

次世代ガンマ線望遠鏡 CTA における 波形記録回路 TARGET の 時間応答較正手法の開発

重中茜, 片桐秀明, 奥村暁^A, 田島宏康^A, 中村裕樹^A, 他CTA Consortium
茨城大理, 名大ISEE^A

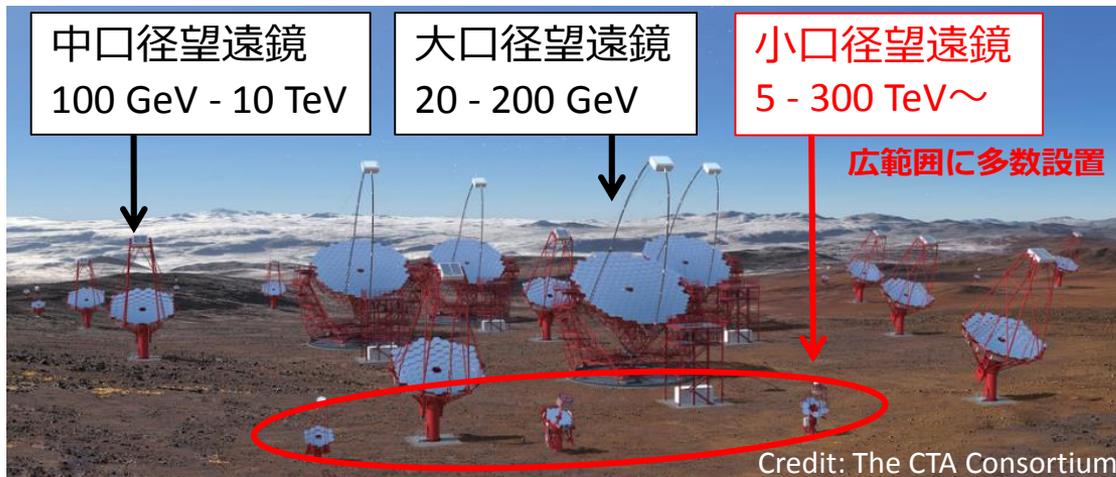
Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画

- ◆ 大中小の大気チェレンコフ望遠鏡アレイによる**ガンマ線観測**計画
- ◆ ガンマ線が大気と相互作用して生じる**大気チェレンコフ光**を観測
⇒ ガンマ線の到来方向、エネルギーを推定

イメージ長軸交点	イメージ光量
----------	--------

目標

- 20 GeV – 300 TeV以上のガンマ線観測
- 高感度 (従来より1桁以上向上)
- 高角度分解能 (1 – 2 分角) など

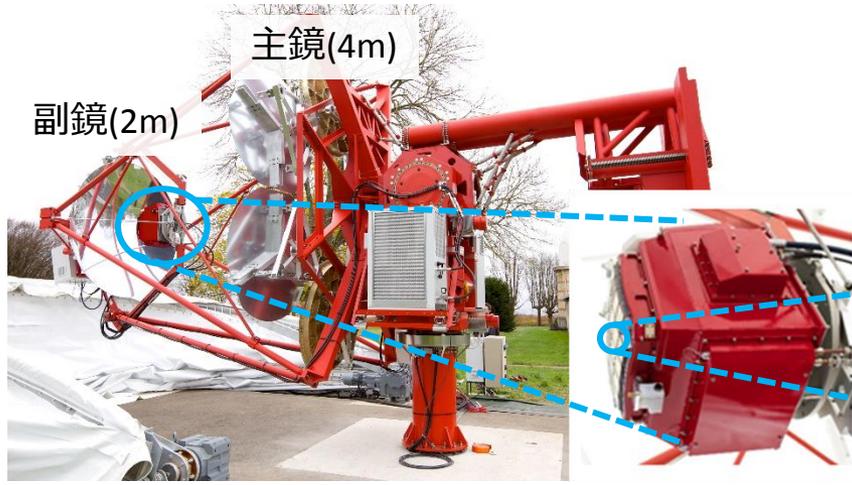


各望遠鏡の観測エネルギー帯



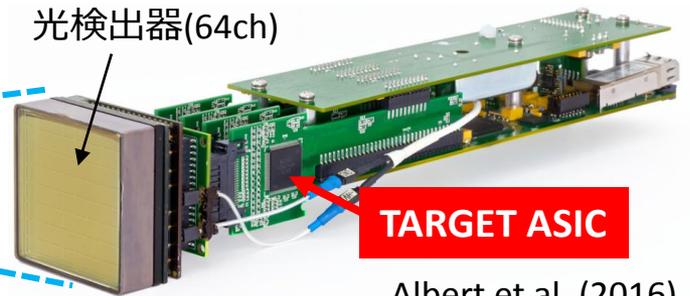
ガンマ線観測原理

小口径望遠鏡と波形記録回路



小口径望遠鏡 GCT

写真: 奥村 暁



TARGET カメラモジュール

Albert et al. (2016).

Gamma-ray Cherenkov Telescope(GCT)

- デュアルミラー光学系:
副鏡による焦点面のイメージ圧縮
⇒多チャンネル光検出器を用いた
カメラの小型化、**コスト削減**

焦点面カメラ

- (64ch光検出器+信号増幅回路+波形
記録回路)×32本を組み合わせた
約2000画素のカメラ

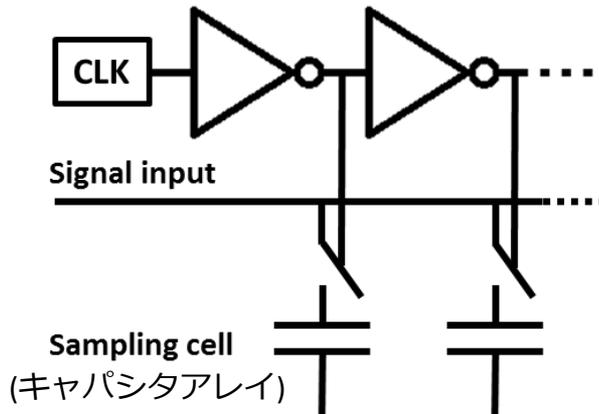
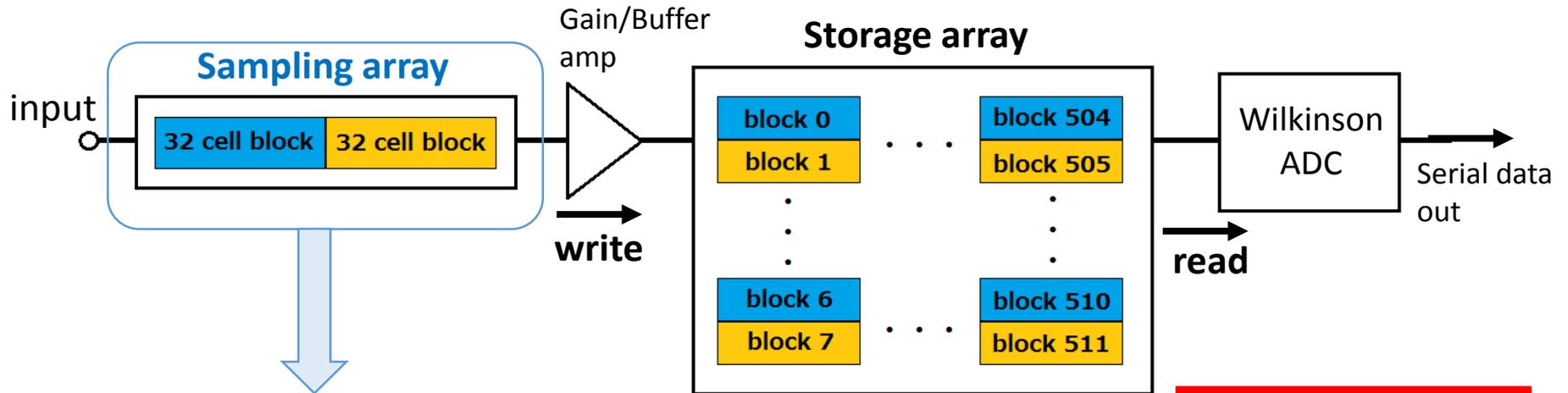
TARGET ASIC

本研究における評価対象

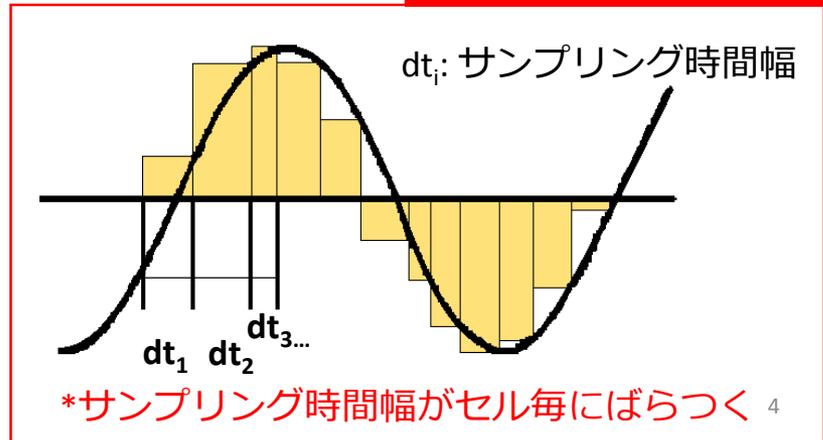
- 信号波形記録回路
- 低消費電力(~70mW/ch)、コンパクト
- 16chの読み出しチャンネル**
- サンプリング周波数: **1.0 GHz**
⇒チェレンコフ光由来の信号(~ns)
に対し、**1 ns単位**の**高速サンプリング**

TARGETの時間応答特性

◆ASICの各チャンネルでは64個の波形記録セルの切り替えを繰り返してサンプリング...記録セル毎にサブナノ秒レベルのサンプリング間隔のばらつき



応答時間ばらつきの例



*64セルの切り替えを繰り返してサンプリング

*サンプリング時間幅がセル毎にばらつく 4

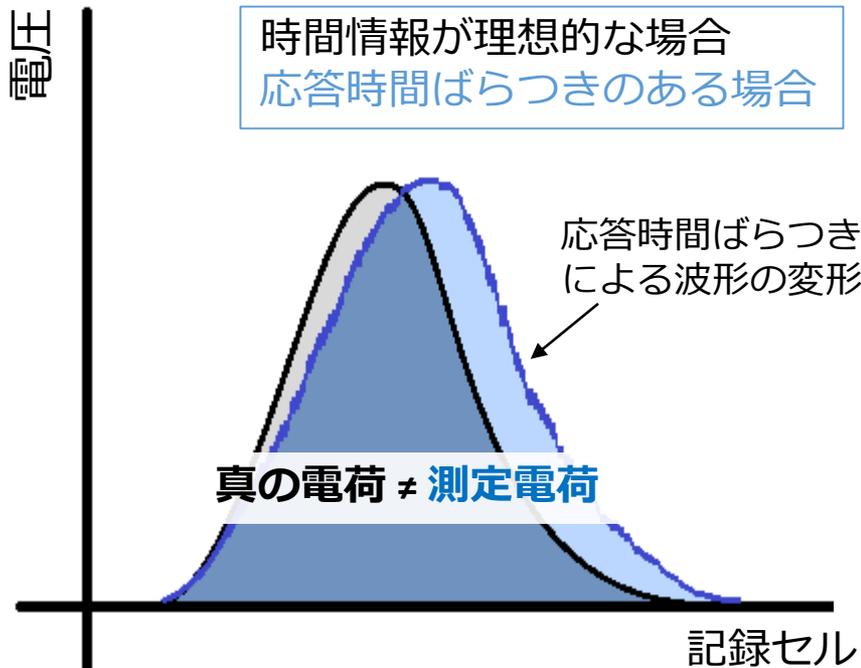
応答時間ばらつき測定のための目的

◆時間幅の補正による電荷分解能改善

*目標: 電荷分解能を要求値(~5%)より十分小さく抑える

⇒エネルギー分解能の向上

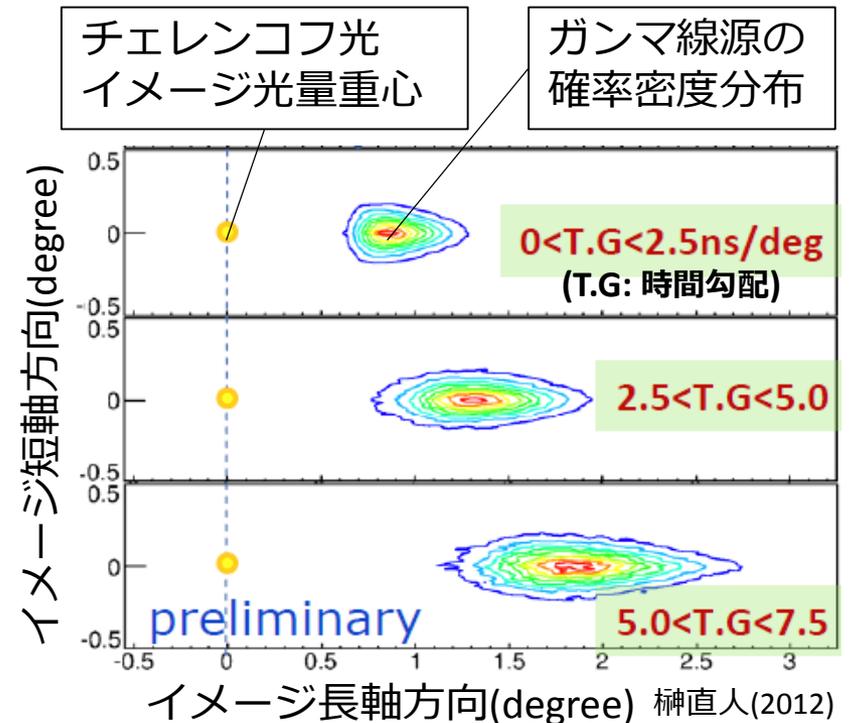
セル毎の時間幅補正⇒真の電荷の算出



◆チェレンコフ光子の観測タイミングとガンマ線源の距離相関の利用

⇒望遠鏡の角度分解能の向上

サブナノ秒精度のセル毎時間幅補正

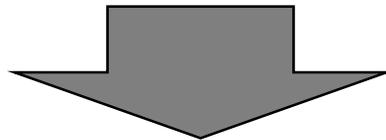


今回の研究の目的 応答時間ばらつきの一括測定

応答時間ばらつき測定方法の課題



- ◆焦点面カメラ...2000ピクセル
⇒すでに確立した、一つ一つ信号発生器につなぐ方法は難しい
- ◆カメラには**較正用LED**が搭載される
⇒LEDを用い、**カメラの焦点面全体に周期的な光を照射**、応答時間ばらつき測定



カメラの全ピクセルの応答時間一括測定

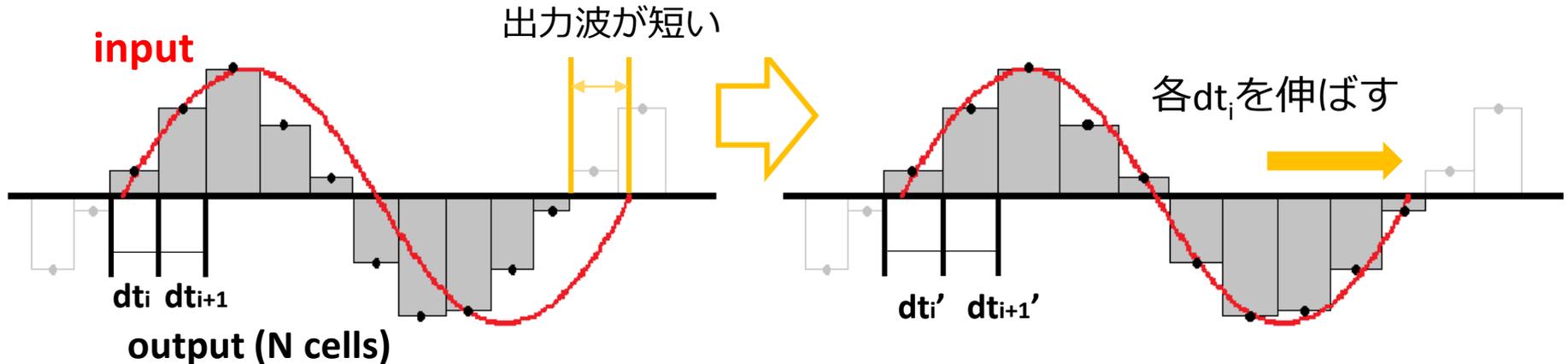
応答時間ばらつき測定方法

前回の内容

- ◆ 応答時間ばらつきにより、出力波は入力波に比べ周期が歪む
⇒ 記録波形のサンプリング時間幅を補正し、セル毎の補正幅を求め
= 応答時間ずれ

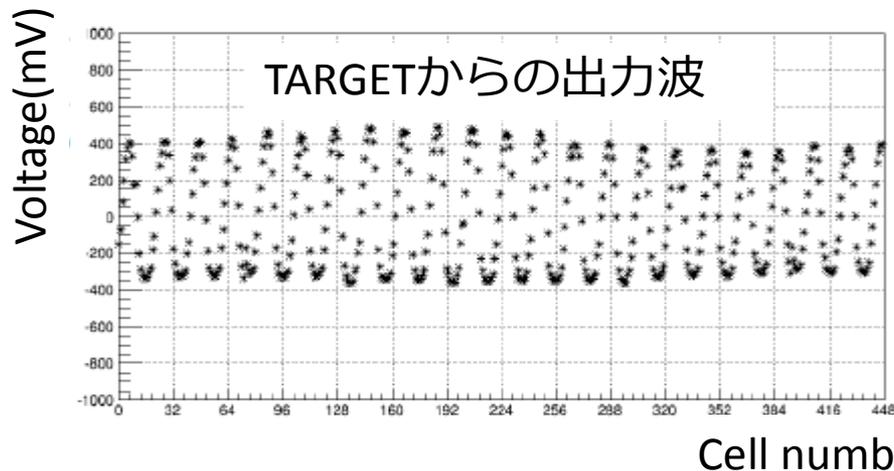
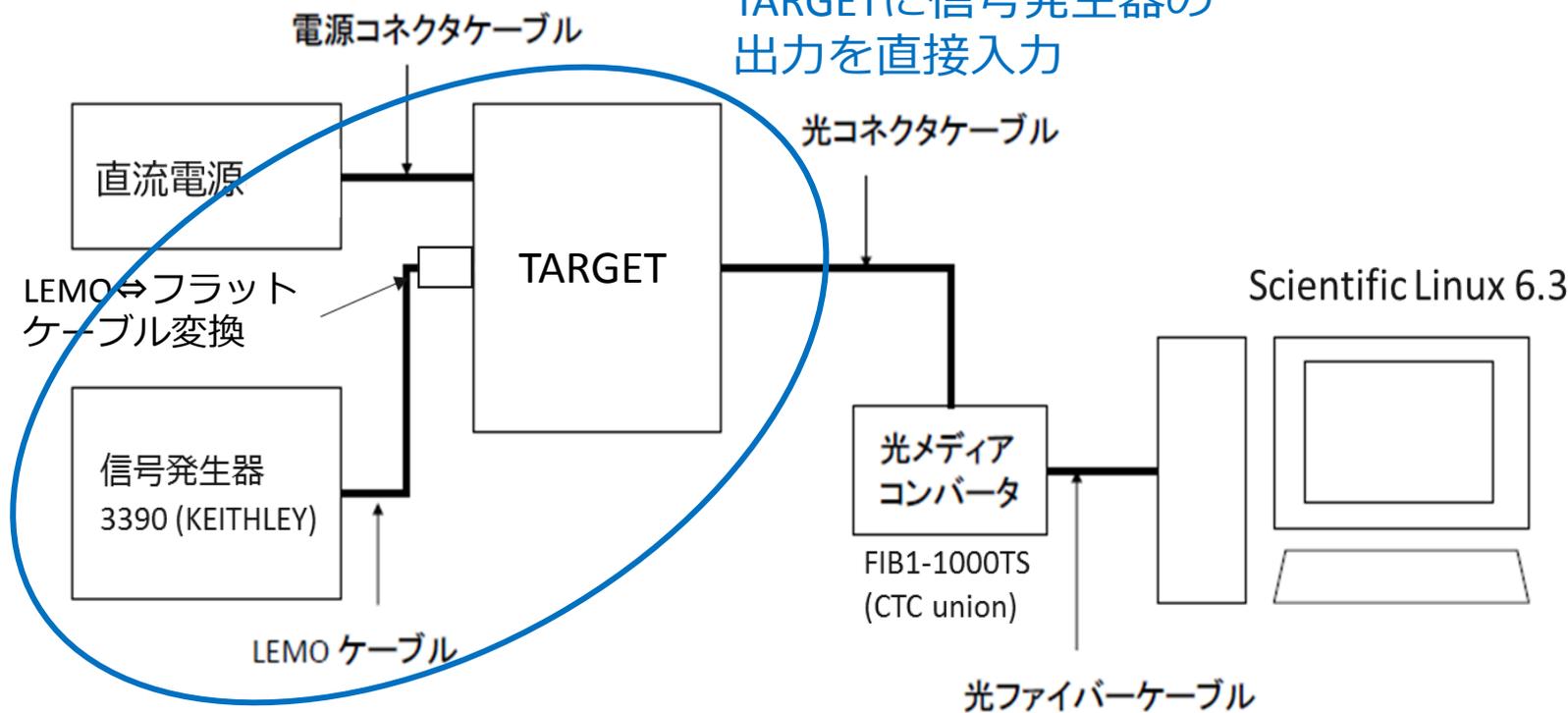
測定手順

1. サンプリングした周期波を、0交点を用いて1周期毎に分割(下図の塗りつぶし部分)
2. 記録波形の周期が入力波の周期に近づくように、1周期毎に各セル時間幅を少しずつ補正
3. 入力周期波の位相を変え、様々なセルの組み合わせによる1周期の補正
⇒ 補正を重ねることで、各セルの応答時間の特徴が表れる



応答時間ばらつき測定環境

TARGETに信号発生器の出力を直接入力

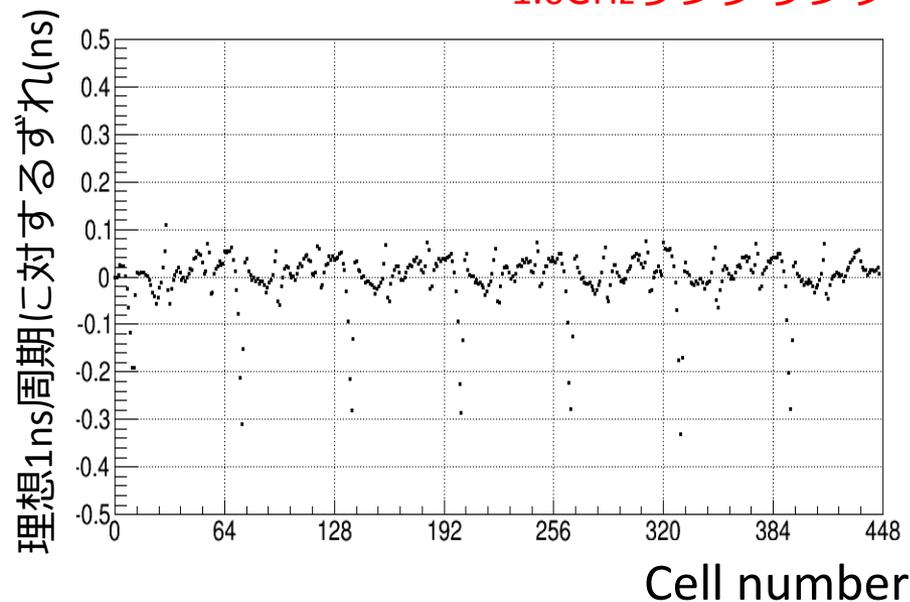
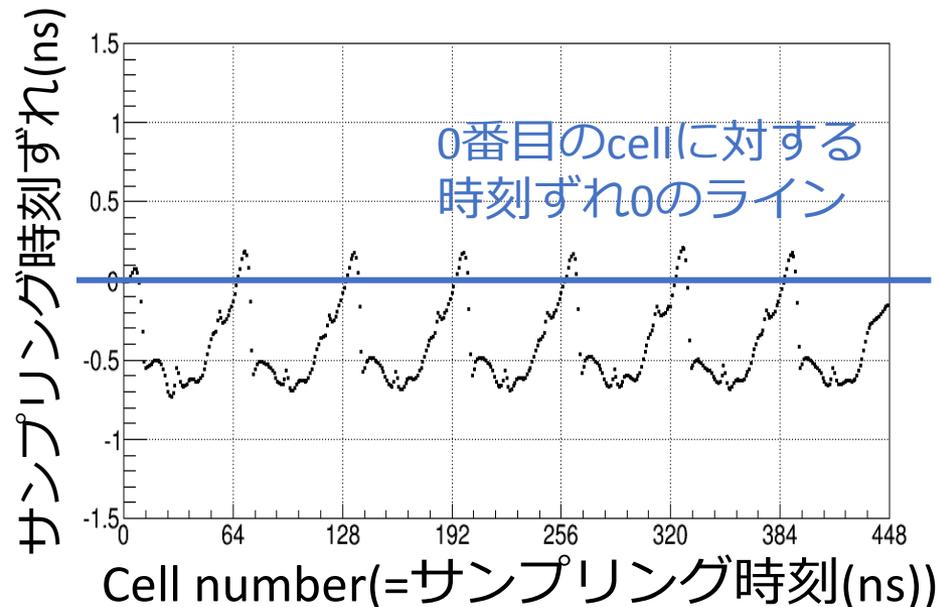


入力波

- 波形: サイン波
- 周波数: 50 MHz
- 振幅: 500 mVpp

TARGET 応答時間ばらつき測定結果 信号発生器を用いた測定

*1.0GHzサンプリング

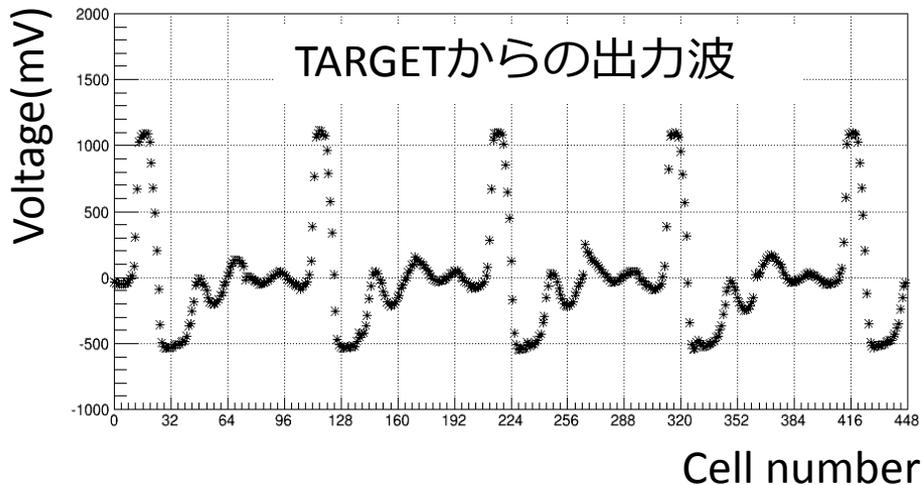
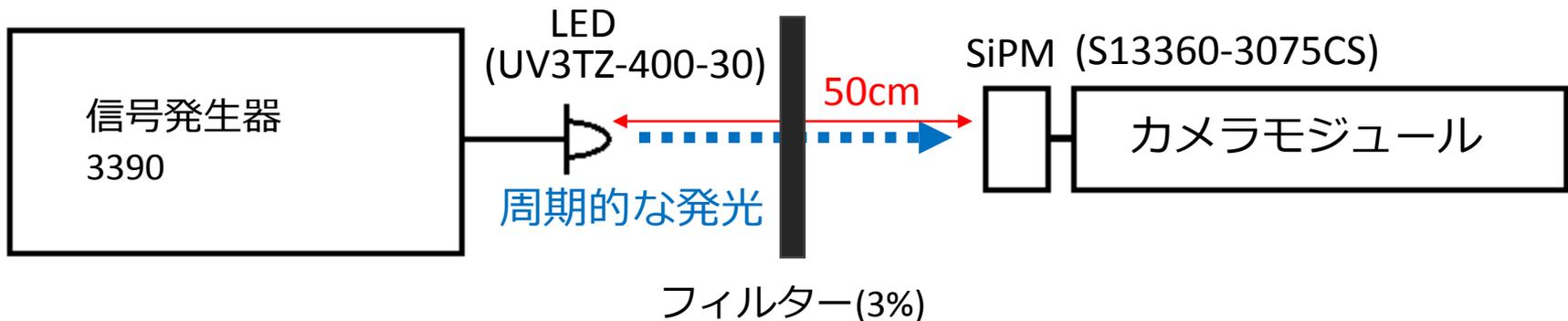


- **64セル周期性** ⇒ 64個のサンプリングセルの周期に一致
- **最大時刻ずれ: $\pm 0.9\text{ns}$ の幅内** ⇒ データ飛びがない
- **最大時間幅ずれ: $< \sim 0.3\text{ns}$** ⇒ サンプリング周波数に対し**十分小**
*隣のセルとの時刻差
- シミュレーションより、時刻ずれの測定精度は 0.13ns である(前回の発表より)

左図を以降のLEDによる測定結果に対するリファレンスとする

LED光による応答時間ばらつき測定方法

LEDを用いた測定のセットアップ

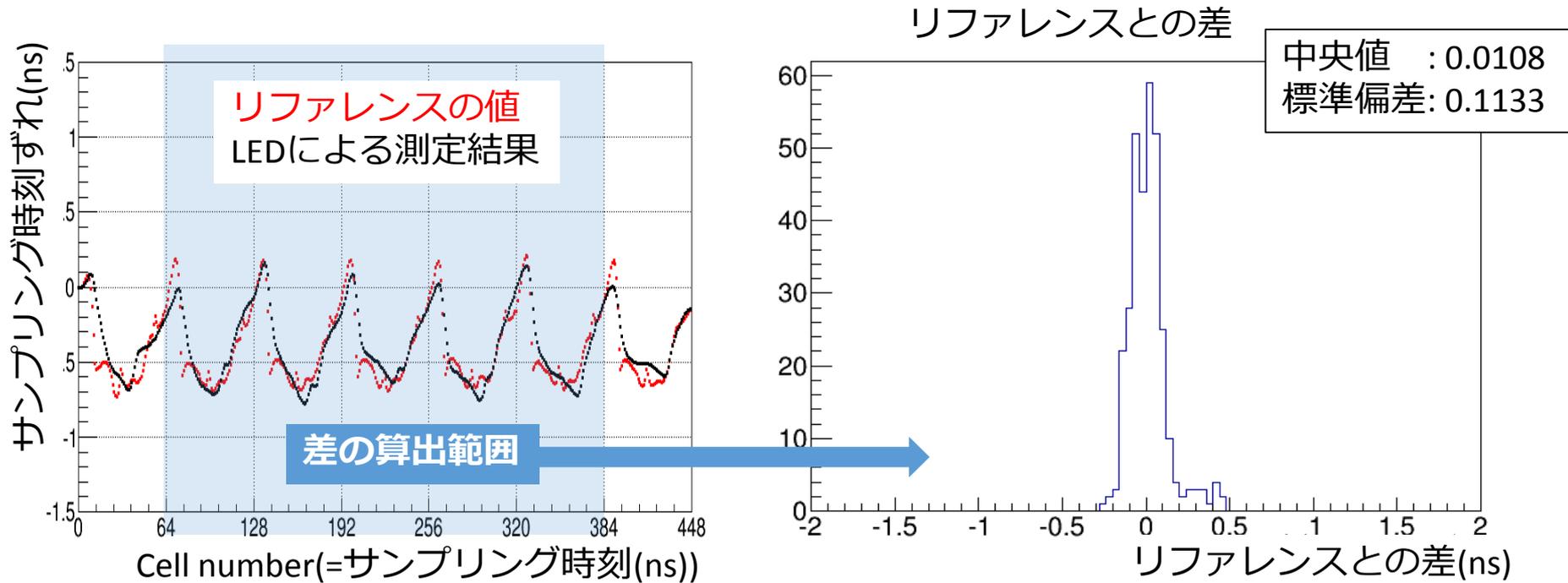


測定方法

- LED光を光検出器に照射⇒光検出器からの信号でばらつき測定
- 光検出器: 一括補正の前の準備試験として、**1ch光検出器を使用**
- 入力波: **パルス波(10MHz)**

パルス波は実際の光量校正で使用

TARGET 応答時間ばらつき測定結果 LED光を用いた結果との比較



直接信号発生器からTARGETに、50MHzサイン波を直接入力した結果をリファレンスとする。 *周波数が大きいほど測定精度が良い

• LEDを用いた結果:

64セル周期性を持つ

リファレンスと0.1nsの精度で重なる

応答時間ばらつき測定が
できている

まとめと今後

TARGETの応答時間ばらつき測定結果

- TARGETのサンプリングセル由来の64セル周期性⇒期待通りの結果

LED光による応答時間ばらつき測定結果

- 64セル周期性が見られた⇒期待通りの結果
- リファレンスの結果と変化の様子が重なる
- リファレンスとの差の標準偏差は0.1ns

今後

- 入力波形や光源の選択など、TARGETモジュールと光検出器を用いた、応答時間ばらつき測定方法の改善を目指す