

J-PARCでの陽子・原子核衝突における前方 $\Phi \rightarrow K+K^-$ 崩壊測定手法の確立

第6回クラスター階層研究会

2021/6/19

原子力機構 先端基礎研究センター
佐甲博之

概要

$\Phi \rightarrow K+K^-$ 測定の目的

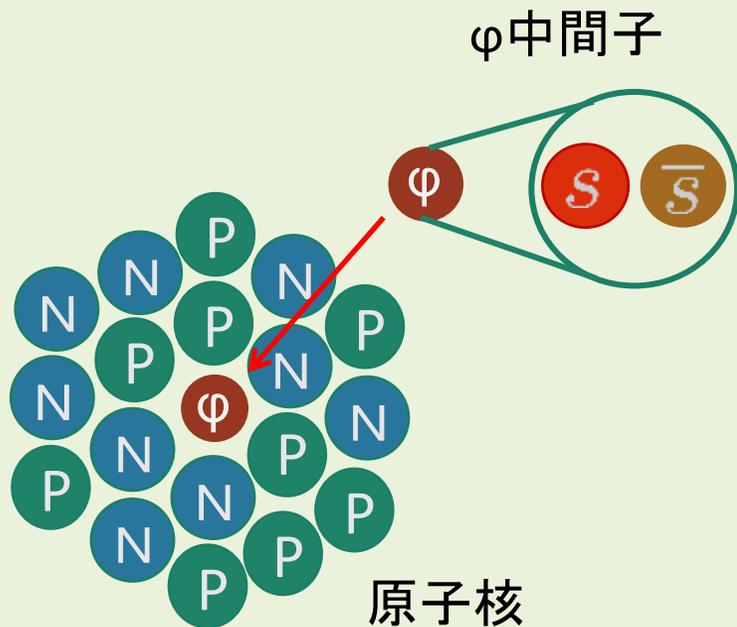
実験計画

R&Dの計画と先行研究

まとめ

$\Phi \rightarrow KK$ 研究の目的

原子核中の ϕ 中間子の性質
(質量・崩壊分岐比の変化)のKKチャンネルによる実験的測定



- ★ 有限密度におけるカイラル対称性の回復の研究

$$|\langle \bar{s}s \rangle_\rho| = |\langle \bar{s}s \rangle_0| - \rho \frac{\sigma_{sN}}{m_s}$$

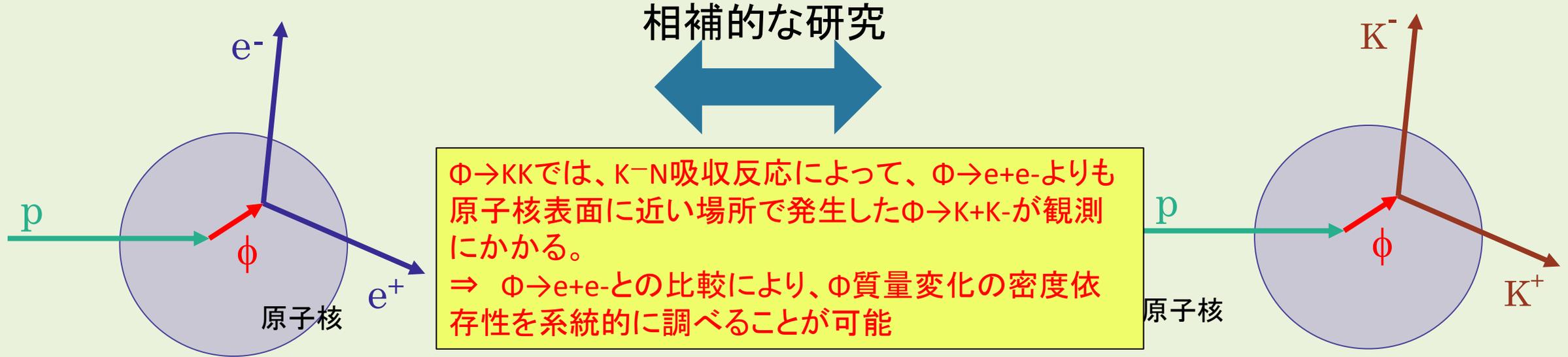
ϕ 中間子の質量変化から決められる

- ★ ハドロンの質量起源を探る研究
- ★ 既に進行中のDi-leptonチャンネルの測定よりも遥かに高い統計量の測定を目指す

原子核中の ϕ 中間子の測定

これまでの実験計画：
 $\phi \rightarrow e^+e^-$ の測定

本研究計画での新提案：
 $\phi \rightarrow K^+K^-$ の測定

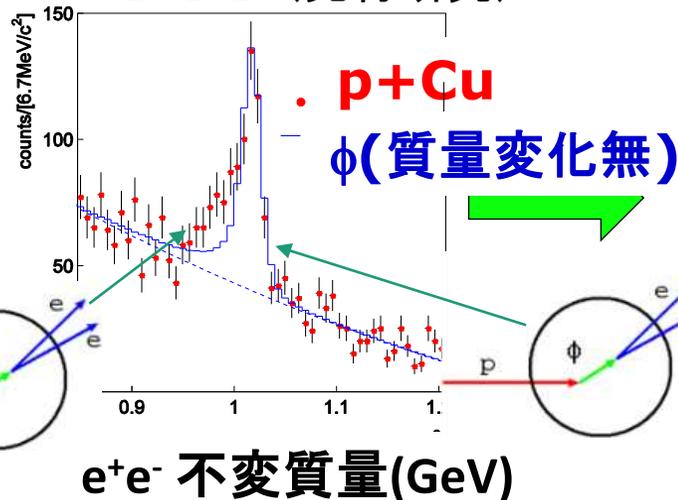


$\phi \rightarrow KK$ の理論との共同研究
 数値シミュレーションによる K^+K^- の原子核との相互作用の
 評価
 H. Sako, P. Gubler, S. H. Lee 他
 原子力機構 黎明研究プログラム (2021-2023)

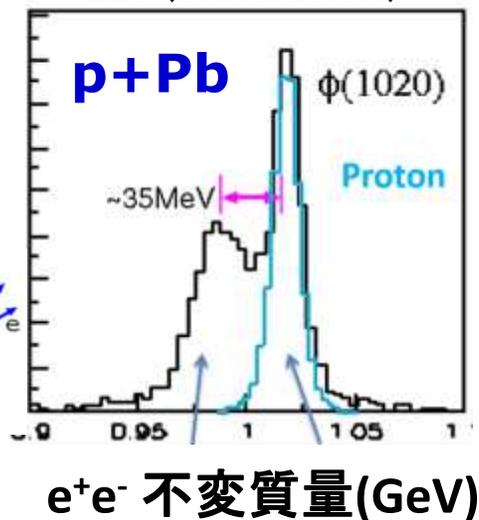
- K^+K^- は強い相互作用を感じる \rightarrow 原子核中の ϕ 中間子の歪んだシグナル ✖
- K^+K^- の部分崩壊幅が大きい \rightarrow 統計量が多い ○
- K^+K^- の質量は ϕ 質量に非常に近い \rightarrow 生成量が質量変化に敏感 ○

J-PARC E16 : 陽子・原子核衝突における 電子・陽電子対測定 (2020年5月開始)

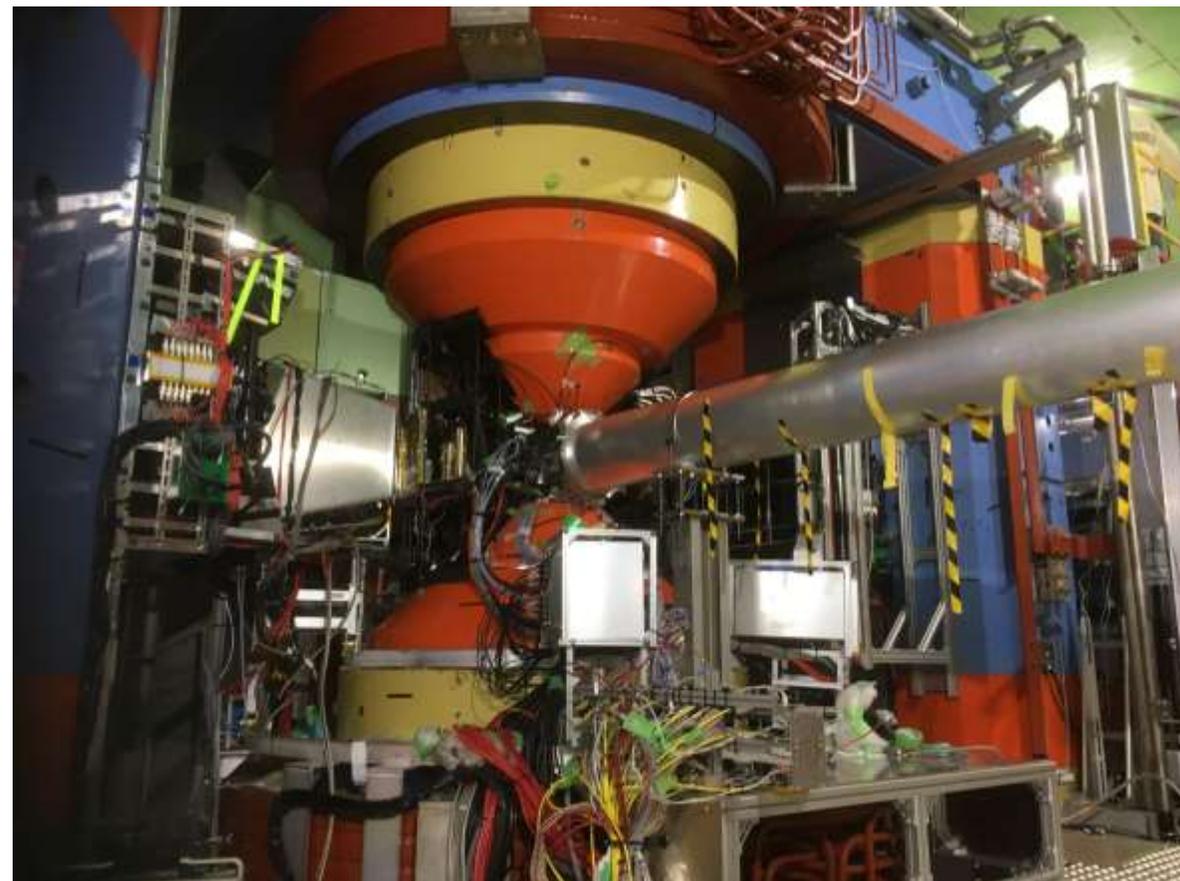
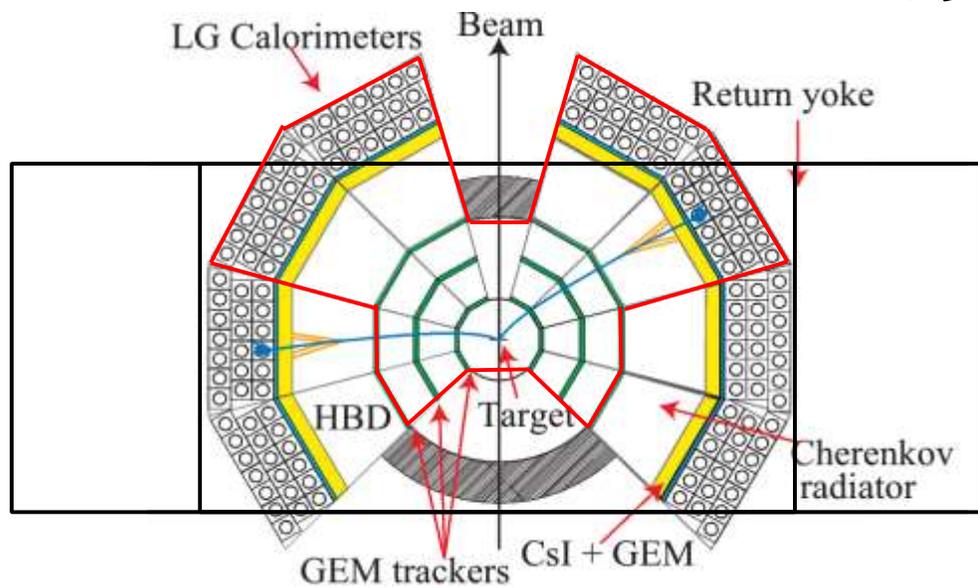
KEK-E325 (先行研究)



E16 (Simulation)



- $\phi \rightarrow e^+e^-$ 崩壊の不変質量の測定
- ⇒ 本研究計画で $\phi \rightarrow KK$ 実験を新たに提案



先行研究 KEK-E325実験

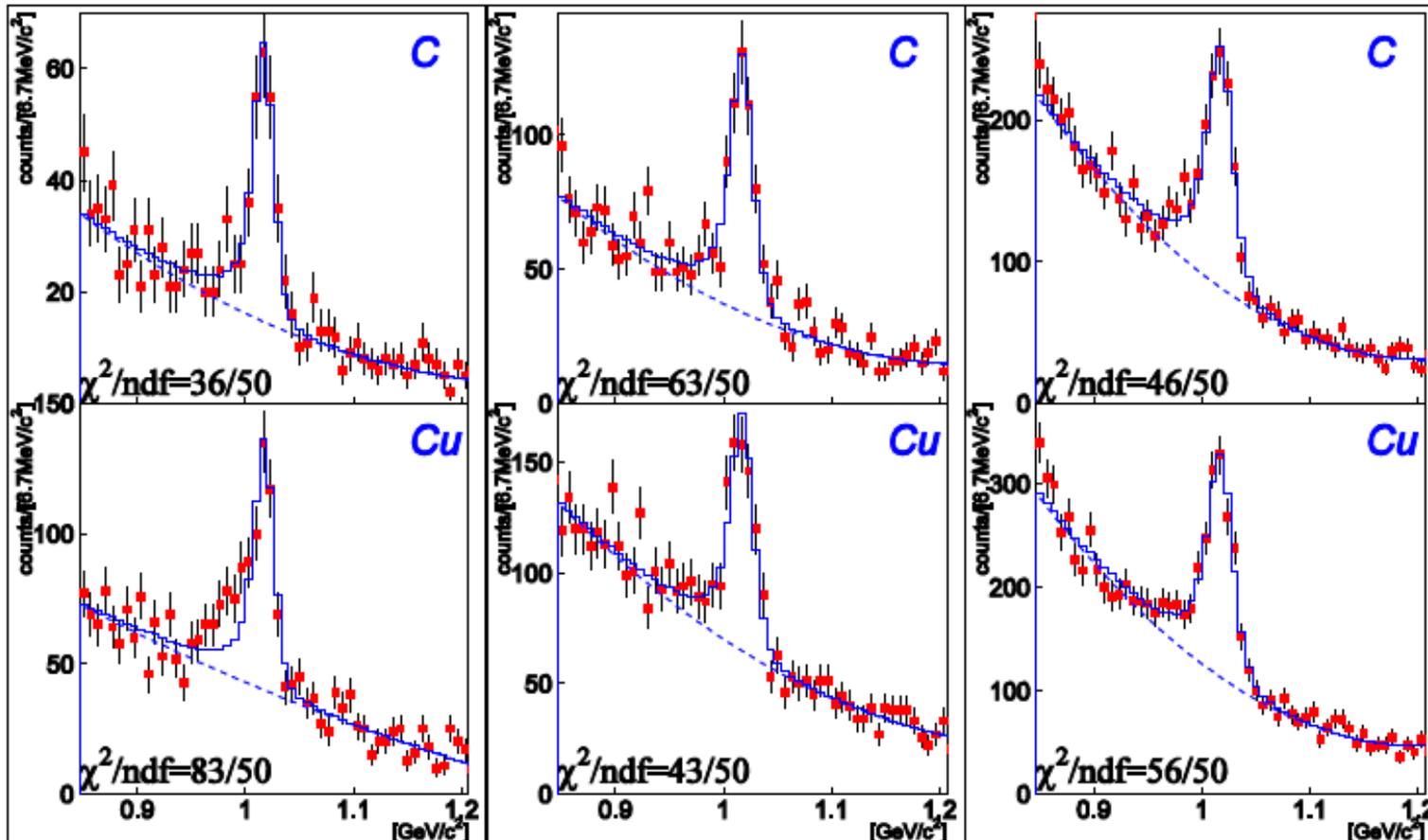
e^+e^- spectra of ϕ meson (divided by $\beta\gamma$)

17

$\beta\gamma < 1.25$ (Slow)

$1.25 < \beta\gamma < 1.75$

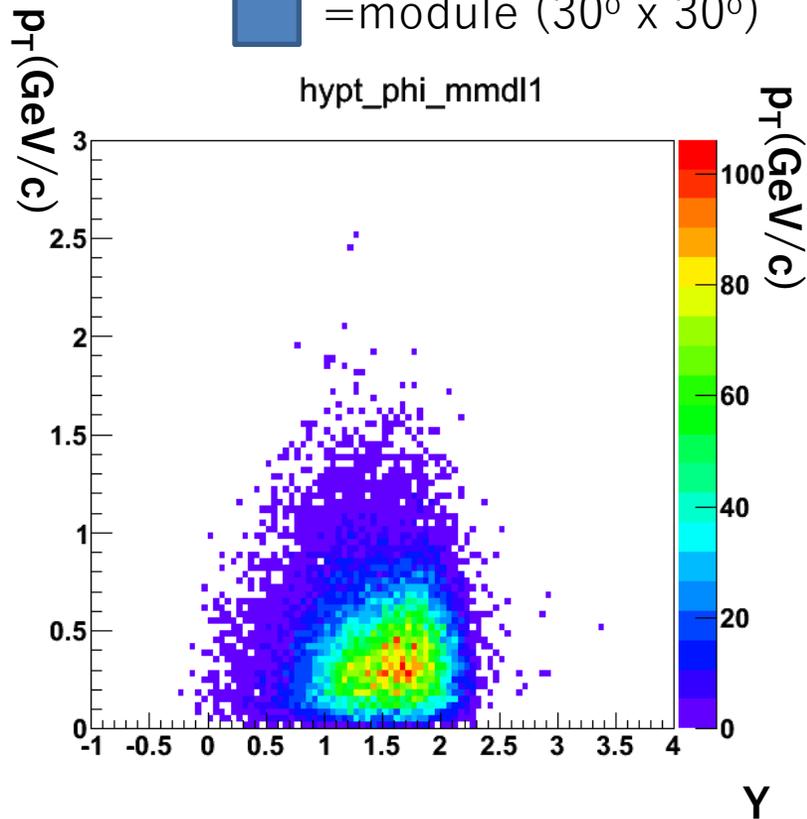
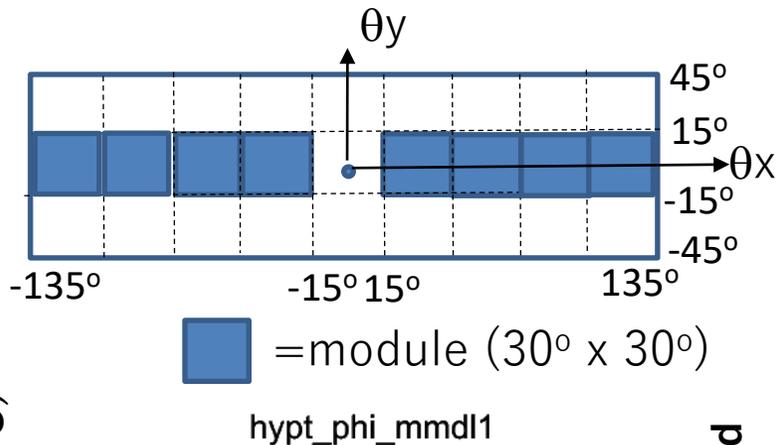
$1.75 < \beta\gamma$ (Fast)



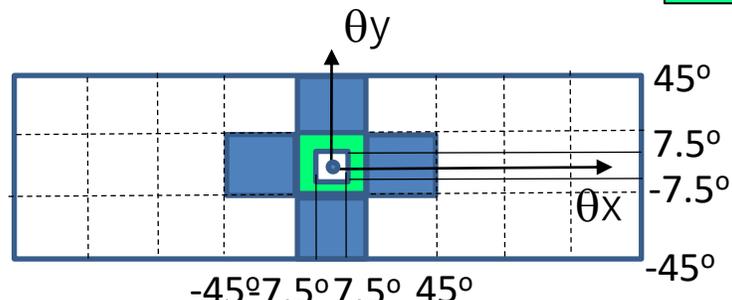
- E325 observed low mass tail at $\beta\gamma < 1.25$ in p+Cu

検出器configurationと y - pt acceptance

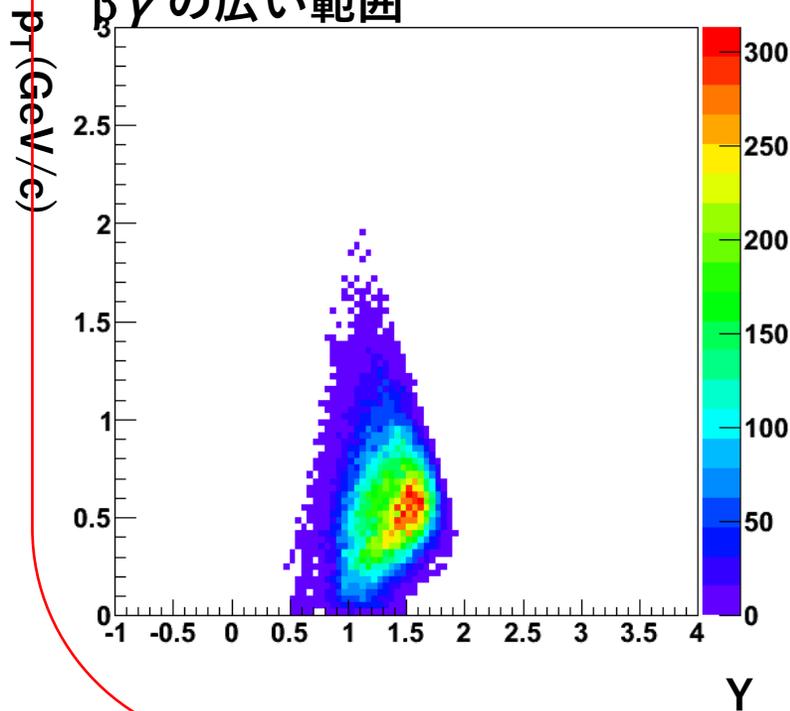
$\phi \rightarrow ee$ (Run0,1)



申請時のセットアップ

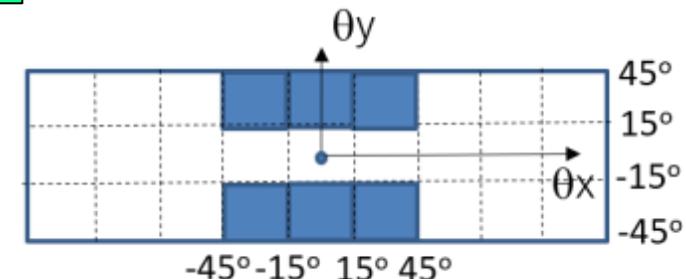


ee との Y - pt overlapを優先
超前方検出器が必要
 $\beta\gamma$ の広い範囲

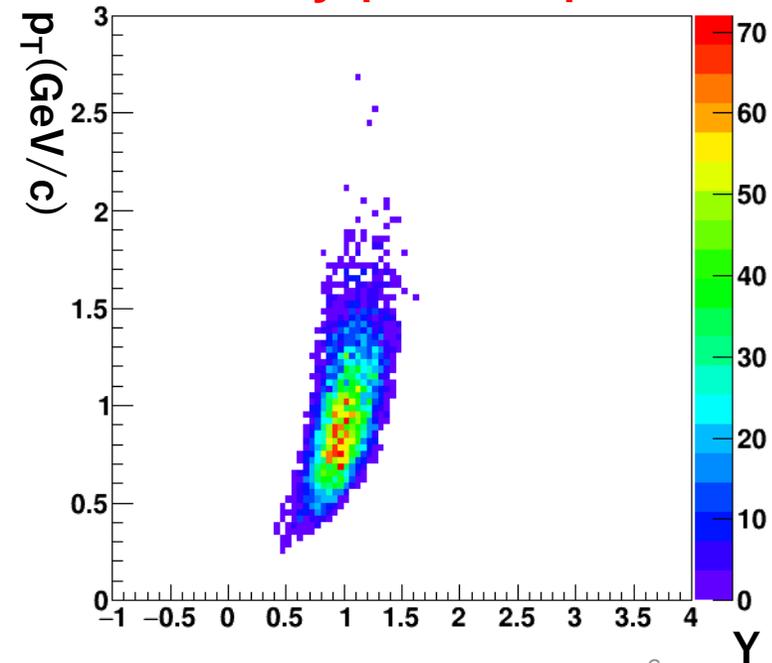


$\phi \rightarrow KK$

新セットアップ

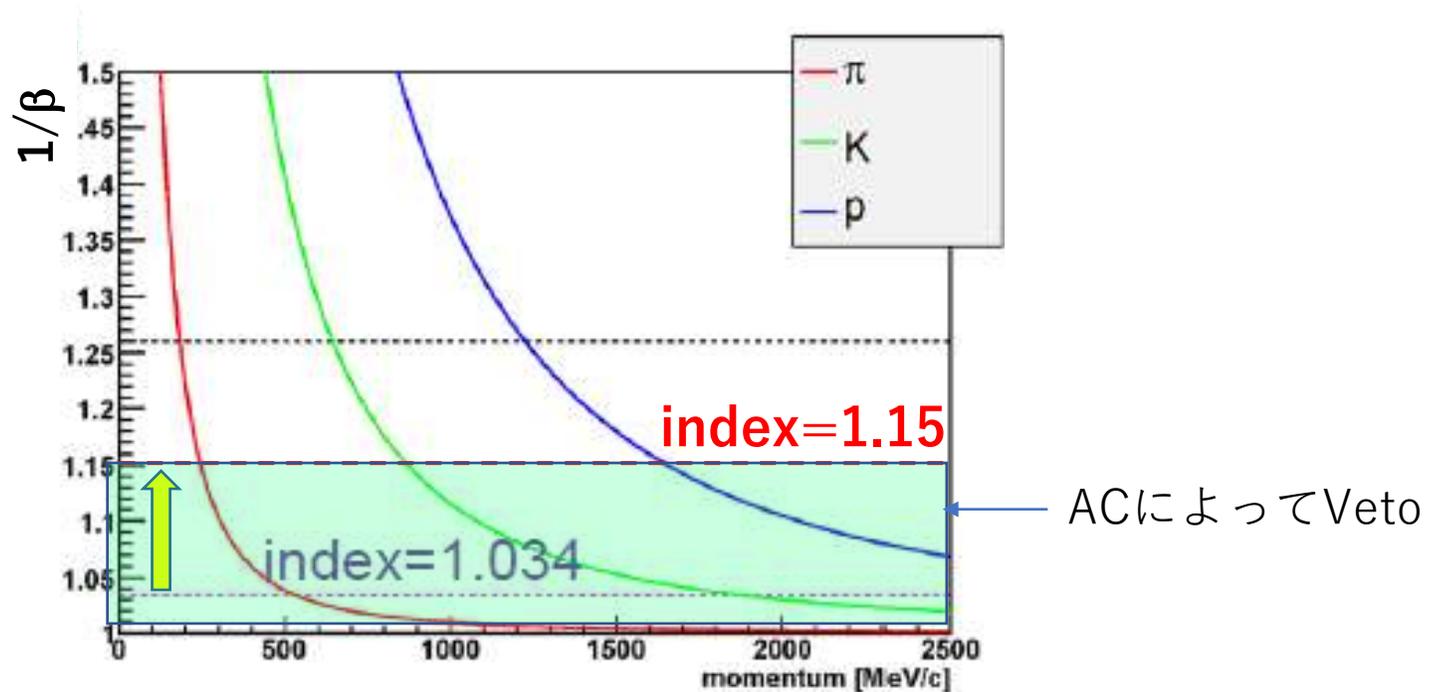


低 $\beta\gamma$ 領域を集中的に測定
既存の電子測定検出器と干渉しない
ある程度の y - pt overlapはある



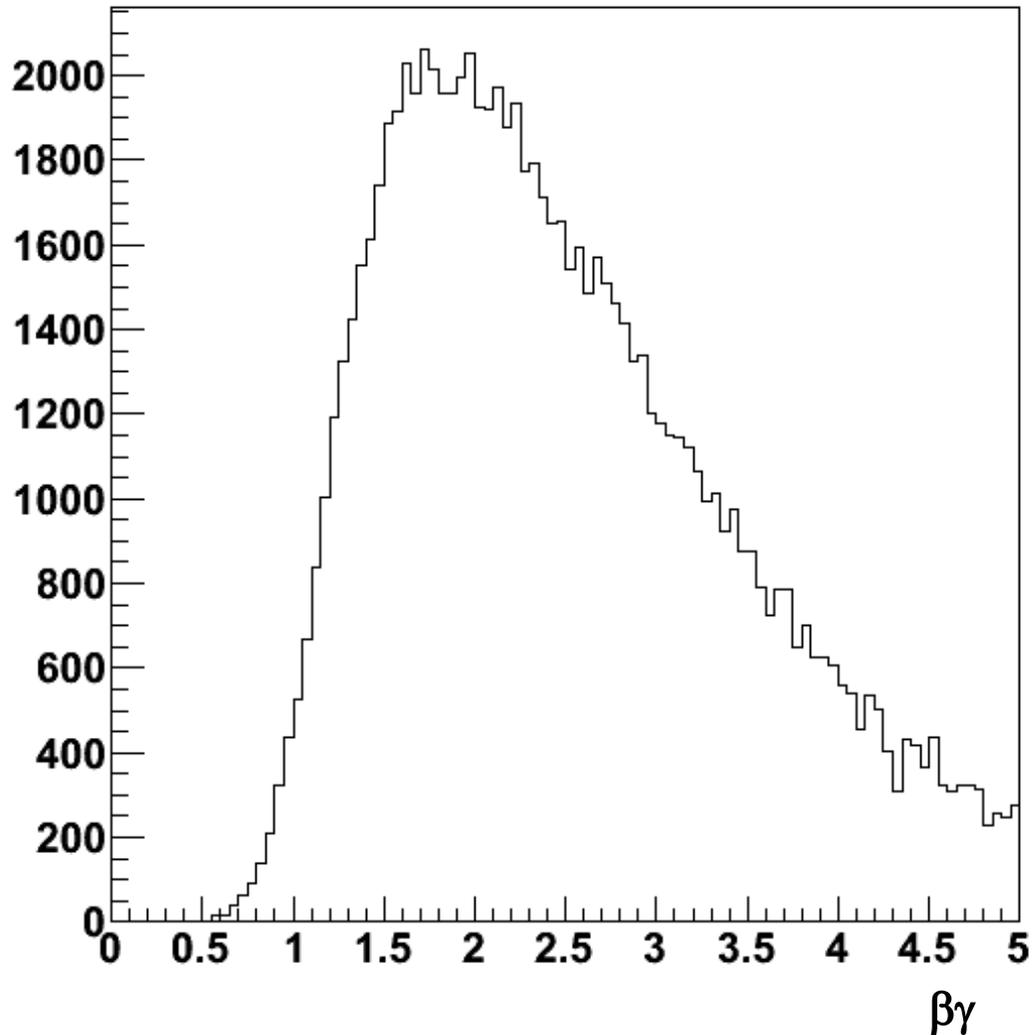
エアロゲル屈折率と運動量

- AC $n=1.034 \rightarrow 1.15$
- Enhance low $\beta\gamma\phi \rightarrow KK$

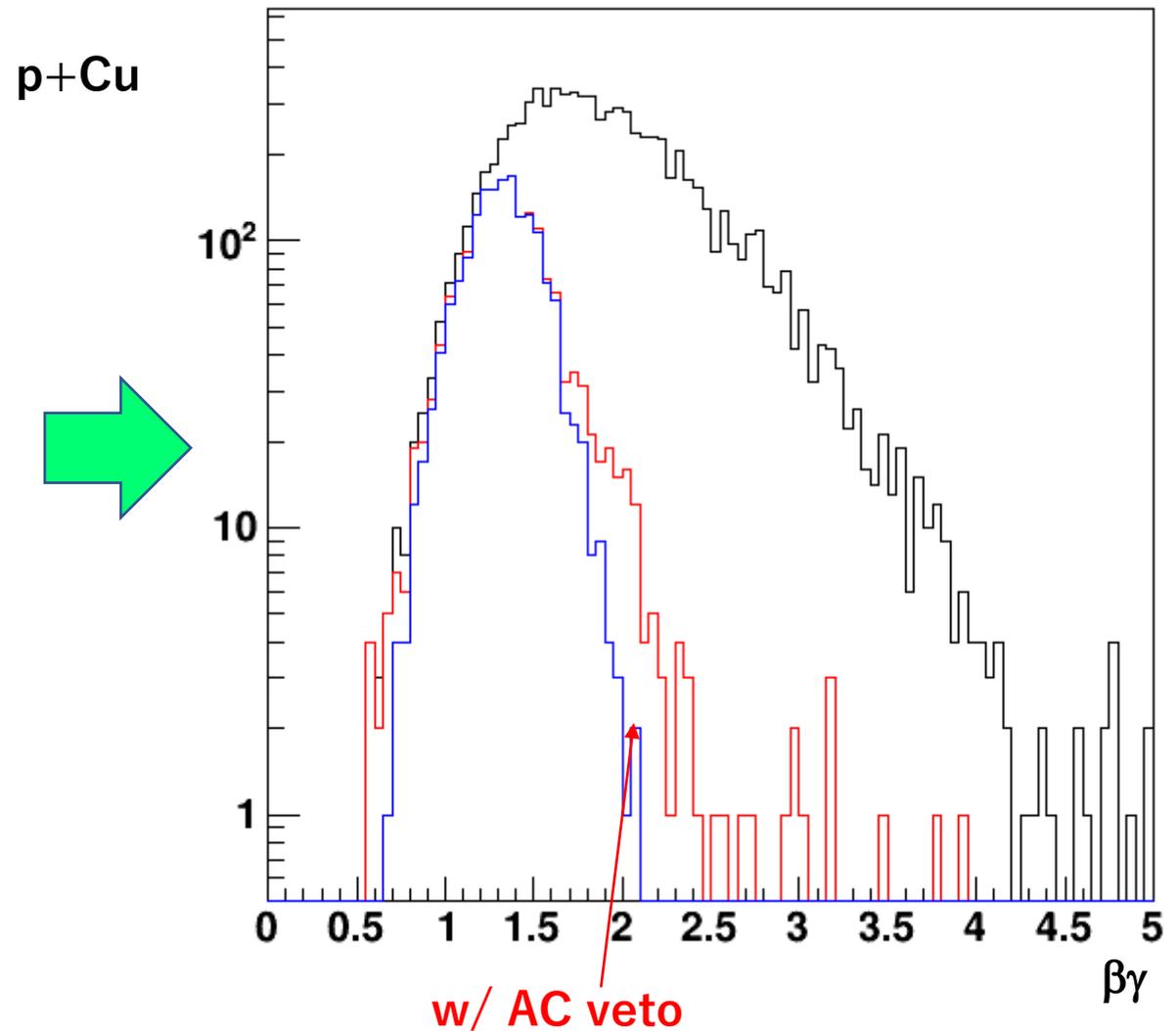


低速度の Φ を集中的に測定

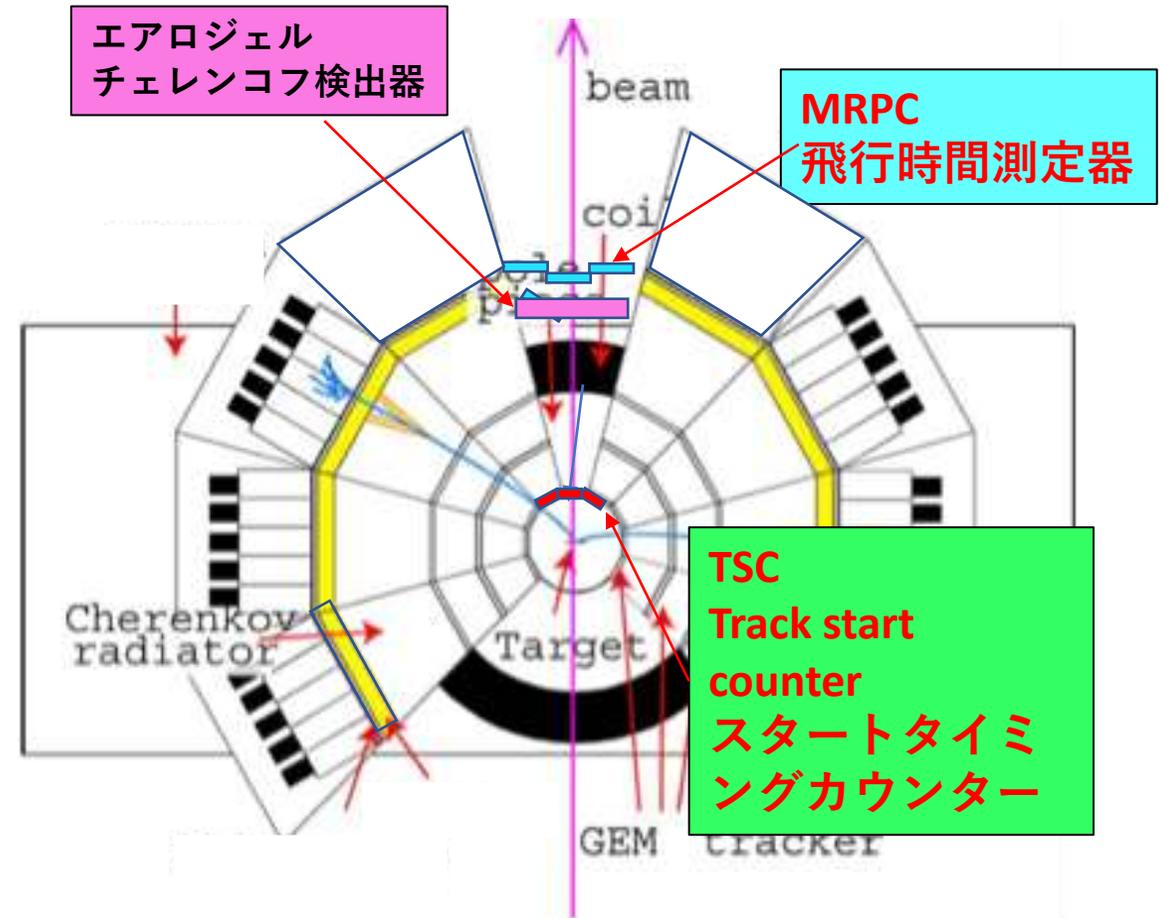
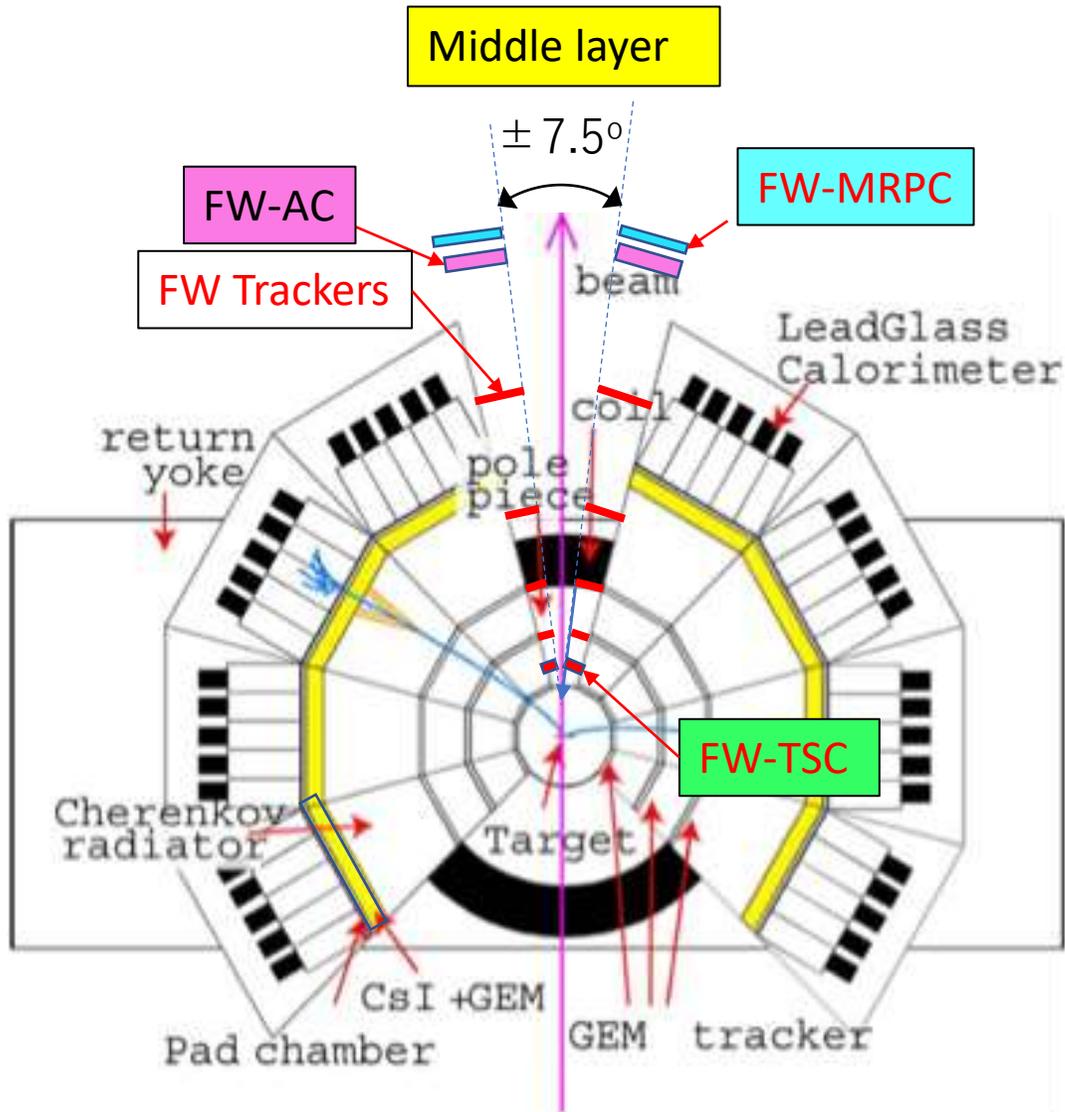
申請時, $n=1.034$ AC



新測定法, $n=1.15$ AC

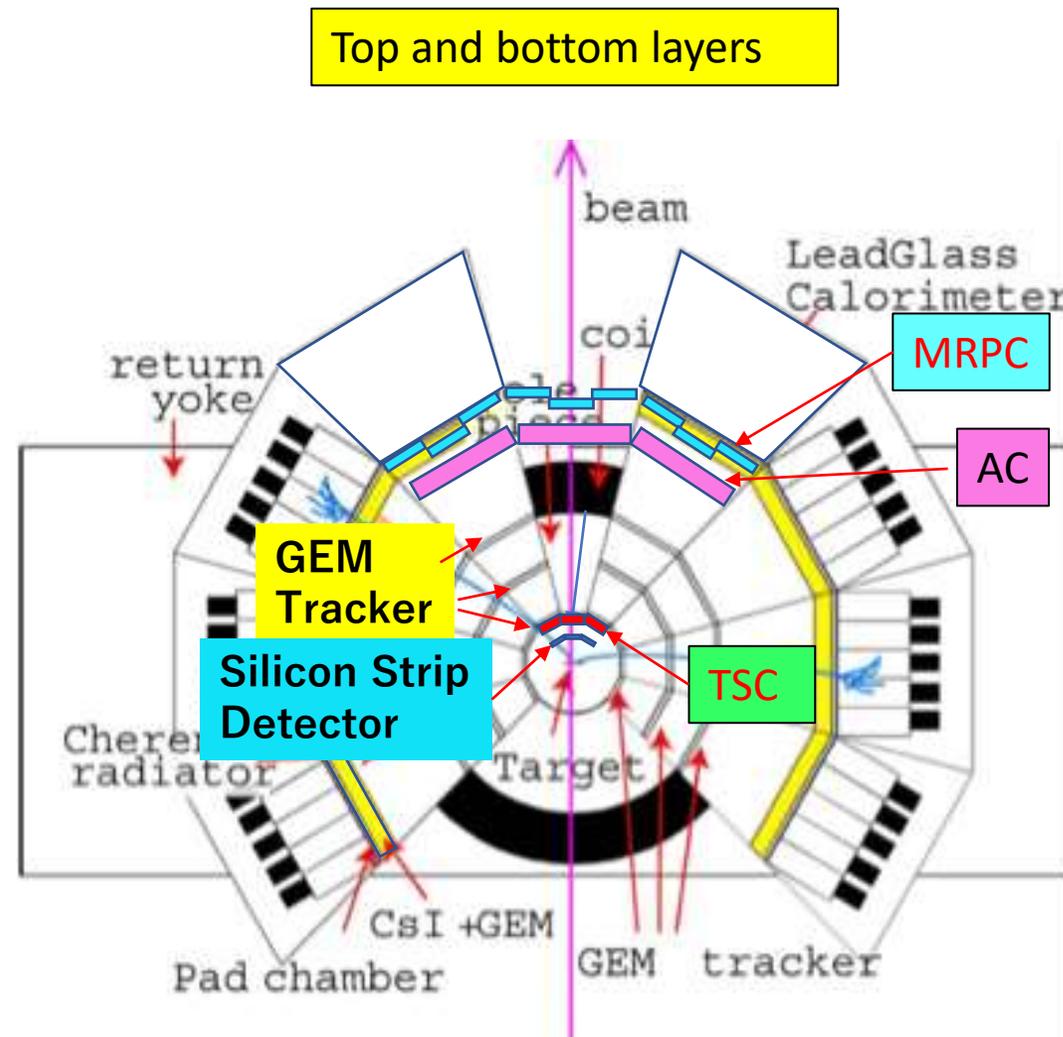
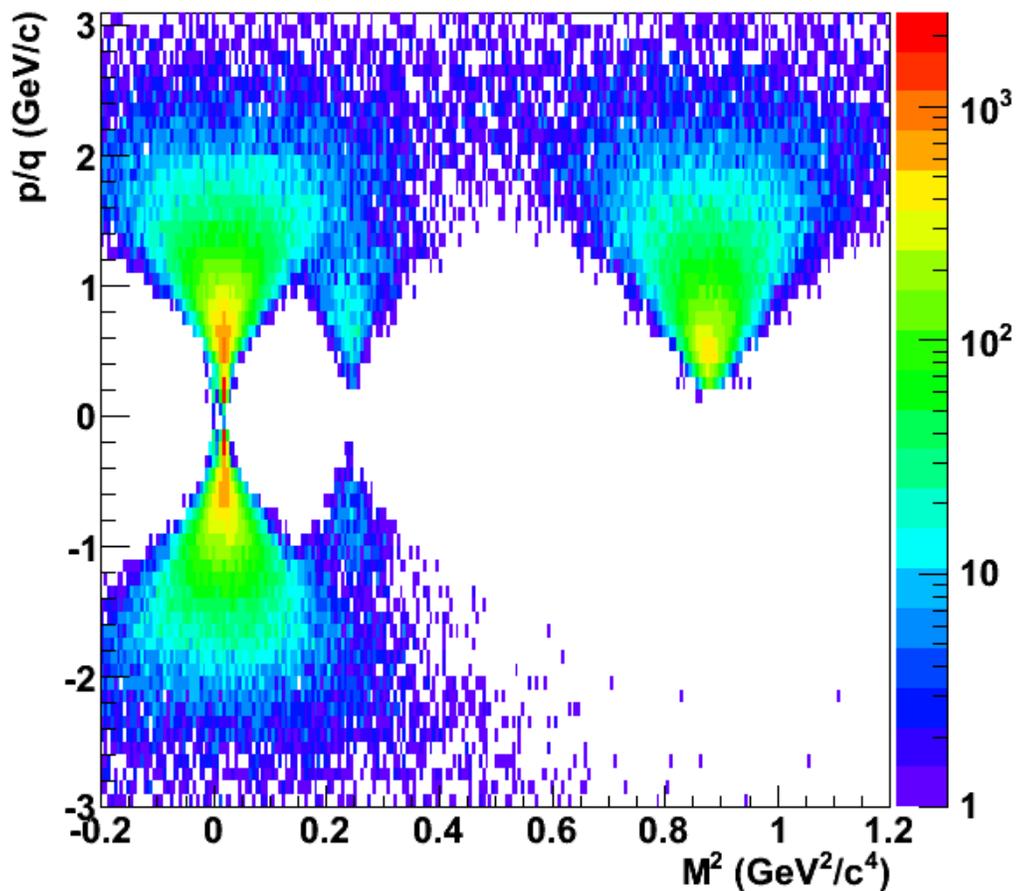


申請時のセットアップ

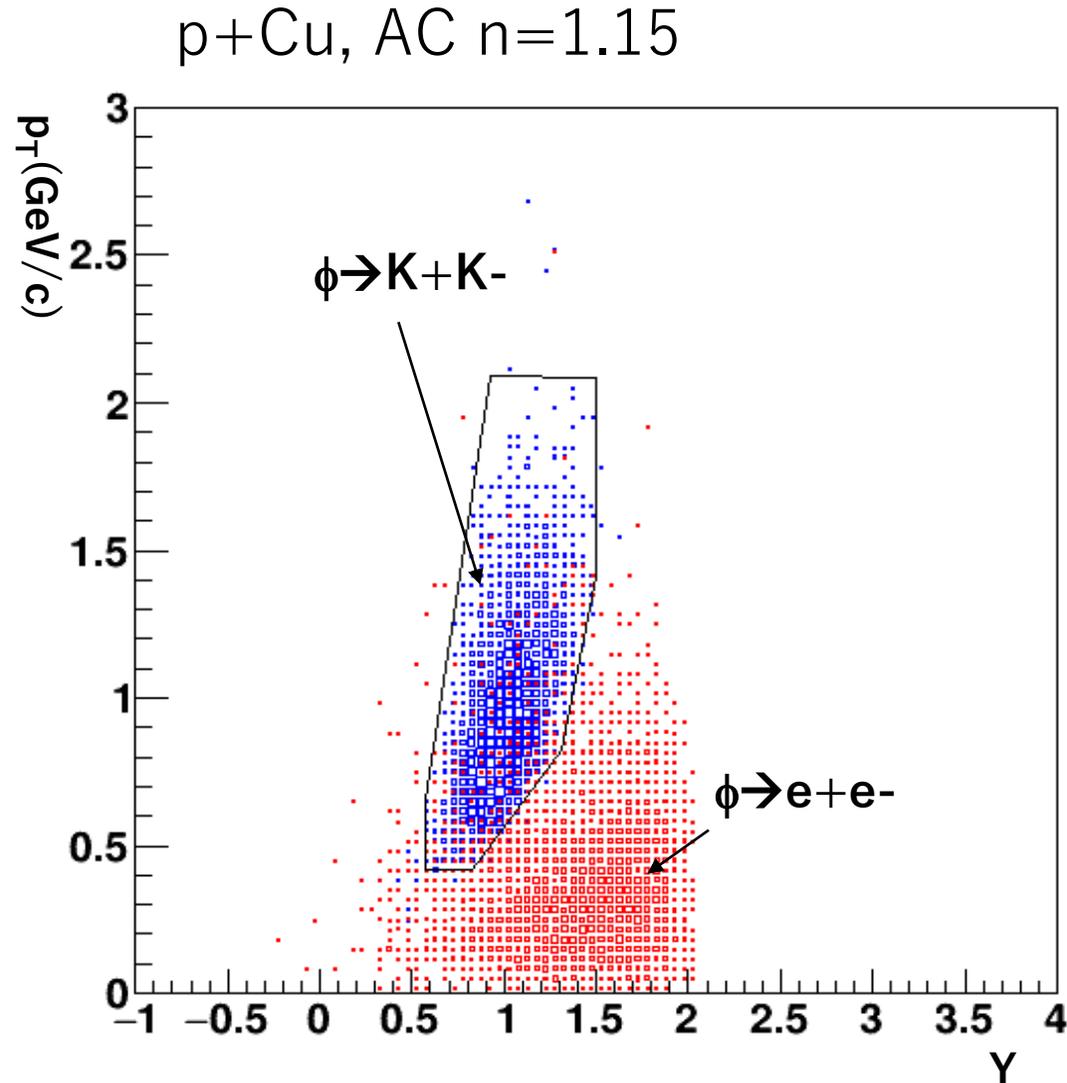


新セットアップ

MRPCで測定する飛行時間を用いた
質量と運動量による粒子識別性能の
シミュレーション



y-pt acceptance overlap



Acceptance overlap
 \Rightarrow Direct
comparison of
BR is possible

$\phi \rightarrow KK$ Proposal

- Submitted for J-PARC PAC meeting (July 14-16)
- Assumption
 - High-momentum beam line at J-PARC Hadron Experimental Facility
 - 30 GeV/c, 10^9 protons / spill
 - 30 day beam time

Summary of statistics

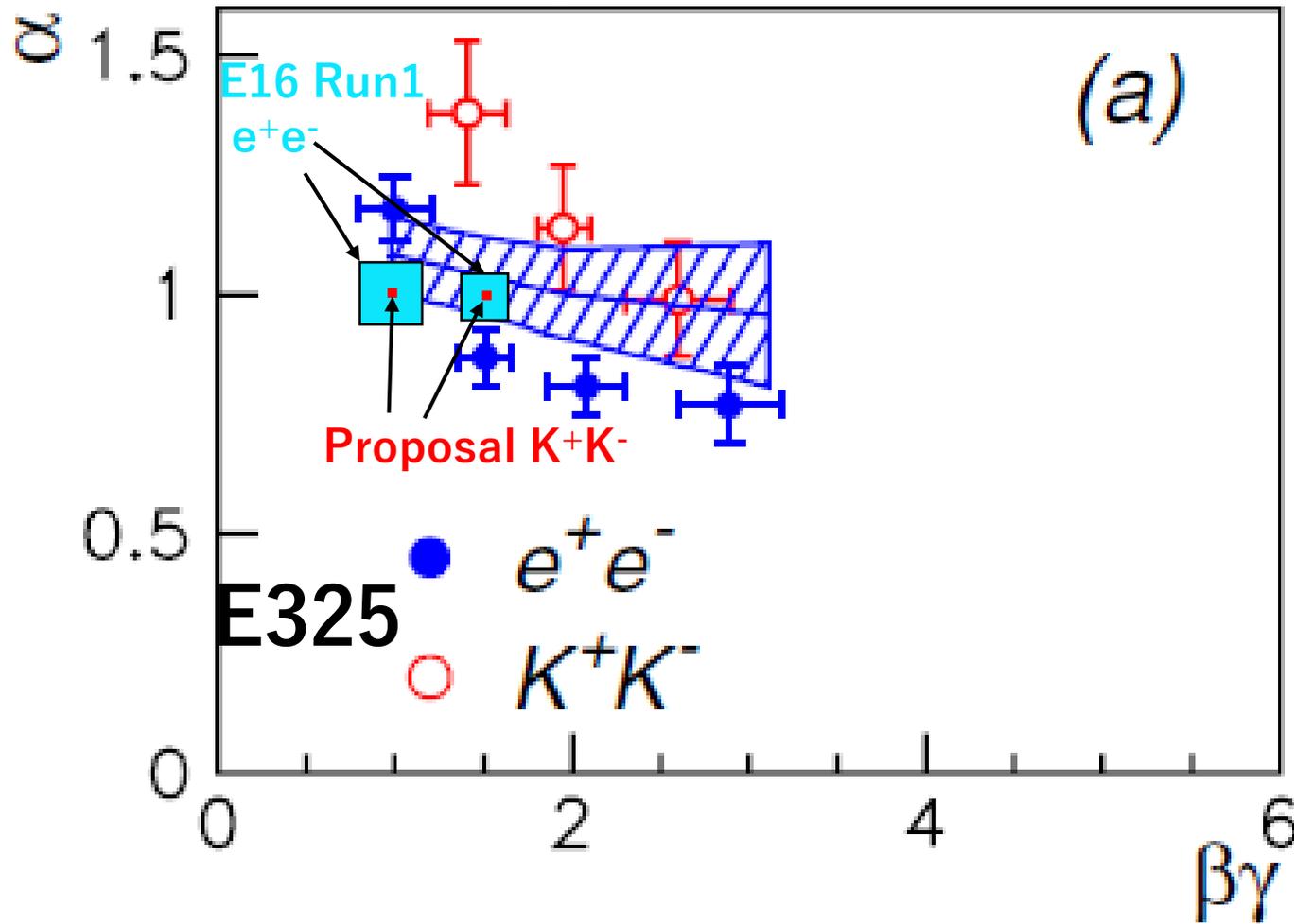
- E325: 3k $\phi \rightarrow KK$
- Statistics at J-PARC \rightarrow Higher by 2 orders
- Use common targets as $\phi \rightarrow ee$ (C and Cu)

Table 4: Expected $\phi \rightarrow K^+K^-$ yields in p+C and p+Cu for 30-day run with Configuration A, and expected $\phi \rightarrow e^+e^-$ yields in p+C and p+Cu for 160-shifts in E16 Run1.

	Proposal		E16 Run1 (2022-)	
	$\phi \rightarrow K^+K^-$ p+C	$\phi \rightarrow K^+K^-$ p+Cu	$\phi \rightarrow e^+e^-$ p+C	$\phi \rightarrow e^+e^-$ p+Cu
Total	159k	262k	12.5k	14.8k
$\beta\gamma < 1.25$	72k	113k	1.4k	1.8k
$1.25 < \beta\gamma < 1.75$	84k	146k	2.3k	3.0k
Overlap $y - p_T$ ($\beta\gamma < 1.25$)	65k	100k	98	150
Overlap $y - p_T$ ($1.25 < \beta\gamma < 1.75$)	83k	143k	130	180

Expected statistical uncertainties

E325 $\phi \rightarrow K+K^-$ results



$$\sigma(A) = \sigma_0 A^\alpha$$

$$\alpha = \frac{\ln(N(\text{Cu})/N(\text{C}))}{\ln(\text{Cu}/\text{C})}$$

- α 小 \Rightarrow 大きな核での収量の減少
- E325では $\beta\gamma < 1.25$ のデータが無い
- 向上した統計誤差により、原子核による質量変化を明らかにする
- y-pt overlap regionにおける直接BRの比較が可能： $\pm 7-9\%$ の統計誤差

研究計画（2021-2022年度）

- 2021年度
 - $\Phi \rightarrow KK$ Proposalの提出（完了）、審査（7月予定）
 - MRPC試験機（改良版）1台の製作
 - AC試験機1台の製作
- 2022年夏までにTSC、MRPC、AC試験機を設置
- SSD、GTRについては別予算によってE16グループが製作
- Run1(2022年秋以降) において、粒子識別、 $\Phi \rightarrow K+K^-$ 測定試験を行う。

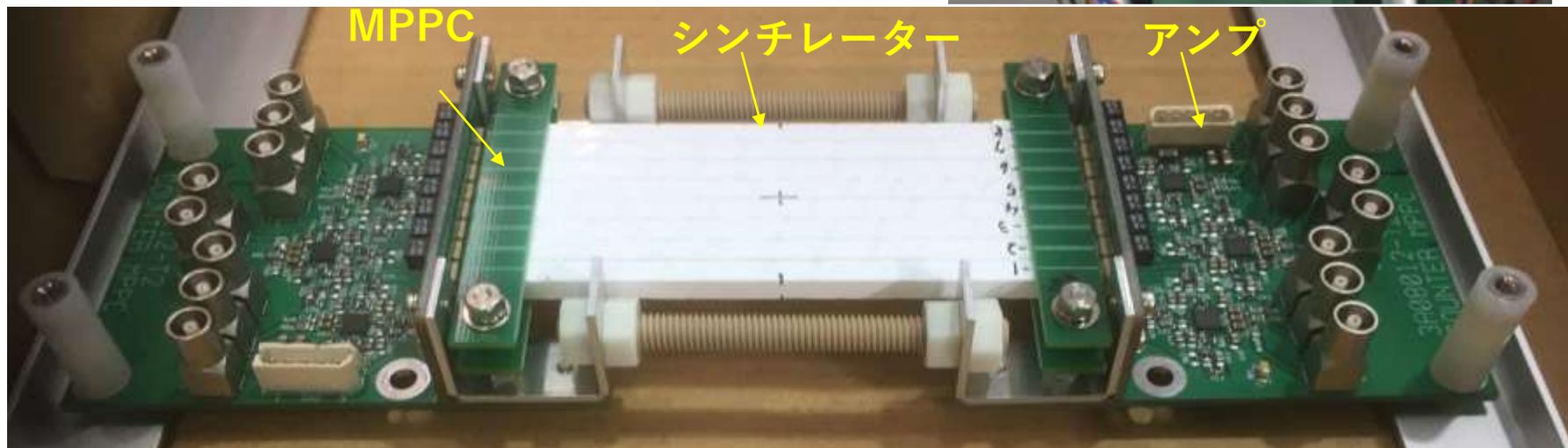
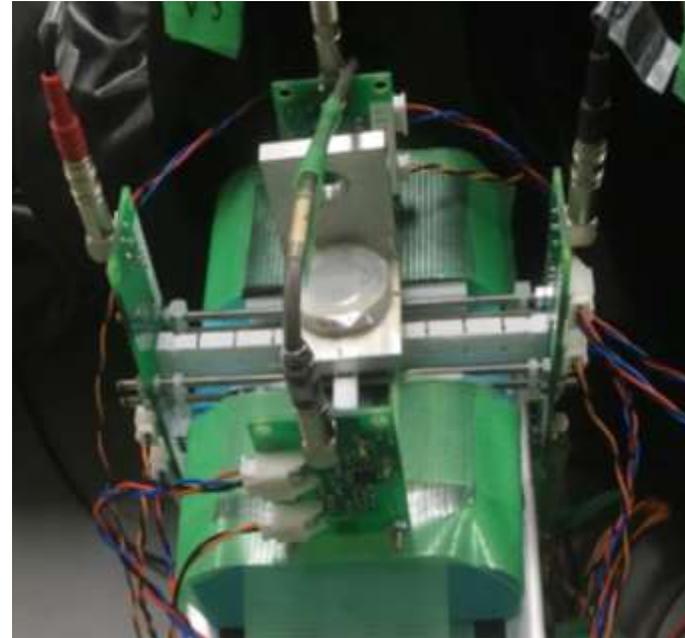
Track Start Counter

本科研費での開発

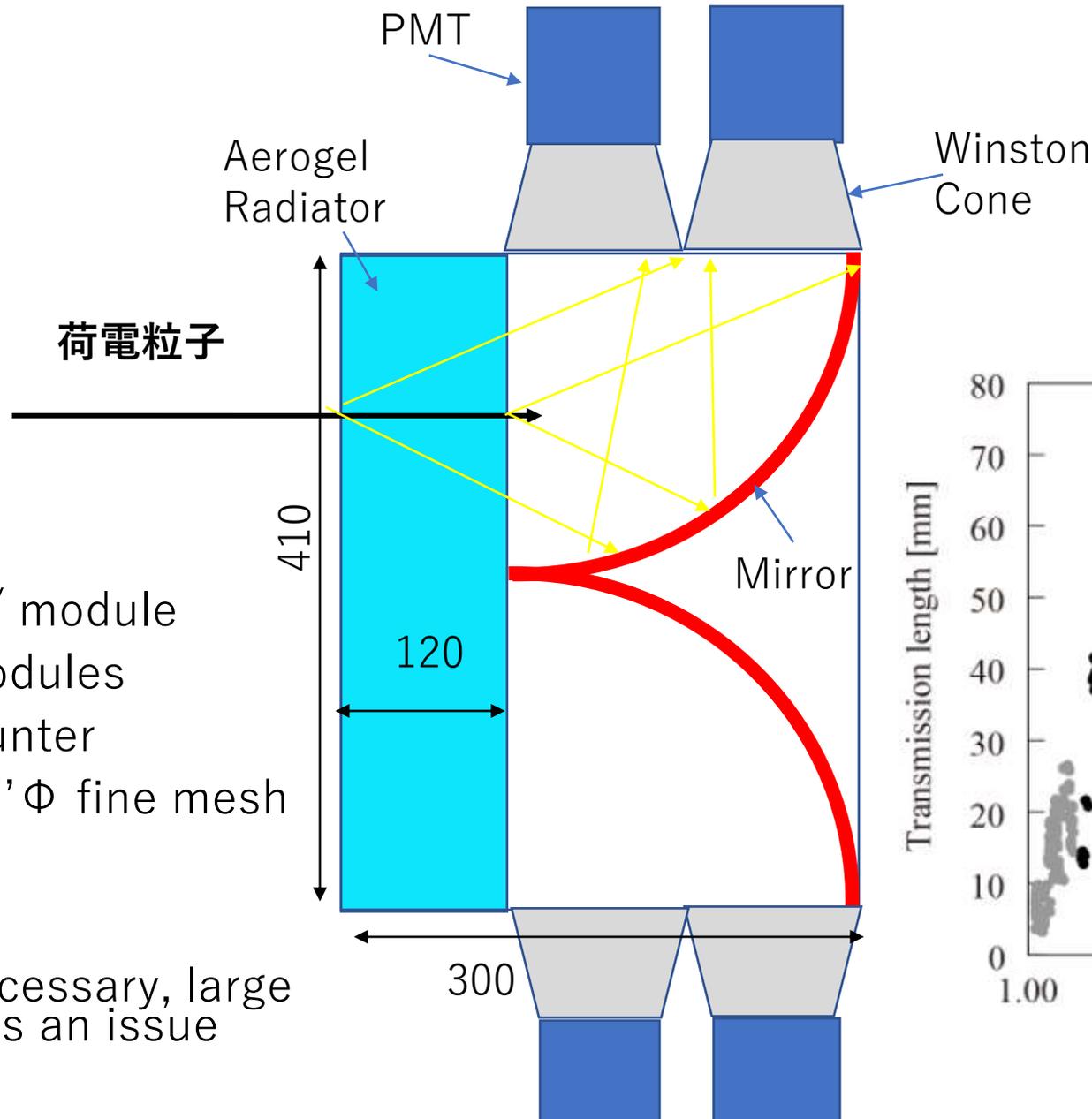
・ 実機サイズの8本

→25本セグメント(100mmx100mm)

- シンチレーションカウンタ
 - 8本の4mmx4mmx100mm プラスチックシンチレータで構成 (EJ-228)
 - 両側に光センサーを接続(MPPC S13360-3050, 3mm角,50 μ mピクセル)
- ^{90}Sr による試験の結果
 - 時間分解能 54.7 ± 3.7 ps



エアロゲルチェレンコフ検出器 (検討中)



本科研費で試作機を新規開発

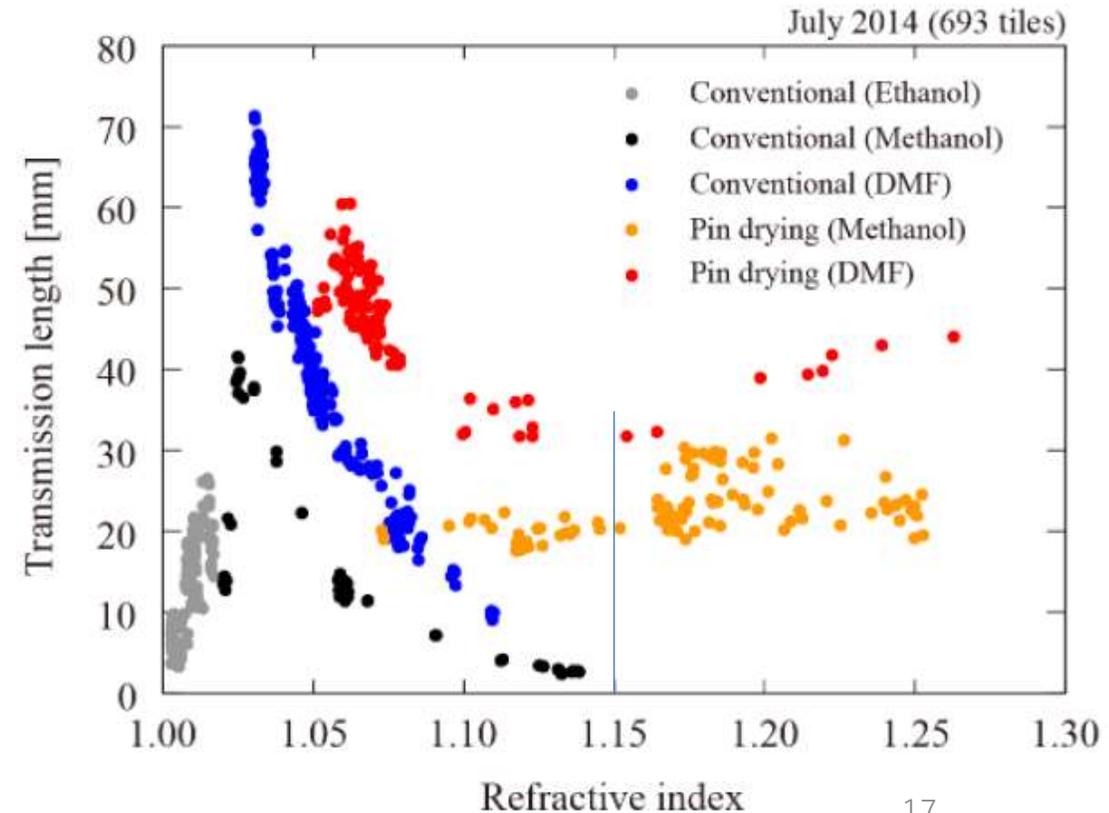
千葉大で製作実績のあるエアロゲル

PMT case

- 12 counters / module
- 6x12 = 72 modules
- 4 PMTs / counter
- PMT: 3" or 2" Φ fine mesh

MPPC case

Mirror not necessary, large area coverage is an issue



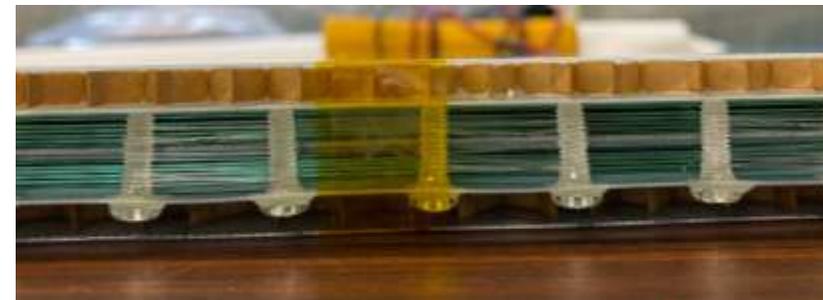
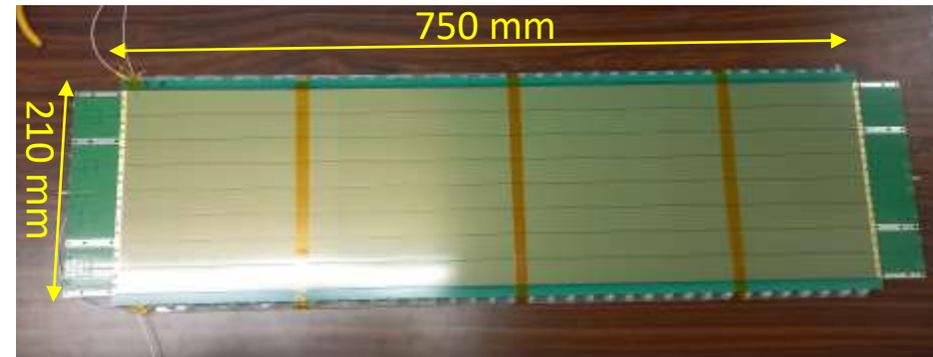
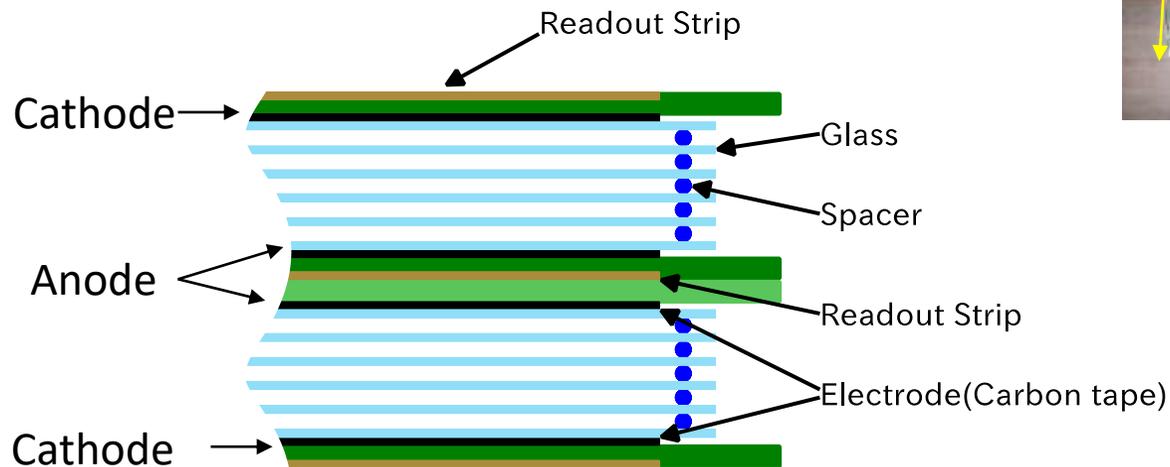
MRPC製作 (2020年11月 @ Spring-8)

□ 構造

- BGOegg RPCと同様の基本構造
- $260\ \mu\text{m} \times 5\text{ギャップ} \times 2\text{段}$
- $\pm 6\text{kV}$ を印可
- 読出しストリップ $25 \times 750\ \text{mm}^2 \times 8\text{本}$
- ストリップ両端にシングルエンドアンプ
- TOTによるslewing補正
(低コスト、シンプルな読出し系)

本科研費での改良点

- ノイズ抑制(アンプ⇄アノード・カソード基板間の接続の向上)
- ヒータによる昇温(45°C)により、レート耐性の向上)



LEPSにおけるMRPCのビーム試験(2020/11)

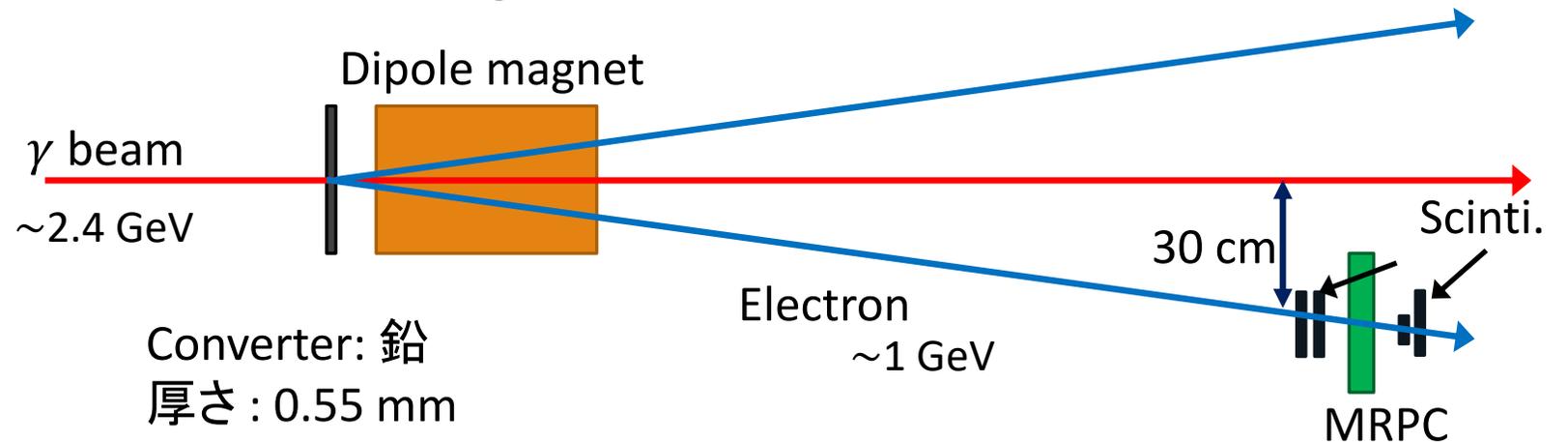
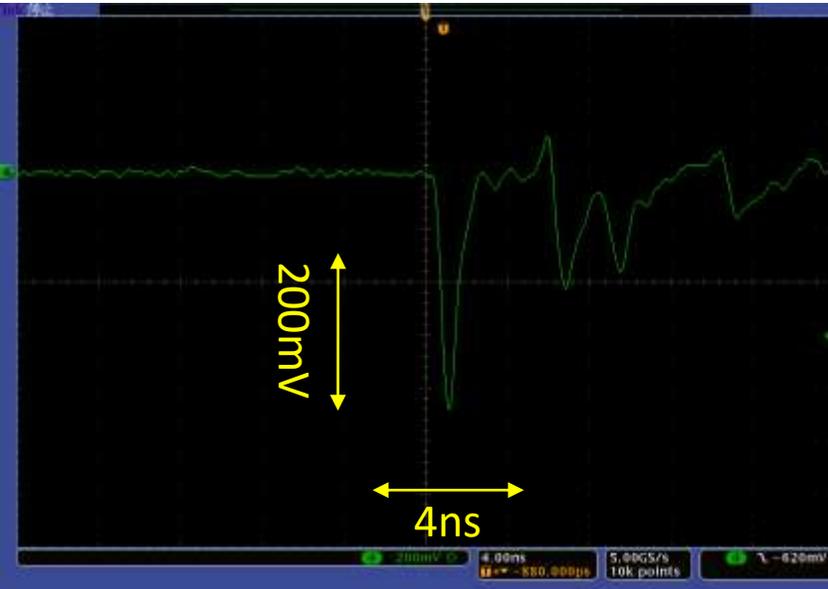
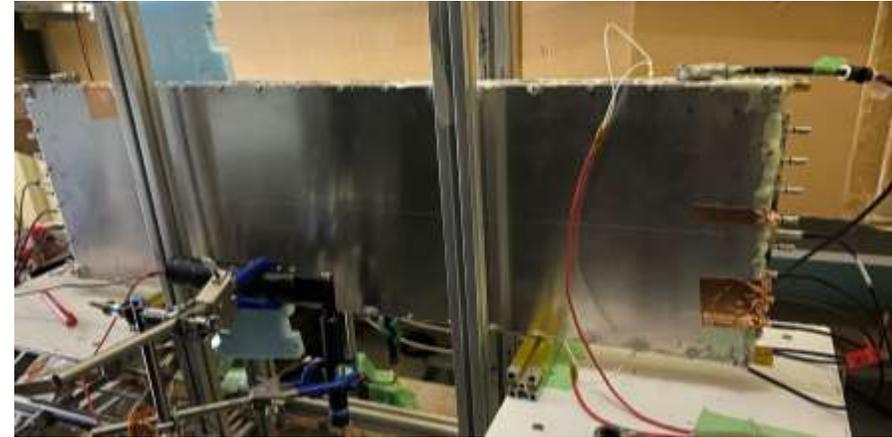
□ LEPSビームライン

- 電子ビーム (~1 GeV)

□ ガス R134a 90% + SF₆ 10%

□ 読出回路:

- Discriminator(Academia Sinica)+HUL-HRTDC (20ps res.)
- DRS4 waveform digitizer (1GHz)



検出効率

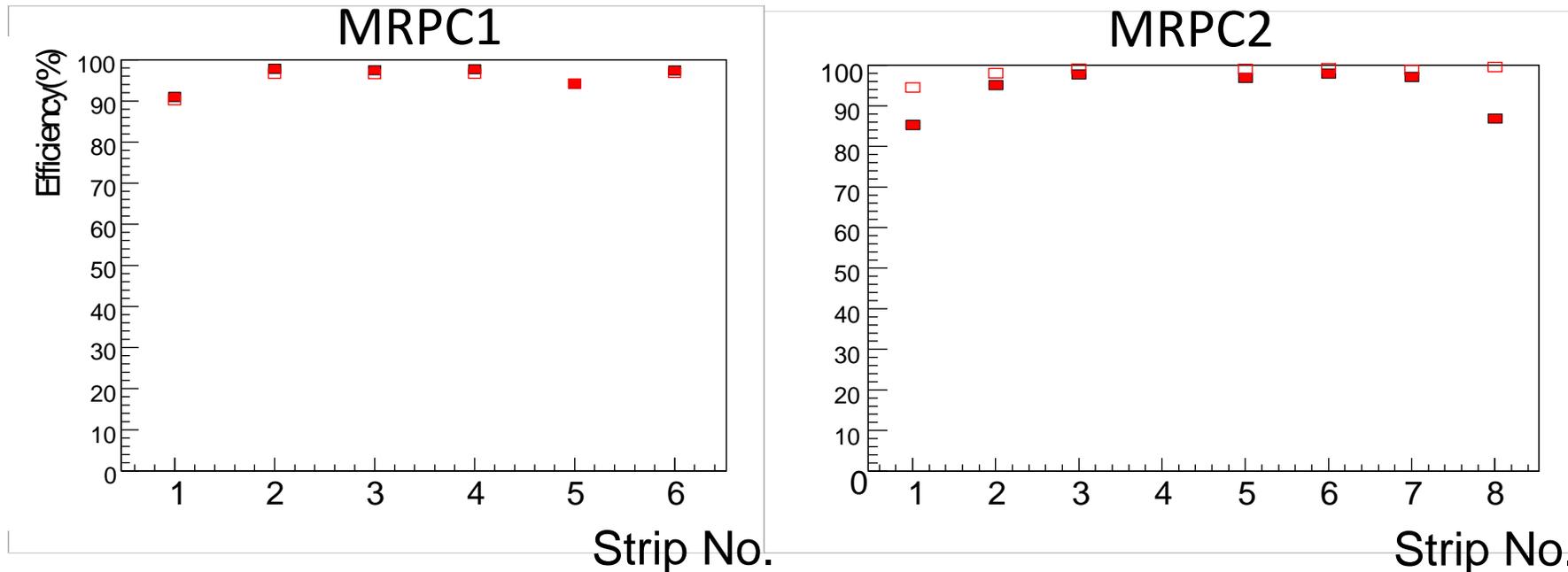
□ 検出効率 = $\frac{\text{\#beam trigger with MRPC hit}}{\text{\#beam trigger (with 4 counters)}}$

□ 86～98%の検出効率

□ HR-TDCにおいてDRS4に比べてやや低い。

■ HRTDC
□ DRS4

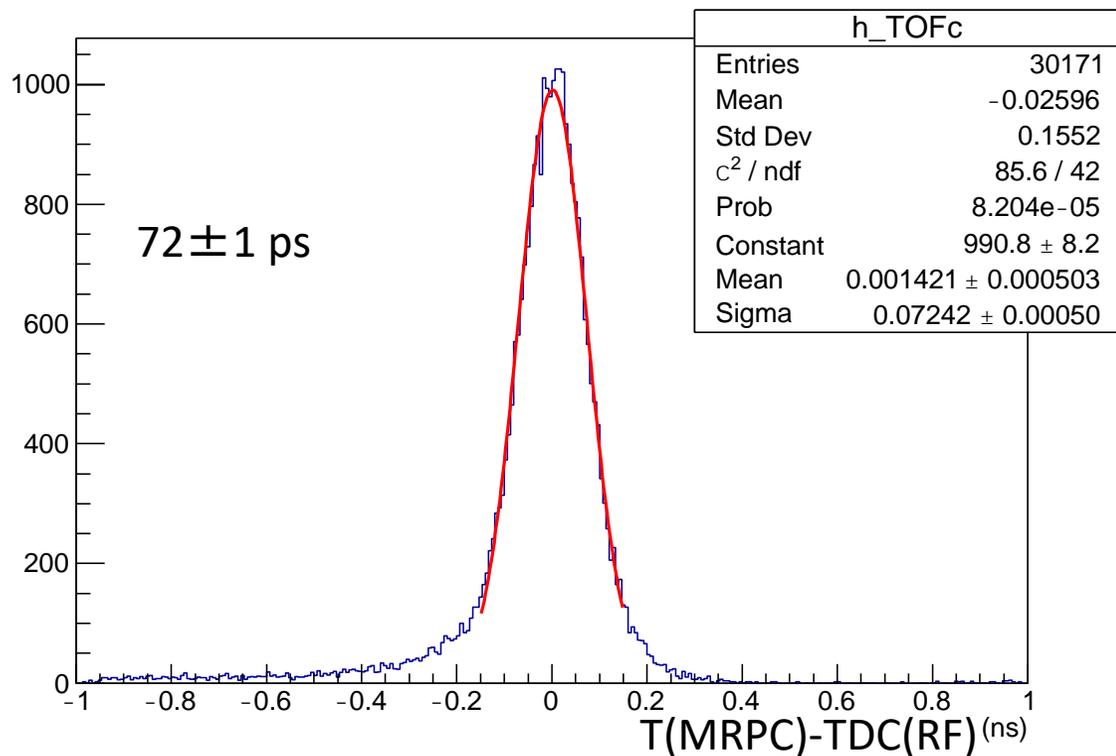
Discriminatorが1ns以下のパルスで検出効率が下がるため？



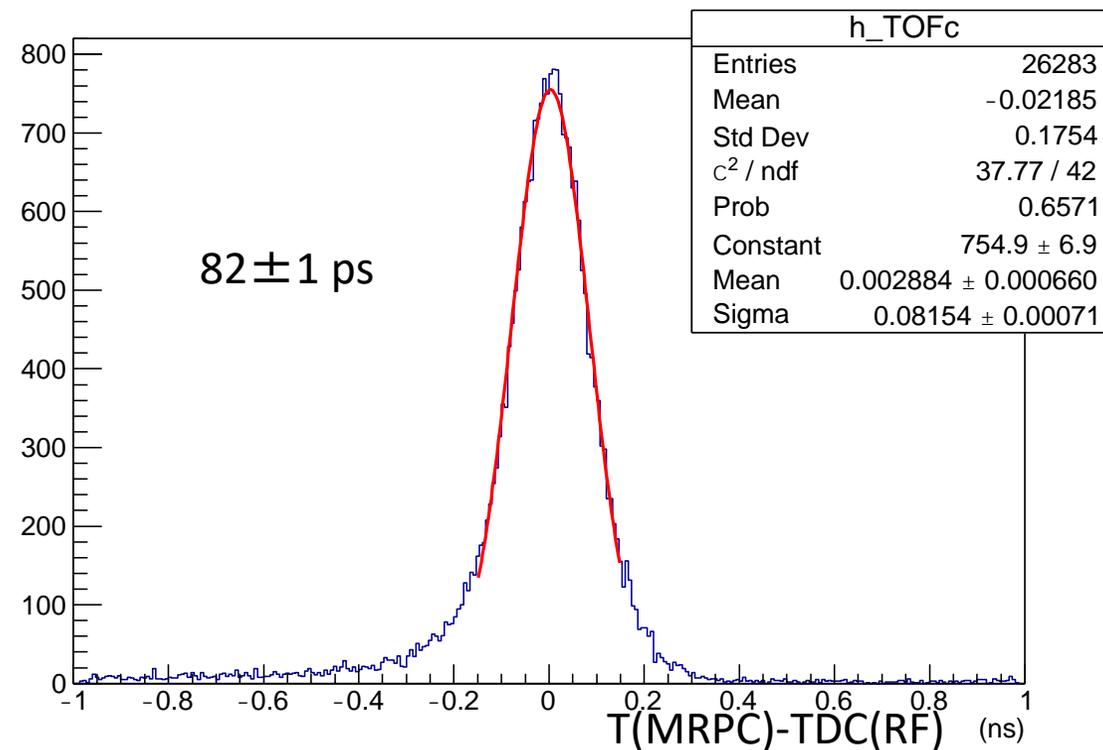
時間分解能

Strip両側のTDCの平均(ns): T(MRPC)

MRPC1



MRPC2



J-PARC E16 Run0b (2021年2月)

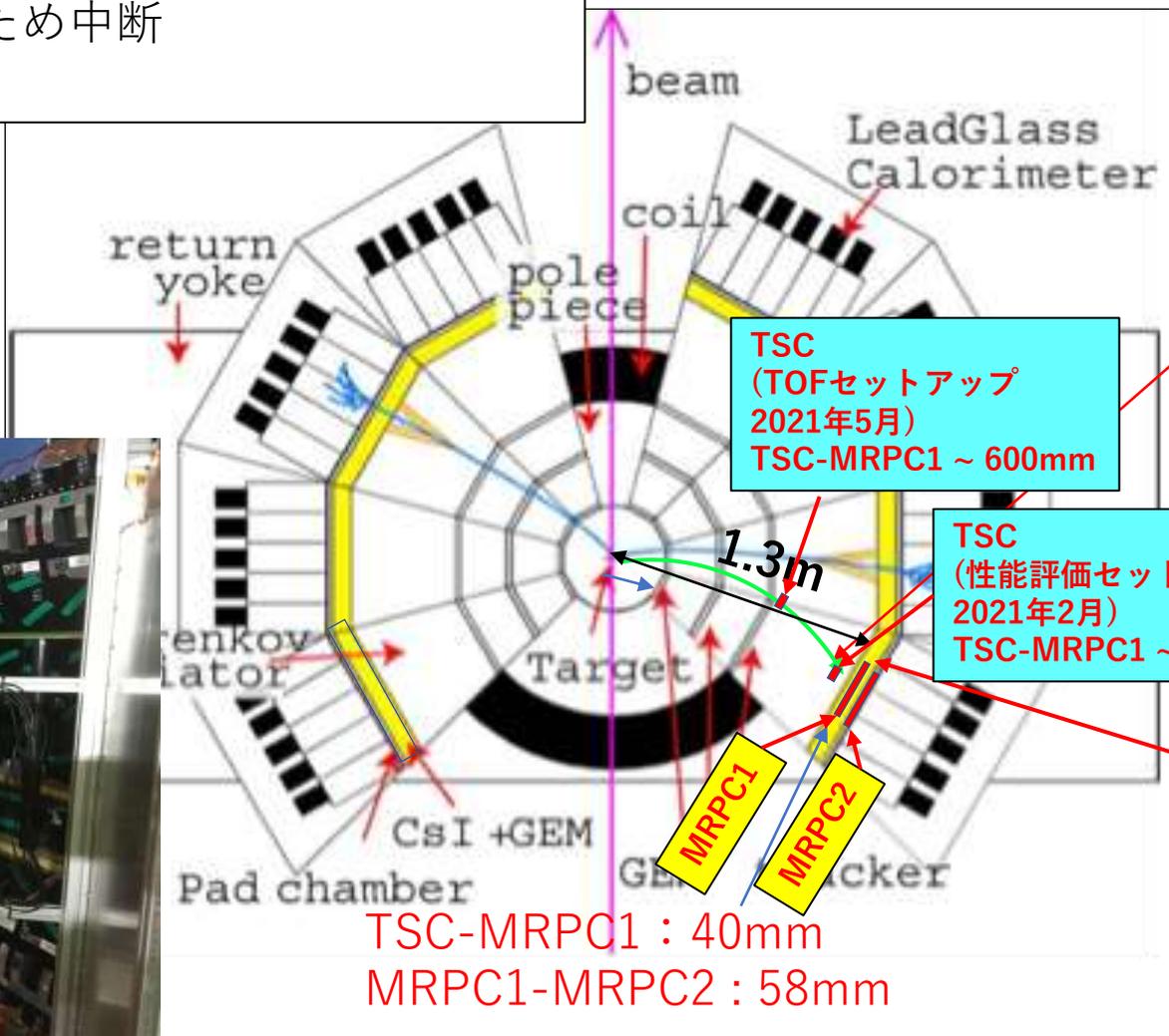
E16実験のコミッショニングRun

- ビームレート : $1 \times 10^8 - 1 \times 10^{10}$ proton / spill

- 標的 : C/Cu (0.2% interaction)

2/28 : MRの故障のため中断

5月に再開予定



Track Start Counter (TSC)
Scintillation counter
4mmx4mmx100mm x 8本

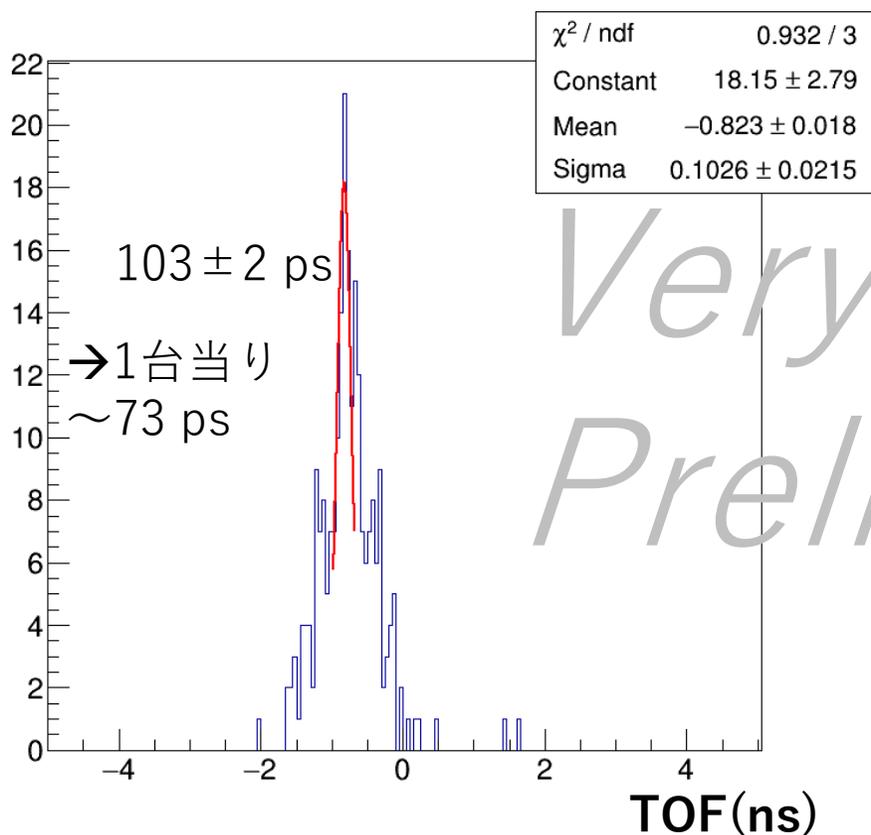


飛行時間分布

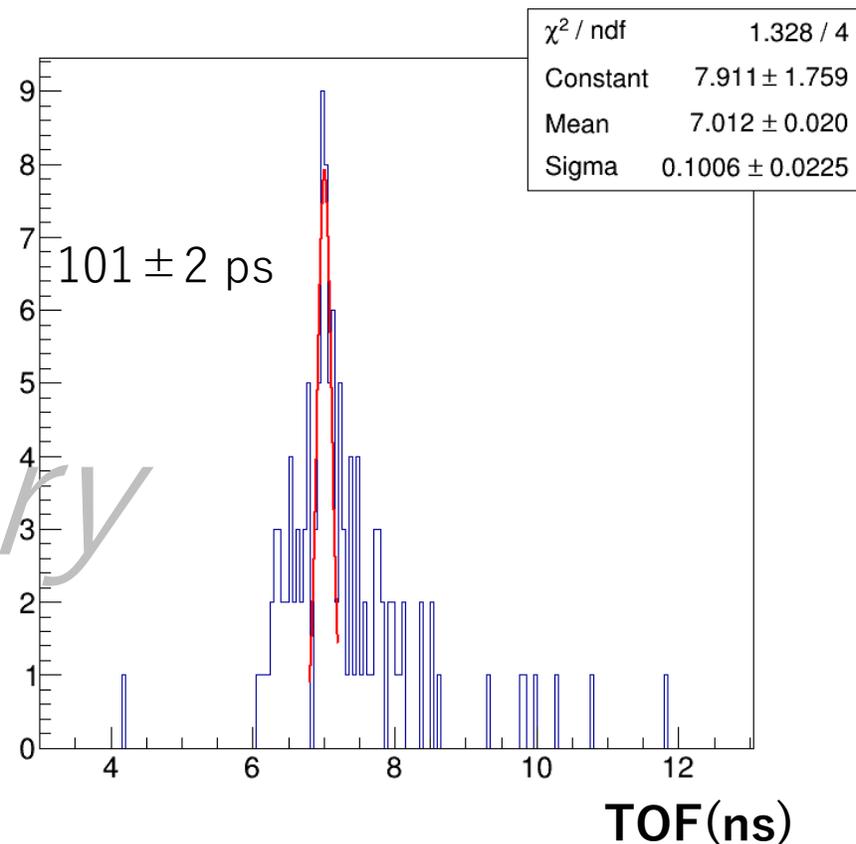
$B=1.93\text{T}$, 1×10^9 / spill

$$\text{TOF} = (\text{T}_{\text{top}} + \text{T}_{\text{bot}}) / 2 [\text{Detector 1}] - (\text{T}_{\text{top}} + \text{T}_{\text{bot}}) / 2 [\text{Detector 2}]$$

MRPC1-MRPC2 TOF

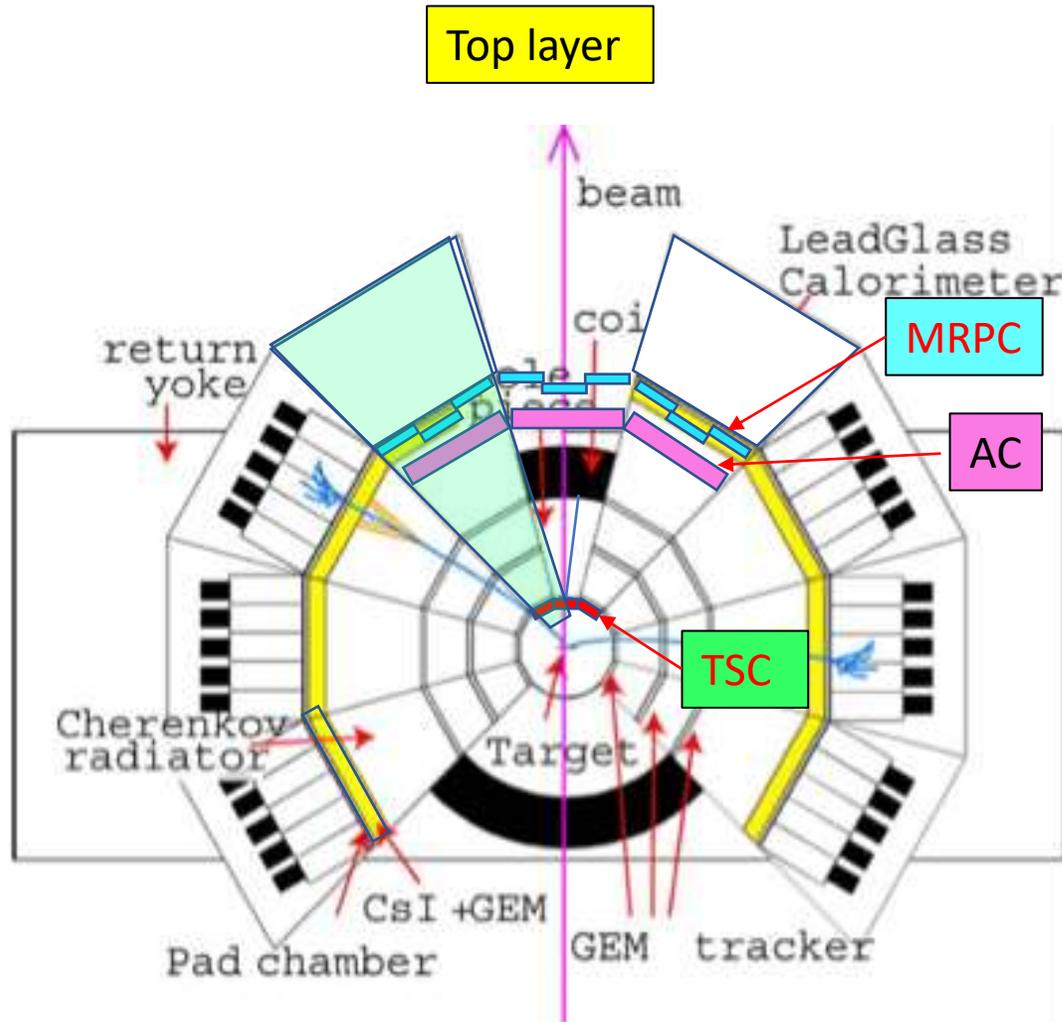


TSC-MRPC2 TOF



With vertex cut, hit isolation cut, χ^2 cut of TSC-MRPC1-MRPC2 track. No slewing corrections

性能評価試験の計画



上段、 -30° のモジュールに
SSD, GTRとともに
TSC, AC, MRPC試験機を設
置、1/6スケールの試験予定
(2022年秋以降)

まとめ

- 目標
 - E16スペクトロメータを使用した $\Phi \rightarrow K + K^-$ 測定手法の確立
- 研究計画(2021-2022)
 - J-PARC PACにおける一次審査（物理審査）の合格を目指す。
 - MRPC、AC試験機の製作
 - 2022年度後半にE16において試験を行い、 K^\pm の識別性能評価、 $\Phi \rightarrow K + K^-$ の測定を目指す。