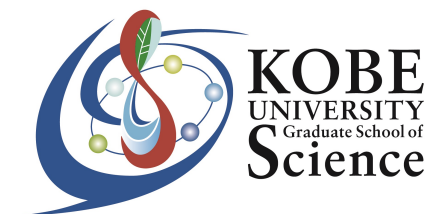


# 炭素スパッタを用いた 積層型RPCの開発



神戸大学 粒子物理研究室  
修士1年 小川 圭将



# Contents

---

- Introduction
- Production
  - Idea
  - Sputtering technology
  - Single Fast RPC
- Test measurement
  - Set up
  - Result
- Summary & Future prospects

# INTRODUCTION –Motivation–

## 粒子検出器

- 高エネルギー実験において粒子同定の検出器開発は重要な役割
- 粒子情報の一つ：質量  $m$

$$m^2 = p^2 \left( \frac{\Delta t^2 c^2}{L^2} - 1 \right)$$

粒子の通過時間  $\Delta t$  (TOF)

運動量  $p$ 、飛行距離  $L$  (TPCなど)

## TOF(Time Of Flight)

- 荷電粒子の飛行時間を測定することで、粒子識別をする方法。粒子がある2点間を通過した時間 $\Delta t$ を測定する
- 一般にはナノ秒・サブナノ秒スケールの時間測定装置が使われてきた

時間分解能10 ps以下の粒子検出器の開発を目指す

- RPC：大面積化・磁場中での使用・高時間分解能が期待出来る

高速粒子の検出

$$v \sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$$

$$t \sim 10^{-12} \text{ sec}$$

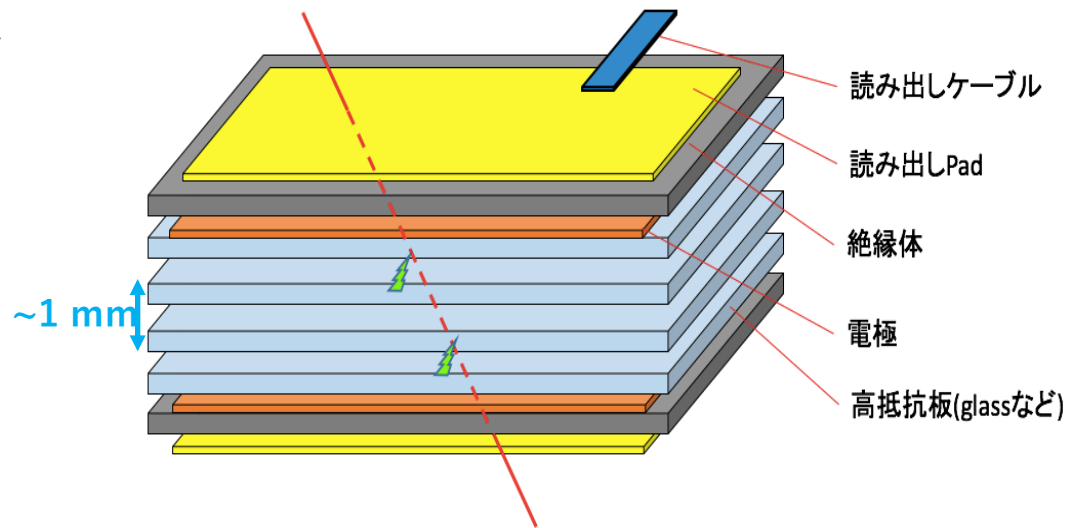
$$\rightarrow L \sim 300 \mu\text{m}$$

炭素スパッタ技術を用いたgap 100  $\mu\text{m}$ 以下の  
Fast RPCを考案

# INTRODUCTION –RPC–

## RPC (Resistive Plate Chamber)

- 高抵抗電極を平行に並べた構造のガス検出器。
- 荷電粒子が入射することで電場がかげられた電極間でガスから電離した電子が増幅され、読み出しPadに誘起される信号を検出する。



**?** 時間分解能を改善するためには…

● ギャップの縮小

✓ 検出効率の低下

● 積層化

✓ 電極表面の安定度



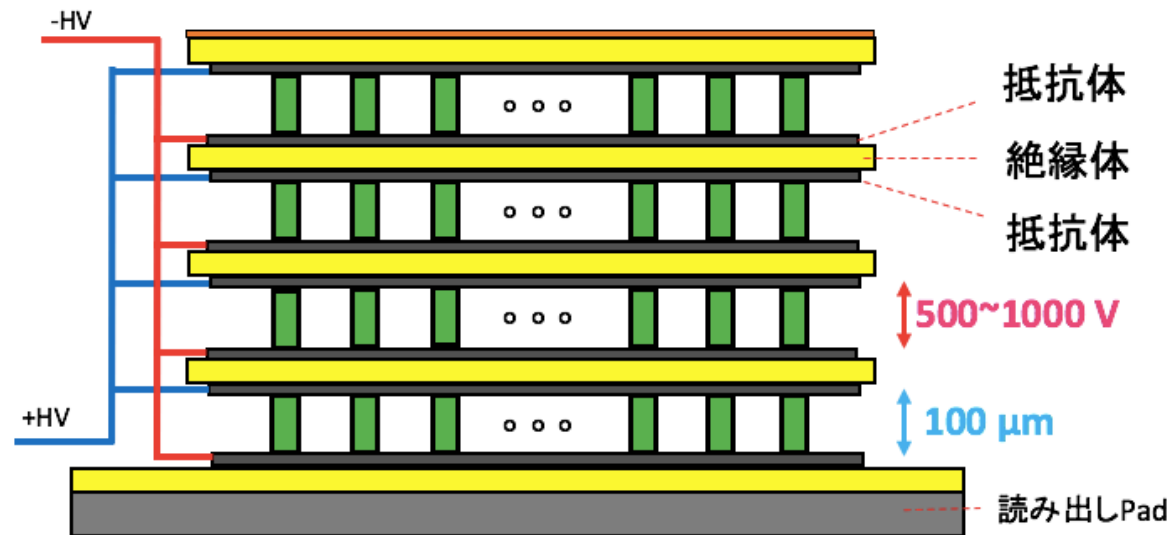
# PRODUCTION –Idea–

Problem

検出効率の低下  
 電極表面の安定度

Approach

中間層としてバルクの抵抗体を使う代わりに  
 ポリイミドの両面に薄膜抵抗体をつけたものを用いる



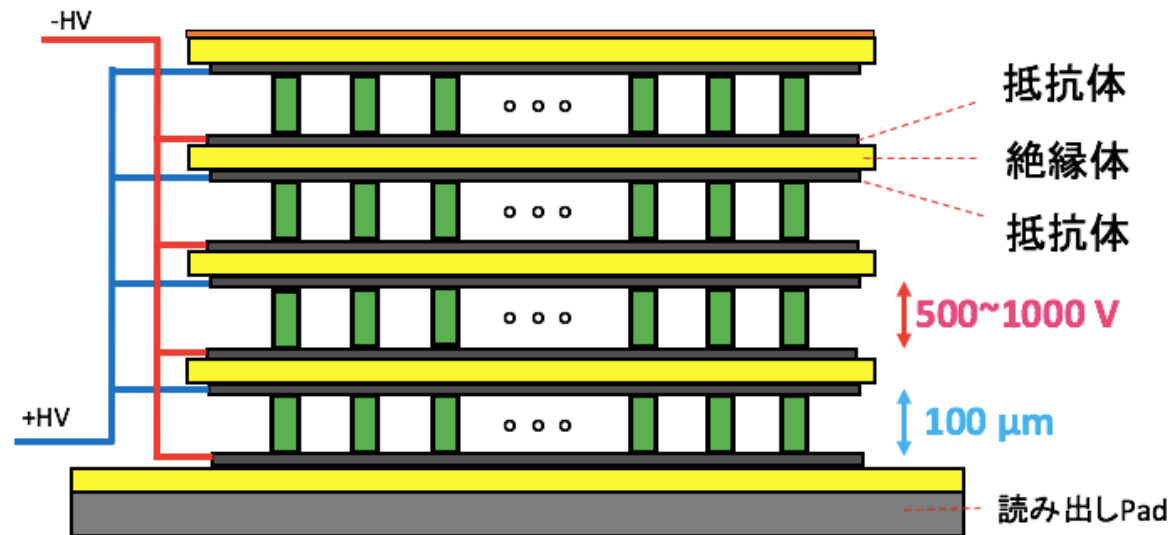
# PRODUCTION –Idea–

Idea

高抵抗膜として炭素スパッタ技術による  
**DLC** (Diamond Like Carbon) を採用

Approach

中間層としてバルクの抵抗体を使う代わりに  
ポリイミドの**両面**に薄膜抵抗体をつけたものを用いる

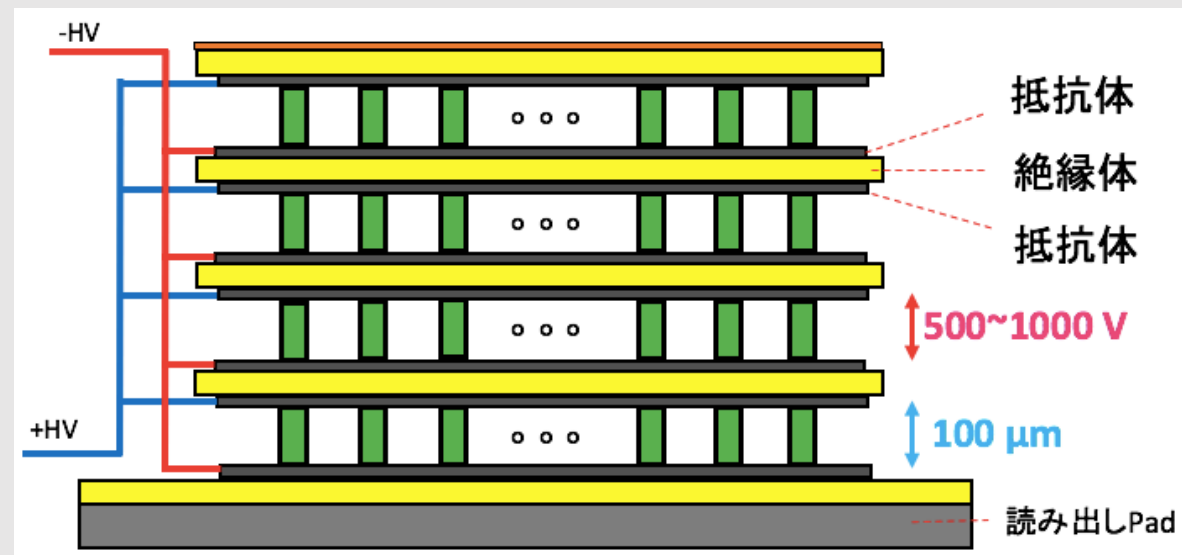


# PRODUCTION –Idea–

Idea

高抵抗膜として炭素スパッタ技術による  
**DLC** (Diamond Like Carbon) を採用

- 厚さ100 nm程度の薄膜の形成が可能
- 表面凹凸10 nm以下の安定性
  - 多層の積層化が可能



# PRODUCTION –Idea–

## Idea

高抵抗膜として炭素スパッタ技術による  
**DLC** (Diamond Like Carbon) を採用



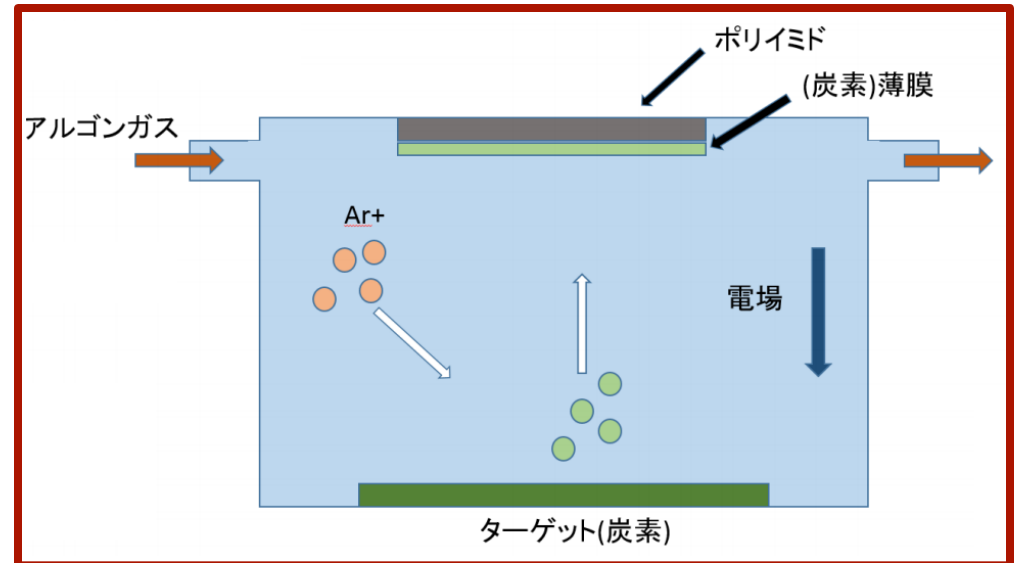
## Merit

- 100  $\mu\text{m}$ 以下のギャップが可能になり、10 ps以下の時間分解能が期待出来る
- 動作電圧が従来のRPCより圧倒的に低い (500~1000 V)
- 低物質質量で多層の積層化が可能
- 大面積化が容易

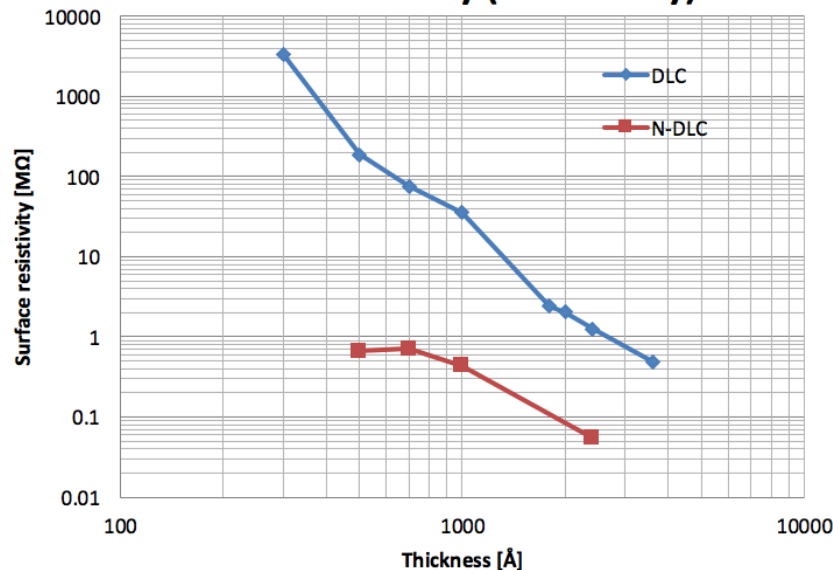
# PRODUCTION –Sputtering technology–

- 2013年に神戸大学がMPGD用の抵抗電極のために開発したprocess

- チェンバーにアルゴンガスを導入
- 電場で加速されたアルゴンイオンが炭素に衝突
- 炭素原子が叩き出される
- ポリイミドフォイルの表面に炭素の薄膜が形成される



Surface resistivity (Preliminary)

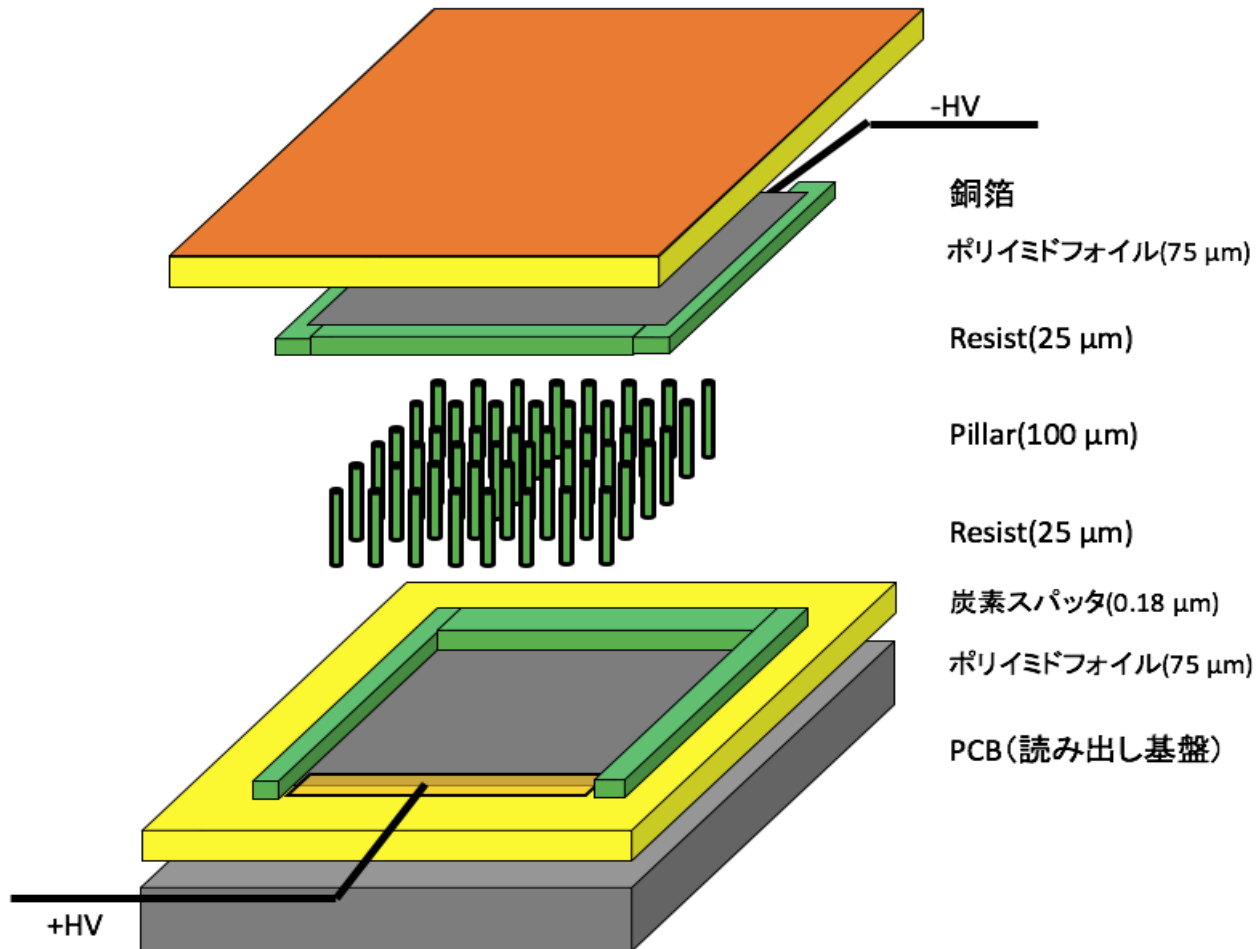


## Point

- 厚さ10 nm単位で作れる
- 1 m<sup>2</sup>以上のサイズのものが作れる
- 付着力が大きく物理・化学的に安定
- コストが若干高い

# PRODUCTION –Single Fast RPC–

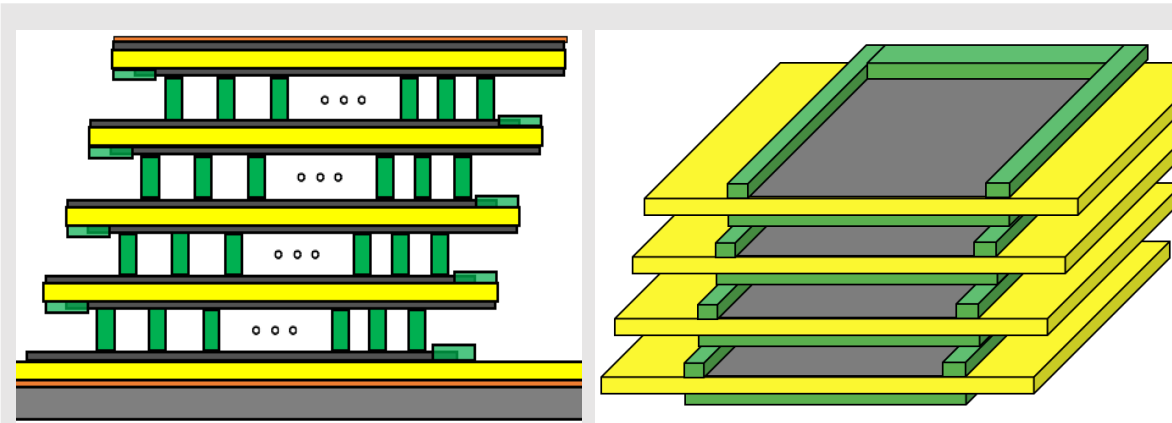
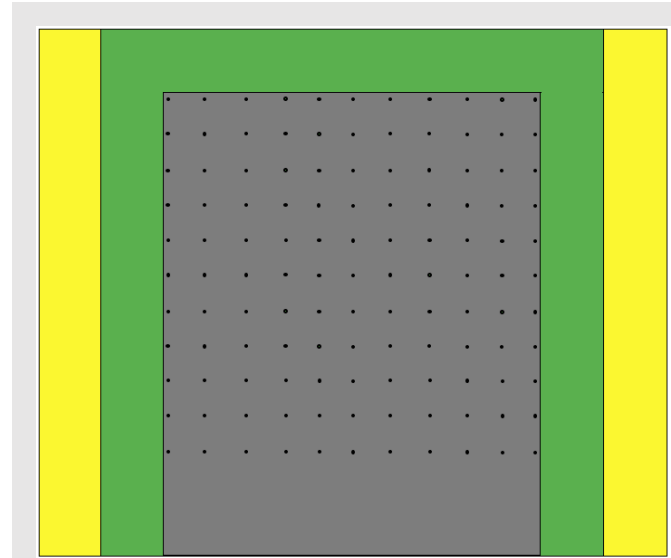
- 粒子検出器として機能するかを確かめるため、単層のRPCを作成
- 平行平板の上下2枚をそれぞれ作成し、重ねる



# PRODUCTION –Single Fast RPC–

## 製法

1. ポリイミドフィルム上に炭素をスパッタリング  
(Be-Sputter社)
2. スパッタの周りに放電防止のresistを形成  
(RAYTECH社)
3. スパッタ上にresistによるpillarを形成 (上部のみ)  
(RAYTECH社)
4. 組み立てる  
(小川)



## 構造

検出有効面積	: 30 mm*30 mm
Gas gap (pillar)	: 100 $\mu$ m
電極の厚さ	: 1800 $\text{\AA}$
電極の表面抵抗値	: 165~221 M $\Omega$ /口

# PRODUCTION –Single Fast RPC–

## 製法

1. ポリイミドフィルム上に炭素をスパッタリング  
(Be-Sputter社)
2. スパッタの周りに放電防止のresistを形成  
(RAYTECH社)
3. スパッタ上にresistによるpillarを形成（上部のみ）  
(RAYTECH社)
4. 組み立てる(小川)

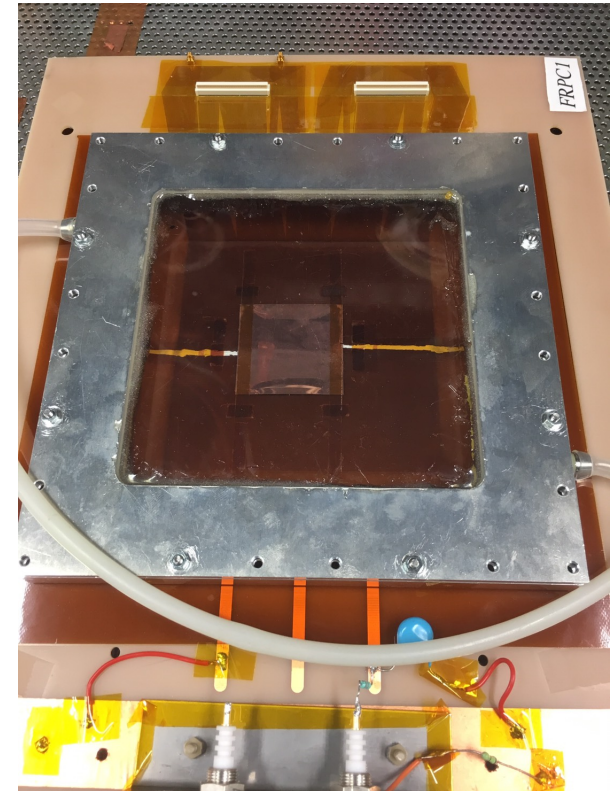
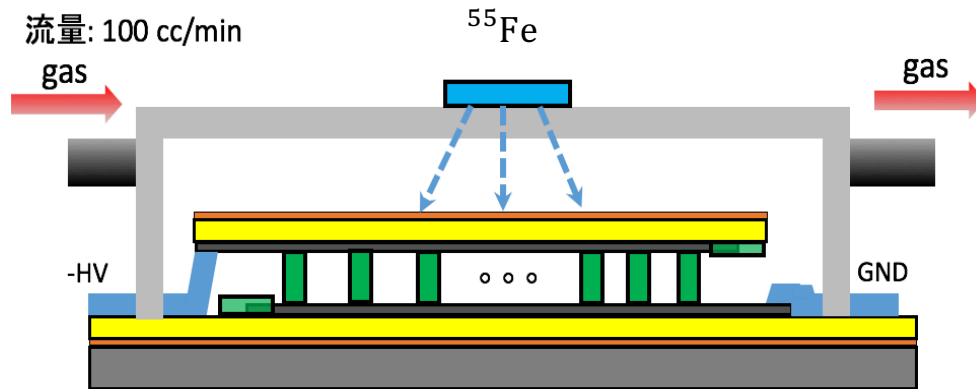




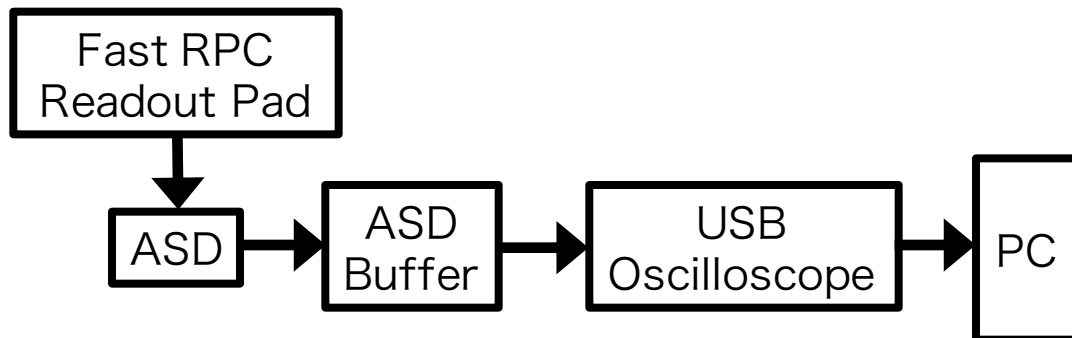
# Test measurement –Set up–

## Set up模式図

- 線源 :  $^{55}\text{Fe}$
- Gas :  $\text{Ar}/\text{C}_2\text{H}_6=90:10$



## Block diagram

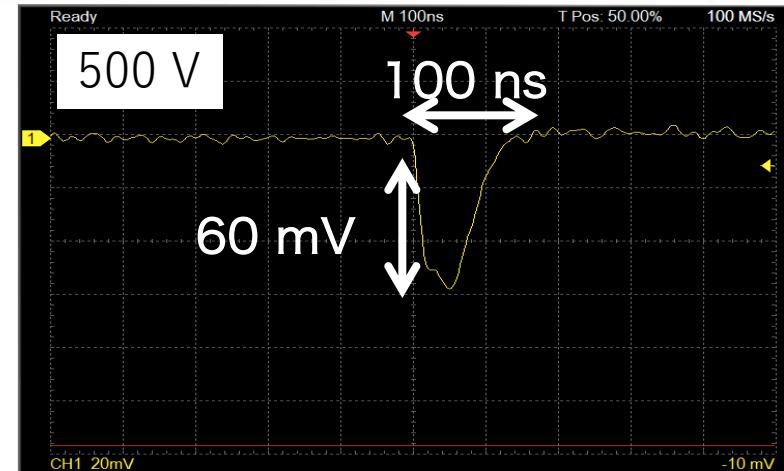


- ASDで電荷を電圧信号に変換
- USBオシロで波形確認・電荷測定

# Test measurement –Result–

## 信号の確認( $^{55}\text{Fe}$ )

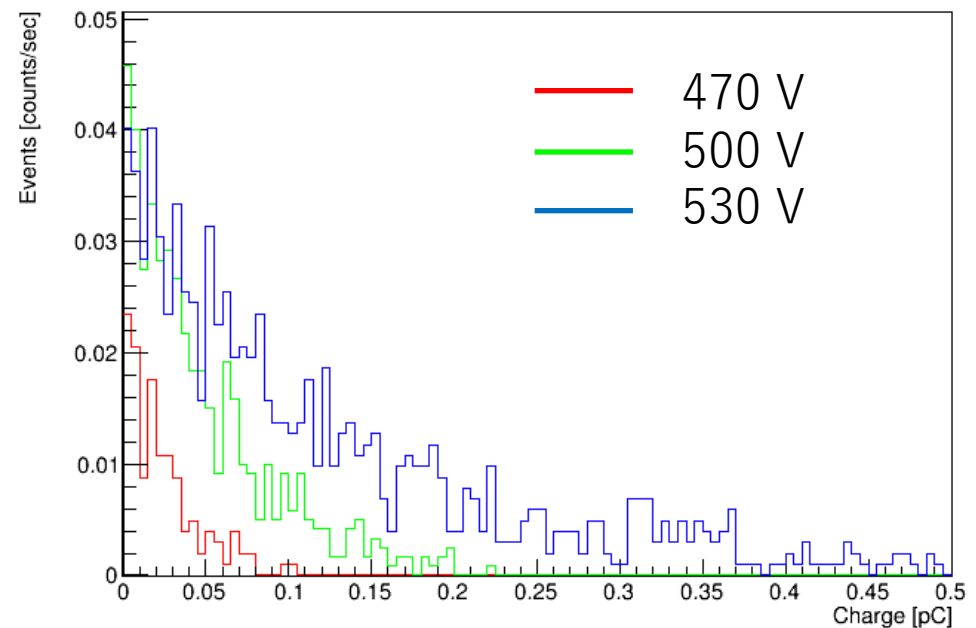
- Signal: @ >450 V
- Discharge: @ >550 V



## 電荷分布( $^{55}\text{Fe}$ )

- USC oscilloscope
- 10MS/s, threshold = -10 mV

- Preliminary
- Streamer modeにしては電荷が小さい



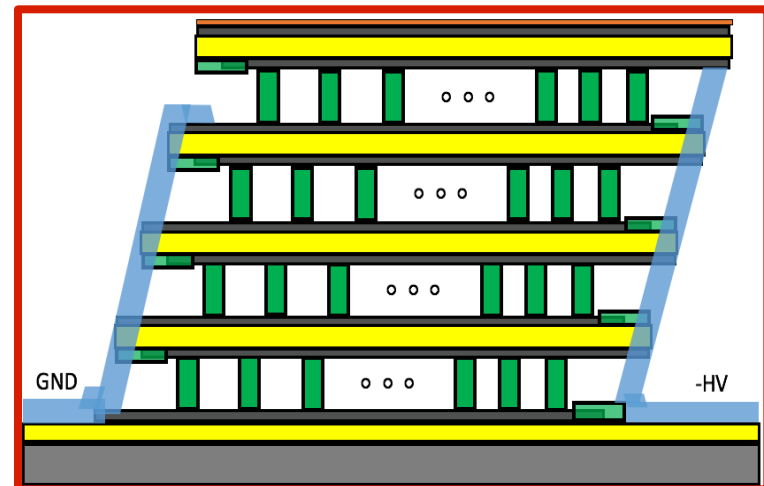
# Summary & Future prospect

## summary

- ピコ秒レベルの時間分解能を持つ測定器開発を目指す
- 炭素スパッタ技術を用いた高抵抗膜を積層させるRPCのデザインを考案した
- 試作品として単層のRPCを作成し、その基本動作確認を行った

## Future prospect

- Gas study
  - ガスの種類・割合について調査して比較
  - Ar/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, Ar/CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>/SF<sub>6</sub>/i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>
- 高速の時間差測定に対する読み出しの開発
  - 1ピコ秒程度を実現するためには、より高性能な読み出し回路を用いる必要がある
- 積層型RPCの試作・動作確認
  - ポリイミドフィルの両面に炭素スパッタによる高抵抗膜を形成したものを、試作した単層RPCの間に積層する
  - HVの供給方法が課題



Back up

# 指導教員 (越智敦彦)



# Simulation –Garfield++–

## Garfield++を用いたSimulation

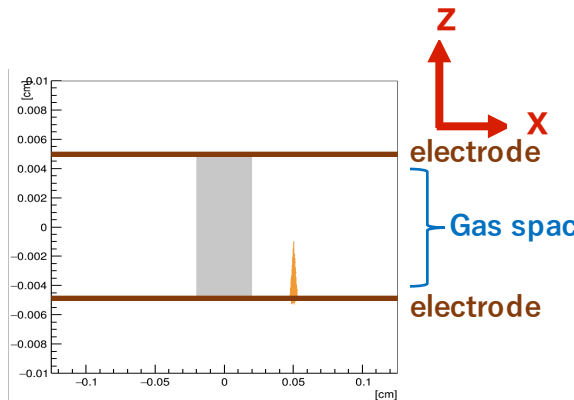
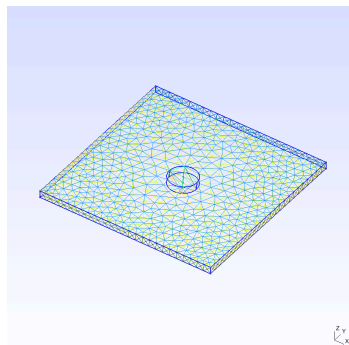
作成するRPCのgapは非常に薄い

Gap: 100  $\mu\text{m}$ , ガスが流入する隙間の実質gap: 50  $\mu\text{m}$

- 簡略化した構造でのGain、最適な動作電圧の検証を行う

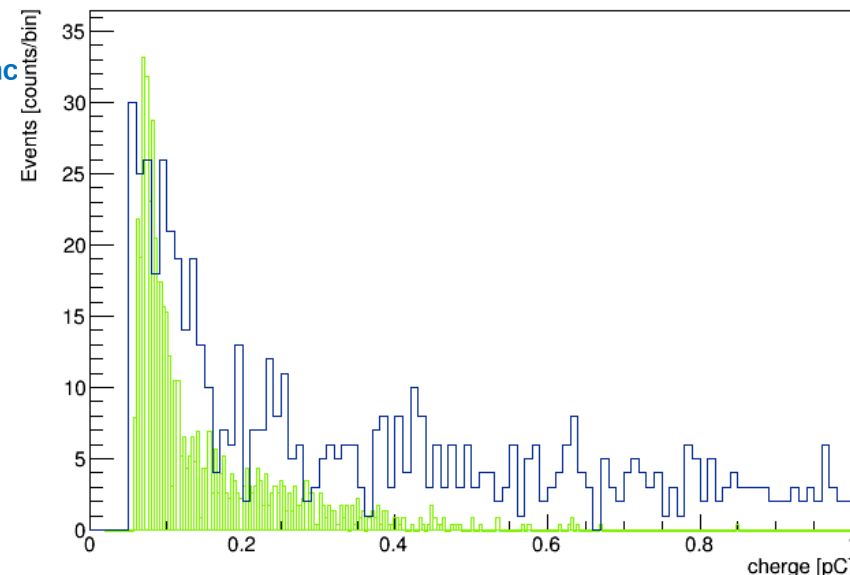
**Gmsh** Geometryを作成→meshを計算

**Elmer** 電場計算



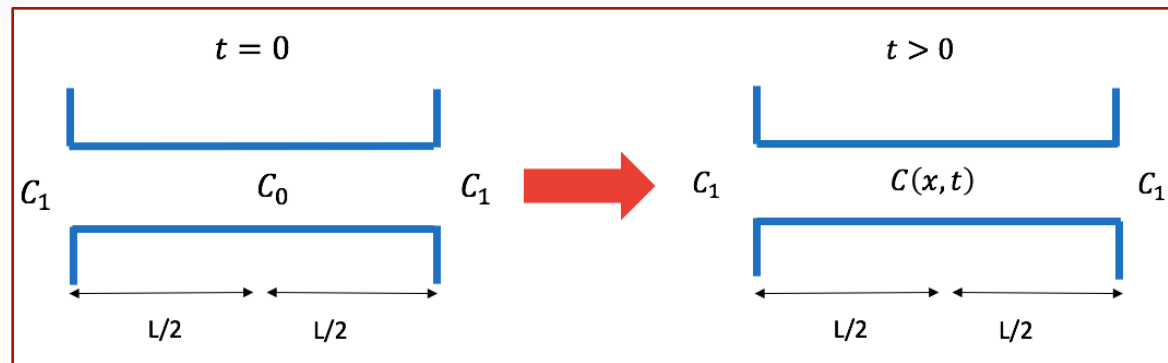
- 測定値との比較

**Garfield++** ガス領域内で定点で電子を1つ発生させ、終電子数から増幅率を求める





# 矩形管における気体の拡散(1次元)



$$\frac{C(x, t) - C_0}{C_1 - C_0} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cos \frac{(2n+1)\pi x}{2L} \exp \left( -D \left( \frac{2n+1}{2L} \right)^2 t \right)$$

