

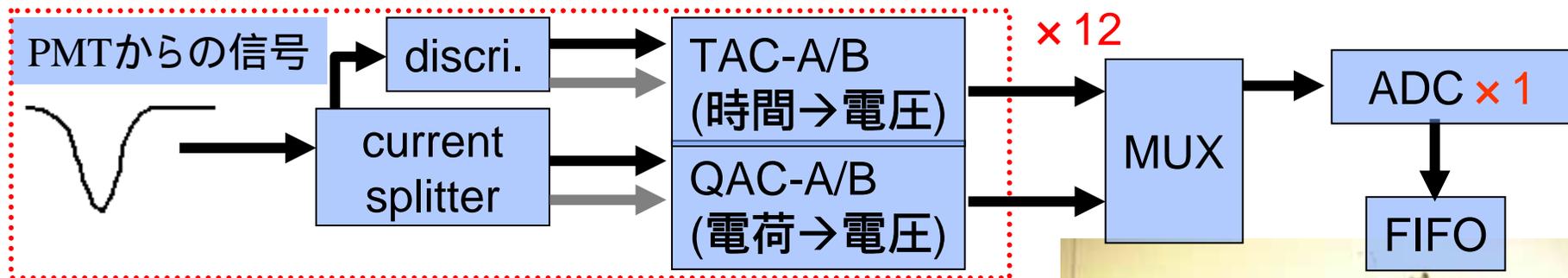
# SK New Electronics Development

---

H. Nishino (ICRR)  
DAQ workshop at KEK  
2006/3/4

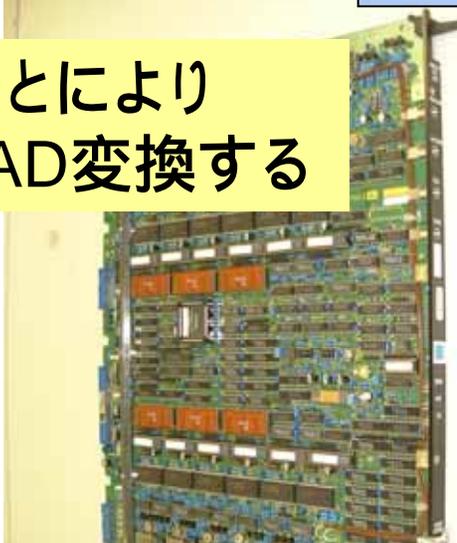
# Current Front-End Electronics (ATM)

現在のフロントエンドエレクトロニクス (ATM) でPMTからの信号がAD変換されるまでの流れ



TACで時間を電圧(電荷)に変換することにより  
ADCのみで時間と電荷情報の両方をAD変換する

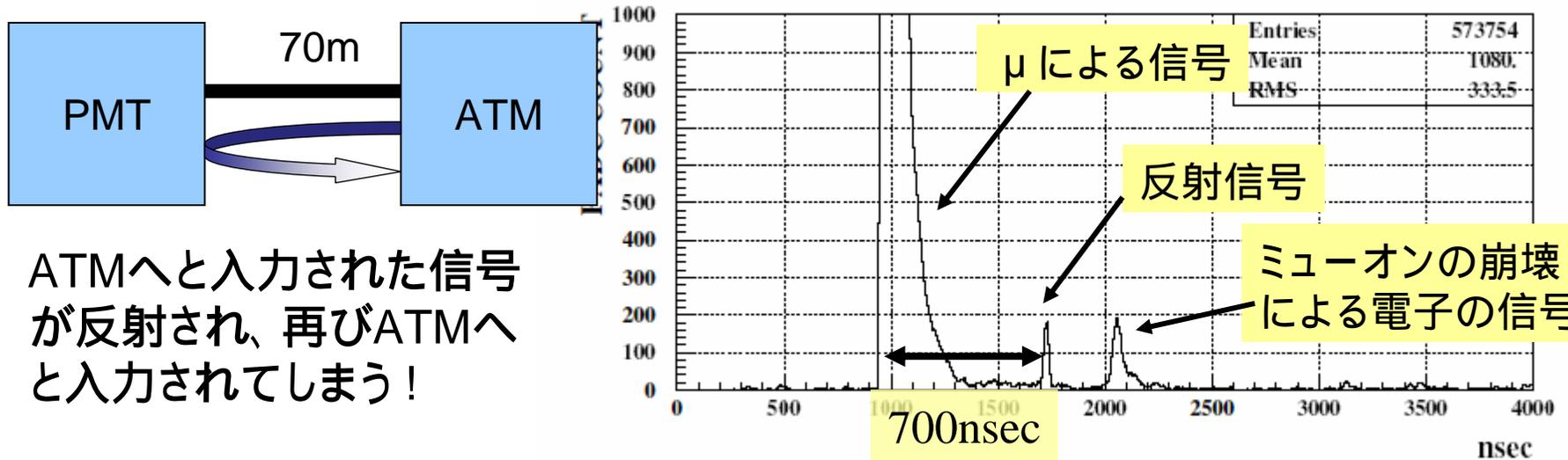
- 1ボードにつき12ch入力
- セルフゲート方式
- 1chにつき2つのTAC/QAC
- ADCは1ボードにつき1つ
- 総チャンネル数 約11000ch



Analog Timing Module  
= ATM

# Problems with Current ATM

## ● 入カインピーダンスの整合がとれていない



$70\text{m} \times 5\text{nsec/m} \times 2 = 700\text{nsec}$ 後に反射  $\Leftrightarrow$   $2.2\ \mu\text{sec}$  ( $\mu$  寿命)

→ ミュオン崩壊(電子)事象観測のデッドタイムとなってしまう

粒子識別に重要

## ● 電荷測定ダイナミックレンジが十分でない

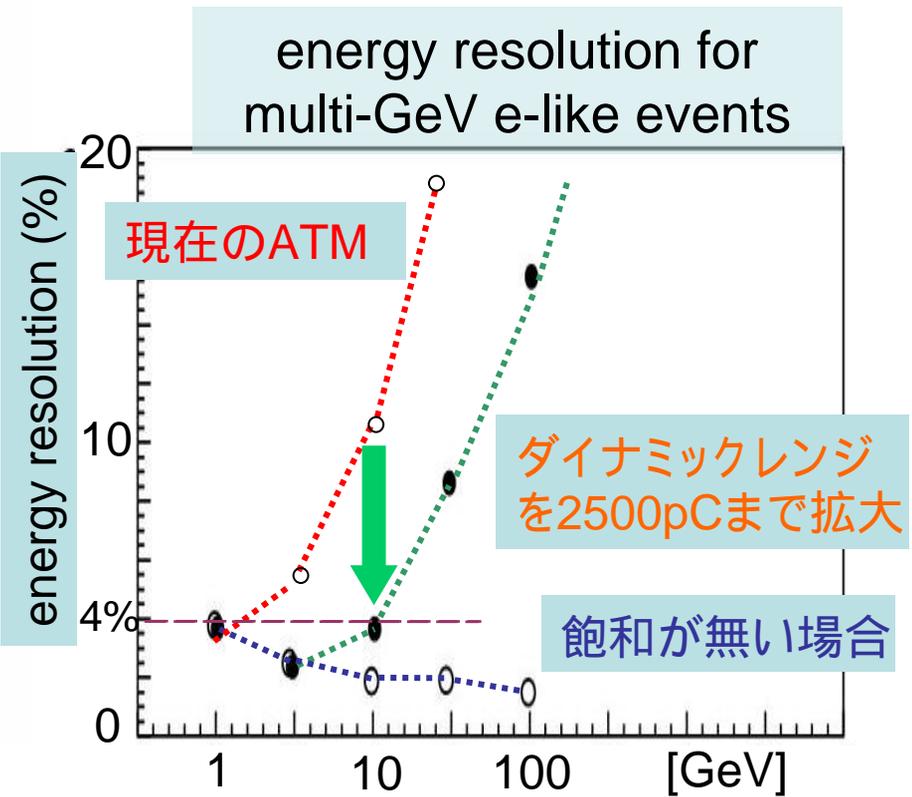
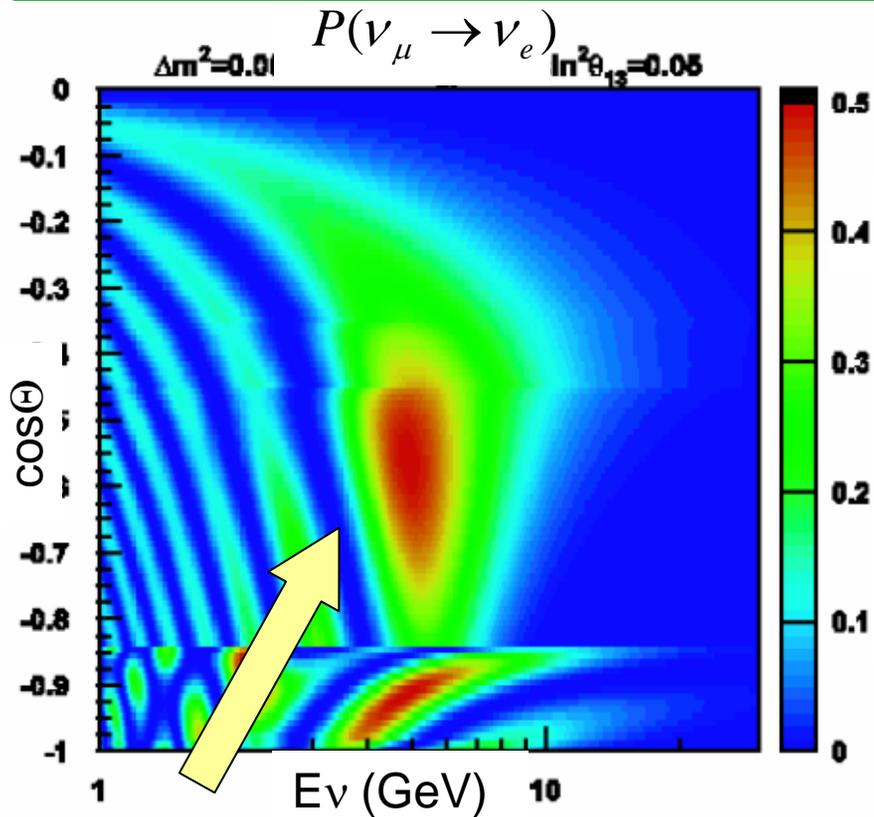
$E_{\nu} > 1\text{GeV}$  を超える事象では電荷量がATMのダイナミックレンジを超えてしまう → エネルギー分解能の悪化

# Requirement for dynamic range

- GeV領域のエネルギー分解能はなぜ重要か?

大気ニュートリノにおける  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  振動の観測

未発見のモード

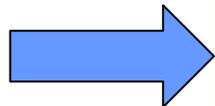


狭いエネルギー領域で振動確率が大きくなる領域が存在

エネルギー分解能を良くする事でS/N比の向上

# Requirements for New Front-End

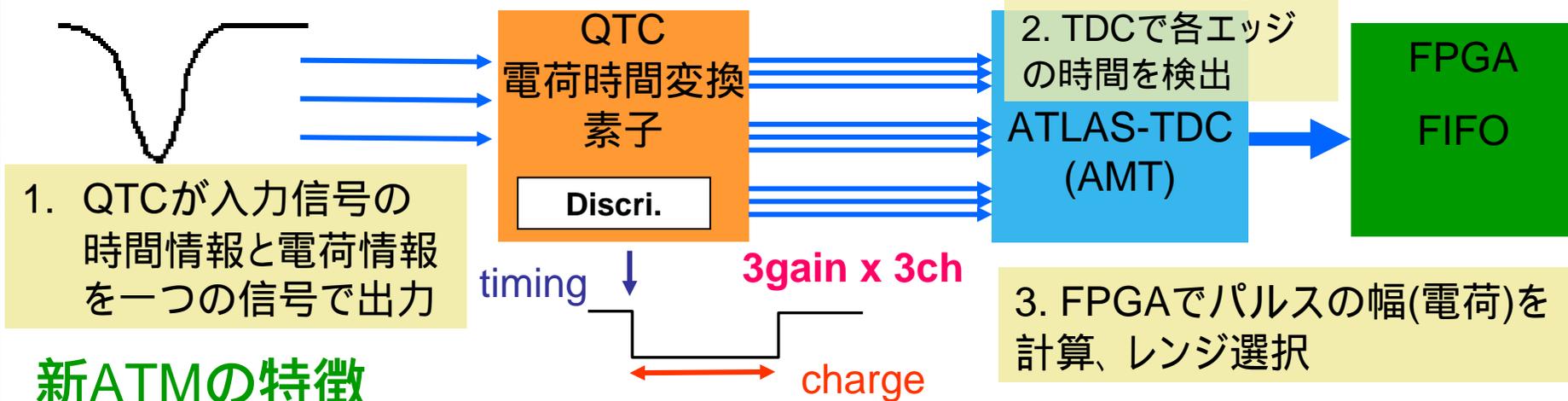
- 大気ニュートリノ観測からの要請
  - 入力インピーダンスの整合・反射を0.1%以下に抑える
  - 電荷測定ダイナミックレンジを現在の約5倍 (~2500pC)
  - ミューオン崩壊事象を取得できるような高速なAD変換
- その他にも多くの要請 (太陽・超新星 $\nu$ 観測などから)
  - データ処理・転送の高速化
  - 時間測定ダイナミックレンジの拡大
  - 低ノイズ化
  - 低消費電力化



これらの要請を満たすべく  
フロントエンド(ATM)を中心とした  
新エレクトロニクスが開発が進行中

# SK New Front-End Electronics (New ATM)

## PMTからの信号がAD変換されるまでの流れ



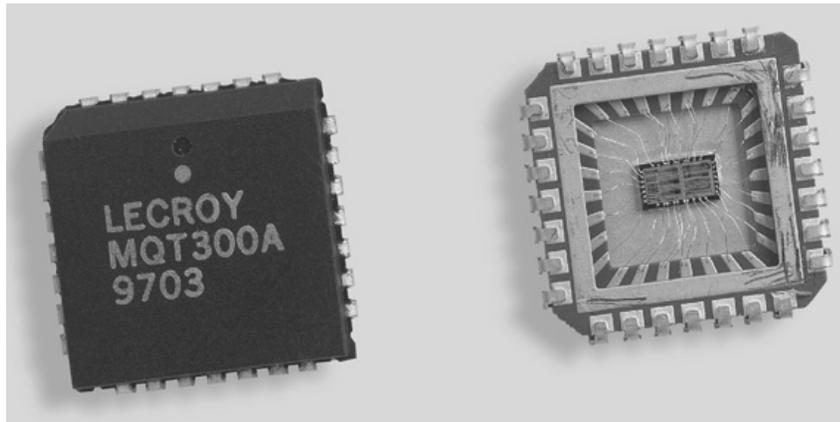
## 新ATMの特徴

- QTCを用いて時間・電荷情報を一つのパルスに → シンプルな読み出し
- AMT (ATLAS Muon TDC) : マルチヒットTDC (60MHz Clockで使用)
  - トリガーマッチングさせる時間幅をプログラム可能 (最大約34usec)
  - 内部にBuffer
  - 並列処理→ TDC読み出しのデッドタイムはほぼ無い
- QTCの出力を直接TDCで処理することで時間、電荷の高速・高精度測定を実現する (中間処理でのクロストーク、電荷漏れが起きない)
- さらに全てのATMを一つのマスタークロックで動作させる
  - 相対時間差の測定精度を最も良くするため

# QTC

- QTC = Q (Charge) to Time Converter

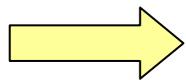
→ 信号の電荷の大きさを出力信号の幅へと変換する



既存のもの

LeCroy MQT300

- 遅い ( $\mu$  崩壊事象に対して)
- 既に製造されていない



新しく開発する必要

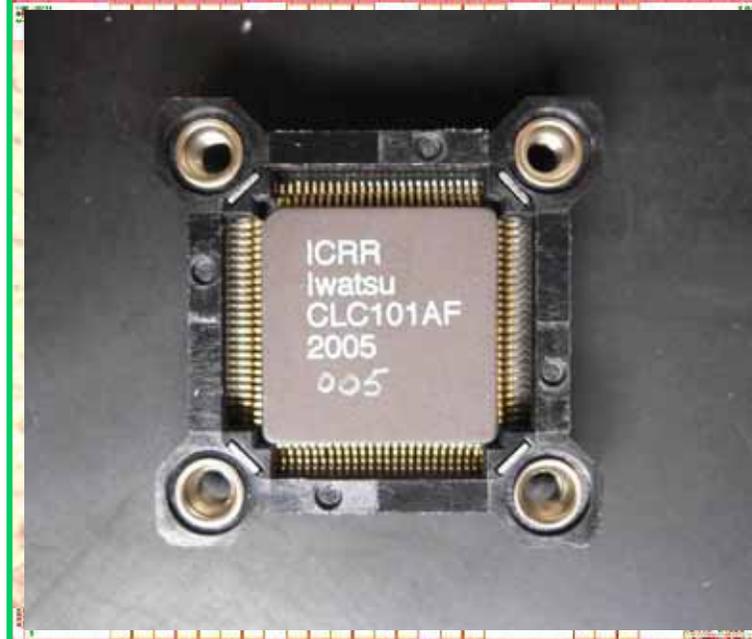
- より高速に
- ディスクリ内蔵

# QTC Prototype Development

QTCはPMT信号のアナログ処理の全てを1chipで行う

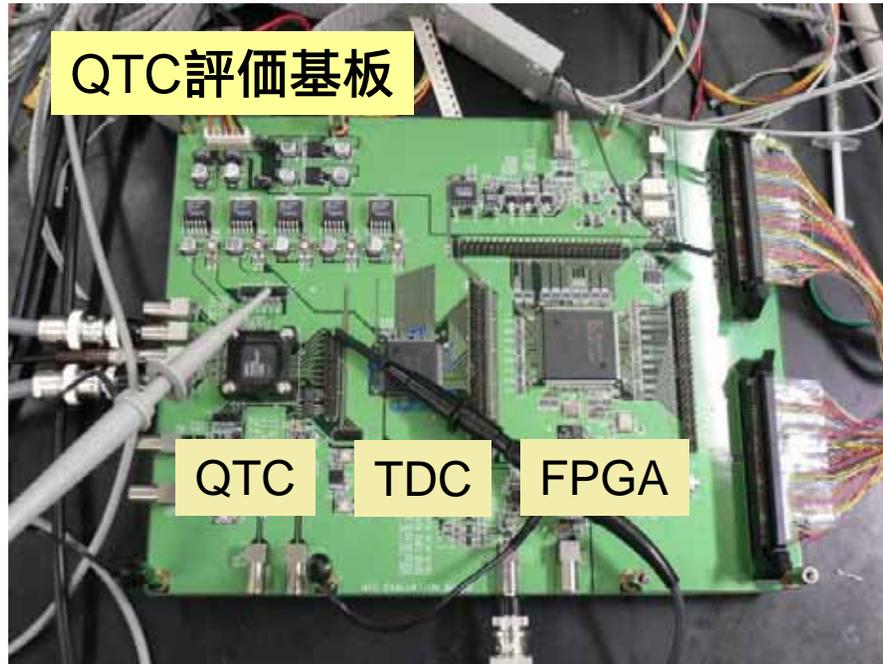
## 仕様

- 3チャンネル入力
- ディスクリミネータを内蔵
- 1チャンネルにつき 3つのレンジ
  - 大ダイナミックレンジ 0~2500pC
  - 0.1 pC 電荷分解能(LSB) @ High Gain
- 1ヒットを500nsecで処理
  - charge~200nsec, discharge~300nsec
- HIT信号出力
- アナログサム信号出力
- 低消費電力 < 200mW/ch
- 0.35 $\mu$ m CMOS, 100pin CQFP

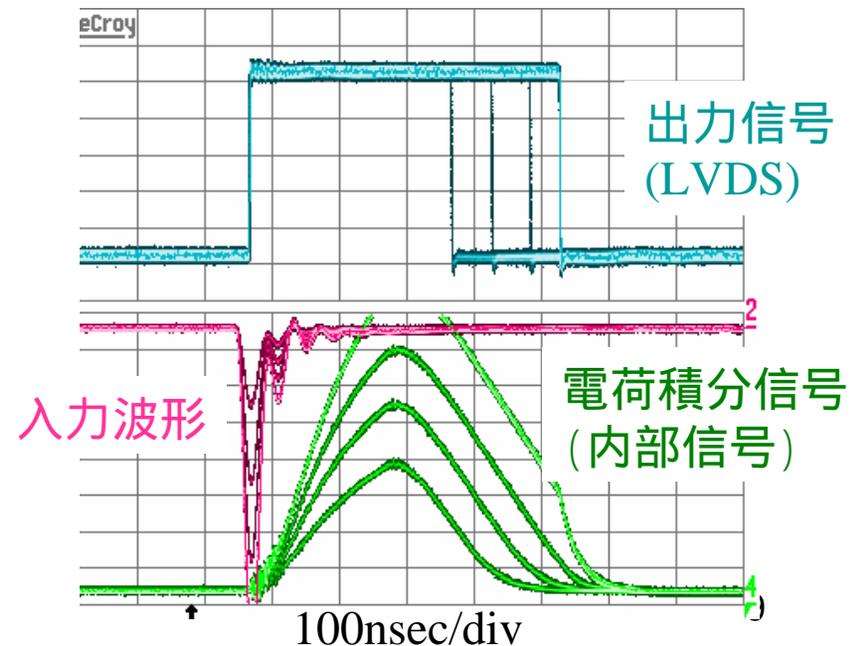


AD変換の高速化を実現  
デッドタイムの削減

# QTC Evaluation



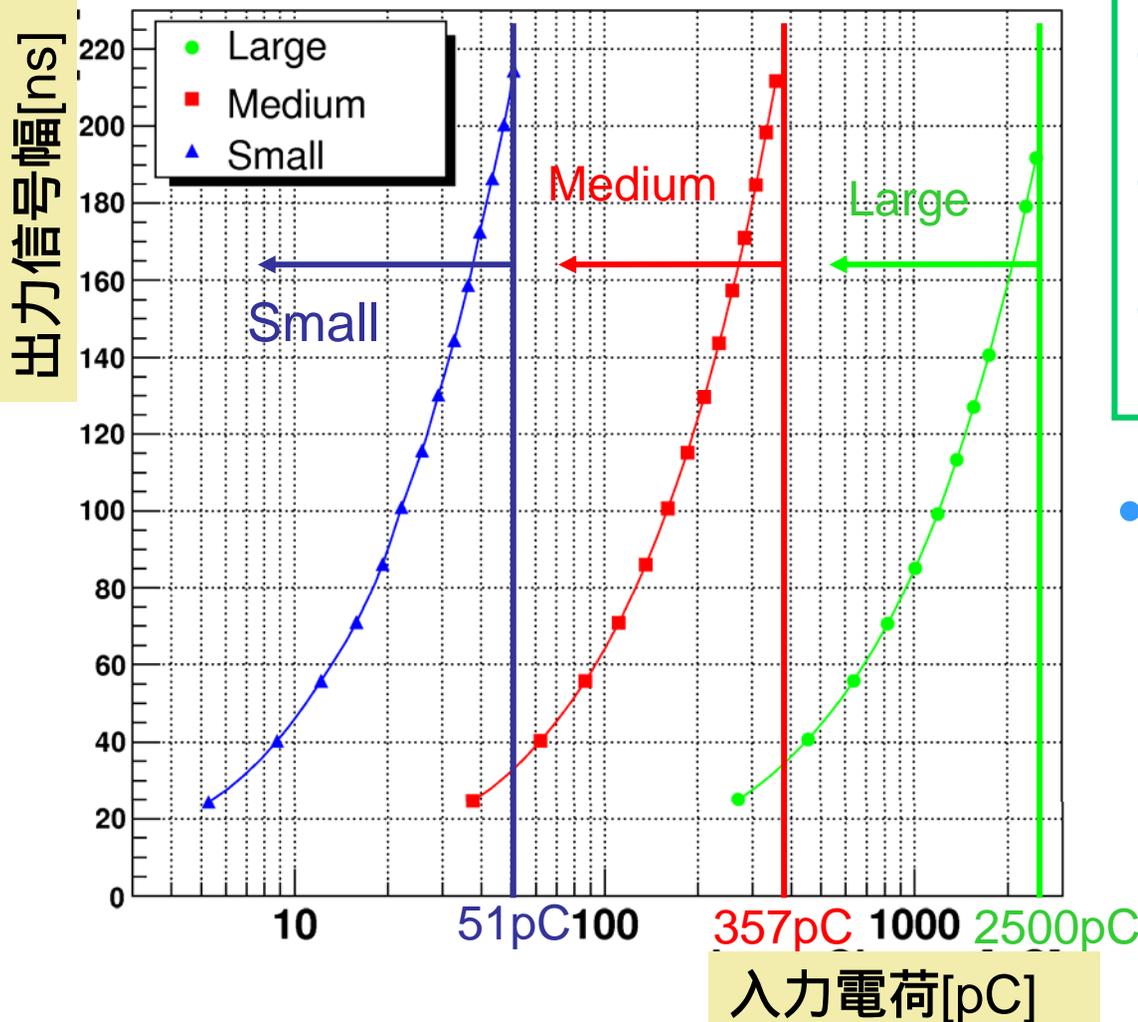
- QTC, TDC, FPGAからなる評価基板を開発
  - TDCの使用方法の検討
  - QTCの基本性能の評価
  - 問題点の洗い出し



**QTCの基本的動作を確認→**  
入力波形の振幅が大きくなるほど  
出力信号の幅が大きくなることを確認

# Charge Dynamic Range & Resolution

## 入力電荷 vs 出力信号幅

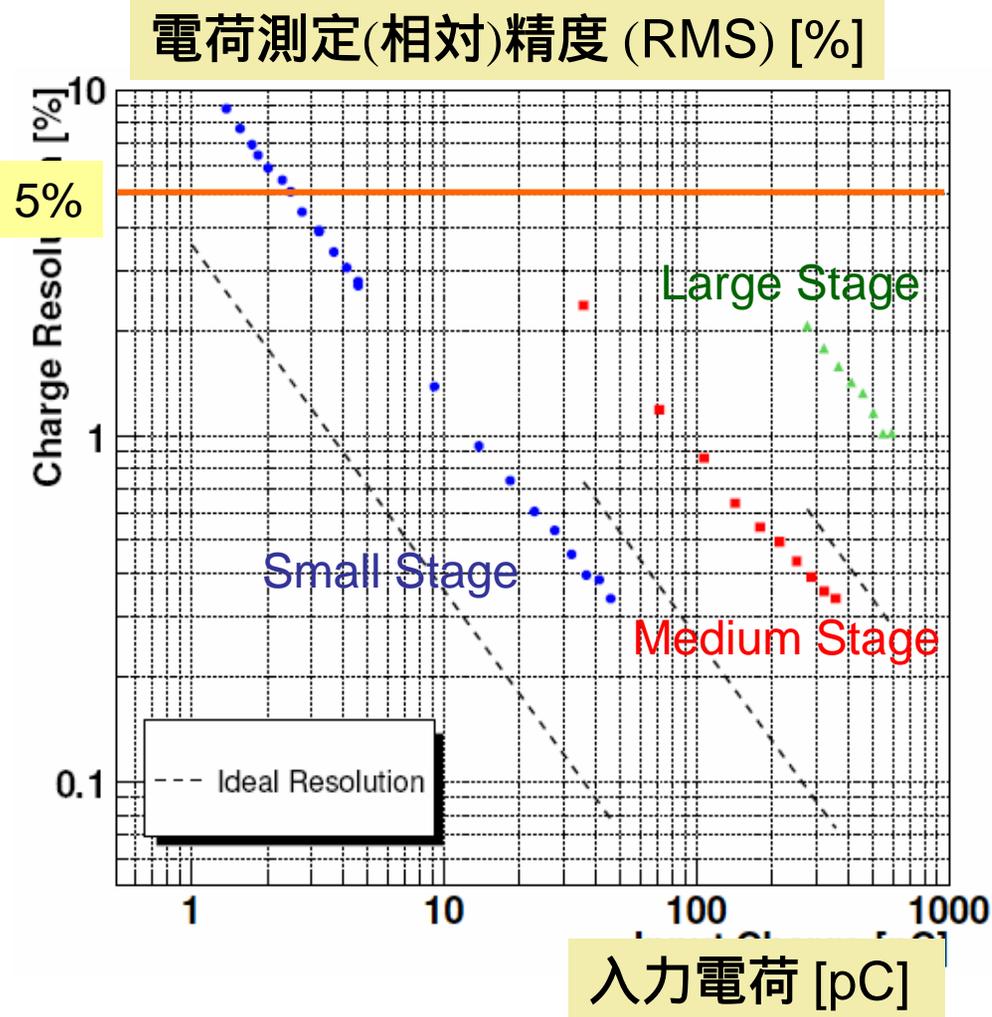


## 電荷分解能 (LSB)

- Small Stage  
~ 0.1 [pC/count]
- Medium Stage  
~ 0.8 [pC/count]
- Large Stage  
~ 6 [pC/count]

- 微小電荷測定時の  
0.1 [pC/count] の分解  
能を維持しながら、  
2500pC (~1000p.e.) ま  
で飽和せずに測定する  
ことが可能

# Charge Resolution (RMS)

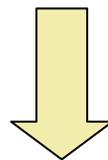


## 電荷測定精度 (RMS) [pC]

- Small Stage 0.11 ~ 0.16
- Medium Stage 0.82 ~ 1.2
- Large Stage 5.5 ~ 6.0

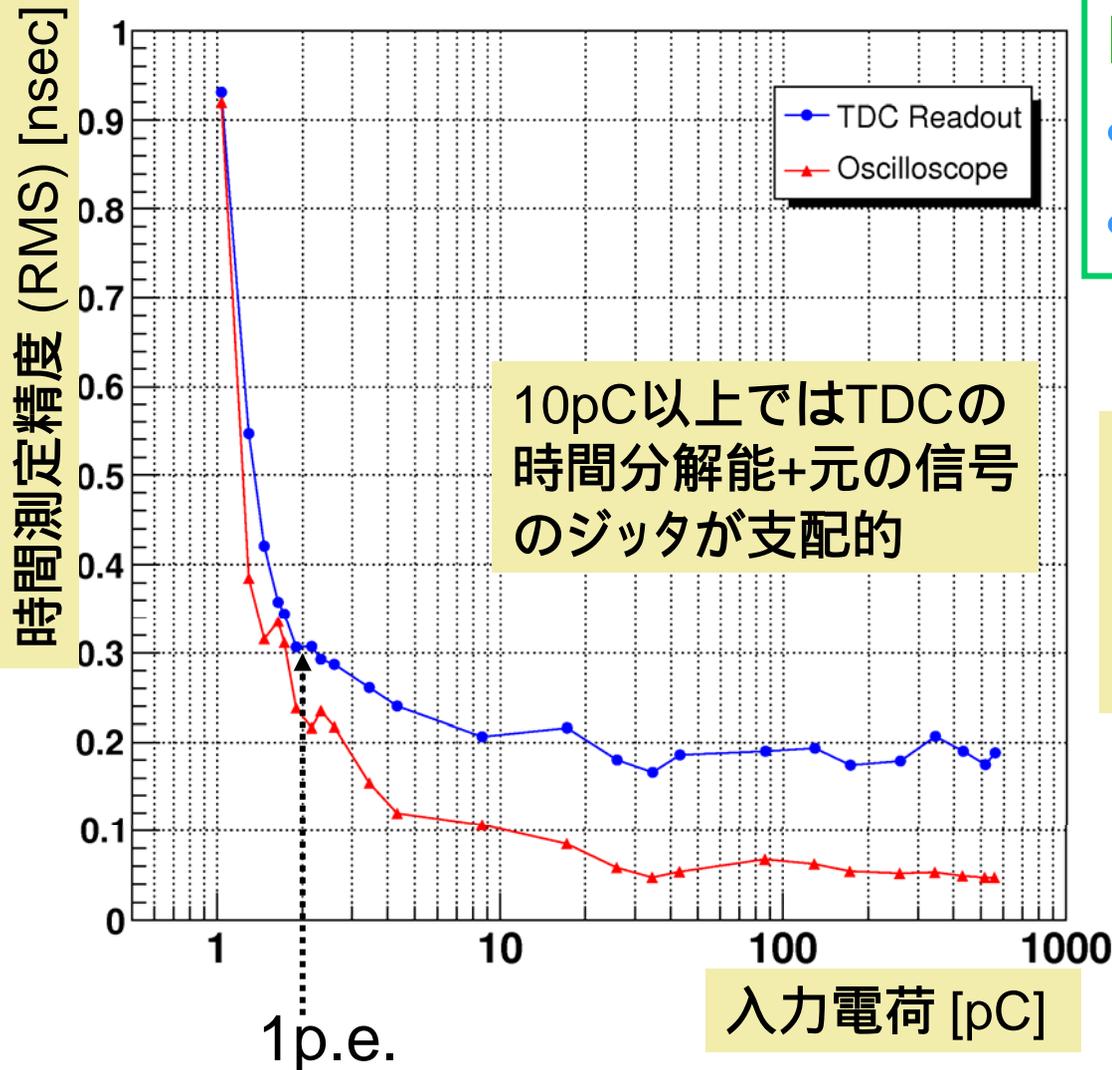
相対精度では...

- Medium、Largeレンジでは  
    <1.6%の相対精度
- 1p.e. (~2pC) の測定でも  
    相対精度は5.5%



要求される性能(RMS~5%)  
をほぼ満たしている

# Timing Resolution (RMS)



## 時間測定精度 (RMS)

- 0.3nsec (@ 1p.e.~2pC)
- 0.2nsec (@ 100pC)



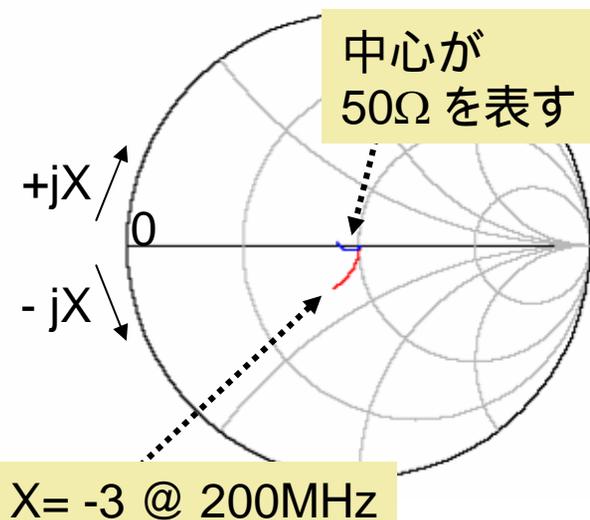
## PMTの時間精度

- 2.8nsec (@ 1p.e ~2pC)
- 0.6nsec (@ 100pC)

PMTの分解能に比べて十分小さい測定精度  
→ 要求される性能を満たしている

# Input Impedance Measurement

Smith chart of S11  
Input impedance ( $R+jX$ )



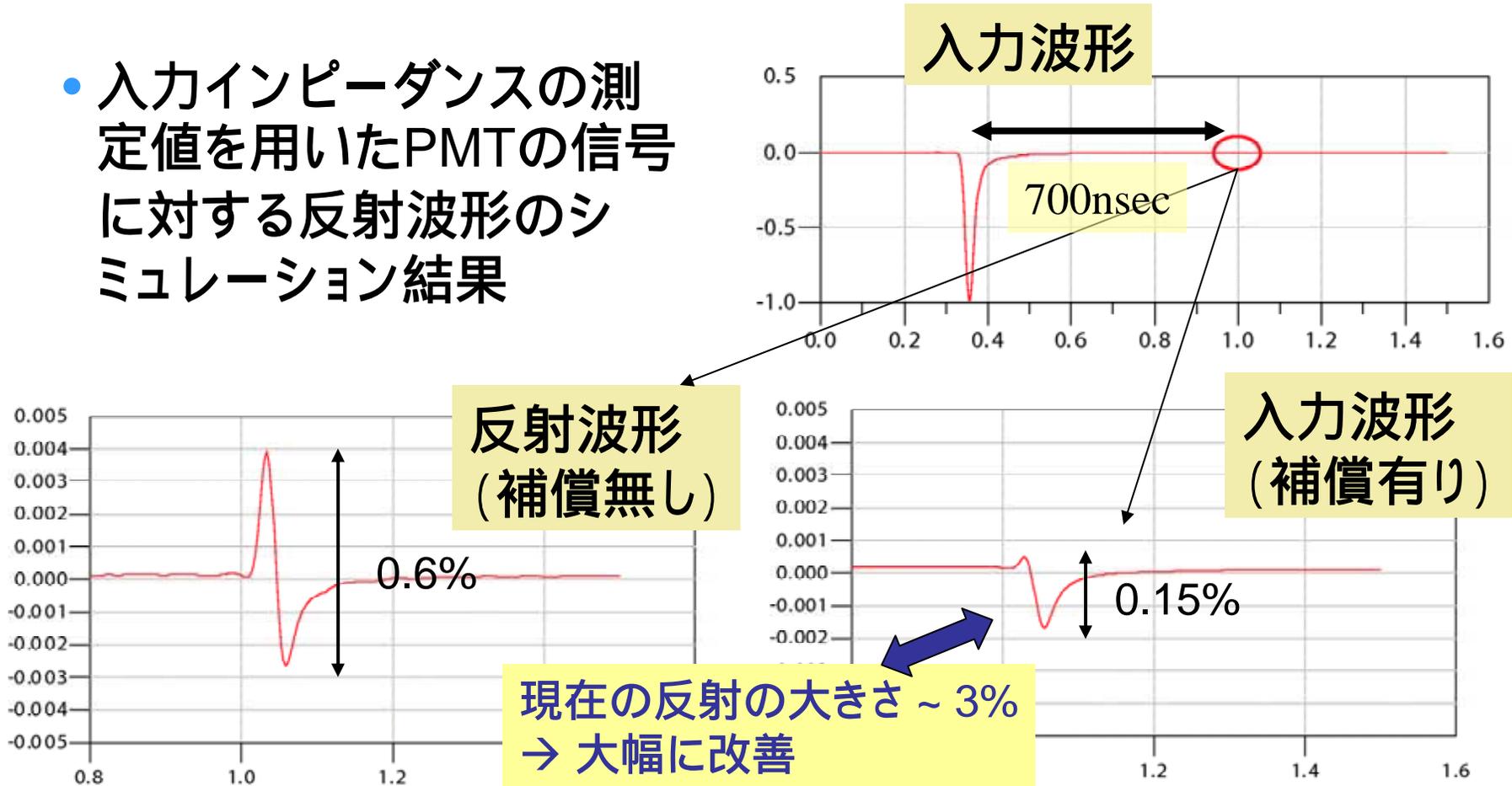
- ネットワークアナライザで  
入力インピーダンスを測定
  - 入力インピーダンスは負の虚数成分を持つ (**赤線部**)
  - 200MHzの信号に対しては虚数成分は約 $-3[\Omega]$ になる
    - 直列インダクタンス(15nH)で補償
    - 補償後のインピーダンスの虚数成分は200MHzまでほぼ0となった (**青線部**)

反射を0.1%に抑えるという要請を満たすことができるか

→ 測定したインピーダンス、入力波形などを元にシミュレーション

# Reflection Simulation

- 入力インピーダンスの測定値を用いたPMTの信号に対する反射波形のシミュレーション結果



(評価基板での)入力インピーダンスはインダクタンスによる補償を行うことでほぼ要請のレベルに達した

# Results of QTC Evaluation

プロトタイプは基本的には意図した通りの動作を実現

- 電荷測定の大ダイナミックレンジ OK
- 電荷測定精度 OK
- PMTより十分良い時間測定精度 OK
- 高速なAD変換 OK
- 高精度のインピーダンス整合 OK
- 低消費電力 OK
- 低ノイズ ディスクリに問題
- キャリブレーションの簡素化 CAL入力の改善

この他にいくつかの問題点が明らかになったため、

以上の改善のために2nd versionを設計し、既に完成 <sup>15</sup>

# Problems with QTC Prototype

## ● 主な問題点

### – 入力頻度依存性

- 前に入力された信号との時間間隔が短いと前の信号の影響を受けてしまう現象が見られた

→ AC結合部などのベースラインのシフトを強制的にリセットする

### – チャンネル間クロストーク

- 他のチャンネルのHIT信号の影響を受けて、信号が入力されていないのにヒットを生じてしまうことが分かった

→ チャンネルごとに電源を分け、さらにグラウンドを強化

### – 微小な信号で動作が止まる

- ディスクリミネータの閾値近くの信号を入力すると動作が全く停止してしまう現象が見られた

→ ディスクリミネータ部のロジックの根本的な見直し

# Summary

- **新データ収集エレクトロニクスの開発**
  - 現在、フロントエンド(ATM)を中心として開発を進めている
  - 新ATMではQTCとTDC (AMT) を用いたAD変換を行う
  - 一つのクロックで全てのATMを動作させる
- **QTCプロトタイプの開発と性能評価**
  - QTCは電荷測定ダイナミックレンジの拡大と高速なAD変換を実現する
  - 開発された最初のプロトタイプはほぼ要請を満たしている
  - 問題の克服のため 2nd version の開発を行った
  - 現在、2nd versionの評価中

# Schedule

	2006	2007	2008	2009
<b>QTC</b> 2nd version 評価				 
<b>ATM</b> 1st プロトタイプ開発				
1st プロトタイプ評価				
2nd プロトタイプ開発?				
大量生産				
インストール				

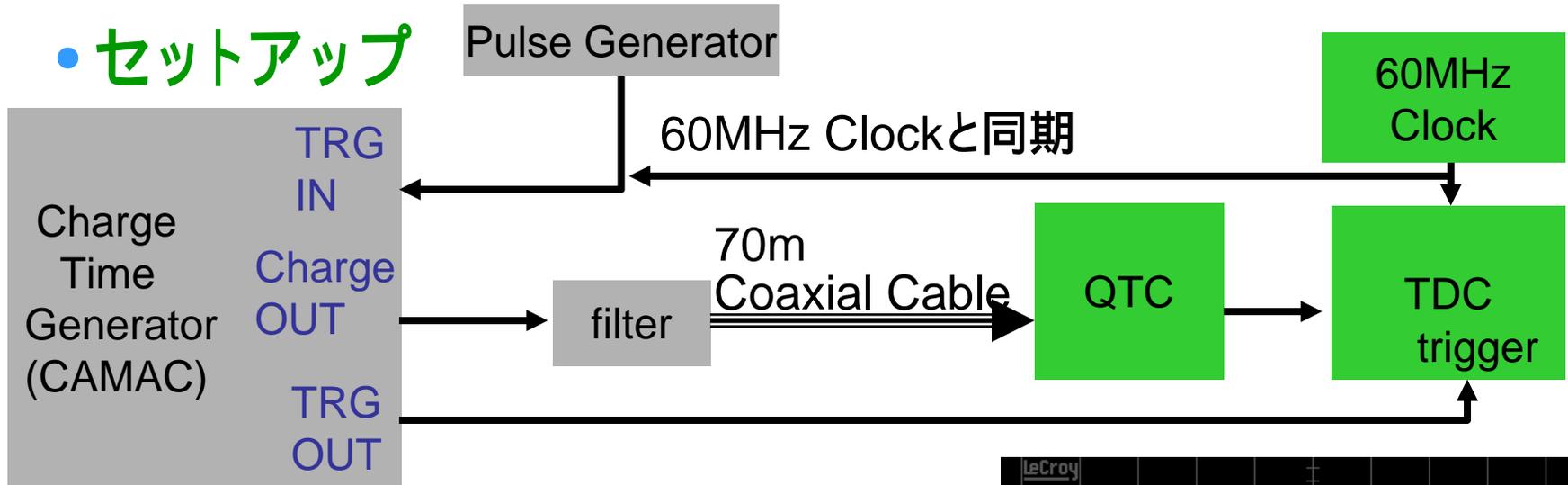
今後はATMプロトタイプの開発を中心に進めていく  
J-PARC ビーム開始前に安定して稼動させる必要

# Supplements

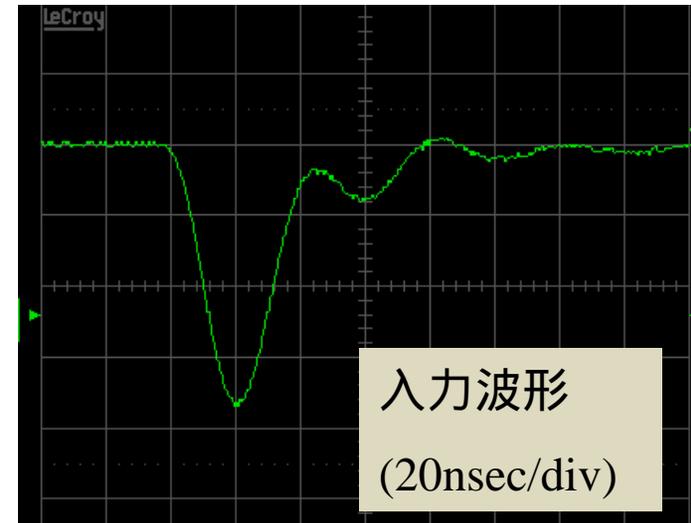


# 電荷・時間測定精度の測定

## • セットアップ

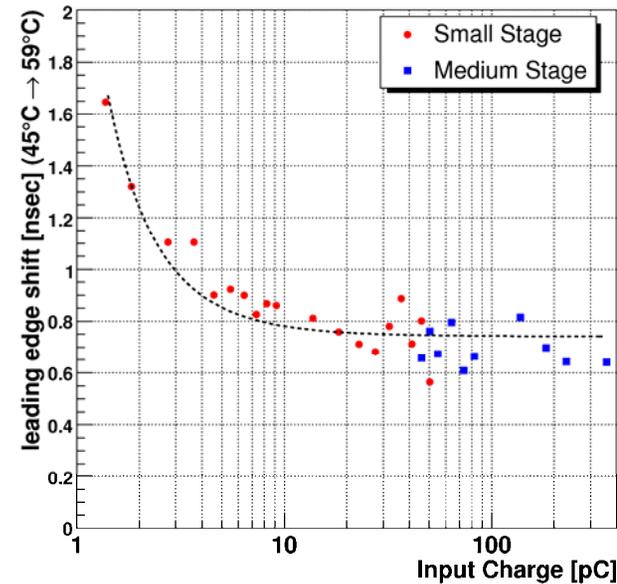
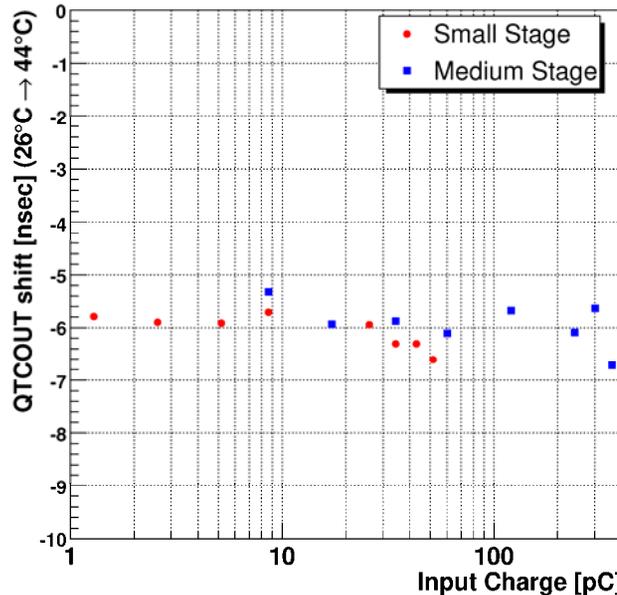


- 信号源はCharge Time Generator (CAMACモジュール)
- 0~600pCまでの較正済み信号
- SKのPMTの信号に比べて立ち上がりが早い  
ため、フィルターと70mの同軸ケーブルで  
なまらせた (→立ち上がり時間 ~20nsec)



# 電源電圧・温度依存性

	T	Q
温度依存性	50psec/	- 0.06pC/
電圧依存性	0.2psec/mV	0.002pC/mV

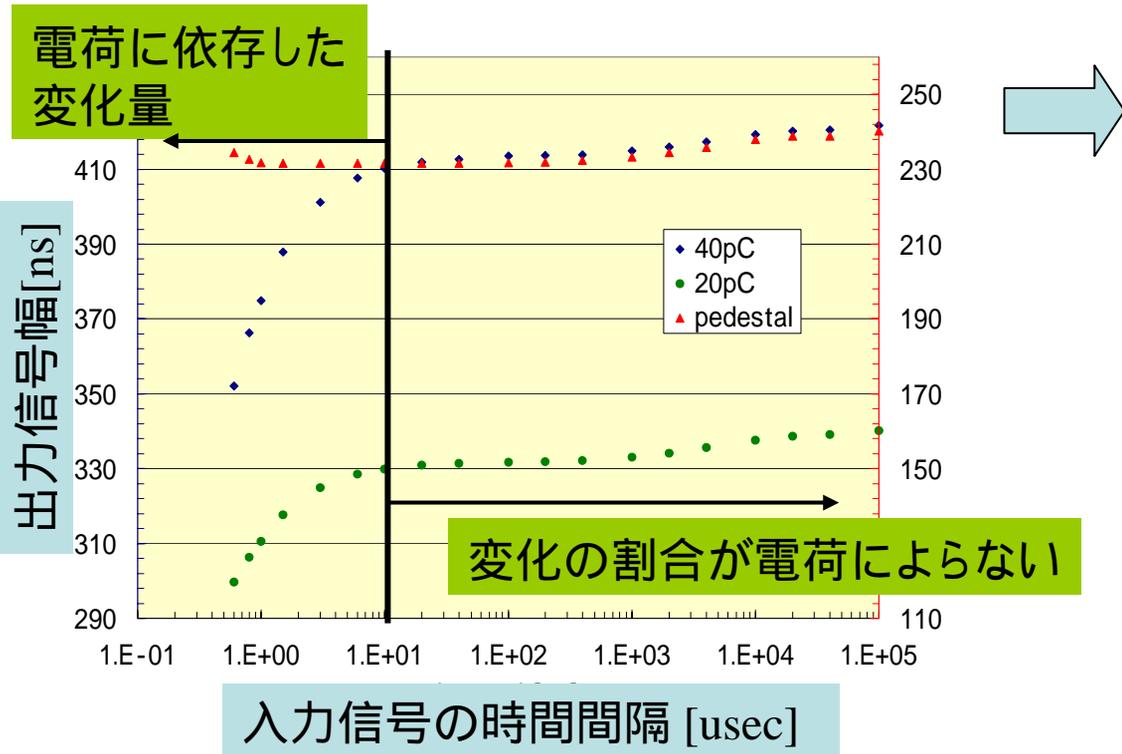


電源電圧依存性は十分小さい  
温度依存性については改善が必要である

# 入力頻度依存性

- 大きな信号の入力が後続の信号に影響を与えることは無いだろうか

→ 入力信号の間隔による依存性を確かめる



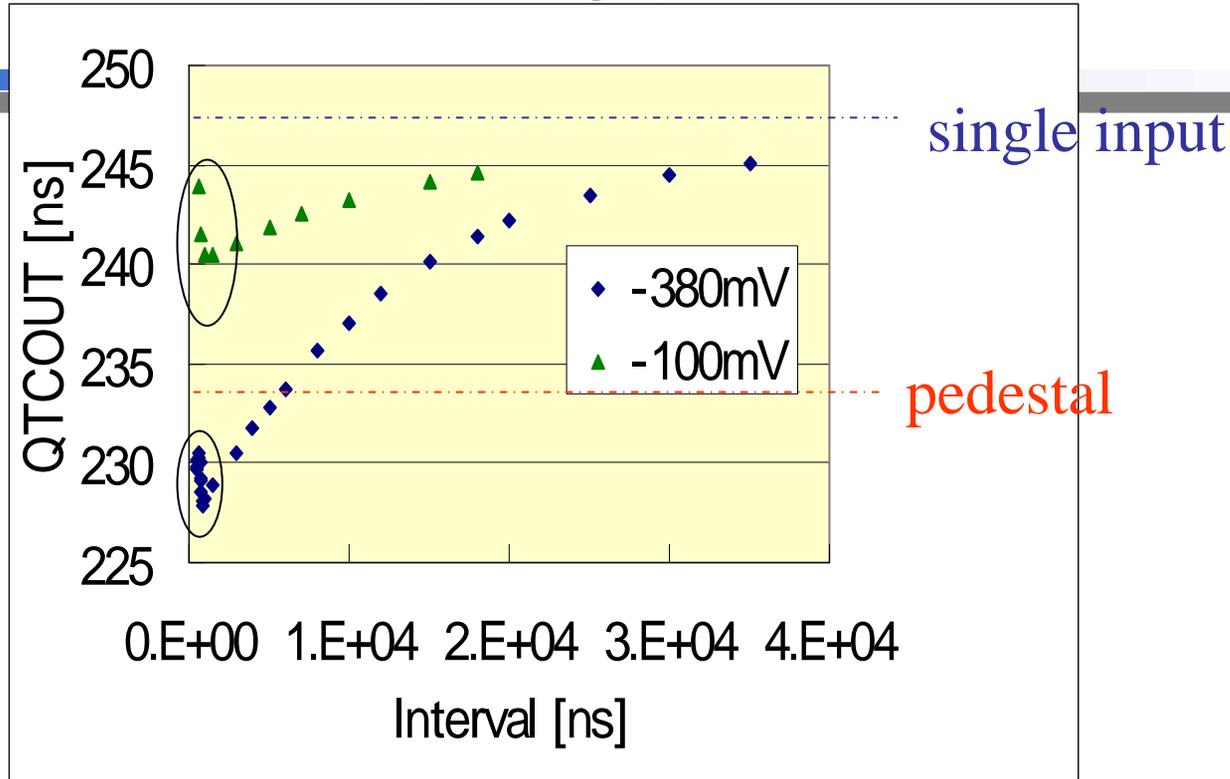
明らかに出力信号幅が入力の頻度に依存している

→ 対策が必要

ただし、問題点は明らかなので、次期設計で対応

- 内部のAC結合
- 電荷積分信号のリセット後のベースラインシフト

# AC coupling problem



- = 12usec → QTC内部のhigh pass filter ( $R=500k$ ,  $C=20p$ )で理解できる  
→ 前のパルスから60usec以上たてば、その影響は1%以下になるはず
- saturationを起こすような振幅でも振幅が大きくなるほど影響は大きくなっている
- 時間間隔が1usec以内のときはまた別の傾向を持つ ← pedestalがrateによって変わった領域、傾向と似ている
- Hit自体は100%、ただし、間隔を650 ( $\pm 50$ nsec)nsecにしたときには5%程度Hitも出ない事象があった