

次世代電子陽子加速器LHeCにおける
Hbb結合測定感度の研究

東京工業大学
田中雅大

21st ICEPP Symposium
2015年2月9日
@白馬



H → bb 崩壊モード

- ヒッグス機構によるとヒッグス粒子と各素粒子の結合定数は、その素粒子の質量に比例していると考えられている

→ 各結合定数を精密に測定し、ヒッグス機構の正しさを検証する必要がある

LHCで有意に観測されている崩壊モード

$$\underline{H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu} \quad \underline{H \rightarrow \gamma\gamma}$$

$$\underline{H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l} \quad \underline{H \rightarrow \tau\tau}$$

LHCにおけるH → bb崩壊モード測定

ATLAS

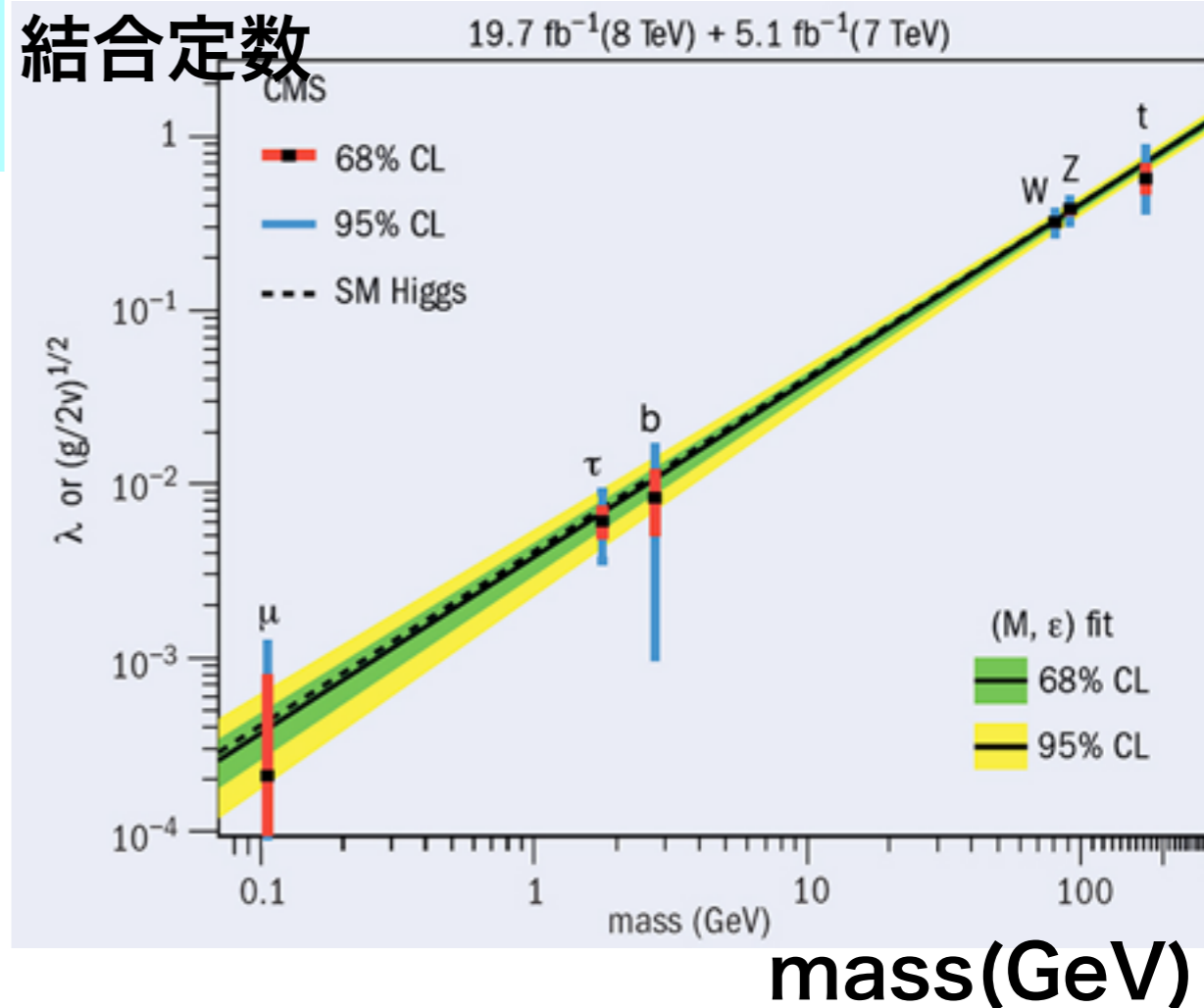
$$\mu = 0.5 \pm 0.4$$

CMS

$$\mu = 0.84 \pm 0.44$$

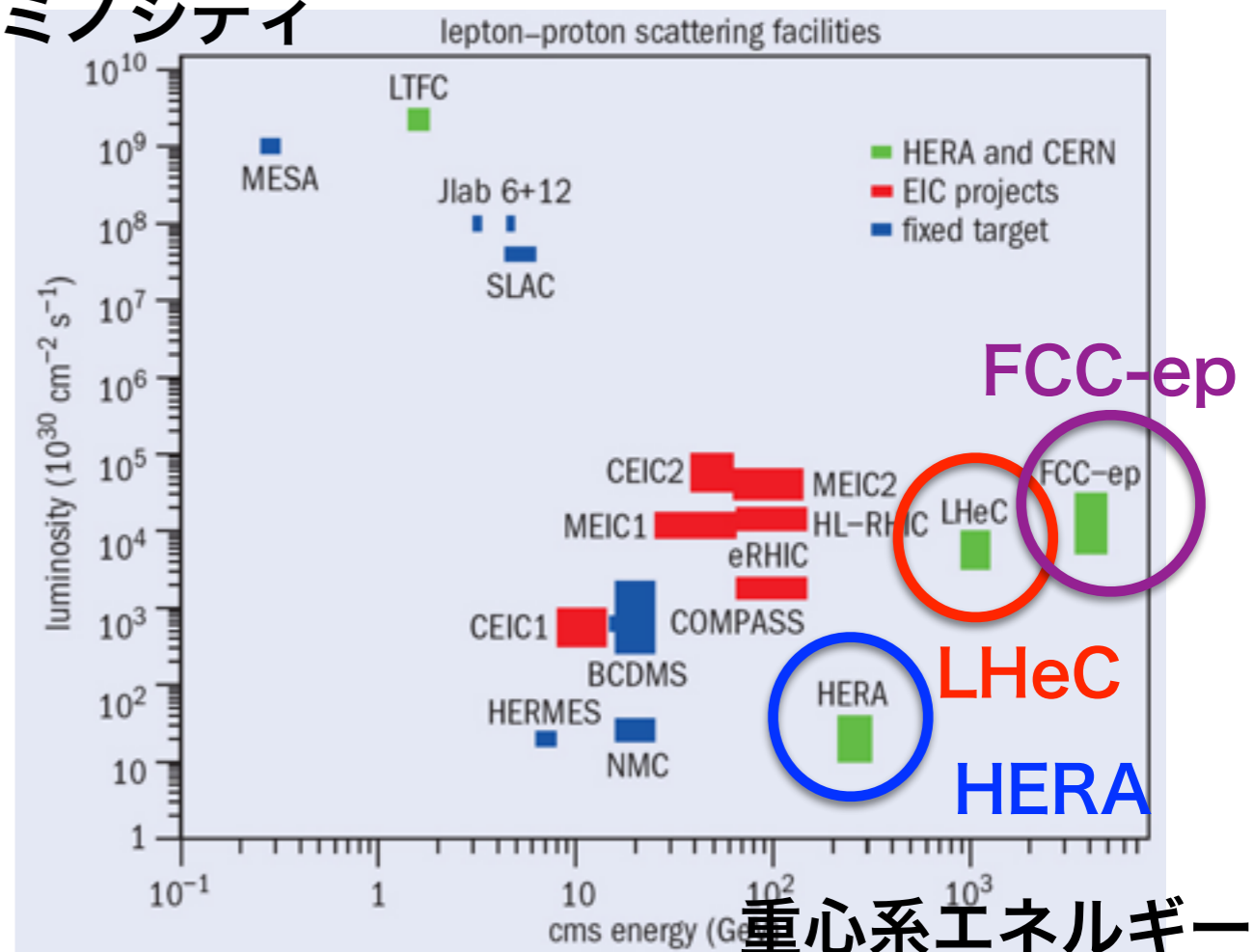
pp colliderではなく
ep colliderではどうか？

CMSにおける ヒッグス崩壊モード測定



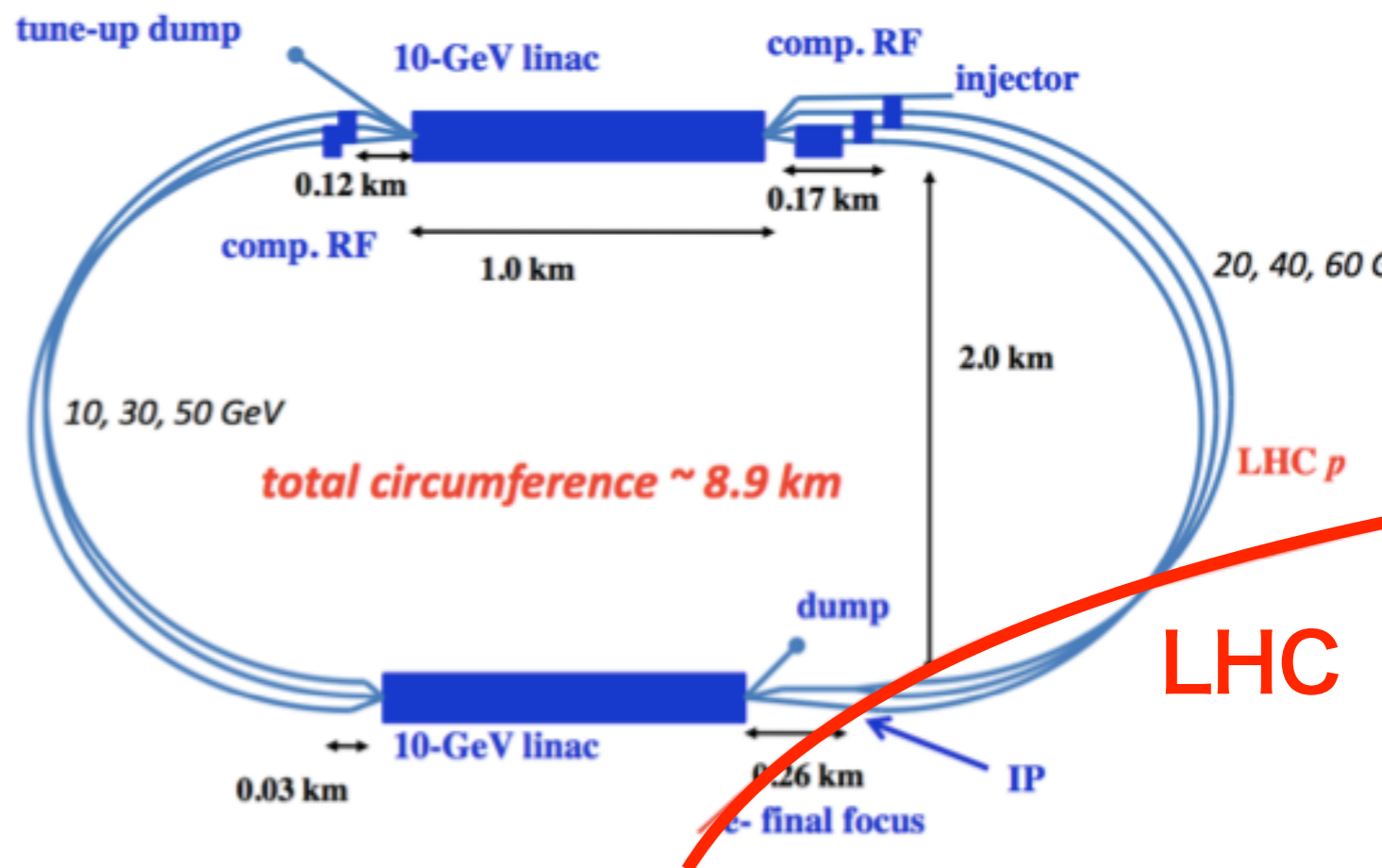
- 現在計画段階の次世代電子陽子衝突型加速器
- 電子陽子DIS事象における陽子内部構造の精密測定(low-x)を目的としている
- 新しく電子加速器を建設し、LHCの陽子ビームと組み合わせる
- 7 TeVの陽子ビーム、60 GeVの電子ビームの衝突を想定
- 基本設計では10 fb⁻¹/year、High-lumi option では100 fb⁻¹/year
- 先行する電子陽子衝突型加速器HERAよりも高い重心系エネルギー、ルミノシティでの運転が可能
- さらに将来的な計画としてLHCをさらに巨大化したFCC(Future Circular Collider)においてもep衝突実験を検討
 - 50 TeVの陽子ビーム
 - 60 GeVの電子ビーム

ルミノシティ



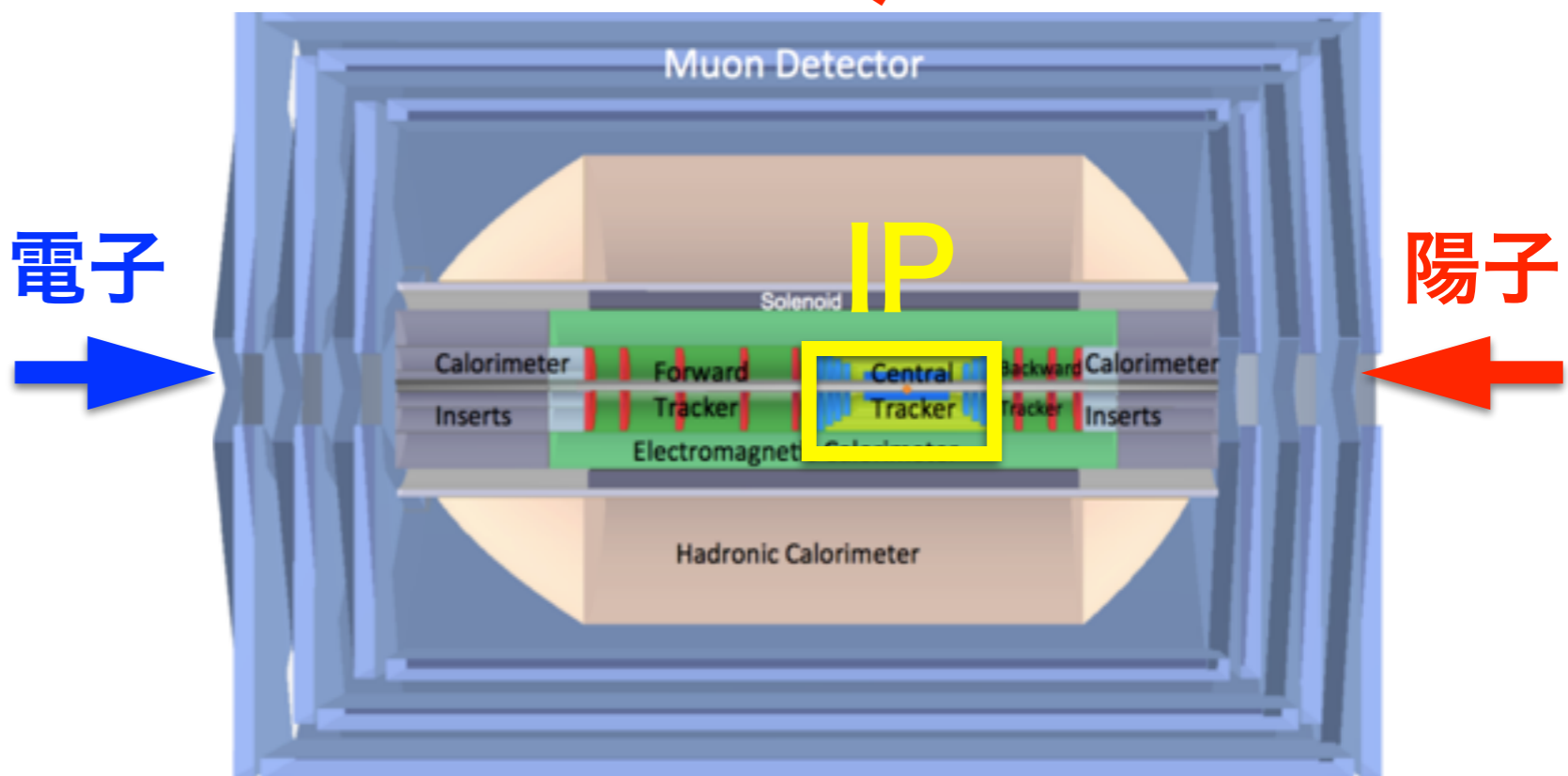
電子加速器

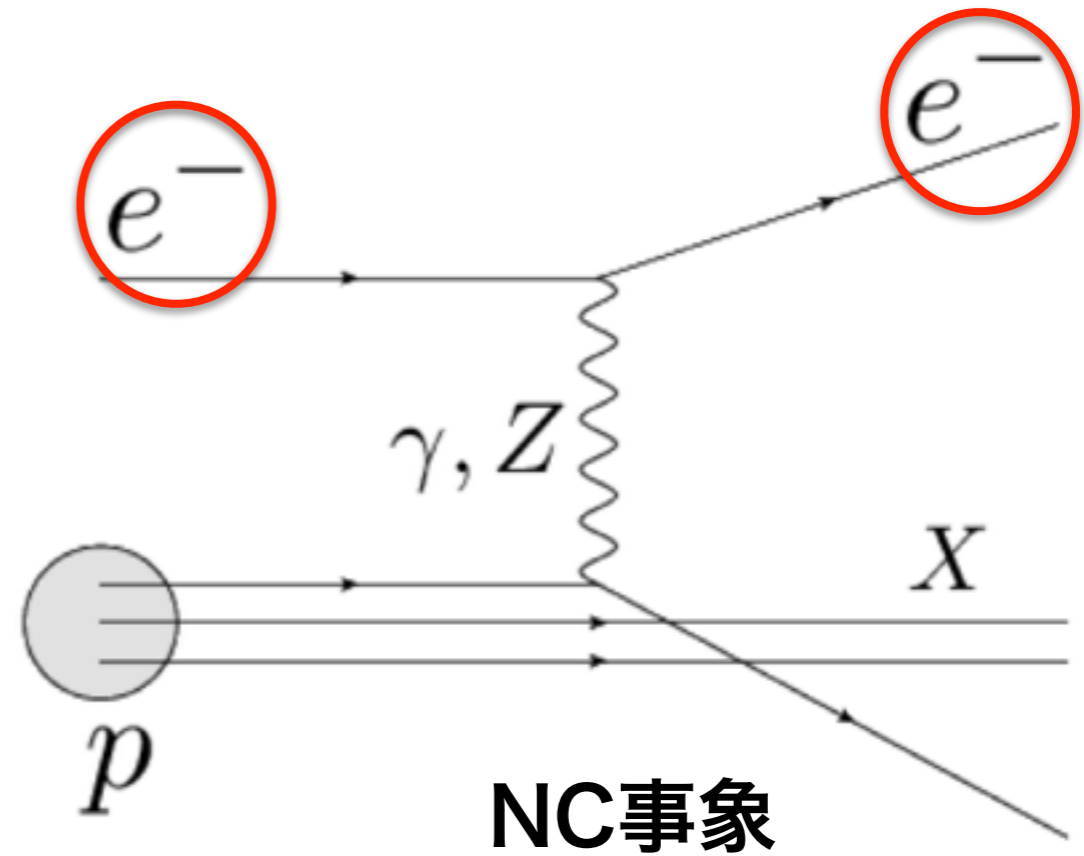
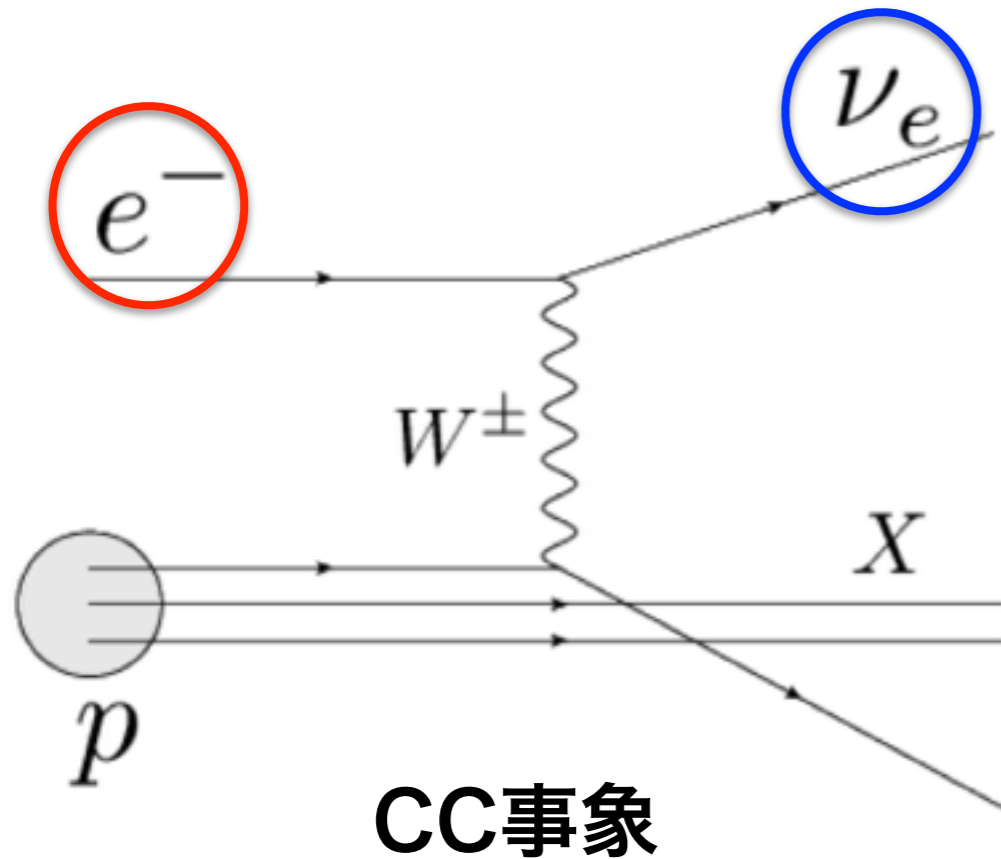
- ERL (Energy Recovery Linac)
- 線形加速器と周回リング
- 60 GeVまで電子を加速
- 衝突に使われなかった電子はリングを周回し減速、そのエネルギーが次の加速に使われる



検出器

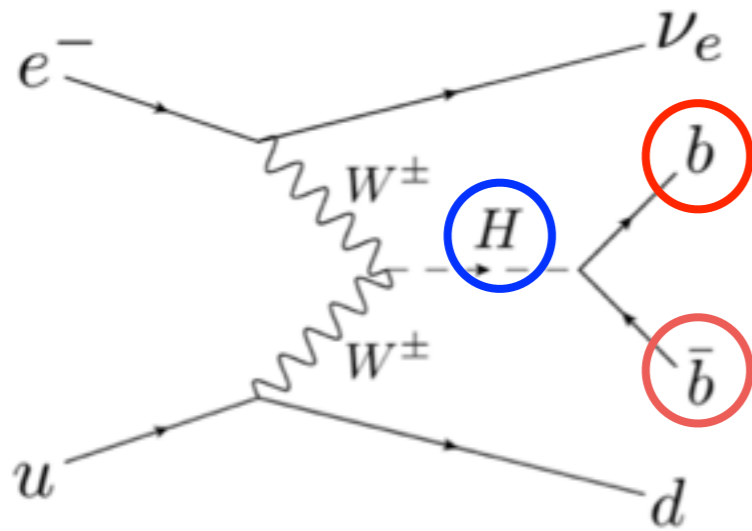
- 非対称な検出器設計
- 陽子ビーム方向はよりビーム軸に近い所まで検出感度がある





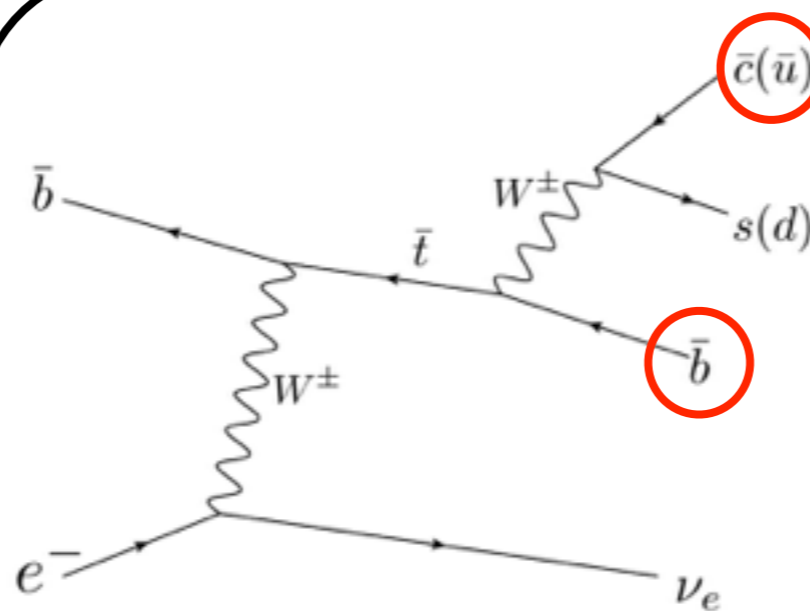
- 入射電子がニュートリノに変わる**CC** (Charged Current) 事象、電子のまま散乱される**NC** (Neutral Current) 事象
 - 生成されるハドロンが少ない**クリーン**なイベントが特徴
- ➔ **H** → **bb** 崩壊モードの精密な測定が可能

signal

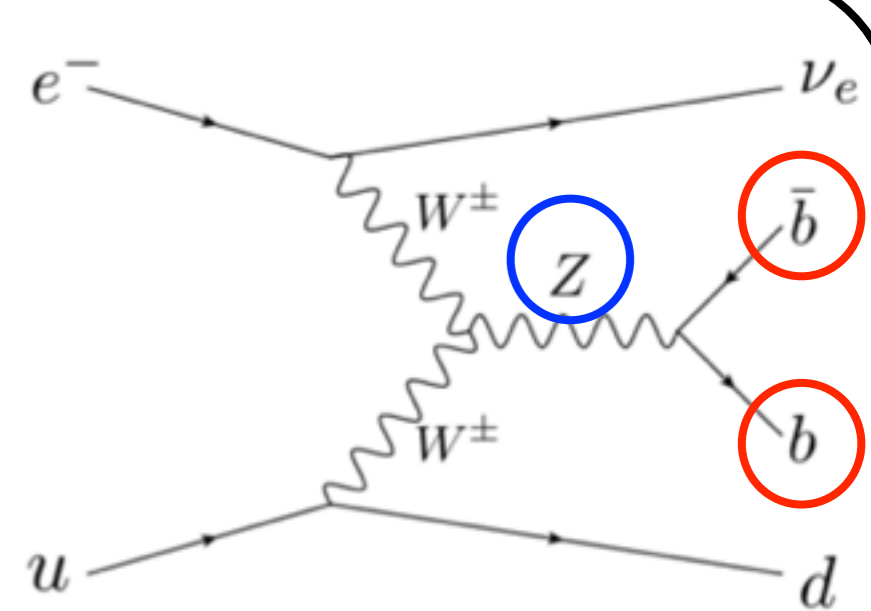


CC: $H \rightarrow bb$ 事象 (63 fb)

CC事象のバックグラウンド

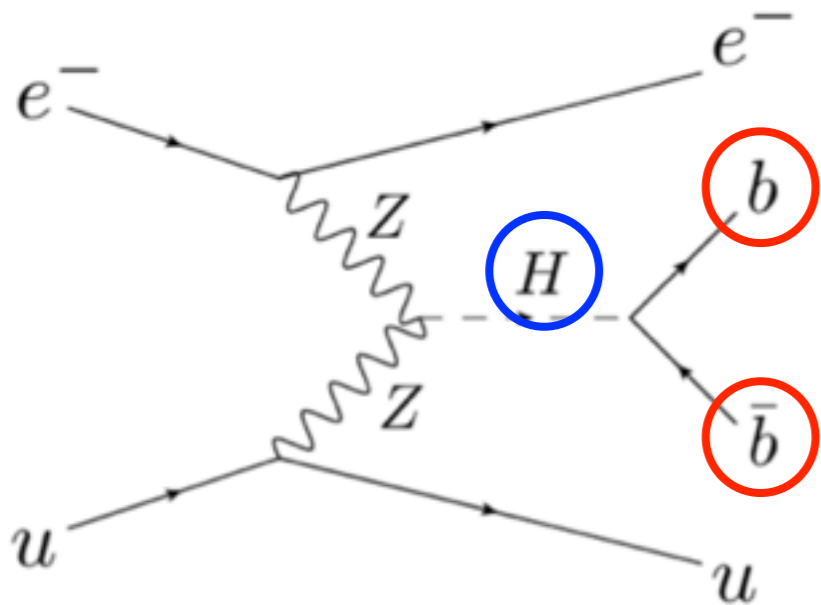


single top生成事象

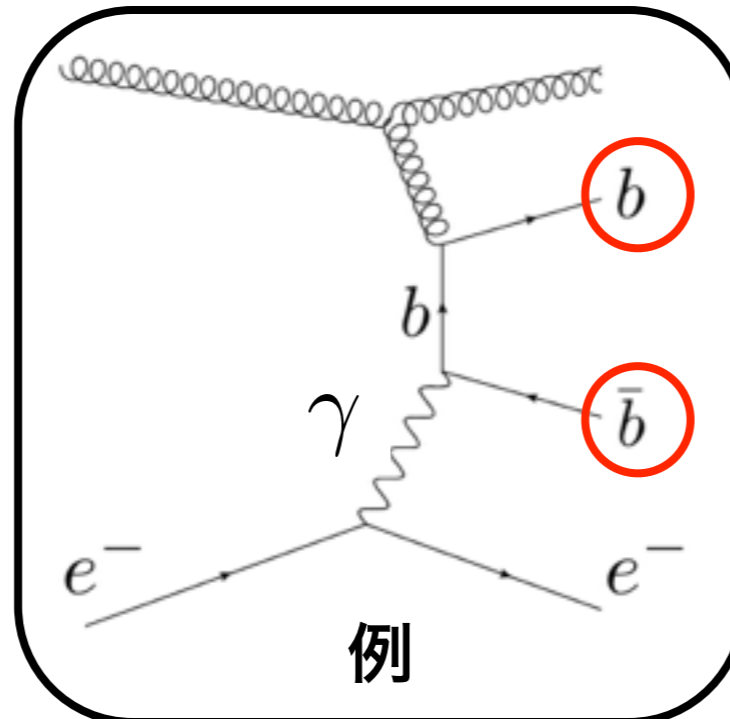


ヒッグス粒子がZボソンに置き換わった事象

NC事象のバックグラウンド



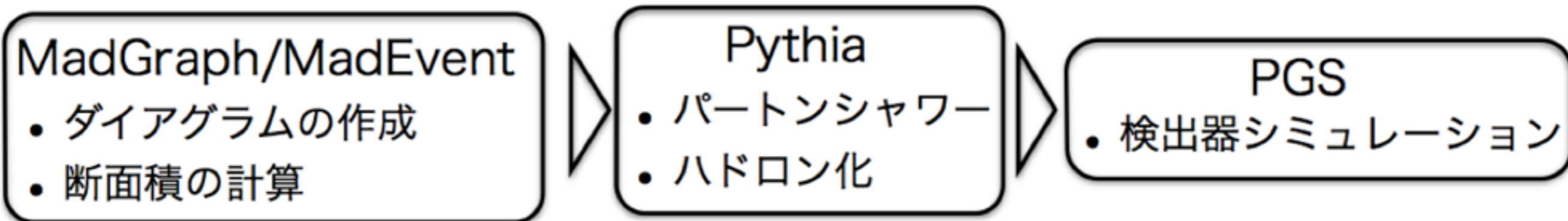
NC: $H \rightarrow bb$ 事象 (12.5 fb)



例

- 断面積が非常に大きい
- 終状態に電子が存在しないこと
missing E_T によるカットを要求することで削減可能

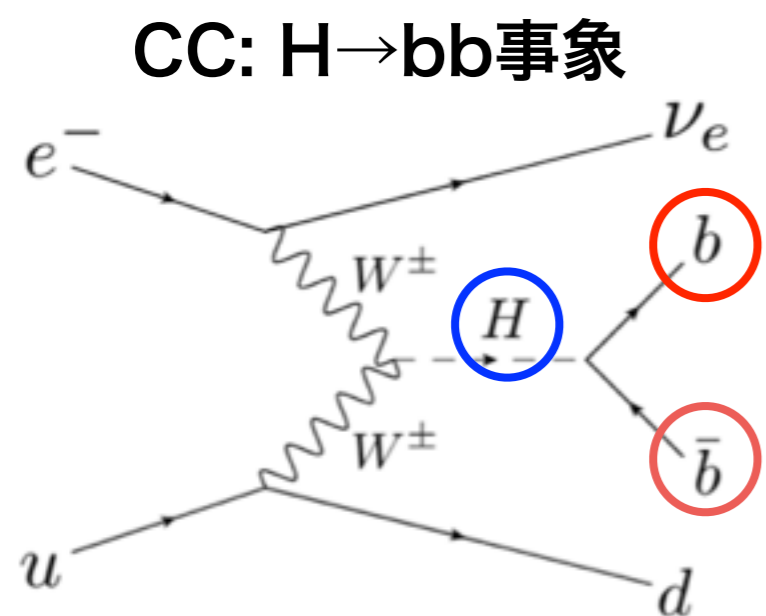
- MCシミュレーションを用いてLHeCにおける**CC:H→bb**事象の測定感度を見積もることが目的



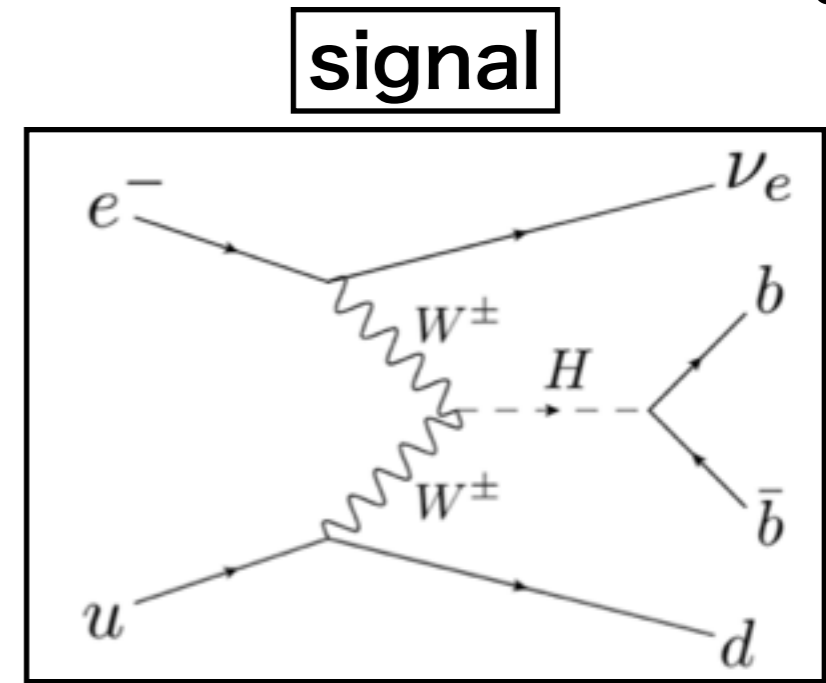
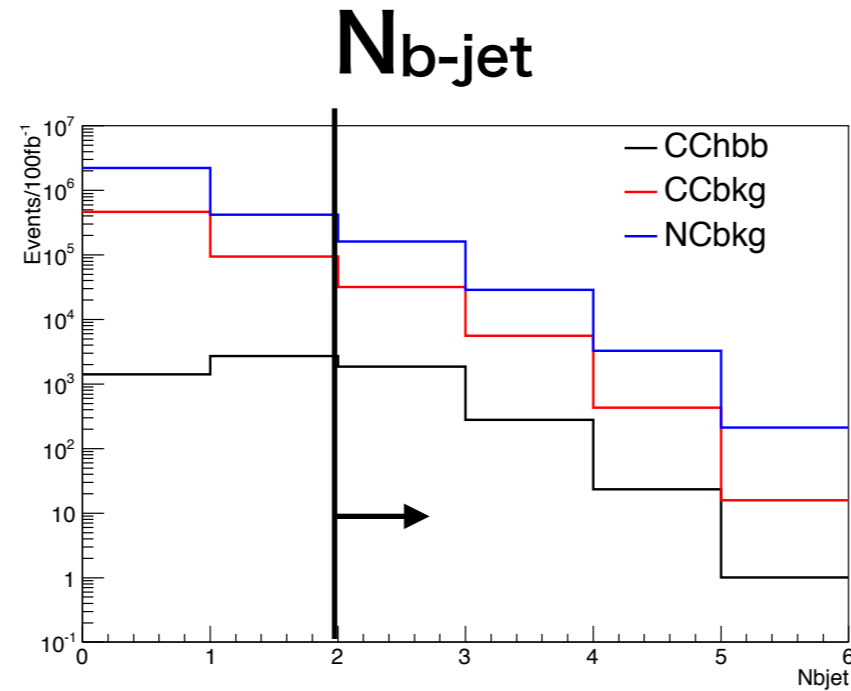
- 7 TeVの陽子ビーム、60 GeVの電子ビーム、ヒッグスの質量125 GeV
- LHeCの検出器を想定したシミュレーション
- 100 fb⁻¹ の統計を想定

生成したイベント

| | σ (pb) | Number of samples | $\frac{N}{\sigma}$ (fb ⁻¹) |
|----------------|---------------|-------------------|--|
| CC:H→bb | 0.063 | 0.1M | 1587 |
| CC:bkg | 5.9 | 0.6M | 101.6 |
| NC:bkg | 28 | 3M | 107.2 |



- p_T of jet
 $p_{T,jet} > 20 \text{ GeV}$
- Number of jet
 $N_{jet} \geq 3$
- Number of b-jet
 $N_{b-jet} \geq 2$
- missing E_T
 $E_{T,miss} > 20 \text{ GeV}$
- total of E_T
 $E_{T,total} > 100 \text{ GeV}$
- Number of electron
 $N_{electron} = 0$
- 運動量移行
 $Q^2 > 400 \text{ GeV}^2$
 $y < 0.9$

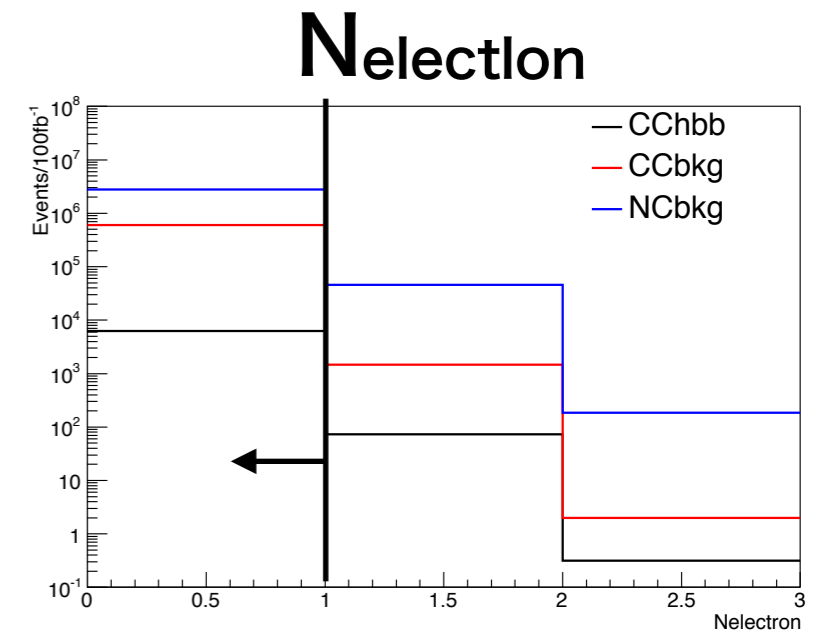
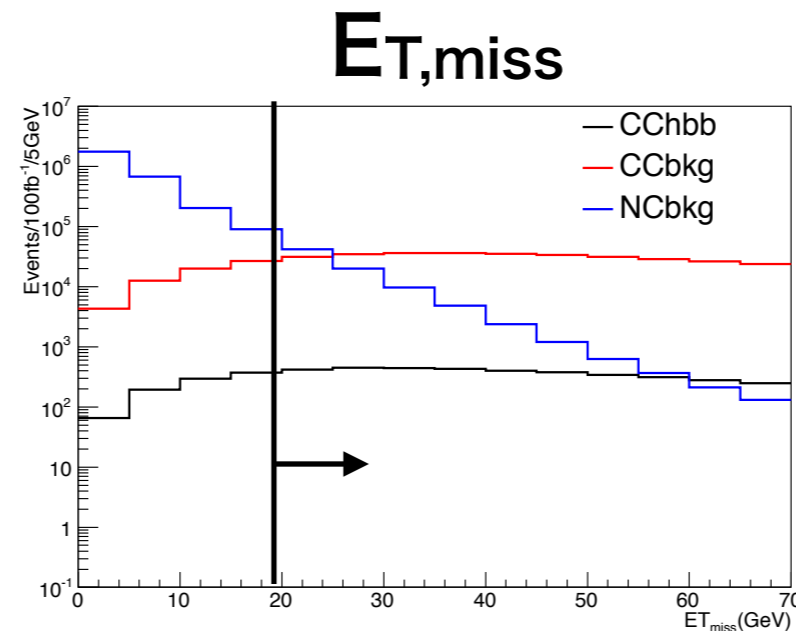


b-tag efficiency model

- coverage : $|\eta| < 3$
- c-jet misID : 10%
- b-jet ID : 60%
- light-jet misID : 1%

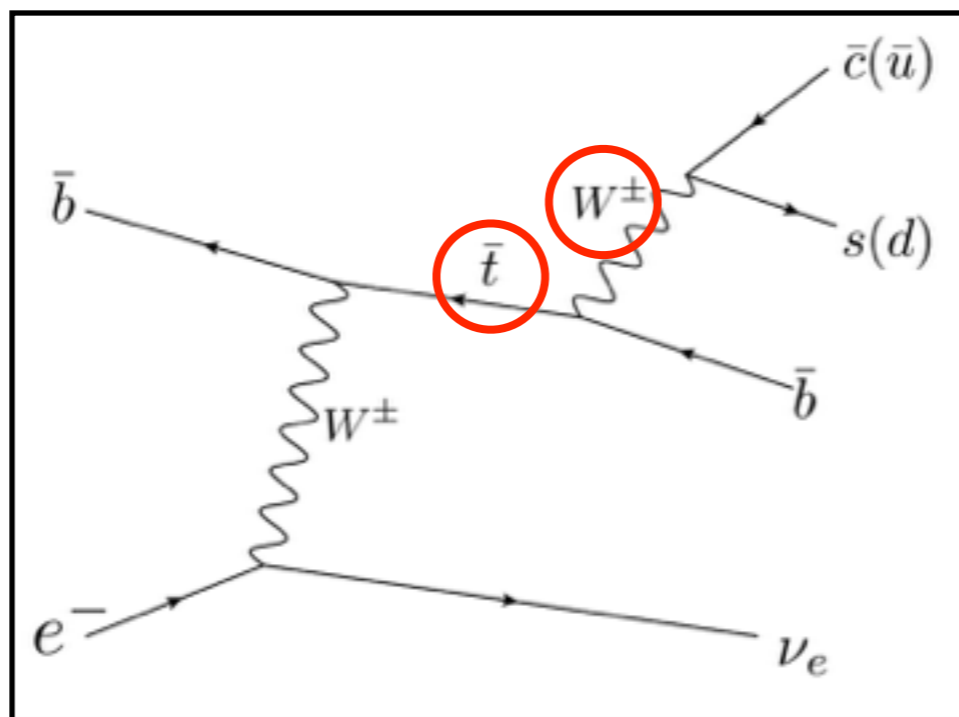
CC: bkg

NC: bkg

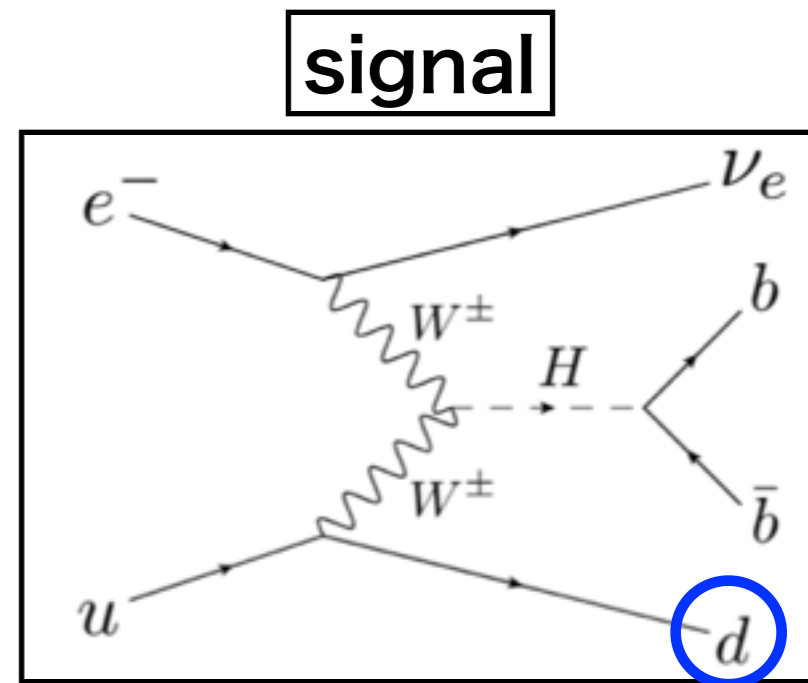


事象選別

- VBF jet
 $|\eta_{\text{VBF}}| > 2$
- single top生成事象
 $M_{jj, w} > 130 \text{ GeV}$
 $M_{jjj, \text{top}} > 250 \text{ GeV}$
- missing E_T とb-jet
 の $\Delta\phi > 0.3$



single top生成事象



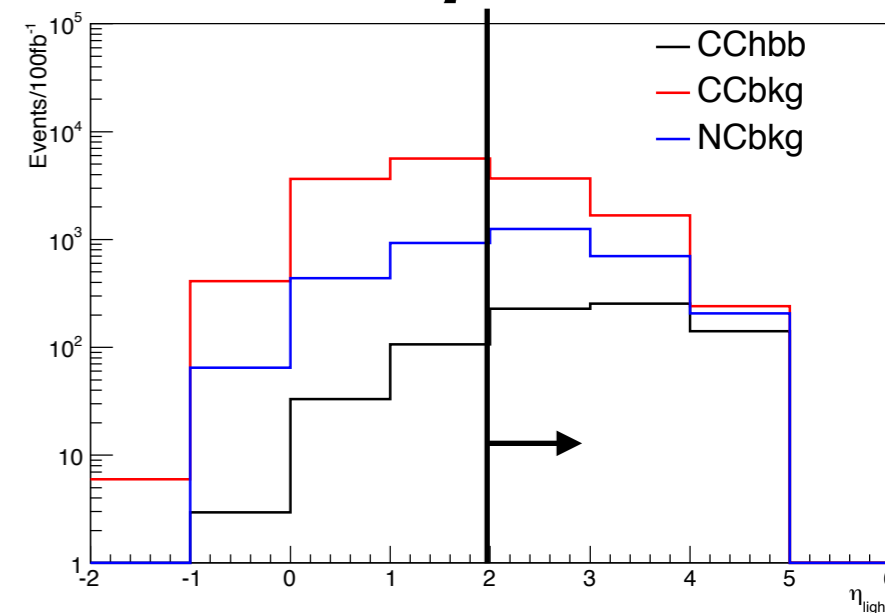
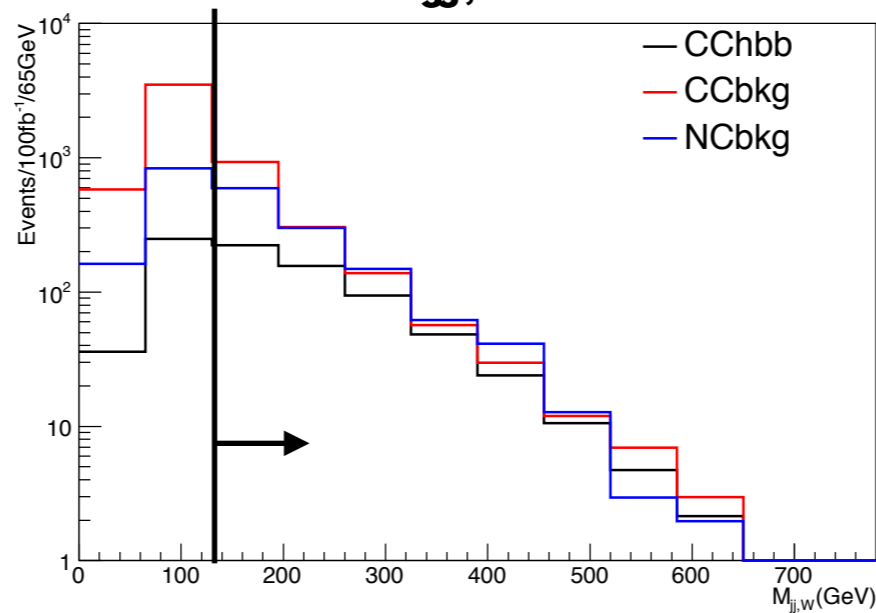
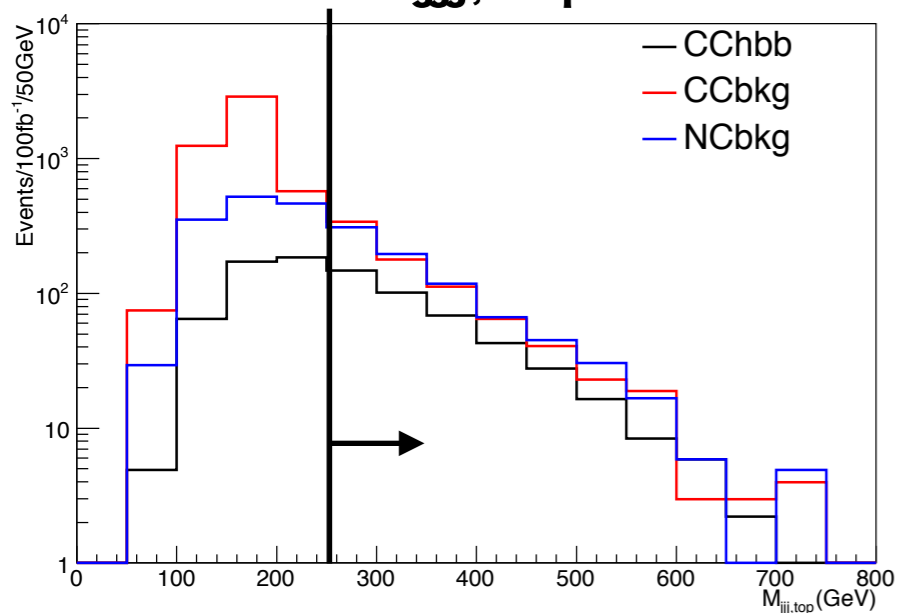
VBF jet

signal CC: bkg NC: bkg

$M_{jjj, \text{top}}$

$M_{jj, w}$

η_{VBF}



- 全カット適用後、 $|n|$ が小さい順に2本のb-jetを選択、質量再構成
- シグナル領域を[100, 130]GeVに設定

シグナル領域のイベント数(100fb⁻¹)

CC: H→bb : 267

CC: bkg : 69.7

NC: bkg : 24.6

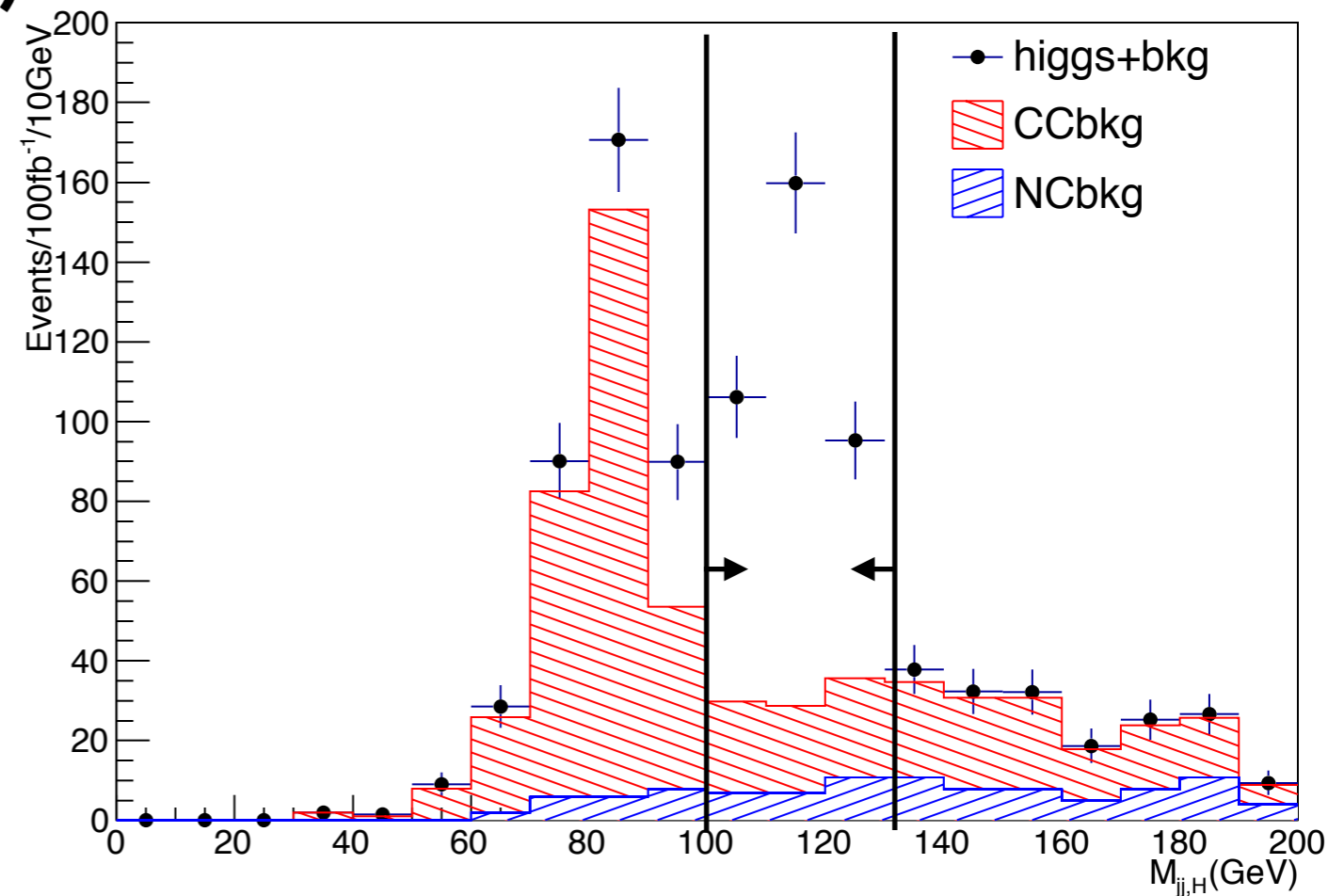
$$\frac{N_{signal}}{\sqrt{N_{bkg}}} = 27.5$$

Hbb結合定数測定精度の評価

$$g^2 \propto \Gamma(H \rightarrow b\bar{b}) \propto N_s$$

$$\frac{\sigma_g}{g} = \frac{\sigma_s}{2N_s} = \frac{\sqrt{\sigma_{s+b}^2 + \sigma_b^2}}{2N_s} = \frac{\sqrt{N_s + 2N_b}}{2N_s} = 0.040$$

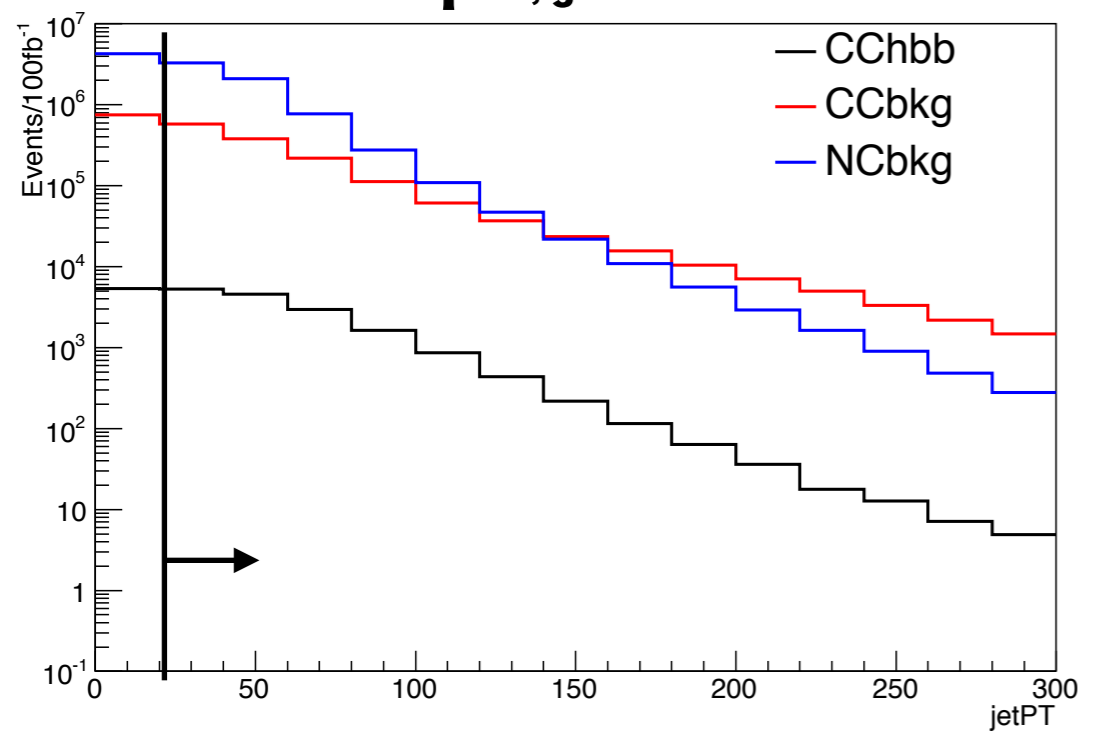
mass of two b-jets



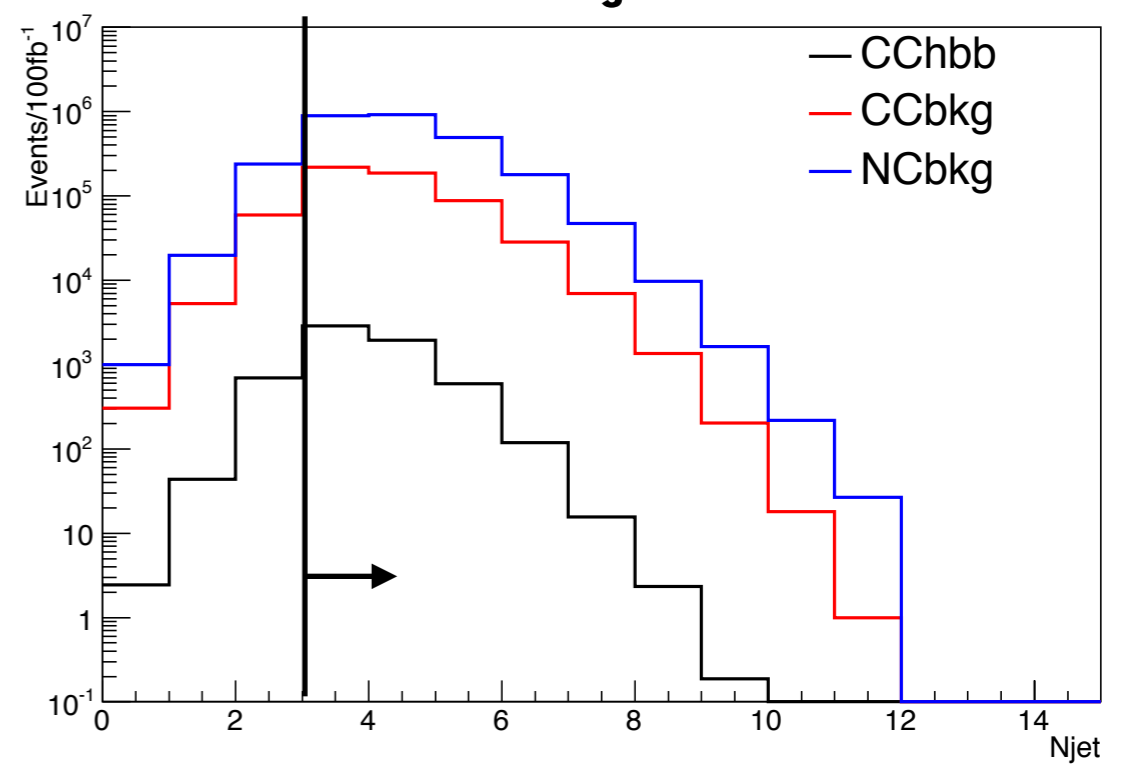
- LHeCは現在計画段階の次世代電子陽子衝突型加速器
- 電子陽子DIS事象における陽子内部構造の精密測定(low-x)が目的
- 生成されるハドロンが少ない'クリーン'なイベントが特徴であり
H→bb崩壊モードを精度よく観測することが可能
- MCシミュレーションを用いた研究を行い、LHeCにおける
Hbb結合測定精度は約4%という結果が得られた
- 今後は検出器の設計をより細かく検討
 - パラメータをより細かく設定できる検出器シミュレーション(Delphes)
 - 検出器のcoverage, resolution, B-taggingなどを検討
- LHeCは2024年の運転開始を目指し現在設計・検討が進行中

back up

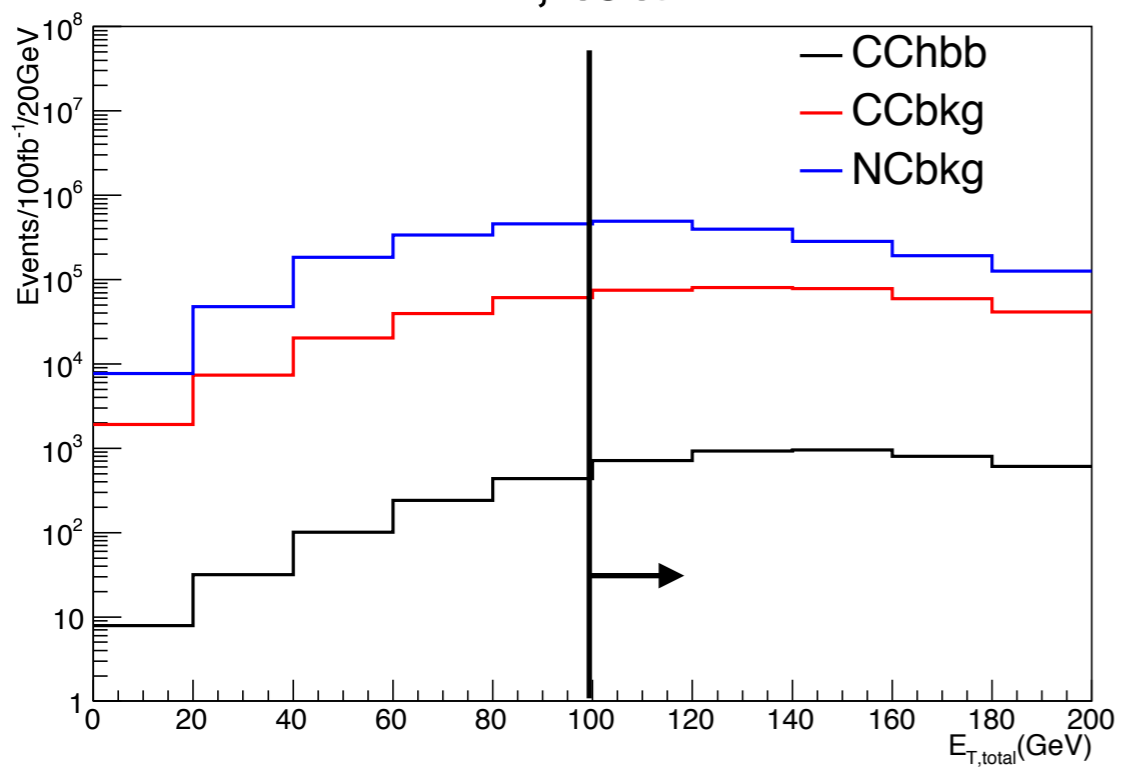
$p_{T, jet}$



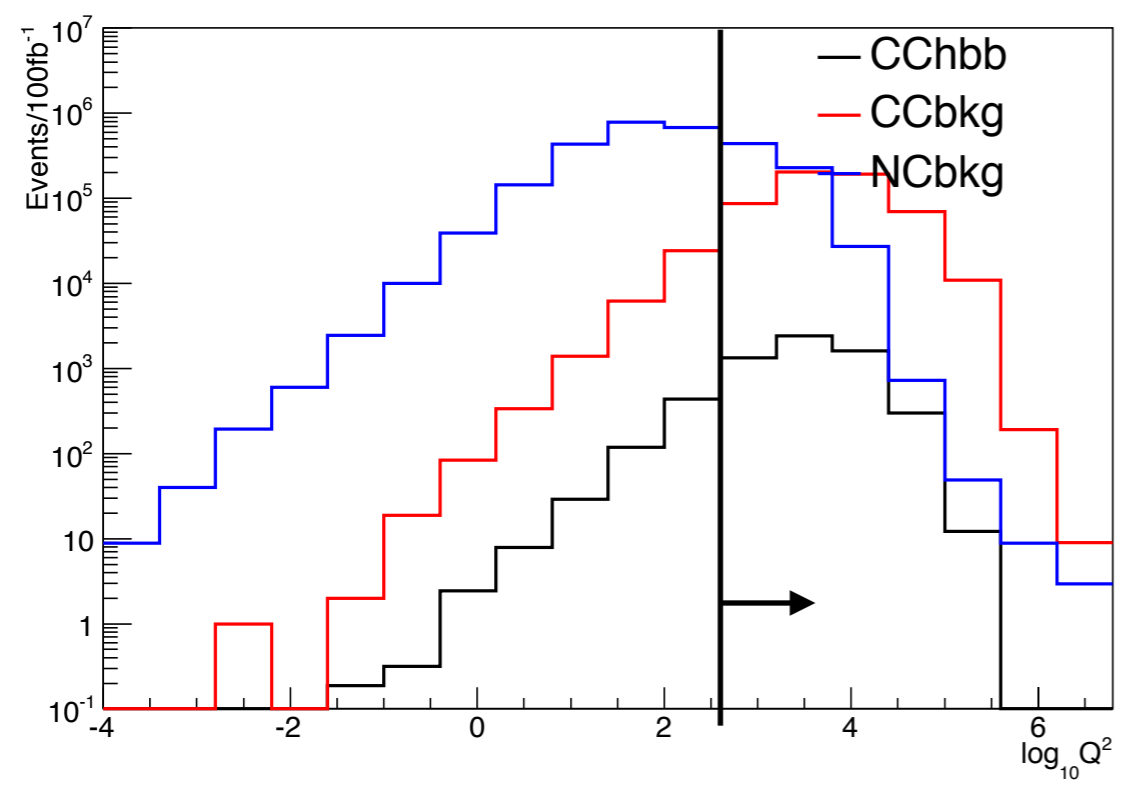
N_{jet}



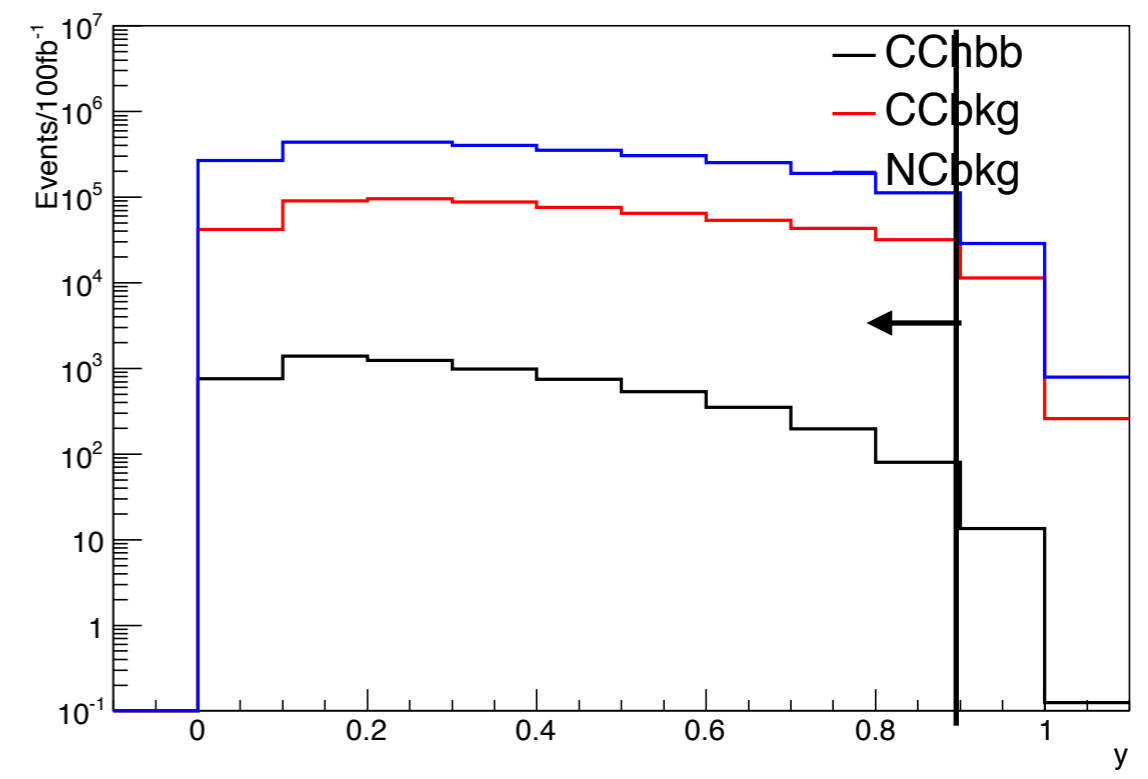
$E_{T, total}$



Q^2

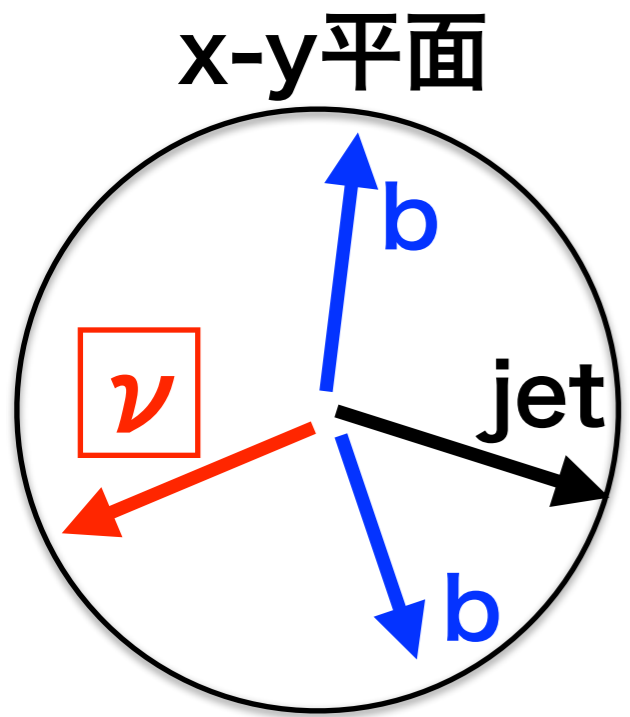


y



- b-jetとmissing E_T のx-y平面での成す角

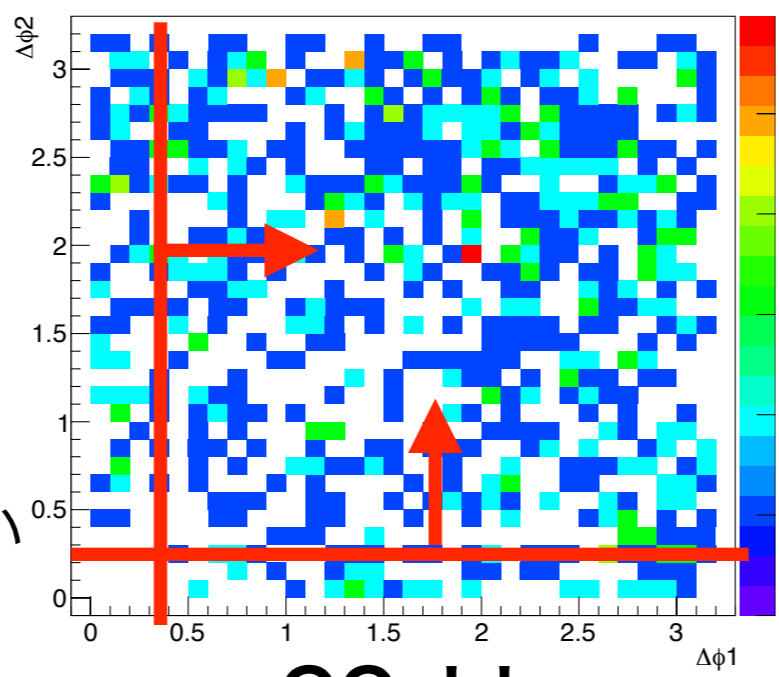
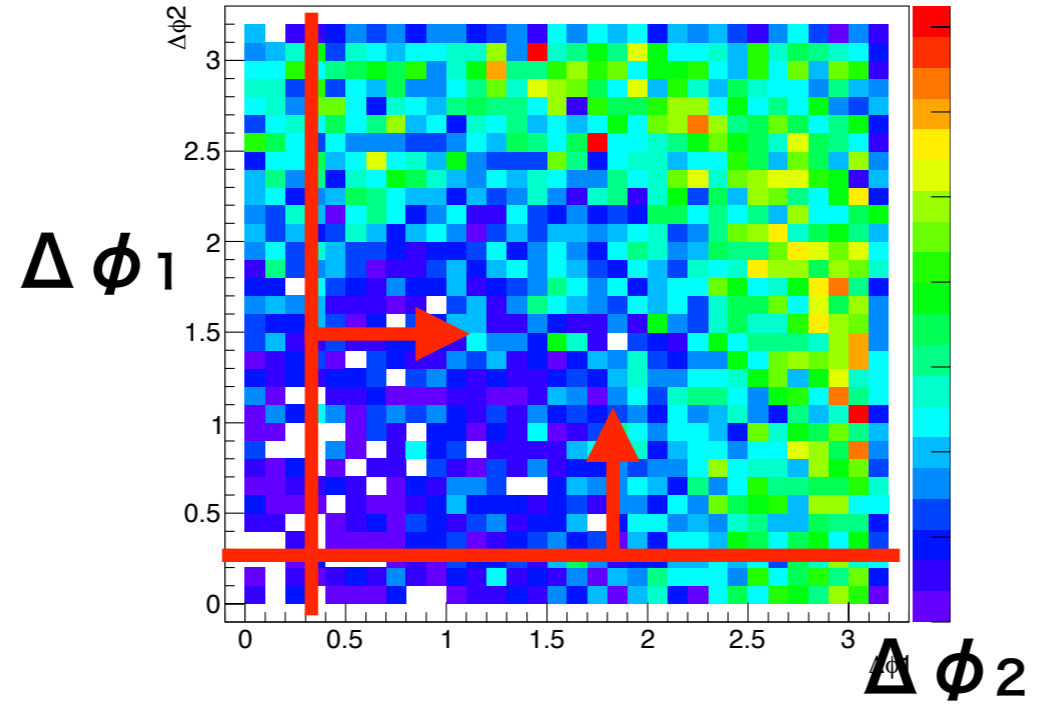
W mass cut 適用後の分布



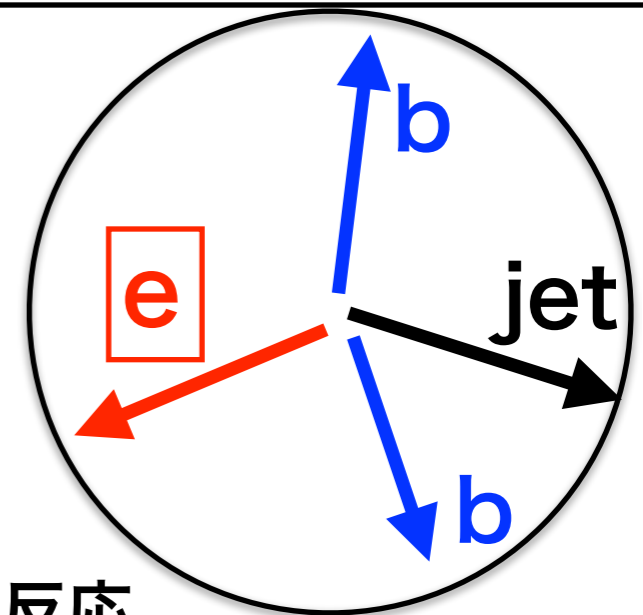
CC反応

- ニュートリノが消失エネルギーに寄与
- b-jetと消失エネルギーのなす角が大きくなりやすい

signal

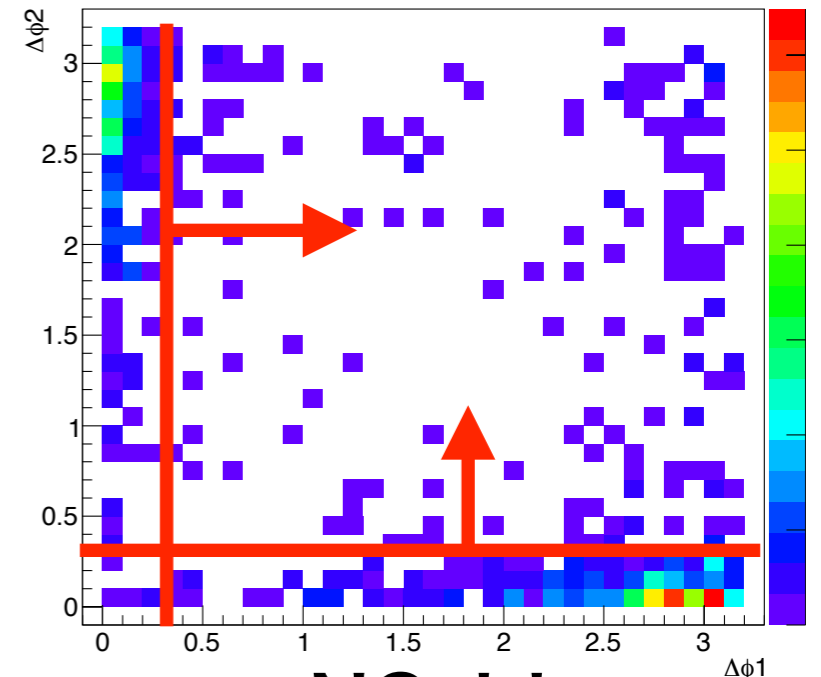


CC: bkg



NC反応

- b-jet方向の消失エネルギーが大きい
- b-jetと消失エネルギーのなす角が小さくなりやすい



NC: bkg

- **signal**

- jet、荷電レプトン、光子に対して $|n| < 10$

- **CC: bkg**

- jet、荷電レプトン、光子に対して $|n| < 10$

- jetに対して $p_T > 10 \text{ GeV}$

- 全てのjetの組で $M_{jj} > 60 \text{ GeV}$ となる組が1つ以上存在

- **NC: bkg**

- jetに対して $p_T > 12 \text{ GeV}$, b-jetに対して $p_T > 15 \text{ GeV}$,
荷電レプトンに対して $p_T > 0.01 \text{ GeV}$

- jetに対して $|n| < 5.5$, b-jetに対して $|n| < 4$,
荷電レプトンに対して $4 < |n| < 10$

- 光子に対して $|n| < 10$

- 全てのjet (b-jet)の組で $M_{jj} > 80 (100) \text{ GeV}$
となる組が1つ以上存在

LHeCの検出器を想定

- Coverage

- Tracking : $|\eta| < 4.7$
- Calorimeter : $|\eta| < 5$

- Calorimeter resolution

- EM : $1\% \oplus 10\% / \sqrt{E}$
- HM : $40\% / \sqrt{E}$

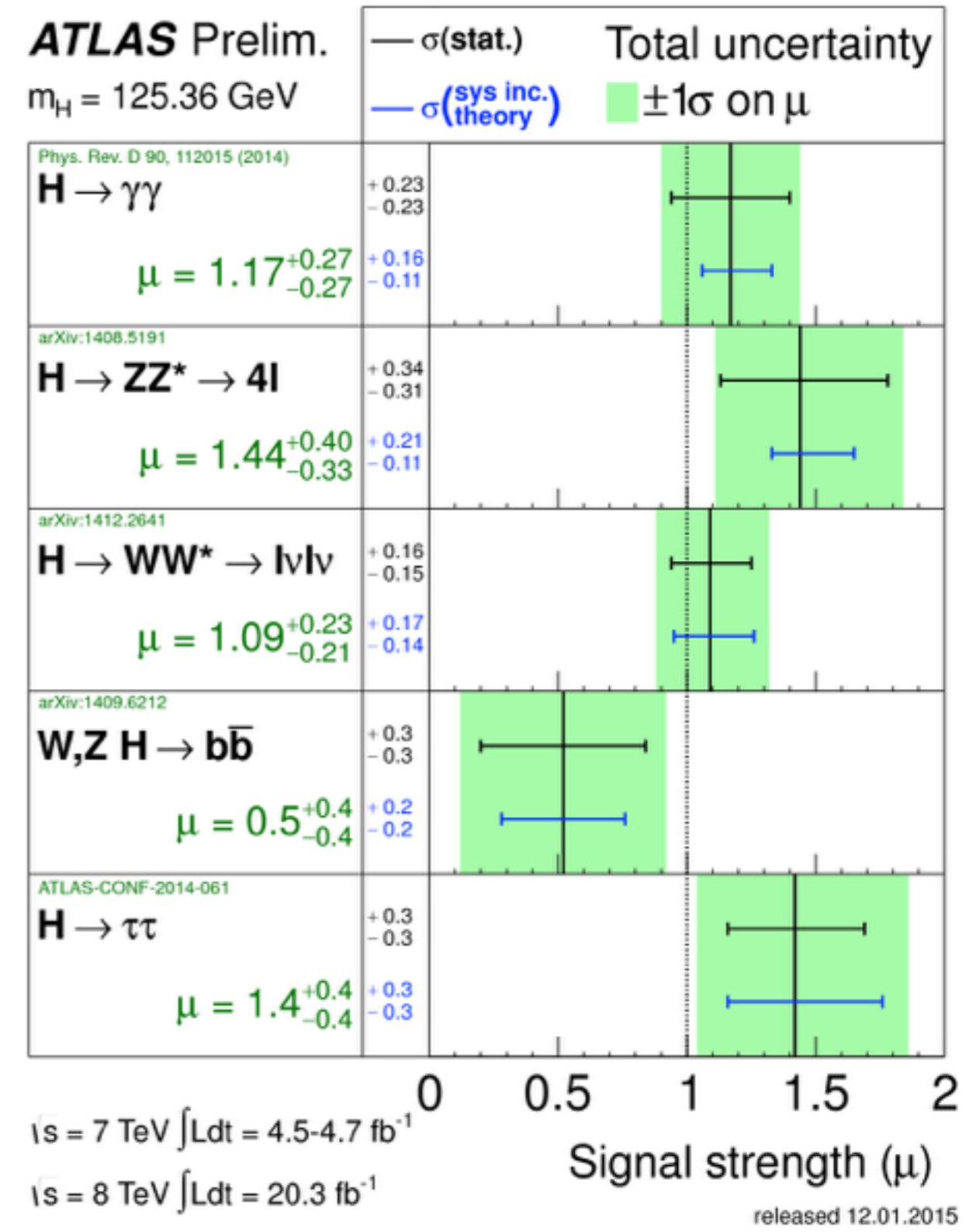
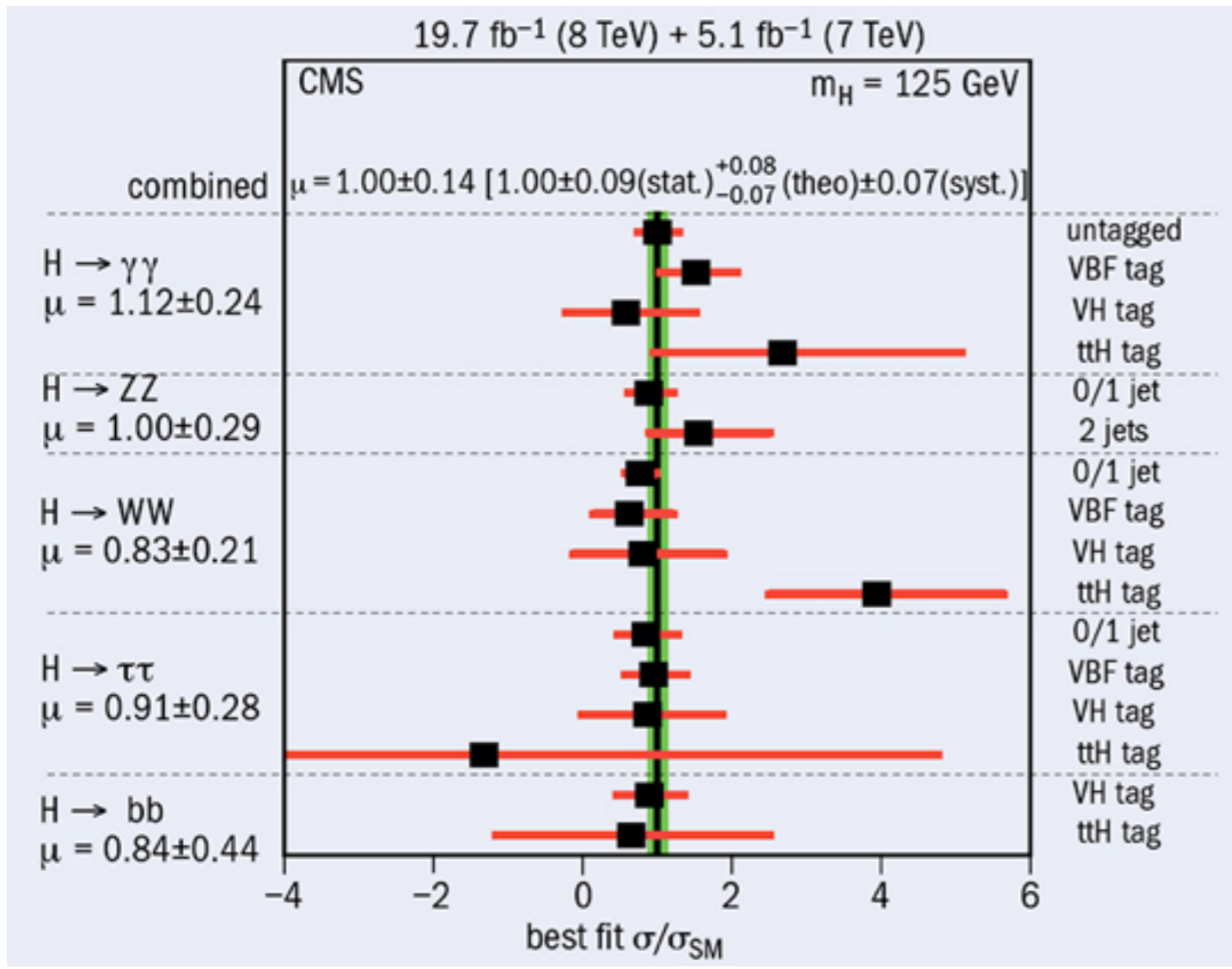
- ジェット再構成アルゴリズム

- k_T アルゴリズム ($\Delta R = 0.9$)

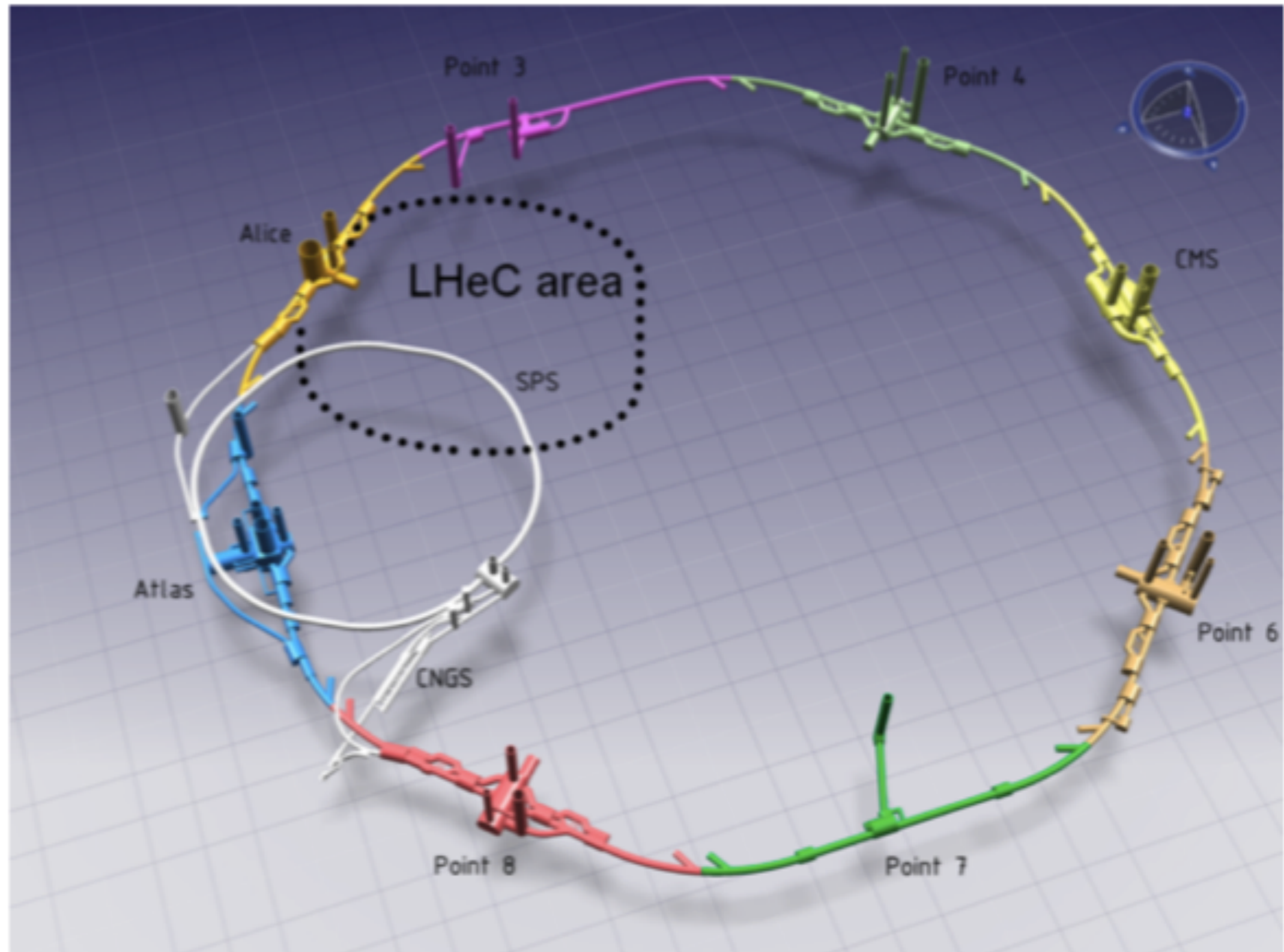
- B-tag

- Coverage : $|\eta| < 3$
- b-tag 効率 : 60%
- c-jet 誤識別率 : 10%
- その他のjet 誤識別率 : 1%

trackは計算せず
効率に従って確率的に
b-jetを同定



LHeC 建設予定地



- $\sqrt{s} = 100 \text{ TeV}$
- 磁場 16 T \rightarrow 周長 100 km
20 T \rightarrow 80 km
- pp, ee, ep collider が検討されている

