

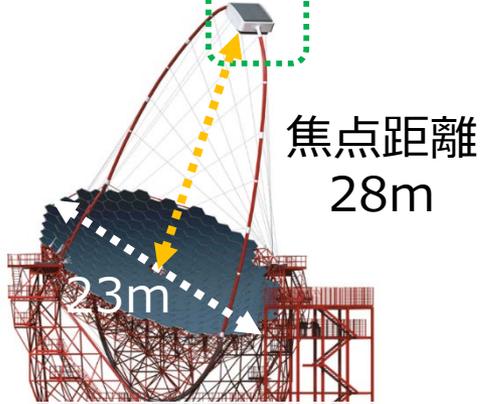
CTA 報告150 : CTA大口徑望遠鏡初号機の 焦点面カメラ試運転試験

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

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

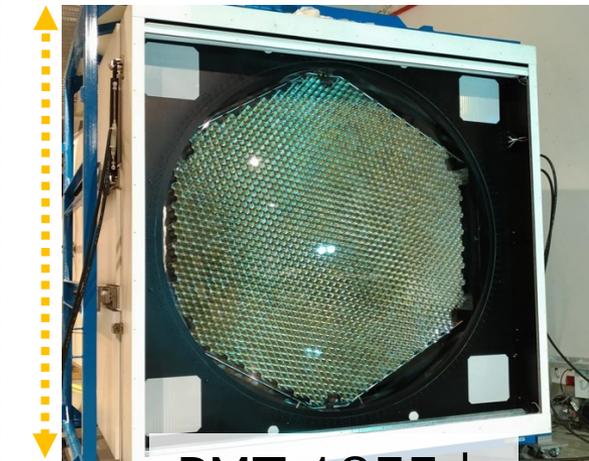
CTA 大口径望遠鏡初号機 焦点面カメラ

大口径望遠鏡



低エネルギー閾値 (20GeV)

焦点面カメラ



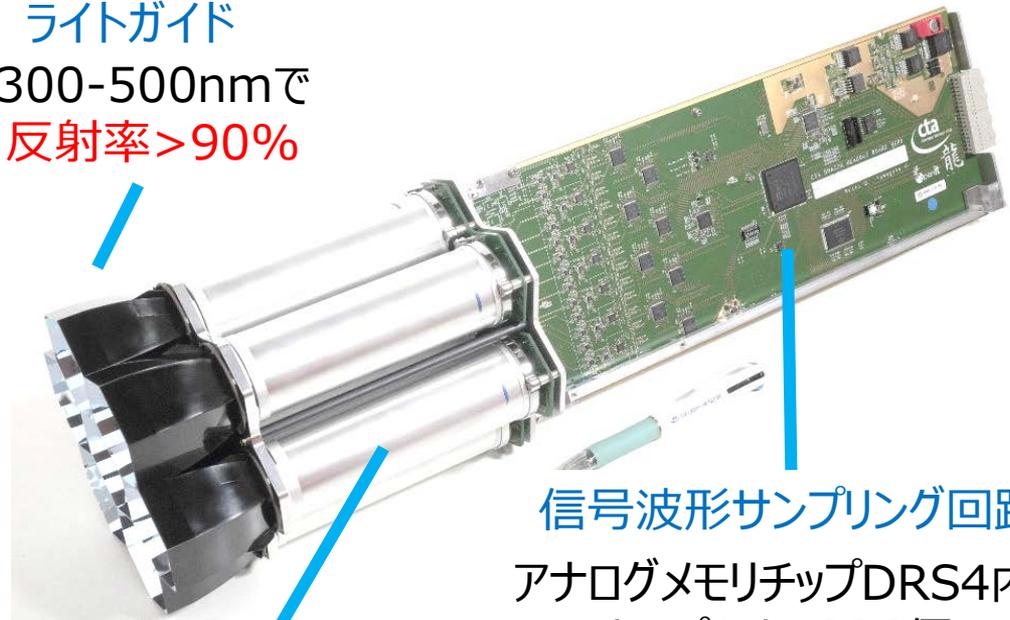
PMT 1855本
視野4.5°

光検出器モジュール

低エネルギー閾値を達成するために開発

ライトガイド

300-500nmで
反射率>90%

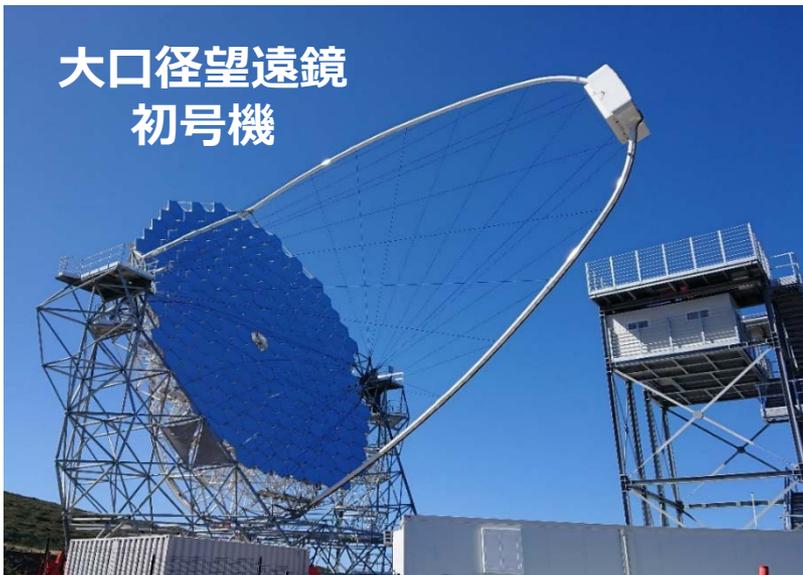
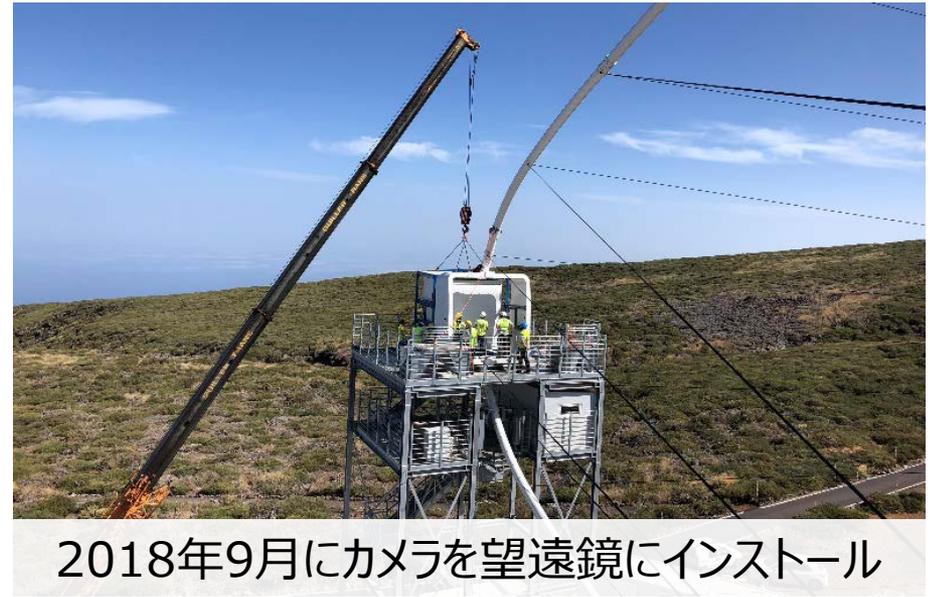
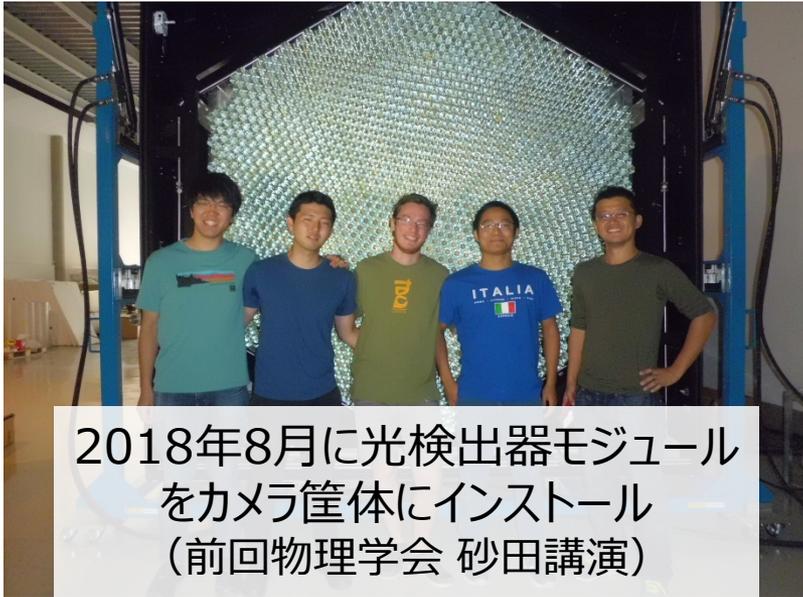


平均QE>40%

アナログメモリチップDRS4内の
キャパシタ4096個に
1GHz波形サンプリング
(メモリ深さ4us)

裏面：トリガー生成回路基板
後方：バックプレーンボード
(電源・トリガー・クロック分配)

大口径望遠鏡初号機へのカメラインストール

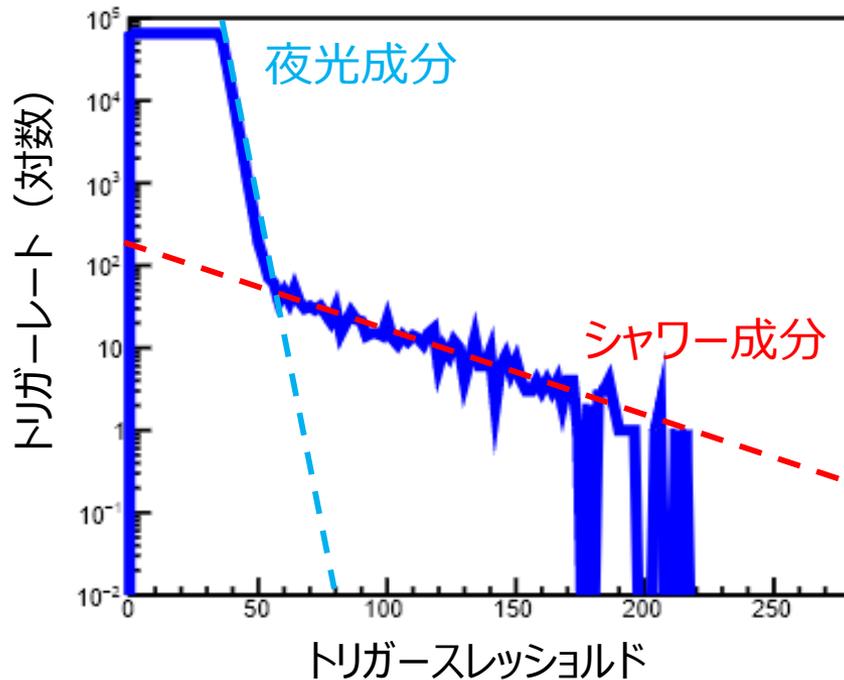


焦点面カメラを望遠鏡に取り付けた状態で
試運転試験をおこなっている

ファーストライト (2018年12月14日)

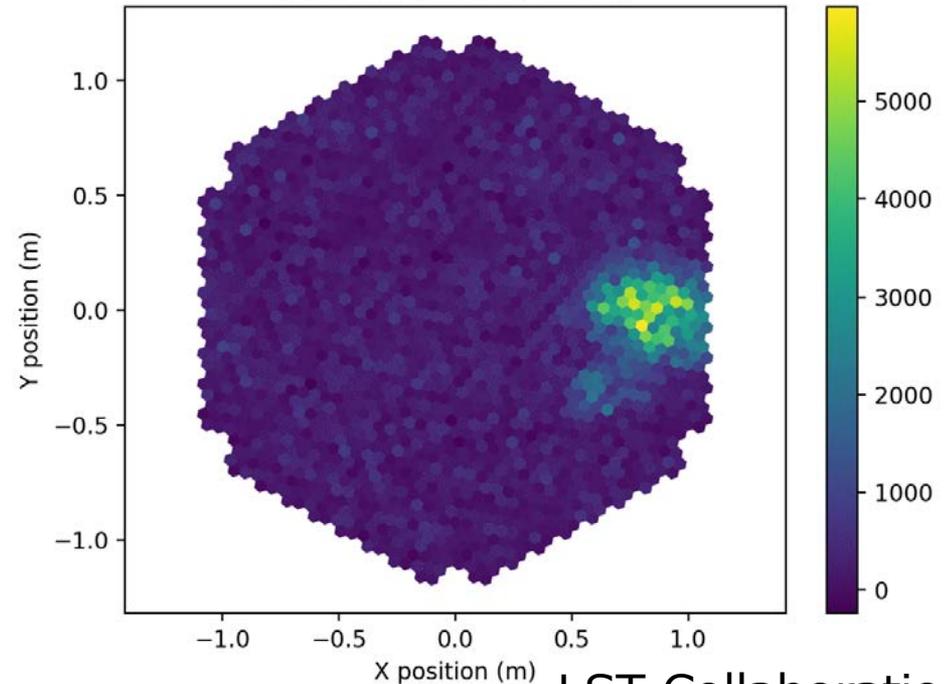
PMTを高圧を印可した状態で天頂角 30° に望遠鏡を傾けて観測し
大気シャワーを初めて検出

あるモジュールでのトリガーレート



電荷マップ

181214 Run01 Event# 1



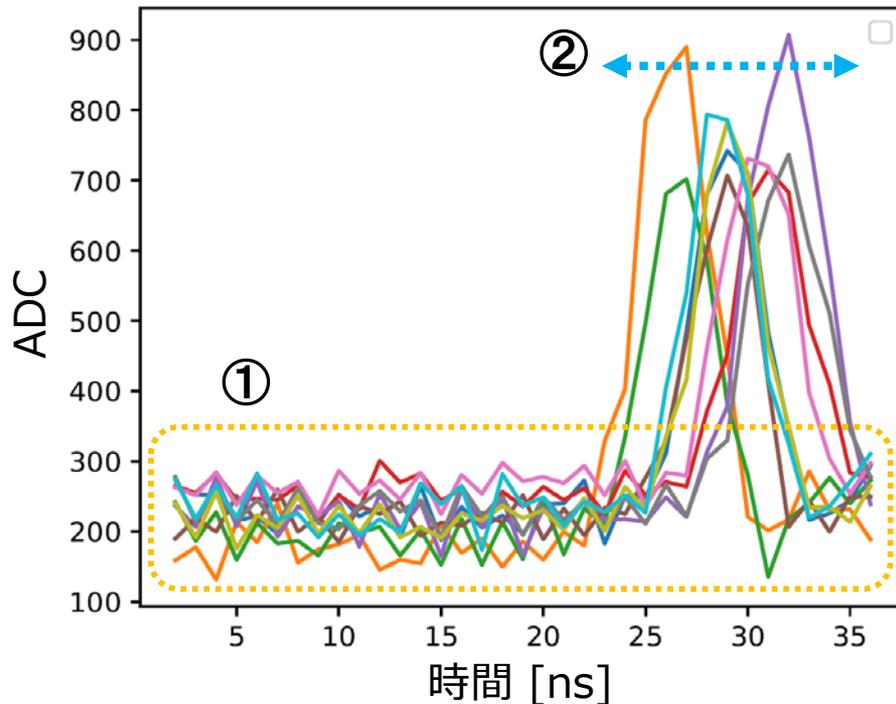
LST Collaboration

多数のシャワーイメージを取得することができ
カメラとして機能していることを証明できた

ペDESTAL電圧 と パルスタイミング

しかし、ファーストライト時点では、カメラ較正が不十分だった

あるイベントの生波形



① ペDESTAL電圧補正

特に低光量の信号を
切り分けられるように補正が必要

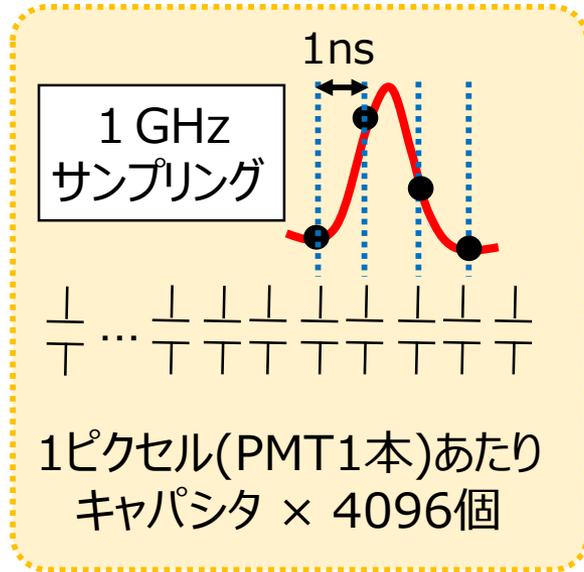
② パルスタイミング較正

カメラ上でのチェレンコフ光信号の
時間遷移 (time gradient) が
モノ解析で重要なパラメータ

- ① ペDESTAL電圧補正解析
 - ② パルスタイミング較正試験
- の現状について報告する

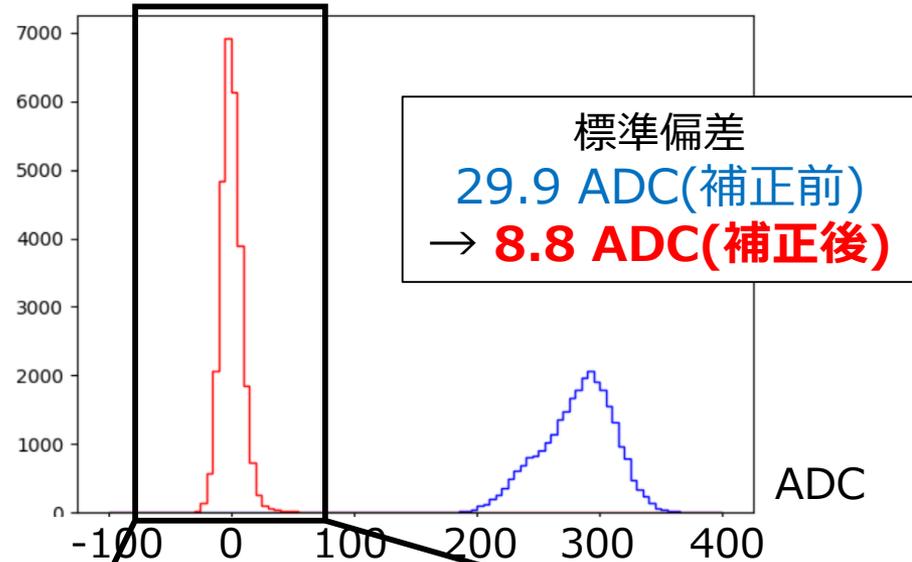
① ペDESTAL電圧補正

アナログメモリDRS4

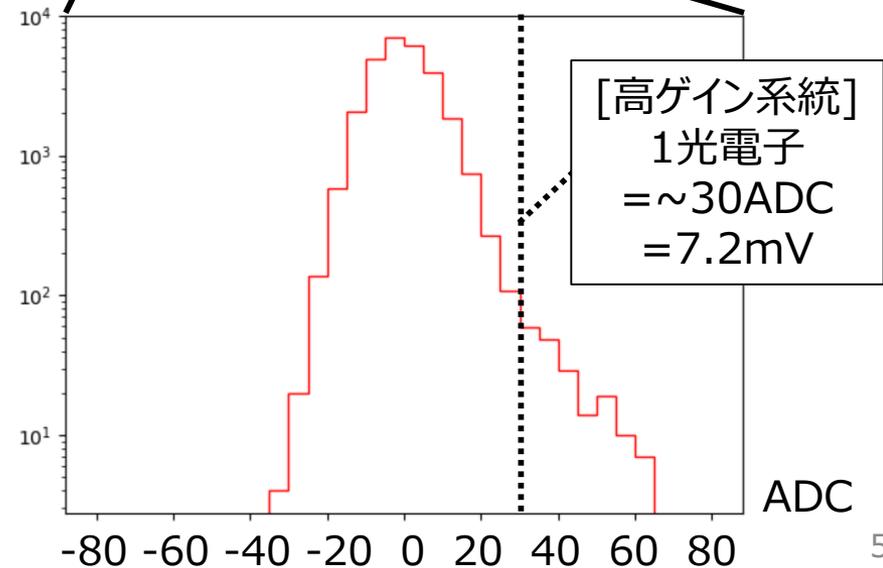


各キャパシタでの
オフセット電圧
を差し引く

あるピクセルでのペDESTALデータの電圧分布



対数



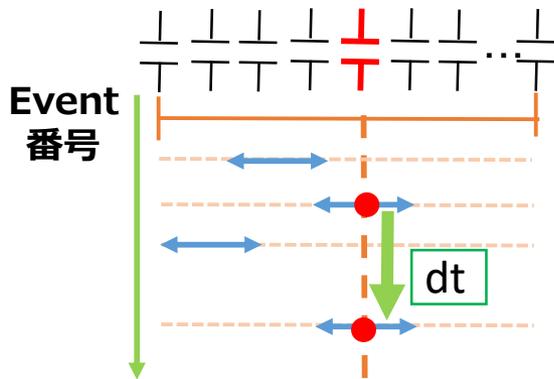
テールをもったペDESTAL電圧分布
→DRS4の特性であり、補正可能
(前前回の物理学会で報告)

カメラデータ解析ソフトに
この補正機能を追加し
問題なく機能するかを確認した

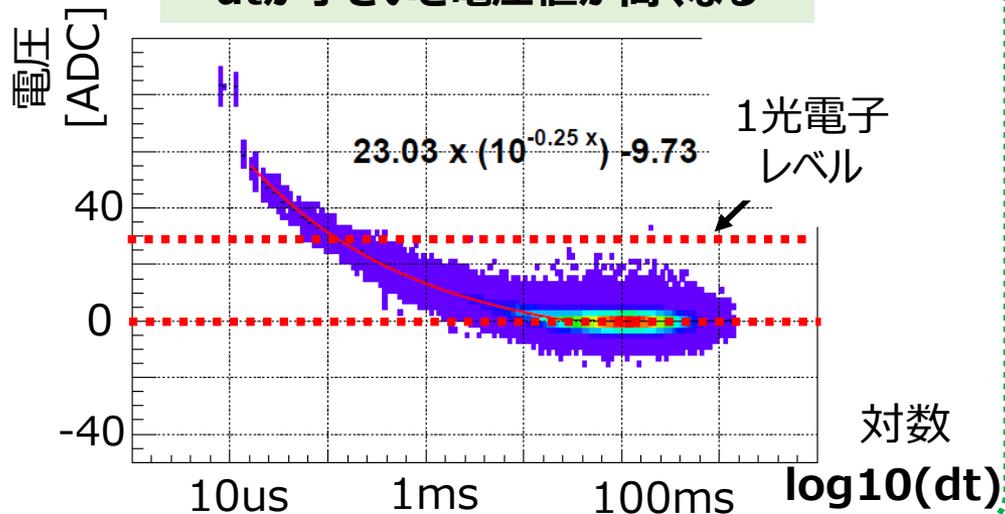
① ペDESTAL電圧補正 [残留電荷特性]

dt = 各キャパシタでの
読み出し時間間隔

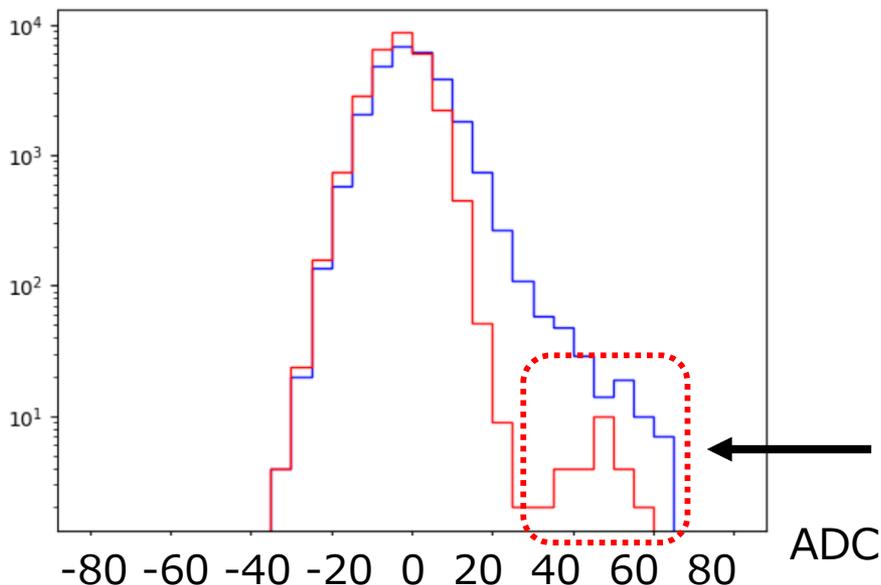
キャパシタ × 4096個



dtが小さいと電圧値が高くなる



あるピクセルでのペDESTALデータの電圧分布



- オフセット補正のみ
8.8 ADC (0.29光電子レベル)

- オフセット補正 + 残留電荷補正
6.6 ADC (0.22光電子レベル)

スパイク成分

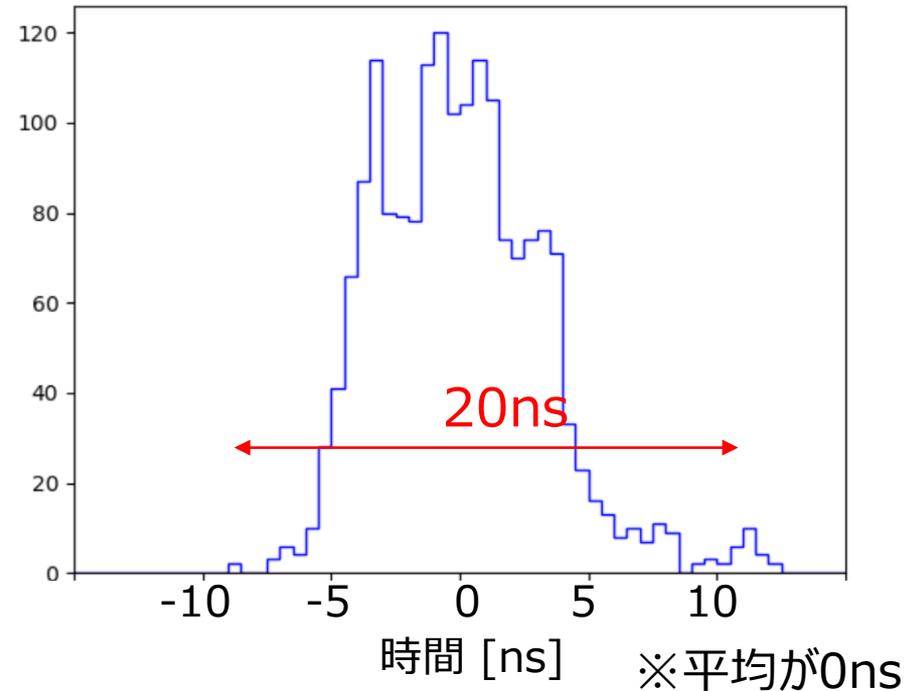
② パルスのタイミング較正

較正用レーザー



- 波長 355nm
- パルス幅 2ns
- レーザー安定性 1% (6時間)
- フラットフィールド 一様性 <2%

レーザーを入射した
全ピクセルでのパルスタイミング分布



パルスのタイミングずれの要因

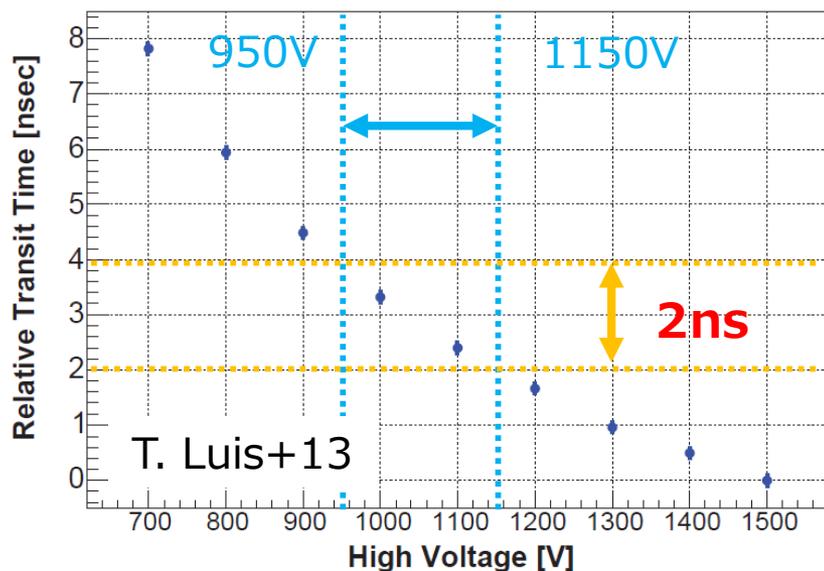
- (i) PMT内の電子走行時間のHV依存性
- (ii) アナログメモリDRS 4の波形サンプリング時間間隔のずれ
- (iii) トリガー分配タイミングのずれ

パルスのタイミングずれの要因

(i) PMT内の電子走行時間のHV依存性

ゲイン4万倍になるようにピクセルごとにHVを印可 (950-1150V)

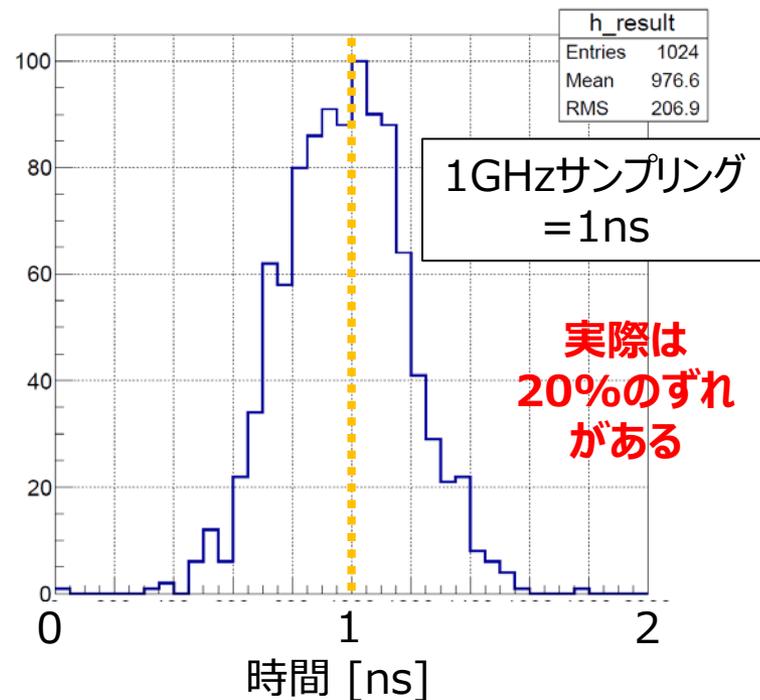
PMTでの電子走行時間の高圧依存性



印可高圧に応じてトリガー回路上及び解析時にピクセルごとに補正可能

(ii) アナログメモリDRS4の波形サンプリング時間間隔のずれ

全キャパシタでのサンプリング時間の分布



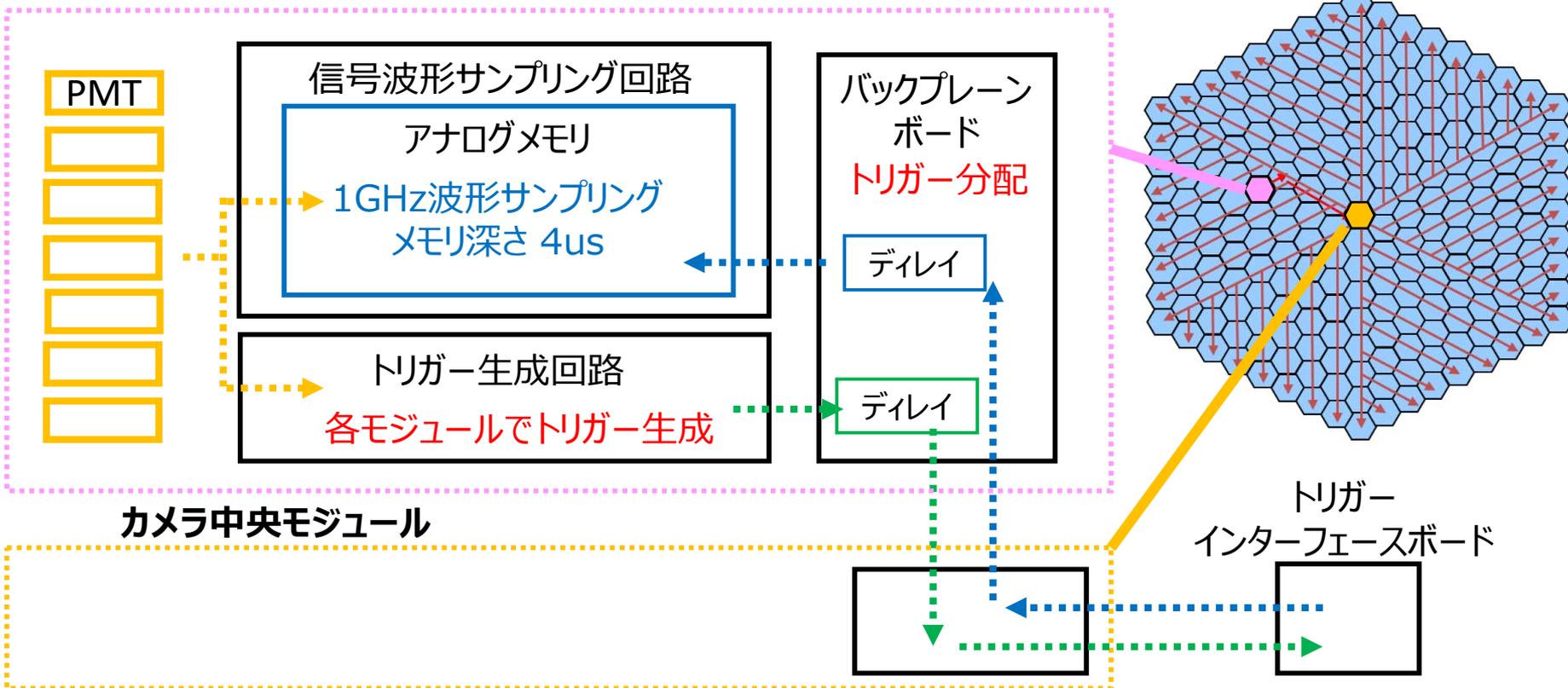
較正試験で得たテーブルをもとに解析時に補正可能

これらによるずれは数ns程度

→(iii) トリガー分配タイミングのずれによる影響が一番大きい

焦点面カメラ トリガーシステム

あるモジュール

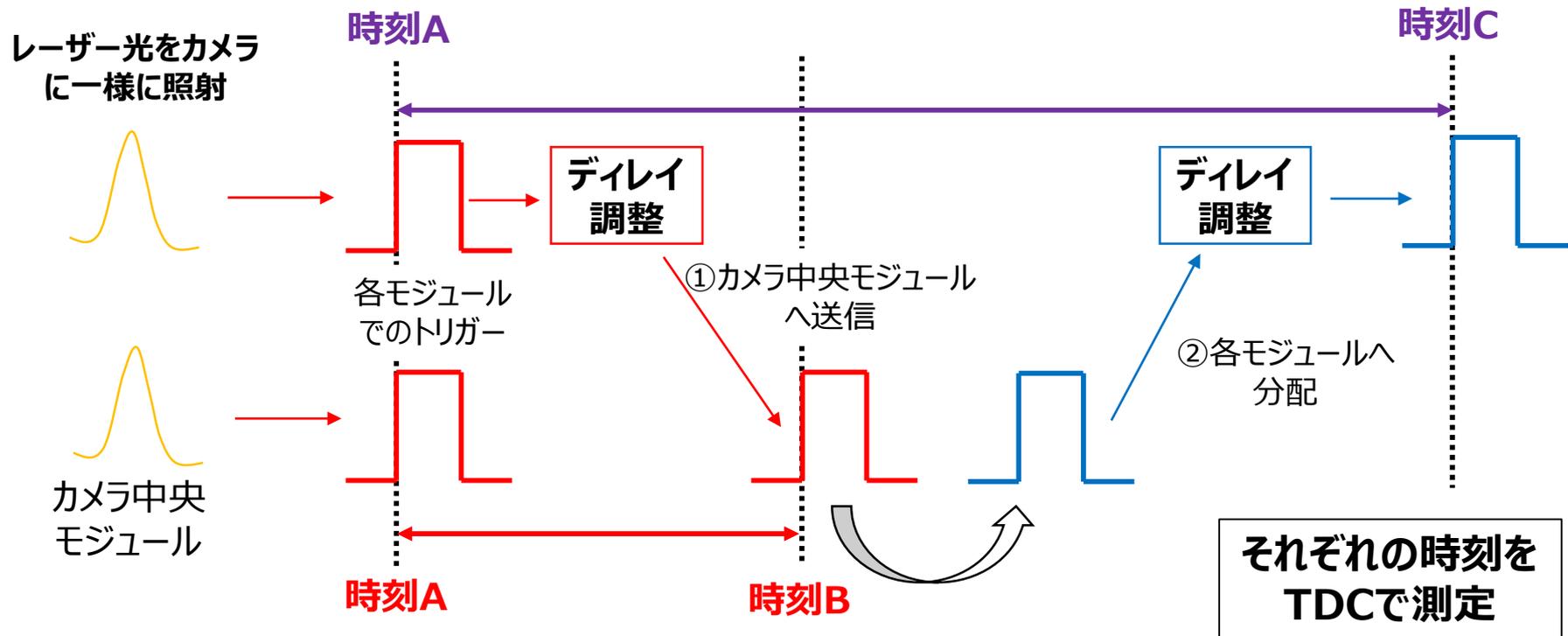


① モジュールで生成されたトリガーをカメラ中央モジュールに送信

② カメラ中央モジュールから各モジュールにトリガーを分配し、データを取得

トリガーを同じタイミングで各モジュールに分配できるように
ハードウェア上でディレイをかけることができる (要求値はタイミング1ns以内)

トリガー分配タイミングのキャリブレーション【方法】



各モジュール → カメラ中央モジュール

時刻B - 時刻A @ カメラ中央モジュール

$120.0 \pm 0.5 \text{ ns}$ におさまるように
各モジュールでディレイを調整

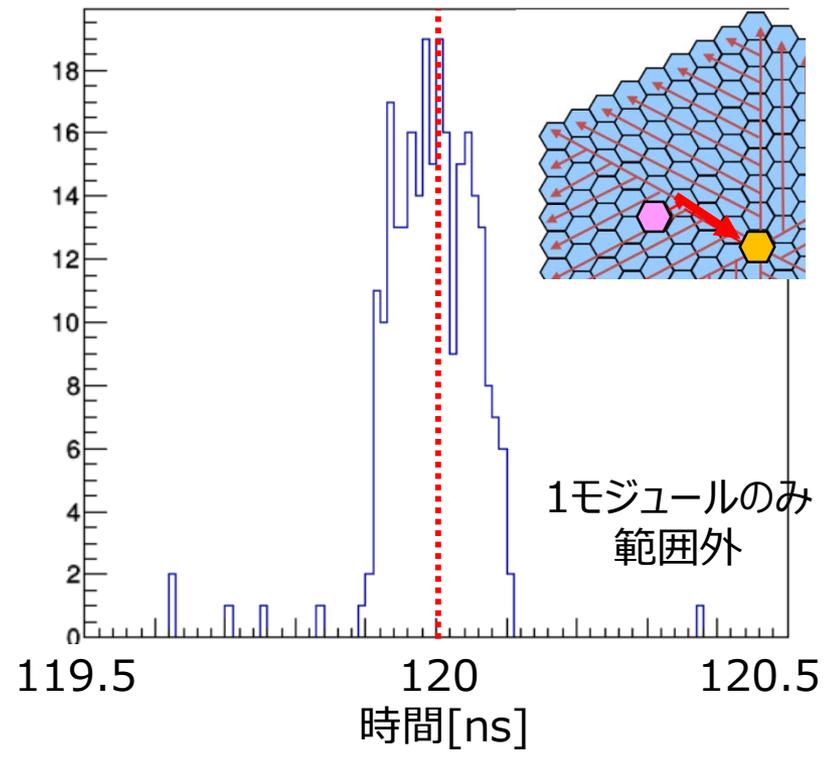
各モジュール → カメラ中央モジュール → 各モジュール

時刻C - 時刻A @ 各モジュール

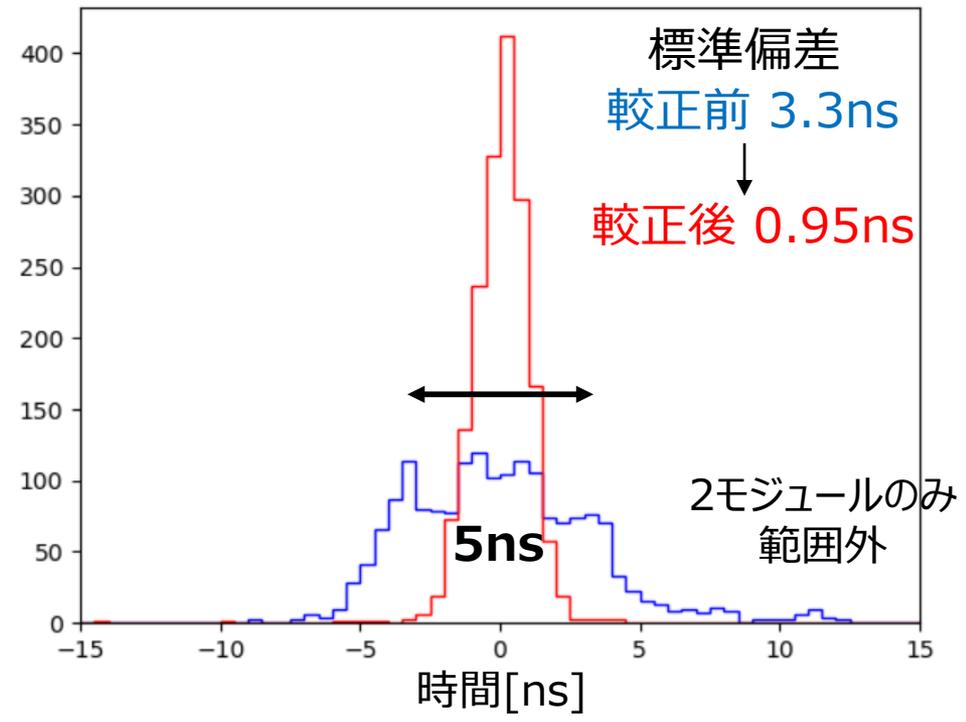
$230.0 \pm 0.5 \text{ ns}$ になるように
各モジュールでディレイを調整

トリガー分配タイミングのキャリブレーション【結果】

時刻B - 時刻A @ カメラ中央モジュール
(カメラ中央モジュールまでのトリガー伝達時間)



レーザーを入射した全ピクセルでの
較正前後のパルスのタイミング分布



多くのモジュールでタイミングを5nsの範囲でそろえることができた

- (i) PMT内の電子走行時間のHV依存性
- (ii) アナログメモリDRS4の波形サンプリング時間間隔のずれも現在補正中

まとめと今後

- 2018年9月に焦点面カメラが大口径望遠鏡に取り付けられた
- 2018年12月にはファーストライトに成功し、カメラとして機能していることを確認できた
- その後、現在もペDESTAL補正やタイミング補正のための解析ソフト開発・較正試験を行っている
- [ペDESTAL補正] アナログメモリDRS 4 の様々な特性をふまえて、ペDESTALを補正する解析ソフトが用意できた
- [タイミング較正] トリガー分配タイミングのディレイ較正を行うことで、パルスタイミングを5nsの範囲にそろえることができた

今後

- [ペDESTAL補正] オンラインでペDESTAL補正を行えるよう、DAQソフトに組み込む
- [タイミング較正] 波形サンプリング時間間隔の較正など、解析でも較正を行う