

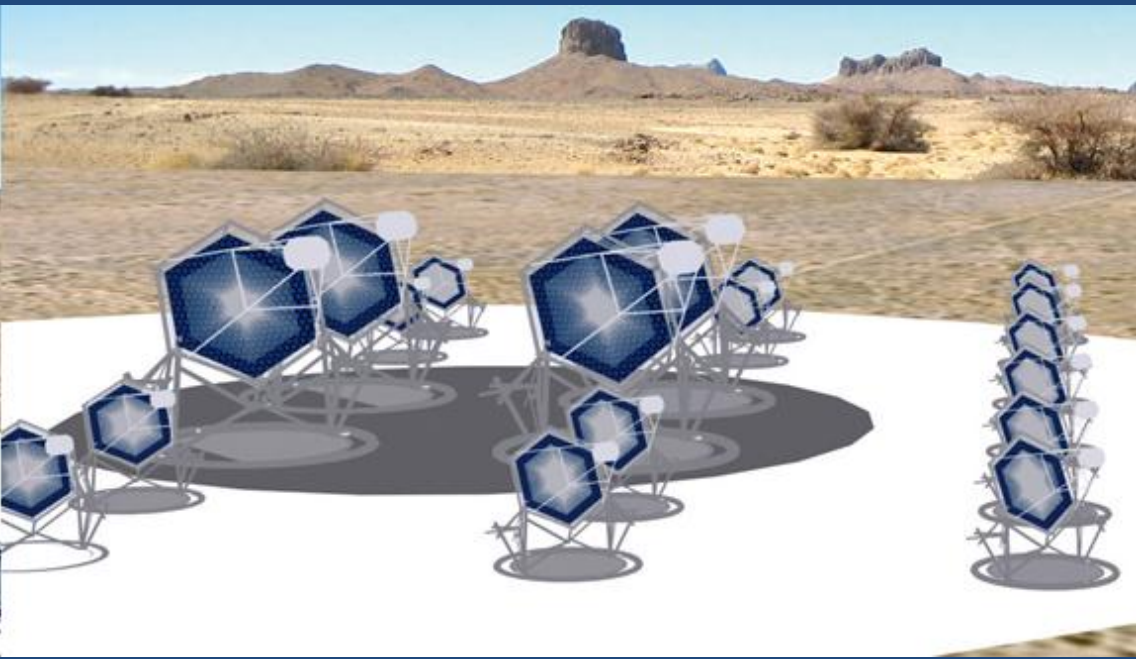
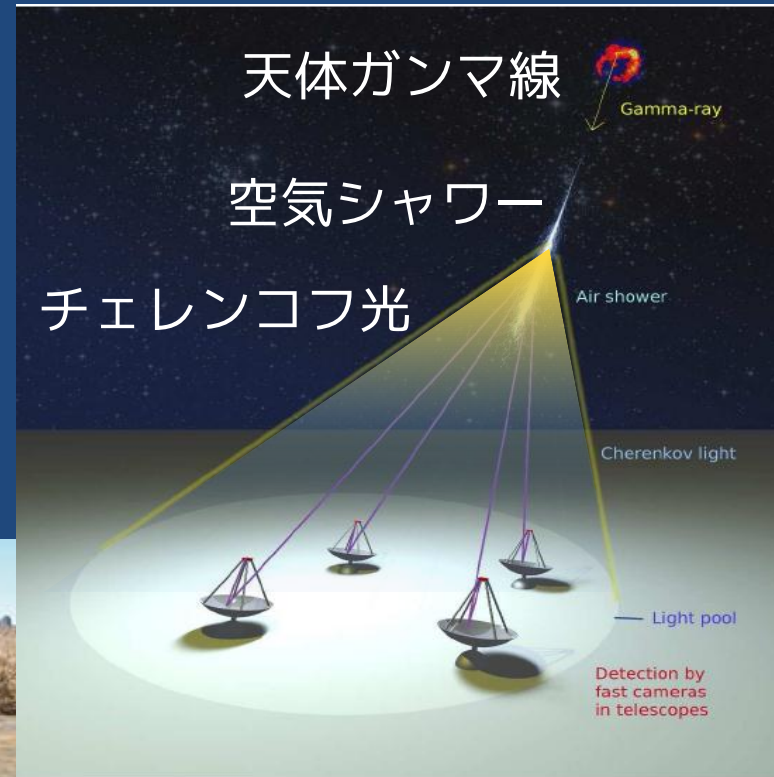
# CTA大口径望遠鏡計画に向けた アナログメモリによる PMT波形のGHzサンプリング回路の開発III

京都大学 今野裕介

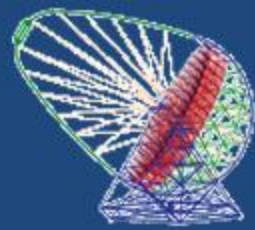
青野正裕、栗根悠介、窪秀利（京都大学）、  
梅原克典、片桐秀明、佐々木美佳（茨城大学）、  
榎本良治、大岡秀行、手嶋政廣（東大宇宙線研）、  
奥村暁、渋谷明伸、田島宏康、日高直哉（名古屋大学）、  
折戸玲子（徳島大学）、  
株木重人（東海大学）、  
郡司修一、萩原亮太（山形大学）、  
田中真伸（KEK）、  
中森健之（早稲田大学）、  
米谷光生（広島大学）、他 CTA-Japan consortium、  
池野正弘、内田智久（KEK）、他Open-It consortium

# CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画

- 天体ガンマ線 (10GeV-100TeV) を観測するチェレンコフ望遠鏡群
- 南北半球合わせて100台程度
- 広い検出面積 – アレイ面積~10km<sup>2</sup>
- TeV領域での感度を1桁向上
- 日米欧25か国による国際協力



# CTA大口徑望遠鏡における エレクトロニクス



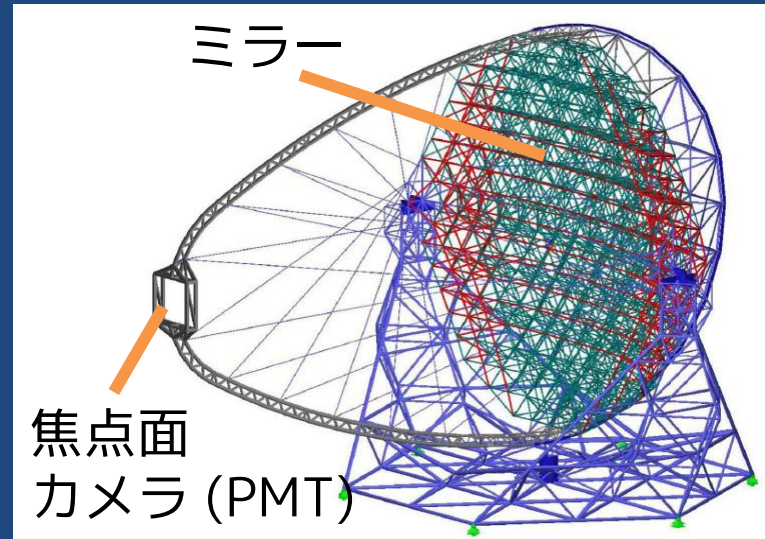
狙うエネルギー 数10GeV-1TeV

夜光レートSingle p.e.で300MHz  
(観測条件依存)

信号積分時間を短くすることで除去

→ 数nsec幅のPMT信号を  
GHzでサンプリングする  
超高速のエレクトロニクス

+ 低消費電力、低コスト化  
1855PMTs/telescope

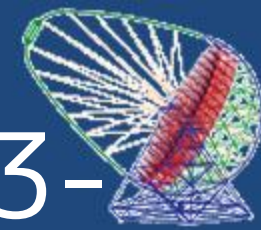


MPI デザイン 23m望遠鏡

アナログメモリのASIC  
DRS4を用いた読み出し回路

DRS4 : GHzサンプリング  
(SCA) → 数十MHzでADC読み出し

ver.2を改良 → ver.3



# 開発した読み出し回路 -ver.3-

電源供給、イーサネット通信

プリアンプ、  
HV制御、モニタ

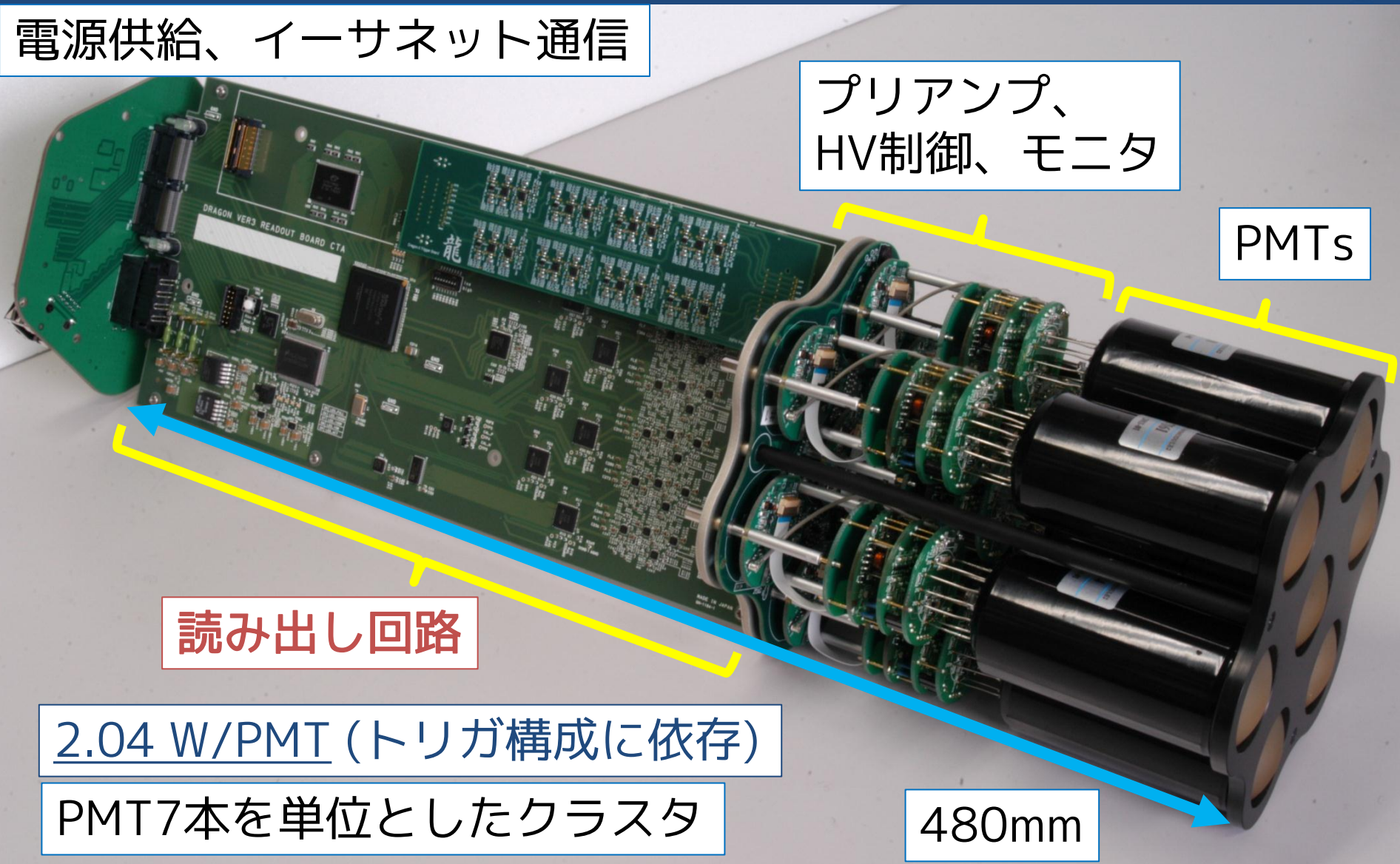
PMTs

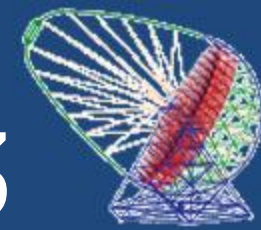
読み出し回路

2.04 W/PMT (トリガ構成に依存)

PMT7本を単位としたクラスタ

480mm





# ver.2(2011秋栗根講演) → ver.3

FPGA:  
Vertex-4  
→ Spartan-6  
コストダウン  
(-450€)

メインアンプ  
カードを吸収  
→ 冷却  
システム実装  
に向けて

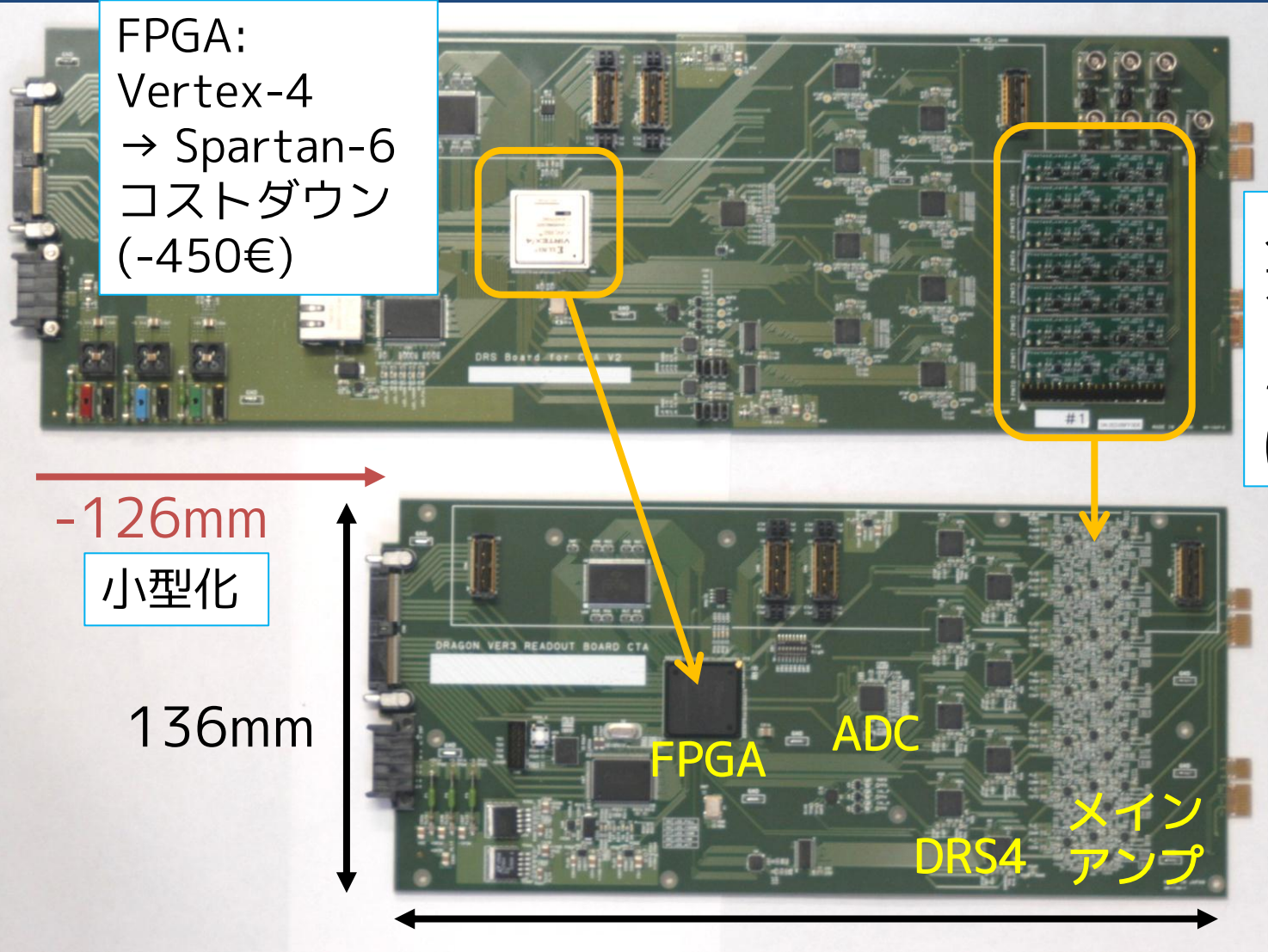
-126mm

小型化

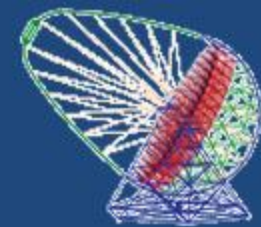
136mm

289mm

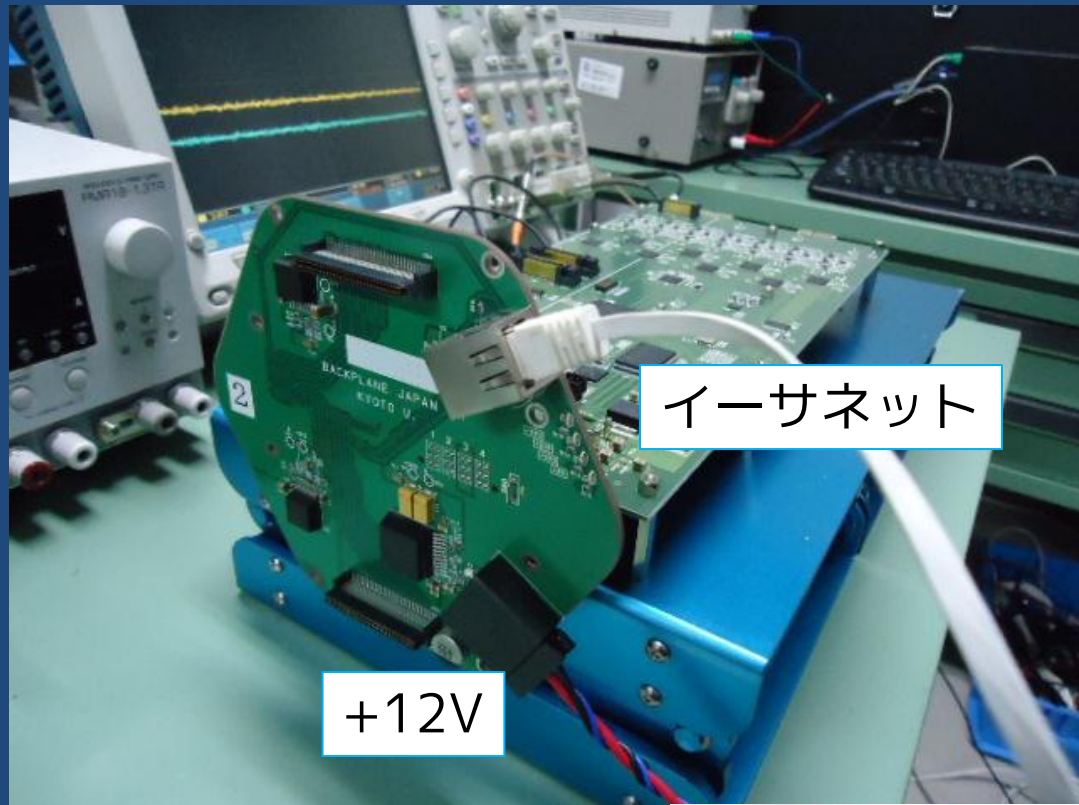
実際の望遠鏡への搭載に近い形に



# バックプレーンの開発



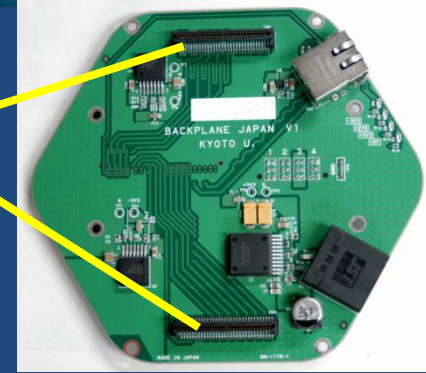
- 読み出し基板背面に接続
- DC+12Vから電源供給  
+5V,  $\pm 3.3V$
- ギガビットイーサネット  
接続  
波形データ転送、  
コントロール  
KEK開発のSiTCPを実装



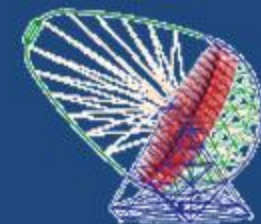
イーサネット

+12V

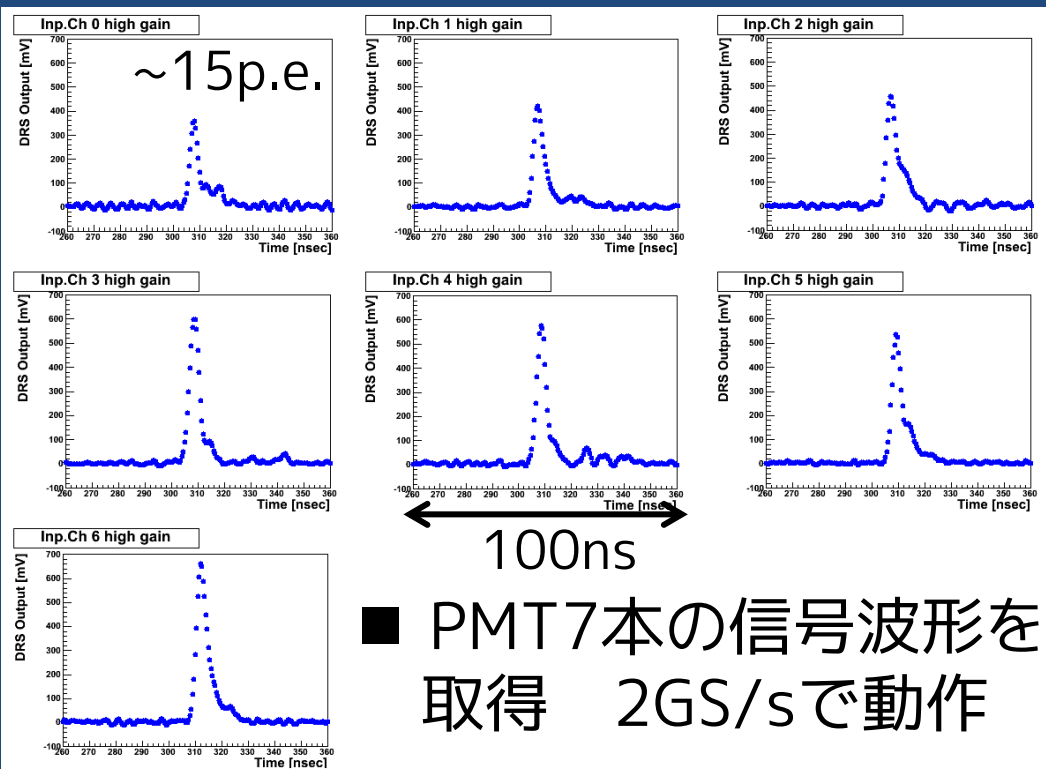
トリガ通信用の  
基板が接続される  
→ クラスタ間で通信



これらの基板設計、読み出し基板  
のFPGAコード作成まで主に学生  
が中心となって開発を行っている



# 動作試験



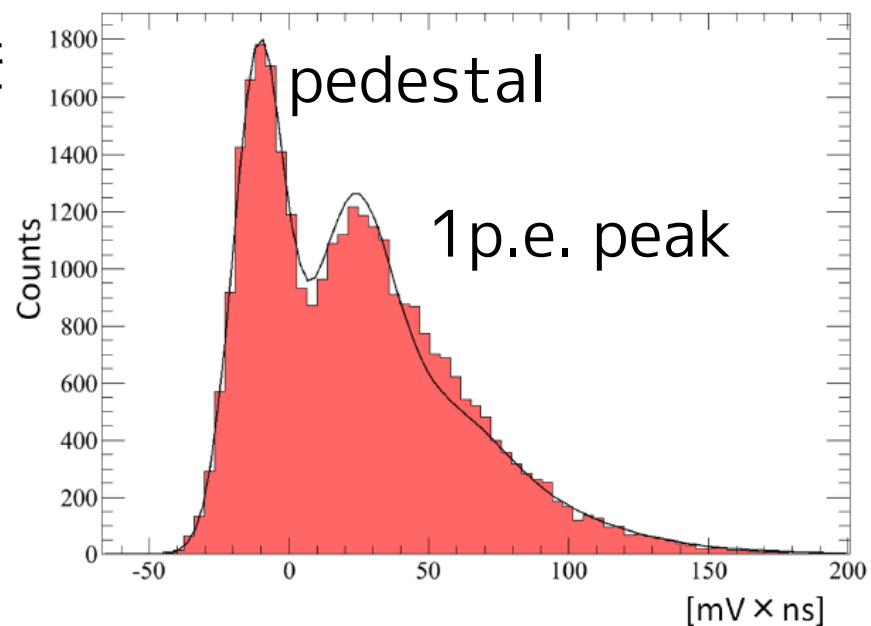
■ PMT7本の信号波形を取得 2GS/sで動作

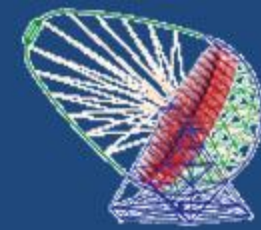
■ 1p.e.スペクトル  
1光電子の信号が取得  
できることを実証  
PMT gain =  $5 \times 10^4$   
S/N = 3.6 (1p.e.に対し)

■ デッドタイム測定  
信号レート  
(ランダム入力)

信号レート (ランダム入力)	デッドタイム
1kHz	0.9%
5kHz	3.8%
10kHz	7.7%

※単体基板のみによるDAQの場合  
PMT波形の積分値ヒストグラム

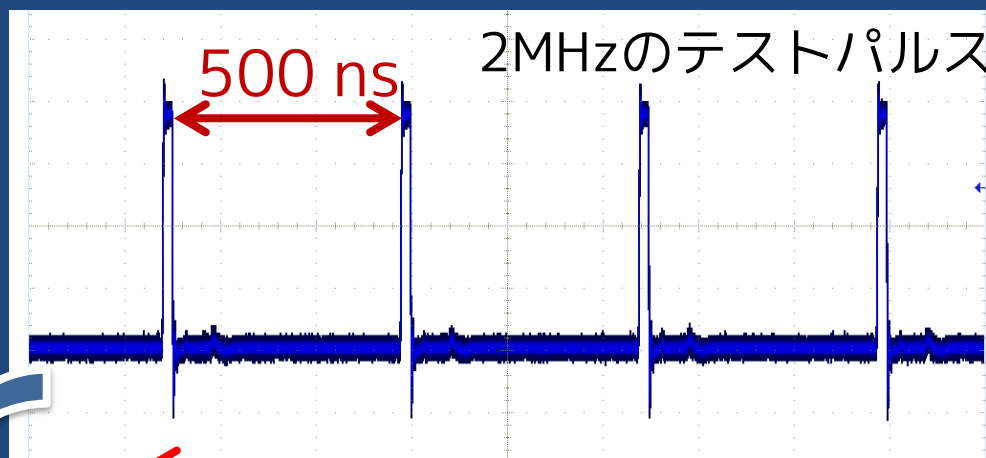




# 波形保持メモリ深さ

信号をDRS4の入力4chにカスケード接続  
4 × 1024cells で **2 $\mu$ sec** @ 2GS/sの波形記録時間を実現

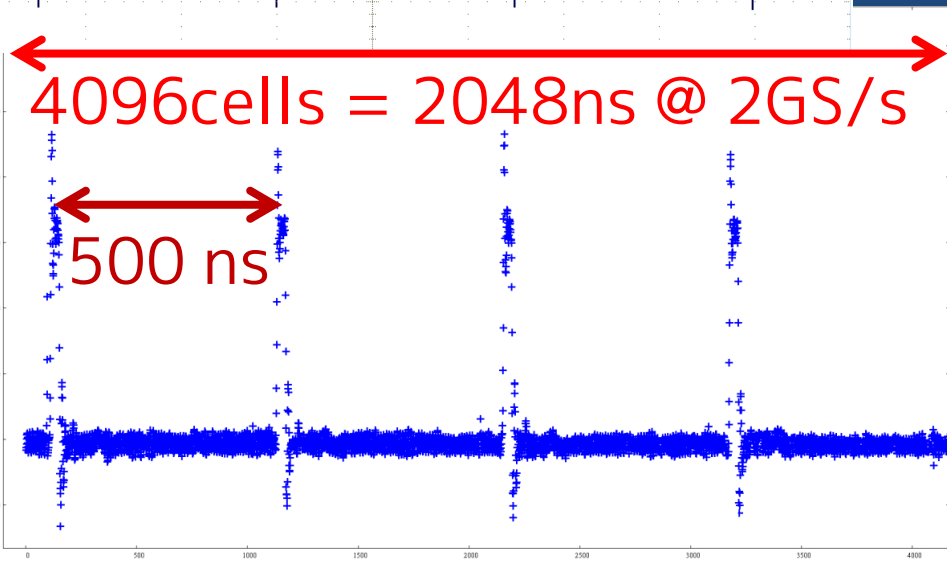
入力信号



望遠鏡間でトリガ同期  
をとるのにかかる時間  
- 望遠鏡間距離

100mで2 $\mu$ sec程度

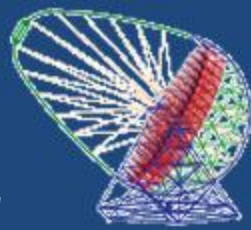
その間サンプリング  
を止める必要がない



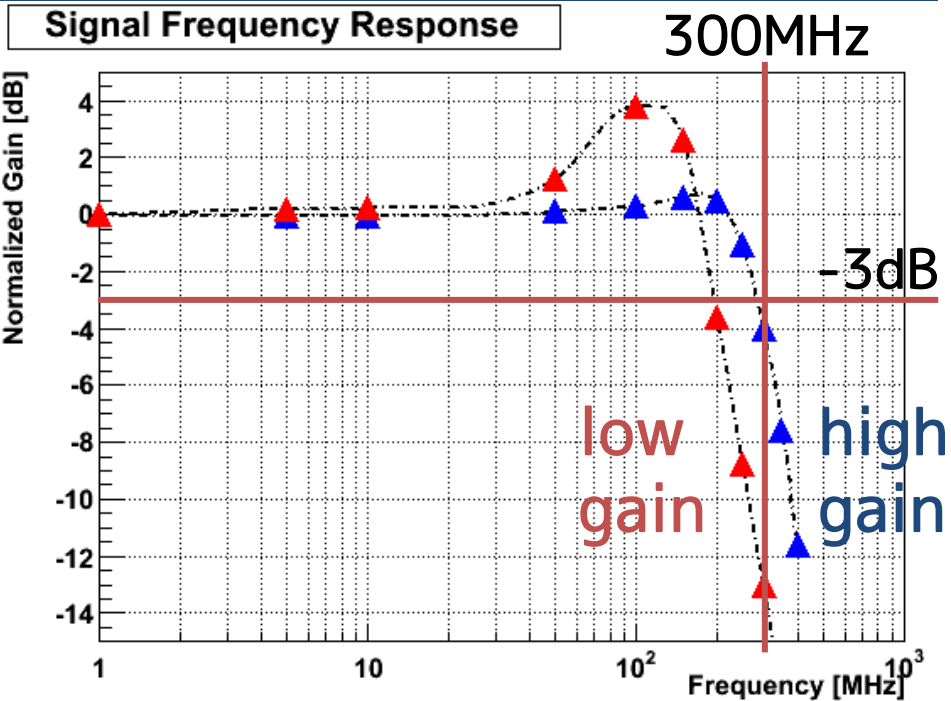
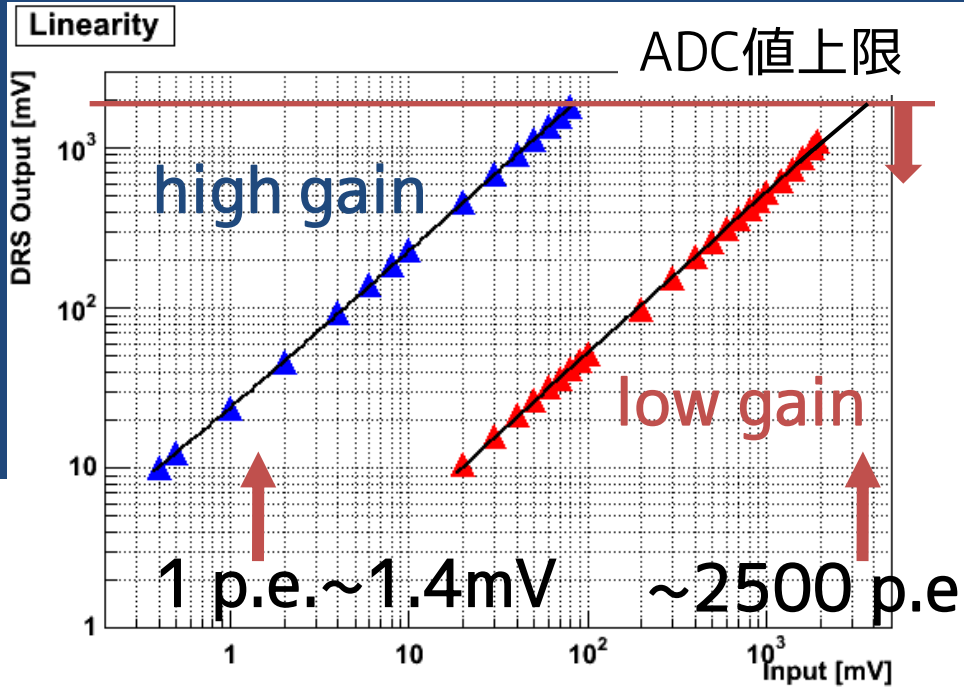
保持した  
波形データを出力



# ダイナミックレンジ・帯域

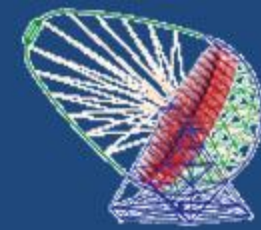


- High / Low 2系統の gain をもつメインアンプ
- ダイナミックレンジ 1 – 2500p.e.



## 帯域測定

- high gain 275MHz
- low gain 200MHz
- requirement は 300MHz
- アンプ単体での評価 (前回)
- ver.3基板全体で測定

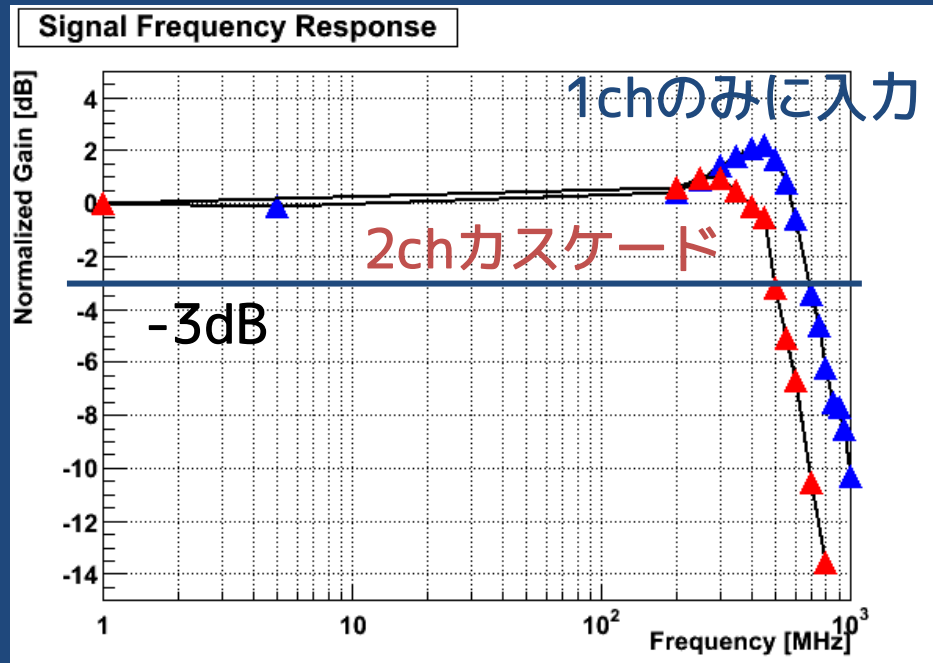
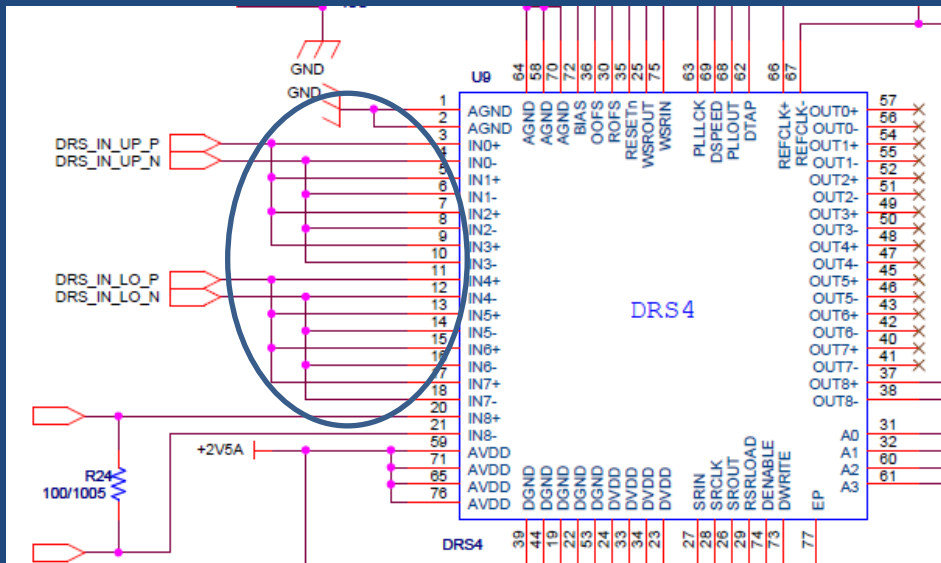


# 帯域改善に向けて

メインアンプの帯域は >400MHz

DRS4 の帯域はデータシート上 950MHz

DRS4 評価ボードによる測定

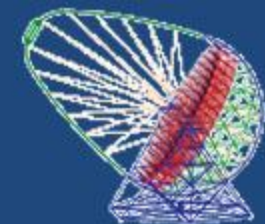


入力を4chにつないだことで容量が増えていることが原因

2ch接続により 700MHz → 500MHz

入力部にバッファを入れる or  
電力を食うが大容量を駆動できるアンプに変更

現在検討中  
→ next ver.

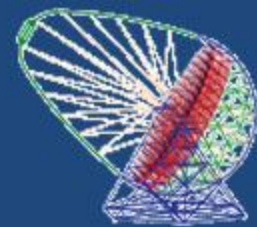


# 要求仕様

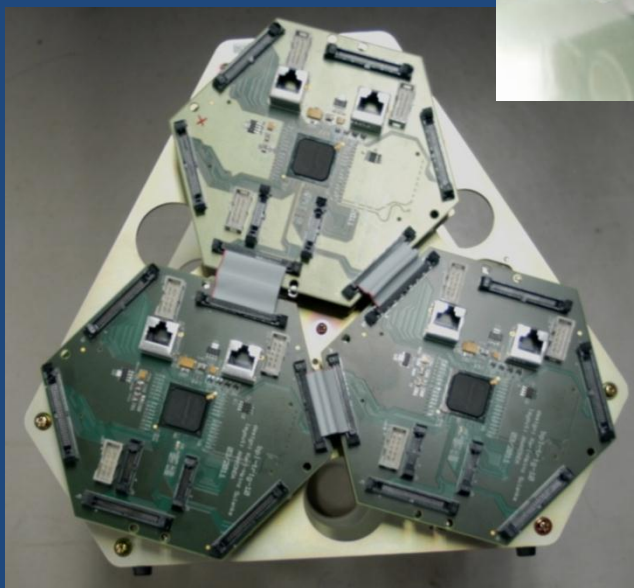
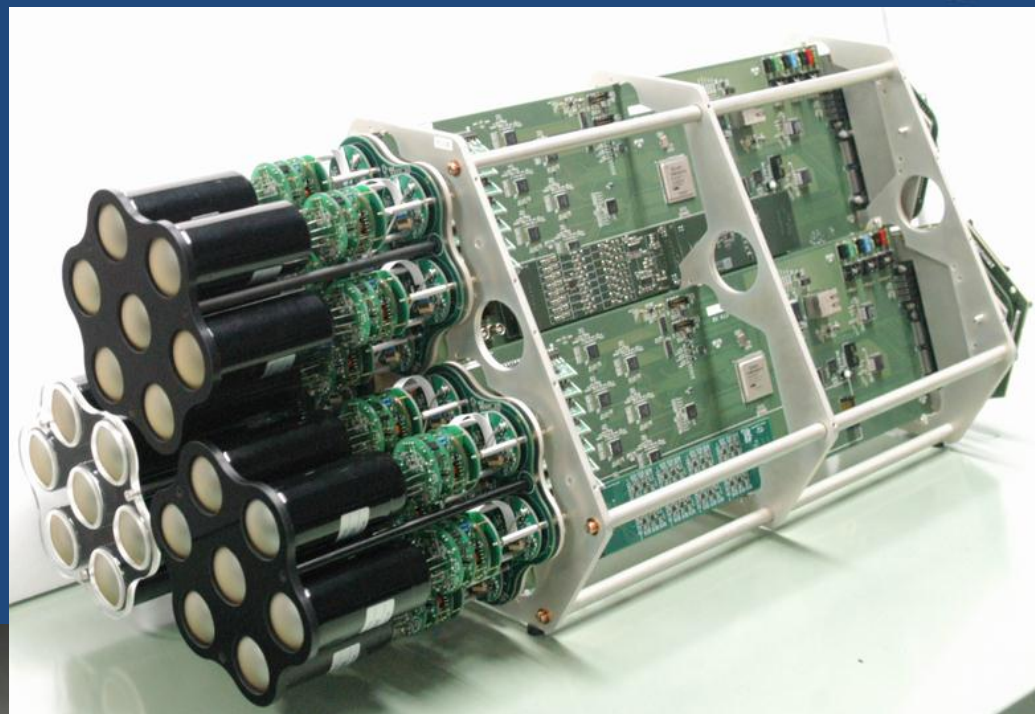
	要求性能	試験結果
帯域幅	300MHz	200 - 275MHz
ダイナミックレンジ	1-1000光電子	1-2500光電子
波形保持時間	2 - 3 $\mu$ s	2 $\mu$ s
ノイズレベル	0.2光電子相当	0.1光電子相当(回路のみ) 0.3光電子相当(PMT含む)
デッドタイム	5%	7.7%
消費電力	2.0W/ch	2.04W/ch

CTAの要求を概ね満たすものができあがっている

# ミニカメラプロジェクト

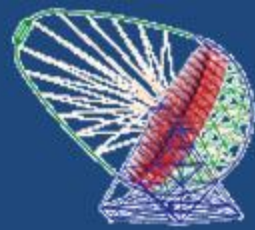


- 3クラスタ  
による**ミニカメラ**
- 基板間での  
トリガ通信
- 冷却システム  
の性能評価



クラスタ間  
の接続





# まとめ

- 日本グループはCTA大口径望遠鏡用に  
光電子増倍管信号波形の読み出し回路を開発
- アナログメモリによる**高速波形サンプリング**：2GS/s
- **低消費電力、低コスト**
- 十分なメモリ深さ 2usec
  
- **ver.3回路**：コストダウン、  
望遠鏡に搭載するための形へ（小型化）
- 帯域に関して study
- 3クラスタのミニカメラ試験を予定

**単体基板での動作実証から  
実機望遠鏡に向けての開発・試験へと進行中**