

ATLAS実験における Fast Tracker (FTK) の開発研究 ~ A Hardware Tracking Trigger at LVL1.5 ~

Contents

Who, What, Where, Why, How, When

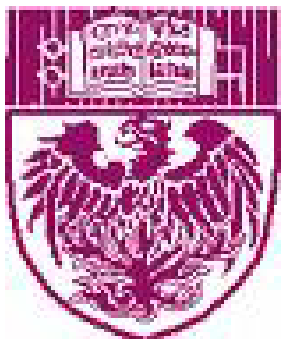


寄田浩平 for ATLAS-FTK Group

シカゴ大学

日本物理学会@山形大学

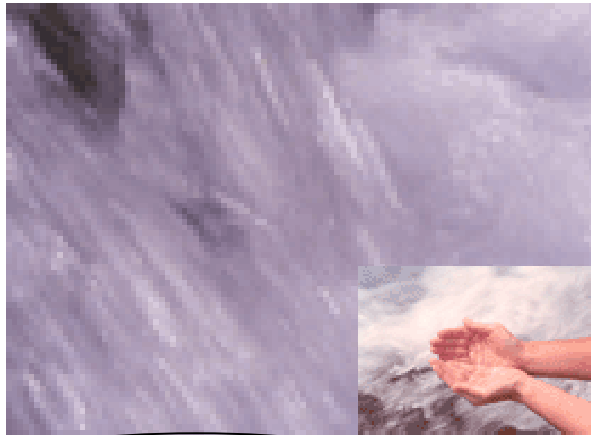
2008年9月23日(火)





• ← Higgs ?

“Triggering”: 40MHz → ~ 100Hz



> ナイアガラの滝から水をすくうようなもの。

→ “速く”なければならない。

However, we don't want just any drop of water, we want **THE** drop of water:

→ 洗練されたフィルターが必要。

→ フィルター中に大きなバッファが必要。

overflow = Deadtime

*** トリガーは“速く”、“正しく”なければならない。**

> 可能な改良

(1) フィルターを増やす (tighter cuts)

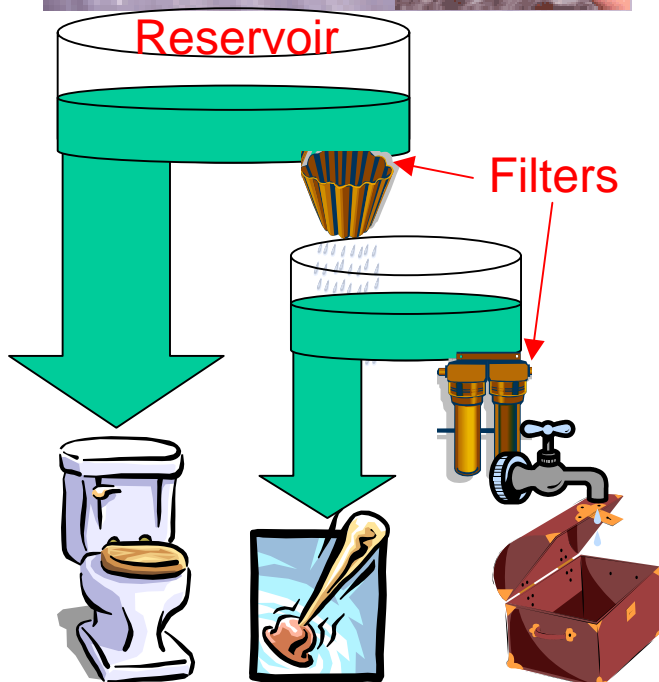
(2) 蛇口を閉める (prescale)

(3) より良いフィルターを購入 (upgrade)

FTK

> 最終的にゴミではなく、金の宝が獲れたか？

*** 全ての事象を保存できるとすると、自動的に見たい事象も入る。しかし、そのようなことは不可能(記録能力の限界)。また、貴重なヒッグス事象がこの段階で捨てられていると永遠に取り戻せない！ ← 知恵の絞りどころ！**



* Pictures from Chen-Ju Lin

FTKの概要

> ATLAS Upgrade Project (Group formed in 1999)

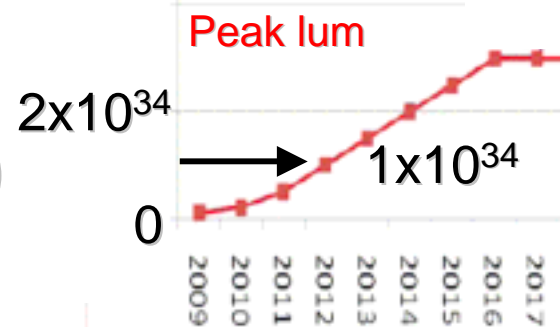
- LHCのHigh Luminosity Runに向けて (Primary GoalはSLHCではない)。
- 2008年3月ATLAS-EBにより、R&Dは正式承認されている。
- 現在、研究開発を進めると共にTDRを執筆中、来年早々提出予定。

> 参加研究機関

- U of Chicago, Harvard Univ, Illinois Univ. (米国)
- INFN Pisa, Rome, Frascati (イタリア)

から実働は10～15人程、。

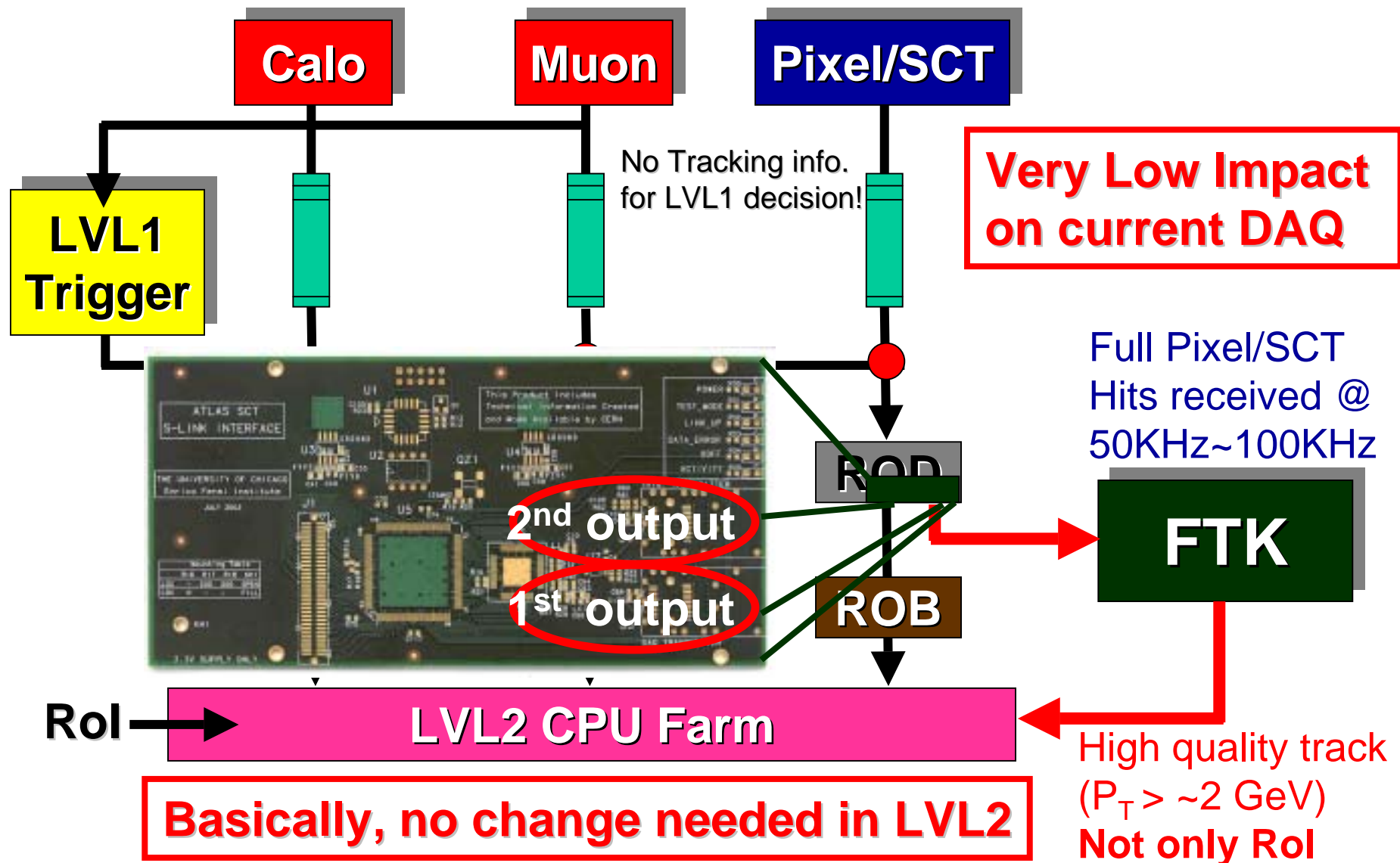
(興味を示している機関は多数あるが、正式承認待ちか?)



> ハードウェアによりトラッキングトリガーシステム@“LVL1.5”

- Pixel/SCTからのヒット情報から飛跡を再構成。(Standalone)
- On LVL1 Accept, 質の良いTrackをLVL2にできるだけ早く(Fast!)供給
- CDFのSilicon Vertex Triggerの発展版
- 極めて困難なことは承知 新しい領域への一つの挑戦！

Where is LVL1.5 ? [模式図]



Why ? そもそもなぜ必要か？

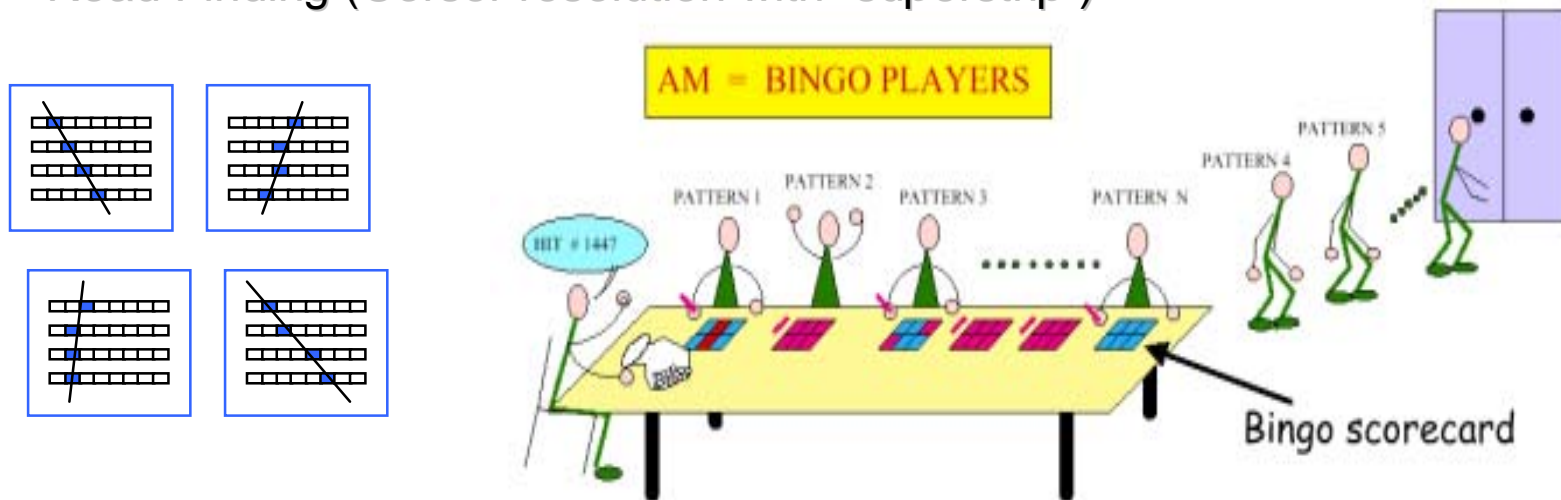
1. 14 TeV での現象は何が起こるかわからない(誰も知らない)。
 - 予測不可能な状況に対して、可能な限り柔軟性、信頼性の高いトリガーを準備をする。
2. 第三世代フェルミオン(b quark & τ)が重要な役割を果たす事が予測される。
 - 電弱対称性の破れ: 質量に比例して結合。
 - 多くの新しい物理でb quarkと τ のカップリングが重要視されている。
H/Abb(MSSM), stau decay, Hidden Valley etc..
 - 飛跡検出は第三世代粒子の同定に本質的役割を担う。
b quark にはimpact parameter(Secondary Vertex), τ にはisolation.
 - 特にこの手の物理は爆発的なQCD 騒音事象 \Rightarrow トリガーが致命的。
e.g. 現在の4jet triggerのtrigger閾値は新現象に本当に対応できているか？
3. 現状のデザインだと、トラッキングはLVL2のファームとその下流で行われる。
 - LVL2の遅いプロセス時間がLVL1bandwidthに制限を与えている(deadtime)。
 - もしFTKがほぼLVL2のinputとして(<1ms)、質の良いトラックを供給できれば、
 - a) RoI以外のオブジェクトをLVL2 decisionに使える！(e.g. $B_s \rightarrow \mu \mu$ のsecond leg)
 - b) LVL2のファームはトラック再構成を節約した分、より洗練されたアルゴリズムを採用できる。
 - c) bjet, 事象を保持しながら、QCD事象をrejectできるので、LVL2のインプット幅を増やせる。
e.g. LVL1のmultijet trigger thresholdを下げる事ができる！
4. FTKは並列システム。High Lumの環境でもspeedを維持することが簡単。

FTKの基本原理

> 1st step: select hit combination that form tracks (“pattern recognition”)

Full Custom AM Chipにstore

Road Finding (Coarser resolution with “superstrip”)



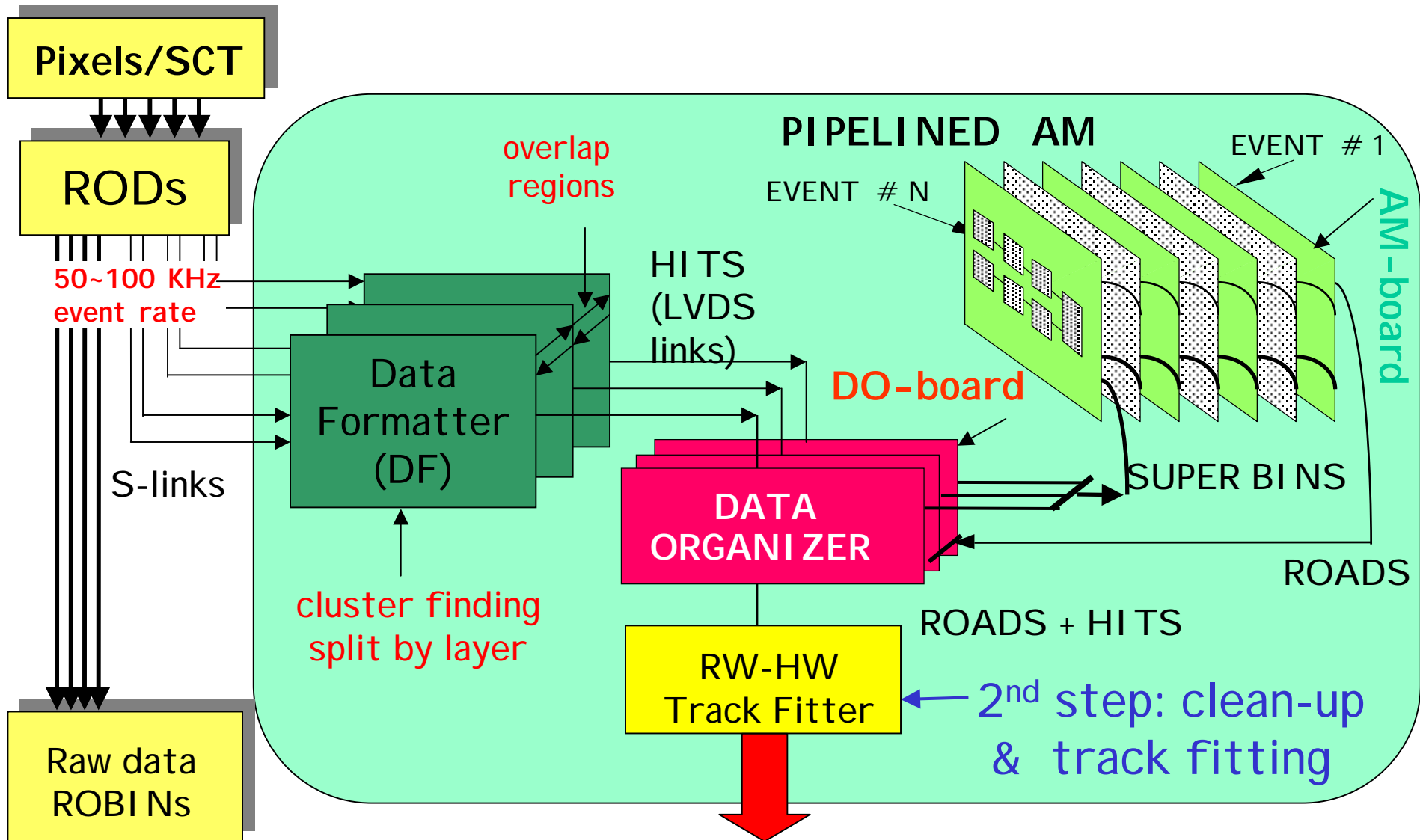
> 2nd step: clean up and parameter calculation (“track fitting”)

Hit情報から c, d, η, ϕ, z などの情報へ(Linear approximation)

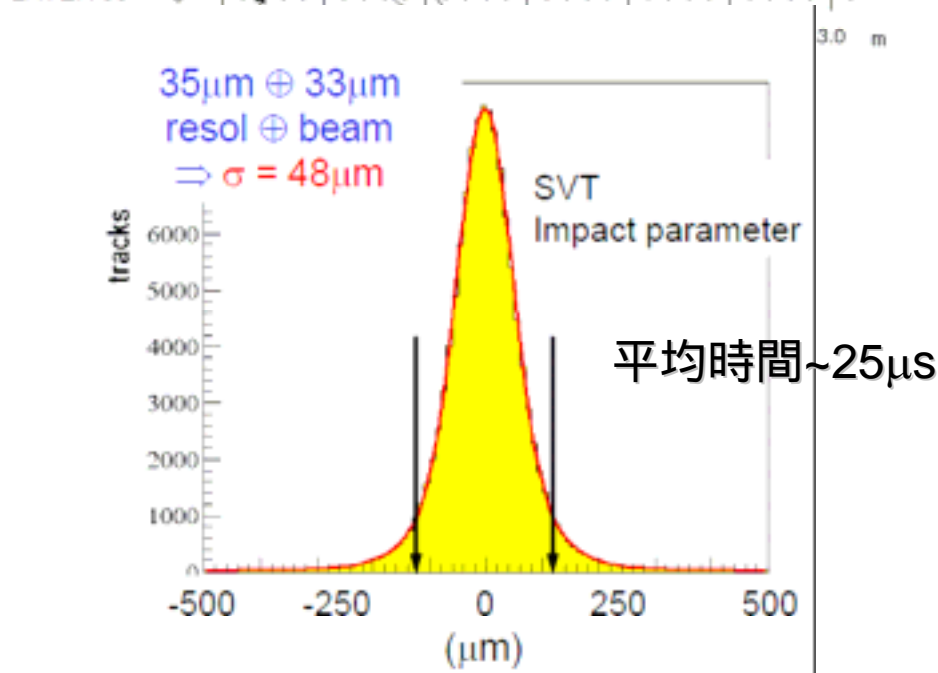
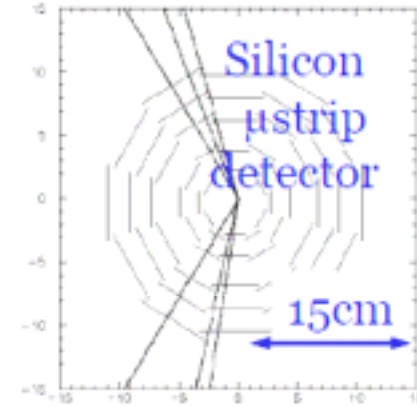
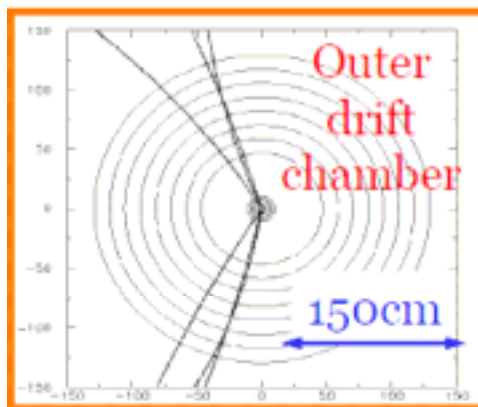
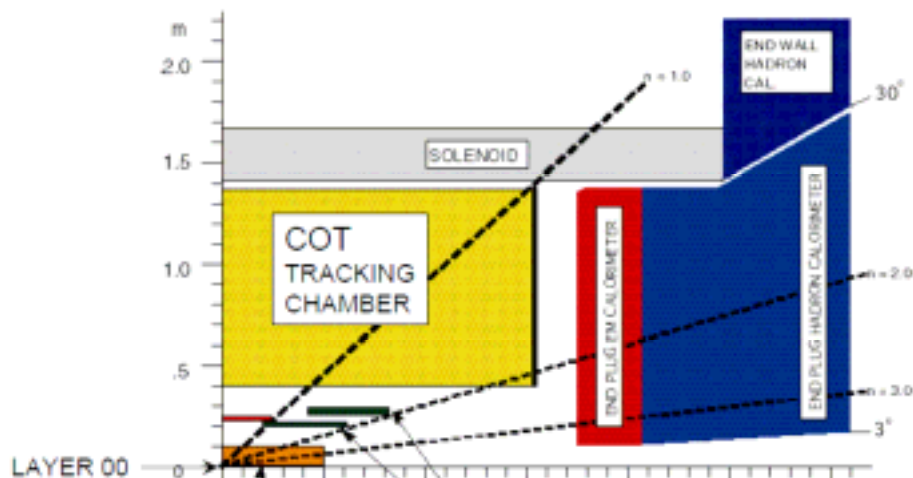
あらかじめ係数を計算しておき、Full resolutionのトラック再構成。

> Efficiencyの向上と共に、ゴーストの除去がATLASではとても大事

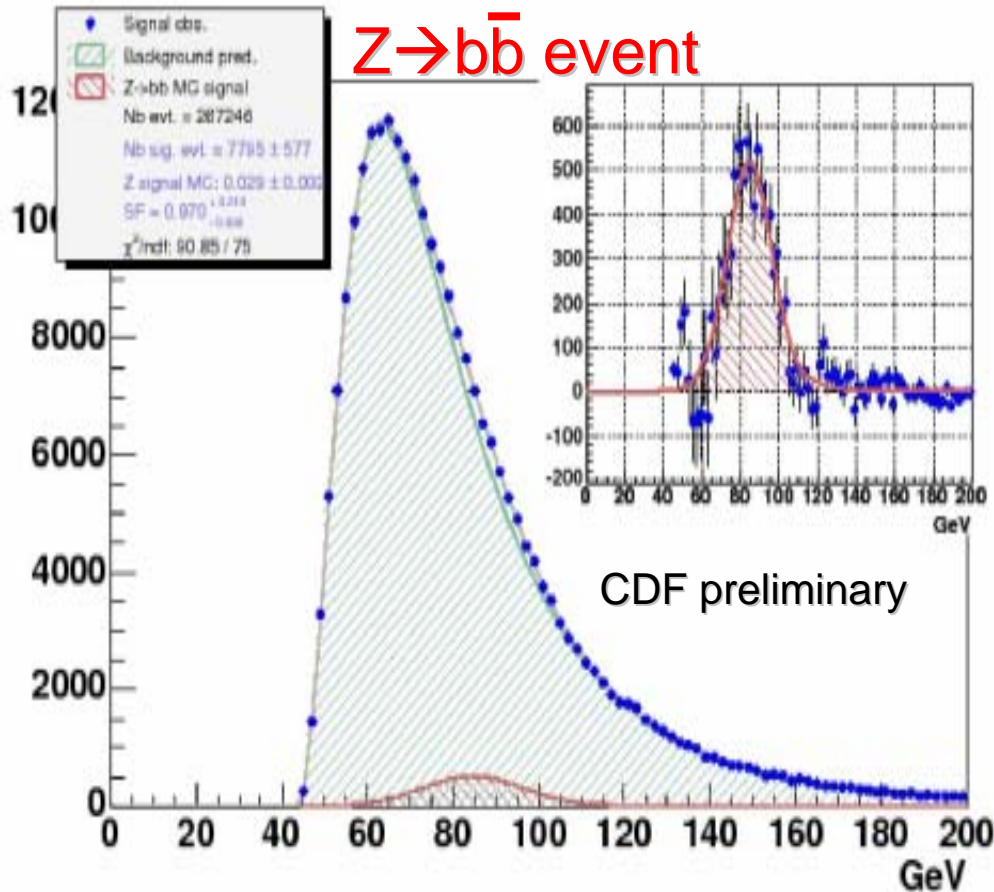
FTKシステムの構成



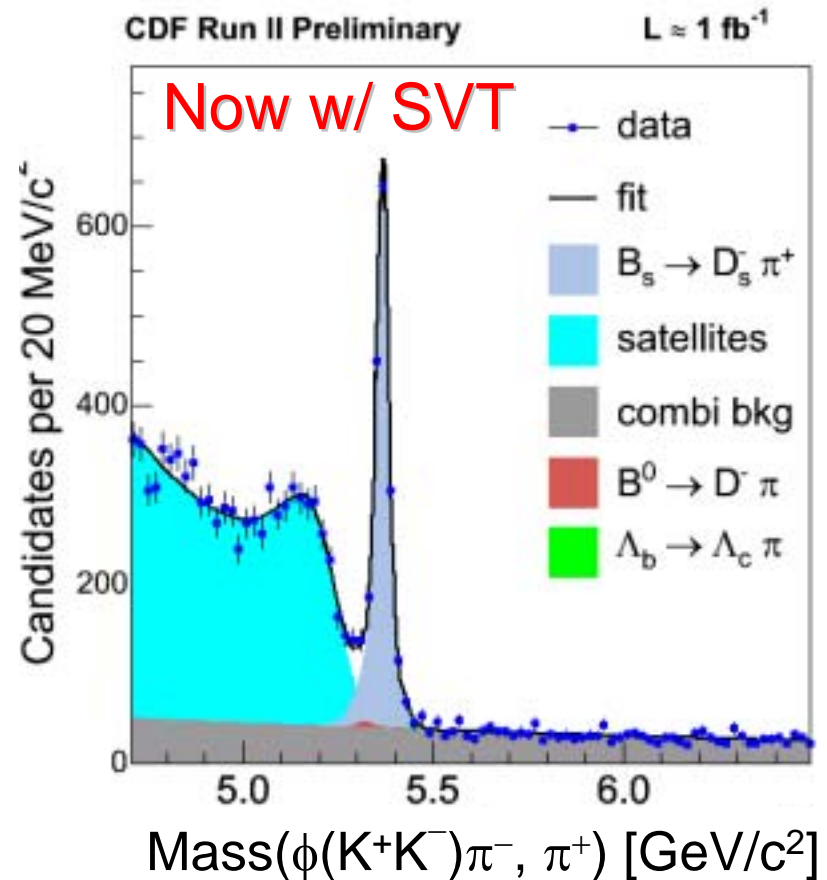
Silicon Vertex Trigger(SVT)@CDFの例



Successful Trigger : SVT@CDF



$$\text{JES} = 0.974 \pm 0.011^{+0.017}_{-0.014} = 0.974^{+0.020}_{-0.018}$$



* Bs only possible with SVT
 →現在はhigh etaでのe/ μ などにも利用しようと努力されている。

Challenging Issues

> CDFの場合、LVL1でシリコンの外側の飛跡検出器(COT)を用いたトラックが利用できる(XFT:eXtremely Fast Tracker)!

これは大きなadvantage.

しかし、FTKはsilicon standalone(not using TRT) ととても難しい。

> トラック数/事象、読み出し数、ボリュームが桁違いに大きい。

たくさんのPattern Memoryを準備する必要がある。

ex) CDF 32K 128K 512K/partition now stably running!

ATLAS ~15M/partition (90nm Tech@Pisa)

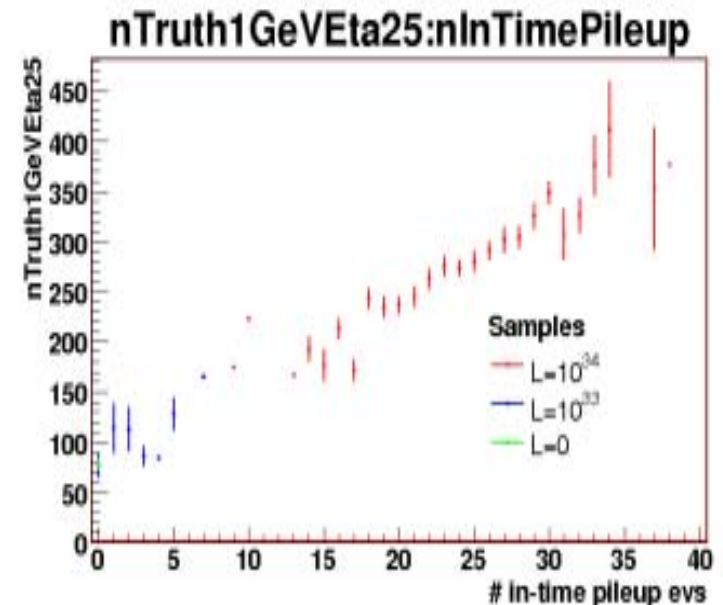
パターン生成にかなりのトレーニング

サンプルがいる。時間がかかりすぎる。

Beam spotが変わったり、アラインメントの変更への対応がすばやくできないといけない。

(Pattern/Constant生成に2,3日かかるようでは、実際運転するとなると非現実的)。

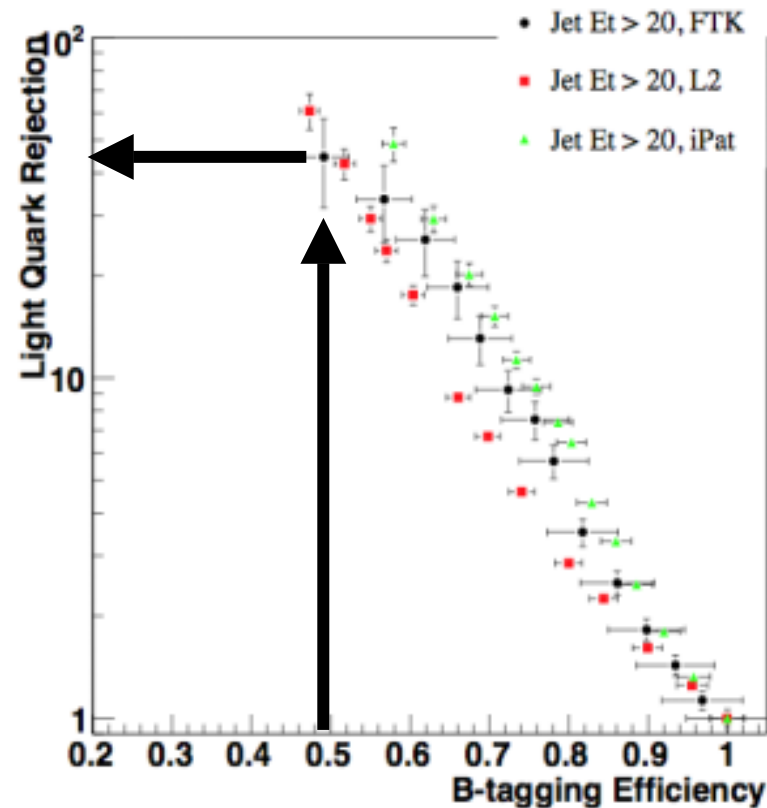
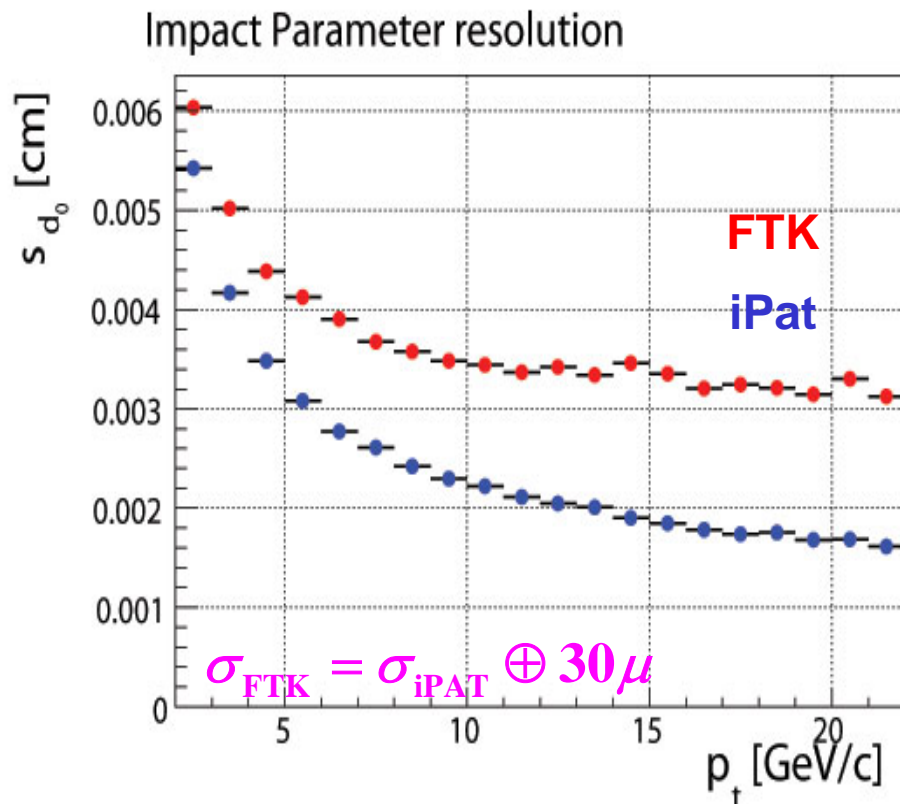
“Pattern from Constant”のアルゴリズムで
対処 100倍以上早い!



FTK Performance

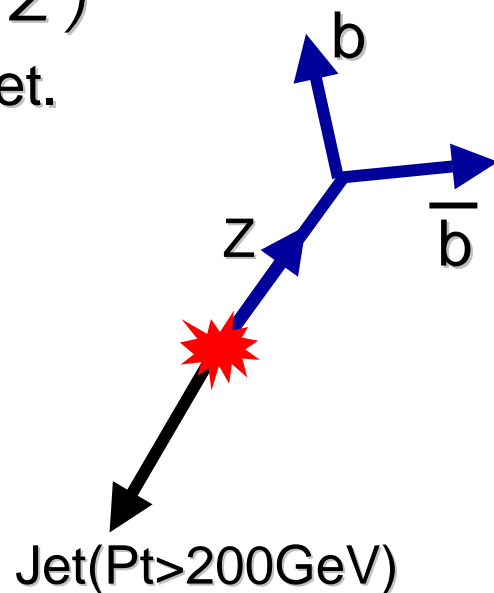
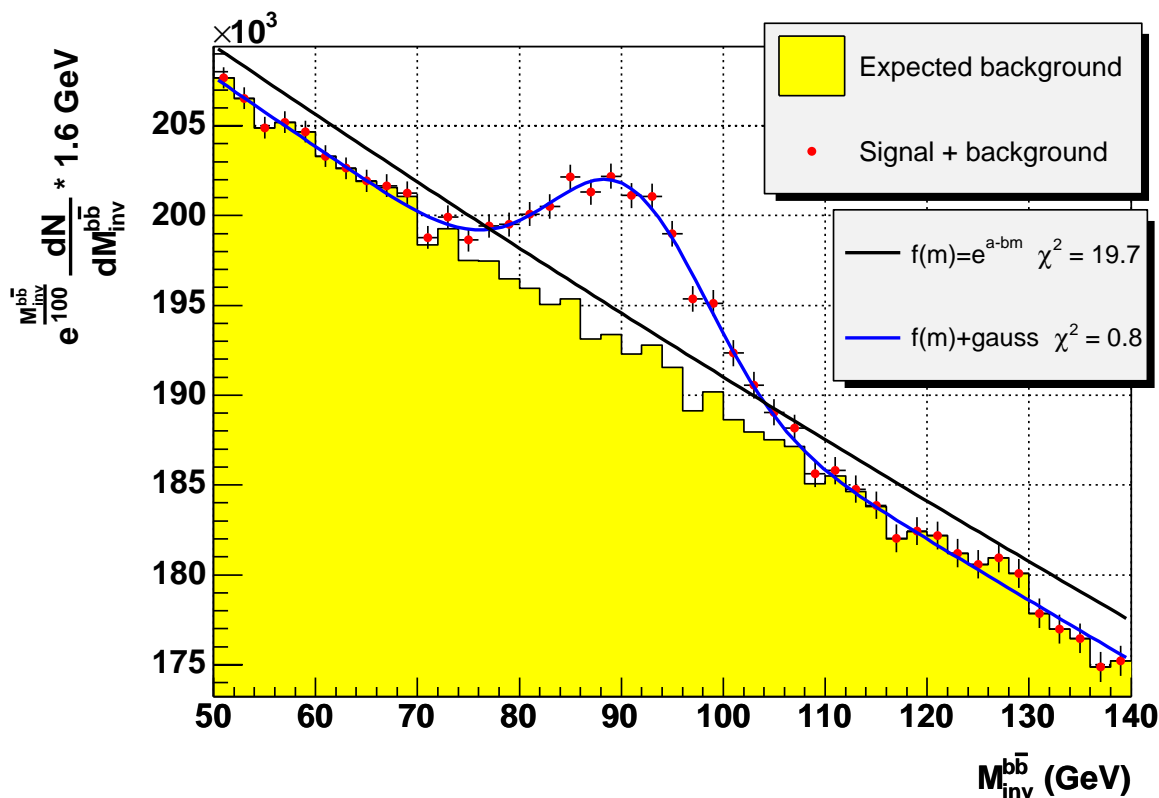
- シングルトラック事象によるトレーニング: パターンとフィット係数
 - 左の図: IP の比較。ミュオン検出効率 in $B_s \rightarrow \mu\mu$ events 93%
 - 右の図: b jet 同定効率 in WH(->bb/uu).

At 50% b-tag efficiency, light-quark rejection of > 40 まだまだ最適化可能。



Physics Case Study: $Z+1j \rightarrow b\bar{b}+1j$

- > L1 trigger: >200 GeV jet ($qg \rightarrow Zg$) (“High Pt Z”)
- > L2 trigger: 2 jets b -tagged, but not the lead jet.

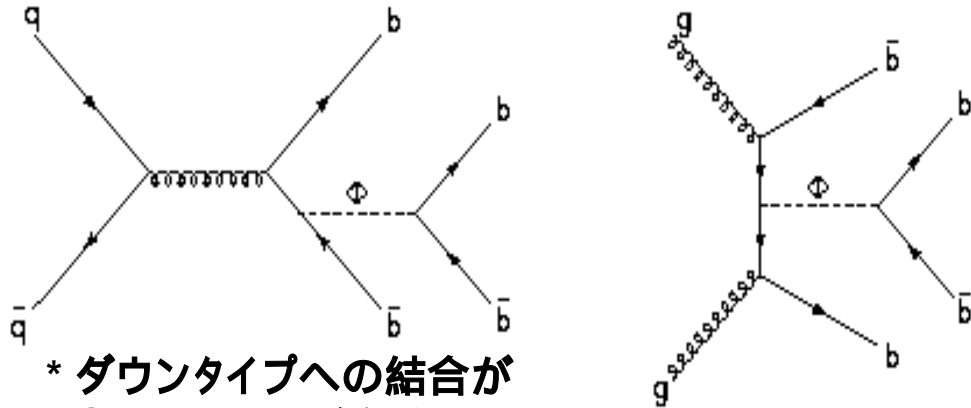


S/B	S/sqrt(B) @ 30 fb ⁻¹
2.5%	20.6

- > The uncertainty seen so far is less than 1 GeV, dominated by varying the background functional form.

Physics Case Study: $b\bar{b}H/A$

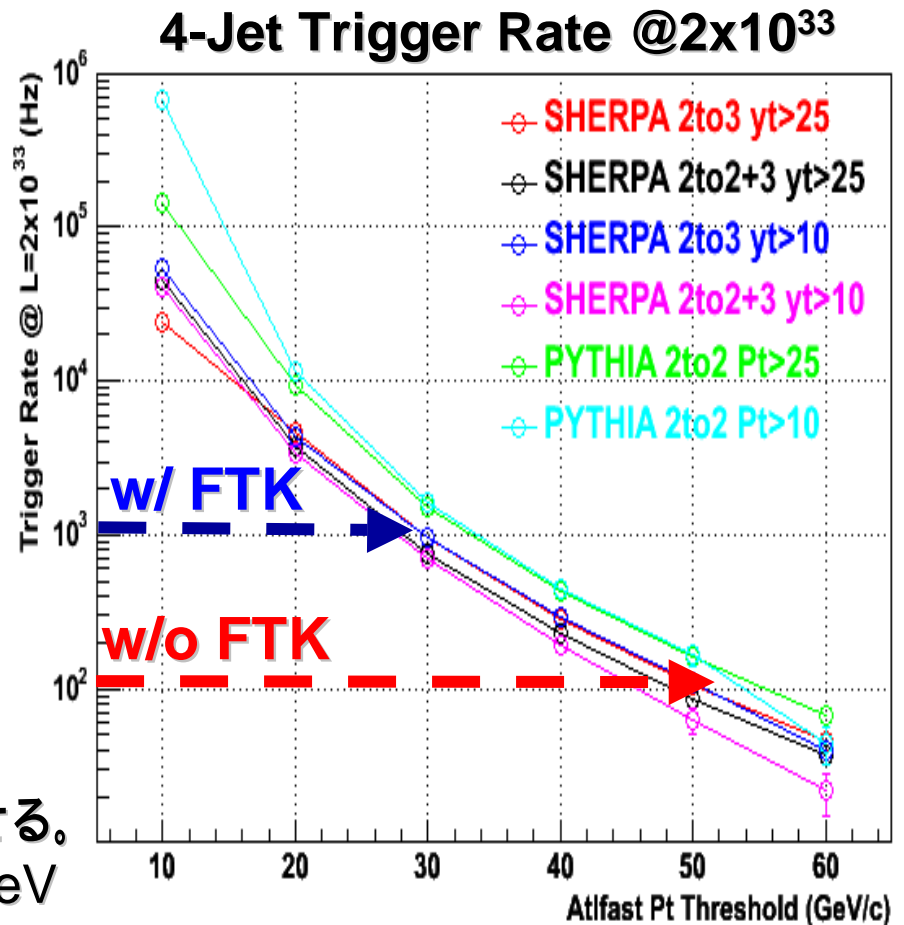
> Signal Process



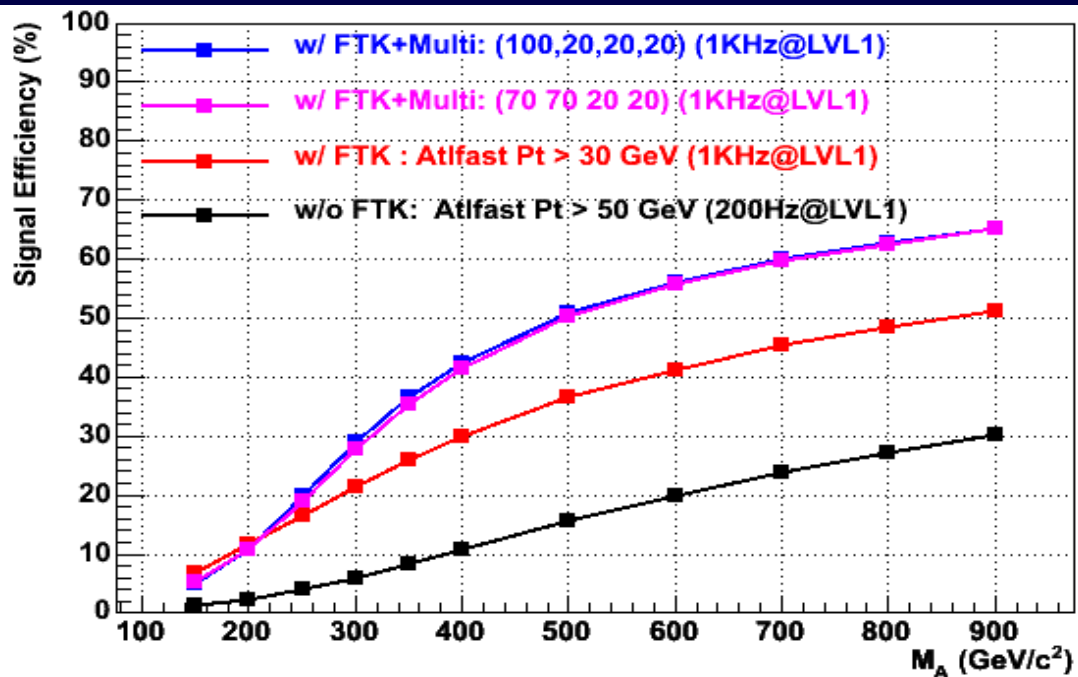
* ダウンタイプへの結合が大きな $\tan\beta$ で強調される。

> 信号は4つのbジェットを持つ。
騒音事象はほとんどがnon-b QCDのマルチジェット生成。

> FTKにより、LVL2でのbjet同定が可能。
LVL1,4jet triggerのbandwidthを増やせる。
LVL1での4jet triggerの E_t 閾値が50 GeVから30GeVに下げることが可能。

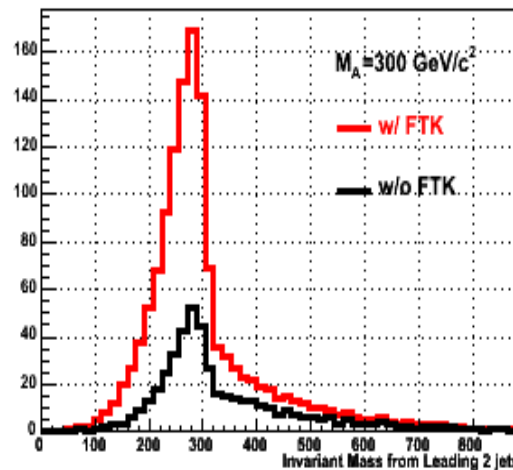
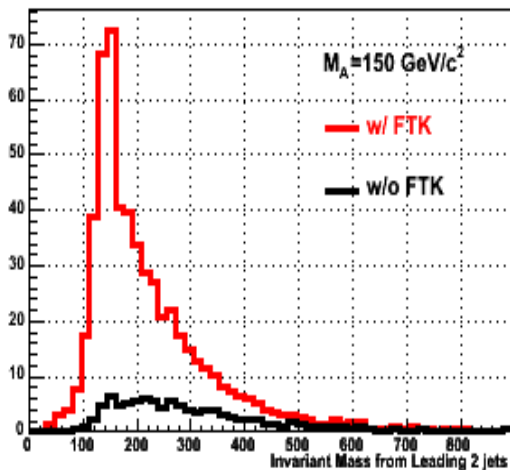


Physics Case Study: $b\bar{b}H/A$



> Signal efficiency

- w/ FTK w/ multi-閾値
- w/ FTK w/ single-閾値
- w/o FTK w/ single-閾値



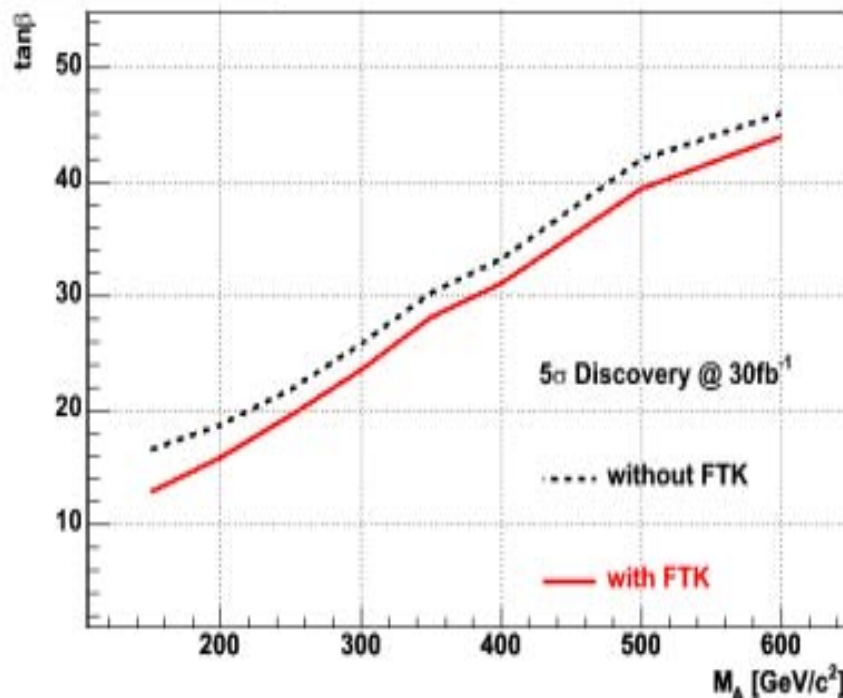
> Dijet mass

閾値が高いと低いHの場合
のMass PeakがTriggerで
消される！
これは大問題！
FTKでそれがRecover！

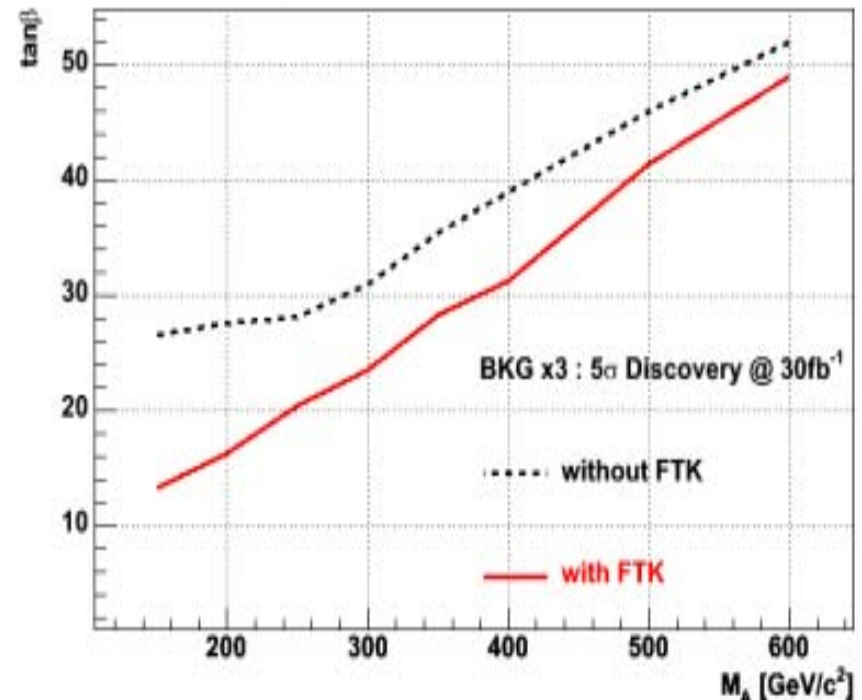
Physics Case Study: $b\bar{b}H/A$

注意: Absoluteはあまり気にしないで下さい。(物理解析として甘々)

H/ A $b\bar{b}$ ->4b channel



H/ A $b\bar{b}$ ->4b channel



> FTKがあることにより、騒音レートが予測より例え3倍(右図)になっても、発見能力に大差はない。

* 3倍のファクターはMCの間違いやより高いルミノシティーに対応。

纏めと予定

> 新現象の性質解明は様々なチャンネルで見ないと×

bjetや のようなあまり綺麗でない事象もとても大事になる。

> FTKは質の高いトラックをLVL2のはじめ1ms以内で供給

- RoI以外のオブジェクトの利用。
- LVL1閾値を下げる事が可能。
- LVL2のPC farmはもっと洗練されたアルゴリズムを使える！

Track Matching or Veto

> b jet/ についてを強調したが、FTKの情報はe/ / μ にも利用可能

High Luminosityでも安全かつ信頼性を持った物理ができる！

単純に、トリガーロジックにFTKの情報を入れ込んで、DAQの質が悪くなるわけではない！

今後の予定

> Optimization and Timing study etc.

> TDRを仕上げる(来年頭か遅くとも春までに)。

If Approved そこから3年後(2012年早々)のコミッションングを目指す。

その後はFTKの力をフルに利用した物理解析が可能！

* 我々の予測を超えた所に新しい物理が現れる可能性が高い！

Triggerを深く考えることは、(新しい)物理に対して謙虚でいること。

FTK should be approved if ATLAS people are smart enough !