

J-PARC E31実験における後方散乱 陽子飛跡検出器の設計開発と Geant4 Simulation

井上謙太郎、野海博之、味村周平、榎本瞬、川崎信吾
早野龍五^A、鈴木隆敏^A、藤原裕也^A、橋本直^A
岩崎雅彦^B、飯尾雅実^B、應田治彦^B、大西宏明^B、板橋健太^B
佐久間史典^B、塚田暁^B、徳田真^C、康寛史^C
永江知文^D、佐田優太^D、石黒洋輔^D、平岩聡彦^D、藤岡宏之^D
石元茂^E、関本美知子^E、豊田晃久^E
谷田聖^F、H.Bhang^F、S.Choi^F、石渡智一^G、M.Cargnelli^G、P.Kienle^G
岡田信二^I、C.Curceanu^I、C.Guaraldo^I、A.Romero Vidal^I
D.Sirghi^I、F Sirghi^I、O.Vazquez Doce^I

阪大RCNP、東大理^A、理研^B、東工大理工^C、京大理^D、KEK/J-PARC^E
ソウル国立大^F、SMI^G、ミュンヘン工大^H、INFN-LNF^I

目次

- Introduction
- J-PARC E31実験のGeant4 Simulation
- 後方散乱陽子飛跡検出器の設計
- 後方散乱陽子検出器による検出効率の改善
- 後方散乱陽子飛跡検出器の製作
- まとめと今後

- 連絡先

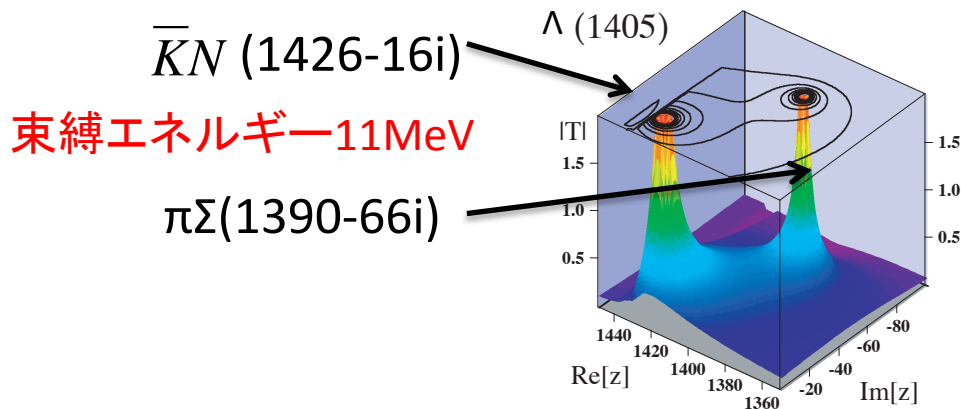
$\Lambda(1405)$

$S=-1$ 、 $I(J^P)=0(1/2^-)$ のバリオン
 負パリティでストレンジのない $N^*(1535)$ より軽い

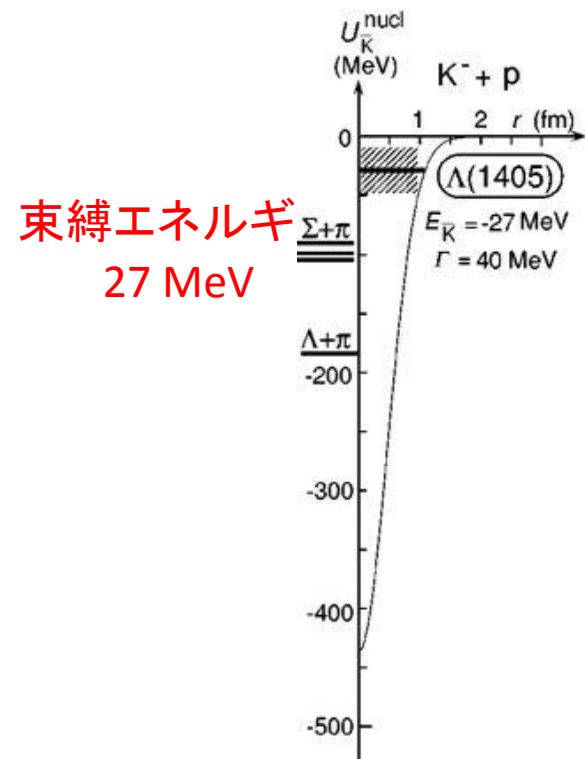
3クォークの状態

or

メソンバリオンの共鳴状態
 $\bar{K}N$ の強い束縛状態(?)
 $\bar{K}N$ と $\pi\Sigma$ 二つの極の重ね合わせ(?)



兵藤らによる
 カイラルユニタリー模型での計算



赤石、山崎らによる深い束縛

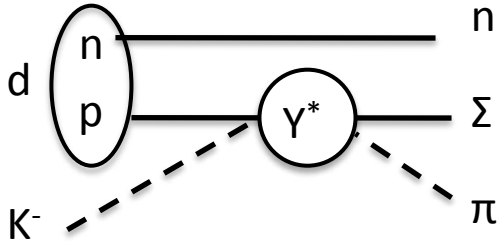
d(K⁻, n)反応

Λ(1405)はメソンバリオン $\bar{K}N$ からの説明が試みられている

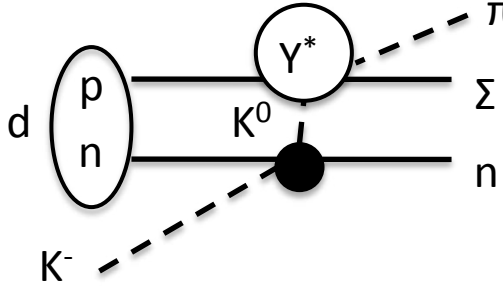


$\bar{K}N$ から直接Λ(1405)を生成する
 Λ(1405)は $\bar{K}N$ 閾値以下
 自由空間で直接Λ(1405)に束縛しない
 d(K⁻,n)反応を用いた散乱実験

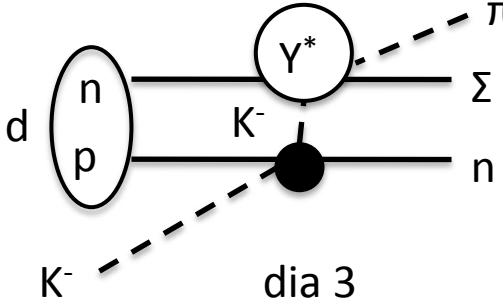
d(K⁻,n)の反応チャンネル
 S-wave, l=0 Λ(1405)
 S-wave, l=1 non-resonant
 P-wave, l=1 Σ(1385)



dia 1



dia 2

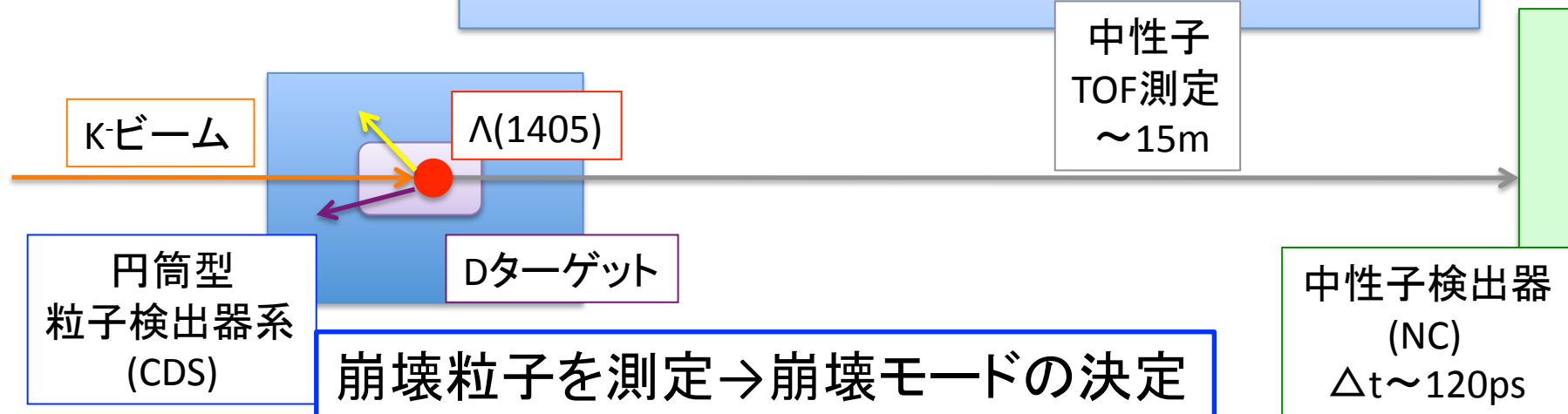


dia 3

J-PARC E31実験

欠損質量法より $\Lambda(1405)$ の質量を測定する

$$MM_{hyperon} = \sqrt{(P_{k^-} + P_n + P_D)^2}$$



$\pi^0 \Sigma^0 \rightarrow |l=0 \Lambda(1405)$

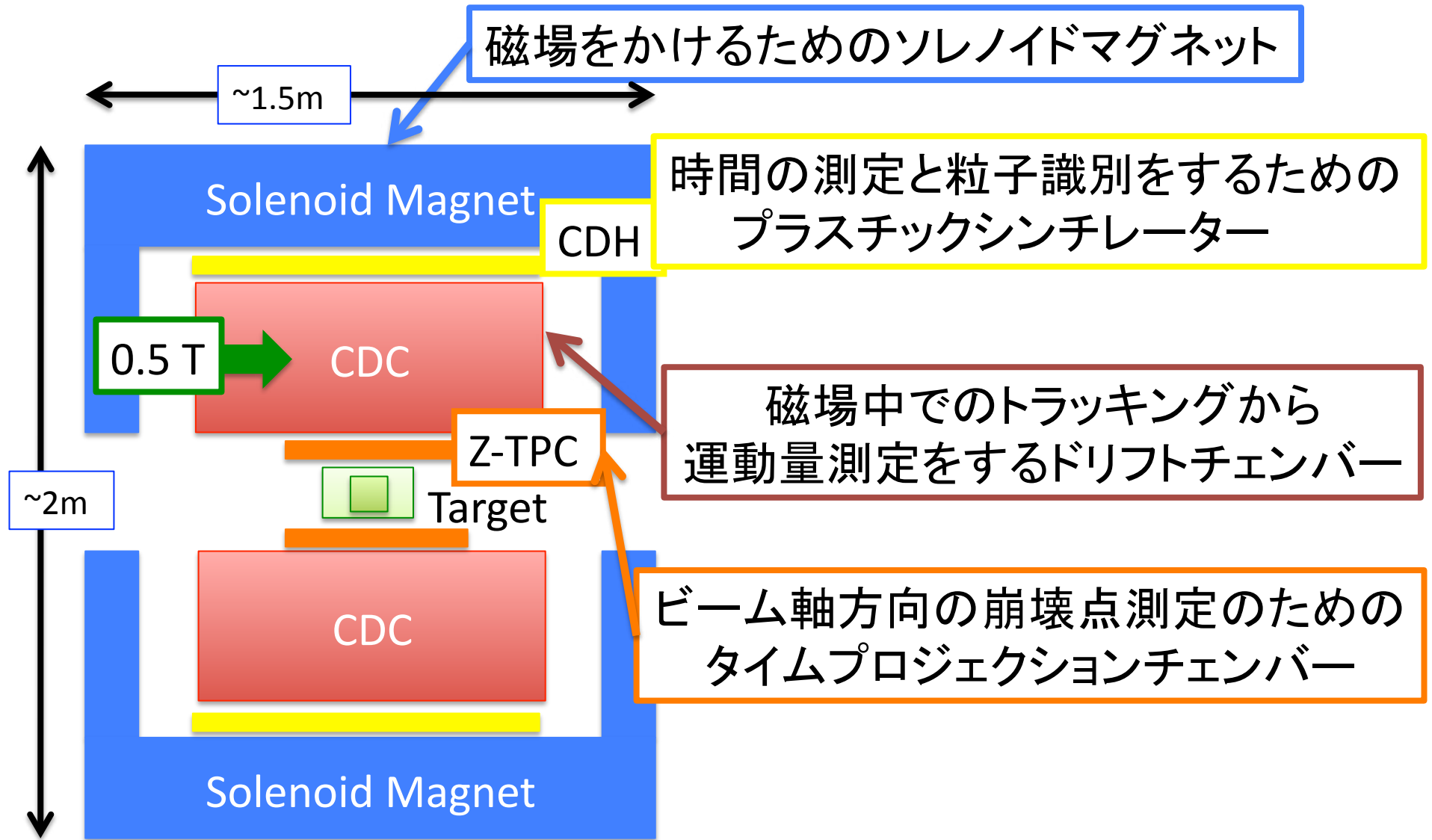
$\pi^+ \Sigma^-、\pi^- \Sigma^+ \rightarrow |l=0 \Lambda(1405)$

$\rightarrow |l=1 \text{ NR}$

$\rightarrow |l=1 \Sigma(1385)$

$\pi^0 \Lambda \rightarrow |l=1 \Sigma(1385), \text{NR}$

CDS(円筒型崩壊粒子検出器系)



Geant4によるSimulation

目的

各崩壊モードの特定し検出効率と混入率を見積もる

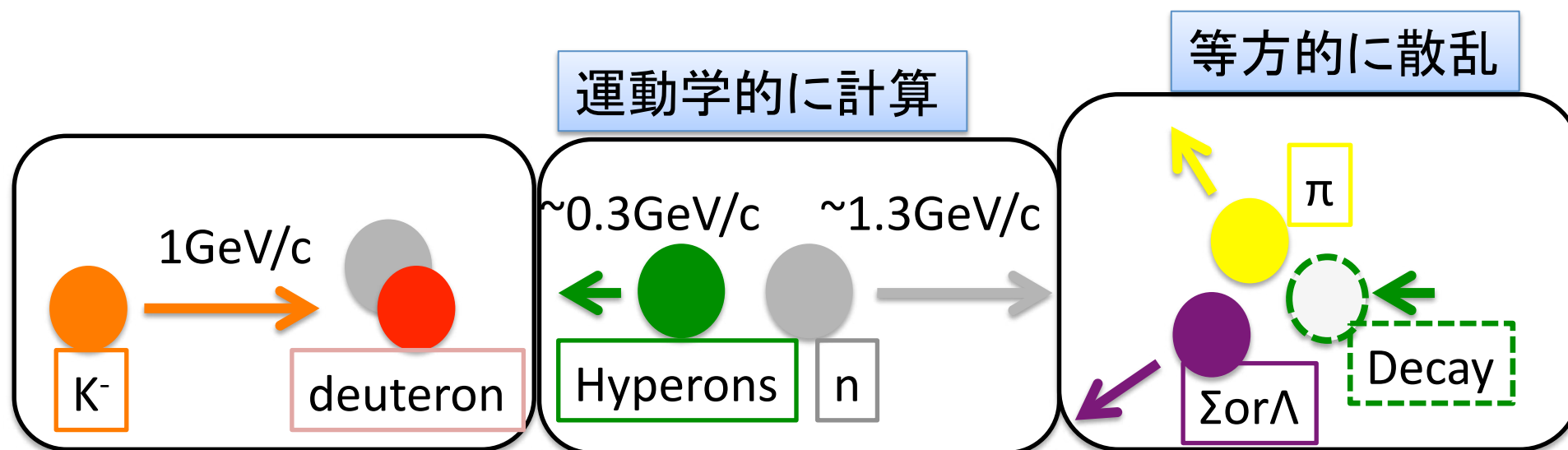
(検出効率)=(有効なイベント数)/(崩壊モードの全イベント数)

(混入率) =(他のモードに混入した数)/(崩壊モードの全イベント数)

イベントの発生

生成されるハイペロンの質量を $1340 \sim 1540 \text{ MeV}/c^2$ の一様乱数

崩壊モードは $\pi^- \Sigma^+ : \pi^0 \Sigma^0 : \pi^+ \Sigma^- : \pi^0 \Lambda = 1:1:1:1$



崩壊モード

- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^+ \Sigma^- \rightarrow \pi^+ (n\pi^-)$
- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- (n\pi^+)$
- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- (p \pi^0)$
- $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^0 \Sigma^0 \rightarrow \pi^0(\gamma\Lambda) \rightarrow \pi^0 \gamma (p\pi^-)$
- $\Sigma(1385) \rightarrow \pi^0 \Lambda \rightarrow \pi^0 (p\pi^-)$

検出できるのは荷電粒子だけ

終状態として π^+ 、 π^- と p 、 π^- が検出されるパターンがある

崩壊モードの特定はこれらの

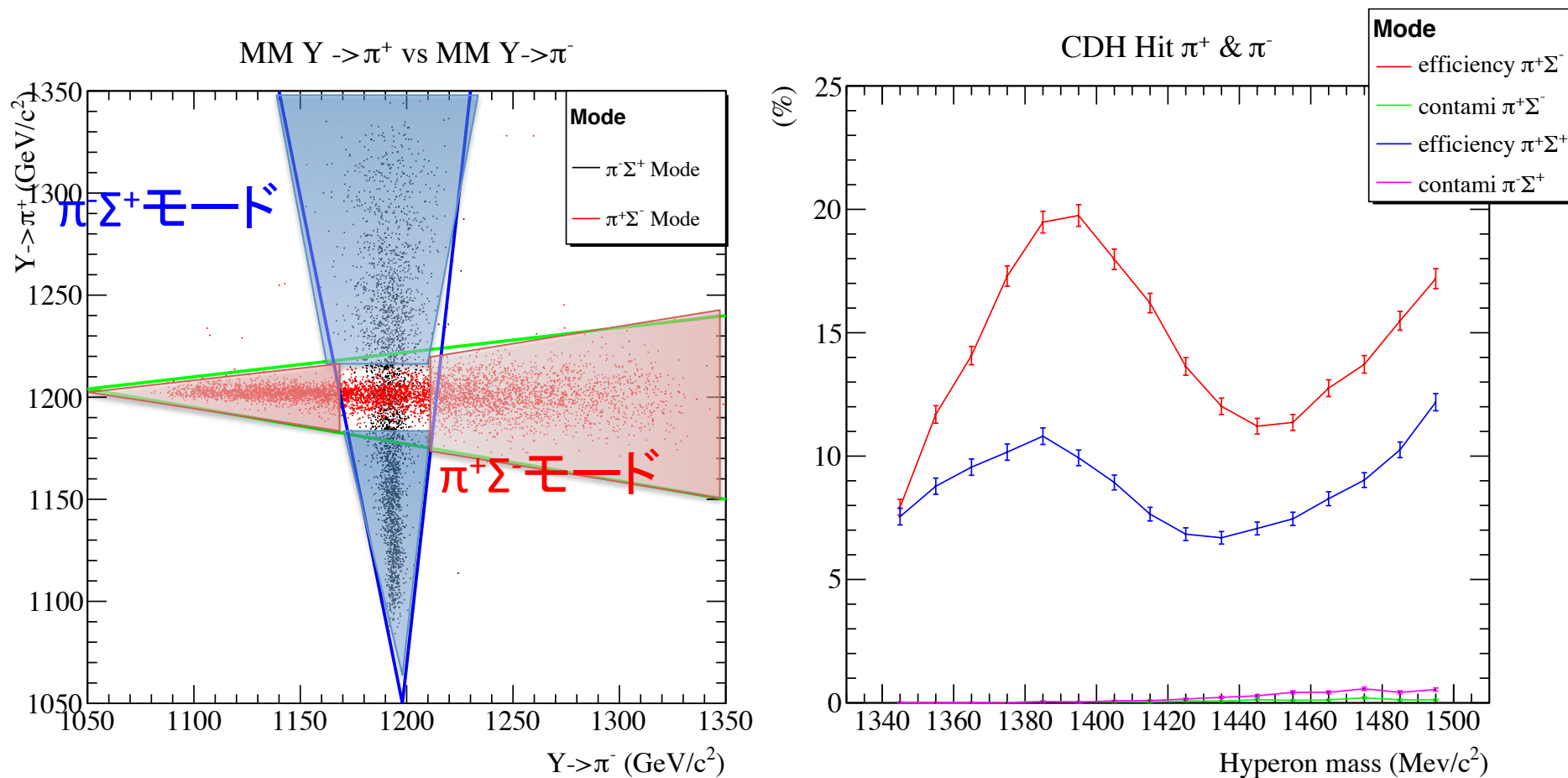
不変質量、欠損質量などから決定する

崩壊モードの特定($\pi^+\pi^-$ 終状態)

- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^+ \Sigma^- \rightarrow \pi^+ (n\pi^-)$
- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- (n\pi^+)$

$\pi^+\pi^-$ 終状態	$Y \rightarrow \pi^+$ Missing Mass	$Y \rightarrow \pi^-$ Missing Mass
$\pi^+\Sigma^-$ 崩壊モード	Σ^-	Not Σ^+
$\pi^-\Sigma^+$ 崩壊モード	Not Σ^-	Σ^+

崩壊モードの特定($\pi^+\pi^-$ 終状態)



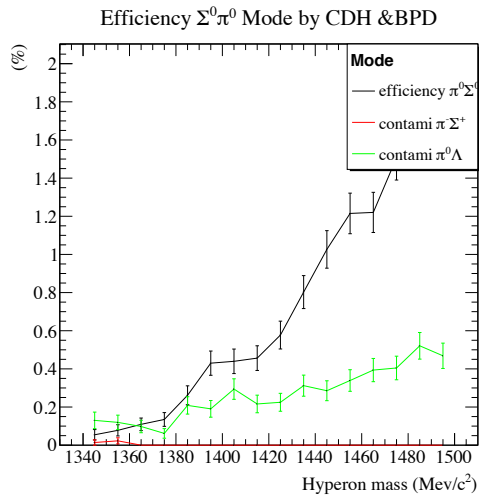
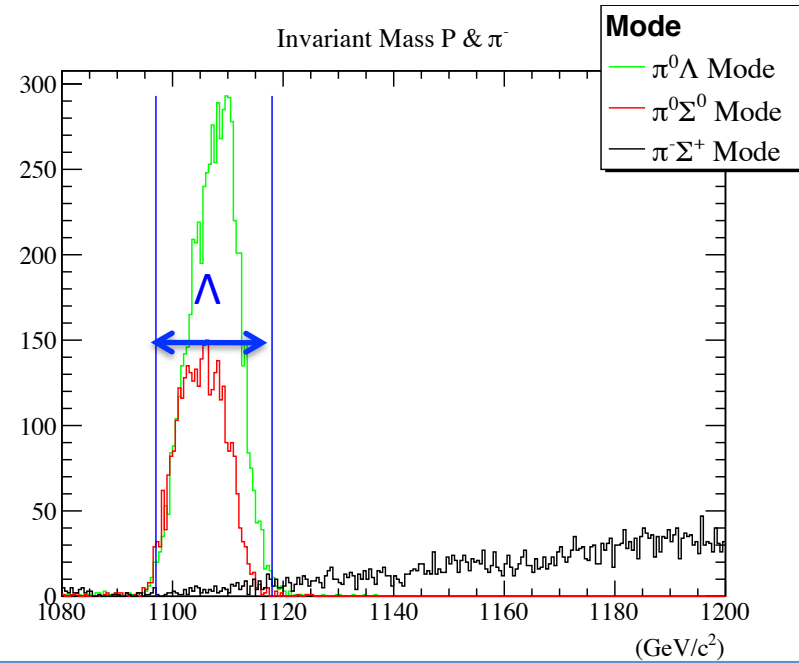
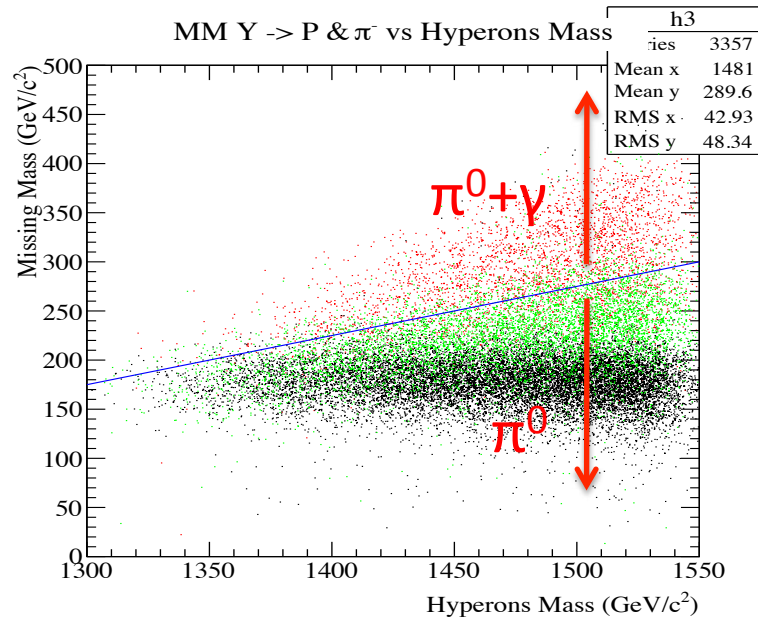
検出効率に対して十分低い混入率

崩壊モードの特定(π^- , p 終状態)

- $\Lambda(1405)[\Sigma(1385)] \rightarrow \pi^- \Sigma^+ \rightarrow \pi^- (p \pi^0)$
- $\Lambda(1405) \rightarrow \pi^0 \Sigma^0 \rightarrow \pi^0(\gamma\Lambda) \rightarrow \pi^0 \gamma (p\pi^-)$
- $\Sigma(1385) \rightarrow \pi^0 \Lambda \rightarrow \pi^0(p\pi^-)$

p π^- 終状態	p π^- Invariant mass	$\Upsilon \rightarrow p \pi^-$ missing mass
$\pi^- \Sigma^+$ モード	Not Λ	π^0
$\pi^0 \Sigma^0$ モード	Λ	$\pi^0 + \gamma$
$\pi^0 \Lambda$ モード	Λ	π^0

$\pi^0\Sigma^0$ モードの特定



1400MeV/c²付近での混入率が
検出効率に対して高い

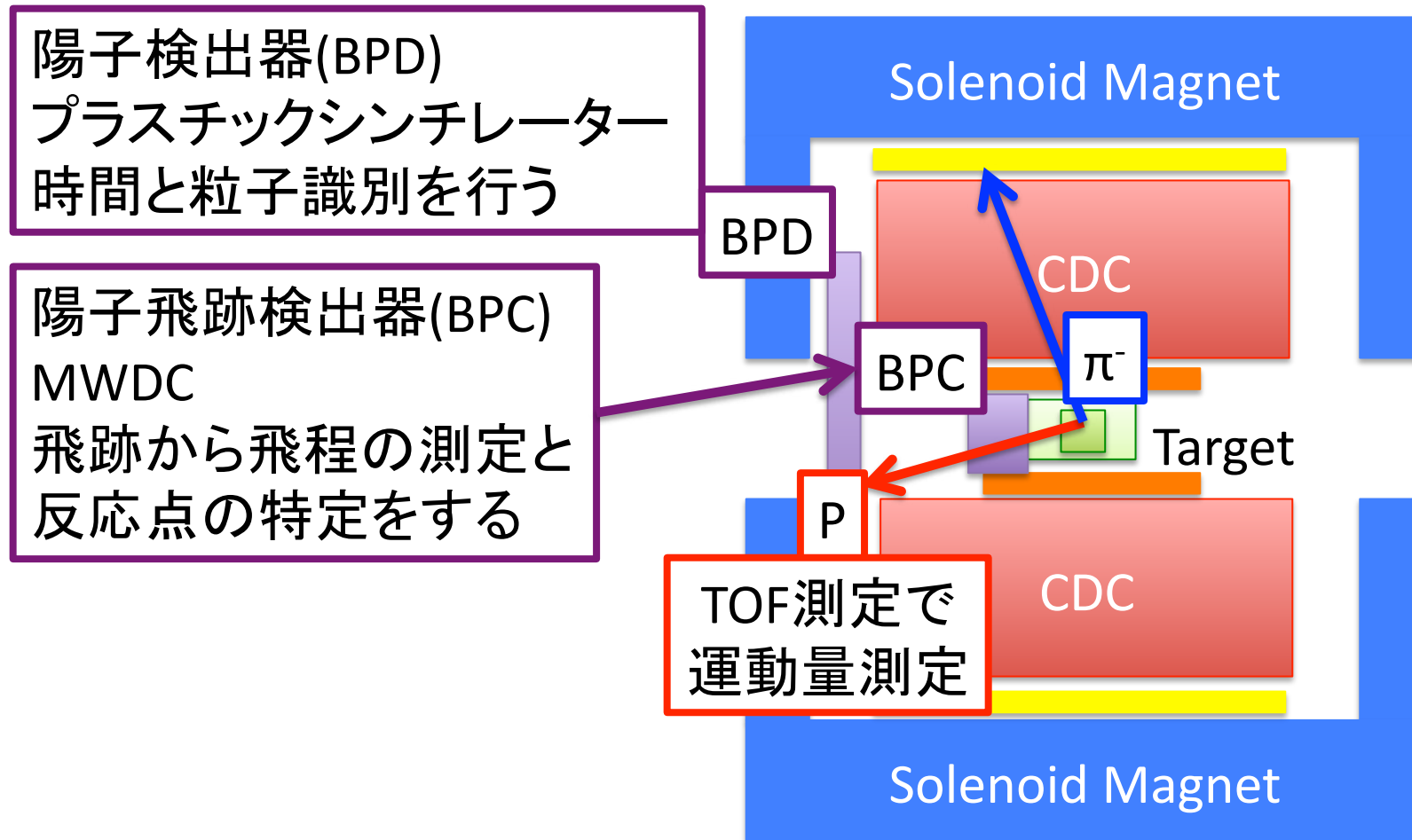


$\pi^0\Sigma^0$ モードが分離できない

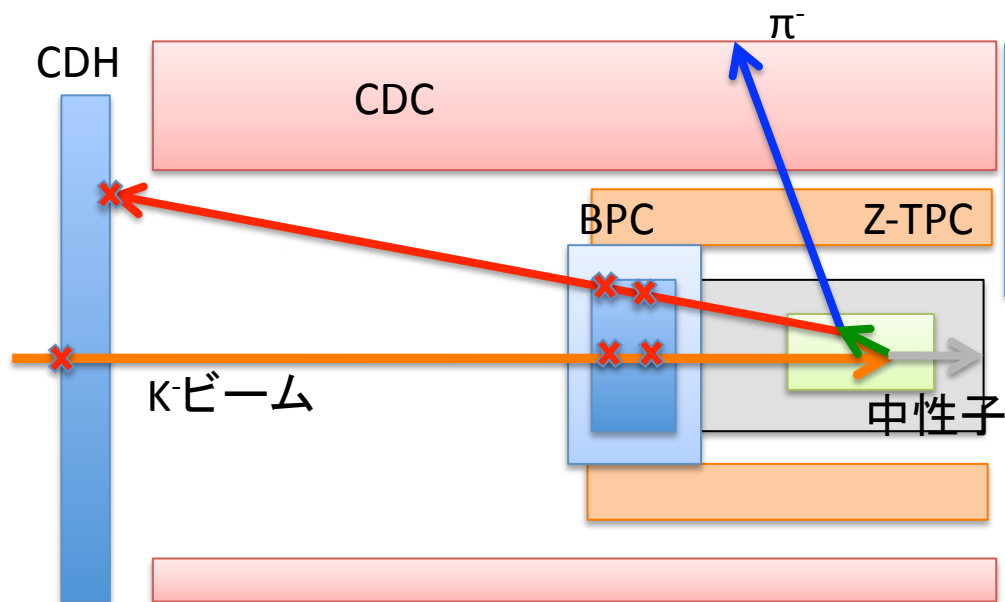
後方に散乱される陽子の検出が重要!

後方散乱陽子検出器系

- 後方に散乱される粒子(陽子)をカバーする



陽子飛跡検出器(BPC)への要求



反応点の特定

→中性子のTOF測定に影響

→Hyperonsの質量分解能に影響



なるべくTargetに近づきたい

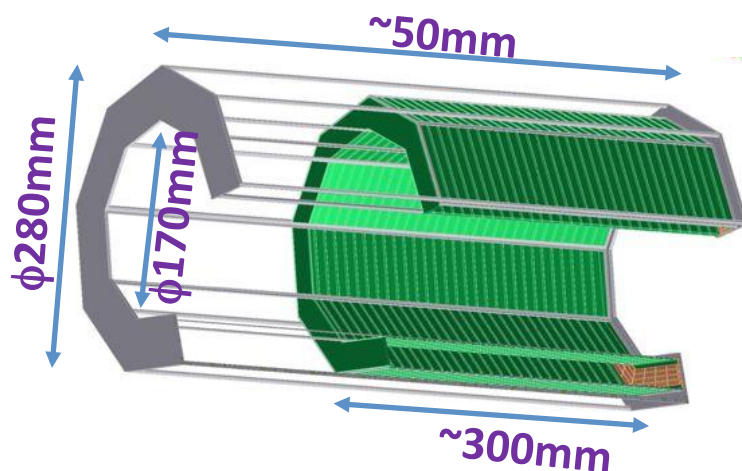
→Z-TPCの内部に入りたい

～φ170mm

陽子はTOF測定で運動量を測定

なるべく物質量を少なく

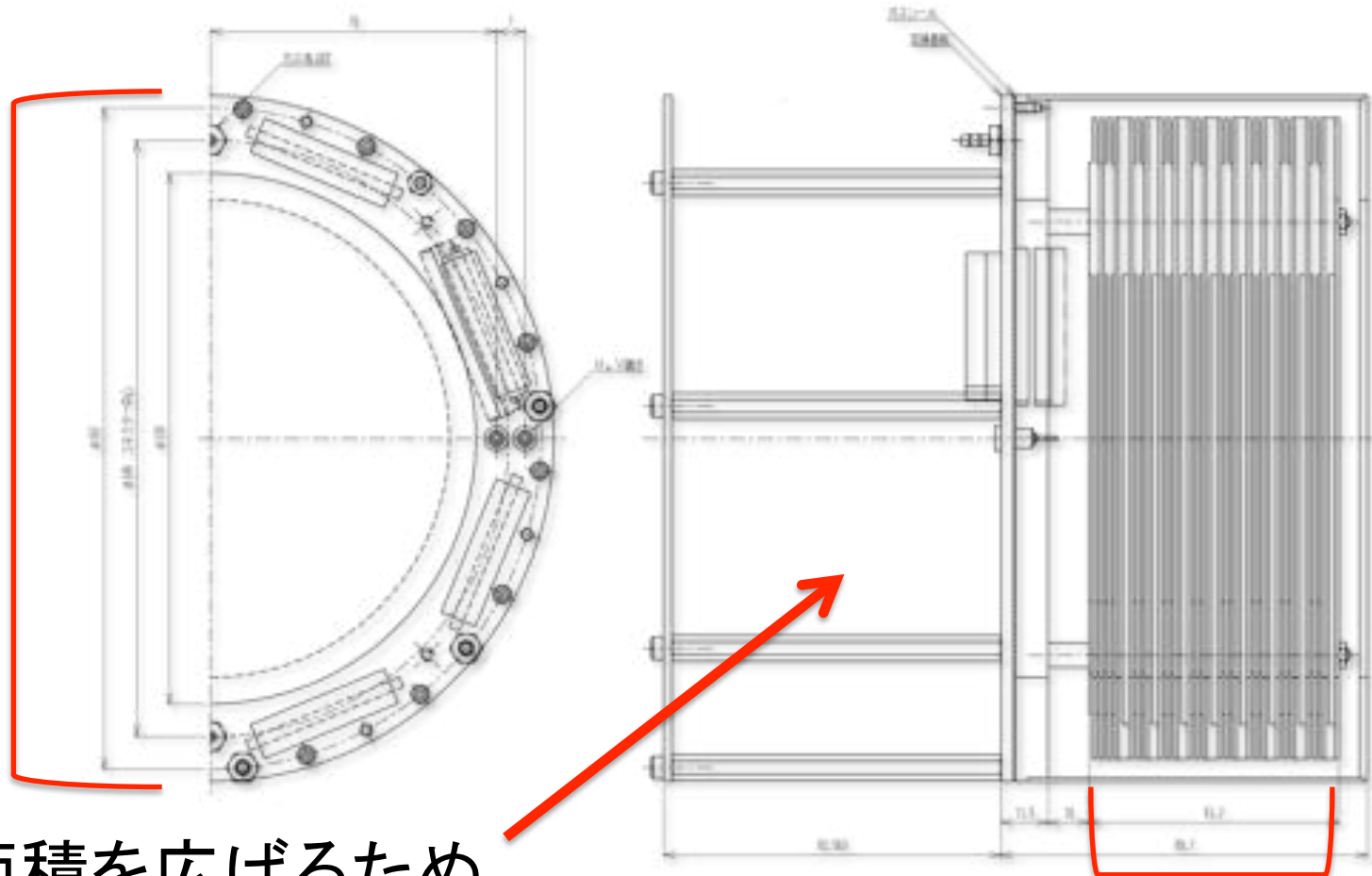
➡ MWDC



もちろん、広い有感面積も大切

陽子飛跡検出器(BPC)の設計

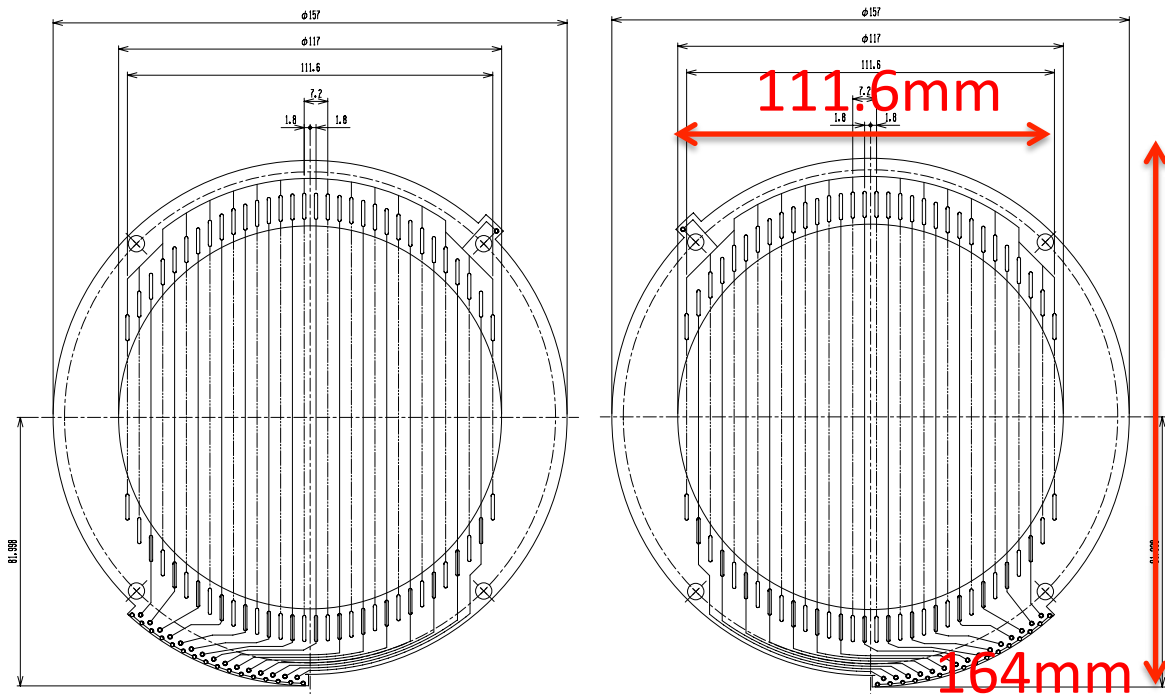
外径:φ168mm



有感面積を広げるため
読み出し部分を後方に配置

アノード面 × 8面
カソード面 × 9面
面間距離 $3.6\text{mm} \times 17 = 61.2\text{mm}$
XX'YY'XX'YY'計8面

陽子飛跡検出器(BPC)の設計(基盤)

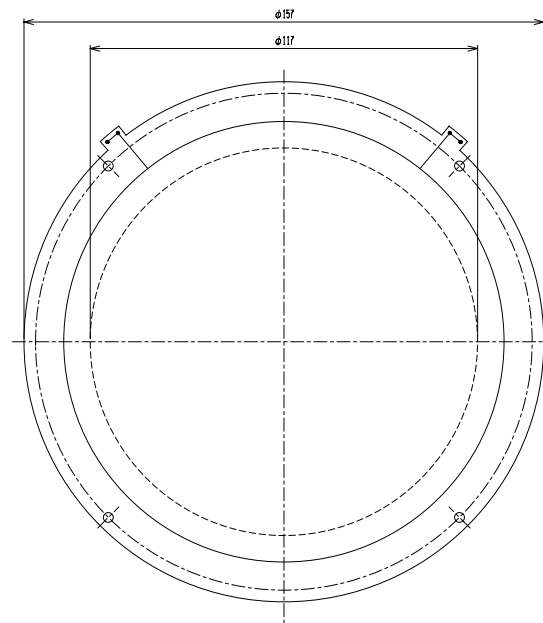


センスワイヤー
Au-W $\phi 12.5\mu\text{m}$
ポテンシャルワイヤー
Cu-Be $\phi 50\mu\text{m}$

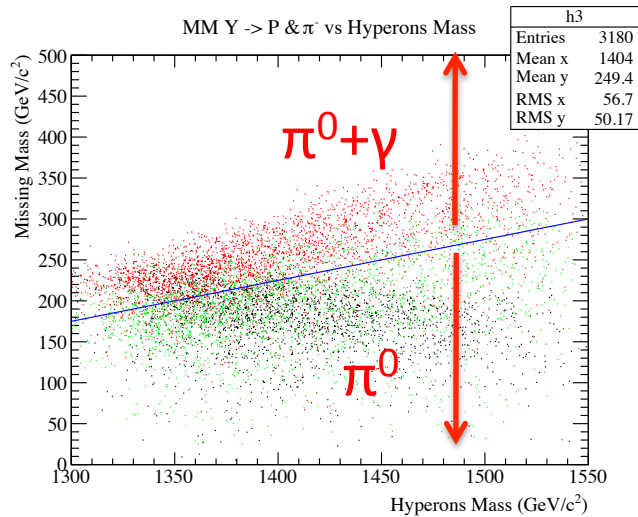
カソード面
カーボンアラミド $9\mu\text{m}$

アノード面 2パターン
外径 $\phi 164\text{mm}$ (チェンバー外径 168mm)
ワイヤー間隔 3.6mm センスワイヤー 15本

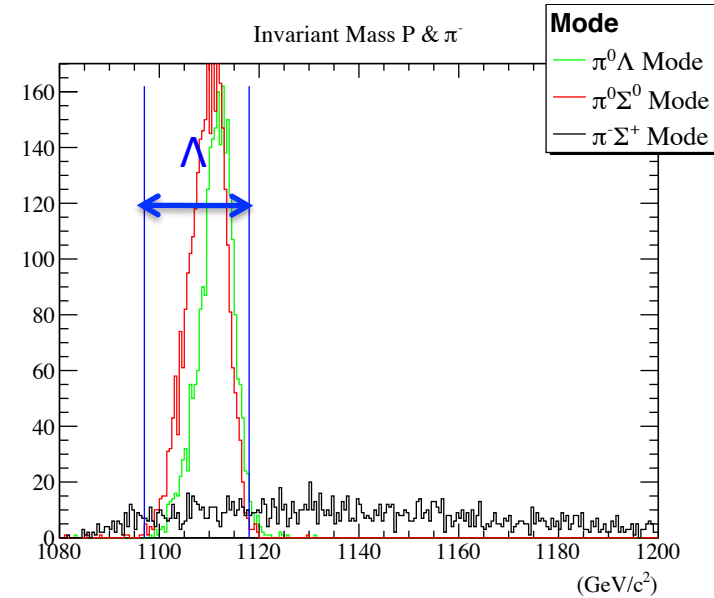
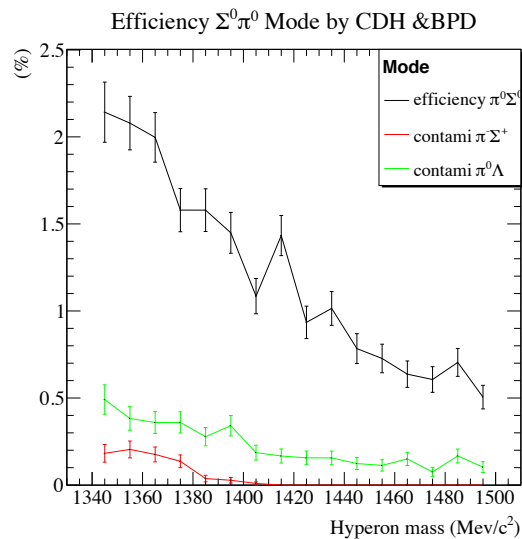
$3.6\text{mm} \times 7.2 = 115.2\text{mm}$ の有感面積



後方散乱陽子検出による $\pi^0\Sigma^0$ モード識別の改善



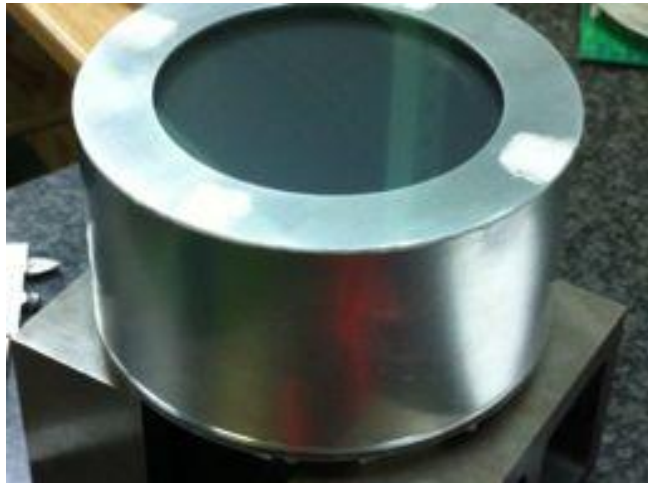
π^- はCDHで検出
PはBPD&BPCで検出する



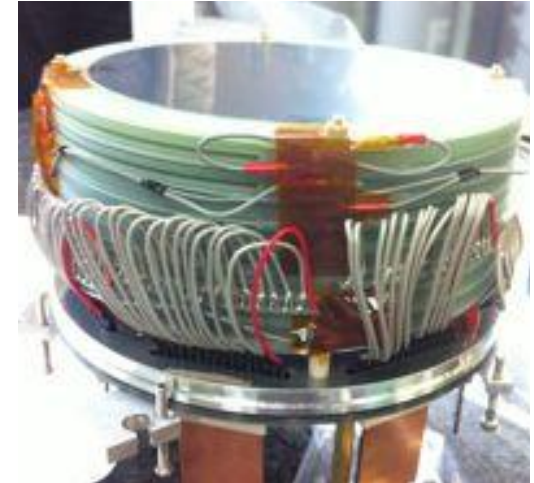
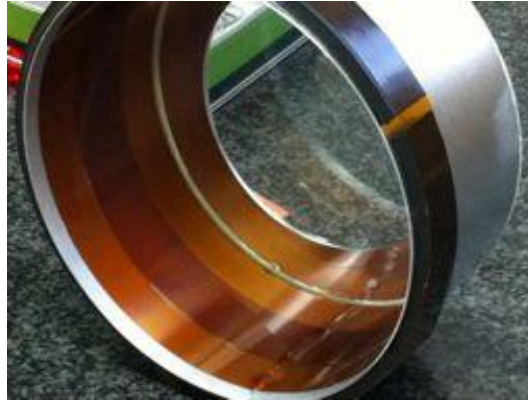
1400MeV/c²付近での
(混入率)/(検出効率)が改善

BPCの製作

外観



内部



放電対策としてポリミドでシールド

空気中で1800Vまで印可
P10(Ar90% エタン10%)ガス中で
1400Vまで印可
1400V以上でトリップ(0.1 μ A)

信号の測定

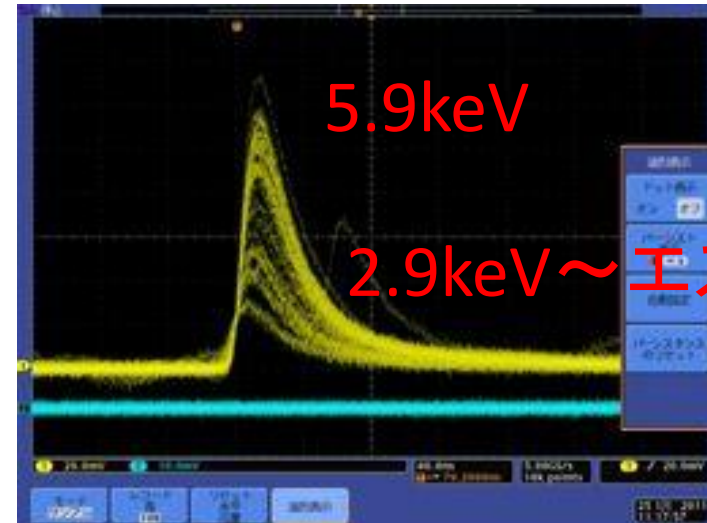
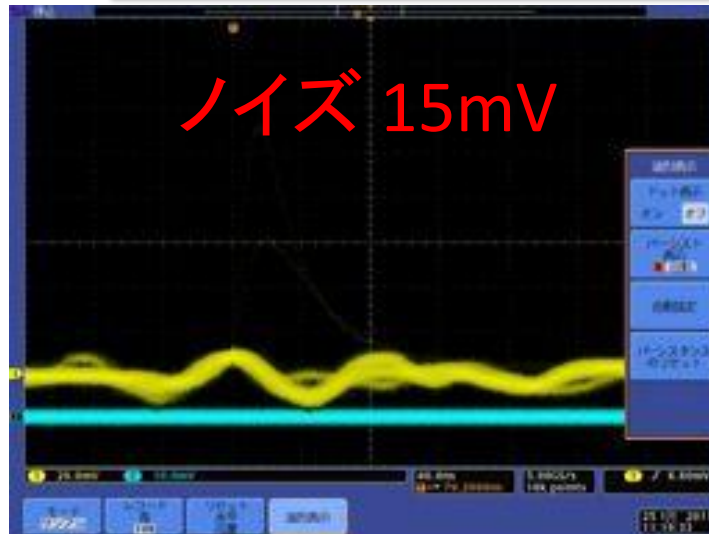
^{55}Fe 線源

X線 5.9keV

エスケープピーク 2.9keV

HV 1300V

ASD アナログアウト



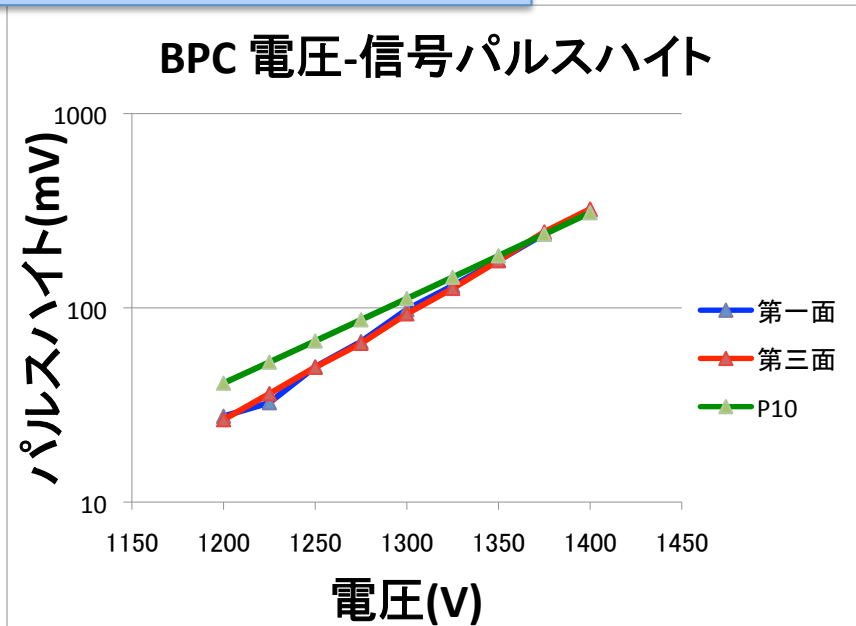
Gainの測定

Fe⁵⁵線源の5.9keVのピークをオシロスコープで測定
HVを1200～1400Vまで25V刻みに測定
第1面、第3面の一本のワイヤーを測定

GarFieldでガスゲインを
シミュレーション

生成されるイオンペアの数
 $5600/26 = 227$

ASDのGain $\sim 0.3\text{V/pC}$



シミュレーションとほぼ同じGainがえられた
面によるGainは見られなかった

まとめ

- Geant4 SimulationによりE-31実験の検出効率と混入率を見積もった
- $\pi^0\Sigma^0$ モードの特定のために後方散乱陽子検出用の飛跡検出器を設計しSimulationにより(混入率)/(検出効率)が低いことを確認した
- 後方散乱飛跡検出器を製作しGainを測定しSimulationと大きな違いがないことを確認した

今後

- Efficiency caveを測定しワイヤー同士のGainの違いを確認する
- ビームテストにより分解能を測定する

連絡先

- ご質問等がありましたら下記までご連絡ください
- 大阪大学 理学研究科
核物理研究センター
野海研究室
kentaro@rcnp.osaka-u.ac.jp
- 最後までお読み下さってありがとうございます