

ATLAS ミューオンシステムを用いた 長寿命荷電粒子探索アルゴリズムの高速化と性能評価

2009年9月11日(金)
日本物理学会 2009年 秋季大会
(@甲南大学)

神戸大理, 高工研^A, ハンブルク大^B, 東大理^C

岡田勝吾, 川越清以, 藏重久弥, 山崎祐司, 越智敦彦, 松下崇, 石川明正,
大町千尋, 早川俊, 徳宿克夫^A, 長野邦浩^A, 河野能知^B, 道前武^C, 奥山豊信^C

目次

- (1) 研究の背景
- (2) TrigMuonEF と MuonBetaRefitTool について
- (3) MuonBetaRefitTool の性能評価
- (4) まとめ

研究の背景 (1)

長寿命荷電粒子について

Beyond the Standard Models (eg. SUSY) によると, LHC で長寿命荷電粒子が生成され, ATLAS ミューオン検出器では「遅くて ($\beta < 1$) 重いミュオン」のように振る舞うとされる.

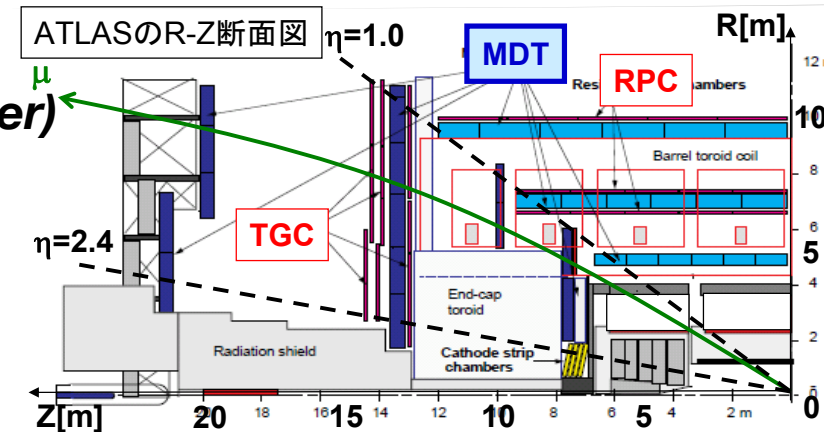
ミュオン検出器で長寿命荷電粒子を検出

TGC (Thin Gap Chamber) & RPC (Resistive Plate Chamber)

- ミューオントリガー用検出器
- トリガーされたミュオンの Bunch Crossing (BC) を特定

MDT (Monitored Drift Tube)

- ミューオンのヒット位置の精密測定



ミュオン検出器で測定した粒子の運動量 p と速度 β から質量 m を計算:

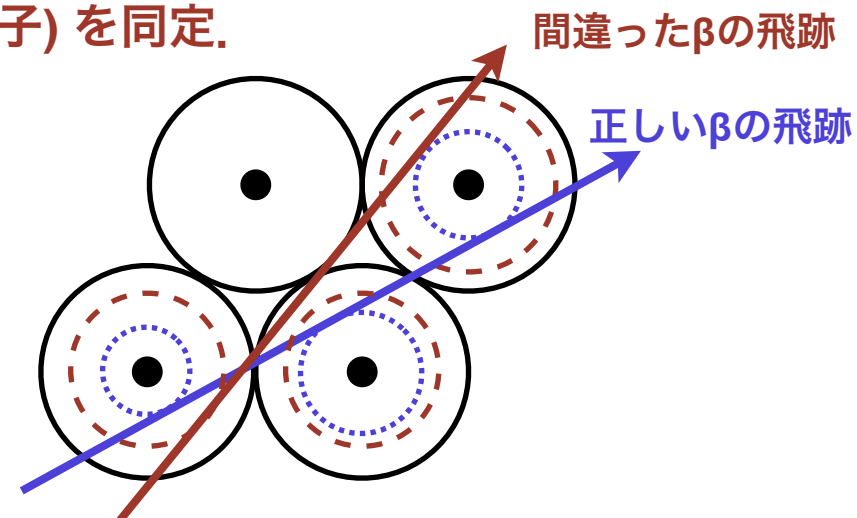
$$m = p / \beta \gamma \quad (c = 1, \beta = v, \gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2})$$

質量から標準模型では存在し得ない新粒子 (長寿命荷電粒子) を同定.

そのときの問題点

β の仮定を間違えると, 正しい運動量が決まらない.

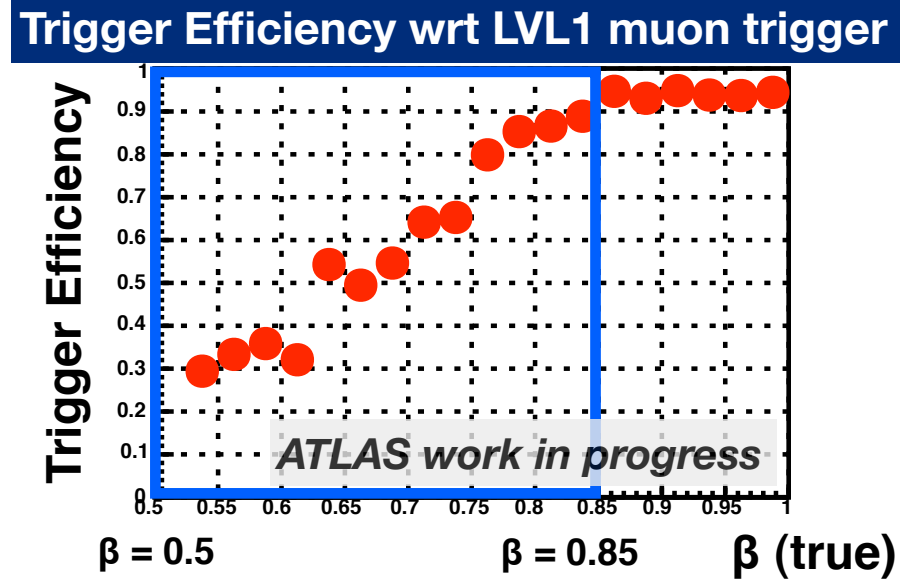
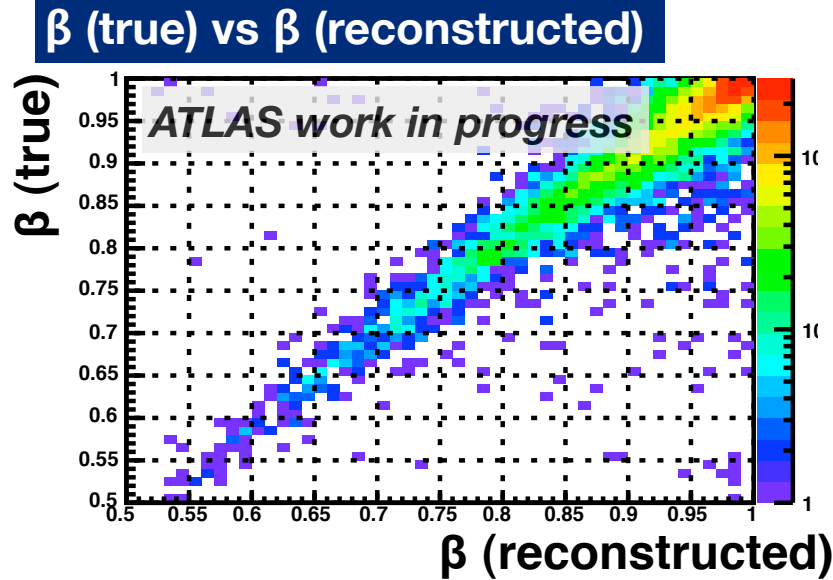
--> β をフリーパラメータとしてトラックのフィットを行い, 最適な β の値を決める.



研究の背景 (2)

前回の学会 (@立教大) での発表にて

ミュオン検出器を用いてトラックの速度 β を測定するツールを作成.



	default (トラック再構成のみ)	トラック再構成 + β 測定
平均処理時間	119 msec / event	802 msec / event

● 使用したMCサンプル:
Gauge Mediated SUSY Breaking モデル
(--> スレプトンが長寿命荷電粒子)

LVL3トリガーに、長寿命荷電粒子トリガーを組み込むと

- (1) LVL3トリガーのトータルの処理時間 (4 秒以内) に対し、「トラック再構成 + β 測定」が約 20%を占める。 --> β 測定の高速度化が必要.
- (2) 低い β (< 0.85) の長寿命荷電粒子のトリガー効率 (= β が再構成される確率) の改善.

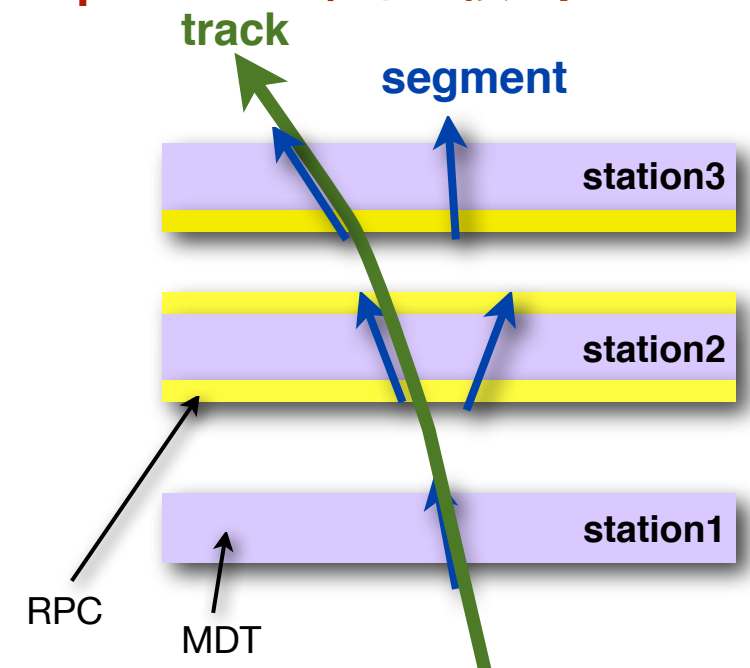
TrigMuonEF によるミュオントラックの再構成

TrigMuonEF

- ✓ LVL3 トリガー用のアルゴリズム.
 - ミュオントラックの再構成・運動量測定.
- ✓ RPC/TGC により LVL1 ミュオントリガーが発行されたときに TrigMuonEF は動く.
 - **LHC の BC の時間間隔: 25 nsec**
 - **$\beta \geq 0.5$ の粒子は RPC/TGC より, 正しい BC で LVL1 ミュオントリガーを発行.**
 - **TrigMuonEF がトラック再構成できる長寿命荷電粒子は $\beta \geq 0.5$ の粒子に限る.**

TrigMuonEF によるミュオン検出器内のトラックの再構成

- (1) 各 station で MDT と RPC/TGC のヒットを使って track segment を探す.
--> MDT は $\beta = 1$ を仮定してドリフト円を作る.
- (2) 各 station の segment をフィットしてトラックの再構成を行う.



MuonBetaRefitTool による粒子の速度 β の測定

TrigMuonEF

ミュオン検出器内のトラックの再構成

Segment Finder

Track Builder

...

新たに追加 -->

**MuonBetaRefitTool

** in consultation with
Niels van Eldik
(Univ. of Massachusetts)

MuonBetaRefitTool

TrigMuonEF により再構成された, ミュオン検出器内のトラックの速度 β を次の二つのステップに分けて測定する.

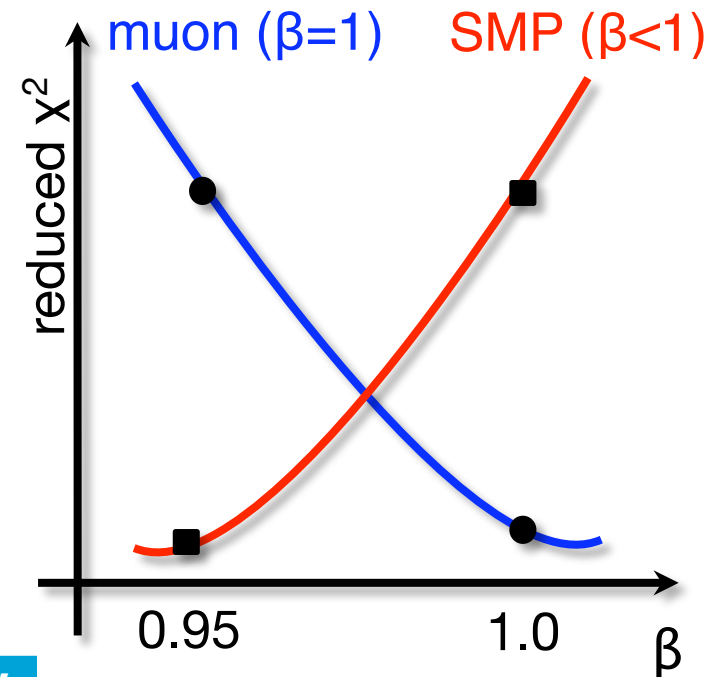
- (1) 長寿命荷電粒子の候補の選別 --> トリガー判定の高速化.
- (2) 候補粒子の速度 β 測定 --> 低い β の粒子のトリガー効率の改善.

「高速化」のための長寿命荷電粒子候補の選別

効率良くミュオンを落とし、
長寿命荷電粒子の候補だけを選び出す。

$$\text{reduced } \chi^2 (\beta=0.95) < \text{reduced } \chi^2 (\beta=1.0)$$

を満たすトラックを、長寿命荷電粒子の候補とする。



Rejection Power	$p_T = 10 \text{ GeV}$	$p_T = 100 \text{ GeV}$	$p_T = 200 \text{ GeV}$
total # of muons	5,364	6,702	6,654
$\beta (\text{rec}) < 0.95$	503 (9 %)	566 (8 %)	557 (8 %)

ミュオンの横運動量 p_T の大きさに依存せず、

✓ 約 90 % のミュオンを除去可能。

✓ 残りの 8 ~ 9 % のミュオンはバックグラウンド。(レートに関しては後述)

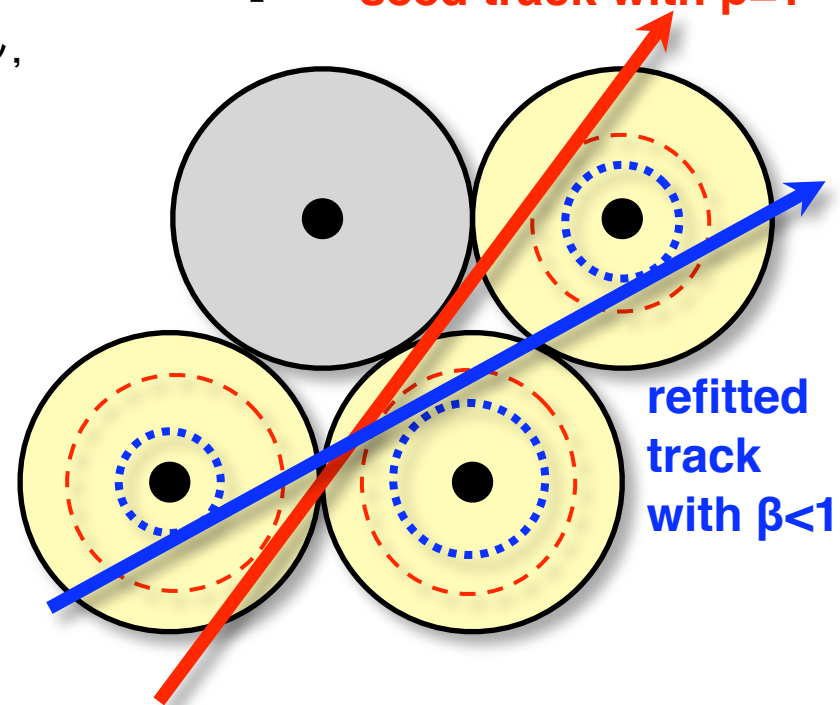
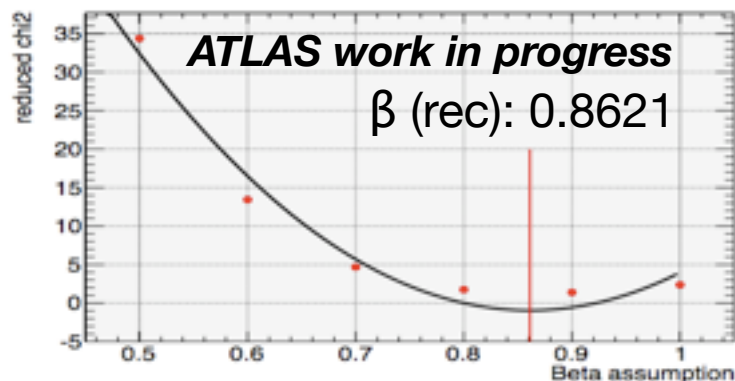
候補粒子の β 測定と低い β 粒子のトリガー効率の改善

β 測定の原理

(1) TrigMuonEF により ($\beta=1$ の仮定で) 再構成された「シードトラック」が **seed track with $\beta=1$** 通る MDT のドリフト円を, β の値を変えて計算し直し, 新たなドリフト円でトラックのフィットをし直す.

- β は 0.5 ~ 1.0 の間を 0.1 のステップで変える.
- 各 β に対する Refitted track の χ^2 が決まる.

(2) χ^2 分布を2次関数でフィットして, 最小値を探す.



β 測定不能によるトリガー効率の低下と改善策

TrigMuonEF は Track Builder に設定される条件 (eg. reduced χ^2 が20未満であること) を満たさないと, シードトラックの再構成に失敗する.

--> β 測定が不可能 --> トリガー効率の低下

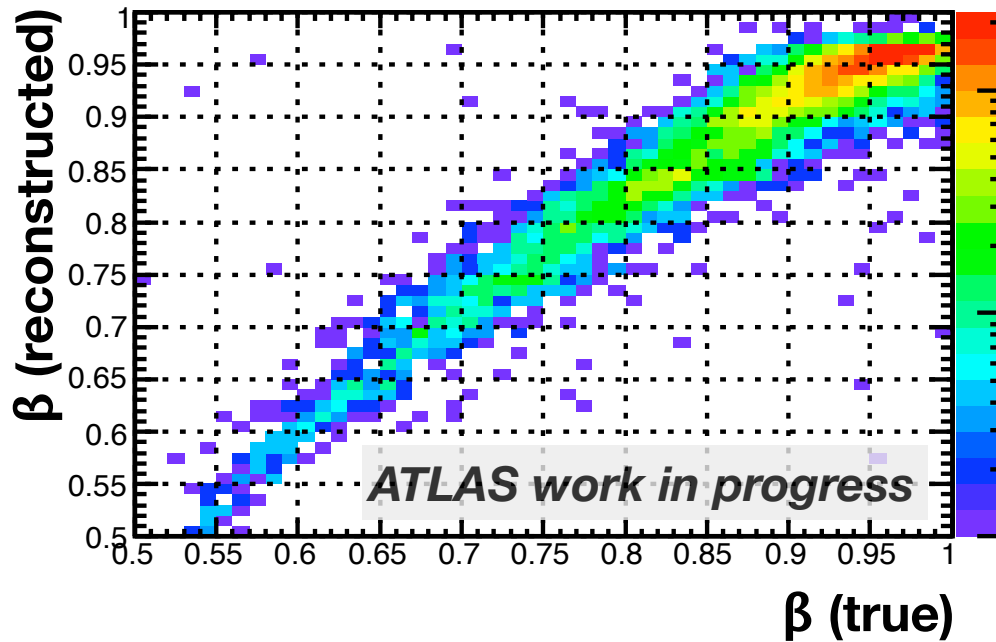
*これは, 低い β の長寿命荷電粒子の β 測定時によく見られる.

- $\beta = 0.6, 0.8$ を仮定して, 別のヒットパターンを持つ新たなシードトラックを再構成.
- それを用いて β を再度測定 --> 低い β の粒子のトリガー効率の改善

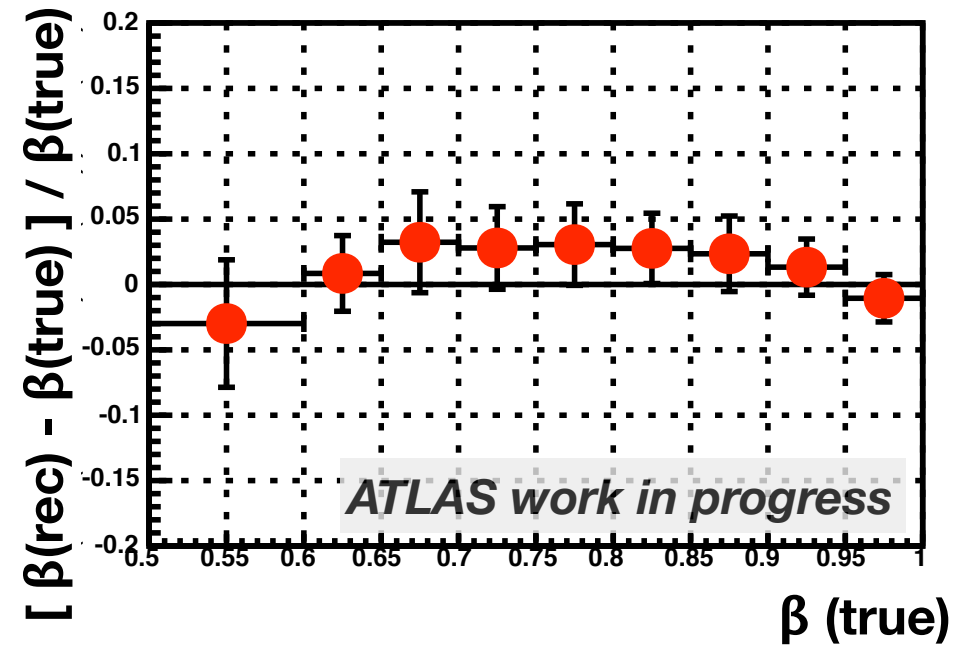
MuonBetaRefitTool の性能評価 (1)

GMSB モデルで、スカラーレプトンが長寿命荷電粒子となる
モンテカルロサンプルを用いて、MuonBetaRefitTool の性能評価を行った。

β (true) vs β (reconstructed)



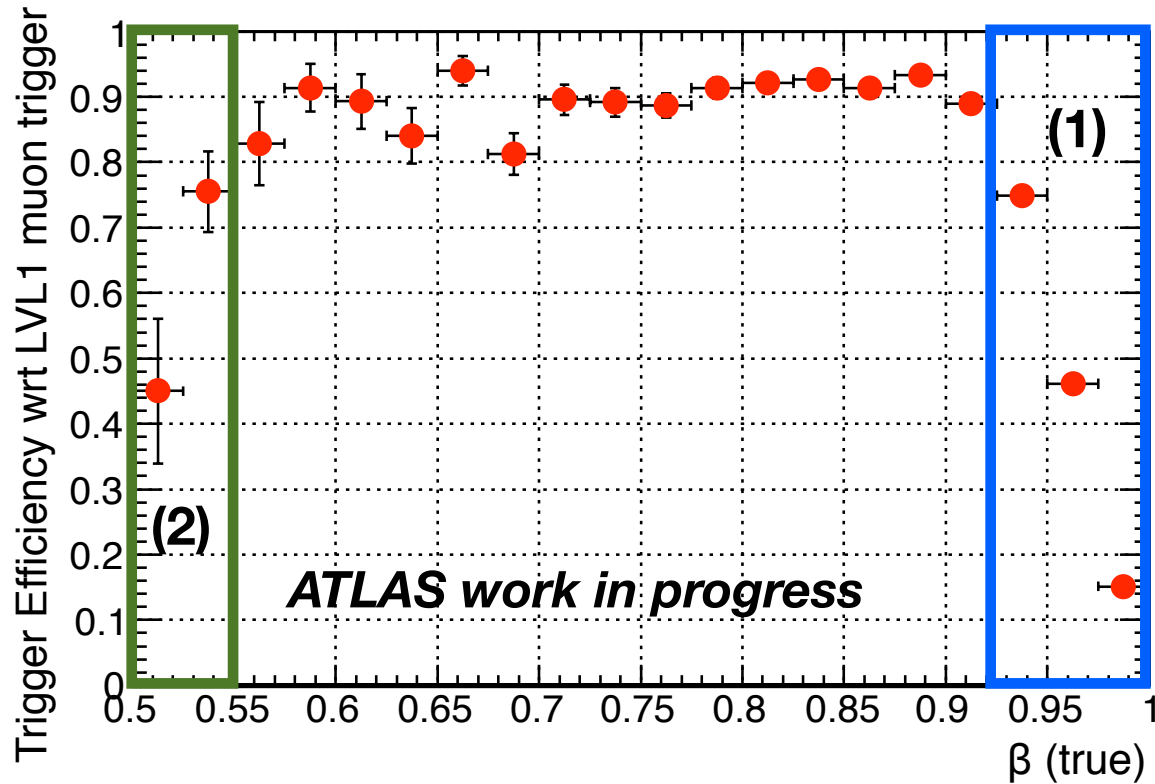
β (true) vs β resolution & mean shift



2 ~ 5 % の精度で長寿命スレプトンの速度 β を測定できている。

MuonBetaRefitTool の性能評価 (2)

Trigger Efficiency wrt LVL1 muon trigger



LVL1 ミューオントリガー
に対するトリガー効率

$$= \frac{\beta \text{ が再構成され, 長寿命荷電粒子とマッキングが取れたトラックの数}}{\text{LVL1 ミューオントリガーをパスしたトラックの数}}$$

0.55 < β < 0.9 の範囲でトリガー効率は 80 ~ 90 %

トリガー効率の低下の原因:

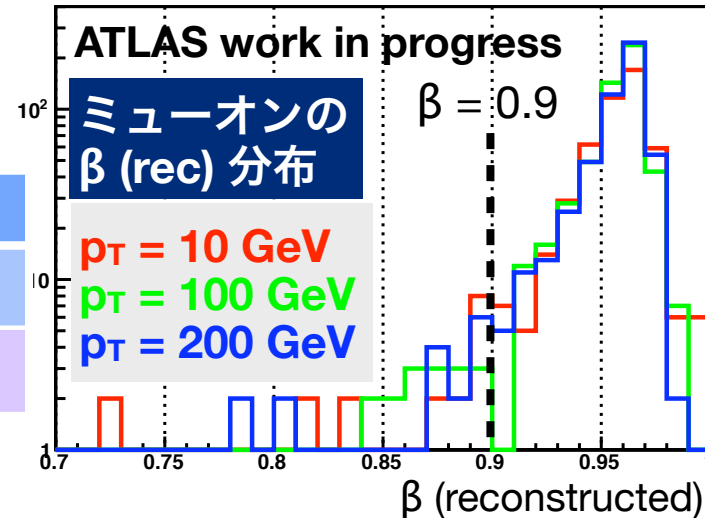
- (1) $\beta = 0.95$ で β 測定の対象となる長寿命荷電粒子候補を選別しているため.
- (2) $\beta < 0.55$ の長寿命荷電粒子のうち, End-cap方向 ($|\eta| > 1.05$) に進んだ粒子は TGC で LVL1 ミューオントリガーを発行されず, β 測定されないため, その分, トリガー効率が落ちる.

MuonBetaRefitTool の性能評価 (3)

Muon Background Rate from SM @ $L = 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$

標準模型過程 --> $\pi/K, W, t, b, c$

	$p_T \geq 10 \text{ GeV}$	$p_T \geq 20 \text{ GeV}$	$p_T \geq 40 \text{ GeV}$
generation	21.8 Hz	1,330 mHz	55.4 mHz
$\beta \text{ (rec)} < 0.95$	2.0 Hz	106 mHz	4.4 mHz



✓ $p_T > 20 \text{ GeV}$ カットにより Fake Rate は無視できる.

- ATLAS 3段階トリガーによる最終的なイベントレートは 200 Hz.

✓ 長寿命荷電粒子候補と認識されたミュオンの約 95 % が $\beta \text{ (rec)} > 0.9$ (-->上右図).

ルミノシティが上がり Fake Rate が無視出来ない場合, β カットでミュオンを落とせる.

Processing Time

✓ $t\bar{t}$ の崩壊で生成されたミュオンを使って処理時間を測定.

✓ β 測定の対象となる長寿命荷電粒子の候補を選別することで, 処理時間は大幅に短縮.

	平均処理時間
total time	193.6 msec
track reconstruction	110.7 msec
β measurement with MuonBetaRefitTool	82.6 msec

CPU: Intel Xeon 5160 3.00 GHz

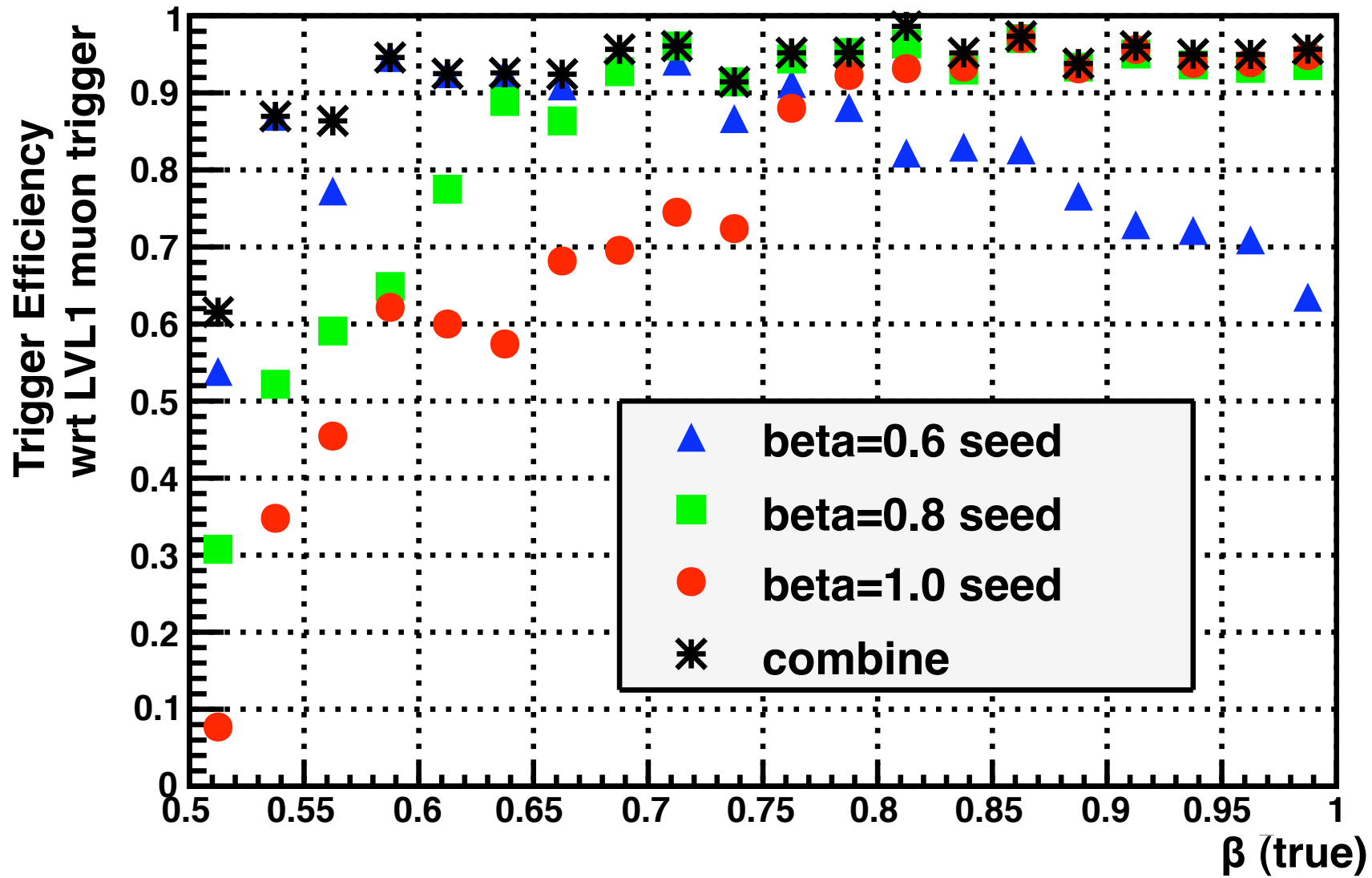
LVL3トリガーのトータルの処理時間 (4 秒以内) のうち,

「トラックの再構成 + β 測定」が占める割合は約 5 % に減少.

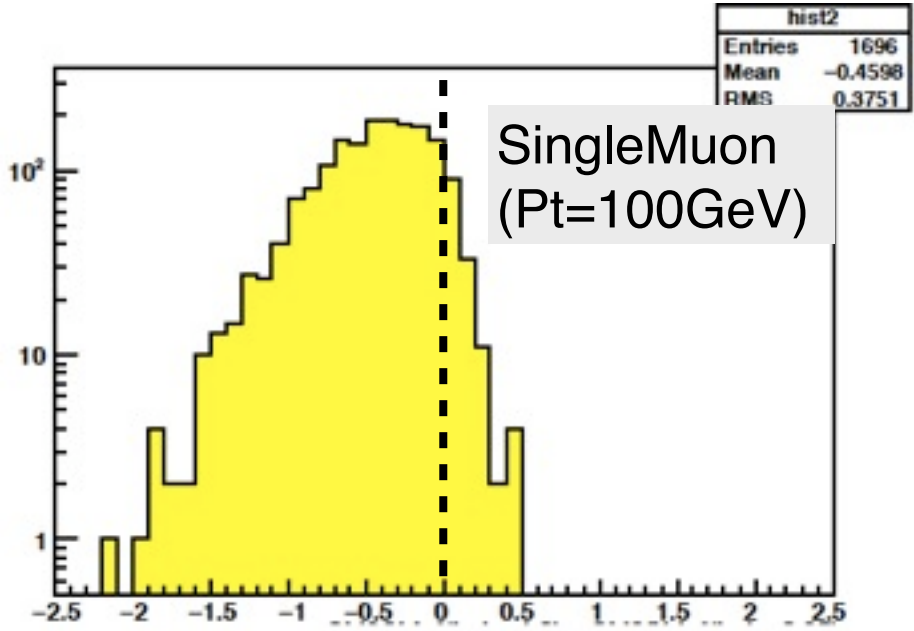
(--> 改良前は約 20 % を占めていた.)

まとめ

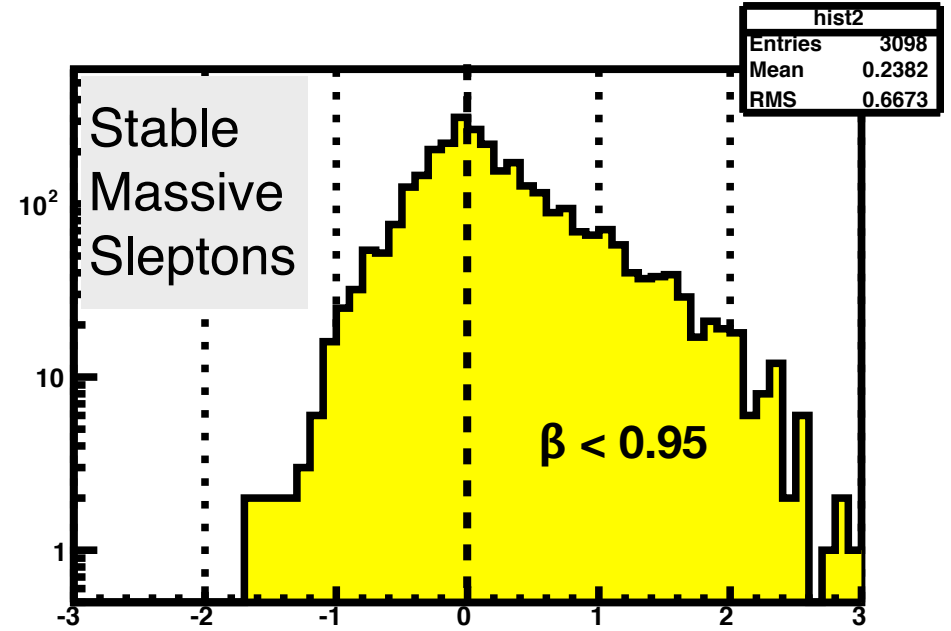
- ✓ 長寿命荷電粒子の速度 β を測定するツール (MuonBetaRefitTool) の高速化とトリガー効率の改善を図った.
- ✓ β 測定の対象 (長寿命荷電粒子の候補) を選別することで, 処理時間をLVL3トリガーに組み込めるにまで短縮させることができた.
- ✓ $\beta = 1.0$ のシードトラックで長寿命荷電粒子の β 測定が不可能な場合, 新たなシードトラック ($\beta = 0.6, 0.8$) を使うことで, β 測定できる確率が上がり, 低い β の粒子のトリガー効率の改善に繋がった.
- ✓ $L = 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ のとき, $p_T > 20 \text{ GeV}$ カットでミュオンバックグラウンドのレートは十分無視できる. 実験開始後, ルミノシティが上がるにつれてバックグラウンドレートが無視できないときは, β カットで落とすことができる.



$\beta > 0.95$ の粒子の Rejection



reduced χ^2 ($\beta=1.0$) - reduced χ^2 ($\beta=0.95$)



reduced χ^2 ($\beta=1.0$) - reduced χ^2 ($\beta=0.95$)