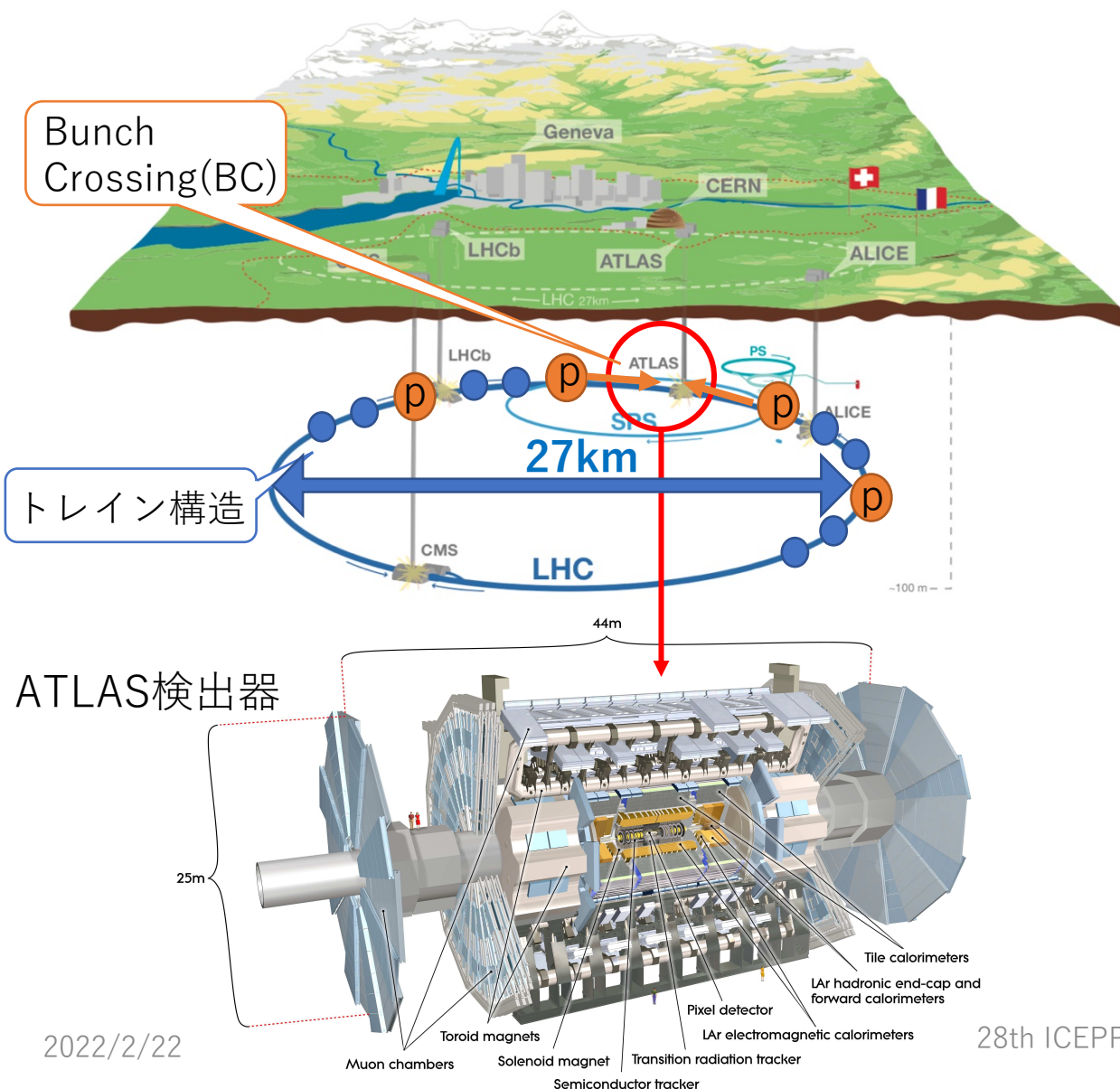


# LHC-ATLAS実験 Phase I upgrade LArカロリメータ 新トリガー読み出しシステム におけるフィルタリング手法の最適化

田中研究室 古川 真林



# LHC-ATLAS実験



LHC(Large Hadron Collider)  
周長27kmの大型円形加速器  
重心系エネルギー

Run2(2015-2018)13TeV

Run3(2022-2024)13.6TeV予定

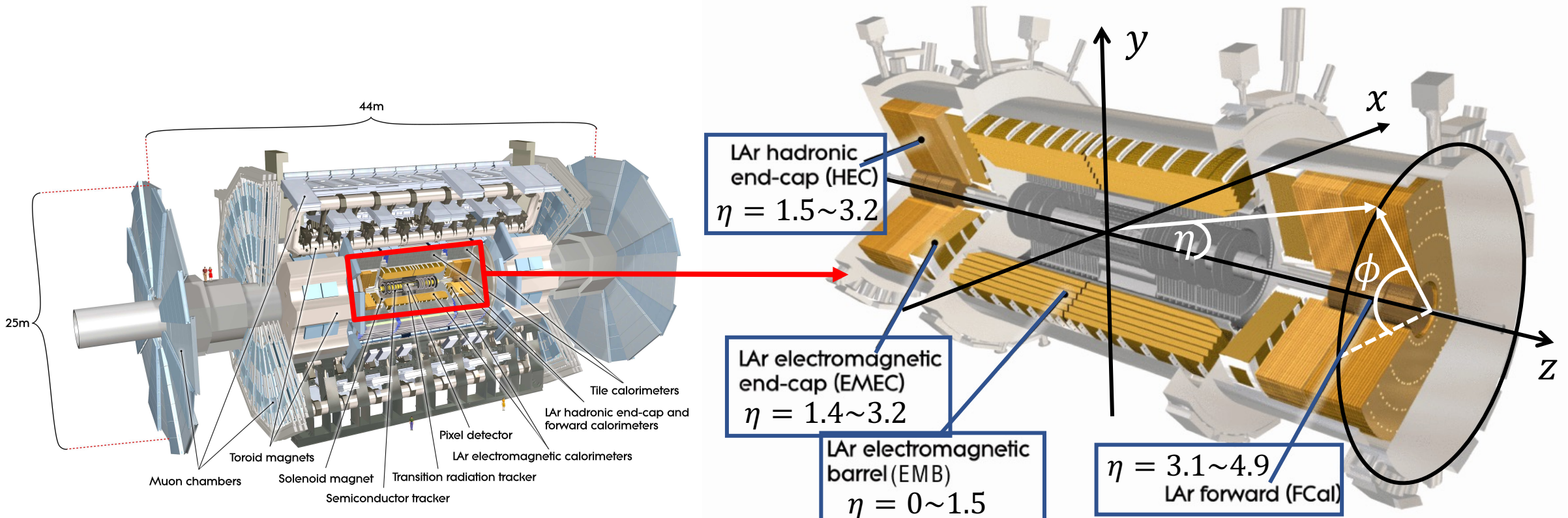
陽子 $10^{11}$ 個が25nsおきに衝突

## ATLAS検出器

- 複数のサブ検出器から構成
- 陽子衝突によって生成された粒子を検出
- 興味のある事象のみを選別するためトリガーが重要

# 液体アルゴン(LAr)カロリメータ

- 液体アルゴンを検出層にしたサンプリング型カロリメータ
- 鉛を吸収層として、電磁シャワーを起こし電子や光子のエネルギーを測定
- 10万個以上の細かい領域“LAr Cell”に分割管理、 $(\eta, \phi)$ の座標で表す。
- L1トリガーのための信号も発行し、データを選別



# Upgrade計画

インストレーション完了  
コミッショニング中(本研究)



ATLAS検出器  
Phase1 upgrade

※Run3は2022～2025年の4年間  
LS3は1年遅れる

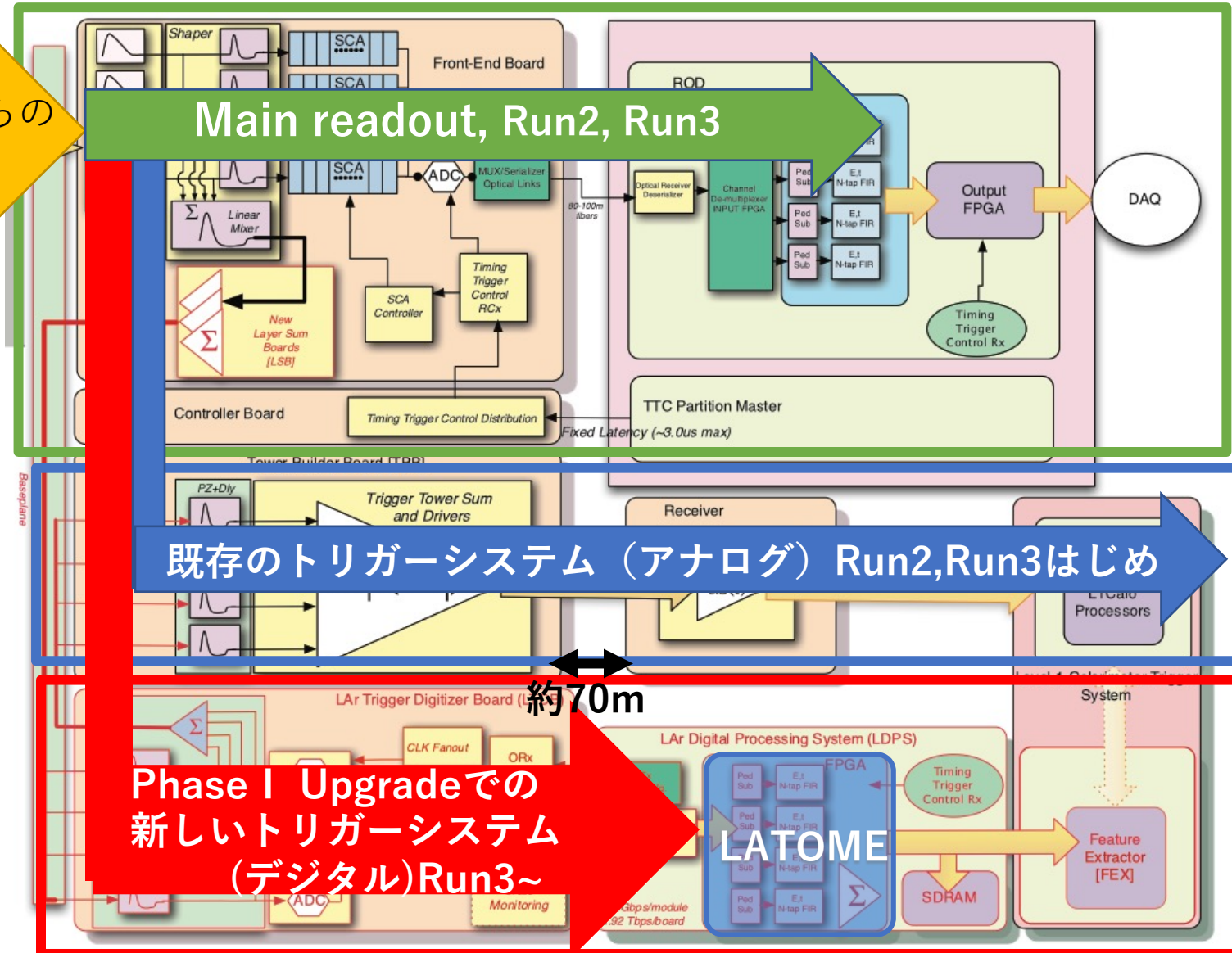
# LArカロリメータ Readout system

## 2つのリードアウト

- ・メイン：物理解析用データ収集
- トリガー：イベントレートを下げる

- ・高輝度化に向けてトリガーシステムを刷新
- ・LATOME firmwareで横エネルギー  $E_T$  と理想的なタイミングからのズレ  $\tau$  を再構成  
→ここで必要なパラメータを評価することが本研究のテーマ

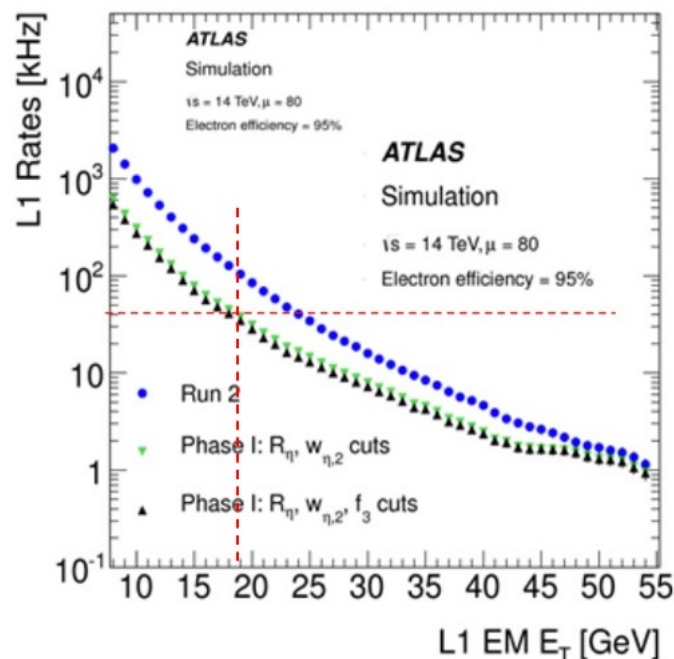
検出器からの信号



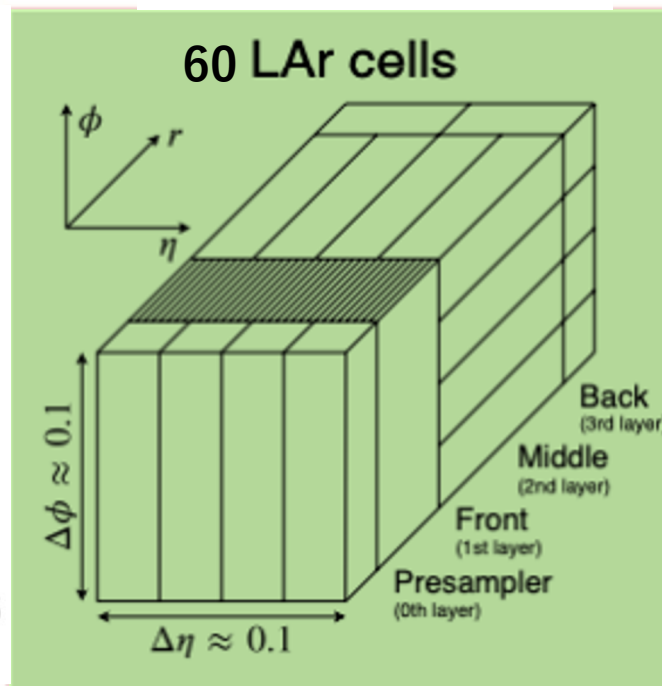
# Super Cells (SC)

後段に要求されるトリガーレートを超えずに、なるべく低い閾値でトリガーしたい。

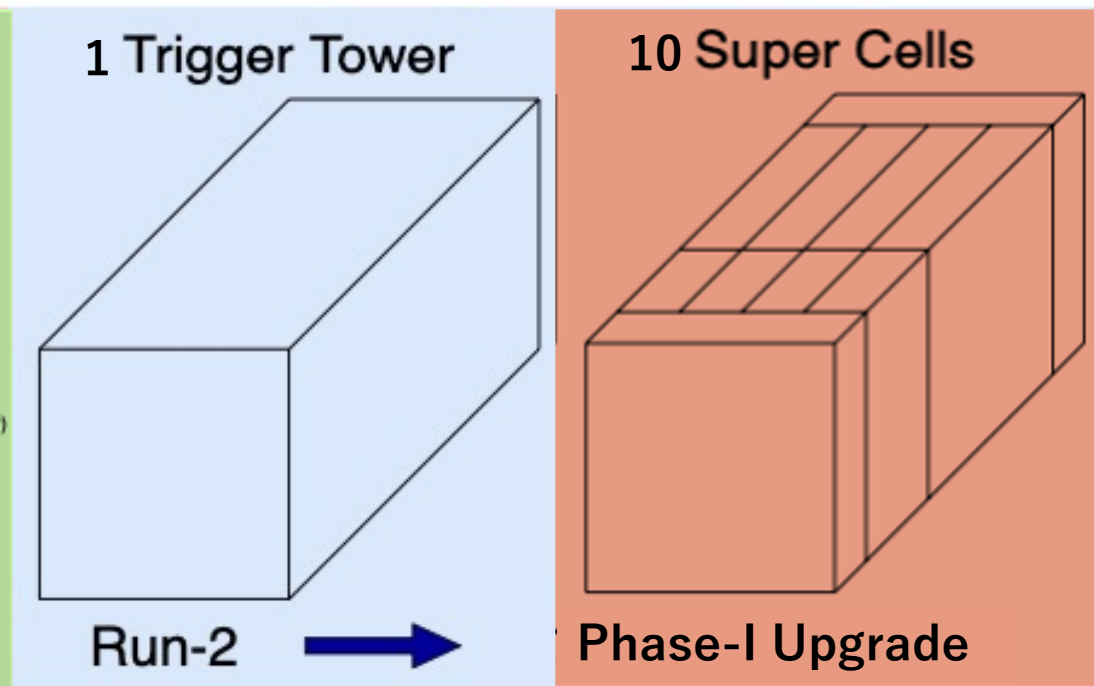
- 高い位置分解能を実現するために“LAr cell”に分割
- トリガー読み出しシステム：Trigger Tower単位で $E_T$ を足し合わせて読み出し  
→Run3から読み出しセル数を今までの10倍の“**Super Cell**”



Main readout

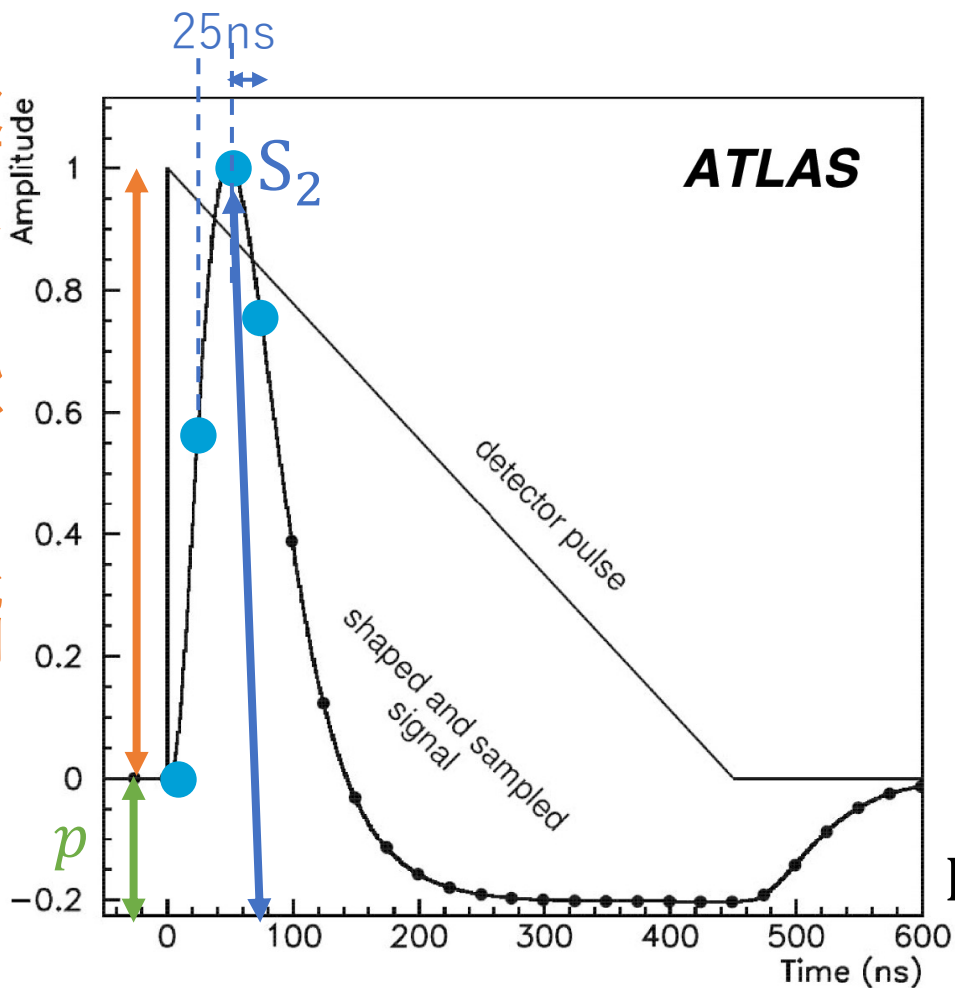


Trigger readout



# 横エネルギー $E_T$ タイミング $\tau$ の計算方法

波高はエネルギーに比例



- 検出器からの三角パルスを増幅, バイポーラ波形へ
- 25nsおきにデジタイズ
- 信号対雑音比を最大にする **Optimal Filter(OF)** によって  $E_T, \tau$  を再構成  
LATOMEで125ns以内に計算するため,  
4点サンプリング

$$E_T = \sum_{i=0}^3 A_i (S_i - p)$$

$$E_T \tau = \sum_{i=0}^3 B_i (S_i - p)$$

**Optimal Filter Coefficient (OFC)**

$E_T$ によらず波形が同じなら同様に積和のみで計算

→OFCはあらかじめ決めておく必要がある。

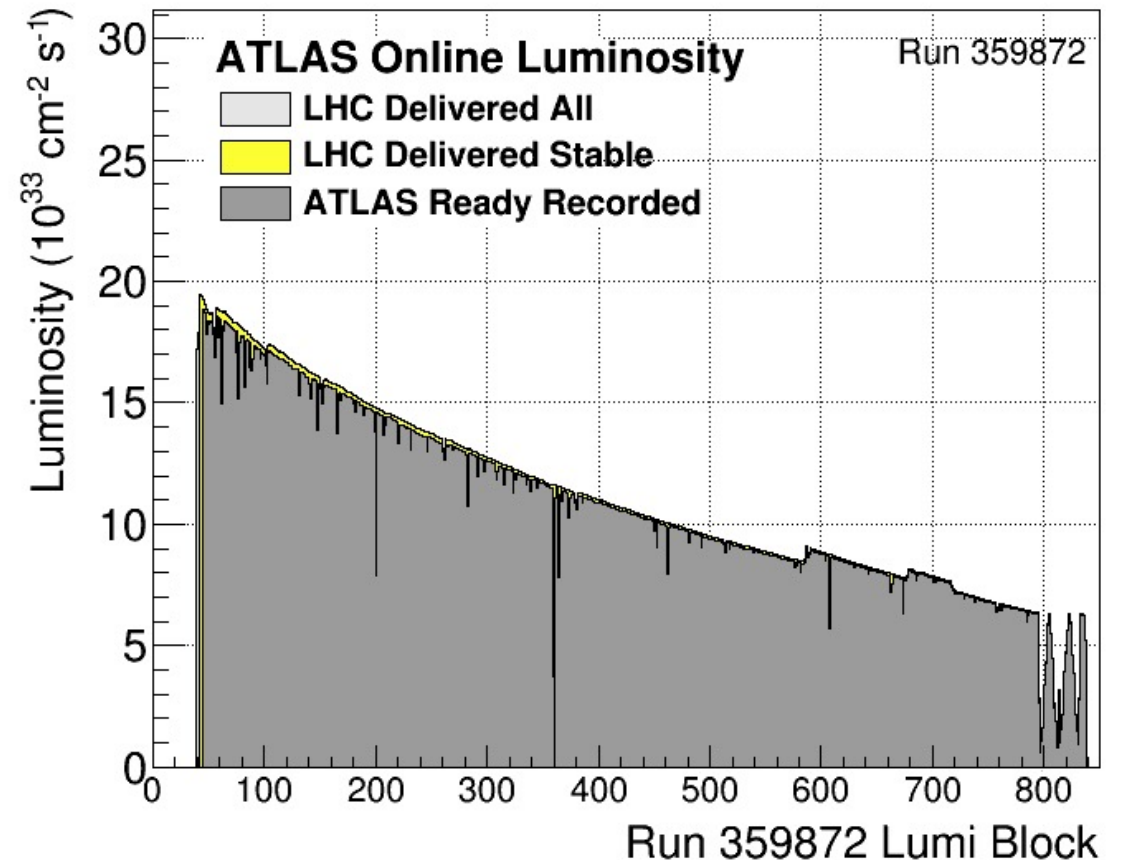
# 本研究について

OFCを算出する際に最適な平均相互作用数 $\mu$ を検討する

実際の衝突による $\mu_{coll}$   
エネルギーの低下、陽子の減少など  
によって時間と共に減衰



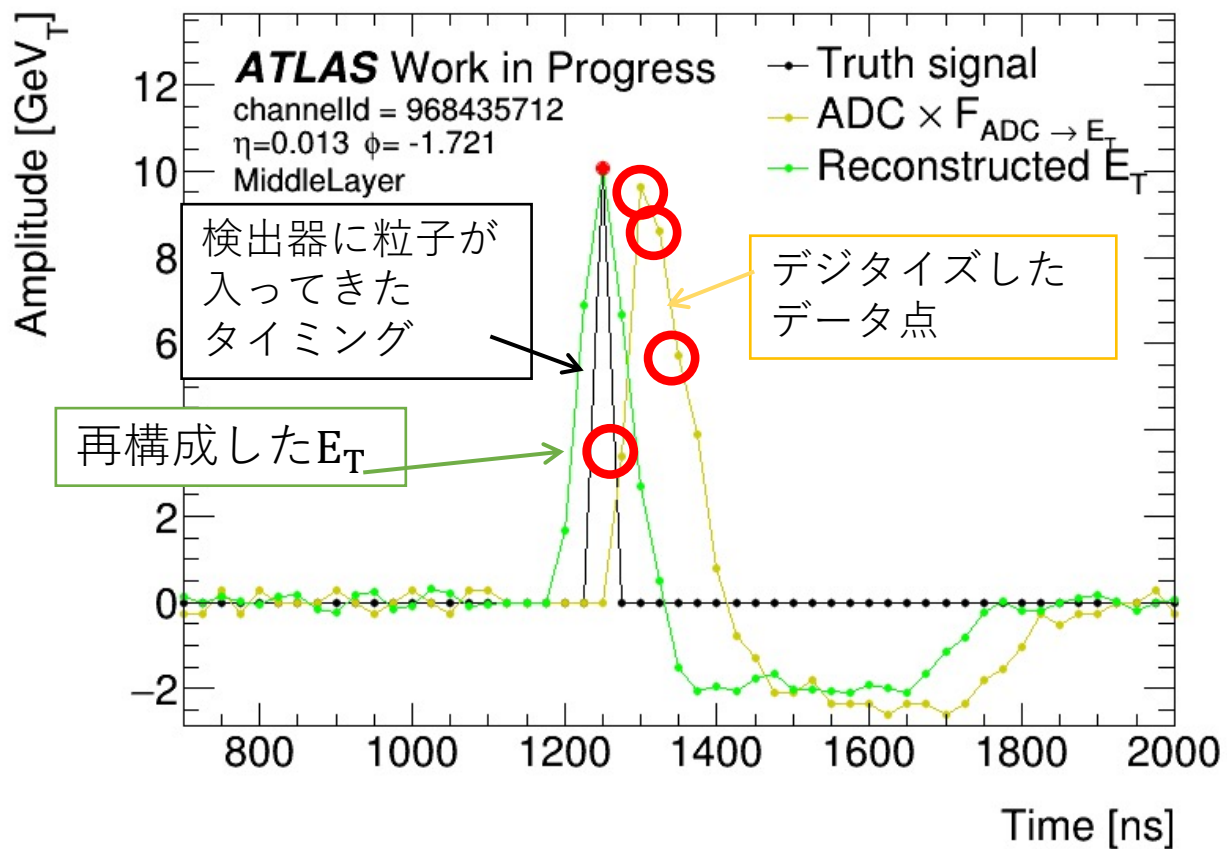
OFCを決定する際に設定した $\mu_{OFC}$   
OFCはあらかじめ決めておく必要  
Run中に変更できない



$\mu_{coll}$ が変わってもできるだけ正しくエネルギーとタイミングを再構成できる  
OFCの $\mu_{OFC}$ の設定を調査する



# 研究方法



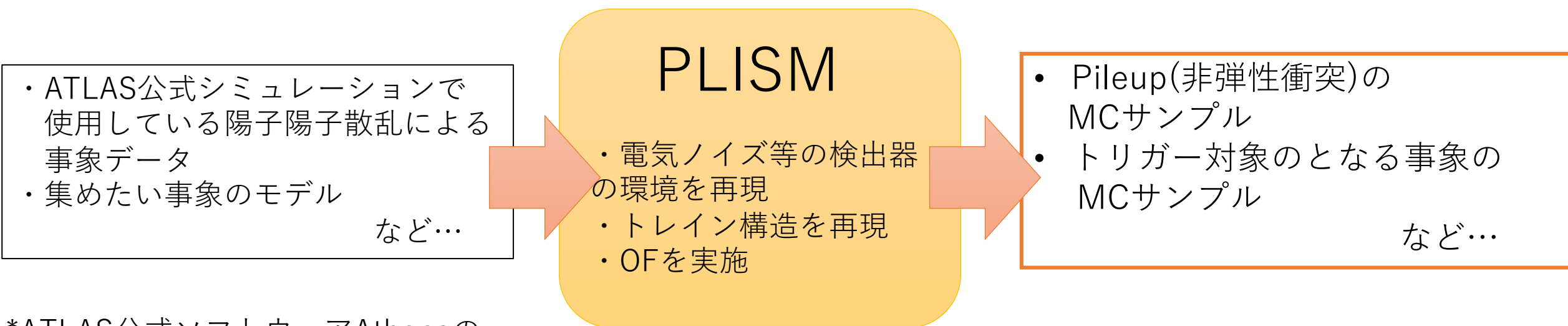
$\mu_{OFC}$  に対して  $\mu_{coll}$  を変更し、OFの結果がどれほどずれるかを分散・平均値によって評価

→ どの  $\mu_{OFC}$  が OFC の算出に最適かを検討

各  $\mu$  の組み合わせごとに 2000 パターンの  $E_T, \tau$  について分散を計算

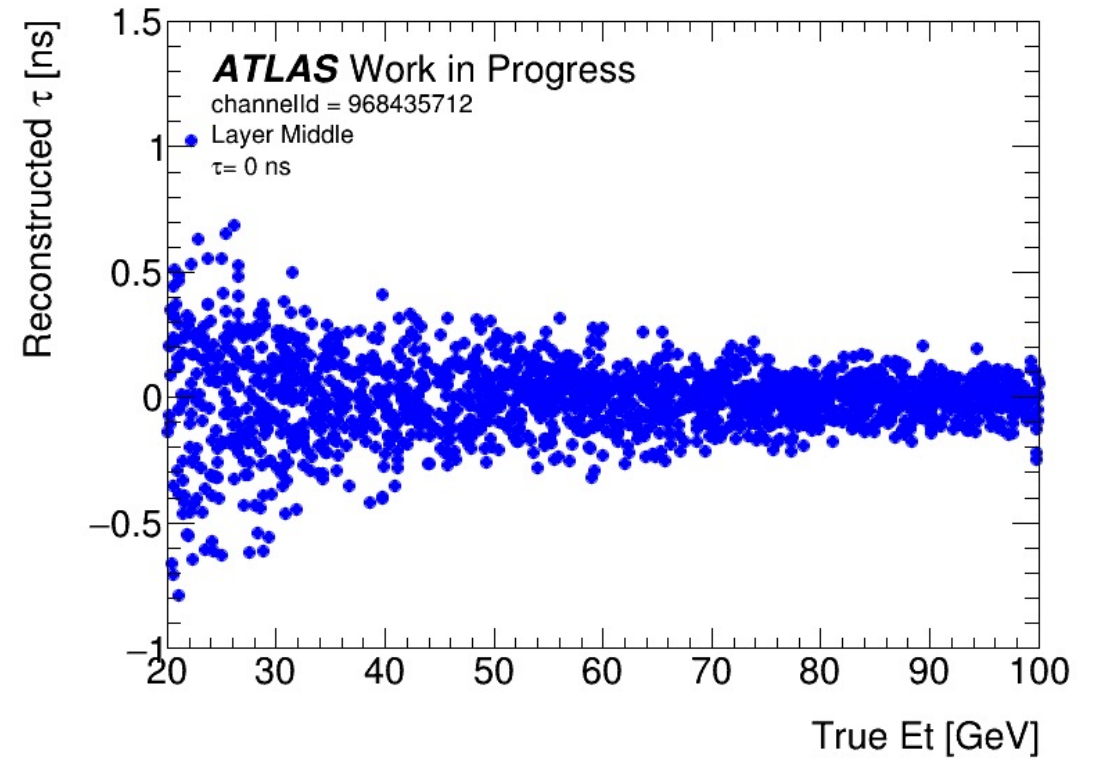
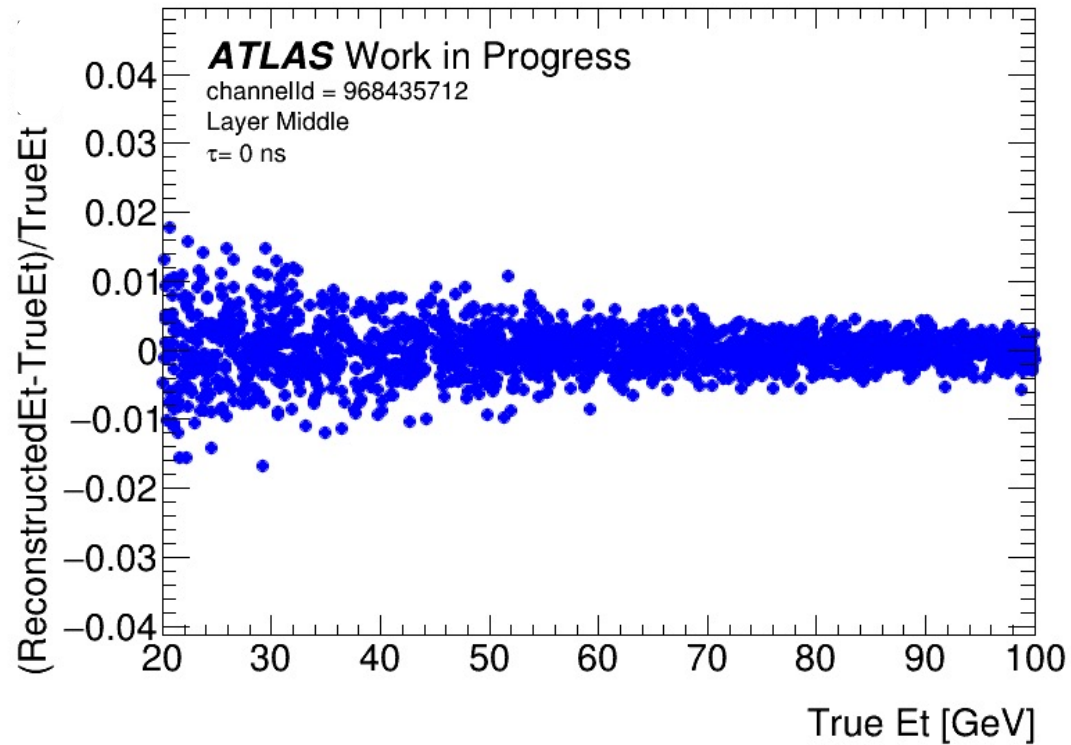
# PLISM(Phased LAr signal Sequence Maker)

- 東大チームが開発したLArのためのシミュレーションソフトウェア
- 主な目的 : 検出器の信号に対してデジタイズ( $E_T$ 値の離散化(ADCの効果))や、 $E_T, \tau$ の再構成がされたデータセットを作ること。



\*ATLAS公式ソフトウェアAthenaの  
P1 Calibration Processingのoutput

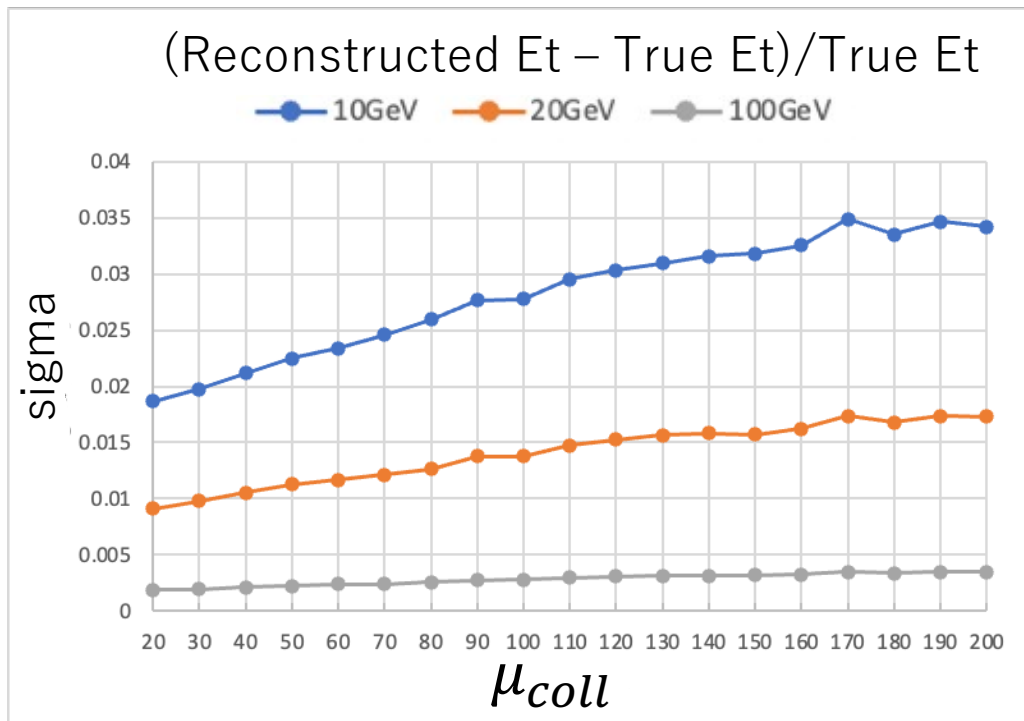
# PLISMを利用したカロリメータの性能評価



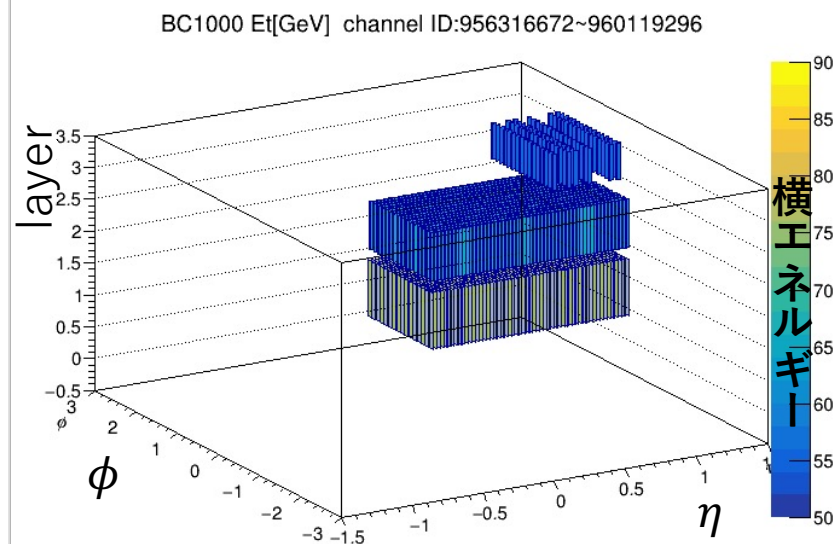
# 現状と今後について

## ソフトウェア開発

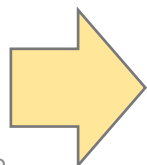
$\mu_{OFC} = 80$  で算出したOFCで計算した $E_T$ の振る舞い



複数SCにまたがる情報処理  
( $e^-$ ,  $\gamma$ のオブジェクト単位)



$\mu_{OFC}$  に対するOFの振る舞い  
→ 「 $\mu_{OFC}$  に依存したOFCを得るソフトウェア」にバグの可能性  
( $\mu_{OFC} = 80$ 以外のOFCの確認中)



$\mu_{OFC}$  のパフォーマンス評価

- オブジェクト単位
- イベント単位

# Summary

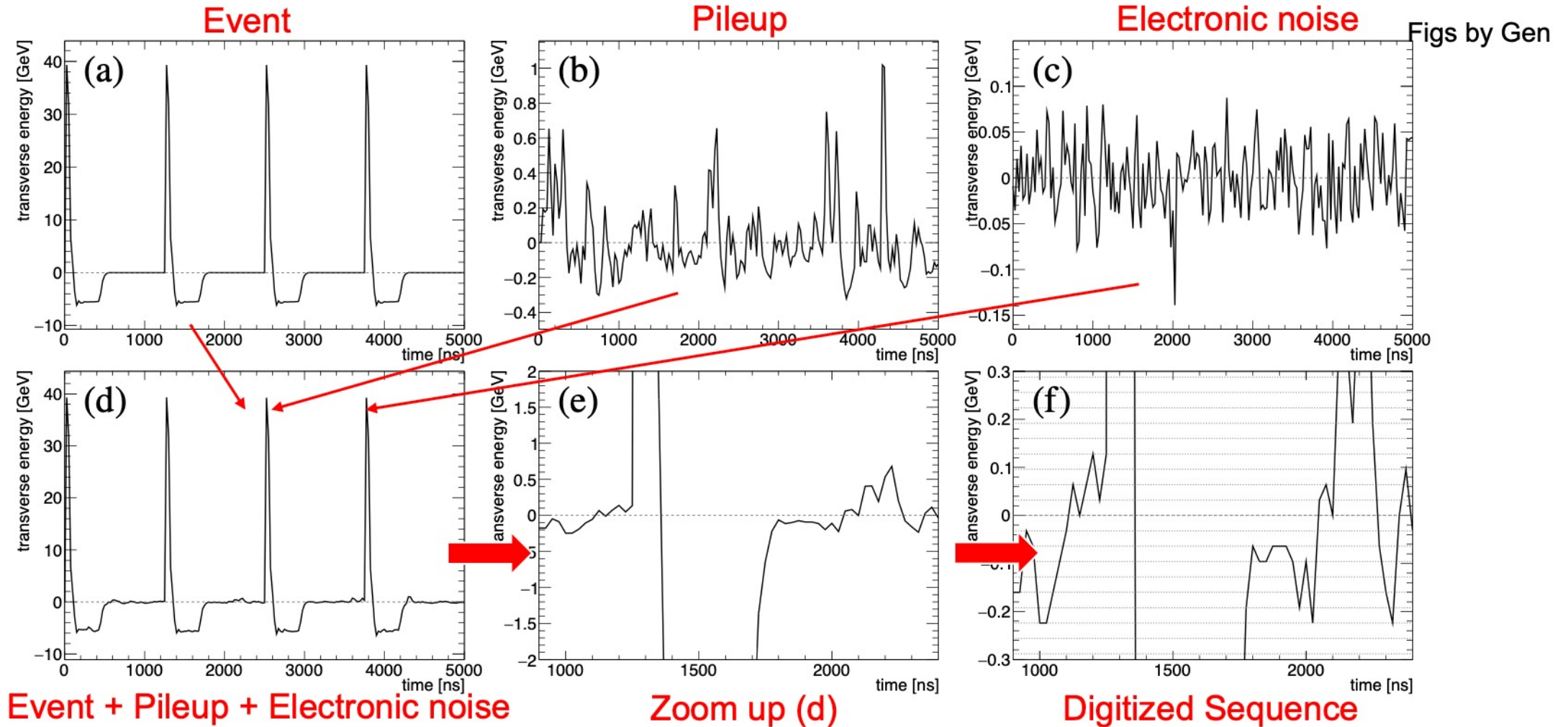
- Run3から導入されたoptimal filterのための係数OFCを評価
  - Run3はじめでは既存のシステムを使用、並行して新トリガーシステムの試験を実施、半年程度で移行
- ある $\mu_{OFC}$ に対し、 $\mu_{coll}$ を変化させてその分散を計算することで $\mu_{OFC}$ を評価
  - $\mu_{coll}$ ,  $E_T$ に対する $\mu_{OFC}$ の振る舞いの確認が可能
  - 複数SCにまたがる情報を可視化に成功。

最終的にRun3で使用するOFCの $\mu$ の設定を決定、評価する。

- Cluster レベルのEnergy、 $R_\eta$ によるパフォーマンス
  - Event レベルの評価としてMETの分解能
- も合わせて確認。日本物理学会春季大会での発表を目指す。

Back up

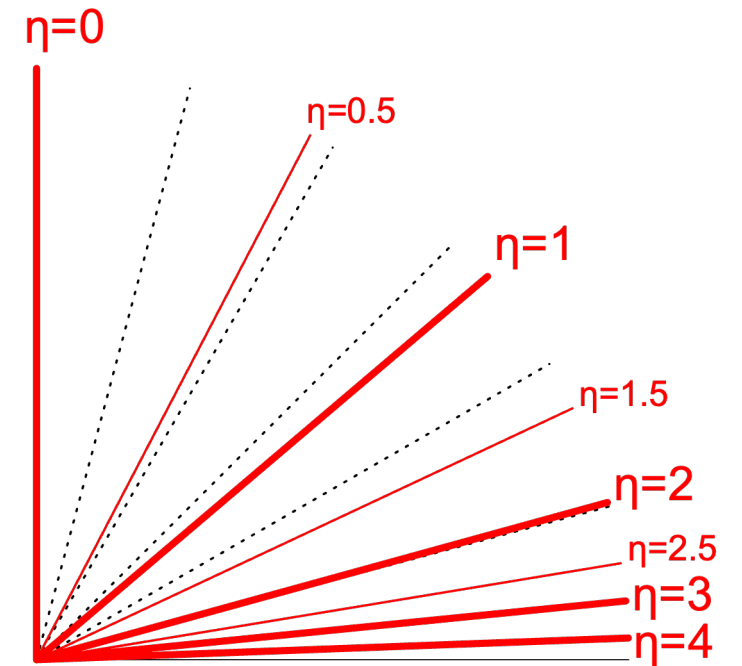
# Variable sequence tree from PLISM



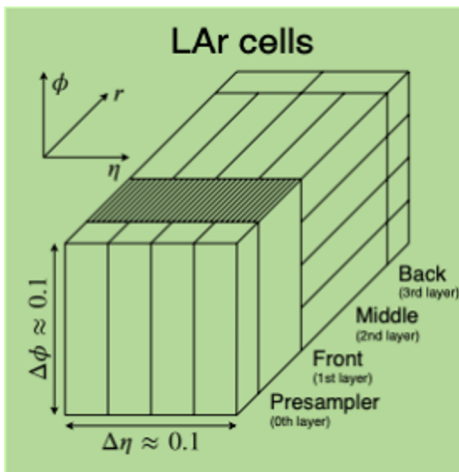
# 擬ラピディティ

$$\eta \equiv -\ln \left[ \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$$

速度を表すラピディティとの差がローレンツ不変のため、粒子間の $\Delta y, \Delta\eta$ は実験室系でも、ある粒子の静止系でも、基準形によらずに一定。







Middle layer で最も大きなエネルギーを落とした Supercell を中心に

$$R_\eta = \frac{E_T^{Middle}, \Delta\eta \times \Delta\phi = 0.075 \times 0.2}{E_T^{Middle}, \Delta\eta \times \Delta\phi = 0.175 \times 0.2}$$

電子、光子は  $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} \approx 0.08$   
 ジェット  $\Delta R \approx 0.8$   
 にエネルギーのほとんどを落とす

