

CTA 報告133 :

CTA大口徑望遠鏡初号機の 焦点面カメラ統合試験

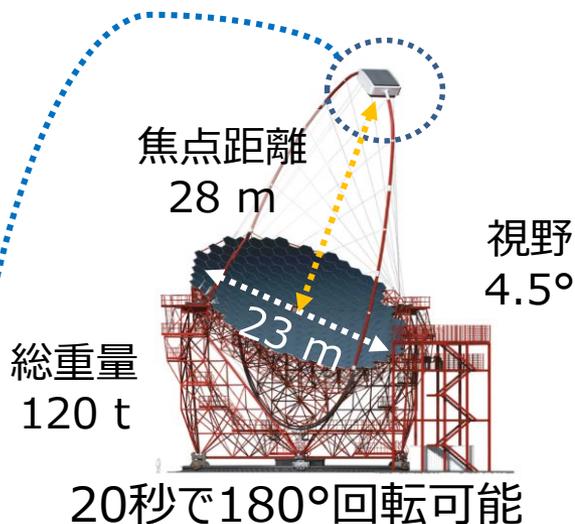
野崎誠也, 稲田知大^A, 猪目祐介^B, 岩村由樹^A, 大岡秀行^A, 奥村暁^C, 岡崎奈緒^A, 折戸玲子^D, 片岡淳^E, 片桐秀明^F, 加藤翔^A, 木村颯一郎^G, 櫛田淳子^G, 窪秀利, 郡司修一^H, 小山志勇^I, 今野裕介, 齋藤隆之^A, 櫻井駿介^A, 澤田真理^J, 砂田裕志^K, 高橋光成^A, 高原大^B, 田中真伸^L, 辻本晋平^G, 手嶋政廣^{A,M}, 寺田幸功^K, 門叶冬樹^H, 中嶋大輔^A, 中森健之^H, 永吉勤^K, 西嶋恭司^G, 西山楽^K, 林田将明^A, 馬場彩^N, 平子丈, 深見哲志^A, 増田周, 山本常夏^B, 吉田龍生^F, Daniela Hadasch^A, Daniel Mazin^A, 他CTA-Japan consortium, 池野正弘^{L,O}, 内田智久^{L,O}

京大理, 東大宇宙線研^A, 甲南大理工^B, 名大ISEE^C, 徳島大理工^D, 早稲田理工^E, 茨城大理^F, 東海大理^G, 山形大理^H, ISAS/JAXA^I, 青山大理工^J, 埼玉大理工^K, KEK 素核研^L, マックスプランク物理^M, 東大理^N, Open-It^O

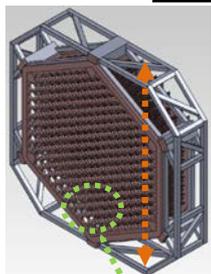


CTA大口径望遠鏡 (Large Sized Telescope:LST)

- 低エネルギー側 (20 GeV-3 TeV) に感度をもつ、口径23 mの望遠鏡



焦点面カメラ



有効径 2.2 m
1855ピクセル
光検出器モジュール
×265

光検出器モジュール

日本担当

スローコントロールボード

- * PMT HV制御
- * テストパルス生成

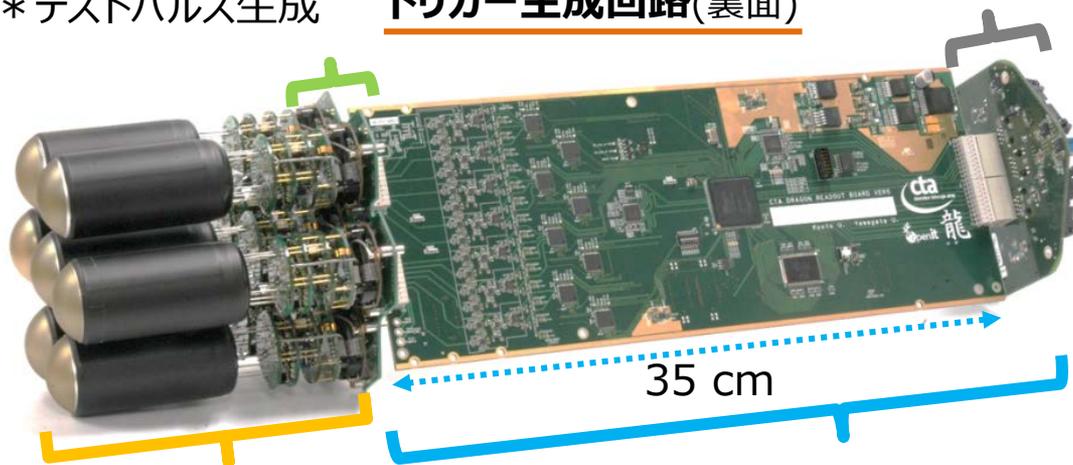
スペイン担当

トリガー生成回路(裏面)

スペイン担当

バックプレーン

- * 24 V電源供給
- * トリガー分配
- * クロック分配



日本担当

PMTユニット

- * PMT(3.8 cm径)
- * CW高圧回路
- * プリアンプ

日本担当

信号読出し回路

光検出器モジュールへの要求

LST読み出し回路への要求

夜光(数百MHz)とチレンコフ光(パルス幅 数ns)を切り分ける

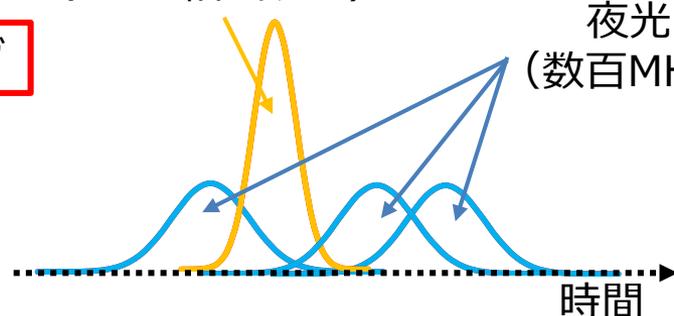
GHz波形サンプリング

約2000本のPMTを使用
発熱量を抑える

低消費電力

チレンコフ光
(パルス幅~数ns)

夜光
(数百MHz)

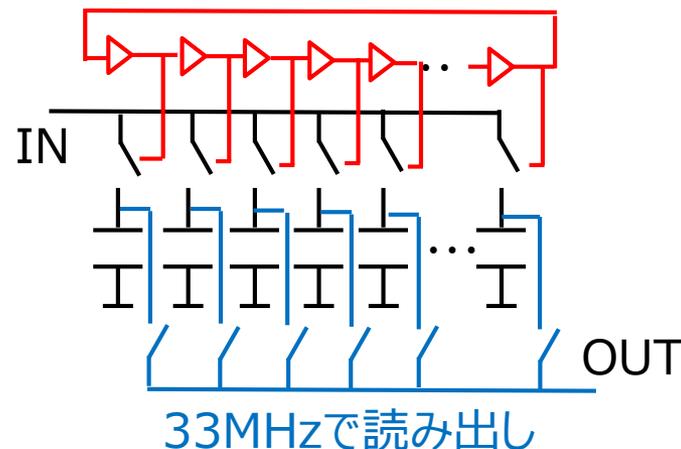


アナログメモリDRS4チップ[®] (ASIC)

- 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 μ s) \times 2系統 / 1チップ

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

1ns刻みでスイッチ切り替え



LST初号機用焦点面カメラ組み上げ・試験 現状

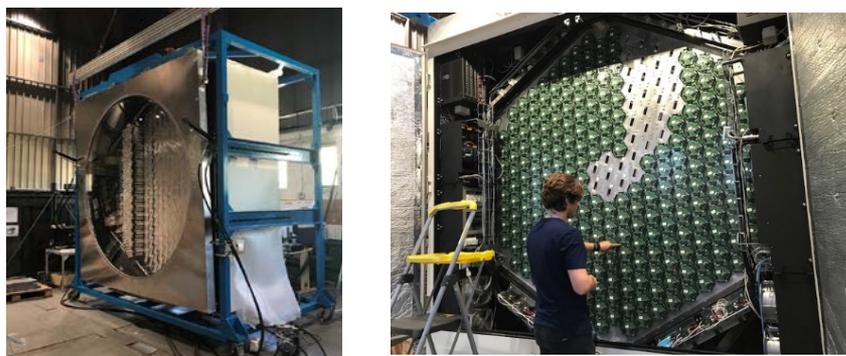
①光検出器モジュール組み立て&統合試験



③北サイトでの望遠鏡建設



②カメラ メカニクス組み立て&試験



②CIEMAT(マドリッド)



①IAC (テネリフェ島)



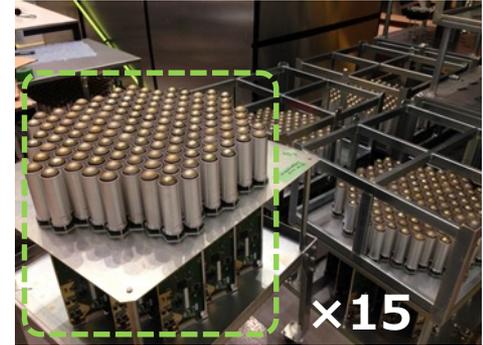
③ラ・パルマ島 (北サイト)

①光検出器モジュール統合試験 @IAC(テネリフェ)

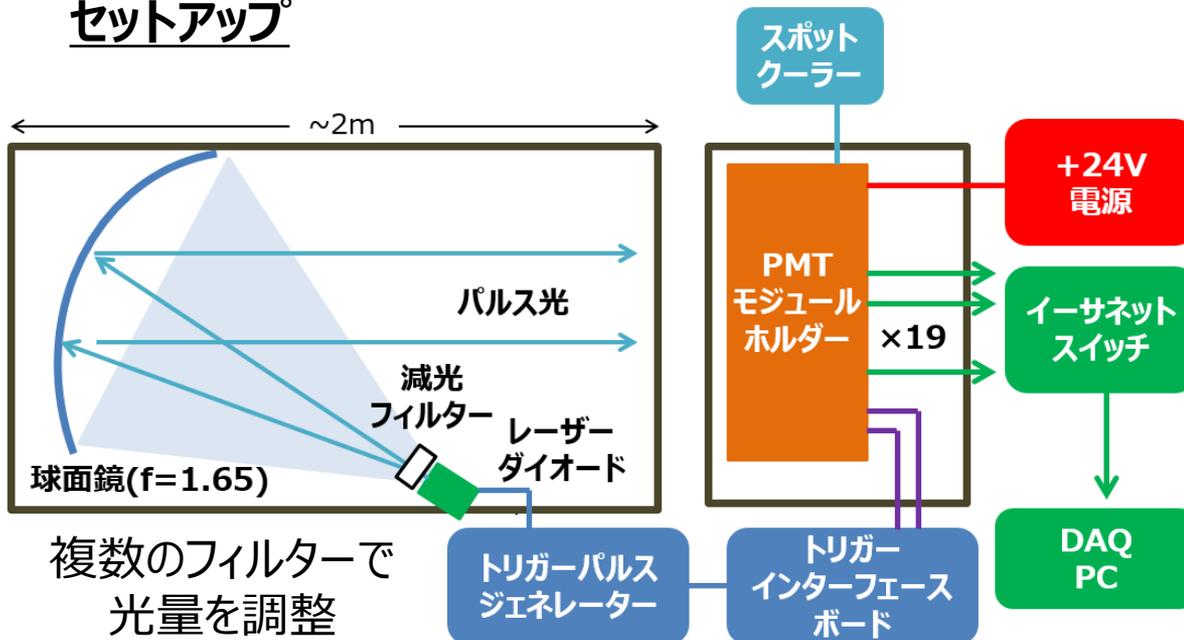
- モジュール19台 (PMT 133本)単位で試験を行い、合計で241モジュール (PMT 1687本)の性能評価を行った

試験項目

- * ノイズレベル測定
- * PMT運用電圧決定
- * 長期運用試験
- * **1光電子測定**
- * **多光電子測定**



セットアップ



19モジュールから構成されるミニカメラ



5モジュールで問題あり
→236モジュール (PMT 1652本)のデータを解析

アナログメモリDRS4 データ補正①

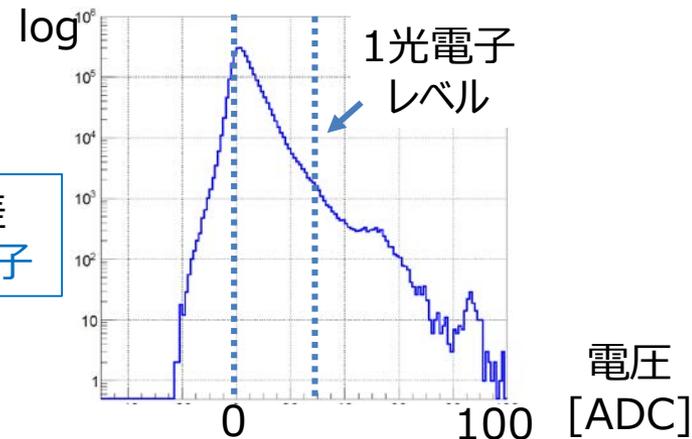
- ノイズレベル0.2光電子以下が要求値
1光電子レベル = $\sim 30 \text{ ADC} = 7.3 \text{ mV}$

- 読み出し回路単体でのペDESTAL分布 -

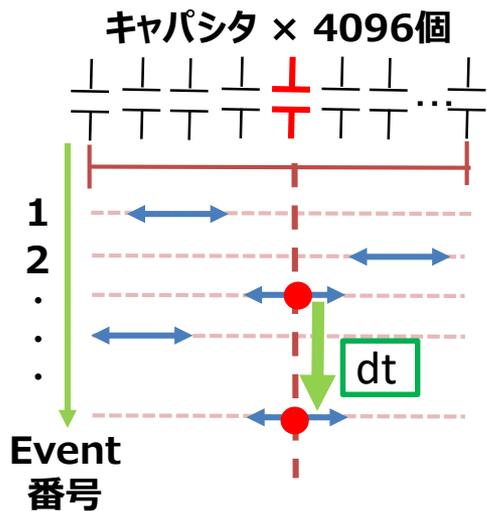
- ノイズレベル 0.19光電子
- 長いテールをもった分布

標準偏差
0.19光電子

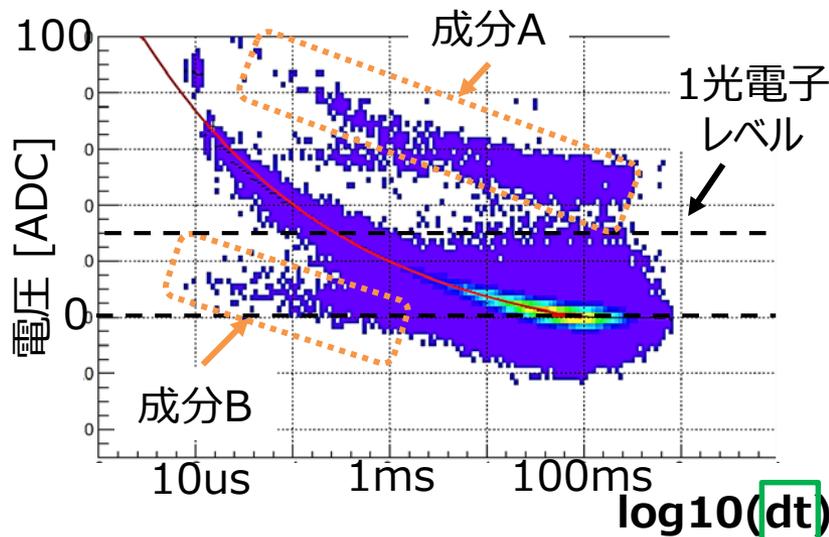
ペDESTAL分布



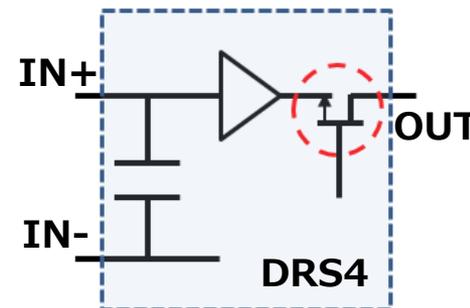
dt = 各キャパシタでの読み出し時間間隔



dtが小さいと電圧値が高くなる



出力部分の残留電荷に起因して起こる



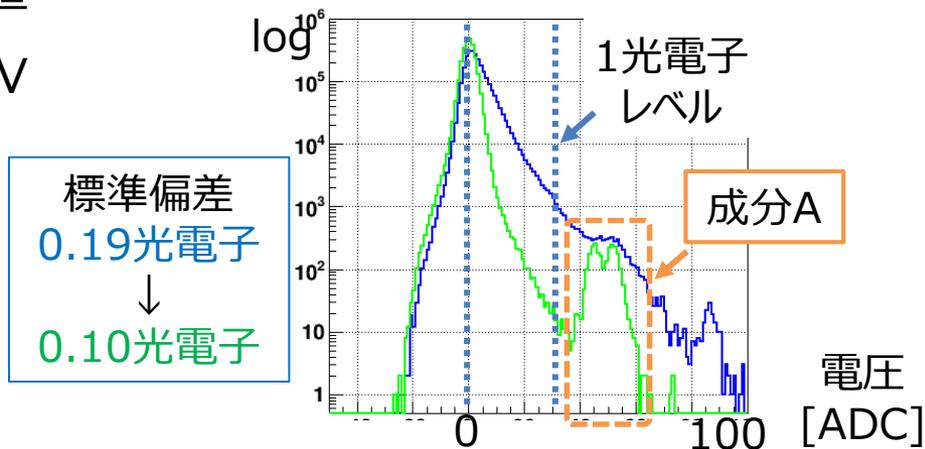
アナログメモリDRS4 データ補正①

- ノイズレベル0.2光電子以下が要求値
1光電子レベル = $\sim 30 \text{ ADC} = 7.3 \text{ mV}$

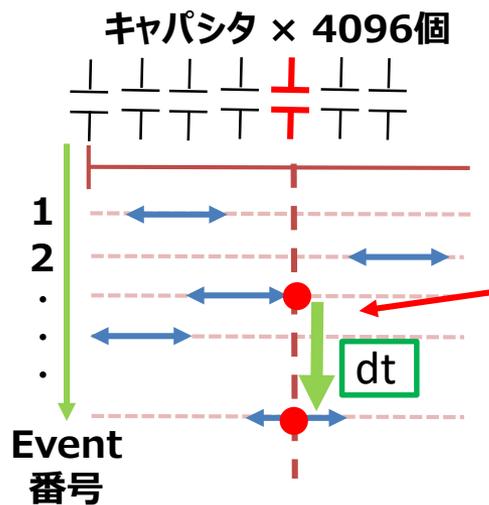
- 読み出し回路単体でのペDESTAL分布 -

- ノイズレベル 0.19光電子
- 長いテールをもった分布

ペDESTAL分布

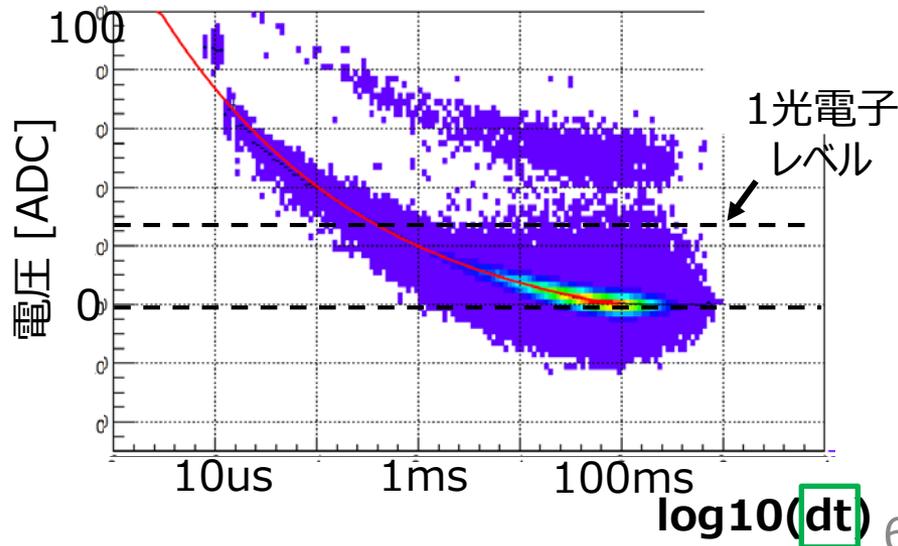


$dt =$ 各キャパシタでの読み出し時間間隔



以前、読み出し領域の最後のキャパシタ
↓
成分Bが生じる

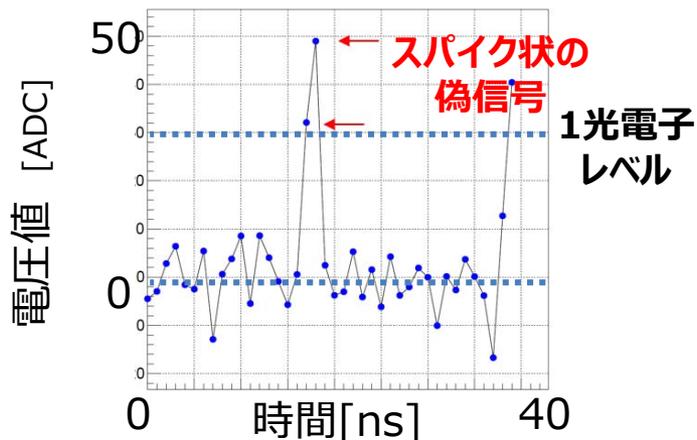
成分Bが起こる条件を理解し、補正できた



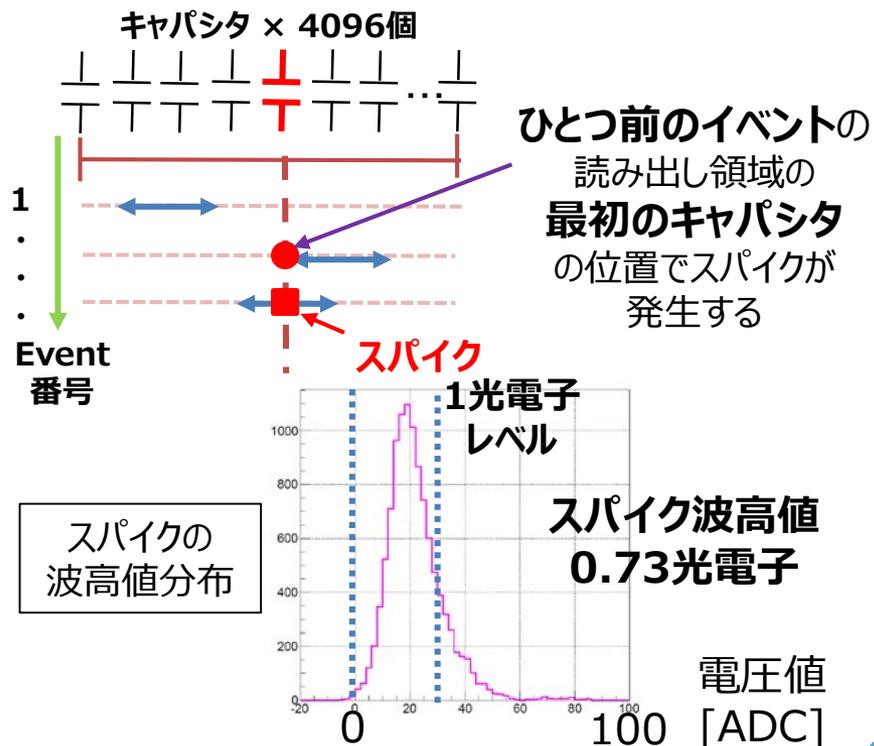
アナログメモリDRS4データ補正②

- 局所的に電圧が高くなり、spike状の偽パルス（成分A）が現れる

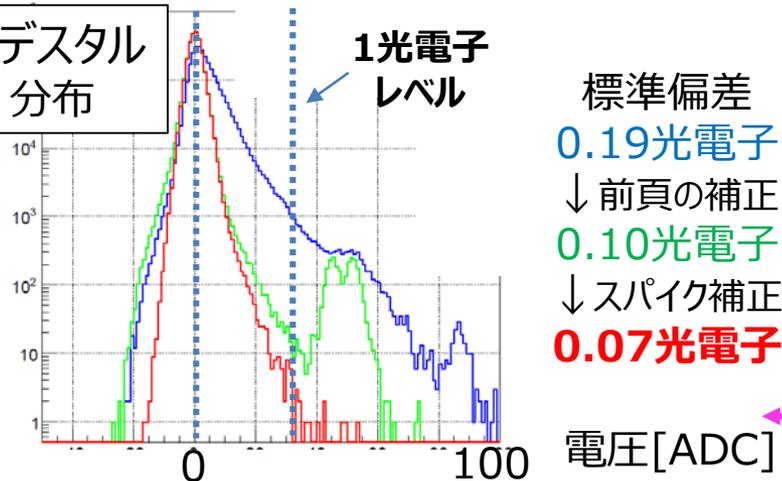
あるイベントの波形（無信号時）



あるスパイクが起こるパターン



ペDESTAL分布

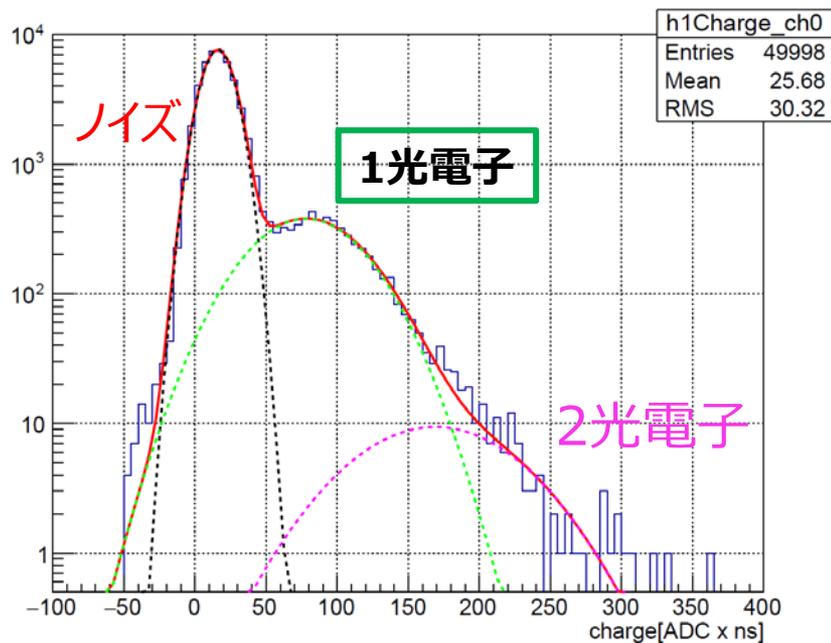


イベント内にスパイクが混入する確率 = 4.8%
(読み出しキャパシタ数40の場合)

スパイクの前後のデータを用いて線形補間

1光電子測定

あるチャンネルでの電荷分布

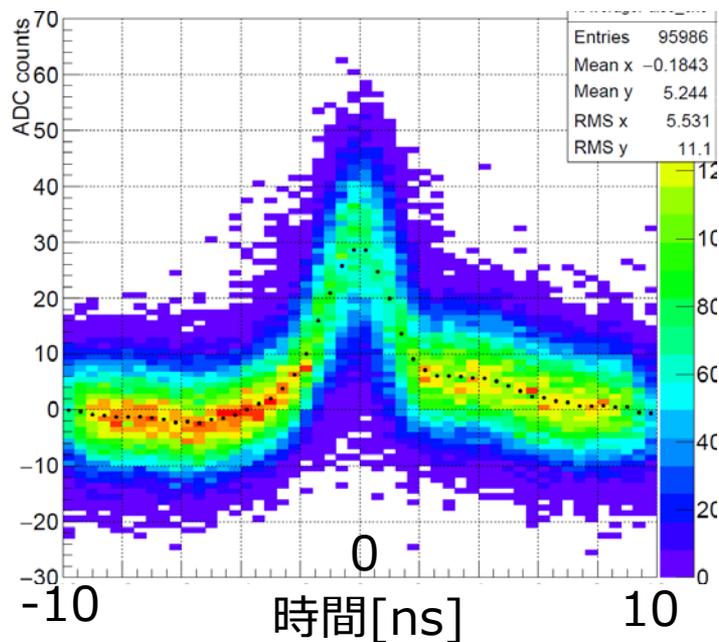


PMT 1652本の分布の
平均値と標準偏差

S/N 比

7.1 ± 0.5

あるチャンネルでの平均波形



PMT 1652本の分布の
平均値と標準偏差

**パルス幅
(FWHM)**

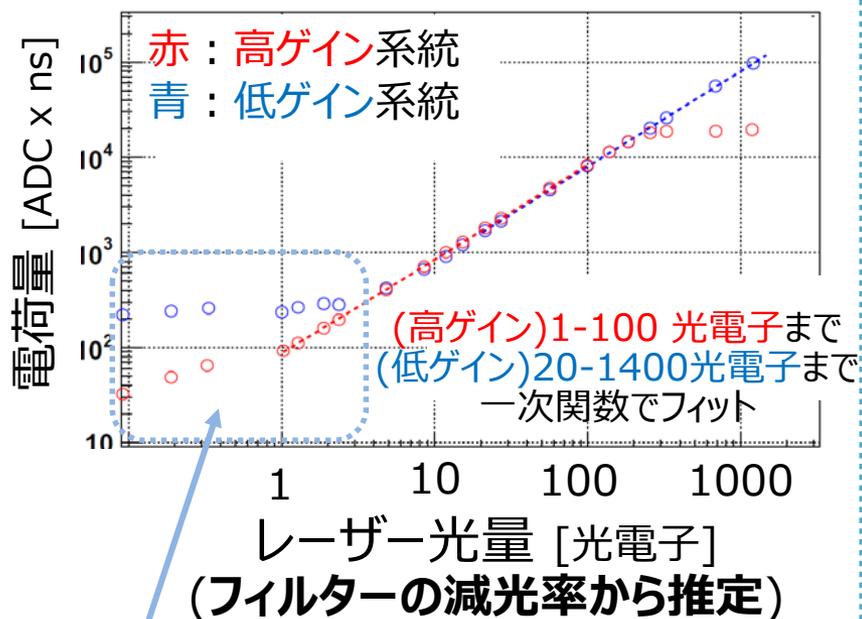
3.0 ± 0.1 ns

チェレンコフ光信号と夜光信号を切り分けるのに必要な性能を確認

多光電子測定

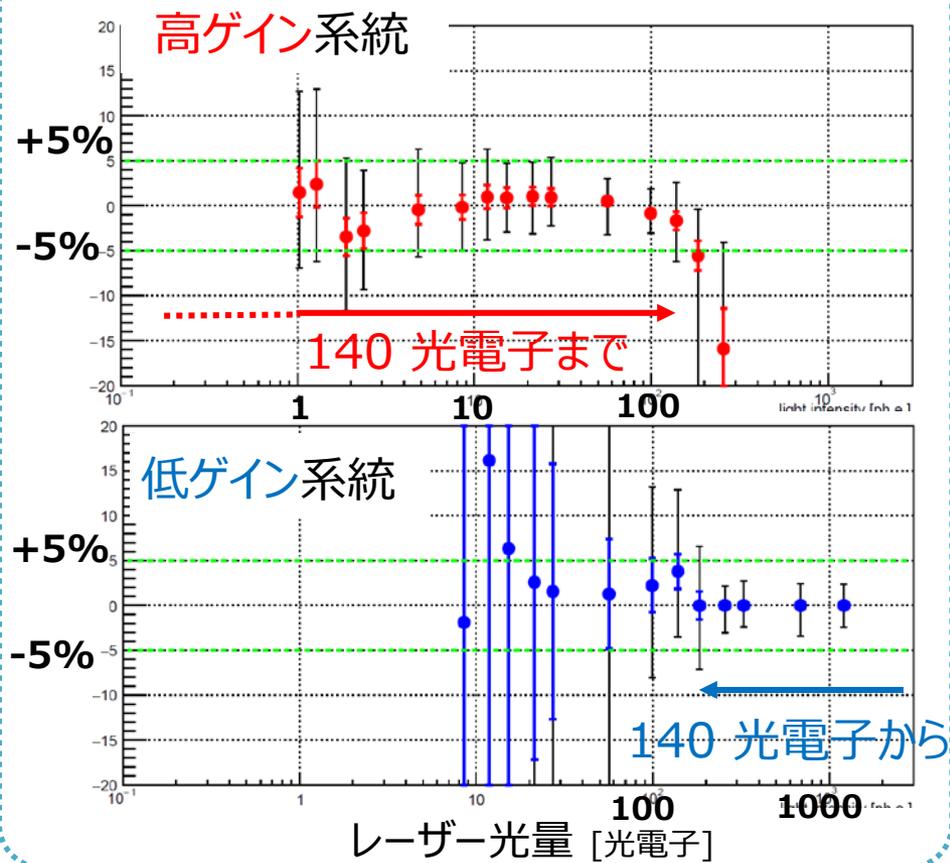
リニアリティ

ダイナミックレンジを広げるため
2系統のゲインを用いている



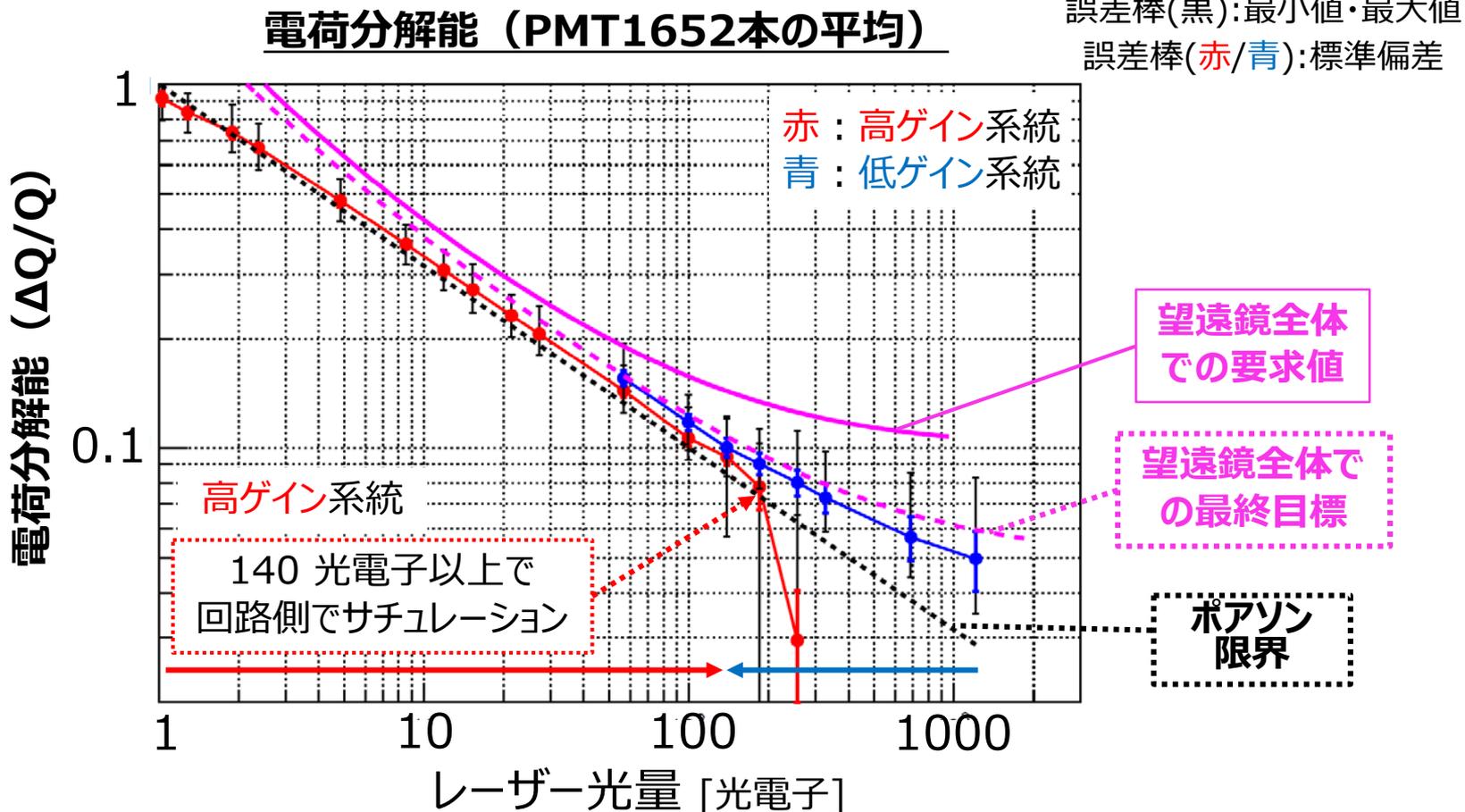
特に低光量(減光率 大)で
系統的なずれがある

フィット関数との残差 誤差棒(黒):最小値・最大値
(PMT 1652本の平均) 誤差棒(赤/青):標準偏差



多くのPMTで±5%の範囲内に
おさまっている

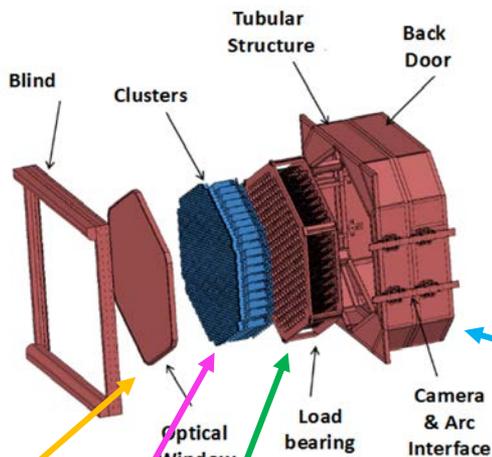
電荷分解能



236モジュール (PMT 1652本) で要求値を最低限満たしていることを確認
→日本で試験済みのモジュール (35モジュール) を合わせて
LST初号機必要分 (265モジュール) を確保

②カメラ メカニクス組み立て @CIEMAT(マドリッド)

焦点面カメラ



光学ガラス(日本担当)



光検出器モジュール (日本・スペイン担当)



33モジュール
取付け済み
(カメラ全体の1/8)

モジュールホルダー (スペイン担当)



カメラ 制御機器 (フランス担当)



カメラ背面 基板取付け (スペイン担当)



空冷+水冷システム (スペイン担当)

5月	光検出器モジュール取付け完了
6月	カメラ統合試験(室内)
7月	ラ・パルマ島に輸送
8月	カメラ統合試験(室内)
9月	望遠鏡取付け、 ファーストライト

まとめ

- **CTA大口径望遠鏡の光検出器モジュールの組み立て・統合試験を行い、これまでに計271モジュールの品質管理を終え、初号機必要分を確保した**
- 焦点面カメラ組み上げ中で、すでに1/8の光検出機モジュールの取り付けが完了した
- 5月中に全モジュールの取り付け、7月にラ・パルマ島に輸送し、統合試験を経て、**9月にファーストライト**を迎える予定である

光検出器モジュール



初号機用焦点面カメラ



建設状況

