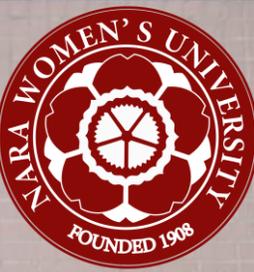


RHIC-sPHENIX実験における 中間飛跡検出器INTT用高密度ケーブル Bus-extenderの品質評価と改善



2020 / 02 / 21

奈良女子大学 高エネルギー物理学研究室

◎ 森田 美羽 ◎



目次



- ◆ 研究背景と目的
- ◆ Bus-extenderの品質評価
- ◆ Bus-extenderの測定結果
- ◆ まとめ

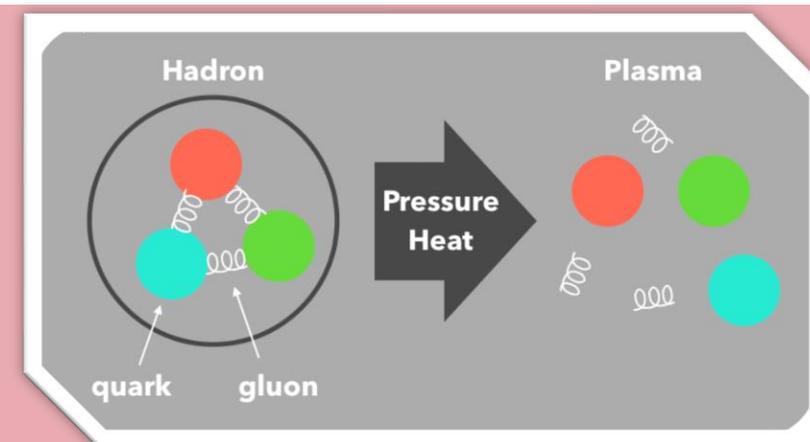
研究背景と目的

- sPHENIX実験
- 中間飛跡検出器INTT
- Bus-extender
- 卒業研究概要

- 米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL)
重イオン衝突型加速器 RHIC(Relativistic Heavy Ion Collider)での実験
- 2000年～2016年まで稼働していたPHENIX実験を高度化
2023年から稼働予定
- QGPでの輸送係数の温度依存性とデバイ遮蔽長を決定するために
ジェット、ウプシロンを測定することを目的としている



クォークグルーオンプラズマ (Quark-Gluon Plasma, QGP) とは
高温・高密度状態において存在すると予想されている
クォーク及びグルーオンからなるプラズマ状態のこと
QGPはビッグバン後の初期宇宙で実現していると考えられている

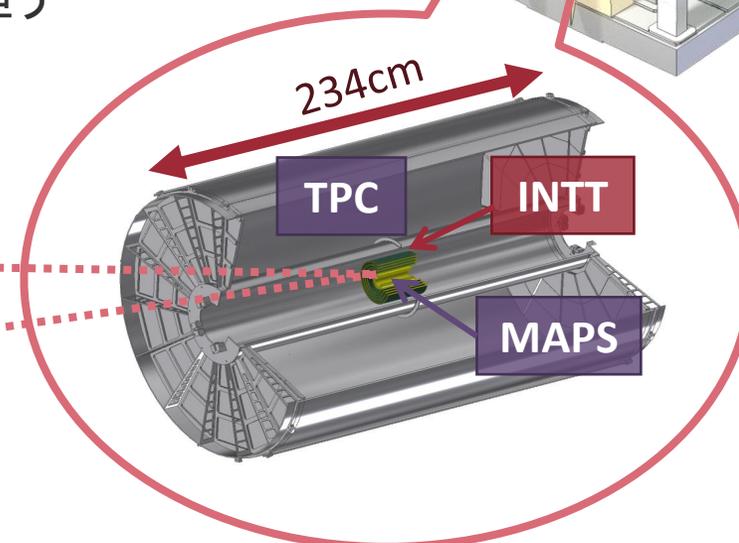
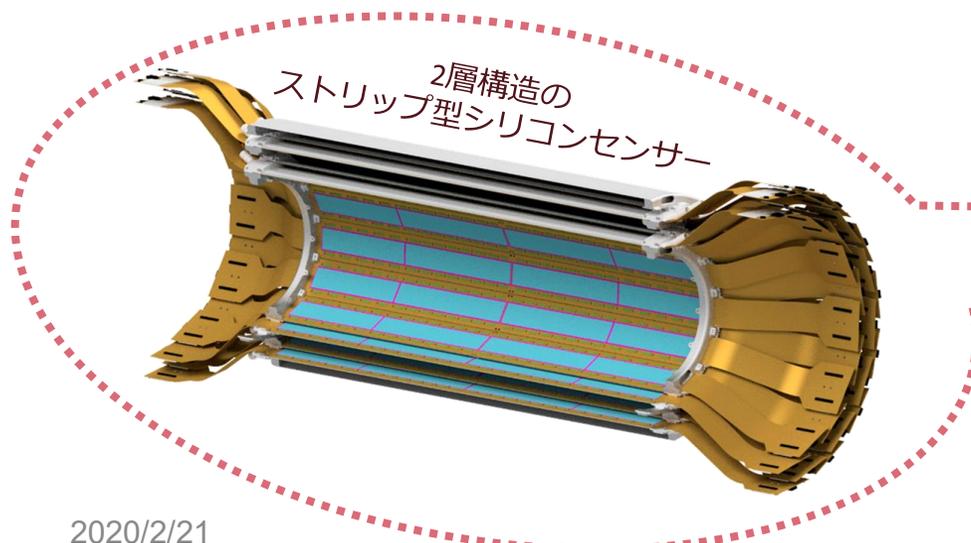
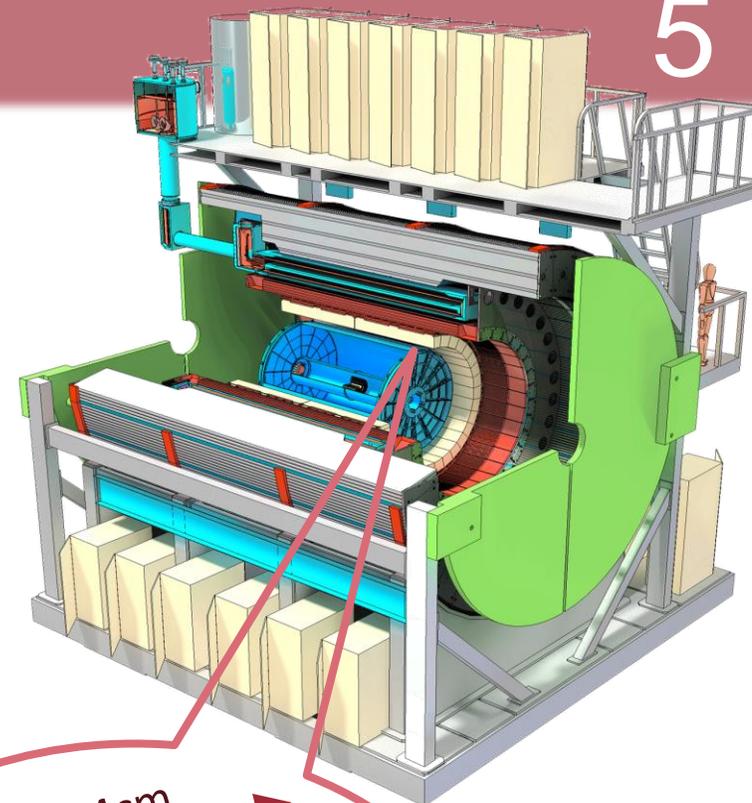




中間飛跡検出器INTT

5

- INTermediate Tracker＝中間飛跡検出器
- sPHENIX実験で使用される3つの飛跡検出器のうちの1つ
- 樽状の2層構造のストリップ型シリコンセンサー
- ビームパイプから6~12cmに位置する
- 時間分解能が高く、飛跡再構成などにおいて重要な役割を担う

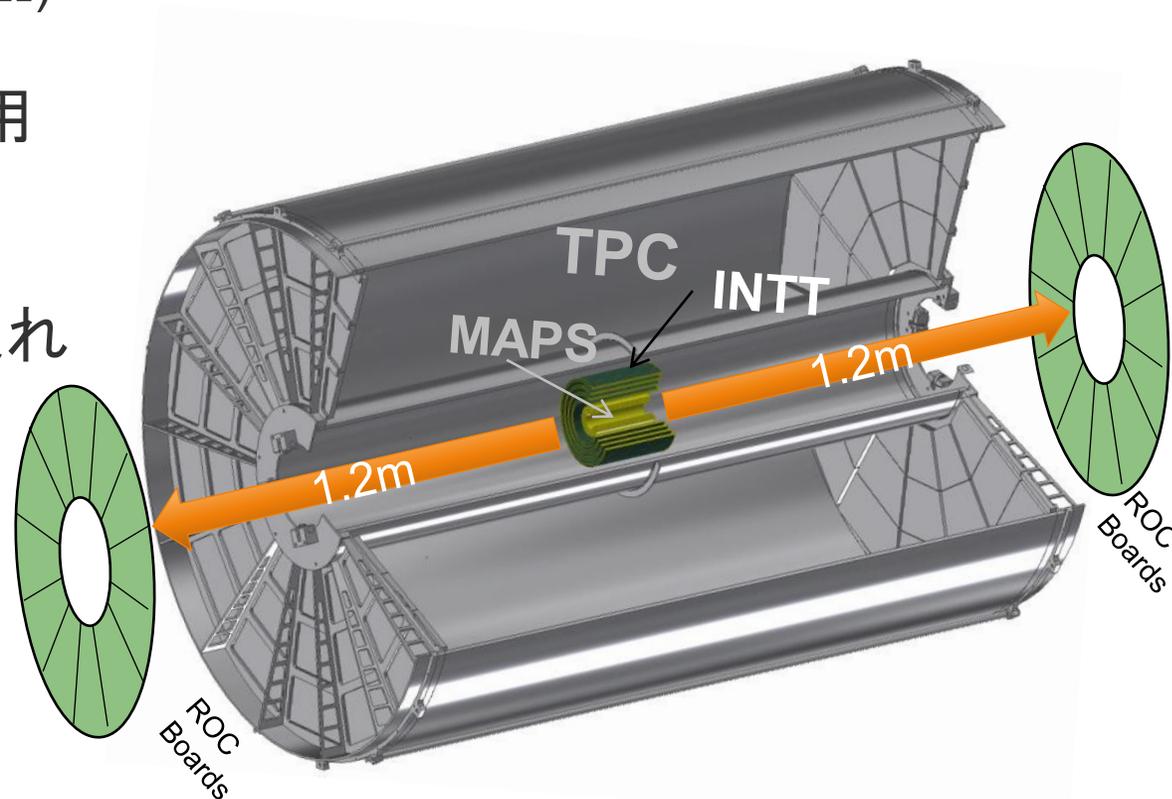




Bus-extender

6

- 長尺FPC(Flexible Printed Circuits)
尺 : 120cm × 5cm (長さ×幅)
密度 : 140 μ m × 62ペアの配線数
速度 : 200MbpsのLVDS(差動インピーダンス100 Ω)
- サブストレートに液晶ポリマー(LCP)を採用
ポリミドに比べて伝送率が高い
- 場所を取らないで狭い領域を這うように入れることができる柔らかい配線を実現



【研究目的】

- ✓ Bus-extenderのデータ伝送能力を調べる
 - ✓ Bus-extenderを使用することによる問題を明らかにし改善を図る
- ✓ 読み出しシステムの動作を理解する

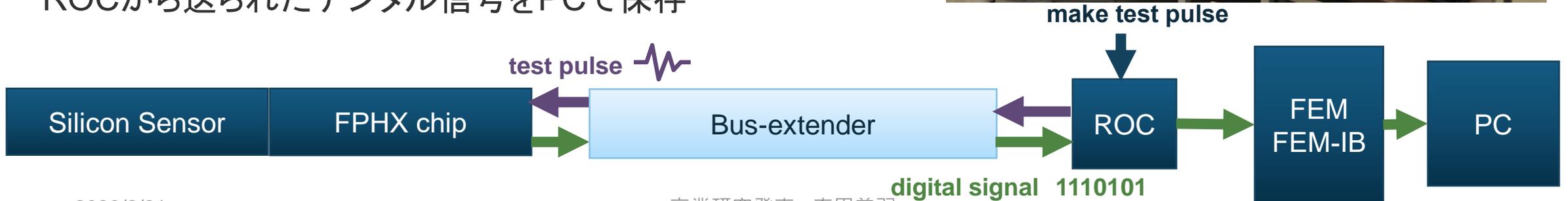
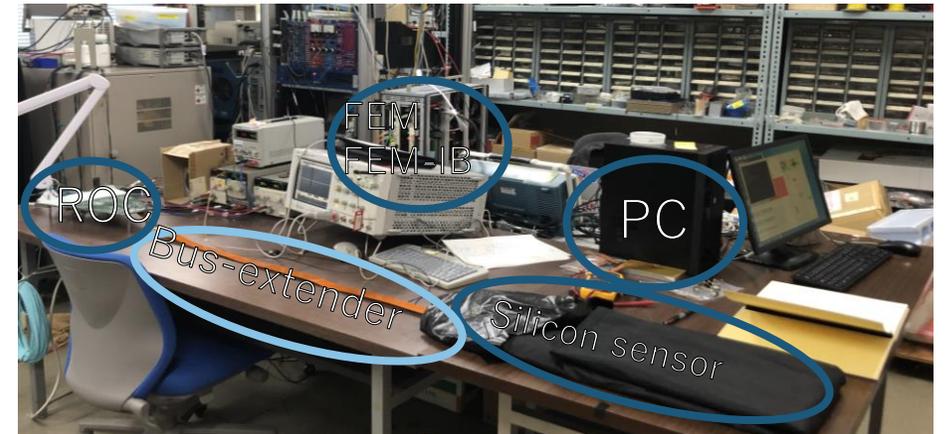
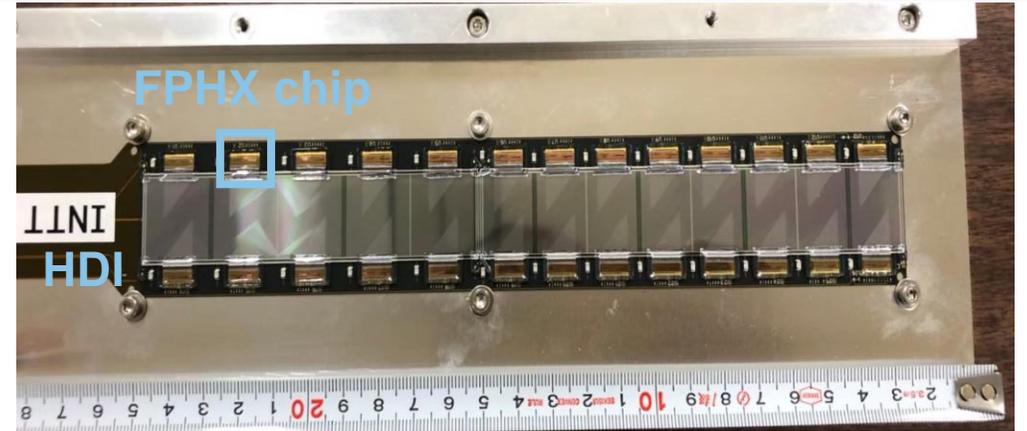
【方法】

- ✓ テストパルスによるノイズとデータ伝送効率を評価
- ✓ テストパルスを使ってゲイン値と測定値の関係を調べる

Bus-extenderの 品質評価

- テストベンチのセットアップ
- テストパルスによるデータ収集
- キャリブレーションテスト(I)
- キャリブレーションテスト(II)
- ノイズ評価

- Silicon Sensor
荷電粒子を測定する、 $78 \times 16000 \times 320 \mu\text{m}^3$
- FPHX chip(読み出しチップ)
アナログ信号をデジタルに変換してROCに送信する
センサー当たり26chipあり、それぞれに128chずつある
- Bus-extender
- ROC(読み出し基板)
テストパルスを生成しFPHX chipに送る
FPHX chipから送られたデジタル信号を後段へ送る
- FEM,FEM-IB, PC
ROCから送られたデジタル信号をPCで保存



目的

テストパルスを発生させてFPHX chipの反応を観測し、ノイズとデータ伝送効率を評価する

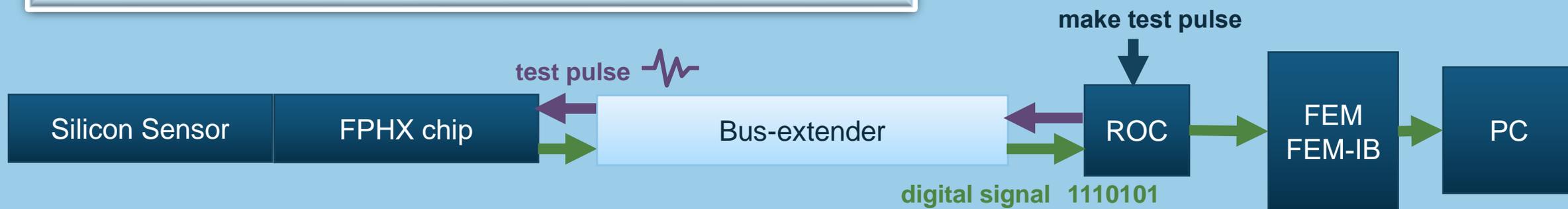
方法

1~64の波高(amplitude)のテストパルスを各chip、各channelにそれぞれ10個ずつ入力する

順序

1. テストパルスがBus-extenderを通過してFPHX chipに送られる
2. FPHX chipでテストパルスがデジタル信号に直されてBus-extenderを通りROCへ集積される

キャリブレーションテスト



結果 (Bus-extenderなし)

- amplitude=26付近からテストパルスの応答がある
 - テストパルスはamplitudeが1~64で送られているため閾値の設定が作動していることを確認することができた
- ばらつきはあるものの全chでamplitude=26付近からの応答がある
- 出力の値adcと入力の値amplitudeに正の相関関係がある

DAC	Threshold	Voltage[mv]
DAC 0	20	290
DAC 1	25	310
DAC 2	30	330
DAC 3	35	350
DAC 4	40	370
DAC 5	45	390
DAC 6	50	410
DAC 7	55	430

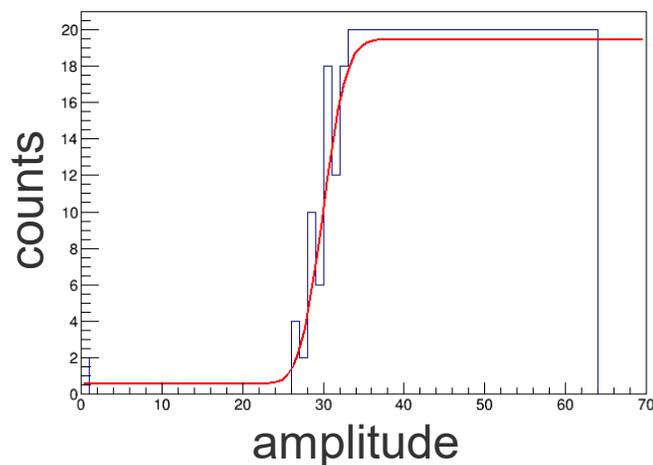
閾値設定

変換式

$$\text{Voltage} = \text{DAC Threshold} * 4 + 210$$

1chip-1ch

counts vs amplitude

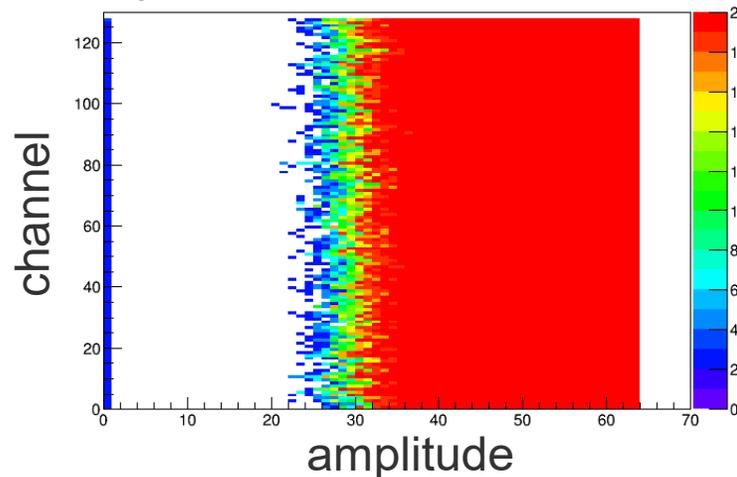


2020/2/21

1chip-全ch

210

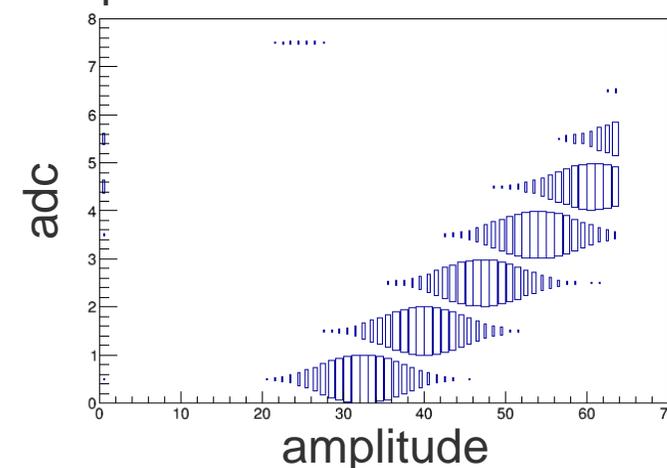
channel vs amplitude



卒業研究発表：森田美羽

1chip-全ch

adc vs amplitude



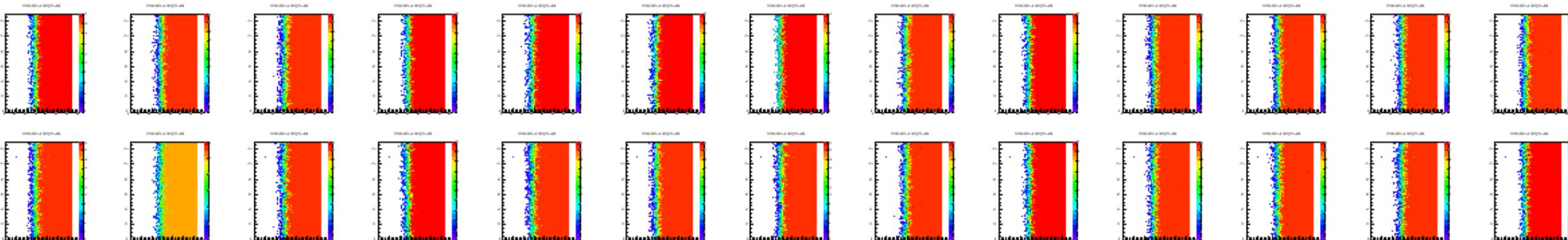


キャリブレーションテスト(Ⅱ)

channel-amplitude

chip1

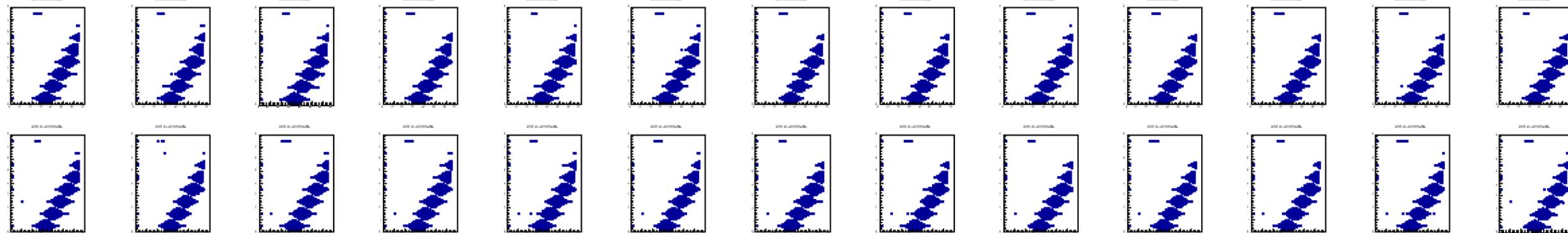
chip13



adc-amplitude

chip1

chip13



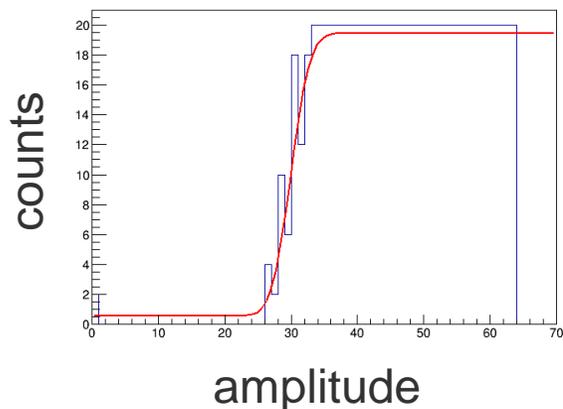
chip14

chip26



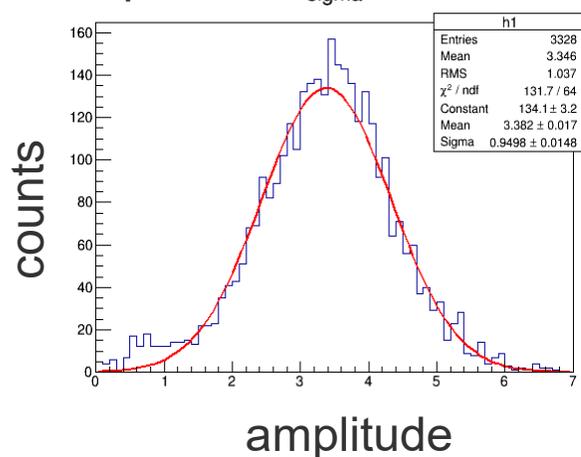
結果 (Bus-extenderなし)

1chip-1ch counts vs amplitude



緩やかさの幅からノイズの影響を見積もる

全chip-全ch sigma



Fit関数から σ の算出

Fit関数 : $f(x) = [p0] \times \text{erf} \left(\frac{x - [p1]}{[p2]} \right) + 10$
 ※[p0], [p1], [p2]はパラメータ
 $[p2] = \sigma$

エラー関数 : erf(x)

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$



DAC	Threshold	Voltage[mv]
DAC 0	20	290
DAC 1	25	310
DAC 2	30	330
DAC 3	35	350
DAC 4	40	370
DAC 5	45	390
DAC 6	50	410
DAC 7	55	430

電圧値[mV]=2.81 × 波高[ampl]より
1 σ の平均値3.382 amplは

$$2.81 \left[\frac{mV}{ampl} \right] \times 3.38[ampl] = 9.50[mV]$$

DAC 0の閾値290mVから現在推測されるオフセットの190mVを引いて比較すると

$$\frac{9.50[mV]}{100[mV]} = 0.095$$

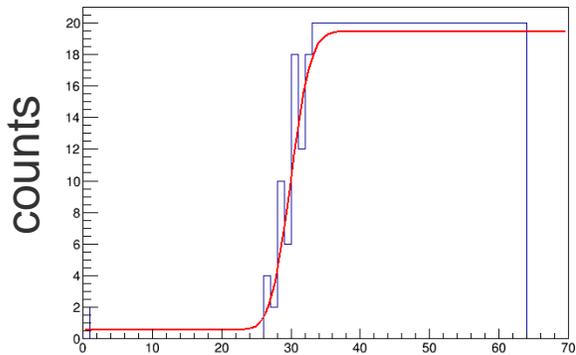
よって、 σ はDAC 0の閾値設定の約1/10であることがわかった

Bus-extenderの 測定結果

- ノイズ評価(Ⅰ)
- ノイズ評価(Ⅱ)
- テストパルス
- オシロスコープでの観測
- ゲイン値



counts vs amplitude



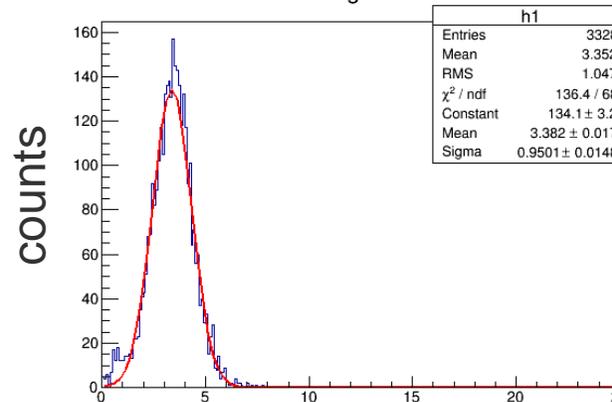
amplitude

Bus-extenderありでは、
なしと同様に応答している
chipと、応答回数にかなり
ばらつきがあるchipが存
在する

↑ Bus-extenderなし

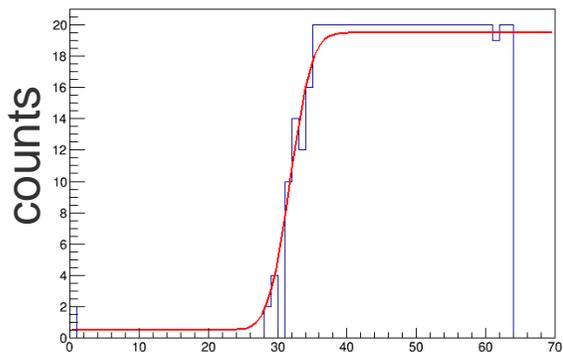
↓ Bus-extenderあり

sigma



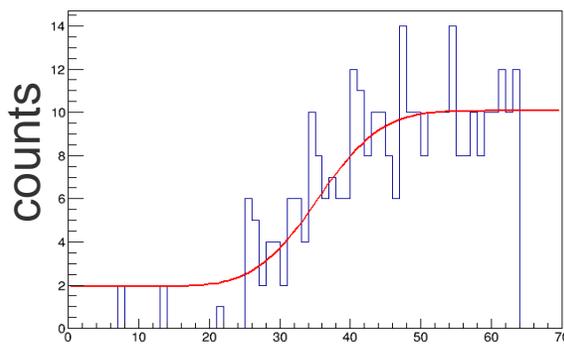
amplitude

counts vs amplitude



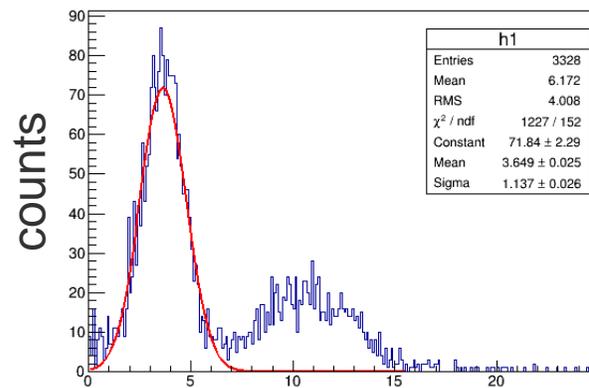
amplitude

counts vs amplitude



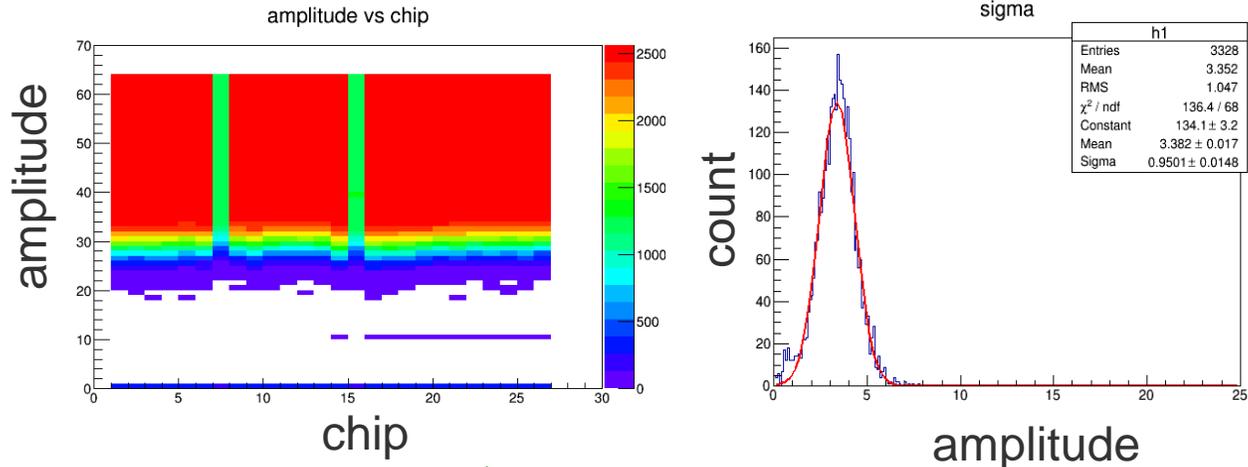
amplitude

sigma



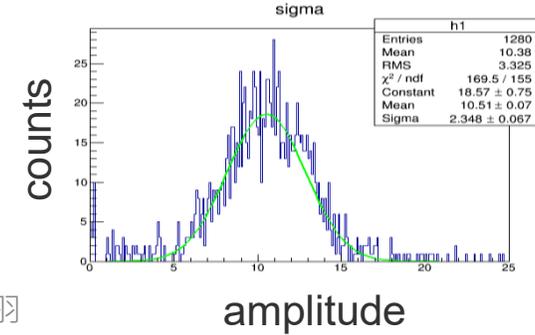
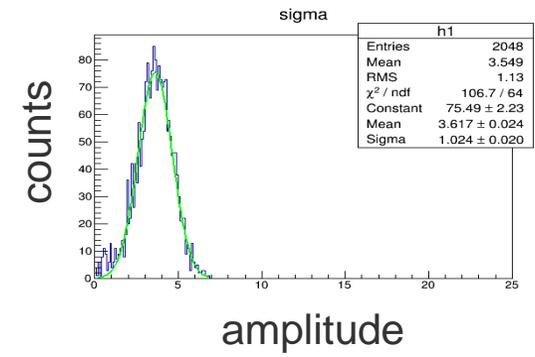
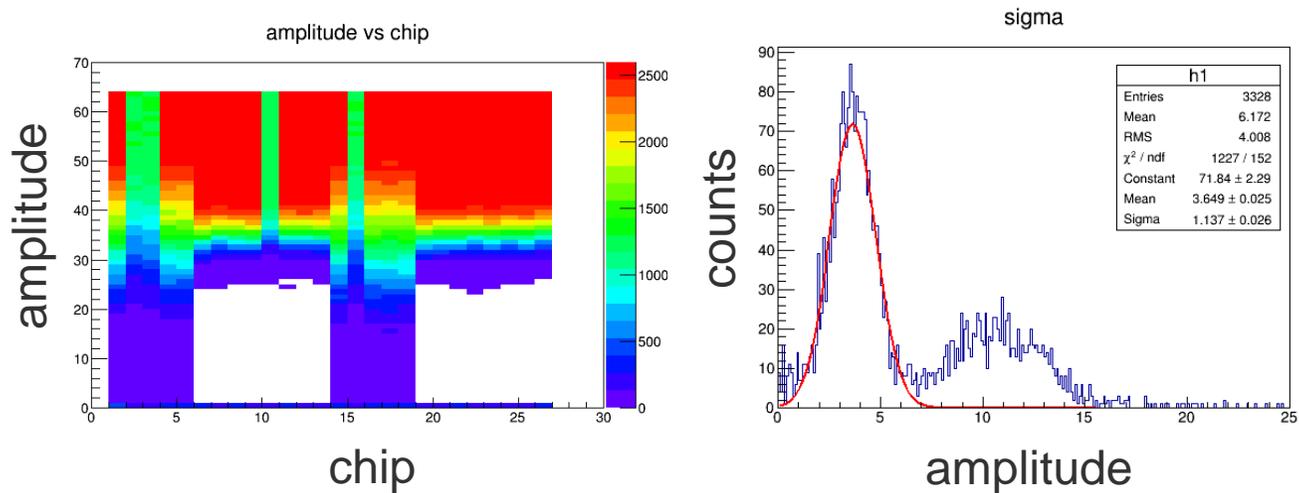
amplitude

- σ 分布を確認すると Bus-extenderありではピーク位置が二つあることがわかる



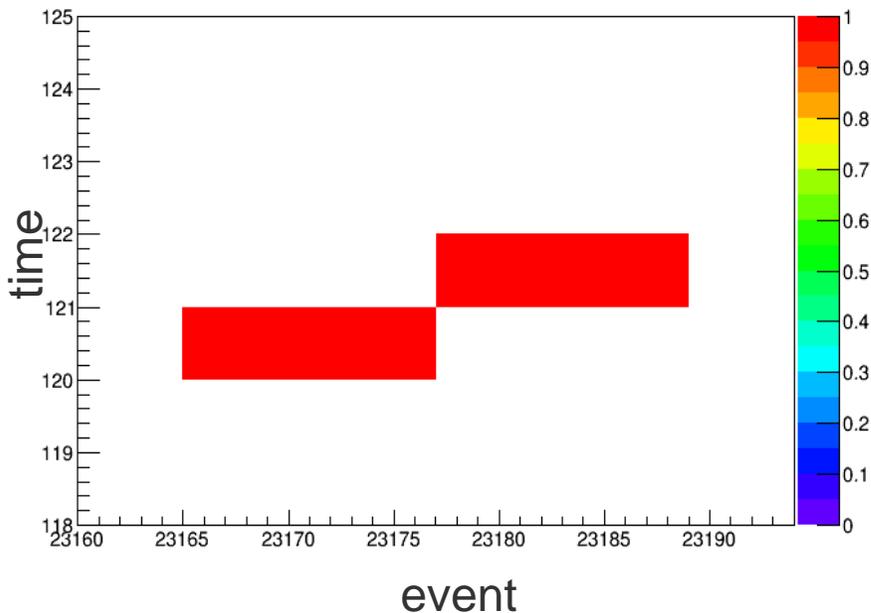
↑ Bus-extenderなし
↓ Bus-extenderあり

Bus-extenderなしではどのchipでもamplitude=20付近から応答し始めるのに対しありではchip1~5, 14~18とchip6~13, 19~26で異なっていることがわかる



- 一つ目のピーク位置
chip1~5, 14~18
平均値 = 3.617
- 二つ目のピーク位置
chip6~13, 19~26
平均値 = 10.51

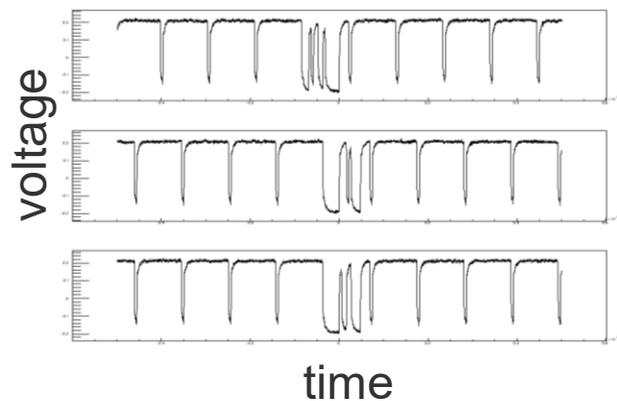
bco_full vs event



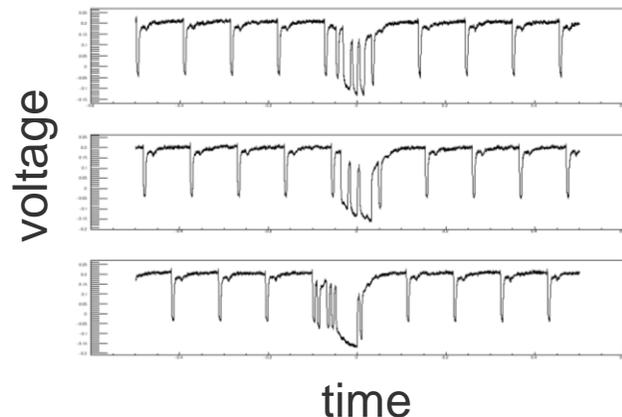
```
*****
* Row * event * chip_id * chan_id * ampl * time * * Row * event * chip_id * chan_id * ampl * time *
*****
* 23165 * 23165 * 13 * 1 * 50 * 120 * * 23177 * 23177 * 13 * 1 * 50 * 121 *
* 23166 * 23166 * 4 * 1 * 50 * 120 * * 23178 * 23178 * 4 * 1 * 50 * 121 *
* 23167 * 23167 * 5 * 1 * 50 * 120 * * 23179 * 23179 * 5 * 1 * 50 * 121 *
* 23168 * 23168 * 6 * 1 * 50 * 120 * * 23180 * 23180 * 6 * 1 * 50 * 121 *
* 23169 * 23169 * 8 * 1 * 50 * 120 * * 23181 * 23181 * 8 * 1 * 50 * 121 *
* 23170 * 23170 * 9 * 1 * 50 * 120 * * 23182 * 23182 * 9 * 1 * 50 * 121 *
* 23171 * 23171 * 1 * 1 * 50 * 120 * * 23183 * 23183 * 1 * 1 * 50 * 121 *
* 23172 * 23172 * 2 * 1 * 50 * 120 * * 23184 * 23184 * 2 * 1 * 50 * 121 *
* 23173 * 23173 * 3 * 1 * 50 * 120 * * 23185 * 23185 * 3 * 1 * 50 * 121 *
* 23174 * 23174 * 10 * 1 * 50 * 120 * * 23186 * 23186 * 10 * 1 * 50 * 121 *
* 23175 * 23175 * 11 * 1 * 50 * 120 * * 23187 * 23187 * 11 * 1 * 50 * 121 *
* 23176 * 23176 * 12 * 1 * 50 * 120 * * 23188 * 23188 * 12 * 1 * 50 * 121 *
```

【問題点】

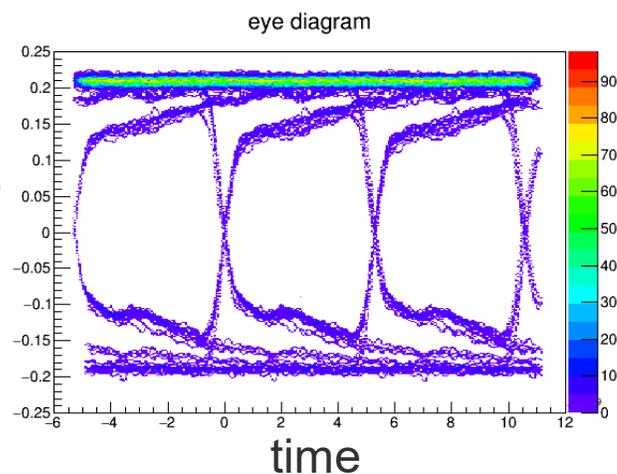
- 13chip分送信されるはずが12chip分しか送信されていない
- 1time分ずれてまったく同じテストパルスが検出されている



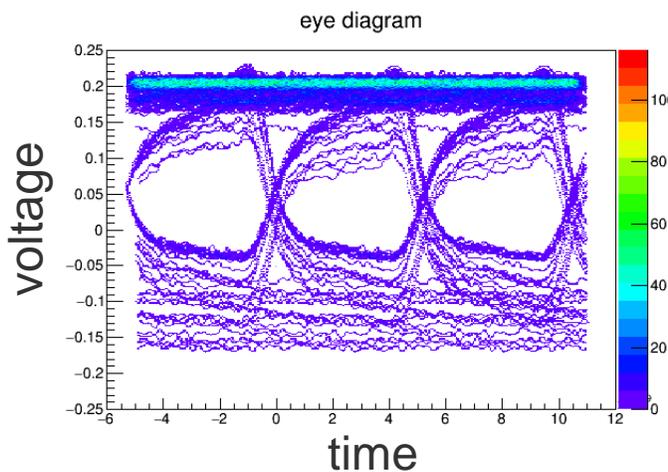
Bus-extender
←なしあり→



- オシロスコープで測定したデジタル波形を重ね合わせ、アイダイアグラムを作成した
- グラフから幅や時間、波高にばらつきがあることがわかる



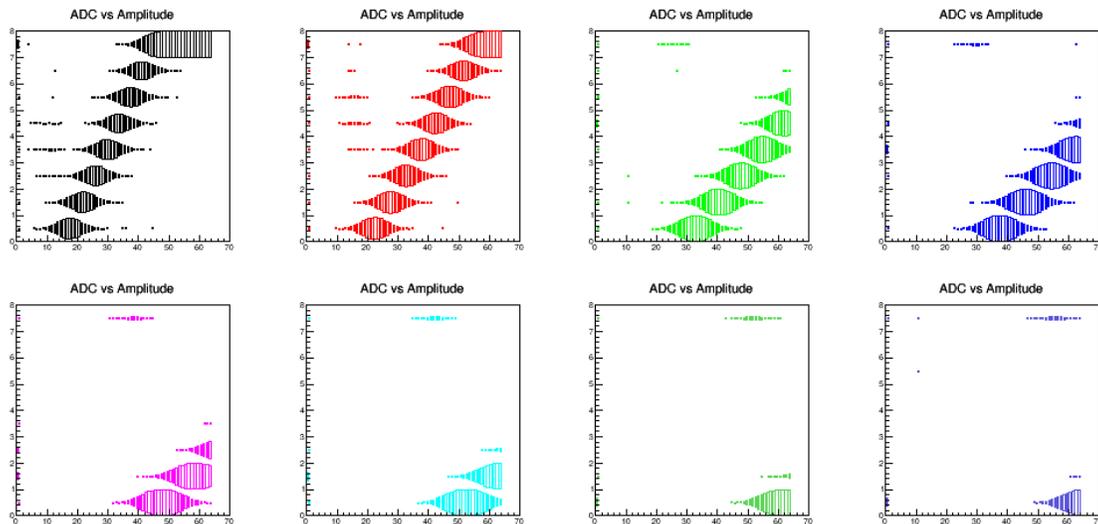
Bus-extender
←なしあり→



Bus-extenderありとなしでおおよその波高を測定したところ
あり：2.24
なし：2.9
という結果になった
なしを基準として比較をすると
Bus-extenderありでは77.2%の高さであることがわかった



adc vs amplitude



DAC	Value	Voltage[mv]
DAC 0	20	290
DAC 1	25	310
DAC 2	30	330
DAC 3	35	350
DAC 4	40	370
DAC 5	45	390
DAC 6	50	410
DAC 7	55	430

ゲイン値番号	これまで	今回
GSel=0	46	200
GSel=1	50	150
GSel=2	60	100
GSel=3	67	85
GSel=4	85	67
GSel=5	100	60
GSel=6	150	50
GSel=7	200	46

- 宇宙線測定からゲイン値の設定を誤って解釈していたことがわかり、テストパルスでも同様の結果を確認することができた

【問題点】

- ゲイン値の設定を変更することでオフセットの値も変わっているように推測できる

まとめ

- まとめ
- Back Up

- ✓ Bus-extenderのデータ伝送能力を調べることができた
 - ✓ Bus-extenderありなしでノイズ評価を比較
 - ✓ Eyediagramから波高の伝送効率を確認

- ✓ 読み出しシステムの動作を理解できた
 - ✓ ゲイン値について解釈を改めた



Back Up

- 2018年度4回生卒研発表スライド.pdf
- <https://wiki.bnl.gov/sPHENIX/index.php/SPHENIX>
- <https://www.sphenix.bnl.gov/web/>
- <https://ja.wikipedia.org/wiki/クォークグルーオンプラズマ>
- <https://www.jaea.go.jp/02/press2017/p18010901/>