

π 中間子原子分光の検出器開発計画 (低圧ドリフトチェンバー)

東大理 早野研

渡辺珠以

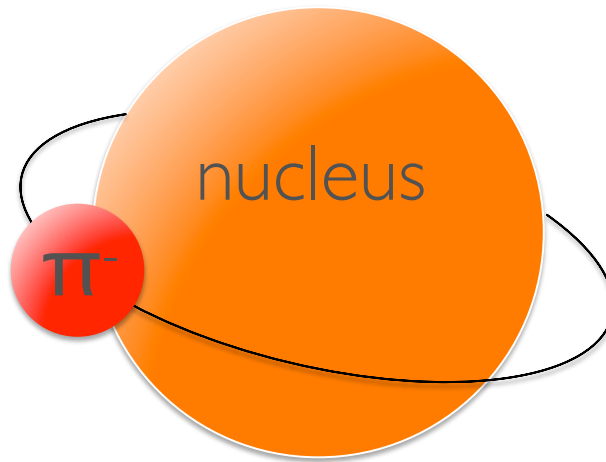
理研仁科センター: 板橋健太, 上坂友洋, 西隆博

東大**CNS**: 高木基伸, 矢向謙太郎

京大理: 藤岡宏之, 松本翔汰

GSI: 田中良樹

π中間子原子



π中間子-原子核の束縛状態

- ・ 電磁相互作用
- ・ 強い相互作用

- ・ 深い束縛状態(1s, 2s...) → 有限密度での強い相互作用の性質
- ・ s波光学ポテンシャル

$$U_s = -\frac{2\pi}{\mu} [\epsilon_1 (b_0 \rho + b_1 (\rho_n - \rho_p)) + \epsilon_2 B_0 \rho^2]$$

ρ_n : 中性子密度

ρ_p : 陽子密度

$\rho = \rho_n + \rho_p$

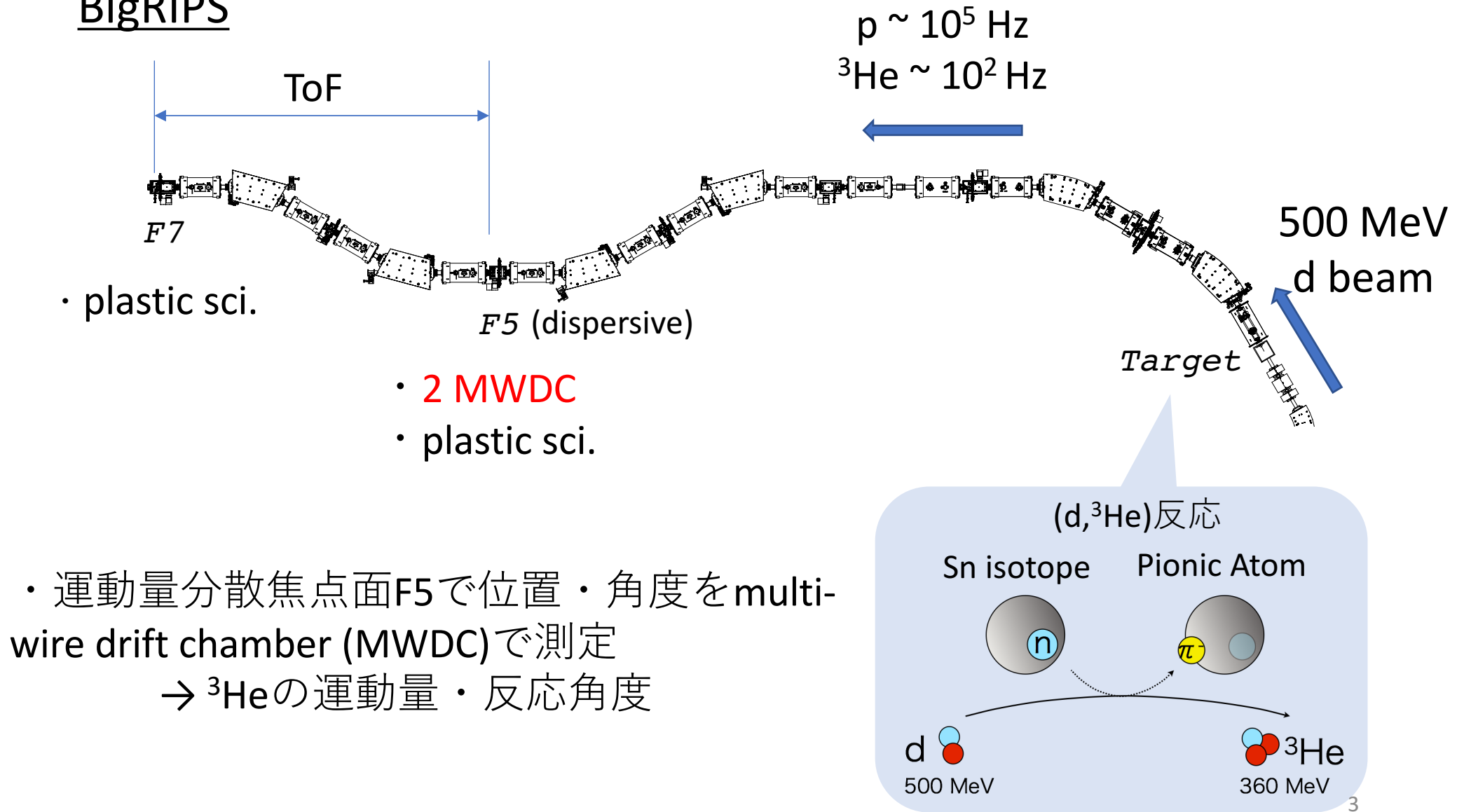
理論的考察 → $\langle \bar{q}q \rangle @ 0.6\rho_0$

-有限密度でのカイラル対称性の破れの回復

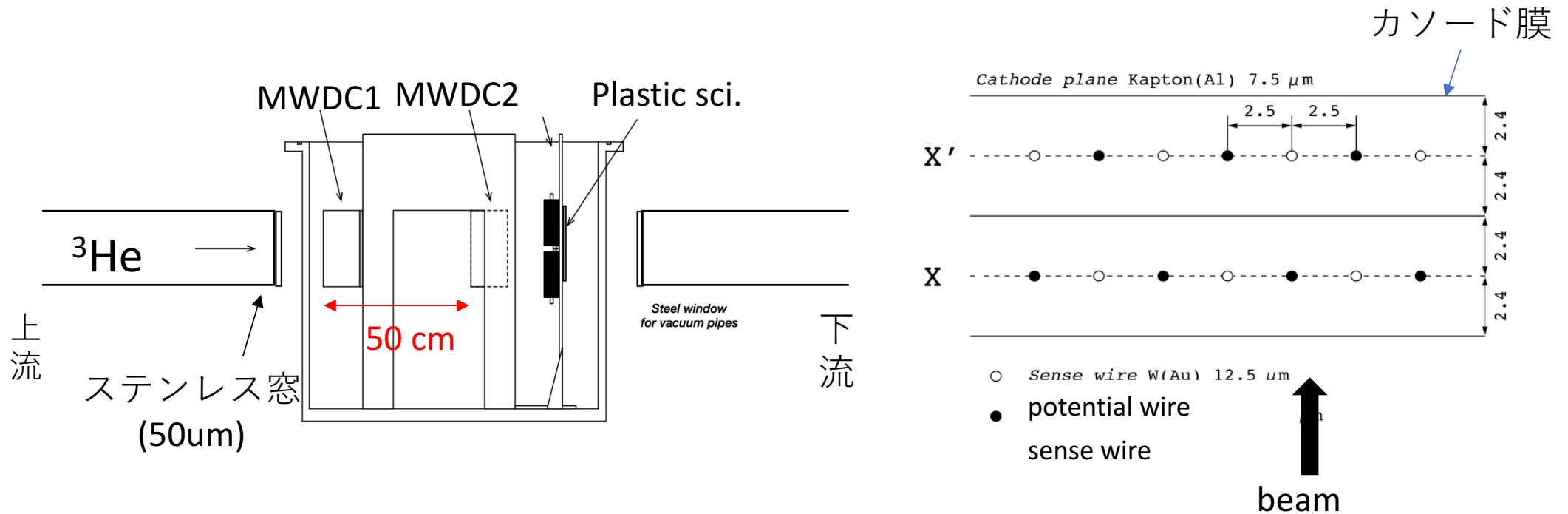
- ・ 束縛エネルギー・巾を測定 → b_1

理研での(d,3He)反応を用いた欠損質量分光実験

BigRIPS

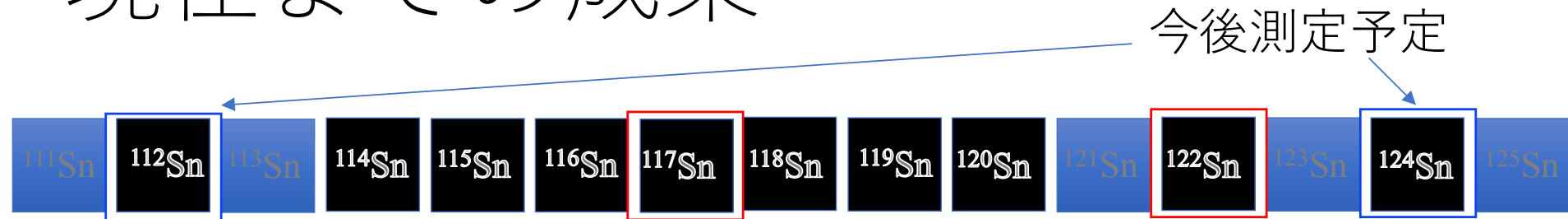


F5 detectors



MWDC: 8面構成 (XX', XX', UU', VV'): 2台
 ワイヤー間隔: 5 mm
 面あたりのワイヤー: 48 ch

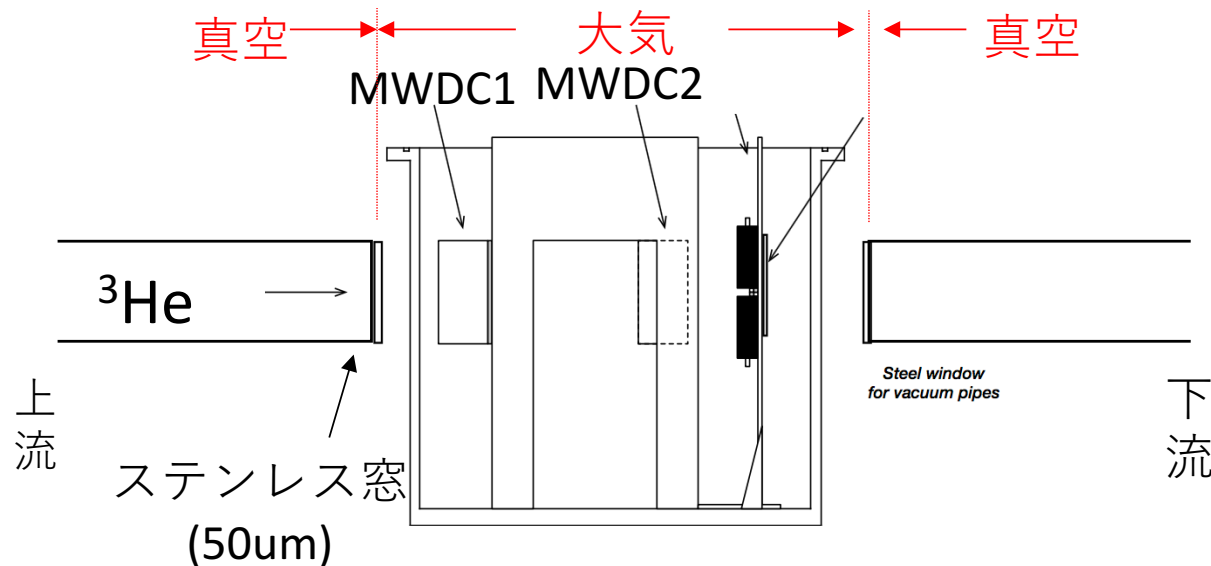
現在までの成果



- ・ 高統計, 分解能~250 keV (c.f. ~500 keV in GSI)を達成
- ・ 検出器の改善点も見えてきた
 - F5のMWDCを更新予定
(DGTGRグループと共同開発)

改善点(i): 真空窓での多重散乱

F5 detectors



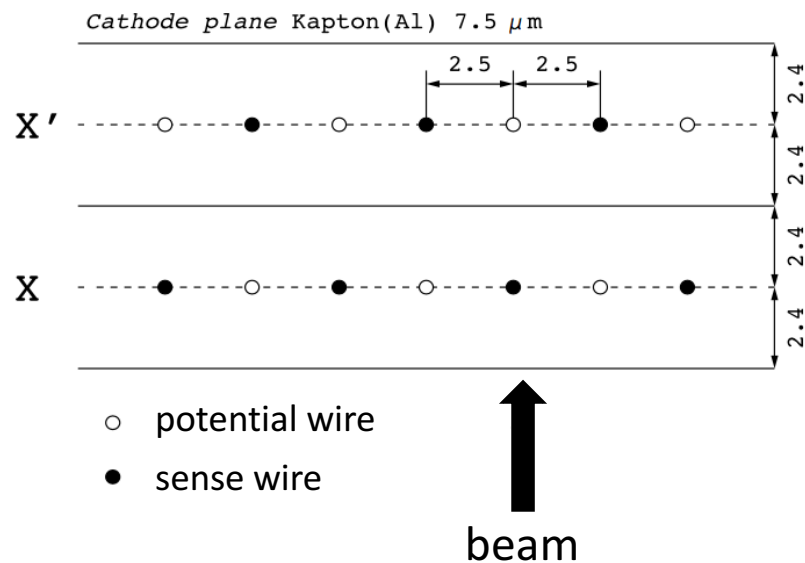
(i) 真空窓で多重散乱: 角度分解能が悪化

- $_{F5}(x|a\delta)_{\text{標的}}$ 項を通じて分解能に寄与
- 位置(励起エネルギー)に依存した分解能

(ii) スペクトルにワイヤーパターンが反映される

改善点(ii): スペクトルの櫛状の構造

MWDC: 8面構成 (XX', XX', UU', VV') 2台
ワイヤー間隔: 5mm



(i) 真空窓で多重散乱

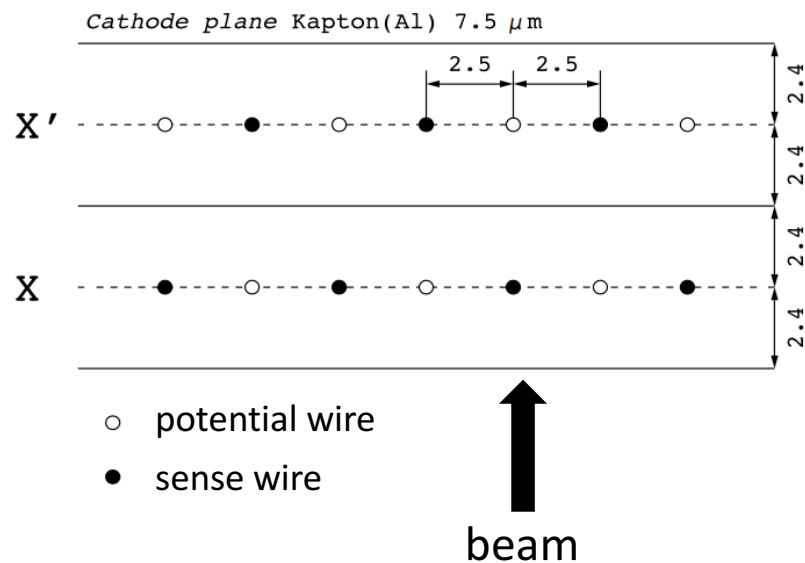
-位置(励起エネルギー)に依存した分解能

(ii) スペクトルにワイヤーパターンが反映される

-ガウス関数で"smearing" (~120 keV分)

解決策:新規MWDCの開発

MWDC: 8面構成 (XX', XX', UU', VV') 2台
ワイヤー間隔: 5mm



(i) 真空窓で多重散乱

(ii) スペクトルにワイヤーパターンが反映される

➡ 真空中で動作する低圧ガスの新たな面構成のMWDC

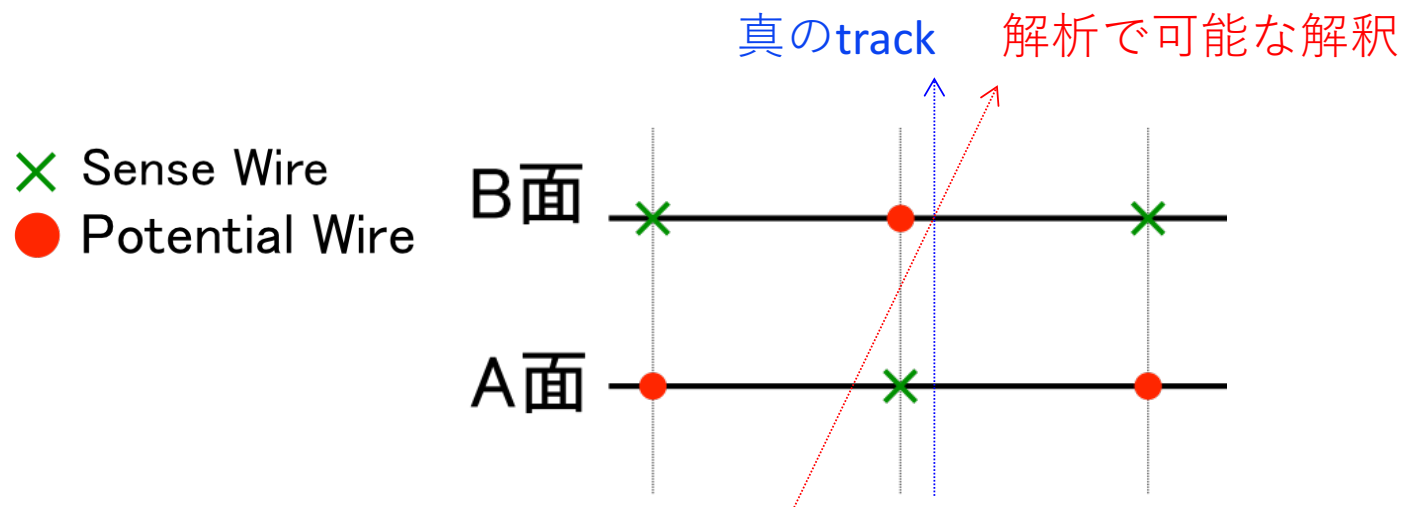
H. Miya et al., Nucl. Instrum. Meth. B 317 (2013) 701.

構造の原因(1): Left-right ambiguity

ワイヤー付近での解析の困難

1. Left-Right ambiguity

2. ワイヤー付近でのドリフト長の統計的な性質



- ・ センスワイヤー近傍を粒子が通った際に、左右のどちらを通ったか判別できない
- ・ L-Rを総当たりで組み合わせて、最小二乗法Fittingで残差が最も小さい組を選ぶ

構造の原因(2): ワイヤー付近での性質

ワイヤー付近での解析の困難

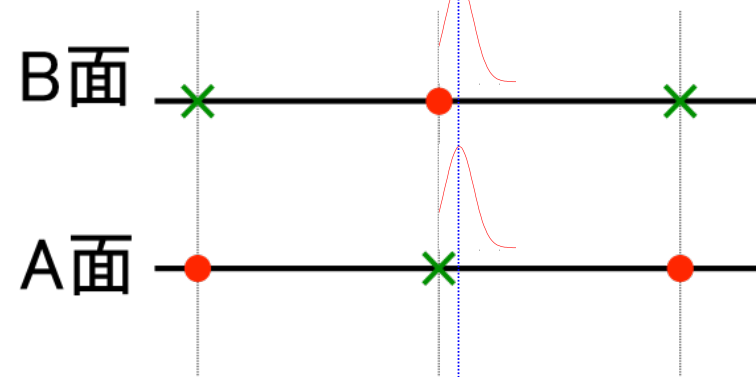
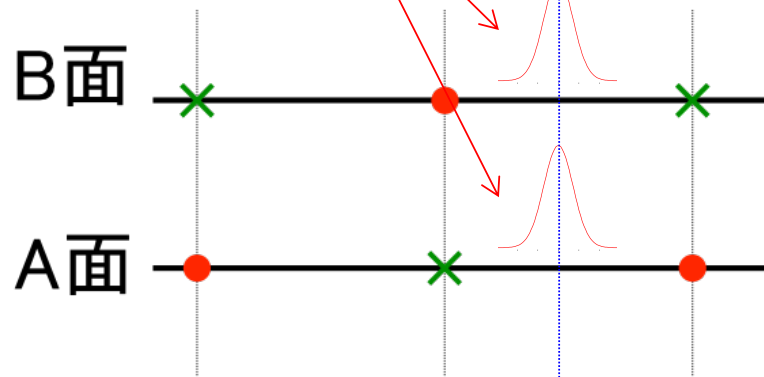
1. Left-Right ambiguity

2. ワイヤー付近でのドリフト長の統計的な性質

A面とB面で測定した時の位置(ドリフト長)の確率分布

トラッキング結果の確率分布

× Sense Wire
● Potential Wire



構造の原因(2): ワイヤー付近での性質

ワイヤー付近での解析の困難

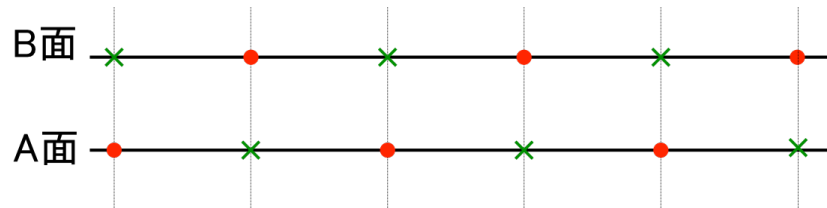
1. Left-Right ambiguity
2. ワイヤー付近でのドリフト長の統計的な性質

➡ ワイヤー付近での解析をしない面構成にする

三面交替のMWDC

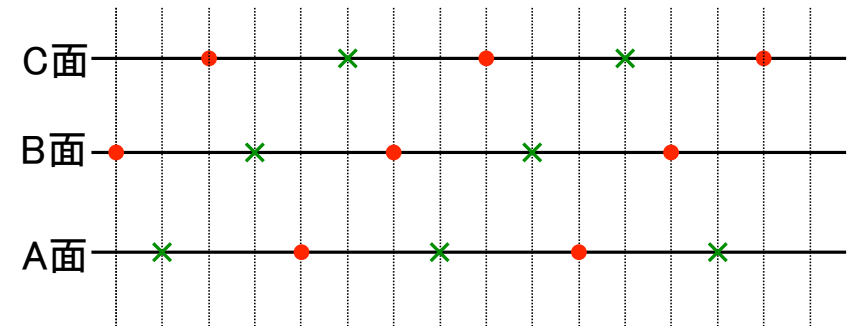
既存のMWDC 2面1セット (XX', UU',....)

× Sense Wire
● Potential Wire

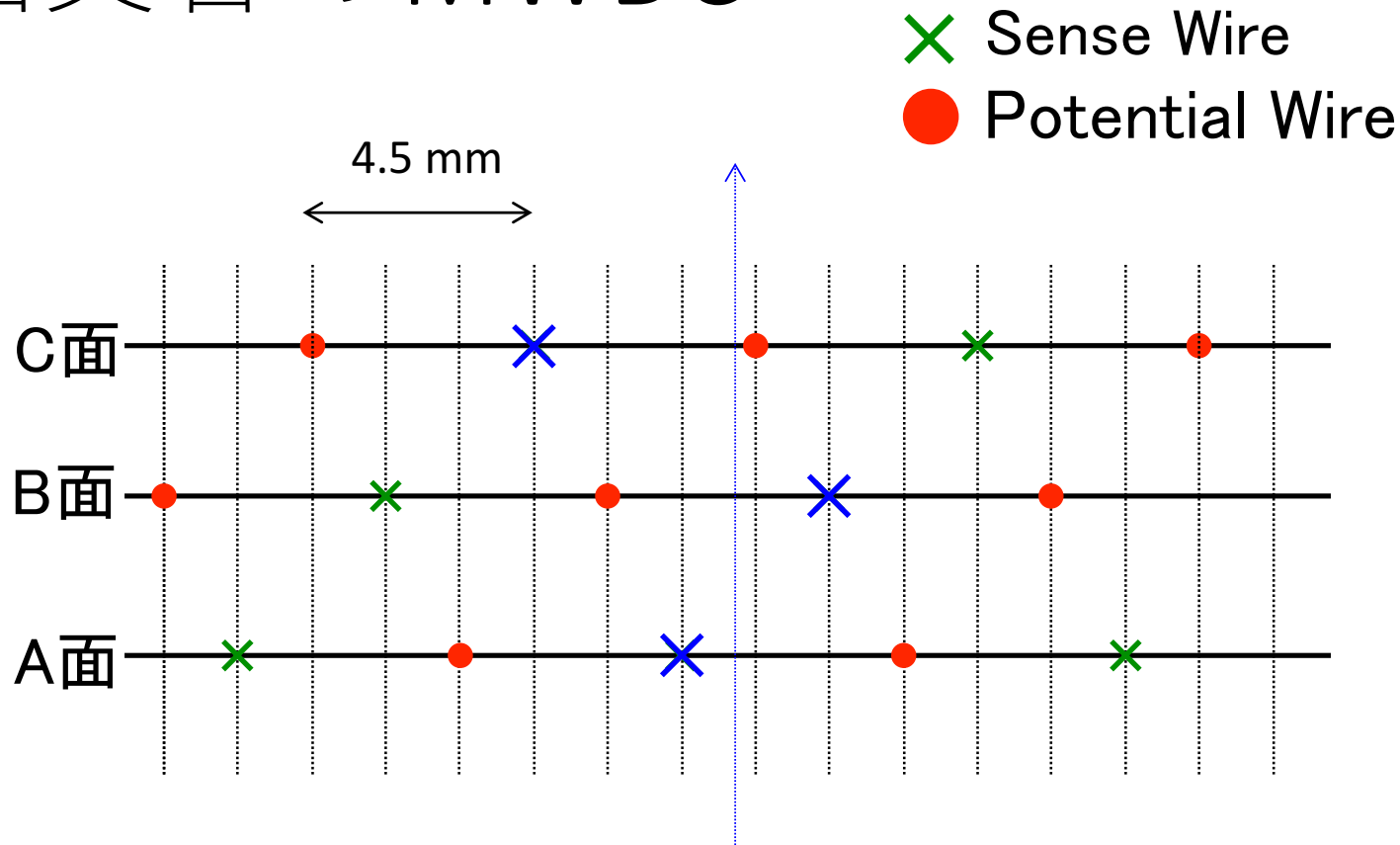


三面交替のMWDC 3面1セット (XX'X'', UU'U''...)

× Sense Wire
● Potential Wire



三面交替のMWDC



- ・ドリフト長からトラックがワイヤーにもっとも近い面を探す
→C面を解析から排除(A, B面のみを解析に使う)
- ・左右の問題も自動で解ける

シミュレーションによる研究

従来のMWDC

-(XX', UU', VV')の6面構成×2台
(2台目は50cm下流)
-5mm/1 cell



三面交替のMWDC

-(XX'X'', UU'U'', VV'V'')の9面構成×2台
(2台目は50cm下流)
-6mm/1cell

-resolution ~100 um
-U, V面の傾き:15°

シミュレーションの手順

- (1) トラックのパラメーターを乱数的に生成
(x: ±20mm, y: ±10mm, a: ±20mrad, b: ±20mradの一様分布)
- (2) 各面でのヒットワイヤーとドリフト長を計算

シミュレーションによる研究

シミュレーションの手順

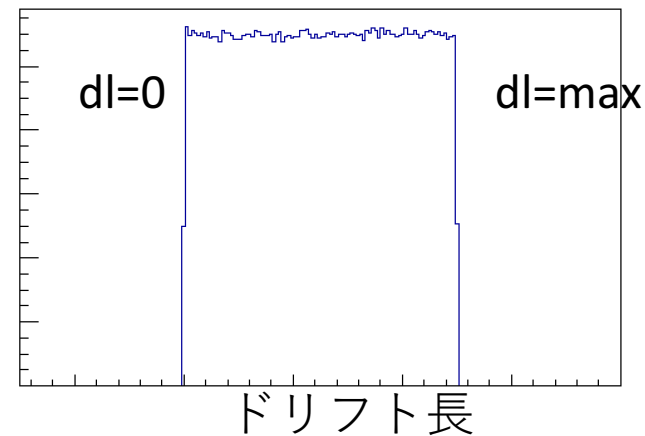
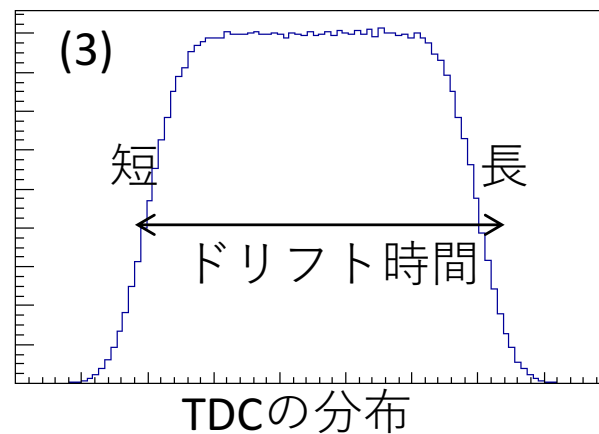
(3)各面でのドリフト長から, (実験で観測する量に当たる)TDCの値を

$$\text{TDC} = \text{drift length} + \text{gaus}$$

の形で計算する(ワイヤーあたりの分解能 $\sim 100 \text{ um}$ 程度)

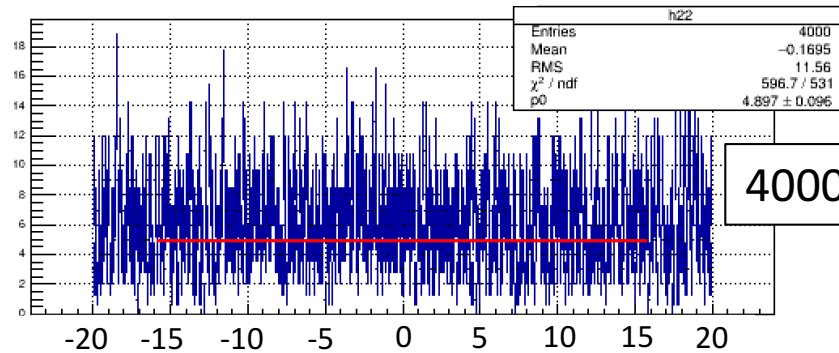
(4)セルに一樣に粒子が当たっていると想定して、TDCの値とドリフト長を関係づける関数を作る。

(5)最小二乗法によるトラッキング

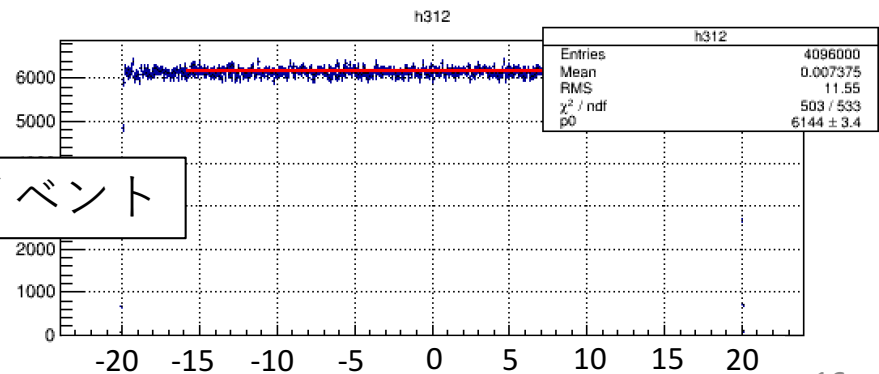
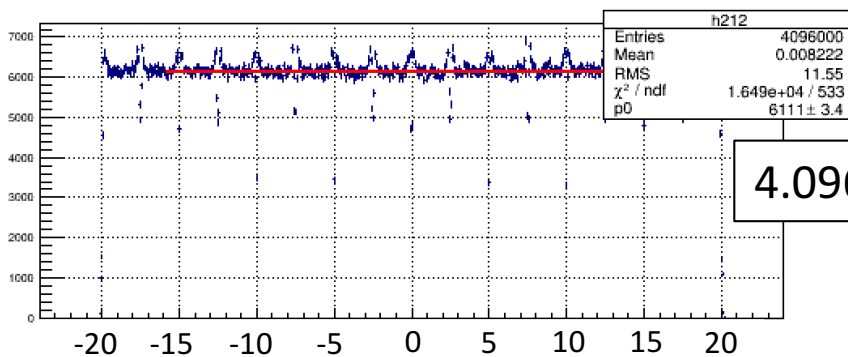
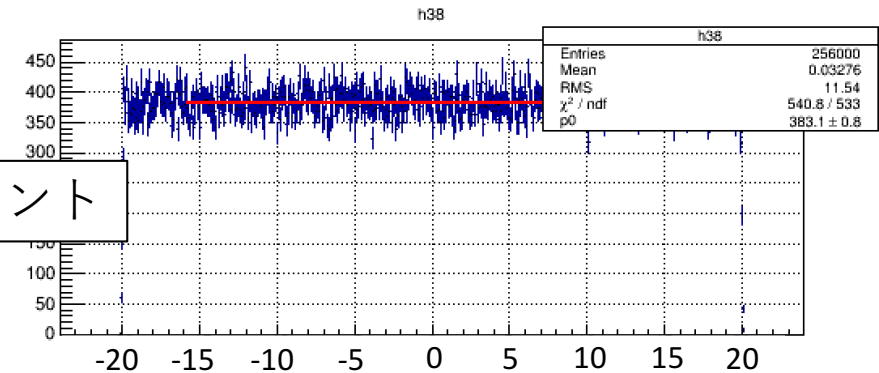
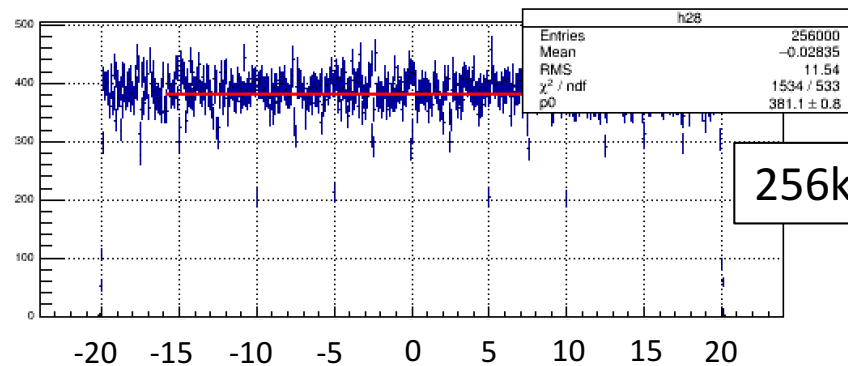
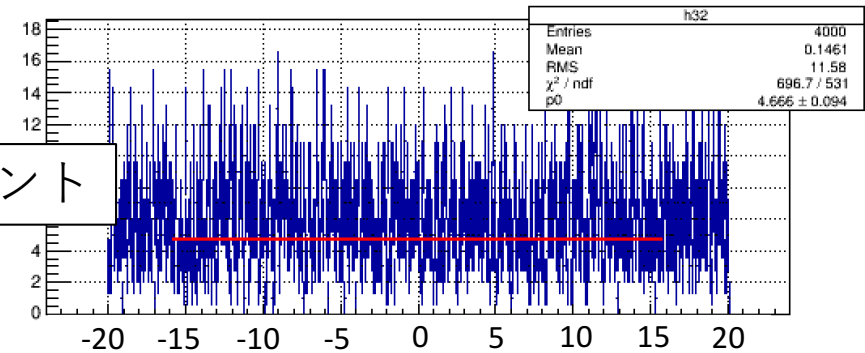


スペクトルの統計量依存性

既存のMWDC



三面交替のMWDC



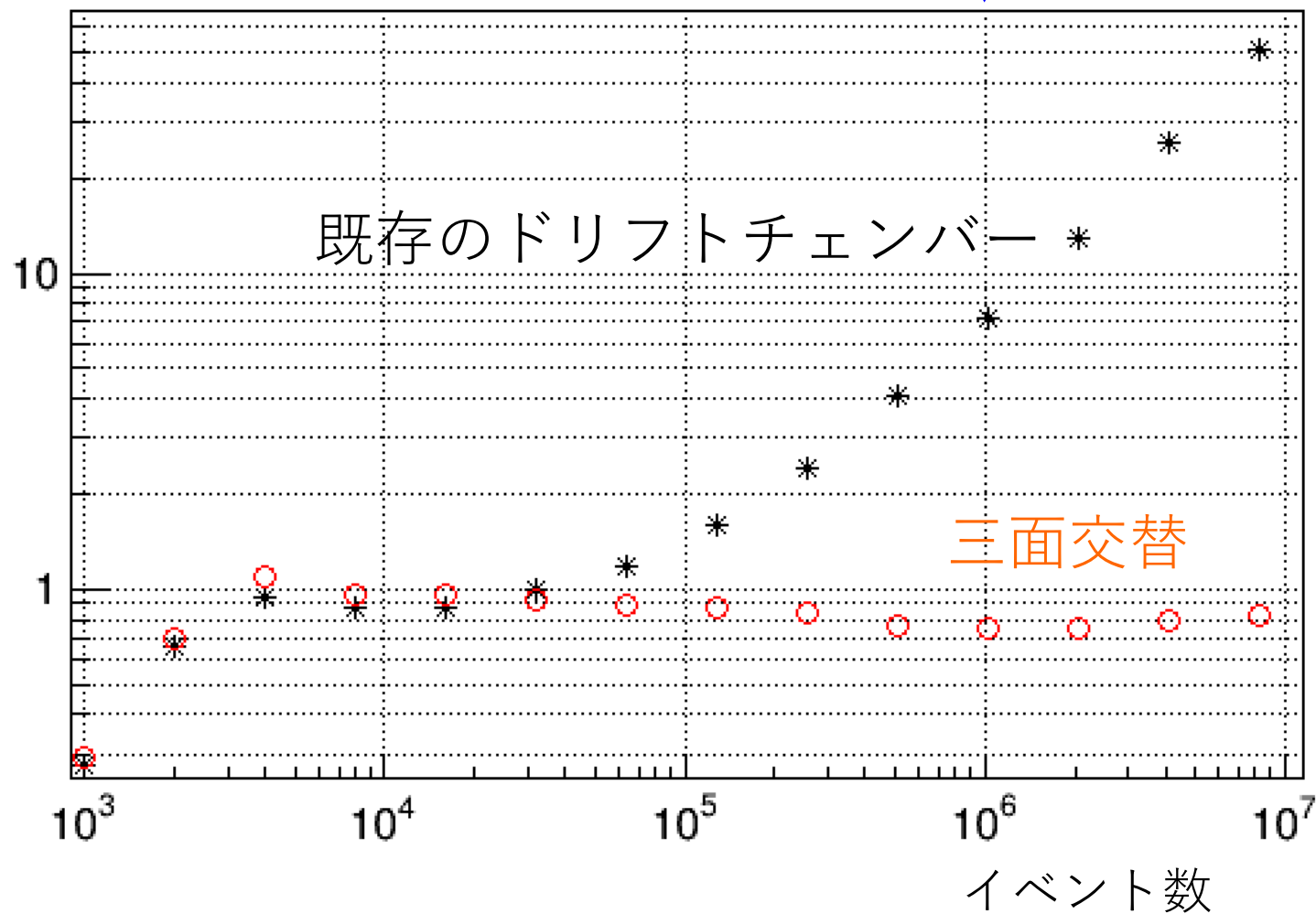
Horizontal Position [mm]

Horizontal Position [mm]

χ^2 乗 V.S. イベント数

Reduced χ^2

実験の統計



まとめ・今後の予定

- ・ 理研RIBFでの π 中間子原子分光実験のために、新規にドリフトチェンバーを開発している
- ・ 真空窓での多重散乱を防ぐために、真空中における低圧動作のMWDC
- ・ 3面を1セットにした面構成、ワイヤー付近のイベントを解析から排除することにより、スペクトル上に構造が現れる効果を抑えることができる(読み出しは1.5倍)
- ・ 現在製作中、来年度に検出器のテスト実験を行う予定
 - ワイヤーシフト, ノイズなどの影響について実際に評価