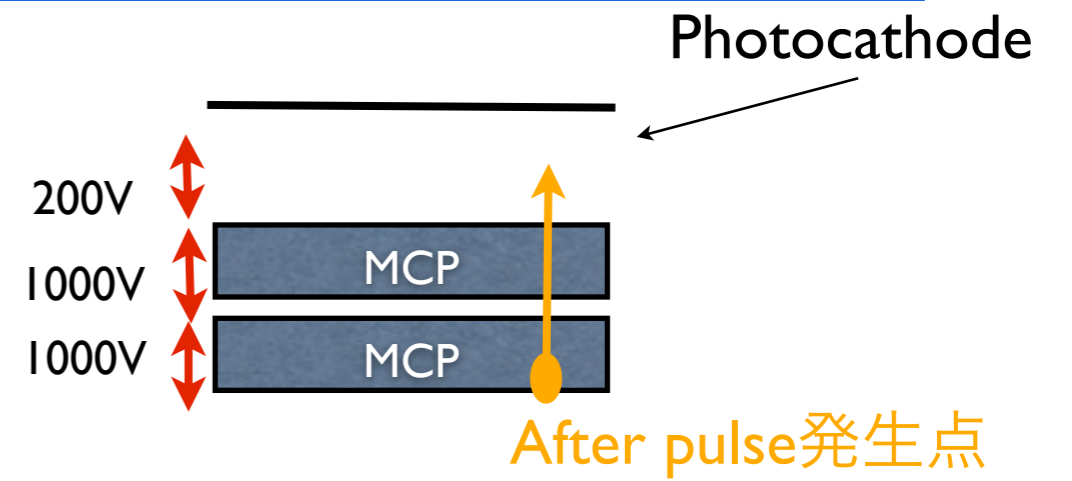


Dark信号を使い、本信号をスタートにし**After pulse**で**stop**する。

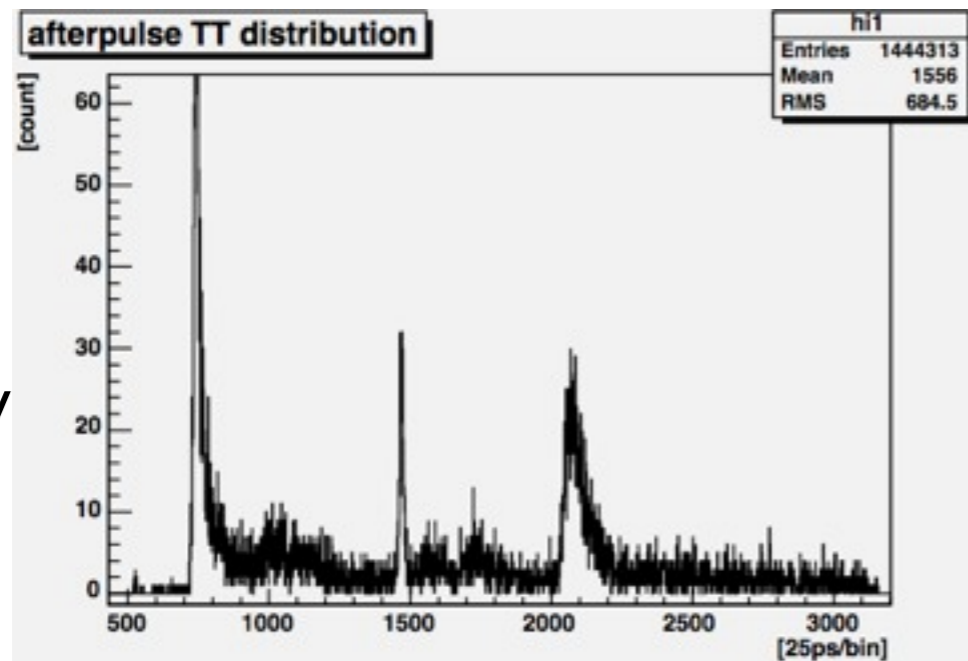
その他

- 結果

時間差計算の設定



Thre 50mV



Thre 10mV

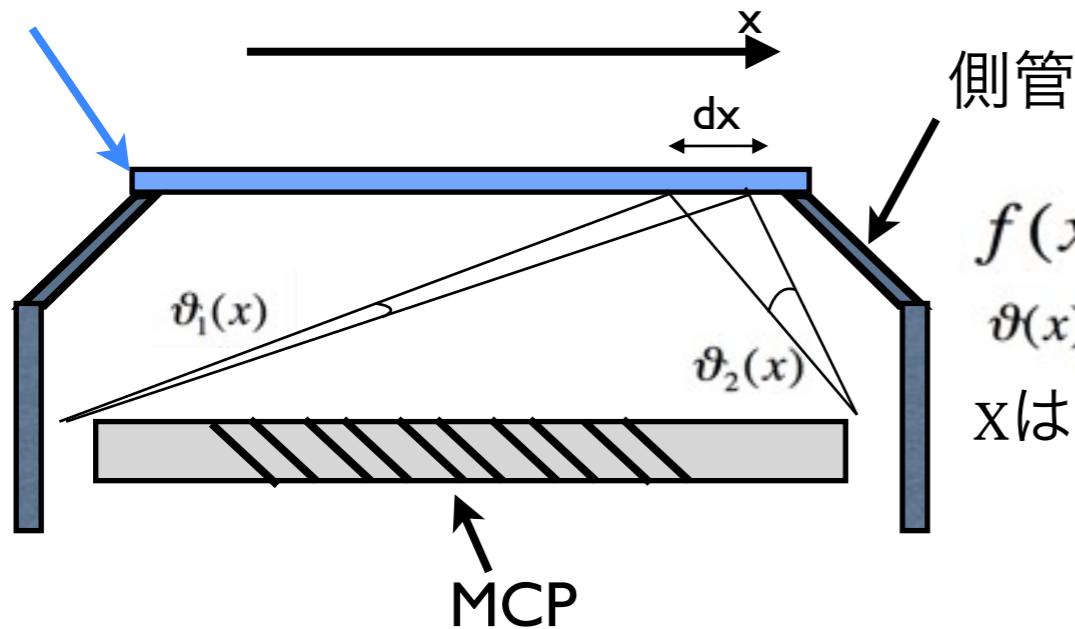
光電面劣化要因

● 中性ガス仮説の考察

- ▶ 中性ガスは電場の影響を受けない
隙間から一様に広がる

見込み角に比例した劣化を示すはず

Photocathode

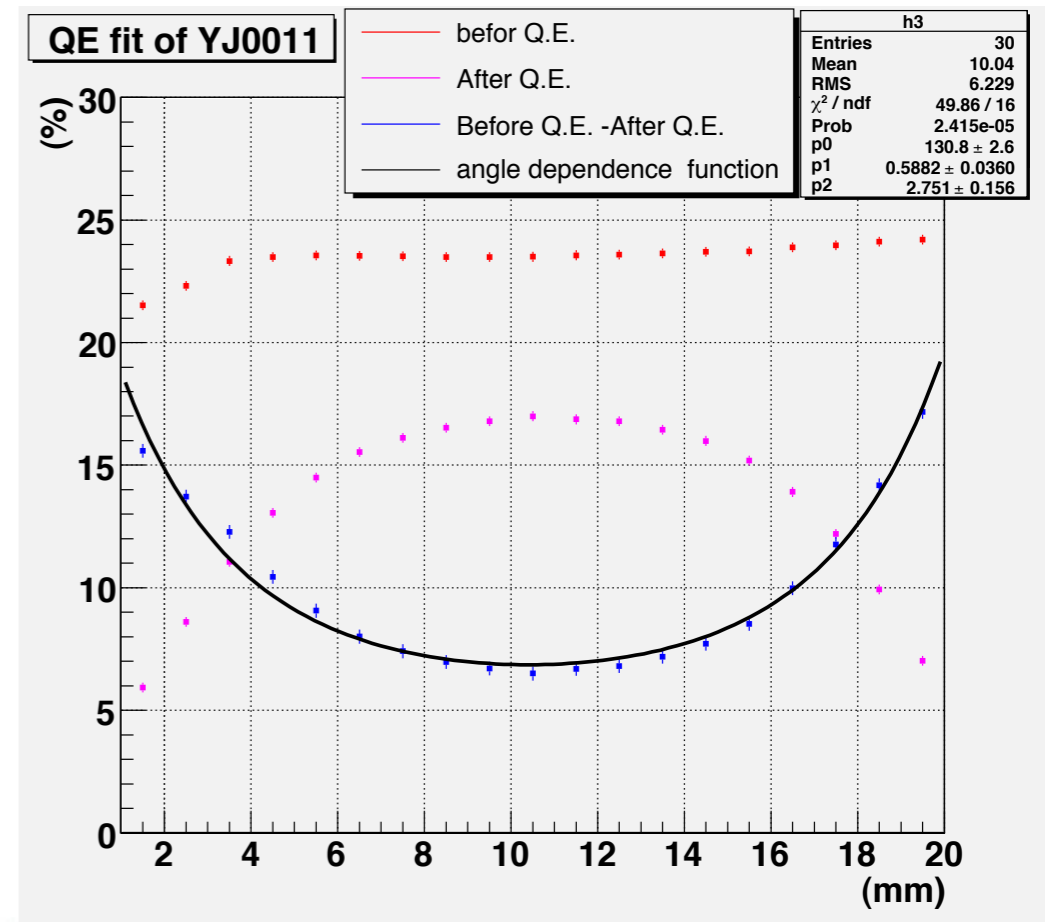


$$f(x) = A\vartheta(x) + B$$

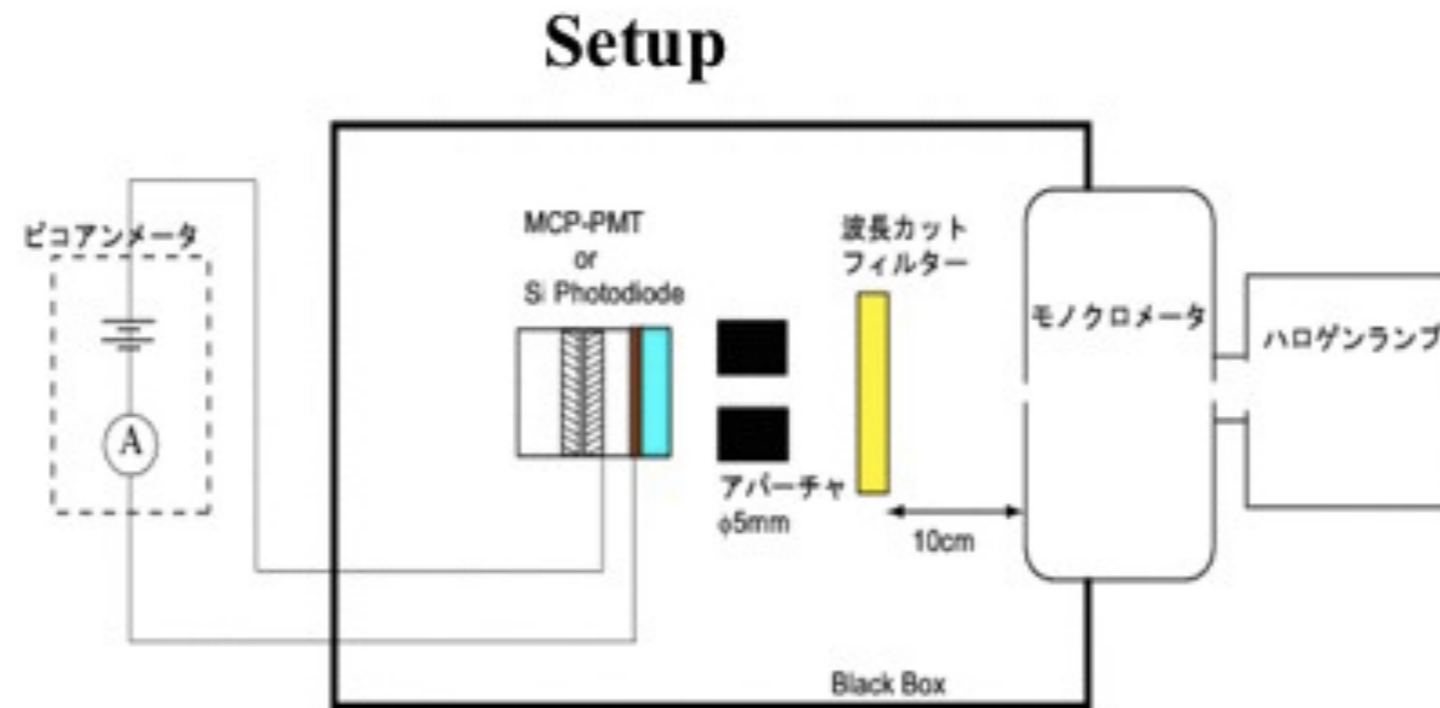
$$\vartheta(x) = \vartheta_1(x) + \vartheta_2(x)$$

xは光電面に当る位置

f(x)でfittingを行った結果から中性ガスの可能性を示す。

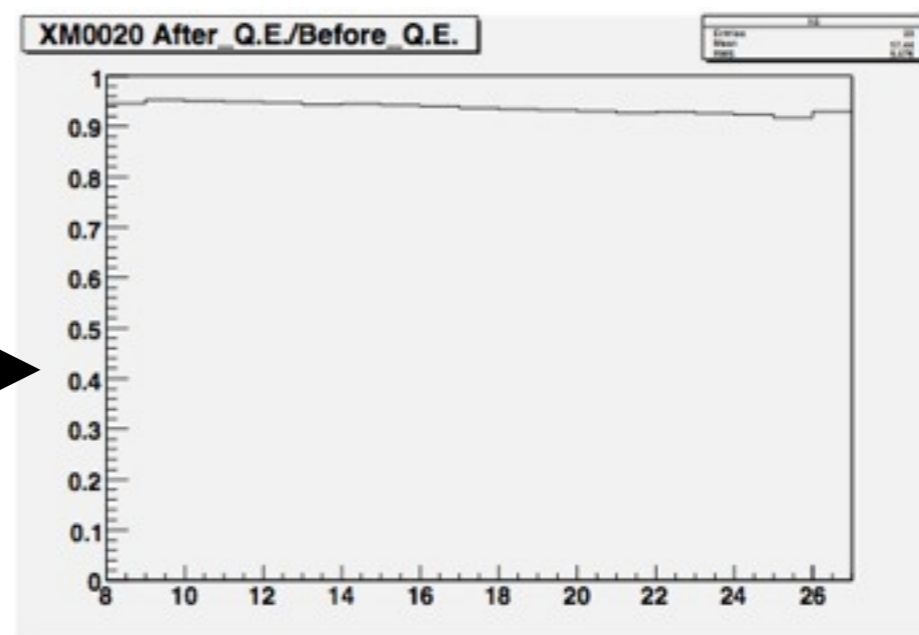
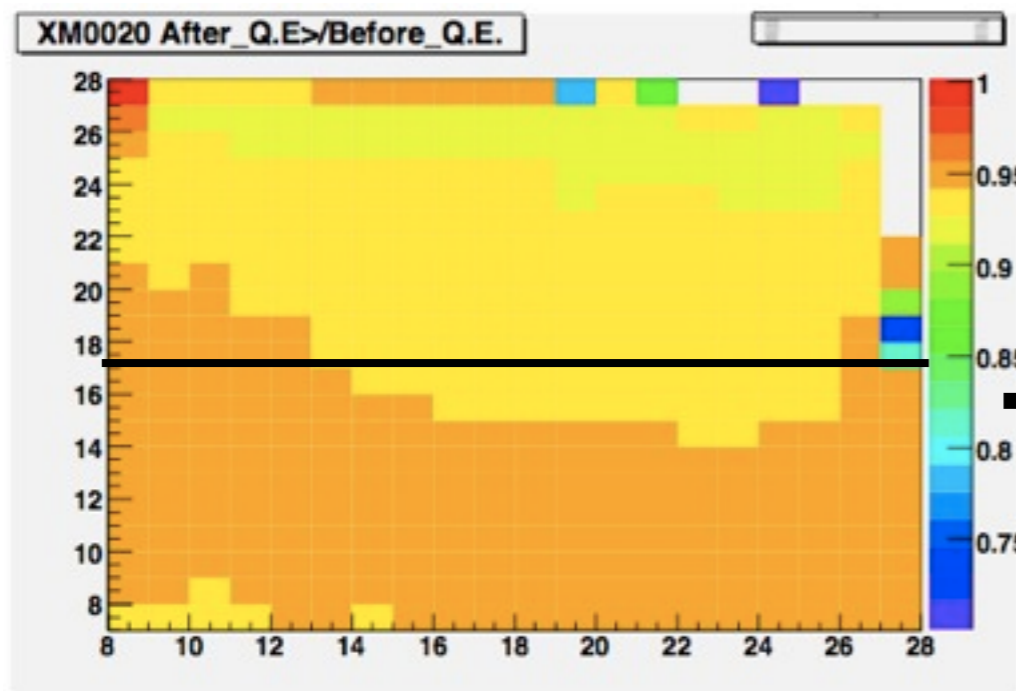
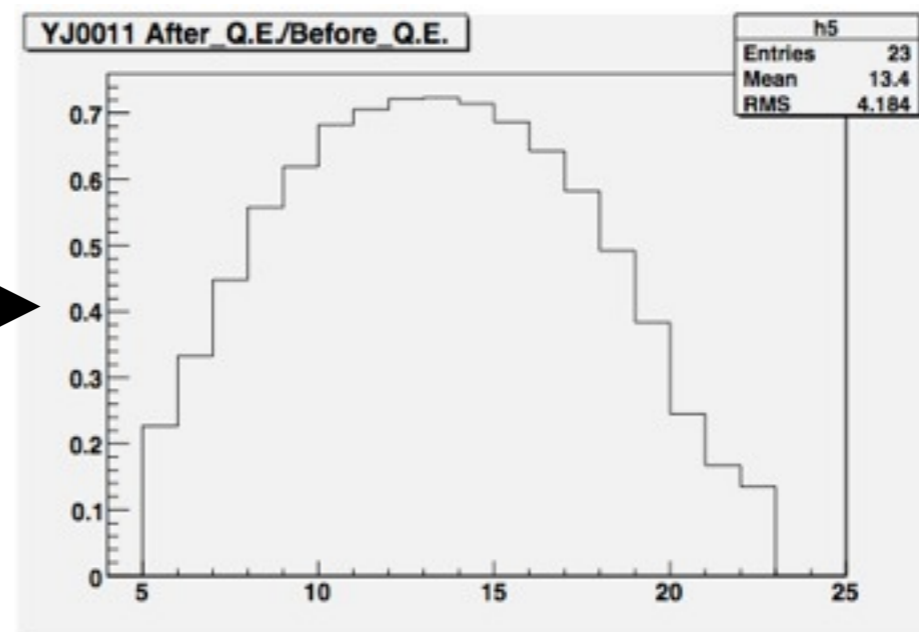
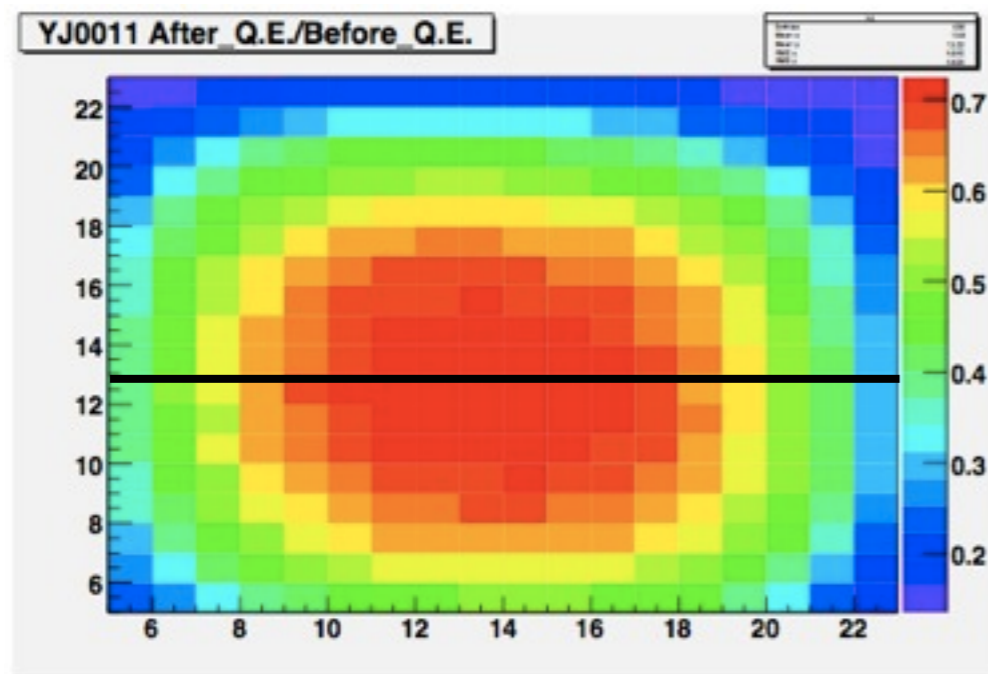


Q.E.測定方法

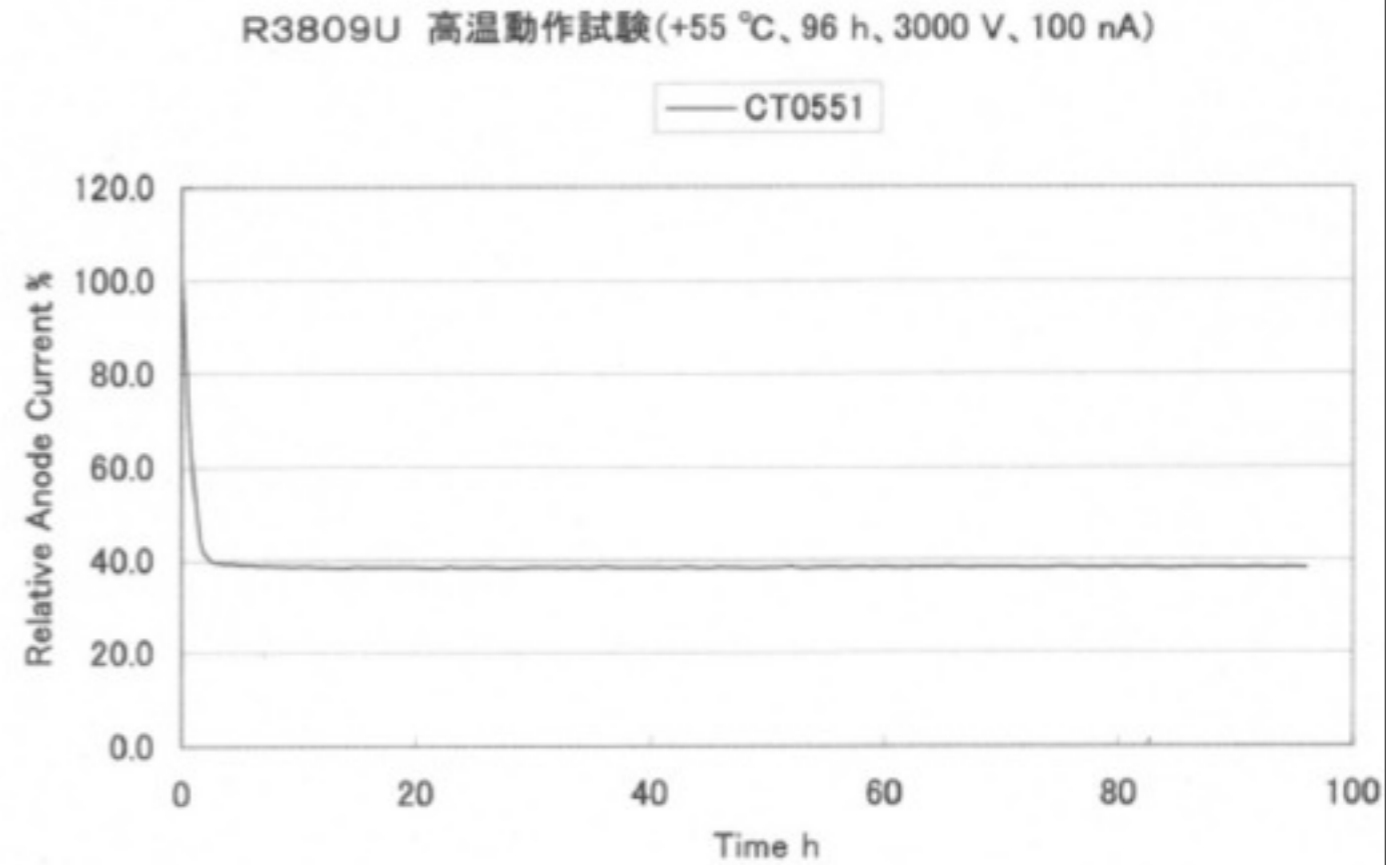
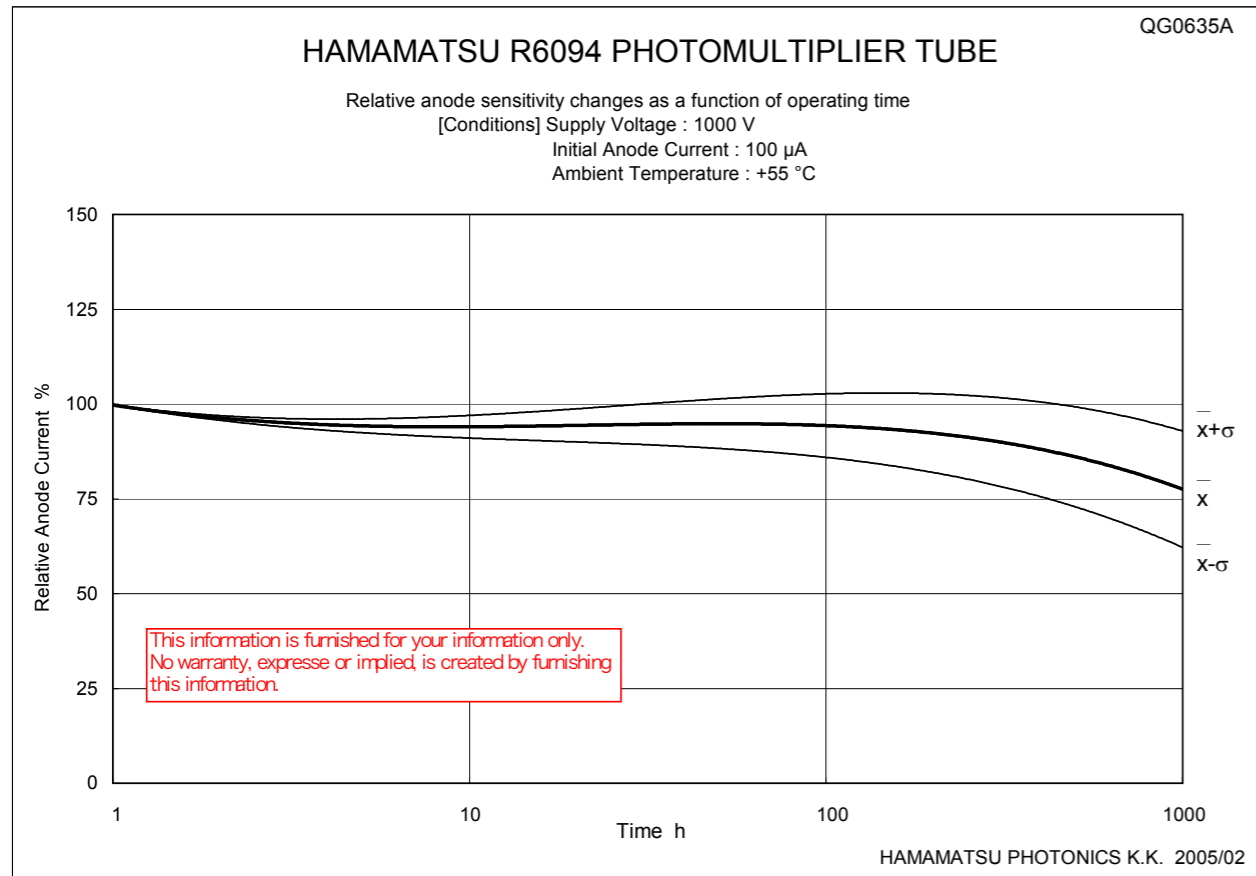


$$Q.E. = \frac{I_{MCP} - Dark_{MCP}}{I_{PD} - Dark_{PD}} \times Q.E._{PD}$$

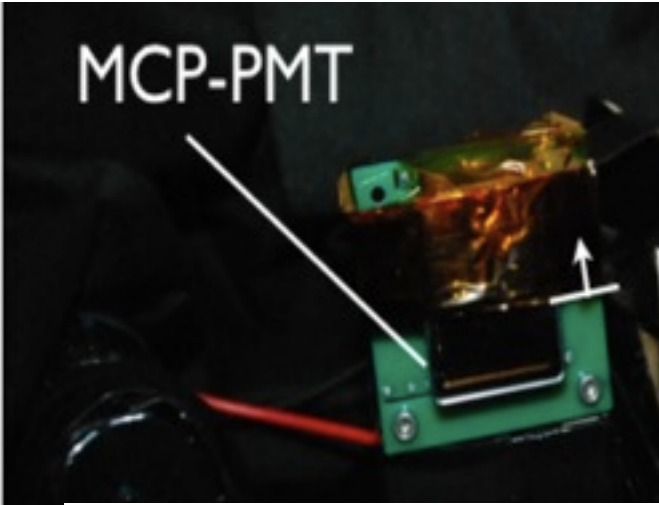
光電面劣化比をスキャンした結果



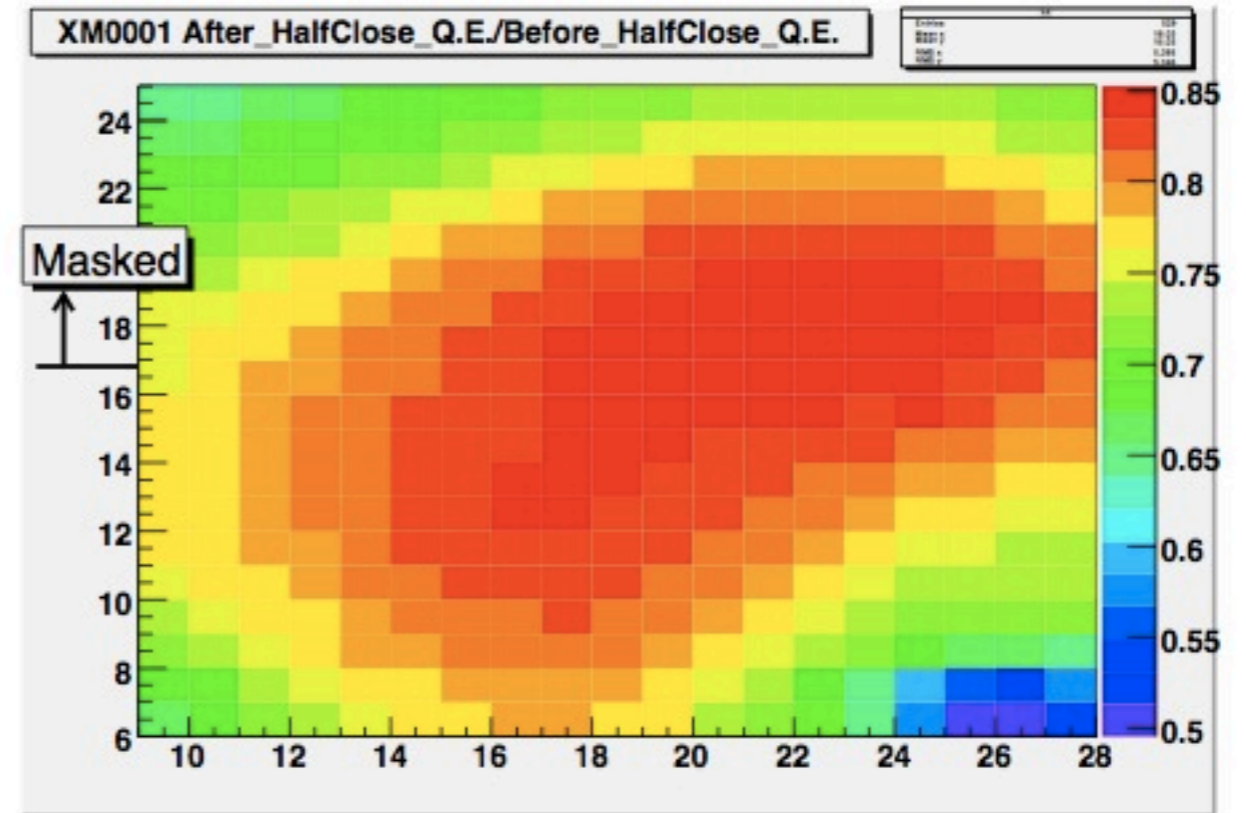
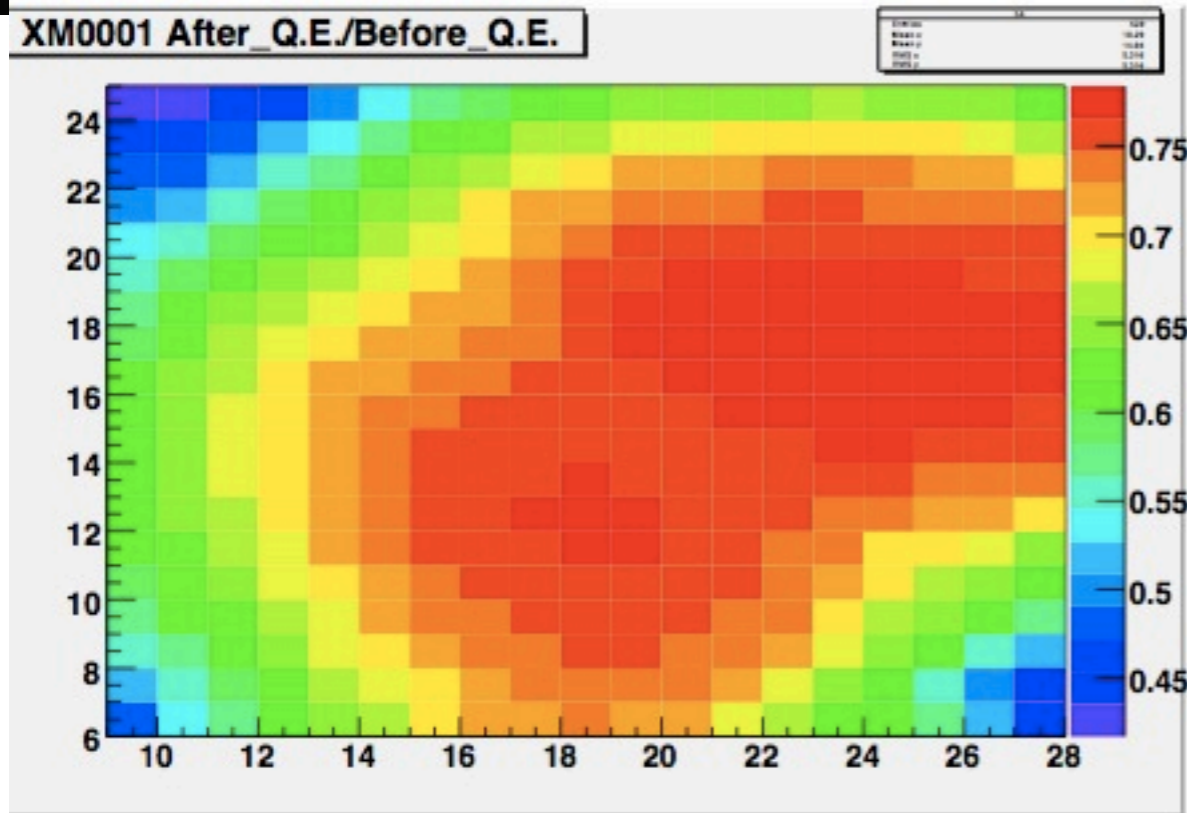
Linefocus PMTの寿命



光電面を半分隠した寿命測定

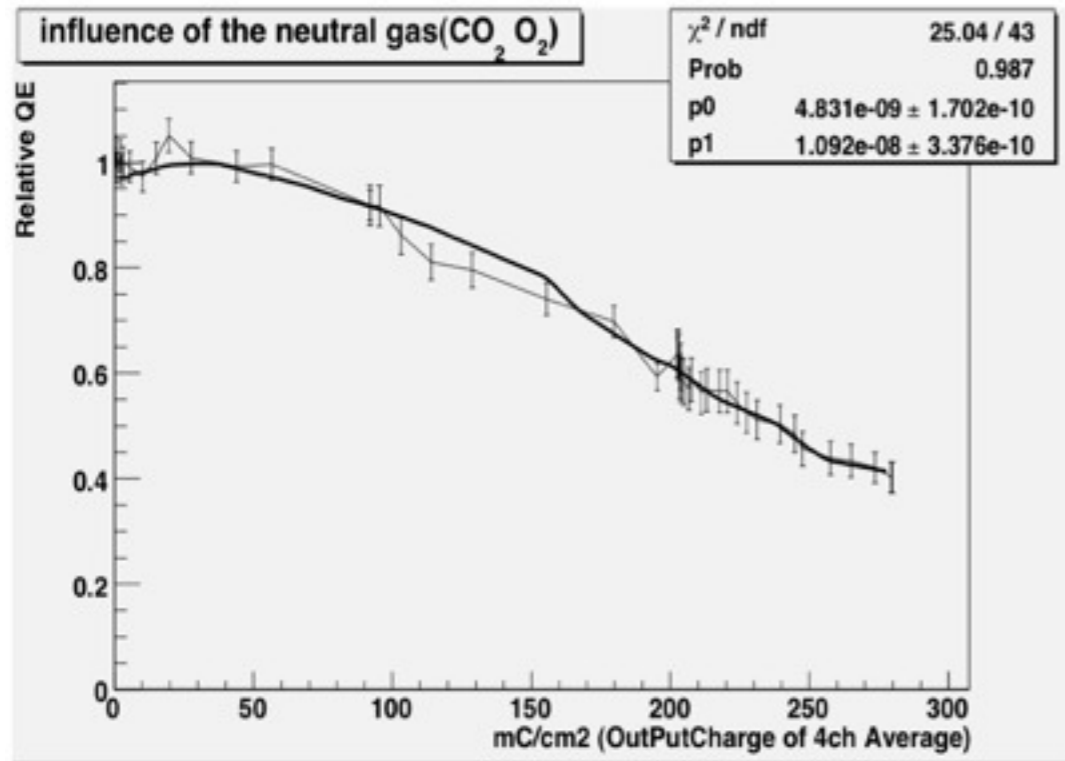


光電面劣化比

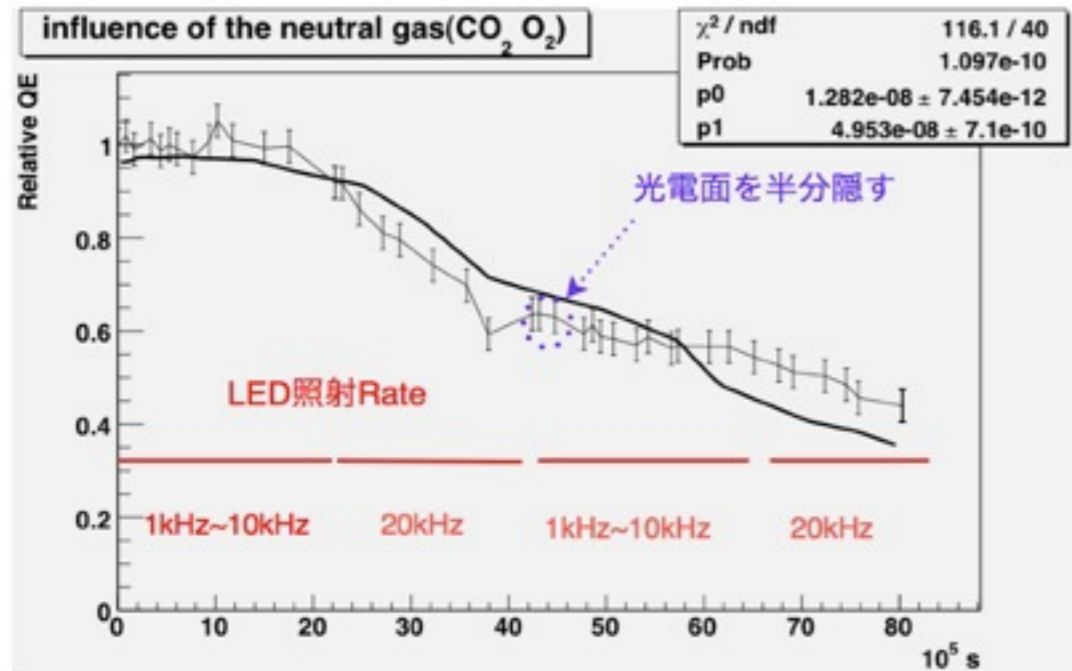


半分隠しても劣化の仕方が変わらない
イオンフィードバックの影響はない

中性ガスの発生要因

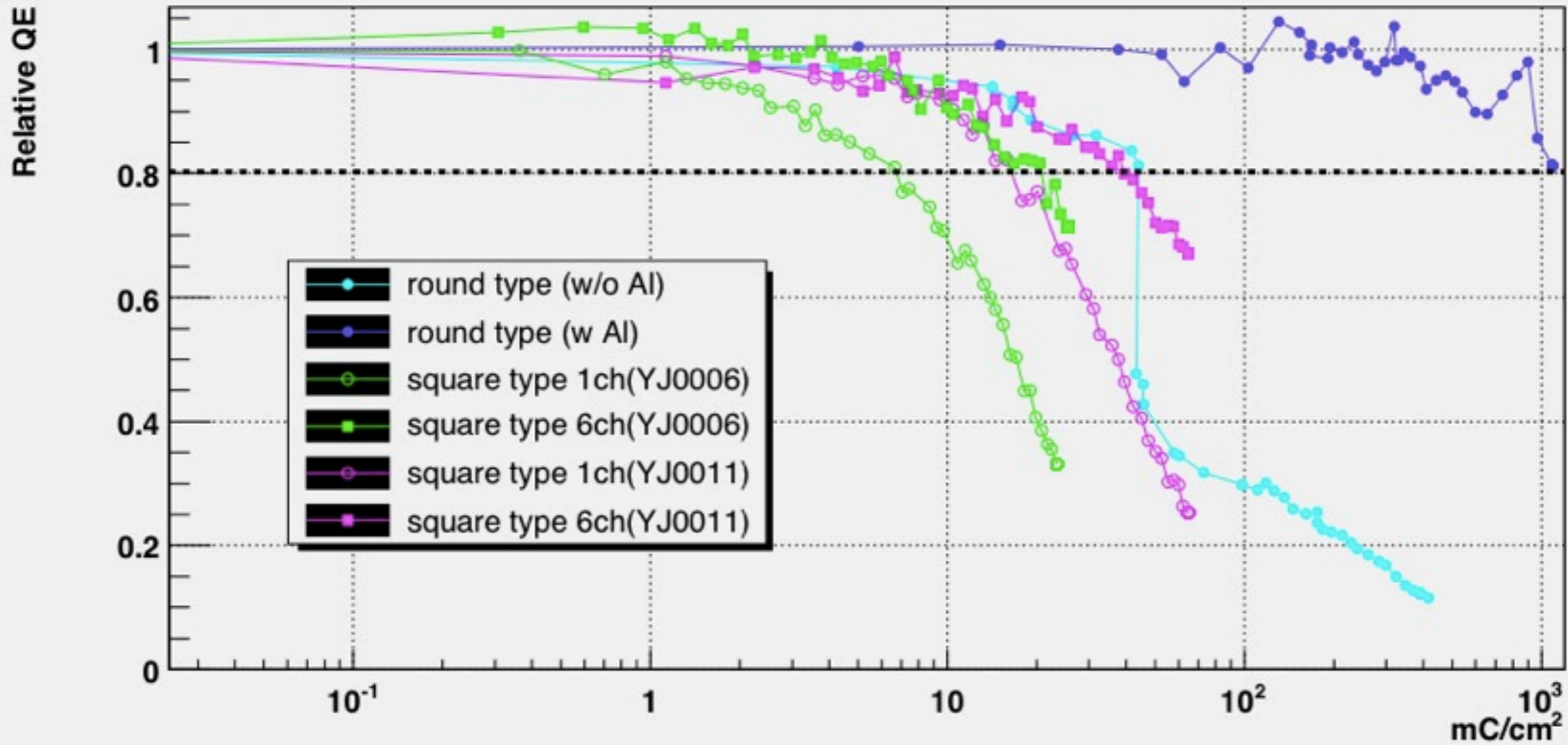


横軸を4ch平均出力電荷量/cm²



横軸を時間[s]

Life Measurement



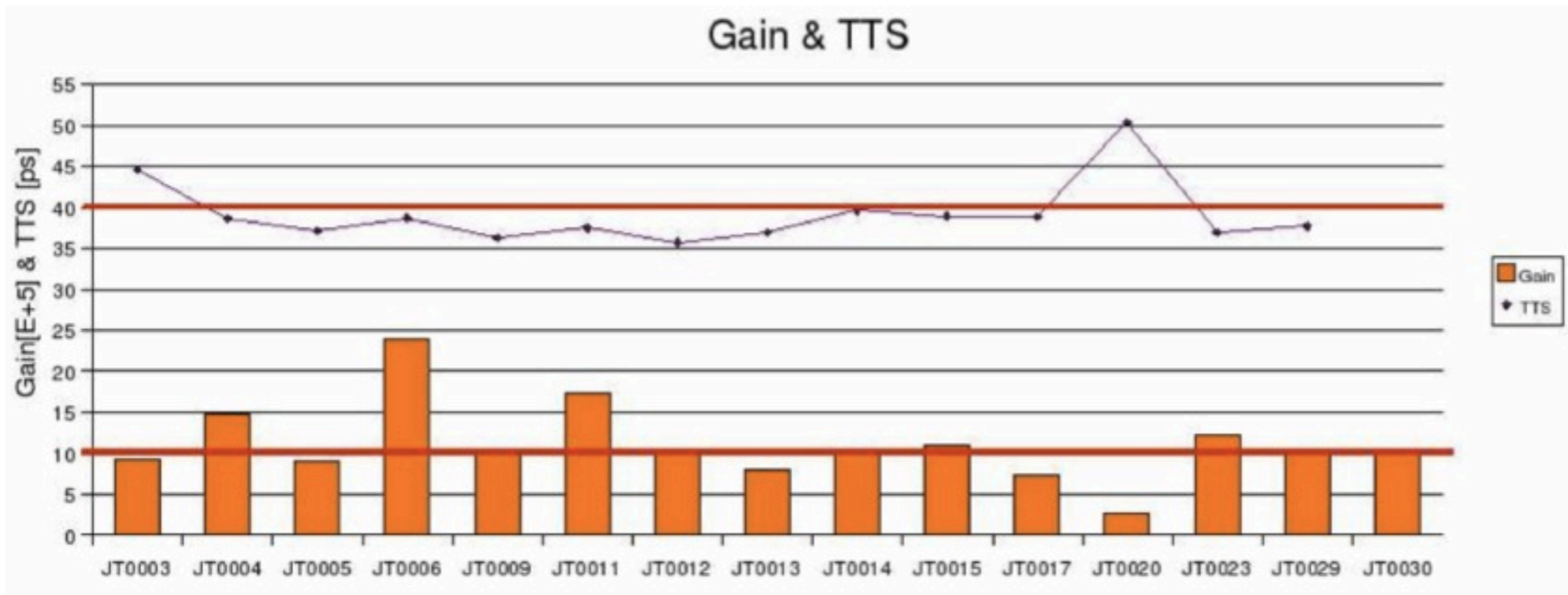
1 month

1 year

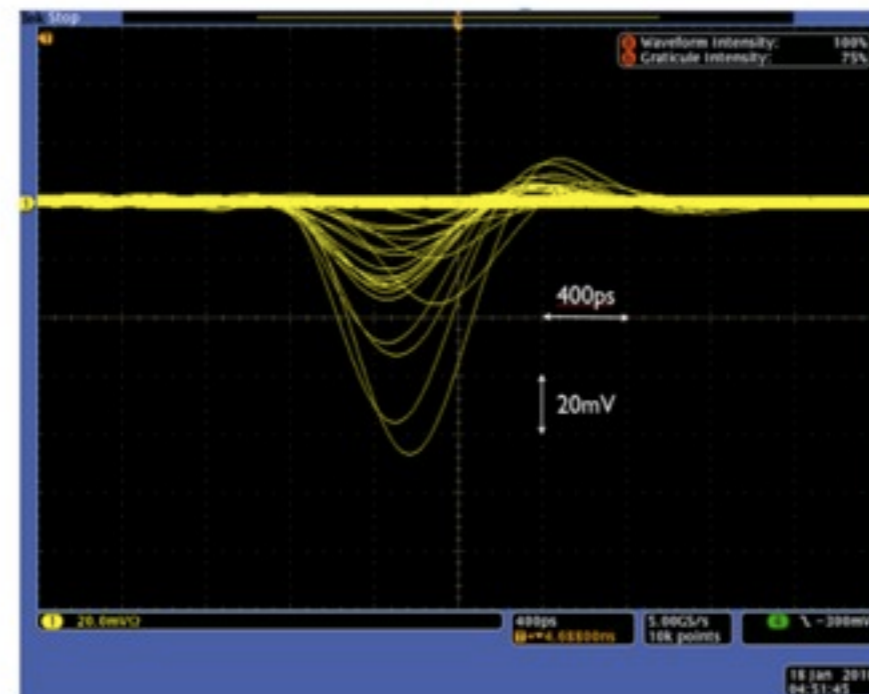
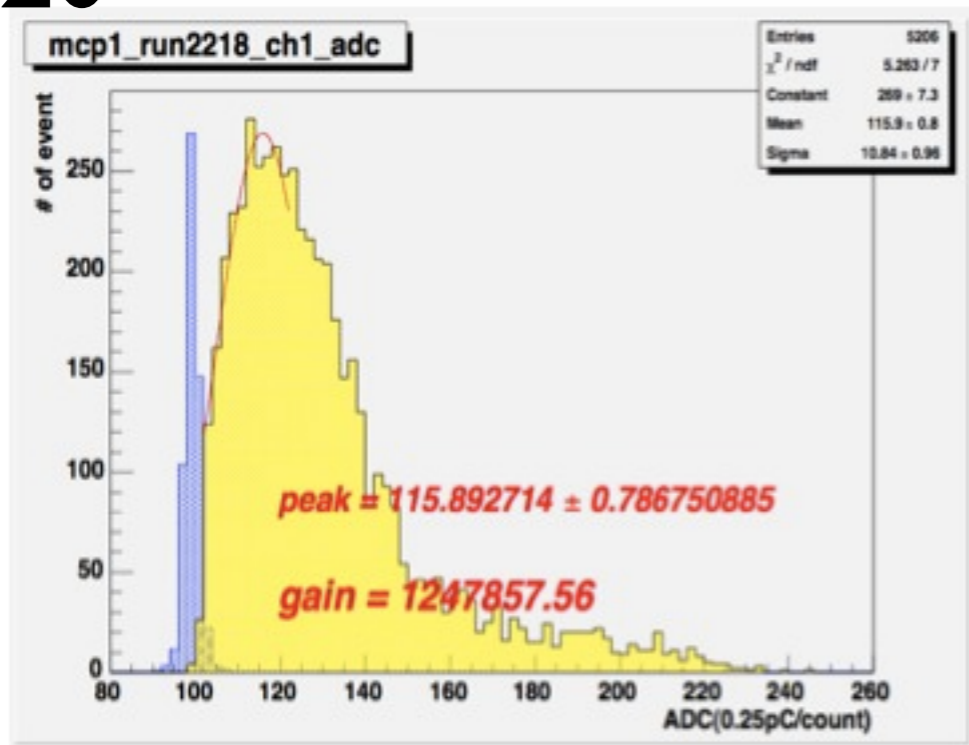
5 year

@Belle2

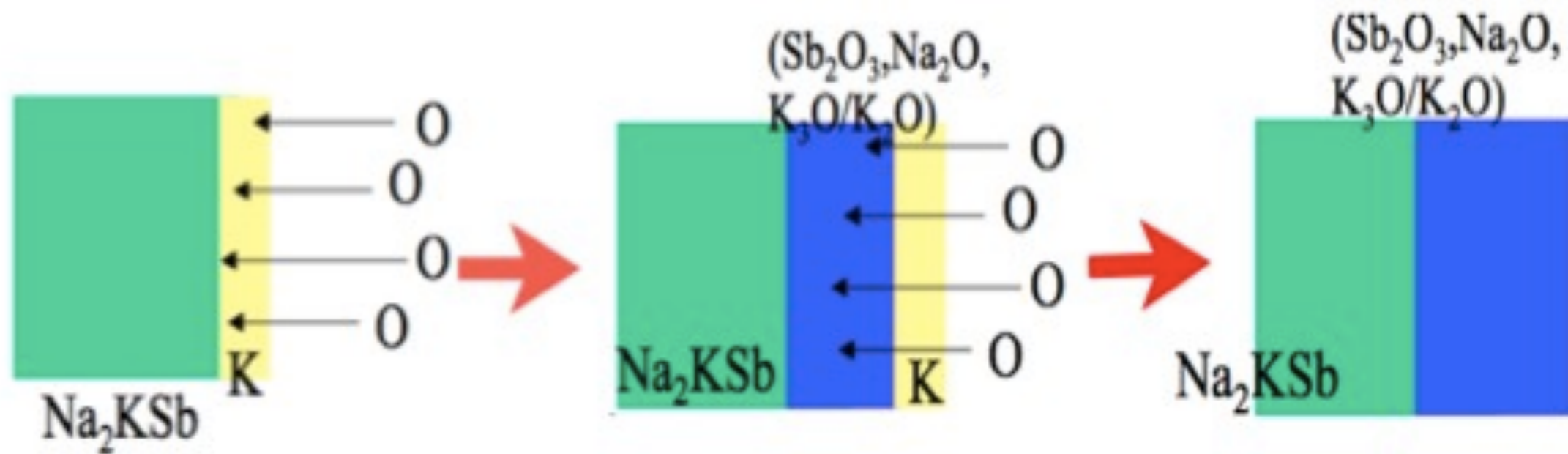
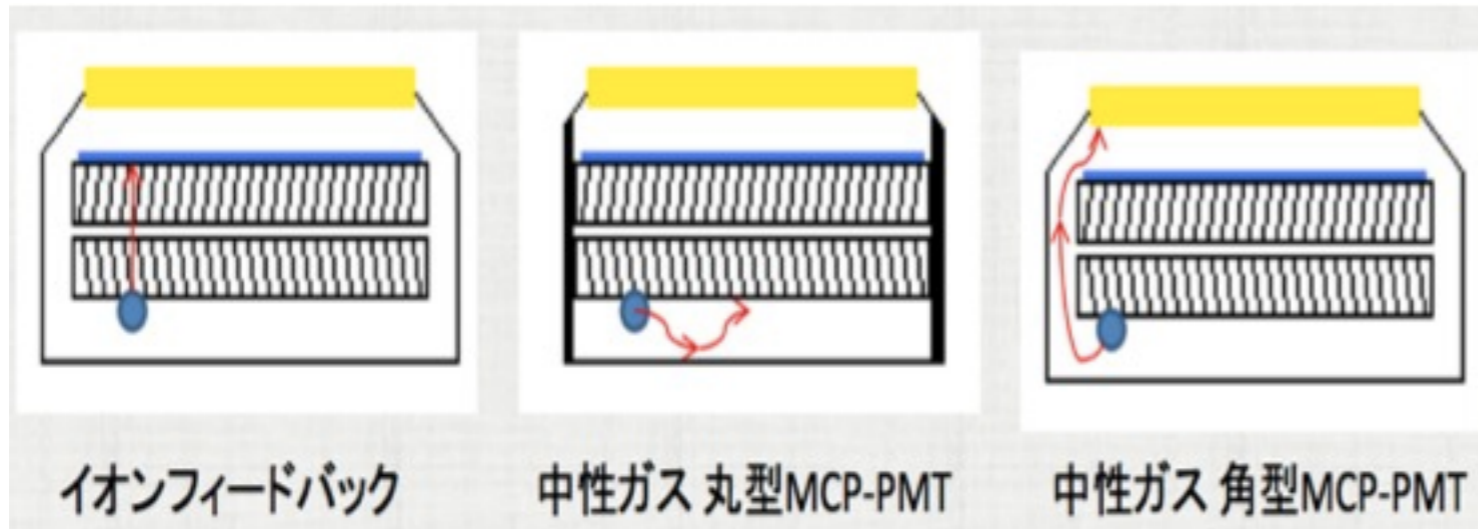
XM0020



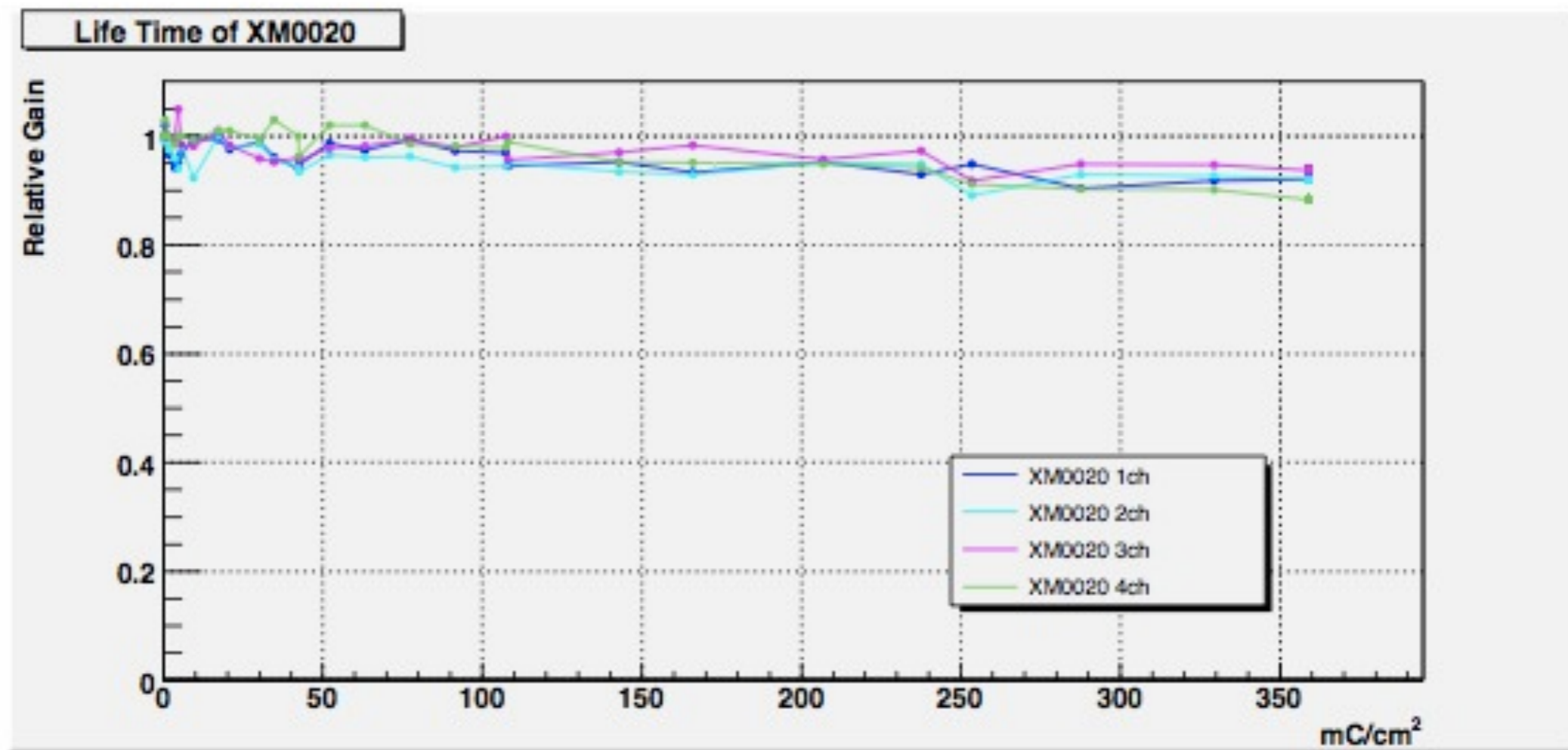
XM0020

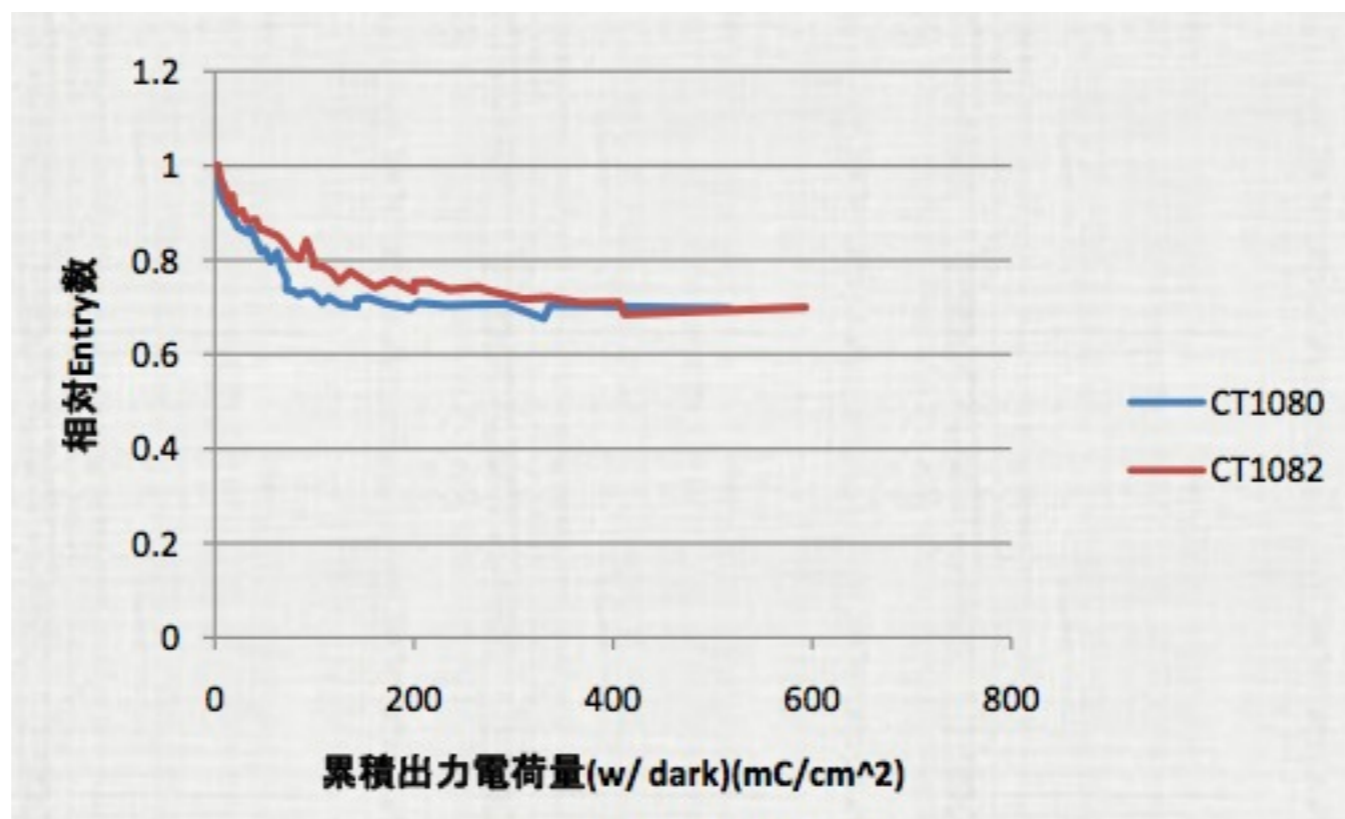


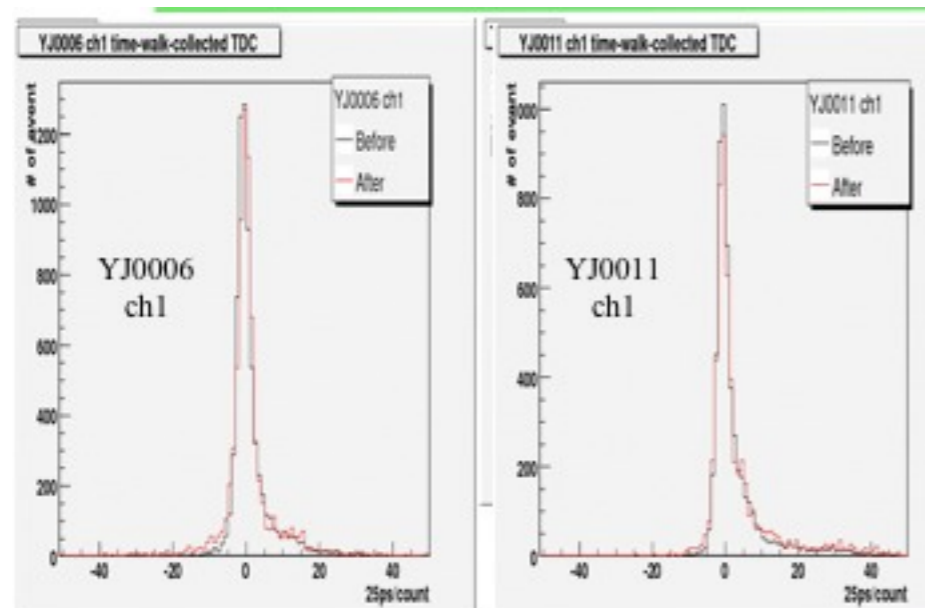
中性ガスの反応



Gain







TDC分布の変化 : 黒 Life Time測定開始時

