

J-Parc E14実験における

Csl calorimeter読み出しPMTの性能評価



京都大学大学院理学研究科

物理第二教室

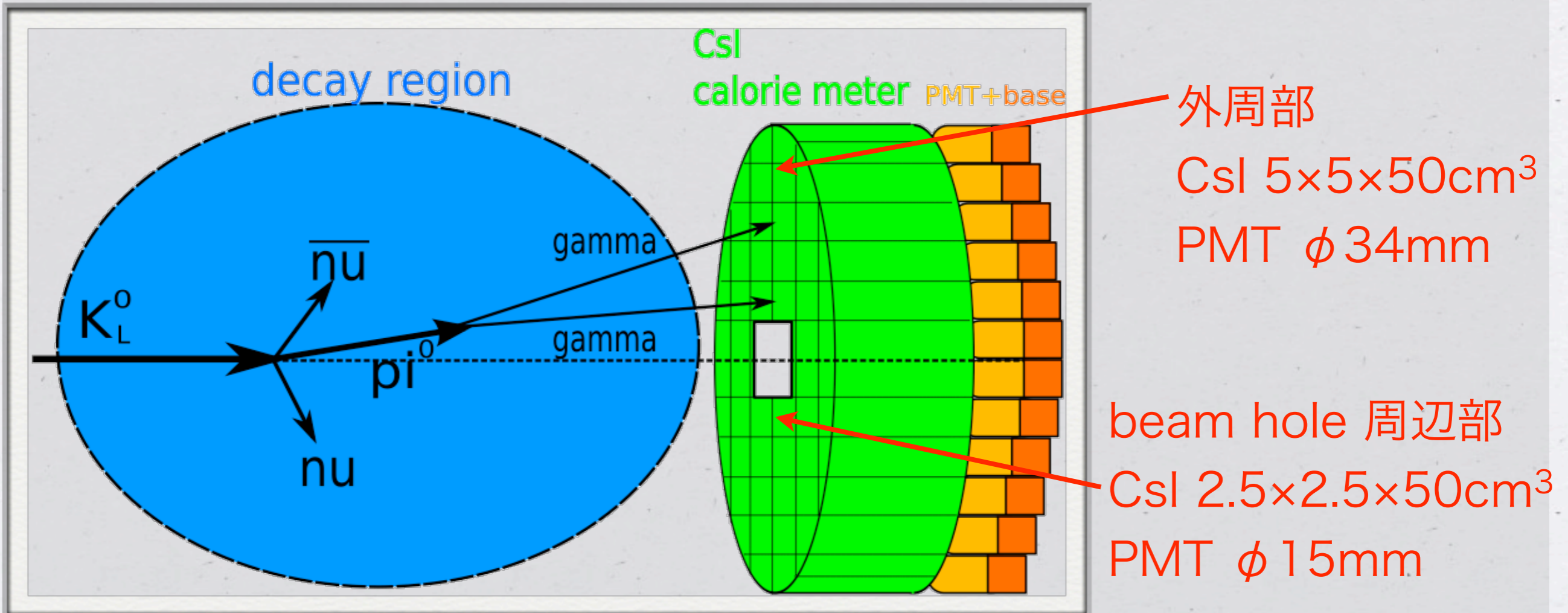
高エネルギー研究室

増田 孝彦 河崎 直樹 臼杵 亨 塩見 公志

森井 秀樹 隅田 土詞 南條 創 野村 正 笹尾 登

E14 CsI calorimeter

E14実験ではCsI main Calorimeterに、
3000本のKTeV pure CsIを再利用する
同時に読み出し用光検出器にもKTeV PMTを用いる



KTeV . . . 以前にFermilabで行われたKaon rare decay探索実験

問題点

✓ 発熱

- KTeV とは異なり、E14はPMTを真空中に設置する
- PMT数がE391aに比べて2.3倍(1300本→3000本)
 - ▶ 真空中で約3kWの発熱があり、冷却が大変

✓ スペース

- HVケーブルを3000本真空中に引き込まなければならない
- 冷却用の配管
- PMT固定

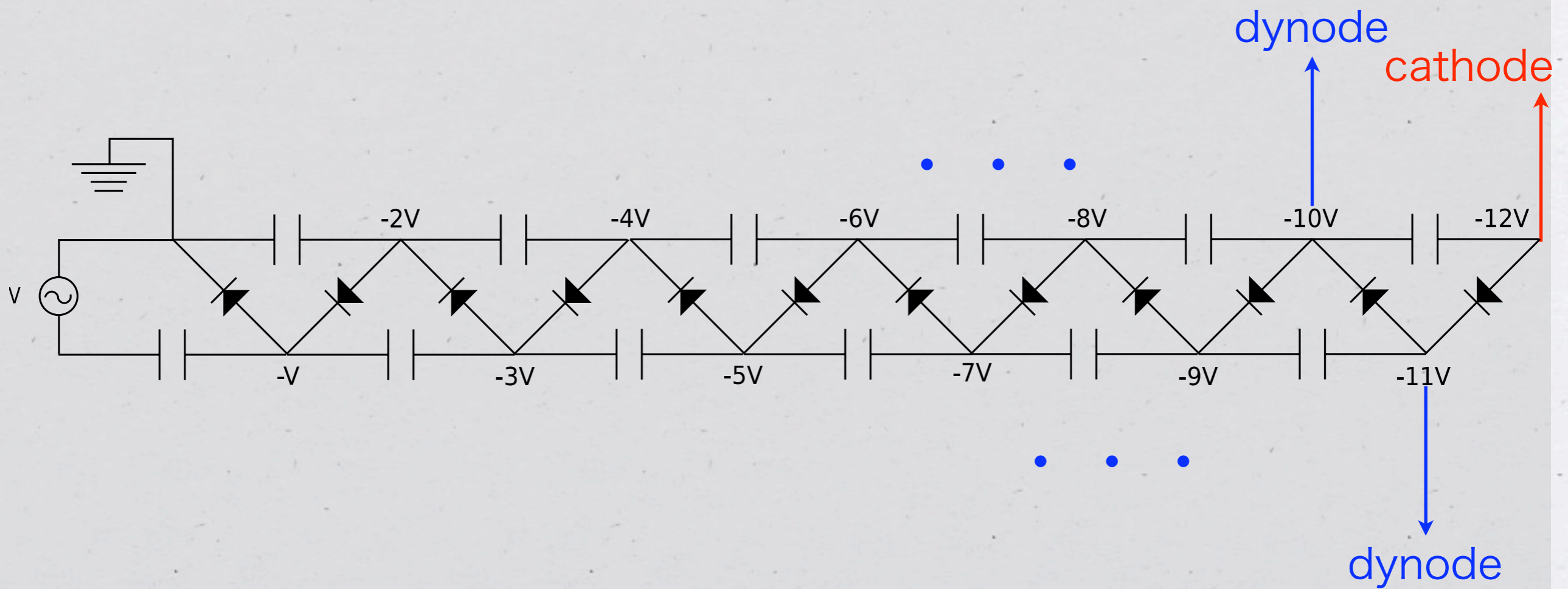
✓ 光電子増倍率

- KTeV PMT + KTeV base(抵抗分割型)でのgainはtyp.6000
 - ▶ 目標30000

➡ Cockcroft Walton base (以下CW base)の使用を検討
また、電圧分割比を変更してgain増加

CW circuit

- ✓ Diode & Capacitorのブリッジで昇圧する回路
- ✓ 交流から高圧を発生



CW baseのメリット・デメリット

✓ merit

- 発熱(消費電力)が小さい
 - ▶ 冷却が容易
- low voltage (15V) 供給でケーブルリングが楽
 - ▶ 真空へのフィードスルーが少ない
 - ▶ コントロール電圧で各PMTのHV値を真空内部で多チャンネル供給&調整可能

✓ demerit

- 昇圧がACなのでNoiseの源になる
- 電圧分割比が整数のみ
 - ▶ 細かいtuningが出来ない

KTeV PMT

KTeV PMT	R5330	R5364
受光面	34 mm	15 mm
Dynode	6 stages	5 stages
Max voltage	1750 [V]	1750 [V]

今回はこちらを使用



CW base

CW base C10344-01

段数

12

drive
voltage

15 [V]

output
voltage

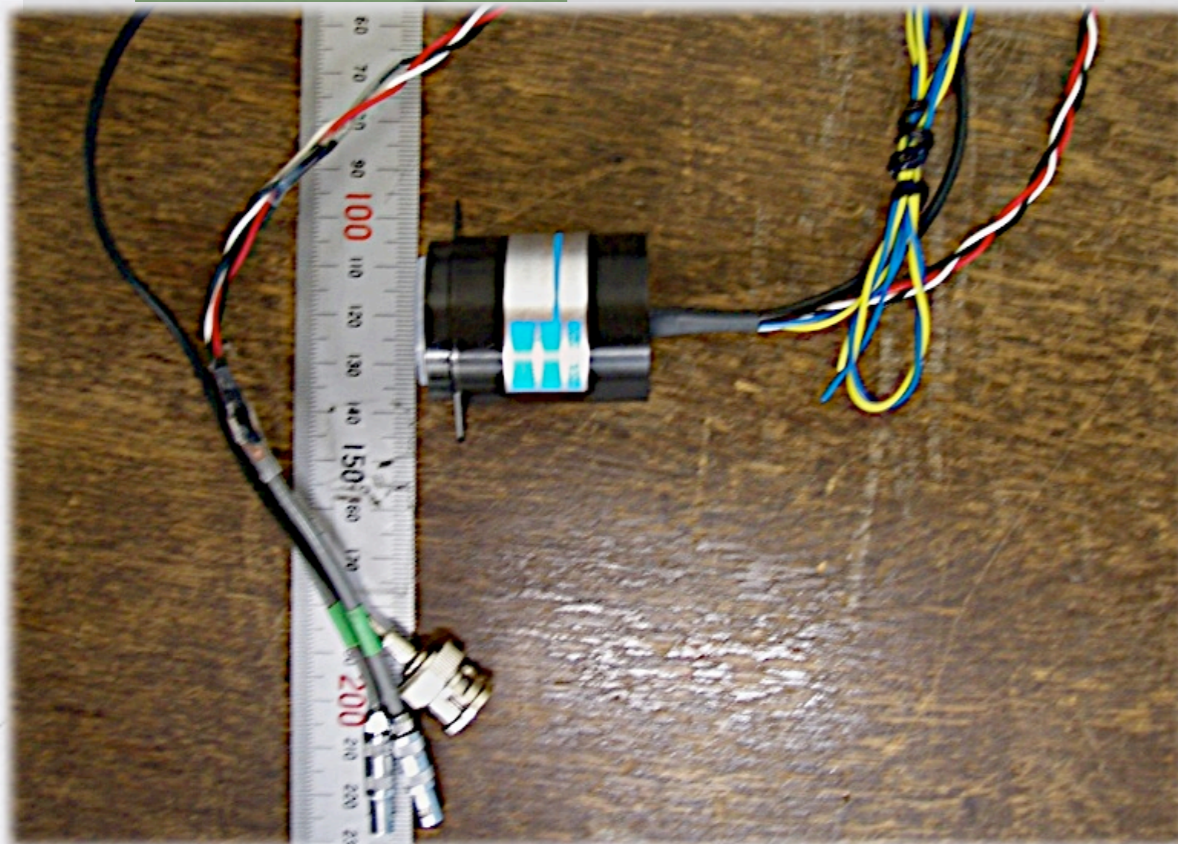
< 1500 [V]

✓ HPK製 C10344-01(市販品)

✓ 今後、本実験に最適化した
baseの作成予定

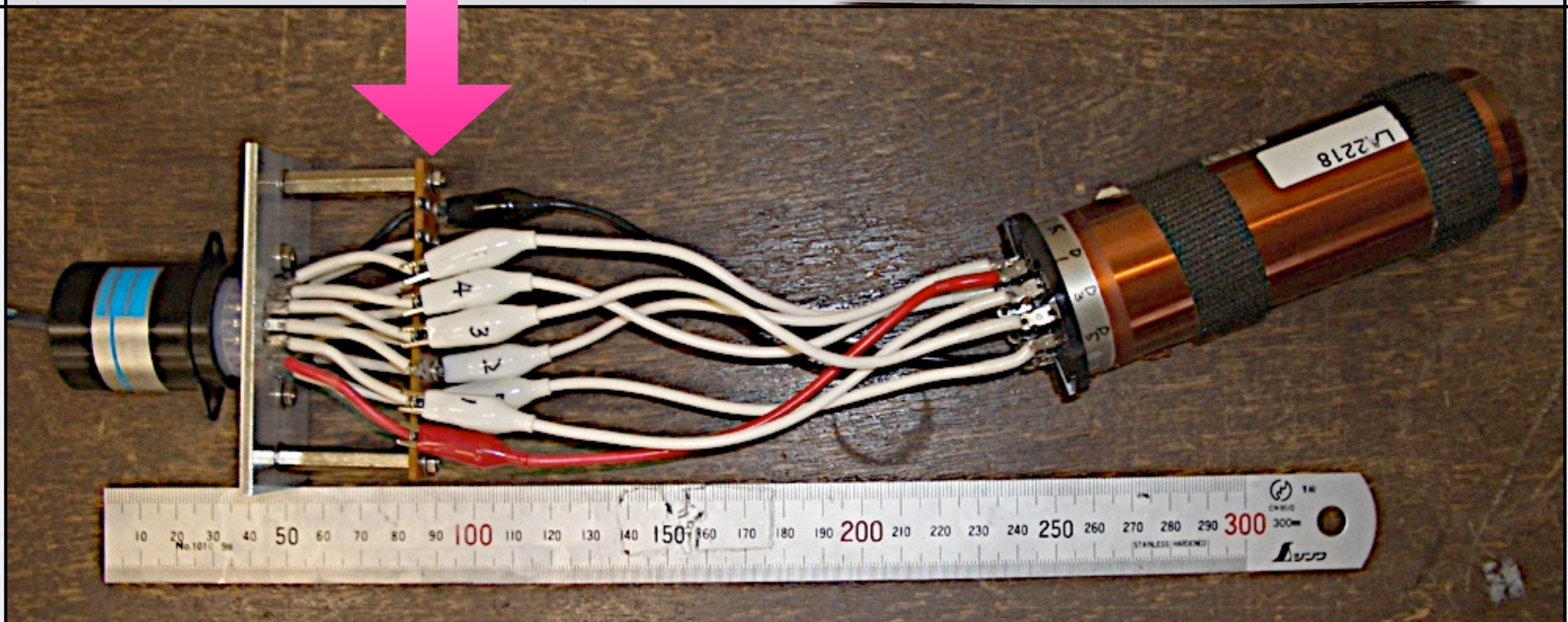
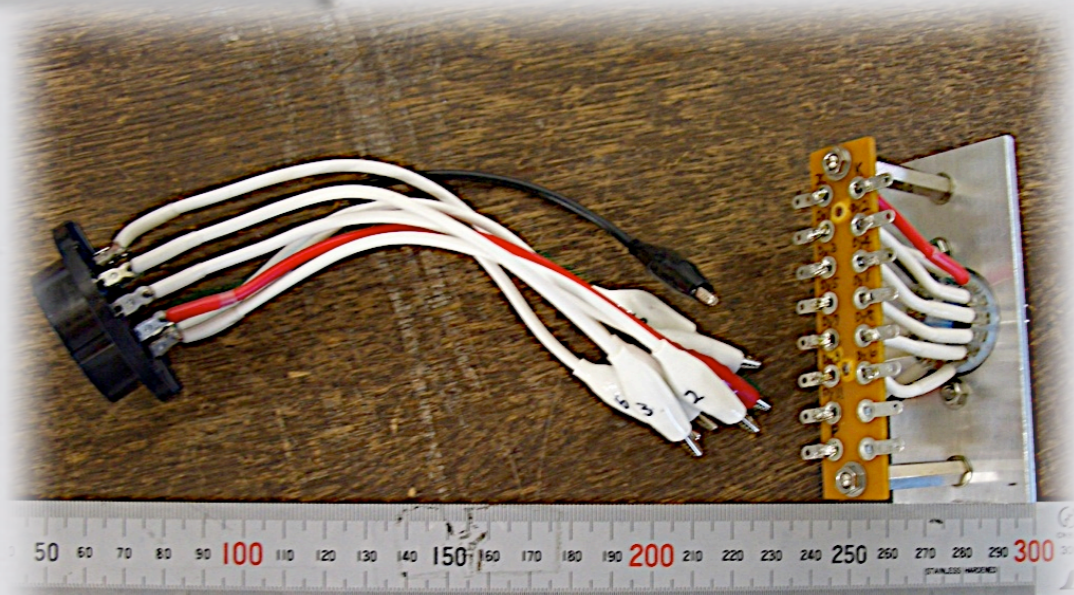
✓ KTeV PMTより段数が多い

- PMTとbaseでピンの組み合わせで
電圧分割比を変更可能



KTeV PMT + CW base

コネクタを繋ぎかえて
電圧分割比を変更する



測定項目

- ✓ gain curve
- ✓ power consumption
- ✓ signal pulse width
- ✓ noise level
- ✓ linearity
- ✓ rate effect

CsI signal simulation

✓ CsI 1ブロックに落とされる最大エネルギー

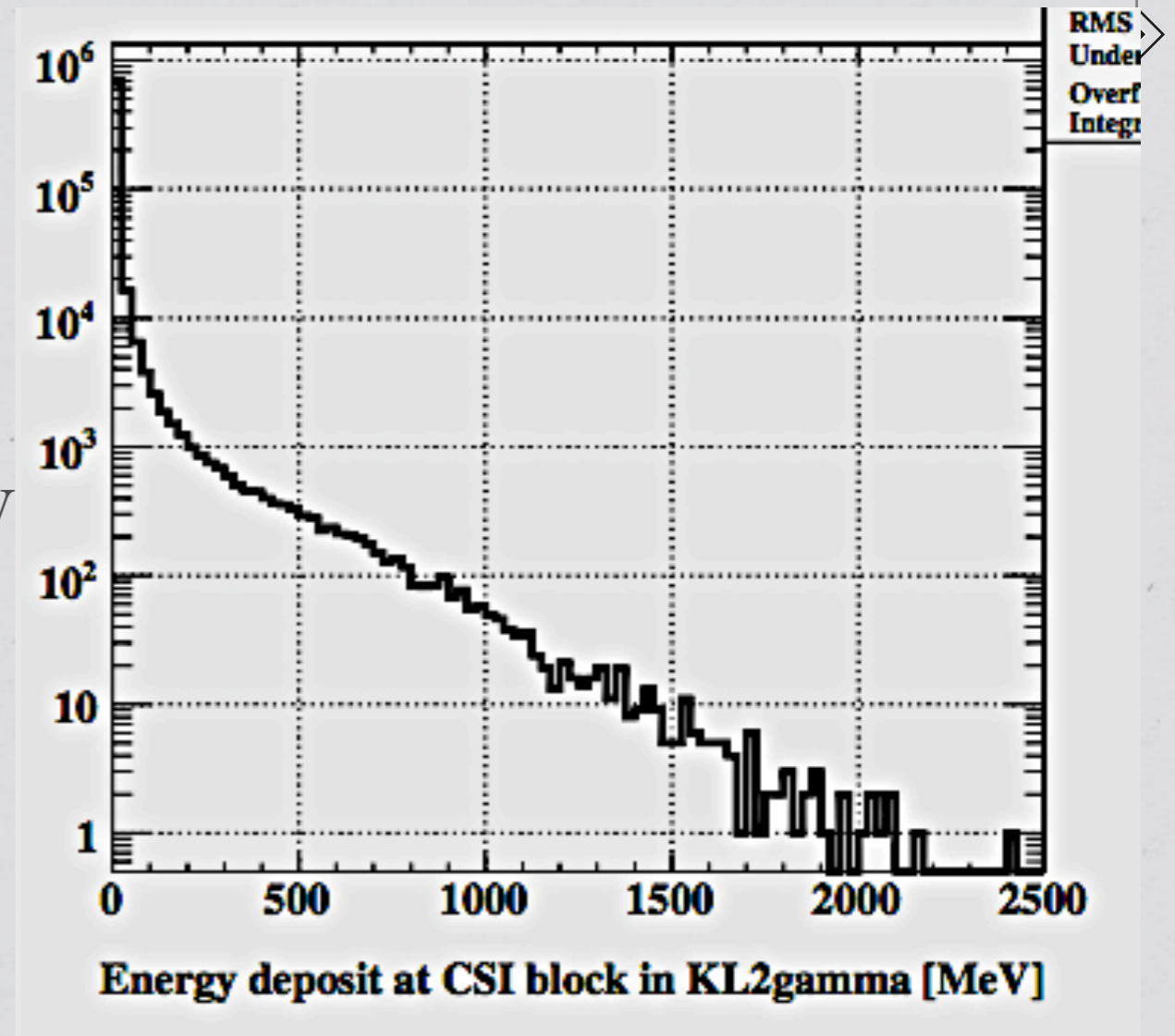
→ linearity dynamic range

- $K_L \rightarrow 2\gamma$ 由来
- 2000 MeV = 40000 p.e.
(KTeV CsI スペック: 20 p.e./MeV)
- **24mA**相当 (gain 30000)

✓ CsI signal rate

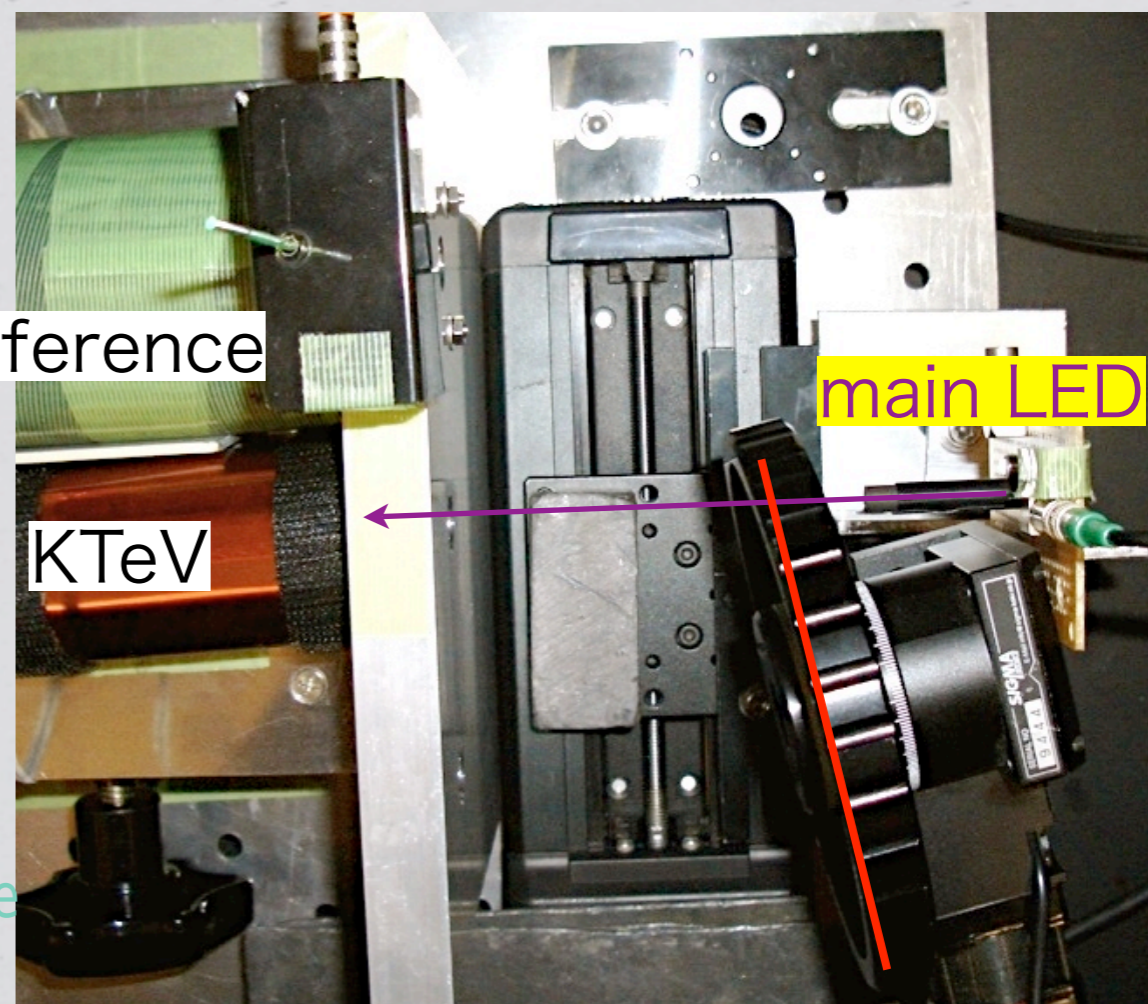
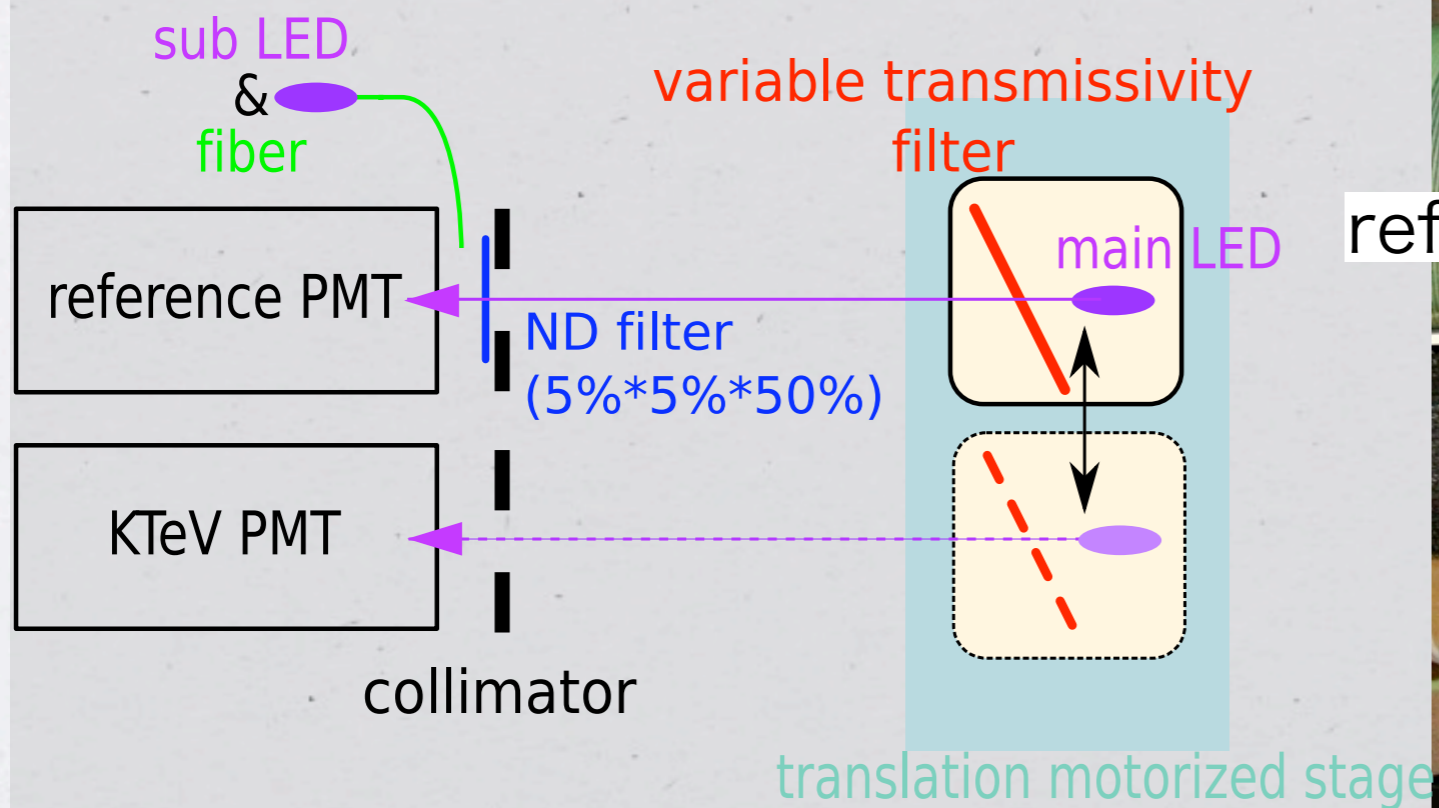
→ rate dynamic range

- **60kHz** (Threshold 1MeV)



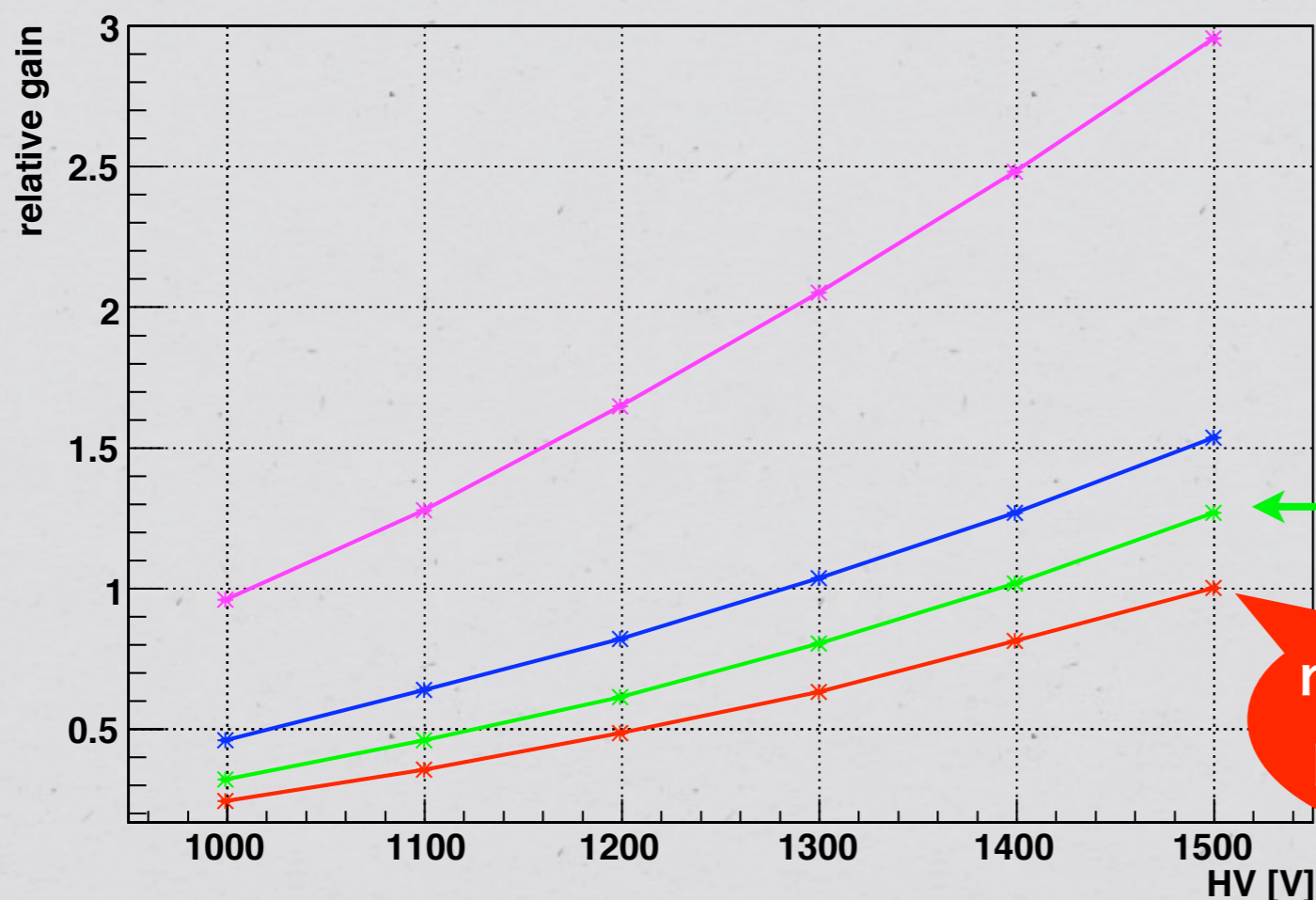
set up

- ✓ main LED($\lambda = 375\text{nm}$)を5kHzで光らせ、ADCで出力をモニター
- ✓ reference PMTでLED光量の時間変化を確認
- ✓ sub LED & fiberでreference PMTにsingle photoelectronを入射し、reference PMTのgainの変化をモニター



gain curve

gain curve



* normal base

* 2111223

* 2112222

* 2122221

normalに近い分割比

normalization
by this point

- Normal base(抵抗分割型)の分割比は2111233
- 電圧分割比の変更によってgainの上昇は見込みあり

power consumption

divide-ratio	voltage [V]	current [mA]	power consumption [mW]
Normal base	1500	0.492	738
2111223	15.0	7.2	108
2112222	15.0	7.2	108
2122221	15.0	7.2	108

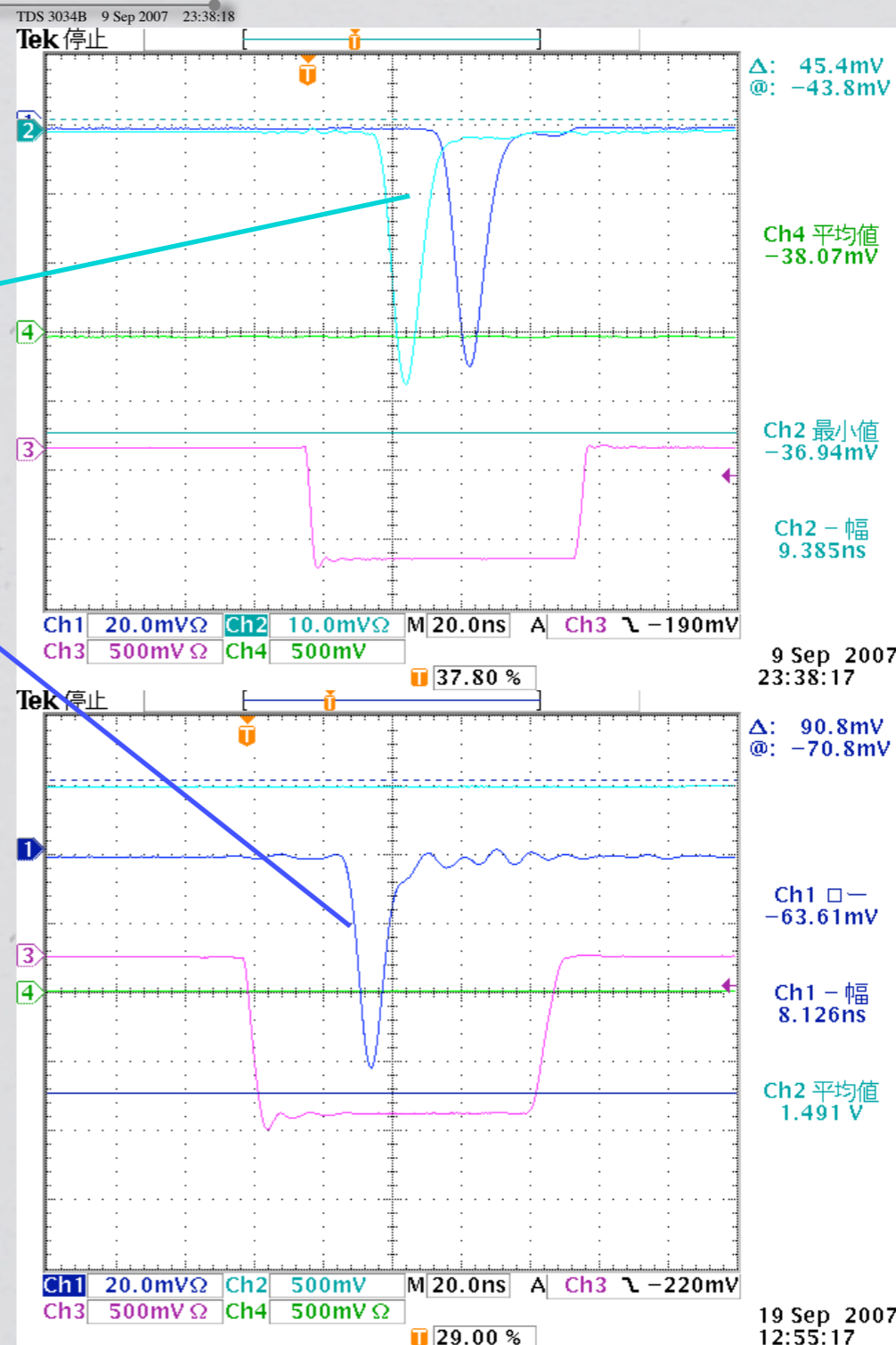
- CW baseは抵抗分割型baseに比べ、約15%に抑えられる
- 電圧分割比には依存しない

pulse width

divide-ratio	pulse width [nsec]
Normal base	9.4
2111223	8.1
2112222	8.2
2122221	7.8

✓ CW base ではpulseが
15%程度鋭くなる様が見られた

✓ 電圧分割比には非依存



1500V,同光量,同ケーブル長

noise level

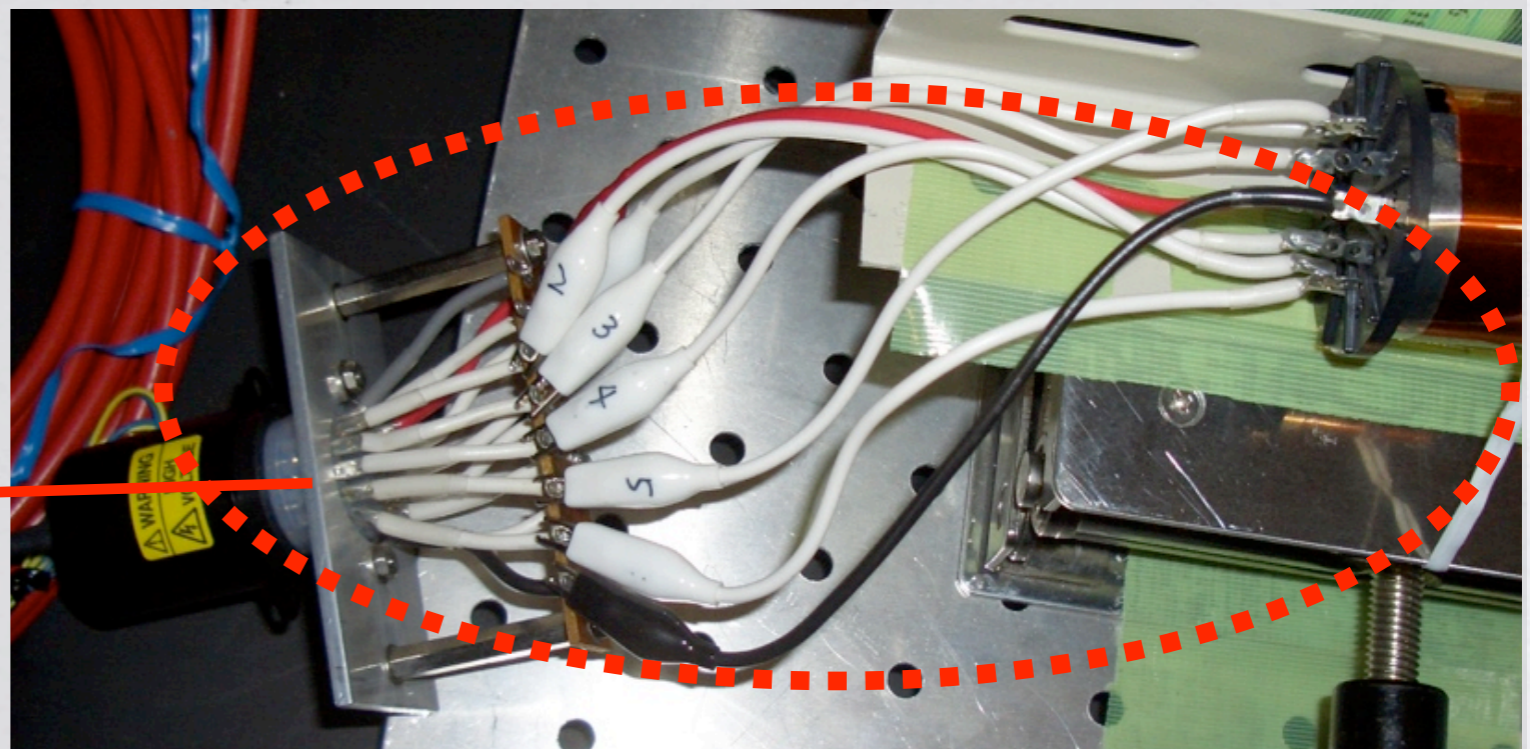
divide-ratio noise [μV]

normal	37
2111223	93
2112222	83
2122221	71

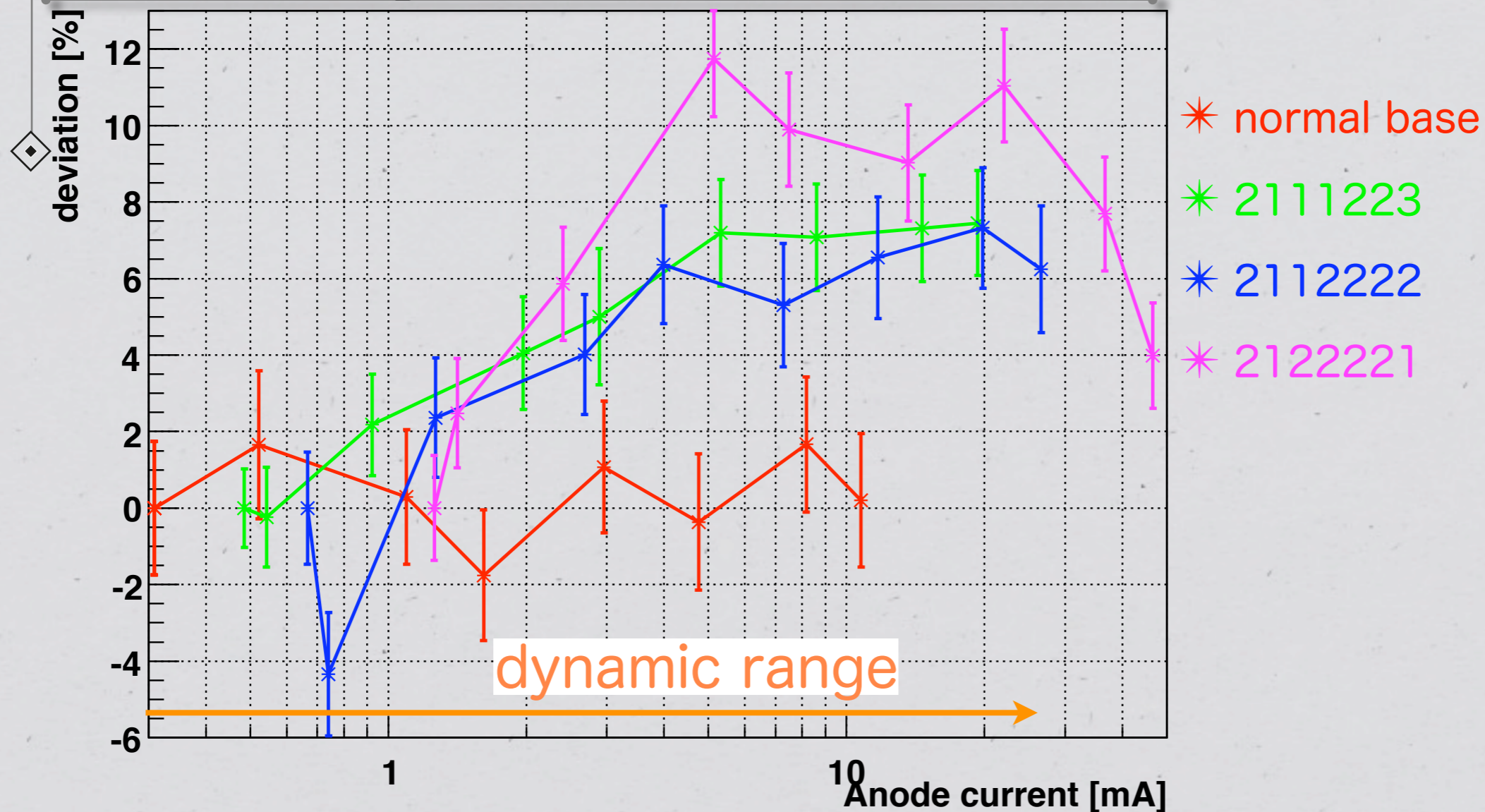
$$\text{noise} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{HV on(ped)}}^2 - \sigma_{\text{HV off(ped)}}^2}}{\text{gate width}} \times \text{const.}$$

cf. 1MeV \rightarrow 1mV

コネクタ部分が
ノイズを拾っている？



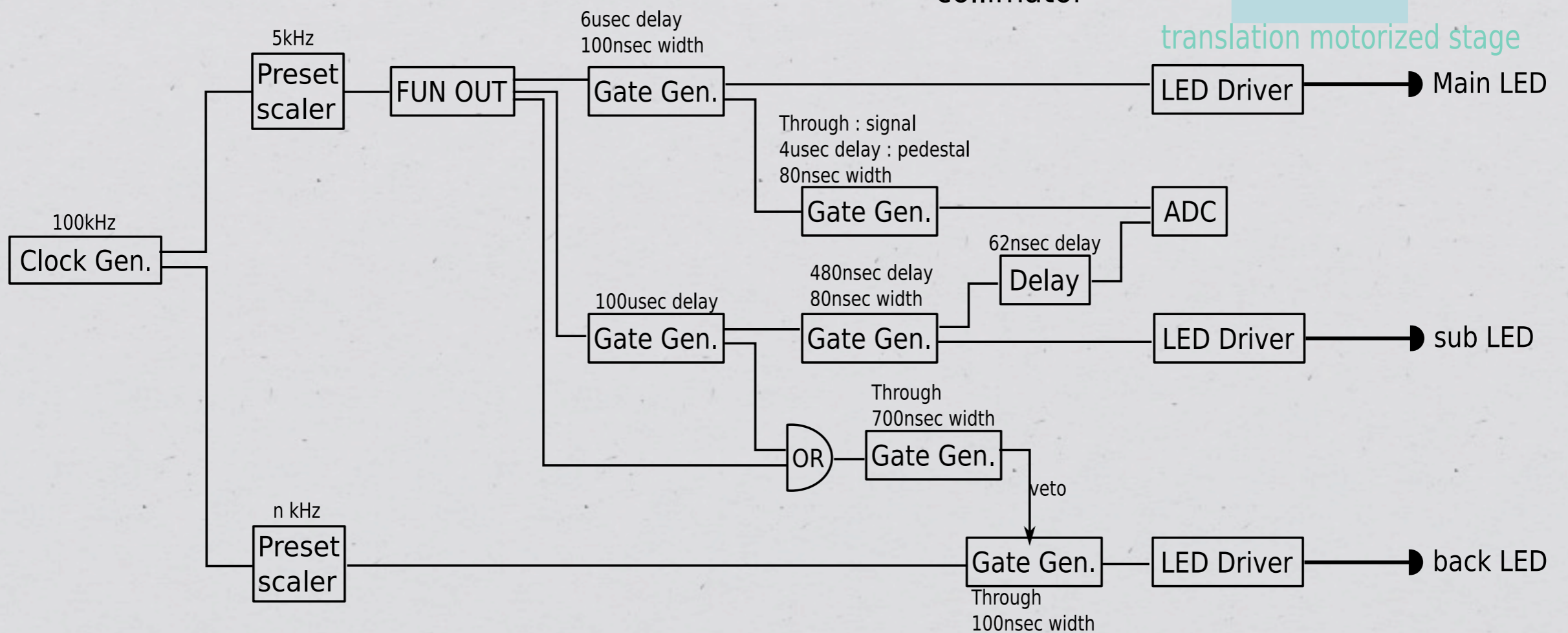
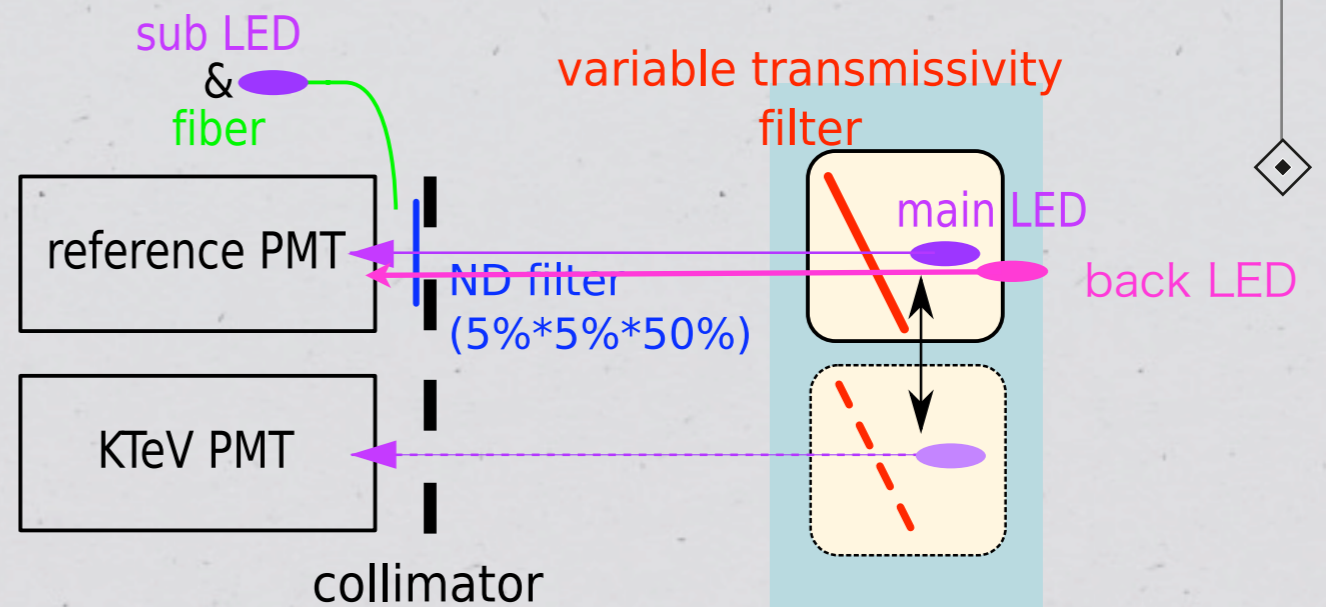
linearity



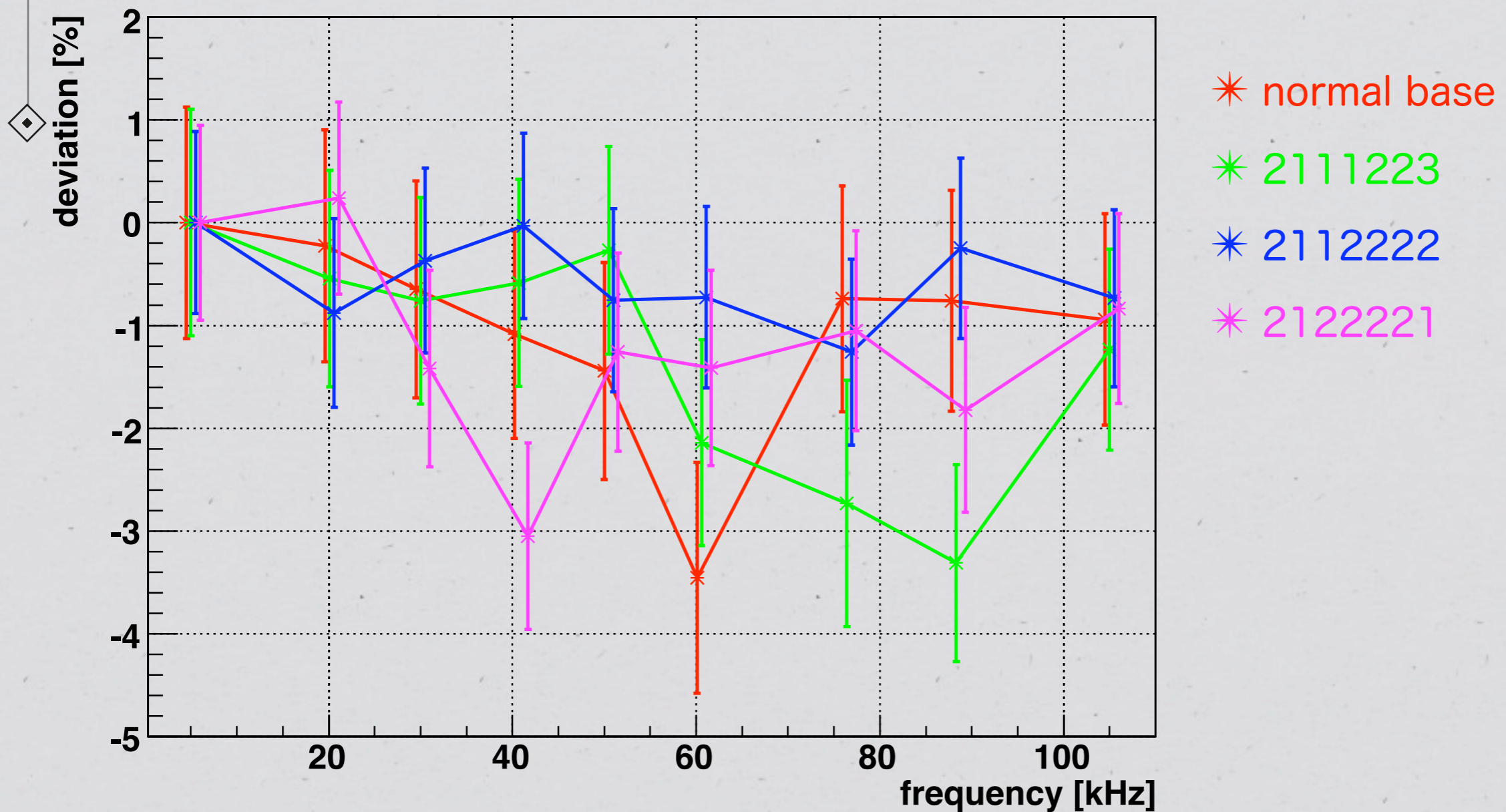
- もともとKTeV PMTはgainを下げてlinearityを良くしているため改善は望めない
- CW baseによるnegative effectが見られる。
各グラフはおのおのの最左点(光量一定)を基準にしている。

rate effect用 set up

- main LEDは5kHz一定
- back LEDを変化させる



rate effect



- CW baseによるnegative effectは見られない
- 分割比によっては改善も望める

summary

✓ CW baseの使用によるメリット

- 発熱 → 85%減
- ケーブリング → 15V供給

✓ rate effectは問題なし → < 3%

✓ PMT gainは3倍

✓ CW baseを使用することによる新たな問題点

- linearity
 - ▶ linearityの許容値を知る必要あり
- noise
 - ▶ やや増加。prototypeで確認。

今後の展望

◇ ✓ 最適な分割比の決定

✓ CW base prototype製作

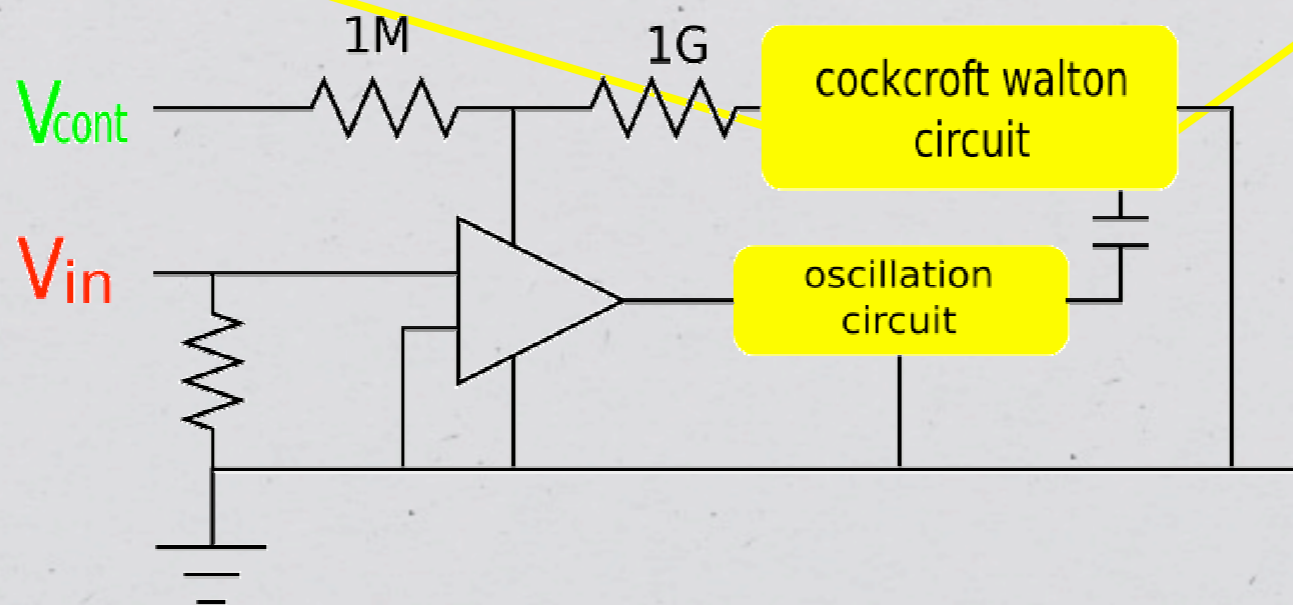
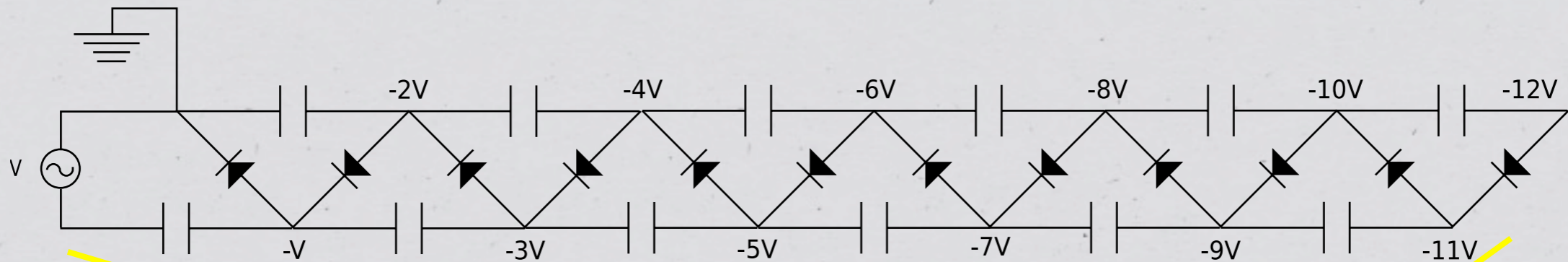
- noise確認(単体、複数本)

- コントロールシステム確立

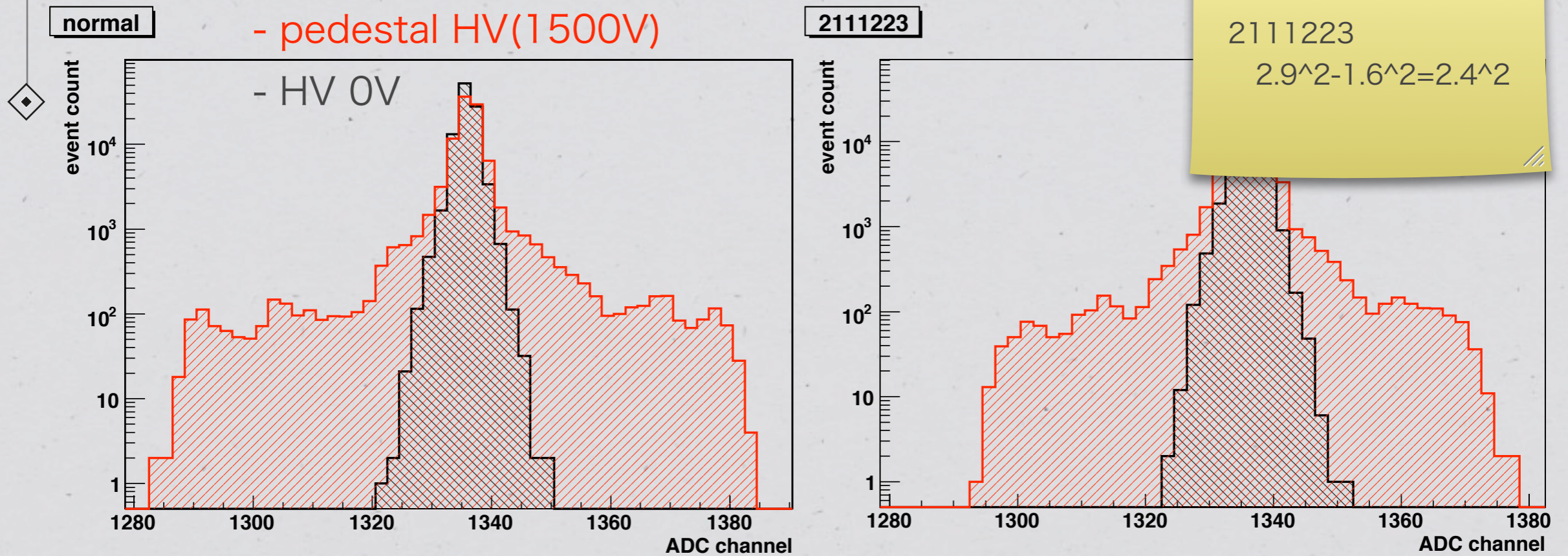
➡ 量産へ

back up

CW base circuit



noise rawdata



$$\text{noise} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{pedestal}}^2 - \sigma_{0V}^2}}{\text{pulse width}} \times \text{const.}$$

使用機器

- ✓ Photo multiplier tube

- HPK R329
- HPK R5330 (KTeV PMT)

- ✓ CW base

- HPK C10344-01

- ✓ LED

- 日亜化学 NSHU590A

- ✓ ADC

- 豊伸 C009-H