

ATLAS実験における $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{hadron-hadron}$ 崩壊 過程探索のための新di-tau triggerの検証

早大理工、KEK^A

三谷貴志、寄田浩平、津野総司^A、

2012年3月29日(金)日本物理学会第68回年次大会

@広島大学 東広島キャンパス

Introduction

- $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{hadron-hadron}$ 過程は $\tau\tau$ 崩壊過程の中で2番目に感度が高い。

$$\sigma/\sigma_{SM} < 2.19 \quad (\int L dt = 4.6 + 13.0 \text{ fb}^{-1}, 95\% \text{ C.L. @ } m_H = 125 \text{ GeV})$$

→ 効率の良い **di-tau Trigger** が必要

- **di-tau Trigger**

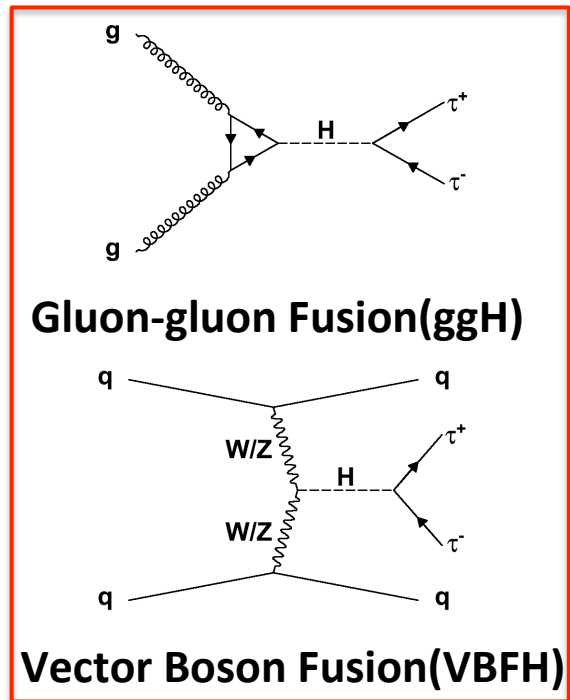
2つのハドロン崩壊するタウをトリガーで要求。

multi-jet 事象がフェイクすることにより、Trigger Rateが非常に大きい。

→ 他崩壊過程に比べ、Trigger p_T thresholdが高い → 解析感度悪化の原因

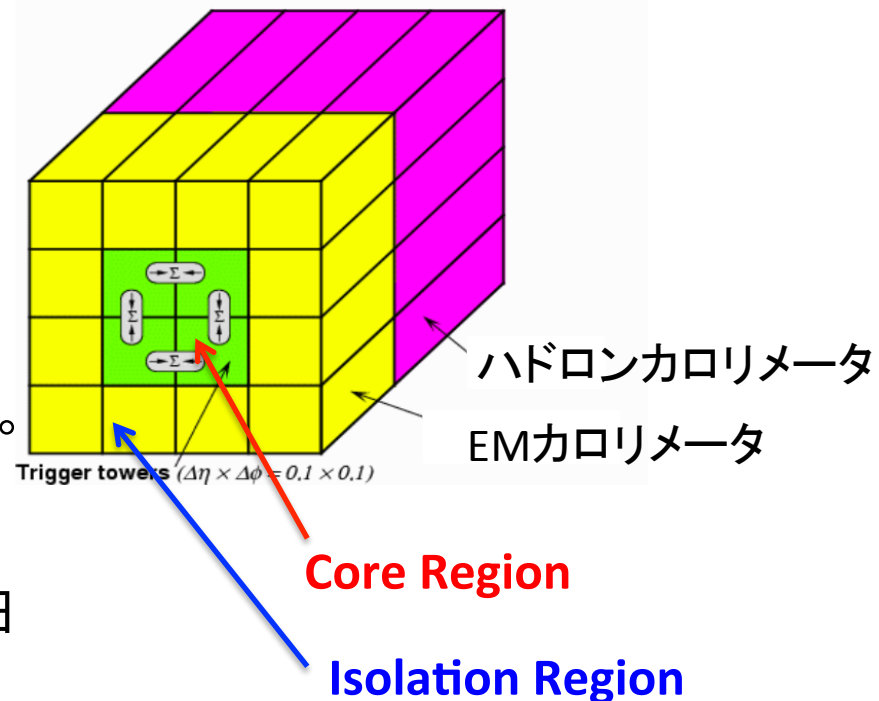
Channel	Trigger	Trigger Threshold	Offline Thredhold
Lepton-Lepton	e- μ trigger	12(e)/8(μ) GeV	15/10 GeV
Lepton-Hadron	Single-lepton	24 GeV	26/20 GeV 高い!
Hadron-Hadron	di-tau	29/20 GeV	40/25 GeV

- Higgsの信号感度を保ちつつ、jet事象を排除し、Trigger Rateを抑えることの出来るdi-tau Triggerをデザインすることが重要である。



Tau Trigger System

- Level1(L1): Hardware Based
 - Calorimeter Tower: $\Delta\eta \times \Delta\phi$ 0.1 \times 0.1
 - Core : 2 \times 2, Isolation : 4 \times 4-2 \times 2
 - エネルギーとIsolationによってトリガー。
- Level2(L2): Software Based
 - L1でトリガーされた粒子周りのより詳細な検出器情報を扱うことが可能。
 - エネルギー(2変数), 飛跡(4変数)
 - カットベーストリガー
- EventFilter(EF):
 - 全情報を扱い、オフラインに近い粒子識別を行うことが可能。
 - 多変量解析(Boosted Decision Tree)。



現行di-tau TriggerのThreshold

Threshold	Lead tau	Sublead tau
L1	15GeV	11GeV
L2	20.7GeV	15.2GeV
EF	29.0GeV	20.0GeV

LHC Run2環境下でのTrigger Rateの見積もり

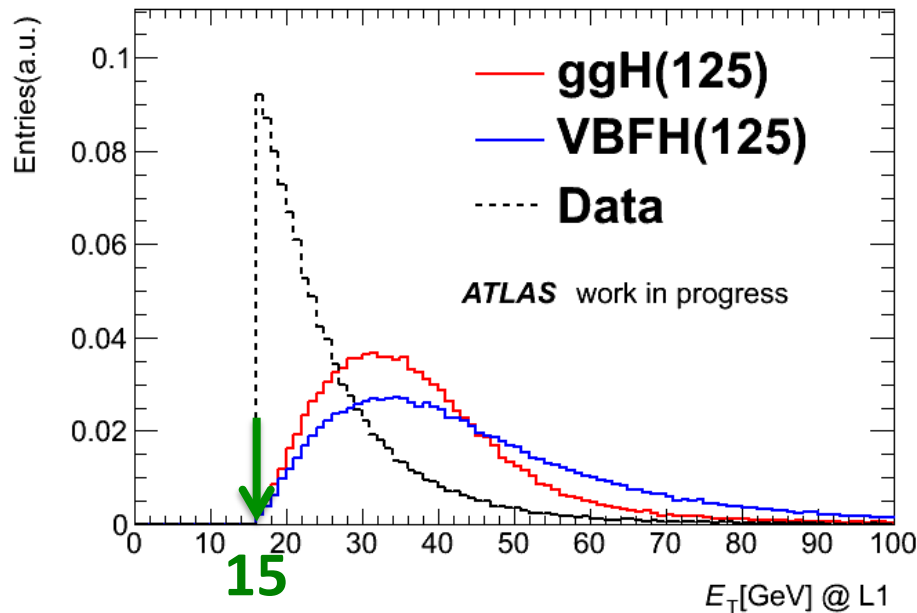
- 2015年からのLHC Run2の予定:
 - $v_s = 14(13) \text{ TeV}$ and 25(50)ns bunch spacing
 - Peak luminosityは段階的に上がる。(2015: 1.0×10^{34} , 2019: $2-3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)**→ $v_s = 14 \text{ TeV}$, $L = 1.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を想定し、L1 Trigger Rateを見積る。**
- L1 Triggerを鳴らす事象: multi-jet事象
 - 2012年Peak luminosity : $0.773 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - $v_s = 8 \text{ TeV} \rightarrow 14 \text{ TeV}$ のcross sectionのスケールによって見積ることが可能。
 - 本講演では8TeV Dataを用いて、Trigger Rateを見積った。
 - ...ただし、パイルアップの増加は考慮していない。
- 例) 現行di-tau Trigger @ $L = 1.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

L1 Menu	Offline pT	8TeV Rate	14TeV Rate	14/8 TeV Ratio
2TAU11I_TAU15	40/25	20.7kHz	43.2kHz	2.1

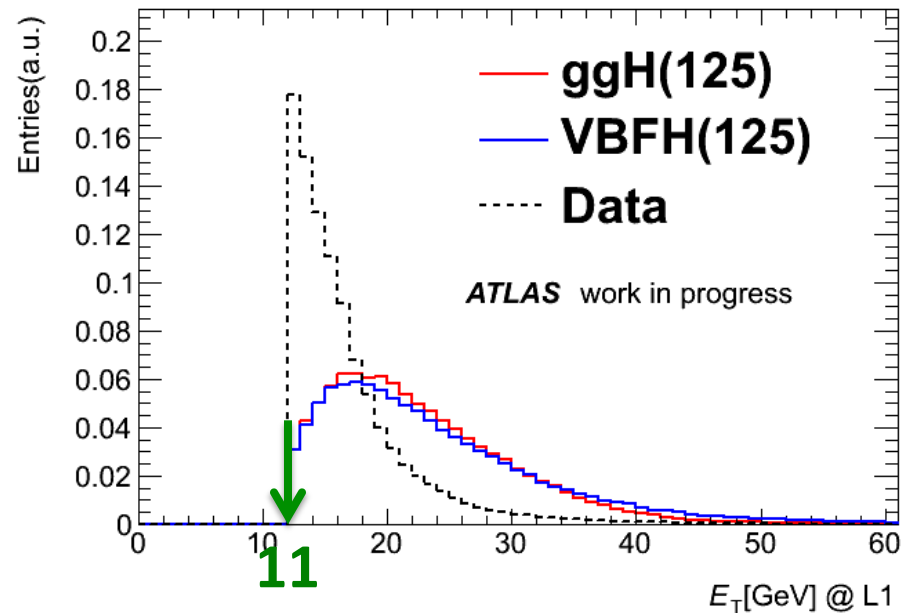
→L1の変数を用いて14TeV L1 Trigger Rateを~15kHzまで落とすことが目標。

Cluster E_T distribution at L1

Lead L1 tau



Sublead L1 tau



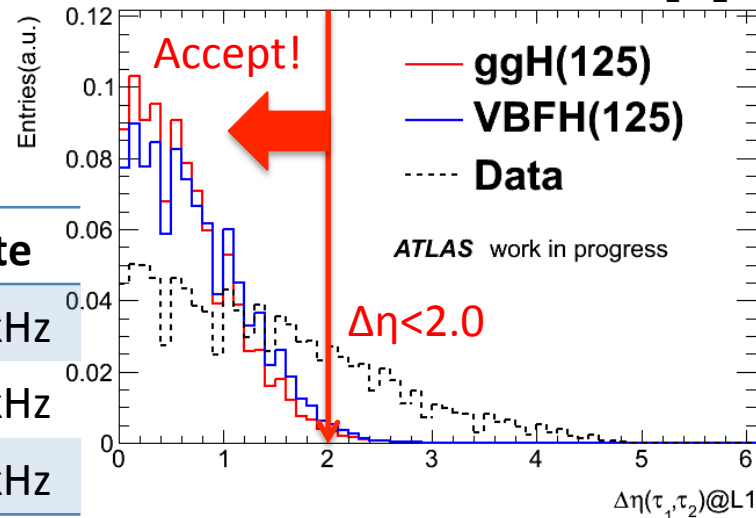
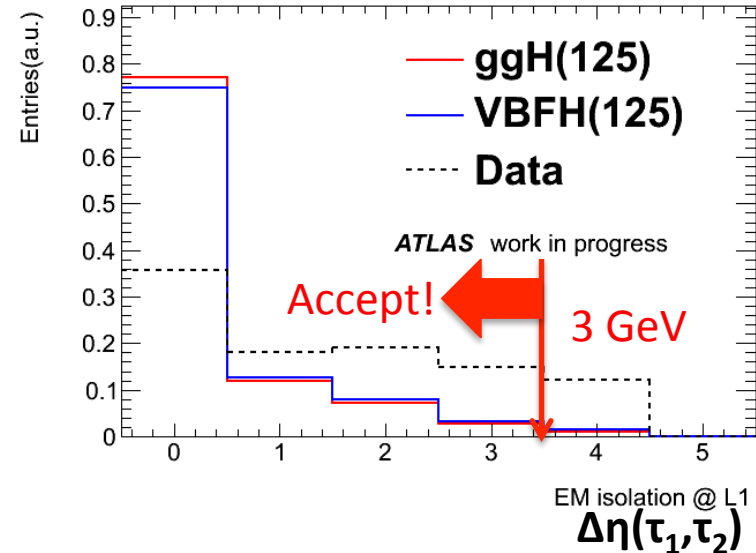
- Cluster E_T の Threshold を上げ、多くの jet 事象を取り除くことは可能。
...Sublead tau の要請から、Lead L1 tau E_T のピークは 30-40 GeV 付近。
→ Lead L1 tau Threshold を上げ、効率的に Trigger Rate を抑えられる。
...しかし、ヒッグス事象も大きく減少させてしまう。→ なるべく他の変数を使いたい。

Requirements at L1

L1の変数候補

- EM Isolation(右上図)
 タウ粒子は細いジェットの様に振る舞う。
 → IsolationをTightに要求し、QCDを除去。
- $\Delta\eta(\tau_1, \tau_2)$ (右下図)
 陽子陽子衝突において、生成されたZ/H等
 重い粒子はビーム軸方向にBoostしている。
 → 崩壊後の粒子は同 η 方向に出やすい。
- 追加のL1ジェット(>10GeV)を要求する。

EM Isolation



Menu

L1 Rate

E_T cut, Isolation_{EM} ≤ 4 GeV(現行)

43.2 kHz

E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation_{EM} ≤ 3 GeV

24.7 kHz

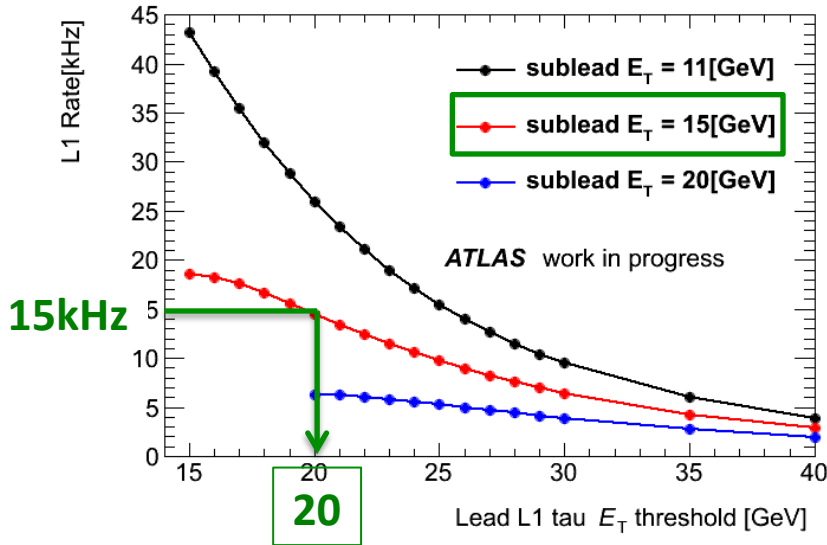
E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation_{EM} ≤ 3 GeV + 1jet($E_T > 10$ GeV)

7.49 kHz

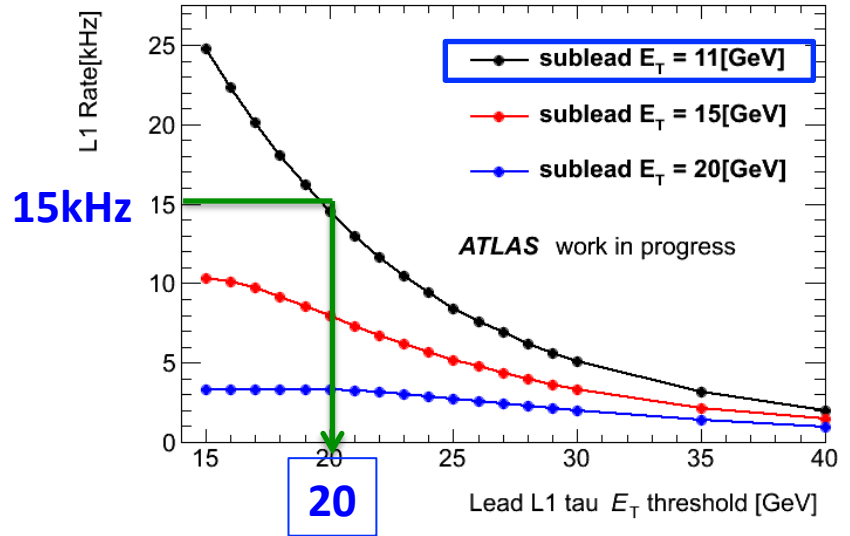
→ $\Delta\eta$ cutは26%、Isolation Cutは22%のreductionをもつが15kHzの要請には不十分。

L1 Trigger Rate と E_T Thresholdの最適化

E_T cut+ Isolation $_{EM} \leq 4\text{GeV}$ (現行トリガー)



E_T cut+ $\Delta\eta < 2.0$, Isolation $_{EM} \leq 3\text{GeV}$



- Sublead tau E_T thresholdを11, 15, 20 GeVにそれぞれ固定。
 Lead tau E_T thresholdとL1 Rateの関係をplotし、最適な E_T Thresholdを見積った。

Menu	Lead tau	Sublead tau	L1 Rate
E_T cut, Isolation $_{EM} \leq 4\text{GeV}$ (現行)	15 GeV	11 GeV	43.2 kHz
E_T cut, Isolation $_{EM} \leq 4\text{GeV}$	20 GeV	15 GeV	14.5 kHz
E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation $_{EM} \leq 3\text{GeV}$	20 GeV	11 GeV	14.5 kHz
E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation $_{EM} \leq 3\text{GeV}$, 1jet	15 GeV	11 GeV	7.5 kHz

新たに提案した
トリガーメニュー

①④トリガー	15/11 GeV
②トリガー	20/15 GeV
③トリガー	20/11 GeV

L1 & L2 Rate, Signal Acceptance

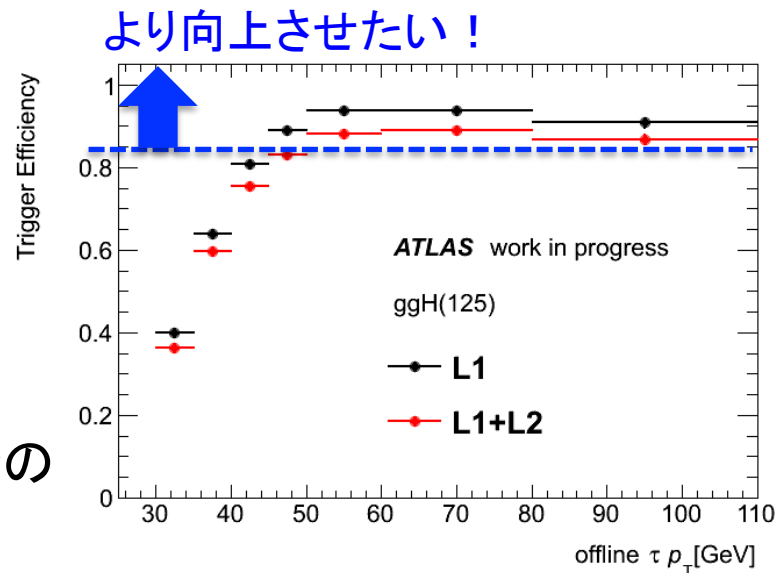
- L2 Thresholdを固定(15.2/20.7GeV)。
- Signal Acceptance:
= (分母のうちトリガーを鳴らした事象)/(オフラインでPreselectionを通った事象)

Menu	L1 Rate	L2 Rate	Higgs	ggH	VBFH
① E_T cut, Isolation _{EM} ≤ 4 GeV (現行)	43.2 kHz	2.22 kHz	0.57	0.56	0.57
② E_T cut, Isolation _{EM} ≤ 4 GeV	14.5 kHz	1.19 kHz	0.45	0.45	0.46
③ E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation _{EM} ≤ 3 GeV	14.5 kHz	0.91 kHz	0.52	0.52	0.53
④ E_T cut, $\Delta\eta < 2.0$, Isolation _{EM} ≤ 3 GeV, 1jet	7.49 kHz	0.41 kHz	0.26	0.22	0.47

- 現行トリガー①と比較すると、③のトリガーが最も良い。
 - Trigger Rate : L1 Rateは現行トリガーの $\sim 1/3$ 。L2 Rateも1kHzに抑えられている。
 - Signal Acceptance: 現行トリガーと $\sim 9\%$ の差異。
- 最も良くTrigger Rateを削減しているのは1jetを要求した④のトリガー。
.....信号の取得効率が大きく減少($\sim 54\%$ の減少)。
ただし、オフラインでジェットを要求した解析には有用。

今後の課題と改善策

- タウトリガー効率を向上するのが重要。
(現行) Jetのreductionを良くするために、
本物のタウも少しカットしている。
→トリガー効率を改善することで、di-tau Triggerでの
Signal Acceptanceは2乗で向上する！

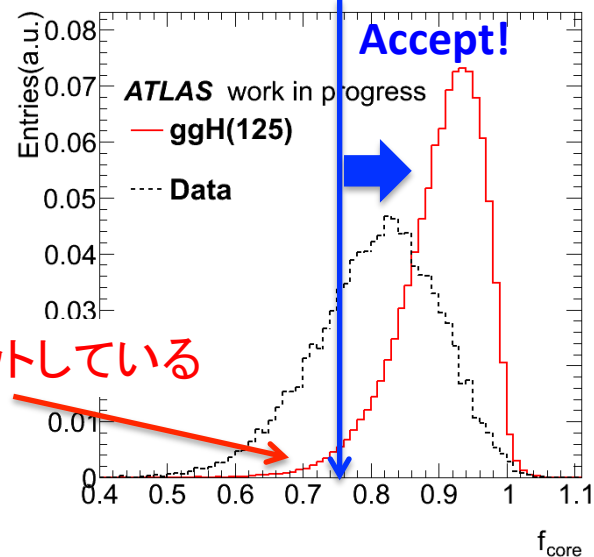


改善策

- L1: EM fraction, hadronic isolation, topological変数。
- L2: Fast Tracker (FTK: 26pRG-11,12,13)の飛跡情報
によって、Shower Shapeの ΔR を広げる。
→Jetとタウをより良く分離出来る。
L2のprocessing timeを優位に使い、多変量解析
を実装する。

今後、Jetのreductionを維持しながら、信号をリカバー
するようにトリガーをデザインすることが重要となる。

例) L2 $f_{core} = \frac{\sum_{\Delta R < 0.1} E_T}{\sum_{\Delta R < 0.2} E_T}$



Summary

- 2015年の $\sqrt{s}=14\text{TeV}$, $L=10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ のLHC Run2環境下におけるL1, L2 Trigger Rateを見積り、最適な E_T Thresholdを提案した。
- $\Delta\eta$ cut, EM Isolation cutをL1に導入し、最適な E_T Thresholdを選んだことにより、現行のトリガーに対して9%のSignal Acceptanceの損失に対し、L1 Trigger Rateを1/3に抑え、L1で15kHz、L2で1kHzの要請を満たすことが出来た。

Future Plan

- より詳細にTrigger Rate及びSignal Acceptanceを見積る。
 - 8TeVから14TeV MCに変更し、見積もりの不定性を小さくする。
 - 高輝度環境下でのパイルアップの効果を考慮する。
- $L=2\text{-}3\times 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の高輝度環境下におけるTrigger Rateを見積る。
- 2015年のLHC Run2の高輝度環境下でも、Trigger Rateを抑え、ハドロン崩壊するタウを効率的に取得することを可能にし、 $H\rightarrow\tau\tau\rightarrow\text{hadron-hadron}$ 崩壊過程探索の解析感度の維持、向上につなげたい！