

SMILE-72: 高感度化・安定化へ向けた ガスTPCの開発

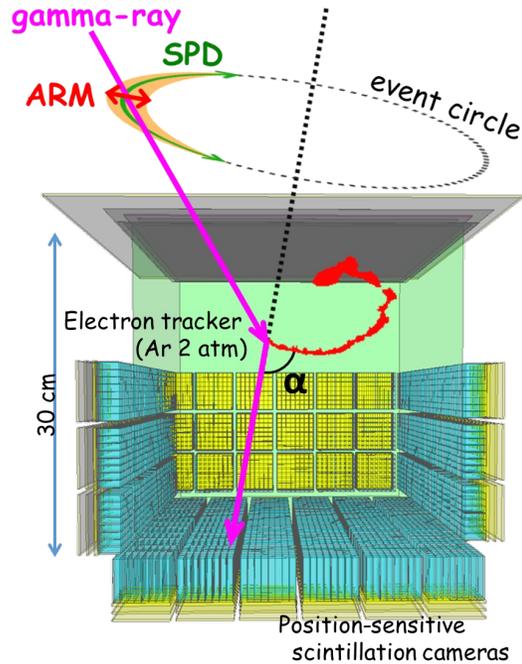
京都大学 宇宙線研究室

塚本 博丈

高田淳史, 池田智法, 阿部光, 吉岡龍, 谷森達, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 田原圭祐, 小林滉一郎 (京都大),
水村好貴 (JAXA), 澤野達哉 (金沢大), 中森健之, 飯山陽輝 (山形大), 黒澤俊介 (東北大),
身内賢太郎 (神戸大), 濱口健二 (UMBC), 森正樹, 岡知彦 (立命大), 櫛田淳子 (東海大)

ETCC TPC - 概要

GEM & u-PICによる電離電子増幅・二次元飛跡取得 + ドリフト時間 (高さ情報)
 → TPCによってコンプトン散乱における反跳電子の三次元飛跡を検出可能に

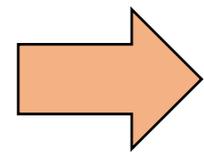


• SMILE-2+

- 空間分解能 : 25° (@ 0.6 MeV)
- 有効面積 : 1 cm² (@ 0.3 MeV)
- TPCガス : Ar base 2気圧
- u-PIC読み出しch : 2 strip毎 (= 800 um)

• SMILE-3に向けた要求・改良

- 空間分解能 2~3倍
- 有効面積 5~10倍
- CF₄ 3気圧へ
- 1 strip毎 (= 400 um)



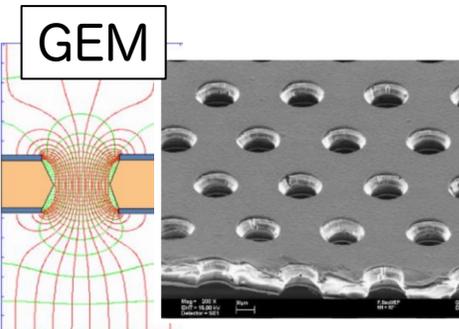
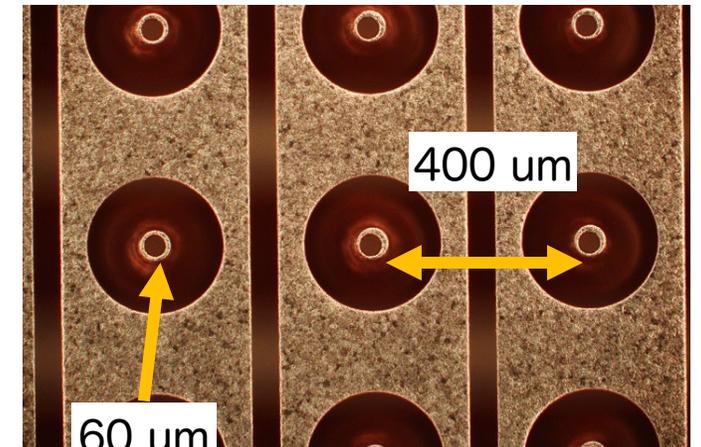
• 懸念：分子ガス使用による必要なガスGainの増加

- 高電圧でも放電の危険性が少ないガラス基板を用いた TGV (Through Glass Via) u-PIC開発
- 既に5 cm x 5 cm 作成済み
 - Abe+, J-Phys (2020)

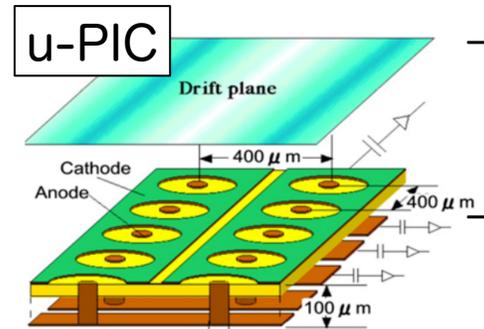
現在：大型化して15 cm角を作成中

- ウェハのサイズ限界の為

15 cm角 TGV u-PIC, 大日本印刷より



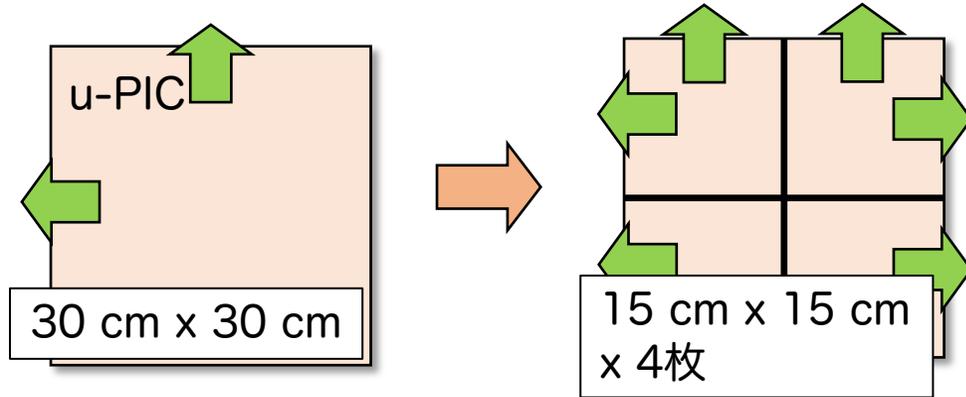
F.Sauli, NIM A (2003, 2004)



A.Ochi+, NIM A(2001)

• TGV u-PIC

- 現在：大型化して15 cm角を作成中
- 素子間の接続技術が未確立
-> 15 cm角 x 4枚で各々のu-PIC角ごとに信号を読み出すことに

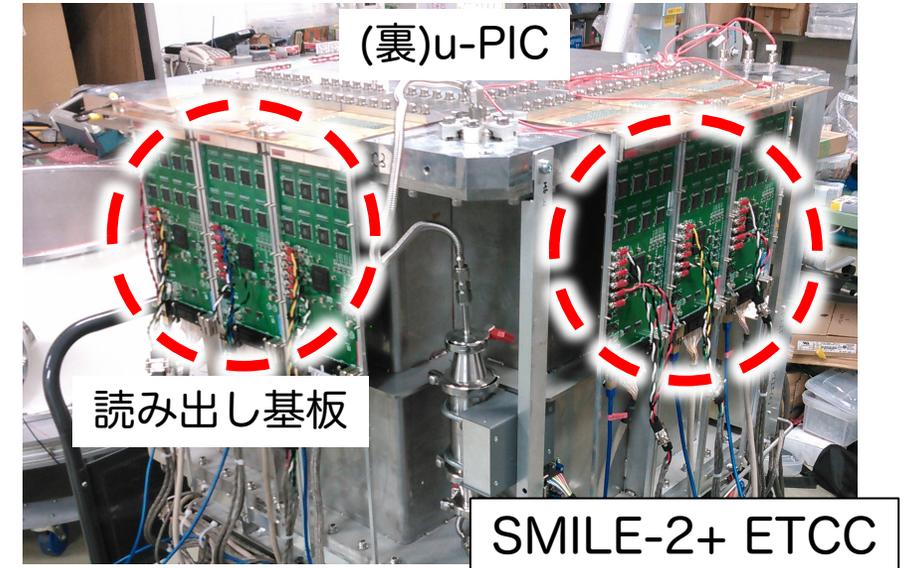


読み出すu-PIC信号の総ch数が増加

—> 読み出し基板の量産が必要に (6 -> 24枚)

• SMILE-2+ u-PIC信号読み出し基板の問題点

- FPGA：Spartan 6 のサポート終了
 - ISEでしかコンパイルできない
 - VivadoはS7以降のみ対応
- 既存の部品がdiscontinueに
 - Spartan6 対応のXilinx社製PROM
 - 水晶発振器

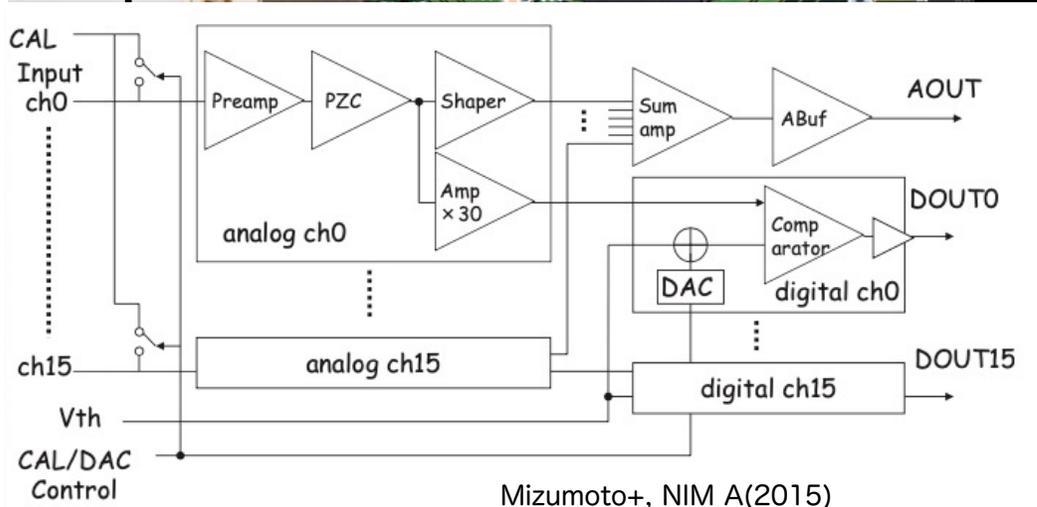
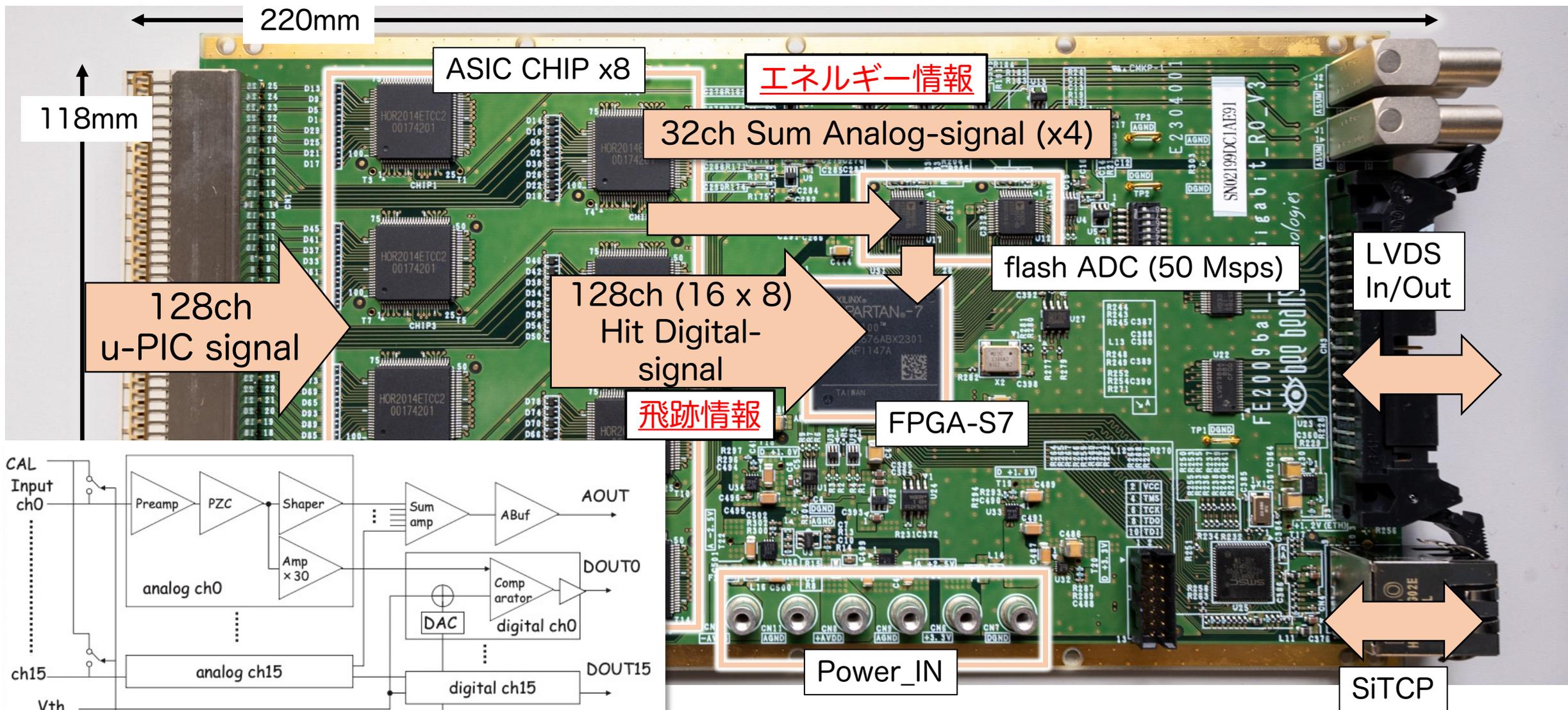


SMILE-3に向けた量産化の為、基板の改版を行うことに

• 改版における要求

- SMILE-2+と最低限等価、Swap可能
- FPGA：Spartan 7 (2035年までサポート可)
- 基板ごとのClock同期機能

u-PIC信号読み出し新基板開発 - SMILE-3 新基板 全体図



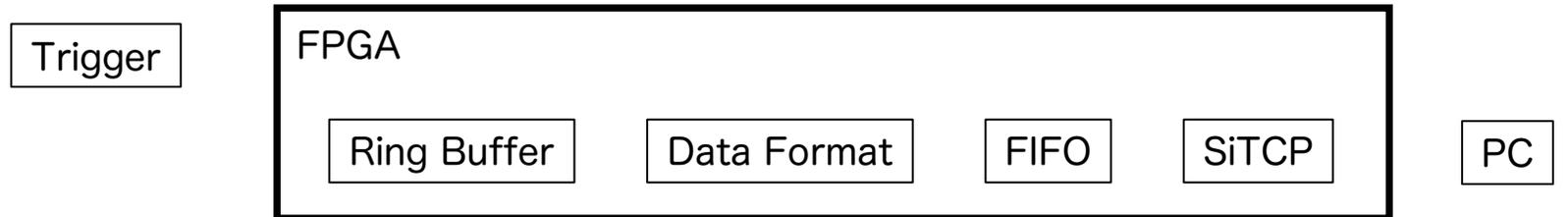
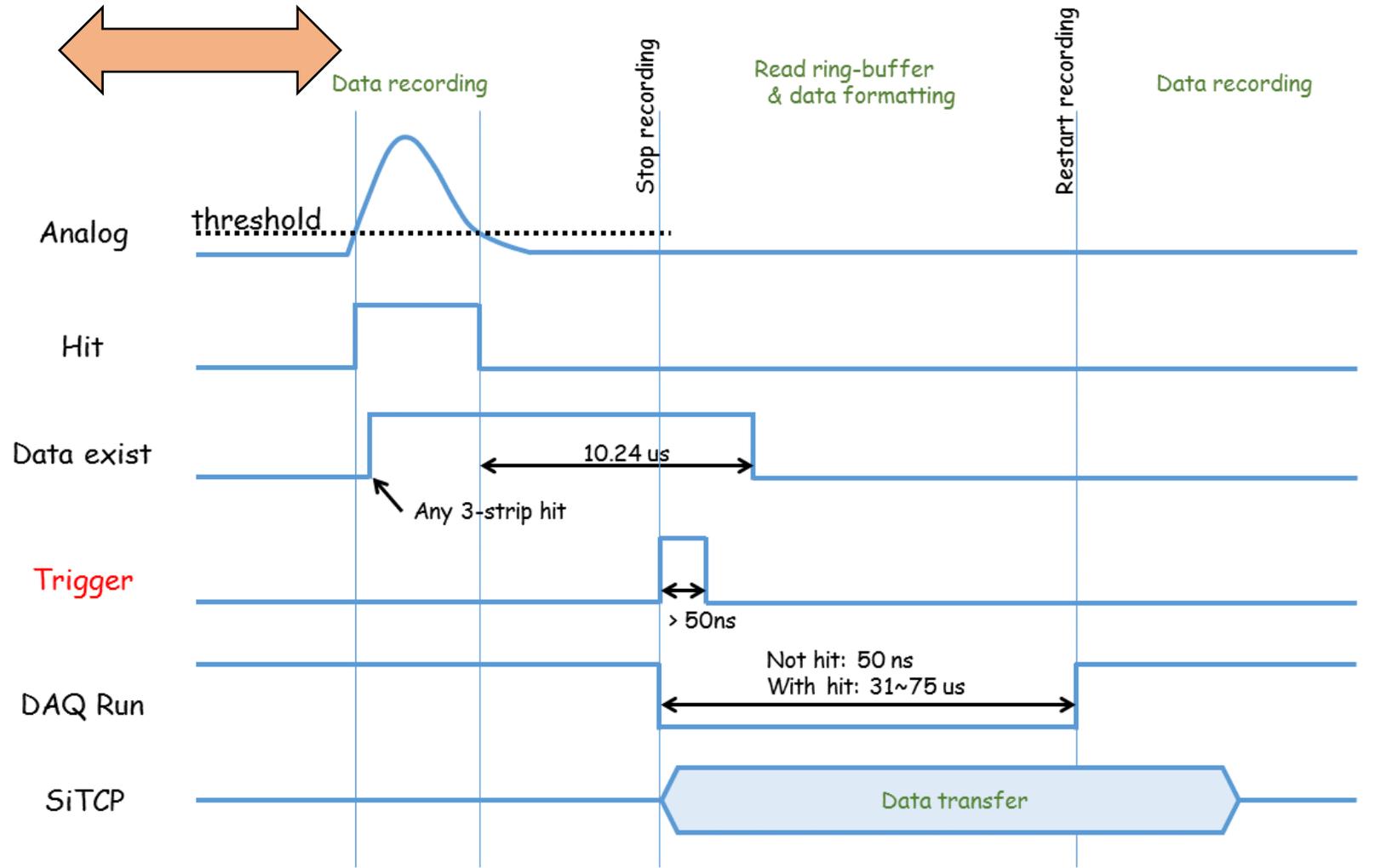
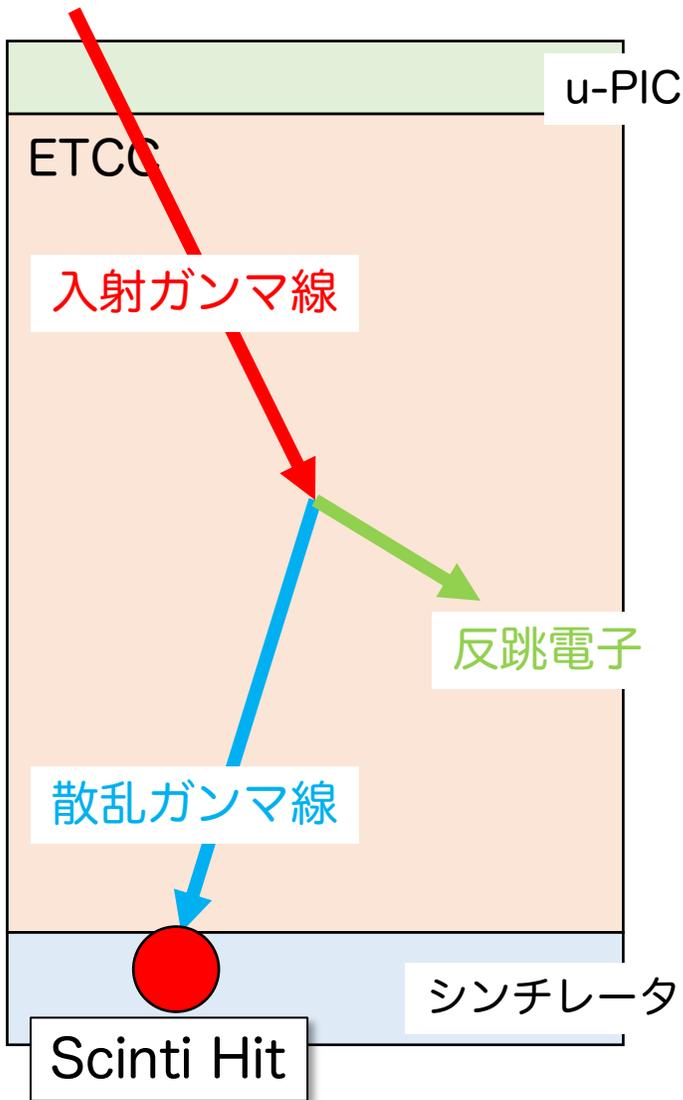
Mizumoto+, NIM A(2015)

ASIC ブロック図

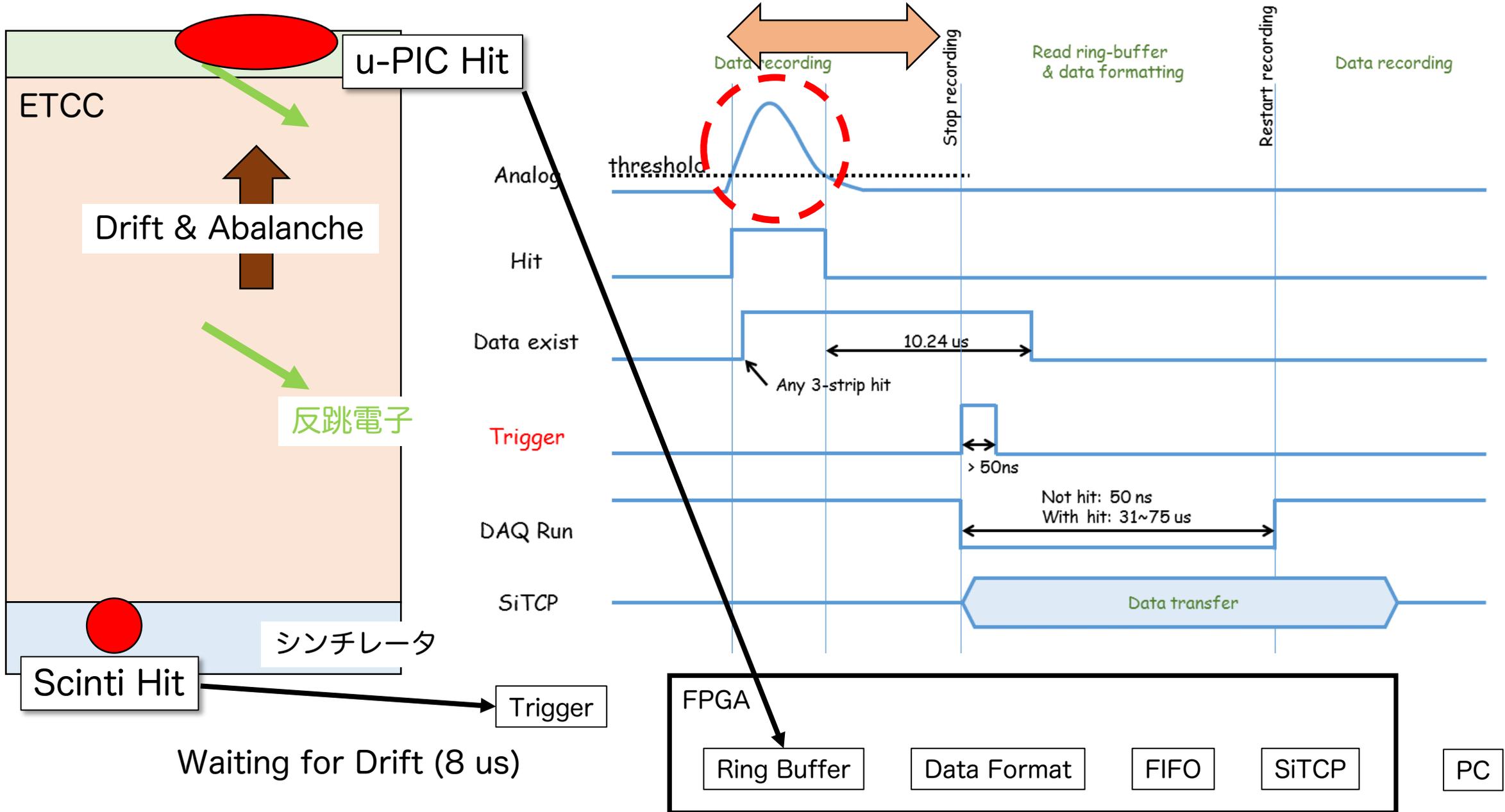
・今年度作りました

- 基板・FPGA-S7 ファームウェア

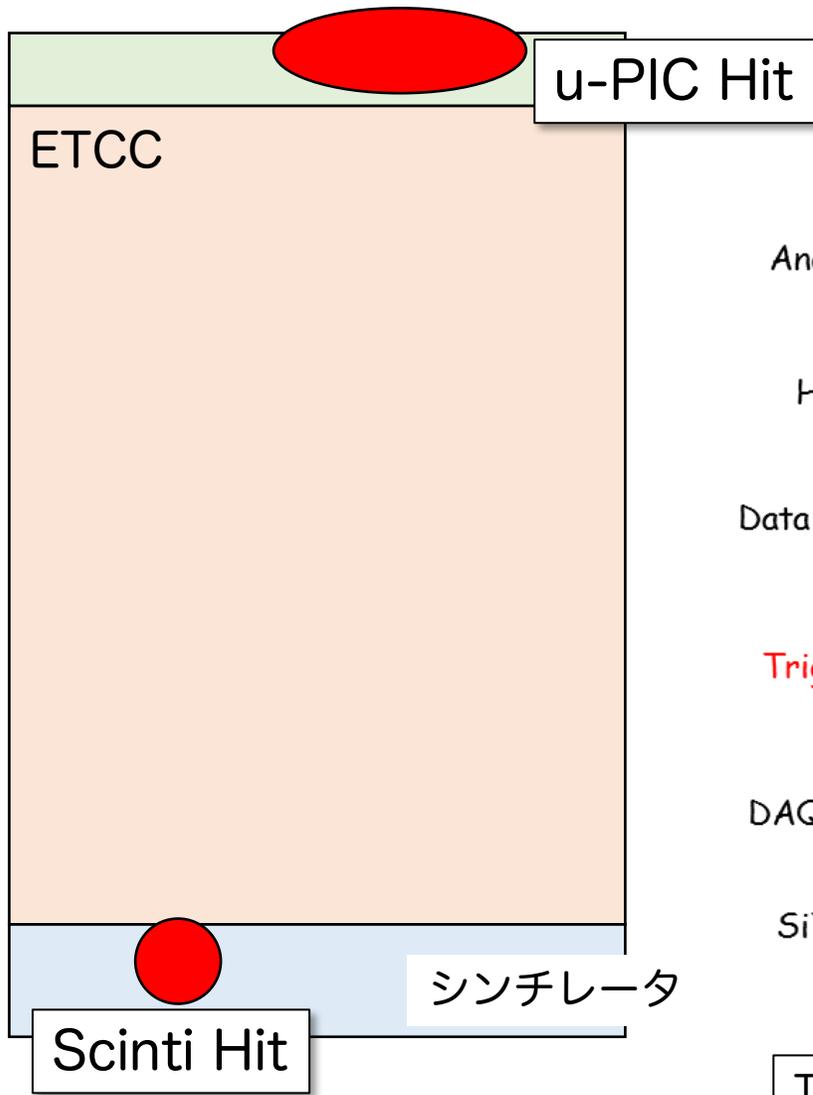
u-PIC信号読み出し新基板開発 - FPGA信号処理 タイミングチャート



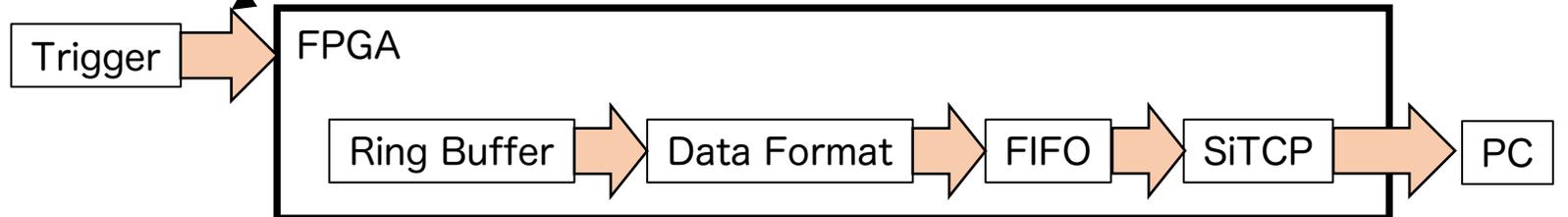
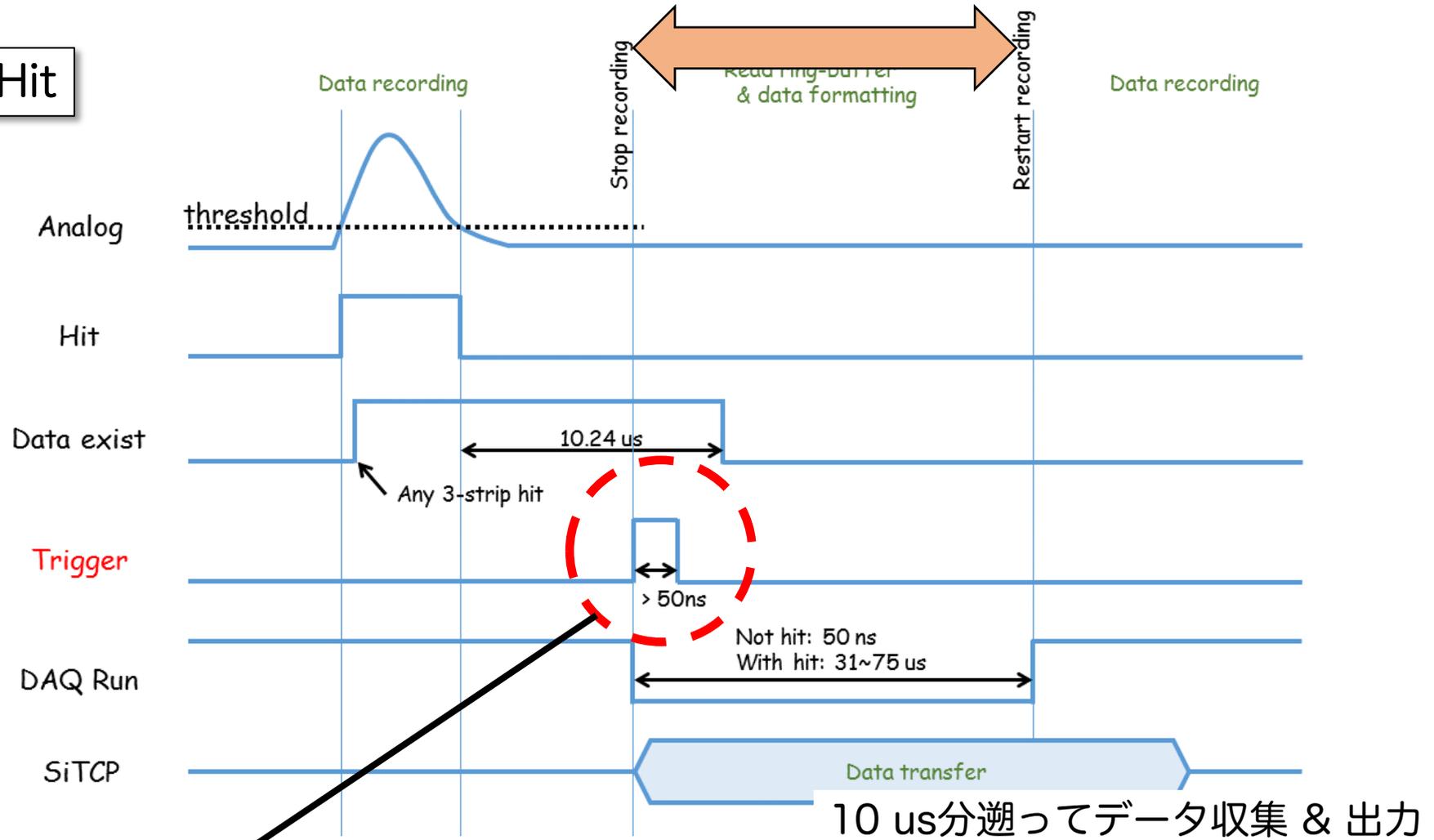
u-PIC信号読み出し新基板開発 - FPGA信号処理 タイミングチャート



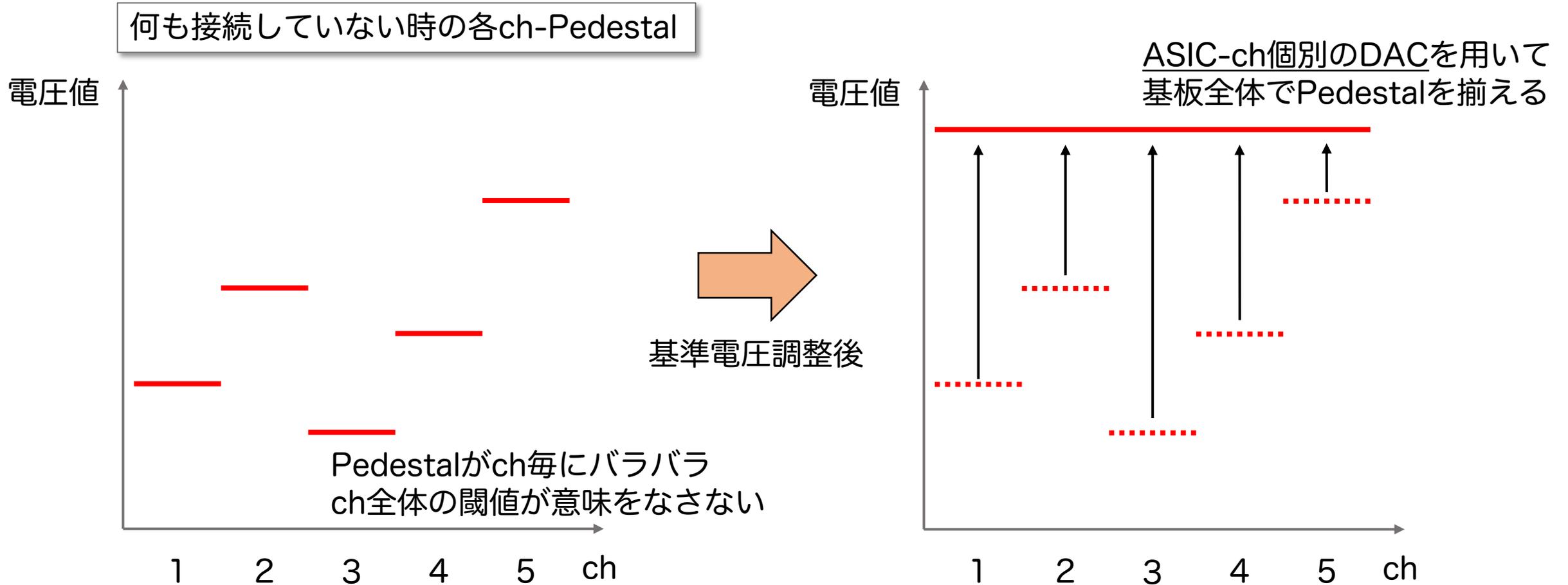
u-PIC信号読み出し新基板開発 - FPGA信号処理 タイミングチャート



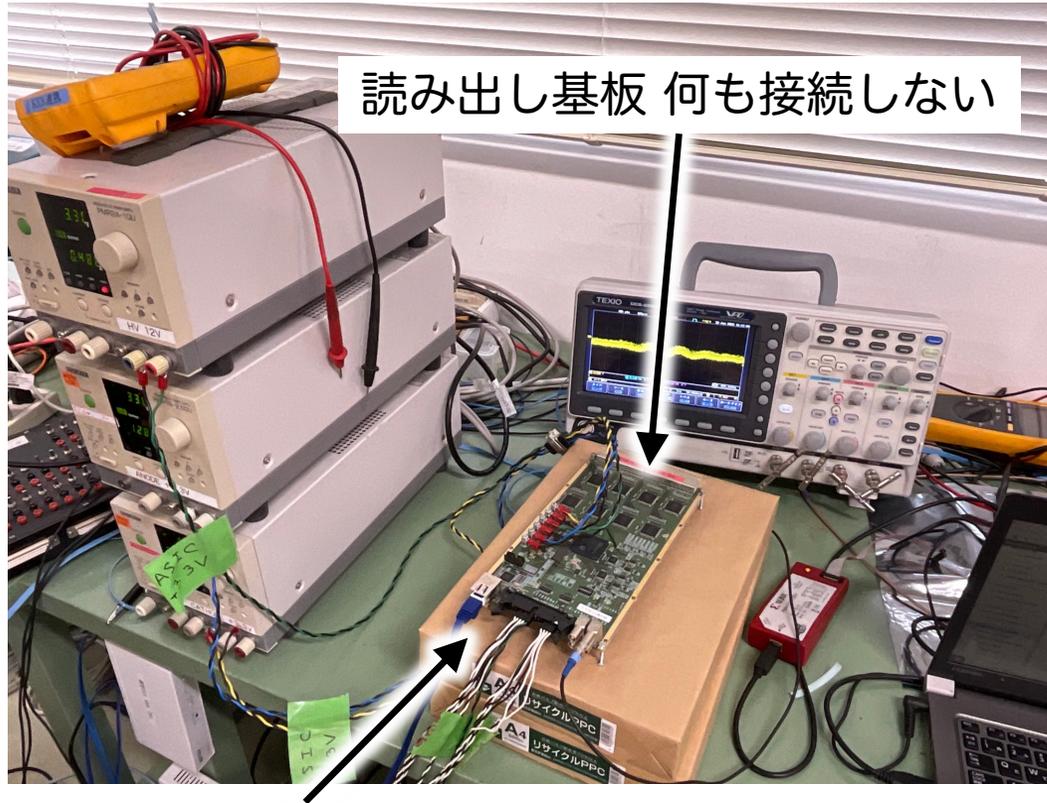
After Drift (8 us)



- SMILE-2+時の機能は全て実装完了
- 現在：製造済みの15枚の基板について、ASICのch毎のペDESTAL補正中

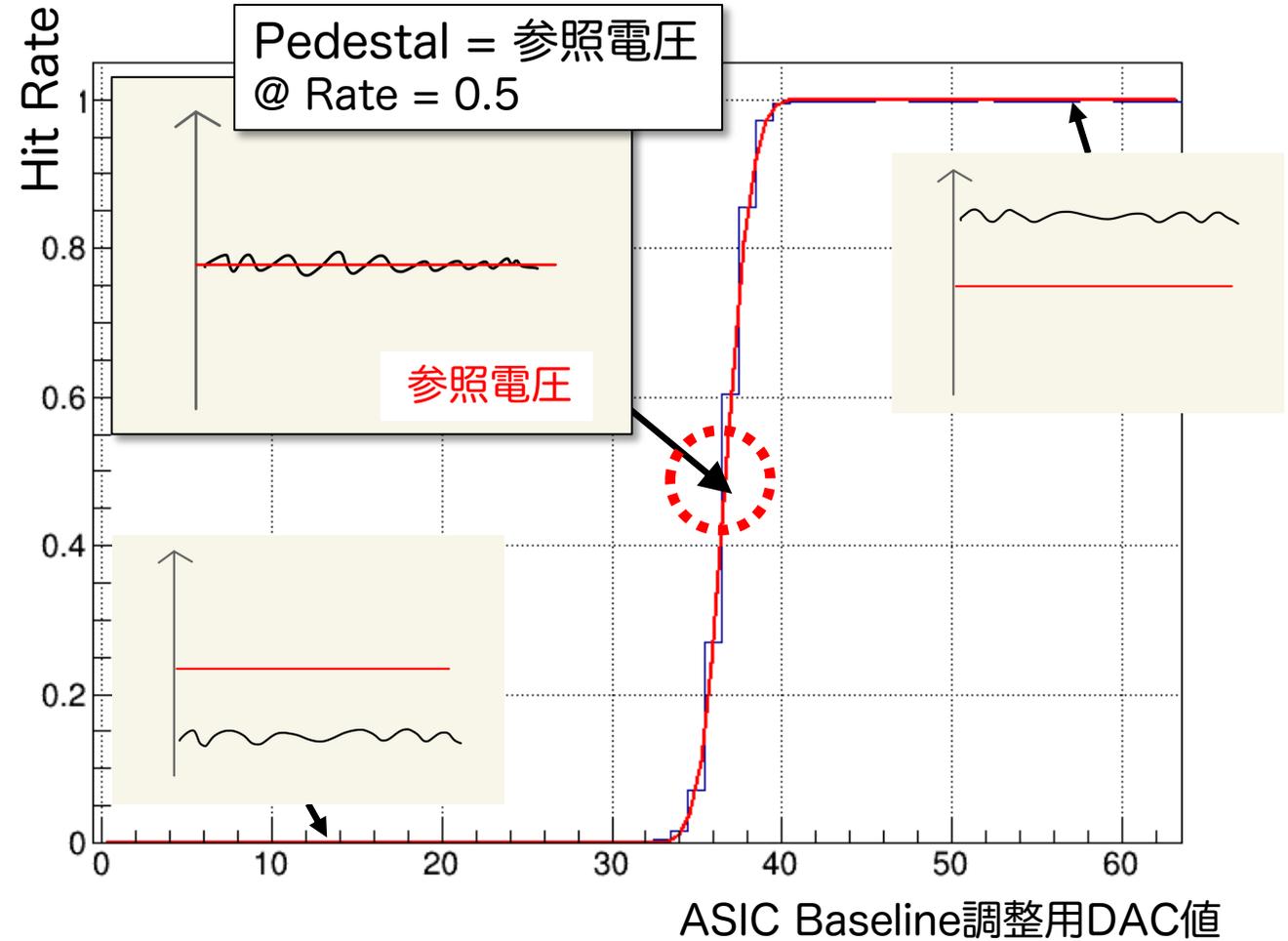


u-PIC信号読み出し新基板開発 - ASICペダスタル補正 実験セットアップ



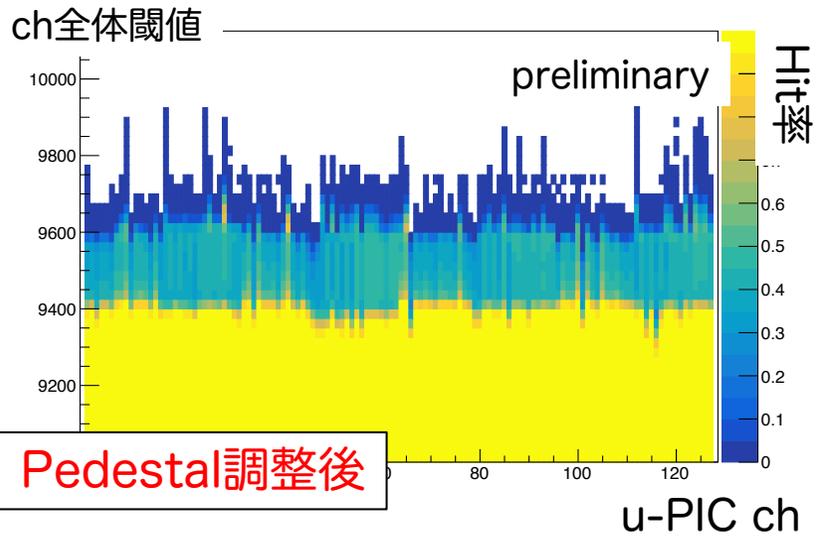
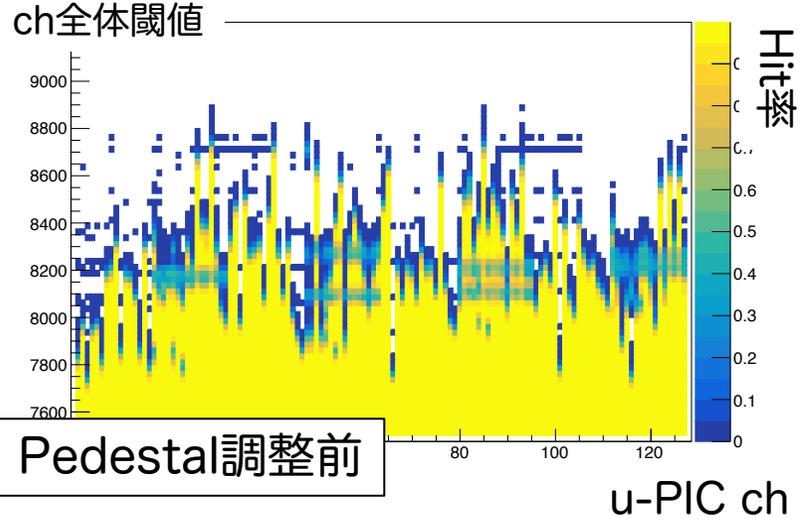
読み出し基板 何も接続しない

Trigger (=100Hz Clock)

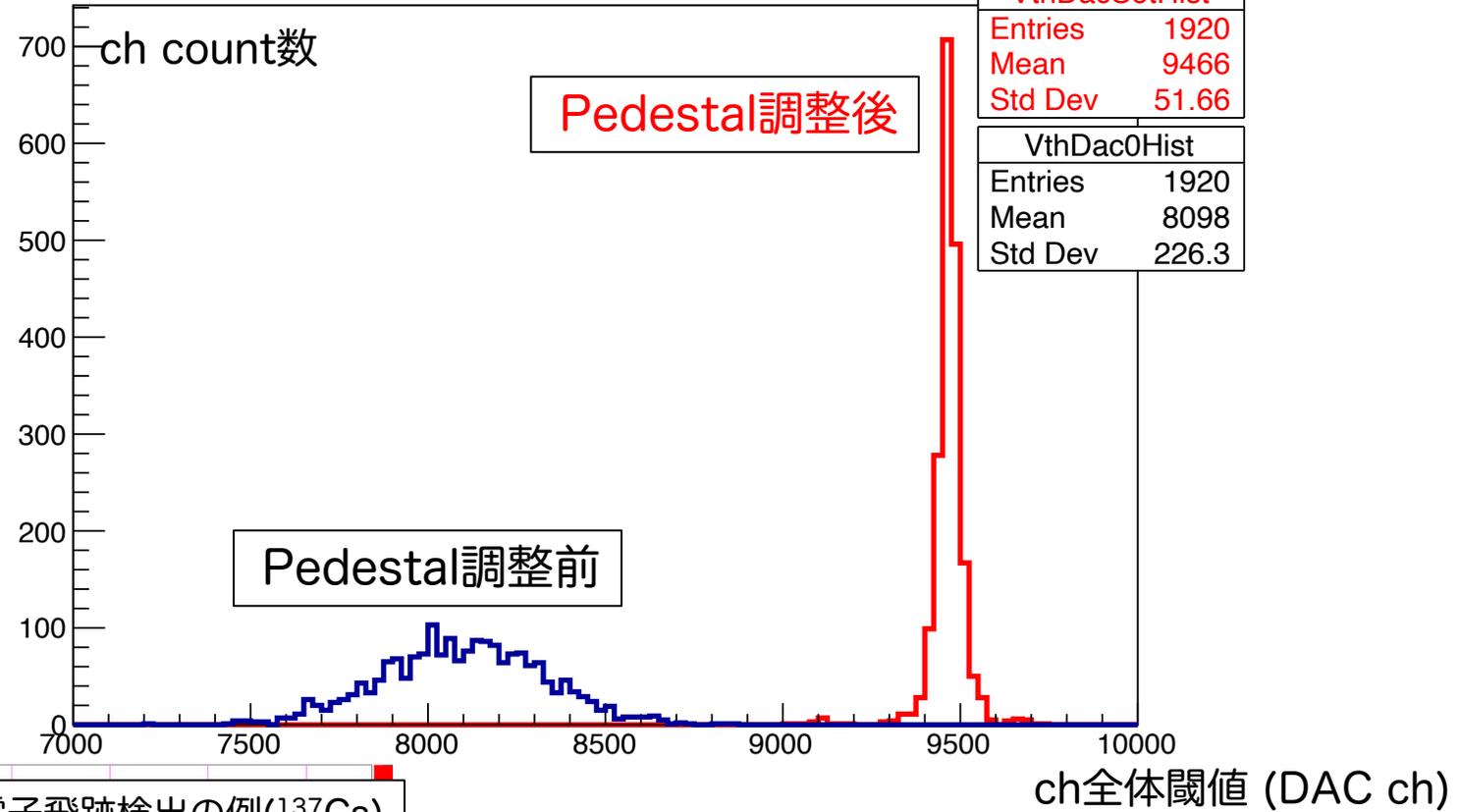


1. ch全体の閾値 (=参照電圧) を固定させた上で、ASIC内ch個別DAC vs HitRateを測定
2. 誤差関数でfitting、HitRate = 0.5のch個別DAC値を採用
3. Pedestal調整前・後(=DAC設定後)で、ch全体の閾値 vs HitRateを比較

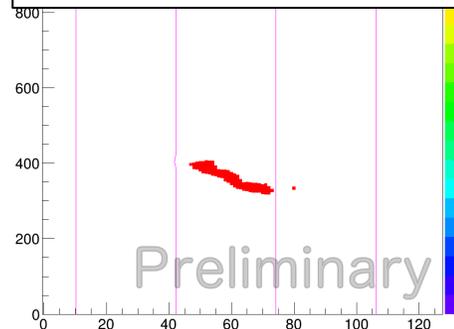
ch全体閾値 vs HitRate - 基板1枚分



Pedestalのch全体閾値 Histogram (基板15枚総計)



電子飛跡検出の例(^{137}Cs)

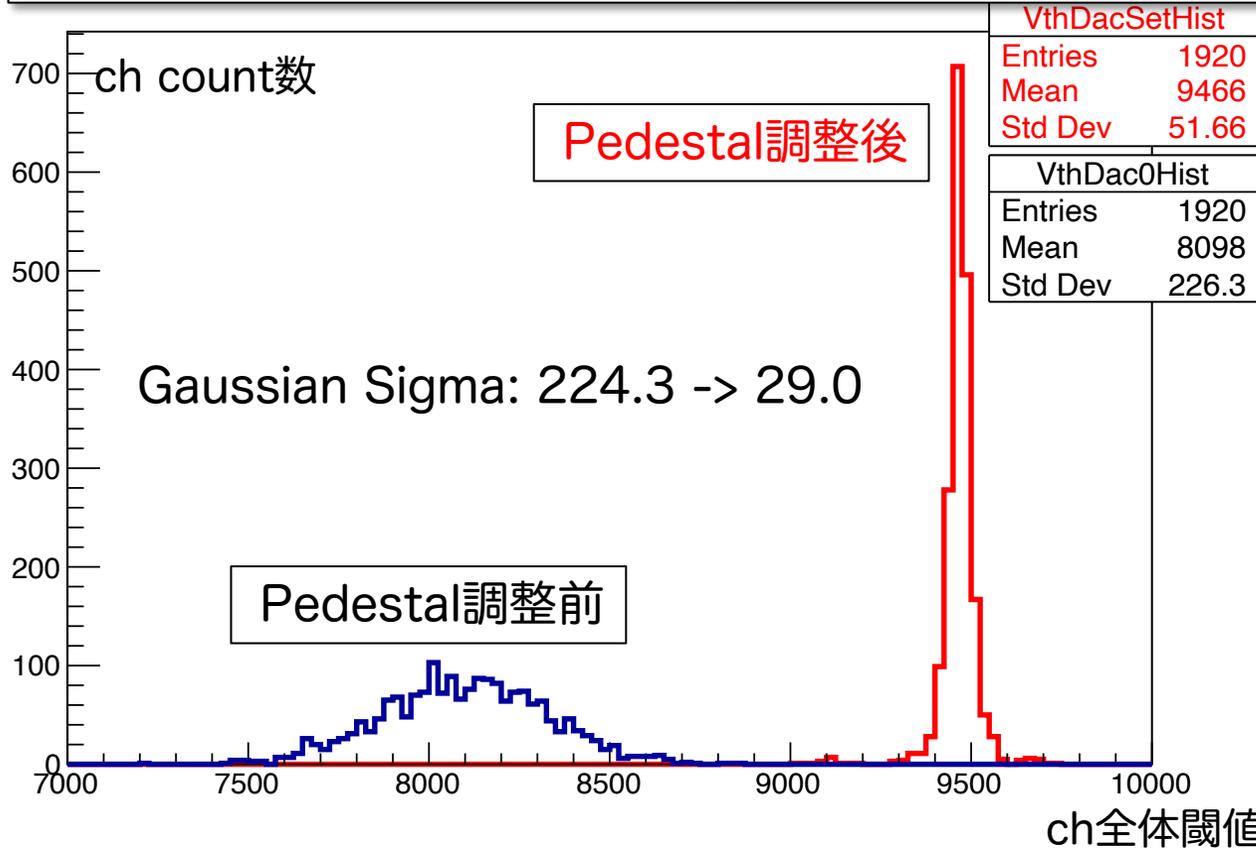


- ch毎に異なるPedestalを補正することに成功
 - 電子飛跡検出の正当性担保

- SMILE-3へ向けたTPC改良点
 - gas : Ar base 2気圧 -> CF₄ 3気圧
 - 必要なガスGainの増加に伴い、高電圧でも放電の恐れがないガラス基板によりu-PIC開発 (TGV u-pIC)
 - 15cm x 15cm TGV u-PICx4 作成中
 - u-PIC信号読み出しch数増加
 - 読み出し基板の量産化が必要だが、SMILE-2+の基板では量産に不適當
- Spartan7によるu-PIC信号読み出し新基板開発
 - SMILE-2+時の機能を実装済み
 - 製造済み基板15枚について、ASICペデスタル補正済み
- 今後の展望
 - 基板最低14枚を作成予定
 - 新基板を用いたETCC動作確認
 - CF₄を用いたTPC動作確認 -> ETCCへ
 - 基板ごとのClock同期機能実装

BackUp

Pedestalのch全体閾値 Histogram (基板15枚総計)



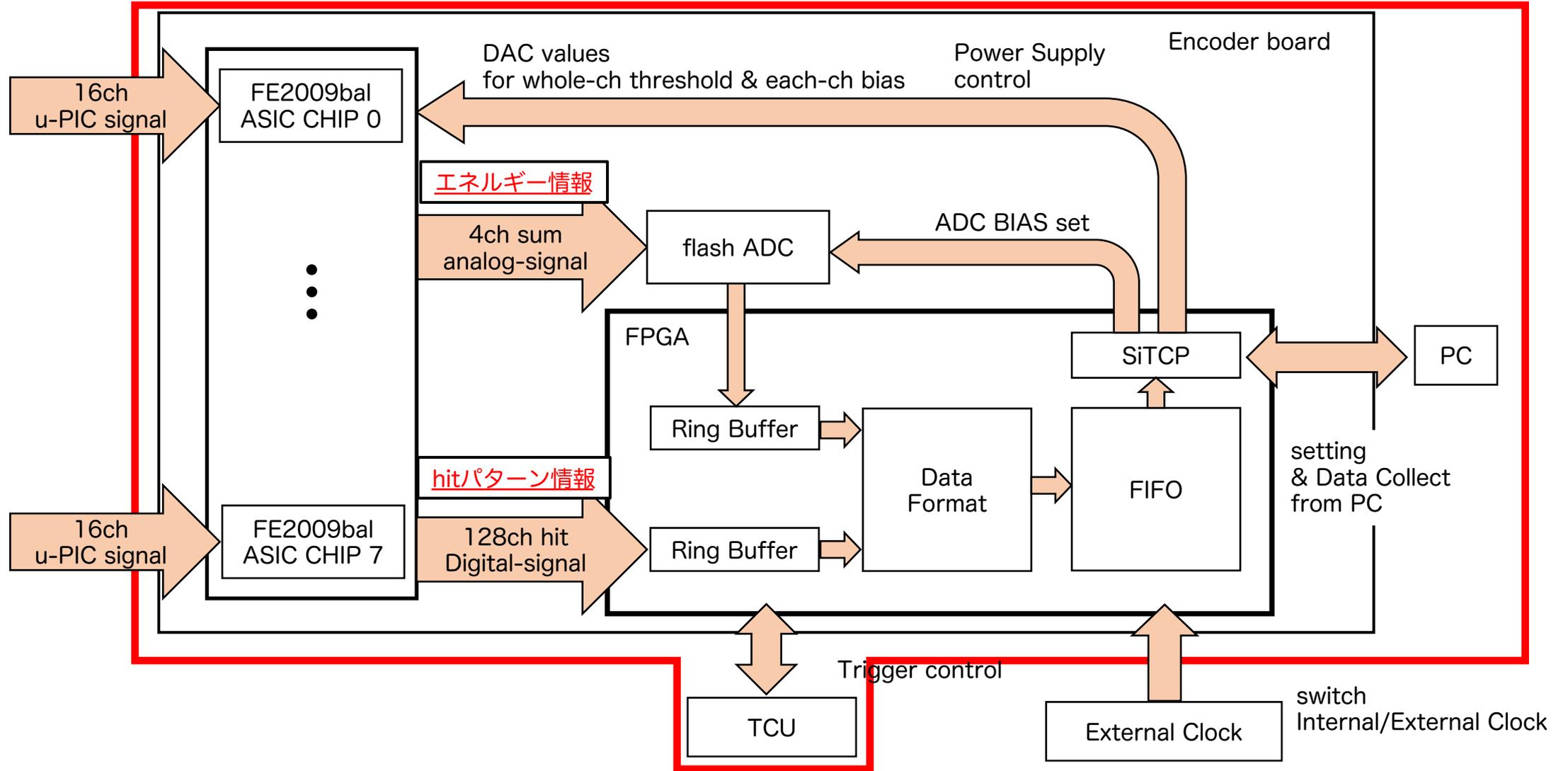
```

*****
Minimizer is Minuit2 / Migrad
Chi2                =          64.9369
Ndf                 =             53
Edm                 =    3.20925e-07
NCalls              =             63
Constant            =          82.9246   +/-   2.40307
Mean                =          8096.38   +/-   5.34742
Sigma               =          224.266   +/-   4.03969   (limited)
*****
Minimizer is Minuit2 / Migrad
Chi2                =          136.605
Ndf                 =             23
Edm                 =    8.25138e-06
NCalls              =             90
Constant            =          613.06   +/-   21.2543
Mean                =          9468.98   +/-   0.687672
Sigma               =          29.0139   +/-   0.734468   (limited)
Info in <TCanvas::Print>: pdf file test.pdf has been created
(base) tsukamotohiroshita@MacBook-Air:~/New-Encoder_DAC_log/tsukamotohirota
    
```

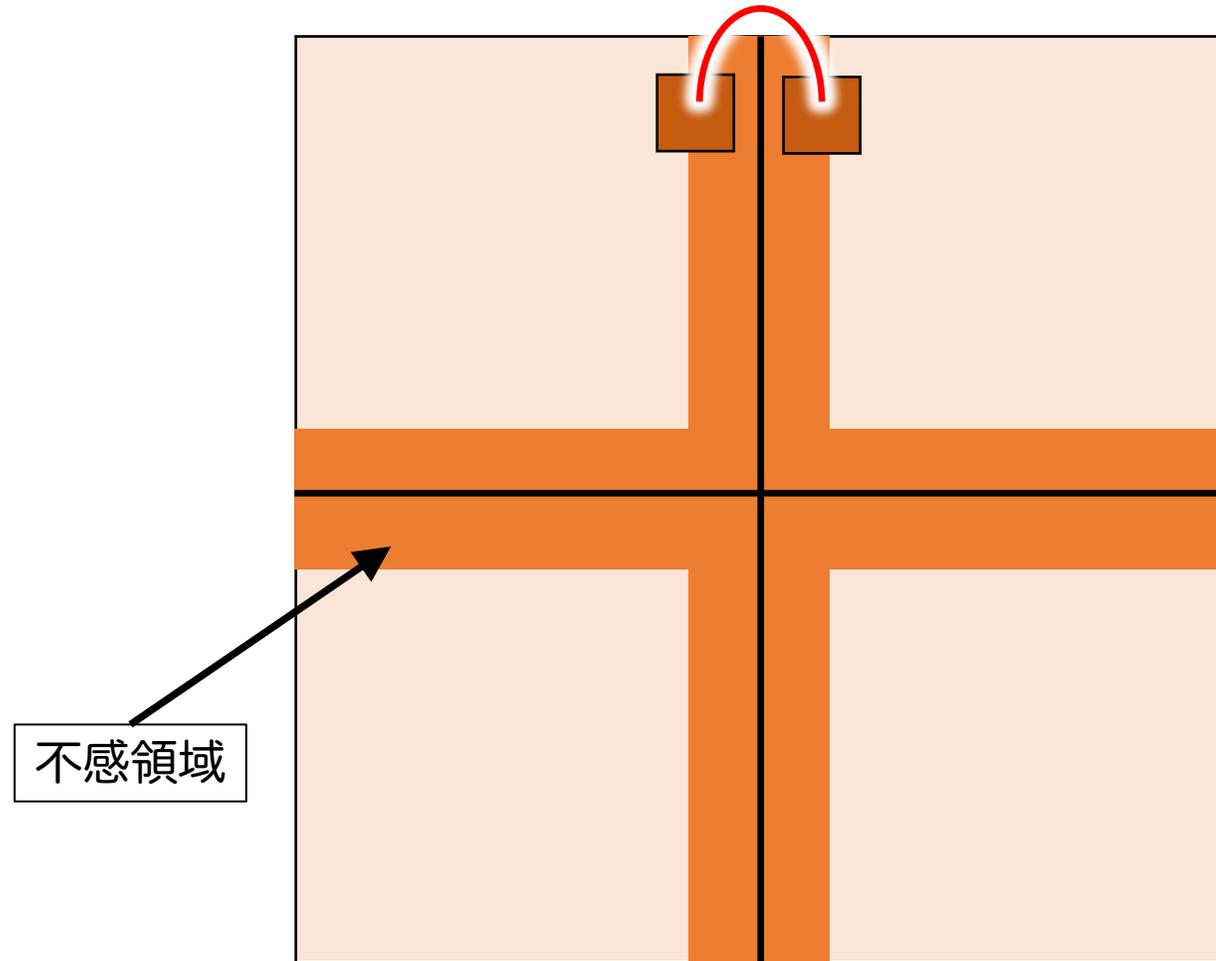
補正前

補正後

u-PIC読み出し新基板 - 全体ブロック図

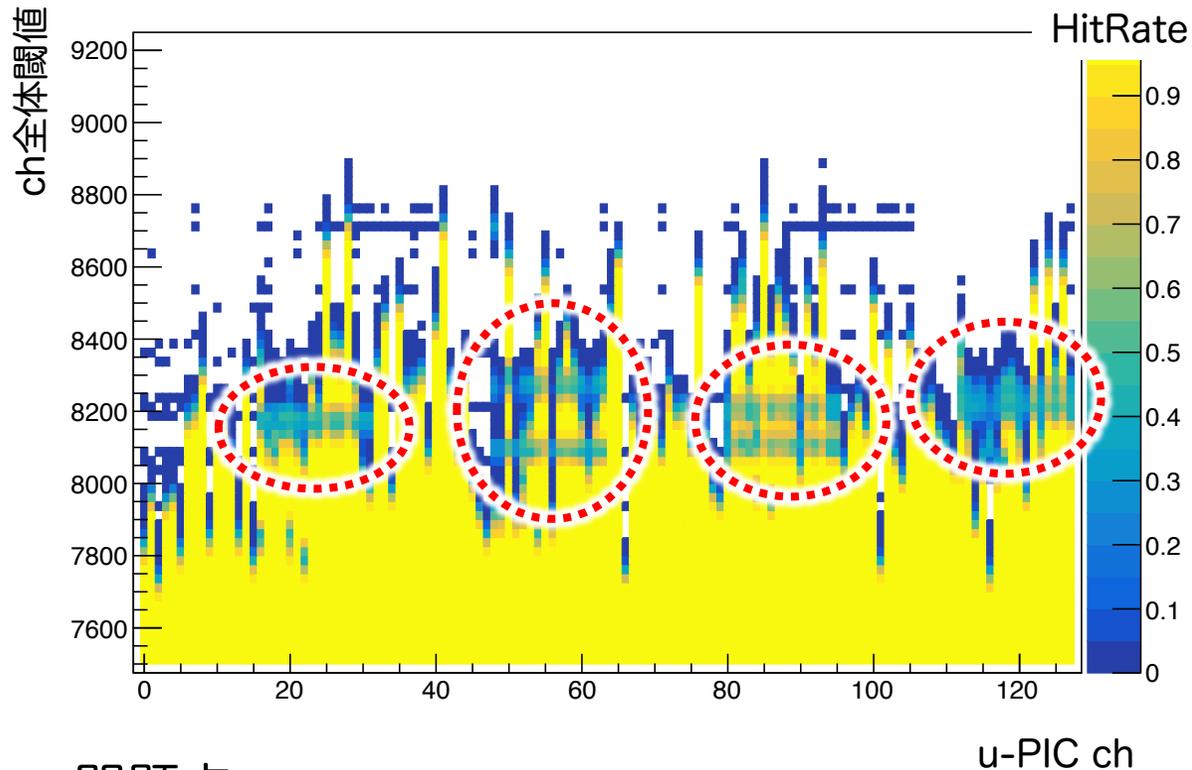


- 基板表でWire Bondingすると、不感領域が非常に大きくなる
→ 基板裏でWire Bondingしたい、が技術が未確立

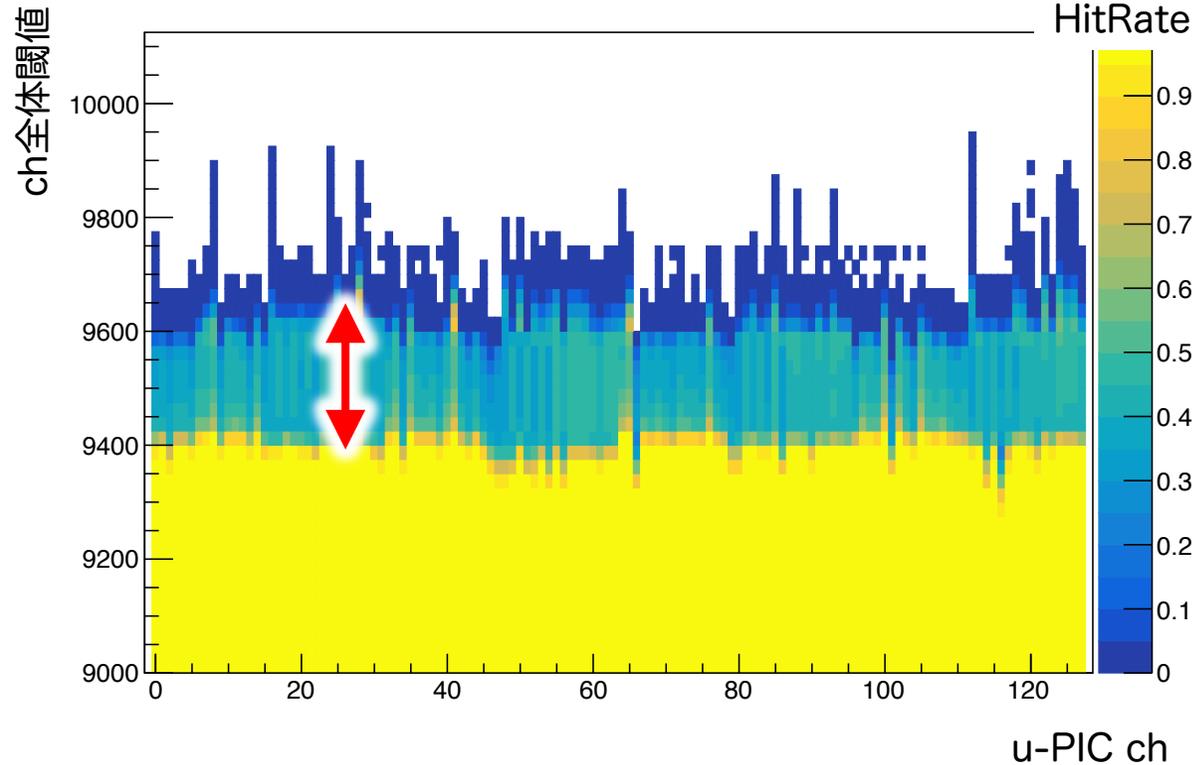


u-PIC信号読み出し新基板 ペDESTAL補正 - 現在発覚している問題点

ASIC All-ch Vth Scan, Each-ch DAC=0, No00



ASIC All-ch Vth Scan, Each-ch DAC Set, No00



問題点

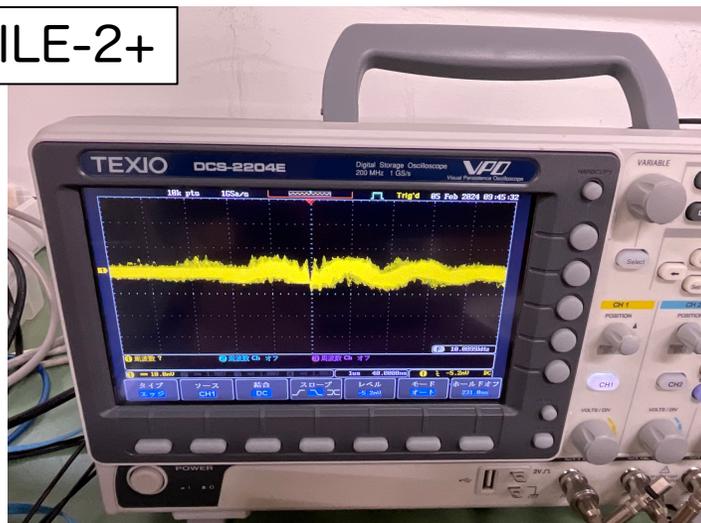
- ASIC CHIPに対応すると思われる縞模様のノイズ
- Pedestal補正後、HitRate = 0.5の領域（緑）が広がる

- 実際の測定時の閾値：補正時の参照電圧+-1500~2000 ch

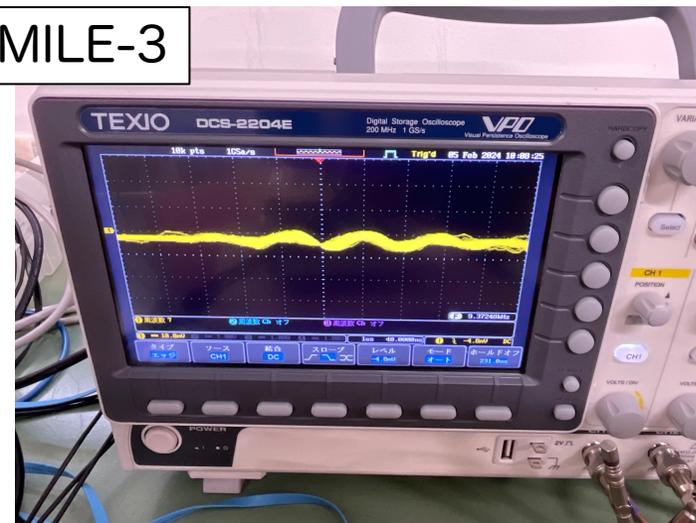
u-PIC信号読み出し新基板開発 - Analog信号の挙動

- 基準電圧を $V_{th}=9500$ で調整した後、ch全体閾値を $V_{th}=9500$ に設定するとAnalog信号が極端にうるさくなる（振幅大）

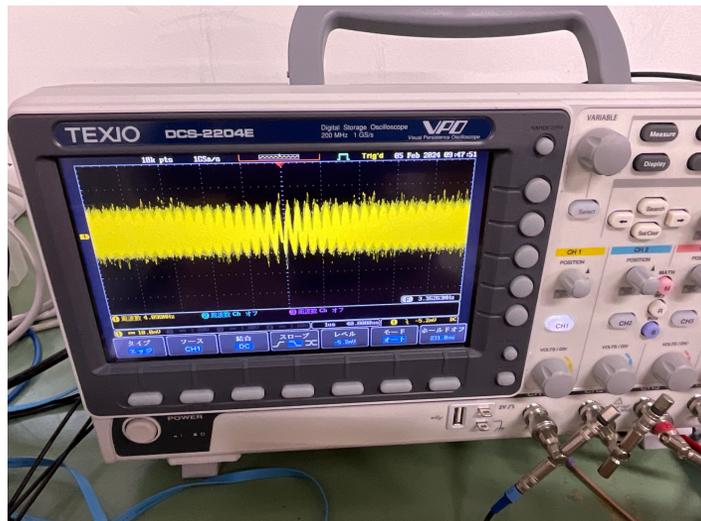
SMILE-2+



SMILE-3



$V_{th}=9000$



$V_{th}=9500$

