

LHC-ALICE実験における 超前方光子測定用カロリメーター試作機の データ収集系の構築と性能評価

筑波大学 数理物質科学研究科 物理学専攻
高エネルギー原子核研究室

佐藤航、益井宙、伊藤喬一郎、稲葉基、平野勝大
細川律也、江角晋一、中條達也、塩谷知弘、三明康郎

Outline

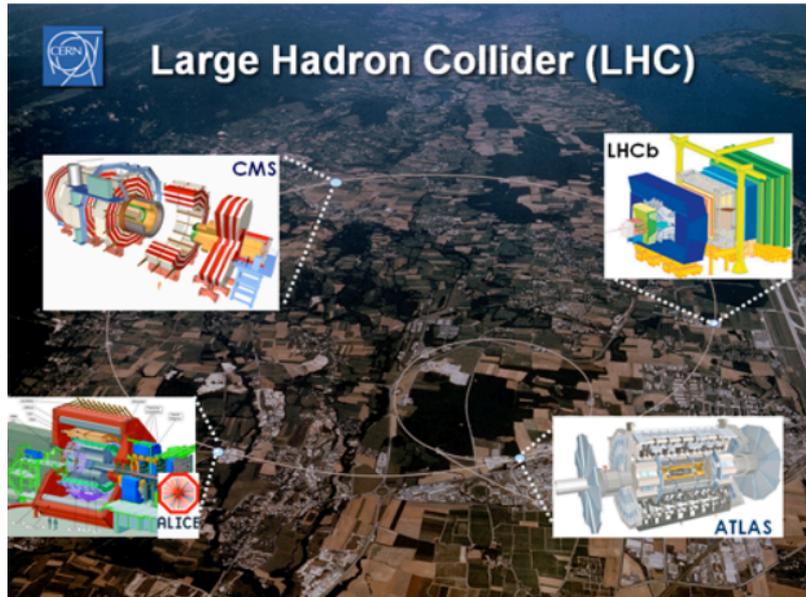
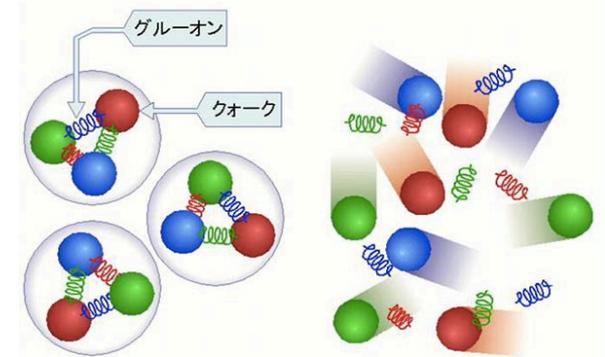
- Introduction
 - QGPと高エネルギー加速器実験
 - ALICE実験「FoCal Project」と研究目的
- データ収集系の構築
 - エレクトロニクス
 - mmDAQ
- テストビーム実験
 - PS/SPSのセットアップ
 - 実験結果
- まとめ

QGPと高エネルギー加速器衝突実験

QGP : Quark Gluon Plasma

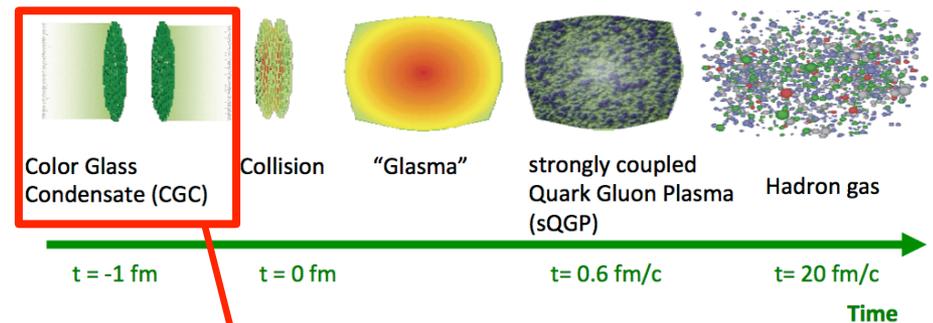
- 超高温・高密度状態において達成する未知の物質状態

通常では強い相互作用により核子内に閉じ込められている「クォーク」と「グルーオン」が自由に飛び回る状態



高エネルギー重イオン衝突実験による再現

LHC-ALICE実験
 $p-p : v_s = 14\text{TeV}$
 $Pb-Pb : v_{sNN} = 5.5\text{TeV}$

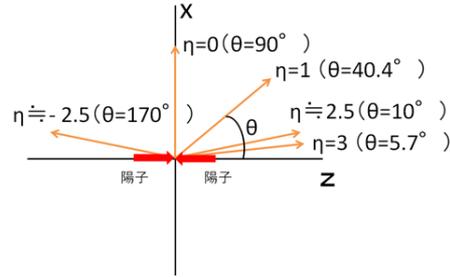


衝突初期状態も未だ解明されていない

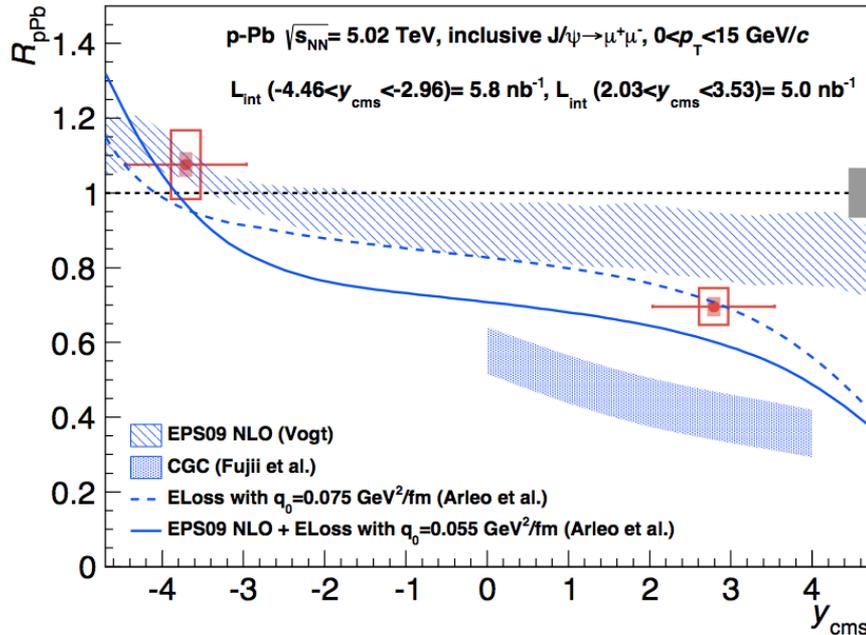
物理的モチベーション

擬ラピディティ

$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$$



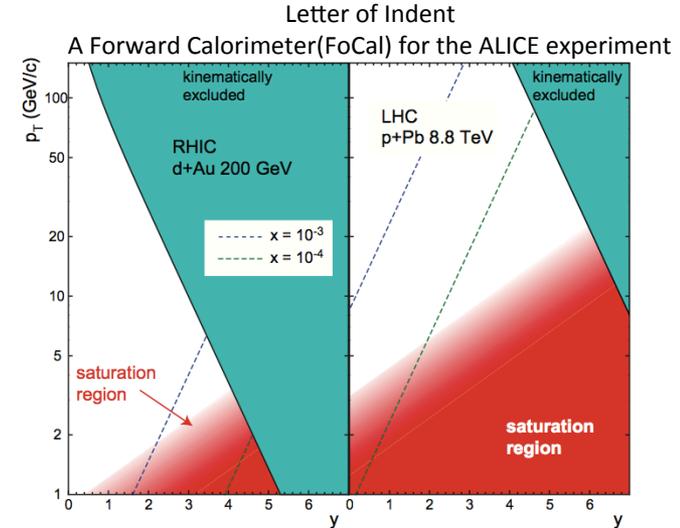
高エネルギーの極限ではラピディティと等価 $\eta \cong y$



CERN-PH-EP-2013-156

Bjorken-x

$$x = \frac{2p_T}{\sqrt{s}} e^{-y}$$



ALICEでの実験結果

前方方向にJ/ψの粒子生成の抑制の観測

- どのモデルともあっていない
- ハドロンはQGP中で相互作用を起こす

QGP中で相互作用をしない光子での
 詳細な測定が求められている

FoCal Project in ALICE

- FoCal : Forward Calorimeter

- ALICE実験のアップグレード計画の1つ
- 2022年のLong Shutdown3に完成機導入を目指している

構成

電磁カロリメーター : FoCal-E

ハドロンカロリメーター : FoCal-H

アクセプタンス : $3.3 < \eta < 5.3$

FoCal-E

- 高エネルギーの γ/π^0 の識別

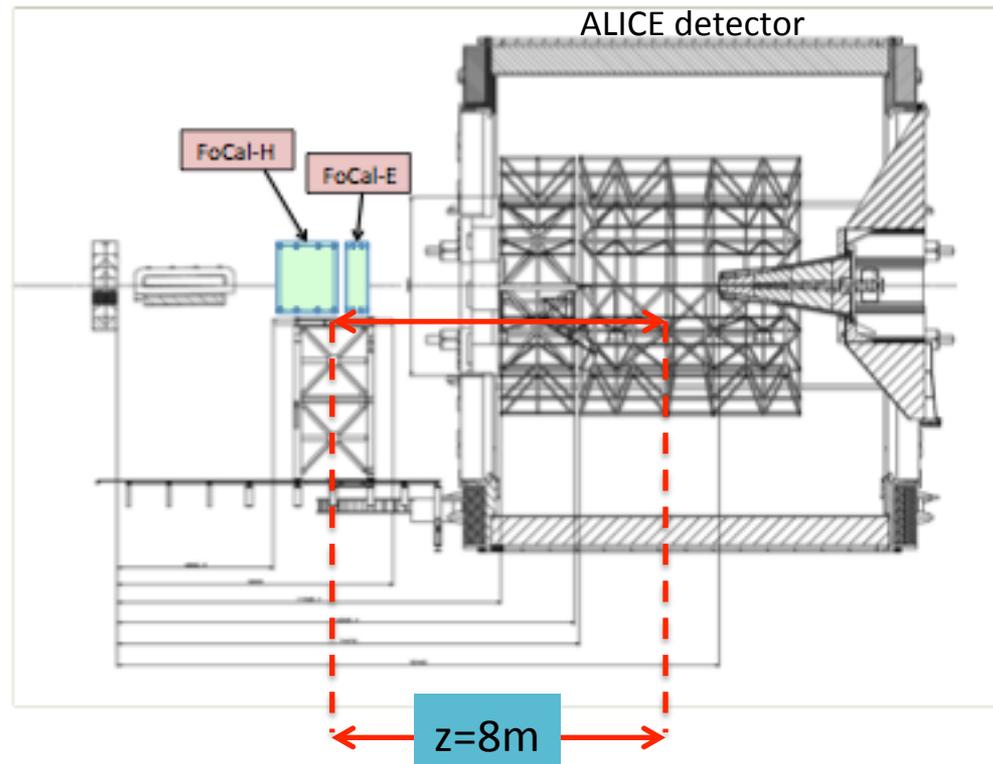
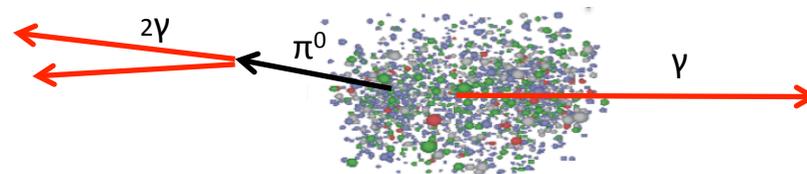
-> バックグラウンドの除去

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

-> 直接光子の観測

-> 電磁カロリメーターの分解能

$$\frac{\sigma}{E} < \frac{20\%}{\sqrt{E}}$$



➡ CGCの検証、QGPの早期熱化機構の解明が期待されている

FoCal-E Detector

- W/Siのサンドイッチ型サンプリングカロリメーター

Moliere radius : $R_M = 9\text{mm}$

Radiation length : $X_0 = 3.5\text{mm}(1\text{Layer})$

-LGLとHGLのハイブリッド構造

LGL : Low Granularity Layer

HGL : High Granularity Layer

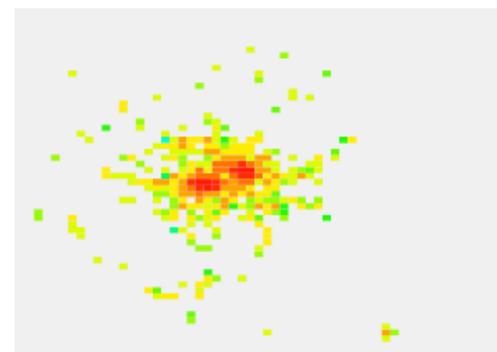
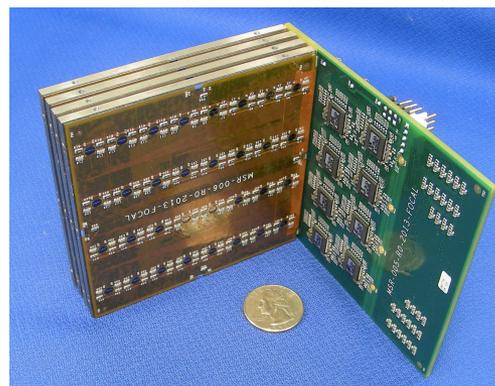
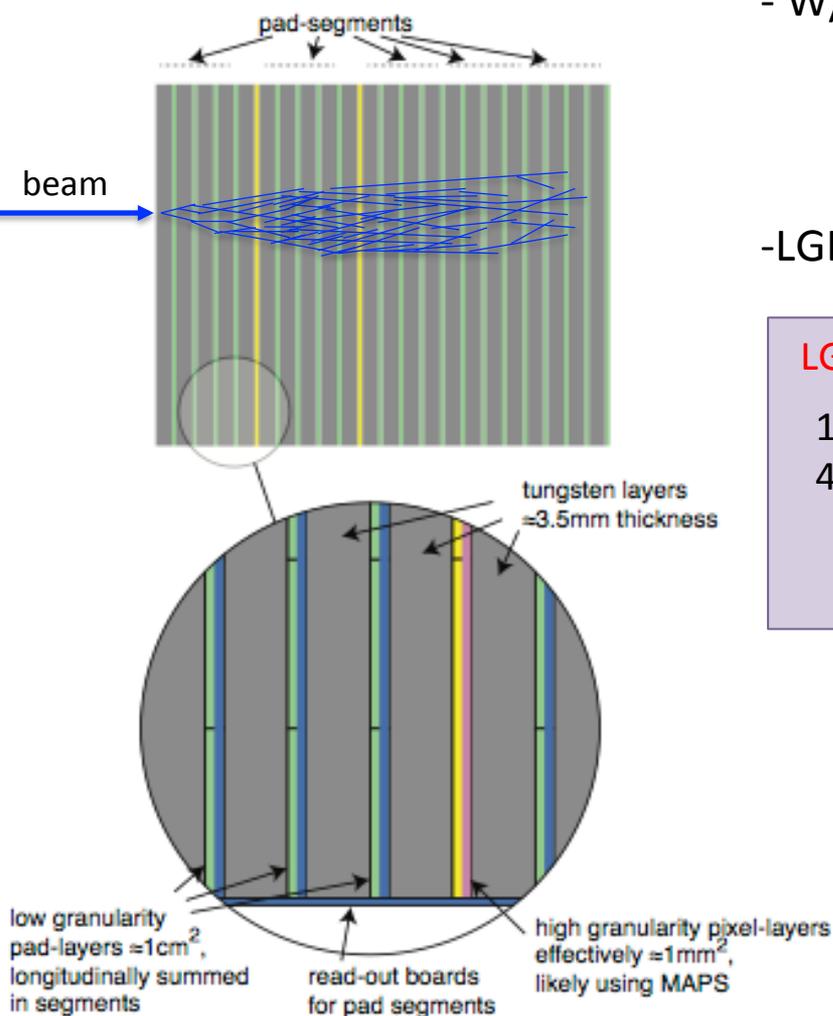
1×1cm²のシリコン検出層

1×1mm²のCMOS-pixel検出器

4Layer(14mm)ごとの読み出し

エネルギーの測定

γ/π^0 の識別



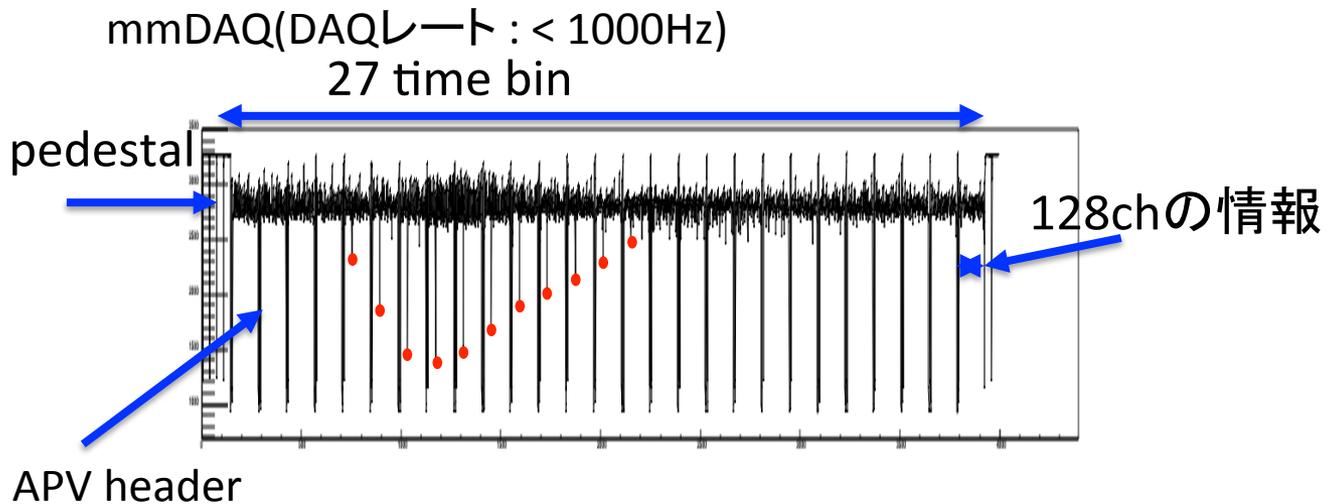
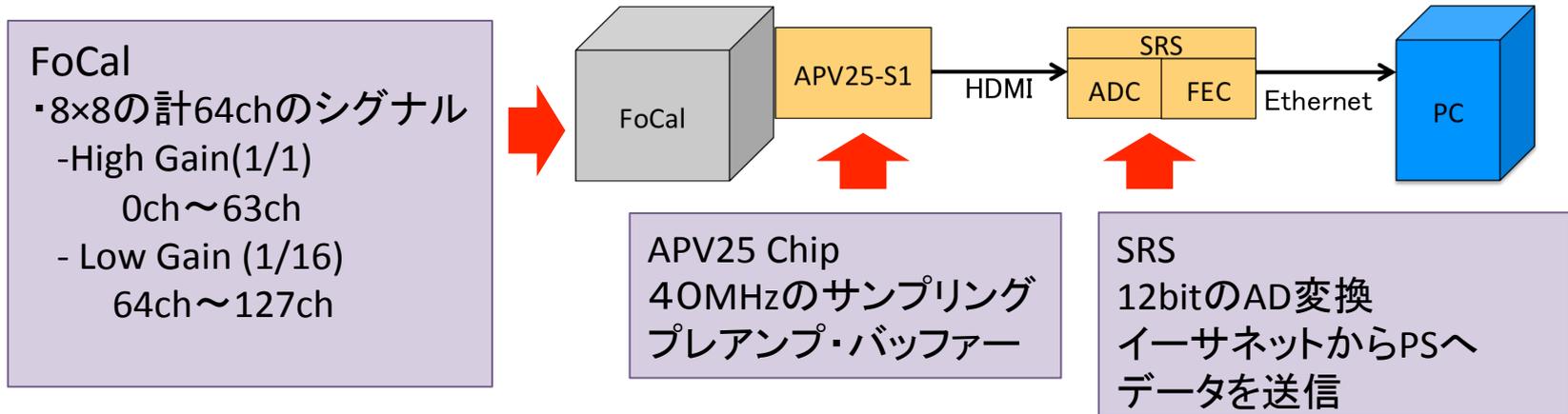
200GeV π^0 のシミュレーション

研究目的

- 2022年Long Shutdown3に完成機導入に向けて
 - ORNLによって作成されたFoCal-E試作機LGLのデータ収集システムを構築する。
 - CERN PS/SPS加速器でテストビーム実験を行いエネルギー依存性、分解能などの性能評価を行う。

データ取得システム

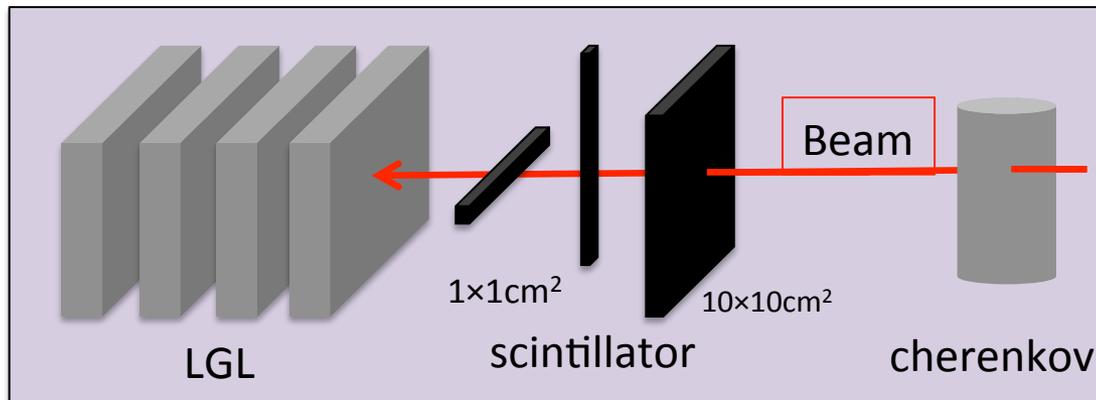
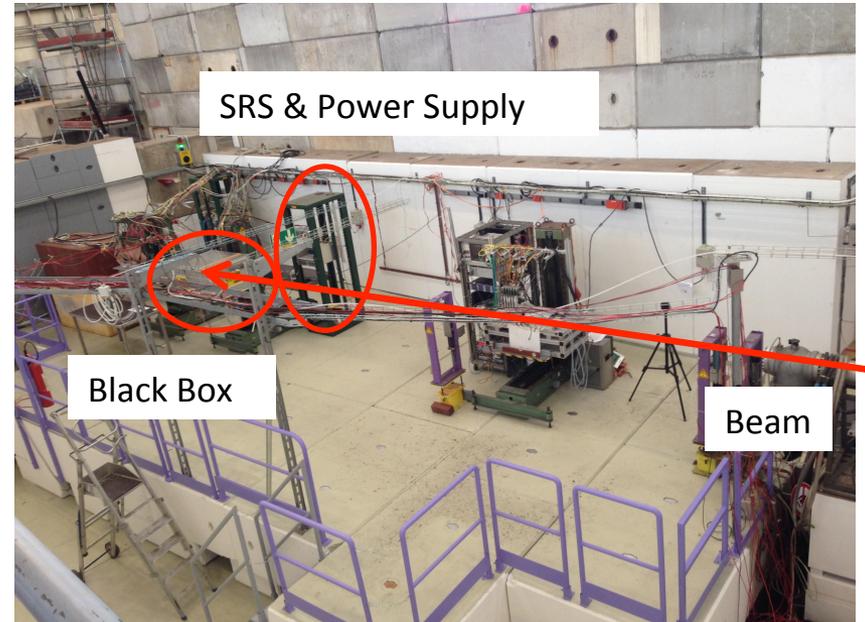
CERN RD51 groupが開発したエレクトロニクスを使用した



CERN PS/SPS テストビーム実験

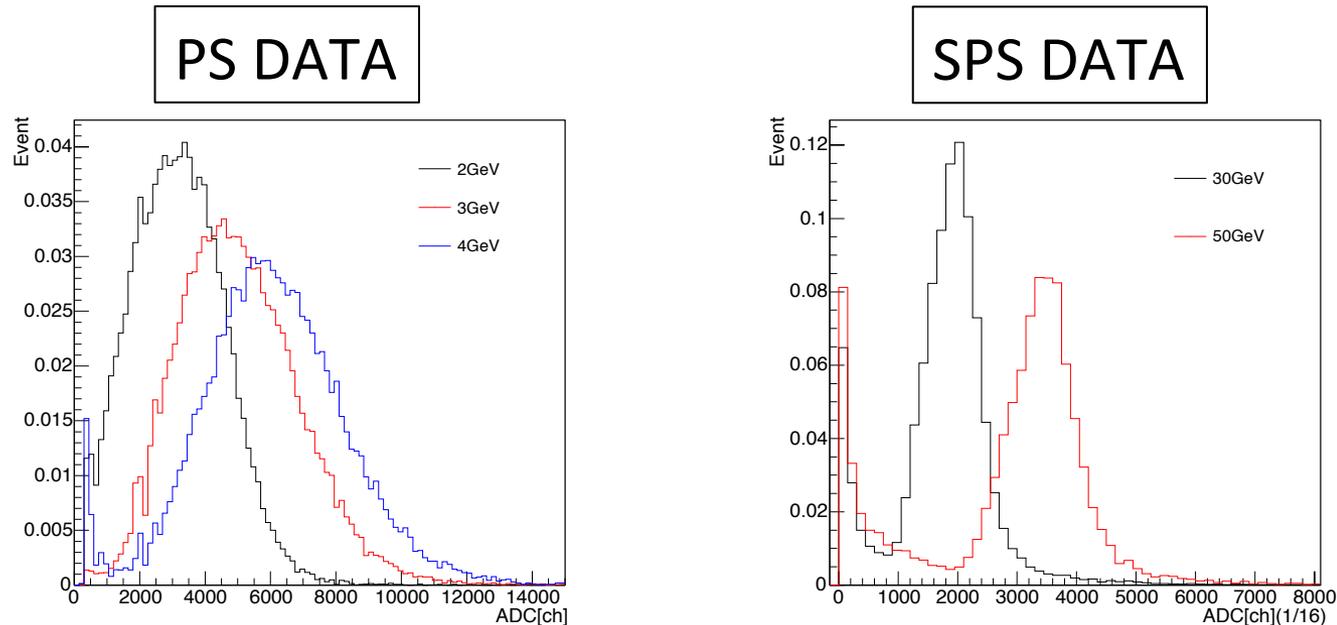
PS 2014/9~10 : T9テストビームライン
SPS 2014/11 : T4-H8テストビームライン

- Beam
 - 粒子 : e, π^-
 - 運動量 : 2~10(PS) , 30, 50(SPS) GeV/c
- Trigger
 - Scintillator $1 \times 1 \text{cm}^2$
 - Scintillator $10 \times 10 \text{cm}^2$
 - ガスチェレンコフ検出器(PSのみ)



エネルギー依存性

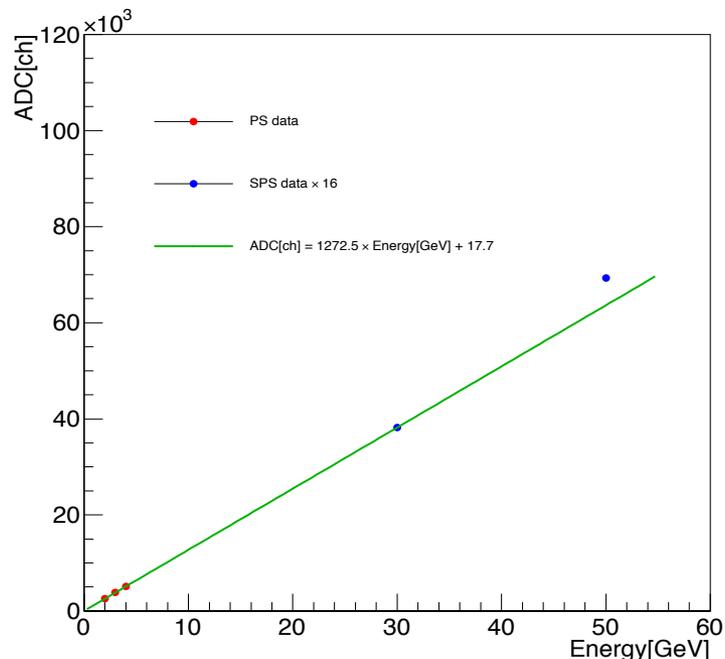
- PSにおいては2~4GeV(High Gain)、SPSにおいては30GeV、50GeV(Low Gain)でシグナルのエネルギー依存性がみられた。



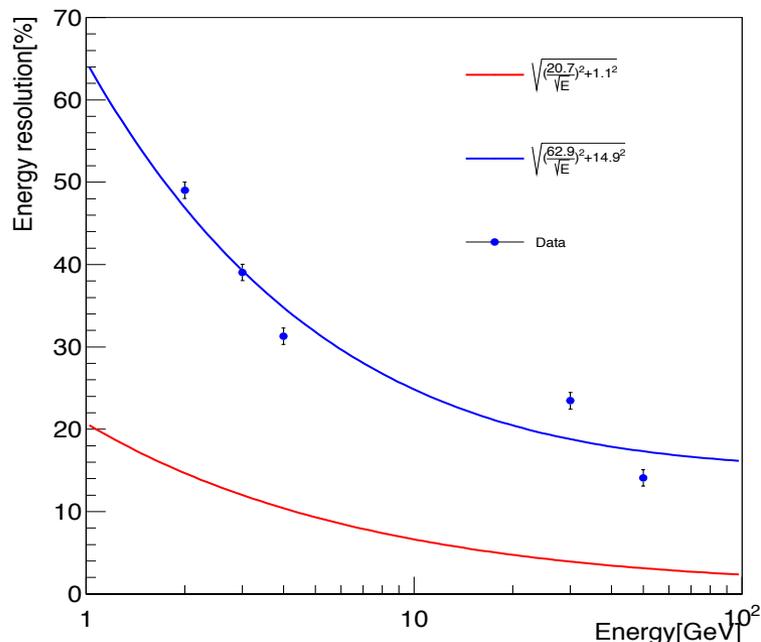
- High Gainで5GeV以降はエネルギー依存性は見られなかった。
 - ガスチェレンコフ検出器のエフィシエンシー、シグナルの飽和が原因と考えられる

線形性・エネルギー分解能

・線形性



・エネルギー分解能



- ・50GeVを除き線形性が見えている
- ・エネルギー分解能はシミュレーションと比較して悪い
 - ノイズにより分解能が悪くなっている

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{E}}\right)^2 + \sigma_0^2}$$

σ_1 : 統計項

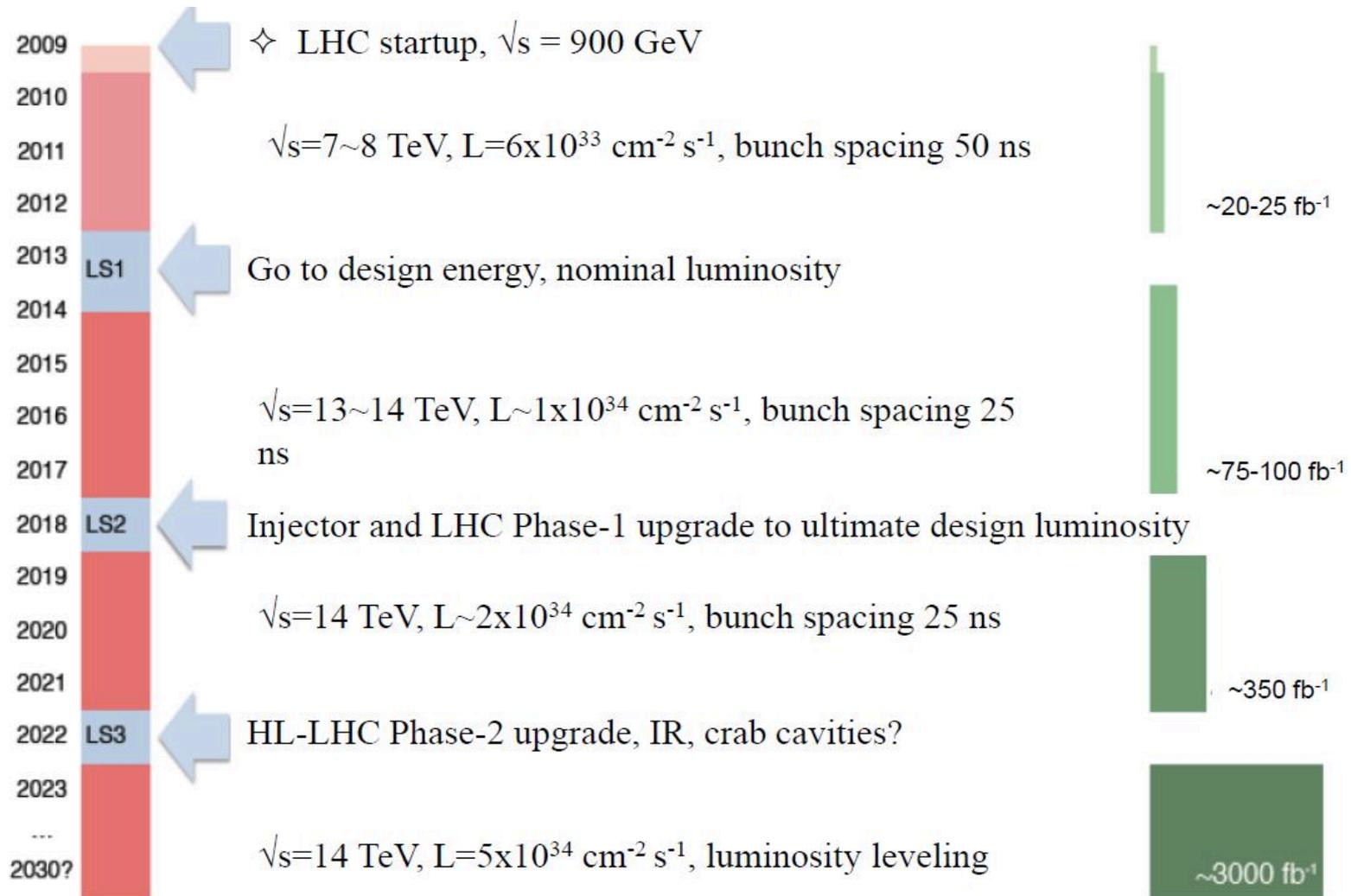
σ_0 : 定数項

まとめと今後

- FoCal-E LGL試作機のための、データ収集系システムをCERN RD51 groupの開発したエレクトロニクスを使用して構築した。
- CERN PS/SPSテストビームラインにて、初めての性能評価を行った。
 - High Gainで2~4GeV、Low Gainで30GeV、50GeVでエネルギーに対するシグナル依存性を確認した。
 - シミュレーションと比較してエネルギー分解能が良くない。
 - ノイズの低減の問題に対して、現在使用しているエレキの見直しが必要。
- 次回テストビーム実験に向けて
 - 2015年10月~11月にCERN PS/SPSで行われる予定
 - 今回のテストビーム実験ではHGLとは別のDAQシステムを使用しておりデータのマージができなかった。データをマージするためのトリガーコンバーターの研究開発が必要である。

ご清聴ありがとうございました。

The LCH Timeline

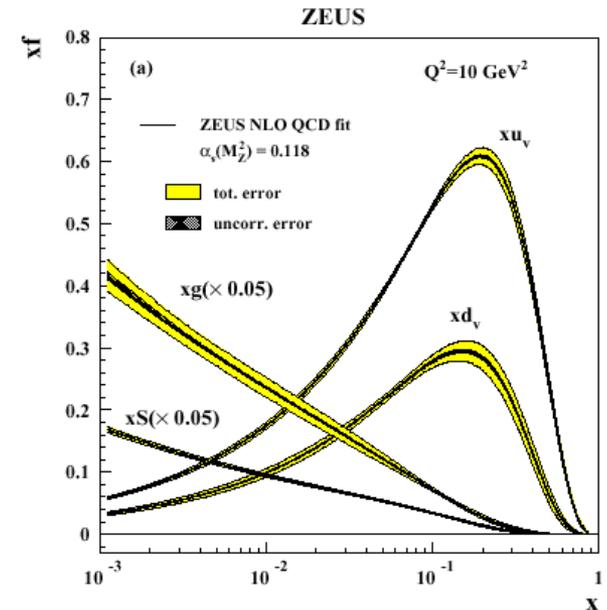
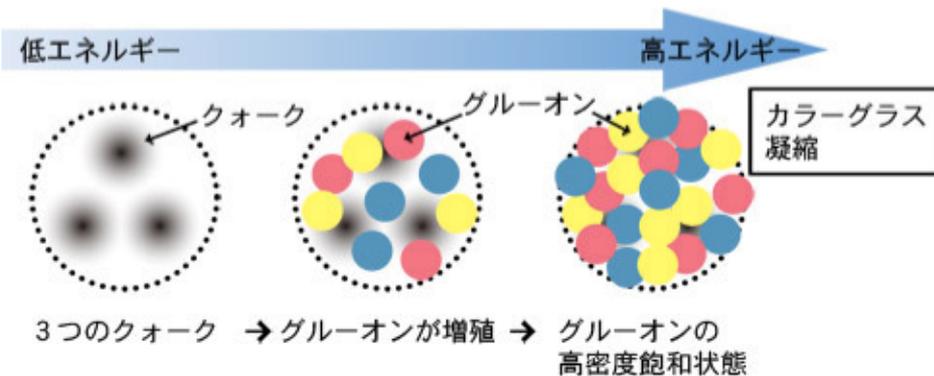


カラーグラス凝縮

CGC : Color Grass Condensate

- 高エネルギー状態で達成する**原子の初期状態**

ハドロンはそれらを構成するクォークからなるが
高エネルギー状態でのハドロンの構成要素は
グルーオンが高密度に飽和した状態

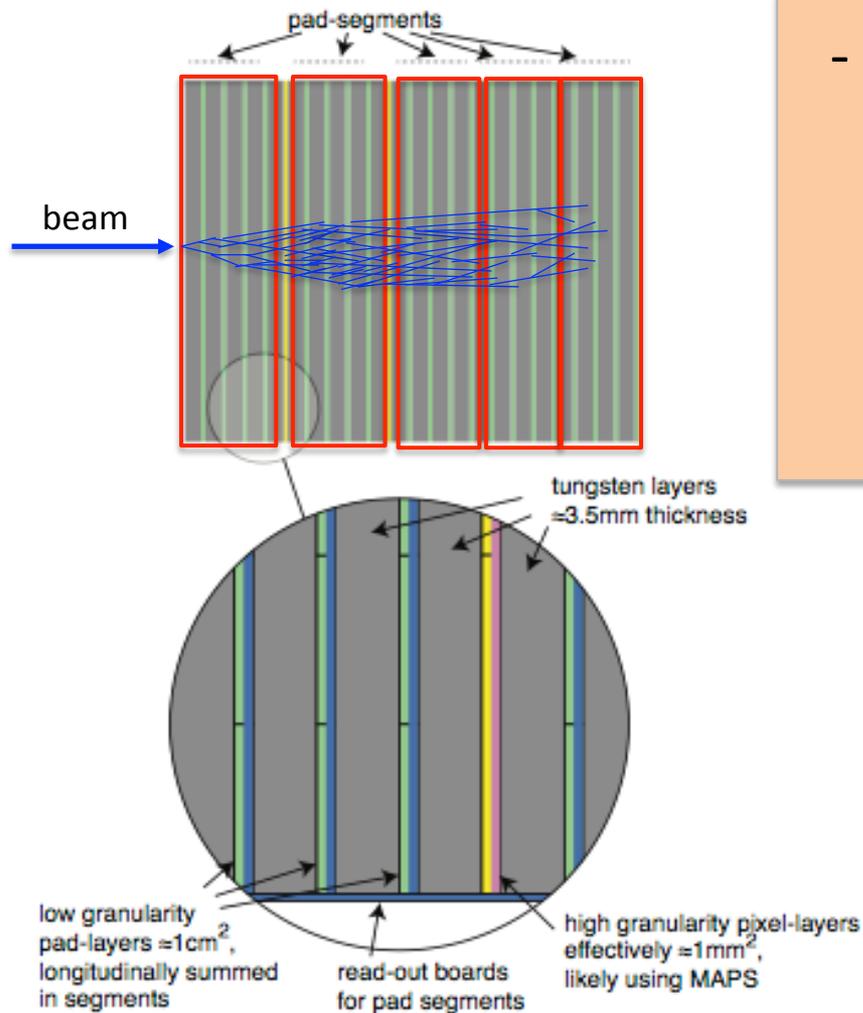


参考文献: HERA- II: 高輝度化の歩みと物理

高エネルギー極限のQCDで予言

- 高エネルギー衝突型実験で理論モデルのパラメーターの決定・検証

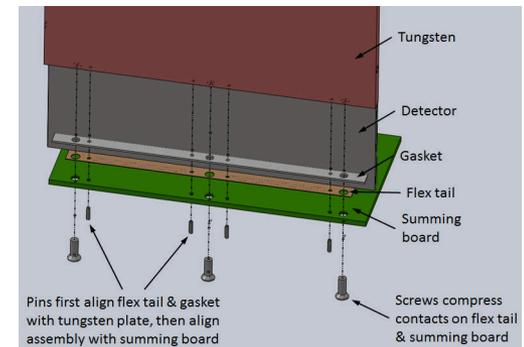
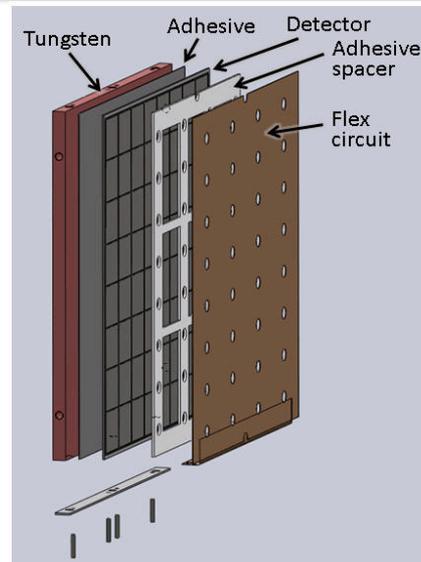
FoCal-E strawman design



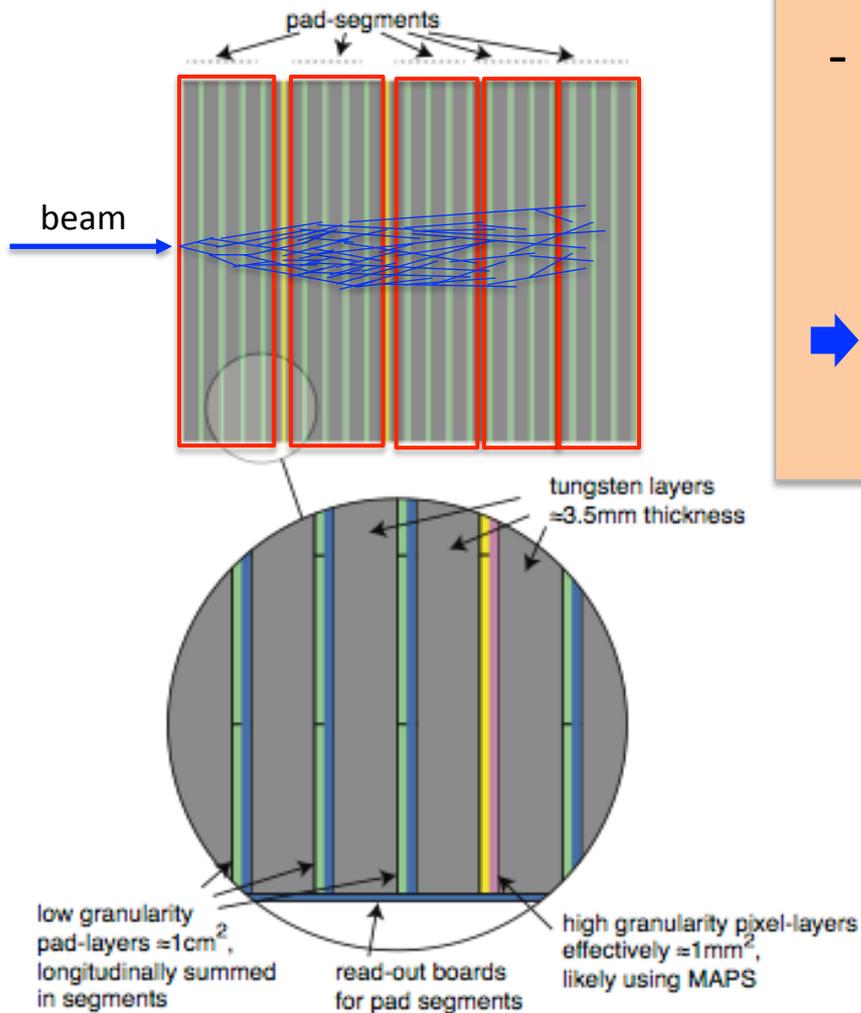
- LGL

アブソーバーのWによって発生したシャワーを $1 \times 1\text{cm}^2$ のSi検出器で計る

- ・ビーム方向にセグメント毎に分けられ4 Layer で1 モジュールを構成する
-> 4layerをSumした値を読み取る



FoCal-E strawman design



- LGL

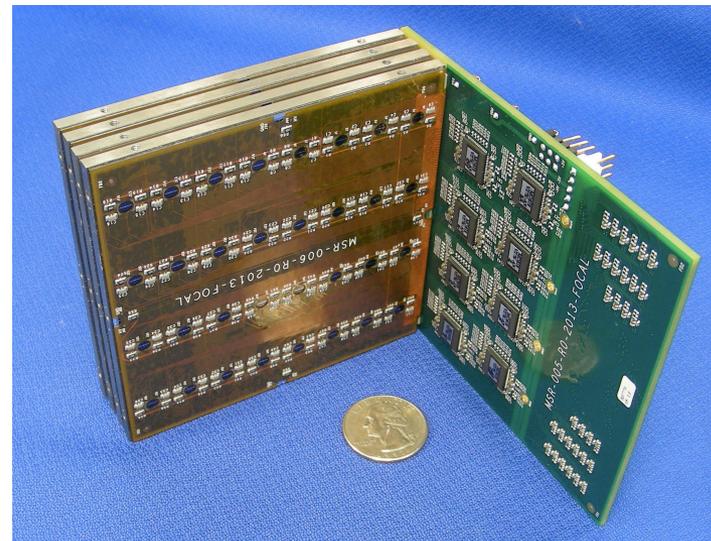
▪ Summing boardの出力は全128ch

-> 0ch ~ 63ch : 1/1 Positive signal

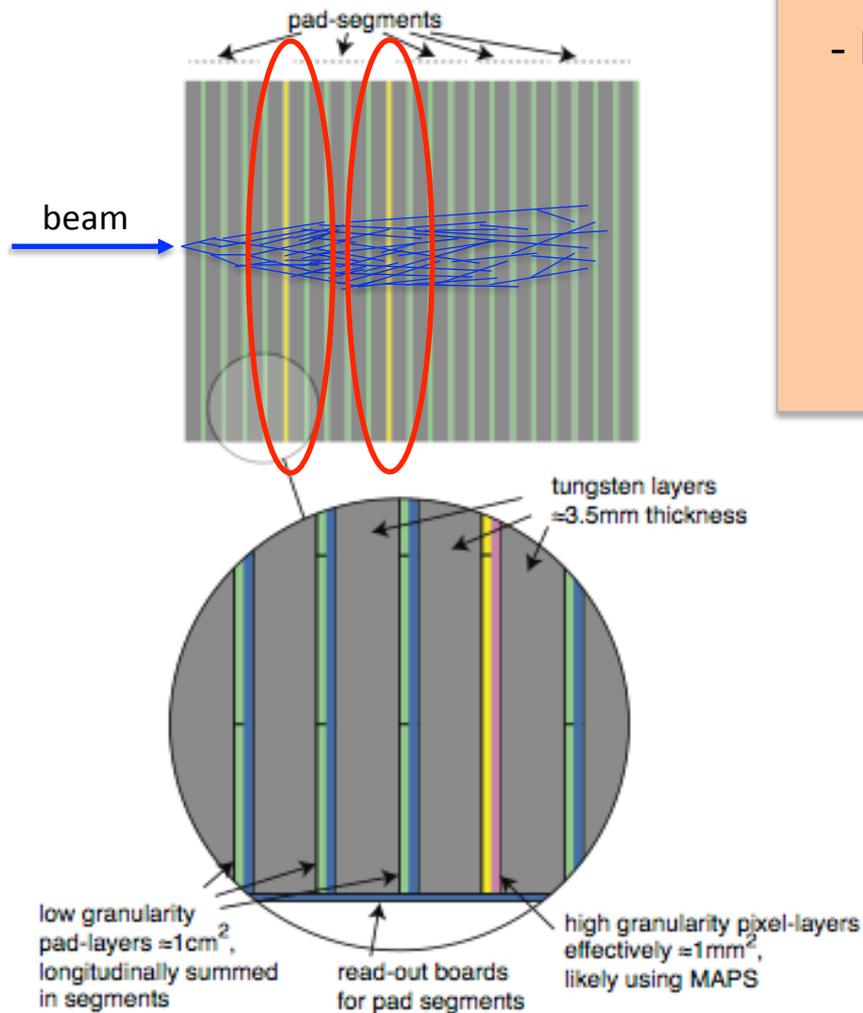
-> 64ch ~ 127ch : 1/16 Negative signal

➡ 読み出し極性を変えるとGainを変える事ができる

製作 : Oak Ridge National Laboratory(U.S)



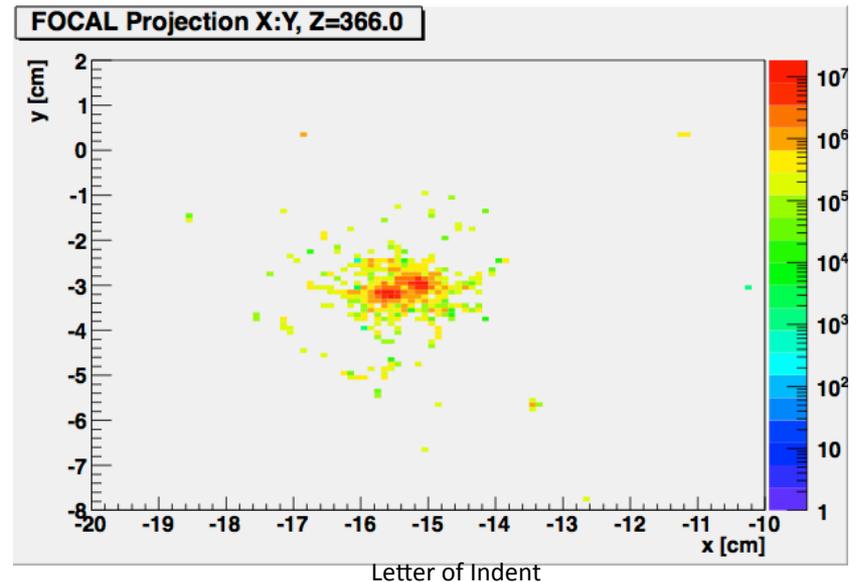
FoCal-E strawman design



- HGL

- ・ 1mm^2 毎の読み出しができるCMOS-pixel検出器
- ・シャワーの形がわかるので、 $\gamma/\pi 0$ 識別が可能

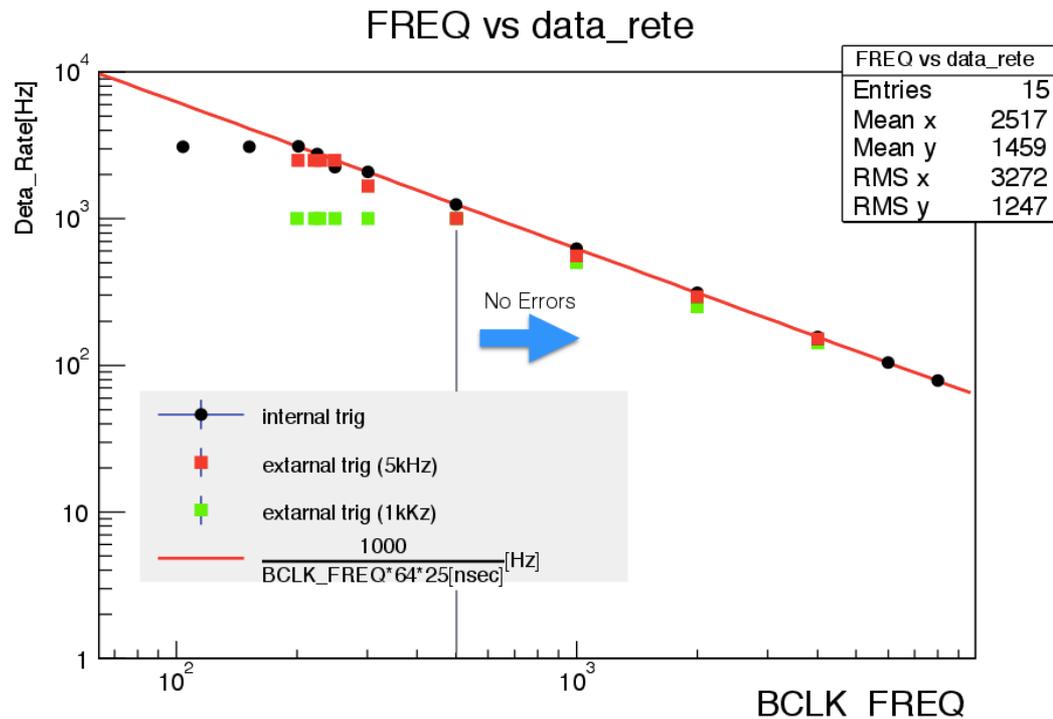
製作 : Utrecht University(Nederland)



Letter of Intent
A Forward Calorimeter(FoCal) for the ALICE experiment

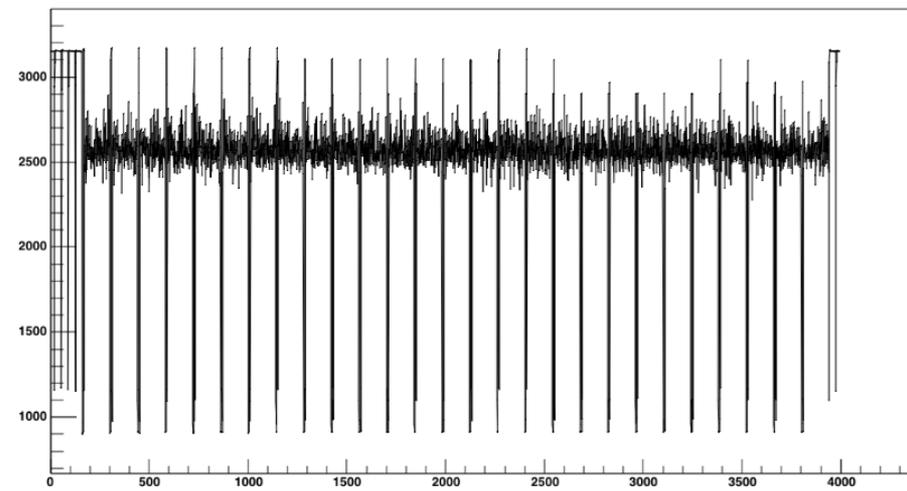
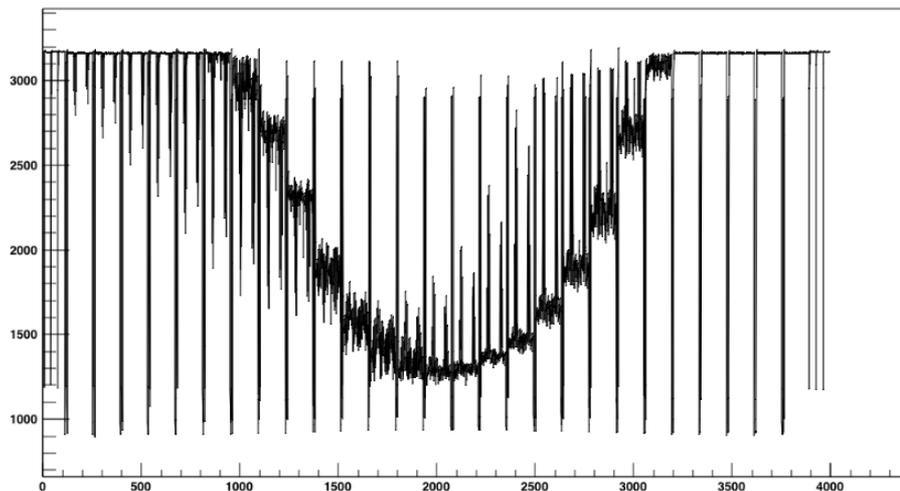
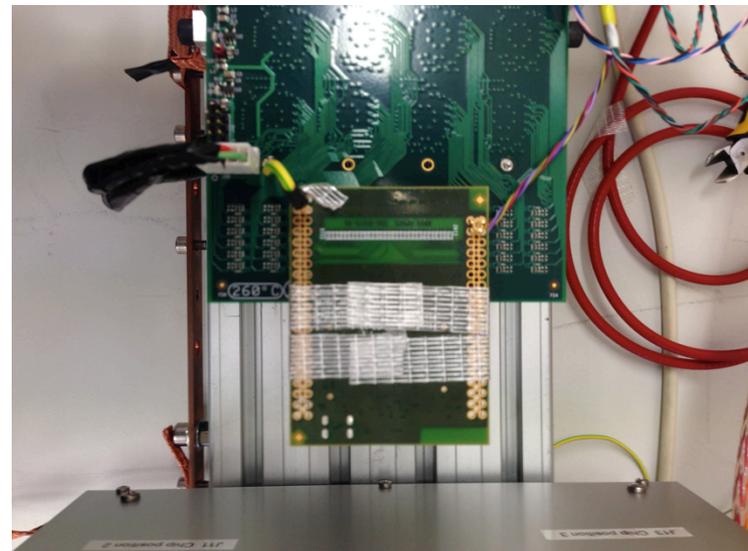
DAQレートのテスト

$$\text{Rate} = \frac{1000}{64 \times 25 \times \text{BLCK_FREQ}} [\text{Hz}]$$



ノイズ対策

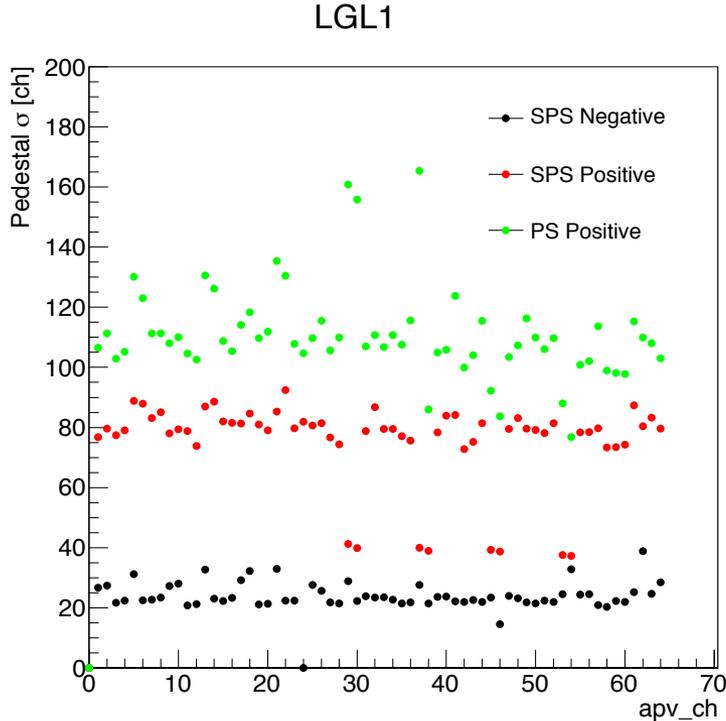
Summing boardとAPVを短い
グランド線で繋ぐことにより
大幅なノイズの削減に成功



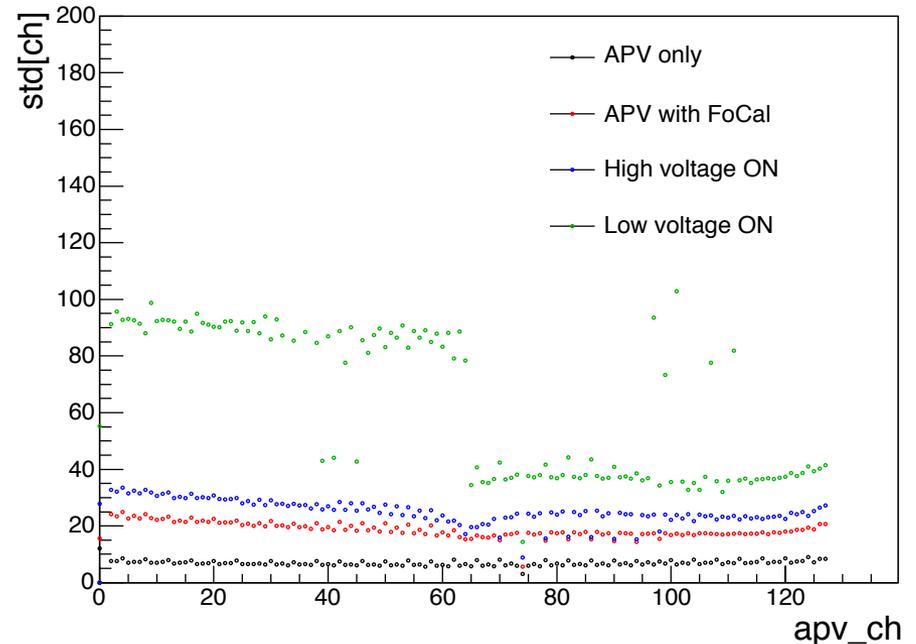
ノイズ対策

・ノイズレベルが高い問題ことが問題であった
ノイズソースとして

- 金属製固定用治具
- 電源ライン



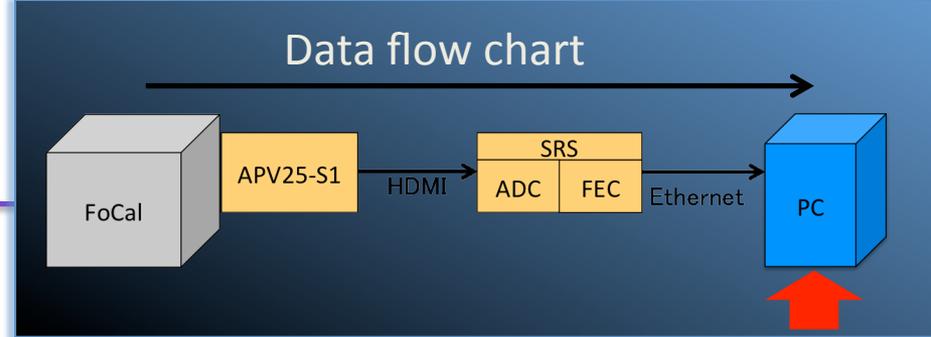
Noise source test



- ・SPSでは低リップルな安定化電源を導入
 - ・非伝導のプラスチック製治具の導入
- ノイズレベルが30%程度減少**

アプリケーション

mmDAQ - ATLAS micromegasのDAQ System

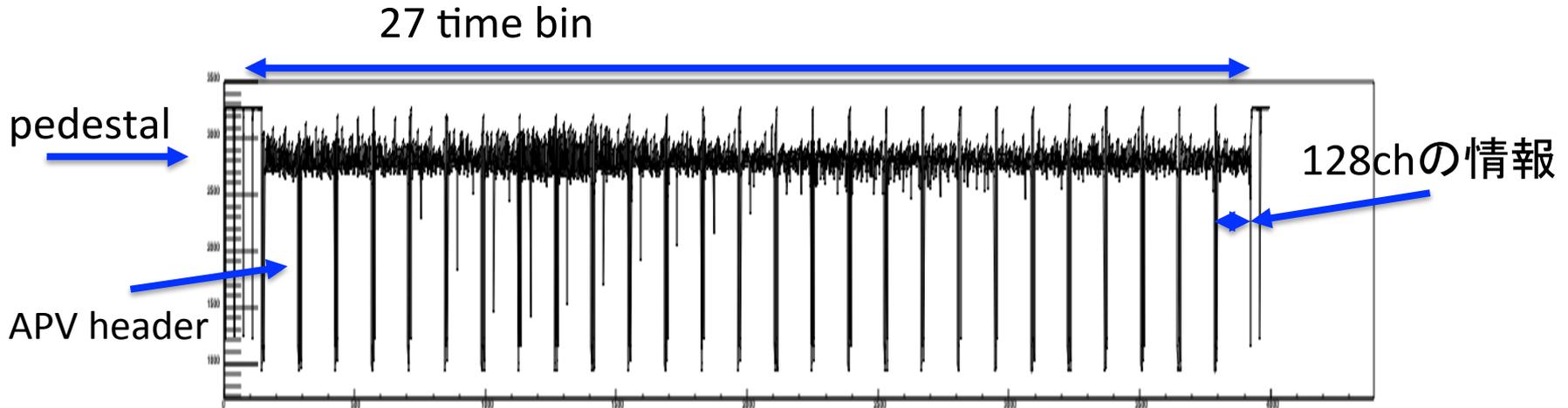
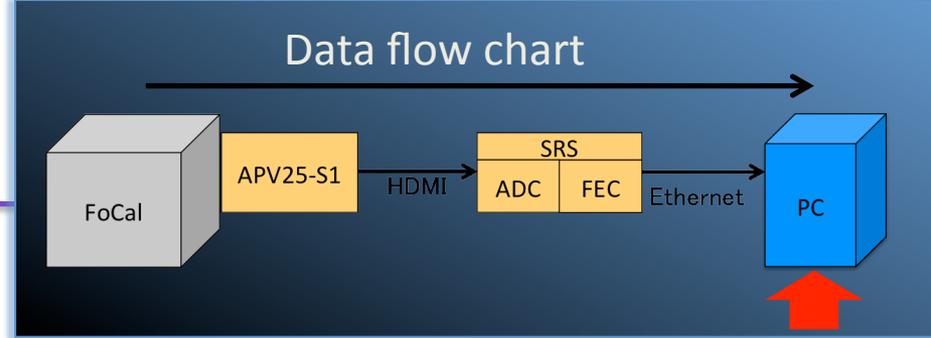


Run control

configuration

online monitoring

アプリケーション



ゼロサプレッション

$$Q_{sum} / N_{timebin} < Ped_{stddev} \cdot A$$

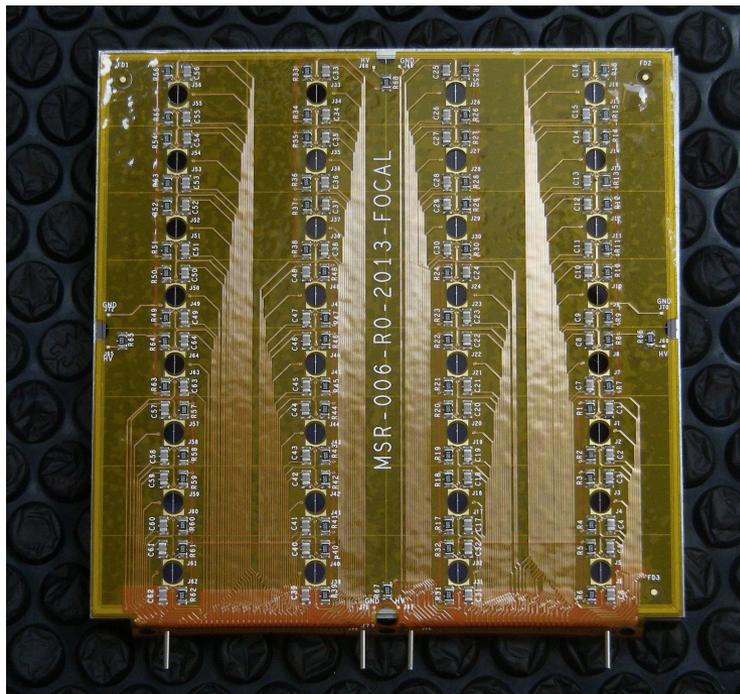
- Qsum : 全タイムビンの和
Ntimebin : タイムビン数
pedstddev : ペDESTALの標準偏差
A : User factor

-run mode

- pedestal -> 各タイムビンの平均値
標準偏差などを計算
physics -> 読み込んだペDESTALファイルから
ペDESTALを差し引いた状態で
データを保存

Channel Mapping

mmDAQの出力チャンネルに対応したMAPを作成



MSR-006-R0-2013-FOCAL

34	36	2	4	63	61	31	29
38	40	6	8	59	17	27	25
42	44	10	12	55	53	23	21
46	48	32	30	33	35	19	17
50	52	28	26	37	39	15	13
64	62	24	22	41	43	1	3
60	58	20	18	45	47	5	7
56	54	16	14	49	51	9	11

Y ↑

X →

基盤、設置の関係からLGL1を基準に取った時

LGL2 : 中心に対して点对称

LGL3 : Xに対して線対称

LGL4 : 中心に点对称かつXに対して線対称

Data format

- mmDAQのデータはrootファイルとして出力

apv_evt : イベント数

apv_id : APVのID

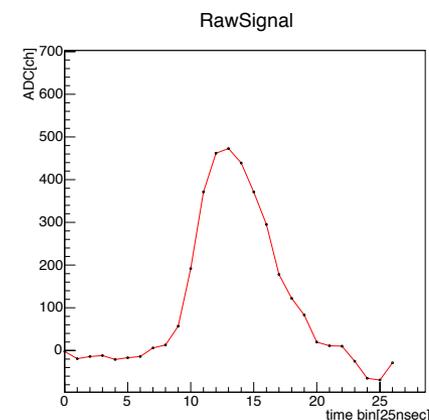
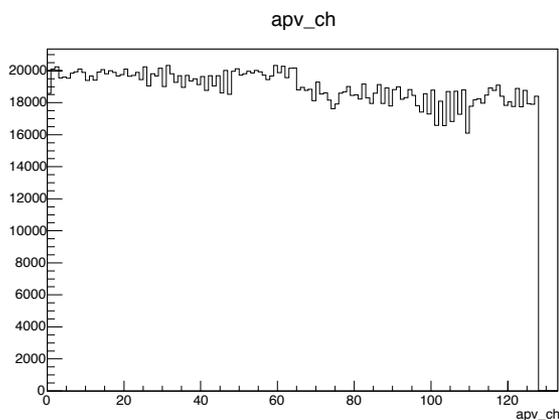
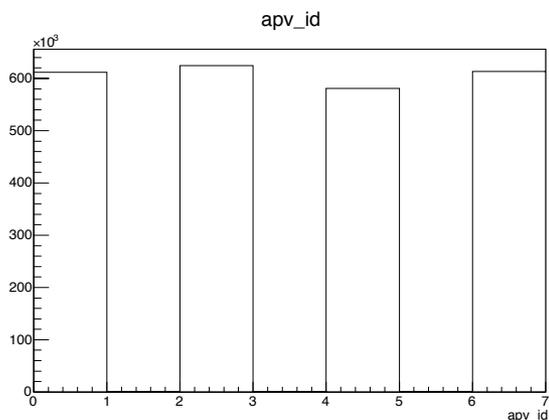
apv_ch : APVのチャンネル

apv_q : 27 time bin の生データ

```

Marge — root — 62x17
hep03:Marge wsato$ root -l run.root
root [0]
Attaching file run.root as _file0...
root [1] raw->Show(0)
=====> EVENT:0
apv_evt      = 1
time_s       = 1416308254
time_us      = 277914
apv_fecNo    = (vector<unsigned int>*)0x7fc963d9e370
apv_id       = (vector<unsigned int>*)0x7fc963d9f000
apv_ch       = (vector<unsigned int>*)0x7fc963d9f730
mm_id        = (vector<string>*)0x7fc963da0140
mm_readout   = (vector<unsigned int>*)0x7fc963da0940
mm_strip     = (vector<unsigned int>*)0x7fc963da1210
apv_q        = (vector<vector<short> >*)0x7fc963da1b50
apv_presamples = 0
root [2]

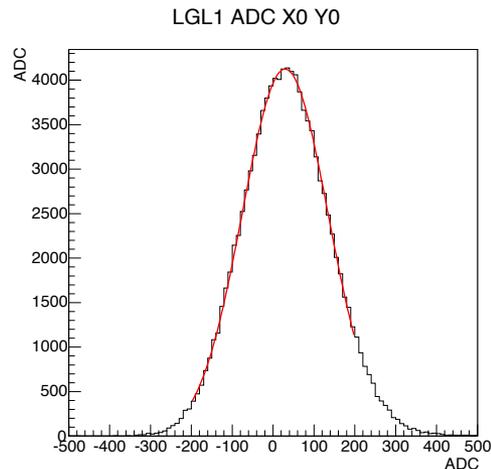
```



Hitの定義と解析に使用した値

- ペDESTALのフラクチュエーションを各LGL、Padに対して計算

ガウス関数でFit

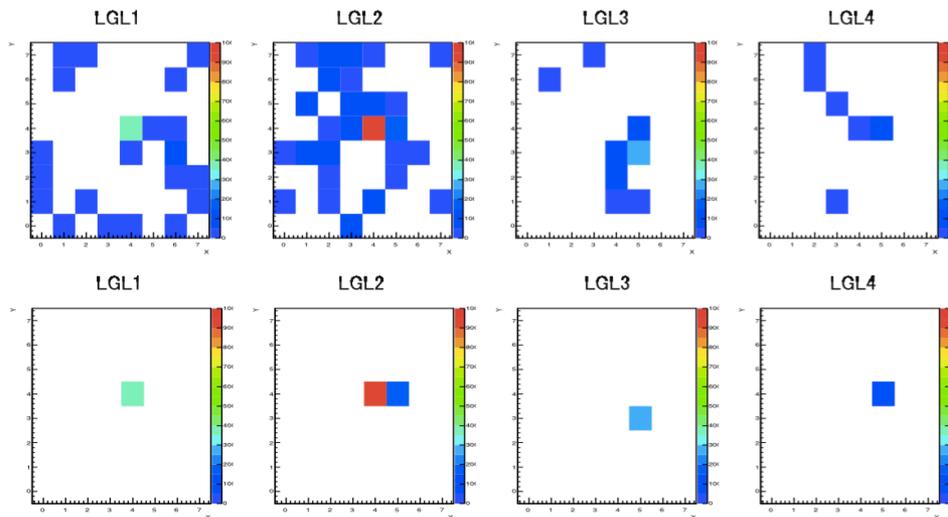
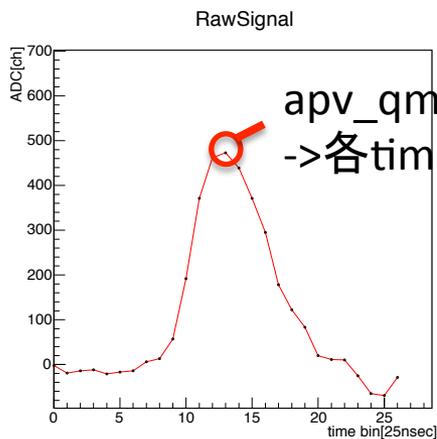


$$f(x) = A \cdot \exp\left\{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

A : constant
 μ : mean
 σ : sigma

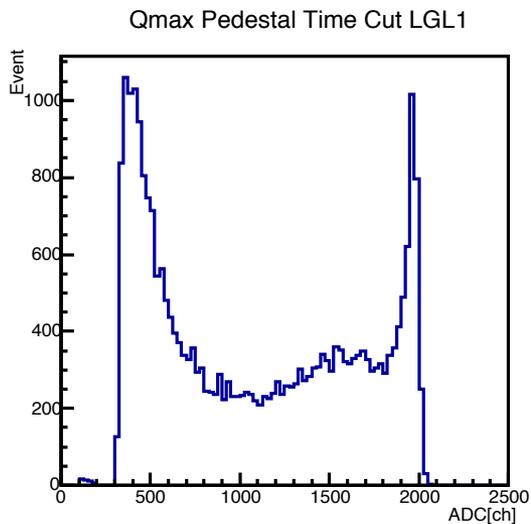
以下の条件に当てはまったものをHitとみなした

$$apv_qmax > \mu + 4\sigma$$

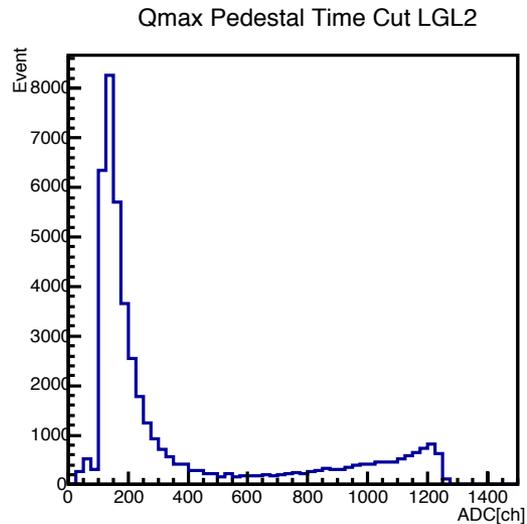


シグナルの飽和

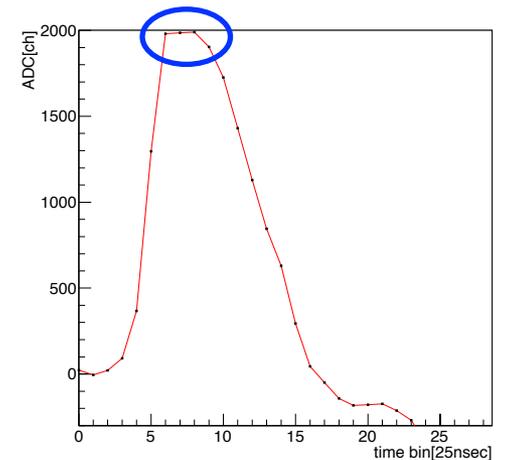
- ・ビームを当てた時のFoCalのシグナルが飽和している
 - High Gainは2GeVですでに飽和していた
 - Low Gainは50GeVでシグナルが飽和している



2GeV HighGain



50GeV LowGain



エネルギー分解能

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\sqrt{E}}\right)^2 + \sigma_0^2}$$

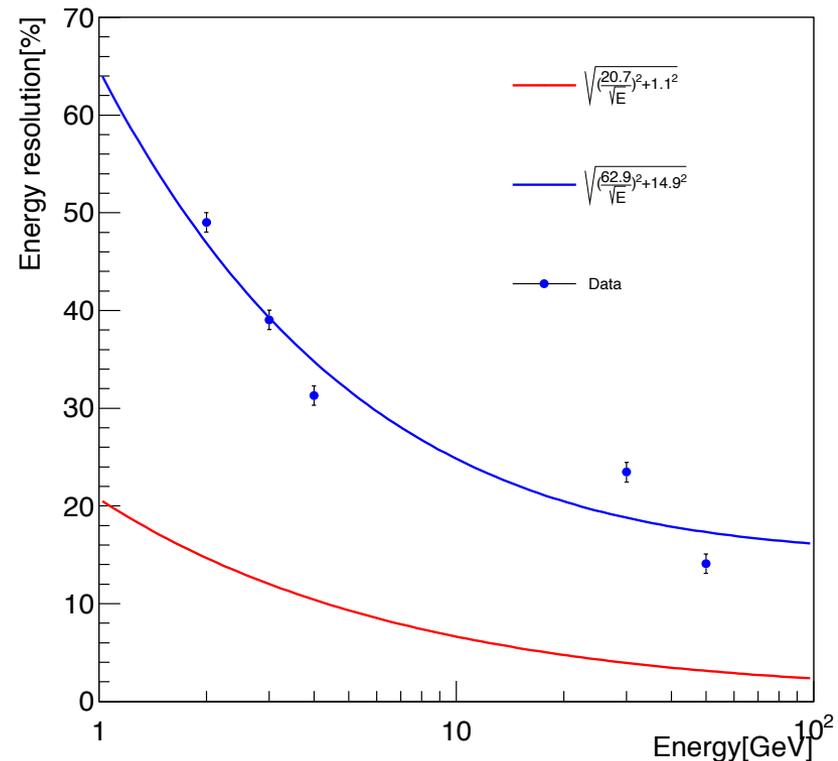
σ_1 : 統計項 σ_0 : 定数項

Fitした結果から

$$\sigma^1 = 62.9、\sigma^2 = 14.9$$

シミュレーションでは

$$\sigma_1 = 20.7、\sigma_2 = 1.1$$



- ・シミュレーションと比較してエネルギー分解能が悪い
 - 統計項はシャワーの粒子数に依存する。Si検出器、及びエレクトロニクス部分でシグナルの飽和がおきシャワー中の粒子数をきちんと計測できていない
 - 定数項では現在のノイズレベルが高いことに起因

MIPシグナル

