

電子陽電子対消滅による ZH生成過程を用いた ILC測定器の最適化の研究

伊藤 和俊

目次

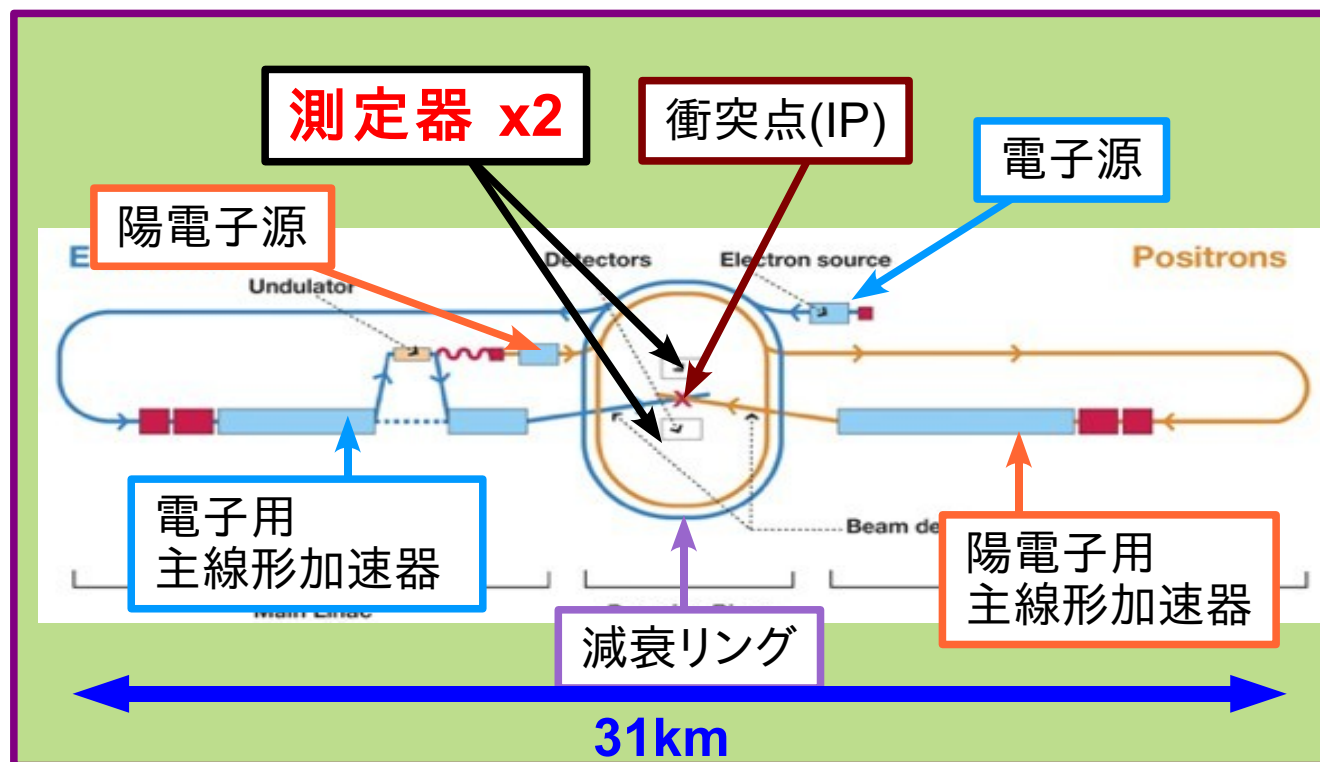
- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- ILD測定器の最適化
- ILD測定器の性能評価
- まとめ

目次

- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- ILD測定器の最適化
- ILD測定器の性能評価
- まとめ

国際リニアコライダー (ILC)

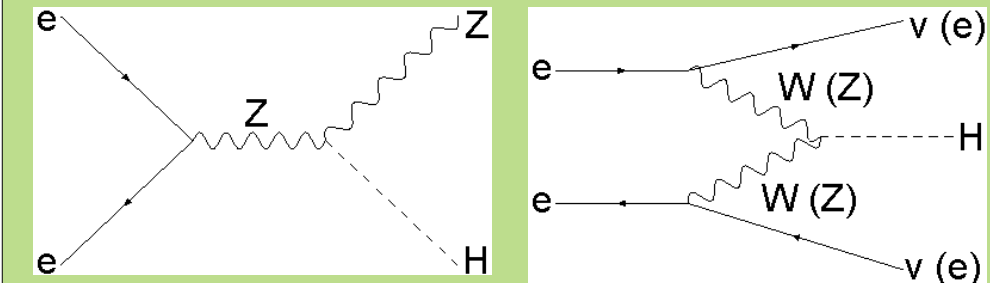
- 国際リニアコライダー (ILC)
 - ILC(International Linear Collider) : 電子・陽電子衝突型線形加速器
 - 重心系エネルギー : 最大 500GeV (アップグレード → 1TeV)
 - 積分ルミノシティ(4年間) : 500 fb^{-1}
 - 全長 : 約31km
 - 2019年、実験開始予定



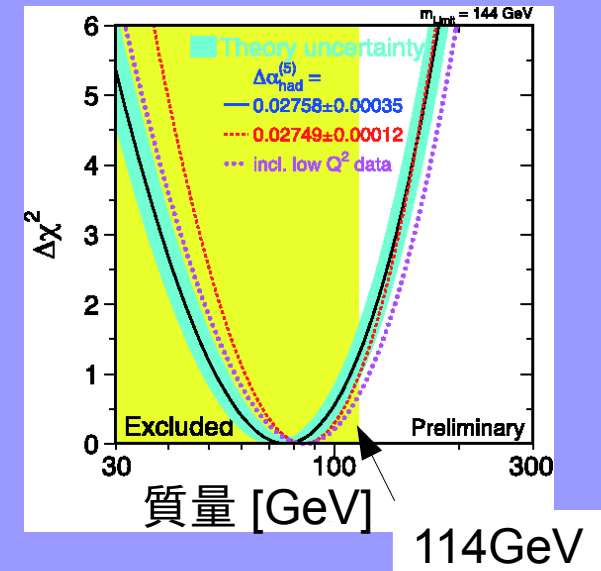
ILCでの物理

- ヒッグス粒子
 - 質量の起源
 - ILCで測定される主な物理量
 - ヒッグス粒子の質量
 - フェルミオン、ボソンとの結合定数
- 標準理論を越える物理の検証
 - 超対称性物理(SUSY)、リトルヒッグス、余剰次元
- リニアコライダーの利点
 - 電子・陽電子の対消滅
 - 始状態が分かる

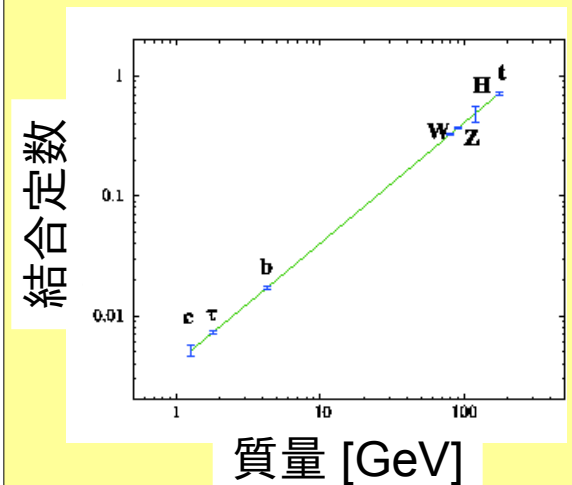
ヒッグス粒子生成機構



ヒッグス粒子の質量



ヒッグス粒子との結合定数



ILDの測定器

- GLD(アジア)、LDC(ヨーロッパ)、SiD(アメリカ)、4th(アメリカ)の4種類の測定器案が存在していた。
- 2007年、GLDとLDCが統合し、ILD測定器グループが誕生。
 - GLDとLDCは基本的には同じ構造をしている。
 - 崩壊点検出器、飛跡検出器(TPC)、カロリメータ、ミューオン検出器
 - 測定器の大きさ、磁場の強さが異なる。
 - 大きさ:
 - GLD : 半径 7.2m、長さ 15m
 - LDC : 半径 6.0m、長さ 12.4m
 - 磁場の強さ:
 - GLD : 3T
 - LDC : 4T
- 2008年9月の会議(ケンブリッジ)でILD測定器のパラメータが最適化され、承認された。
- 2009年3月、LOI (Letter Of Intent) を作成。

パラメータの統合が必要

本研究では、測定器の最適化と決定したパラメータでの性能評価を行った。

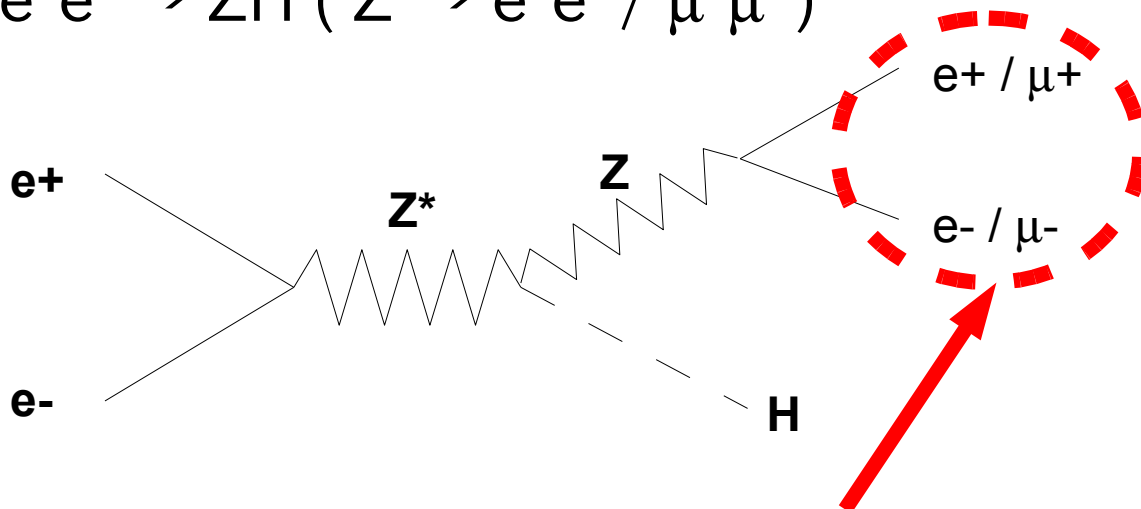
目次

- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- ILC測定器の最適化
- ILC測定器の性能評価
- まとめ

ZH生成過程

- 測定器の最適化のためのベンチマーク・プロセスの一つ

- $e^+e^- \rightarrow ZH (Z \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^-)$



- Zボソンの崩壊後の2つのレプトンからヒッグス粒子の質量を測定する (Zの反跳質量=ヒッグス粒子の質量)。

- ヒッグス粒子の4元運動量： $P_H = P_{\text{ビーム}} - P_{\text{レプトン1}} - P_{\text{レプトン2}}$

$$P_{\text{ビーム}} = (E_{\text{ビーム}}, 0)$$

- ヒッグス粒子の崩壊過程に依らず、精密な質量測定が可能。
 - 始状態が分かっているから、可能な解析である。
 - 反応過程が単純である。

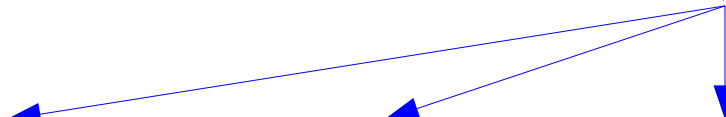
目次

- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- **ILD測定器の最適化**
- ILD測定器の性能評価
- まとめ

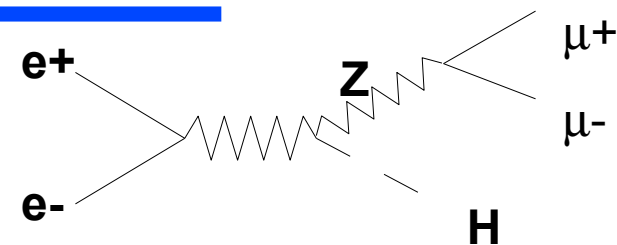
ILD測定器の最適化

- 目的：ILD測定器のパラメータの決定
 - 2008年9月の会議でパラメータを決定する必要があった。
 - そのため、シグナル事象のみでヒッグス粒子の分解能を評価し、その結果が測定器最適化に用いられた。
- シミュレーション・セットアップ
 - ヒッグス粒子：120 GeV
 - 重心系エネルギー：250 GeV
 - この解析は、250GeVの方が500GeVよりも分解能が良い。
 - シグナル事象
 - $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow \mu^+\mu^-H$ ：5000イベント (= 670 fb⁻¹)
- 測定器モデル
 - GLD, GLD', LDC
 - 大きさ：GLD (3.5m) > GLD' (3.1m) > LDC (2.8m)
 - 磁場の強さ：LDC (4T) > GLD' (3.5T) > GLD (3T)
 - GLD' のパラメータはGLDとLDCのほぼ真ん中

カロリメータの外径

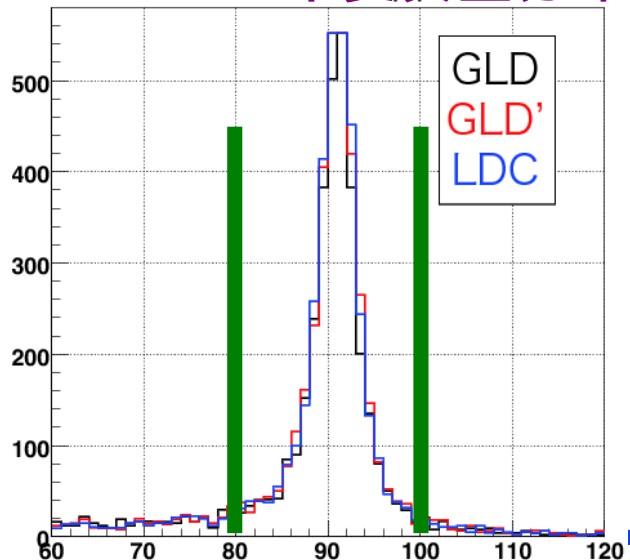


事象の選択

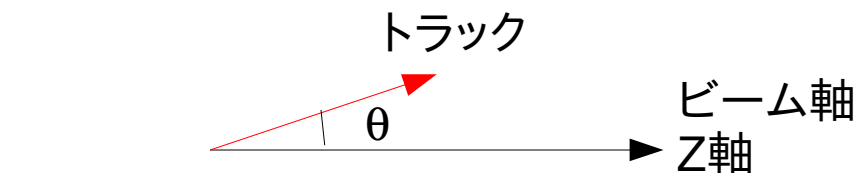


- 2本の荷電トラックの不変質量を計算する。
 - 荷電トラックが3本以上あった場合…
 - 全ての組み合わせに対し、不変質量を計算する。
 - 得られた不変質量がZボソンの質量に最も近いペアを選択する。
- 不変質量が80GeV~100GeVのイベントを用いる。
- 運動量分解能の良い $|\cos\theta| < 0.55$ のトラックを用いる。

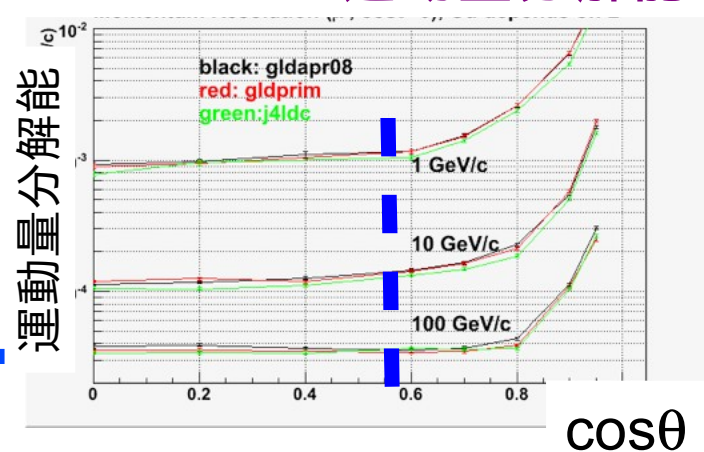
Zボソンの不変質量分布



Zボソンの不変質量 [GeV]

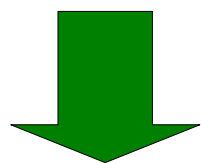


ミューオンの運動量分解能

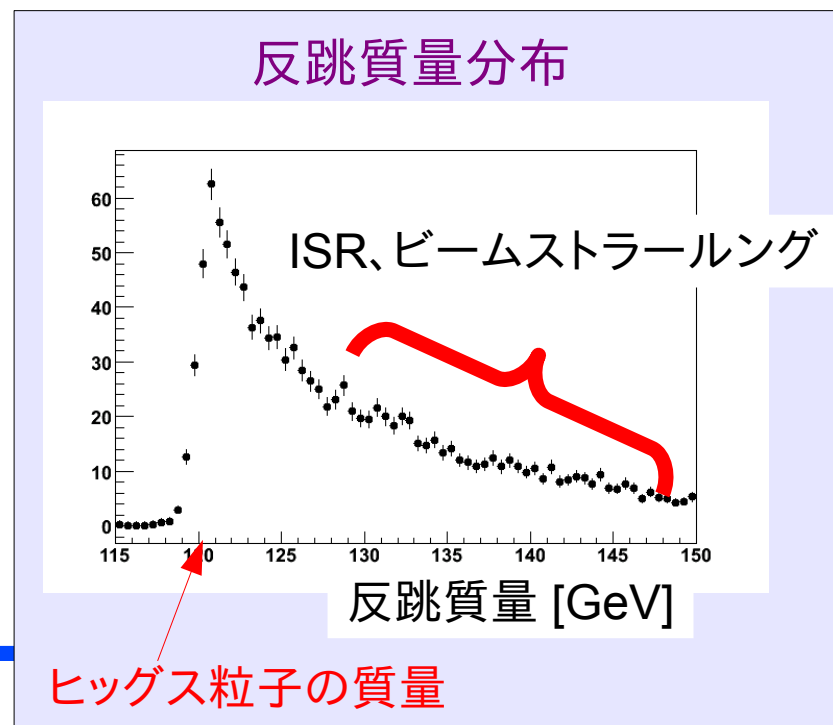


ISR、ビームストラールング

- ビーム衝突時の現象
 - ISR (Initial State Radiation)
 - 電子・陽電子の反応の前に光子を放射する現象
 - ビームストラールング
 - 電子とビームのマクロな電磁場との反応で光子を放射する現象
- ISR、ビームストラールングにより、実際のビームエネルギーは減少する。
 - Zボソンの反跳運動量はヒッグス粒子と光子の運動量



反跳質量は120GeV以上にテールを持つ



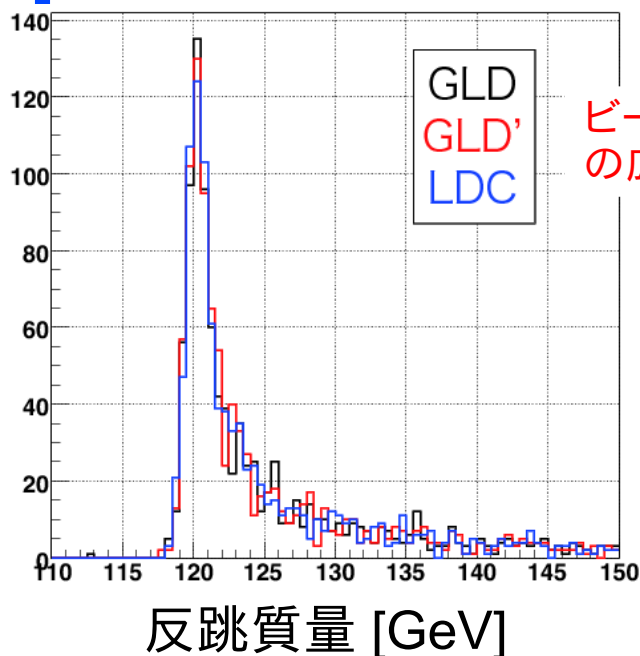
測定器間の比較

- 真値と反跳質量との違いを調べた。
 - 幅を比べるため、ガウス分布でフィットした。
 - 3つの測定器間で、違いは見られない**

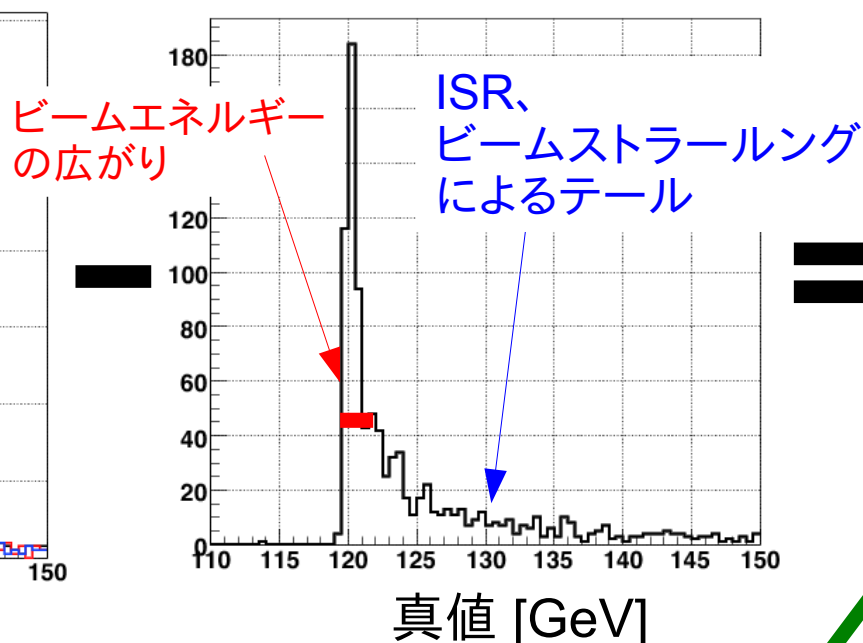
分布の幅(ガウスフィット)

測定器	幅
GLD (大、3T)	0.44
GLD' (中、3.5T)	0.43
LDC (小、4T)	0.45

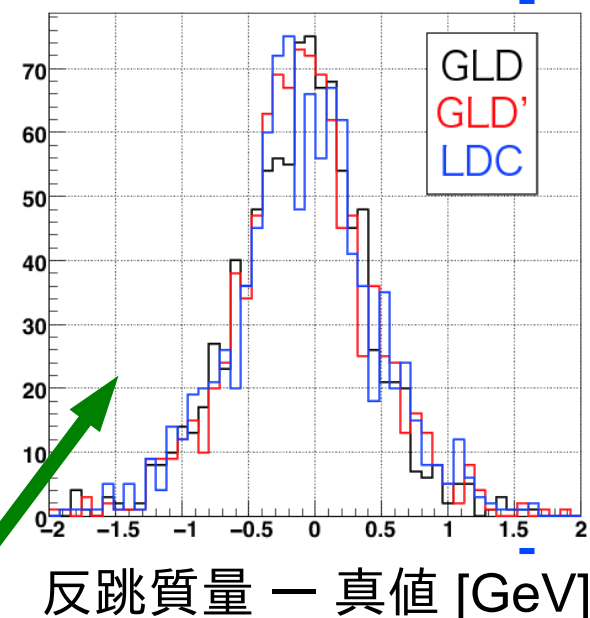
3つの測定器での
反跳質量分布



真値



真値と反跳質量との違い



ガウス分布でそれぞれフィット

反跳質量の測定精度

- シミュレーション前の運動量を測定器の分解能で振らつかせた。

イベント生成

測定器シミュレーション

一粒子事象で
測定された値

ミュオンの運動量を
測定器の運動量分解能で振らつかせ、
反跳質量を計算する。
真値と比較した。

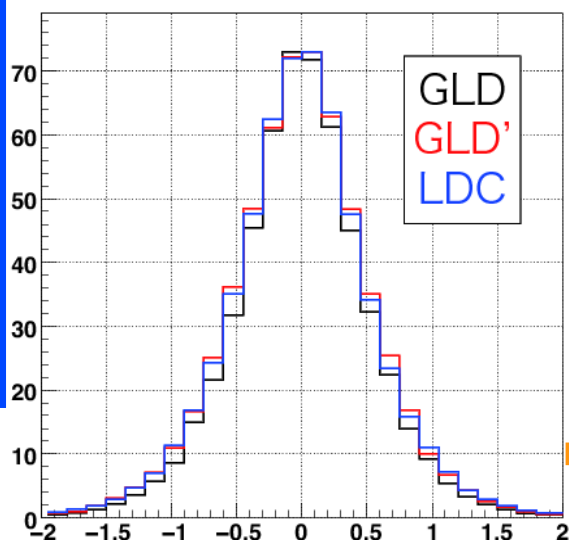
シミュレーションにより
反跳質量を測定する。

分布の幅(ガウスフィット)

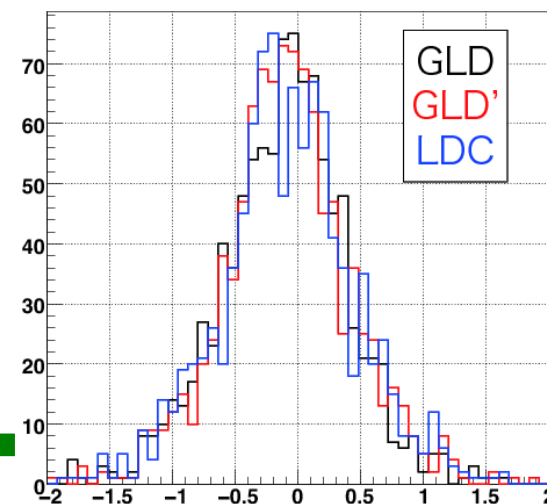
測定器	振 - 真[GeV]	測 - 真
GLD	0.43	0.44
GLD'	0.46	0.43
LDC	0.44	0.45

分布の幅が一致

反跳質量の測定精度は測定器の運動量分解能で決まる。
測定器の方向分解能(角度分解能)には依存しない。



振らつかせた値 - 真値 [GeV]



反跳質量の測定値 - 真値 [GeV]

ILD測定器最適化のまとめ

- 3つの測定器モデルを作成し、その性能の評価をした。
- ZH反跳質量の解析
 - 測定器モデル間に**大きな違いは無い**。
 - 測定器の運動量分解能が測定精度を決める。

他の最適化の解析結果

- タウ粒子、ジェットの再構成
 - 測定器の**半径が大きく、カロリメータの構造が細かい**方が良い。
- チャージン・ニュートラリーノの質量測定
 - **大きな違いは無い**。

ILD測定器のパラメータ決定

- 解析の結果とコストから総合的にILD測定器のパラメータが決定された。
 - 2008年9月の会議(ケンブリッジ)で承認された。
 - ILD測定器のパラメータはGLD'とほぼ同じ。

決定したILD測定器のパラメータ

		GLD	GLD'	LDC	ILD
崩壊点検出器	1層目の内径[cm]	1.75	1.6	1.5	1.6
TPC	外径 [cm]	197.2	174	152	180.8
ソレノイド	磁場 [T]	3	3.5	4	3.5
電磁カロリメータ	内径 [cm]	210	185	160	184.7
	外径 [cm]	270	235	210	235

目次

- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- ILD測定器の最適化
- **ILD測定器の性能評価**
- まとめ

ILD測定器の性能評価

- 目的：決定したILD測定器を用いて性能評価
 - バックグラウンド事象も考慮に入れる。
 - 2009年3月のLOI(Letter Of Intent)に載せる。
- シミュレーション・セットアップ
 - ヒッグス粒子：120 GeV
 - 重心系エネルギー：250 GeV
 - 測定器：ILD(3.5T)

- シグナル事象

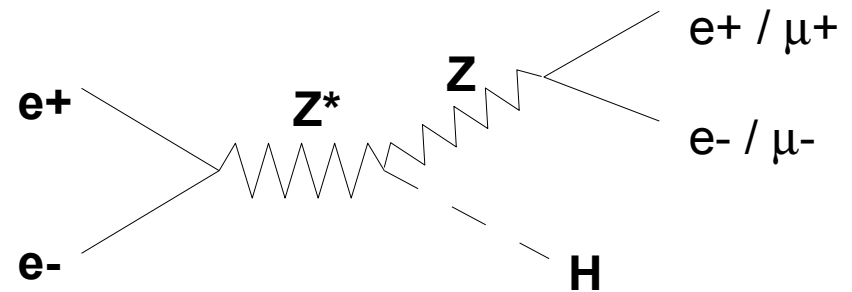
- $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow e^+e^-H / \mu^+\mu^-H$

- バックグラウンド事象

- 終状態にレプトンが2つのイベント全てがバックグラウンド

- $e^+e^- \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^- / \tau^+\tau^-$

- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-+2f / \mu^+\mu^-+2f$



シグナル事象とバックグラウンド事象の反応断面積

- シグナル事象の反応断面積
 - 電子チャンネル ($ee \rightarrow ZH \rightarrow eeH$) : 5.12 fb
 - ミューオン・チャンネル ($ee \rightarrow ZH \rightarrow \mu\mu H$) : 4.57 fb
- バーバー散乱は反応断面積が大きい。
 - 実際に生成した統計量は少ない。
 - バックグラウンド事象の除去のために暫定的に生成
 - 実験で、ヒッグス粒子の崩壊過程が観測されれば、除去は容易である。

イベント生成は
DESY・KEKで
行われている。

電子チャンネル

ee \rightarrow ZH \rightarrow eeH	
反応	反応断面積[fb]
eeH(シグナル)	5.12E+00
ee	1.73E+07
$\tau\tau$	5.16E+03
ee + 2f	4.26E+03

バーバー散乱

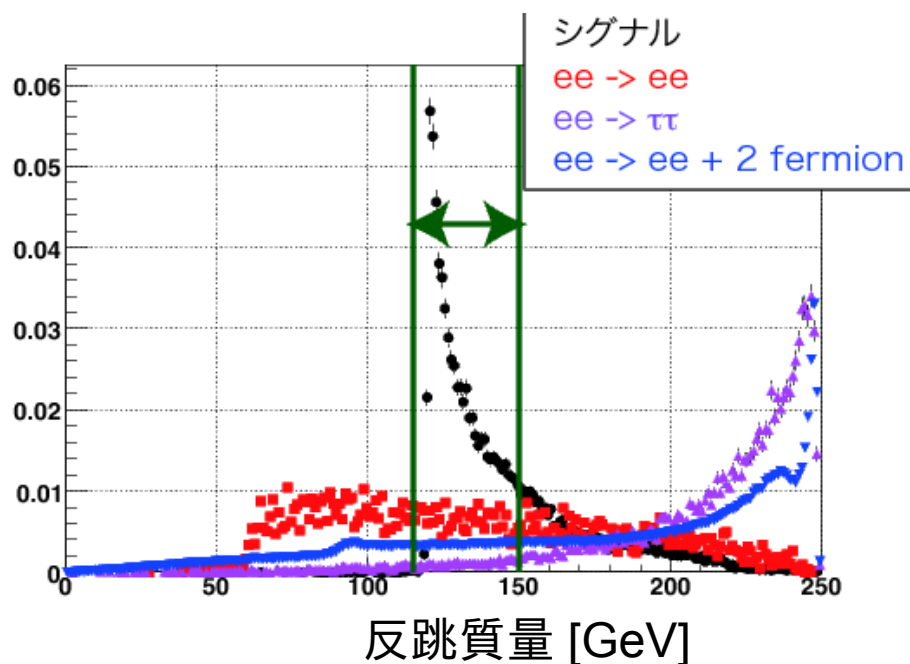
ミューオン・チャンネル

ee \rightarrow ZH \rightarrow $\mu\mu H$	
反応	反応断面積[fb]
$\mu\mu H$ (シグナル)	4.57E+00
$\mu\mu$	5.16E+03
$\tau\tau$	5.16E+03
$\mu\mu$ + 2f	1.22E+03

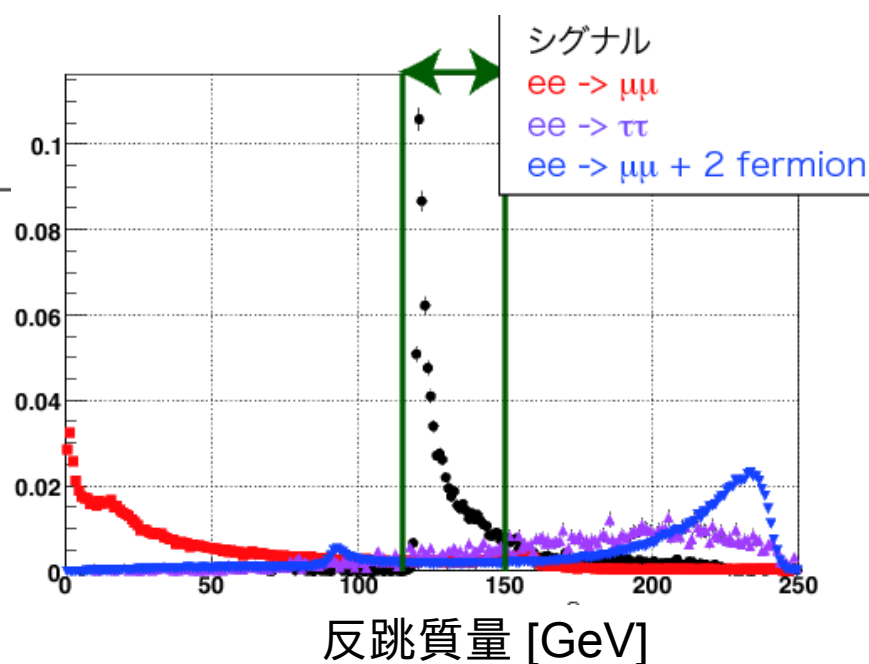
反跳質量分布

- シグナル事象の反跳質量分布はヒッグス粒子の質量 (120GeV) 付近にピークがある。
- 最終的にフィットする領域 : 115 ~ 150 GeV

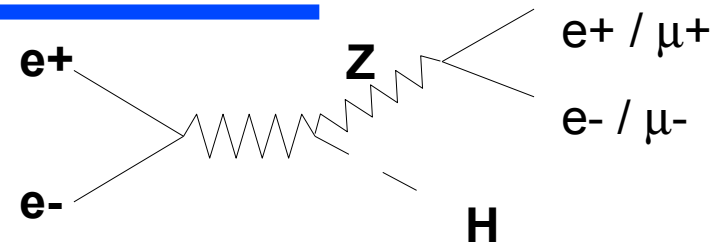
電子チャンネル



ミュオン・チャンネル

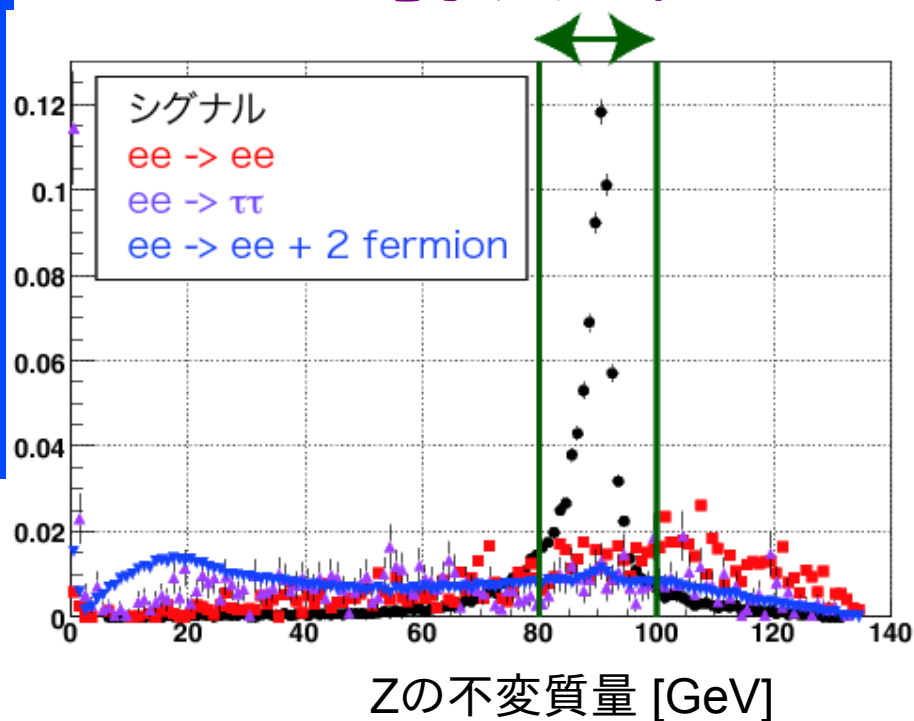


シグナル事象の選択 I

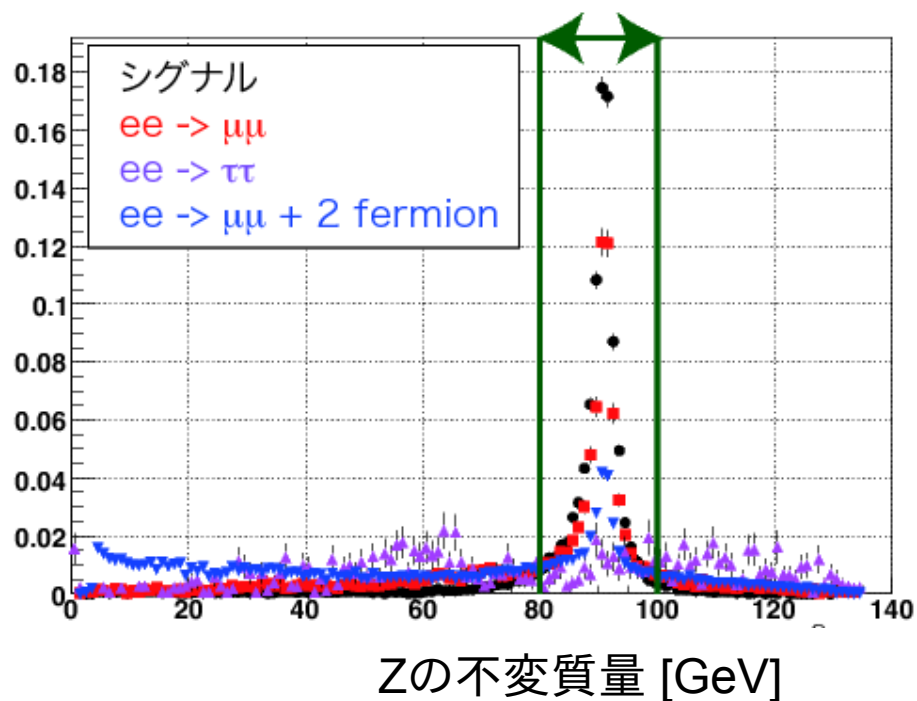


- 2本のレプトン・トラックからZの不変質量を計算した。
- シグナルはZボソンの質量(91 GeV)の位置にピークが見える。
- 80~100 GeVのイベントを選択した。

電子チャンネル

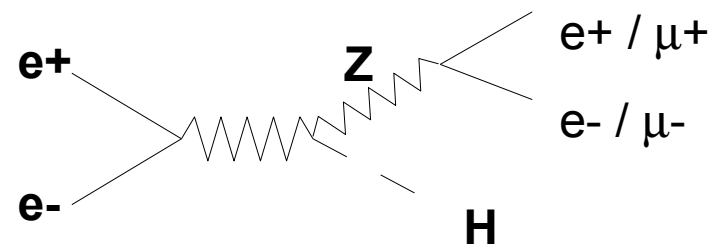


ミューオン・チャンネル

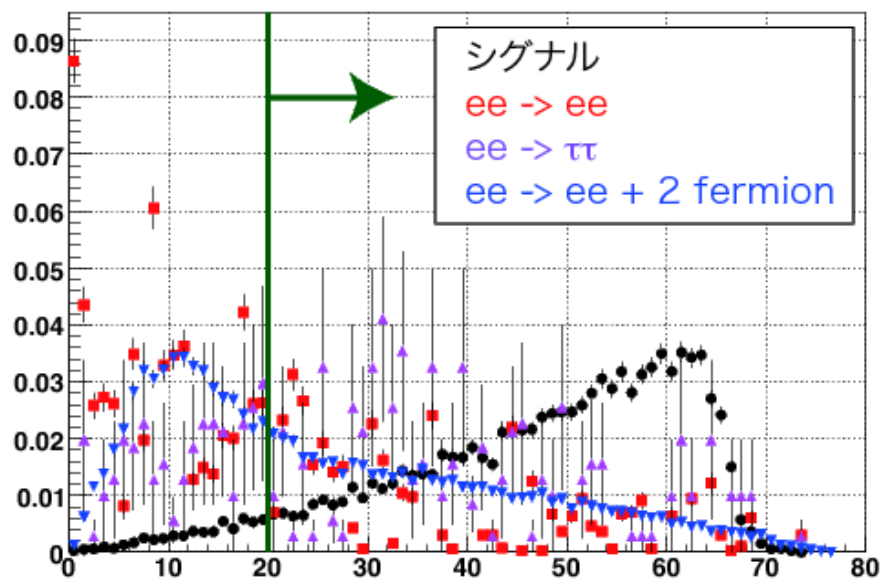


シグナル事象の選択 II

- 2粒子系の運動量： $P_{\text{di-lepton}}$
 - $P_{\text{di-lepton}} = P_{\text{レプトン1}} + P_{\text{レプトン2}}$
 - シグナルの場合：Zボソンの運動量
- $P_{\text{di-lepton}}$ のビーム軸に垂直な成分(横運動量)
 - シグナルは20~70GeV/c
 - バックグラウンドは小さい方に分布
 - 20GeV/c 以上を選択

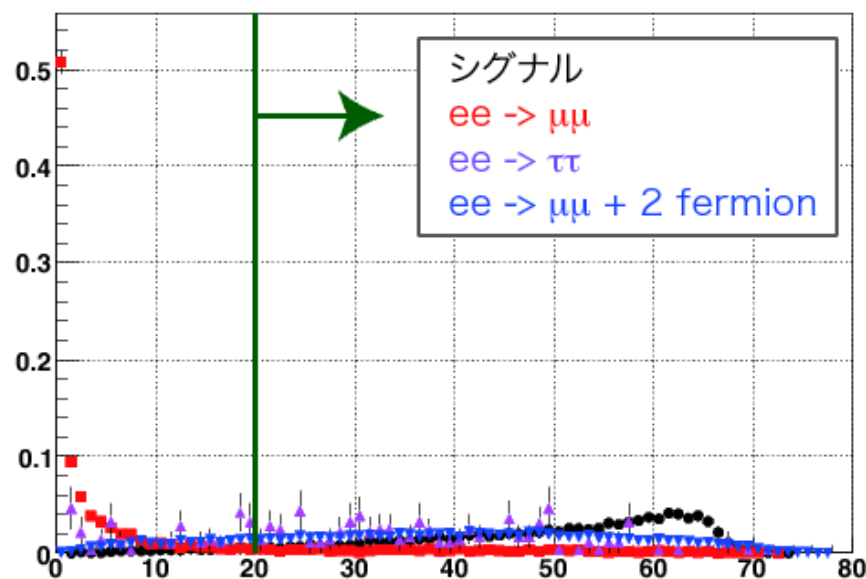


電子チャンネル



2粒子系の横運動量 [GeV/c]

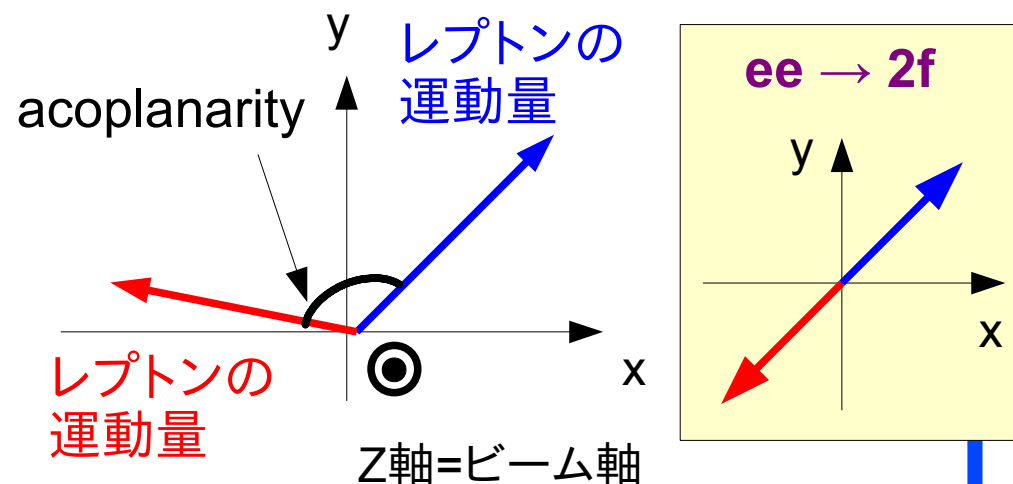
ミューオン・チャンネル



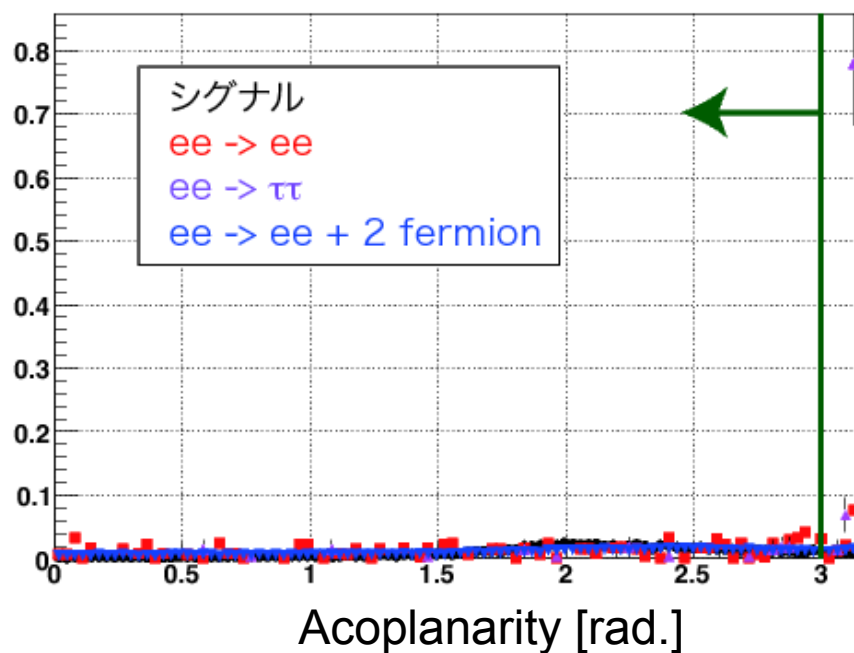
2粒子系の横運動量 [GeV/c]

シグナル事象の選択 III

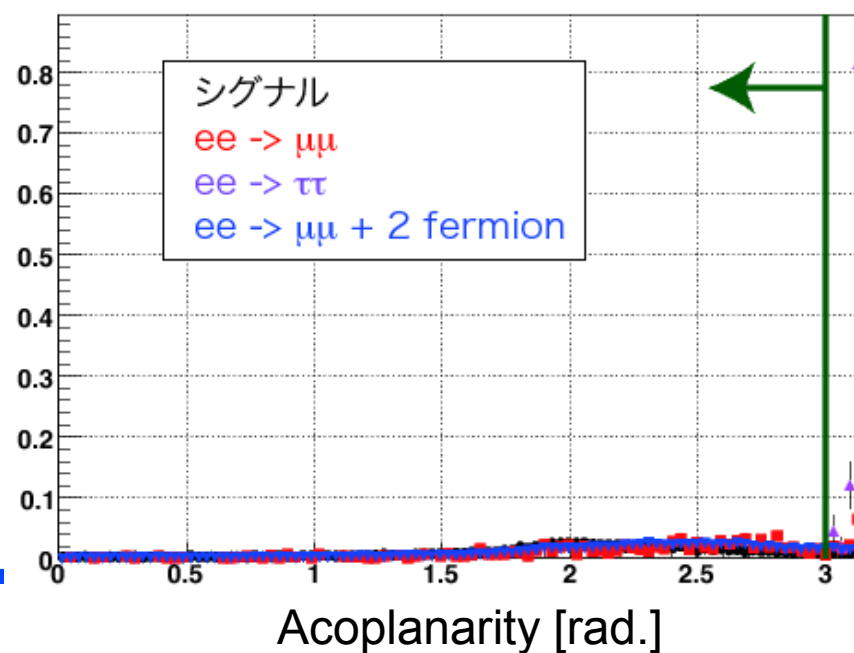
- Acoplanarityカット
 - X-Y平面上での2つのトラックの間の角度
- $ee \rightarrow 2f$ のイベントのAcoplanarityは π [rad.]である。
- $Acoplanarity < 3$ [rad.]を選択。



電子チャンネル

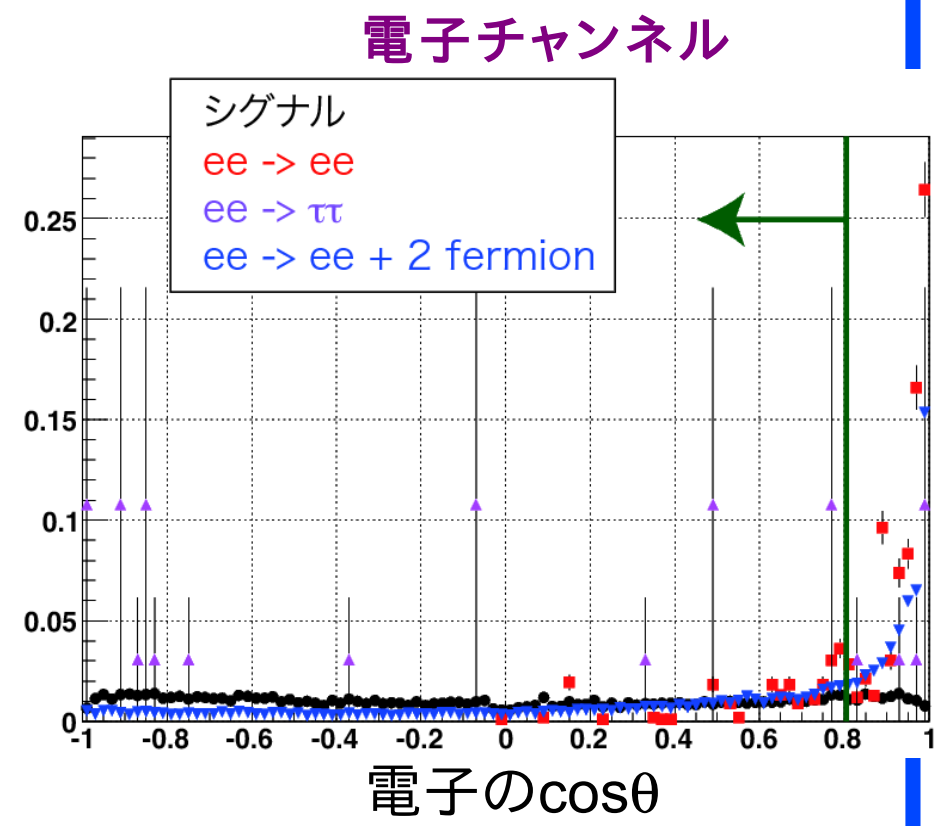
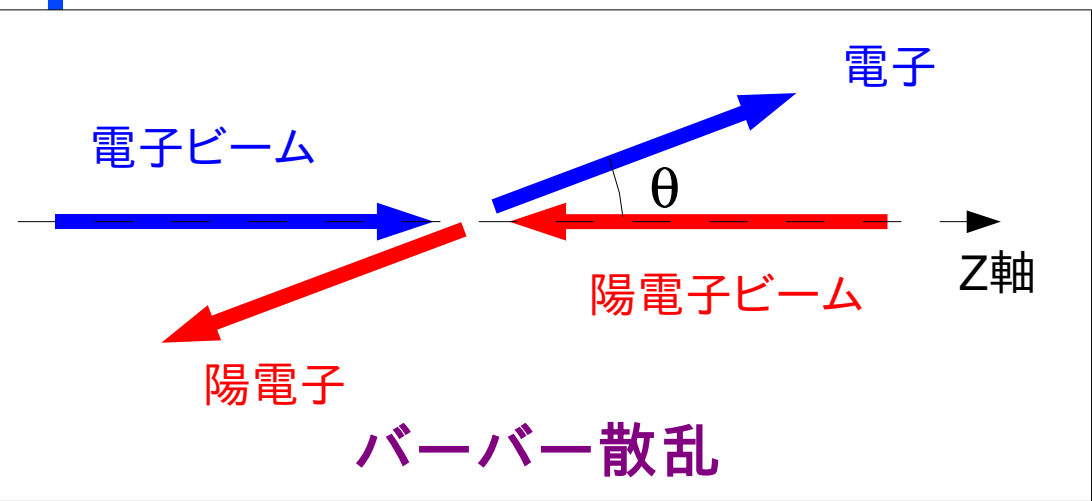


ミューオン・チャンネル



バーバー散乱ためのカット

- バーバー散乱のバックグラウンドを除去するカット。
 - 電子の $\cos\theta < 0.8$
 - 陽電子の $\cos\theta > -0.8$



カット後のイベント数

- シグナル選択効率
 - 電子チャンネル : 38.98%
 - ミューオン・チャンネル : 47.55%
- バーバー散乱のイベント数
 - 生成した事象のうち、残った数 : 151 $\xrightarrow{250 \text{ fb}^{-1} \text{ にスケール}}$ 17039
 - さらにイベントを生成する必要がある
 - 今回のフィットには含めていない

250 fb⁻¹でのイベント数

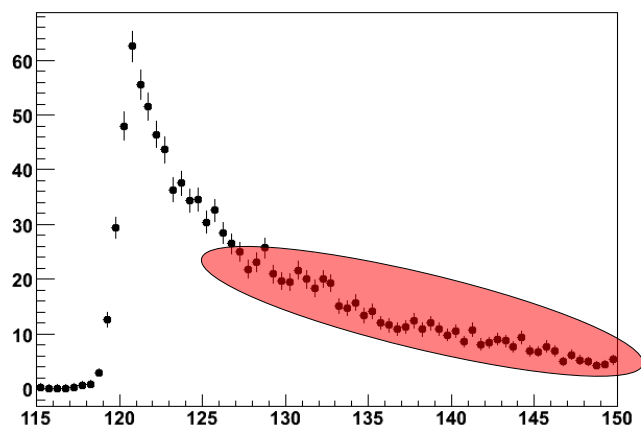
電子チャンネル								
	シグナル		バックグラウンド					
	ee → eeH		ee → ee		ee → ττ		ee → 4f	
	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率
生成量	1280	100	4.32E+09	100	1.29E+06	100	1.06E+06	100
カット後	499	38.98	1.70E+04	0	7.70E+01	0.01	2.11E+03	0.2

ミューオン・チャンネル								
	シグナル		バックグラウンド					
	ee → μμH		ee → μμ		ee → ττ		ee → 4f	
	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率
生成量	1142	100	1.29E+06	100	1.29E+06	100	3.04E+05	100
カット後	543	47.55	2.36E+03	0.18	0	0	1.56E+03	0.51

シグナル事象のフィット関数

- シグナル事象は以下の関数でフィットする

$$F(m) = N e^{-Am} \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$



反跳質量 [GeV]

ISR, ビームストラリングの効果

$$F_H(m) = \left(\frac{m - M_H}{\sqrt{s} - M_H} \right)^{\beta-1}, \quad (M_H < m < \sqrt{s})$$

重心系エネルギー

ヒッグス粒子の質量

補正項

測定器の分解能

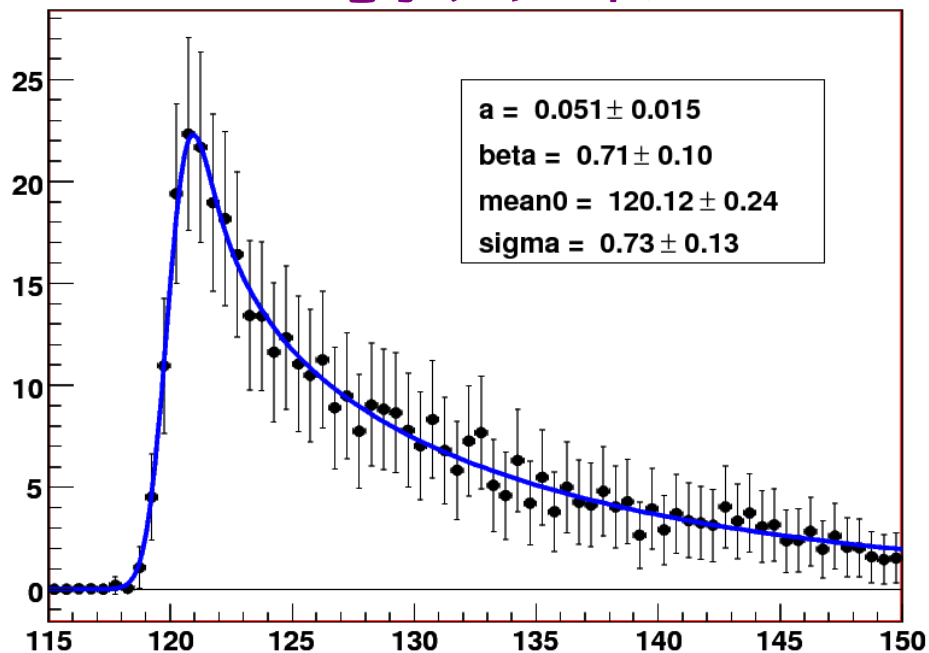
畳み込み

シグナル事象のフィット結果

- シグナル事象のフィット結果

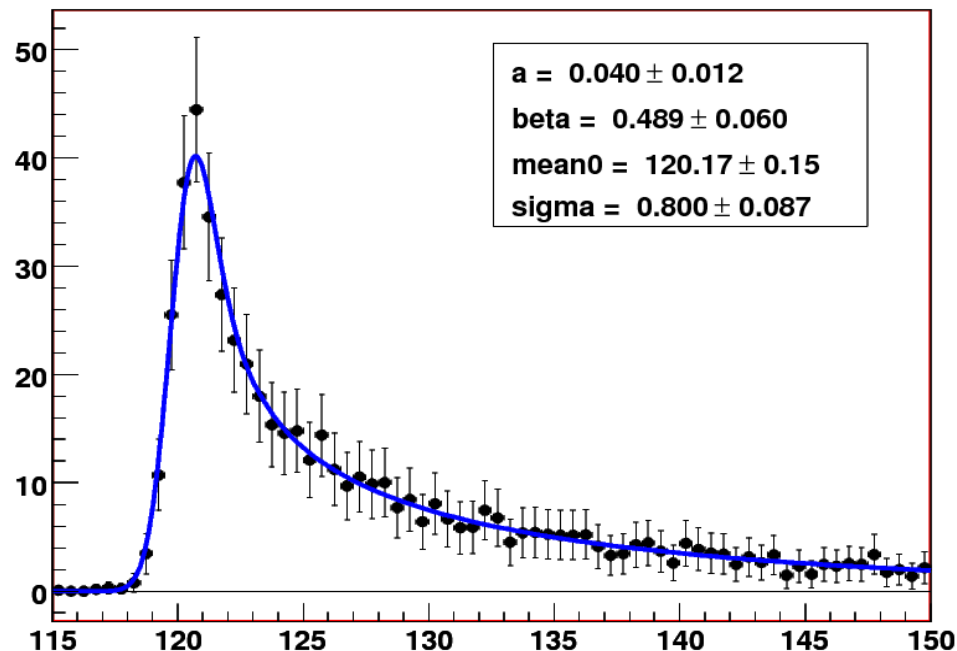
$$F(m) = N e^{-Am} \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$

電子チャンネル



反跳質量 [GeV]

ミュオン・チャンネル



反跳質量 [GeV]

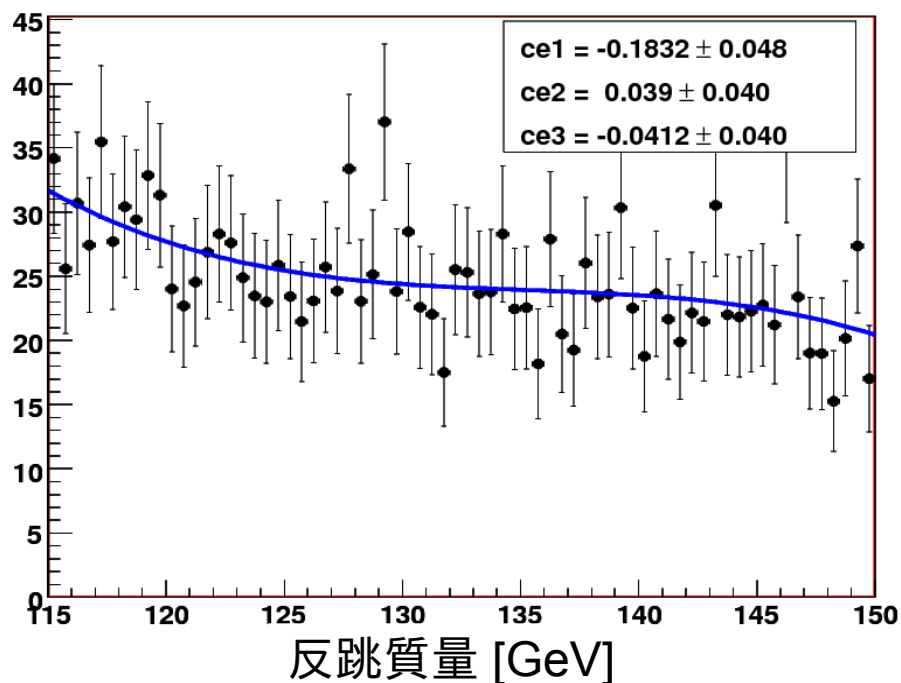
バックグラウンド事象のフィット関数

- バックグラウンド事象は3次のチェビシェフの多項式でフィット。

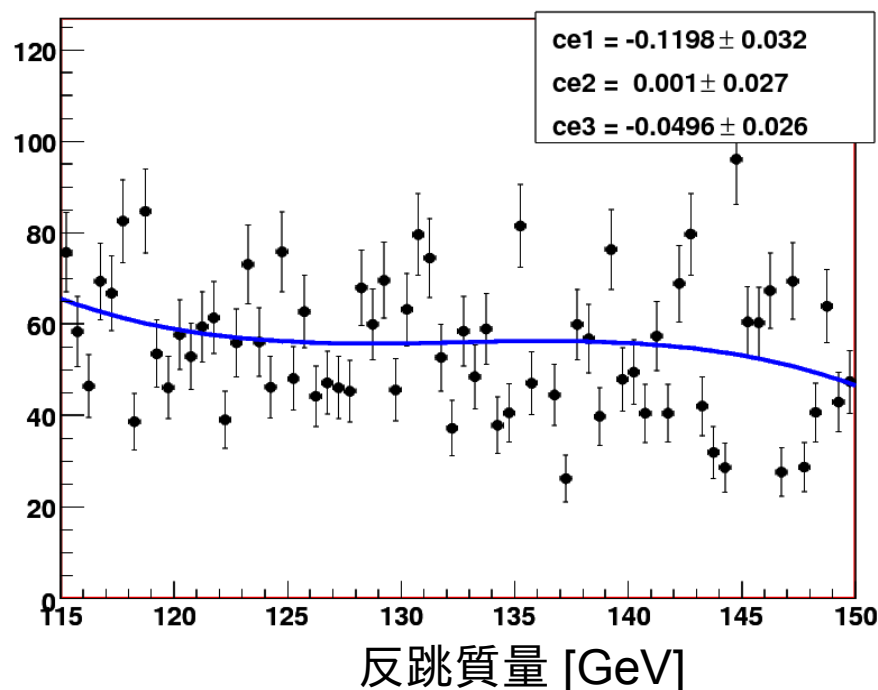
$$F(m) = N(1 + \sum_{i=1,2,3} p_i \cdot T_i(m))$$

$$T_1(m) = m, T_2(m) = 2m^2 - 1, T_3(m) = 4m^3 - 3m$$

電子チャンネル



ミューオン・チャンネル



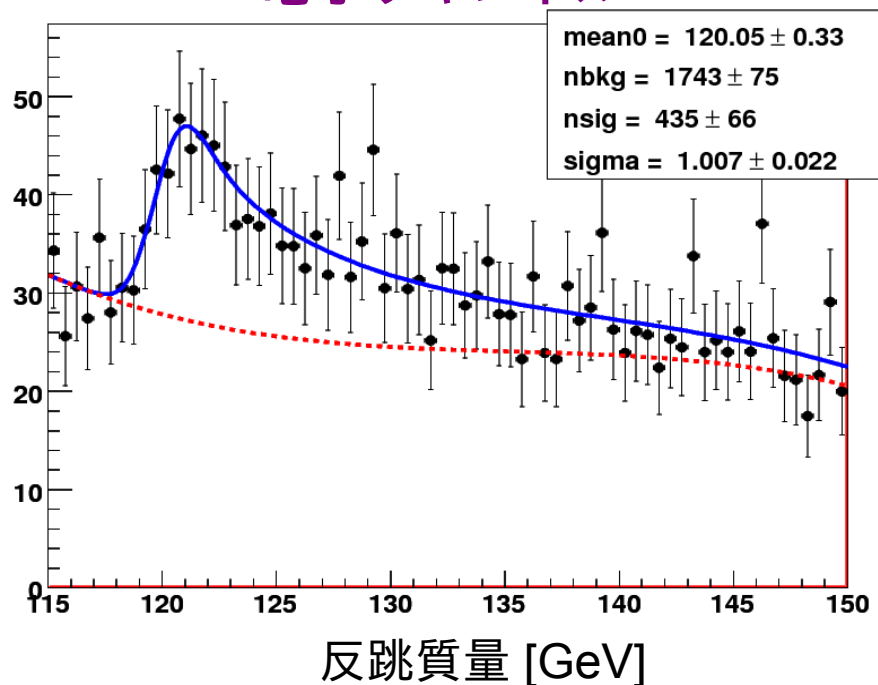
バーバー散乱は入っていない

規格化定数以外のフィットパラメータ(形)を固定する

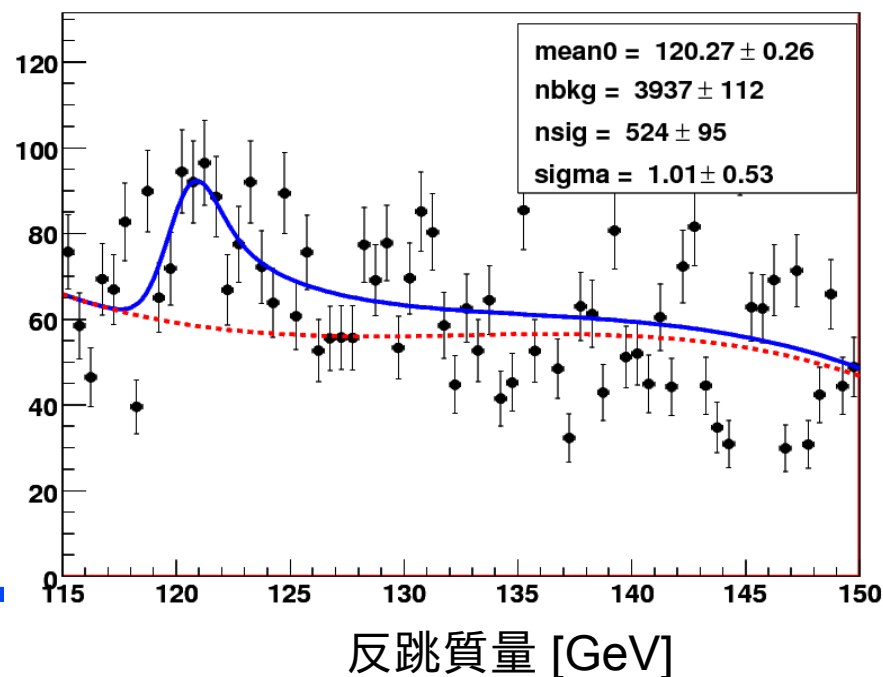
測定精度

- シグナル+バックグラウンドをフィットした。
- ヒッグス粒子の質量
 - 電子チャンネル : 120.049 ± 0.329 GeV
 - ミュオン・チャンネル : 120.266 ± 0.261 GeV
- 反応断面積
 - 電子チャンネル : 5.01 ± 0.76 fb \longleftrightarrow 5.12 fb (インプット値)
 - ミュオン・チャンネル : 4.44 ± 0.81 fb \longleftrightarrow 4.57 fb (インプット値)

電子チャンネル



ミュオン・チャンネル

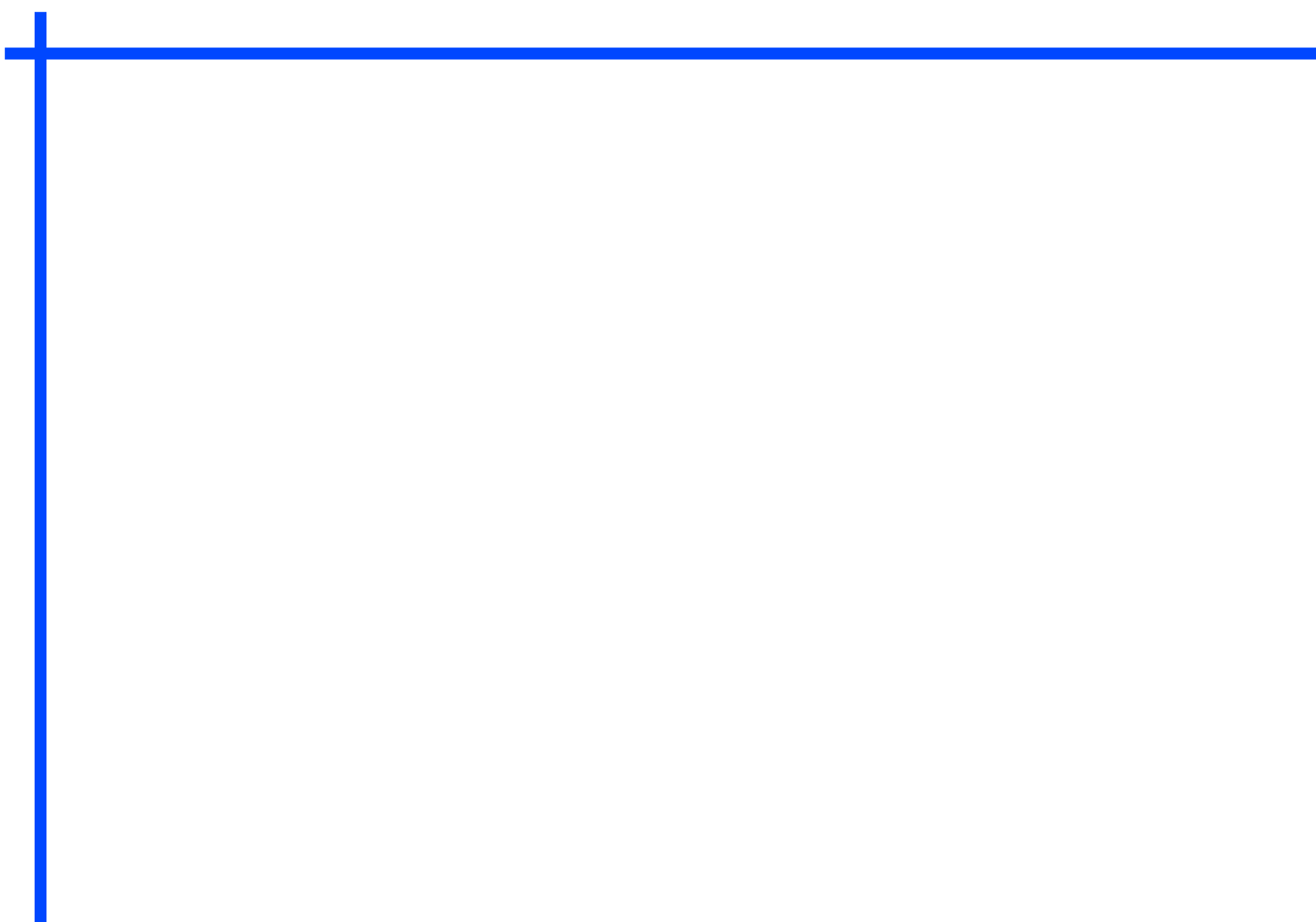


目次

- 国際リニアコライダー (ILC) とILD測定器
- 解析する反応過程
- ILD測定器の最適化
- ILD測定器の性能評価
- まとめ

まとめ

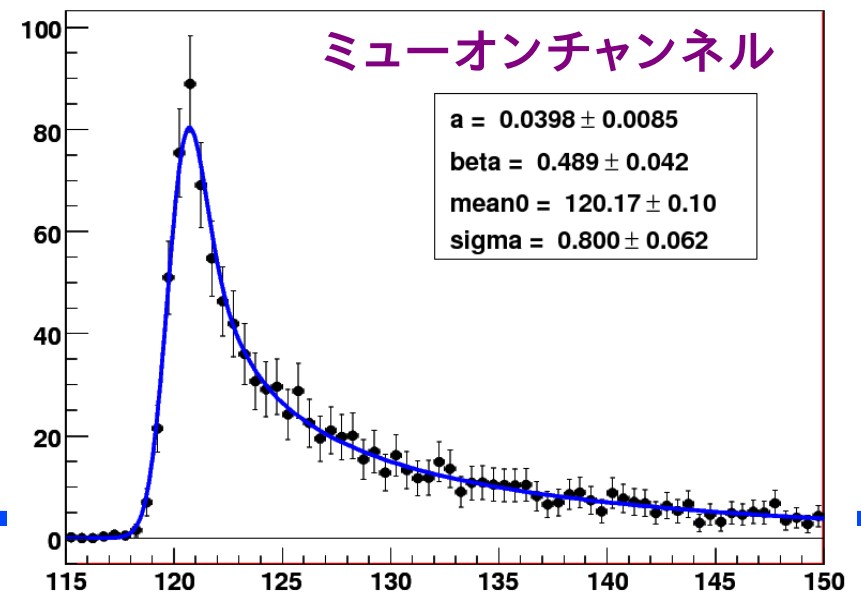
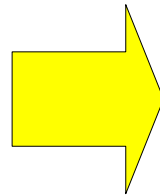
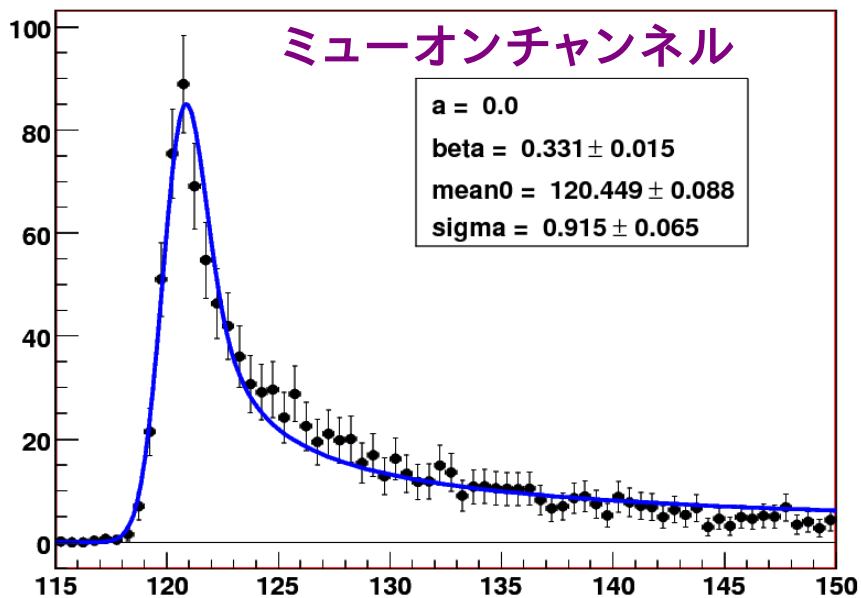
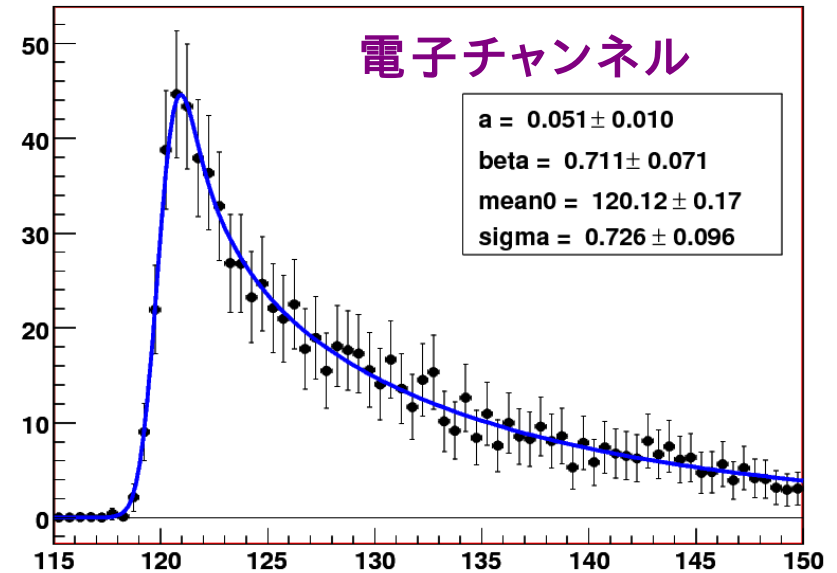
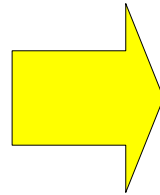
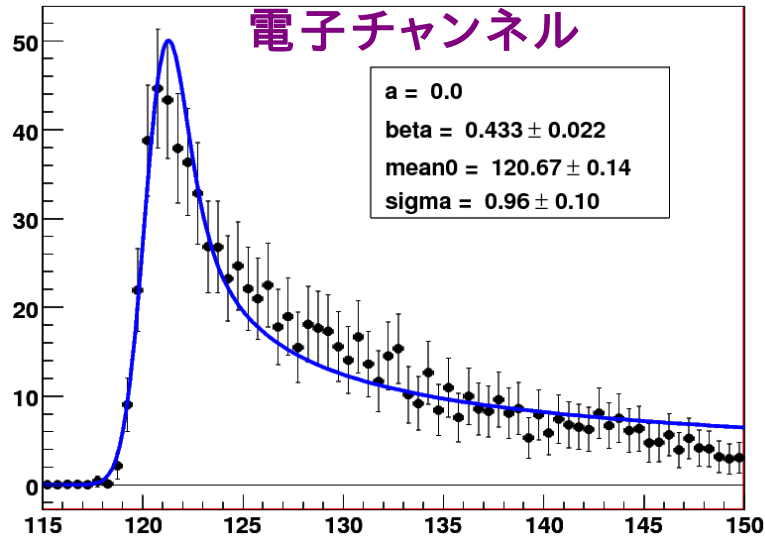
- 2007年夏、GLDグループとLDCグループが合体し、ILDグループが誕生した。
 - 測定器のパラメータを統合するため、最適化が必要となった。
 - $e+e^- \rightarrow ZH \rightarrow \mu+\mu^-H$ を用いて最適化を行った。
- 2008年9月、ILD測定器の最適化
 - 3種類の測定器間で反跳質量の測定に違いは見られなかった。
- ILD測定器の性能評価
 - ヒッグス粒子の質量
 - 電子チャンネル : 120.049 ± 0.329 GeV
 - ミューオン・チャンネル : 120.266 ± 0.261 GeV
 - 反応断面積
 - 電子チャンネル : 5.01 ± 0.76 fb (15%)
 - ミューオン・チャンネル : 4.44 ± 0.81 fb (18%)
- 2009年3月、LOI (Letter Of Intent) の作成。



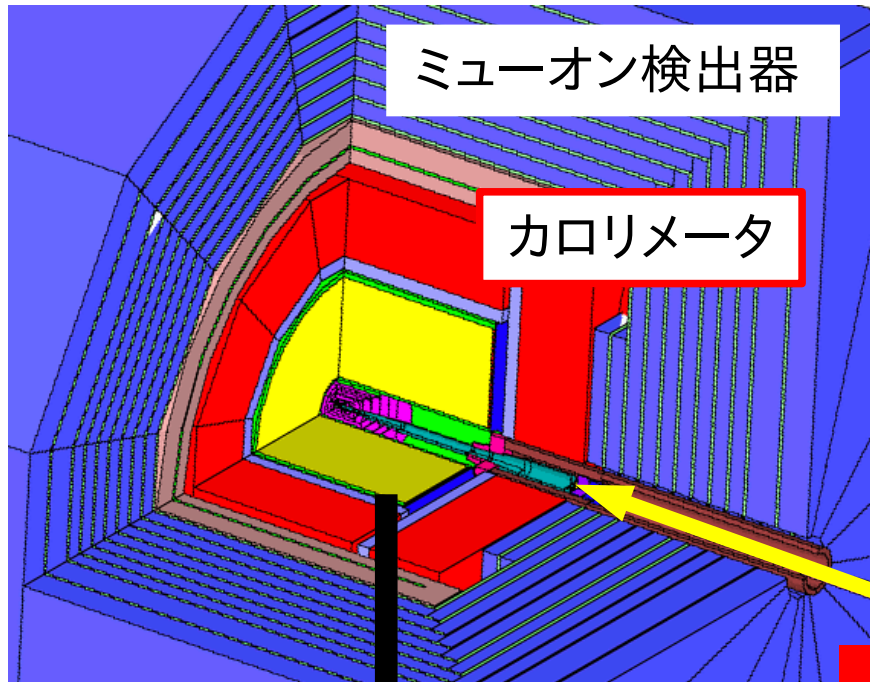
フィット関数

$$F(m) = N \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$

$$F(m) = N e^{-Am} \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$



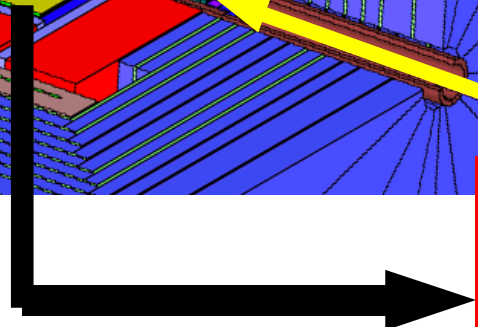
測定器の基本構成 (GLD)



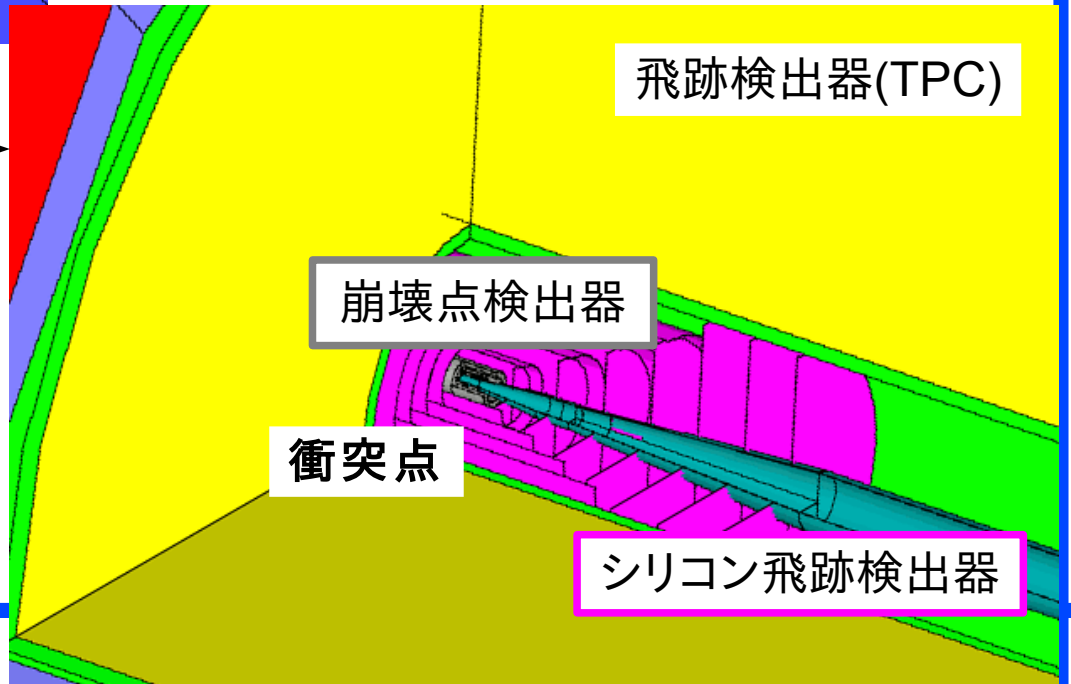
ミューオン検出器

カロリメータ

ビームライン



衝突点付近



飛跡検出器(TPC)

崩壊点検出器

衝突点

シリコン飛跡検出器