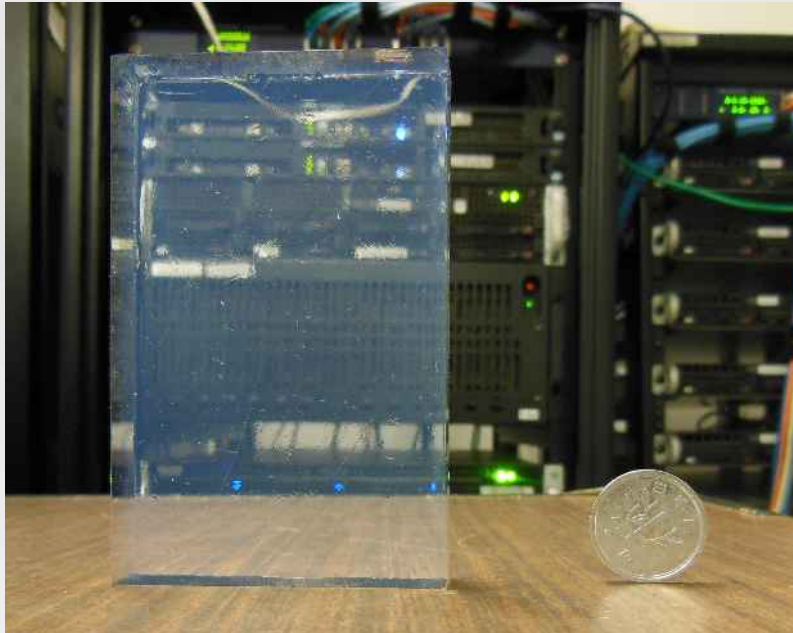


データ収集段階における汎用性の高い粒子識別装置 エアロゲルチェレンコフカウンターの開発

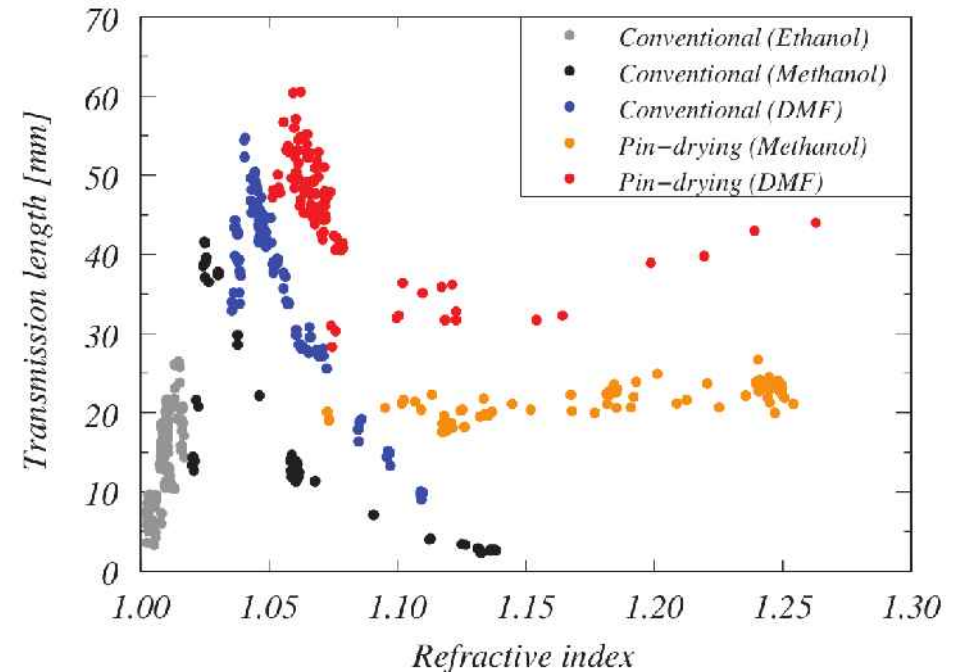
伊藤博士、兼子菜緒見、河合秀幸、児玉諭士、
小林篤史、田端誠
千葉大学

シリカエアロゲル



シリカエアロゲル

- SiO₂と空気の配合で屈折率(1.003 – 1.26)
- ピンホール乾燥、高屈折率
- 疎水化处理 - 数十年劣化なし
- 千葉大特任研究員田端が製作: 透明度高い



M. Tabata et al., Physics Procedia 37 (2012) 642 - 649.

エアロゲルが必要な方はTEL:043-290-3688 (河合)まで
Mail: kawai@hepburn.s.chiba-u.ac.jp

Index

1. シリカエアロゲルの宣伝
2. エアロゲルチェレンコフカウンター(AC)
3. 高汎用性PID
4. ビームテスト結果
5. まとめ

23pDL-8

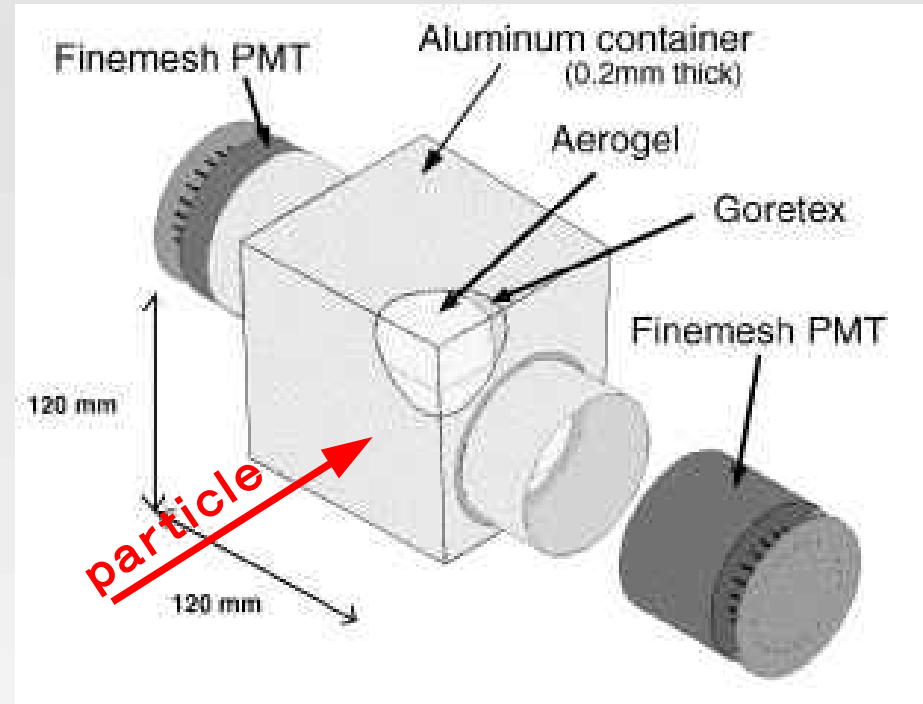
H. ITO (Chiba Univ.)

エアロゲルチェレンコフカウンター(AC)

チェレンコフ光発光条件

$$\beta = v/c > c/n$$

n: 屈折率
v: 速度
c: 光速



Belle ACのデザイン、T. Iijima et al. /Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 453 (2000) 321}325

高汎用性PID

研究の目的

通常のACでの限界

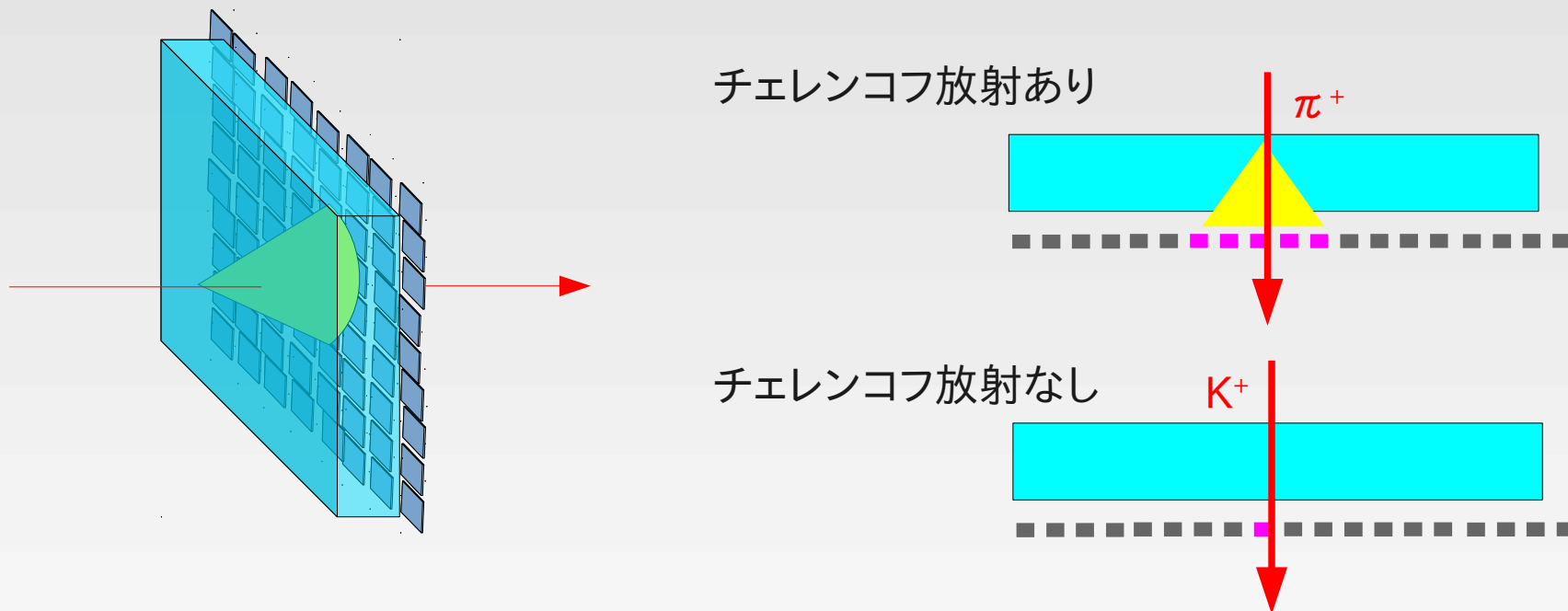
- 識別面積に対して奥行きが必要 … 大面積薄型化が困難
- 磁場中動作が困難 … FM-PMTは設置に制限
- 空気ライトガイドでは入射位置・角度に依存性が出来る
- 反跳電子によってPID 97 - 98%が限界
- オンラインとオフラインの解析で発展性がない
など...

開発目標

- 大面積・薄型
- 高磁場中動作
- 高識別能力 PID99%以上
- 任意実験環境化における高汎用性のAC

高汎用性PID

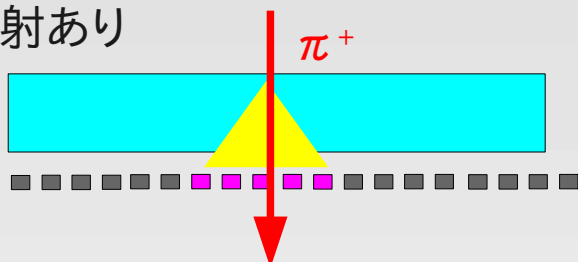
設計概念



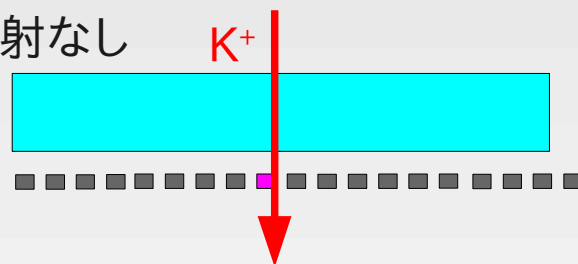
高汎用性PID

反跳電子ベトー

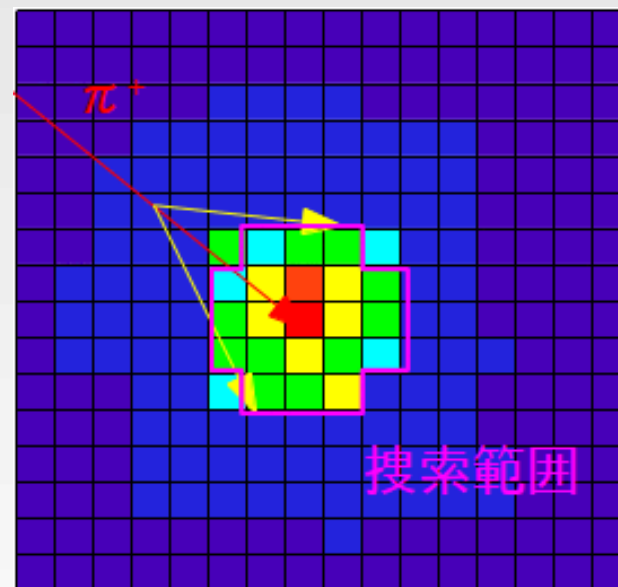
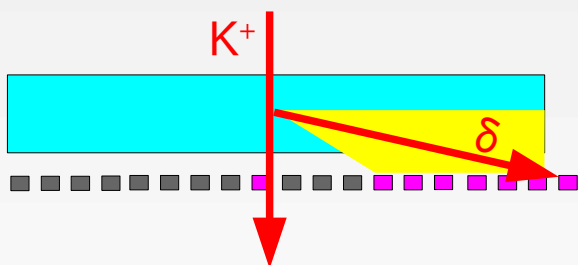
チェレンコフ放射あり



チェレンコフ放射なし



反跳電子あり



高汎用性PID

追加仕様: π / K / p 識別

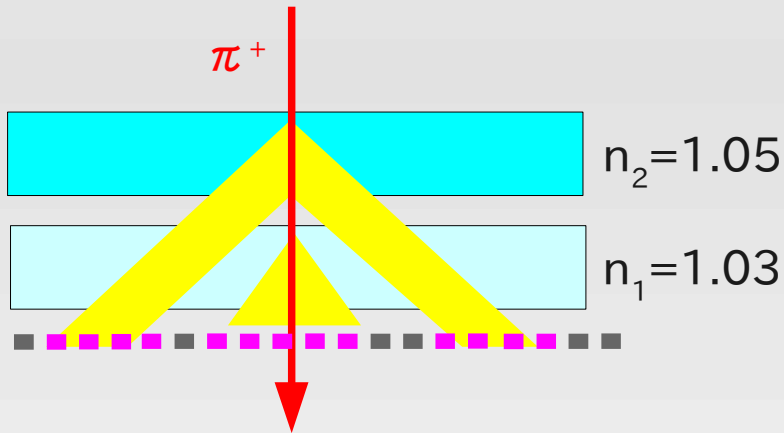
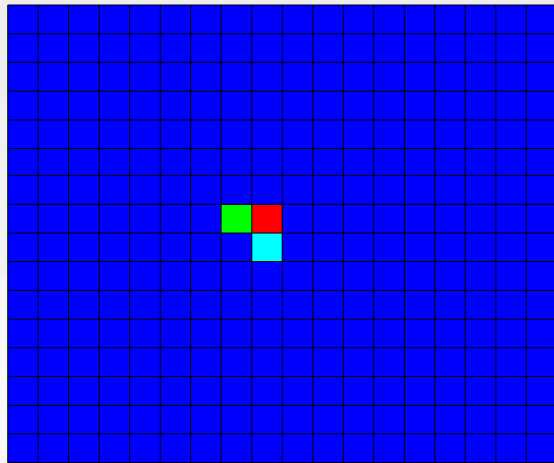
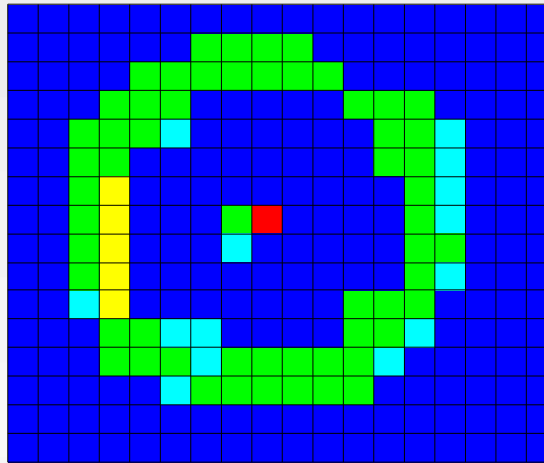


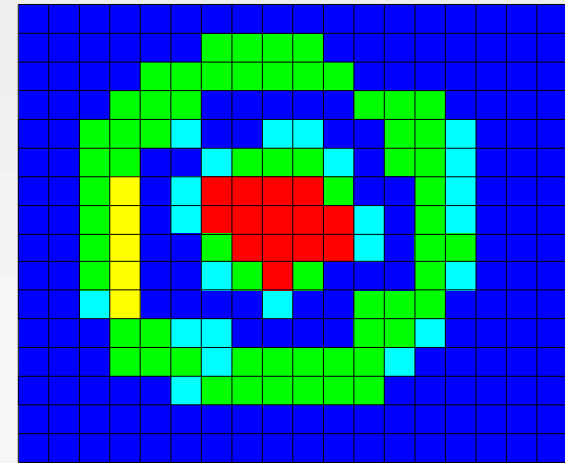
Image distribution



p



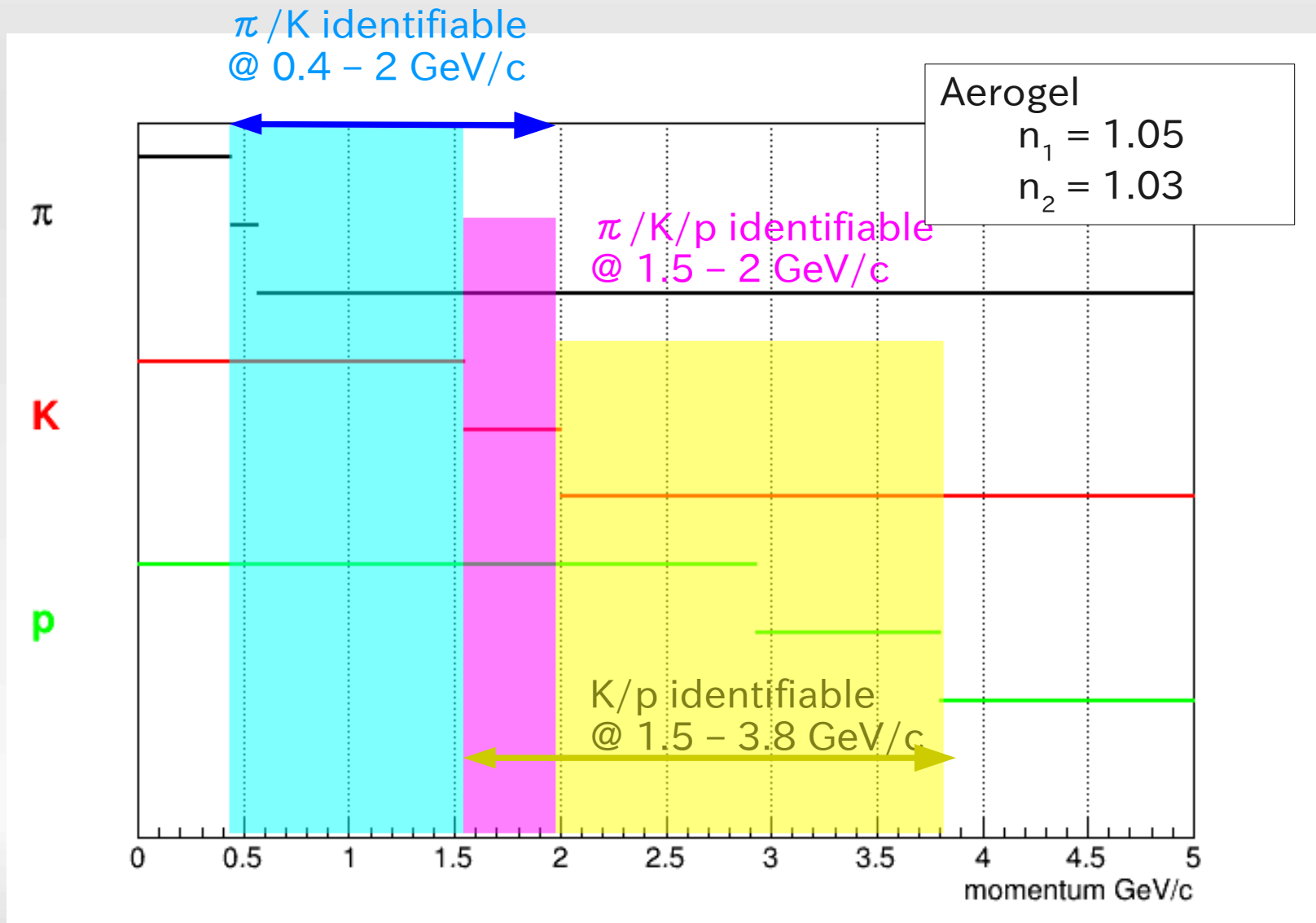
K^+



π^+

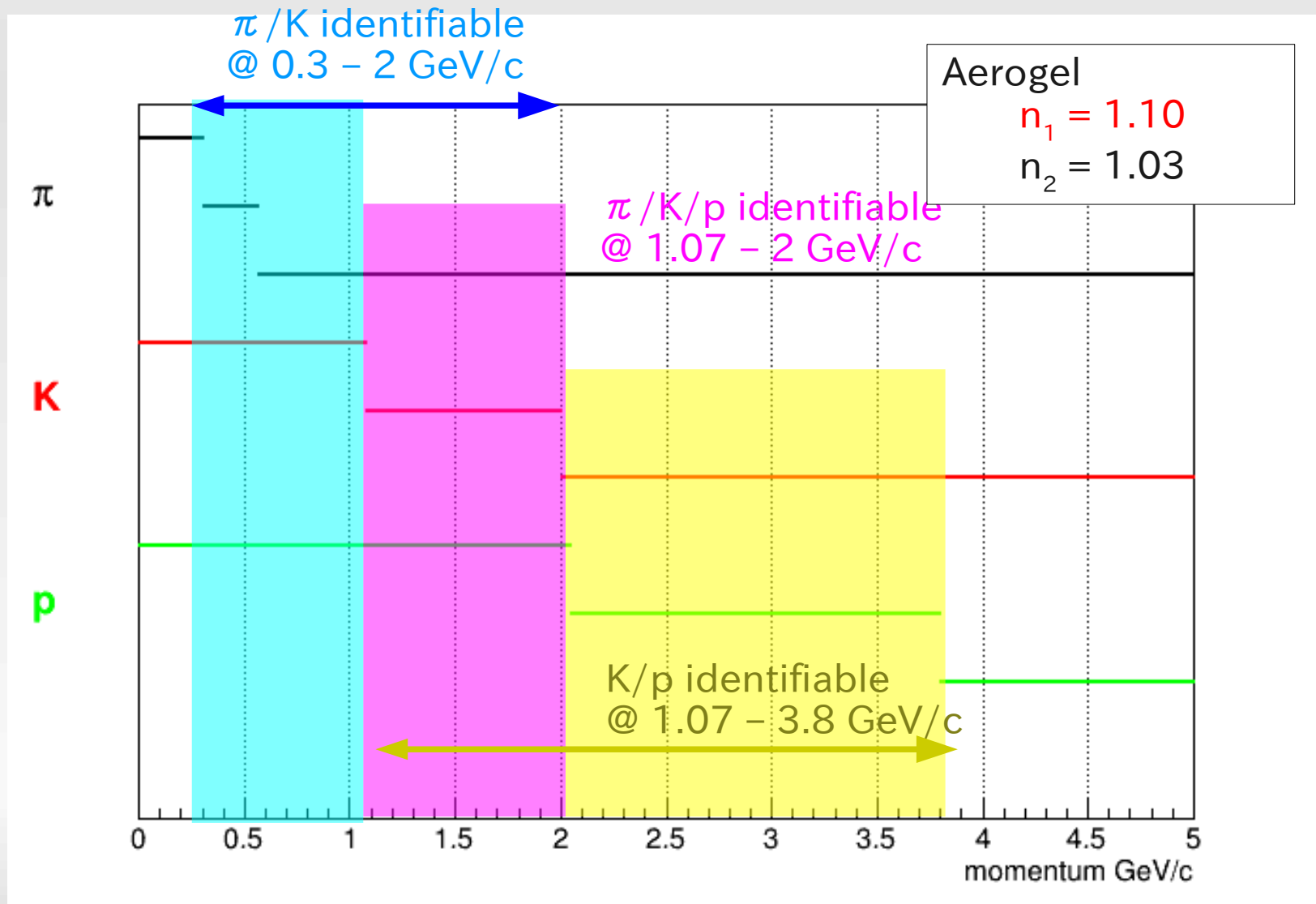
高汎用性PID

追加仕様: π / K / p 識別



高汎用性PID

追加仕様: π / K / p 識別



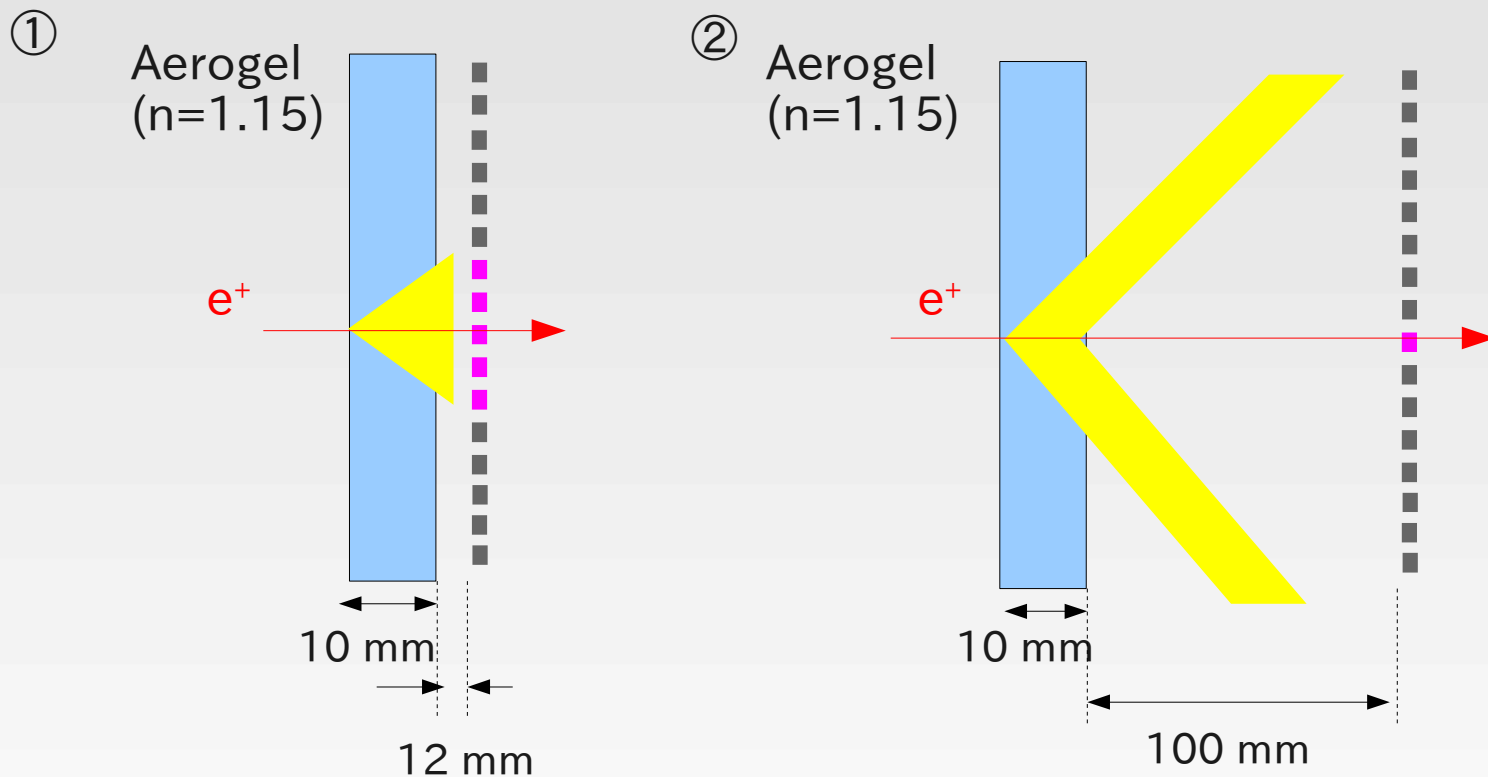
Index

1. シリカエアロゲルの宣伝
2. エアロゲルチェレンコフカウンター(AC)
3. 高汎用性PID
4. ビームテスト結果
5. まとめ

ビームテスト結果

Setup

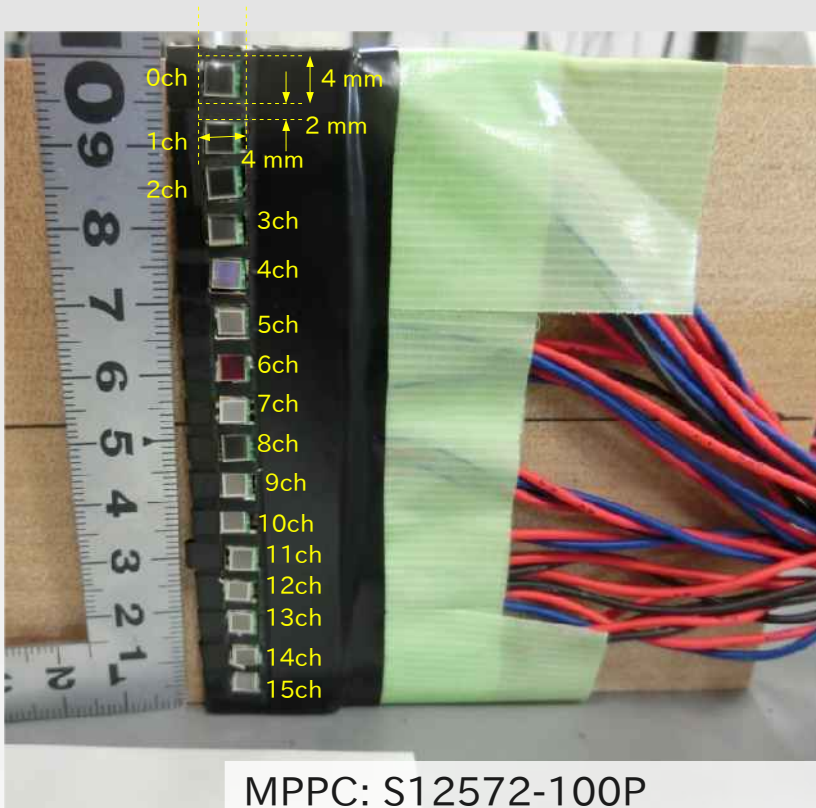
ELPH: 東北大学電子光物理学研究センター
e⁺ Beam line @ GeV Gamma room



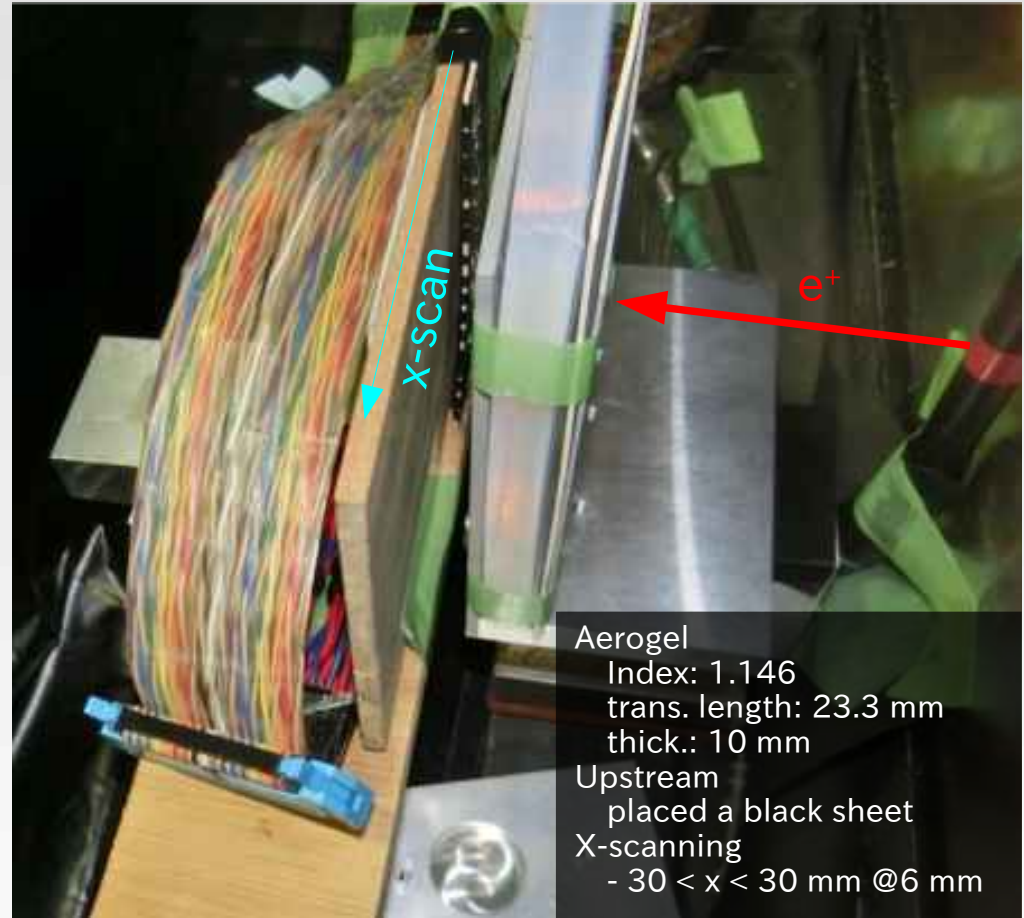
MPPC: S12572-100P, □3 mm, 16 ch
EASIROC module ... readout MPPCs

ビームテスト結果

Setup

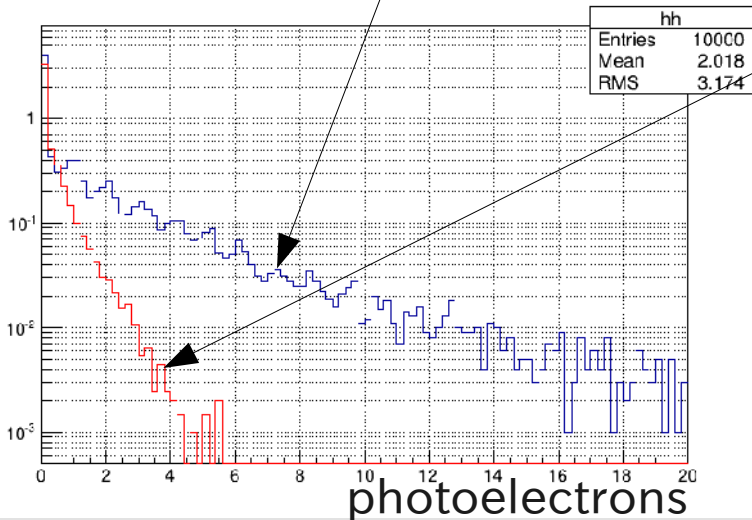
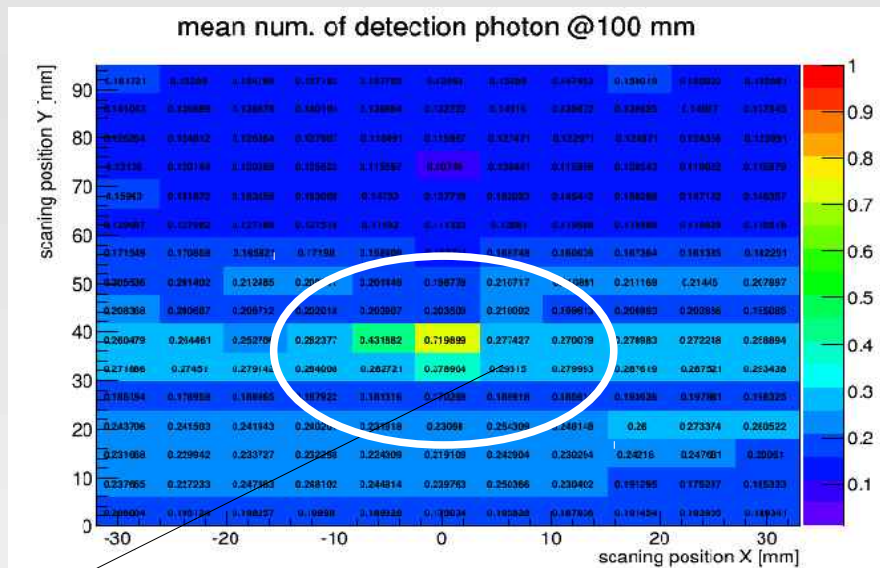
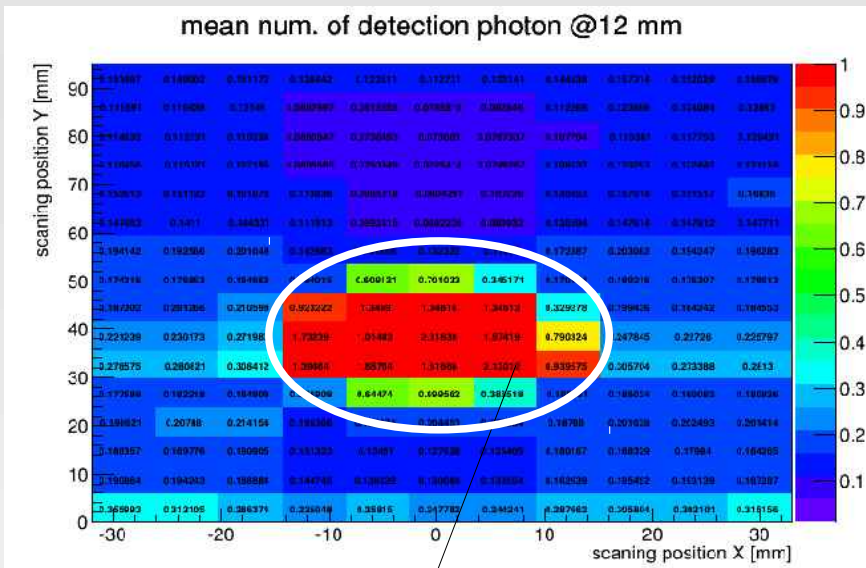


MPPC: S12572-100P
eff. area: $\square 3$ mm
Outside area: $\square 4$ mm
Scanning acceptance 0.25



ビームテスト結果

Distribution mean p.e. of MPPCs

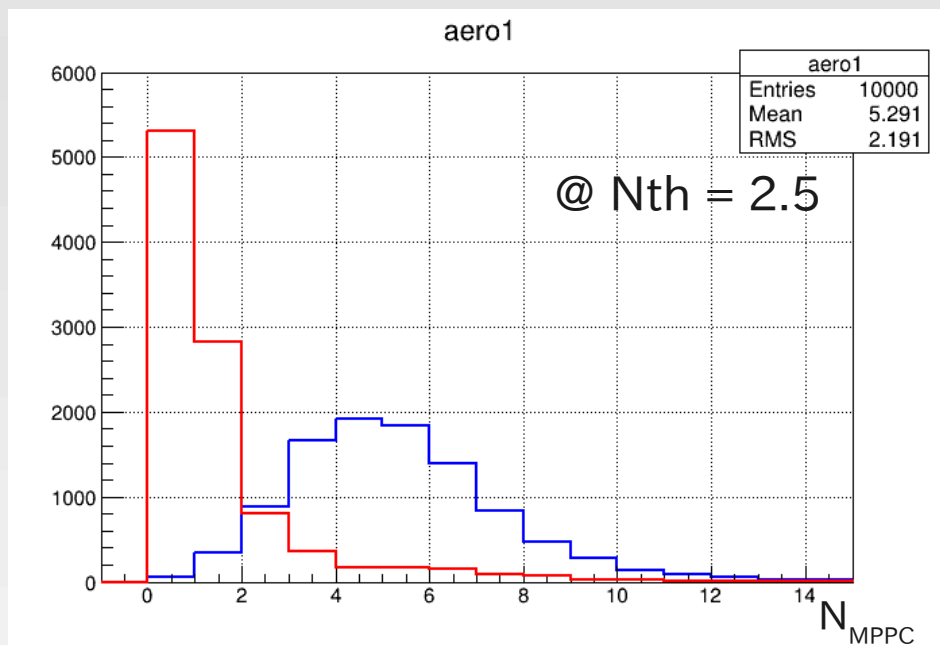


These distribution of Cherenkov are clearly.

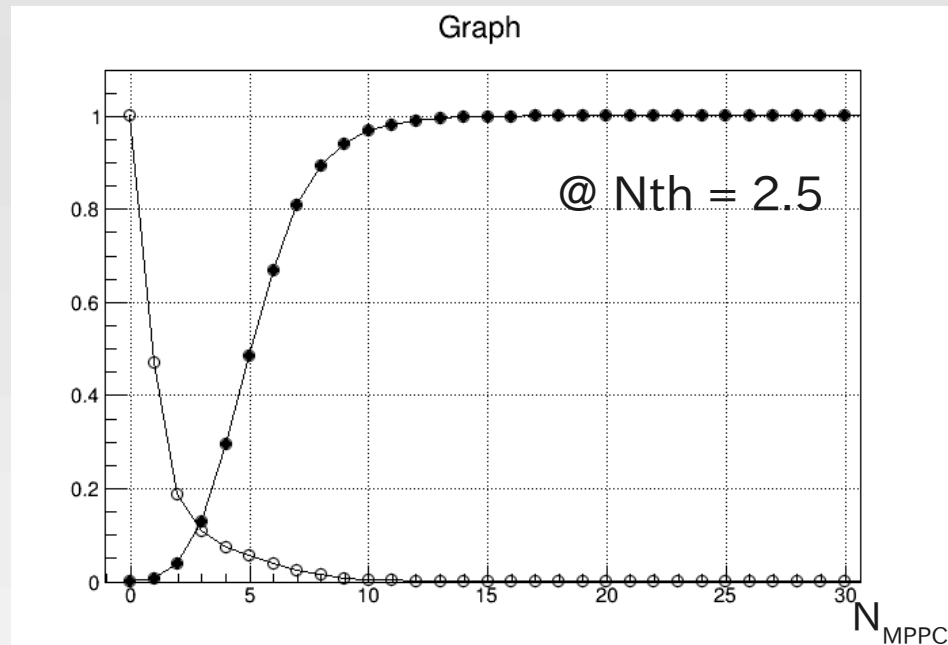
In main Cherenkov region channels, total num. of p.e. is 23 and 6, respectively.

ビームテスト結果

176 MPPCs PID estimation



N_{MPPC} Distribution
Blue ... 12 mm
Red ... 100 mm

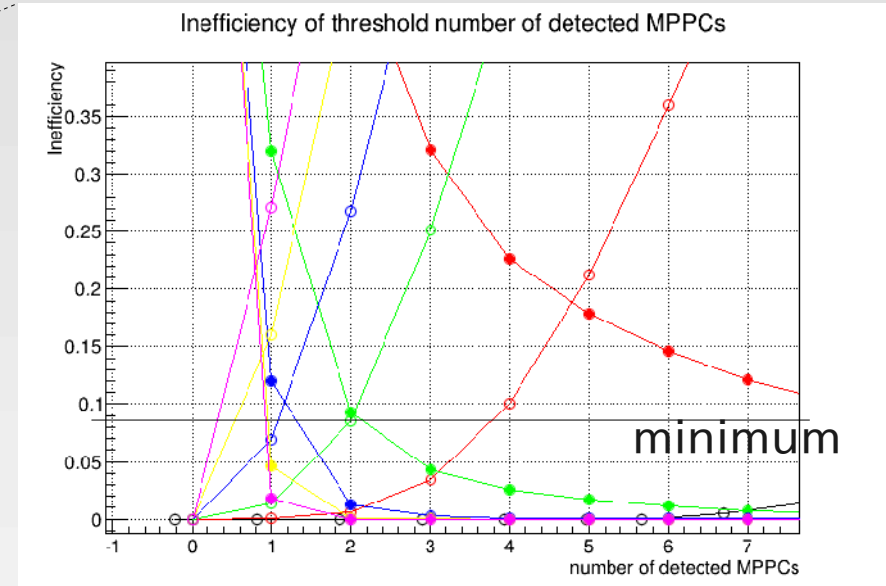
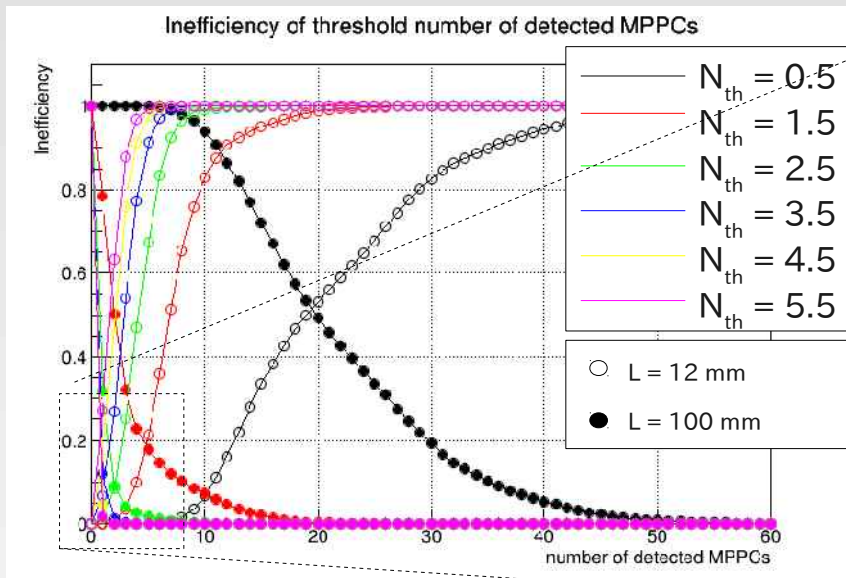


Miss-Id of Cherenkov
● ... 12 mm
○ ... 100 mm

N_{MPPC} : 反応MPPC個数しきい値
 N_{th} : 各MPPCのp.e.しきい値

ビームテスト結果

176 MPPCs PID estimation



Minimum Mis-Id is 0.09
→ PID: 91% @ $N_{th} = 2.5$, $N_{MPPC} = 2$

N_{MPPC} : 反応MPPC個数しきい値
 N_{th} : 各MPPCのp.e.しきい値

ビームテスト結果

考察

なぜ、17 p.e.あるのにPIDは90%程度なの？

- >> MPPCのノイズとクロストークが原因では
- ノイズ: N_{MPPC} を上げる必要がある
 - クロストーク: p.e.とeffの関係を壊す

$$N(n=1.15, d=1\text{cm}, \beta=1) \sim 93$$
$$\rightarrow N_{\text{p.e.}} = N * \varepsilon_{\text{MPPC}} * \Omega \sim 8 \text{ p.e.}$$

$$\varepsilon_{\text{MPPC}} = 0.35$$
$$\Omega = 0.25$$

MPPCのアクセプタンスは適正？

- 本測定では25%

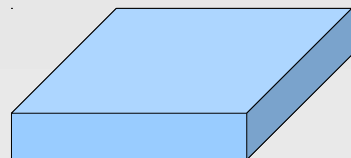
まとめ

- エアロゲルの製作・提供
任意屈折率(1.003 – 1.26)
透明なエアロゲルを製作しています。
- 高汎用性ACの開発
「エアロゲル下流直後にMPPCアレイ」設計
大面積・薄型・高磁場中
反跳電子の除去でPID99%
2種類のエアロゲルを使用して $\pi/K/p$
- MPPC Linear スキャンテスト
Aerogel(n=1.15、TL=23 mm)
MPPC (□3 mm、16 Linear, Acceptance 25%)
Cherenkov Distribution Clearly
PID90%程度 ← 原因はMPPCノイズ&クロストーク
- 今後の計画
浜ホト new MPPC(S13360シリーズ)を使用
異なる屈折率でチェレンコフリング縞を観測

Backup

エアロゲルの価格

1バッチ = 2L



10 x 10 x 2 cm³

× 10コ分

1週間で2バッチが限界
→ 1ヶ月で8バッチ
→ max 16 L / 月

3ヶ月目からの製作依頼では10万円/バッチ 引き

ピンホール	あり	なし
屈折率	1.03 – 1.26	1.003 – 1.08
製作期間	3ヶ月	2ヶ月
値段	40万円/バッチ	30万円/バッチ

千葉大との契約

大学同士の契約ができる場合

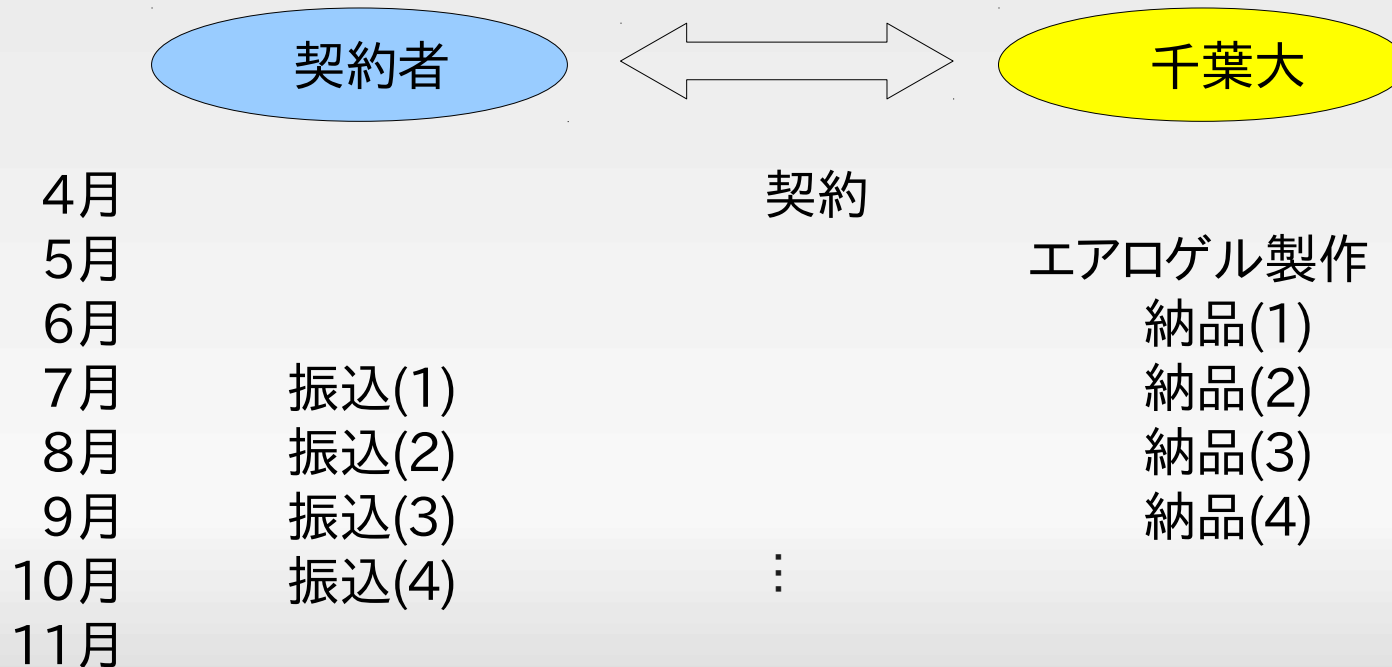
大学同士の契約ができない場合

	間接経費
受託研究契約	+30%
共同研究契約	+10%
研究成果物有償譲渡契約	+0%

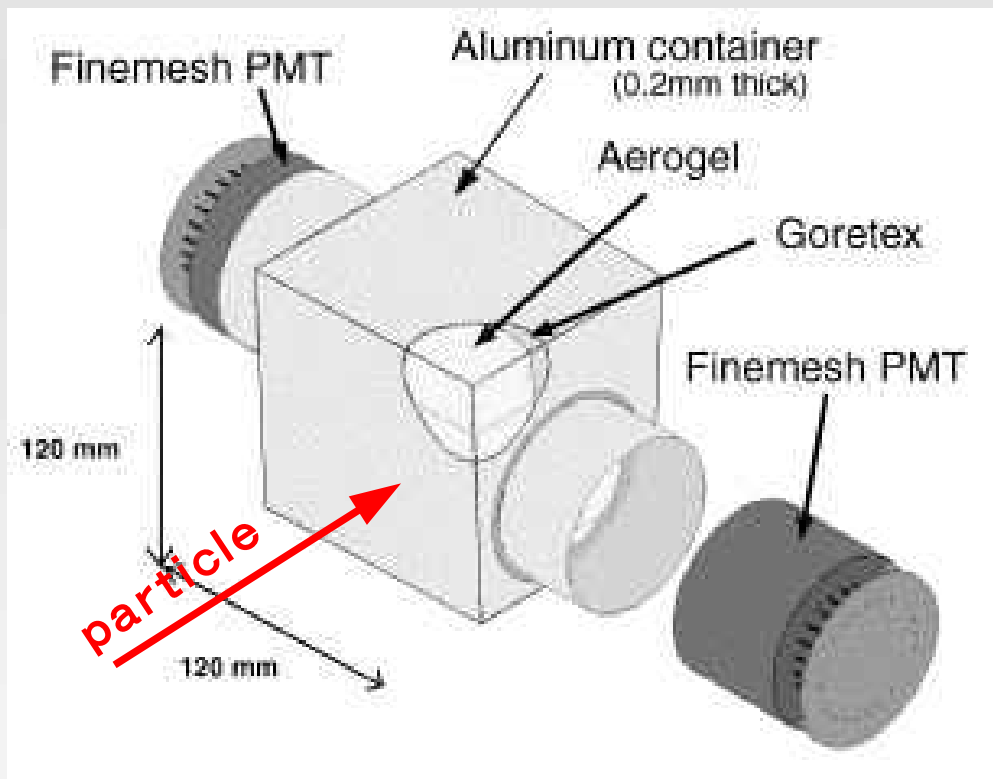
間に企業が入ってもらって、
契約する。
企業の手数料がいくらかかる

オススメ

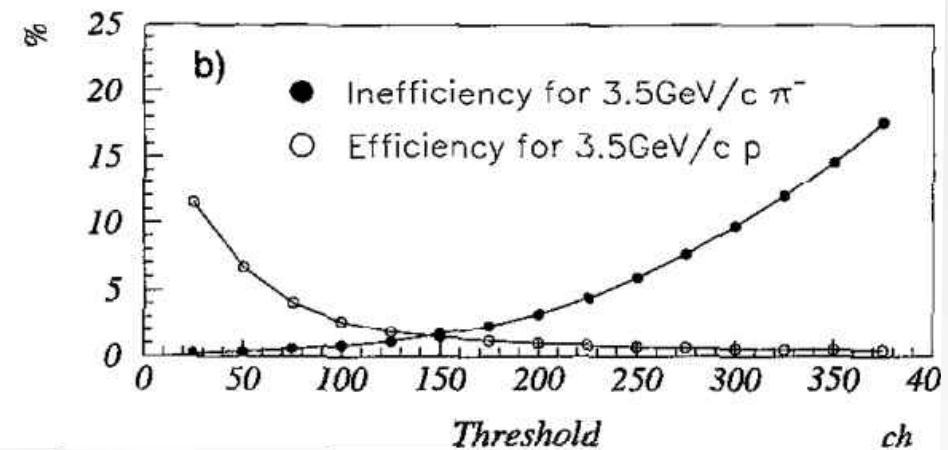
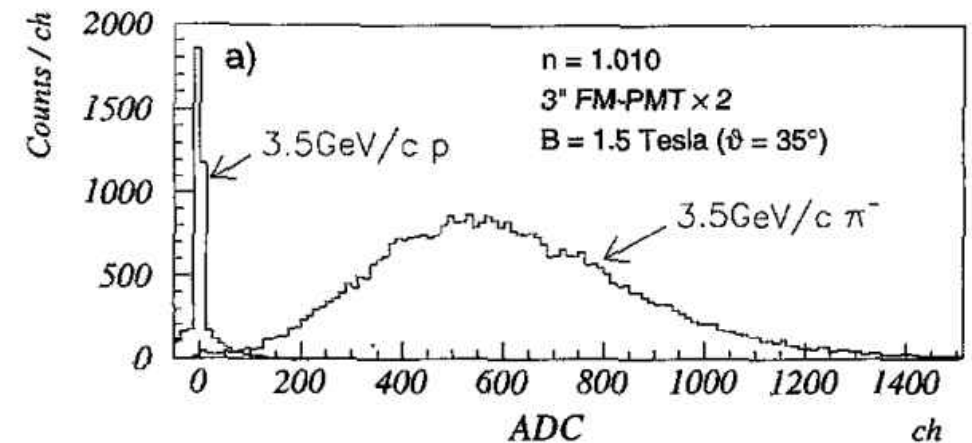
契約のながれ(例)



エアロゲルチェレンコフカウンター(AC)



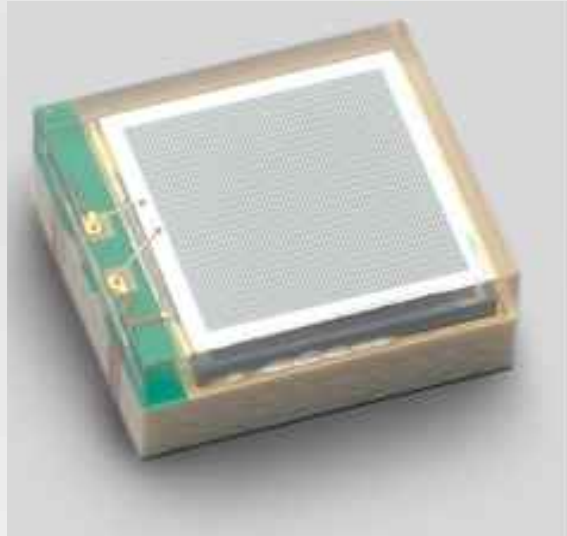
Belle ACのデザイン、T. Iijima et al. / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 453 (2000) 321-325



T. Iijima et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A 379 (1996) 457 - 459.

高汎用性PID

チェレンコフ光読出し



MPPC HAMAMATSU K.K.
New S13360 Series

- Lower Cross Talk
- Lower After Pulse
- Lower Dark Current



KEK & Tohoku Univ.

New EASIROC module

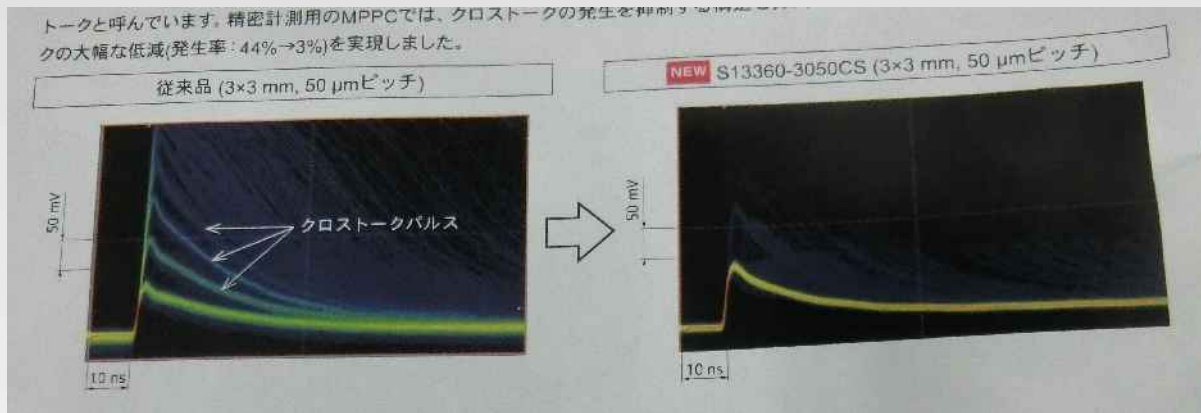
- Max 64 ch ADC+HV
- Cost: 300 – 500 kYen
- Ethernet Operation

Backup

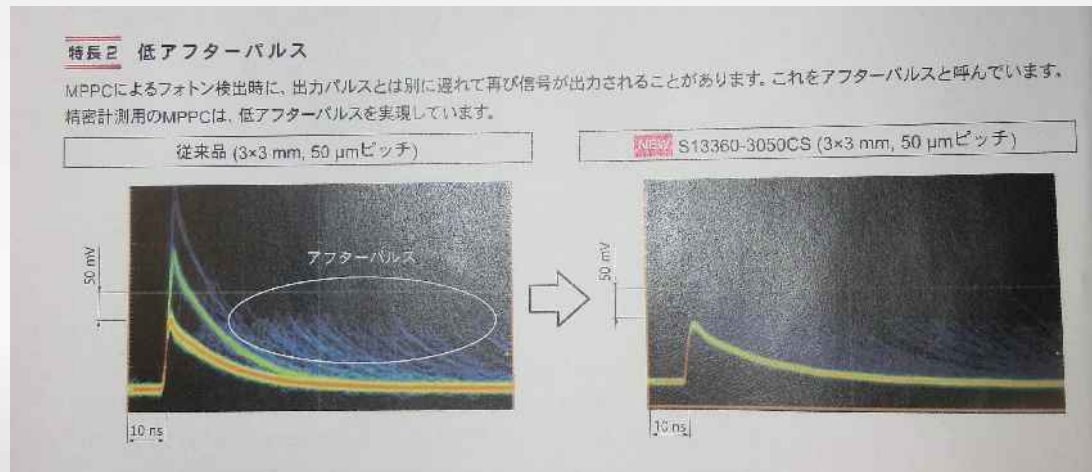
MPPC HAMAMATSU K.K.

New S13360 Series

Lower Cross Talk



Lower After Pulse

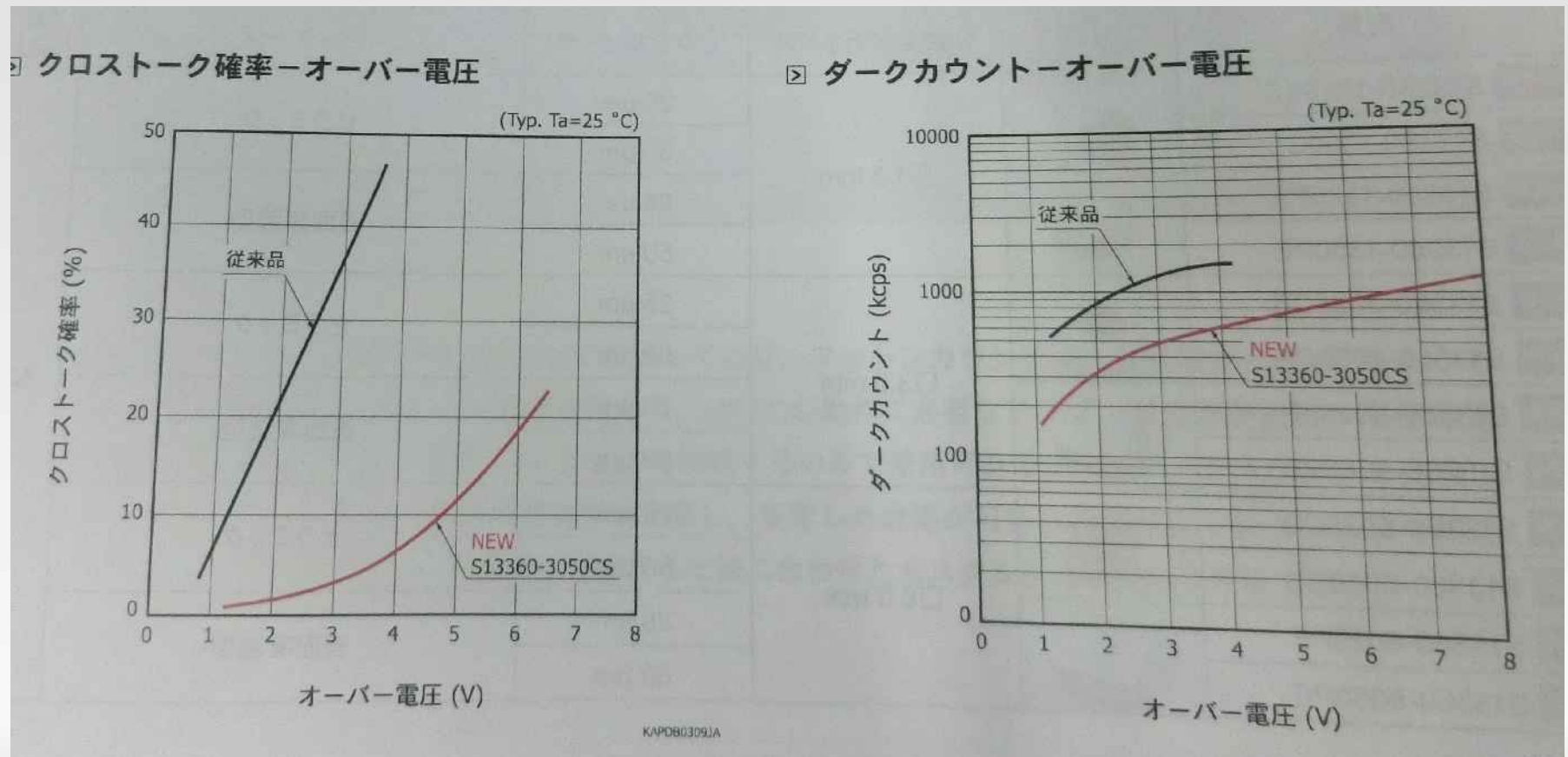


Backup

MPPC HAMAMATSU K.K.

New S13360 Series

Contribution at Over Voltage



Backup

MPPC HAMAMATSU K.K. New S13360 Series

	S12572	S13360	
	-100P	-3050PE	-6050PE
Effective photosensitive area	3 × 3 mm ²	3 × 3 mm ²	6 × 6 mm ²
Pixel pitch	100 μm	50 μm	50 μm
Number of pixels	900	3600	14400
Number of channels	1 ch		
Package	Surface mount type		
Cooling	Non-cooled		
Spectral response range	320 to 900 nm		
Peak sensitivity wavelength (typ.)	450 nm		
Dark count (typ.) 0.5 th	1000 kcps	500 kcps	2000 kcps
(Max.)	2000 kcps	1500 kcps	6000 kcps
Terminal capacitance (typ.)	320 pF	320 pF	1280 pF
Gain (typ.)	2.8 × 10 ⁶	1.7 × 10 ⁶	
Recommended operating voltage (typ.)	VBR + 1.4	VBR + 3 V	
price	2 kYen/個 (100個)	7 kYen/個 (100個単位) 6 kYen/個 (100個単位)	11 kYen/個 (50個単位) 10 kYen/個 (100個単位)

HAMAMATSU Catalog data

Backup

KEK & Tohoku Univ. New EASIROC module

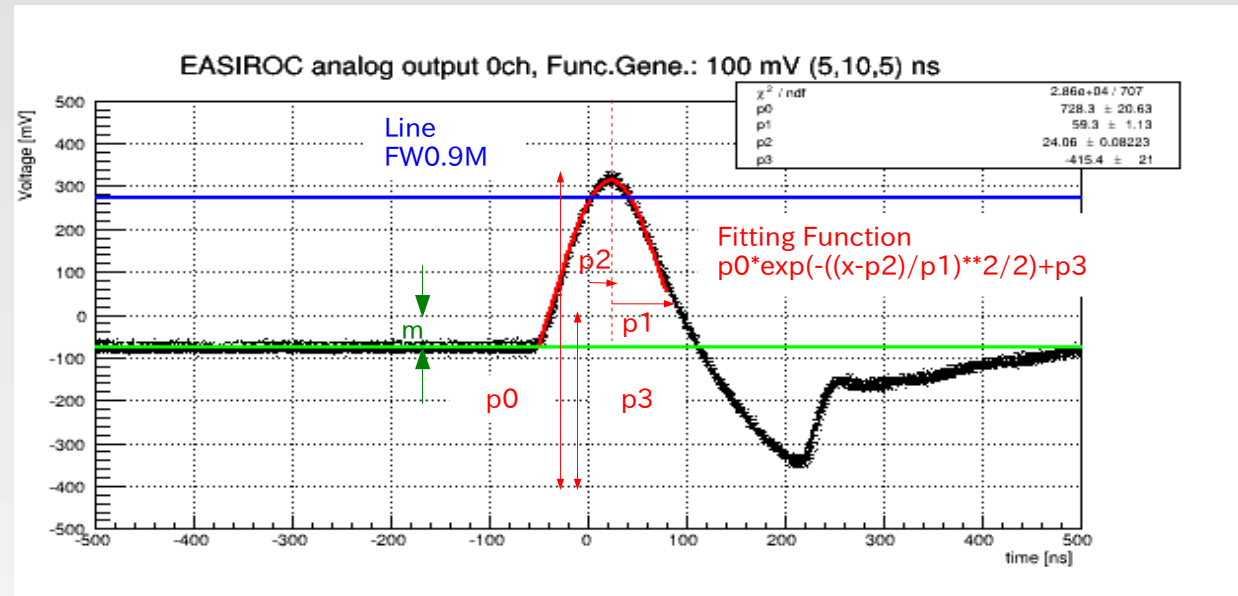
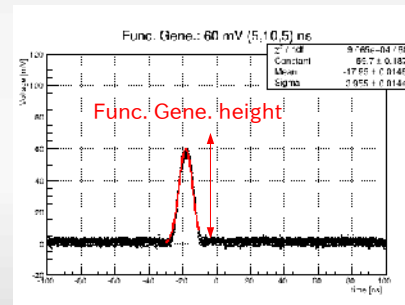


Fig. Analog output signal

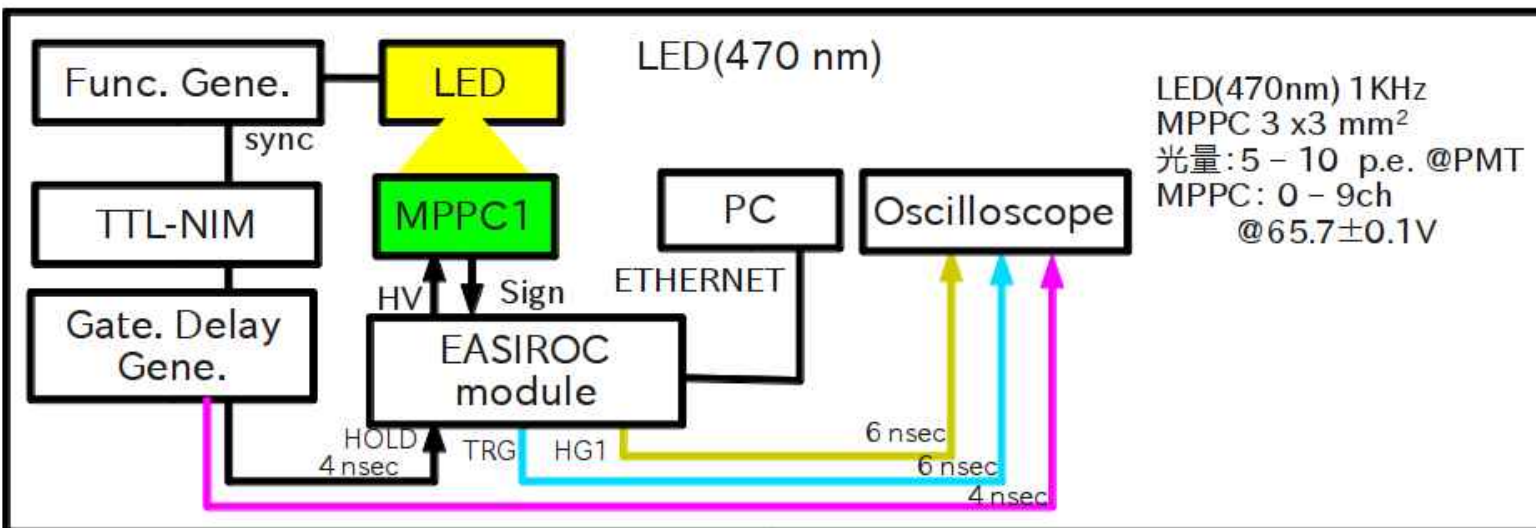
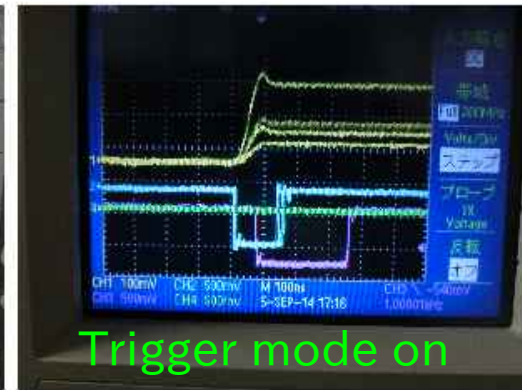
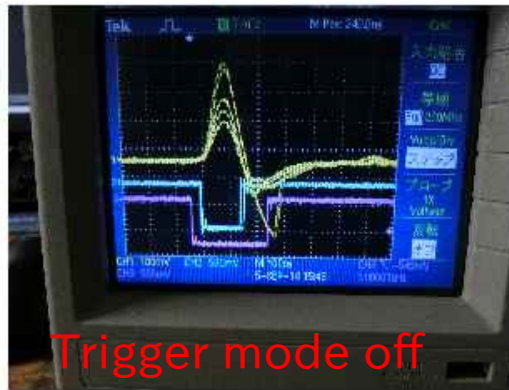
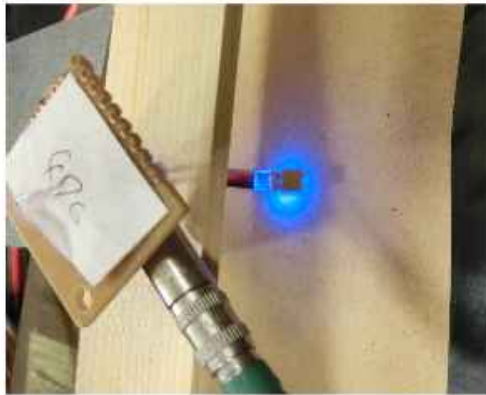
- EASIROC 2 chip
- Maximum 64ch ADC HV supply
- Trigger Logic
- PreAmp gain
- Slow Shaper time coefficient
- Lower Cost: 300 – 400 kYen



Input signal made from Function Generator

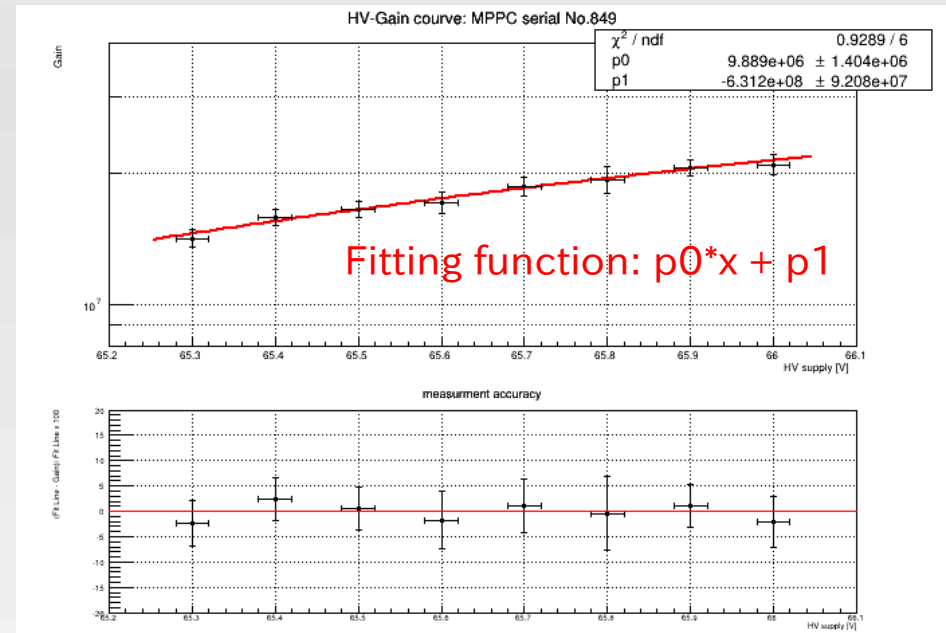
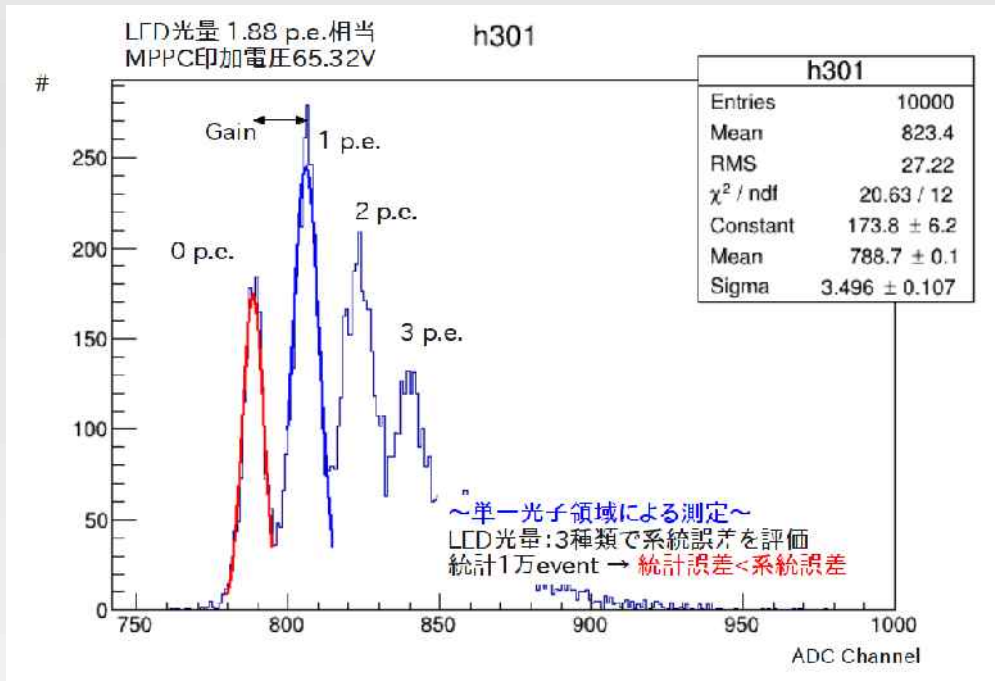
Backup

MPPC Calibration using EASIROC module



Backup

MPPC Calibration using EASIROC module



$$\mu(V) = \frac{(M_{n+1} - M_n)C_{MPPC}C_{ADC}}{e}, (n = 0)$$

- M_n ... ピークnの平均値
- C_{MPPC} ... MPPCの容量[pF]
- C_{ADC} ... ADCの変換係数[mV/ADC]

$$\mu = \frac{Q}{e}$$

$$Q = C(V_R - V_{BR}),$$

$$N_{photo} \propto Q = \sum_i Q_i$$

Backup

Calculation number of Cherenkov photons

@ $\beta = 1$, thickness=1 cm, 400-600 nm

n	angle[deg.]	num.ph.
1.01	8.1	7.5
1.02	11.4	14.8
1.03	13.9	21.9
1.04	16.0	28.8
1.05	17.8	35.5
1.06	19.4	42.0
1.07	20.9	48.3
1.08	22.2	54.5
1.09	23.5	60.5
1.10	24.6	66.3
1.11	25.7	72.0
1.12	26.8	77.5
1.13	27.8	82.8
1.14	28.7	88.1
1.15	29.6	93.2
1.16	30.5	98.1
1.17	31.3	102.9
1.18	32.1	107.7
1.19	32.8	112.2
1.20	33.6	116.7

$$N \sim 2\pi\alpha L \left(1 - \frac{1}{n^2\beta^2}\right) \int \frac{d\lambda}{\lambda^2}$$

Backup

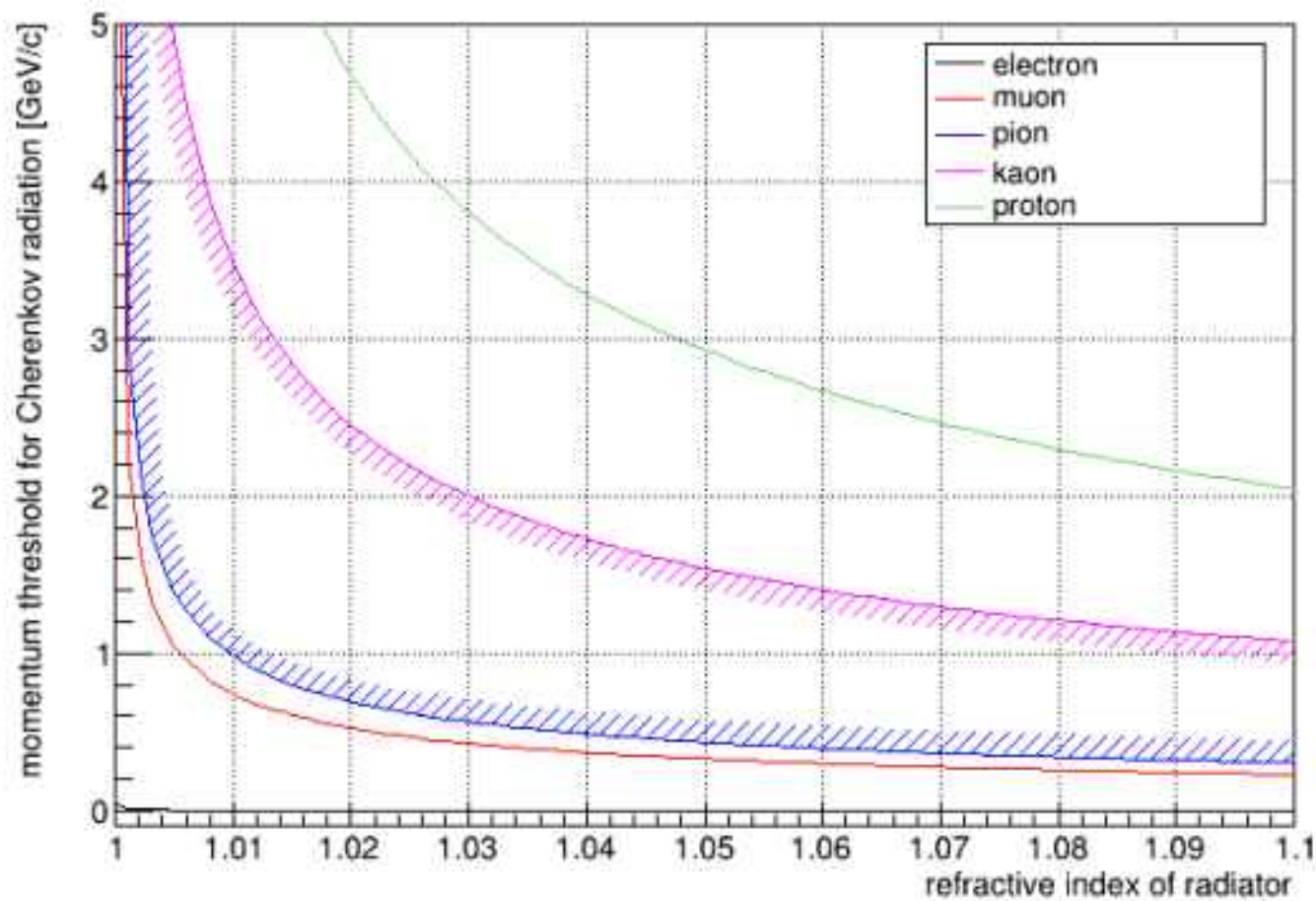
Calculation number of Cherenkov photons in a case of π (1.5 GeV/c)
@ $\beta = 0.996$, thickness=1 cm, 400-600 nm

n	angle [deg.]	num.ph	
1.01	6.1	4.3	
1.02	10.1	11.7	
1.03	12.8	18.8	
1.04	15.1	25.8	
1.05	17.0	32.5	
1.06	18.7	39.1	
1.07	20.2	45.5	
1.08	21.6	51.7	
1.09	22.9	57.7	
1.10	24.1	63.6	
1.11	25.2	69.3	
1.12	26.3	74.8	
1.13	27.3	80.2	
1.14	28.3	85.5	
1.15	29.2	90.7	
1.16	30.0	95.7	
1.17	30.9	100.5	
1.18	31.7	105.3	
1.19	32.5	109.9	
1.20	33.2	114.4	

$$N \sim 2\pi\alpha L \left(1 - \frac{1}{n^2\beta^2}\right) \int \frac{d\lambda}{\lambda^2}$$

Backup

PID of threshold type Cherenkov Counter



Backup

Cherenkov info.

屈折率 n の媒質に荷電粒子が速度 $\beta = v/c > c/n$ で走った時、チェレンコフ放射する。チェレンコフ角は

$$\cos \theta_C = 1/n\beta$$

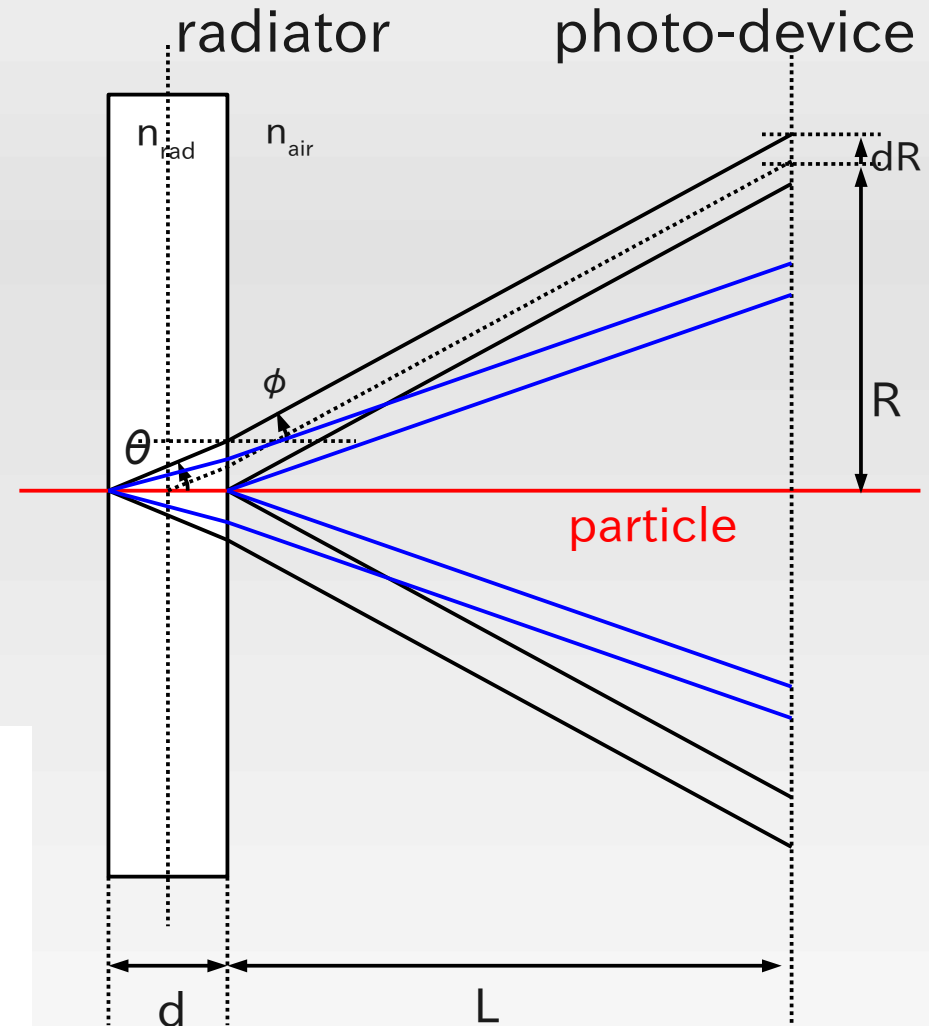
同じ運動量領域でチェレンコフ角を測定して粒子識別する方法をRICHという。

$$R = \frac{1}{2}d \tan \theta_C + L \tan \varphi$$

$$\delta R = \frac{1}{2}d \tan \theta_C$$

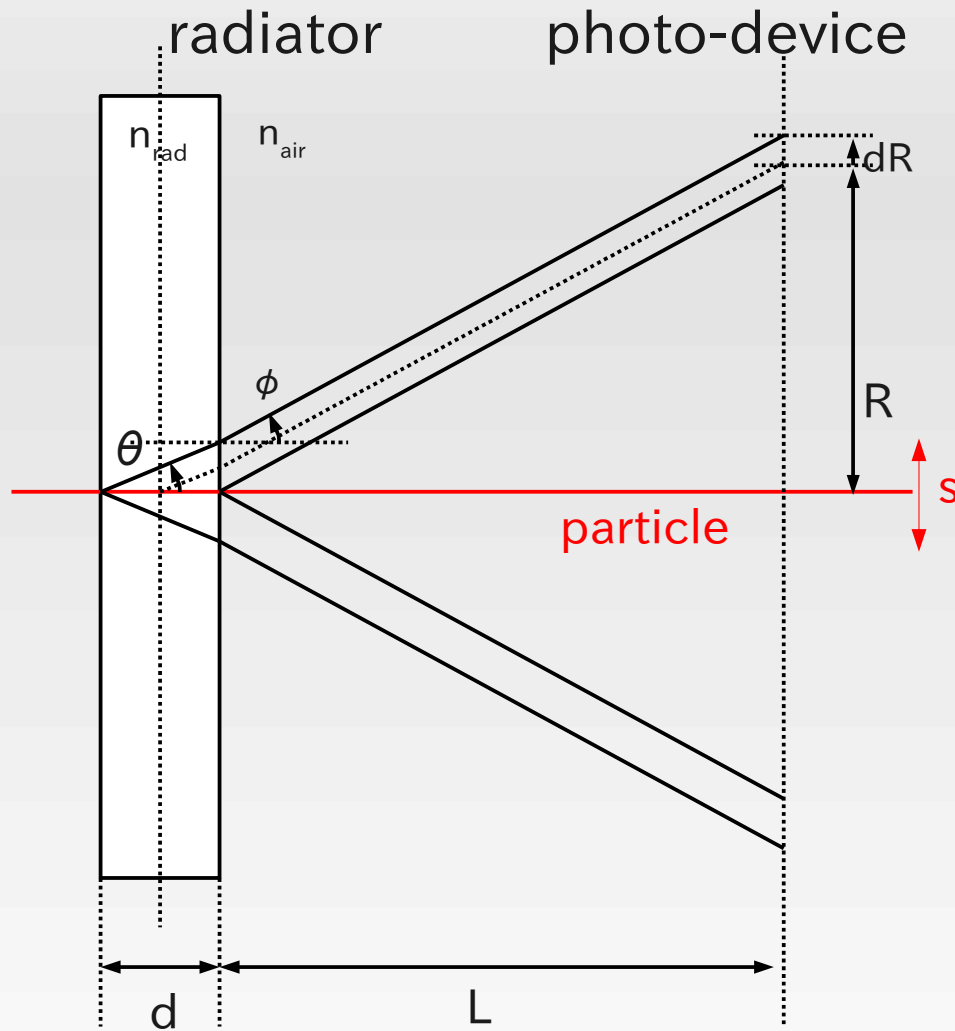
$$\theta_C = \cos^{-1} 1/n\beta$$

$$\sin \varphi = \frac{n_{rad}}{n_{air}} \sin \theta_C$$



リングイメージングチェレンコフの模型

Backup



$$N=1.15, d=10 \text{ mm}, L_1=12 \text{ mm}, \\ L_2=100 \text{ mm}$$

$$r_1 \sim 10.58 \pm 2.74 \text{ mm}$$

$$r_2 \sim 68.14 \pm 2.74 \text{ mm}$$

$$s=10 \text{ mm}$$

$$R=s/2 + r$$

$$R_1 \sim 15 \pm 3 \text{ mm}$$

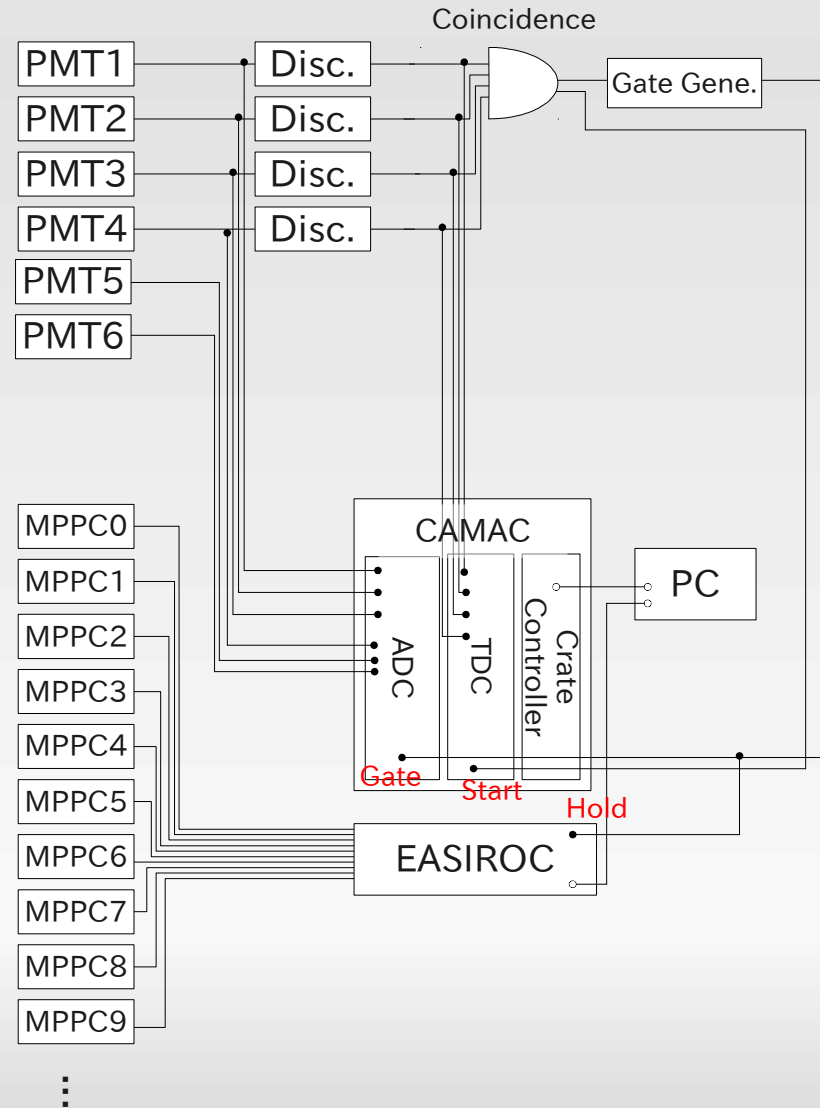
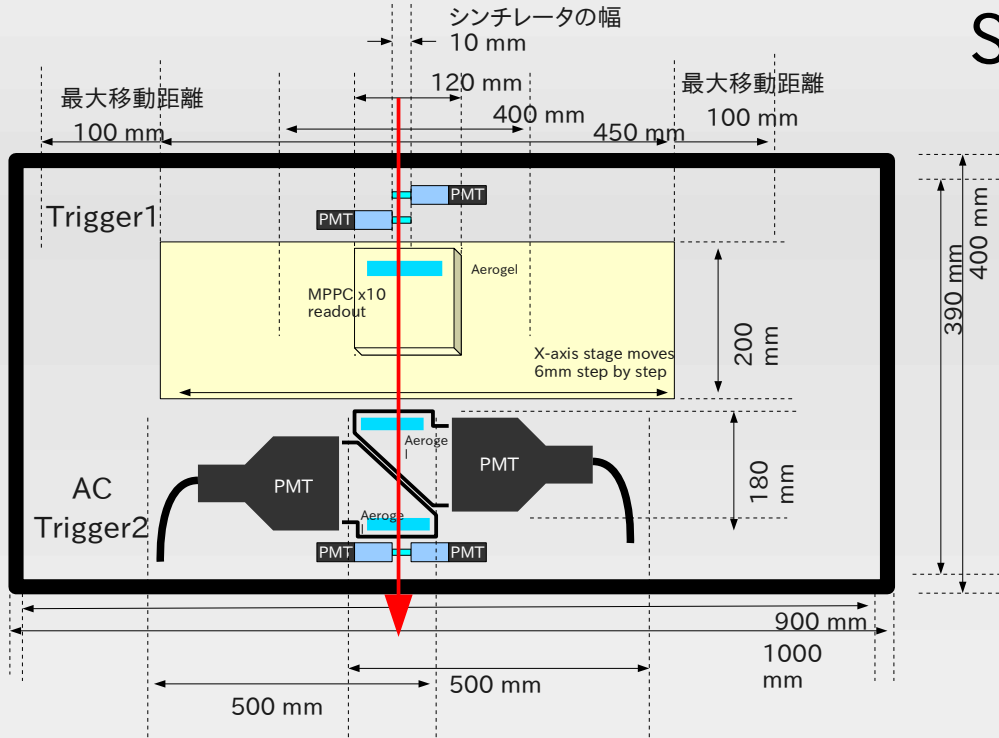
$$R_2 \sim 73 \pm 3 \text{ mm}$$

$L=100 \text{ mm}$ だとスキャン領域から外れる

リングイメージングチェレンコフの模型

ELPH Beam test

Setup

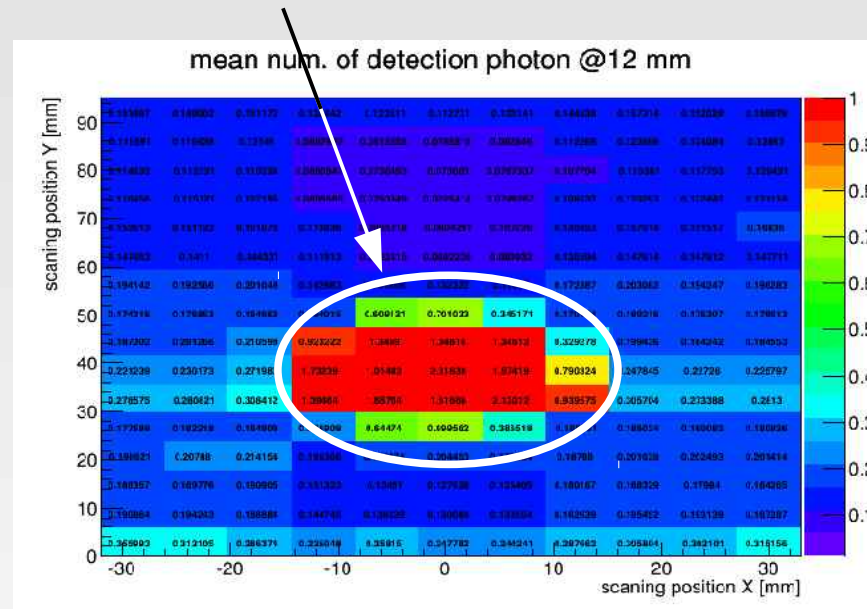


Max 64 ch
ADC & HV

ビームテスト結果

21 MPPCs PID estimation

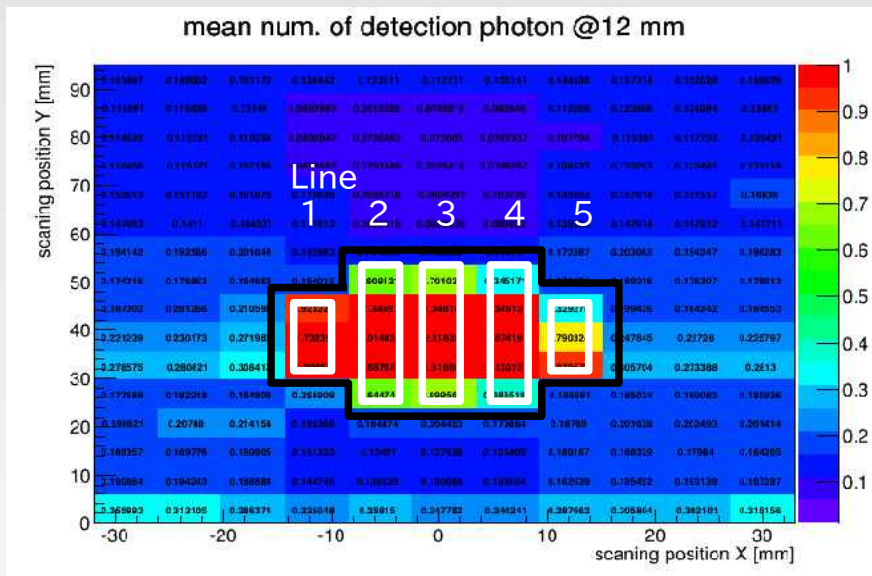
the PID estimated from 21 MPPCs in the same way as 176 MPPCs PID analysis.



When the threshold of MPPC has been configured 3 or more, PID was estimated 90.2% as eff. and 7.2% as mis-id.

ELPH Beam test

21 MPPCs PID estimation



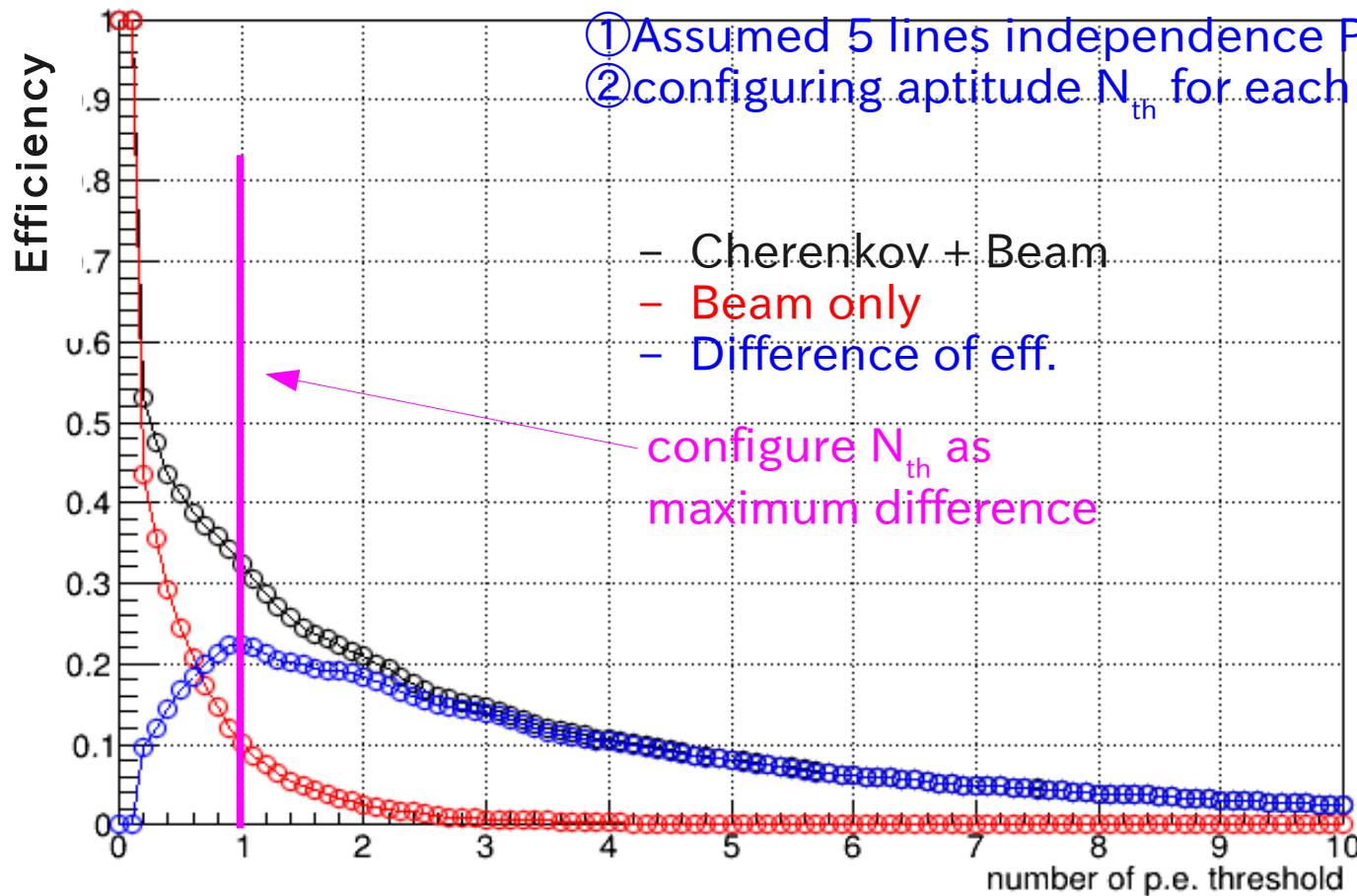
Analysis Method

- ① Assumed 5 lines independence PID detector
- ② configuring aptitude N_{th} for each channel
- ③ configuring aptitude N_{MPPC} in each line
- ④ estimation whole PID decided combination HIT event in 5 lines

ELPH Beam test

21 MPPCs PID estimation

Efficiency of MPPC No. 1

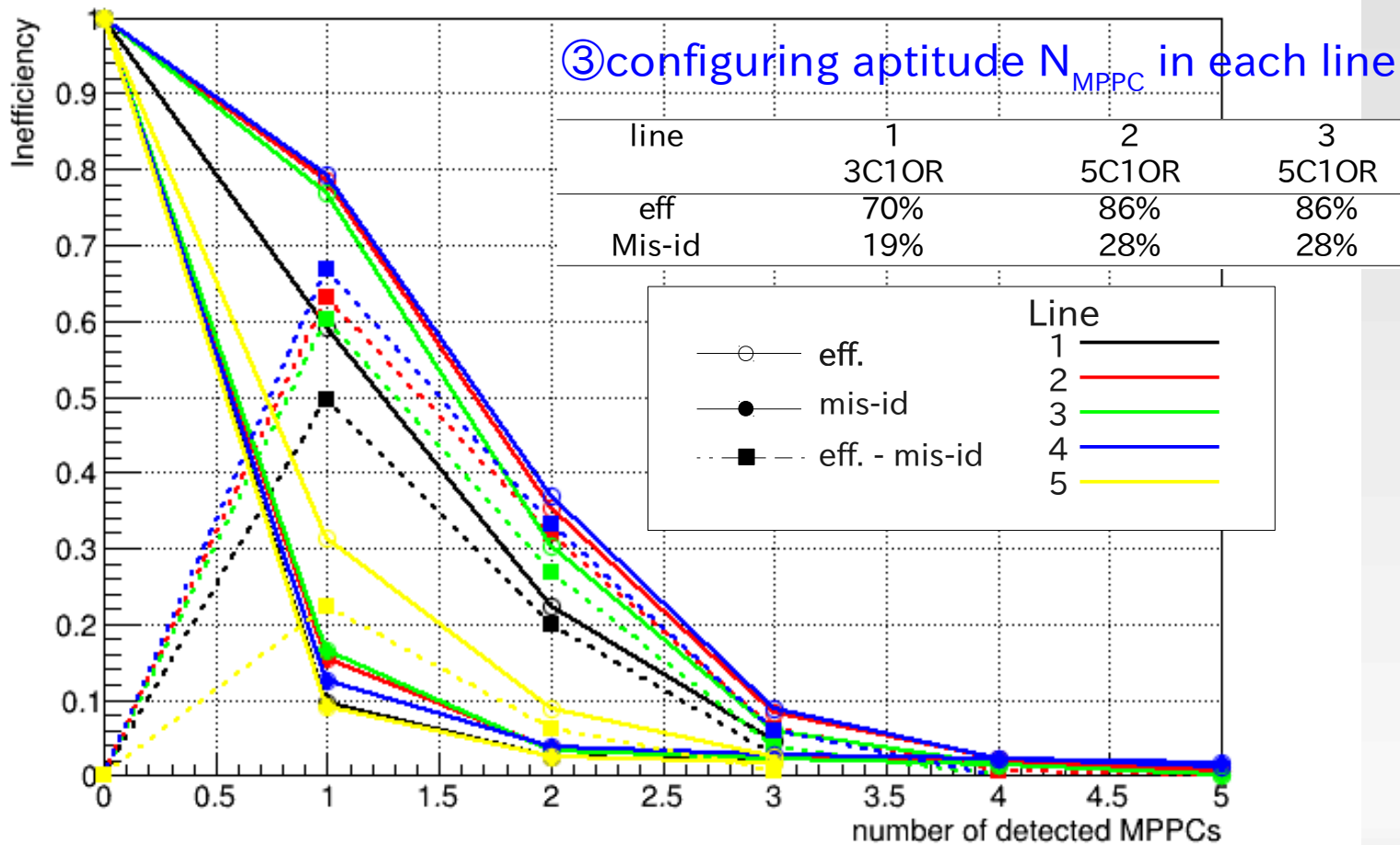


No	Nth	eff	Mis-id
1	0.9	0.34	0.12
2	1.0	0.48	0.12
3	1.0	0.33	0.09
4	1.0	0.28	0.11
5	0.9	0.47	0.12
6	2.0	0.19	0.08
7	0.9	0.44	0.11
8	1.0	0.29	0.11
9	0.9	0.34	0.13
10	0.9	0.36	0.12
11	5.1	0.19	0.03
12	1.0	0.32	0.12
13	1.0	0.31	0.10
14	1.7	0.11	0.04
15	0.9	0.48	0.13
16	0.9	0.46	0.14
17	0.9	0.48	0.12
18	1.8	0.11	0.04
19	2.0	0.07	0.03
20	1.1	0.24	0.10
21	1.0	0.24	0.09

ELPH Beam test

21 MPPCs PID estimation

Inefficiency of threshold number of detected MPPCs



ELPH Beam test

21 MPPCs PID estimation

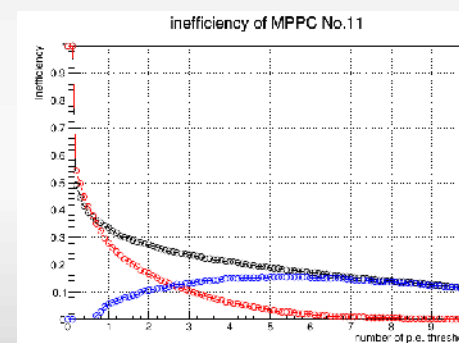
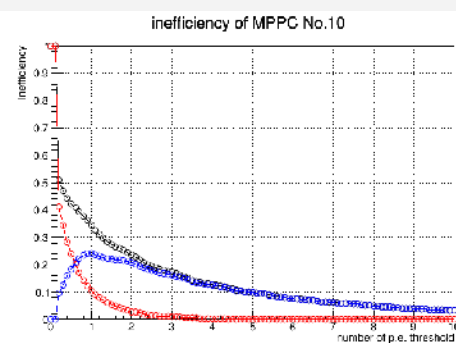
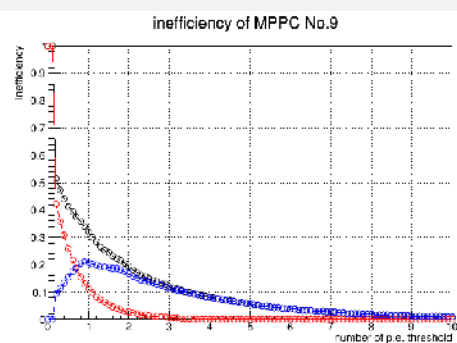
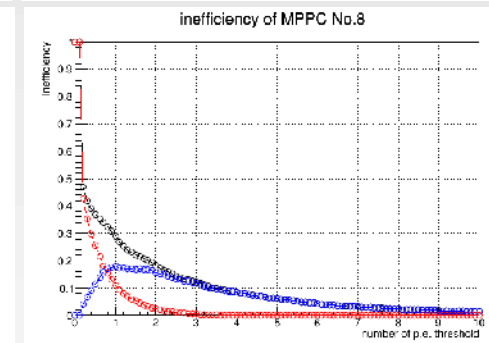
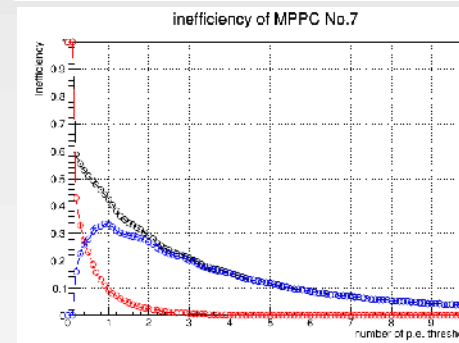
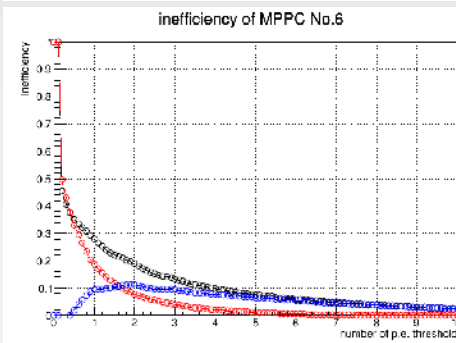
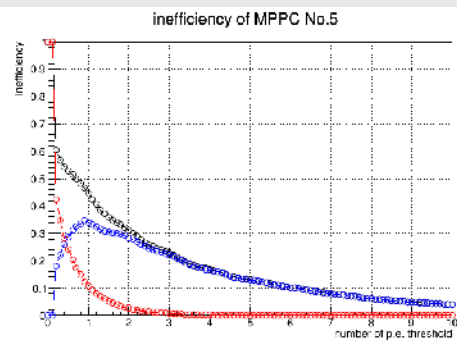
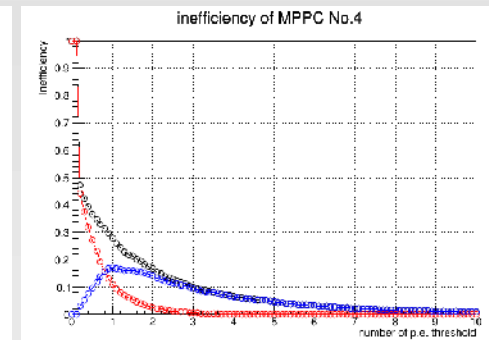
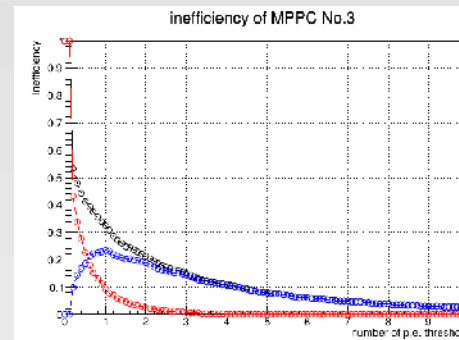
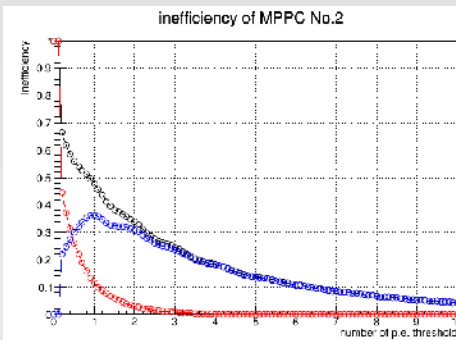
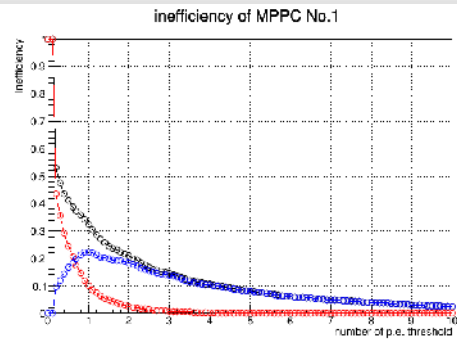
④estimation whole PID decided combination HIT event in 5 lines

	5C5OR	5C4OR	5C3OR	5C2OR	5C1OR
π -eff	16.9%	60.0%	90.2%	98.6%	99.9%
Mis- π	83.1%	40.0%	9.8%	1.4%	0.1%
Mis-K	0.0%	0.9%	7.2%	28.2%	71.5%

Therefore, when the threshold of MPPC has been configured 3 or more, whole PID was estimated 90.2% as eff. And 7.2% as mis-id.

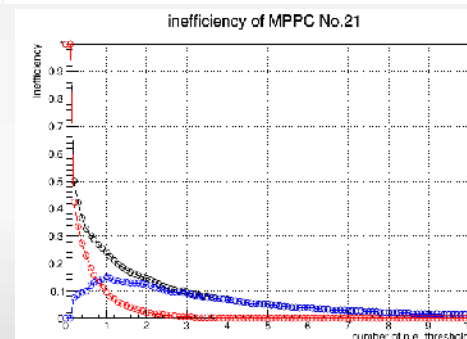
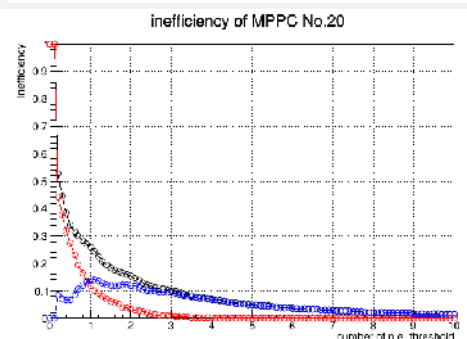
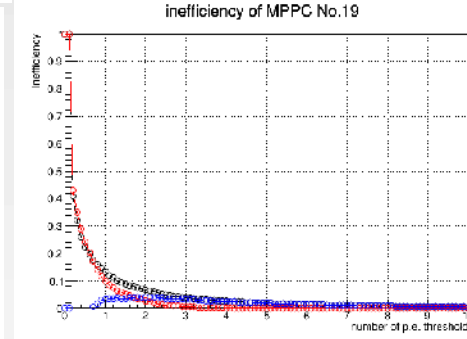
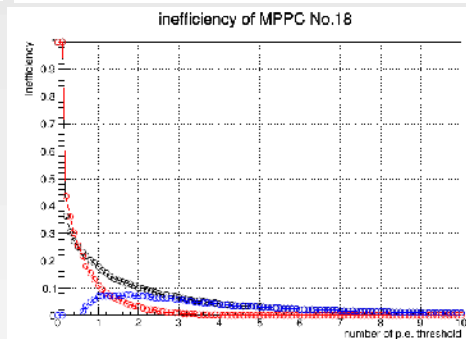
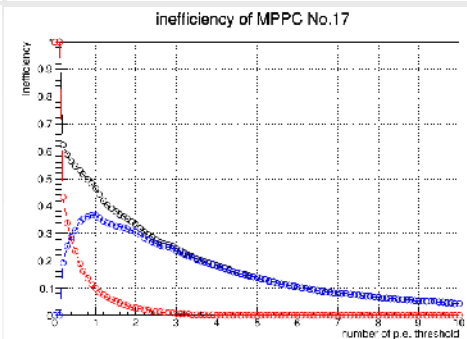
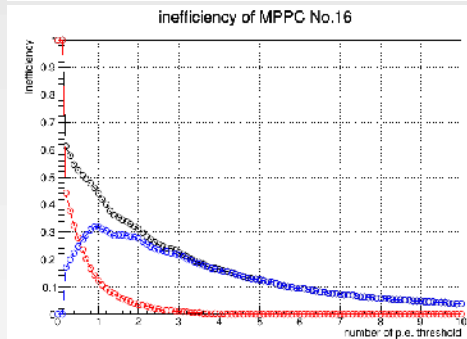
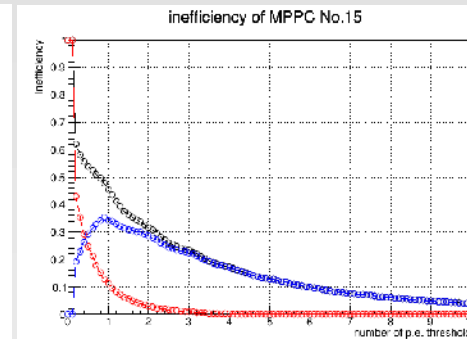
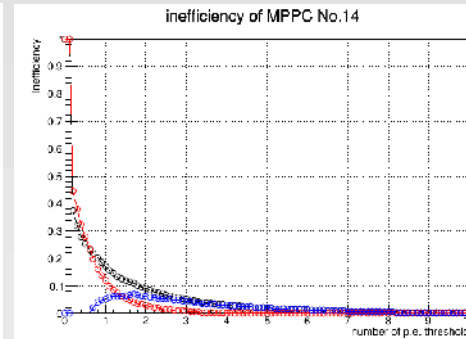
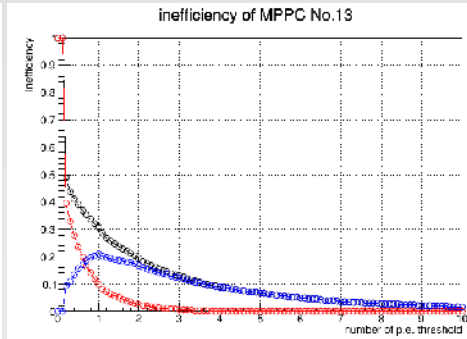
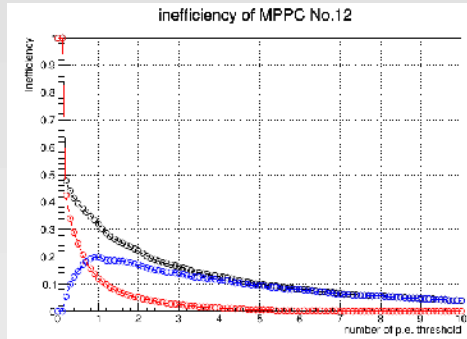
Backup

21 MPPCs PID estimation



Backup

21 MPPCs PID estimation



まとめ

- 高汎用性ACの開発

「エアロゲル下流直後にMPPCアレイ」設計

大面積・薄型・高磁場中・高性能

反跳電子の除去でPID99%

- MPPC Linearスキャンテスト

Aerogel($n=1.15$, $TL=23$ mm)

MPPC($\square 3$ mm, 16 Linear, Acceptance 25%)

Cherenkov Distribution Clearly

Mean number of photoelectrons is obtained 17.

- Discussion

$\pi / K / p$

広運動量領域PID

- 今後の発展

2次元MPPCアレイで実際にPID評価

異なる屈折率によるチェレンコフリング縞を観測