

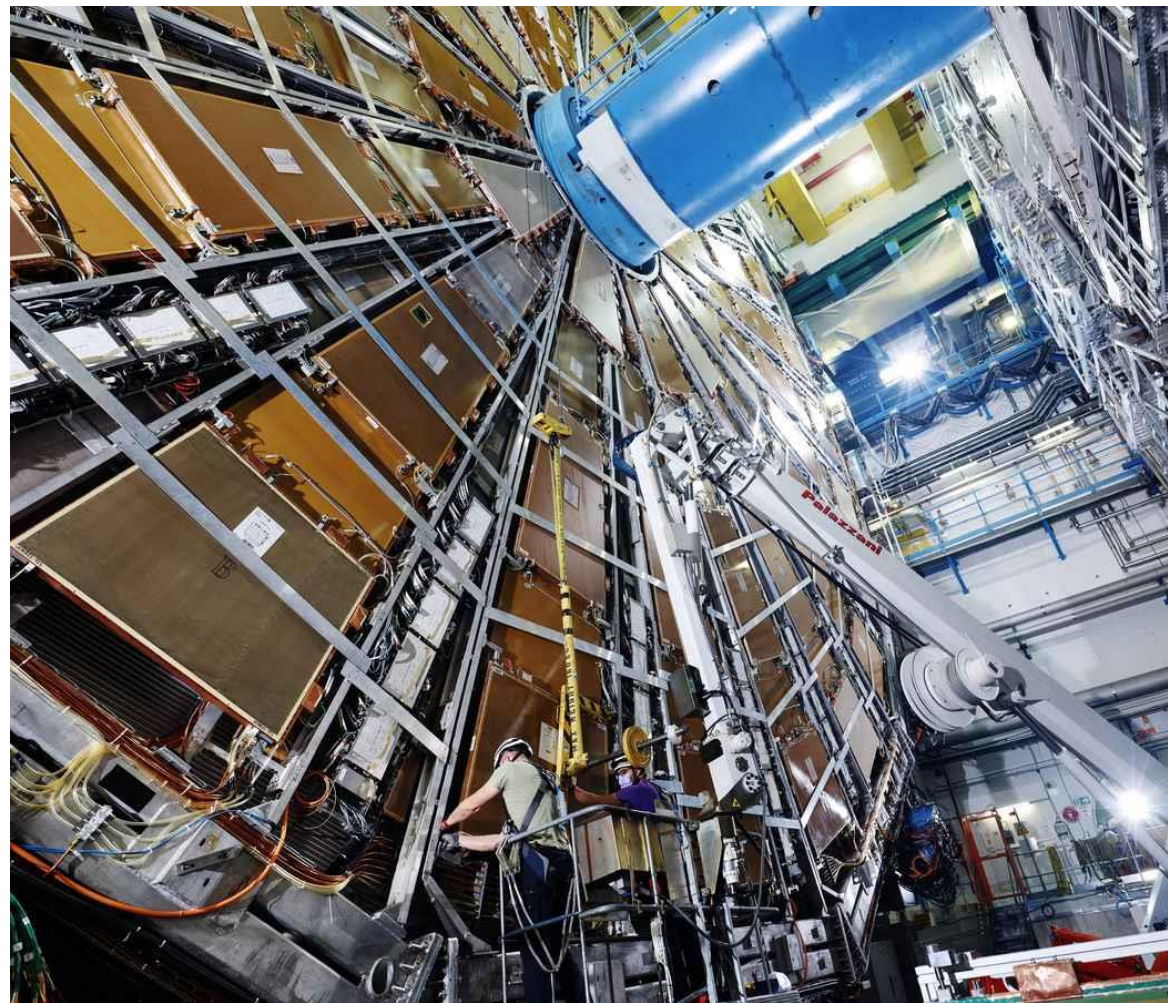
LHC-ATLAS実験Run-3における 近接ミュオン対トリガーの 性能評価

31th ICEPP symposium 2025/2/16-19

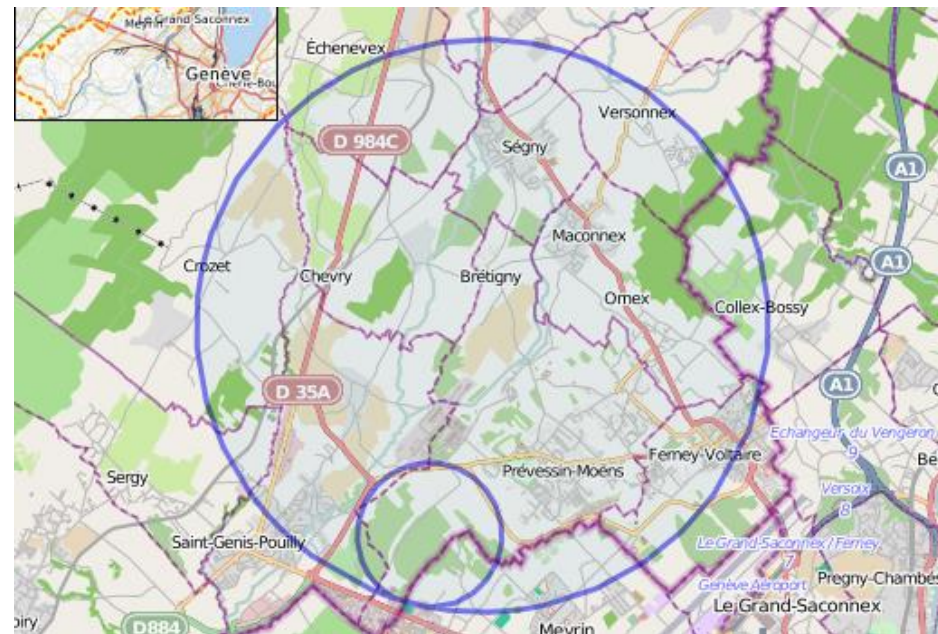
東京工業大学 理学部 久世研究室

石川諒

LHC-ATLAS実験



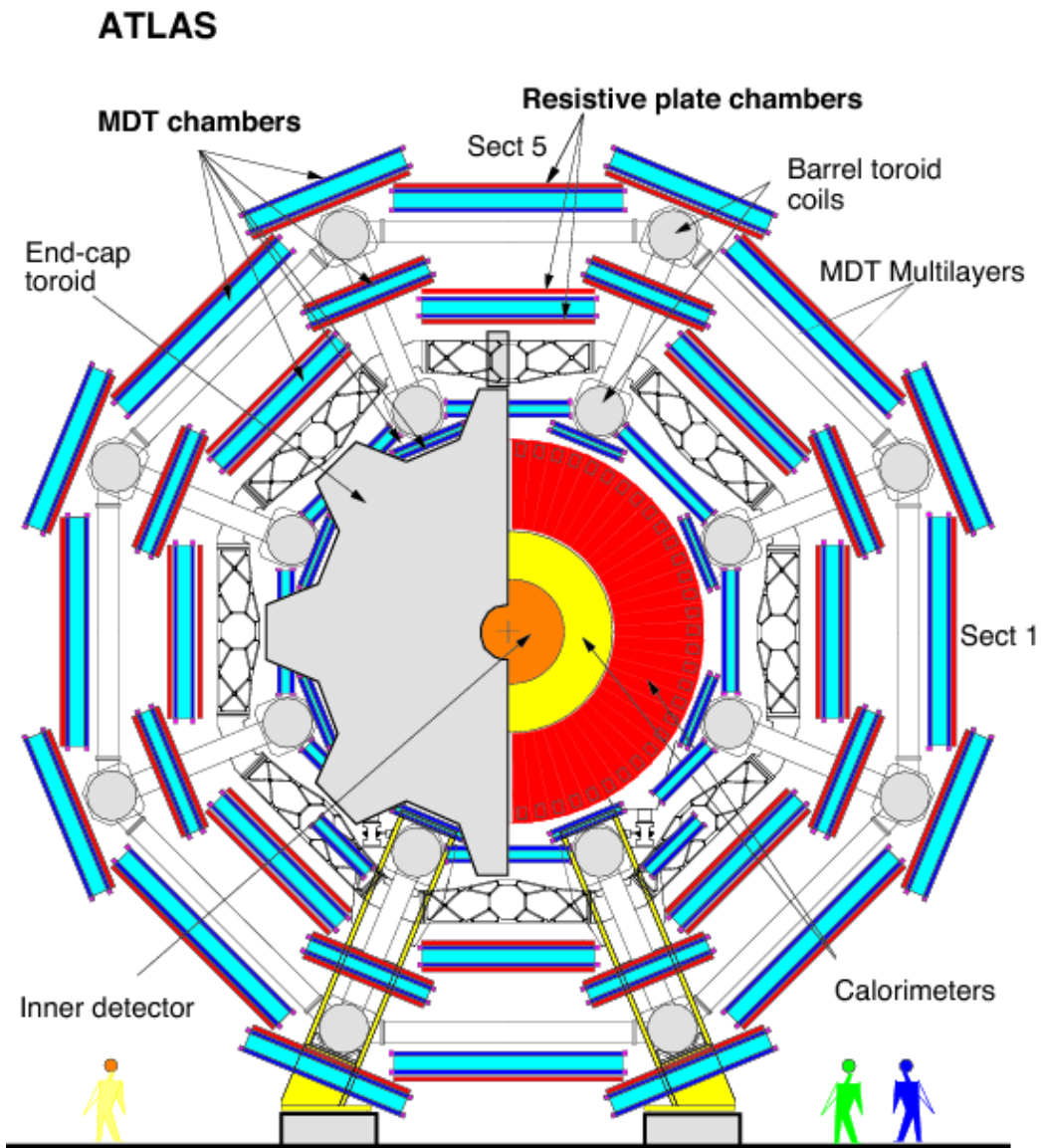
ATLAS検出器



ATLAS実験

- ・ 世界最大の素粒子物理学実験
- ・ LHCで加速された陽子対を光速に近い速度で衝突
- ・ 宇宙誕生初期に近い高エネルギー状態(13.6 TeV)を再現することが可能

ATLAS検出器



検出器の構成

- **内部飛跡検出器**
衝突によって生成された粒子の内荷電粒子の飛跡を検出
- **カロリメーター**
大半の粒子はカロリメーターで静止しエネルギーが測定
- **ミュオン検出器**
ミュオンのみがミュオン検出器までたどり着き飛跡を残す

トリガーシステム

ATLASでは25 ns毎(40 MHz)で衝突が発生

⇒すべてを保存することは計算機技術的に不可能

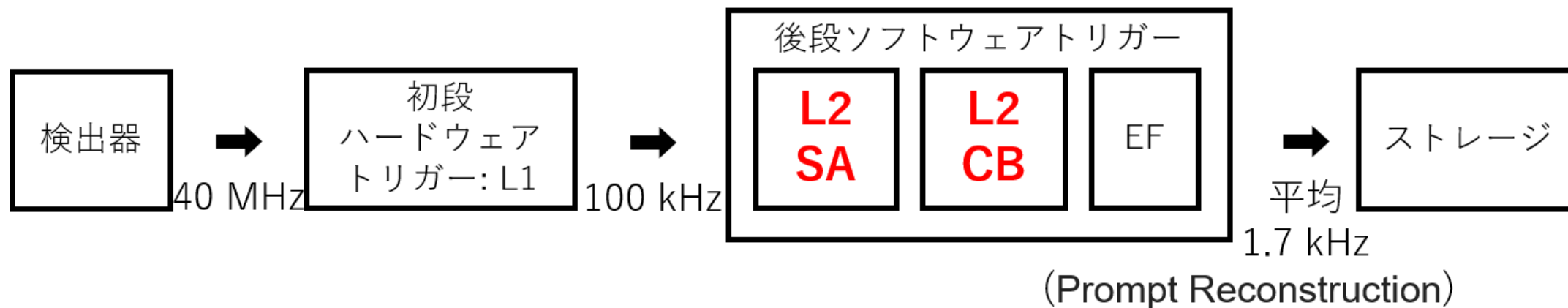
⇒トリガーを用いて**興味のあるイベントを選択**的に記録

ATLASミュオントリガー

⇒ミュオン検出器におけるヒット情報を元に走るトリガー

⇒初段ハードウェアトリガーと後段ソフトウェアトリガーによって構成

⇒ソフトウェアトリガーでは**飛跡や運動量の再構成**と**トリガー判定**を行う。



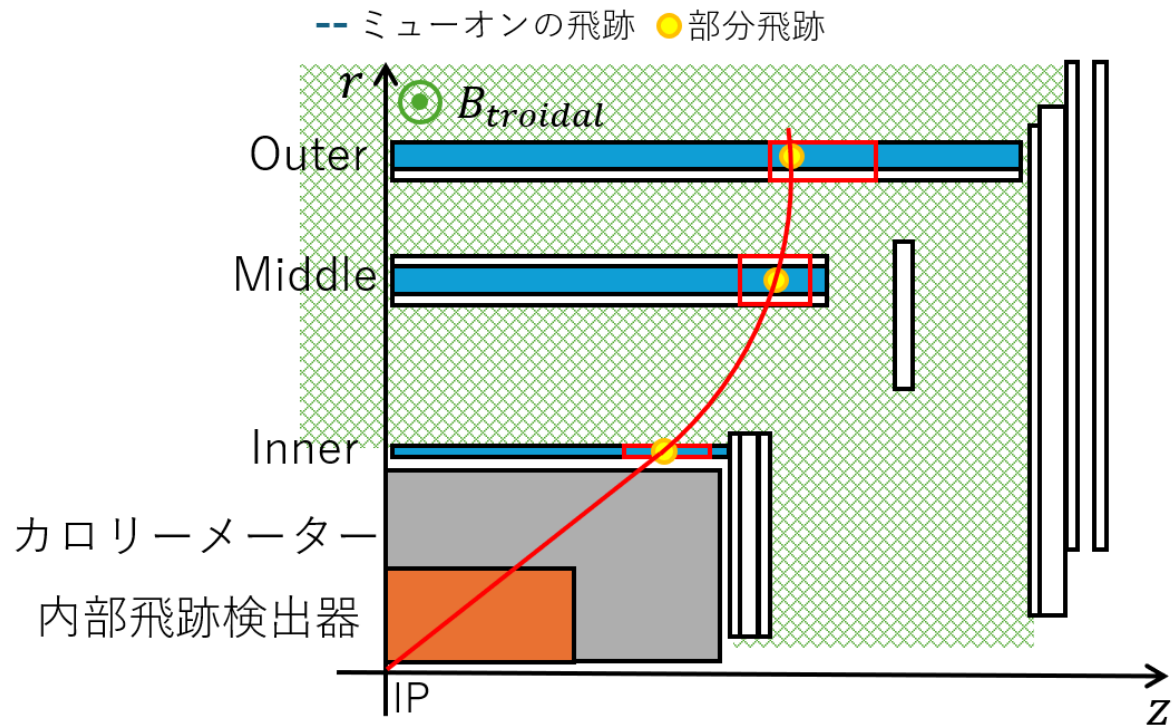
ソフトウェアミュオントリガー

L2SA: ミュオン検出器の情報のみを用いる

1. 各層で部分的な飛跡を再構成
2. 部分的な飛跡を結び飛跡の再構成と運動量の計算
3. トリガー判定

L2CB: 内部飛跡検出器の情報も用いる

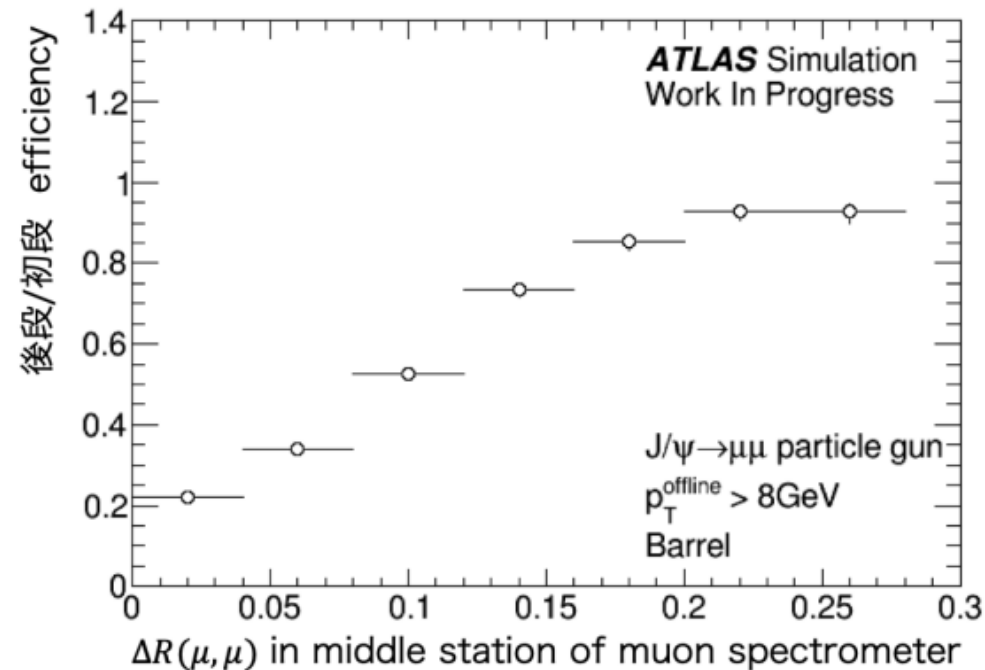
1. 内部飛跡検出器における飛跡の再構成
2. L2SAの飛跡との結合
3. トリガー判定



近接ミューオン対

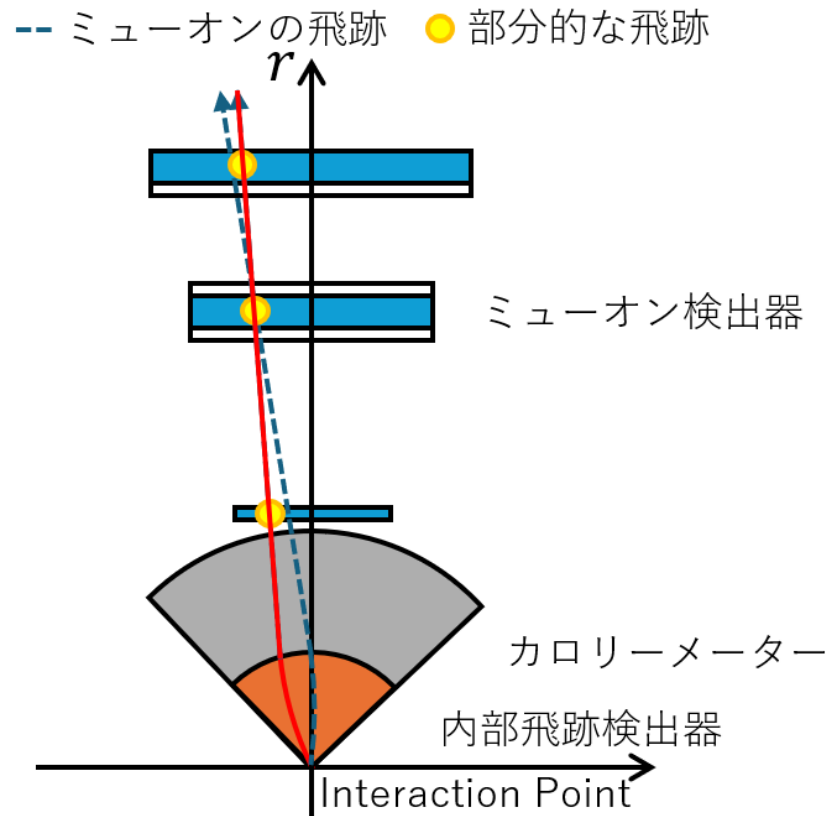
従来のソフトウェアミューオントリガーでは $dR < 0.2$ となるミューオン対の取得効率が低下

従来の
ソフトウェアトリガーの取得効率
(バレル部)



従来のトリガーアルゴリズム

L2SAは近接ミュオン対の分離を苦手としており、L2SAの情報を元に走るL2CBを含めたソフトウェアミュオントリガーの弱点



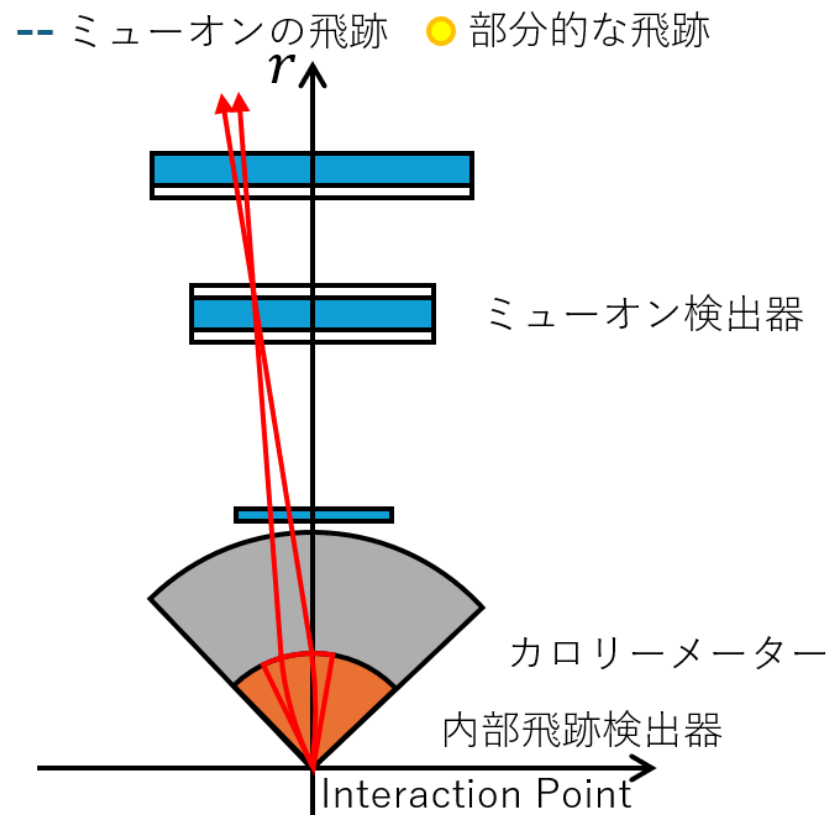
従来のL2SA・CBアルゴリズム

1. 近接ミュオン対はL2SAにおいて同一の部分飛跡として再構成される
2. 部分飛跡を元に内部飛跡検出器まで飛跡の外層が行われる
3. 一つのミュオンとして再構成される

⇒ 複数のミュオンを要求するトリガーを通過できない

L2InsideOutアルゴリズム

近接ミュオン対の再構成を行うためのアルゴリズム”L2InsideOut”を2022年以降の運転(Run-3)に向けて導入した



L2InsideOutアルゴリズム

1. ミューオン検出器の飛跡につながるような内部飛跡検出器の飛跡を探索
2. 内部飛跡検出器の飛跡をミュオン検出器まで外挿し飛跡を再構成

- ➡ 内部飛跡検出器の情報を用いるため **近接ミュオン対の再構成が可能**
- ➡ 導入後性能が評価されていなかった

➡ **L2InsideOutの評価を行った**

評価方法

評価対象

- ・ **単一ミュオン**

L2InsideOutは単一ミュオンの再構成も可能である。従来のトリガーと同等の再構成性能を持つことを確認する

- ・ **近接ミュオン対**

近接ミュオン対の再構成・取得が行われているか確認する

イベント選別

- ➔ 記録されている衝突データは何らかのトリガーを通過したイベント
- ➔ 評価対象と関係のない粒子がトリガーを通過したイベントを用いることで効率の評価における**バイアスを取り除く**

トリガーをパスした単一ミュオン

評価したい粒子
(単一ミュオン
or 近接ミュオン対)

- ➔ オフライン再構成によって再構成されたミュオンを基準に評価

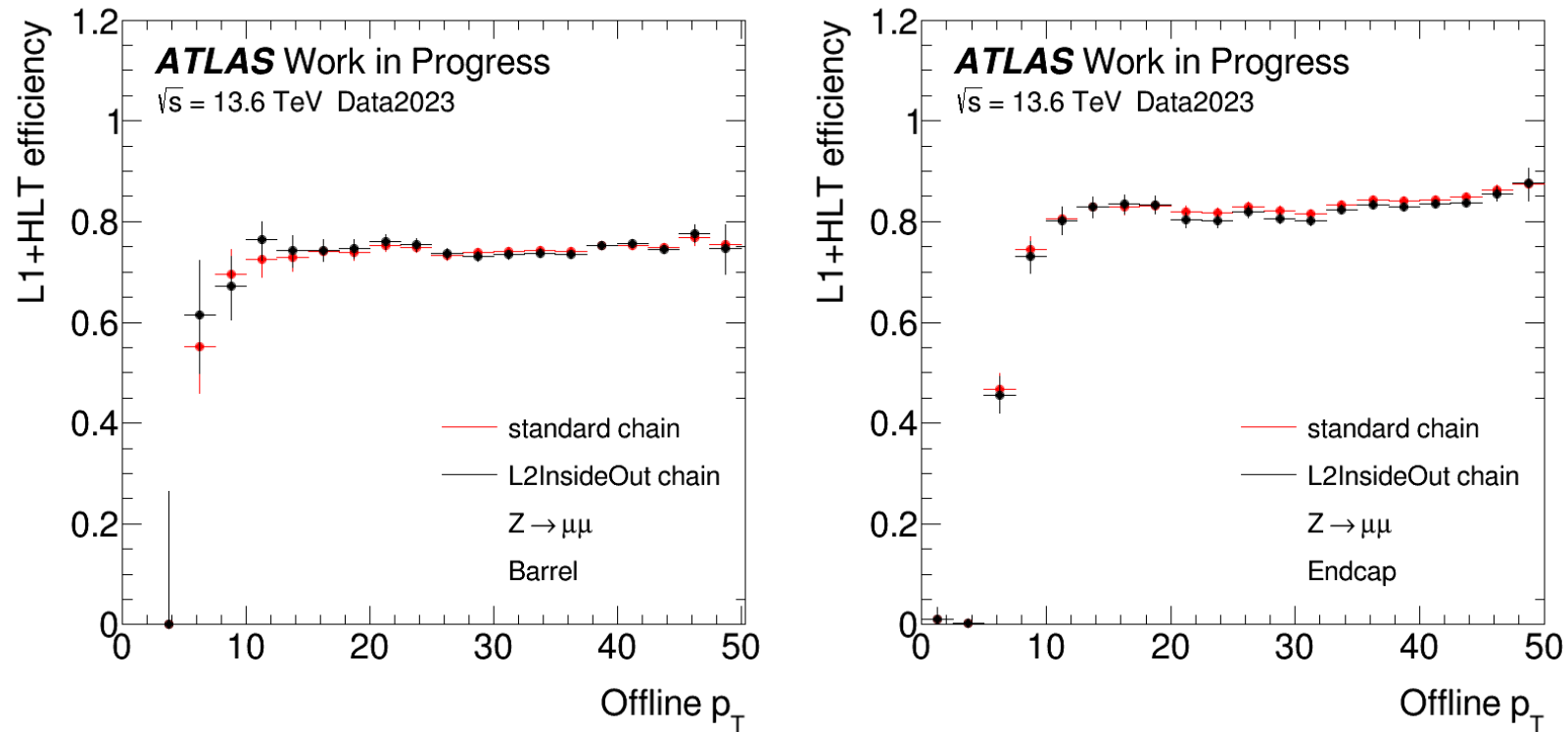
単一ミューオンに対するL2InsideOutの評価

L2InsideOutは単一ミューオンの再構成も可能

ハードウェア・ソフトウェアトリガー両方を含めた取得効率を評価

ハードウェア+ソフトウェアトリガーの取得効率(赤：通常の再構成アルゴリズム 黒：L2InsideOut)

左：バレル部 右：エンドキャップ部

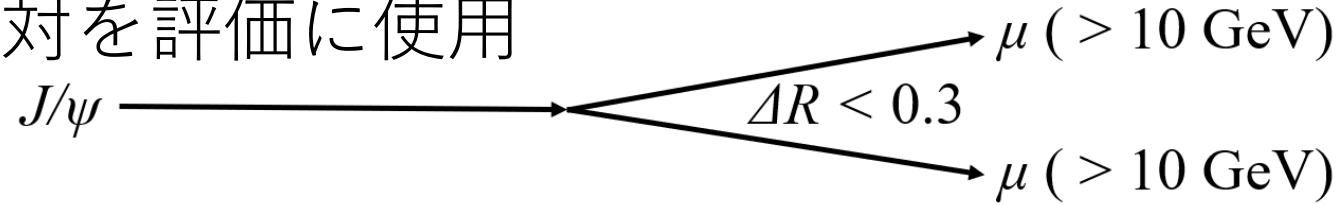


通常のトリガーアルゴリズムと同等の性能を持つ

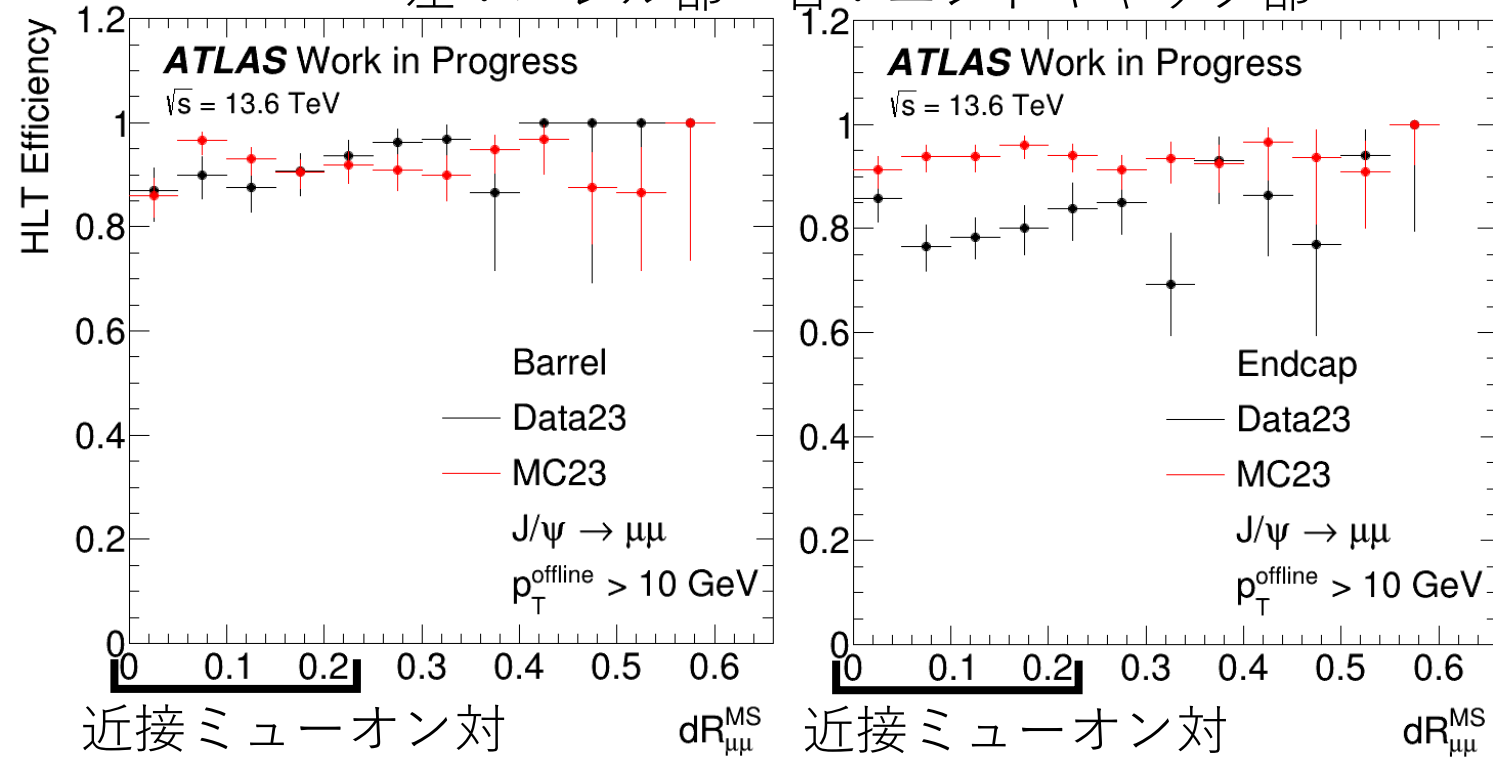
近接ミューオン対に対するL2InsideOutの性能

L2InsideOutを含むソフトウェアトリガー部分の取得効率を評価

J/ψ 由来のミューオン対を評価に使用



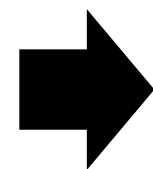
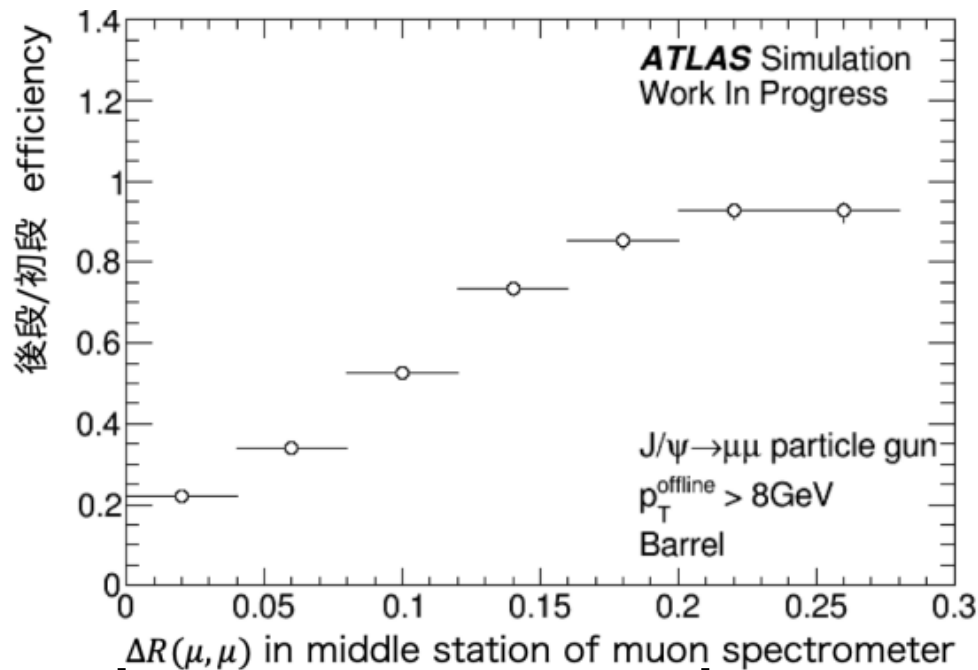
L2InsideOutを含む後段ソフトウェアミューオントリガーの取得効率
左：バレル部 右：エンドキャップ部



➔ $\Delta R < 0.2$ となる**近接ミューオン対を取得**していることを確認
(従来のミューオントリガーからの改善)

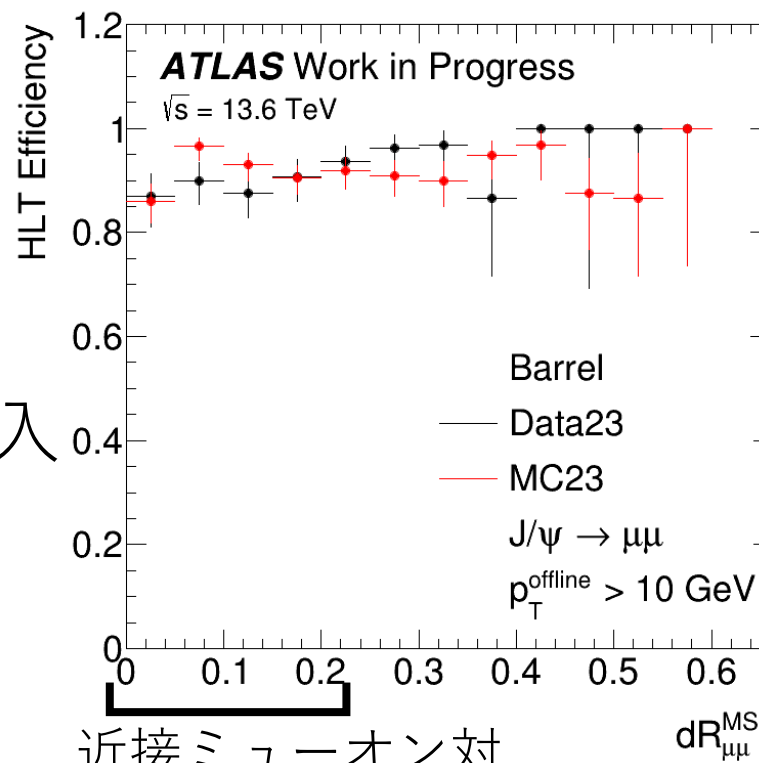
従来のミュオントリガーとの比較

従来の
ソフトウェアトリガーの取得効率
(バレル部)



L2InsideOutの導入

L2InsideOutを含む
ソフトウェアトリガーの取得効率
(バレル部)



近接ミュオン対

近接ミュオン対

→ ΔR < 0.2となる近接ミュオン対を取得していることを確認
(従来のミュオントリガーからの改善)

まとめ

ATLAS ミューオントリガーは近接するミューオン対の再構成を苦手としていた

➡ 2022年以降の運転(Run3)に向けて近接ミューオン対トリガー”L2InsideOut”が導入された

➡ L2InsideOutは導入後性能が評価されていなかった

➡ 単一ミューオンに対しては従来のミューオントリガーと同等の性能

➡ 近接ミューオン対を再構成していることを確認

➡ 従来のミューオントリガーからの改善