

ATLAS実験のsTGC検出器を用いた後段ミュオントリガー のアルゴリズムの開発及びその性能評価



The support structure of
one of the two New Small Wheels

Shinshu University
High Energy Physics lab
Master 1
Takuya Kumaoka

Contents

1 LHC ATLAS実験 RUN3 Upgrade

2 HLT sTGC algorithm

3 Result

4 Summery & Future work

1.1 LHC-ATLAS実験

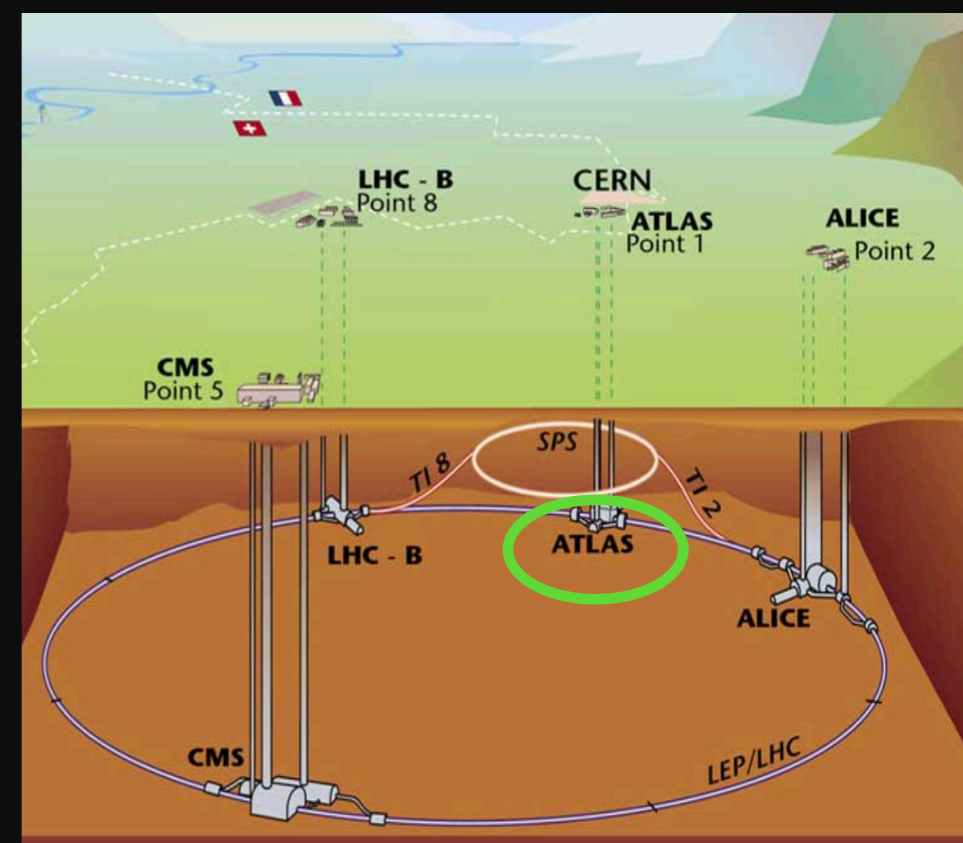
LHC-ATLAS実験

陽子-陽子衝突により、高エネルギー状態を作り、
様々な素粒子・ハドロン物理のモデルの検証および新物理の発見を目指した実験

2012年に標準模型が予言する最後の粒子であるHiggs粒子を発見
昨年Higgs粒子のbb崩壊が観測された

衝突頻度を上げ、統計数を増やすことにより、
標準模型の精密測定・新物理の発見を行う

	重心系エネルギー	積分ルミノシティ
RUN1(2011 ~2013)	7-8 TeV	30 fb ⁻¹
RUN2(2015 ~2019)	13-14 TeV	150 fb ⁻¹
RUN3(2021~)	14 TeV	300 fb⁻¹

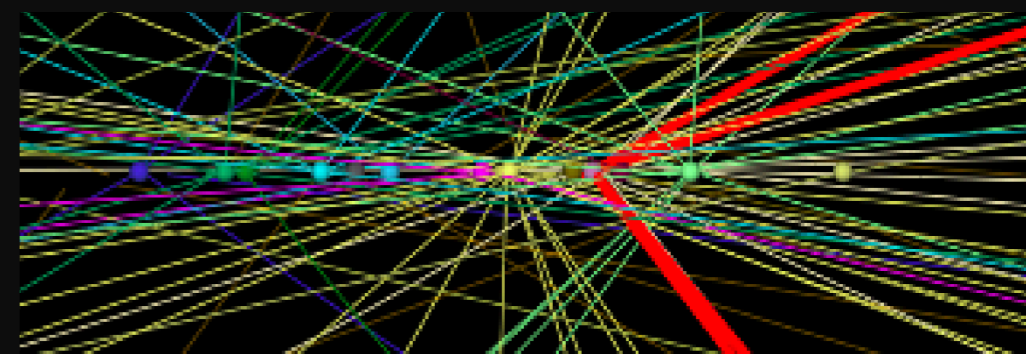


LHC-ATLAS実験

1.2 High Level Trigger (HLT)

Trigger system

大量のeventを高速解析し、
興味のあるeventを選別するsystem



極力高エネルギーの衝突eventが見たい

→ z軸方向の運動エネルギーが大きな質量に変換されたevent

→ 横方向運動量 (p_T) が大きい粒子が発生しやすい

Level-1 Trigger (L1)

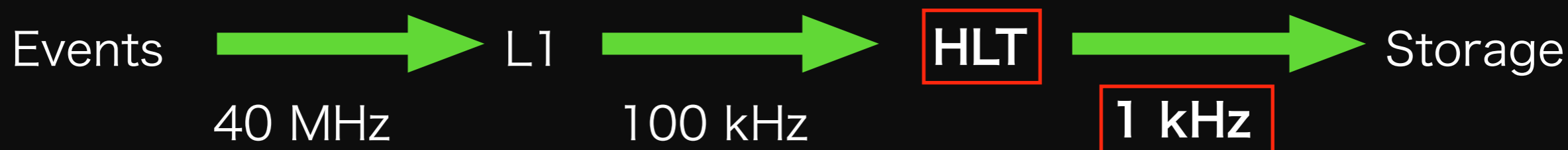
Hardware

High Level Trigger (HLT)

Software

→ L1からの位置情報周辺領域に絞ってより精度の良い p_T を再構成

→ 閾値以上の p_T の粒子のみを取得



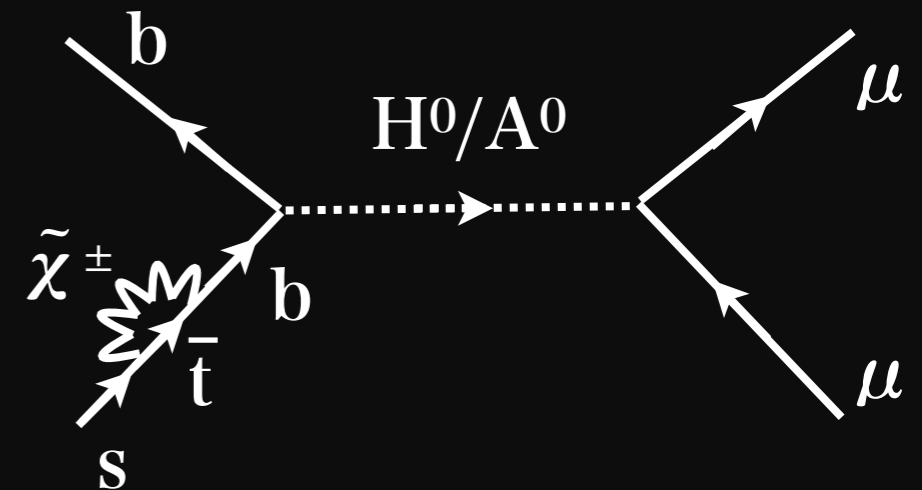
1.3 μ の物理

Higgs粒子の質量再構成において μ を正確捉えることは非常に重要である。

超対称性粒子など崩壊においてもhigh p_T の μ が生成されると予想される。

TeV 領域に超対称性粒子のような新しい粒子が存在している場合、その輻射補正が $B_s \rightarrow \mu\mu$ 崩壊のような低い質量領域にあらわれることが期待されている。

このようなeventによる μ は p_T は少し小さいため、この範囲においては閾値を保つ必要がある



SUSY模型における $B_s \rightarrow \mu\mu$

1.4 研究動機

RUN3において瞬間LuminosityがRUN2の 1.5 倍程度 となる

RUN2までの Inner End-cap muon spectrometer

Small Wheel : TGC(トリガー用) + MDT, CSC(精密測定用)

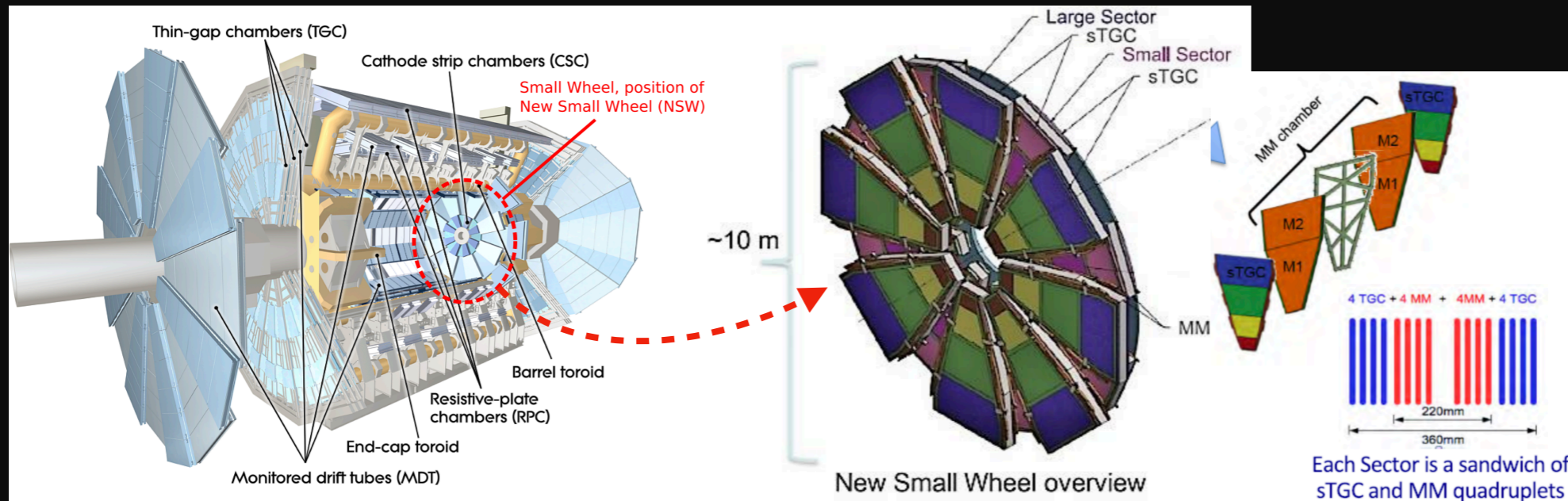
p_T の閾値を維持したままでは
eventが処理しきれない

New Small Wheel(NSW) : (カバー領域 $1.3 < |\eta| < 2.7$)

Micromegas + **sTGC** (トリガー用+精密測定用)
に置き換えられる

新しい検出器に対応したalgorithmが必要となる

ATLAS検出器 Overview



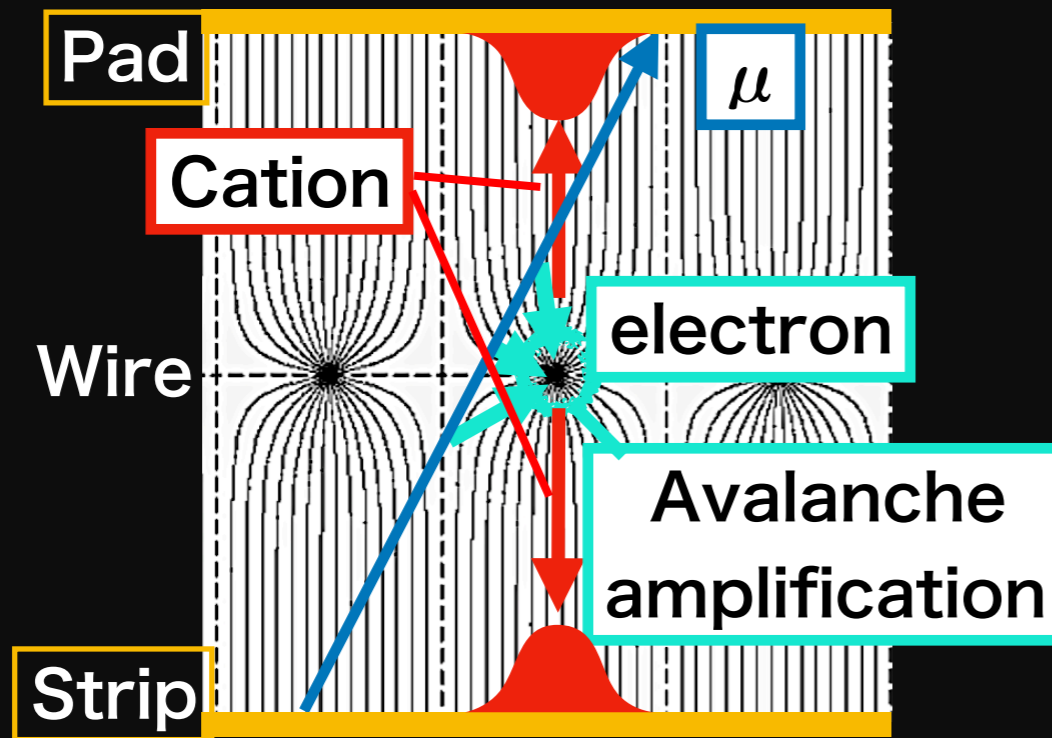
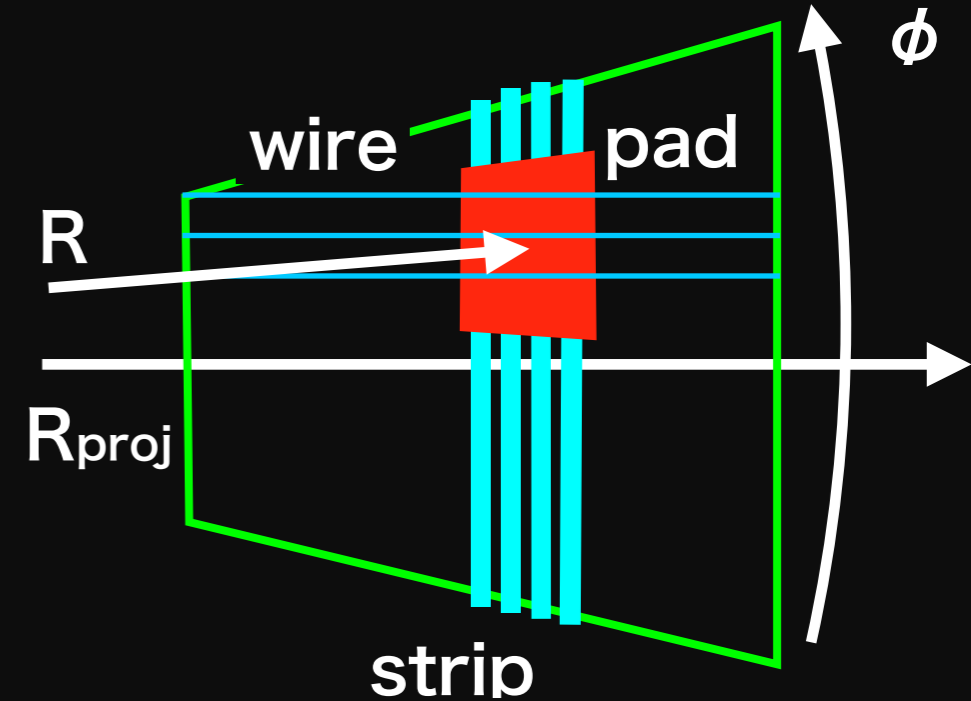
1.5 small-strip Thin Gap Chamber (sTGC)

sTGC : 8 層、構成検出器は以下の 3 種類

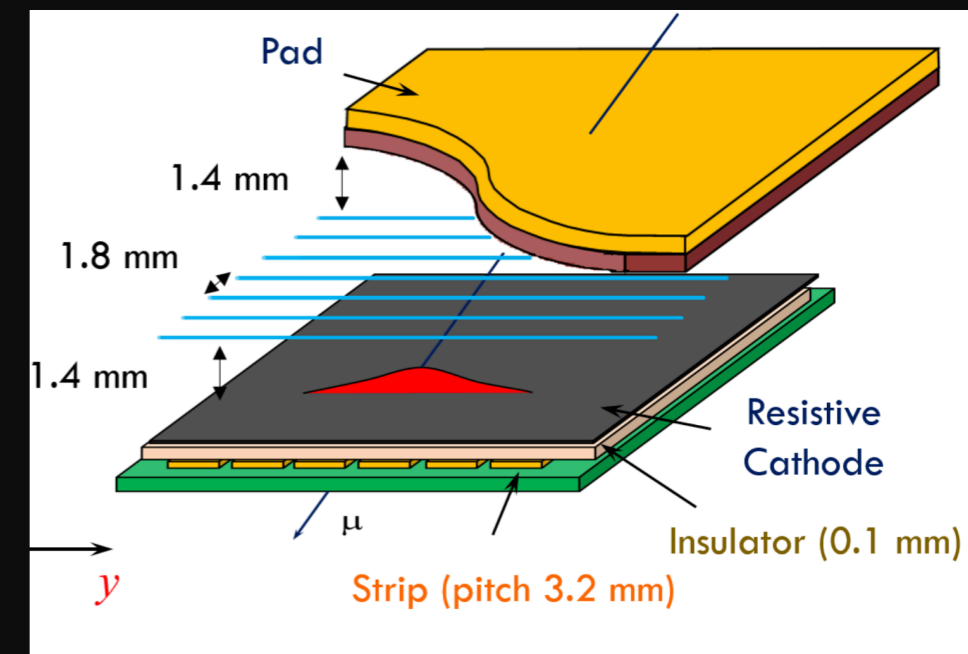
strip : R_{proj} 方向に分解能が高い / ϕ 方向に感度無し

pad : R の分解能は低い / R, ϕ の両方に感度がある

wire : R 方向に感度無し / ϕ 方向に高い分解能



sTGC detector logic



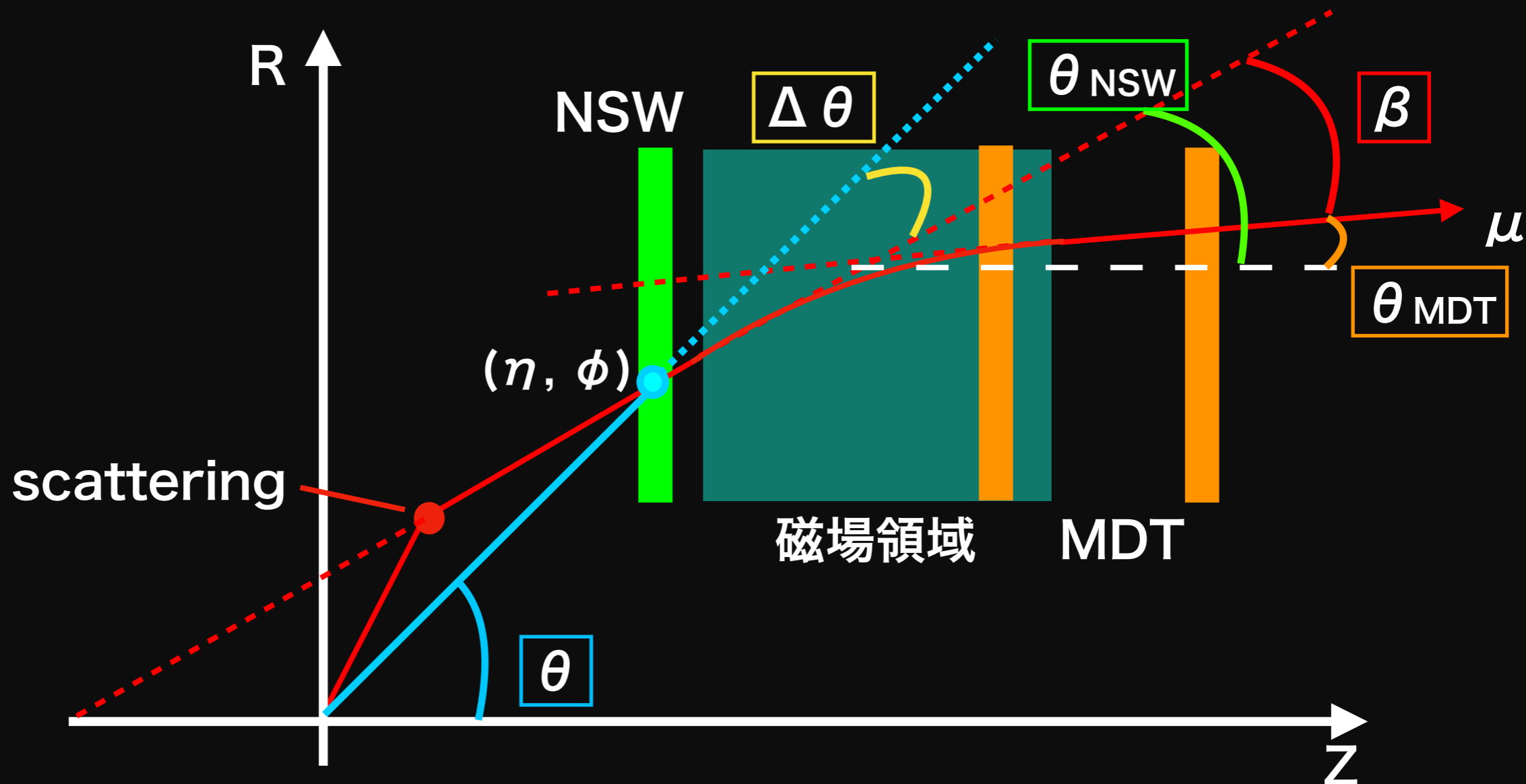
sTGC structure

1.6 p_T の計算

p_T は磁場領域を通過することによる飛跡の曲がり具合 β を用いて計算できる

β を求めるためにはNSWにおいて、座標 (η, ϕ) および入射角 θ_{NSW} を正確に求める必要がある。
($\eta = -\log(\tan \theta / 2)$)

本公演においては、 η, ϕ, θ_{NSW} の性能評価を行う



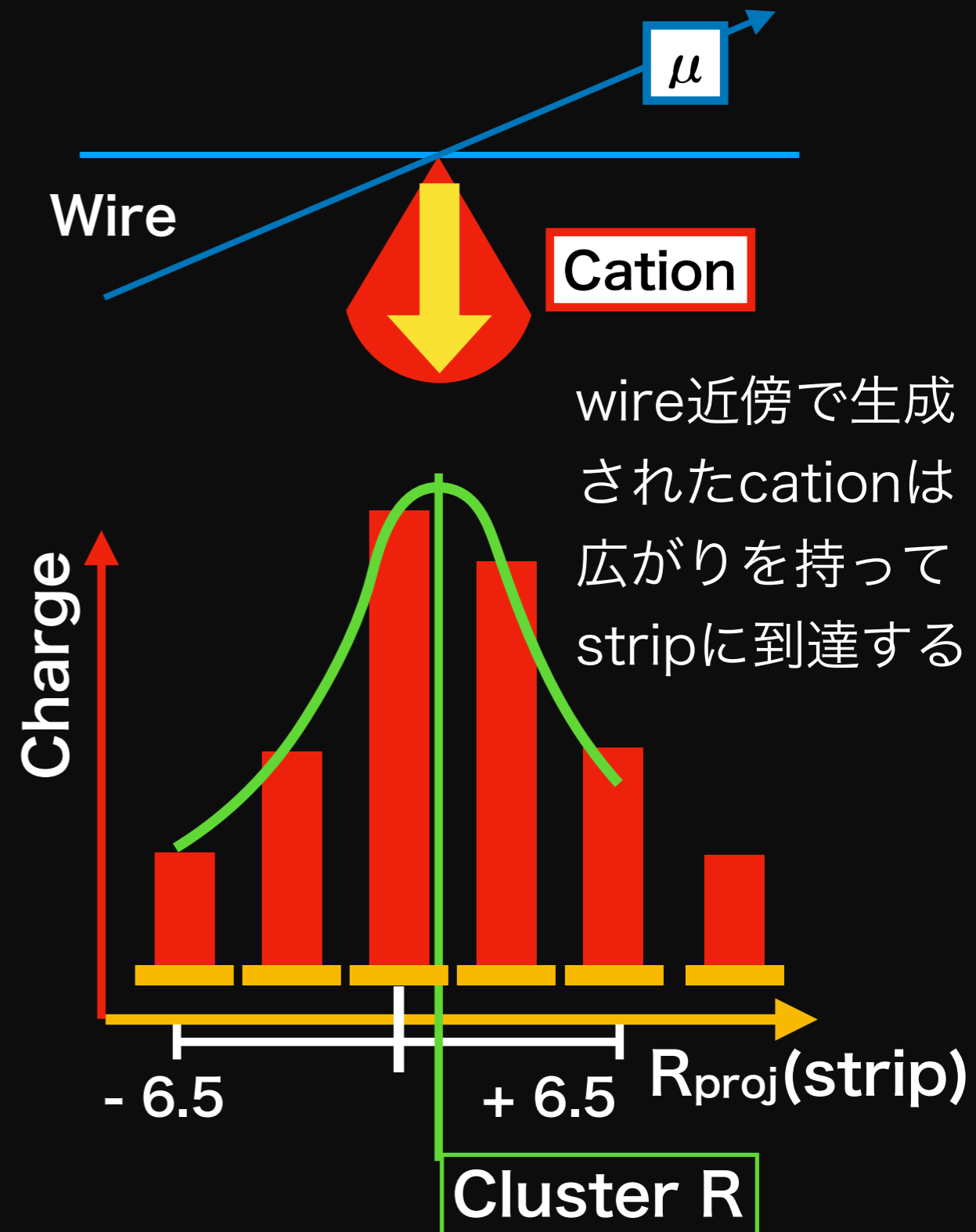
2.1 Strip data の Clustering

0) 1 hitに対し複数のstripが反応し、 R_{proj} 情報とchargeの情報が送られてくる

1) hitのあるstripの中で電荷の一番大きなstripを見つける

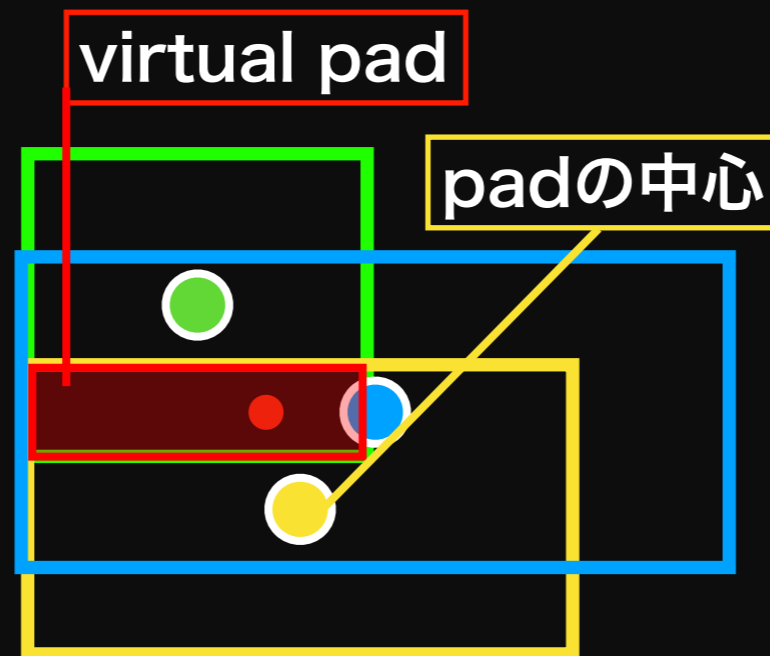
2) 1. のstrip の ± 6.5 mm (strip 2本分)の範囲にあるhit stripを探す

3) 各位置の電荷量をGauss fitを行いそのピーク値での R_{proj} をHitの R_{proj} とする



2.3 virtual pad の範囲決定

layerごとにpadがずれており、8 layerを用いることにより、8分の1 pad(virtual pad)を作ることができる

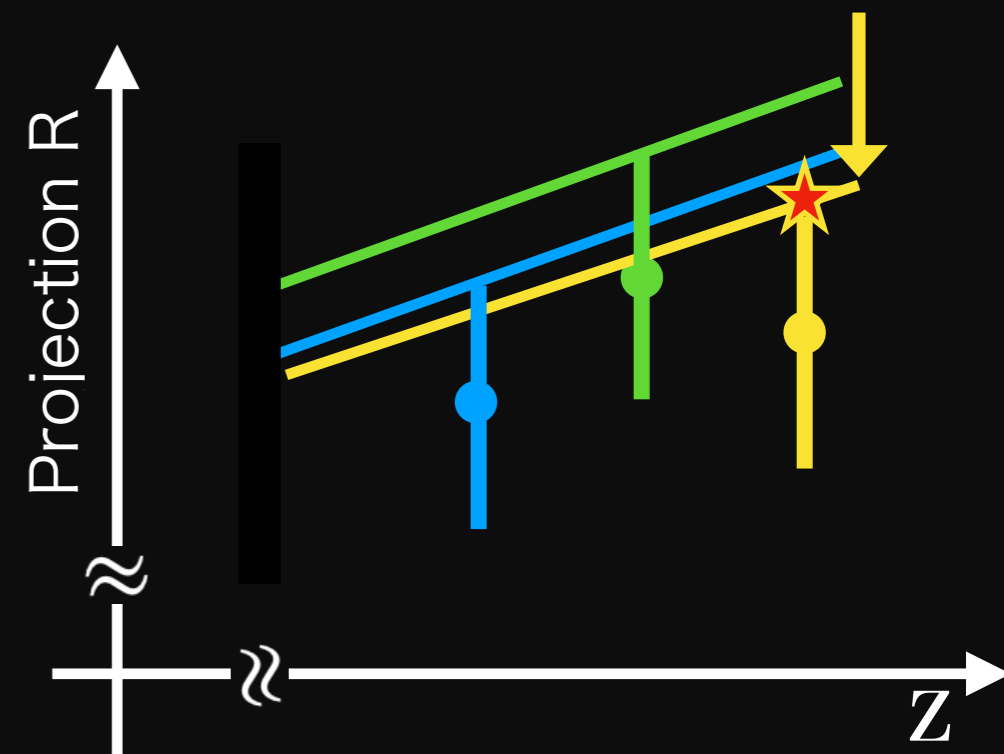


hitのあった各layerによってvirtual padを作ることによってClusterを探すRの範囲の上限・下限を決める

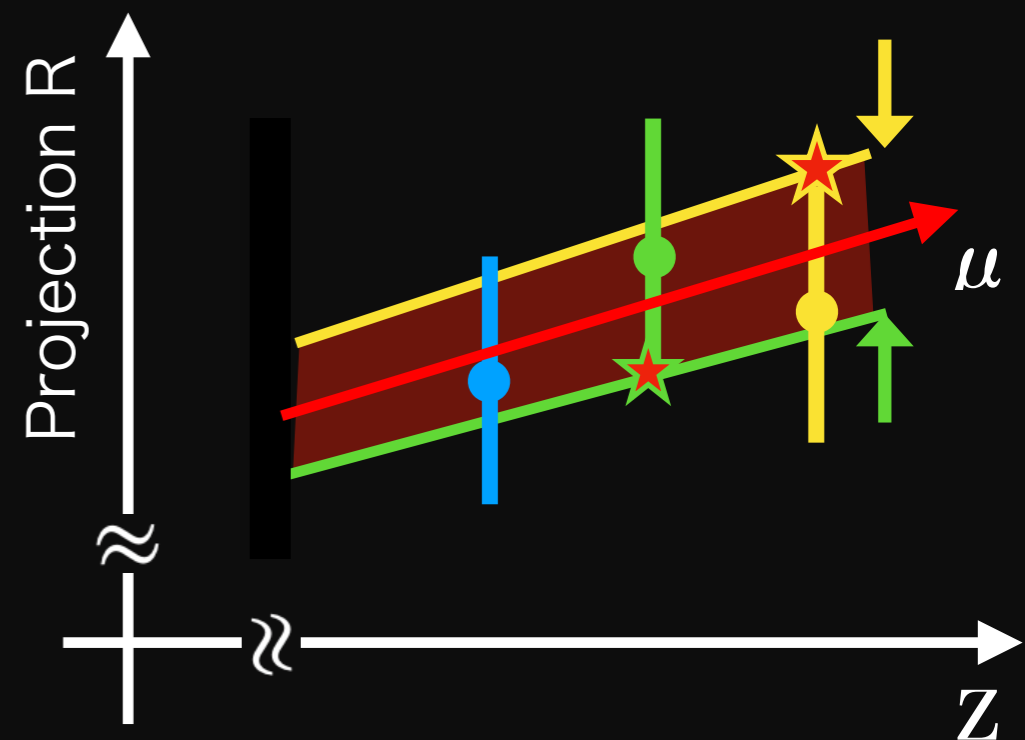
上限決め:

各layerで、R情報+40 mmのところから原点から傾きを出し、最小の傾きを採用する

下限も逆の同様の操作を行う



virtual pad の上限決め



2.4 最適なClusterの組み合わせの選択

1) 前行程で作ったRの範囲でclusterを探す

2) clusterの全通りの組み合わせ作る

図の場合: $1 \times 2 \times 2 = 4$ 通り

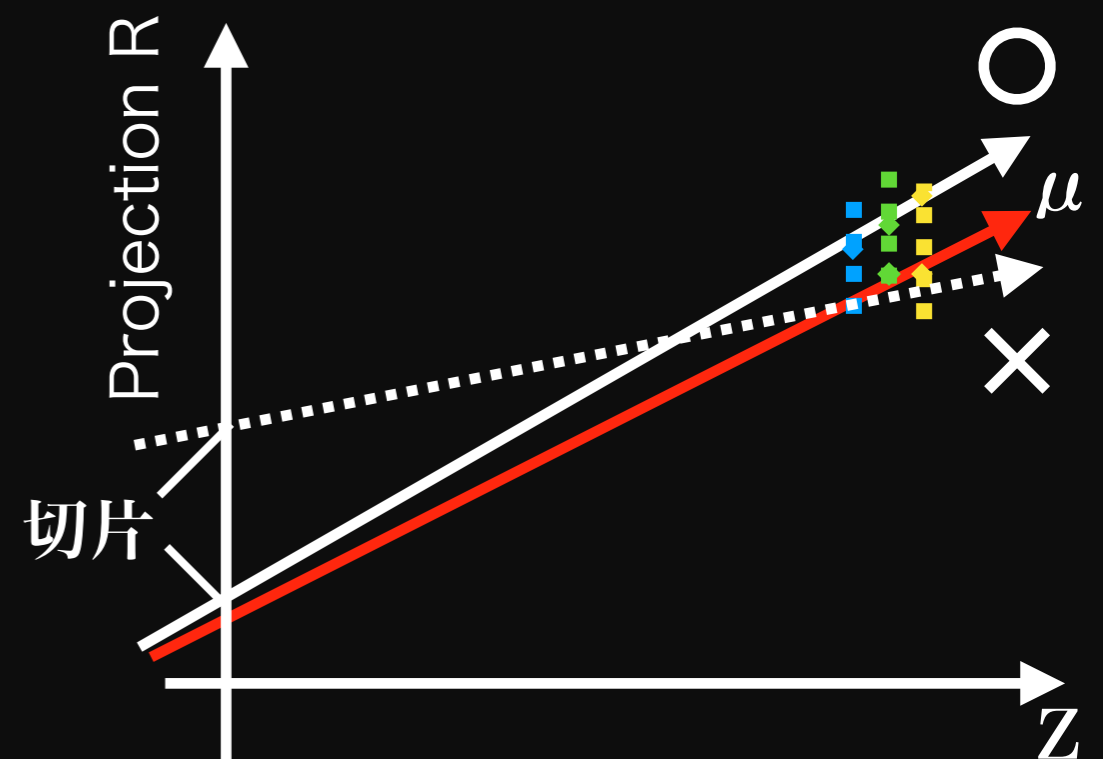
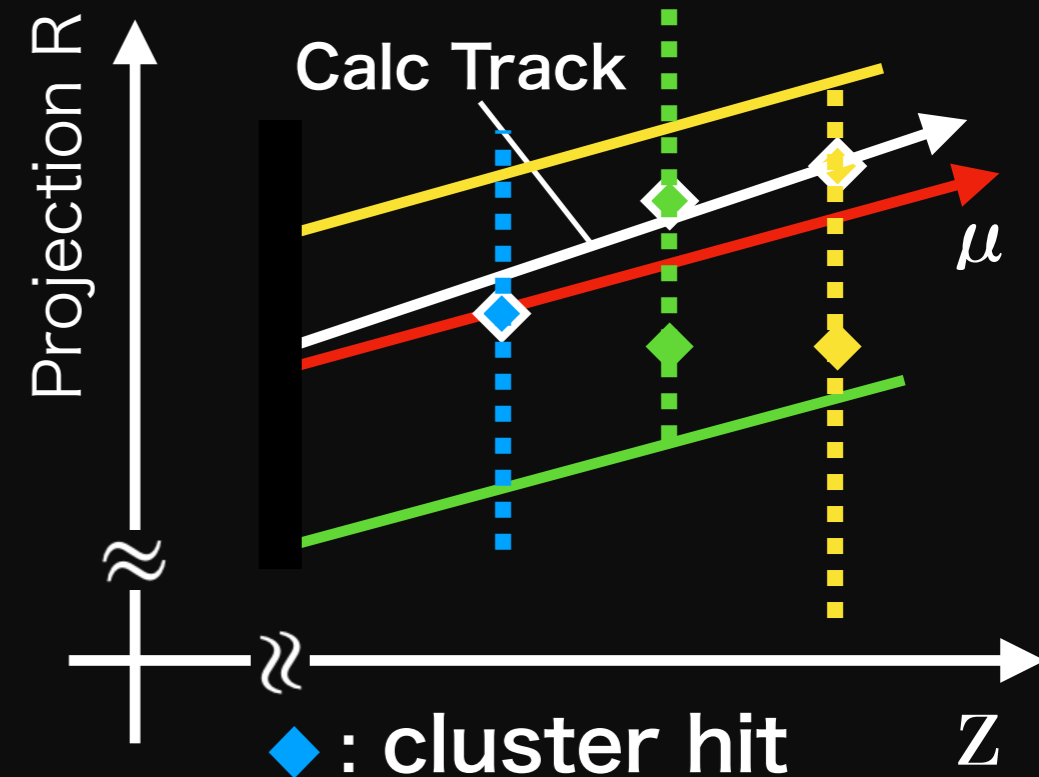
3) clusterの組み合わせから、
最小二乗法を用いて θ , η を計算する

4) 作った組み合わせの中で、切片の絶対値が
最も小さいTrackのみを採用する。

5) 用いたpadの組み合わせから、
各padの ϕ の平均値をtrackの ϕ とする

6) ϕ を用いてRを計算する

$$R = R_{\text{proj}} / \cos \phi$$



3.1 Simulation Condition

Single Muon Simulation

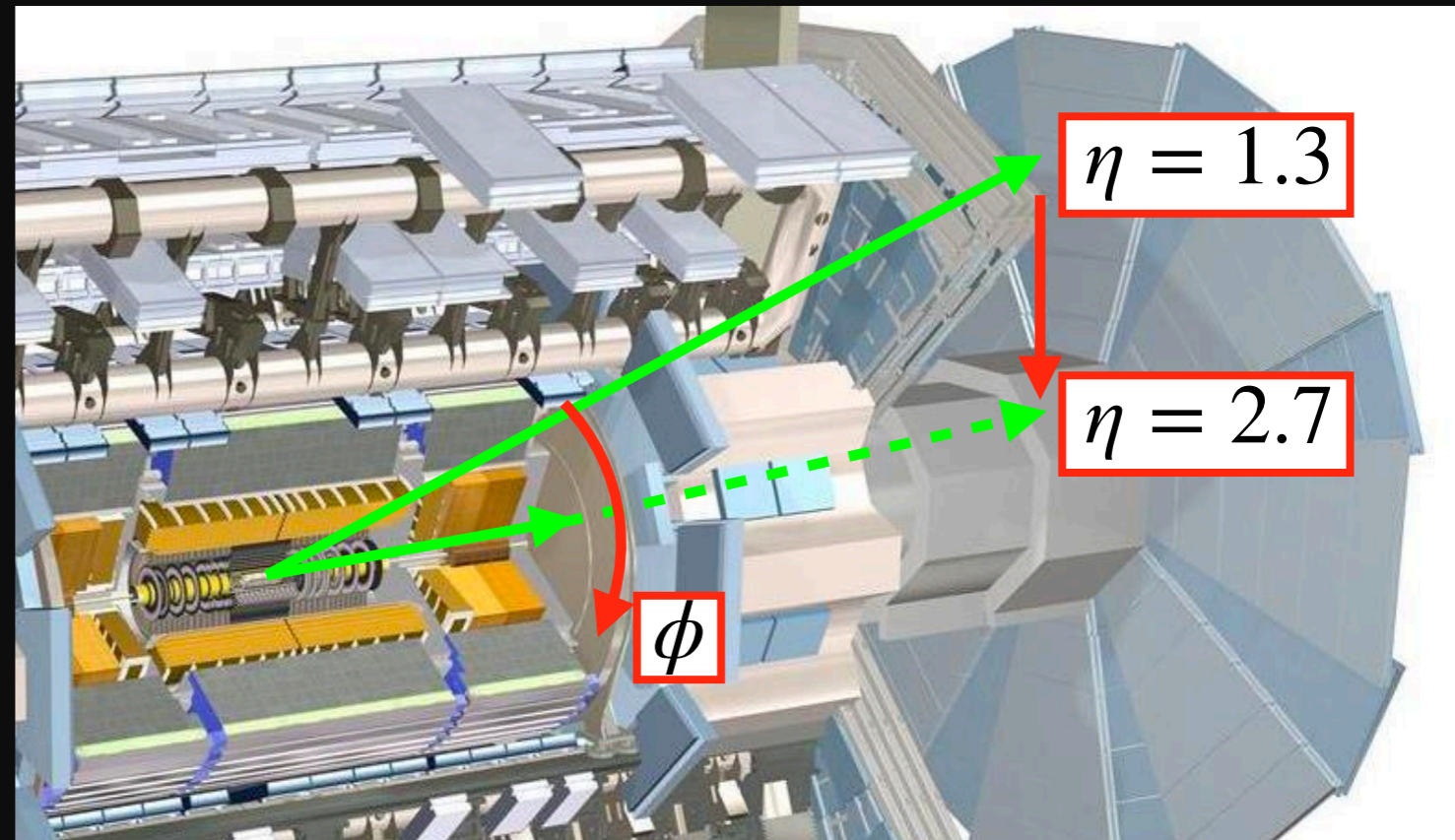
$$p_T = 100 \text{ GeV}$$

100,000 Events

ϕ flat

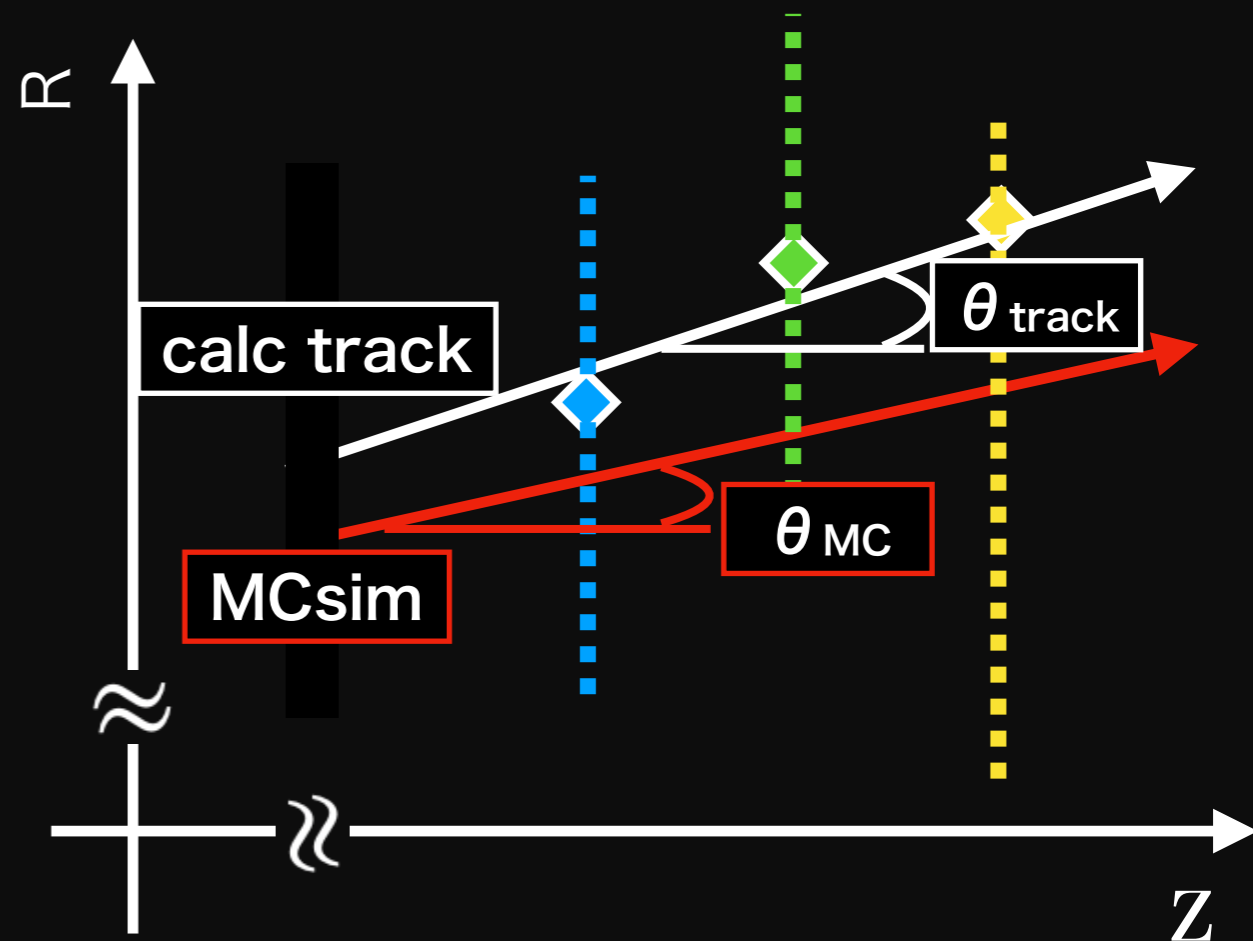
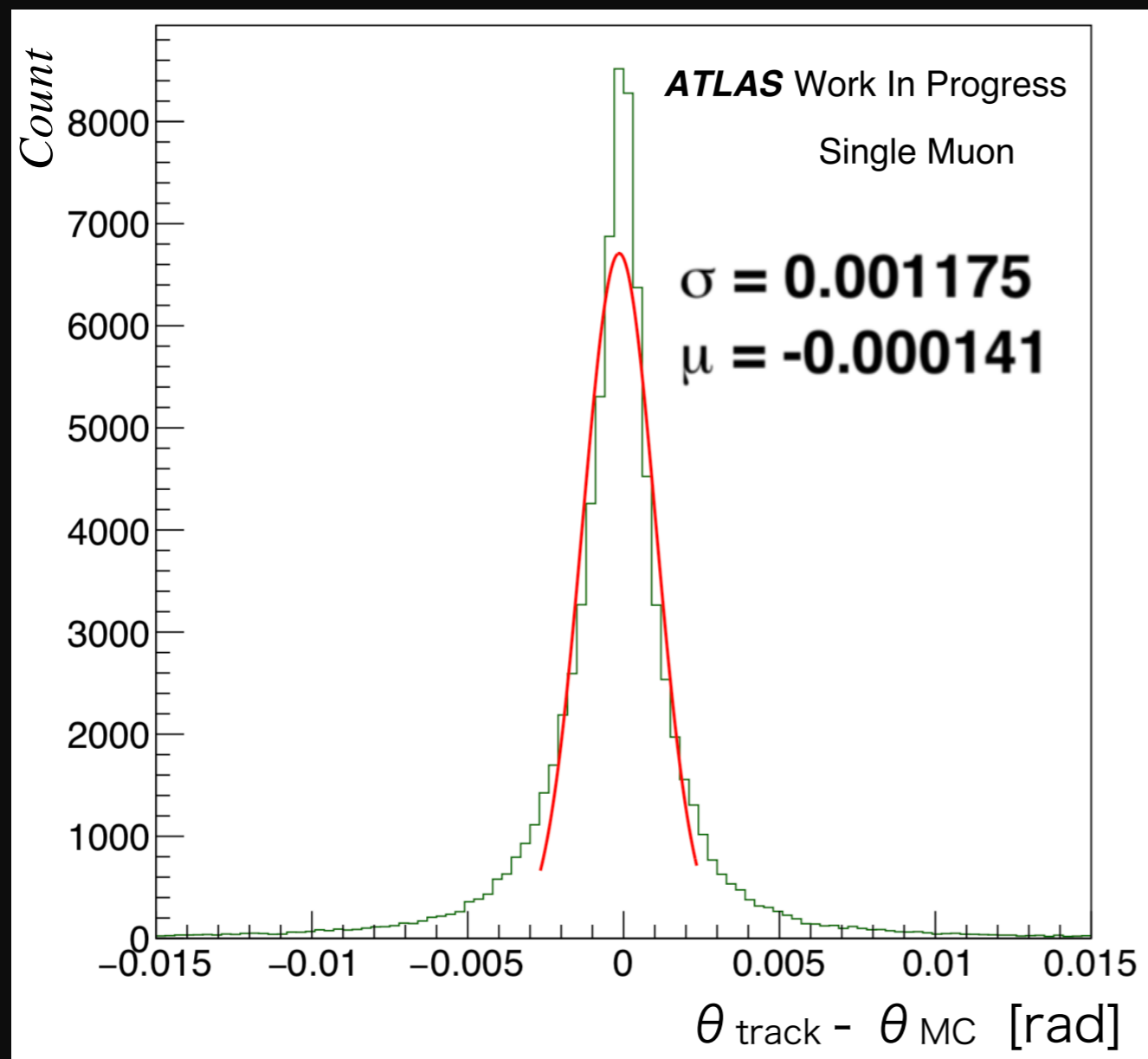
$$\eta > |1.3| \ \&\& \ \eta < |2.7|$$

(NSW cover region)



3.2 θ resolution

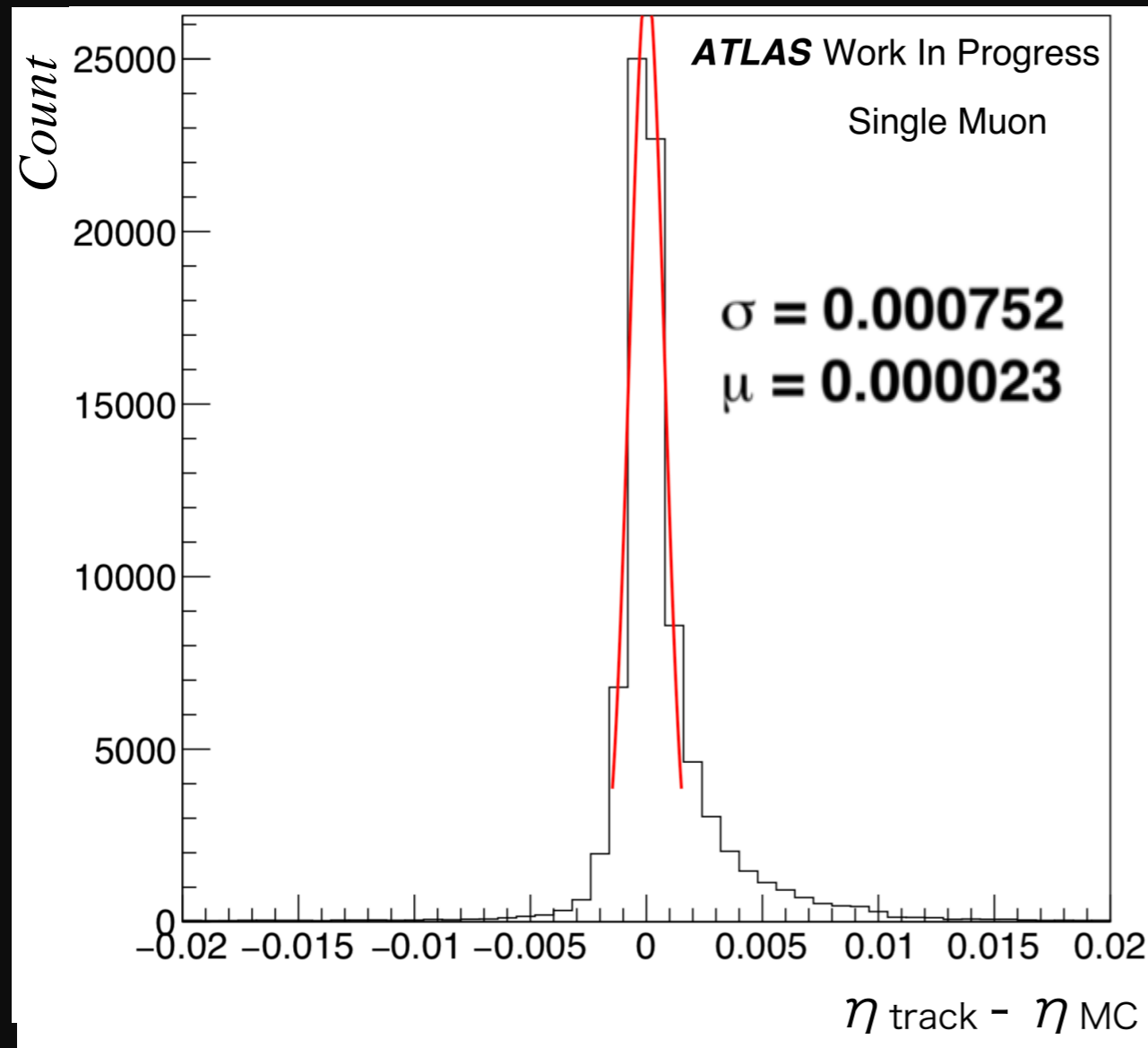
θ 要求分解能 1 mrad



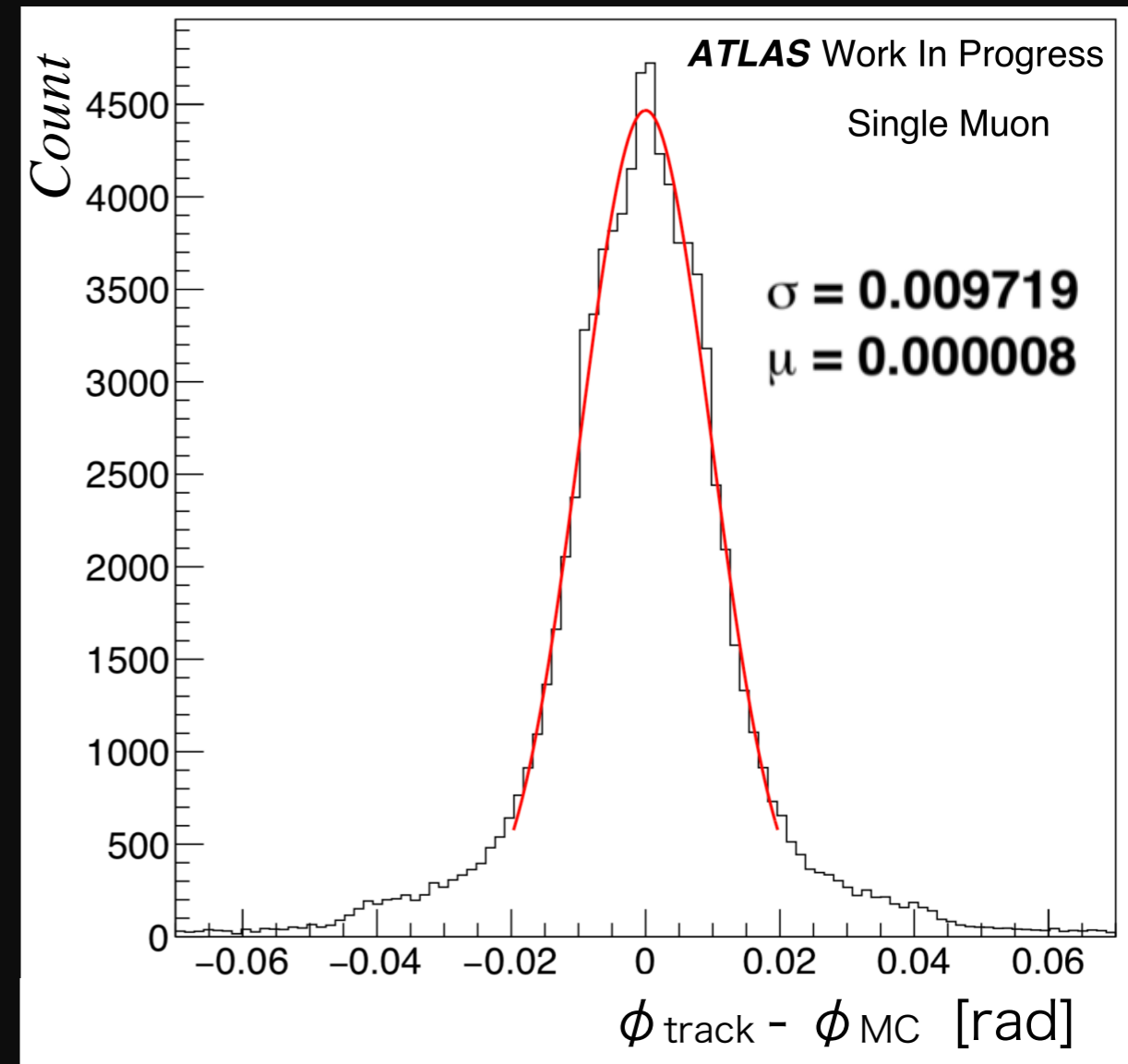
θ 分解能 $\sigma = 1.2$ mrad となったため、改善の必要がある。

3.3 η , ϕ resolution

$\eta - \phi$ plane 要求分解能 0.04×0.04 rad



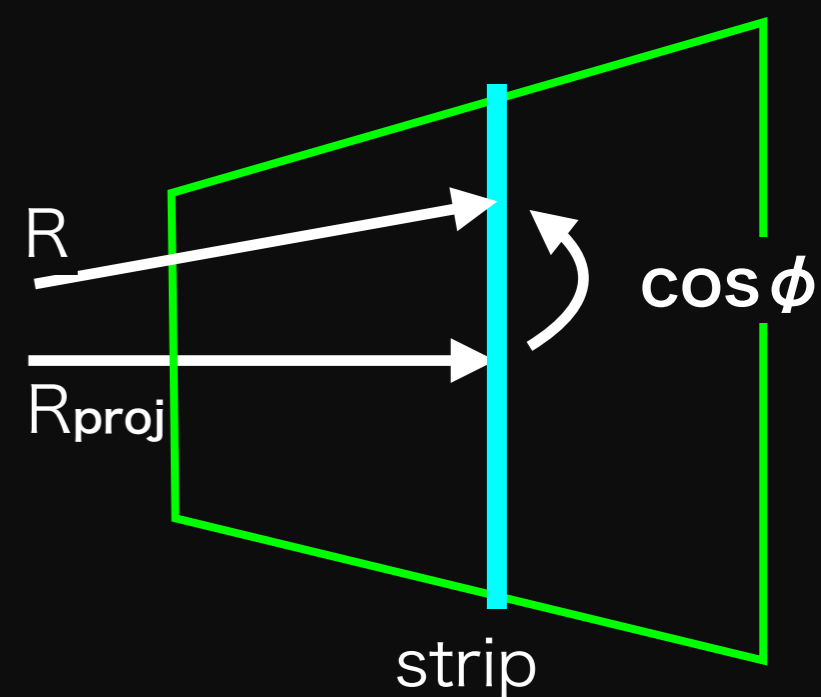
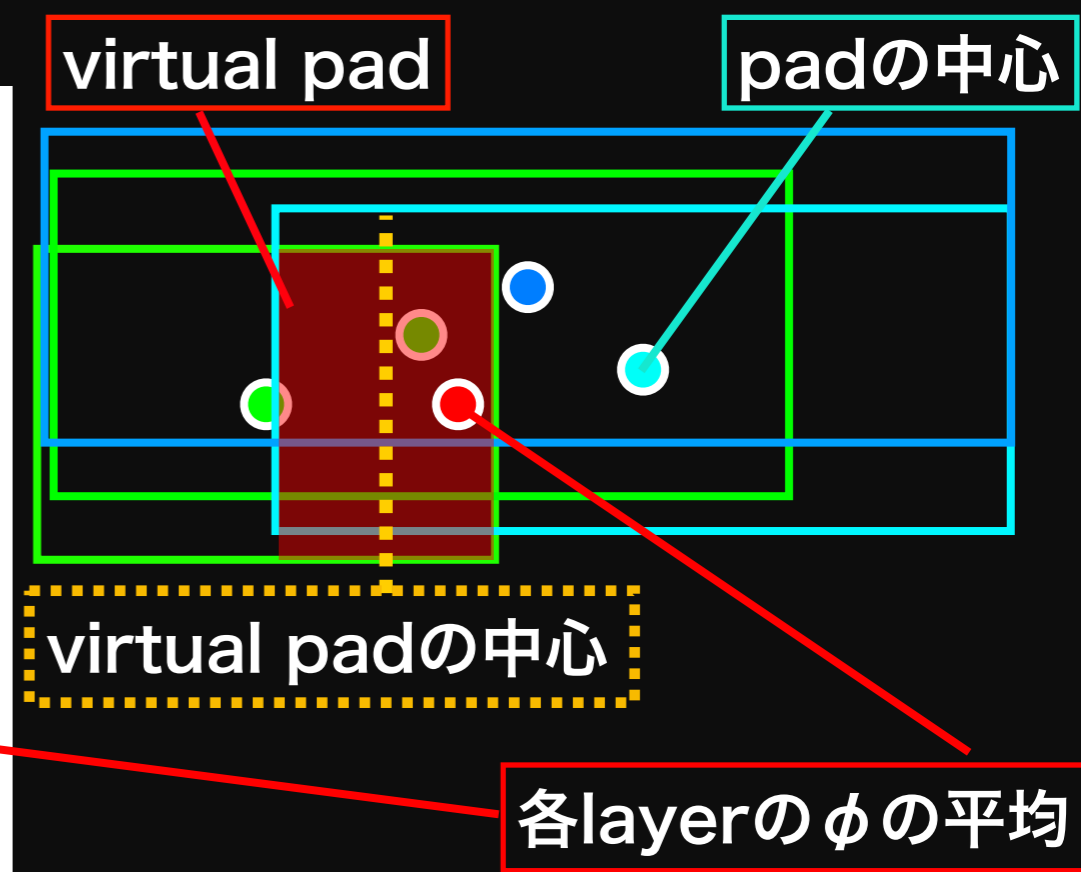
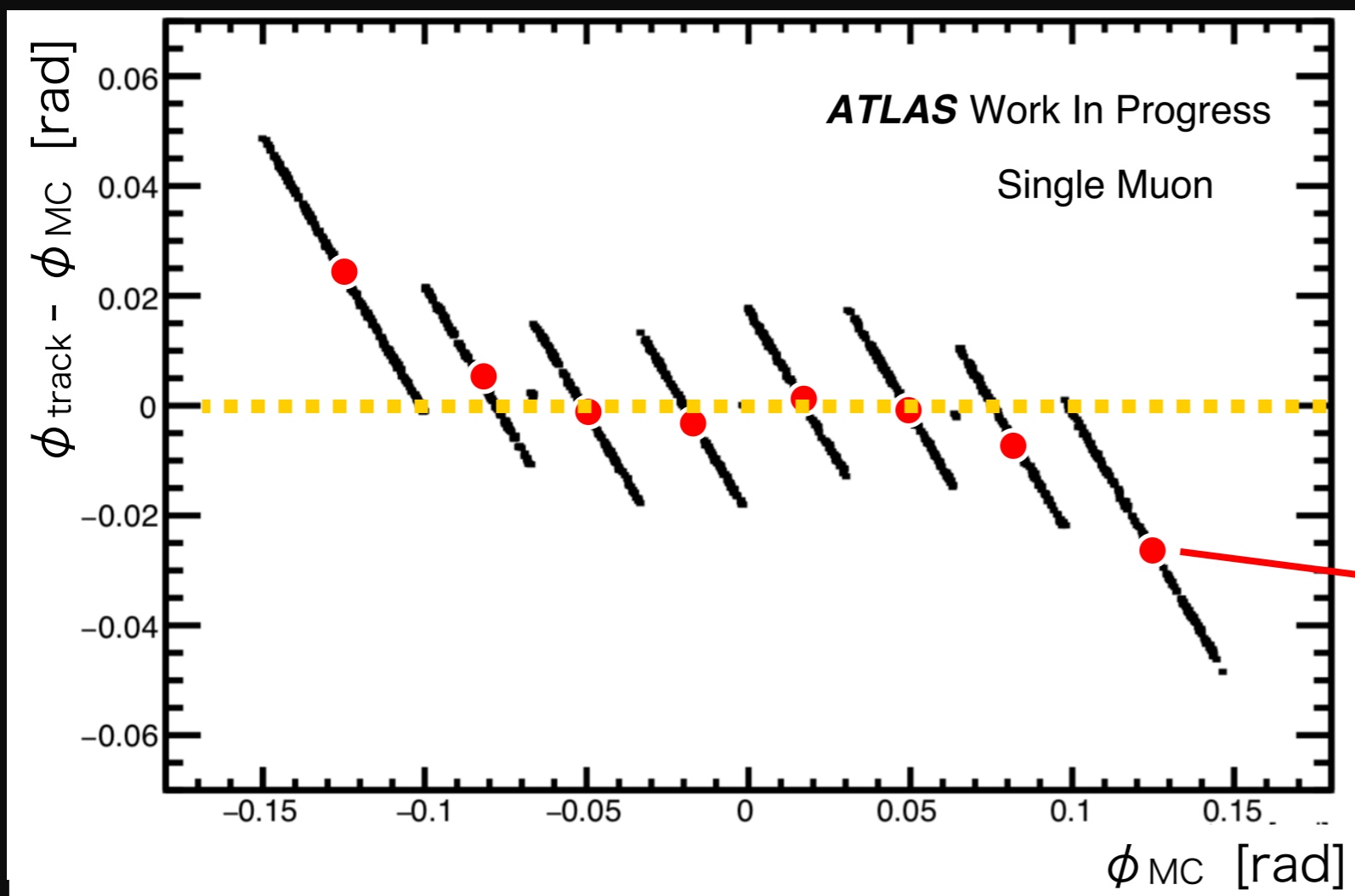
η 分解能



ϕ 分解能

η , ϕ の分解能はそれぞれ 0.0007, 0.01 rad
となり十分に要求分解能を満たしていると考えられる

3.4 ϕ による virtual pad の中心のずれ



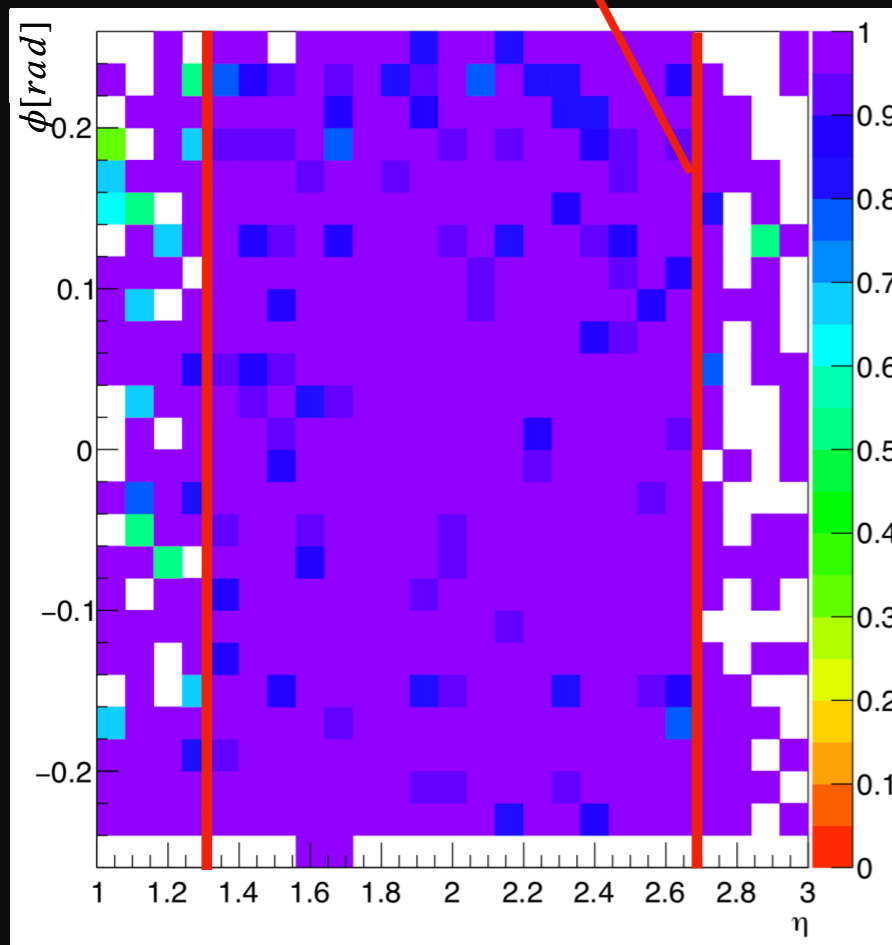
作られる virtual pad の ϕ の位置により、virtual pad の中心と各 layer の ϕ の平均値がずれる。この ϕ のずれが $\cos \phi$ として projection から実際の値に戻す時に θ 、 η の分解能を悪くすることがわかった。

3.5 $\eta - \phi$ plane efficiency map

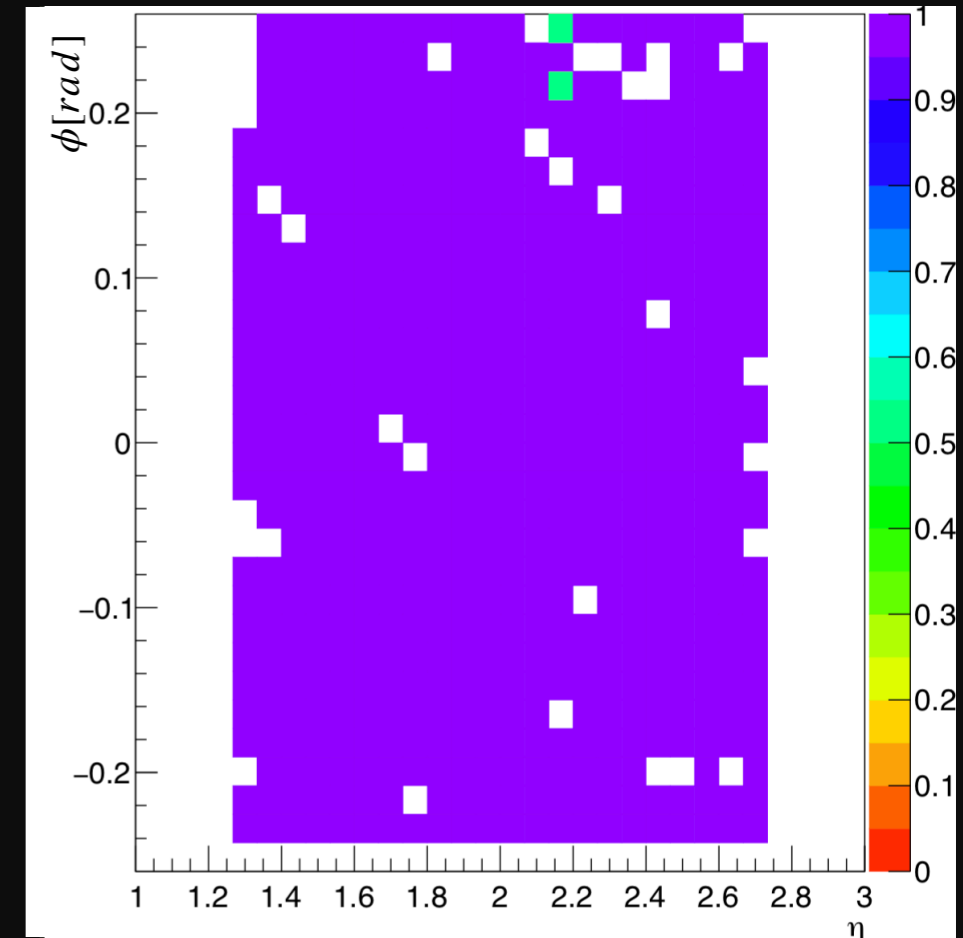
$$\text{efficiency} = \frac{\# \text{ of track in } (|d\eta| < 0.04) \cap (|d\phi| < 0.04)}{\# \text{ of truth } \mu}$$

cover region of NSW

白はevent数が足りていないため



μ のみのシンプルな
eventを使用
10万 events
→ 4万 events



ところどころefficiencyが
小さいところがある

ほとんどの領域でMC truthから
性能要求の範囲にtrackを作ることが
できていることが確認できた

4 Summery & Future work

Summery

- ・ RUN3でのアップグレードに伴い、現行のsmall wheel がNSWに代わる
→ NSWを用いたHLTのalgorithmを新たに作る必要があり今回sTGCのみでのalgorithmを開発し、評価を行った。
- ・ η , ϕ の分解能は要求分解能を満たしていることがわかった。
- ・ θ は要求分解能を満たすに至らなかったが、projectionの値から実際のhit点の値に戻す際に用いる ϕ の分解能を上げられる見込みがあり、 θ の分解能も上げられると考えられる。

Future work

- ・ ϕ による誤差伝搬によって、 θ , η の分解能を悪くすることが分かったため、その修正を行う
- ・ shower eventはpadの組み合わせを作る際、現状処理しきれないため、そのアルゴリズムを別に考える必要がある
- ・ p_T の計算をまだ行うことができていないためその計算を行う

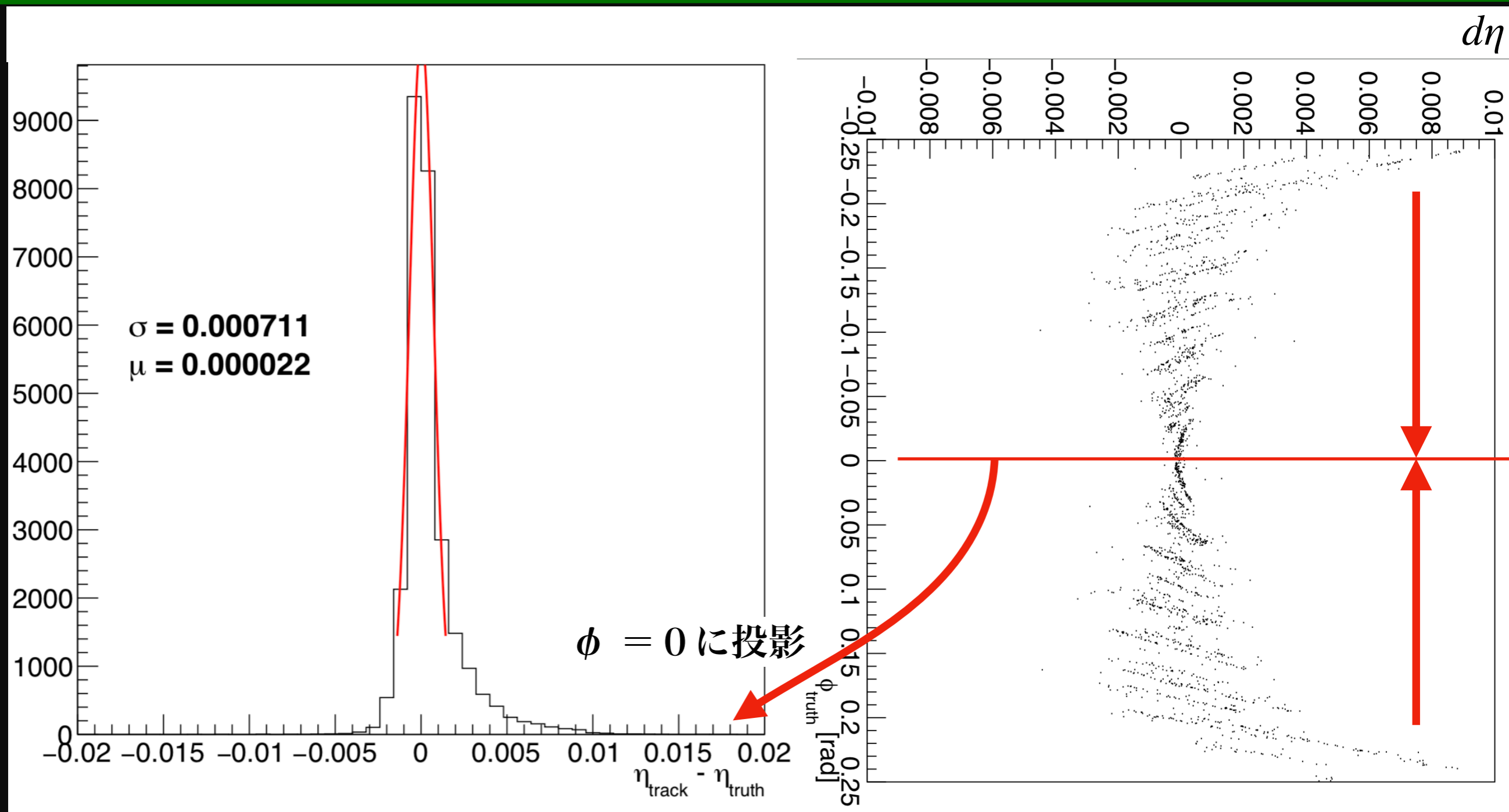
ex.

Back Up



Accelerating Science

η resolution



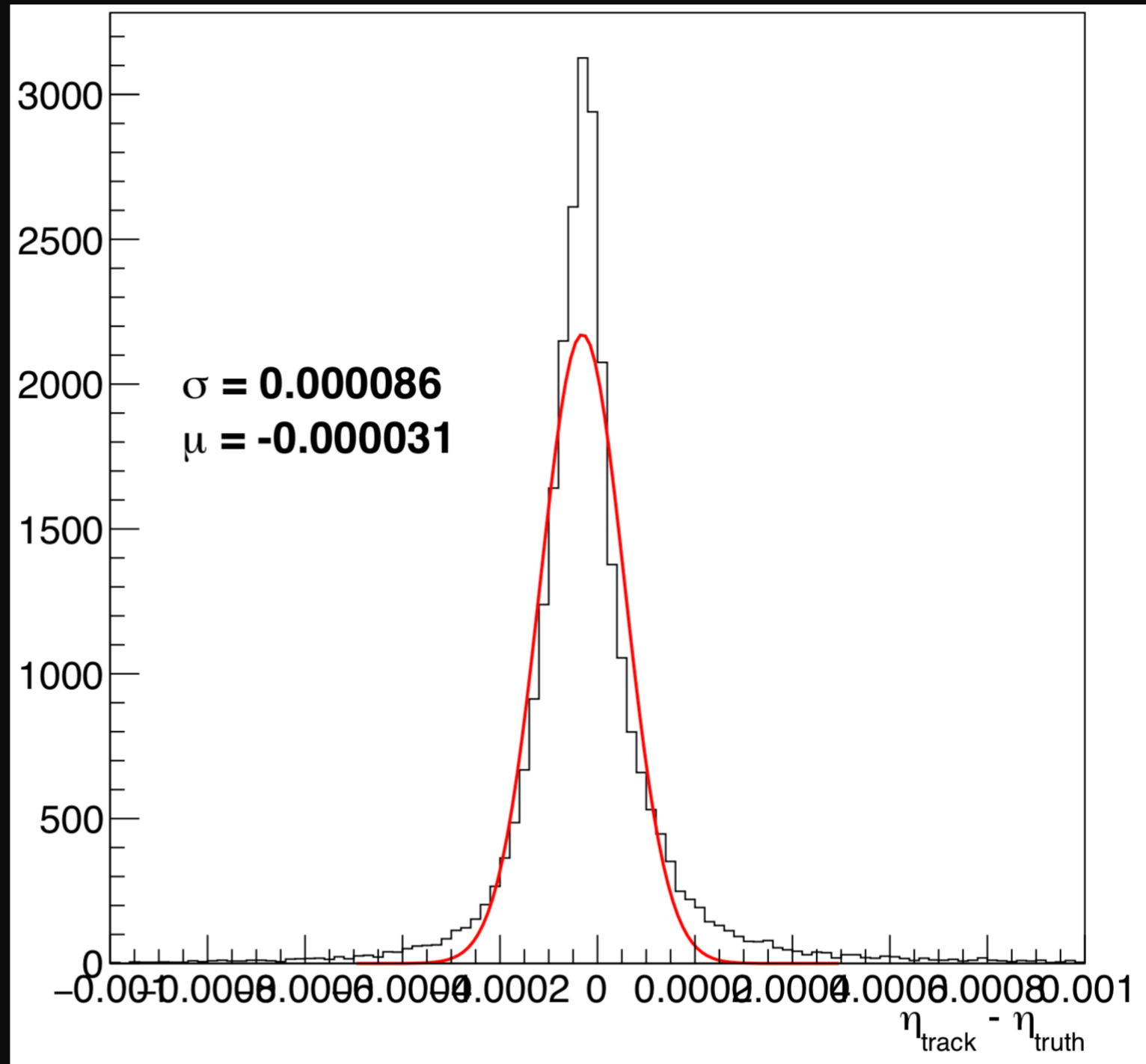
$d\eta$ の分布のtailは $\cos \phi$ の誤差によるものであることが分かった
fit によって誤差の中心を0に持っていけば左右対称になる。(検討中)

$d\eta$ (track - truth) (projection)

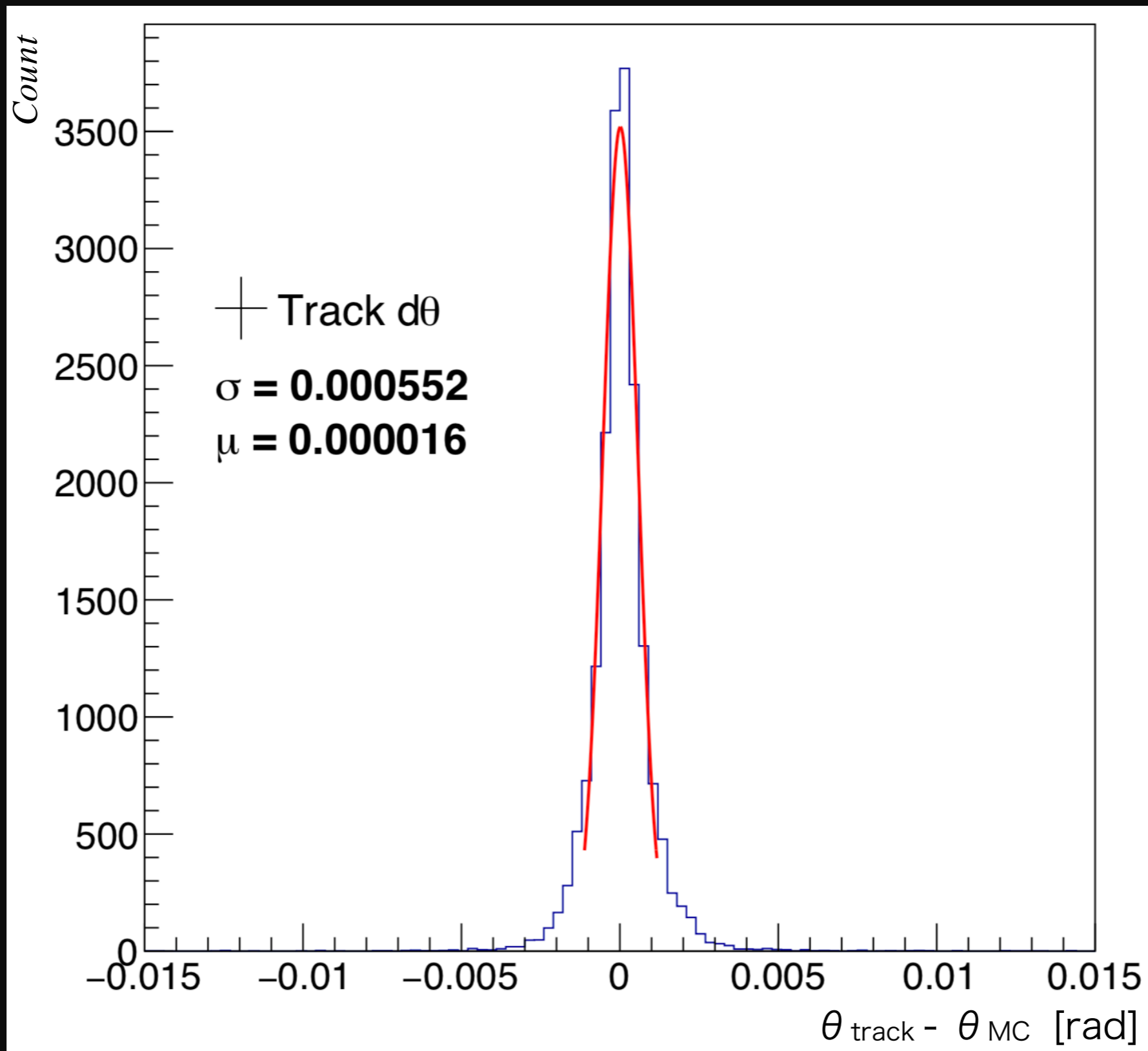
比較的对照的になり、
tail 部分が消えた



η の非対称部分は
 ϕ の誤差によるものであった



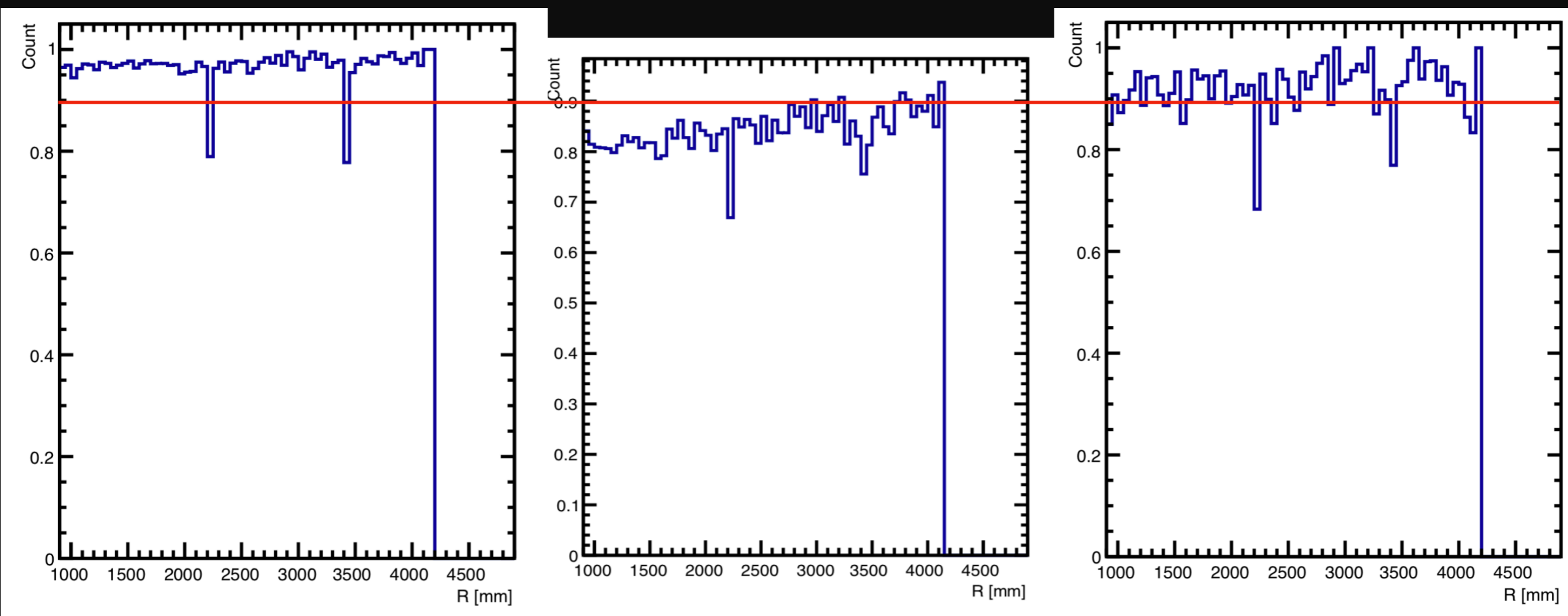
$d\eta$ (track - truth) (projection)



Detector Efficiency

efficiency : truth に対して ± 1.6 mm の範囲に hit の channel があれば 1

clustering すると efficiency が下がるのが見えていた (左 \rightarrow 中図)



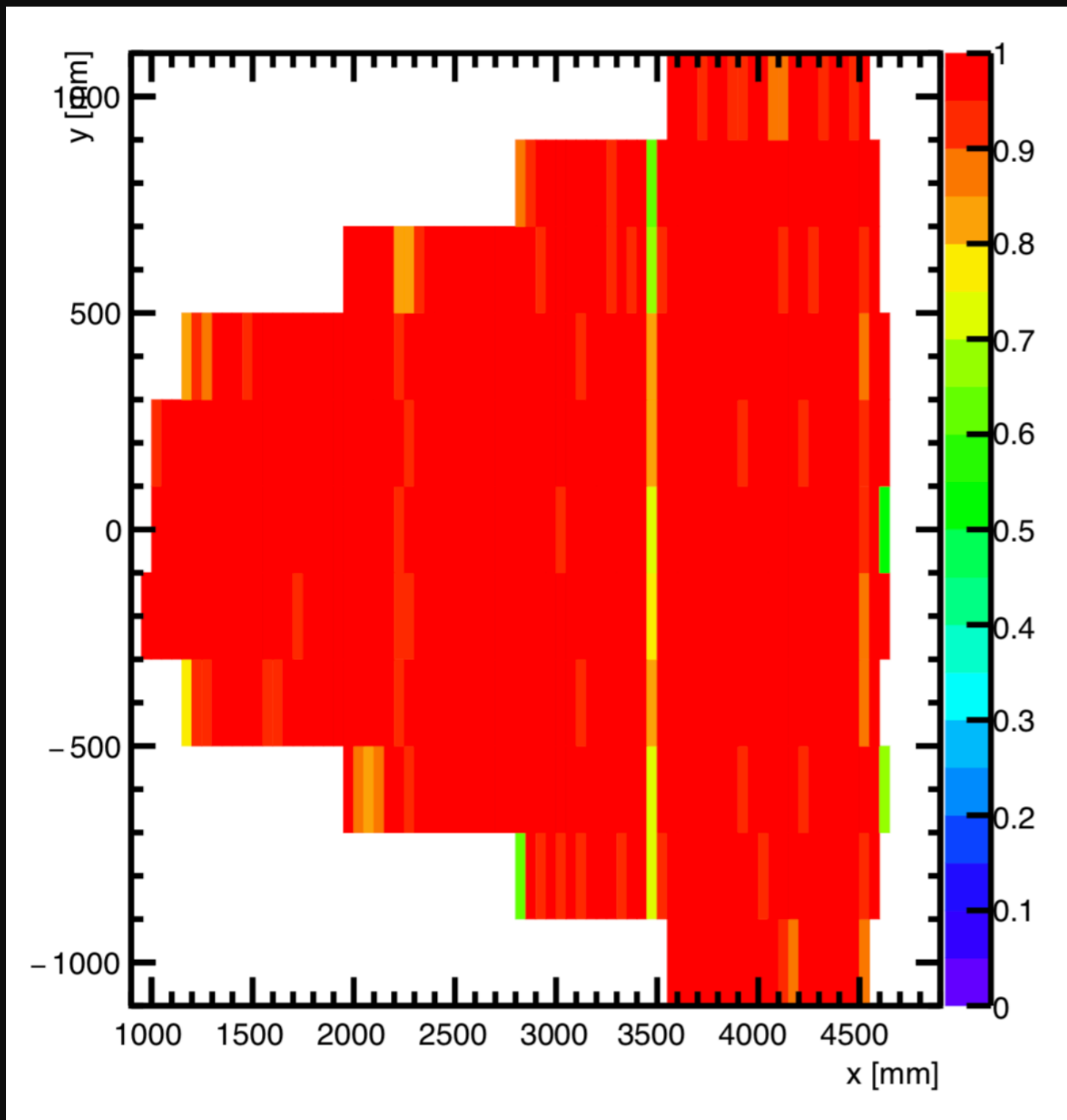
strip の efficiency

cluster の efficiency

cluster の efficiency (μ のみ)

δ -ray の無い event においては、strip より劣るものの 9割近くの efficiency

pad efficiency map

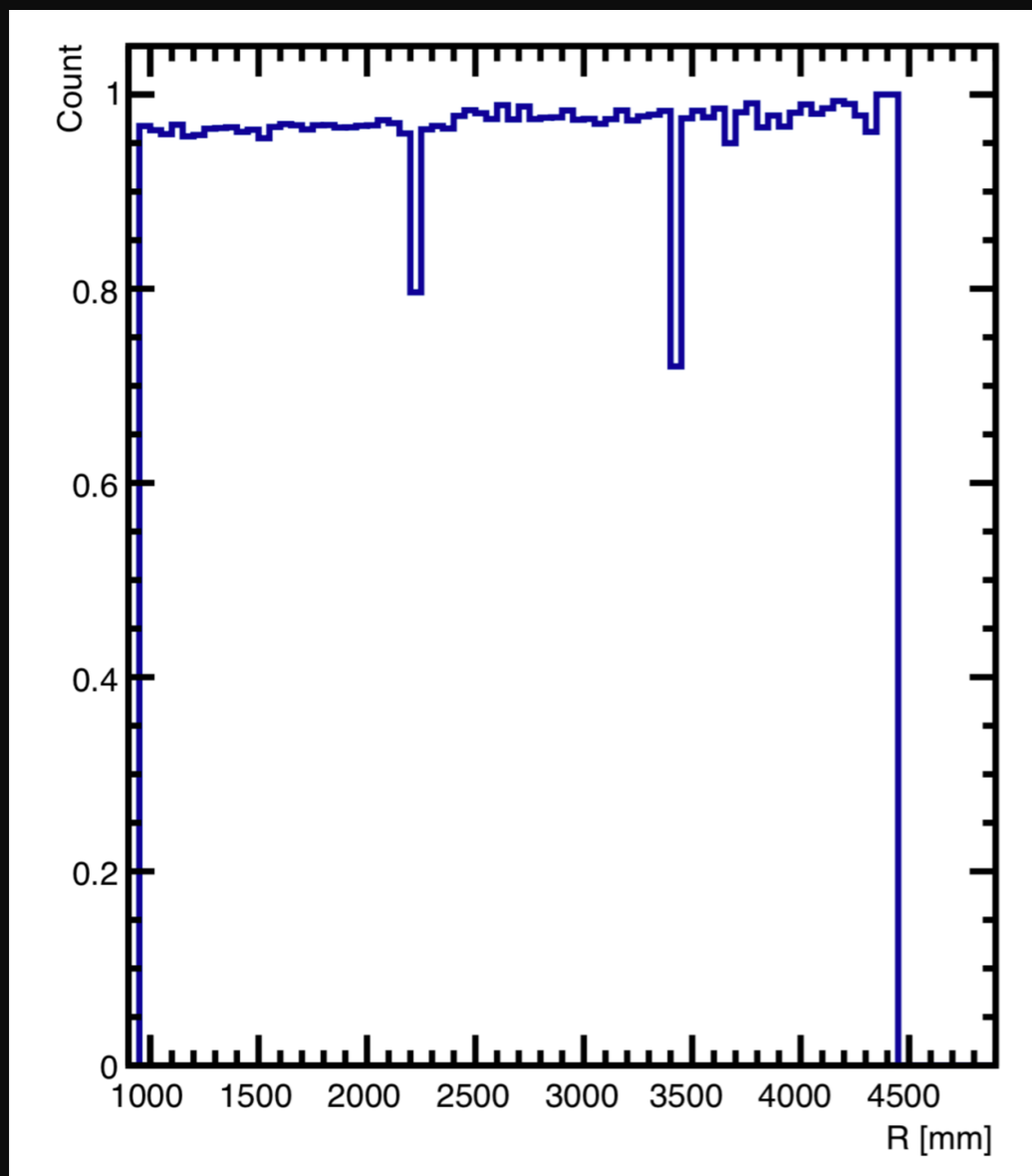


truthのhitに対し,
 $|x| < 50.0$ mm, $|y| < 300.0$ mm
の範囲にpadのhitがあれば、
efficiency = 1

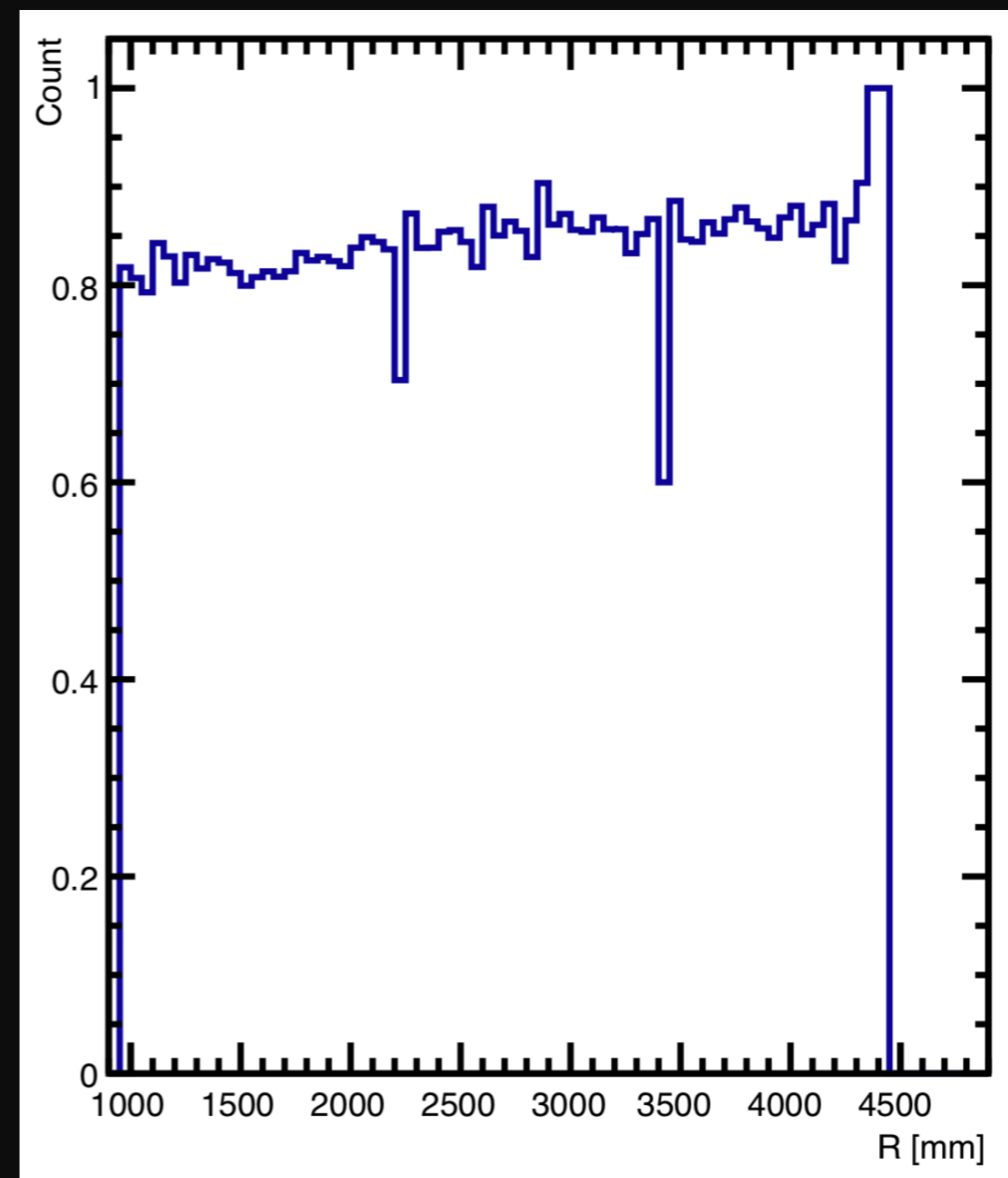
(root のversionの都合上色が反転できていません)

strip & cluster efficiency map

truthのhitに対し, $|R| < 1.6$ mmの範囲にstrip(もしくはcluster)のhitがあればefficiency = 1



stripのefficiency



clusterのefficiency

clusteringすることによってefficiencyが悪くなっている
(不適切な方向にstripのhitをまとめ上げている)

Clustering ①

今までのclustering手法

連続した(1本抜けているだけは連続しているとみなす)

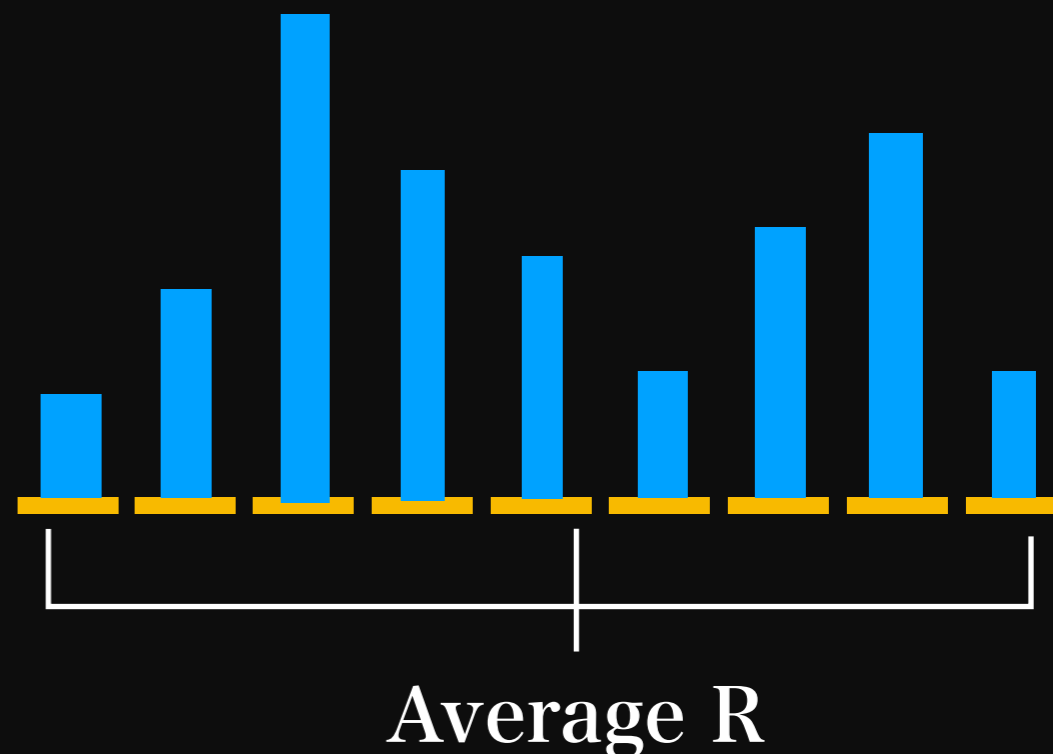
stripを一つのhitとしてまとめる

Rの値は一つのhitとしたstripのRの平均値をとる

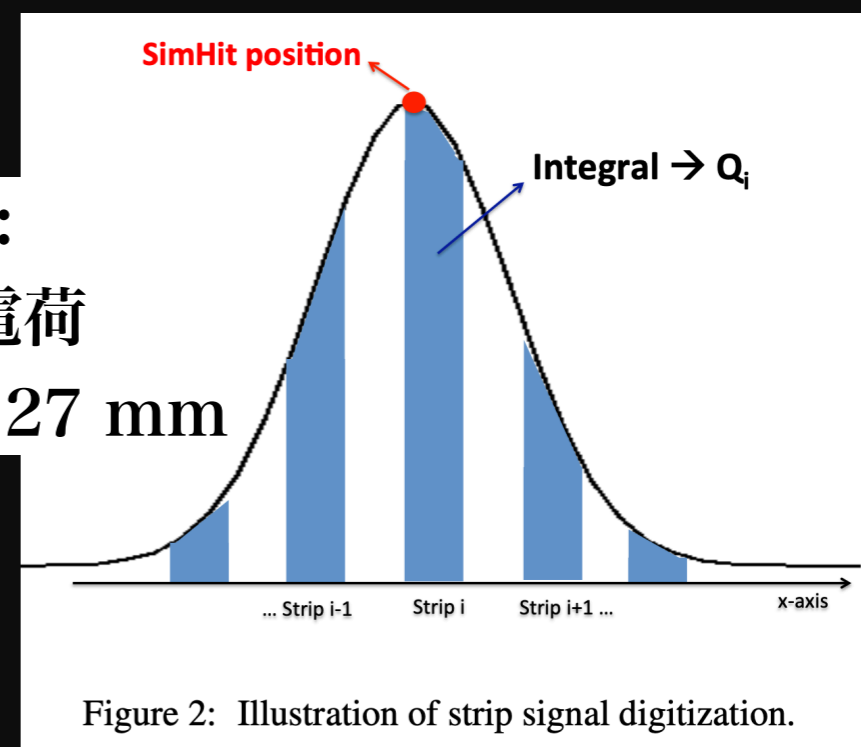
二粒子以上が入り、連続したstrip数が増えると分解能が悪くなる



Chargeがgaus分布しているため、これを用いることにより1strip 以上(3.2 mm)の分解能を出すことができる



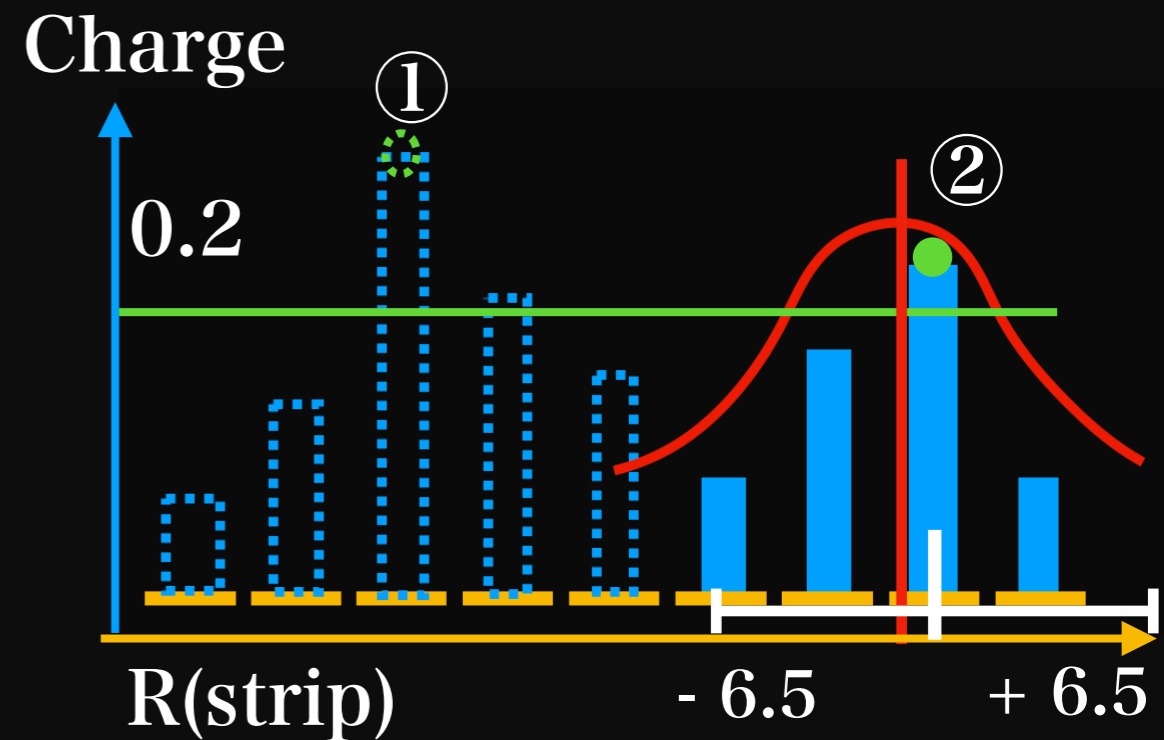
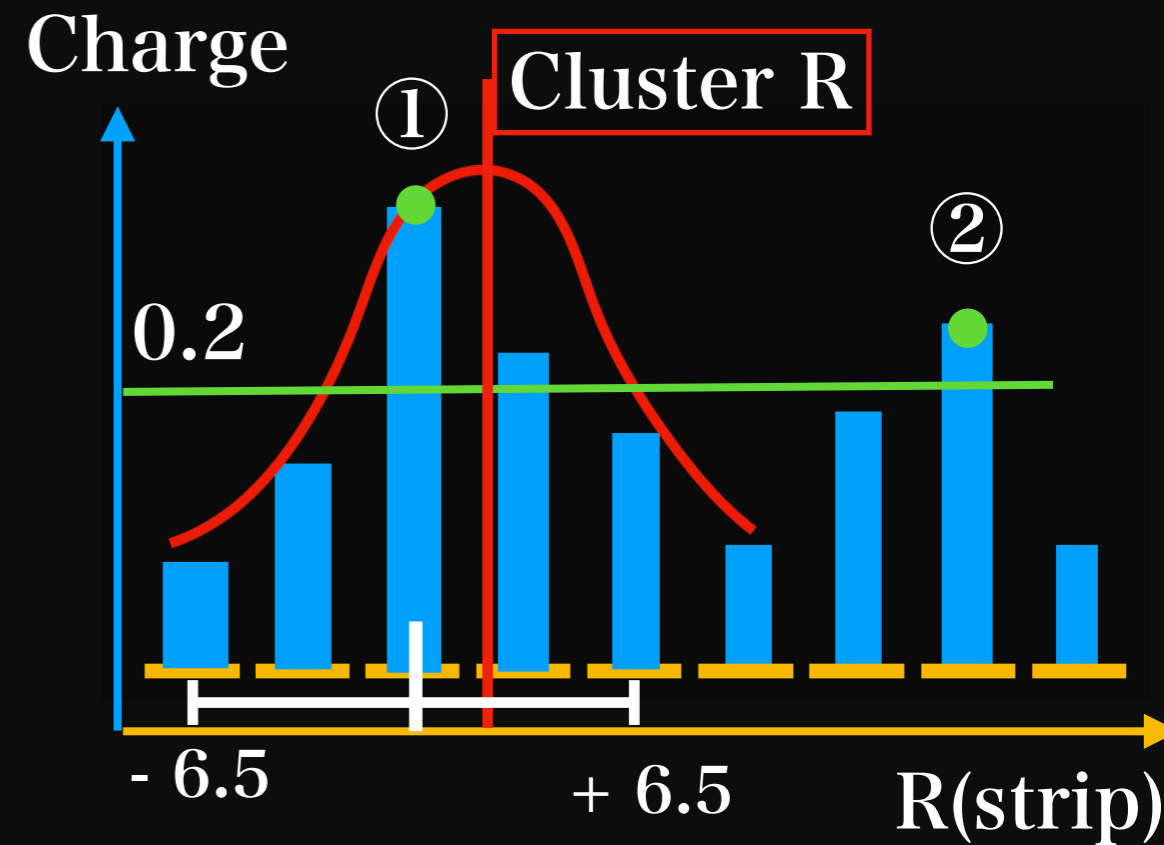
Gaus fit 初期条件:
constant = 最大電荷
 $\mu = \text{平均R}$, $\sigma = 2.27 \text{ mm}$



https://twiki.cern.ch/twiki/pub/Atlas/NSWdigitization/sTGC_Digitization.pdf

2.1 Strip data Clustering

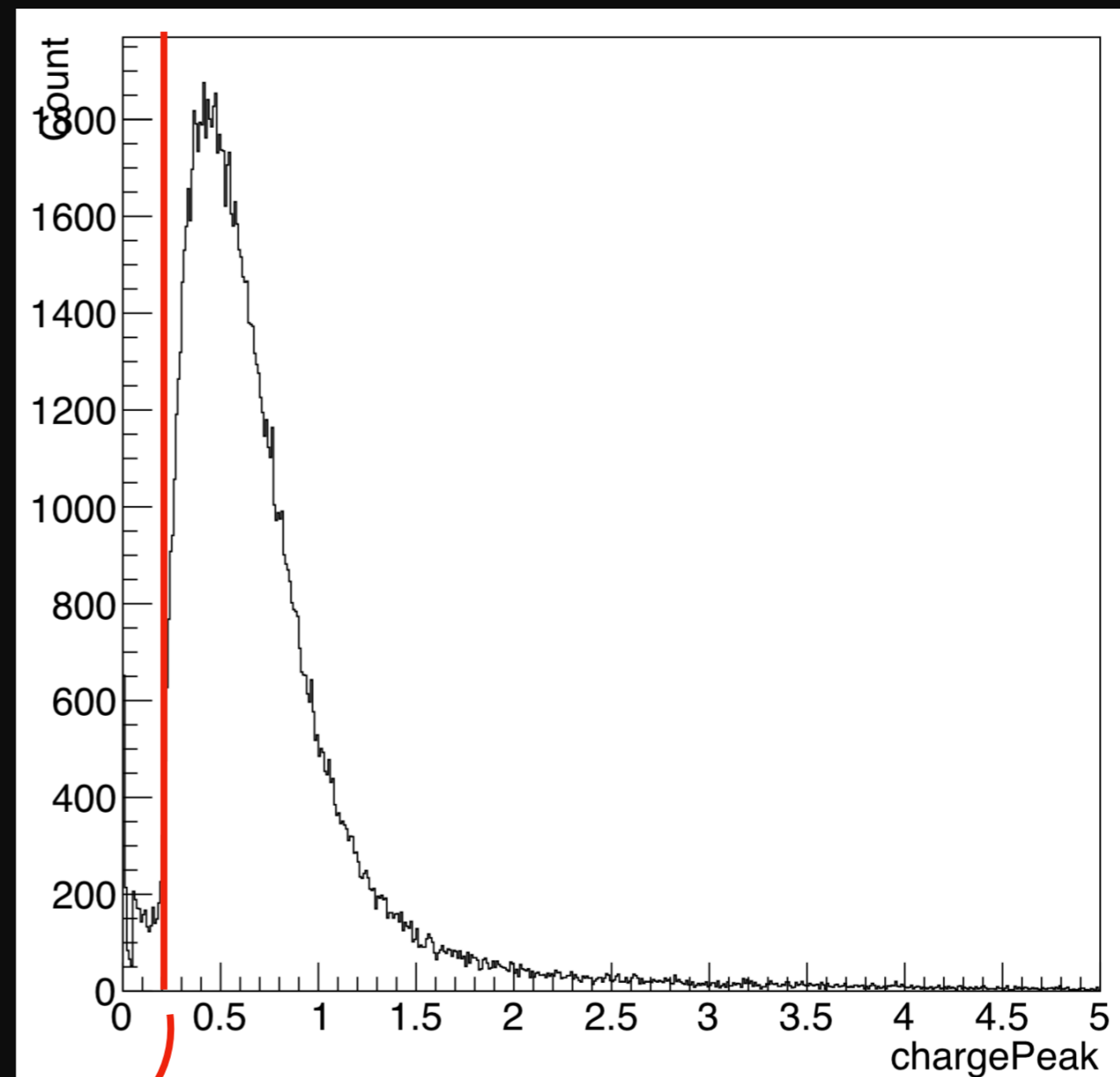
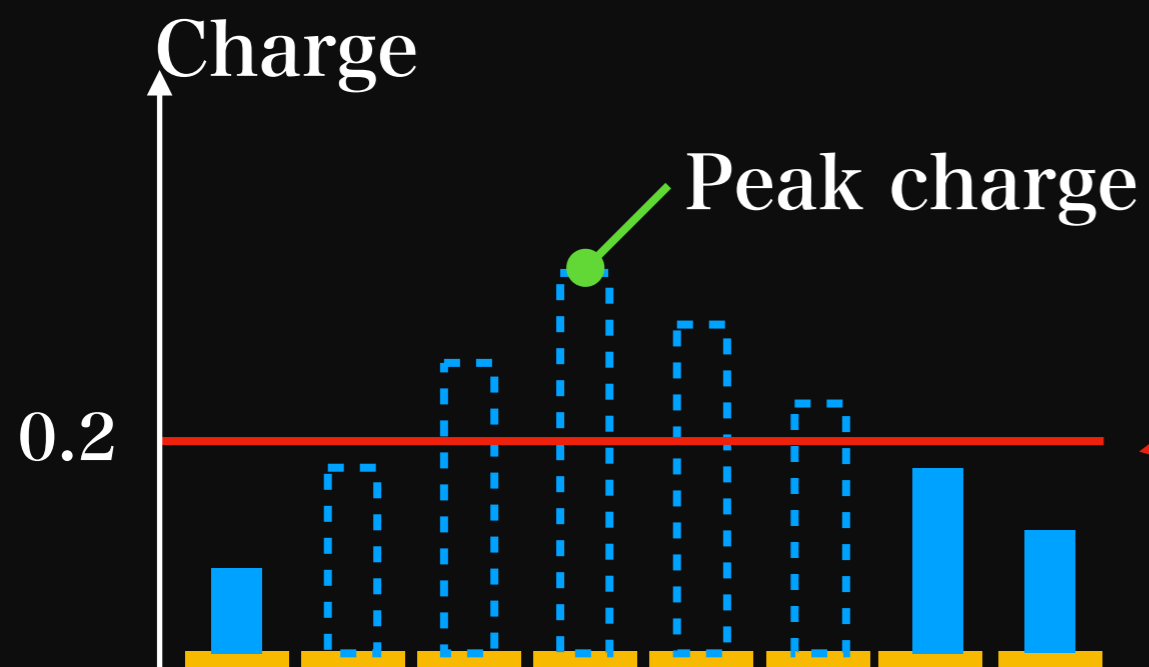
1. peak chargeが0.2 KeVより大きく、hitのあるstripの中で電荷の一番大きなstripを見つける
2. 1. のstrip の ± 6.5 mm (strip 2本分)の範囲にあるhit stripを探す
3. 各位置の電荷量をGauss fitを行いそのピーク値でのRをHitのRとする
4. 1回のclusteringに用いたstripは除いて同様にhitのRを求める
5. stripのhit dataが2本以下なるまで行う



Clustering ②

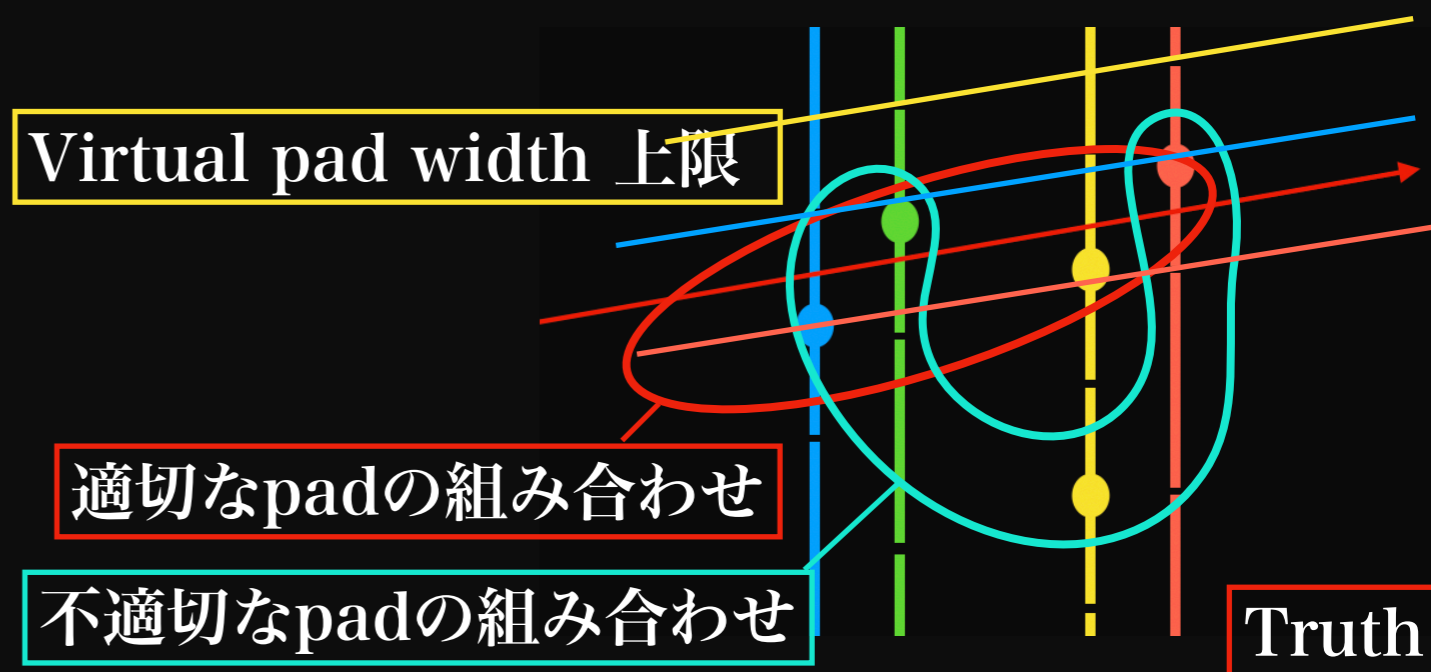
1 hitに対して5本より多くのstripがなった時には余りが出る

→余ったstripでclusterを作らないように、Peak chargeの値が0.2以下の際にも clusteringを止めることとした

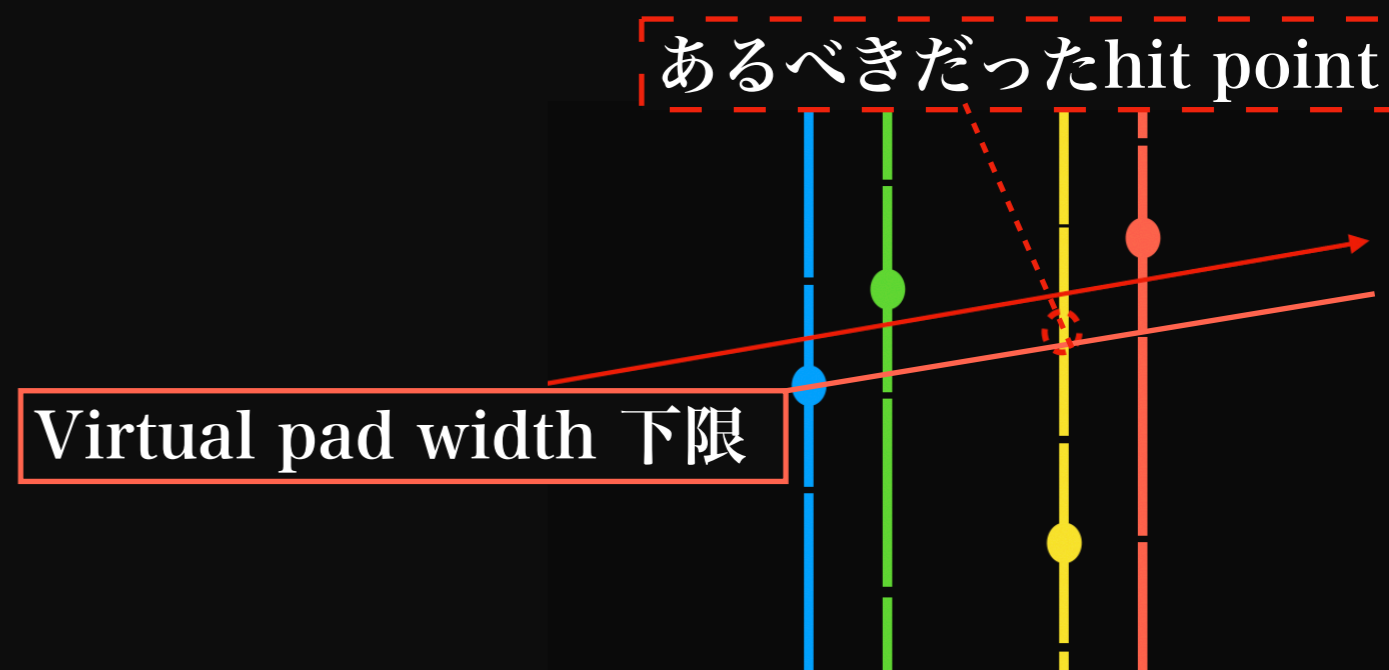


virtual pad width problem

ずれたhitが存在しても、適切なhitが存在していれば、2 Trackが作られ、上図の不適切なpadの組み合わせは消える。
(上図 layer 3)

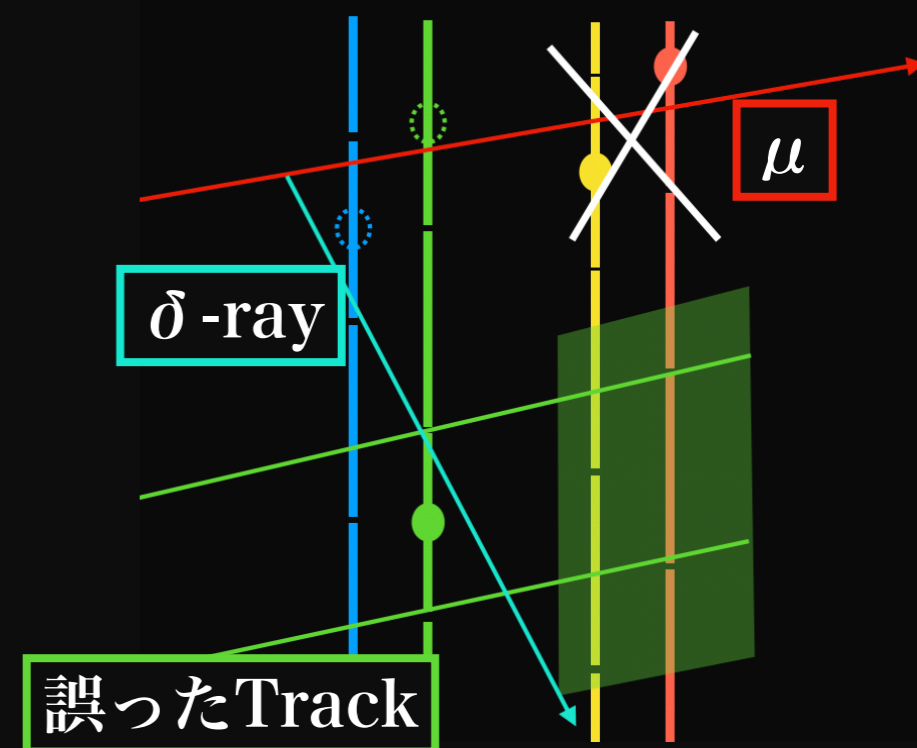


1 layerでもずれたpadのhitが存在した時、そのhitにつられて、virtual pad widthがマイナスになってしまう。
(下図 layer 3)



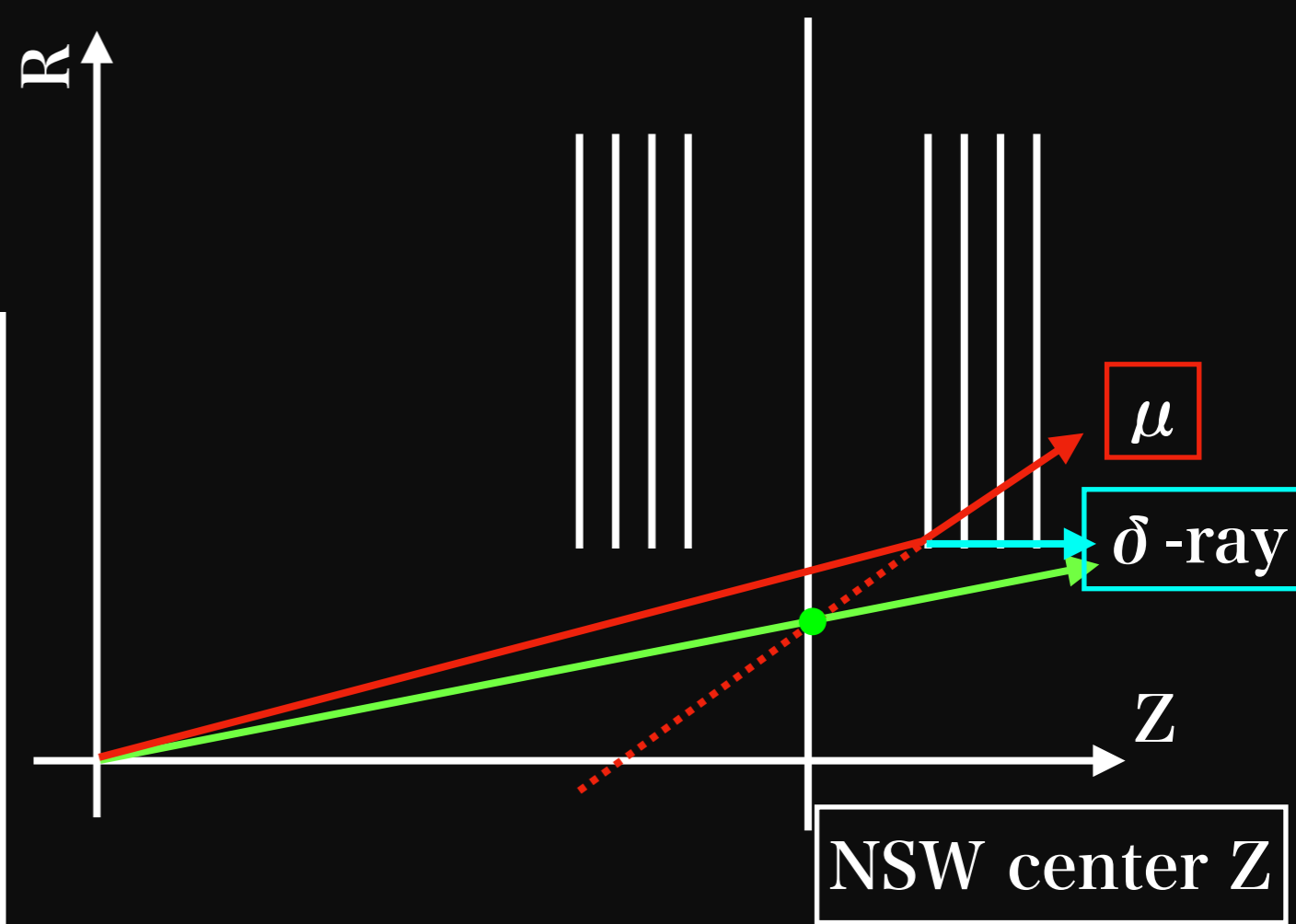
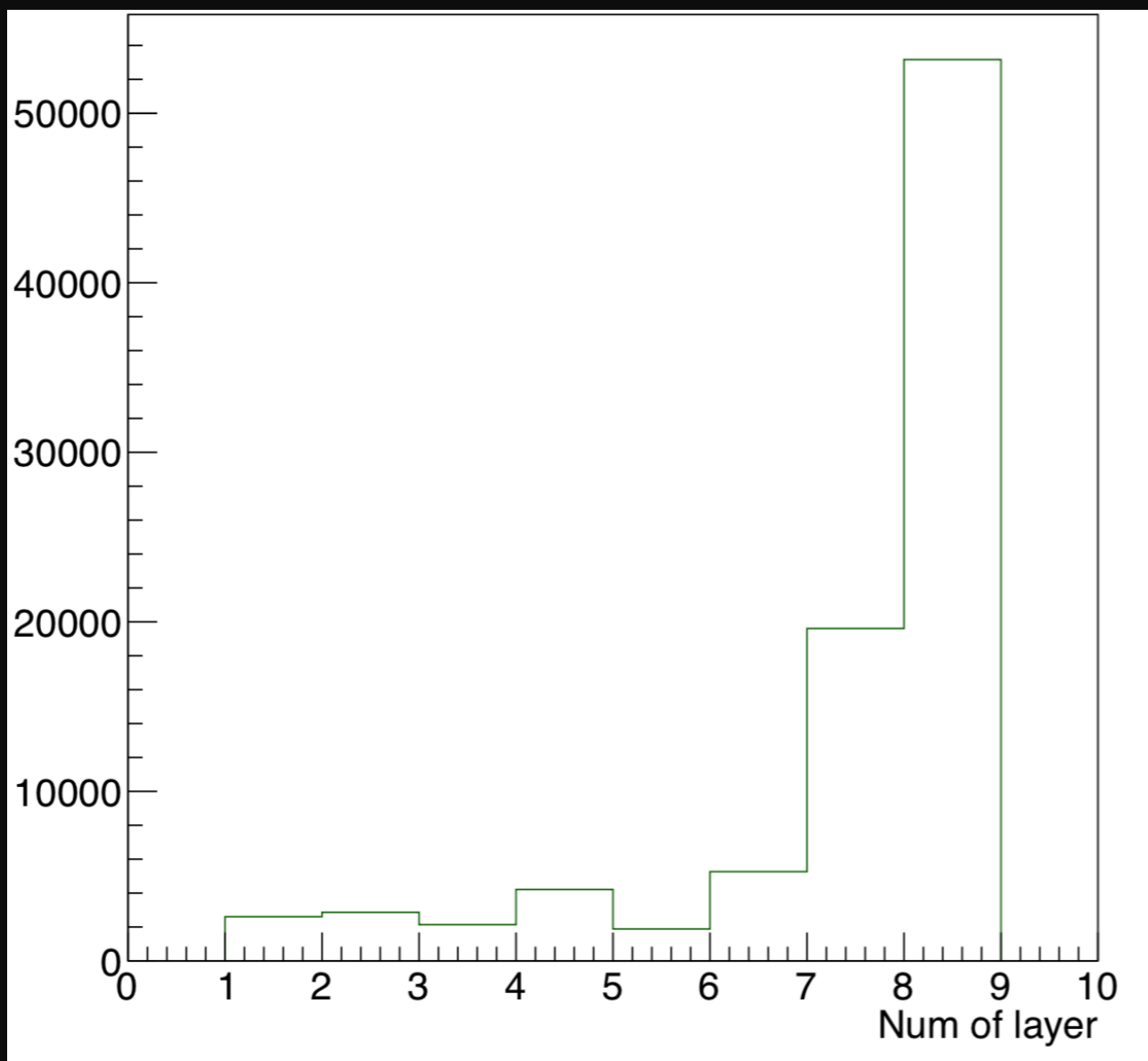
Miss Track problem

hitしたlayerの内最もIPに近いlayerを起点に
padの組み合わせを探すため、
truthの軌跡とは異なるHit(上図 layer 2)が
最もIPに近かった場合、
適切なTrackを作ることができない



truthの軌跡のHit layerがIPに最も近い場合、
不適切なHitは拾わずに、適切なTrackのみが作られる





Hit Padの組み合わせ方法

衝突点に最も近いHitのdataのあるLayerを探す

| : pad channel width

そのLayerの各Hitごとに次の操作を行う

● : hit pad channel R

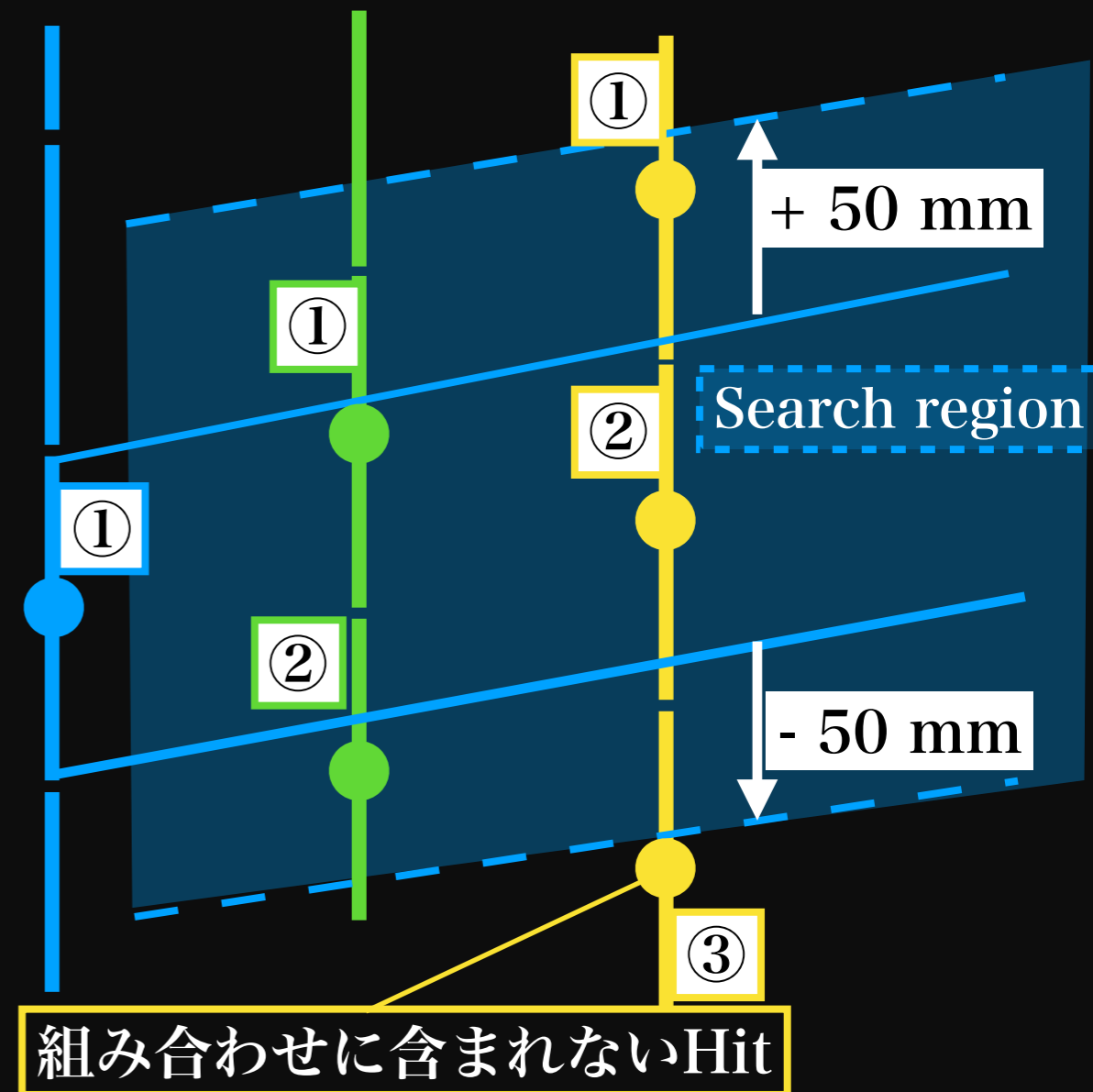
1) padの上下端に原点から引いた直線を引く

2) 各layerにおいて、1)で引いた直線の
 ± 50 mmの範囲 (薄い青色の範囲)

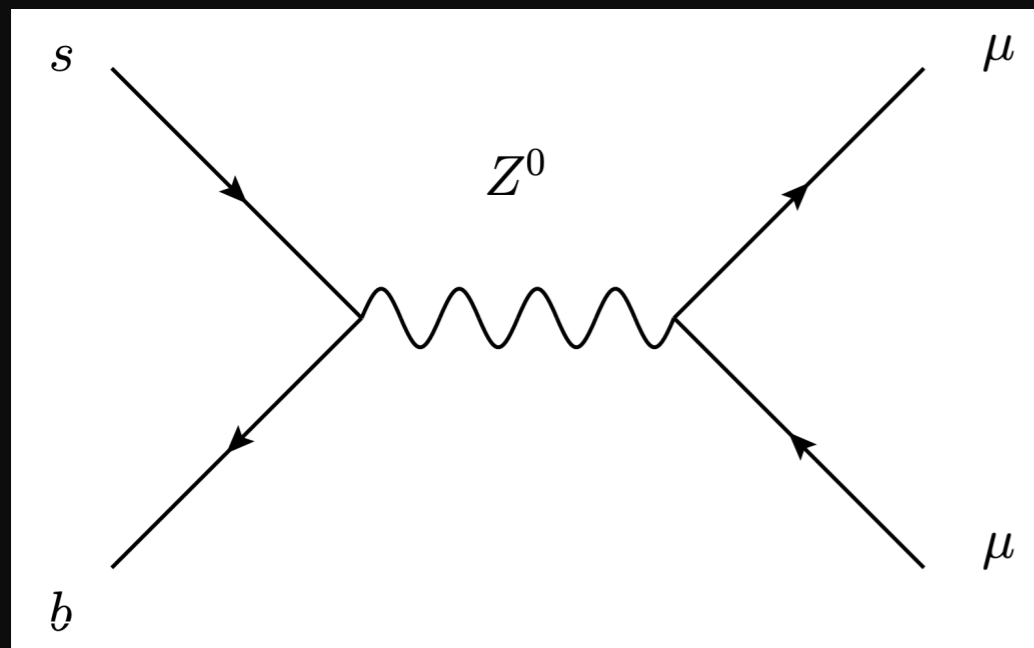
においてpadのhitを探す

3) 範囲に入ったHitのすべての
組み合わせを作る

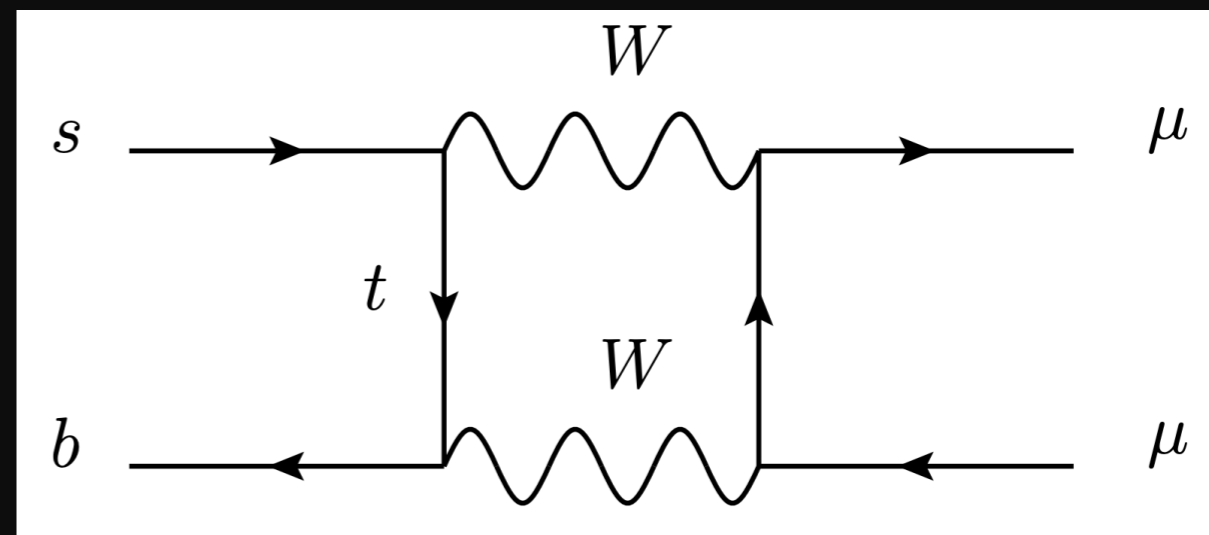
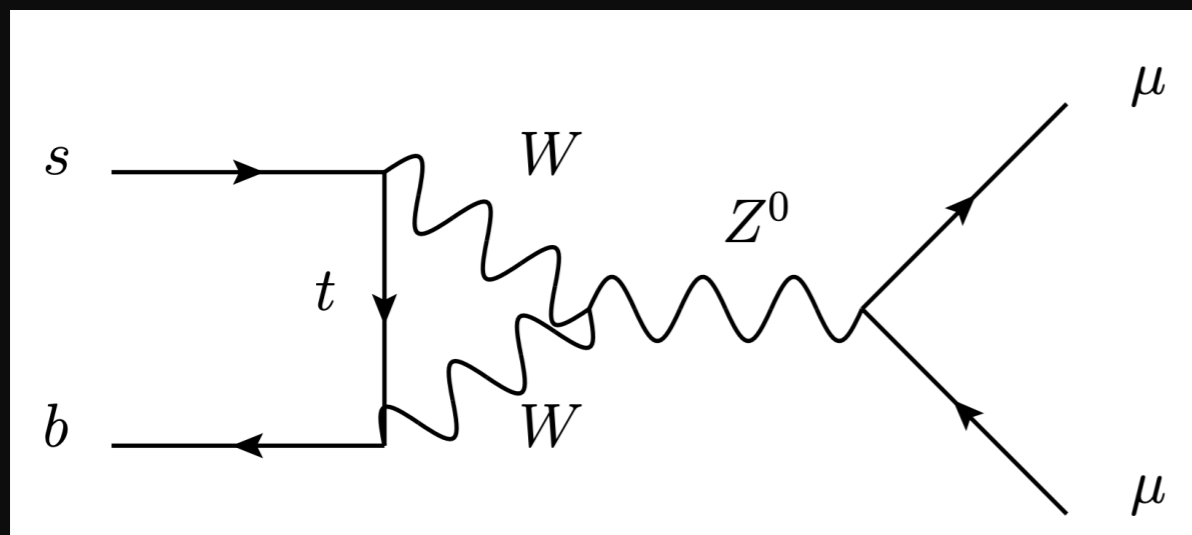
図の場合 $1 \times 2 \times 2 = 4$ 通り



Bs粒子の対崩壊例



GIM機構によって厳密に禁止されている崩壊例



Standard Modelで可能な崩壊例

sTGCの位置における磁場構造

