

# LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \ell\ell\ell\ell$ を用いたヒッグス粒子 の探索

森永真央、中村浩二<sup>A</sup>、田中純一<sup>A</sup>、浅井祥仁  
東京大理、東大素セ<sup>A</sup>

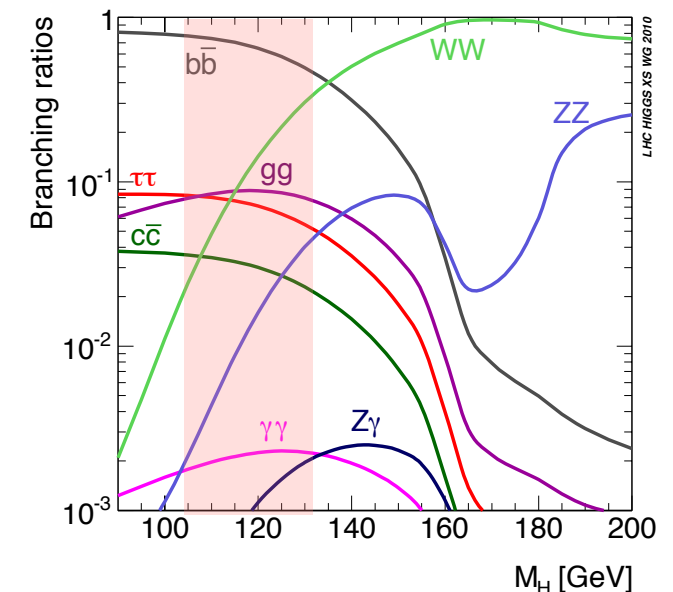
27aFA-11



# ヒッグス粒子と $\tau$ レプトン崩壊過程

- タウレプトン対に崩壊するチャンネルは軽い領域で最も観測可能な事象数が多い

- $H \rightarrow \tau\tau$  channel
  - lelep  $\sim 1/9$  (small BG) This Talk
  - lephad  $\sim 4/9$  (good sensitivity)
  - hadhad  $\sim 4/9$  (bad S/N ratio)
- タウ粒子の崩壊分岐比
  - $\tau \rightarrow \text{leptonic}(e, \mu) \sim 36\%$
  - $\tau \rightarrow \text{hadronic}(\pi, K's) \sim 64\%$
  - 1prong, 3prong



- ヒッグス粒子の生成過程、主に3process

- *associated production* ( $VH = ZH + WH$ )
  - 数が少ない, S/N  $\sim 1/150$
  - VBFに比べてsensitivityが悪い
  - Boosted Z/Wがhigh pT Jetsに崩壊するトポロジー
  - 今回解析チャンネルにapply

- *gluon-gluon fusion* (ggF)
  - 数が多い( $\sim 50$  events @ 5/fb)
  - S/N  $\sim 1/250$
  - 理論計算の不定性が大きい

- lelepチャンネルでは0,1,2jetについて解析した

- 本講演では主に

- 背景事象の見積もり (Fake) の導入
  - VH Boosted category の導入
- に絞って説明する

- *Vector Boson Fusion* (VBF)
  - 数が少ない( $\sim 5$  events @ 5/fb)
  - 圧倒的なS/N  $\sim 1/20$
  - forward方向の2 high pT jets

# 事象選択と背景事象

## Base Selection

- (1) GRL, Event Clean, Trigger, 2lepton with O.S.
- (2) **Z Veto**:  $30 < m_{LL} < 75, 100 \text{ GeV}$  for SF, DF
- (3) **Z & QCD suppress**:  $MET > 40, 20 \text{ GeV}$  for SF, DF
- (4) **Collinear**( $\tau$  event enhance):  $0.1 < X1, X2 < 1.0$
- (5) **Topological**:  $0.5 < \Delta\phi_{LL} < 2.5$
- (6) **Jet Tag**: 1<sup>st</sup> Jet  $p_T > 40 \text{ GeV}$ , 2<sup>nd</sup> Jet  $p_T > 25 \text{ GeV}$

## 2jet VH

- (7)  $\Delta\eta_{JJ} < 2.0$
- (8)  $50 < m_{JJ} < 120 \text{ GeV}$  ( $m_{W,Z}$ に近い)
- (9) **b-tag Veto**:  $p_T > 25 \text{ GeV}$ の全てのJetに対してVeto

others → 0jet, 1jet, VBF

## ● 主な背景事象

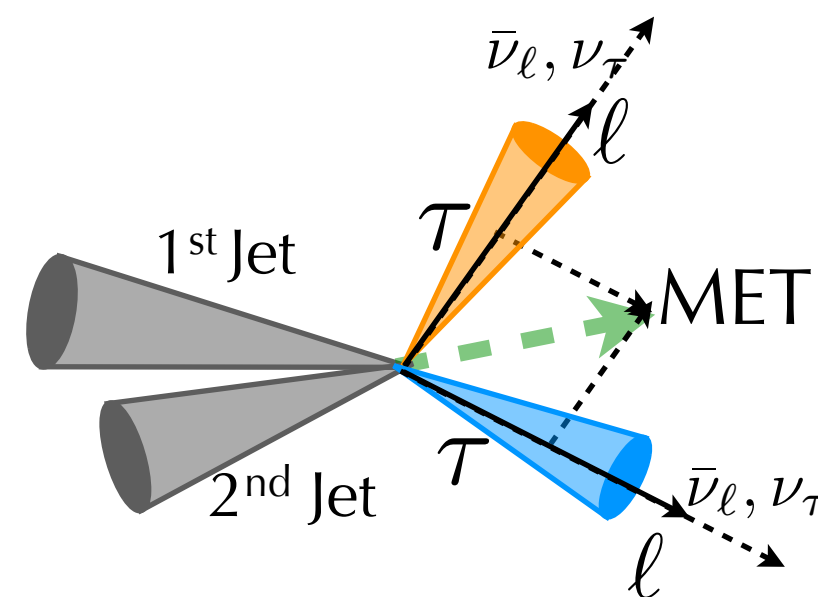
- $Z \rightarrow \tau\tau$ : 最も大きいBG、 $\tau$ 粒子は本物

### → Embedding Method

- $Z \rightarrow \mu\mu$  イベントで  $\mu \rightarrow \tau$  と置き換えシミュレーション
- Jet Energy Scale (JES) の不定性による系統誤差が減少
- lepton数の要求後、MCのイベント数に規格化

- $Z \rightarrow ee/\mu\mu$ : **Z Veto**で落とす, MET tailを補正
- $t\bar{t}$  (full leptonic): b-jetが特徴的、b-tagで落とす
- Diboson: WW, WZ, ZZのleptonic、寄与は小さい

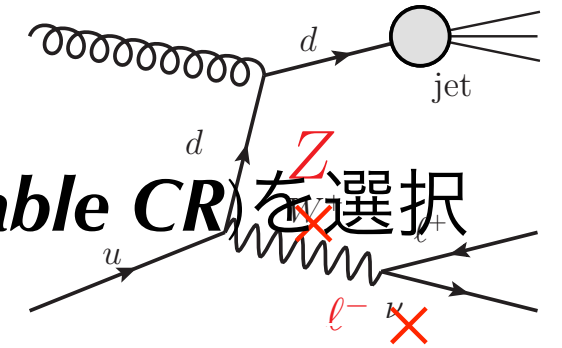
- **W+jets, QCD**: Jetがleptonにfakeしてしまう,
  - MCではジェネレータレベルの不定性が大きく困難



→ MCを用いて評価

→ **data driven**  
**(Fake Lepton method)**

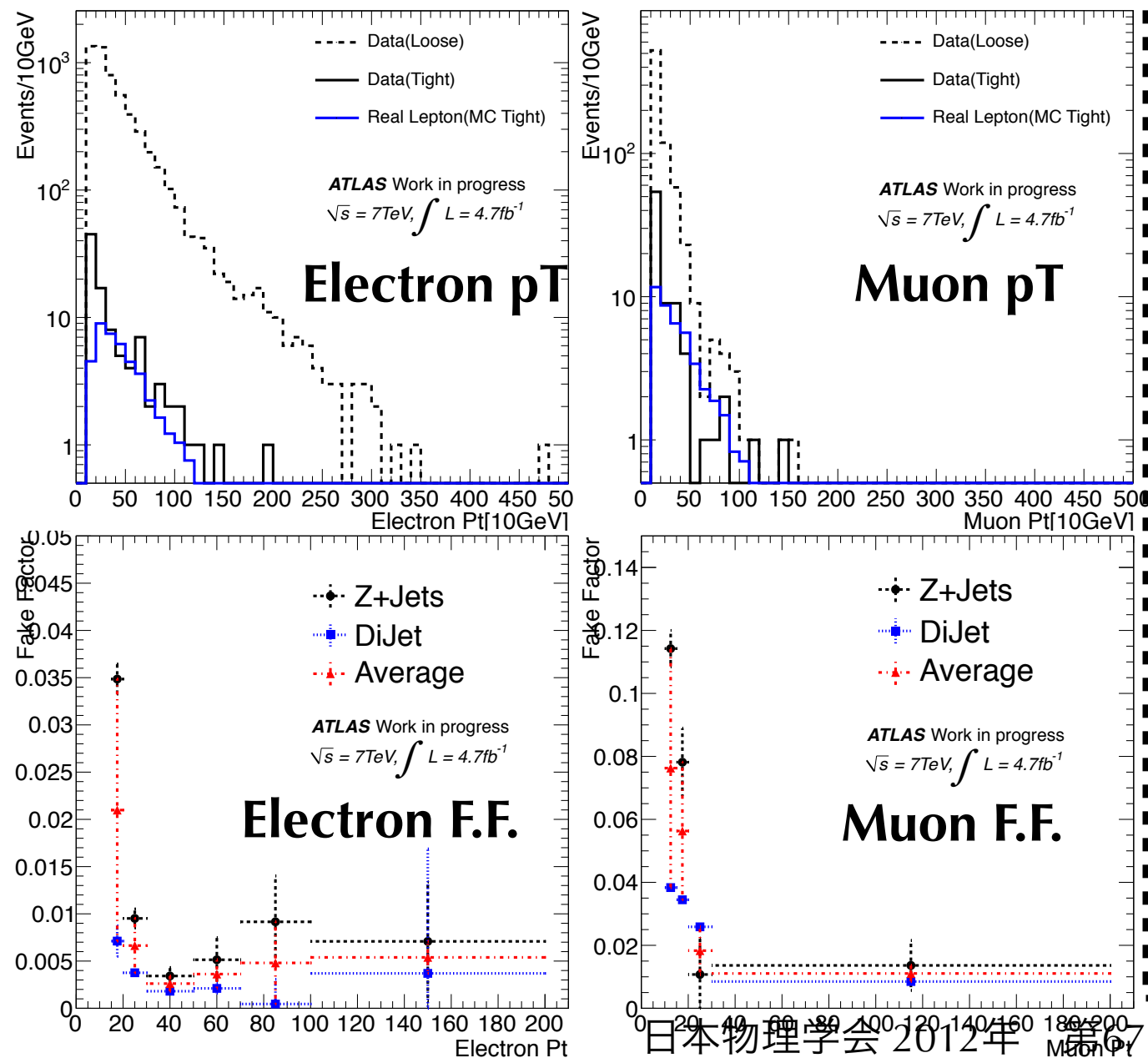
# Fake estimation



- データから **Tight+LNT(LooseNotTight)** leptonなイベント (**Fakable CR**) を選択
- Loose leptonはFakeをenhanceするカット
- Fake Factorを用いてFakable CRからSRにFakeイベントを外装

$$\text{Estimated Fake BG} = \frac{N_{\text{Tight}}}{N_{\text{LNT}}} \times N_{\text{Fakable CR}}$$

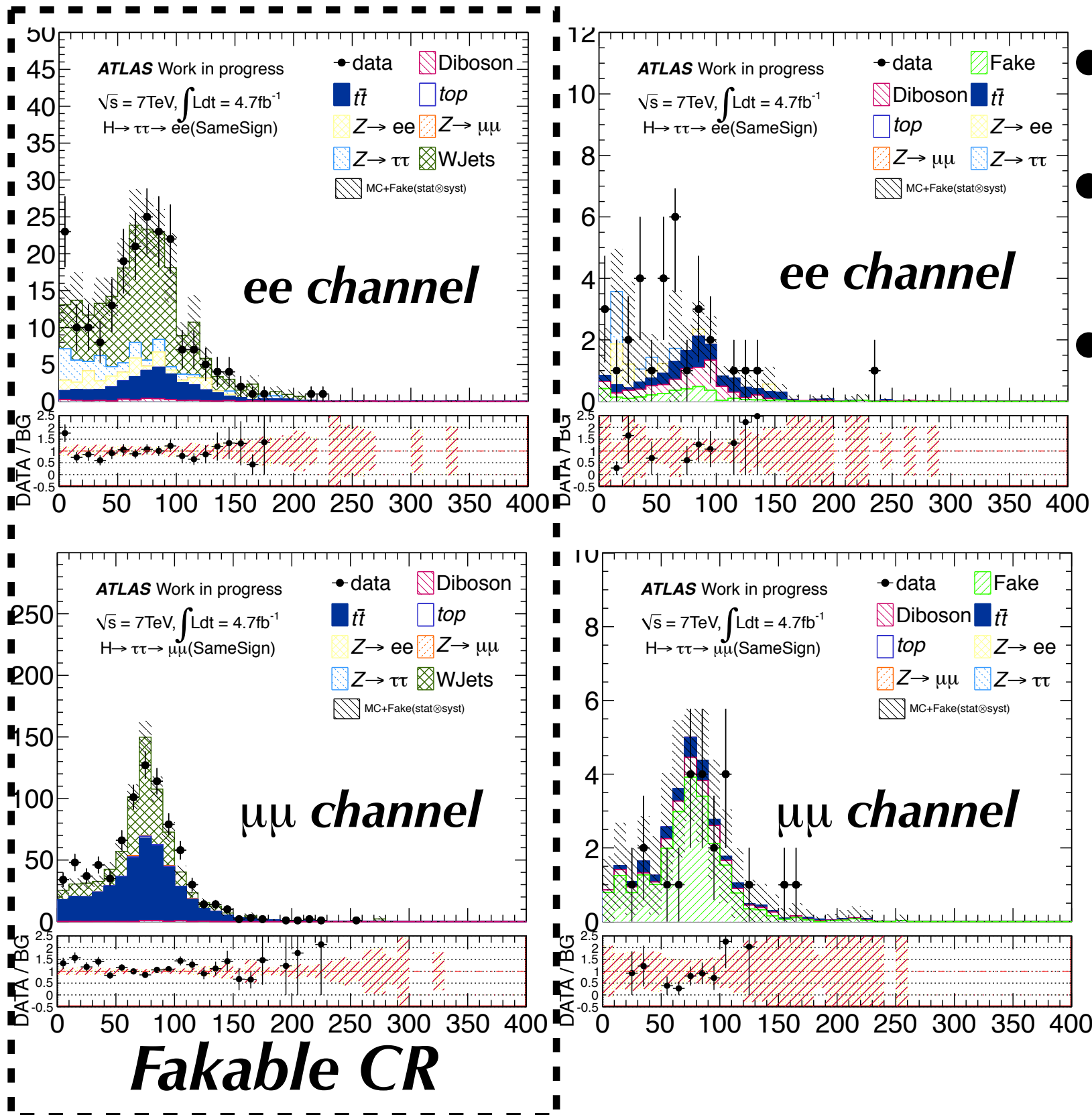
**Fake factor**



- Fake Factorは**Z+Jets**から見積もる
- **長所**: Zからのレプトンでtriggerをかけるためバイアスが少なく、W+Jetsイベントと似ているためより正確
- **短所**: 統計量が少なくdibosonのコンタミが残る
- **DiJet**からも見積もる
- **長所**: 高統計
- **短所**: trigger bias、run依存が大きい
- 統計があるならZ+Jets → electron
- 統計がないならDiJet → muon
- Z+Jetsとの差分を系統誤差に考慮

|          | Tight(MC) | Loose |
|----------|-----------|-------|
| Electron | 99(33.0)  | 5491  |
| Muon     | 82(33.2)  | 752   |

# Fake event check



- Same SignでのFakable CRでmethodの有効性をチェック
- SameSignはO.S.に比べEWバックグラウンドが相対的に小さい
- MET要求後の $m_T$ 分布
  - 緑網掛け部分がW+Jets
  - 黒点からW+Jets以外のEW BGのコンタミを差し引いてF.F.を適用
- Same Sign Fakable CRではW+Jetsを含めて再現

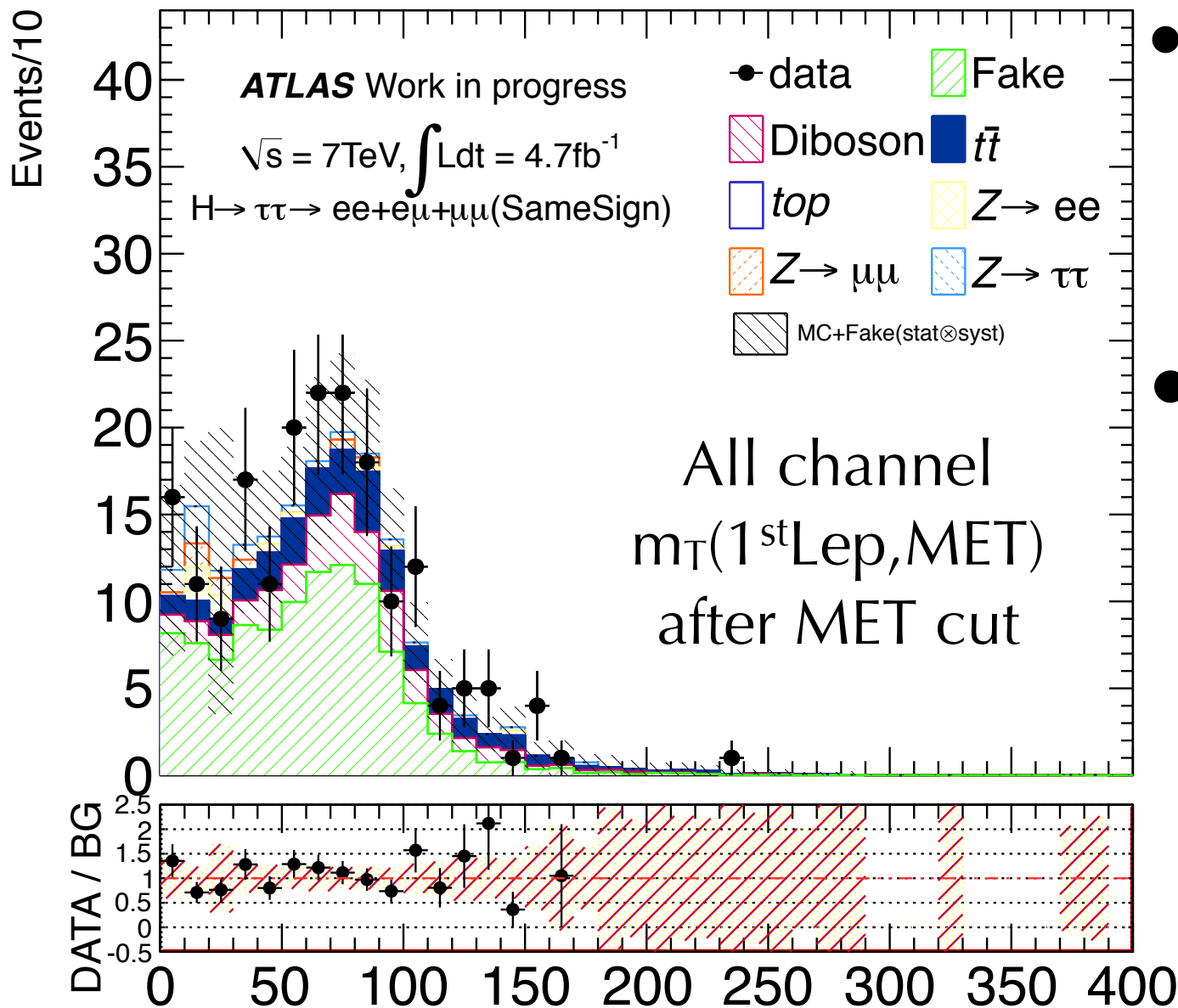
*Fakable Event (Tight+Loose)*

$\times F.F. =$

*Estimated Fake Events*

*Fakable EW BG (except W+Jets)*

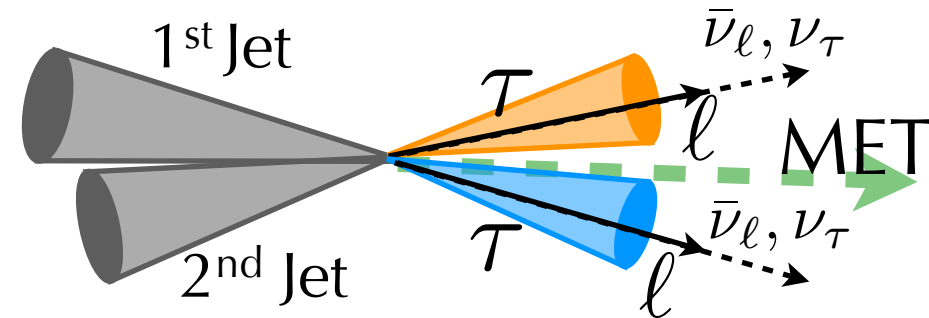
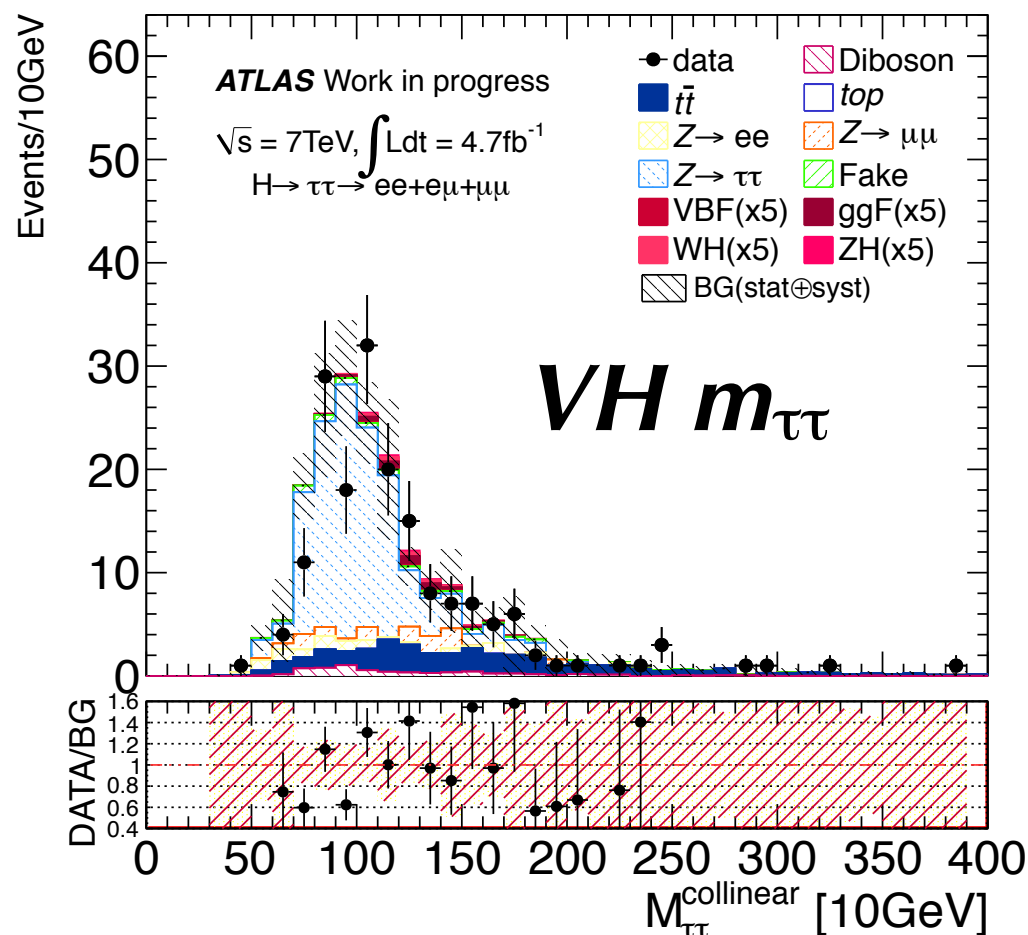
# Fake estimation summary



- Same SignでF.F. apply後、データを不定性の範囲で再現  
 ✓methodの有効性を確認
- 今後の課題
  - 統計が増えたらMuon F.F.をZ+Jetsイベントを用いて計算
  - quark jet, gluon jetに対する違いを系統誤差として考慮する
  - Loose leptonの定義のさらなる最適化

# VH Boosted category

- VH チャンネルはsensitivityが良くない( $S/N \sim 1/155$ )
- ヒッグス粒子やW/Zが**Boost**されているイベントを考える
  - W/ZがHigh  $p_T$  dijetに崩壊するイベント
  - dijet  $p_T$ がhigh  $p_T$ , low  $p_T$ の領域に分けてsignificanceを計算
  - discriminant parameterとしてPoisson significanceを用いた
  - Improvementが最大になる値でBoosted, Non Boosted categoryに分割



$$S_{\text{Poi}} = \sqrt{2((s+b) \ln(1 + \frac{s}{b}) - s)}$$

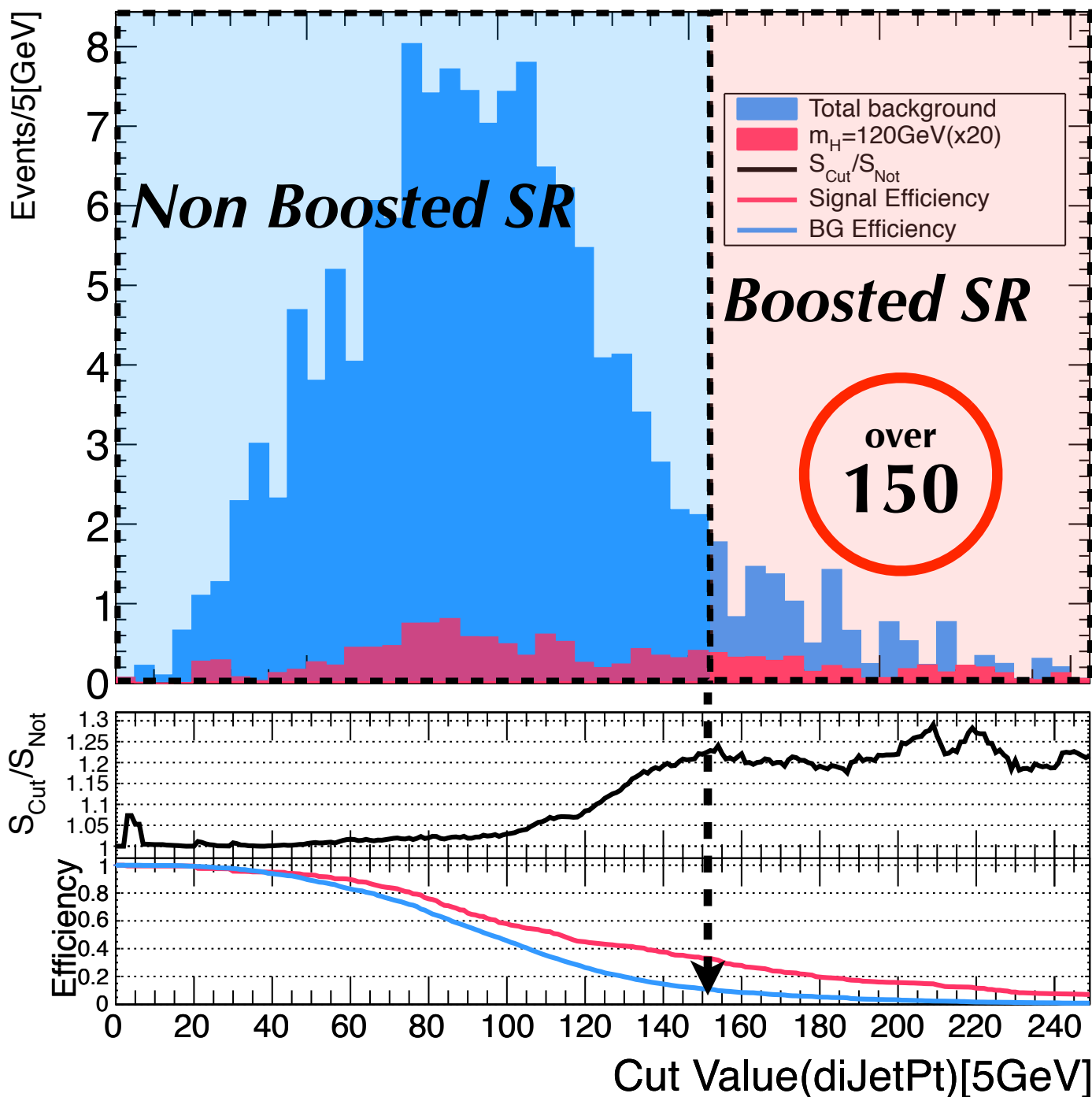
$$S_{1\text{categ}} = S(s_{\text{All}}, b_{\text{All}})$$

$$S_{2\text{categ}} = \sqrt{(S_{\text{high Pt}})^2 + (S_{\text{low Pt}})^2}$$

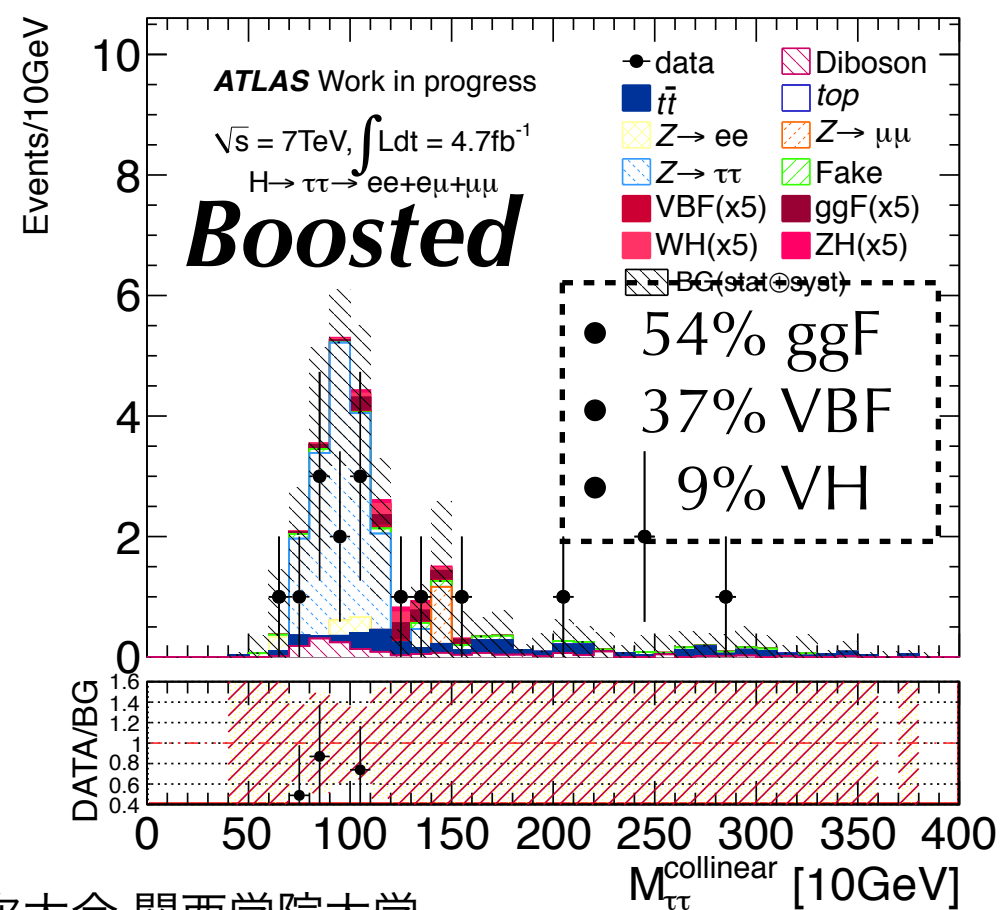
$$(\text{Improvement} = S_{2\text{categ}}/S_{1\text{categ}})$$

# Boosted category

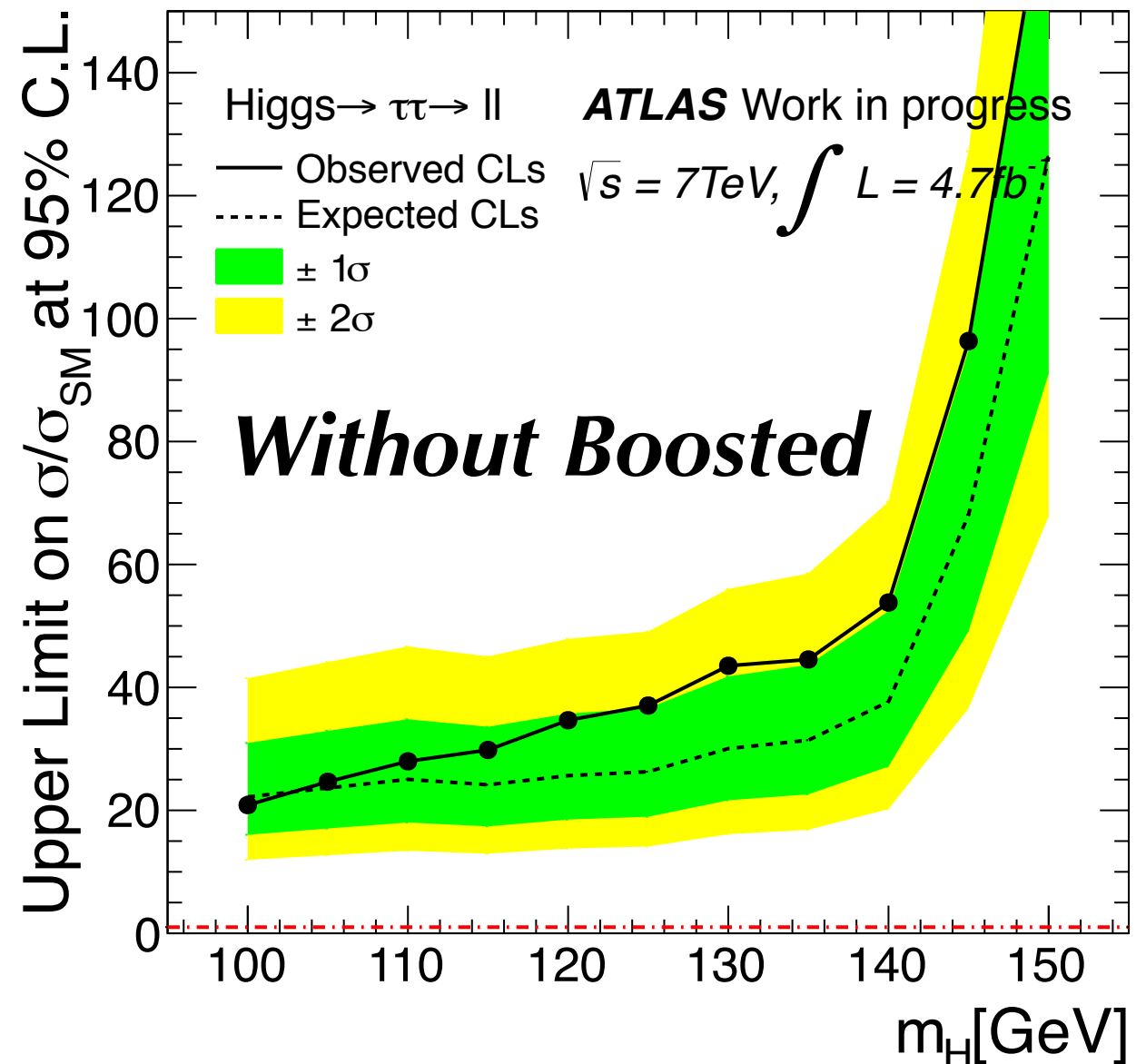
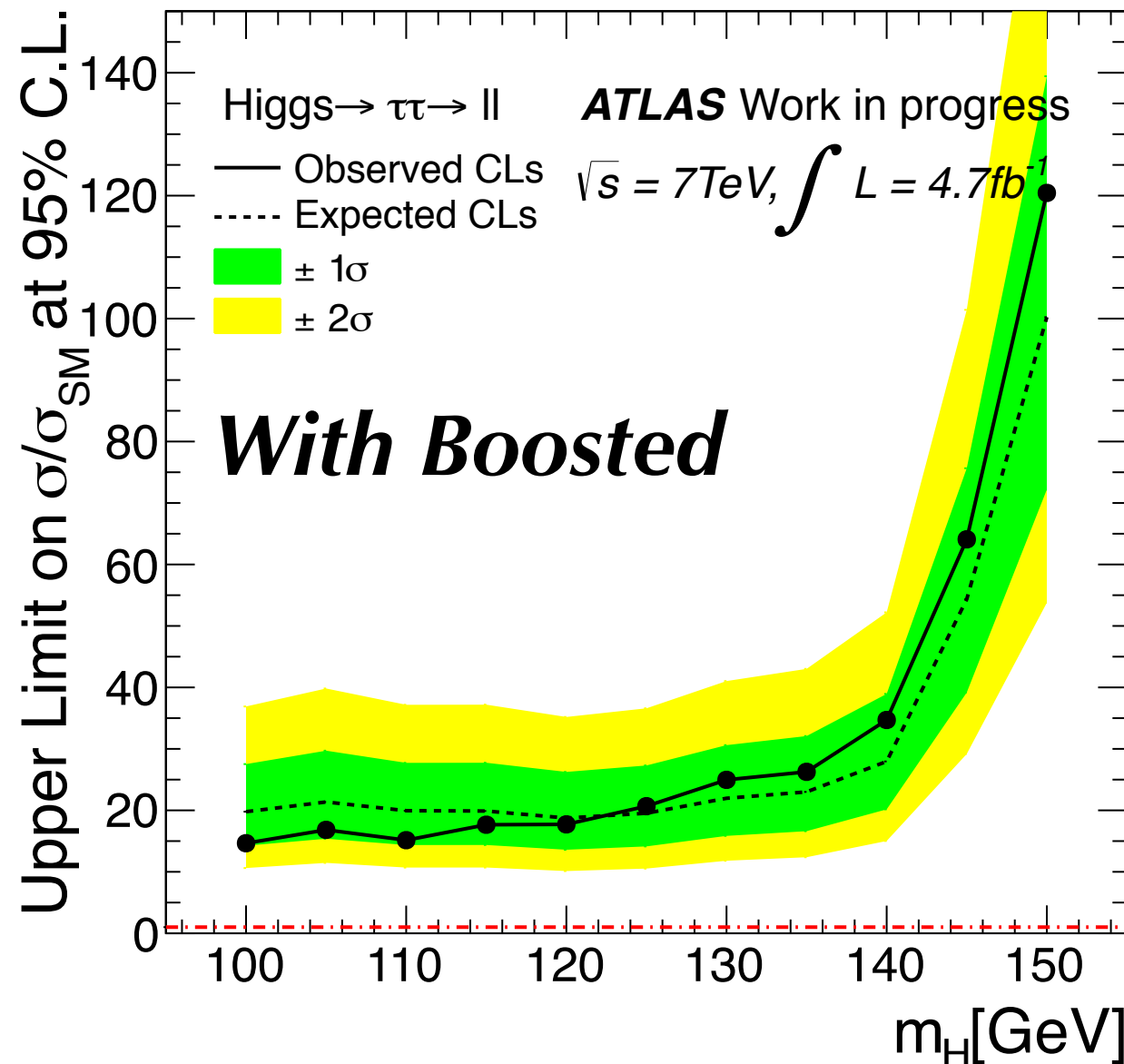
diJet(vector sum) pT



- Improvementは150GeV以上において約20%でほぼflat
- 信号事象数を出来るだけkeepするため**150GeV**で領域を分割
- Non Boostedでは約0.9events
- Boostedでは約0.4events
- 次に生成断面積に制限を設ける



# Exclusion Limit



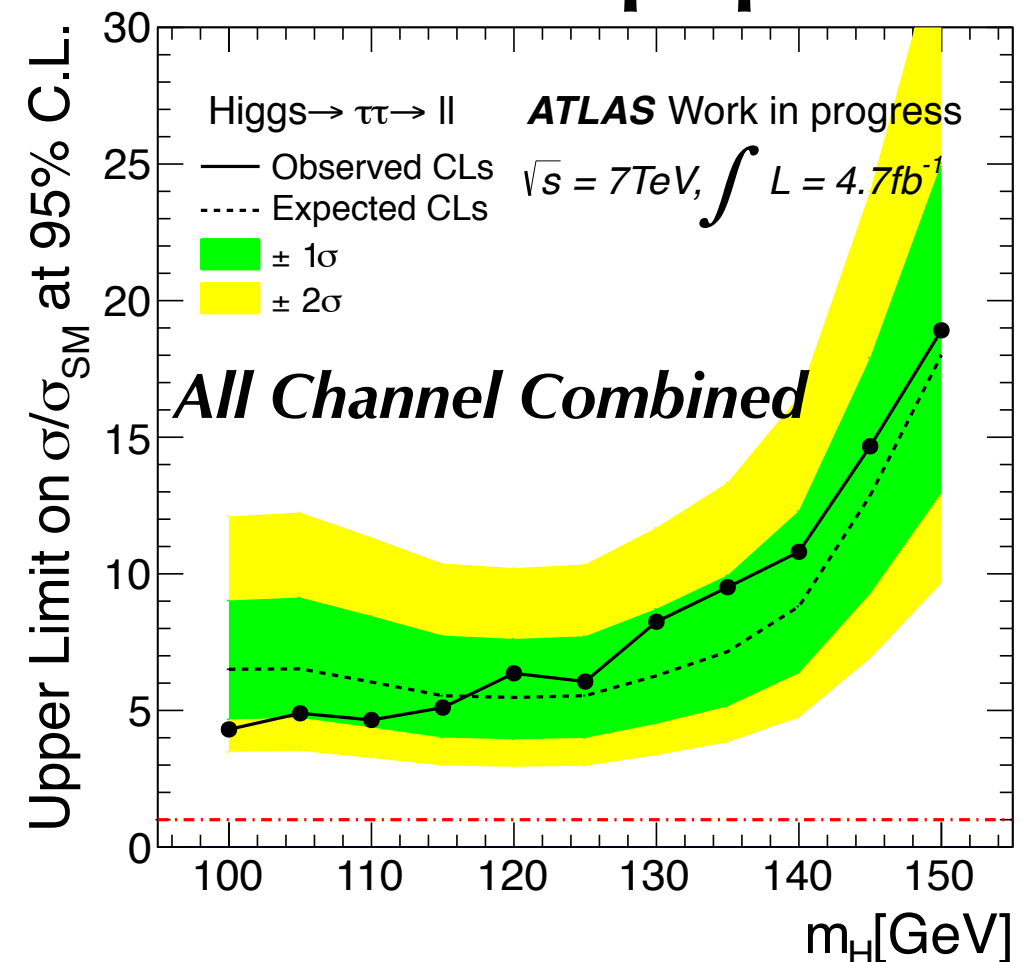
- Profile Likelihoodを用いてヒッグス粒子のVH過程の生成断面積について制限を求めた結果、標準模型の約15~20倍の制限を得た
- Boosted combineでは120GeVにおいて約25%の改善

## 主な系統誤差

- ggF generator  $\sim 20\%$
- MC modeling  $\sim 8\%$
- Luminosity  $\sim 3.9\%$
- $E_{\text{T}}^{\text{miss}}$  reco  $\sim 13\%$
- Fake  $\sim 20\%$
- JES  $\sim 7\%$

# Summary & Plan

- 2011年取得された約 $4.7\text{fb}^{-1}$ のデータを用いて $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lele}$ においてヒッグス粒子探索を行った
- データを用いてFakeの見積もった
- VHチャンネルにBoostedを加えた
- Boosted & NonBoosted combineでVHのみより約25%改善
- All channel combineで約5%の改善
- 今年、 $15\text{fb}^{-1}$ のデータ量が見込まれる
- 重心系エネルギーが $8\text{TeV}$ なるためヒッグス粒子の生成断面積は約1.2倍 → 観測可能な事象数は約4倍
- ➡ 解析の改善で頑張れば $H \rightarrow \tau\tau$ 単独で低質量領域の棄却が可能
  - VBFカットをきつくする
  - MMC mass, VHのmulti-leptonイベント



Back Up!



# lelep Jet category

## Base Selection

- (1) Preselection and exactly 2leptons Opposite Sign.
- (2) **Z Veto**:  $30 < m_{LL} < 75(100)\text{GeV}$  for SF(DF)
- (3) **Jet Tag**: 1<sup>st</sup> jet  $p_T > 40\text{GeV}$  ( $|JVF| > 0.75$  if  $|\eta| < 2.4$ )
- (4) **Z & QCD suppress**:  $\text{MET} > 40(20)\text{GeV}$  for SF (DF)
- (5) **Collinear( $\tau$  enhance)**:  $0.1 < X1, X2 < 1.0$
- (6) **Topological**:  $0.5 < \Delta\phi_{LL} < 2.5$

Not Pass (3)

### 0jet category

- (1) **Topo**:  $\Delta\phi_{LL} > 2.5$
- (2) **Top suppress**:  $\Sigma p_T < 120\text{GeV}$

### 2jet VBF

- (7) **Jet Tag**: 2<sup>nd</sup> jet  $p_T > 20\text{GeV}$
- (8) **VBF Tag**:  $\Delta\eta > 3.0$
- (9) **VBF Tag**:  $m_{JJ} > 350\text{GeV}$
- (10) **Top suppress**: b-tag veto
- (11) **Central Jet Veto**

### 2jet VH

- (7) **Jet Tag**: 2<sup>nd</sup> jet  $p_T > 25\text{GeV}$
- (8) **VH Tag**:  $\Delta\eta < 2.0$
- (9) **VH Tag**:  $50 < m_{JJ} < 120\text{GeV}$

Not Boosted

Excluding 2jet event

### 1jet category

- (8)  $m_{HJ} > 225\text{GeV}$
- (9) b-tag veto

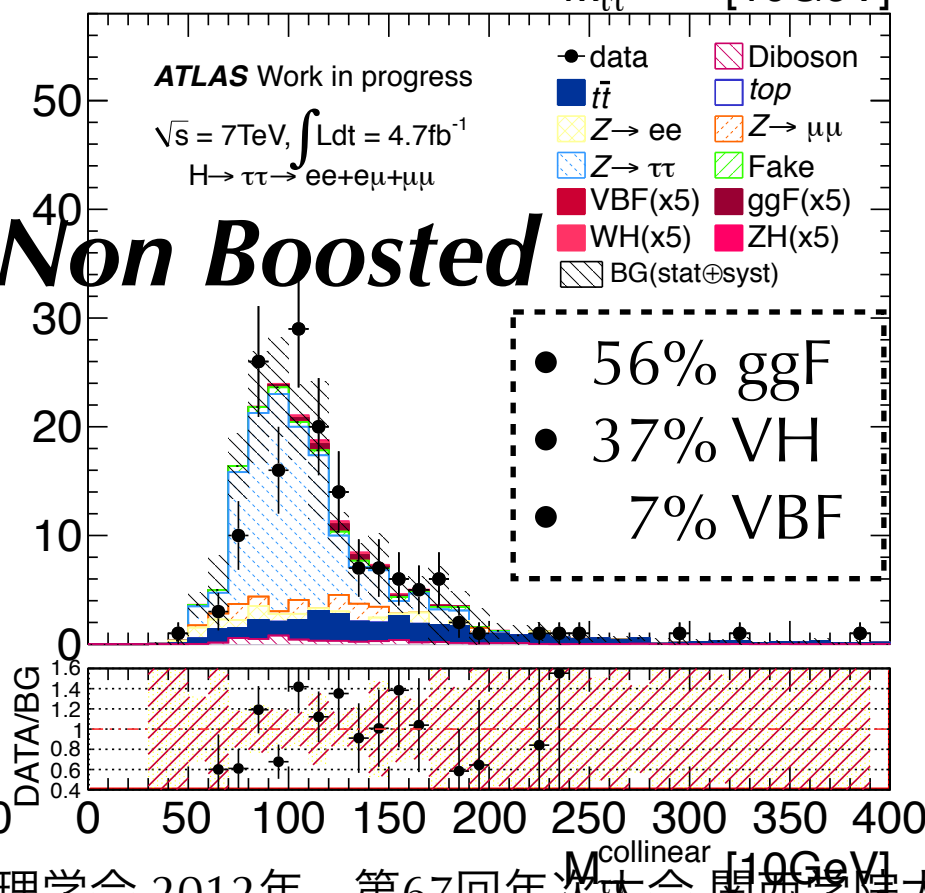
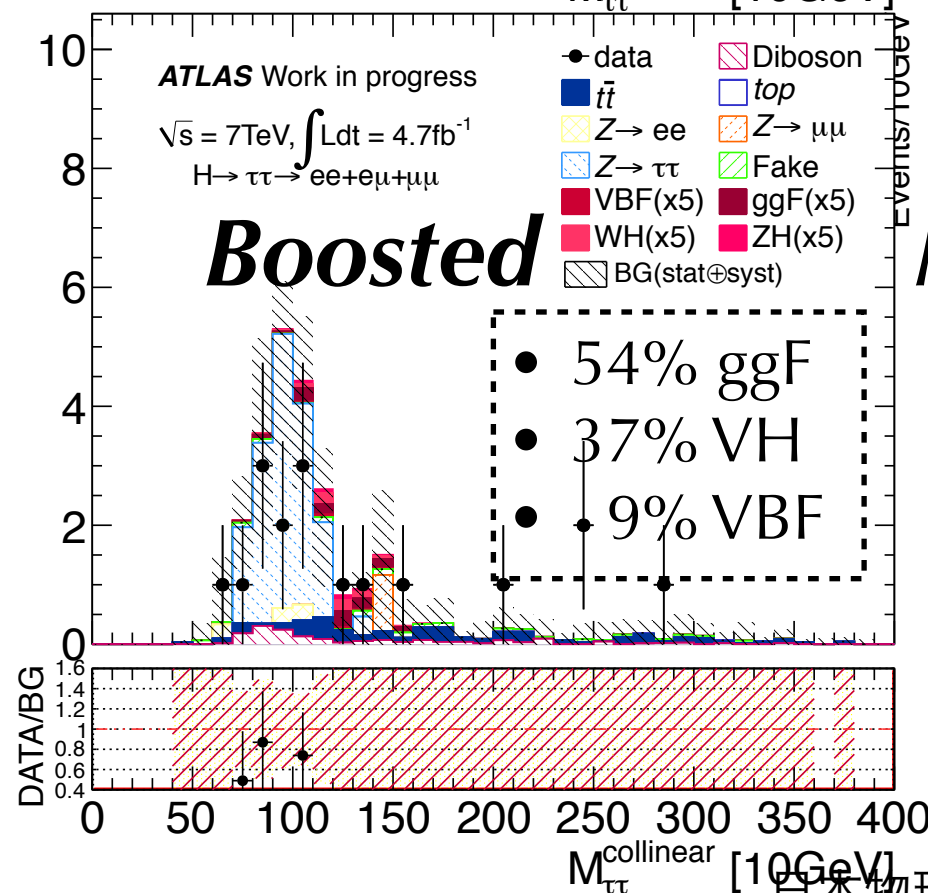
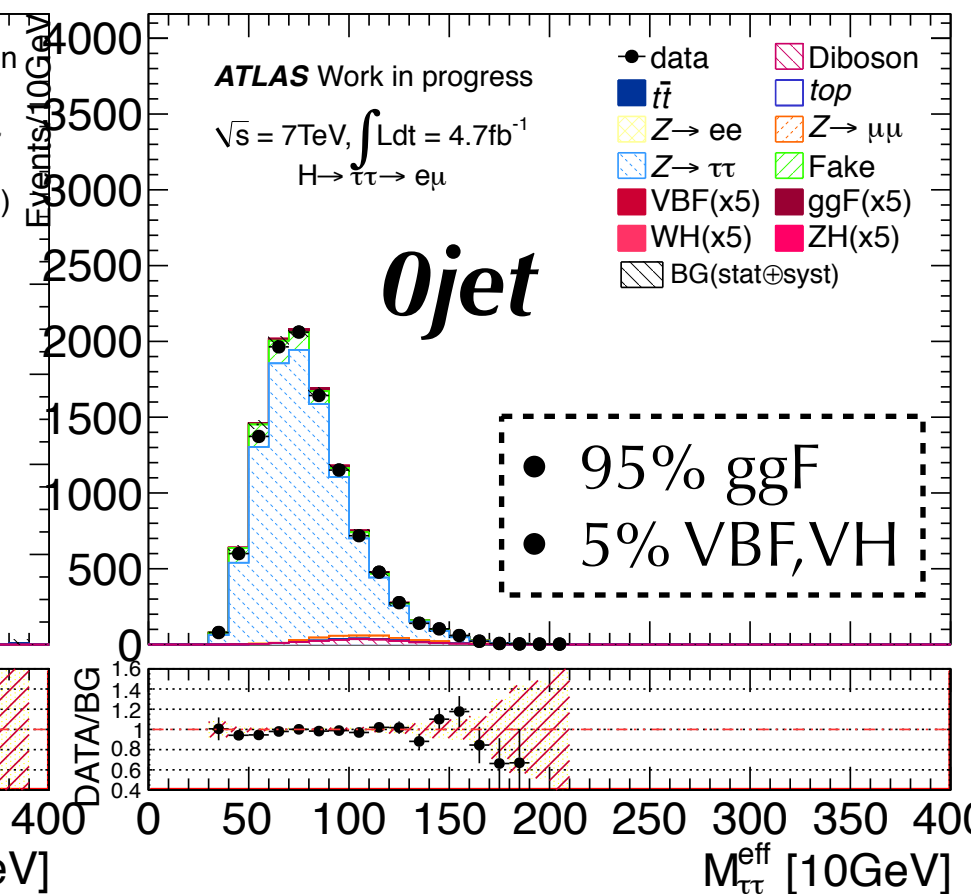
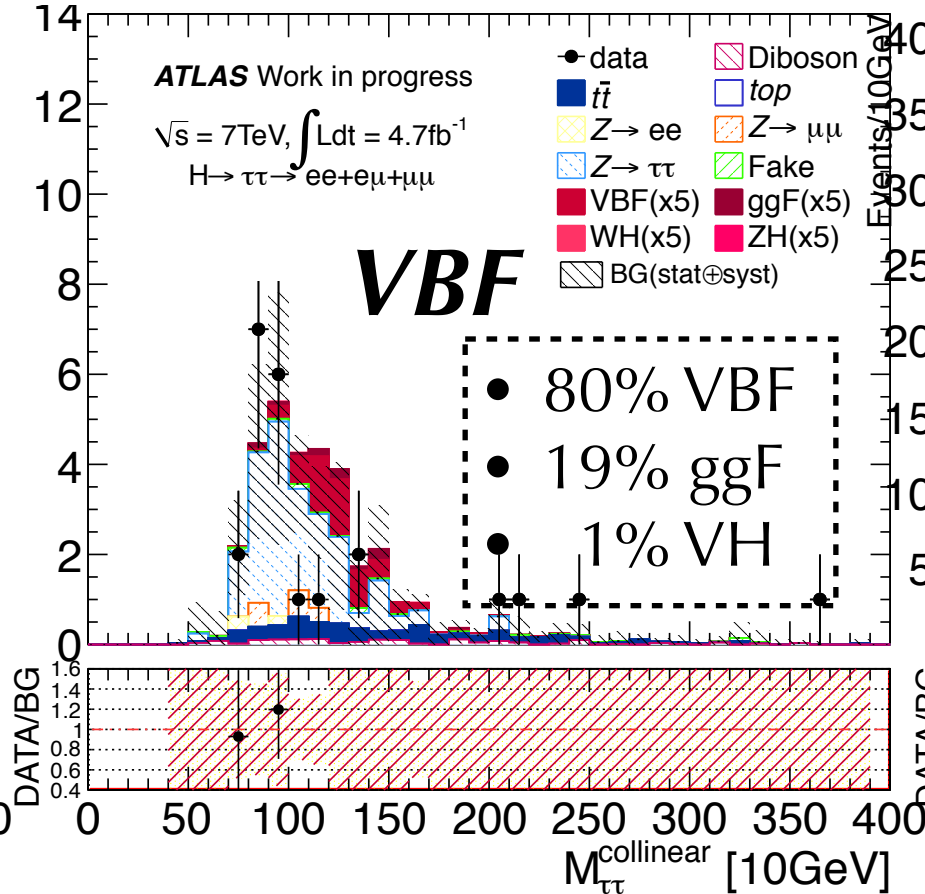
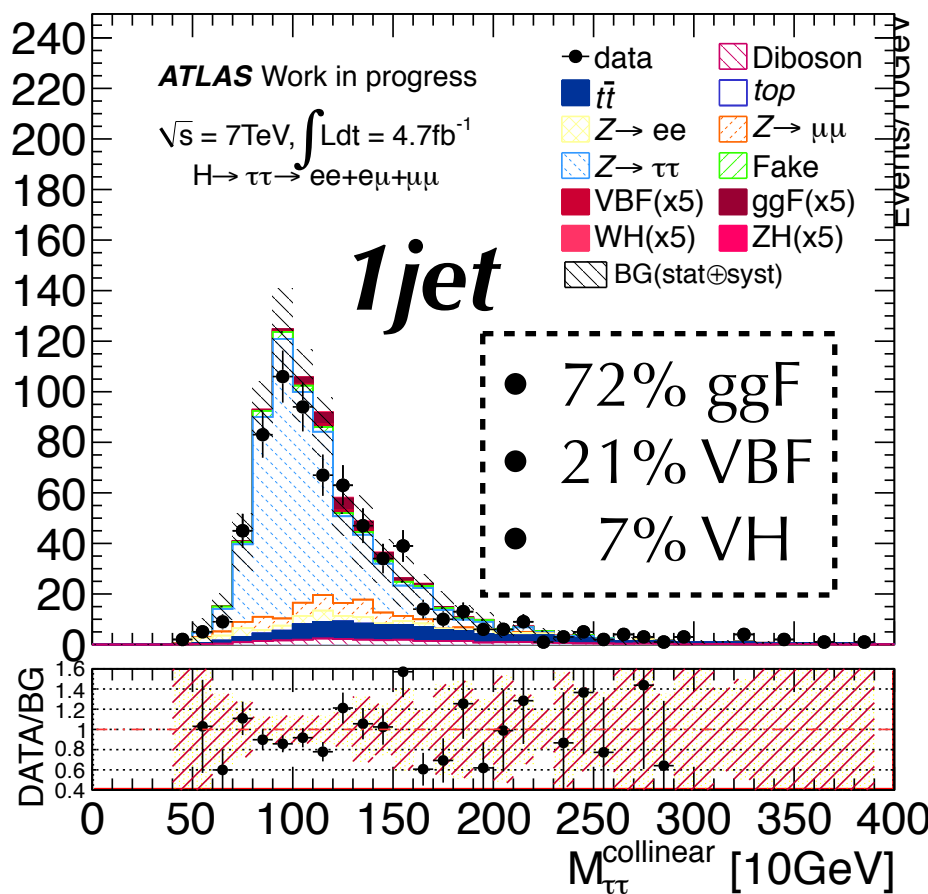
### Not Boosted category

- (10) dijet  $p_T < 150\text{GeV}$
- (11) b-tag veto

### Boosted category

- (10) dijet  $p_T > 150\text{GeV}$
- (11) b-tag veto

# Mass distribution



- 全ての質量領域でデータ分布に有意なヒッグス粒子の兆候は観測されなかった
- 全チャンネルをコンバインして制限を付ける

# Mass Reconstruction

- **Effective Mass:** METと2leptonで組んだ質量
  - back-to-backに $\tau$ 粒子が出る( 0jet category)→Collinear近似出来ない

$$M_{\tau\tau}^{\text{eff}} = \sqrt{(p_e + p_\mu + E_T^{\text{miss}})^\lambda (p_e + p_\mu + E_T^{\text{miss}})_\lambda}$$

- **Collinear Mass:**  $\tau$ 粒子の質量1.777GeV
  - 崩壊粒子は全て同じ方向と仮定

$$m_{\tau\tau}^{\text{collinear}} = \frac{m_{\ell\ell}}{\sqrt{x_1 x_2}} \quad x_{1,2} = \frac{p_{\text{vis}1,2}}{p_{\text{vis}1,2} + p_{\text{miss}1,2}}$$

- **Missing Mass Calculator(MMC):**

- $\tau$ 粒子と崩壊粒子群との角度 $\theta_{3D}$ 分布でLikelihoodで再構成
- Collinear Massより再構成の効率が良い
- leptonic decayは $\nu$ が2本であるため効率が下がる

