



CERN COMPASS における 偏極 Drell-Yan 過程を用いた 核子構造の研究



山形大理
糠塚元氣

1. 物理

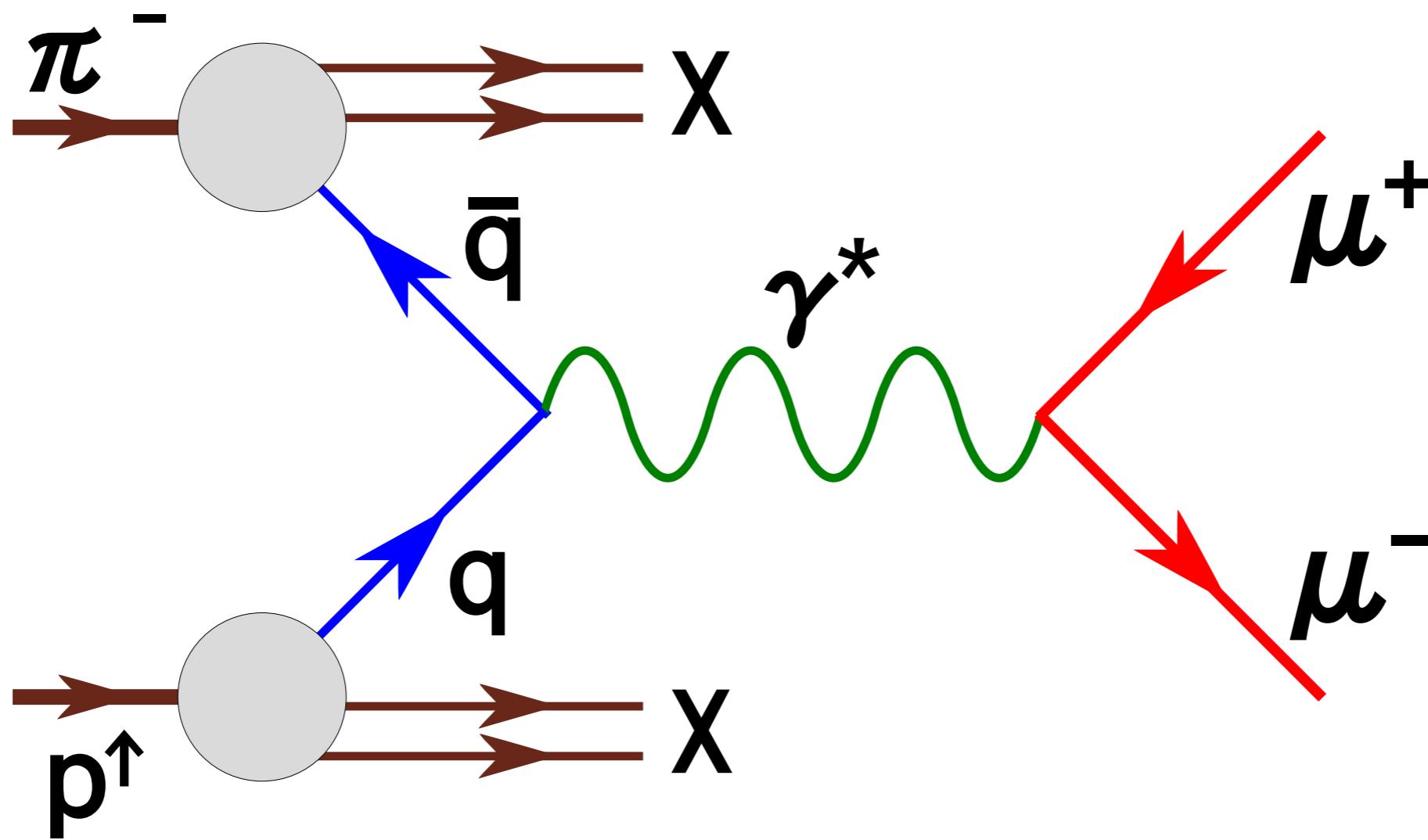
- ・偏極 Drell-Yan (DY) 過程
- ・陽子の спин構造
- ・偏極 DY 過程を用いた Sivers 関数等の抽出
- ・深非弾性散乱を用いた Sivers 関数等の測定
- ・Sivers 関数等の反応依存性

2. COMPASS 偏極 DY 実験

- ・偏極 DY 実験計画
- ・アクセプタンス
- ・機器のアップグレード
- ・2014 年試験ラン
- ・2015 年本格測定に向けた準備状況

3. まとめ

$$\pi^- + p^\uparrow \rightarrow \gamma^* + X \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$$

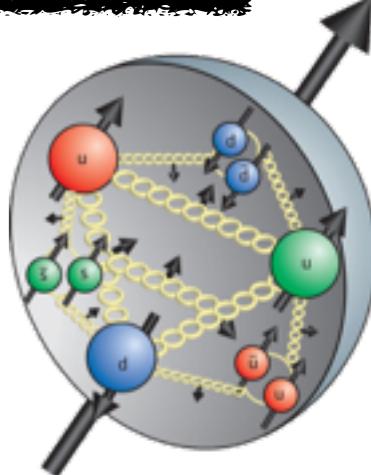




陽子の спин構造

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \Sigma}{\text{クォーク}} + \frac{\Delta G}{\text{グルーオン}} + \frac{L_q}{\text{クォークの軌道角運動量}} + \frac{L_g}{\text{グルーオンの軌道角運動量}}$$

陽子
スピニ
クォーク
スピニ
グルーオン
スピニ
クォークの
軌道角運動量
グルーオンの
軌道角運動量



核子の偏極

	0	たて	よこ
0	f_1 		f_{1T}^\perp
たて		g_{1L} 	g_{1T}
よこ	h_1^\perp 	h_{1L}^\perp 	h_{1T}^\perp

Boer-Mulders 関数

Sivers 関数

核子スピン
 クォークスピン
 クォーク運動量



反応断面積（横偏極標的の場合）

$$\frac{d\sigma}{d^4 q d\Omega} = \frac{\alpha_{em}^2}{F q^2} \hat{\sigma}_U \left[\left(1 + D_{[\sin^2 \theta]} A_U^{\cos 2\phi} \cos 2\phi \right) \right.$$

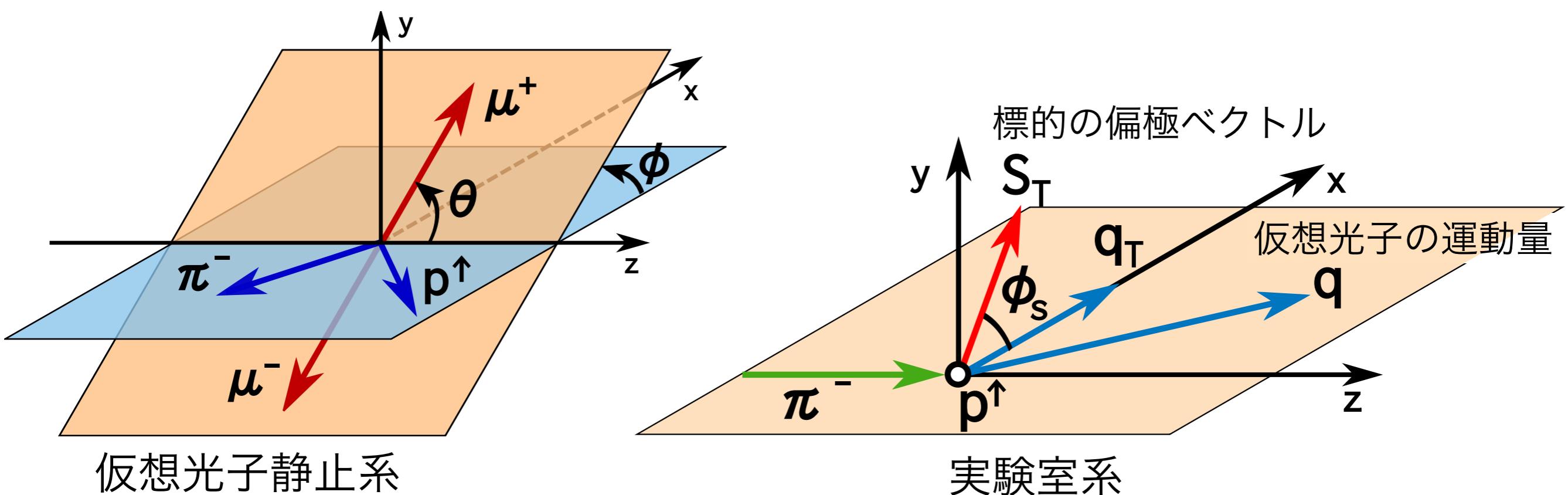
$+ |S_T| \left\{ A_T^{\sin \phi_S} \sin \phi_S \right.$

$h_1^\perp(p) \otimes h_1^\perp(\pi)$: Boer-Mulders 関数

$f_{1T}^\perp(p) \otimes f_1(\pi)$: Sivers 関数

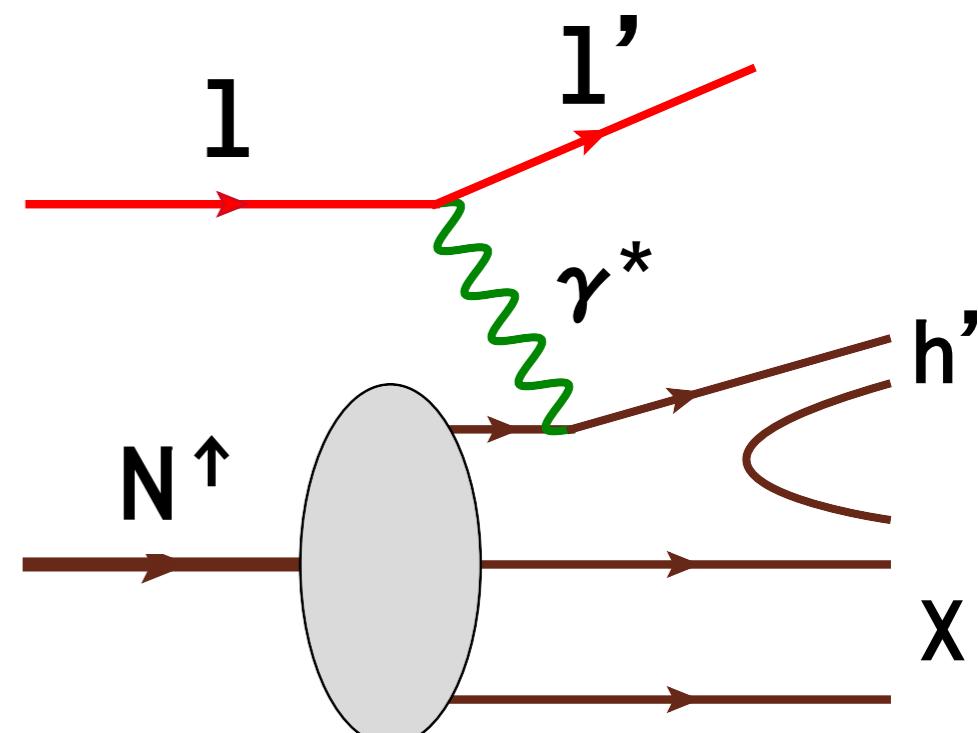
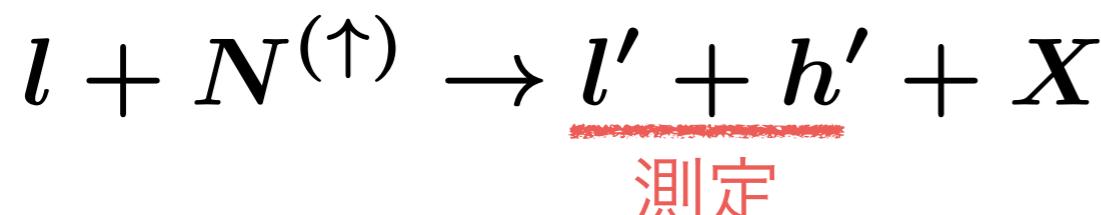
$$\left. + D_{[\sin^2 \theta]} \left(A_T^{\sin(2\phi + \phi_S)} \sin(2\phi + \phi_S) \right. \right.$$

$$\left. \left. + A_T^{\sin(2\phi - \phi_S)} \sin(2\phi - \phi_S) \right) \right]$$





深非弾性散乱 (SIDIS)

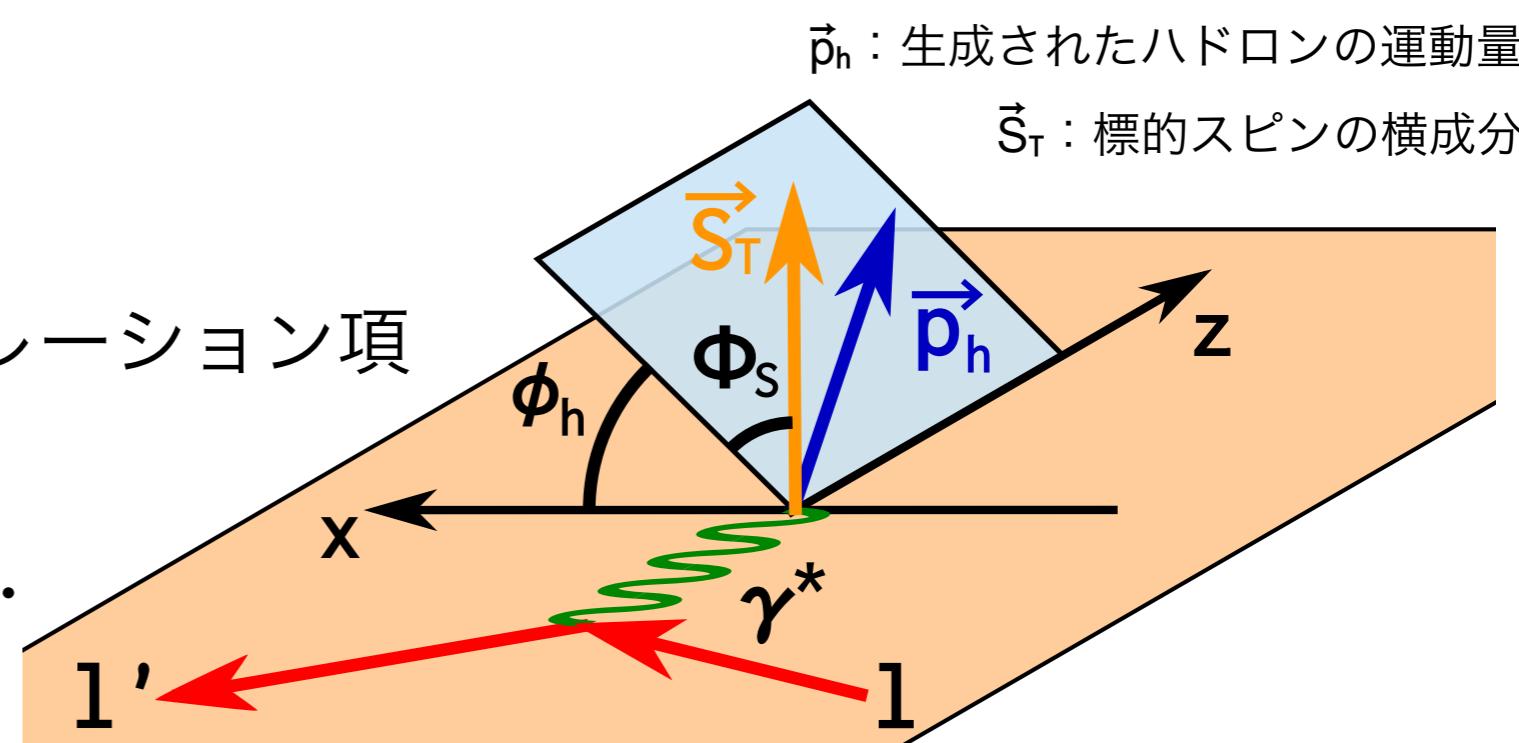


Sivers 関数

- 横偏極核子
- $\sin\Phi_S$ のモジュレーション項から抽出
- $A_{UT}^{\sin\Phi_S} \propto f_{1T}^\perp \otimes D_1$ D_1 : 破碎関数

Boer-Mulders 関数

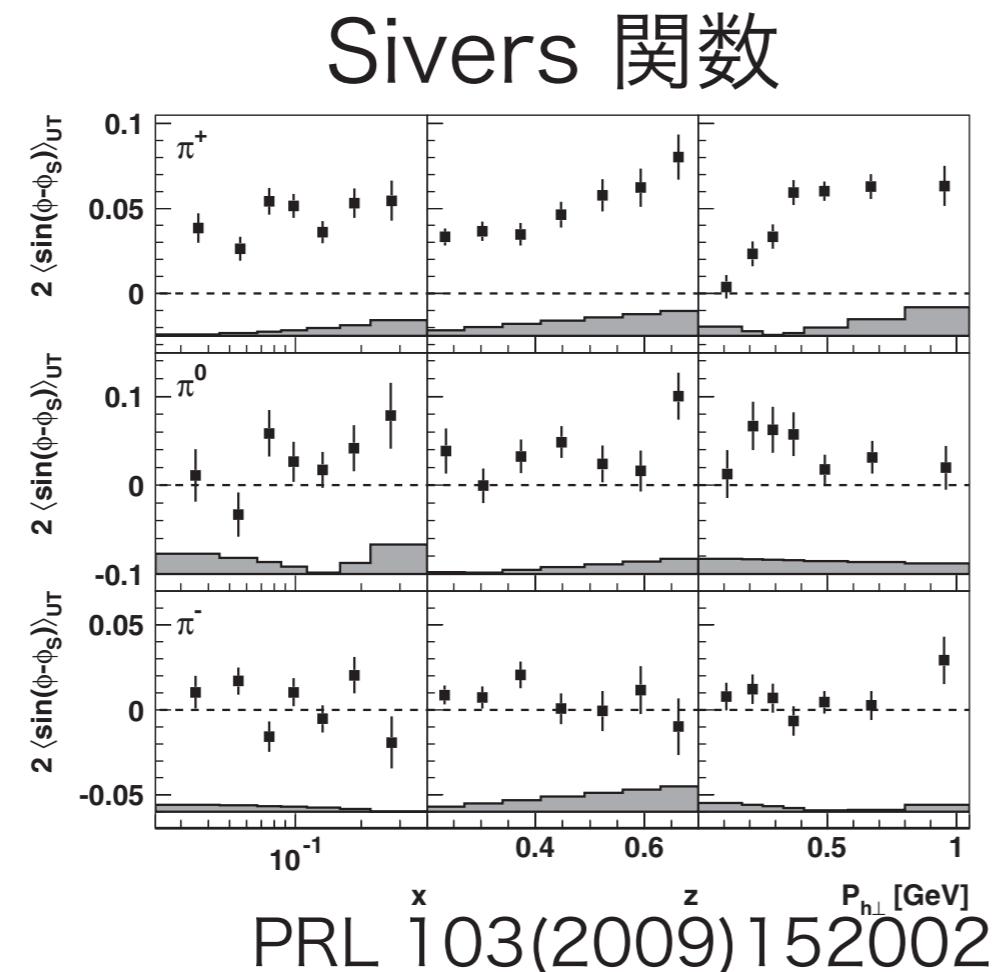
- 非偏極核子
 - $\cos\phi_h, \cos 2\phi_h$ のモジュレーション項から抽出
 - $A_{UU}^{\cos 2\phi_h} \propto h_1^\perp \otimes H_1^\perp + \dots$
- H_1^\perp : Collins 関数



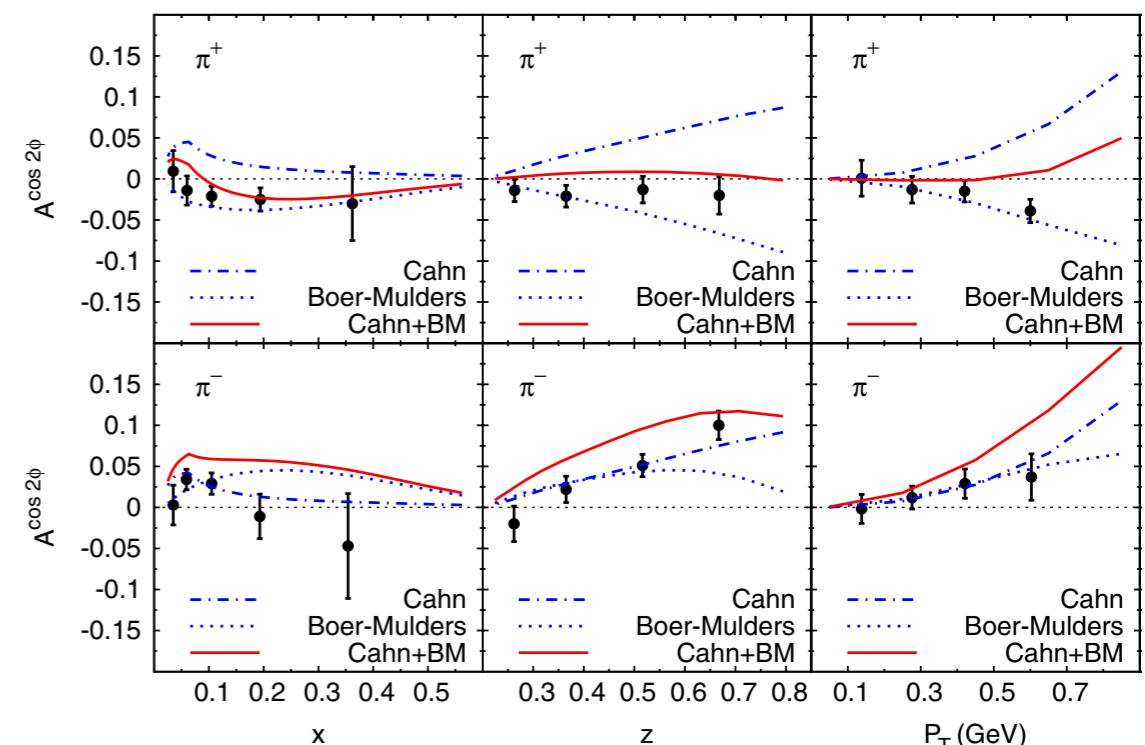
深非弾性散乱を用いた Sivers 関数等の測定



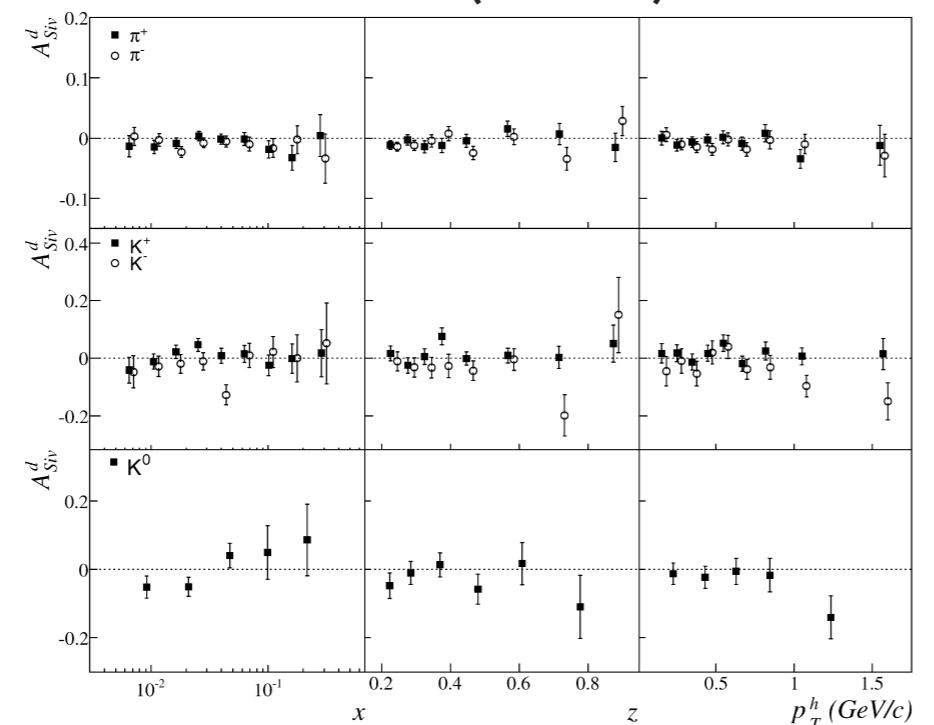
HERMES
Proton



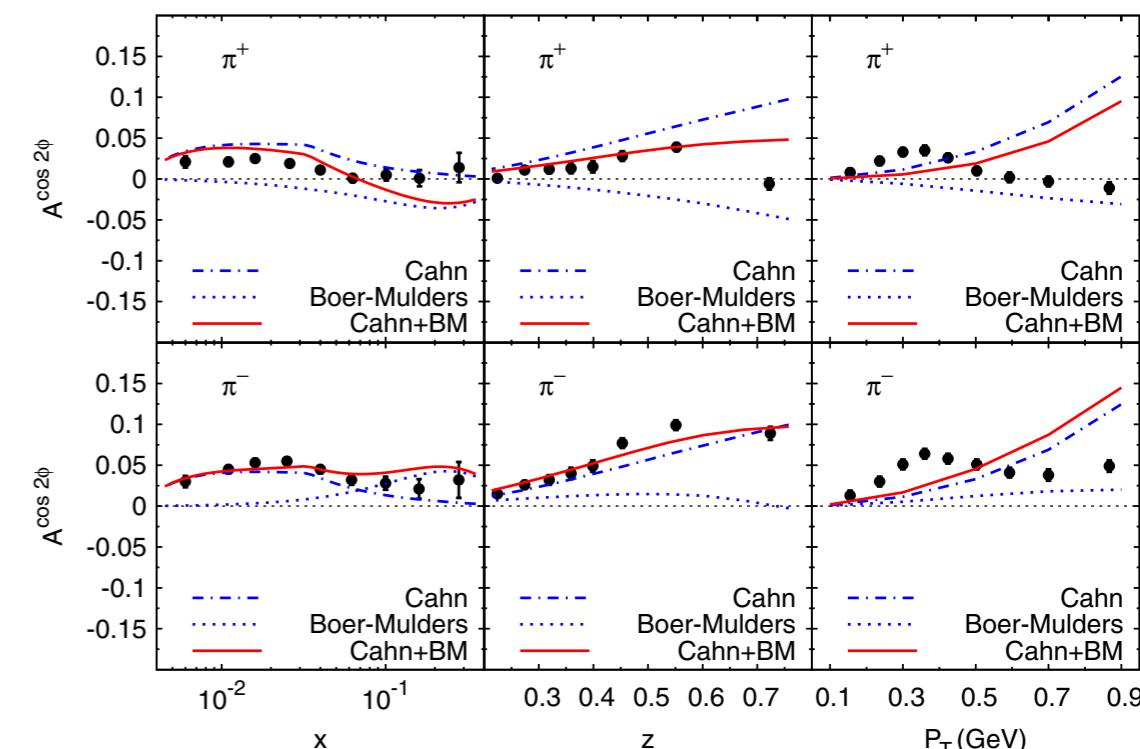
Boer-Mulders 関数



COMPASS
Deuteron



PLB 673(2009) 127



PRD 81(2010) 114026

- Sivers, Boer-Mulders 関数は時間反転奇
- SIDIS と DY 過程では, 符号が反転すると予言されている (PLB 536(2002)43)

$$f_{1T}^\perp(x, k_T)|_{DY} = - f_{1T}^\perp(x, k_T)|_{SIDIS}$$

$$h_1^\perp|_{DY} = - h_1^\perp|_{DIS}$$

COMPASS では同じスペクトロメータで

SIDIS, DY 過程の両方から Sivers, Boer-Mulders 関数を測定できる



目次



1. 物理

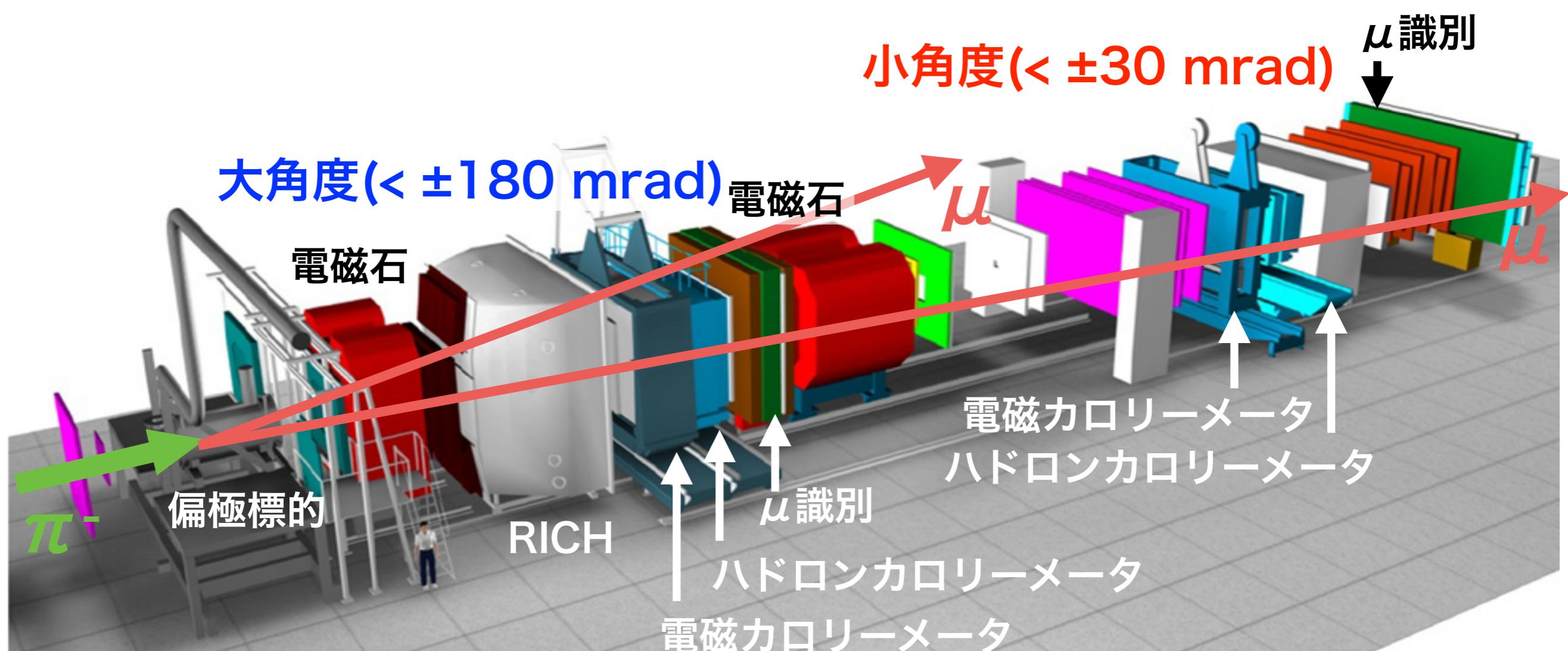
- ・偏極 Drell-Yan (DY) 過程
- ・陽子の спин構造
- ・偏極 DY 過程を用いた Sivers 関数等の抽出
- ・深非弾性散乱を用いた Sivers 関数等の測定
- ・Sivers 関数等の反応依存性

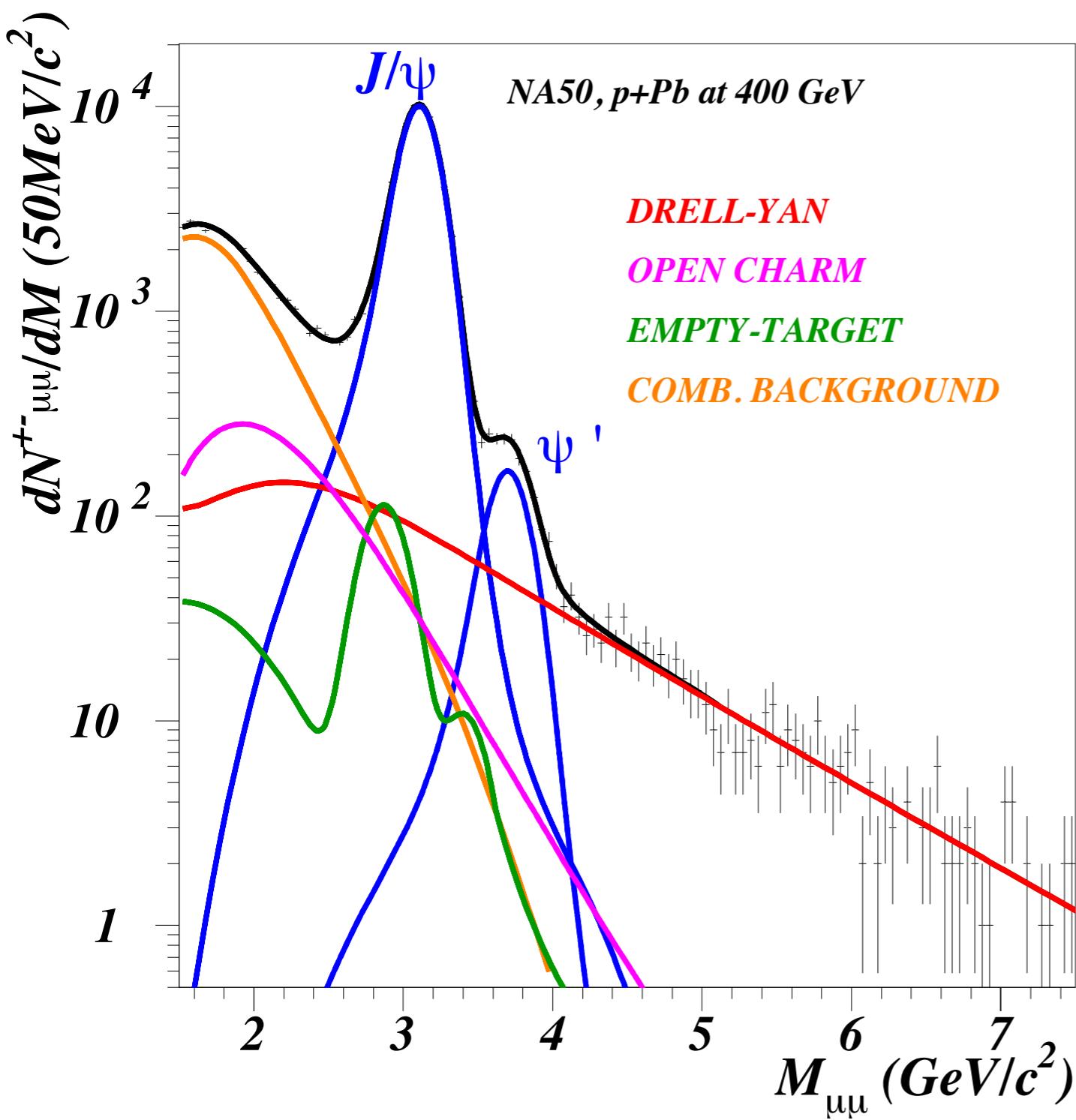
2. COMPASS 偏極 DY 実験

- ・偏極 DY 実験計画
- ・アクセプタンス
- ・機器のアップグレード
- ・2014 年試験ラン
- ・2015 年本格測定に向けた準備状況

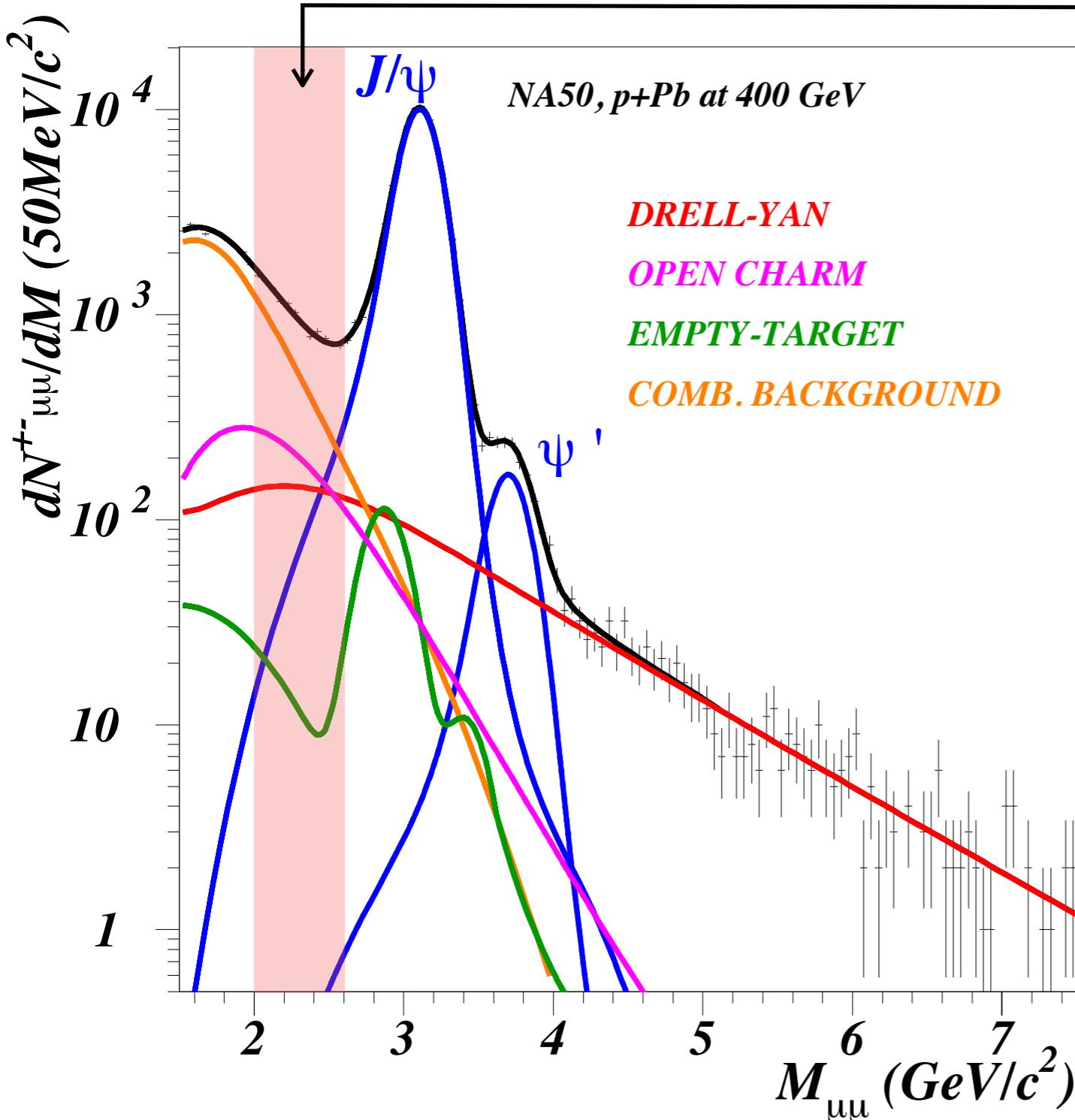
3. まとめ

- 横偏極陽子標的
- π^- ビーム
 - 運動量 190 GeV/c
 - 強度 $10^9 \pi/\text{spill}$
 - spill 長 9.6 s
 - サイクル 33.6 s
- 2015 年 5 月から約 5 ヶ月間のデータ収集
- 2014 年 10 月～12 月に試験ラン
- 2018 年にも測定を予定





CERN NA50
 $p(400 \text{ GeV}) + \text{Pb}$ (固定標的)

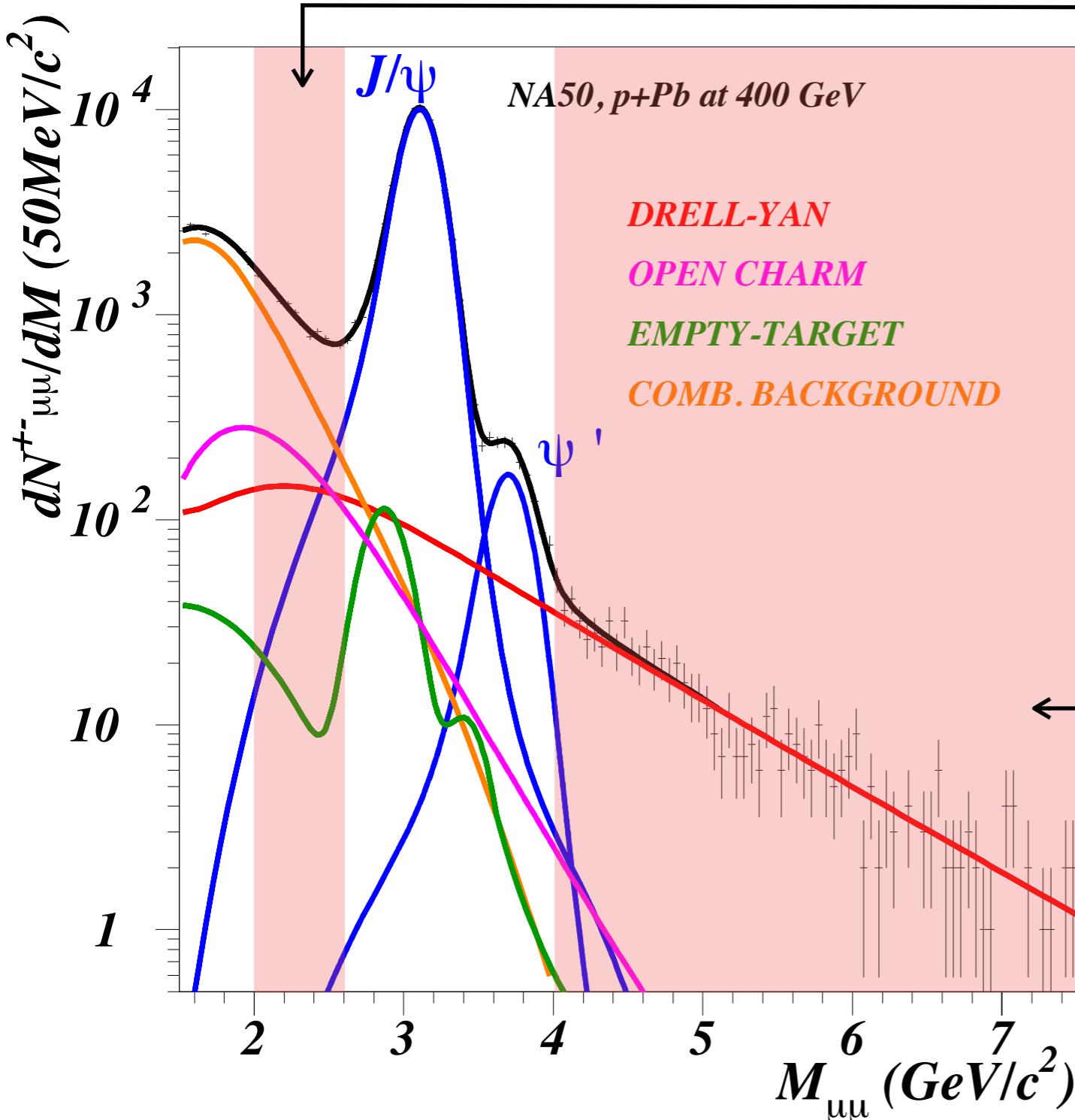


低 $M_{\mu\mu}$ 領域

(2~2.5 GeV/c^2)

- π , K の崩壊, open charm によるバックグラウンド
- 断面積が大きい
- アクセプタンス : 35%

CERN NA50
 $p(400 \text{ GeV}) + \text{Pb}$ (固定標的)

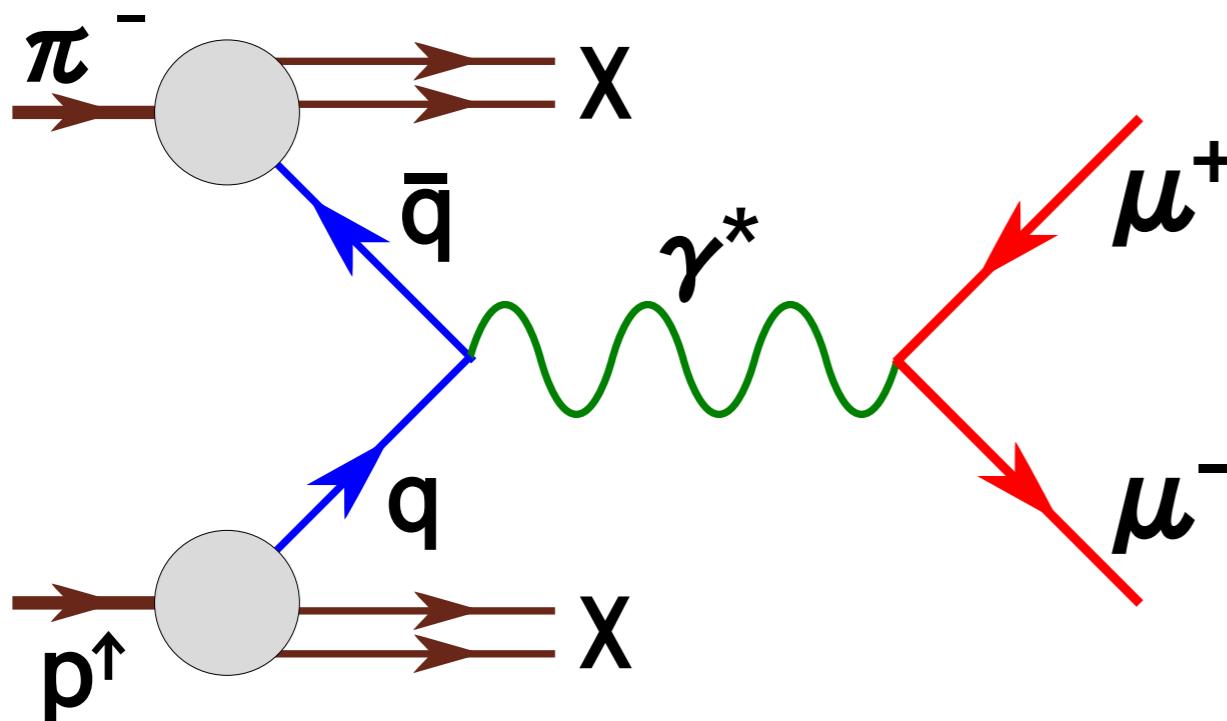
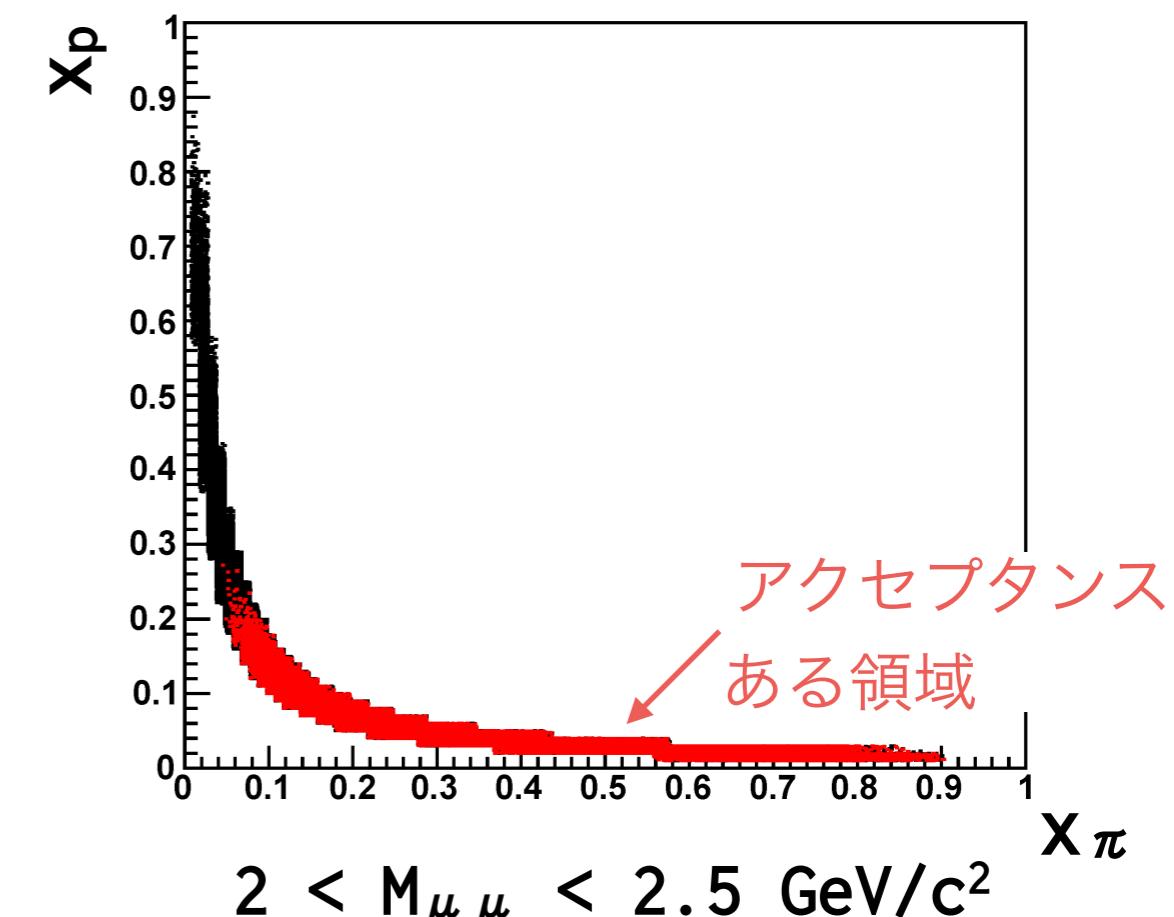
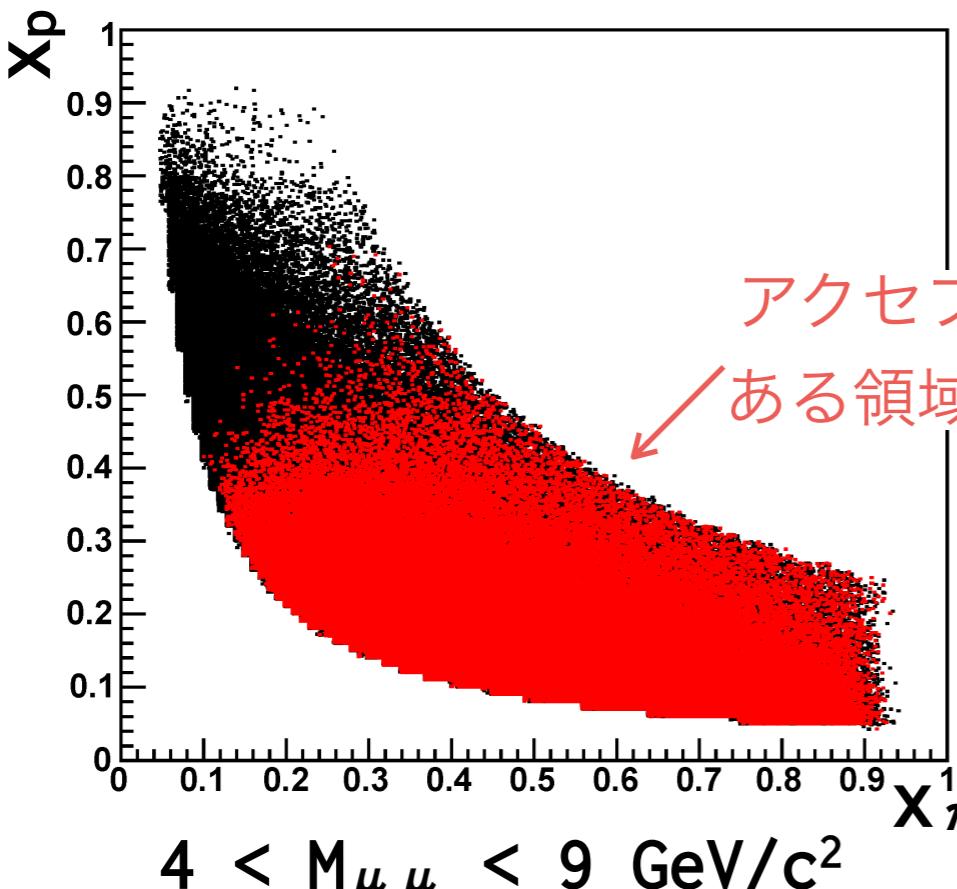
低 $M_{\mu\mu}$ 領域(2~2.5 GeV/c^2)

- π , K の崩壊, open charm によるバックグラウンド
- 断面積が大きい
- アクセプタンス : 35%

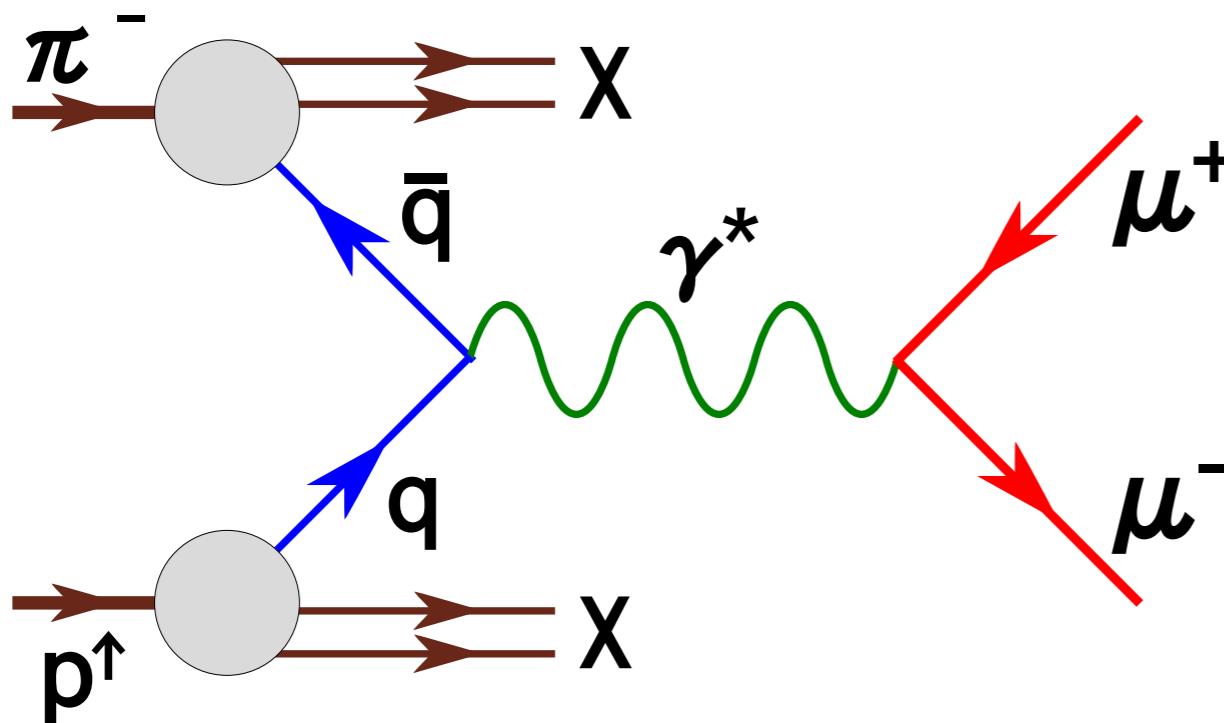
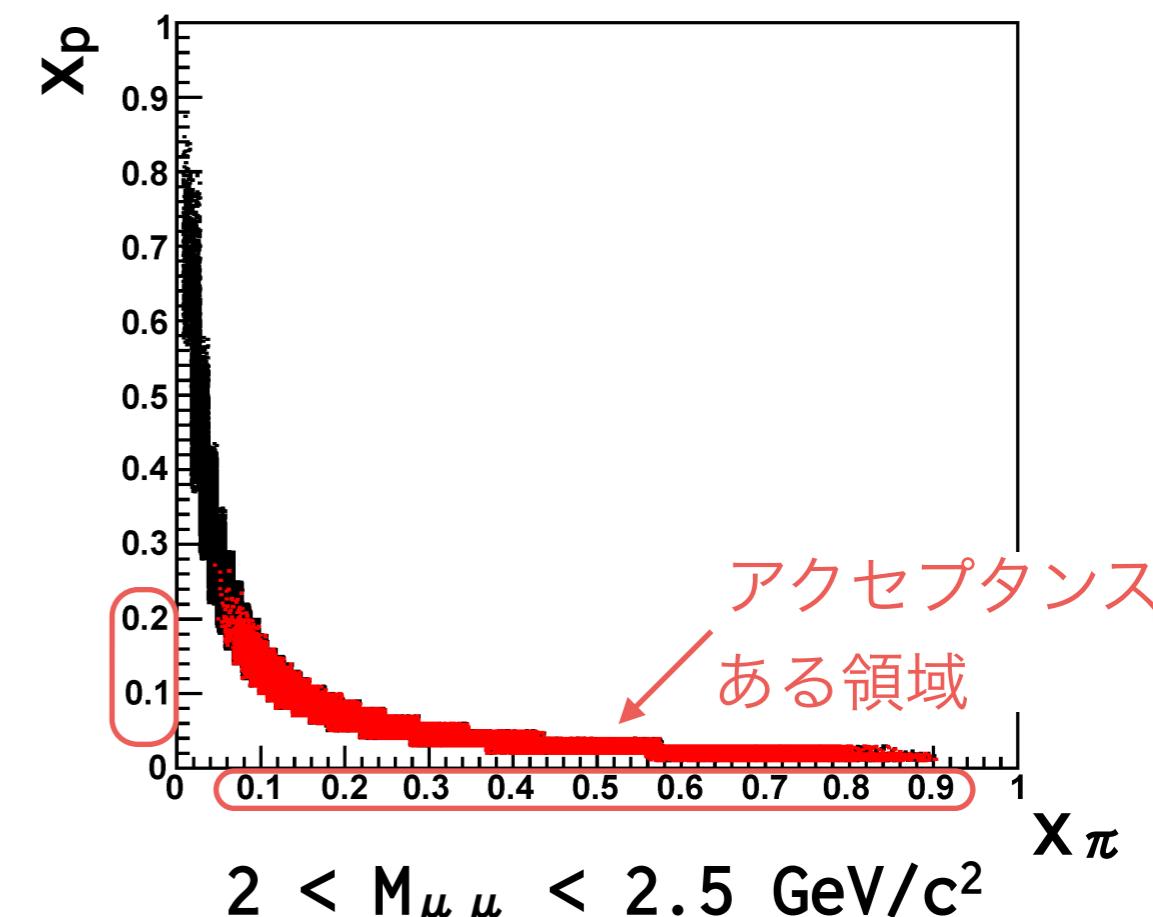
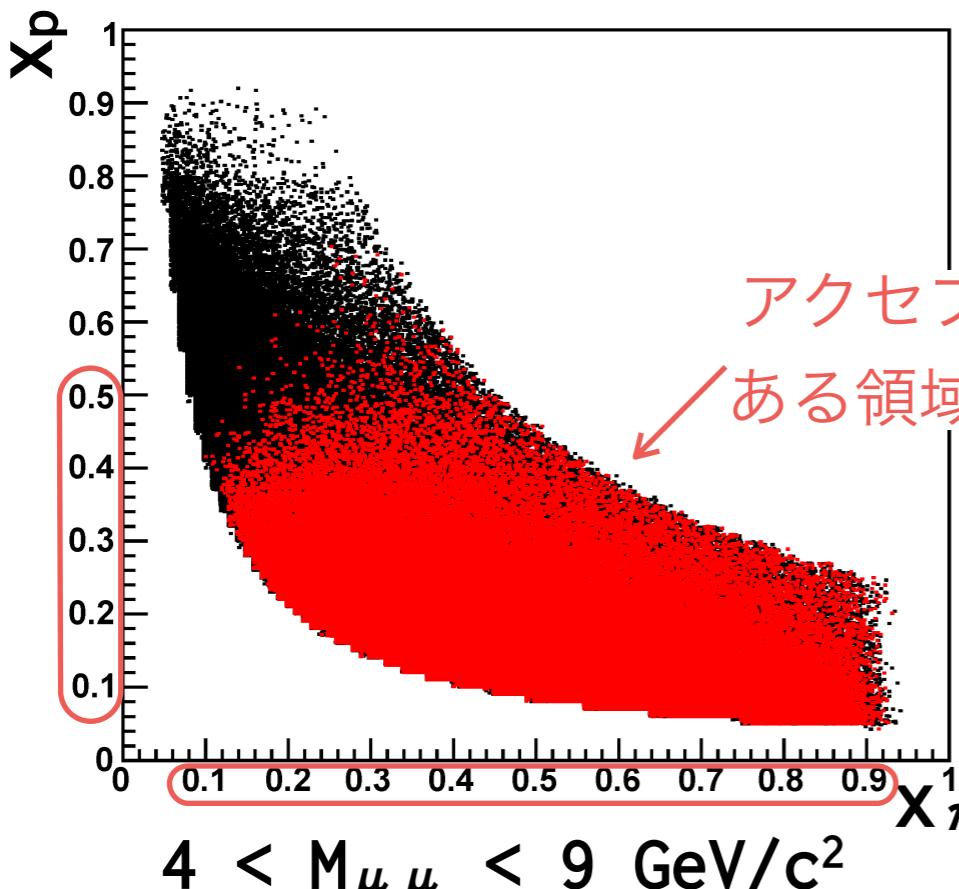
高 $M_{\mu\mu}$ 領域(4~9 GeV/c^2)

- バックグラウンドがほとんどない
- 断面積が小さい
- アクセプタンス : 43%

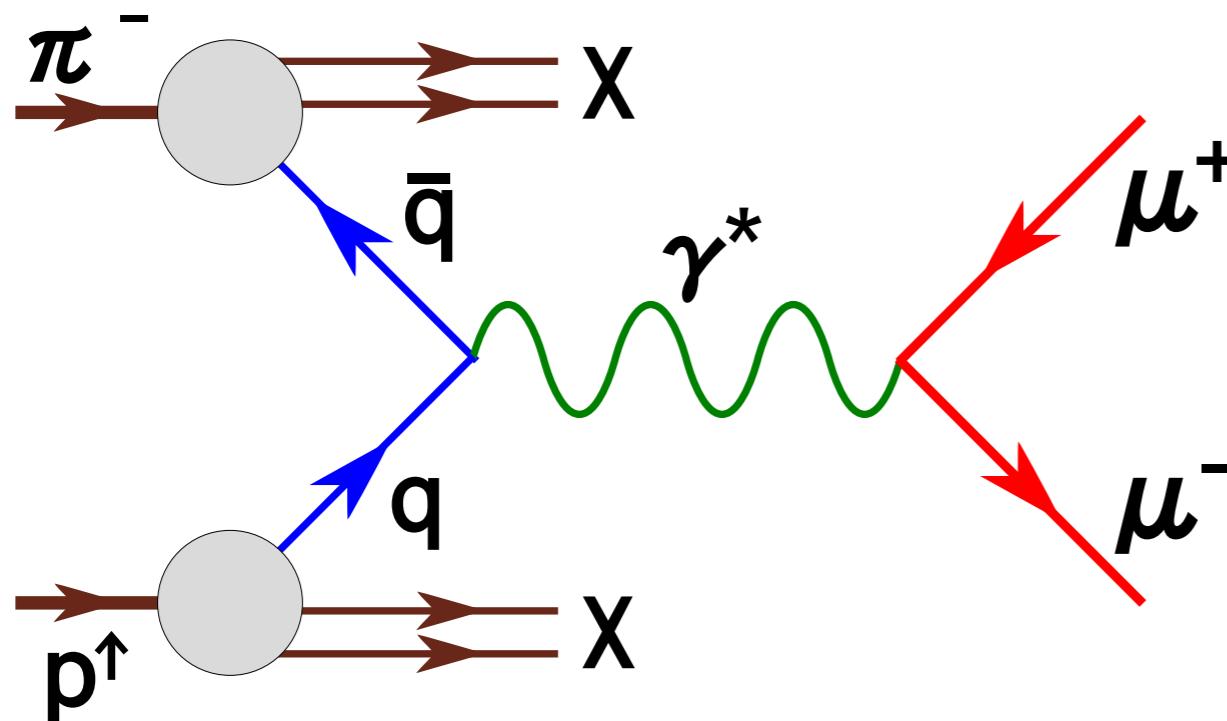
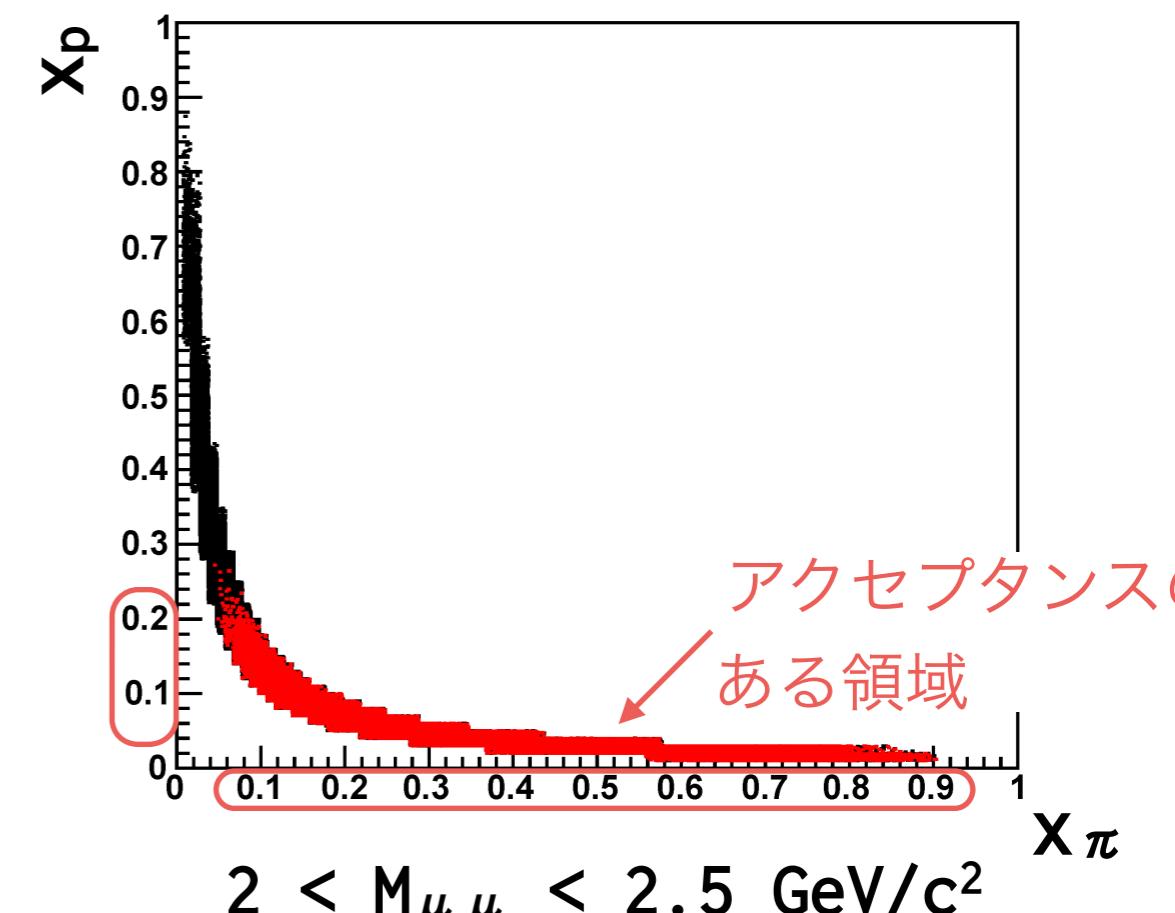
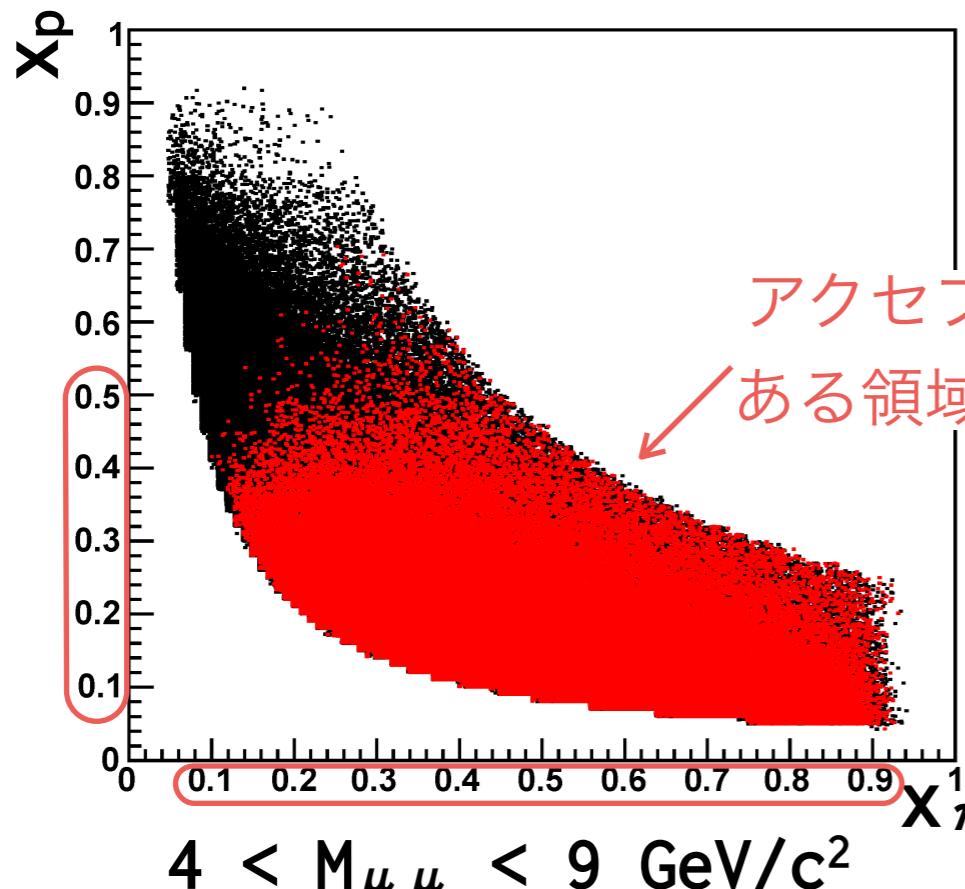
XBJに対するアクセプタンス



XBJに対するアクセプタンス

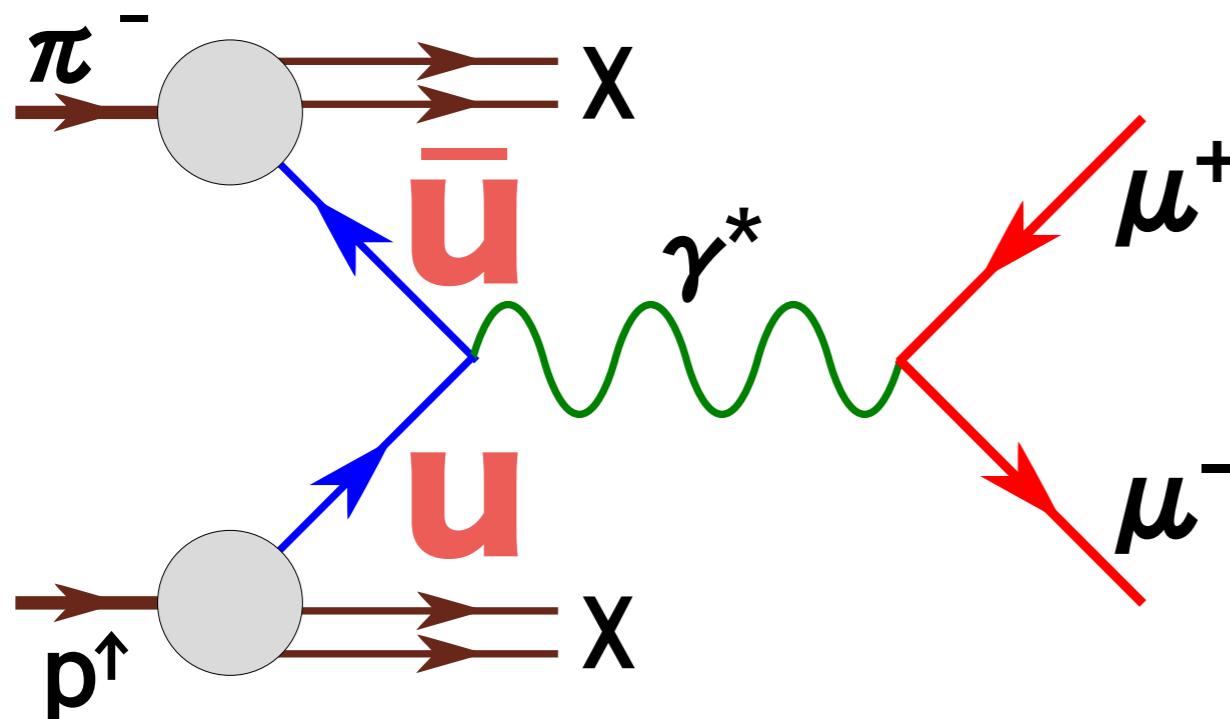
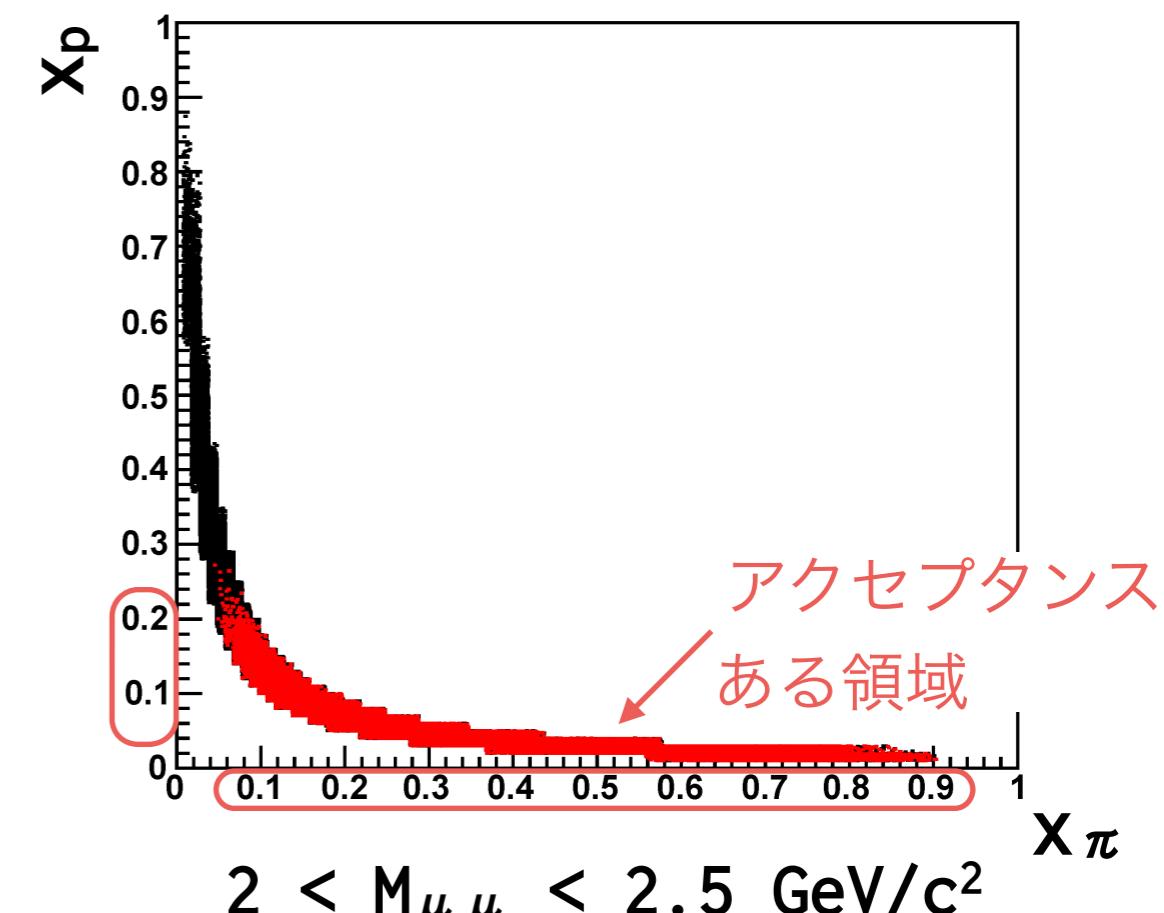
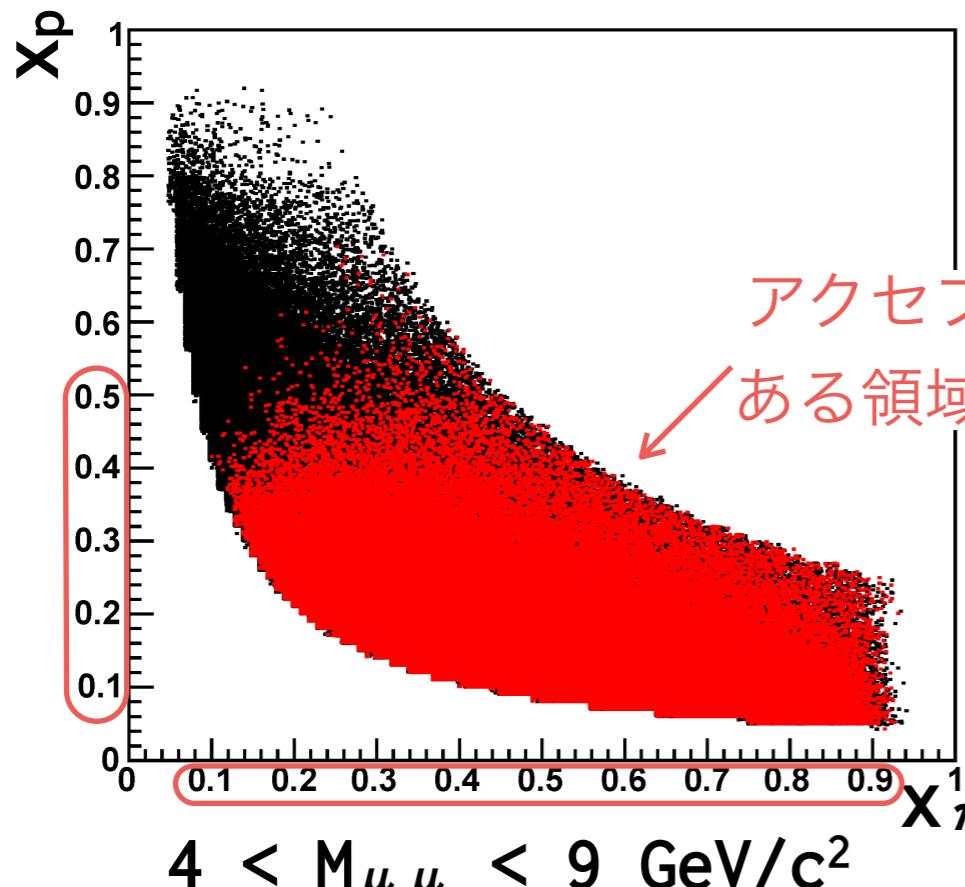


XBJに対するアクセプタンス



$p(uud)$ と $\pi^-(\bar{u}d)$ の両方が
valence quark 領域
↪ $u\bar{u}$ の DY 過程が支配的

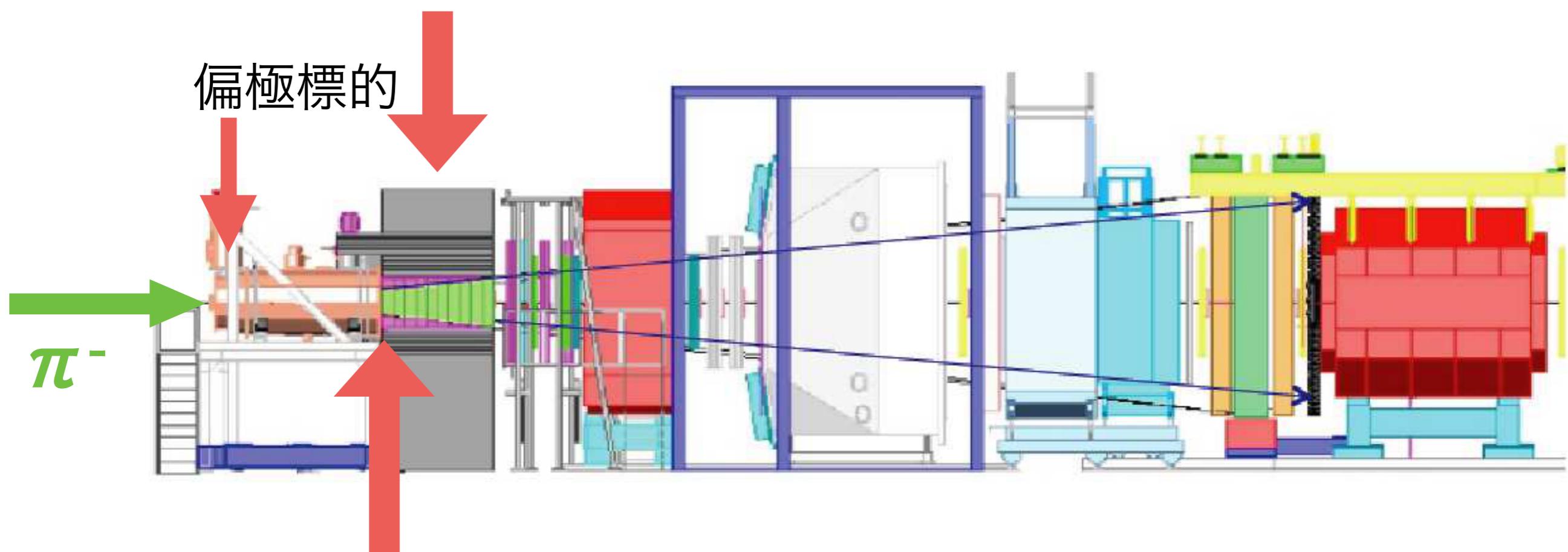
XBJに対するアクセプタンス



$p(uud)$ と $\pi^-(\bar{u}d)$ の両方が
valence quark 領域
↪ $u\bar{u}$ の DY 過程が支配的

ハドロンアブソーバー（新規）

偏極標的



Vertex Detector (新規)

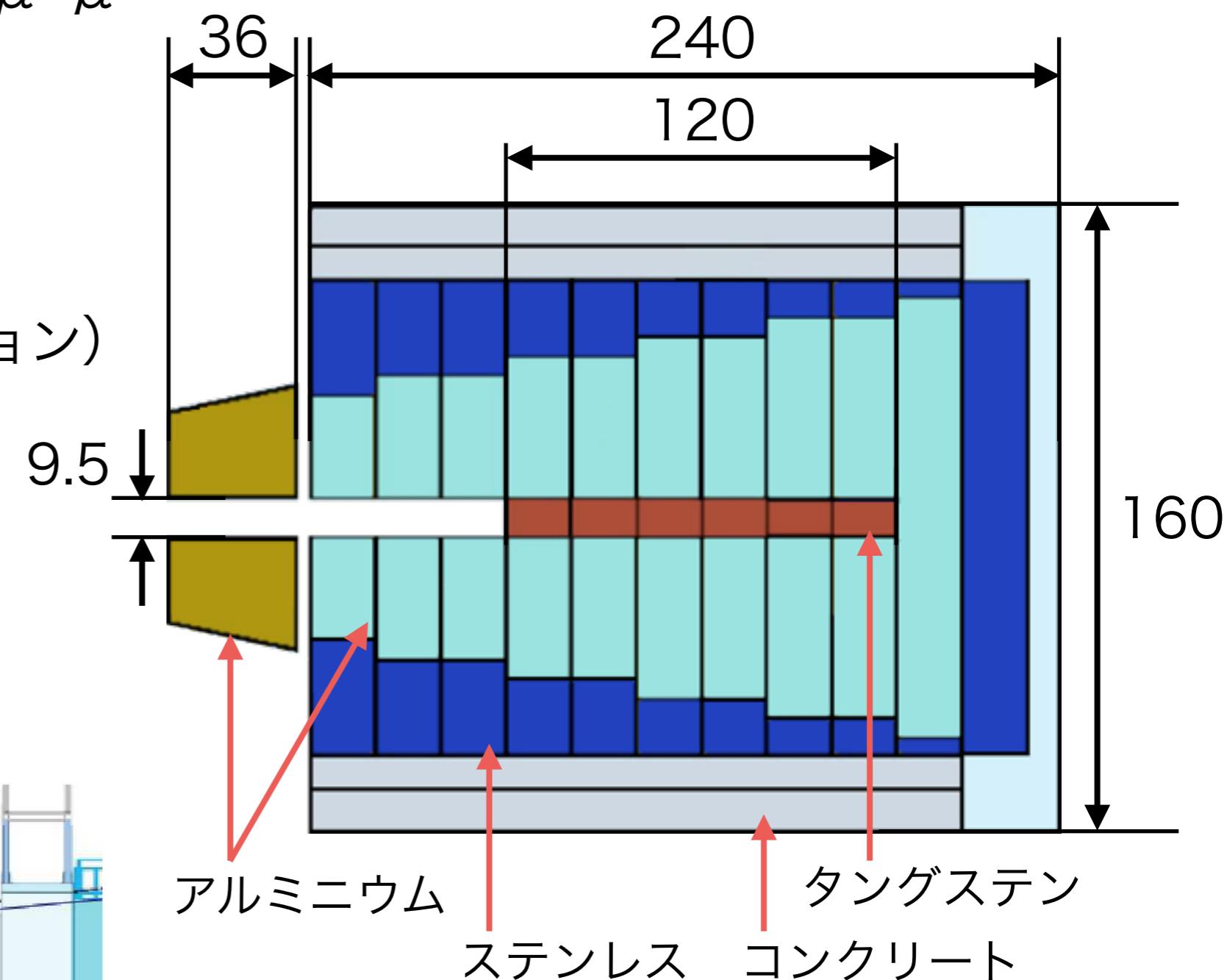
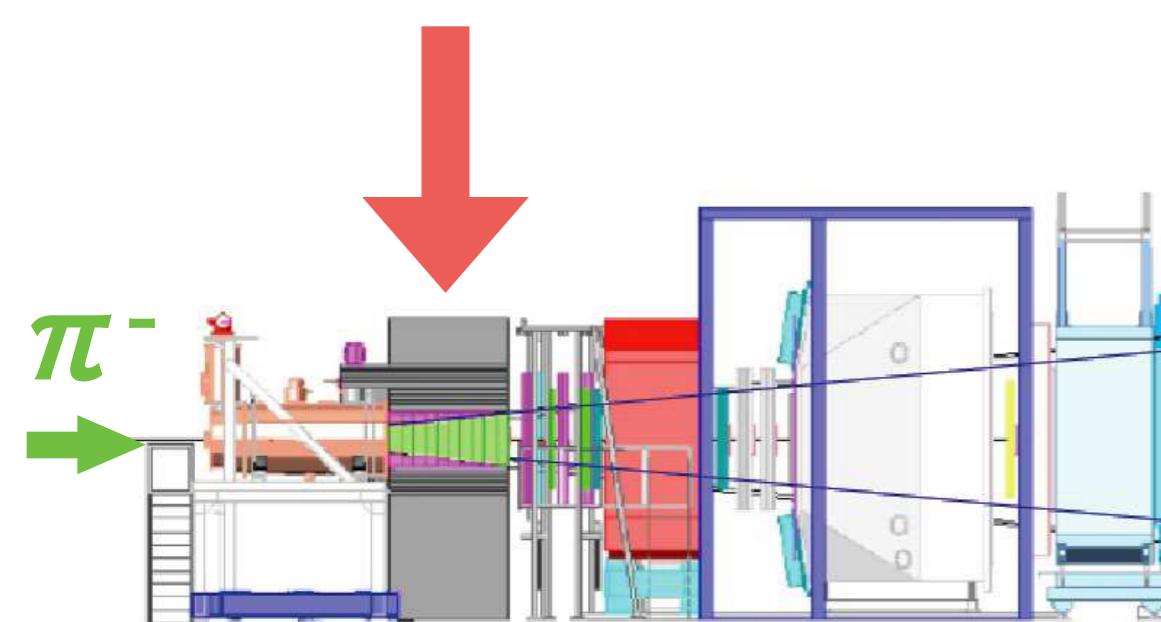
偏極 DY 実験用のセットアップ

目的

標的と反応しなかった π^- と $\mu^+\mu^-$
以外の2次粒子を止める

阻止能

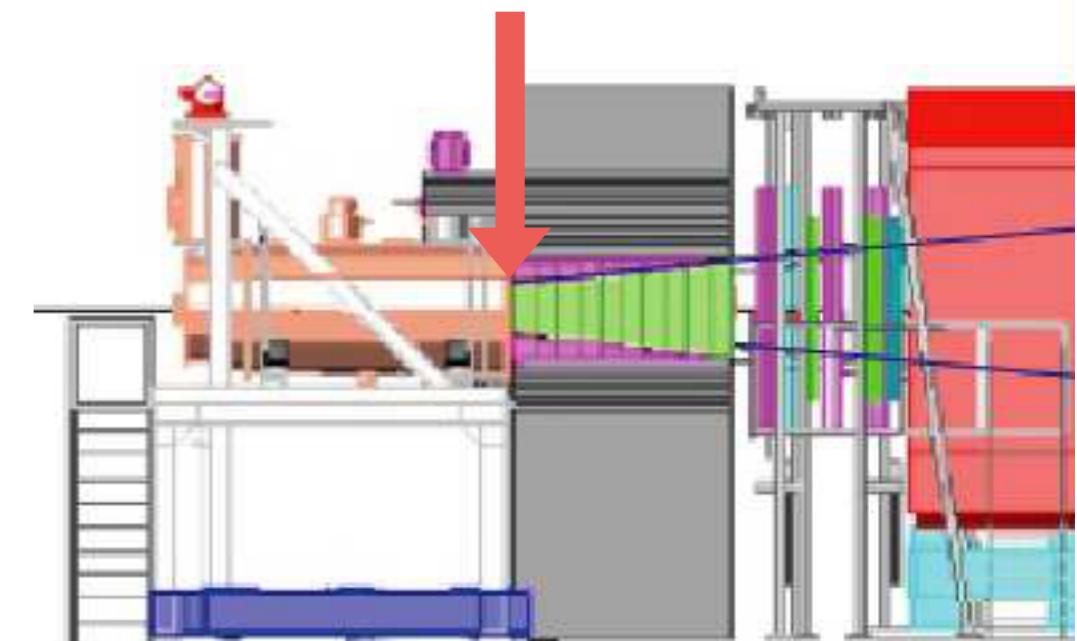
$5 \times 10^{-4} / \text{cm}^2/\text{primary } \pi$
(プロトタイプ, シミュレーション)



目的

$\mu^+ \mu^-$ がアブソーバで多重散乱され、vertex
再構成の精度が悪化する

アブソーバ上流で $\mu^+ \mu^-$ の位置を測定し、
再構成の精度を向上させる

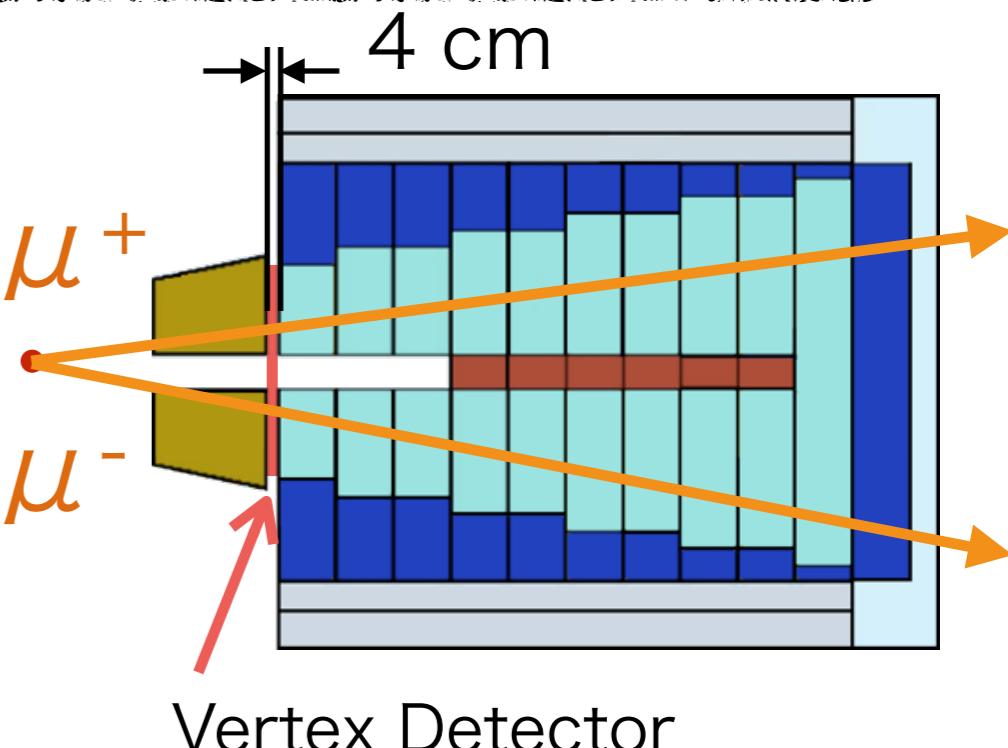


Vertex Detector

目的

$\mu^+ \mu^-$ がアブソーバで多重散乱され, vertex
再構成の精度が悪化する

アブソーバ上流で $\mu^+ \mu^-$ の位置を測定し,
再構成の精度を向上させる

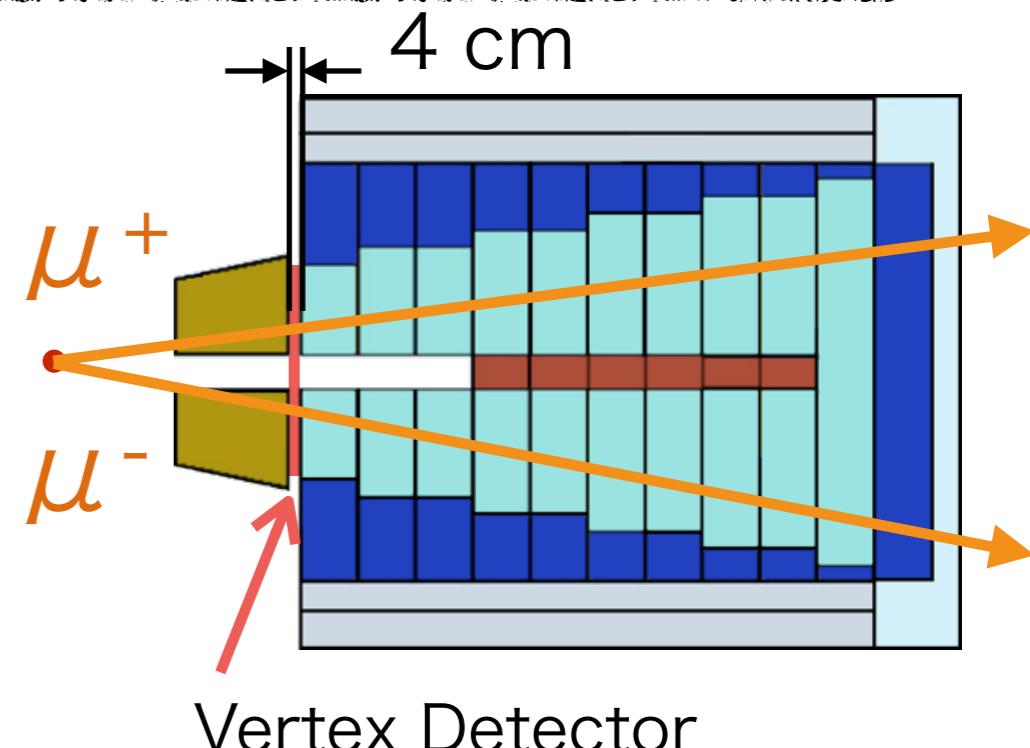


Vertex Detector

目的

$\mu^+ \mu^-$ がアブソーバで多重散乱され、vertex
再構成の精度が悪化する

アブソーバ上流で $\mu^+ \mu^-$ の位置を測定し、
再構成の精度を向上させる



構造

シンチレーションファイバー + ライトガイド

ファイバー : 1 mm ϕ

ピッチ : 0.71 mm

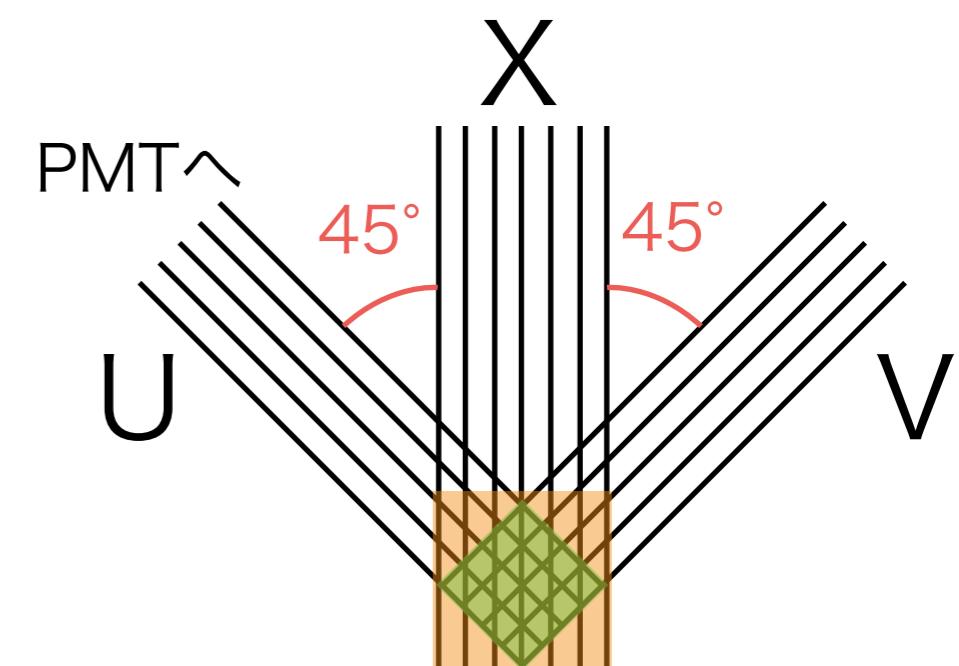
X, U, V 層

X層

有感領域 22.2 cm, 320 ch

U, V 層

有感領域 15.7 cm, 224 ch

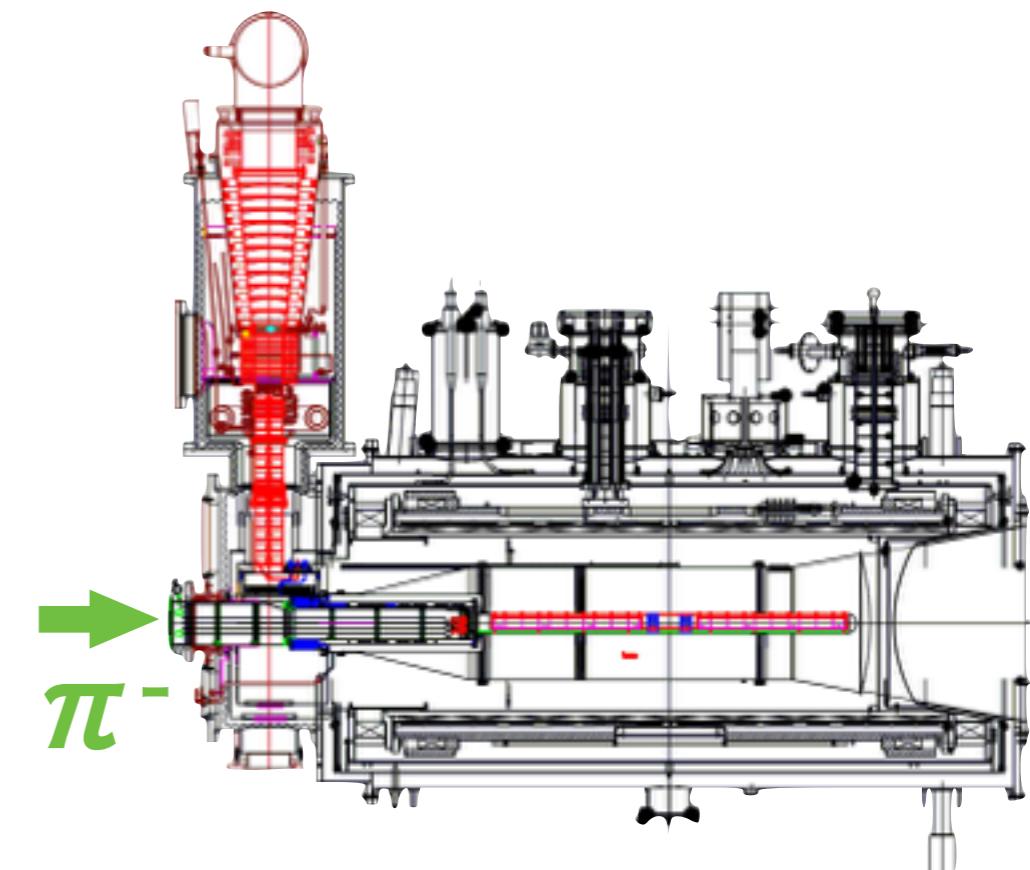




偏極 DY 実験用偏極陽子標的



- 標的物質 : NH_3^{\uparrow}
- 能動核偏極法により、最大 90% の陽子偏極度
- 標的セル
55 cm × 4 cm ϕ × 2 セル
上流と下流の 2 箇所に設置し、それぞれ反対向きに偏極させる
約 1 週間おきに偏極の向きを逆転させ、幾何学的な非対称度を打ち消す
- 横偏極モードで運用
- 核磁気共鳴 (NMR) を用いた偏極度測定

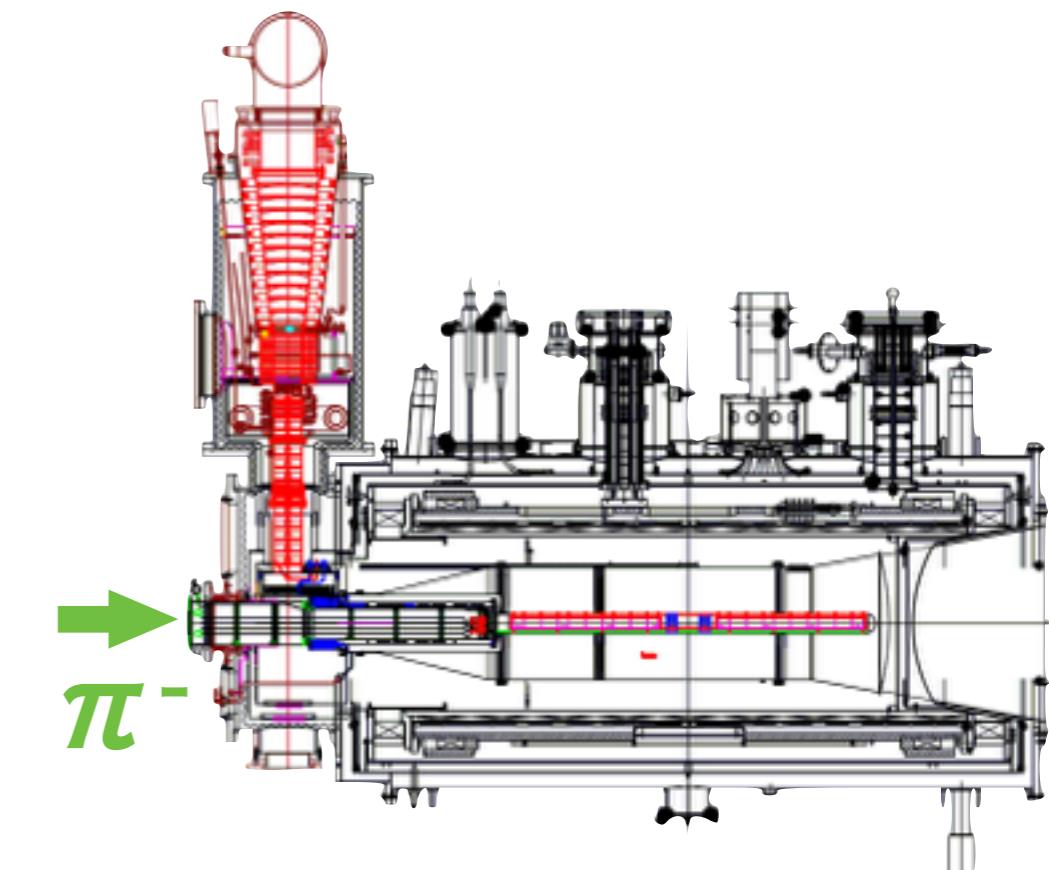




偏極 DY 実験用偏極陽子標的



- 標的物質 : NH_3^{\uparrow}
- 能動核偏極法により、最大 90% の陽子偏極度
- 標的セル
55 cm × 4 cm ϕ × 2 セル
上流と下流の 2 箇所に設置し、それぞれ反対向きに偏極させる
約 1 週間おきに偏極の向きを逆転させ、幾何学的な非対称度を打ち消す
- 横偏極モードで運用
- 核磁気共鳴 (NMR) を用いた偏極度測定



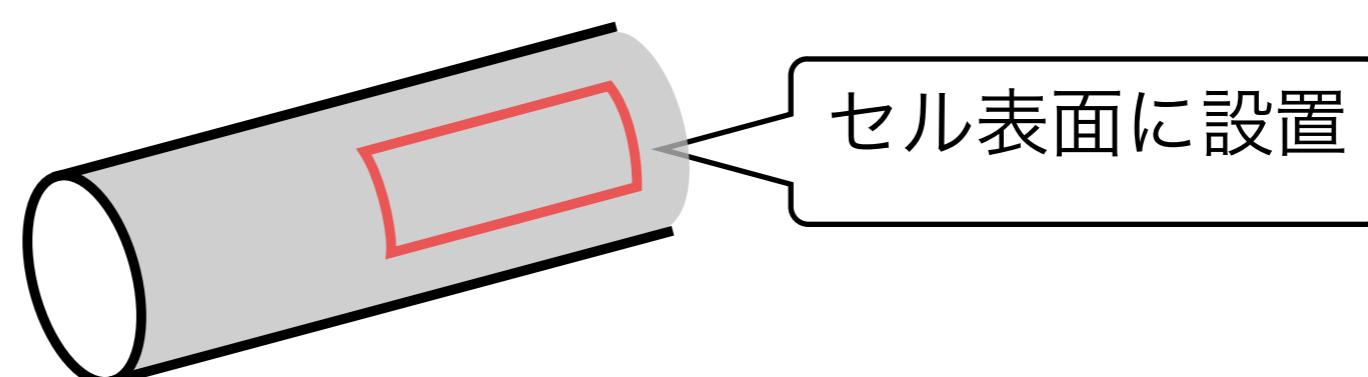
↑
標的セル

↑
マイクロ波ストッパー

↑
標的セル

陽子偏極度の測定

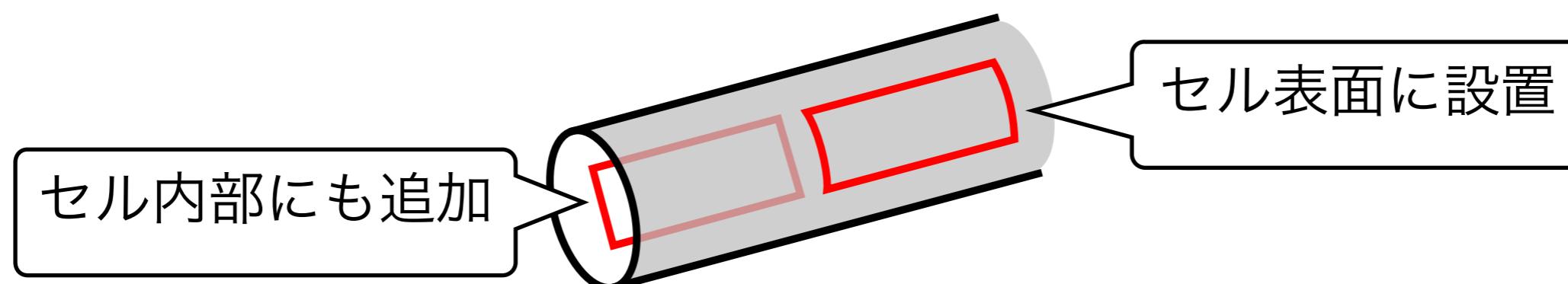
- ・ 偏極度は温度に依存する
- ・ 大強度 π^- ビームによる偏極度の減少が心配される
- ・ セル内部にコイル設置し、ビーム中心での偏極度を測定する



偏極度測定のノイズ低減

陽子偏極度の測定

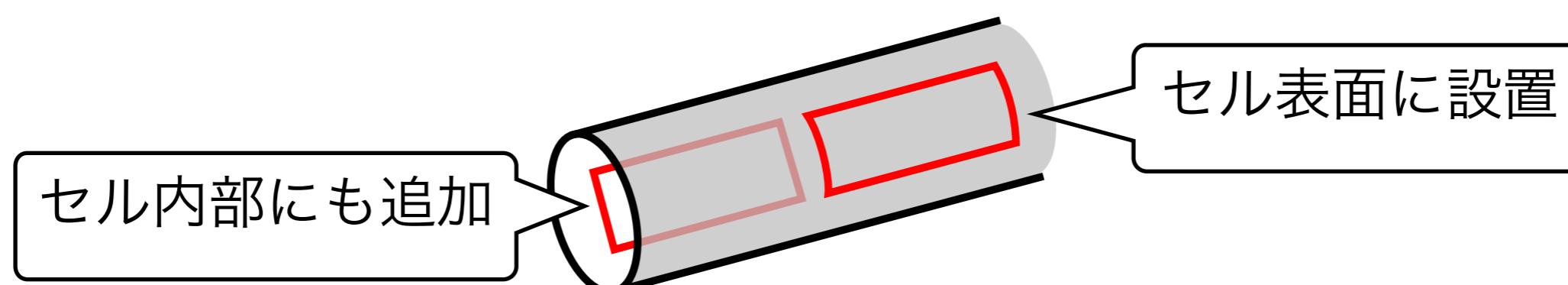
- ・ 偏極度は温度に依存する
- ・ 大強度 π^- ビームによる偏極度の減少が心配される
- ・ セル内部にコイル設置し、ビーム中心での偏極度を測定する



偏極度測定のノイズ低減

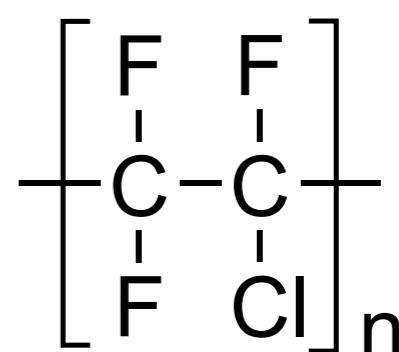
陽子偏極度の測定

- ・ 偏極度は温度に依存する
- ・ 大強度 π^- ビームによる偏極度の減少が心配される
- ・ セル内部にコイル設置し、ビーム中心での偏極度を測定する



偏極度測定のノイズ低減

- ・ 水素核を含まない素材（ポリクロロトリフルオロエチレン）を標的セルに使用する
→ バックグラウンドの低下





2014 年試験ラン



2014 年 10 月～12 月 (データ収集：3 週間)

π^- ビーム

- 運動量 190 GeV/c
- 最大強度 $7 \times 10^8 \pi/\text{spill}$

偏極陽子標的

- 横偏極モードの準備が遅れたため、縦偏極モードで運用

ハドロンアブソーバー, Vertex Detector 使用

データ解析中

- COMPASS では Sivers 関数等の研究を目的として偏極 DY 実験を行う
- 偏極 DY 実験のため, ハドロンアブソーバー, Vertex Detector が新たに製作された
- 大強度 π^- ビームで使用できるように, 偏極標的システムを以下の点についてアップグレードした
 - NMR コイルを標的セル中心にも設置し, ビーム中心での偏極度測定を可能にした
 - 標的セルに新素材を使用する
- 2014 年に試験ランを 3 週間行った
- 2015 年に 5 ヶ月間の長期ランを行う