

# CTA 報告99: 大口徑チェレンコフ望遠鏡初号機搭載 読み出し回路の設計と性能評価

谷川俊介、窪秀利、齋藤隆之、今野裕介、畑中謙一郎、  
増田周、武田淳希<sup>A</sup>、中森健之<sup>A</sup>、郡司修一<sup>A</sup>、  
石尾一馬<sup>B</sup>、大岡秀行<sup>B</sup>、中嶋大輔<sup>B</sup>、  
Daniela Hadasch<sup>B</sup>、林田将明<sup>B</sup>、Daniel Mazin<sup>B</sup>、  
手嶋政廣<sup>B,C</sup>、折戸玲子<sup>D</sup>、片桐秀明<sup>E</sup>、山本常夏<sup>F</sup>、  
田中真伸<sup>G</sup>、他CTA-Japan Consortium、  
池野正弘<sup>H</sup>、内田智久<sup>H</sup>



京大理、山形大理<sup>A</sup>、東大宇宙線研<sup>B</sup>、Max-Planck-Inst.Fuer Phys.<sup>C</sup>、  
徳島大総科<sup>D</sup>、茨城大理<sup>E</sup>、甲南大理工<sup>F</sup>、KEK 素核研<sup>G</sup>、Open-It<sup>H</sup>

# 1-1. LSTのPMT読み出し回路 に対する要求

20GeV-1TeVの低エネルギーガンマ線を狙う

## ① GHzの高速サンプリング

チェレンコフ光による信号と  
夜光（最大400MHzで入射）による信号の分離

## ② 低消費電力

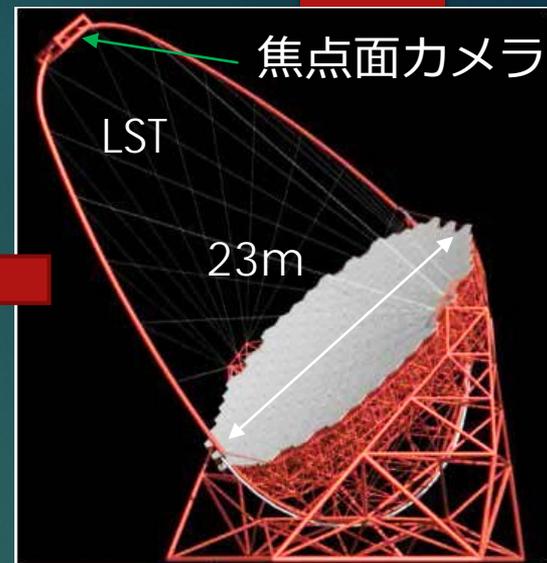
1台のLSTに搭載する1855本のPMTからの発熱を  
抑える

③ 周波数帯域：**300MHz以上**（100p.e.以下で）

④ SN比：**5以上**（1p.e.において）

⑤ リニアリティ：**0.5-1000p.e.以上で±5%以内**

※p.e.は光電子数を表す



アナログメモリ  
→ GHzの高速サンプリング

今回の性能評価で  
測定

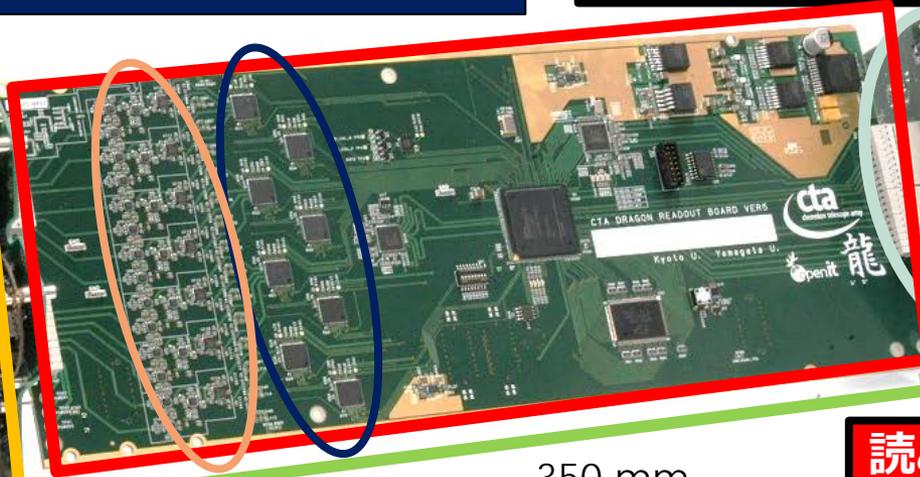
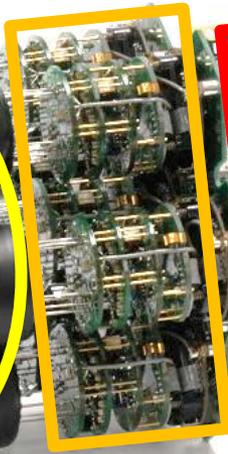
本講演：LST初号機搭載のPMT読み出し回路の性能  
評価、および全数性能試験の結果について述べる

# 1-2. Dragon ver.5 (LST初号機搭載版)

電源供給、トリガー信号分配

アナログメモリ (DRS4)

PMT × 7



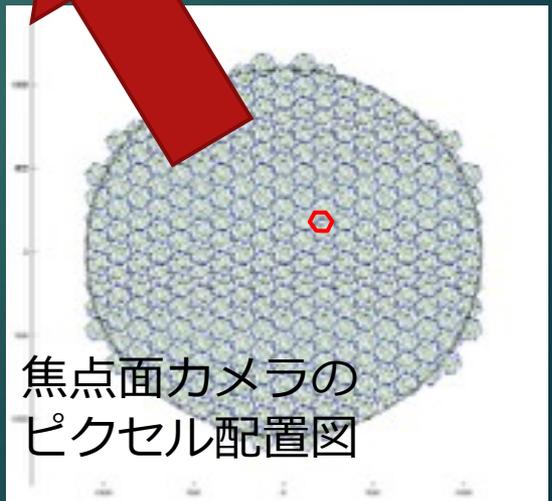
読み出し回路  
"Dragon ver.5"

プリアンプ・  
Slow Control (HV制御等)

メインアンプ  
High、Low  
2系統のゲイン

高いダイナミックレンジの実現

Domino Ring Sampler 4(DRS4)  
:スイスPSI研究所が開発したASIC  
265clusters(1855PMTs)/LST

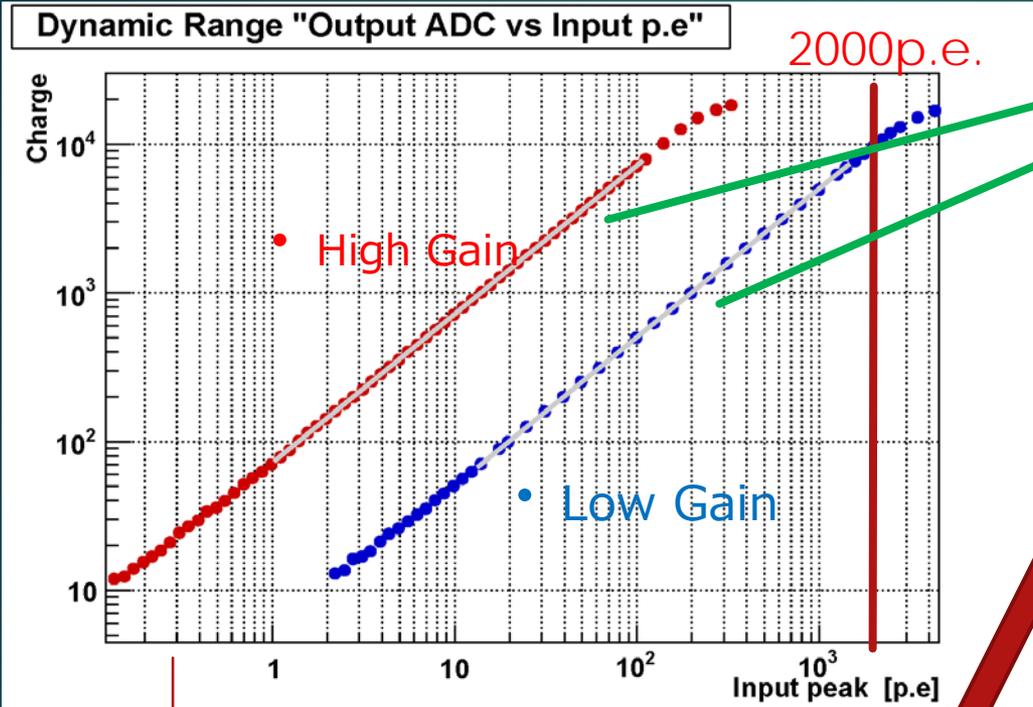


焦点面カメラの  
ピクセル配置図

# 2-1. リニアリティ

要求値：0.5-1000p.e.以上の範囲で±5%以内のリニアリティ

- 1dBずつ切り替えられるattenuatorを用いてpulse generatorからの入力パルスの波高値を変え、リニアリティが崩れるまで測定

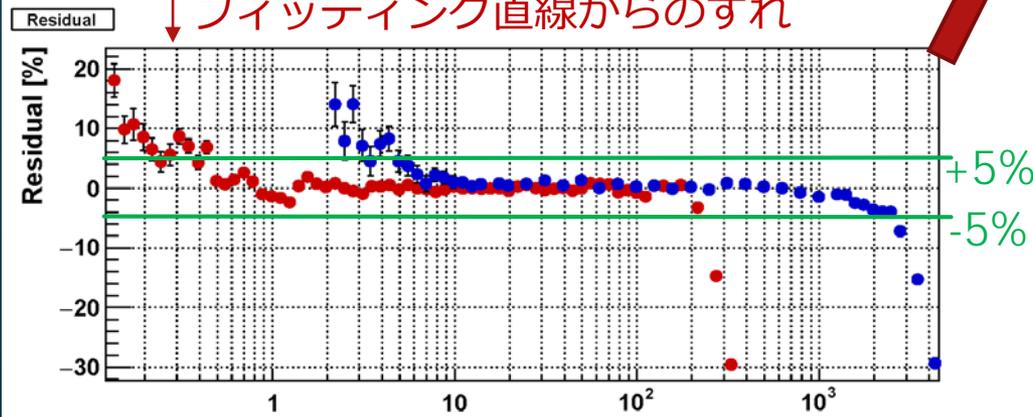


フィッティング直線

High gain側では0.5-100p.e.の範囲

Low gain側では20-2000p.e.の範囲

で±5%のリニアリティを保っている

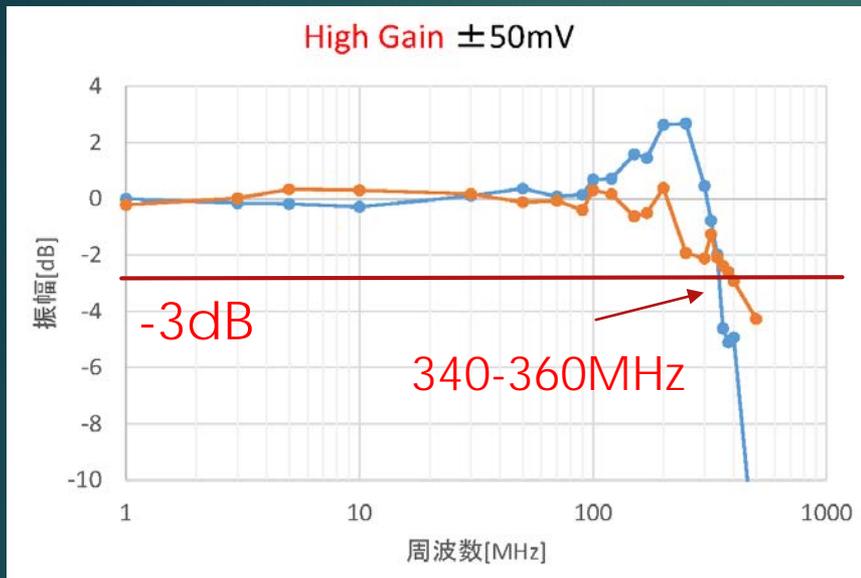


0.5-2000p.e.の範囲で±5%以内のリニアリティを保っている。

# 2-2. 周波数帯域

要求値：300MHz以上（100p.e.以下で）

- Pulse generator から1MHz～500MHzまで周波数のsin波を入力して測定。



— メインアンプ  
を通ったあとのデータ



— DRS4で  
サンプリングしたデータ

周波数帯域は振幅が-3dBとなるところが上限

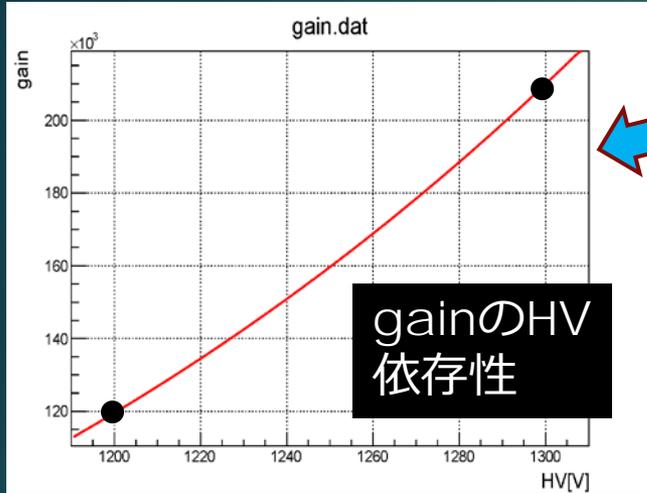
High gain側は要求値を満たしている

Low gain側は検出光子数が多く (>100p.e.)、信号と夜光を区別しやすいので、帯域の低さによる影響は小さい。



# 2-3. SN比 要求値：SN比5以上（1p.e.において）

- PMTのgainのHV依存性を求める
- gain=40000(実際にLSTを動かすときのPMTのgain)を満たすHVを求める



$$y = a(V - 350)^b$$

で解析

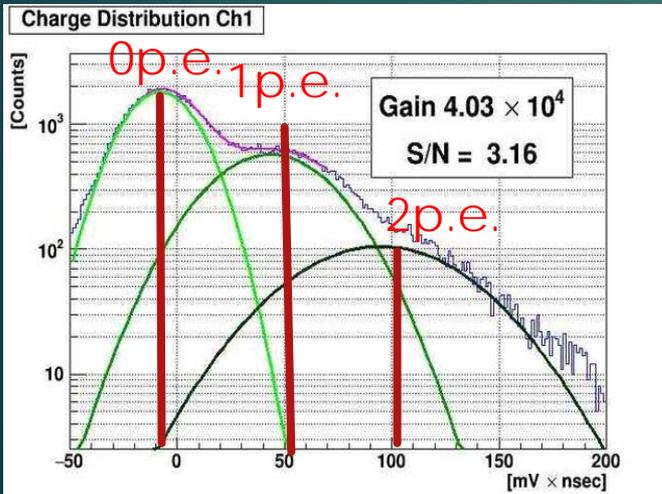
→ 光電面と第一ダイノード間の定電圧

Gain=40000 → HV=1037[V]

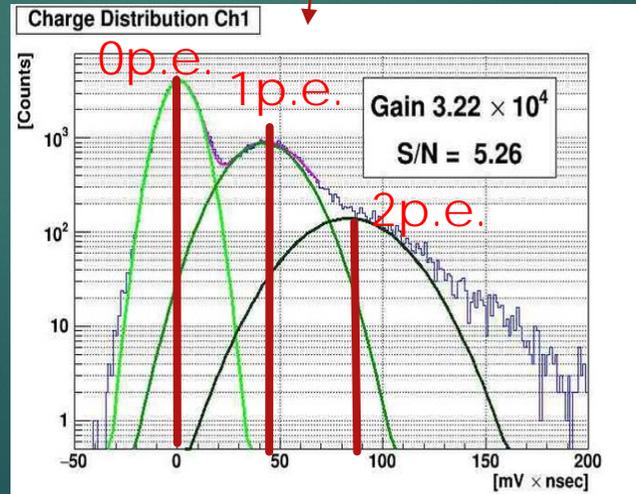
SN比は

(1p.e.の平均 - 0p.e.の平均) / (0p.e.のRMS) で求める。

HV=1037[V]としたとき



積分時間を長くしてgainがおよそ40000になっていることを確認



実際に解析する時間幅で積分しSN比の確認

1p.e.でSN比5.3なのでSN比5以上を満たしている

## 3-1. 全数性能試験 (QC)

- すべての基板が望遠鏡を運用する上で必要とされる要求を満たしているかを確認。
- 不良チップの発見を行う。

### 測定項目と要求値

測定項目	要求値
ノイズのRMS	<b>High Gain</b> 0.4p.e. <b>Low Gain</b> 4.5p.e.
クロストーク	1%未満
パルス幅(FWHM)	<b>High Gain</b> 3ns以下
リニアリティ	1-2000p.e.
アナログメモリの各cellのgainの確認	期待される値±10% 未満に収まること

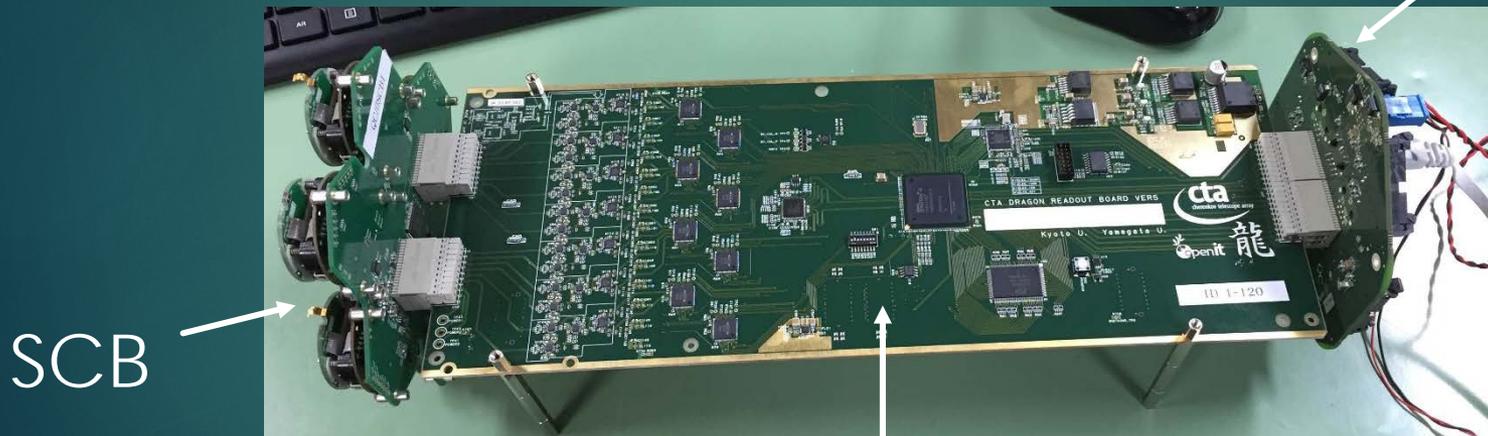
前回の講演では、  
試作版に対して  
行った評価を発表

## 3-2. 測定方法1

- SCBからのテストパルスを用いてノイズRMS、リニアリティ、パルス幅 (FWHM) を測定
- リニアリティ、パルス幅 (FWHM) は、**8ヶ所**で測定
- クロストーク : 1チャンネルに入力したときのほかのチャンネルでのクロストークを入力波高値に対するパーセンテージで評価



BackPlane  
(電源供給)



セットアップ図 PMT読み出し回路

## 3-3. 測定方法2

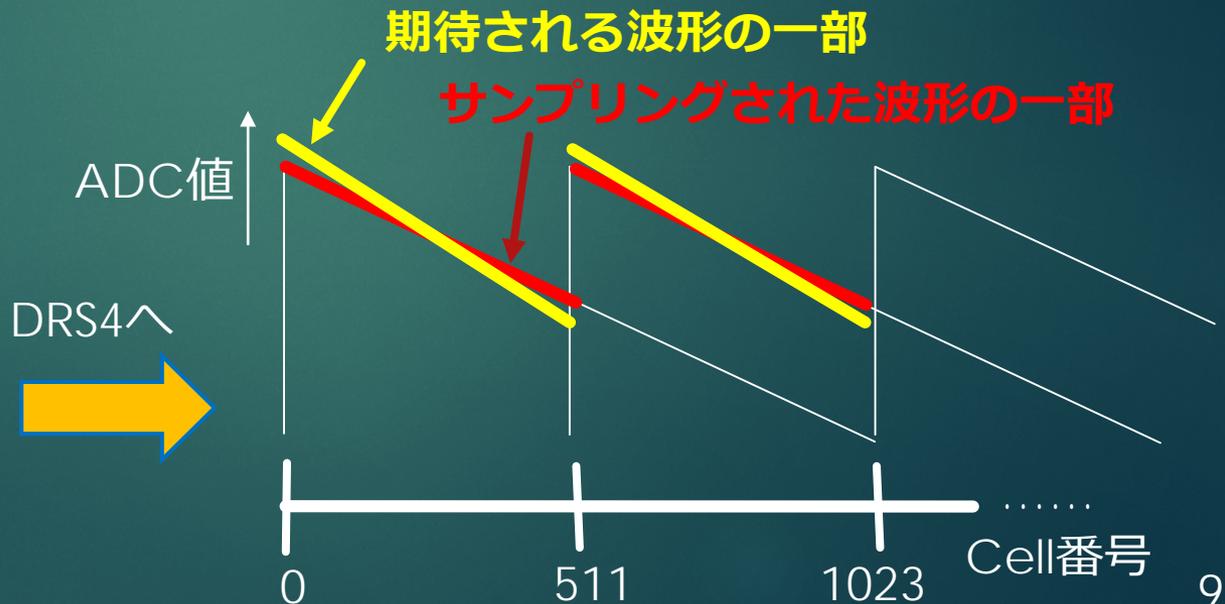
# アナログメモリの各cellのGainの確認

- ・いままでのQCでは、1つのcellのgainまで確認することはできなかった。  
→確認することで異常なcellを発見することができる。

## 方法

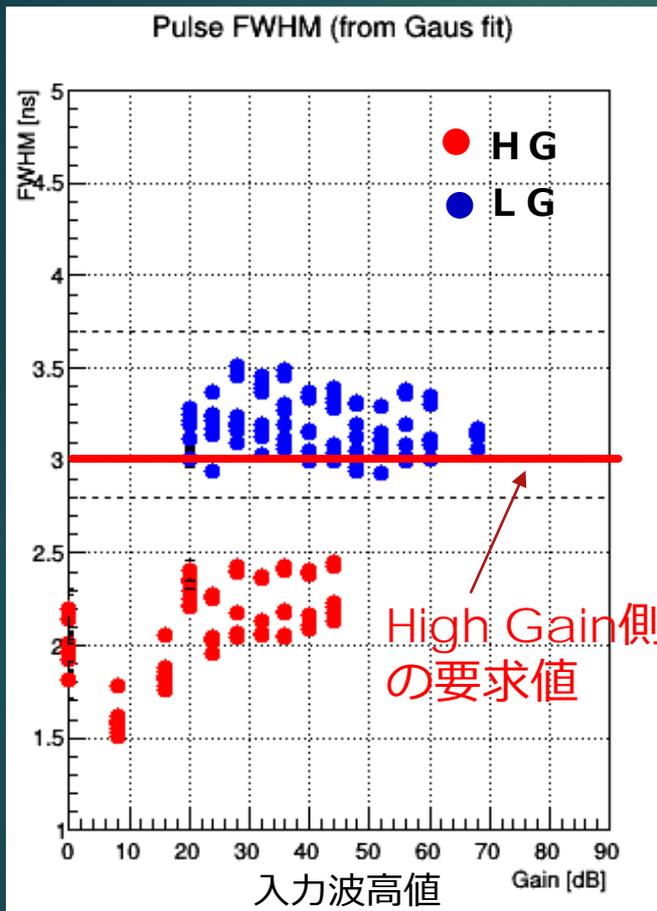
- ・期待される波形とサンプリングされた波形の一部を取り出し、波高値を比較することにより、アナログメモリの中で、異常のあるcellの発見を行う。

入力波

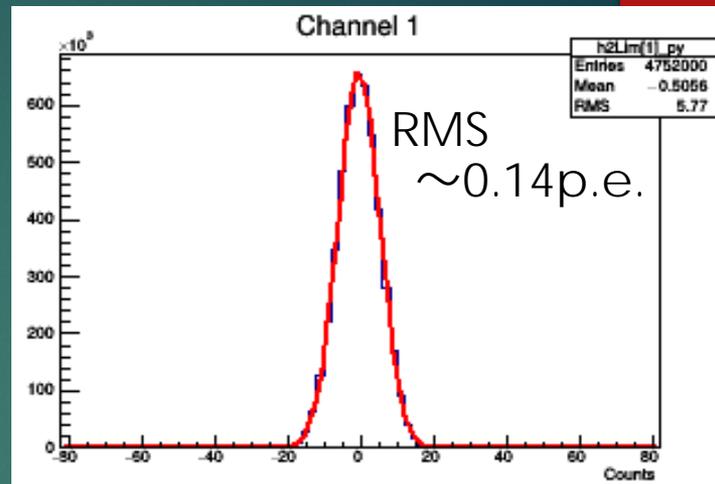


# 3-4. QCの結果1

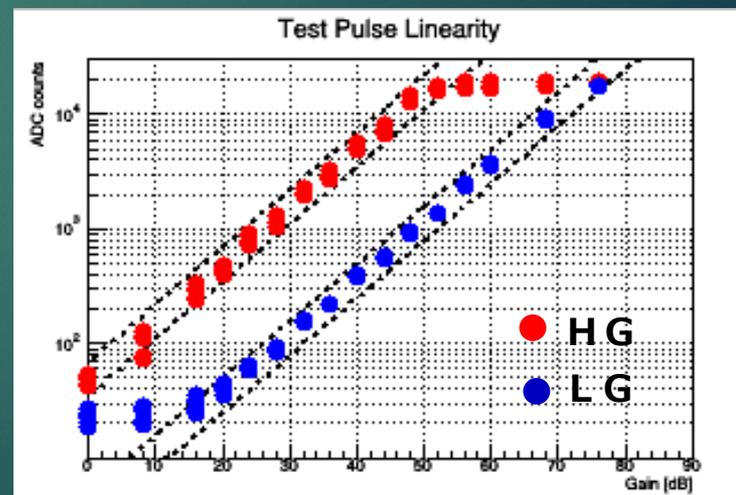
- ・QCの要求を満たしたものの一例を示す



パルス幅 (FWHM)



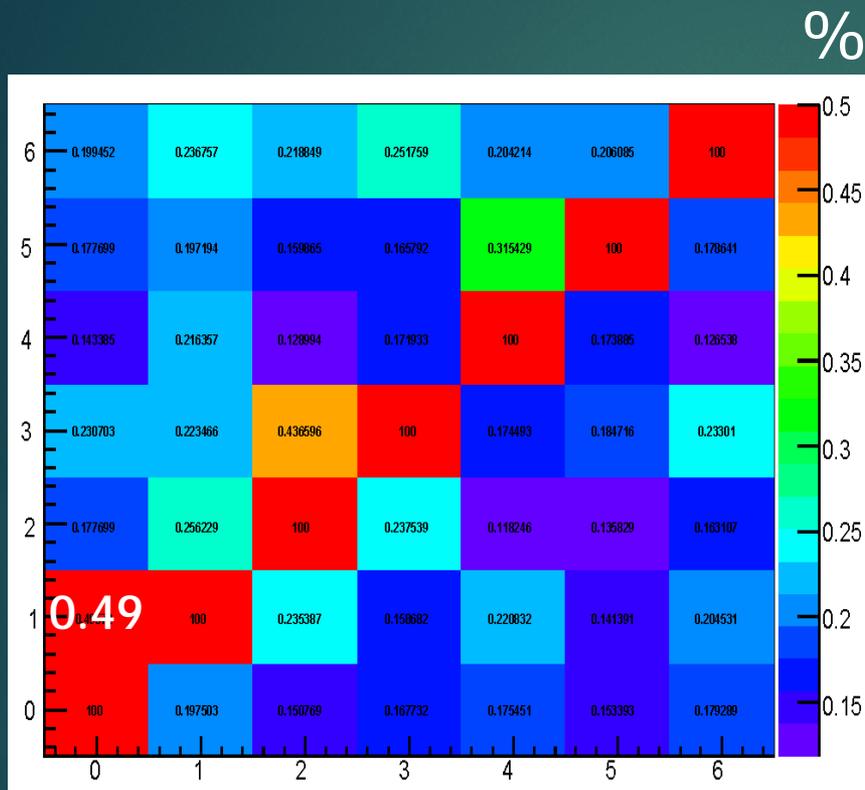
ノイズの分布



リニアリティ

# 3-5. QCの結果2

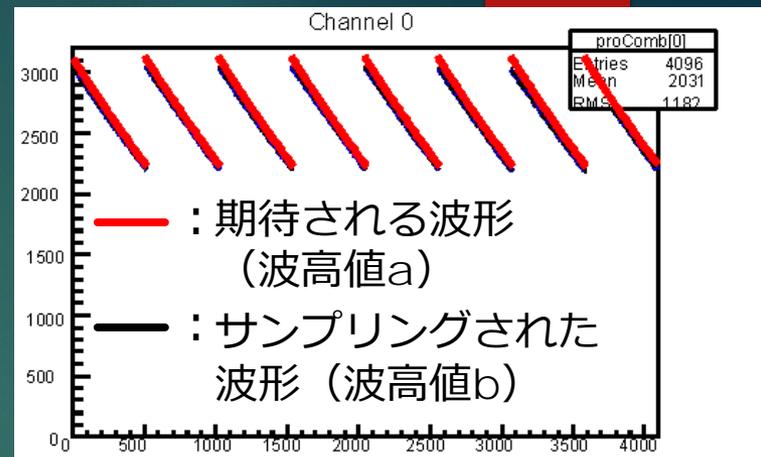
評価したチャンネル



入力したチャンネル

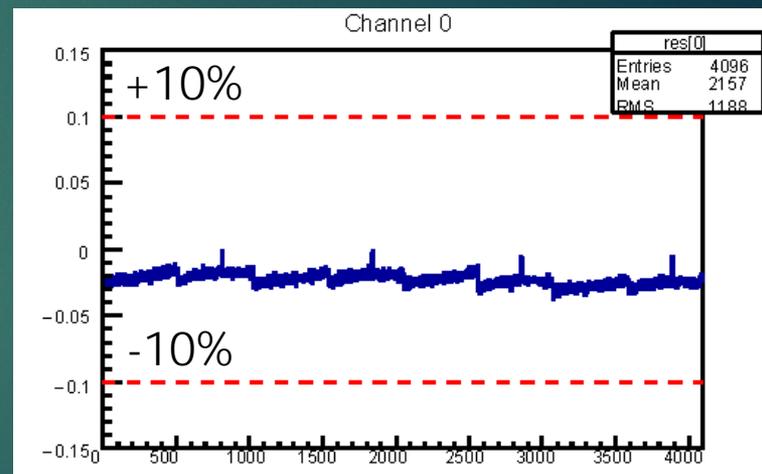
クロストーク (最大0.49%)

ADC値



残差

cell番号



cell番号

アナログメモリの各セルのgainの確認

# 4. まとめと結論、今後の予定

## 測定値と要求値の比較と結論

	要求値	測定値
SN比	5以上	5.3
周波数帯域	300MHz以上	340-360MHz
リニアリティ	0.5-1000p.e. 以上	0.5-2000p.e.で±5%のリニアリティ

今回の測定の結果、開発した読み出し回路は要求を満たしている。また、QCは74/150枚の読み出し回路に対して完了（うち9枚はQC後、不良チップを発見し修理）、のこりは現在QC中。

## 今後の予定

読み出し回路のQCを進め（今年の10月に終了予定）、その後PMTを取り付けてQCを行いLSTに搭載できる状態にする。2016年にLa Palma島にLST初号機の建設を行い、観測開始。