

# ASIC開発トレーニングコース に関して (HPD読み出しASIC開発)

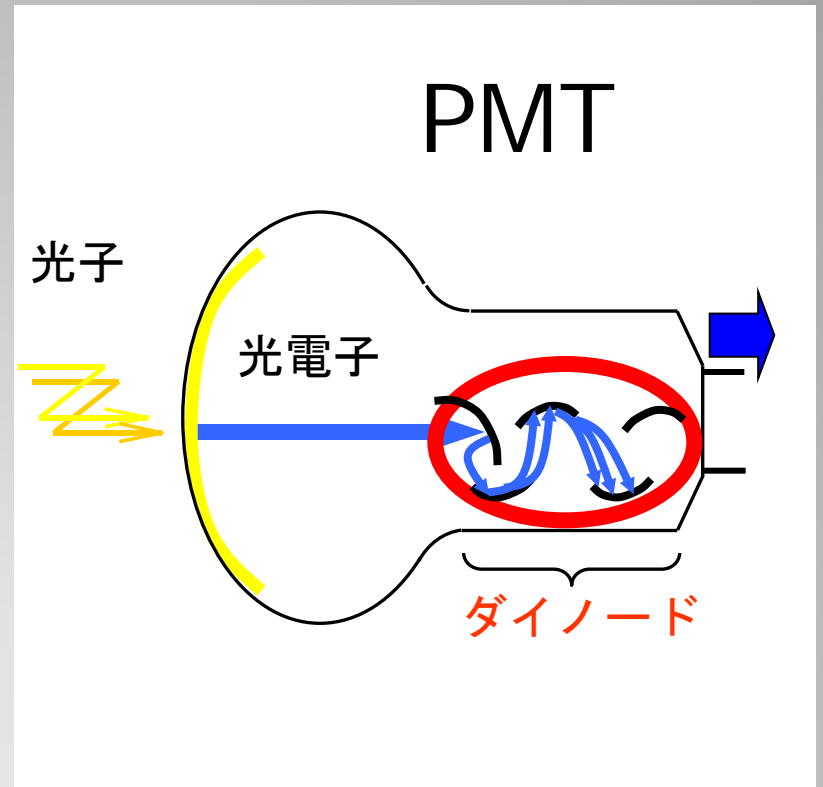
阿部利徳

- ASIC開発トレーニングコースに参加@2009  
→それまではアナログ回路開発経験～0
- 次世代大口径光検出器HAPD用読み出し回路のためのIC開発が目的  
→HAPDの宣伝もちょっとさせてください
- ADCの機能をAMC（遠山さんのトーク）に追加  
→このIC開発について話します
- IC開発にのべ3ヵ月  
→トレーニングコースへ参加しての感想

イントロダクション

1. HAPDの宣伝
  1. PMTと比べた性能
  2. デジタルHAPD
2. IC開発（ADC付AMC）
  1. 仕様要求
  2. Wilkinson型ADC
  3. AMCへの組み込み
  4. 現状の評価
3. トレーニングコースへの感想

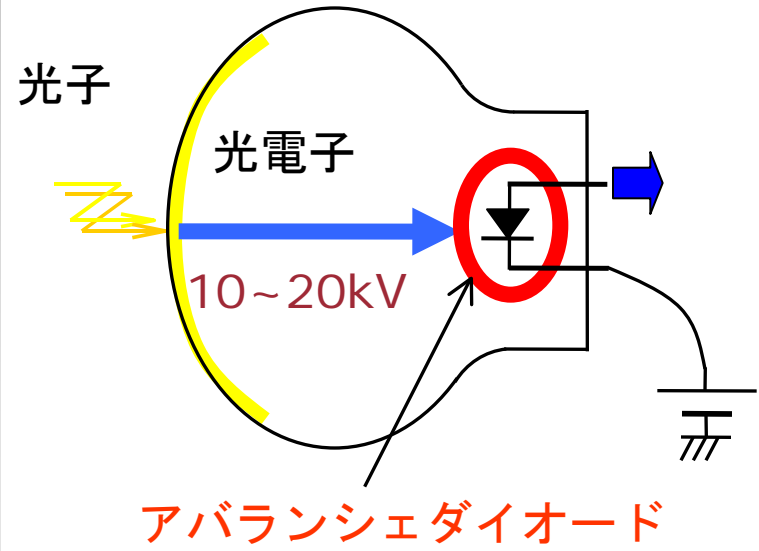
## 目次



HAPDとPMTの違い



# HAPD



HAPDはダイノードを使用しない

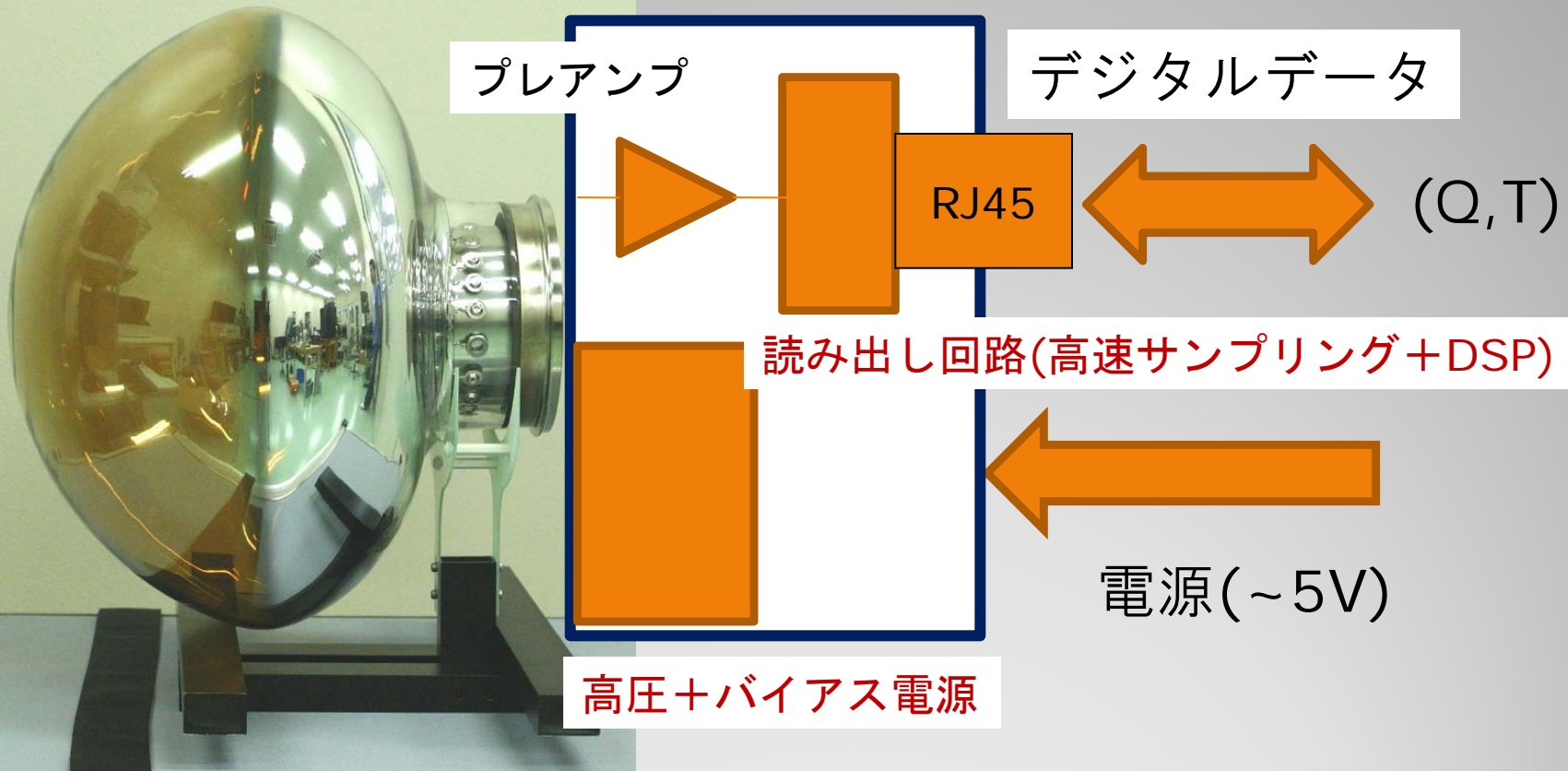
**HAPDとPMTの違い**

Parameters*	13inch HAPD	13inch PMT (R8055)	20inch PMT (for SK)
単一光子時間分解能 ( $\sigma$ )	190ps	1400ps	2300ps
単一光子波高分解能	24%	70%	150%
量子効率	20%	20%	20%
収集効率	97%	70%	70%
消費電力	$\ll 700\text{mW}$	700mW	700mW
ゲイン	$10^5$	$10^7$	$10^7$

HAPD専用の読み出し回路が必要

## HAPDとPMTの比較

# 電源線(~5V)とネットワークケーブル→デジタル信号



## デジタルHAPD



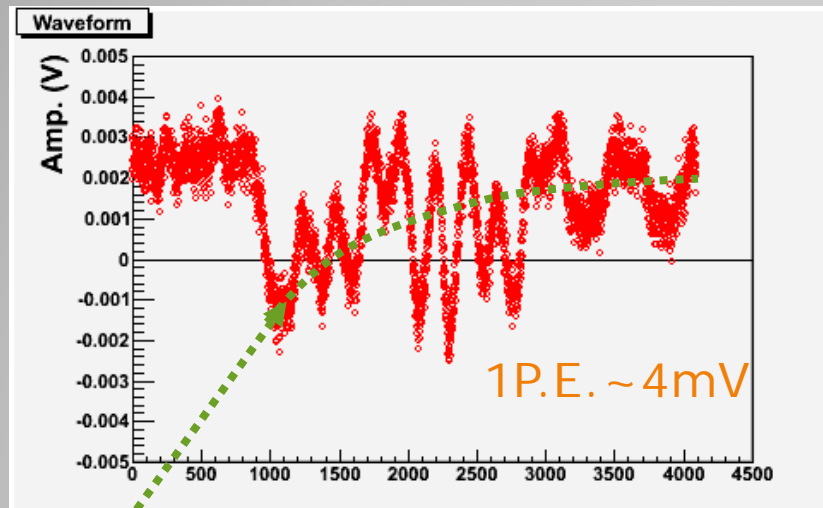
デジタルHAPD(8インチ)



- プリアンプ後の信号波形

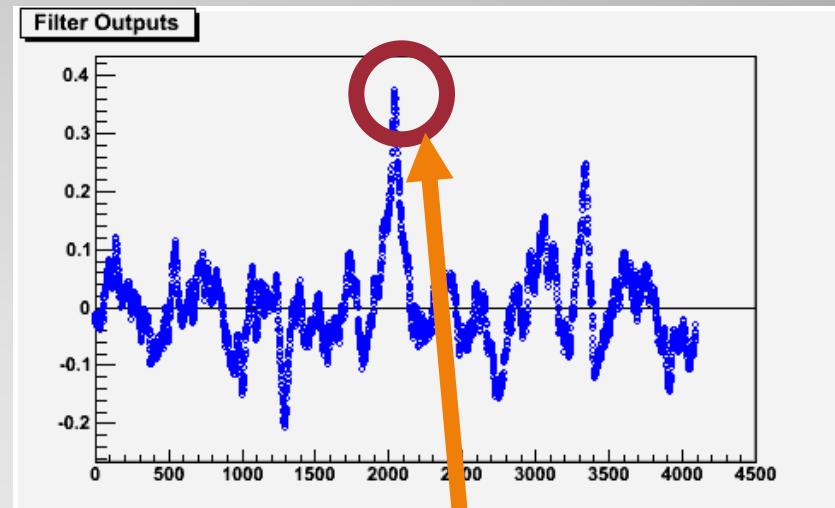
- デジタル信号処理後

高ノイズ環境下での測定



Fast rising time (~5ns)

信号



信号分離

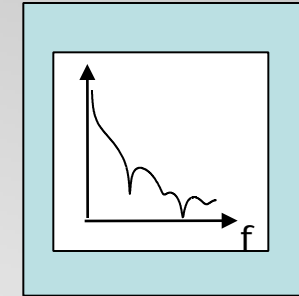
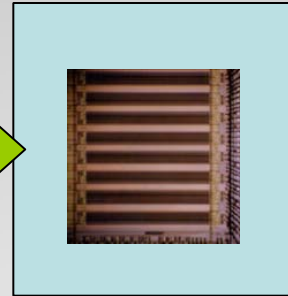
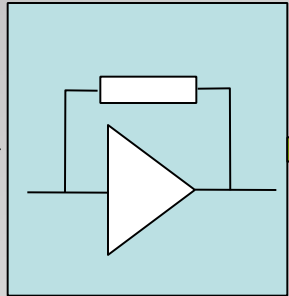
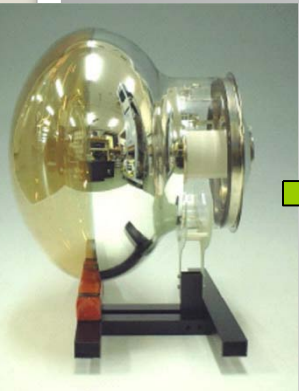
デジタル信号処理

# 読み出し回路

A/D conversion

## アナログ部

## デジタル部

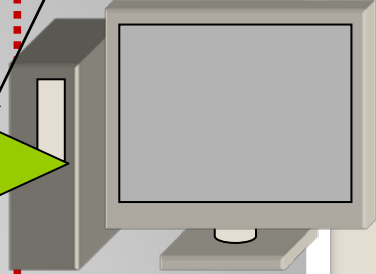


前置増幅器 (ASIC)

波形サンプリング (AMC)

デジタルフィルター (FINENET)

イーサネット (SiTCP)



PC

HAPD

# HAPD読み出し回路

アナログ部(高速波形サンプリング)

デジタル部(DSPとイーサネット)



ADCに関する部分

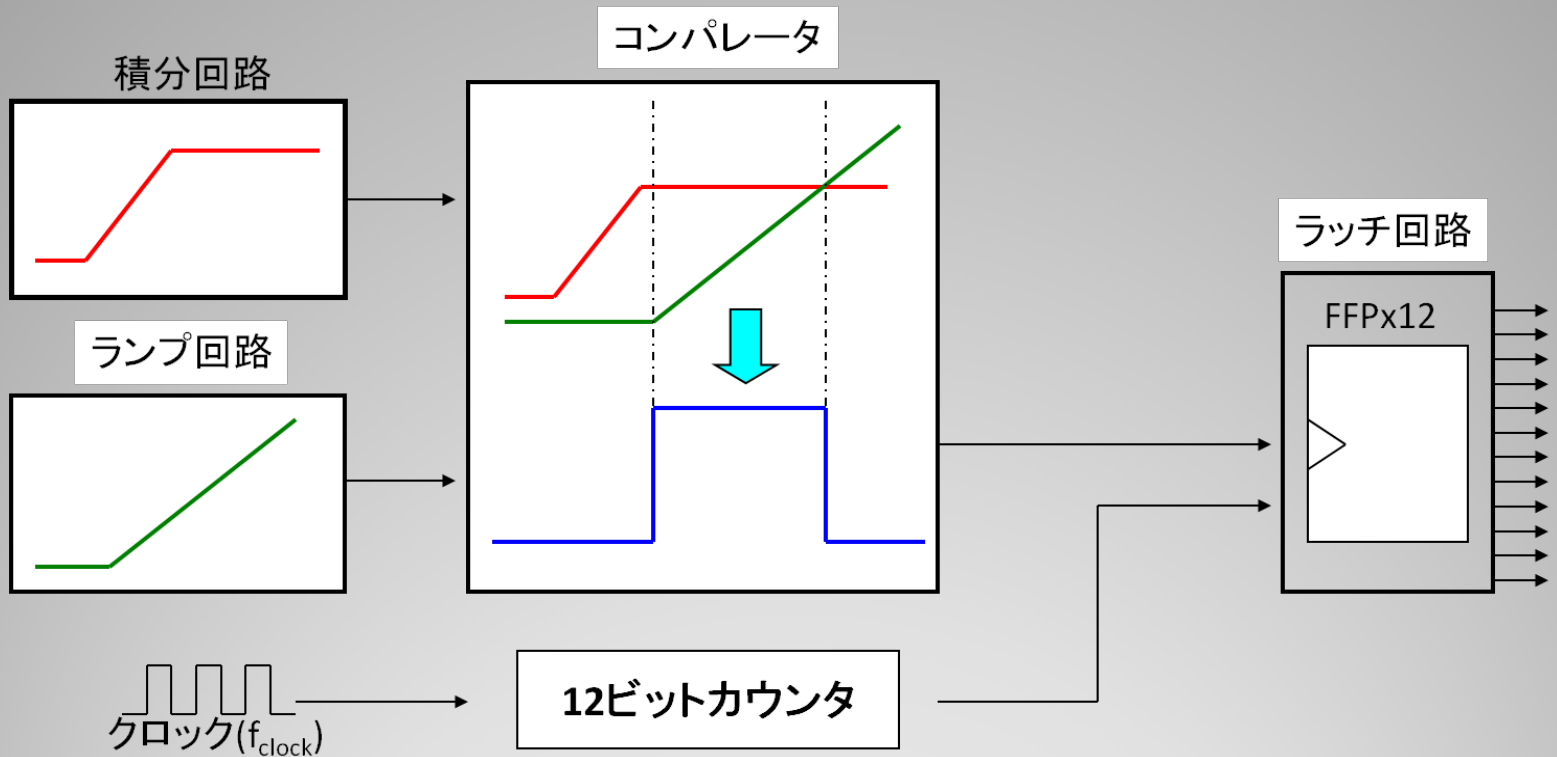
# デジタルHAPD用読み出し回路

項目	値/
チャンネル数	1
分解能	12bit
ダイナミックレンジ	2Vp-p
サンプル速度	100kSPS
消費電力	<10mW

TSMC 0.5umプロセス

- AMCの特徴
    1. 高速波形記録
    2. 高分解能
    3. 低消費電力
    4. 比較的ゆっくりとした読み出し時間
- サンプル速度より高分解能を重視した低消費電力タイプ
- **Wilkinson type ADC**

## ADCの仕様要求



構造が比較的単純

コンパレータとラッチ回路を増やすだけでADCの数を増やせる

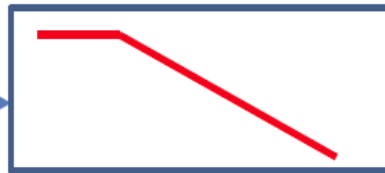
$12\text{bit}/\text{クロック} = 4096/200\text{MHz} = 20\mu\text{s}...$

# Wilkinson型ADC

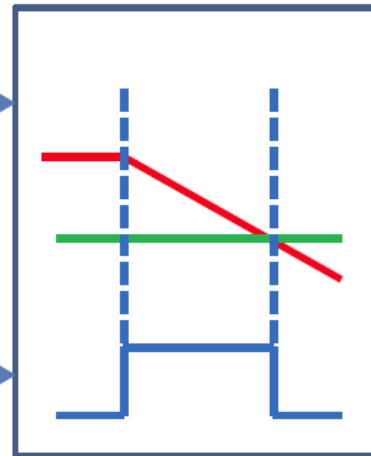
サンプル+ホールド回路



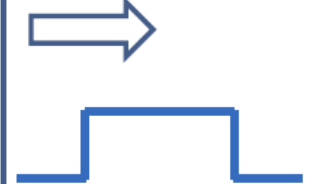
定電流源



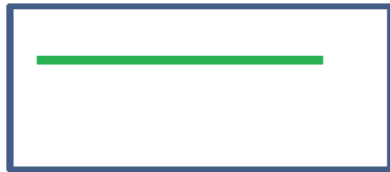
コンパレータ



出力

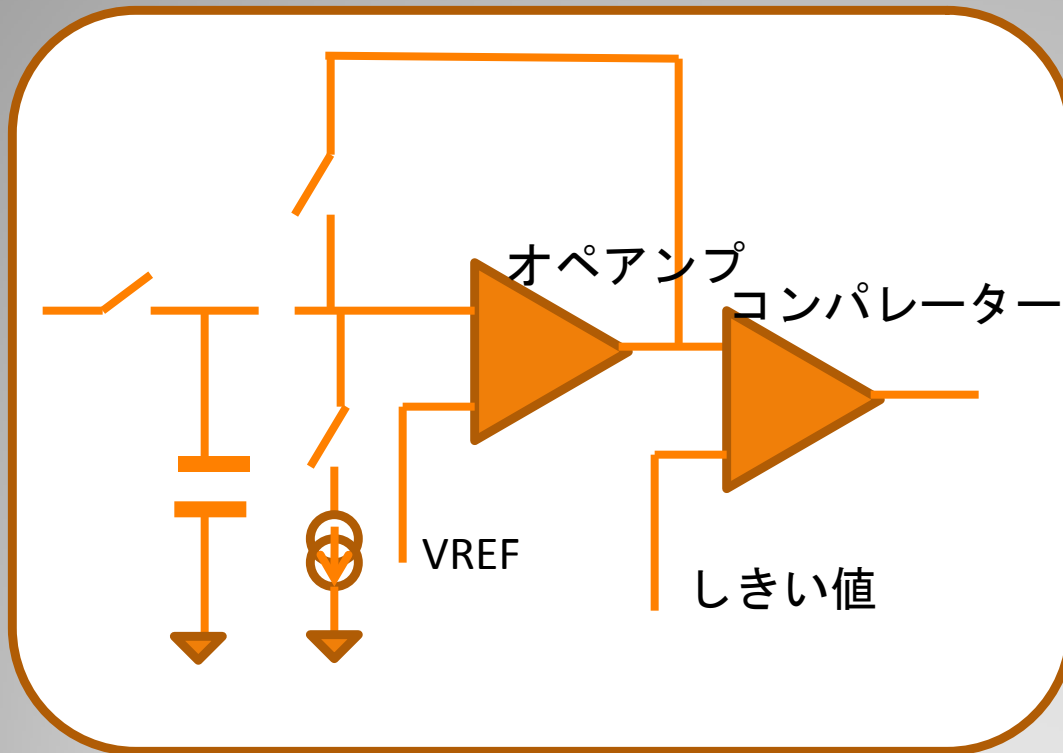


スレッシュホルド回路



電圧を時間に変換→TDCでデジタル化  
今回は、デジタル信号処理用FPGAにTDC(1ns)を搭載  
 $12\text{bit}/1\text{ns}=4096/1\text{ns}\sim 4\mu\text{s}$

# 電圧時間変換回路

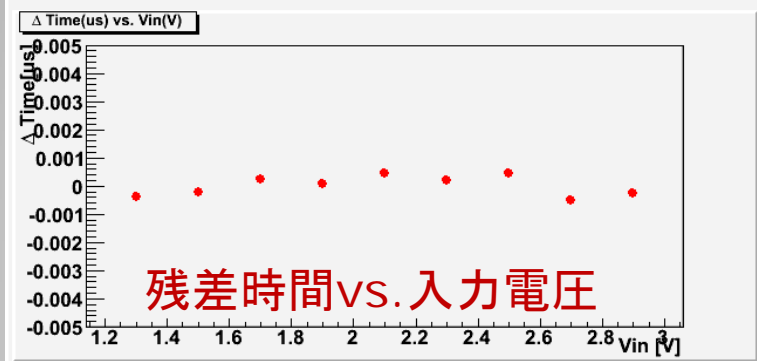
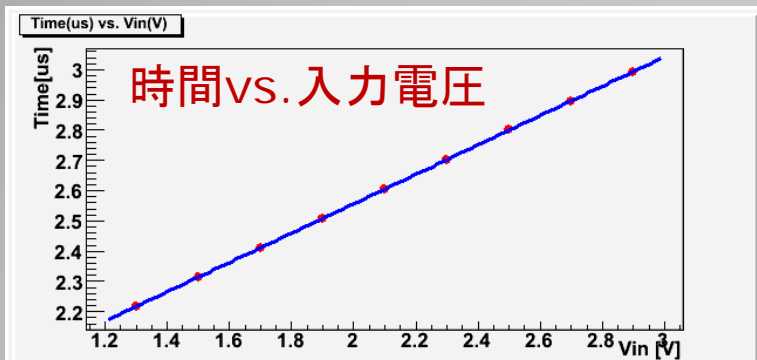


回路構成：  
コンデンサー  
スイッチ  
オペアンプ  
コンパレーター  
ミラー回路

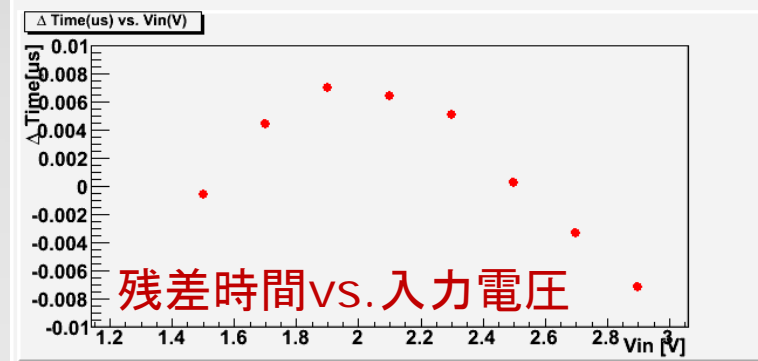
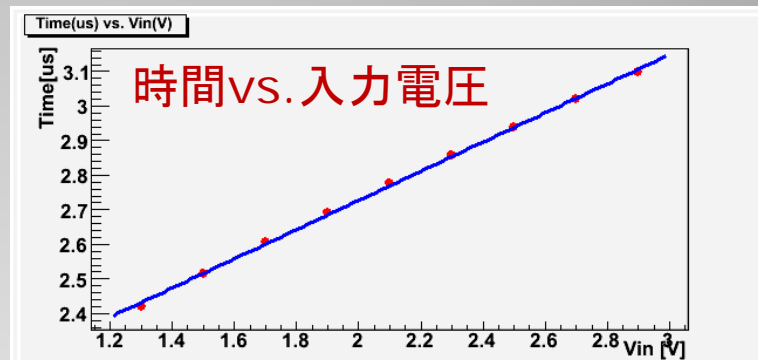
開発時間短縮のために、  
スイッチ、オペアンプ、  
コンパレーターは  
FE2007のライブラリの  
回路を使用

ADC回路

# C = 1 pF



# C = 10 pF

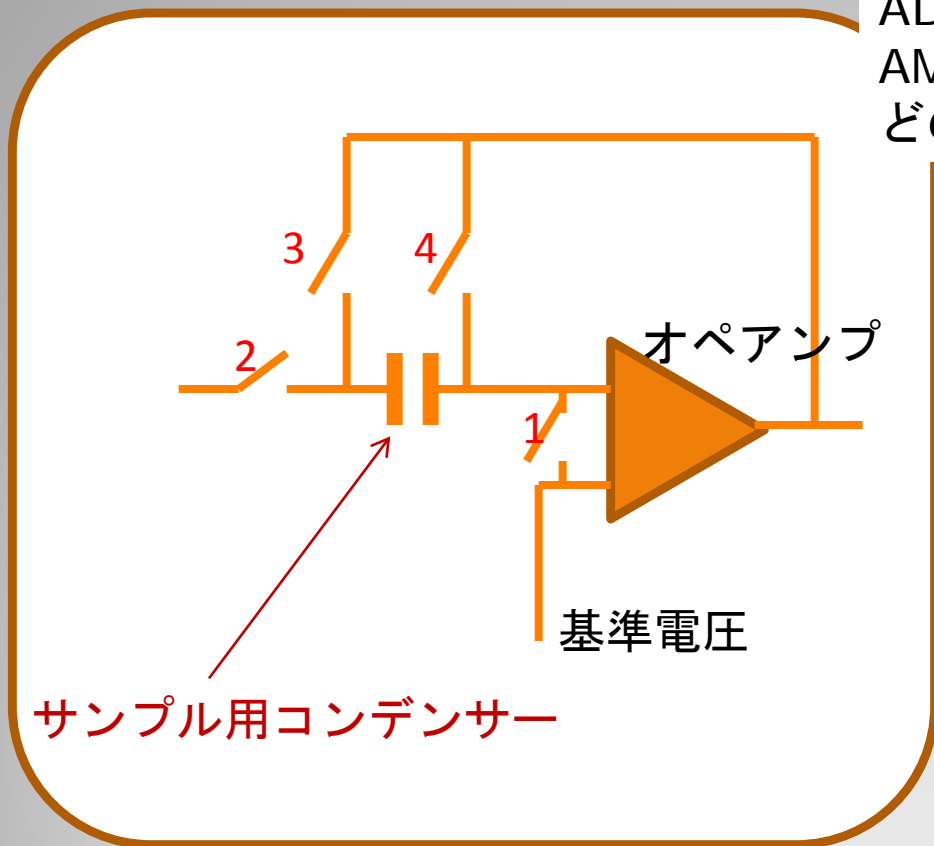


他にもスイッチのトランジスタのサイズの最適化、定電流源の最適化を行った

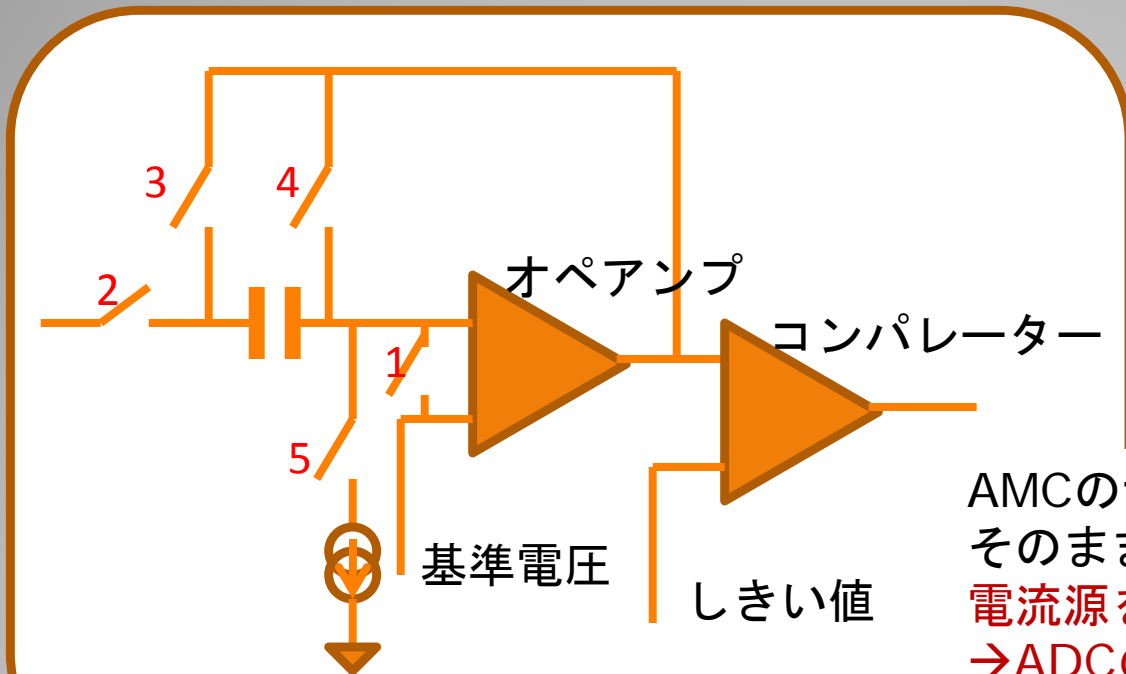
## パラメータの最適化



ADCの開発が順調だったので、  
AMCも付け加えようという話になった  
どのようにADCを付け加えるか？



## AMC回路 (1セル)



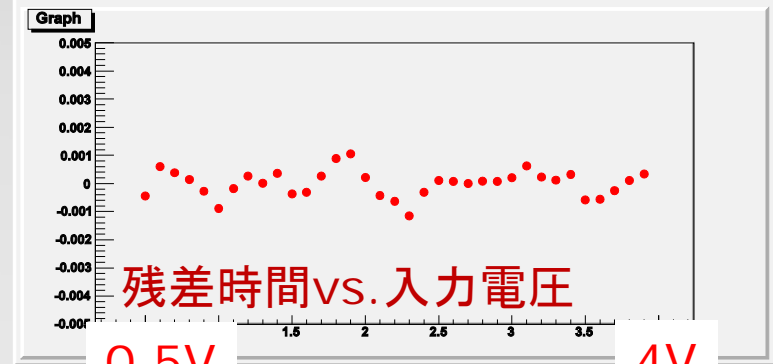
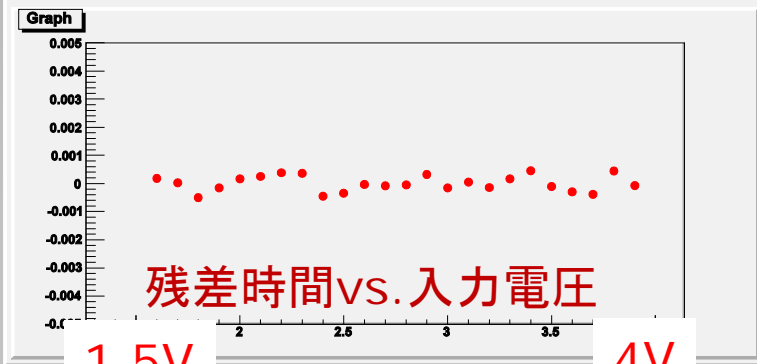
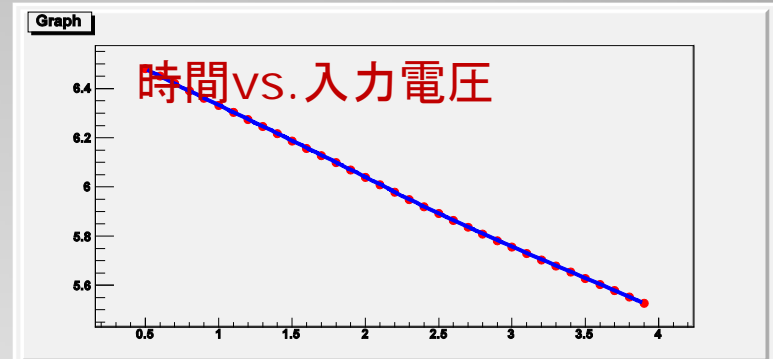
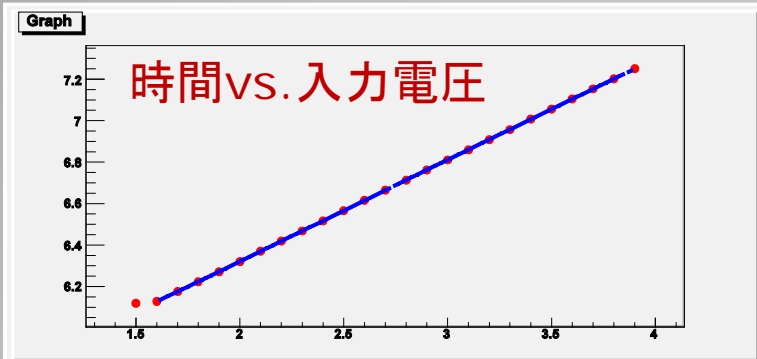
AMCのサンプル用コンデンサーをそのまま使う。  
 電流源をフィードバック内に設置  
 →ADCの非線形性はスイッチと定電流源からきている  
 →フィードバック内に置くことにより非線形性が改善されることが期待できる

## ADCの組み込み

フィードバックありの方が線形領域が広がった

フィードバックなし

フィードバックあり

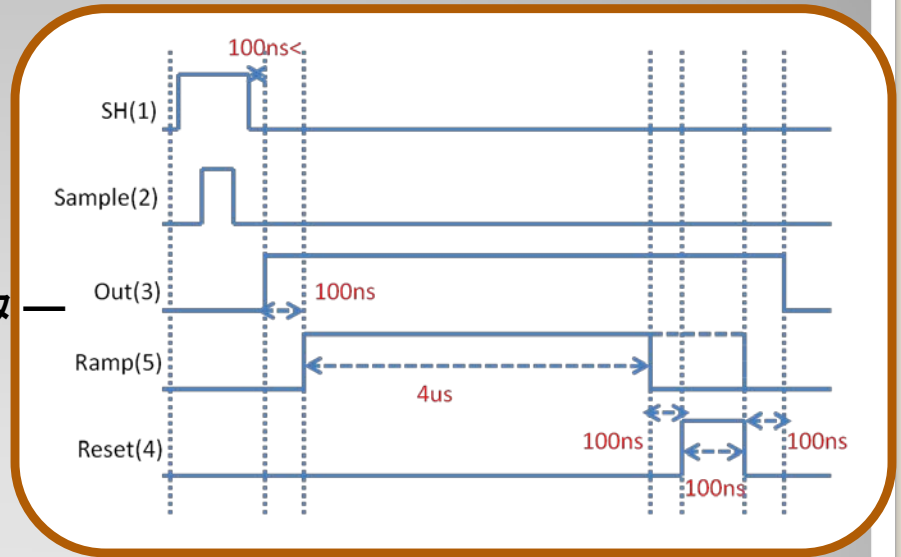
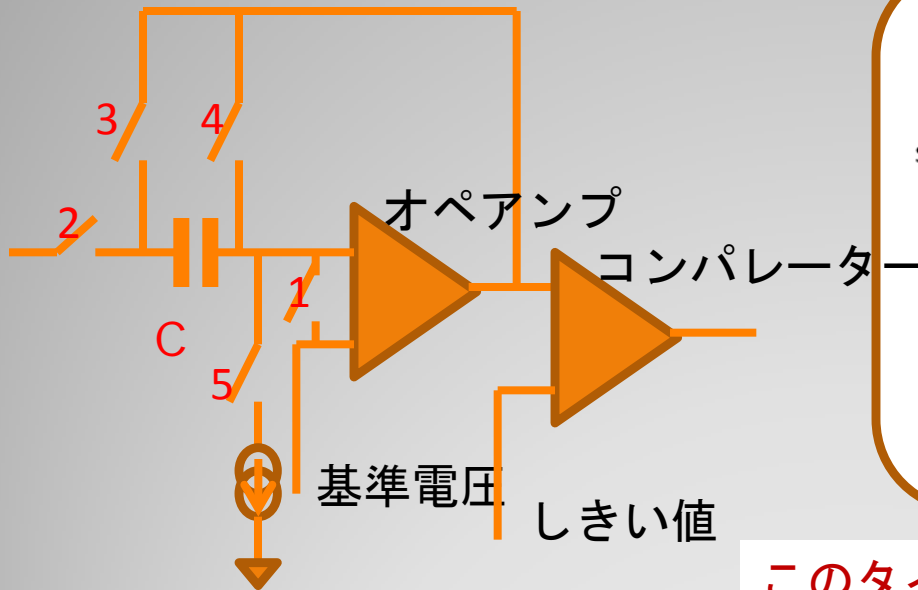


電流源回路をカスコード接続にしても試したが性能は改善されなかった

フィードバックありなしでの性能比較

スイッチがいっぱいあって、そのタイミングを考えないといけない...

## スイッチのタイミングチャート

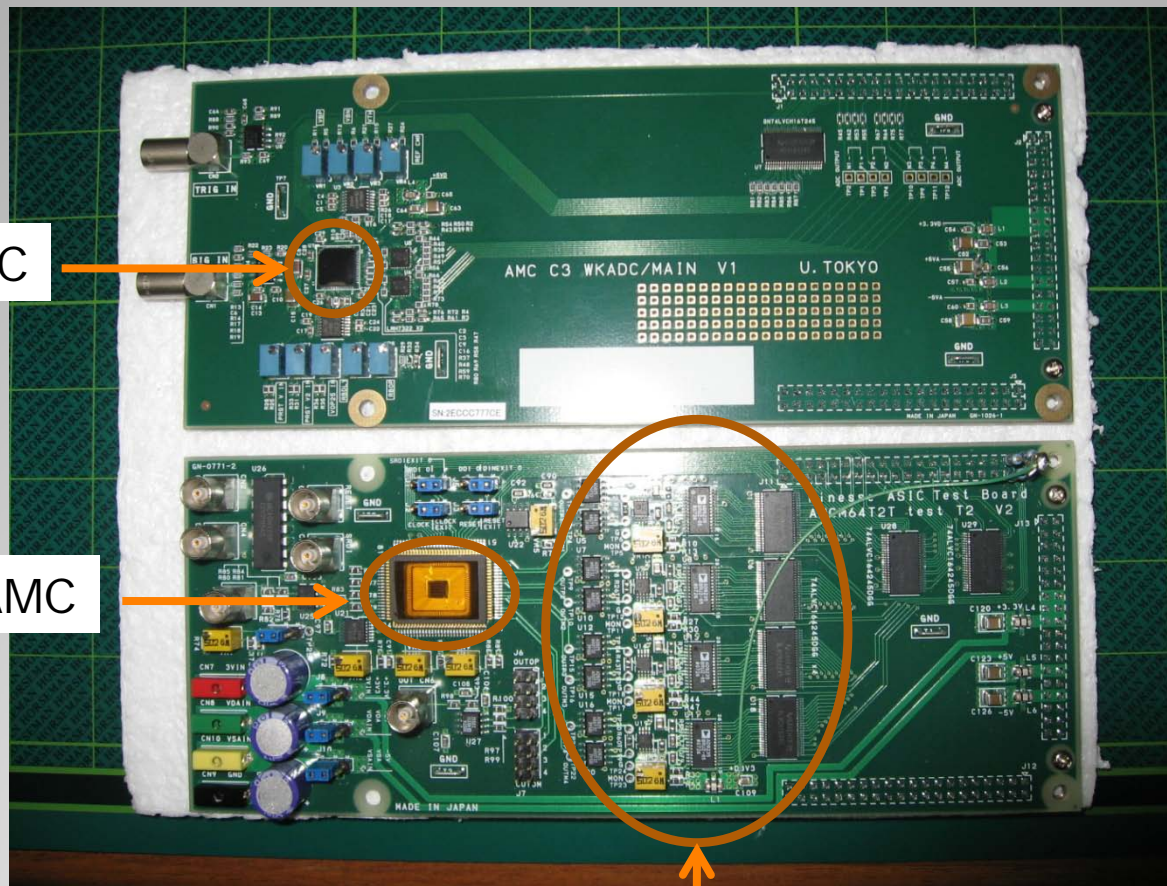


このタイミングチャートではうまく動作しない  
→スイッチ4の電荷がCに流れこむ...  
→スイッチのタイミングはFPGAから供給  
(レイアウト時間の都合上C=0.4pFに変更...)

# もっとADCの組み込み

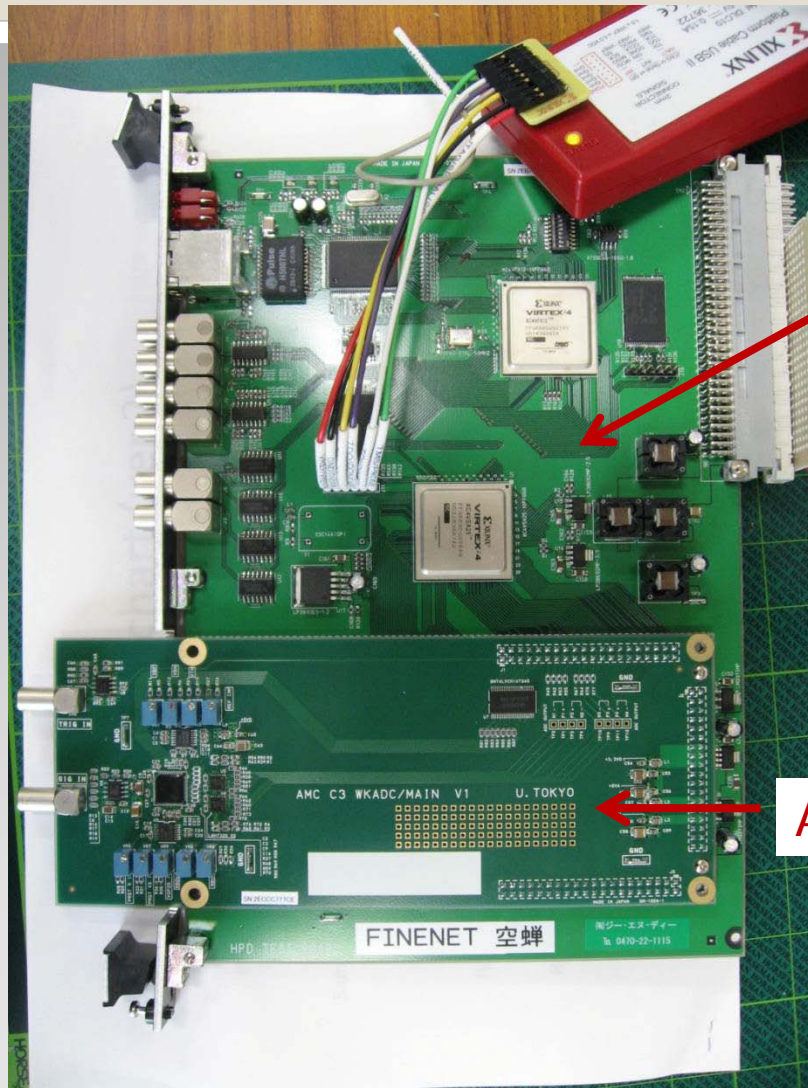
新しいAMC

今までのAMC



ADCに関する部品が要らなくなった

**ADC付AMCと今までのAMC**



FINENET(内田)

ADC付AMCテストボード

回路のバグにより、  
現状TDC測定できず...

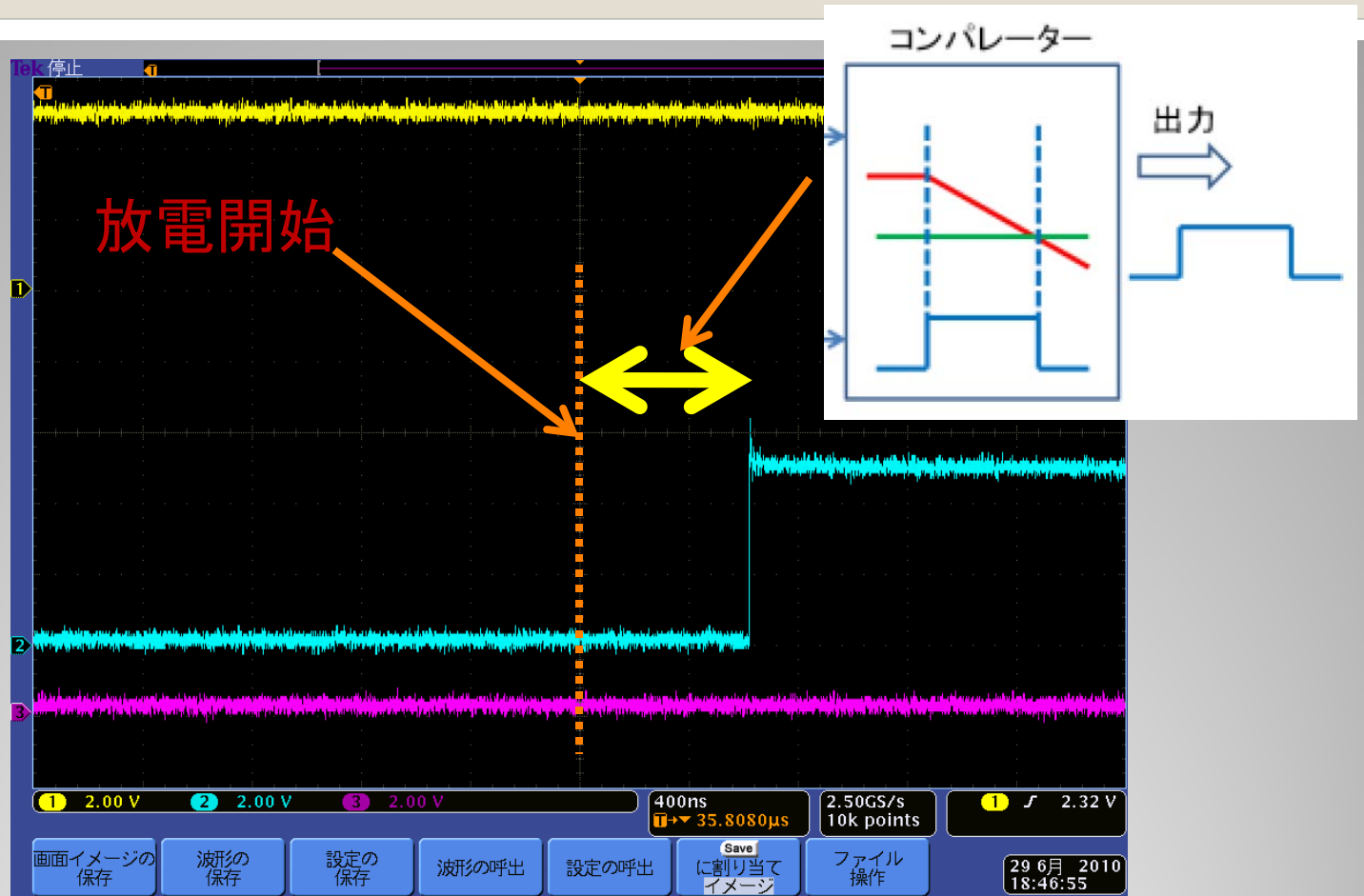
テストベンチ



AMC出力

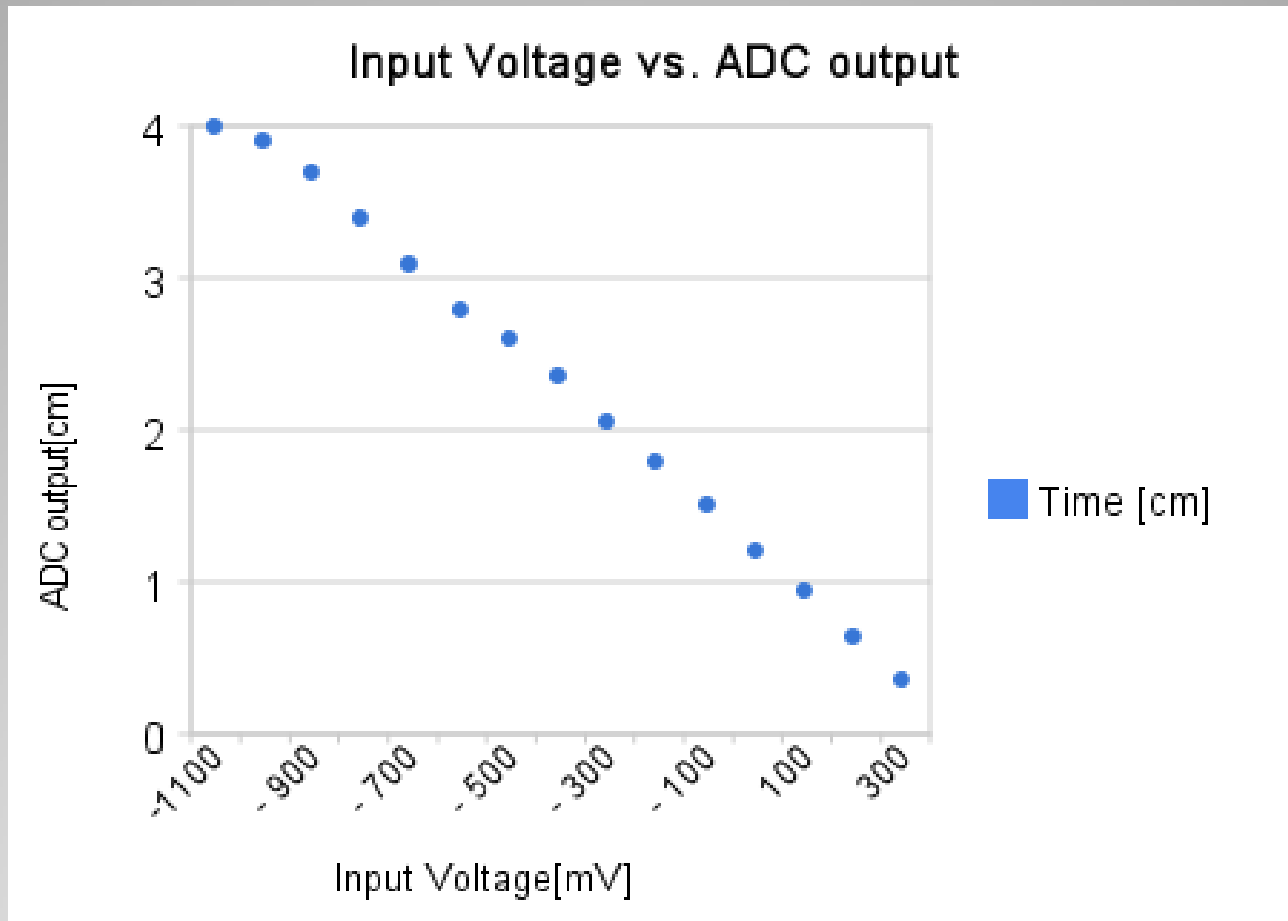
一応出力を確認

# ADC付AMCの出力



# ADC付AMCの出力





入力電圧 vs. ADC出力

- アナログ回路の設計は、  
「**要求と対価のトレードオフ**」 by 田中
- このコースでASICができるようになる？
  - 本当でもあり、本当でもない
  - コースの参加により動くASICは作れる
  - 使い物になるASICには、追加の努力、継続が必要
  - **お金の面でのサポートが重要**
- **ASIC開発入口としては大変ありがたい**

**トレーニングコースへ参加しての感想**

- 各人の持っている知識、経験が、広くコンソーシアムに共有されるような運営を望みます。
  - ASICは一度作ったらやり直しがきかない...
  - 最小失敗の開発
  - 十分なドキュメント
- ADCのライブラリの拡充を望みます。
  - 検出器直後のAD変換が主流
  - トレーニングコースでは、プリアンプの開発は問題なく動作したようだ...

オープンコンソーシアムへの要望

- HAPD用ADC付きICを開発
  1. HAPDはとても性能の良い光検出器  
→デジタルHAPDの雛形が展示
  2. Wilkinson型ADCを開発  
→開発に3ヵ月、出力を確認
- トレーニングコース
  1. ASIC開発の入口として大変おすすめ、ただし、継続的な努力、開発は必要
  2. マニュアルを揃えてください...

まとめ