

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^A、田中純一^A、浅井祥仁
東京大理、東大素セ^A

27aFA-11



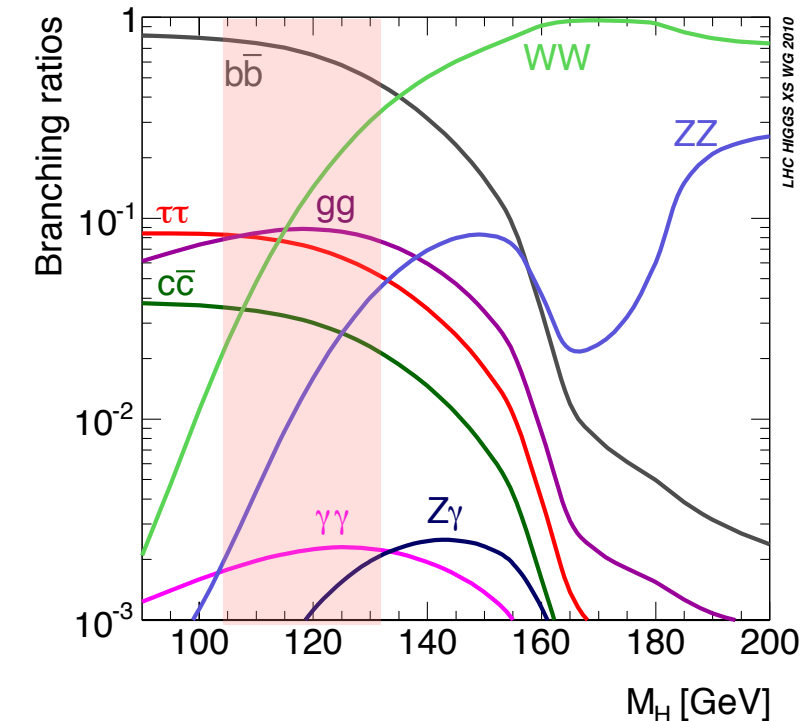
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

ヒッグス粒子と τ 粒子

- 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
- タウ粒子の崩壊分岐比

- $H \rightarrow \tau\tau$ channel
- lelep $\sim 1/9$ (small BG) This Talk
- lephad $\sim 4/9$ (good sensitivity)
- hadhad $\sim 4/9$ (bad S/N ratio)

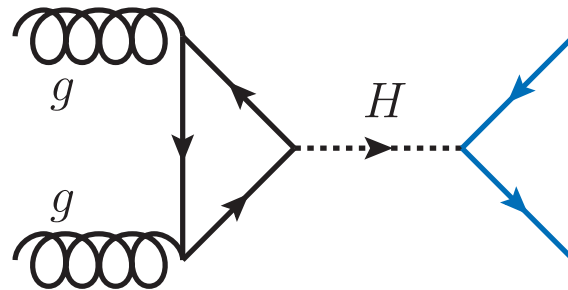
- $\tau \rightarrow \text{leptonic}(e, \mu) \sim 36\%$
- $\tau \rightarrow \text{hadronic}(\pi, K's) \sim 64\%$
- 1prong
- 3prong



- ヒッグス粒子の生成過程、主に3process

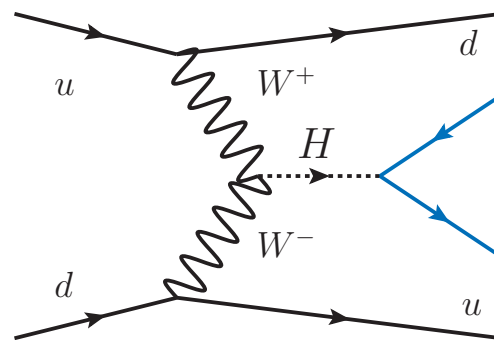
● gluon-gluon fusion(ggF)

- 数が多い(~ 50 events @ 5/fb)
- S/N $\sim 1/250$
- 理論計算の不定性が高い



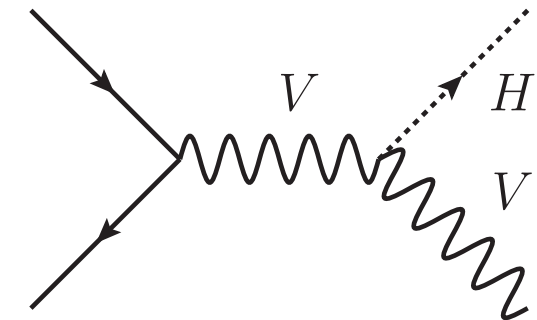
● Vector Boson Fusion(VBF)

- 数が少ない(~ 5 events @ 5/fb)
- forward方向の2 high pT jets
- S/N $\sim 1/5$



● associated production(VH)

- 数が少ない, S/N $\sim 1/100$
- Z/Wからのhigh pT jets
- lelepのみが解析に加えた



- 本解析ではlelepを用いて0jet, 1jet, 2jet(VBF, VH(Boosted, NonBoosted))について解析を行った。

事象選択と背景事象

Base Selection

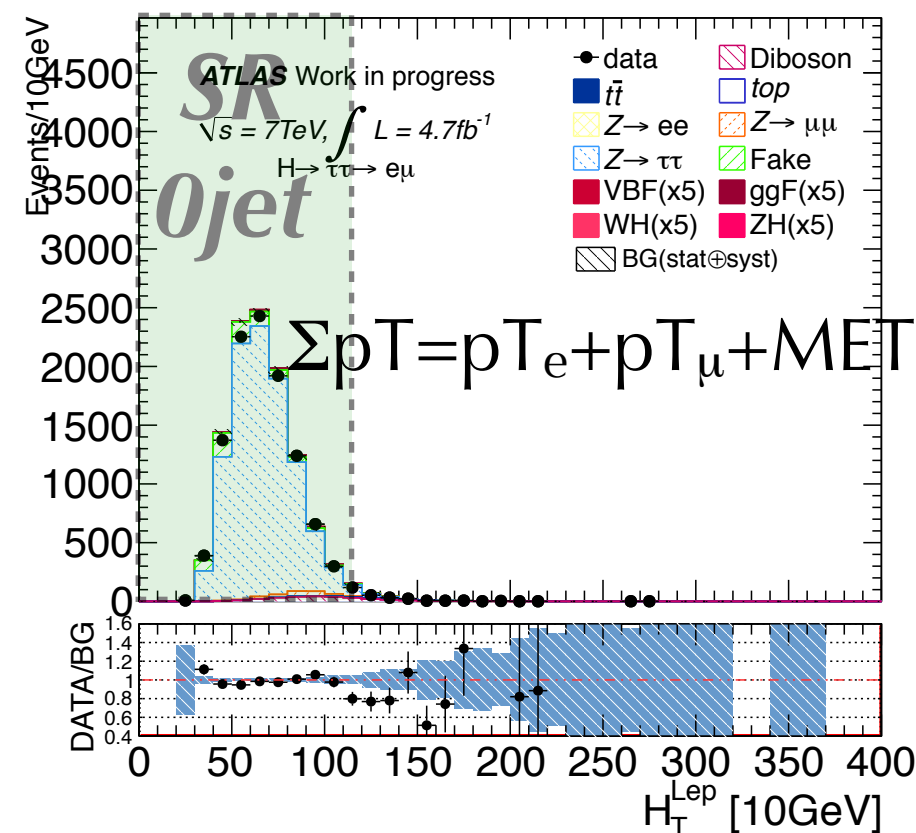
- (1) GRL, Event Clean, **Trigger**
- (2) 2lepton with Opposite Sign
- (3) **Z Veto**: $30 < m_{LL} < 75, 100 \text{ GeV}$ for SF, DF
- (4) **Jet Tag**: 1st Jet $p_T > 40 \text{ GeV}$ Not Pass (4): Only $e\mu$
- (5) **Z Veto**: $MET > 40, 20 \text{ GeV}$ for SF, DF
- (6) **Collinear**(τ event enhance): $0.1 < X1, X2 < 1.0$
- (7) **Topological**: $0.5 < \Delta\phi_{LL} < 2.5$

0jet category

- (4) $\Delta\phi_{LL} > 2.5$
 - (5) $\Sigma p_T < 120 \text{ GeV}$
- Z $\rightarrow ee/\mu\mu$ のBGが圧倒的なため
e μ チャンネルのみ

● 主な背景事象

- Z $\rightarrow\tau\tau$: 最も大きいBG、 τ 粒子は本物
 - **Embedding Method**
 - Z $\rightarrow\mu\mu$ を μ を τ に置き換えてシミュレーション
 - 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



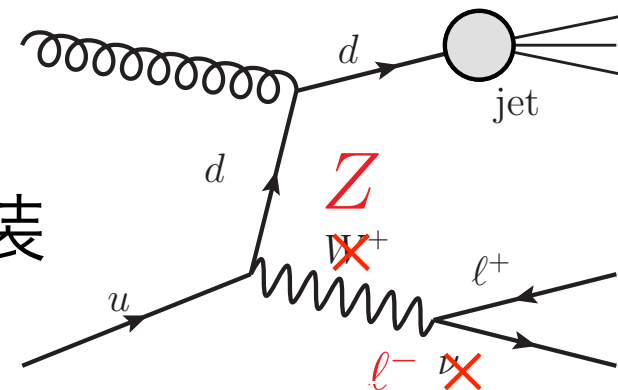
- Z $\rightarrow ee/\mu\mu$: **Z Veto**で落とす
- ttbar(full leptonic): b-jetが特徴的、b-tagで落とす
- Diboson: WW, WZ, ZZのleptonic、寄与は小さい

→ MCを用いて評価

- **W+jets, QCD**: jetがfakeしてしまう, MCでは**困難** → **Lepton + Fakable (data driven)**

Fake estimation

- データから Tight+Loose 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



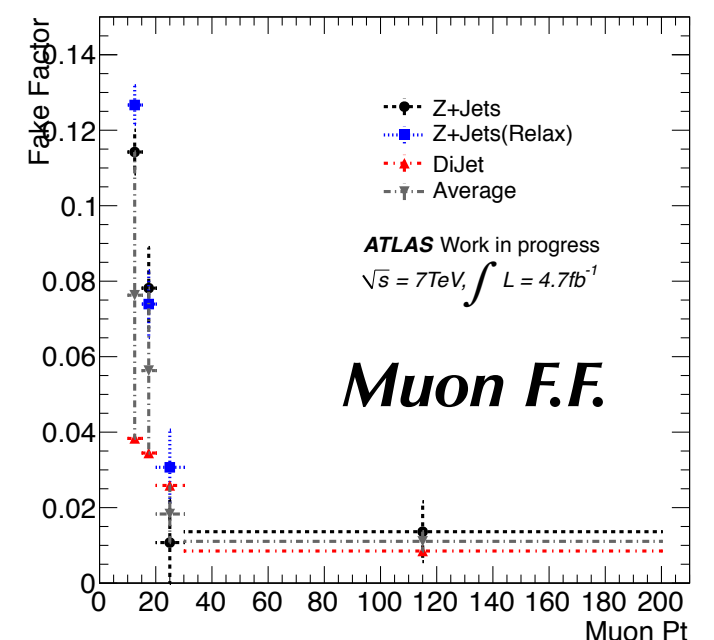
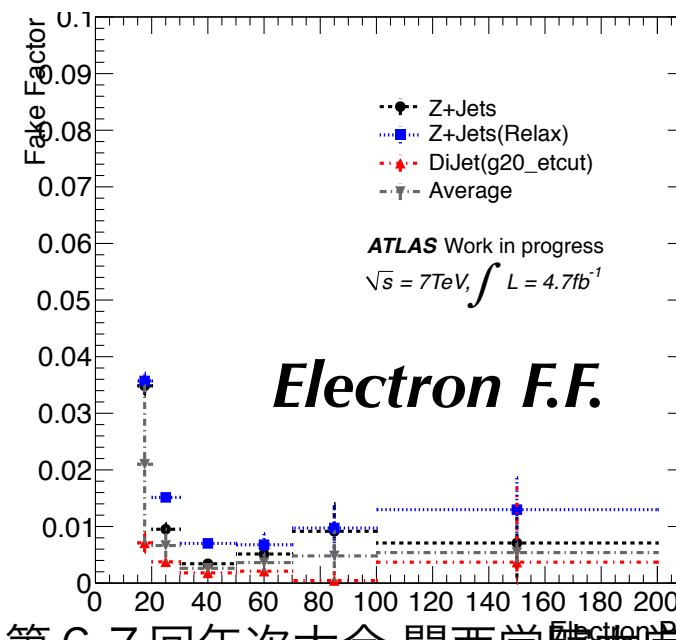
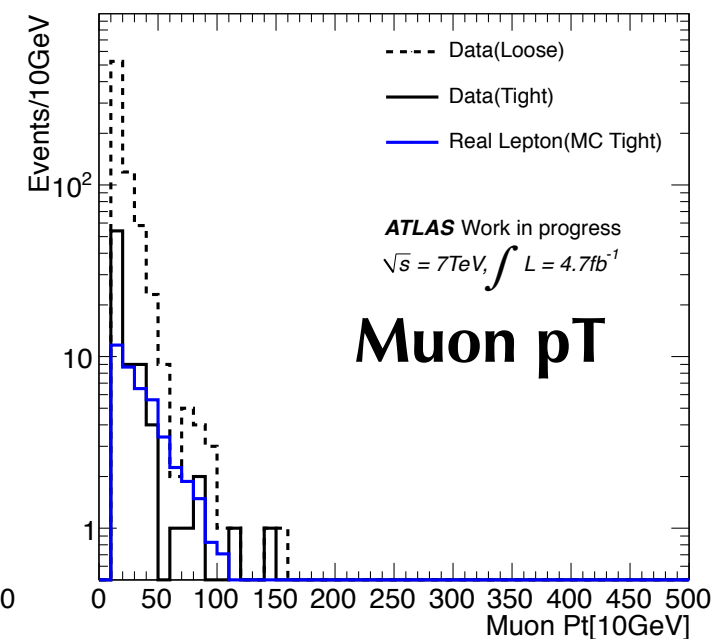
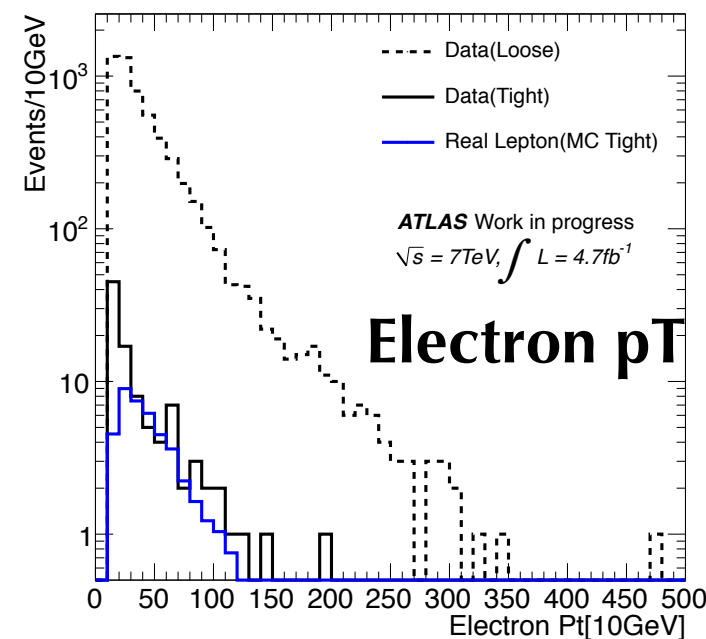
$$N_{1\text{Tight}+1\text{Fake}} = \frac{N_{\text{Tight}}}{N_{\text{Loose}}} \times N_{1\text{Tight}+1\text{LNT}}^{\text{Fakable CR}}$$

Estimated Fake BG Fake factor

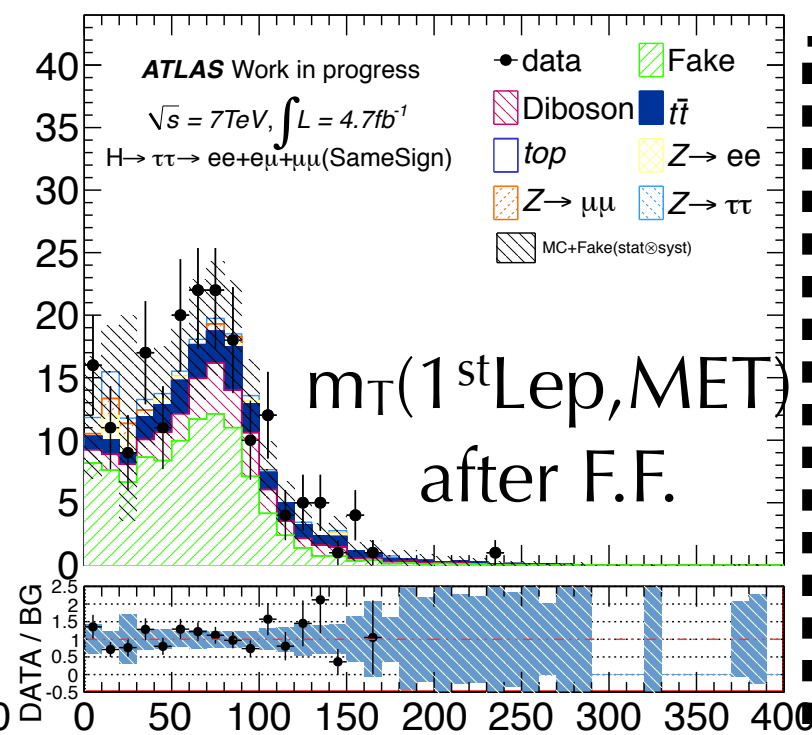
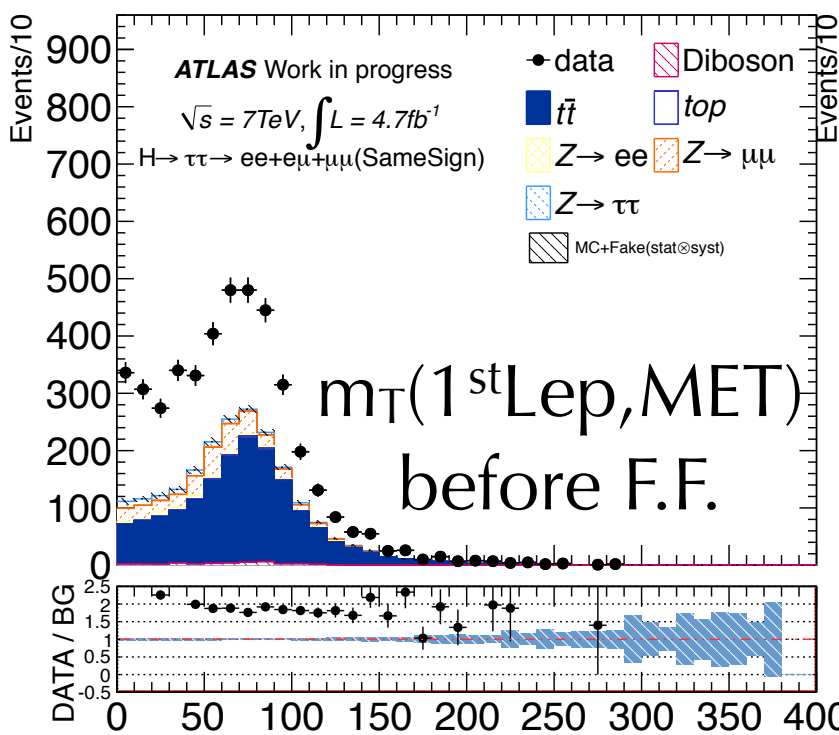
- Fake Factor は **Z+Jets** から見積もる
 - Z+Jets は W+Jets と似ている
 - Z からのレプトンをタグするので trigger バイアスが少ない
 - Z+Jets は統計量が少ない
 - multi-Jet, γ +Jet を用いる
- Candidate イベント数

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

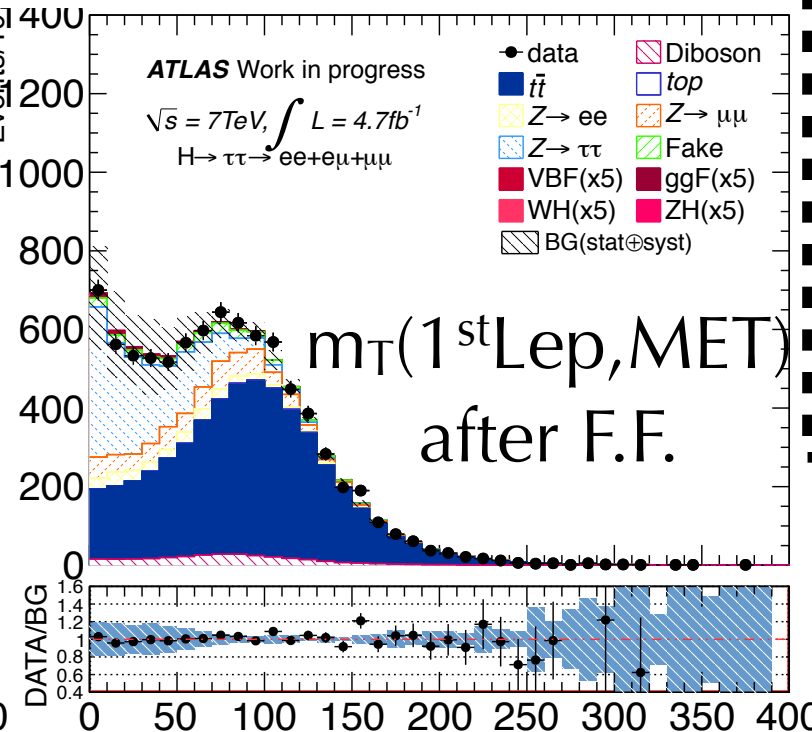
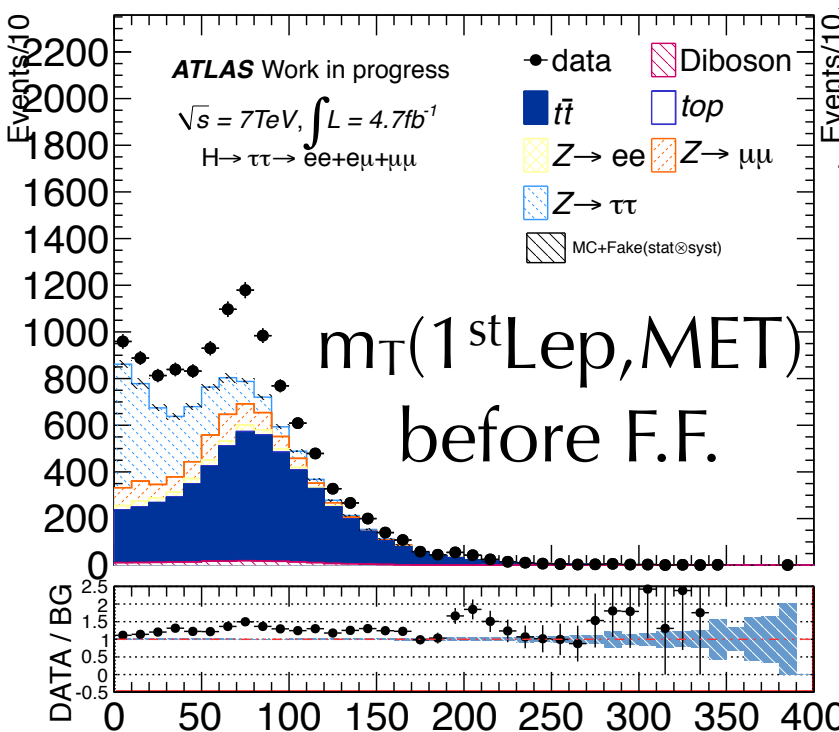
- Muon Fake は少ないため DiJet F.F. を用いて Fake イベントを見積もる
- Z+Jet との差分を系統誤差



Fake event check



$$\boxed{\text{Fakable CR}} \times \text{F.F.} = \text{Fake Events}$$

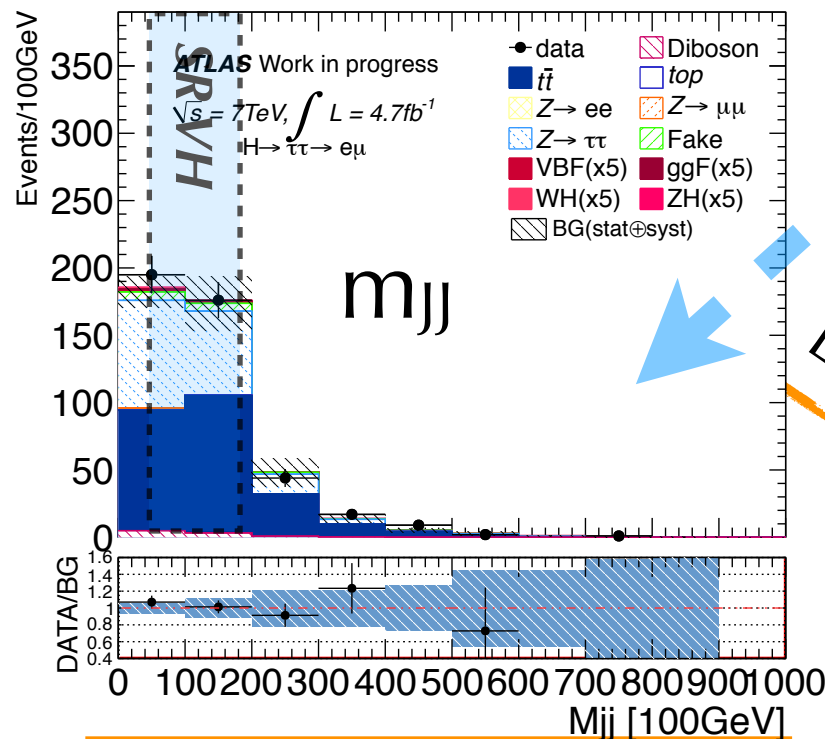


- S.S.でクロスチェック
- Fakeイベントが支配的(電荷がランダム)
- 1st Jet要求後の m_T 分布
- 大きなexcess部分がFake
- EW BGのコンタミを差し引いてF.F.を適用
- F.F. apply後ではS.S.で合う
✓ S.S.で有効性を確認
- O.S.でのF.F. apply前後の m_T 分布は下図の2つ

categorization

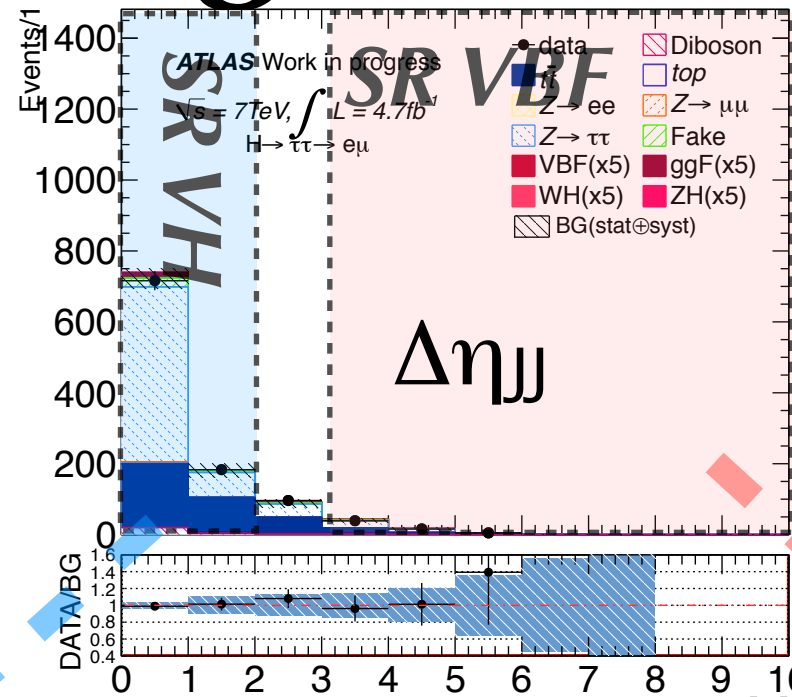
2jet VH

- (8) 2nd Jet pT > 25 GeV
- (9) $\Delta\eta_{JJ} < 2.0$
- (10) $50 < m_{JJ} < 120$ GeV
- (11) b-tag Veto



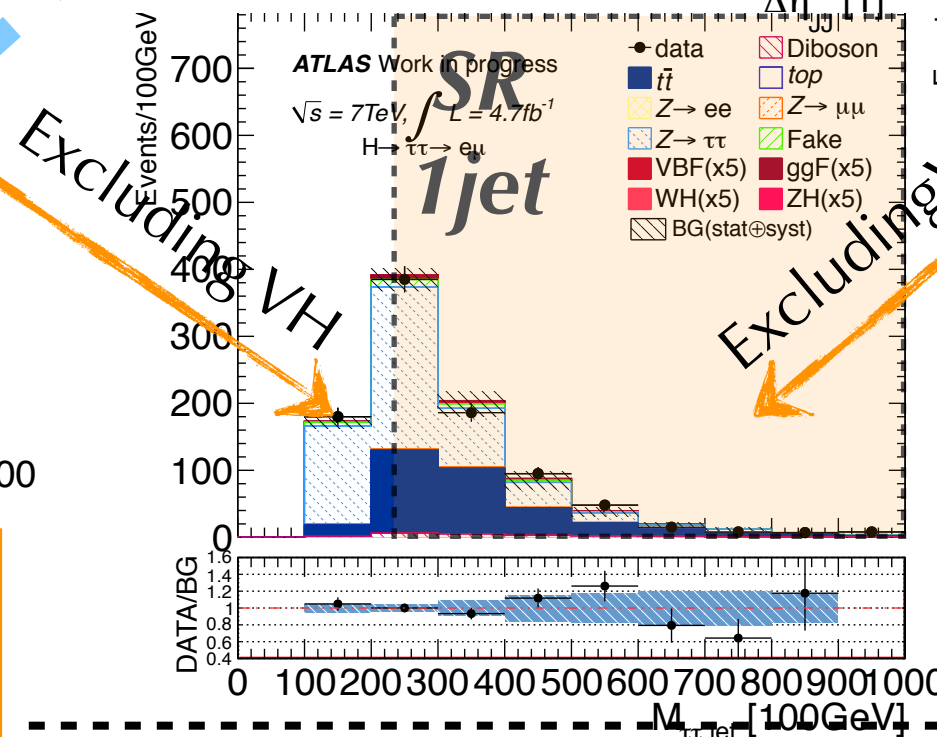
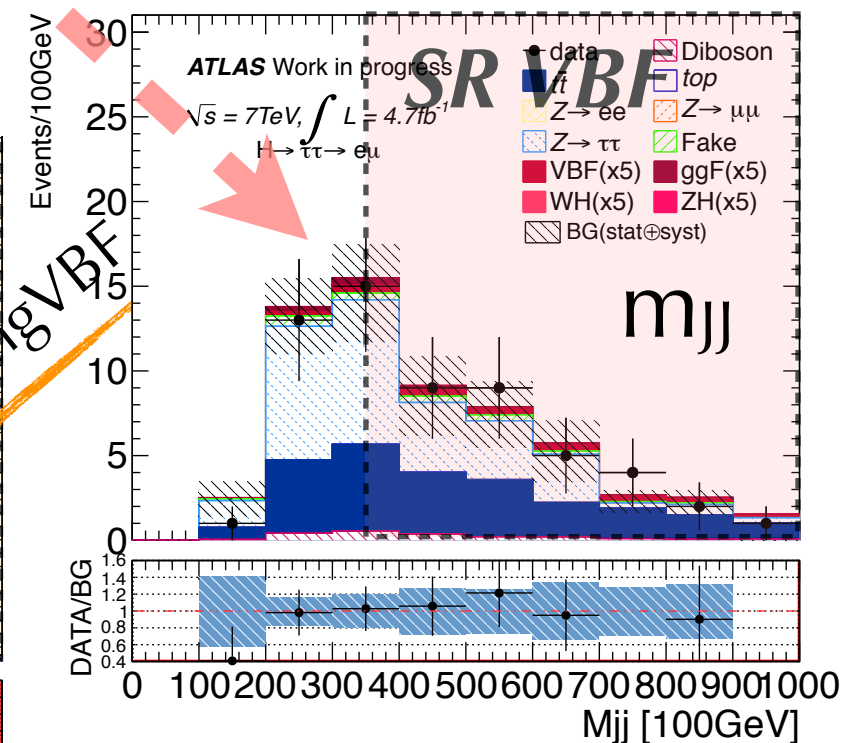
1jet category

- (8) $m_{HJ} > 225$ GeV
- (9) b-tag veto
- b-tagはpT > 25 GeVの全てのJetに適用



2jet VBF

- (8) 2nd Jet pT > 25 GeV
- (9) $\Delta\eta_{JJ} > 3.0$
- (10) $m_{JJ} > 350$ GeV
- (11) b-tag Veto
- (12) Central Jet Veto

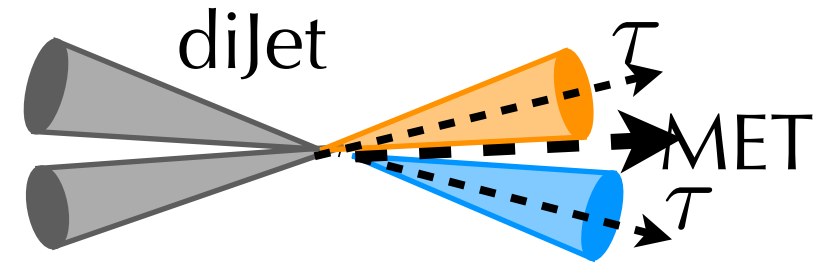


●VHチャンネルはsensitivityが悪い

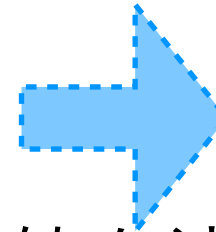
➡Boostedイベントを考え、チャンネルを分ける

Boosted category

- ヒッグス粒子やW/Zが**Boost**されている
- W/ZがHigh pT dijetに崩壊するイベント
- "Boosted", "Non Boosted"に分け最適化
- Poisson significanceを計算

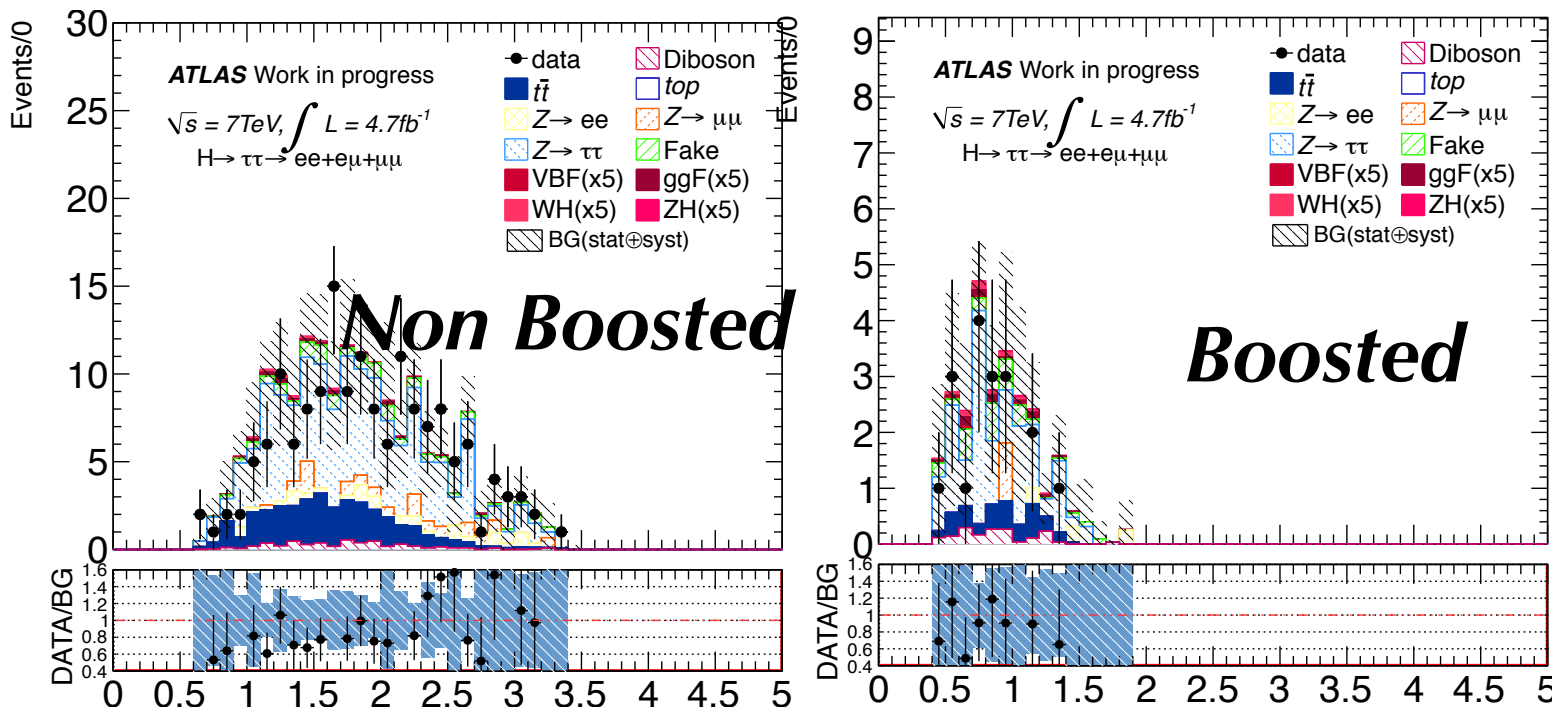


$$S_{\text{Poi}} = \sqrt{2((s+b) \ln(1 + \frac{s}{b}) - s)}$$



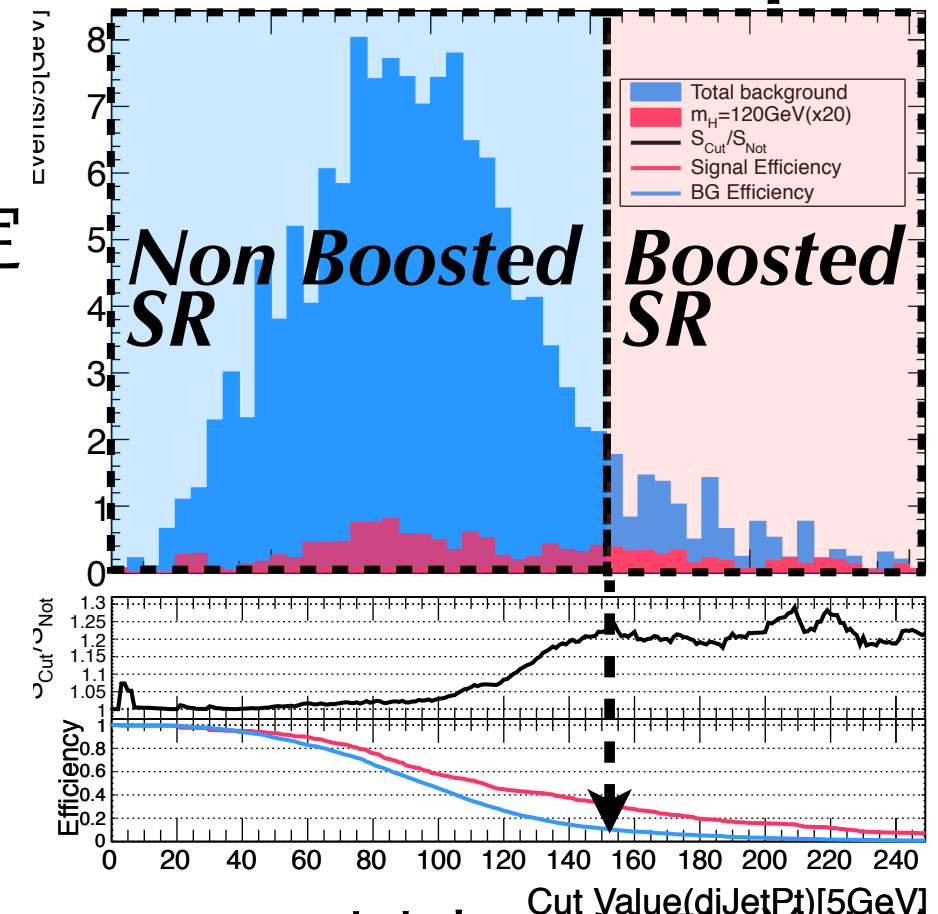
- カットの有無で S_{Poi} が最も改善する値を決定

Boostカット後の ΔR_{JJ} 分布



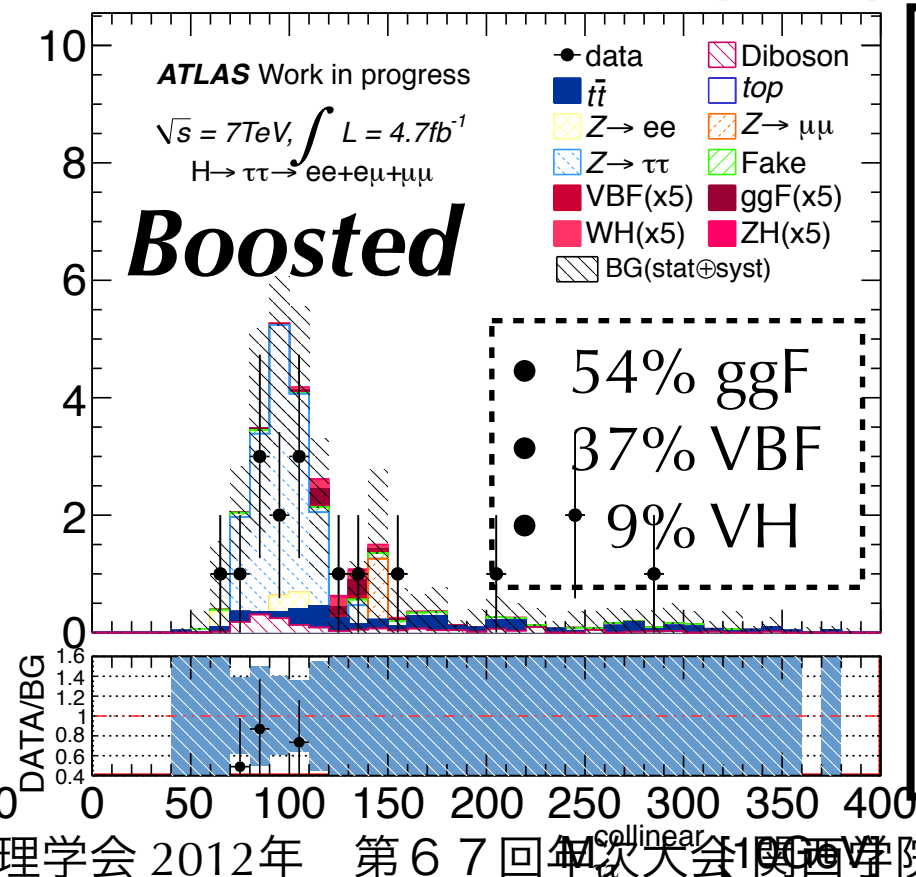
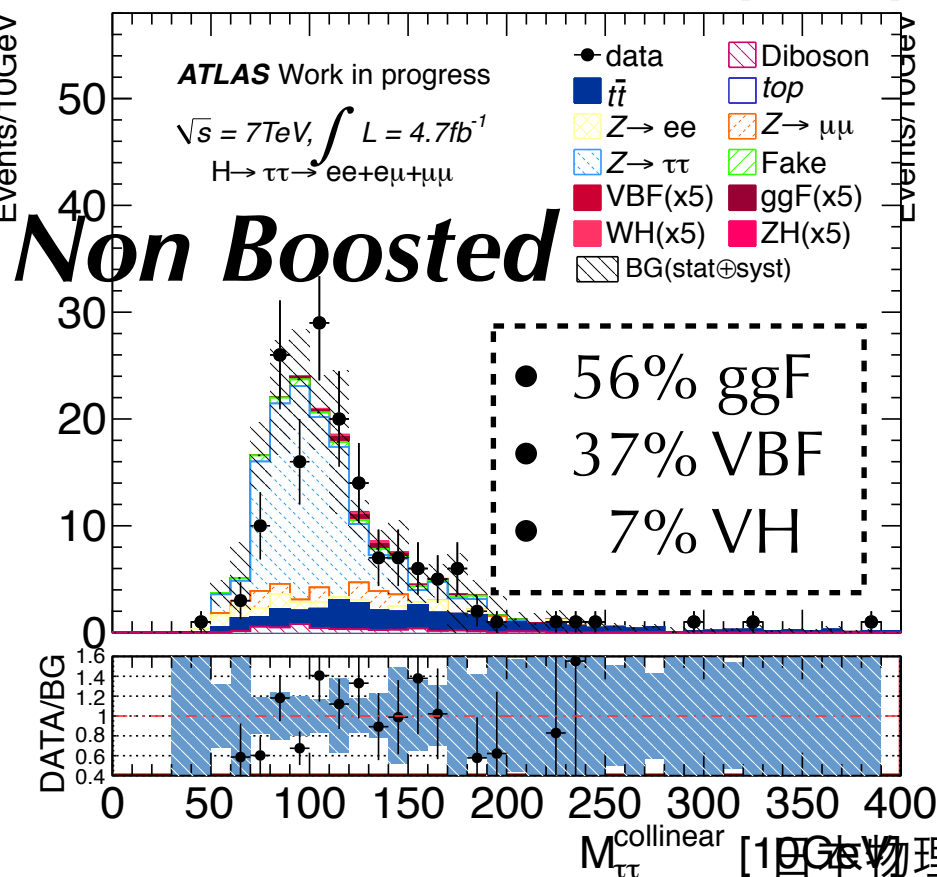
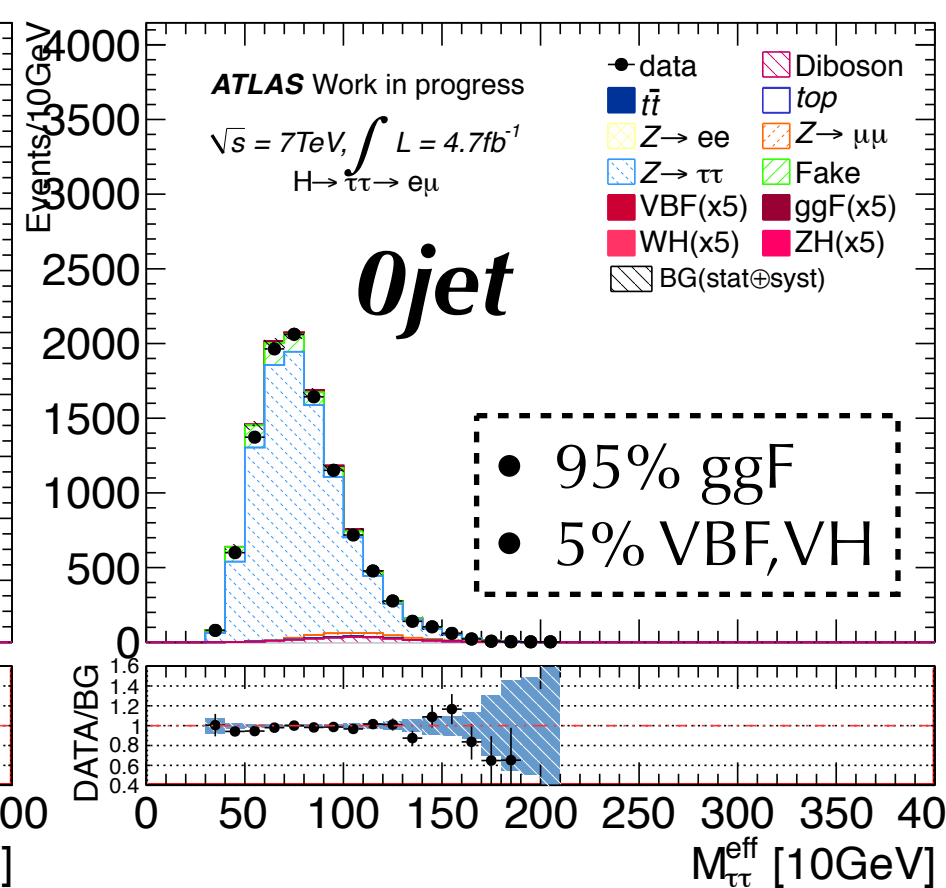
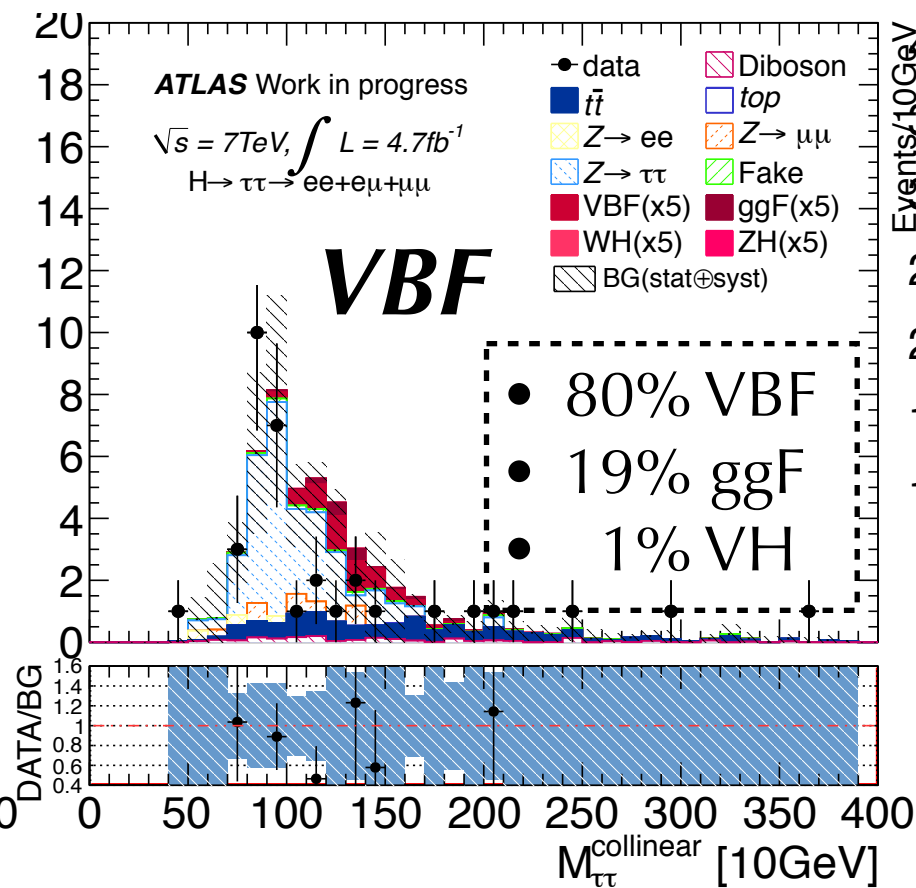
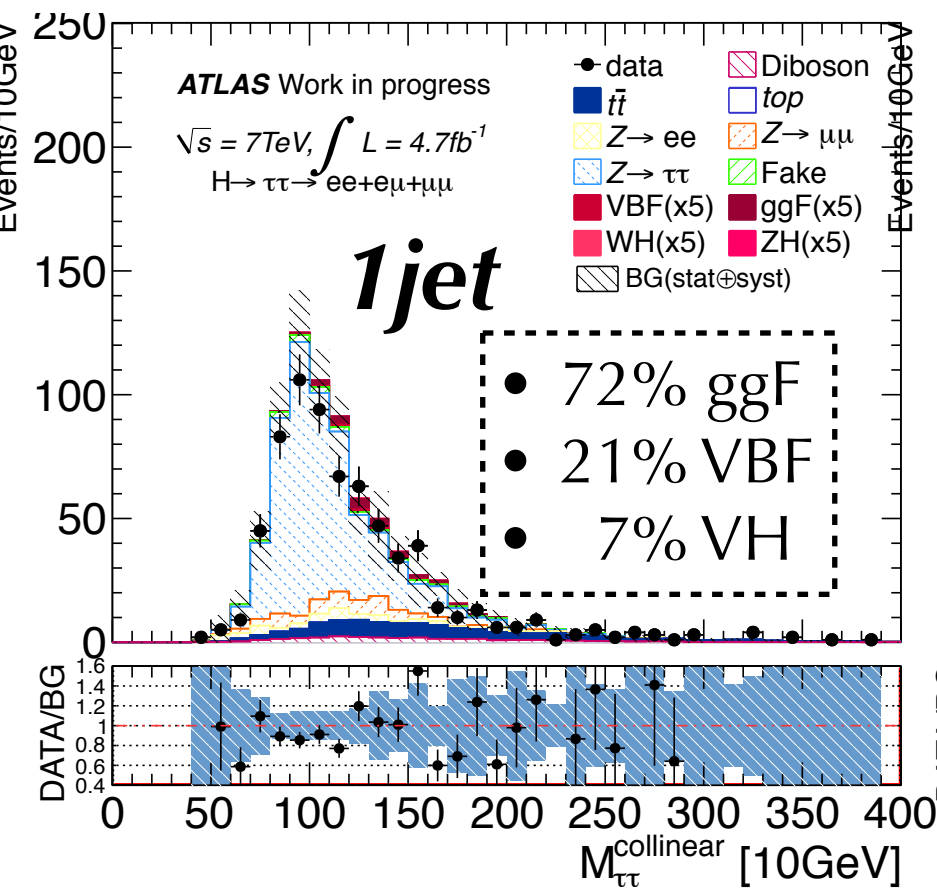
- ΔR_{JJ} を用いたカットやFat Jetも有効

dijet(vector sum) pT



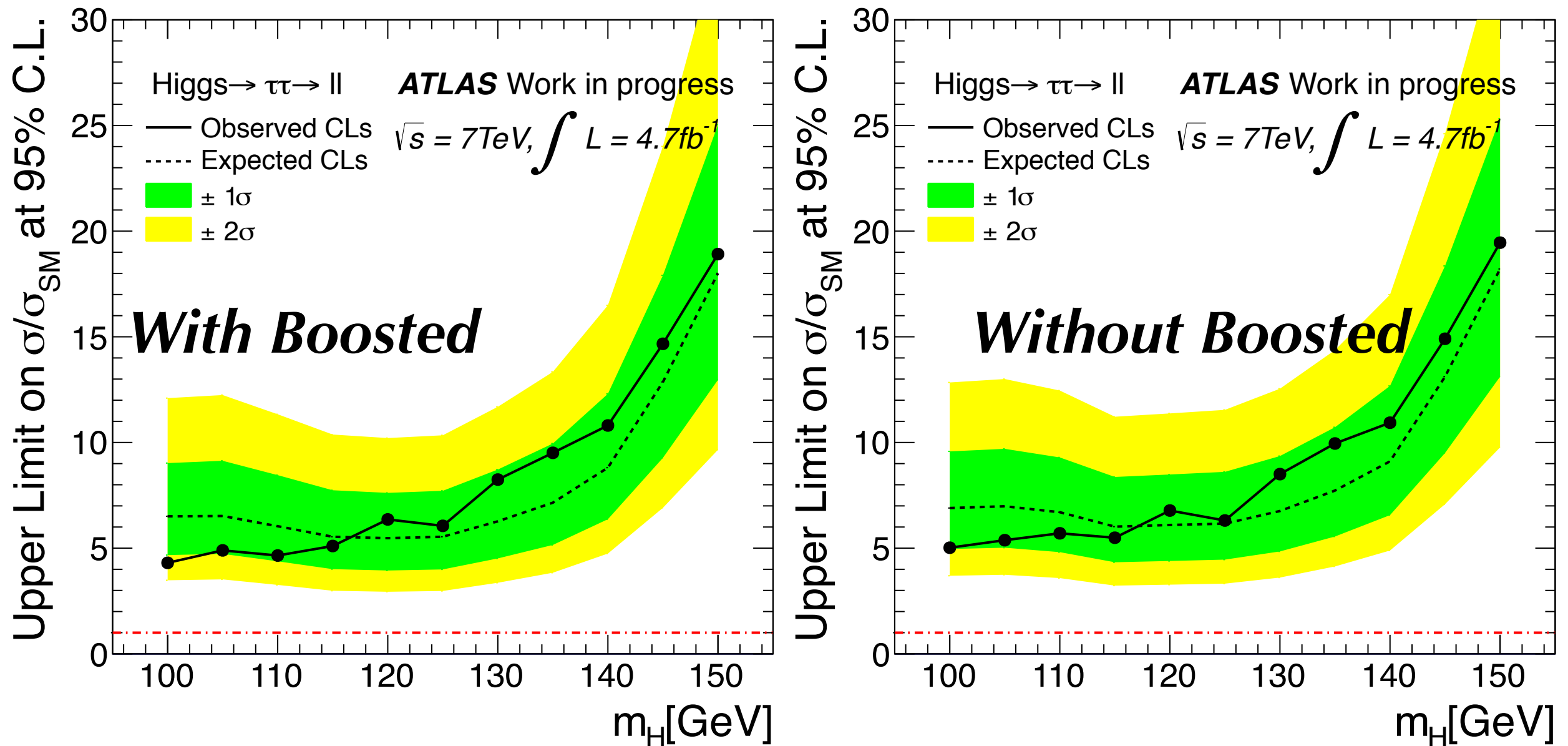
- 150GeV以上では改善が約20%でflat
- 150GeVをカット値としてチャンネルを分割

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

Exclusion Limit



- Profile Likelihoodを用いてヒッグス粒子の生成断面積について制限を求めた結果、標準模型の約5~6倍の制限を得た
- Boostedをコンバインすると125GeV以下では約10%良くなった

Summary & Plan

- 2011年取得された約 4.7fb^{-1} のデータを用いて $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{leplep}$ においてヒッグス粒子探索を行った
 - データを用いてFakeの見積もりを行った
 - Boostedヒッグス粒子についての解析の改善点を示した
 - 棄却領域を標準模型の約5~6倍に伸ばした
- 今年、最高で 15fb^{-1} のデータ量が見込まれる
 - 重心系エネルギーの向上により生成断面積は1.2倍
 - 観測可能な事象数は約4倍
- ➡ 解析の改善等により $H \rightarrow \tau\tau$ 単独で低質量領域の棄却が可能
 - 更なるVBFカット, Jet trigger
 - MMC mass
 - VHのmulti-leptonイベント

Back Up!



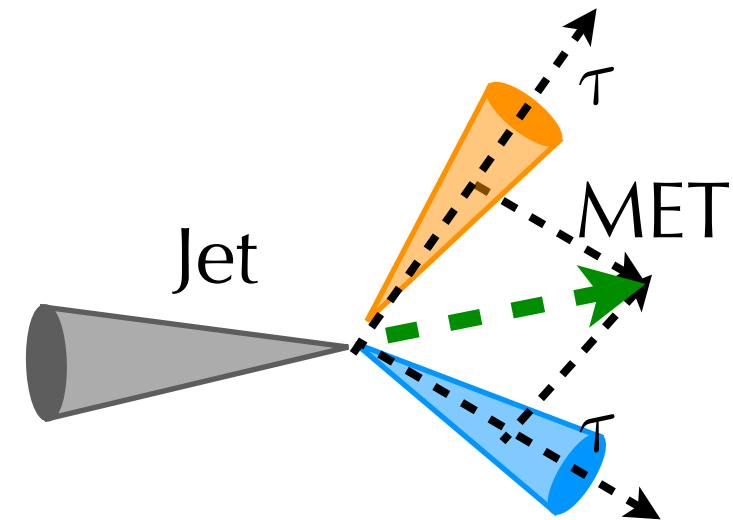
Mass Reconstruction

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

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

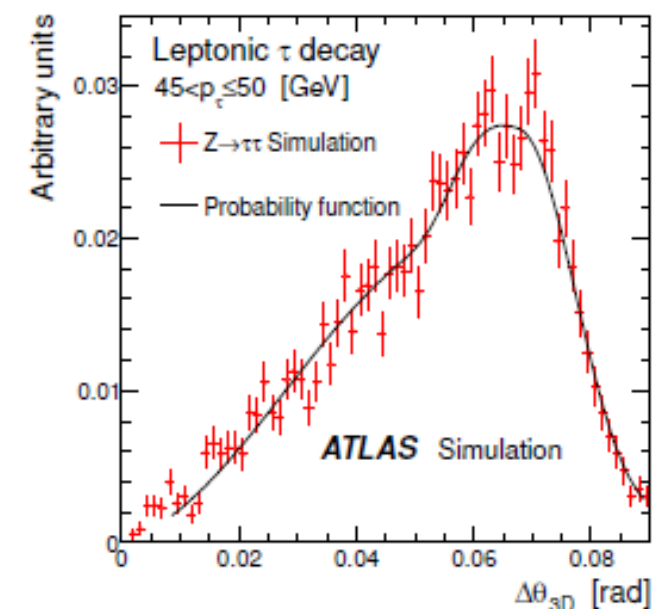
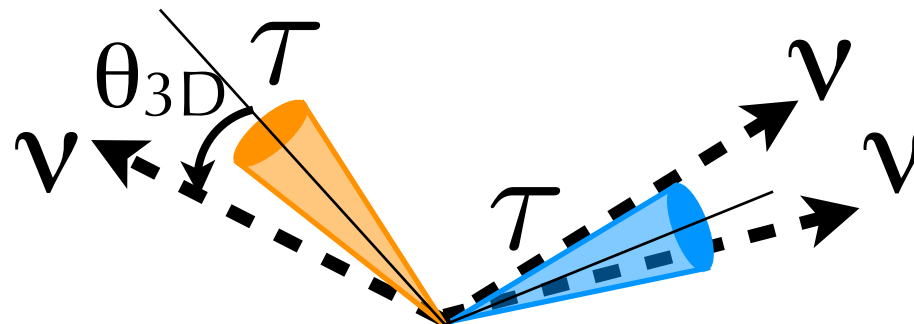
- **Collinear Mass:** τ 粒子の質量1.777GeV
 - 崩壊粒子は全て同じ方向と仮定

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

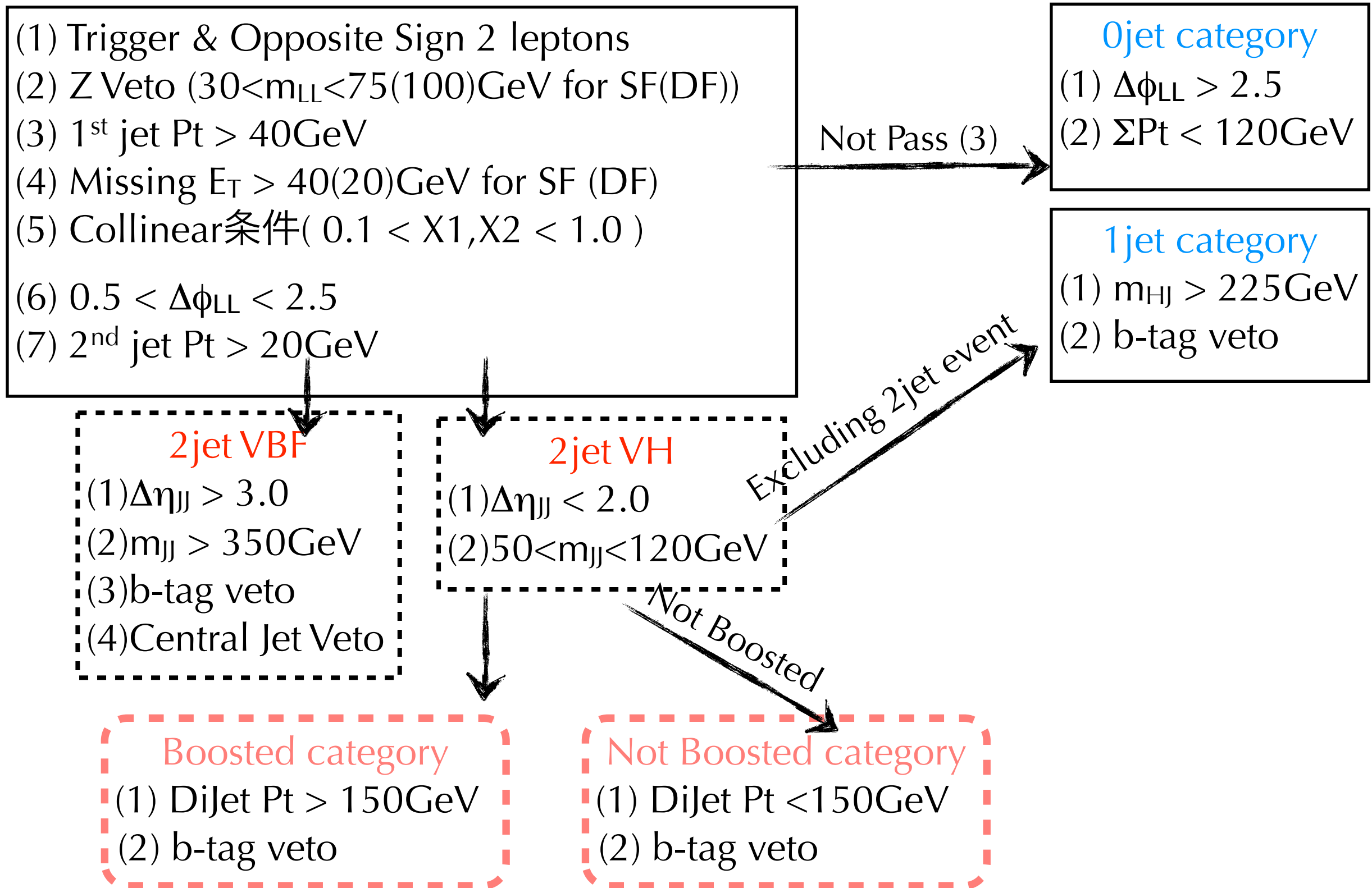


- **Missing Mass Calculator(MMC):**

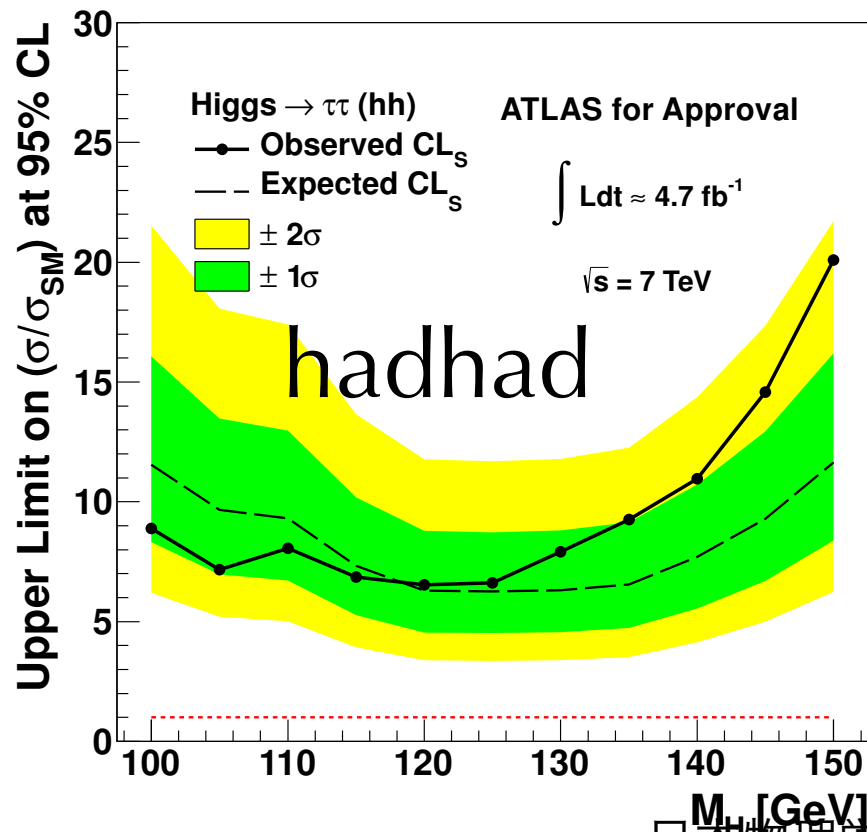
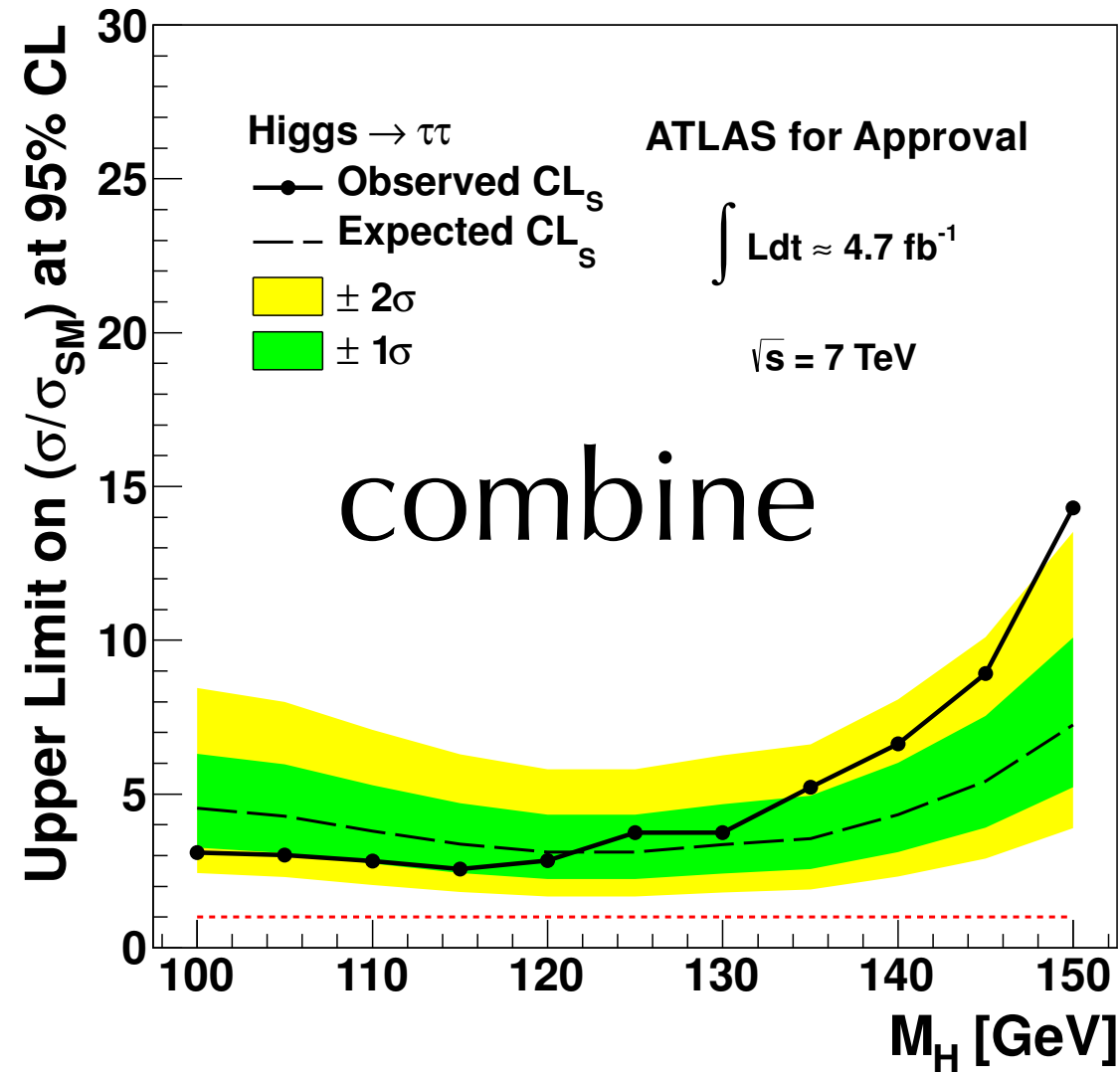
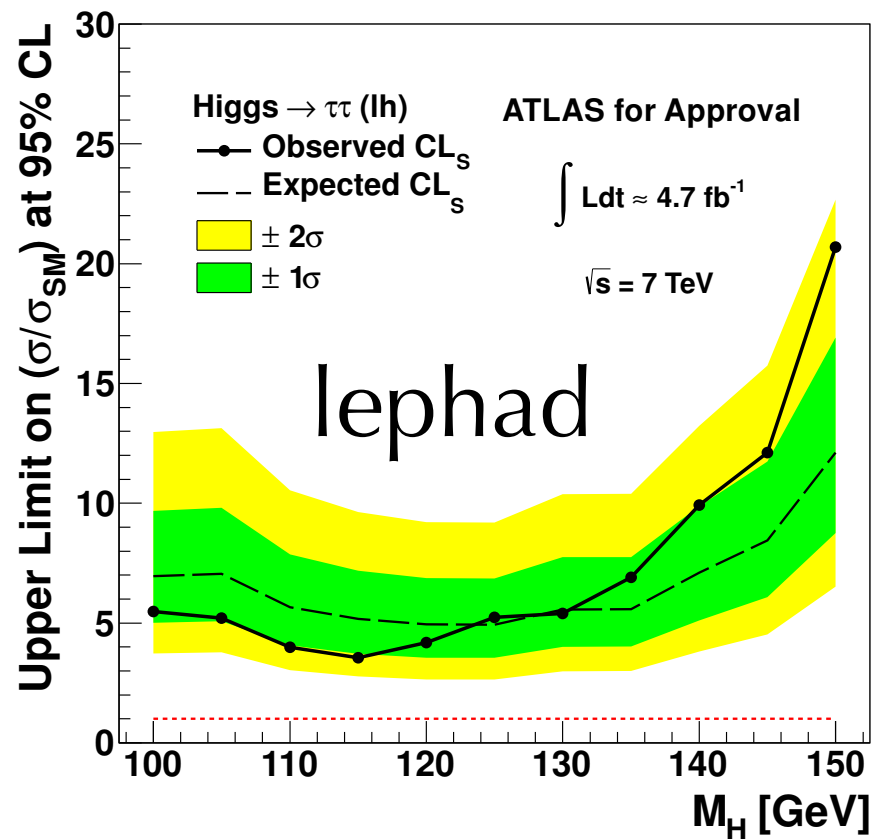
- τ 粒子と崩壊粒子群との角度 θ_{3D} 分布でLikelihoodで再構成
- Collinear Massより再構成の効率が良い
- leptonic decayは効率は下がる
-



Selection Criteria



H → $\tau\tau$ combination



- H → $\tau\tau$ combinationで標準模型の約4倍の制限を得た