

CTA 報告125: CTA 大口径望遠鏡初号機の 焦点面検出器開発状況



櫻井駿介

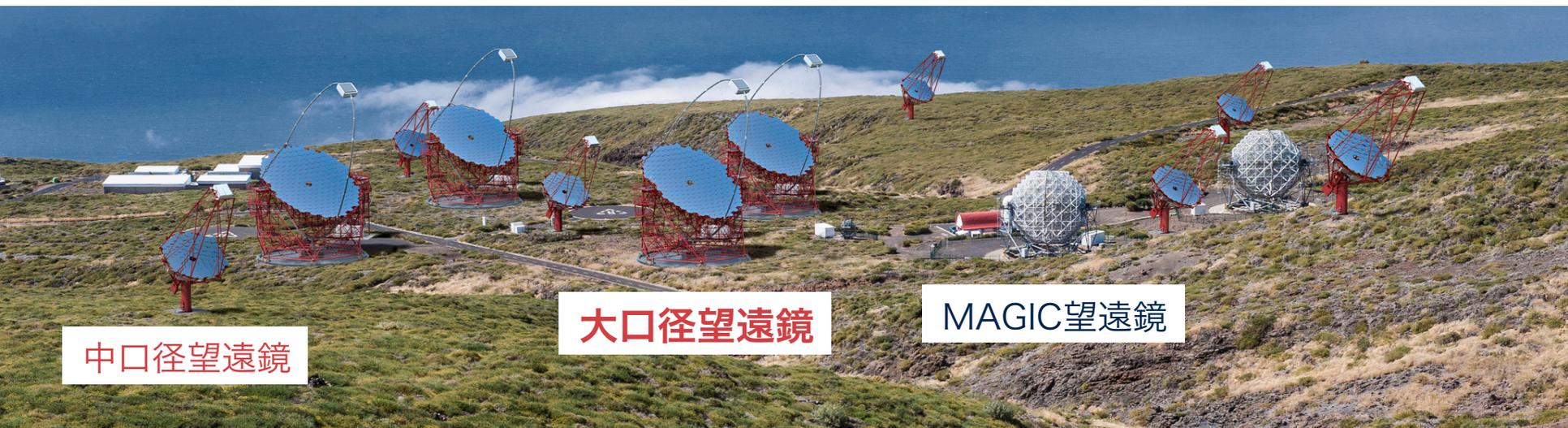


櫻井駿介 A, 池野 正弘 M,Q, 稲田 知大 A, 猪目 祐介 B, 岩村 由樹 A, 内田 智久 M,Q, 大岡 秀行 A, 奥村 暁 C, 岡崎 奈緒 A, 折戸 玲子 D, 片岡 淳 E, 片桐 秀明 F, 木村 颯一郎 G, 櫛田 淳子 G, 窪 秀利 H, 郡司 修一 I, 小山 志勇 J, 今野裕介 H, 齋藤 隆之 A, 澤田 真理 K, 砂田 裕志 L, 高橋 光成 A, 田中 真伸 M,P, 辻本 晋平 G, 手嶋 政廣 A,N, 寺田 幸功 L, 門叶 冬樹 I, 中嶋 大輔 A, 中森 健之 I, 永吉 勤 L, 西嶋 恭司 G, 西山 楽 L, 野崎 誠也 H, 林田 将明 P, 馬場 彩 O, 平子 丈 H, 深見 哲志 A, 増田 周 H, 山本 常夏 B, 吉田 龍生 F, Daniela Hadasch A, Daniel Mazin A, 他 CTA-Japan consortium
東大宇宙線研 A, 甲南大理工 B, 名大 ISEEC, 徳島大理工 D, 早稲田大理工 E, 茨城大理 F, 東海大理 G, 京大理 H, 山形大理 I, 宇宙研 J, 青山大理工 K, 埼玉大理工 L, 高工ネ研 M, Max Planck Institut fur Physik N, 東大理 O, 千葉大理 P, Open-It Q

Cherenkov Telescope Array (CTA)

次世代地上ガンマ線天文台

- * 三種類の異なる口径の望遠鏡
- * 従来の望遠鏡と比較して
 - * 一桁高い検出感度
 - * 一桁広いエネルギー帯域 (20 GeV – 300 TeV)
- * スペイン領ラ・パルマ島 (北天)、チリ・パラナル (南天) に望遠鏡を設置し全天を観測
- * ガンマ線を通じた極限宇宙の理解



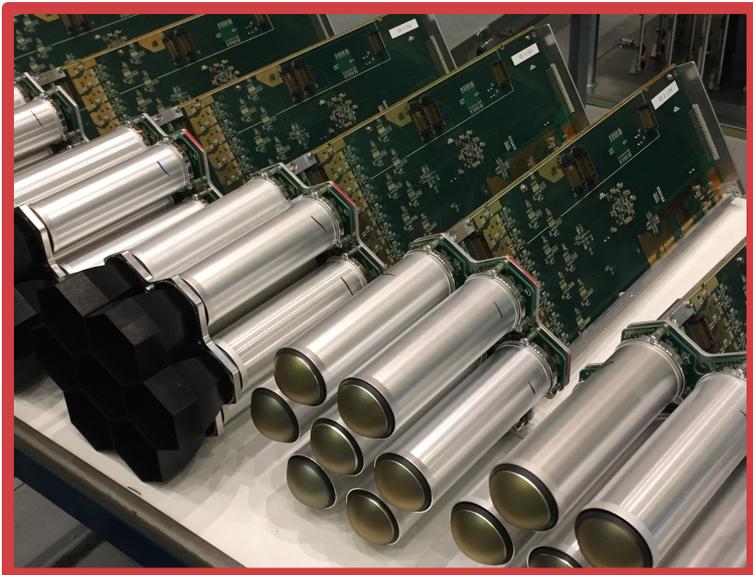
中口径望遠鏡

大口径望遠鏡

MAGIC望遠鏡

CTA 大口径望遠鏡 (LST)

焦点面検出器及び主鏡の開発は日本が主導
(他、ドイツ、スペイン、イタリア)

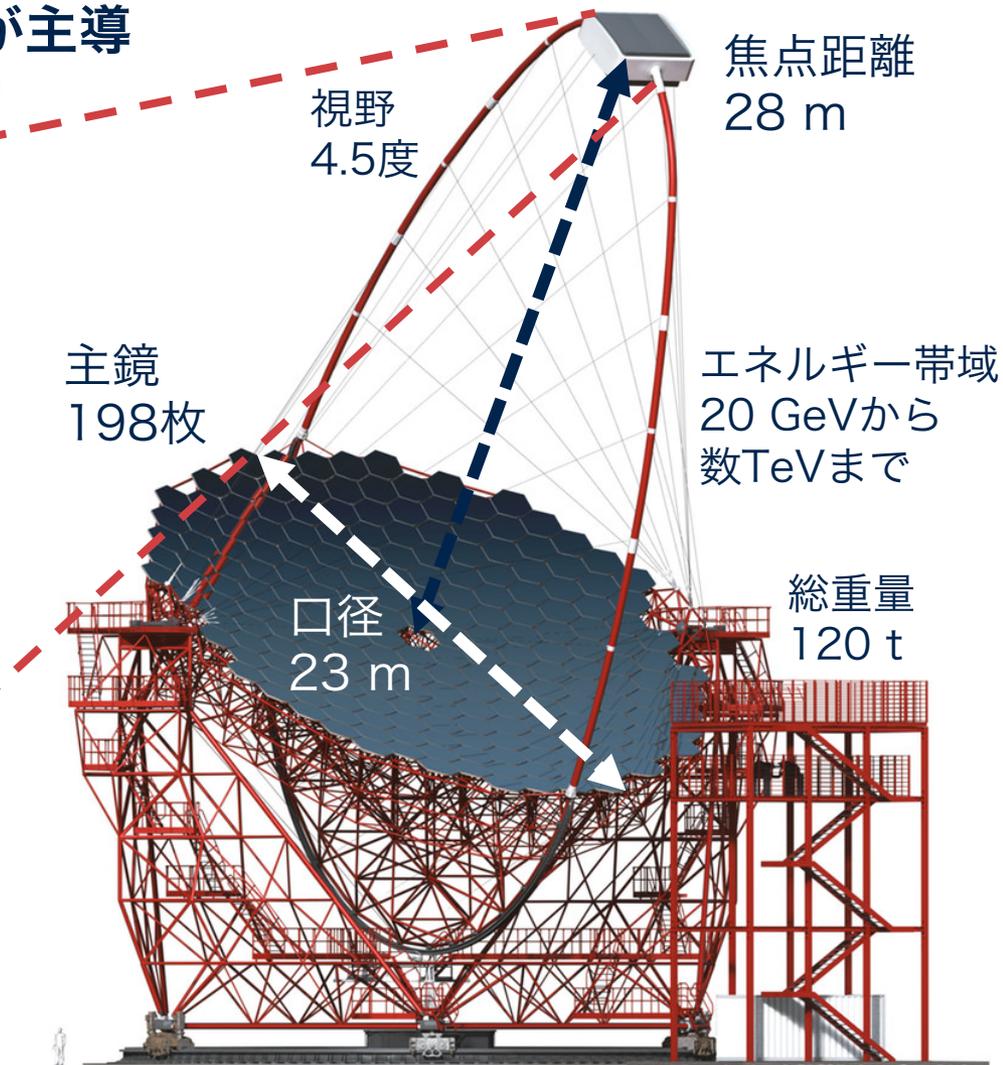


PMTモジュール

PMT 7本 (平均量子効率40%以上)
信号読み出し基盤
(1 GHz 高速波形サンプリング)
焦点面カメラに265モジュール搭載

現在初号機建設中

2018年6月ファーストライト

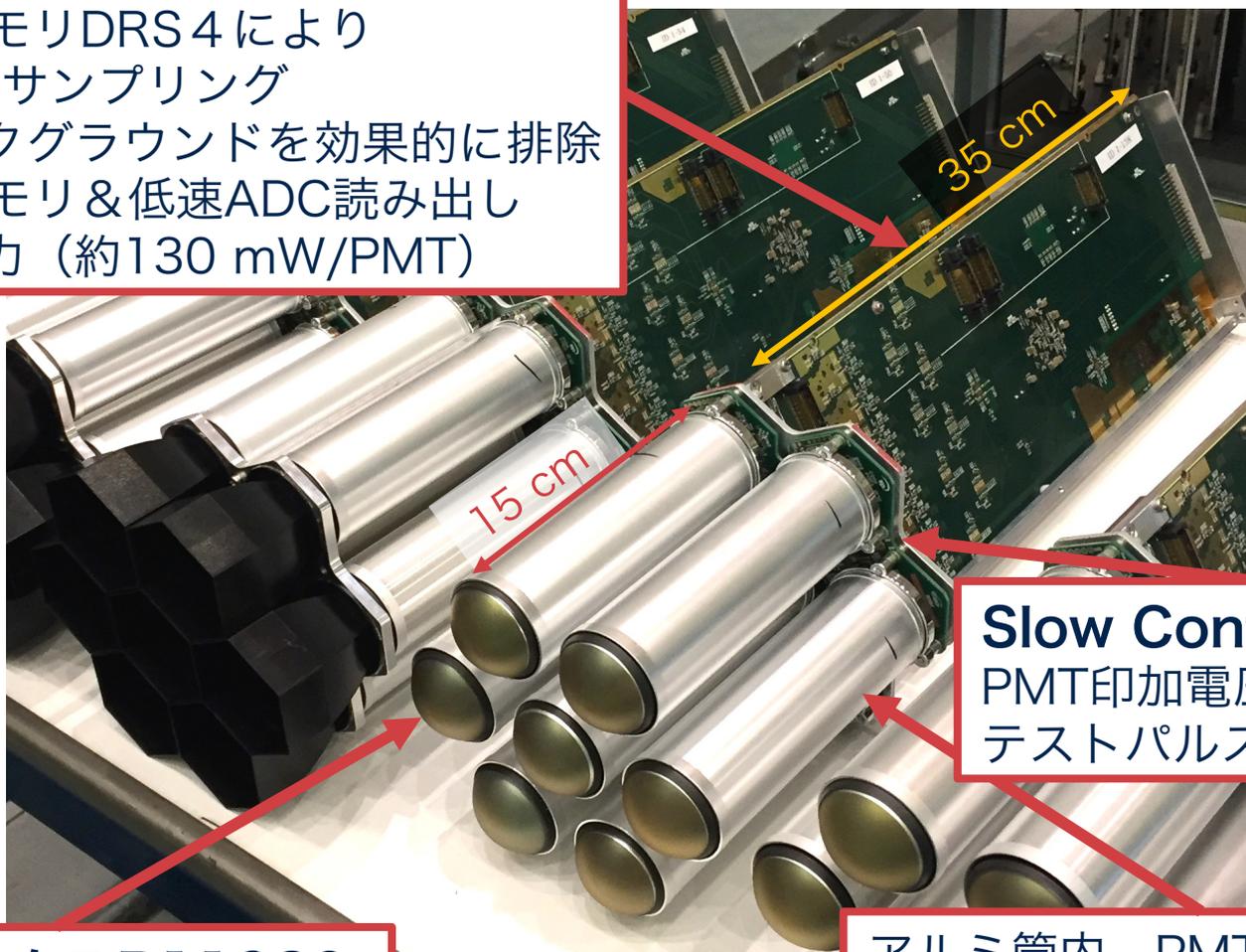


Credit: CTA-Observatory.org

焦点面検出器: PMTモジュール

Dragon board V5

アナログメモリDRS4により
高速1 GHz サンプリング
->夜行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読み出し
->低消費電力 (約130 mW/PMT)



Slow Control Board

PMT印加電圧の調整
テストパルスの生成

浜松ホトニクスR11920

平均量子効率40%以上
高ゲイン、低ゲイン差動出力

アルミ管内、PMT後方に
CW-HV回路、プリアンプ内蔵

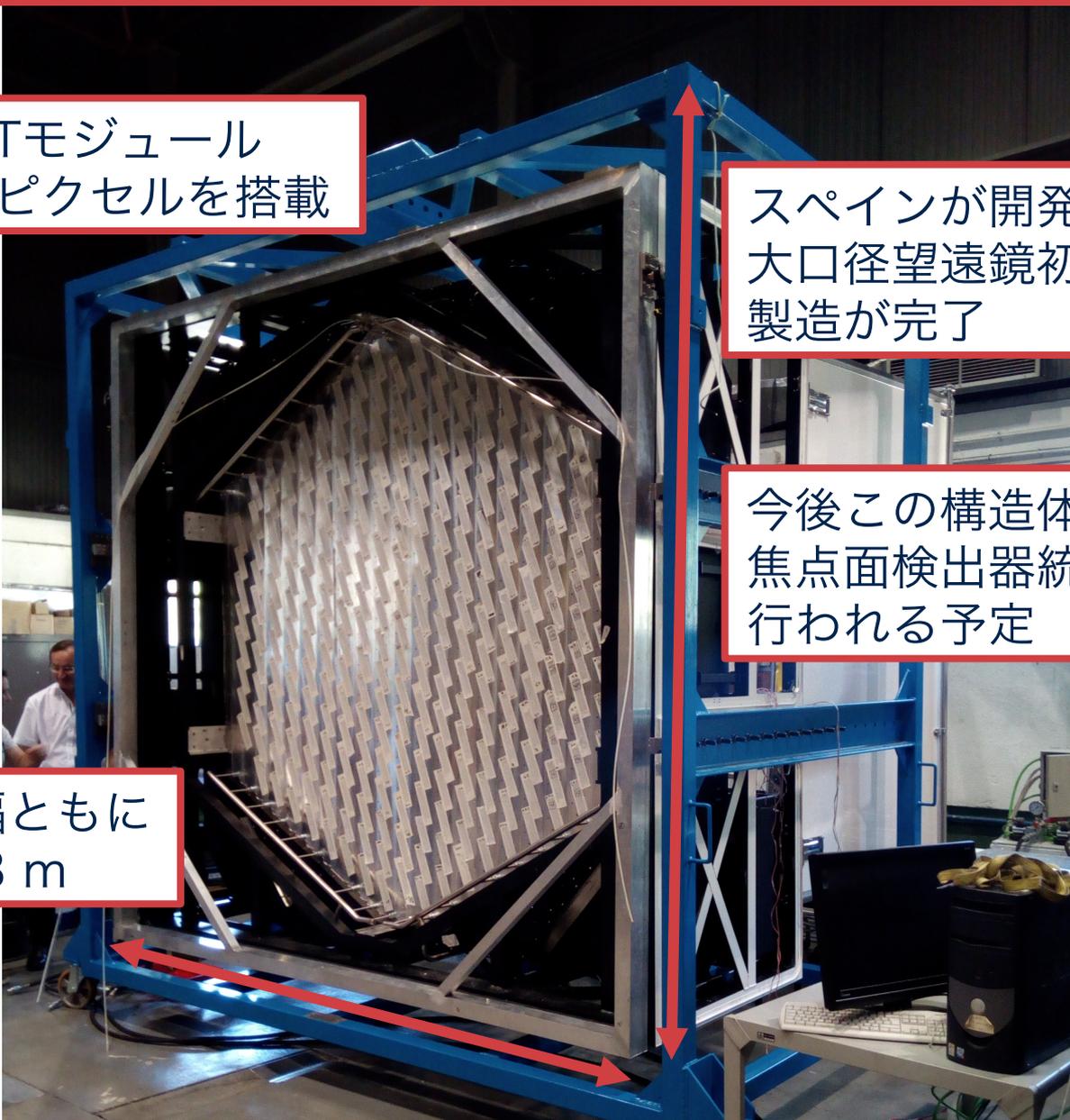
焦点面構造体の開発状況

265PMTモジュール
計1855ピクセルを搭載

スペインが開発を担当
大口径望遠鏡初号機用は
製造が完了

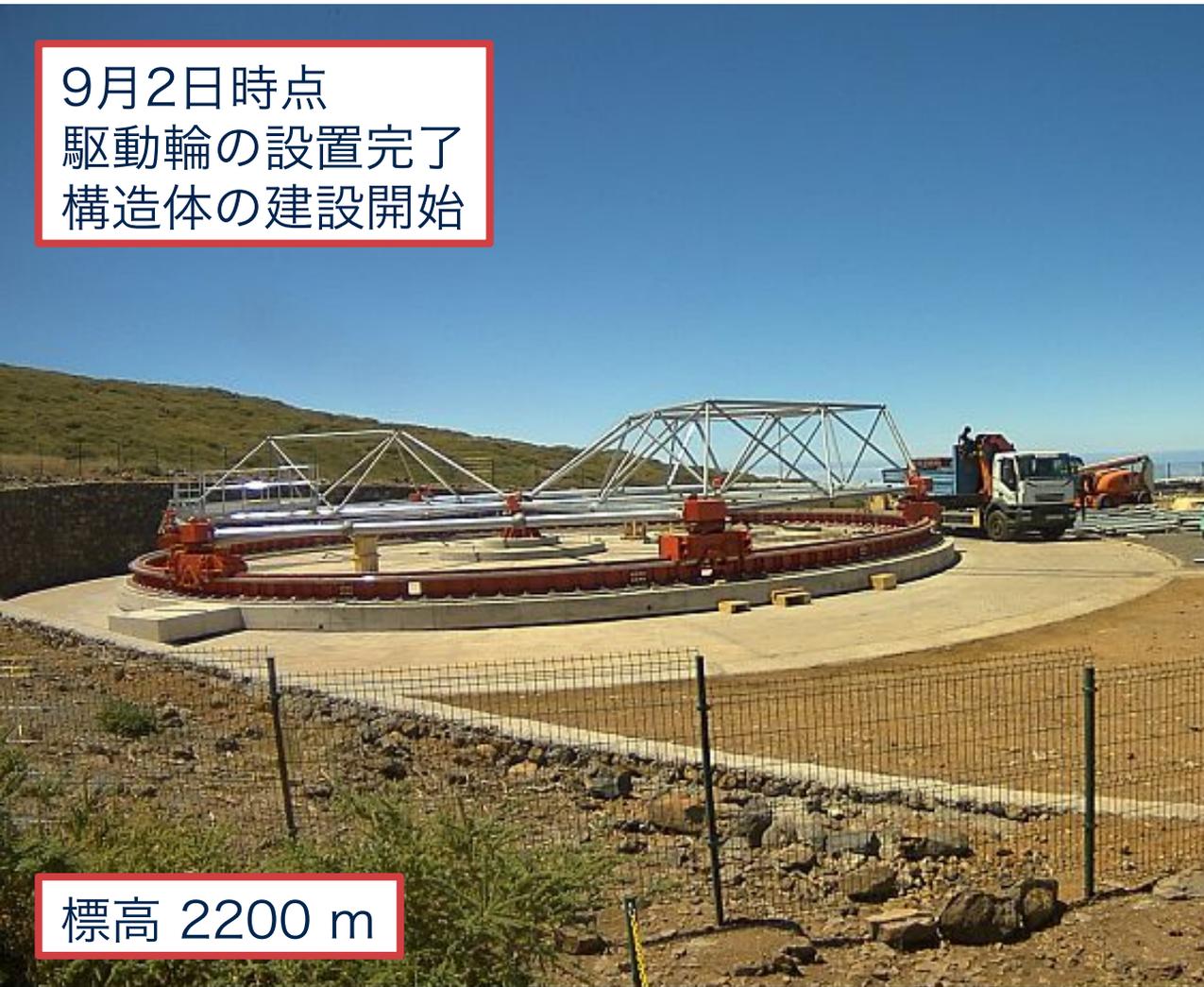
今後この構造体を用いた
焦点面検出器統合試験が
行われる予定

高さ、幅ともに
大きさ 3 m



大口径望遠鏡初号機建設の現状

9月2日時点
駆動輪の設置完了
構造体の建設開始



標高 2200 m



空港から車で
約二時間

スペイン領
ラ・パルマ島

LST1 telescope construction site - Sat Sep 2 12:25:01 UTC 2017 - <http://www.lst1.iac.es>

Credit: www.lst1.iac.es

MiniCameraによるPMTモジュール統合試験

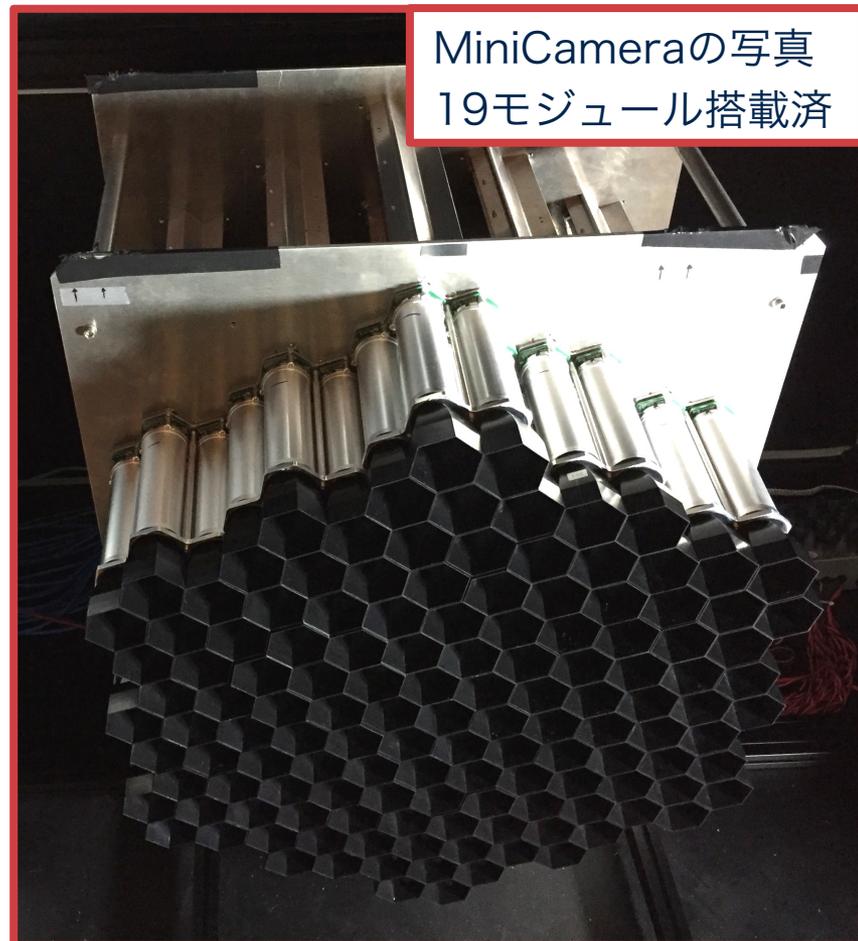
MiniCamera

- * 19モジュール（133ピクセル）の小型カメラを用いた統合試験

目的

- * PMTモジュールとしての性能評価
および要求値、過去の測定との比較
(今回の発表内容)
- * データ収集システムの構築・評価
- * トリガー分配試験 等

2017年始めから
スペイン領テネリフェ島
IAC研究所で
組み立て及び統合試験を開始



MiniCameraの写真
19モジュール搭載済

性能評価の測定・試験項目

測定項目

- * 一光電子測定 (HV=1400 V)
- * 印加電圧 vs PMT増幅率
- * 運用印加電圧 (増幅率4万)
- * ノイズレベル
- * 一光電子測定 (増幅率4万)
- * 入射光量に対する線形応答性

その他

- * 長時間安定性
- * 試験結果のデータベース化

目的

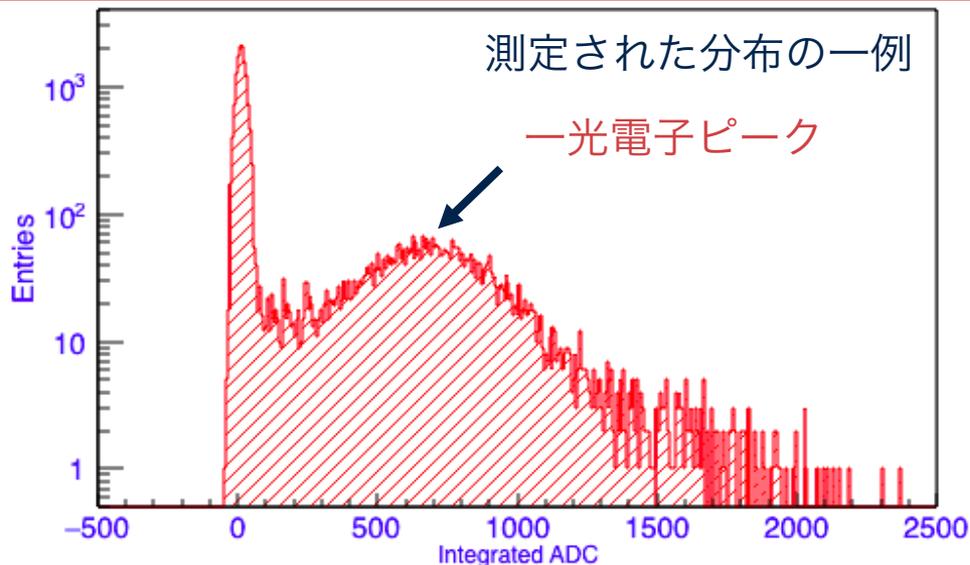
- * 運用電圧の決定
->トリガー効率を保つパルス幅のため
- * S/N比の確認
->ガンマ線観測エネルギー閾値に影響
- * ダイナミックレンジの確認
->広いチェレンコフ光の入力に対応

現在までに大口径望遠鏡一号機に必要な全モジュール (265+5) 個の組み立て及び性能試験が終了

テネリフェで測定された235モジュールに関して性能試験の結果を報告

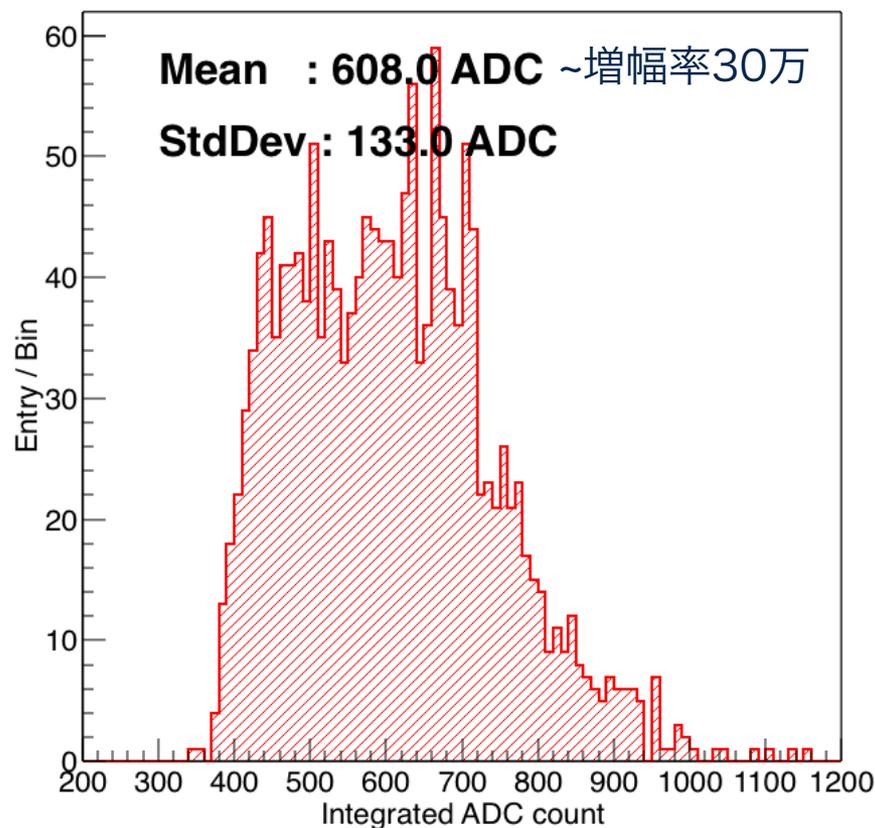
35モジュールは日本で性能評価済

一光電子測定によるPMT増幅率の絶対値推定 (HV=1400 V)



すべてのモジュール内ピクセルにおいて
一光電子の測定に成功

一光電子電荷の分布~HV1400での増幅率



はじめに

高印加電圧=高増幅率で一光電子を測定

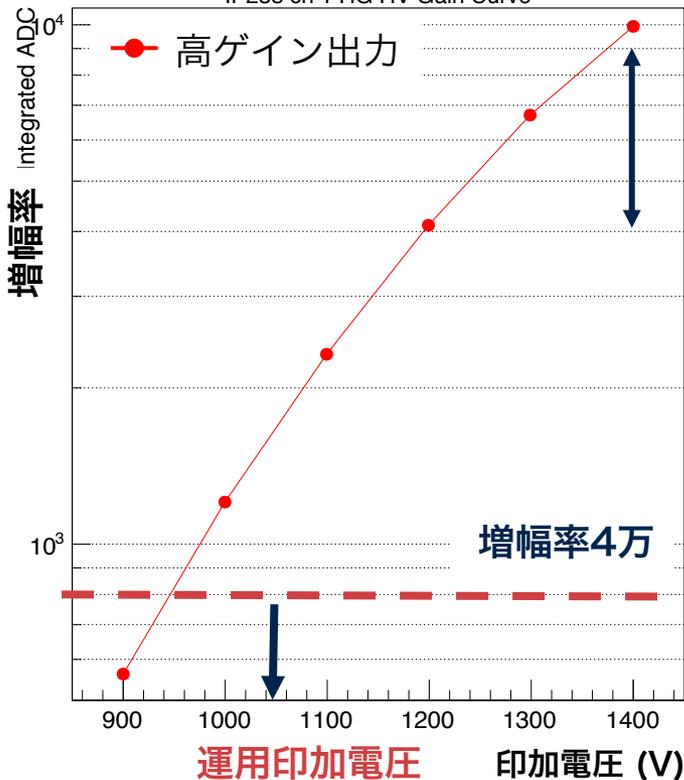
->PMTの増幅率絶対値を推定

印加電圧 vs 増幅率の測定と合わせて

増幅率4万となる印加電圧を求める

印加電圧 vs PMT増幅率の測定と運用印加電圧

IP238 ch 1 HG HV Gain Curve

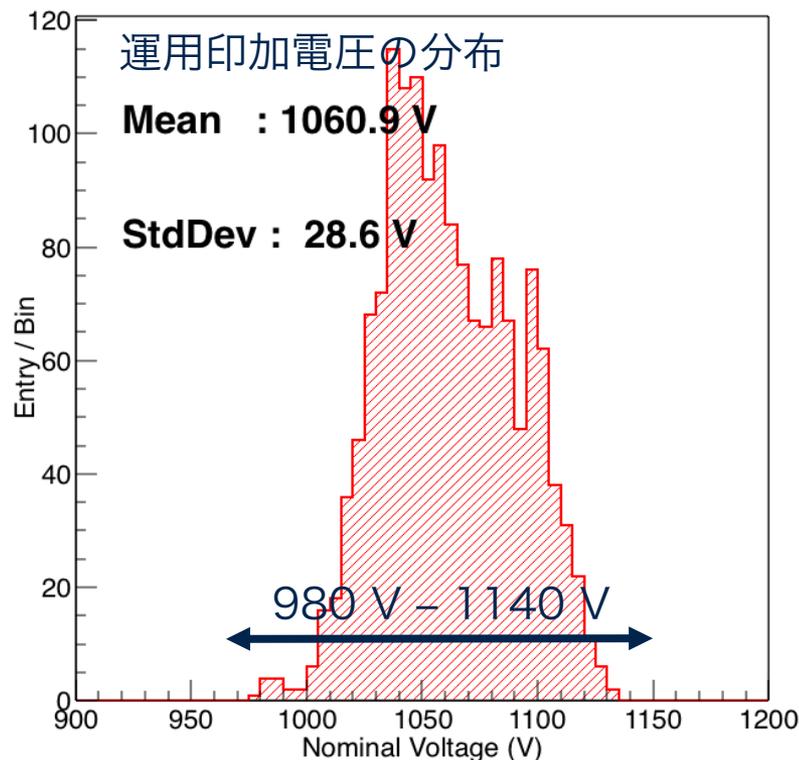


1. 印加電圧を変化させながら一定光量の光を測定
->印加電圧に対する増幅率の変化を推定
2. 先の一光電子測定の結果から
左図の曲線の絶対値を決定
3. 増幅率4万となる印加電圧を決定
->運用印加電圧

運用印加電圧の平均値、分布ともに
PMT単体時の測定と無矛盾

c.f. 高橋講演 2015年秋

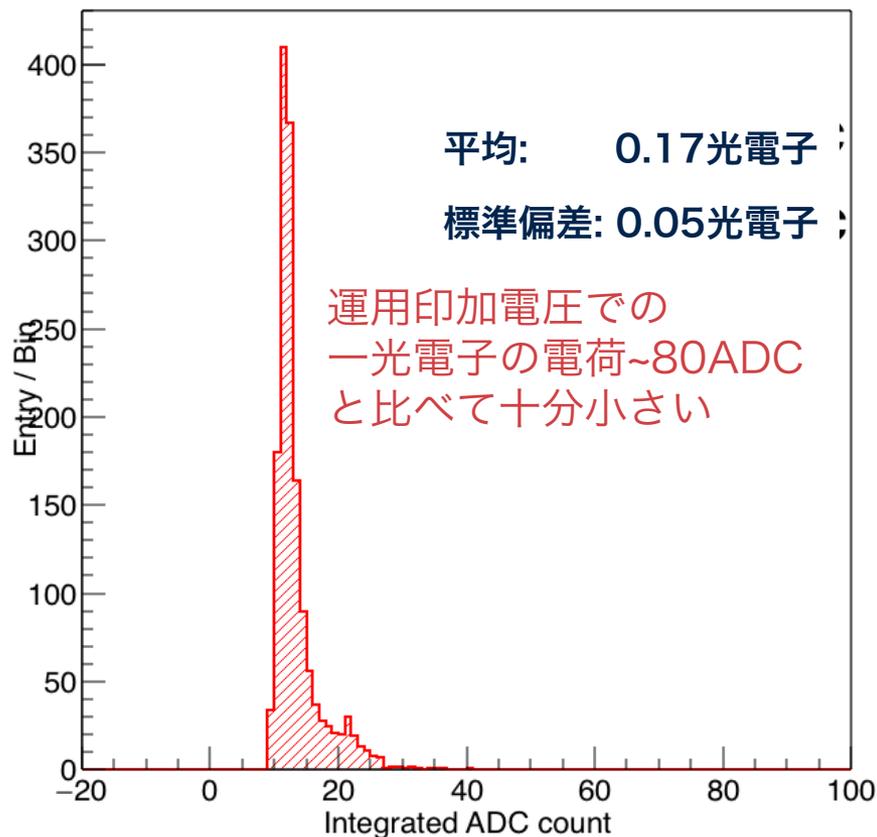
再現性を確認



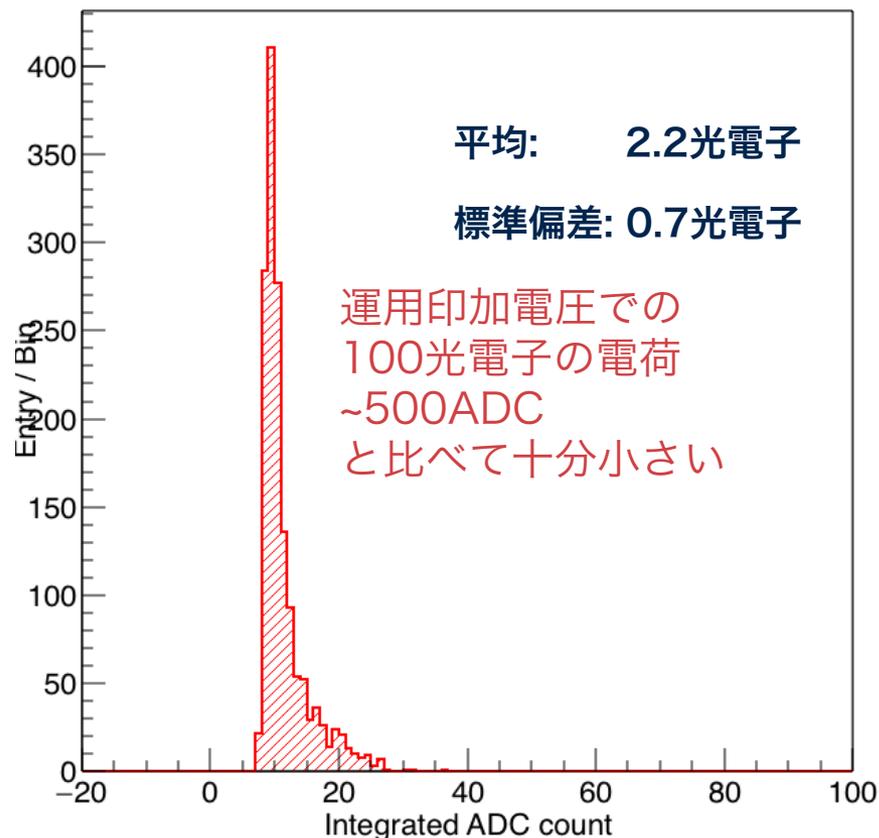
ノイズの標準偏差分布

光をシャッターで遮った状態で
ノイズレベルを測定

高ゲイン出力 100光電子まで

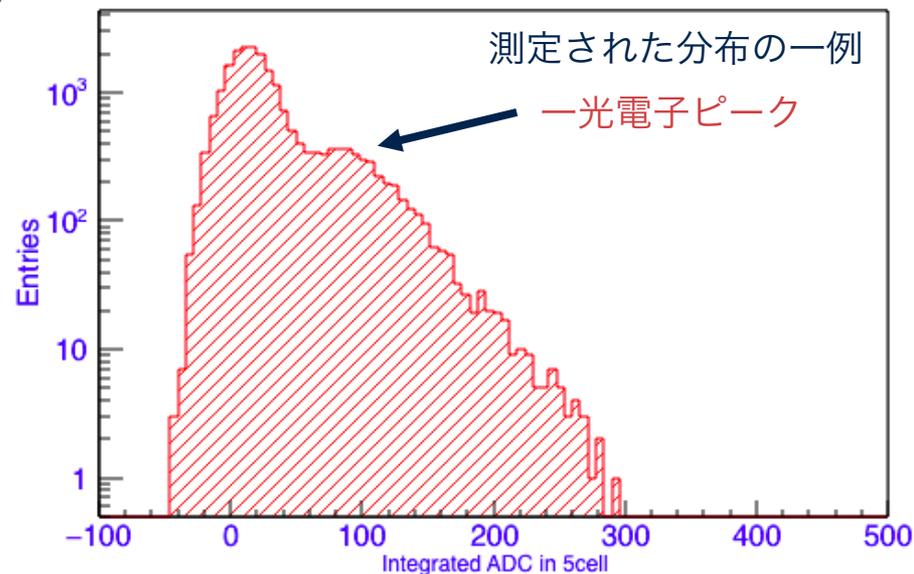
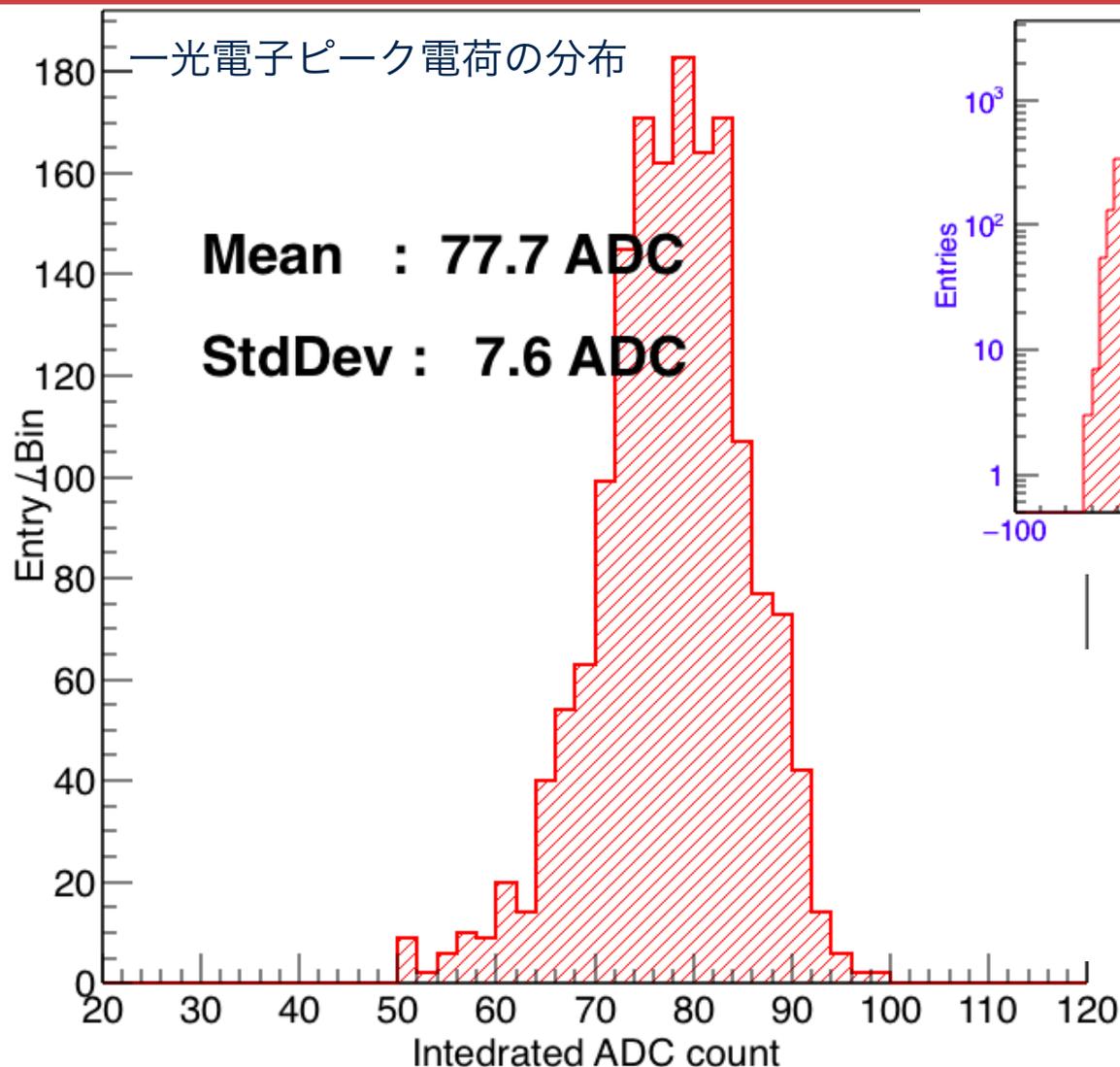


低ゲイン出力 2000光電子まで



高ゲイン、低ゲインそれぞれの出力チャンネルで
低ノイズを実現

運用電圧での一光電子分布とピーク電荷

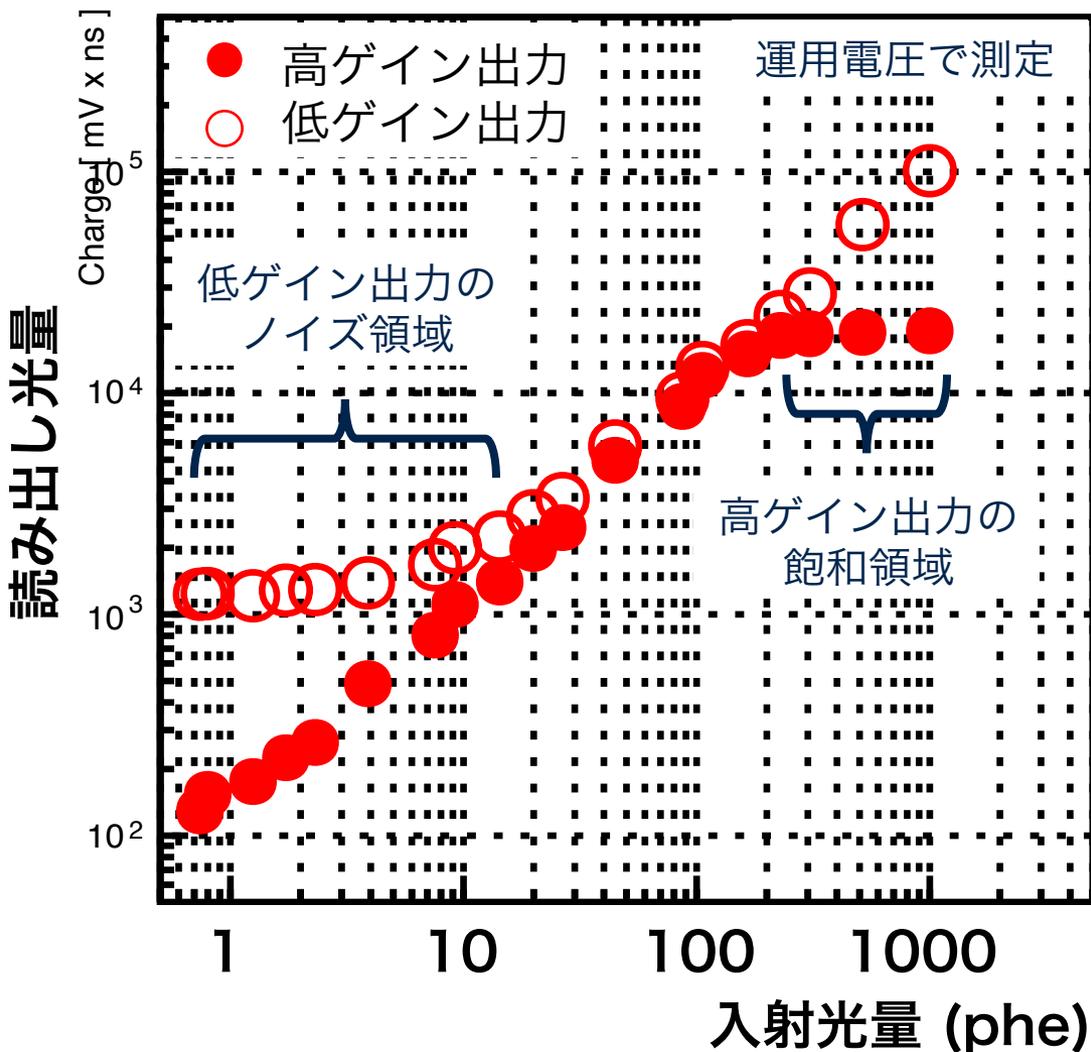


運用電圧で一光電子を測定

高ゲイン出力チャンネルでは
S/N比が平均5以上を実現
要求性能を満たしている

入射光量に対する線形応答性

Linearity curve PMT1



NDフィルターにより入射光量を変化させながら高、低ゲイン出力で出力の線形性を評価

高ゲインと低ゲイン合わせて約3桁のダイナミックレンジを実現

大気チェレンコフ光の広い強度の入力に対応

まとめ

2018年6月のファーストライトに向けて

- * 大口径望遠鏡の運用に向け、日本は焦点面検出器の開発を主導してきた。
- * 235個のPMTモジュールが現地で組み立てられ、
初号機に搭載される(265+5)PMTモジュール全てが性能評価を受けた。
- * 試験結果が**望遠鏡の要求性能を満たしている**ことを確認。
- * 試験結果は過去の測定とも矛盾していない。
- * **初号機の建設も順調**に進んでいる。
- * 今後、完成した焦点面構造体を用いて265モジュール使用した
焦点面検出器最終統合試験が予定されている。

2018年はCTAおよびラ・パルマ島に注目！