

Vector Boson Fusion過程を用いた ヒッグスのスピンとCPの測定

東大素セ、KEK^A

兼田 充、小林 富雄、
神前 純一^A、浅井祥仁、田中 純一

日本物理学会 2005年秋季大会

Outline

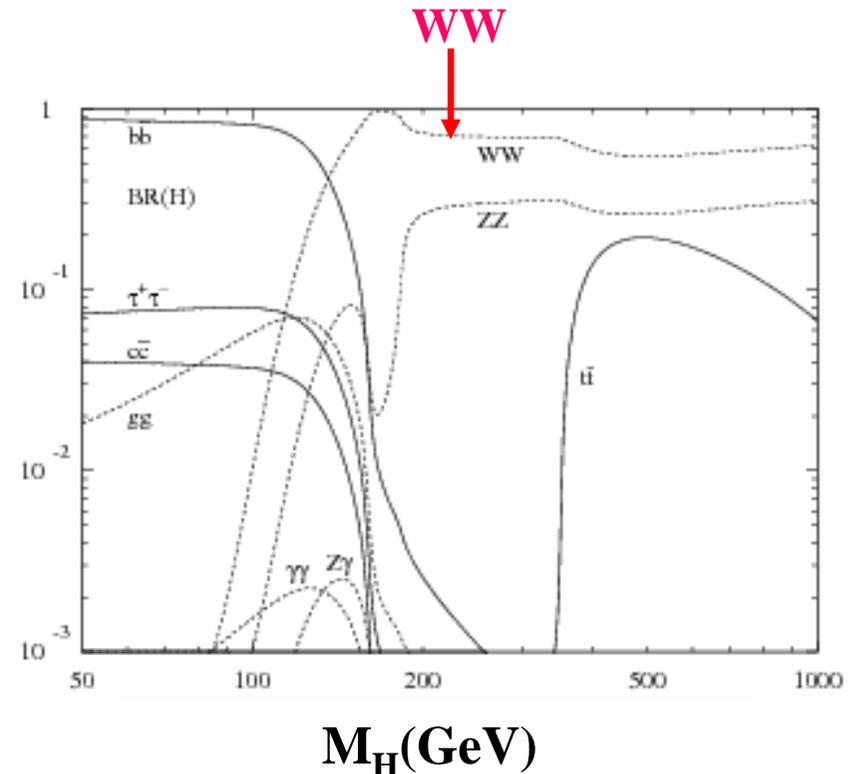
- **Vector Boson Fusion 過程の
H- \rightarrow WW- \rightarrow lvjj**
- **ヒッグスの崩壊におけるスピンとCPに
関係するパラメーター**
- **MC Event Generation**
- **イベントセレクション**
- **結果**
- **まとめ**

Introduction

- LHC-ATLAS実験において、ヒッグス粒子が発見された後、その粒子の性質について調べるのが次の課題である。
- $M_H > 2M_W$ の時、ヒッグスは主に、 W^+W^- または ZZ ペアに崩壊する。
この崩壊モードの場合、発見は容易である。
($L=30\text{fb}^{-1}$ 20 σ 以上のsignificance)
- ヒッグスのスピンやCPについてのstudyとしては、 **$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$** という崩壊過程におけるものがある。
C. P. Buszello *et al.*, hep-ph/012396
- 今回私達は **$H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$** という崩壊過程でのヒッグス粒子のスピン、CPの測定について研究した。

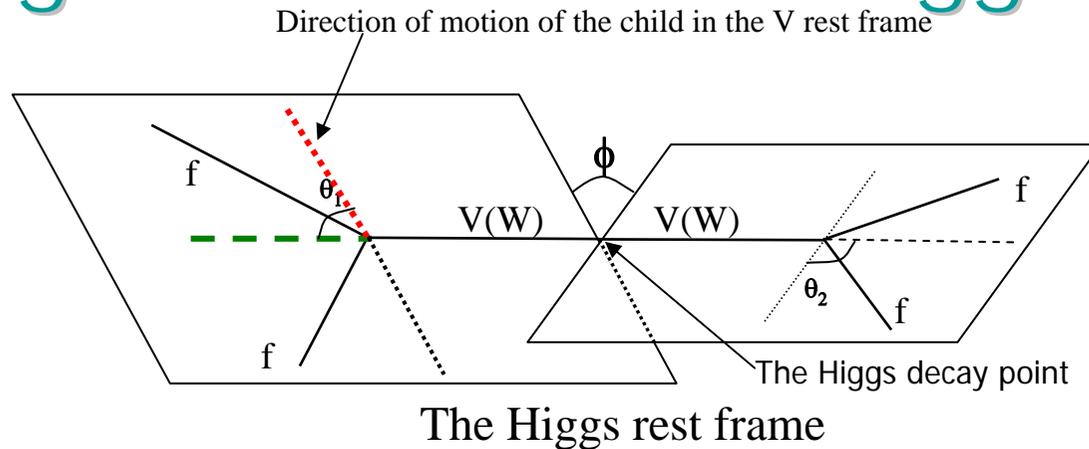
VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$

- ヒッグスの質量が140GeV以上でWWへの崩壊が非常に大きい。
- Vector Boson Fusionについてのこれまでの私達の研究を用いることが出来る。
- この崩壊過程ではneutrinoが一つしか存在しないので値を解くことが出来る。従って事象を完全に再構成できるので、 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ 、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 、 $H \rightarrow \tau\tau$ 、と並ぶ重要なチャンネルである。



M_H (GeV)
ヒッグスの崩壊率

Parameters Sensitive to Spin- and CP-eigenvalues of the Higgs Decay



ϕ :: ヒッグス粒子の静止系において、二つのW粒子から崩壊したそれぞれ2つのフェルミオンが作る平面の間の角度。

θ :: W粒子の静止系におけるフェルミオンの運動量方向と、ヒッグス粒子の静止系におけるW粒子の運動量方向間の角度。

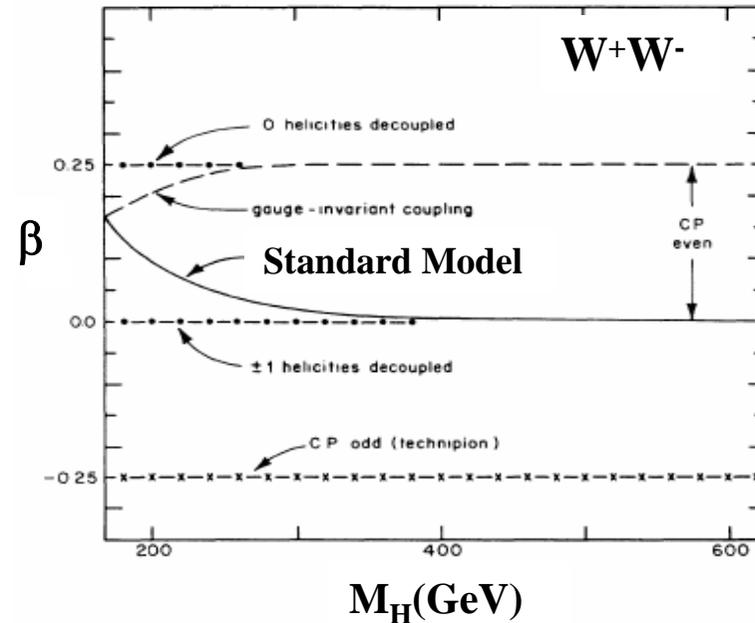
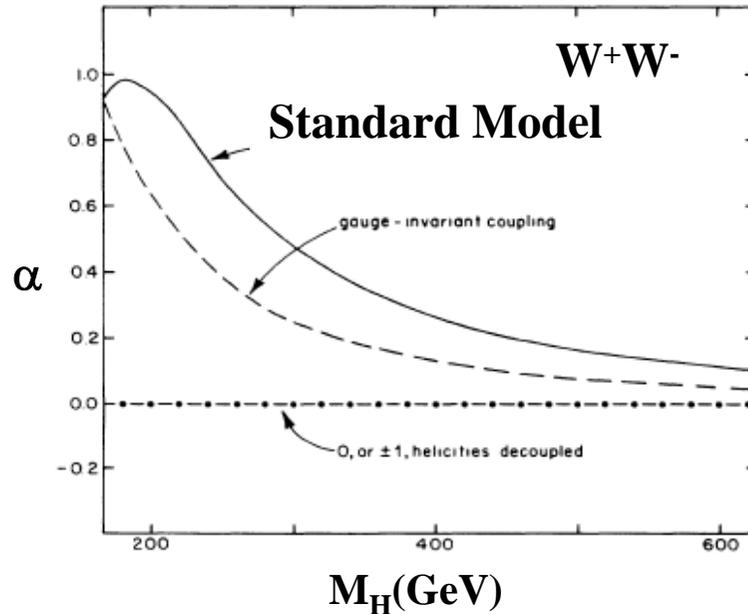
これらの角度はヒッグスのスピンとCPに対してsensitiveである

The Decay Plane Correlation Function

Ref. Charles A. Nelson, Phys. Rev. D 37,1220(1998)

ϕ に関しては次のような関数でフィット出来る

$$F(\phi) = C(1 + \alpha \cos\phi + \beta \cos 2\phi)$$



しかし、jetの電荷を知ることは出来ないの次のような関数になる

$$F^*(\phi) = (F(\phi) + F(\pi - \phi))/2 = C(1 + \beta \cos 2\phi)$$

従って、このモードでは β のみ測定することが出来る。

The Polar Angle Distribution

- θ に関しては次のような関数でフィットすることができる:

$$G(\theta) = T \cdot (1 + \cos^2(\theta)) + L \cdot \sin^2(\theta)$$

L : W粒子の振幅のたて成分

T : W粒子の振幅の横成分

- 新たにRを:

$$R := (L - T) / (L + T)$$

と定義。

これはたて成分と横成分の割合を表す量である。

MC Generations

- **Signal: VBF H \rightarrow WW \rightarrow lvjj (l = e, μ)**
 - **$\sigma \cdot \text{Br}(H \rightarrow WW) = 842 \text{ fb}$ ($M_H = 160 \text{ GeV}$) (Pythia)**
 - **$\sigma \cdot \text{Br}(H \rightarrow WW) = 836 \text{ fb}$ ($M_H = 170 \text{ GeV}$) (Pythia)**
- **Background:**
 - **ttbar $\sigma = 488 \text{ pb}$ (Pythia)**
 - **W+4jets**
 $\sigma \cdot \text{Br}(W \rightarrow \text{leptonic decay}) = 134 \text{ pb}$
(AlpGen + Pythia)
- **この研究はFast simulationを用いて行った。**

Event Selection

- **Lepton, Missing E_T**

- $30\text{GeV} < P_T(\text{lep}) < 100\text{GeV}$
- $|\eta| < 2.5$, Number of leptons = 1
- $30\text{GeV} < \text{Missing } E_T < 100\text{GeV}$

- **Jet Tagging**

- 各半球でhighest P_T jetをforward jet と定義。
- このforward jetに対し
 - $P_t > 40\text{GeV}$, $M_{j_1 j_2} > 1000\text{GeV}$, $|\eta_1 - \eta_2| > 4$ を要求。

- **W- \rightarrow jj(Central jets)**

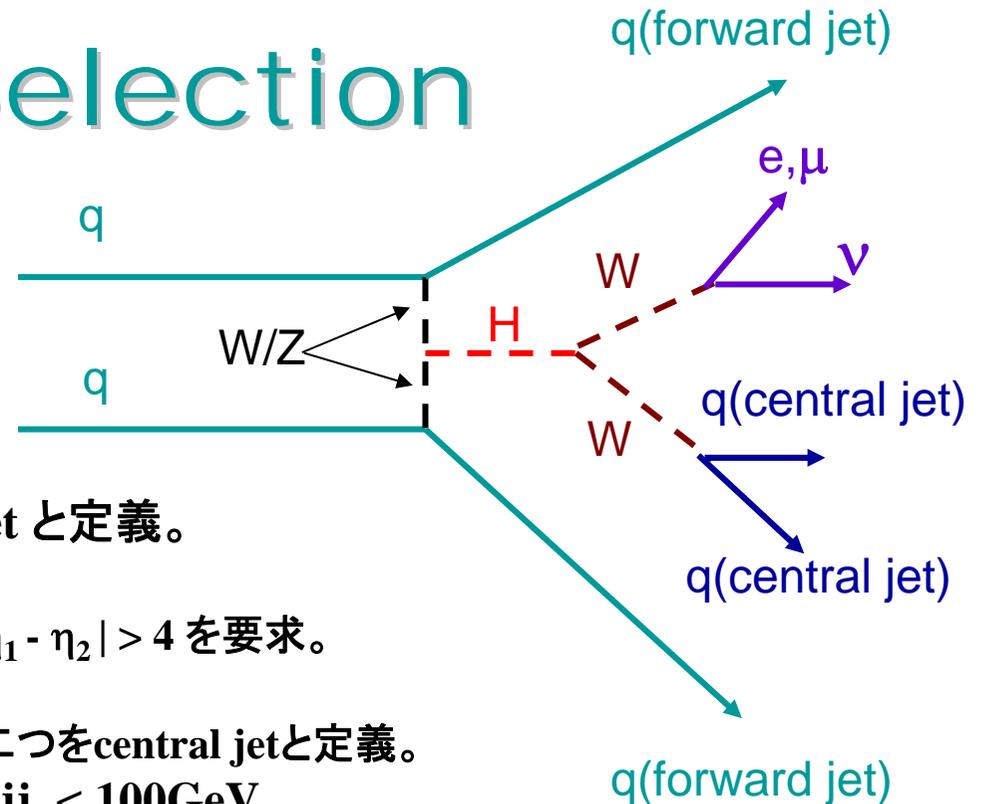
- 残ったjetの中から P_T が大きいものから二つをcentral jetと定義。
- $30\text{GeV} < P_T < 100\text{GeV}$, $60\text{GeV} < M_{jj} < 100\text{GeV}$
- $\eta_{f1} < \eta_{c1}$, $\eta_{c2} < \eta_{f2}$
- ΔR between forward jet and central jet > 0.7

- **top veto**

- Number of b-jets = 0 (B.G. でtopを含むものを落とすためにtopから崩壊するbottom粒子が無いことを要求)

- **Mini jet veto**

- 二つのforward jetの間の領域に 20GeV 以上のjetがforward, central jet以外に存在しないことを要求



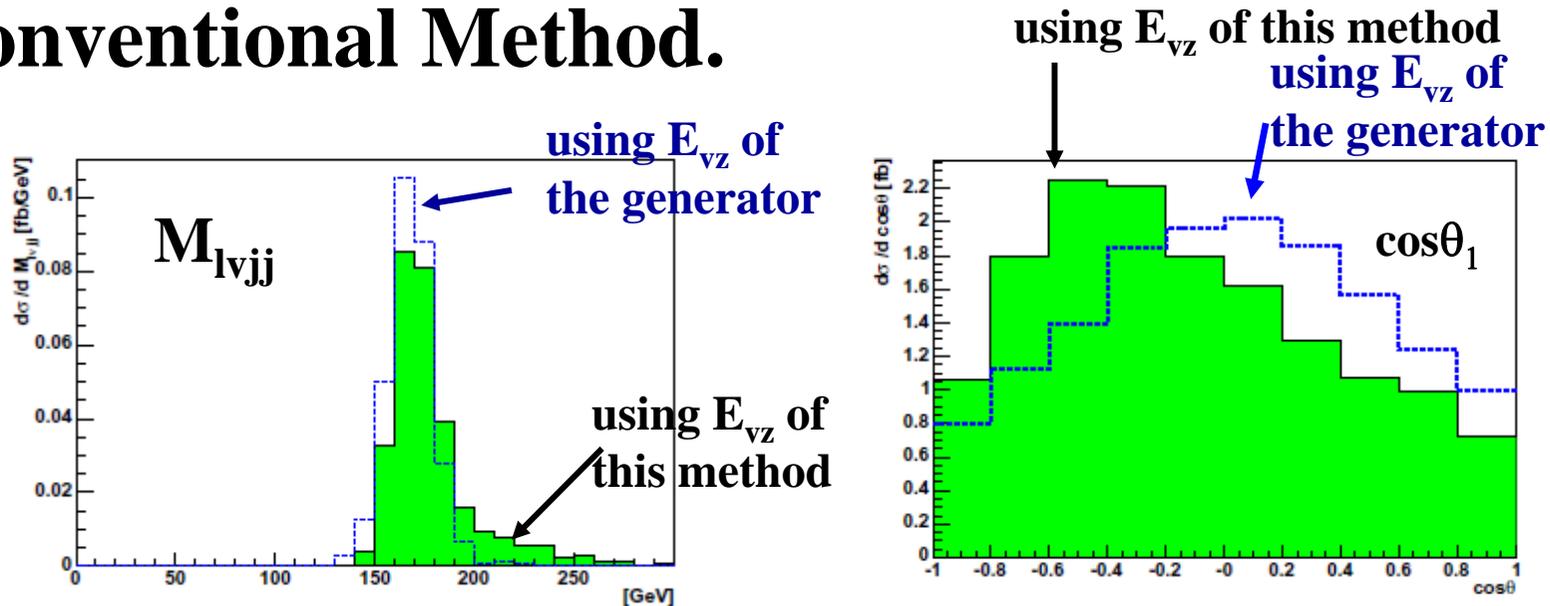
Selection

($W \rightarrow l\nu$ Reconstruction)

- neutrinoの横方向の運動量はmissing Etとして計れるが、z方向(ビーム軸方向)の運動量 $E_{\nu z}$ 直接は計れないので、観測量から決めてやらなければならない。
- Conventionalな方法として $E_{\nu z}$ をmissing Etとleptonの運動量を用いて、ニュートリノとレプトンからWをリコンストラクションした際に $M_{W \rightarrow l\nu} = 80\text{GeV}$ となるように決めるものがある。
この方法は2次方程式を導くことになるので二つの解 $E_{\nu z1}, E_{\nu z2} (|E_{\nu z1}| > |E_{\nu z2}|)$ が存在する。
Conventionalな方法では $E_{\nu z2}$ を選んでいる。

Selection (W->lv Reconstruction)

Conventional Method.



M_{lvjj} and $\cos\theta$ using this method (signal only)

M_{lvjj} の分布は高い方にtailがあり, $\cos\theta_1$ の分布は負の方向に偏ってしまっている。

この方法によって得られた E_{vZ} は実際の E_{vZ} と大きく違っていて**角度分布に影響を及ぼしてしまっている。**

Selection

(W->lv Reconstruction)

我々が開発した新しい方法

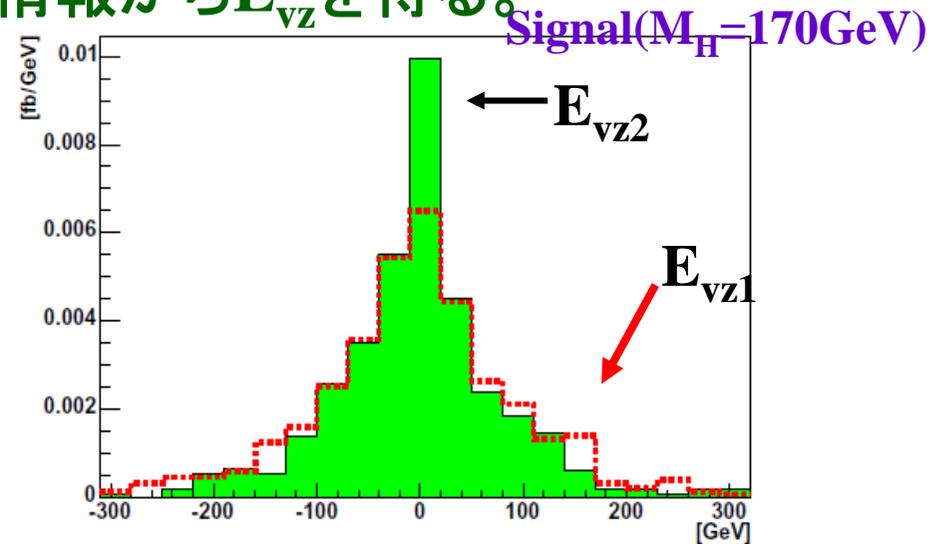
- ヒッグス発見後の測定モードとしてはヒッグスの質量の情報をインプットとして使える。つまり M_H をfixしてmissing E_T 、leptonの運動量、二つのcentralジェットの情報から E_{vz} を得る。

- Conventional method同様

$E_{vz1}, E_{vz2} (|E_{vz1}| > |E_{vz2}|)$ の
二つの解があり E_{vz2} を選んだ。

- 二つの方法を比べた結果、
新しい方法の方がより正しい E_{vz}
を得られるという結果が出た。

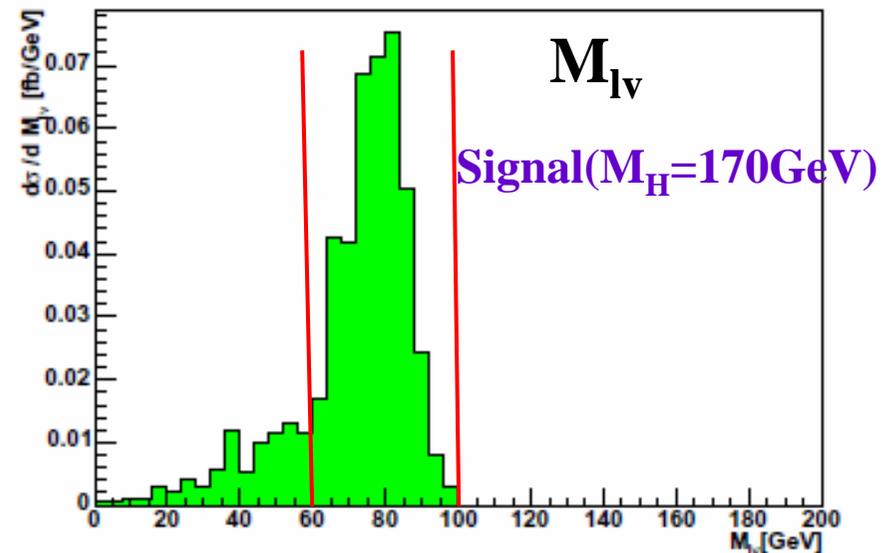
- また、ヒッグスの質量に5GeV程度の不定性があった場合でも、
角度分布に対する大きな影響は出ないことを確認した。



$E_{vz}(\text{generator}) - E_{vz}(\text{reconstructed})$

Selection ($W \rightarrow l\nu$ Reconstruction)

- この方法により $E_{\nu Z}$ が得られなかった場合 (方程式が解けない場合) そのイベントは除く。
- 得られた $E_{\nu Z}$ を用いて W を lepton と neutrino から再構成し、その質量に対して $60\text{GeV} < M_{l\nu} < 100\text{GeV}$ の Cut をかける。

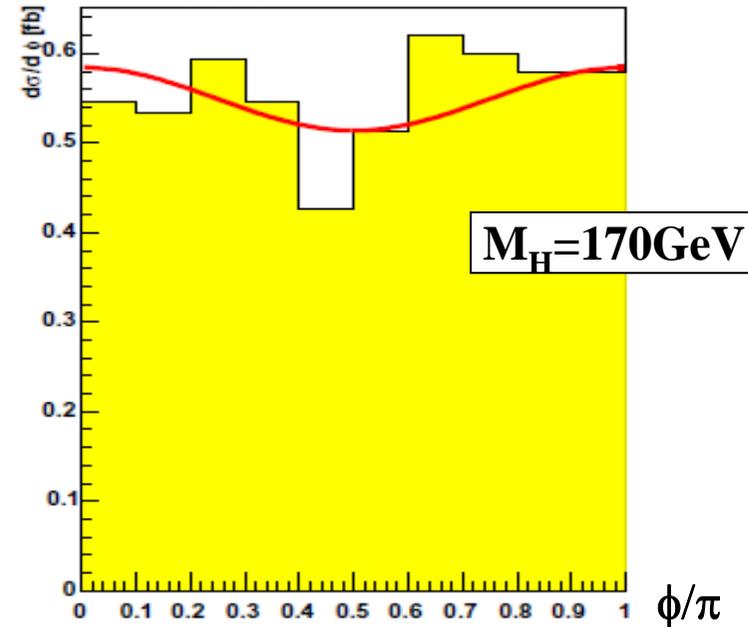
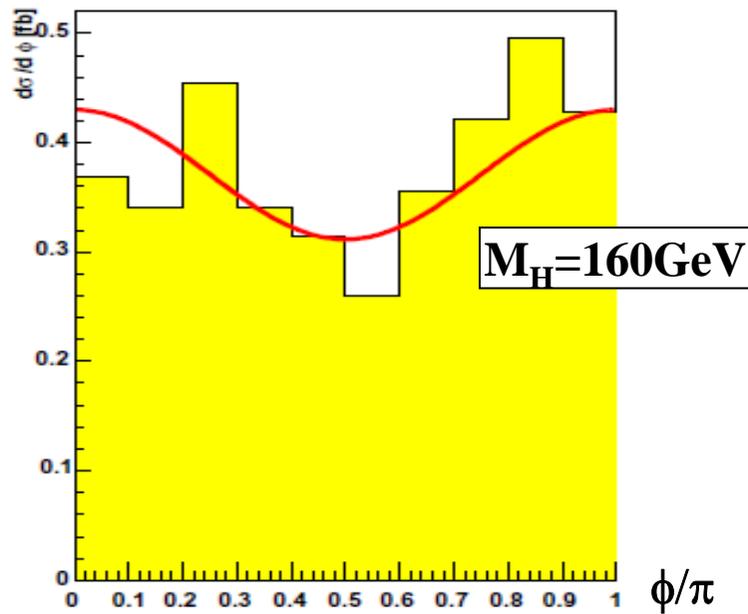


Event Statistics

Expected cross sections after selections.

	$M_H=160\text{GeV}$	$M_H=170\text{GeV}$
Signal	1.19fb	1.73fb
ttbar	<0.01fb	<0.06fb
W+4jets	0.49fb	1.1fb

Results (ϕ)

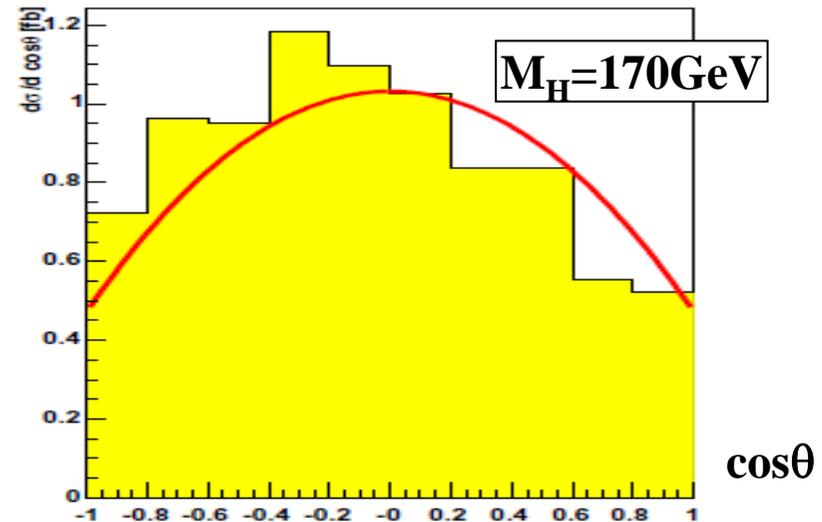
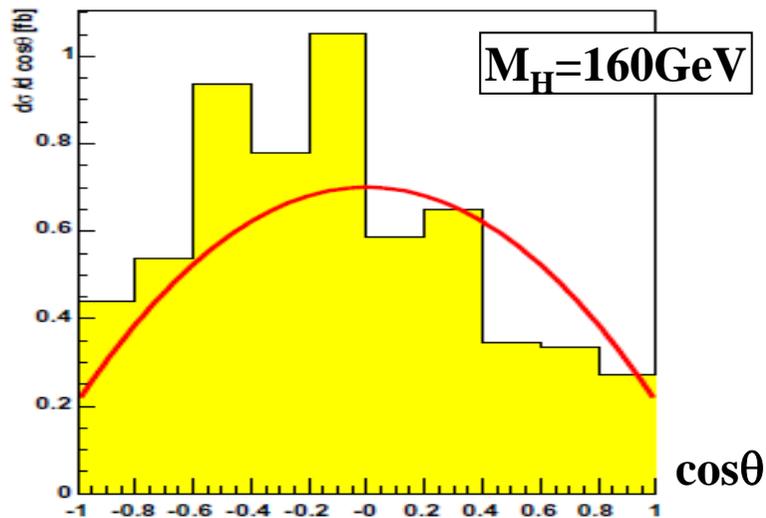


Fitting function: $F^*(\phi) = C(1 + \beta \cos 2\phi)$

Results of β [30fb^{-1}](signal only and error is statistical only)

M_H	Fitting value at 30fb^{-1}	SM	Spin 1, CP +/-1	Spin 0, CP -1
160GeV	0.16+/-0.23	0.17	0	-0.25
170GeV	0.06+/-0.19	0.14	0	-0.25

Results ($\cos\theta$)



Fitting function: $G(\theta) = T \cdot (1 + \cos^2(\theta)) + L \cdot \sin^2(\theta)$

$$\mathbf{R := (L - T) / (L + T)}$$

Result of R [30 fb^{-1}] (signal only and error is statistical only)

$$\mathbf{R = 0.70 \pm 0.32 (M_H = 160 \text{ GeV})}$$

$$\mathbf{R = 0.54 \pm 0.30 (M_H = 170 \text{ GeV})}$$

Summary

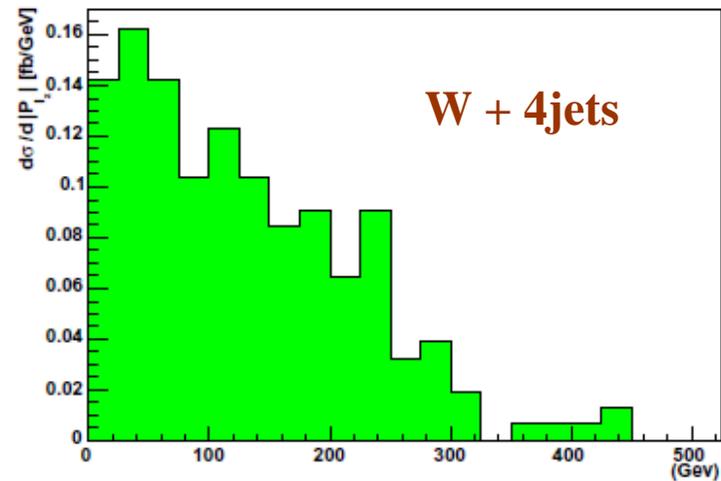
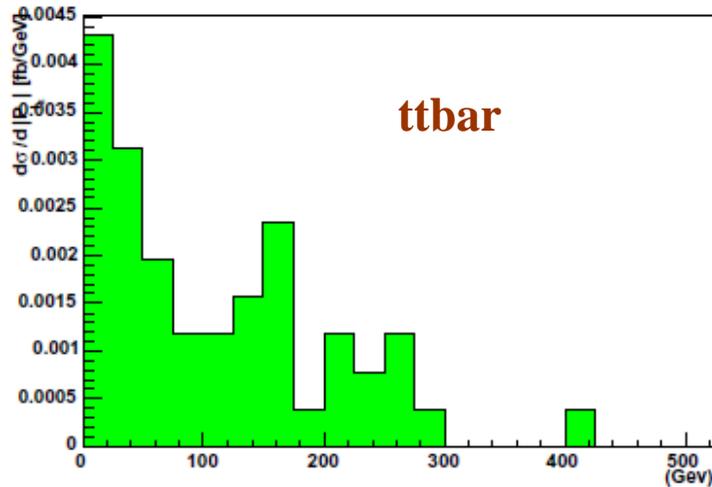
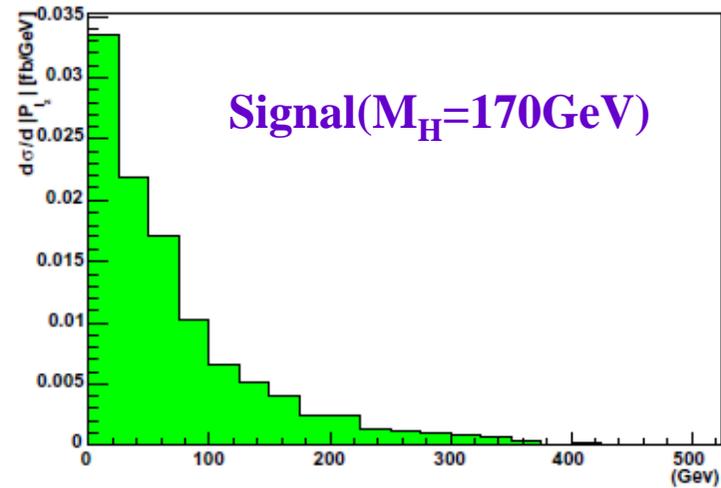
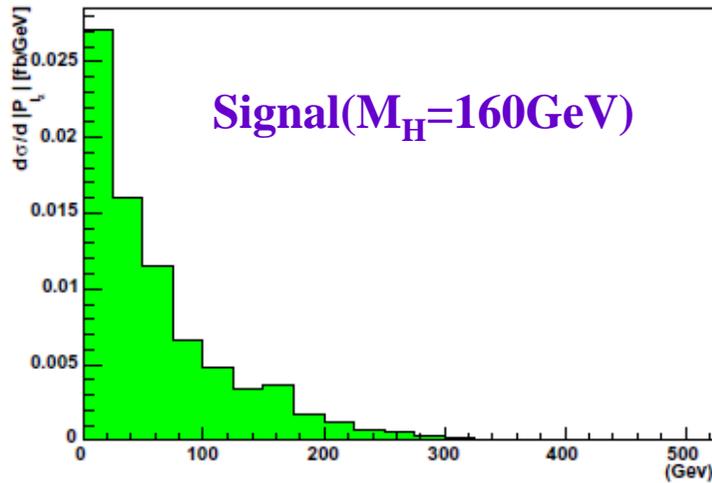
- Higgs Mass Constraint Method を考案し、 $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$ において Conventional Methodより正確な $E_{\nu Z}$ を得ることが出来た。
- LHC-ATLAS実験において、ヒッグスがスピン0の場合、 $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$ 過程を用いて、CPがevenかoddか識別可能。

今後の課題

- Selectionについてはまだ改良の余地がある。
- $t b j$ のような他のB.G.についても調べてみる必要がある。
- ヒッグスの質量が小さい領域でもこの方法でスピン、CPが測定できる可能性があり、研究する必要がある。
- スピン1やCP oddのヒッグスについての研究。
- **Forward jets** の角度相関もヒッグスのスピン、CPに対してsensitiveな値で、これについても今後研究する。

Back Up

W->lv Reconstruction



Distributions of $|P_{1z}|$