

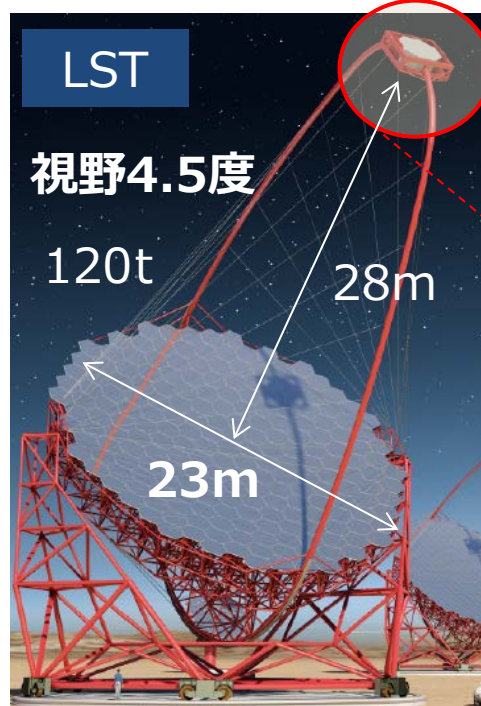
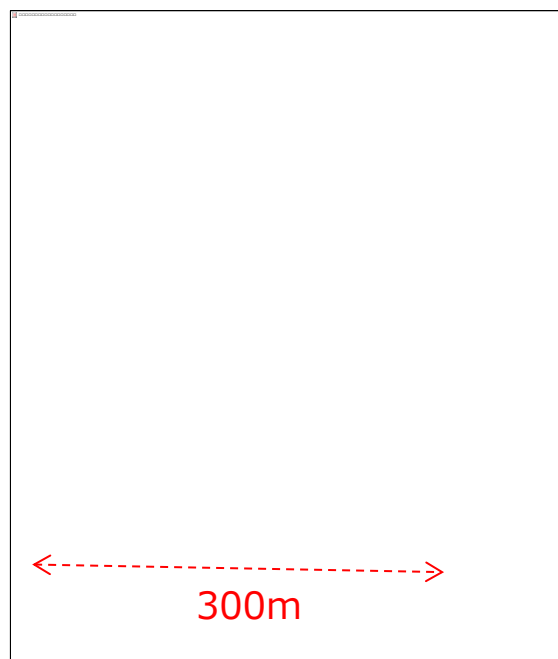
CTA大口徑望遠鏡初号機用カメラの試験状況と 2号機以降用読み出し回路の開発

野崎誠也、窪秀利、今野裕介、齋藤隆之、谷川俊介、増田周（京大理）、石尾一馬、大岡秀行、櫻井駿介、高橋光成、手嶋政廣、中嶋大輔、林田将明、Daniela Hadasch、Daniel Mazin（東大宇宙線研）、猪目祐介、岸田柊、山本常夏（甲南大理工）、奥村暁（名大ISEE）、折戸玲子（徳島大理工）、片桐秀明、吉田龍生、Dang Viet Tan（茨城大理）、木村颯一郎、櫛田淳子、辻本晋平、友野弥生、西嶋恭司（東海大理）、郡司修一、中森健之、武田淳希（山形大理）、小山志勇（ISAS/JAXA）、田中真伸（KEK素核研）、寺田幸功、永吉勤、西山楽（埼玉大理工）、馬場彩（東大理）、他CTA-Japan consortium、池野正弘、内田智久（KEK素核研、Open-It）



CTA大口徑望遠鏡 (LST)

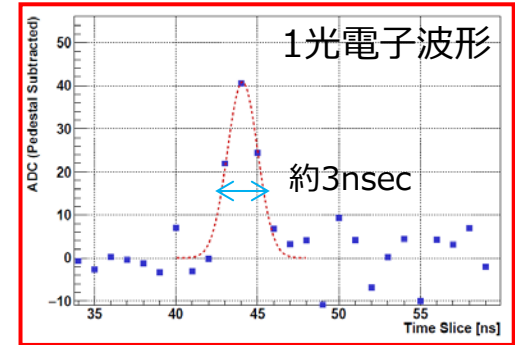
- CTAでは、高エネルギー γ 線による大気シャワーで生成した電子・陽電子が発するチェレンコフ光を複数の望遠鏡で観測
- LSTは20GeV-1TeVに焦点を当てた口径23mの望遠鏡
- 南北サイトに4台ずつ設置し、全天観測
- LST初号機@北サイト (スペイン・ラパルマ) は今年11月にファーストライトを迎える



PMTモジュール

PMTモジュールの構成

- ・チェレンコフ光の**パルス幅**...**2-3nsec**
- ・平均で約3-4nsecに1回の割合で**夜光バックグラウンド**が入射してしまう

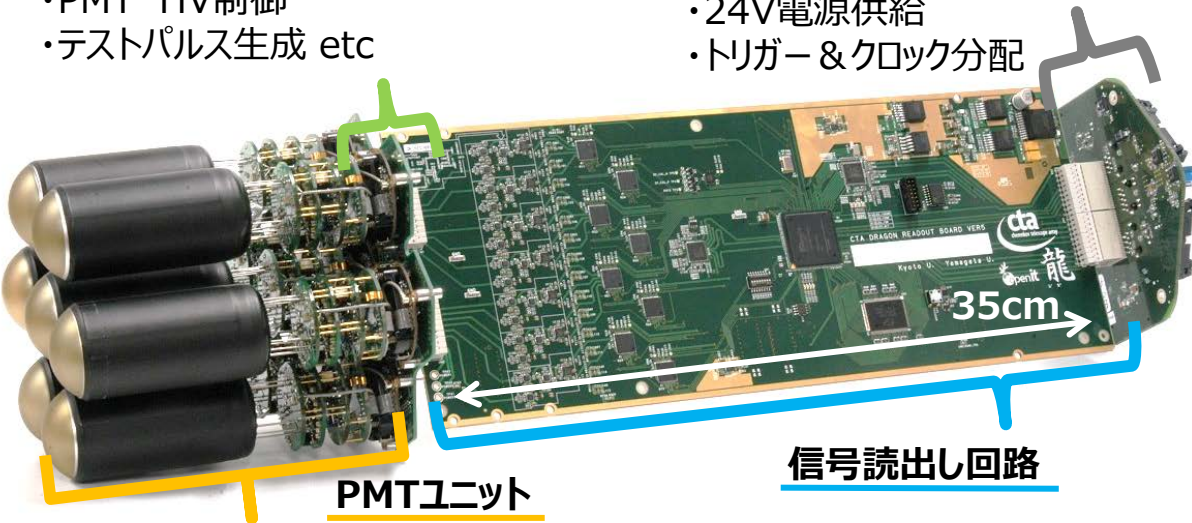


スローコントロールボード

- ・PMT HV制御
- ・テストパルス生成 etc

バックプレーンボード

- ・24V電源供給
- ・トリガー & クロック分配



PMTユニット

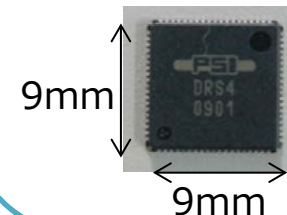
- 1モジュールあたり7本
- ・ピクセルサイズ：0.1度、50mm
- ・時間分解能：**1.3ns以下**

- PMTユニット内に
- ・CW-HV回路
- ・プリアンプも備えている

信号読出し回路

アナログメモリASIC"DRS4"を採用

- ・**1GHz高速サンプリング**
→夜光バックグラウンドを効果的に排除
- ・アナログメモリ&低速ADC読出し
→**低消費電力**(約130mW/PMT1ch)
- ・4μsecのメモリ深さ

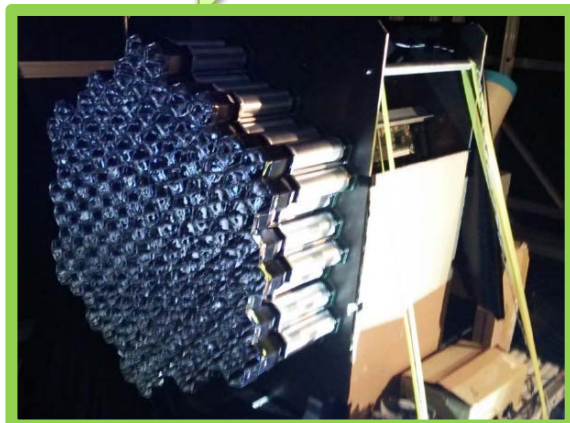


PSI研究所が
MEG実験用
に開発

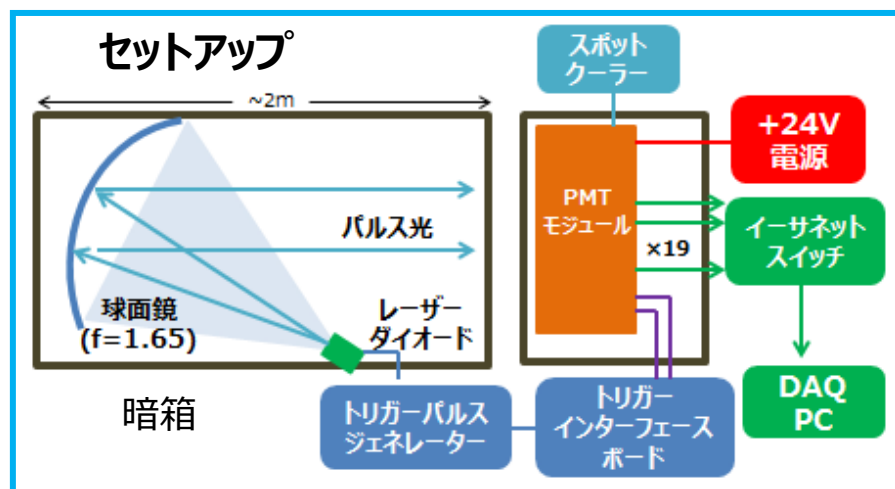
LST初号機用カメラの試験状況

～2016年6月
19モジュール
での試験@日本

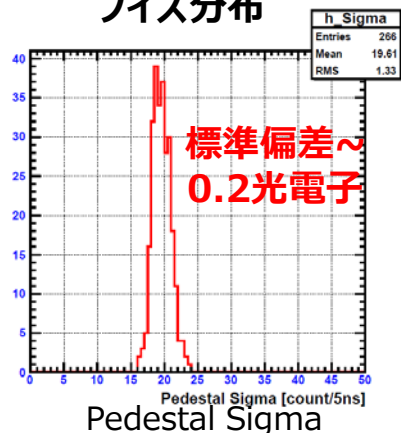
PMTと読み出し回路単体での全数品質管理はすでに完了
19モジュール（133ピクセル）で構成される1/14モデルの
ミニカメラでの試験を2回行い、38モジュールの性能評価を行った



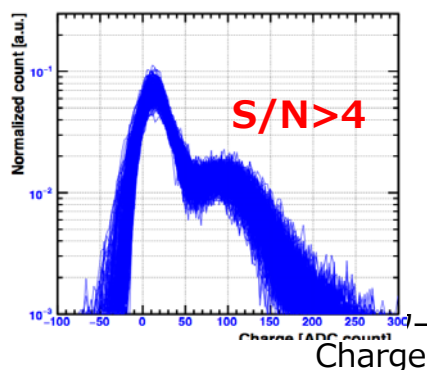
PMTモジュール×19(133ピクセル)



ノイズ分布



1光電子スペクトル
重ね合わせ



— 他の試験項目 —

- リニアリティ測定
- 印加電圧vs増幅率 測定
- Level0・Level1トリガーレート測定 etc

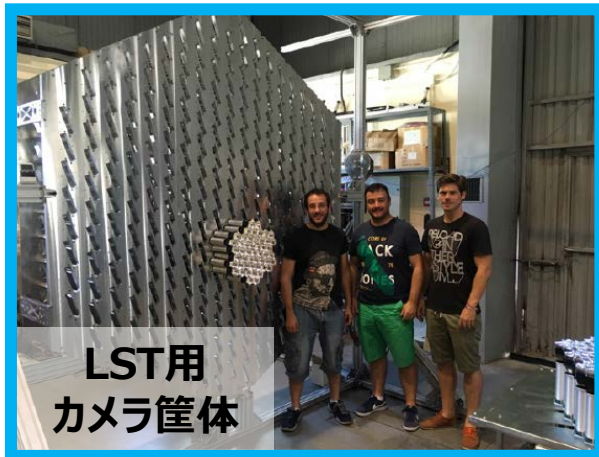
試験した38モジュールすべて
要求値を満たすことを確認

LST初号機用カメラの試験状況

2016年7月～

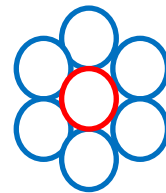
35モジュール
での試験@スペイン

日本での19モジュールミニカメラ試験を行ったもののうち、
35モジュールをCIEMAT(スペイン)に輸送し、
LST用カメラ筐体を用いて、トリガー関係の試験を行った

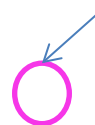


トリガー

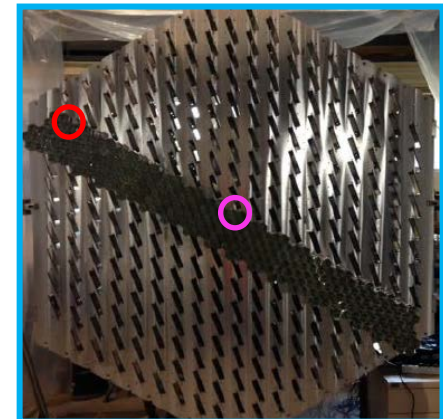
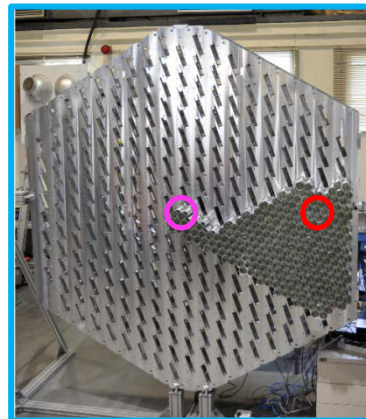
(1)各ピクセルと、隣り合う6つのピクセルの信号を
組み合わせて、各ピクセルでトリガー信号を生成



カメラ中心の
ピクセル



トリガー
インターフェース
ボード

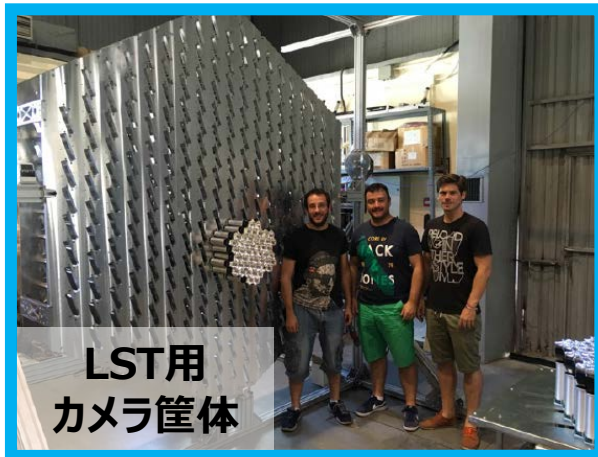


LST初号機用カメラの試験状況

2016年7月～

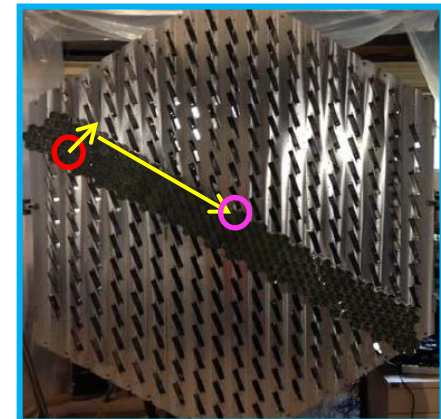
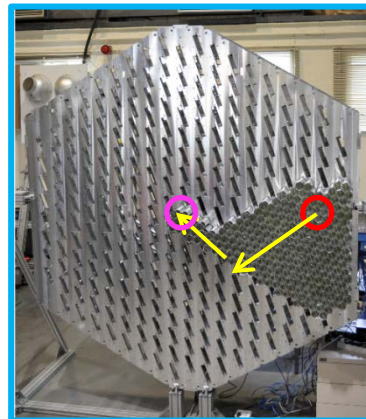
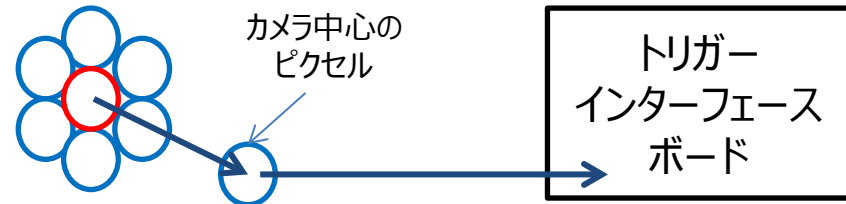
35モジュール
での試験@スペイン

日本での19モジュールミニカメラ試験を行ったもののうち、
35モジュールをCIEMAT(スペイン)に輸送し、
LST用カメラ筐体を用いて、トリガー関係の試験を行った



トリガー

(2)トリガー信号を、カメラ中心のピクセルを經由し、
トリガーインターフェイスボードに伝達



LST初号機用カメラの試験状況

2016年7月～

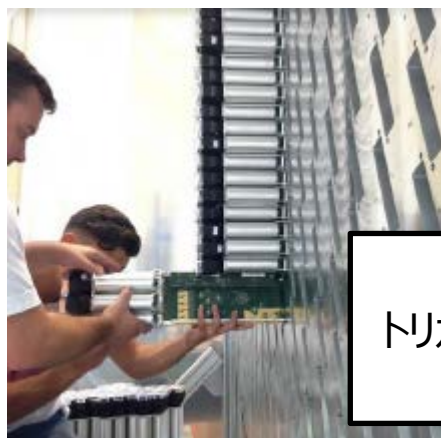
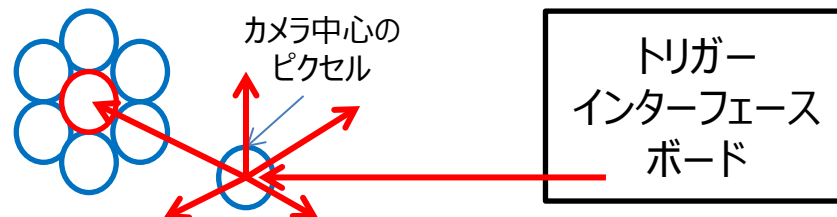
35モジュール
での試験@スペイン

日本での19モジュールミニカメラ試験を行ったもののうち、
35モジュールをCIEMAT(スペイン)に輸送し、
LST用カメラ筐体を用いて、トリガー関係の試験を行った

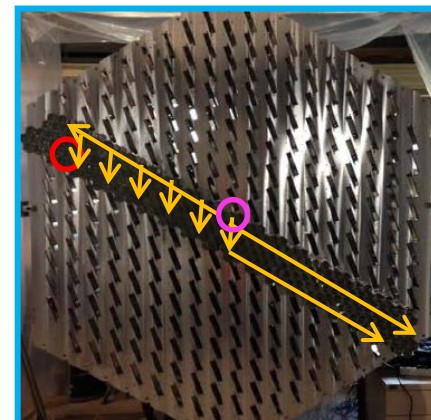
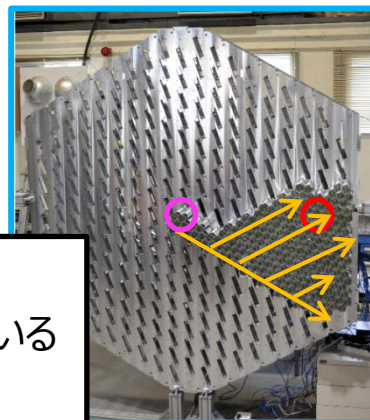


トリガー

(3)トリガーインターフェイスボードからカメラ中心の
ピクセルを経由して、全ピクセルにトリガーを分配



問題なく
トリガー分配できている
ことを確認



LST初号機用カメラの試験状況

2017年1月-5月

19モジュール単位で
245モジュールを試験
@現地機関(IAC(スペイン))

6-8月

カメラ統合試験
@IFAE(スペイン)

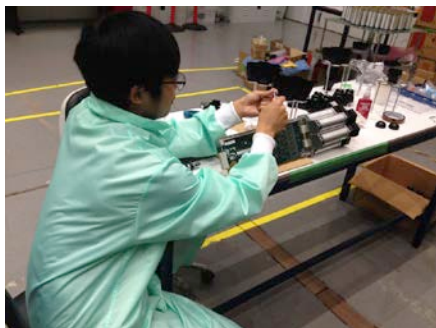
10月下旬

望遠鏡への
取り付け

2017年11月
ファーストライト
予定

PMT、回路基板を現地機関(IAC(スペイン))に輸送し、
モジュールの組み立て & 19モジュール単位での試験を行っている

全PMTモジュールの組み立て

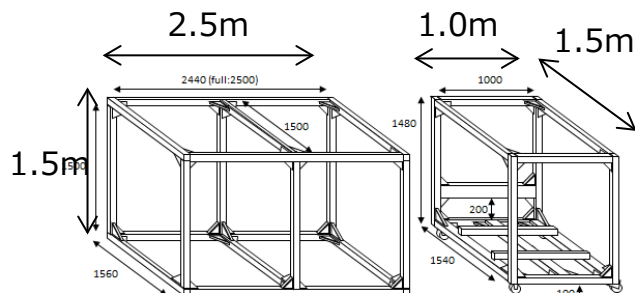


LST用トリガーインターフェースボード(TIB)

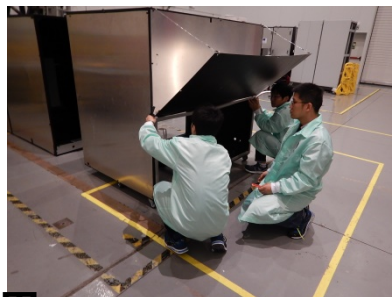


－試験項目－

- ・LST用TIBを用いたデータ取得試験
- ・ペDESTAL測定
- ・リニアリティ測定
- ・印加電圧vs増幅率 測定
- ・1光電子スペクトル測定
- ・Level0,Level1トリガーレート測定

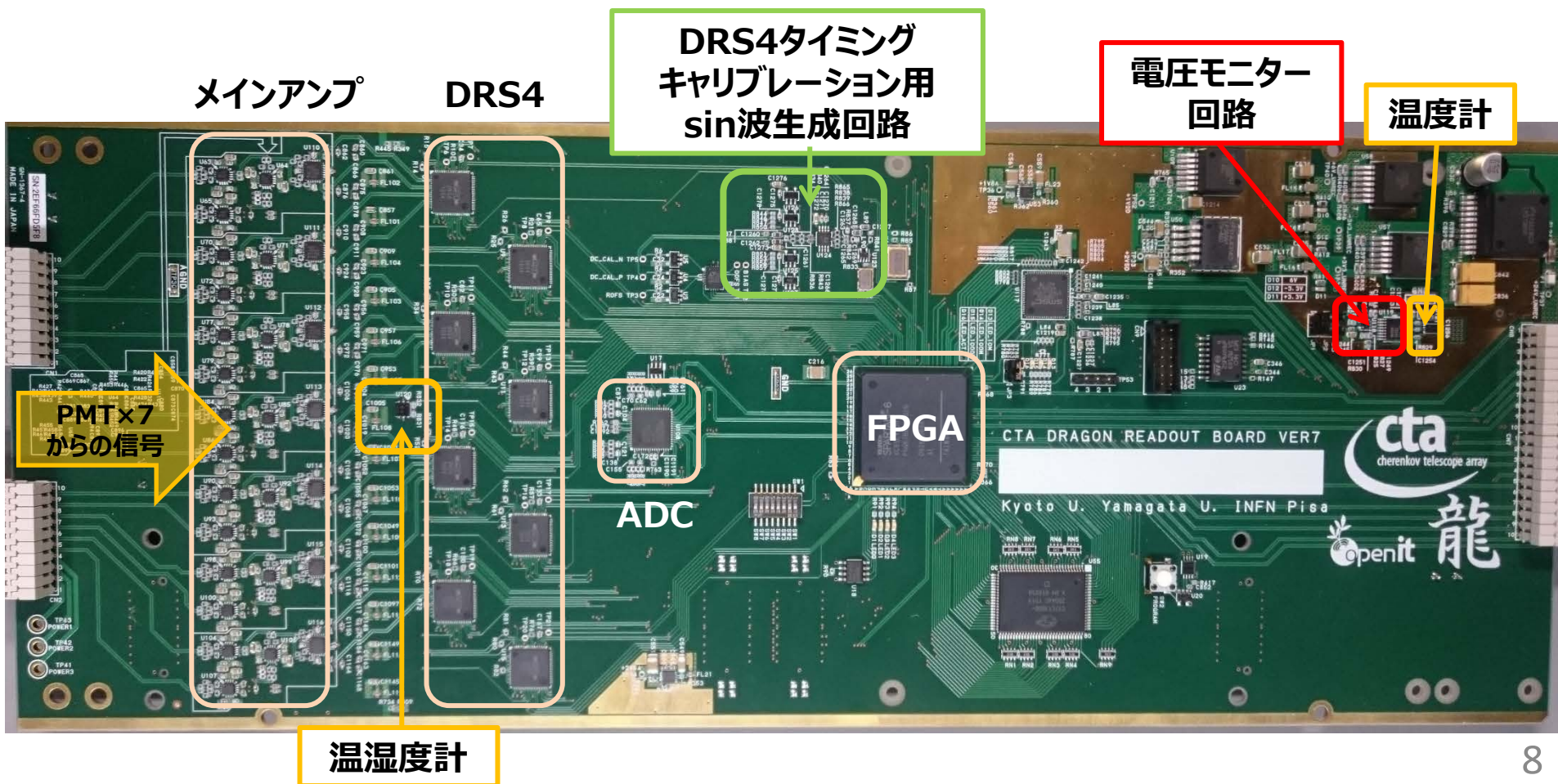


大型の暗箱を使用



LST2号機以降用読出し回路の開発

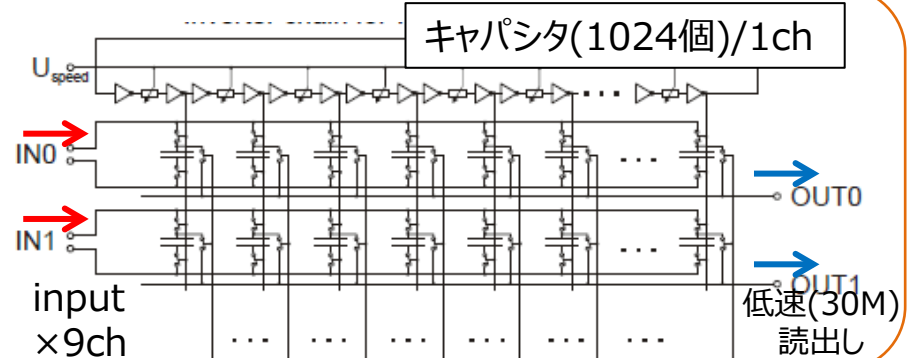
- LST2-8号機用の読み出し回路基板の試作機を作成し、試験中
 - アナログメモリDRS4のタイミングキャリブレーション用sin波生成回路の追加
 - 温湿度センサー&電圧モニター回路の追加



DRS4タイミングキャリブレーション

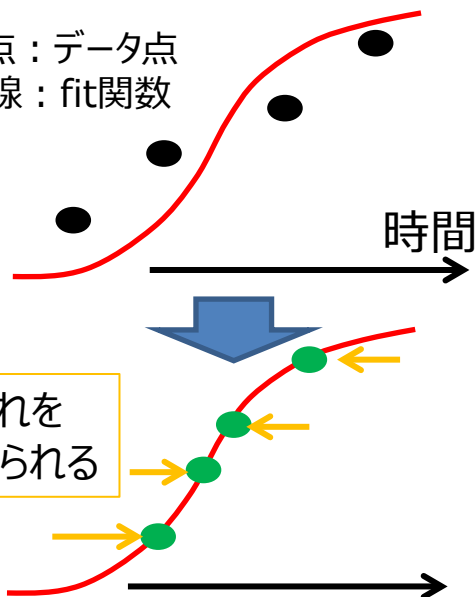
アナログメモリ"DRS4"チップ

- 1024個×9chのスイッチトキャパシタアレイ
- **1nsec**ごとにスイッチON/OFF切替え
(1GHzサンプリング時)
- スイッチ切替え時間にばらつきが存在する

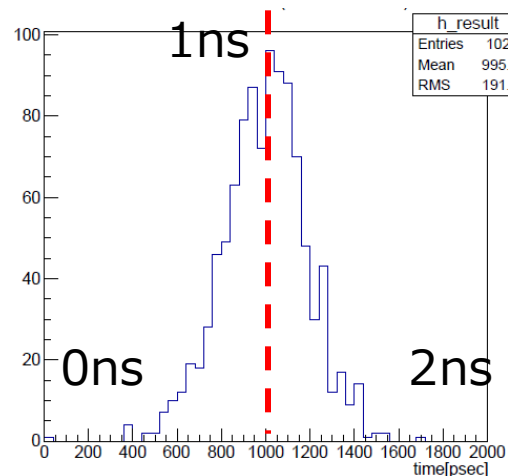


2-8号機用読み出し回路では
sin波生成回路を搭載

黒点：データ点
赤線：fit関数

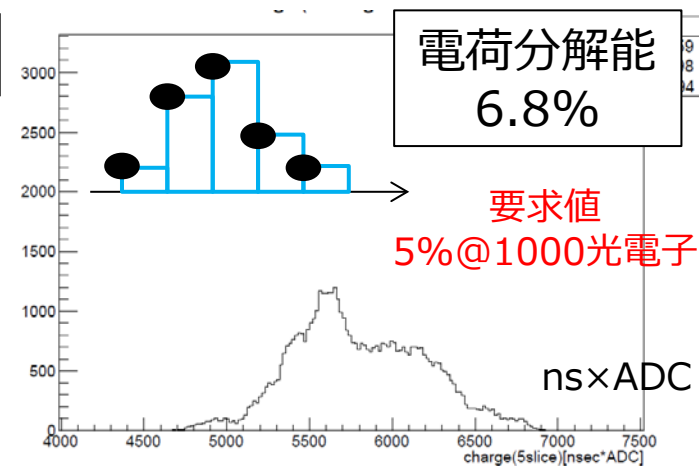


サンプリング時間間隔



数**100psec**ずれている
セルが存在する

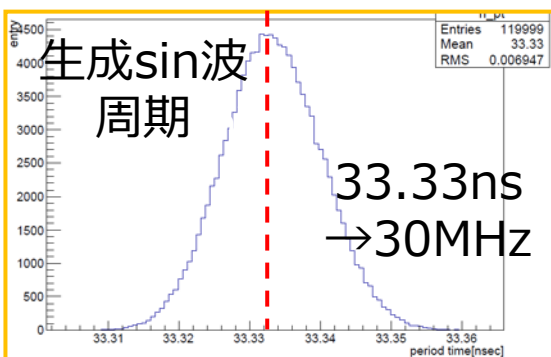
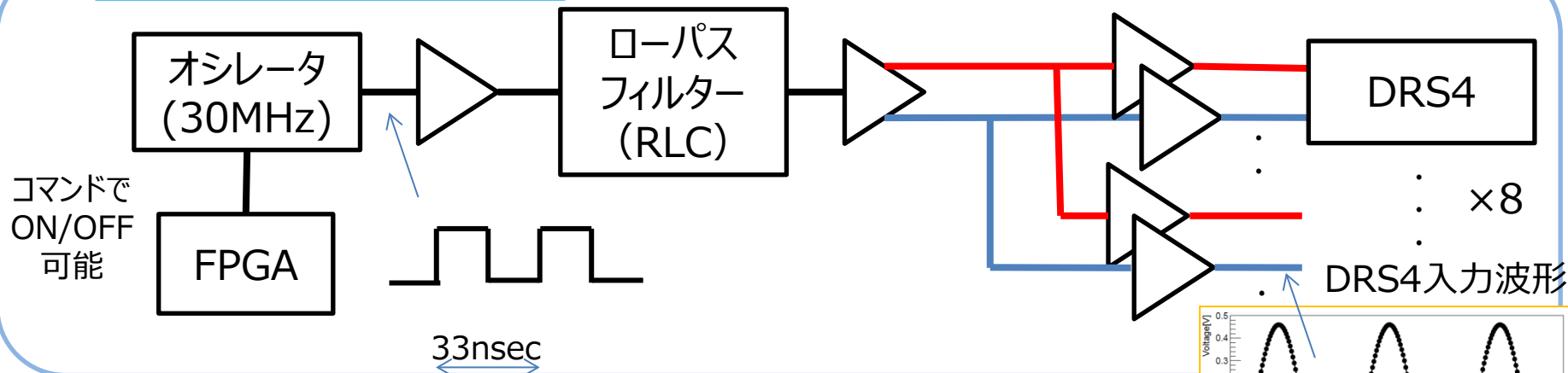
テストパルス電荷積分



サンプリング時間間隔の
キャリブレーションが必要

DRS4タイミングキャリブレーション用sin波生成回路

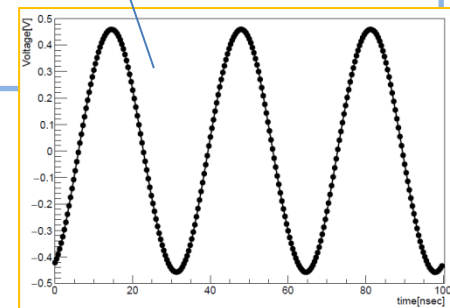
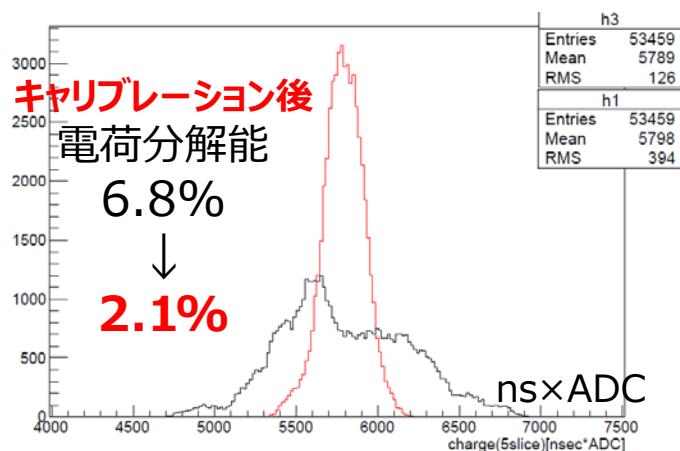
Time cal.回路ブロック図



3次高調波成分まで含めてfit
-各成分の波高値-

30M:458mV
60M:0.60mV(0.1%)
90M:3.77mV(0.8%)

テストパルス電荷積分

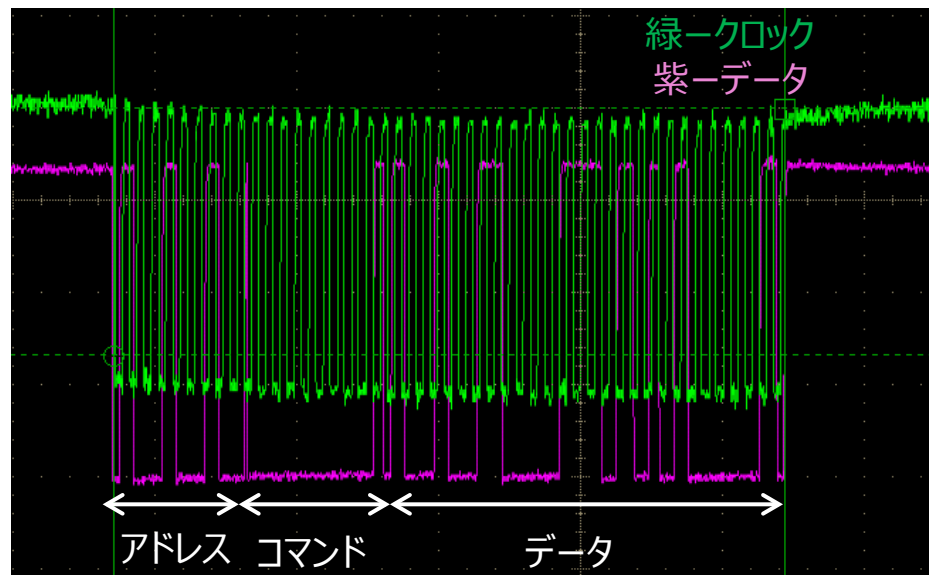


電荷分解能の向上で、
・エネルギー分解能の向上
・S/N比の向上
が期待される

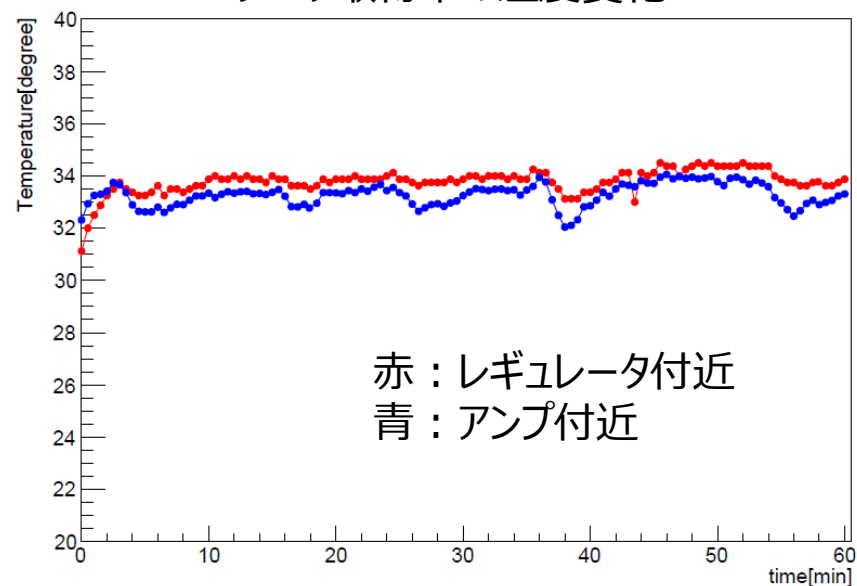
LST初号機では、読出し回路の外付け回路を用いて校正を行う

温湿度センサー&電圧モニター回路

- FPGAを経由して温湿度、電圧情報を取得



データ取得中の温度変化



その他の変更点

- 基板上のLEDのON/OFF機構の追加
- FPGAデバッグ用ユニバーサルピン追加
- 24V用バイパスコンデンサーのサイズ縮小
- 治具取付用穴の位置の修正 etc...

来年度中にLST2,3,4号機
(北サイト) 用基板を
約1000枚量産予定

まとめ

- 19モジュールで構成される $1/_{14}$ モデルのミニカメラを用いて、各PMTモジュールの性能評価を行う
- CIEMAT（スペイン）では初号機用カメラ筐体を用いた試験を、IAC（スペイン）ではミニカメラを用いた全245モジュールの性能評価を行っており、**2017年11月のファーストライトに向けた準備が進められている**
- **LST2-8号機搭載用読み出し回路の開発**を行っており、新たに追加したアナログメモリDRS4チップのタイミングキャリブレーション回路を用いることで**電荷分解能を改善**できることを示した
- 来年度中にLST2,3,4号機（北サイト）用に約1000枚の読み出し回路基板を量産する予定である