

# Current status of MEG experiment

-液体Xeガンマ線検出器用光電子増倍管の開発-

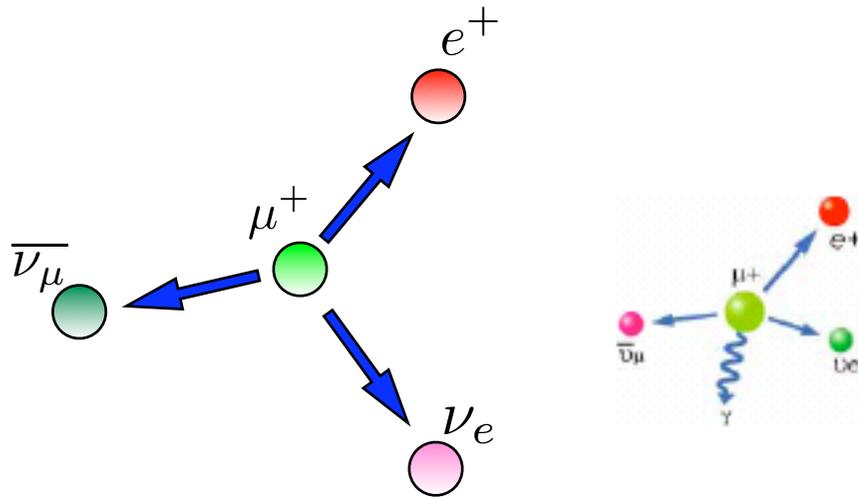
11th ICEPP Symposium

名取寛顕(東京大学素粒子センター)

# 内容

- MEG実験について
- Xe検出器について
- PMT(光電子増倍管) の研究開発

# $\mu$ の崩壊



lepton数

	$e^-$	$\nu_e$	$\mu^-$	$\nu_\mu$
$L_e$	1	1	0	0
$L_\mu$	0	0	1	1

反粒子:負符号

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu (\sim 100\%)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu + \gamma (1.4 \pm 0.4\%)$$

$$L_e: 0 = -1 + 1 + 0$$

$$L_\mu: -1 = 0 + 0 - 1$$

レプトン数保存

# $\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊

$\mu \rightarrow e \gamma$  崩壊

$\mu \rightarrow e \gamma$  崩壊のおこる確率:

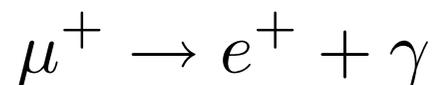
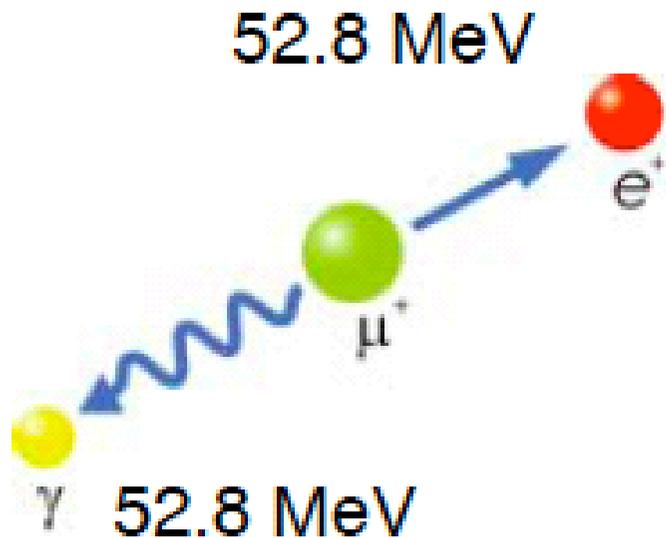
$$\text{Br} < 1.2 \times 10^{-11} \text{ (by MEGA)}$$

MEGの目指す精度:

$$\text{Br} \sim 10^{-14}$$

特徴

- Back to Back
- 52.8MeV

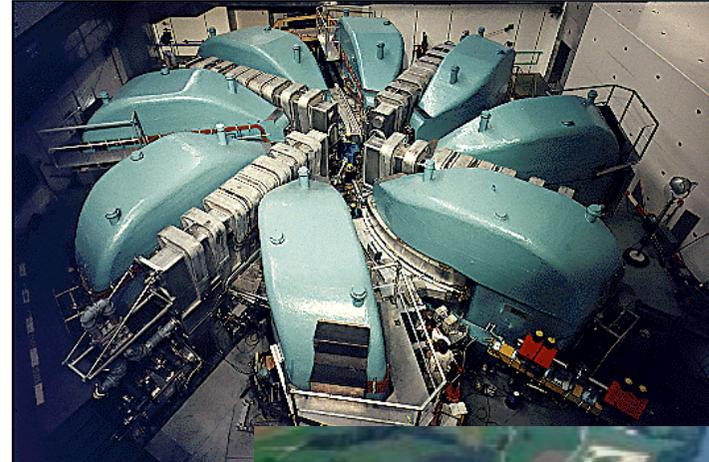


- 標準模型 ( $m_\nu=0$ )  $\rightarrow \mu \rightarrow e + \gamma$  崩壊  $\times$
  - ニュートリノ振動  $\rightarrow \mu \rightarrow e + \gamma$  崩壊  $\bigcirc$  but 観測不可
  - 大統一理論  $\rightarrow \mu \rightarrow e + \gamma$  崩壊  $\bigcirc$  (quarkでおこるので)
- 
- SUSY-GUT + シーソーモデル  $\rightarrow \mu \rightarrow e + \gamma$  観測可

10<sup>14</sup>個に1個しか観測されない  
事象を見るため、たくさんの  
ミュオンが必要。

スイスのチューリッヒ郊外にある  
PSI(Paul Scherrer Institut)の  
世界最大強度(毎秒10<sup>8</sup>個)の  
ミュオンDCビームを用いて  
実験を行う。

## 590MeV陽子サイクロトロン



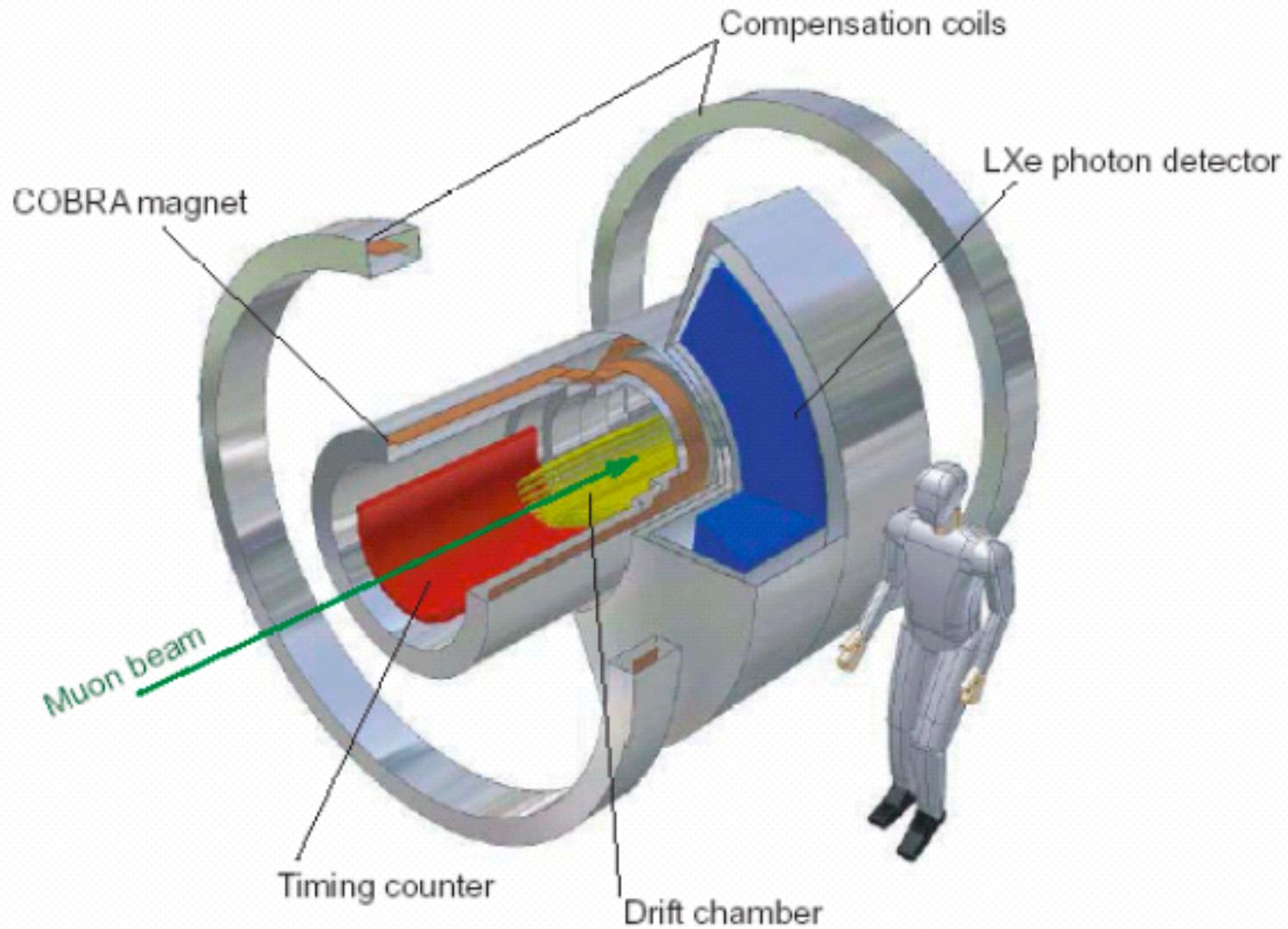
PSI外観

---

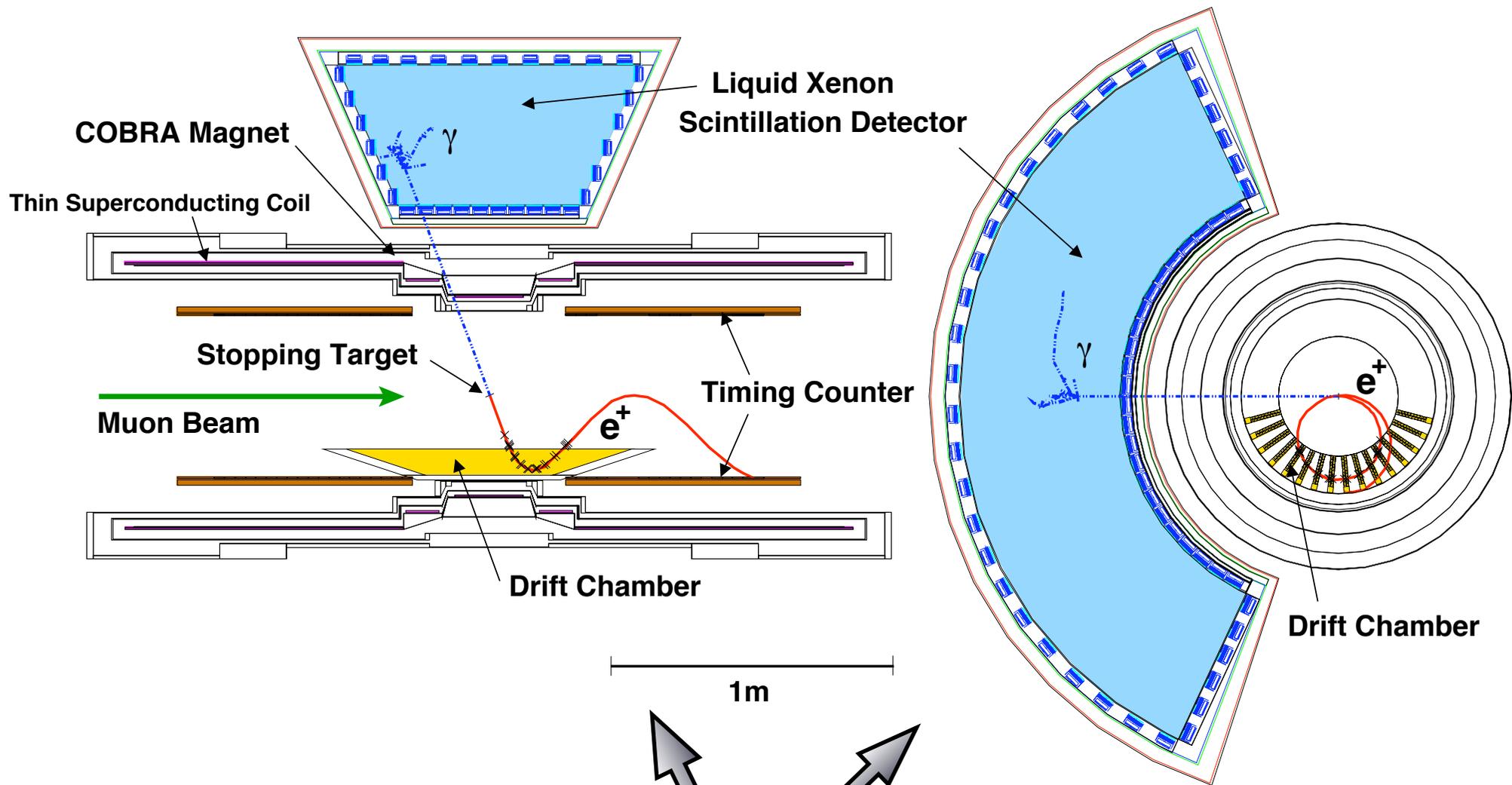
cf. 陽子ビームからのミュオンビームの生成  
 $p \text{ beam} + \text{target} \rightarrow \pi^+ + \text{etc.}$



# MEG実験検出器全体図



$e^+$  detector とガンマ線 detector  
からなる

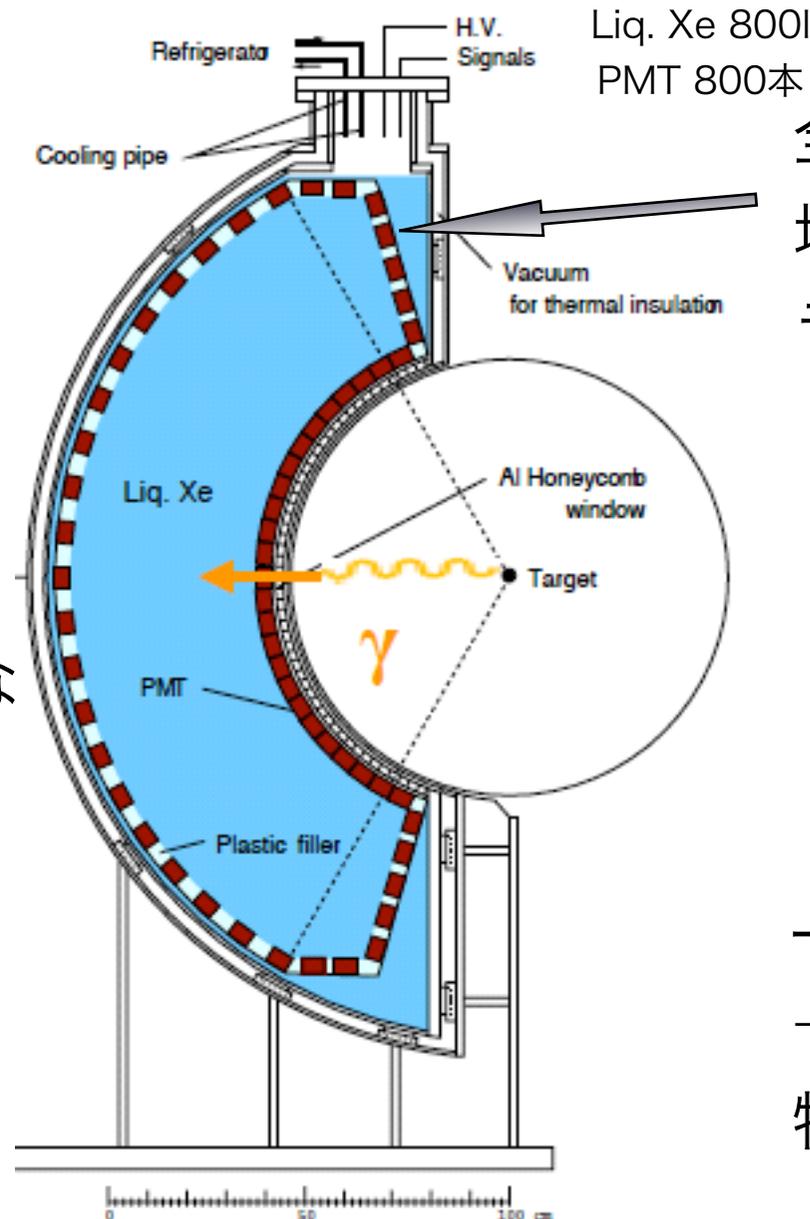


detector 断面図

# 液体Xe $\gamma$ 線検出器

シンチレータ:液体Xe

- 時間応答が早い → 事象が重ならない
- 発光効率高い → 高分解能
- 液体 → 均一で大きなシンチレータを作成可能
- 循環+純化が可能
- Z、密度が大



全面にPMT(光電子増倍管)カミオカンデライク

→高精度測定

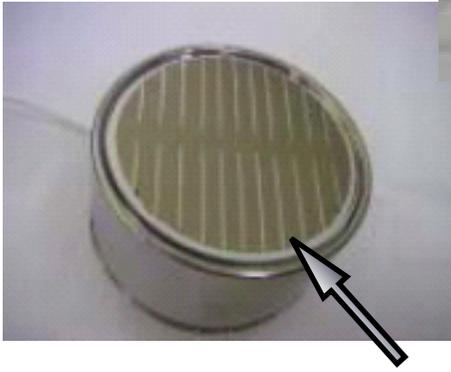
・エネルギー

・時間

・場所

-110度の液体Xe中  
→低温で精度の良い  
特殊なPMT

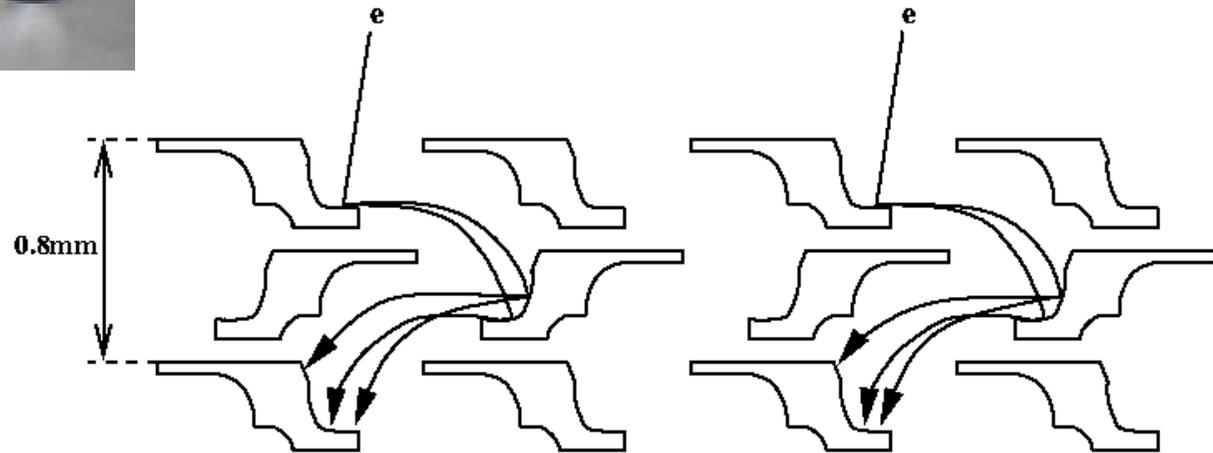
# MEG実験用PMTの開発



アルミストリップ

- 光電面の電子不足→O.K.
- Q.E.向上

ウィンドウ:クォーツガラス  
→真空紫外光O.K.



メタルチャンネルダイノード  
ダイノード間が短く、  
高速応答、薄型

実際の実験:大量のバックグラウンド

( $\mu \rightarrow e + \nu + \nu + \gamma$ の $\gamma$ 線,ビーム由来の中性子等)

→液体Xeはハイレートで光を放出する。

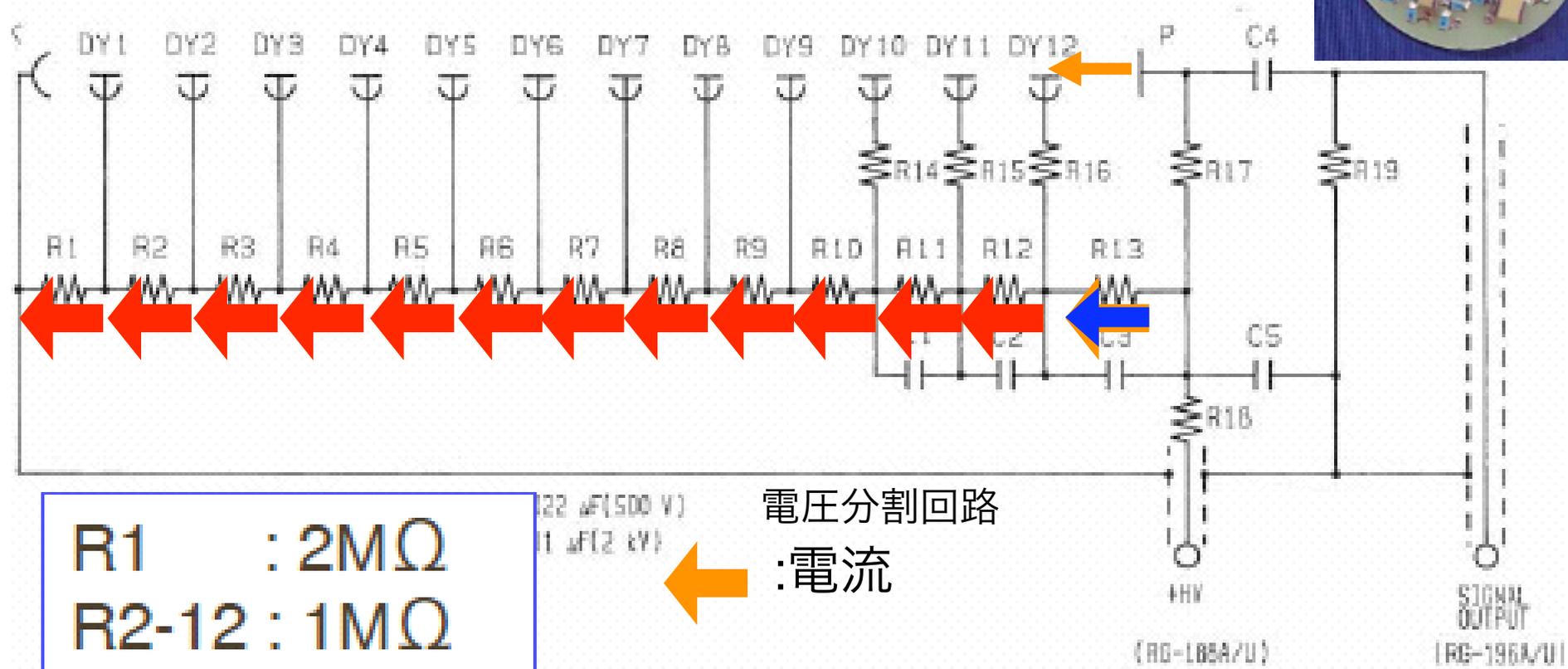
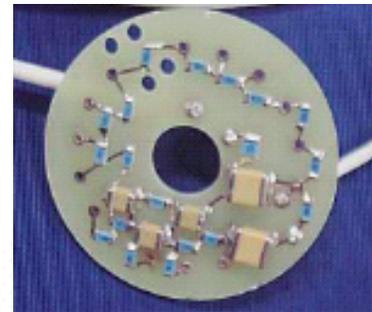
(見積もられているback ground level : $10^7$ p.e./sec )

→high rate background下でのPMTの精度必要

---

B.G.として、大量の光が入ったとき  
ゲインが変化してしまう問題点

# ゲインがかわる理由



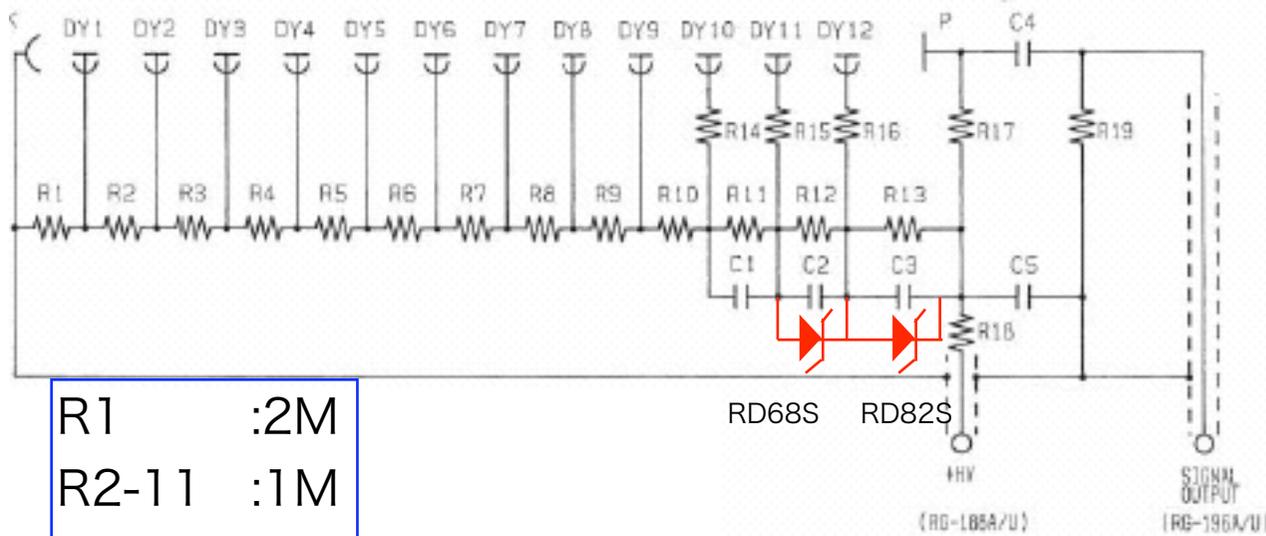
R1	: 2MΩ
R2-12	: 1MΩ
R13	: 1.2MΩ

大きな抵抗値(発熱小)  
 →電流が少ない  
 →ハイレートB.G.に弱い

電圧分割回路  
 :電流

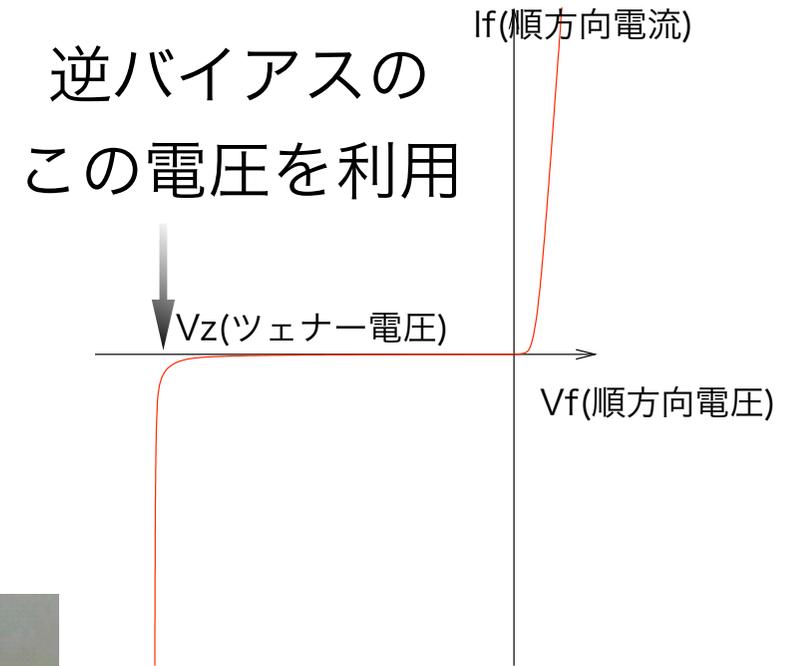
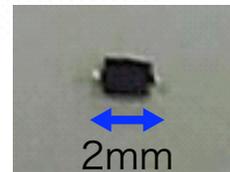
最終段(DY12,P間)に電流  
 →この電流の分だけ、  
 R13を流れる電流が減る。  
 →最終段の電圧が下がる  
 →電圧配分が変化  
 →ゲイン変動

# 対策案



R1	:2M
R2-11	:1M
R12-13	:2M

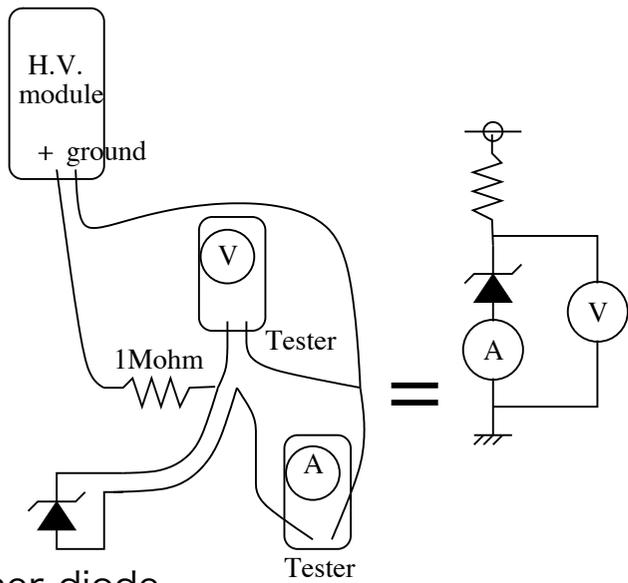
定電圧素子の  
ツェナーダイオード



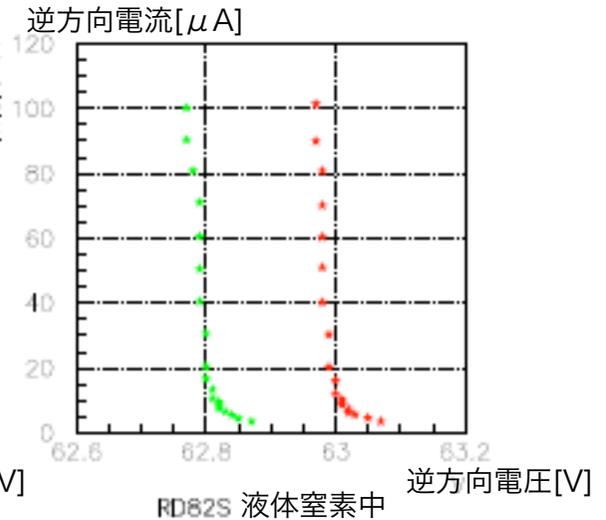
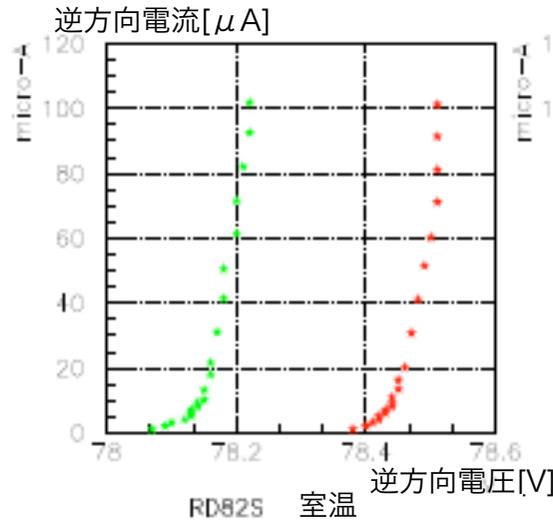
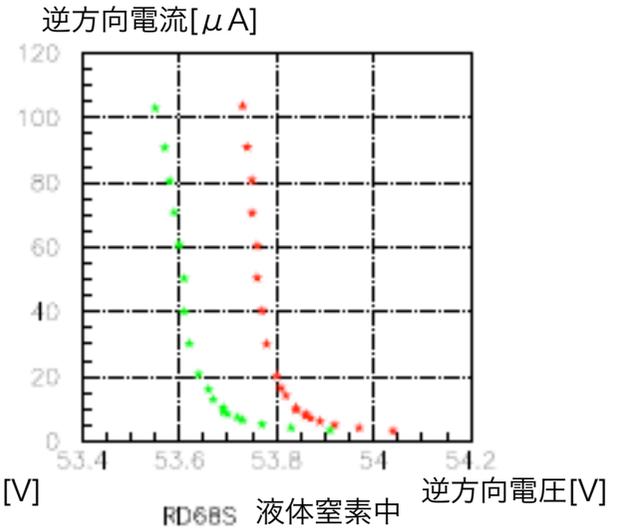
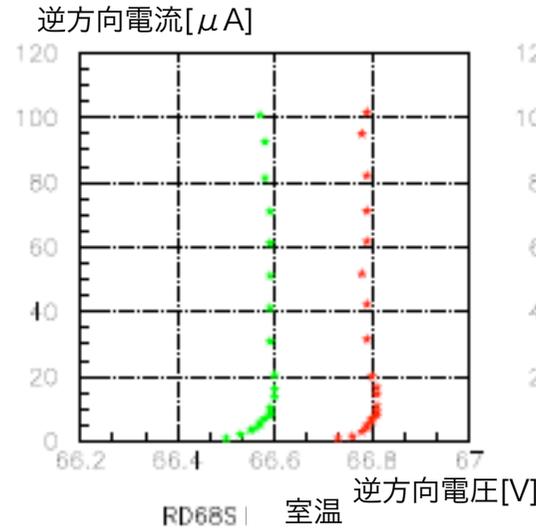
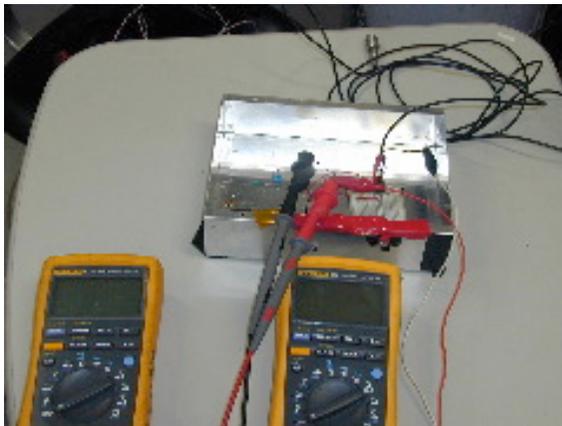
原理:ツェナー降伏( $V_z < 6V$ の場合)  
アバランシェ降伏( $V_z > 6V$ の場合)

ただし、メーカーの動作保証は-55度まで  
基礎特性を調べる必要あり

# V-I 特性のテスト (常温、液体窒素中(-200度))



zener-diode  
のみを、液体  
窒素中に入れ  
ることが可能



液体窒素中でも→

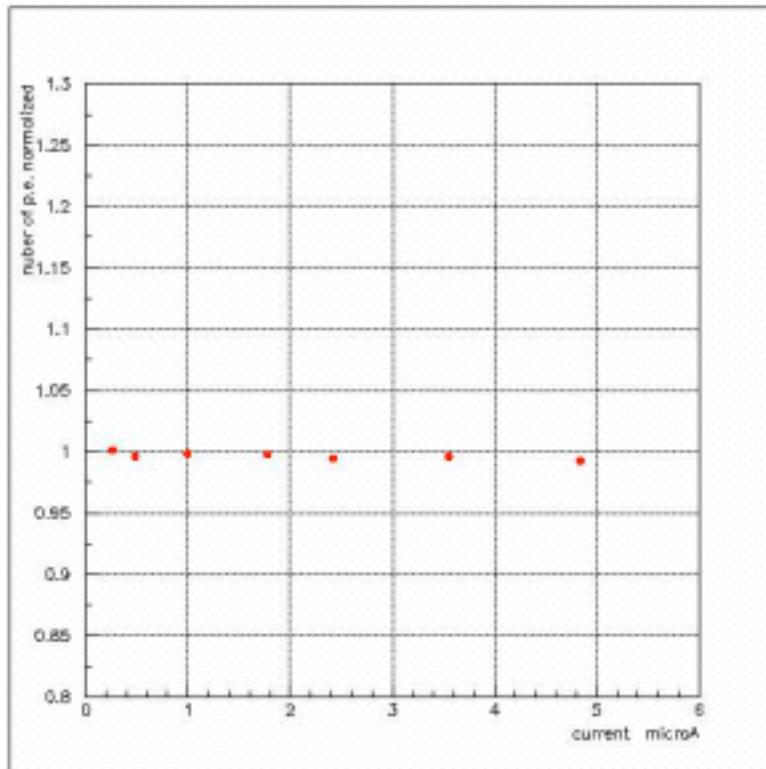
壊れない

電圧の立ち上がり: sharp

$V_z \downarrow$ : 温度係数とconsistent

➤ Rate Dependence Test  
 $1 \cdot 10^7$  gain

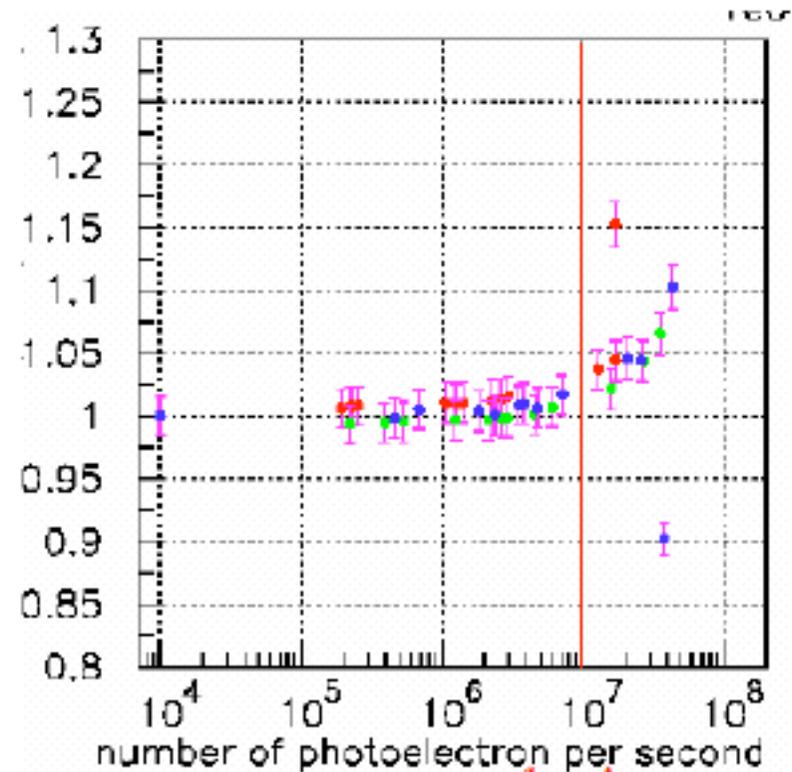
Alpha @B.G. ON/ Alpha @B.G. OFF



Background level

zener付きPMT

5 [ $\mu$ A] Back Groundまで安定した出力(1%)

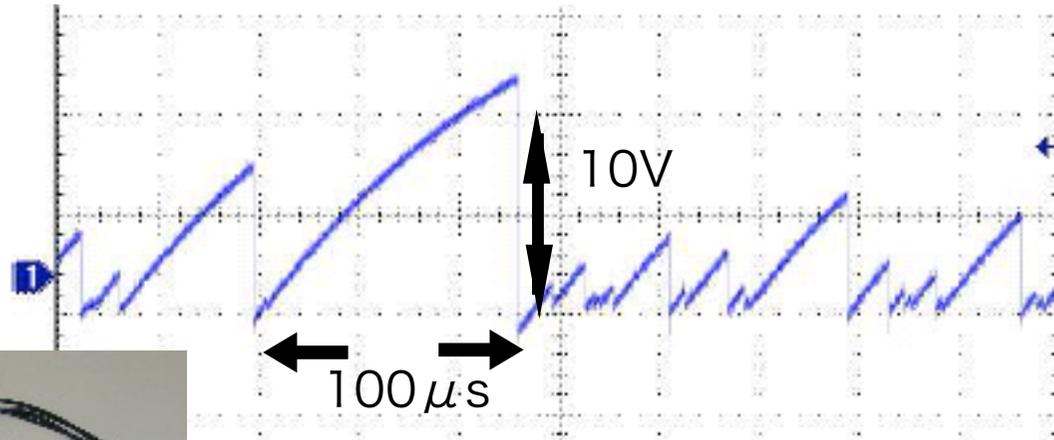
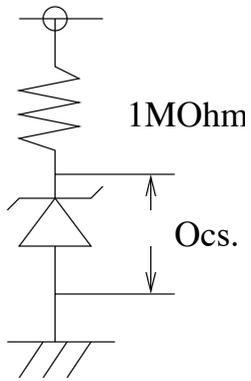


1  $\mu$ A

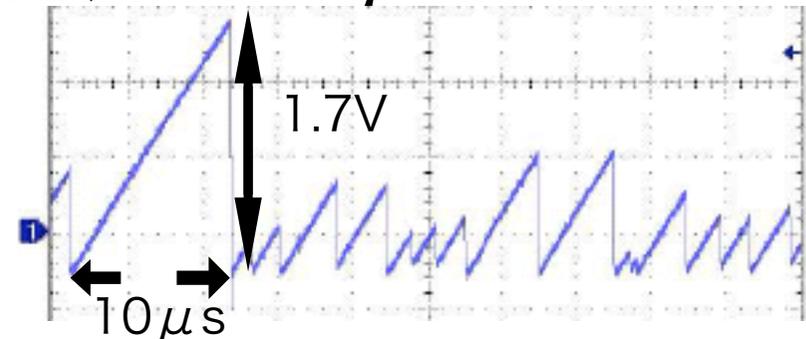
zener無しPMT

実際の実験では2  $\mu$ AのB.G.

# -110度位でのオシロスコープの画像 (AC coupling) ( $20\mu A$ )



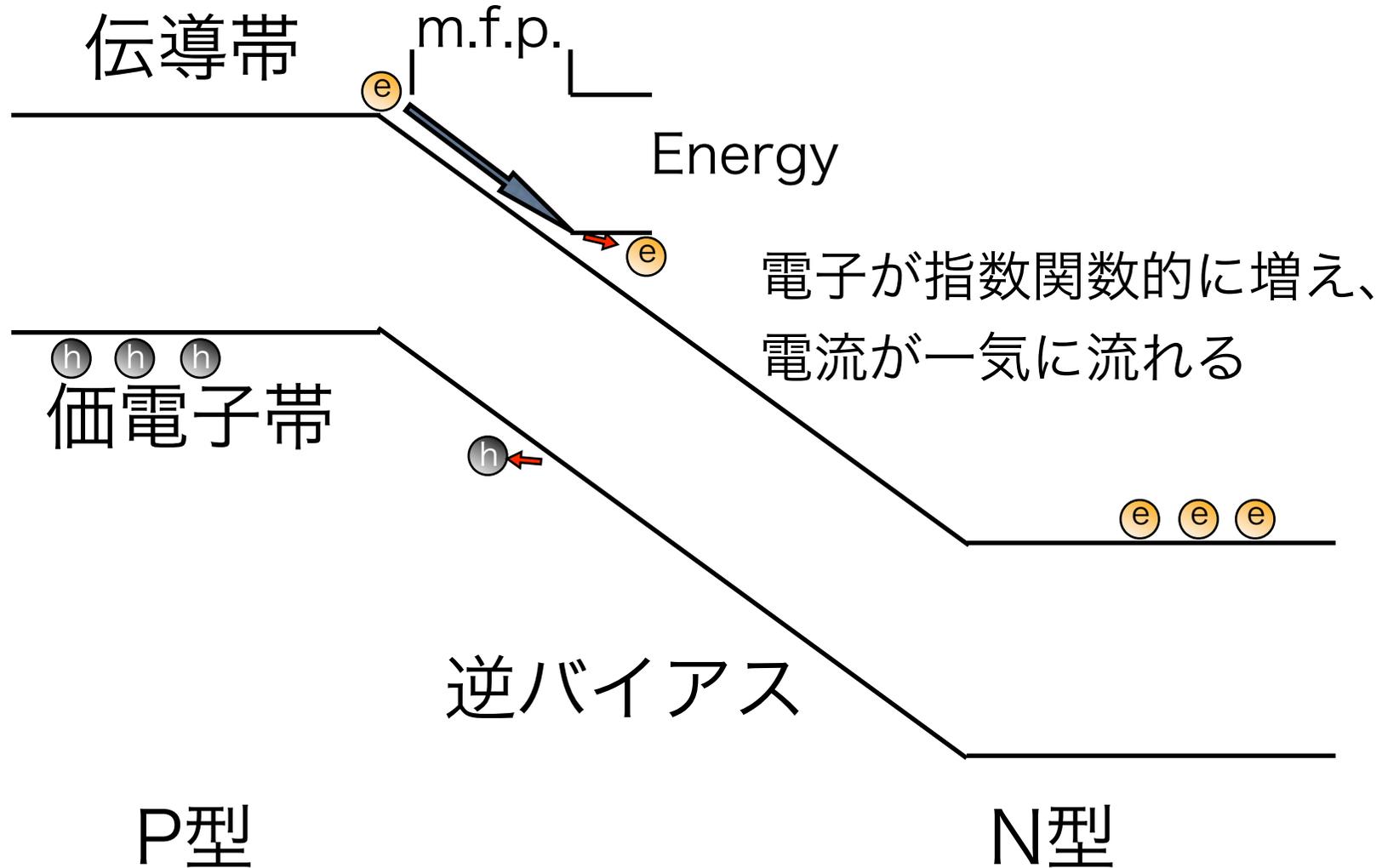
常温、 $\sim 20\mu A$ では



ツェナーダイオードを樹脂で  
モールドし、冷やしたエタノール  
に入れ、-110度に冷却

ノコギリ波？

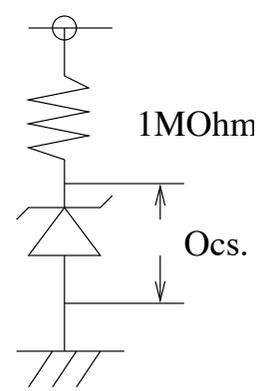
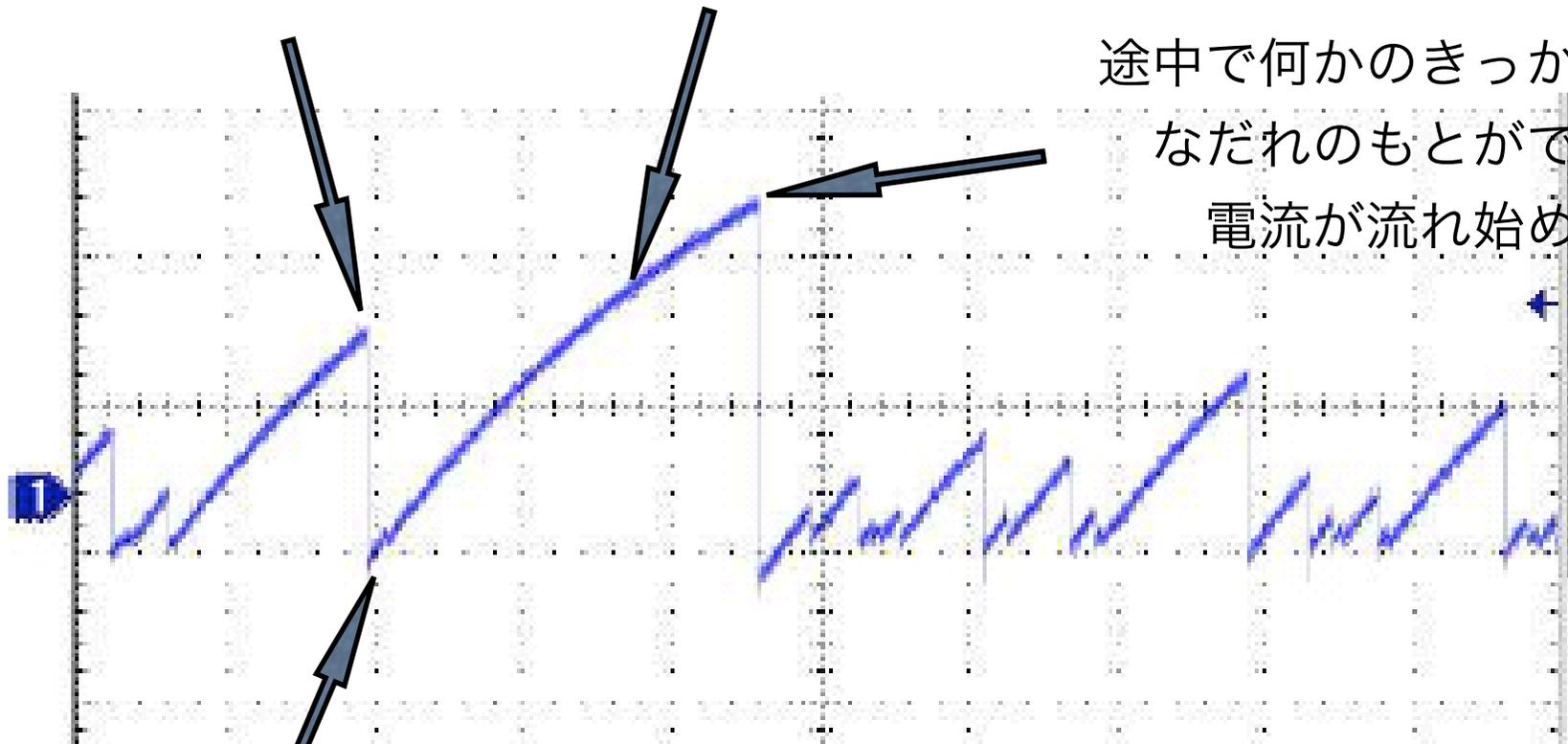
# Avalanche 降伏 (なだれ降伏)



何かのきっかけで、  
なだれのもとができる

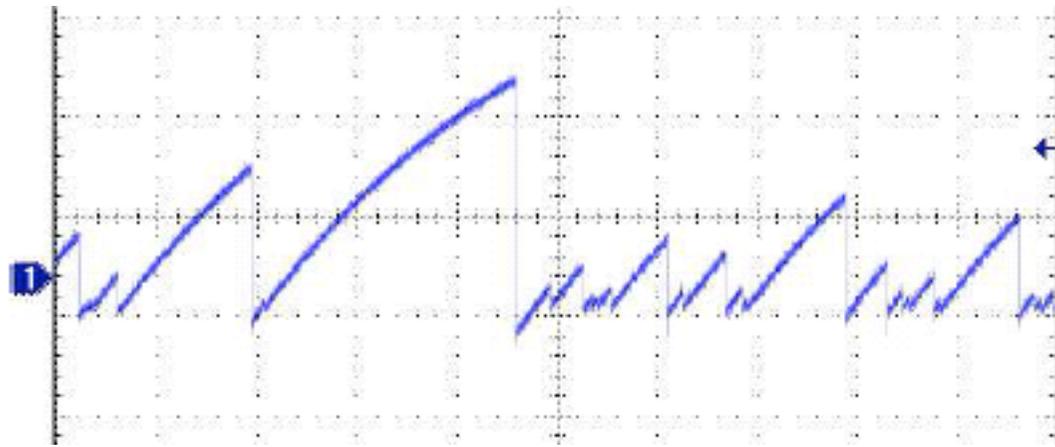
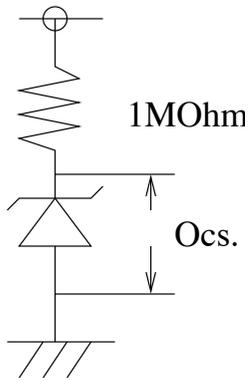
RCの時定数でイクスポネンシャル電圧上昇

途中で何かのきっかけで、  
なだれのもとできて  
電流が流れ始める



Vzに達し、なだれがストップ

このように推測される  
低温:熱励起少ない?



-100度におけるツェナーダイオードのノイズによる  
PMTのアウトプットへの影響を調べる必要あり

液体Xe中でPMTを試験できる東京のチェンバーのほかに  
乾燥窒素中で簡単に冷却できるセットアップを作成

# ICF配管製冷却用セット





## 霜対策

- 真空引きして、乾燥窒素封入
- フィードスルー 常温

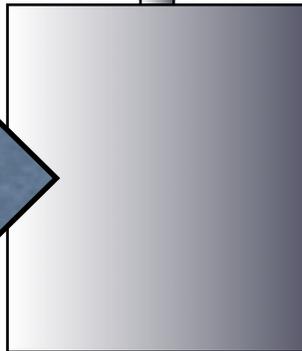
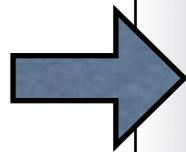
細い配管：熱流入押さえる

エタノール(-110度)

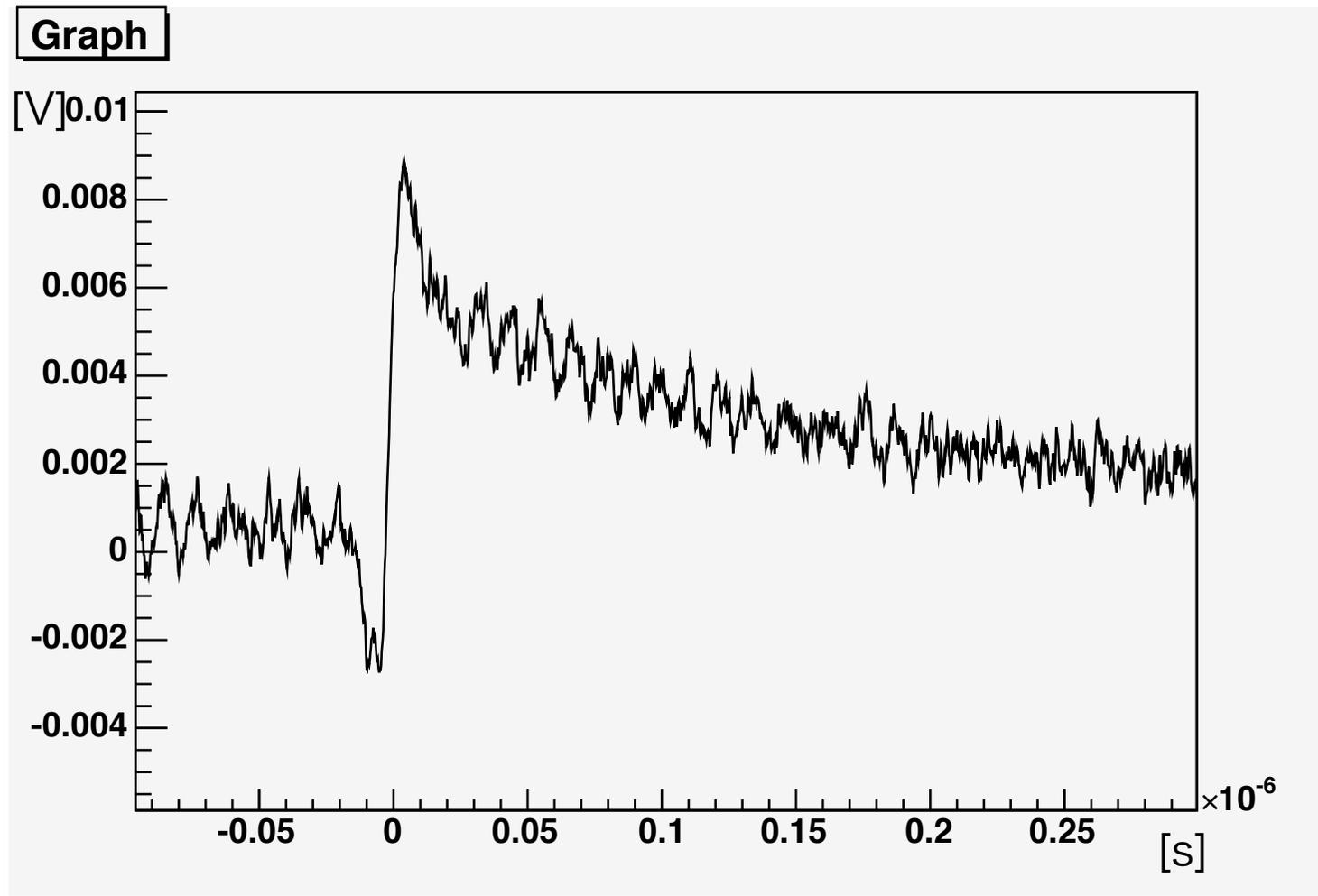


デュワー

冷やすものを入れる

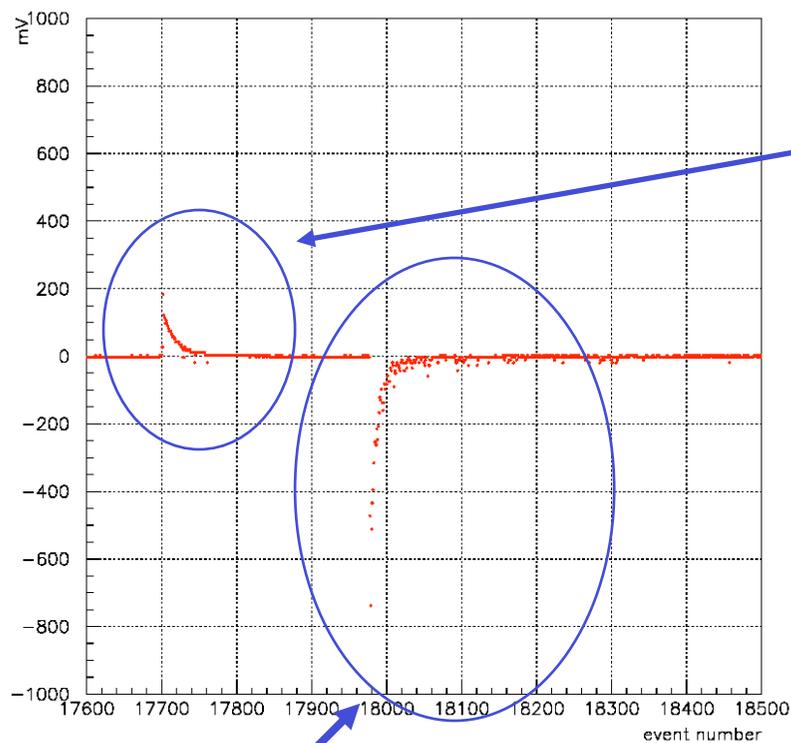


# ツェナーダイオードノイズの PMTアウトプットへの影響(低温)



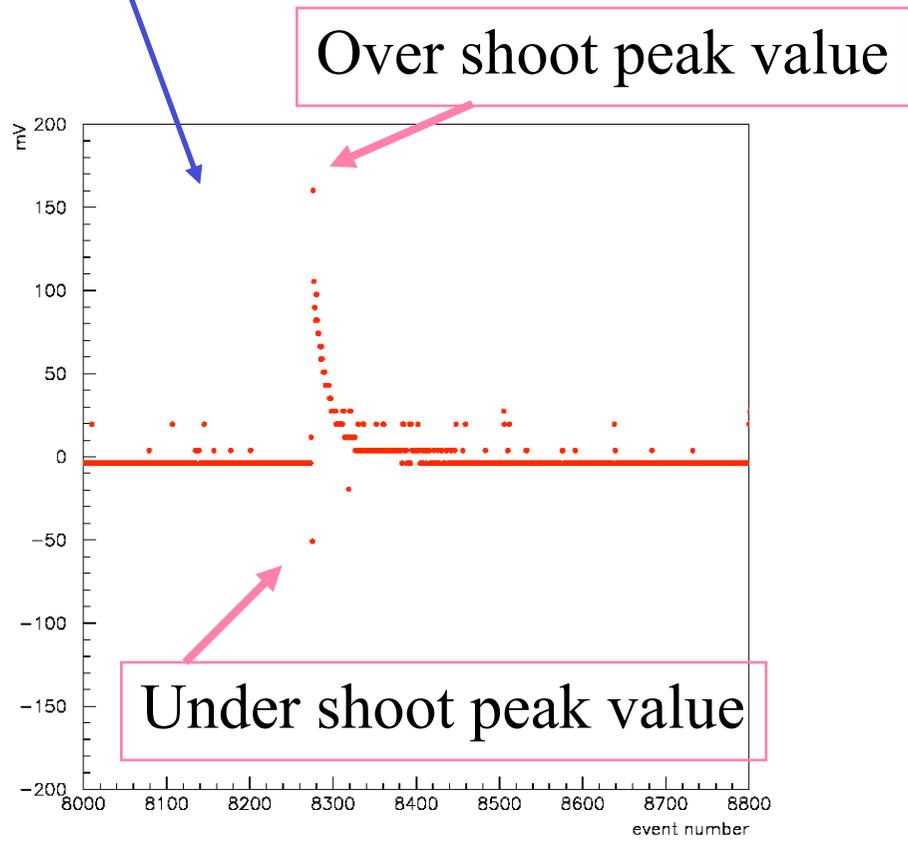
上のようなノイズを、PMTのシグナルアウトプットに  
数100Hz のレートで観測

# An Example of a event recorded by FADC



Alpha event in Gas Xe

Bipolar noise



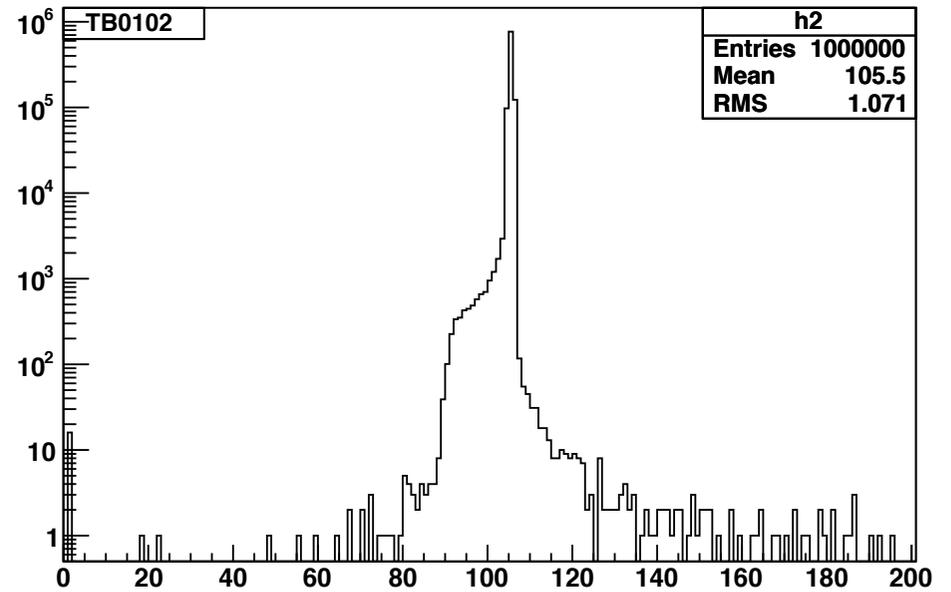
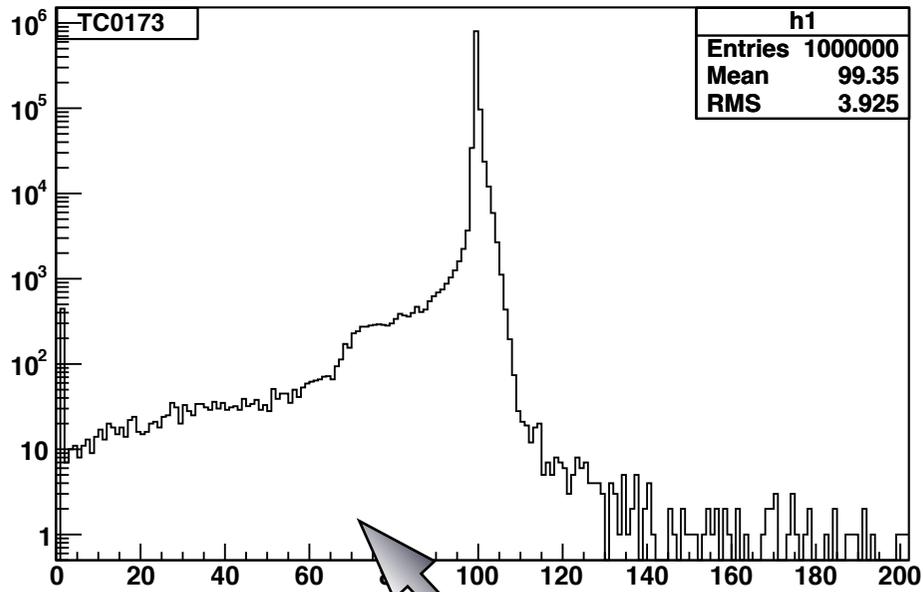
Over shoot peak value

Under shoot peak value

# Pedestal の分布

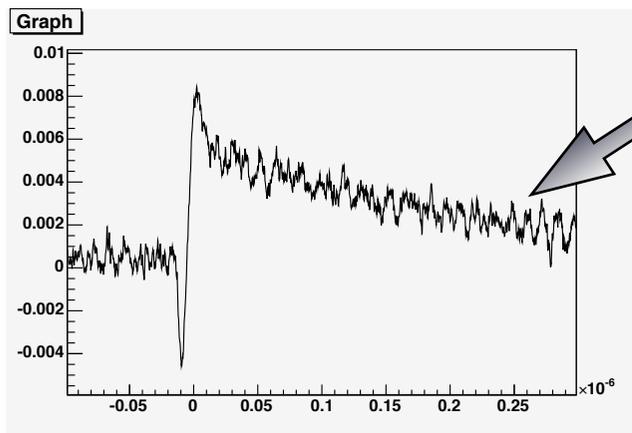
zener付き PMT

zener無し PMT



左側にテールがのびている

正電圧でだらだらと下がる  
この部分の影響と考えられる。



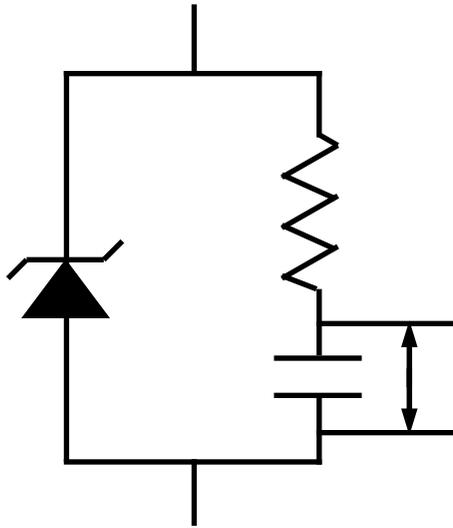
ノイズレート低い  
MEG実験ではPMT出力を波形解析

→殆どのノイズは落とせる

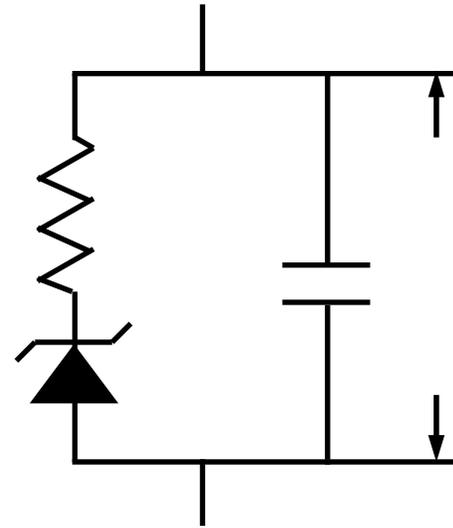
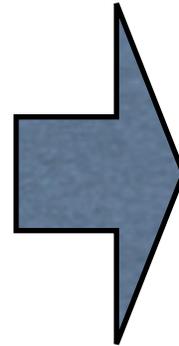
が、ノイズの出るタイミング  
によっては落とせない場合も有るため

ノイズはない方がいい。

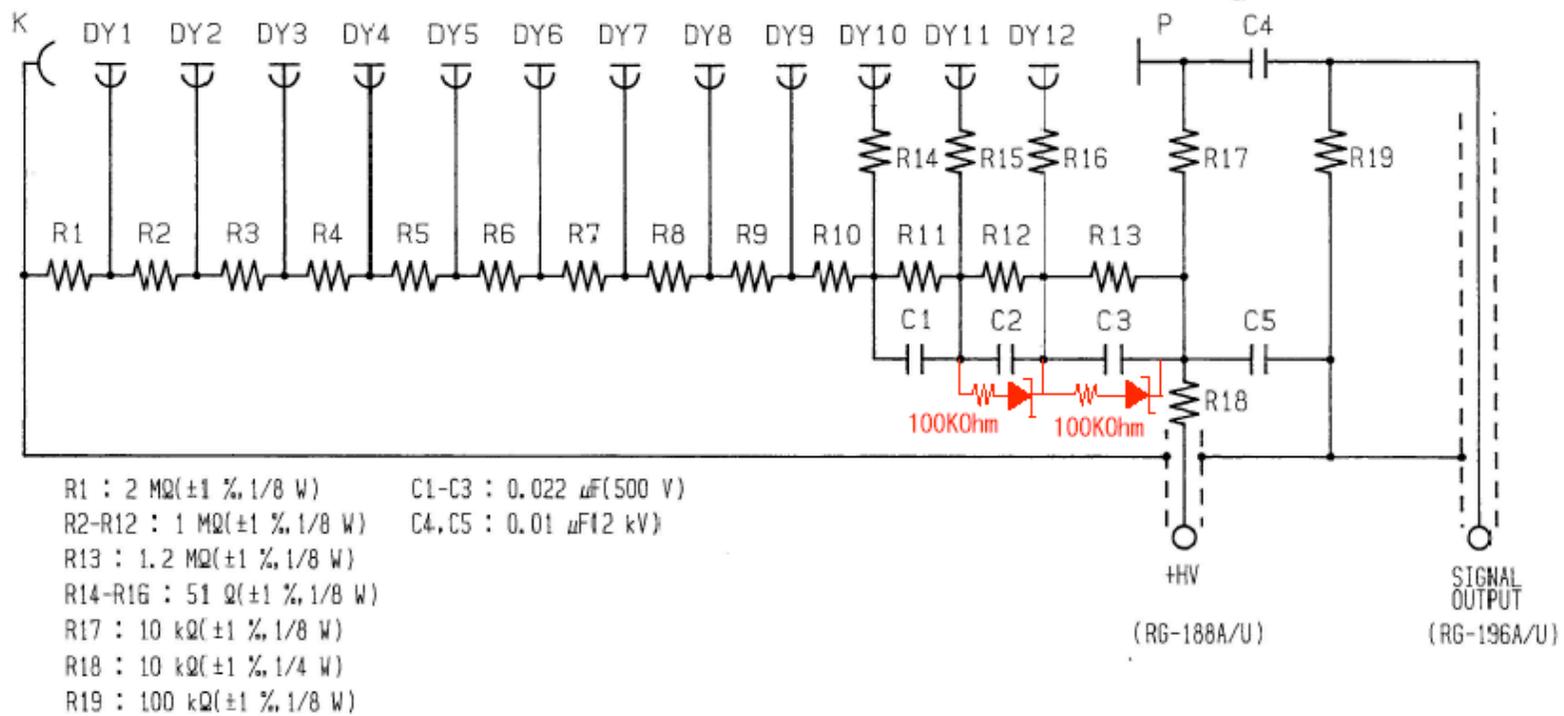
# Filtering



普通のRC積分回路  
(Low-pass filter)  
このままでは、PMT  
の電圧分割回路に  
組み込めない。



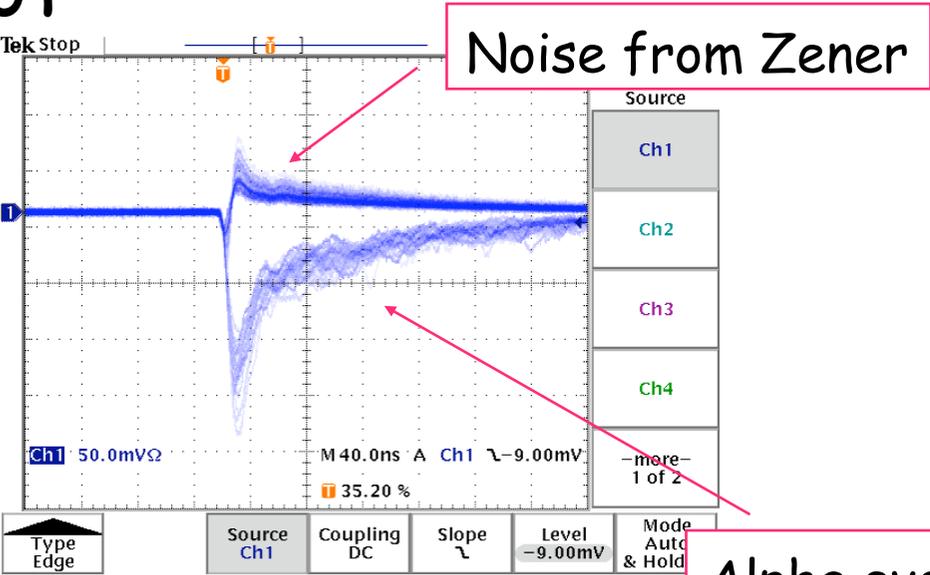
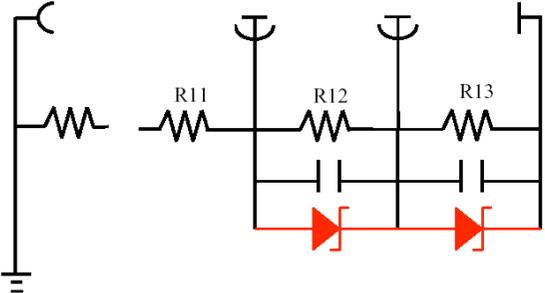
回路に組み込めるように変  
えたもの。  
zenerの定電圧に保つ特性  
が少し犠牲になるが、  
Low-passの役割も果たす



ツェナーダイオードと直列に抵抗(100k $\Omega$ )を入れることで、  
 オシロスコープでバイポーラーのノイズが見えなくなった

# Oscilloscope Snapshot

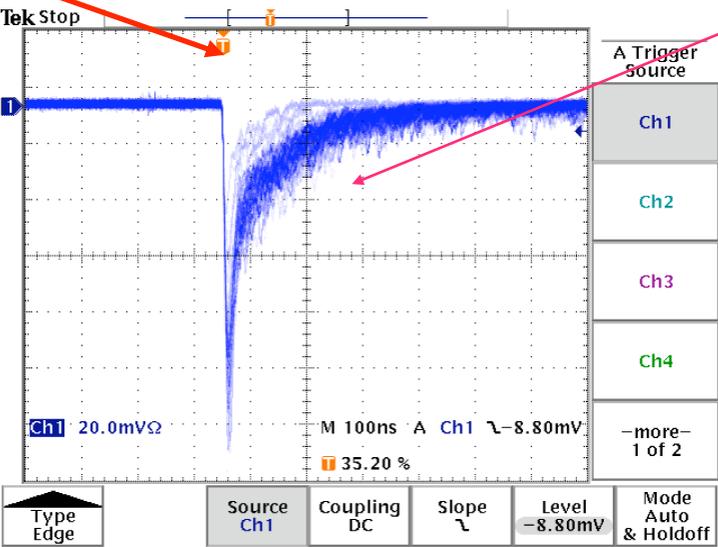
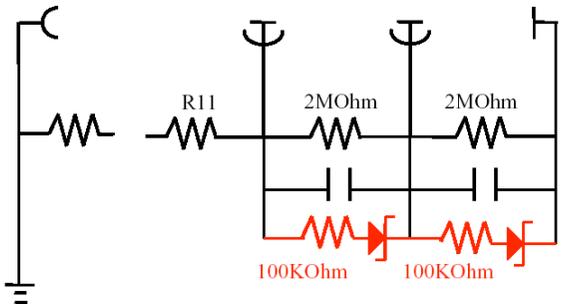
Type Z



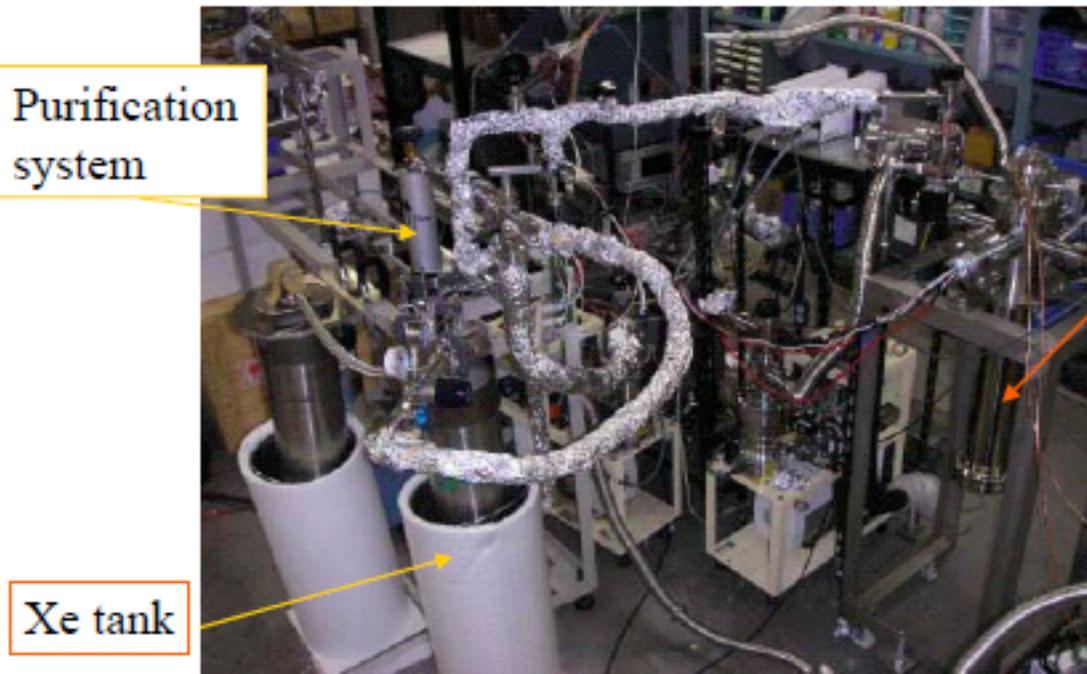
No noise was observed!!

Alpha event

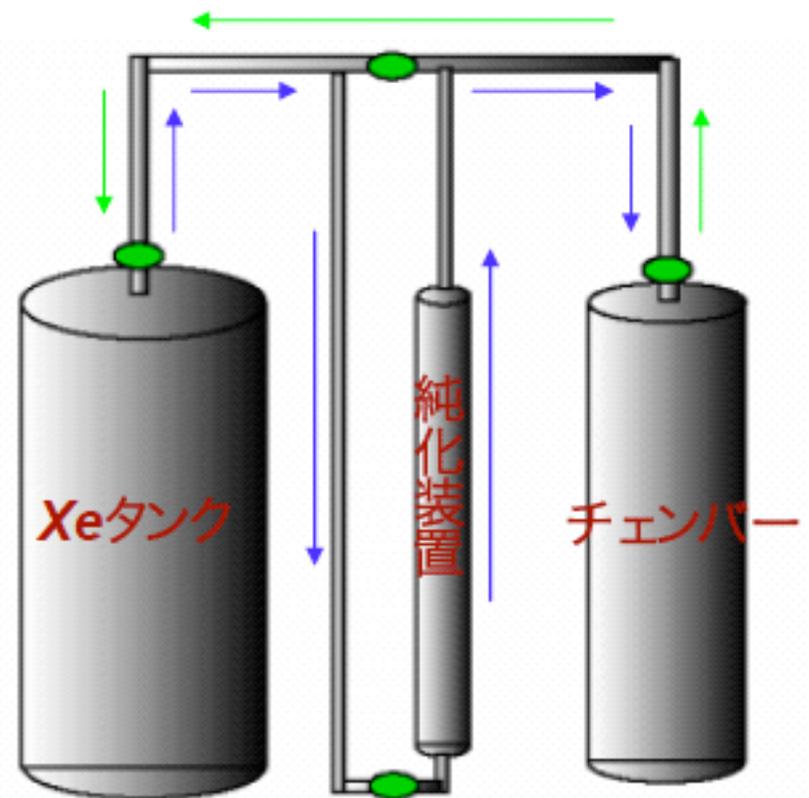
Type ZR



# 東京のTest Facility

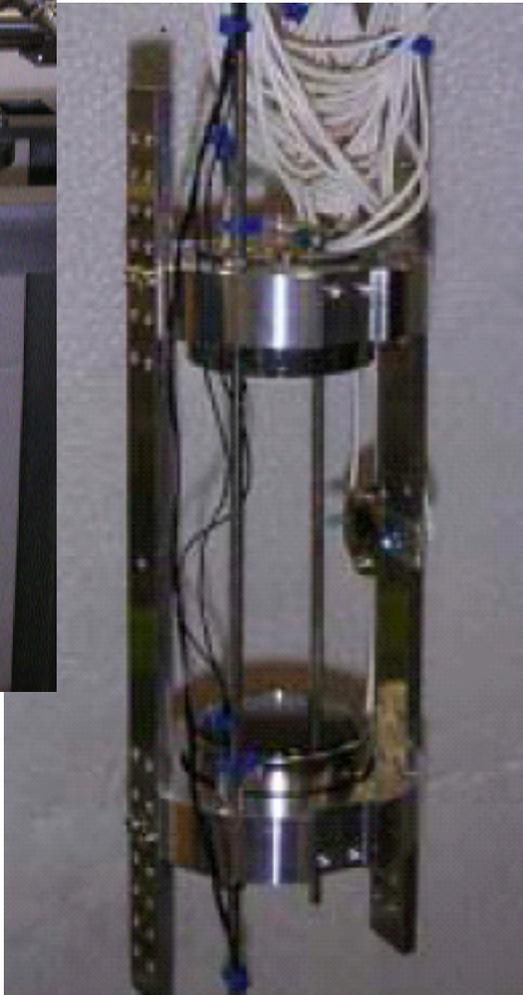
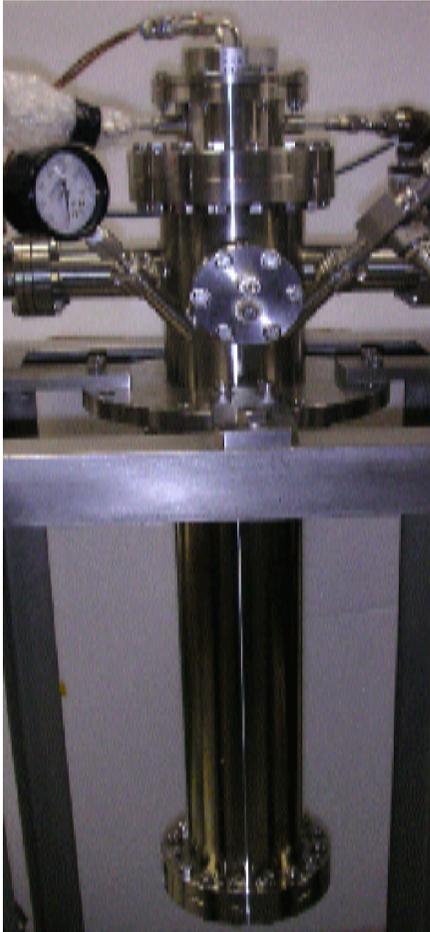
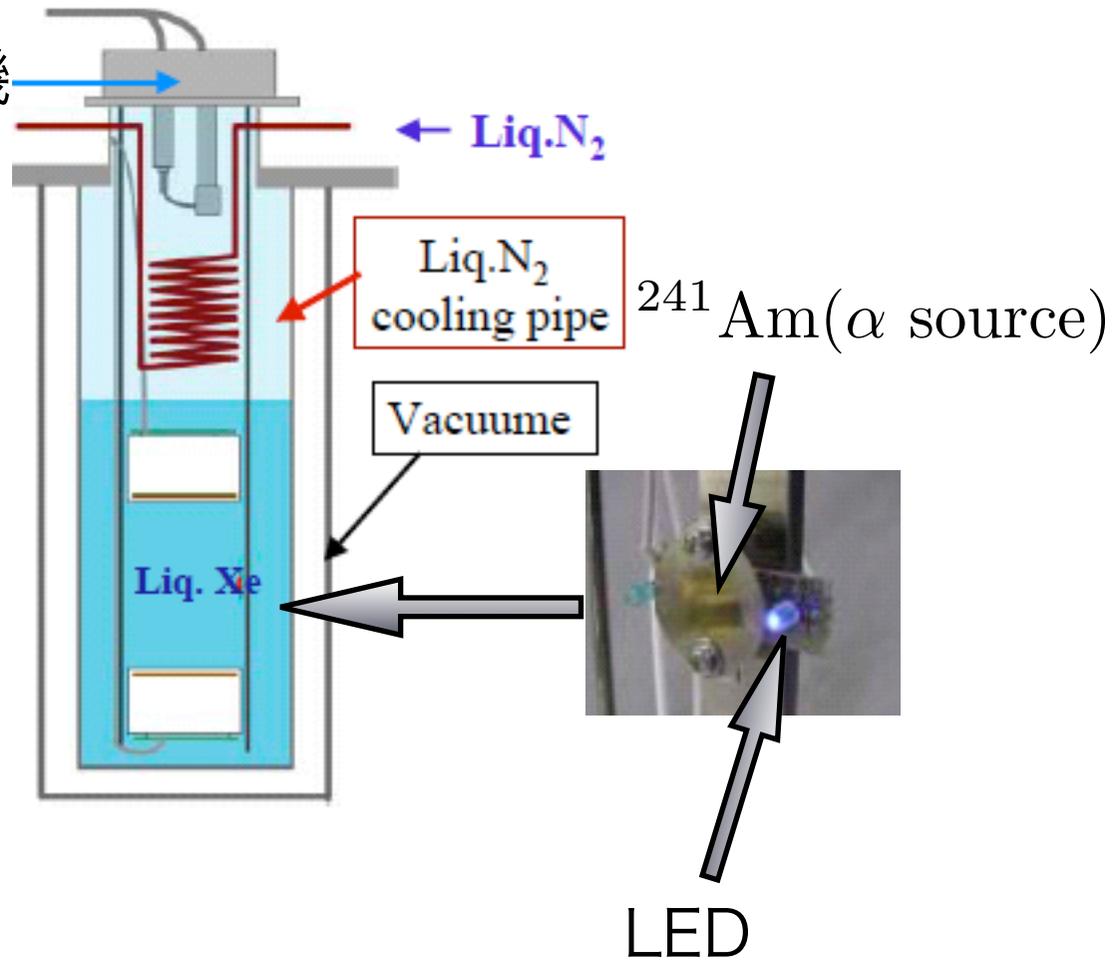


Liq.Xe chamber

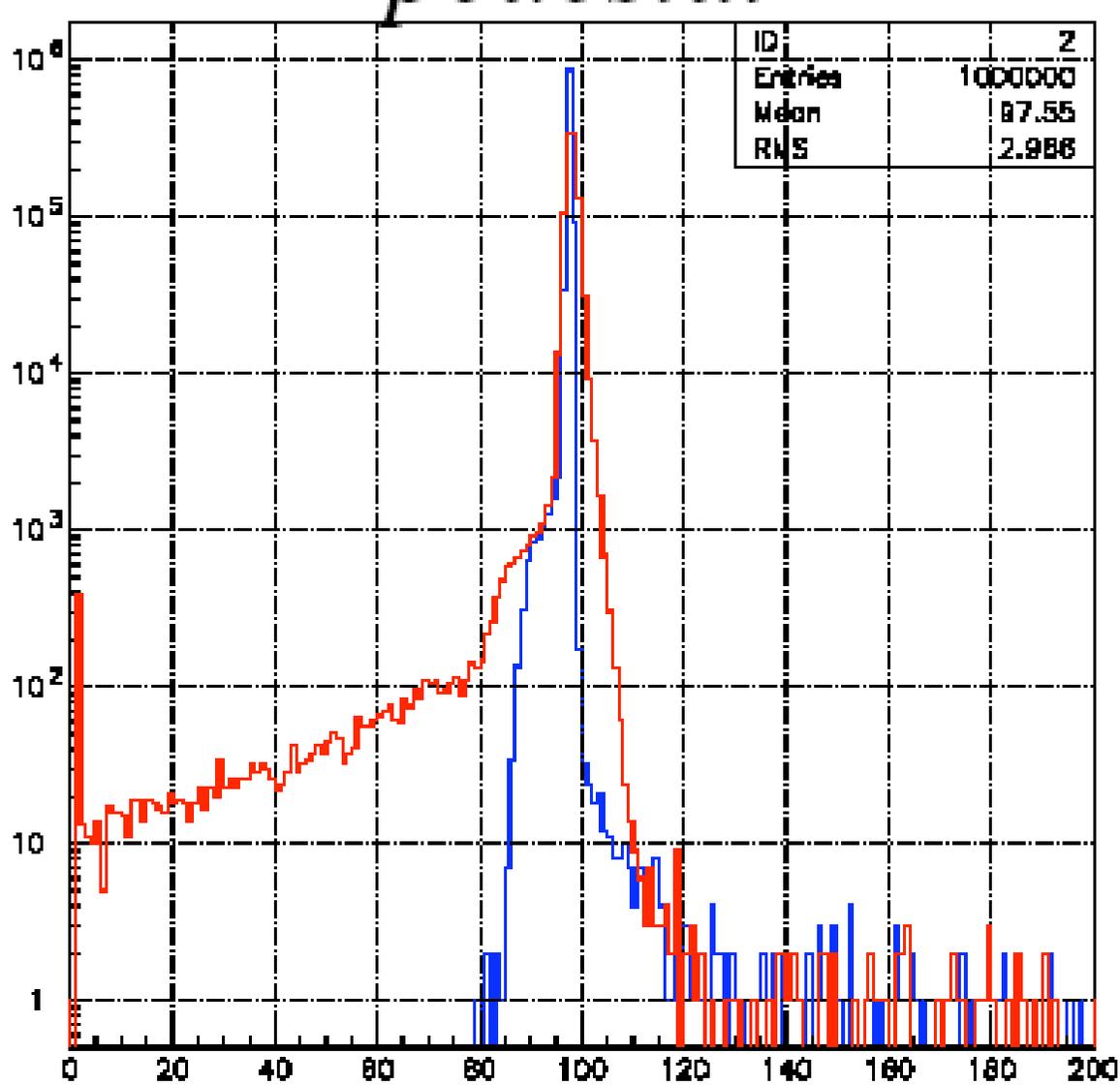


# chamber

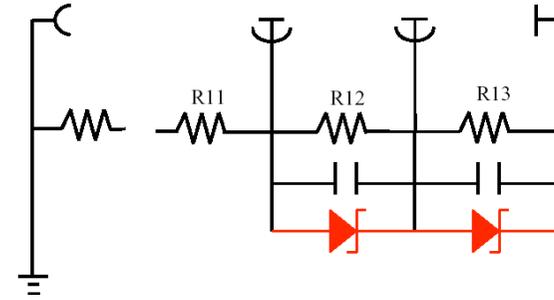
パルス管冷凍機



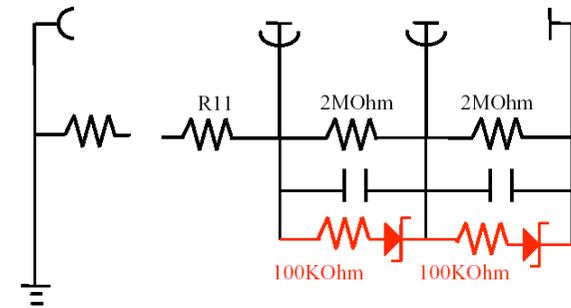
# Pedestal



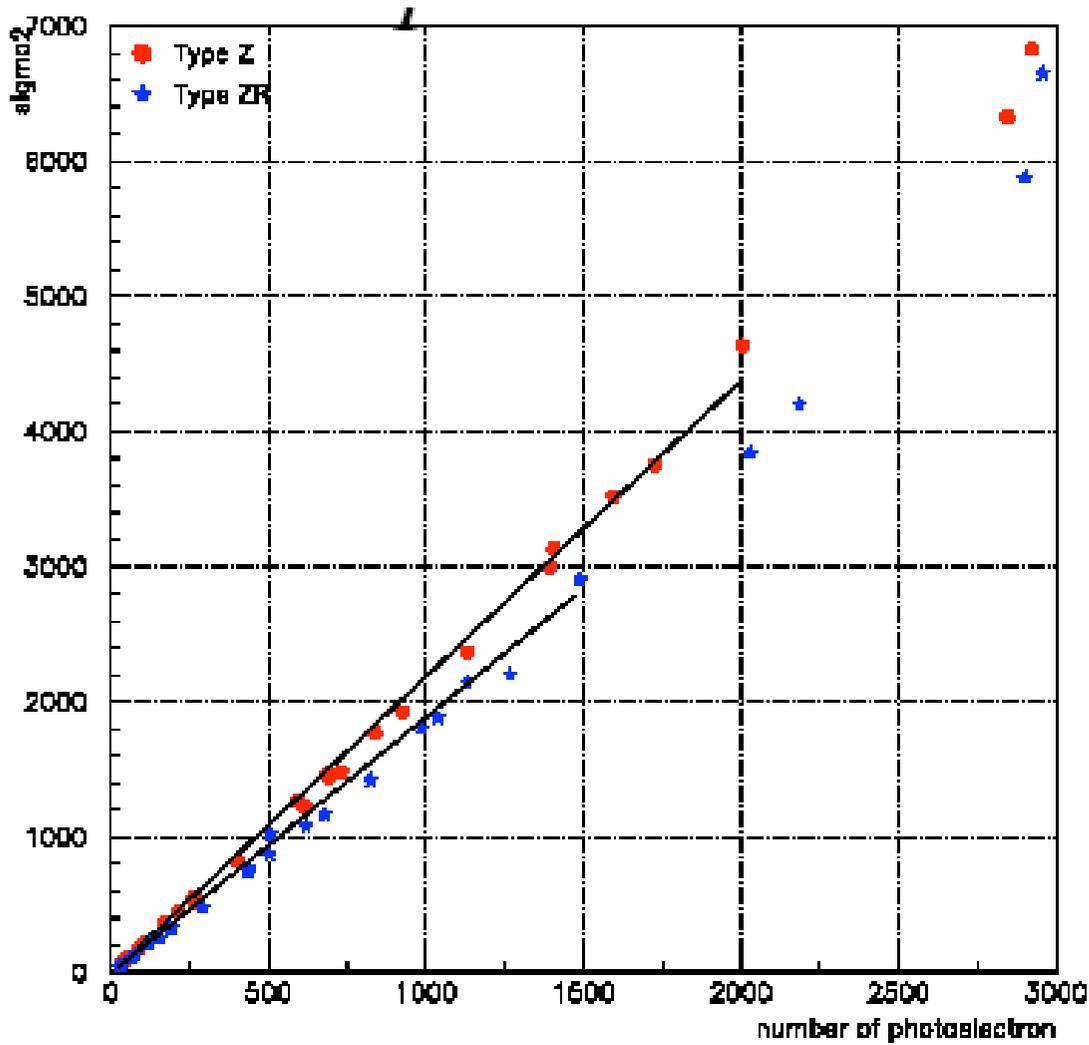
Red: Type Z



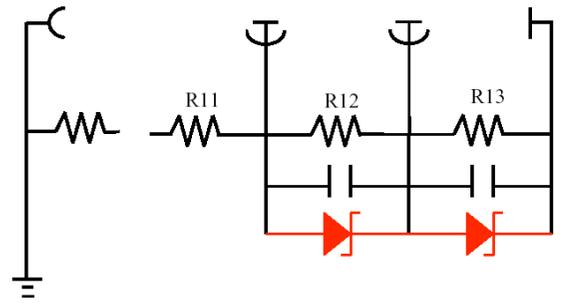
Blue: Type ZR



# LED Calibration linearity

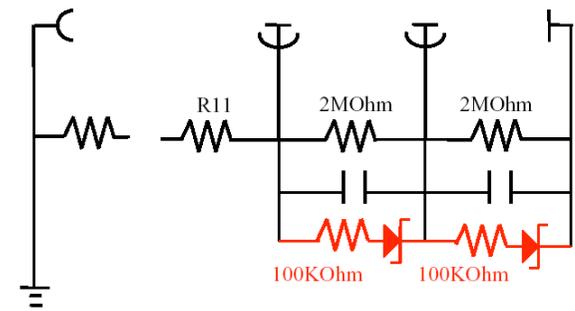


Red: Type Z



Good linearity !

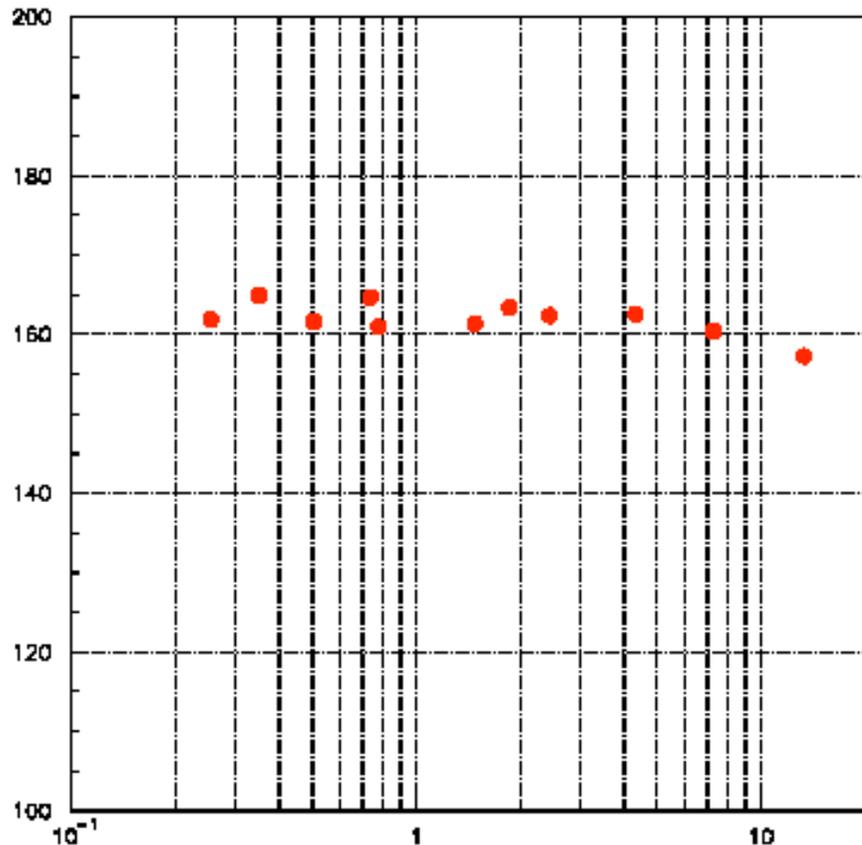
Blue: Type ZR



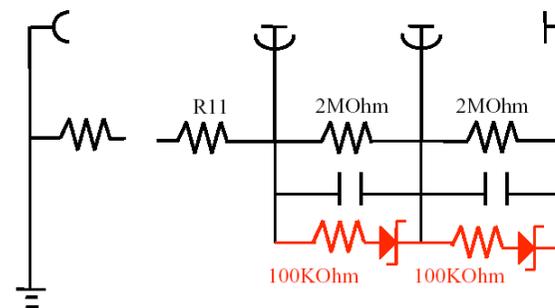
# zener+抵抗のPMT

- レゾリューション O.K.
- ハイレートB.G.下のゲイン O.K.

ADC mean of alpha event



Type ZR



Stable up to  $\sim 10 \mu A$

Background LED  
[micro A]

to do:

- 液体Xe中でのテスト
- 複数のzener,PMTでのテスト
- 抵抗値の最適化

# 今後の予定

来月から、実機用PMT納入開始

九月末までに800本以上のタマすべてのキャリブレーション

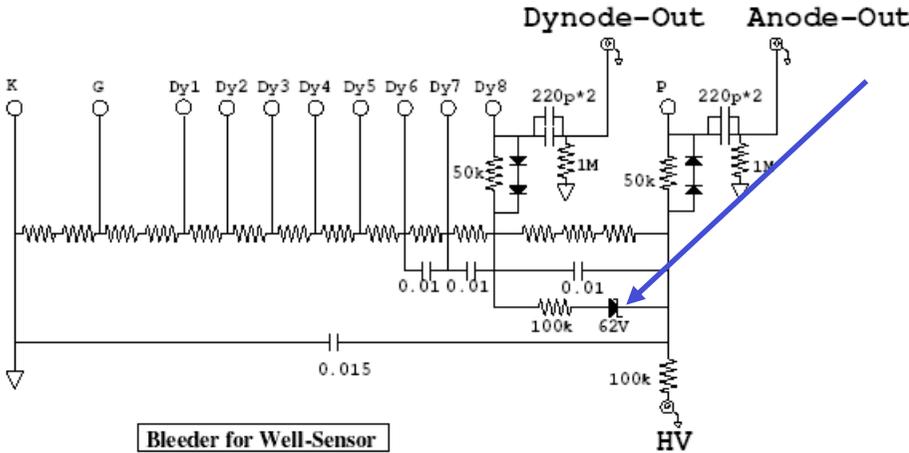
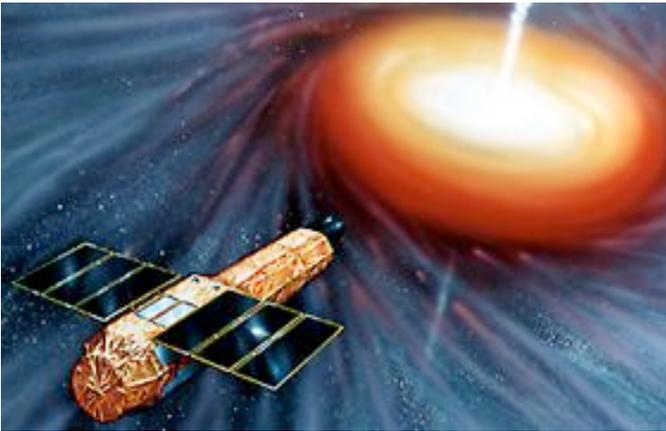
実機の組上げ

来年四月からエンジニアリングランを行う予定

# Low pass filter in PMT base @ Astro-E2 HXD

PMT base with Zener diode and low pass filter is adopted in Astro-E2 Hard X-ray Detector. (HXD)

- ⊕ Fifth Japanese space X-ray observatory
- ⊕ PMT+BGO
- ⊕ High counting rate
- ⊕ HXD will be cooled down to  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$



Zener is used in this base circuit and low pass filter is built in because of the noise from Zener. Various tests have been performed with this base and its good performance was confirmed so far.