

1mmMWPC用32ch前置増幅器の
特性の研究

戸田 勇人

2000年4月3日

目次

1	意義	3
2	装置	3
2.1	MWPC	3
2.2	前置増幅器 (preamp)	4
2.3	読み出し回路系	5
3	測定内容	5
3.1	目的	5
3.2	実験装置	6
3.3	測定条件	8
3.4	検出効率 (Efficiency)	9
3.5	手順	9
4	実験結果	10
4.1	Delay Curve	10
4.2	Plataue Curve	13
4.3	Efficiency の比較	15
5	考察	17
6	補足 (ASD での Delay Curve の問題)	18
7	結論	20
A	Appendix	21
A.1	SKS、ASD の主な回路パラメーター	21
A.2	16ch、32ch 前置増幅器の回路図	22

1 意義

MWPC (多芯比例ガス検出器) はビーム粒子の軌跡 (運動量) を測定するのに適した検出器である。現在素粒子、原子核実験において高計数率のもとでこれらを正確に測定することが要請されている。このため、MWPC のワイヤー間隔は小さくなりつつあり、それに伴って前置増幅器の密度が検出器の大きさを決める上で大きな影響を与える。よって、前置増幅器の小型化の限界から、信号を読み取る効率を上げることが必要である。こうして従来の 16 ch 前置増幅器から、2 倍の集積度を持つ 32 ch 前置増幅器への応用が求められる。

また、信号を読み出す ch 数を増やしたことで、それに続く読み出し回路網がより大規模で、複雑なものとなりうる。これを解消するため、読み出し回路系にも新しい工夫が必要である。

以上の必要性から、この実験では新たに開発された 32 ch 前置増幅器とそれに続く読み出し回路系の特性を調べる。

2 装置

2.1 MWPC

MWPC (多芯比例ガス検出器) は、加速器によるビーム粒子における高位置分解能検出器である。このような検出器としては、他に SSD (シリコンストリップ検出器) や MSGC (マイクロストリップガス検出器) などがあるが、これらの検出器は物質が大きく多重散乱の効果を無視できない。これに対し、MWPC は物質が小さく粒子をさほど多重散乱させないで通過させることができる。また MWPC と言っても、アノード読み出しとカソード読み出しの 2 種類があるが、今回実験で使用するのは前者であり、一般的にもこちらを指す場合が多い。

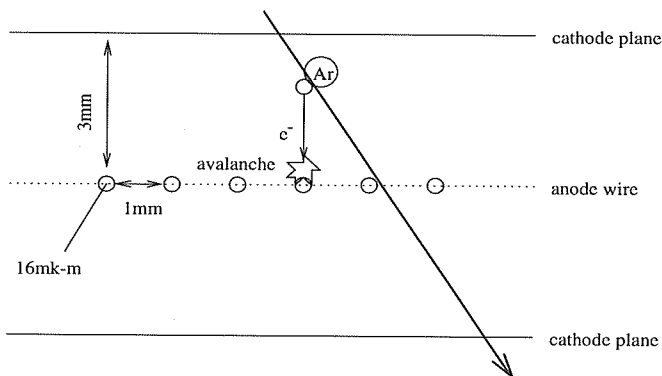


図 1: MWPC の構造と動作原理

MWPCの構造は、図1に示すように、多数の平行に張られたワイヤーから成るアノード面と、それをはさむカソード面（極板）から成る。ワイヤー間隔は0.5mmから2mm程度で、今回は1mmのものを使用し、half gap（アノードワイヤーからカソード板までの距離）は3mmである。カソード面には負の電圧がかけられ、相対的にアノード面は陽極となり、ワイヤー近辺には強力な電場が発生する。また、極板間には通常希ガスと quencher と呼ばれる多原子分子ガスが満たされる。

MWPCの動作原理は、まず、入射粒子によって希ガスが励起、イオン化され信号のもとになる電子（種）が作られる。次に、種は極板間の電場によってアノードに引き寄せられ、その近辺の強力な電場によって別の希ガスに衝突し、二次的な電子をなだれ式に次々に作る。結果、アノードワイヤーに到達する頃には、ひとつの電子の塊（cluster）となり、電気信号として取り出される。

また、励起した希ガスは基底状態に戻る際に photon を放出する。その他にも、イオン化した希ガスがカソードに達し、電気的中性になる時にも photon が放出される。この photon がカソードで光電効果を起こし、光電子が生まれ、それによって本当の信号のすぐ後に、擬似的な信号が発生してしまう。quencher の役割は、

- この過程で生じた photon を吸収し、そのエネルギーを他分子との相互作用で分散する。
- 希ガスイオンに電子を与え中性にし、自らがカソードで電気的中性になる際には、photon を放出しない。

で、これらの効果によって、十分なガス増幅度が得られる前に放電領域に入るのが抑えられる。しかしながら、入射粒子のエネルギーを効率よく信号として取り出すためには、回転・振動にもエネルギーを消費する多原子分子よりも、励起・イオン化にだけしかエネルギーを消費しない希ガスのほうがよい。したがって、必ずしも quencher の割合が大きいほうが良いと言う訳ではなく、MWPCを動作させるのにこれらの適切な割合を見つける必要がある。

2.2 前置増幅器 (preamp)

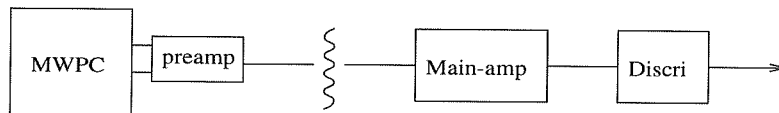
前置増幅器 (preamp) は、検出器の近くに置かれ次のような役割を果たす。

- 雑音源を減らし、信号を強調させる。
- 検出器と計数回路の間のインピーダンスを整合する。

2.3 読み出し回路系

実験では、従来の 16ch プリアンプを使う読み出し回路系（以後、SKS）と、新たに開発した 32ch プリアンプを使う回路系（以後、ASD）を使用し、比較させる。これら 2 種類の回路系、及びプリアンプの働きの違いを図 2 にまとめる。

[SKS]



[ASD]

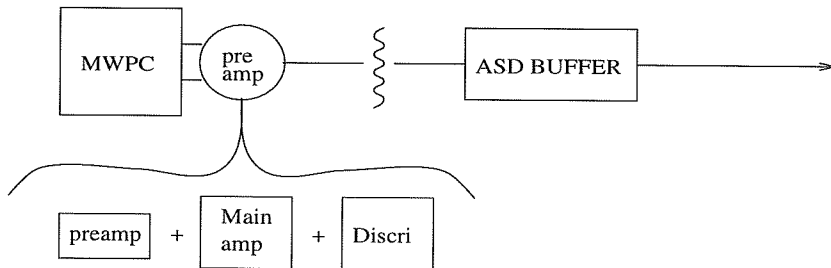


図 2: 読み出し回路系比較

図 2 のように ASD プリアンプ (32ch) では、SKS でのプリアンプ (16ch)、メインアンプ、ディスクリミネーターをひとつの ASD チップ上に含む。これによって、プリアンプの出力はこの時点ですでにロジック信号となり、実験装置から測定室へと運ばれる際に磁場などから受ける影響を、アナログ信号を出力する SKS(16ch) より小さくすることができる。また、測定室における計器類も小規模で簡素化され、だんぜん扱いやすくなる。

3 測定内容

3.1 目的

ASD が SKS と同様に信号を読み出す能力があるかを調べる。具体的には、MWPC のガス比を 3 パターン（アルゴン：イソブタン = 7 : 5, 7 : 3, 8 : 2）にして、放射線を ASD と SKS とで同時に測定をして検出効率を比較、考察する。

3.2 実験装置

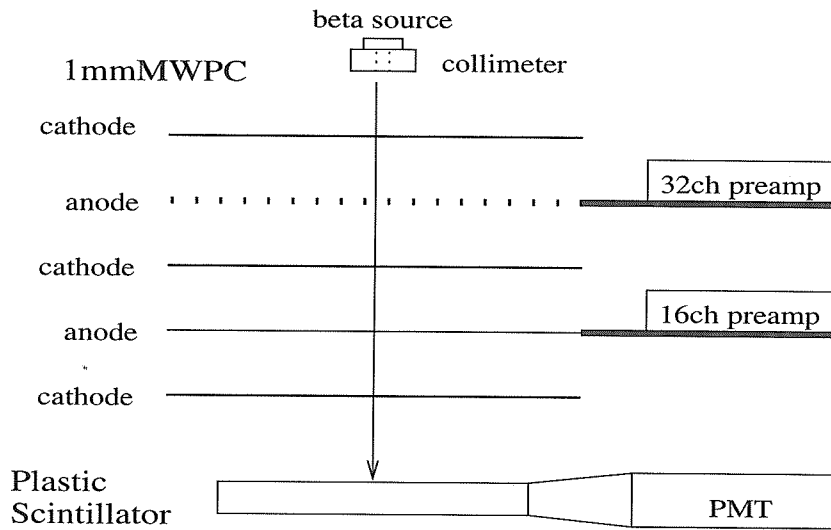


図 3: 検出器の配置

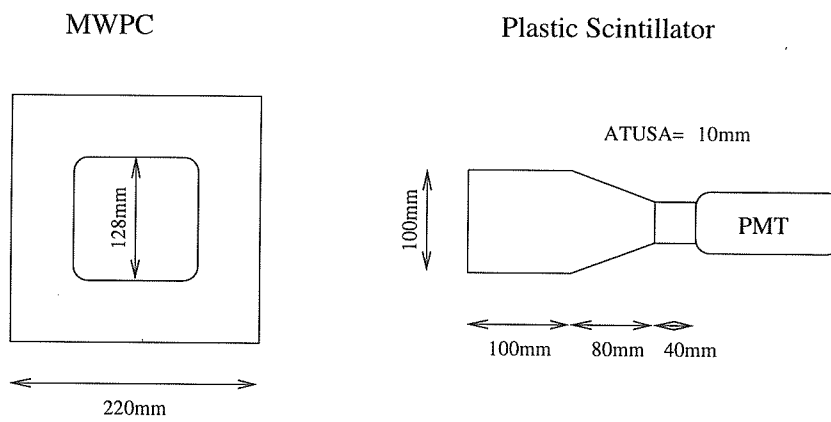


図 4: MWPC 及び Scintillator の寸法

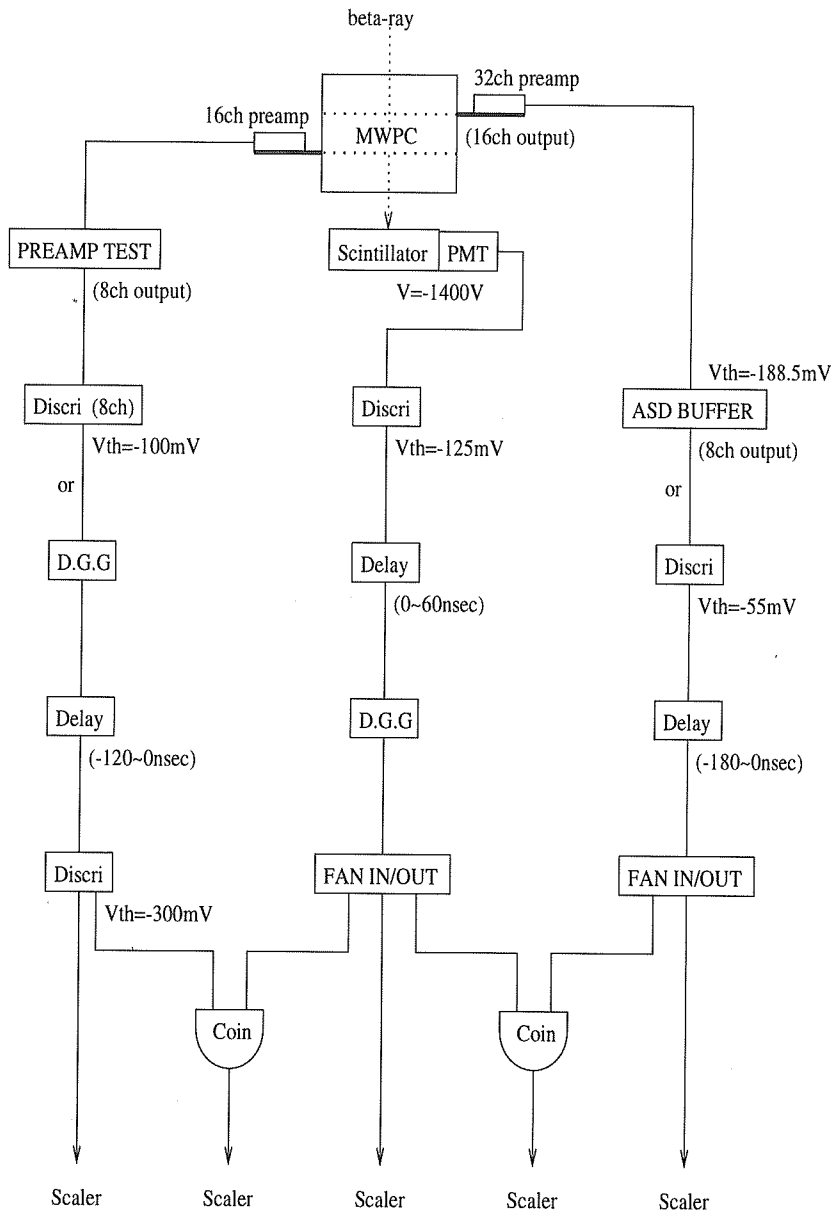


图 5: 測定回路

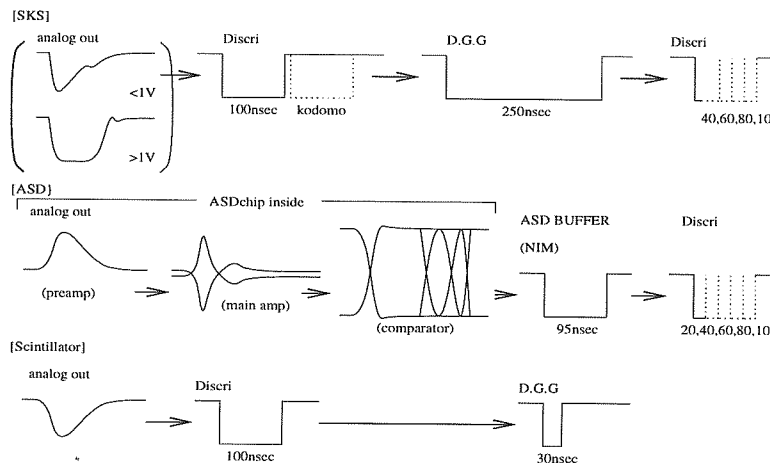


図 6: 信号の変換過程

3.3 測定条件

以下の条件は、毎回の測定において固定させる。

1. 線源は、ベータ線源を使いコリメートする
2. Scintillator において、 $V = -1400V$ 、 $V_{th} = -125mV$ 、 $gate = 30nsec$
3. 8ch Scaler を用いて計測し、20 秒で 1 回の測定を行う
4. 32ch プリアンプは、線源に近いほうの（上の）アノード面へ、16ch プリアンプは、遠いほうの（下の）アノード面へ装着
5. SKS、ASD とともに実験装置の都合で、8ch 読み出しで測定
6. チェンバーについて、 $V_{th} = -188.5mV$

5) については、Delay Curve、Plataue Curve を測定する上で Full Efficiency が 100% になることはないが、グラフの形としては比例したほぼ等しい形のものが得られ、SKS、ASD とともに他の特性を調べる上で、支障をきたさない。6) については、Efficiency 対 V_{th} の測定を行った結果、1 つの V_{th} の値に対して Efficiency の値が 1 つに決まることがなかった。同じ V_{th} でも Efficiency の値が二桁変わることもあった。このようにとても不安定だったので、今回の実験では、 V_{th} を固定したまま全く変えずに全実験を行った。

また Back ground について、その影響を調べるためチェンバーのガス比をアルゴン：イソプタン = 8：2、 $V = -3000V$ （このガス比では、Plataue に入りかけの値）で、20 秒間線源を置いた時と、置かない時で測定してみた。結果を次ページ表 1 に示す。

	Scintillator	SKS	ASD
線源あり	78776	112013	223911
線源なし	89	18	117

表 1: Back ground の影響

表 1 に見るように、線源なし (Back ground) の影響は線源ありと比べると非常に小さく、無視しても良いことが分かる。

3.4 検出効率 (Efficiency)

この実験においては、検出効率 (Efficiency) は次のように定義する。

$$Efficiency = \frac{hit\ events}{trigger}$$

ここで *trigger* とは scintillator のみのカウント数で、*hit events* とは *trigger* がかった時にチェンバーに信号が発生しているイベント数で、すなわち scintillator とチェンバーの coincidence のカウント数である。

3.5 手順

実験は ASD、SKS とも次の手順で行う。

1. チェンバーのガス比、threshold (V_{th}) 一定のもとで、Delay Curve を求める。
2. 同様な条件で、Plataue Curve を求める。
3. 3 種類のガス混合比 (アルゴン : イソブタン = 7 : 5, 7 : 3, 8 : 2) のもと、ASD と SKS の Plataue Curve を同時に測定し、比較させる。

まず 1) と 2) で、3) を測定する上での最適な gate 幅、タイミングを決める。そして 3) では、2 枚のアノード面それぞれに 16 ch、32 ch のプリアンプを取り付け、ベータ線を SKS、ASD とで読み出し、Efficiency を比較させる。

4 実験結果

4.1 Delay Curve

Delay Curve を測定するに際し、次の条件は固定して行う。

1. チェンバーについて、HV は $V = -3600V$
2. 同様に、 $V_{th} = -188.5mV$
3. ガス比について、Ar : イソブタン = 7 : 5

条件 1) の $V = -3600V$ は、3) でのガス比において、次の実験の Plateau Curve が Full Efficiency に入る少し手前の HV である。条件 2) はこのテーマを通じて常に固定している条件である。また、チェンバーとシンチレーターの gate のタイミングとともに適当な幅も知りたかったので、今回はシンチレーターの gate 幅を 30nsec に固定してチェンバーの gate 幅を数種類ずつ動かして Delay Curve を測定した。

具体的には、シンチレーター (30nsec) に対して、

- SKS では、40, 60, 80, 100nsec
- ASD では、20, 40, 60, 80, 100nsec

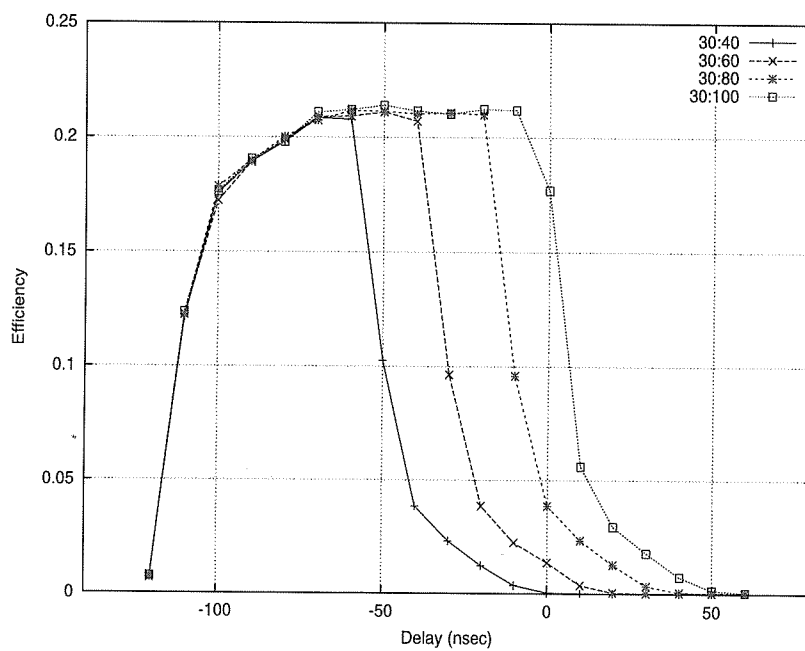
で coincidence をとり、それぞれ 10nsec ずつタイミングをずらして測定。

結果を SKS、ASD それぞれについて、次の 11 ページの図 7、8 に示す。尚、X 軸の Delay の符号はそれぞれ、マイナス側はチェンバー、プラス側はシンチレーターの gate に対する Delay である。グラフより、SKS ではどのパターンでも Delay Curve は等しい Efficiency で水平になっている。ゆえに水平部分の中心で Delay を決めれば、ドリフト時間、信号のチャンネル間のばらつきなどを十分に吸収できるだろう。これに対し ASD では、30 : 20 のラインを見ると信号が約 60nsec 間隔で 2 つ来ているのが分かる。(ASD の 30 : 80 でのオシロスコープの画像を 12 ページに載せるので参照してほしい。) 30 : 40、30 : 60 のラインを見ると、右側の信号は同じような Efficiency でほぼ水平になっているし、また 30 : 80 でも一部で同様に水平に近いので本物の信号であるように思われ、こちらで Delay を決める。

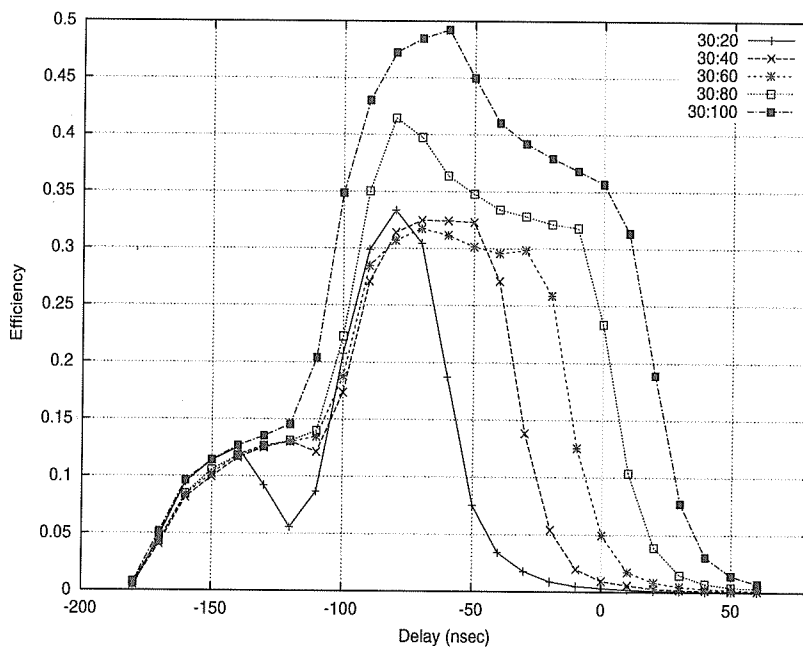
以上から ASD、SKS ともチェンバーの gate 幅を 40、60、80nsec に絞り、次のように Delay を決める。

	30 : 40	30 : 60	30 : 80
SKS	-60nsec	-55nsec	-40nsec
ASD	-70nsec	-60nsec	-35nsec

表 2: gate のタイミング



☒ 7: Delay Curve (SKS)



☒ 8: Delay Curve (ASD)

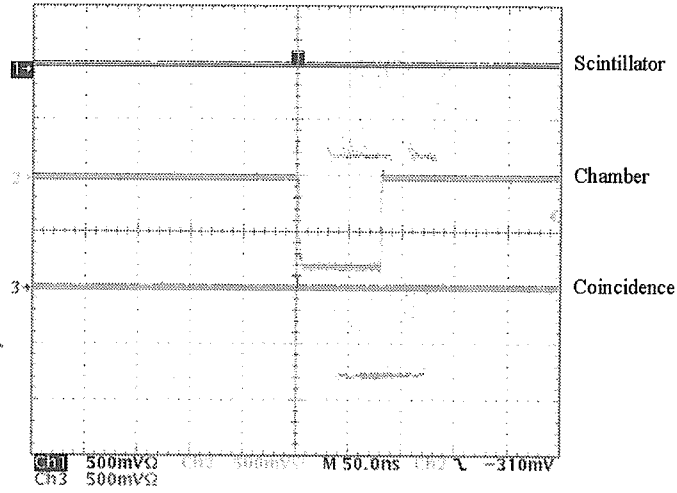


図 9: ASD 30 : 80 のチェンバーにトリガーをかけたオシロスコープ写真

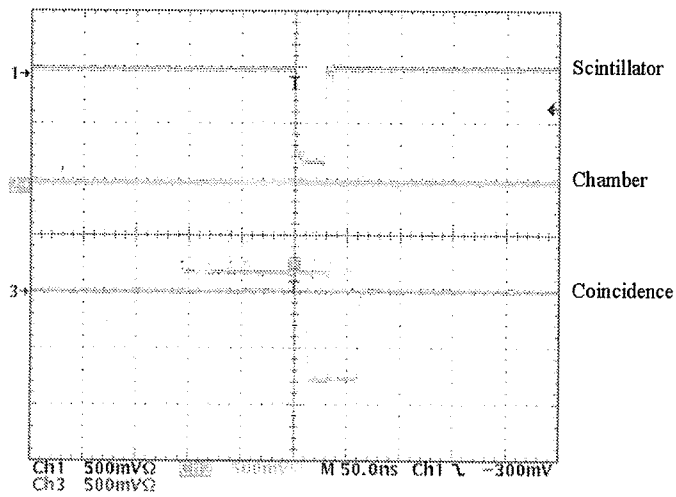


図 10: ASD 30 : 80 のシンチレーターにトリガーをかけたオシロスコープ写真

4.2 Plataue Curve

4.1 Delay Curve を測定する際固定した以下の条件、

1. チェンバーについて、HV は $V = -3600V$
2. 同様に、 $V_{th} = -188.5mV$
3. ガス比について、Ar : イソブタン = 7 : 5

はそのまま使い、さらに 10 ページの表 2 で決めた gate のタイミングで Plataue Curve を測定する。その際、HV は $-50V$ おきに放電が起こるまで測定した。この結果を SKS、ASD それぞれ次の 14 ページに示す。

SKS では図 11 から、30 : 40 の Efficiency が他の 2 つのものに比べ少し低いが、30 : 60 と 30 : 80 はほとんど一致しているとみなせる。しかし、Plataue が水平にはならず Plataue 領域に入った後も増加している。これはコドモが影響していると考えられる。

また ASD では図 12 から、30 : 60 と 30 : 80 の Efficiency がほぼ一致していて、水平である。(ただ、30 : 60 のカーブは $3750V$ 以降下がっている。) これに対し 30 : 40 では Efficiency も他の 2 つに比べ低いし、 $3650V$ 以降急激に落ちている。以上から、ASD では gate 比を 30 : 80 にするのが最適であると判断した。また SKS においても、極力 ASD と同じ条件で以降の実験を行うために gate 比を 30 : 80 にし、4.3 の実験を行う。

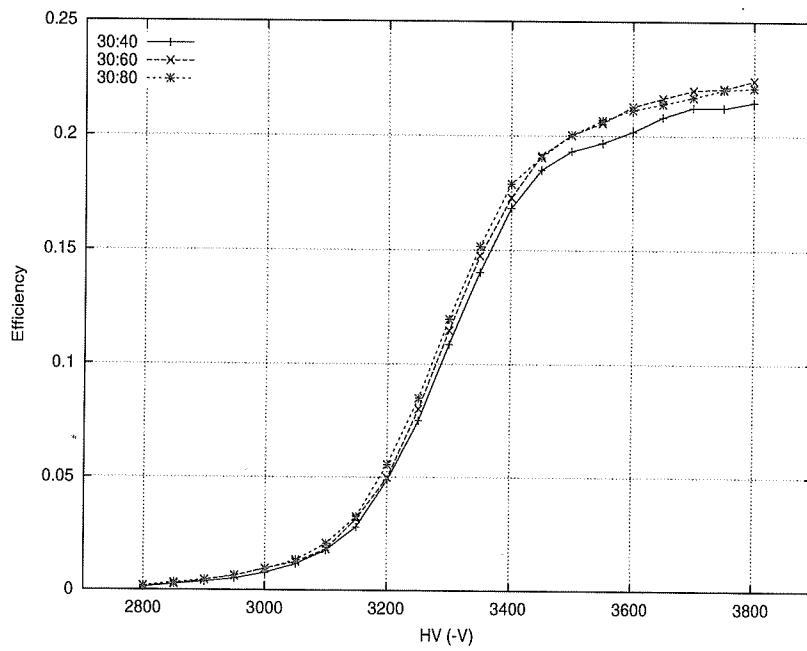


图 11: Plateau Curve (SKS)

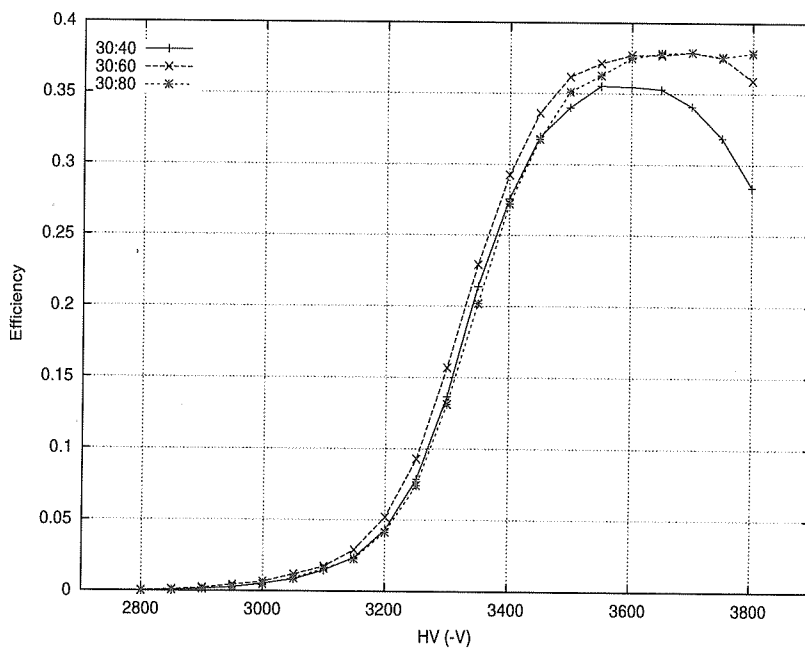


图 12: Plateau Curve (ASD)

4.3 Efficiency の比較

先述したが SKS と ASD とを比較するために、2つのアノード面の線源の近いほうに 32ch プリアンプを、遠いほうに 16ch プリアンプを取り付け、同時に放射線を読み出す。その際、4.1 と 4.2 で決めた gate 幅とそのタイミングで、3種類のカス混合比（アルゴン：イソプタン＝7：5、7：3、8：2）のもと Plateau Curve を測定する（HV は-50V おきに、放電するまで）。主な測定条件を以下にまとめておく。

- チェンバーについて、 $V_{th} = -188.5\text{mV}$
- gate 幅について、シンチレーター：チェンバー＝30：80
- Delay について、SKS では-40nsec、ASD では-35nsec

実験結果を次の 16 ページに示す。また SKS と ASD との Efficiency を比較するために、SKS と ASD の Chamber single rate も以下に載せておく。

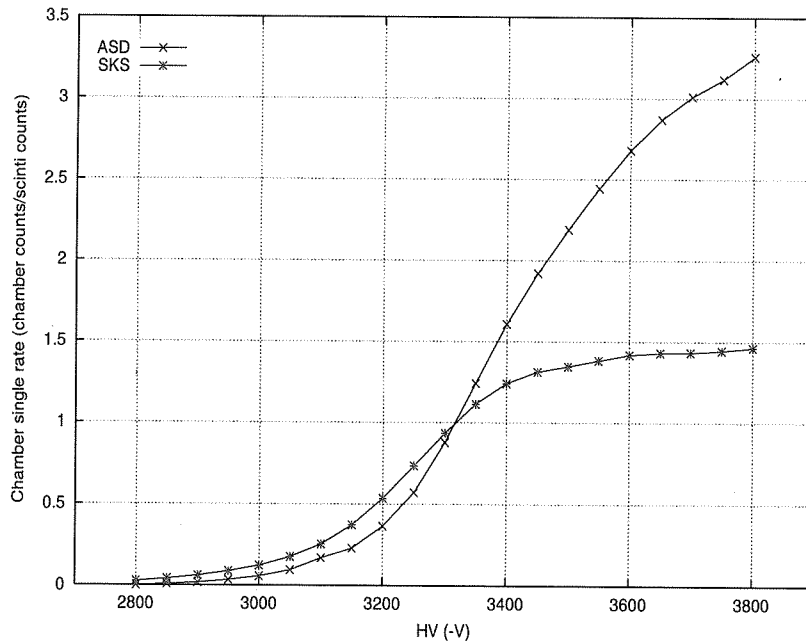


図 13: Chamber single rate

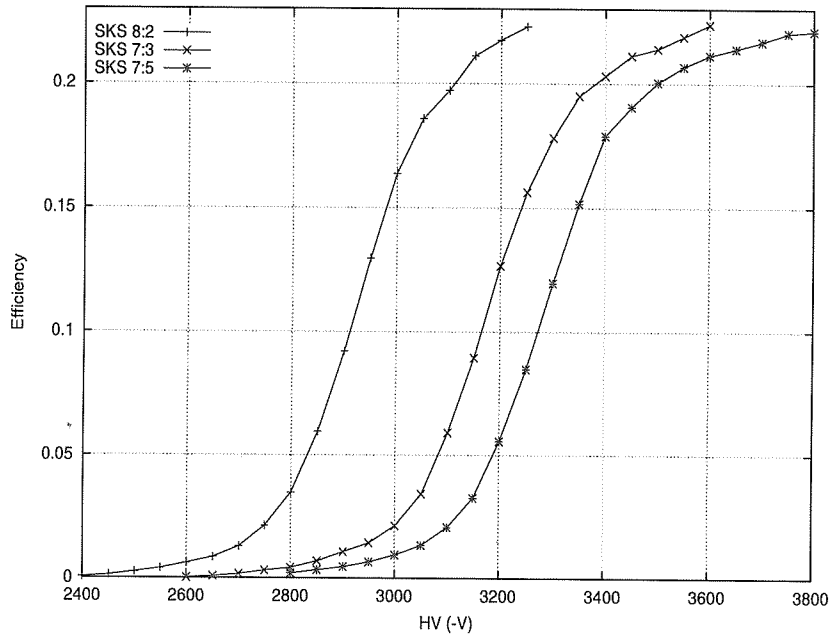


Figure 14: Plateau Curve (SKS)

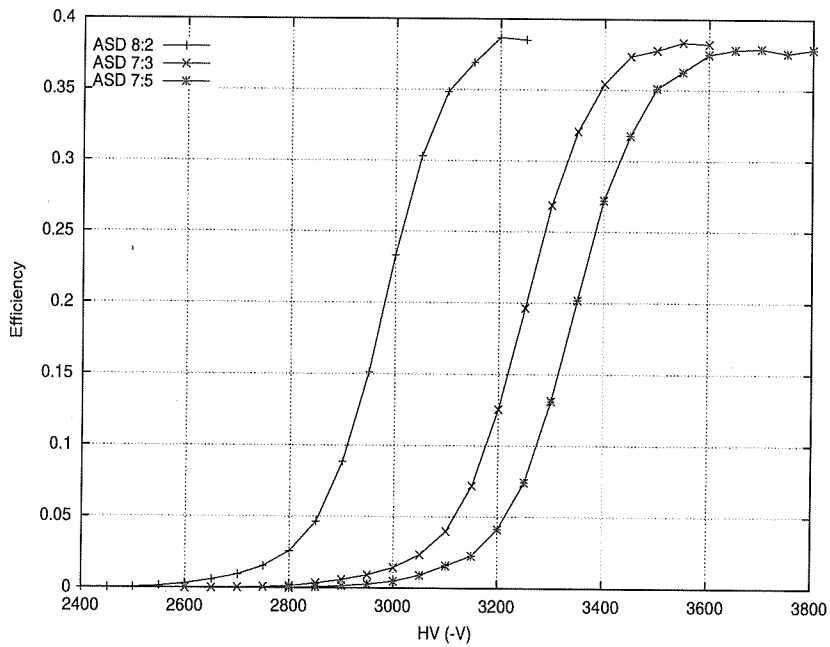


Figure 15: Plateau Curve (ASD)

5 考察

16 ページの図 14 と図 15 から SKS、ASD について以下のことが分かる。

1. ガス比の違いで SKS、ASD とも Plateau 領域の長さが異なる。quencher であるイソブタンの割合が大きいほど、Plateau は長くなっている。
2. Plateau が ASD では水平だが、SKS では HV とともにやや増加している。これはシンチレータでは HV を固定しているの、チェンバー側 (SKS) でコドモができていと推測される。または、SKS と ASD とで同じ 8ch 読み出しでも信号を読むワイヤーの位置が異なることに起因している可能性がある。(SKS では連続した 8 本のワイヤーを読んでいるのに対し、ASD では 4 本をひとつの塊としてそれを交互に 8 本のワイヤーを読んでいる。すなわち、ワイヤーが 12 本あったとすれば、真中の 4 本は読まないで両側の計 8 本で読む。) 一般に HV を上げれば¹cluster size は大きくなり、SKS ではワイヤーが連続している分 ASD よりもたくさんワイヤーで信号を読むようになると思われる。しかも今回の実験で、SKS では読み出した 8ch の信号それぞれでディスクリをかけ、or をとっているの分信号はばらつくだろう。SKS について、Delay Curve を 4.1 で測定した時の HV よりも上げて測定して、4.1 のものと比較することで原因がわかるかもしれない。
3. SKS と ASD とで、Plateau の立ち上がり方は異なるが、それに入る HV はほぼ等しい。立ち上がり方の違いは、純粋に SKS と ASD との回路上の違いのほか、2) でのワイヤーの位置の違い、それぞれのプリアンプを取り付けたアノード面の線源からの距離の違いなどが原因であると思われる。

SKS と ASD とを比較すると言っても同一のワイヤーで信号を読むことはできないため、2), 3) で述べたようなワイヤーの位置関係やアノード面の違いと言った問題は必ずついてくる。だが、信号を読むワイヤーの位置の問題については、今回の実験では装置の都合で 8ch で読み出したが、MWPC の全 ch で信号を読むとか、もしくは 1ch だけで読むことで解決できる。また、SKS と ASD とで異なるアノード面で信号を読むための線源の距離や入射角の問題は、両者を互いに付けかえて平均をとることで克服できる。しかしながら、Efficiency についてのみ比較するのであれば、ASD は SKS と同様に読み出し回路系として十分に利用できる可能性があることがわかった。

¹cluster size とは、cluster (1 個の放射線によって生じる電子なだれの塊) によって信号が発生するワイヤーの本数。

6 補足 (ASD での Delay Curve の問題)

4.1 Delay Curve で見てきた通り ASD の Delay Curve において、チェンバーの信号が約 60nsec 間隔で 2 個同時に来ているのが分かった。これら 2 個の信号について調べるために、

- ガス混合比について、アルゴン：イソブタン = 7：5
- gate 比について、シンチレーター：チェンバー = 30：20
- チェンバーの HV を 4 段階 (3450V、3500V、3600V、3750V) にかえる

の条件で ASD の Delay Curve をとってみた。結果を図 16 に示す。

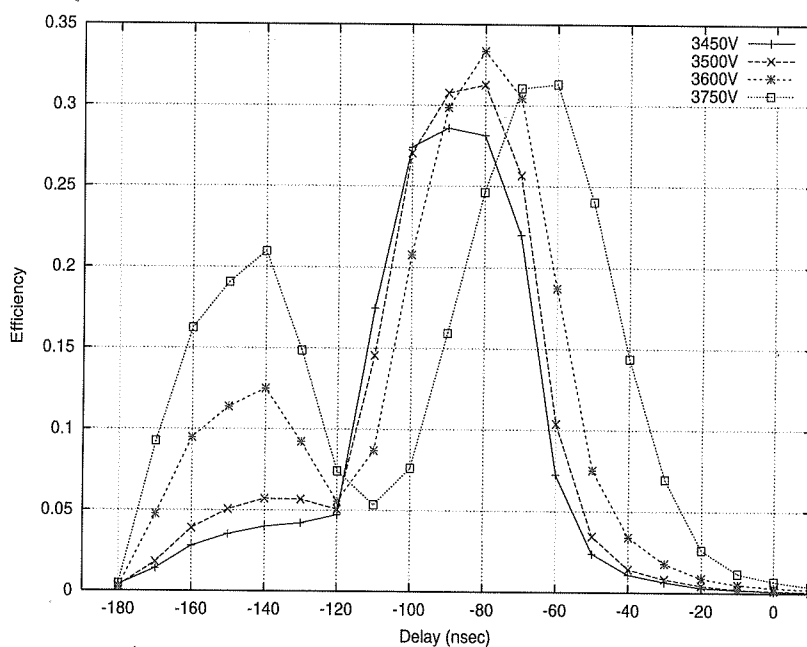


図 16: HV を 4 段階に変化させた ASD の Delay Curve

ここで X 軸の Delay は左側 (絶対値の大きい側) に行くほど、チェンバーの信号がシンチレーターの信号より遅くなることを意味する。つまり、チェンバーの信号を固定し、それに対してシンチレーターの信号を遅らせていったという見方もできる。そして、チェンバーの信号が時間的に図の右側から左側へと進んでいるということをふまえてほしい。また、このときのオシロスコープの写真も参照のため 19 ページに載せておく。

図からチェンバーの左側の信号が、HV の増加に伴って大きくなっていることがわかる。それに対し右側の信号はほぼ一定の Efficiency に落ち着いていて、やはりこちらの信号が本当の信号であると思える。そして注目すべき

は、この信号がもう一方の信号に対して時間的に後から来ていることである。しかも、この信号は HV 増加に伴って右側にシフトして、すなわち時間的に遅いタイミングで来るようになっている。このため、今回の実験では Delay を 3600V で決めたが、たとえここでタイミングを決めても HV 増加に伴って Efficiency が下がってしまう。図 12 の ASD の Plateau Curve で 30 : 40 のカーブが 3600V 以降下がっているのはこのためであると思われる。

現時点ではこの問題の解決策は見つけれなかったが、高効率率のもとで粒子を検出するためには、このように数 10nsec のオーダーで擬似的信号が存在すると早いタイミングで来る信号を検出することが困難になる。また上述したように、チェンバーの HV によって信号のタイミングが変わることも、正確な Efficiency を計る上で妨げとなり得る。32ch プリアンプからアナログ信号を取り出すことができれば、何らかの解決策が見つかるかもしれない。

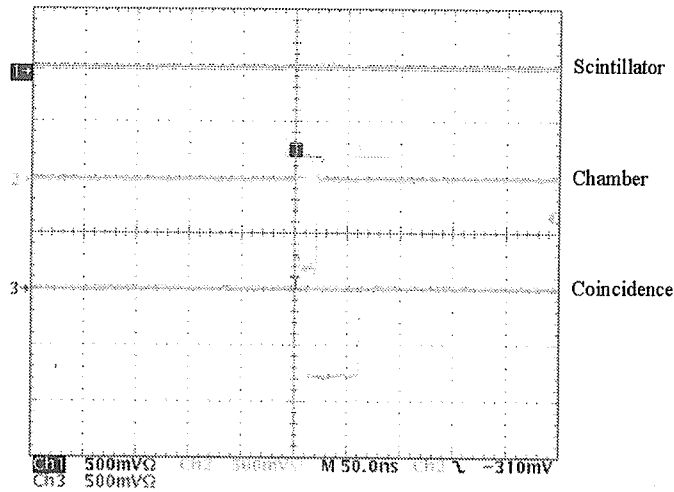


図 17: チェンバーに trigger をかけたオシロスコープ写真

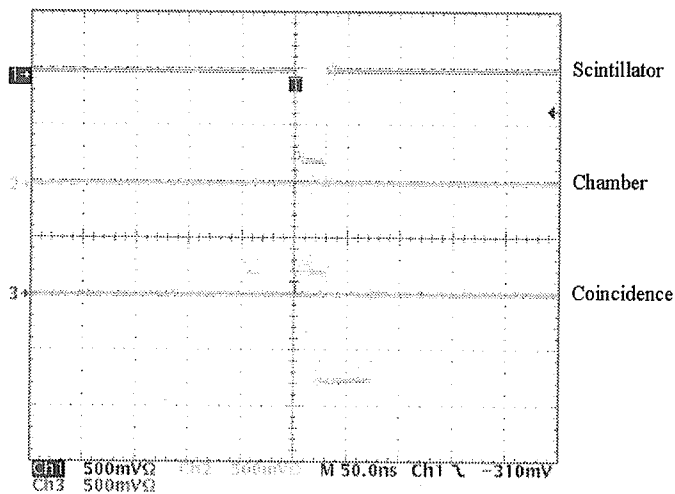


図 18: シンチレーターに trigger をかけたオシロスコープ写真

7 結論

今回の実験では、アルゴンとイソブタンの3種類のガス混合比のもと Plateau Curve を測定し、SKS と ASD とで Efficiency を比較してきた。そして考察で述べたように、ASD 及び 32ch 前置増幅器は、SKS 及び 16ch 前置増幅器と同様に、検出器に続く回路系として利用できる可能性があることが分かった。また一方で、補足で見てきたように、ASD における Delay Curve の問題は今後の課題として検討して行かなければならない。

A Appendix

A.1 SKS、ASD の主な回路パラメーター

		SKS	ASD
preamp	Gain	160 mV/pC	800 mV/pC
	time-constant	75nsec	16nsec
shaper	Gain	*25	7

*は、PREAMP TEST での値

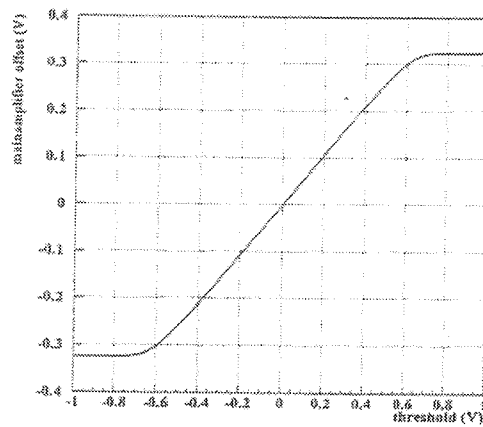


図 19: ASD : offset voltage at the differential input of the comparator as a function of supplied voltage(V_{th})

A.2 16ch、32ch 前置増幅器の回路図

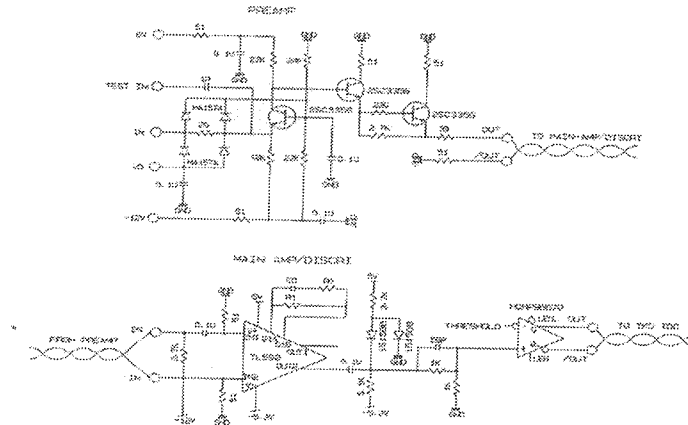


図 20: SKS : Schematic diagram of the preamplifier and the amplifier/discriminator module

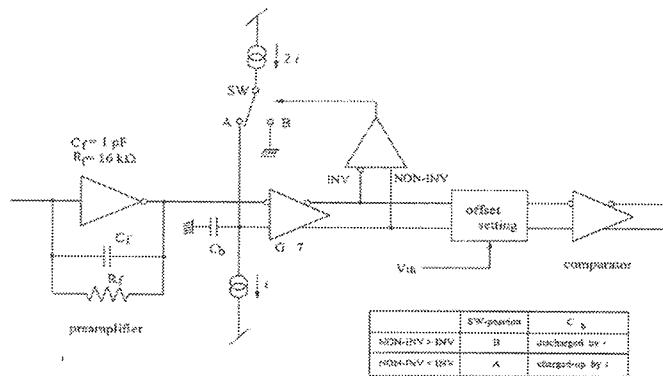


図 21: ASD : Block diagram of the ASD chip

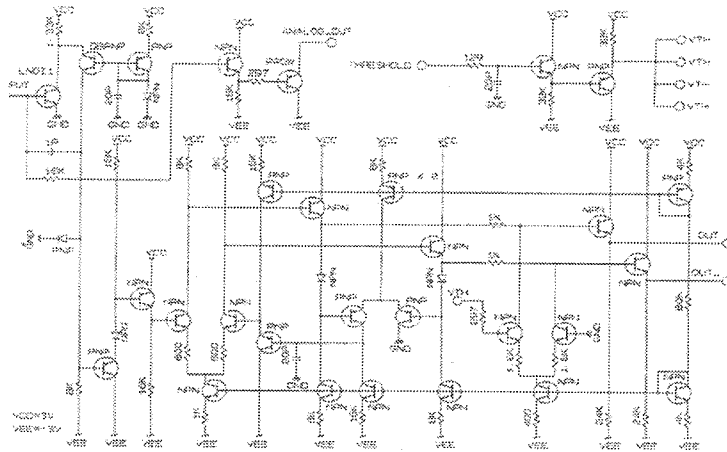


图 22: ASD : Schematic diagram of the preamplifier,main-amplifier and baseline restorer

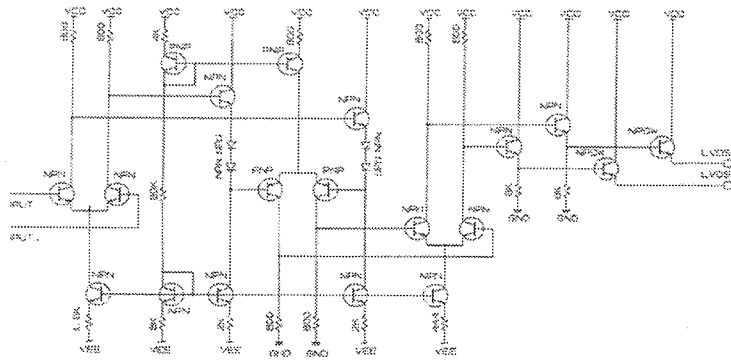


图 23: ASD : Comparator schematic diagram

参考文献

- [1] 田村裕和、高橋俊行著：4年生のための原子核実験の基礎技術
- [2] 阪井英次、木村逸郎訳：放射線計測ハンドブック
- [3] W.R.Leo：Technique for Nuclear and Particle Physics Experiments
- [4] F.Sauli：Principles of Operation of MultiWire Proportional and Drift Chamber
- [5] 乙部巖己、江口庄英：p_{TeX} 2_ε for Windows Another Manual vol.1