

# New physics search by precise measurements of 2-quark/2-lepton final states at the ILC

2023/10/4

Kyushu Univ, ICEPP, The Univ. of Tokyo<sup>A</sup>, KEK<sup>B</sup>

Koushi Nagae, Taikan Suehara<sup>A</sup>, Kiyotomo

Kawagoe, Tamaki Yoshioka, Keisuke Fujii<sup>A</sup>

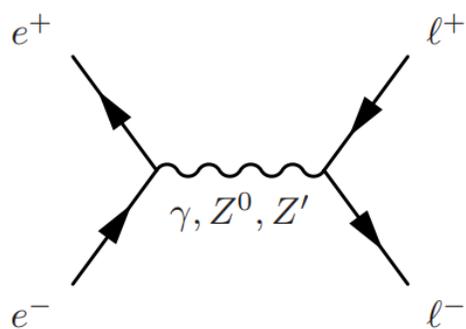
# 2-fermion $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ event

- $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$  ( $f$  represents a charged lepton or quark)

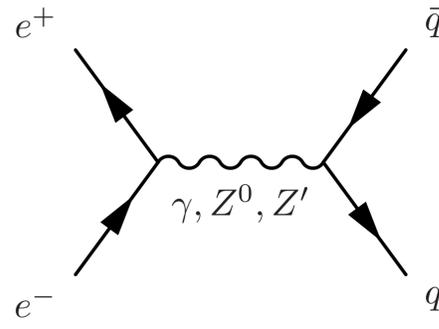
The production of fermion pairs is sensitive to heavy gauge bosons ( $Z'$ ).

If there are interactions mediated by  $Z'$ , the total cross section and differential cross section will deviate from the predictions of the Standard Model.

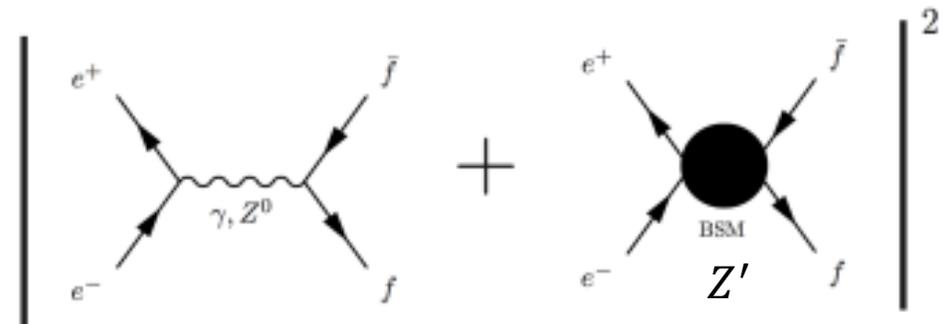
→ Interference terms with  $Z$  and  $\gamma$ , and  $Z'$  can be observed.



2 lepton process



2 quark process



Feynman diagram for fermion pair production when new physics (Beyond the Standard Model: BSM) is included.

# Leptonic channel (mu, tau)

•  $\mu$  &  $\tau$  event selection with the ILD 500 GeV full simulation.

• **Signal Event:** 2f\_Z\_leptonic (mu or tau) ( $mass \geq 450$  GeV)

• **Background Event:**

2f\_Z\_leptonic (signal  $mass < 450$  GeV)

2f\_Z\_leptonic (If sig is mu then tau, if tau then mu.)

4f\_WW\_leptonic

4f\_ZZ\_leptonic

4f\_singleZee\_leptonic

4f\_singleZsingleWMix\_leptonic

4f\_ZZWWMix\_leptonic

4f\_singleW\_leptonic

4f\_singleZnu\_nu\_leptonic

2f Background

4f Background

• **Polarization**

•  $e^-: \mp 80\%, e^+: \pm 30\%$

**Luminosity**

$1600 \text{ fb}^{-1}$  each

Result of event selection for  $(e^-, e^+) = (-80\%, +30\%)$

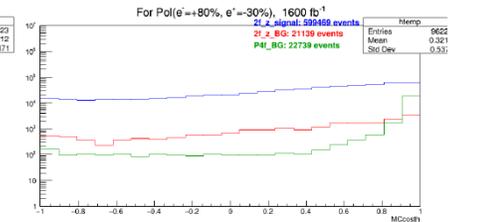
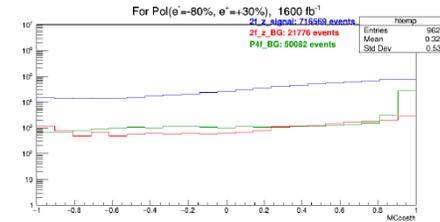
- For mu
- Opening angle:  $\cos(\text{angle}) \leq -0.95$
  - Energy:  $Energy \geq 450 \text{ GeV}$

Mu Event	2f signal	efficiency in (%)	
		2f BG	4f BG
Original	781,215(100.00%)	4,249,717(100.00%)	10,089,686(100.00%)
Opening angle	758,658( 97.11%)	1,061,907( 24.99%)	1,729,938( 17.15%)
Energy	716,569( 91.72%)	21,776( 0.51%)	50,082( 0.50%)

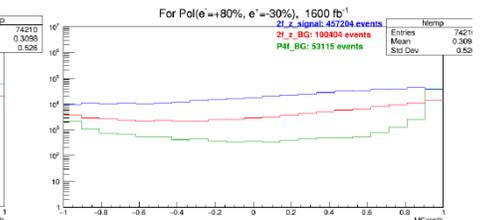
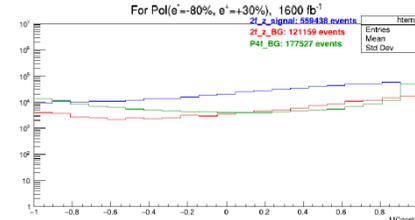
- For tau
- Opening angle:  $\cos(\text{angle}) \leq -0.95$
  - Energy:  $Energy \leq 340 \text{ GeV}$
  - Impact parameter:  $D0 \text{ significance} \geq |2.0|$

Tau Event	2f signal	efficiency in (%)	
		2f BG	4f BG
Original	776,143(100.00%)	4,254,790(100.00%)	10,089,686(100.00%)
Opening angle	716,014( 92.25%)	1,089,292( 25.60%)	1,738,437( 17.23%)
Energy	681,247( 87.77%)	206,578( 4.86%)	1,234,383( 12.23%)
Impact parameter	559,438( 72.08%)	121,159( 2.85%)	177,527( 1.74%)

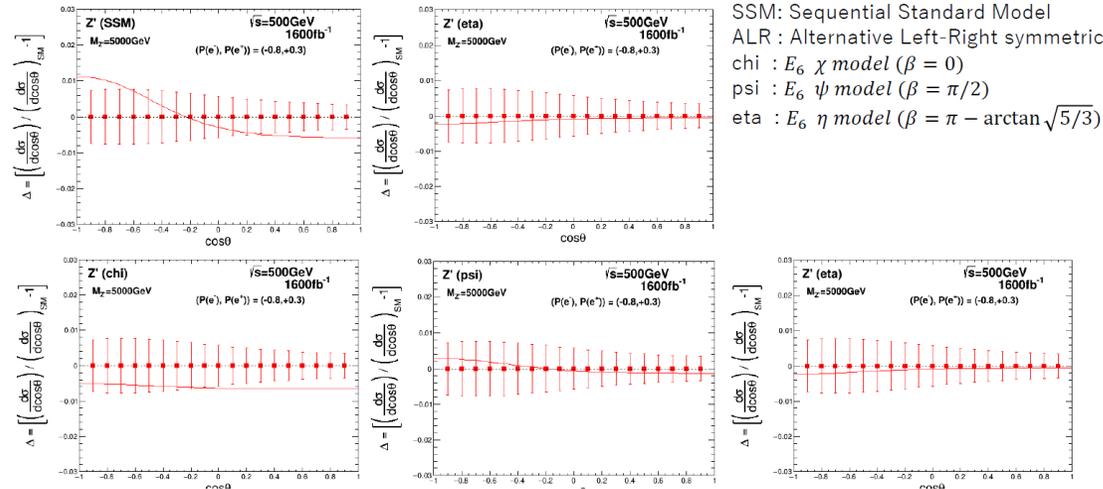
For mu



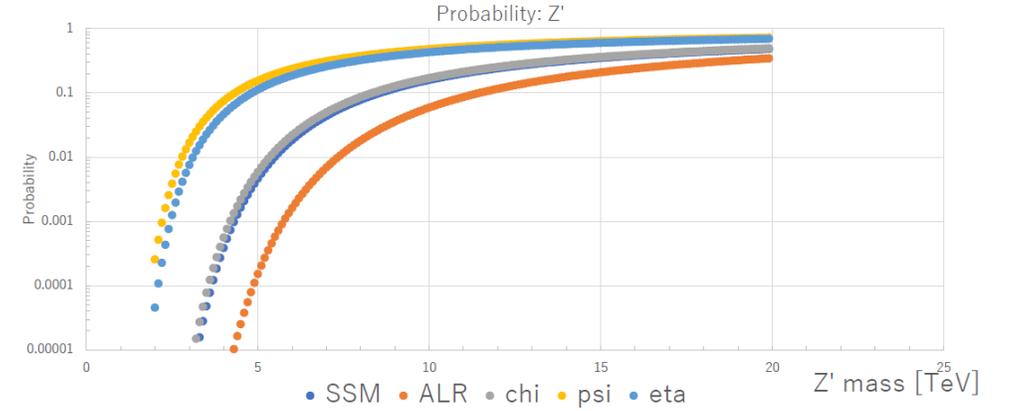
For tau



## For mu



## Probability



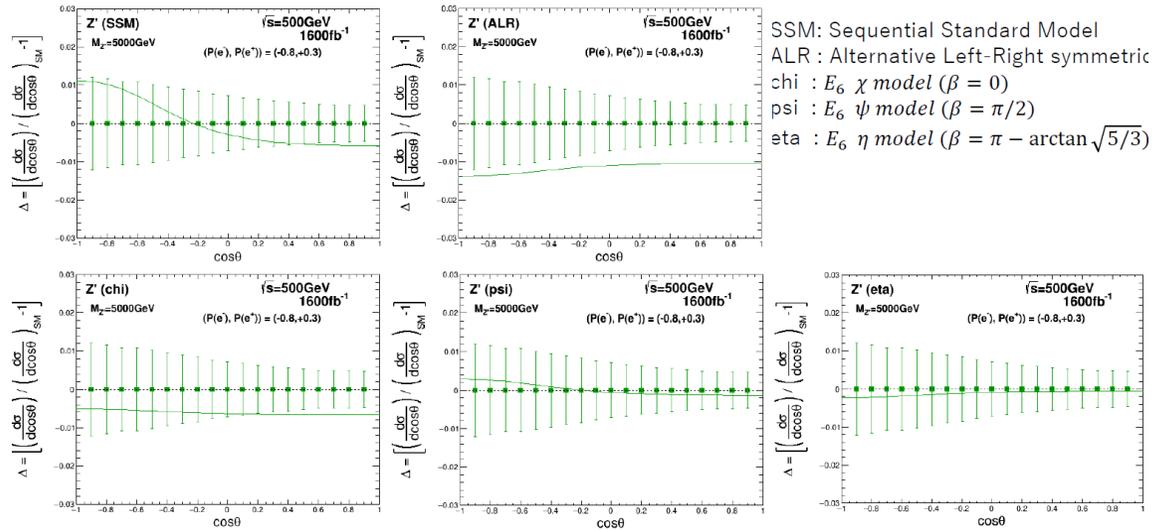
Z' model	SSM	ALR	$\chi$	$\psi$	$\eta$
5-sigma	6.31 TeV	8.45 TeV	6.15 TeV	3.21 TeV	3.57 TeV

5-sigma discovery reach

Z' model	SSM	ALR	$\chi$	$\psi$	$\eta$
2-sigma	9.97 TeV	13.34 TeV	9.80 TeV	5.03 TeV	5.61 TeV

2-sigma = 95% CL lower limit

## For tau



# Events used in this analysis

Quark events generated at 500GeV using ILD full simulation (v02-00-01)

- **Signal Events:**

- $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  ( $Z^*$  true mass  $\geq 450$  GeV)

- **Background Events:**

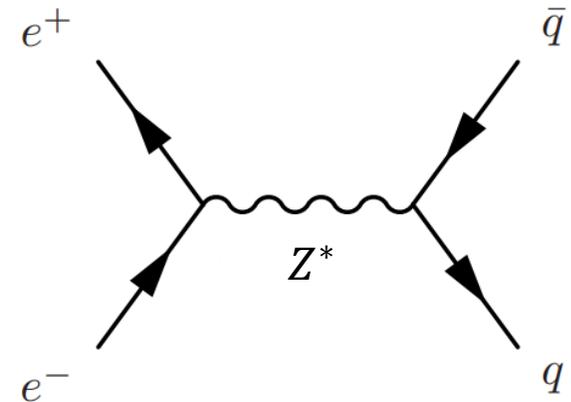
- 2-fermion background
  - $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  ( $Z^*$  true mass  $< 450$  GeV)
- 4-fermion background
  - hadronic events (mainly W/Z-derived)
  - semileptonic events (mainly W/Z-derived)

- **Polarization**

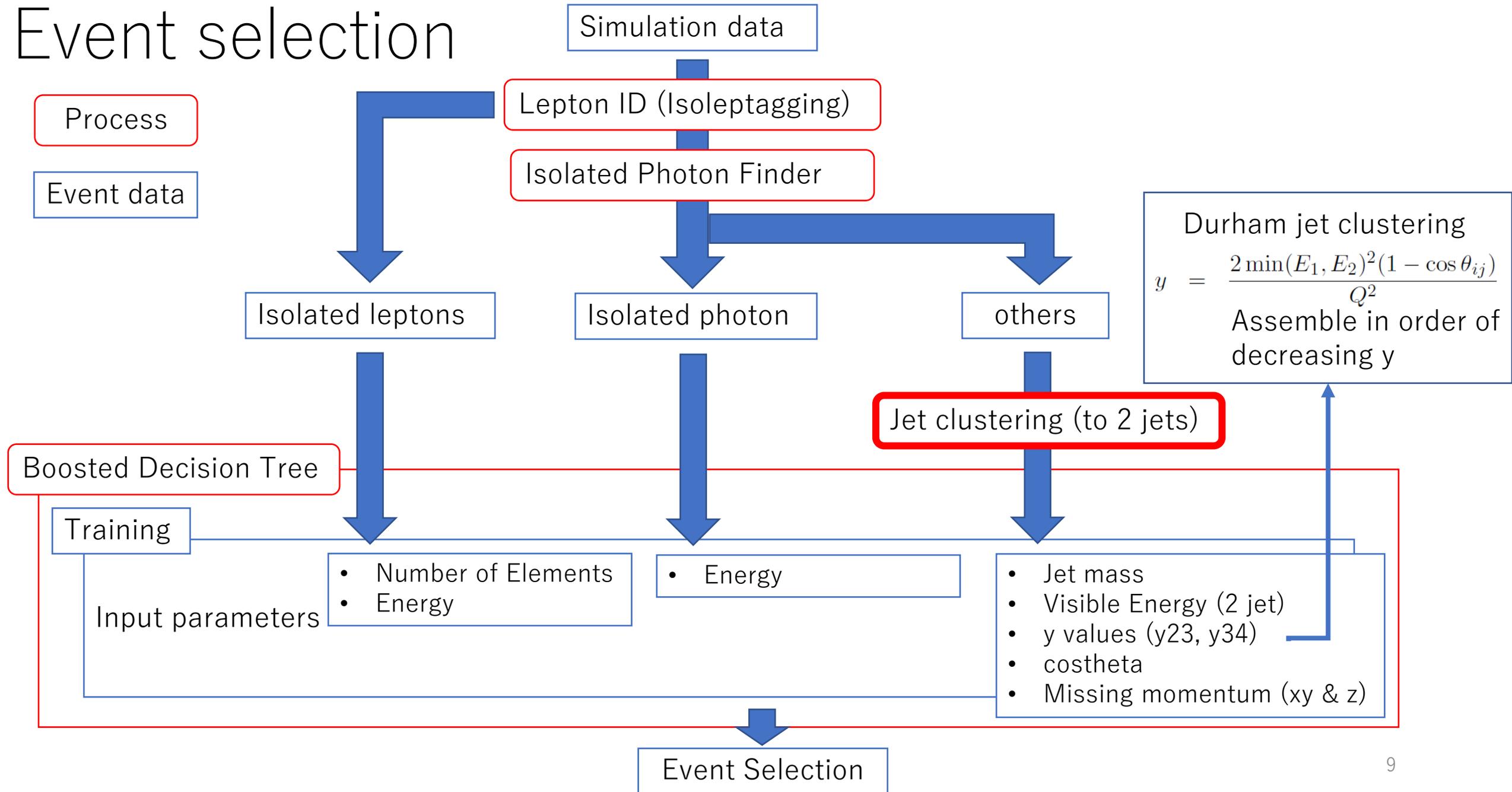
- $e^-$ :  $\mp 80\%$ ,  $e^+$ :  $\pm 30\%$

- **Luminosity**

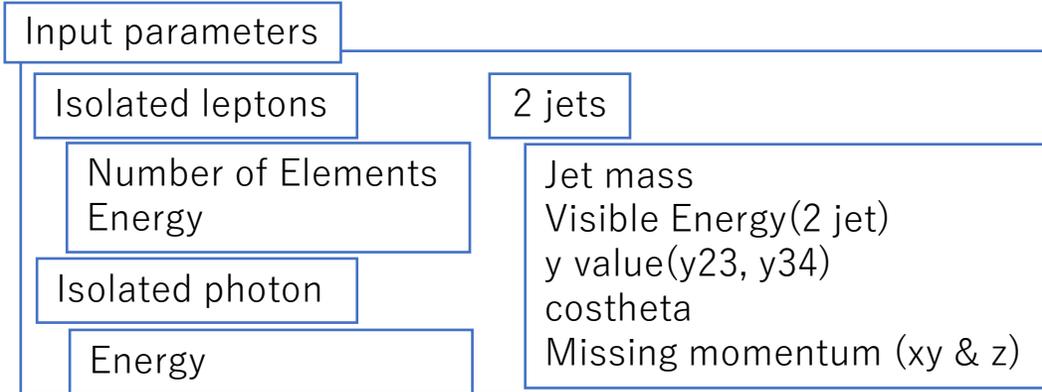
1600 fb<sup>-1</sup> each



# Event selection



# BDT training



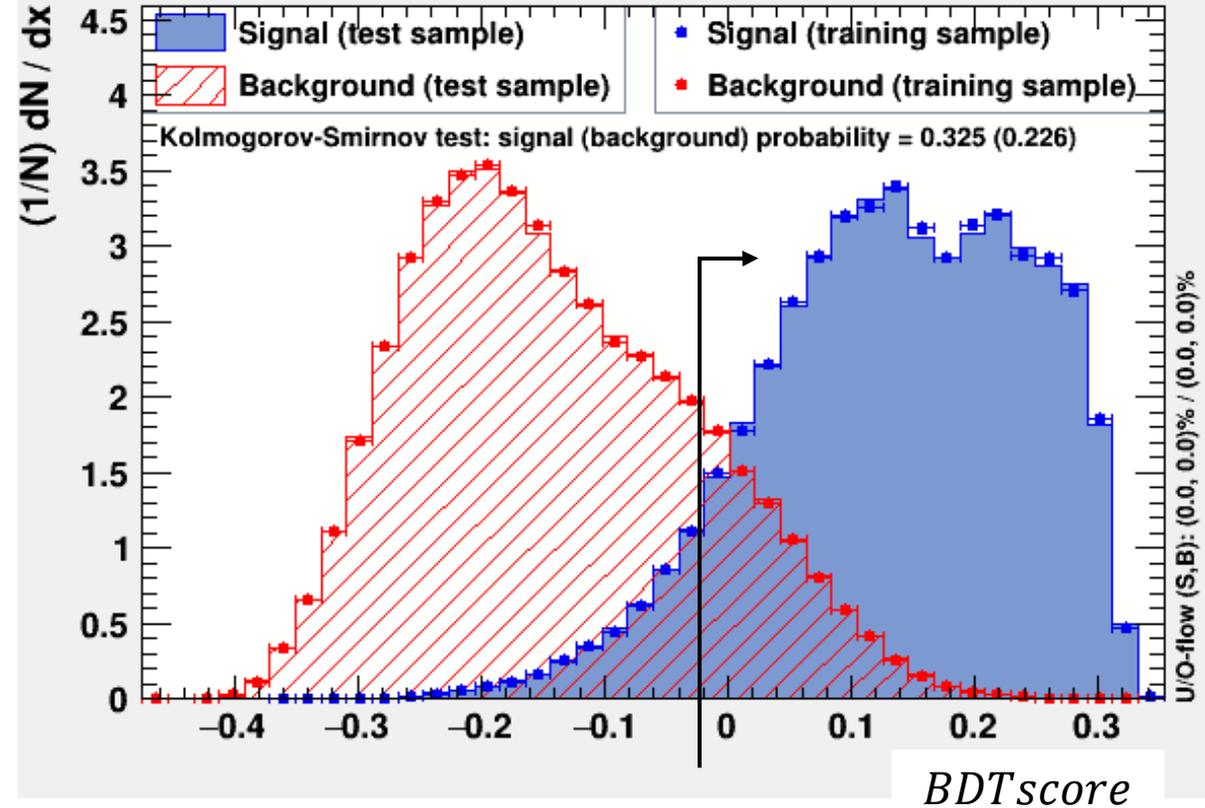
## Conditions for remaining events

- Back-to-Back:
  - $\cos(op\_angle) \leq -0.95$
- $BDTscore \geq 0.0$

## event selection result

	signal	2f BKG	4f hadronic BKG	4f semileptonic BKG
No cut	6,183,923 (100%)	25,197,014 (100%)	13,832,211 (100%)	19,630,562 (100%)
cut	<b>4,871,598 (78%)</b>	<b>502,037 (2%)</b>	<b>856,414 (6%)</b>	<b>95,682 (0.6%)</b>

## TMVA overtraining check for classifier: BDT



# quark flavor tagging

To evaluate the search for new physics, it is necessary to determine the cross-section for each flavor.

To do this, flavor tagging is performed, dividing events into b, c, q(u,d,s), and others.

After event selection

		predicted flavor			
		q (u,d,s)	c	b	others
true flavor	q (u,d,s)	<b>2,661,403</b>	83,956	36,887	34,311
	c	266,296	<b>834,452</b>	89,949	10,348
	b	13,535	21,423	<b>705,974</b>	5,104

Flavor tagging is applied to the two reconstructed jets.

- If the flavors of both jets match, that event is classified as **the tagged quark**.
- Events that do not match are classified as **the quark with the higher score**.
- Events where the tagging fails for both jets are classified as **'others'**.

# Evaluation of the discrimination performance of $\mathbf{Z}'$

- Accuracy of the  $i$ -th bin of the  $\cos\theta$  distribution at ILC ( $\delta\sigma_i/\sigma_i(SM)$ ) (It was divided into two bins: forward and backward).

$$\frac{\delta\sigma_i}{\sigma_i(SM)} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{S_i + N_i}}{S_i}\right)^2 + \sigma_{syst}^2}$$

$S_i$ : the number of signal events in each bin.  
 $N_i$ : the number of background events  
In this evaluation, systematic errors of 0.0 for  $b$  and 0.0 for  $c$  are assumed.

- The deviation of the differential cross-section between the Standard Model and each model for the  $i$ -th bin ( $\delta\sigma_i(BSM)/\sigma_i(SM)$ ) is calculated and  $\chi^2$  is obtained.

$$\chi^2(BSM) = \sum_i \left\{ \left( \frac{\delta\sigma_i(BSM)}{\sigma_i(SM)} / \frac{\delta\sigma_i}{\sigma_i(SM)} \right)^2 \right\}$$

# Efficiency( $\cos\theta$ )

- The number of signal events  $S_i$  for each  $b\bar{b}$  and  $c\bar{c}$  events is

$$S_i = \text{cross section} \times \text{luminosity} \times \text{efficiency}$$

Efficiency depends on  $\cos\theta$  and is calculated, including the feasibility of Charge ID.

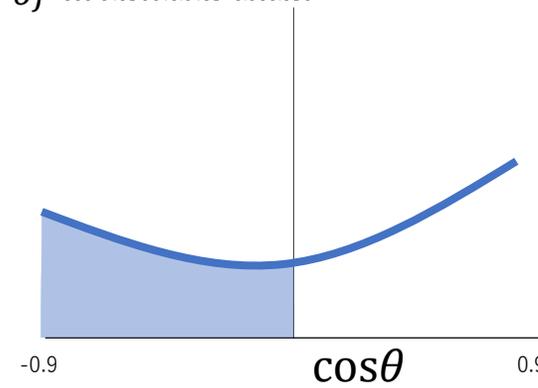
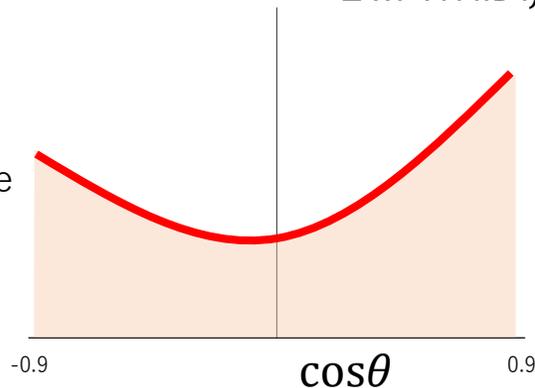
For  $b\bar{b}$  (The same applies for the  $c\bar{c}$ ):

$$\text{efficiency\_angle} = \frac{\# \text{ of } (true \ b\bar{b}) \ w/o \ eventcut}{\# \text{ of } (true \ b\bar{b}) \ w/o \ eventcut} \times \frac{\# \text{ of predicted } b\bar{b}}{\# \text{ of predicted total}} \times \text{Charge ID efficiency}$$

For events that were not identified by Charge ID, use the following equation for efficiency relative to the total cross section.

$$\text{efficiency\_noChargeID} = \frac{\# \text{ of } (true \ b\bar{b}) \ w/o \ eventcut}{\# \text{ of } (true \ b\bar{b}) \ w/o \ eventcut} \times \frac{\# \text{ of predicted } b\bar{b}}{\# \text{ of predicted total}} \times (1 - \text{Charge ID efficiency})$$

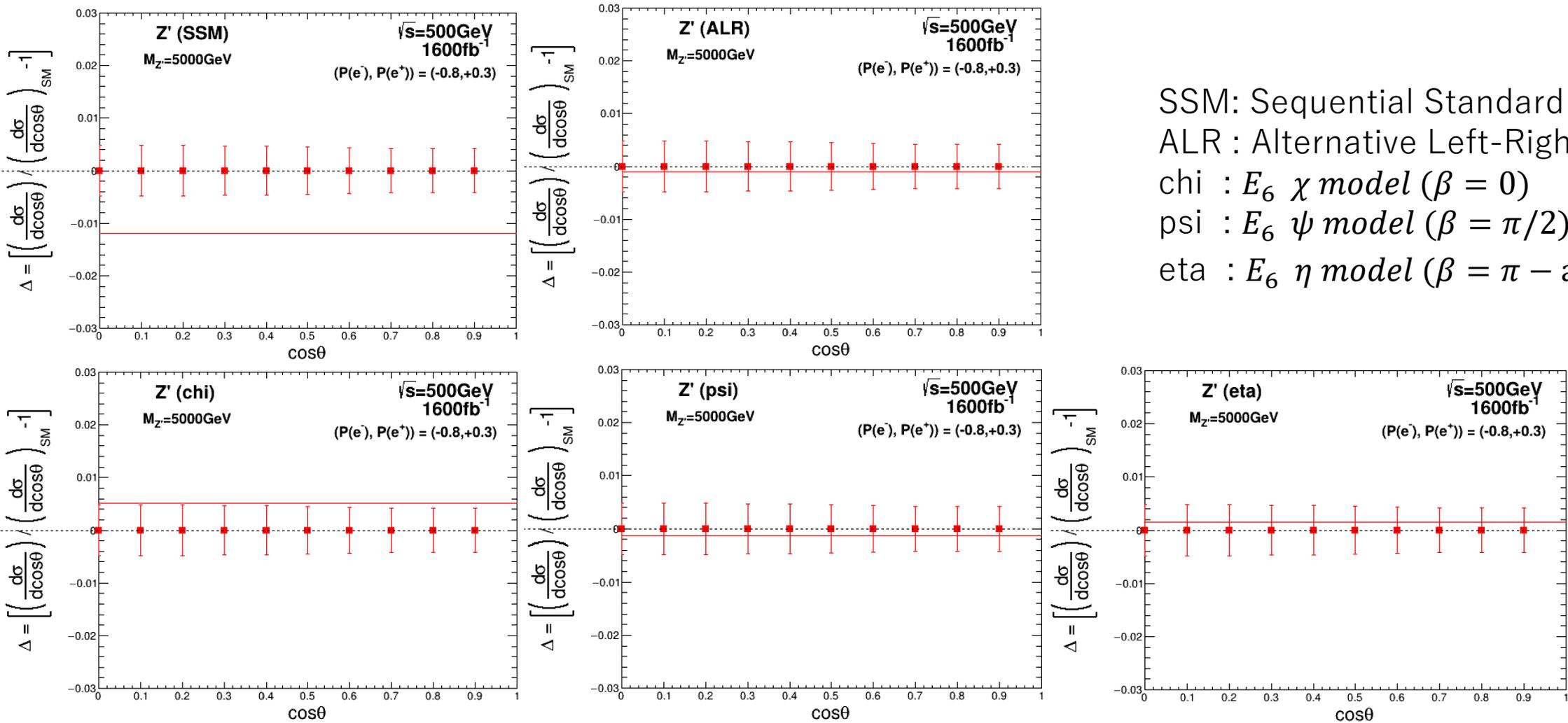
In cases where Charge ID was not achieved, the total cross section for each polarization was used.



In cases where Charge ID was achieved, evaluations were made separately for  $\cos\theta > 0$  and  $\cos\theta < 0$ .

# For bb

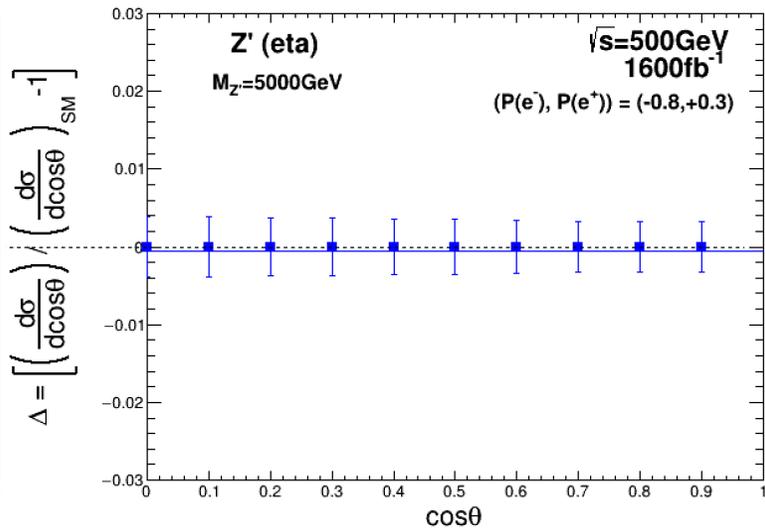
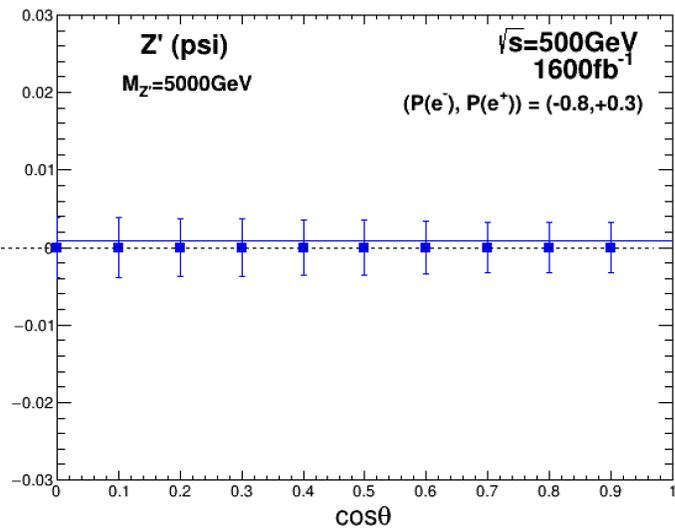
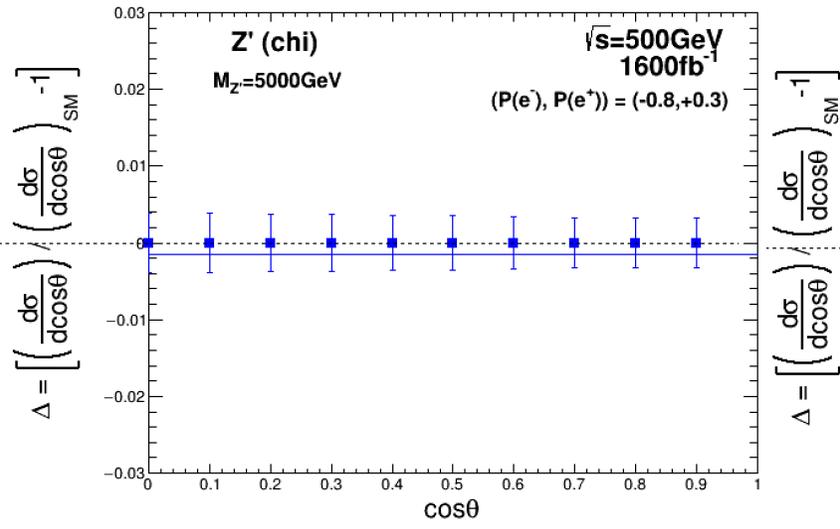
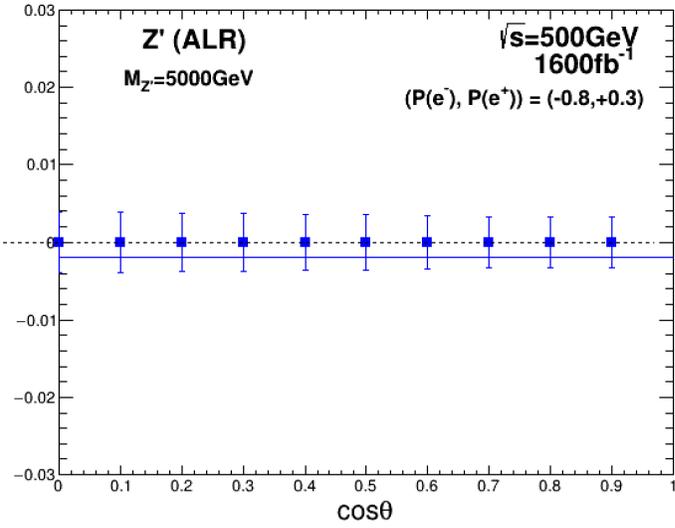
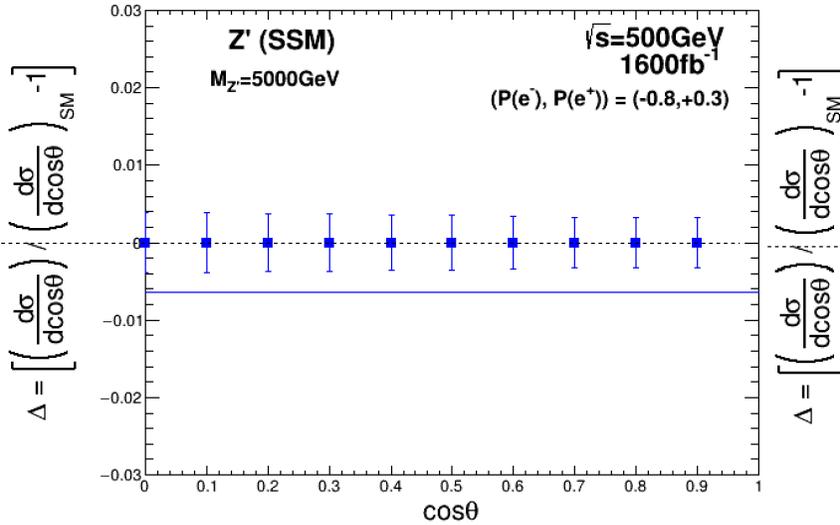
Since the costheta distribution is taken in absolute values (0 to 1),  
 This plot is also calculated only in the range of 0 to 1  
 For example, if costheta of plot = 0.9, the average of “0.9 and -0.9 results” is used.



SSM: Sequential Standard Model  
 ALR : Alternative Left-Right symmetric  
 chi :  $E_6$   $\chi$  model ( $\beta = 0$ )  
 psi :  $E_6$   $\psi$  model ( $\beta = \pi/2$ )  
 eta :  $E_6$   $\eta$  model ( $\beta = \pi - \arctan \sqrt{5/3}$ )

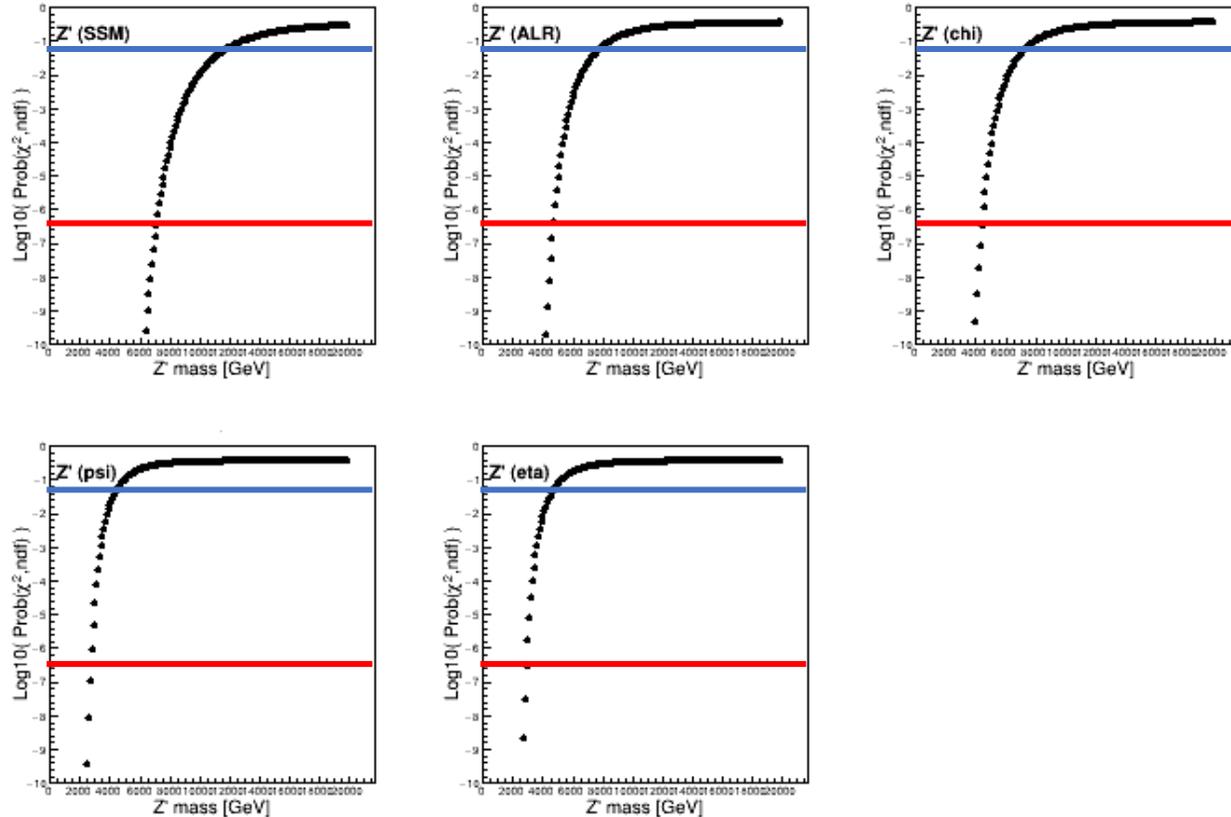
# For cc

Since the costheta distribution is taken in absolute values (0 to 1),  
 This plot is also calculated only in the range of 0 to 1  
 For example, if costheta=0.9, the average of the 0.9 and -0.9 results is used.



SSM: Sequential Standard Model  
 ALR : Alternative Left-Right symmetric  
 chi :  $E_6$   $\chi$  model ( $\beta = 0$ )  
 psi :  $E_6$   $\psi$  model ( $\beta = \pi/2$ )  
 eta :  $E_6$   $\eta$  model ( $\beta = \pi - \arctan \sqrt{5/3}$ )

# Mass limit for $b\bar{b}$ , $c\bar{c}$ (preliminary)



SSM: Sequential Standard Model  
 ALR : Alternative Left-Right symmetric  
 chi :  $E_6$   $\chi$  model ( $\beta = 0$ )  
 psi :  $E_6$   $\psi$  model ( $\beta = \pi/2$ )  
 eta :  $E_6$   $\eta$  model ( $\beta = \pi - \arctan \sqrt{5/3}$ )

gma  $\rightarrow$  **-6.52** (discovery reach)  
 gma  $\rightarrow$  **-1.3** (95% CL lower limit)

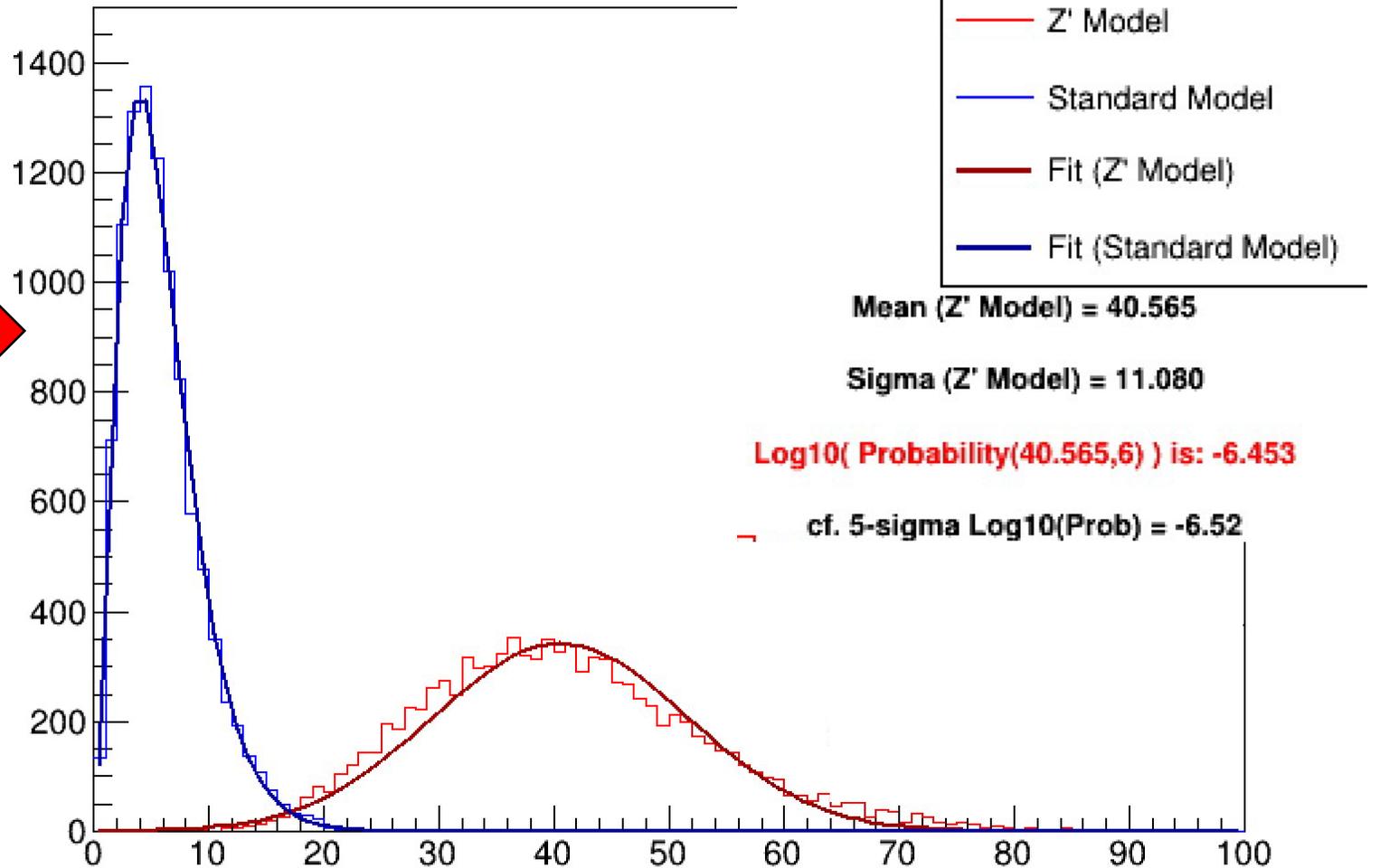
For  $b\bar{b} + c\bar{c}$

Z' model	SSM	ALR	$\chi$	$\psi$	$\eta$
5-sigma	7.1 TeV	4.7 TeV	4.4 TeV	2.7 TeV	2.9 TeV
2-sigma	11.5 TeV	7.6 TeV	7.1 TeV	4.4 TeV	4.7 TeV

# Confirmation with toy MC

Sum of squared random values ( $Z'$  Model  $\rightarrow$  SSM)

```
proc = bb
=====
Ecm =500 [GeV]
SSM: M(5) = 6.57987 [TeV] M(2) = 9.97448 [TeV]
=====
Ecm =500 [GeV]
ALR: M(5) = 1.174 [TeV] M(2) = 4.02791 [TeV]
=====
Ecm =500 [GeV]
chi: M(5) = 4.27
=====
Ecm =500 [GeV]
psi: M(5) = 2.76707 [TeV] M(2) = 4.16277 [TeV]
=====
Ecm =500 [GeV]
eta: M(5) = 2.29504 [TeV] M(2) = 3.43367 [TeV]
```



# Lepton and hadron channels

For  $\mu\mu + \tau\tau$

<b>Z' model</b>	<b>SSM</b>	<b>ALR</b>	<b><math>\chi</math></b>	<b><math>\psi</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
5-sigma	6.31 TeV	8.45 TeV	6.15 TeV	3.21 TeV	3.57 TeV

5-sigma discovery reach

<b>Z' model</b>	<b>SSM</b>	<b>ALR</b>	<b><math>\chi</math></b>	<b><math>\psi</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
2-sigma	9.97 TeV	13.34 TeV	9.80 TeV	5.03 TeV	5.61 TeV

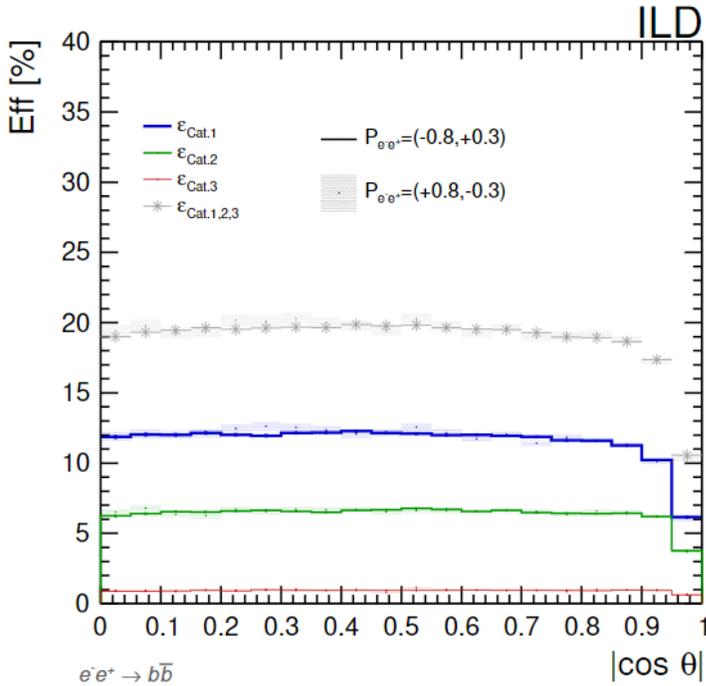
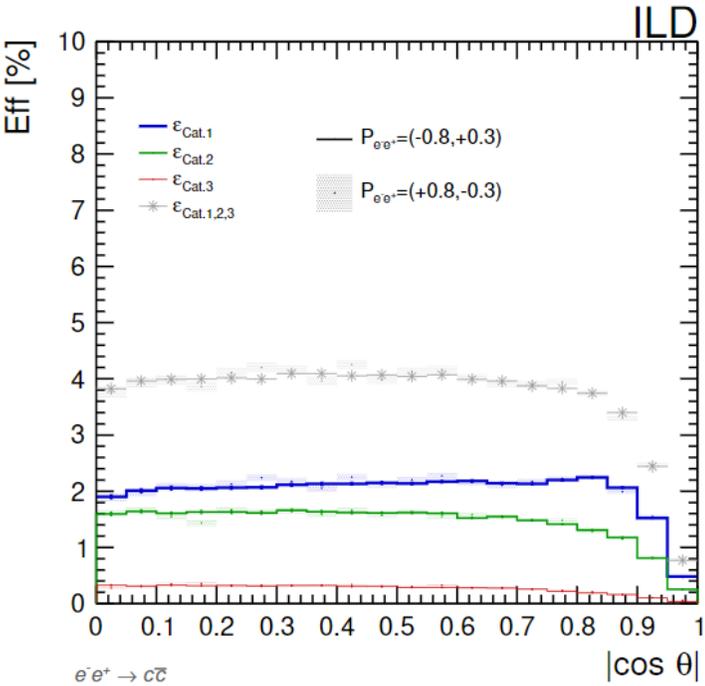
2-sigma = 95% CL lower limit

For  $b\bar{b} + c\bar{c}$

<b>Z' model</b>	<b>SSM</b>	<b>ALR</b>	<b><math>\chi</math></b>	<b><math>\psi</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
5-sigma	7.1 TeV	4.7 TeV	4.4 TeV	2.7 TeV	2.9 TeV
2-sigma	11.5 TeV	7.6 TeV	7.1 TeV	4.4 TeV	4.7 TeV

# Effect of charge ID for b/c

ILD-PHYS-PUB-2023-001, June 2023



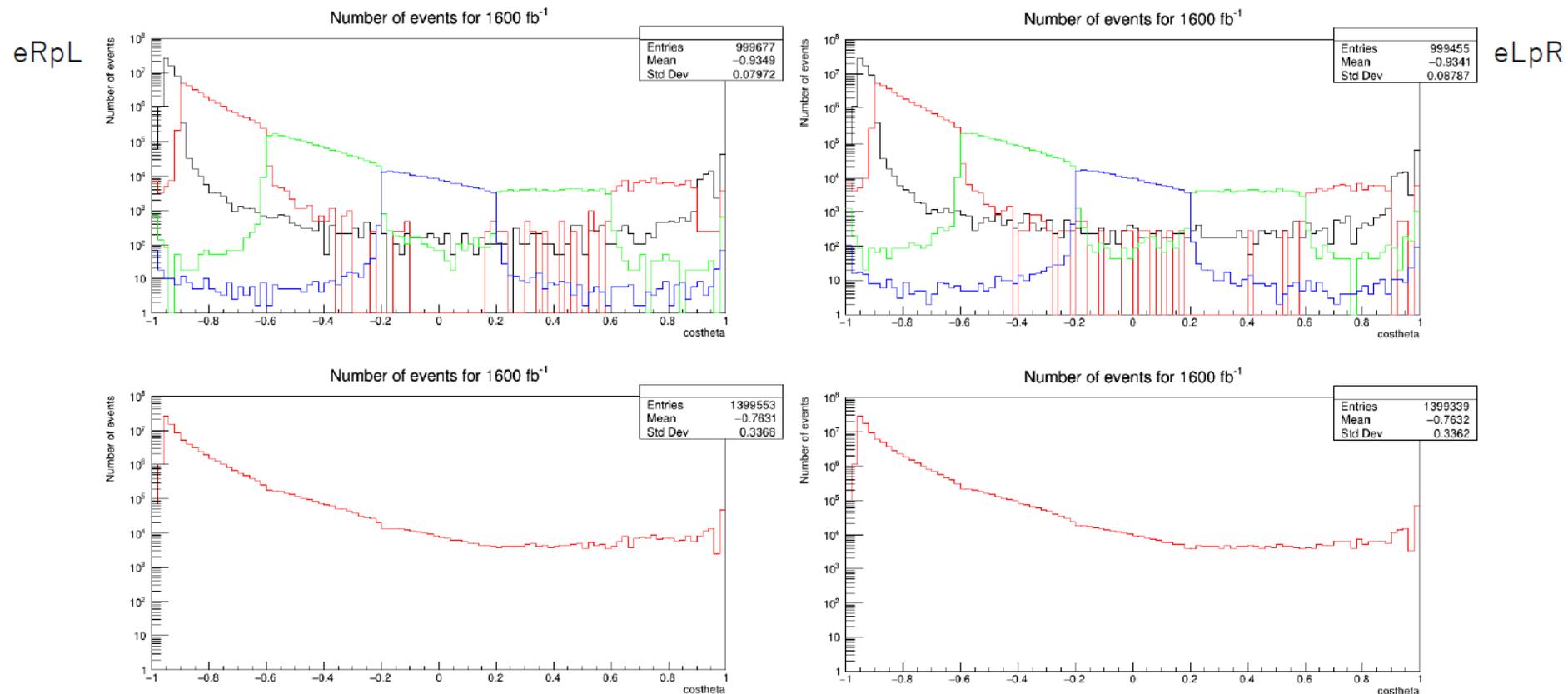
We tried Adrian's efficiency (in 250 GeV qq) applying to our sample to see the effect of charge ID.

Since the efficiency is low as ~4% (cc) and ~19% (bb), significant improvements cannot be seen even if ignoring mis-tagging effects.

We are still investigating how to incorporate quark charge ID to our studies.

# Bhabha sample

- We have requested high- $q^2$  Bhabha sample with different statistics on each angular region.
- Produced events have some issues  $\rightarrow$  need to address



# Summary

- We are evaluating the discovery potential of  $Z'$  at ILC 500GeV using  $b\bar{b}$  and  $c\bar{c}$  events.
- An evaluation was conducted for five models, and when combining  $b\bar{b}$  and  $c\bar{c}$ , it ranged from 2.7-7.1 TeV at 5 sigma and 4.4-11.5 TeV at 2 sigma (these results are not yet final).
- As the next step, we will also incorporate lepton pair events and evaluate them interactively.

**backup**

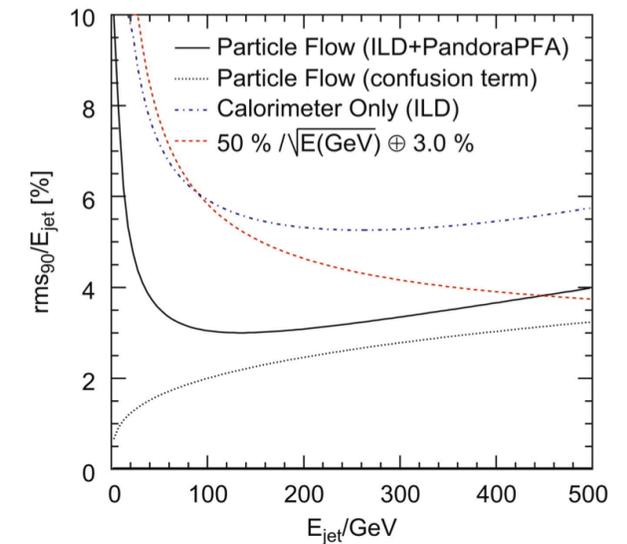
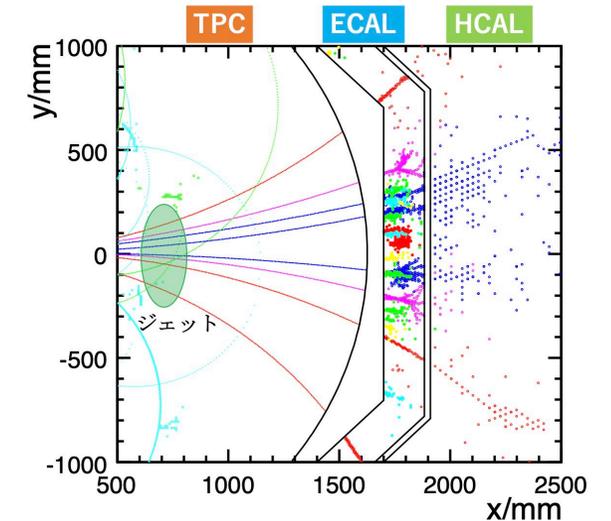
# Particle Flow Algorithm (PFA)

- A method to obtain higher jet energy resolution by reconstructing the particle trajectory for each type of particle in the jet.
- Charged particles: Tracker
- Photons: ECAL
- Neutral hadrons : HCAL  
→ To separate the deterioration of resolution for neutral hadrons
- Resolution of a calorimeter for a single particle :

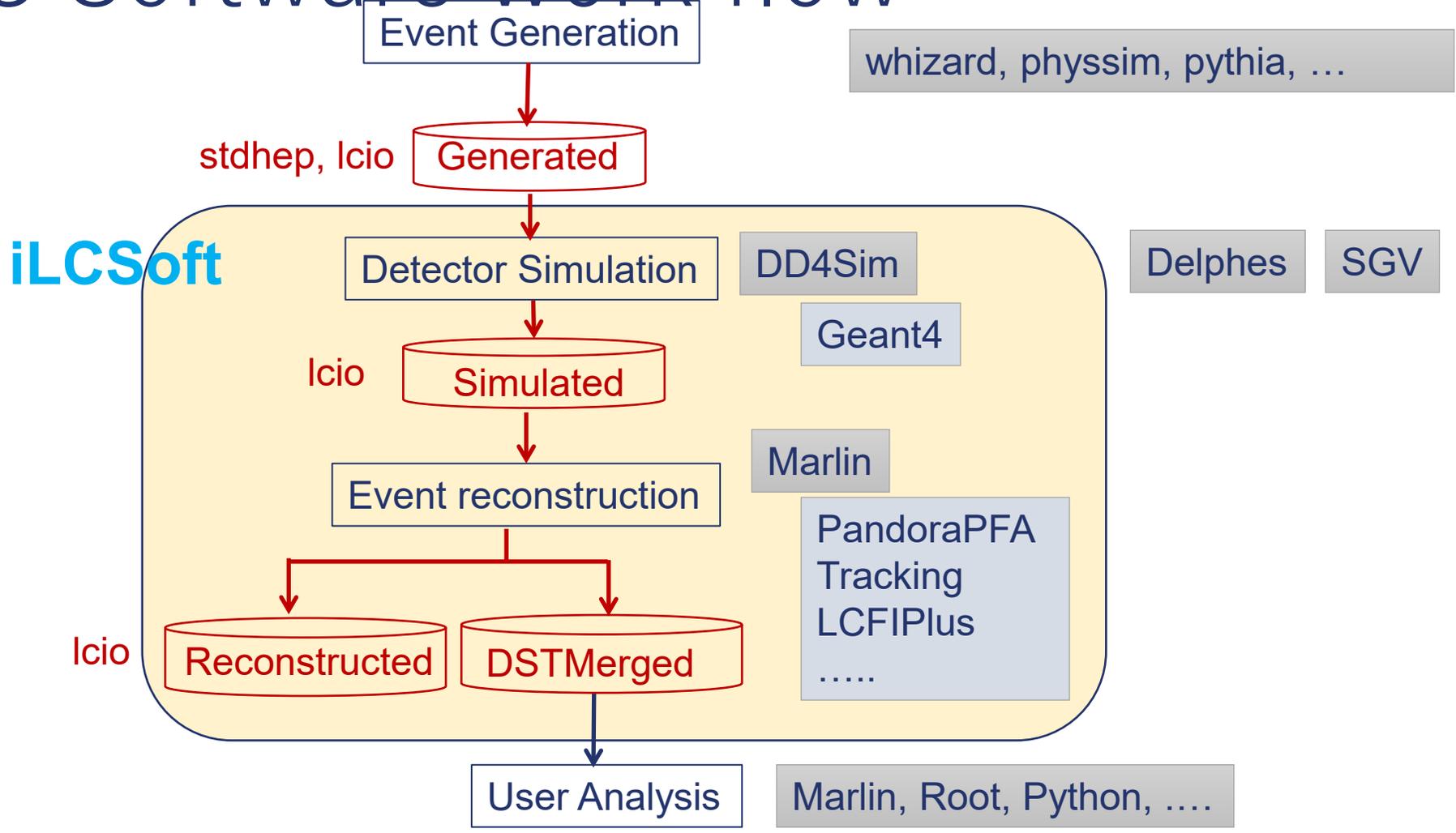
Perfect PFA:  $\sim 20\% / \sqrt{E(\text{GeV})}$

PandoraPFA :  $\sim 30\% / \sqrt{E(\text{GeV})}$

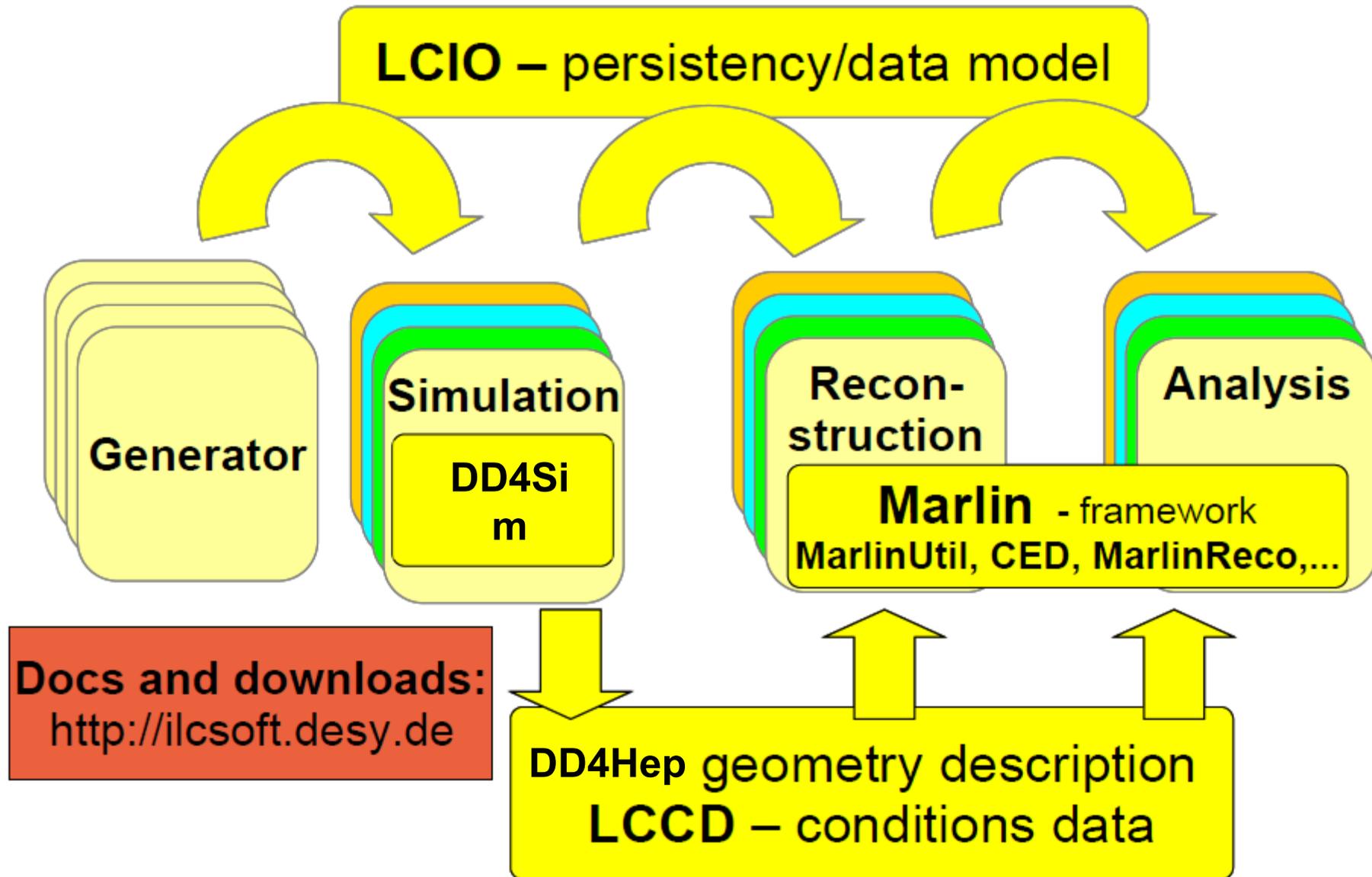
w/o PFA :  $50 - 60\% / \sqrt{E(\text{GeV})}$



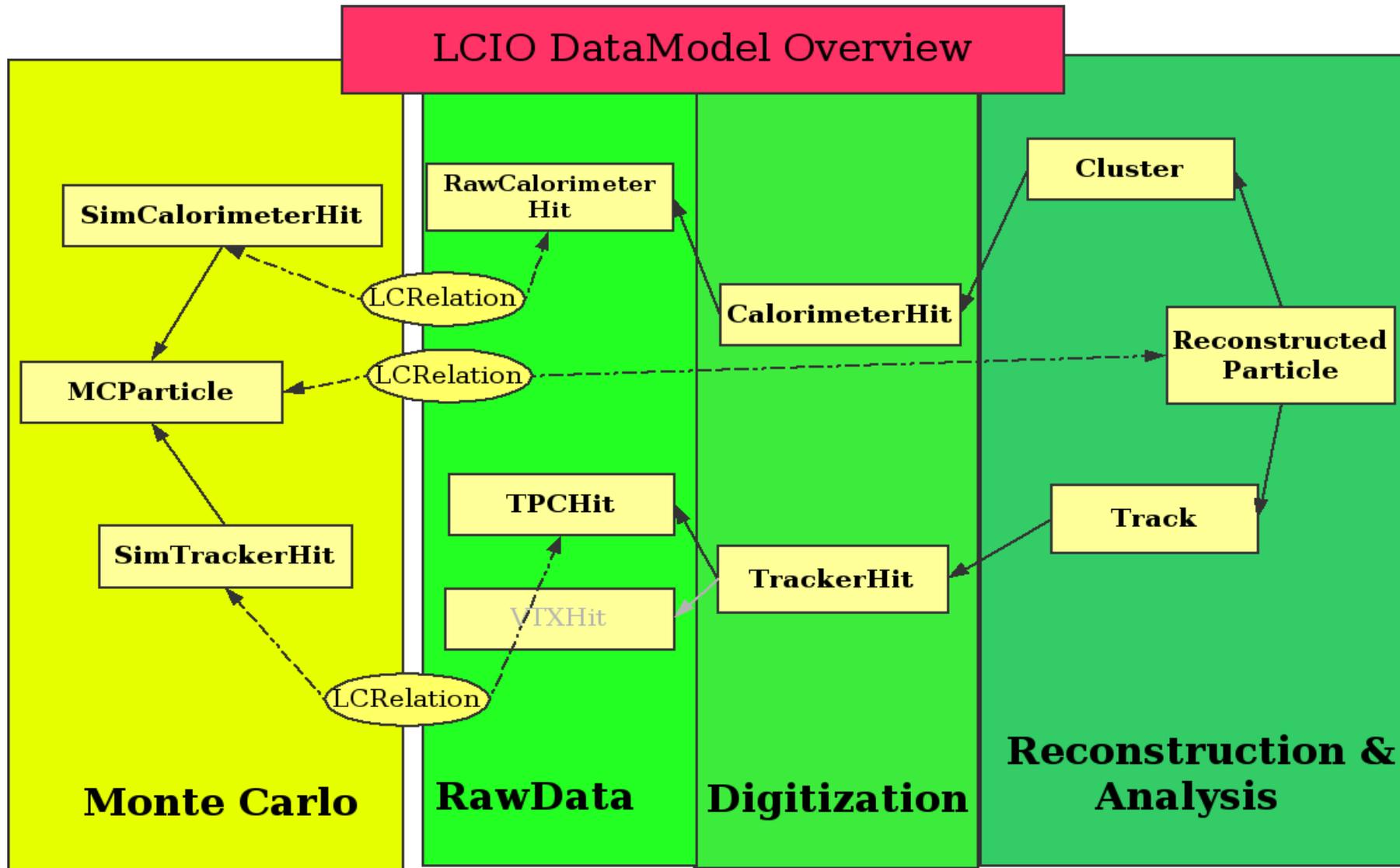
# ILC Software work flow



# Role of LCIO : persistency and data model

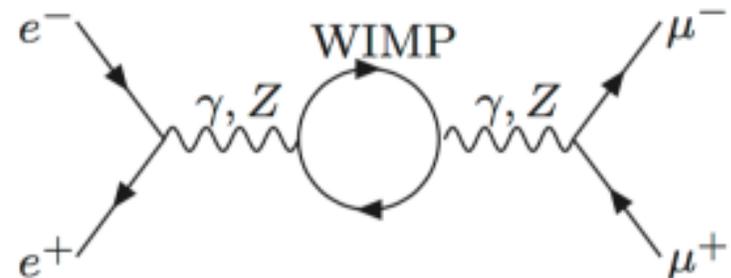


# Data Model II



# 2-fermion $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ event

- $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ :
- ゲージヒッグス統一 (GHU) モデルでは、ヒッグス粒子はゲージポテンシャルの余剰次元成分の一部であり、これは5次元におけるアハロノフ-ボーム (AB) 相 ( $\theta_H$ ) の変動として表されます。ILC において GHU モデルのずれを見ることができると判断することもできる。
- また、最近提案された新物理探索法として、WIMP(weakly-interacting massive particle) による  $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$  のずれを一般的に調べる方法がある。
- これまで解析してきた 2 フェルミオン終状態の過程 ( $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ ) に、WIMP( $\chi$ ) を導入し  $Z \rightarrow \chi\chi \rightarrow Z$  のループを含んだダイアグラムを仮定すると、結合定数が変わってくる。この結合定数のずれは WIMP のスピンや質量によって異なり、WIMP モデルの詳細には依存しない。



# Previous results

- mu イベントとtau イベントの場合のZ'新物理探索の評価の結果

Evaluation of Z' new physics search by mu & tau event

<b>Z' model</b>	<b>SSM</b>	<b>ALR</b>	<b><math>\chi</math></b>	<b><math>\psi</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
5-sigma	4.7 TeV	6.4 TeV	4.6 TeV	2.4 TeV	2.7 TeV

5-sigma = discovery reach

<b>Z' model</b>	<b>SSM</b>	<b>ALR</b>	<b><math>\chi</math></b>	<b><math>\psi</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
2-sigma	6.6 TeV	8.8 TeV	6.4 TeV	3.3 TeV	3.7 TeV

2-sigma = 95% CL lower limit

# Previous results: 山城さん

重心系エネルギー 250 GeV の ILC の  $e^+e^- \rightarrow \ell^+\ell^-$  の測定で  $3\sigma$  以上のずれで検出可能な  $Z'$  の質量の上限。チャンネルを追加して質量の上限が下がる場合は、追加前の上限の値を用いている。これは  $\chi^2$  の値が 1 のまま bin 数が増えると確率が上がるためである。

$Z'$ model	$\ell$	$b$	$c$	$\ell + b$	$\ell + b + c$
SSM	2.8 TeV	4.5 TeV	2.7 TeV	4.5 TeV	4.5 TeV
ALR	4.0 TeV	2.9 TeV	2.8 TeV	4.0 TeV	4.0 TeV
$\chi$	2.9 TeV	2.4 TeV	1.4 TeV	2.9 TeV	2.9 TeV
$\psi$	1.4 TeV	2.1 TeV	1.4 TeV	2.1 TeV	2.1 TeV
$\eta$	1.8 TeV	2.3 TeV	1.4 TeV	2.3 TeV	2.3 TeV

# シグナルイベントの定義

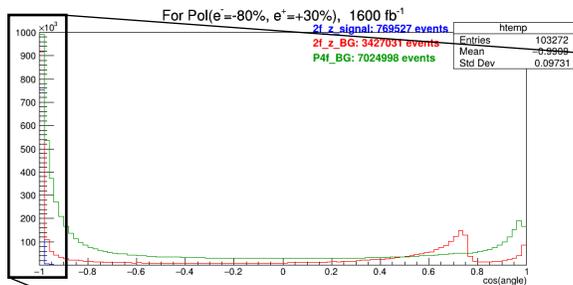
- シグナルイベントデータを質量に基づいてシグナルとバックグラウンドに分割。
- この質量はファインマンダイアグラムの $Z^*$ 質量に対応
- もし $Z^*$ の質量が小さい場合、 $Z^*$ と干渉する重い新しい粒子、例えば $Z'$ の寄与は小さくなります。
- $Z'$ モデルを計算する際、 $Z^*$ は500 GeV (ISRやその他の効果を含まない) と仮定されているので、低い $Z^*$ の寄与が含まれている場合、結果は私たちが期待するものとは異なる。
- したがって、低質量のイベントをバックグラウンドとして除外

# オープニングアングル

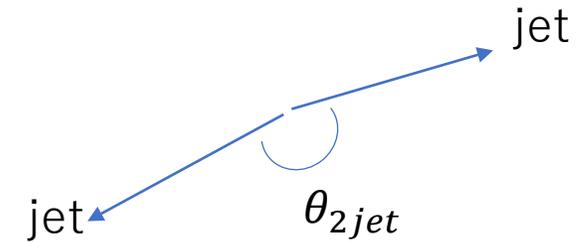
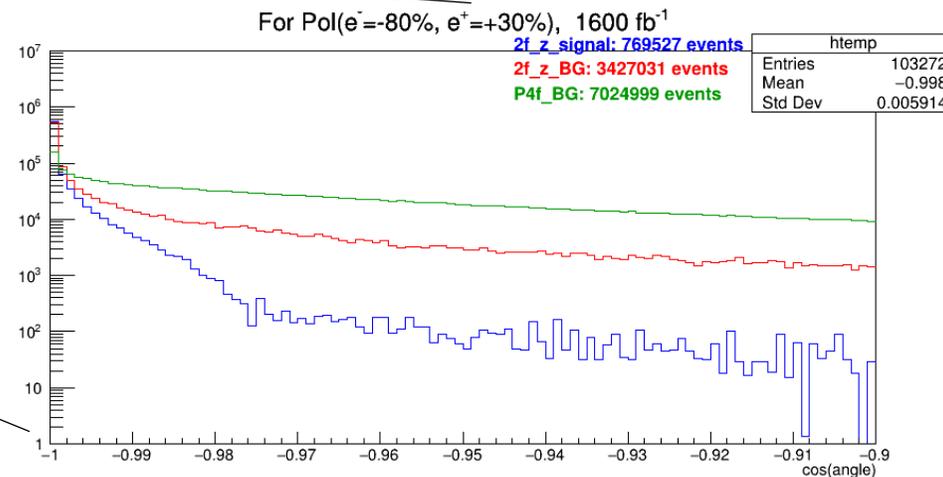
信号ジェット間の角度はほぼ180度

→180度付近のイベントは、シグナル (2フェルミオン) イベントと考えられる

例:  $\mu$  イベント  
全体



180°付近

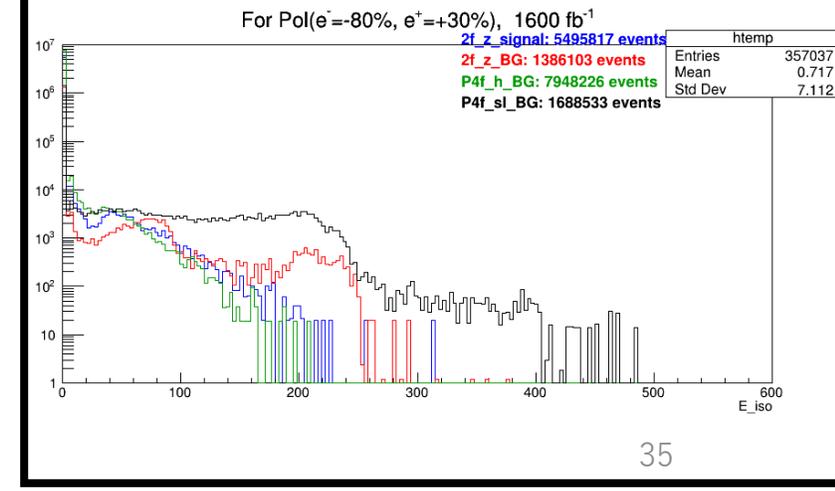
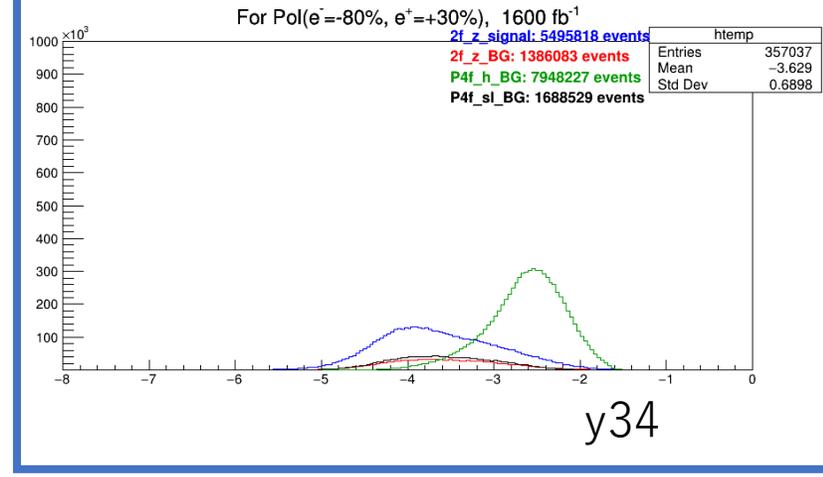
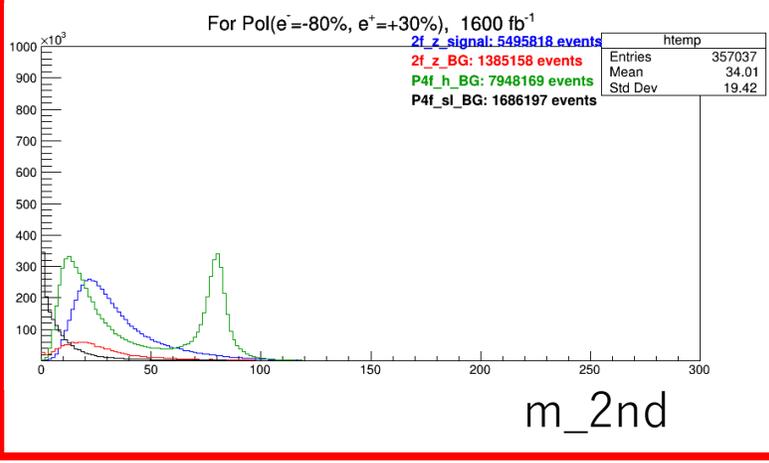
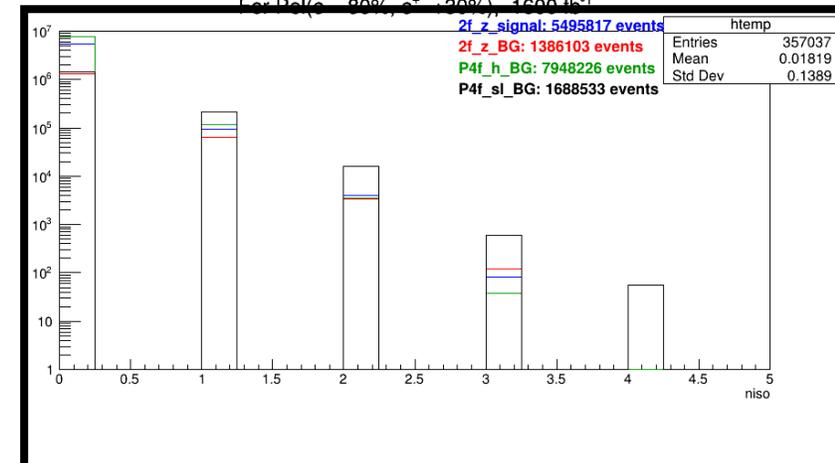
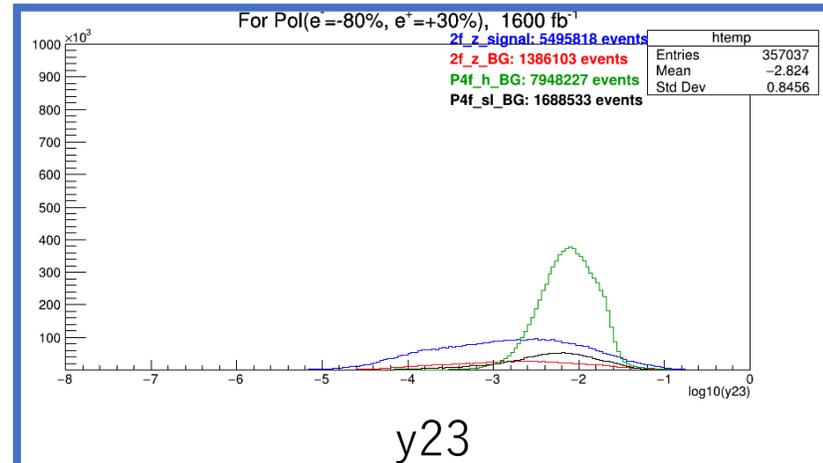
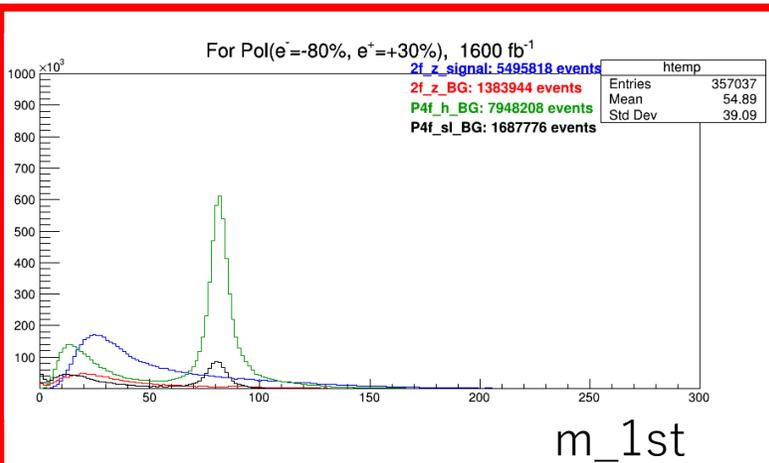


# Input parameter 1

Single Jet mass

y value

Isolated leptons  
top: NumberOfElements  
bottom: Energy of isolated leptons

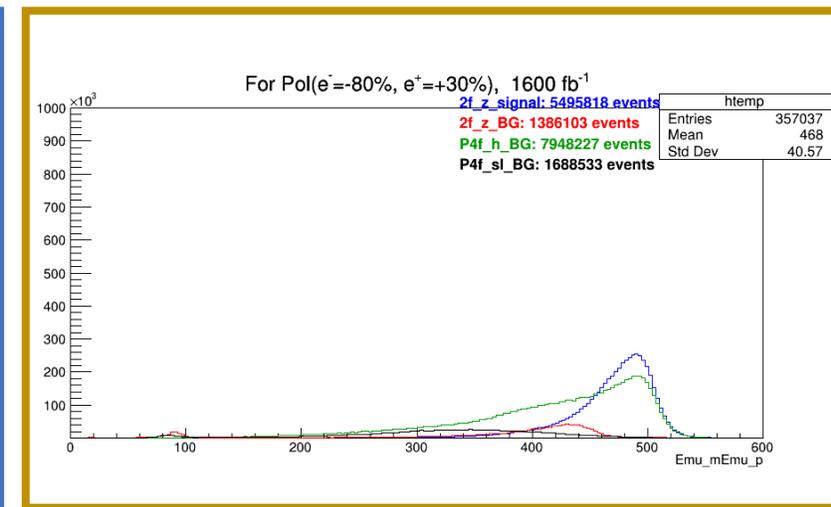
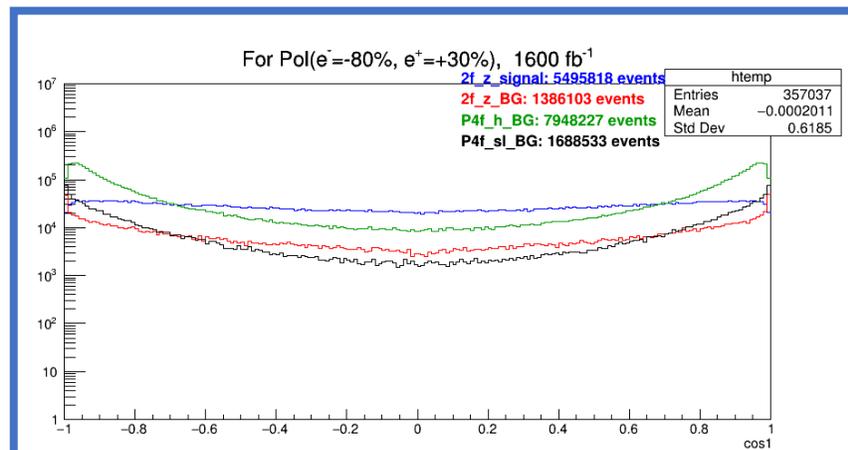
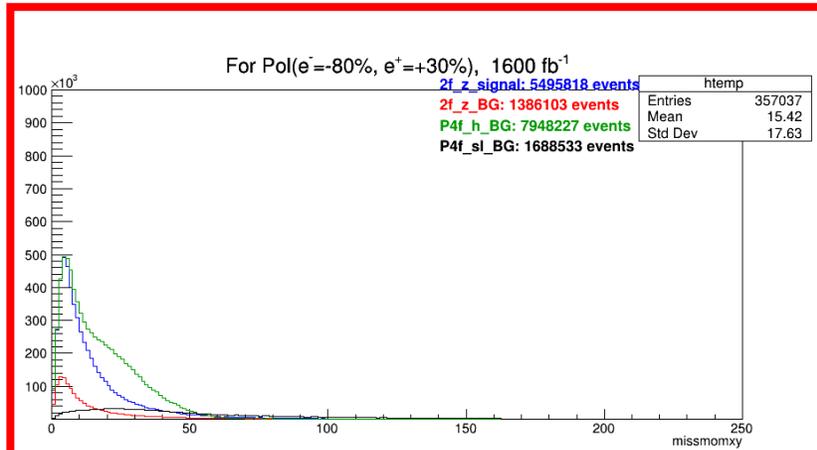


# Input parameter 2

Missing momentum (2jet)

Costheta (jet)

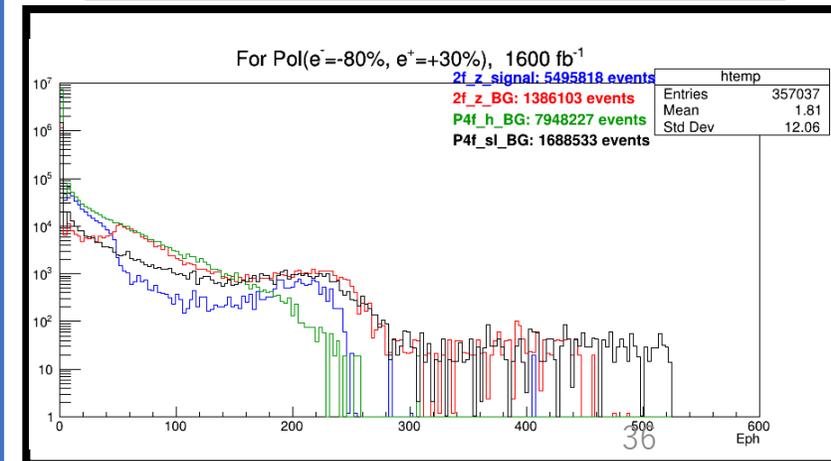
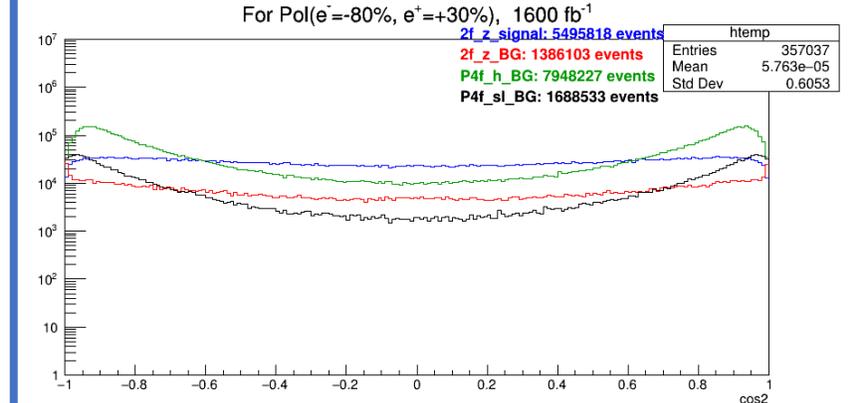
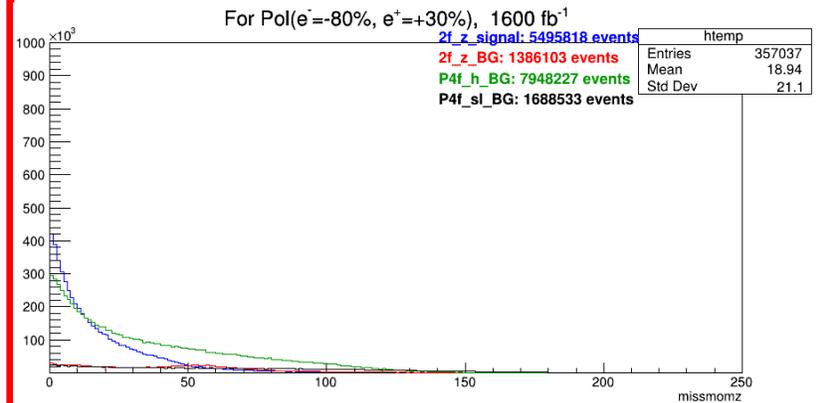
Visible energy(2 jet)



Missing momentum (xy)

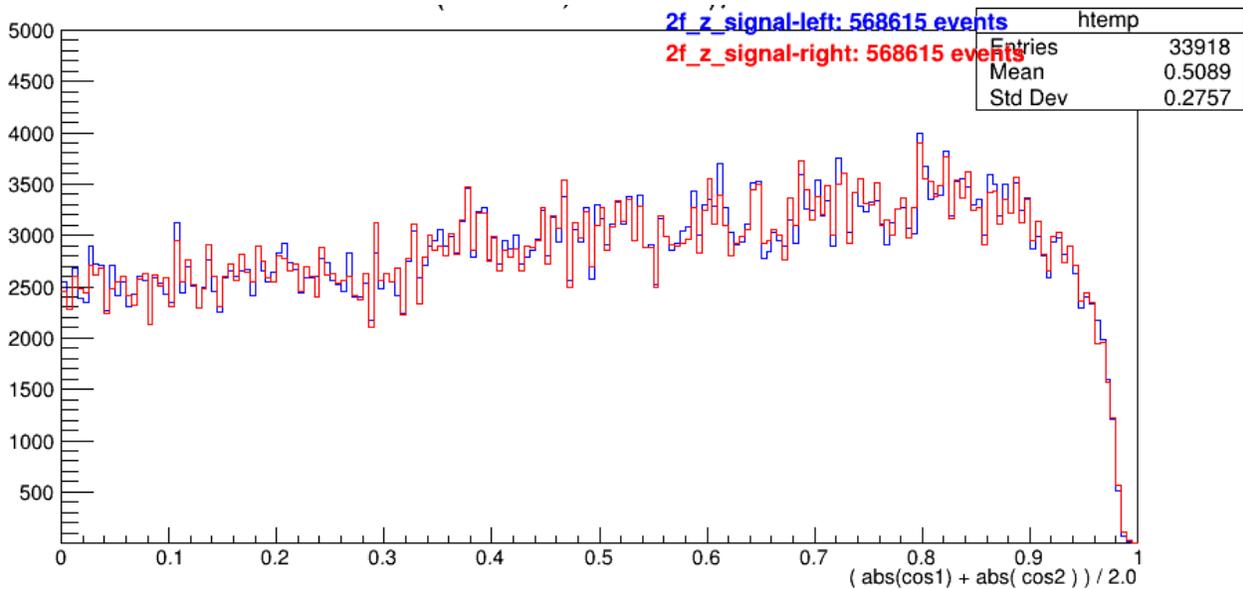
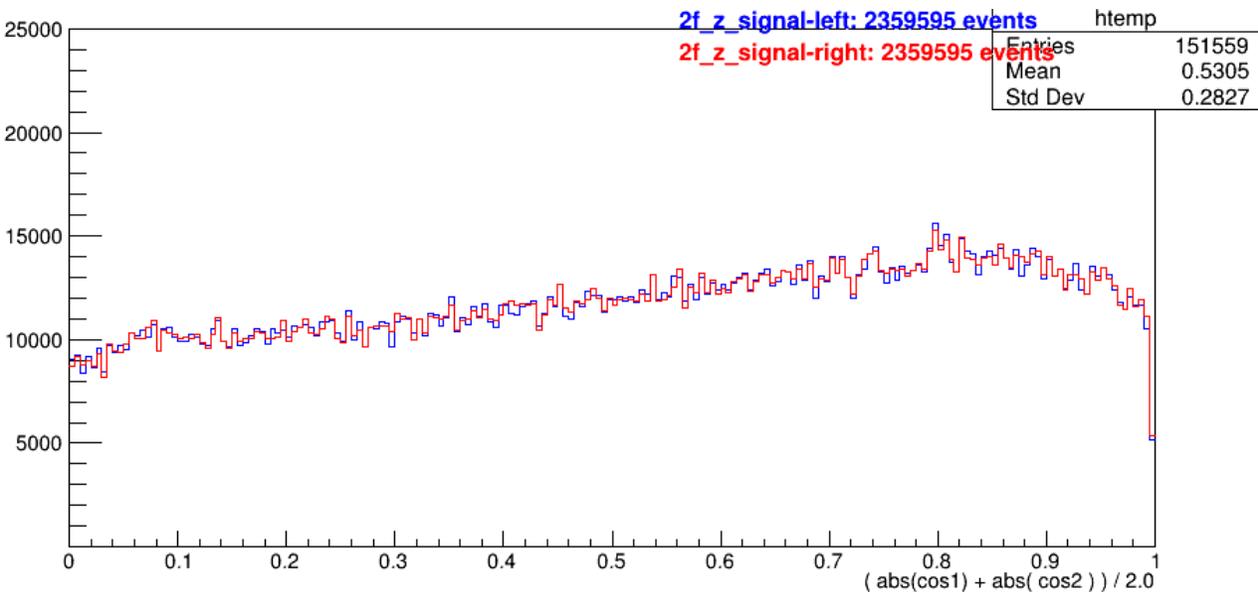
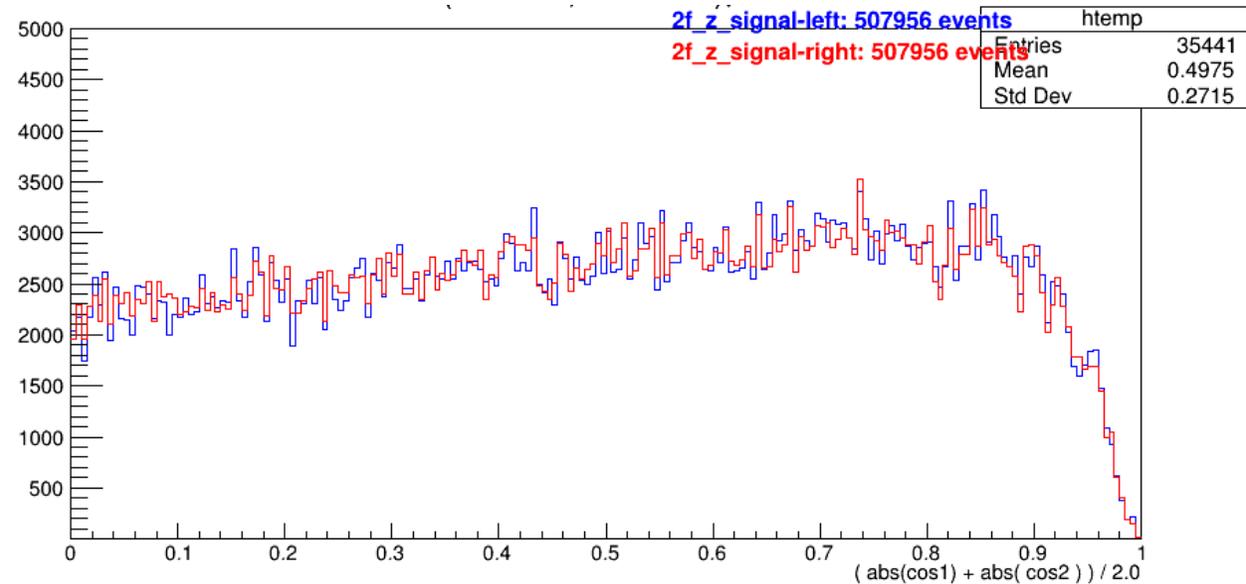
Costheta\_1st

Isolated photons: Energy



Missing momentum (z)

Costheta\_2nd

**bb****qq(u,d,s)****cc**

予測されたフレーバーごとの  
 $\cos \theta$  分布  
 (event selection後)

Blue: Left-handed ( $e^-, e^+$ ) = (-80%, +30%)  
 Red : Right-handed ( $e^-, e^+$ ) = (+80%, -30%)

赤は、青のイベント数に合わせて  
 スケーリングされています。

# Z'モデル

- Z'は、標準理論のフェルミオンに結合する新しい中性ゲージボソンです。Z'の結合定数はモデルによって異なり、この研究ではSequential Standard Model（以下、SSMモデル）とE<sub>6</sub>モデルを使用します。
- **Sequential Standard Model (SSMモデル)**: このモデルでは、Z'という粒子は、すでに知られているZ粒子と同じような性質を持っていると考える
- **E<sub>6</sub>モデル**: このモデルは少し複雑で、新しい粒子Z'は、2つの他の粒子（Z<sub>ψ</sub>とZ<sub>χ</sub>）の組み合わせとして表される

$$Z' = Z_{\chi} \cos \beta + Z_{\psi} \sin \beta$$

ここで、 $\beta$ はE<sub>6</sub>の自発的な破れを定義する混合角です。この評価では、 $\beta$ の3つの値が使用され、**χモデル** ( $\beta=0$ )、**ψモデル** ( $\beta=\pi/2$ )、および**ηモデル** ( $\beta = \pi - \arctan\sqrt{5/3}$ ) として参照される

- **Alternative Left-Right symmetric (ALRモデル)**: このモデルもE<sub>6</sub>モデルから派生しており、新しい粒子Z'の性質を考えるためのものです。ただし、このモデルではZ'の性質が標準モデルのZ粒子とは少し異なると考えられている

## 7.1 ジェット電荷測定法1：

### vertex charge、 $V_{tx}$ 法

- ジェットの電荷は頂点の電荷として見積もられ、ジェット内の二次頂点のすべてのトラックの電荷の和として定義される。クォークは荷電ハドロンと中性ハドロンに分裂します。荷電ハドロンはこの方法に使用できるものです。bクォークは約60%の確率で荷電ハドロンに分裂する。
- この方法では、「bまたはcハドロン崩壊のすべての荷電飛跡が正しく測定され、ジェット内の二次頂点と関連付けられている」必要があります。セクション4で議論したように、飛跡が失われる確率は非常に小さいが、b-クォークの場合はジェットあたりの二次飛跡の数が多いため、その影響は大きくなる。

# K-method : charm quark

- cクォークはほとんど $D^0/D^\pm/D_s$ -中間子に分裂する。
- $D^0$ の荷電K中間子に対する崩壊分岐比は約50%である。
- $D_s$ の場合は約33%である。
- $D^\pm$ は崩壊で1prongと3prongを生成するが、最終状態で荷電Kaonを持つケースは約30%しかない。
- すべての場合において、二次頂点にあるKaonを同定することで、元のc-クォークの電荷を直接知ることができる。

# K-method : bottom quark

- CKMの行列要素 $|V_{cb}|$ と $|V_{us}|$ は0から大きく異なり、 $|V_{cs}| \cong 1$ である。
- したがって、Bハドロン崩壊は最終状態においてかなりの割合の荷電Kaonをもたらす。陽子の多重度が約0.13であるのに対して、B-ハドロン崩壊あたり約0.8個の荷電Kaonと約3.6個の荷電 $\pi$ があると予想される。

## 7.2 ジェット電荷測定法2：

### Kaon charge、K法

- TPC  $dE/dx$ は、セクション4に記述されているように、二次トラック中の荷電Kaonを同定するために使用される。
- 電荷測定では、複数の荷電K中間子を使用することができる：  
 $K^-K^-$ 、 $K^-K^-K^+$ の組み合わせ（および符号の反転）が受け入れられ、 $K^-K^+$ の組み合わせは使用されない。

## 7.3 ダブル・チャージ法(DC)

- ダブルチャージ法(DC)は、2つの反対の電荷を持つジェットを必要とします。
- 測定された電荷を持つ2つのジェットを含むN個のイベントの選択から始まります。
- 反対の電荷を持つジェットペアが受け入れられ、同じ電荷を持つジェットペアは拒絶される。
- ジェットの電荷がhard scatteringのクォークの電荷の符号を再現する確率を $P_{chg.}$ とし、 $Q_{chg.} = 1 - P_{chg.}$ はそうでない確率である。
- ジェット電荷の測定が独立しており、2つの半球の間で対称であると仮定すると、単純に次のようになる：
$$N_{acc.}^M(|\cos \theta|) = P_{chg.}^2(|\cos \theta|) \cdot N(|\cos \theta|) + Q_{chg.}^2(|\cos \theta|) \cdot N(|\cos \theta|)$$
- ここで、 $N_{acc.}^M$  は、M法で測定された、両方のジェットの電荷が一致する（符号が反対）事象の数である。

## 7.3 ダブル・チャージ法(DC)

- 式17を解いて得られた $P_{chg.}$ の値から、 $|\cos \theta|$ のビンで発見された事象が $+|\cos \theta|$ または $-|\cos \theta|$ のビンの間でどのように分布すべきかを次のように計算することができる：

$$N^{corr.}(|\cos \theta|) = \frac{P_{chg.}^2 N_{acc.}(\cos \theta > 0) - Q_{chg.}^2 N_{acc.}(\cos \theta > 0)}{P_{chg.}^4 - Q_{chg.}^4}$$

$$N^{corr.}(-|\cos \theta|) = \frac{P_{chg.}^2 N_{acc.}(\cos \theta < 0) - Q_{chg.}^2 N_{acc.}(\cos \theta < 0)}{P_{chg.}^4 - Q_{chg.}^4}$$

- 簡単のため、この式では、両方のジェットで同じ電荷測定法を用いた場合のみを示している。一般化は簡単である。

## 7.3 ダブル・チャージ法(DC)

- 2つの方法での $P_{chg.}$ の結果を図15に示す。非常に前方の領域 $|\cos\theta| > 0.9$ を除いて、 $P_{chg.}(\cos\theta)$ はほぼ一定であることがわかる。K-methodを用いた場合、わずかな勾配が観察される。この効果は、図15で観察されるように、極角が大きいほどK法の効率がわずかに小さくなることで補われる。

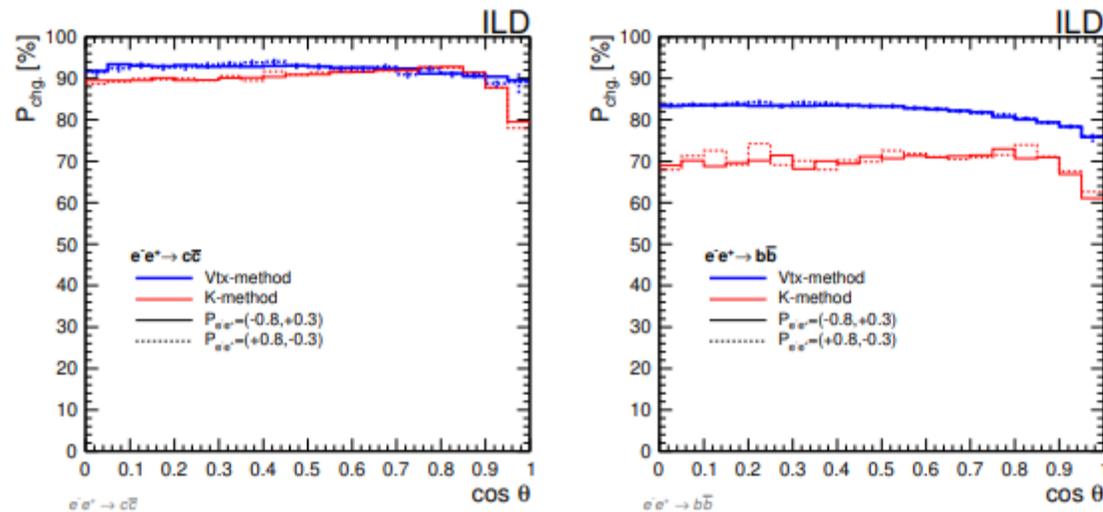


Figure 15: Distributions for  $P_{chg.}$  for the Vtx-method (blue) and the K-method (red) for  $c\bar{c}$  (left) and  $b\bar{b}$  (right). The results are shown for different beam polarisation scenarios, using different types of lines.

## 7.3 ダブル・チャージ法(DC)

- さらに、 $V_{tx}$ 法と  $K$ 法は  $P_{chg.}$ の値が類似しているため、対向するジェットが同じ方法を使用しない場合、混合ケースを使用することも可能である。
- 異なるカテゴリーを定義するために、leading methodは、より高い効率を持つものとして定義される。これによって、double charge測定のためのカテゴリー-Cat.iを定義することができる：
- Cat.1 : M1/M1-両方のジェットの電荷をM1法で測定する方法
- Cat.2 : M1/M2-M1法では電荷が測定されなかったが、M2法では電荷が測定された
- Cat.3 : M2/M2-いずれのジェットもM1の電荷測定を行わず、M2の電荷測定を行う方法
- M1法はK法、M2法はVtx法で、cクォークの場合、bクォークの場合は逆です。

## 7.4 効率補正

- 目的は  $d\sigma/(d \cos \theta)$  を parton レベルで測定し、前後非対称性を抽出することである。しかし、各カテゴリー、Cat.i について、測定された分布は以下の通りである：

$$N_{Cat.i}(\cos \theta) = \mathcal{L} \left[ \varepsilon_{pres.}(|\cos \theta|) \varepsilon_{Cat.i}(|\cos \theta|) \frac{d\sigma}{d \cos \theta} + \varepsilon_{bkg} \frac{d\sigma_{bkg}}{d \cos \theta} \right]$$

- $\mathcal{L}$  は全集光度である。
- 異なる  $\varepsilon_{Cat.i}$  は、本節と前節で述べた  $(1 + \rho_q)$ 、 $\varepsilon_q$ 、 $P_{chg.}$  の違いで表すことができる：
- $\varepsilon_{Cat.1} = (1 + \rho_q) \cdot (\varepsilon_q f_{M_1})^2 (P_{chg.,M_1}^2 + Q_{chg.,M_1}^2)$
- $\varepsilon_{Cat.2} = 2(1 + \rho_q) \cdot (\varepsilon_q f_{M_1}) \cdot (\varepsilon_q f_{M_2}) \cdot (P_{chg.,M_1} \cdot P_{chg.,M_2} + Q_{chg.,M_1} \cdot Q_{chg.,M_2})$
- $\varepsilon_{Cat.3} = (1 + \rho_q) \cdot (\varepsilon_q f_{M_2})^2 (P_{chg.,M_2}^2 + Q_{chg.,M_2}^2)$
- $f_{M_j}$  は、少なくとも1つのジェットが  $M_j$  法を用いて電荷測定を行うジェットの割合として定義される。データを input として推定していない唯一の3つの量は、相関係数、 $(1 + \rho_q)$ 、pre-selection efficiency  $\varepsilon_{pres.}$  とバックグラウンド除去効率  $\varepsilon_{bkg}$  である。異なる  $\varepsilon_{Cat.x}$  分布を図18に示す。