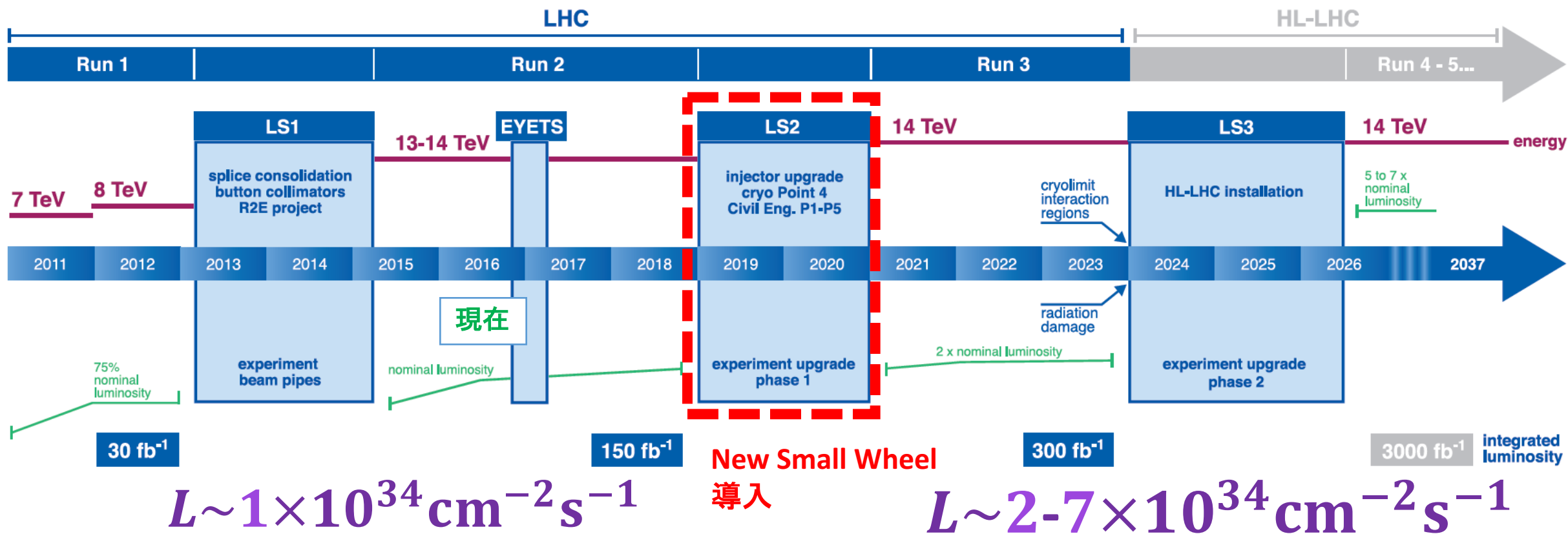


ATLAS実験における Micromegas検出器を用いた トリガーアルゴリズムの開発と評価

東大ICEPP 川本研 M1
前川光貴

LHC アップグレード

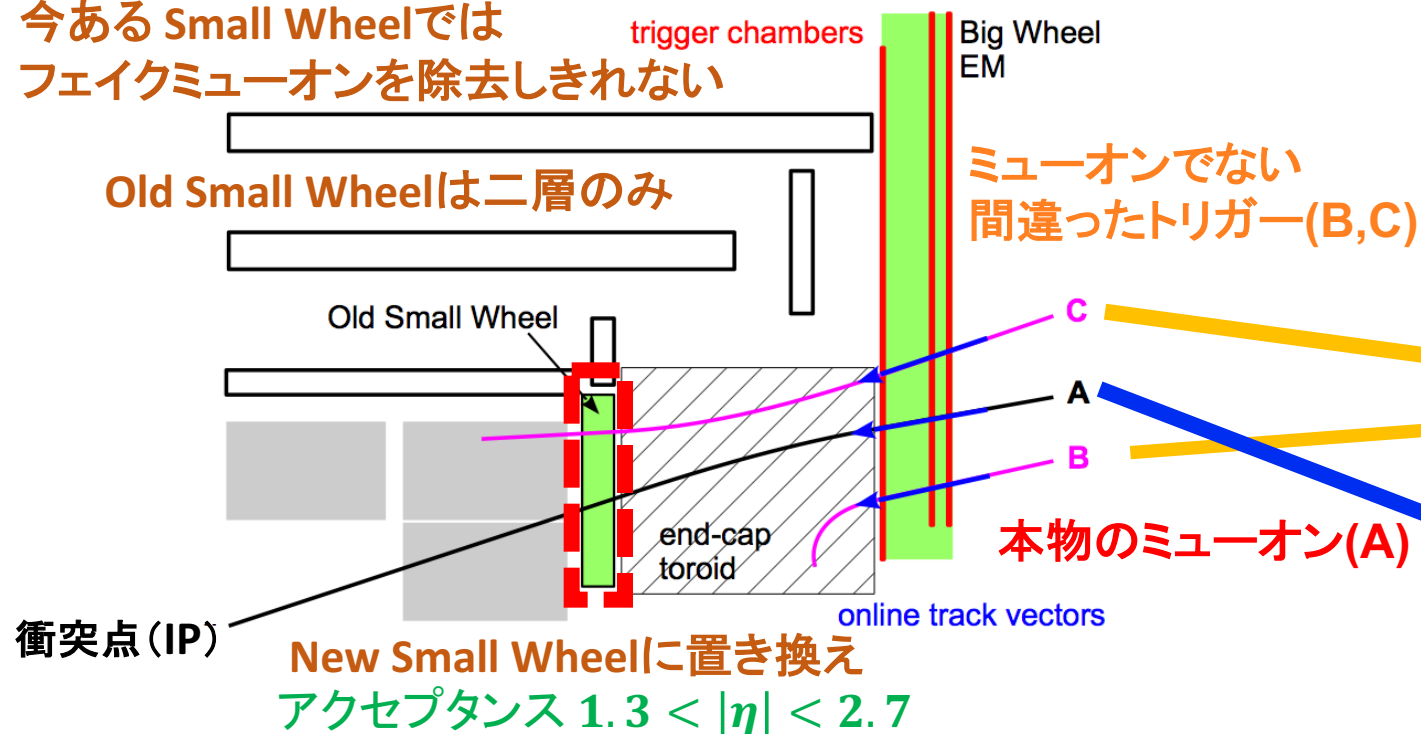


RUN 3以降では、ルミノシティが設計値の2倍以上に
 → 高ヒットレート環境で動く検出器が必要に

New Small Wheel (NSW) へのアップグレードの目的

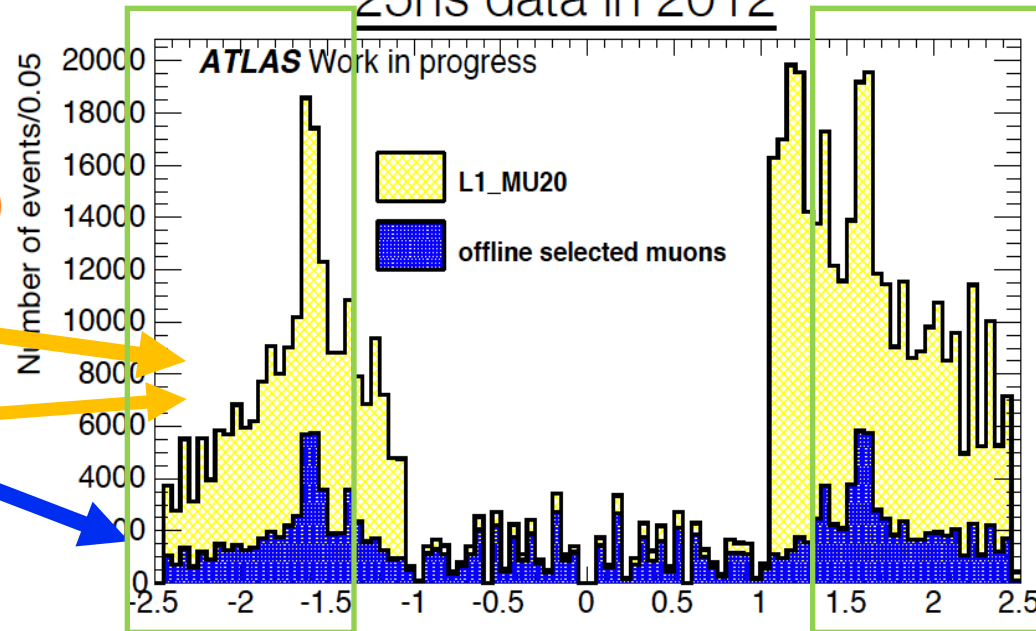
今ある Small Wheel では
フェイクミュオンを除去しきれない

Old Small Wheel は二層のみ



NSW

25ns data in 2012



黄色の領域がフェイクミュオン

後方のミュオン検出器BWと

前方のNSWでコインシデンスを取ることでフェイクミュオンを減らす。

$L \sim 3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
でのトリガーレートが

BW 単独・・・51kHz \rightarrow **BW+NSW+Tile Calo.**・・・13kHz

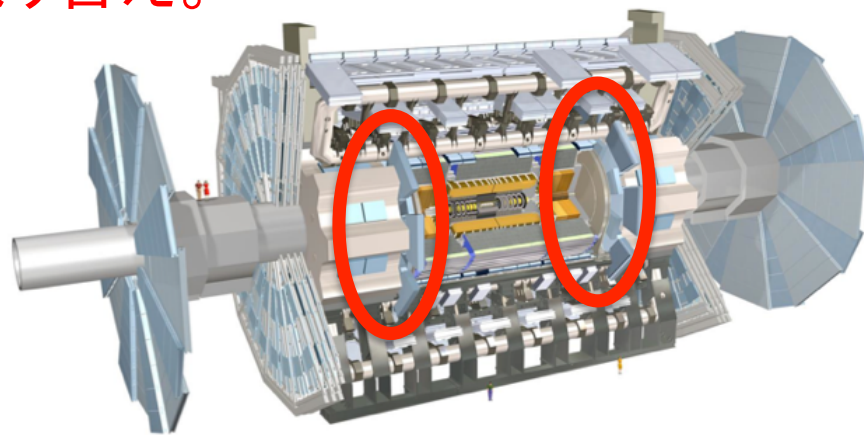
1/4に!!

New Small Wheel (NSW)の導入

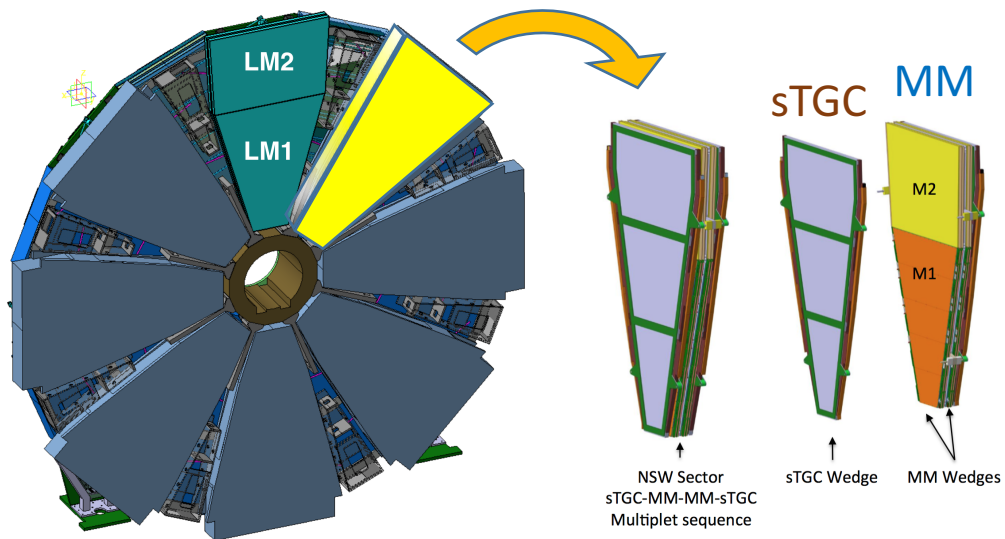
2019年, エンドキャップミュオン検出器の一部を取り替え。
NSWによって現在あるSmall Wheel (SW)を置き換える。

現在の検出器は高ヒットレートでトラッキング効率が低下

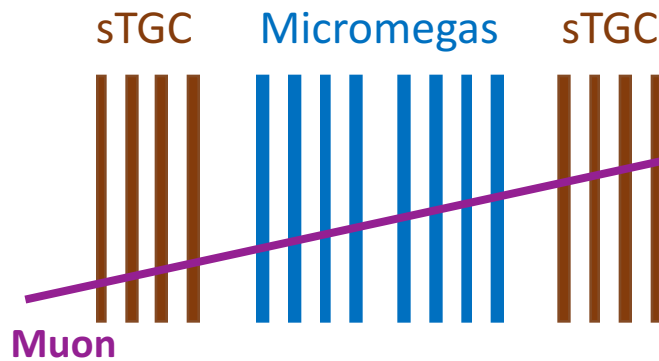
→ 応答時間の短い検出器にアップグレード



NSW



NSW は sTGC, Micromegas(MM) の2つの検出器からなる。

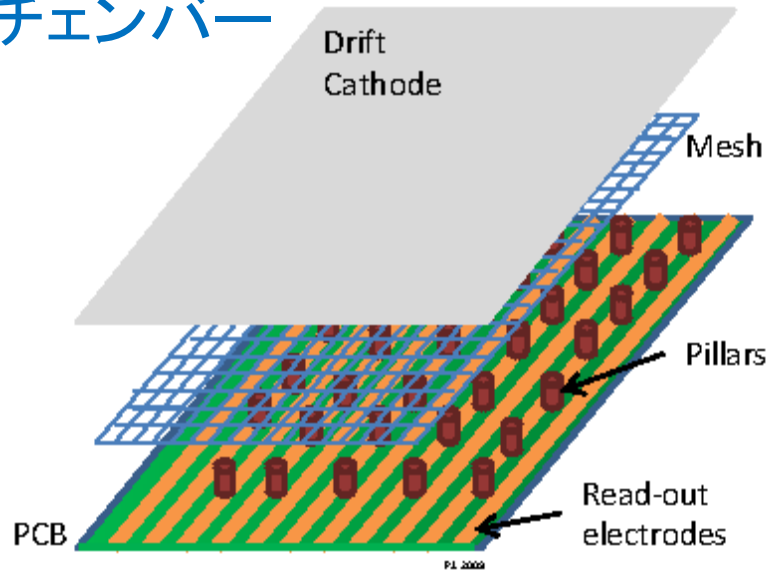


両方ともに、
・飛跡再構成
・トリガー
の2つの機能を持つ。

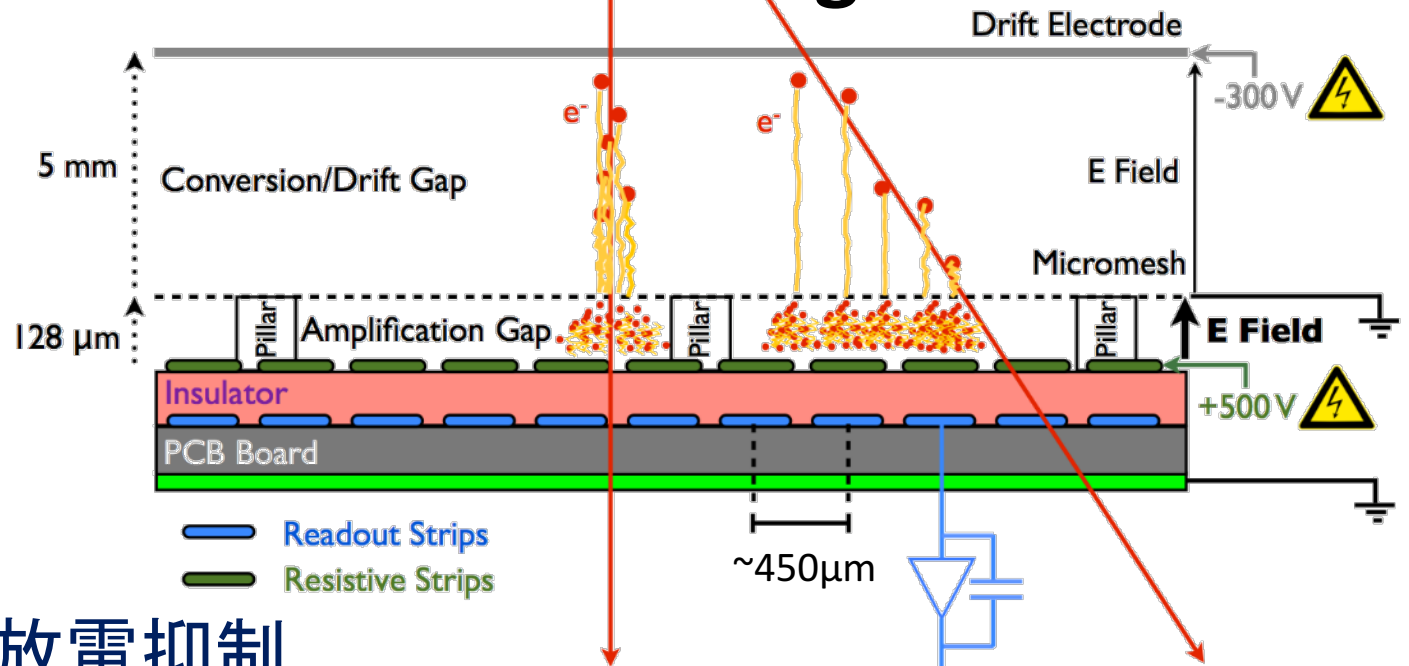
Micromegasは 8 layers

Micromegas 検出器

ドリフト領域と増幅領域がメッシュで分けられた
ガスチェンバー



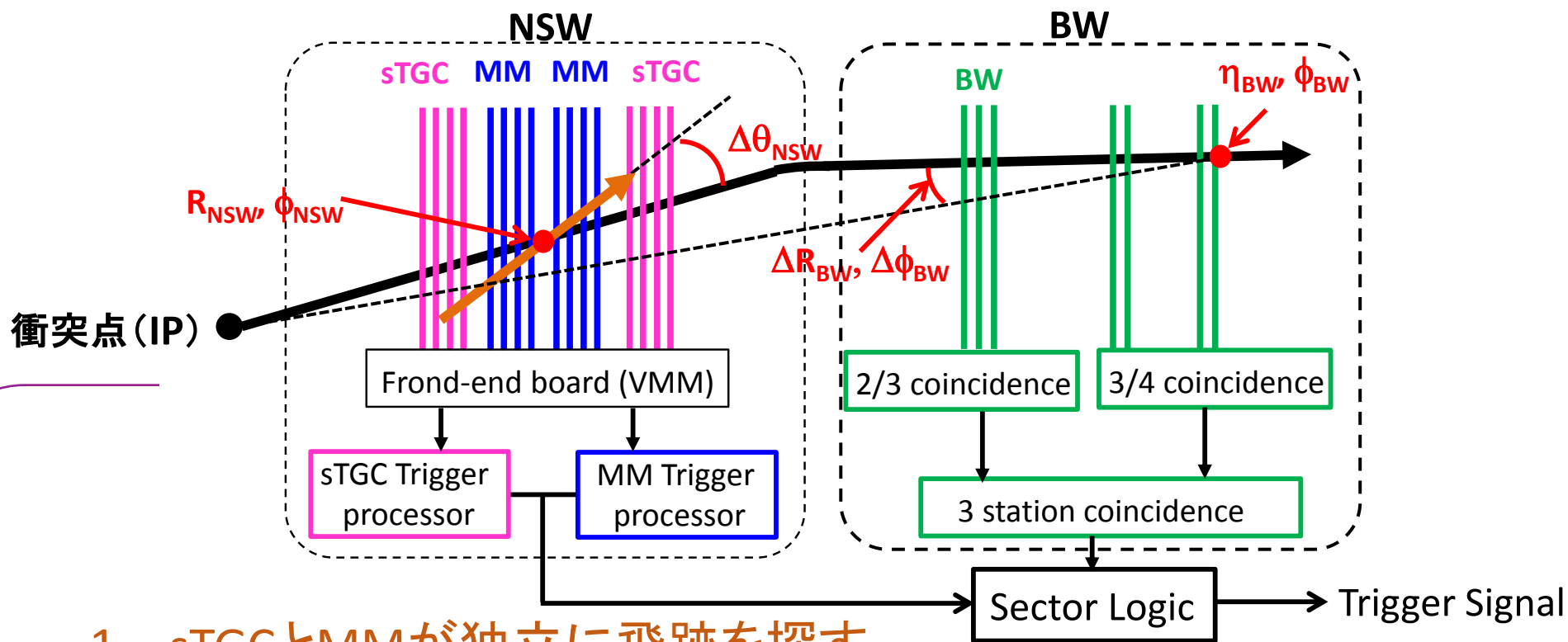
Micromegas



- 高抵抗ストリップによって放電抑制
- 128 μm の狭い増幅領域
 → 100nsでイオンを排出でき、
 高ヒットレートに対応できる。

Gas	Ar 93% + CO ₂ 7%
Strip pitch	~450 μm
Gain	$O(10^4)$
Drift velocity	5 cm/ μsec

初段階 (レベル1) ミューオントリガー



1. sTGCとMMが独立に飛跡を探す
2. IP方向からのずれ $\Delta\theta_{NSW}$ 、飛跡のヒット位置の η 、 ϕ を再構成。
3. IPを向いたトラックのみ、 $\Delta\theta_{NSW}$ 、 η 、 ϕ をBWへ送る。
(↑フェイクミューオンを除去)
4. BWとのコインシデンスを取ってトリガー発行。

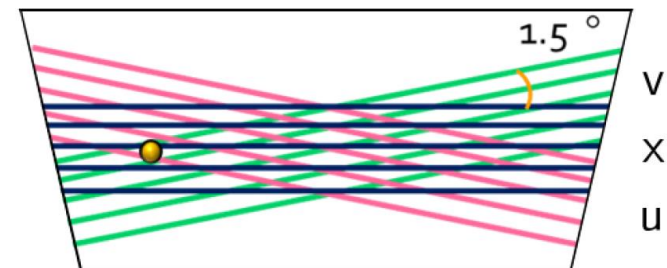
注: $\eta = -\log(\tan \theta/2)$

MMトリガーアルゴリズム

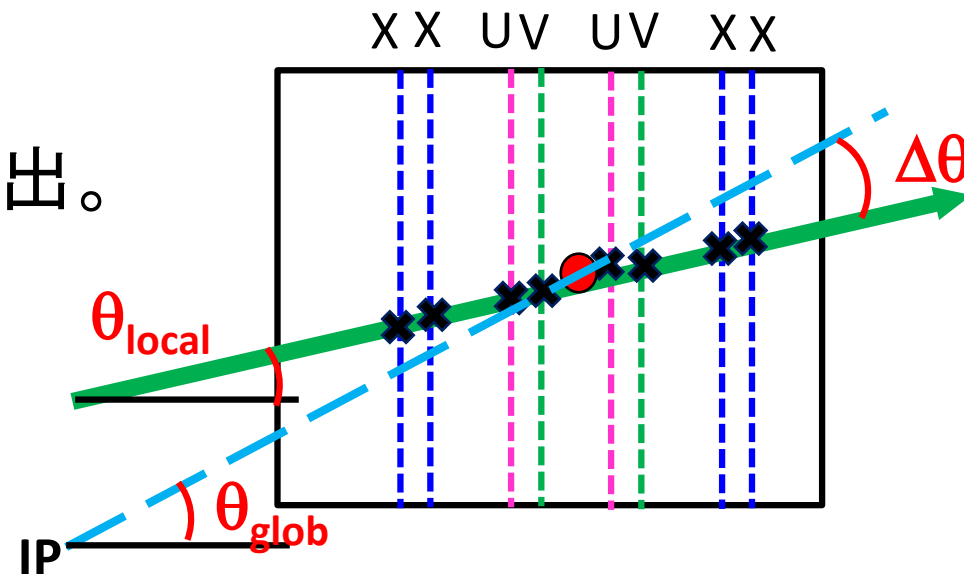
MMでの具体的な計算手順

8層のうち、
4層が θ 方向(水平)にストリップが並び、(X)
残り4層が ± 1.5 度傾いてストリップが並ぶ。(UV)

1. X(水平)のみを用いて、
IP方向からのずれ $\Delta\theta$ と、ヒット位置の η を算出。
2. X(水平), UV(傾きあり)全てを用いて、
ヒット位置の ϕ を算出。



x: horizontal strips (2 planes per Quad.)
u,v: stereo strips (1 each per Quad.)



トリガーシミュレーションの目的

Micromegasに対するトリガーとしての要求

- 検出効率 > 99% (Track Finding Efficiency)
- $\sigma(\Delta\theta) < 1\text{mrad}$
- $\sigma(\eta) < 0.005$
- $\sigma(\phi) < 20\text{mrad}$
- レイテンシー < $1\mu\text{s}$

トリガーシミュレーションの目標

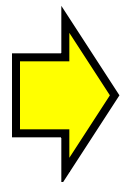
実装可能なトリガーアルゴリズムの開発

シミュレーションで、
バックグラウンドを含めたMicromegasのトリガー性能評価を行う。
さらにハードウェアに実装しての性能評価を行う。

MMトリガーシミュレーションの全体

今回は、シミュレーションを用いて、理想的な状態でのトリガー性能評価を行った。

イベント生成と、
検出器へのヒット
シミュレーション



検出器
シミュレーション



トリガー
シミュレーション

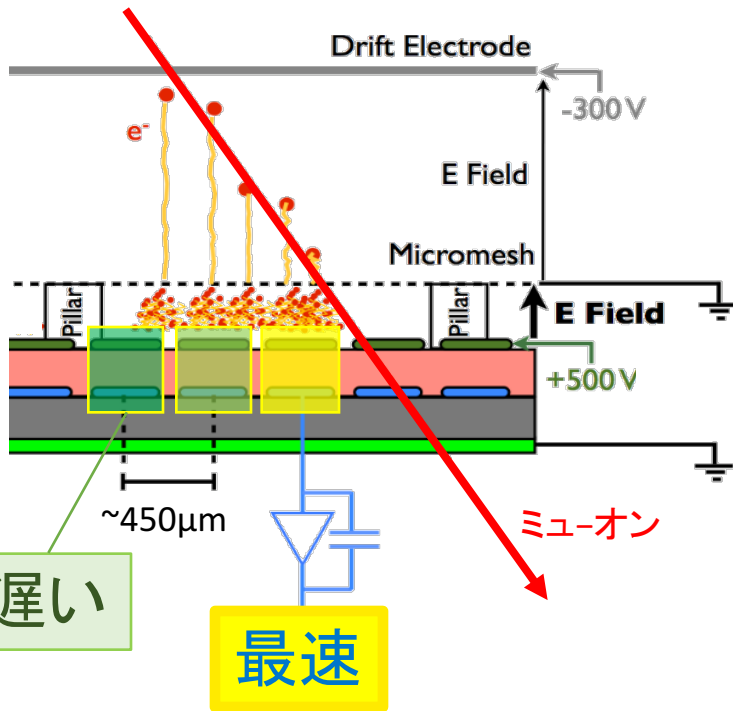
・横運動量 100 GeVの
シングルミュオンイベントと、
1バンチクロッシングあたり
パイルアップ数80(=Run3相当)の
minBias BGを重ねたものと両方を生成。

・電子のドリフト
・ガス検出器の電子増幅
・シェイパーの応答
・トリガー信号の出力
これらをシミュレーション

現在MMトリガーボードに
実装される予定のものと
同じアルゴリズムを用いて、
性能を評価した。

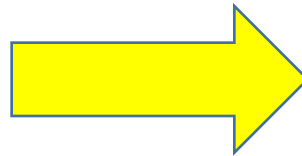
トリガー用信号の選び出し方

電子の増幅の流れ

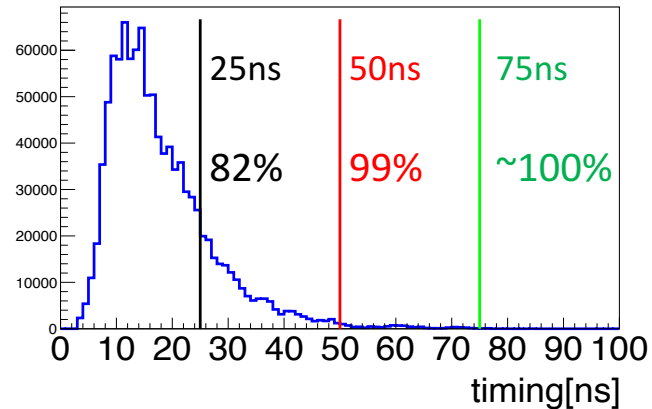


トリガー信号には、
各ASIC(64ch)の中で、
最初に鳴ったストリップを用いる。

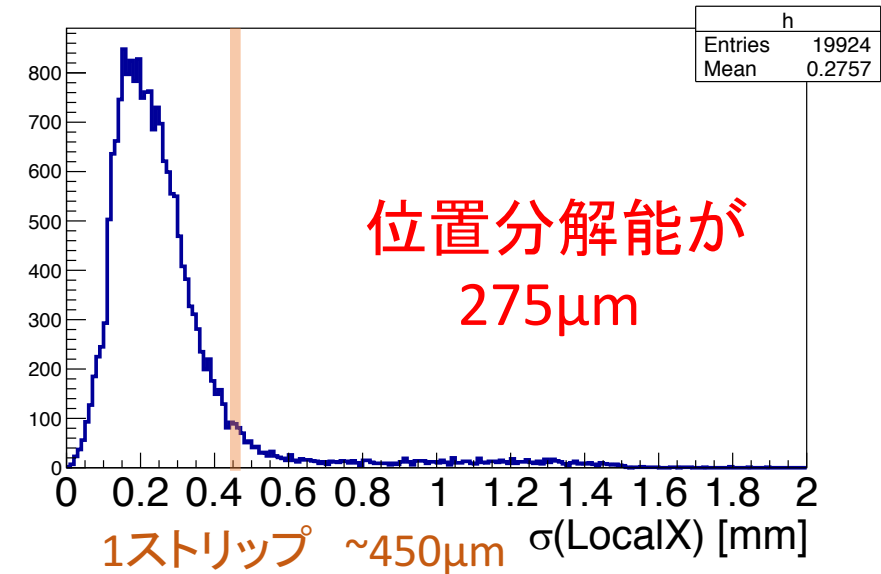
最速のストリップを選ぶことで、
読み出し面を通過した位置を、
1ストリップ以下の精度で
決定できる。



ミュオン到達からの
トリガー用信号のタイミング分布



Hit位置の残差分布

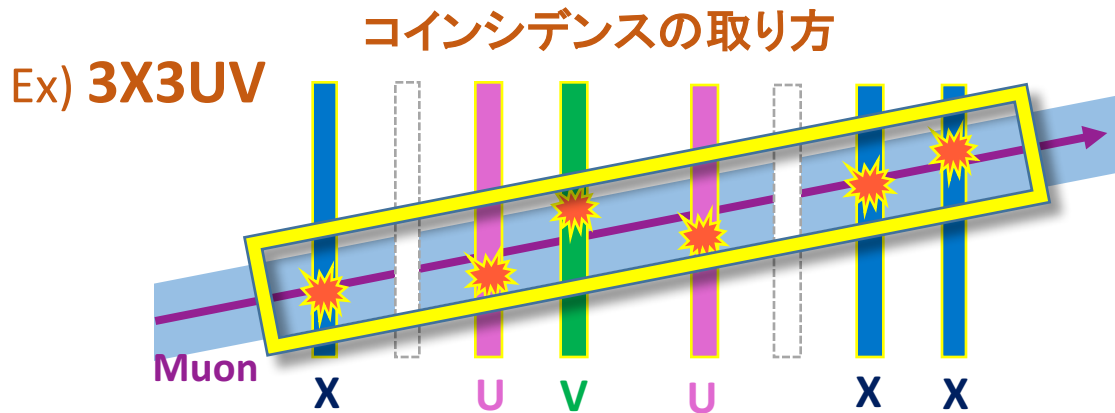


~450µmの細かいピッチにより、
クラスタリングしなくても、
50ns以内に、275µmの
精度でヒット位置を検出可能。

扱うデータの削減&読み出しまでの時間が短い

トラック再構成の手順とTrack Finding Efficiency

傾き(R/Z)の値を使って
8層のコインシデンスを取り、トラックを作成。

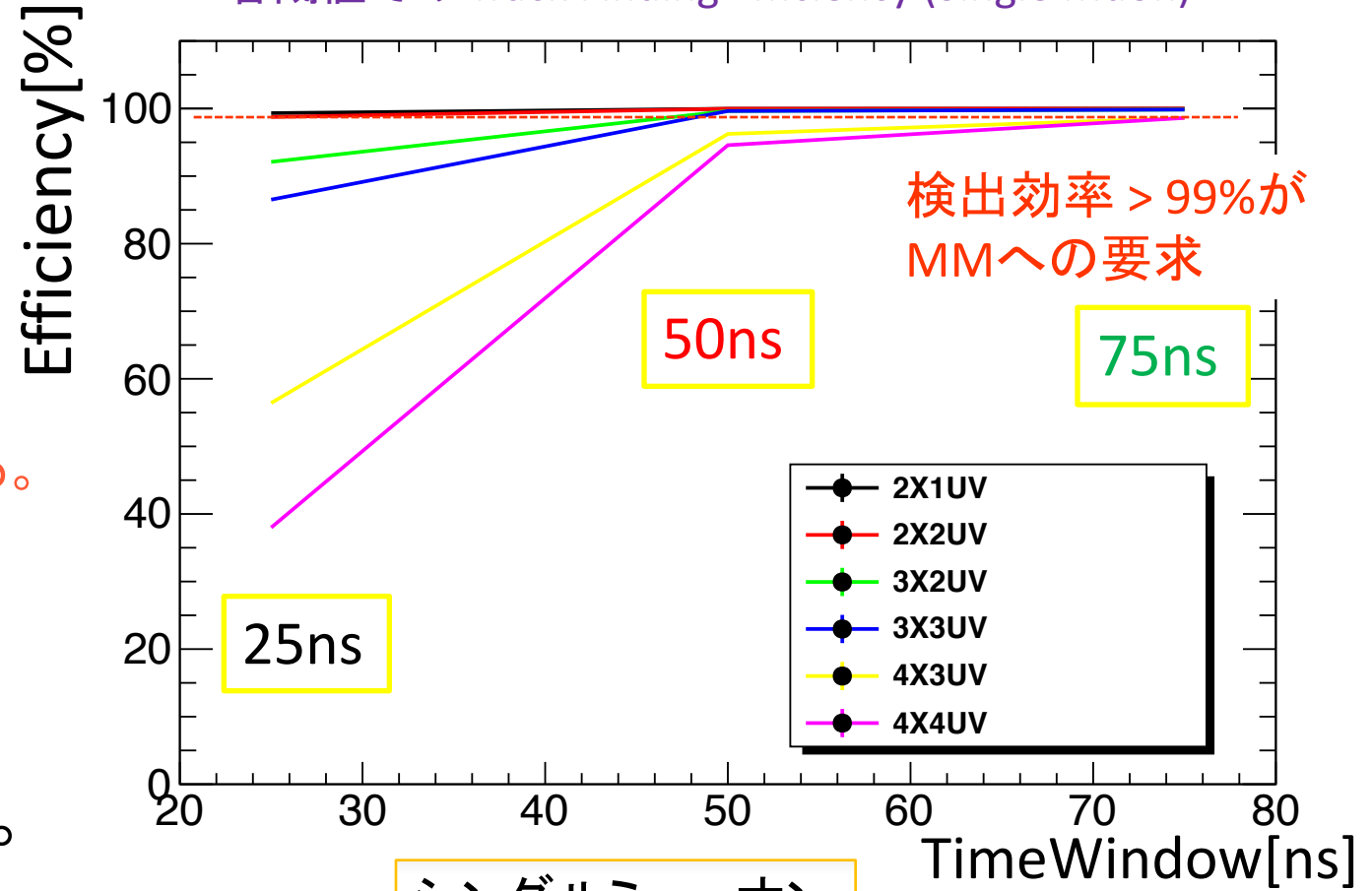


IP方向を向かないトラックは自動的に除外される。

- TimeWindowは50nsが妥当
- TimeWindow 50nsで3X3UVまで要求することができる。

コインシデンス閾値ごとのEfficiencyから、
フィッティングに要求できるレイヤー数を見る。

各閾値での Track Finding Efficiency (Single Muon)

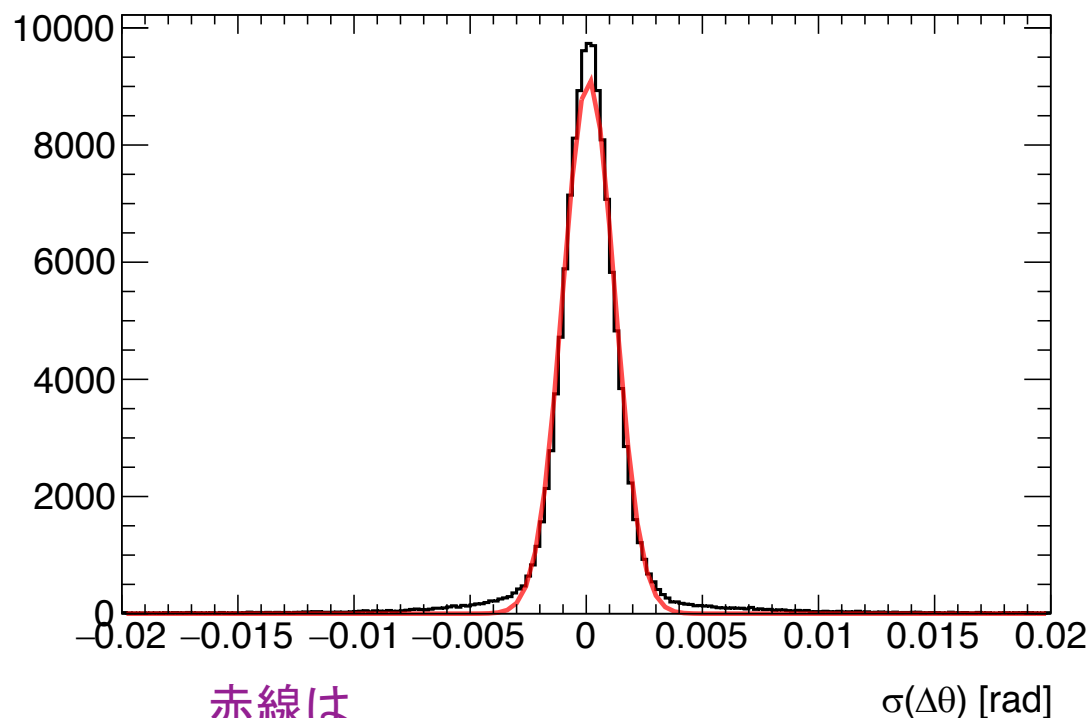


シングルミュオン

3X3UV以上@50nsを要求してのFitting

最終的にBWへ送る3つのパラメータについて、分解能を求めた。

$\Delta\theta$ の残差分布



赤線は
ガウシアンでのフィッティング結果

3パラメータ全てで要求される分解能を満たす。

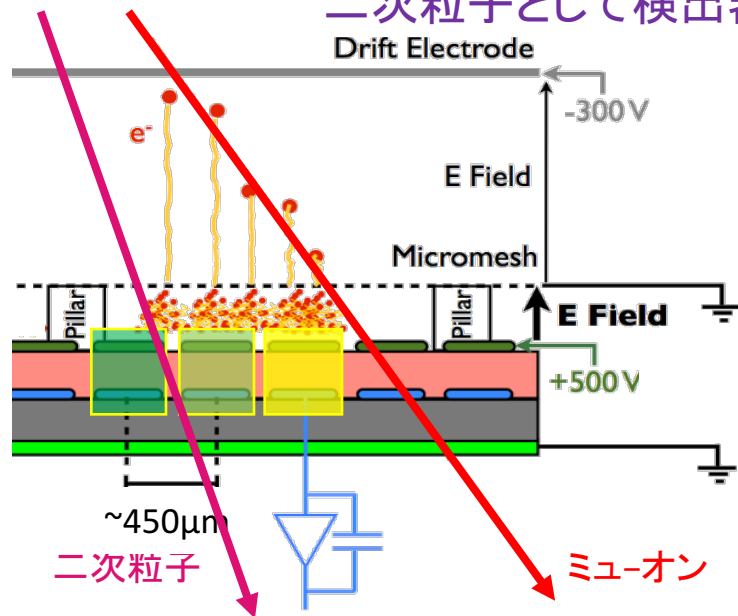
	分解能 (3σ tail)	Requirement
$\sigma(\Delta\theta)$	1.1mrad (7.2%)	1mrad
$\sigma(\eta)$	5.0×10^{-5} (8.3%)	5×10^{-3}
$\sigma(\phi)$	2.0mrad (11%)	20mrad

シングルミュオン

- ・ $\sigma(\eta)$ 、 $\sigma(\phi)$ が良い理由は、細かいピッチによる高い位置分解能。
- ・ Run3では $\Delta\theta$ は $\Delta\theta < 7 \sim 15$ mradのカットの形でしか使わないため、Requirementから外れても影響は少ない。

Tailの由来

検出器到達までにミュオンが弾いた電子などが、二次粒子として検出器を鳴らす。



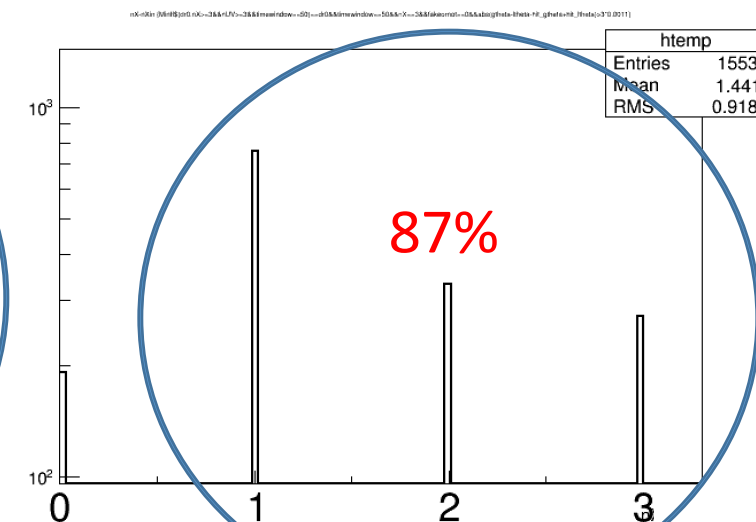
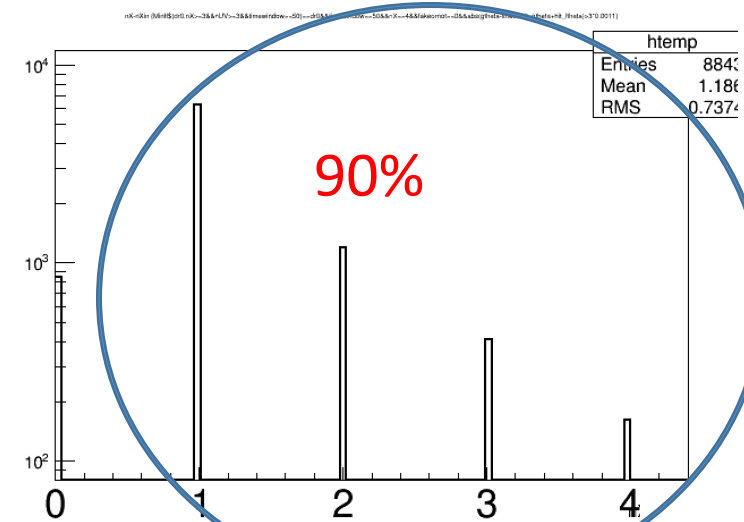
たまたま二次粒子から早く信号が出る
→数mm離れた位置に信号が出る

これに加えて、

- ・VMM境界をコインシデンス枠がまたぐ
 - ・VMM Deadtime40nsが終わった後に、離れた位置から次の信号が来る。
- などの理由で、ミュオン通過位置から数mm離れた信号が混入

Tailの由来は混入ヒット!!

3 σ Tail外、4Xのイベントの混入ヒット数 3 σ Tail外、3Xのイベントの混入ヒット数



2次粒子等の混入ヒット数

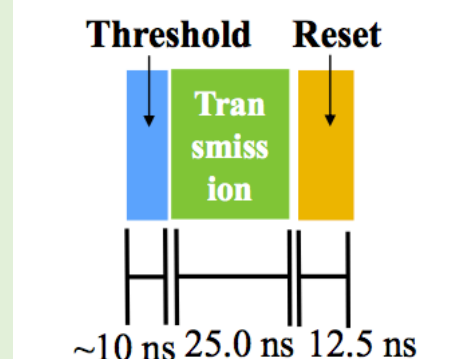
3 σ 内側では逆に、
混入ヒットの存在するイベントは1%程度

バックグラウンドの影響

Run3相当(パイルアップ数80)のバックグラウンドを用いて、EfficiencyやResolutionへの影響を見た。今回用いたBGサンプルの1層目のヒットレート

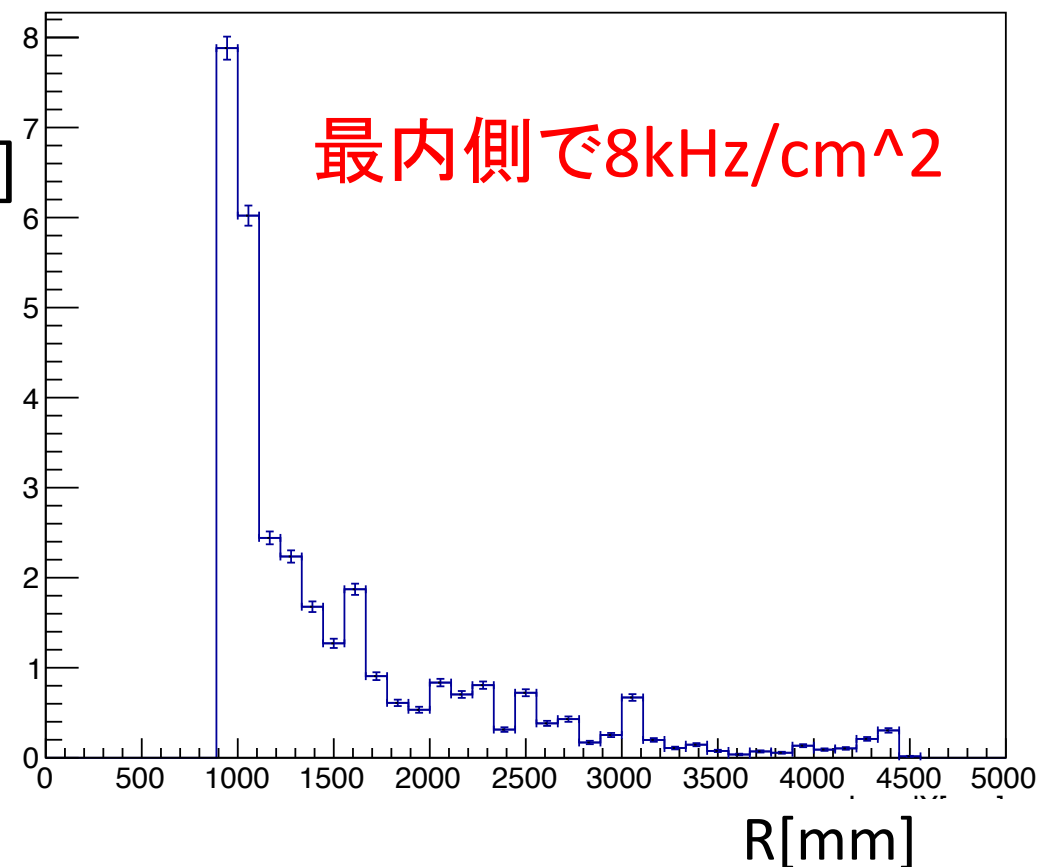
VMMのDeadtime約40nsが存在

→Efficiencyへの影響



Hitrate
[kHz/cm²]

最内側で8kHz/cm²



Back Groundによる混入ヒットが増える。

→Resolutionへの影響

Track Finding Efficiency (バックグラウンドありの場合)

バックグラウンドあり

Slope Coincidence Efficiency			
	25ns	50ns	75ns
2X1UV	98.9(+0.2)%	99.85(+0.07)%	100(+0)%
2X2UV	97.9(+0.3)%	99.85(+0.07)%	100(+0)%
3X2UV	90.7(+0.6)%	99.2(+0.2)%	99.7(+0.1)%
3X3UV	84.4(+0.7)%	98.9(+0.2)%	99.6(+0.1)%
4X3UV	53.6(+1.0)%	93.6(+0.5)%	96.5(+0.4)%
4X4UV	36.6(+0.9)%	90.9(+0.6)%	95.5(+0.4)%

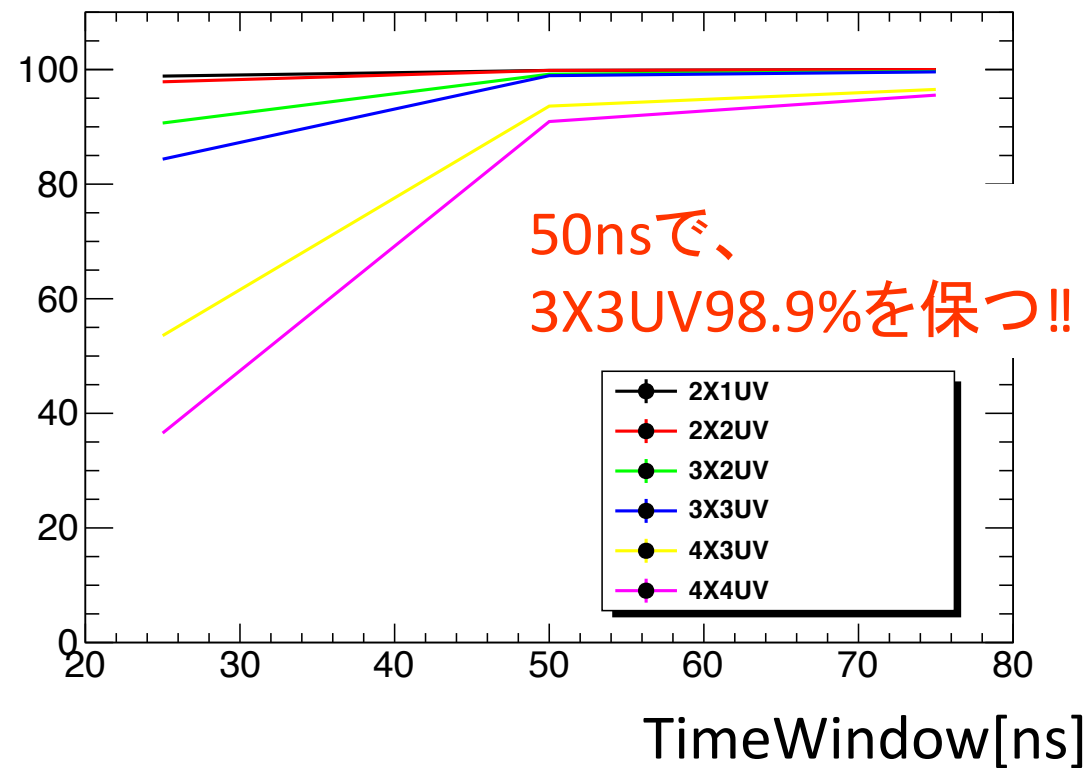
参考: シングルミュオン

Slope Coincidence Efficiency			
	25ns	50ns	75ns
2X1UV	99.29(+0.02)%	99.952(+0.006)%	99.980(+0.004)%
2X2UV	98.72(+0.03)%	99.952(+0.006)%	99.980(+0.004)%
3X2UV	91.66(+0.07)%	99.28(+0.02)%	99.66(+0.02)%
3X3UV	86.06(+0.09)%	99.28(+0.02)%	99.66(+0.02)%
4X3UV	55.5(+0.1)%	95.25(+0.06)%	97.80(+0.04)%
4X4UV	37.1(+0.1)%	93.57(+0.07)%	97.79(+0.04)%

Track Finding Efficiency

BGあり

Efficiency[%]



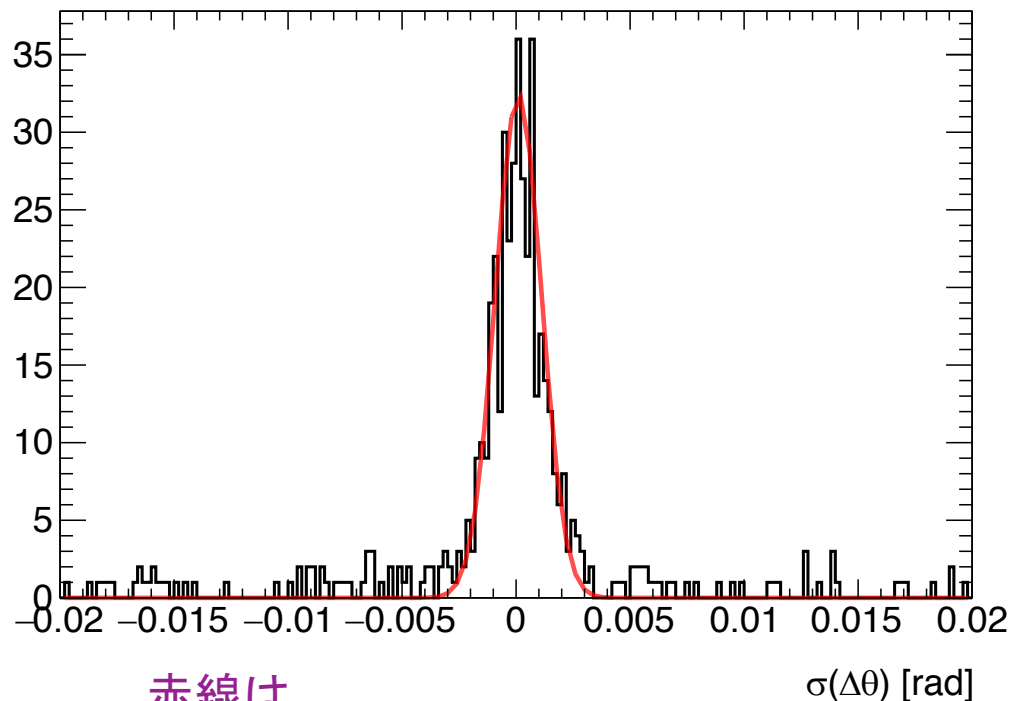
- 25nsで切った時の数%のInefficiencyは、Deadtime40nsとBack Groundによって起こる

3X3UV以上@50nsを要求してのFitting(バックグラウンドあり)

3つのパラメータについて、バックグラウンドを含めて分解能を求めた。

BGあり

$\Delta\theta$ の残差分布



赤線は
ガウシアンでのフィッティング結果

	分解能 (3σ tail)	Requirement
$\sigma(\Delta\theta)$	1.0mrad (9.1%)	1mrad
$\sigma(\eta)$	4.2×10^{-5} (11%)	5×10^{-3}
$\sigma(\phi)$	1.7mrad (16%)	20mrad

シングルミュオンの時よりもTailは増える。
混入ヒットの増加によるTailの悪化。

分解能は変化せず。良くなっているように見えるのは、
統計上の問題

まとめと展望

まとめ

ATLASアップグレードのための
ミュオン検出器(Micromegas)の開発を行っている。
Micromegasトリガーの性能評価を
Run3相当のminBiasバックグラウンドを入れたサンプルで行い、
分解能に対する要求性能を満たすことを確認できた。
また、Tailの原因についても理解ができた。

展望

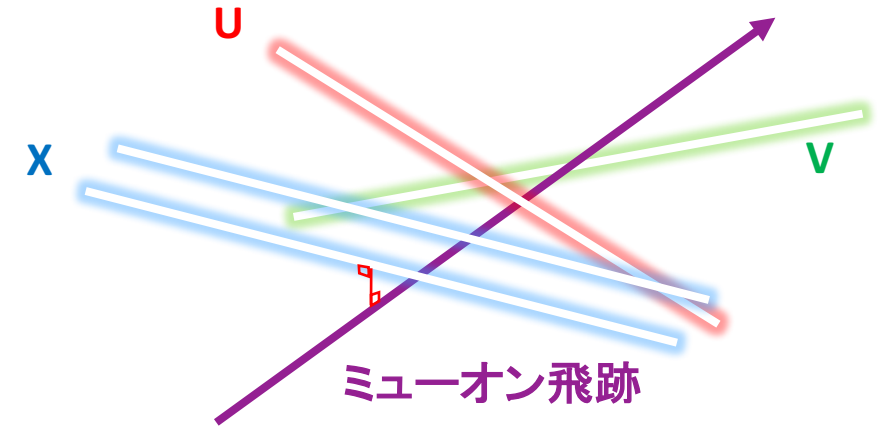
- Step 1. カバーンバックグラウンドも考慮した性能評価を行う。
- Step 2. コインシデンス閾値、パラメータの最適化。
- Step 3. Tailを除去するようなアルゴリズムの開発と評価

BACK UP

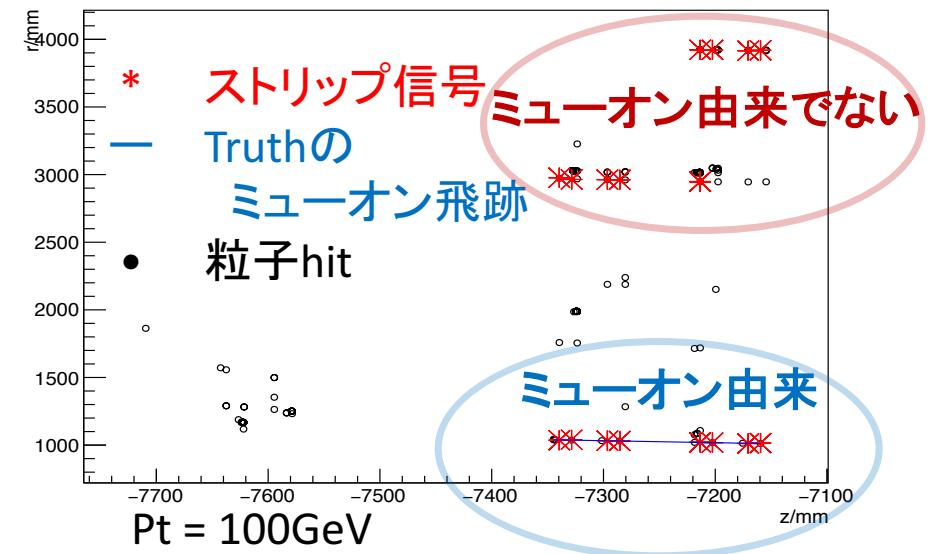
3次元Fitting方法

- Minuitを使い、鳴ったストリップとミュオン飛跡の距離の総和を算出。
- IP固定をして、上記の値を最小化。
Hit位置の η, ϕ を算出。
- バックグラウンドがない状態でも、
検出器に来るまでにミュオンが弾いてできる
二次粒子が存在。

ミュオン由来でない信号は今回は除去している。

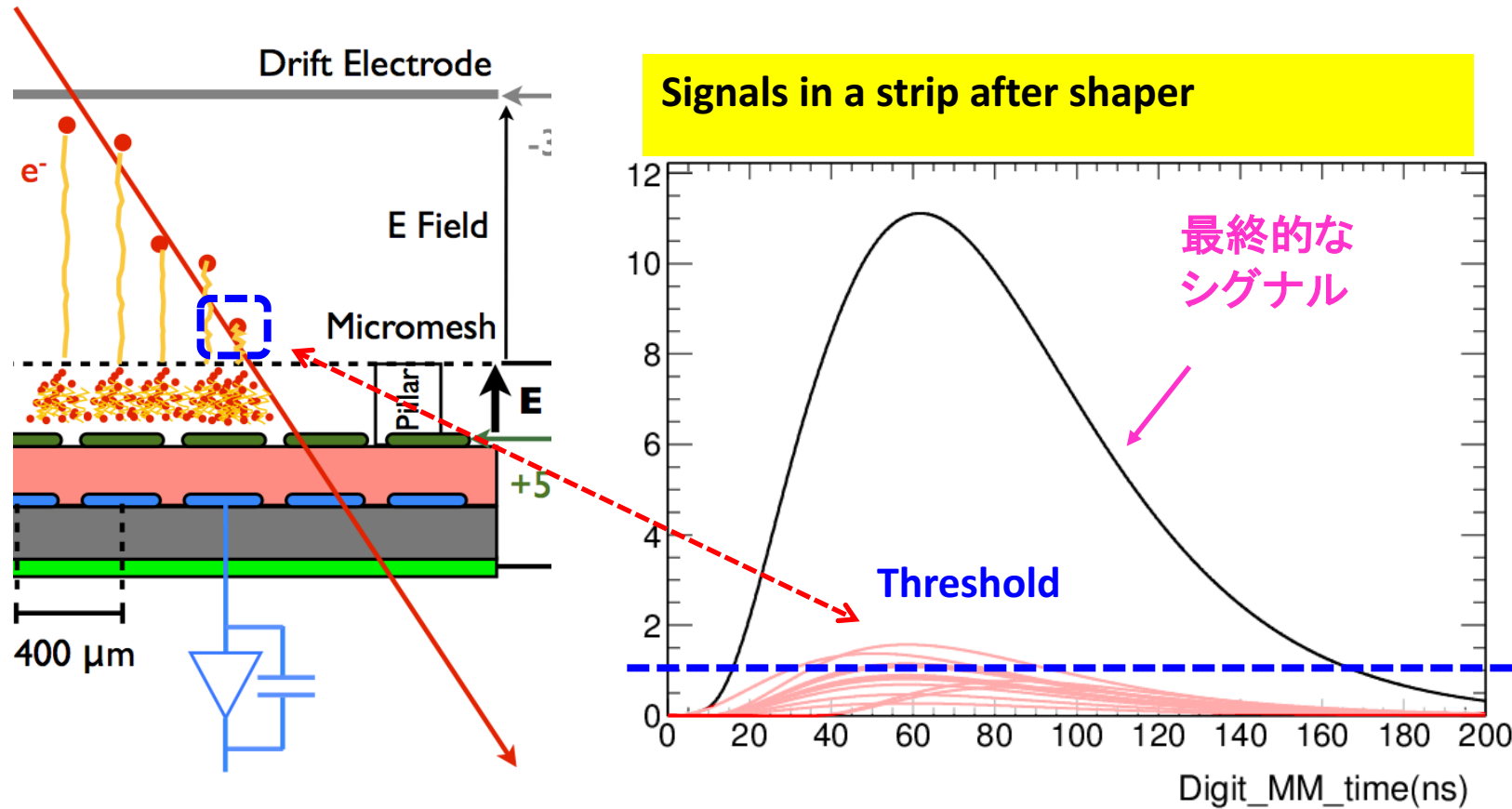


あるイベントでのR-Z図



Threshold値を変えてのEfficiency比較(1)

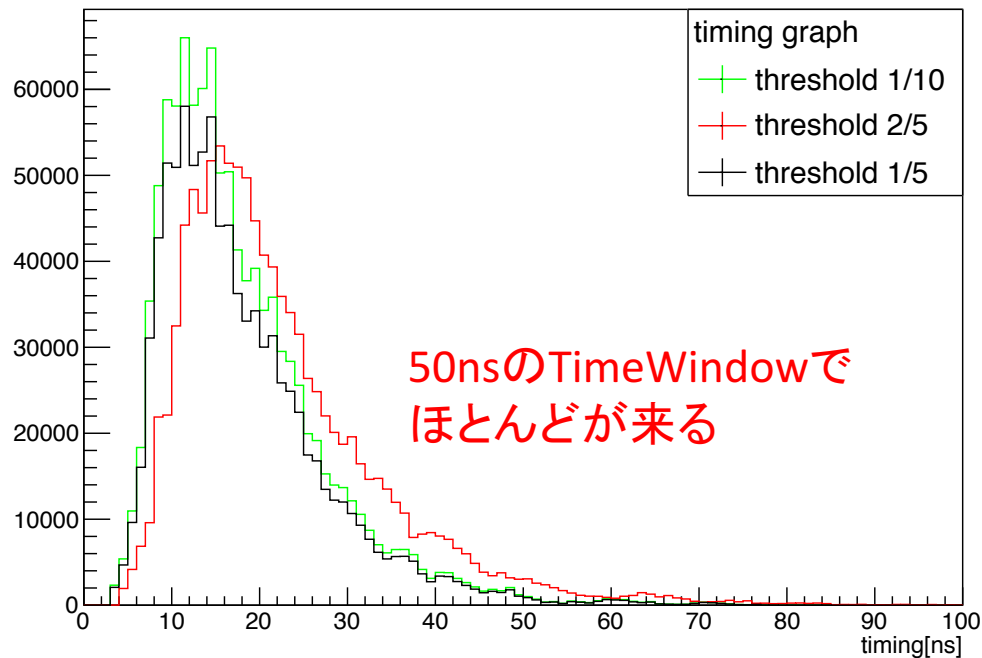
トリガー信号では、Thresholdを超えた時間を出力する



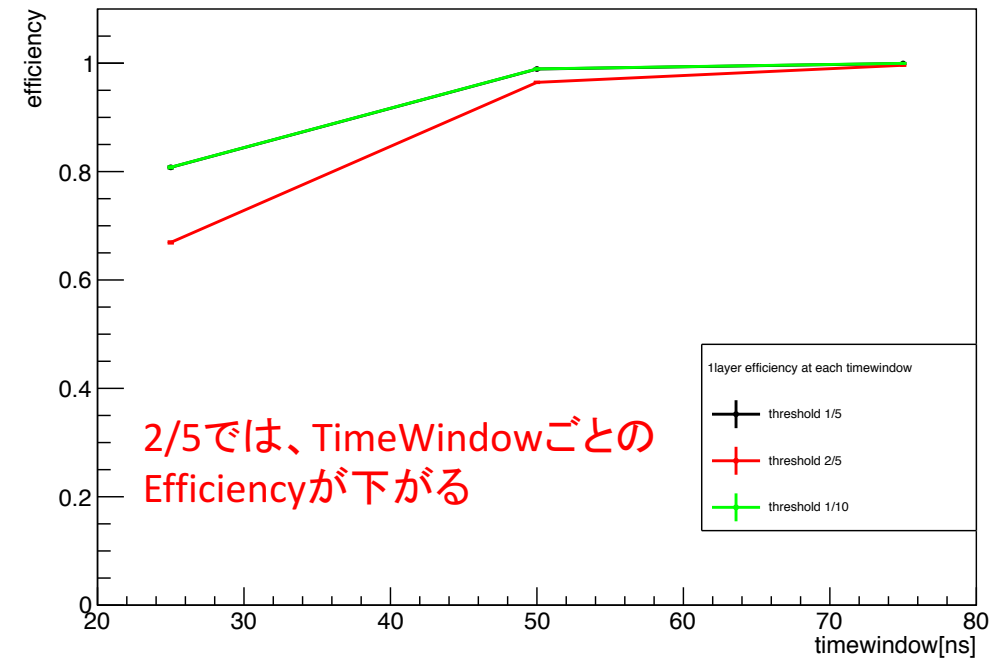
Threshold値を変えてのEfficiency比較(2)

Threshold値を変えて、検出器の応答時間の違いを見た

ミュオン到達から信号までの時間



25nsごとに区切ったefficiency



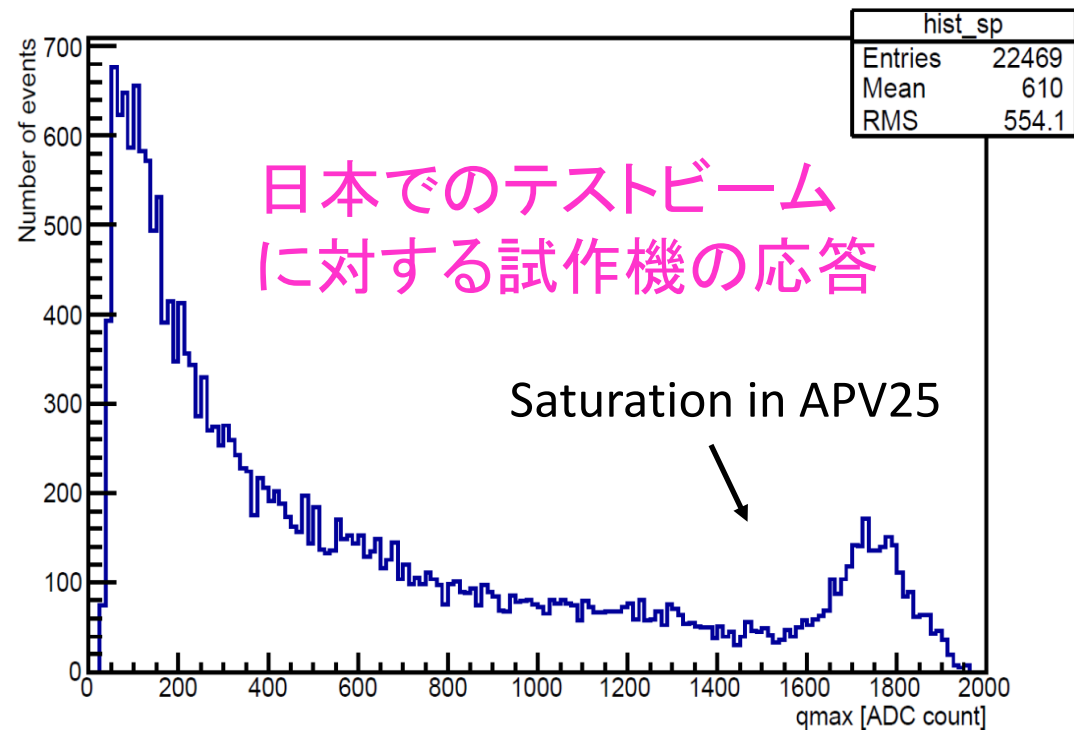
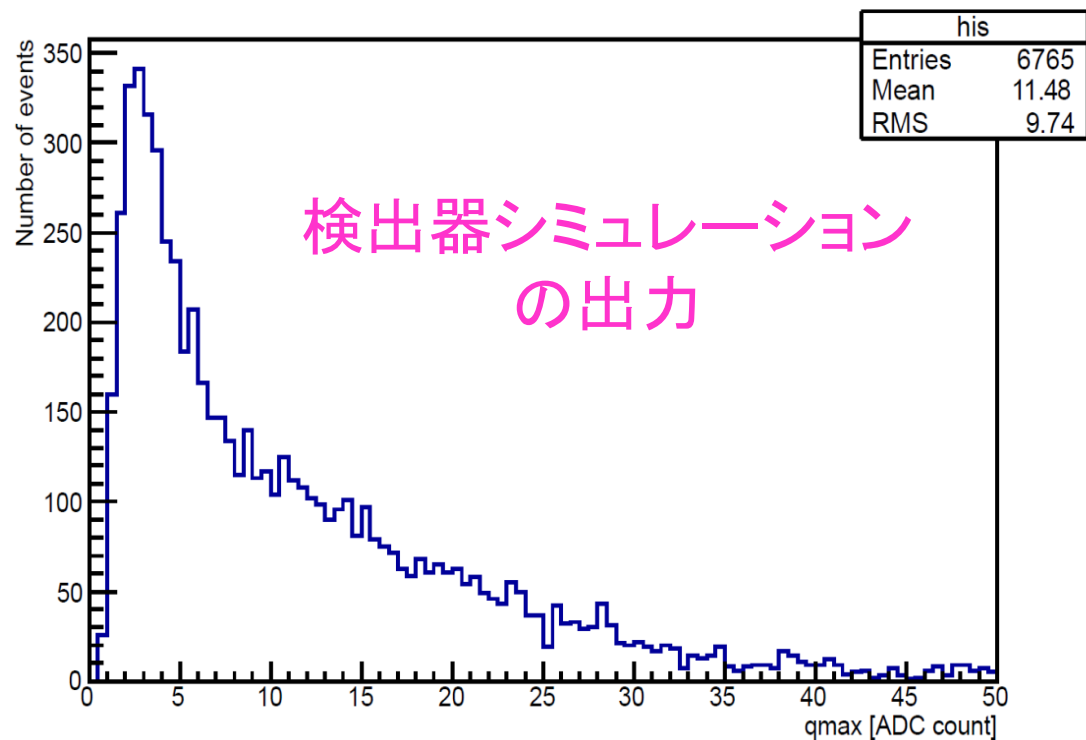
ThresholdがMIPで見える信号の1/10と1/5の時では変化がなく、2/5ではEfficiencyが落ちる。



プラトーを確認したので今回は1/10に設定

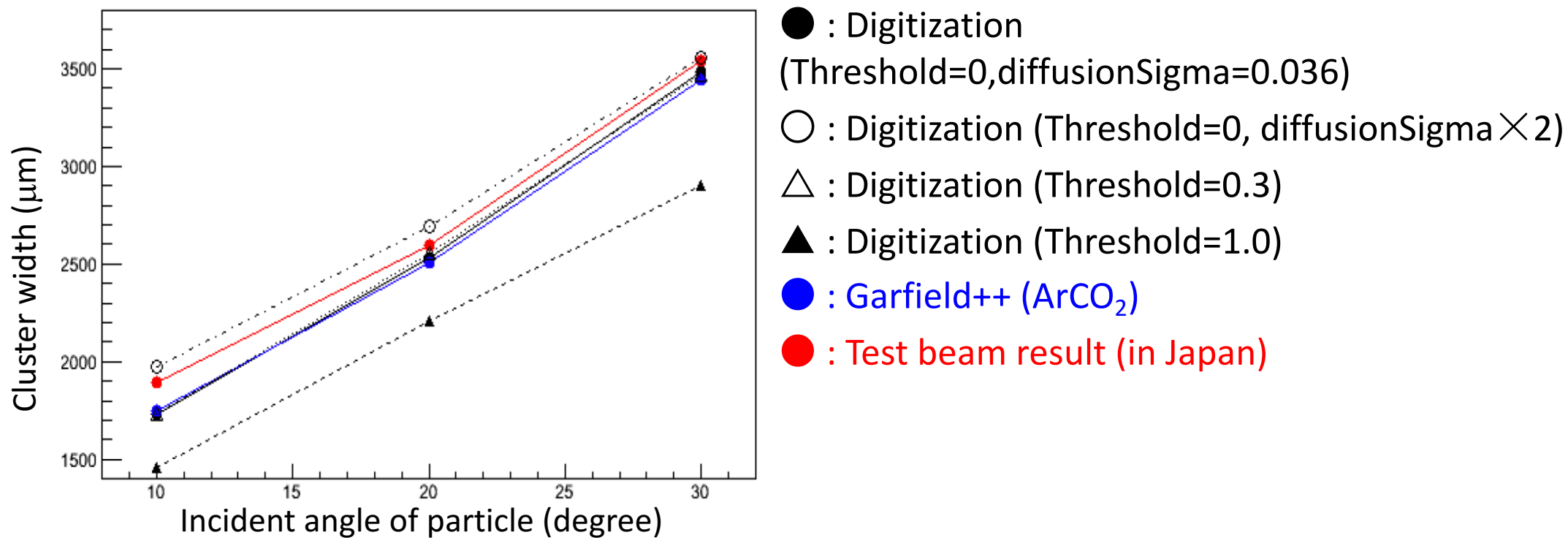
DigitizationのValidation(1)

ストリップ電荷 (ピーク値)



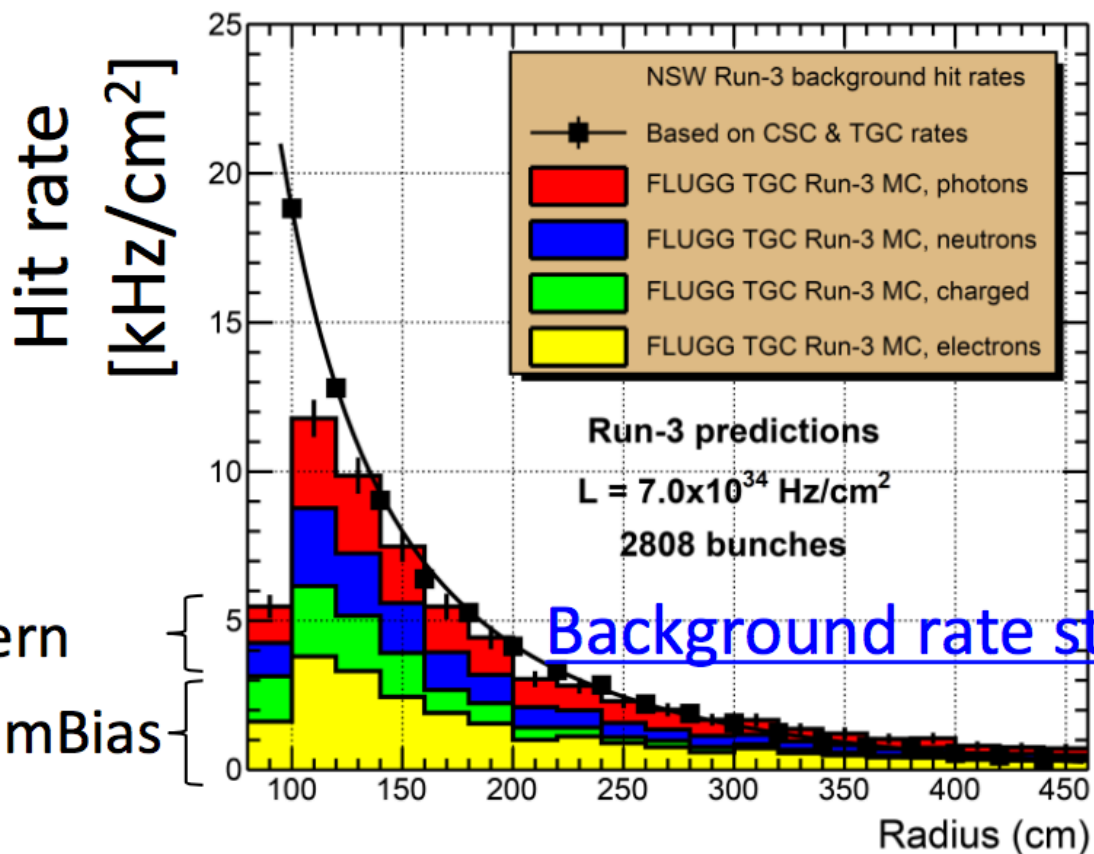
DigitizationのValidation (2)

クラスター幅の比較(テストビームとGarfield++)

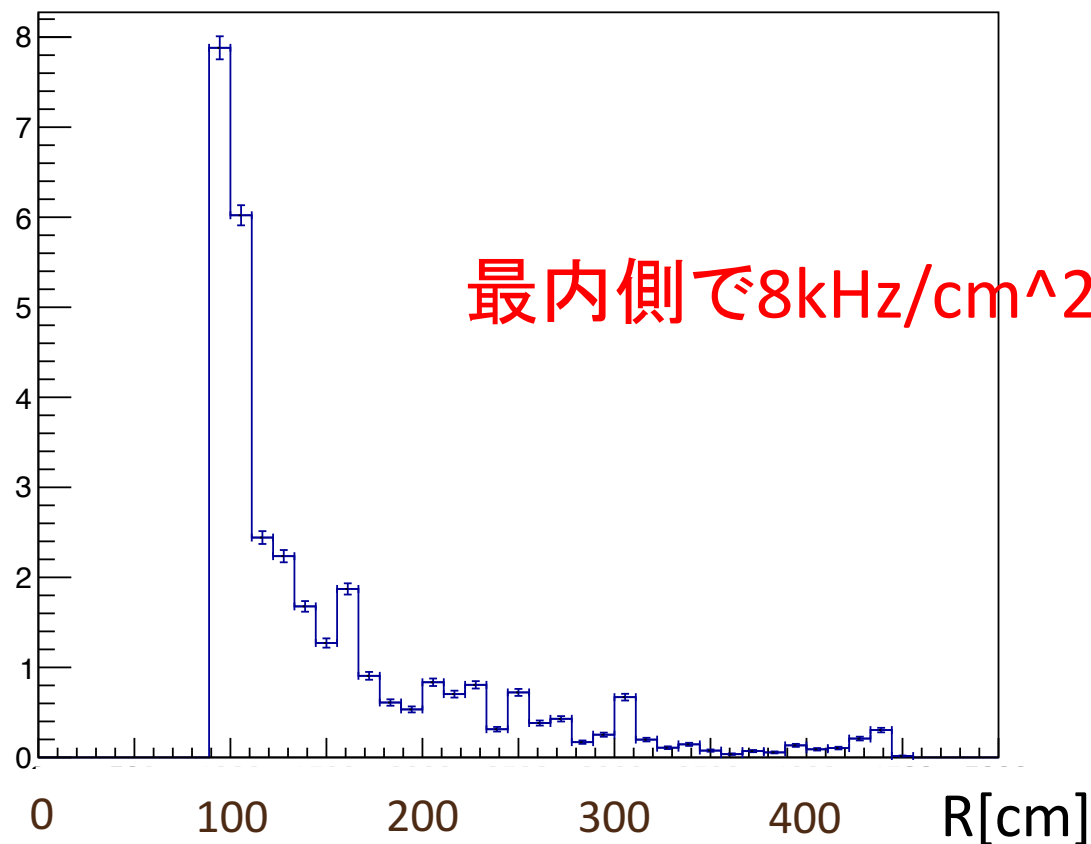


Back Groundのヒットレート

Run2データからのヒットレート予測 Hitrate[kHz/cm²] minBiasのヒットレート



$L = 7 \times 10^{34} / \text{cm}^2 / \text{s}$
 最内側 19 kHz/cm²



最内側 8 kHz/cm²
 → minBiasだけで、 $L = 3 \times 10^{34} / \text{cm}^2 / \text{s}$ 相当