

種々のガスに対する低圧力 MWPCの動作特性

東北大理

三木 俊也、大津秀暁、小林俊雄

Contents

目的

使用ガス

検出器仕様・ガス処理系

検出効率

多重度・時間分布

ガス増幅率

まとめ

研究の目的

- RIビーム（陽子を含む）を用いた実験
 - エネルギー：100 MeV/A 以上
 - 運動量： $\pm 3\%$ 程度の分散 **粒子毎に運動量を決定**
真空中で位置・角度を正確に測定し、運動量を決定したい

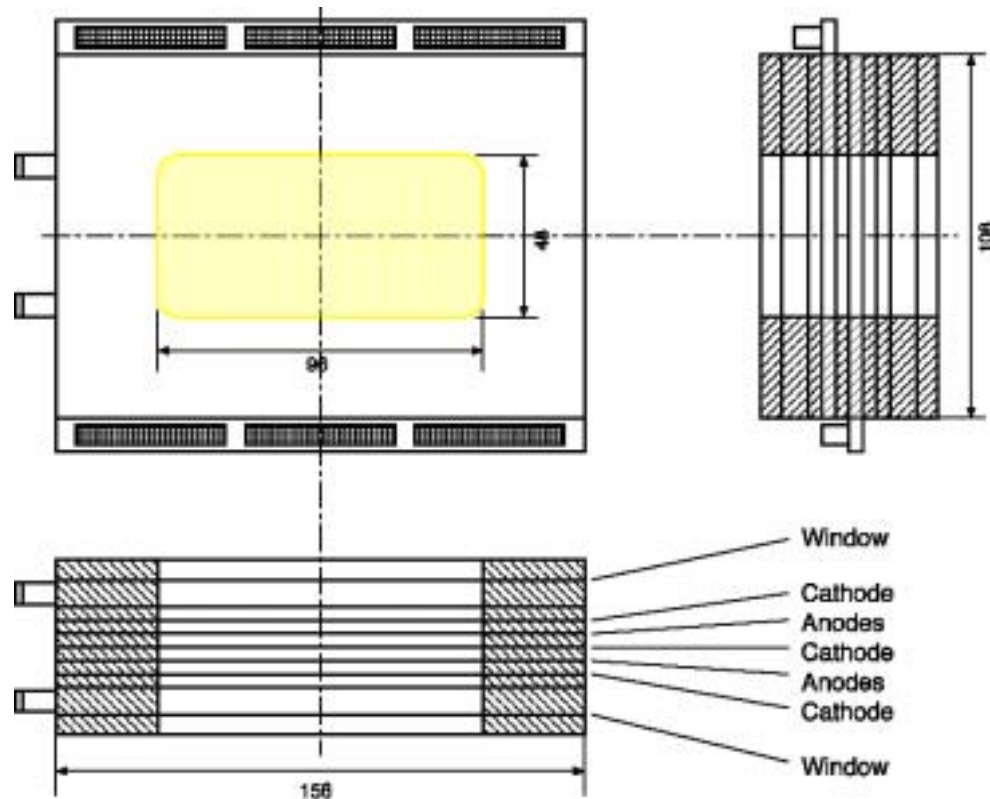
なぜ低圧力MWPC？

- MWPC：良い位置分解能、最小電離粒子への感度、高計数率下の動作
物質が多く多重散乱の影響を強く受ける
低圧にする事でビームライン中（真空）との気圧差を低くし、
入射窓を薄くする

使用するガス

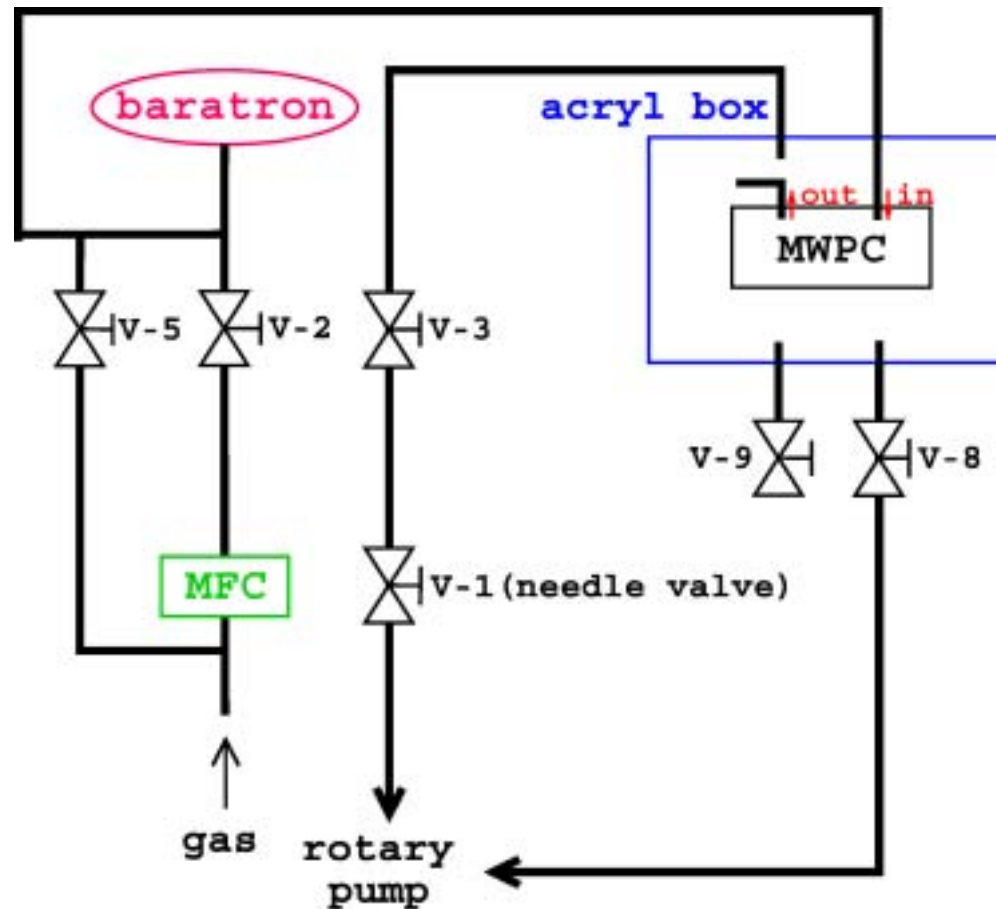
- 低圧ではガス分子数が減少し、その為クエンチングの効果も減少
クエンチガスを100%で使用する
- $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ での試験では安定に動作する事が報告されている
- 他に良いガスが無いのか探索（**検出効率・多重度・時間分布**）
使用ガス： CH_4 、 C_2H_6 、 CF_4 、 C_3F_8

MWPC仕様



- 構成
XX(1面当りアノード48本)
- 有効領域
96 mm(横) × 48 mm(縦)
- アノード
間隔2 mm 直径20 μm
Au-W-Re
- カソード
12.5 μm 厚 両面Cu-Cr蒸着
カプトン
- アノードーカソード間隔
4 mm
- ウィンドウ
125 μm 厚カプトン

低圧ガス処理系



アクリル箱とMWPCは等圧で、
アクリル箱ごと低圧に引く

ある排気速度を設定した際の、
望む圧力 P での固定

$$F = \frac{V_b}{P_0} D(P)$$

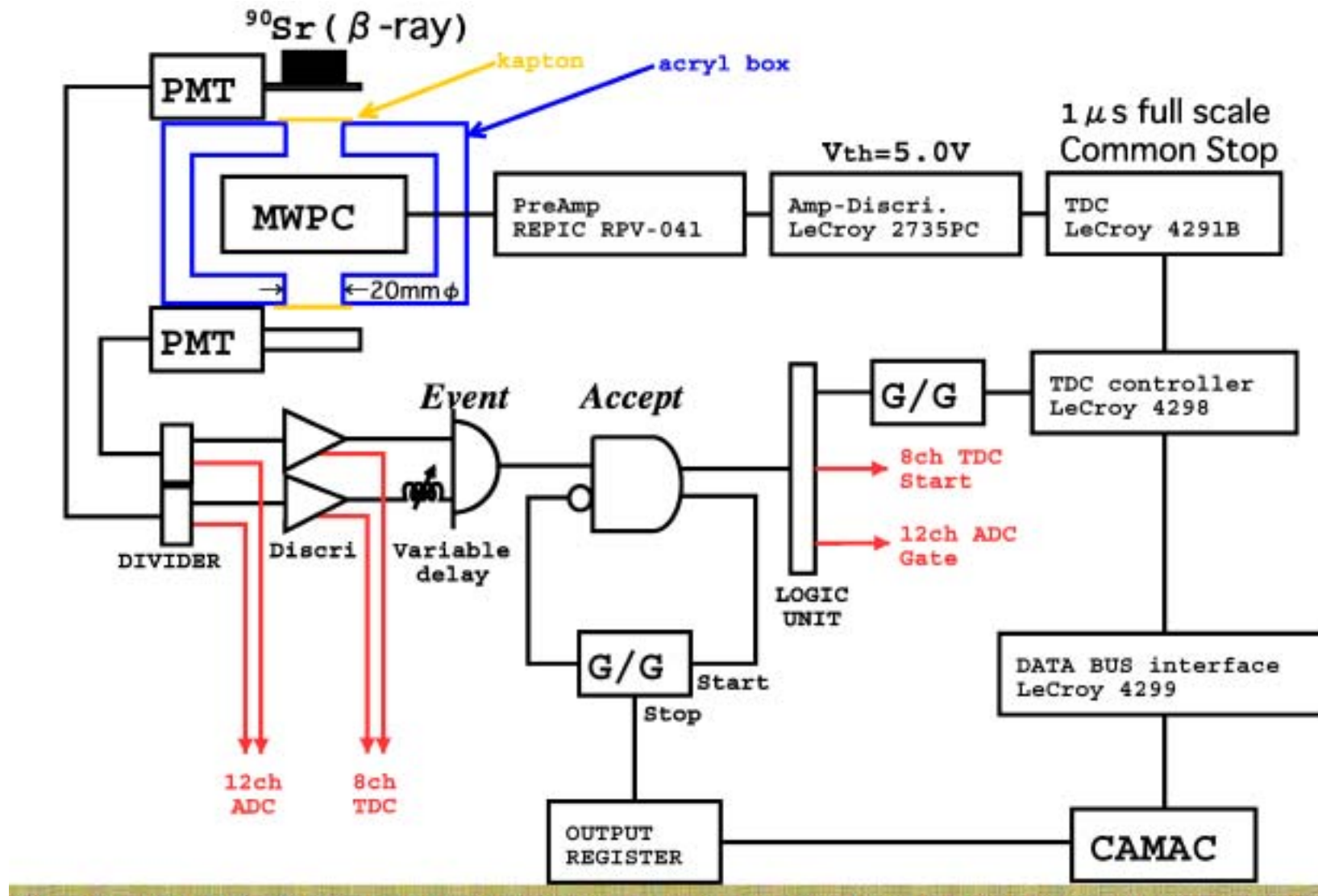
F : 必要なガス流入量

$D(P)$: 流入が無い場合の
圧力変化

P_0 : 大気圧

V_b : 系の体積

測定回路



線(最小電離)に対する検出効率

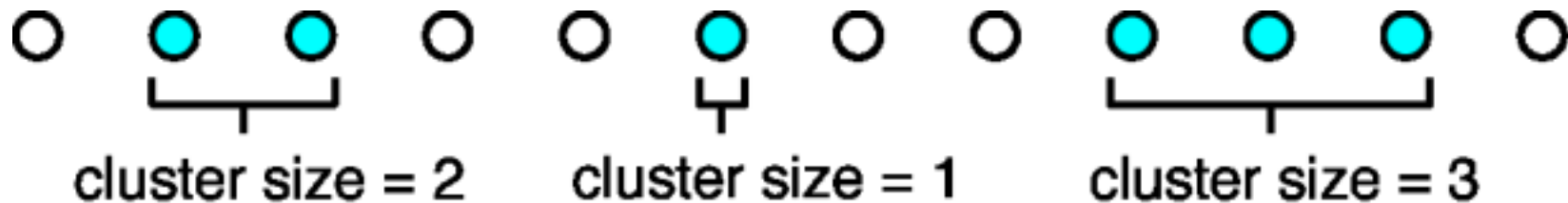
- 定義: $\text{Efficiency} [\%] \equiv \frac{\text{MWPC hit events}}{\text{Trigger events}} \times 100 [\%]$

\mathcal{E}_{tot} : Totalの検出効率

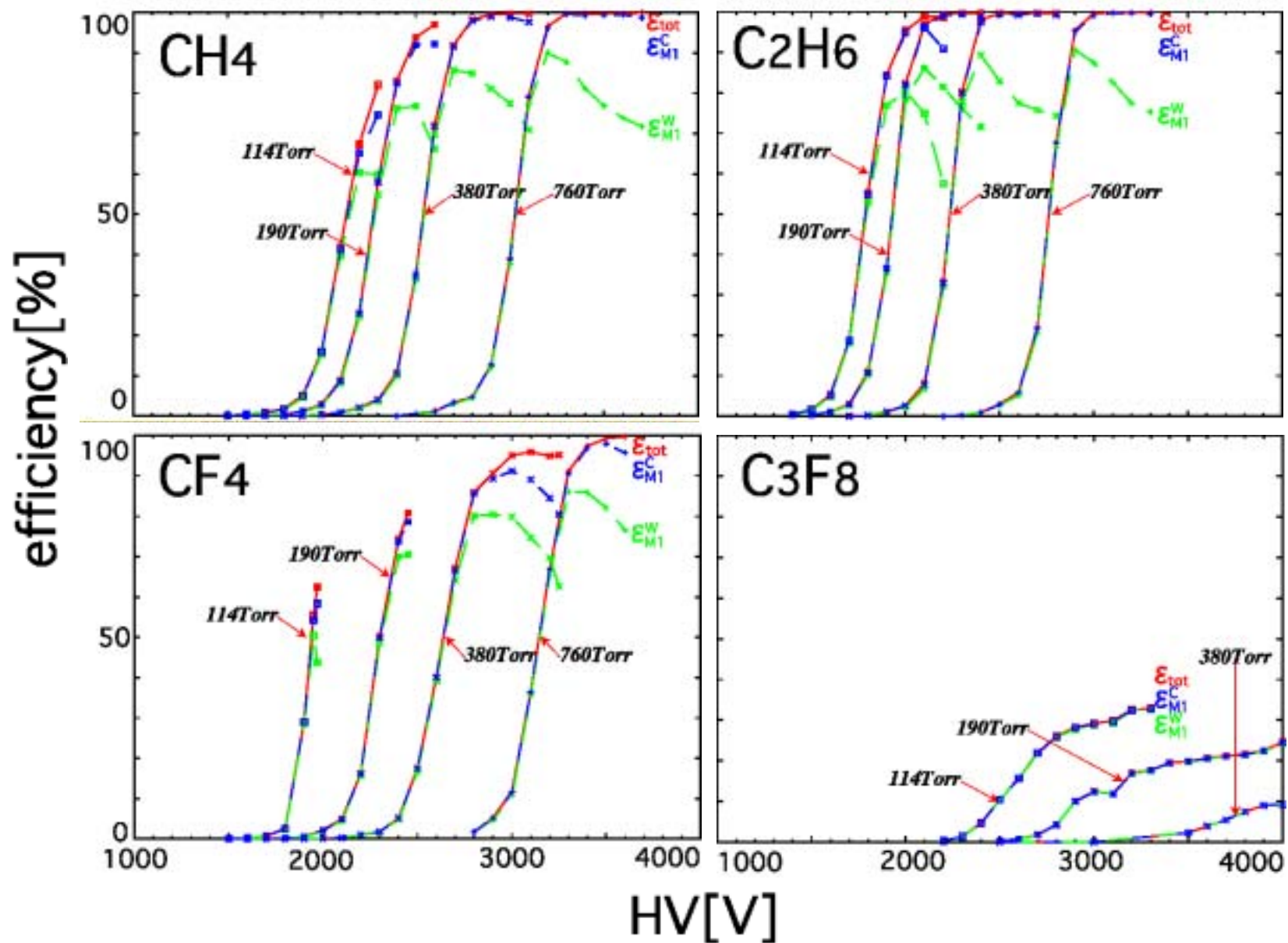
\mathcal{E}_{M1}^W : ワイヤー多重度 1 の検出効率

\mathcal{E}_{M1}^C : クラスタ多重度 1 の検出効率

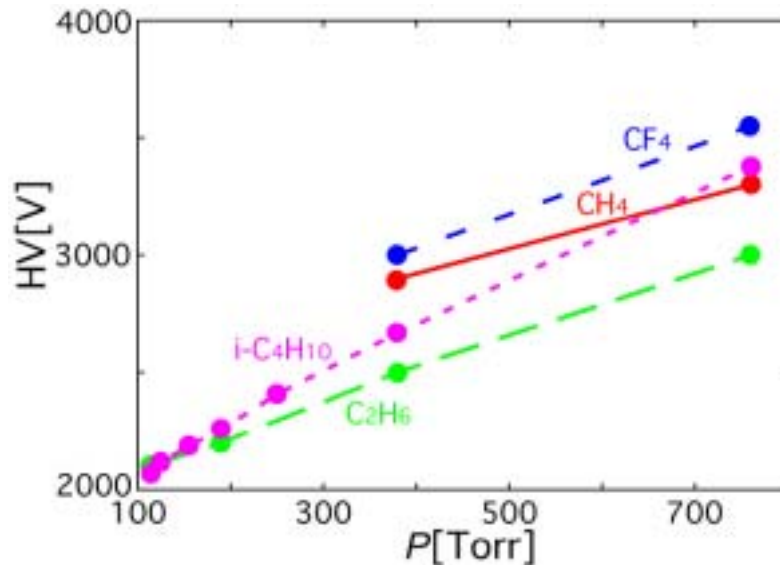
- クラスタの定義



検出効率 : HV、 P 依存性

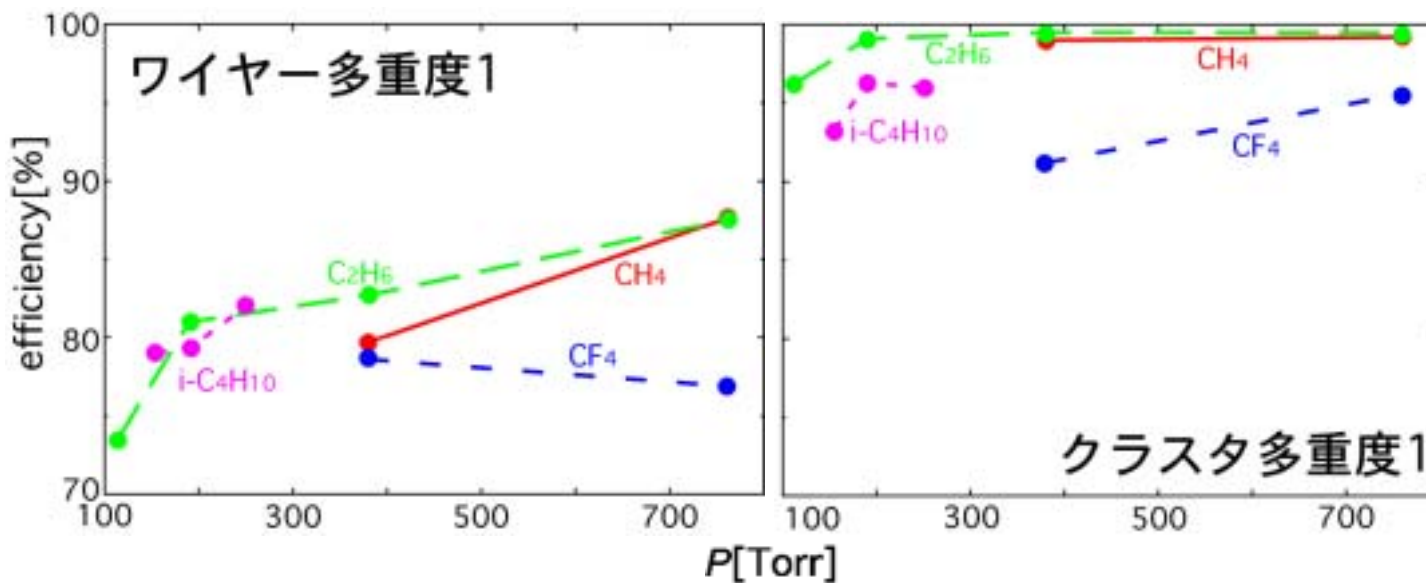


最適動作電圧 : P 依存性

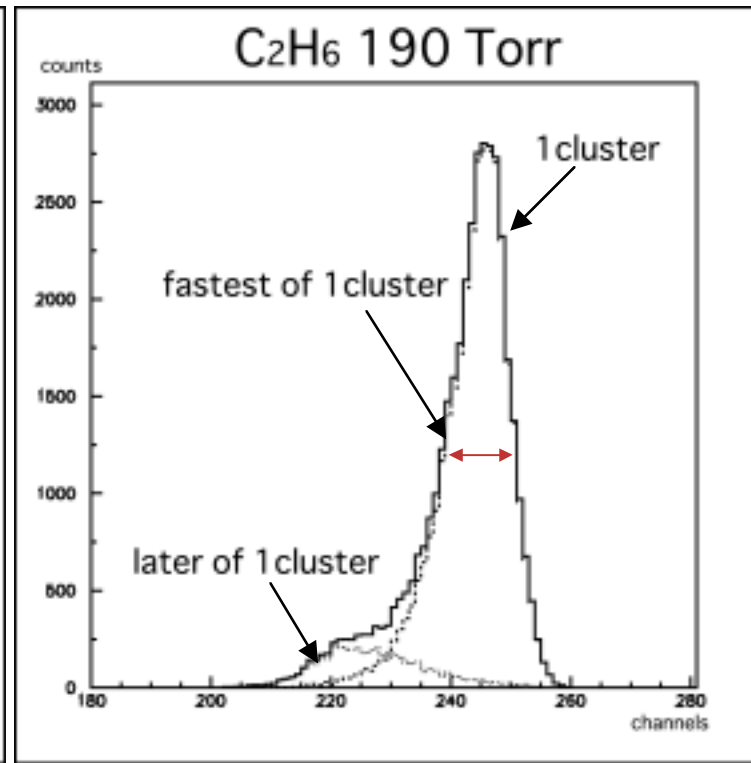
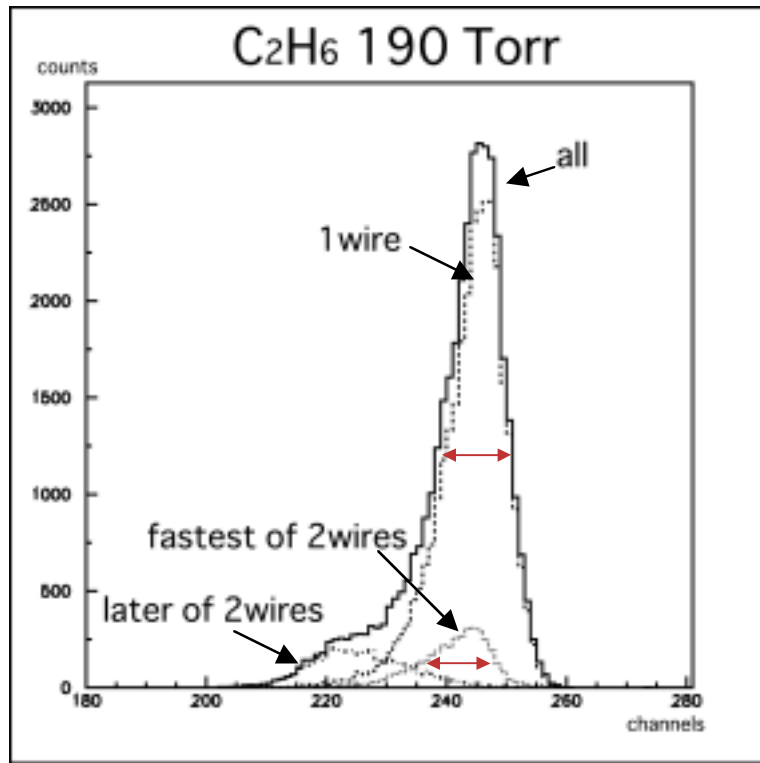


C₂H₆が最も動作電圧低

多重度 : P 依存性



時間分布



FWHM
~ 16nsec

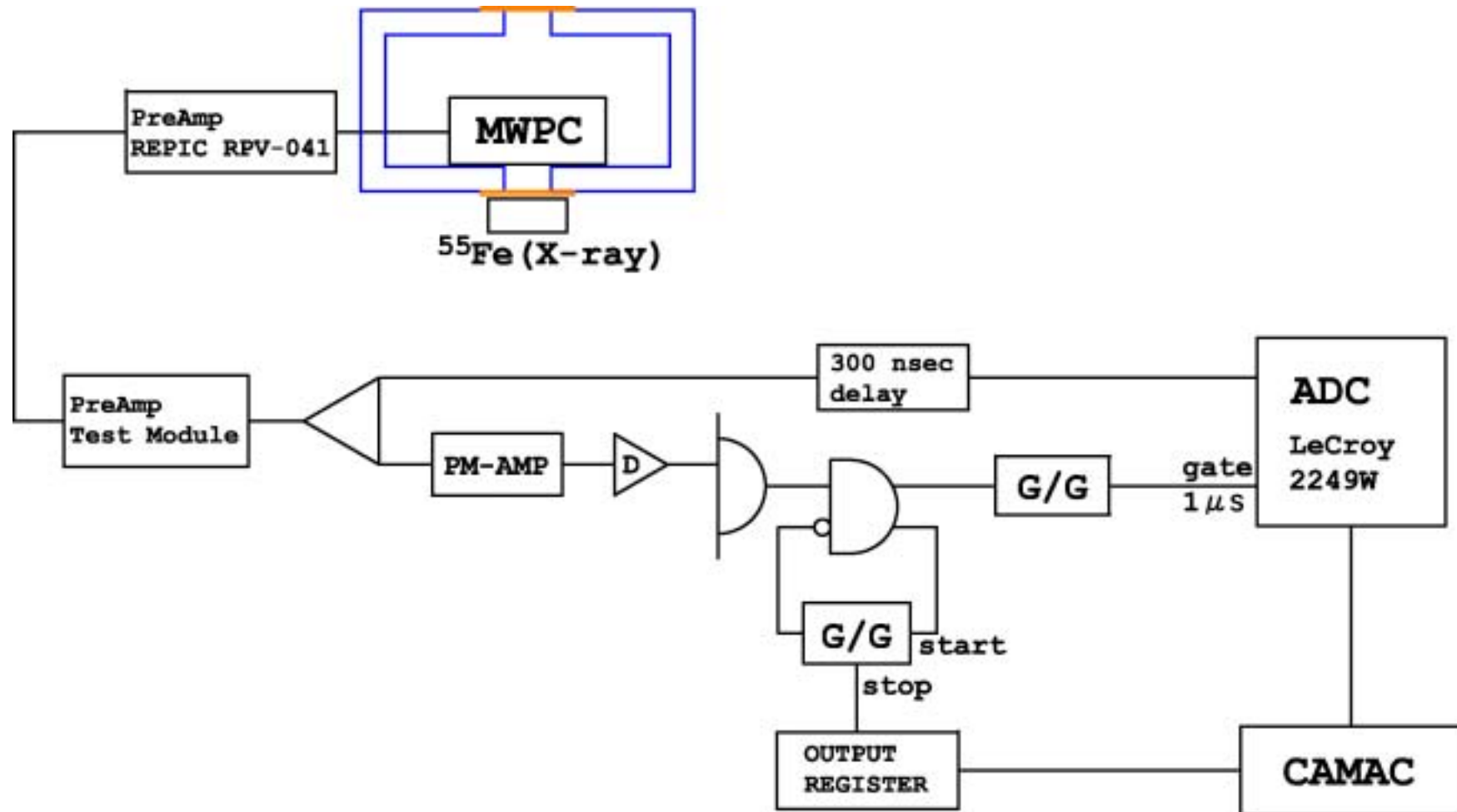
C₂H₆とi-C₄H₁₀の比較(190 Torr)

	HV [V]	\mathcal{E}_{tot} [%]	$\mathcal{E}_{\text{M1}}^{\text{W}}$ [%]	$\mathcal{E}_{\text{M1}}^{\text{C}}$ [%]	FWHM [nsec]
C ₂ H ₆	2200	99.5	81.0	99.1	~ 16
i-C ₄ H ₁₀	2250	98.6	79.3	96.3	~ 15

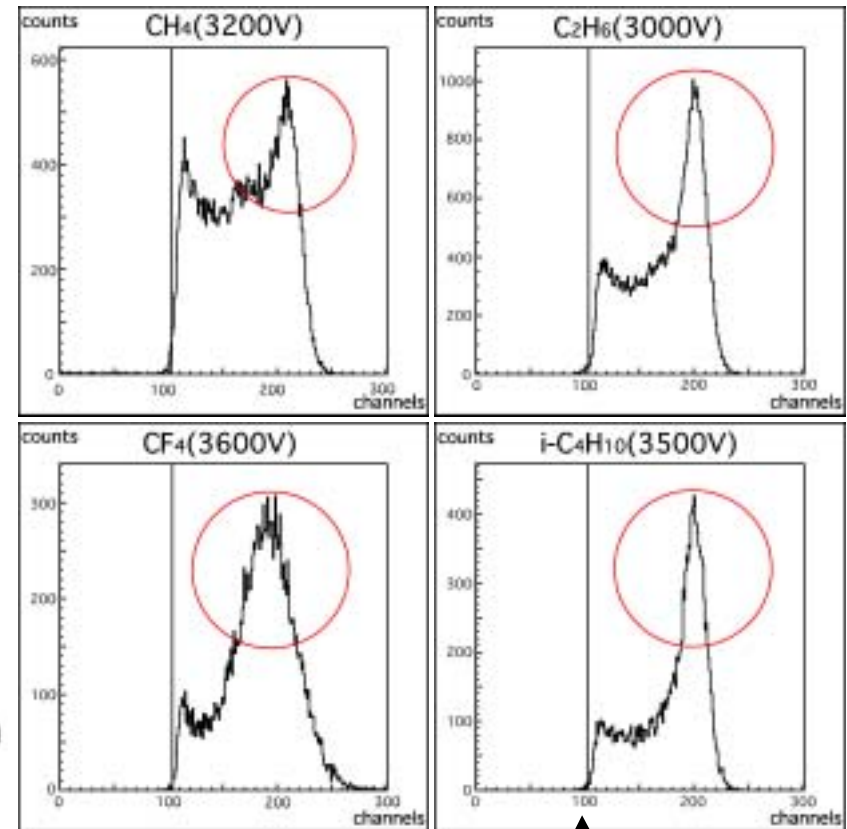
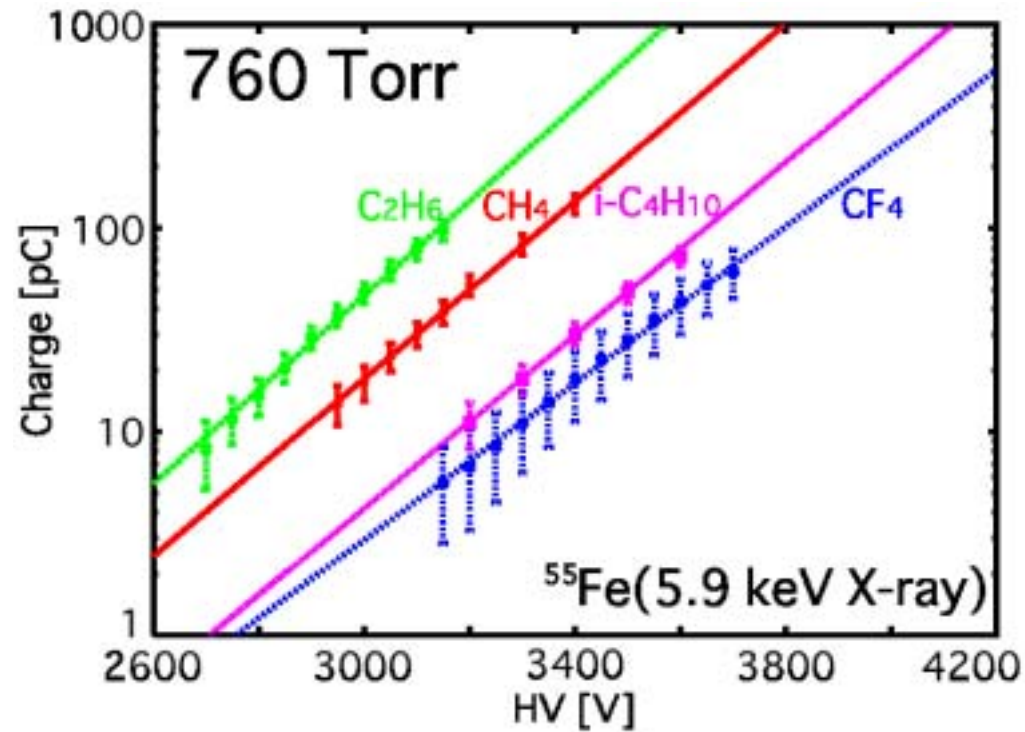
ガス増幅率

^{55}Fe の5.9 keV X-rayを使用

測定回路

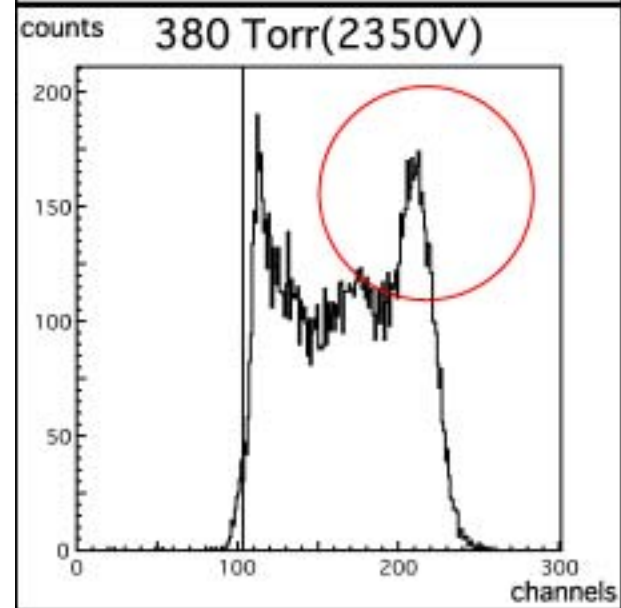
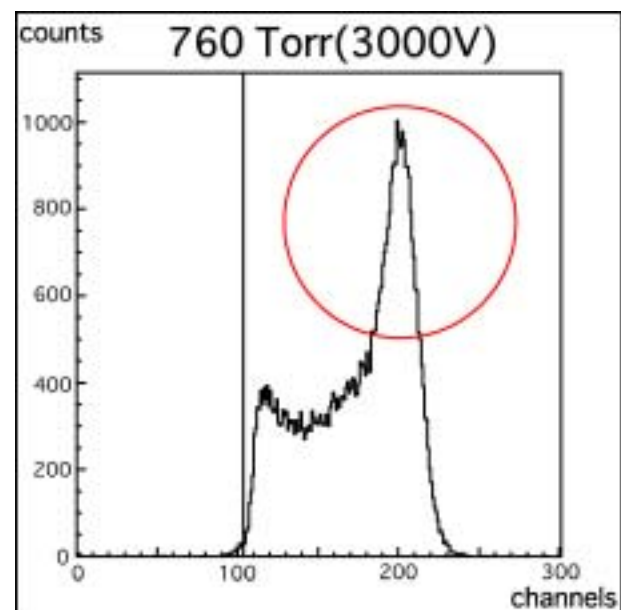
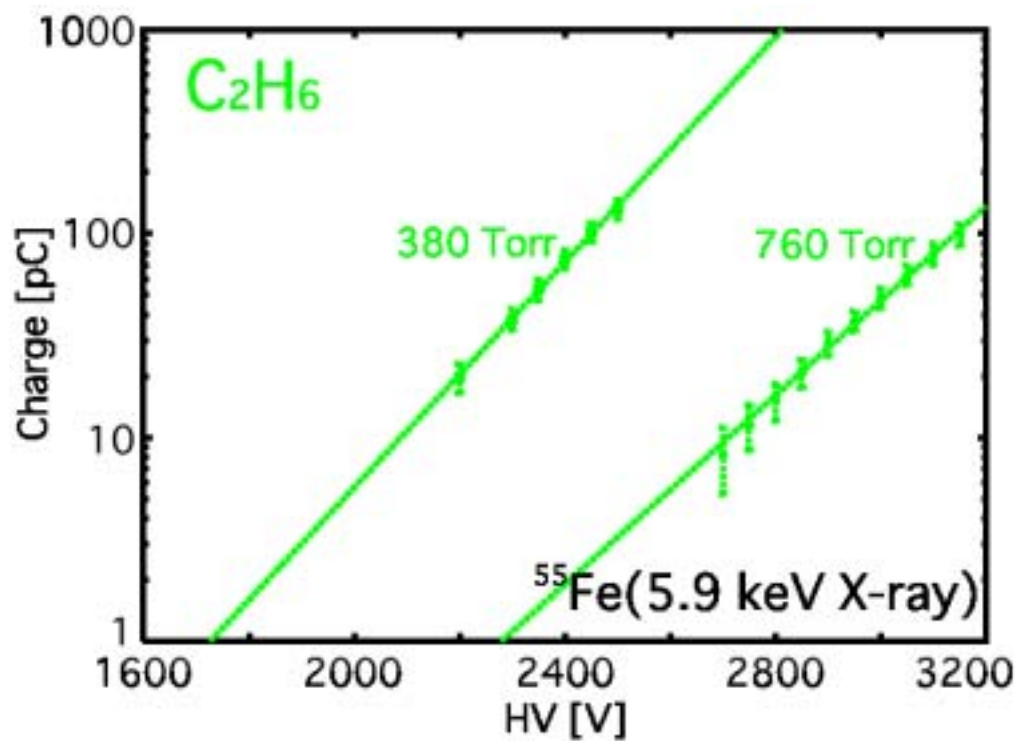


波高分布：HV 依存性 @760 Torr



pedestal

C₂H₆波高分布：HV、P 依存性



まとめ

- RIビーム(陽子を含む)を用いた実験において、
焦点面での位置測定によるビーム運動量の決定
- 位置検出器としての低圧力MWPC
充填ガス : CH_4 、 C_2H_6 、 CF_4 、 C_3F_8
の4種を用いた場合の動作特性を測定した
- C_2H_6 : 114 Torrで、 $Z = 1$ の最小電離粒子に対して
100 %の検出効率で安定に動作
250 MeVの陽子の dE/dx は最小電離の約2倍あり、
 $Z > 1$ では $dE/dx \propto Z^2$ となるので、問題なく動作すると予想される

190 Torrでは $\mathcal{E}_{M1}^W = 81.0\%$ 、 $\mathcal{E}_{M1}^C = 99.1\%$
時間幅 ~ 16 nsec

おおよそは $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ と近い値で動作

- CH_4 、 CF_4 : 190 Torr以下では不安定
- C_3F_8 : 検出効率が低い
- ガス増幅率(タウンゼント係数) : 調査中

運動量の決定

焦点面間のTOF測定によって得られる運動量の分解能

$$T=250 \text{ MeV}/A, L=6.8 \text{ m}, t \sim 115 \text{ psec} \quad \rho/P \sim 0.5 \%$$

焦点面1 (F1)での運動量分散は20 ~ 30 mm/%

$$=1 \text{ mmの精度で2次ビームの位置を測定} \quad \rho/P \sim 0.04 \%$$

(1次光学の範囲内)

TOFの時間分解能 dt とTOFから求まる運動量 dP の分解能の関係

$$\frac{dP}{P} = \gamma^2 \frac{dt}{t}$$

が大きくなると分解能が悪くなる

これらの理由から、位置測定による運動量の決定を目指す

物質量と多重散乱

クーロン多重散乱角 :

$$\theta \cong \frac{14 [\text{MeV}/c]}{p\beta} \sqrt{\frac{L}{L_R}} \left(1 + \frac{1}{9} \log \frac{L}{L_R} \right) Z \quad [\text{rad}]$$

(p :運動量[MeV/c]、 L :物質の厚さ、 L_R :放射長、 Z :入射粒子の電荷数)
 L/L_R が小さい方が得

MWPCの各構成要素に対する L/L_R

	ガス 760 Torr ウインドウ 125 μm	ガス 190 Torr ウインドウ 4 μm
i-C ₄ H ₁₀	2.34 $\times 10^{-4}$	0.59 $\times 10^{-4}$
C ₂ H ₆	1.24 $\times 10^{-4}$	0.31 $\times 10^{-4}$
ウインドウ ($\times 2$)	8.70 $\times 10^{-4}$	0.28 $\times 10^{-4}$
カソード ($\times 3$)	1.31 $\times 10^{-4}$	1.31 $\times 10^{-4}$
アノード ($\times 2$)	0.90 $\times 10^{-4}$	0.90 $\times 10^{-4}$
計(C ₂ H ₆ を用いた場合)	12.15 $\times 10^{-4}$	2.80 $\times 10^{-4}$

C₂H₆を用いた場合での、250 MeV 陽子に対する :

760 Torr $\sim 0.74 \text{ mrad} (0.042^\circ)$

190 Torr $\sim 0.32 \text{ mrad} (0.018^\circ)$

dE/dx と1次電離電子数

線に対するdE/dx :

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}} = D \frac{Z_m}{A_m} \frac{1}{\beta^2} \left[\ln \frac{m_e^2 (\gamma - 1)^2 (\gamma + 1)}{2I^2} + \frac{1}{\gamma^2} \left\{ 1 + \frac{(\gamma - 1)^2}{8} - (2\gamma - 1) \ln 2 \right\} \right]$$

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{tot}} \approx -\left(1 + \frac{E \cdot Z_m}{700}\right) \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}}$$

(D=0.154[MeV/(g/cm²)], I : mean excitation energy)

線のエネルギーを1 MeV(ほぼ最小電離)とした時の、
各ガス(760 Torr)でのエネルギー損失と1次電離電子数

	-(dE/dx) [MeV/(g/cm ²)]	-dE(0.8 cm) [keV]	W値 [eV/イオン対]	1次電離電子数 [個]
CH ₄	2.29	1.32	27.1	48.7
C ₂ H ₆	2.21	2.21	24.4	90.6
CF ₄	1.70	5.03	~ 30	~ 170
C ₃ F ₈	1.87	11.67	~ 30	~ 390
i-C ₄ H ₁₀	2.22	4.74	23.2	204.3

2 mm-MWPC(写真)

