

# Cathode読み出し型 Straw Chamberの高計数率化

久野研究室 M1 山田 薫

# Outline

- Introduction
  - ✦ 実験的動機
  - ✦ Straw Chamber
  - ✦ Cathode読み出し
- Cathode読み出し型Straw Chamber
  - ✦ 性能
  - ✦ charge upの問題
- 新しいCathode読み出しの方法
  - ✦ 比較
  - ✦ 性能評価
- まとめと今後

# 実験的動機

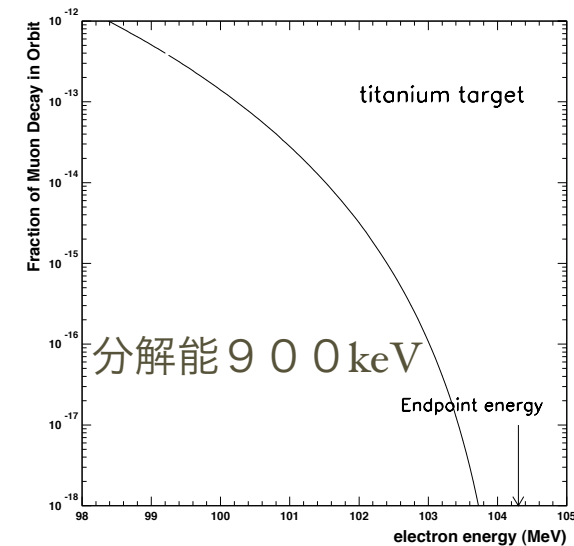
## PRIME(PRISM Mu e)

### $\mu \rightarrow e$ 転換反応

- ・ SMでは許されないLFV(lepton flavor violation)反応
- ・ SUSY-GUTによると分岐比  $10^{-16}$  以下

検出器への要請

- ・  $10^{-16}$  に迫るための耐高計数率
- ・ 電子の精密エネルギー測定



高計数率に耐え物質量の少ないトラッカーが必要

Straw Chamber が最適

しかし、要請を満たすにはさらに物質量を減らすことが必要

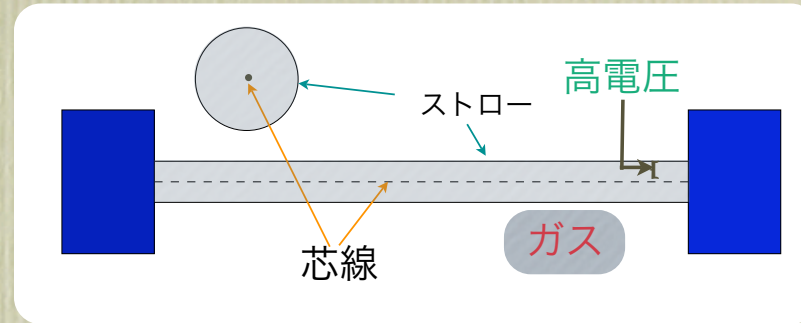
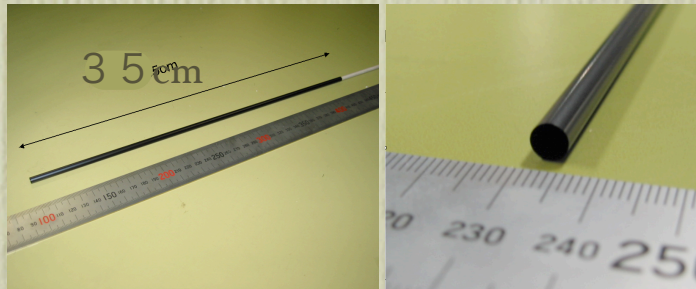
Cathode読み出しすることでそれが可能

高計数率に耐える  
Cathode 読み出し型Straw Chamber が必要

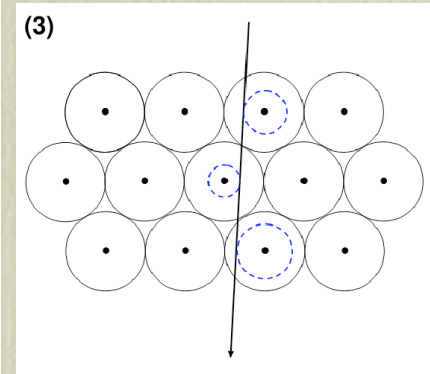
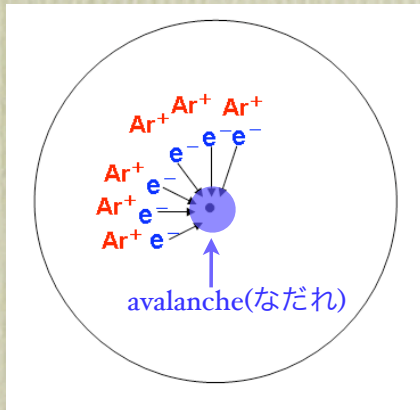
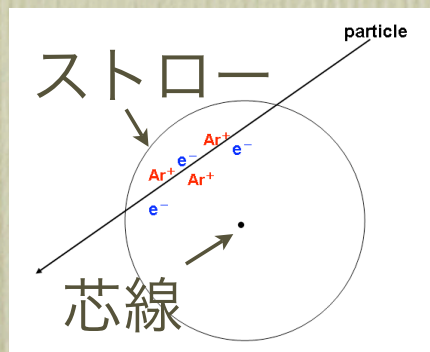
# Straw Chamberとは何か？

Straw Chamber

円筒型のDrift Chamber



ドリフトタイムから一次電子ができた場所がわかる。



数層並べる事によりストローに垂直な方向の飛跡が分かる。

# Cathode読み出し

anode読み出し

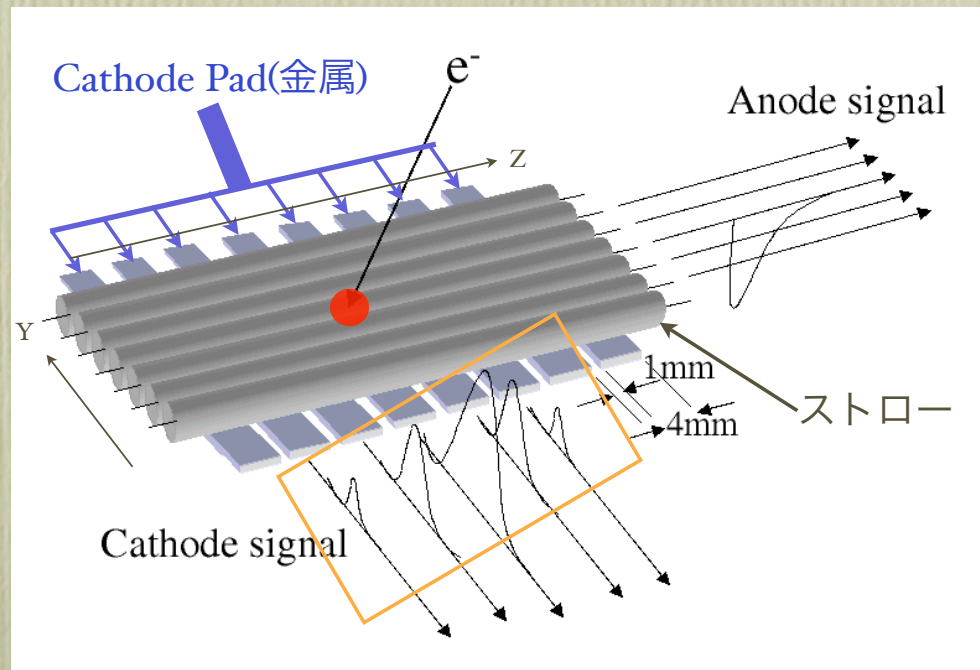
- ・一般的なストローの読み出し
- ・ストロー垂直方向 1次元の位置情報しか得られない。

cathode読み出し

- ・ストローの軸方向の位置を知ることができる。

二つを組み合わせる事でストロー1本で2次元の情報が得られる。

## Cathode読み出しの方法



電荷分布から位置情報を得る。

しかし、

ストローが導体だと、シールド効果により中の電荷を見る事ができない。

抵抗を持ったストローが必要

以前までに2種類の  
ストローを開発

# Straw Chamberの特徴

- ・ 細分化されており、且つ円形なので耐久性が強く真空でも変形しにくい
- ・ 物質量が少ないことによる高エネルギー分解能
- ・ 隣接するチャンネルとの電氣的な分離がよい
- ・ 高計数率に強い

## Cathode読み出しの特徴

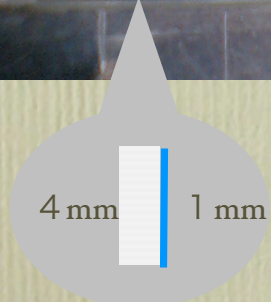
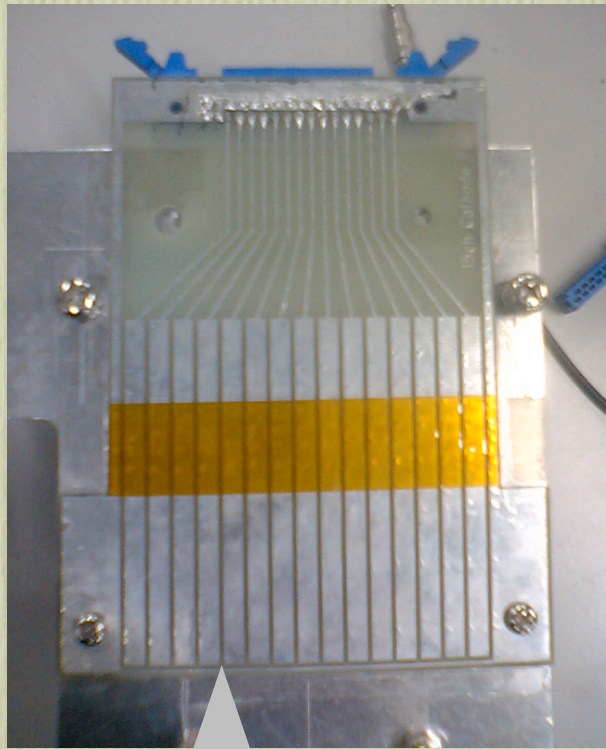
- ・ ストローを1本で2次元トラッキング可能
- ・ ビーム軸と平行にChamberを並べるセットアップでも2次元トラッキング可能
- ・ 物質量減少によるさらなる高エネルギー分解能

しかし、ストローが抵抗を持つと

高計数率時にCharge Up という問題がある

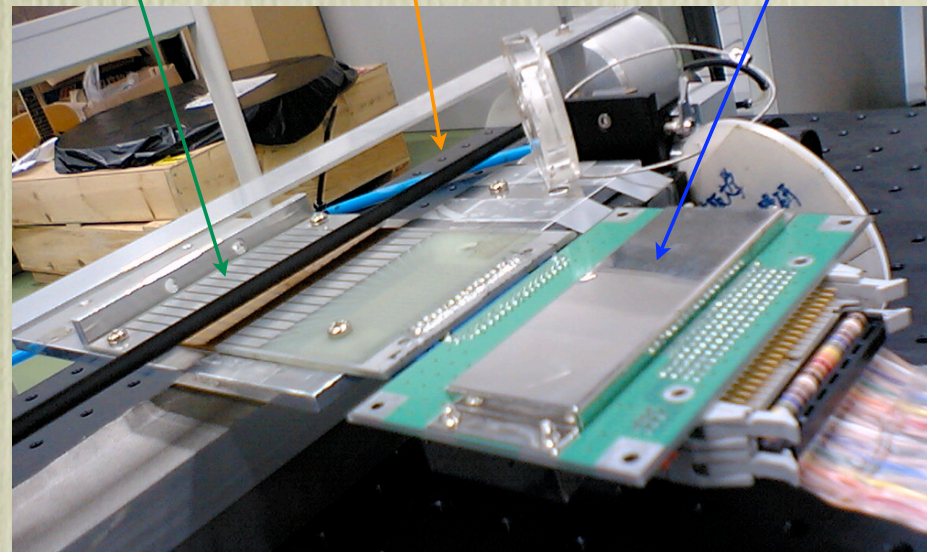
# Cathode読み出し型Straw Chamber

16ch Cathode Pad



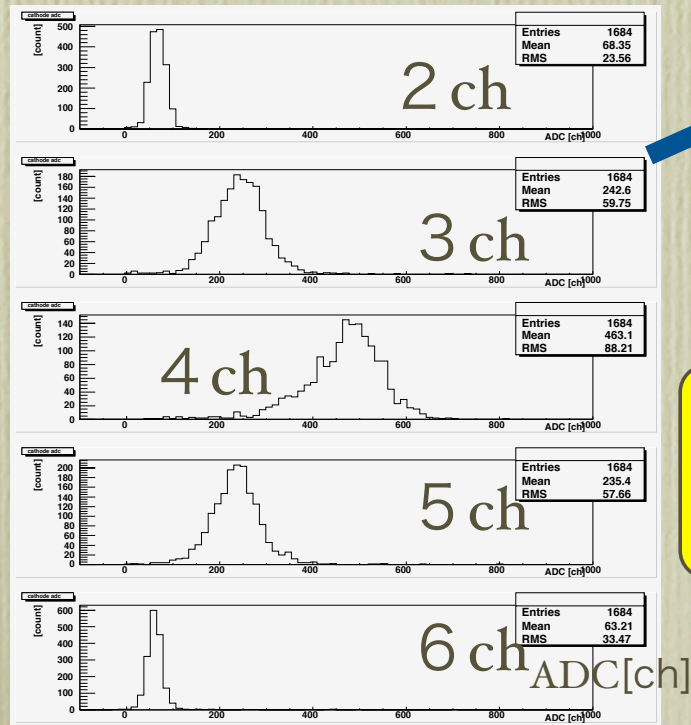
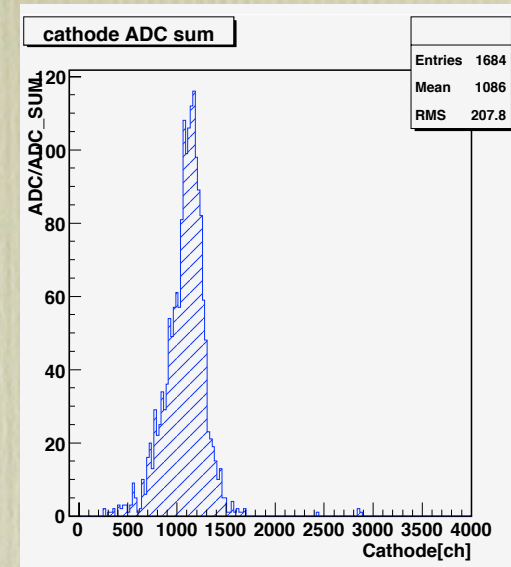
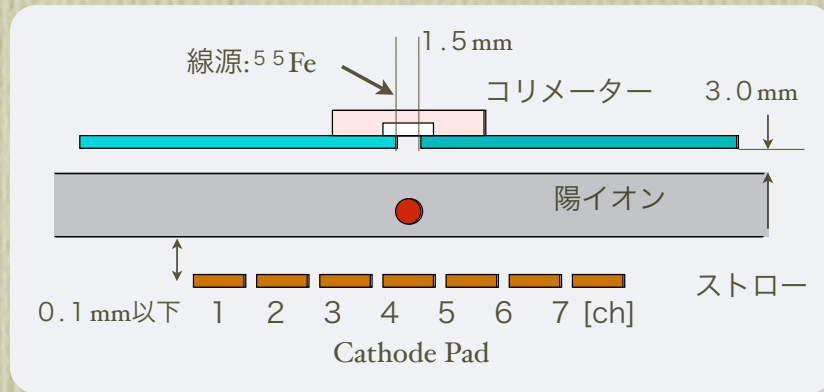
3.3 M $\Omega$ / $\square$ の抵抗を持つPEEKストローチューブ

Cathode Pad      PEEKストローチューブ      pre AMP

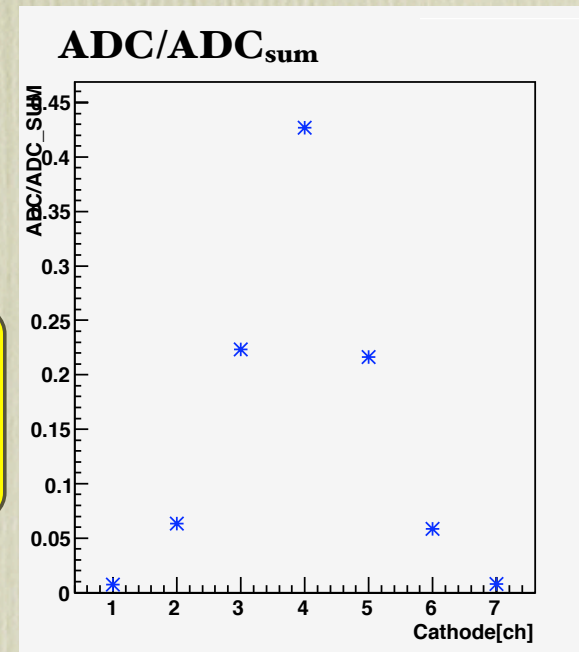


ガス Ar: 50, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>: 50

# Pad上の電荷分布



分布の割合が  
位置情報を持つ





# 位置決定(Charge Ratio法)

- ・ 鏡像法よりpadに誘起される電荷を計算

$$Q_i = -\frac{q}{2\pi} \int dx \int dy \frac{d}{((x - x_q)^2 + (y - y_q)^2 + d^2)^{3/2}}$$

- ・ 3 ch分の電荷分布から各hit位置に関して

Charge Ratio:

$$R^{th} \equiv \frac{Q_0^{th} - Q_{-1}^{th}}{Q_0^{th} - Q_{+1}^{th}}$$

を求めRatio Tableを作成

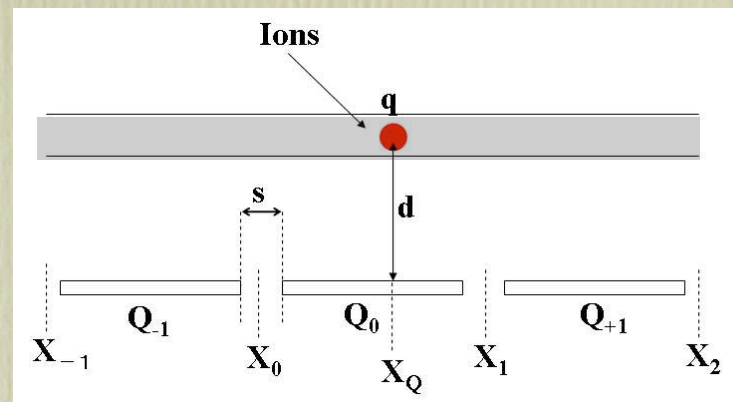
- ・ データからRを計算、Tableと比較してhit位置決定

シールド効果などがあり、そのままでは予想値とdataは不一致



距離dを実際の距離より長い $d_{eff}$ に最適化することによりdataに近づく

$d_{eff}$  : effective gap



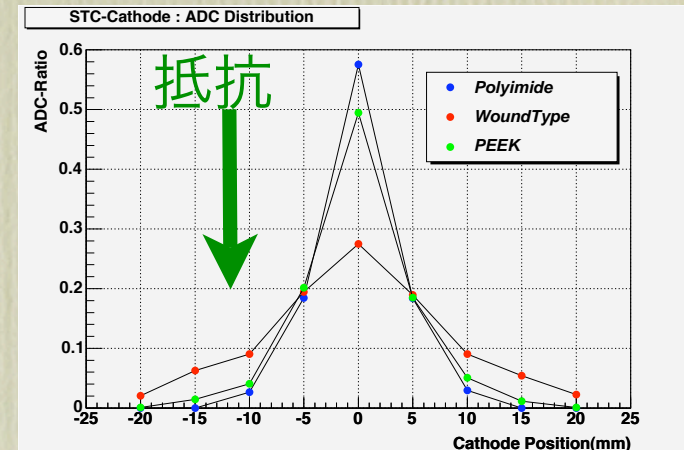
1 mm間隔、4 mm幅のPadで  
**1 mm以下**の位置分解能を実現

# これまでに測定された位置分解能

- ・ 3種類のストローでコリメートした $^{55}\text{Fe}$ 線源を用いて測定。

ストロー	素材	抵抗
ポリイミド	熱硬化性ポリイミド	6 M $\Omega$ / $\square$
*PEEK	熱可逆性PEEK	3.3 M $\Omega$ / $\square$
Wound(従来型)	KaptonXC	700 k $\Omega$ / $\square$

\*PEEK=ポリエーテルエーテルケトン



全電荷量で規格化した各chのADC

## 位置分解能

抵抗 ポリイミド : 0.42 mm

PEEK : 0.46 mm

Wound : 0.63 mm

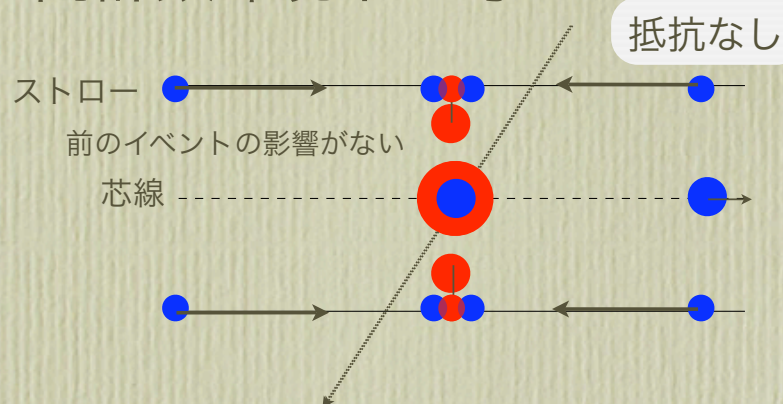
抵抗が大きいほうが分解能はよい。

しかし、

抵抗が大きいと **charge up** が問題になる。

# Charge Up

## 高計数環境下を考える



簡単な等価回路で考えると

PEEKストロー 250cm で電圧降下 1V に抑えるには

1本あたり **23 kHz**

$\mu \rightarrow e$  転換実験では **数百kHz** に耐えることが必要!

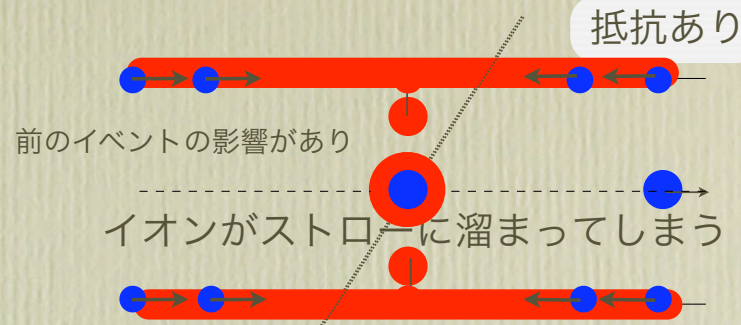
Charge upを防ぐにはイオンを早く中性化する事が必要

ストローをG.N.D.に落とす事が必要

何かいい方法はないだろうか?

ヒューストン大 アランさんの提案

Cathode Padを直接ストローに貼ったらどうだろうか?



**Charge up** 実効電圧の低下

# ストローとCathode Padを電氣的に接触

## プラス

Cathode Padを通してG.N.Dに落ちる。

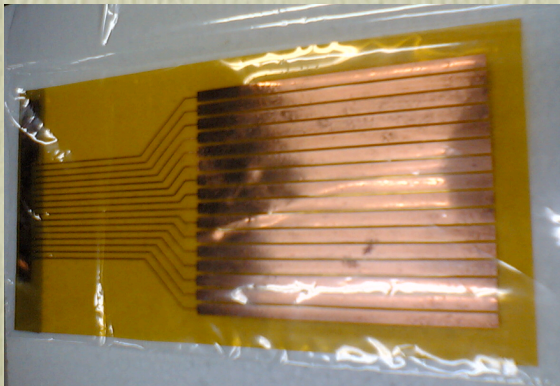
## マイナス

Pad間がストローを通して電氣的につながれてしまう。

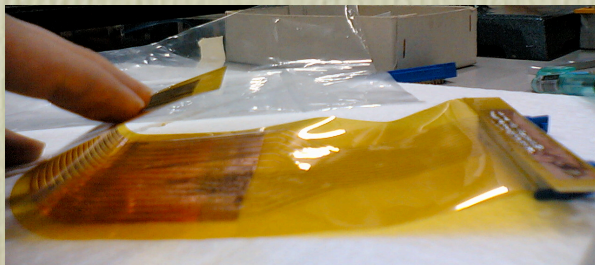
## 新しいCathode Pad

接着するために薄く柔らかいCathode Padをつくりストローに導電性接着剤で接着する。

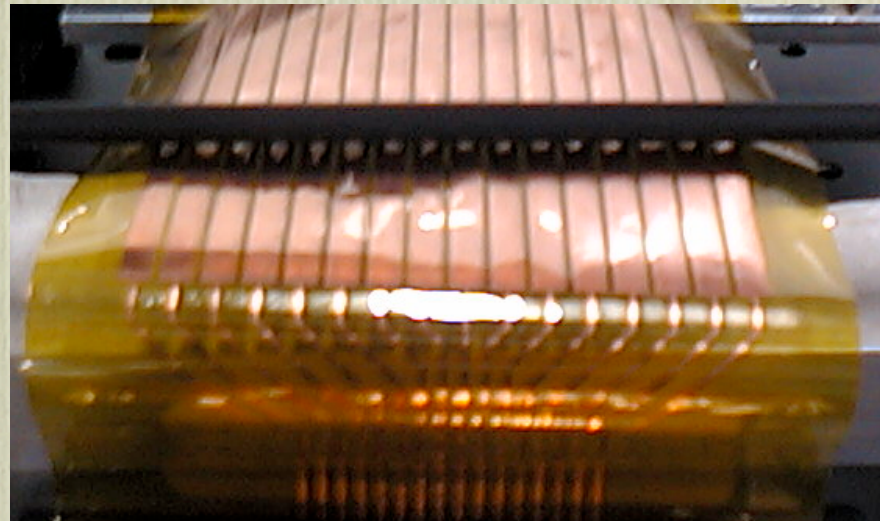
- ・フレキ:ポリイミド15 $\mu$ m
- ・Cathode Pad:銅9 $\mu$ m
- ・ストローはPEEKを使用
- ・接着後Pad間抵抗はストローにより平均800k $\Omega$



薄型Cathode Pad (上から)



薄型Cathode Pad (側面から)

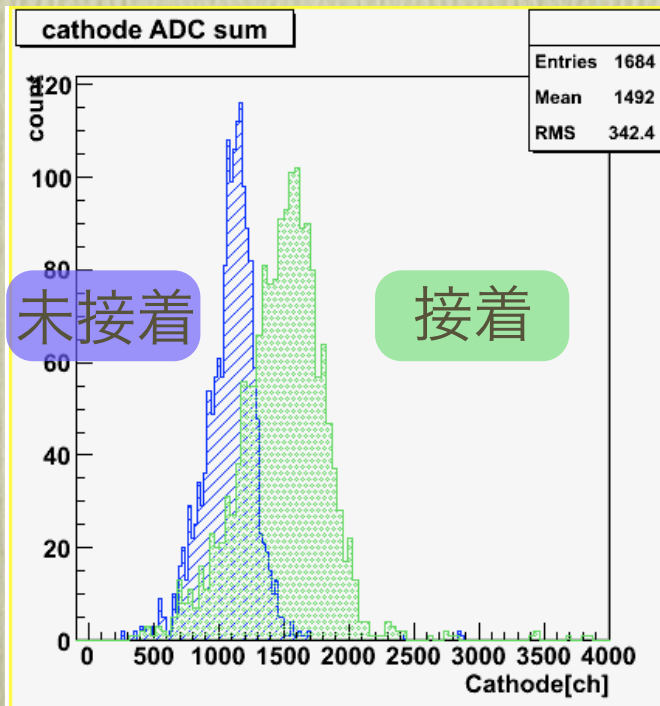


接着したStraw Chamber

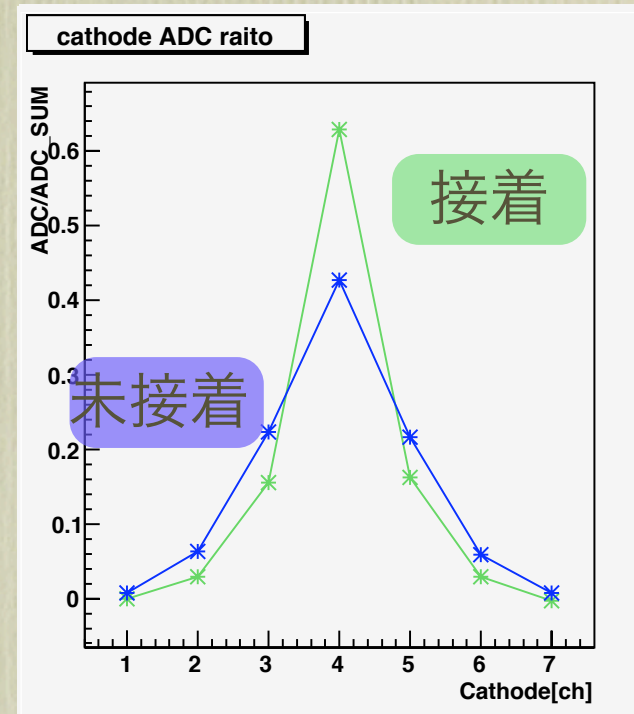
# 接着Padの電荷分布

## 信号が見えた！！

生信号、ADC総和、各chのADC分布を比較。



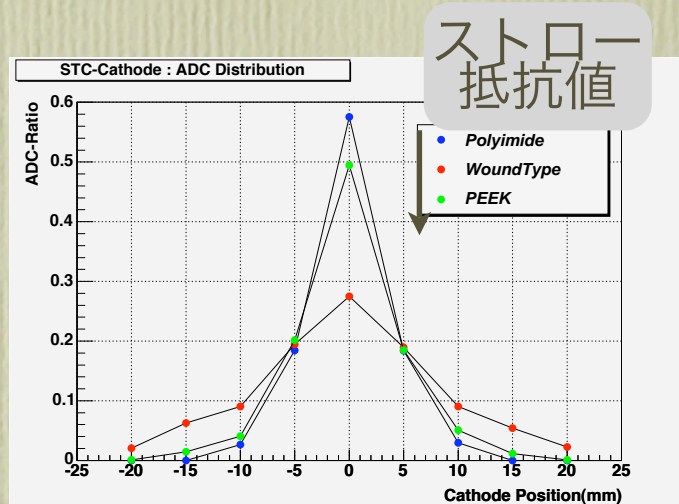
全誘起電荷量が増加



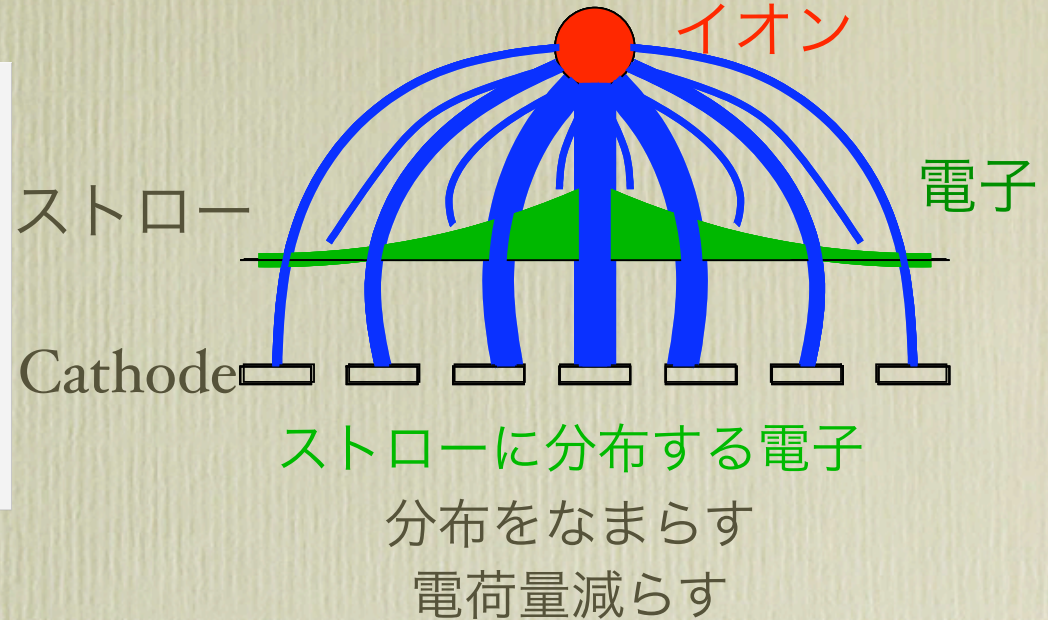
分布が鋭い

なぜか？

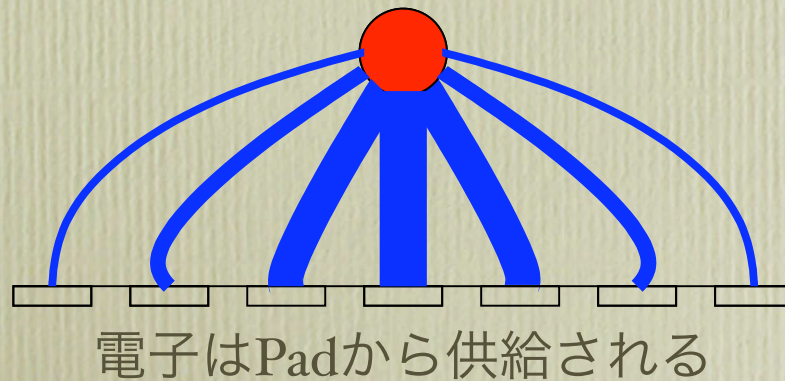
# 定性的な考察



## 未接着Cathode Pad



## 接着Cathode Pad



貼る事により、余分な電子も信号にした！！

**電荷量増加 分布鋭く**

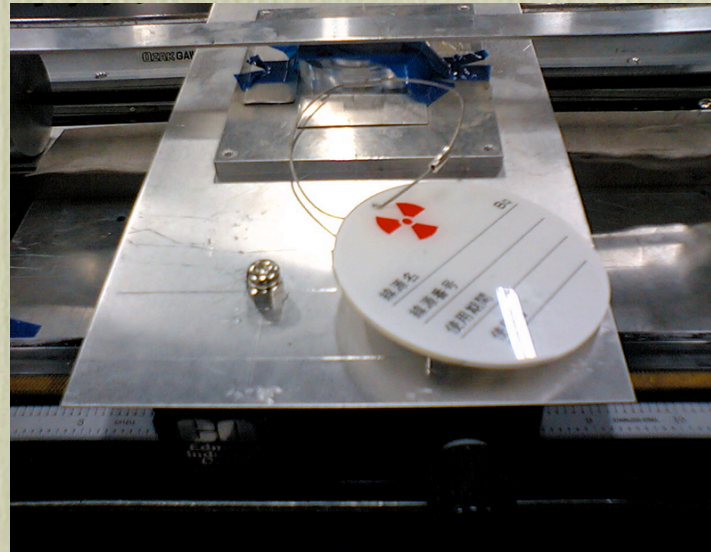
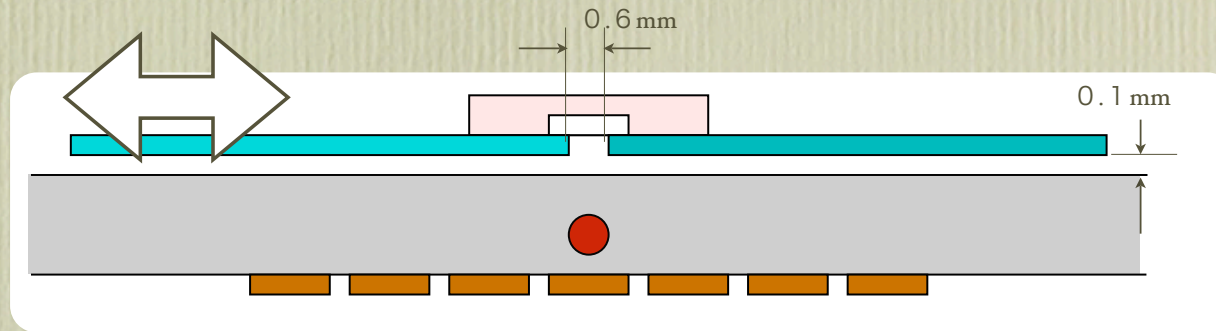
そしてこれこそが

**Charge Upを防ぐ！**

# 位置分解能の測定セットアップ

$^{55}\text{Fe}$ をコリメートし動かしてdataを取得

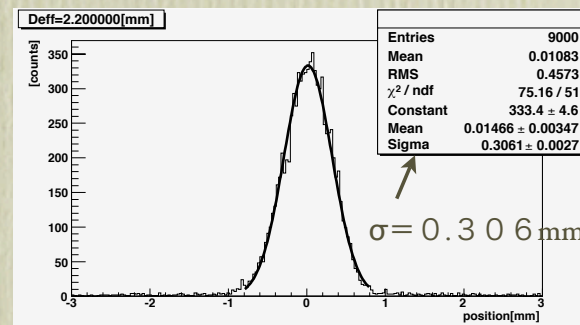
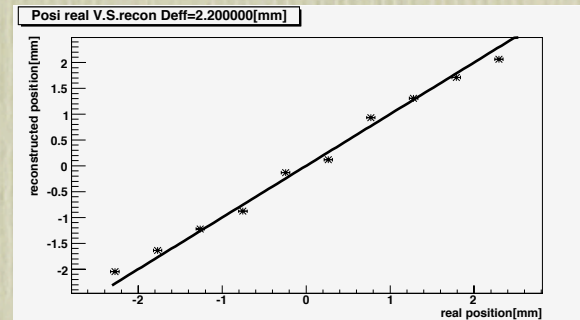
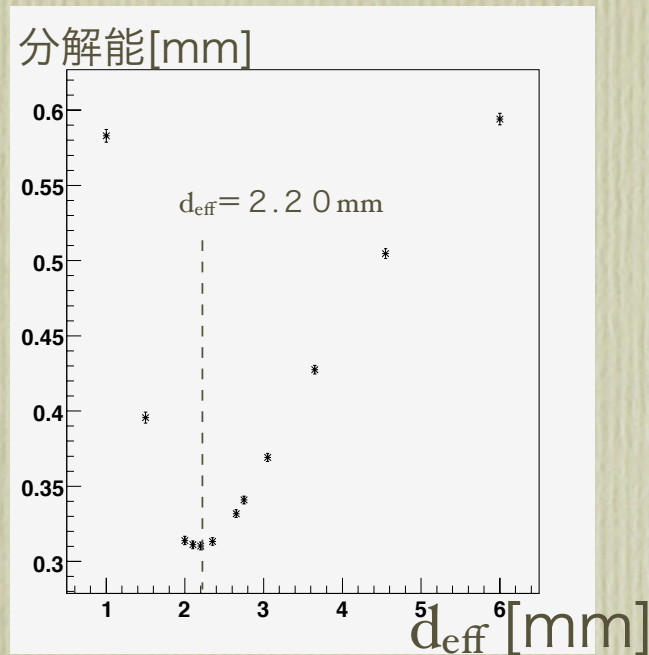
- ・ Padの繰り返し周期5 mmを0.5 mmずつ10点測定
- ・ 位置決定の精度は $\pm 0.05$  mm



# 位置分解能の結果

全測定点で  $\Delta X = X_{\text{real}} - X_{\text{rec}}$  を求め、位置分解能を決定。

いくつかの  $d_{\text{eff}}$  で位置分解能を決定し、最適の  $d_{\text{eff}}$  を決定。



Cathode Padを貼っても問題なく、むしろ分解能が良い

しかし、実際のChamberではストロー100本ほどを一つのCathode Padで読みたい。



ストローによるCathode間の抵抗が減ってしまう。  
多くのストローをつなぐとどうなるだろうか？



# ストローが多数本の場合

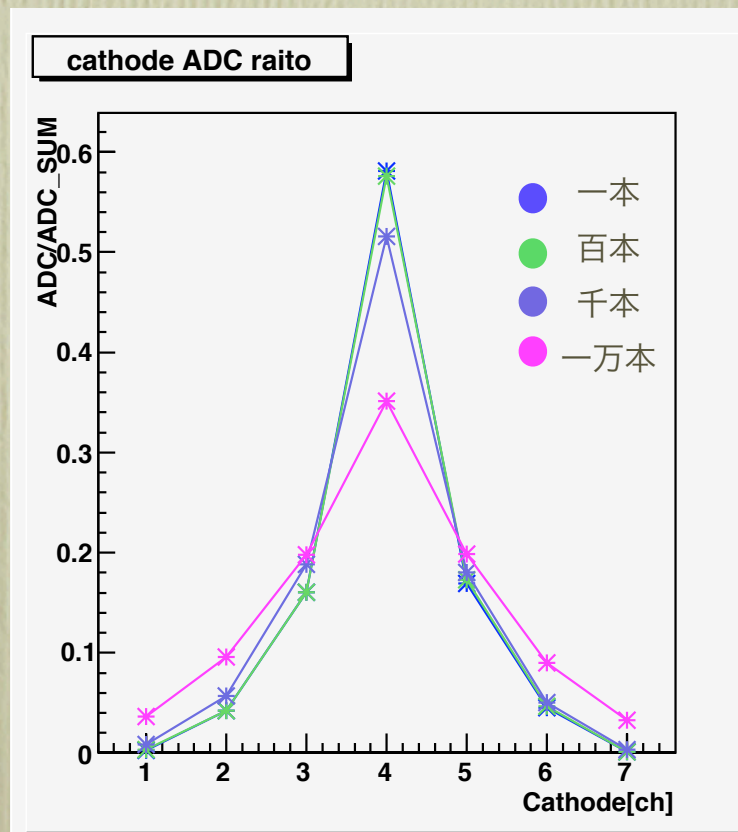
接着するストローが増えるPad間の抵抗値は落ちていく

Pad間に実際に抵抗をつなぐ事で多数本の状況を実現

Pad間 8k $\Omega$ 、700 $\Omega$ 、60 $\Omega$ で電荷分布を測定

ストロー1本：800k $\Omega$ とすると

1本	: 800k $\Omega$
100本	: 8k $\Omega$
1000本	: 800 $\Omega$
10000本	: 80 $\Omega$



100本程度では影響は見えない

1000本では多少影響が見える

10000本ではかなり影響が見える



プリアンプの入ットインピーダンス：80 $\Omega$

そのオーダーまでは問題ないと考えられる。

多数本のChamberにも直貼りは使える！

## まとめと今後

- これまでにStraw ChamberのCathode読み出しに成功していた。
- Charge upという問題が示唆され、ストローをG.N.D.落とす事が必要となった。
- それを解決しうるCathode Padの直貼りという新しい読み出し方法に成功した。
- 位置分解能は0.3 mm程度となり、接着前よりよくなった。
- 多数本でも使用できると考えられ、実際のChamberとして使用できることを証明した。
- 実際にCharge upを抑える効果があるかどうかをテストするため、阪大産研の高強度 $^{60}\text{Co}$ 照射施設での高計数率下の動作実験を計画中である。