

# CTA 報告91: CTA大口径望遠鏡初号機搭載 読み出し回路の開発

増田周、窪秀利、今野裕介、齋藤隆之、土屋優悟、  
畑中謙一郎、郡司修一<sup>A</sup>、中森健之<sup>A</sup>、手嶋政廣<sup>B,C</sup>、  
石尾一馬<sup>B</sup>、大岡秀行<sup>B</sup>、中嶋大輔<sup>B</sup>、花畑義隆<sup>B</sup>、  
林田将明<sup>B</sup>、片桐秀明<sup>D</sup>、折戸玲子<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>、茨城大理<sup>D</sup>、  
徳島大総科<sup>E</sup>、甲南大理工<sup>F</sup>、KEK 素核研<sup>G</sup>、Open-It<sup>H</sup>



# CTA 大口径望遠鏡 (LST)

- ▶ 23 m 口径 ( 4 台/site 建設予定)
- ▶ 低エネルギー閾値  
20 GeV - 1 TeV のガンマ線を狙う

## 要求仕様 (読み出し回路)

### ▶ 強力な夜光BG除去能力

約 200 MHz/pixel 夜光BG光子と  
Cherenkov光子とを分離

### ▶ 低消費電力

1855 PMTs/telescope からの  
発熱を抑える

### ▶ MSTのレンジとオーバーラップする

**広いダイナミックレンジ**

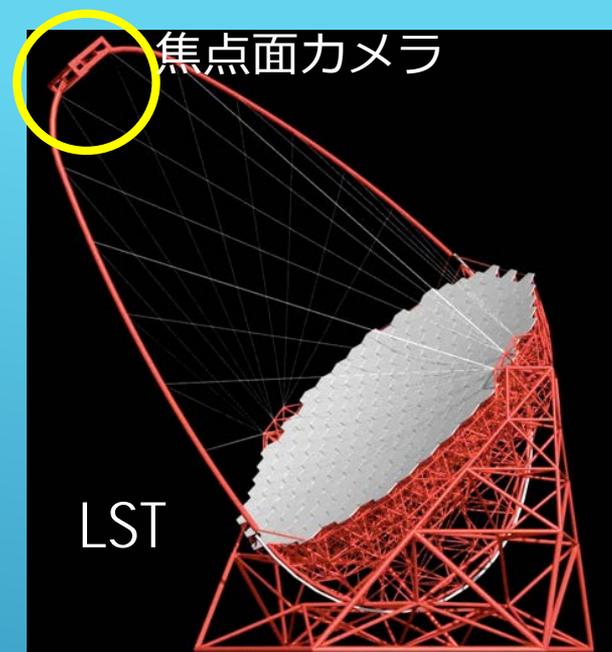
⇒

**アナログメモリ  
"DRS4"チップ採用**

✓GHz 高速サンプリング

⇒

**ゲインの異なる2系統のアンプ**



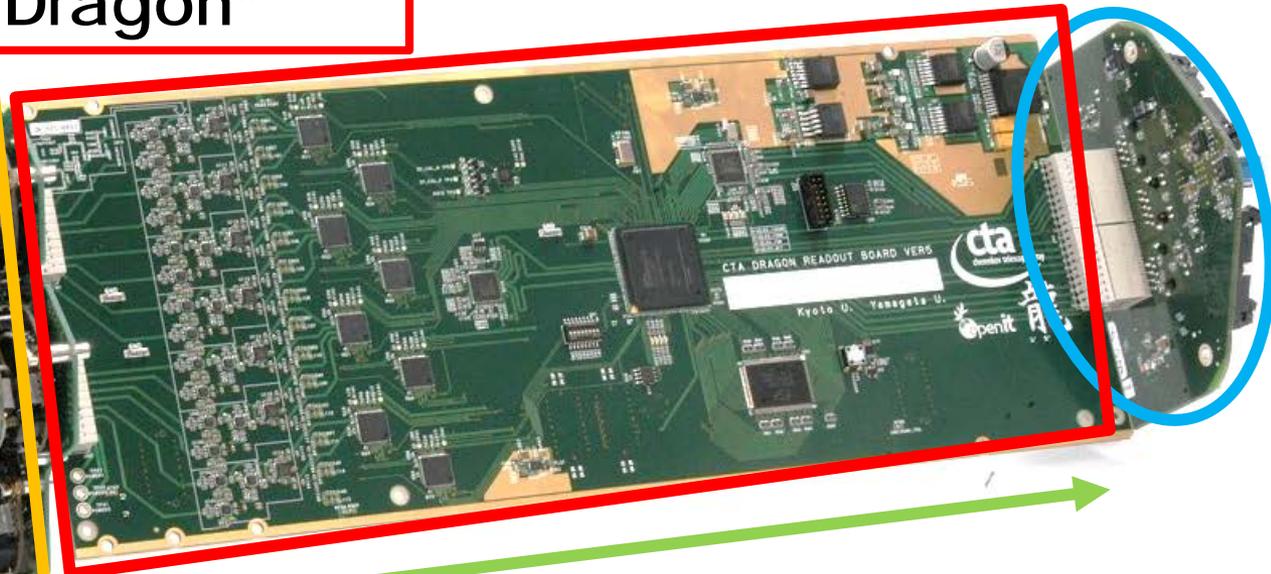
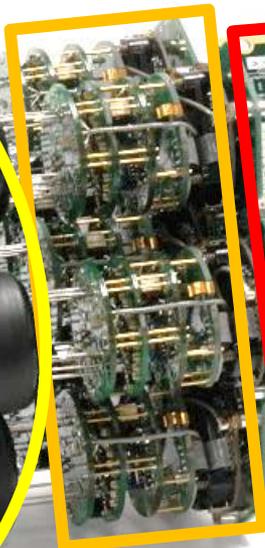
**本講演 : 最終版 読み出し基板 試作機の性能評価、  
量産品の全数性能試験のプラン**

# Dragon Ver.5

読み出し回路  
"Dragon"

通信、トリガー信号分配

PMT ×7

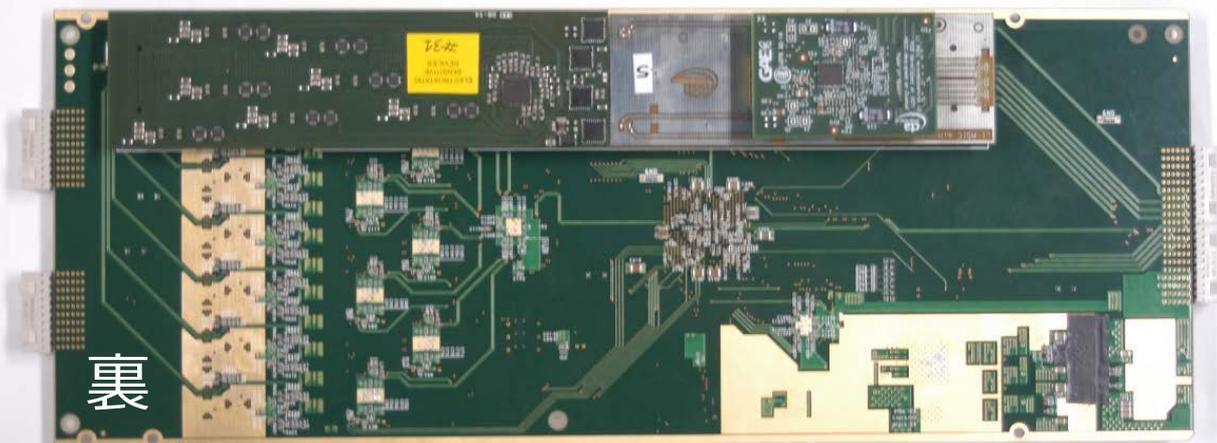
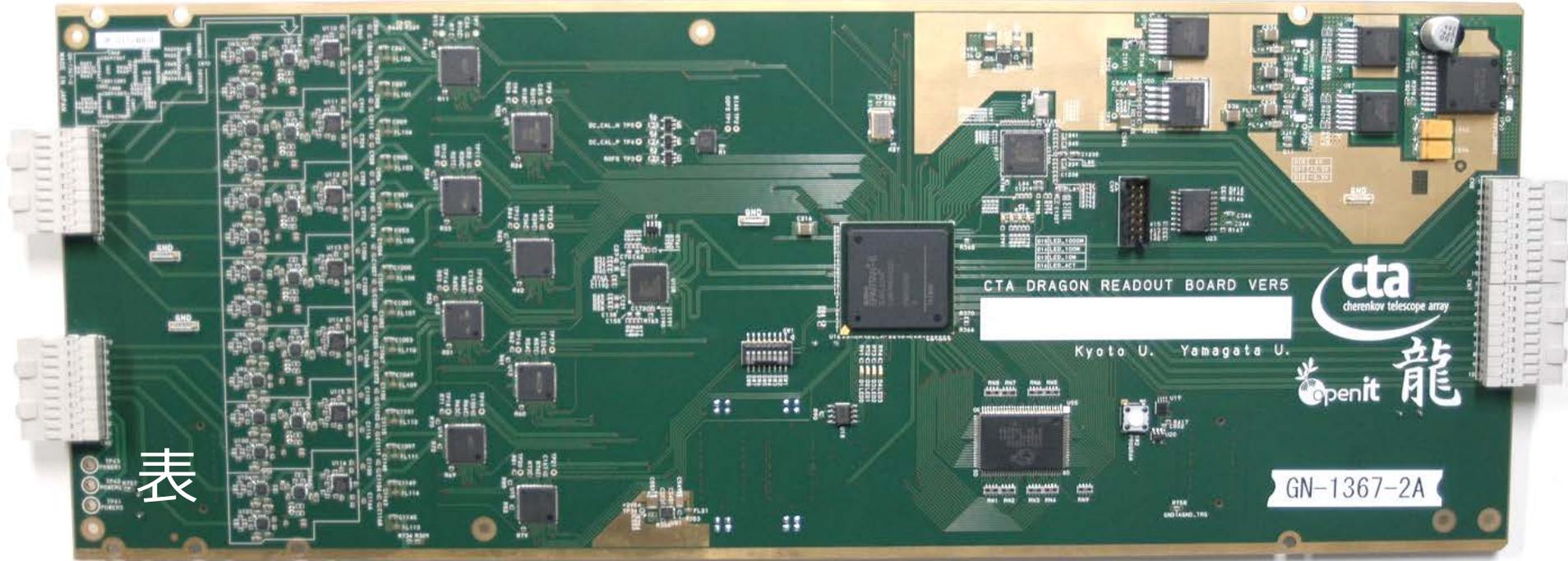


350 mm

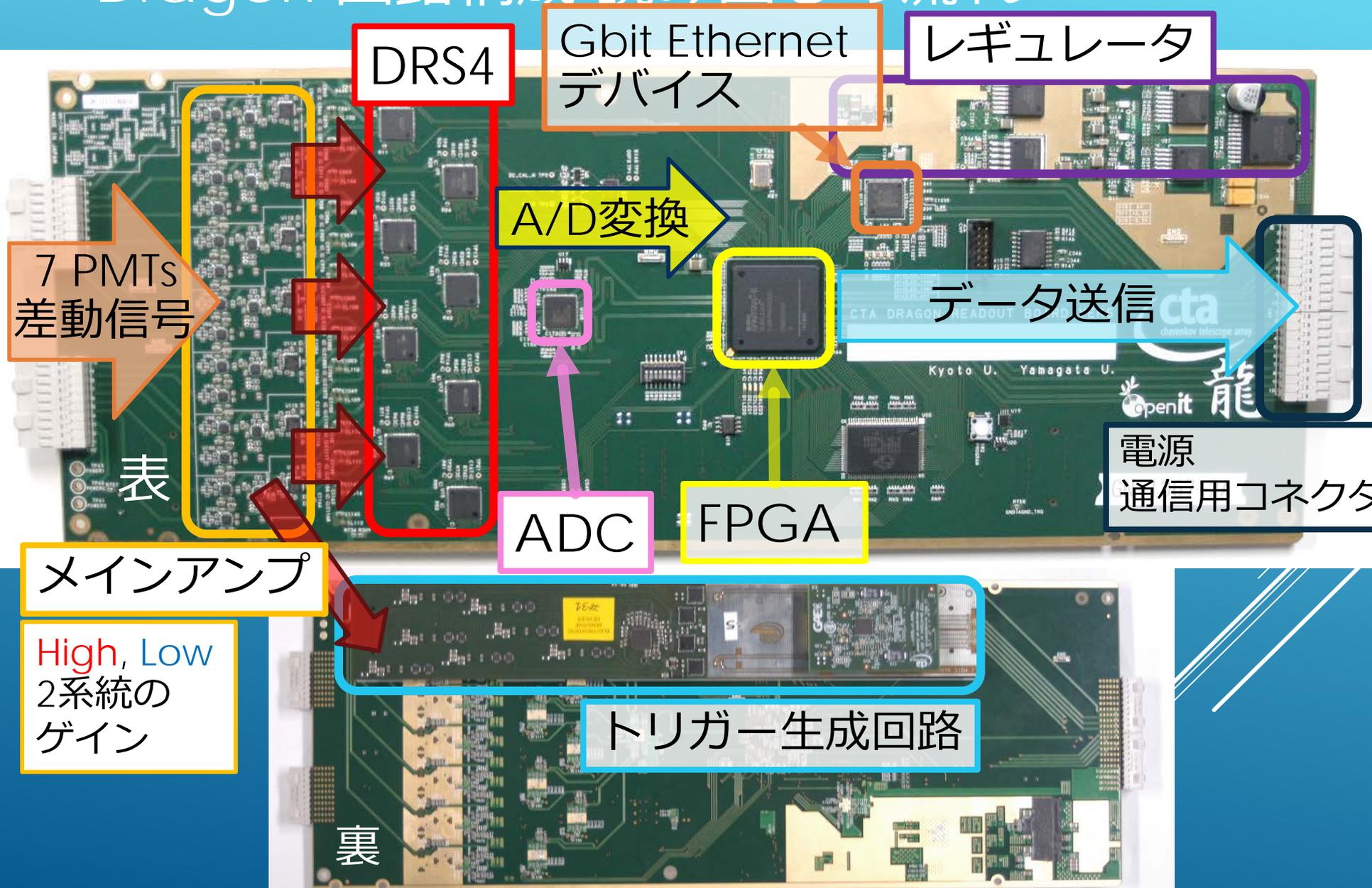
プリアンプ・  
Slow Control (HV制御等)

7 PMTs / cluster  
1855 PMTs / telescope  
→ 265 clusters / telescope

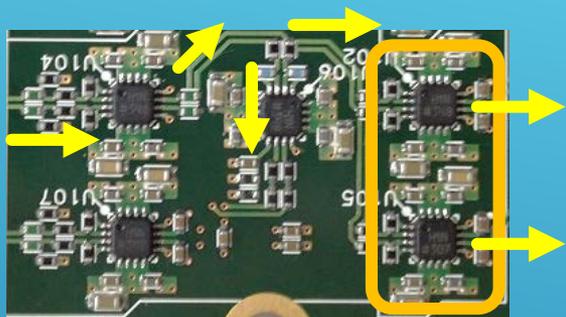
# Dragon Ver.5



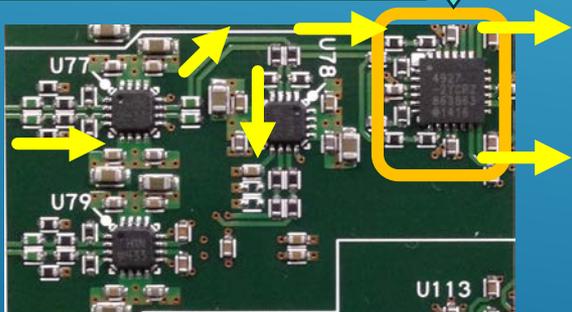
# Dragon 回路構成 読み出しの流れ



# 前版(Ver.4)からの変更点

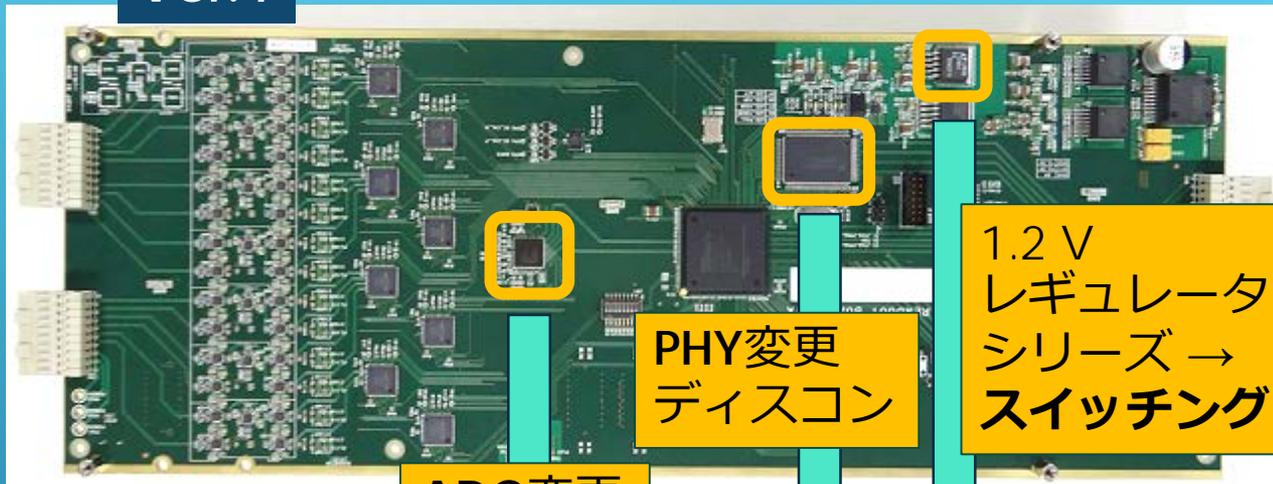


2チップ → 1チップ  
配線長が短くなる  
ように部品配置



内層の配線層、ベタ層は  
対称的に配置

Ver.4

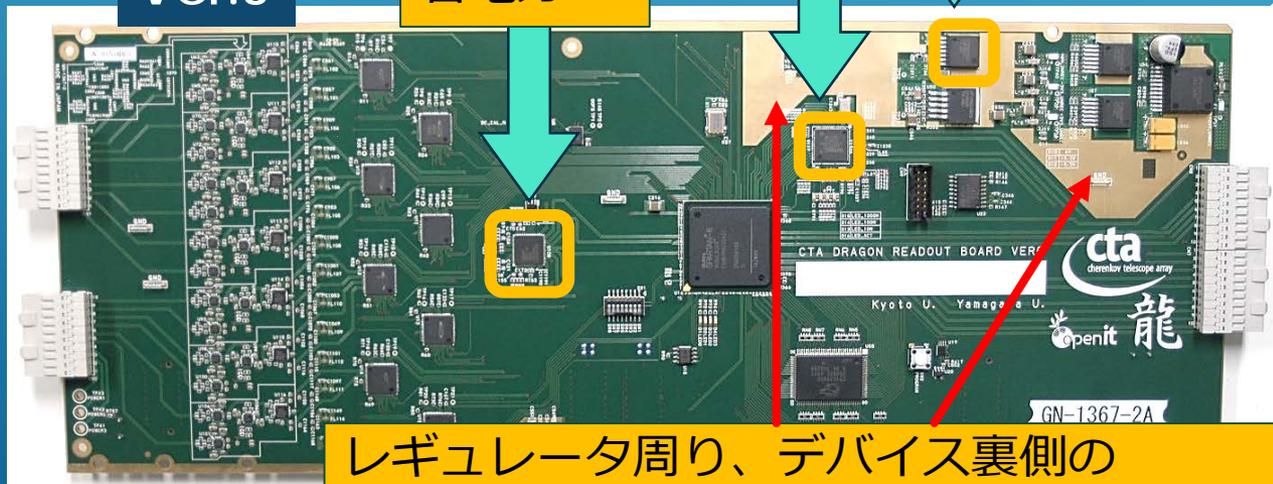


PHY変更  
ディスコン

1.2V  
レギュレータ  
シリーズ →  
スイッチング

ADC変更  
省電力

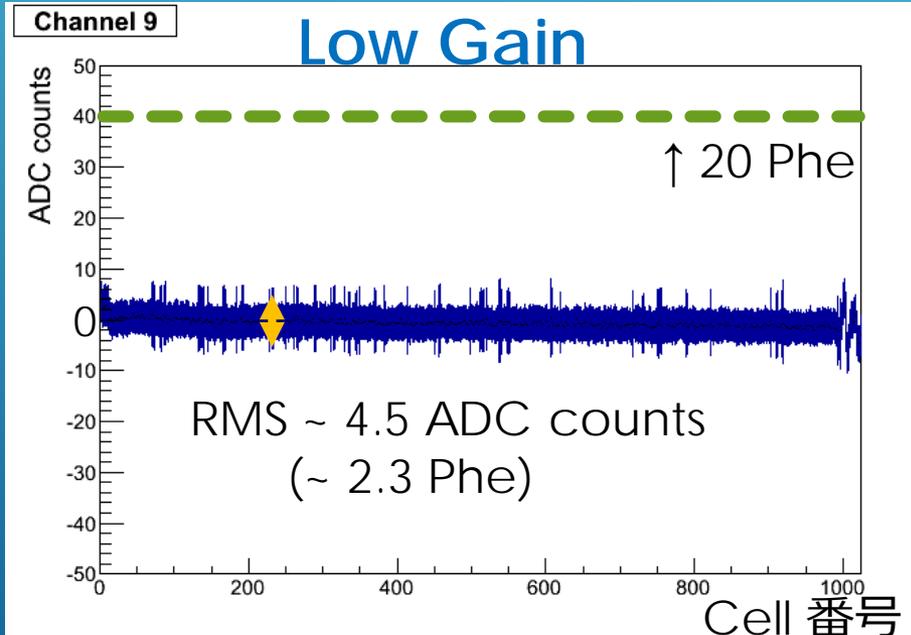
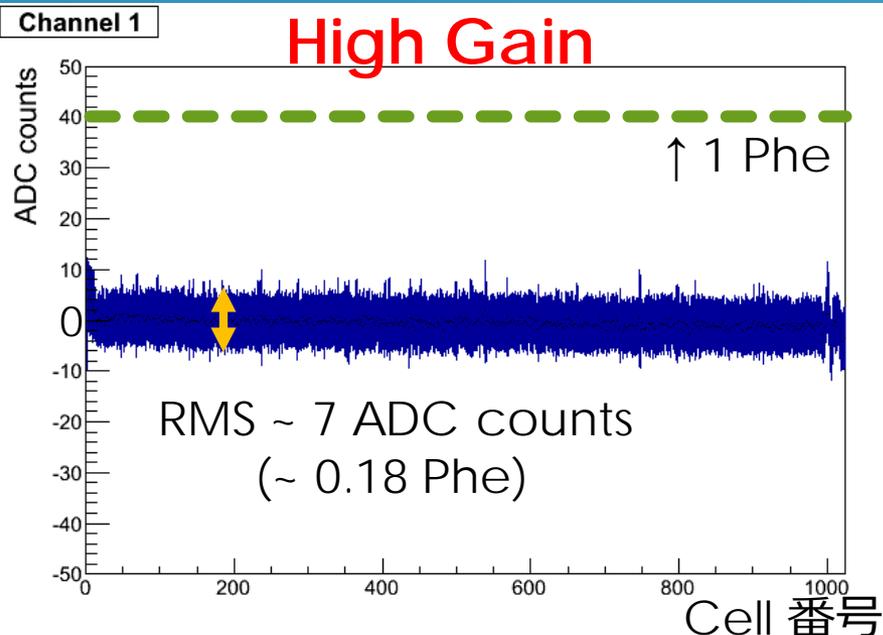
Ver.5



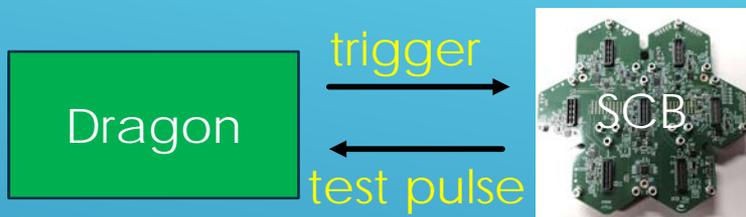
レギュレータ周り、デバイス裏側の  
レジストを除去し、GNDベタ(放熱面)露出

# ノイズレベル

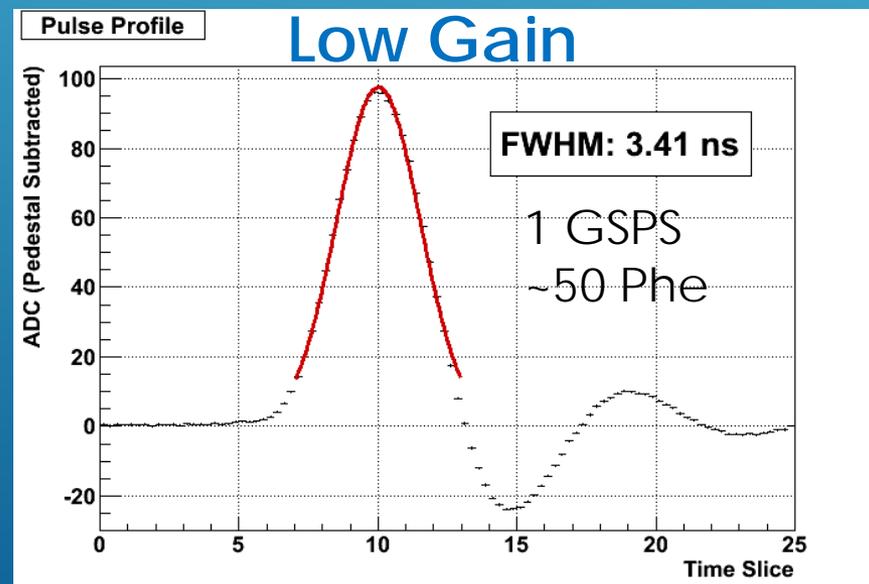
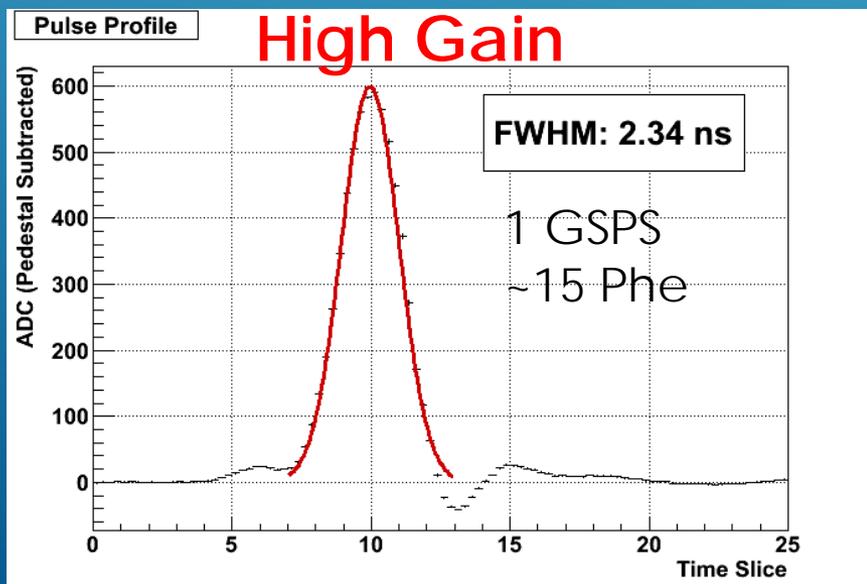
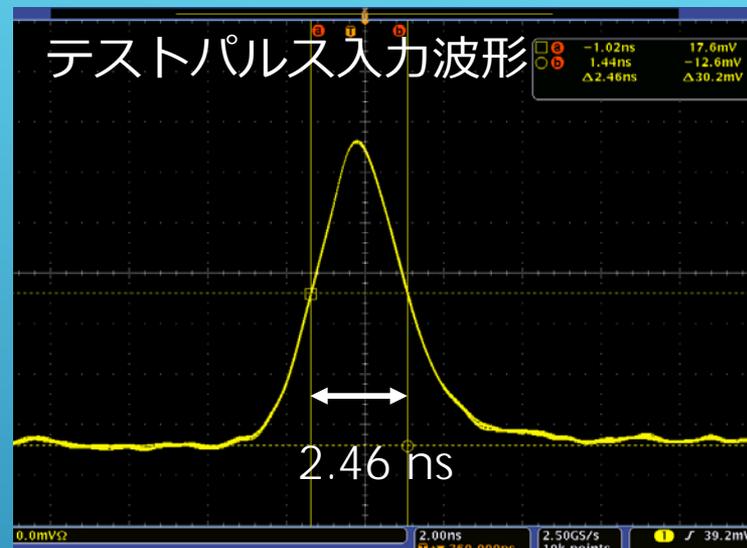
- ▶ DRS4の 1024 cell を 12 bit ADC (Max 4096 counts) で読み出す
- ▶ ゲインの異なる2系統のアンプ
  - ▶ High Gain < 100 Phe、 Low Gain < 2,000 Phe
- ▶ 信号を全く入力しない状態で、ADC値のRMSを測定
- ✓ HG、LG共にノイズレベルに問題なし



# Slow Control Board からのパルス波形測定

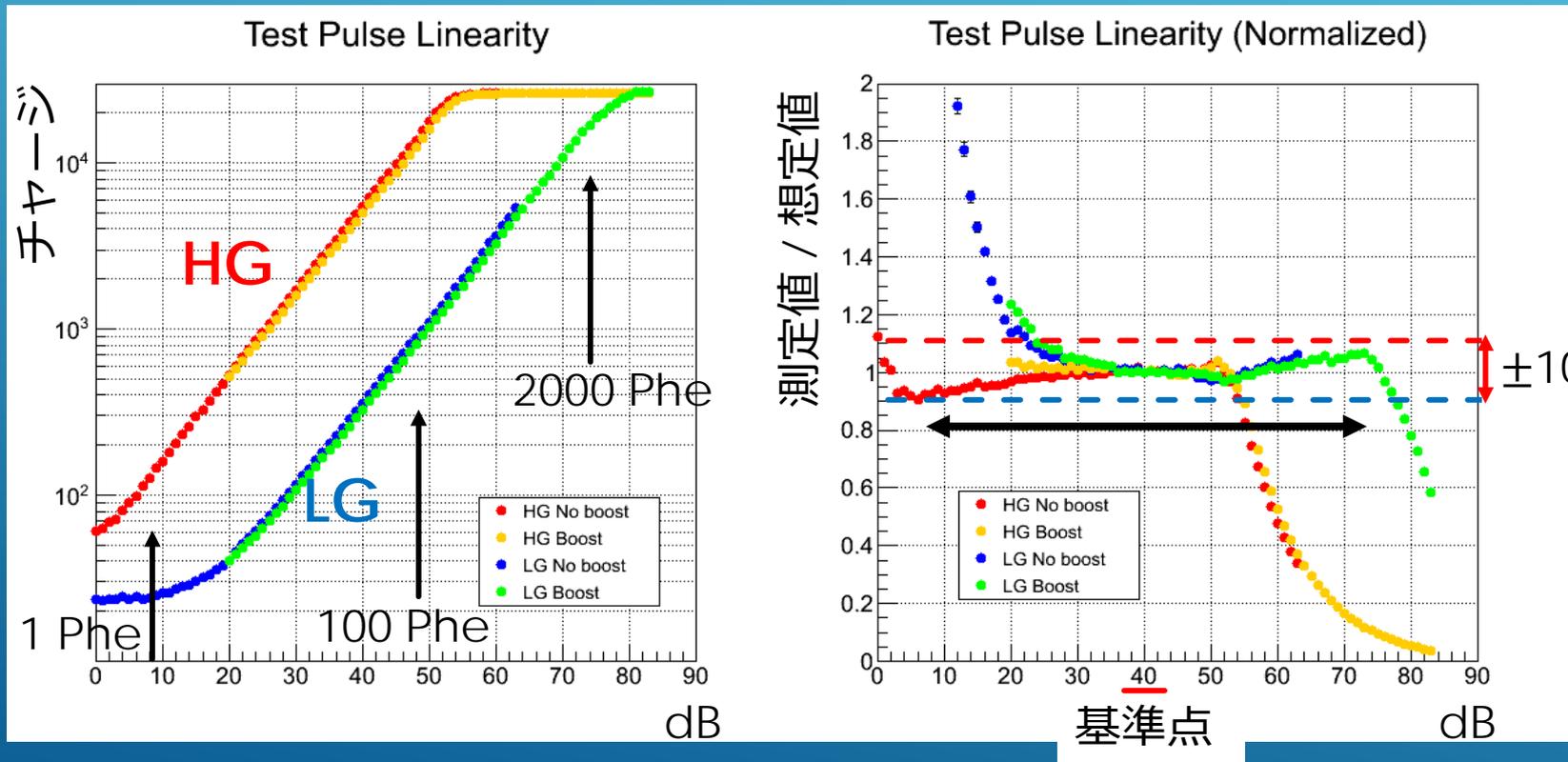


- ▶ SCBからPMT波形に似たテストパルスを入力可能
- ✓ HGでは十分に細かいパルス幅で読み出し  
⇒周波数帯域に問題がないことを確認



# リニアリティ

- ▶ SCBのテストパルスを使用
- ▶ 63段階で1 dBずつ切り替えられる減衰器と10倍(+20 dB Boost)増幅器を直列に繋げた回路で、SCBテストパルスの波高値を調整
- ✓ 1 – 2000 Pheで リニアリティのズレは  $\pm 10\%$  以内に収まる

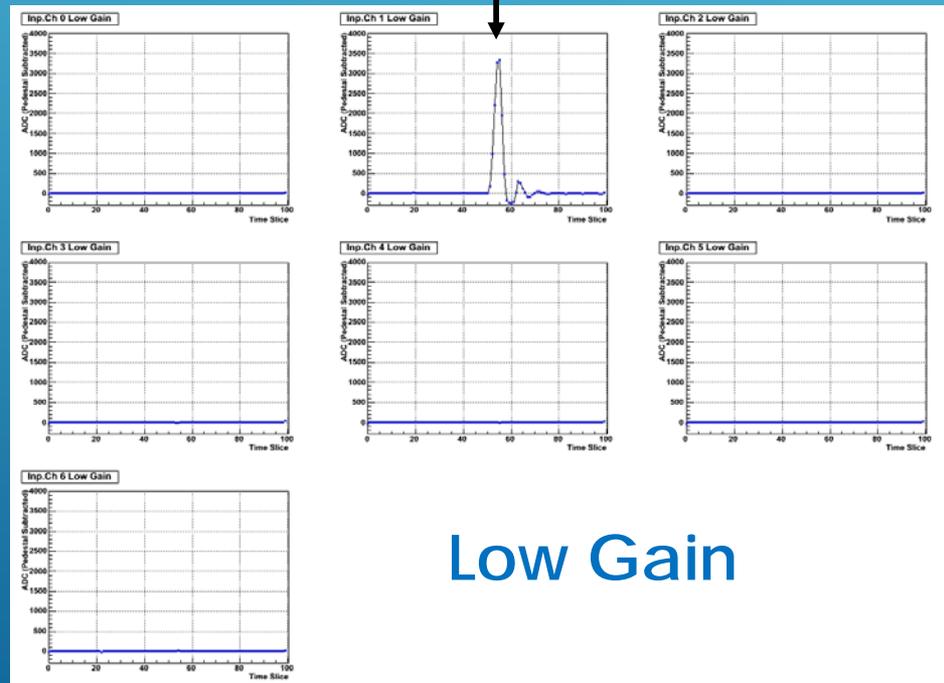
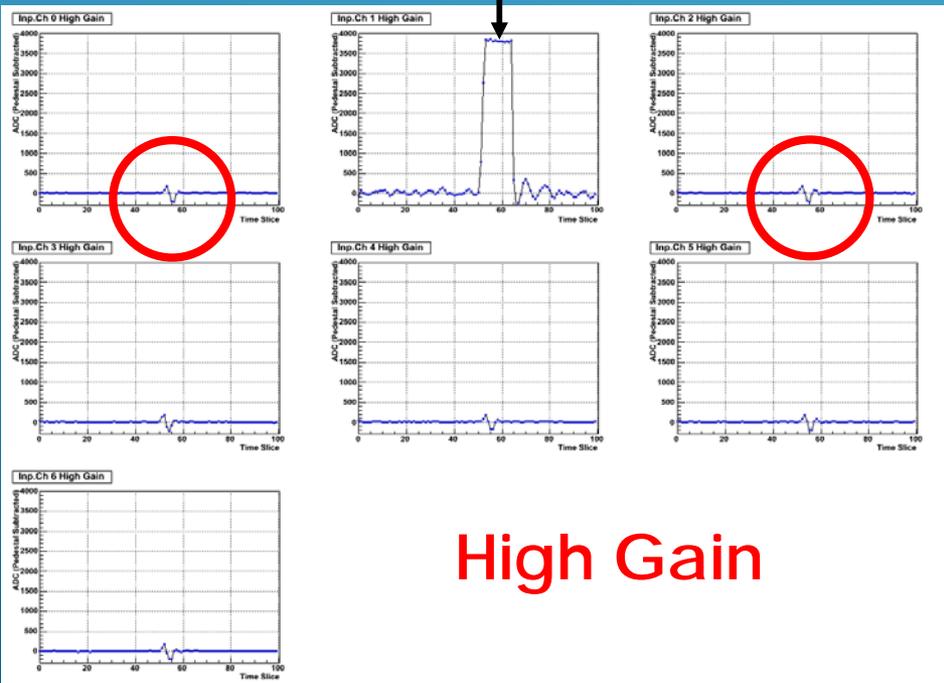


# クロストーク

- ▶ 1Ch入力したときの他のチャンネルでのクロストークを、入力パルス波高値に対するパーセンテージで評価
- ▶ High Gain と Low Gain に同時に入力される (~1600 Phe 相当)
- ▶ High Gain は Low Gain × 20 としてサチっている分を補正

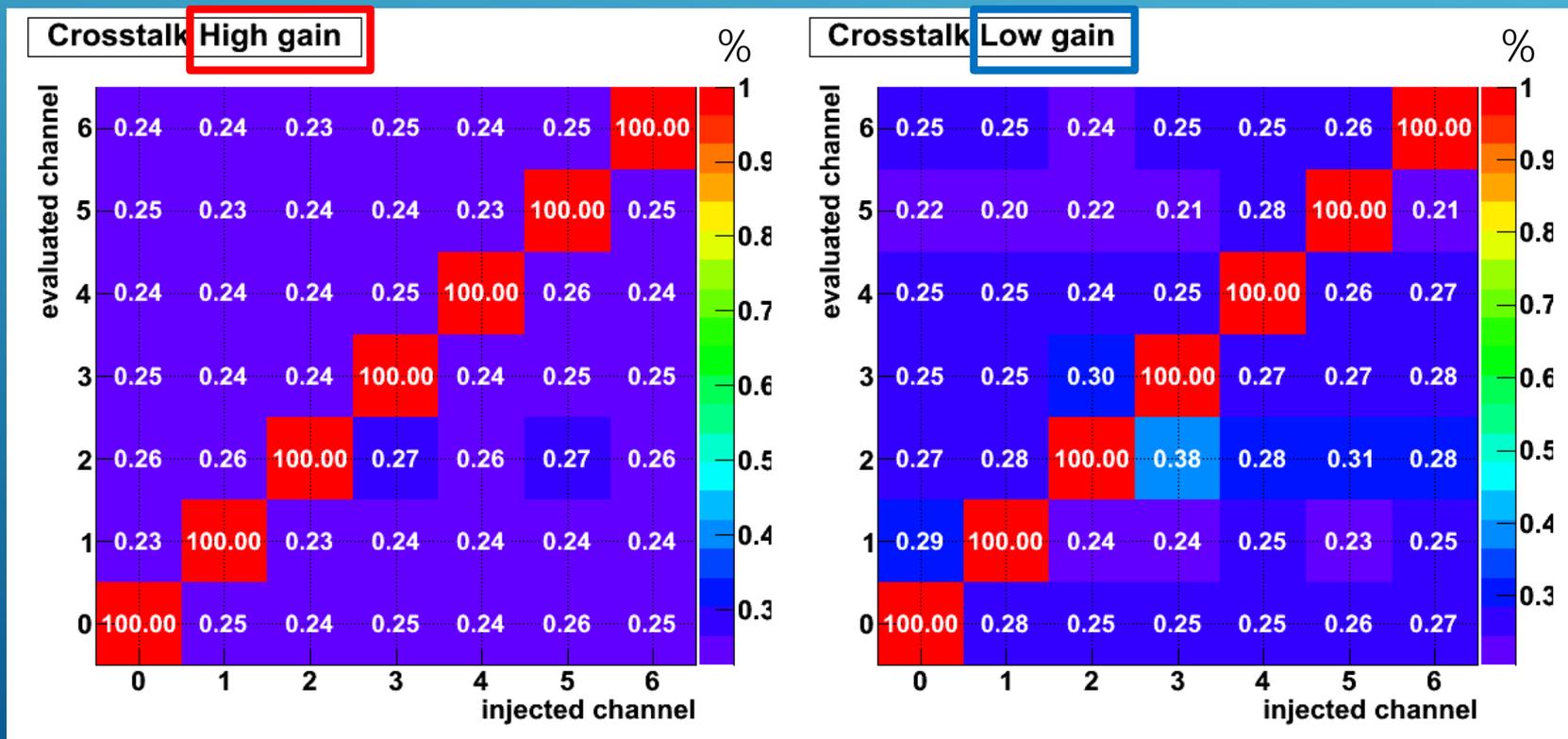
入力パルス(サチっている)

入力パルス



# クロストーク

- ▶ 1Ch入力したときの他のチャンネルでのクロストークを、入力パルス波高値に対するパーセンテージで評価
- ▶ High Gain と Low Gain に同時に入力される (~1600 Phe 相当)
- ▶ High Gain は Low Gain  $\times$  20 としてサチっている分を補正
- ✓ 大きさは入力パルスの 0.2 – 0.4 % 程度に収まる



# Quality Control (全数性能試験) のプラン

- ▶ 今年度中に約80枚、来年度すぐに約70枚の基板が納品される  
最初の約80枚は5月中旬までにQCの試験をする必要がある
- ▶ 以下の3つのPhaseでQCを行う予定

## ▶ Phase 1: Production test (5-10枚/日)

- ▶ 不良箇所を探し、見つけ次第すぐに修理依頼
- ▶ FPGAにFirmwareを書き込み、通信に問題が無いか確認
- ▶ 1000発テストパルスを取得、DRS4等に不良チップが無いか確認

## ▶ Phase 2: Basic Performance test (15枚/日)

- ▶ Slow Control Boardからのテストパルスを用いて以下の試験をする
  - ▶ ノイズレベル、パルス波形(帯域)、リニアリティ、クロストーク

## ▶ Phase 3: Long Term Operation test

- ▶ 数枚ピックアップして1日程度連続で稼働させる。  
その後Phase 2を再度行う

# まとめ

- ▶ CTA 大口径望遠鏡 初号機搭載用 高速波形読み出し回路 Dragon 量産版基板の開発・性能評価を行った
  - ▶ 前版から部品の選定配線パターン、層構造、部品配置等の最終調整をし改良を行った
  - ✓ ノイズレベルは High Gainが ~ 0.18 Phe、Low Gain が ~ 2.3 Phe 相当
  - ✓ SCBからのテストパルスを FWHM 2.3 ns と十分細い幅で読み出せた
  - ✓ 1 – 2,000 Phe で  $\pm 10\%$  以内の リニアリティを確保できている
  - ✓ クロストークは 0.2 – 0.4 % 程度 問題無いと考えられる
- ▶ 日本で約150枚のDragon基板を製造し、その全てに対し性能試験 (Quality Control)を行う必要がある。
  - ▶ 3段階のPhaseでQCを行う計画である
  - ▶ 較正されたSlow Control Boardからテストパルスを入力し評価する