

# 素粒子実験に用いるガス検出器の原理と動作

## 内容

1. 目的
2. ガス検出器による荷電粒子の飛跡の測定
3. スパークチェンバーの原理
4. 設計と製作
5. まとめ

柴田研究室

鈴木研人

# 1. 目的

素粒子物理実験において**荷電粒子の飛跡**の測定に用いるガス検出器の原理を学ぶ。

その中でも粒子の飛跡測定の入門である「スパークチェンバー」を実際に製作する。

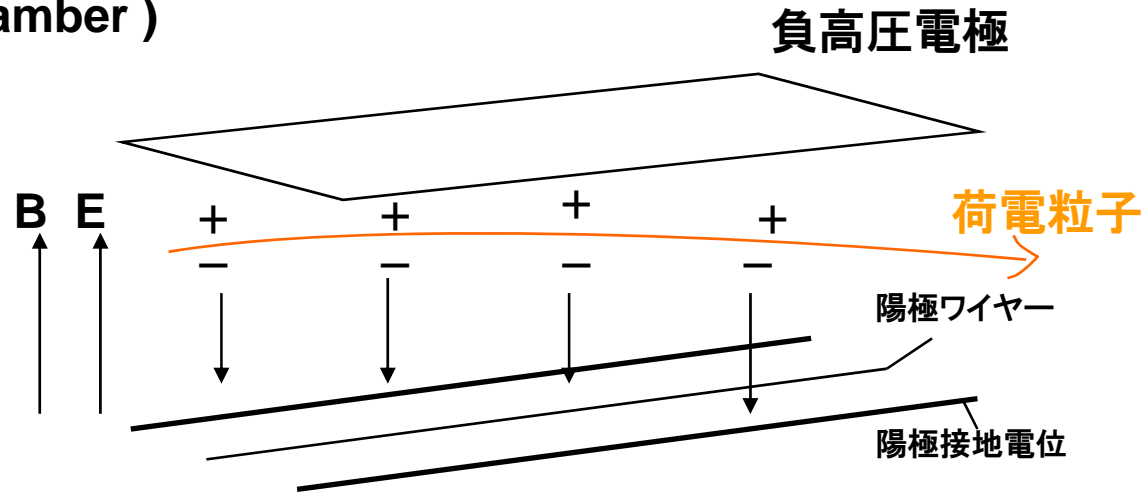
製作をする際に必要な、荷電粒子とガス原子の相互作用についても学ぶ。

## 2. ガス検出器による荷電粒子の飛跡の測定

### ◎ TPC ( Time Projection Chamber )

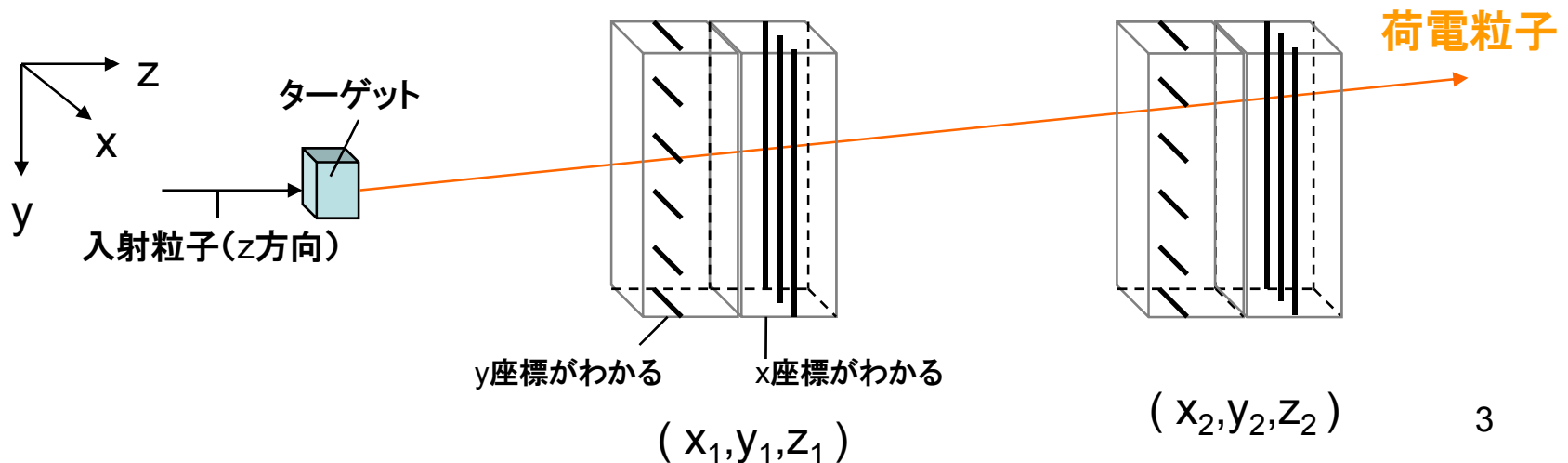
荷電粒子の飛跡が直接測定できるガス検出器。

電離電子が生成されてから、陽極ワイヤーに取り込まれるまでの時間を計測する。

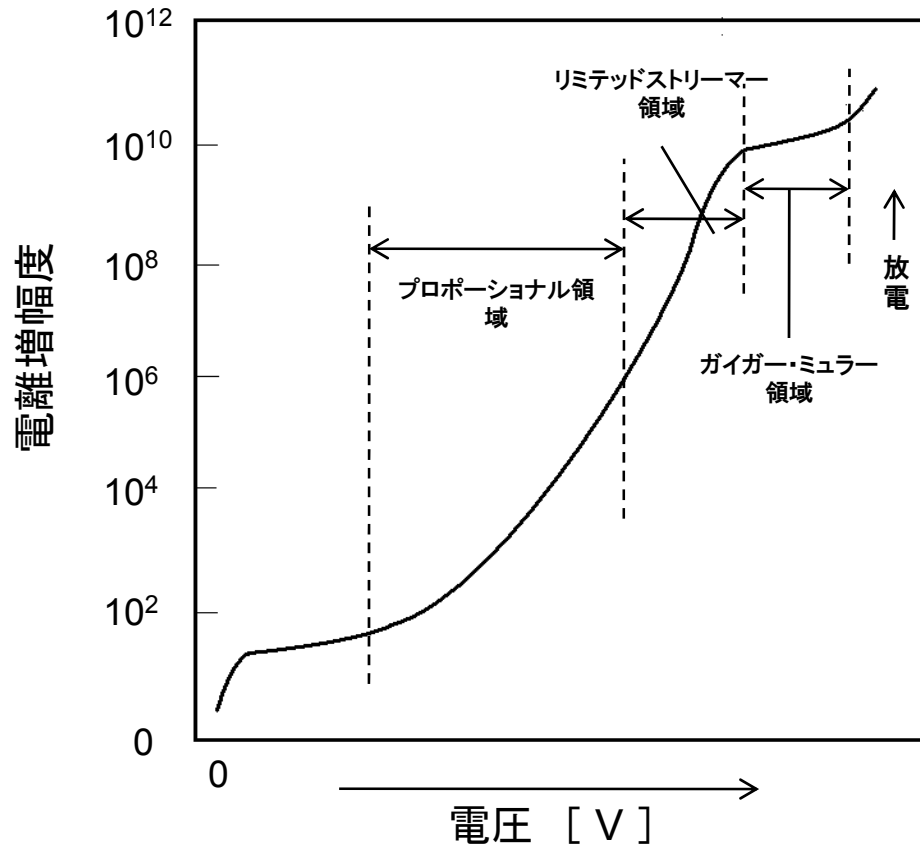


### ◎ ドリフトチェンバー ( Drift Chamber )、MWPC ( Multi Wire Proportional Chamber )

荷電粒子の位置を測定するためのガス検出器。



これらの検出器では電離増幅は陽極ワイヤーのごく近傍で起こる。  
下のグラフは各電圧での電離増幅度を示す。



それに対し、これから説明するスパークチェンバーは荷電粒子の飛跡に沿って電離増幅を起こす検出器である。

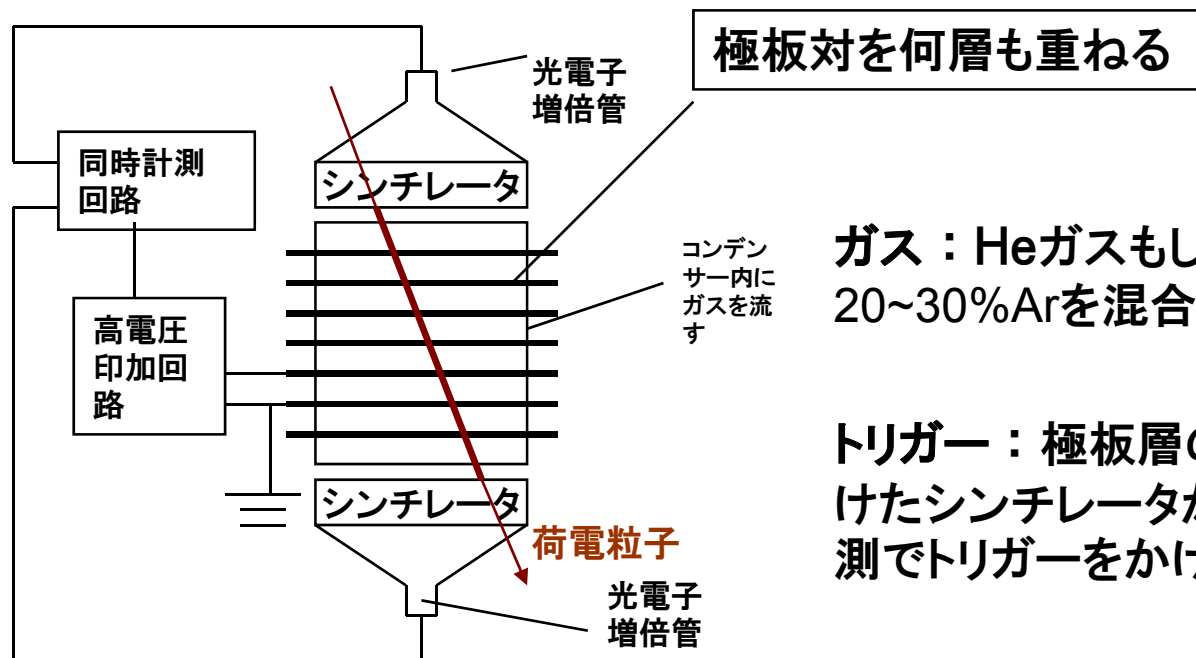
# 3. スパークチェンバーの原理

## スパークチェンバー

福井宗時氏・宮本重徳氏らによって1957年に開発された。

スパークチェンバーを用いることによって二次宇宙線(主に $\mu$ 粒子)を観測できる。かつては粒子加速器を用いた素粒子物理実験でも用いられた。

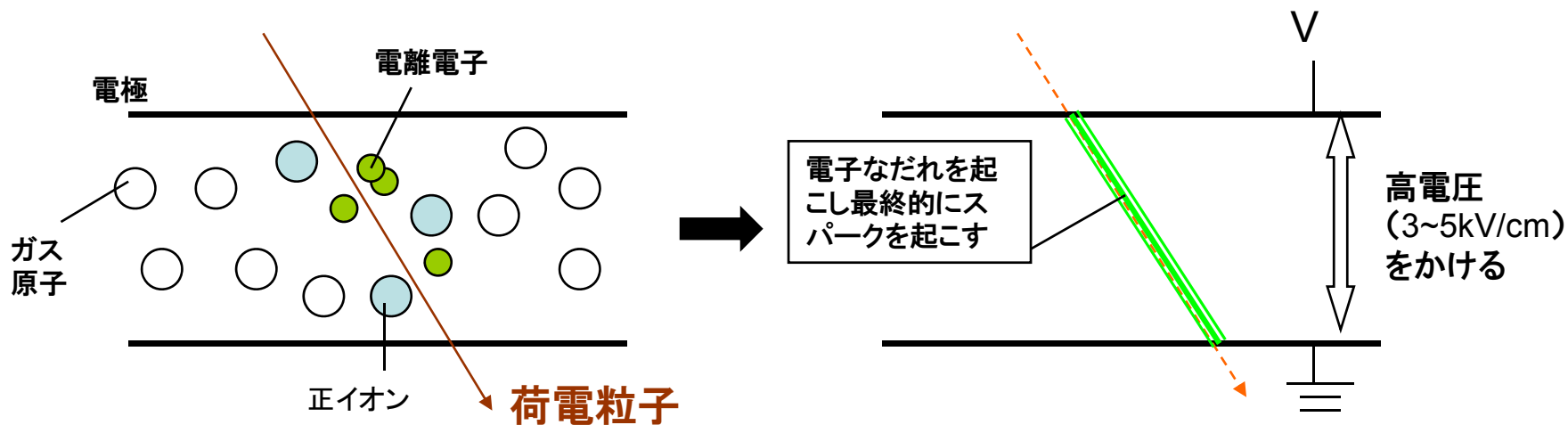
スパークチェンバーは荷電粒子の飛跡を測定するためのガス検出器の入門なので、今回製作を行っている。



ガス：HeガスもしくはNeに20~30%Arを混合したものをを用いる。

トリガー：極板層の上下に付けたシンチレータからの同時計測でトリガーをかける。

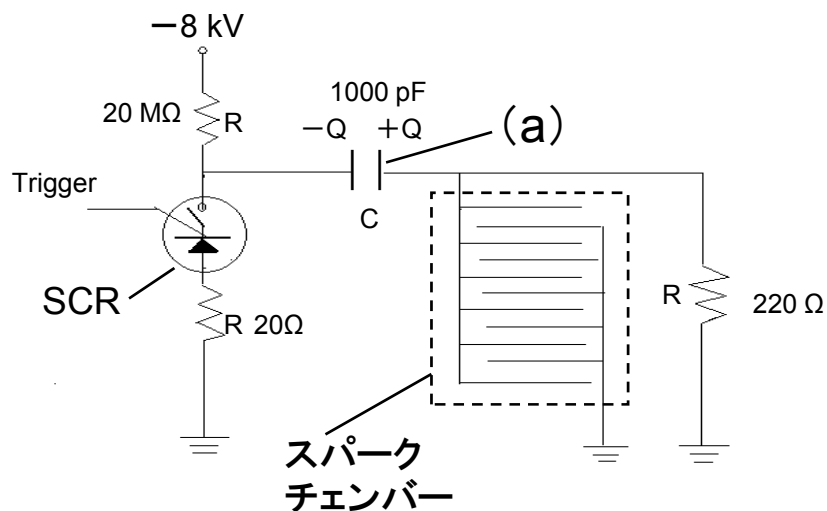
# 動作原理



電極対を何層も重ねることにより荷電粒子の飛跡をスパークによる発光として目視することが可能。

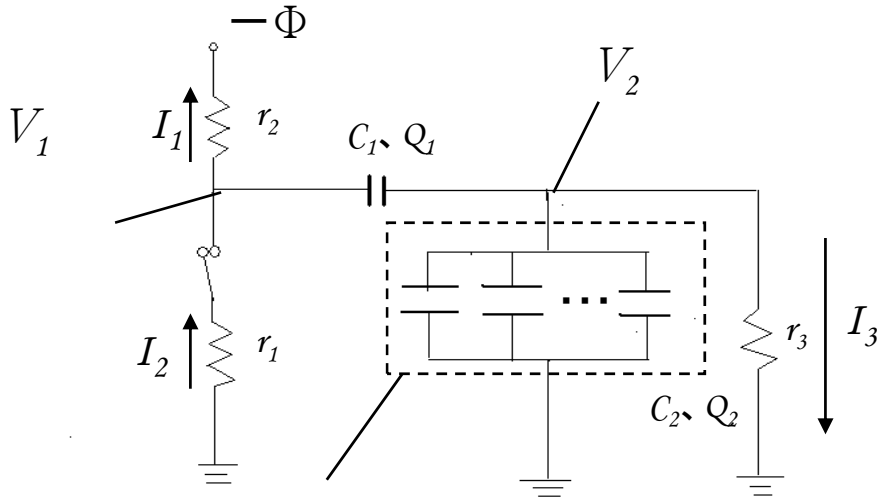
シンチレータからの同時計測でトリガーがかかると、電気信号は右図の高電圧印加回路に伝わる。SCRはその電気信号が伝わってから瞬時にスイッチONに切り替えるためのものである。

この時コンデンサー(a)に蓄えられていた電荷Qはスパークチェンバーへと流れ、最終的にトリガーがかかってから500ns以内でスパークチェンバーに高電圧を与える。



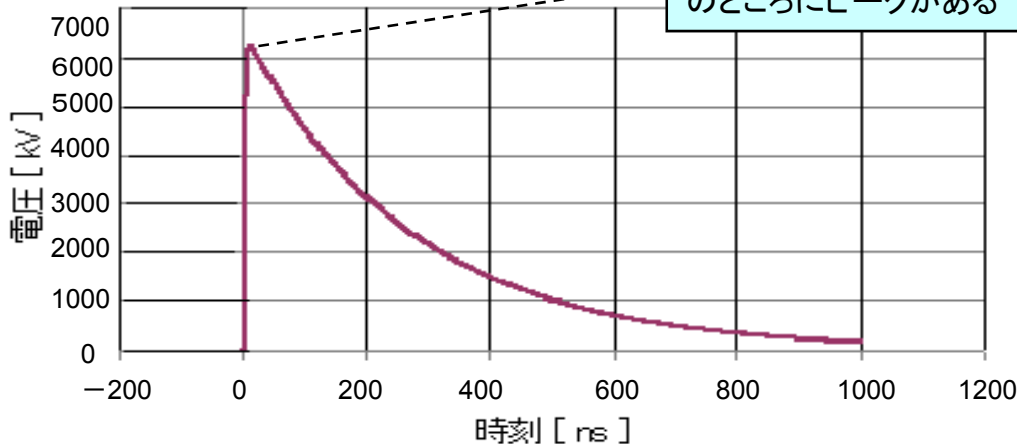
# 4. 設計と製作

## 回路の計算



スパークチェンバーを一つのコンデンサーとみなし、合成容量を $C_1$ とした。  
極板の大きさは20 cm四方、極板間隔は1 cmとし層の数は10層とした。

電圧  $V_2$  (スパークチェンバーの電圧) と時刻  $t$  の関係 ( $\Phi = 8 \text{ kV}$ )



スイッチが入れてからおよそ  $t = 10 \text{ ns}$  のところにピークがある

7つの方程式と7つの変数

- ①  $I_2 - I_1 = -\frac{dQ_1}{dt}$
  - ②  $Q_1 = C_1(V_2 - V_1)$
  - ③  $I_1 = \frac{V_1 + \Phi}{r_1}$
  - ④  $I_2 = -\frac{V_1}{r_2}$
  - ⑤  $Q_2 = C_2 V_2$
  - ⑥  $-\frac{dQ_1}{dt} - \frac{dQ_2}{dt} = I_3$
  - ⑦  $I_3 = \frac{V_2}{r_3}$
- $\left( \begin{array}{l} \Phi = 8 \text{ kV}, r_1 = 20 \text{ M}\Omega, r_2 = 20 \Omega, r_3 = 220 \Omega, \\ C_1 = 1000 \text{ pF}, F_2 = 354 \text{ pF} \end{array} \right)$

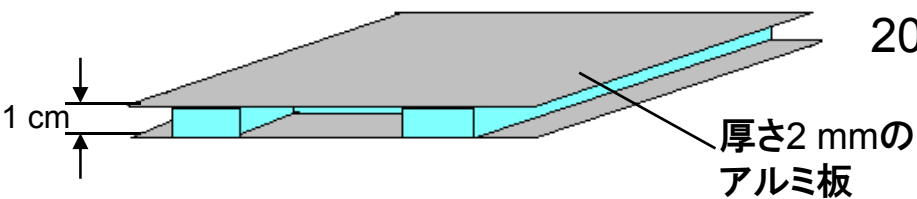
$t = 0$  において  $V_1 = -\phi$ ,  $V_2 = 0$  とする。  
この連立方程式を解いて  $V_2(t)$  を求める。

実際にはスイッチは瞬時に入らない。スイッチの内部抵抗を考慮すると  $V_2$  のピーク値は下がり、ピークにおける時刻も増え、時定数の値も増える。

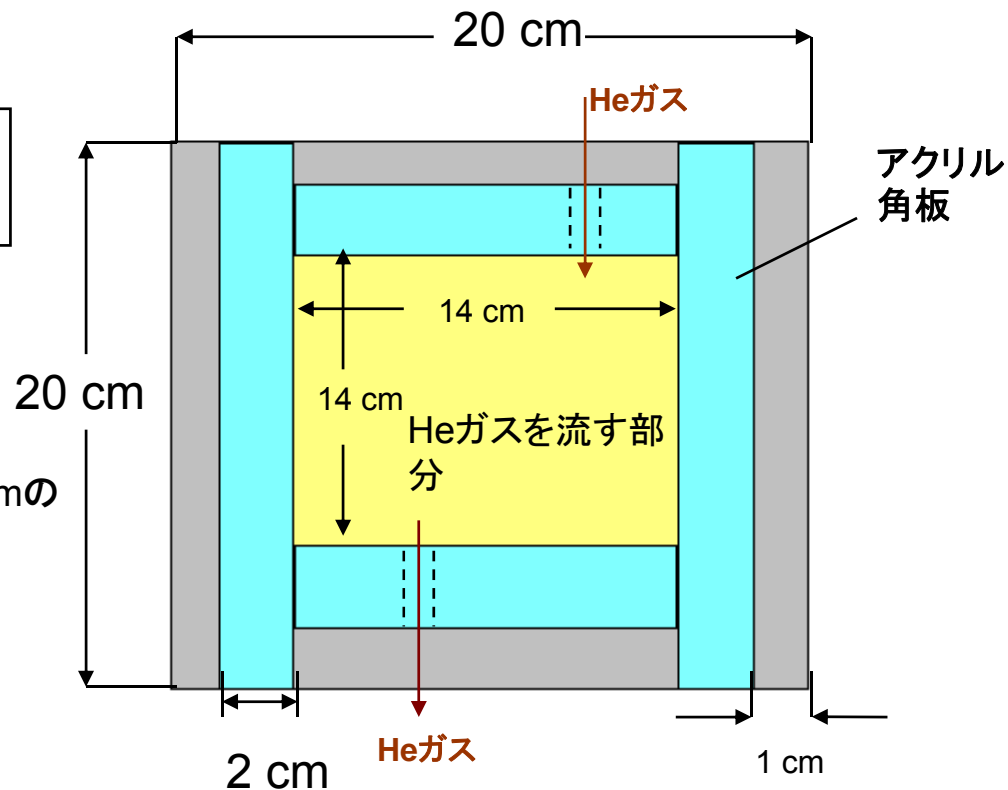
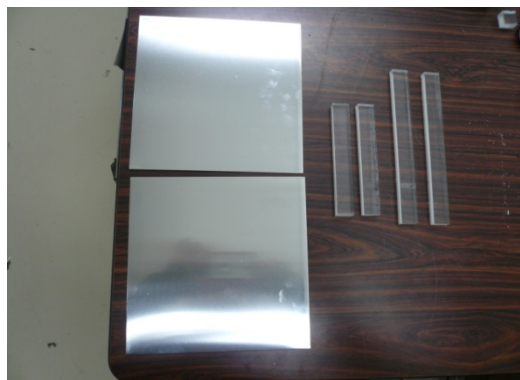
# 製作中のスパークチェンバー

使用するガス: Heガス

これを1層分として次々と重ねていく  
(10層重ねる予定)



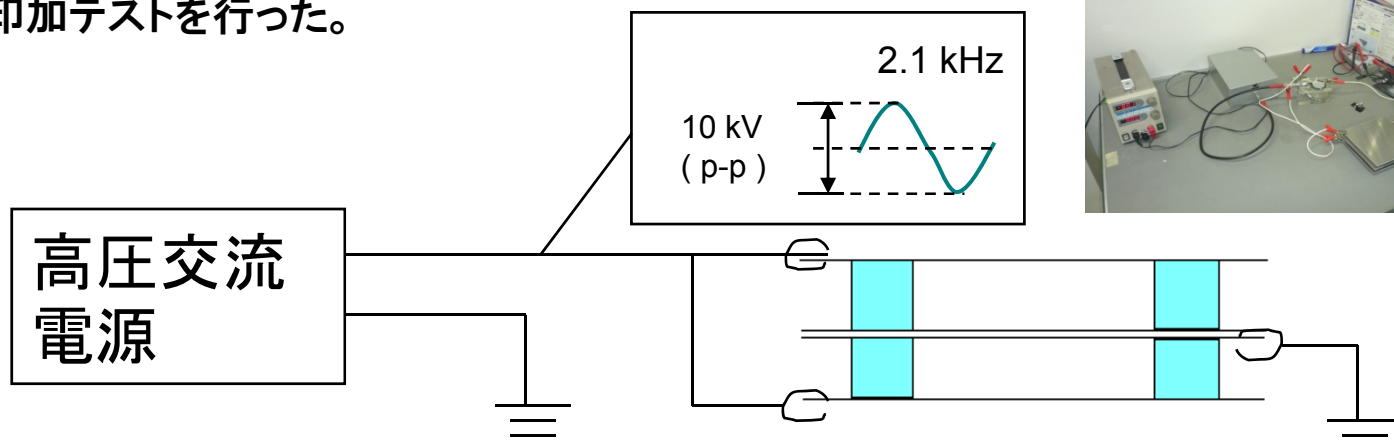
[ 斜め上から見た図 ]



[ 上から見た図 (上部電極を取り除いたもの) ]



14 cm四方のアルミ板(厚さ2 mm)極板対(2層)をつくり研究室にある高圧交流電源(10 kV (p-p)、2.1 kHz )を用いてリーク電流があるか印加テストを行った。



その結果、リークは見られなかった。

次に、スパークチェンバーの部品を設計した。高電圧印加の回路の計算をした。続いて、アルミ板、アクリル角板の加工を行った。

## 今後の予定

- (1) スパークチェンバー本体(極板層)の組み立て
- (2) ガスの循環
- (3) 高電圧印加回路の製作
- (4) プラスチックシンチレータによるトリガー

## 5. まとめ

- ・素粒子物理実験では荷電粒子の飛跡測定のために様々なガス検出器が使用されている。
- ・TPCでは荷電粒子の飛跡が直接測定できる。  
ドリフトチェンバー、MWPCは荷電粒子の位置を測るものであり、いくつか組み合わせることにより飛跡が測定できる。
- ・スパークチェンバーは2枚のシンチレータによる同時計測でトリガーを起こし、高電圧を瞬時に印加させて荷電粒子の飛跡(放電)を測定することができる。
- ・スパークチェンバーの製作にあたり、設計、印加テスト、回路の計算を行った。
- ・今後はさらに(1) 本体の組み立て、(2) ガスの循環、(3) 高電圧印加回路の製作、(4) プラスチックシンチレータによるトリガー、を行い、スパークチェンバーを完成させる。