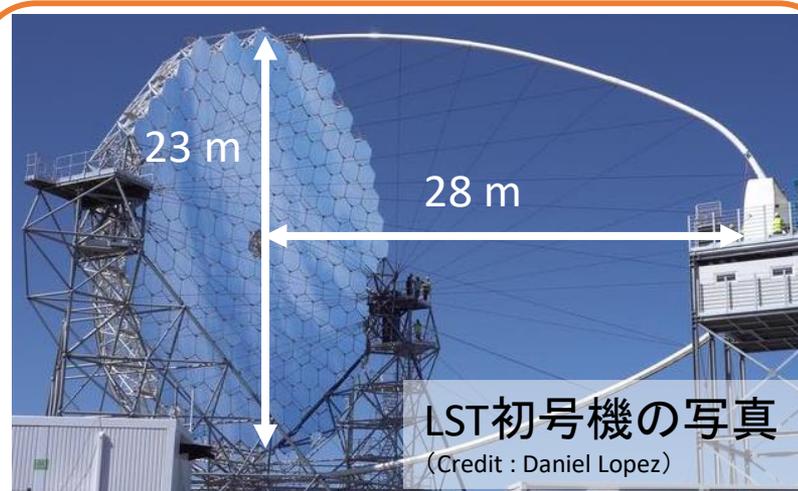
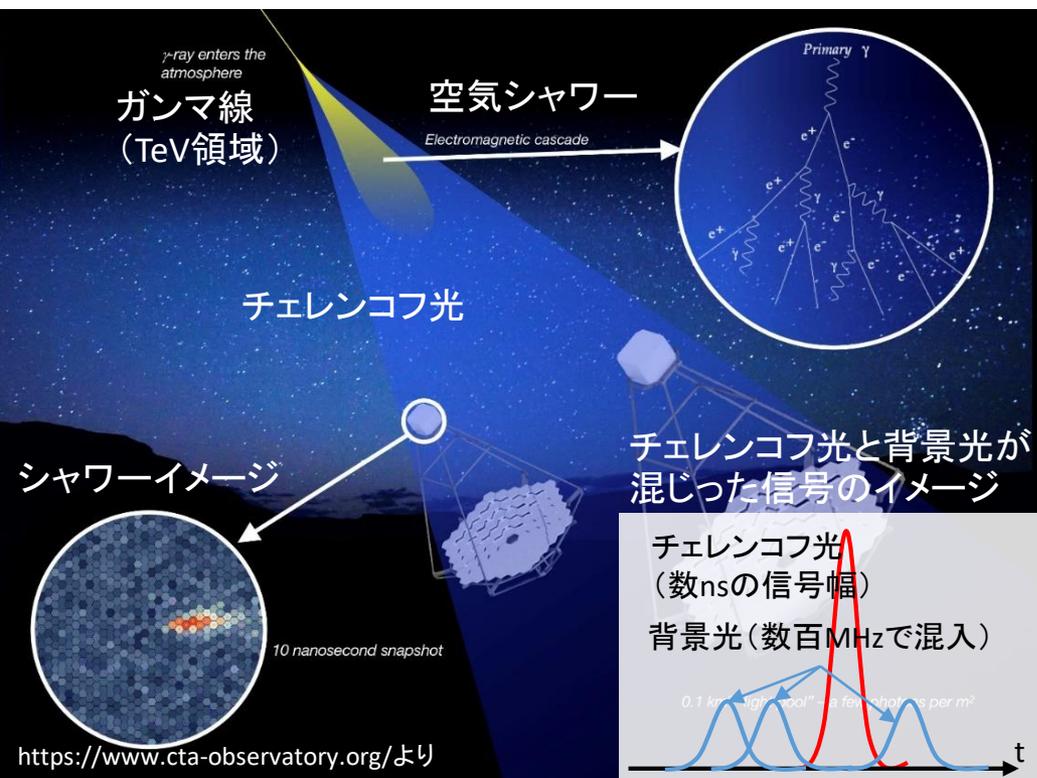


CTA 大口径望遠鏡における DRS4 波形記録チップの サンプリング時間幅較正

野上優人, 片桐秀明, 鈴木萌, 吉田龍生(茨城大), 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, Daniela Hadasch, Daniel Mazin, 手嶋政廣, 野田浩司, 深見哲志(東大宇宙線研), 岡知彦, 窪秀利, 野崎誠也(京都大), 奥村暁(名古屋大), 折戸玲子(徳島大), 川島翔太郎, 川村孔明, 塚本友祐, 山本常夏(甲南大), 櫛田淳子, 生天目康之, 西嶋恭司, 古田智也(東海大), 郡司修一, 中森健之(山形大), 佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功(埼玉大), 田中真伸(KEK 素核研),
他CTA-Japan Consortium

CTA 大口径望遠鏡 (LST)



LSTの性能

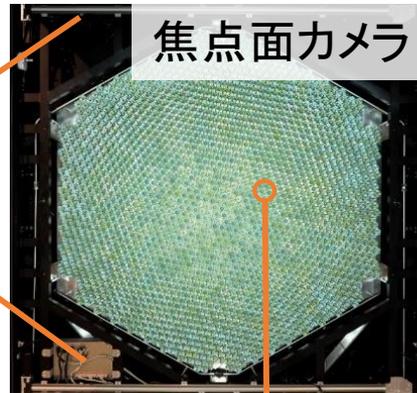
- 視野: 4.5度
- エネルギー帯域: 20 GeV - 3 TeV
- 20秒で180度の回転運動により、突発天体の観測に対応

- チェレンコフ光は数nsの幅を持った波形信号として望遠鏡で捉えられる。
- 観測時には、数百MHzの頻度で背景光がバックグラウンドとして混入する。
→ 背景光を除去しつつチェレンコフ光信号を捉えるためにGHzで波形サンプリングできる読み出し回路が必要となる。

LST2-4号機の波形読み出し回路



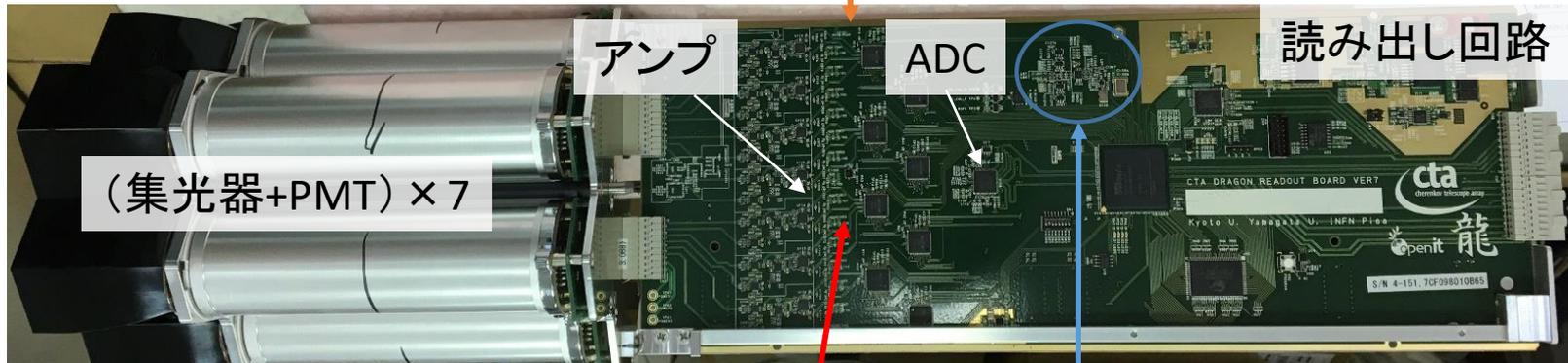
LST



焦点面カメラ

焦点面カメラ

- 265個の光検出器モジュール
- 1モジュールあたり7本の光電子増倍管(PMT)



(集光器+PMT) × 7

アンプ

ADC

読み出し回路

Domino Ring Sampler 4 (DRS4)

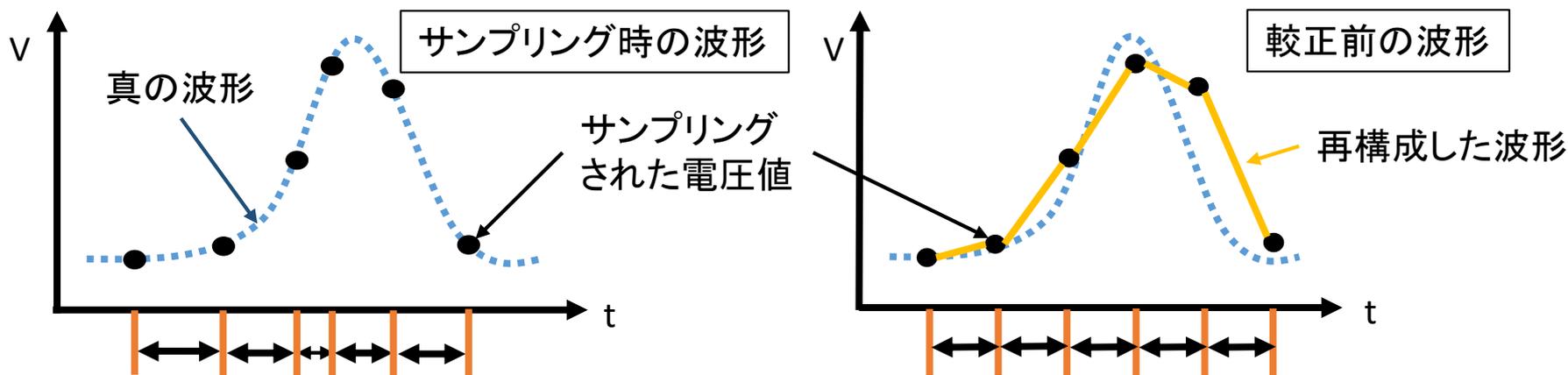
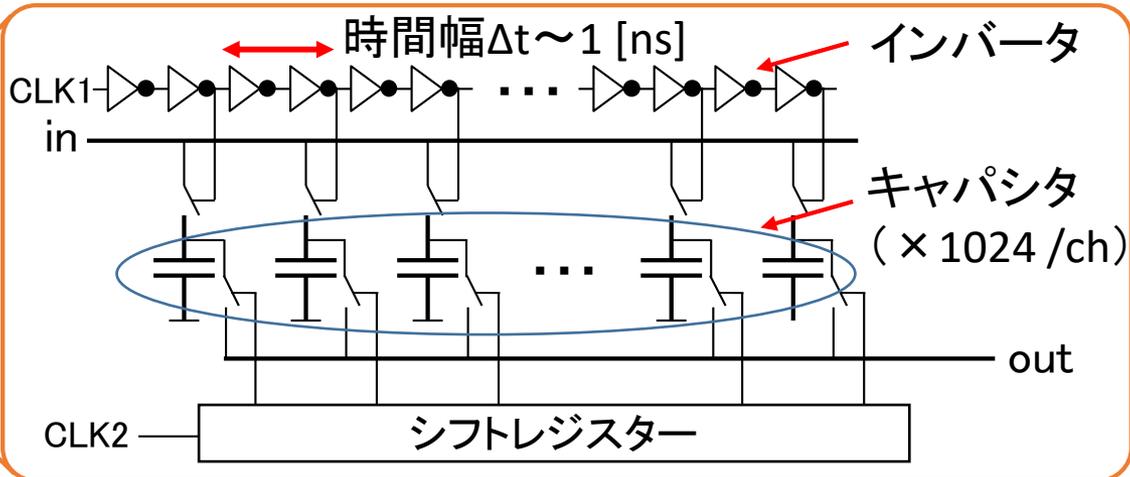
- PSI研究所(スイス)で開発
- アナログメモリ(低消費電力)
- 1.024GHzでサンプリング
- LST1とLST2-4では製造時期の異なるチップを使用

LST初号機からの変更点

- サイン波生成回路の追加
→ DRS4チップのサンプリング時間幅の揺らぎの較正に用いる。

サンプリング時間幅の揺らぎ

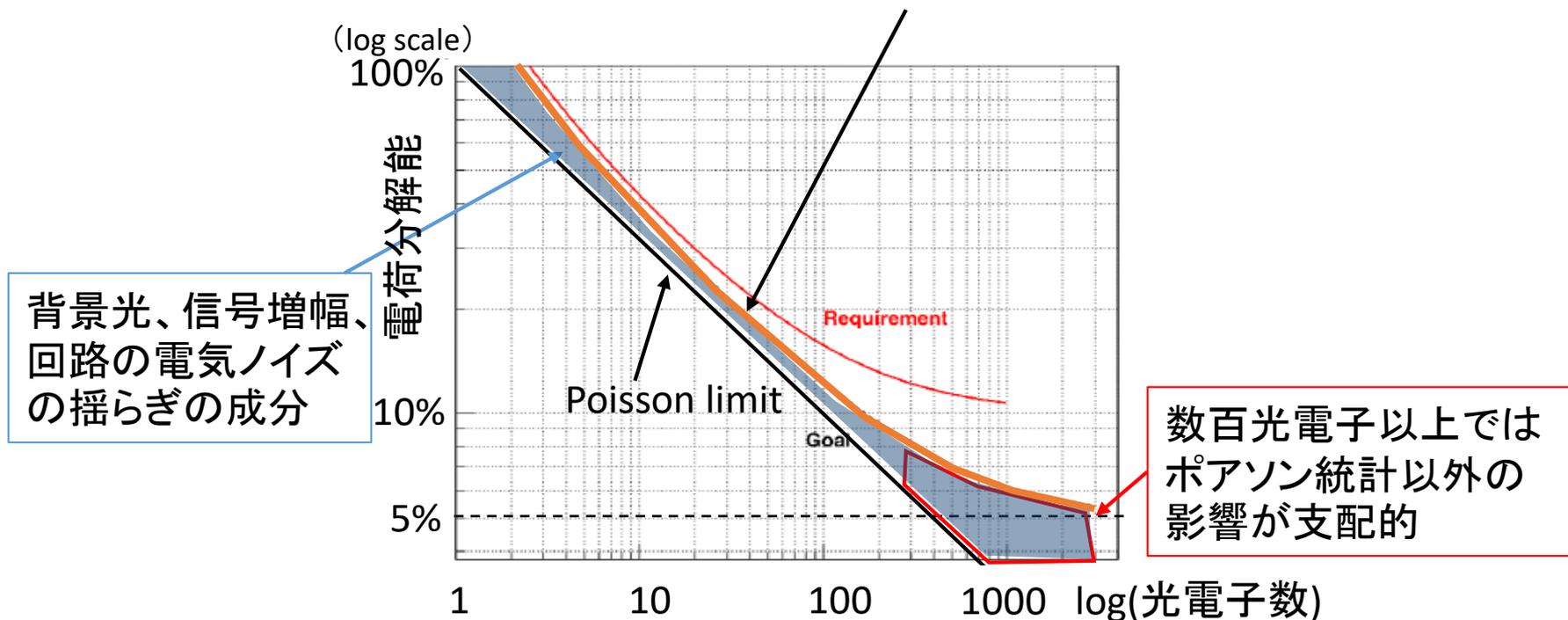
DRS4チップ



各サンプリングセルは固有の時間幅をもち、未測定のままだと波形を歪める。その結果、電荷量の推定を誤り、ガンマ線の到来方向やエネルギーの推定に影響を及ぼすため、**サンプリング時間幅の校正が必要**となる。

本研究の目的

- LSTに対して設定している電荷分解能の目標値

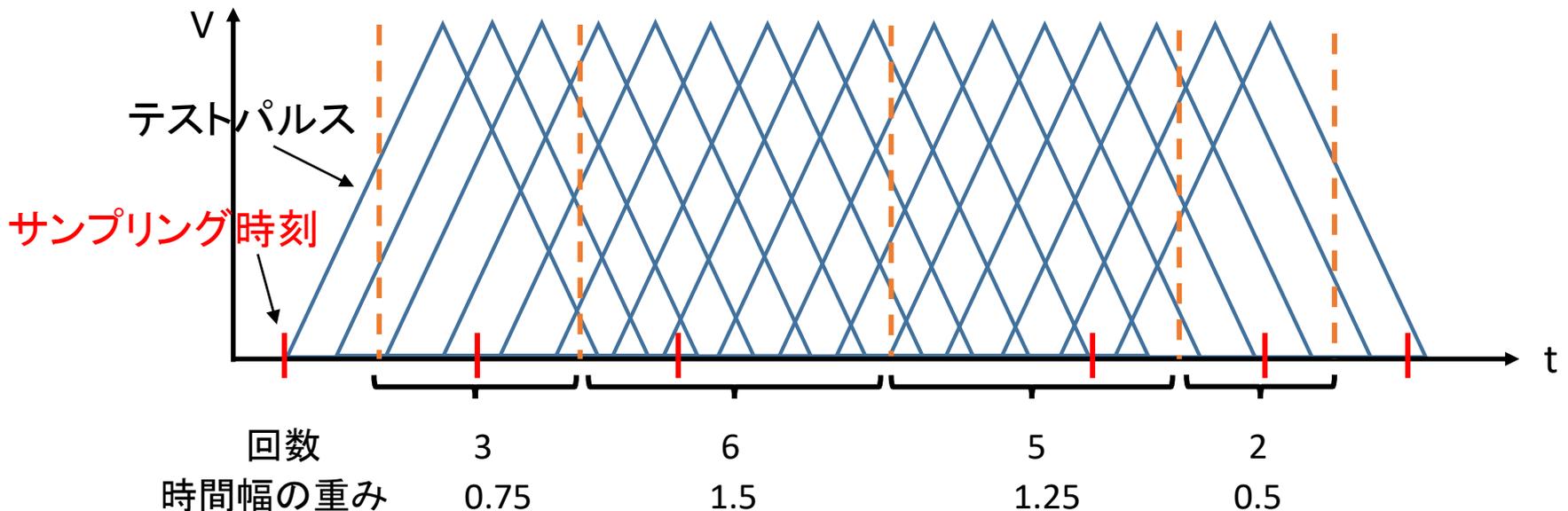


数百光電子以上の入力に対して電荷分解能の目標値を達成するには、ポアソン統計以外の各成分に起因する不定性を十分小さくする($\ll 5\%$)必要がある。

→ 本研究の目的は、**サンプリング時間幅に起因する不定性を抑えることが可能な較正方法を確立すること。**

LST初号機での較正方法

- LST初号機の読み出し回路では、サイン波生成回路を搭載していない。
- 回路上で生成できるテストパルス(PMTからの信号を模した信号幅約3 nsの擬似信号)を用いて較正を行う。



- テストパルスを読み出し回路に～100万回入力し、各サンプリングセルに一樣に(各セルで～1000回)パルスを記録させる。
- DRS4の各サンプリングセルでテストパルスの最大波高値を捉えた回数で重みづけする。

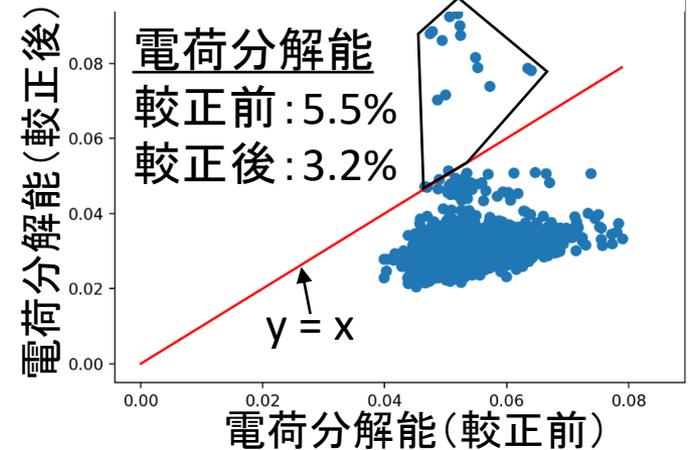
結果:LST初号機での電荷分解能

2020年春季年会の報告

- テストパルスの電荷量のヒストグラムを作り、電荷分解能を算出した。
- 一部のPMTで電荷分解能がサンプリング時間幅の較正後に悪化
→ 各サンプリングセルにテストパルスが一様に(～1000回)記録されておらず、較正ができていないことが判明



2020年春季年会での結果

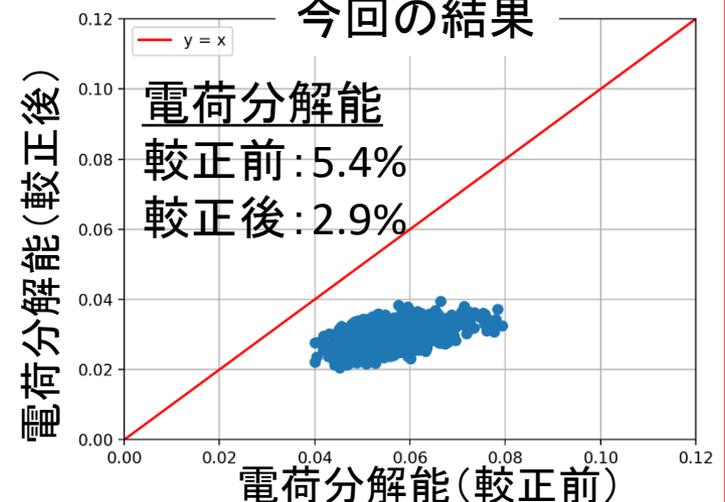


改善点

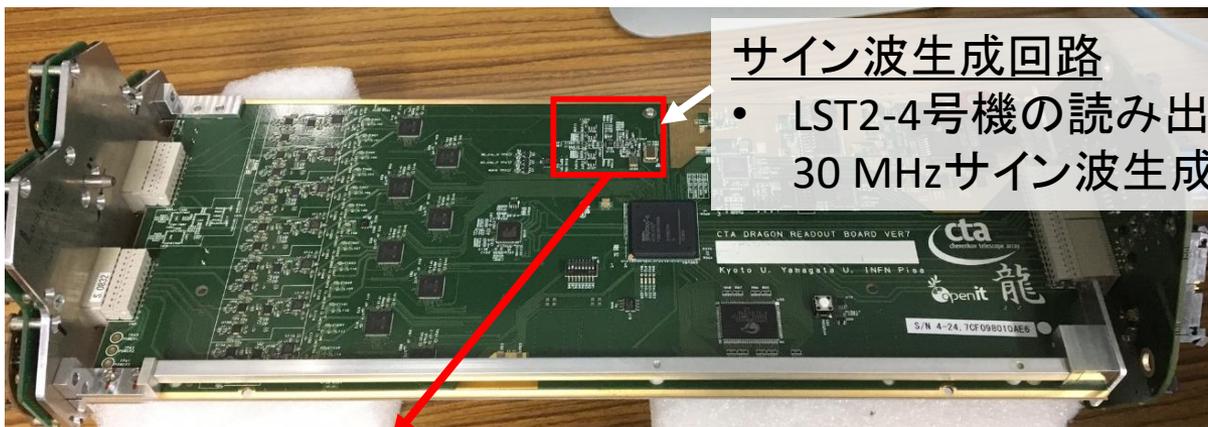
前回問題となったPMTは、テストパルスが一様に記録できている測定データからサンプリング時間幅を算出する。

- 今回の改善により、LST初号機の全PMT(1855本)で電荷分解能が改善することを確認した。

今回の結果



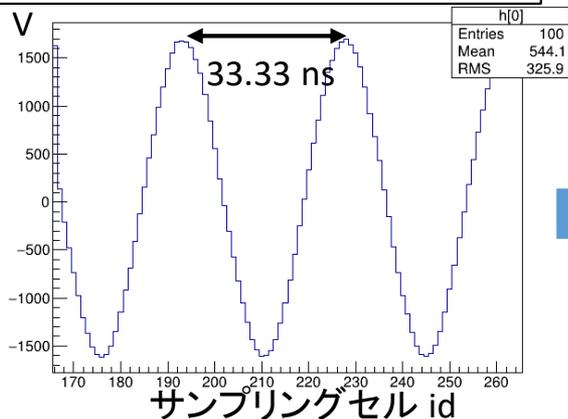
LST2-4号機での較正方法



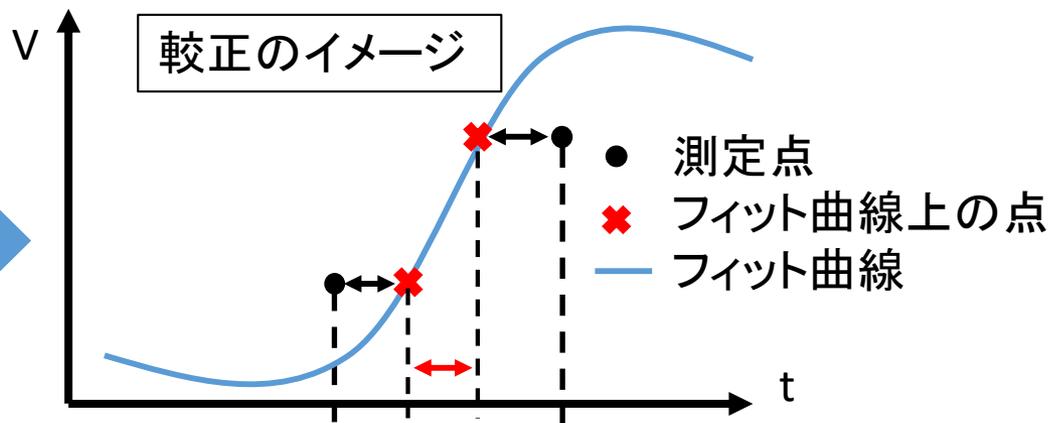
サイン波生成回路

- LST2-4号機の読み出し回路には高精度の30 MHzサイン波生成回路を追加

生成したサイン波の波形



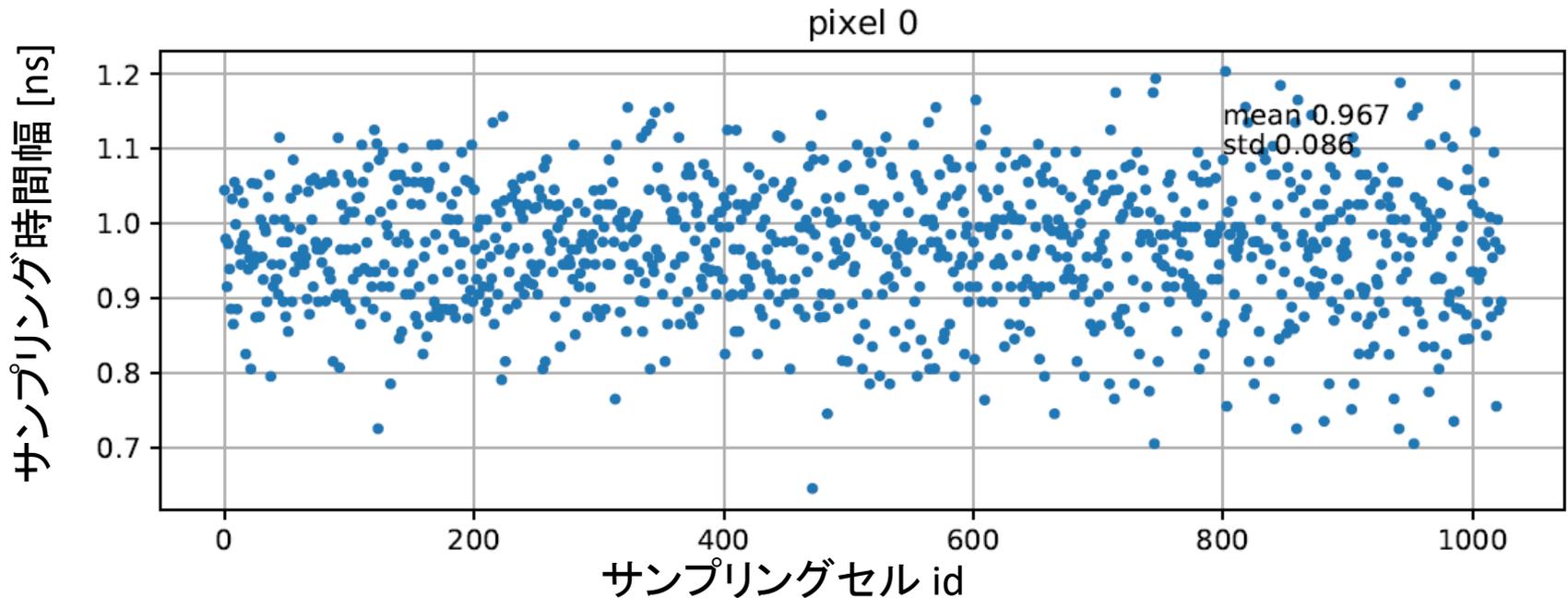
較正のイメージ



サイン波を1万回ほど入力し、入力波形の測定点とサイン関数でフィットした曲線との時間差からサンプリング時間幅を較正する。

結果: サンプルング時間幅

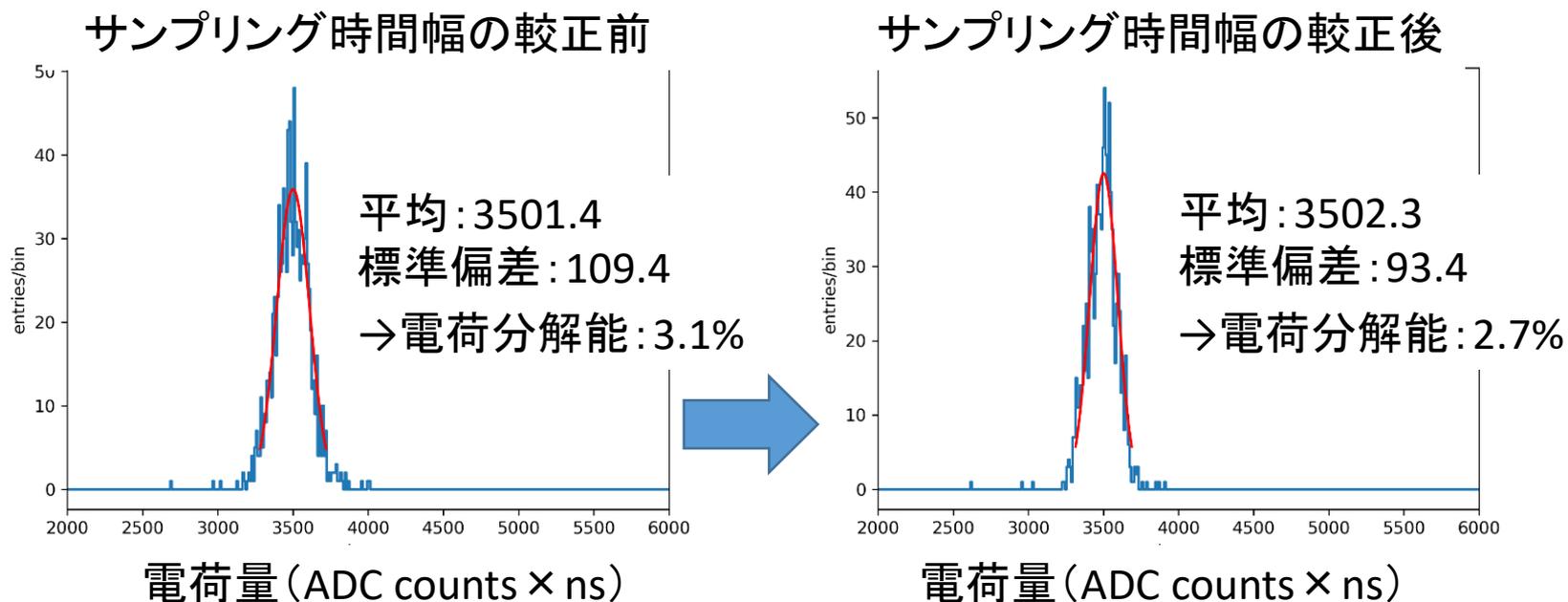
- サイン波を用いた較正によって得られたDRS4 1チップ内のサンプルングセルに対応したサンプルング時間幅をプロット



サンプルング時間幅は各サンプルングセルで異なる値となっている。

結果：電荷分解能

1 PMTにテストパルスを読み出し回路へ1000回入力し、テストパルスの電荷量をヒストグラムにしたものを示している。



テストパルスを用いた手法と同等以上の電荷分解能を達成しつつ、較正に用いるデータを1/100程度に軽減できるサイン波を用いた手法を確立
→ 観測サイトの現場で較正データ取得後すぐに結果の検証が可能

LST2-4号機用カメラの現状

LST2-4号機の建造に向けて、約1000個の光検出器モジュールの組立ておよび性能試験を行っている。

- 組立て
ほぼ完了しており、残りは5モジュールのみ
- 性能試験
試験を行った657モジュールのうち589モジュールは基準を満たしていた。基準を満たさなかったモジュールについてはデバッグを行う。
→ LST 2台分に相当する数のモジュールの試験を終え、残りの組立てと性能試験およびデバッグは今年行う予定

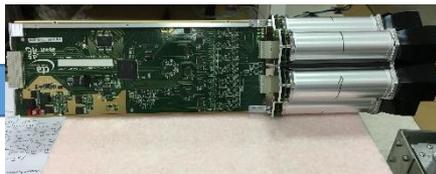
試験項目

- 1光電子測定
- 多光電子測定
- HV-Gain測定
- パルス幅測定
- Linearity測定
- アフターパルス測定

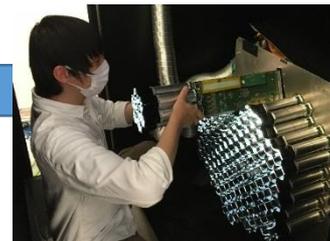
モジュール組立て



完成したモジュール



測定モジュール交換



性能試験



まとめ

- LST初号機では、読み出し回路上で生成できるテストパルスを用いて、DRS4のサンプリング時間幅の較正を行った。
→ LST初号機の全PMT(1855本)で電荷分解能が改善することを確認し、較正方法を確立
- LST2-4号機では、読み出し回路に新たに搭載したサイン波生成回路を用いて、DRS4のサンプリング時間幅の較正を行った。
→ テストパルスを用いた手法と同等以上の電荷分解能を達成しつつ、較正に用いるデータを1/100程度に軽減できるサイン波を用いた手法を確立
- LST2-4号機の建造に向けて、約1000個の光検出器モジュールの組立ておよび性能試験を行っている。
→ これまでにLST2台分に相当する数の光検出器モジュールの試験を終えた。
→ 残りの組立てと性能試験およびデバッグは今年行う予定