

CTA大口径望遠鏡 焦点面カメラの開発状況

平子 丈(京都大学)

窪秀利, 今野裕介, 野崎誠也, 増田周 (京都大学), 稲田知大, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒,
齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 林田将明, 深見哲志, Daniela Hadasch,
Daniel Mazin (東大宇宙線研), 猪目祐介, 高原大, 山本常夏 (甲南大学), 奥村暁 (名大ISEE),
折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学), 木村颯一郎, 櫛田淳子, 辻本晋平,
西嶋恭司 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 小山志勇 (ISAS/JAXA),
砂田裕志, 寺田幸功, 永吉勤, 西山楽 (埼玉大学), 馬場彩 (東京大学), 片岡淳 (早稲田大学),
澤田真理 (青山大学), 池野正弘, 田中真伸 (KEK、Open-It), 他CTA-Japan Consortium

- CTA大口径望遠鏡とPMTモジュール概要
- アナログメモリ“DRS4”の概要と特性
- 初号機建設状況
- 2号機以降用PMTモジュール開発状況
- まとめ

CTA大口徑望遠鏡と焦点面カメラ

CTA大口徑望遠鏡

エネルギー帯域
20 GeV – 3 TeV

視野
4.5度

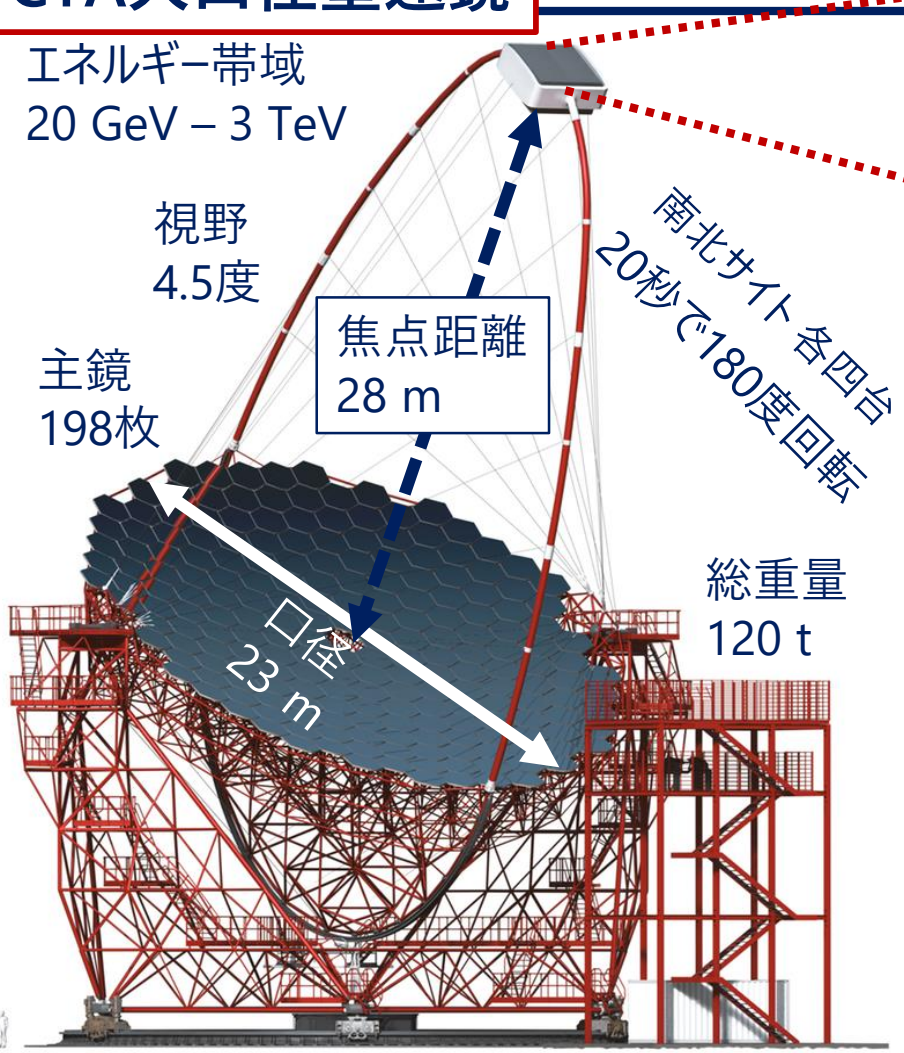
主鏡
198枚

焦点距離
28 m

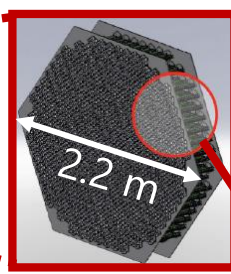
南北サイト 各四台
20秒で180度回転

総重量
120 t

口径
23 m



焦点面カメラ



1855 ピクセル (PMTs)
=265 PMTモジュール

PMTモジュール

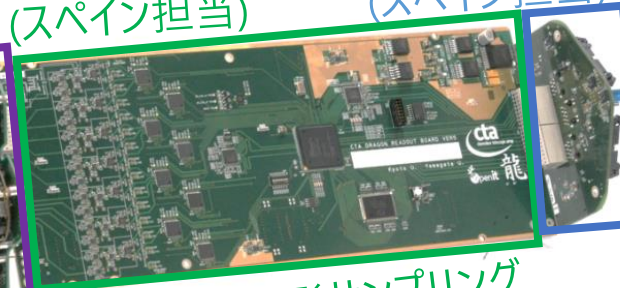
PMT×7



PMT印可制御、
テストパルス生成用基板

裏側にトリガー回路
(スペイン担当)

電圧供給基板
(スペイン担当)



波形サンプリング
&読み出し基板

日本担当

PMT平均量子効率40%以上
アナログメモリ"DRS4"による
1 GHz 高速波形サンプリング

アナログメモリDRS4

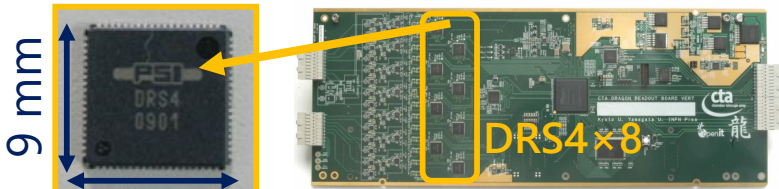
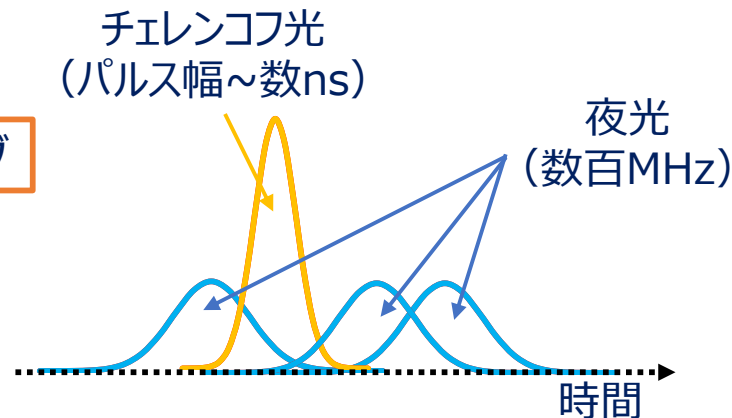
LST読み出し回路への要求

夜光(数百MHz)と
チェレンコフ光(パルス幅 数ns)
を切り分ける

GHz波形サンプリング

約2000本のPMTを使用
発熱量を抑える

低消費電力

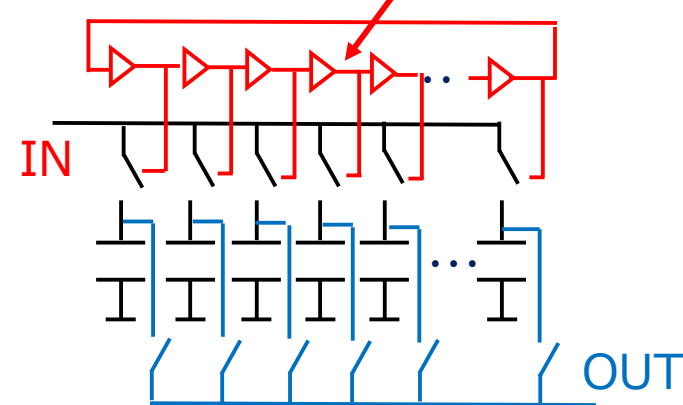


1 GHzでスイッチ切り替え

アナログメモリDRS4チップ (ASIC)

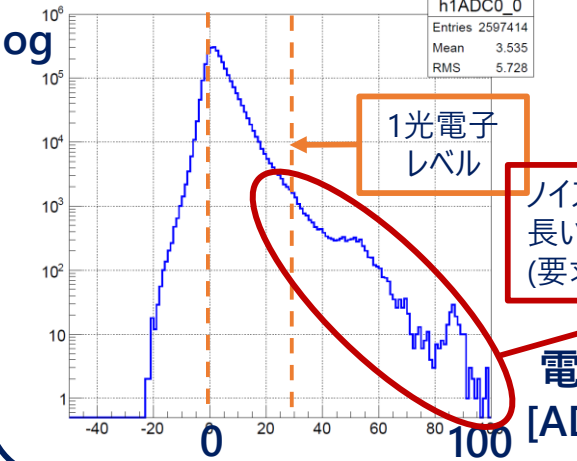
- MEG($\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索)実験用に開発 (Ritt et al. 2010)
- キャパシタ 4096個(メモリ深さ $4\mu s$) \times 2系統 / 1チップ

1 GHz波形サンプリング+低速(33MHz)読み出し
を低消費電力(88 mW/1系統)で実現



DRS4の特性

補正前のペDESTAL分布
(無信号状態での電圧値の分布)



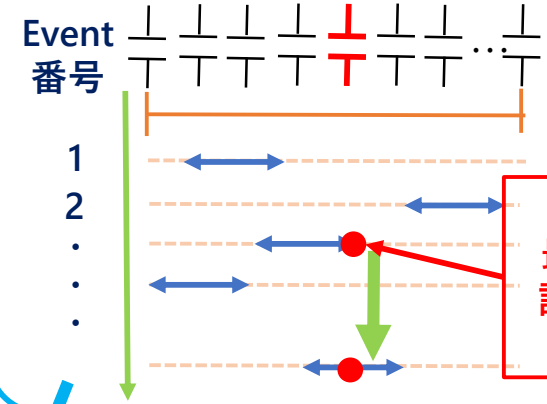
1光電子
=30ADC
=7.3mV

1光電子
レベル

ノイズレベル0.19光電子の
長いテールを持った分布
(要求値0.2光電子以下)

電圧
[ADC]

キャパシタ × 4096個

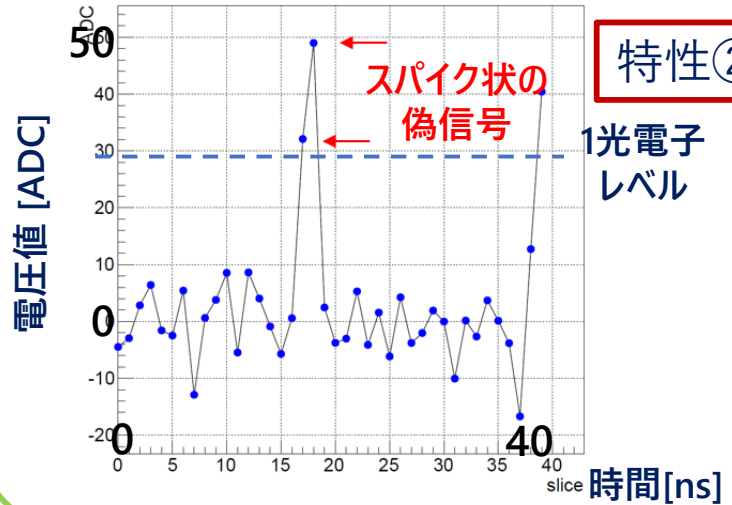


特性①

以前、読み出した領域の
最後のキャパシタが以後の
読み出し領域に含まれると
電圧値が低く出る

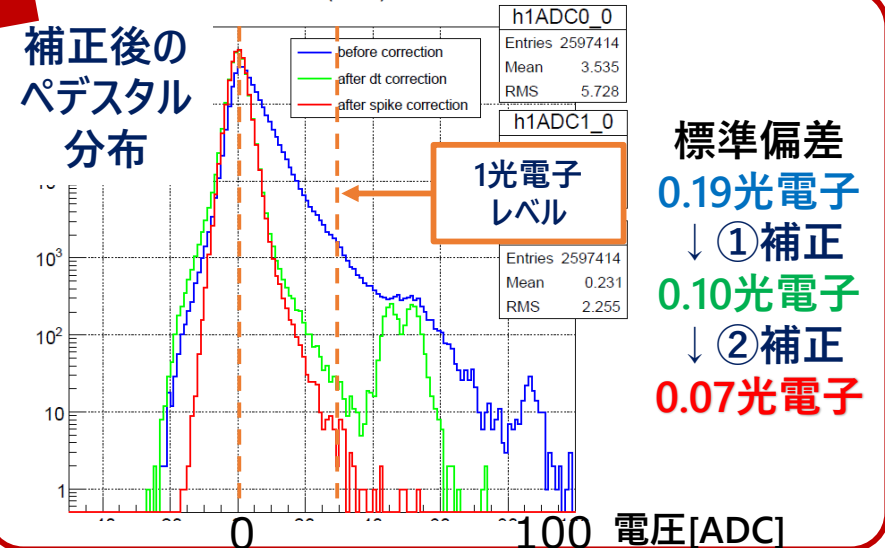
特性の発生条件を理解、補正(本年1月)

あるイベントの波形 (無信号時)



特性②

補正後の
ペDESTAL
分布

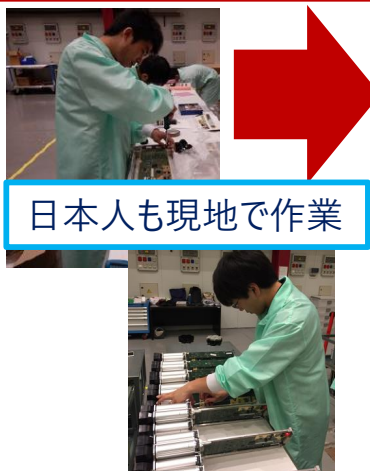


1光電子
レベル

標準偏差
0.19光電子
↓ ①補正
0.10光電子
↓ ②補正
0.07光電子

初号機カメラ用全モジュール試験

昨年度、北サイト近くのテネリフェ島に初号機用のモジュールを輸送、19モジュールカメラ(ミニカメラ)組み立て



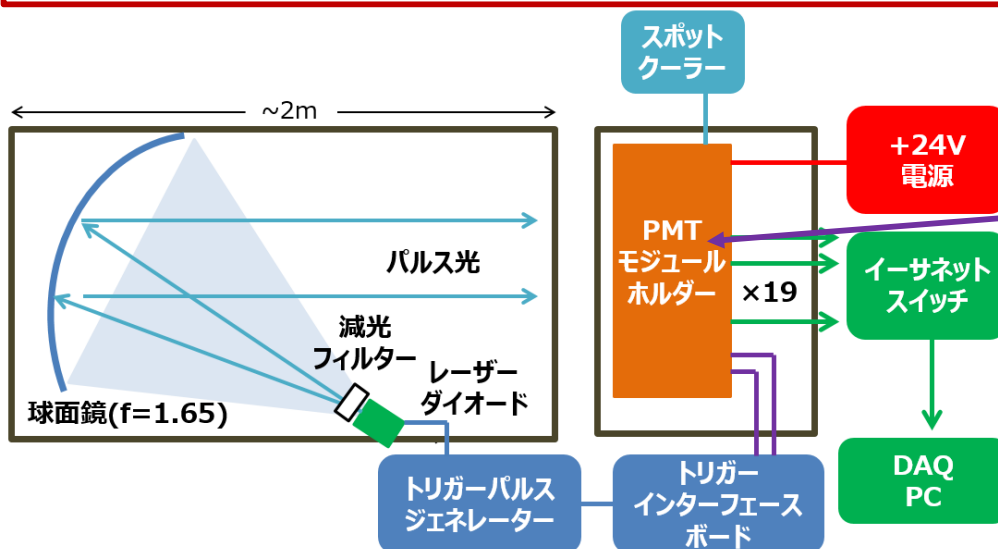
日本人も現地で作業



測定項目

- ・ノイズレベル
- ・パルス幅
- ・リニアリティ
- ・電荷分解能
- ・長時間稼働試験 etc.

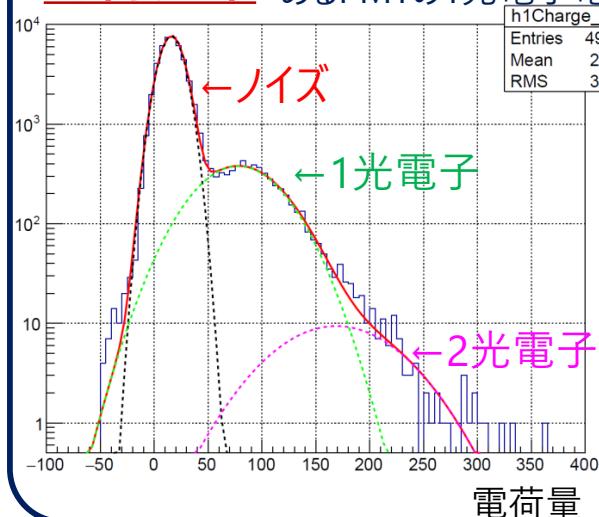
ミニカメラを暗室に入れ、PMT 133本単位で全数性能評価 (2017年3月-6月)



ミニカメラ前面

全モジュール試験結果

電荷分布 あるPMTの1光電子電荷分布

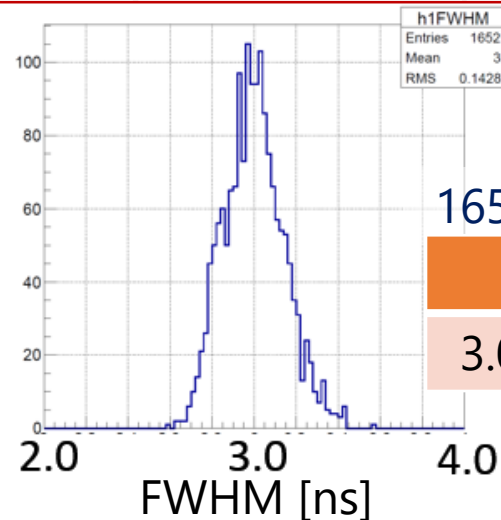


PMT 1652本の分布の
平均値と標準偏差

S/N 比

7.1 ± 0.5

PMT平均波形パルス幅

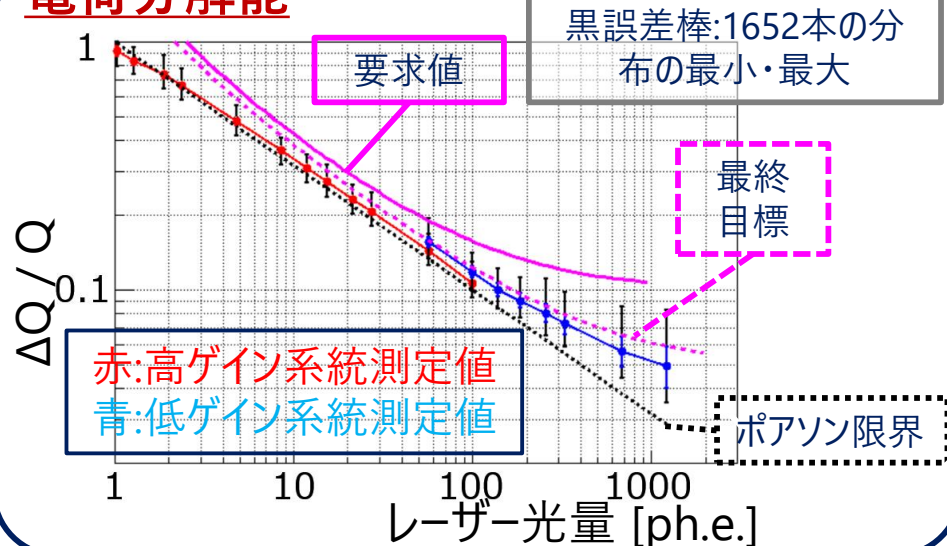


1652本の分布

FWHM

3.0 ± 0.1 ns

電荷分解能



(日本で試験済みの33モジュールと合わせ)
**274モジュール(PMT 1918本)が
要求性能クリア**
→初号機分(265モジュール)確保

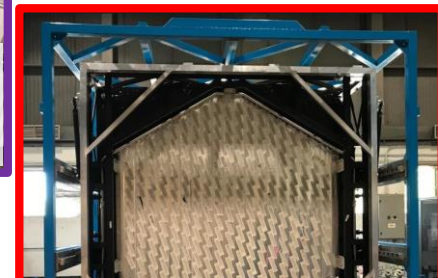
CTA大口徑望遠鏡 初号機カメラ 建設状況



昨年9月 冷却システム完成(水冷)
(スペイン担当)

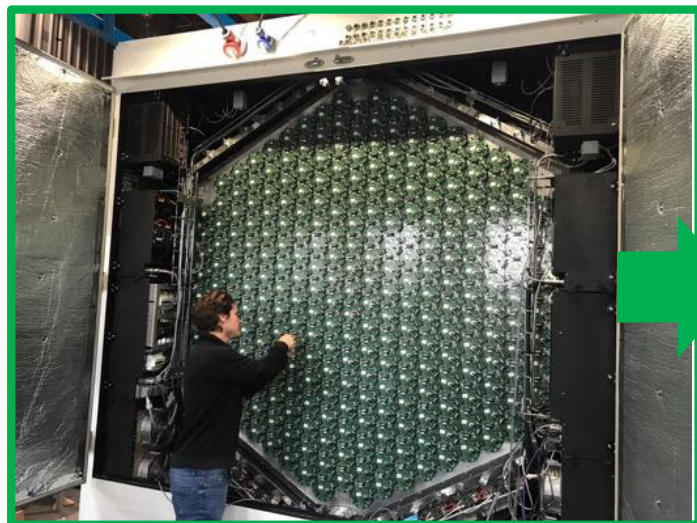


PMTモジュール
(日本、スペイン担当)

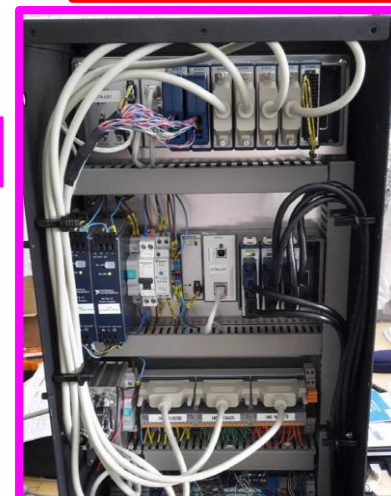


昨年9月 焦点面カメラ
モジュールホルダー完成
(スペイン担当)

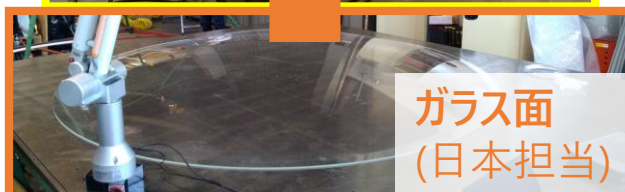
DAQシステムも構築中
(日本、フランス担当)



本年1月 電圧供給基板
取り付け完了
(スペイン担当)



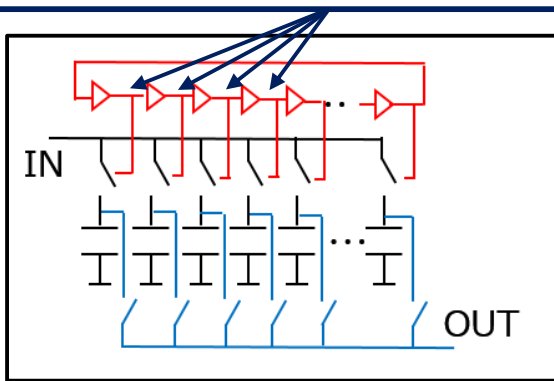
カメラ制御機器
(フランス担当)



ガラス面
(日本担当)

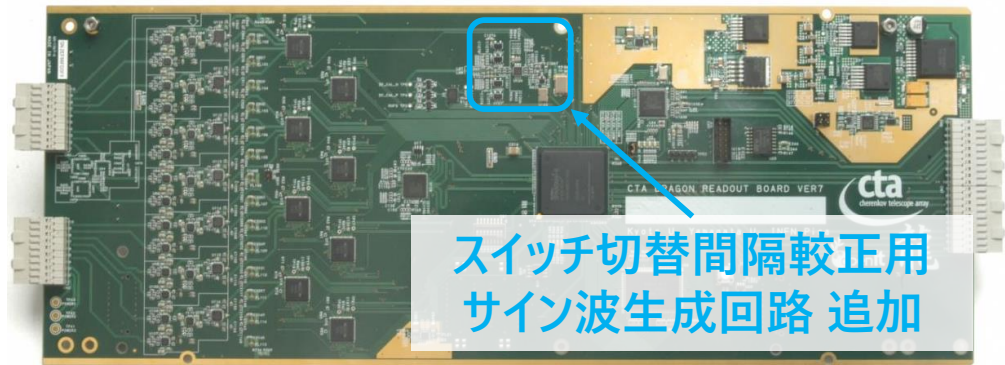
2号機以降用PMTモジュールの開発状況

DRS4は、各スイッチの切替間隔に固有のずれが存在(理想は各1 ns)



それぞれぴったり1 nsとすると、電荷の見積もりを誤る
→サイン波を入れて、切替間隔の較正テーブルを作成

2号機以降用 信号読み出し基板



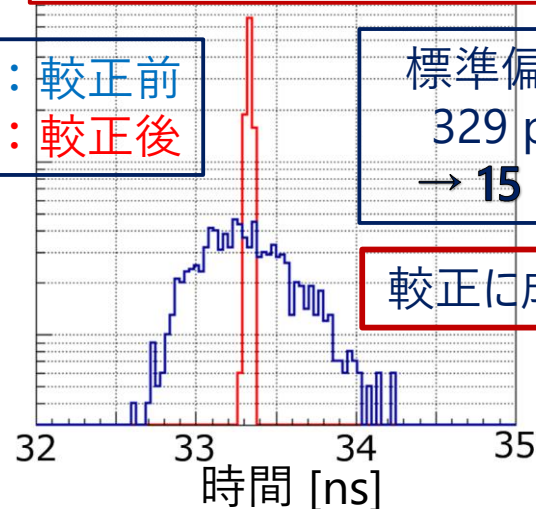
スイッチ切替間隔較正用
サイン波生成回路 追加

スイッチ切替間隔の較正

外部入力サイン波(30MHz)の
DRS4で測った周期分布

青 : 較正前
赤 : 較正後

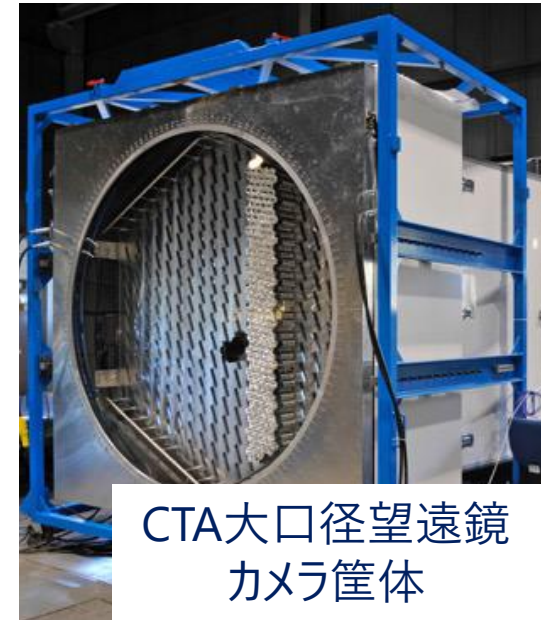
標準偏差
329 ps
→ 15 ps



現在、北サイト2-4号機分の1100枚を量産中！！
2-4号機分のPMTは生産完了！！
PMT印加電圧制御基板も生産完了！！
PMTプリアンプ基板も順次生産中、年度内に生産完了予定



- CTA大口徑望遠鏡 初号機の建設
 - テネリフェ島でのPMTモジュール組み立て、試験
 - 初号機搭載分PMTモジュール、要求性能クリア
 - カメラ筐体完成、順次PMTモジュール取付
 - 今年8月までカメラ統合試験(室内実験)
 - 今年9月 ファーストライト!!!
- 2号機以降用PMTモジュールの開発および性能評価
 - GHz サンプリング間隔較正用回路により、15 psの精度で較正に成功
 - 北サイト(2-4号機)用の読み出し回路1100枚を量産中
 - 北サイト用PMT、PMT印可電圧制御基板は製造完了、PMT用プリアンプ基板も年度内生産完了予定



CTA大口徑望遠鏡
カメラ筐体



初号機 建設現状