



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

**Junichi TANAKA**  
**ICEPP, Univ. of TOKYO**



28 March, 2008

研究会「LHCが切り拓く新しい素粒子物理学」@東大



# Outline

- Introduction
  - SM Higgs@LHC (スキップする)
  - What is CSC Project and CSC note?
- $H \rightarrow \gamma\gamma$ 
  - (Long) summary of recent results
- Details for  $H \rightarrow \gamma\gamma$  analysis
  - Trigger
  - Photon reconstruction and calibration
  - Conversion
  - Photon identification and fake rate
- Other topics of  $H \rightarrow \gamma\gamma$ 
  - Other channels in SM
  - In MSSM
- まとめと予定





# Introduction of SM Higgs @ LHC



28 March, 2008

研究会「LHCが切り拓く新しい素粒子物理学」@東大



# Higgs

- 標準理論で唯一未発見の粒子
  - 質量の起源
- ヒッグスとその他の粒子との結合
  - さまざまな生成、崩壊パターンが観測されればラッキー

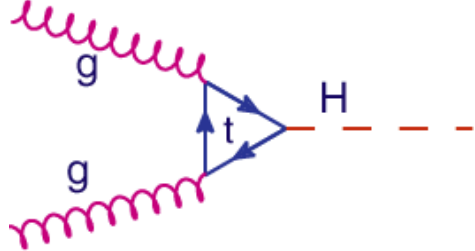


「生成パターン」 x 「崩壊パターン」 x 「解析手法」 程度の数の研究

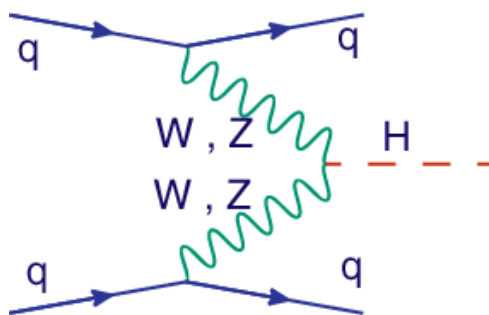




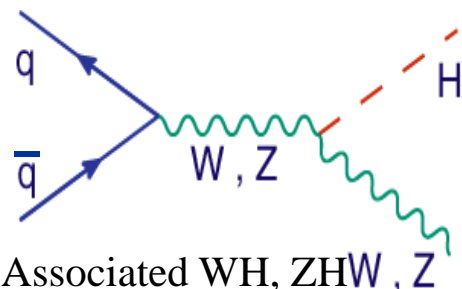
# LHCにおけるSM Higgsの生成



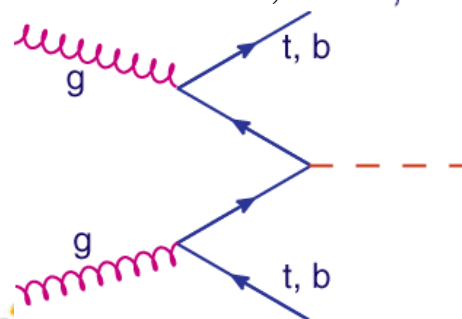
Gluon Fusion



Vector Boson Fusion (VBF)

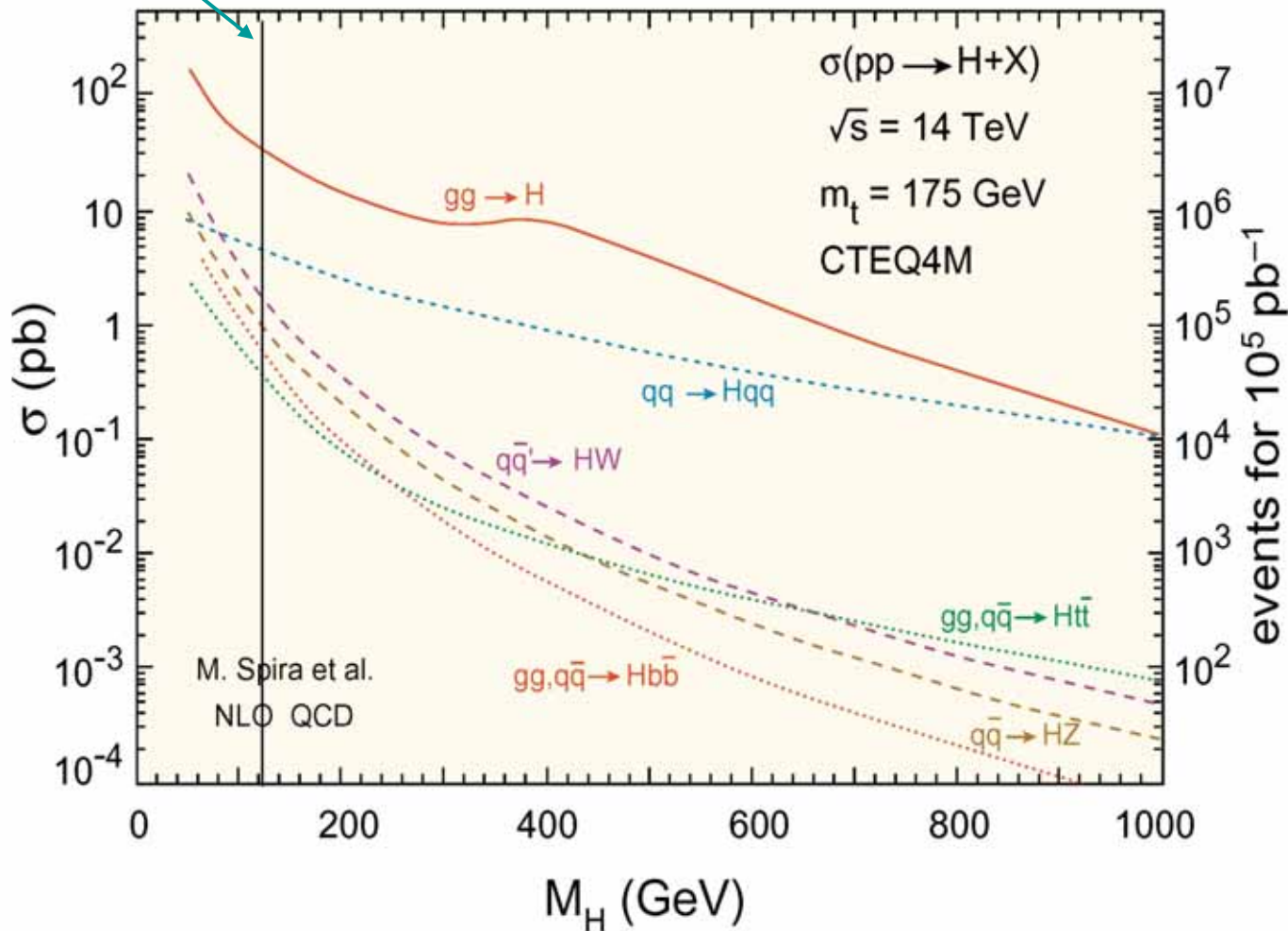


Associated WH, ZHW, Z



Associated ttH, bbH

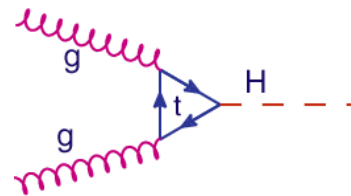
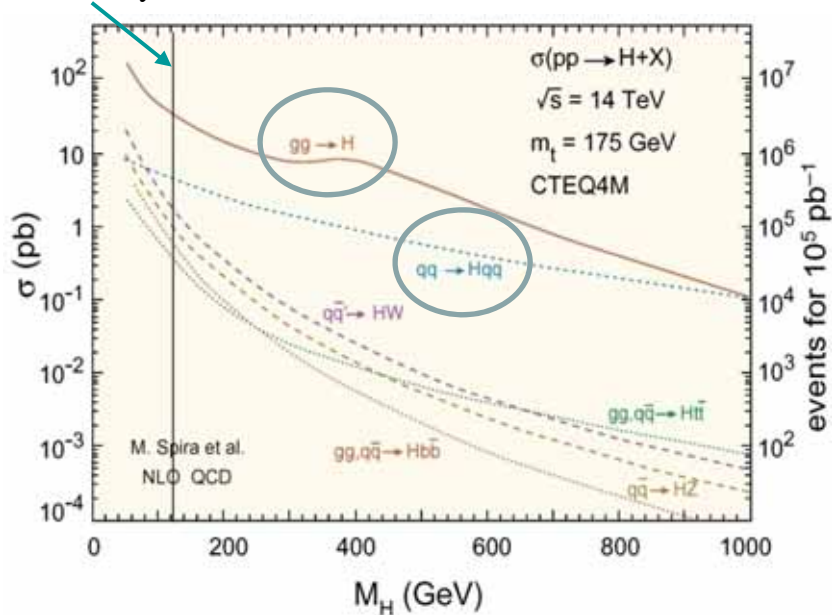
Excluded by LEP



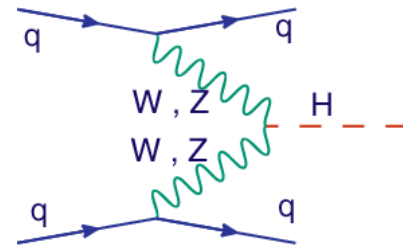


# Production of SM Higgs

Excluded by LEP



Gluon Fusion (GF)



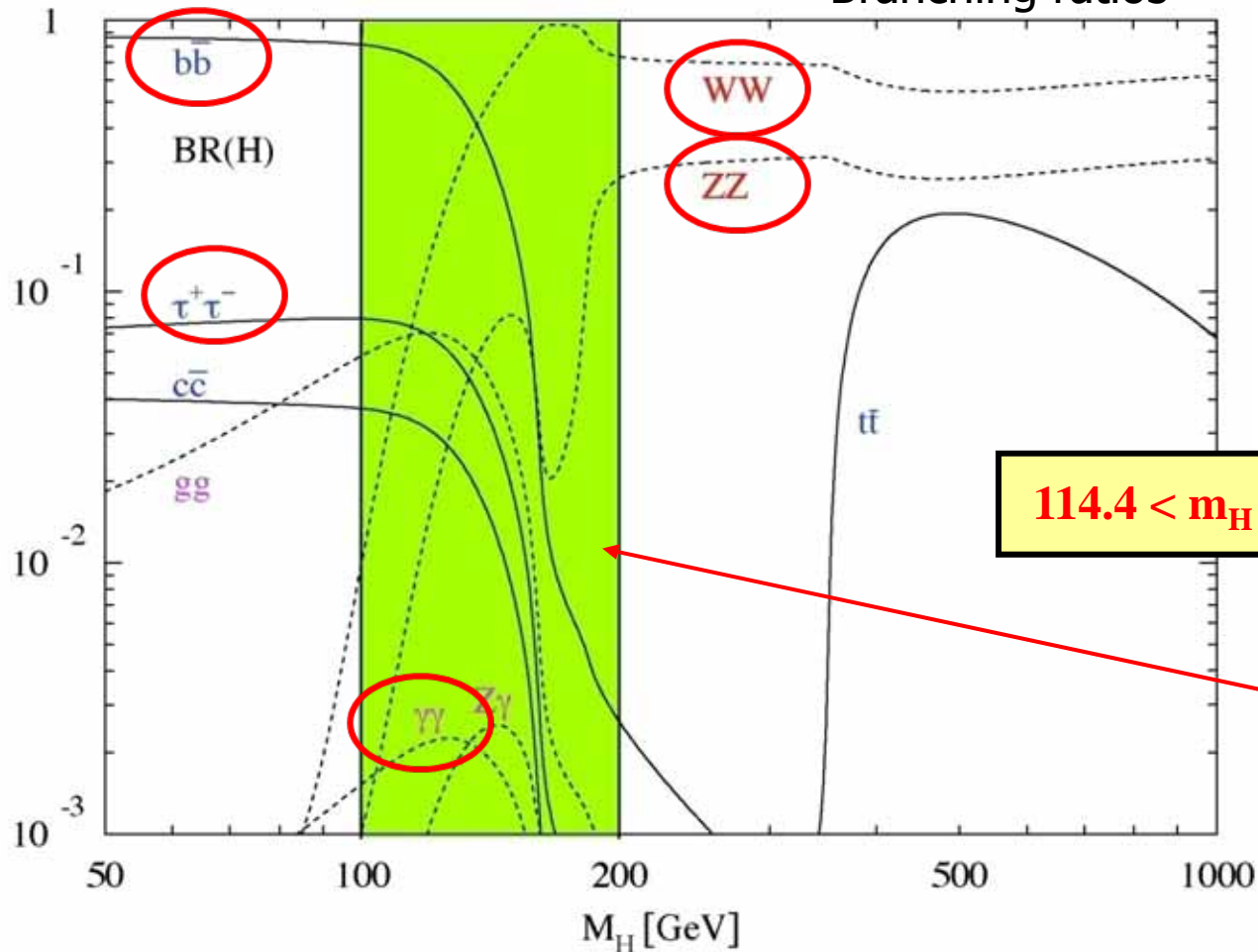
Vector Boson Fusion (VBF)

- GF is the dominant production process in LHC.
  - No other signature to separate signal from backgrounds.
- VBF is the 2<sup>nd</sup> one in LHC.
  - Two forward jets can be observed.
  - No color flow between 2 initial quarks. Activity in the central region is less than other processes. -> Central jet veto etc.

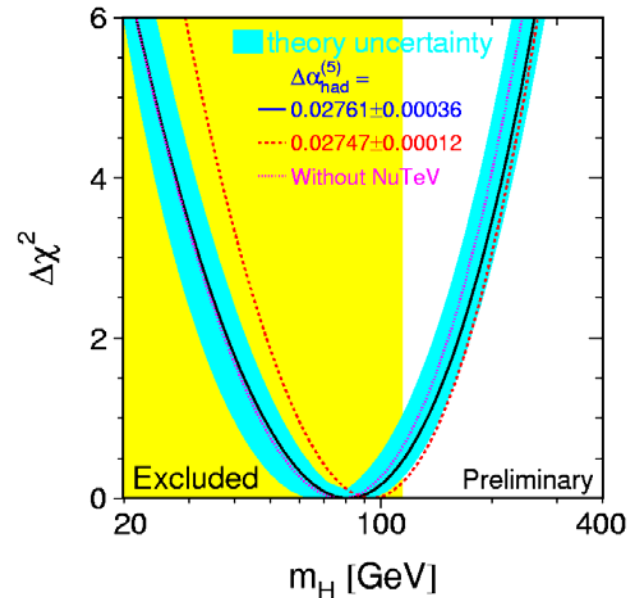


# SM Higgsの崩壊

Branching ratios



LEPEWWG Summer2003



**114.4 < m<sub>H</sub> < 193 GeV/c<sup>2</sup> @95% C.L.**

**bb, ττ, γγ, WW, ZZが重要。**

標準理論が予言する場所であれば非常に面白い。(特に150GeV以下)  
-> 様々な崩壊モードがあるため、結合定数が測定可能。





# Introduction of CSC project and CSC note



28 March, 2008

研究会「LHCが切り拓く新しい素粒子物理学」@東大





# CSC Project & Note

- CSC = Computing system commissioning
  - ATLASのコンピューティングシステムの大規模テスト
  - 大量にMCデータを生成するので、これを使って各物理グループは主要なモードを解析して、成果をノート(CSC note)にまとめることになった。
    - 2006年夏から開始。
    - すでに1.5年の月日が経過。
  - 後々、この“ネーミング”が問題となる。。。 (FDR-xも同じでしょう。。。)
- Higgsグループでは10個のサブグループを作って、このプロジェクトに参加。
- 予定
  - 今月末までに各サブグループは30ページほどのノートを仕上げる。
    - あと数日。。。
  - トピックスを限定して、CSC Bookという形でPublicationにする予定。(夏まで?)





# Higgs WG group for CSC

- 10 sub-groups

[HG-1](#): H  $\rightarrow$  2 photons  
[HG-2](#): H  $\rightarrow$  ZZ  $\rightarrow$  4 Leptons  
[HG-3](#): VBF, H  $\rightarrow$  tau tau  
[HG-4](#): H  $\rightarrow$  WW  
[HG-5](#): ttH, H  $\rightarrow$  bb  
[HG-6](#): ttH, H  $\rightarrow$  WW  
[HG-7](#): H/A  $\rightarrow$  tau tau  
[HG-8](#): bbh/H/A, h/H/A  $\rightarrow$  mu mu  
[HG-9](#): H  $\rightarrow$  invisible  
[HG-10](#): Charged Higgs boson

Higgs Introduction Note (1h00) (draft-0) ( )  
H  $\rightarrow$  gamma gamma (1h00) ( Paper )  
H  $\rightarrow$  ZZ\*  $\rightarrow$  4-leptons (1h00) ( Feb11\_draft; Paper )  
VBF H  $\rightarrow$  tau-tau (1h00) ( HG3\_VBFHTauTau\_Draft2.3\_March14 )  
H  $\rightarrow$  WW (1h00) ( Feb. 13 Draft; Paper )  
ttH, H  $\rightarrow$  bb (1h00) ( document )  
ttH/WH, H  $\rightarrow$  WW (1h00) ( Paper )  
MSSM H/A  $\rightarrow$  tau-tau (1h00) ( Paper )  
MSSM H/A/h  $\rightarrow$  mu+mu- (1h00) ( Draft2802; PUB-Draft1403; PUB-Draft1703 )  
ZH, VBF H, H invisible (1h00) ( Paper; document )  
MSSM Charged Higgs (1h00) ( Draft 1; Draft 2; Draft 3 (INT); Draft 3 (PUB) )  
SM Higgs Combination (1h00)





# Introduction of $H \rightarrow \gamma\gamma$ 最近の結果(not fixed)

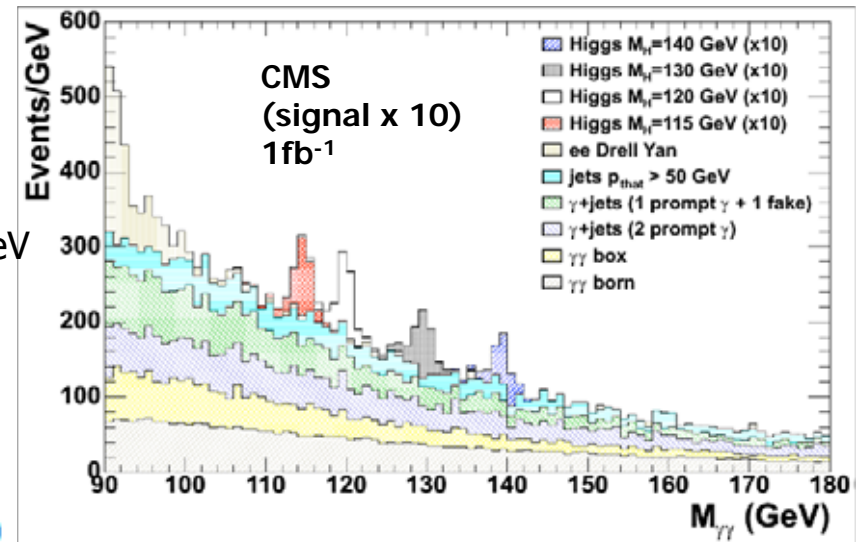
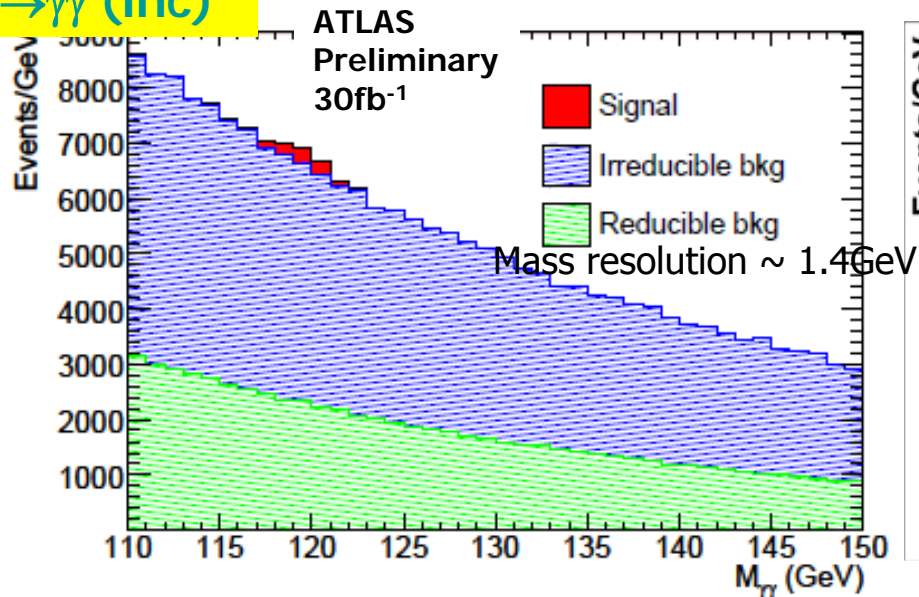




# H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$

- Inclusive searchは王道 (主に $gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$ )
  - おそらく最も単純なイベントセレクション!!! **2つの(Triggered)PHOTON**
  - 非常に大きなBG  $\rightarrow$  S/B  $\sim$  3%、それでも観測可能
  - $\rightarrow$  ATLAS/CMSともにエネルギー分解能(+角度)が良いため、するどいピークを作る。

## H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$ (inc)



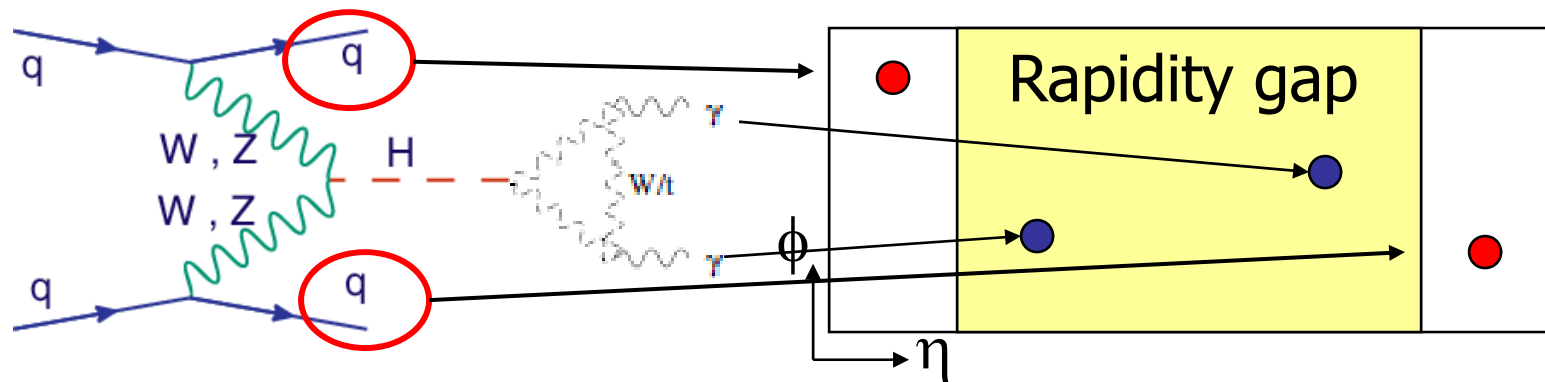
- バックグラウンドの大きさはデータそのもののSidebandから評価できる。
  - ただし、各成分についての理解も重要。
  - $\rightarrow$  Fake photonからの寄与の評価方法の確立





# H- $\rightarrow\gamma\gamma$ of VBF process

- Inclusive searchは主にgluon fusion productionからの $\gamma\gamma$ を捕まえる。そのため、S/Bは悪い。
- バックグラウンドを抑えるために、VBF productionの特徴を生かした解析も行われている。
  - VBFプロセス全般に行われている一般的なイベントセレクションを行う。
    - > 詳しくは津野さんのトーク
      - 2つのhigh Pt forward jetを要求
      - 3<sup>rd</sup>ジェットが中央にない、という条件を要求(Central jet veto)





# H- $\rightarrow$ $\gamma\gamma$ with H+1jet method

- 前述した2つの主要チャンネルの解析からの漏れを利用する解析手法
  - \* アイデア
    - [1] Gluon fusionに余分なジェットがくっつく場合
    - [2] VBFで1つのforward jetがアクセプタンス外に行く場合
      - 注意: 正確にはinclusive searchではジェットに条件を要求しないので本来すべてをカバーする。(photonのPt等条件が同じなら)
  - \* イベントセレクション
    - “gam+gam+jet”の質量をカットに使う。
    - バックグラウンドを比較的抑えることができる。



# Event Selection of 3 Analysis Methods



## Inclusive analysis

A  $Pt(\gamma_1) > 40\text{GeV}$ ,  $Pt(\gamma_2) > 25\text{GeV}$  (inclusive)

## VBF analysis

A  $Pt(\gamma_1) > 50\text{GeV}$ ,  $Pt(\gamma_2) > 25\text{GeV}$  (inclusive)

B  $Pt(j_1) > 40\text{GeV}$ ,  $Pt(j_2) > 20\text{GeV}$ ,  $\Delta\eta(j_1j_2) > 3.6$ ,  $\eta(j_1) * \eta(j_2) < 0$

C Photons in between tagging jets

D  $M(j_1j_2) > 500\text{GeV}$

E Central jet veto :  $Pt(j) > 20\text{GeV}$ ,  $|\eta(j)| < 3.2$

## H+1jet analysis

A  $Pt(\gamma_1) > 45\text{GeV}$ ,  $Pt(\gamma_2) > 25\text{GeV}$  (inclusive)

B  $Pt(j_1) > 20\text{GeV}$ ,  $\eta(j_1) < 5.0$

C  $M(Hj) > 350\text{GeV}$

- Leading gammaのPtカットが異なる。  
- 何も考慮しなければ、選択したイベントにはオーバーラップがある。

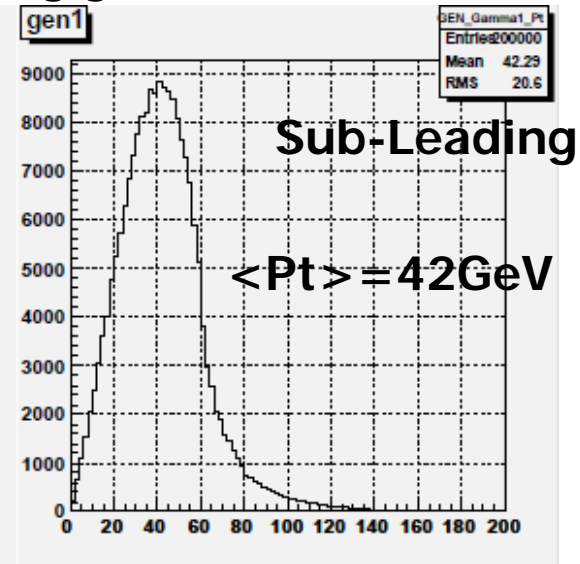
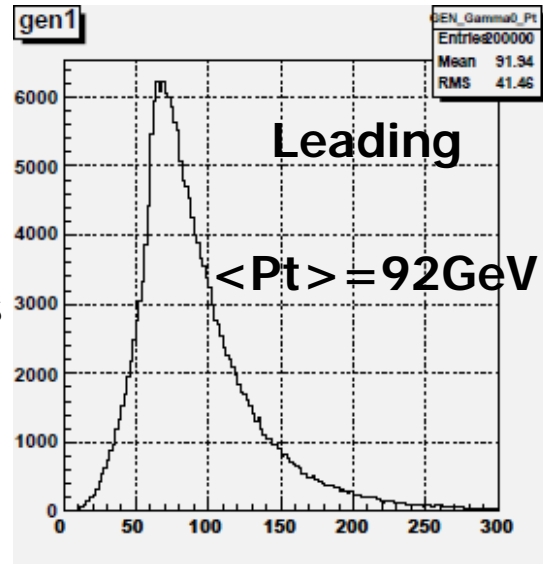




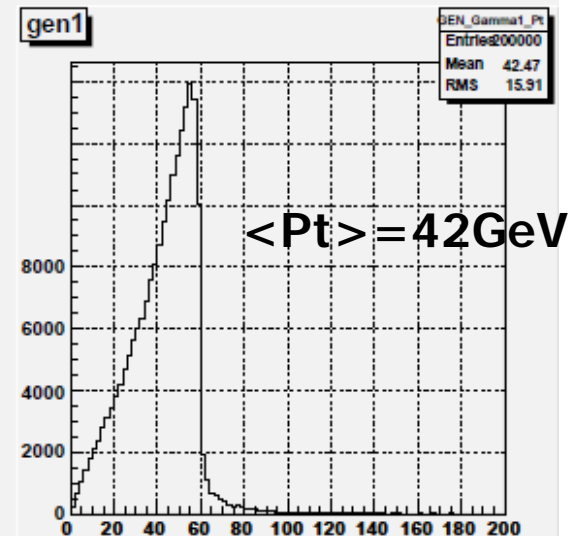
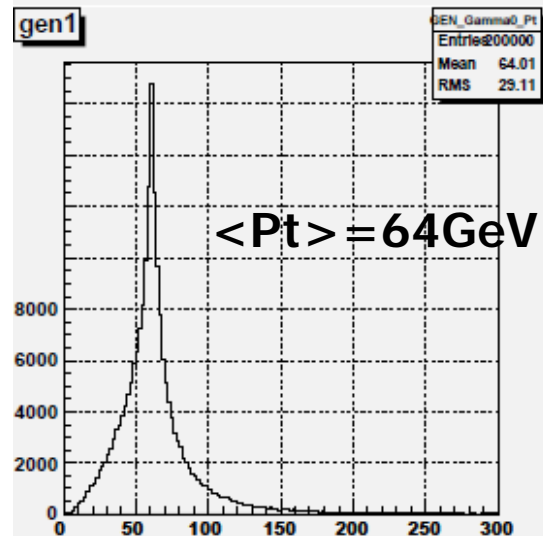
# Pt of Truth $\gamma$ from Higgs

Why do we use different Pt cut on leading gamma?

VBF process



GF process



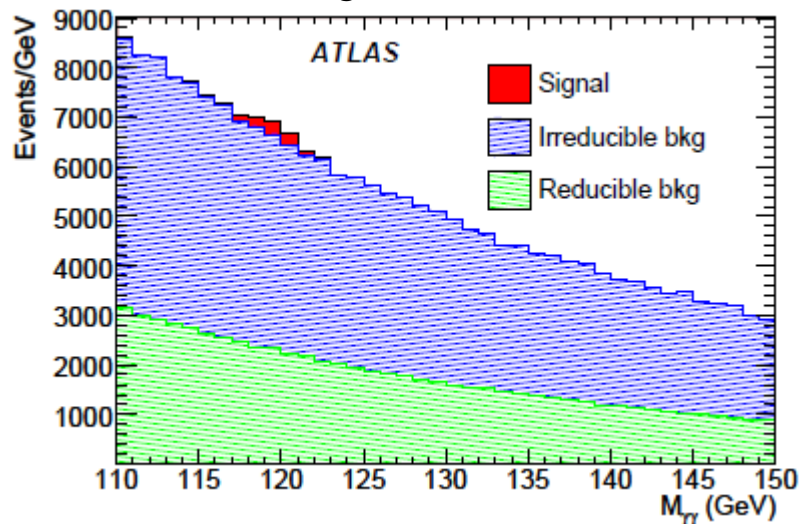




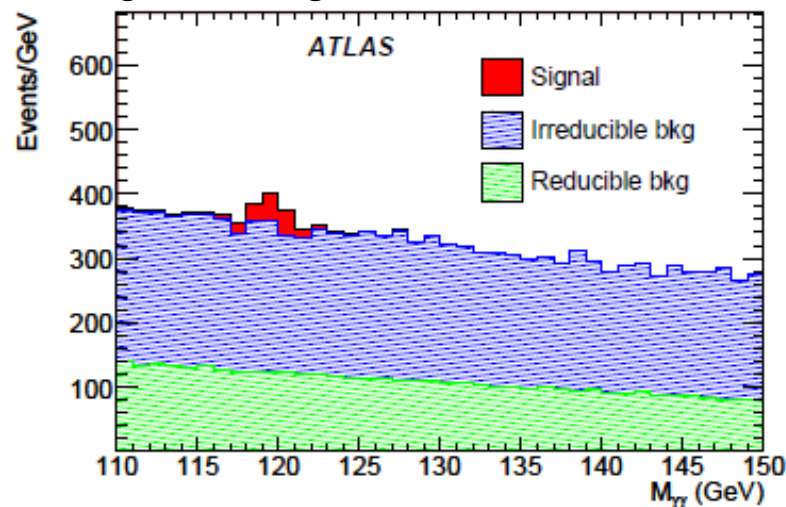
# Preliminary Results

☒は30fb<sup>-1</sup>!!!

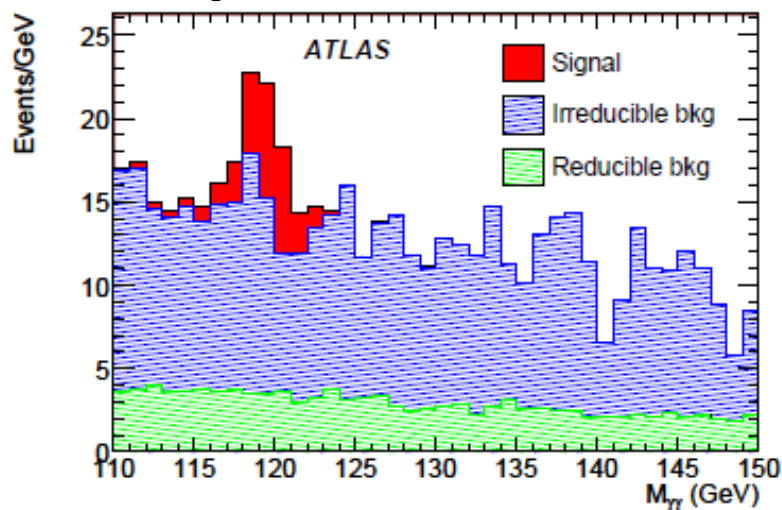
## Inclusive analysis



## H+1jet analysis



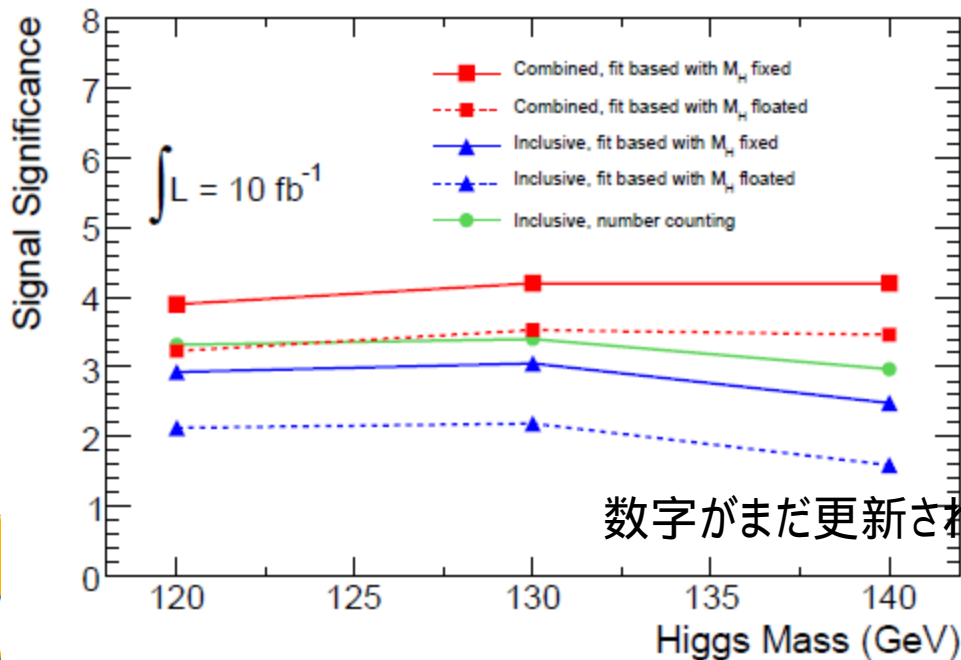
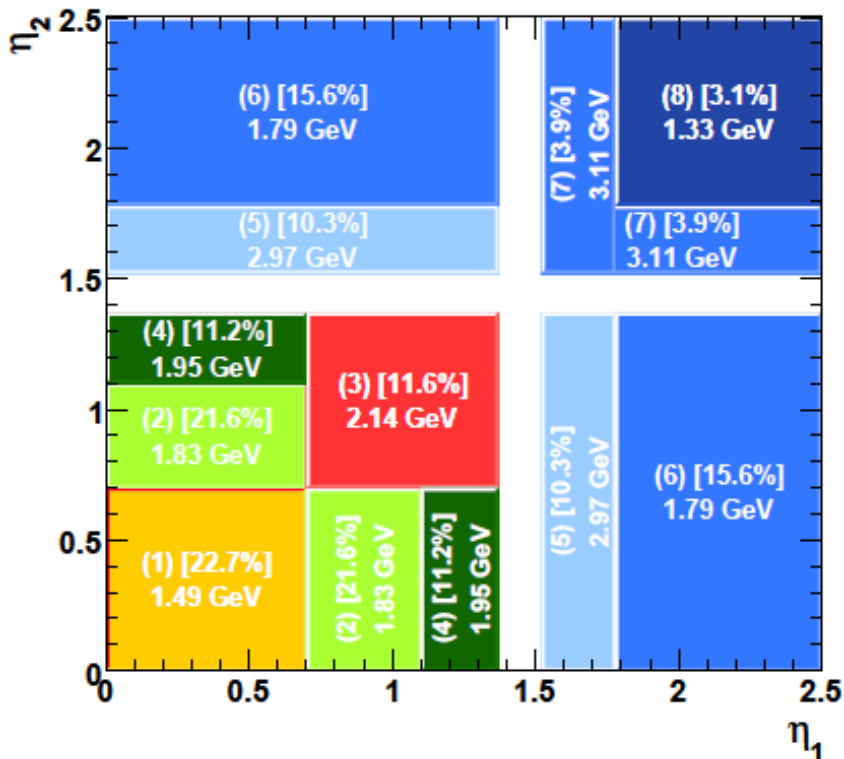
## VBF analysis



- トリガー(2g20i,後述)を入れた結果
  - 結果的にBGを抑えてしまった。
- オーバーラップは解いていない

	Inc	H+1	VBF
Signal(fb)	24.61	4.04	0.75
BG(fb)	918.3	47.59	1.96
(irred BG)	536.7	27.13	0.86
S/B	0.027	0.085	0.38
S/ $\sqrt{B}$ (10fb <sup>-1</sup> )	2.6	1.9	1.7





数字がまだ更新されていません。

- Combined fitを行う場合、VBF, H+1, inclusiveの順にオーバーラップを解く。
- Higgs候補を区分分けしてFitする。 $M(\gamma\gamma)$ のresolutionが異なることを考慮するため。
  - GamGamの測定場所(barrel or endcap, opening angle)
  - Converted or not.
- $M(\gamma\gamma)$ のみならず、 $Pt(\gamma\gamma)$ ,  $\cos\theta^*$ 等を使う。
  - 反対意見あり。
- FitするときにHiggs massをfloatさせると約1ほどSignificanceが下がる。



# Details

- Trigger
- Photon reconstruction and calibration
- Conversion
- Photon identification and fake rate





# Trigger

- $10^{33}$ のときのGamma用のトリガーとしては、
    - 2g20i = “Isolatedされた2つのphoton( $pt > 20\text{GeV}$ )を要求”
    - g60 = “1つのphoton( $pt > 60\text{GeV}$ )を要求”が提案されている。名前は変わらないがトリガー条件自体は適宜変更されている。このほか、 $10^{32}$ 用として、
    - 2g20 = “2つのphoton( $pt > 20\text{GeV}$ )を要求”もテストされている。
- これらはもちろん「prescaleなし(1)」です。
- 実際、データを取り始めないと最終的な条件は分からない。





# Trigger menu for $10^{33}$ $H \rightarrow \gamma\gamma$

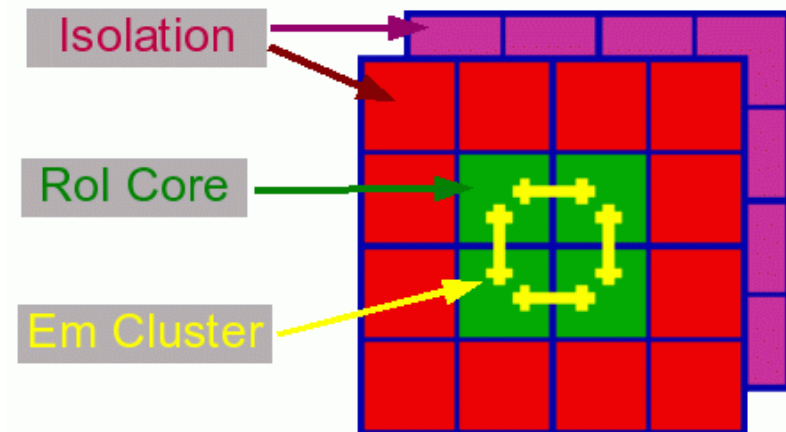
- 2g20i
  - start from “2 isolated EM clusters” = L1\_2EM15I
    - L1\_2EM15I
      - EM cluster’s  $E_t > 11\text{GeV}$
      - Isolation (not used in 2g20)
        - » EM ring isol  $\leq 3\text{GeV}$
        - » Had isol  $\leq 2\text{GeV}$
        - » Had ring isol  $\leq 2\text{GeV}$
- g60
  - start from 1 EM cluster = L1\_EM60
    - EM cluster’s  $E_t > 50\text{GeV}$
- 2g20 is proposed for  $10^{32}$ .
  - start from “2 EM clusters” (EM cluster’s  $E_t > 18\text{GeV}$ )
  - 472Hz@L1 (rates of L2,EF are not available yet.)





# L1 Trigger

- ATLASのトリガーはL1, L2 and EFからなる。
  - L2とEFはソフトウェア(Farm PCs)
- L1 for gamma
  - 4x4 towers are used. ( $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.4 \times 0.4$ )
  - For Et threshold
    - The most energetic of the 4 “2-tower EM clusters”
  - EM/HAD ring isolation
    - Outer ring of EM (12 EM towers)
  - HAD (core) isolation
    - 2x2 HAD core cluster





# HLT (L2+EF)

- L2
  - Energy and position is re-calculated (refined).
    - $\eta \times \phi = 3 \times 7$  is used in the L1 ROI to calculate EM Et.
      - $\Delta\eta/\Delta\phi \sim 0.025$ 
        - $> 16.8 \text{ GeV}$  (for 2g20i)
          - Hadronic Et is calculated from “0.2 x 0.2” of the 1<sup>st</sup> of HadCalo.
            - $< 4.0 \text{ GeV}$  (for 2g20i)
  - “3x7”/“7x7” of the 2<sup>nd</sup> EMCalo is used.
    - $> 0.84$  (for 2g20i)
  - 1<sup>st</sup> of EMCalo (strip) is used to suppress  $\pi^0$ .
    - 立派な2nd maximumが存在しない。
- EF
  - 基本的にOfflineのPhoton IDと同じ変数を使う。(後述)





# Trigger Efficiency

若干古いですが、公式な値が？なので、これで。。。

- オフラインの解析に対するTrigger性能を見たいので、オフラインで2つのgammaを選択したイベントに対するeffを評価する。

eff = the number of triggered event / the number of interested event

- Events with the following rec/id-gamma objects
  - selection criteria on the offline analysis
    - rec/id-gamma == “IsEM=0 and no matched track”
    - $E_t > 25-50\text{GeV}$  (normally 40,45 and 50GeV are used) and  $E_t > 25\text{GeV}$  with  $|\eta| < 2.5$  except for a crack (1.37-1.52).
- 2g20iとg60の結果(次ページ)

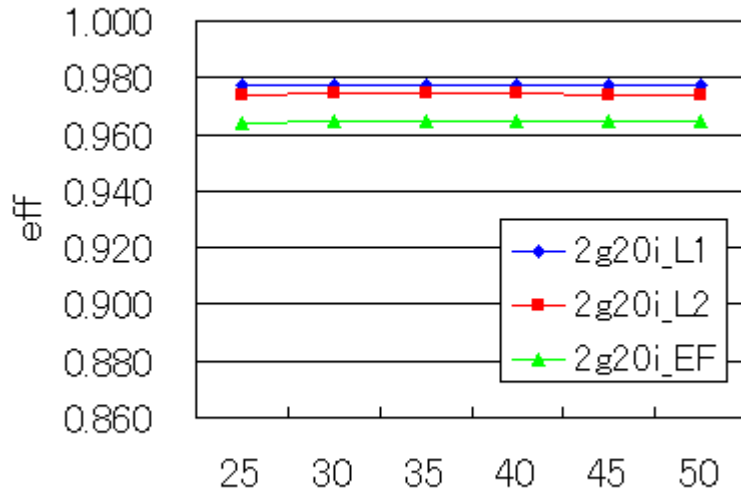




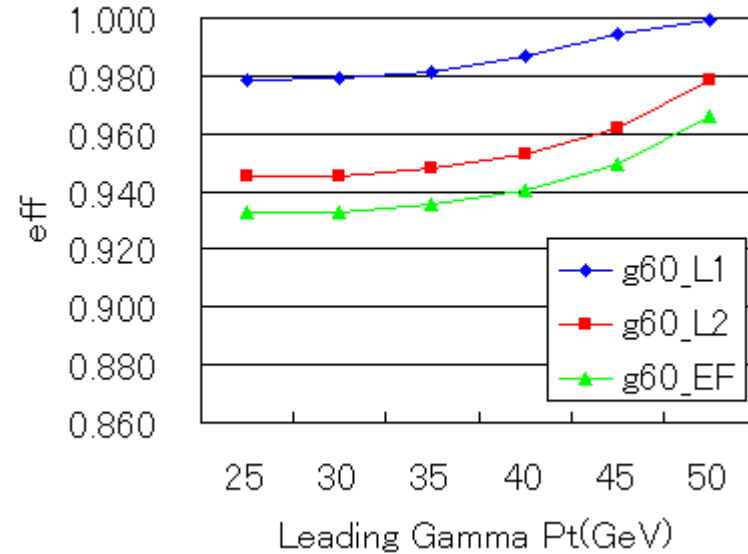


# VBF process

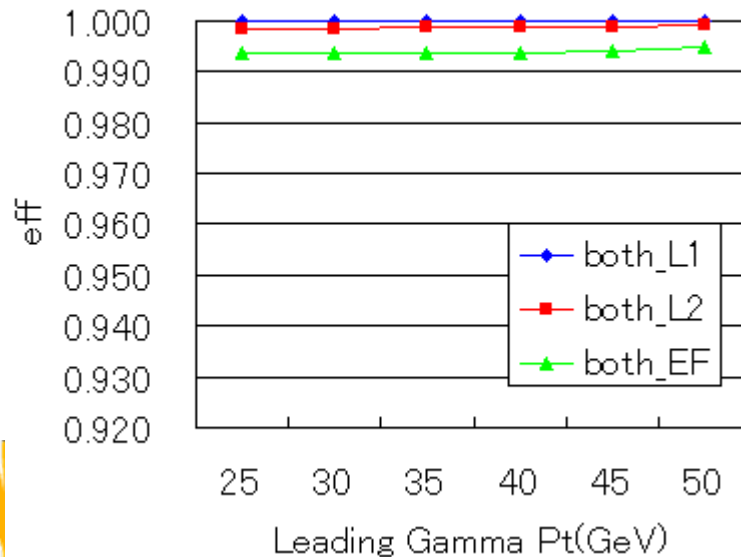
Trigger efficiency



Trigger efficiency



Trigger efficiency



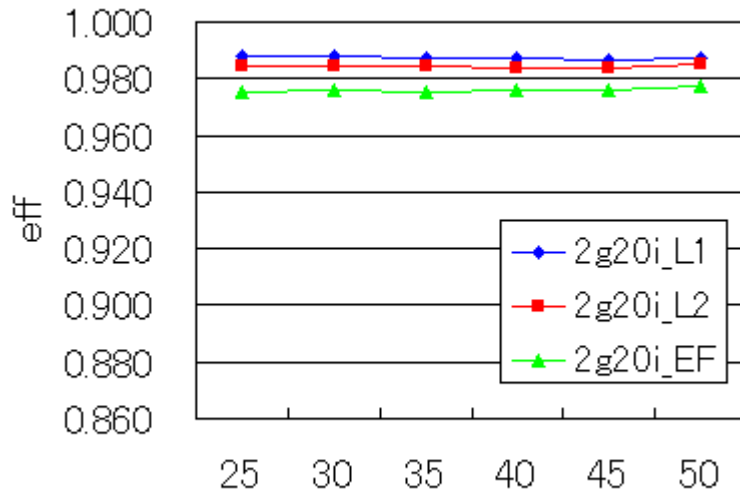
- 2g20iのみで約96.5%。
- g60を入れれば、99%以上。
  - VBF解析では入れても問題ないが、まだ十分に研究されていない。
  - > 次ページの懸念事項



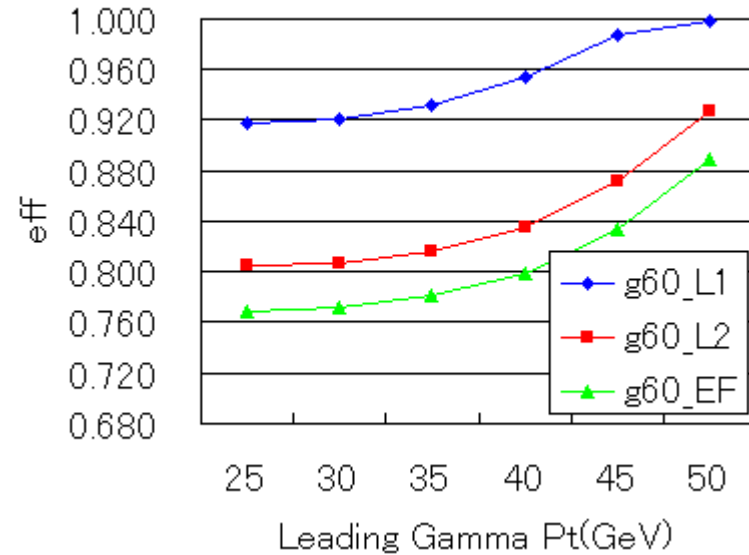


# GF process

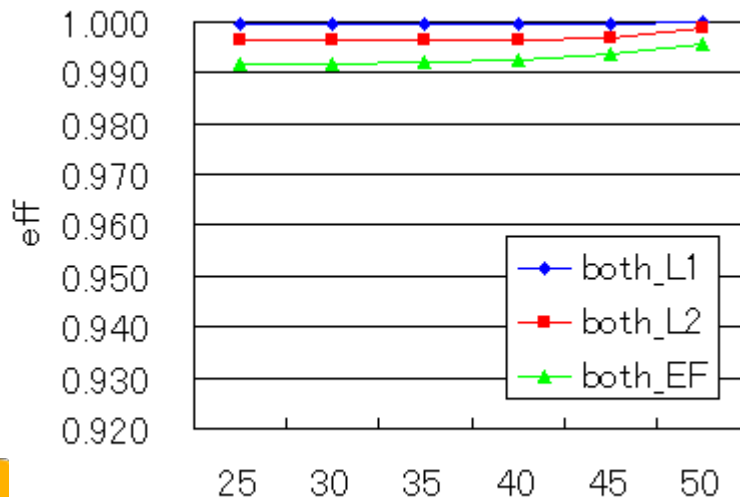
Trigger efficiency



Trigger efficiency



Trigger efficiency



- 2g20iで約97.5%。
- 少なくともinclusive searchでは $m(\gamma\gamma)$ のshapeに対するバイアスが2g20iとg60で異なることを懸念して、両方使う予定はない。





# Photon rec & calibration

- Offline解析のためのPhoton reconstruction
  - Sliding window (5x5)というアルゴリズムを用いて、クラスターを見つける。
    - 最終的に、サイズの異なる3種類のクラスター(3x7, 3x5 and 5x5)ができる。
      - 3x5(Barrel, un-converted)
      - 3x7(Barrel, converted)
      - 5x5(Endcap)
- Energy calibration
  - PhotonのEnergy calibrationはMCに依存する度合いが大きい。
    - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ は使えない。
      - Ptがそこそこ大きくなると(実際の解析ではPt>25GeVのPhotonを使う)、opening angleが小さくなりsingle gammaとして再構成できない。
    - 最終的な確認にはZ $\rightarrow ee\gamma$ を使う計画もある。
    - 本筋は、EM calorimeter energy calibrationはZ $\rightarrow ee$ を使ってelectronで評価する。Electronとgammaの差についてはMCを使う。
  - MCでのenergy calibrationはsingle electronとsingle photonをそれぞれ使って、constantを決定している。

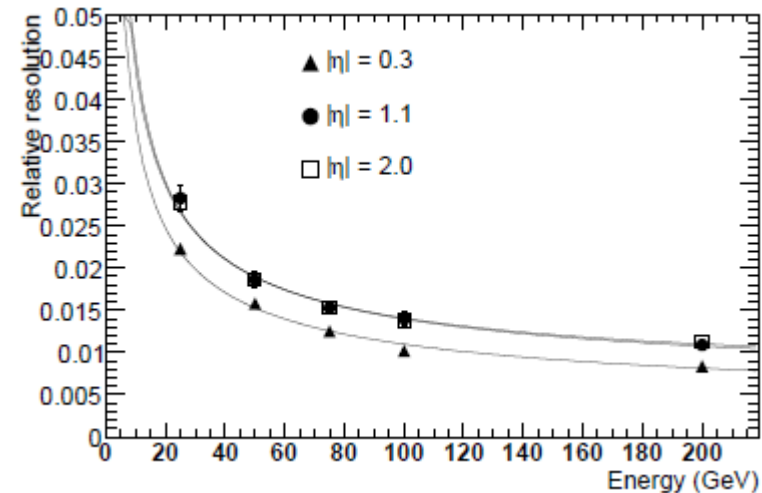
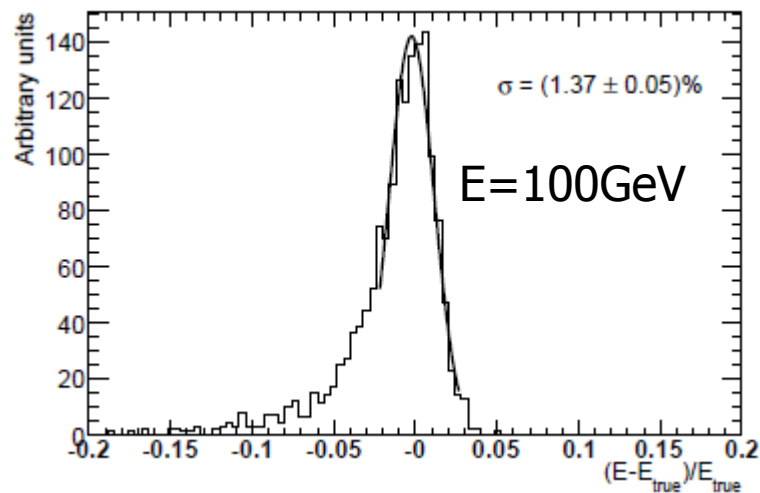




# Calibration 1/2

$$E = s(\eta)[c(\eta) + w_0(\eta) \cdot E_{PS} + E_{strips} + E_{middle} + w_3(\eta) \cdot E_{back}]$$

- $c(\eta)$  ... offset
- $w_0(\eta)$  ... EMの前にある物質に対する補正
- $w_3(\eta)$  ... leakageに対する補正
- $s(\eta)$  ... overall



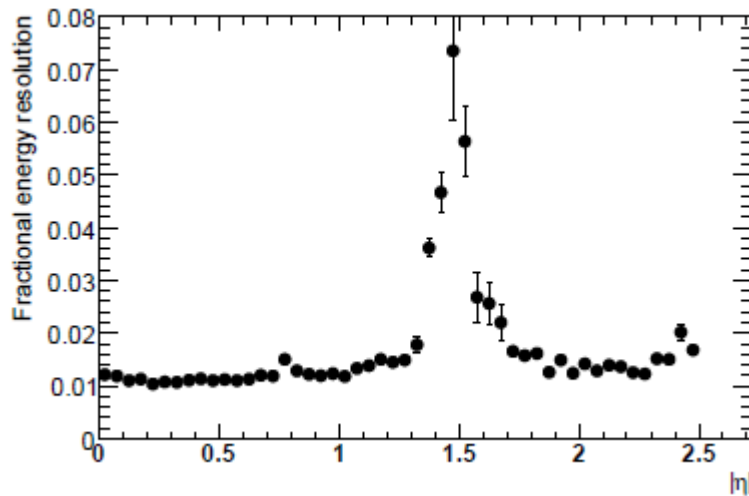
(including conversion)

1.5% @  $E \sim 100\text{GeV}$

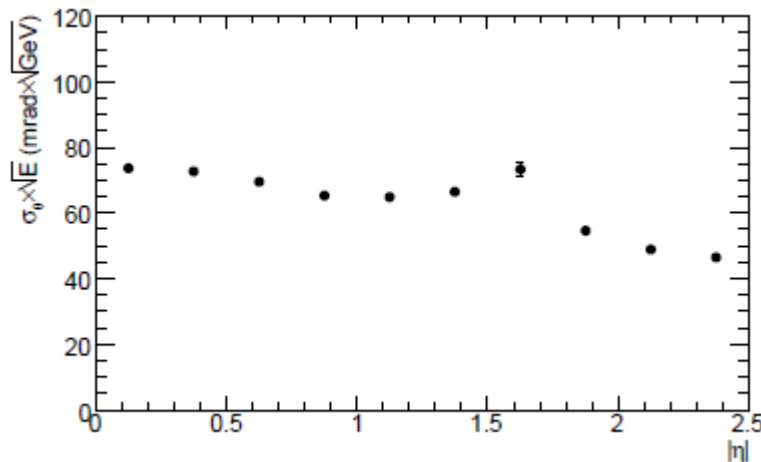




# Calibration 2/2



- E=100GeVのPhotonのEnergy resolution vs eta
  - いわゆる crack region が悪い。
  - > 実際、1.37-1.52は解析で使っていない。

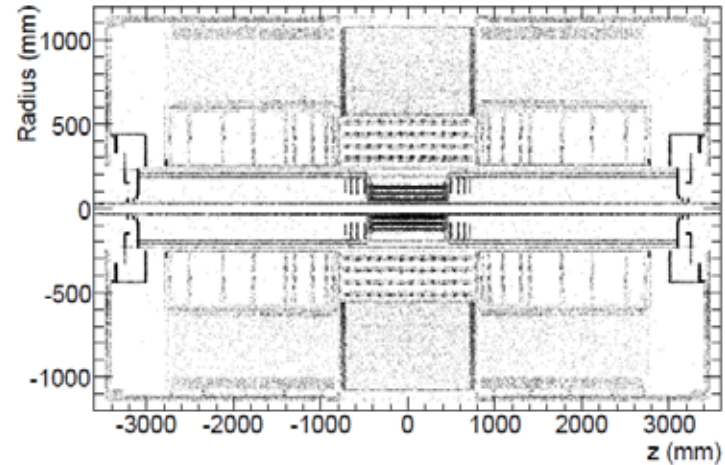
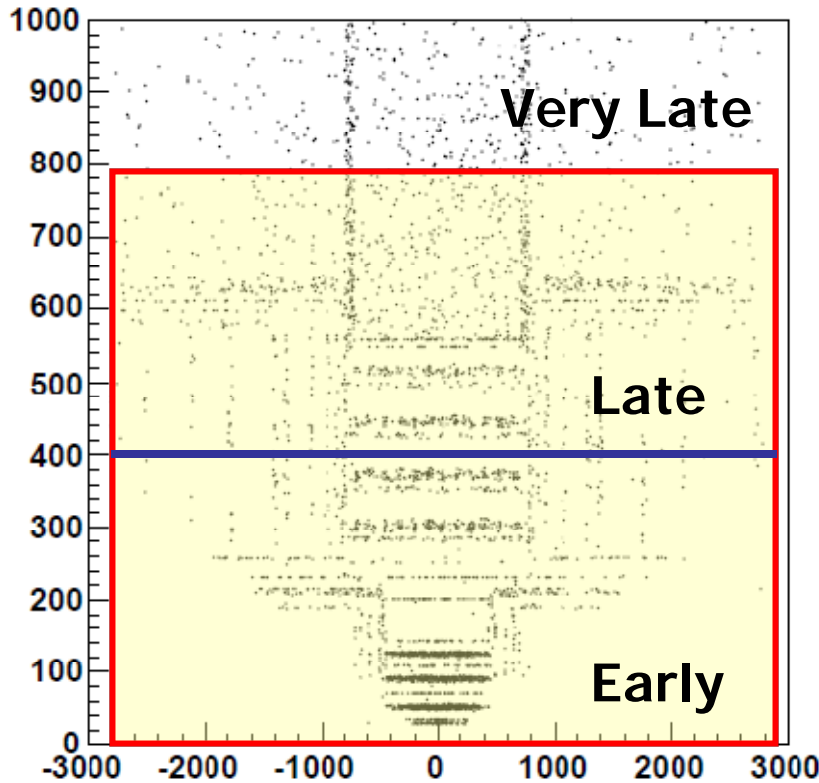


- Expected precision on the polar angle of gammas from  $H \rightarrow \gamma\gamma$ 
  - 50-75mrad /  $\sqrt{E_{\gamma}}$ (GeV)





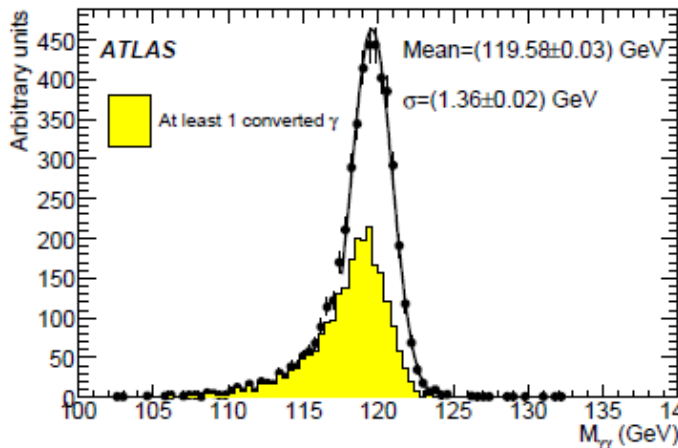
# Conversion



- Border : R=40cm, 80cm, Z=280cm  
-> 3 regions : Early, Late, Very Late

Non converted	62.0%	-
Early	16.0%	42.1%
Late	10.9%	28.6%
Very Late	11.1%	29.3%

Pt(truth)>20GeV, |eta(truth)|<2.5 (w/o 1.37-1.52)

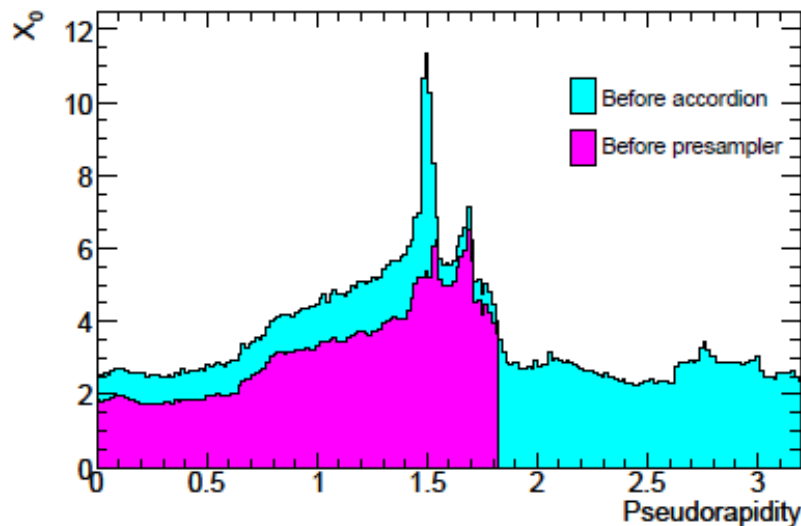
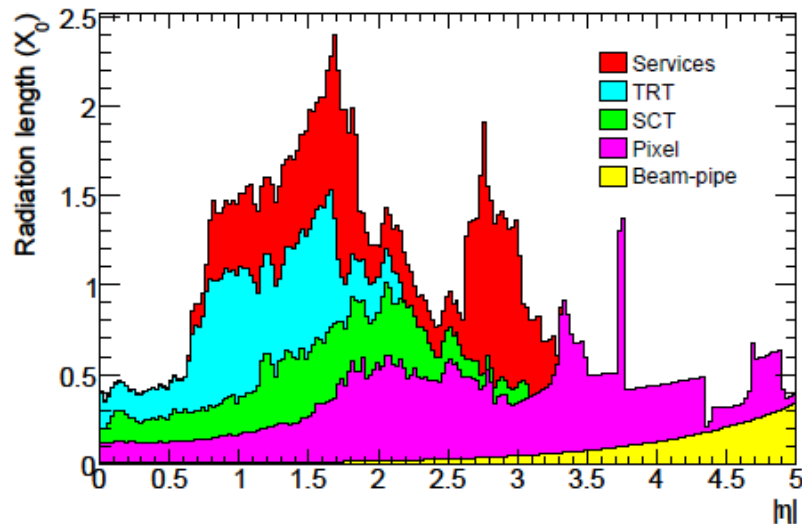


“Un-converted” pairはたった約40%!!!





# Radiation Length before EM



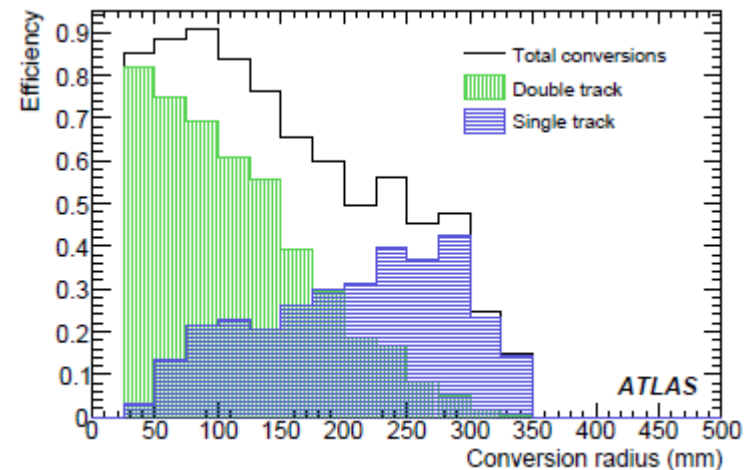
- ID (Inner Detector = Pixel, SCT and TRT) までで  $0.5-2.5X_0$  の物質がある。
- Magnet を考えるとさらにプラス約  $1X_0$  。
- Conversion したかどうか判断できるのは Tracking 可能な TRT まで。
  - ATLAS では TRT only、あるいは、TRT ベースの Tracking は開発・テスト段階。したがって、現段階では Late conversion を識別することはできない。





# Conversion Recovery

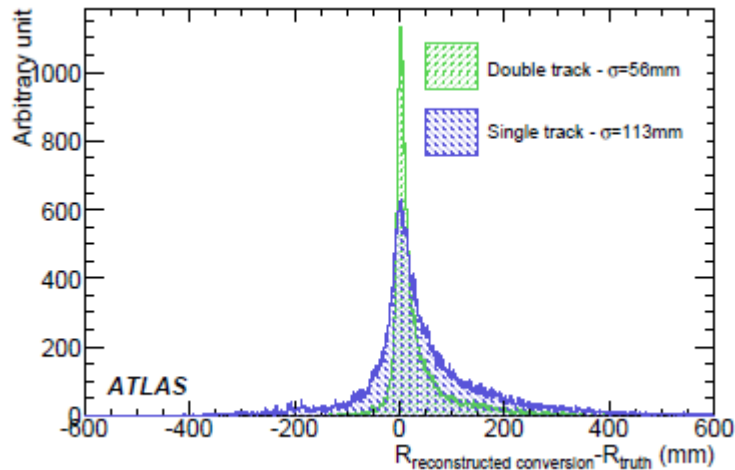
- 2種類: Double track conversion & Single track conversion
- Double track conversionは2つのreconstructed trackを使ってconverted photonを再構成すること。
  - Effは約42%だが、もともと再構成された2本のトラックがないことがineffの原因。
- Single track conversionは2つのうち1つだけが再構成された場合を想定したアルゴリズム; EM clusterとassociateするが、B-layer(Pixel 1層目)にヒットがないことを要求する。比較的Conversion radiusが大きいところまで有効。(eff~25%)
- 1つのEM Clusterに複数のrecovered conversionが対応した場合、半径の小さい方を採用する。







# Conversion



- Conversion radiusのresolution

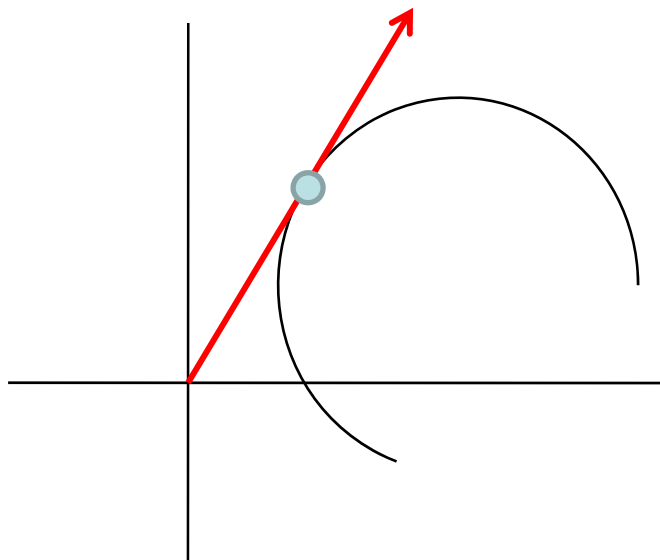
- Double track conversion

- $\sim 56\text{mm}$

- Single track conversion

- $\sim 113\text{mm}$

Primary vertexを向く方向までトラックを戻して、conversionの位置を決める。



- 再構成されたConversion radiusは外側にbiasされている。

- Opening angleがゼロのため、このようなvertex fitはかなり厳しい。

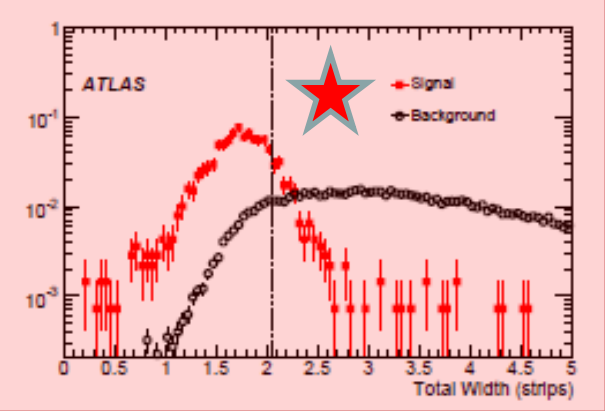
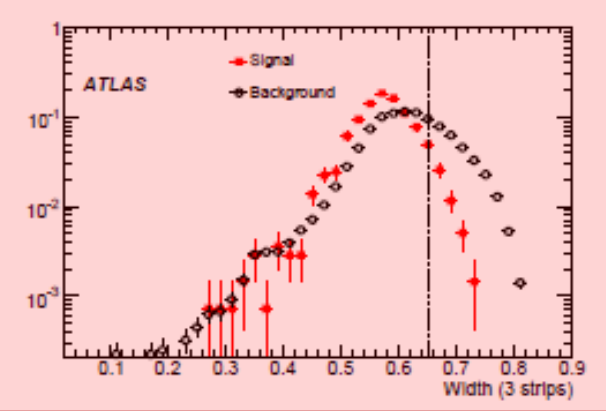
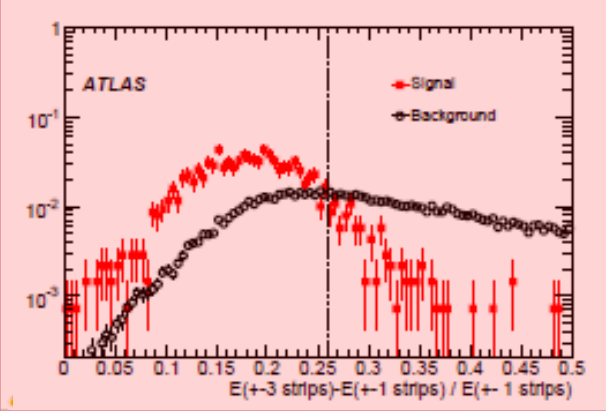
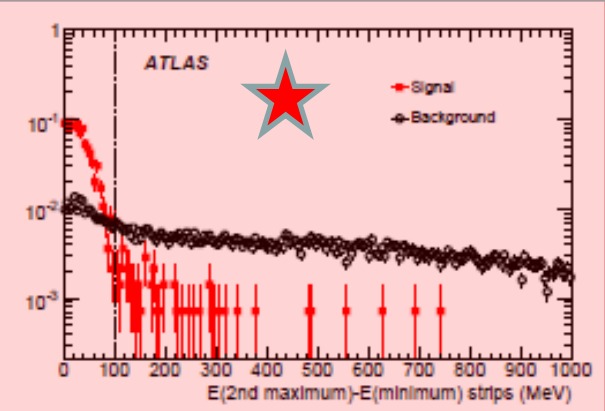
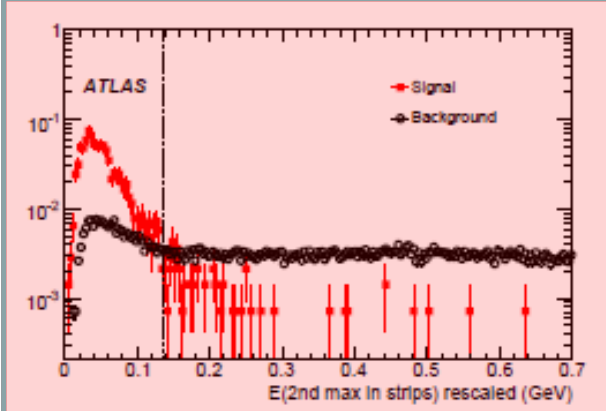
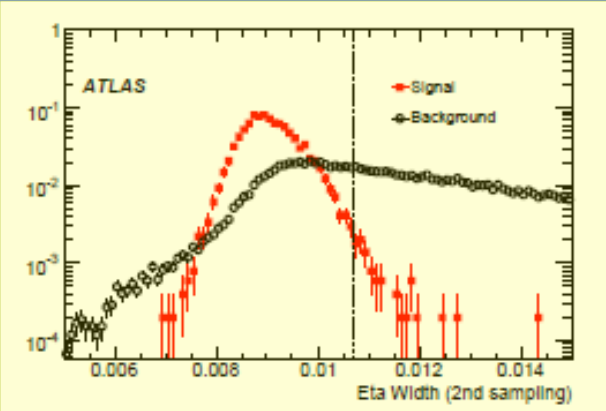
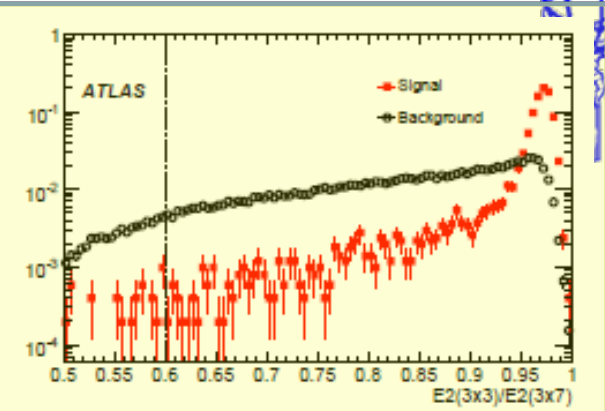
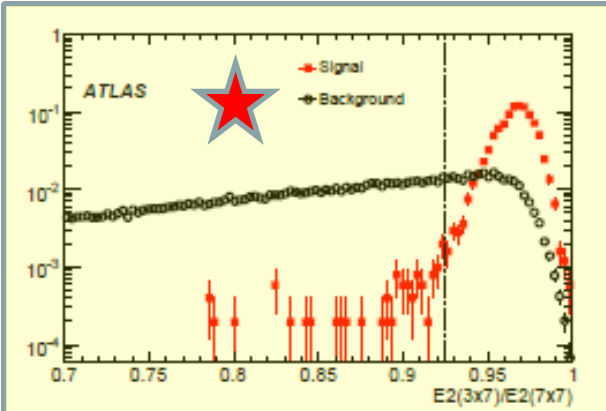
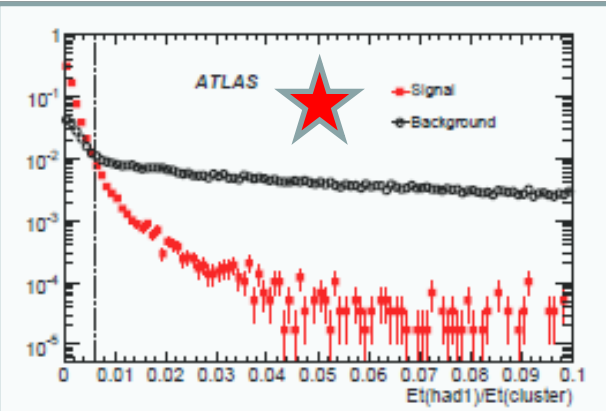
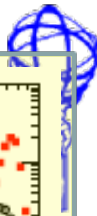


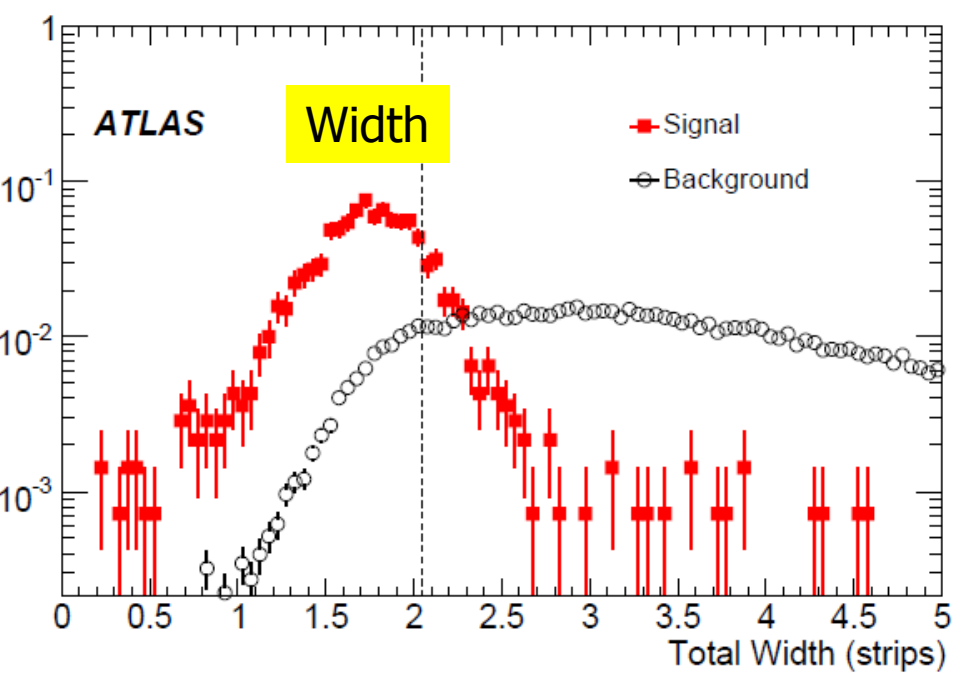
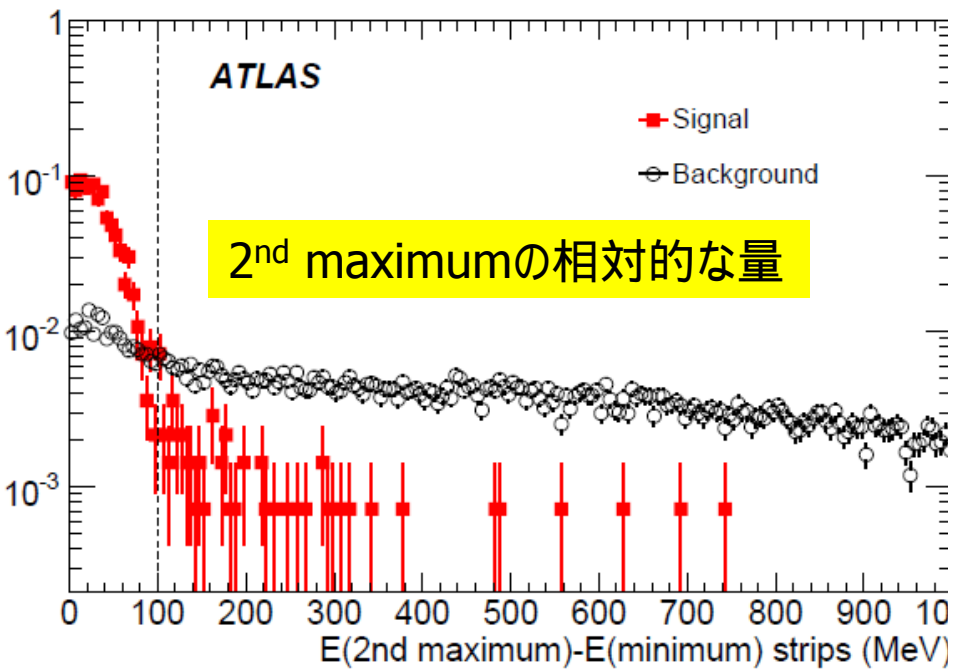
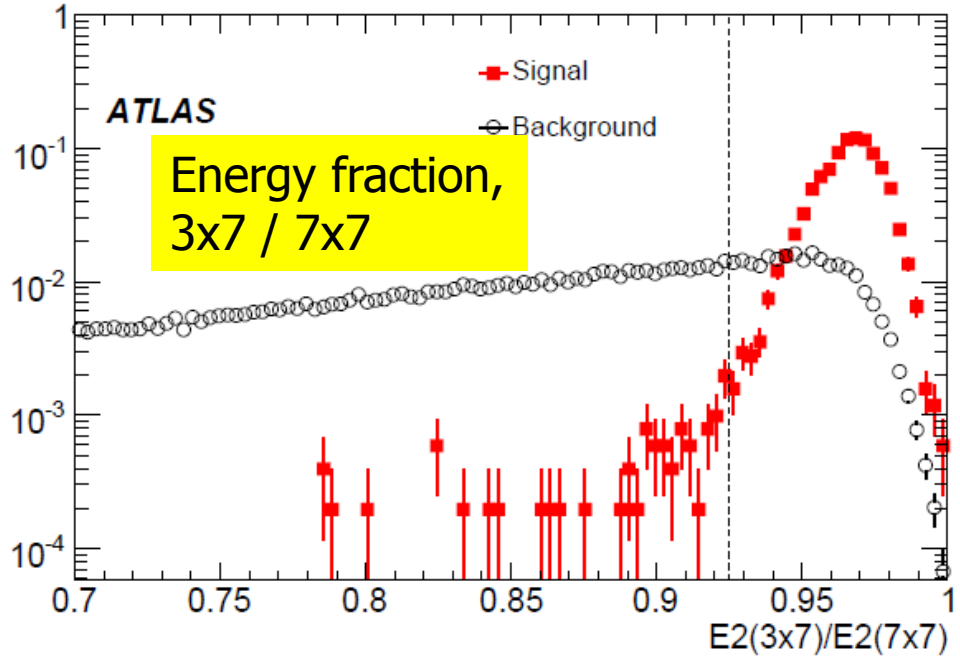
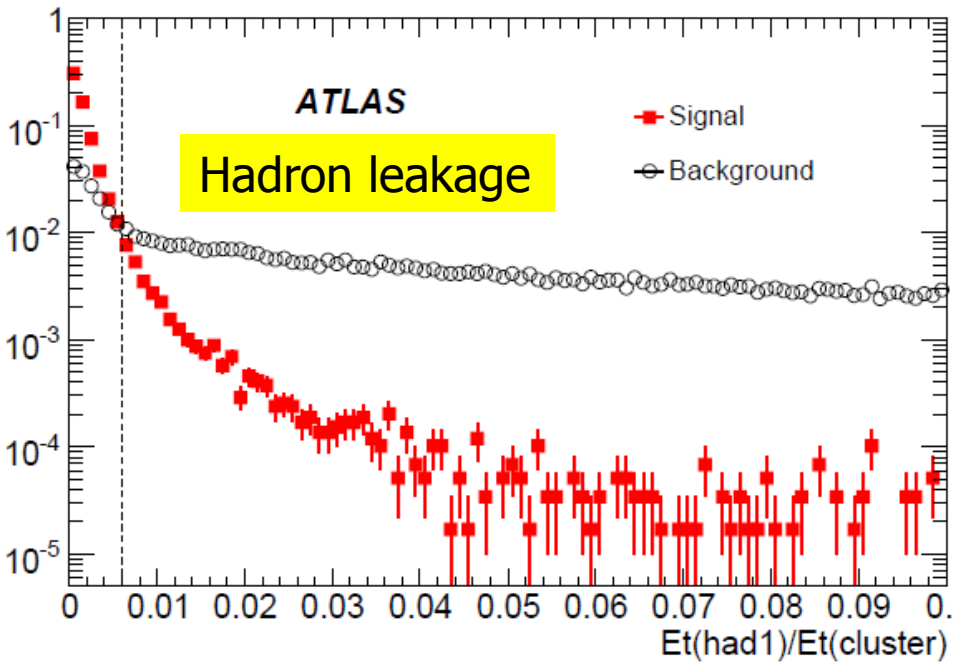


# Photon ID

- CalorimeterのShower Shapeがベース。これにTrack baseのisolationを加えて最終的な"IDed photon"を選択する。
  - トリガーのEFでも同じShower Shape変数を利用している。
- Shower shape変数 ... 合計9変数
  - Hadron leakage ... 後ろ側への漏れ, 1変数
  - 2<sup>nd</sup> layer of EM (bulk) ... 集中度, 3変数
    - 3x7/7x7, 3x3/3x7 (後者はゆるめ for conversion)
    - Eta方向のwidth
  - 1<sup>st</sup> layer of EM (strip layer) ... 細かいeta( $\sim 0.003$ )を利用して $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ の分離と2<sup>nd</sup> layerと同様に集中度 ... 5変数
    - 2<sup>nd</sup> maximumなstripを探して、そのエネルギーが大きいとreject.
    - Eta方向のwidth

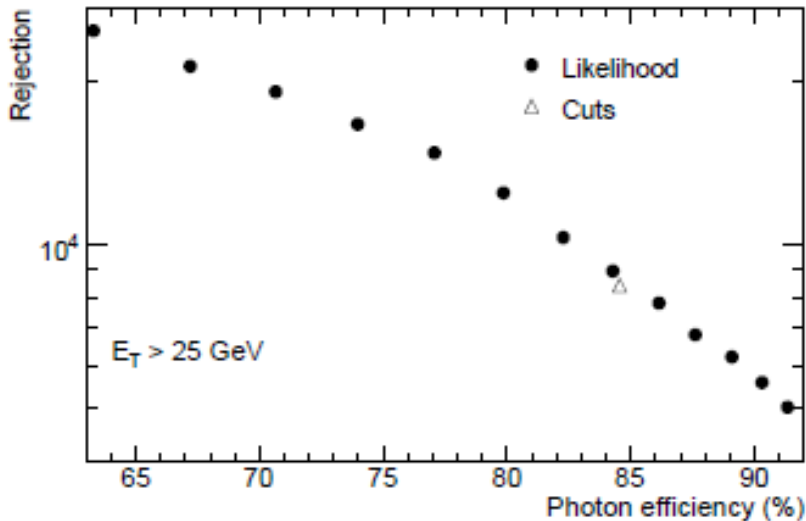
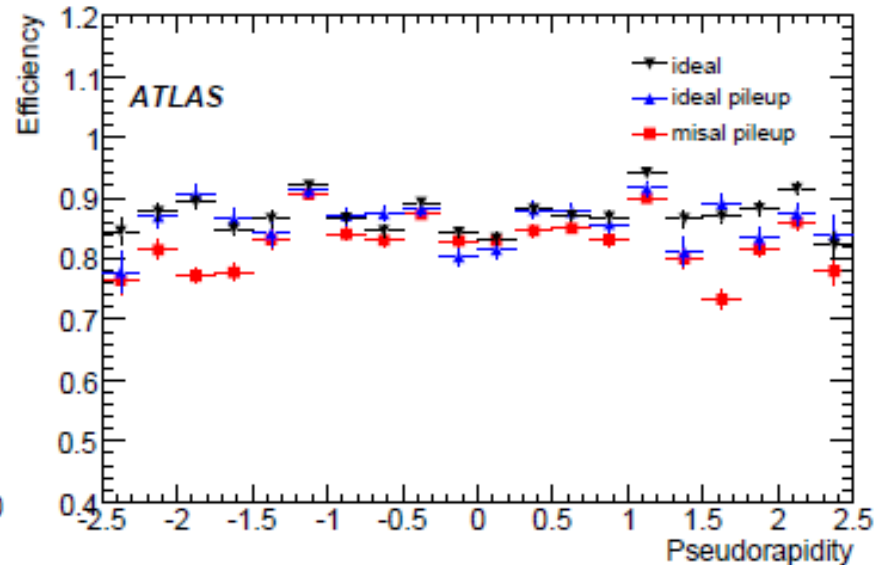
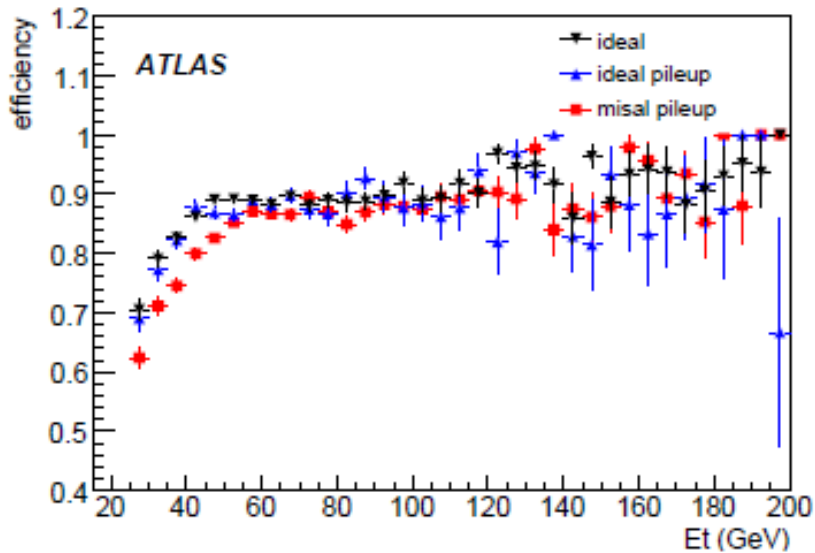








# Photon ID



- 9変数を使ったCutベースが標準的なID方法。Un-converted/convert photon共に同じ変数、カットを利用している。
- $H \rightarrow \gamma\gamma$  (gf+VBF)の $\gamma$ を利用してeffを算出。Pt>25GeVのPhotonに対して約84%。
- 同様の変数+ $\alpha$ を用いたLikelihoodもあり。





# Track isolation & Fake rate

- Track isolation
  - Calorimeter isolationが不人気(いろいろあったが、それ以前に。。。)
  - 簡単にいえば、  
「Cluster中心から $\Delta R < 0.3$ にある $Pt > 1\text{ GeV}$ のreconstructed tracksのPtの和が $4\text{ GeV}$ 以下になるべし」、という条件
    - 実際はconversionはずし等を行っている。
  - Signalに対しては $\text{eff} = 98\%$ 。Fakeは以下の表。
- Fake rate or reject
  - ジェットがphotonと誤認識される割合。たとえば、Reject=100はfake rate=0.01(逆数)と同じで、100ジェットあれば1ジェットはPhotonとIDされる性能を示す。
  - ジェットの起源がquarkかgluonかで結果が約10倍異なる。

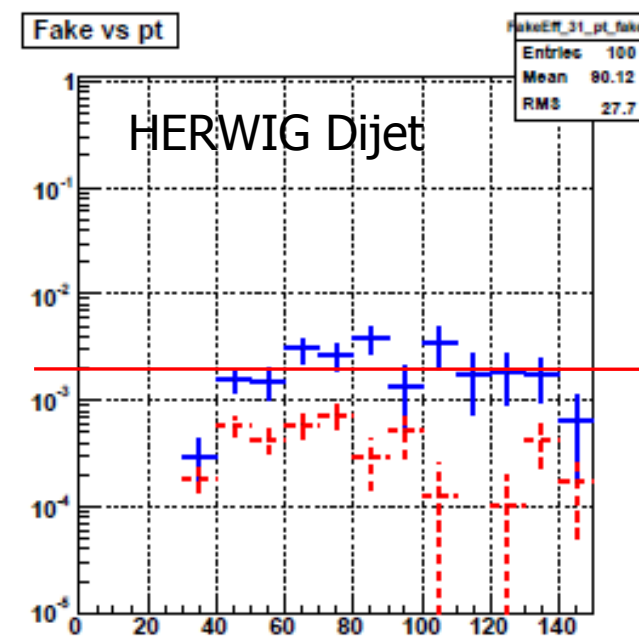
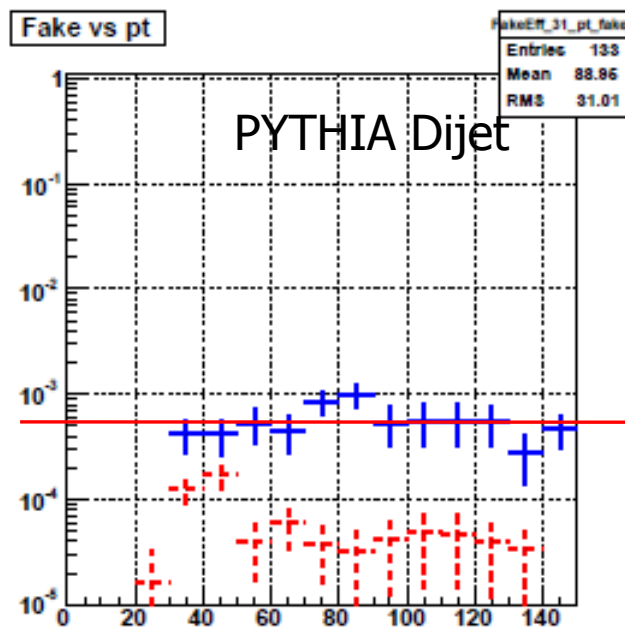
Selection cuts	$E_T > 25\text{ GeV}$		$E_T > 40\text{ GeV}$	
	Quark jets	Gluon jets	Quark jets	Gluon jets
Before isolation	$1770 \pm 50$	$15000 \pm 700$	$1610 \pm 100$	$15000 \pm 1600$
After isolation	$2760 \pm 100$	$27500 \pm 2000$	$2900 \pm 240$	$28000 \pm 4000$





# Fragmentationの効果

- BLUE points (= fake rate) (赤は無視してください。)
  - 同じDijetでもPYTHIAとHERWIGでFake rateの結果が有意に異なる。
- This is a result from quark-origin jet.



- PYTHIA Dijet :  $\sim 5 \times 10^{-4}$
  - HEWEIG Dijet :  $\sim 2 \times 10^{-3}$
- (前ページの結果はPY.)

Fake rateにはかなりのsystematicsがある。  
-> データで評価する必要がある。



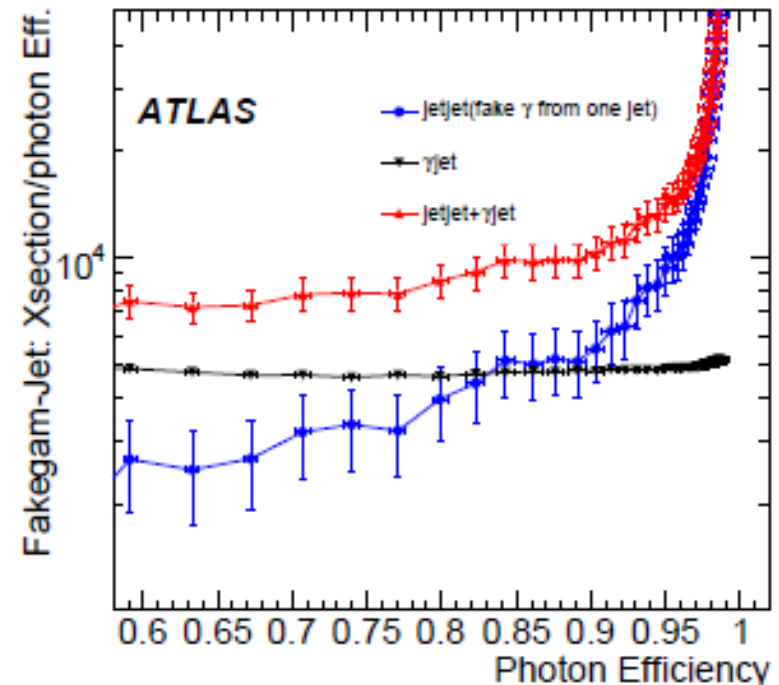


# Fake rate from the data (1)

- 実データでFake rateを評価する方法を2つほど紹介する。
  - 実際、“これ！”といったものがない。そもそもfake rateが $10^{-3}$ 以下になることもあって、数値的に実証するまでに至っていないのが現実。

## [提案1]

- Photon IDをtightにすると、Fake photonがほとんどなくなる。
- 右図でPhoton efficiencyを1→0となるように条件を厳しくすると、Fake photonの存在がなくなると黒線と赤線がほぼ重なる。(理想的には完全に。)(提案グループもeff→0.4, 0.3..とすればほぼそうなると言っているが...)
- また、実データで赤線が測定量。黒線は定数とすれば、上記の極限で求めることができる。したがって、青線を得ることができる。



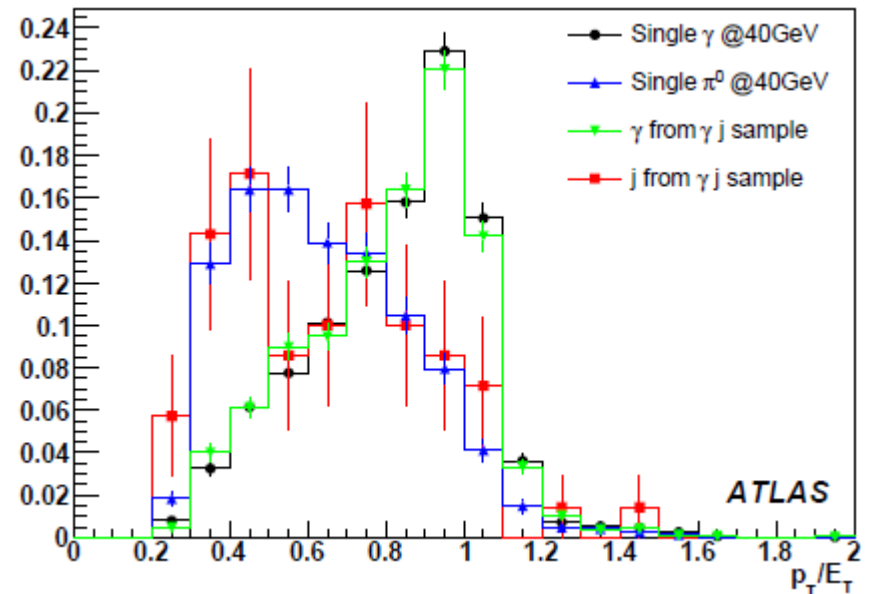




# Fake rate from the data (2)

## [提案2] conversionを利用

- IDされたconversionの中でphotonからのconversionか、それともjetからのconversionか、その混合比を出す。この比からPhoton全体でのFake rateを算出する。(アイデアの段階)
- 右図はTrack PtとCluster Ptの比の分布。
  - Photonからのconversionの場合、1に近い。
  - Jetからのconversionの場合、0.5付近。
- この2つの分布を測定した分布にフィットすることで、混合比を算出する。





# Other modes in SM

Basically, the target luminosity of these analysis is  $100\text{fb}^{-1}$  or more.

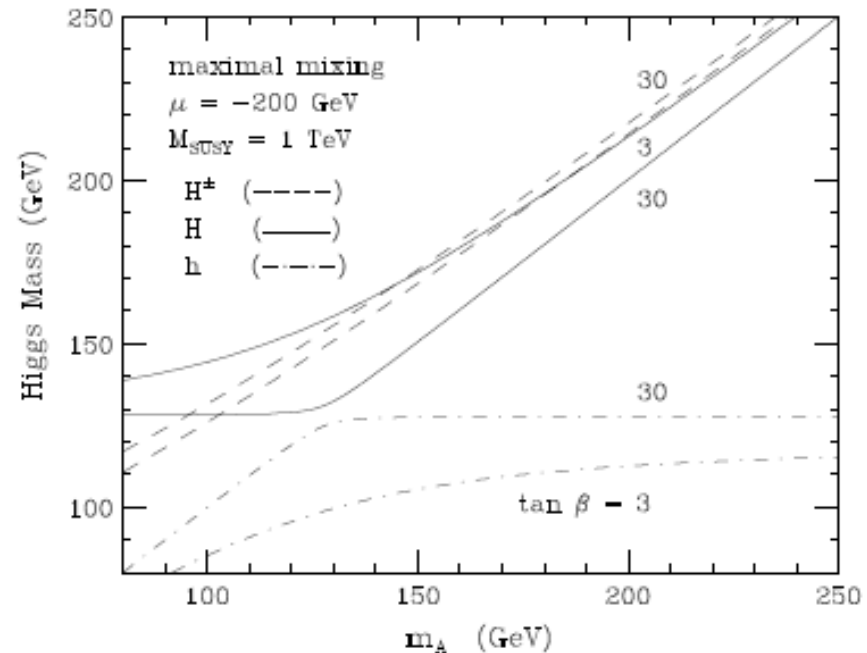
- Analysis for  $WH \rightarrow l\nu\gamma\gamma$ 
  - Topology = 2 photons, missing  $E_t$  and one lepton
    - 2 photons:  $>60\text{GeV}$  and  $>25\text{GeV}$
    - Missing  $E_t > 20\text{GeV}$
    - Lepton  $p_t > 20\text{GeV}$
- Analysis for  $ZH \rightarrow \nu\nu\gamma\gamma$ 
  - Topology = 2 photons and missing  $E_t$ 
    - 2 photons:  $>60\text{GeV}$  and  $>25\text{GeV}$
    - Missing  $E_t > 65\text{GeV}$
    - Use only non-converted gamma (to suppress  $W\gamma \rightarrow e\nu\gamma$ )
- Analysis for  $t\bar{t}H \rightarrow \gamma\gamma$ 
  - Topology = 2 photons + multijets
    - $\geq 4$  jets for semi-leptonic and  $\geq 6$  jets for hadronic channels.





# MSSM

- MSSM HiggsセクターはTree levelで $M_A$ と $\tan\beta$ で記述できる。
  - $M_{\text{susy}} = 1\text{TeV}$ を仮定する。
    - この場合、SUSY粒子がMSSM Higgsの崩壊に現れない。
  - $\tan\beta$ が大きい場合、 $M_A$ が大きくなるに従って、
    - $m_h \sim 130\text{GeV}$
    - $m_H \sim m_A$
    - MSSM  $h \sim \text{SM Higgs}$



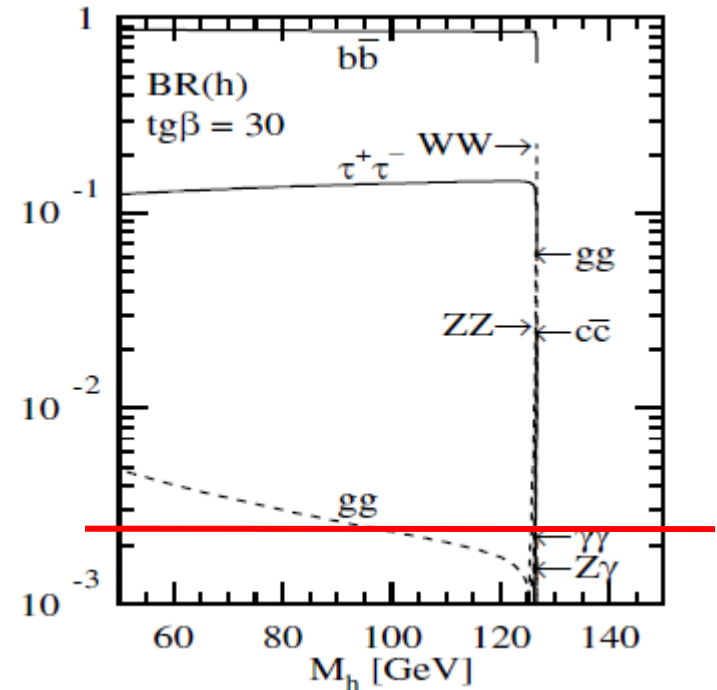
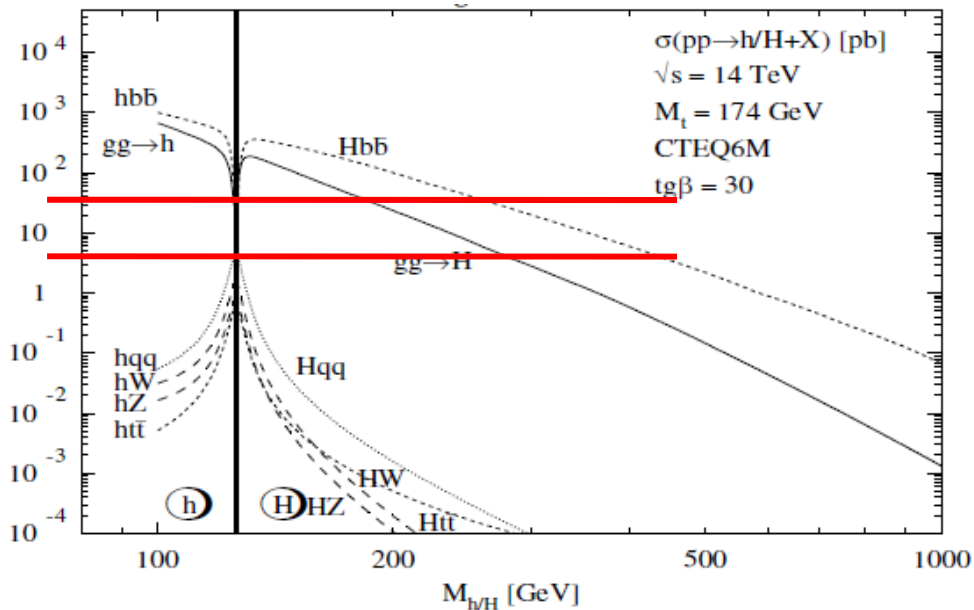


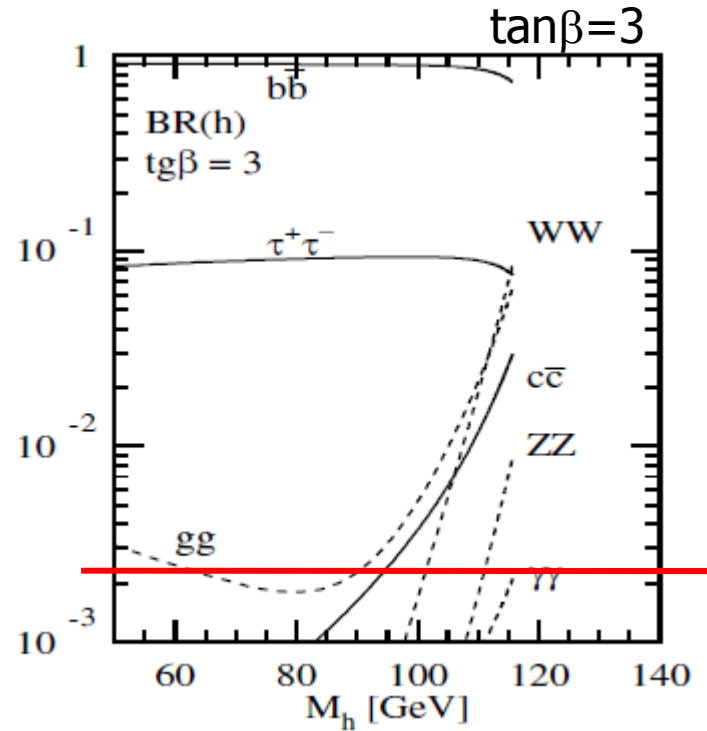
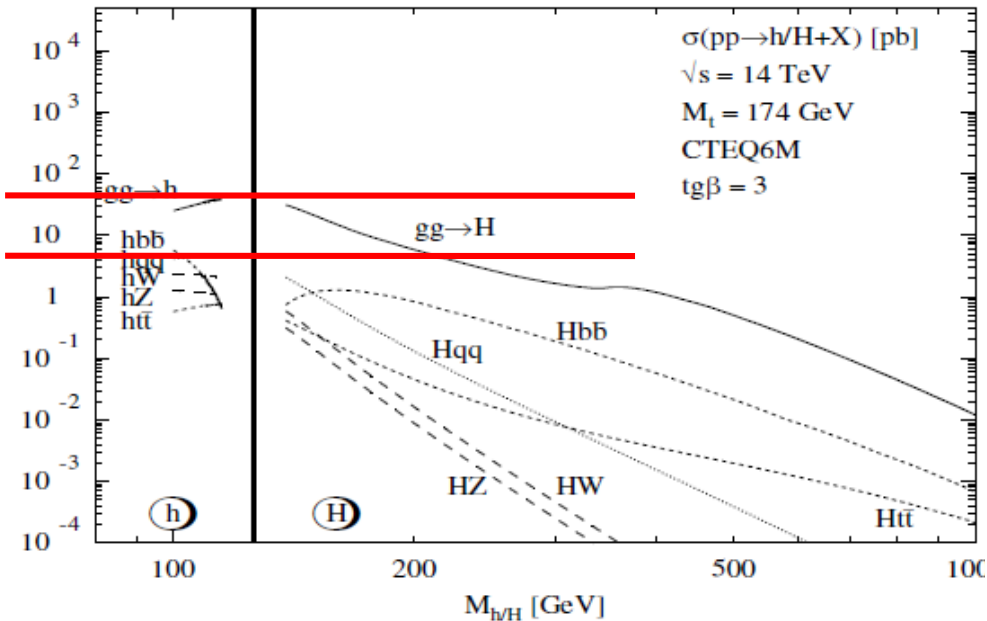
# MSSM

- $h/H/A \rightarrow \gamma\gamma$ 
  - 一般に“ $\sigma \times \text{BR}$ ”はSMと比較して小さくなる。
  - SM ( $m_h = 120 \text{ GeV}$ ) の場合、
    - $\sigma(\text{gluon fusion}) \sim 36 \text{ pb}$
    - $\sigma(\text{VBF}) \sim 4.5 \text{ pb}$
    - $\text{BR}(H \rightarrow gg) \sim 0.0022$

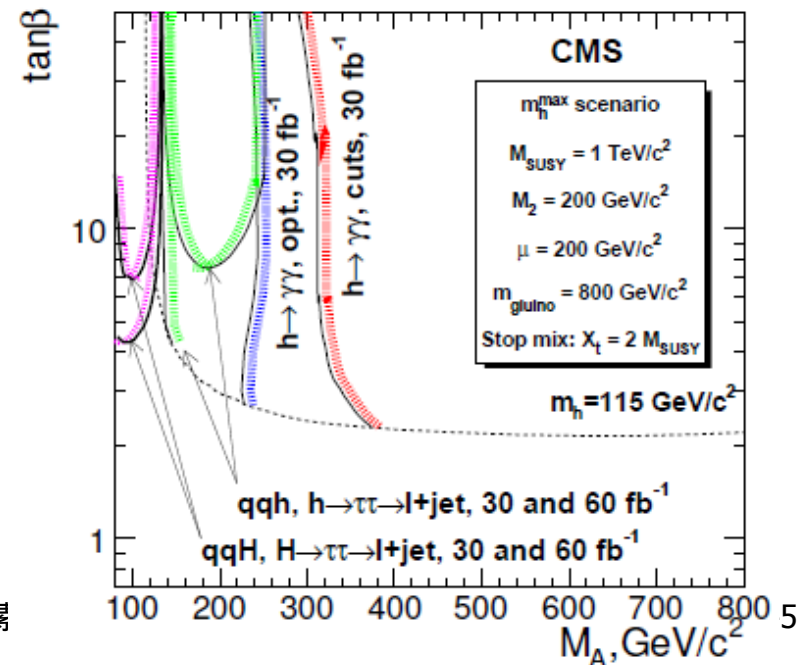
CMS Physics TDRより

$\tan\beta = 30$





- MSSMでも120GeV(前)後がベスト。
  - CMS result :  $m_A > 250\text{GeV}$   
つまり、 $m_h \sim 120\text{GeV}$
- ATLAS TDRには $A \rightarrow \gamma\gamma$ の結果もあるが、 $100\text{fb}^{-1}$ 以上のデータが必要。
  - High Pt gammaを要求(125GeV)





# まとめと予定

## [まとめ]

- 1年半の月日を経てようやくCSC noteが完成する。
- Inclusive searchが中心であるが、VBFやH+1jetも積極的に利用されるようになった。
- $10\text{fb}^{-1}$ で4 sigma程度は達成可能。(conservative)
  - Mass resolutionは $\sim 1.2\%$ 程度。

## [予定]

- Triggerが最終結果に与える影響についての詳細な研究が必要。
  - Isolationの再検討
- データからfake rateを算出する方法の確立。
  - Fragmentationのsystematic study
- CSC noteには間に合わなかったが、TRTベースのTracking(Back tracking)によるConversion recoveryの評価、Late conversion IDの性能評価。
- Pileupの効果の詳細研究。
- FW jet@VBF processの有効活用の研究。



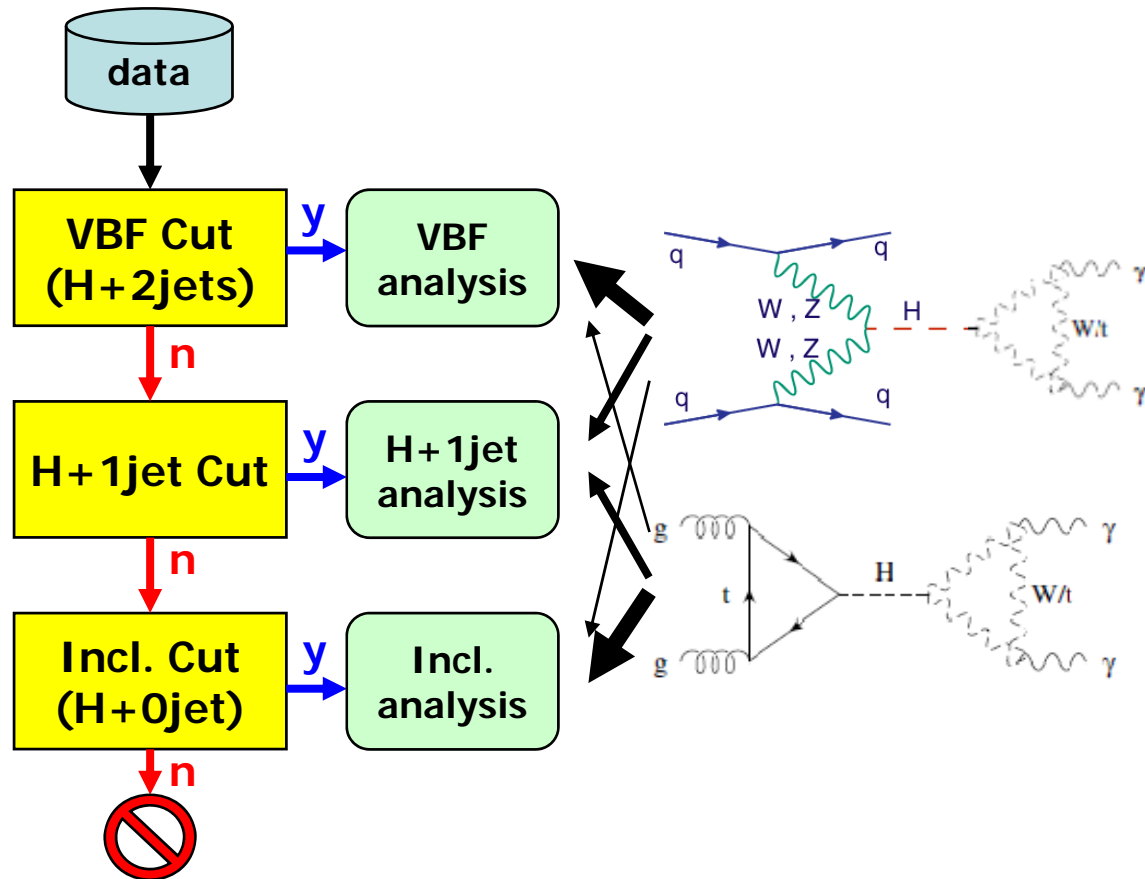


# backup





# Exclusive



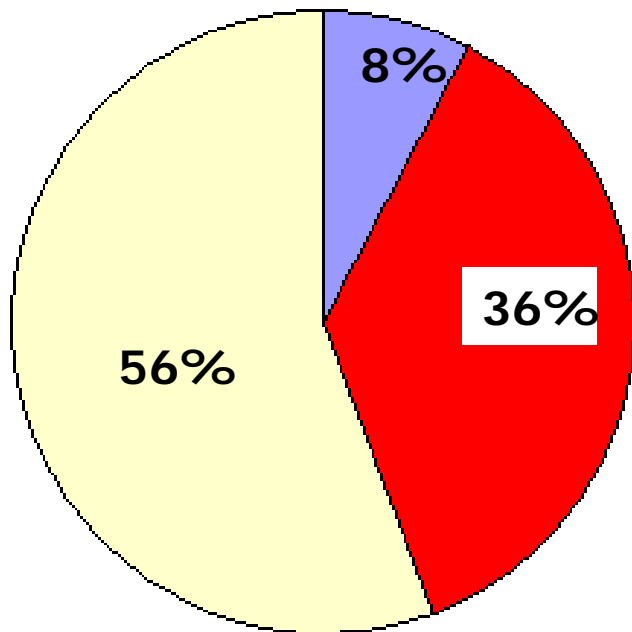




# Event Overlap (古い結果ですが。)

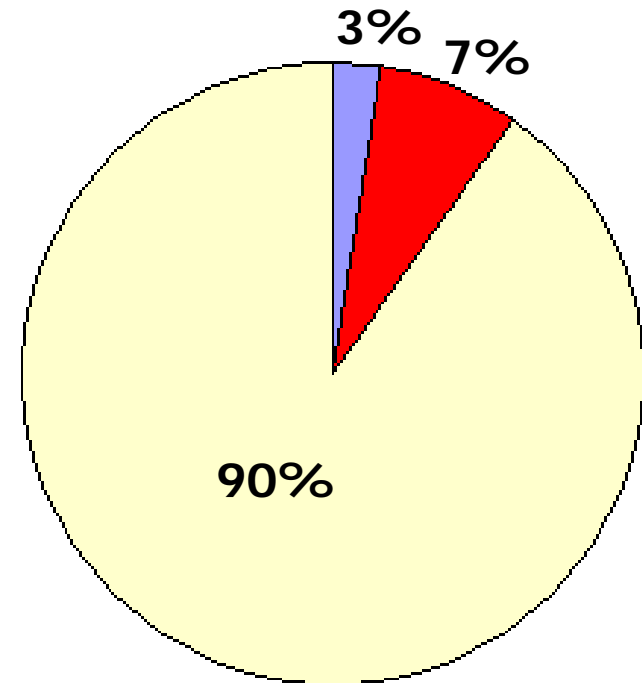
- We used all the events, which passes the cuts of VBF or H+1 to make the following figures.

VBF by Pythia62

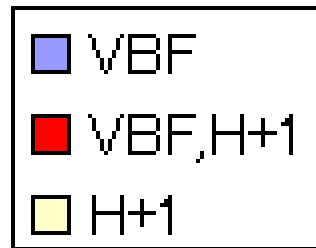


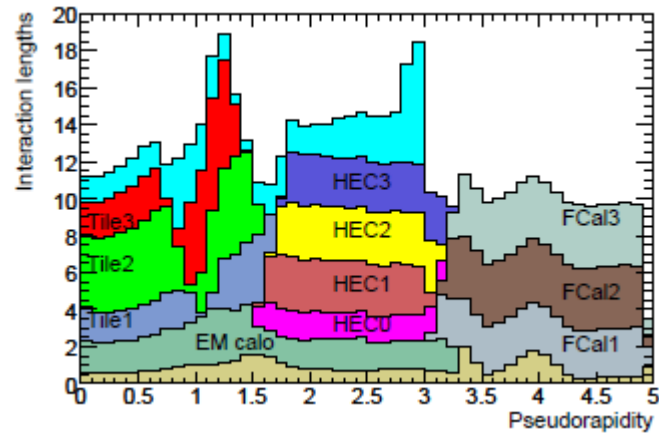
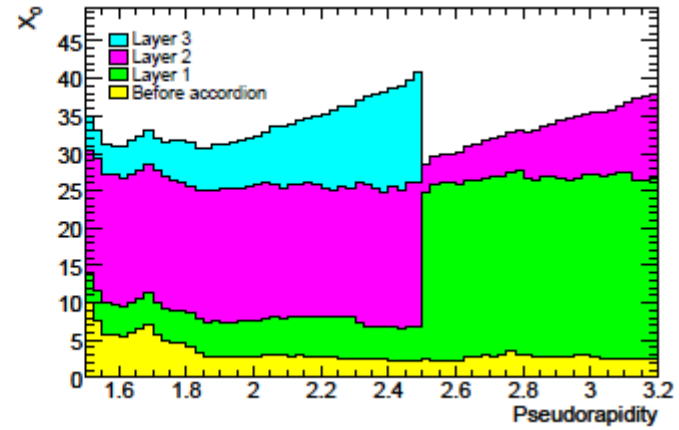
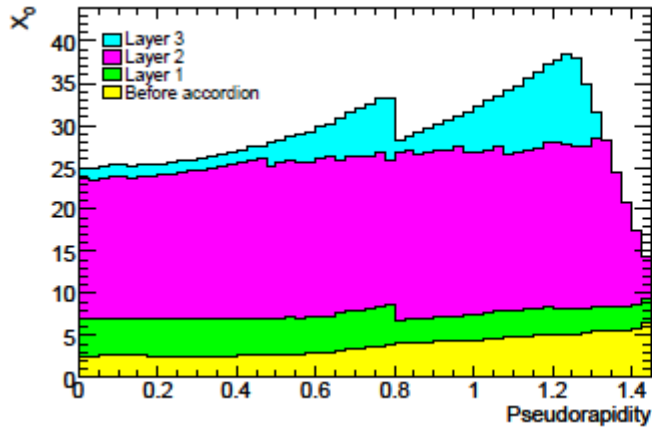
Overlap ~ 36%

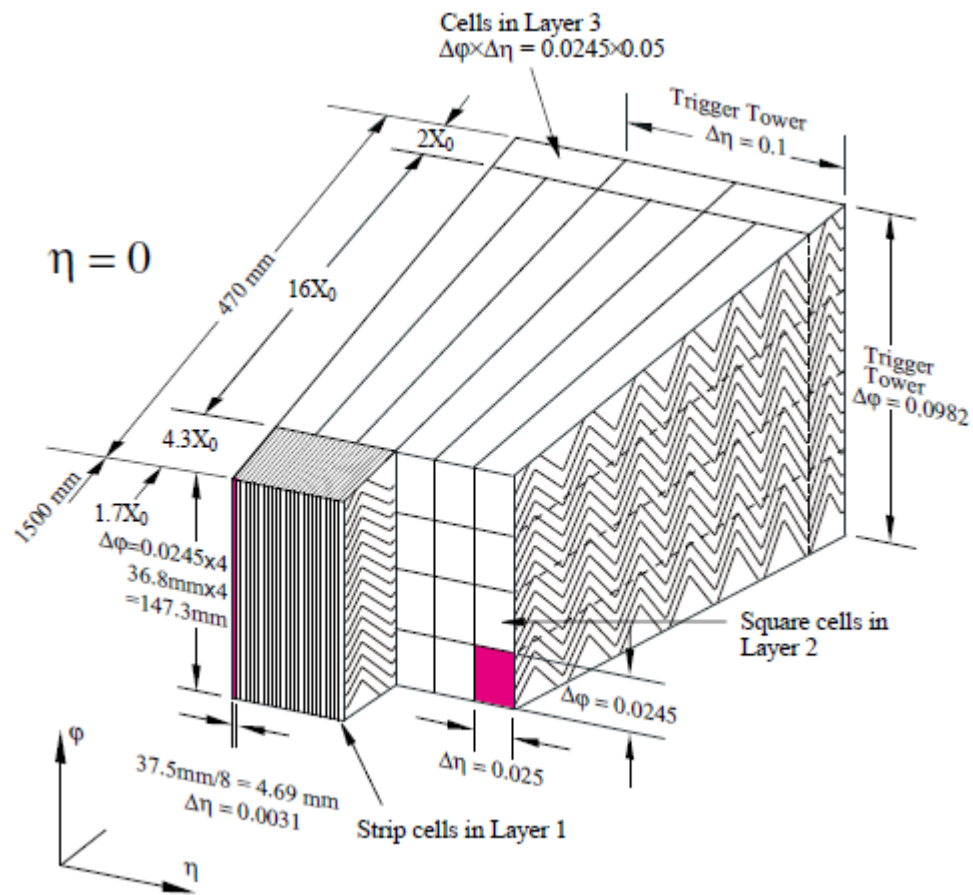
GF by MC@NLO



Overlap ~ 7%



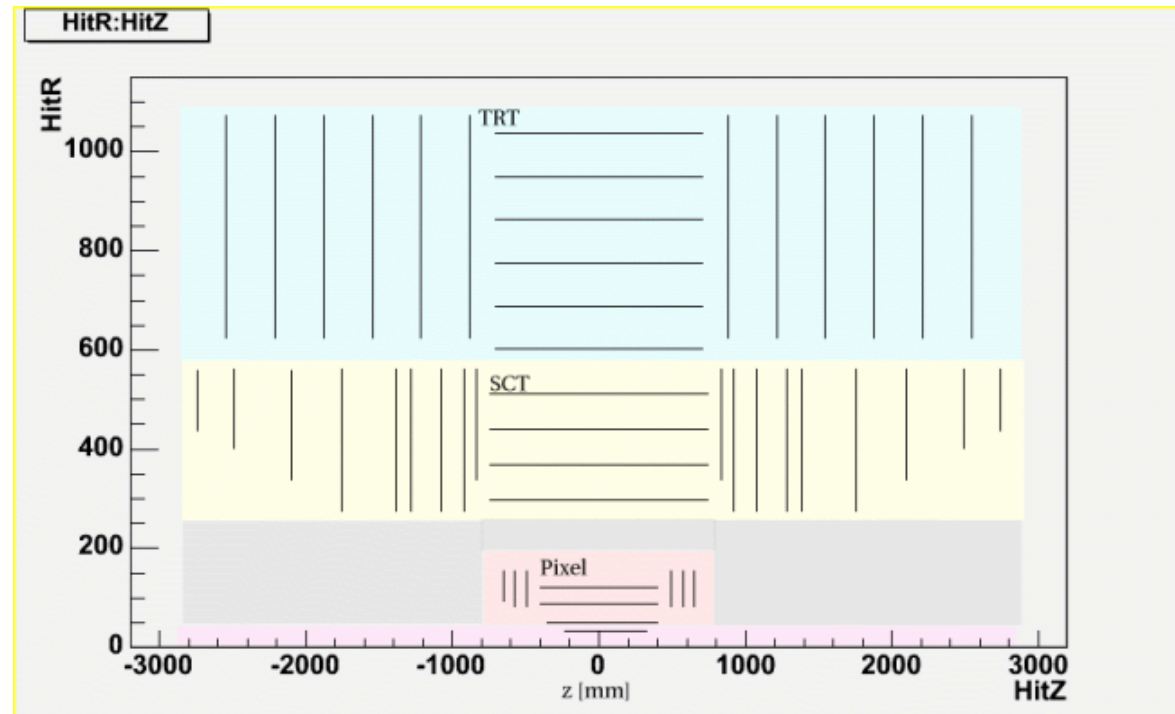






# ID位置情報 (これまた若干古いですが基本は同じ。)

- <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/InDetTrackingGeometry>
  - DC2 layout



- Radius seen at geometry database
  - beampipe 3.46cm
  - Pixel 5.05, 8.85, 12.25 cm
  - SCT 29.95, 37.1, 44.4, 51.4cm

