

# ヒッグスファクトリーの解析技術

ILD software working group

MC production group Co convener

日本歯科大学 小野裕明

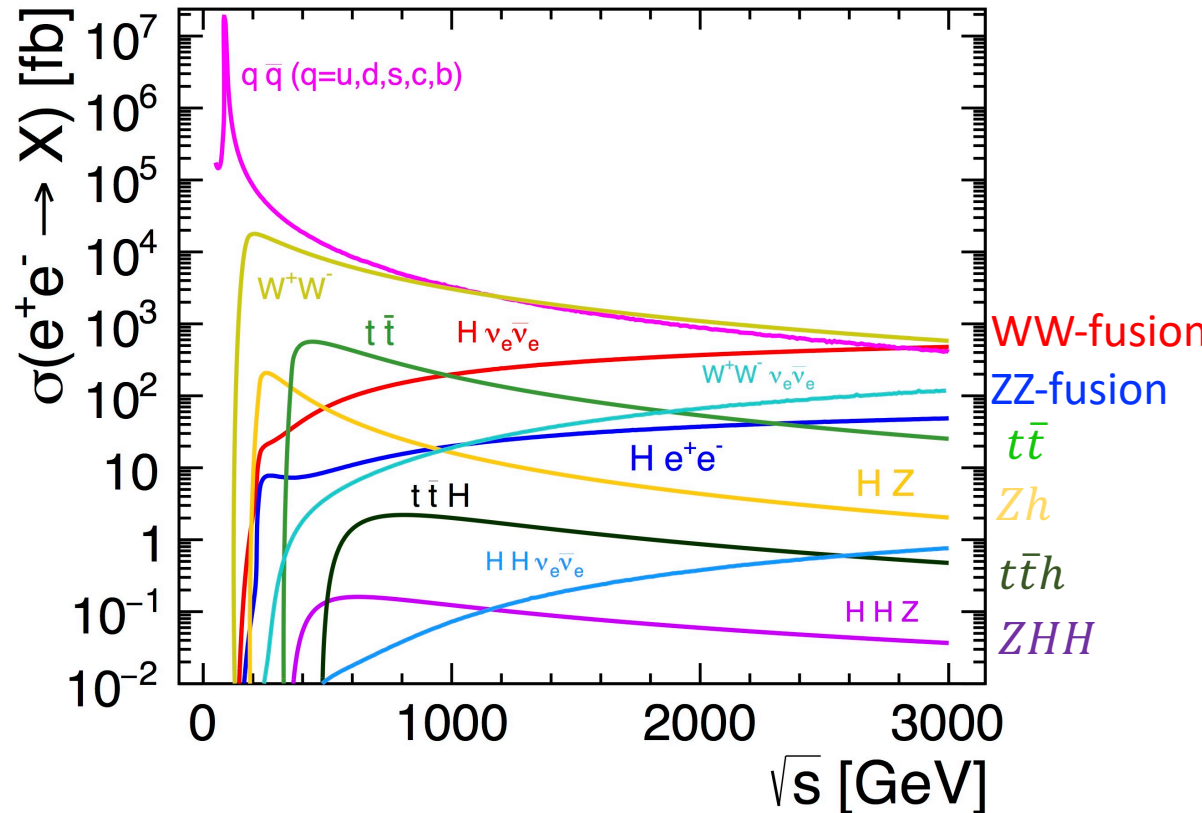
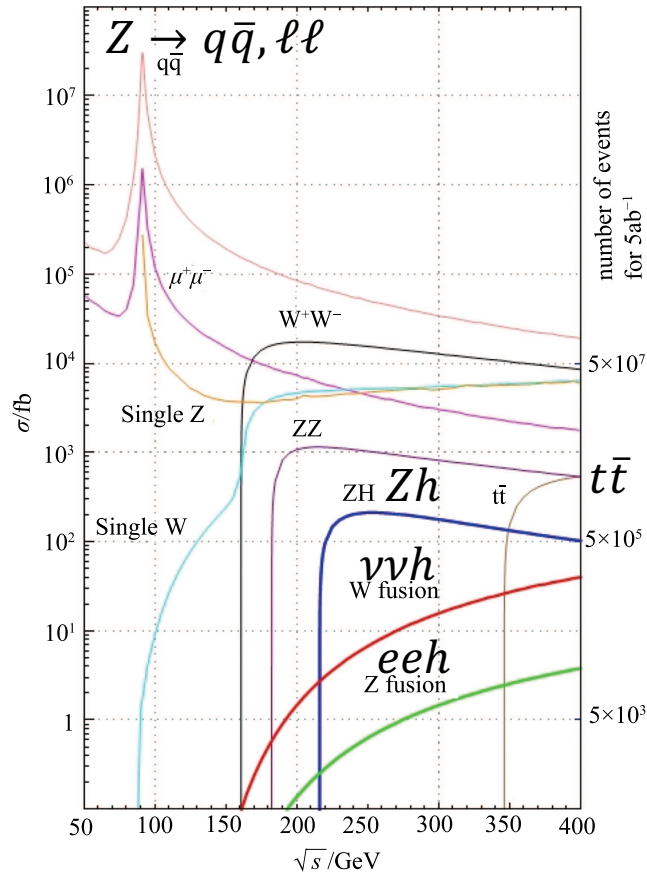
# 自己紹介

- 日本歯科大学 新潟歯学部 小野裕明
  - 歯科学生に物理・数学・コンピュータ実習などの講義
  - サーバー・ネットワーク管理など
- ヒッグスファクトリー実験 (ILD検出器グループ、ILC)
  - ILD software group MC production co convener
  - シンチレータカロリメータの開発
- Belle/Belle II
  - Distributed computing Data Production technical manager  
→ Grid data production のデータ生成、モニター
- 新しい常温硬化プラスチックシンチレータの開発など

分散コンピューティングを使った研究などを主にやっています。

# ヒッグスファクトリーでの物理解析

250 ~ 500 GeV :  $e^+e^- \rightarrow Zh, t\bar{t}$



500 GeV以上 :  $e^+e^- \rightarrow \nu\nu h, eeh, t\bar{t}h$   
 $e^+e^- \rightarrow ZHH, \nu\nu HH$  (ヒッグス自己結合)

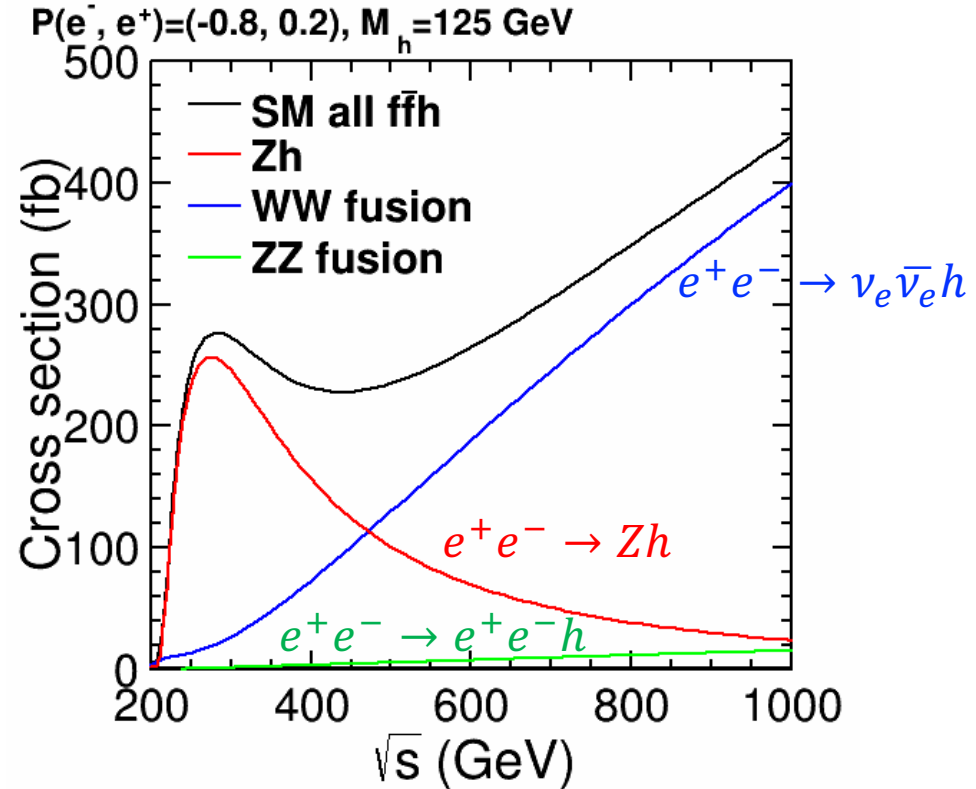
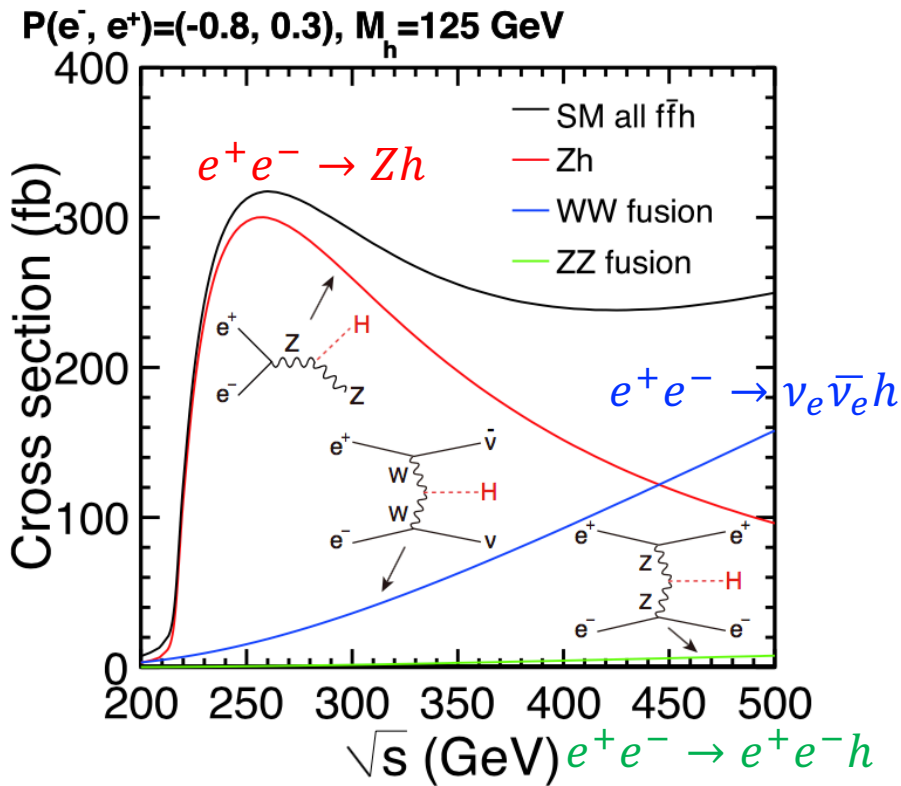
CEPC, Xin Mo et al 2016 Chinese Phys. C 40 033001

ヒッグスファクトリーの解析技術 <https://clic.cern/physics-processes>



2024/7/7

# ヒッグス粒子の生成と崩壊

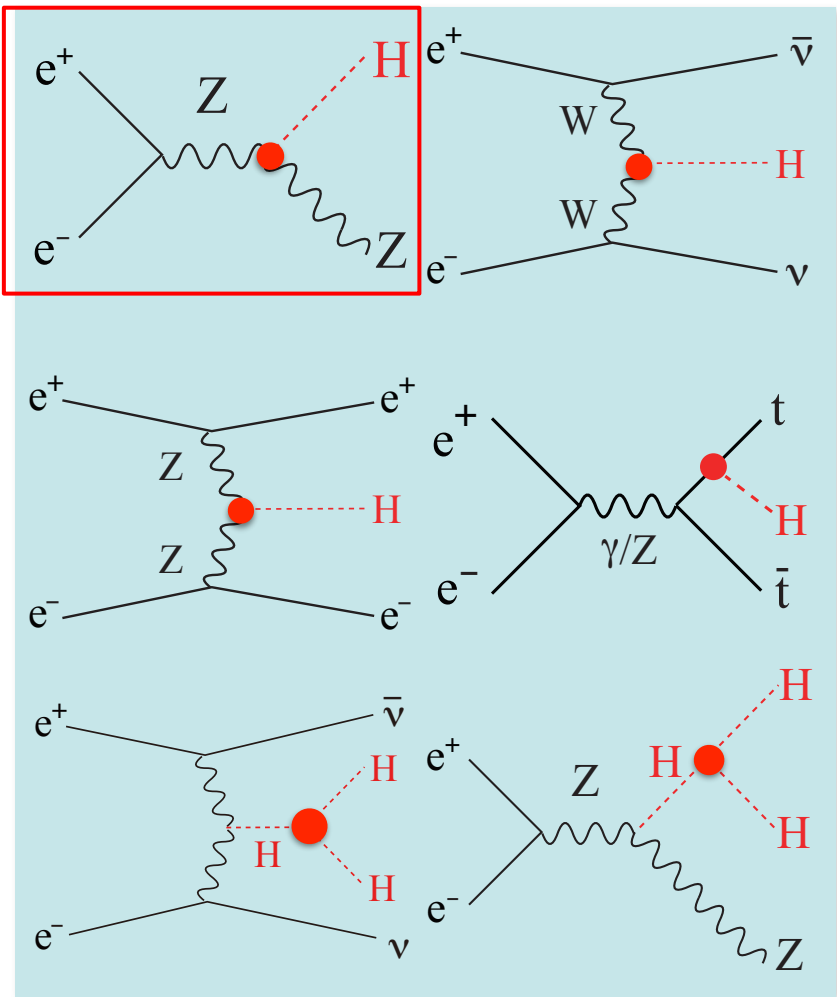


Higgs decay channels	$b\bar{b}$	$c\bar{c}$	gg	WW*	$\mu^+\mu^-$	$\tau^+\tau^-$	ZZ*	$\gamma\gamma$	Z $\gamma$
Higgs BRs	57.8%	2.7%	8.6%	21.6%	0.02%	6.4%	2.7%	0.23%	0.16%

重心系エネルギー 250 GeV では  $e^+e^- \rightarrow Zh$  生成断面積が最大  
 $h \rightarrow b\bar{b}$  (2jet) 崩壊が最も多く  $h \rightarrow q\bar{q}$  の割合が多い



# 物理解析の流れ



例えば

$$e^+e^- \rightarrow Zh$$

$$Z \rightarrow q\bar{q}, \ell^+\ell^-, \nu\bar{\nu}$$

ヒッグスの崩壊は

$h \rightarrow qq, gg$  (2ジェット)

が多いので、Zの崩壊により  
終状態がいくつか分かれる

$$Zh \rightarrow \nu\bar{\nu} + 2j : 2\text{ジェット}$$

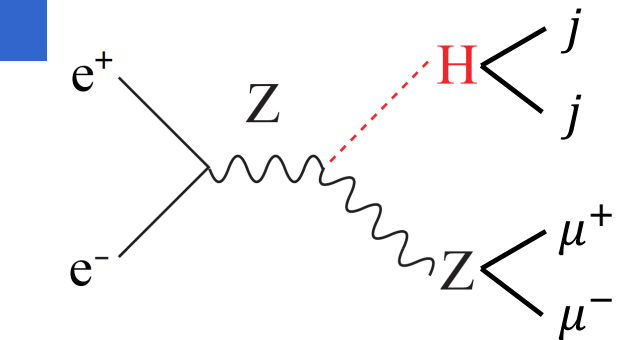
$$Zh \rightarrow \ell\ell + 2j : 2\text{レプトン}+2\text{ジェット}$$

$$Zh \rightarrow q\bar{q} + 2j : 4\text{ジェット}$$

終状態ごとに

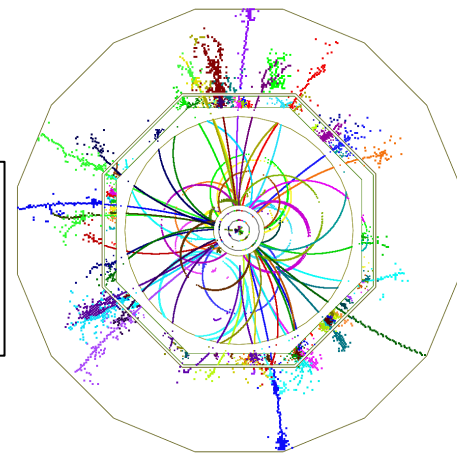
再構成手法を変更する

→解析プロセッサを作る



$$e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow \ell\ell + 2jet$$

ヒッグスの反跳質量解析



$$t\bar{t} \rightarrow bWbW \rightarrow 6jet (W \rightarrow q\bar{q})$$

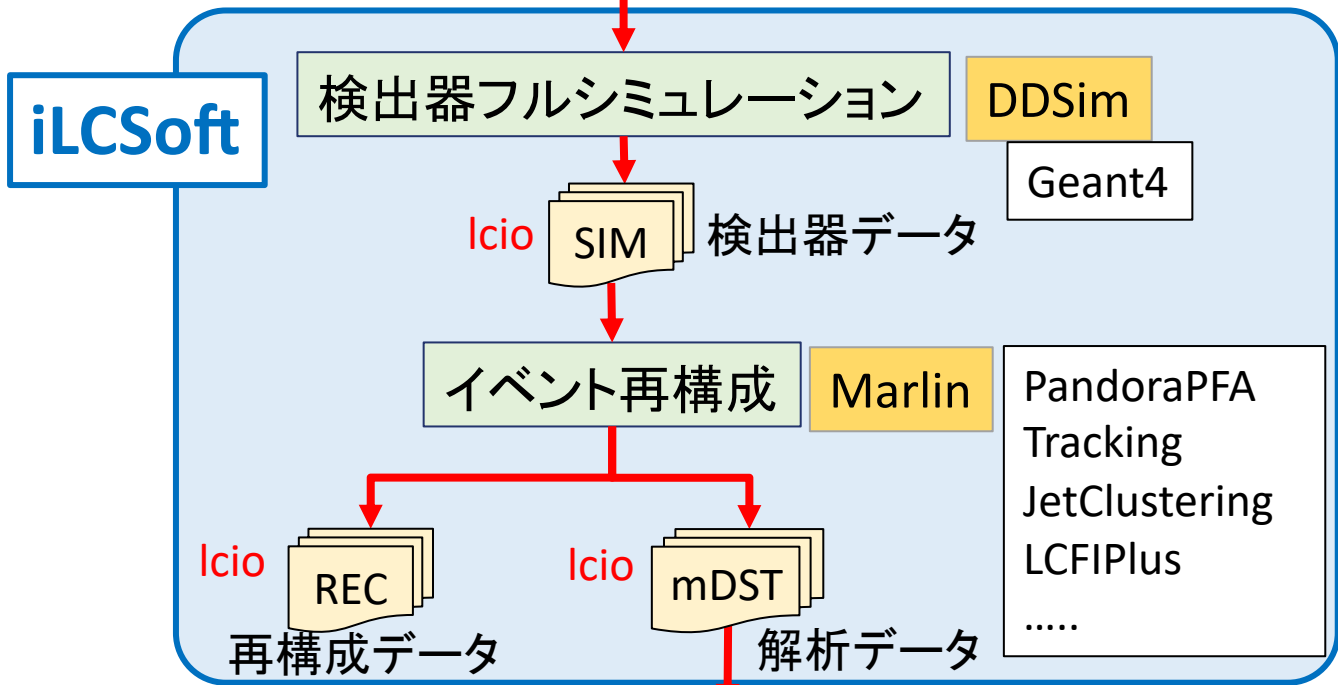
$t\bar{t}$  - 6ジェットイベント

# iLCSoftを使った物理解析の流れ

加速器・検出器の  
実データはないので  
シミュレーションのみ

物理イベント生成 様々なイベントジェネレータ  
Whizard, Pythia, MadGraph, physsim, ...

ジェネレータデータ  
stdhep, Icio GEN



簡易シミュレータ (Fast simulator)  
Delphes  
SGV

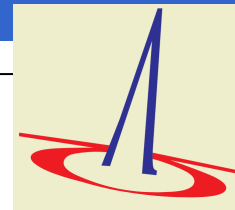
delphes2Icio

Icio DST 解析データ  
miniDST

Icio, root ユーザー解析  
Marlin, Root, Python, ...

# 物理イベント生成 (Whizard)

Whizard



マルチパーパスなイベントジェネレータ

ILC, CLIC, CEPC, FCCeeなど多くで使用されている

- $e^+e^- \rightarrow$  マルチフェルミオン SM粒子+多くのBSM事象
- 効率的な断面積の計算
- ビーム偏極の取り扱いが可能
- beamstrahlung (CIRCE) や ISR 事象のスペクトルが利用可能
- ILCでは標準サンプルの生成に現在 Whizard 2.8.5 を使用
- 出力形式 : stdhep, **LCIO**, HepMC

SINDARIN ファイルで  
入力情報を記述

<https://whizard.hepforge.org/>

ILD, SiDグループでは、共通で使用できる generator サンプルを  
generator グループが集中的に作成している

共通 generator サンプルは  
以下のELOGから参照可能

<https://ild.ngt.ndu.ac.jp/eelog/genmeta/>

ID	status	process_id	Energy	process_name	process_type	Polarization	xsect	NBEvents	IntLumi	JobDate	program
3913	OK	501283	500	ZF_e_eeth_d	ZF_e_eeth_d	ek.pR	11532.343	200000	17.3425	2024-04-09	whizard-3_0_3
3912	OK	501284	500	ZF_e_eeth_d	ZF_e_eeth_d	ek.pR	9285.3026	200000	21.9394	2024-04-09	whizard-3_0_3
3911	OK	501282	500	ZF_e_eeth_d	ZF_e_eeth_d	ek.pR	9552.2348	200000	20.9375	2024-04-09	whizard-3_0_3
3910	OK	501281	500	ZF_e_eeth_d	ZF_e_eeth_d	el.pL	11532.343	200000	17.3425	2024-04-09	whizard-3_0_3
3909	OK	501279	500	ZF_e_eeth_c	ZF_e_eeth_c	ek.pR	8464.3738	100000	11.8142	2024-04-09	whizard-3_0_3
3908	OK	501280	500	ZF_e_eeth_c	ZF_e_eeth_c	ek.pL	8170.5548	100000	12.2391	2024-04-09	whizard-3_0_3
3907	OK	501278	500	ZF_e_eeth_c	ZF_e_eeth_c	el.pR	8546.5033	100000	11.7007	2024-04-09	whizard-3_0_3
3906	OK	501277	500	ZF_e_eeth_c	ZF_e_eeth_c	el.pL	8464.3738	100000	11.8142	2024-04-09	whizard-3_0_3
3905	OK	501275	500	ZF_e_eeth_b	ZF_e_eeth_b	ek.pR	32352.007	100000	3.091	2024-04-09	whizard-3_0_3
3904	OK	501276	500	ZF_e_eeth_b	ZF_e_eeth_b	ek.pL	39335.468	100000	2.5423	2024-04-09	whizard-3_0_3
3903	OK	501274	500	ZF_e_eeth_b	ZF_e_eeth_b	el.pR	42659.016	100000	2.34417	2024-04-09	whizard-3_0_3
3902	OK	501273	500	ZF_e_eeth_b	ZF_e_eeth_b	el.pL	32352.007	100000	3.091	2024-04-09	whizard-3_0_3
3901	OK	501271	500	ZF_e_eeth_a	ZF_e_eeth_a	ek.pR	51247.673	1000000	19.5131	2024-04-09	whizard-3_0_3
3900	OK	501272	500	ZF_e_eeth_a	ZF_e_eeth_a	el.pL	65527.627	1000000	15.2607	2024-04-09	whizard-3_0_3
3899	OK	501270	500	ZF_e_eeth_a	ZF_e_eeth_a	el.pR	70597.551	1000000	14.1648	2024-04-09	whizard-3_0_3
3898	OK	501269	500	ZF_e_eeth_a	ZF_e_eeth_a	el.pL	51247.673	1000000	19.5131	2024-04-09	whizard-3_0_3
3897	OK	500183	250	ea_SF_zz_sl	ea_SF_ZZ_semileptonic	ek.pW	4.4656986	40000	8957.16	2022-11-09	whizard-2_8_5
3896	OK	500181	250	ea_SF_zz_sl	ea_SF_ZZ_semileptonic	el.pW	4.5152885	30000	6588.21	2022-11-09	whizard-2_8_5
3895	OK	500195	250	ea_SF_zz_sl	ea_SF_ZZ_leptonic	ek.pW	13.885613	70000	9051.78	2022-11-09	whizard-2_8_5
3894	OK	500193	250	ea_SF_zz_sl	ea_SF_ZZ_leptonic	el.pW	13.845713	80000	5777.06	2022-11-09	whizard-2_8_5
3893	OK	500171	250	ea_SF_zz_h	ea_SF_ZZ_hadronic	ek.pW	0.20389968	2000	9808.75	2022-11-09	whizard-2_8_5
3892	OK	500169	250	ea_SF_zz_h	ea_SF_ZZ_hadronic	el.pW	0.22243736	2000	8991.29	2022-11-09	whizard-2_8_5
3891	OK	500207	250	ea_SF_ZZWWMix	ea_SF_ZZWWMix_leptonic	ek.pW	0.12467552	1000	7894.19	2022-11-09	whizard-2_8_5
3890	OK	500205	250	ea_SF_ZZWWMix	ea_SF_ZZWWMix_leptonic	el.pW	0.19409879	1000	5152.02	2022-11-09	whizard-2_8_5
3889	OK	500179	250	ea_SF_ZZWWMix	ea_SF_ZZWWMix_hadronic	ek.pW	0.72339533	4000	9530.24	2022-11-09	whizard-2_8_5
3888	OK	500177	250	ea_SF_ZZWWMix	ea_SF_ZZWWMix_hadronic	el.pW	1.0954513	6000	5477.19	2022-11-09	whizard-2_8_5



2024/7/7

ヒッグスファクトリーの

# ソフトウェアフレームワーク iLCSoft

**iLCSoft**

<https://github.com/iLCSoft/>  
<https://ilcsoft.desy.de/portal>

ヒッグスファクトリー、  
リニアコライダー実験の多くで使われている  
ソフトウェアフレームワーク

CLIC, ILD, SiD,  
FCC, CEPC, HPS, EIC, . . . Calice, LCTPC,

メインのコンポーネント

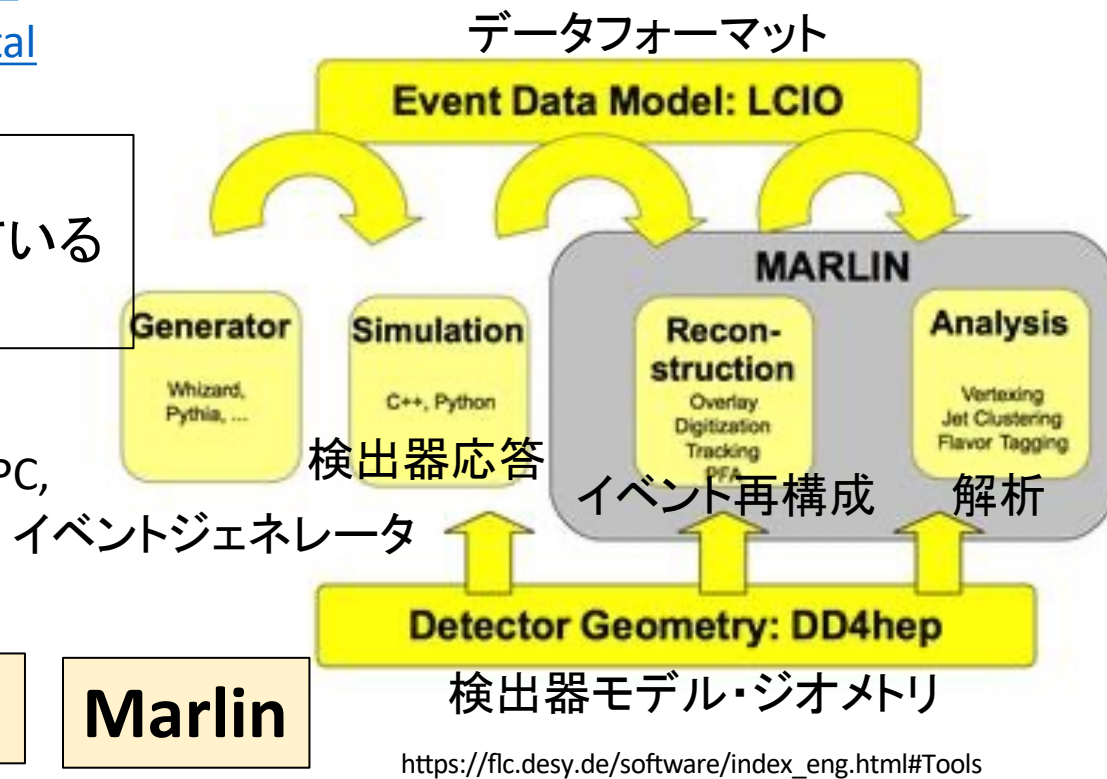
**LCIO**

**DD4hep (DDSim)**

**Marlin**

データフォーマット 検出器シミュレーション

再構成・解析



iLCSoft tutorial : [https://agenda.linearcollider.org/event/9272/contributions/48222/attachments/36966/57845/ilcsoft\\_tutorial\\_jul21.pdf](https://agenda.linearcollider.org/event/9272/contributions/48222/attachments/36966/57845/ilcsoft_tutorial_jul21.pdf)  
<https://agenda.linearcollider.org/event/9272/>

# LCIO データフォーマット

## LCIO

ヒッグスファクトリー実験で使用されている共通データフォーマット  
Event Data Model (EDM)

ヒッグスファクトリー実験の  
データは**LCIOフォーマット**で保存される

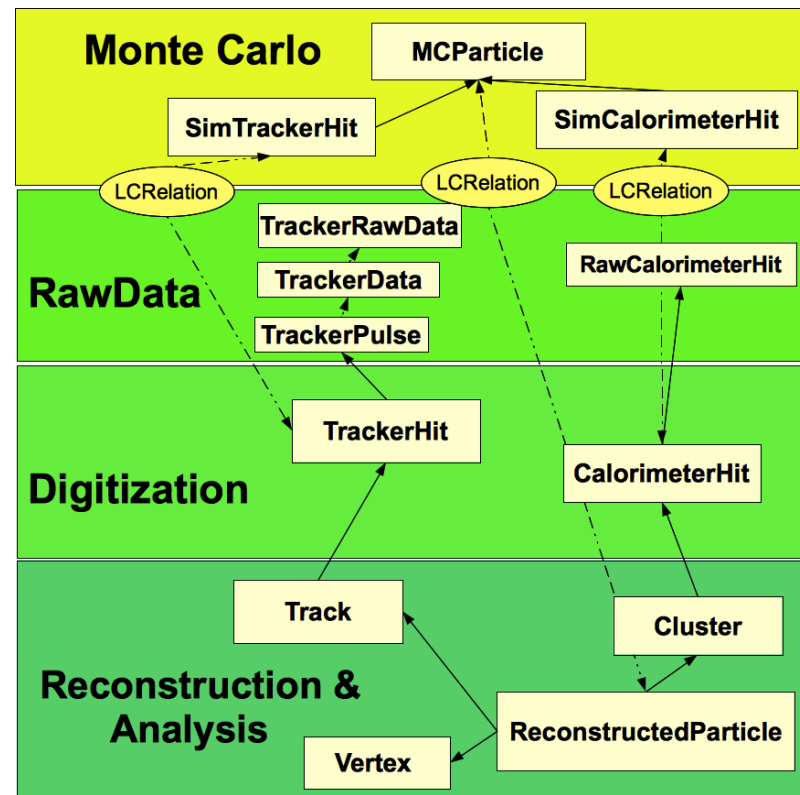


ジェネレータの粒子情報 MCParticle

検出器ヒット情報 TrackerHit, CalorimeterHit

再構成情報 Track, Cluster, Vertex

再構成粒子情報 ReconstructedParticle



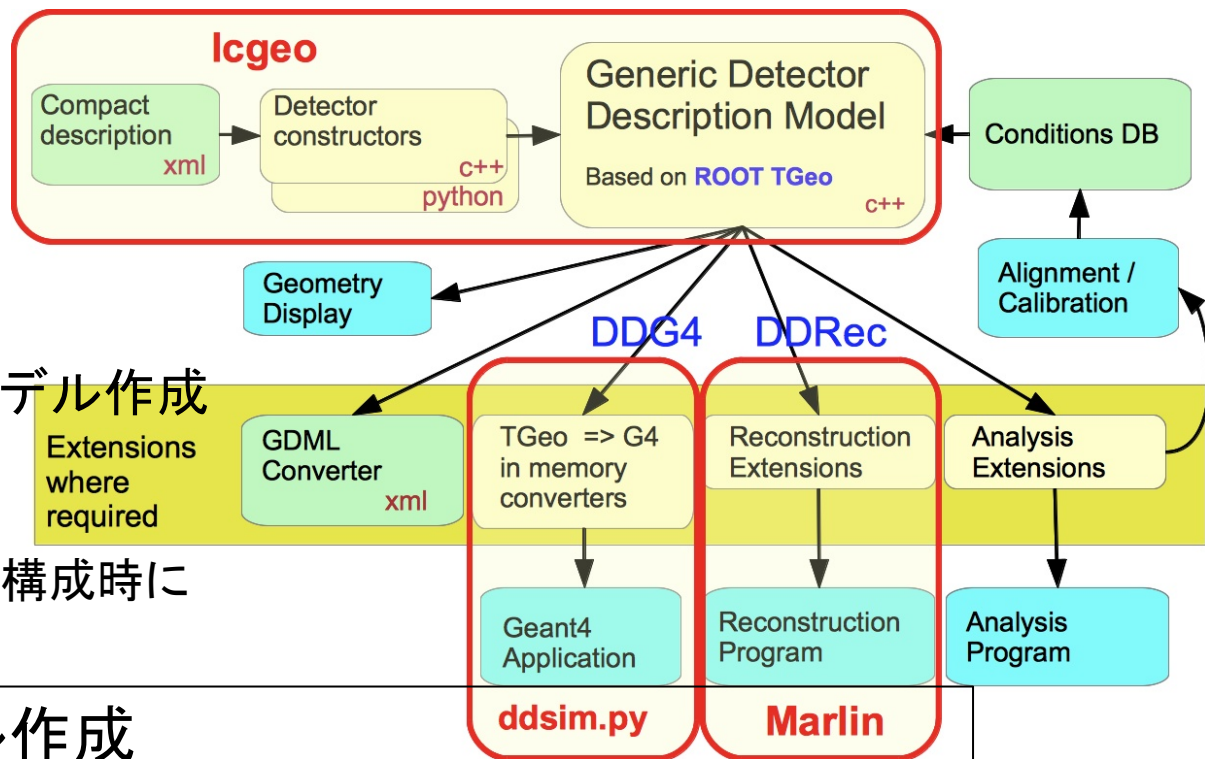
解析するには Rootフォーマットに変換するか、LCIOライブラリが必要

# DD4hep 検出器フルシミュレーション

## DD4hep (DDSim)

検出器ジオメトリの作成・利用  
検出器シミュレーションの実行

- RootのTGeoベース  
XML から TGeoベースの検出器モデル作成
- Geant4 シミュレーションとイベント再構成時に  
同じ検出器モデルを使用可



- **lcgeo** : LC用の検出器モデル作成
- **DDG4 (DDSim)** : Geant4でのフルシミュレーション  
→ **ddsim.py** を使って検出器フルシミュレーション実行 (DDSim)

カロリメータ構造を変えたシミュレーションや、  
ILC以外の検出器の詳細構造開発などは個々の開発を行っていく



# Marlin イベント再構成

## Marlin

### イベント再構成や解析のフレームワーク

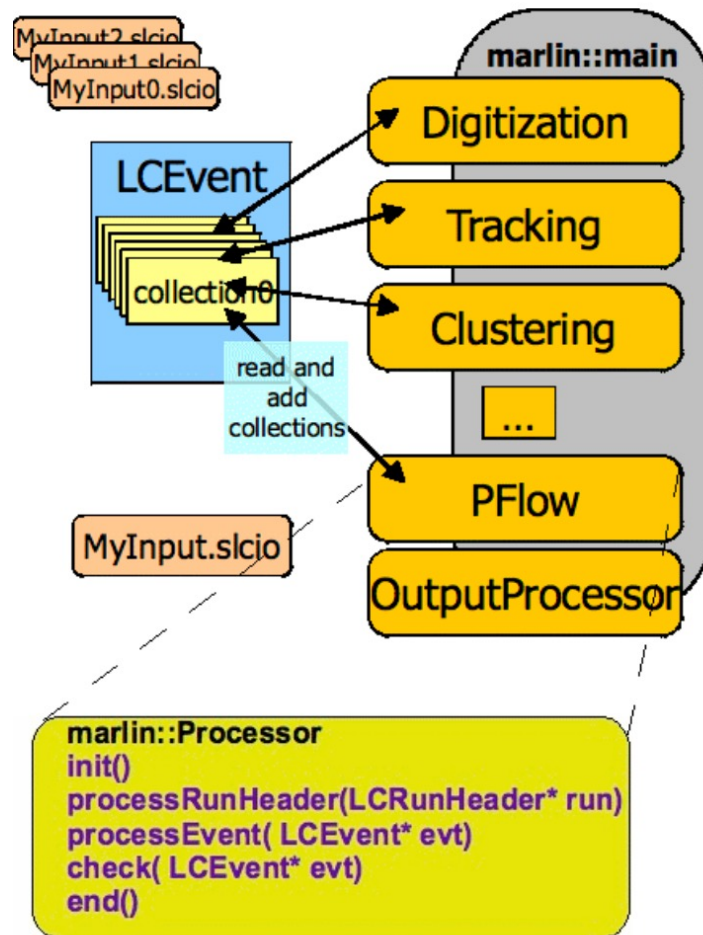
- 各要素は **Processor** として登録
- XMLファイルでパラメータやProcessorを制御
- Processor モジュールを読み込むか自分で解析Processorを作成したりする

### イベント再構成の流れ

1. 検出器ヒット情報のDigitization
2. トラッキング
3. カロリメータヒットクラスタリング
4. **PFA (標準は PandoraPFA)**
5. **ジェットクラスタリング & フレバータグ**
6. LCIOファイルの保存 (REC, DST)

その他の  
プロセッサ

**IsolatedLeptonFinder** :  $Z \rightarrow \mu\mu$  の検出  
**MarlinKinfit** : Kinematic Fitting  
**TauFinder** :  $\tau$ 崩壊事象の再構築



<https://ilcsoft.desy.de/Marlin/current/doc/html/index.html>

<https://github.com/iLCSoft/MarlinKinfit>

# Particle Flow Algorithm (PFA)

ジェットのエネルギー分解能が最もよくなるように、  
粒子同定を行う手法

60% : 荷電粒子 : 飛跡検出器  
30% : 光子 : 電磁カロリメータ  
10% : 中性ハドロン : ハドロンカロリメータ

## PFAの手順

1. カロリメータヒットクラスタリング
2. トラック・クラスターマッチング
3. 粒子同定 (PFO : ReconstructecParticle)

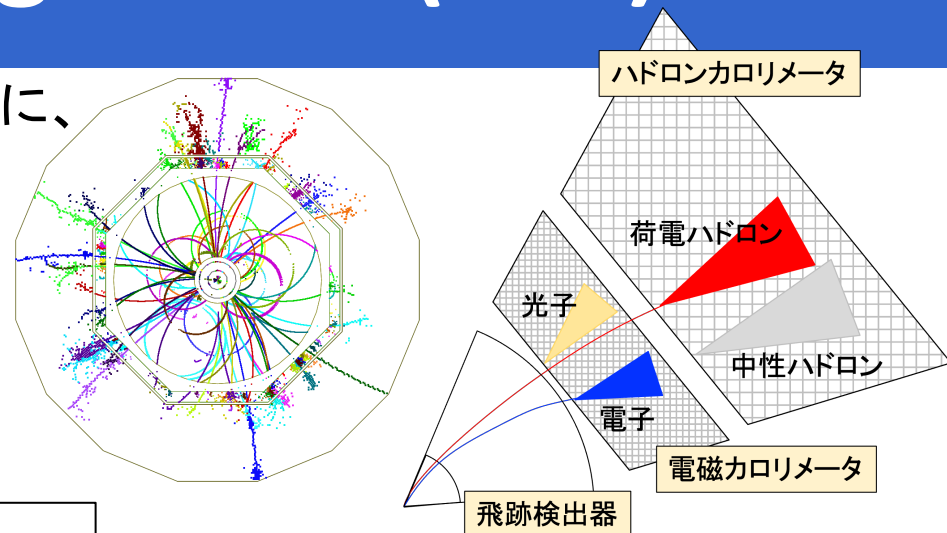
## ジェットエネルギー分解能

$$\frac{\sigma_E}{E} = 3 \sim 4\% = \sim 30\% / \sqrt{E} @ 100 \text{ GeV}$$

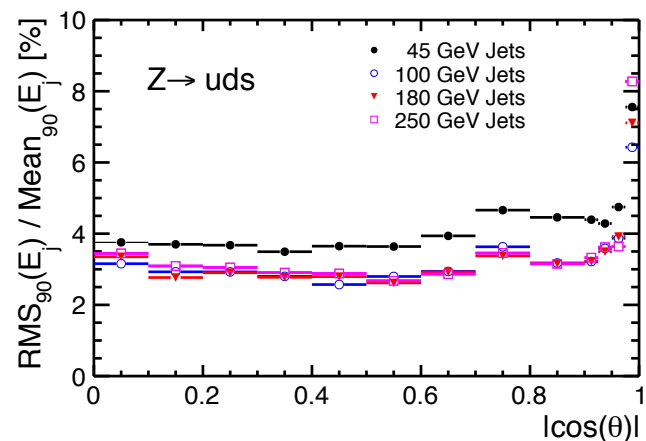
iLCSoftに組み込まれたPFAアルゴリズム

## PandoraPFA

PFAの新たな手法の開発、機械学習を使った手法の開発



## PFAの鍵：微細分割カロリメータ





# ジェットクラスタリング

再構成したPFOをさらにクォークジェットとしてジェットクラスタリングを行う

## ジェットクラスタリングのアルゴリズム

Durham

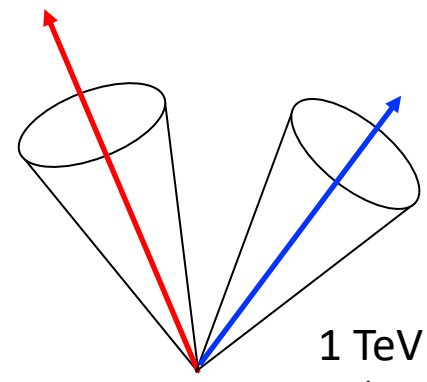
$$d_{ij} = 2 \min(E_i^2, E_j^2) (1 - \cos \theta_{ij})$$

kt

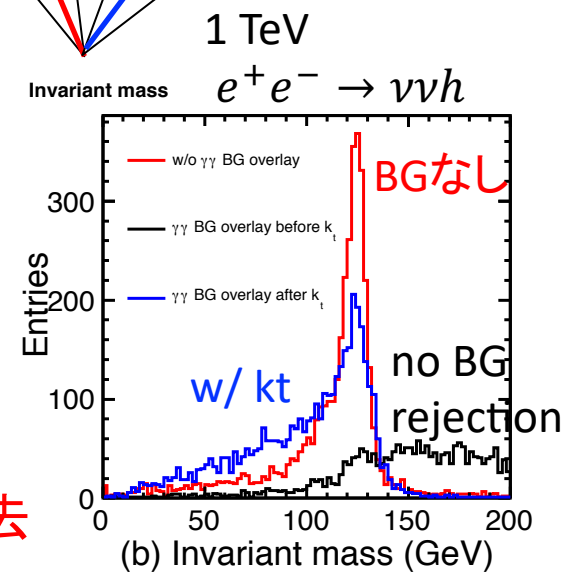
$$d_{ij} = \min(P_{Ti}^{2n}, P_{Tj}^{2n}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2} \quad \Delta R_{ij}^2 = \Delta \phi^2 + \Delta y^2$$

Valencia

$$d_{ij} = \min(E_i^{2\beta}, E_j^{2\beta}) (1 - \cos \theta_{ij}) / R^2$$



ビームバックグラウンド  
 $\gamma\gamma \rightarrow hadron$  事象の除去



Nuclear Physics B Proceedings Supplement 00 (2014) 1–3

# フレーバータギング (LCFIPlus)

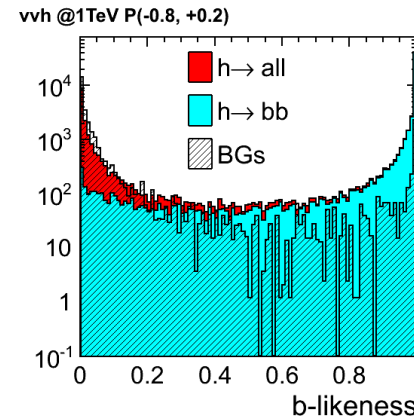
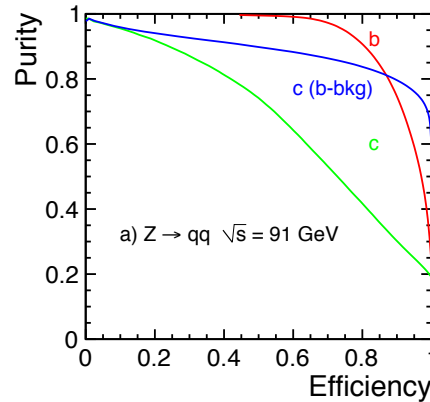
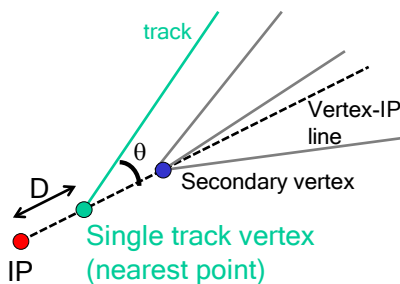
<https://github.com/lcfiplus/LCFIPlus>

ジェットイベントの中で、b-jet, c-jet, other-jetなどFlavorを同定する

- vertex finding
- ジェットクラスタリング
- フレーバータギング

Flavour Tagging : MVA using impact parameters, vertex mass etc

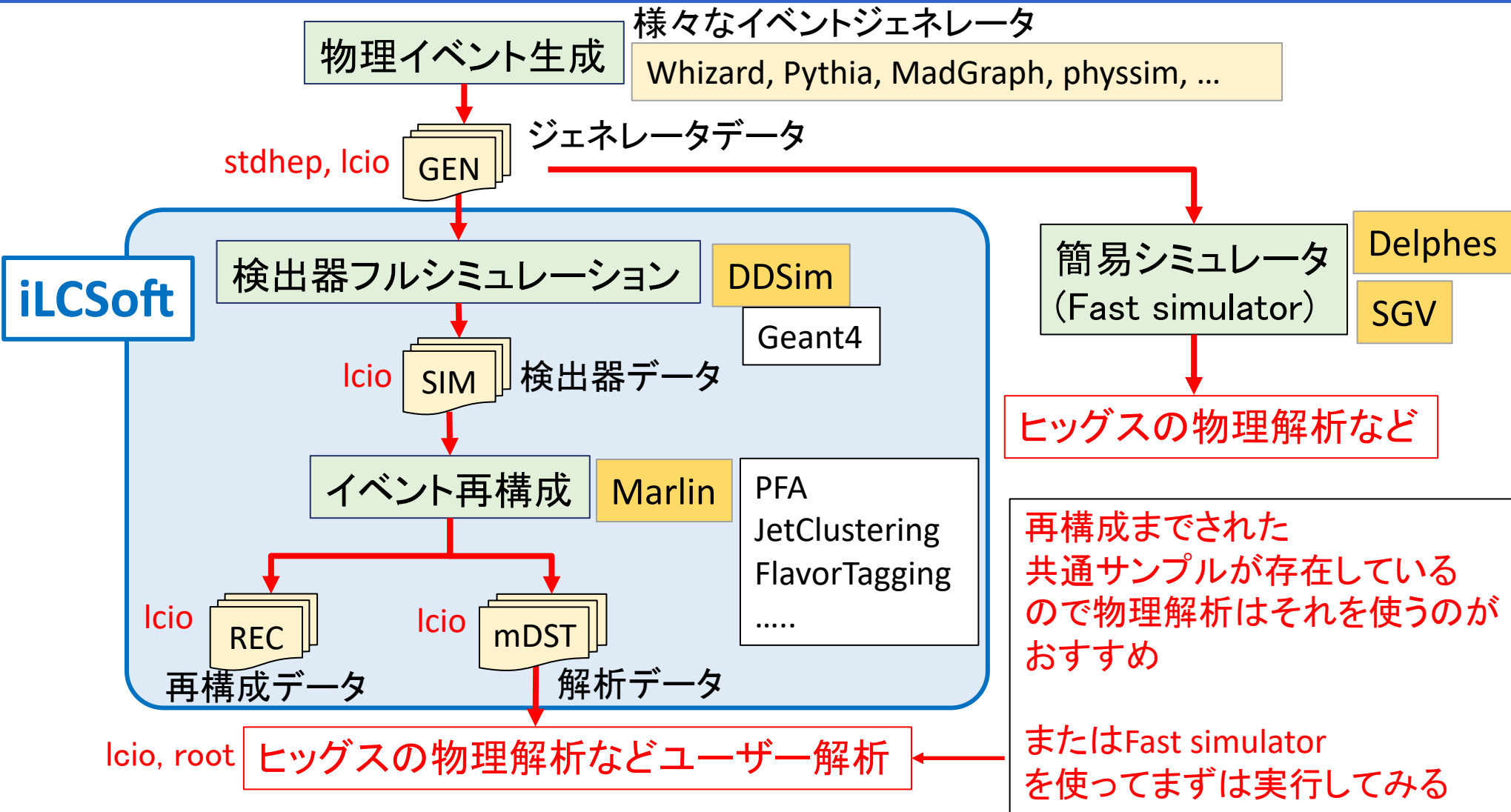
LCFIPlus にはジェットクラスタリングも内包している (Default : Durham)



b/cジェットの同定  
バックグラウンドの除去

最近では MVA から、機械学習を用いた Flavor tagging の開発が行われている

# 物理解析をやる場合



# 物理事象の再構成と物理解析

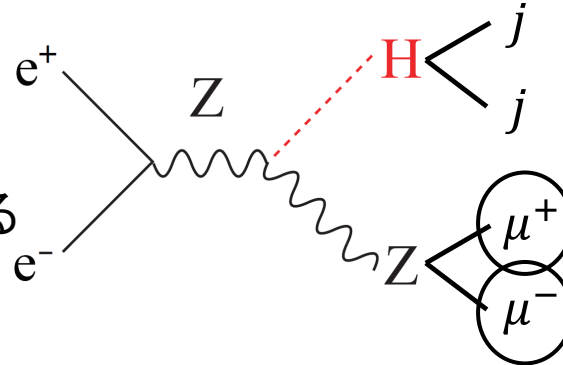
例えばヒッグスの反跳質量解析

$$Zh \rightarrow \ell\ell h \rightarrow 2\ell + 2j$$

終状態毎に再構成の仕方を変える

$$Zh \rightarrow qqh (4j), vvh (2j)$$

→解析Processorの準備

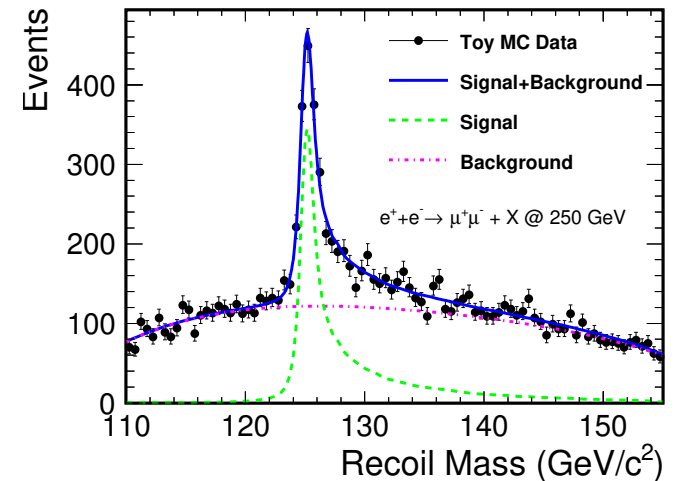
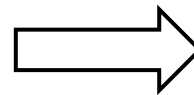
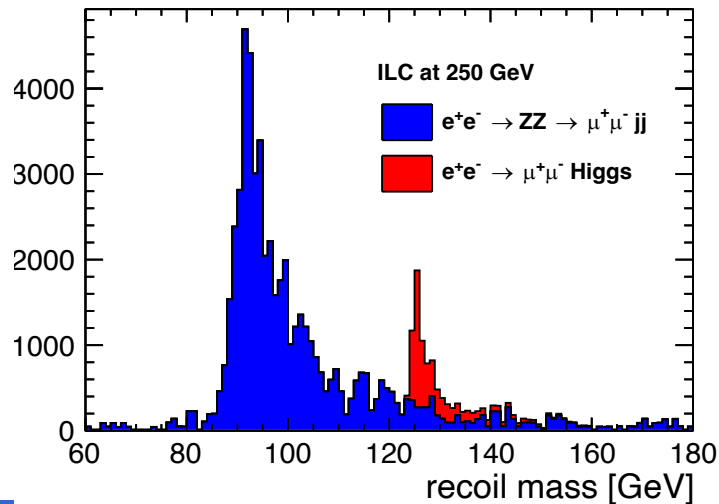


2ジェットクラスタリング

2レプトンの同定

IsolatedLeptonFinder

1. 最終的なヒッグスイベントの同定
2. バックグラウンドの除去 (カット、MVAの利用) : 主なBG :  $ZZ, WW \rightarrow 2\ell + 2j$
3. 信号事象のフィットや事象の数え上げ→物理量の評価 (質量測定精度など)



# iLCSoftの利用 : CVMFS



CVMFS (CernVM-File System) 共通ソフトウェアの分散共有サービス

ソフトウェアをマウントするだけで利用でき、コンパイル・インストールの手間がない  
→初めてILCの解析を行う際には、iLCSoftを自分でインストールするより  
すでに準備されたCVMFSを利用するのが早道

KEKCCなどでは各グループソフトが準備されているので、自分で設定する必要もない

iLCSoftのあるレポジトリ : /cvmfs/ilc.desy.de/sw

```
$ source /cvmfs/ilc.desy.de/sw/x86_64_gcc82_centos7/v02-02-03/init_ilcsoft.sh
```

source するだけで  
iLCSoftを使う環境が整う

2024年6月末でEL7 EOLの移行期で、  
まだ、EL8, EL9向けの  
ソフトは準備されていませんが。。

ILCのCVMFS設定方法は以下を参照

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CLIC/CLICcvmfs>

```
$ ls -l /cvmfs/ilc.desy.de/sw/
total 55
drwxr-xr-x 12 cvmfs cvmfs 4096 Aug 17 2022 ./
drwxr-xr-x  7 cvmfs cvmfs 4096 Dec  7 2013 ../
-rw-r--r--  1 cvmfs cvmfs    0 Jun  4 2019 .cvmfscatalog
drwxr-xr-x  3 cvmfs cvmfs 4096 Mar  4 2017 Eigen/
drwxr-xr-x 39 cvmfs cvmfs 4096 Mar 12 23:21 ILDConfig/
drwxr-xr-x  3 cvmfs cvmfs 4096 Jul  1 2015 boost/
drwxr-xr-x 20 cvmfs cvmfs 4096 Mar 12 22:18 x86_64_gcc103_centos7/
drwxr-xr-x 21 cvmfs cvmfs 4096 Mar 11 2020 x86_64_gcc44_sl6/
drwxr-xr-x 17 cvmfs cvmfs 4096 Jun  4 2019 x86_64_gcc48_cc7/
drwxr-xr-x 23 cvmfs cvmfs 4096 Nov 26 2016 x86_64_gcc48_sl6/
drwxr-xr-x 28 cvmfs cvmfs 4096 Jun  4 2019 x86_64_gcc49_sl6/
drwxr-xr-x 24 cvmfs cvmfs 4096 Nov 23 2021 x86_64_gcc82_centos7/
drwxr-xr-x 22 cvmfs cvmfs 4096 Aug 14 2020 x86_64_gcc82_sl6/
```

# 標準設定ファイル ILDConfig

ILDグループを例にとると、  
標準の設定ファイル、実行ファイル ILDConfig が準備されている

<https://github.com/iLCSoft/ILDConfig/tree/master/StandardConfig/production>

- MCサンプルの大量生成などでは、この中にある標準セットアップを使用
- iLCSoft を動かす Example も同梱されている

```
/cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02/StandardConfig/production/
```

標準のビームパラメータデータ

```
Config/Parameters250GeV.xml  
Config/Parameters350GeV.xml  
Config/Parameters500GeV.xml  
Config/Parameters1000GeV.xml
```

DDSim の標準 steering file

```
/cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02/StandardConfig/production/ddsim_steer.py
```

Marlin の標準再構成 steering file

```
/cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02/StandardConfig/production/MarlinStdReco.xml
```

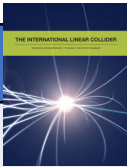

mc-2020 で生成されたサンプルでは  
以下のソフトウェアバージョンを使用

```
250 GeV : ILDConfig/iLCSoft v02-02  
500 GeV : ILDConfig/iLCSoft v02-02-03
```

**標準的なイベント生成などはここを参照にしてスタートする**

# ILDフルシミュレーションサンプル

ILDドキュメントを書いたりする(Snowmass, European strategyなど)際に、ILDグループ共通で使用する大規模なMCサンプルが生成されている

	DBD (2013)	IDR (2019)	mc-2020 (2020)
Aim	Physics study 	Detector Opt. 	Physics study
Ecm	250 GeV (250 fb <sup>-1</sup> ) 350, 500 GeV, 1 TeV	500 GeV	250 GeV (1 ab <sup>-1</sup> )
Large cross section SM	40~100 fb <sup>-1</sup>		1 to 5 ab <sup>-1</sup>
Beam param	TDR_ws	TDR_ws	250-SetA
GEN sample	Whizard 1.95 stdhep	Re-use DBD sample	Whizard 2.8.5 slcio
Detector SIM	Mokka	DDSim	DDSim
ILCSoft	v01-16	v02-00/v02-00-01	v02-02
Detector model		Hybrid CAL L5/S5	Hybrid CAL L5

フルシミュレーションサンプルを使用するには **ILD guest account** が必要

mc2020 サンプルのまとめ : <https://ild.ngt.ndu.ac.jp/mc-prod/prodmon/prodsum-mc2020.html>

# GRIDでのイベントの大量生成・解析 (ILCDirac)

高統計MCデータを準備するため、分散コンピューティングシステム (GRID)を使用

GRIDのミドルウェアにDIRACを使用



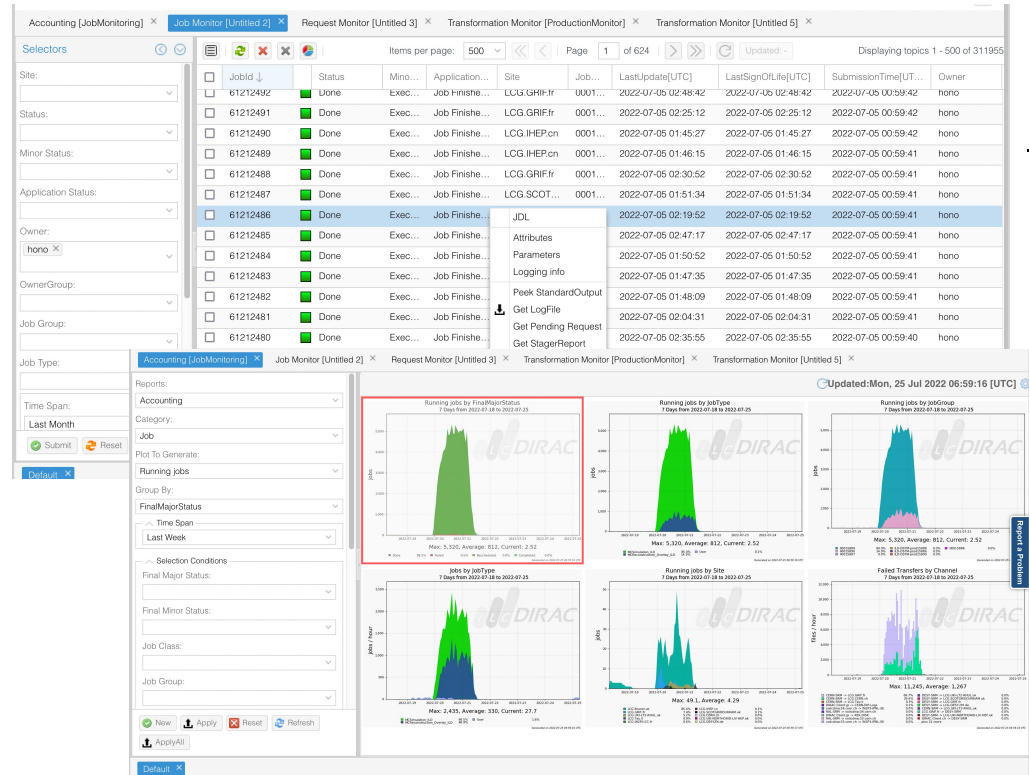
ILCではDIRACの拡張 : ILCDirac を使用



ILC向けのリソースを使うには証明書の発行と  
ILC-VO (VO : Virtual Organization)に所属が必要  
ILC VOMS → IAM に移行段階  
(EL7 EOL → EL8/9 移行段階で不安定な状態)

WEBインターフェースを使って、  
ジョブの管理やプロットの作成が可能

- ファイルの共有
- MC生成ジョブの大量処理
- ファイルの大量転送
- 大量のユーザー解析





# 簡易シミュレータ (Fast simulator)

検出器シミュレーションをパラメタライズして簡易的に行うことでフルシミュレーションよりも高速にジェットクラスタリング、トラッキング、イベント再構成を行う

フルシミュレーションデータに合うようにチューンされている

## **Delphes** : Fast Simulation of a Generic Collider Experiment

<https://cp3.irmp.ucl.ac.be/projects/delphes>

<https://github.com/delphes/delphes>

Card : 検出器形状の入力ファイルを準備して実行する

**ILCgen** : ILC generic 検出器Card が準備されている

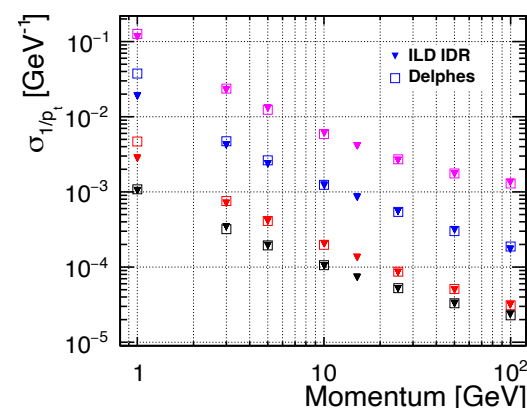
## **SGV** : Simulation a **G**rande **V**itesse

[https://www.desy.de/~berggren/sgv\\_ug/](https://www.desy.de/~berggren/sgv_ug/)

<https://gitlab.desy.de/mikael.berggren/sgv>

<https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3814465/>

New DELPHES simulation results



フルシミュレーションを行う前の簡易的なgeneratorイベントの確認

# ビーム偏極度の混ぜ方

実際のILCビーム衝突におけるビーム偏極度にスケールするためには  
ビームの偏極度に対応する断面積を求める必要がある

$$P = \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L}$$

ビーム偏極度  $(P_{e-}, P_{e+}) = (-80\%, +30\%)$  など

$$\sigma(P_{e-}, P_{e+}) = \frac{1}{4} \{ (1 + P_{e-})(1 + P_{e+})\sigma_{RR} + (1 - P_{e-})(1 - P_{e+})\sigma_{LL} \\ + (1 + P_{e-})(1 - P_{e+})\sigma_{RL} + (1 - P_{e-})(1 + P_{e+})\sigma_{LR} \}$$

electron L (eft-handed)  
positron R (ight-handed)

eL.pR  
eR.pL  
eL.pL  
eR.pR

$\sigma_{LR}$  は eL.pR (electron/positron Left/Right handed 100% polarized) の断面積

無偏極  $(P_{e-}, P_{e+}) = (0\%, 0\%)$  の場合  $\sigma_0 = \frac{1}{4} (\sigma_{RR} + \sigma_{LL} + \sigma_{RL} + \sigma_{LR})$

rv01-16-p10\_250.sv01-14-01-p00.mILD\_o1\_v05.E250-TDR\_ws.l106479.Pe2e2h.eL.pR-00001-

$\sqrt{s}$	$\int \mathcal{L} dt$	--	+-	++	--
250 GeV	2 ab <sup>-1</sup>	0.9 ab <sup>-1</sup>	0.9 ab <sup>-1</sup>	0.1 ab <sup>-1</sup>	0.1 ab <sup>-1</sup>
350 GeV	200 fb <sup>-1</sup>	135 fb <sup>-1</sup>	45 fb <sup>-1</sup>	10 fb <sup>-1</sup>	10 fb <sup>-1</sup>
500 GeV	4 ab <sup>-1</sup>	1.6 ab <sup>-1</sup>	1.6 ab <sup>-1</sup>	0.4 ab <sup>-1</sup>	0.4 ab <sup>-1</sup>
1 TeV	8 ab <sup>-1</sup>	3.2 ab <sup>-1</sup>	3.2 ab <sup>-1</sup>	0.8 ab <sup>-1</sup>	0.8 ab <sup>-1</sup>
91 GeV	100 fb <sup>-1</sup>	40 fb <sup>-1</sup>	40 fb <sup>-1</sup>	10 fb <sup>-1</sup>	10 fb <sup>-1</sup>
161 GeV	500 fb <sup>-1</sup>	340 fb <sup>-1</sup>	110 fb <sup>-1</sup>	25 fb <sup>-1</sup>	25 fb <sup>-1</sup>

2 ab<sup>-1</sup> : (-+,+-,++,--)=(45%, 45%, 5%,5%)

$(P_{e-}, P_{e+}) = (-80\%, +30\%)$

**900 fb<sup>-1</sup>** at 250 GeV

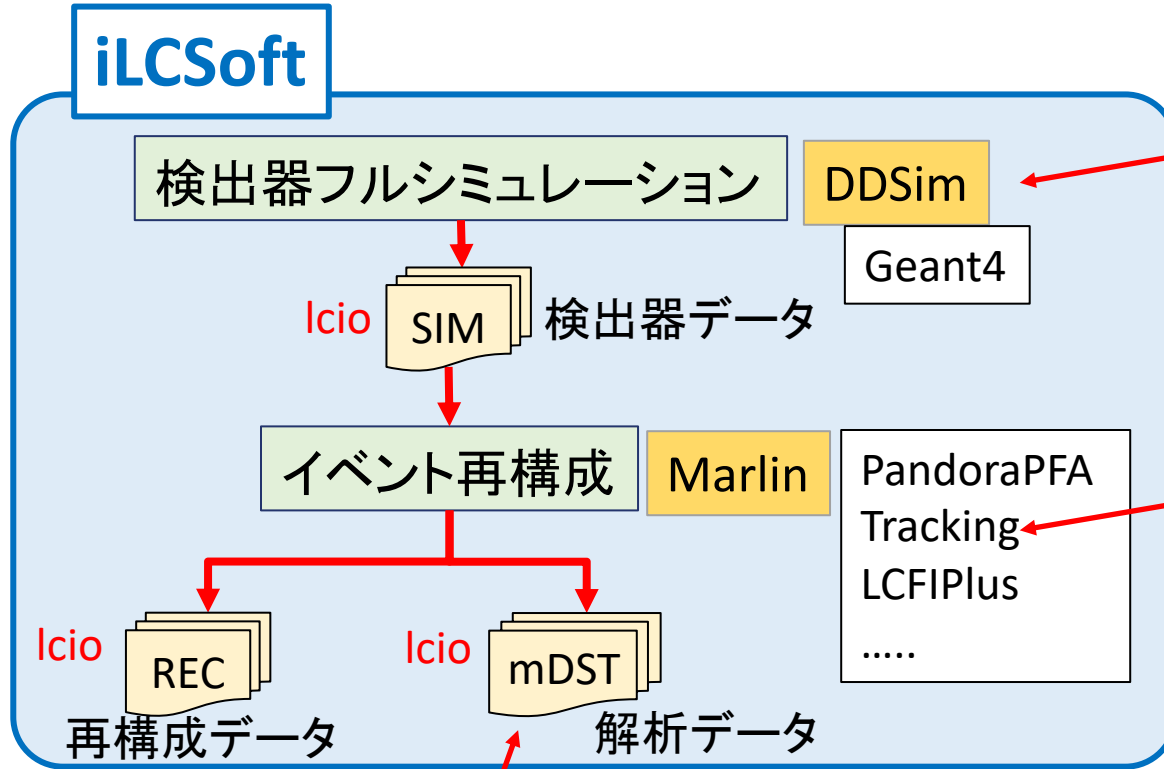
ILC Physics scenario

<https://arxiv.org/abs/1506.07830>

<https://arxiv.org/abs/1710.07621>

# 解析手法の開発

ヒッグスファクトリーの実験グループで、  
何か研究・開発するとしたらどんなことをやるのか？



## 検出器モデルの開発

ILC, CLIC CEPC, FCCee  
新しい検出器モデルを組み込む  
カロリメータ、トラッカー、  
Geant4ベースの開発

## 再構成手法の開発

- 機械学習を使ったフレーバータグ
- 粒子同定 (ParticleID)
- PFAの新手法の開発

Marlinのプロセッサ開発など

## 物理解析

mc-2020 (250 GeV)

- 既に生成されたサンプルを利用する (ヒッグスの物理)
- 新たなサンプルの作成を依頼する → MC production グループ

# ヒッグスファクトリー一定例 物理・ソフトウェア研究ミーティング (Asia group)

<https://agenda.linearcollider.org/category/276/>

The screenshot shows the ILC Agenda website. The header includes the ILC logo and the text 'International Linear Collider :: Agenda'. Navigation links include 'Home', 'Create event', and 'My profile'. A breadcrumb trail reads: 'Home > Physics and Detectors > Detector R&D collaborations > JSPS - Detector R&D towards the ILC > regular ILC-Asia physics meetings'. The main content area is titled 'regular ILC-Asia physics meetings' and features a search bar and a 'Create event' button. Below this, a list of events for 'June 2024' is shown, with three entries for 'Asian Physics and Software Meeting' on 27 Jun, 20 Jun, and 13 Jun. A note at the bottom states 'There are 110 events in the past. Show'.

会議チエア  
東京大学  
末原さん、Junpingさん

The screenshot shows the details for the 'Asian Physics and Software Meeting' on Thursday 27 Jun 2024, 14:30 - 16:20 in Asia/Tokyo. The description includes a Zoom connection link: <https://zoom.us/j/99939837618?pwd=VzIBTWVScnprV2tJdHZOSzBxZURJZz09>. It also lists TV meeting details (via KEK Zoom): 1. 207.226.132.110, 2. meeting ID: 999 3983 7618, and passcode: 153618. The agenda items are: 14:30 - 14:40 Schedule / Announcements / Discussion topics; 14:40 - 14:45 Higgs to ss study (Speakers: Ritsuya Hosokawa (Iwate University), Ryuki Sugawara); 14:45 - 14:50 right handed neutrino (Speaker: Jurina Nakajima (SOKENDAI/KEK)); 14:50 - 14:55 Study of spin correlation in e+e- -> tau tau.

ヒッグスファクトリー実験において  
物理・測定器・ソフトウェアについての日本国内での研究ミーティング  
どのような研究テーマがあるのか知る1つのチャンネル

# コンピューティングサマースクールについて

<https://wiki.kek.jp/display/PPCC/PPCC-SS-2024>

ページ / Particle Physics Computing Consortium / Event

ILCソフトウェアの講習会はありませんが。。。

## PPCC-SS-2024

作成者: NAKAMURA Tomoaki、最終編集日: 6月 1

解析技術やコンピューティングについての知識や技術を学ぶ機会

## 第七回粒子物理コンピューティングサマースクール (PPCC-SS-2024)

### 開催期間・会場

2024年7月29日から8月2日

KEKつくばキャンパス

主会場: 小林ホール

副会場: 研究本館第1会議室, 3号館1階  
会議室

### 参加申し込みについて

対象: 修士課程学生 (博士後期課程学生も参加可)

定員: 50名 (事前参加登録必須)

[参加申し込み](#)

### 講習・実習環境について

クラウド上のサーバーを使います。  
sshクライアントが使えるラップトップPCをご用意ください。Windowsの場合はX Window System (X11) が

### 開催趣旨

粒子物理コンピューティング懇談会  
コンピューティング技術利用に関する5日間、高エネルギー加速器研究

今日、粒子物理 (素粒子・原子核) を収集することから、コンピューティング技術を利用するためには、最先端のコンピューティング研究者の育成が急務であること

そういった教育環境が整った研究施設の協力を得てコンピューティングのPython、C++などのプログラミング、コンテナ技術、検出器シミュレーション、量子コンピューティングなどを学

サマースクールでは計算機の基礎知識に、各人が課題を決めて行う4日間

解析TMVAやDeep Learning発展編、ソフトウェア開発ツールおよび最新のC++の言語仕様と新機能

VirtualBox) のインストールが必要です。ARMチップ搭載のラップトップPCはVMを用意しませんので、クラウド環境のみを使用してください。

サポートが終了しているOSはKEKではご使用いただけませんのでご注意ください。

事前準備の詳細 (準備中)

### これまでのサマースクール

- 第六回: 2023年
- 第五回: 2022年
- 第四回: 2021年
- 第三回: 2019年
- 第二回: 2018年
- 第一回: 2017年

### 謝辞

第七回粒子物理コンピューティングサマースクールは、東京大学素粒子物理国際研究センターと高エネルギー加速器研究機構による令和6年度加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) からのサポートを受けています。

### プログラム

7/29 (月)	7/30 (火)	7/31 (水)	8/1 (木)	8/2 (金)
9:00 - 10:00 開会あいさつ 参加者案内 実習テーマ説明	9:00 - 10:00 プログラミング言語 Python	9:00 - 10:00 シミュレーションToolkit Geant4	9:00 - 10:00 計算機クラスター	9:00 - 10:30 発表会
休憩 (15分)	休憩 (15分)	休憩 (15分)	休憩 (15分)	休憩 (15分)
10:15 - 11:15 解析フレームワーク Root	10:15 - 11:15 Deep Learning基礎編	10:15 - 11:15 計算機とコンテナ	10:15 - 11:15 分散コンピューティング	10:45 - 12:15 発表会
休憩 (15分)	休憩 (15分)	休憩 (15分)	休憩 (15分)	昼休憩 (60分)
11:30 - 12:30 解析フレームワーク RooFit, RooStats	11:30 - 12:30 GPUプログラミング	11:30 - 12:30 ネットワークの仕組み	11:30 - 12:30 量子コンピューティング	13:15 - 14:45 発表会
昼休憩 (60分)	昼休憩 (60分)	昼休憩 (60分)	昼休憩 (60分)	休憩 (15分)
13:30 - 15:00 並列講習	13:30 - 15:00 並列講習	13:30 - 15:00 並列講習	13:30 - 15:00 並列講習	15:00 - 16:30 発表会
計算機応用 (多変量解析TMVA) ATLASソフトウェア Belle IIソフトウェア	計算機応用 (Deep Learning発展編) ATLASソフトウェア Belle IIソフトウェア	計算機応用 (C++の新機能) ATLASソフトウェア Belle IIソフトウェア	計算機応用 (ソフトウェア開発) ATLASソフトウェア Belle IIソフトウェア	16:30 - 17:00 閉会あいさつ
15:00 - 18:00 施設見学 KEK中央計算機 SuperKEKB加速器 放射光研究施設	15:00 - 18:00 実習	15:00 - 18:00 実習	15:00 - 18:00 実習	

# まとめ

ILC以外の実験でもヒッグスファクトリー実験全体でiLCSoftを用いた解析フレームワークを用いて解析を行なっています。

ヒッグス物理の解析や検出器開発など様々やれることが多くあるかと思えます。興味のある方は担当者に声をかけていただくか、ミーティングにつないでみてください。

スライドのBackupに実際に動かしてみることで過去の講習会の情報とチュートリアルの手順も掲載しておきましたので、実際に動かしてみて分布を見ってみるなど確認してみたいことも可能です。

# BACKUP

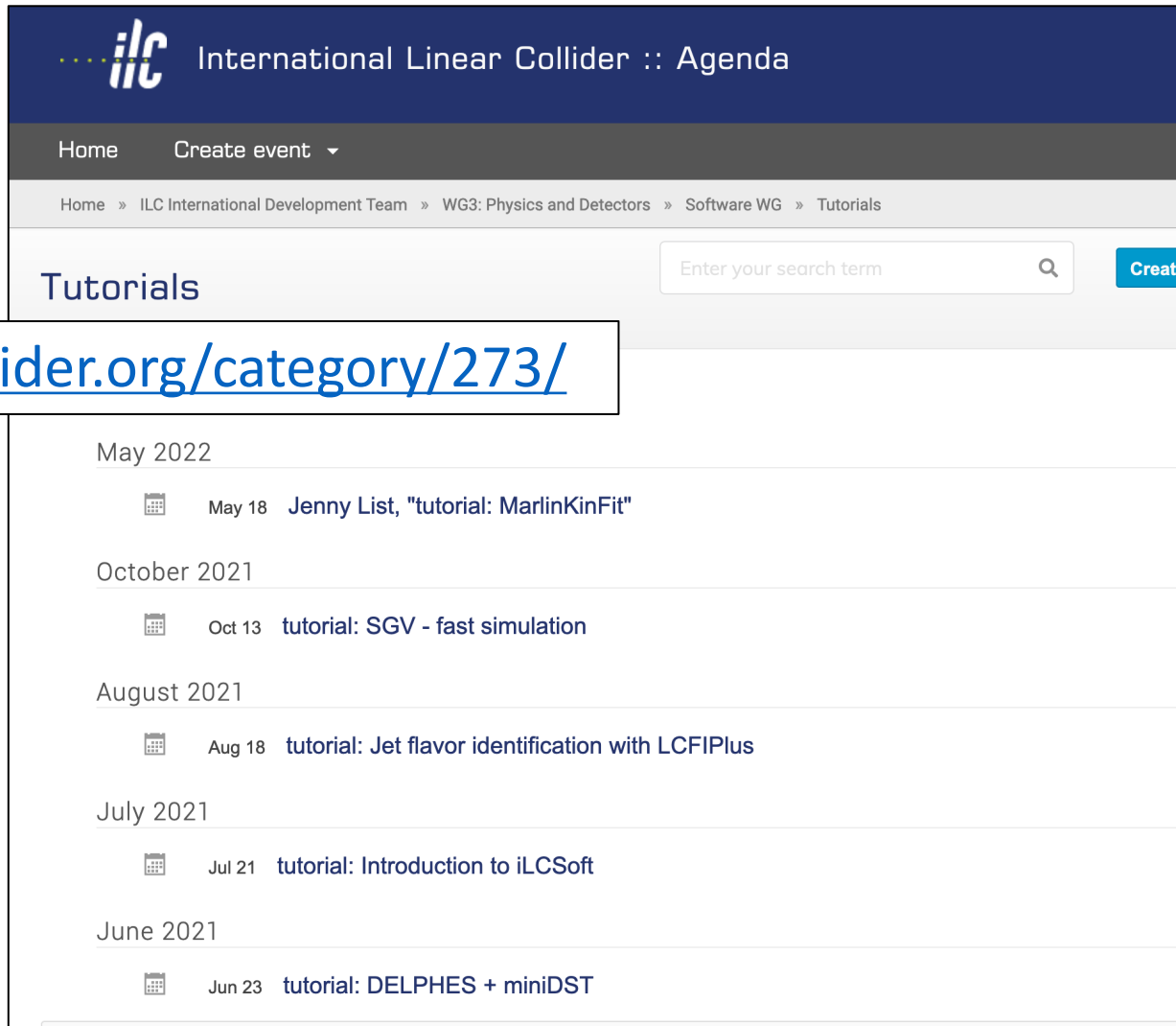
# チュートリアル (IDT-WG3 software group)

IDT-WG3 (software group)  
が何回かシリーズで  
ソフトウェアについての  
チュートリアルを開催しています。

<https://agenda.linearcollider.org/category/273/>

ヒッグスファクトリーでの  
解析に興味がある人向けの  
初心者向け講習

DELPHES+miniDST  
(ヒッグス反跳質量分布を作ってみよう)  
残念ながら現在LCIOのインストールが  
うまく動かないようで修正必要。



The screenshot shows the 'Tutorials' page on the ILC Agenda website. The page title is 'Tutorials' and it includes a search bar and a 'Create' button. The list of tutorials is as follows:

Month	Date	Tutorial Title
May 2022	May 18	Jenny List, "tutorial: MarlinKinFit"
October 2021	Oct 13	tutorial: SGV - fast simulation
August 2021	Aug 18	tutorial: Jet flavor identification with LCFIPlus
July 2021	Jul 21	tutorial: Introduction to iLCSoft
June 2021	Jun 23	tutorial: DELPHES + miniDST



# ILC 物理解析・ソフトウェア講習会

## 2021年に行われたILC物理解析・ソフトウェア講習会 (part1)

<https://kds.kek.jp/event/37644/timetable/>

KEKCCで動かすことを前提に作られた講習で、  
初めてILCのソフトウェアツールを使用するのに向いている (日本語資料)

簡易シミュレーションを用いた物理解析

→ここにある資料はILDのフルシミュレーションデータを使っていないので、  
ILDグループのメンバーシップは必要ない模様。

(ILDのフルシミュレーションデータを使う時は、ゲストメンバーシップが必要)

LCIOのインストールなど一部修正して動くようにしたものを以下に掲載してあります。

<https://github.com/onohiroaki/ILCTutorial>

CVMFSの以下が利用できることが前提になっています。KEKCC等利用してください。

/cvmfs/ilc.desy.de/

/cvmfs/sft.cern.ch/

# $Zh \rightarrow \mu\mu h$ 反跳質量分布

```
$ git clone https://github.com/onohiroaki/ILCTutorial.git
$ cd ILCTutorial
```

## 1. Delphes と LCIO のダウンロードとインストール

```
$ ./1_build.sh
```

delphes/  
LCIO/

2つのフォルダが生成・インストールされ  
stdhep ファイル(generator)がコピーされる

## 2. Delphes と LCIO の環境設定

```
$ ./2_setup.sh
```

```
E250-TDR_ws.P4f_zz_sl.Gwhizard-1_95.eL.pR.I106575.001.stdhep
E250-TDR_ws.P4f_zz_sl.Gwhizard-1_95.eR.pL.I106576.001.stdhep
E250-TDR_ws.Pe2e2h.Gwhizard-1_95.eL.pR.I106479.001.stdhep
E250-TDR_ws.Pe2e2h.Gwhizard-1_95.eR.pL.I106480.001.stdhep
```

## 3. stdhep ファイルから delphes2lcio を使って、イベント再構成、LCIOファイルへの変換

```
$ ./3_run.sh
```

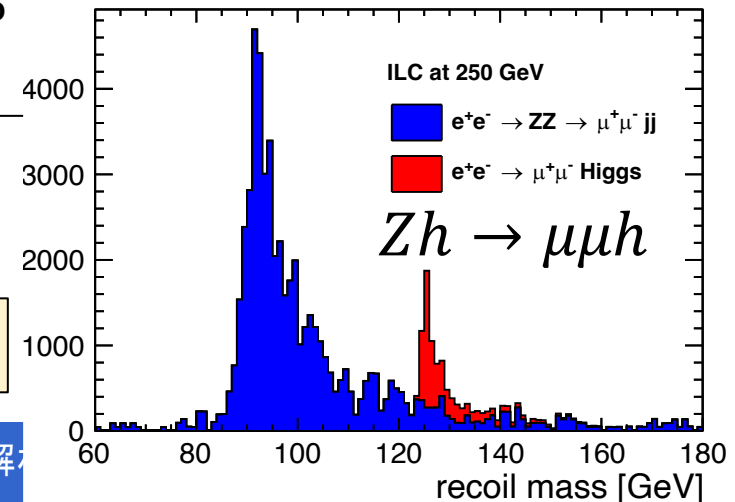
```
delphes_E250.P4f_zz_sl.eL.pR.slcio
delphes_E250.P4f_zz_sl.eR.pL.slcio
delphes_E250.Pe2e2h.eL.pR.slcio
delphes_E250.Pe2e2h.eR.pL.slcio
```

## 4. lcio ファイルを Root で解析する。

```
$ root higgs_recoil_with_bkg.C
```

$$M_{recoil}^2 = (\sqrt{s} - E_{\ell\bar{\ell}})^2 - p_{\ell\bar{\ell}}^2 = s - 2E_{\ell\bar{\ell}}\sqrt{s} + m_{\ell\bar{\ell}}^2$$

$Zh$  反跳質量分布



# iLCsoftのexample実行

# iLCSoftのExample実行

標準的なiLCSoftの動かし方は以下のサイトのREADMEを参照

<https://github.com/iLCSoft/ILDConfig/tree/master/StandardConfig/production>

ILDConfig 内に iLCSoft の Example が入っている

```
/cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02-03/StandardConfig/production/
```

## 1. iLCSoftの環境設定 CVMFSがあればこれだけで iLCSoft を利用可能

```
$ source /cvmfs/ilc.desy.de/sw/x86_64_gcc82_centos7/v02-02-03/init_ilcsoft.sh
```

## 2. github から ILDConfig を持ってくる

```
$ git clone -b v02-02-03 https://github.com/iLCSoft/ILDConfig
$ cd ILDConfig/StandardConfig/production
```

または CVMFS から ILDConfig のExample コードをコピー

```
$ cp -r /cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02-03/StandardConfig/production/ .
```

```
$ ls /cvmfs/ilc.desy.de/sw/ILDConfig/v02-02-03/StandardConfig/production/
./                               HighLevelReco/                 ParticleFlow/
../                              IsolatedLeptonTagging/       README@
Calibration/                   LCFIPlusConfig/              README.md
CaloDigi/                      MarlinStdReco.xml             README_mini-DST.md
Config/                        MarlinStdRecoBeamCalPreMap.xml RootMacros/
Documentation/                 MarlinStdRecoLCTuple.xml     ToRemove/
Examples/                     MarlinStdRecoMiniDST.xml     Tracking/
Gear/                          MarlinStdRecoViewer.xml      ddsim_steer.py
GenerateGearFiles.py          MarlinStdRecoViewerDST.xml   empty.xml
GenerateSteeringFiles.py     PandoraSettings/              run_standard_workflow.sh
```

Examples/bbudsc\_3evt/  
の中にイベントサンプルもある

bbudsc\_3evt.stdhep

# iLCSoftのExample実行

## 3. 検出器シミュレーション DDSim を動かしてみる

```
$ ddsim --inputFiles Examples/bbudsc_3evt/bbudsc_3evt.stdhep ¥  
--outputFile bbudsc_3evt_SIM.slcio ¥  
--compactFile $lcgeo_DIR/ILD/compact/ILD_15_v02/ILD_15_v02.xml ¥  
--steeringFile ddsim_steer.py > ddsim.out 2>&1 &
```

ILDの標準検出器(ILD\_15\_v02)の検出器シミュレーションが3イベント実行され  
bbudsc\_3evt\_SIM.slcio が作成される

## 4. イベント再構成ソフト Marlin を実行する

```
$ Marlin MarlinStdReco.xml ¥  
--constant.lcgeo_DIR=$lcgeo_DIR ¥  
--constant.DetectorModel=ILD_15_o1_v02 ¥  
--constant.OutputBaseName=bbudsc_3evt ¥  
--global.LCIOInputFiles=bbudsc_3evt_SIM.slcio
```

イベント再構成が実行され、解析用データが作成される  
bbudsc\_3evt\_REC.slcio, bbudsc\_3evt\_DST.slcio

## 5. 解析データ DSTファイルの中身を見てみる

```
$ anajob bbudsc_3evt_DST.slcio
```

## DSTファイルの中身

COLLECTION NAME	COLLECTION TYPE	NUMBER OF ELEMENTS
BuildUpVertex	Vertex	3
BuildUpVertex_RP	ReconstructedParticle	3
BuildUpVertex_V0	Vertex	1
BuildUpVertex_V0_RP	ReconstructedParticle	1
ClusterMCTruthLink	LCRelation	339
DistilledPFOs	ReconstructedParticle	112
GammaGammaCandidateEtaPrimes	ReconstructedParticle	1
GammaGammaCandidateEtas	ReconstructedParticle	3
GammaGammaCandidatePios	ReconstructedParticle	12
GammaGammaParticles	ReconstructedParticle	8
MCParticlesSkimmed	MCParticle	446
MCTruthClusterLink	LCRelation	339
MCTruthMarlinTrkTracksLink	LCRelation	82
MCTruthRecoLink	LCRelation	363
MarlinTrkTracks	Track	78
MarlinTrkTracksKaon	Track	78
MarlinTrkTracksMCTruthLink	LCRelation	82
MarlinTrkTracksProton	Track	78
PandoraClusters	Cluster	111
PandoraPFOs	ReconstructedParticle	120
PrimaryVertex	Vertex	1
PrimaryVertex_RP	ReconstructedParticle	1
RecoMCTruthLink	LCRelation	363
V0RecoParticles	ReconstructedParticle	3
V0Vertices	Vertex	3

# 標準サンプルのカテゴリ分け

<https://pages.uoregon.edu/jimbrau/ilc-snowmass-2021/500GeVinfo.html>

- general Standard Model sample:
  - **2f**:  $e^+e^- \rightarrow 2$  fermion processes. This includes the process  $e^+e^- \rightarrow Z \gamma$ . Also, it includes a sample of  $e^+e^- \rightarrow \gamma e^+e^-$  events with small  $e^+e^-$  invariant mass.
  - **4f**:  $e^+e^- \rightarrow 4$  fermion processes. This includes  $e^+e^- \rightarrow WW, ZZ$ , with the heavy boson decays, and other diagrams contributing to the same partonic final states. This sample also includes  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- 2f$  diagrams with two virtual photons, for  $m^2(\text{photon}) < -10 \text{ GeV}^2$ .
  - **6f**:  $e^+e^- \rightarrow 6$  fermion processes. This includes  $e^+e^- \rightarrow t \bar{t}$ , with the top decays, and other diagrams contributing to the same partonic final states. This sample also includes  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- 4f$  diagrams with two virtual photons, for  $m^2(\text{photon}) < -(10 \text{ GeV})^2$ .
  - **1f**:  $e \gamma \rightarrow e \gamma$  processes.
  - **3f**:  $e \gamma \rightarrow e Z, \nu W$ , and contributions from more general  $e \gamma \rightarrow e, \nu + 2$  fermion diagrams
  - **5f**:  $e \gamma \rightarrow e, \nu + 4f$  processes, including  $4f = WW, t\bar{t}$
  - **aa\_2f**:  $\gamma \gamma \rightarrow 2$  fermion processes. This sample is disjoint from the 4f sample, including contributions from beamstrahlung photons ( $m^2 = 0$ ) and ISR photons with smaller virtuality.
  - **aa\_4f**:  $\gamma \gamma \rightarrow 4$  fermion processes. This sample is disjoint from the 6f sample, including contributions from beamstrahlung photons ( $m^2 = 0$ ) and ISR photons with smaller virtuality.
  - **higgs**:  $e^+e^- \rightarrow Z h$  and  $e^+e^- \rightarrow \nu \bar{\nu} h$  (W fusion),  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- h$  (Z fusion),  $e^+e^- \rightarrow Z hh$ ,  $e^+e^- \rightarrow \nu \bar{\nu} hh$ , followed by general SM higgs decays
- Special Standard Model samples: The categories listed here are used for specialized studies.
  - **aa\_lowpt**: A sample of high cross section but very low pT  $\gamma \gamma \rightarrow 2$  fermion events, used for studies of pileup due to collisions in the same or nearby bunch crossings.
  - **aa\_minijet**: A sample of  $\gamma \gamma \rightarrow$  hadrons events at very low CM energy ( $\sim$  few GeV), used for studies of pileup due to collisions in the same or nearby bunch crossings.
  - **eepairs**: Low mass, forward  $e^+e^-$  pairs created in an ILC bunch-bunch collision, to be used to understand the occupancy of the forward calorimeters.
  - **seeablepairs**: A small subset of the eepairs sample, including the pairs most likely to appear as backgrounds.
  - **4f-lowmee**: A sample of  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- 2f$  events filling in the region  $m(ee) < 4 \text{ GeV}$  not covered by 4f.
  - **flavortag**: A special sample for  $e^+e^- \rightarrow 2f$  events to be used for detailed studies of heavy flavor tagging.
- Beyond-Standard-Model processes
  - **np-light-higgs**:  $e^+e^- \rightarrow Zh$  events with varying Higgs boson mass, to be used for studies of non-standard Higgs discovery using Z recoil.
  - **SUSY**:  $e^+e^- \rightarrow$  SUSY pair production for a particular parameter set.
  - **np-susy-higgsinos-verylowdm**:  $e^+e^- \rightarrow$  higgsino pairs for a parameter set with very small higgsino mass splitting.

# ILD検出器モデル

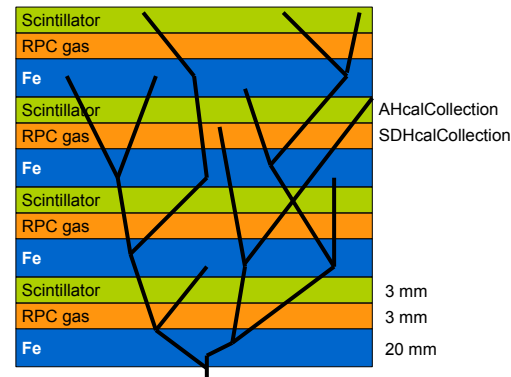
## ILCSOFT (DD4hep) での検出器モデル

	Large	Small	ECAL	HCAL	
SIM	ILD_I5_v05	ILD_s5_v05	Both	Both	All included
REC	ILD_I5_o1_v02	ILD_s5_o1_v02	Silicon	Scintillator analog	Default
	ILD_I5_o2_v02	ILD_s5_o2_v02	Silicon	RPC semi-digital	
	ILD_I5_o3_v02	ILD_s5_o3_v02	Scintillator strip	Scintillator analog	
	ILD_I5_o4_v02	ILD_s5_o4_v02	Scintillator strip	RPC semi-digital	

o2, o3 のオプションは、カロリメータグループからの要望に応じて SIM ファイルから Reconstruction を行なって REC だけ再構築する。

MC-2020 の標準サンプルでは

SIM : ILD\_I5\_v05 (全てのモデルを含むハイブリッド構造)  
REC : ILD\_I5\_o1\_v02 (シリコン/W ECAL + シンチレータ Analog HCAL)



\_nobg がついていた場合には BG overlay なし (single particle, flavortag calibrationなど)<sub>(a)</sub>