

# Helium Gas ベース MWPC の特性

東北大学 理学部 物理学科  
素粒子・核物理学講座 原子核物理

平成9年度

荒木 公太

# — 目次 —

1. 目的 .....	3
2. 原理 .....	4
2.1 MWPC の動作原理	
2.2 ガスについて	
2.3 <i>Multiple Scattering</i> による影響	
3. 調べたガスについて .....	7
4. Plateau Curve .....	8
4.1 測定方法	
4.2 測定回路	
4.3 測定結果及び考察	
4.3.1 $\beta$ 線	
4.3.2 X 線	
4.4 まとめ	
5. Gain .....	15
5.1 測定方法	
5.2 測定回路	
5.3 <i>Calibration</i> について	
5.4 測定結果及び考察	
5.5 まとめ	
6. 位置分解能 .....	23
6.1 測定方法	
6.1.1 <i>Centroid Methode</i>	
6.1.2 <i>Charge Ratio Methode</i>	
6.2 測定条件	
6.3 測定結果及び考察	
6.4 まとめ	
7. 結論 .....	27
8. ANODE の Gain のスペクトル .....	28

# 1 目的

現在 chamber で用いられている主なガスは Argon ベースのものが多い。その理由としては Argon の ion-electron pair 生成のための平均 energy が  $26\text{eV}$  と小さいことによる増幅度 (gain) が大きいことやコストがかからないことなどによる。その中でも、とりわけ Magic gas ( Argon (75 %) isobutane (24.5 %) freon-13B1 (0.5 %) ) が良く使われる。これは主として gain が非常に大きくすることが出来るためである ( $\sim 10^7$ )。

しかし荷電粒子が入射された場合、chamber の中で Multiple scattering が起こるため、位置分解能には限界がある。Argon の場合は radiation length が小さいために Multiple scattering は比較的大きい。このことを改善するには原子番号  $Z$  の小さなガスを chamber 内に流す必要がある。このような経過で考え出されたのが Helium を用いることである。しかし、Helium の ion-electron pair 生成のための平均 energy は  $41\text{eV}$  と大きいため、増幅度は Argon に比べ小さいことが予想される。本実験は Helium ベースのガスを Multi Wire Proportional Chamber (以下 MWPC と略す) に流しその特性について測定し、種々の特性について調べたものである。

## 2 原理

### 2.1 MWPC の動作原理

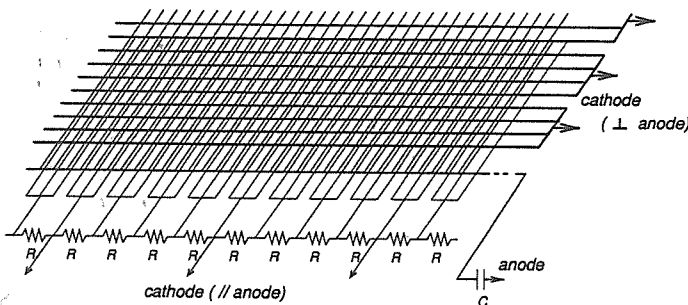
MWPCは一般には、*anode* 面が2つの *cathode* 面の間に張ってある。具体例として本実験で用いた MWPC の図を *fig.1*、*fig.2* に載せた。*fig.2* は断面図である。HV を *anode* 面にかけて、そのまわりの等電位面の分布は *fig.2* の右方の様になる。これは *anode* 面に 4400V をかけた時の様子であるが、*anode wire* 近傍では電位の間隔が密になっている。*Chamber* 内に入射された粒子によって生成された電子は電気力線に沿って *drift* していき、*energy* を得て加速される。この時周りの原子を更にイオン化させ電子を生成する。この電子もまた加速され次々と電離させていく。結果最終的には  $10^4$  を越える程に増幅される。これが電子なだれである。電子なだれの結果得られる *gain* は *chamber* 内に流すガスの種類によって変化する。どのようなガスを流すかは非常に重要である。

電子なだれによって生じた電荷による *cathode wire* での誘導電荷の電荷分布  $\rho(x)$  は *fig.2* の *anode* と平行な *cathode* 面の上に書いたものようになる。この分布は次式で表される。

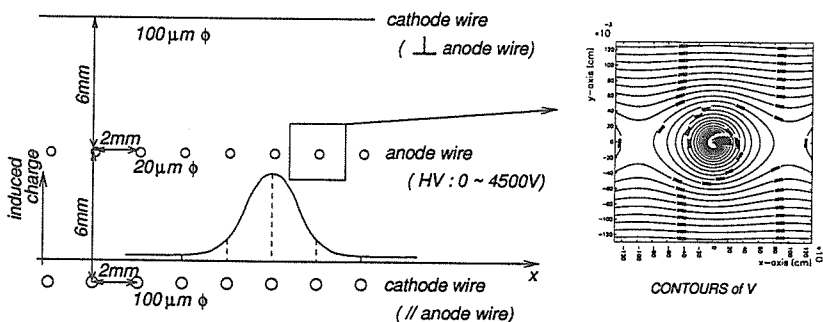
$$\rho(x) = -\frac{Q}{4D_{eff}} \frac{1}{\cosh\left(\frac{\pi(x-x_a)}{2D_{eff}}\right)} \quad (1)$$

$Q$  : なだれによって生じた電荷  
 $x_a$  : なだれの発生位置  
 $D_{eff}$  : effective gap

*Cathode wire* のこれらの電荷からなだれの位置を求めることができる。その方法については後で述べる。



**fig.1** 本実験で用いた MWPC の構造。図の上が *anode* と垂直な *cathode* 面 ( $C_{\perp}$ )、中央が *anode* 面、下が *anode* と平行な *cathode* 面 ( $C_{//}$ ) である。 $C_{\perp}$  は 4 本、 $C_{//}$  は 3 本で 1 つの *strip* になっている。 $C_{//}$  は更に図のように抵抗をはさんで読み出す方式になっている。



**fig.2** *fig.1* の断面図。 $C_{//}$  の *wire* 間隔も 2mm である。等電位面の様子は *cathode* 面を *plane* として *Garfield* を用いてシミュレーションしたものである。誘導電荷については相対値を描いたものである。点線的位置に対応する電荷が *cathode wire* に誘起される。

## 2.2 ガスについて

Chamber内に流すガスに望まれる性質としては例として以下の様な条件を満たすものである。

- ion-electron pair 生成のために必要な energy、 $W$ が放射線の種類、energyと無関係で出来るだけ一定であること。この条件を満たすものは希ガスである。種々のガスの  $W$ 値は table.1である。

Gases	W value (eV)	Gases	W value (eV)
Helium	41.3	Methane	28.1
Neon	35.9	Ethane	24.6
Argon	26.4	Isobutane	23
Krypton	24.4		
Xenon	22.1		

table.1 種々の希ガス及び quencher の ion-electron pair 生成のための平均 energy

- 増幅率が chamber にかかる電圧やガスの純度の変化に出来るだけ鈍感であること。このことを満たすには上の条件を満たす希ガスに多原子有機分子を少量添加する。これらの多原子有機ガスは Quenching gas (quencher) と呼ばれ、chamber の動作を安定化する。その役割は

- 電子なだれの際に放出される光子 (特に紫外線) を吸収して解離する。
- ベースとなるガスよりも低い電離電位をもつので、ベースガスと衝突するとイオンかされ、ベースガスのイオンが cathode に達するのを防ぐ。
- Cathode に衝突する際に電子を生成せずそれ自体が解離する。

などである。種々の quencher に対する光子の断面積を fig.3 に示した。本実験で用いたものは isobutane ( $i-C_4H_{10}$ ) である。

- 増幅度が大きい。これは一般には  $W$  値が小さいほど大きくなることが期待される。

普通は上のことから 2 種類のガスを混ぜるが、場合によっては 3 種になる場合もある。Magic gas では electronegative な freon を用いている。

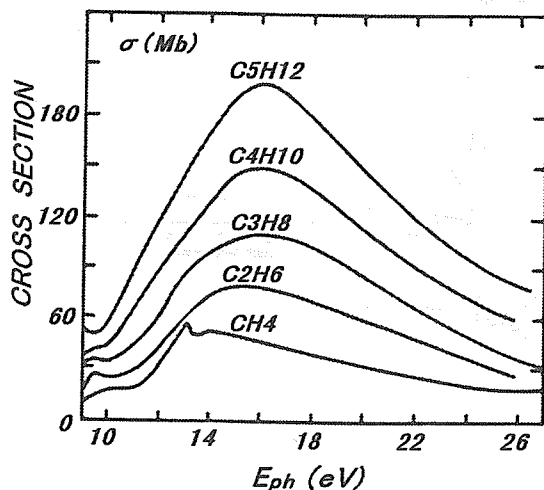


fig.3 quencher の紫外線との反応断面積。横軸は紫外線の energy、縦軸は断面積である。図からわかるようにこれらの多原子有機分子は紫外線に対して大きな反応断面積を持ち、かつ連続的である。このためベースガスとなる希ガスに少量添加することによって電子なだれの際に発生する紫外線を吸収し、chamber の動作を安定化させる役割を果たす。

### 2.3 Multiple Scattering による影響

*Multiple scattering* による平均散乱角  $\langle \theta \rangle$  は次式で表される。

$$\langle \theta \rangle = \frac{13.6 [\text{MeV}]}{\beta c p} z \sqrt{\frac{x}{X_{rad}}} \left\{ 1 + 0.038 \ln \left( \frac{x}{X_{rad}} \right) \right\} \quad (2)$$

- $x$  : 粒子が物質を通過した距離
- $z$  : 粒子の原子番号
- $X_{rad}$  : 物質の radiation length

但しこの式は原子番号の小さい分子には当てはまらない。各物質の radiation length の値は table.2 である。Gas については標準状態でのものである。

	Material	$X_{rad}(m)$
gases	Helium	5300
	Neon	321.6
	Argon	109.8
	Xenon	14.4
	Methane	648.5
	Isobutane	169.3
solids	Mylar	0.287
	Beryllium	0.353

table.2 radiation length

本実験で使用した  $^{90}_{38}\text{Sr}$ 、 $\beta$  線の場合、fig.4 の様になる。但し  $\beta$  線の energy は  $2\text{MeV}$  とした。又、 $350\text{MeV}$  の  $\pi^\pm$  についても fig.5 に示した。Argon に比べ Helium の場合は Multiple Scattering の効果をそれほど受けないことがわかる。

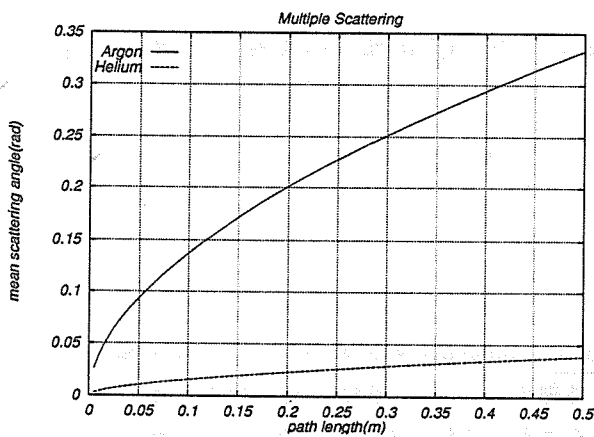


fig.4 2MeV  $\beta$  線

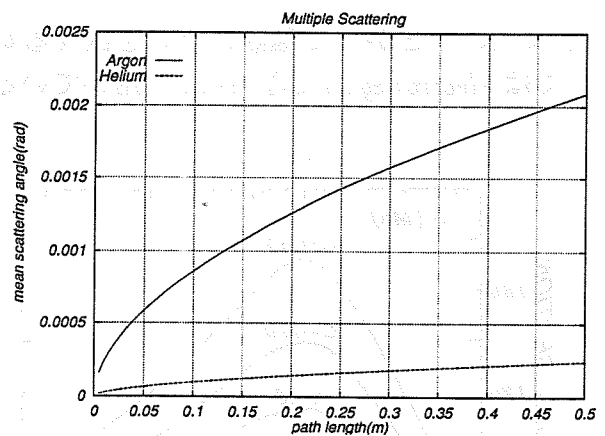


fig.5 350MeV  $\pi^\pm$

### 3 調べたガスについて

調べたガスは以下の 5 種である。

Argon (80%)	Isobutane (20%)
Helium (80%)	Isobutane (20%)
Helium (85%)	Isobutane (15%)
Helium (90%)	Isobutane (10%)
Helium (95%)	Isobutane ( 5%)

測定は全てほぼ  $1atm$  で行なった。Argon は比較対象のために行なったものである。

これらのガス比で主に

1. Plateau Curve
2. Gain
3. 位置分解能について

を測定し、その結果から MWPC で Helium ベースのガスは実際に用いることが出来るのかを調べる。

## 4 Plateau Curve

### 4.1 測定方法

測定はβ線 ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $Max\ 2.284\text{MeV}$ ) 及び X線 ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $5.9\text{keV}$ ) を用いて行なった。fig.1を見るとわかるように anode は anode 面全体の or の signal が読めるようになっているので、この signal を用いる。Cathode については全ての strip の or を回路上でとつてもよかったのだが、今回は  $C_{\perp}$  のうちで一番良くヒットするように最初に調節しておいた strip の signal を用いた。

β線で測定する際にはコリメートした (fig.6、7)。これは線量が多いため減らす目的で行なったものである。更に後の gain を測定する際に斜め入射を出来るだけ防ぐ、という意味もある。X線の場合は chamber の Mylar 膜の上にじかに置いて測定した (fig.8)。

β線で測定する際には single counts と plastic scintillator との coincidence counts を、X線の際には single counts のみを計測している。

これらの配置で電圧を少しずつ変えていきながらその計数を測定し、電圧対計数のプロットを行なう。かける電圧は計数し始めるところから放電する直前、もしくは  $4500\text{V}$  (chamber にかける最大値) としている。又、測定は十分計数がある  $60\text{sec}$  とした。

下 fig.6 : 全体図。右 fig.7 : その拡大図。

β線で測定する際は collimator を用いた。Chamber のすぐ下には trigger 用の plastic scintillator を置き、ここからの signal との coincidence をとっている。PMT の HV はその plateau の中央になるようにしてある。Chamber の膜は Mylar であり、 $6\mu\text{m}$  である。fig.7 の anode に当たる線源の幅  $11\text{mm}$  は multiple scattering を考慮していないものである。

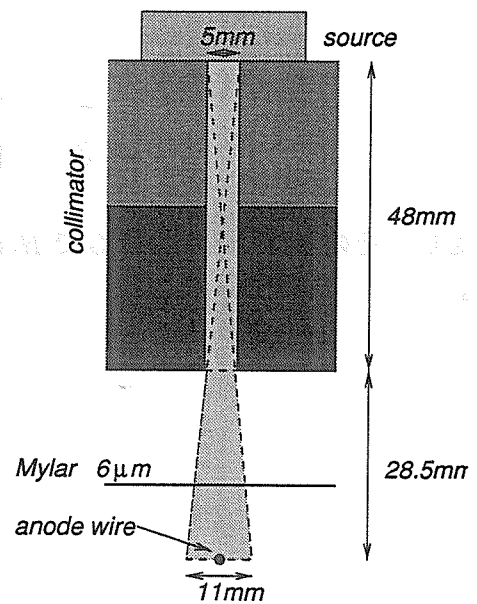
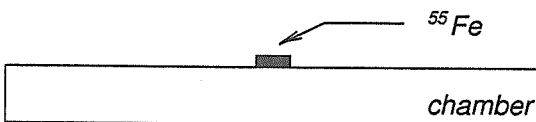
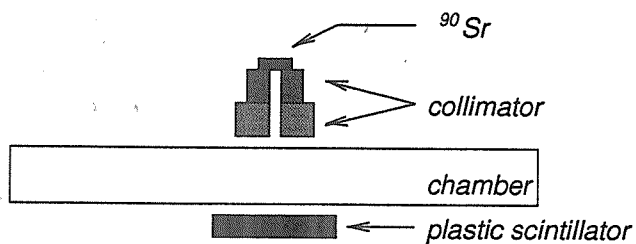


fig.8 X線で測定する際の配置図。

### 4.2 測定回路

β線を用いた測定の際の回路は fig.9 である。Anode、cathode それぞれを preamp. に通し、その後もう一つアンプに通してから discriminator に入れている。但し、cathode については、測定前に1つの読み出し口のヒットが最大になるように線源の位置を調節しておき、その読み出し口



からの *signal* を用いて測定している。回路の *gain* は *anode* が  $4.76 \times 10^3$  で、*cathode* が  $8.0 \times 10^3$  である。*Discriminator* のしきい値は  $-16mV$ 、 $-20mV$  である。*X* 線の際には *plastic scintillator* は用いることが出来ないで、それぞれからの *signal* を  $\beta$  線の時と同じアンプ、*discriminator*、しきい値で通した後、*scaler* に入れて計数した。

fig.9 での 1 は fig.10 に別図で載せた *handmade* の回路である。今後も回路図では 1 の様に表す。

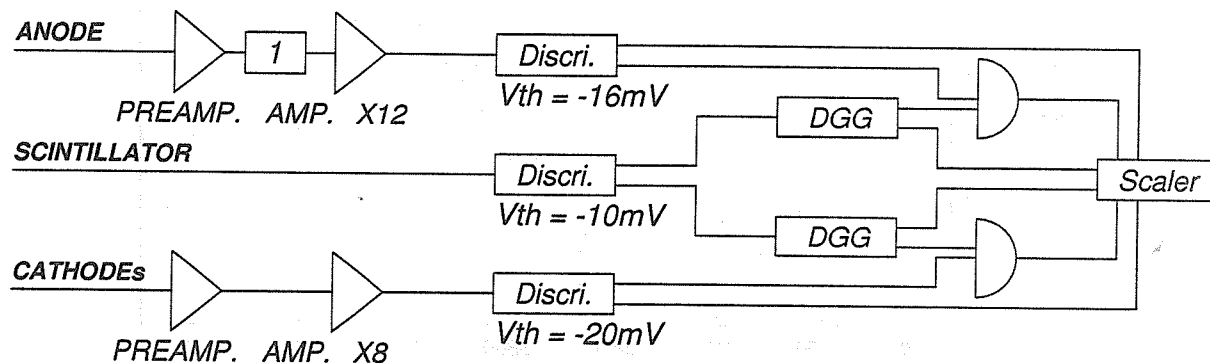


fig.9  $\beta$  線測定時の回路図。Anode、cathode の discriminator の gate 幅は両者とも 40nsec で、scintillator のものは 100nsec である。

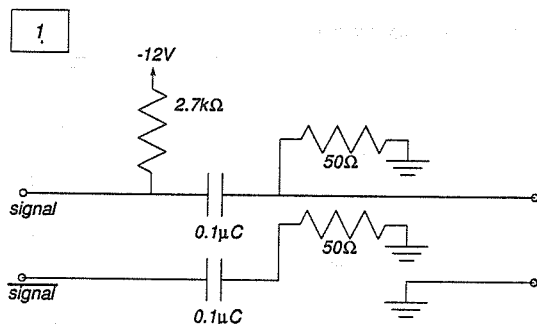


fig.10 fig.9 の 1 に対応するのがこの図である。

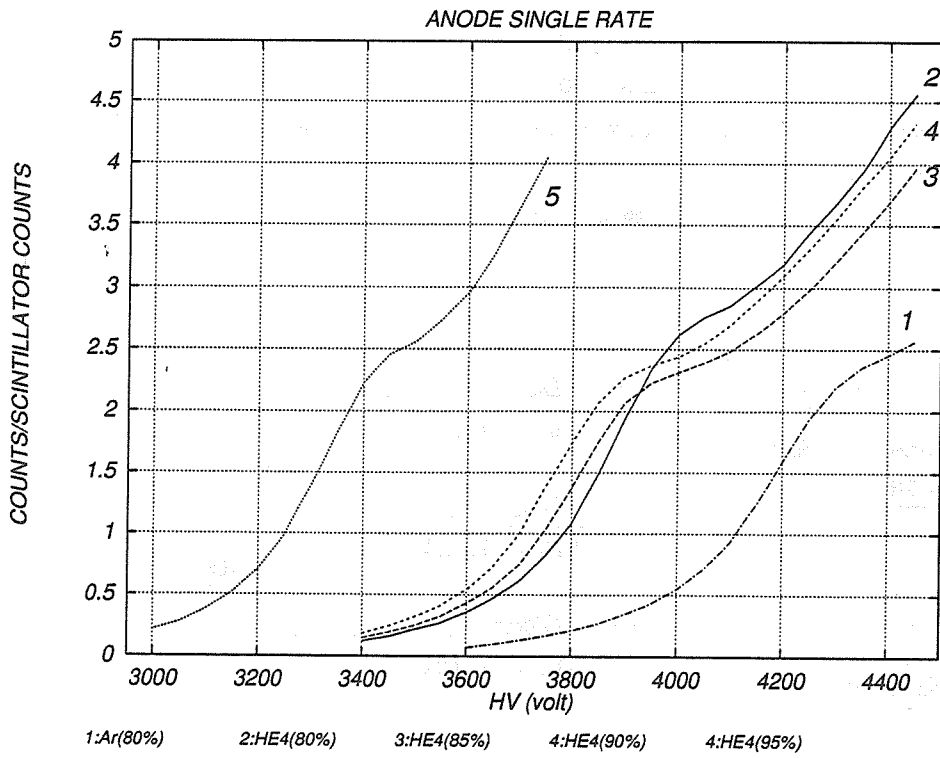


fig.11 β線 : ANODE Single rate

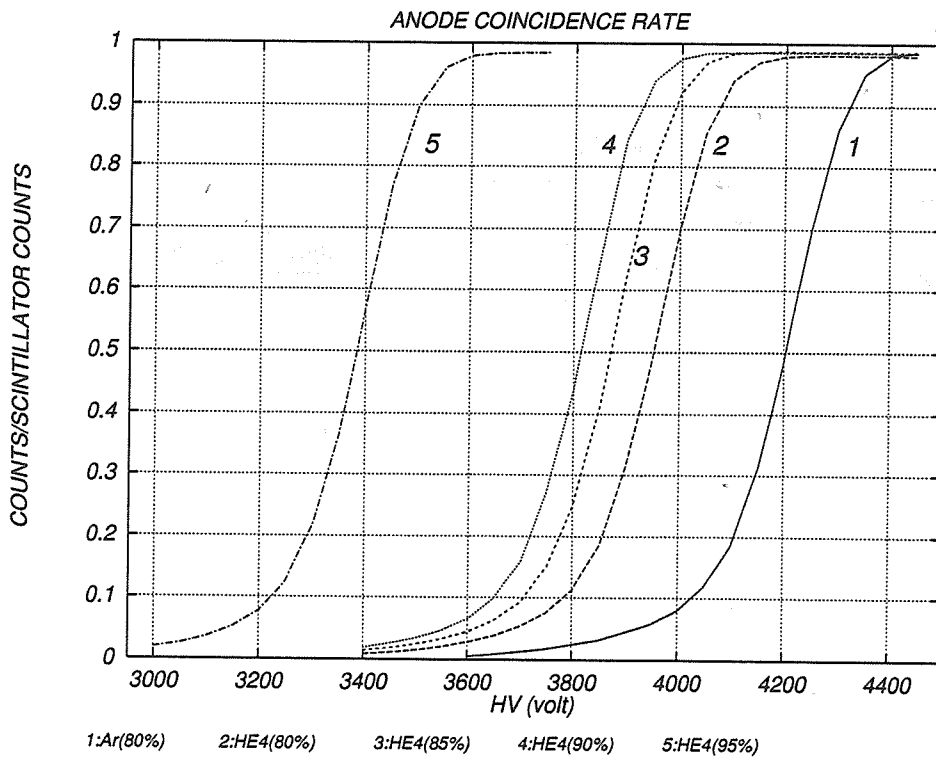


fig.12 β線 : ANODE Coincidence rate

### 4.3 測定結果及び考察

#### 4.3.1 $\beta$ 線

Anode の *single counts*、*coincidence counts* は *fig.11*、*fig.12* のようになった。但し *scintillator* の計数で割って、単位時間当たりの数に直してある。又、誤差は計数が大きいので小さいので、省略した。

全般に *Helium* ベースの場合、*Argon* よりも低い電圧で *plateau* に達することがわかる。*Helium* に注目すると *isobutane* の体積比が 5%以上になると急に高電圧側にシフトし、10%以上ではゆっくりとシフトしていく様子が見えてくる。*Isobutane* の体積比が大きくなるにつれて高電圧側にシフトするのは *isobutane* の *quencher* としての効果であろう。*Argon* については更に電圧を大きくしていけば更に *plateau* が続いているものと思われる。*Helium*(95%) では *plateau* に達した後すぐに放電してしまい (3700V ~ ) *plastic scintillator* との *coincidence* では 150V ほどしかその領域がない。それに比べ *isobutane* 体積比が ~ 10% では *plateau* に達した後もすぐに放電することはなくかなり広い電圧領域にわたっていることがわかる。*Helium*(90%) で 400V ほどである。

*Cathode* についても同様であるがしきい値が *anode* のそれより低いため、低電圧側にシフトしている。又当然ながら *plateau* の領域もやや大きくなり、*Helium*(90%) で 500V 弱である。

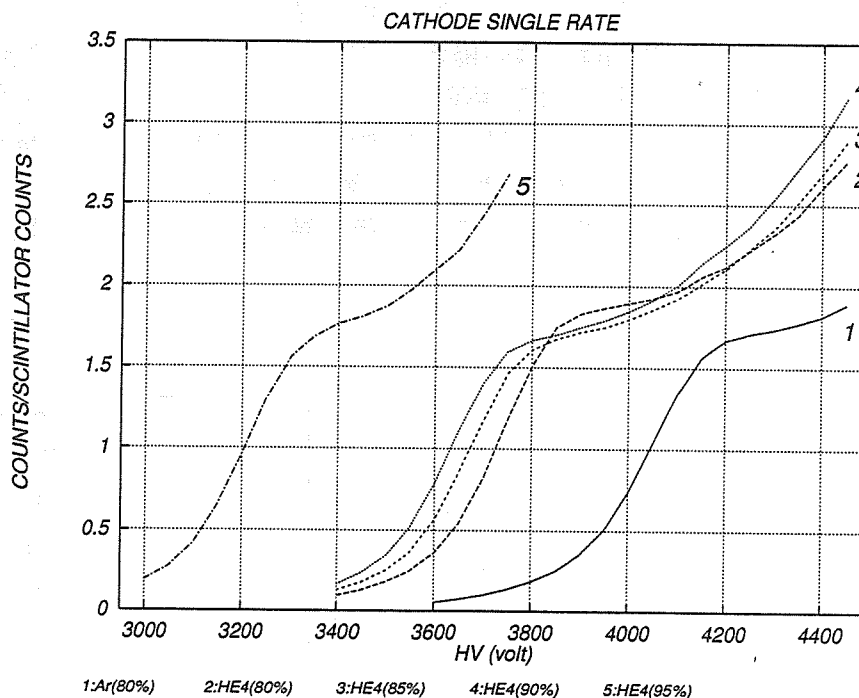


fig.13  $\beta$ 線 : CATHODE Single rate

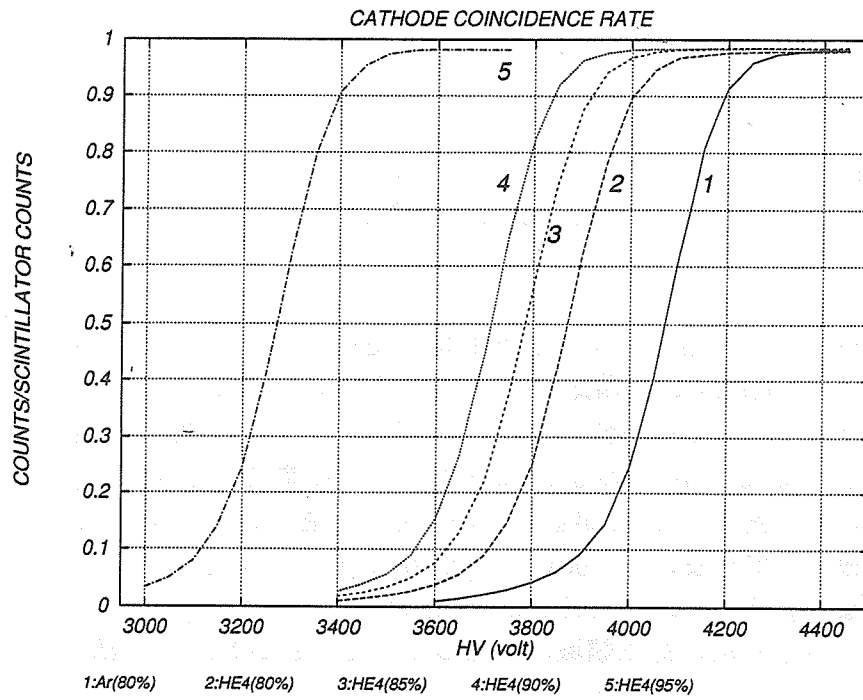


fig.14 β線 : CATHODE Coincidence rate

#### 4.3.2 X線

X線での測定では *plastic scintillator* との *coincidence* がとれないため、計数値をそのままプロットした。Anodeの *helium*(80%) において 4250V から 4300V で平らになっているが、これは測定ミスであろう。おおよその傾向はβ線の場合と同じであるが、Anodeでは *plateau* が2つ現われている。線源がα線とβ線の様に2種類置いておくと2モードになるかも知れないが、この時にはそのような状況ではなかったので恐らく複雑な分子構造を持つ *isobutane* による影響であると思われる。以下に図を示す。これらは *gain* の章で用いる。

Argonについては *Helium* とは X線に対する断面積が異なることにより計数にかなりの差があるので、別図にした (fig.15)。

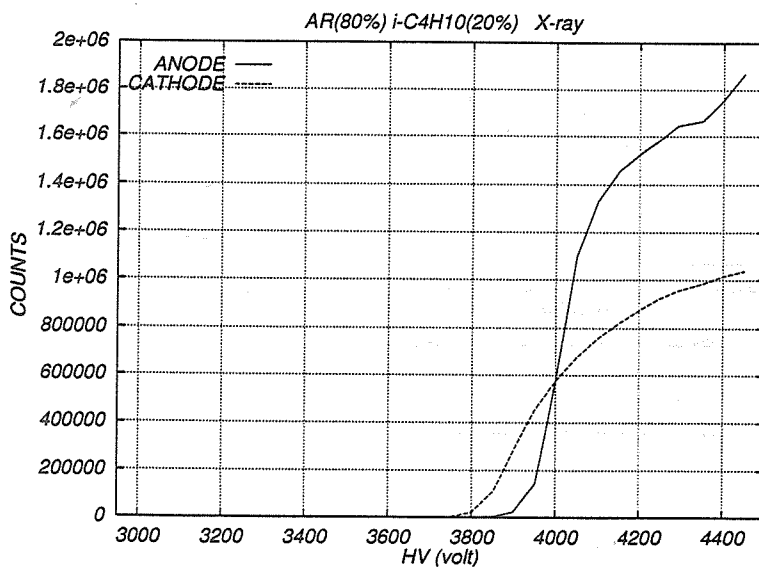


fig.15 Argon(80%) X線  
ANODE  
&  
CATHODE  
Single counts

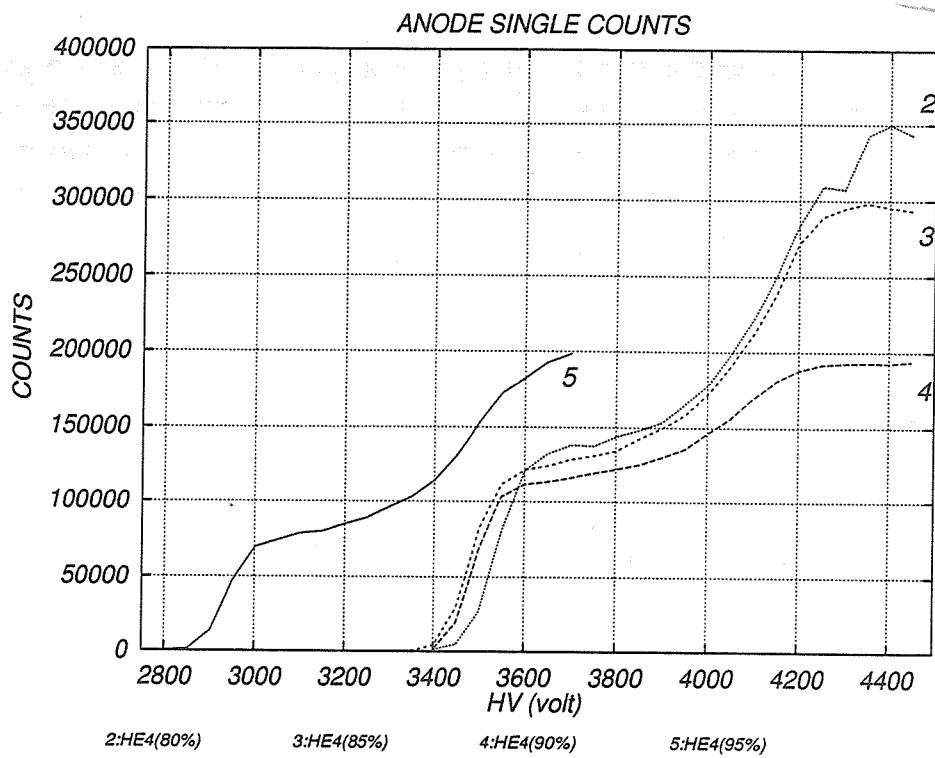


fig.16 X線 : ANODE Single counts

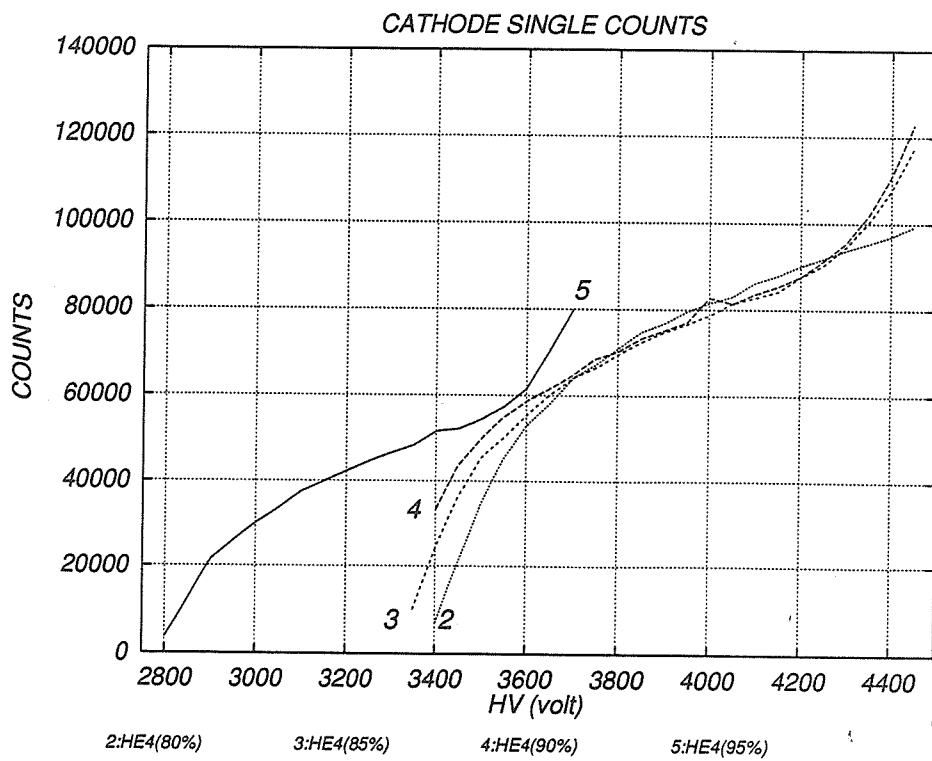


fig.17 X線 : CATHODE Coincidence counts

#### 4.4 まとめ

以上の *plateau curve* の結果を見ると、*Helium* は *Argon* に比べ低い電圧で *plateau* に達し、95%を除いたものではその領域はかなり広いことがわかった。次章で詳しく述べるが、*plateau* に達した時は発生した電荷量はどのガス比でも同じになっているはずであるので、*Helium* はそれなりには *gain* があることが予想される。*Helium* の方が *Argon* よりもはやく *plateau* に達することについては次章で少し詳しく述べる。

## 5 Gain

前章の *plateau curve* ではかなり大きな領域の *plateau* があることがわかった。本章ではその時にどの程度の *gain* があるのかについて調べ、どのような電圧特性をもっているのか調べる。

### 5.1 測定方法

fig.8 の様に配置した X 線源を用いて *anode* と *cathode* の両方から調べた。

5.9keV の X 線は *Helium*、*Argon* に対しほぼ全て光電効果で反応する。よって 5.9keV 全ての *energy* が *chamber* 内のガスに渡される。この *energy* が全て *ion-electron pair* 生成のために使われるとするならば、*Argon*、*Helium* それぞれの場合に生成される 1 次電子の数は

$$\begin{array}{l} \text{Helium} \quad \frac{5.9\text{keV}}{26.4\text{eV}} \approx 223 \\ \text{Argon} \quad \frac{5.9\text{keV}}{41.3\text{eV}} \approx 143 \end{array}$$

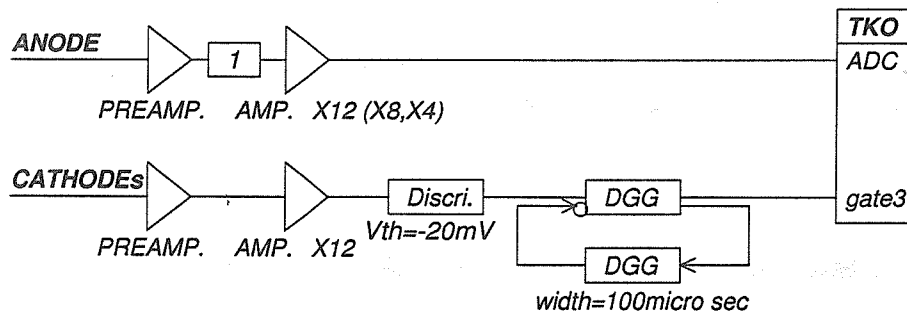
となる。求めた電荷量をこれらの値で割れば *gain* が求まる。

*Anode* からの *signal* を用いて測定する際にはそれを *preamp.* などを通した後 *ADC* に入れて *charge* 積分し、電荷に直した後、得られたスペクトルのピークを *fitting* して *gain* を求めた。*Cathode* から求める場合は  $C_{//}$  面の 10 本の読み出し口のうち 8 本を *ADC* に入れ、電荷に直し、8 つの和をとって更に 2 倍して求めた。2 倍するのは  $C_{\perp}$  面を考慮するためである。ここで 10 本の内 8 本しか使っていないが、これは *ADC* の故障による。しかし、この 2 本は端のものであり、線源があまり当たらないところのものであるためそれほど効果を受けないものと思われる。実際、解析をする過程で条件をいろいろ変えその効果を調べてみたがほとんど影響はないと思われる。*Anode* と *cathode* の両方から求め、それが正しいことを確認する。又、*plateau* 中央部での *energy* 分解能についても調べた。

### 5.2 測定回路

測定をする際の *ADC* は *TKO* モジュールの *charge* 積分型のものを用いた。これは *gate* を入れないと測定しないため、*Anode* の *signal* を積分する時は *cathode* の *signal* で、*cathode* の *signal* を積分する時は *anode* の *signal* で *gate* を作り測定することにした。この時の *gate* を作る *signal* のしきい値は前章のものと同じである。積分する *signal* については *anode* の場合は *preamp.* を通した後、更にアンプに通した。*Cathode* は *preamp.* からの *signal* をそのまま積分した。これは *anode* 用の *preamp.* と *cathode* のものでは *gain* が異なるためである。回路図は fig.18 である。

<gate : CATHODE to ADC : ANODE>



<gate : ANODE to ADC : CATHODE>

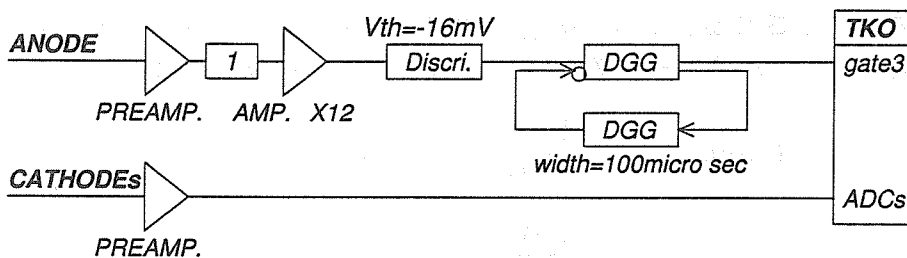


fig.18

Gain 測定時の回路図。

### 5.3 Calibration について

Calibration は test pulse を用いて行なった。fig.19 の様な pulser からの test pulse を pulse height を変えながら 3 ~ 4 つを fig.20 のコンデンサーに通して、それをすぐに preamp. に入れ、それを ADC で測定し、回路全体の calibration を行なった。ここでノイズが大きいことにより test pulse は 1ch にならず数 ch にわたったものとなった。そのため、これらのデータを Gaussian で fit し、その時の Mean の値、およびその誤差を用いて、それを更に 1 次関数で fitting し、input charge 対 ADC の ch の関係を得た。この例を fig.21 に示した。

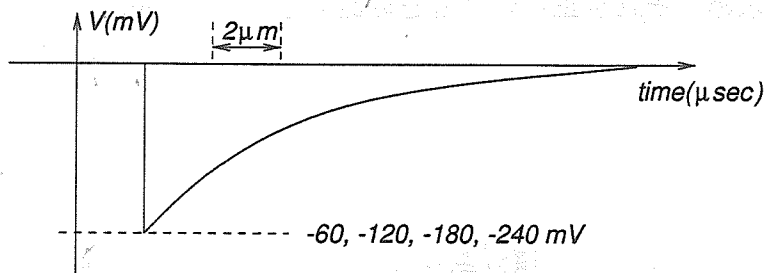


fig.19

Test pulse. この図のものは anode 用で pulse は negative. Cathode の時は positive のものを用いる。

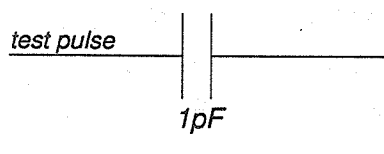


fig.20

Test pulse を入れるコンデンサー。fig.19 の pulse を入れると、このコンデンサーには  $Q = 1(pF) \times V(mV)$  の電荷が蓄えられる。



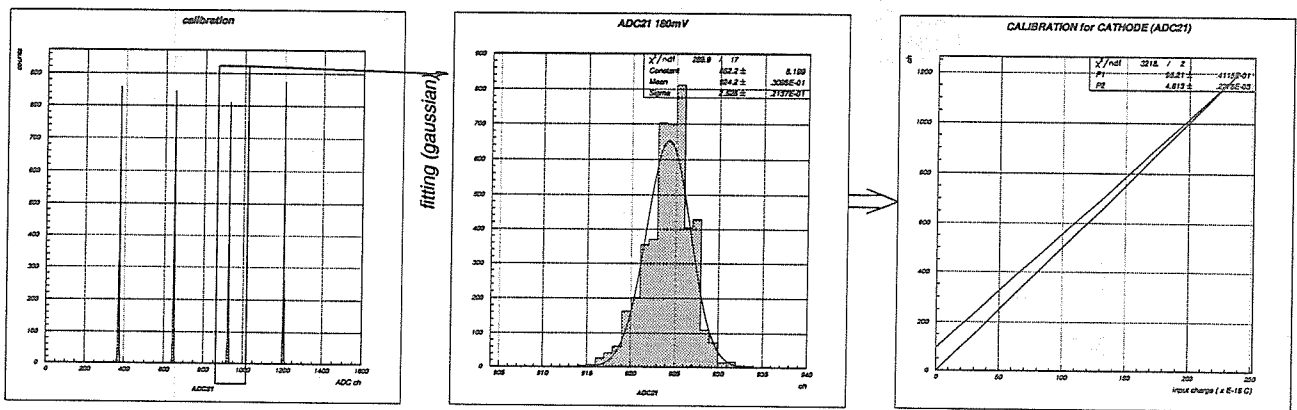


fig.21 Calibrationの方法。左のそれぞれのピークを fittingすると中央になり、それらを1次関数で fittingすると右図。

#### 5.4 測定結果及び考察

データをとる際には KODAQ の List mode で 300sec 行ない、それをワークステーションに移した後解析を行なった。それぞれの混合比での実際のスペクトルの結果については本誌最後に載せた。これらは全て電荷単位に直したものである。これらを fitting し、その結果得られたものが fig.22、fig.23 である。Fig.22 は cathode から求めたもの、fig.23 は anode から求めたものである。Anode から求めたものについては、fig.1 を見るとわかるようにコンデンサーをはさんで読み出しており、この静電容量が不明なためなだれによって得られた本来の電荷情報が保たれているかどうか、信頼できないため相対値として求めた (実際、cathode から求めたものと値が異なる)。Fitting は主に Gaussian で行ない、その Mean の値をプロットした。誤差は省略した。

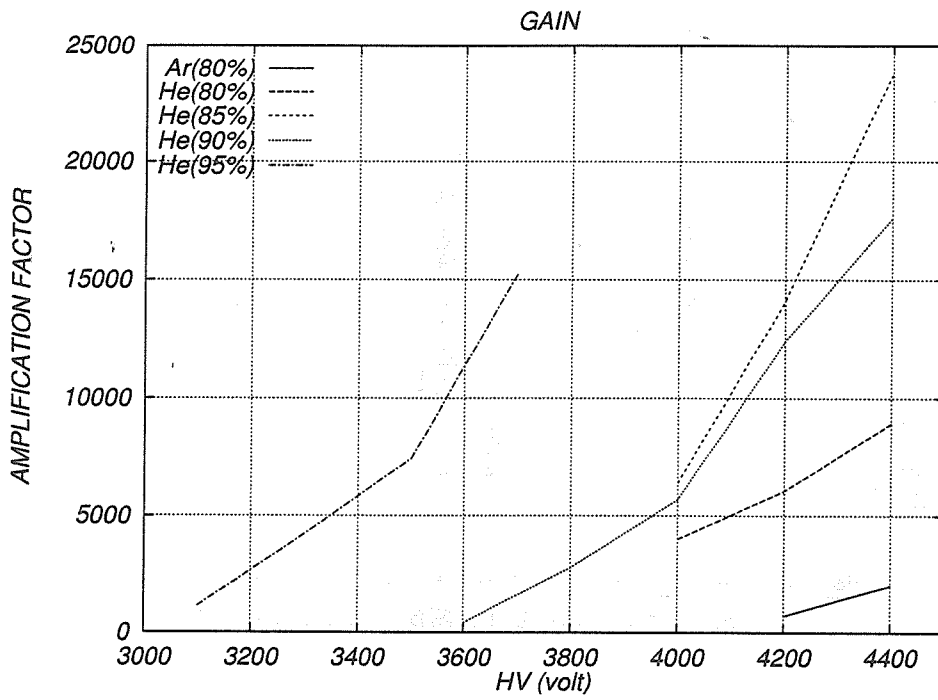


fig.22 calculated from CATHODE

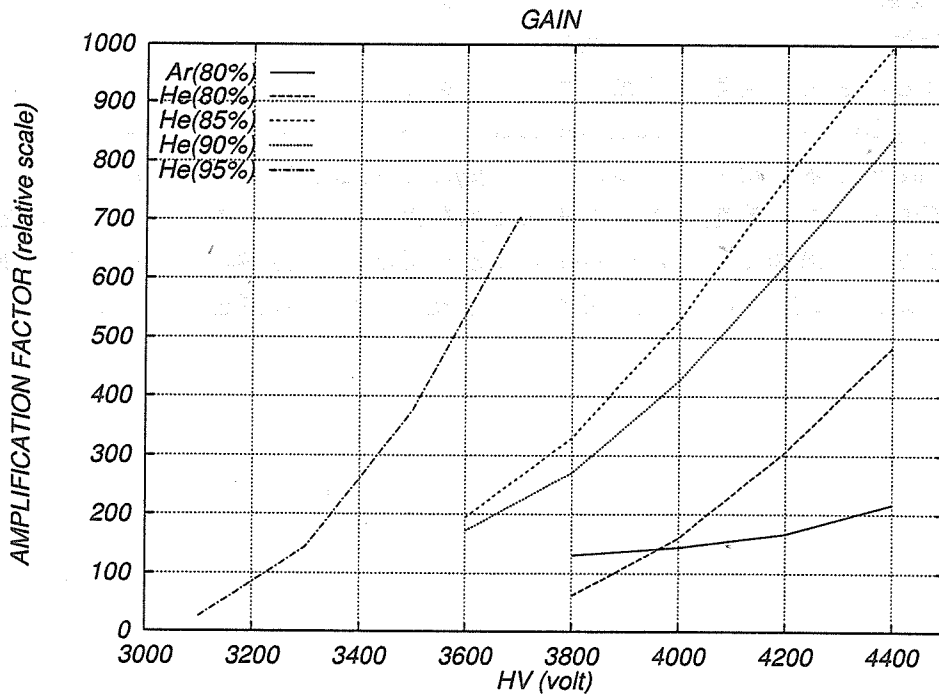


fig.23 calculated from ANODE

この2つの図を見ると比較対象である Argon の *gain* がかなり低く、文献などでは *plateau* になるところで  $10^4$  程度であることが記されているので信頼できるものなのか疑いを持った。このことについて調べるため、4章で得られた *plateau* で、各混合比での *plateau* は全てその位置では同じ電荷になっているはずである(5種のガス比間で *pulse* の形が同じであったため)、ということを用い、*gain* ではなく実際に *wire* に集まった電荷量のプロットを行ない、それに *plateau* の中心となる電圧の位置にしるしをつけ、調べてみた。

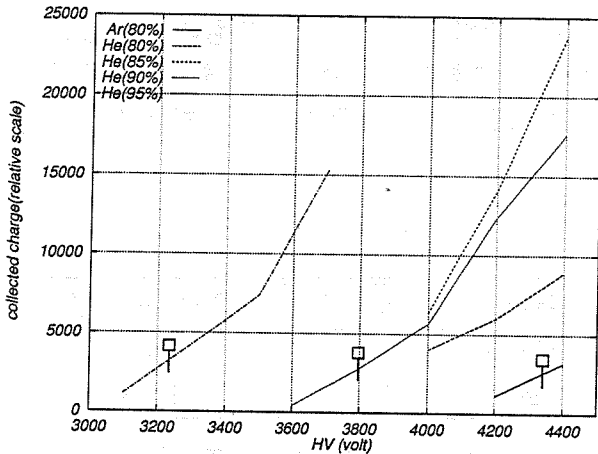


fig.24 CATHODE

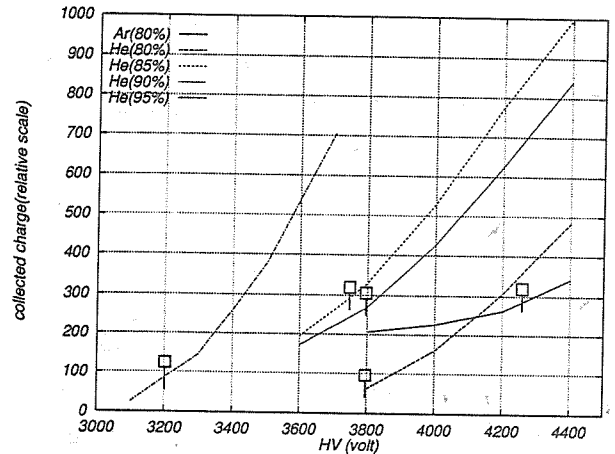


fig.25 ANODE

これらを見ると *cathode* の方は相対値で約 3000 の位置で横一列に並んでおり先の *gain* が間違っていないことがわかった。しかし *anode* の方は相対値で 300 と 70 の 2 つに分かれてしまっている。Anode の方は先に述べたようにコンデンサーで切っているのでは正しくはわからないが、Argon(80%)、Helium(90%)、Helium(85%) で比較する分には正しいのではないかと思う。

又、Helium(85%) の方が Helium(90%) よりも低電圧側になっているのは実験時の圧力の問題などが現われているのかも知れない。

以上のことから Helium の場合、Argon に比べはやく *plateau* になり、且つ、Argon と比較すると増幅度もかなりあるようである。ただし Helium は放電まで後少しという電圧までかけているのに対し、Argon はまだまだ十分かけられるので、もし、Argon も放電直前までかけられるとしたなら、*W* 値のことから Helium を上回る *gain* が得られることが見込まれる。

*Plateau* に達する電圧が Helium の方が Argon よりも低い、同じ電圧では Helium の方が Argon よりも *gain* が大きい、これらのことを考えるために次のような計算を行なってみた。ただし Helium(100%)、Argon(100%) についてである。

Anode wire 周辺の等電位面の様子は fig.2 のようになることは述べたが、電場分布については fig.26 のようになっている。その近傍での電場は近似的に

$$E(r) = \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (3)$$

で表される。ここで  $V_0$  は anode wire にかけた電圧、 $\epsilon_0$  は真空の誘電率、 $r$  は anode wire 中心からの距離である。そして  $C$  は chamber の単位長さ当たりの静電容量であって、これは

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\frac{\pi l}{s} - \ln \frac{2\pi a}{s}} \quad (4)$$

$a$ : anode wire の半径、 $l$ : gap、 $s$ : anode wire 間の距離

である。まず本実験で用いた chamber の  $C$  は上の式に従い計算すると  $4.32\text{pF/m}$  となる。今、簡単に  $gain$ 、 $M$  が次式で表されるものとする。

$$M = \exp \left\{ \int_{r_1}^{r_2} \alpha(r) dr \right\} \quad (5)$$

$$\alpha(r) = Ape^{-\frac{Bp}{E(r)}} \quad (6)$$

$p$  は圧力、 $\alpha$  は Mean free path の逆数で first Townsend 係数と呼ばれているものである。 $A$ 、 $B$  はガスに固有な係数で table.3 で与えられるようなものである。これらの値をそれぞれ代入し  $V_0 = 3500\text{V}$  とした時に anode wire 中心からの 1 次電子の生成位置とそれに対応する  $gain$  をプロットしてみた (fig.27)。

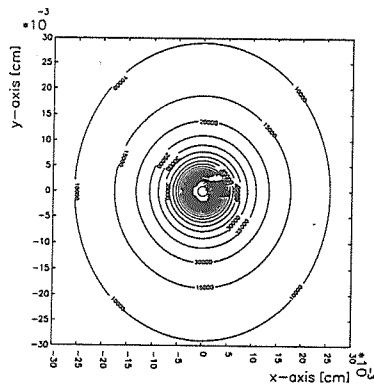


fig.26  
等電場面の様子。  
これを見ると式  
(3) の様に  $\frac{1}{r}$  に従  
っていることがわ  
かる。(Garfield,  
cathode: plane)

Gases	$A$ ( $\text{m}^{-1} \text{Torr}$ )	$B$ ( $\text{V m}^{-1} \text{Torr}$ )
Helium	$3 \times 10^2$	$3.4 \times 10^3$
Argon	$1.4 \times 10^3$	$1.8 \times 10^4$

table.3  $\alpha$  を計算する時に用いるガ  
スに固有な係数

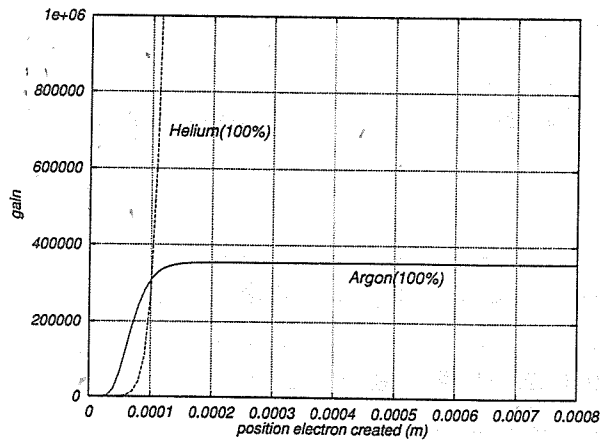


fig.27 1 次電子生成の位置とそれに対応する gain

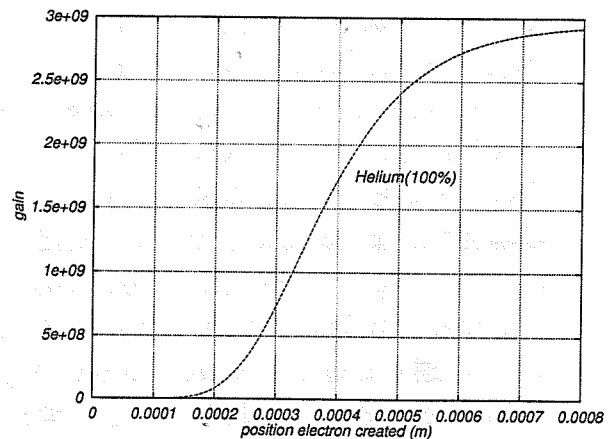


fig.28 Helium について

非常に大雑把な計算であるが、この図から同じ電圧をかけた場合では Helium の方が Argon よりも大きな増幅を行なうことがわかる。但し、上図の様に非常に大きな差は実際にはあり得ないであろう。そのような状況では既に放電して Geiger モードになっているはずである。又、この図からわかることは Argon の場合、anode wire 中心から  $150\mu\text{m}$  以上のところで 1 次電子が生成された場合、ほぼ一定の  $gain$  になる。それに対し、Helium の場合は、なだらかになっている。

ではどのくらいの電圧差があると Argon と Helium で同じ gain になるのか?。このことを上と同じ方法で調べた。

結果は fig.29 であるが、Helium で 2170V の時 Argon の 3500V と一致することがわかった。しかし、2170V という低電圧で  $10^6$  という高い gain が実際にはあるわけではない。これは単純な計算によるものであろう。しかし、同じ電圧ならば Helium の方が gain は大きく、その gain は 1 次電子発生位置によって変化し易いことがわかった。これにより plateau curve での Helium ガスベースの振舞いも理解できる。

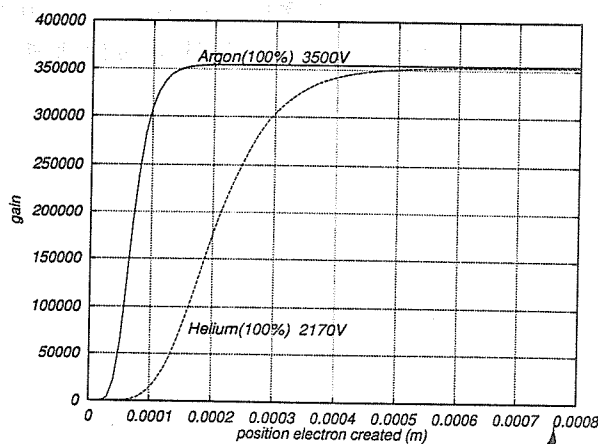


fig.29

以上 gain を測定する際に Energy 分解能についても調べることが出来るのでそれを付記する。先に gain を求める際の fitting における Sigma( $\sigma$ ) の値を用いる。Energy 分解能は

$$(\text{Energy resolution}) = \frac{2\sqrt{2\ln 2} \sigma}{E} \times 100 \quad (7)$$

で表されるのでこの式に従って計算する。Anode から求めたものの結果をまとめたものが table.4 である。それぞれのガス比での plateau の中心に近い電圧でのものを求めた。そこでは X 線の energy によって生成された電荷と最終的に発生した電荷の間には比例関係があると思われるからである。

結果は Argon(80%) 4200V で約 24.4% であり、これは文献に載っているもので Argon(90%) Methane(10%) (通称 P10)、1atm で 19% であるのでまずまずの結果であろう。Helium は Argon に比べその値は悪く、40% 前後であるが、これは 1 次電子の発生過程での統計的なゆらぎが効いてきているものと思われる。Argon の場合、1 次電子の発生数は 223 個であり、Helium は 143 個であるので Poisson 分布であるすればそのゆらぎの効果は Helium の方が大きい。

Gases	HV (volt)	energy resolution (%)
Argon(80%)	4200	24.41 ± 0.04
Helium(80%)	3800	76.68 ± 0.23
Helium(85%)	3800	35.27 ± 0.09
Helium(90%)	3800	31.89 ± 0.10
Helium(95%)	3300	57.84 ± 0.27

table.4 Energy resolution

## 5.5 まとめ

以上からわかったことは *Helium* でも *gain* は *Argon* と比べても同じ程度あり、同電圧ならば *Helium* の方が *gain* は大きい。しかし、*Argon* に比べるとその上昇の仕方はやや急である。放電直前では *W* 値から *Argon* の方が *gain* は大きくなることが予測される。

## 6 位置分解能

### 6.1 測定方法

これを求めるには  $C_{//}$  を用いた。原理の章でも述べたように、*cathode wire* には発生したなだれの位置に対応した電荷が誘起される。なだれは *anode wire* 近傍で起こるので式 (1) の  $x_a$  はほぼ *anode wire* の位置となる。そのため、*cathode wire* に誘起された電荷を測定し、なだれの位置を割り出せば *anode wire* の位置にピークを持つようなスペクトルが得られるはずである。なだれの位置を割り出す方法は次の 2 種類で試みた。

#### 6.1.1 Centroid Methode

$C_{//}$  面の読み出し口から得られる電荷量をそれぞれ  $q(i)$   $i = 1, \dots, 8$  とすると、その重心  $p(x)$  は、読み出し口の位置を  $p(i)$   $i = 1, \dots, 8$  とした場合、

$$p(x) = \frac{\sum_{i=1}^8 (q(i)p(i))}{\sum_{i=1}^8 q(i)} \quad (8)$$

である。これを行なうことによりなだれによって発生した電荷の位置を知ることが出来る。本実験では 8 本の内の最大電荷量の読み出し口とその両隣の 3 つから重心を求めて位置を割りだしている。

#### 6.1.2 Charge Ratio Methode

$R$  という量を次のように定義する：

読み出し口のうち最大のものを  $q(M)$  とした時、

$$R = \frac{q(M) - q(M-1)}{q(M) - q(M+1)} \quad (9)$$

*Cathode* 面には式 (1) で表されるような分布で電荷が誘起されるので、読み出し口間を何当分かしておき、なだれが発生した場所とその時に誘起されるであろう電荷量をあらかじめ計算しておき、理論値としての  $R(x)$  を求め、これを測定結果と照らし合わせて位置を割り出す。

それぞれの読みだし口のノイズによる電荷量が  $q(\text{noise})$  であり、それらがその時に全て等しいとすると、

$$\begin{aligned} q(M) &= q'(M) + q(\text{noise}) \\ q(M-1) &= q'(M-1) + q(\text{noise}) \\ q(M+1) &= q'(M+1) + q(\text{noise}) \end{aligned}$$

よって  $R$  は

$$\begin{aligned} R &= \frac{q(M) - q(M-1)}{q(M) - q(M+1)} \\ &= \frac{(q'(M) + q(\text{noise})) - (q'(M-1) + q(\text{noise}))}{(q'(M) + q(\text{noise})) - (q'(M+1) + q(\text{noise}))} \\ &= \frac{q'(M) - q'(M-1)}{q'(M) - q'(M+1)} \end{aligned}$$

となり、本来の誘起された電荷による関係が保たれており、ノイズの影響を受けないことがわかる。これが *charge ratio methode* の利点である。

## 6.2 測定条件

Gain の測定時と同じである。

## 6.3 測定結果及び考察

Helium(90%)、4400Vの X線についてのものを示す。全体図とその一部を *Centroid method*、*Charge ratio method* で解析したものを示す。

まず *Centroid method* で求めたものであるが、全体図が fig.31 である。横軸が *cathode wire* の位置であり、縦軸が計数である。これを見ると、スペクトルが現われる領域と現われない領域とがある。これはなだれが読み出し口と読み出し口との領域で発生するとその2つの読み出し口には電荷が多く集まるが、もう1つの読み出し口にはほとんど集まらないためである。これは本実験で用いた MWPC の電荷読み出しの構造のためである (fig.1)。もし仮に *strip* ごとに ADC に入れて測定できる構造のものであればこの領域はなくなるであろう。又、*gas gain* が  $10^4$  程度であることからこの読み出し方法は適していないとも言える。

スペクトルが現われる領域を拡大すると fig.32 になる。*anode wire* の間隔は 2mm であるが、この図をみるとほぼ 2mm 間隔でピークが現われている。しかし、*anode wire* の位置に対応するところにのみには現われず、バックグラウンドの様なものが存在し、更に小さなピークの様なものが、真のものにすぐ隣に現われている。この構造については不明である。

ピークの1つを *fitting* した結果、その FWHM は  $318\mu\text{m}$  である。これは文献などに載っている  $60\mu\text{m}$  などと比べると非常に悪い。しかし、抵抗をはさんだこの *read out system* ではそれをはさまないものに比べれば悪くなるので、致し方ないのかも知れない。

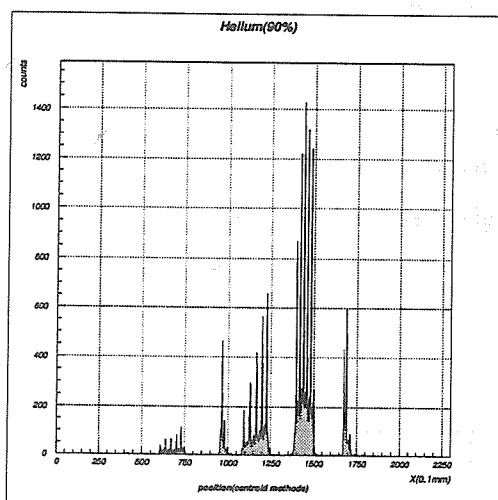


fig.31 CENTROID Methode による全体図

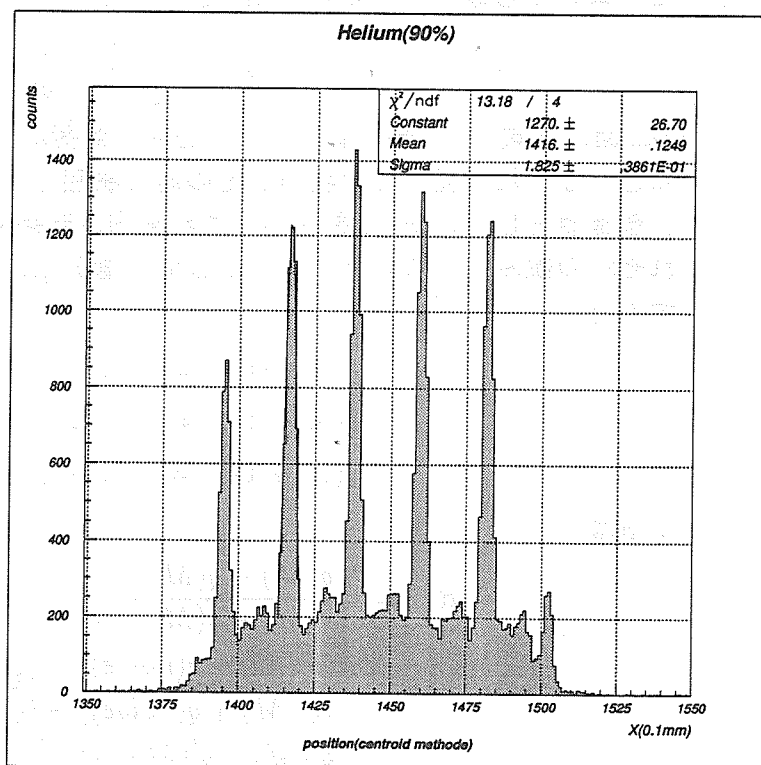


fig.32 拡大図、及び fitting



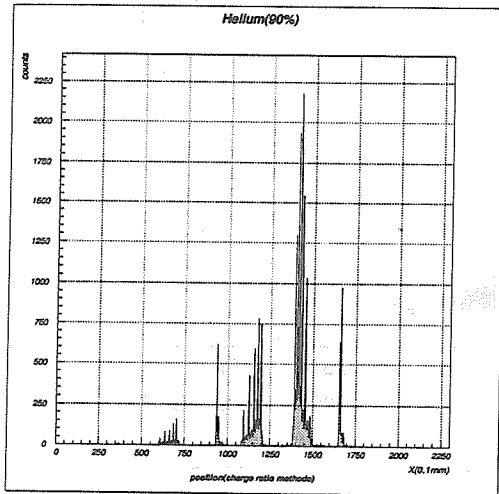


fig.33 Charge Ratio Methodeによる全体図

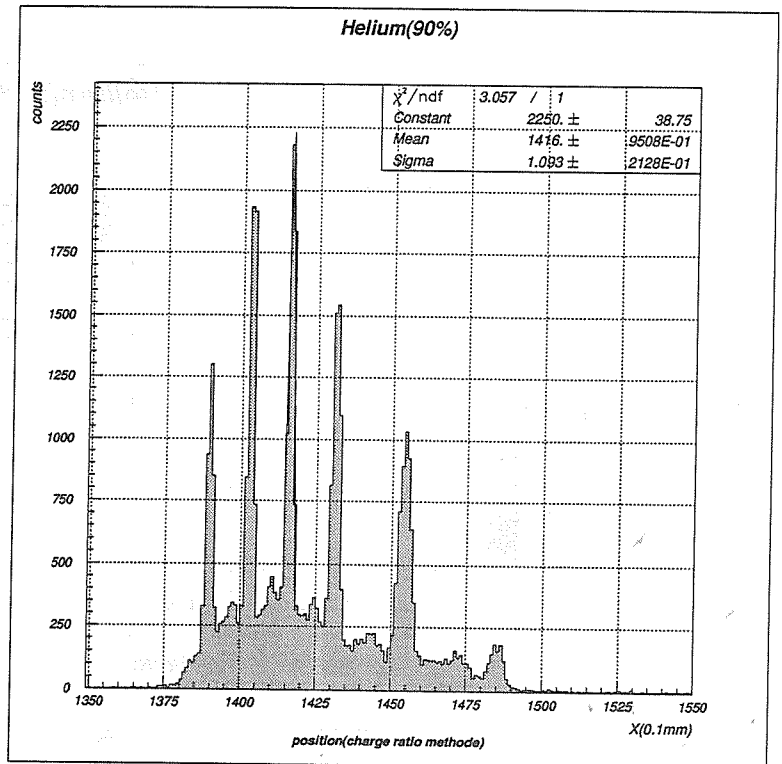


fig.34 拡大図、及び fitting

次に Charge ratio method で求めたものであるが、全体の図 fig.33 は Centroid method とほぼ同じ形をしたものとなっている。しかし拡大してみるとピークの間隔が 2mm で一定になっていない。これは preamp. の抵抗を考慮しなかったためかも知れない。その他では先と同様に真のピーク隣に構造が出ている。ピーク間隔が一定ではないので分解能については詳しくは調べられないが、一応、Centroid method と同じ位置にあるピークを fit してみると FWHM は 246 $\mu$ m である。

以上においてバックグラウンドの様なものについてももう少し考えてみるために  $q(7)/q(6)$  vs  $q(5)/q(6)$  の 2次元 scatter plot を行なってみた。 $q(6)$  が最もヒットする読み出し口からの電荷である。3800V~4400V までを 200V おきに行なった。3800V ではまだ gas gain が小さいので分布は不明瞭であるが、gain が大きくなると点状の分布が見えてくる。これが wire の像である。しかし、点と点の間が薄い帯でつながっていて、完全な点にはなっていない。この帯が先のバックグラウンドに対応するものである。この部分はなだれによって発生した電荷をとらえているのだが、noise の影響を受けているために点から離れた位置に現われたものであるかも知れない。又、1つの event が複数の wire によって増幅された可能性もある。

現段階では得られたデータにどのような条件を課してもこれ以上改善することは出来なかった。

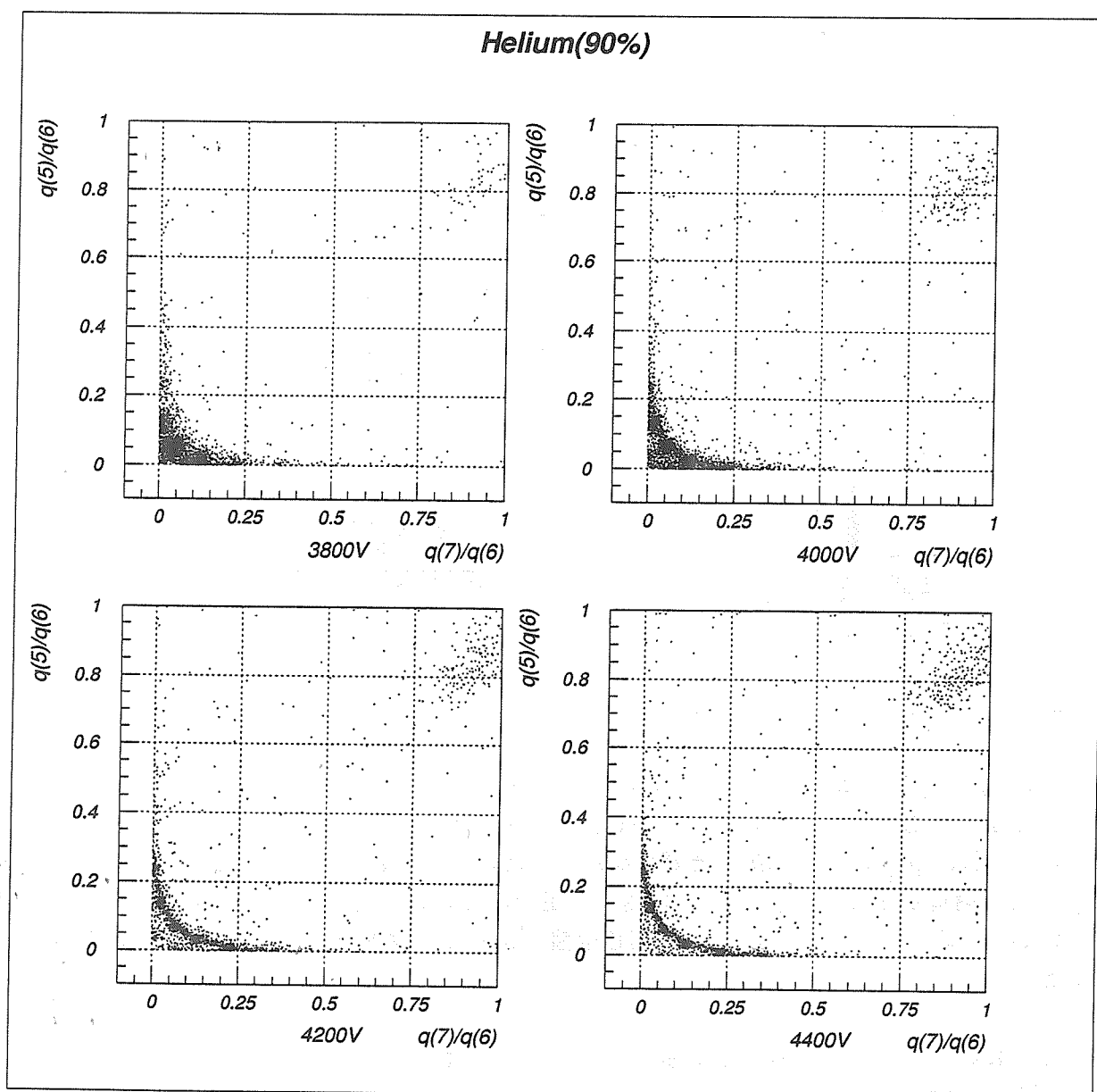


fig.33 2次元 scatter plot. Helium(90%) の 3800V,4000V,4200V,4400V。

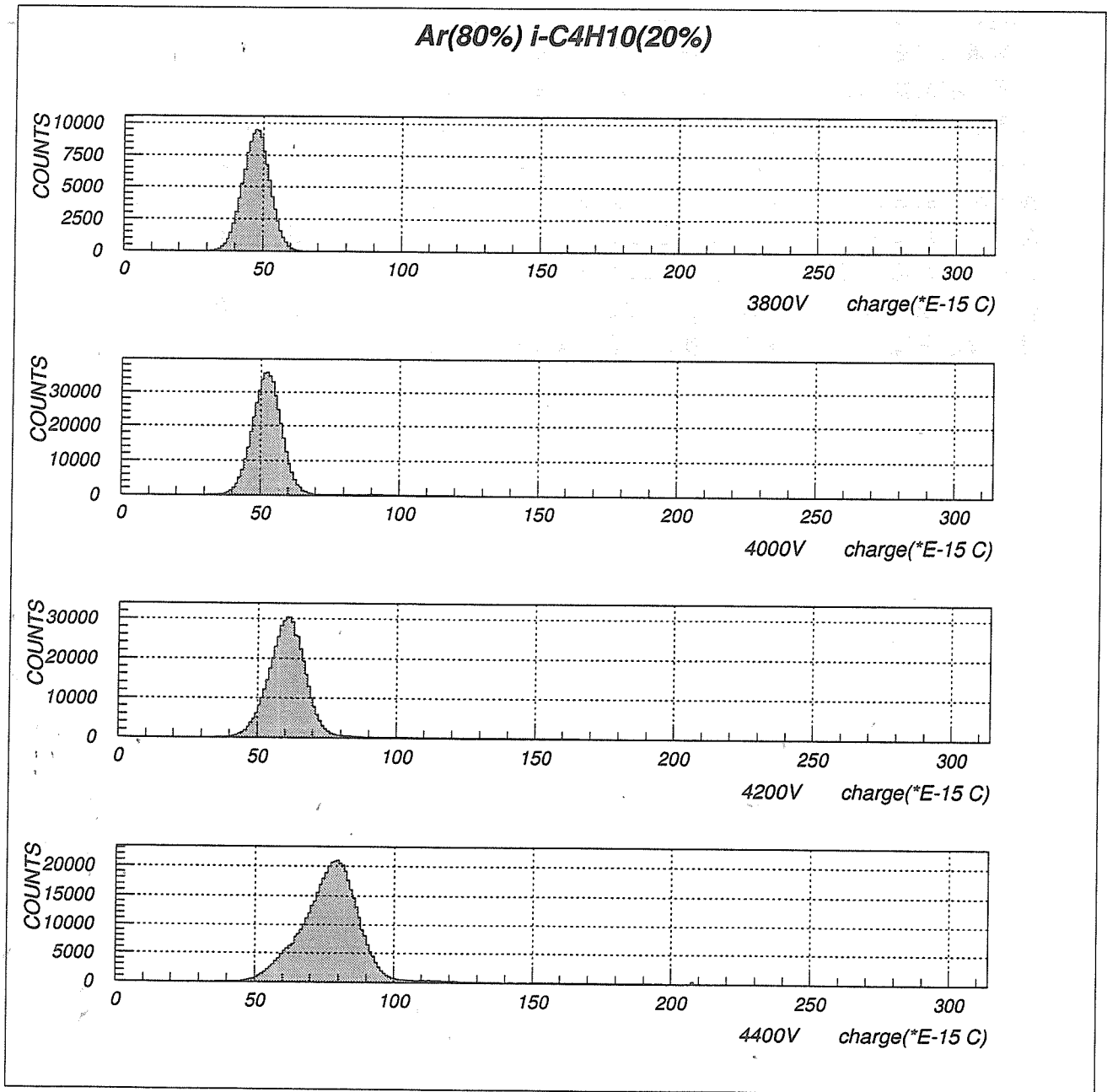
## 6.4 まとめ

まず *Centroid method* の結果から、この MWPC の読み出し方法では *gain* がそれほど大きくないためにバックグラウンドの様なものを消すことは出来なかった。*Magic gas* では可能かも知れない。真のピークのそばにあるサブピークについては現段階ではわからない。これは *Charge ratio method* でも同様である。*Charge ratio method* については *anode wire* の像が正しく現われるように *preamp.* の抵抗もきちんと考慮し、やり直す必要がある。もし仮にうまくいくのであれば *Centroid method* よりも良い分解能が期待されるはずである。そして *Helium* でもこれらの方法で位置を測定することは可能である。

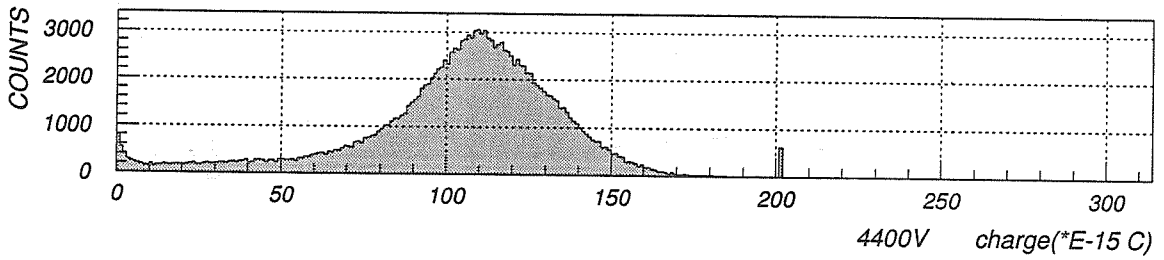
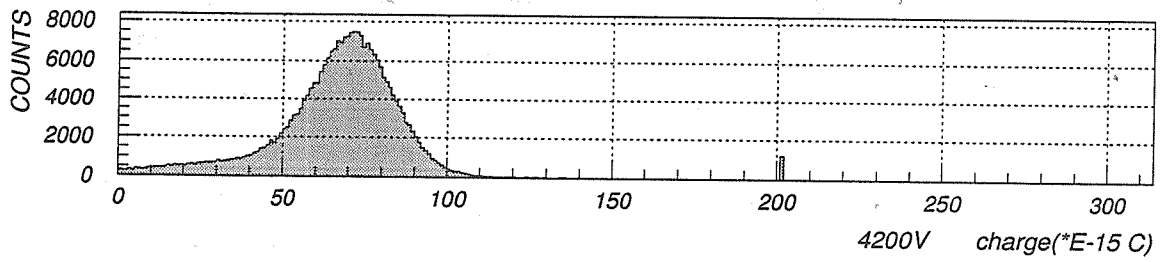
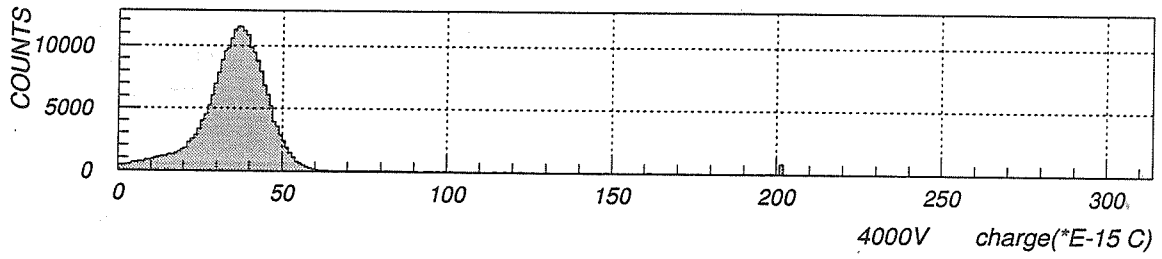
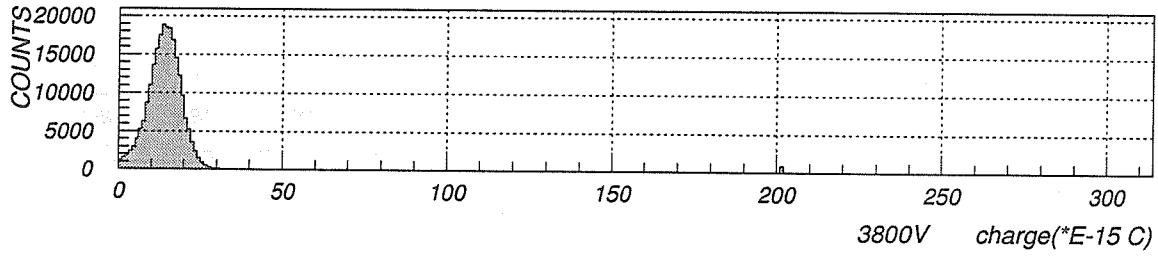
## 7 結論

*Helium* ベースのガスでも *MWPC* を動かすことは可能である。しかし問題点も非常に多い。まず *gain* であるが、本実験からある程度の大きさの *gain* は期待できることがわかった。しかし勿論 *Magic gas* などと比べると  $1/100$  以下である。もしこのような *gain* で行なうのであれば、ノイズ対策などを万全に行なう必要があるであろうし、それに適する *chamber* を用いる必要もある。又、本実験では全く述べなかったが、不純物の問題もある。純粋な *Helium* に *Argon* が微量混入しただけでも *W* 値は劇的に変化することが参考文献に記されている。このような状況では *gain* はどのように変化するのか、など問題は多々ある。又、*Helium* は *Z* が 2 であるので荷電粒子が入射されても *chamber* 内での荷電粒子の *energy loss* は小さい。*X* 線ならば問題はなかったが、これにより *Argon* に比べると *chamber* からの *signal* は小さいであろう。*Energy loss* を大きくするためには圧力を大きくすれば良いが、こうすることによって *first Townsend* 計数が変化してしまうので、この時の *gain* はどうなのか、気体内での電子の分散はどうなのか、調べなければならないことは非常に多い。まだまだ研究しなければならない。

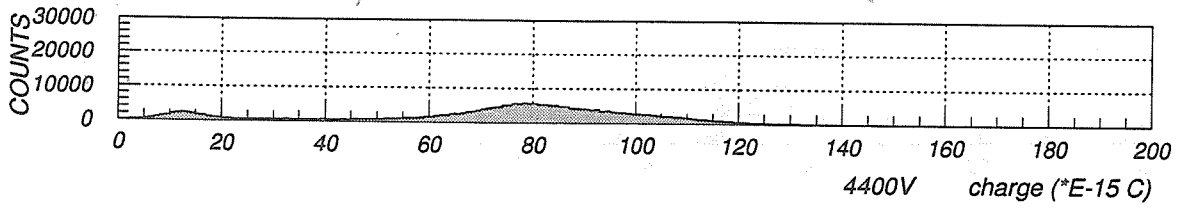
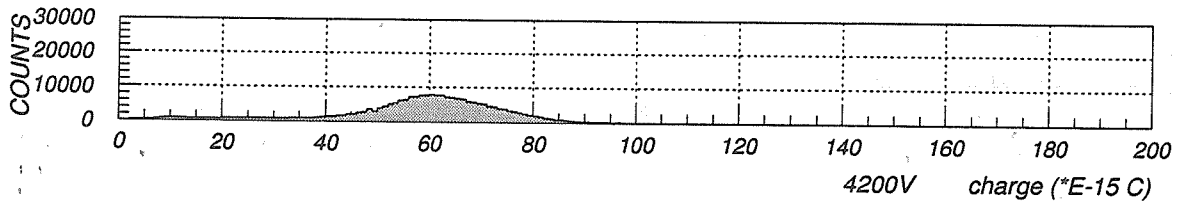
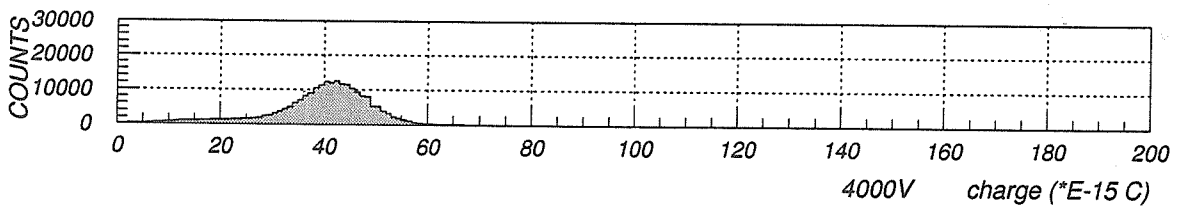
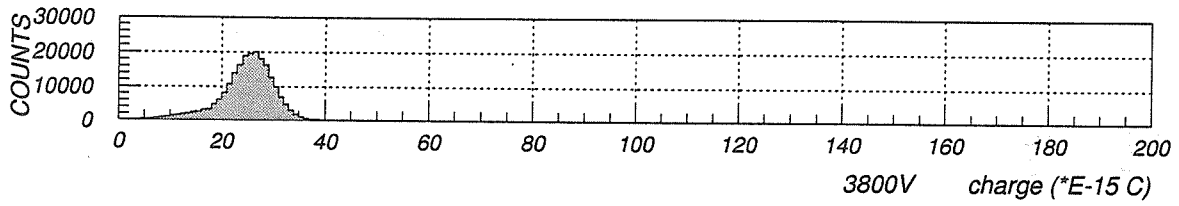
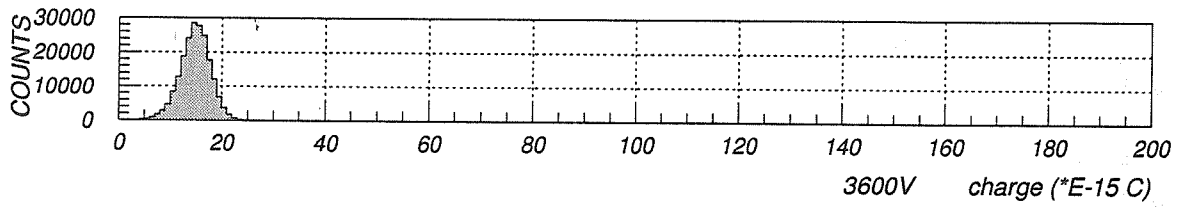
# 8 ANODE の Gain のスペクトル



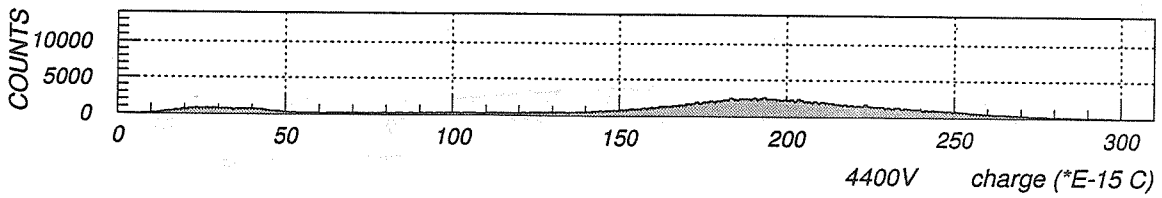
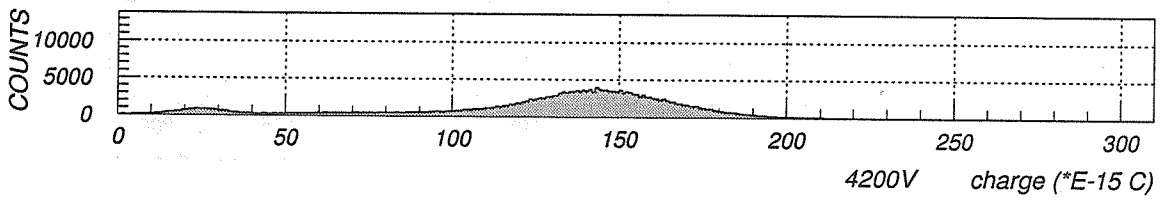
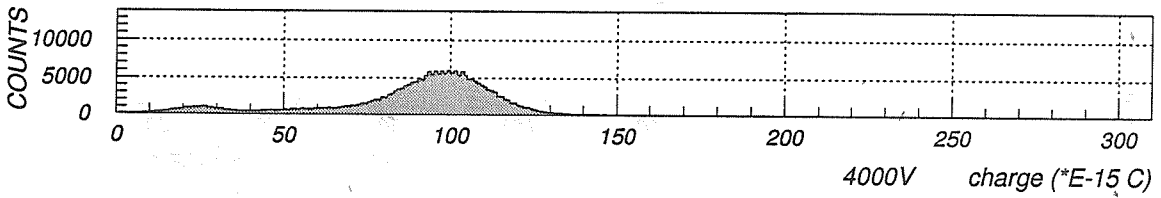
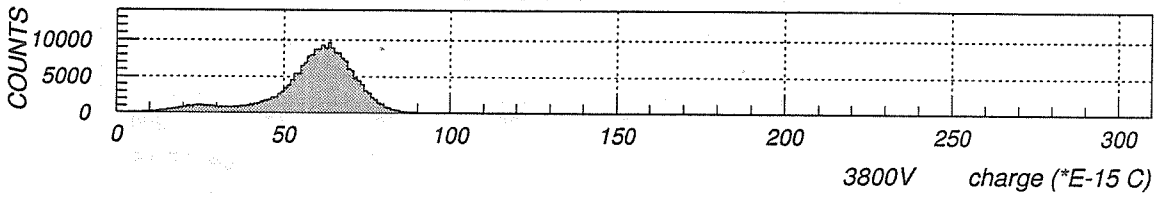
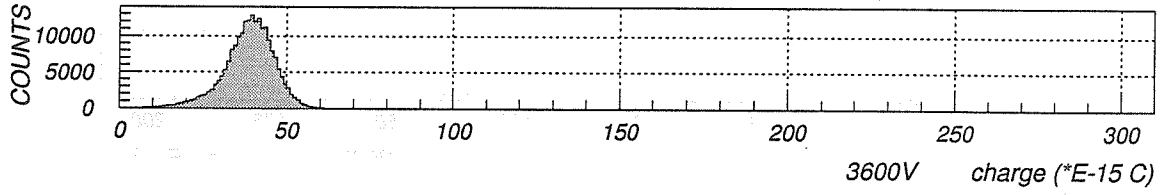
HE4(80%) I-C4H10(20%)



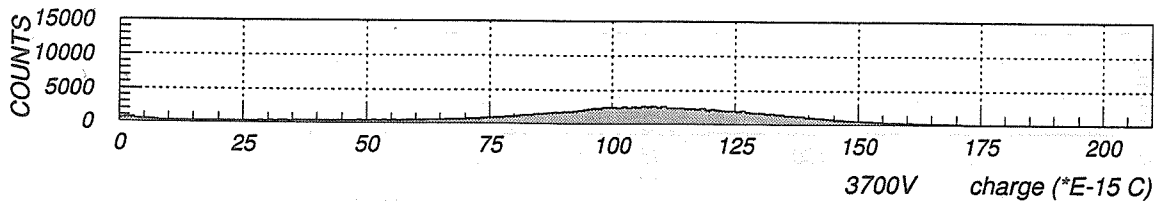
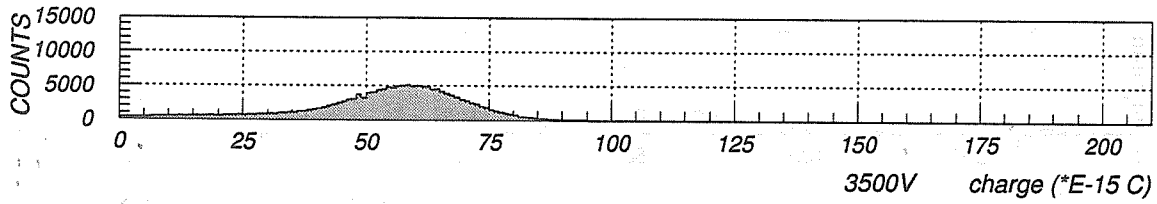
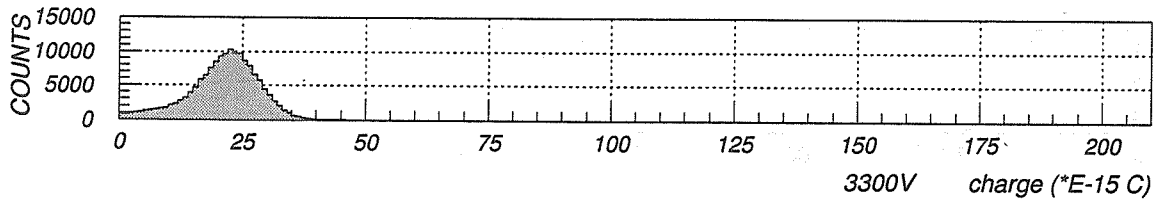
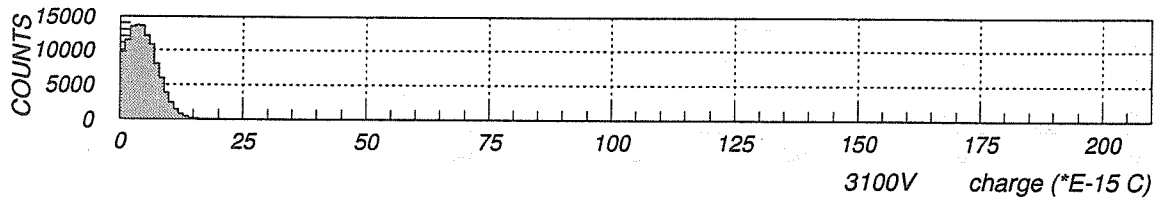
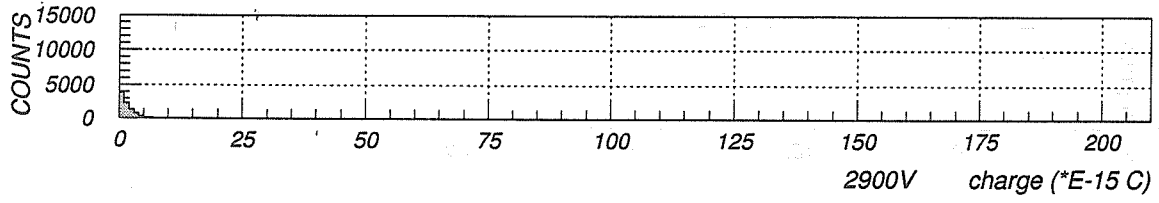
HE4(85%) i-C4H(15%)



**HE4(90%) i-C4H10(10%)**



HE4(95%) i-C4H10(5%)





## — 謝辞 —

橋本治教授には実験においても普段の生活においても私のやりたいことを自由にやらせて頂き本当に深く感謝しております。又、実験だけではなくセミナーでの様々な物理に対することを教えて頂いたことは真に貴重な体験でした。ありがとうございました。

田村裕和助教授には実験において非常に様々なことを教えて頂きありがとうございました。とりわけデータに対する考察の仕方について学ばせて頂き感謝しております。

高橋俊行助手には実験における疑問から、物理に対する些細なことにまで何にでも相談にのって頂き感謝しております。

中川武美教授には2年生の時に教えて頂いた誤差についての考え方・姿勢は今でも忘れることは出来ません。田中英二助教授には物理に対して取り組む姿勢など様々な事柄について教えて頂き感謝致します。

小林俊雄教授にはチェンバーのことについて御忙しい中 degree 教授して頂き本当に感謝しております。

加藤守男氏、川村直子氏にはいつも私達の学生生活を支えて頂いていること、感謝致します。

実験でわからないことがあった時、いつも相談にのって頂いた院生の方々に深く感謝致します。とりわけ西田淳氏には非常にお世話になりました。ありがとうございました。

最後に4年生の皆様には大変お世話になりました。いつでも何にでも気兼ねなく物理に限らず様々なことについて相談にのって頂き、又、いろいろと話し合い、議論があったことはこのうえなく貴重な体験であったと思います。どうもありがとう。

— 参考文献 —

1. F.Sauli *PRINCIPLES OF OPERATION OF MULTIWIRE PROPORTIONAL AND DRIFT CHAMBERS*
2. ニコラス ツルファニディス 放射線計測の理論と演習 (上・下)
3. W.R.Leo *Technique for Nuclear and Particle Physics Experiments*
4. W.Blum, L.Rolandi *Particle Detection with Drift Chamber*
5. J.CHIBA et al. *Nucl.Inst.and.Meth.* 206(1983)
6. 山崎文男編 実験物理学講座 26 放射線
7. G.CHARPAK et al. *Nucl.Inst.and.Meth.* 148(1978)