Development of Drift Chamber for Element Mapping utilizing DC Muon Beam

2019/12/23

Year-end workshop

Kuno-lab M2 Takayuki Hori

Contents

Background: Nondestructive elemental analysis by muon X-ray

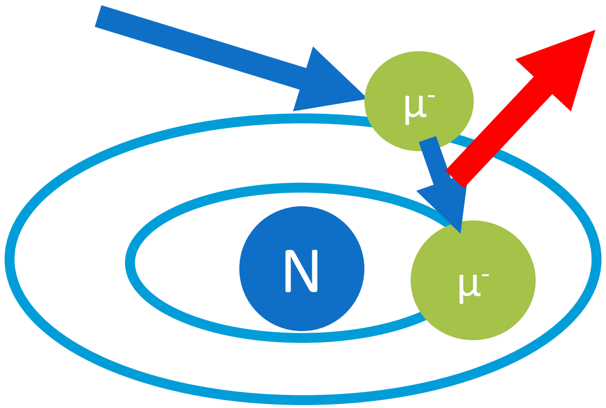
■ Munonic X-ray

Particle kinetic energy of atomic orbitals in Bohr's equation

$$E_n = -\frac{Z^2 m e^4}{8\epsilon_0 n^2 h^2}$$

$$\frac{m_\mu}{m_e} \sim 200$$

Characteristic X-ray
→Identify elements from energy



Muonic X-ray has 200 times the energy of electron fluorescent X-rays

Background: Nondestructive elemental analysis by muon X-ray

■ Munonic X-ray

Has 200 times the energy of electron fluorescent X-rays

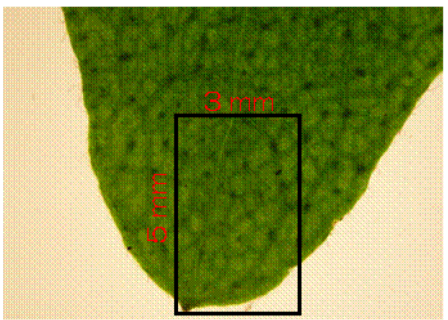
- Analyze light elements that could not be analyzed using electrons

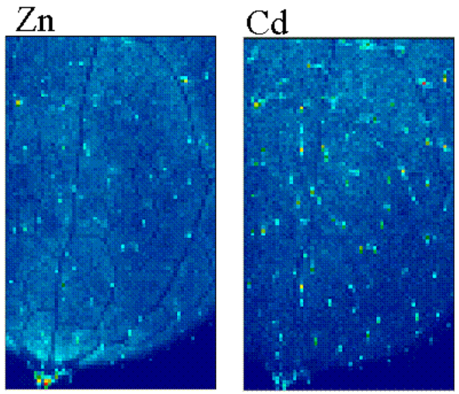
- electron fluorescent X-rays
- : Can analyze up to 100 μm depth
  Muonic X-ray: Can analyze up to 10 mm depth

Used for nondestructive analysis of samples with unknown compositions such as meteorites and archaeological materials.
@RCNP MuSIC

Background: Two-dimensional elemental mapping

Two-dimensional elemental mapping using synchrotron radiation(SPring8)



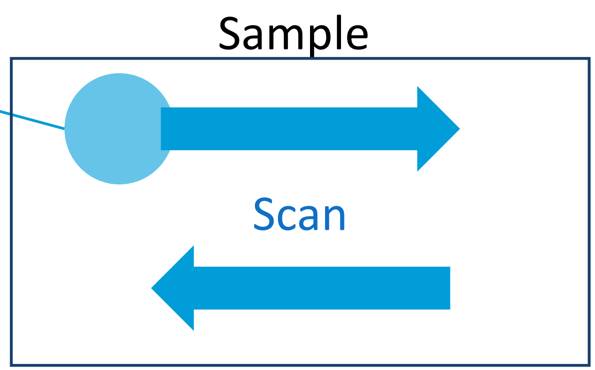


カドミウム蓄積植物の高エネルギー蛍光X線分析
http://www.spring8.or.jp/wkg/BL37XU/solution/lang/SOL-0000001575

Mapping using synchrotron radiation

Scan with beam size reduced to 10μm order

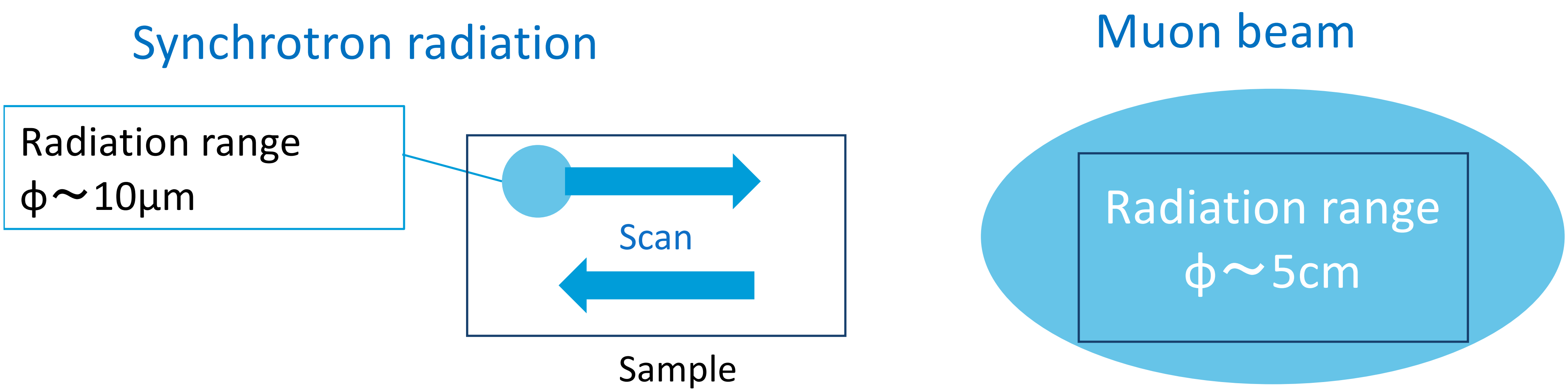
Radiation range
ϕ〜10μm



Background: Two-dimensional elemental mapping

Mapping using muon beam

The beam size is ~ 5cm (bottom right image)



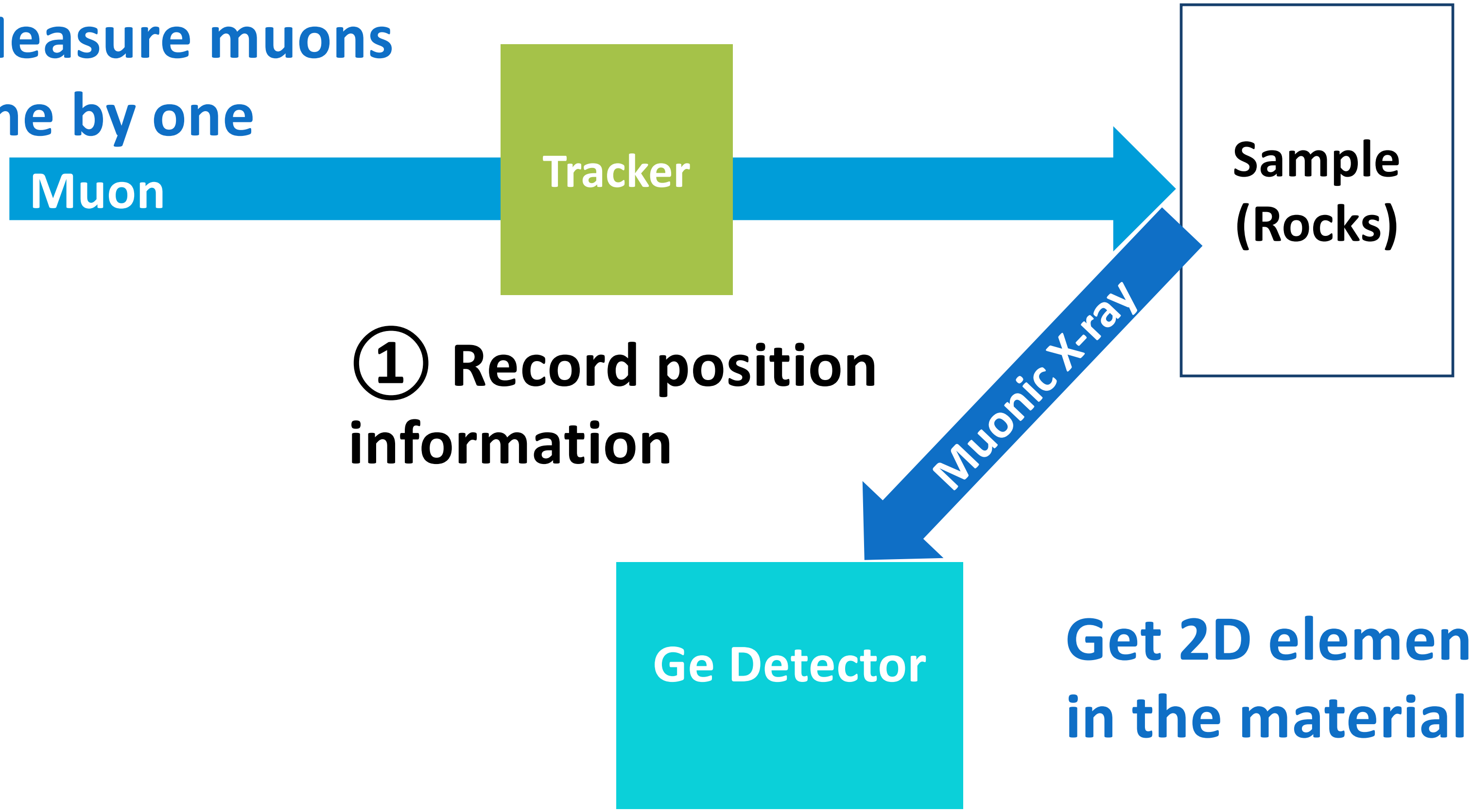
➡ Mapping where each muon stops in the sample

Purpose of research

Realization of muon two-dimensional mapping with position accuracy of 100 μm

Method

Measure muons one by one



① Record position information

② Identify elements from X-ray energy

Get 2D element information in the material from ①②

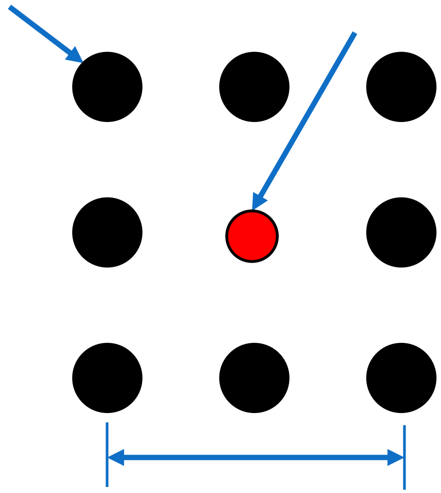
Gas, cell and layer specifications

Gas: He: iC4H10 = 90:10　1atm

Cell

Field wire
(Ag- Al)
Φ 80μm

Sense wire
(Au W)
Φ 20μm

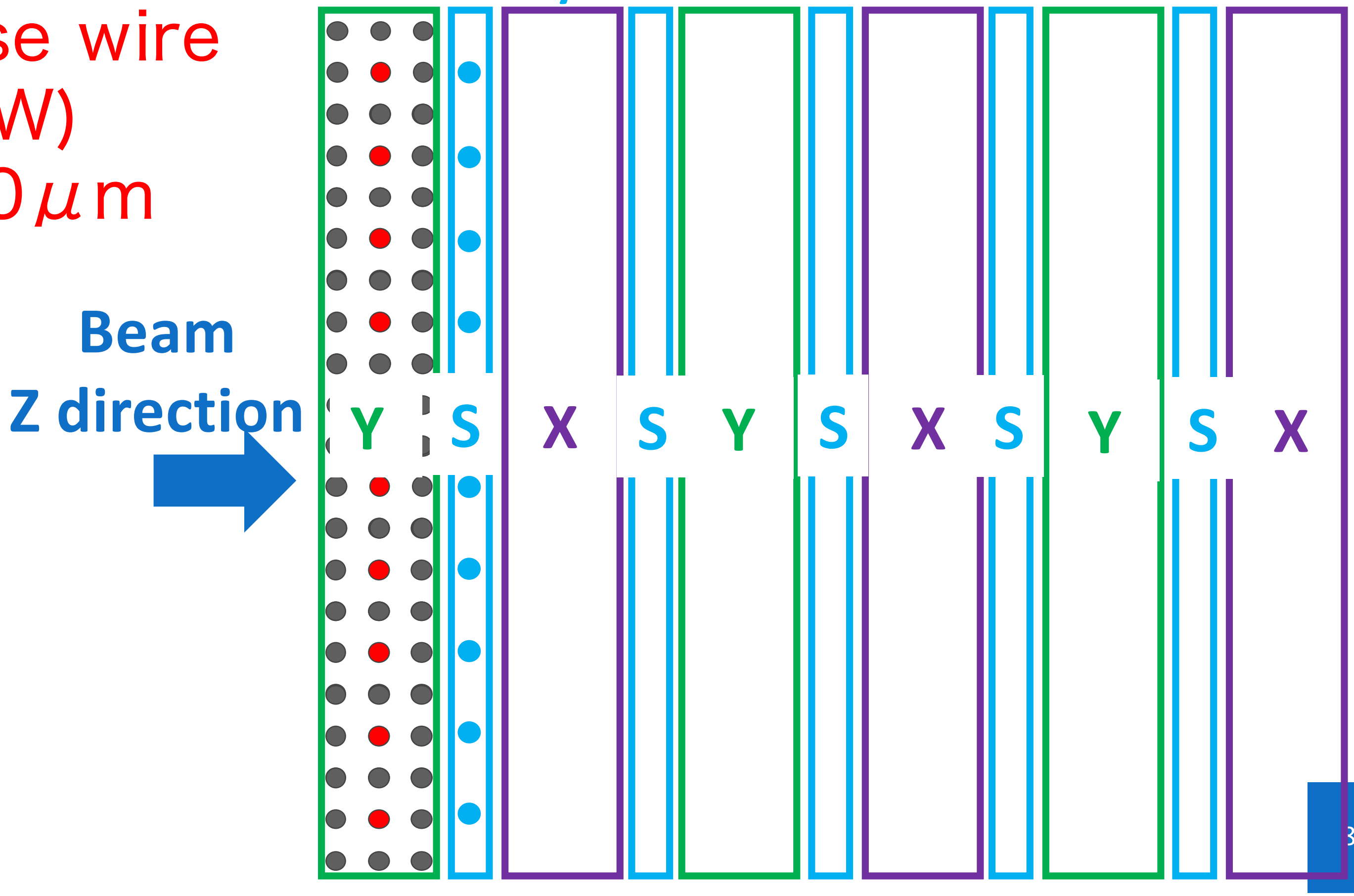


Cell size
4mm

Layers

X layers ×3
Y layers ×3

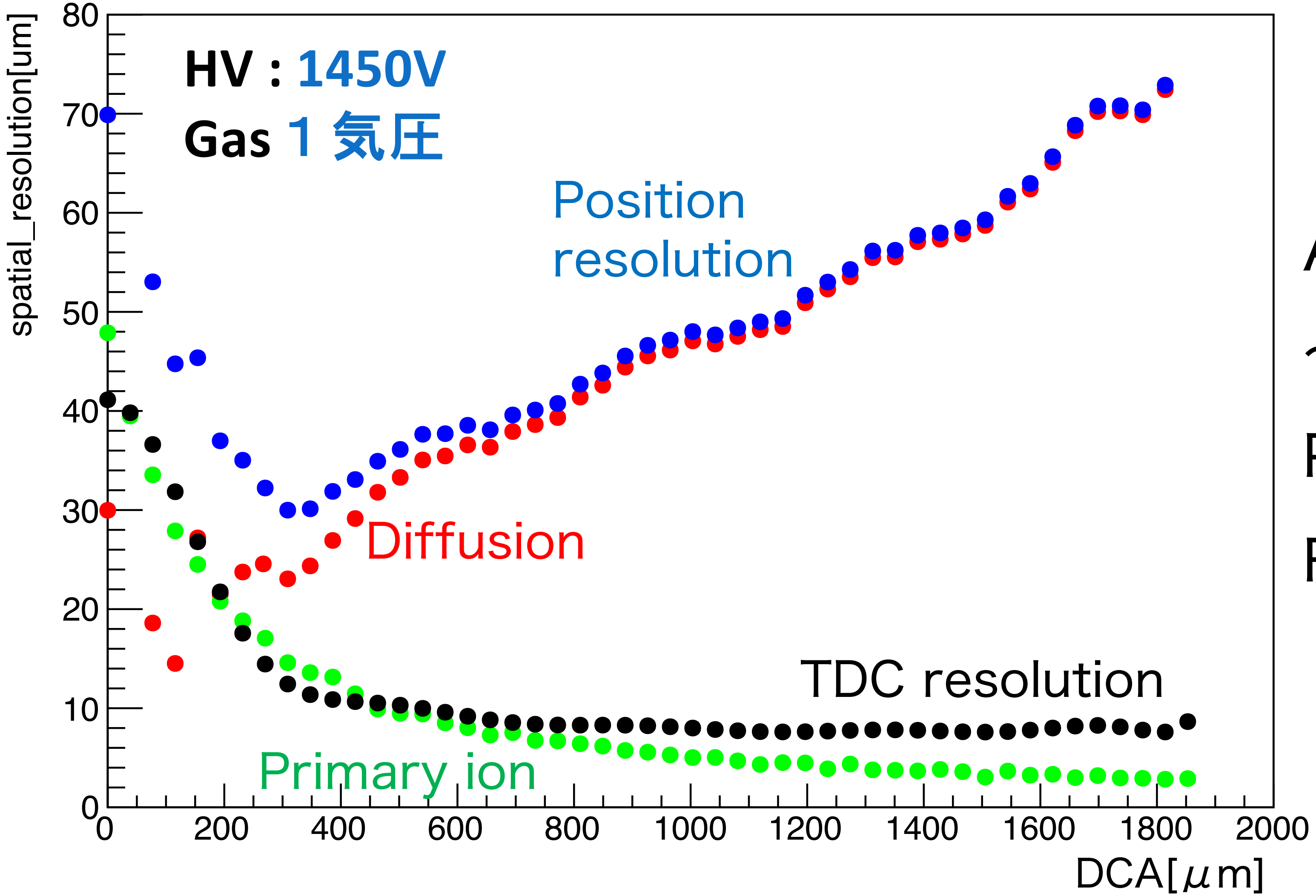
S：Sield layers



1 cell position resolution

Garfield++ simulation

- Incident 30MeV/c μ-
- Assume that the threshold is exceeded by one electron



Average

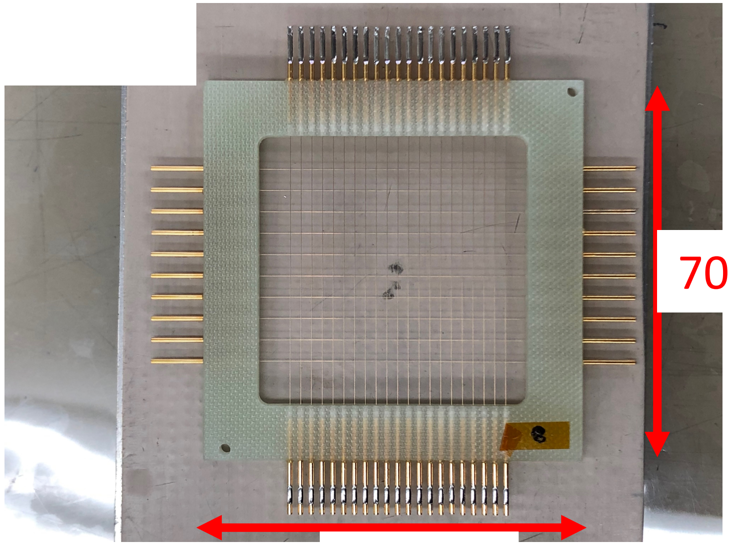
～50μm

Position

Resolution

Picture of drift chamber

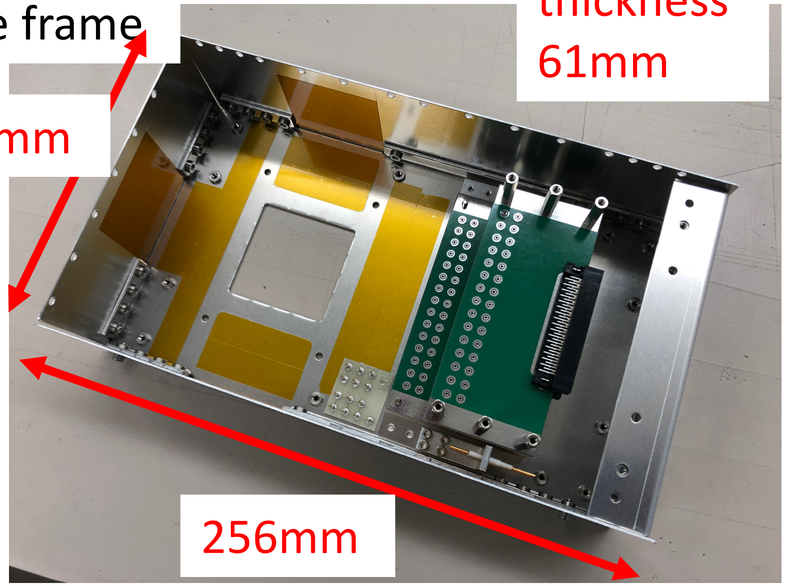
Wire frame



70mm

70mm

Outside frame

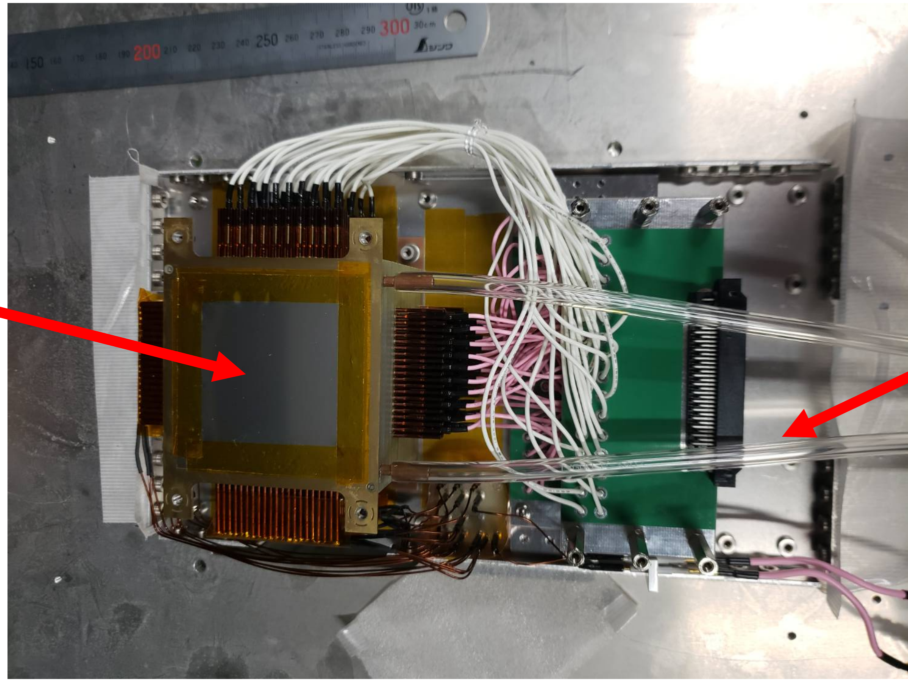


thickness
61mm

148mm

256mm

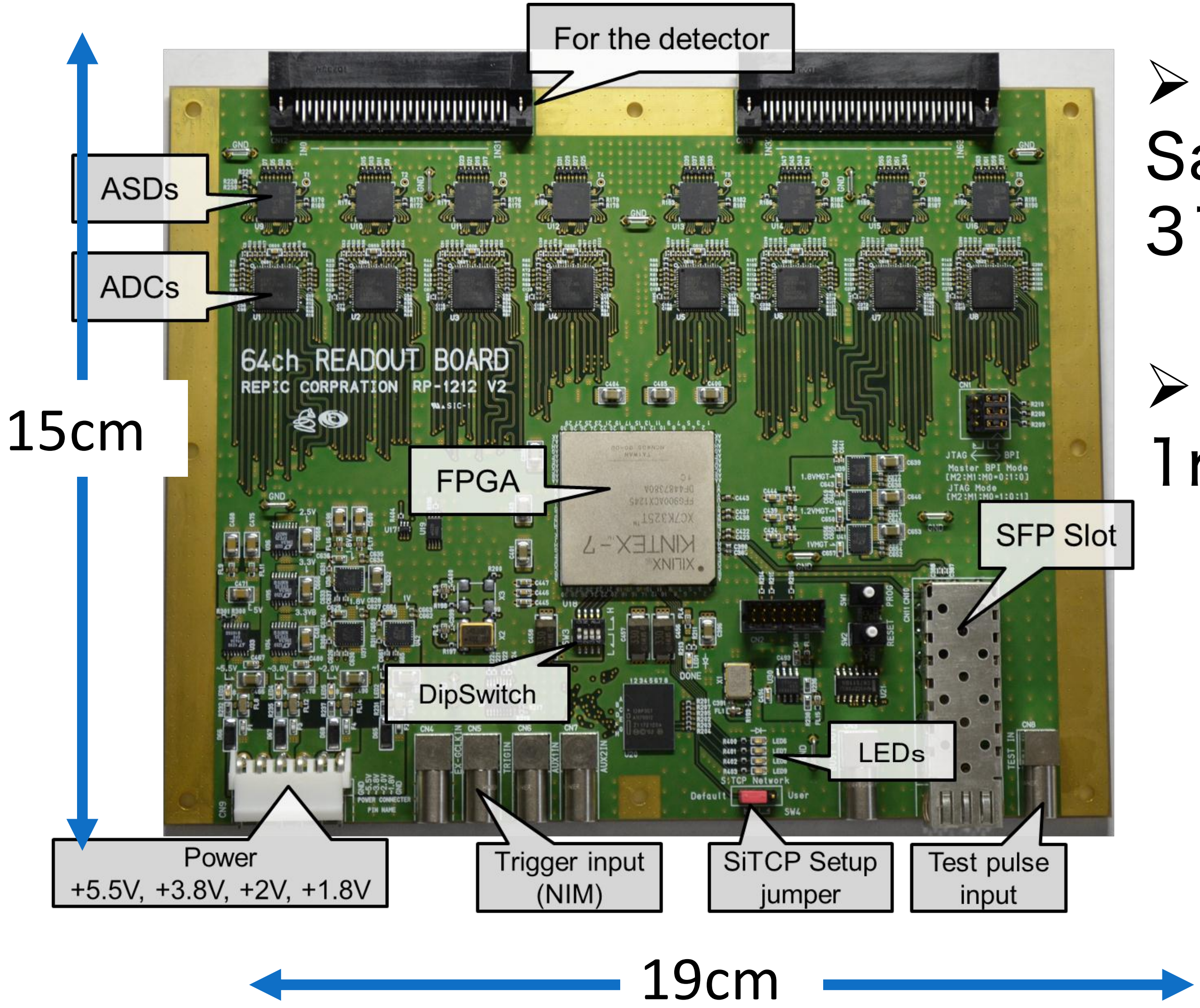
Beam window
(2μm Aluminized
mylar)



Gas tube

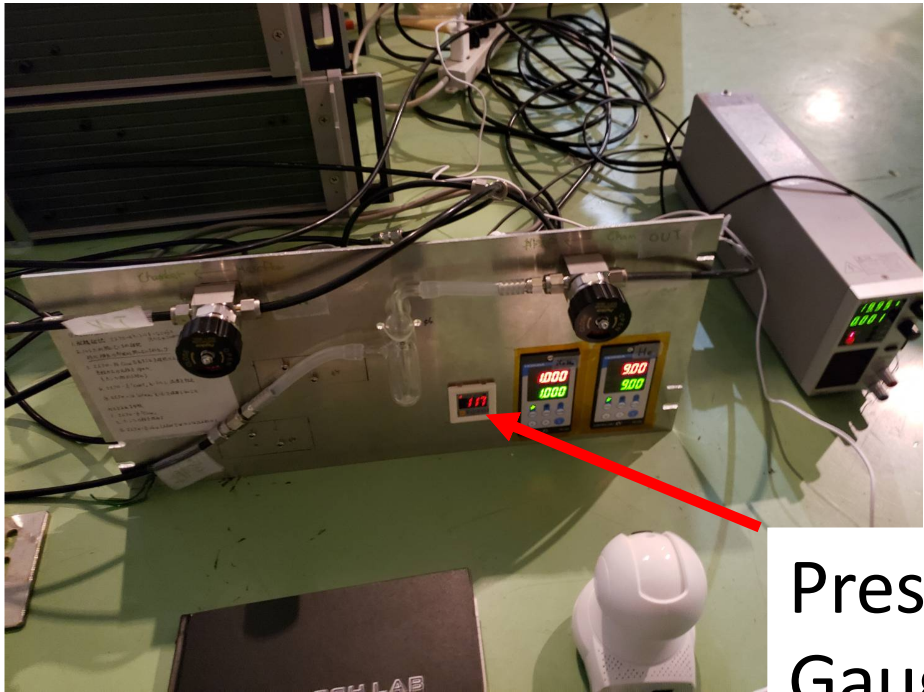
Readout circuit

Number of sense wires to read: 60
→ Use Hayashi Repic 64ch READOUT BOARD

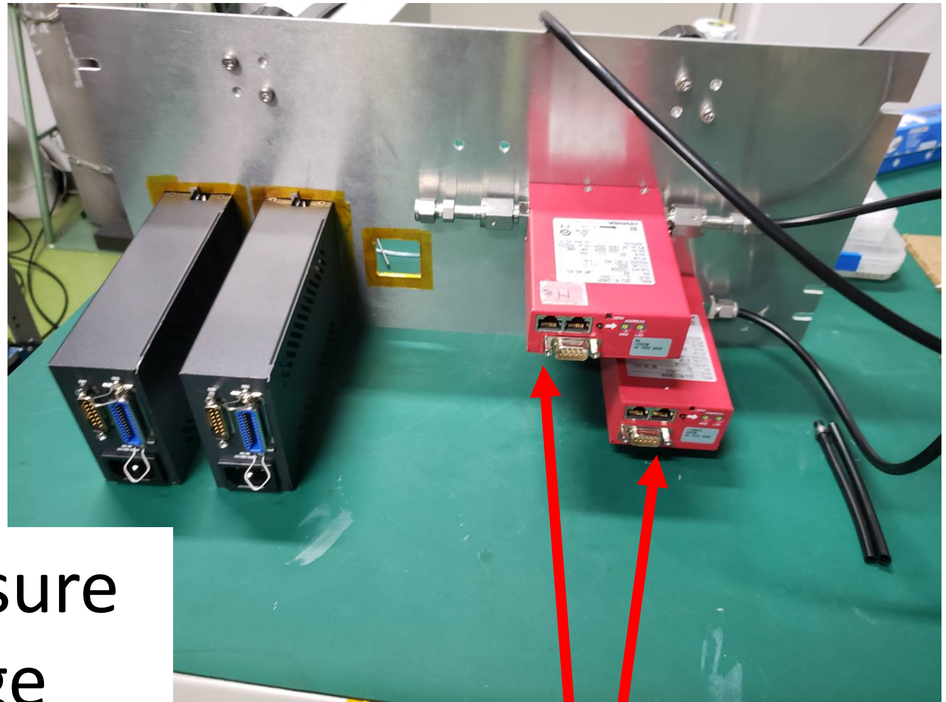


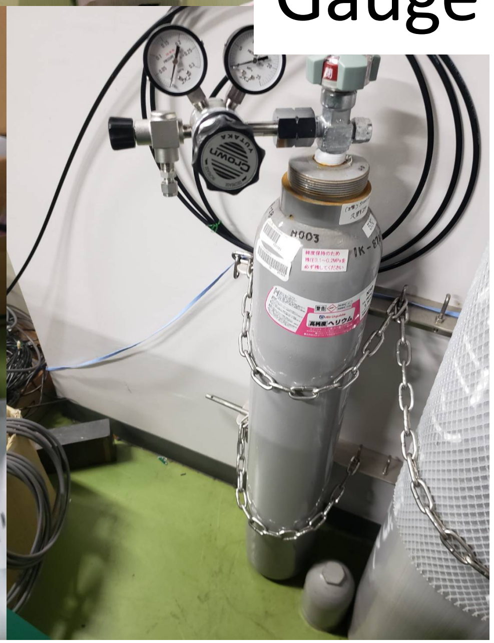
- Analog waveform Sampling frequency 31.25MHz
- TDC time resolution 1ns

Gas system



Pressure
Gauge





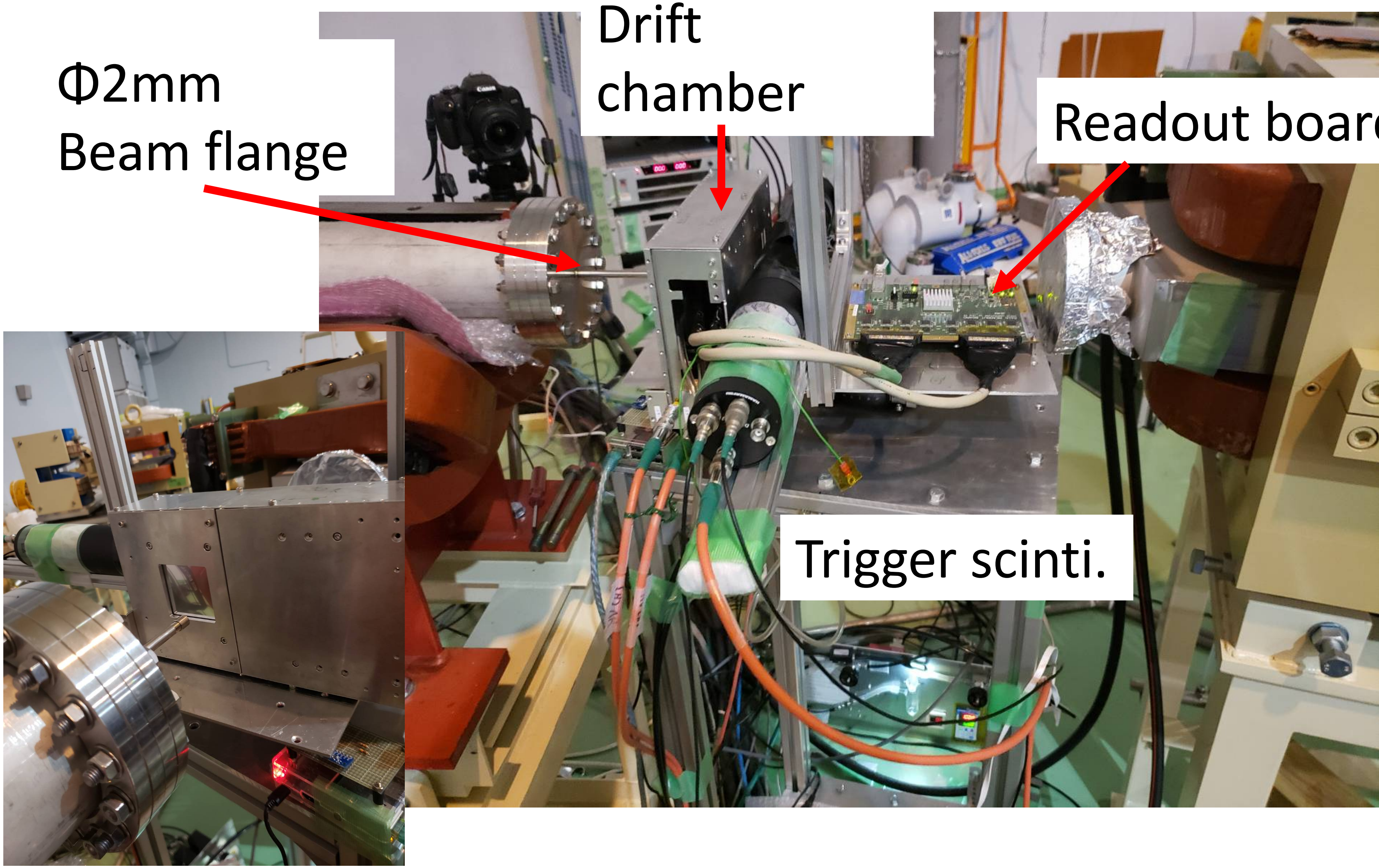
Mass flow controller

Adjust flow rate to

He:iC_4H_{10} = 90:10

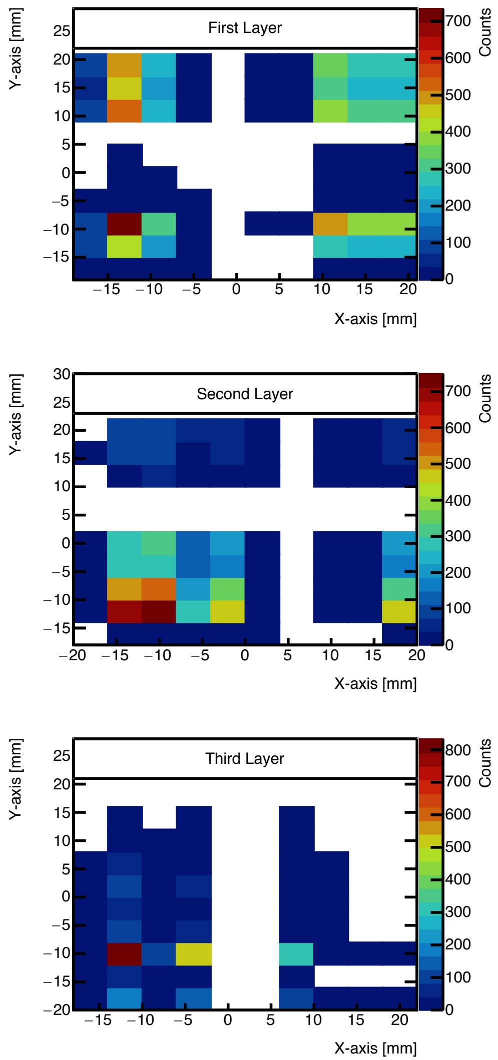
Proton beam test in Kumatori (2019 12/16~20)

Evaluate chamber performance before elemental mapping



Proton beam test in Kumatori

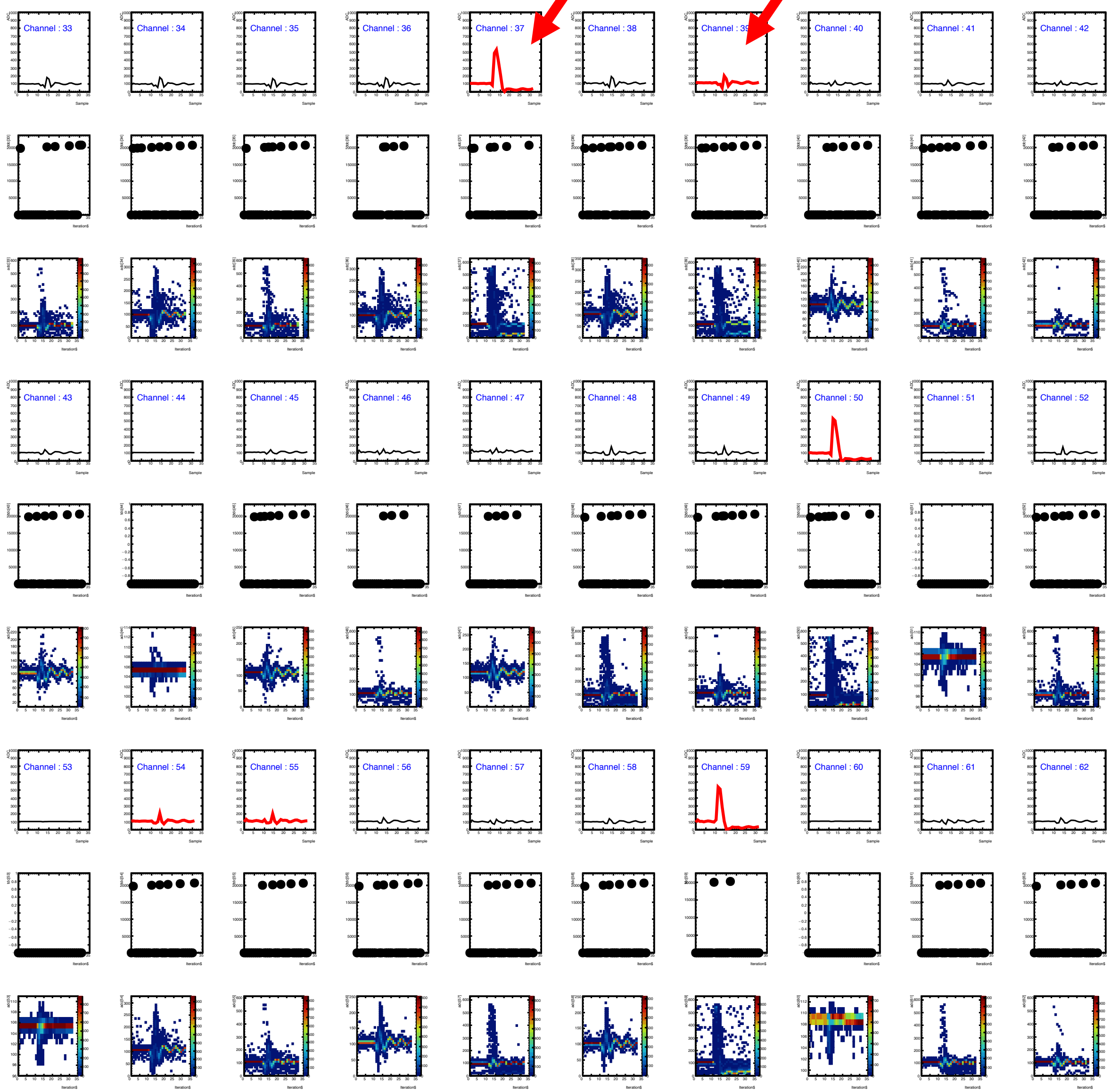
↓ Hit map



↓ Signal monitor

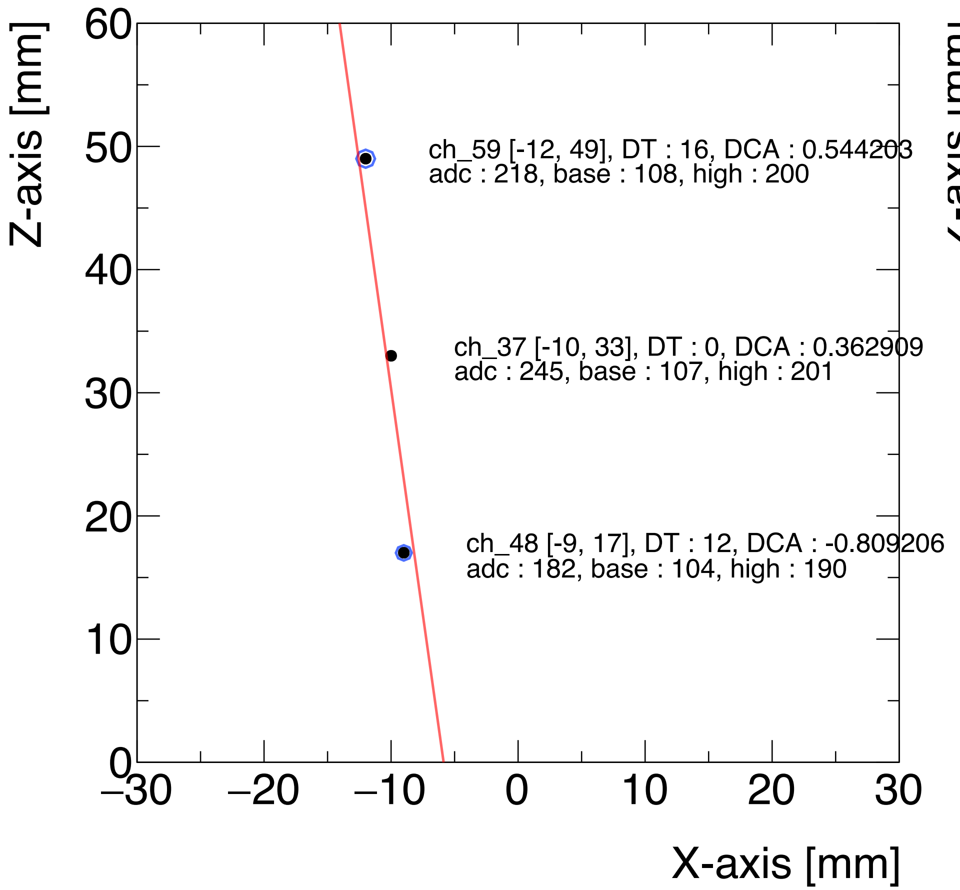
Hit

Cross talk



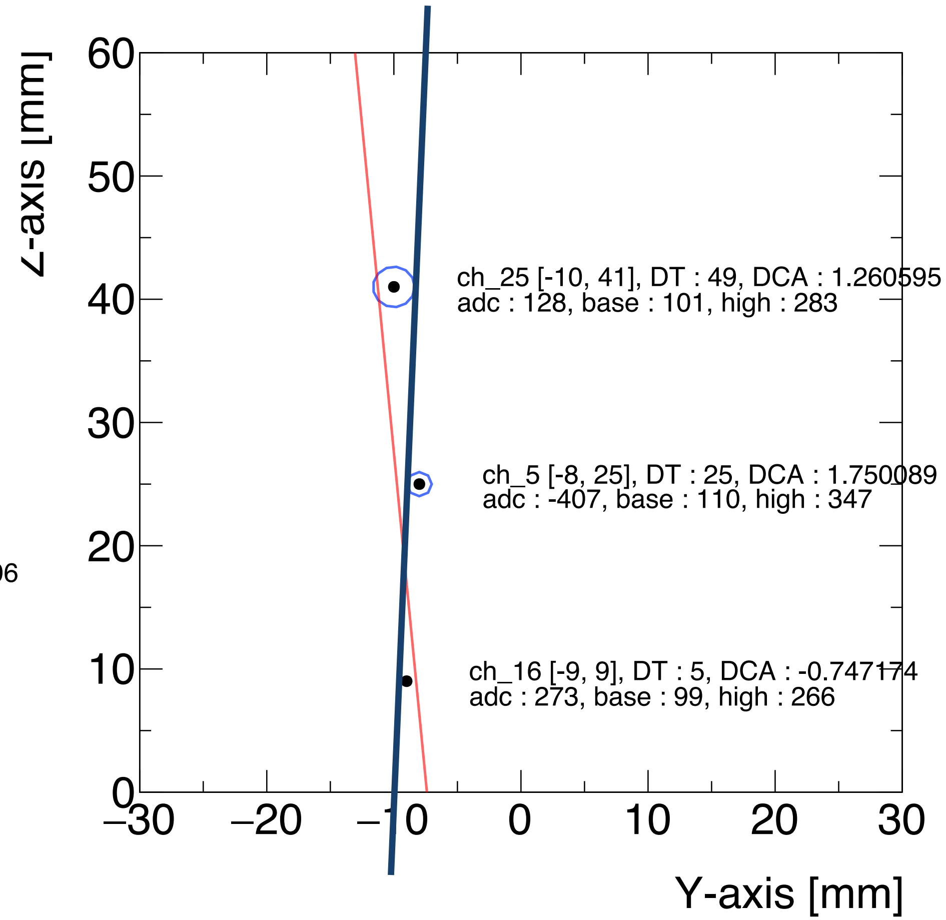
Proton beam test in Kumatori

Tracking event by event



Good track

Expected track



Bad track

Summary

- We are investigating the establishment of a two-dimensional element mapping method by nondestructive analysis using muon X-rays, and this is realized by detecting the tracks of each muon using a DC beam.
- According to simulation, the position resolution of one cell is about 50 μm.
- The other day, we conducted a beam test in Kumatori.

Future prospects

- 2020 3/3～
  Beam test at RAL muon beam in UK
  ->2D elemental mapping test with Ge detectors

Back up

Request of drift chamber

■ Assumed

- Sample is rock such as meteorites
  (Main component: SiO_2)
- The size of the material is a few cm, analysis of about 1 mm depth
  → DC muon p～30MeV/c
- Beam rate : ～10kHz, Beam size: ϕ～5cm

■ Determining factor of position resolution

1. Multiple scattering inside the sample
2. Multiple scattering inside the detector
3. Performance of the position resolution of the chamber itself

■ Request to drift chamber

- Multiple scattering inside the sample
  ≦inside the sample

->Evaluation by simulation

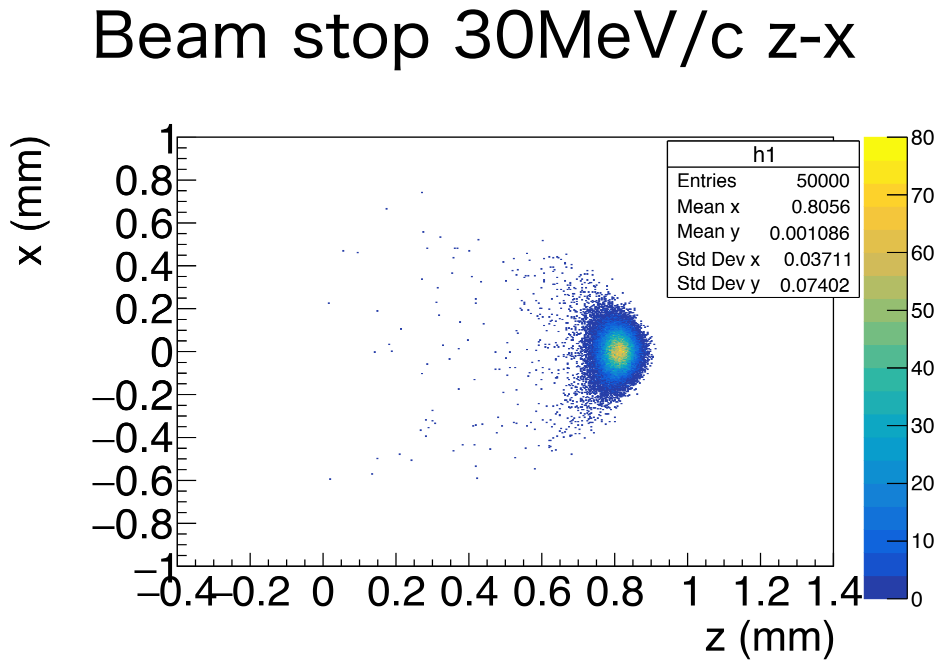
Multiple scattering inside the sample

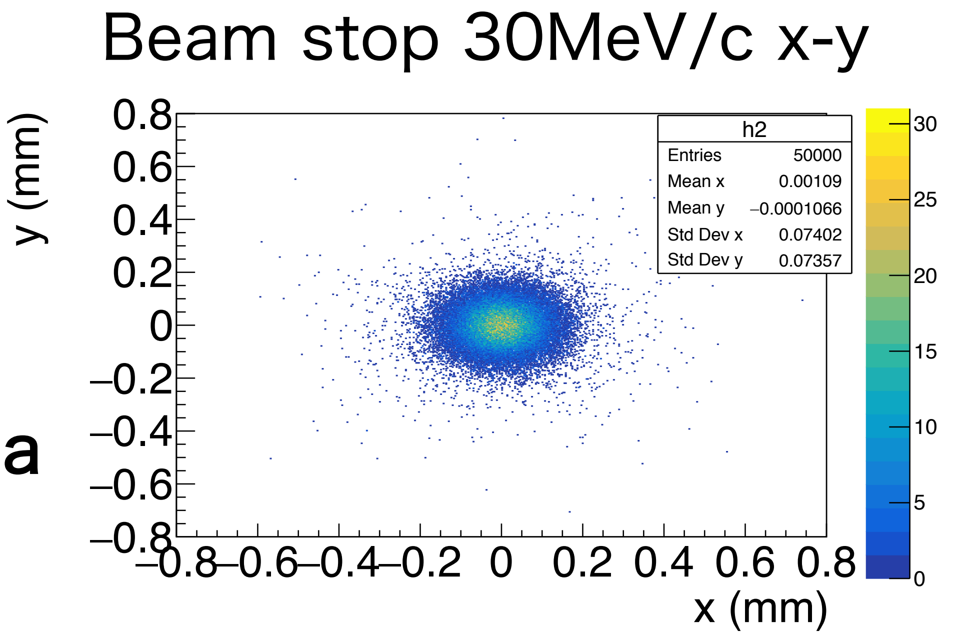
Setting

- beam : μ- pencil beam(Δp/p=0)
- Sample : SiO_2

Momentum [MeV/c]	Average Stopping position[mm]	Spread of position [μm]
30	0.81	74
32.5	1.1	97
35	1.4	124

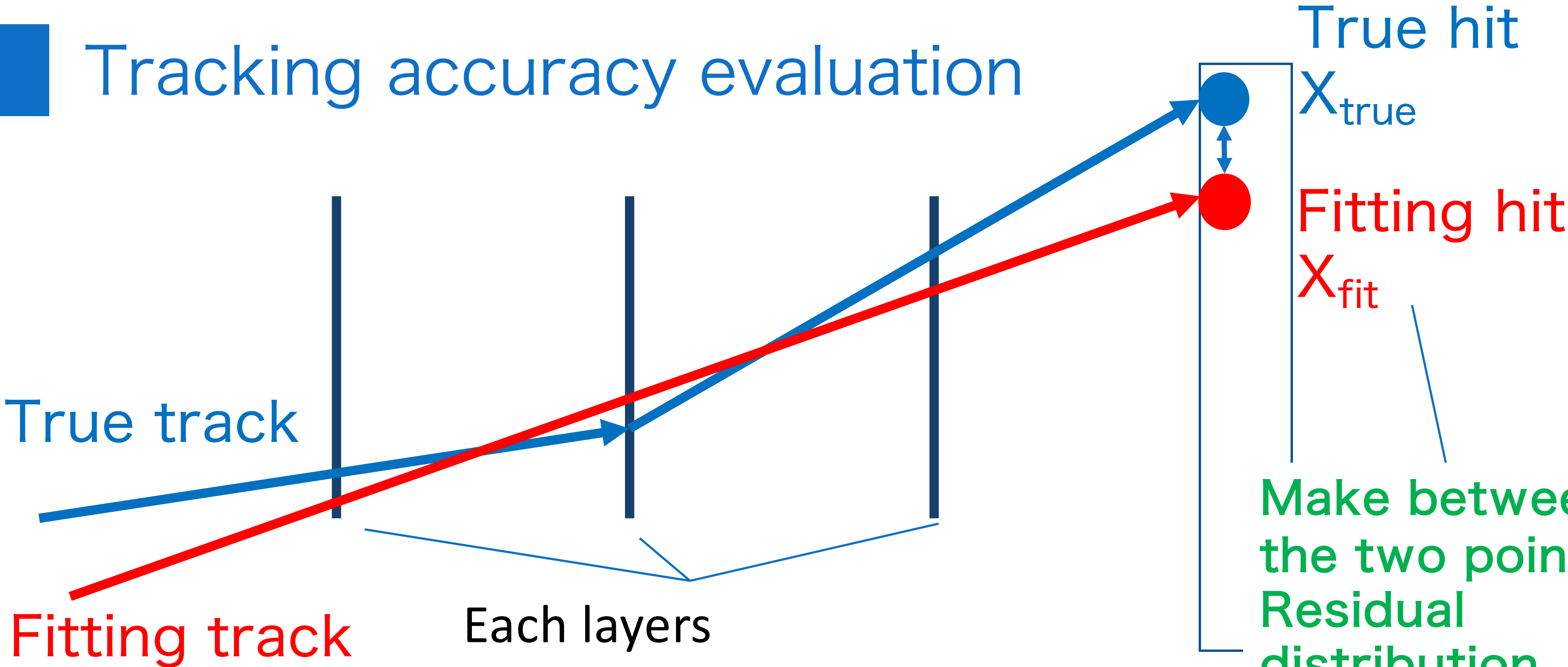
Develop a drift chamber with a position resolution of 74 μm or less and a small amount of material



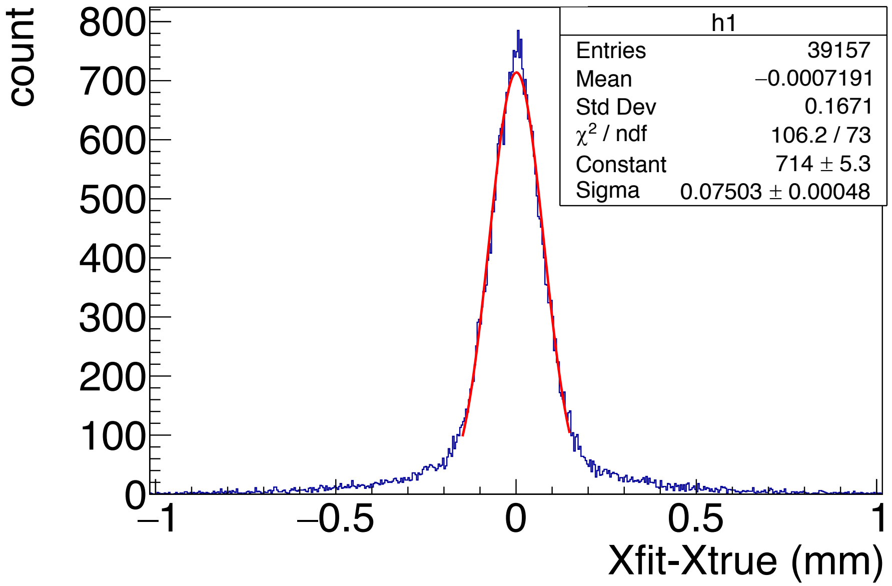


G4beamline

Tracking accuracy evaluation



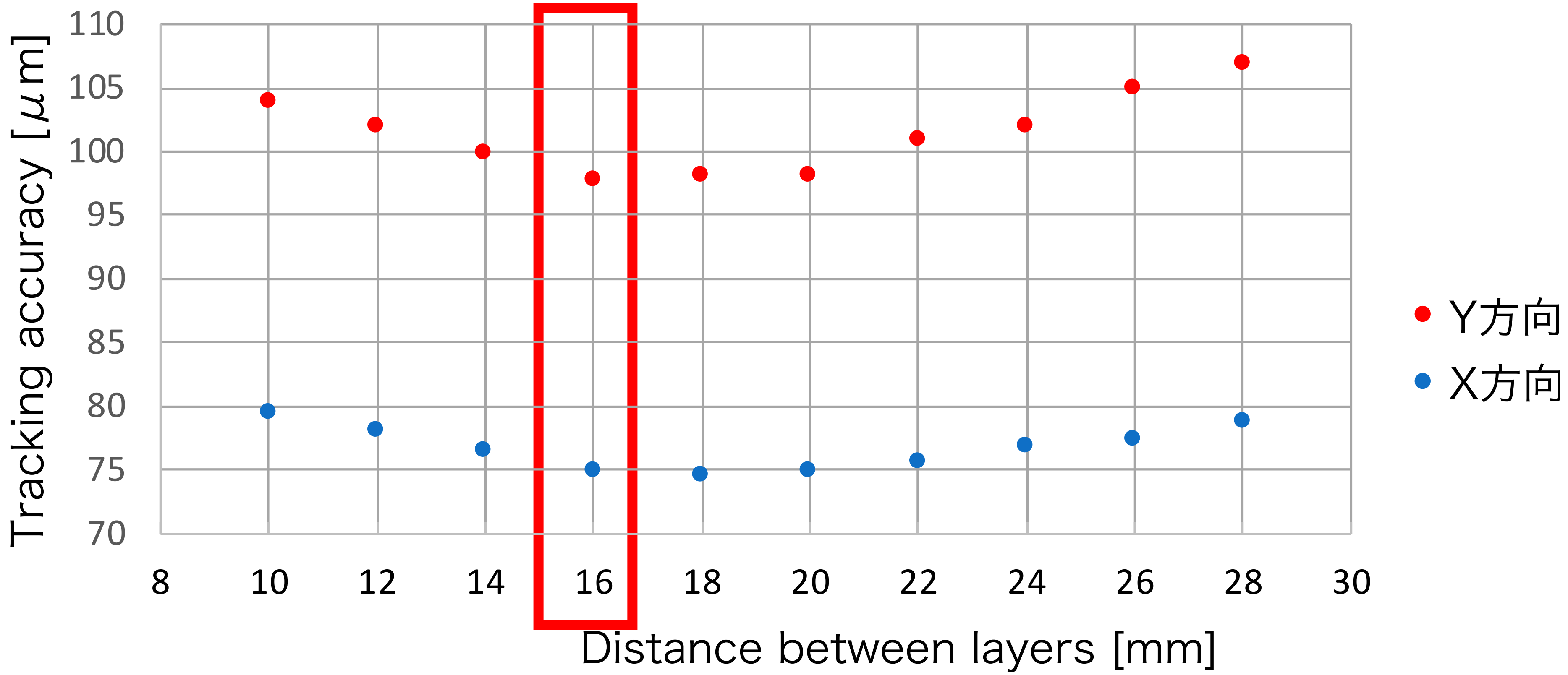
Make between the two points Residual distribution (Xfit—Xtrue)



Fit residual distribution with Gaussian
→ Standard deviation σ is used as tracking accuracy

Optimization of distance between layers by simulation

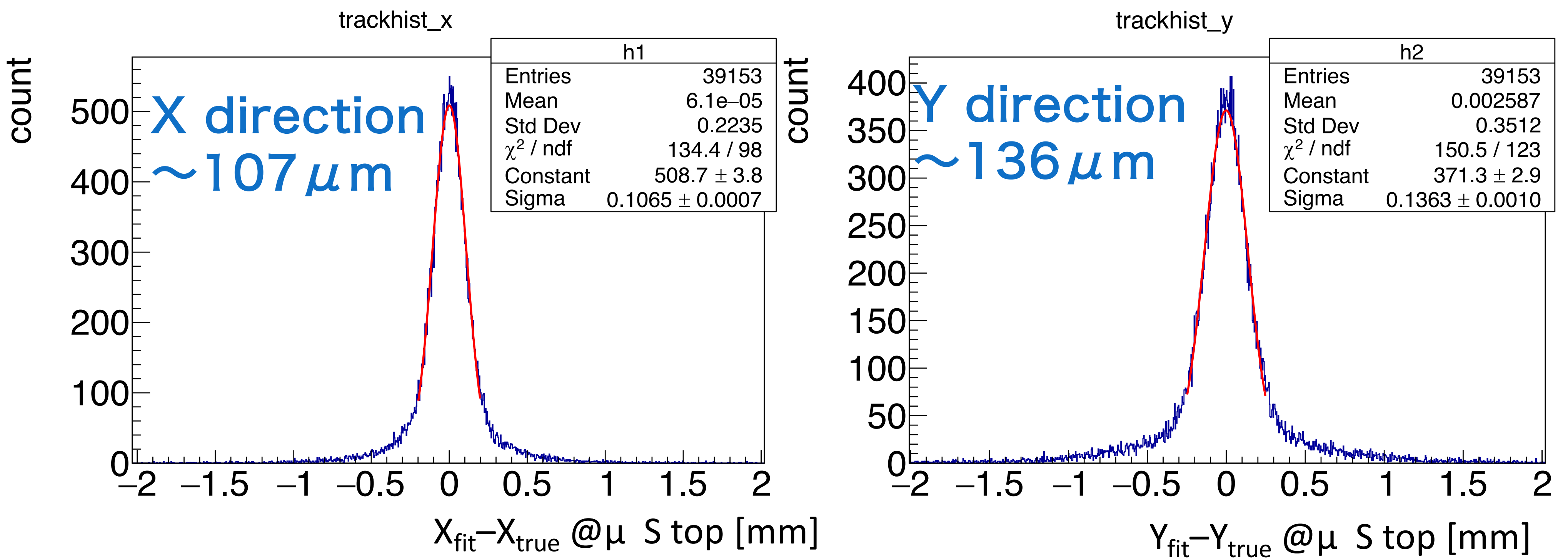
Distance between layers
= distance between sense wires in the same direction



- Position accuracy on the material surface 2mm downstream of the chamber
- Decided to be 16mm between sense wires

Expected accuracy of muon stop position

- Place material (SiO2) 2mm downstream of the chamber
- p = 30 MeV / c μ- incident
- Assuming muon stop position depth is 0.81mm



The muon stop position can be measured with position accuracy of about 100μm

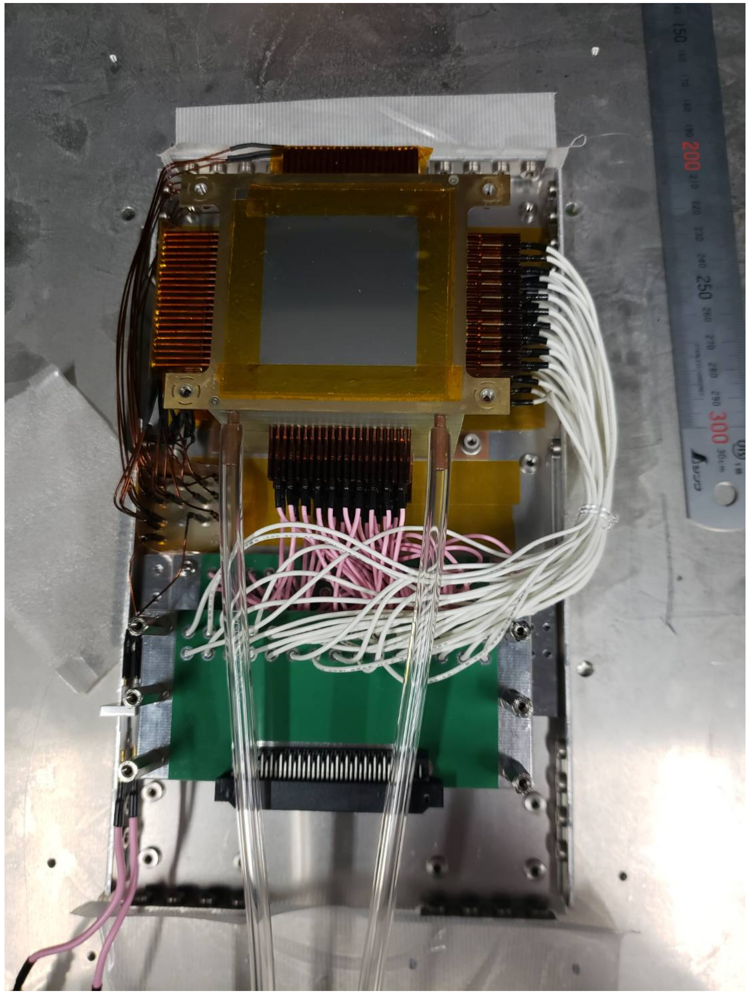
Future plans

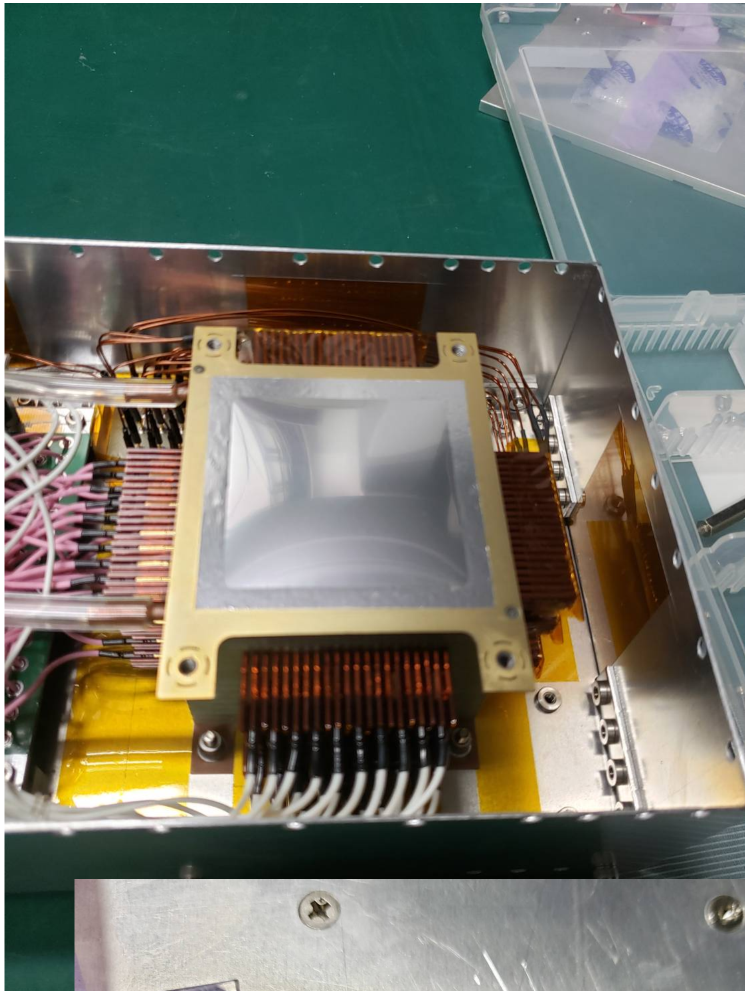
- Check chamber operation with cosmic rays
- 12/16～

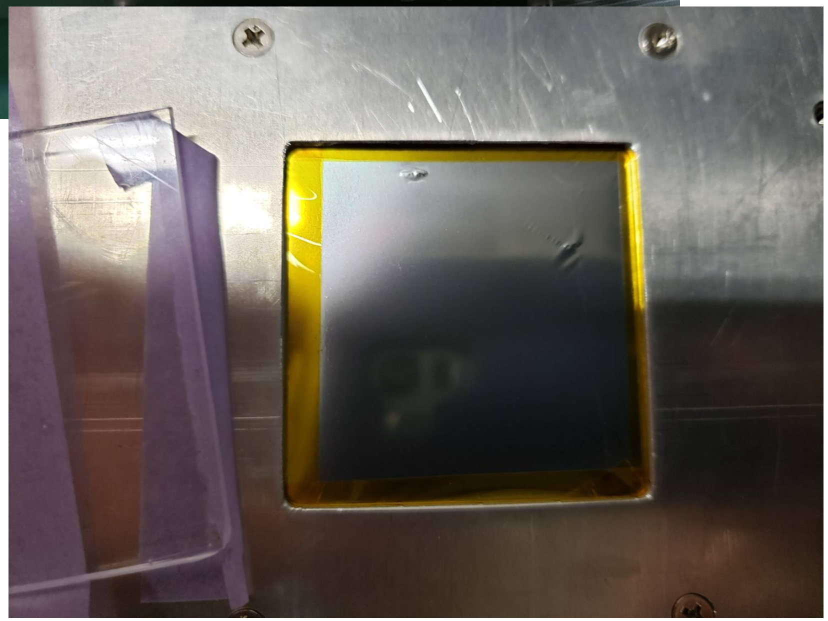
  Beam test at proton linear accelerator in Kumatori
- 2020 3/3～

  Beam test at RAL muon beam in UK

Current status

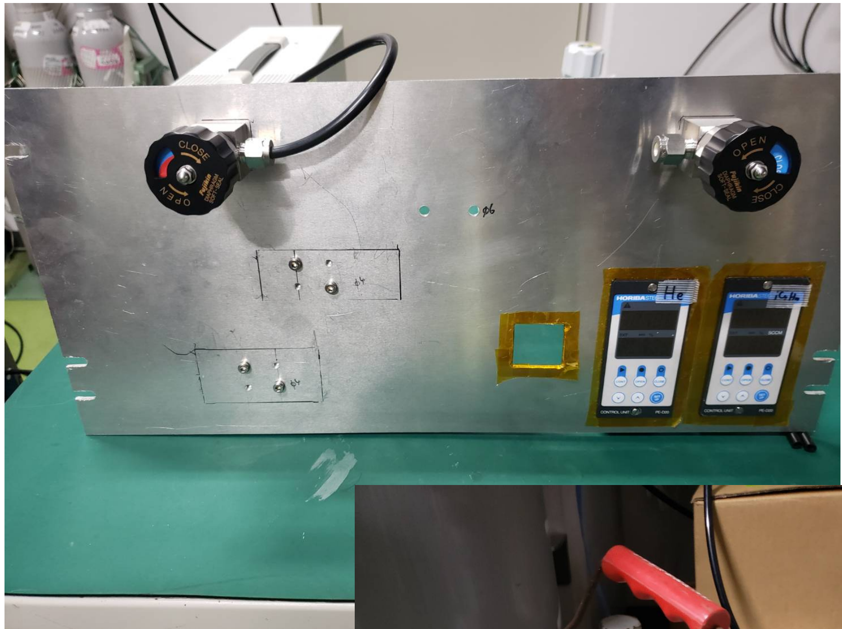


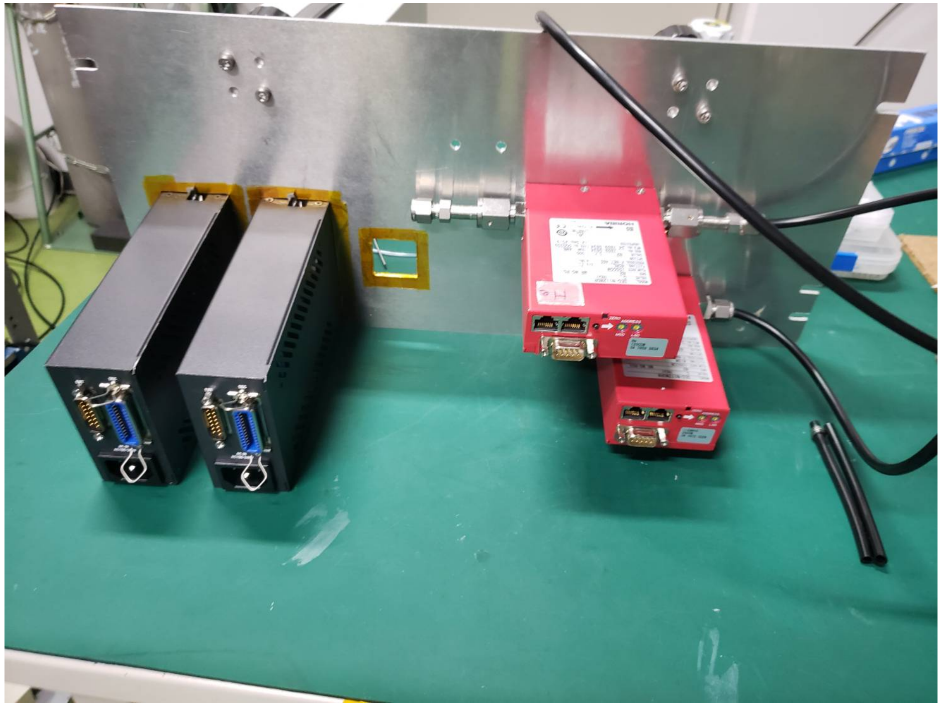


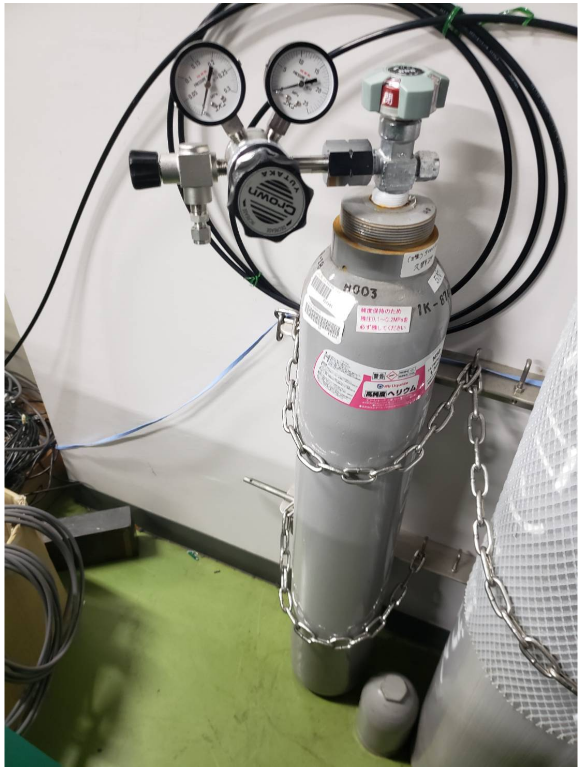


Current status

Gas system



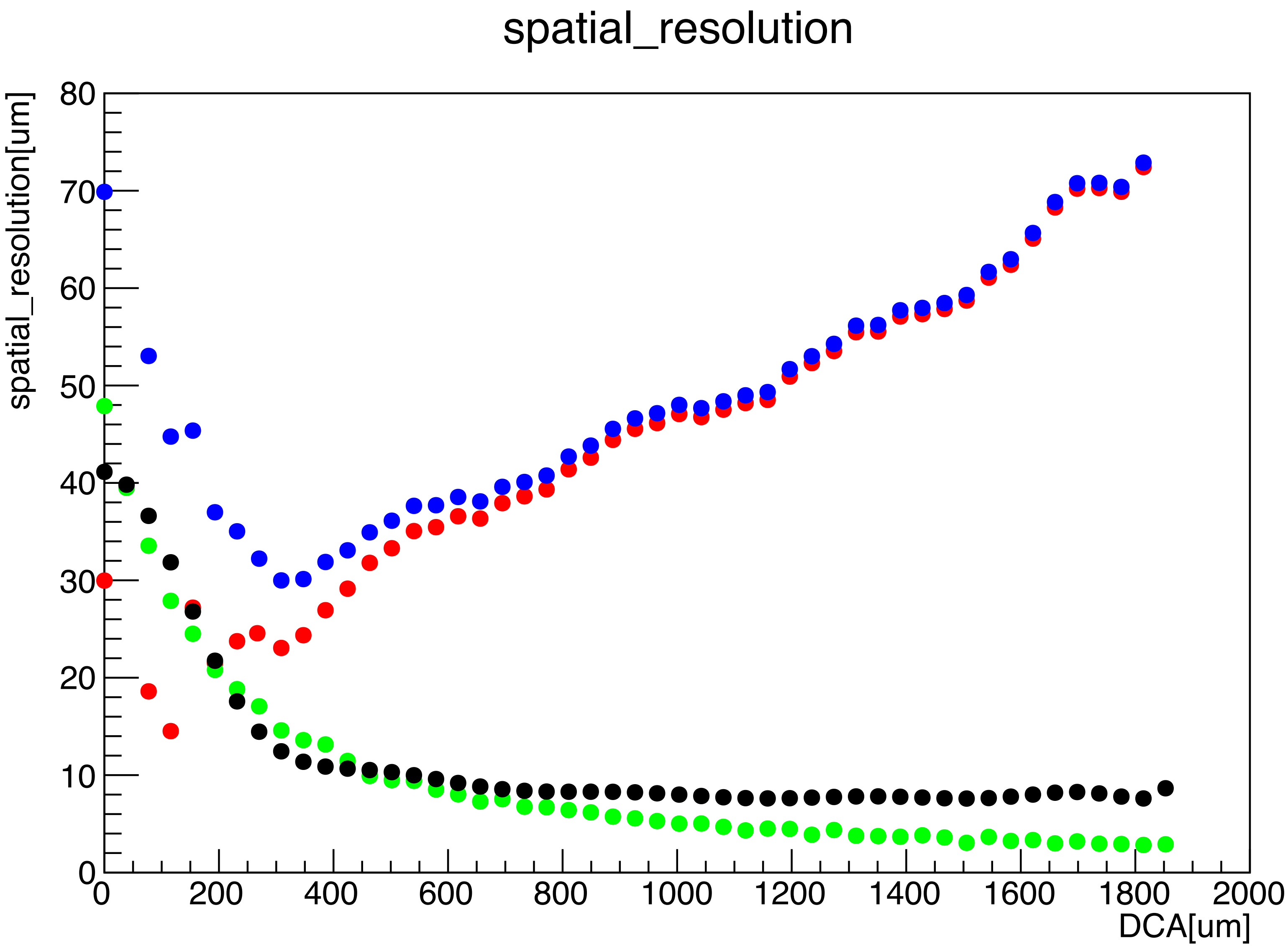




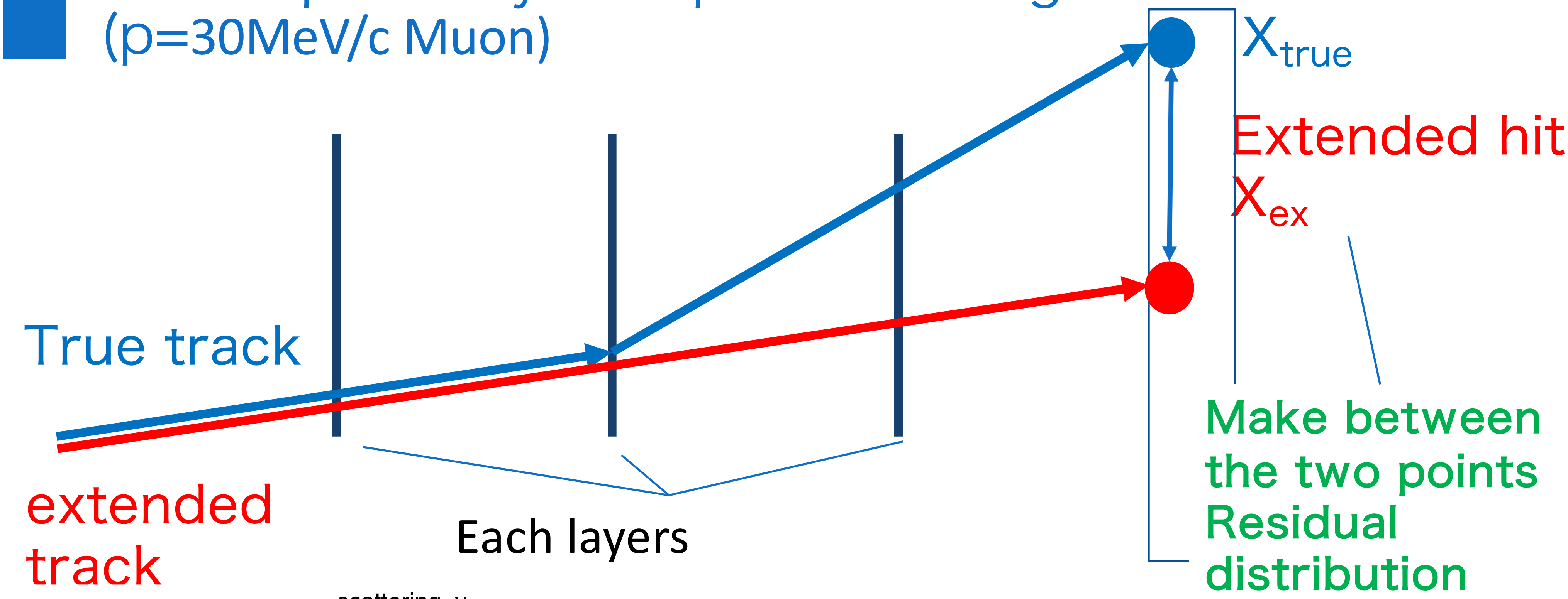
For the Kumatori beam test

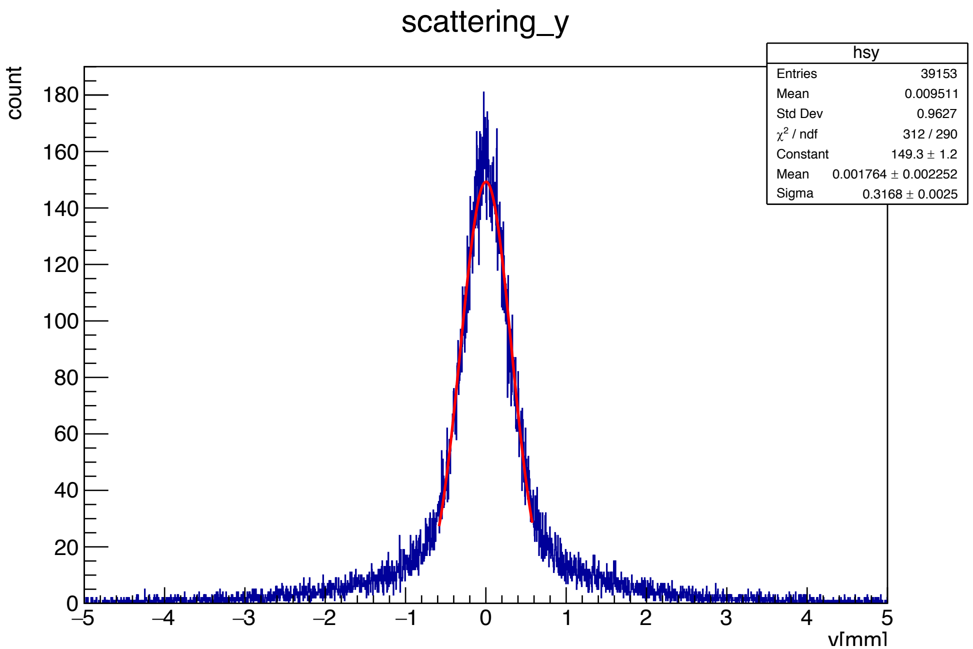
30MeV/c Muon

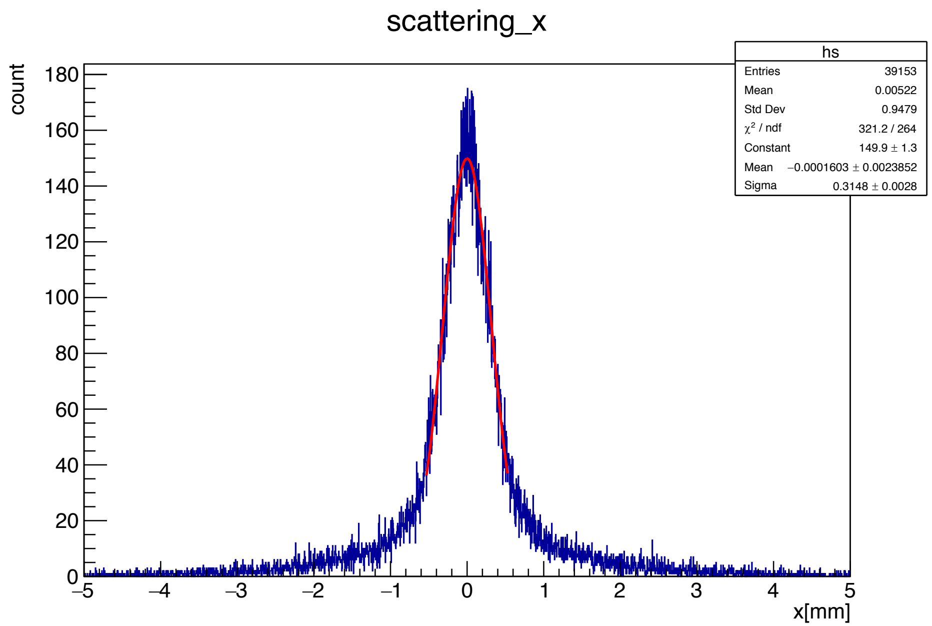
1 cell spatial resolution (p=30MeV/c Muon)



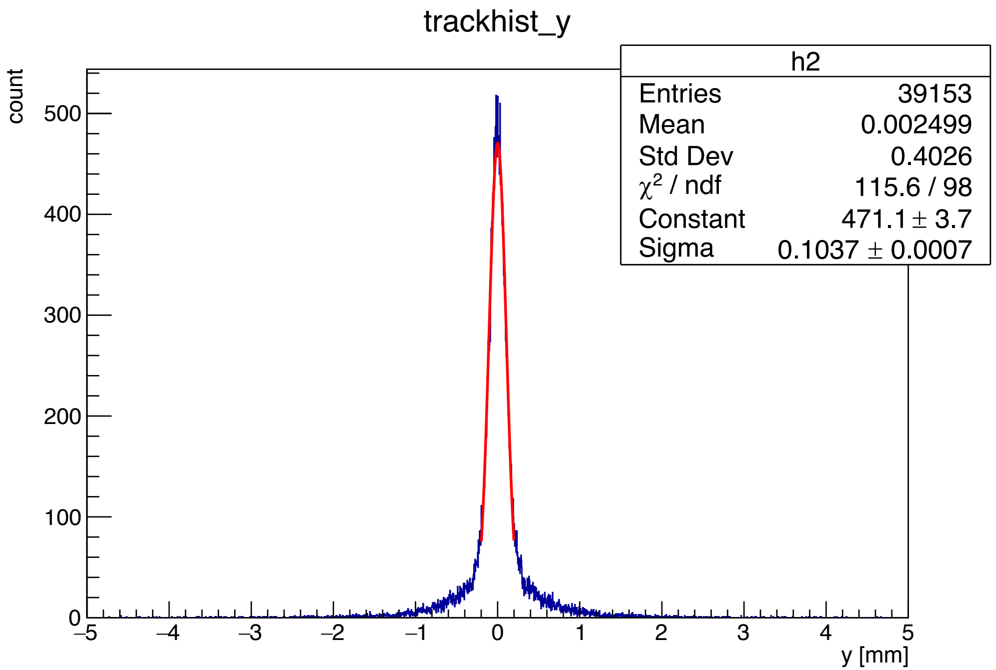
Beam spread by multiple scattering (p=30MeV/c Muon)

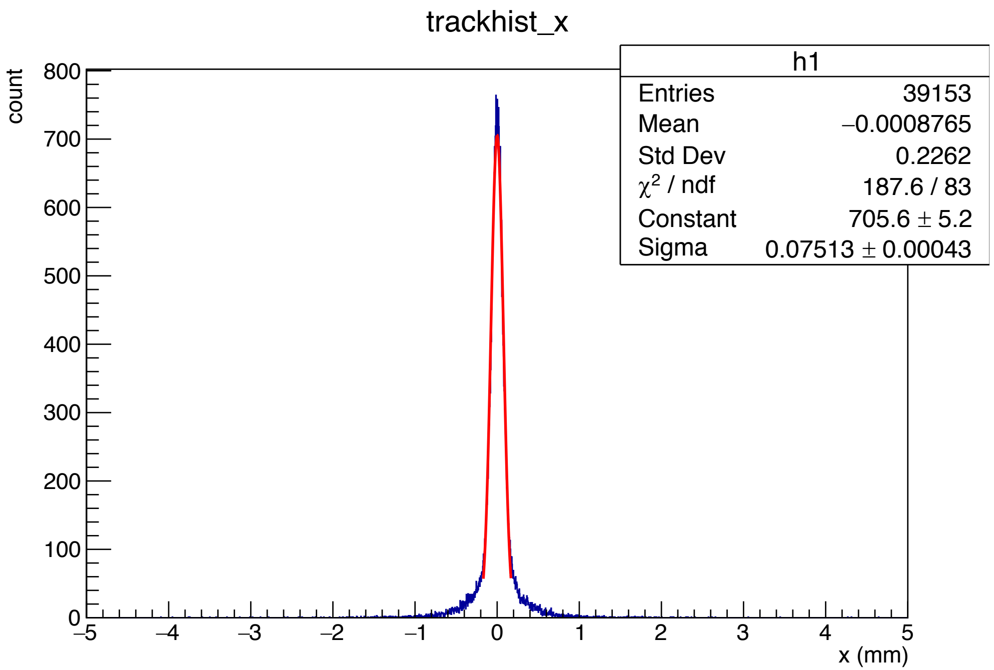






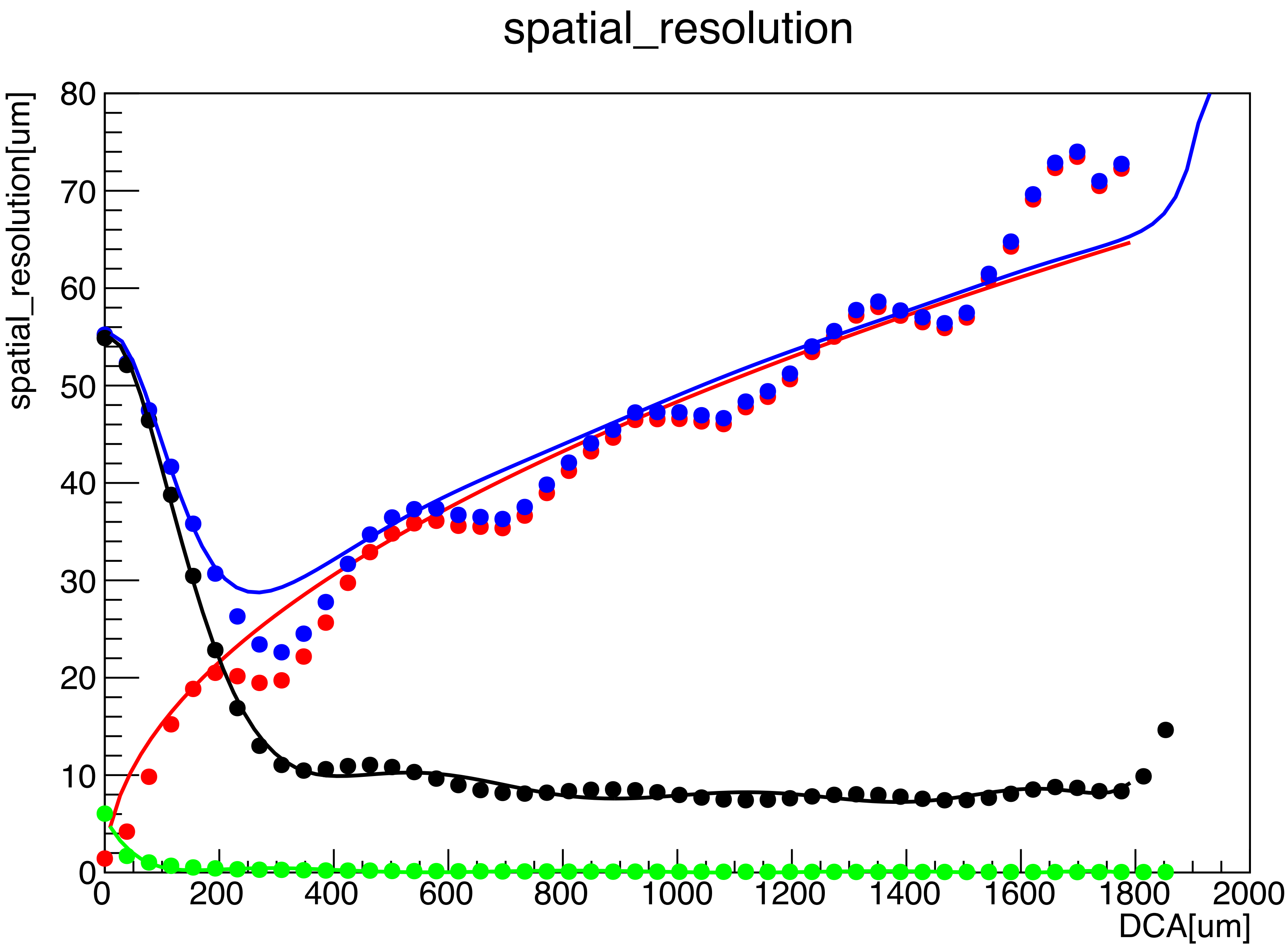
Tracking accuracy (p=30MeV/c Muon)



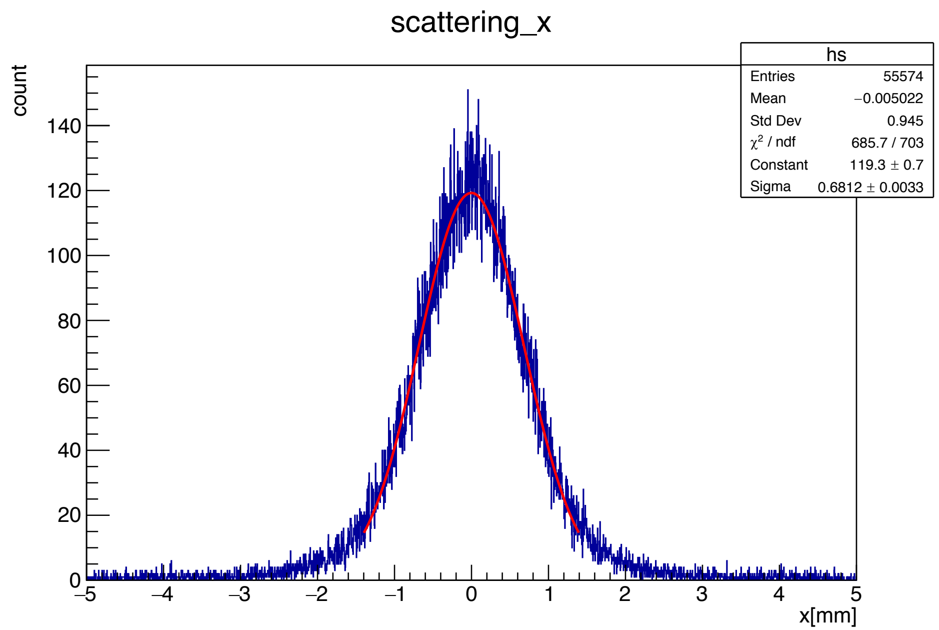


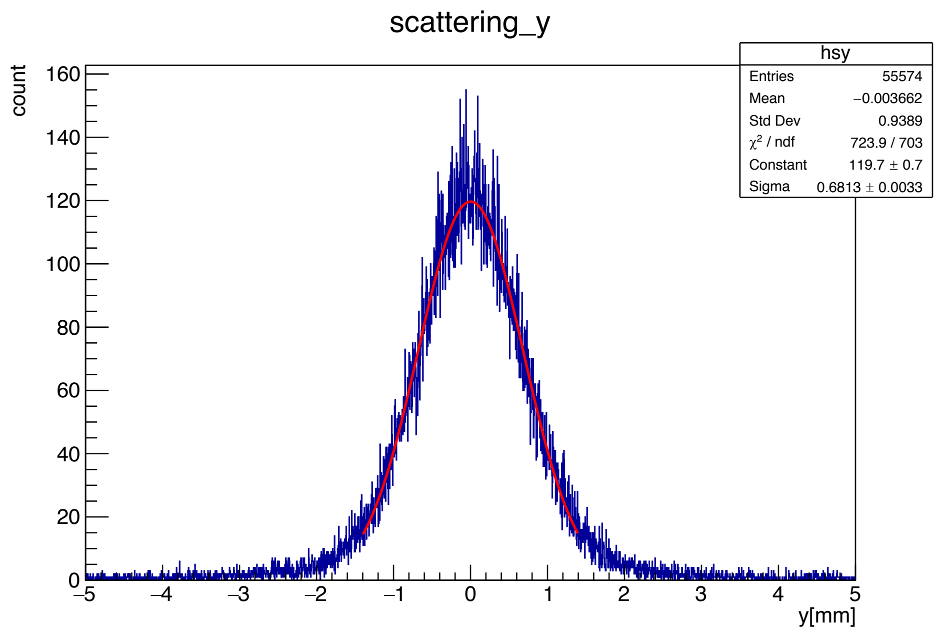
7MeV proton

1 cell spatial resolution (E=7MeV proton)

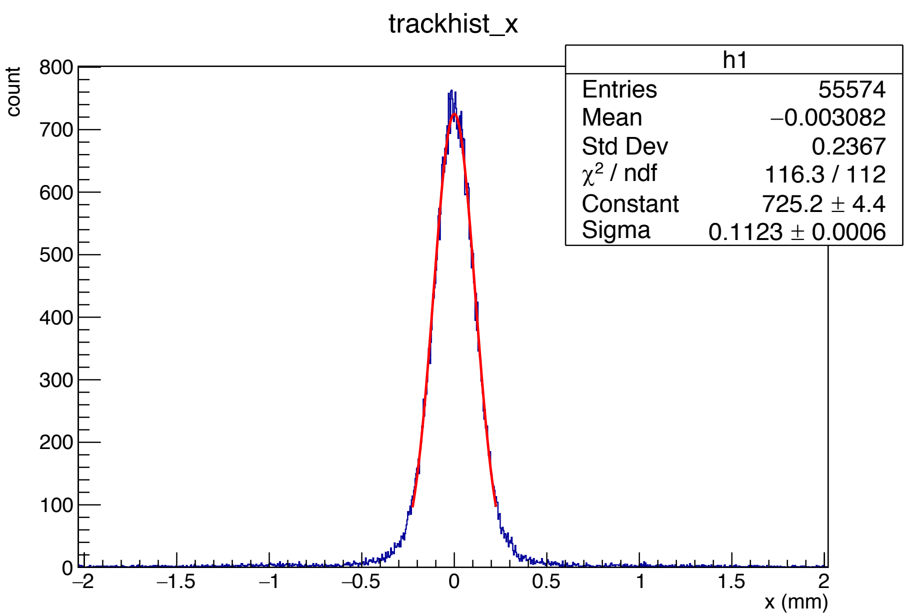


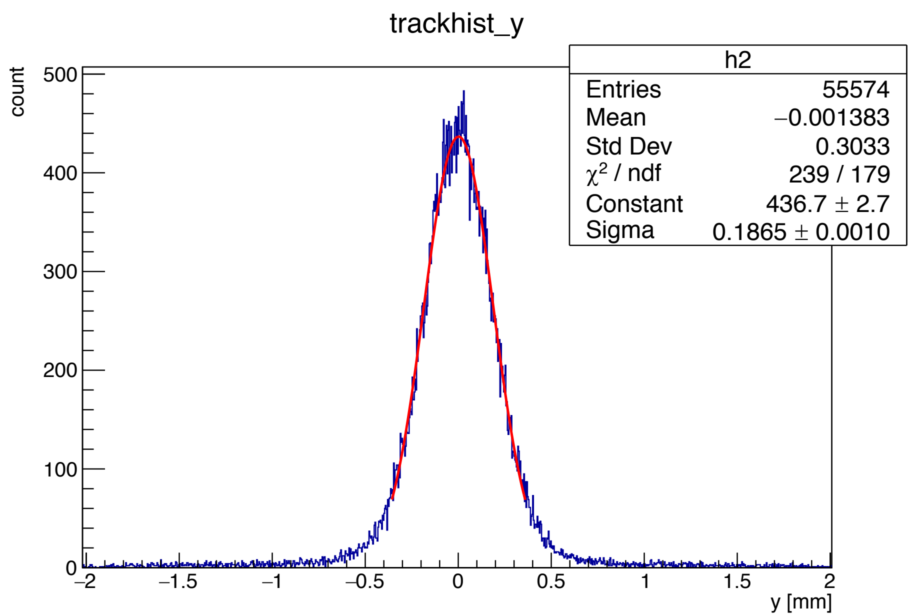
Beam spread by multiple scattering (7MeV proton)





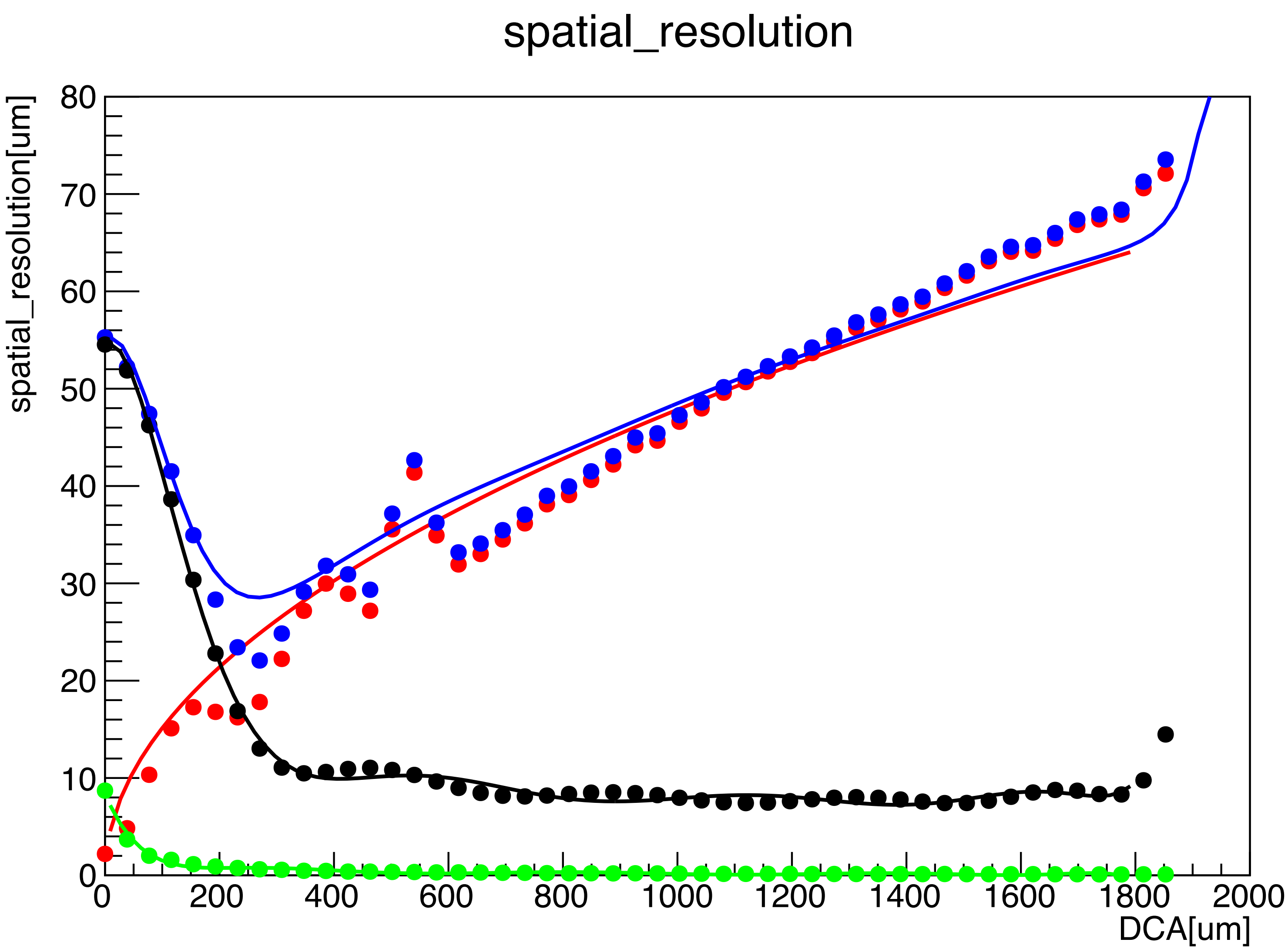
Tracking accuracy (7MeV Proton)



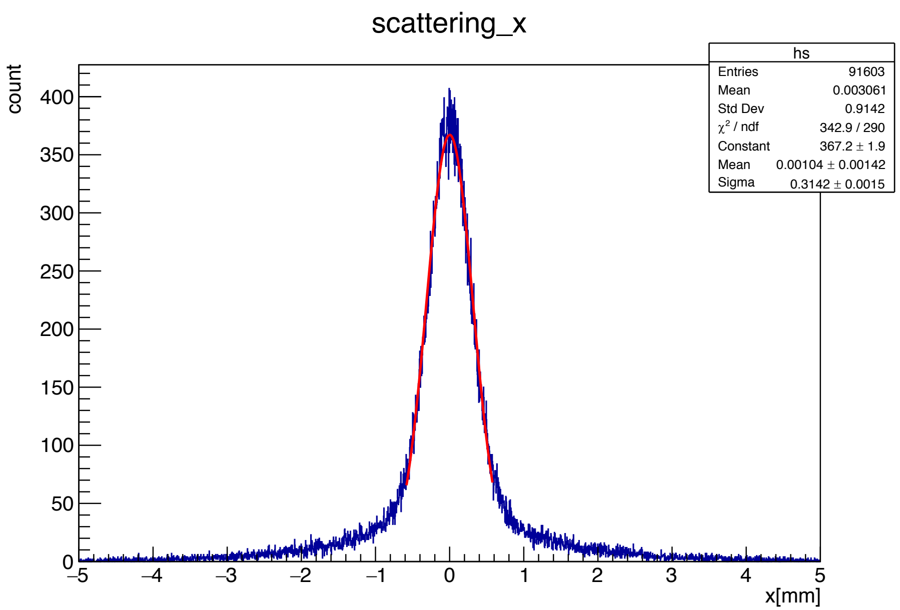


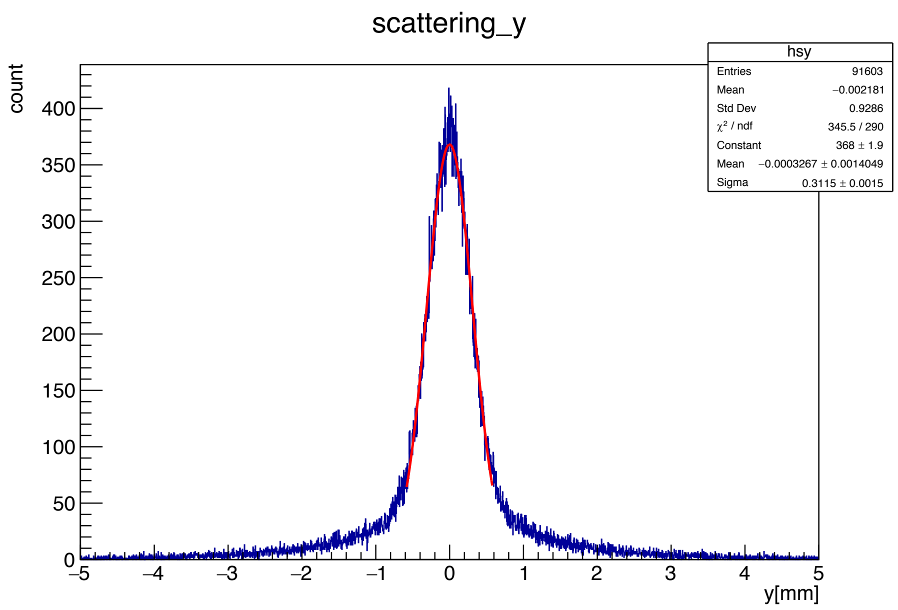
11MeV proton

1 cell spatial resolution (E=11MeV proton)

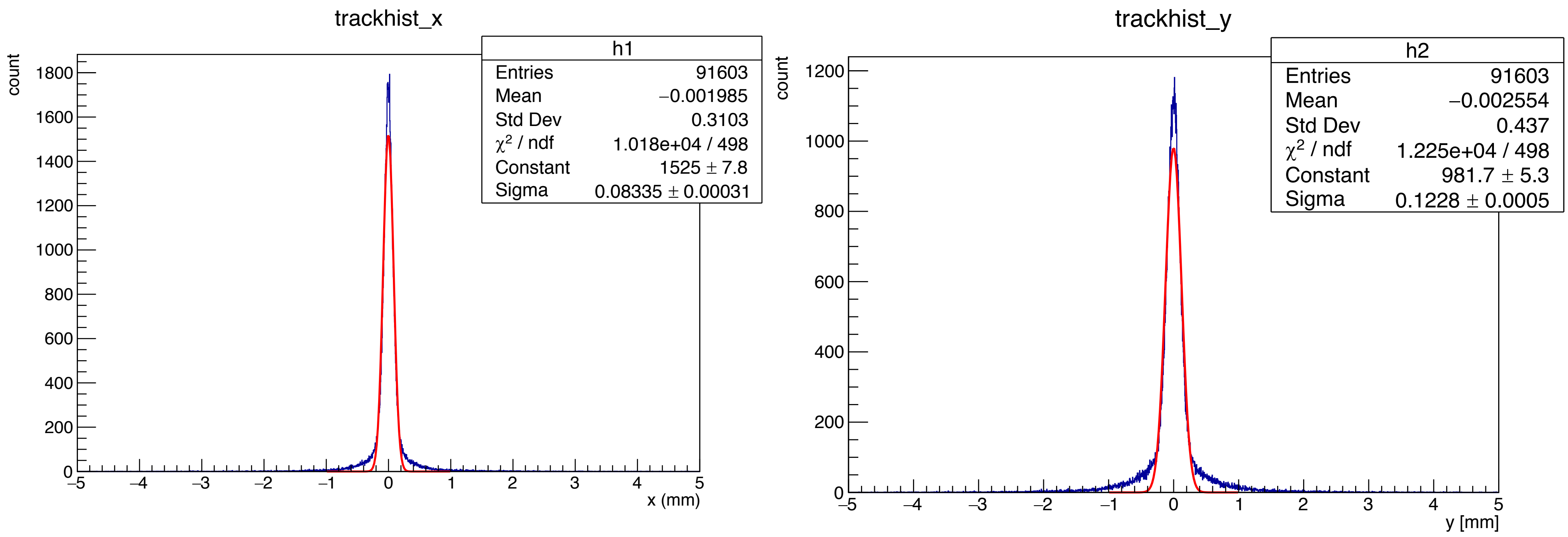


Beam spread by multiple scattering (11MeV proton)

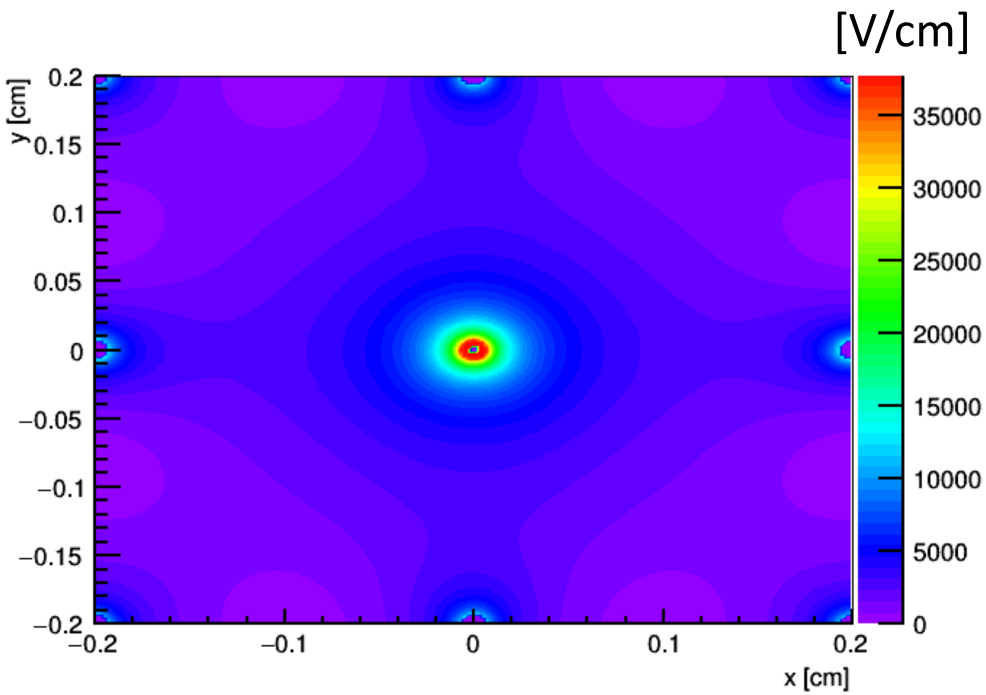


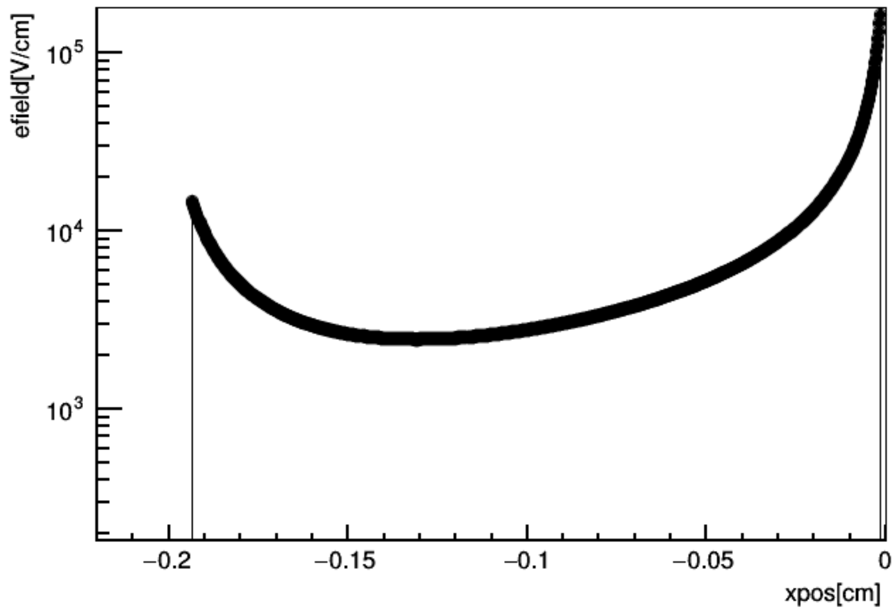


Tracking accuracy (7MeV Proton)

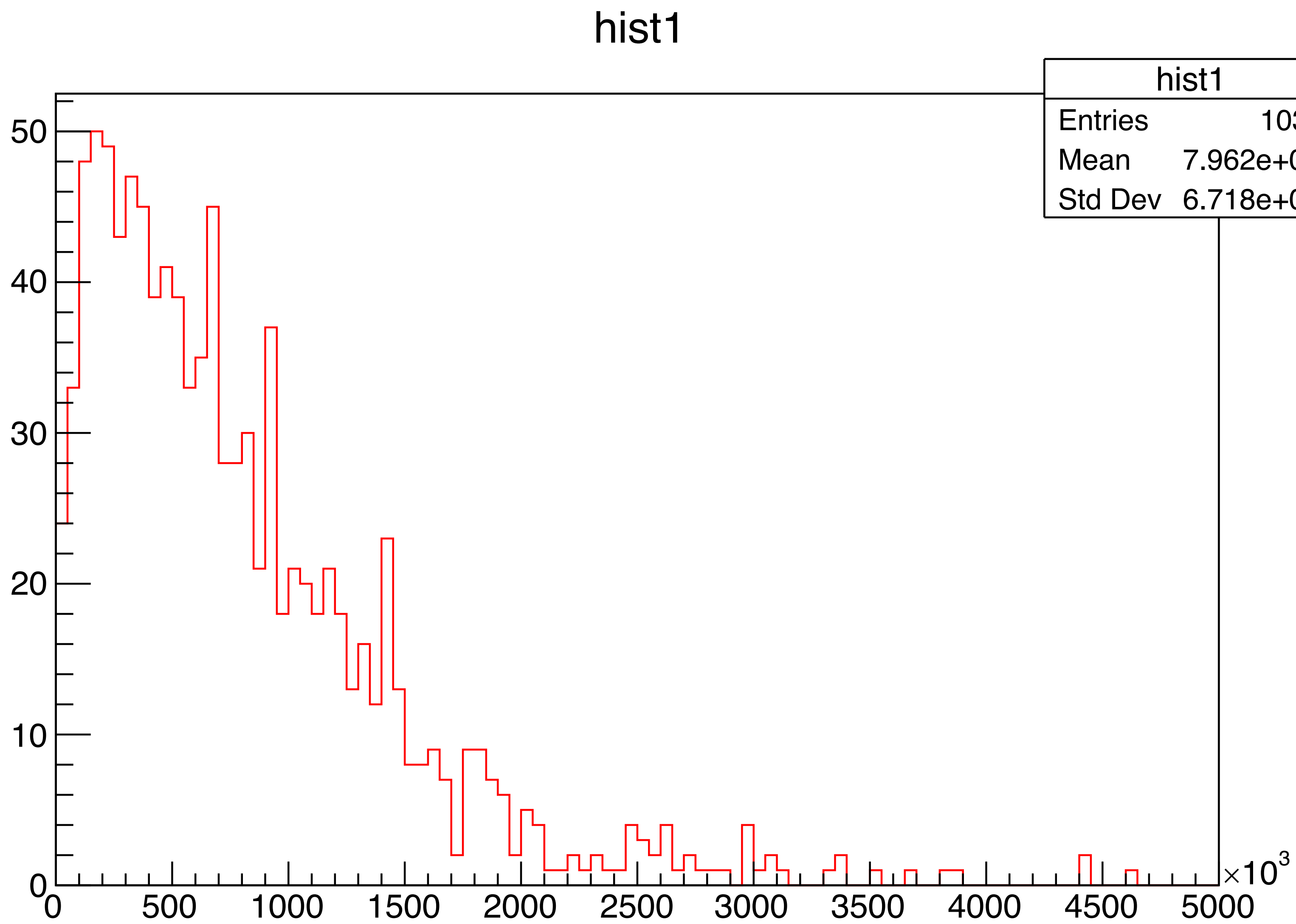


セル内の電場

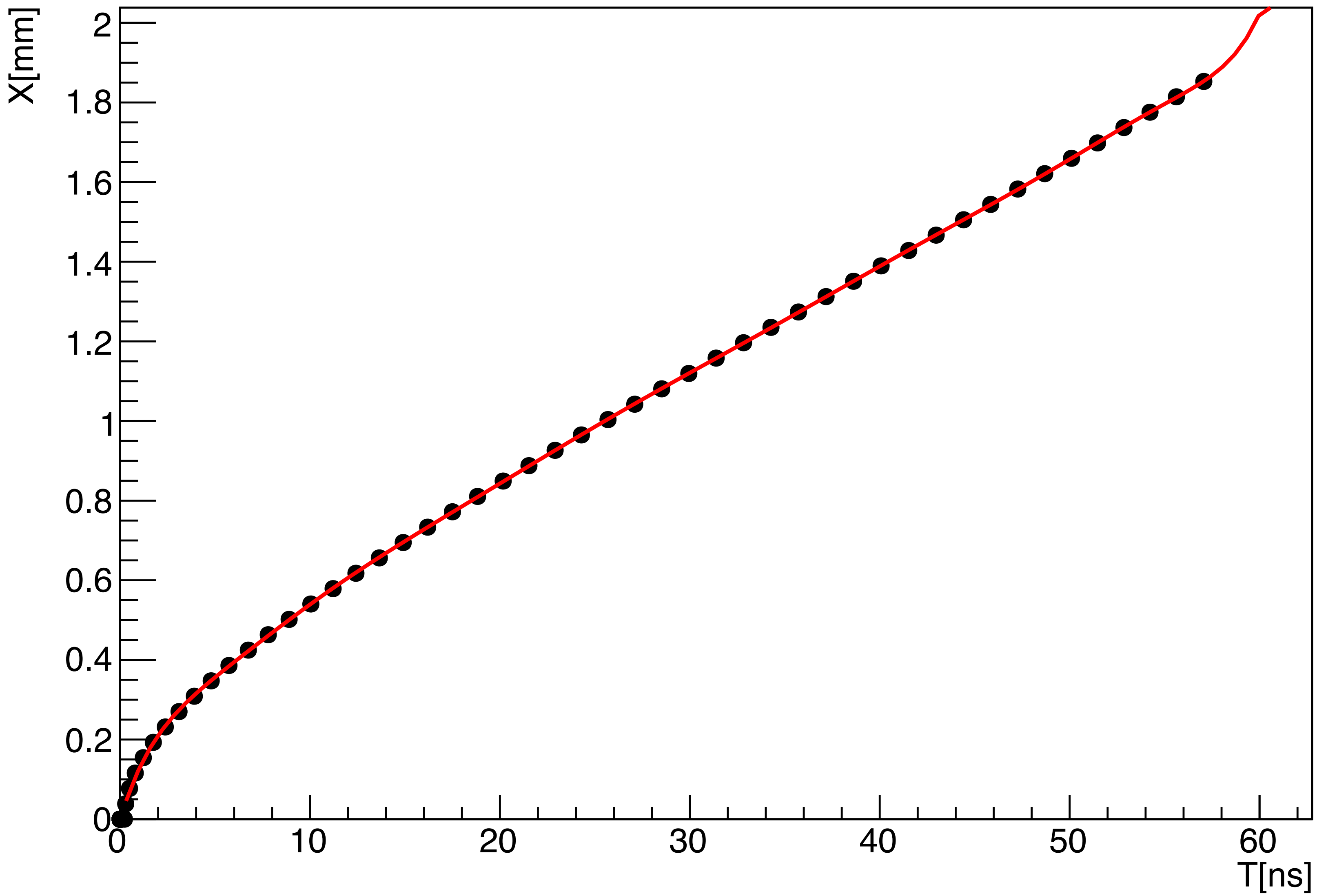

[V/cm]
y [cm]
x [cm]
0.2
0.15
0.1
0.05
0
−0.05
−0.1
−0.15
−0.2
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000


efield[V/cm]
10^5
10^4
10^3
−0.2
−0.15
−0.1
−0.05
0
xpos[cm]

ゲイン計算

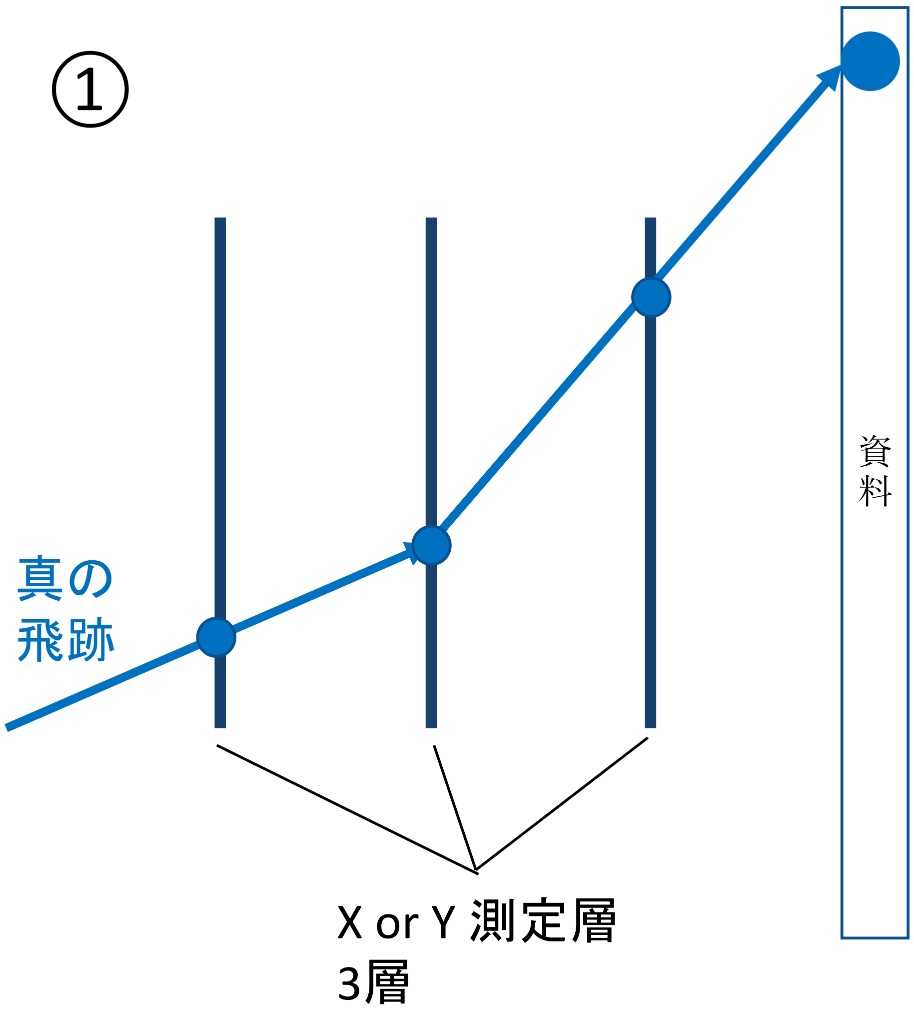

hist1
hist1
Entries 1031
Mean 7.962e+05
Std Dev 6.718e+05
0
10
20
30
40
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
×10^3

XTカーブ



トラッキング精度分布の定義

トラッキング精度分布
粒子の飛跡をどの程度正確に構成できるかの指標の分布
資料での真のヒット位置とトラッキングから導いた予想ヒット位置との差の分布



以下の方法でヒストグラムを作成

① 各層でヒット位置情報を記録（シミュレーション）

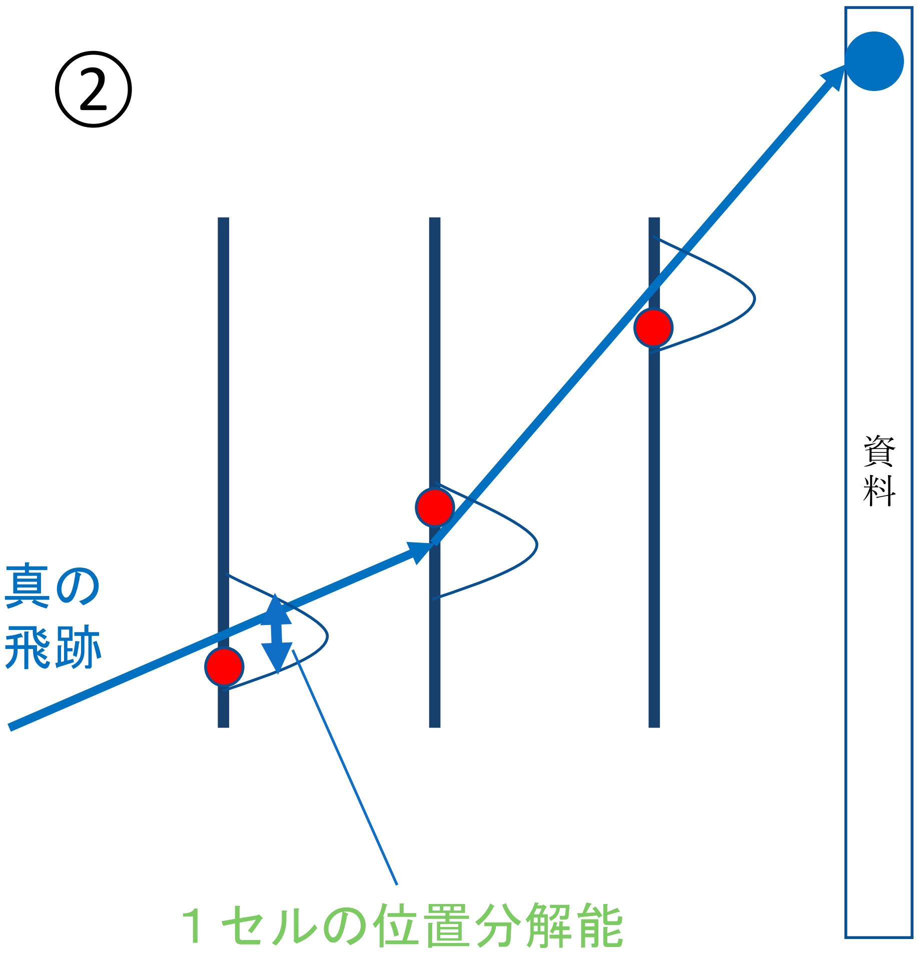
② １セルの位置分解能に従いヒット位置情報を鈍らせる

③ ②の３点を１時間数でfitし、資料の位置での予想ヒット位置を導く

④ 資料での真のヒット位置と④のヒット位置との差をヒストグラムに詰める

トラッキング精度分布の定義

トラッキング精度分布
粒子の飛跡をどの程度正確に構成できるかの指標の分布
資料での真のヒット位置とトラッキングから導いた予想ヒット位置との差の分布



以下の方法でヒストグラムを作成

① 各層でヒット位置情報を記録（シミュレーション）

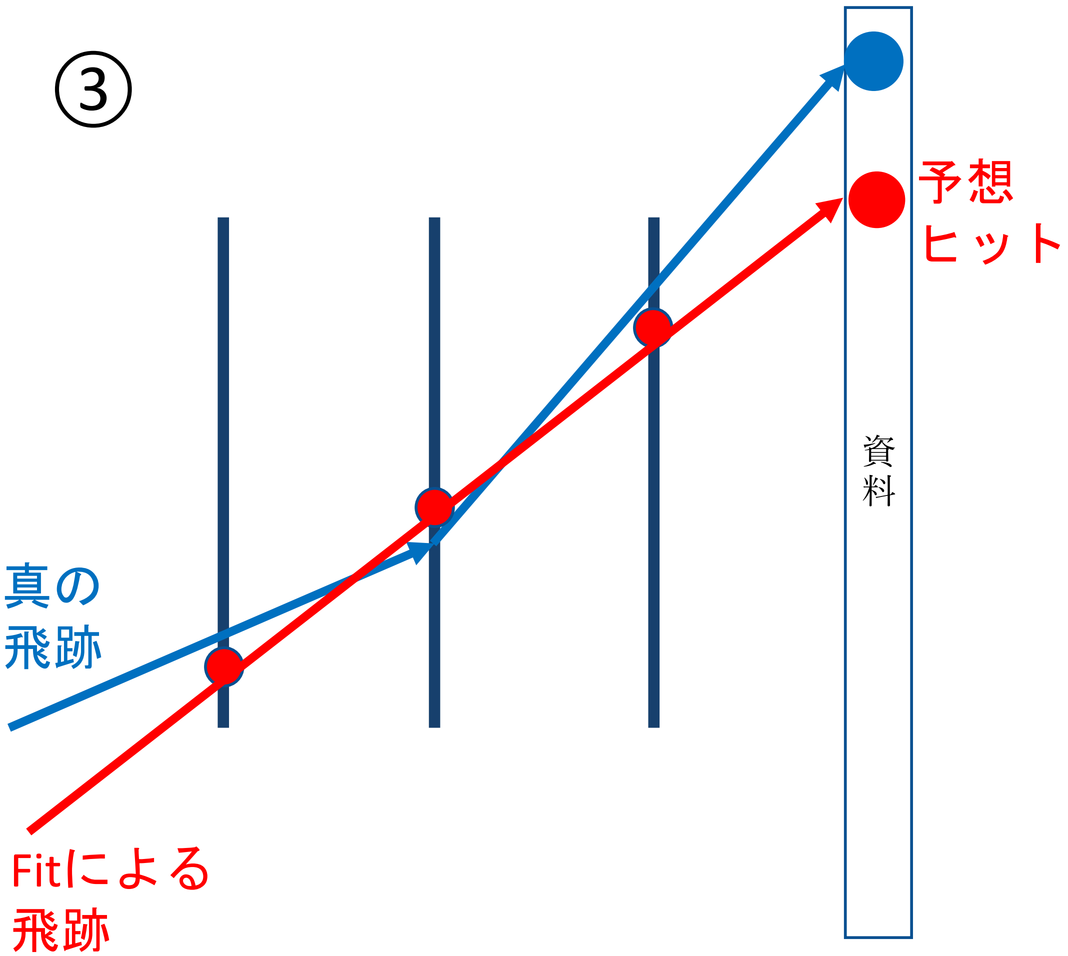
② １セルの位置分解能に従いヒット位置情報を鈍らせる

③ ②の３点を１時間数でfitし、資料の位置での予想ヒット位置を導く

④ 資料での真のヒット位置と④のヒット位置との差をヒストグラムに詰める

トラッキング精度分布の定義

トラッキング精度分布
粒子の飛跡をどの程度正確に構成できるかの指標の分布
資料での真のヒット位置とトラッキングから導いた予想ヒット位置との差の分布



以下の方法でヒストグラムを作成

① 各層でヒット位置情報を記録（シミュレーション）

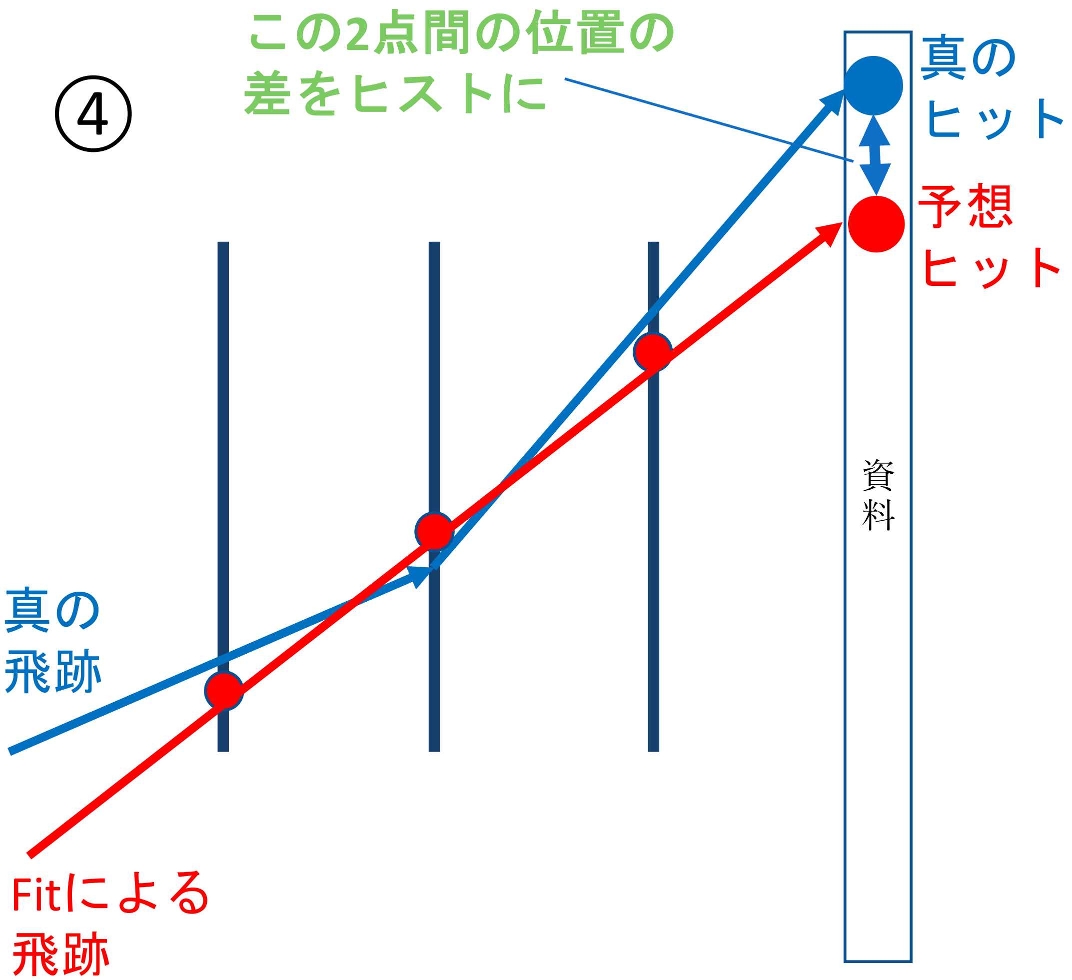
② １セルの位置分解能に従いヒット位置情報を鈍らせる

③ ②の３点を１時間数でfitし、資料の位置での予想ヒット位置を導く

④ 資料での真のヒット位置と④のヒット位置との差をヒストグラムに詰める

トラッキング精度分布の定義

トラッキング精度分布
粒子の飛跡をどの程度正確に構成できるかの指標の分布
資料での真のヒット位置とトラッキングから導いた予想ヒット位置との差の分布



以下の方法でヒストグラムを作成

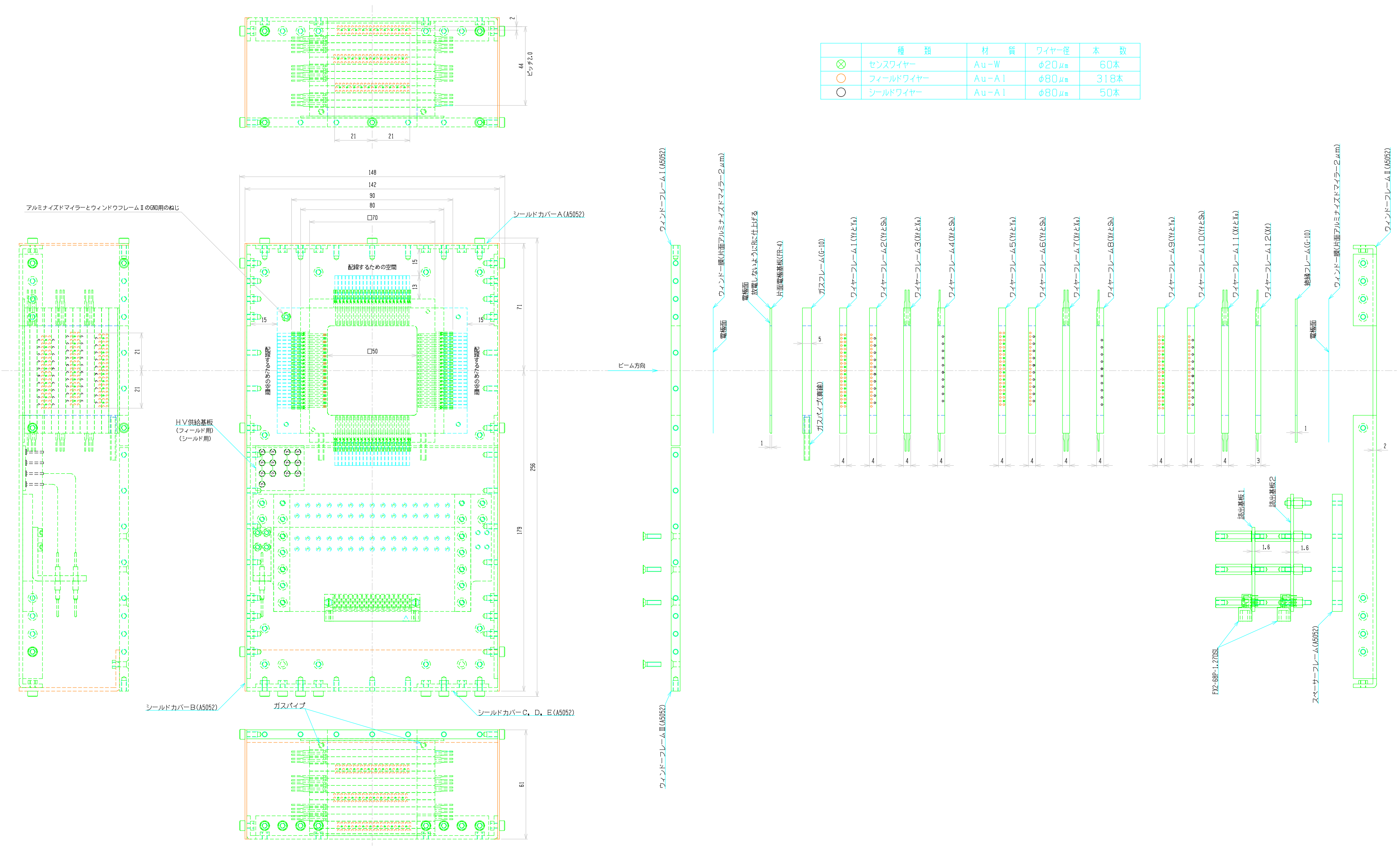
① 各層でヒット位置情報を記録（シミュレーション）

② １セルの位置分解能に従いヒット位置情報を鈍らせる

③ ②の３点を１時間数でfitし、資料の位置での予想ヒット位置を導く

④ 資料での真のヒット位置と④のヒット位置との差をヒストグラムに詰める

ワイヤーの配置：実際の図面



	種　類	材　質	ワイヤー径	本　数
⊗	センスワイヤー	Au-W	φ20μm	60本
○	フィールドワイヤー	Au-Al	φ80μm	318本
○	シールドワイヤー	Au-Al	φ80μm	50本

材質 —	数量 1	3rd.ANGLE PROJECTION	ハヤシレピック株式会社　第4事業部
表面処理 —	備考 —		名称 DC-760 ver.201907110940 組立図
設計・製図 平　尾	年月日 2019-07-11		
検図・承認			尺度 1/1 / 単位 1.0mm / 分類 760 / 図番 A-1

訂　正	内　容	年　月　日

ガス、セルの仕様

ガス

使用するガス：He : iC_4H_{10} = 90:10

- 久野研究室COMET実験のドリフトチェンバーで使用されているものと同じガス
- チェンバー内部での多重散乱の影響を小さくする為に、物質量の小さいHeベースのガスを使用

セル

セル形状：正方形セル

- センスワイヤを中心に対称な電場を形成

セルサイズ：4mm

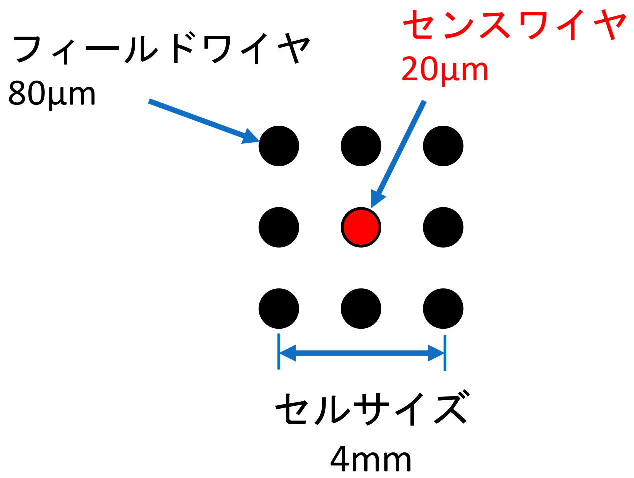
- Diffusionの効果を小さくするために、技術的に実現可能な最小サイズに設定

センスワイヤー径：20μm

- 小さい電圧で高いゲインを出し、かつ多重散乱の影響を減らすため、細めに設定

フィールドワイヤ径：80μm

- 多重散乱の影響を減らすため、表面電場が20kVを越えない範囲で細めに設定



ビーム試験での分解能評価方法

X,Y各3層を使って大まかな飛跡を決定

2層で飛跡を引き、残り１層を評価

現在取り組んでいること

- 熊取のプロトンビーム、7MeV,11MeVを使ったときのトラッキング精度の確認
- COMETのデータを元にした解析マクロ の作成

- 1GeVの宇宙線ミューオン入射時のトラッキング精度の確認
- 宇宙線ミューオン中、30MeV/cのミューオンのレートの把握
- オンラインモニタの作成