

# CTA計画大口径望遠鏡初号機搭載版 PMT波形GHZサンプリング回路の 開発

畑中謙一郎 (京都大理)

今野裕介、土屋優悟、窪秀利、鈴木ちひろ<sup>A</sup>、中森健之<sup>A</sup>、郡司修一<sup>A</sup>、  
猪目祐介<sup>B</sup>、大岡秀行<sup>C</sup>、折戸玲子<sup>D</sup>、齊藤隆之、手嶋政廣<sup>C, E</sup>、増田周、  
山本常夏<sup>B</sup> 他CTA-Japan Consortium、

池野正弘<sup>F</sup>、内田智久<sup>F</sup>、田中真伸<sup>F</sup>、他オープンソースコンソーシアム  
(Open-It)

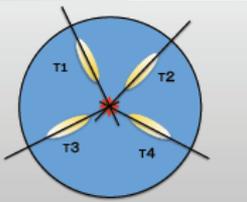
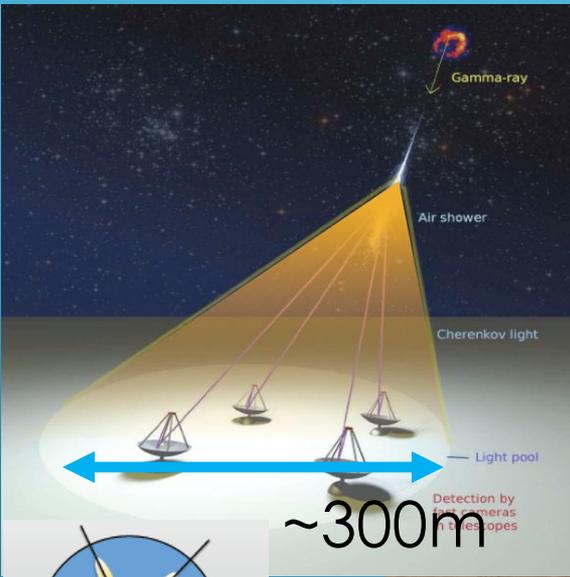
(京都大理、山形大理<sup>A</sup>、甲南大理工<sup>B</sup>、東大宇宙線研<sup>C</sup>、徳島大総科<sup>D</sup>、  
Max-Planck-Inst. fuer Phys<sup>E</sup>、KEK素核研<sup>F</sup>)



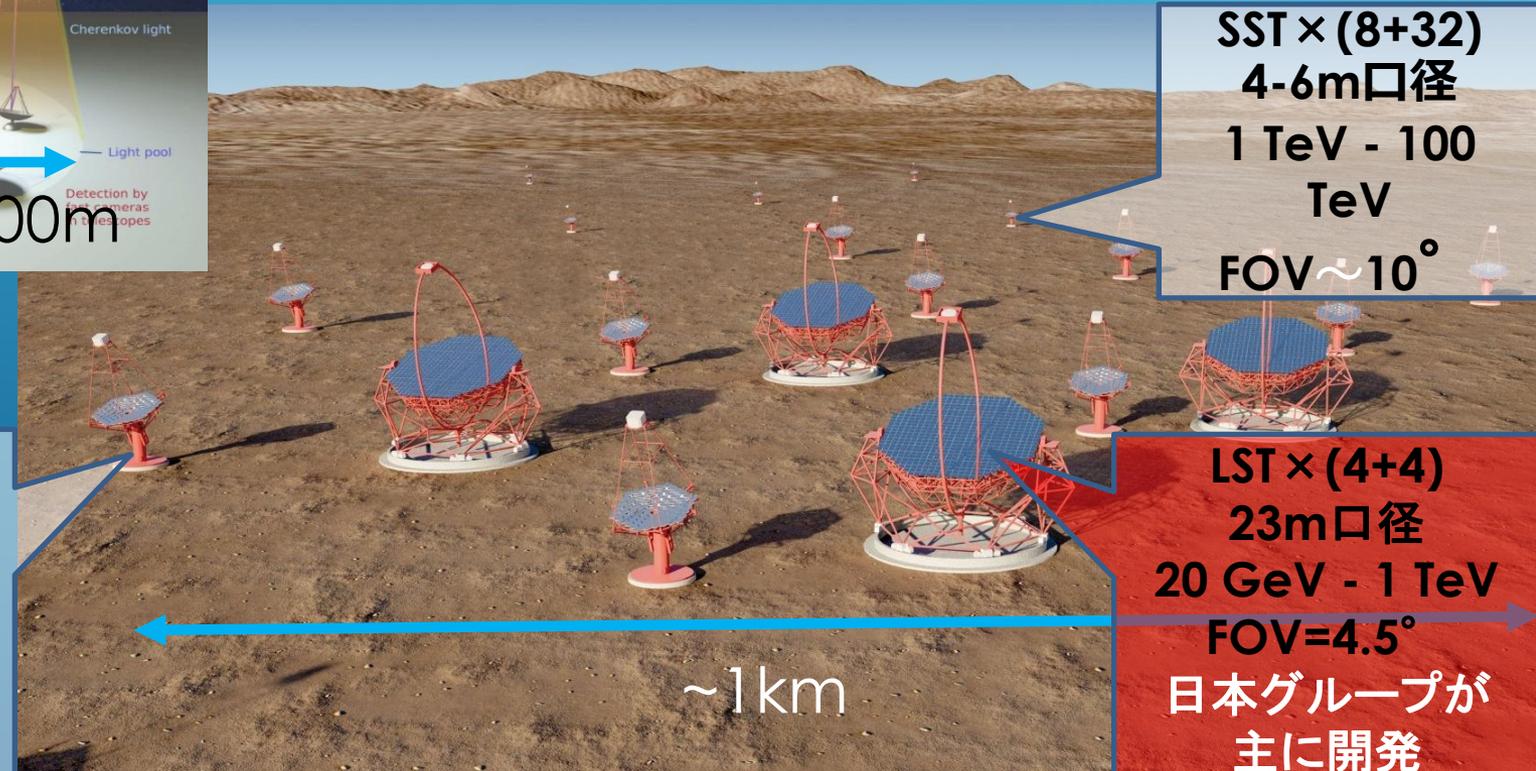
# CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)計画

## 29国が参加する大規模チェレンコフ望遠鏡群建設計画

- ◆ エネルギー領域 20GeV-100TeV以上
  - ◆ 現行の望遠鏡に比べ
  - ◆ 角度分解能3倍(2分@1TeV)
  - ◆ 一桁高い感度
- >1000個のソース検出期待



**MST × (17+23)**  
10-12m口径  
100 GeV - 10 TeV  
FOV=6 - 8°



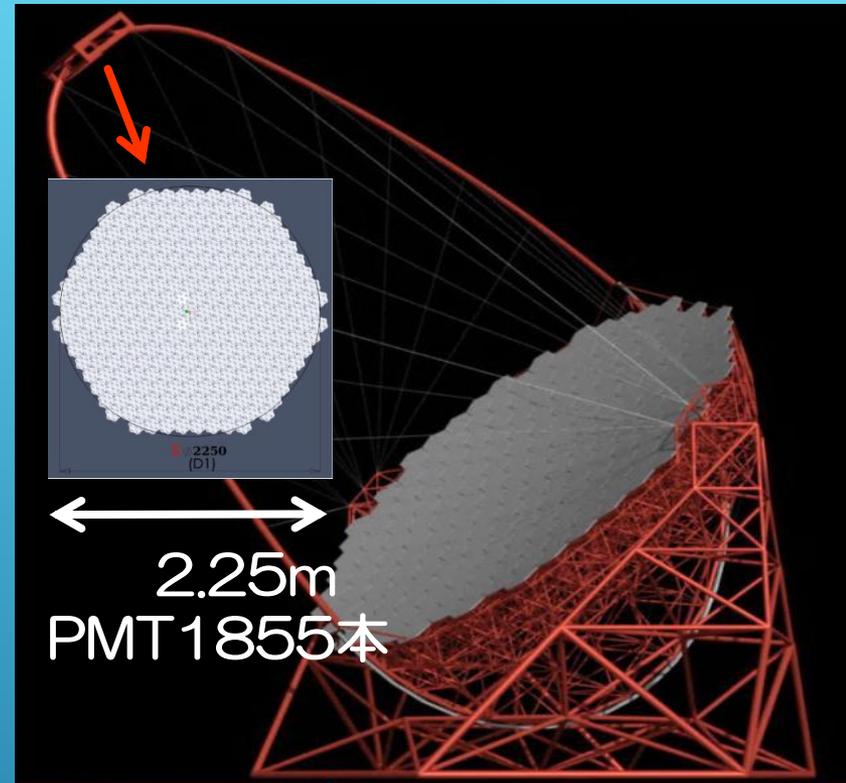
**SST × (8+32)**  
4-6m口径  
1 TeV - 100 TeV  
FOV ~ 10°

**LST × (4+4)**  
23m口径  
20 GeV - 1 TeV  
FOV=4.5°  
日本グループが主に開発

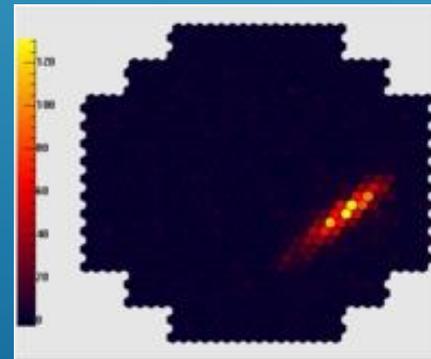
~1 km

# CTA大口径望遠鏡

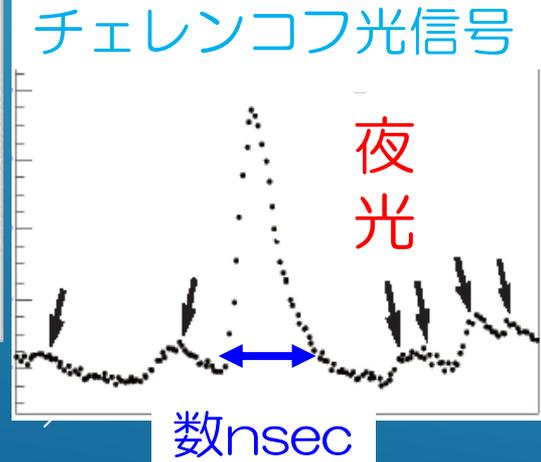
- 23m口径
- 視野4.5°
- 低エネルギー領域の観測  
20 GeV - 1TeV  
(検出器へのフォトン数が少ない)
- 光学系の性能
- 光検出器の量子効率
- 低ノイズ
- バックグラウンド(主に夜光)除去が重要



- バックグラウンドの除去
- GHz高速波形サンプリング
- トリガー回路  
(ピクセルのヒットパターン等を判定)



H.E.S.S.望遠鏡でのシャワーイメージ



チェレンコフ光信号

夜光

数nsec

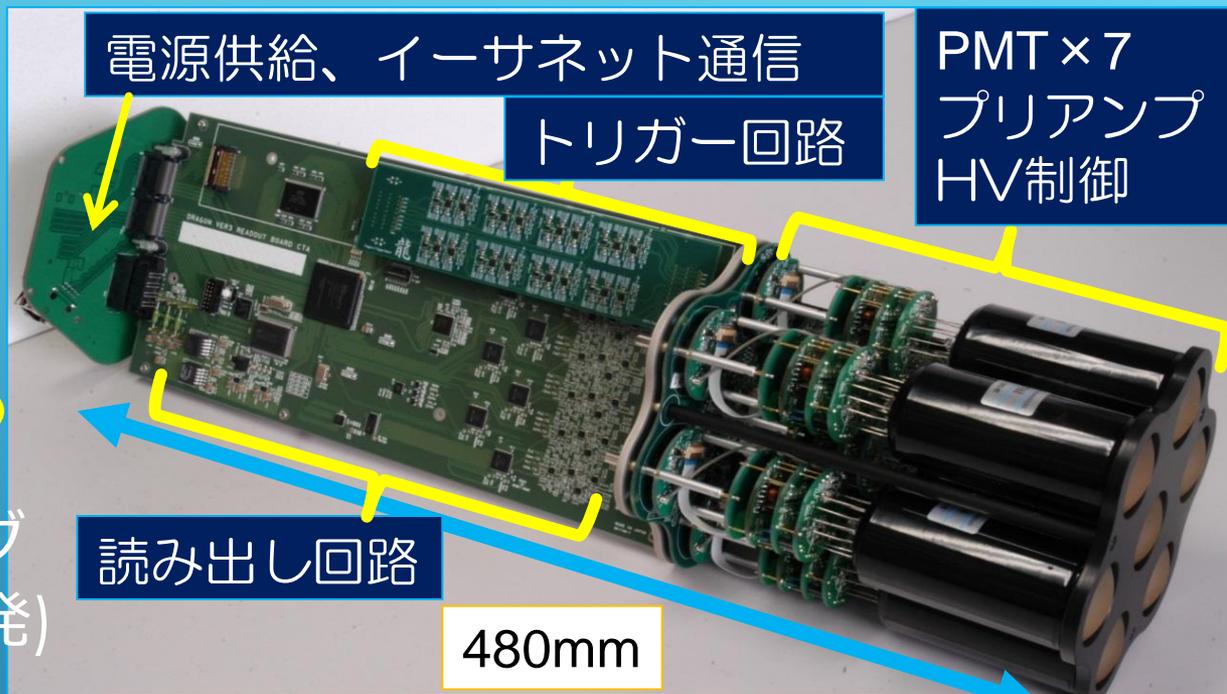
# 大口徑望遠鏡読み出し回路+周辺回路

読み出し回路への要求

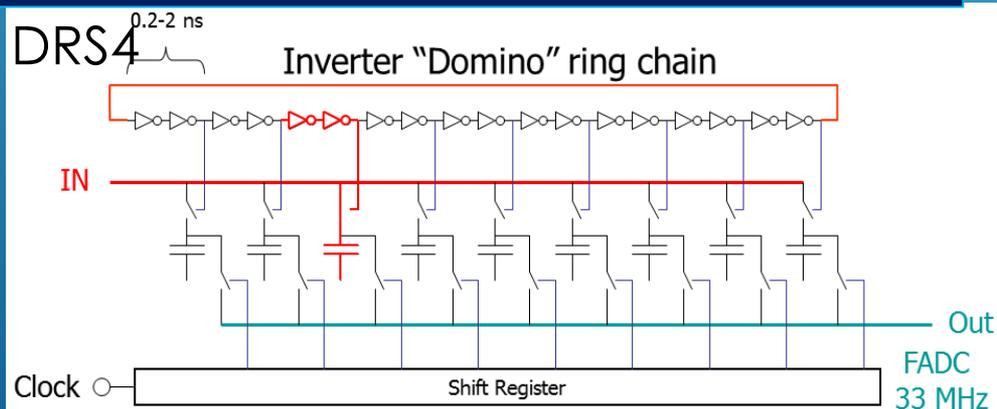
- 1-2000 pheのダイナミックレンジ
- 高周波数帯域
- 低消費電力
- GHzサンプリング
- 数 $\mu$ sec波形保持

アナログサンプリング  
メモリDRS4(PSIで開発)を使用

- 波形を低消費電力で最大2GHzサンプリング (140mW/chip @2GHz)
- メモリ深さ 1024cell/ch, 8ch/chip (保持時間0.5 $\mu$ s/ch@2GHz)



## PMT7本を単位としたクラスター



# 読み出し回路の構成1

FPGA(spartan6)  
読み出し回路のコントロール

信号外部入出力  
SiTCP GbE  
電源供給

ADC

イーサネット通信用  
デバイス

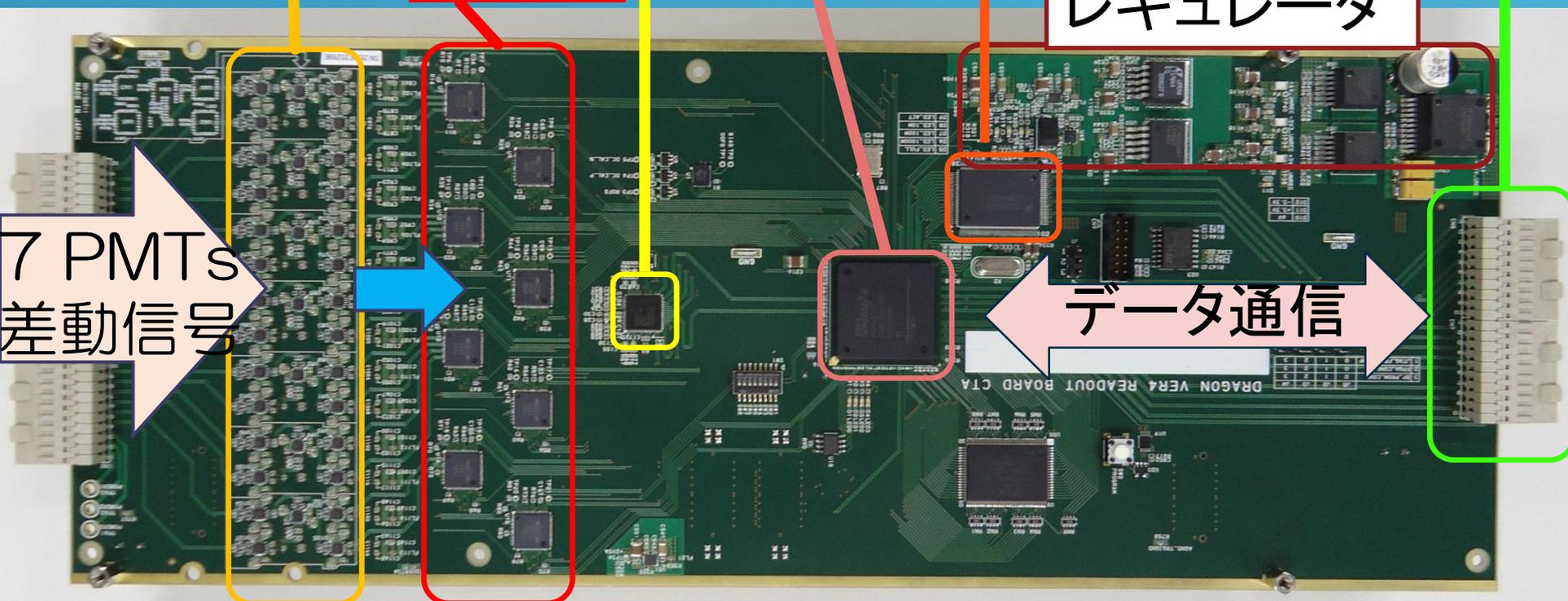
メインアンプ

DRS4

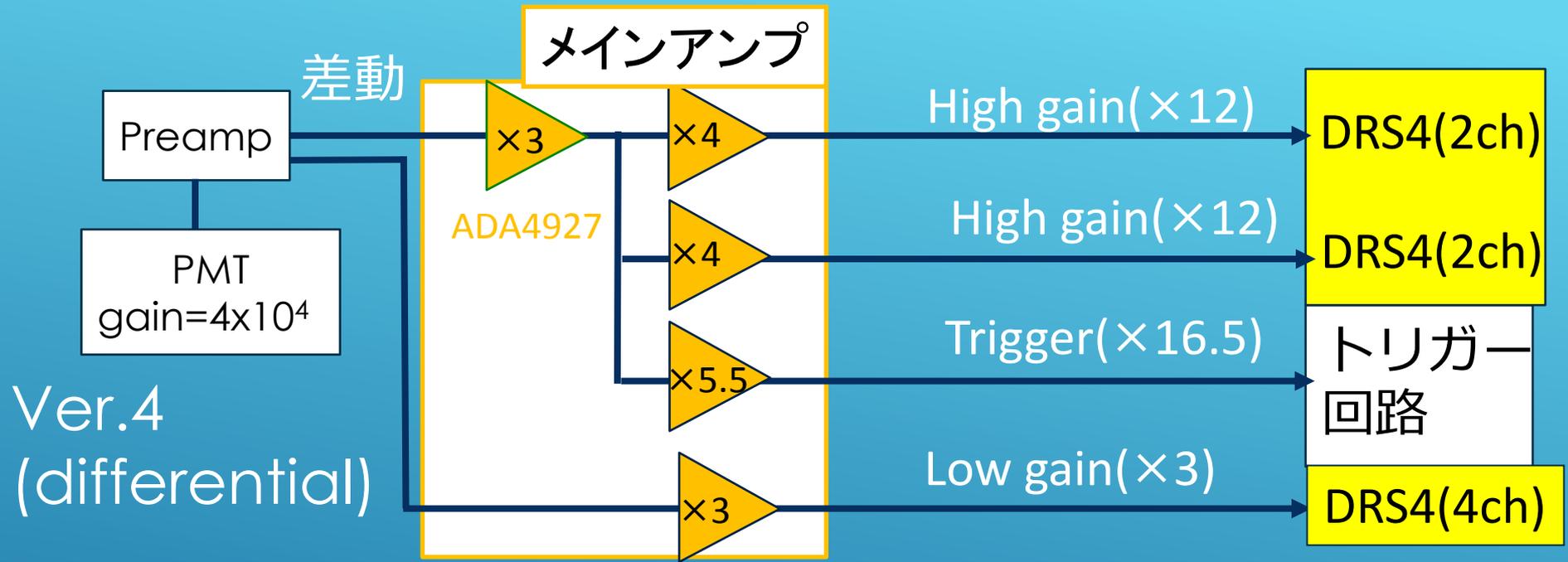
レギュレータ

7 PMTs  
差動信号

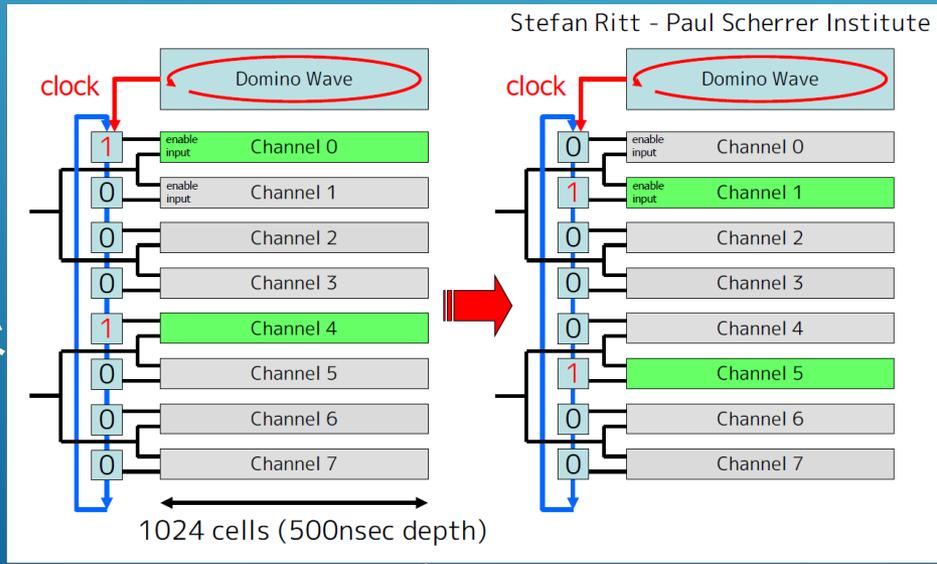
データ通信



# 読み出し回路の構成2 信号入力～A/D変換

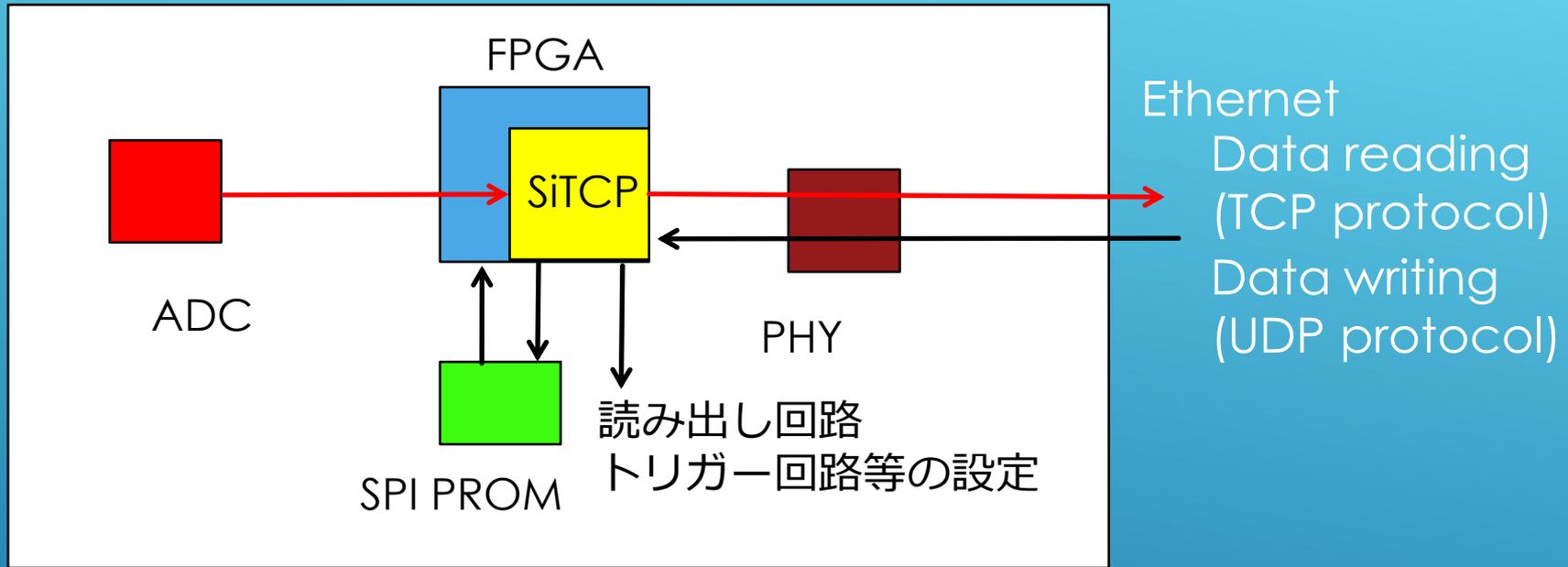


2GHzサンプリング 33MHz読み出し  
 PMTあたりDRS4を4chカスケード  
 $4 \times 1024 \text{ cell} \times 0.5 \text{ ns} \rightarrow 2 \mu \text{ s}$   
 の保持時間



# 読み出し回路の構成3

## 取得データの転送、回路の設定



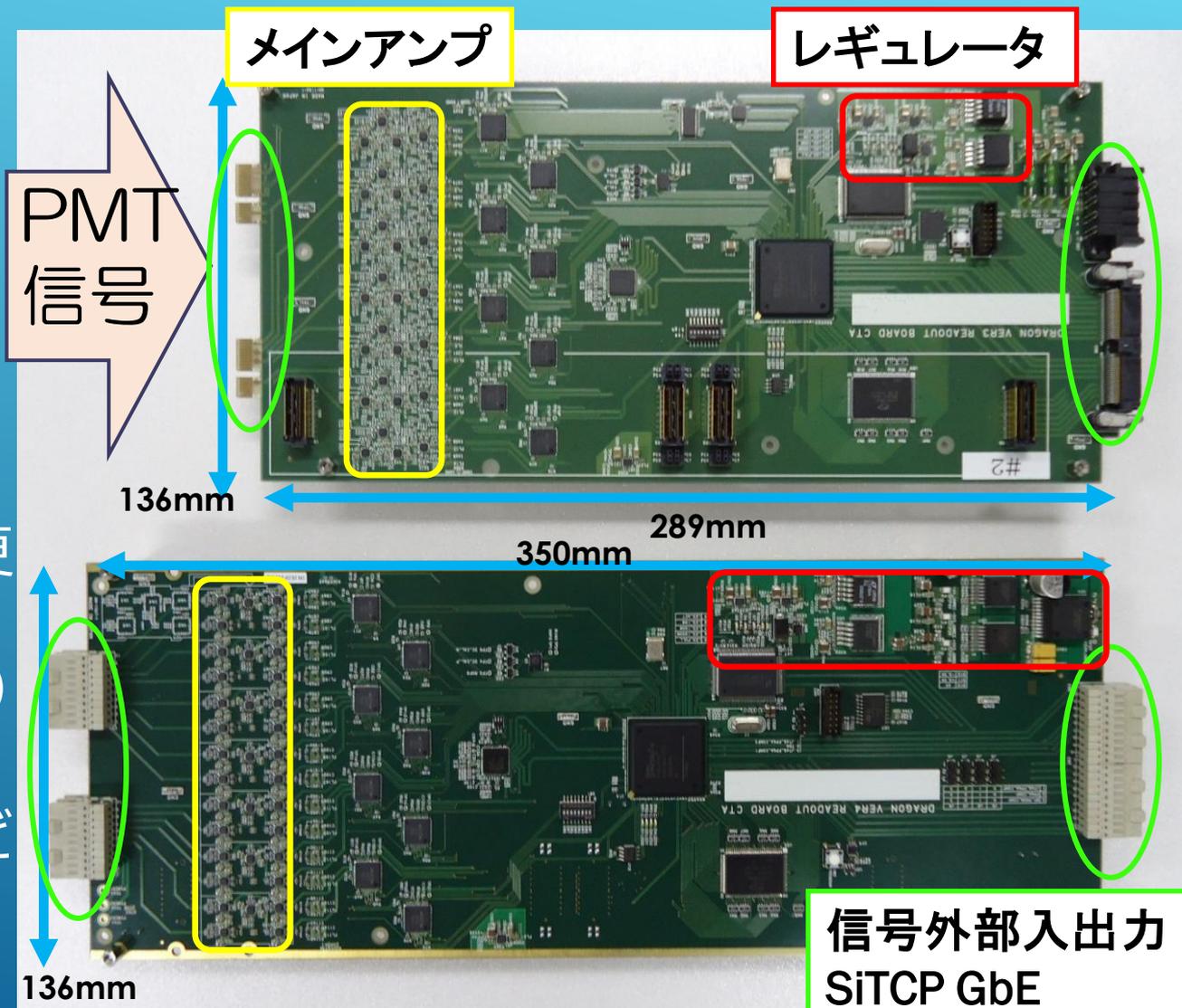
SiTCPを用いた

- ✓ A/D変換した波形データの読み出し (TCP)
- ✓ 読み出し回路の設定 (UDP)
- ✓ FPGAのコンフィギュレーション (UDP)

(SPI PROMへの書き込みとFPGAのリブート  
COMET実験で開発)

# 読み出し回路のバージョンアップ

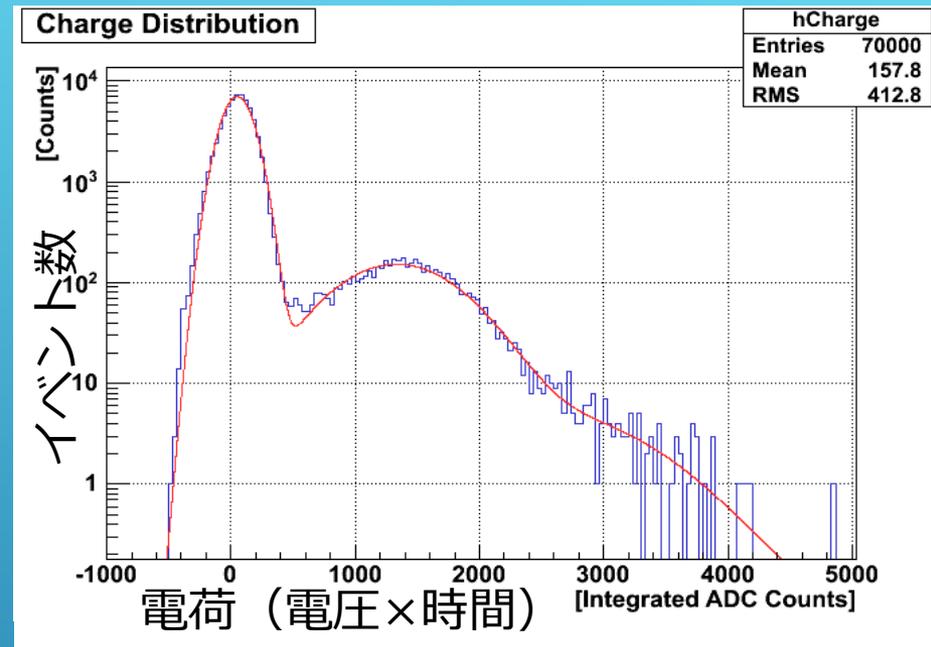
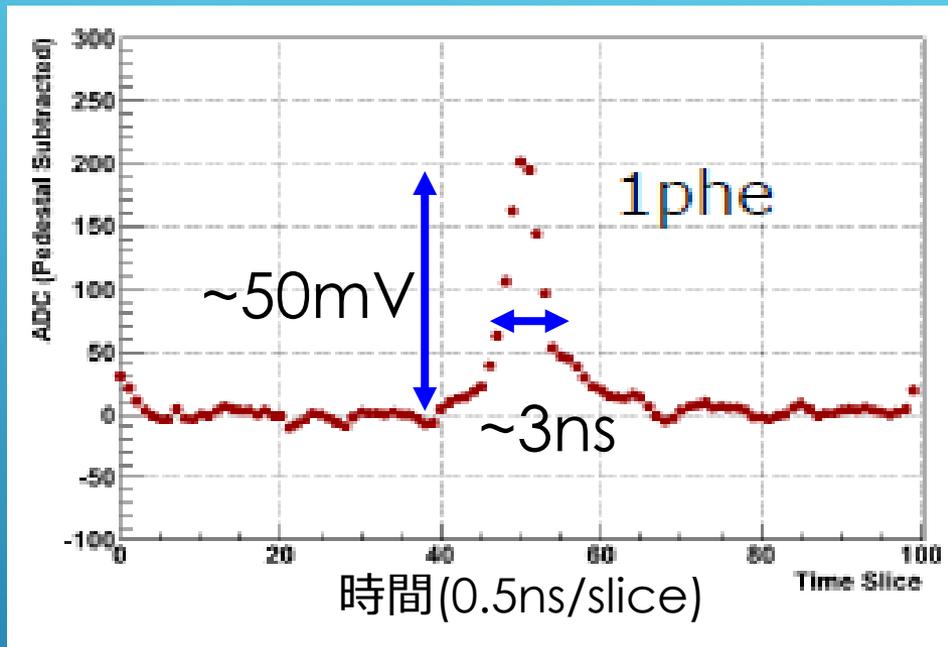
- 周辺回路とのインターフェース
- メインアンプ  
差動入力への対応  
(今大会 中森講演)
- 電源系  
読み出し回路基板  
への供給電圧の変更  
に対応  
(2013秋 土屋講演)
- ノイズ対策  
コネクタ、配線など



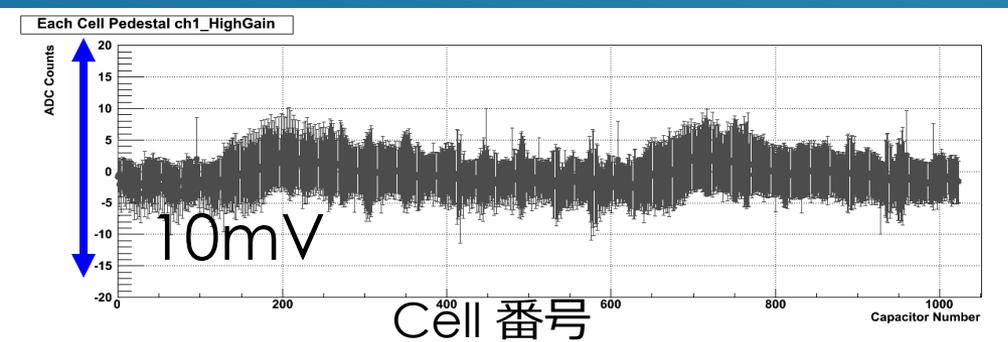
大口径望遠鏡初号機搭載バージョン

信号外部入出力  
SiTCP GbE  
電源供給

# PMT波形サンプリング試験

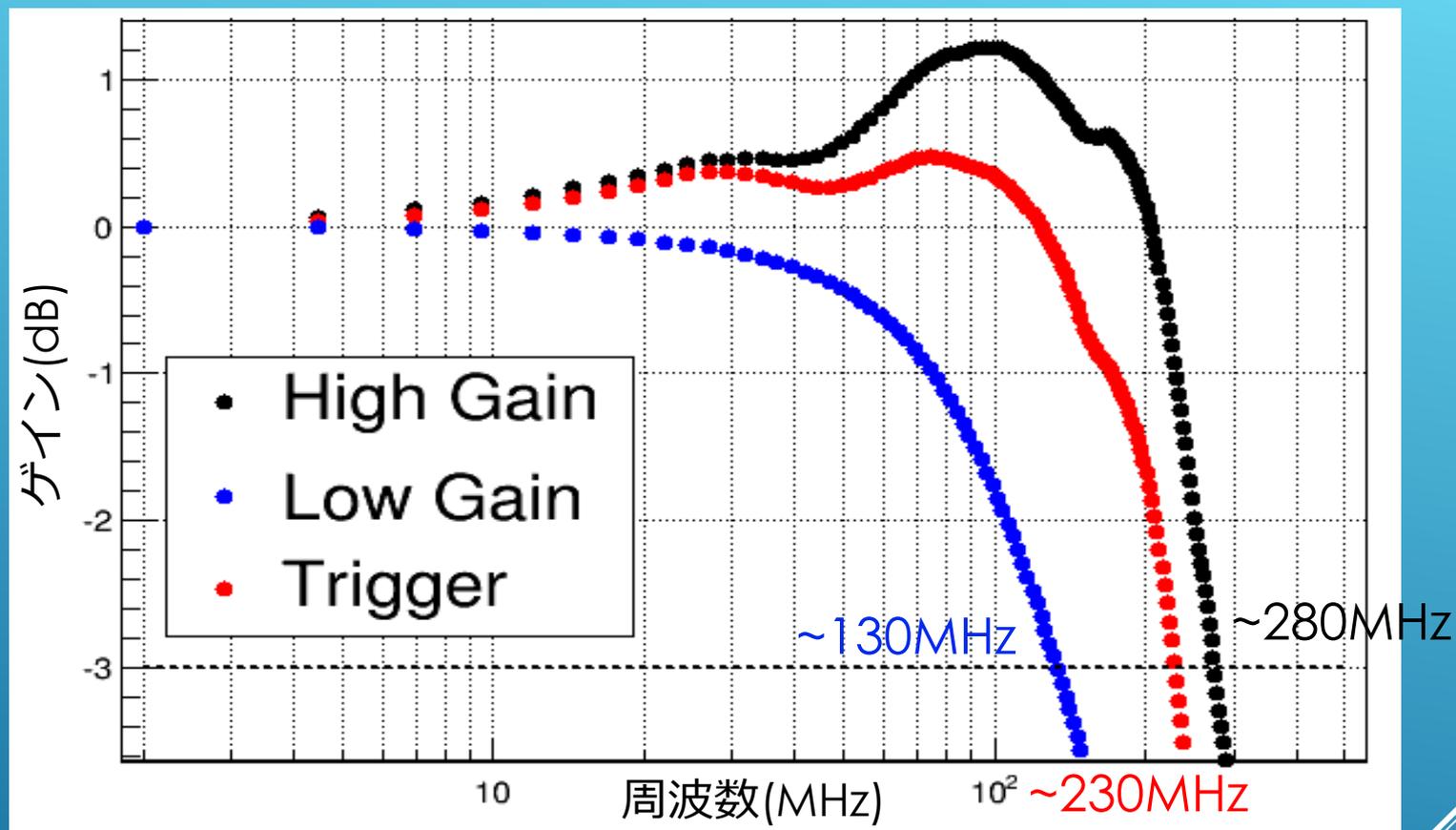


LED + PMT (gain  $4.5 \times 10^5$ )  
2GHzで波形のサンプリングに成功  
波形を積分しスペクトルが得られた



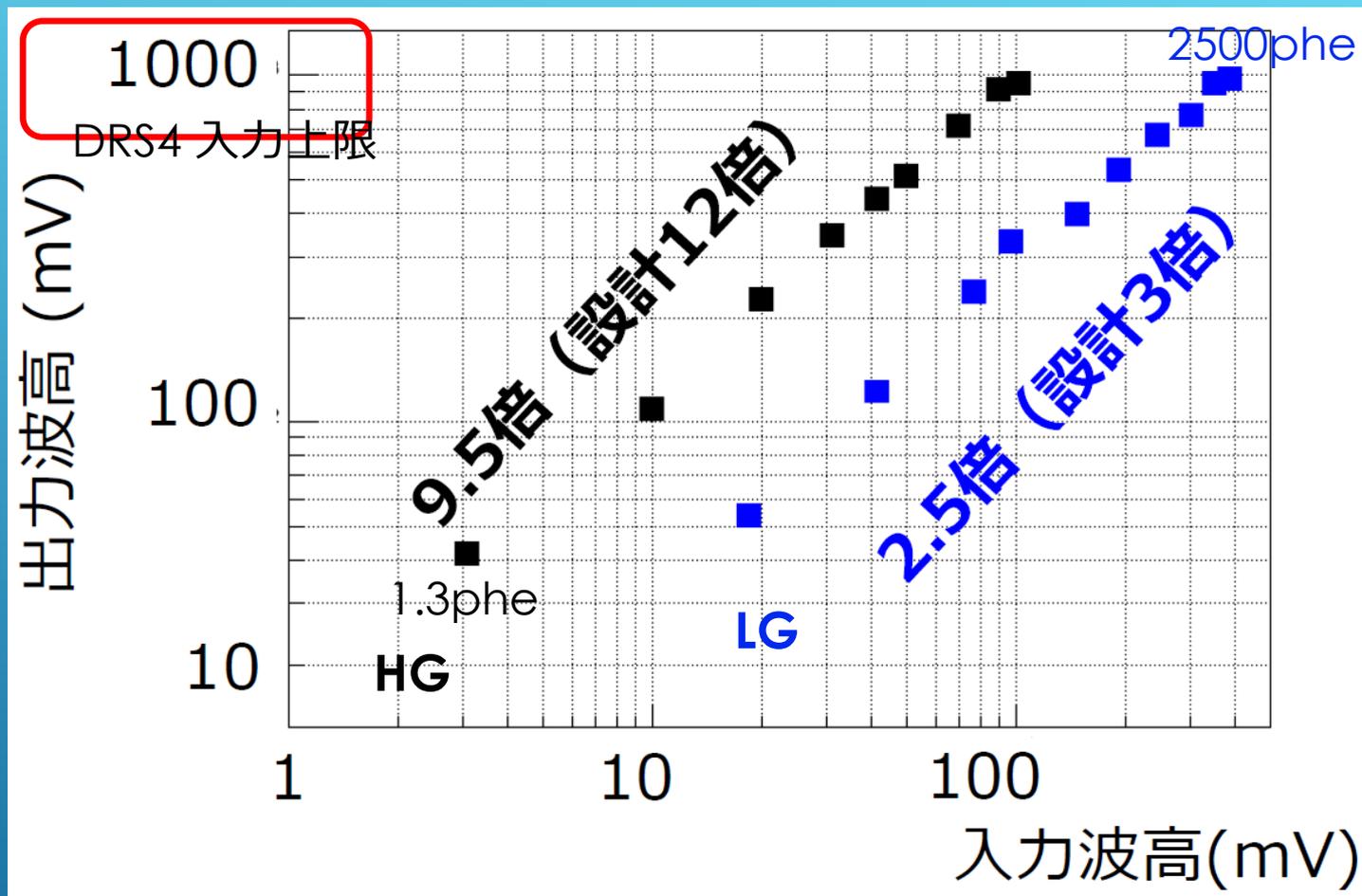
ペDESTALノイズ  
(PMT gain  $4.0 \times 10^4$ )  
RMS ~1mV (チャンネル平均)  
⇒ HG 0.4phe (2.3mV/phe)  
LG 6.7phe (0.15mV/phe)

# 周波数帯域



ネットアナライザー+差動プローブでの基板上での測定  
PMT信号幅 $\sim 3.3\text{ns}$ (FWHM)に対して十分であることを確認  
(夜光の影響が大きいHGで重要)

# ダイナミックレンジ



疑似PMTパルス信号をサンプリングし評価

- 要求仕様1-2000 pheは満たした
- しかしphe換算するとオーバーラップが足りない  
→HGを下げる調整が必要

# まとめと今後

- CTA大口径望遠鏡搭載へ向け、読み出し回路のバージョンアップを行った
- 波形信号取得に成功、周波数帯域などの性能確認

## ●今後

2016年の大口径望遠鏡初号機建設、  
今年度秋からの量産へ向け

読み出し回路単体でメインアンプの調整、  
環境耐性試験などを行い、

さらには

トリガー回路等の周辺回路との統合試験、  
カメラとしての動作検証を行ってゆく