



# K<sup>0</sup>TO実験( $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索実験)に用いる プリアンプ内蔵低消費電力型PMTベースの開発

2009/09/10 日本物理学会 秋季大会 (10aSB08)



京大理、KEK<sup>A</sup>

増田孝彦、高橋剛、内藤大地、前田陽祐、河崎直樹

塩見公志、森井秀樹、南條創、野村正<sup>A</sup>、笹尾登

for the K<sup>0</sup>TO Collaboration



# K<sup>0</sup>TO実験

12pSB  
KOTOセッション

## ✓ K<sup>0</sup>TO(K0 at TOkai)

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  : 長寿命中性K中間子( $K_L$ )の稀崩壊探索実験
- 実験番号 J-PARC E14
- 2011年度下旬より本実験開始予定

## ✓ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊事象の発見、分岐比測定によるCPVパラメータ

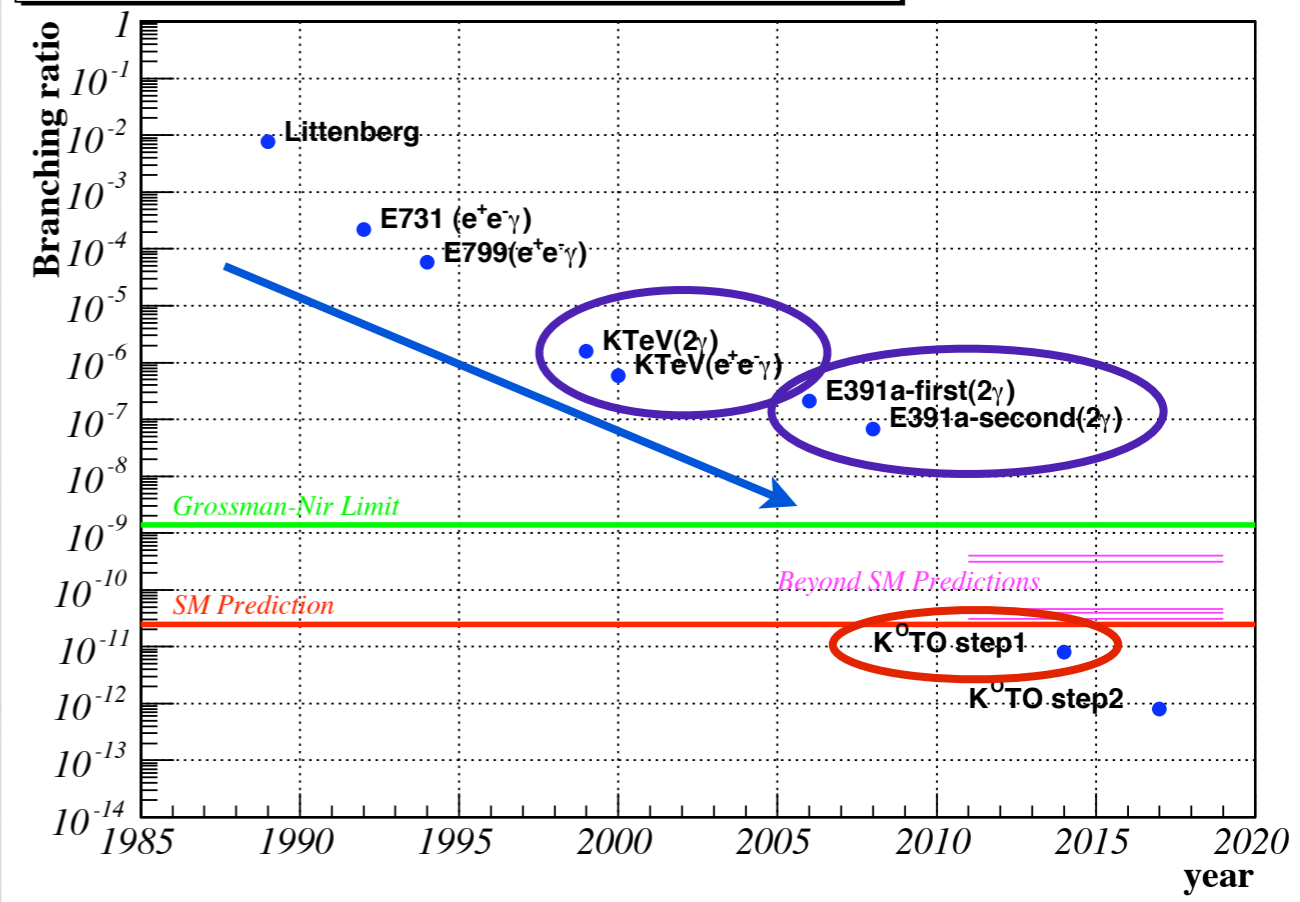
### $\eta$ の直接決定が第一目標

## ✓ これまでの歴史

- KTeV実験(1996-2000)
  - ▶ 各種 $K_L$ の稀崩壊を観測
  - ▶ CsI電磁カロリメータシステムを再利用
- E391a実験(2004-2006)
  - ▶ K<sup>0</sup>TO実験の前段階として、KEK-PSにて行われた
  - ▶ 現在、最終ランの解析がほぼ終了
  - ▶ 使用した検出器群を改良してK<sup>0</sup>TO実験に使用

11aSA6  
森井秀樹

The history of  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  Branching ratio



# 実験コンセプト

✓ ニュートリノは検出できないので、 $\pi^0$ からの崩壊粒子を見る

-  $\pi^0$ の崩壊モード

- ▶  $\pi^0 \rightarrow e^+e^- \gamma$  (Br 1.2%) 荷電粒子のtrackingによる $\pi^0$ の再構成が可能
- ▶  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  (Br 98.8%) 分岐比が大きい

-  $\pi^0$ からの $2\gamma$

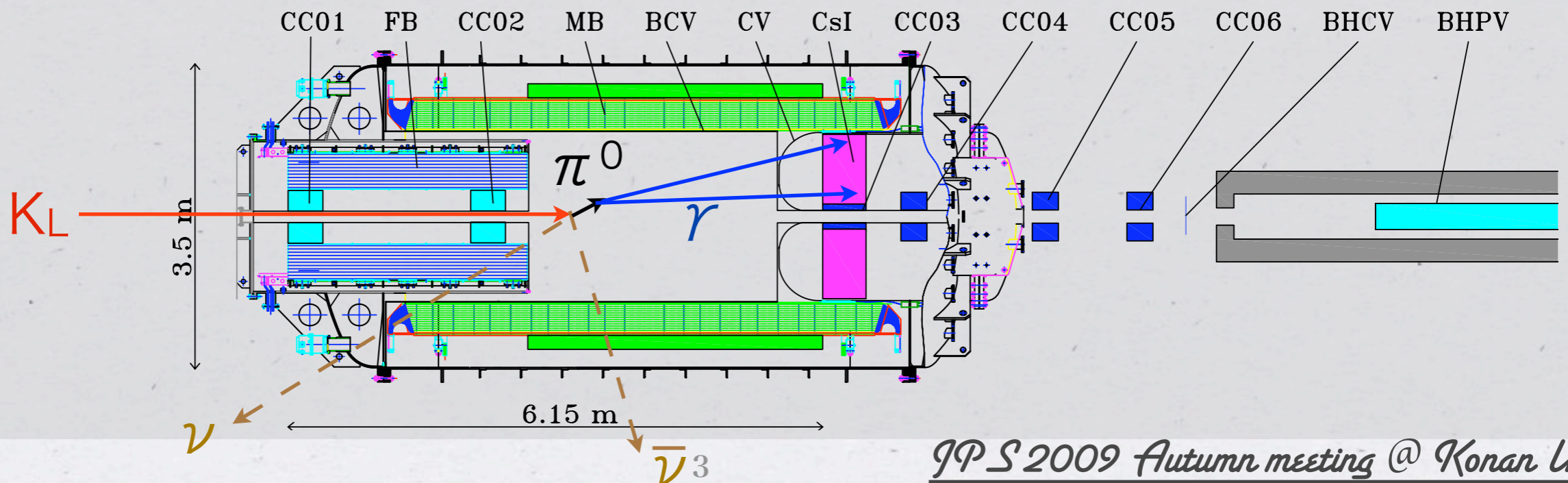
- ▶ CsIカロリメータで $\gamma$ の位置、エネルギーを求め $\pi^0$ を再構成

-  $K_L$ と $\pi^0$ の運動方向のずれ(ニュートリノによる運動量移項の存在)

- ▶ ペンシルビームを用い、 $K_L$ の $p_t$ を0とする

- その他に何も粒子が無い

- ▶ 崩壊領域を $4\pi$ 囲むveto検出器を設置





# CsI calorimeter

✓ 長手方向50cm、2576本のpure CsI結晶を使用。(右下図)

▶ 過去KTeV実験に使用されたものを再利用 (既に全数阪大に移送済み)

- 光量 21p.e./MeV

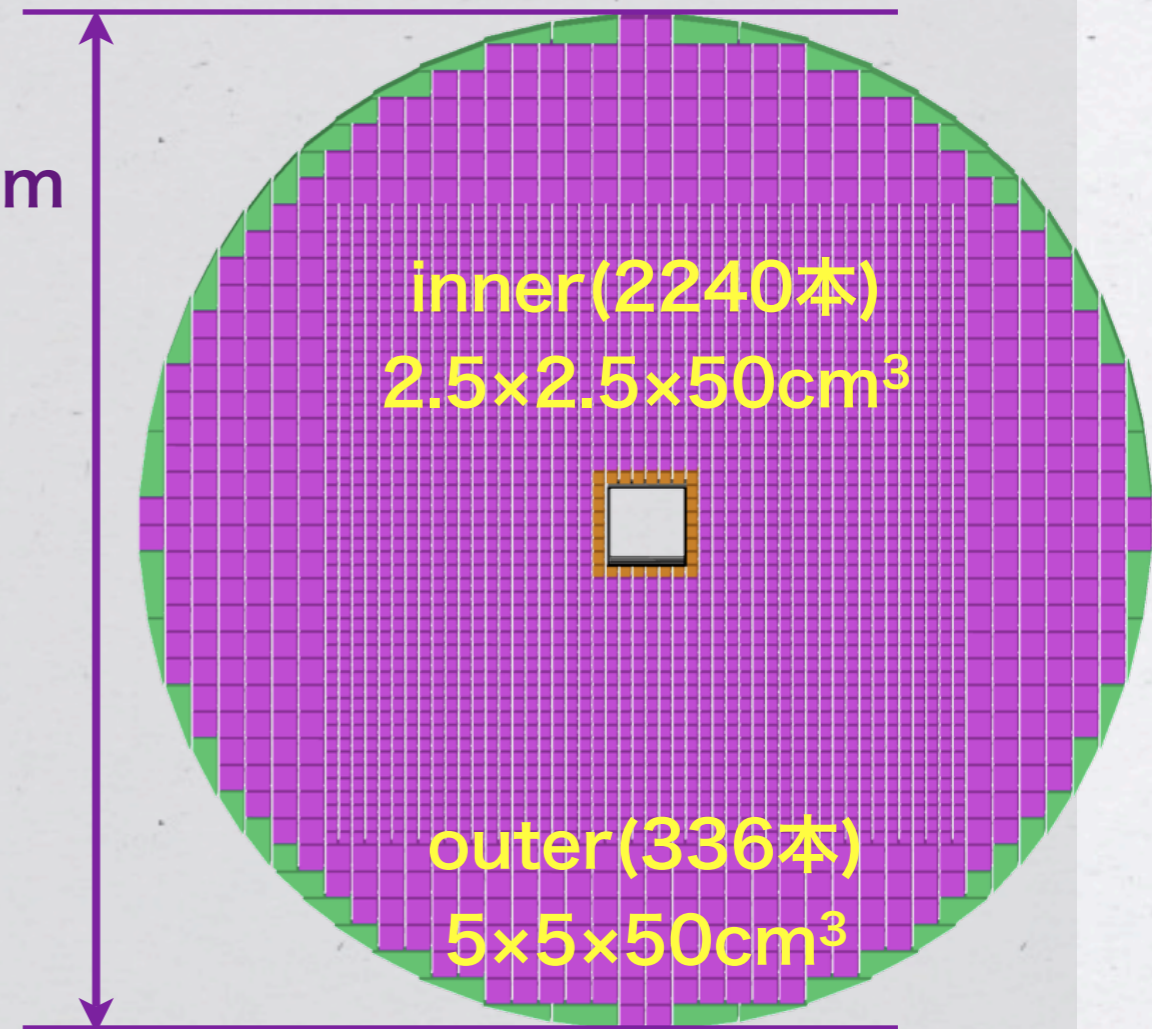
✓ 読み出し光電子増倍管

▶ こちらもKTeVのものを再利用

- ベースの消費電力約700mW

全体で2kWの発熱  
 とても真空中での  
 オペレーションは無理  
 →発熱を減らす

1900mm





# 前提条件

Requirements (シミュレーションによる見積もり)	
Single counting rate	120kHz
Linearity	±5%
Energy range	1MeV - 1.3GeV

Conditions (* w/ KTeV base)	
Power consumption	700mW*
PMT gain	typ.5000 (1500V)*
Csl Light yeild	21 p.e./MeV

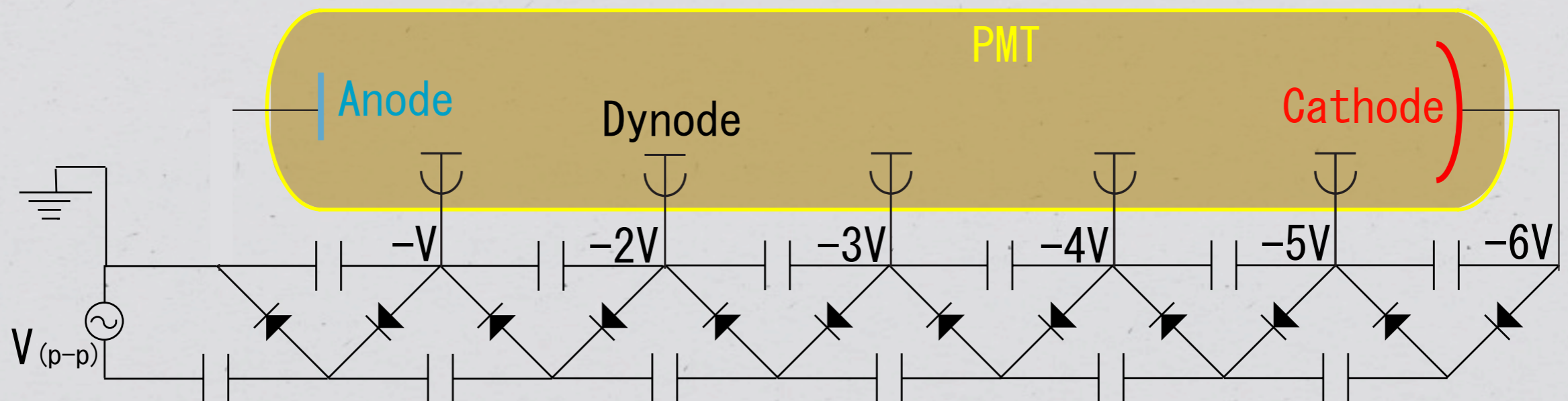
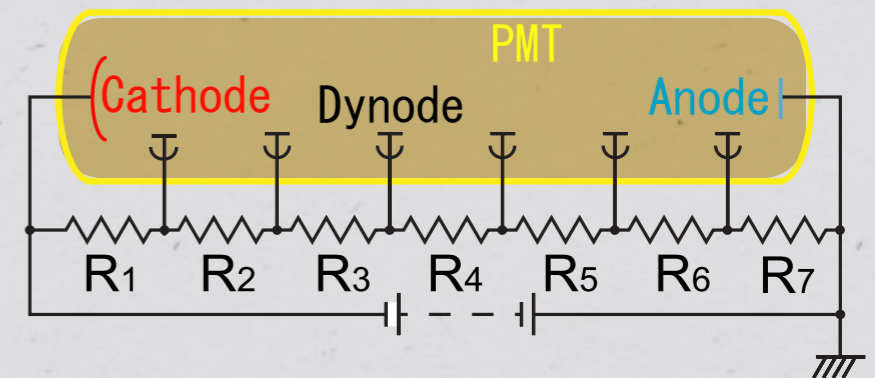
## ✓ 現状

- 消費電力が大きすぎる    ➡ Cockcroft Walton回路の導入で低消費電力化
- 増倍率が小さすぎる    ➡ プリアンプの導入で増強

# CW circuit

## ✓ CapacitorとDiodeのブリッジで昇圧する回路

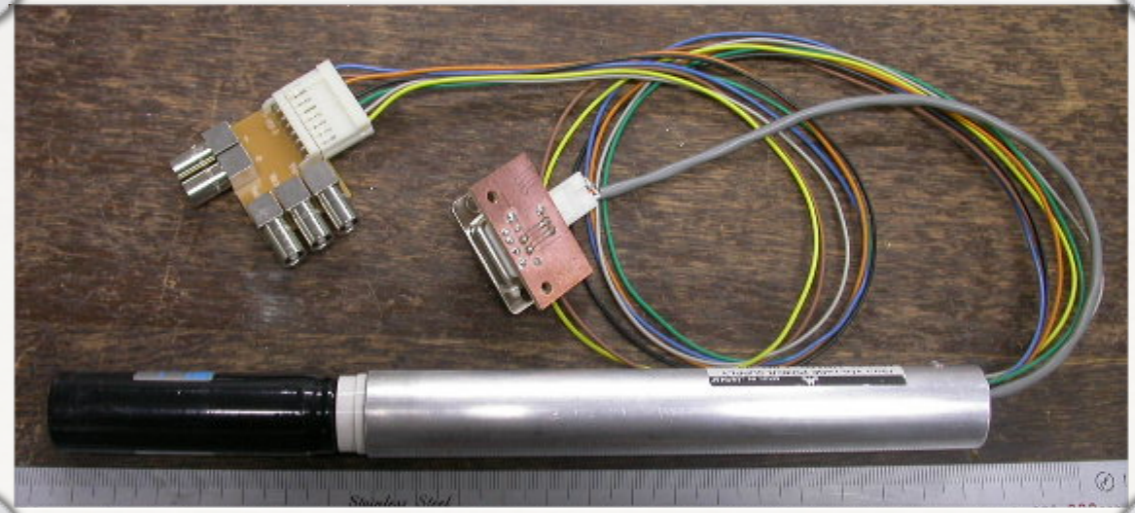
- 抵抗分割型に対して、常時流れる電流が存在しない
  - **消費電力少ない**
- 回路内で昇圧するため、外部から高電圧を供給する必要が無い
  - **大量のHVケーブルが必要ない**
- ACやスイッチング素子などノイズ源が多い
  - **ノイズが多い**





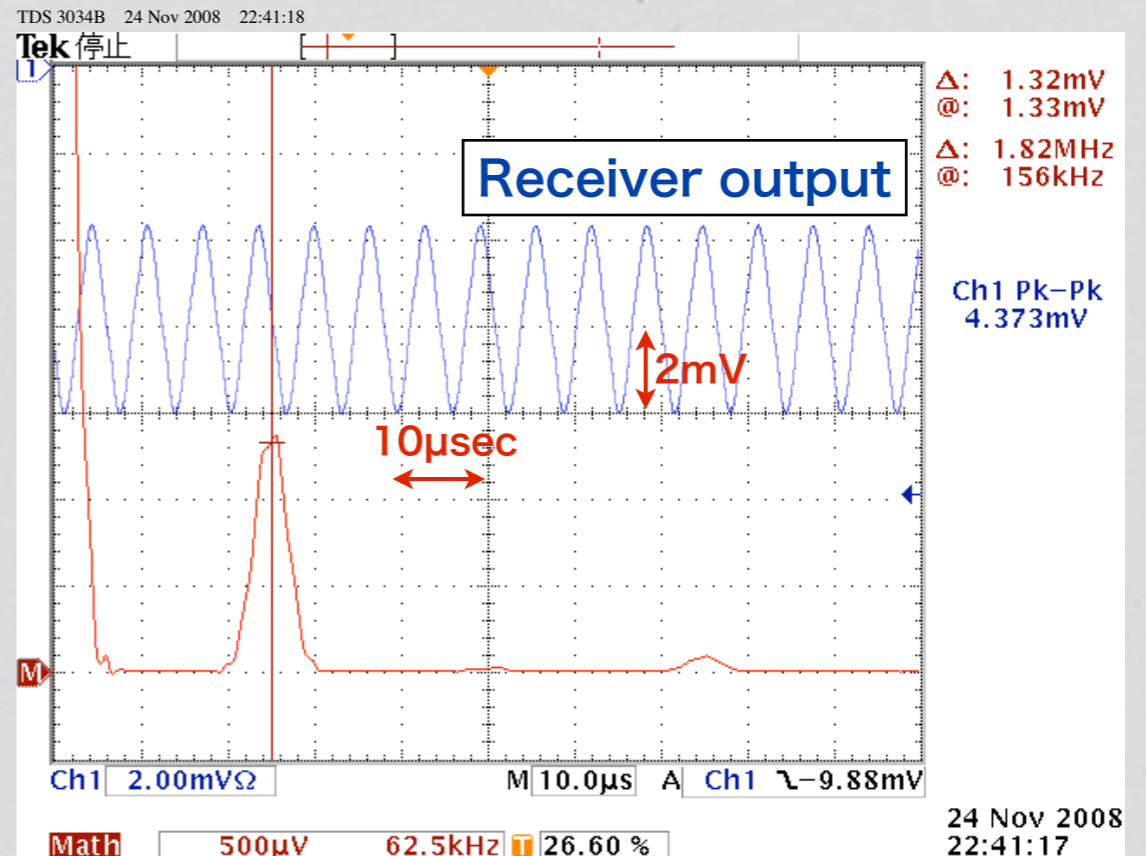
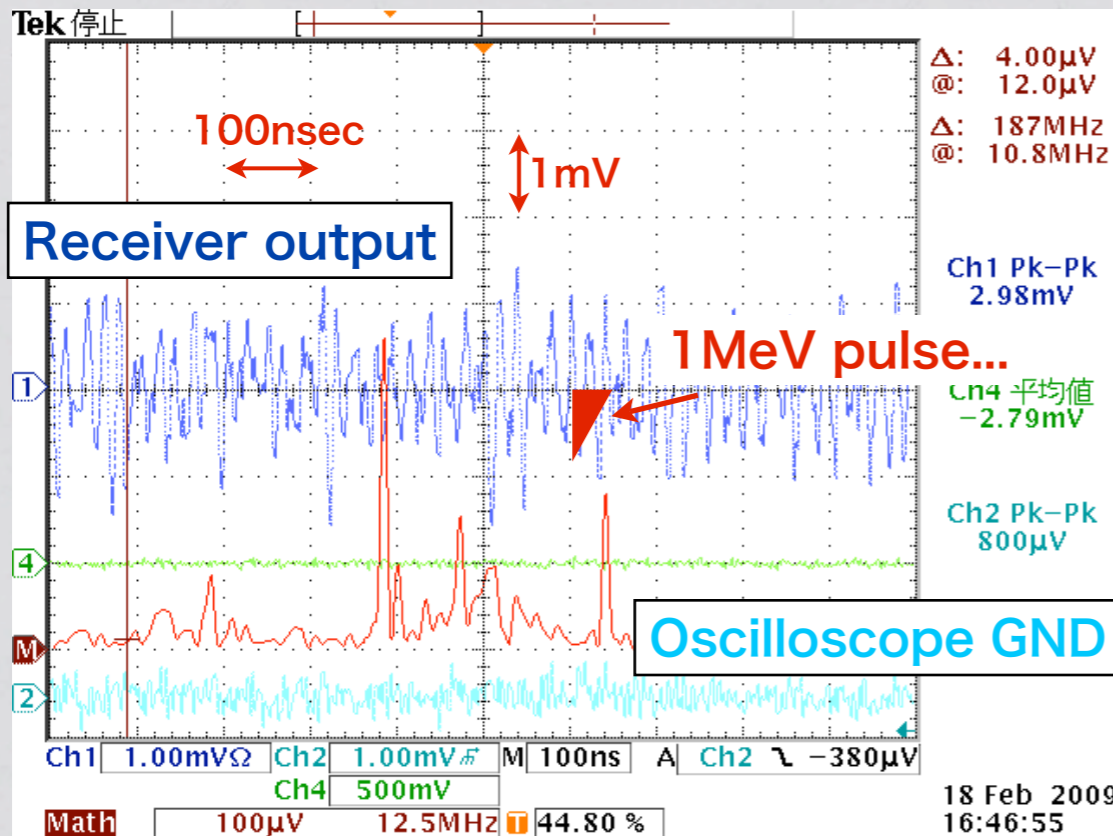
# 2nd プロトタイプ

前回学会にて報告



- ▶ ほかは問題なかったが、
- ✓ ノイズ
  - 必要性能は1MeV(20p.e.)の観測
  - 信号がノイズに埋もれている

- ✓ リップル
  - 4mV<sub>p-p</sub>, 150kHzのリップルが存在
  - CW circuitのACをピックアップ





# 問題点と解決策

## ✓ 2<sup>nd</sup> プロトタイプの問題点

- 1MeV信号以上のノイズ
- 大きなリップルの存在

## ✓ リップルを減らすため

- CW circuitにフィルタを導入
  - ▶ CW circuitからPMTに侵入してくる成分を除去

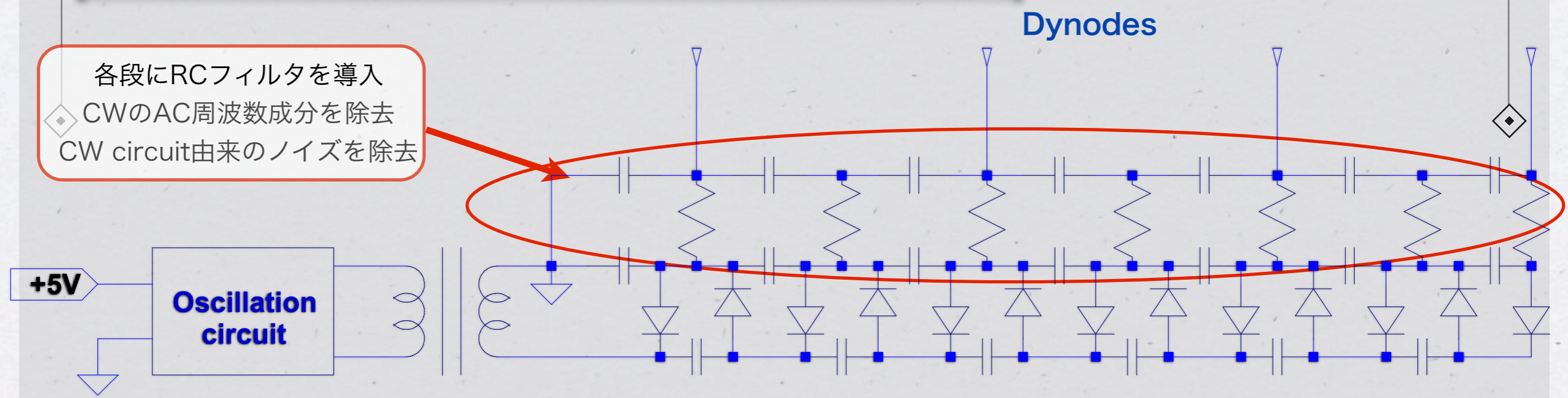
## ✓ ノイズを減らすため

- PMTのゲインを増やし、プリアンプのゲインを下げる
  - ▶ PMTに供給するHVの電圧分割比を変更
- プリアンプ帯域幅の最適化
  - ▶ 不要な高周波数帯のゲインを落とし、ノイズを低減
- CW circuitにフィルタを導入

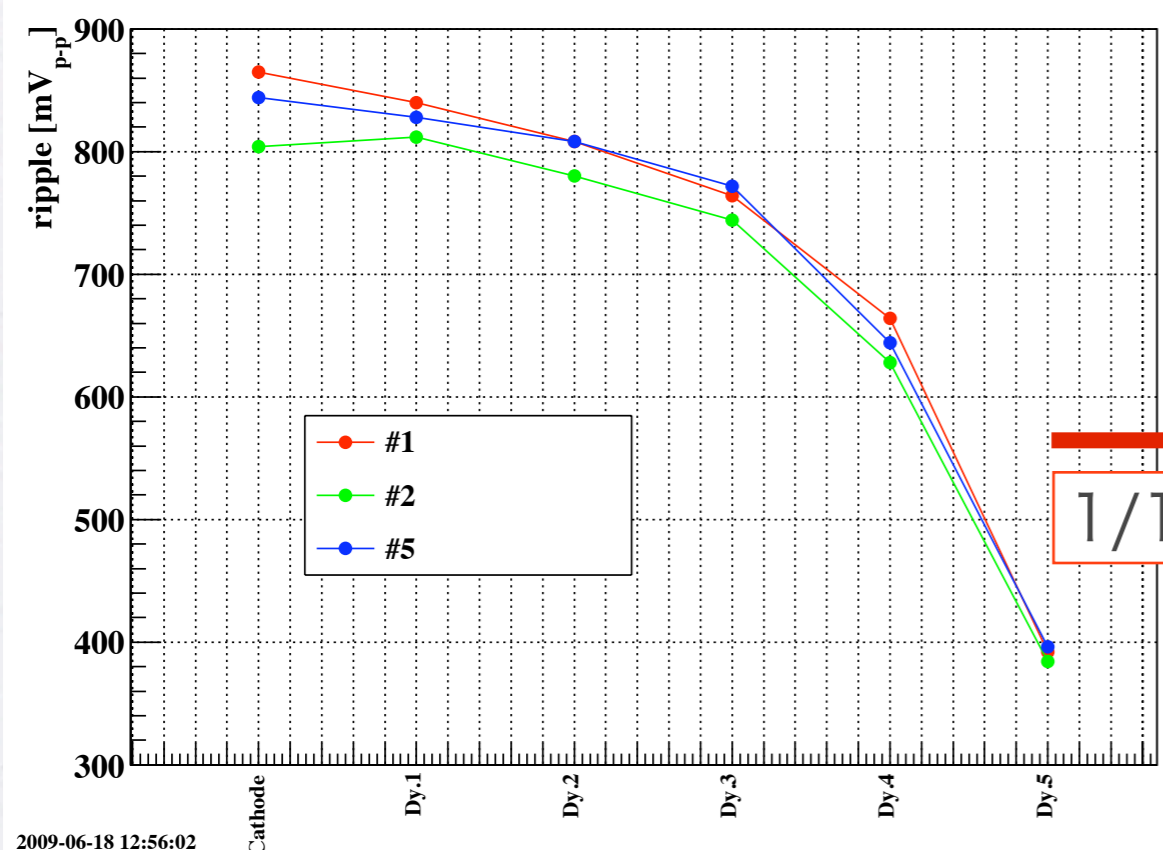


# CW circuit

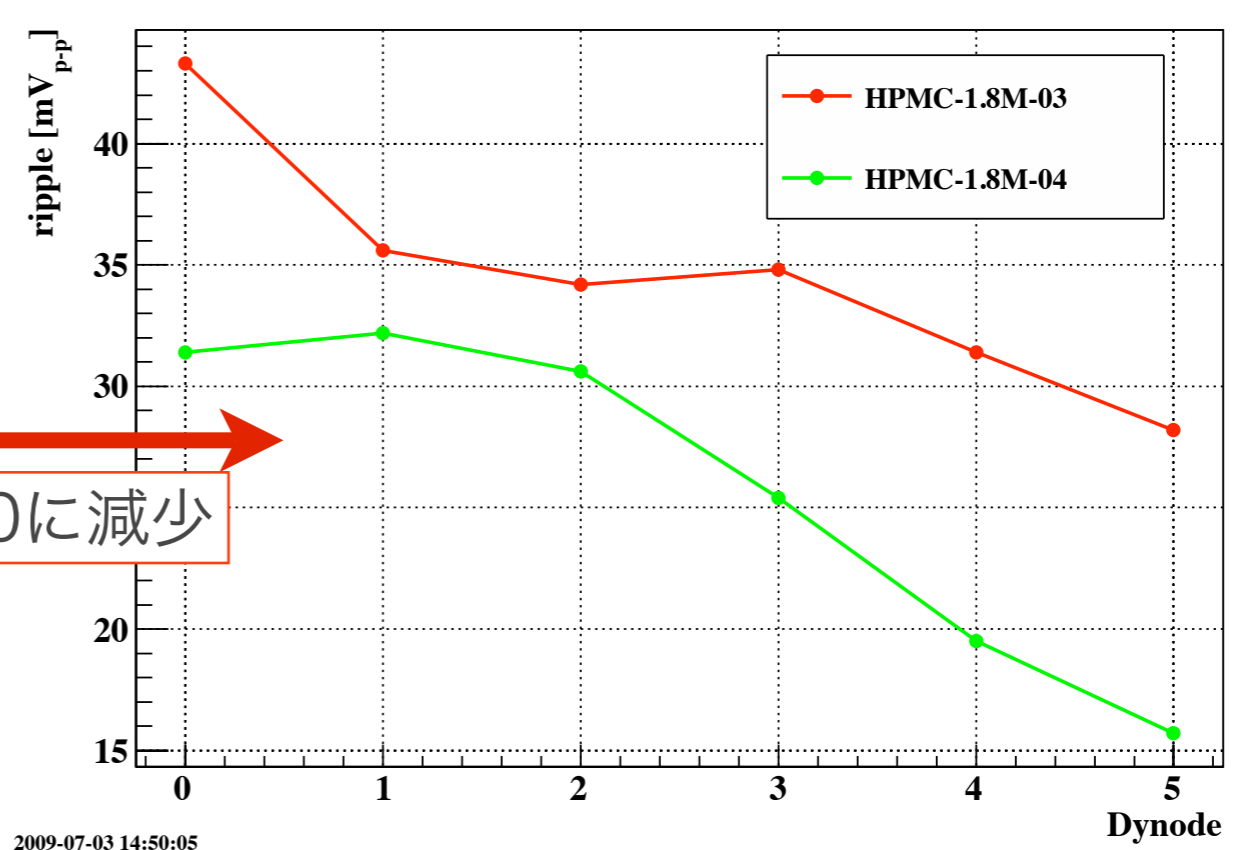
各段にRCフィルタを導入  
 CWのAC周波数成分を除去  
 CW circuit由来のノイズを除去



Ripple(2nd)



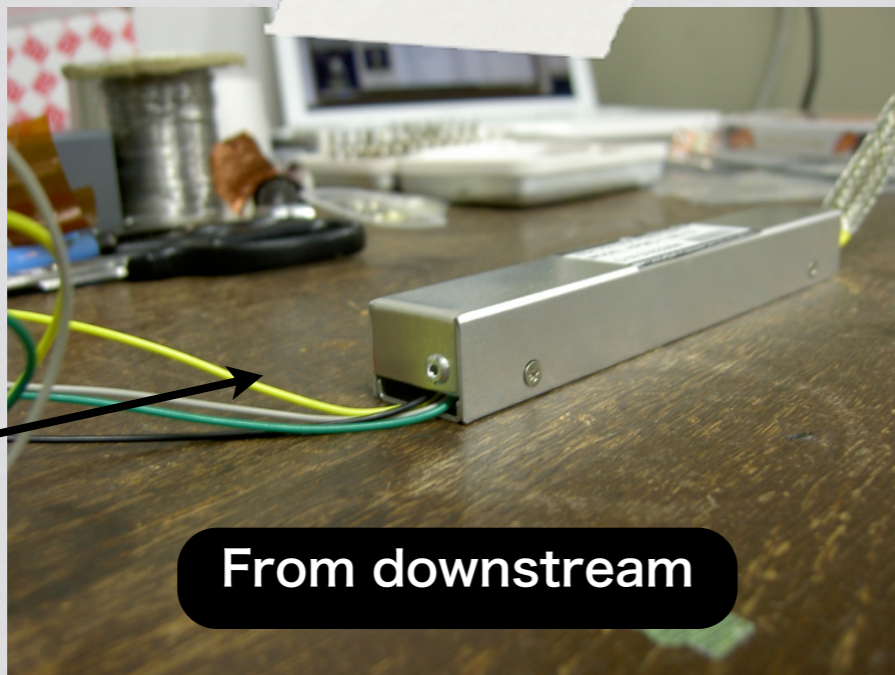
Ripple(3rd)



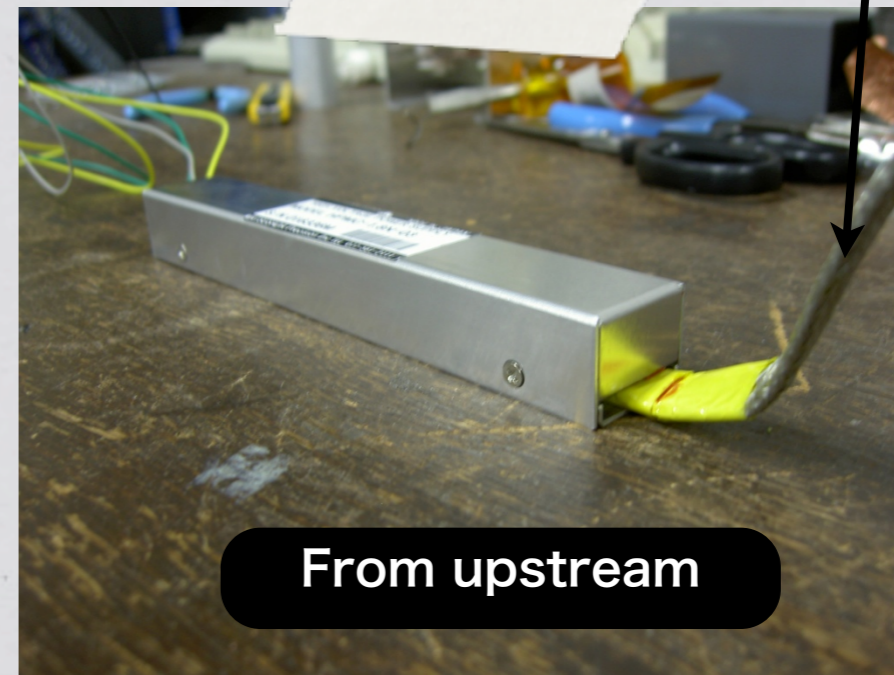


# CW base 3<sup>rd</sup> prototype

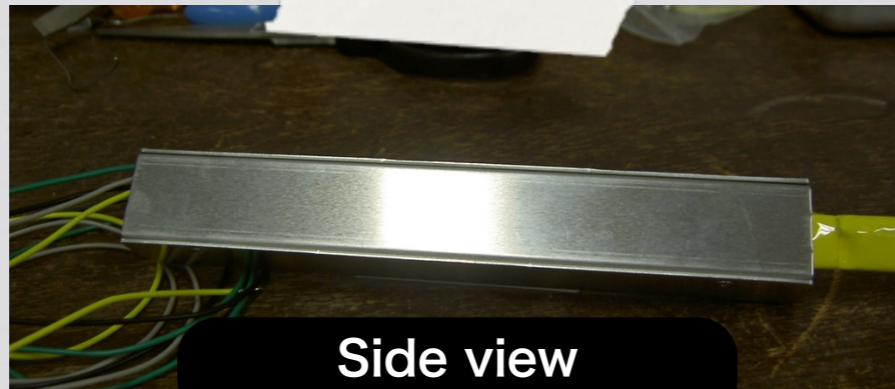
- 松定プレシジョン
- サイズ : 130 × 20 × 16 mm
- 重量 : 84.7g
- 消費電力 : 60mW @ -1500V



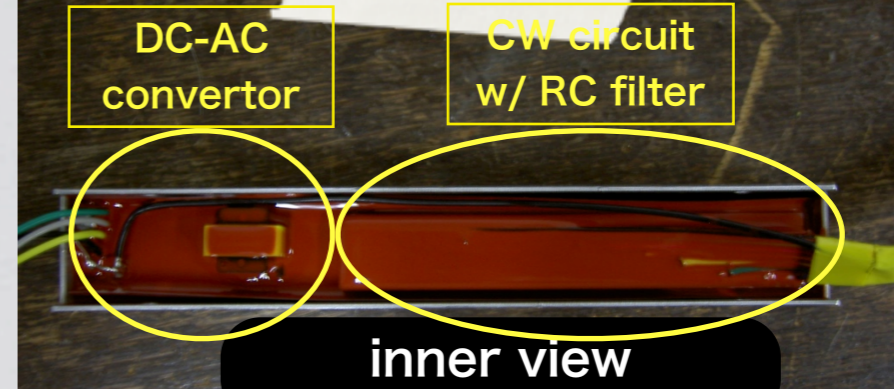
**From downstream**



**From upstream**



**Side view**



**inner view**

CW circuit Drive Control Monitor

HV cable



# Noise

- 電圧分割比の変更でPMTのゲインを増強
  - ▶ K 2:1:1:2:3:3 A
    - 従来の分割比. PMT gain : 5000.
  - ▶ K 3:2:2:2:2:1 A
    - 新しい分割比. PMT gain : 8000.
- PMTのゲインに合わせて、倍率の違うプリアンプを使用。

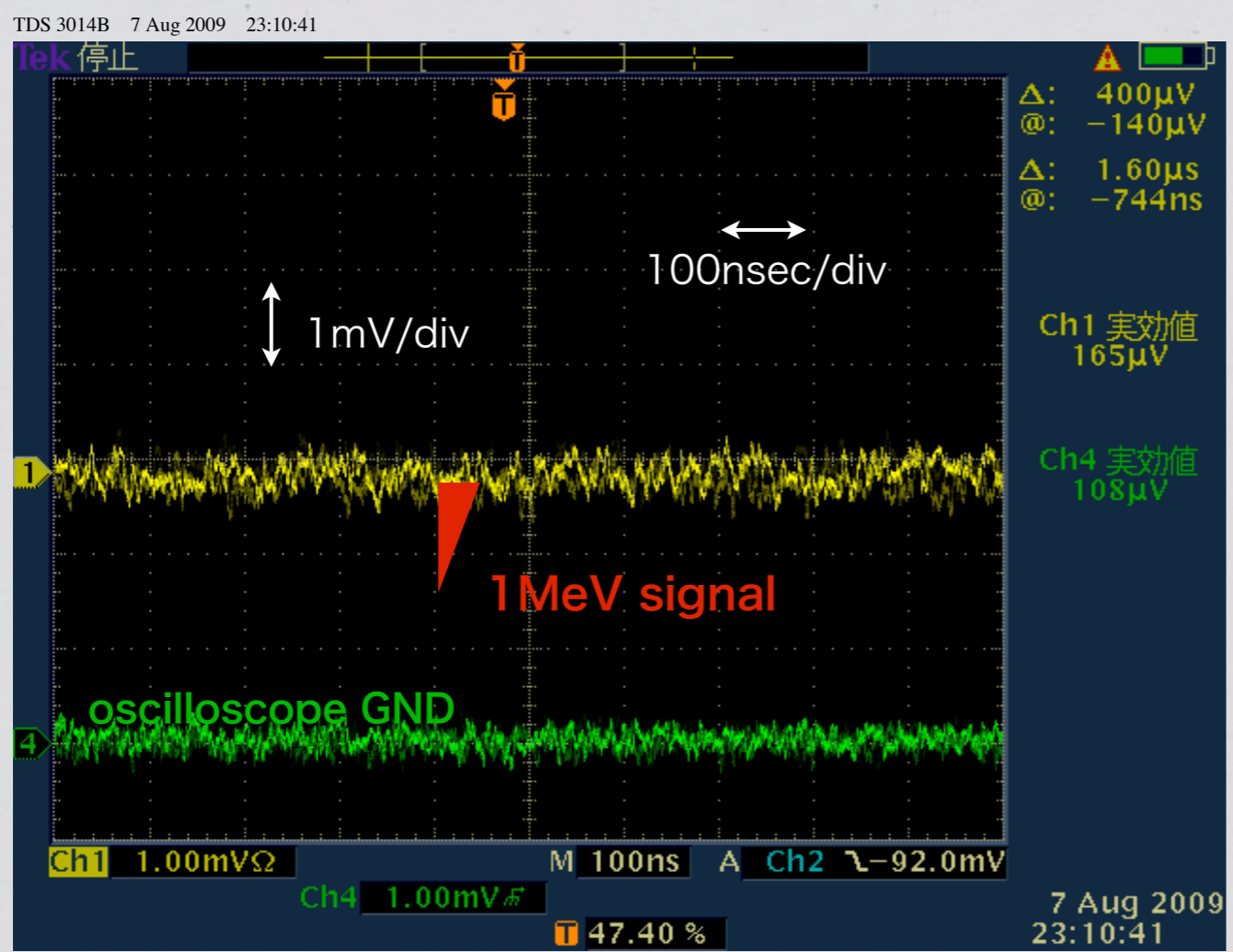
CW base type number	HPMC-1.8N-02 (Previous)	HPMC-1.8N-04 (New)
Divided ratio	K 2:1:1:2:3:3 A	K 3:2:2:2:2:1 A
PMT gain	5000	8000
preamp gain (Charge equivalent)	67	41
1MeV signal pulse	1.15mV <sub>p-p</sub>	1.15mV <sub>p-p</sub>
Noise w/ 100μV <sub>rms</sub> GND Noise	-	<b>155μV<sub>rms</sub></b>

✓ ノイズの許容値(180μV<sub>rms</sub>)を満たせている。



# typical noise figures

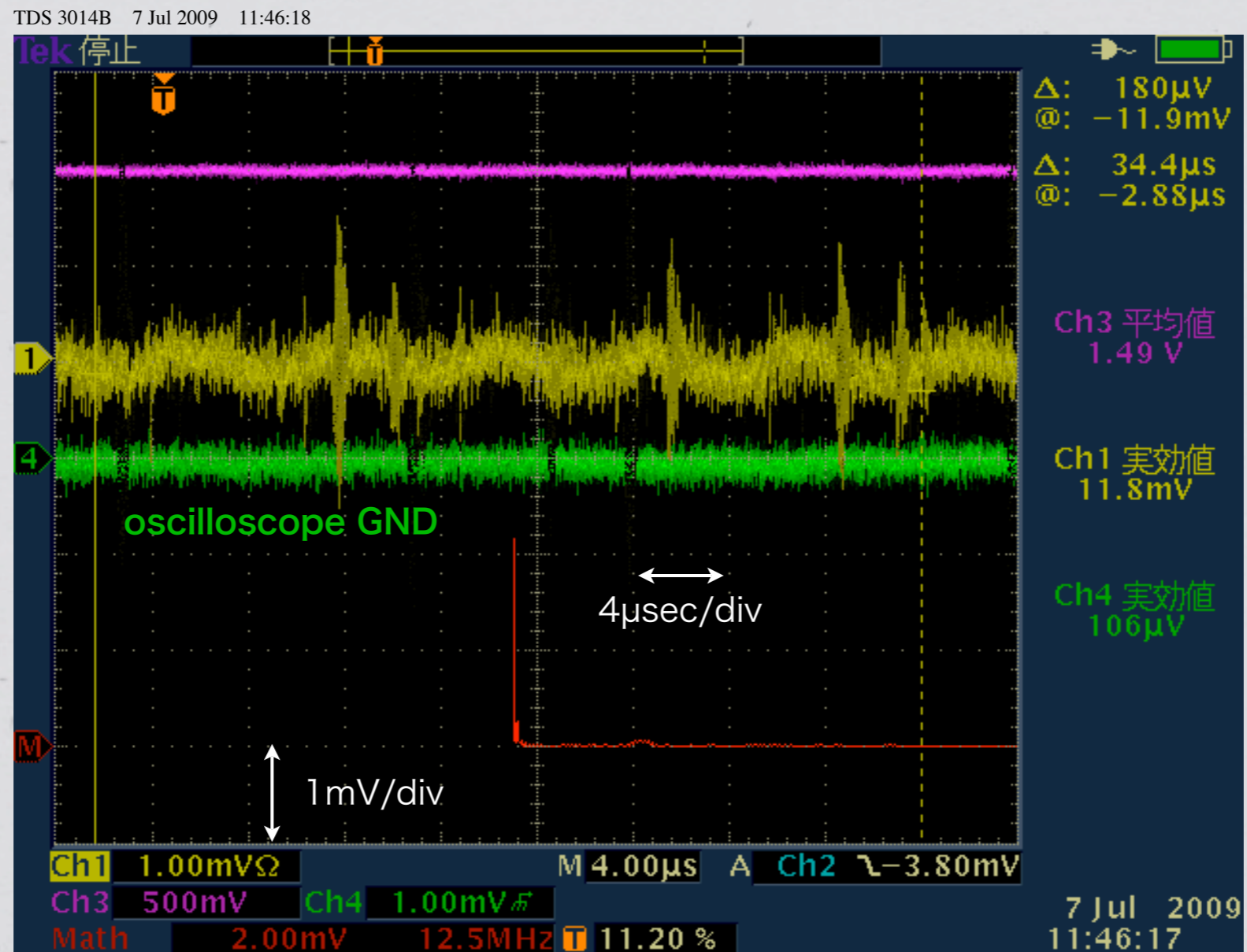
- 測定条件 (右図)
  - ▶ PMTをAlでシールド
  - ▶ PMT anodeとプリアンプは同軸ケーブルで接続





# Ripple

- $0.3\text{mV}_{\text{p-p}}$  に収まっている
- ✓ 2<sup>nd</sup> に比べ1/10に押さえる事に成功。





# Summary

- ✓ K<sup>0</sup>TO実験のCsIカロリメータに使用する、  
 プリアンプ内蔵低消費電力型PMT baseを開発した。
- ✓ 前回のプロトタイプの問題点を解決し、その他の特性にも  
 問題が無い事を確認した。
- ✓ 今月より量産体制に移行

item	value	note
Power consumption	150mW	previous base was 700mW
Signal level	1.15mV <sub>p-p</sub> /MeV	
Noise level	155μV <sub>rms</sub>	
Charge equivalent gain	3.3 × 10 <sup>5</sup>	previous base was 5000
Linearity	less than 5%	1MeV to 1.3GeV
rate stability	less than 5%	0.1 to 500kHz at 700MeV





*END*