



CTA報告42: CTA 大口径望遠鏡用 焦点面検出器の開発

○梅原克典、片桐秀明、田中駿也(茨城大理)、栗根悠介、窪秀利、今野裕介、林田将明(京大理)、上野遥、小山志勇、寺田幸功(埼玉大理)、大岡秀行、齋藤浩二、中嶋大輔(東大宇宙線研)、手嶋政廣(東大宇宙線研、Max-Planck-Inst. fuer Phys.)、奥村暁、渋谷明伸、田島宏康、日高直哉(名大STE研)、折戸玲子、菅原隆希(徳島大総科)、株木重人(東海大医)、櫛田淳子、小谷一仁、門叶冬樹、西嶋恭司(東海大理)、郡司修一、萩原亮太(山形大理)、佐々木浩人、山本常夏(甲南大理工)、高橋弘充、深沢泰司、水野恒史(広大理)、千川道幸(近畿大理)、中森健之(早大理工)、馬場彩、吉田篤正(青学大理工)、Razmik Mirzoyan、Olaf Reimann、David Fink、Thomas Schweizer (Max-Planck-Inst. fuer Phys.)、
ほかCTA-Japan Consortium

大口径望遠鏡用焦点面検出器の要求仕様

焦点面検出器
(ライトガイド
+ 光検出器
+ 読み出し回路)

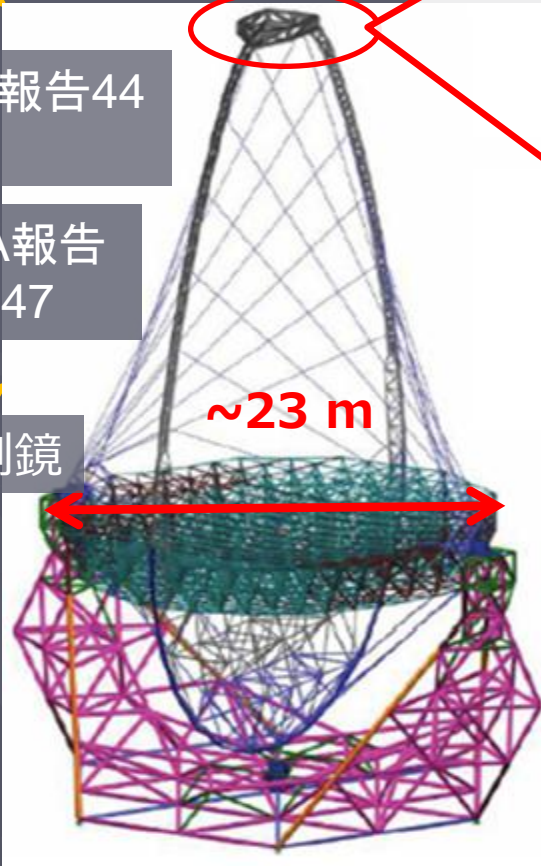
← 本講演

CTA報告44
萩原

CTA報告
45~47

分割鏡

~23 m



大口径望遠鏡(LST)

光検出器の
使用総数
1855本

光検出器モジュールの開発

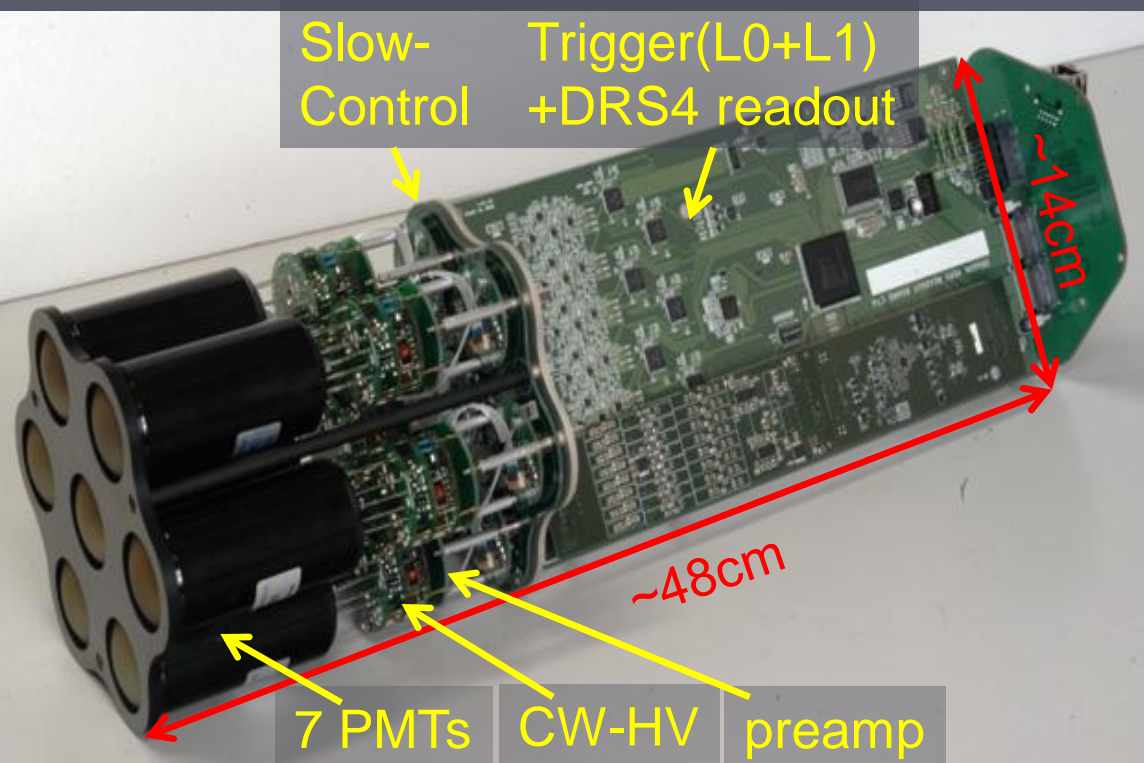
→ 光検出器 + 読み出し回路

- 高速読み出し回路(2GS/s, >300MHz)
- 省電力(2W/channel)
- 低コスト
- コンパクト
- 軽量

インストールと
メンテナンスが
容易に可能

冷却系の開発 (CTA報告43 大岡)

光検出器モジュールの開発



- 光電子増倍管 (PMT)
 - 省電力高圧回路
 - 高速プリアンプ
 - モニタ・制御部
 - 高速読み出し回路
- を1クラスタとして開発

LSTでは265クラスタ
使用予定

開発状況

- PMT+省電力高圧回路 ← 今年度から量産開始
- 高速プリアンプ ← 要求を満たすプリアンプの試験
- モニタ・制御部 ← プリアンプに合わせて変更予定
- 高速読み出し回路 ← v.3から最終版へ (CTA報告44:萩原)

PMTの量産スケジュール

<タイムスケジュール>

2010-2014年 計画準備期間

詳細デザイン、サイト準備

プロトタイプ望遠鏡開発・建設

2015-2020年 本格的な建設開始

2017-2020年 部分観測開始

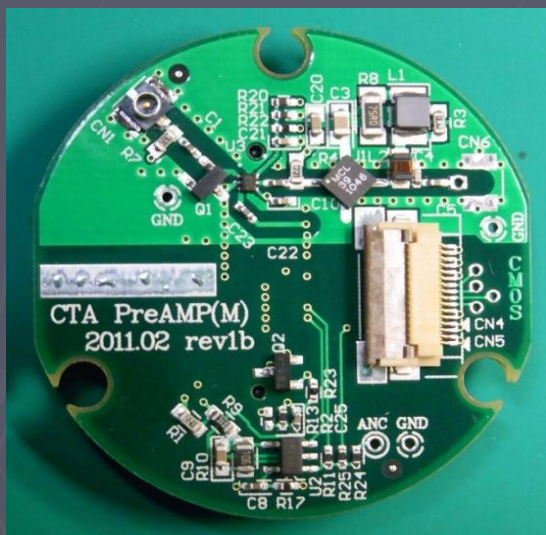
2020-2040年 フル観測運転

- 上記のタイムスケジュールに従い、今年度からPMTを生産開始
- 浜松ホトニクス株式会社に生産を依頼、来年の2月末までに約1000本のPMTが納入される予定
- 量産に伴い生産されたPMTのcalibration方法について現在検討中
- PMTのアフターパルス測定の前準備は整いつつある

現在のクラスタに使用されているプリアンプ

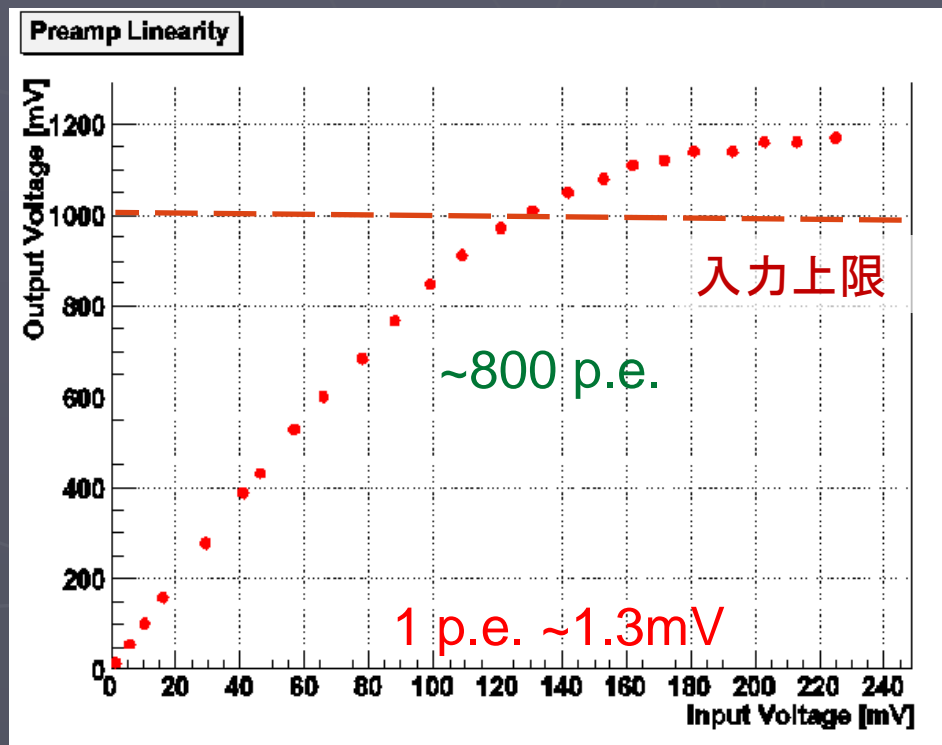
- CTAの
要求
- 広いダイナミックレンジ (1~1000 photoelectron)
 - 高速応答(帯域300MHz 以上)
 - 低ノイズ・低消費電力

CTA ではPMTの劣化を最小限に抑えるために、 4×10^4 という低いゲインが標準動作ゲインとして要求されている。



Mini-Circuits社 LEE-39+
プリアンプボードの仕様

- 消費電力 $\approx 183\text{mW}$
- ゲイン 18.3 dB (4GHz)
20.8 dB (2GHz)



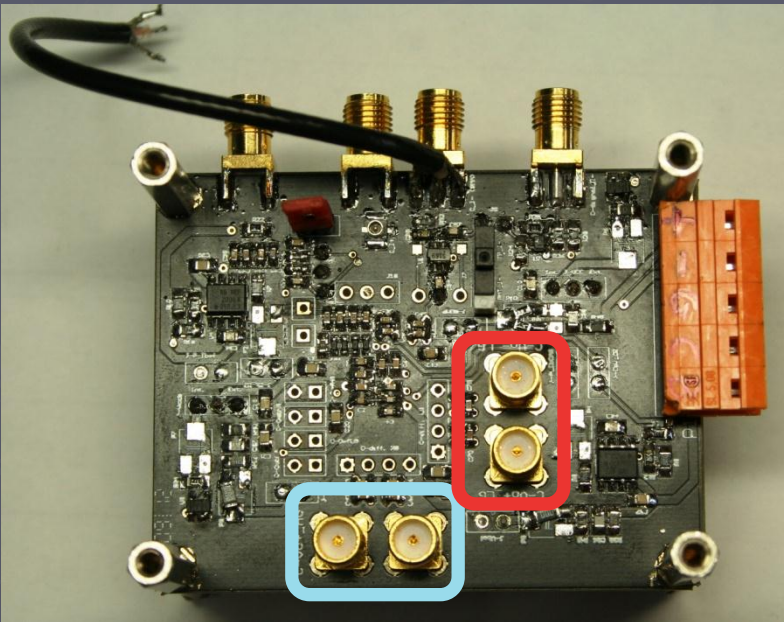
要求を満たしきれしていない

今回試験したプリアンプ

スペインで制作されたより**低消費電力**
なASIC Chip を用いたテスト基板

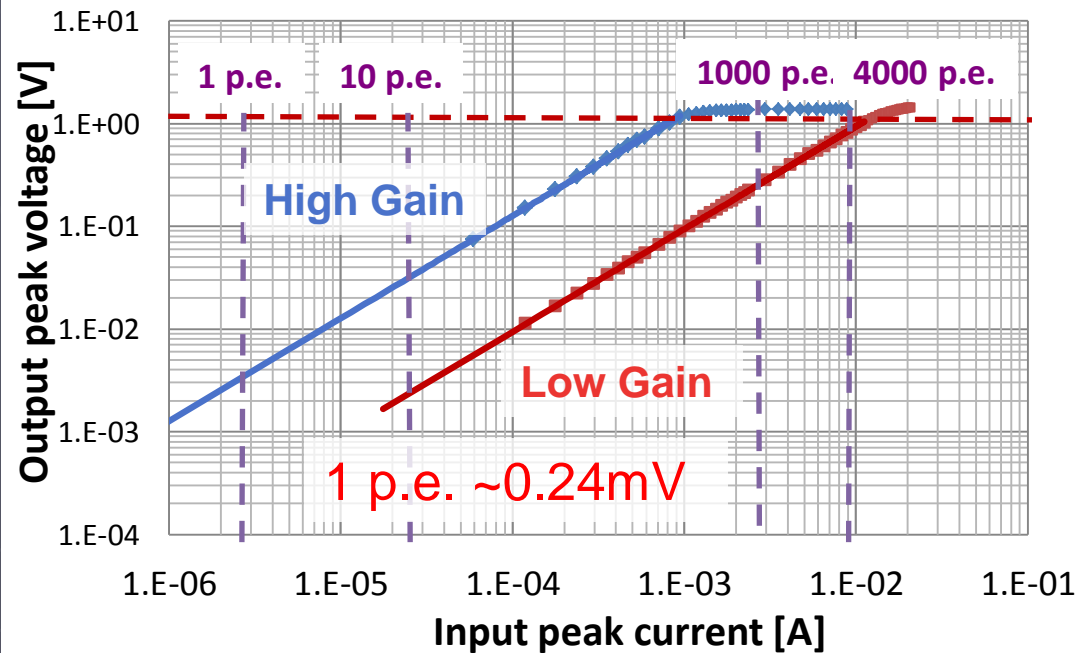
ゲインの異なるHigh Gain と Low Gain
の2系統を用いることにより、ダイナミック
レンジが拡張され要求をクリア

PACTAv1.2



High Gain Low Gain

Transimpedance gain (peak voltage)



PACTAプリアンプ
評価ボードの仕様

- 帯域500MHz以上
- 消費電力 150 [mW]

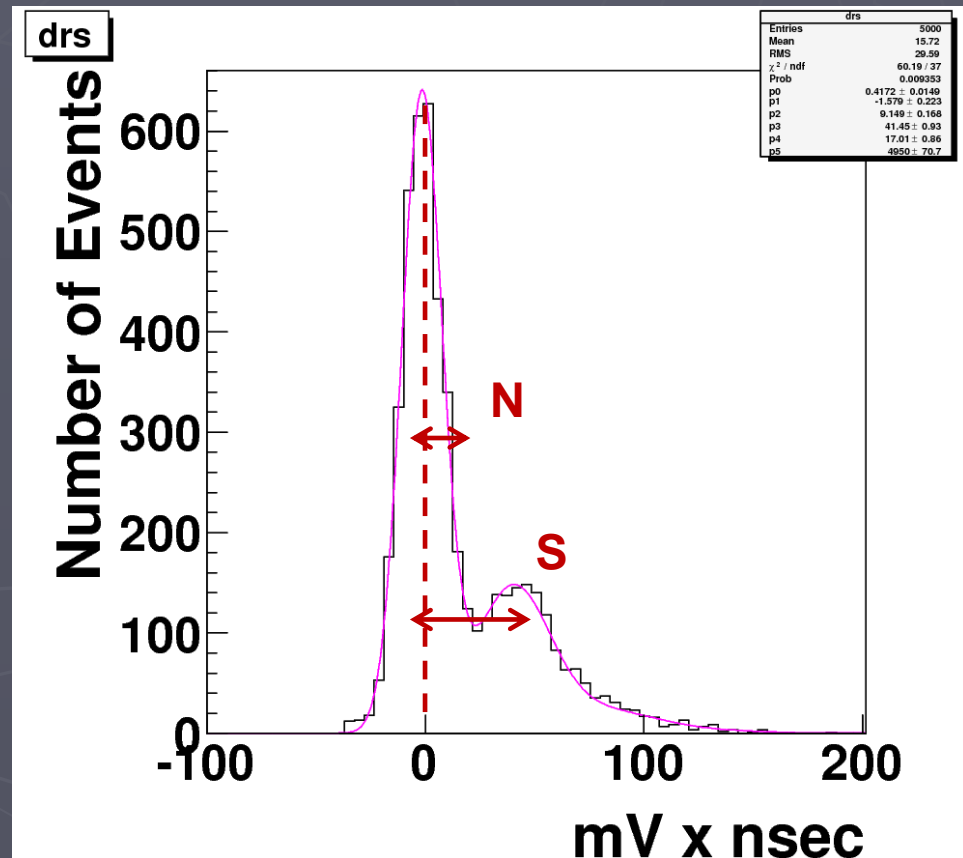
ダイナミックレンジの下限値について

ダイナミックレンジの下限値はノイズレベルによって決まり、以下のように定義する。

Signal-to-Noise Ratio (SNR) が3 以上の時に、信号とノイズを分離できることから、 $SNR(=S/N)=3$ をダイナミックレンジの下限値とする。

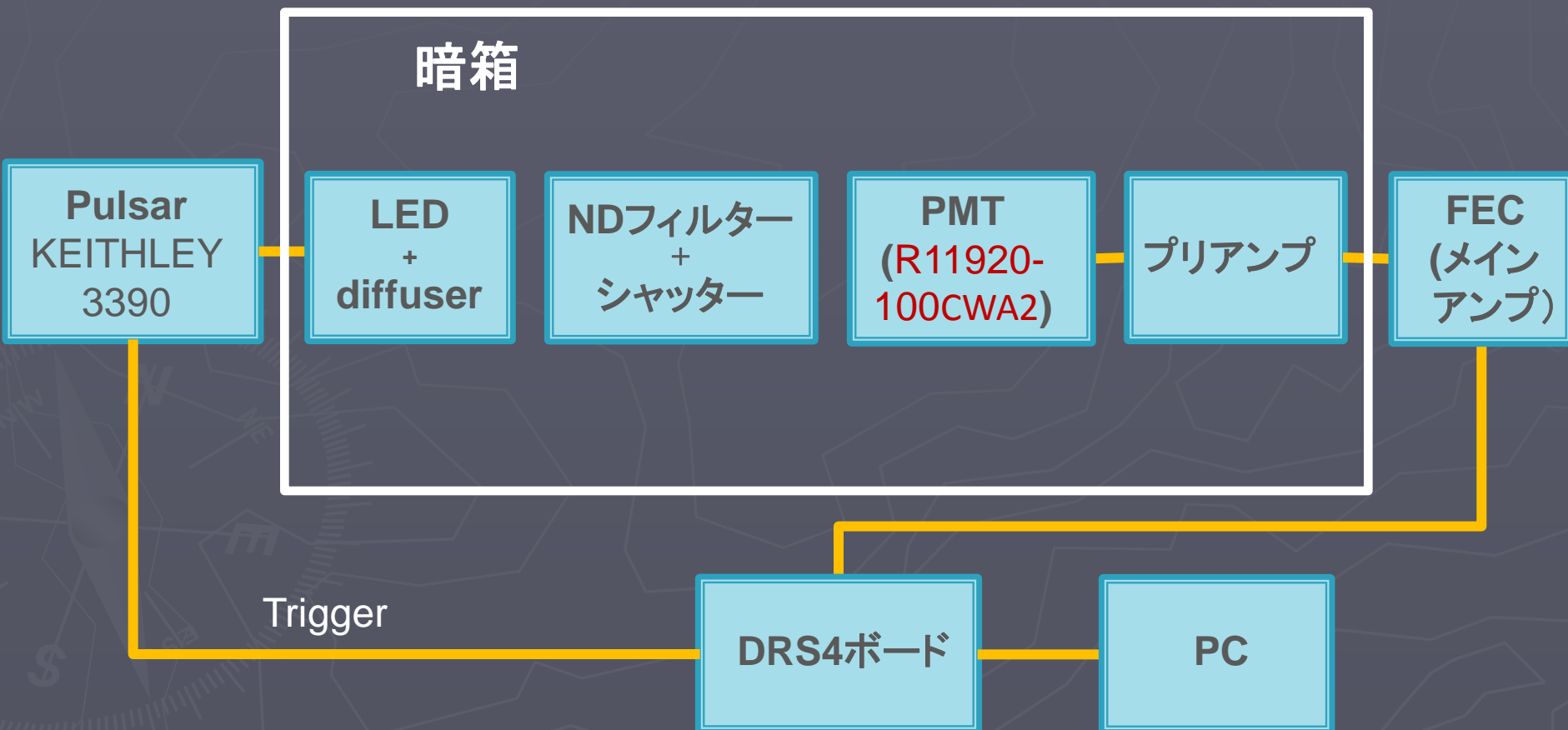
S: PMT標準動作ゲイン
($=4 \times 10^4$) で1 p.e. 相当の光量が入射した時に、PMTから出力される波形をある時間幅で積分したもの

N: ノイズの標準偏差 ($=\sigma$)



PMT標準動作ゲインでの1p.e. 測定

Setup

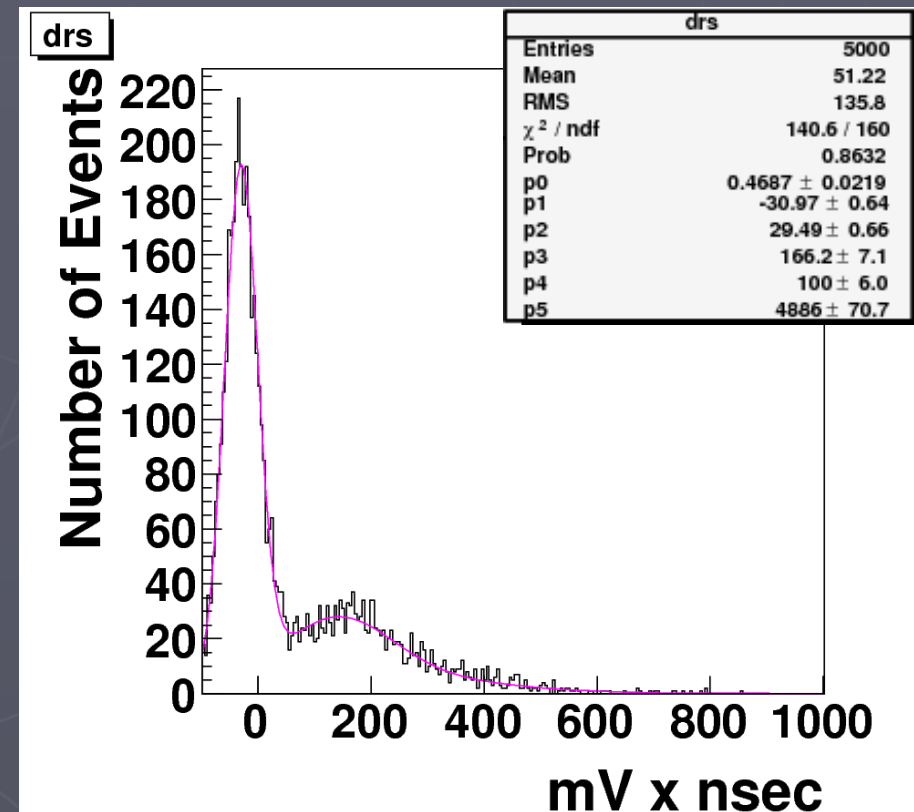
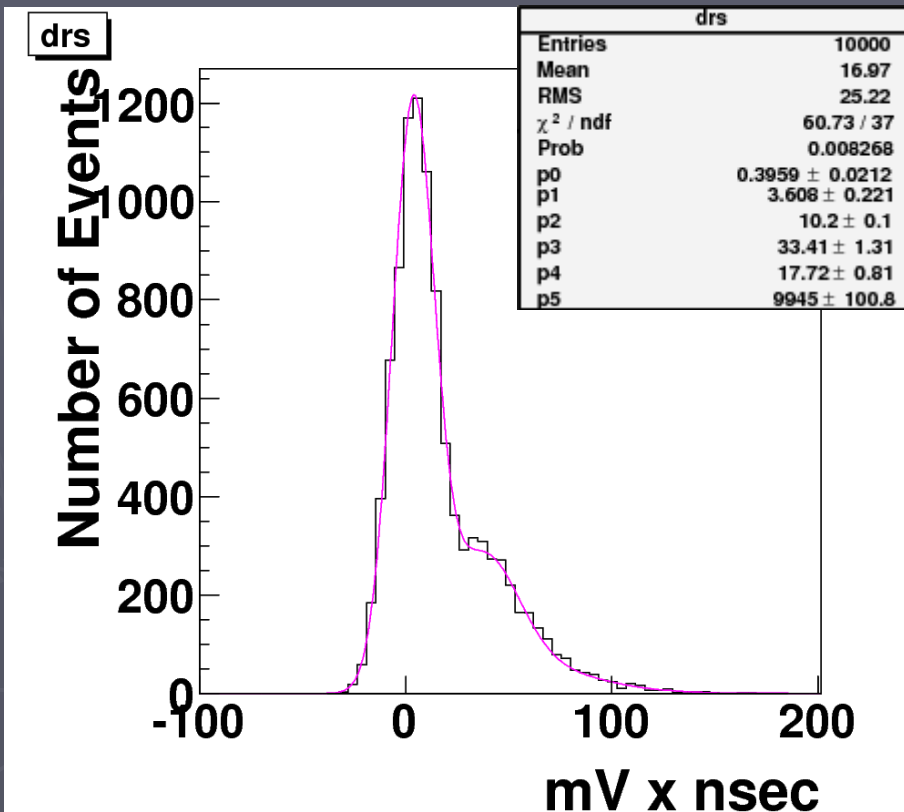


PMT標準動作ゲインでの1p.e. 測定

(LEEの場合標準動作ゲインでは1p.e.を分離できなかったため 5×10^4 で比較)

LEEアンプ使用時

PACTAアンプ使用時



SNR=3.3

p3:S $\Rightarrow 33.4 \times 10^{-12}$ [V·s]

p2:N $\Rightarrow 10.2 \times 10^{-12}$ [V·s]

SNR=5.6

p3:S $\Rightarrow 166.2 \times 10^{-12}$ [V·s]

p2:N $\Rightarrow 29.5 \times 10^{-12}$ [V·s]

プリアンプの比較

諸特性	LEE	PACTA
消費電力 [mW]	183	150
周波数帯域 [MHz]	>2000	>400
ダイナミックレンジ [p.e.]	1.2~781	0.7~4167
PMTゲインで4万で 1p.e.測定時のS/N	ノイズに埋もれて測定不能	3.9
PMTゲインで5万で 1p.e.測定時のS/N	3.3	5.6

スケジュール的な問題でPACTAが採用されずLEEが採用された場合、ダイナミックレンジ要求を満たしていないので、要求をクリアできるような対策が必要である。



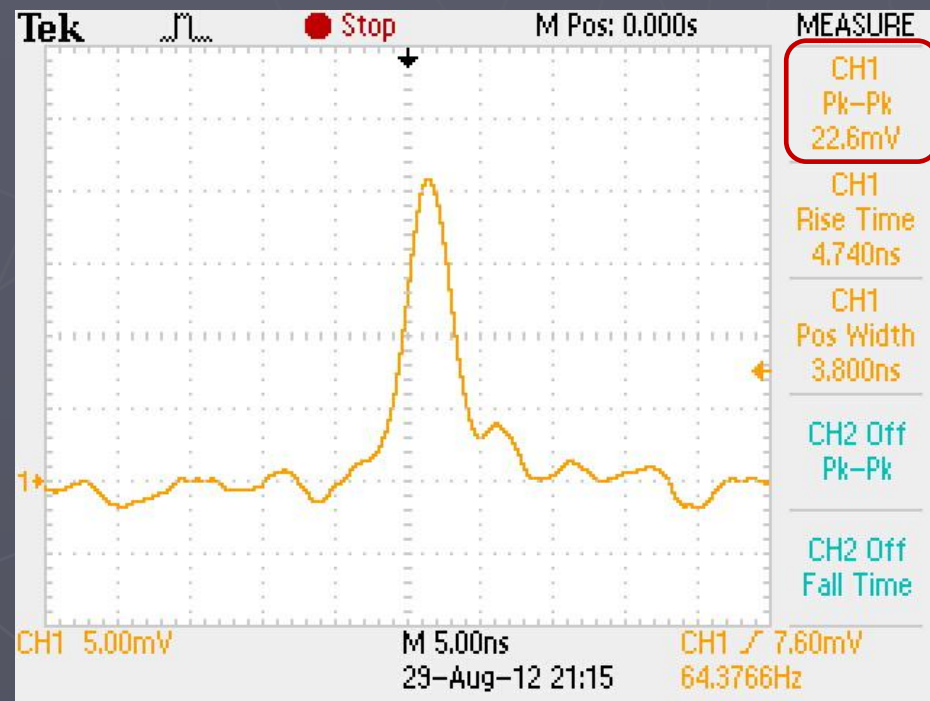
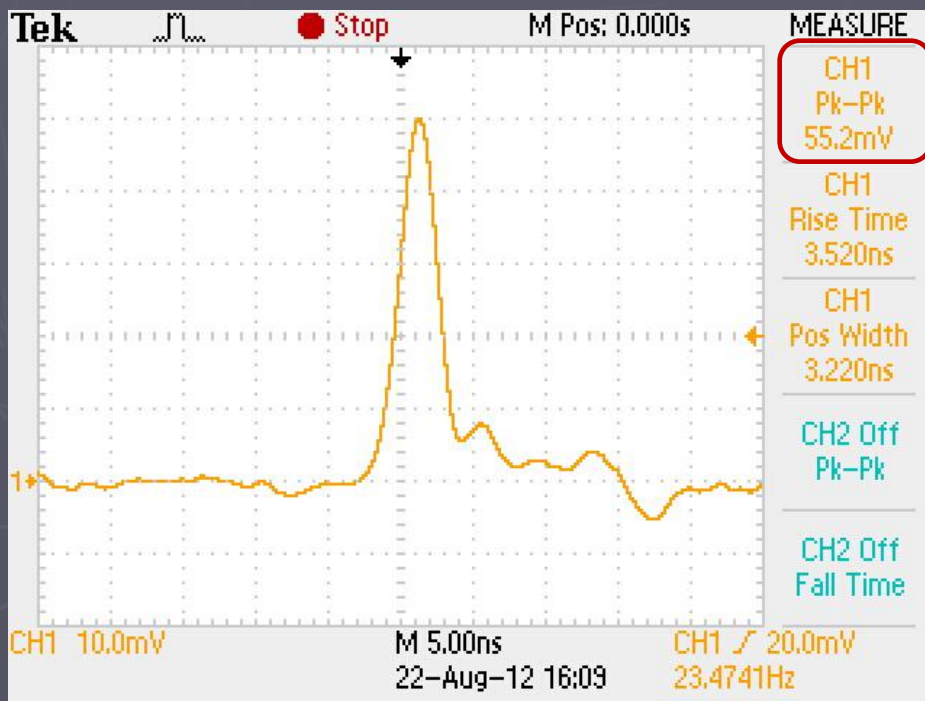
PMTのアノードの直後に50Ωの抵抗をつけることで信号を1/2に減衰させ、ダイナミックレンジの上限値をかせげるかを試験した。

LEEアンプのダイナミックレンジ調整

PMT+LEE のセットアップで1p.e. 相当の波形を比較

Anode Out直後に
50Ωいれる前

Anode Out直後に
50Ω入れた後

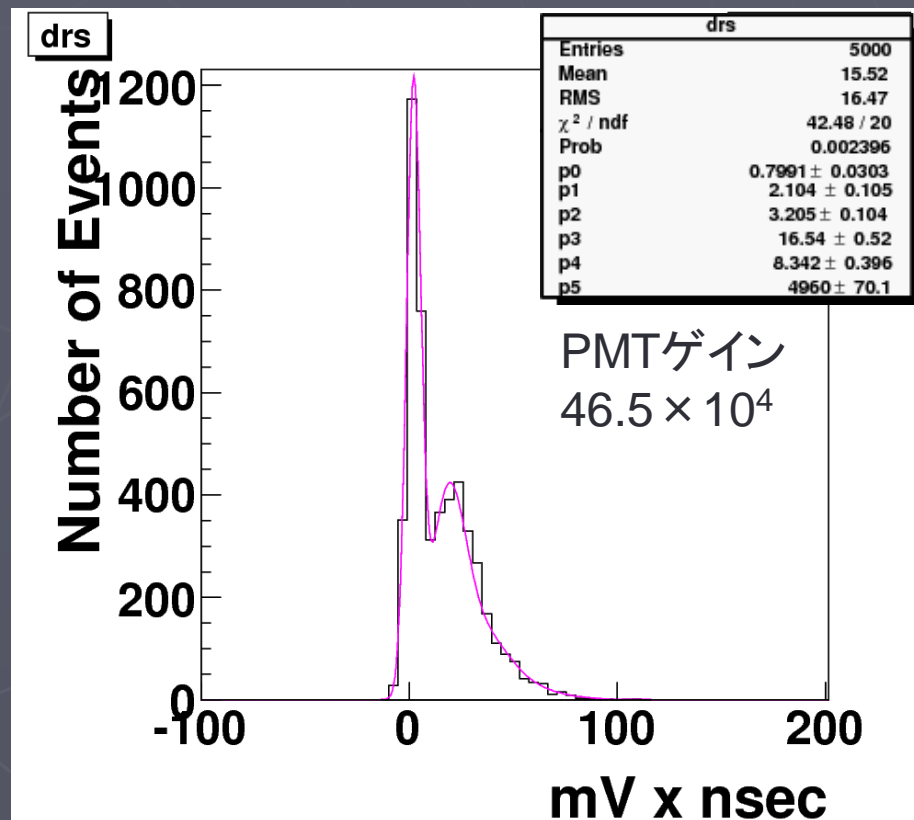
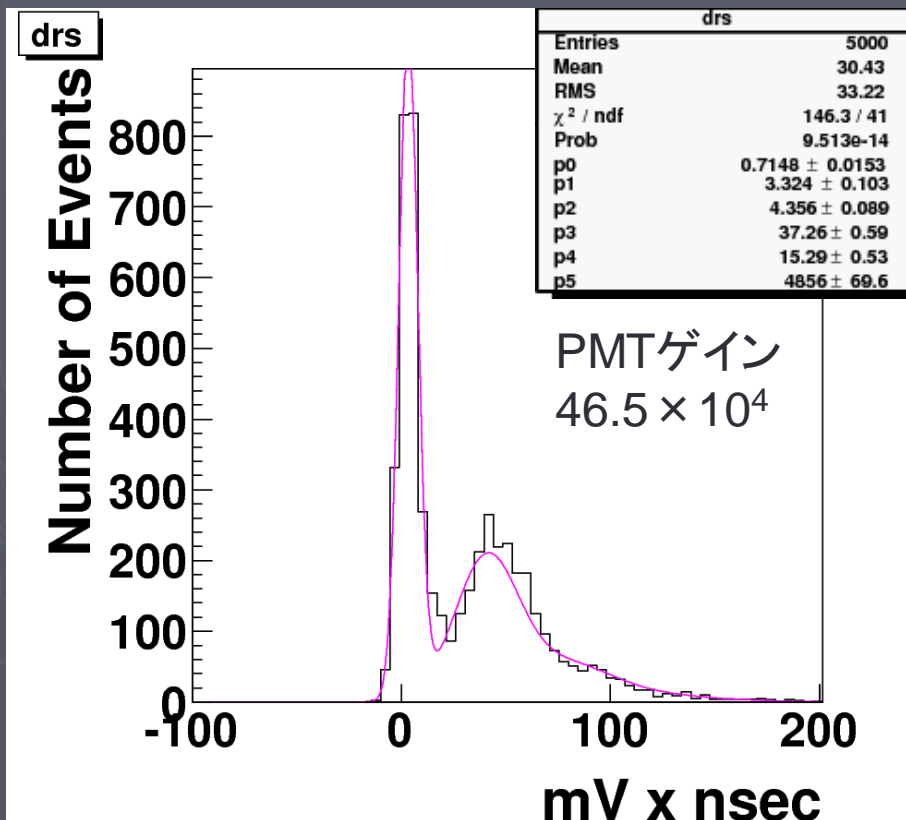


期待した通り波高値の減衰が確認できたので、
波形に問題はないと思われる。

LEEアンプのダイナミックレンジ調整

Anode Out直後に
50Ωいれる前(1 p.e. 測定)

Anode Out直後に
50Ω入れた後(1 p.e. 測定)



SNR=8.6

S => 37.3×10^{-12} [V·s]

N => 4.4×10^{-12} [V·s]

55.6%減

26.4%減

SNR=5.2

S => 16.5×10^{-12} [V·s]

N => 3.2×10^{-12} [V·s]

LEEアンプのダイナミックレンジ調整

- 予想通り信号の減衰を確認できたので、ダイナミックレンジの上限値は~781p.e.から~1600p.e. 程度になることが期待される。
- ダイナミックレンジの下限値については、まだPMT標準動作ゲインでの1p.e. の分離ができていないので、ノイズの発生個所をつきとめ対策を行い1p.e. の識別ができるようにする必要がある。

まとめ

- 日本グループで製作中のCTA-LST用光検出器モジュールを、最終仕様に向けて改良を進めている。
- PMTの量産スケジュール
今年度から量産、calibration体制に移行していく。
- 低消費電力かつ広いダイナミックレンジをカバーするため、LEEとPACTAの2つのプリアンプの試験を行った。今後は試験結果を比較しどちらを採用するかを決め、プリアンプより後段の仕様を最終版に向けて改良していく。
- プロトタイプカメラ製作に向け今後は、複数クラスタでの同時読み出し試験等を行っていく。