

MWPCにおける
ガス増幅度の測定

山口 裕
(原子核物理)

1999年4月2日

初めに

卒業研究をするにあたって、周りの多くの方に大変お世話になりました。周りで温かく見守ってくださった同研究室の皆様、そして我々の生活を支えて下さった方々に深く感謝いたします。

1999年4月2日 山口 裕

目次

第1章	意義と目的	6
1.1	意義	6
1.2	目的	6
第2章	MWPCとは?	7
2.1	MWPCの役割	7
2.2	MWPCの構造	7
2.2.1	アノード読み出し式MWPC	7
2.2.2	カソード読み出し式MWPC	9
2.3	動作原理	9
2.3.1	電子なだれ (electron avalanche)	9
2.3.2	気体の役割	9
第3章	ガス増幅度とは?	12
3.1	ガス増幅度	12
3.2	この実験におけるガス増幅度の定義	12
第4章	測定環境	14
4.1	測定機器	15
4.2	ガスの混合	15
4.3	測定に関する留意点	16
第5章	測定原理	17
5.1	測定方法 (概説)	17
5.2	オシロスコープでの電荷の求め方	17
5.2.1	考え方	17
5.2.2	求め方	18

第 6 章	測定データ	22
6.1	ガス増幅度	22
6.2	preamp 使用時との比較	26
6.3	Escape peak について	29
6.3.1	^{55}Fe X線	29
6.3.2	Escape peak とは?	29
6.3.3	測定結果と考察	30
6.4	まとめ	31
付録 A		34
A.1	誤差について	34
A.2	単語の意味	34
A.3	特性 X 線の表記	35
A.4	X 線の透過距離	37
付録 B		38
B.1	測定スペクトル集	38

目 次

2.1	MWPCの概観	8
4.1	測定セットアップ	14
4.2	ガス混合セットアップ	15
5.1	等価回路	18
5.2	理想	19
5.3	現実	19
5.4	50 Ωターミネート	20
5.5	1 k Ωターミネート	20
6.1	ガス増幅度	23
6.2	電流値： $CBrF_3$ 0%	23
6.3	電流値： $CBrF_3$ 0.3%	23
6.4	表面電場	24
6.5	ガス増幅度(↑) 表面電場(→)	25
6.6	preampを入れたセットアップ	26
6.7	preampなし	27
6.8	preampあり	28
6.9	スペクトルの比較	32
6.10	^{55}Fe の崩壊図	33
A.1	clusterとclustersize	35
A.2	特性X線の表記	36
B.1	測定データ1 (preampなし) $CBrF_3$ 0.3%	39
B.2	測定データ2 (preampなし) $CBrF_3$ 0.3%	40
B.3	測定データ3 (preampなし) $CBrF_3$ 0.3%	41
B.4	測定データ4 (preampなし) $CBrF_3$ 0.0%	42
B.5	測定データ5 (preampなし) $CBrF_3$ 0.0%	43

B.6	測定データ6 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.0%	44
B.7	測定データ7 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%	45
B.8	測定データ8 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%	46
B.9	測定データ9 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%	47

第1章 意義と目的

1.1 意義

かつて、まだ preamp がなかった頃には、MWPC を動作させるためには、ガス増幅度を限界近くまで高めることが必要であった。そのため、高い電圧をかけても放電しないようにマジックガスが開発された。

しかし、preamp が作られ、高い完成度となっている今日では、それほど高いガス増幅度でなくとも（むしろ低い増幅度で）MWPC として十分に動作するようになってきているため、あまりガス増幅度を測定しようとする試みはされなくなっている。そのようなことをしなくても動作すれば問題ないからである。ただし、ひとつ考えなければならないことがある。それは、preamp の制限である。

preamp はもともと、低いガス増幅度でも信号が見えるように増幅する装置である。従って、高いガス増幅度の領域においては、入力される信号が大きすぎて出力限界を超えてしまうということも起こりうる。

：例えば、高いガス増幅度が予想される電圧の範囲での信号を preamp を通して見ようとした場合、信号が飽和してしまう（saturation を起こす、又は、俗に「サチる」という）ことが考えられる。

このようなことを起こさないためにガス増幅度の情報というものが必要だと考えた。

1.2 目的

preamp を通した後の相対的な増幅度ではその preamp の特性を含んだものとなり、MWPC 自体を比較する情報としては客観性に欠ける。このため、preamp を通さない絶対的なガス増幅度を求めようとするのが今回の狙いである。

第2章 MWP Cとは？

2.1 MWP Cの役割

MWP Cというのは MultiWire Proportional Chamber の略で、その中を通過した荷電粒子の位置を測定するものである。どういう原理で測定するのかについては後で述べるが、測定する粒子は基本的に荷電粒子でなければならない。

実際に使用する際にはビームラインにいくつか並べて置き、何点かの位置情報を得る事で粒子の軌道を求める事になる。

2.2 MWP Cの構造

MWP Cの構造を述べる前に、MWP Cには信号の読み出し方法の違いから二種類ある事を知っておかなければならない。その信号読み出し方法とは、アノード読み出しとカソード読み出しである。

2.2.1 アノード読み出し式MWP C

単にMWP Cといった場合には、こちらの読み出し方式のことをいう。(アノード読み出し式…とはあまり言わない)

MWP Cの構造は、おおまかに言って以下のフレームを重ねたものからなる。

- ウィンドウ (上下二面)
- アノード面 (必要に応じて数面)
- カソード面 (アノード面を挟む形になる)
- スペーサー (カソードとウィンドウの間に置く)

- ベースプレート（設置する時に必要になるが、MWPCの性能とは関係無い）

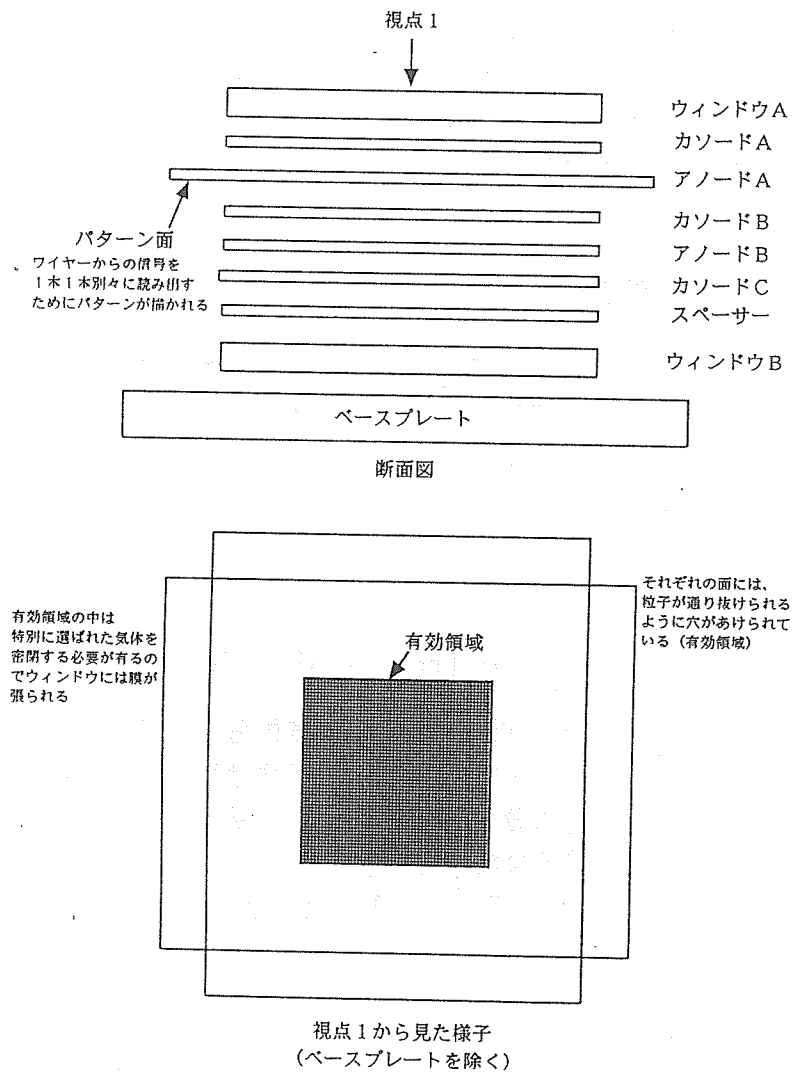


図 2.1: MWPCの概観

アノード面には、直径 $10 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ のワイヤーが $1 \text{mm} \sim 2 \text{m}$ の間隔で数十本から数百本張られており、そこに到達した電荷をそのまま読み出す事によってどこを荷電粒子が通ったかを知る事ができる。従ってこの読み出し方式での位置分解能は、ワイヤーの間隔に等しい。

2.2.2 カソード読み出し式MWP C

基本的にはアノード読み出しのものと同じだがカソード面にワイヤーが張っており、カソードからの信号を読み取る。このMWP Cではアノード信号は主にゲート信号等に用いる事のみに使われる。

この読み出し方法の利点は、アノードで起こった電子なだれによりカソードに誘起された電荷を読むためワイヤー間隔よりずっと精密な位置分解能が得られる事にある。欠点としては、ノイズに弱い事と高い計数率に耐えられない事である。

2.3 動作原理

MWP C内を荷電粒子が通った時にはその内部に密閉された気体が電離され、その時生ずる電子がアノードワイヤーの方へ移動する。この電子がワイヤー表面付近にやってくると、大きな電場によって加速され電子なだれが起きる。この時アノードワイヤーに到達した電荷を読む事で荷電粒子がどのワイヤー付近を通ったのかが判別できる。

2.3.1 電子なだれ (electron avalanche)

物質中の電子が電場で加速される時、気体分子に衝突してイオン化を起こすだけのエネルギーを得る程に電場が強ければ、イオン化でできた電子も加速されて次々に分子をイオン化し、電子の数がねずみ算的に増加する。この現象を電子なだれという。

MWP Cにおいて電場が非常に大きな値となるのは、アノードワイヤー表面付近であり、その大きさは 100 kV/cm のオーダーである。

2.3.2 気体の役割

MWP Cに入れるガスは普通何種類かのガスを混合したものであり、その混合されたガスには当然各々の役割がある。

第一ガス (例 Ar)

求められる性質

- 平均電離エネルギーが小さいこと
今現在はそうでもないのだが、preampが無かった頃には信号が大きくなるとMWPCとして動作しなかったため、最初にできる電子の個数(種の数)が多くなければならなかった。そのため平均電離エネルギーの低いガスが求められたが、下の理由と経済的理由からArがよく用いられるようになった。
- 励起準位をたくさん持たないこと
振動や回転等のような励起状態をたくさん持つ多原子分子では、通過する荷電粒子によって与えられたエネルギーがその励起状態へ上がる事で消費されてしまうためイオン化する効率が低くなる。従ってこれをさけるためには、単原子分子を用いればよい事が分かる。

第二ガス (例 $i-C_4H_{10}$)

求められる性質

- 第一ガス分子が脱励起する際に出すX線を吸収できる事
このX線がカソードに達するとカソード表面から電子をたたき出しその電子が偽の電子なだれをひき起こし、さらにそこからX線が放出されるという現象が連続しておこるため、このX線を吸収しないと放電の起こり始める電圧が低くなってしまう。これではMWPCを安定に動作させる事はできず、ガス増幅度を上げる事もできなくなる。
- 第一ガス分子のイオンに電子を供給しもとの分子に戻す事
電離された時に出る電子はアノードワイヤーの表面で電子なだれを起こすが、イオンの方はカソードに引き寄せられた後、カソード表面に衝突し電子を吸収して元の分子に戻る。この時このイオンが必要とするより多くの電子をカソード表面から放出させてしまうため上と同じ理由で放電がおこりやすくなる。この第二ガス¹分子が第一ガス分子のイオンと相互作用しイオンをもとの分子に戻し、自分自身は非放射性的の励起状態(振動、回転等)になる事で放射線を出さずに基底状態に戻る。

¹ こういった呼び名は一般に使われているものではなく私の都合のいいように勝手につけたものである

第三ガス (例 $CBrF_3$)

このガスの役割は余分な電子を吸収し、clustersizeを小さく (理想的には1)、そしてclusterを少なく (理想的には1) する事である。具体的にどういふ事かという、一イベント (電子なだれ) に対し一本のアノードワイヤーのみが反応するようにするという事である。もし一イベントに対し二本以上のワイヤーが反応したとすると、粒子がどこを通ったのかよく分からなく (位置分解能が悪くなるとも言える) になってしまう。²

² clustersize、cluster の単語の説明は付録：単語の意味を参照

第3章 ガス増幅度とは？

3.1 ガス増幅度

MWPC内のガス中を荷電粒子が通過する時、その軌道上にあるガス分子を電離する。アノード（陽極）面とカソード（陰極）面の間には高圧（数kV）がかけられているので、電子はアノード面に引き寄せられる。アノード側には細いワイヤー（直径～10 μ m）が張っており、その表面電場は数100 kV/cmにもなる。このため、ワイヤーの表面付近まで近付いた電子は、急激に加速されガス分子を電離する。電離された電子もまた、急激に加速され、同様にして周りのガス分子を電離する。こうしてアノードの表面には、種となった電子の $10^3\sim 10^6$ 倍もの電子が到達する。この増幅度のことをそのガスでの「ガス増幅度」と呼ぶ。

3.2 この実験におけるガス増幅度の定義

ガス増幅度 (M) は、その意味から考えて

$$M = \frac{\text{アノードワイヤーに到達した電荷量}(Q)}{\text{種となった電荷量}(q)} \quad (3.1)$$

であるが、問題はこのqとQをどのように決定するかである。

まず、qについて考えると、

$$q = \frac{\text{入射粒子がMWPC内で失ったエネルギー}(\delta E)}{\text{MWPC内ガスの平均電離エネルギー}(\omega)} \times e \quad (3.2)$$

であるとしてもよいだろう。ここで、eは素電荷である。知るべき量 ω と δE の値は、次の通りである。

1. ω

使用するガスが主に、Arとイソブタンの混合ガスなのでこの2つのガスについて記す。

gas	ω (eV)
A r	26.3
i -C ₄ H ₁₀	23.2

2. δE

β 線源ではそのエネルギーが一定ではないため都合が悪い。今回は⁵⁵F eの5.9keV X線源を使う。このX線は、光電効果でエネルギーを失うので、 δE が5.9keVであると考えられる。

第4章 測定環境

図 4.1 のようにセッティングしている。

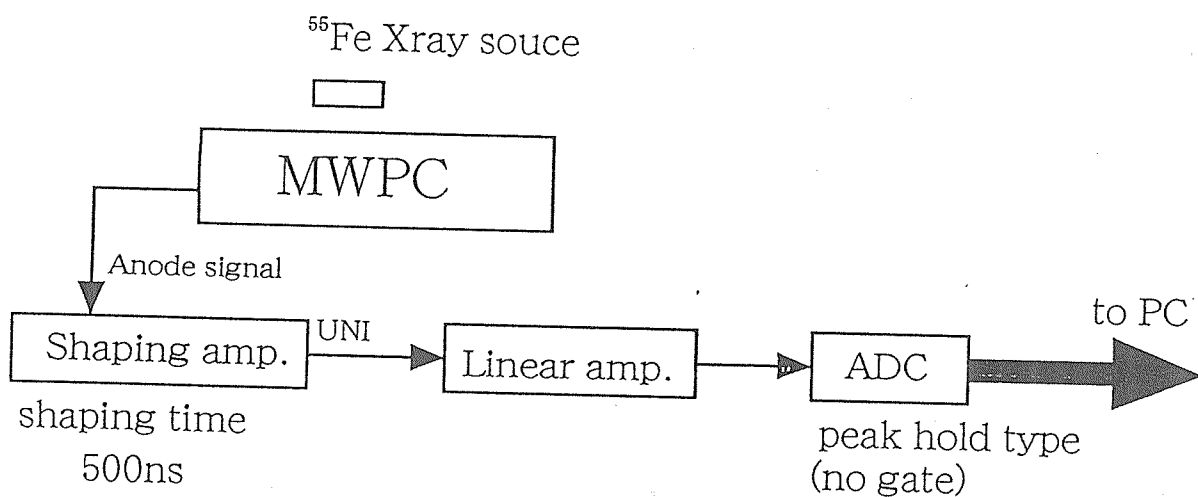


図 4.1: 測定セットアップ

4.1 測定機器

今回使用したMWP Cの仕様は、以下の通り。

ワイヤー間隔	2 mm
Half gap	6 mm
ワイヤー直径	20 μ m
有効面積	200 × 400 (mm ²)
読み出し方式	カソード読み出し

4.2 ガスの混合

測定したガスはAr:イソブタン=70:30の混合ガスに少量の $CBrF_3$ を混ぜたものである。ガスの混合は以下のようにして行った。

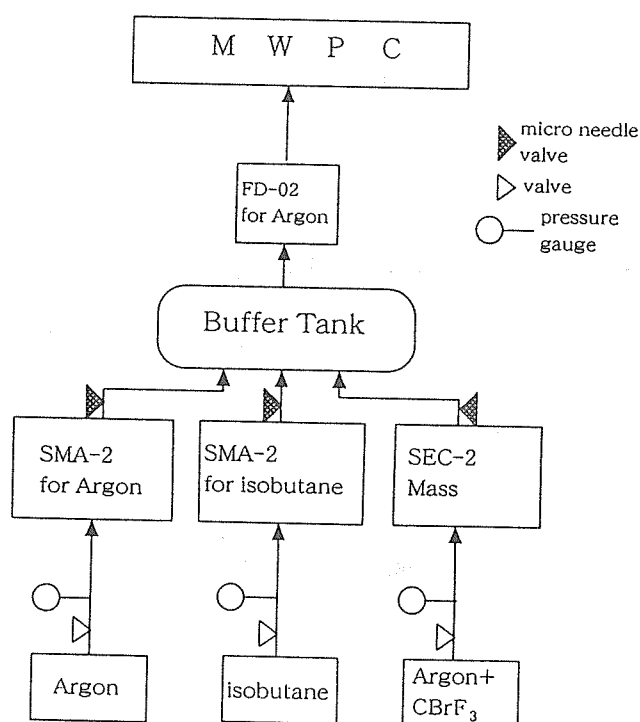


図 4.2: ガス混合セットアップ

4.3 測定に関する留意点

- MWPCからの信号は同軸ケーブルで読み出す。信号の反射等を考えると、このケーブルは短い方がよい。(この実験では20cm程にしてある)
- PCはADCとのデータのやり取りを始めると、かなりのノイズを出すので測定機器とは離しておいた方がよいが、今回は都合上離しておくことができなかった。従ってノイズ落としの作業は、なかなか手間のかかるものとなった。
 - － ノイズ落としを怠るとスペクトルのピークがハッキリと見えにくい
- ガスの流量が安定しているかをチェックする。

第5章 測定原理

5.1 測定方法（概説）

1. ADCでとることのできるピークの高さは10（V）までなので、回路の増幅率を適当に調節する。
2. ^{55}Fe のX線源を置きデータをとる。あらかじめ、PCがデータをとる時に出すノイズはおとしておく。
3. いくつかの電圧についてスペクトルをとり、なるべく電圧の高い時のアノード信号を直接オシロスコープで見て電荷を求める。（これでQが決定する；次節参照）
 - 電圧の上限は、電流値を見て決める
4. ある電圧におけるガス増幅度が決まるので、そこを基準にして他の電圧におけるガス増幅度も定まる。

5.2 オシロスコープでの電荷の求め方

5.2.1 考え方

MWPCは大きなコンデンサーと考える事ができ、そこにうまれた電荷をオシロスコープで読む事になるが、このターミネーターの抵抗を変えるとその形が変わってくる。（減衰する際の時定数が変わるため）

実際にオシロスコープで見ているのはX軸が時間、Y軸が電圧である。ここでいう電圧は、上で述べたターミネーターの抵抗にかかる電圧であるから電流とは比例関係にある。従ってこの電圧を電流に換算し、その面積を求める事で電荷が分かるはずである。

実効的な回路（等価回路）としては、右図のようになっていると考えられる。電子なだれが起こるといふ事はこのコンデンサーに電荷が蓄積する事に等しく、たまつた電荷がこの抵抗を伝わり逃げていく過程といふのは、この回路のスイッチが入る事に等しい。

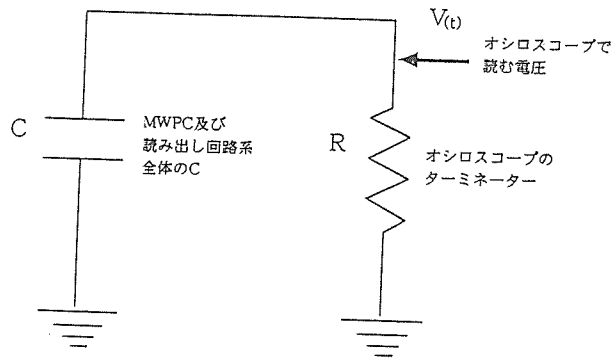


図 5.1: 等価回路

5.2.2 求め方

理想的に電子なだれによる電荷の蓄積にかかる時間がゼロであったとすると、その電荷の逃げる過程といふのは、(t=0を電子なだれが起こつた時刻とすると)

$$V(t) = -\frac{Q}{C} \exp\left[-\frac{t}{RC}\right] \quad (5.1)$$

と表す事ができる。ここでV(t)はオシロスコープで見た場合の高さ(Y軸)であり、Qは電子なだれの際に発生した電荷の量の絶対値である。(電荷は負のはずである) RとCは図 5.1 のものである。V(t)=R×I(t)なので、電流I(t)は式 5.1 より

$$I(t) = -\frac{Q}{RC} \exp\left[-\frac{t}{RC}\right] \quad (5.2)$$

である。

しかし、実際にはなだれによる電荷の蓄積にかかる時間はゼロではなく、オシロスコープまで含めた回路の立ち上がり時間 (rise time) があるために少し事情は異なってくる。(図 5.2, 5.3 参考)

いずれにしろ、電子なだれによって生じた電荷はI(t)を時間で積分したものであるから、必要な情報として重要なのは、時定数RCの値である事は間違いない。この時定数は単純にオシロスコープで見る他ないので、どうしたらより正確に測れるかを考える。

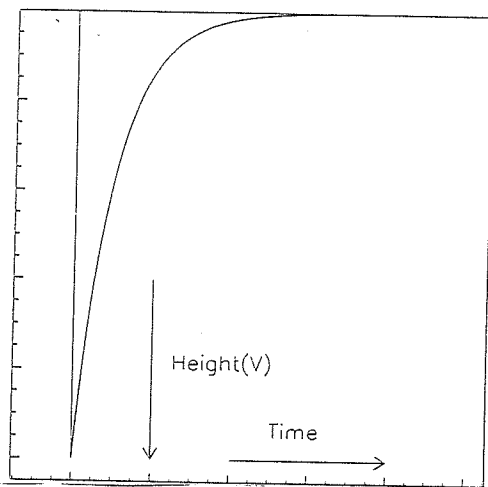


図 5.2: 理想

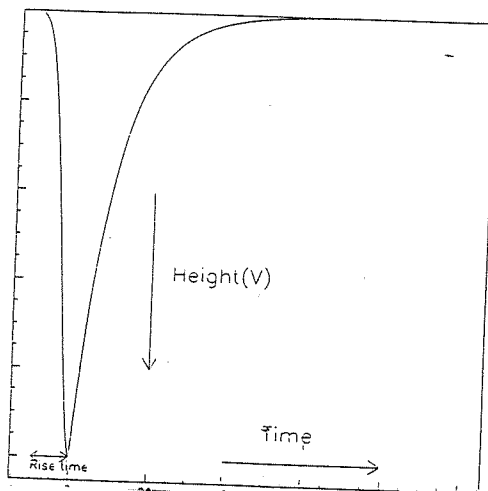


図 5.3: 現実

図 5.4 はオシロスコープへの入力信号を 50Ω でターミネートしたものである。(この信号は 5.9 keV の X 線のもの) これを見れば分かるように、真の信号(と思われる)に得体の知れない信号がのっているのが分かる。

従ってこのターミネートでは、この得体の知れない信号がある事やもともと RC が小さい事等から時定数を求めるには適していないと考えられる。

この不都合を解消すべく、ターミネーターの抵抗をいろいろ試してみたところ、 $1 \text{ k}\Omega$ 程度がちょうどいいと判断した。(図 5.5 を参照)

図 5.5 より高さが半分になるまでの時間 $\tau_{\frac{1}{2}}$ を 160 ns と判断し時定数を求めてみる。

$$\frac{1}{2} = \exp\left[-\frac{\tau_{\frac{1}{2}}}{RC}\right] \quad (5.3)$$

であるから時定数 RC は、

$$RC = \frac{\tau_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} \quad (5.4)$$

よって

$$RC \simeq 2.3 \times 10^{-7} (\text{sec})$$

となる。ここで R は既知 ($1 \text{ k}\Omega$) なので C が定まり

$$C \simeq 2.3 \times 10^{-10} (\text{F})$$

という事になる。この値を用いて電荷を求めると、

$$Q = 1.2 (\text{pC})$$

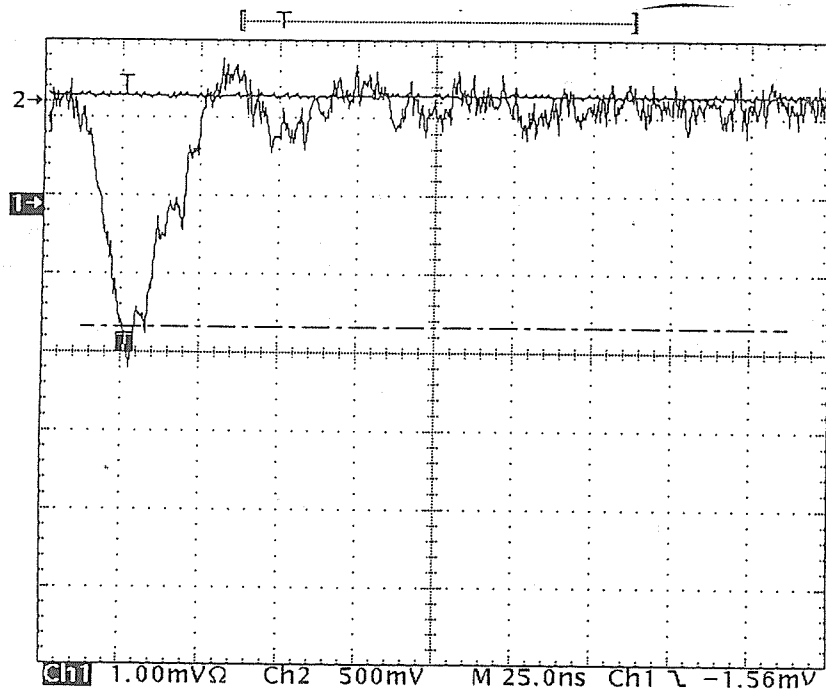


図 5.4: 50 Ω ターミネート

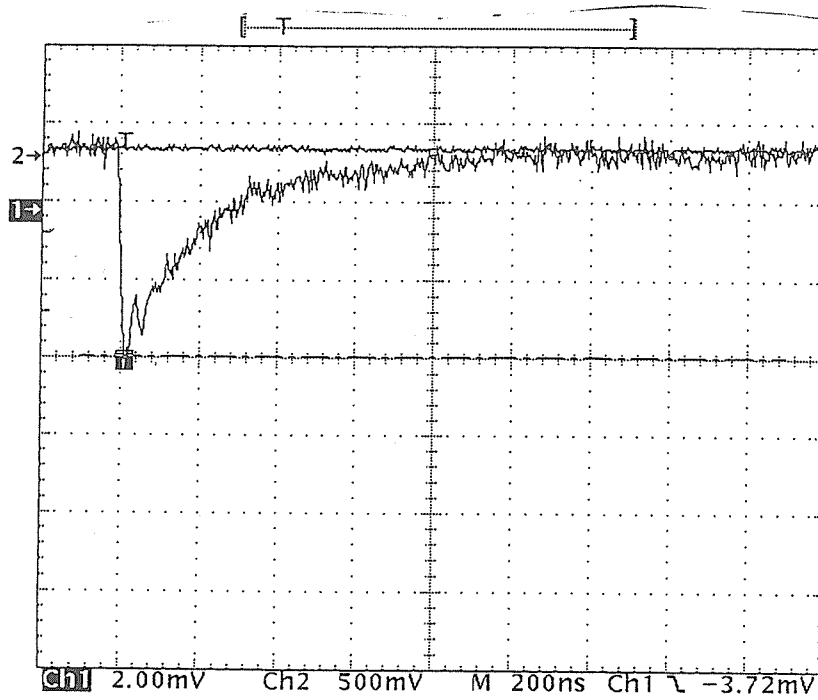


図 5.5: 1 k Ω ターミネート

である。このようにして式 3.1 の Q が決定される事になり、式 3.2 とあわせてガス増幅度 (M) が算出される。

● 注意

上記の C の値を用いてターミネーターが 50Ω の場合に信号の高さが半分になる時間を出してみると、この時間 τ' は、約 8 ns となる。図 5.4 とくらべると少し短いように見えるがこの値を用いる事にして、この図における立ち上がり時間を $10 \sim 15 \text{ ns}$ 、立ち上がるまでの領域の面積を三角形と見て電荷を算出すると、 $Q = 0.9 \sim 1.1 \text{ (pC)}$ となる。なぜ違いが出るのかは今のところ分かっていない。

ただ、立ち上がり時間が 15 ns より長いようには見えないので、問題があるとすれば τ' の値だろうと考えられる。しかし、もしこの値がターミネーターの抵抗の大きさによって変わるとすると図 5.1 の等価回路では説明できない事が起こっている事になる。

とりあえず今は、電荷量 Q に関しては $1 \text{ k} \Omega$ ターミネーターの方を採用する事にする。

第6章 測定データ

6.1 ガス増幅度

測定されたガス増幅度は 10^4 程度であった。(図 6.1) これは、ガス増幅度の限界であるとされる 10^6 に比べかなり小さい。つまり、この MWPC ではまだその限界まで到達していないという事であるが、ワイヤーに流れる電流値に関しては限界に達しているように見える。(図 6.2 6.3)

ガス増幅度に最も大きな影響を与えるパラメーターとして考えられるのは、アノードワイヤーの表面電場である。これは、増幅の過程で起こる電子なだれがなぜ起こるのかを考えれば至極当然であるといえる。よってこの MWPC の電圧と表面電場との関係を示しておく必要があると考える。(図 6.4) 又、並行して X 軸を表面電場で換算したガス増幅度の変化も示す。(図 6.5)

MWPC 内の電場 (E) は、ノードワイヤーの中心を原点としてその中心からワイヤー面に平行に且つワイヤーに垂直な方向へ X 軸を、ワイヤー面に垂直な方向に Y 軸をとると

$$E(x, y) = \frac{CV_0}{2\epsilon_0 s} \left\{ 1 + \tan^2 \frac{\pi x}{s} \tanh^2 \frac{\pi y}{s} \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \tan^2 \frac{\pi x}{s} + \tanh^2 \frac{\pi y}{s} \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

で表す事ができる。この X と Y にワイヤー表面の座標を入れると表面電場 $E_{surface}$ は、

$$E_{surface} = \frac{CV_0}{2\epsilon_0 s} \tan \frac{\pi a}{s} \quad (6.2)$$

となる。ここで、 ϵ_0 は真空の透磁率、 V_0 はアノード面とカソード面にかげられた電圧である。C はワイヤーの単位長さ当たりの静電容量であり、

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\frac{\pi l}{s} - \ln \frac{2\pi a}{s}} \quad (6.3)$$

である。ここで l はアノードとカソード間の距離 (half gap)、 a はワイヤーの半径である。

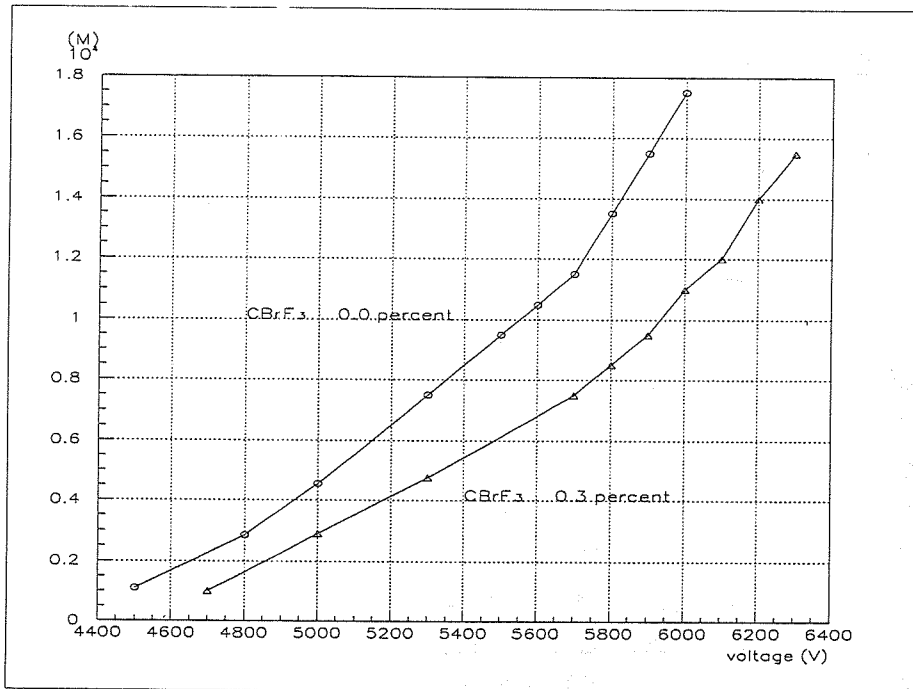


図 6.1: ガス増幅度

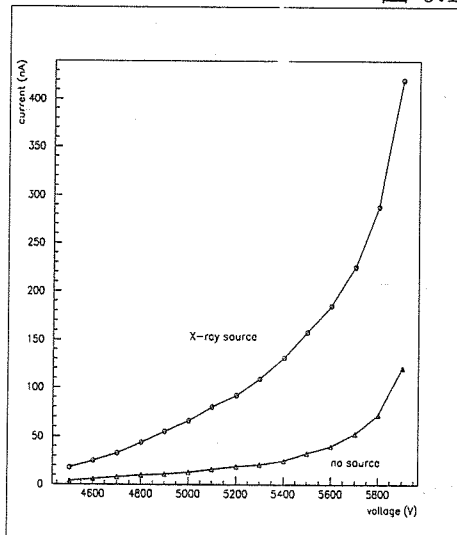


図 6.2: 電流値 : $CBrF_3$ 0%

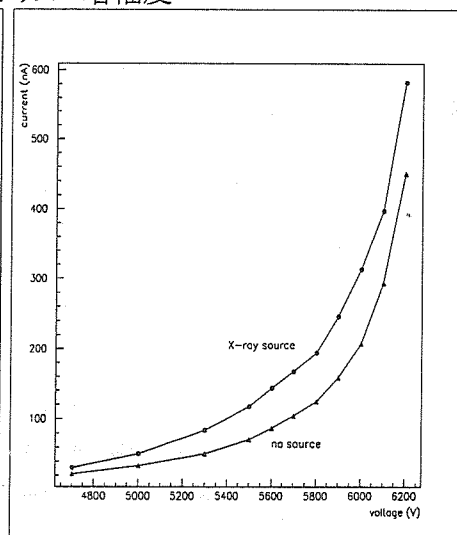


図 6.3: 電流値 : $CBrF_3$ 0.3%

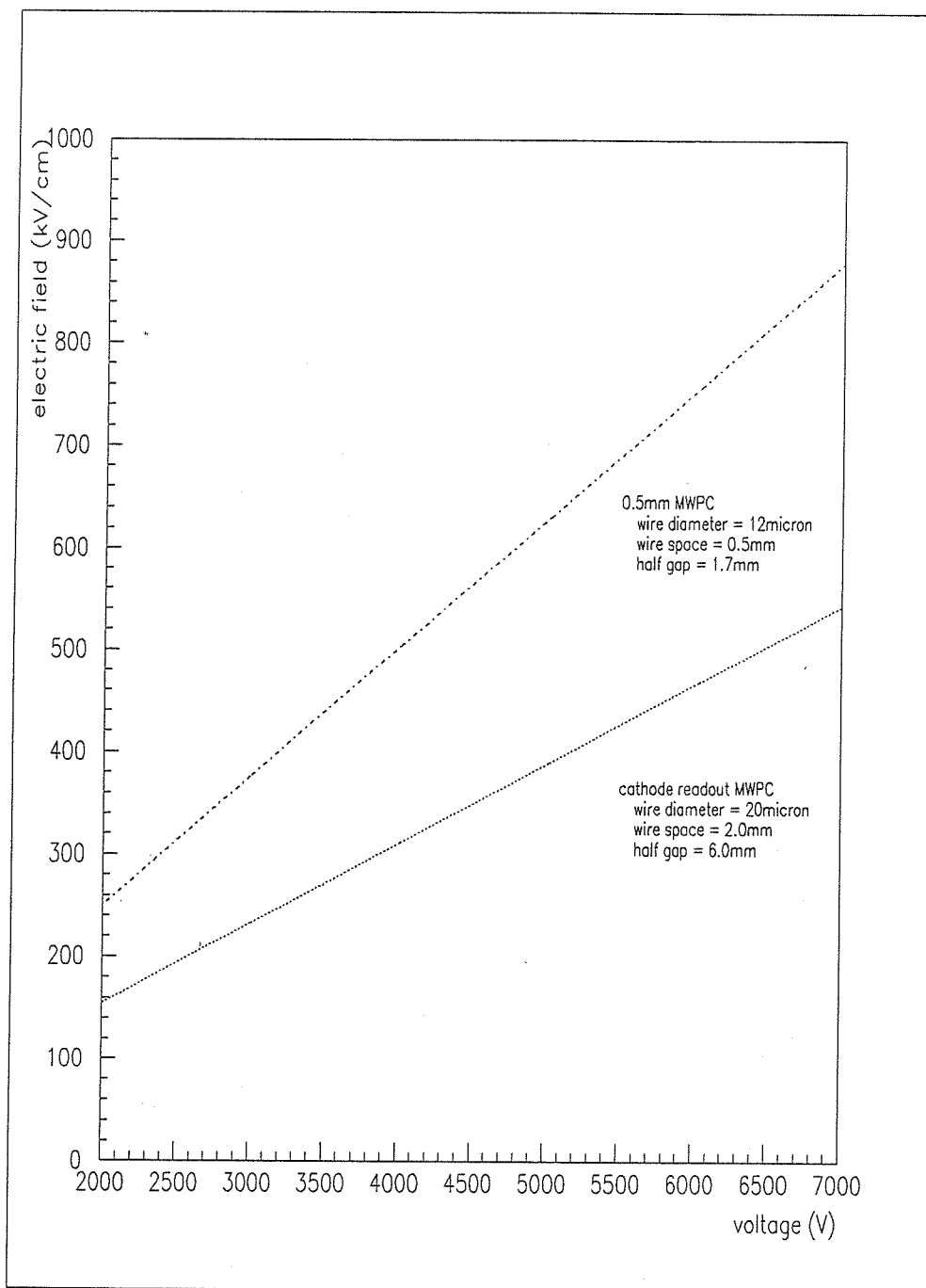


図 6.4: 表面電場

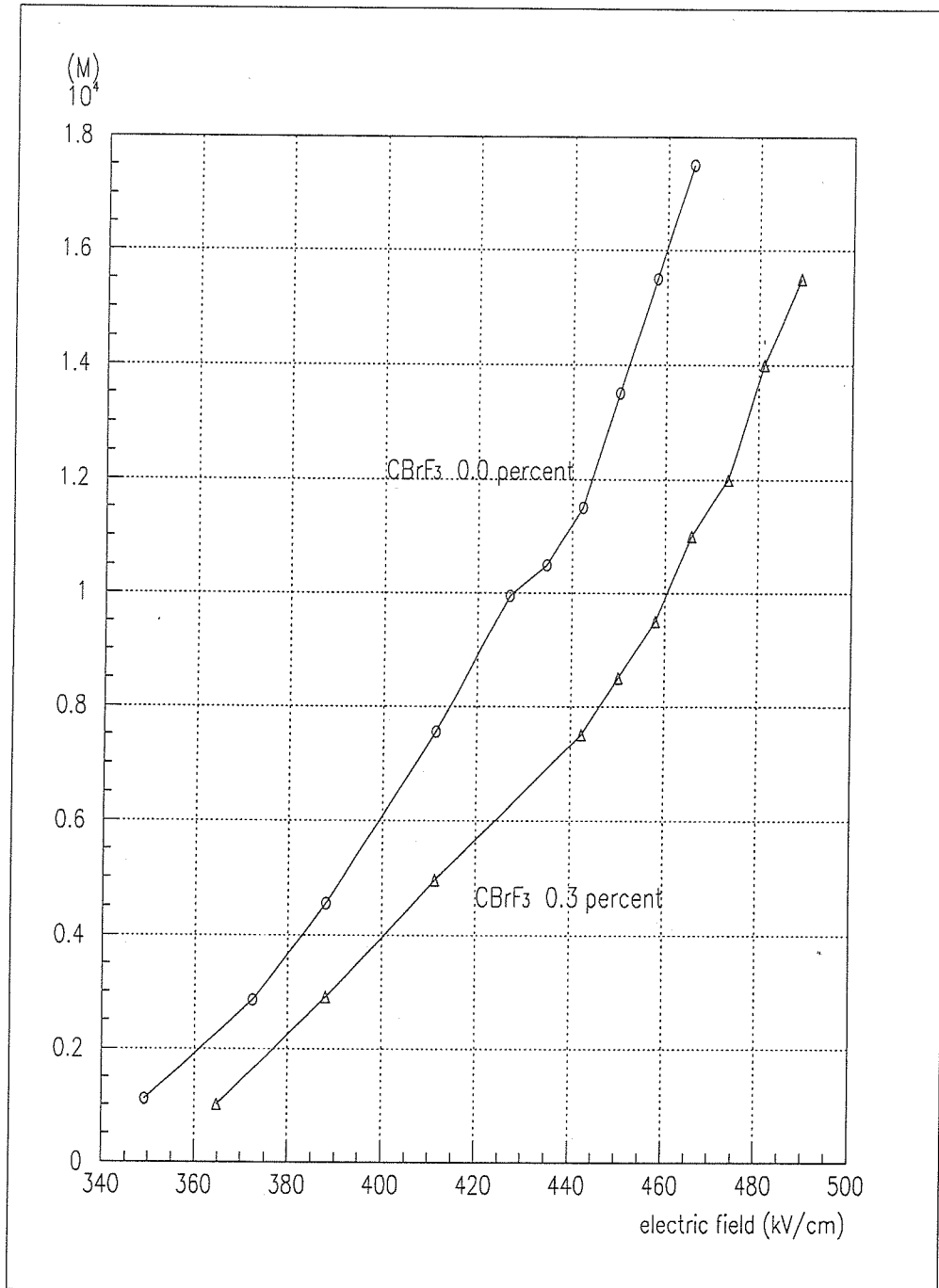


図 6.5: ガス増幅度 (\uparrow) 表面電場 (\rightarrow)

6.2 preamp 使用時との比較

この測定では、図 4.1 を見ると分かるように本来シェーピングアンプの前に入れるべき preamp が入っていない。この事について指摘があったため、preamp を入れて測定してみた。(set up 図 6.6)

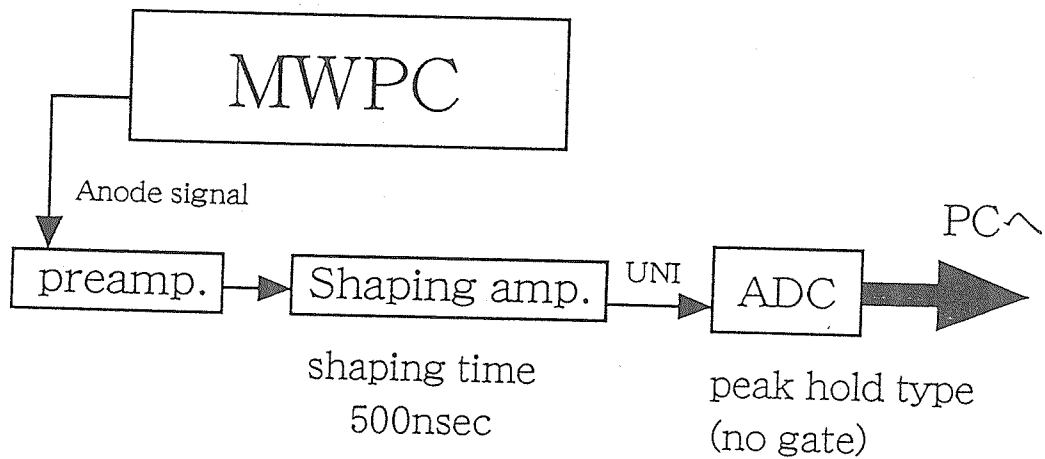


図 6.6: preamp を入れたセットアップ

図 6.7、6.8 は $CBrF_3$ を 0.3% 混合したガスで測定したピークの変遷を表すものである。それぞれ preamp なし (図 6.7)、preamp ありの図である (図 6.8)。

さらに拡大した部分どうしを見比べてみても (図 6.9) 大きく変わったところはないと思われる。これらのことより、preamp の有る無しが劇的に測定に影響を与える事はないと判断する。

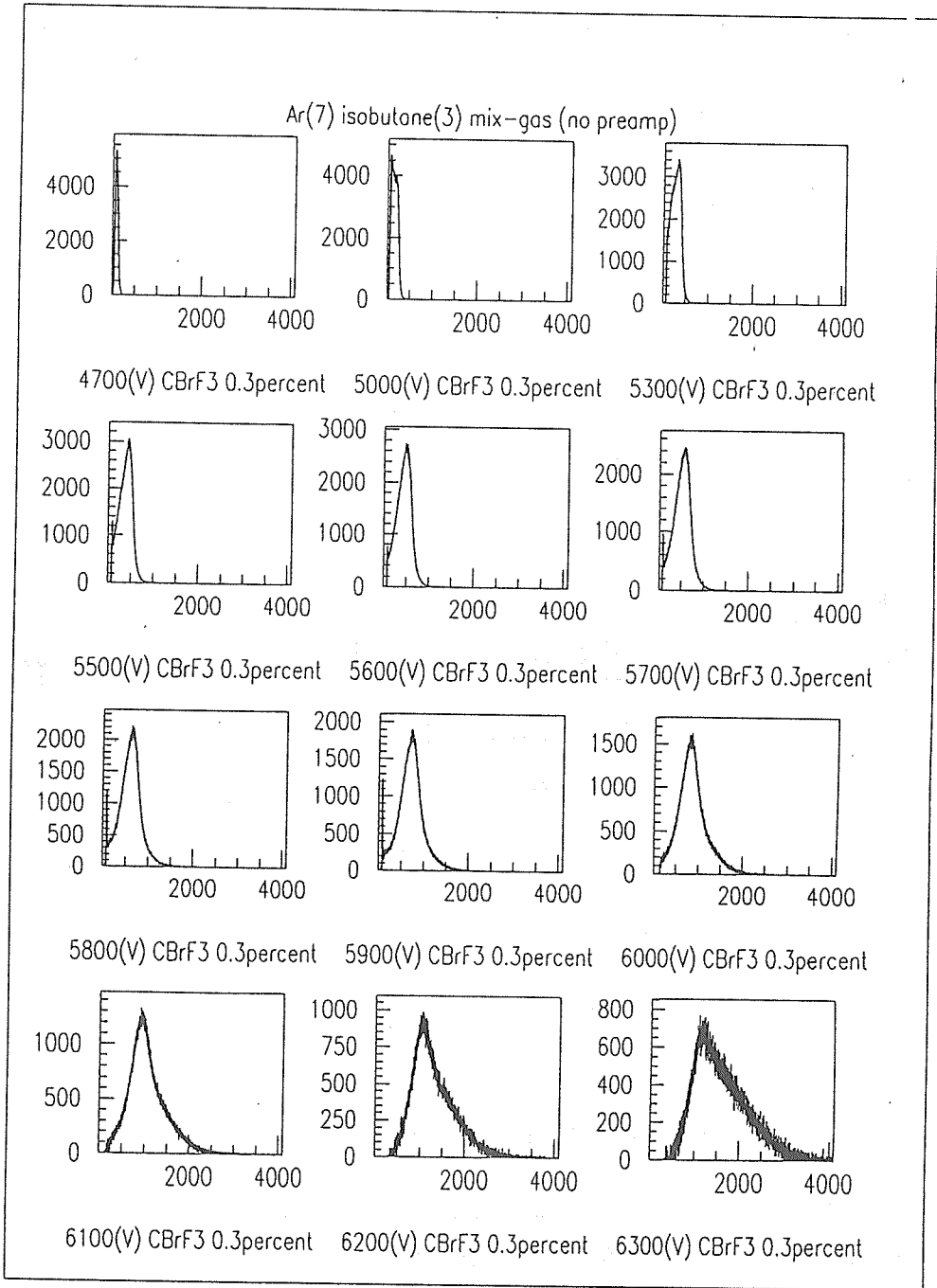


図 6.7: preamp なし

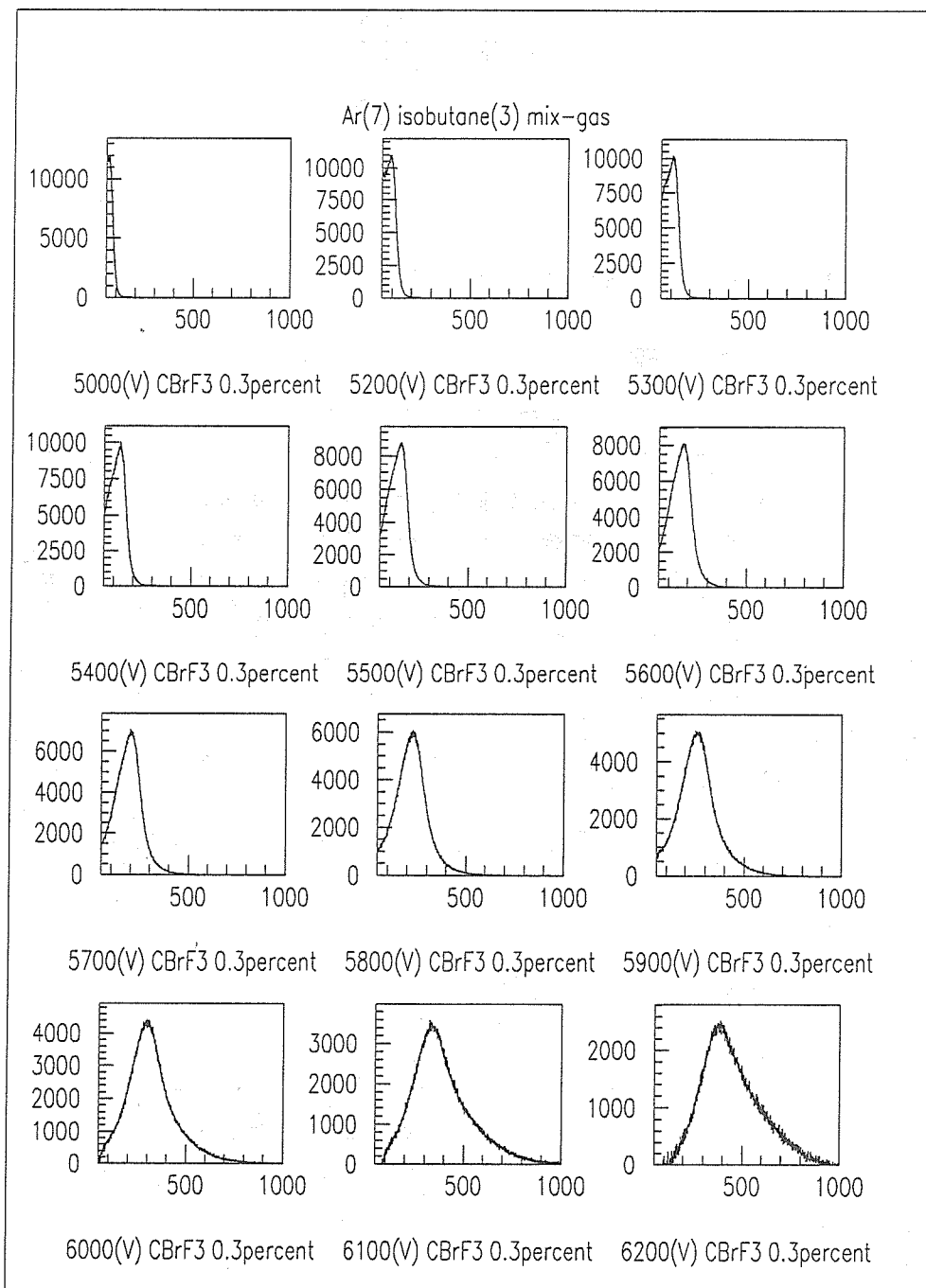


図 6.8: preamp あり

元素	K系列			
	K β_1	K β_3	K α_1	K α_2
Ar	3.1905	3.1905	2.95770	2.95563
Mn	6.49045	6.49045	5.89875	5.88765

表 6.1: 特性X線エネルギー (k e V)

6.3 Escape peak について

6.3.1 ^{55}Fe X線

^{55}Fe のX線がどのような過程を経て放射されるかを述べる。

^{55}Fe は電子捕獲反応 (EC) により100%が ^{55}Mn の基底状態になり γ 線は放出しない。(図 6.10を参照) この時、捕獲される電子は弱い相互作用 (β 崩壊) の到達距離が非常に短い事からs軌道の電子のみと反応すると考えて差し支えない。(実際にはほとんどがK殻の電子) 要するに最も内側にある電子とのみ反応すると考えてしまえるので、この電子を失った不安定な状態からどのようにして基底状態 (原子) に落ちるのかを考えればよい事になる。

表 6.1 を見ていただきたい。¹ これによると、 ^{55}Mn (原子) から放出される特性X線のエネルギーはおおよそ6.5 keVと5.9keVである事が分かる。このX線を我々は扱っているわけである。このうち起こりやすいのが5.9keVの方なので5.9keV X線源と称しているのである。

6.3.2 Escape peak とは？

X線のエネルギーがどのようにしてMWPCに与えられ、それが電荷と対応しているのか考えてみよう。このX線のエネルギーは5.9keVであり、このエネルギー領域のphotonはほぼ完全に光電効果でエネルギーを失う事が分かっている。従ってこのX線がMWPC内で反応を起こしたなら、全エネルギーがMWPC内に落とされると考えられる。この反応 (光電効果) によって第一ガスの分子 (この実験ではAr) が電離される。この時放出される電子の持つエネルギー (E) はその電子の束縛エネルギー

¹ この表のKに添えてある α や β については付録を参照

ギーを B_e として

$$E = E_x - B_e \quad (6.4)$$

と表す事ができる。(E_x は X 線のエネルギー: 5.9keV) この時、 A_r には電子の抜けた穴があく事になりそのままでは非常に不安定なので、より高いエネルギー準位から電子が落ち込むという事が連続して起こる。こうして準位間のエネルギーに見合ったエネルギーの X 線が MWPC 内に放出される事になる。この X 線が全て MWPC 内で反応してしまうならば、結局 MWPC 内に落とされるエネルギーは E_x に等しい。

ところが、この X 線が MWPC 内から外へ逃げてしまう場合がある。この時 5.9keV X 線の全エネルギーが示すピーク (full energy peak) の他に、この逃げた X 線のエネルギーだけ低いところにピークが見えるはずである。このピークの事をエスケープピーク (escape peak) と呼ぶ。

今回の実験においては、 A_r の K 殻の電子がはじき出された時に出る X 線が escape peak の主であり、そのエネルギーは、約 3 keV である。(表 6.1 参照)

6.3.3 測定結果と考察

^{55}Fe の X 線を使った測定では、光電効果による full energy peak の他に上記の通り escape peak が見えるはずである。しかし、今回の測定では escape peak と full energy peak を分離してみる事ができない。(それらしきものは見えるが) 見えないのはエネルギー分解能が悪いためであるが、どうしてこんなに悪いのだろうか。この理由について以下にまとめてみた。

1. ノイズが落とさきれていない
2. この MWPC が大きいと X 線が逃げにくい

1 のノイズとしてはその源として考えられるものは、MWPC 自身、回路系統及び PC 等である。MWPC 自身のノイズはかなり落とせていると考えている。PC の出すノイズもオシロスコープで見た限りでは、影響がないまでに改善したと感じている。回路計のノイズもそれ自身の出すノイズをを単独で調べてみたが測定に影響を与える程出ているとは思えない。

2 については数 keV のエネルギーを持つ photon がこのガス中をどの程度走る事ができるかを調べてみたところ 2 ~ 3 cm ではないかという結

論に達した。この値は、この程度のエネルギーを持つX線ビームの強度が2~3 cmで $\frac{1}{e}$ になるという意味である。このMWPCのサイズから考えてこの事が影響しているだろうと思われるが、escape peakが見えにくい事の説明にはなっていない。分解能が悪い事に対する説明にはなっていない。

結局、今のところ私には分からないという事である。

6.4 まとめ

今回は、MWPCのガス増幅度を求めようとしたわけだが測定に関して情報が不足している（準備が不完全）といえる。それは、以下の通りである。

1. ガスの流量が安定でない事（全てのガスにマスフローコントローラーを使用すべき）
2. 使用したマスフローコントローラーの較正を行っていない事
3. 使用したMWPCの信号読み出し回路がよく分からない事
4. 使用したMWPCのガスの出力がない事（リターンがないという）
：ガスが漏れているようである

こういった準備不足もあって原因と結果の対応を測るのが難しい状況であった。ただ、ガス増幅度に関しては今回の定義ではあまりよろしくないのかも知れない。というのも、わずかに入れた $CBrF_3$ による電子吸収のために、種の個数が減っているように思えるからである。真のガス増幅度を求めるためには、どの程度電子が吸収されるのかという事も情報として入れる必要があるだろう。（難しいが）

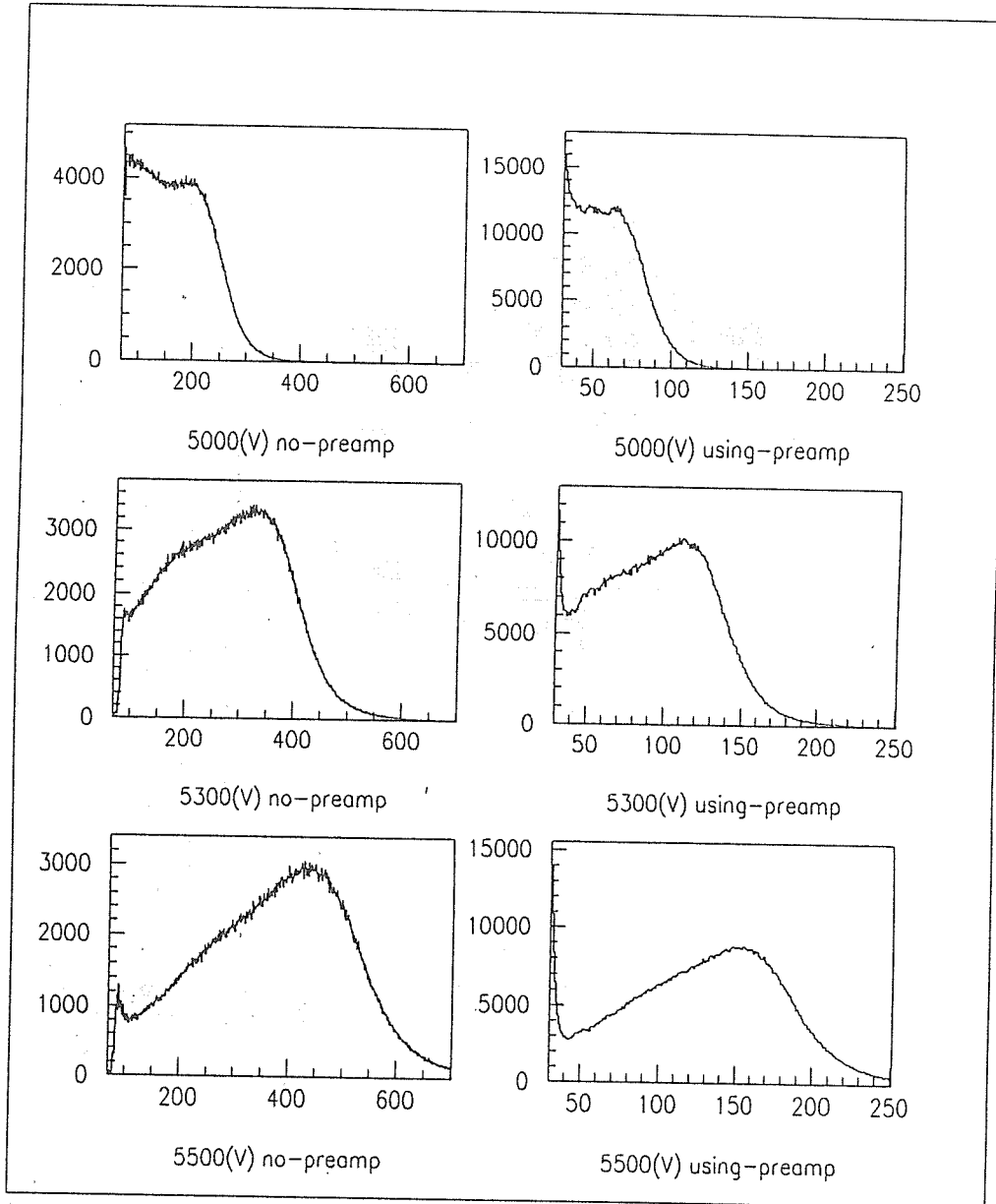


図 6.9: preamp の有る無しでのスペクトルの比較：右が preamp 使用した時、左が使用しなかった時

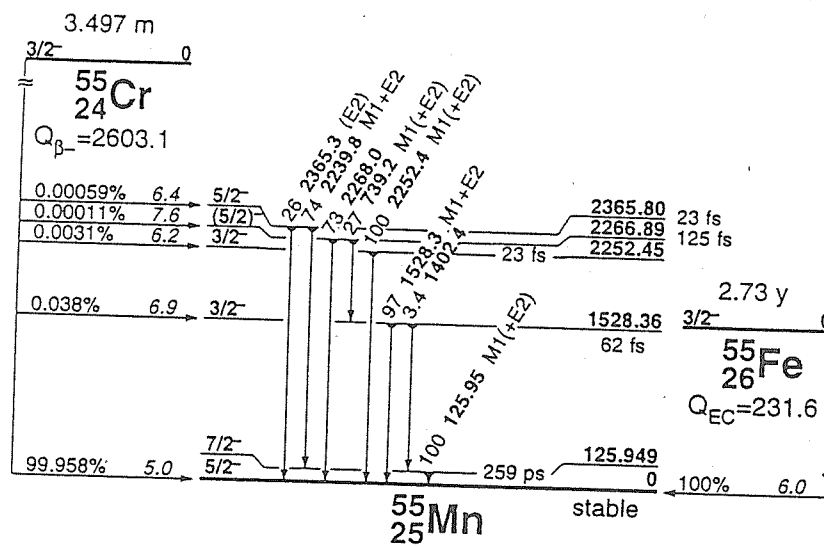


図 6.10: ^{55}Fe の崩壊図

^{55}Fe は 2.73 年の半減期でその 100% が ^{55}Mn (原子核) の基底状態に落ちる。

付録A

A.1 誤差について

今回の測定に関しては、誤差がどの程度あるかを統計的に算出する事はできない。オシロスコープを目で見て判断している部分における誤差は、20%程あると考えている。(ひと目盛り狂った場合にどの程度変わるかという事で考えてみた)ターミネータを変えて電荷を求めた節(5.2.2)で50Ωと1kΩで10~20%ちがっていたのは一応この誤差の範囲内にある事になる。(だからといって無視して良いかどうかは分からない)

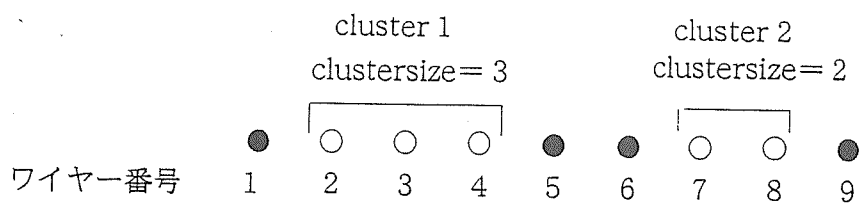
A.2 単語の意味

clustersize

:隣り合う数本のアノードワイヤーが同時になった場合そのワイヤーの本数を clustersize と称する。位置分解能を出すためには、この値は小さい方が良い。(最小で1)ただ、clustersize を小さくするためには、必要以上に電子を吸収するガス(CBrF₃等)を加えてしまうと荷電粒子が通っても反応しなくなってしまうため注意が必要である。この最適な値というのは、電子の平均自由行程がワイヤー間隔の半分になる値であると考えられる。

cluster

:時々隣り合わないワイヤーどうしが同時になる事がある。この時、cluster は2以上になる。例えば、ワイヤーの番号を1から順につけたとして2、3、4、7、8番ワイヤーが同時になったとしよう。この時、cluster の個数は2、3、4の組みと7、8の組みの2つという事になる。因にこの2つの cluster の clustersize は3と2である。



- 信号を出さなかったワイヤー
- 信号を出したワイヤー

図 A.1: cluster と clustersize

A.3 特性X線の表記

表 6.1 中にある特性X線の表記については図 A.2 を参照してほしい。

A.4 X線の透過距離

photonは、その走った距離によって強度を指数関数的に減少していく事が分かっており、走った距離 x に対し

$$I = I_0 \times \exp[-\mu x] \quad (\text{A.1})$$

という式で表される。この μ の値が おおよそ原子番号 (Z) の5乗に比例する事と、空気中ではこの強度が $\frac{1}{e}$ になる距離が30 cmである事を使ってAr : イソブタン = 7 : 3の気体での強度が $\frac{1}{e}$ になる距離を求めると、

$$\left[\frac{12.8}{18}\right]^5 \times 30(\text{cm}) \Rightarrow 2 \sim 3(\text{cm}) \quad (\text{A.2})$$

となる。

付録B

B.1 測定スペクトル集

測定したスペクトルをここに載せる。測定したガスは、Ar：イソブタン=7：3をベースとしてこの混合ガスに $CBrF_3$ を少量加えたものを使用した。それぞれのX軸はchannel、Y軸はカウント数である。

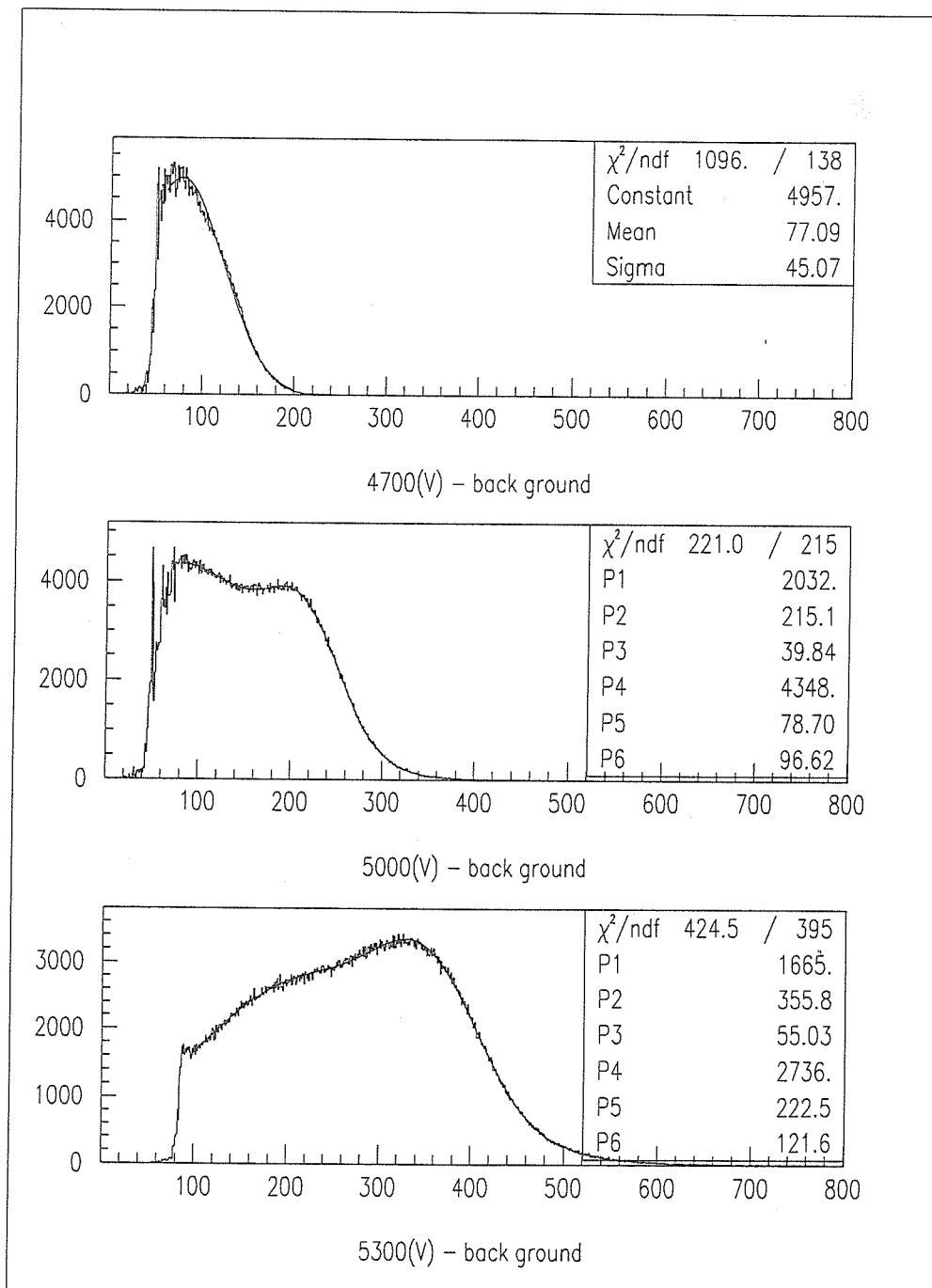


図 B.1: 測定データ 1 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.3%

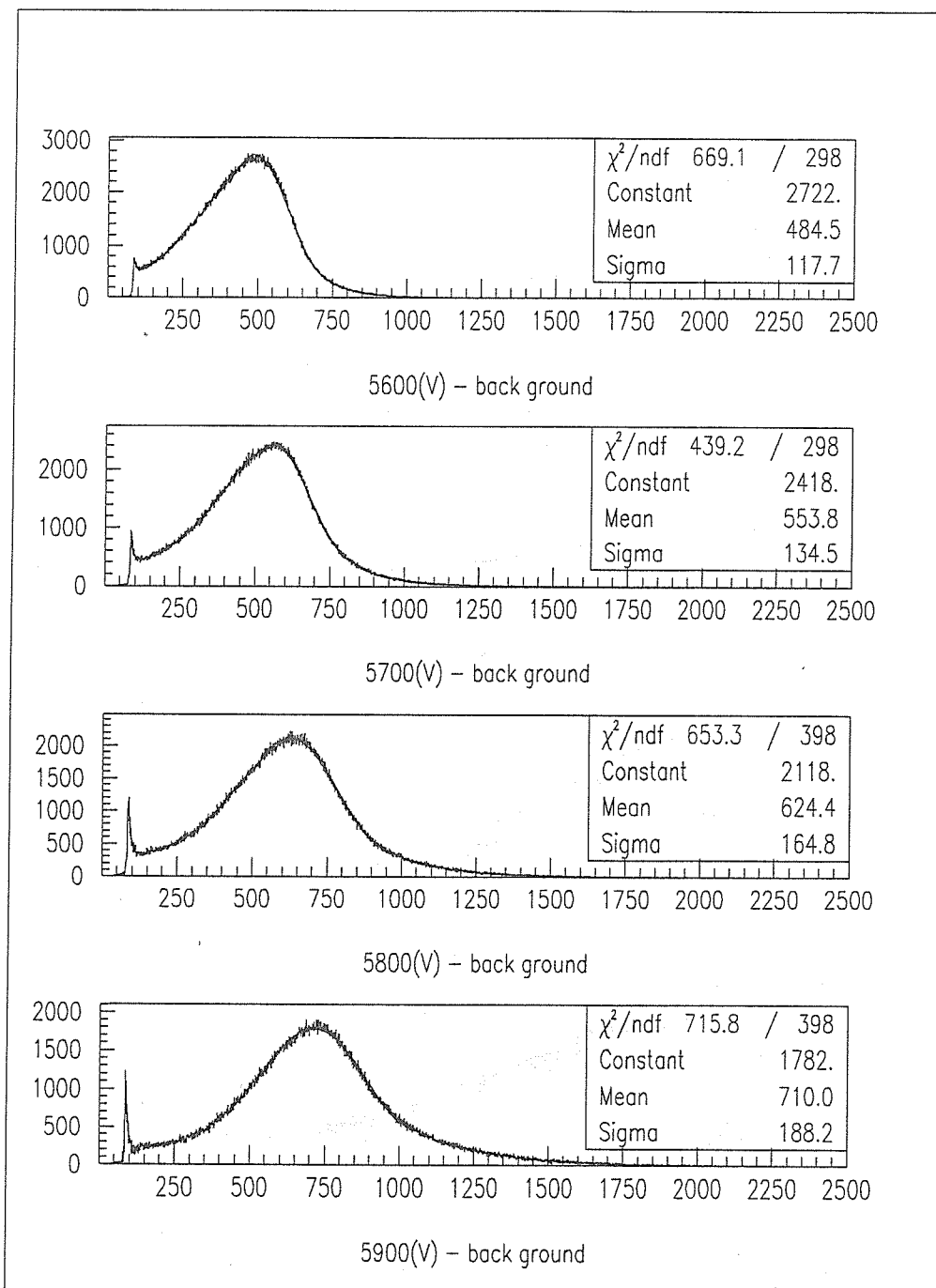


図 B.2: 測定データ 2 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.3%

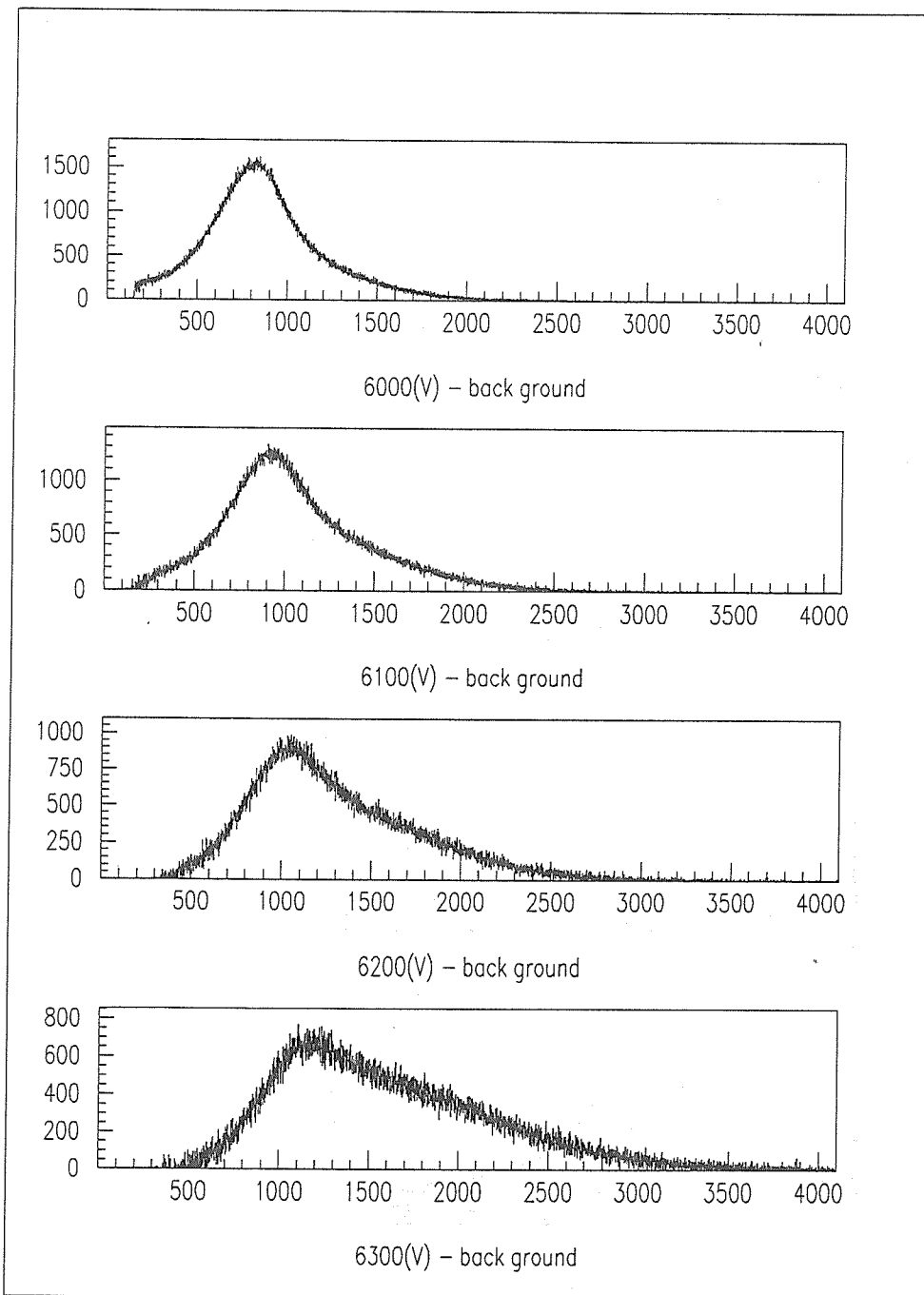


図 B.3: 測定データ 3 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.3%

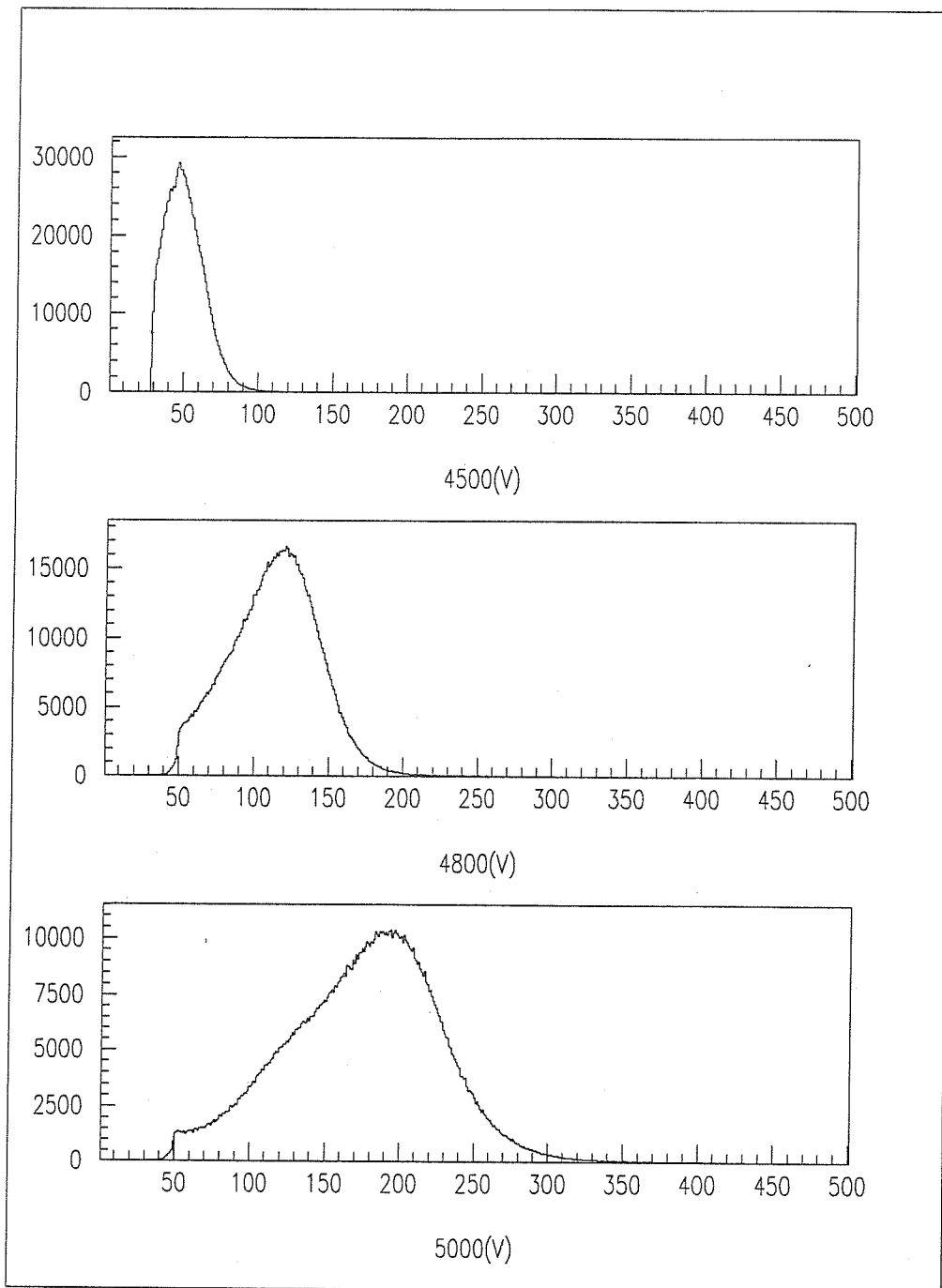


図 B.4: 測定データ 4 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.0%

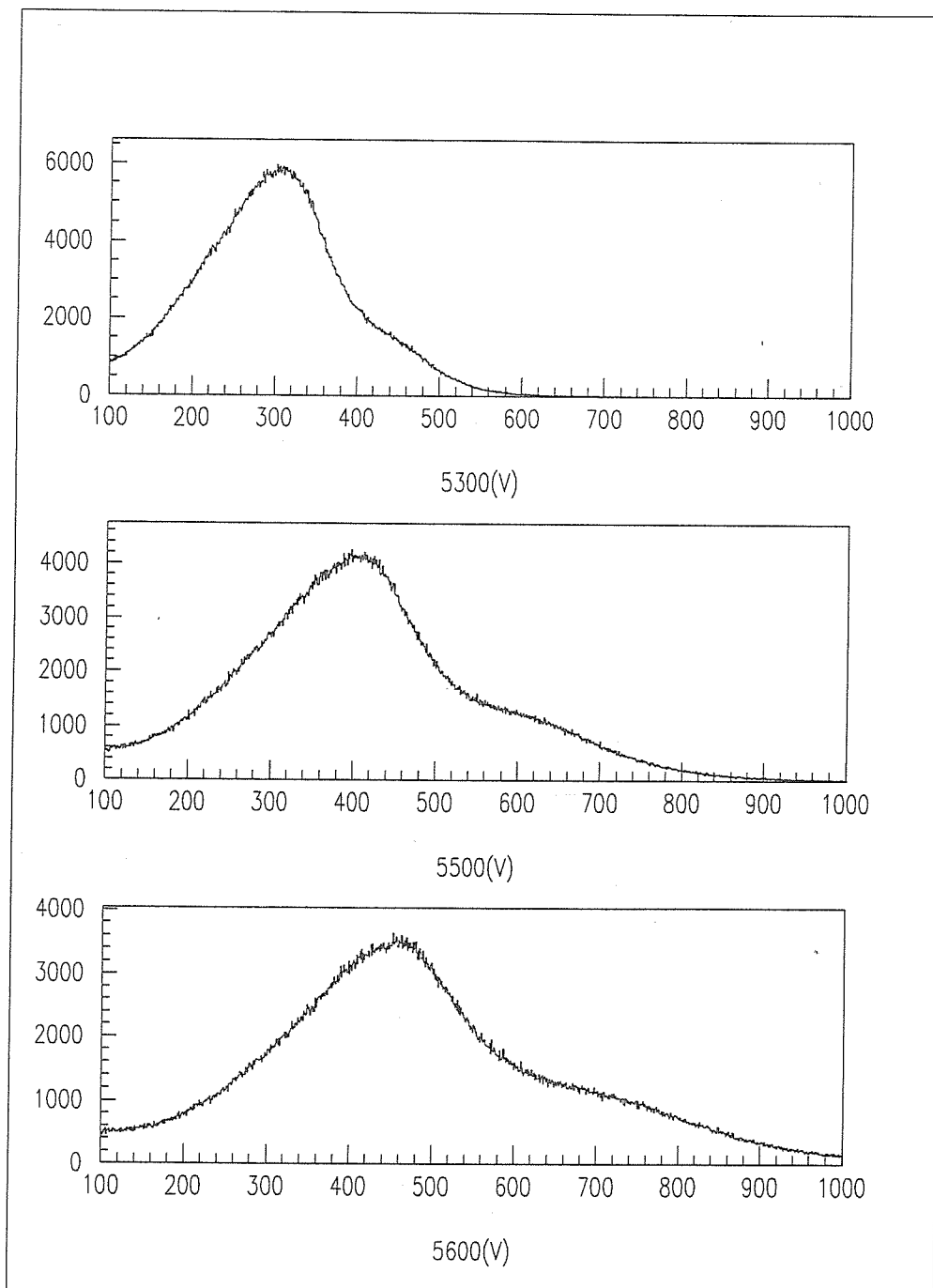


図 B.5: 測定データ5 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.0%

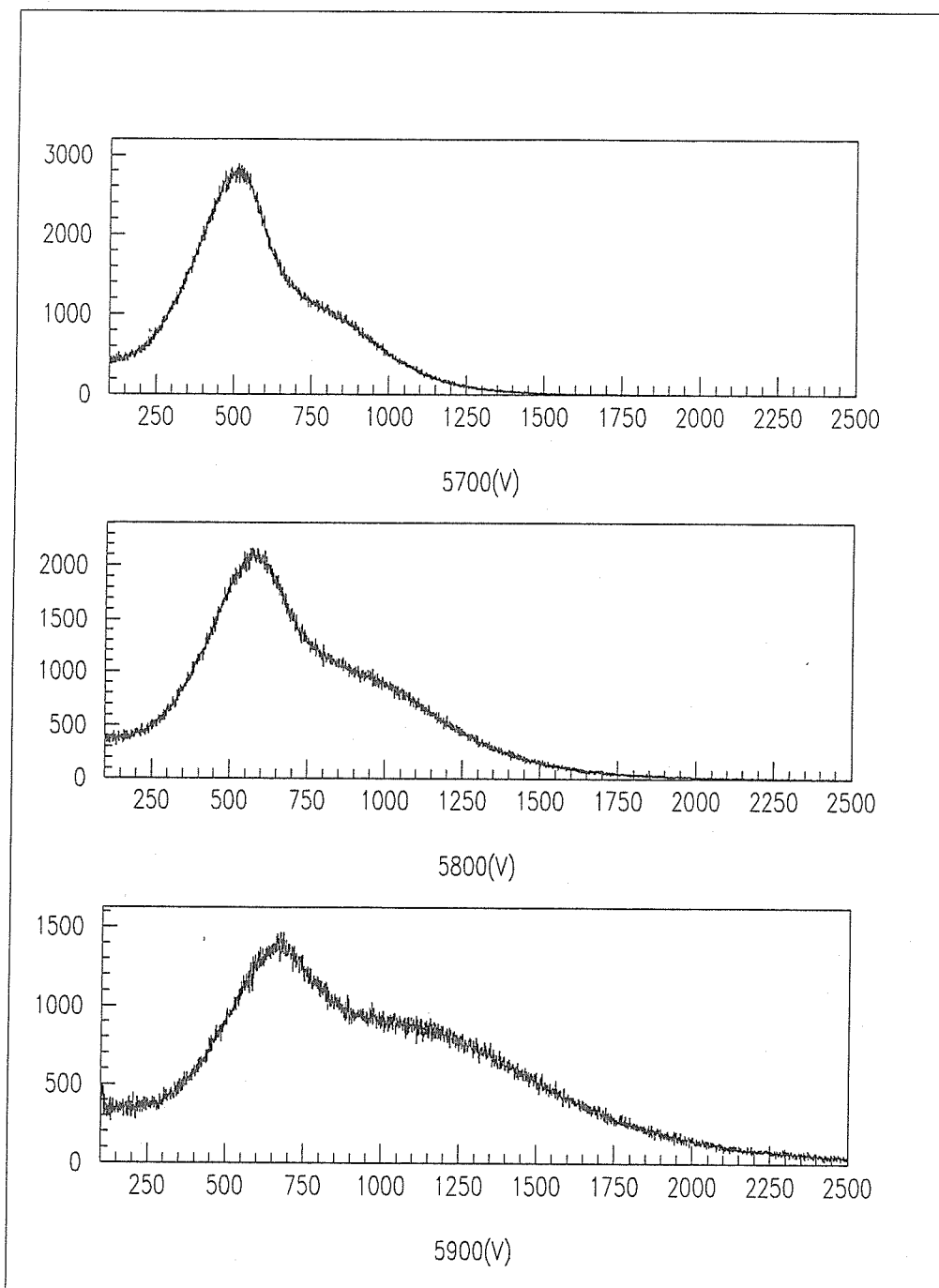


図 B.6: 測定データ 6 (preamp なし) $CBrF_3$ 0.0%

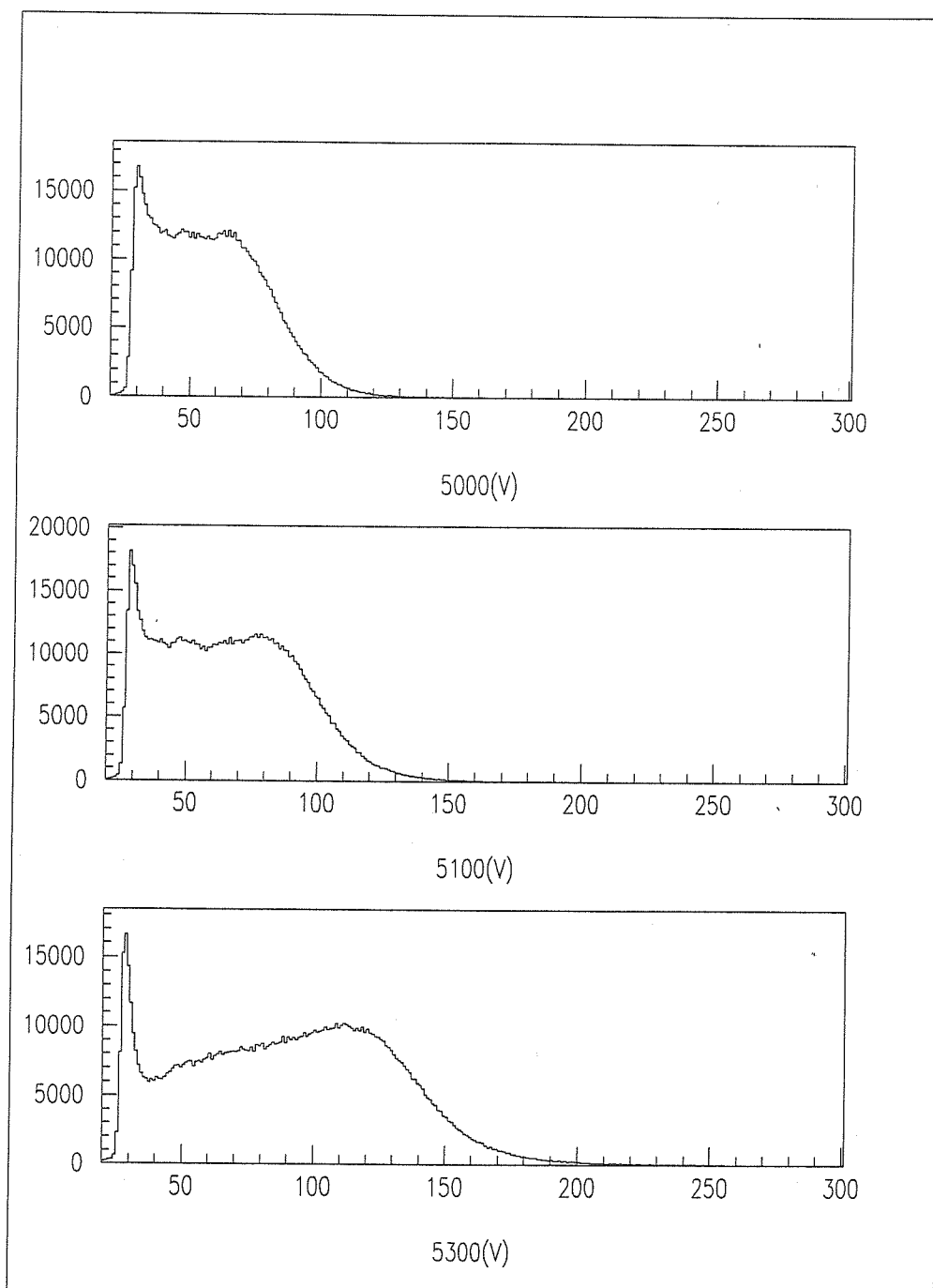


図 B.7: 測定データ 7 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%

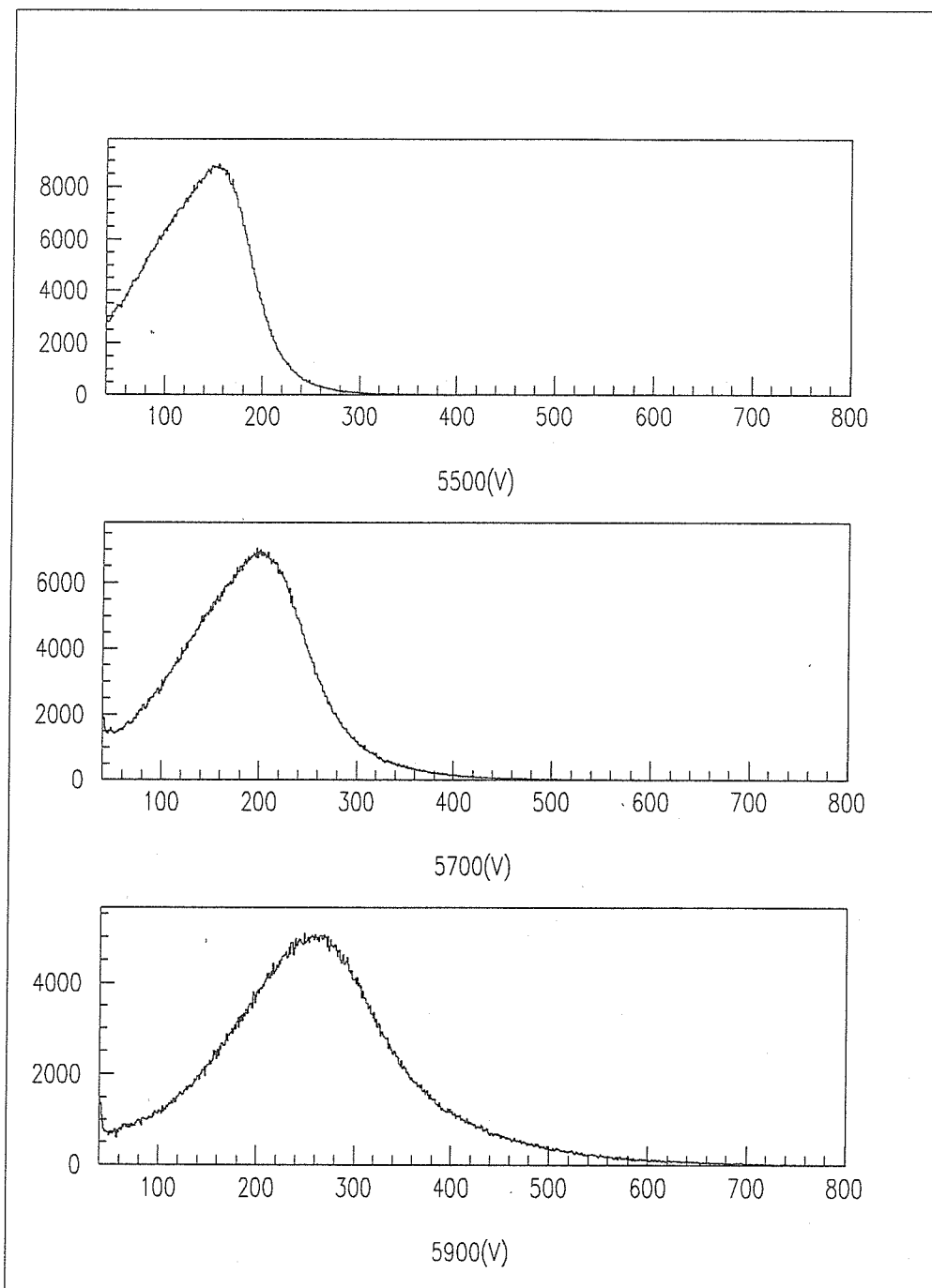


図 B.8: 測定データ 8 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%

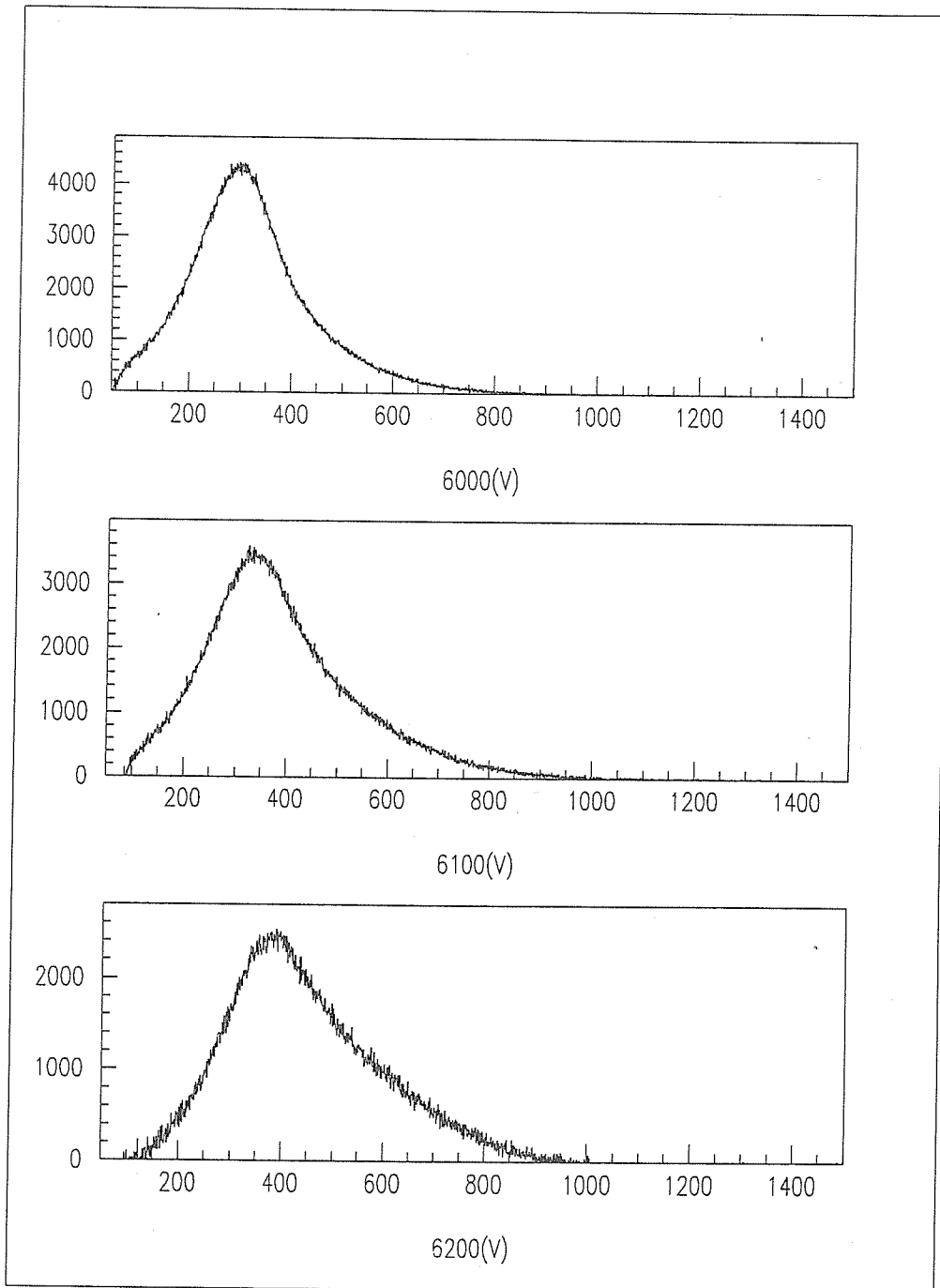


図 B.9: 測定データ 9 (preamp あり) $CBrF_3$ 0.3%

関連図書

- [1] F.Sauli Principles of Operation of MultiWire Proportionnal Chamber and Drift Chamber
- [2] W.R.Leo Technique for Nuclear and Particle Physics Experiments
- [3] 村上悠紀夫 等 編著、地人書館：放射線データブック

