

# d(K-,n)反応を用いたLambda(1405) 分光実験のための陽子検出器の 開発(2)

J-PARC E31 collaboration

榎本瞬,石橋直哉,井上謙太郎,川崎新吾,阪口篤志,吉田幸太郎,味村周平<sup>A</sup>,野海博之<sup>A</sup>,飯尾雅実<sup>B</sup>,  
板橋健太<sup>B</sup>,岩崎雅彦<sup>B</sup>,應田治彦<sup>B</sup>,大西宏明<sup>B</sup>,佐久間史典<sup>B</sup>,友野大<sup>B</sup>,塚田暁<sup>B</sup>,山崎敏光<sup>B</sup>,石元茂<sup>C</sup>,岩  
井正明<sup>C</sup>,鈴木祥仁<sup>C</sup>,関本美知子<sup>C</sup>,豊田晃久<sup>C</sup>,石川隆<sup>D</sup>,佐藤将春<sup>D</sup>,鈴木隆敏<sup>D</sup>,施赫將<sup>D</sup>,竜野秀行<sup>D</sup>,橋本  
直<sup>D</sup>,早野龍五<sup>D</sup>,藤原裕也<sup>D</sup>,松田恭幸<sup>E</sup>,康寛史<sup>F</sup>,徳田真<sup>F</sup>,福田芳之<sup>F</sup>,佐田優太<sup>G</sup>,永江知文<sup>G</sup>,平岩聡彦<sup>G</sup>,  
藤岡宏之<sup>G</sup>,福田共和<sup>H</sup>,溝井浩<sup>H</sup>,D.Faso<sup>I</sup>,O.Morra<sup>I</sup>,M.Bragadireanu<sup>J</sup>,C.Curceanu<sup>J</sup>,C.Guaraldo<sup>J</sup>,M.Iliescu<sup>J</sup>,  
岡田信二<sup>J</sup>,D.Pietreanu<sup>J</sup>,D.Sirghi<sup>J</sup>,F.Sirghi<sup>J</sup>,P.Behler<sup>K</sup>,M.Cargnelli<sup>K</sup>,石渡智一<sup>K</sup>,J.Marton<sup>K</sup>,  
鈴木謙<sup>K</sup>,E.Widmann<sup>K</sup>,J.Zmeskal<sup>K</sup>,H.Bhang<sup>L</sup>,S.Choi<sup>L</sup>,H.Yim<sup>L</sup>,P.Kienle<sup>M</sup>,L.Busso<sup>N</sup>,G.Beer

阪大理, 阪大RCNP<sup>A</sup>, 理研<sup>B</sup>, KEK<sup>C</sup>, 東大理<sup>D</sup>, 東大教養<sup>E</sup>, 東工大理<sup>F</sup>, 京大理<sup>G</sup>, 大阪電通大<sup>H</sup>, INFN-  
Torino<sup>I</sup>, INFN-LNF<sup>J</sup>, SMI<sup>K</sup>, ソウル国立大<sup>L</sup>, ミュンヘン工大<sup>M</sup>, Torino大<sup>N</sup>, Victoria大<sup>O</sup>

## 大阪大学理学研究科

### 榎本 瞬

2010.9.12@九州工業大

# contents

## 1: イントロダクション

- $\Lambda(1405)$
- J-PARC E31 実験

## 2: 陽子検出器の開発

- 試作機の性能評価
- 実機の製作と測定

## 3: まとめと今後の計画

# $\Lambda(1405)$

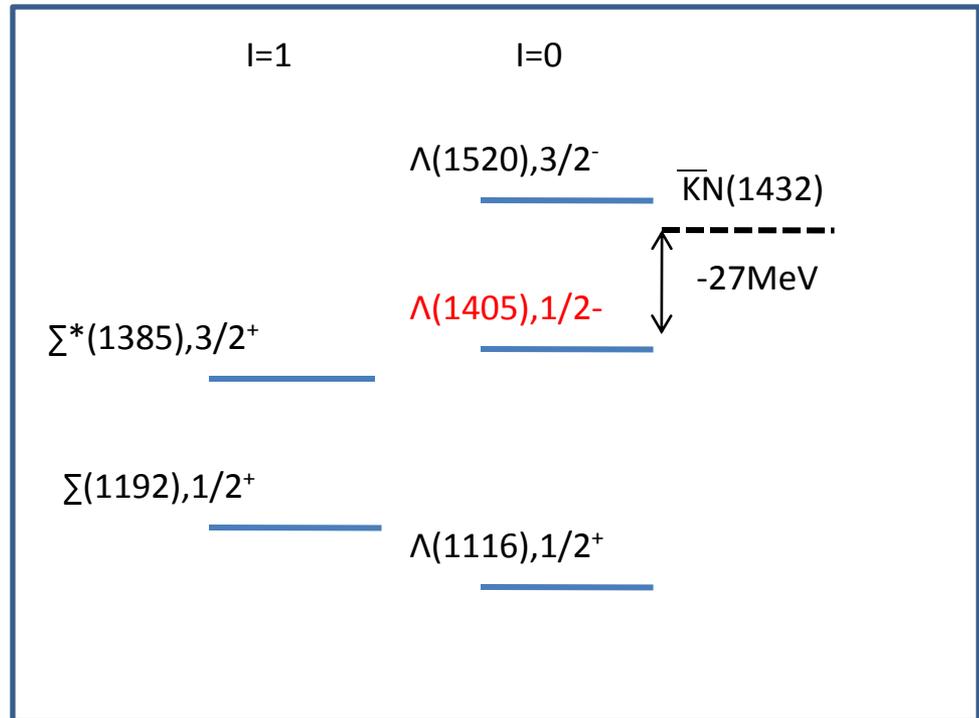
- $\Lambda(1405): J^P=1/2^-, I=0, S=-1$
- 3quark? 5quark?
- $\bar{K}N$ の束縛状態?

1405MeV/c<sup>2</sup>?(1pole?)

→ $\bar{K}N$ の強い束縛状態

1420MeV/c<sup>2</sup>?(2pole?)

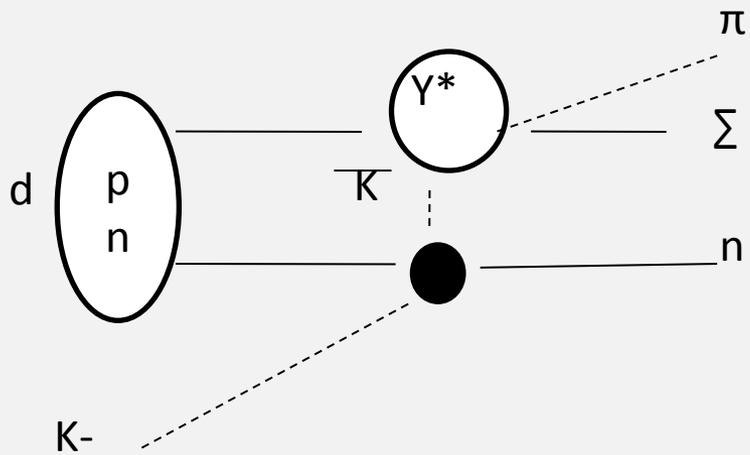
→ $\bar{K}N(1426-16i)$ と $\pi\Sigma(1390-66i)$ の重ね合わせ



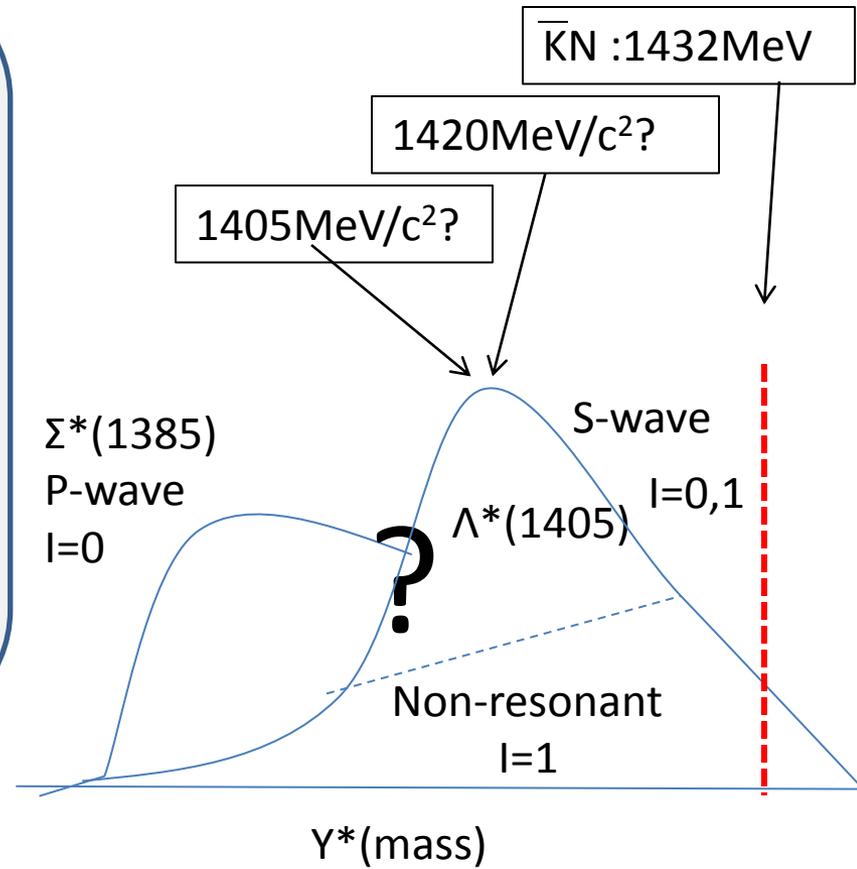
$\bar{K}N$ 束縛状態について知りたい。

→  $\bar{K}N$ の閾値以下での反応実験 $d(K^-, n)$ を行う。

( $\bar{K}N$ 結合を強く反映した実験)



$d(K^-,n)$  反応・・・ $\bar{K}N$  直接反応できる。  
 (自由空間では反応できない)



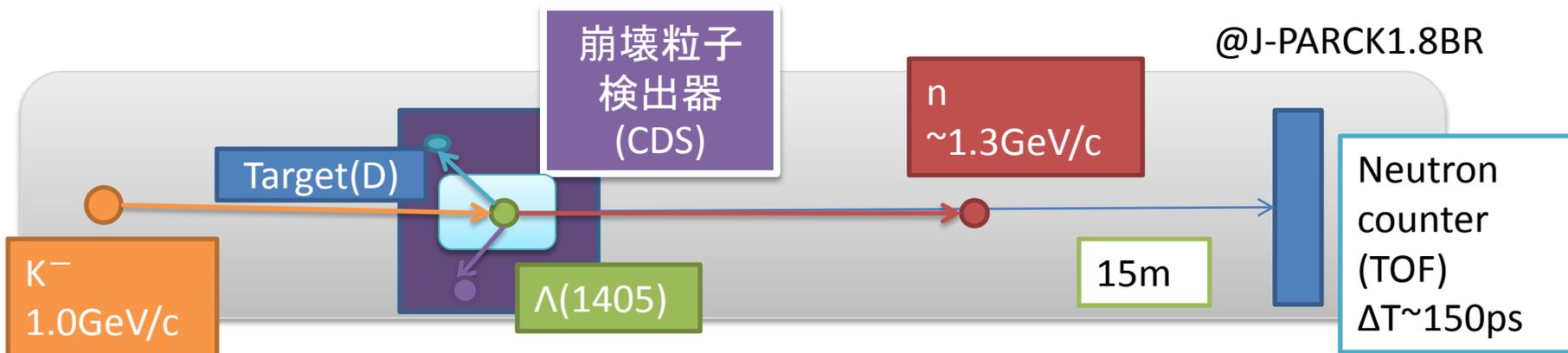
- S-wave,  $l=0$   $\rightarrow \Lambda^*(1405) \rightarrow \pi^0 \Sigma^0, \pi \Sigma^+, \pi^+ \Sigma^-$
- S-wave,  $l=1$   $\rightarrow$  non-resonant(NR)
- P-wave,  $l=1$   $\rightarrow \Sigma^*(1385) \rightarrow \pi^0 \Lambda, \pi^- \Sigma^+, \pi^+ \Sigma^-$

# J-PARC E31 experiment

- $d(K^-, n)\Lambda(1405)$  reaction

E15実験セットアップ

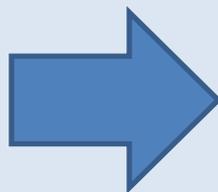
@J-PARCK1.8BR



- 質量欠損法から $\Lambda(1405)$ の質量スペクトルを測定する。

$$MM_{\Lambda(1405)} = \sqrt{(\vec{P}_K + \vec{P}_d - \vec{P}_n)^2}$$

- 崩壊粒子検出器により崩壊モードの同定。



$\Lambda(1405)$ 崩壊モード

$\Sigma^-\pi^+, \Sigma^+\pi^- \rightarrow  l=0$	$\Lambda^*$
	$ l=1$ NR
	$ l=1$ $\Sigma^*$
$\Sigma^0\pi^0 \rightarrow  l=0$	$\Lambda^*$
$\Lambda\pi^0 \rightarrow$	NR or $\Sigma^*$

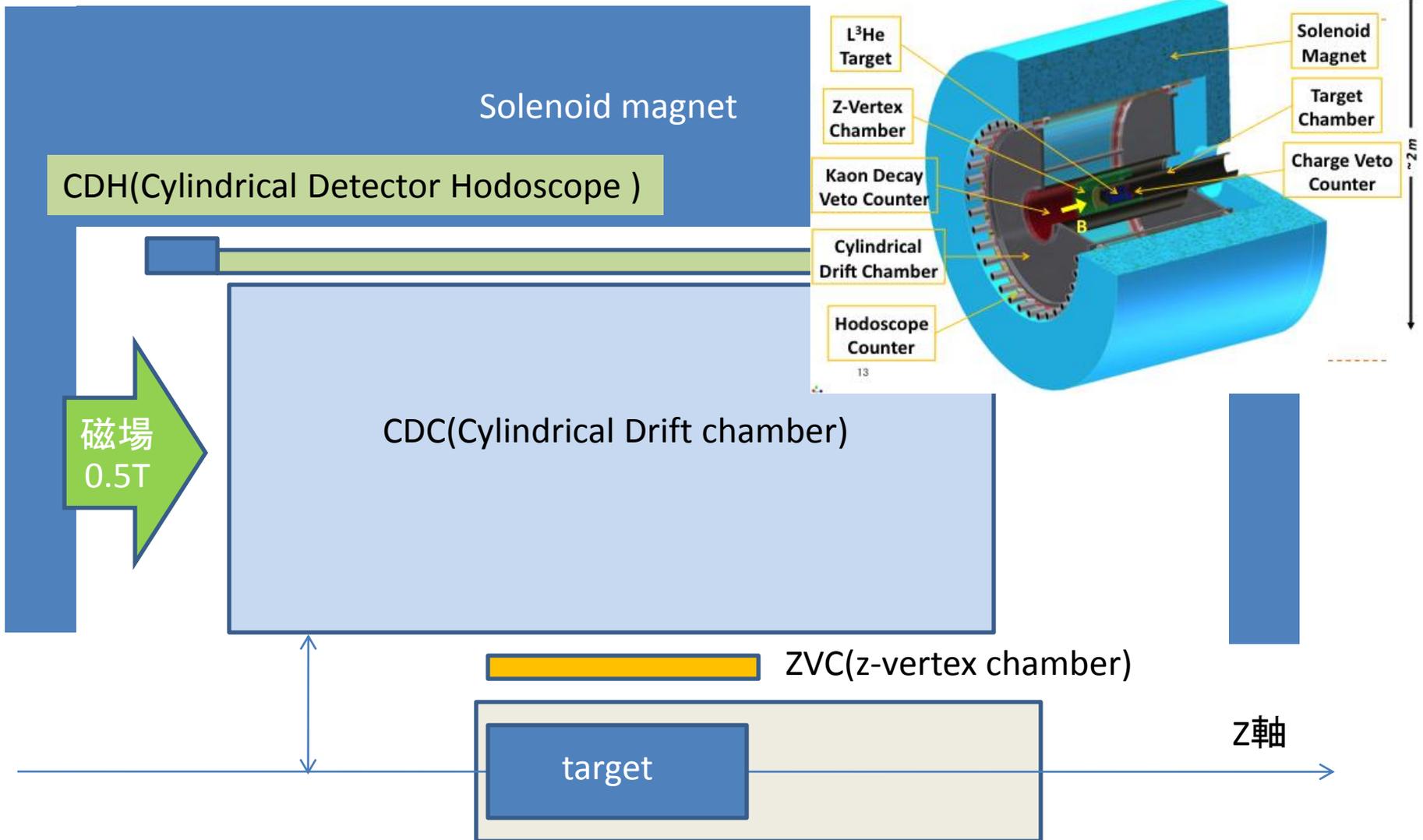
# 崩壊モードの同定

- 1:  $\Lambda(1405) \rightarrow \Sigma^+ \pi^- \rightarrow (n \pi^+) \pi^-$   
 $\Sigma^- \pi^+ \rightarrow (n \pi^-) \pi^+$

- 2:  $\Lambda(1405) \rightarrow \Sigma^0 \pi^0 \rightarrow \Lambda \gamma \pi^0 \rightarrow (p \pi^-) \gamma \pi^0$   
 $\text{NR}/\Sigma(1385) \rightarrow \Lambda \pi^0 \rightarrow p \pi^- \pi^0$

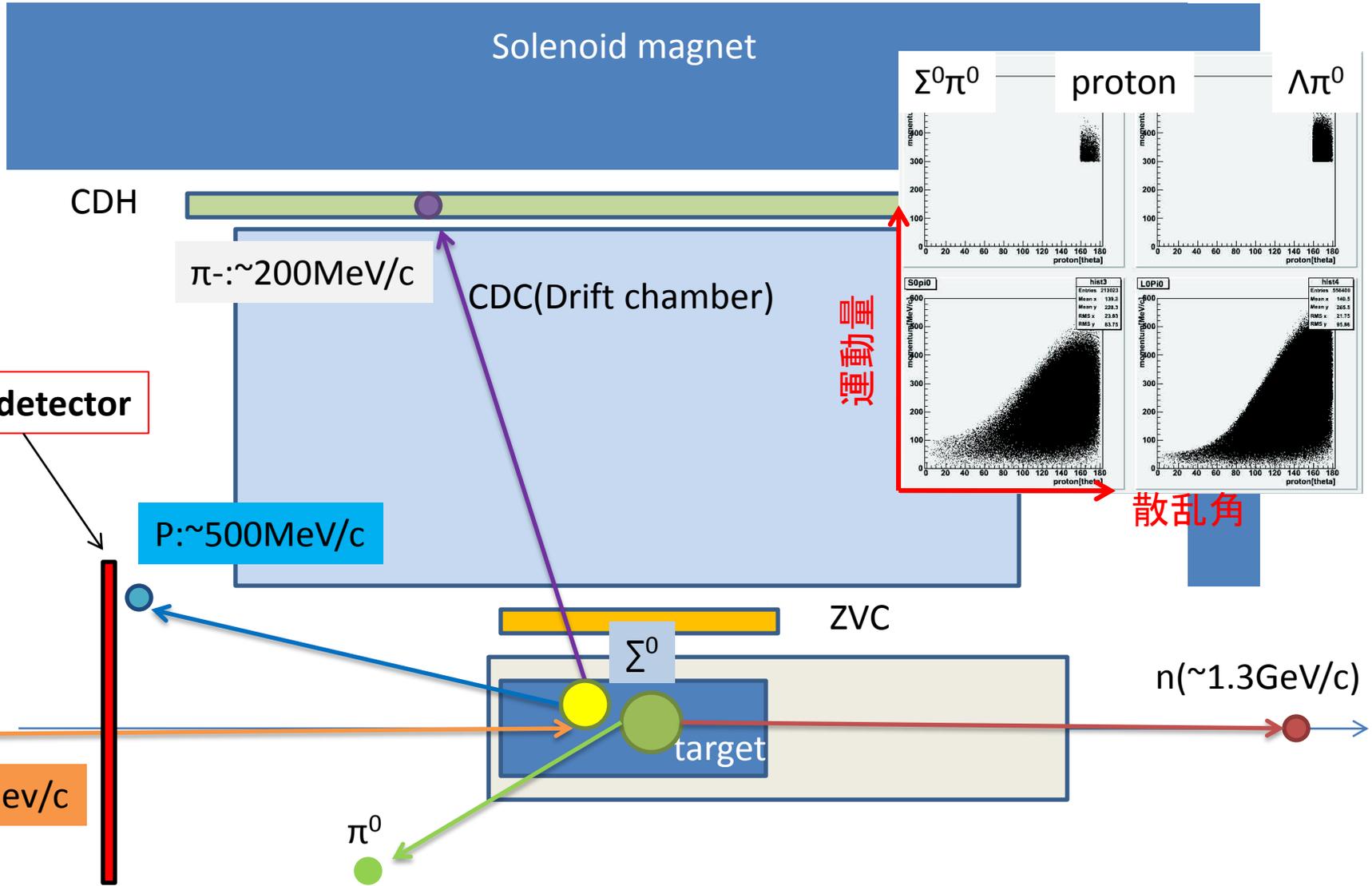
→ **陽子検出器**を新たに加えることが有効である。

# 崩壊粒子検出器(CDS)



$$\Lambda^* \rightarrow \Sigma^0 \pi^0, (\Sigma^* \rightarrow \Lambda \pi^0) \quad \Lambda(1405) \rightarrow \Sigma^0 \pi^0 \rightarrow \Lambda \gamma \pi^0 \rightarrow (p \pi^-) \gamma \pi^0$$

$$\text{NR}/\Sigma(1385) \rightarrow \Lambda \pi^0 \rightarrow (p \pi^-) \pi^0$$



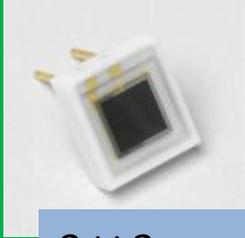
TOF法を用いて陽子の運動量測定

# 陽子検出器の製作

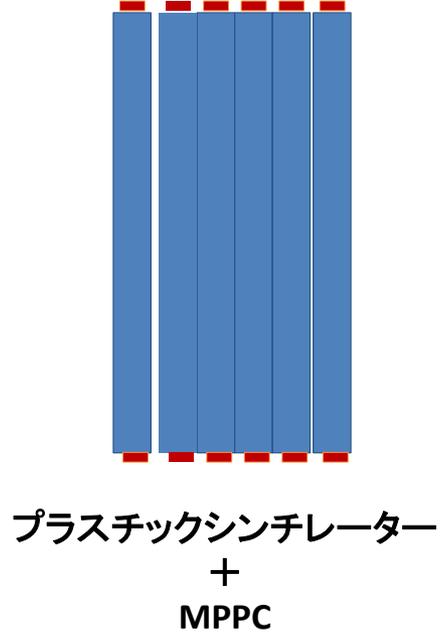
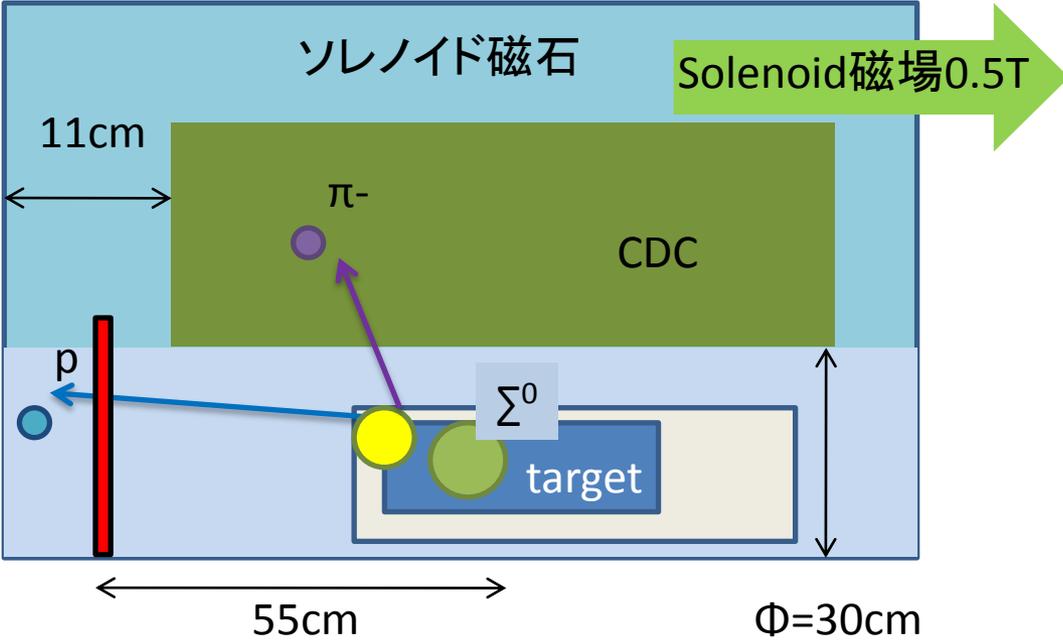
# 陽子検出器に求められる性能

- ・標的後方をカバーする。
  - ・TOF(Time of Flight)法を用いるため標的から距離が必要。
    - ソレノイド磁石の中に検出器を配置。
    - 崩壊検出器(CDC)とソレノイド側面との空間に設置
    - 常温での動作
- MPPC検出器を用いたシンチレータ検出器の開発**

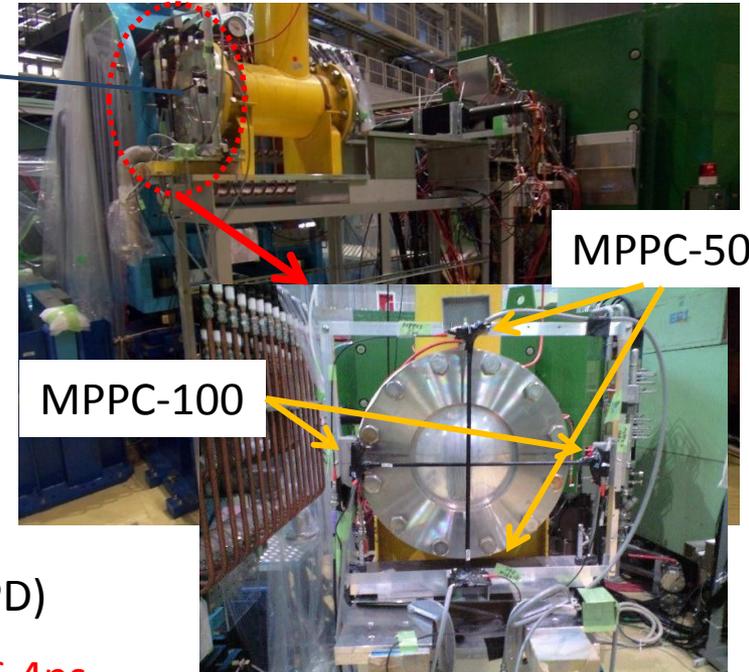
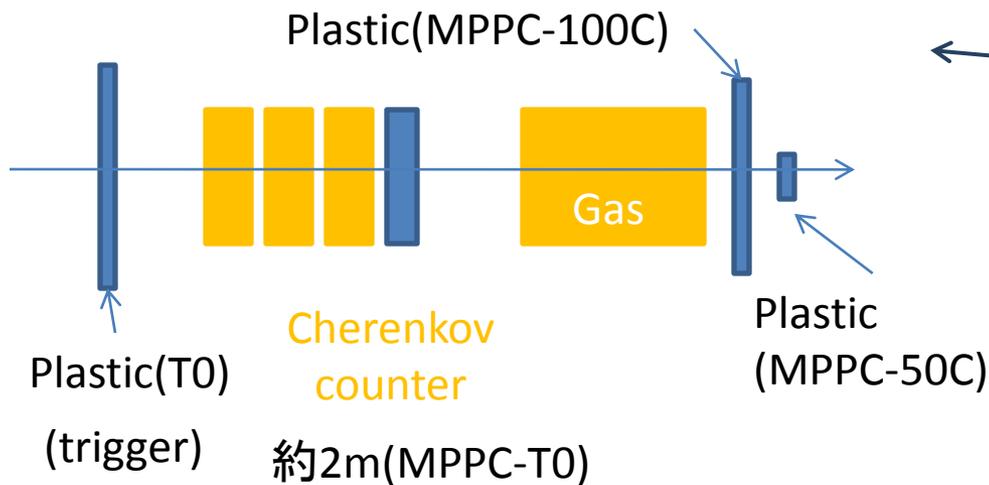
- 3 × 3mmMPPC-50C
- 増幅率( $\sim 10^6$ )
- 磁場耐性
- コンパクト
- 安価1.8万円



3 × 3mm<sub>10</sub>

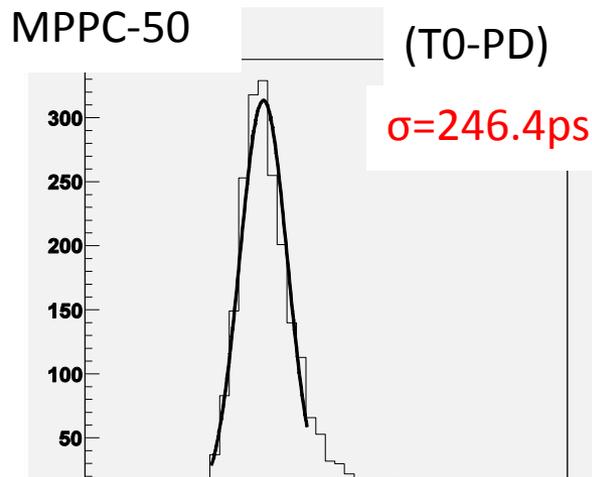


# ビームテスト(@J-PARCK1.8BR)



Trigger: electron  
Beam: -0.75 GeV/c

- minimum ionization
- 本実験に近いセットアップ。  
→ 飛行距離(約2m)  
→ 同じトリガー

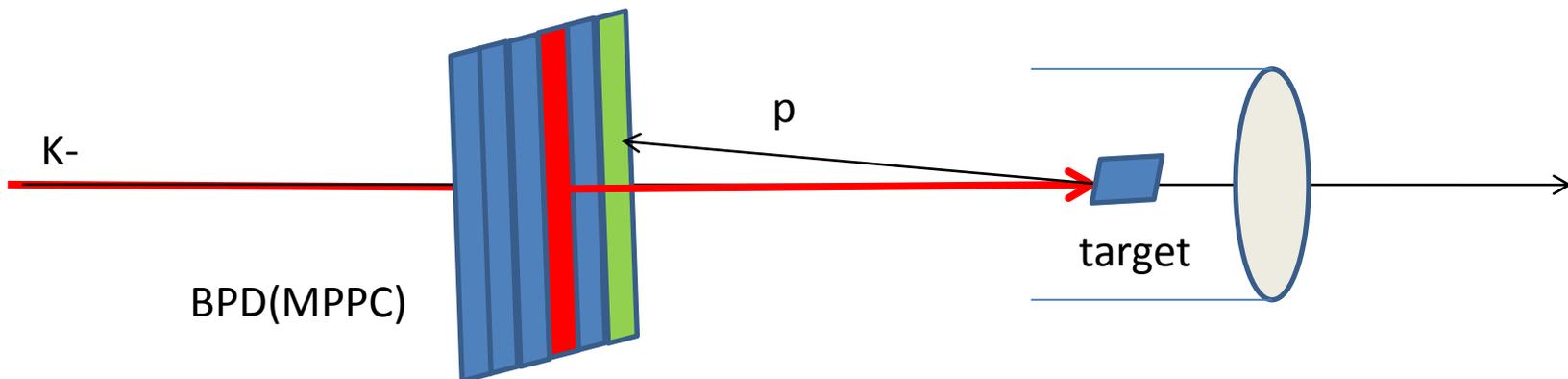
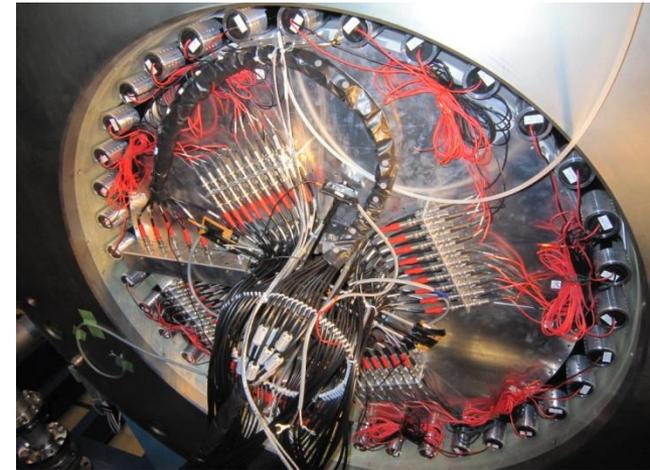


陽子検出器として性能があることを確認。実機製作を行う。

# 実機製作\_1

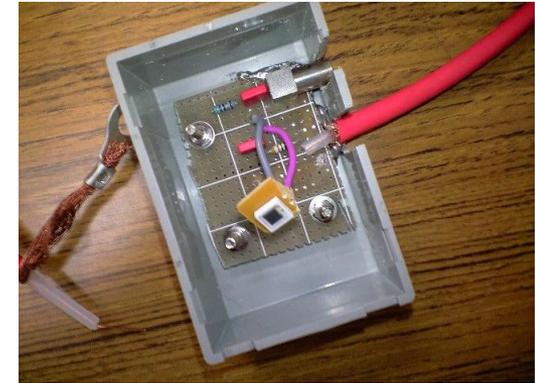
- カバーする領域( $35 \times 35\text{cm}^2$ )
- 読み出しch数の最適化。
  - 検出器配置スペースの制限
  - K-ビーム軌道の上に置くためセグメント化。
  - コスト面(センサー・アンプの削減)
- 取り付け方法の検討
  - ケーブルの取り回し(ソレノイド内の検出器との干渉)
  - MPPCの取り付けの自由度

ソレノイド上流部分  
(フレーム外した状態)

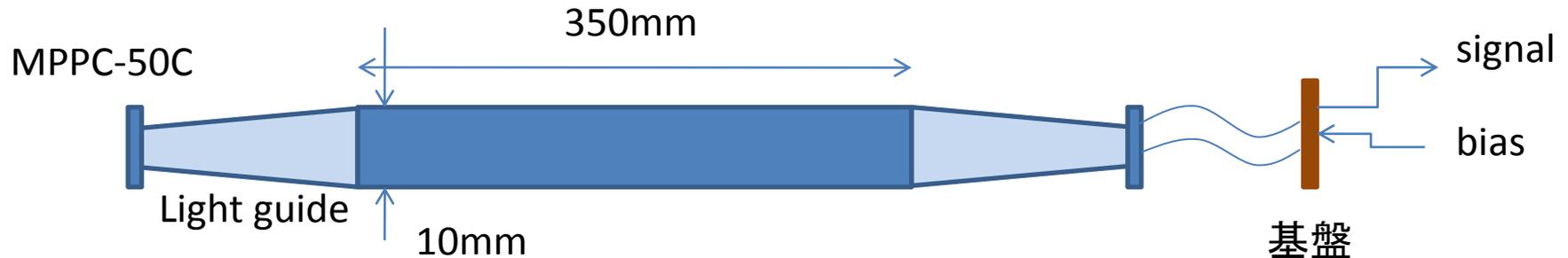


# 実機製作\_2

	試作機	実機
形状(厚さ幅長さ)	5*5*400mm	5*10*350mm
ライトガイド	なし	あり
接着面(MPPC-検出器)	グリス	硬化樹脂



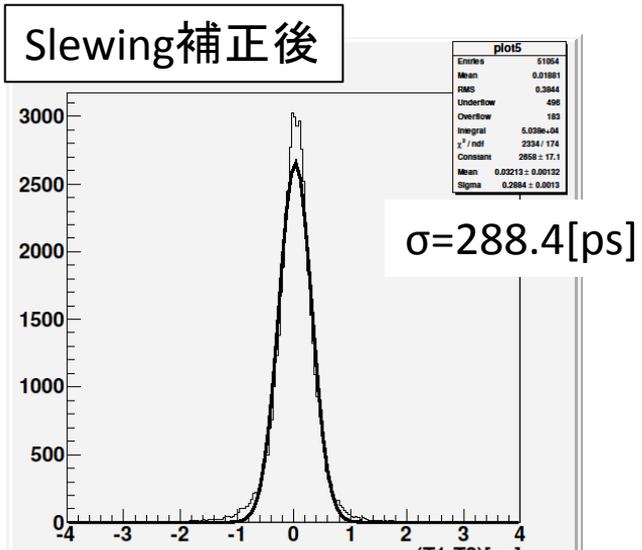
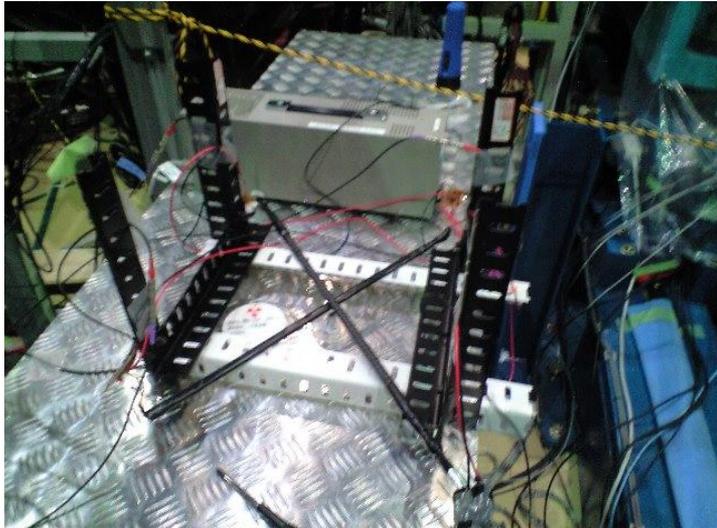
Idea(5\*10\*350mm<sup>3</sup> × 35 segment)



→実機として時間分解能の再測定

# 実機の時間分解能測定

- Sr-90線源を用いて2本の実機をクロスして時間分解能を測定



$$(\sigma_{\text{検出器}}) = (\sigma_{\text{測定値}}) / \sqrt{2}$$
$$\sigma = 203.9 \text{ ps}$$

検出器の2本の差(T1-T2[ns])

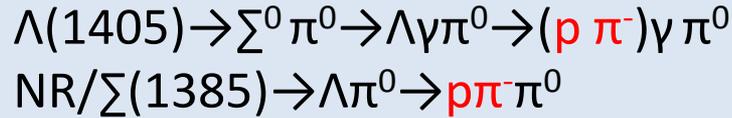


# まとめと今後

- J-PARC E31のため陽子検出器の試作機を製作し、ビームテストにより一定の性能(光量・時間分解能 $\sigma=246\text{ps}$ )が得られた。
- 試作機でのテストを受け、実機を製作した。
- 実機を線源で時間分解能を測定。 $\sigma=204\text{ps}$ が得られた。
- 実機の設置に向けた準備も同時に進行中である。
  
- 時間分解能の改善はどこから来るものか。定量的な評価をする必要がある。
- 崩壊陽子の有感領域の詳細な検討および陽子検出器の最終的な形状の決定。

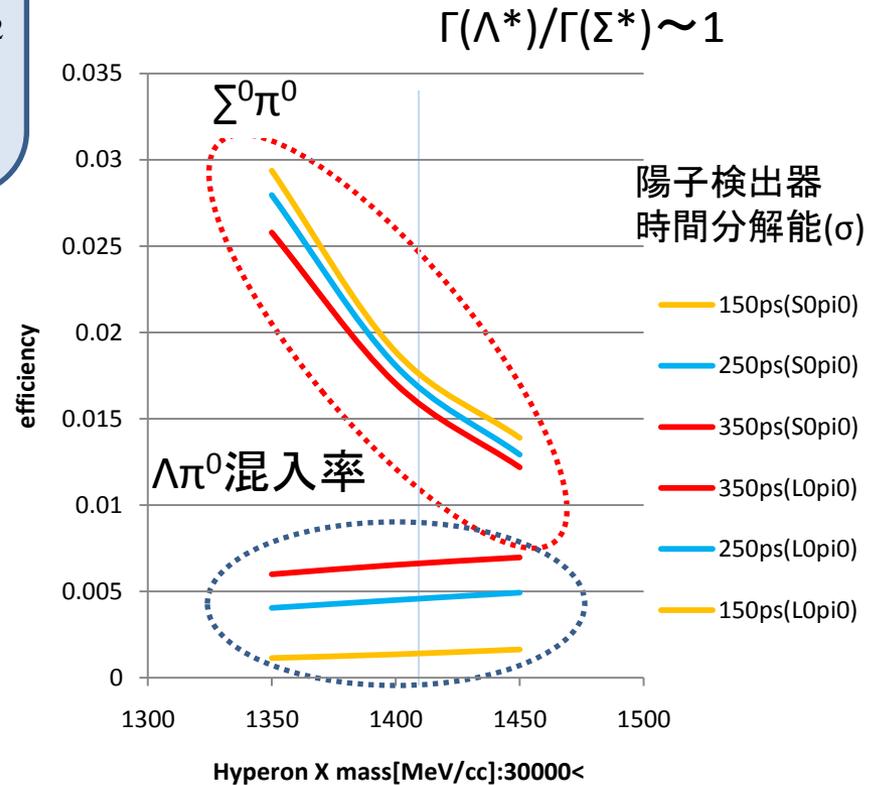
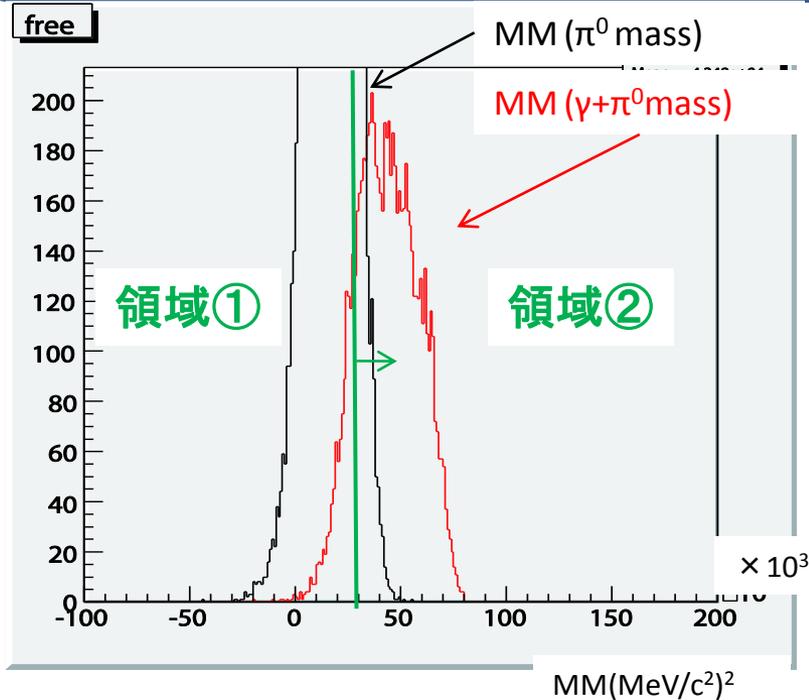
Back up

# $\Sigma^0\pi^0$ の同定



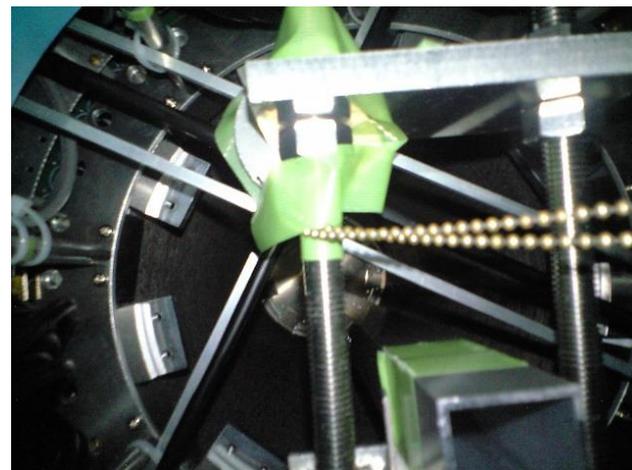
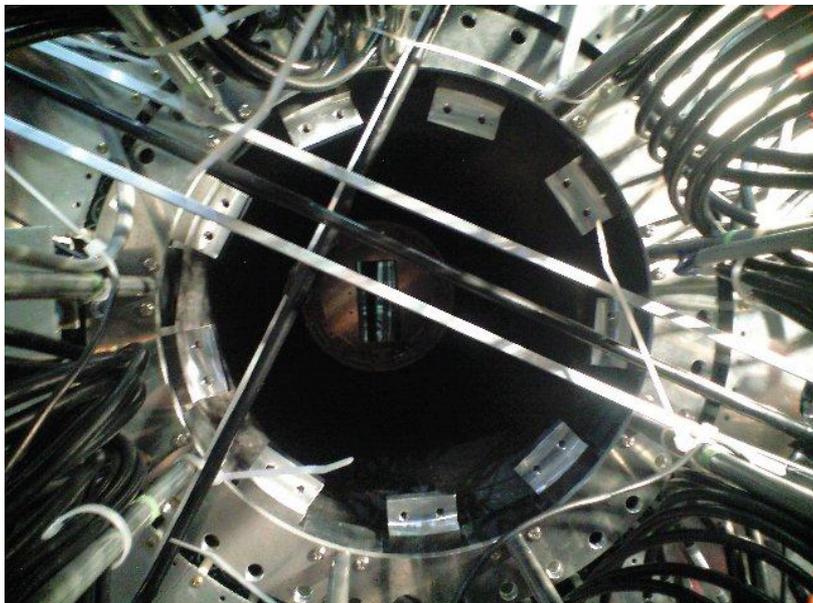
$$MM_Y^2 = (\vec{P}_Y)^2 = (\vec{P}_K + \vec{P}_d - \vec{P}_n - \vec{P}_p - \vec{P}_{\pi^-})^2$$

P:四元運動量



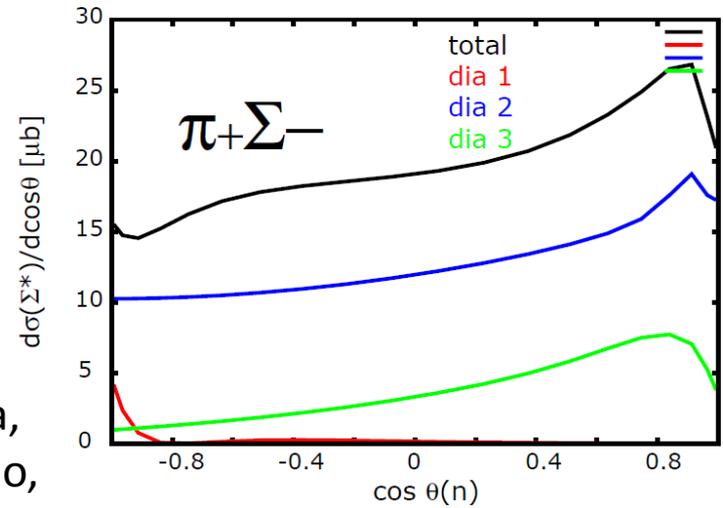
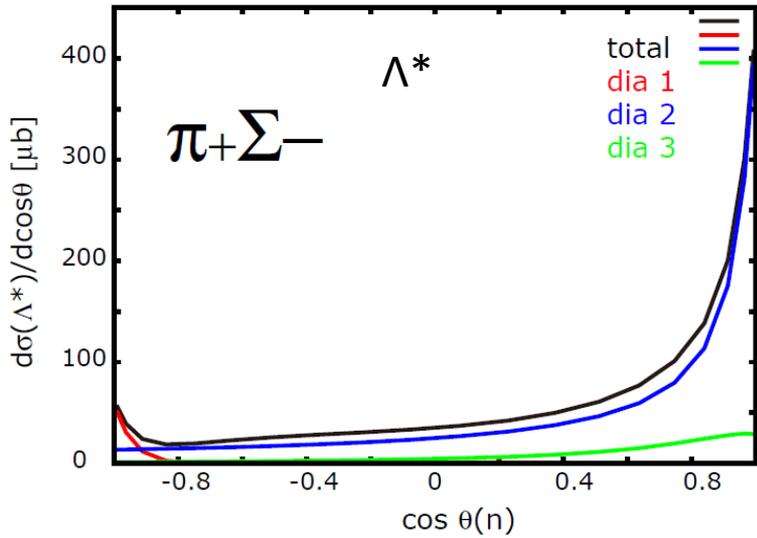
$$\Lambda\pi^0(\text{混入率}) = (\Lambda\pi\text{検出数}[\text{領域②}]) / (\Lambda\pi\text{の生成数})$$

# ソレノイド磁石中での動作確認

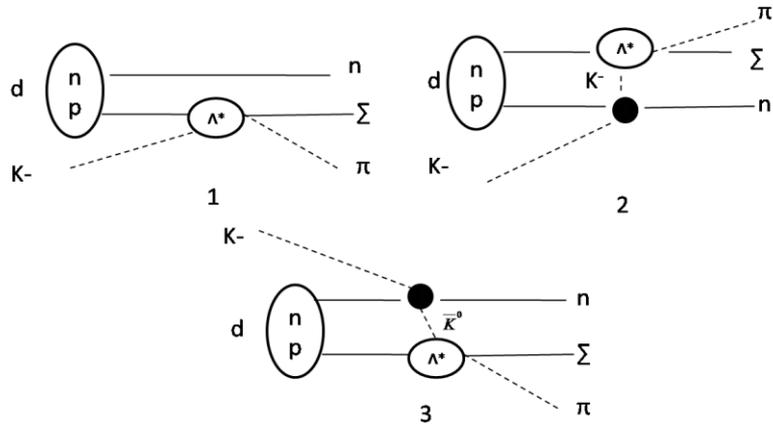




$D(K^-,n)\pi^+\Sigma^-$  ( $P_K=800\text{MeV}/c$ )

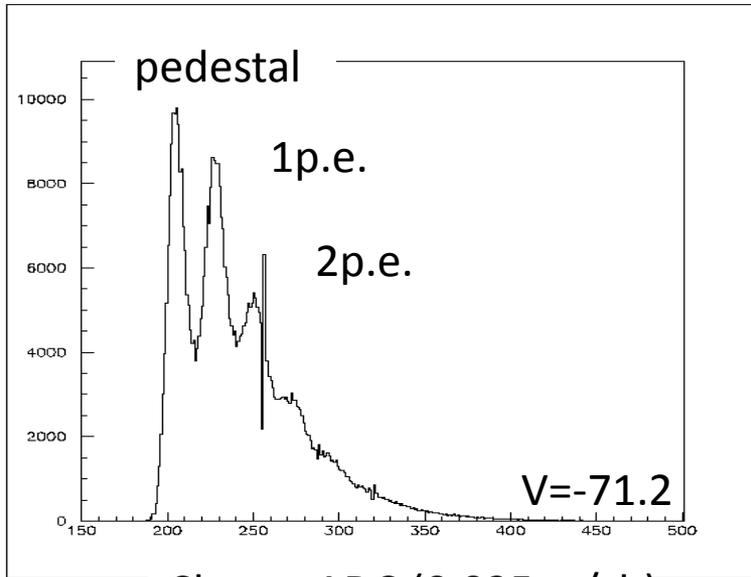


J.Yamagata-Sekihara,  
T.Sekihara, and D.Jido,  
paper in preparation

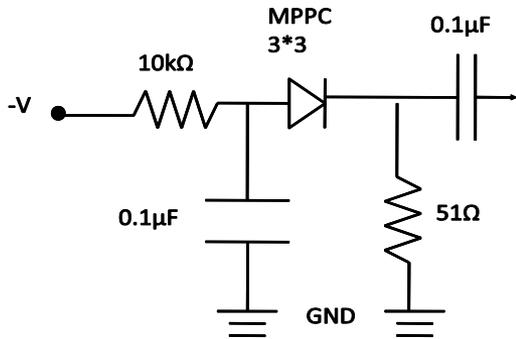


# MPPC-電圧特性

MPPC—50C(pixel size $50\mu\text{m}^2$ )

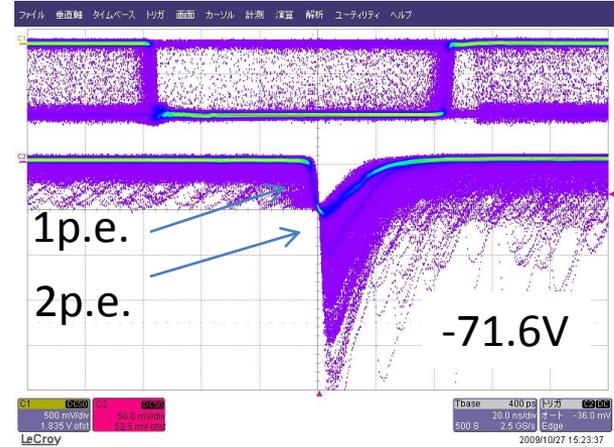


Charge ADC (0.025pc/ch)

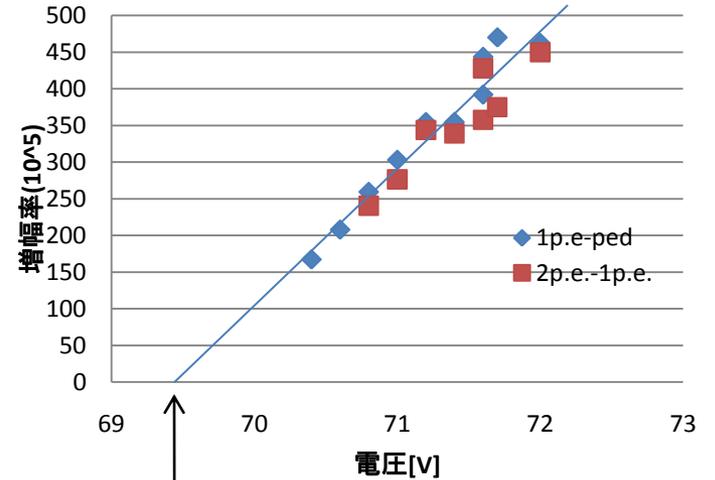


読み出し回路

$$(Q_{2\text{p.e.}} - Q_{1\text{p.e.}}) / (1.6 \times 10^{-19}) = 1\text{pixel分の増幅率}$$



MPPC+アンプ(100倍)



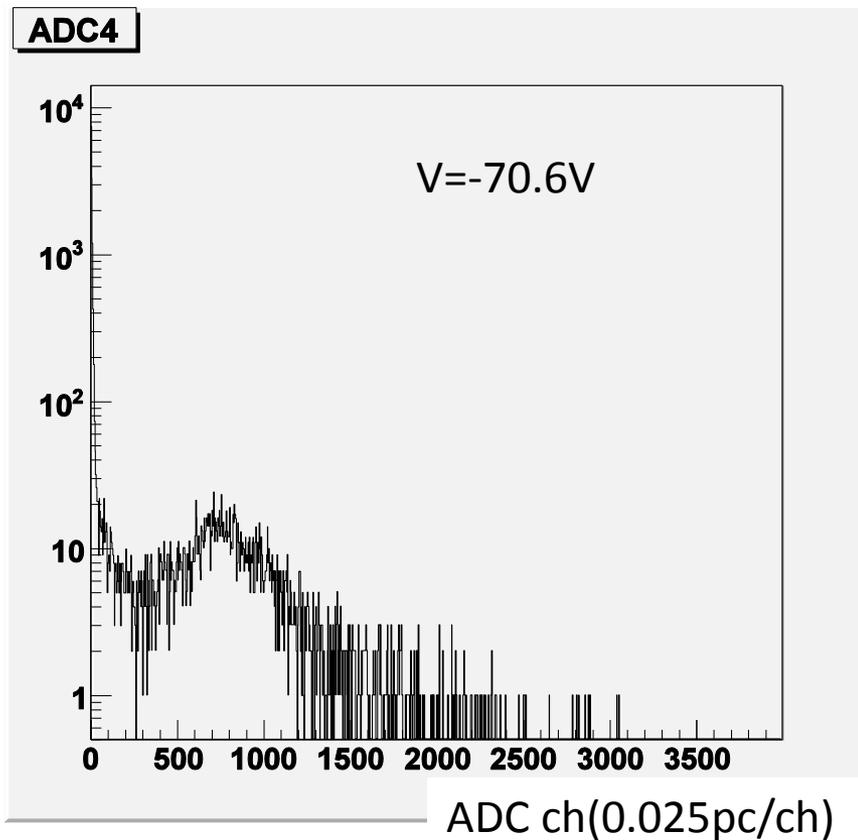
$V_{BR} = 69.4\text{V}$

$$Q = C(V - V_{BR})$$

# Photon数

run779

MPPC-50ADC(NO.4)

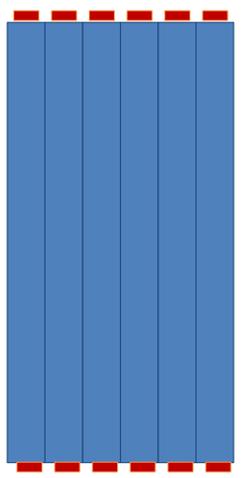
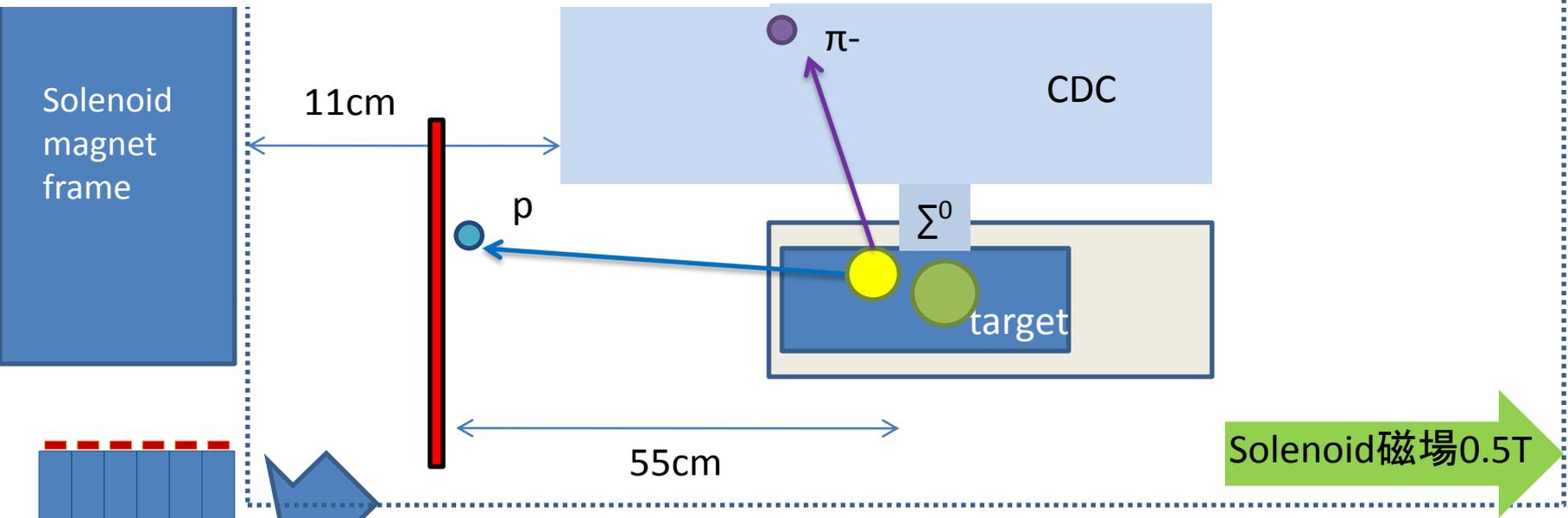


13ch=1p.e.

40p.e~50p.e.

厚さ5mm(5\*5\*400mm)  
1MeVのエネルギーロス  
→9700p.e.(EJ-230)  
入射面積9/25  
開口率61.5%  
全反射0.3etc

# 陽子検出器の開発



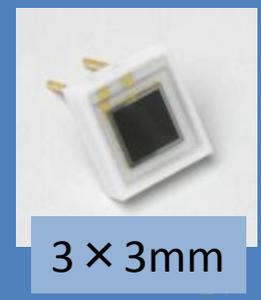
プラスチックシンチレーター  
+  
MPPC

TOF(Time of Flight)法を用いる。

## MPPC

(Multi-Pixel-Photon-Counter)

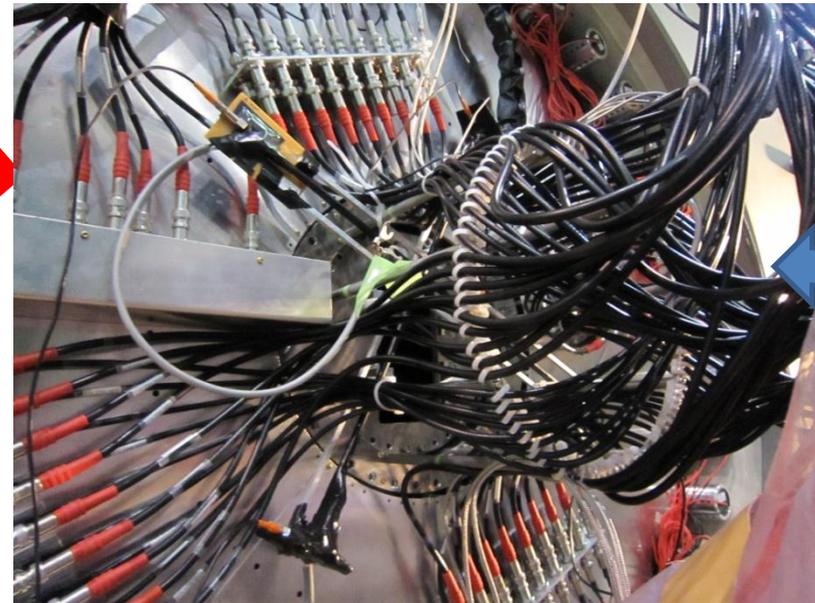
- 3 × 3mm MPPC-50C
- 増幅率( $\sim 10^6$ )
- 磁場耐性
- コンパクト
- 安価1.8万円



3 × 3mm

# Excitation test of Solenoid magnet

- We Install MPPC at upstream of CDC



Beam  
direction

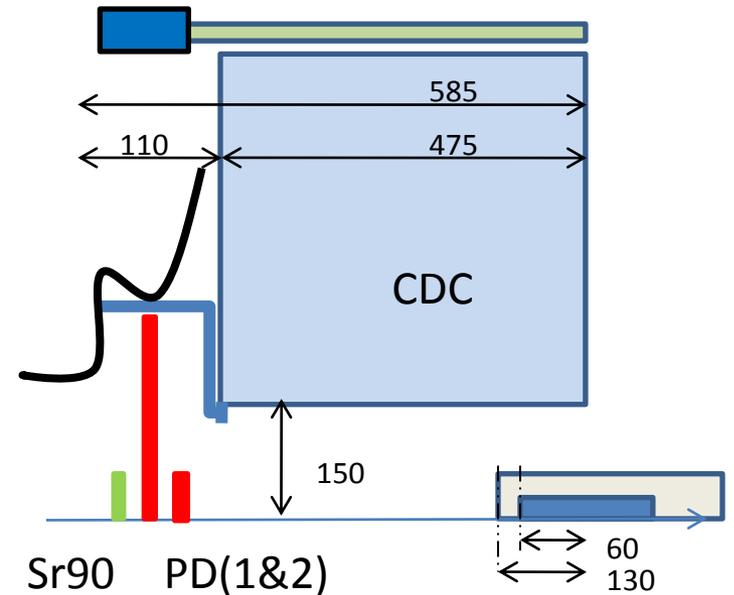
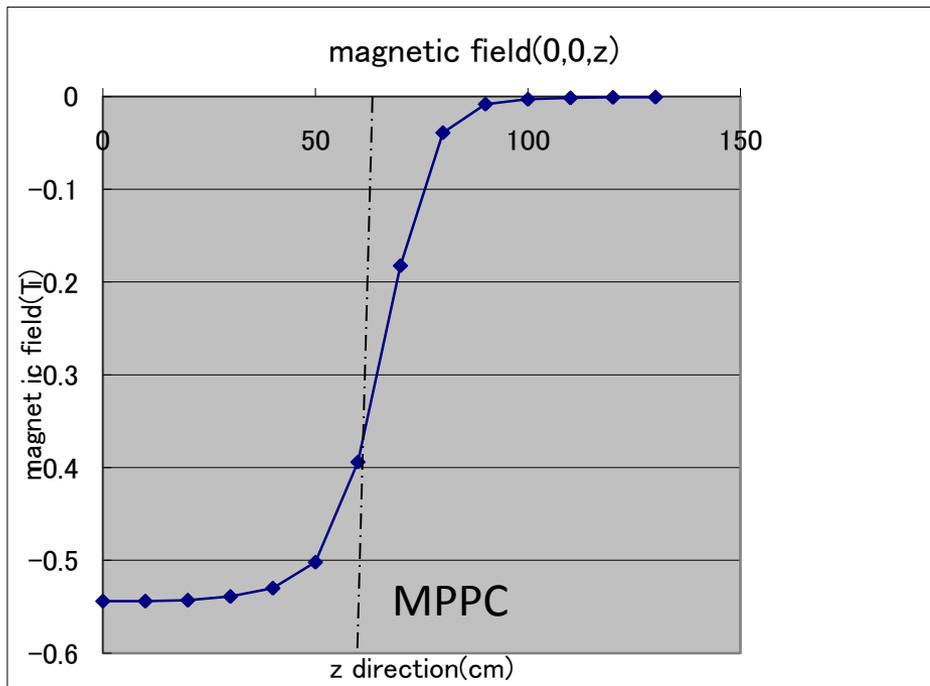


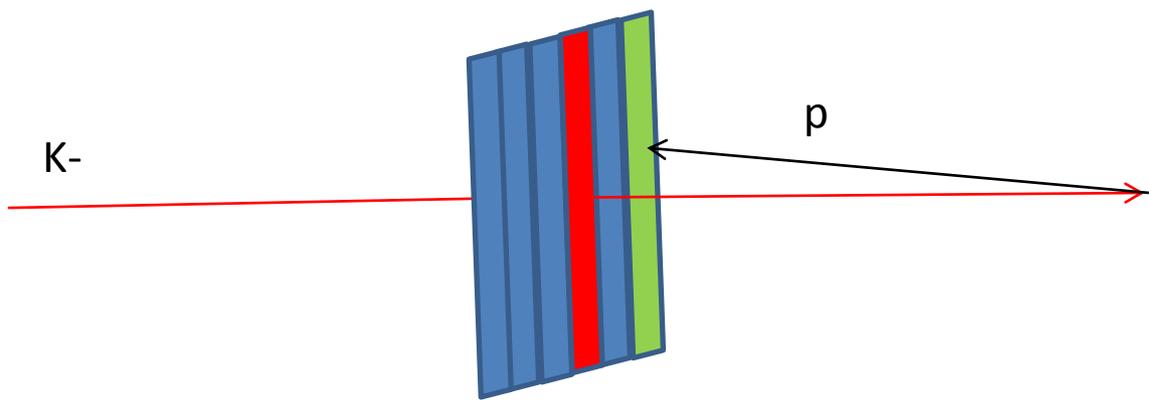
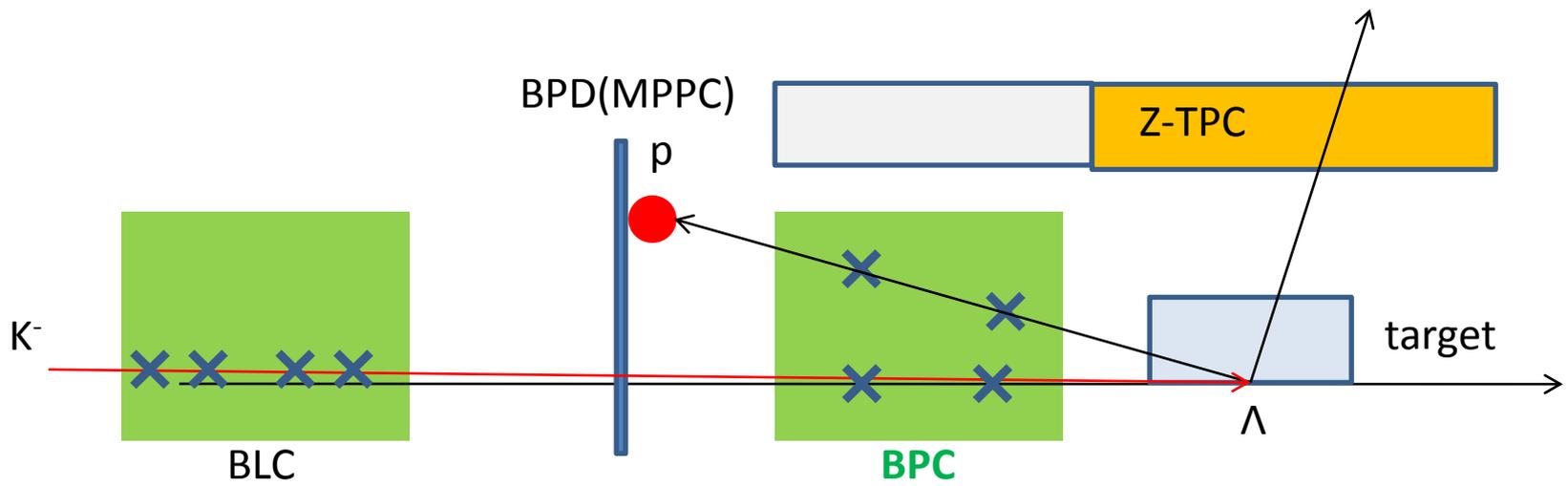
# Set up

Source: Sr-90

Detector size:  $5 \times 5 \times 400 \text{mm}^3$  + light guide

MPPC:  $3 \times 3 \text{mm}^2$  (pixel size:  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ )



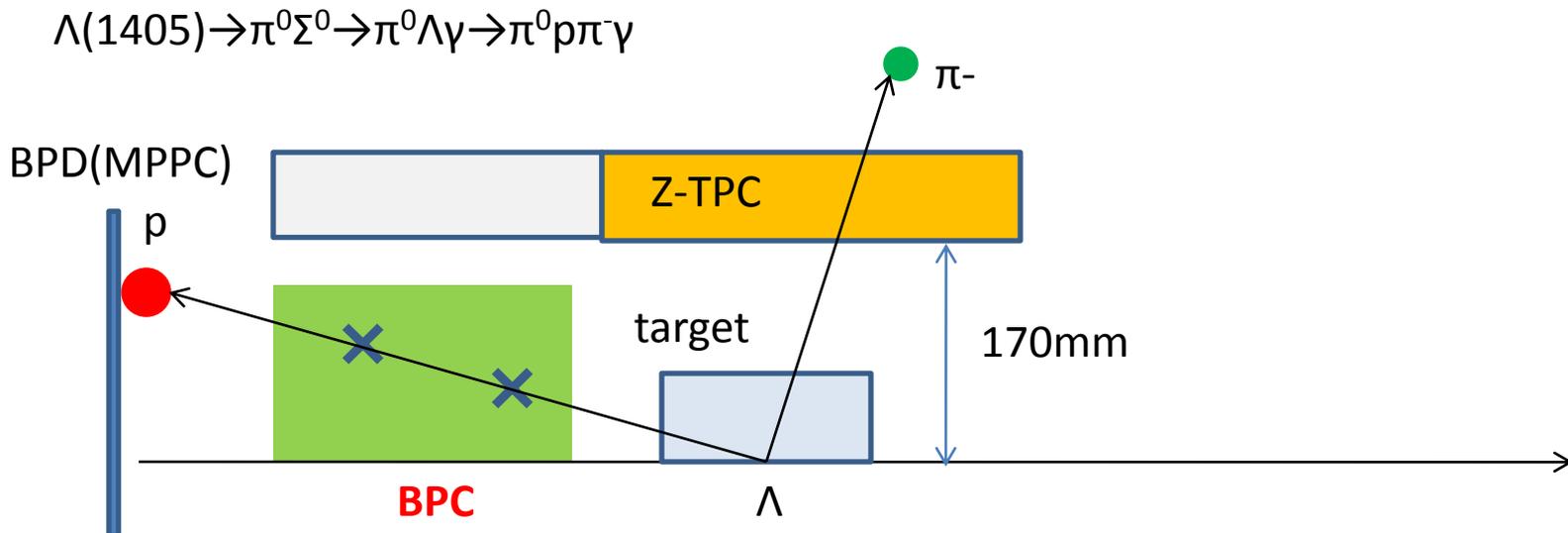


Idea( $5 \times 10 \times 350 \text{mm}^3 \times 35 \text{ segment}$ )

For E31 experiment.

## Backward Proton Chamber 1

- BPC to measure a proton trajectory in the  $\pi^0\Sigma^0$  mode is necessary to determine a  $\Lambda$  decay point combined with z-TPC.
- Small DC is hardly installed without interference with TPC.





- クレプシューゴルドン係数から
- $|2\ 0\rangle = \sqrt{1/6}\pi^-\Sigma^+ \quad \sqrt{2/3}\pi^0\Sigma^0 \quad \sqrt{1/6}\pi^+\Sigma^-$
- $|1\ 0\rangle = -\sqrt{1/2}\pi^-\Sigma^+ \quad 0 \quad \sqrt{1/2}\pi^+\Sigma^-$
- $|0\ 0\rangle = \sqrt{1/2}\pi^-\Sigma^+ \quad -\sqrt{2/3}\pi^0\Sigma^0 \quad \sqrt{1/3}\pi^+\Sigma^-$
- $I=1$ から $\pi^0\Sigma^0$ に崩壊することはない。
- $\Sigma(1385)[I=1] \rightarrow \Sigma^0\pi^0$ へは×。

# Backward Proton chamber 2

- BPC will be placed inside of TPC and upstream of the target.
- active area is  $101.5 \times 101.5 \text{mm}^2$  (cylindrical? )
- layer: xx'yy'xx'yy'
- All system (ASD, chamber frame) inside  $\phi 168 \text{mm}$
- Drift Length is  $3.5 \text{mm}$  ( $101.5 \text{mm} / 7 \text{mm} = 15 \text{ch}$ , ASD is 8 (128ch))

plan:Geometry(BPD\_support\_frame)

