
Belle II実験におけるAerogel RICH用 読み出しシステムの現状

首都大学東京

吉田圭佑

2014年12月10日

Flavor Physics Workshop 2014

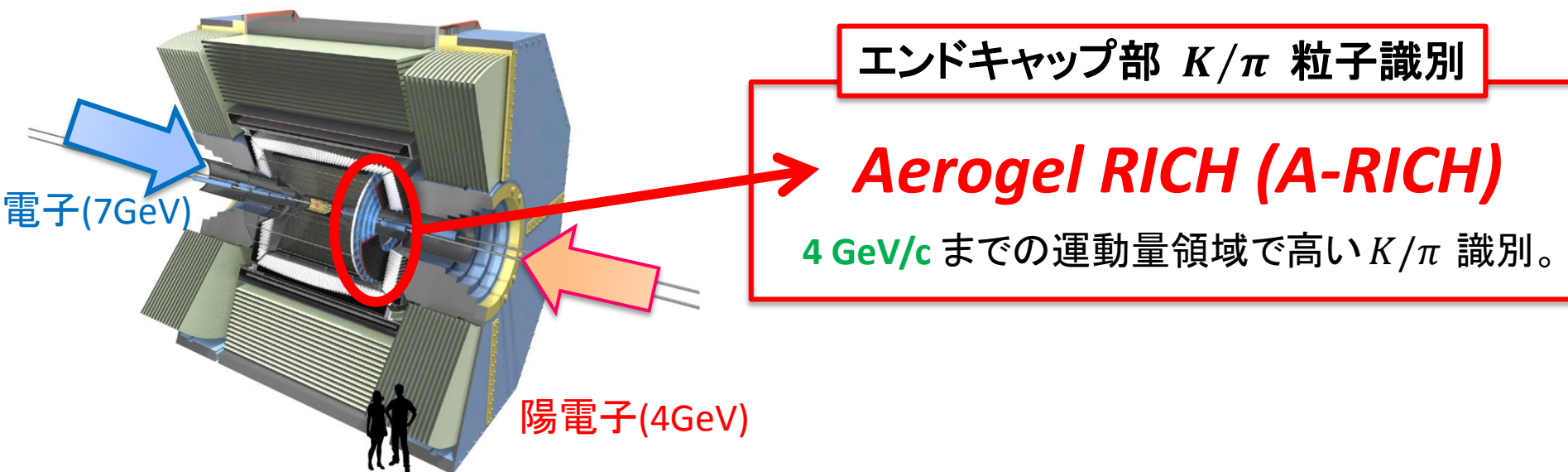
もくじ

- Belle II Aerogel RICH
 - 光検出器
 - 読み出しシステム
- 読み出しASIC & 量産
- 検査システム
- まとめ

Belle II実験 Aerogel RICH

- Belle II実験

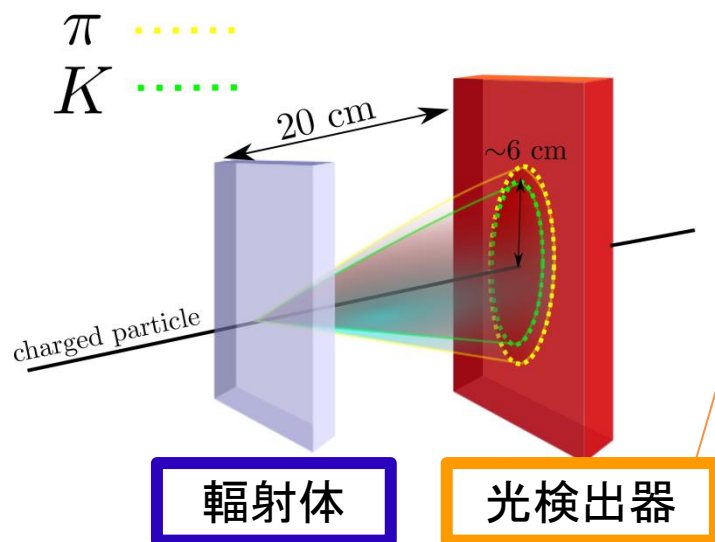
- Belle 実験をアップグレード。
- SuperKEKB加速器 / Belle II測定器 : Bファクトリー実験
- 小林・益川行列の精密測定、新物理の検証などを行う。



Aerogel RICH

RICH : **R**ing **I**maging **Ch**erenkov counter

検出原理



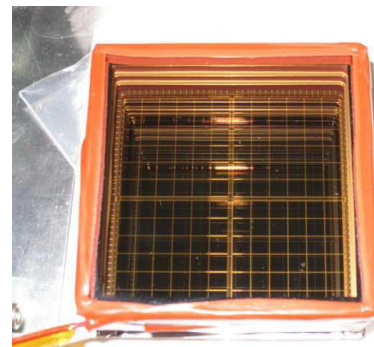
輻射体で発生したチェレンコフ光を
光検出器でリングイメージとして観測。
→ 放射角 θ から粒子(質量 m)を決定。

$$m = p \sqrt{n^2 \cos^2 \theta - 1}$$

m : 粒子質量
 p : 運動量
 n : 屈折率
 θ : 放射角

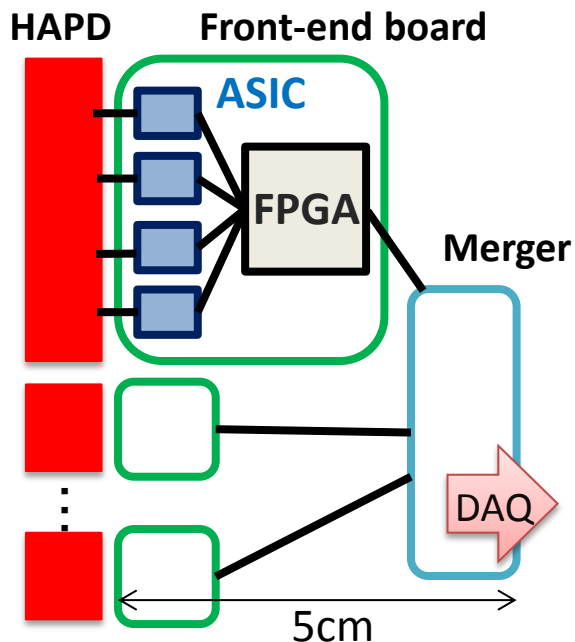
光検出器としてマルチアノード型 HAPD
(Hybrid Avalanche Photo Detector) を採用。

1トラックあたり10個程度の光電子ができる。
→ 1光子を検出し、その位置を測る。



- 浜松ホトニクス(株) と共同で開発。
- サイズ: $73 \times 73 \text{ mm}^2$
- チャンネル数: 144
- 1ピクセル: $5 \times 5 \text{ mm}^2$
- 総増幅率: $\sim 10^5$
- 高磁場中でも動作可能。
- 検出器容量: 80pF

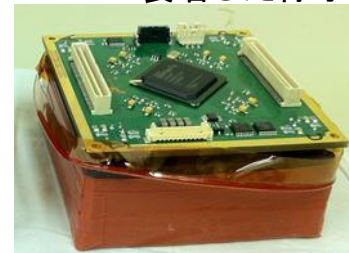
A-RICH の読み出しシステム



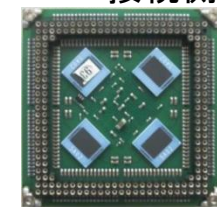
Front-end board

- 1機のHAPDを読むため4つのASICを搭載。
- ヒットデータの読み出しやASIC制御のためのFPGAを搭載。

HAPDに装着した様子



HAPD接続側

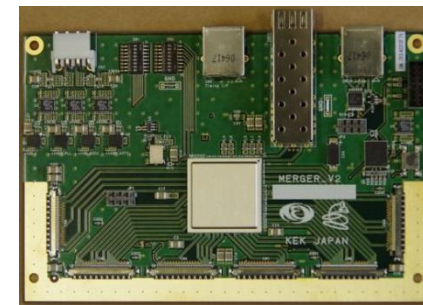


Merger

- 5～6 FE boardのデータを結合・圧縮しDAQに送る。

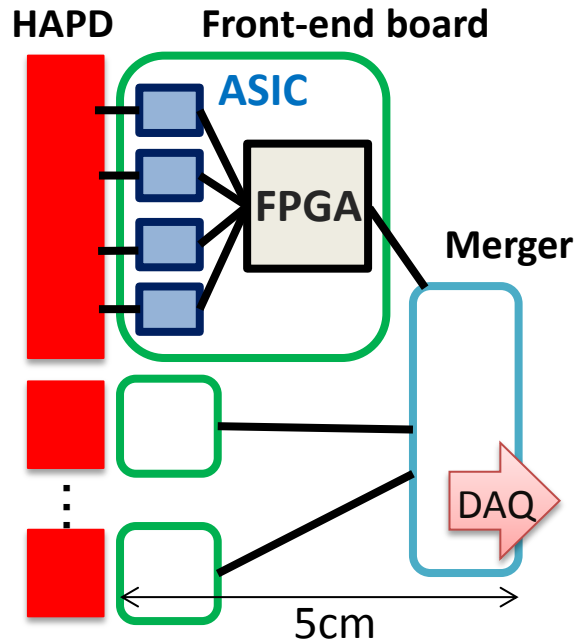
開発状況

- Front-end board
 - 現在は量産準備中。
- Merger
 - 要求性能を満たし、通信テストも成功。
現在量産に向け準備中。



150 × 100 mm

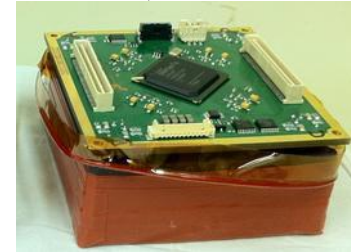
A-RICH の読み出しシステム



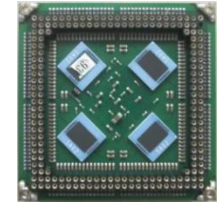
Front-end board

- 1機のHAPDを読むため4つのASICを搭載。
- ヒットデータの読み出しやASIC制御のためのFPGAを搭載。

HAPDに装着した様子



HAPD接続側

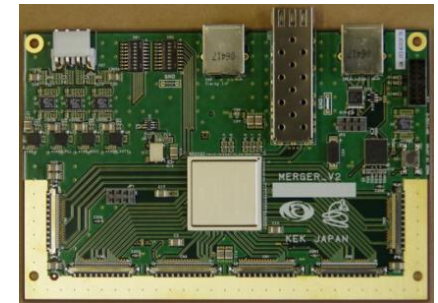


Merger

- 5～6 FE boardのデータを結合・圧縮しDAQに送る。

読み出しに求められる性能

- ◆ 限られたスペースで設置。→ **小型化・高集積化。**
- ◆ 420個のHAPD約6万チャンネルの一括読み出し。
→ **多チャンネル読み出し。**
- ◆ HAPDが1光子を検出。
→ **高増幅率、低雑音の増幅機能。**

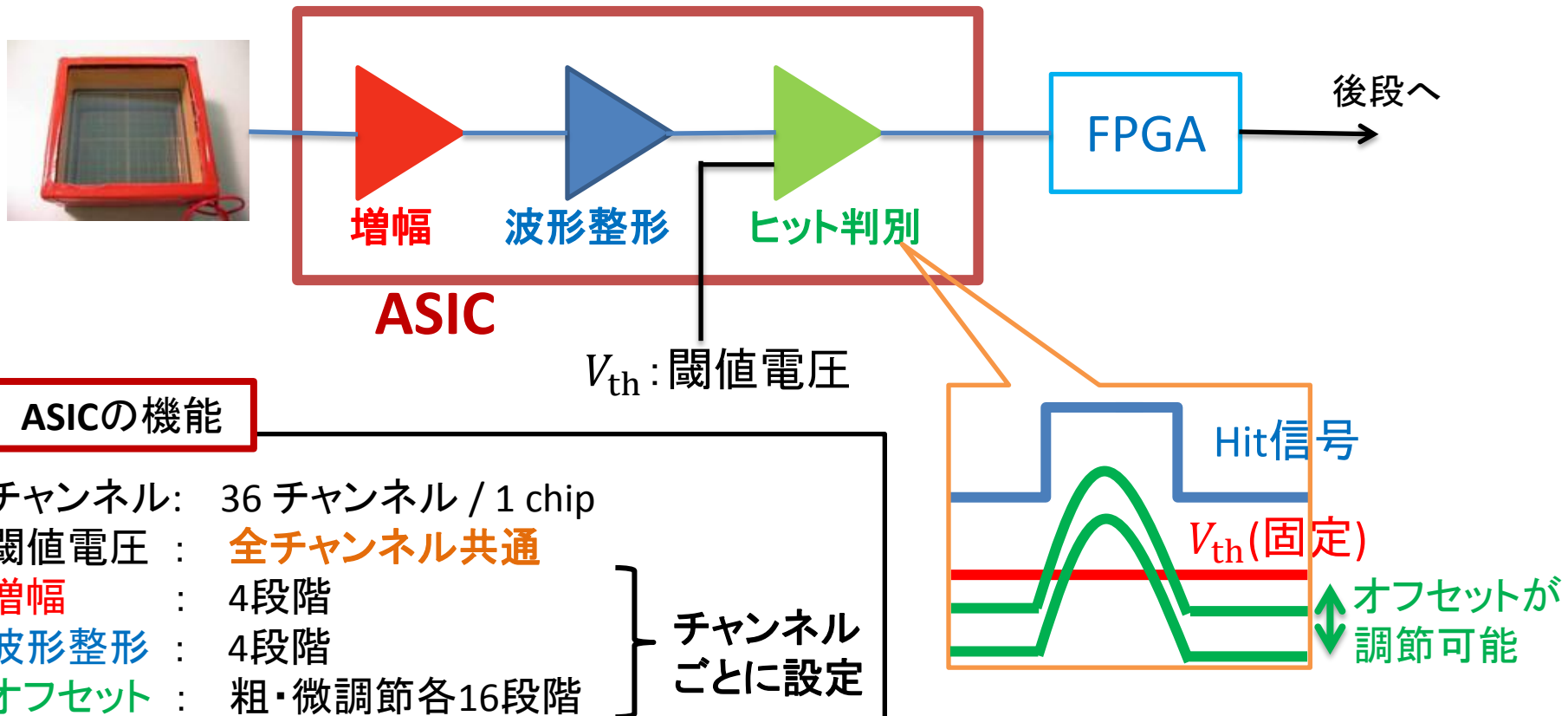


150 × 100 mm

ASIC での信号処理

A-RICH 専用ASIC:

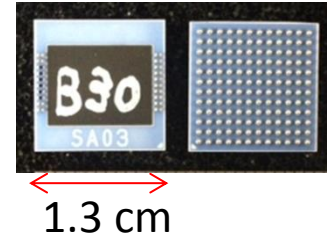
HAPDからのアナログ信号処理を行い、信号の有無を出力する。



ASIC 量産 と 検査システムの開発

ASICの量産

- 2520個の量産完了
→ 1680個を実機で使用。



量産用パッケージ
左: 表、右: 裏

- 『検査システム』を構築し量産に向けた体制(ハードウェア・ソフトウェア)作りを行った。
- 検査システムを通し量産版ASIC 2520個を検査し、実機で使用する1680個を選定。

検査システム 概要

1ボードで同時に6個のASICの測定が可能。

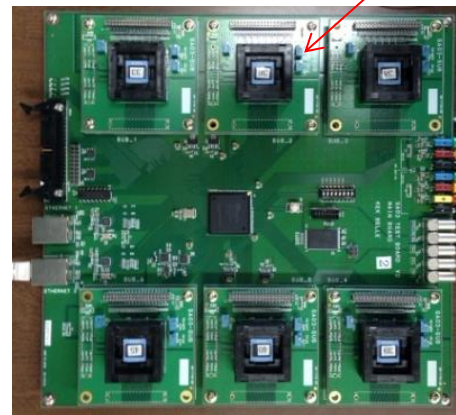
検査項目

- 増幅率の線形性
- オフセット調節機能

ヒットデータ取得

SiTCP

パラメータ設定



各種電源

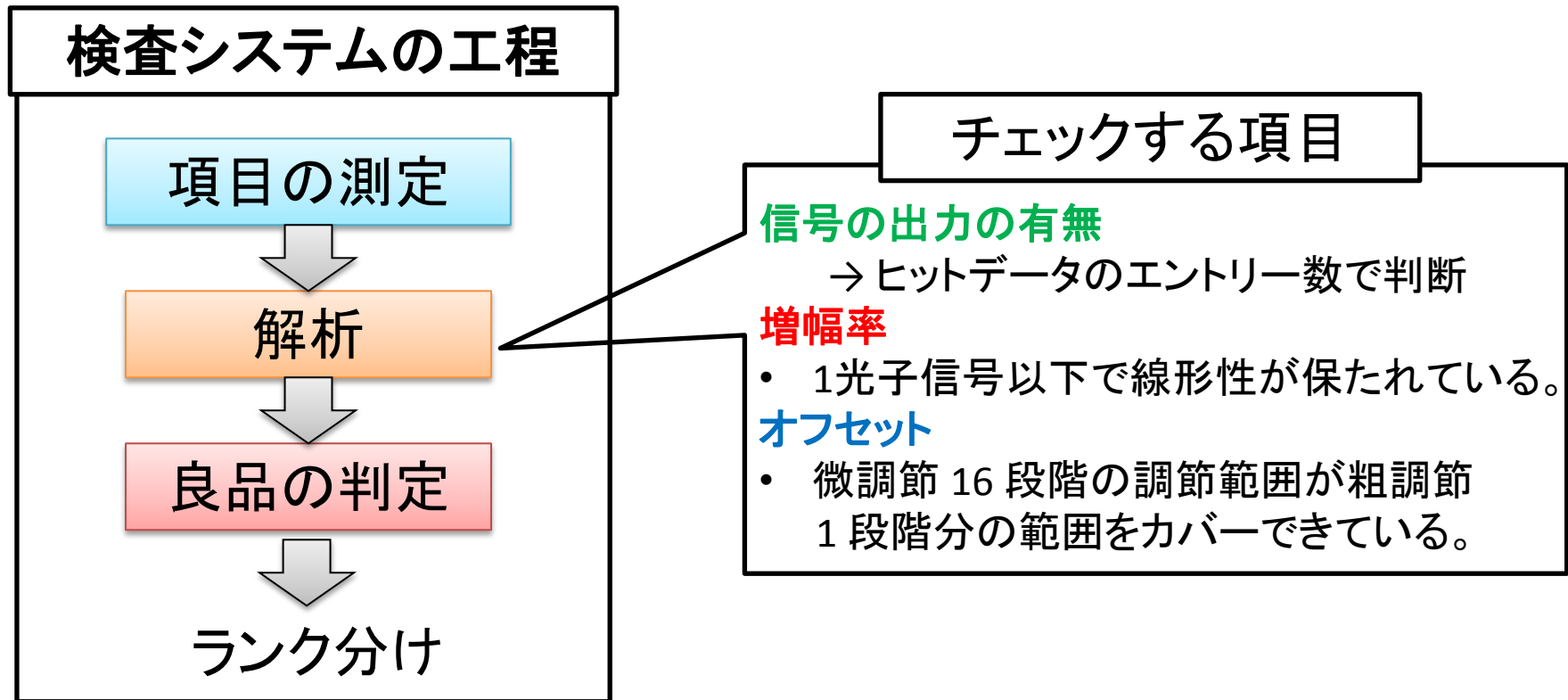
テスト
パルス

ファンクション
ジェネレータ

クロック
1kHz



検査システム



量産品測定は8月から開始。
本講演では全**2520個**の増幅機能、オフセット調節機能の測定結果を報告。

増幅率の線形性

測定方法

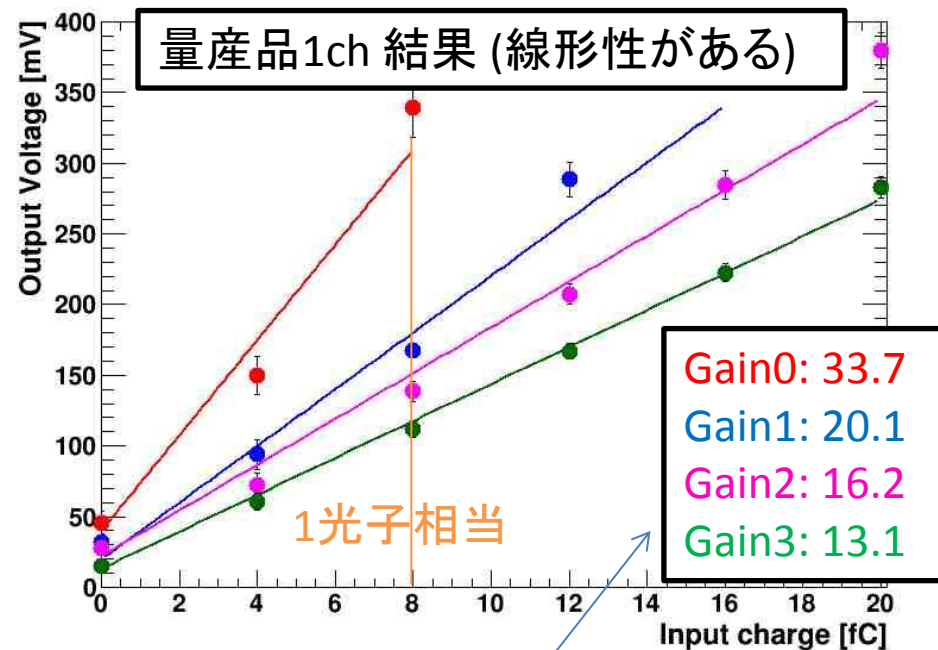
- テストパルスから信号を入力。ヒットデータから入力電荷量とアナログ波形の波高値の関係を求め、その傾きから増幅率を算出した。

増幅率の定義

$$V_{out} / Q_{in} \text{ [mV/fC]}$$

チェックする項目

- 1 光子シグナル以下で線形性が保たれているか。



4段階の各増幅率の値。

増幅率の線形性

測定方法

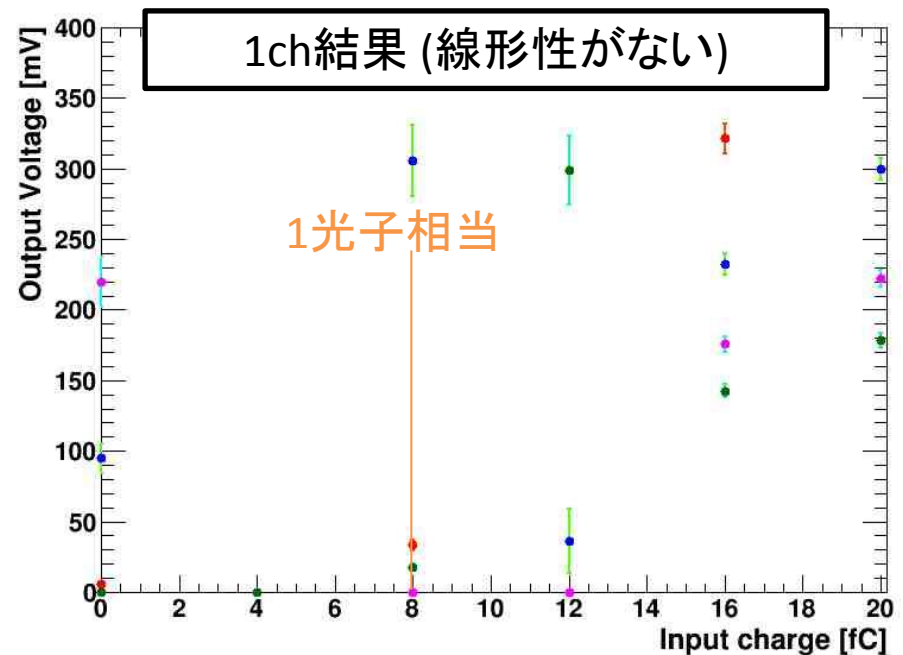
- テストパルスから信号を入力。ヒットデータから入力電荷量とアナログ波形の波高値の関係を求め、その傾きから増幅率を算出した。

増幅率の定義

$$V_{out} / Q_{in} \text{ [mV/fC]}$$

チェックする項目

- 1 光子シグナル以下で線形性が保たれているか。

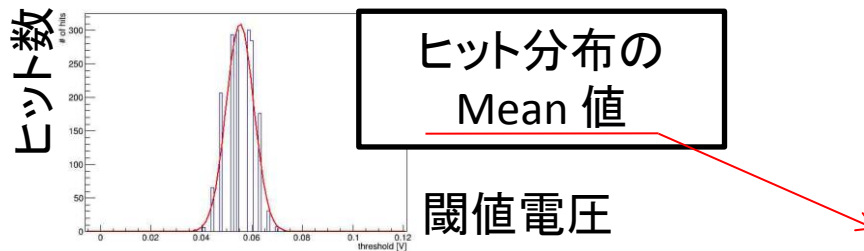


→ 全2520個中、4個のASICでこの症状が見つかった。

オフセット調節機能

測定方法

- HAPD (Bias印加時) 検出器容量相当の疑似容量(80pF)を接続し測定。
そのヒット分布から微・粗調節各16段階のオフセットを算出した。

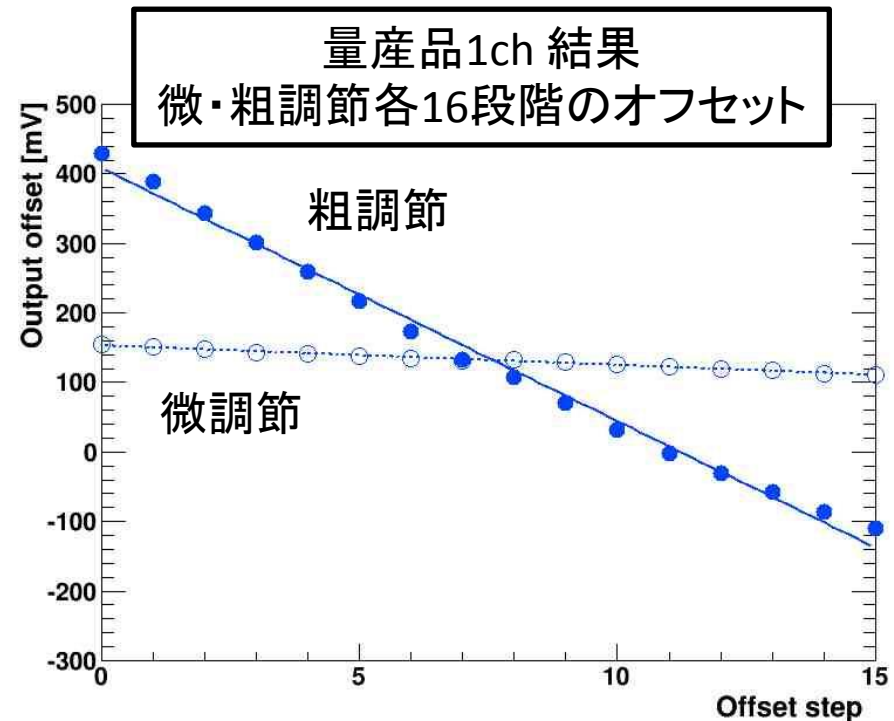


チェックする項目

微調節 16 段階の調節範囲が粗調節
1 段階分の範囲をカバーできているか。



微調節の傾き $\times 16 >$ 粗調節の傾き



結果

チェックした項目

信号の出力の有無

→ ヒットデータのエントリー数で判断

増幅率

- 1光子信号以下で線形性が保たれているか。

オフセット

- 微調節 16 段階の調節範囲が粗調節 1 段階分の範囲をカバーできているか。

	# of ASICs
機能に 問題ない	全ch問題なし
	1つ不良chを含む
	2つ不良chを含む
	3つ~不良chを含む
要再測定*	
全ch 不良	
合計	

*テストボードとの接触不良が確認されたチップ

全チャンネルで機能に問題なかったチップは量産した2,520個中 **1,885個 (74.8%)** だった。

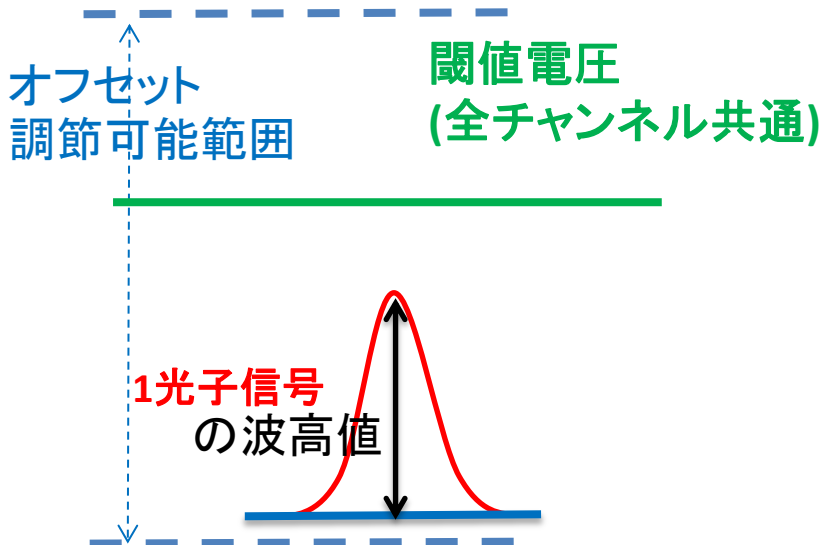


チャンネル毎の 増幅率(4段階)・オフセットレベル(粗・微16段階)の値を用い良品の選定を行った。

良品の判定

判定で使用了項目	内容等	値 [単位]
HAPD 総増幅率	HV印加時の量産版 HAPD 30個 の平均	58,000 e^-
ノイズ量	中性照射後 HAPD + ASIC の ノイズ量	8,000 e^-
ASIC 増幅率	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (4段階)	G [mV/fC]
オフセットレベル	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (粗16段階)	V_{offset} [mV]

良品の条件

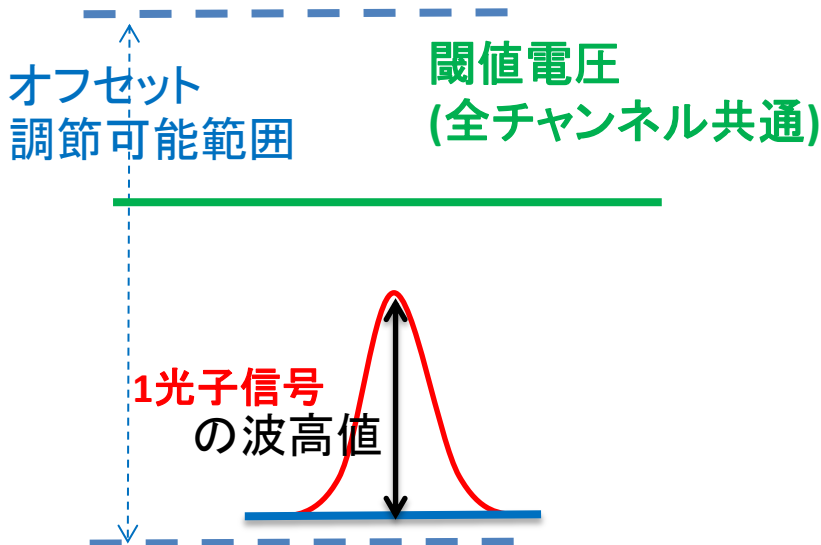


- ① 1光子信号の波高値が閾値電圧以上になる
オフセットに調節が可能。

良品の判定

判定で使用した項目	内容等	値 [単位]
HAPD 総増幅率	HV印加時の量産版 HAPD 30個 の平均	58,000 e^-
ノイズ量	中性照射後 HAPD + ASIC の ノイズ量	8,000 e^-
ASIC 増幅率	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (4段階)	G [mV/fC]
オフセットレベル	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (粗16段階)	V_{offset} [mV]

良品の条件

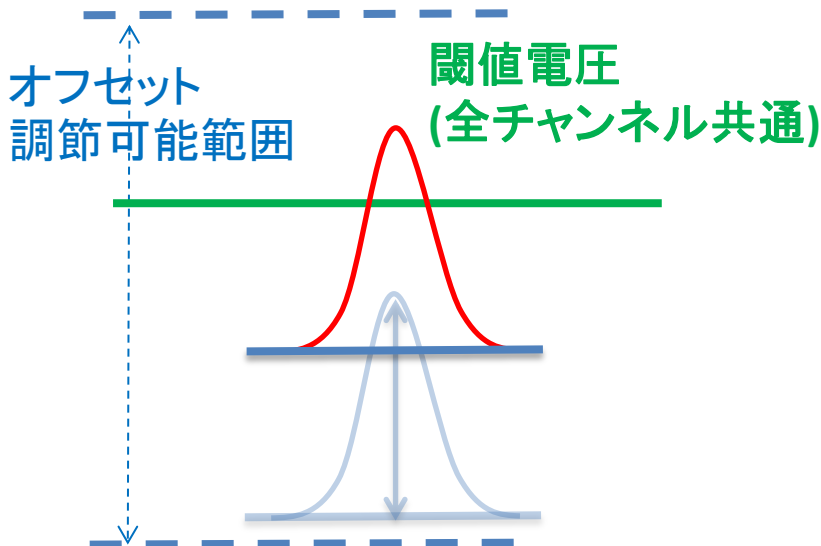


- ① 1光子信号の波高値が閾値電圧以上になる
オフセットに調節が可能。
 - I. ch 毎の1光子信号の波高値を求める。

良品の判定

判定で使用了項目	内容等	値 [単位]
HAPD 総増幅率	HV印加時の量産版HAPD 30個 の平均	58,000 e^-
ノイズ量	中性照射後 HAPD + ASIC の ノイズ量	8,000 e^-
ASIC 増幅率	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (4段階)	G [mV/fC]
オフセットレベル	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (粗16段階)	V_{offset} [mV]

良品の条件

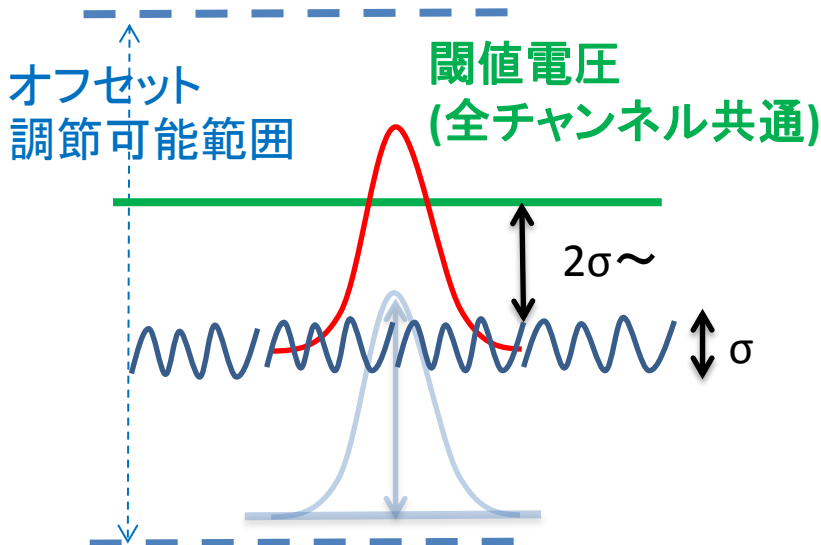


- ① 1光子信号の波高値が閾値電圧以上になるオフセットに調節が可能。
 - I. ch 毎の1光子信号の波高値を求める。
 - II. オフセットを変えていき(粗16段階)、1光子信号の波高値が閾値電圧を超えるオフセットレベルを探す。
 - III. 閾値を変え、I,II を調べる。

良品の判定

判定で使した項目	内容等	値 [単位]
HAPD 総増幅率	HV印加時の量産版HAPD 30個 の平均	58,000 e^-
ノイズ量	中性照射後 HAPD + ASIC の ノイズ量	8,000 e^-
ASIC 増幅率	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (4段階)	G [mV/fC]
オフセットレベル	ASIC のチャンネル毎の増幅率 (粗16段階)	V_{offset} [mV]

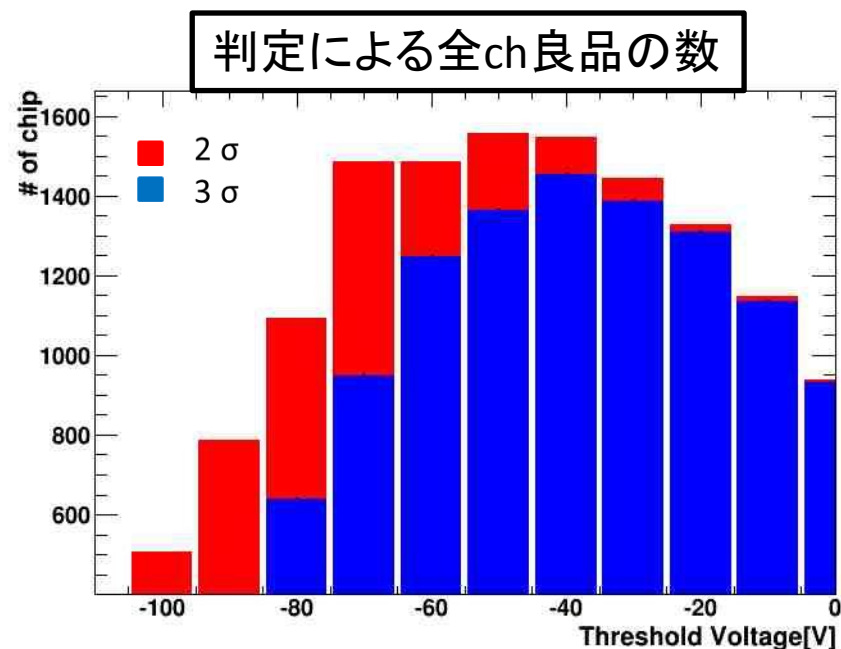
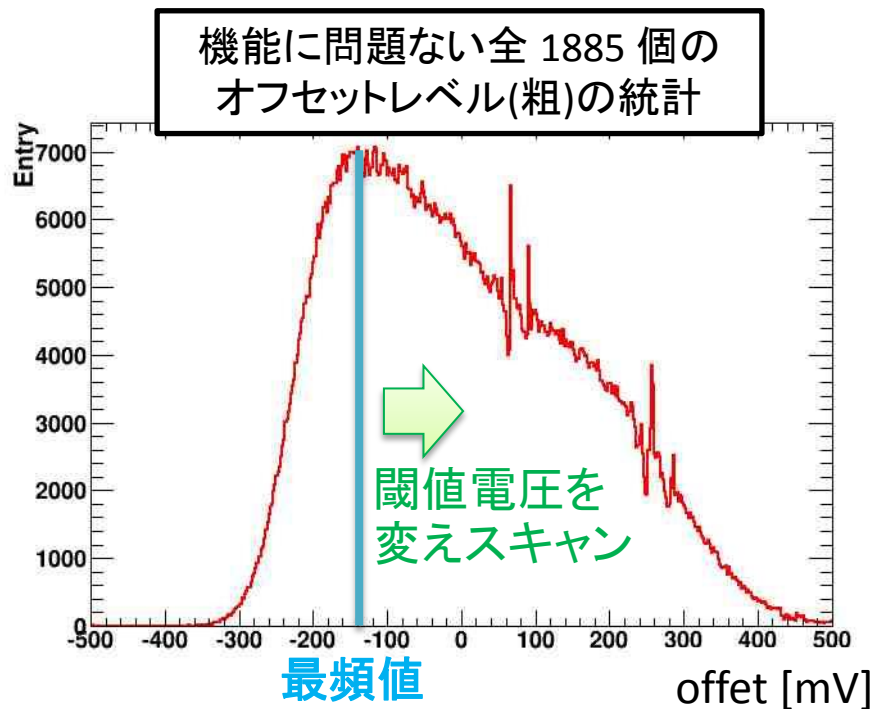
良品の条件



- ① 1光子信号の波高値が閾値電圧以上になる
オフセットに調節が可能。
 - I. ch 毎の1光子信号の波高値を求める。
 - II. オフセットを変えていき(粗16段階)、1光子信号の波高値が閾値電圧を超える
オフセットレベルを探す。
 - III. 閾値を変え、I,II を調べる。
- ② オフセットからノイズ波高値の2倍以上の位置に閾値を設定できる。

結果

すべてのチップ(すべてのチャンネル)で閾値を共通にした場合で判定を行った。



オフセットからノイズ波高値の2倍の位置に -50 mVの閾値電圧を設定した場合で **1578 個**の全ch良品を得ることができた。

→ HAPDのdead チャンネルとASIC 不良チャンネルを組み合わせるなど対策を行う必要がある。

まとめ

- Belle II Aerogel RICHでは1680個のASICを使用予定。
- 2520個を量産完了。
 - その中から良品の選定が必要。
- 検査システムを構築し、量産品の性能評価を行った。
- 量産品全2520個を測定終了。測定項目は増幅率の線形性、オフセット調節機能。測定結果から良品を選定。

→ 今回の解析結果では 1578個 が全チャンネル良品。

HAPDのdead チャンネルとASIC 不良チャンネルを組み合わせるといった対策を行う必要がある。

バックアップ

K/π 識別の重要性

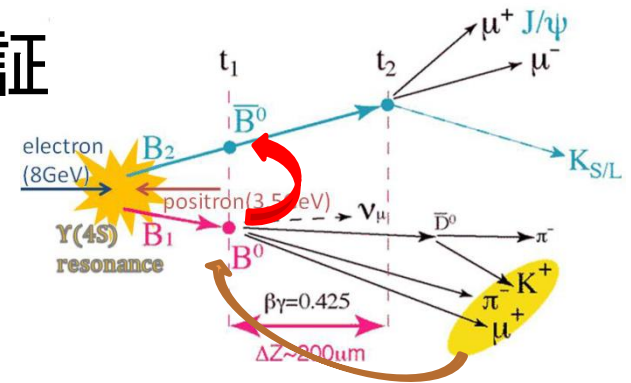
- 物理的な役割

- B 中間子系でのCP非保存の検証

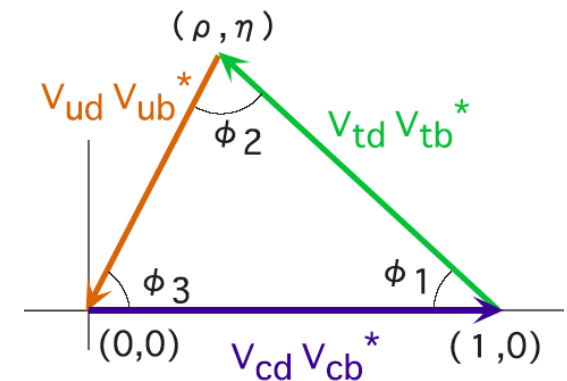
- Flavor tag (B^0 なの? $\bar{B}^0$ なの?)

→ e.g. ハドロンタグ($b \rightarrow c \rightarrow s$)

- 小林益川行列の精密測定



目的	崩壊モード	運動量 [GeV/c]
フレーバータグ	$b \rightarrow c \rightarrow s$	$0.2 < p < 1.5$
Φ_2	$B \rightarrow \pi \pi$	$3.4 < p < 4.1$
Φ_3	$B \rightarrow D K$	$2.8 < p < 3.4$

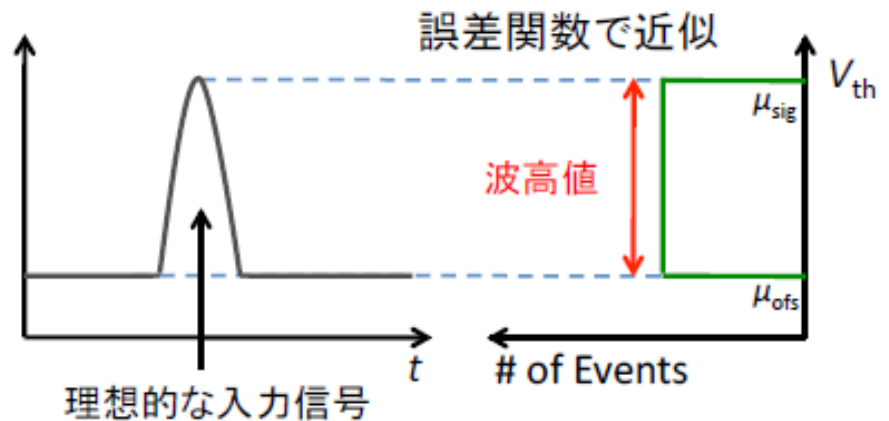
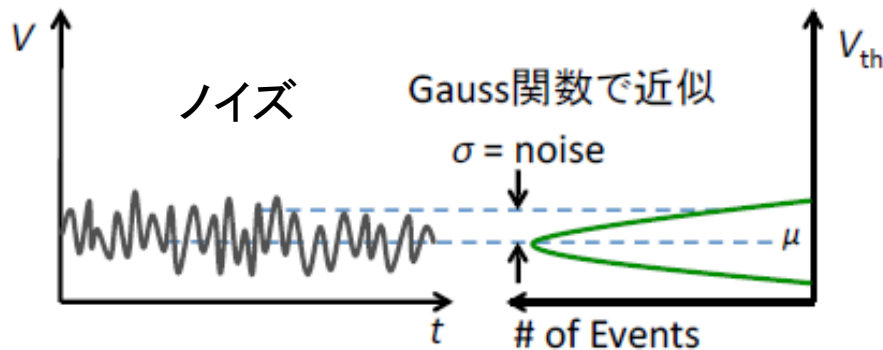
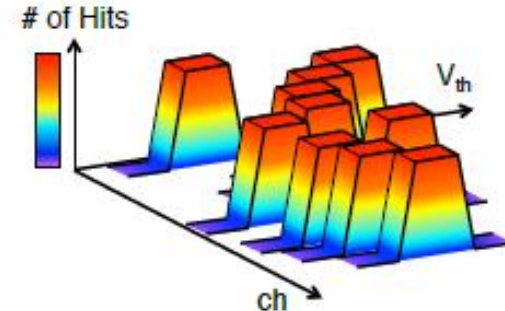


CKM行列のパラメータ (ρ, η) を複素平面上書いたもの

Threshold scan

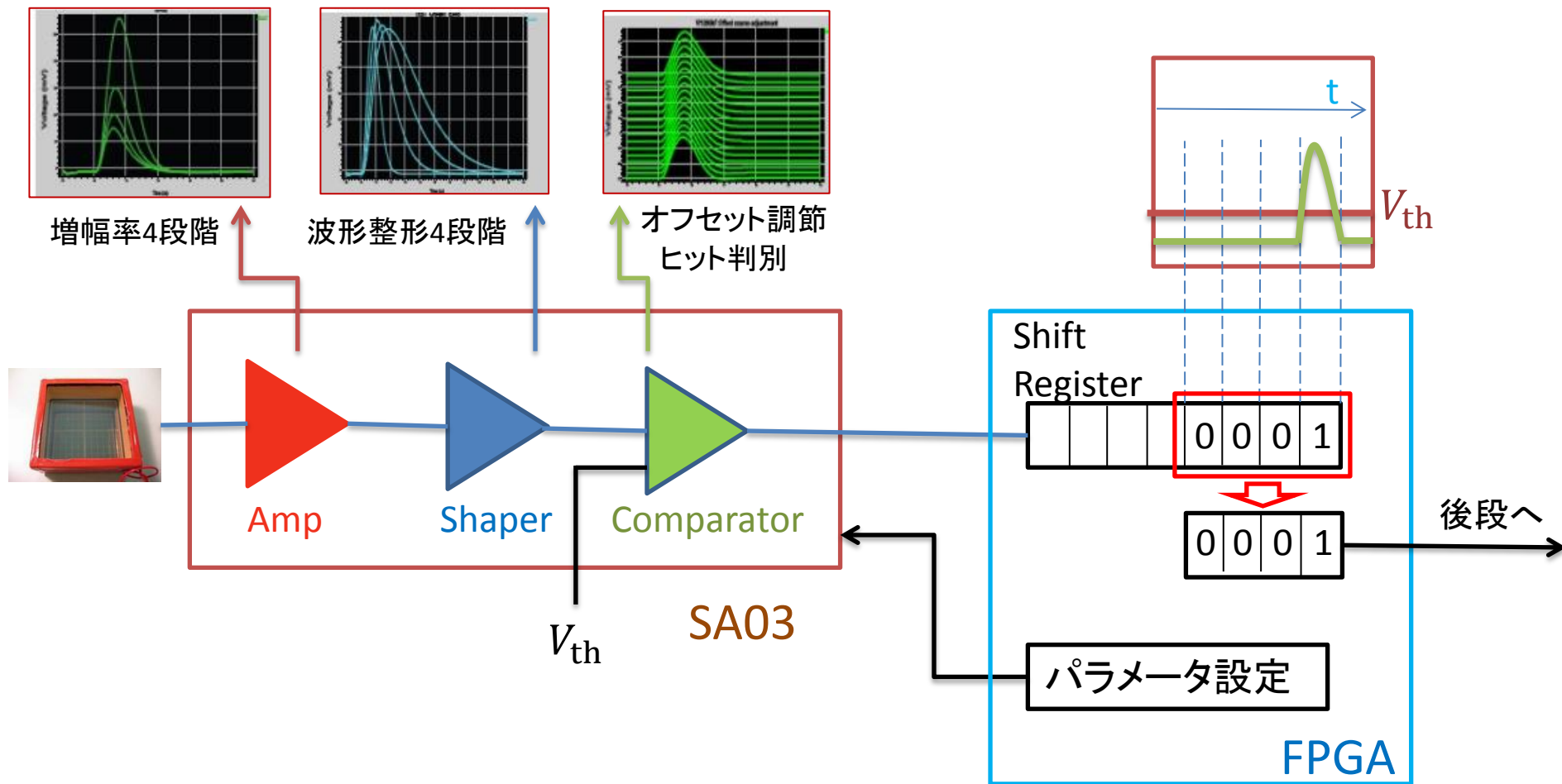
デジタルな情報からアナログ信号の情報を得る方法

- ある閾値電圧(V_{th})でのヒット率を測定
- 順次 V_{th} を変化させる
=> V_{th} あたりのヒット数のヒストグラムを得る



- ガウス関数でフィットした時の 1σ => **ノイズ**
- ガウス関数の中心値 => **オフセット**
- テストパルスの波高値を変え、入力電荷量と出力電圧の関係をプロット => **増幅率**

デジタル信号処理：FPGA



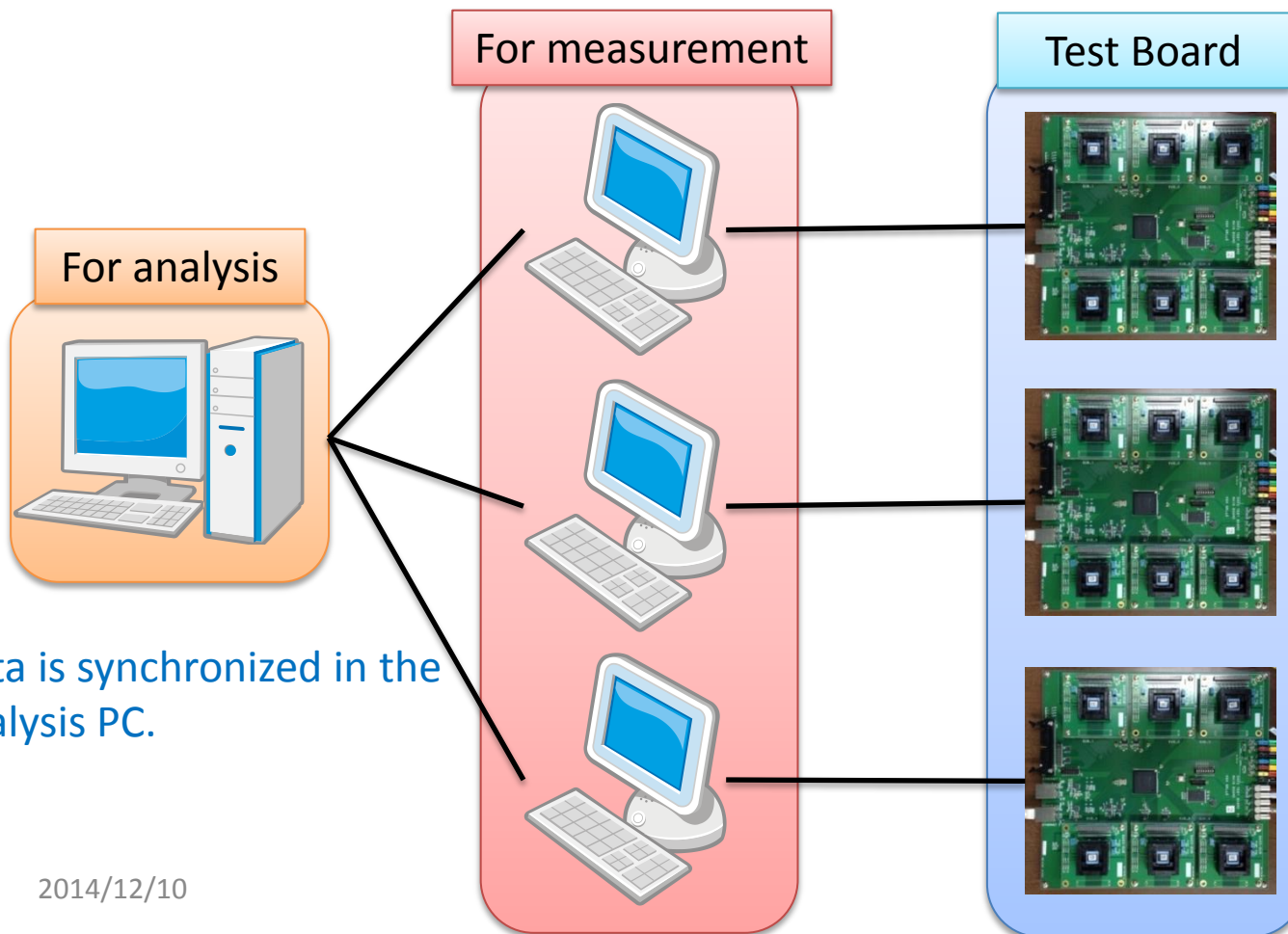
Measurement environment

It was planned to carry out the control of multiple boards by using single PC.

-> There is a communication problem at the time of data acquisition(using RBCP ?)

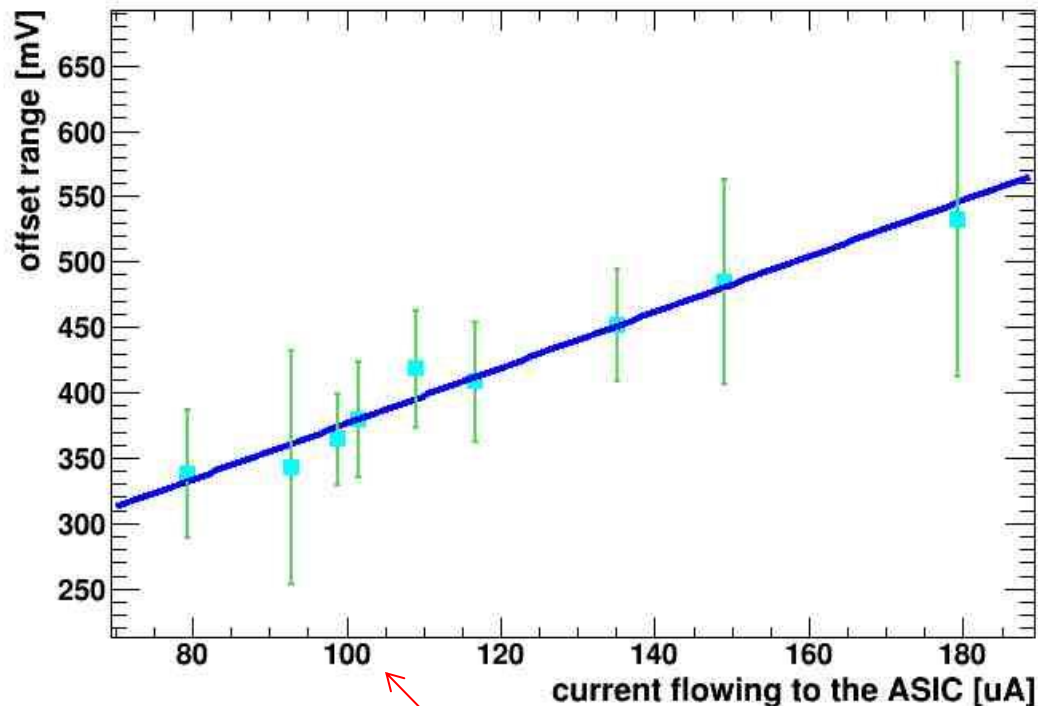
So, I perform the measurements in **one board for a single PC**.

There is no problem if set up as follows.



Measurement item : offset level

- The offset can change the value by adjusting the current flowing in the circuit.



low current value

- Offset range is narrow

- Adjustment is fine

fix

Increasing the current value

- Offset range is spread

- Adjustment is rough

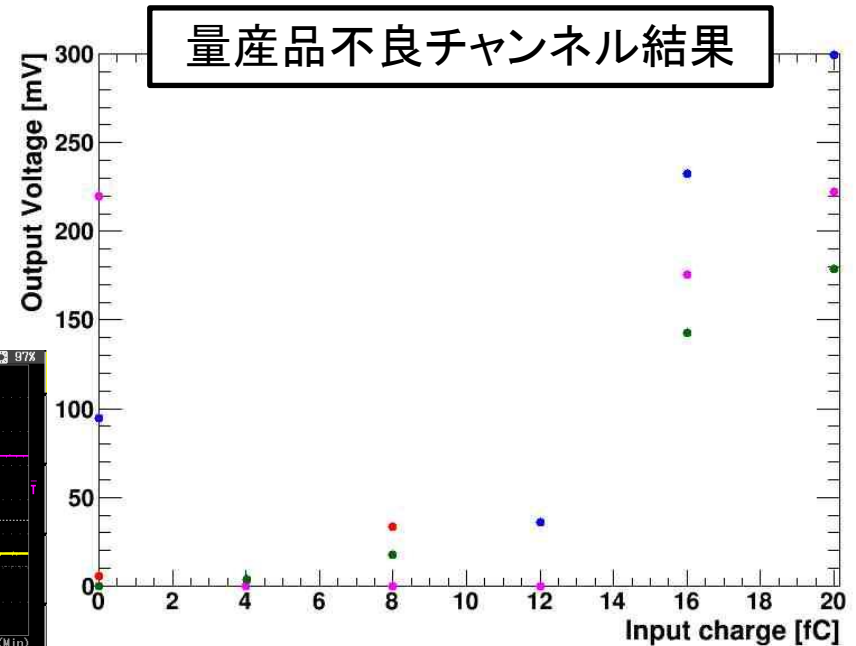
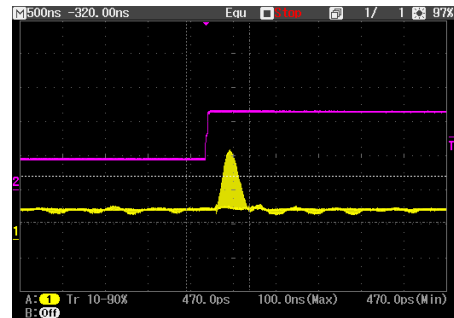
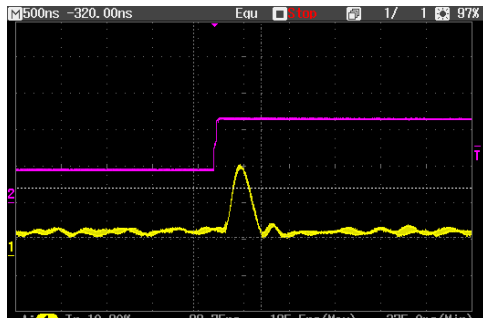
増幅率の線形性

測定方法

- テストパルスから信号を入力。ヒットデータから入力電荷量とアナログ波形の波高値の関係を求め、その傾きから増幅率を算出した。

増幅率の定義

$$V_{out} / Q_{in} \text{ [mV/fC]}$$



Gain analysis

- I incorporated the error to gain analysis.

Until now ...

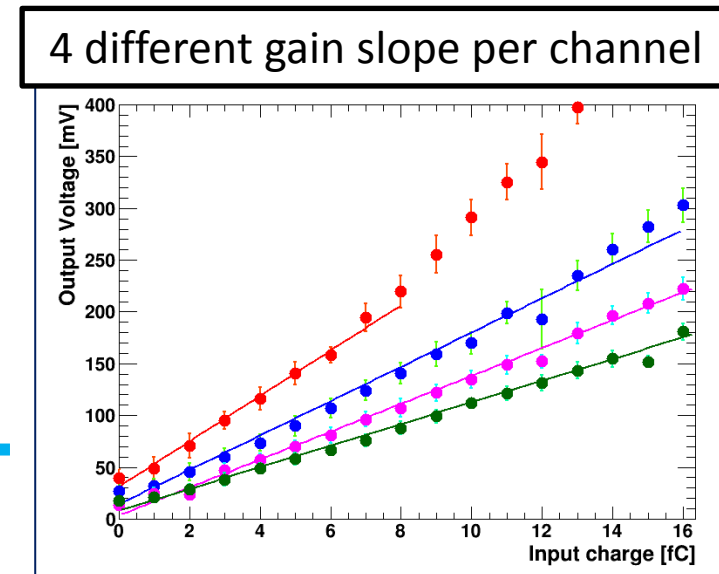
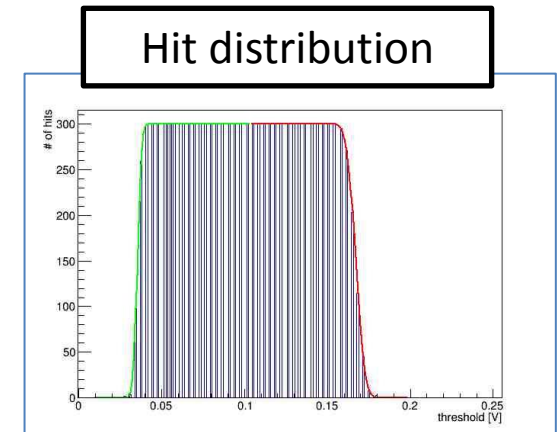
The peak value equals the difference between mean values of error functions.

$$\text{peak value} = \mu_{\text{right}} - \mu_{\text{left}}$$

This time ...

I considered **error of peak value** the sigma of error function.

$$\begin{aligned} \text{peak value} &= (\mu_{\text{right}} \pm \sigma_{\text{right}}) - (\mu_{\text{left}} \pm \sigma_{\text{left}}) \\ &= (\mu_{\text{right}} - \mu_{\text{left}}) \pm \sqrt{\sigma_{\text{right}}^2 - \sigma_{\text{left}}^2} \end{aligned}$$



An offset adjustable area

