

## 円筒管を用いたガス増幅比例計数管の特性評価

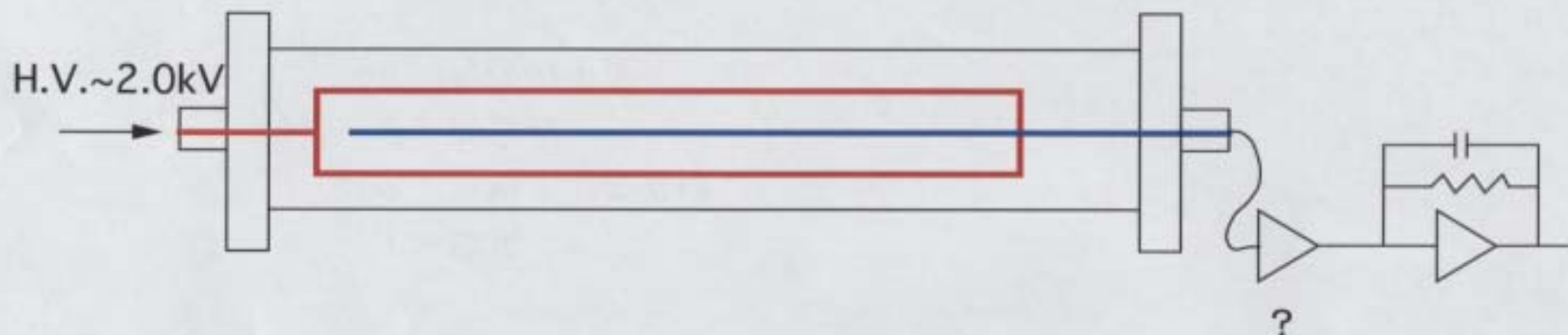
李 成洙、木代純逸、外山 毅、廣木文雄、荒川 大、三浦 孝子、五十嵐前衛、  
佐藤 吉博 (PS真空グループ)、佐波 俊哉 (放射線) 他皆さんのご協力

電子収集ワイヤーに高電圧を負荷しない、2重円筒管式  
ガス増幅比例計数管の特性評価を行っている。

1. 原理
2. これまでの進捗
3. 問題点
4. 今後の予定

について簡単に述べる

## 2重円筒管ガス増幅比例計数管の構造



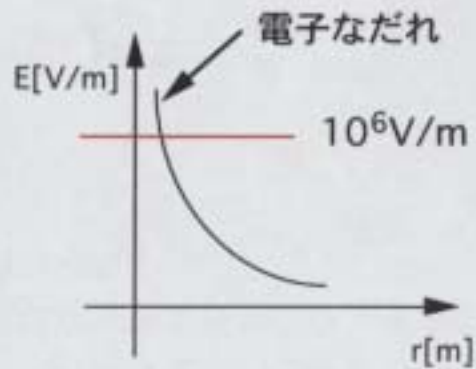
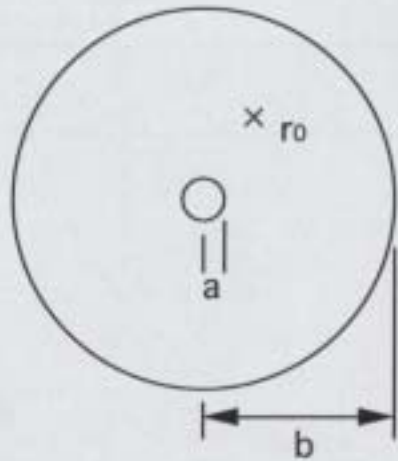
### 長所

1. 信号線に高圧がかからない為、信号のDC成分も観測できる可能性がある。
2. 外側の管がノイズに対してシールドの役目を果たす。

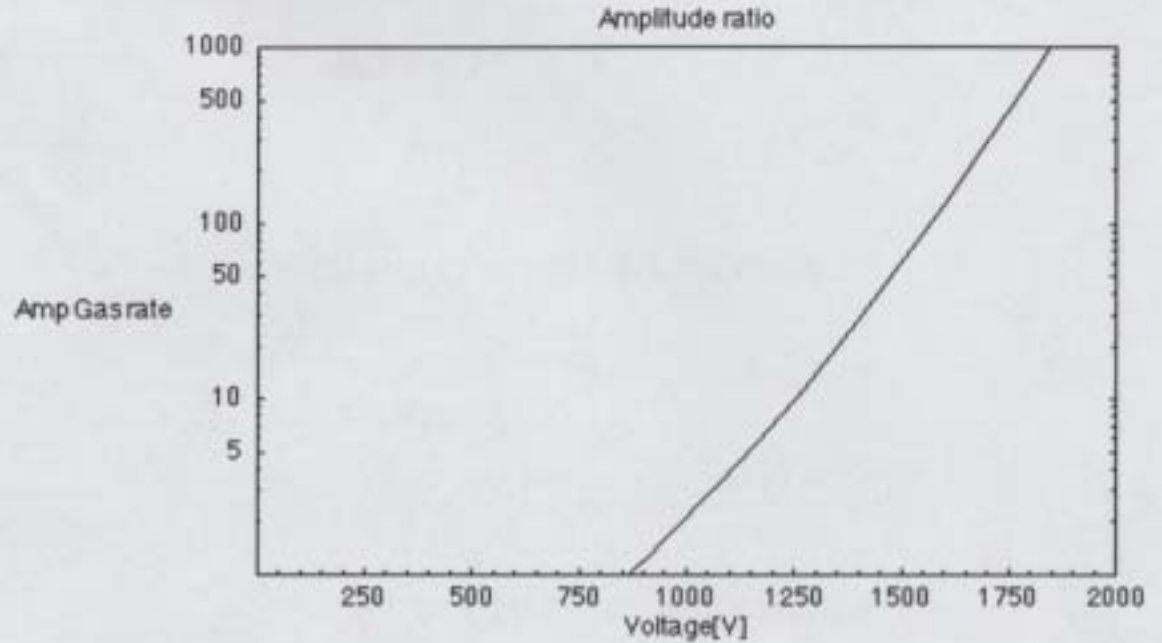
### 問題点

1. 外管と内管の間に強い電場領域がある。放電や電流リークが心配される。
2. 低エネルギーの損失ビームに対し、遮蔽効果が1.75mm分不利。
3. ワイヤの導通チェックが外側から簡単には行えない。

# ガス増幅率の計算



$$E(r) = \frac{V}{r \ln(b/a)}$$



ガス増幅率  $M = \exp \left\{ \frac{V \ln 2}{\ln(b/a) \Delta V} \ln \left[ \frac{V}{K p a \ln(b/a)} \right] \right\}$

Ar90%, CH410%の場合

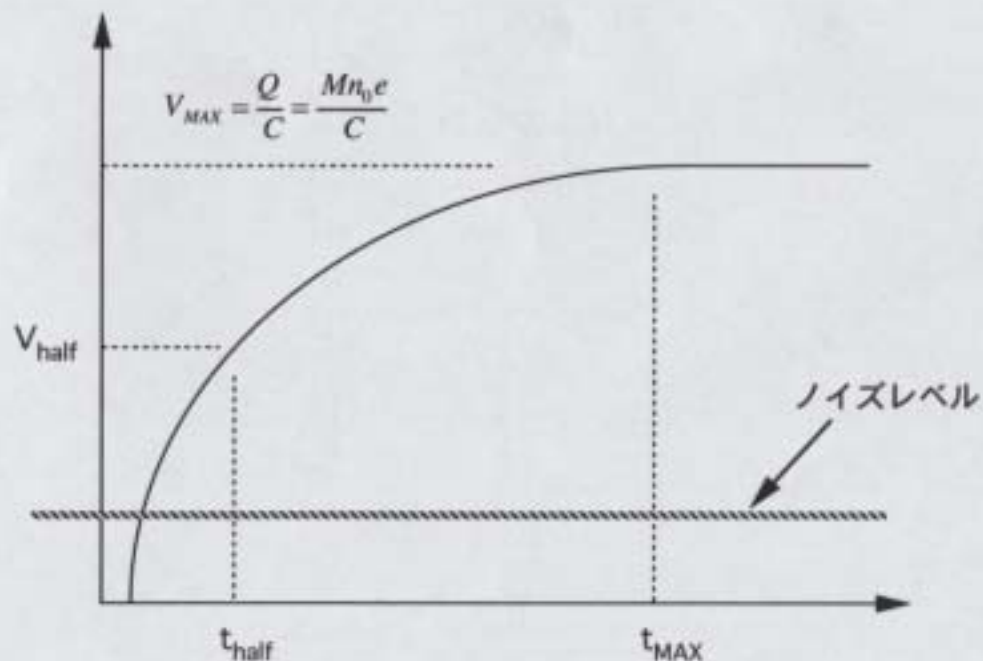
$$K = 4.8 \times 10^6 [V / m / atm]$$

$$\Delta V = 23.6 [eV]$$

となり、 $a=0.06\text{mm}$ ,  $b=11.95\text{mm}$ を代入すると図のような増幅率になる

## 比例計数管のレスポンス

比例管ではパルス波形の殆どをイオンの移動で形成する。一般にレスポンスは遅いと考えられるが、ワイヤー近傍の強電場領域から排出されるフェイズを見れば、有る程度速い計測も可能。



最大波高が立ち上がるまでの時間

$$t = \frac{(b^2 - a^2) P \ln(b/a)}{2\mu V_0}$$

ここでは  $a=0.05\text{mm}$ ,  $b=11.95\text{mm}$  を代入してみると

$$t = 3.9\text{msec} \text{ 程度になる。}$$

しかしながら立ち上がり波形の時間変化は

$$V_R(t) = \frac{Q}{C} \frac{1}{\ln(b/a)} \ln \left\{ \frac{2\mu V_0}{a^2 P \ln(b/a)} t + 1 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

で、時間

$$t_{half} = \frac{a}{a+b} t_{MAX}$$

において、半波高を示すこの例の場合、

$$t_{half} = \frac{0.05}{11.95} \times 3.9\text{msec} = 16.25\mu\text{sec}$$

程度となる。

要するに  $S/N=1$  を越えるのにどれだけ時間を要するか、がレスポンスを決める。

## 加速器からのロスが作るパルス波高

ロスパワーを $P$ [W/m]、ビームエネルギーを $E$ [eV]、加速サイクルを $f$ [Hz]とすると発生するロス量 $N_0$ は

$$N_0 = \frac{P}{Eqf}$$

とおけ、400MeVビームの場合で

$$N_0 = \frac{1[W/m]}{400 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 25[Hz]} = 6.25 \times 10^8 [p/cycle/m]$$

となる。同様に1GeVビームの場合だと

$$N_0 = \frac{1[W/m]}{1000 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 25[Hz]} = 2.50 \times 10^8 [p/cycle/m]$$

このロスが等方的なものだとするとビームからの距離 $L$ 、巾 $d$ 、長さ $l$ のロスモニターに飛び込むプロトンの個数 $N$ は

$$N = N_0 \frac{dl}{2\pi L}$$

とおけ、400MeV、1GeVビームについてそれぞれ求めると $L=100$ cm、 $d=2$ cmとして

$$N = 6.25 \times 10^8 \frac{2 \times 1[m]}{2\pi \times 100} = 2 \times 10^6 [p/cycle]$$

$$N = 2.50 \times 10^8 \frac{2 \times 1[m]}{2\pi \times 100} = 7.95 \times 10^5 [p/cycle]$$

となる。

一方、400MeV、1GeVの陽子ビームに対する阻止能は

$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = 2 [MeV \cdot cm^2 / g]$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = 1 [MeV \cdot cm^2 / g]$$

程度と見積られる。(半実験式による外挿値)

ガス管中の通過距離をおよそ2cm、アルゴンガスの比重を $1.78 \times 10^{-3}$ [g/cm<sup>3</sup>]とおくとガス管中のエネルギー損失 $dE$ は

$$dE = 2 [MeV \cdot cm^2 / g] \times 1.78 \times 10^{-3} [g/cm^3] \times 2[cm] = 7.12 keV$$

$$dE = 1 [MeV \cdot cm^2 / g] \times 1.78 \times 10^{-3} [g/cm^3] \times 2[cm] = 3.56 keV$$

となる。Ar(90%)-CH<sub>4</sub>(10%)ガスの実効的なイオンペア生成エネルギーを $W_0=26.5$ eVとすると、入射プロトン1粒子が作るイオンペアの個数 $N_p$ は400MeV、1GeVに対してそれぞれ

$$N_p = \frac{7.12 \times 10^3}{26.5} = 2.7 \times 10^2 [p]$$

$$N_p = \frac{3.56 \times 10^3}{26.5} = 1.34 \times 10^2 [p] \quad \text{となる。}$$

$M=1000$ 倍として1加速サイクル(40msec)の積分時間で期待できる信号は同軸ケーブル(100pF/m)による伝送距離を100mとすると

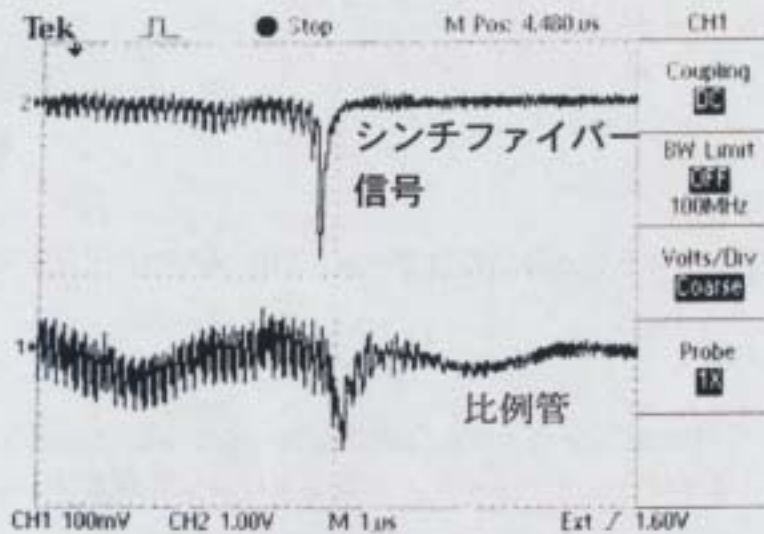
$$V_R = \frac{Q}{C} = \frac{1000 \times 2 \times 10^6 \times 2.7 \times 10^2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{100[m] \times 100 \times 10^{-12}} = 8.6[V]$$

$$V_R = \frac{Q}{C} = \frac{1000 \times 0.795 \times 10^6 \times 1.34 \times 10^2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{100[m] \times 100 \times 10^{-12}} = 1.7[V]$$

程度期待できる事になる。

## PS-ブースター (M2) におけるパルス波形

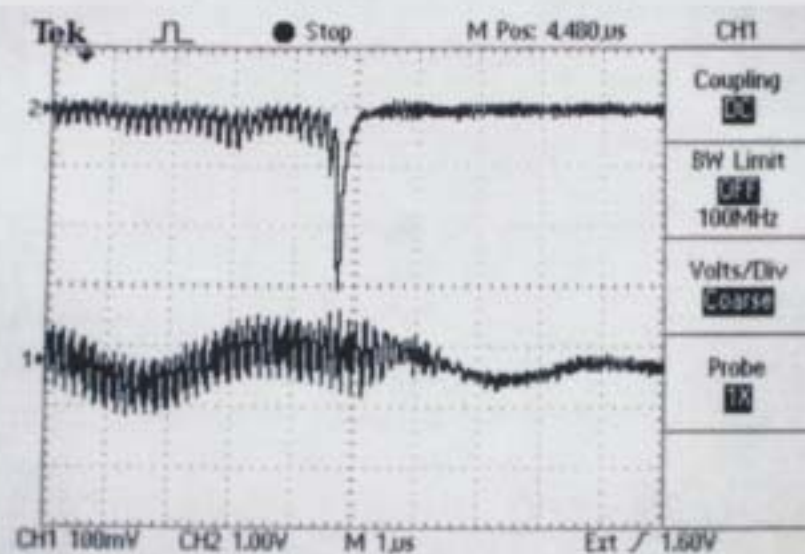
2 kV 加圧



ブースターの取り出しのタイミングで既存のシンチレーションファイバーの信号と比較した。

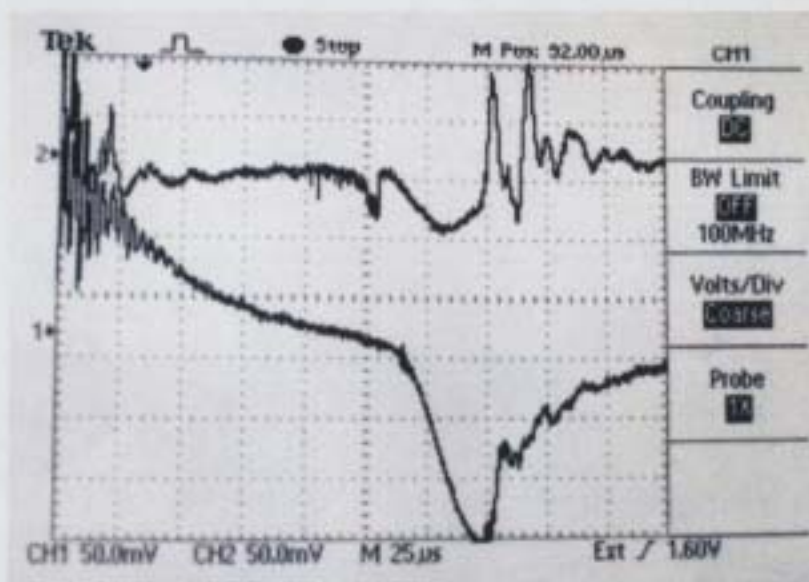
まずは積分せず、生信号の取得を試みた。  
ロス信号に呼応したパルス波形が観測されている。今後ノイズ除去とアンプ調整を行う。

0 kV

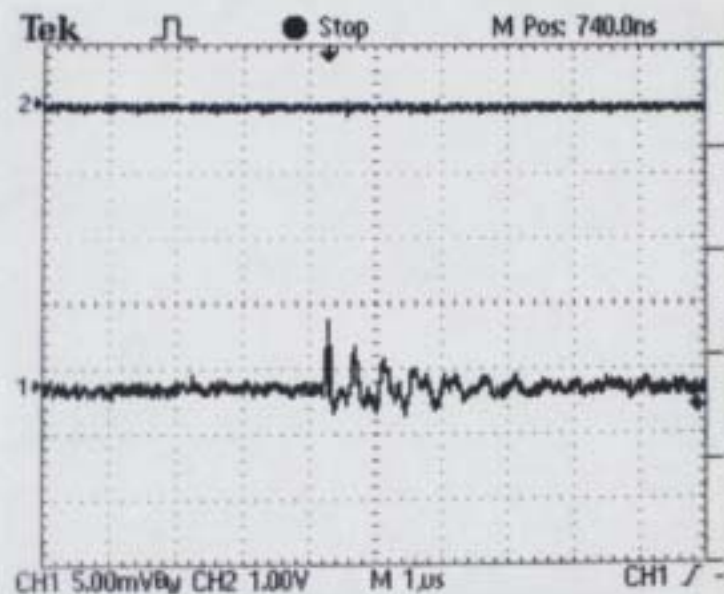


1. 数百 n 秒のオーダーで立ち上がり信号が確認できる。
2. シンチレーションに比べ、0.4 μ 秒程度のディレイがある。  
(これは電子の流動時間と同じオーダーではある。)

## 今後の課題



1. 40MeV以下の低エネルギー領域でプロトンの飛程がダクトと検出器の肉厚より小さくなる。検出器の構造、もしくはガス種を変更し、中性子などを狙う必要がある？



2. 電流リークと思われるノイズが観測されている。高圧の入力に低域通過フィルターを入れることで軽減できるが、数mV pp程度は残る。絶縁体、もしくは電極間隔の見直しが必要？
3. ワイヤ径等の詳細な設計と回路系を決める。
4. 高分子の付着によるワイヤの寿命。その他誤差要因（ガス圧、寸法誤差）の影響調査