

CTA計画に向けたアナログメモリによる 高速波形サンプリング回路の開発II

粟根悠介, 青野正裕, 梅原克典^A, 榎本良治^B, 大岡秀行^B,
奥村暁^C, 折戸玲子^D, 片桐秀明^A, 株木重人^E, 窪秀利,
郡司修一^F, 今野裕介, 佐々木美香^A, 渋谷明神^G,
田島宏康^G, 田中真伸^H, 手嶋政廣^{B,I}, 中森健之^J,
萩原亮太^F, 日高直哉^G, 米谷光生^K,
他 CTA-Japan Consortium, 池野正弘^H, 内田智久^H,
他 オープンソースコンソーシアム (Open-It)

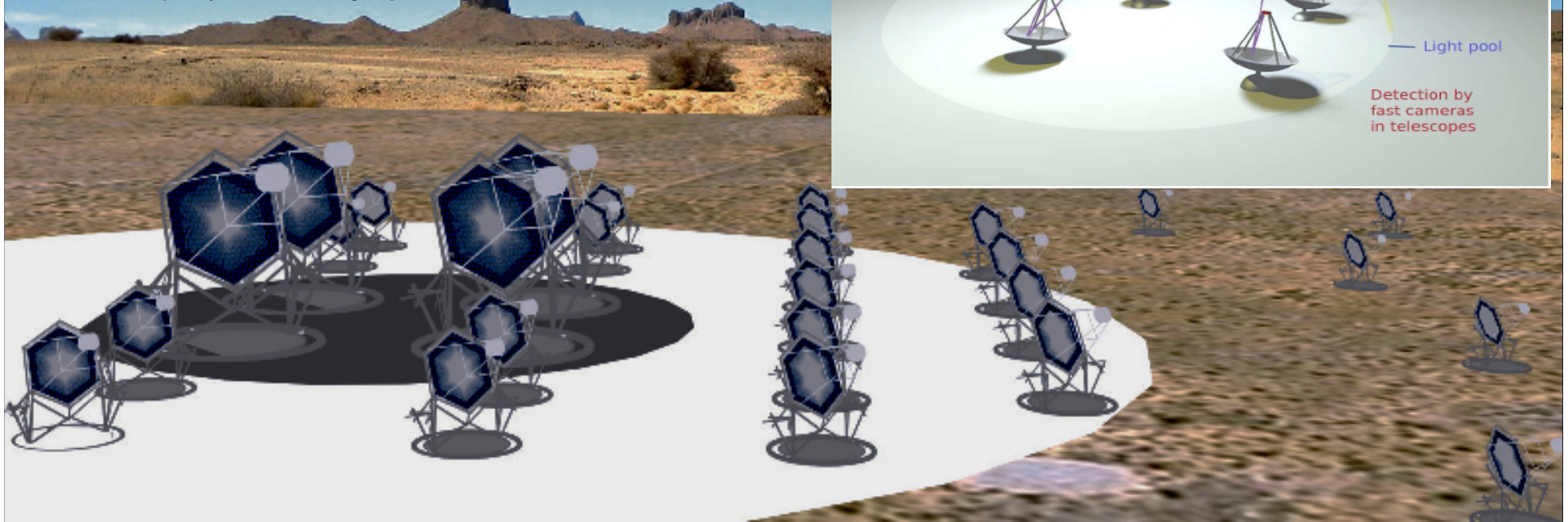
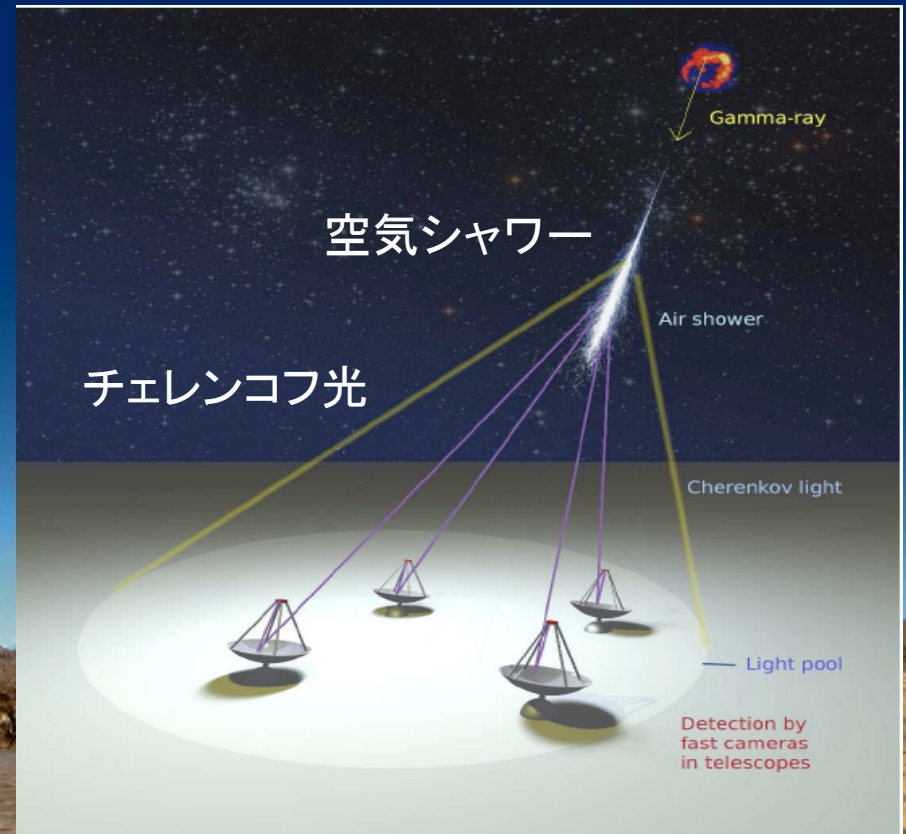
京大理, 茨城大理^A, 東大宇宙線研^B, 宇宙研^C,
徳島大総科^D, 東海医^E, 山形大理^F, 名大STE研^G,
KEK素核研^H, Max-Planck-Inst. fuer Phys.^I, 早大理工^J,
広大理^K

目次

- CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画
- 読み出し回路の概要・要求仕様
- アナログメモリ読み出し回路の開発
- 読み出し回路とPMTの接続試験
- まとめ

CTA (Cherenkov Telescope Array)計画

- 天体ガンマ線 (数10GeV~100TeV)を観測する大気チェレンコフ望遠鏡群を建設
- 南北半球合わせて100台程度
- TeV領域で従来の観測装置の感度10倍を目指す
- 日米欧25カ国が参加

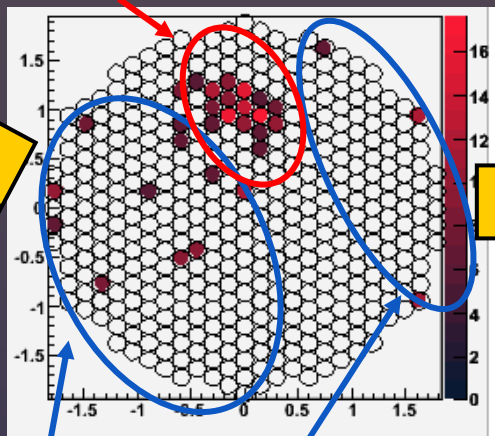
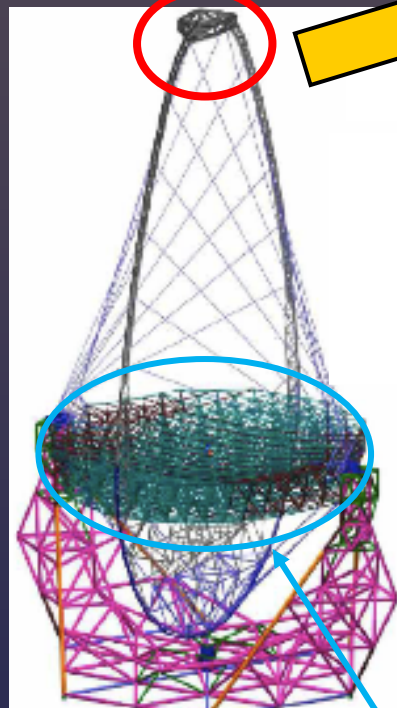


CTAにおける読み出し回路

空気シャワー
による信号

1クラスター(7PMT)

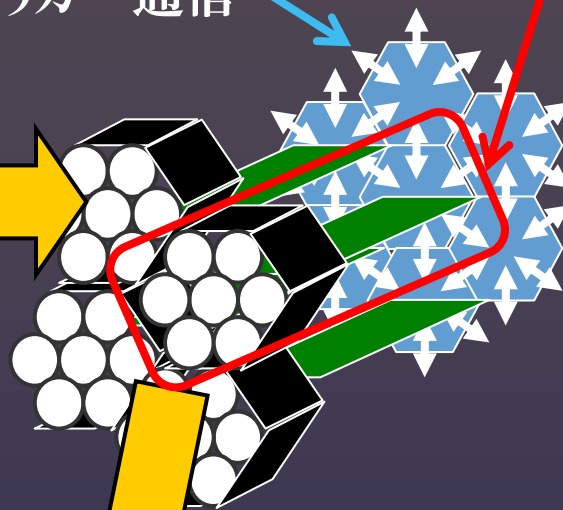
PMT ~2500本



CANGAROOの例

夜光による
バックグラウンド

トリガー通信

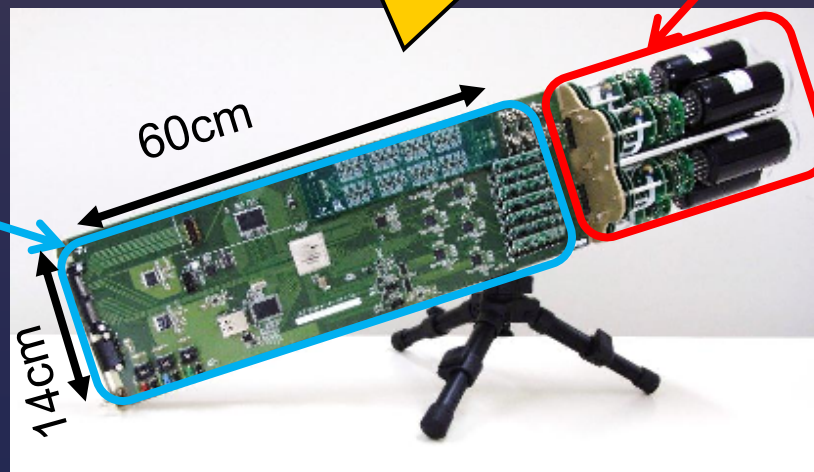


PMT
(直径34mm)

読み出し回路

大口徑(23m)

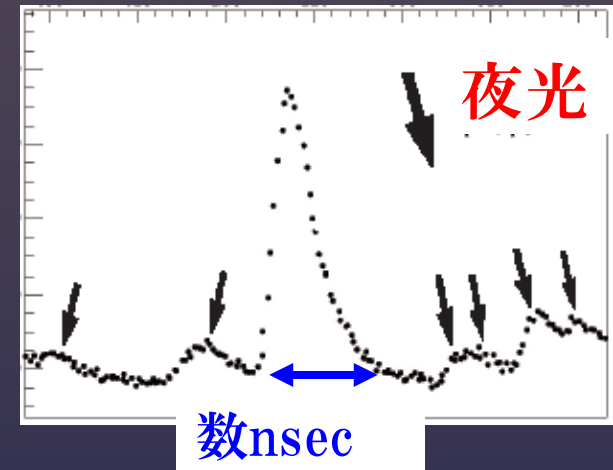
反射鏡



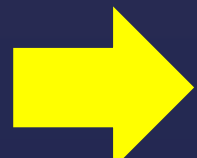
➤ PMT波形の読み出し

読み出し回路に対する要求仕様

- ▶ ~1GS/s高速波形サンプリングが必要
 - ▶ 空気シャワー信号は数十ノ秒、~100MHzの夜光バックグラウンドを落とす



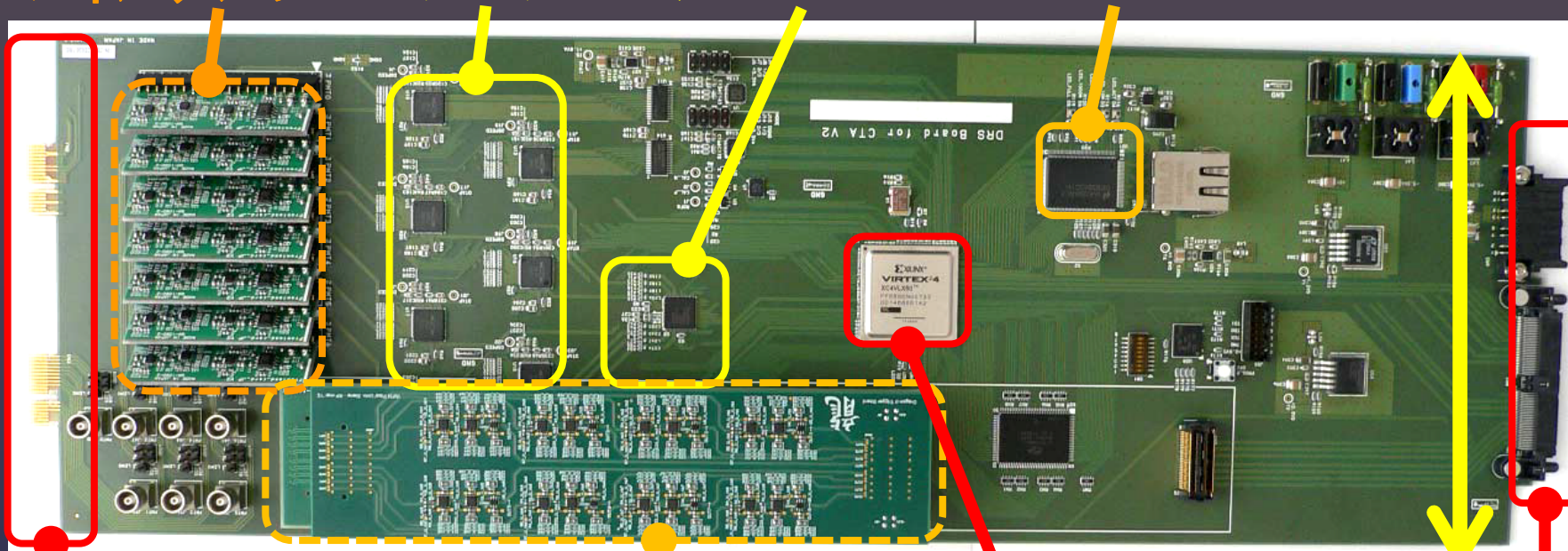
- ▶ 300MHz以上の帯域幅
- ▶ 1p.e.~3000p.e.のダイナミックレンジ
- ▶ 望遠鏡間のトリガーを判断するまでの $2\mu\text{s}$ の記録深さ
- ▶ 最大読み出しレート~10kHz
- ▶ 低消費電力(2W/PMT)



アナログメモリを使った読み出し回路を開発

開発した読み出し回路

メインアンプ アナログメモリ ADC Ethernet PHY 14cm



一次トリガー生成

60cm

PMT7本と接続

12層基板

電源: DC+-3.3V, +5V入力

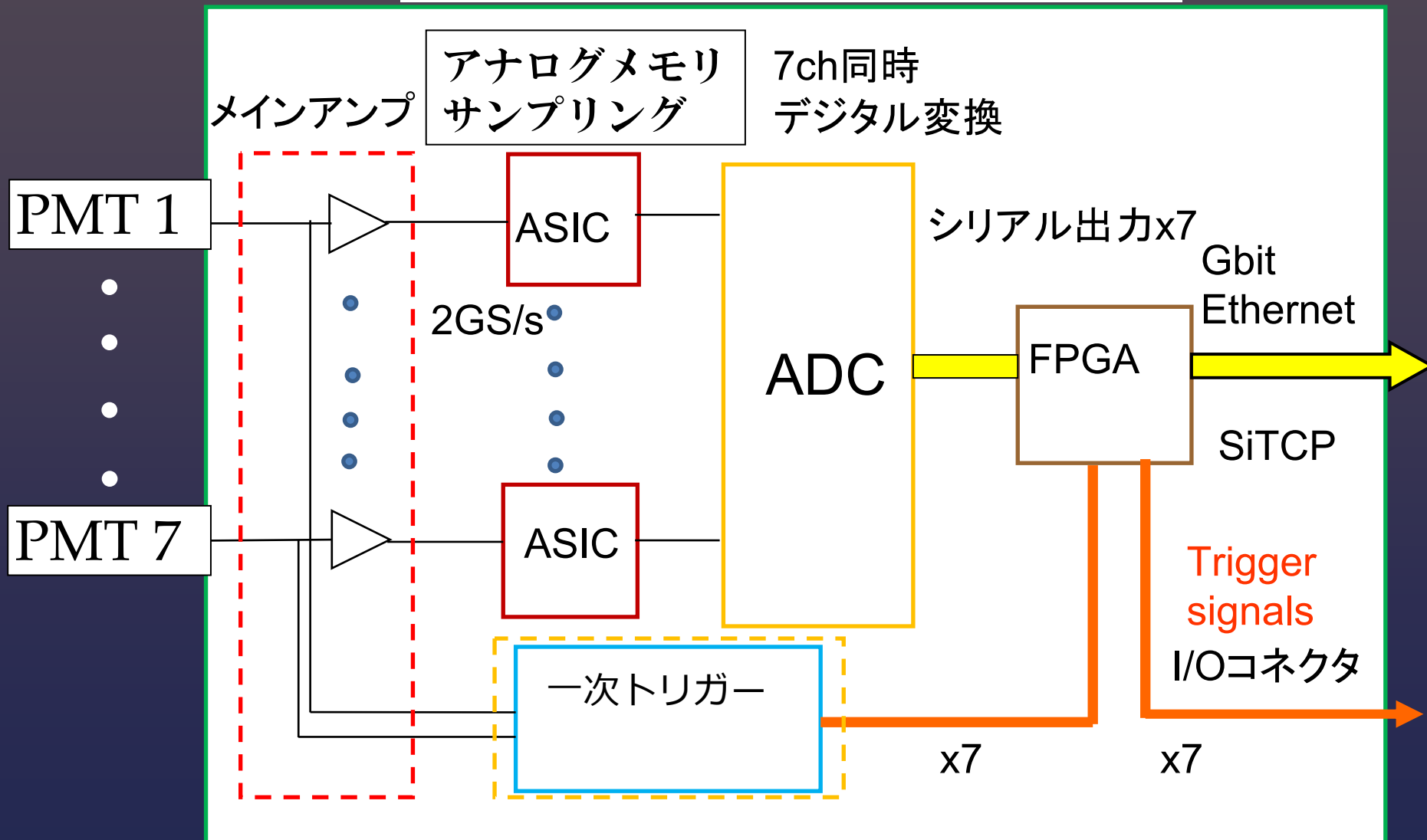
消費電力: 13W(1.9W/PMT)

FPGA: Virtex-4(640ピン)

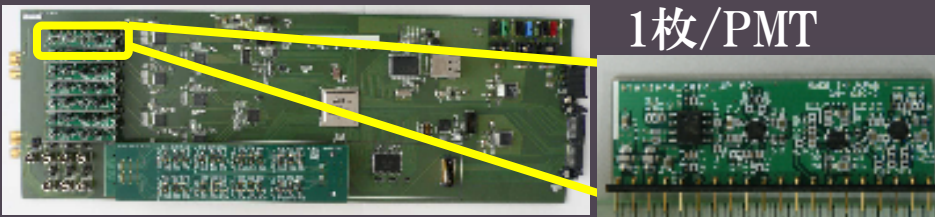
トリガー通信用
I/Oコネクタ

信号読み出しの流れ

アナログメモリ読み出し回路



メインアンプ



1枚/PMT

470mW/枚

PMT
アノード出力

x4

x1

Trigger

トリガー生成
基板へ

帯域幅 (-3dB) >300MHz

High gain(x10)

x2.5

400MHz

アナログメモリ
ASICへ

Low gain(x1/4)

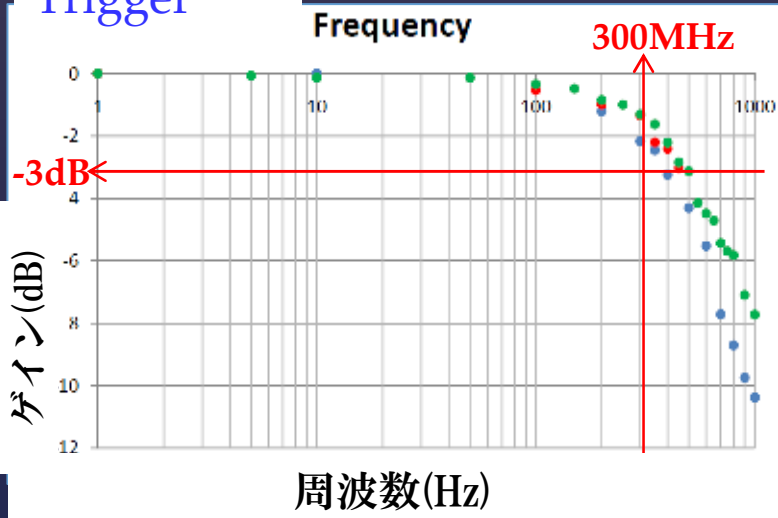
x1

500MHz

Attenuator

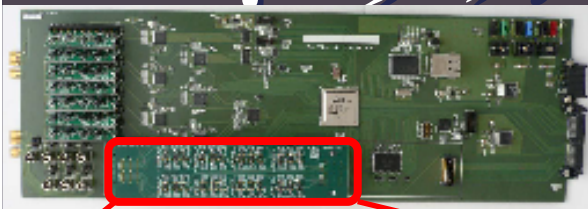
x1/4

Low gain
High gain
Trigger

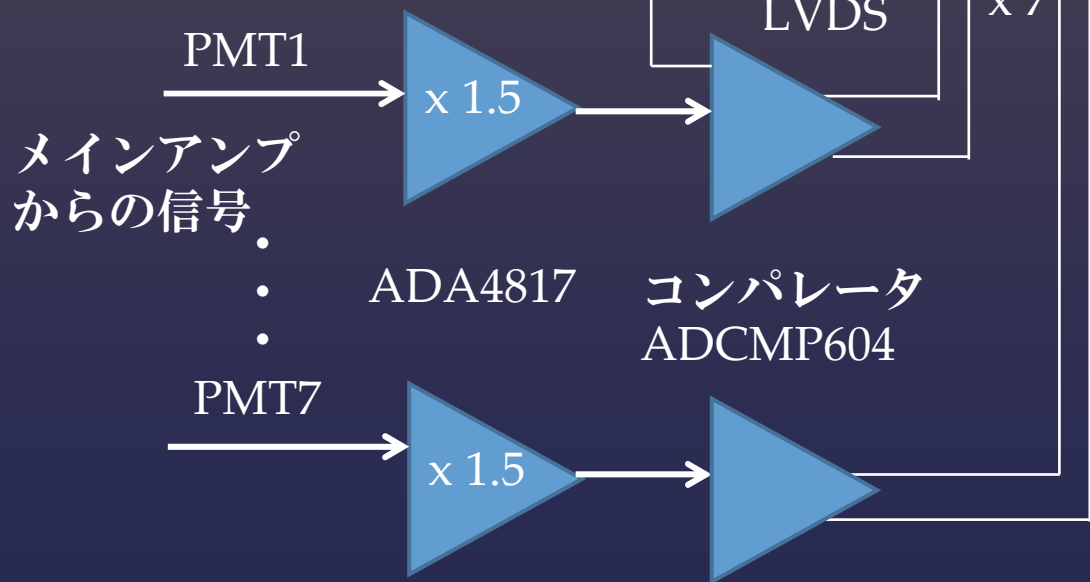


High/Lowのダブルゲインにすることで
幅広いダイナミックレンジを実現
帯域幅も要求値をクリア

トリガー回路



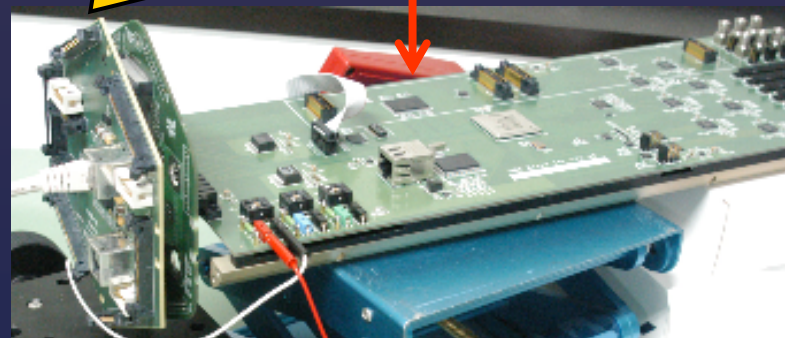
2.8W/board



クラスタ間
トリガー分配基板



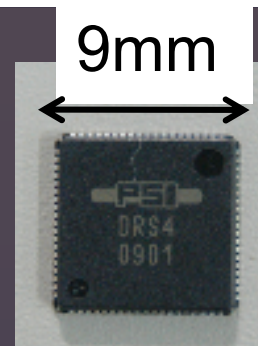
読み出し回路



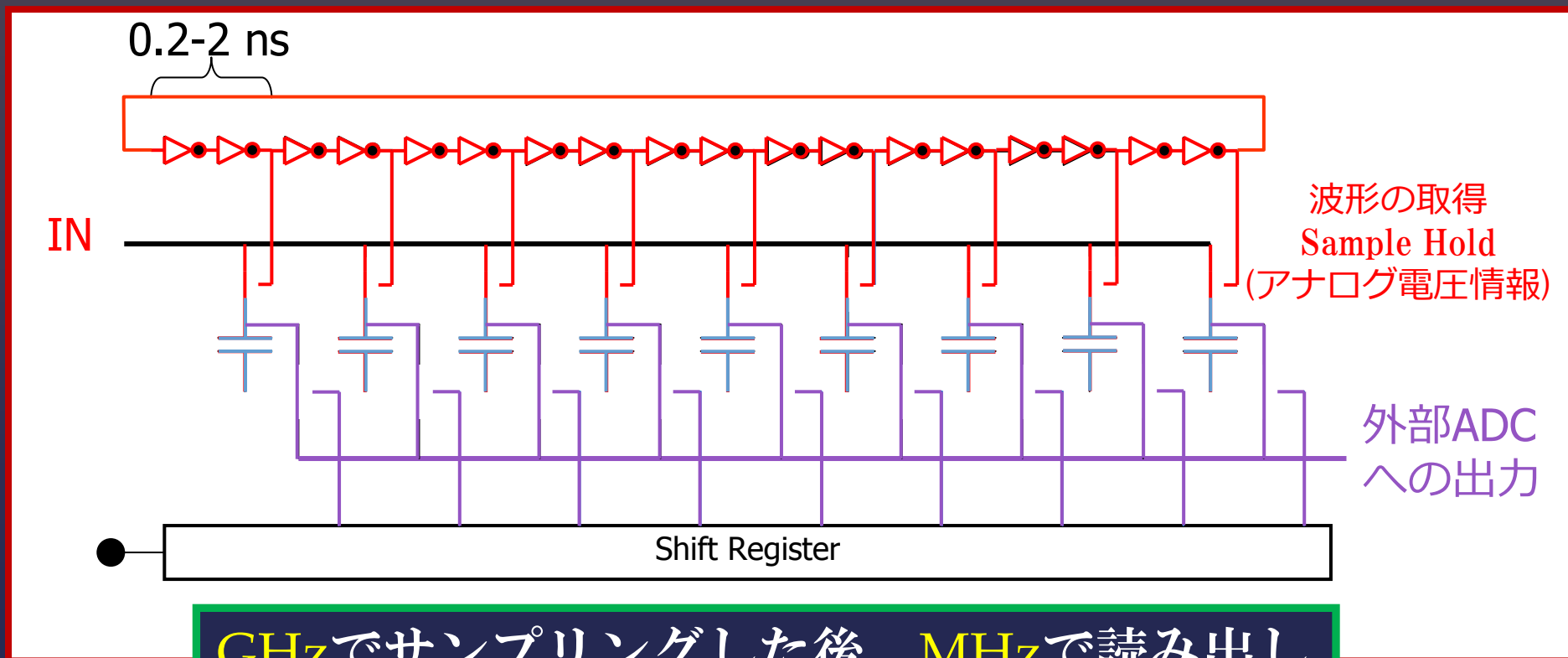
➤ イタリア、スペイン、ドイツグループが開発

アナログメモリサンプリング

- DRS4(Domino Ring Sampler ver.4)
 - Switched Capacitor Array (1024cell×8ch) のASIC
 - サンプリングスピード：**700MS/s-5GS/s**
 - 入力電圧範囲 1 V
 - スイスのPSIがMEG実験用に開発

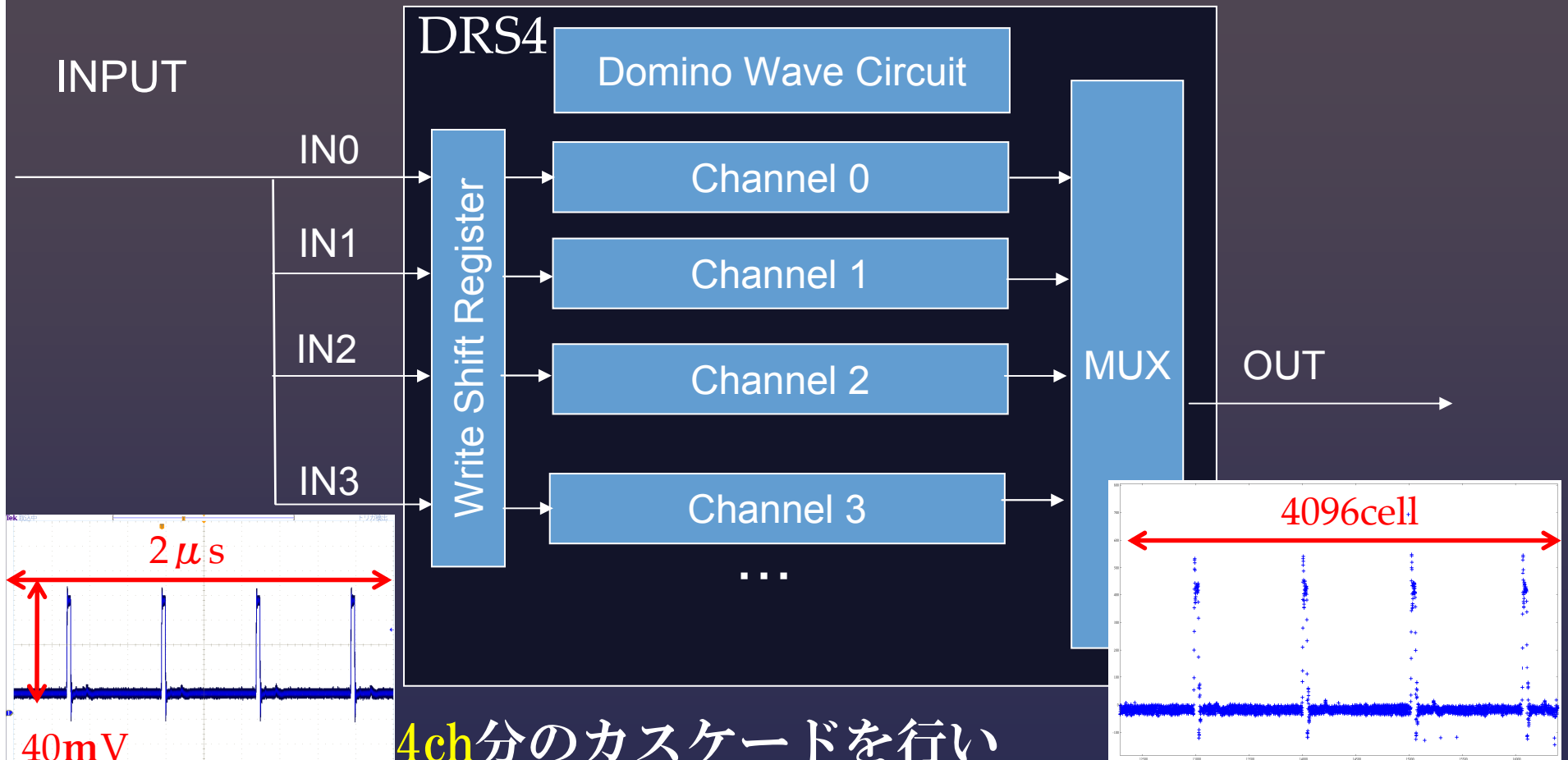


17.5mW/ch



GHzでサンプリングした後、MHzで読み出し
外部ADCでデジタル信号に変換

DRS4の4ch カスケード接続

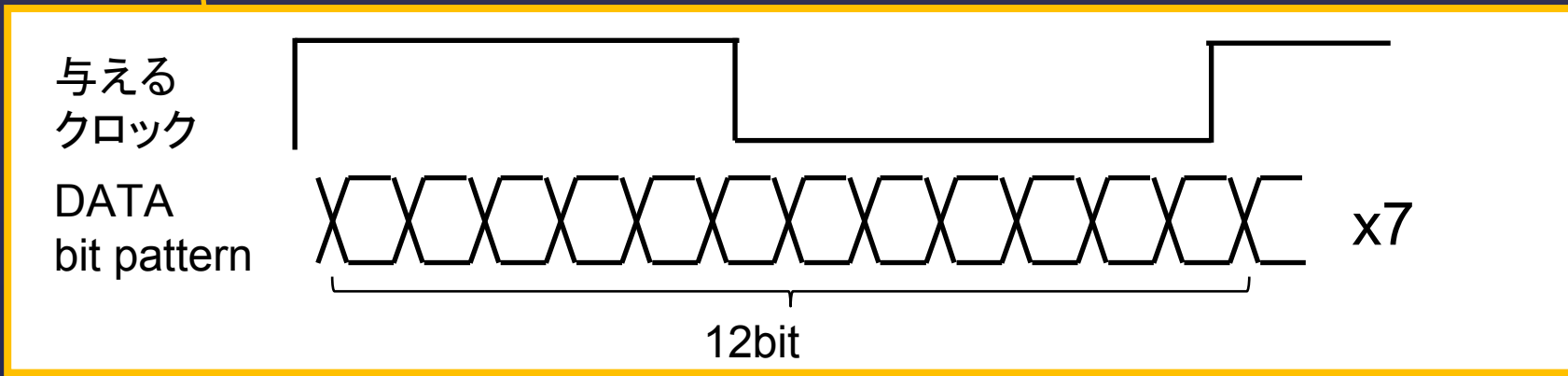
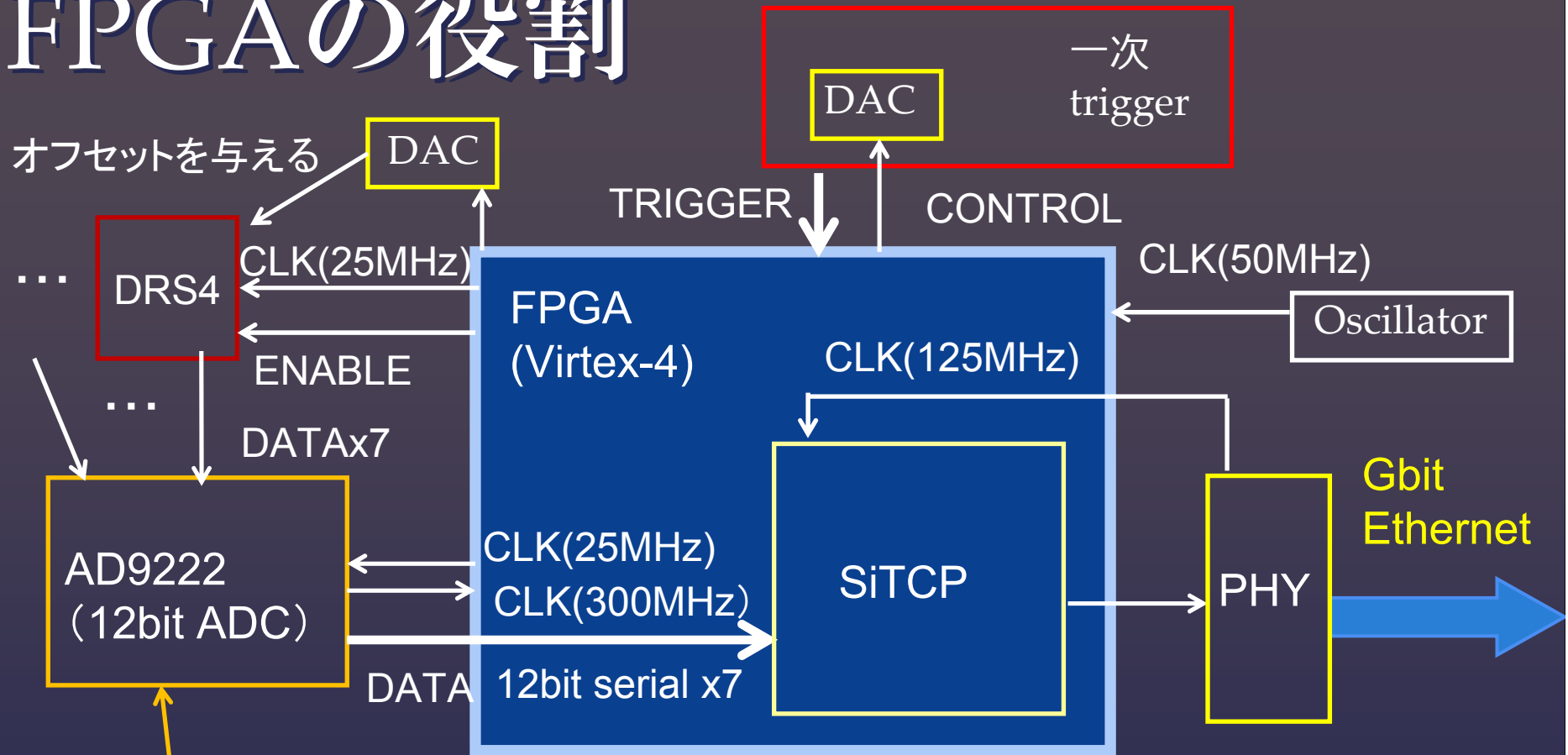


入力信号

4ch分のカスケードを行い
4096cellまで記録深さを増やす
2GS/sの場合 $2\mu s$ の記録長

トリガーを受けシャワー
信号の前後数十nsを
読み出す

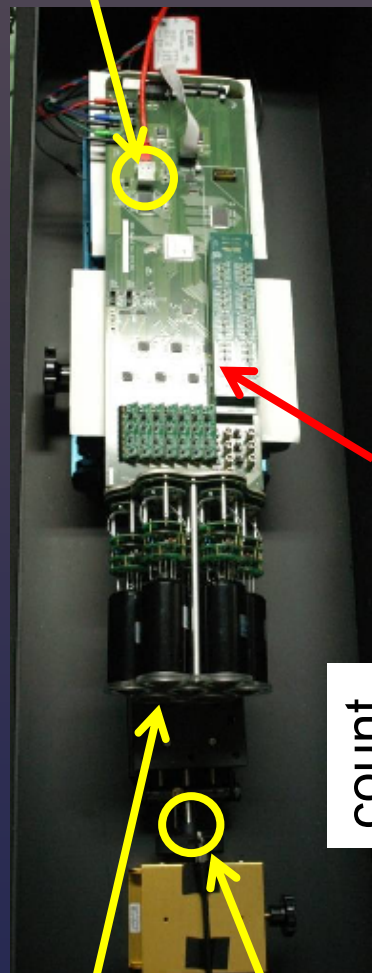
FPGAの役割



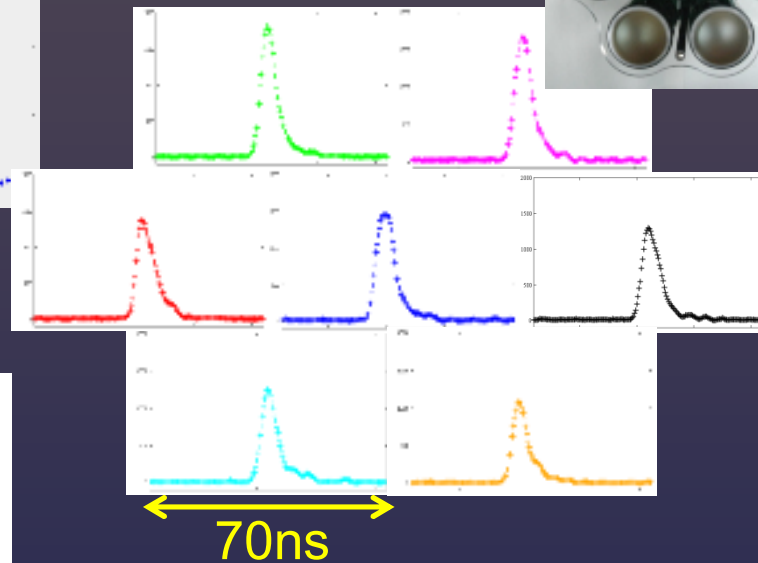
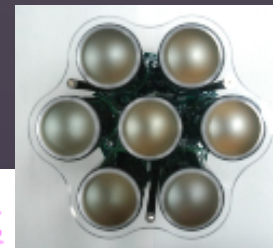
読み出しボード+PMT試験結果

イーサネット
(SiTCP)

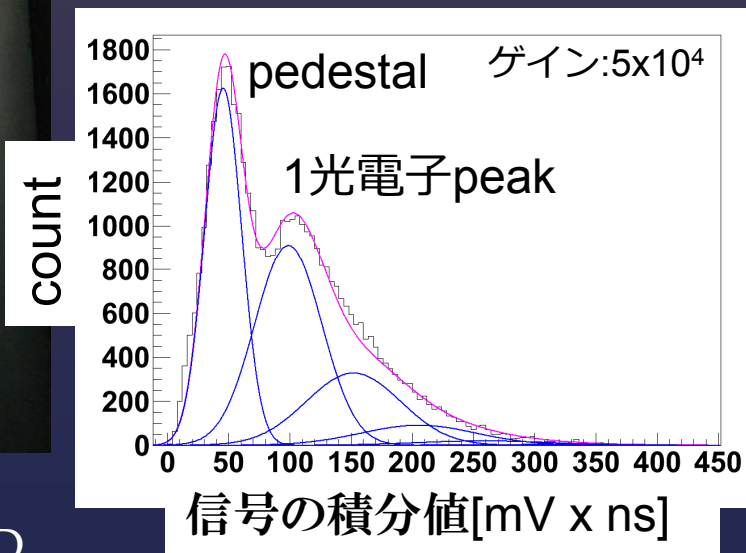
1PMTの波形データ



PMT7本同時波形
取得に成功



読み出し
ボード



低いノイズレベルを達成し
1p.e.信号の分離に成功
→数p.e.の夜光を判別可能

PMT7本

LED

まとめと今後の計画

- ▶ CTA望遠鏡のPMTの波形を $2\mu\text{s}$ の記録深さを持つアナログメモリASIC(DRS4)を用いて 2GS/s でサンプリングし、データをGbit Ethernet (SiTCP)で読み出す回路を開発した
- ▶ メインアンプで 300MHz 以上の帯域幅、低消費電力(1.9W/PMT)を実現
- ▶ PMTと接続し実際に波形取得し、 1p.e. スペクトルを取得できた
- ▶ 今後は、量産及び実際の望遠鏡での運用に向けて開発・試験を進めていく
 - ▶ 少サイズ化、より安価なFPGAを使った読み出しボードの開発
 - ▶ 数クラスタでの統合試験