

KOTO実験(J-PARC $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 探索実験)

に用いる

プリアンプ内蔵低消費電力型PMTの開発

京大理、KEK^A、岡山大理^B

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^A、笹尾登^B

for the KOTO Collaboration



TOC

- Introduction
 - KOTO実験
 - CsIカロリメータ
 - CsIカロリメータ用PMT
- CsIカロリメータ用PMT用ベース
 - 要請
 - プロトタイプ製作
 - 性能評価
 - 実験全体に置けるスケジュール

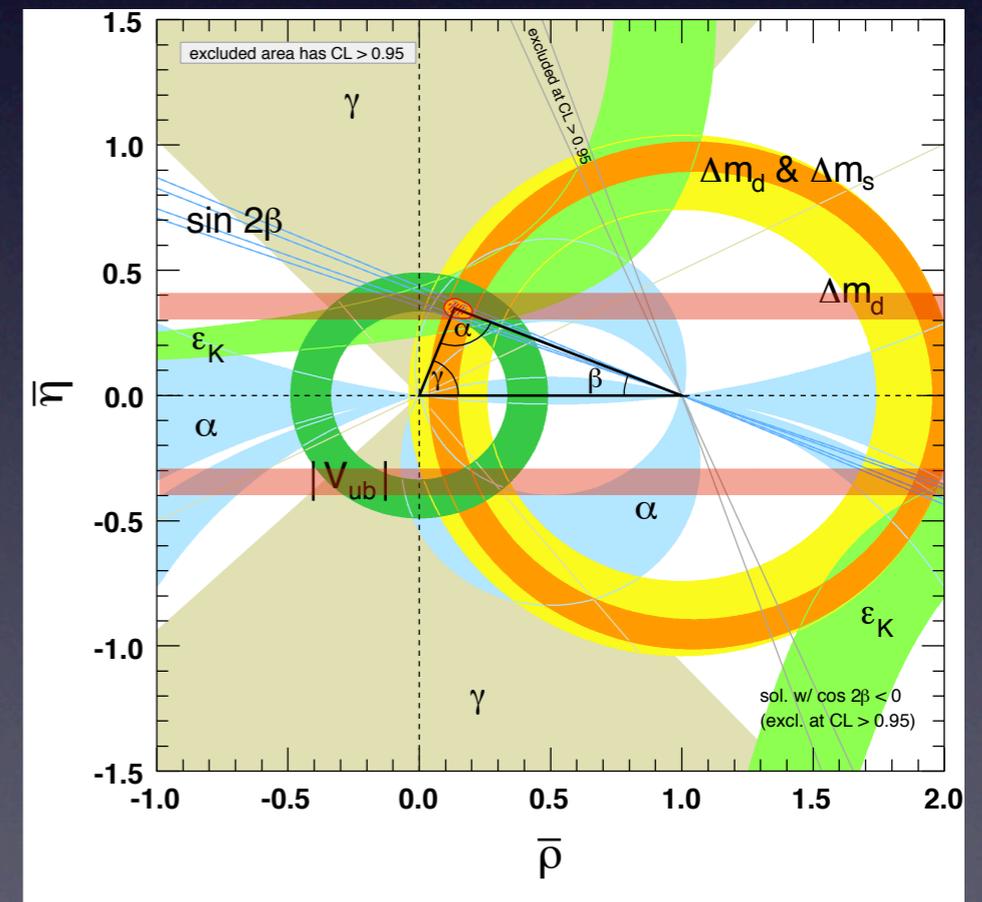
KOTO実験

- K⁰TO (K⁰ at TOkai)

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$: 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
- 2010年度後半よりエンジニアリングラン(主カロリメータ)
2011年度よりフルエンジニアリングラン、
物理ランへと続く

- 実験目的

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊事象の発見
- 崩壊分岐比測定による
CPVパラメータ η の直接決定

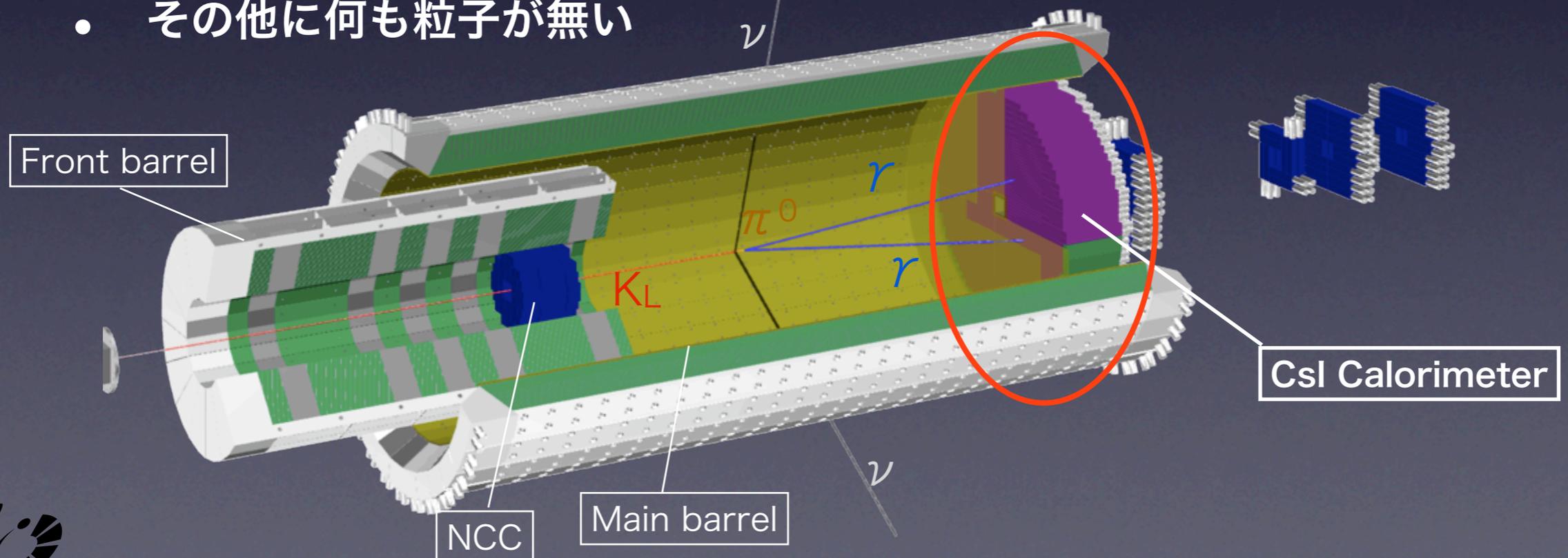


C. Amsler *et al.* (Particle Data Group), Physics Letters **B667**, 1 (2008) and 2009 partial update for the 2010 edition

実験コンセプト

- 信号の同定

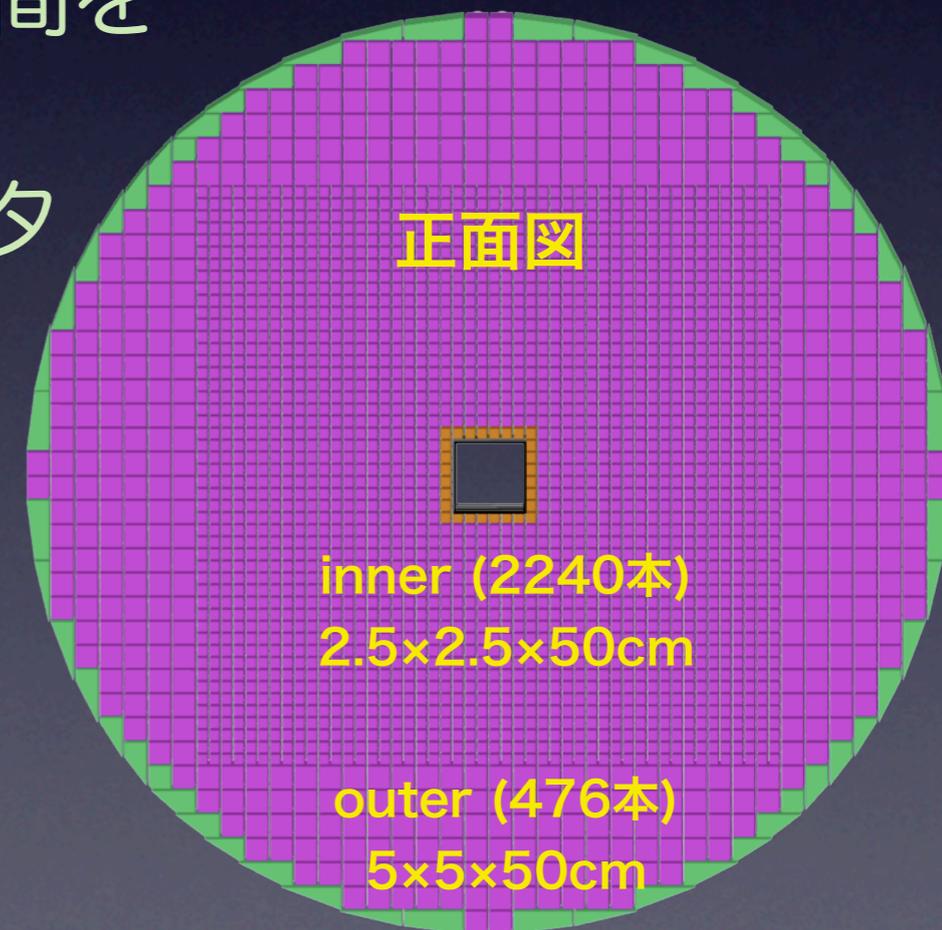
- ν は検出できないので、 π^0 からの崩壊粒子を見る
- π^0 の崩壊モード
 - $\pi^0 \rightarrow e^+e^- \gamma$ (Br 1.2%) 荷電粒子のtrackingによる π^0 の再構成が可能
 - $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ (Br 98.8%) 分岐比が大きい
- π^0 からの 2γ
 - CsIカロリメータで γ の位置・エネルギーを求め、 π^0 を再構成
 - K_L と π^0 の運動方向のずれ(ν による運動量移行の存在)
 - その他に何も粒子が無い



CsI カロリメータ

概要

- 長手方向50cm、2716本のpure CsI結晶を使用
 - KTeV実験の再利用品
 - 中央部：2.5×2.5cmの結晶を48×48本正方形に並べる
 - 外周部：5×5cmの結晶を直径190cmの円形に並べる
 - 最外層：完全に円形になるように隙間を鉛とプラスチックシンチのサンドイッチ型カロリメータで敷き詰める (20pBA06 松村)
- ## エネルギー測定についての必要性能
- Linearity : $< \pm 5\%$
 - Energy range : 1~1300MeV



CsIカロリメータ用PMT

- CsI結晶の大きさに合わせて、2種類のPMTを使用する。



KTeV時の性能表

	R5330	R5364
光電面径	φ34mm	φ15mm
光電面材質	Bialkali	
光電窓材質	UV glass	
最大量子効率波長	420nm	
ダイノード構造	Linear focused	
ダイノード段数	6	5
電圧分割比	K 2-1-1-1-2-4-2 A	K 1.5-1-1.2-1.6-3-2.7 A
消費電力	700mW ←真空中での使用には高すぎる	
増倍率	5000 ←1MeVを検出できない	

PMT用ベース

- 要請

- Linearity : $< \pm 5\%$
 - エネルギーのミスによる、B.G.のシグナル領域への侵入を防ぐ
- 消費電力 : 出来るだけ低く
 - 過去に同じ真空装置を使用した実験(E391a)での実績ではカロリメータ全体で400Wでのオペレーションは問題無し
- 信号倍率 : $> 1\text{mV}_{\text{p-p}}/\text{MeV}$
- ノイズ : $< 180\mu\text{V}_{\text{rms}}$ (1~100MHz)
 - 最低エネルギー1MeVを観測可能とするため

PMT用ベース

- Linearity : $< \pm 5\%$
- 消費電力 : 出来るだけ低く
- 信号倍率 : $> 1\text{mV}_{\text{p-p}}/\text{MeV}$
- ノイズ : $< 180\mu\text{V}_{\text{rms}}$ (1~100MHz)

▶ K⁰TO実験に使用するPMTベースはこれらの要請を満たすため

★HV供給にCockcroft-Walton circuit(CW)を採用し、消費電力を削減

★ダイノードの電圧分割比を変更し、ゲインを増強

★プリアンプをアノードピン直後に設置し、低ノイズで信号をさらに増幅

→ プロトタイプを製作し、これらの特性を確認した。

CW base プロトタイプ

1st (Large)



2008年春発表

2nd (Small)



2009年春発表

3rd (Small)



2009年秋発表

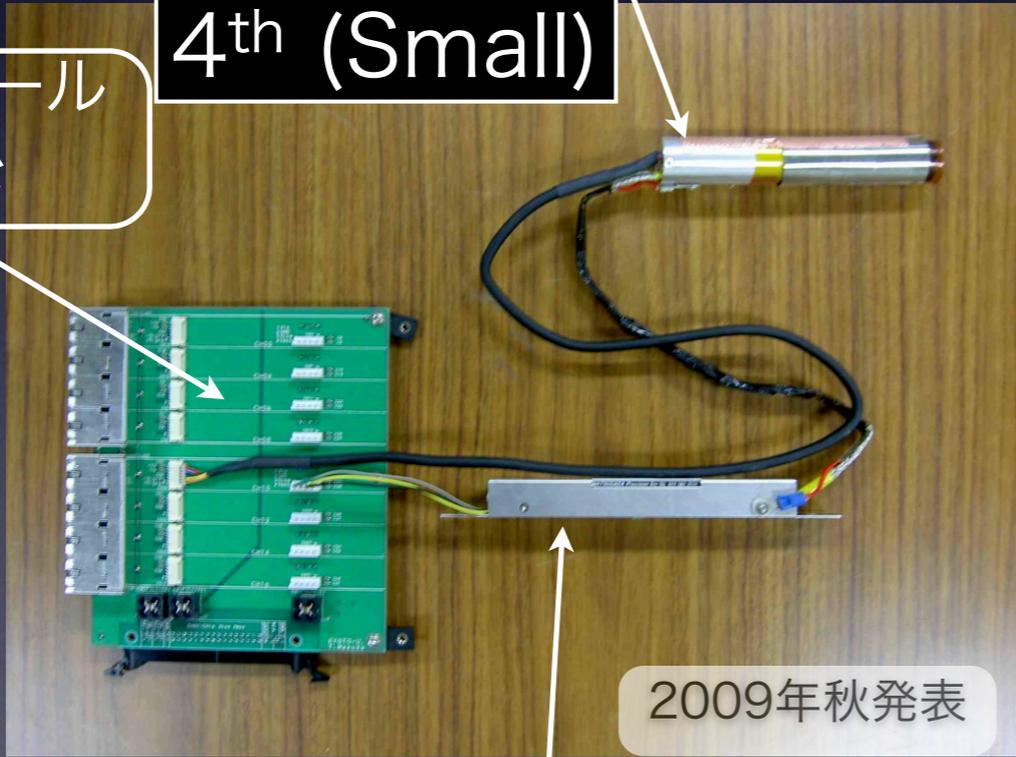
5th (Large)



PMT直後の円筒内部に
プリアンプを設置

シールド付フラット
ケーブルでHVを供給

4th (Small)

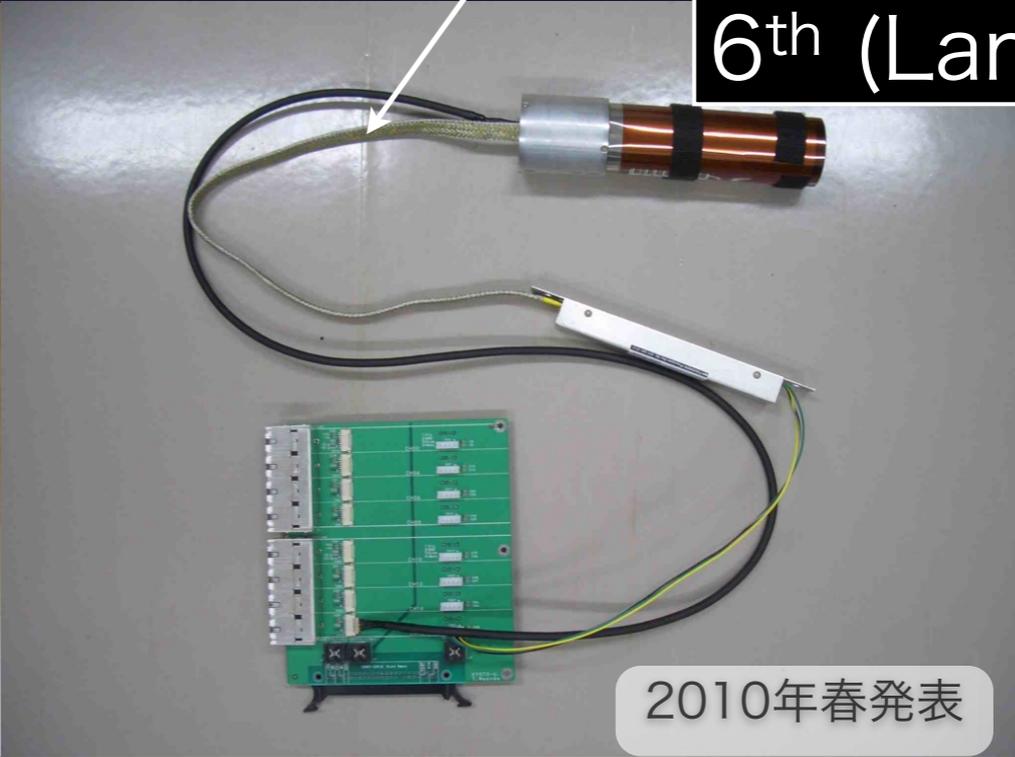


コントロール
ボード

2009年秋発表

直方体の箱体の内部に
CW circuitを内蔵

6th (Large)



2010年春発表

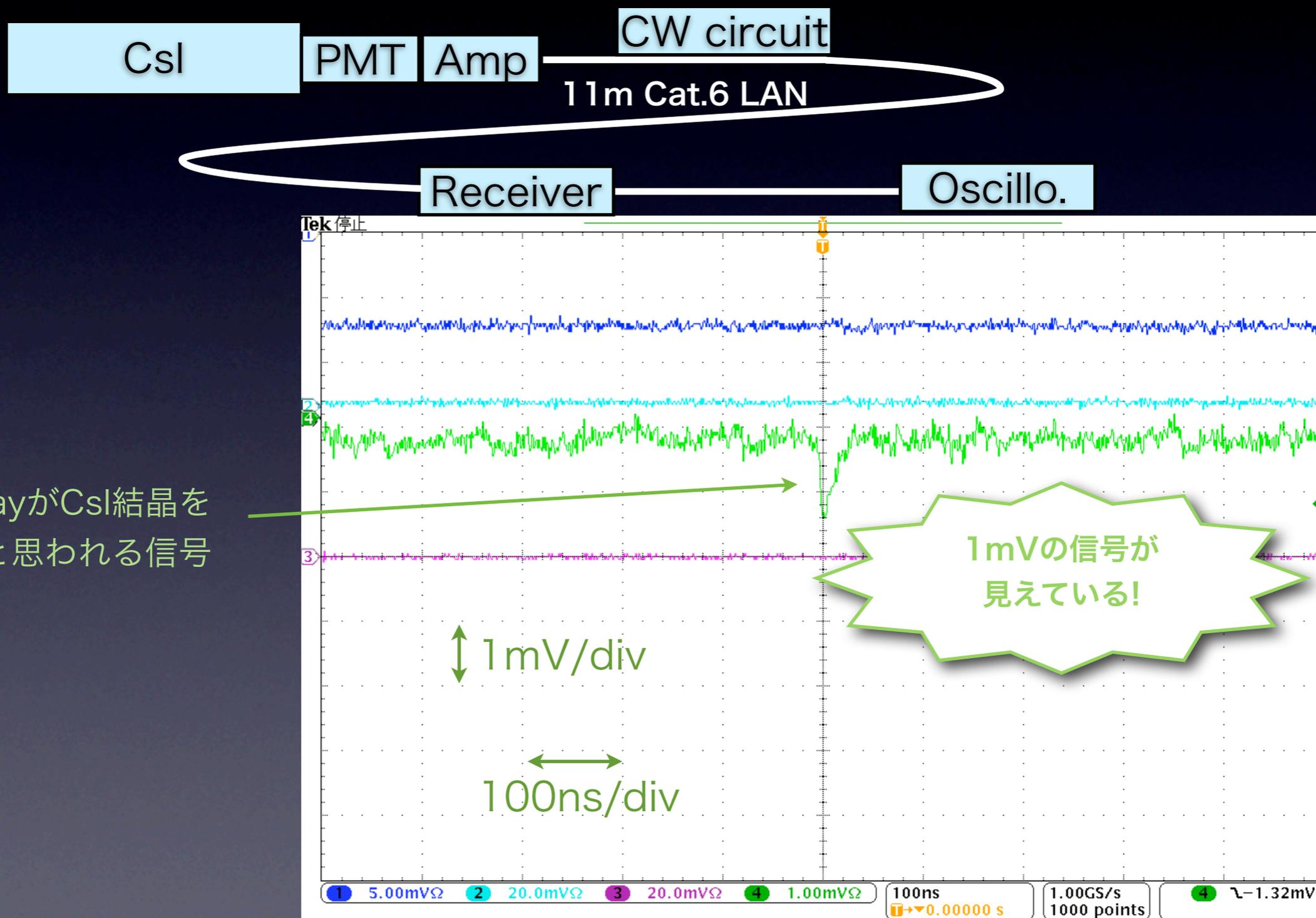


CW base spec

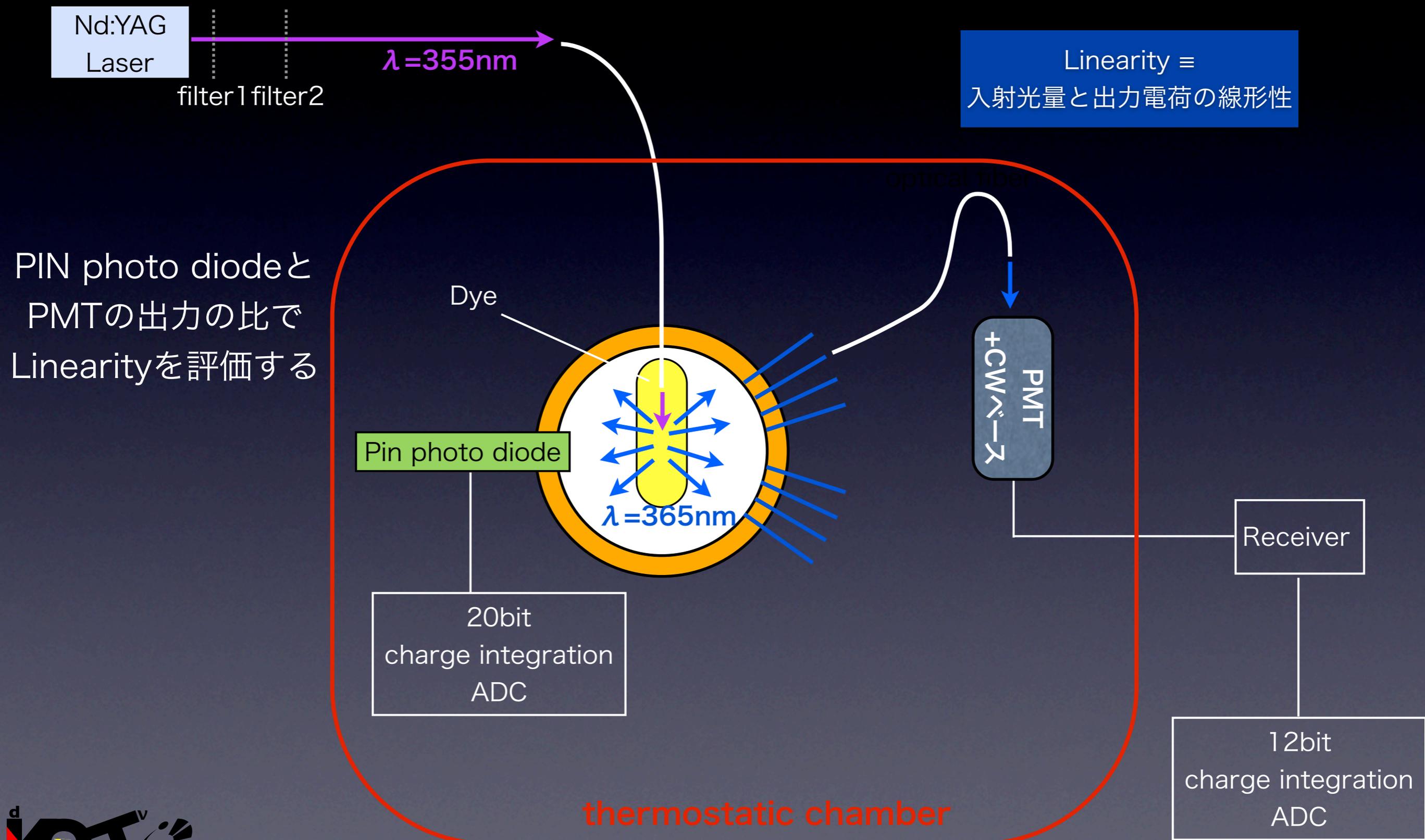
	Large	Small
型番	HPMC-1.8N-05	HPMC-1.8N-04
高電圧生成部	Cockcroft-Walton	
入力	+5V, +1.5V, ±5V(プリアンプ電源)	
最大出力	-1800V	
ダイノード段数	6	5
電圧分割比	K 2-1-2-2-2-2-1 A	K 3-2-2-2-2-1 A
消費電力	60mW(CW) + 90mW(Amp)	[全体で400W]
PMT増倍率(KTeV比)	4倍	1.6倍
プリアンプ信号増倍率	20倍	41倍
Noise level	135 μ V _{rms}	155 μ V _{rms}

ノイズレベル

- 本実験と同様のセットアップで、
1mV_{p-p}が認識できる事を確認した。



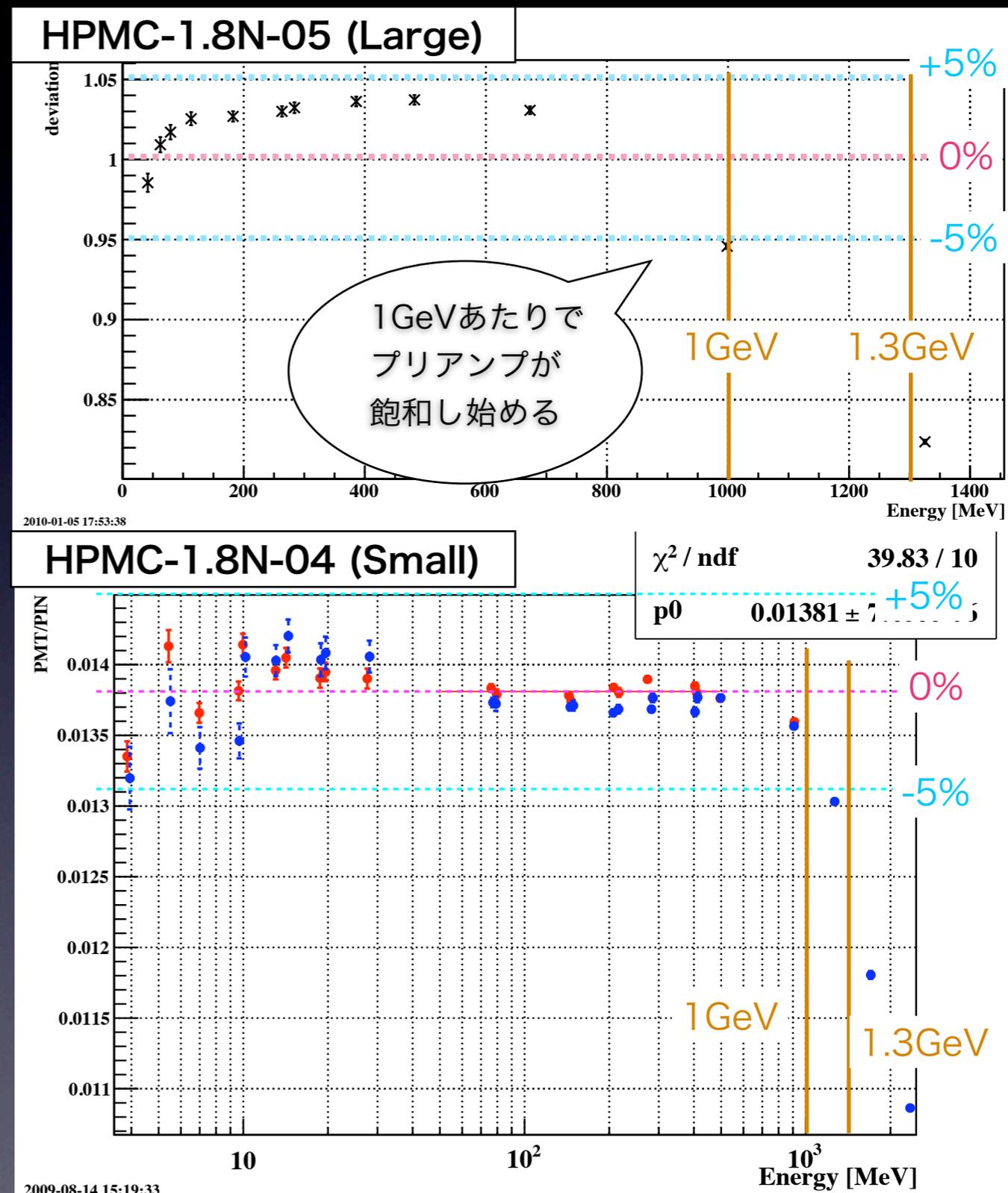
Linearity測定 set up



Linearity

- 1 GeV未満では Linearity $\pm 5\%$ を満たす
- これ以上の領域をLinearity 5%で見たい場合には、プリアンプの電源電圧を上げるか、補正関数を当てるなどの処理が必要

⚠ 横軸はKTeV時のゲインを5000、CsI光量を20p.e./MeVと仮定して、増倍率と信号出力から逆算したエネルギー値



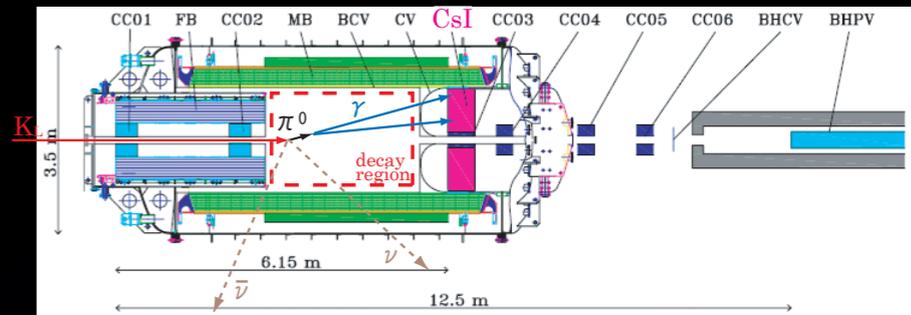
現状

- Small 150本のプレ量産が完了
 - 全数の単体検査、及び48本でのビームテスト (20pBA02 岩井) において問題なく動作している事を確認した。
 - 4月中旬のビームテストで144本の最終動作確認を行う。
- Large 500本、Small 500本の第1期量産が完了
 - 5月末のCslカロリメータ建設に向け、全数検査の最終準備中
- Small 1800本最終量産に向け、必要部品の収集を急ピッチで進めている。

まとめ

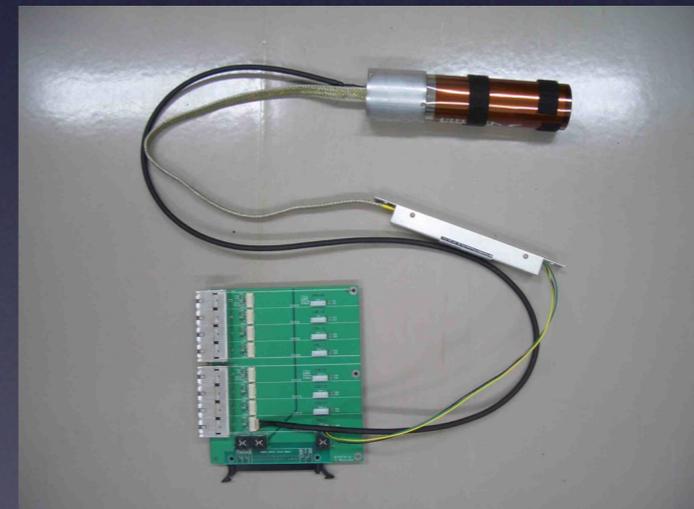
• KOTO実験

- J-PARCで行われる $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊探索実験
- CsIカロリメータを用いて信号の同定を行う



• CWベース

- カロリメータ読み出しPMTの高電圧供給、及び信号増幅
- 数度のプロトタイプ製作を経て、実用化が完了した
 - 総発熱量 400W
 - ノイズレベル $130 \sim 160 \mu\text{V}_{\text{rms}}$
→ $1 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ の信号を観測可能
 - Linearity $< \pm 5\%$ を 1GeVまで満たす



- 本番に向け、量産が着々と進行中