

# **d(K<sup>-</sup>,n)反応を用いた Λ(1405)分光実験のための 陽子検出器の開発(4)**

大阪大学理学研究科RCNP

榎本 瞬

濱野博友

For J-PARC E31 collaboration

## 1:実験概要

- ▶d(K<sup>-</sup>,n) reaction
- ▶J-PARC E31 experiment

## 2:検出器開発

- ▶テスト実験 @LEPs
- ▶今後の計画(実機製作)

## 3:まとめ

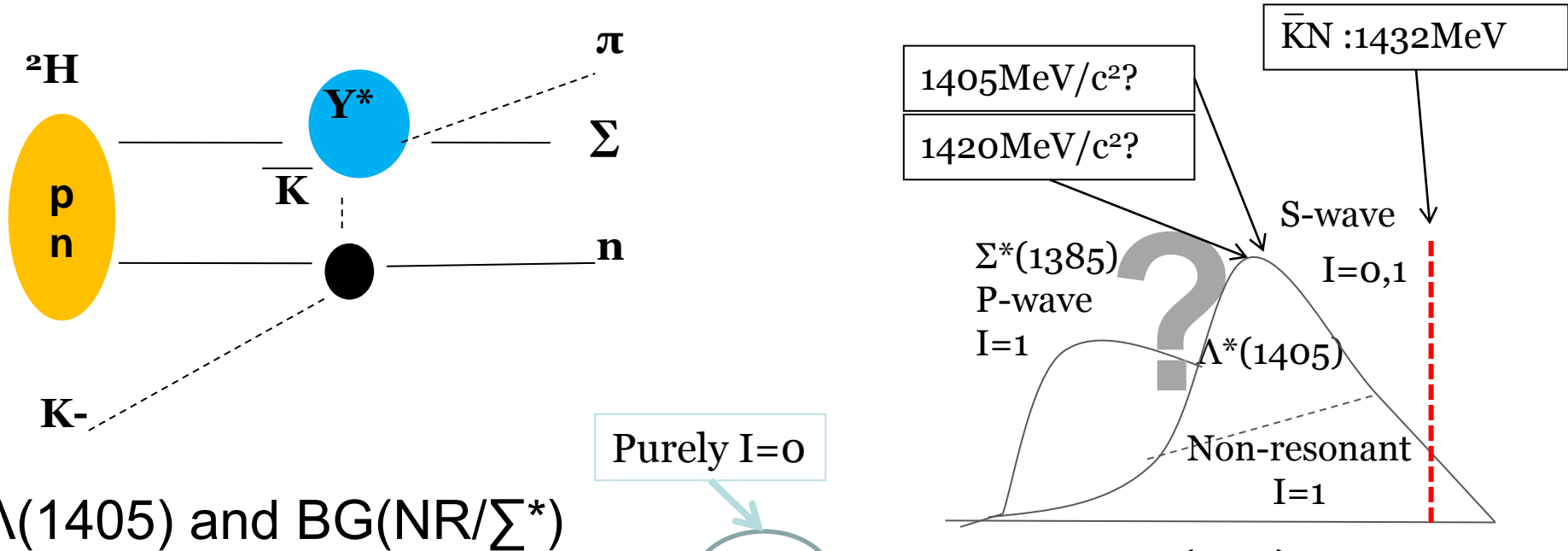


# 1: 実験概要

# the(K-,n) reaction on Deuteron.

## Motivation

- $\Lambda(1405)$ が $\bar{K}N$ 共鳴状態であるかを明らかにする。



$\Lambda(1405)$  and BG(NR/ $\Sigma^*$ )

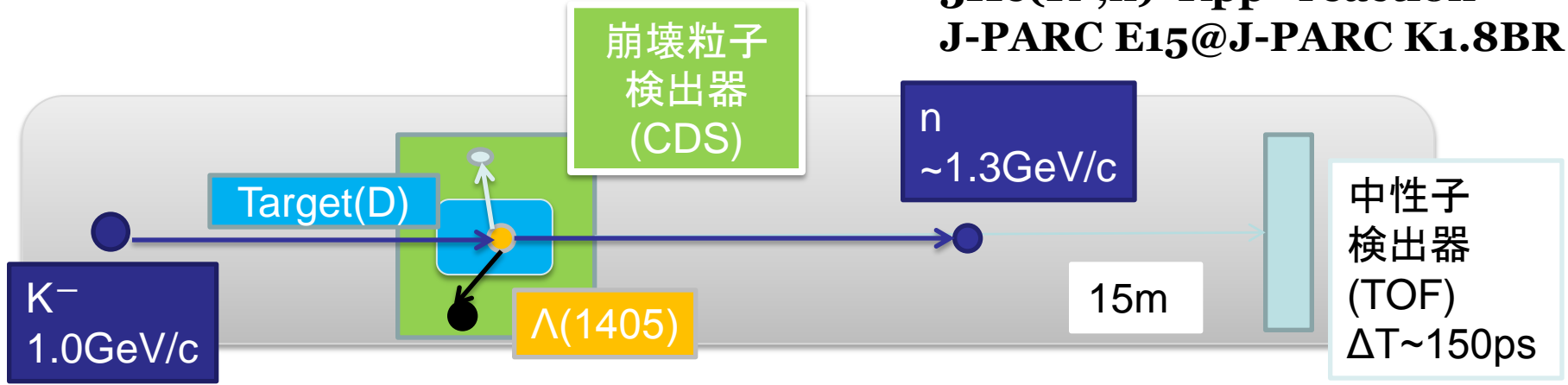
- I(アイソスピン)=0 の識別が可能である。(KbarN $\rightarrow$  $\pi\Sigma$ )
- I=0,1の干渉の振幅もわけることができる。

P-wave, I=1  $\rightarrow \Sigma^*(1385) \rightarrow \pi^0\Lambda, \pi^-\Sigma^+, \pi^+\Sigma^-$

# J-PARC E31 Experiments

Spectroscopic study of Hyperon Resonances below KbarN threshold via the  $(K^-, n)$  reaction on Deuteron.

**$^3\text{He}(K^-, n)^{\Lambda^*}\text{Kpp}$  reaction**  
**J-PARC E15@J-PARC K1.8BR**



1:  $\Lambda^*$  質量スペクトルを質量欠損法(Missing Mass)によって測定.

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

•  $\sigma_{MM} \sim 9 \text{ MeV}/c^2$  at  $P_{K^-} = 1.0 \text{ GeV}/c$

2: 崩壊粒子検出器(CDS)によって $\Lambda^*$ の崩壊モードを同定する。



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

# $\Lambda^*$ 崩壊モードの識別

case1:

$\pi^+\Sigma^-$  and  $\pi^-\Sigma^+$

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

$\Sigma^-\pi^+ \rightarrow (n\pi^-)\pi^+$

→既存の検出器で十分なアクセプタンスが得られる。

case2:

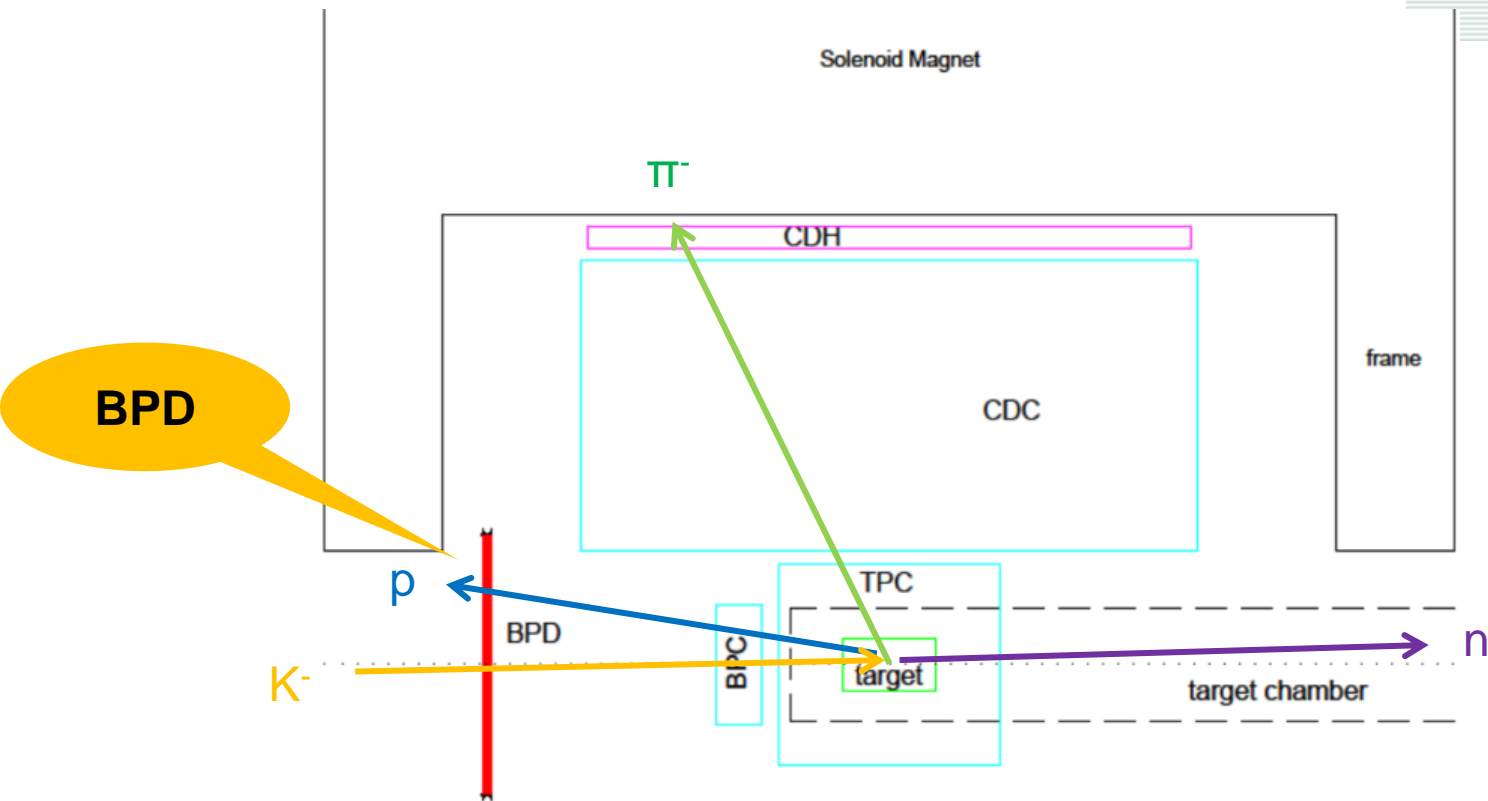
$\pi^0\Sigma^0$  and  $\Lambda\pi^0(NR/\Sigma^*)$

$\Lambda(1405) \rightarrow \Sigma^0\pi^0 \rightarrow \Lambda\gamma\pi^0 \rightarrow (\rho\pi^-)\gamma\pi^0$

$NR/\Sigma(1385) \rightarrow \Lambda\pi^0 \rightarrow \rho\pi^-\pi^0$

→新たに陽子検出器が必要。

# セットアップ @ 崩壊粒子検出器(CDS)



$^3\text{He}(K^-,d)$  or  $d(K^-,n)$  reaction

$\Lambda(1405) \rightarrow \pi\Sigma \rightarrow \pi^0\gamma\Lambda \rightarrow 3\gamma(\mathbf{p}\pi^-)$

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

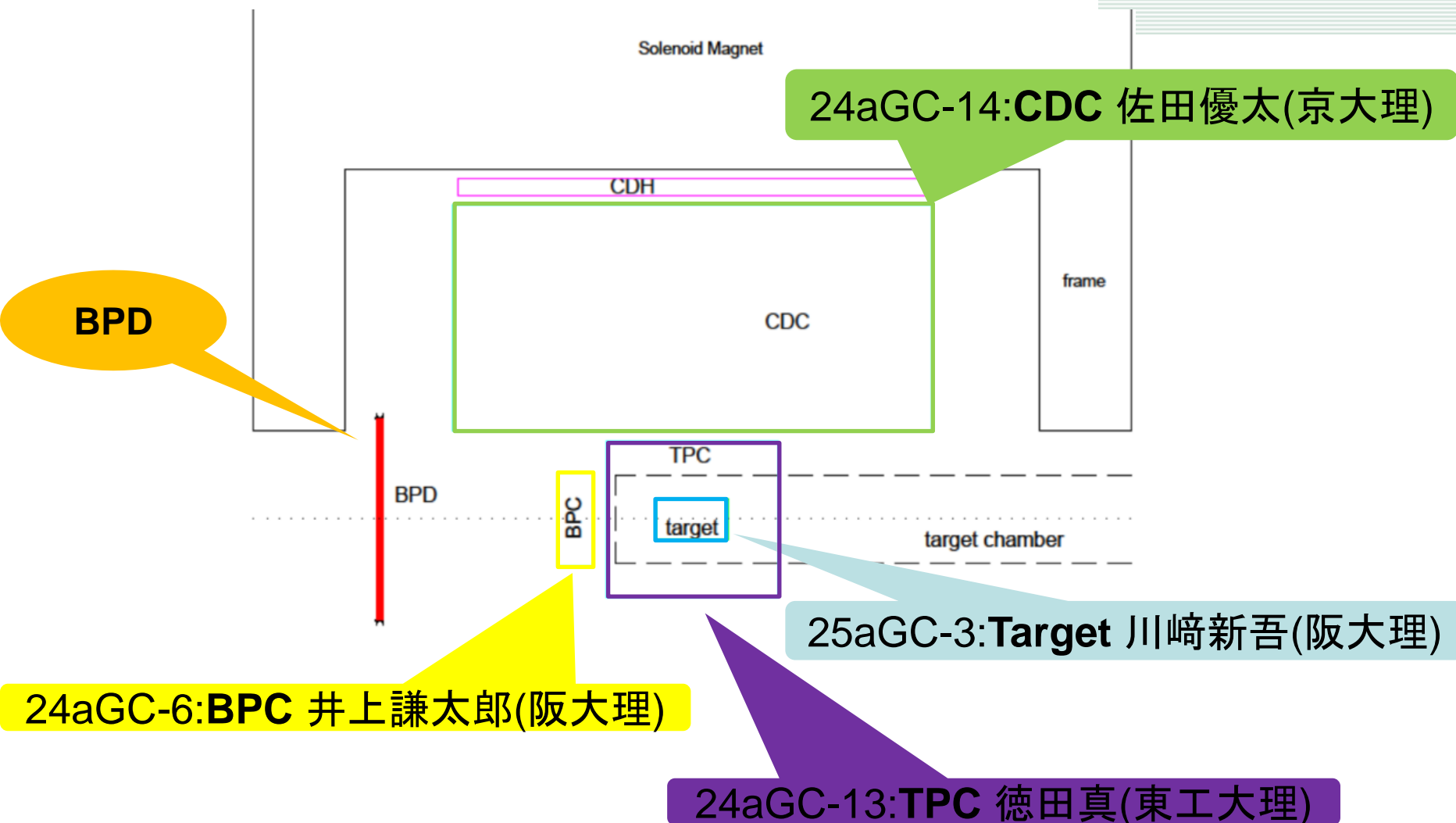
BPC & **BPD** : **Backward Proton**

BPC: vector & vertex position

**BPD**: proton id(pion) & momentum  
=>measure energy deposit & **TOF**

BPD Time resolution  $\leftrightarrow$  id  $\Lambda^*/\text{BG}$

# セットアップ @ 崩壊粒子検出器(CDS)





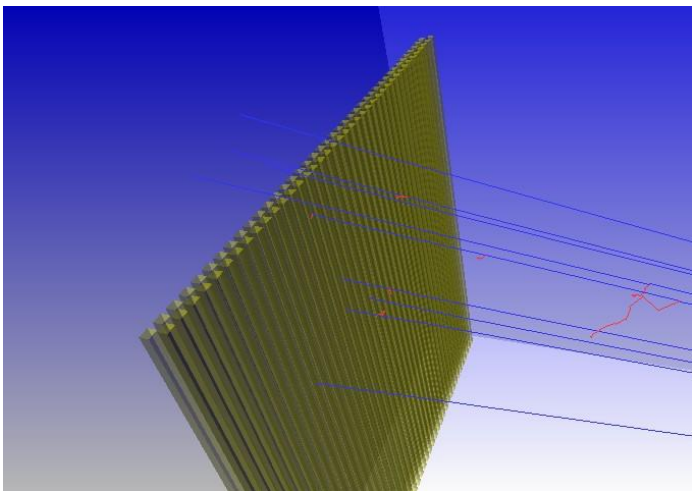
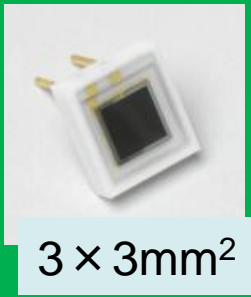


## **2:陽子検出器開発**

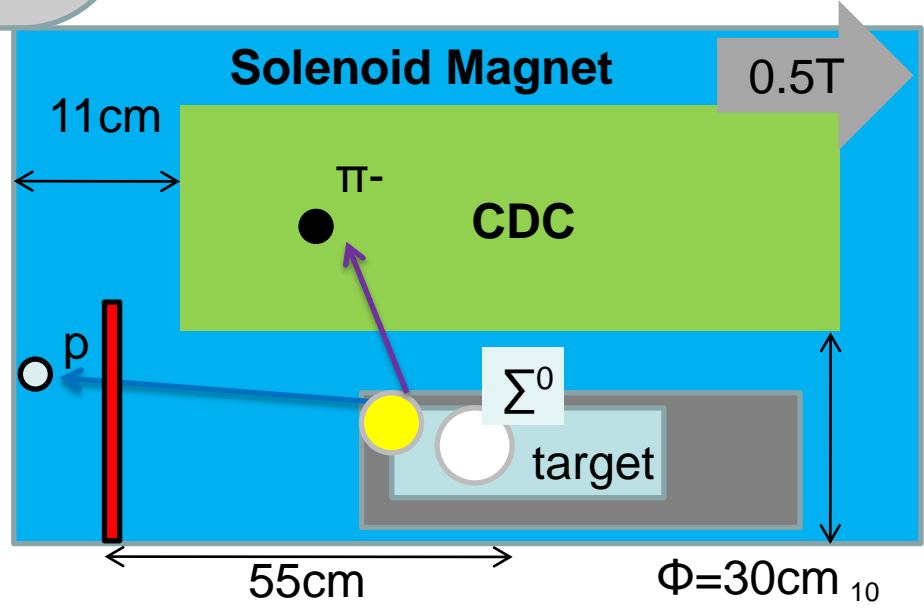
# 陽子検出器に求められる性能

- ・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
  - 時間分解能で $\sigma=200\text{ps}$ 以下を目指す。
  - (これまでの結果 $\sigma=250\text{ps}$ )

- $3 \times 3\text{mm}^2$  MPPC-50C
- 増幅率( $\sim 10^6$ )
- 磁場中動作可
- コンパクト
- 安価1.8万円



プラスチックシンチレーター+MPPC



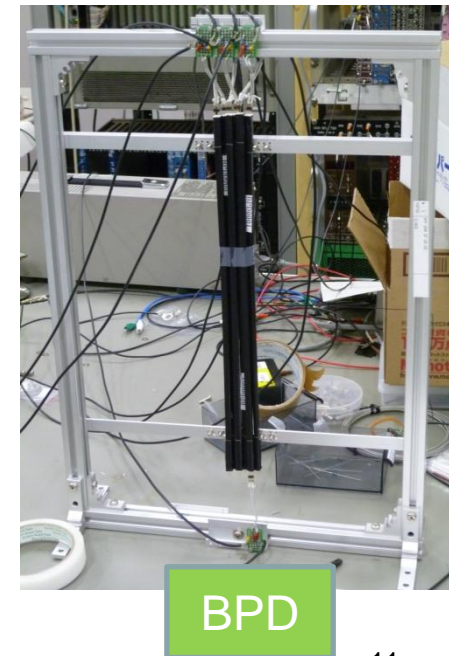
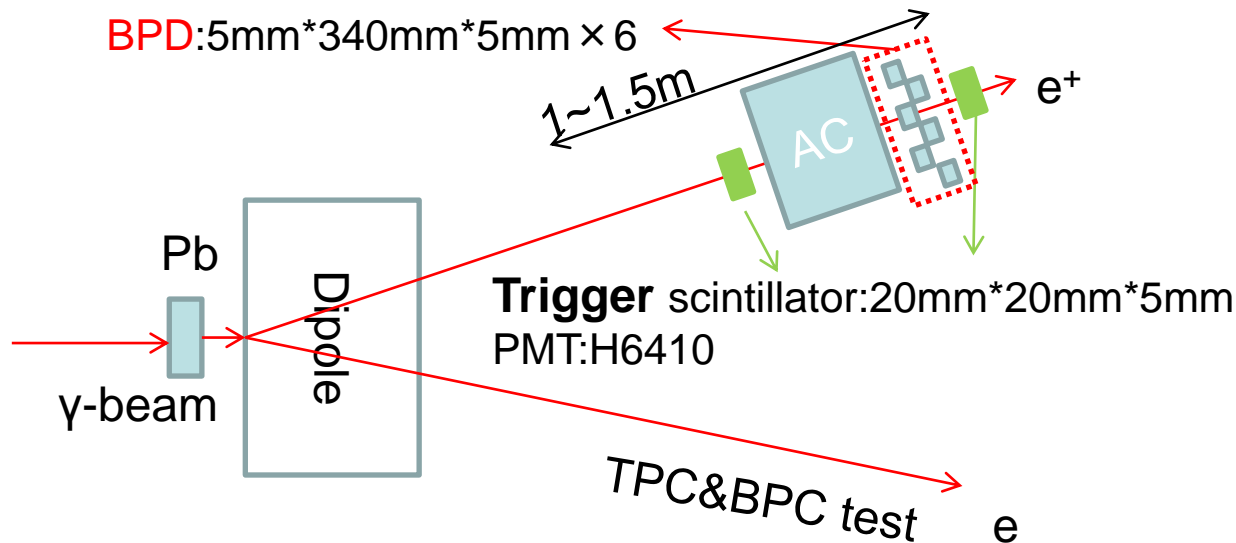
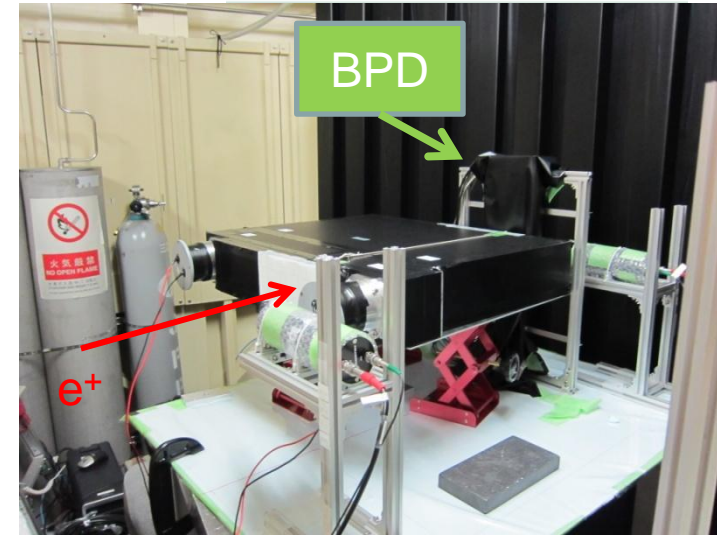
# ビームテスト @ LEPS

## 目的

- ・時間分解能測定
- ・位置依存性測定

## Beam condition

Particle: positron  
Momentum: 0.6[GeV/c]  
Beam rate: ~110[Hz]

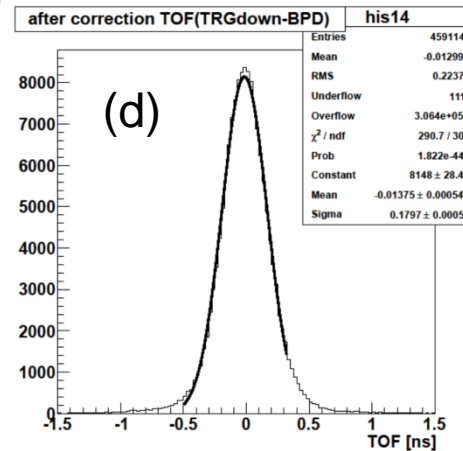
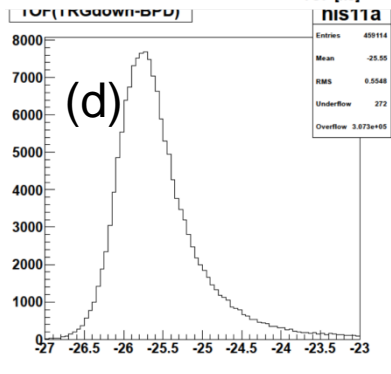
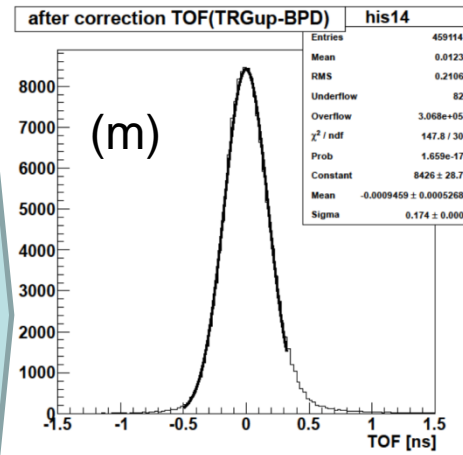
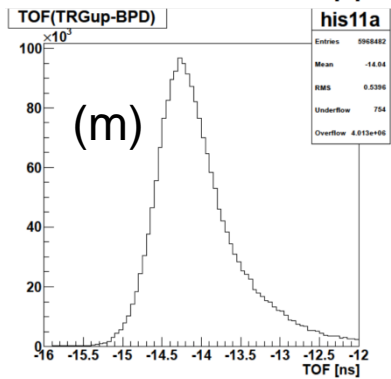
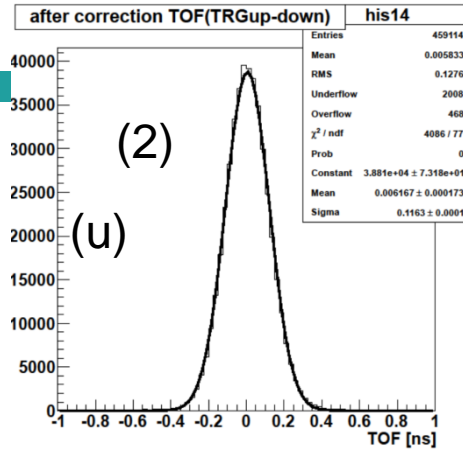
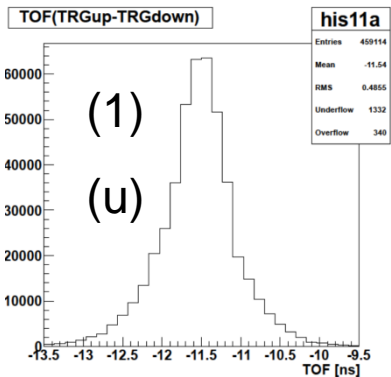


# 時間分解能測定

(1) raw data TOF[ns]  
 (2) after correction

Run#133(y=0cm) BPD#4  
 (u): TRGu-d( $\sigma$ )=115ps  
 (m): TRGd-BPD( $\sigma$ )=178ps  
 (d): TRGd-BPD( $\sigma$ )=179ps

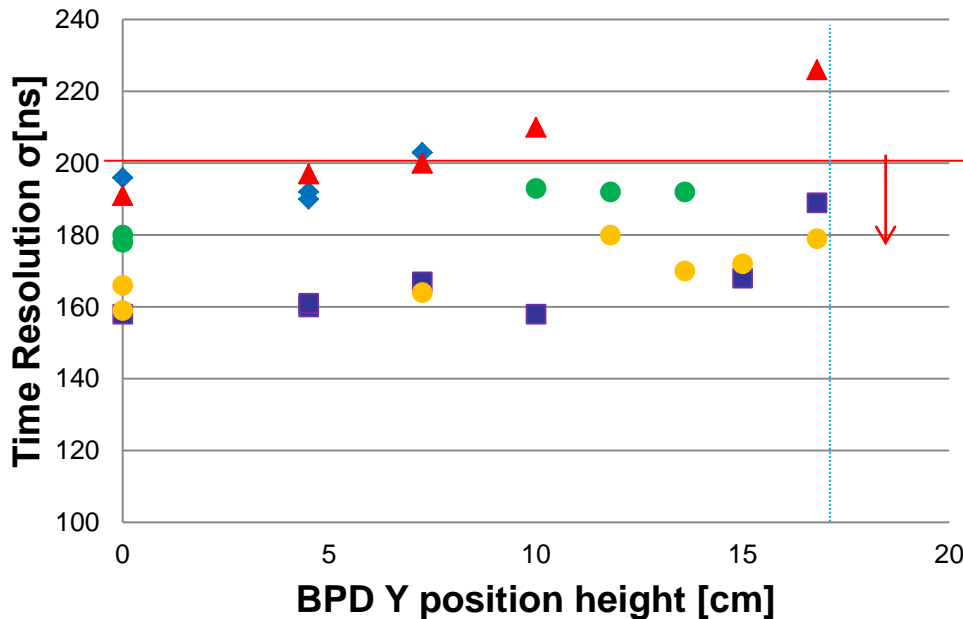
**BPD#4 ( $\sigma$ )=158psを達成。**



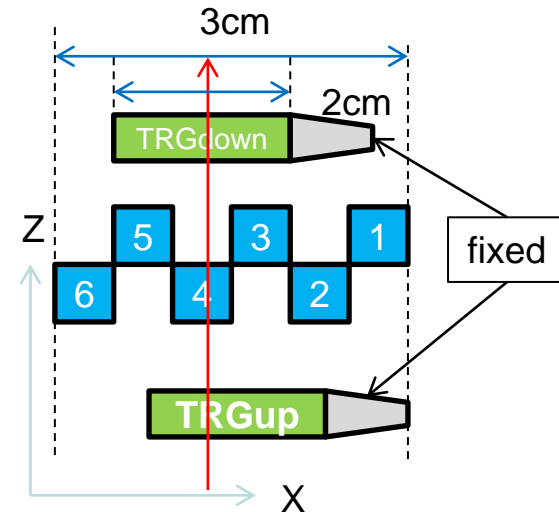
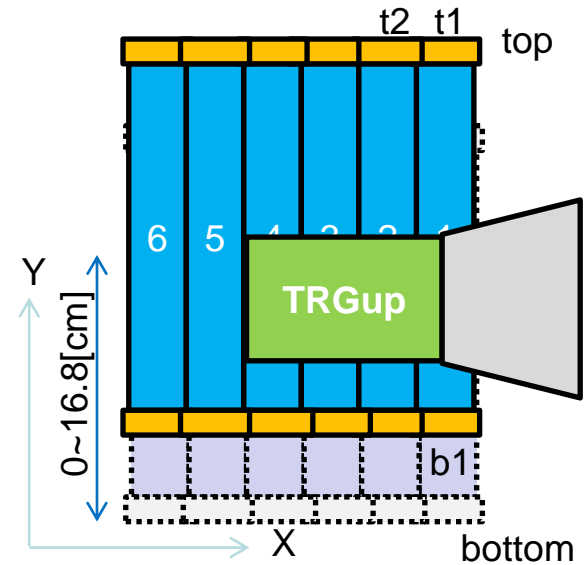
# 位置依存性測定

- BPDのy方向位置依存測定 (高さ 0~16.8cm).
- トリガーシンチの位置は固定。

Position dependence(TRGup-BPD)



- ◆ Scinti\_no1
- Scinti\_no2
- ▲ Scinti\_no3
- Scinti\_no4
- Scinti\_no5

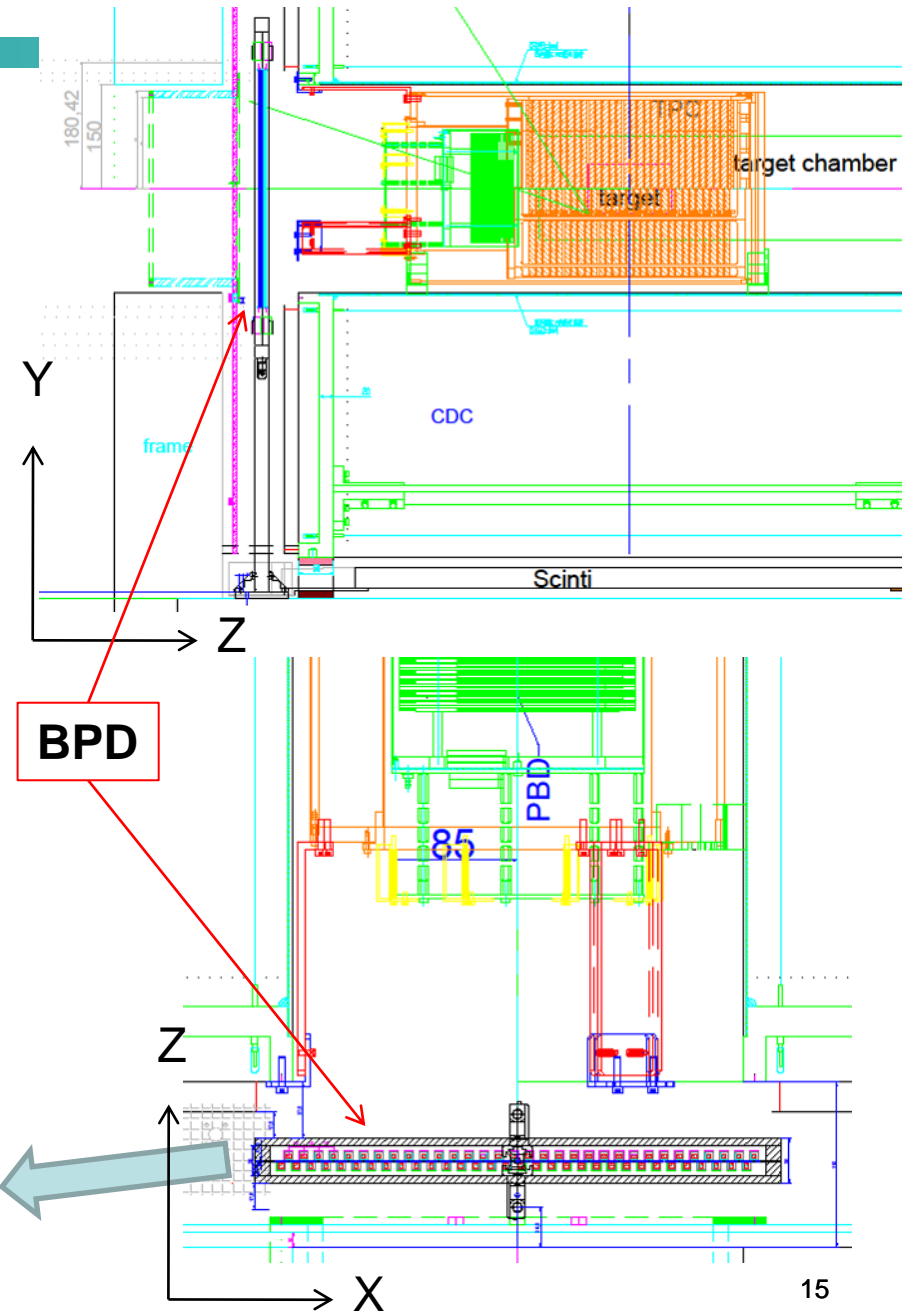


→位置によって,大きな変化はないことを確認。



# 実機デザイン

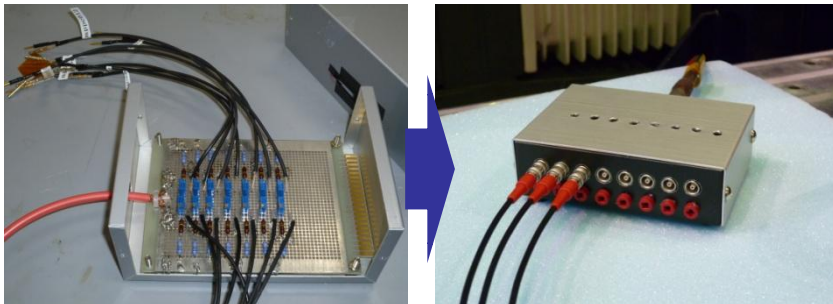
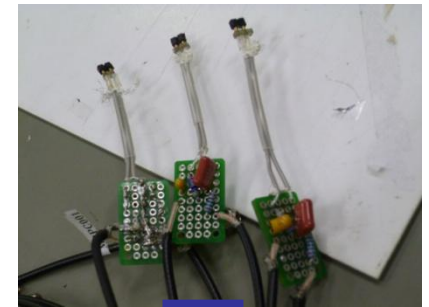
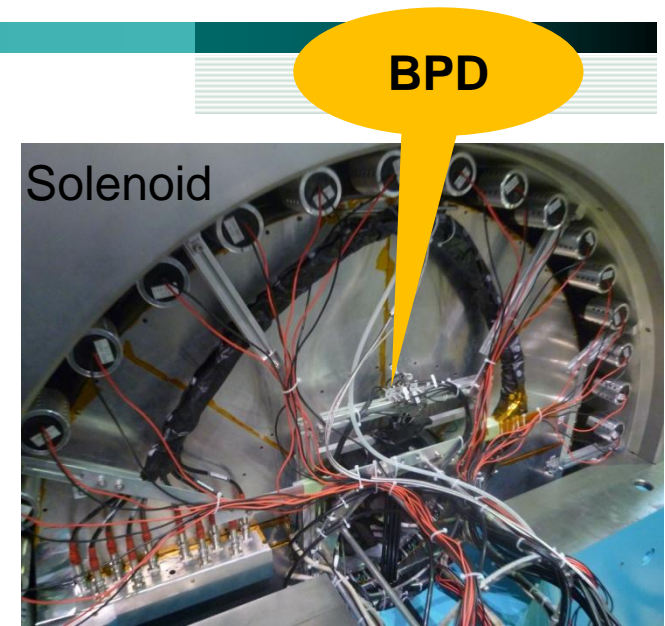
- MPPCのサイズ(6mm)がシンチレータ(5mm)より大きいいため交互に設置。
- CDCの内側( $\Phi=300\text{mm}$ )全てを覆う。  
→  $5 \times 5 \times 340\text{mm}^3 \times 70$  本  
(有感領域:  $350 \times 340\text{mm}^2$ )



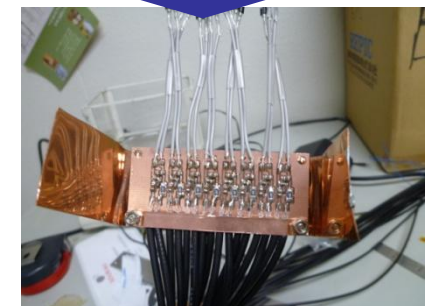
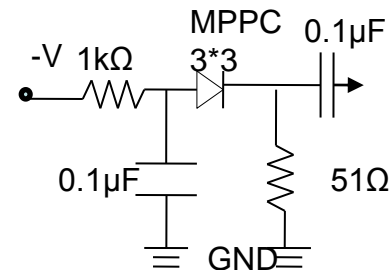


# 今後の計画(実機製作)

- セットアップ@CDS in J-PARC
  - 実際に配置する場所にテスト機を配置(2012.Feb)。
  - 架台は問題なし。
- 回路製作(電圧調整、駆動回路)
  - ノイズ対策,シールド強化
  - 量産化による、機能性



駆動回路





# Summary

- 1:  $\Lambda(1405)$ 分光実験(J-PARC E31)のための陽子検出器の開発を行っている。
- 2: LEPSビームラインにおいてテスト実験を行った。
  - BPD単体で**時間分解能 $\sigma=160\text{ps}$** を得る。
  - 位置依存性はほぼない。
  - 実機として十分な性能が出ている。
- 3: 今後
  - 回路の製作。全数揃え、CDSにインストール。



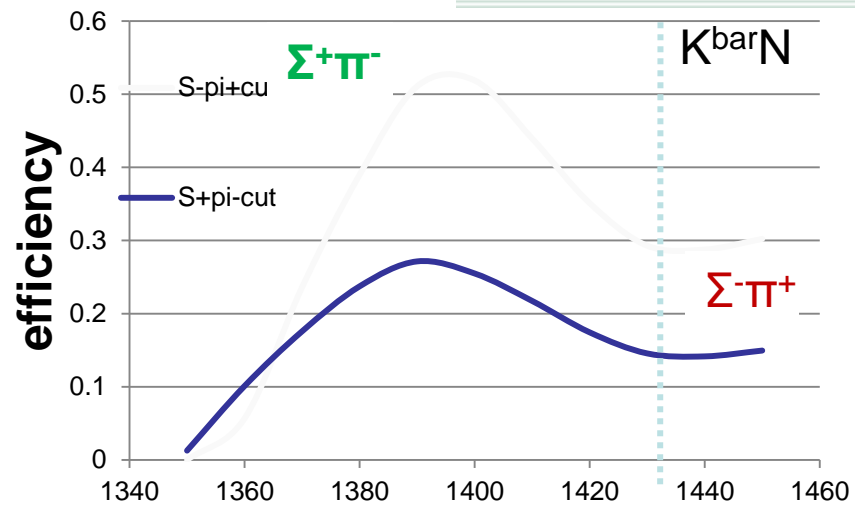
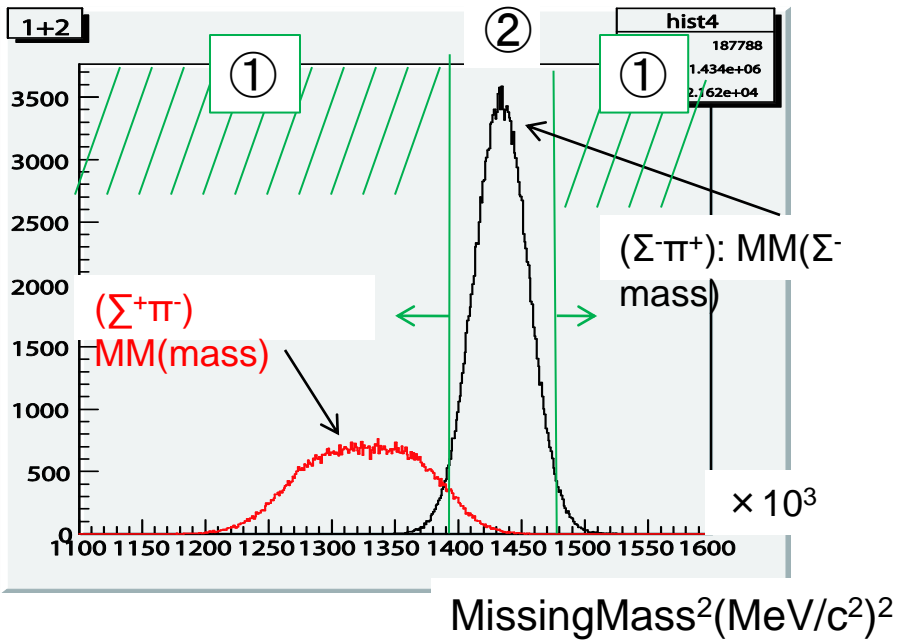
# Back up



# Identification of the decay modes: $\Lambda^* \rightarrow \Sigma^- \pi^+$ or $\Sigma^+ \pi^-$

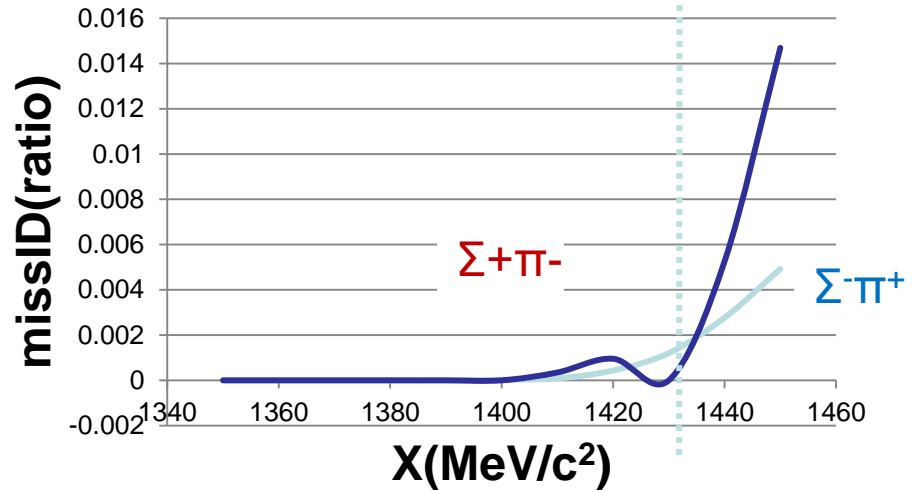
$\Sigma^+ \pi^-$

$$MM_{\Sigma^\pm}^2 = (\vec{P}_K + \vec{P}_d - \vec{P}_n - \vec{P}_{\pi^\mp})^2$$



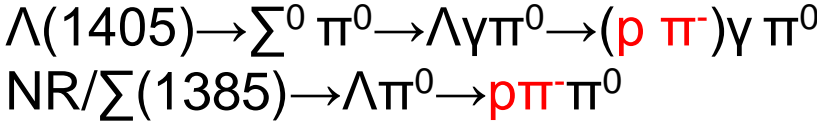
Hyperon mass (MeV/c<sup>2</sup>)

$\Gamma(\Lambda^* \rightarrow \Sigma^+ \pi^-) / \Gamma(\Lambda^* \rightarrow \Sigma^- \pi^+) \sim 1$

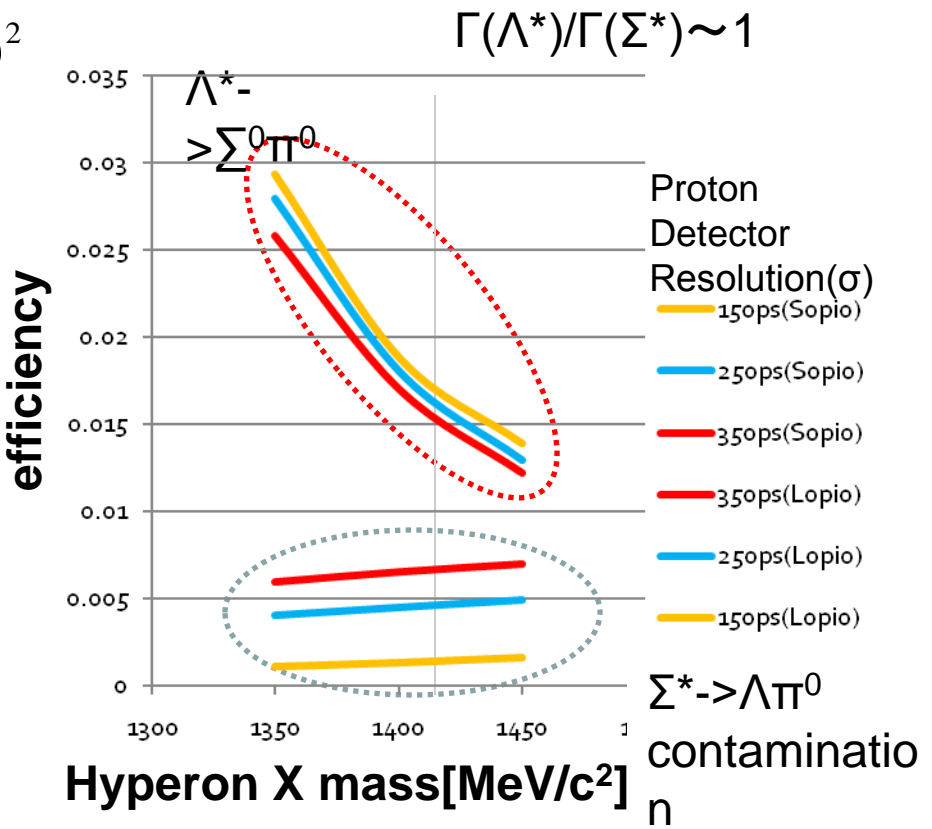
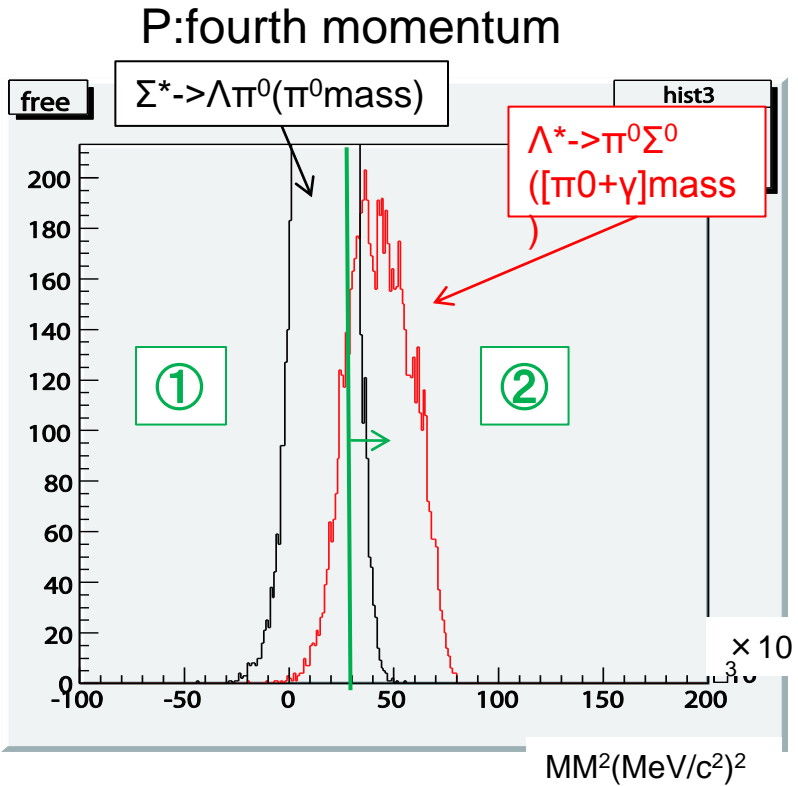


$$\text{missID}(\Sigma^+ \pi^-) = (\Sigma^- \pi^+ [\textcircled{1}]) / (\Sigma^+ \pi^- [\textcircled{2}])$$

# ID & Efficiency for $\Lambda^* \rightarrow \pi^0 \Sigma^0$

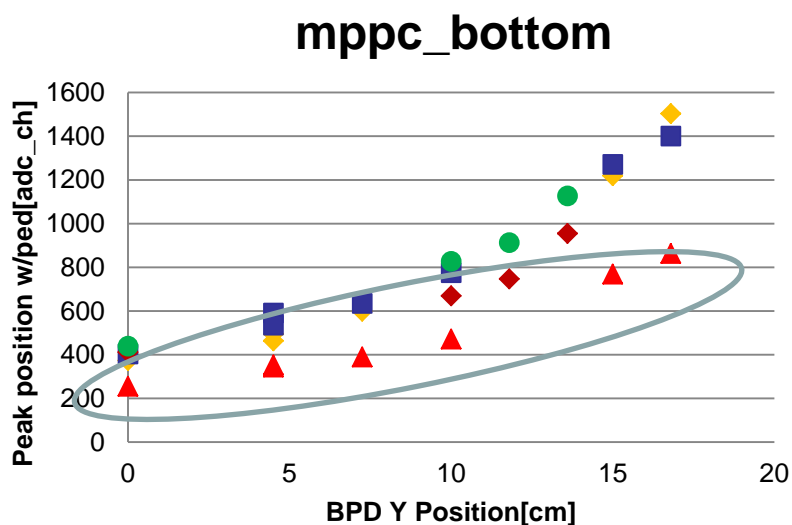
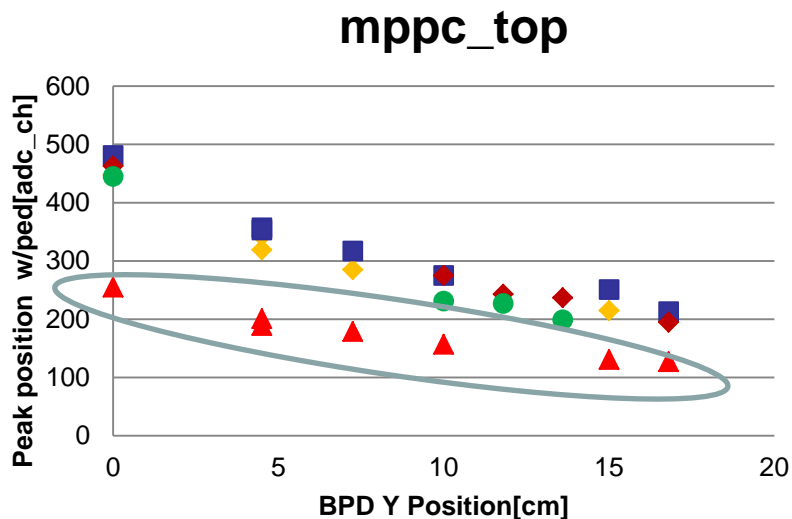


$$MM_Y^2 = (\vec{P}_Y)^2 = (\vec{P}_K + \vec{P}_d - \vec{P}_n - \vec{P}_p - \vec{P}_{\pi^-})^2$$



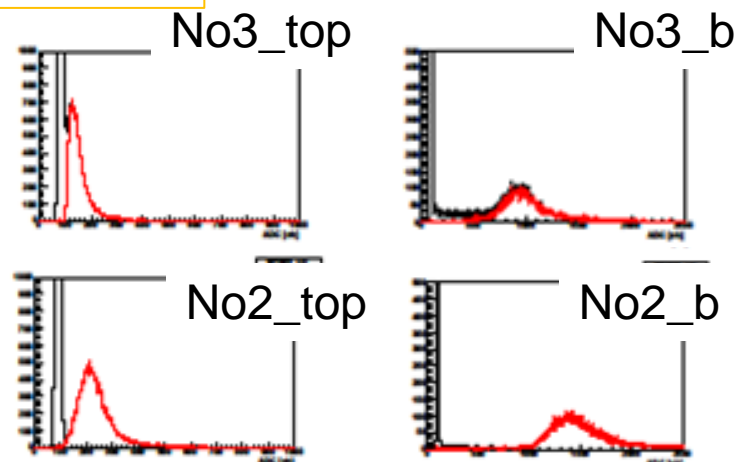
$$\Lambda \pi^0(\text{contamination}) = (\Lambda \pi \text{ [2]}) / (\Lambda \pi)$$

# 2-b:Position dependence(adc-position)



- ADC(w/pedstal)-position [2d-plot]
- ADC->fit ADC peak mean
- ScintiNo3:Low gain

### ADC raw data



\*range different

# $\Lambda(1405)$

3quark? 5quark?

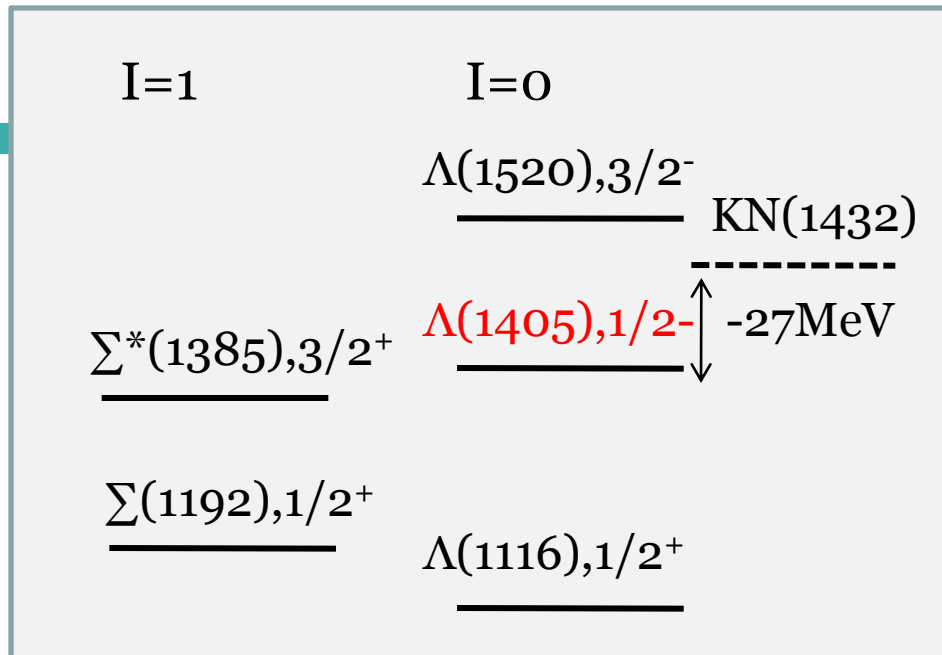
KbarNの束縛状態?

1406.5MeV/c<sup>2</sup>[1 pole?]

Deeply bound KbarN state.

Y.Akaishi & T.Yamazaki, Phys. Rev. C65(2002) 04405.

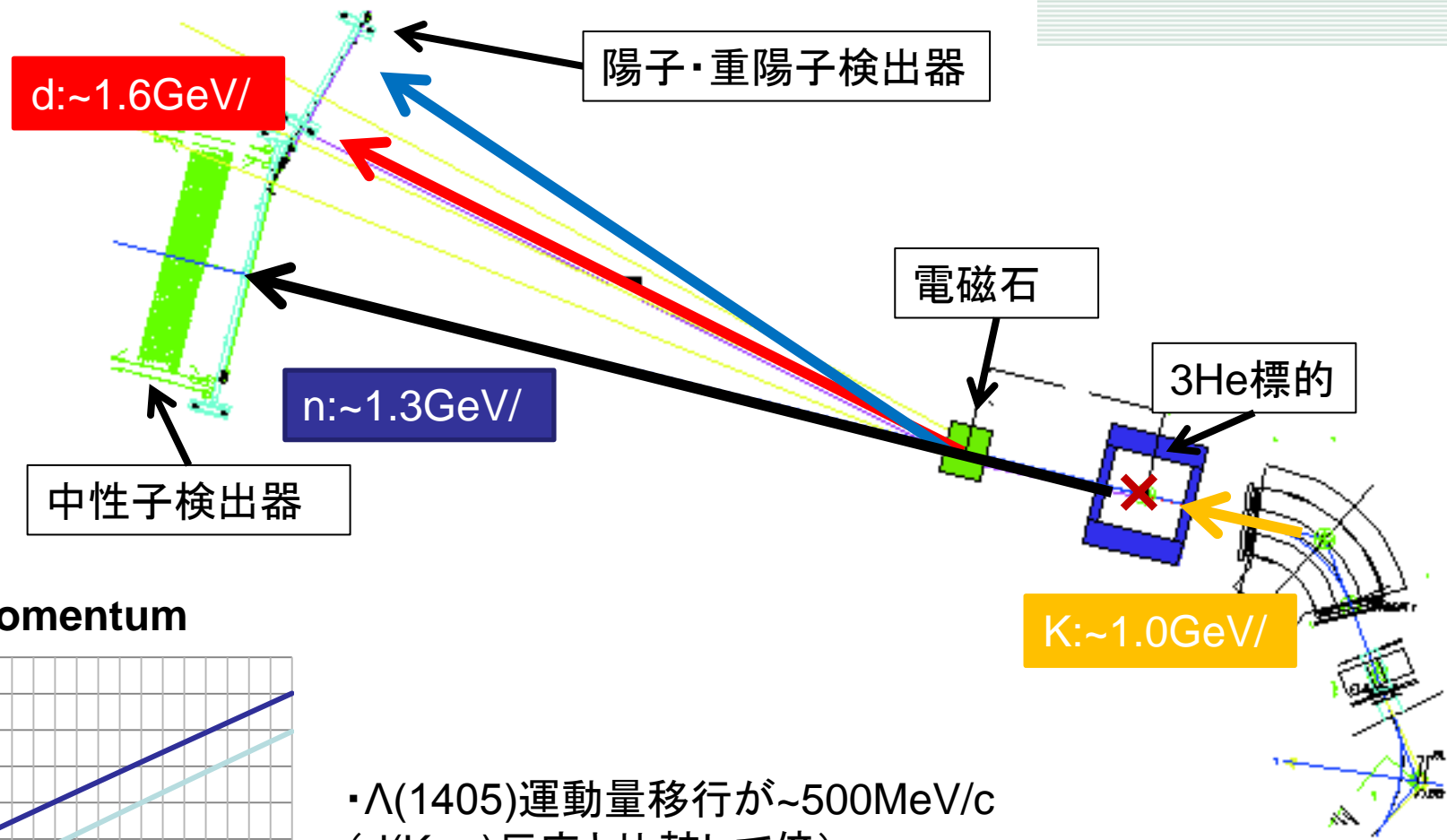
Y.Akaishi & T.Yamazaki, Phys. Lett. B535 (2002) 70



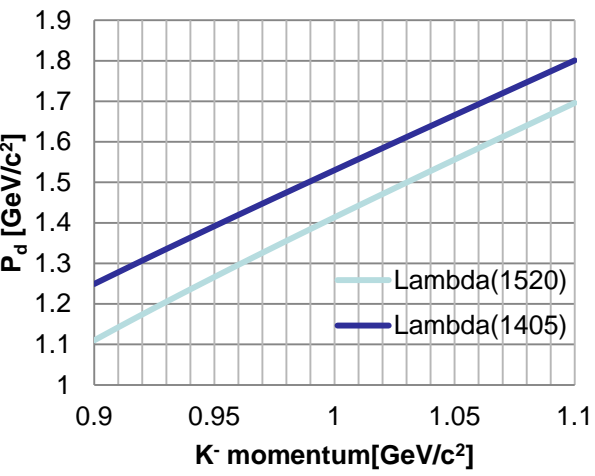
- KbarNの束縛状態について知りたい。
- KbarNの閾値以下での反応実験 (KbarN結合を強く反映した実験)。  
→ **d(K-,n) reaction**

T. Hyodo and A. Weise, Phys. Rev. C77, 035204(2008)

# $^3\text{He}(K^-,d)$ reaction @J-PARC K1.8BR



d\_momentum

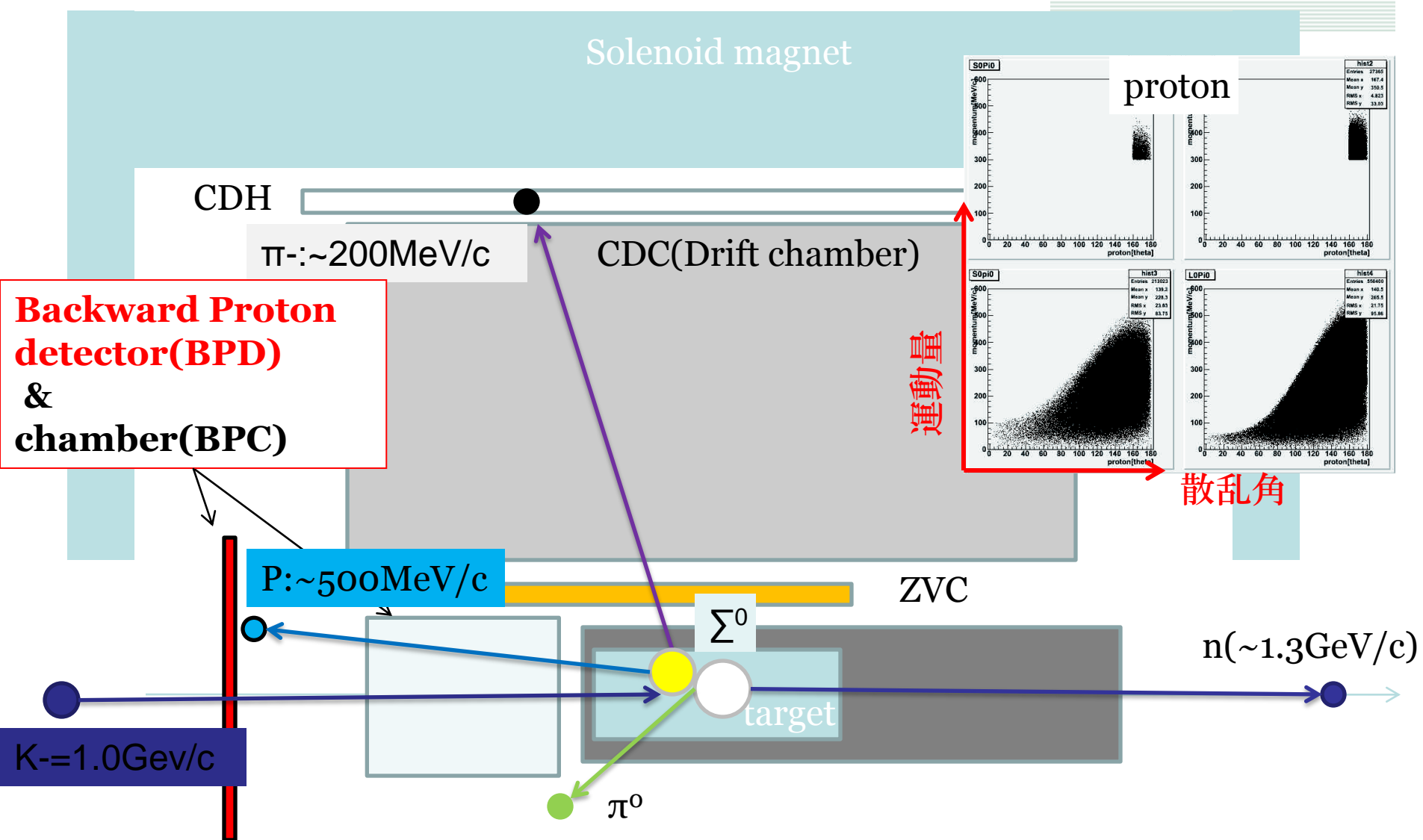


- $\Lambda(1405)$ 運動量移行が $\sim 500\text{MeV}/c$  ( $d(K^-,n)$ 反応と比較して倍)
- 前方散乱粒子の違いから運動量分解能がよくなる。
- 前方散乱粒子が荷電粒子なので生成ポイントの位置分解能向上  
→  $\Lambda(1405)$ の質量スペクトルが $\sigma \sim 5\text{MeV}/c^2$ で決まる。



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

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



BPD: TOF (Time of Flight) 法によって陽子の運動量を測定

# Yield estimation (E31 experiment)

Intensity	30GeV-27kW(6s)	
Secondary beam	K <sup>-</sup> :1.0GeV.c	
Beam intensity( $I_b$ )	$2.0 \times 10^5$ per pulse	6s spill interval
Cross section( $d\sigma/d\Omega$ )	220 $\mu$ b/sr 97 128	$\Lambda(1405) \rightarrow \pi^+ \Sigma^- \rightarrow \pi^+ \pi^- n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^0 \Sigma^0 \rightarrow \pi^0 \pi^- p$
Solid angle( $\Delta\Omega$ )	0.020sr	
Decay mode efficiency( $\epsilon_M$ )	0.32 0.16 0.015	$\Lambda(1405) \rightarrow \pi^+ \Sigma^- \rightarrow \pi^+ \pi^- n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^0 \Sigma^0 \rightarrow \pi^0 \pi^- p$
Target( $n_t$ )	$4.1 \times 10^{23}$	Liquid deuteron(8cm)
Yield(120shift)	~19200 ~4800 ~350	$\Lambda(1405) \rightarrow \pi^+ \pi^- n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^- \pi^+ n$ $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^0 \pi^- p$

$$Y = I_b \times n_t \times \frac{d\sigma}{d\Omega} \times \Delta\Omega \times \epsilon_R \times \epsilon_M \times \epsilon_A$$

R:reconstruction(0.24)A:analysis(0.9)