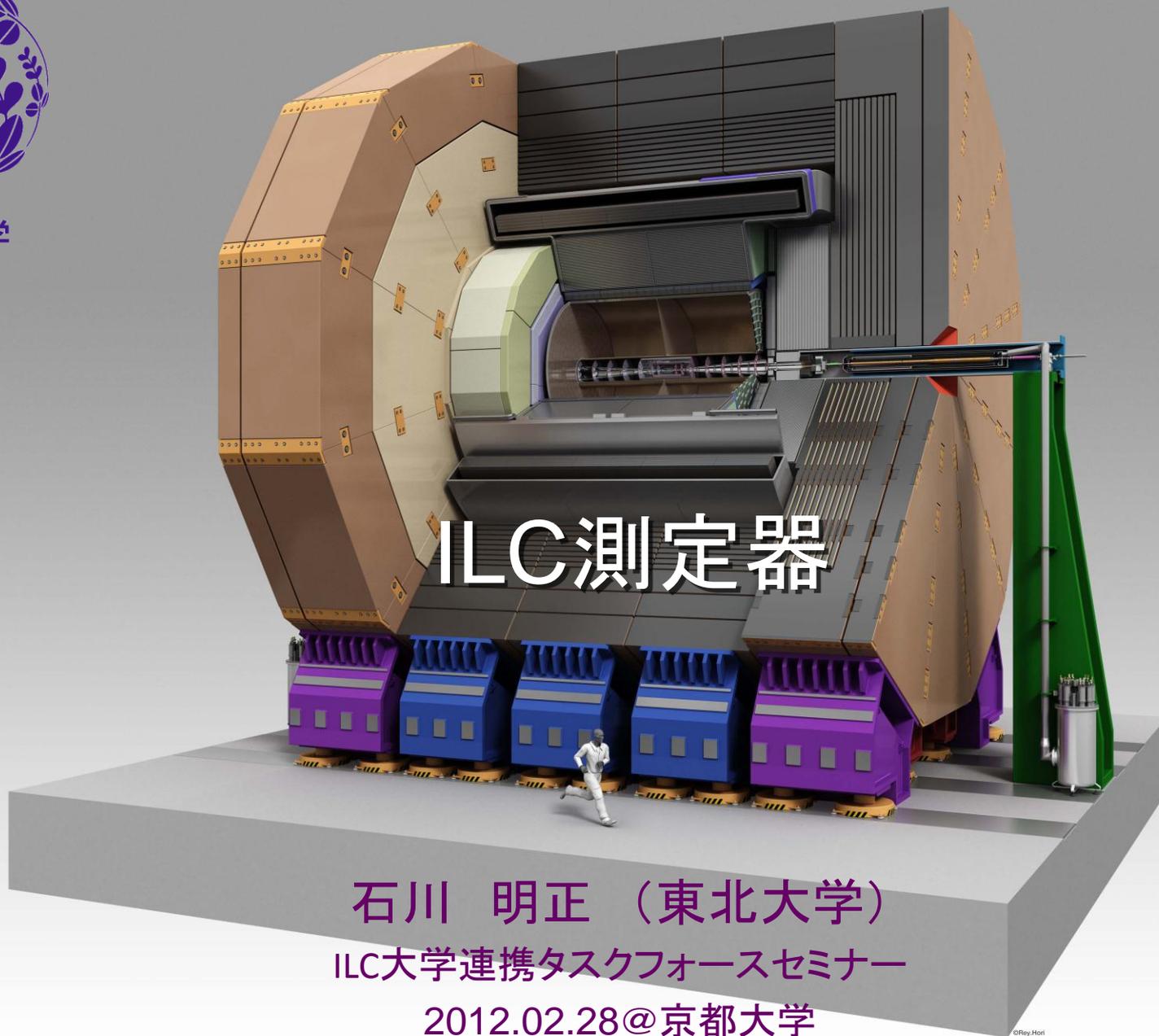


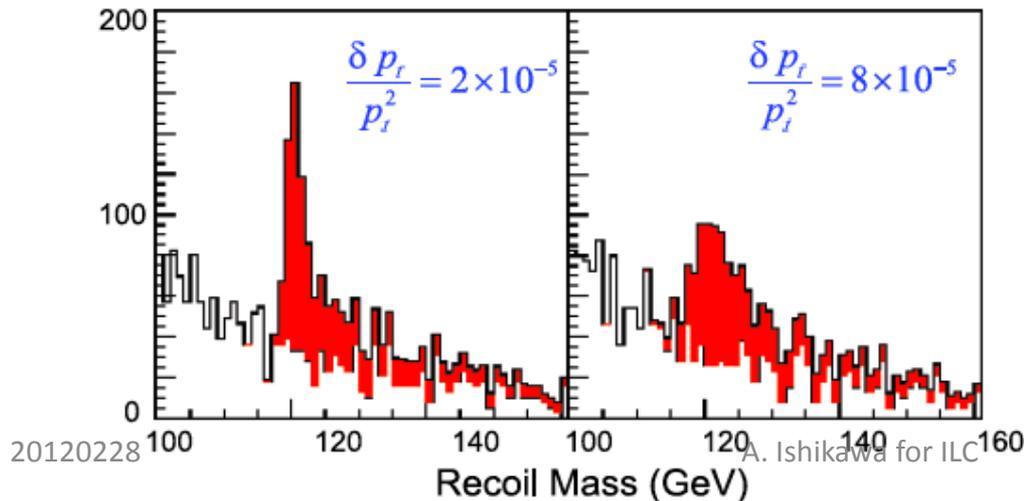


東北大学



ILC実験のための測定器

- ILC加速器の性能を最大限に発揮するため、LEP/SLD測定器を大きくしのぐ性能が必要
 - **Vertex resolution for b/c-tagging**
 - Higgs BRの測定 : $H \rightarrow bb, cc, gg$ の分離
 - Higgs自己結合 : $e^+e^- \rightarrow ZH^* \rightarrow ZHH \rightarrow qqbbbb$ ($\sigma(ZHH)=0.18\text{fb}@500\text{GeV}$)
 - **Momentum resolution for Higgs production cross section and Higgs mass**
 - $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow \mu\mu H$ 過程での dimuon に対する recoil mass
 - たとえ H が invisible (ex. $H \rightarrow \chi_1^0 \chi_1^0$) に崩壊しても分かる
 - **Jet energy resolution to separate W and Z**
 - $\chi_1^+ \rightarrow \chi_1^0 W^+$ と $\chi_2^0 \rightarrow \chi_1^0 Z^0$ の分離



$E_{\text{CM}}=500\text{GeV}$ に於ける
 $ee \rightarrow ZH \rightarrow llX$ での
Recoil mass
(レプトン対の測定だけでヒッグス
粒子の質量と断面積を測定)

Mass resolutionとS/Nの向上は
実質的ルミノシティの向上に相当

ILC測定器が目標とする具体的な性能

■ Vertexing

- $\sim 1/5 r_{\text{beampipe}}, < 1/30$ pixel size (wrt LHC)

$$\sigma_{ip} = 5\mu\text{m} \oplus 10\mu\text{m} / p \sin^{3/2} \theta$$

■ Tracking

- $\sim 1/6$ material, $\sim 1/10$ resolution (wrt LHC)

$$\sigma(1/pT) = 5 \times 10^{-5} / \text{GeV}$$

■ Jet energy (quark reconstruction)

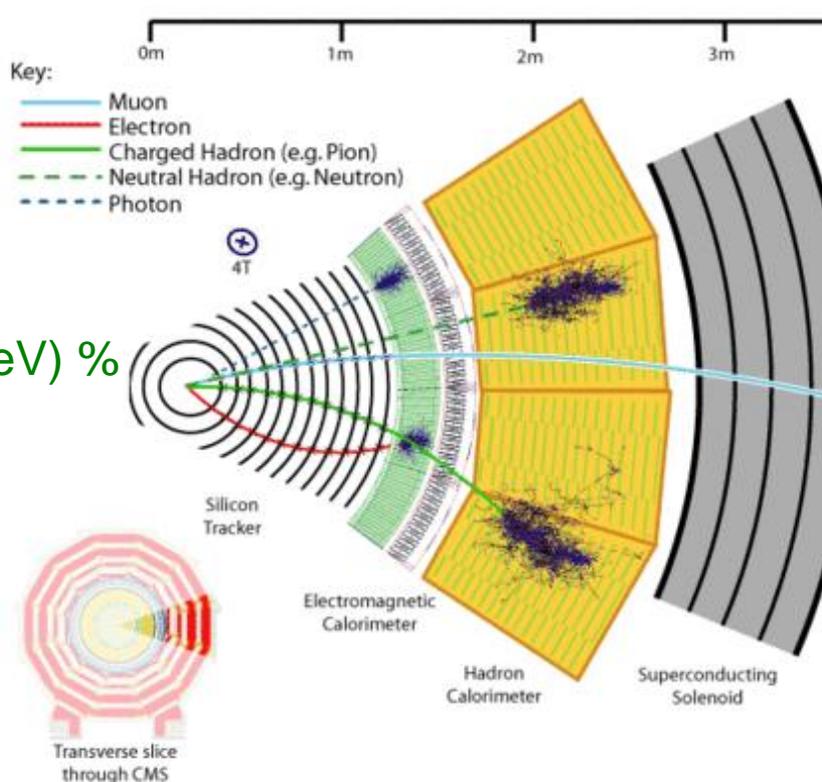
- $\sim 1/2$ resolution (wrt LHC)

$$\sigma_E / E = 0.3 / \sqrt{E(\text{GeV})}$$

Jet Energy は単純なカロリメータのエネルギー和では満たせない→Particle Flow Algorithm (PFA)

Particle Flow Algorithm

- 各粒子のエネルギー分解能
 - 荷電粒子 : Tracker $\sim 0.1 + 0.005 \times p_T(\text{GeV}) \%$
 - 光子 : EM Cal $\sim 15\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$
 - 中性ハドロン : Had Cal $\sim 60\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$
- ジェット中の粒子の存在比
 - 荷電粒子 65%
 - ZH@250GeVだと2GeVあたりにピーク
 - 光子 25%
 - 中性ハドロン 10%
- 単純にジェットのエネルギーをカロリメータのみで測定すると、荷電粒子は Had Cal で測定されてしまい、目標の分解能に達しない
- PFA -- 餅は餅屋 --



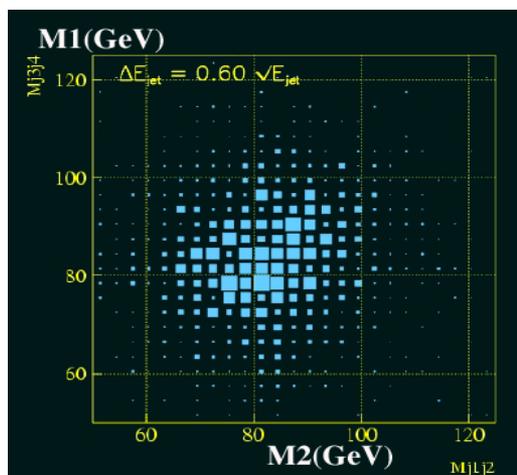
荷電粒子は Tracker で、光子は EM Cal で、中性ハドロンは Had Cal で測定し、Cal で測定された荷電粒子によるクラスターを使わなければ究極のエネルギー分解能が得られる！

→ 検出器(特にCal)の細分化をし、各粒子を検出器中で追う必要がある

Jet (quark) の再構成

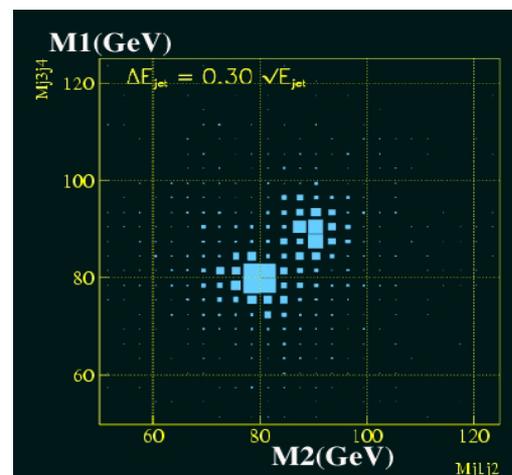
$$e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}WW, \nu\bar{\nu}ZZ \quad W/Z \rightarrow jj$$

Current



$$S_E/E = 0.6/\sqrt{E(\text{GeV})}$$

Goal

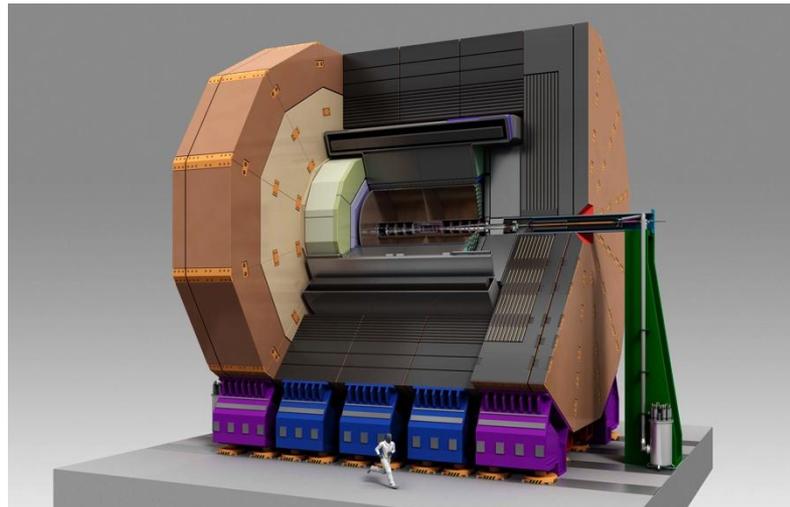


$$S_E/E = 0.3/\sqrt{E(\text{GeV})}$$

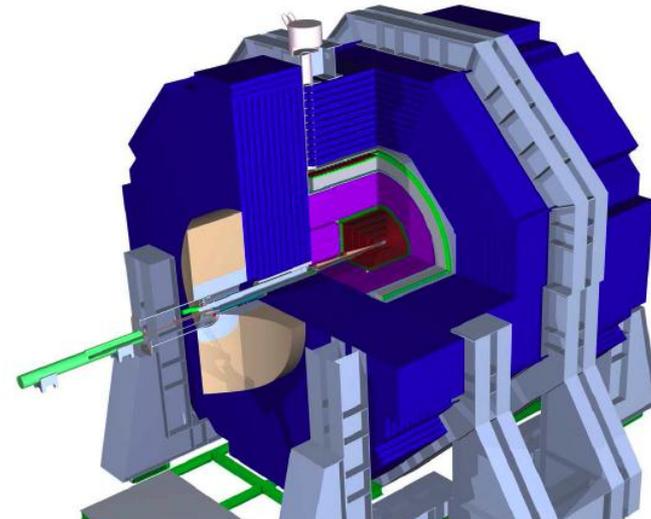
- WとZのジェットを分離するには、 $S_E/E = 0.3/\sqrt{E}$ が必要。
- **PFA**が不可欠！

ILDとSiD

高さ約13m長さ約14m



高さ約13m長さ約12m



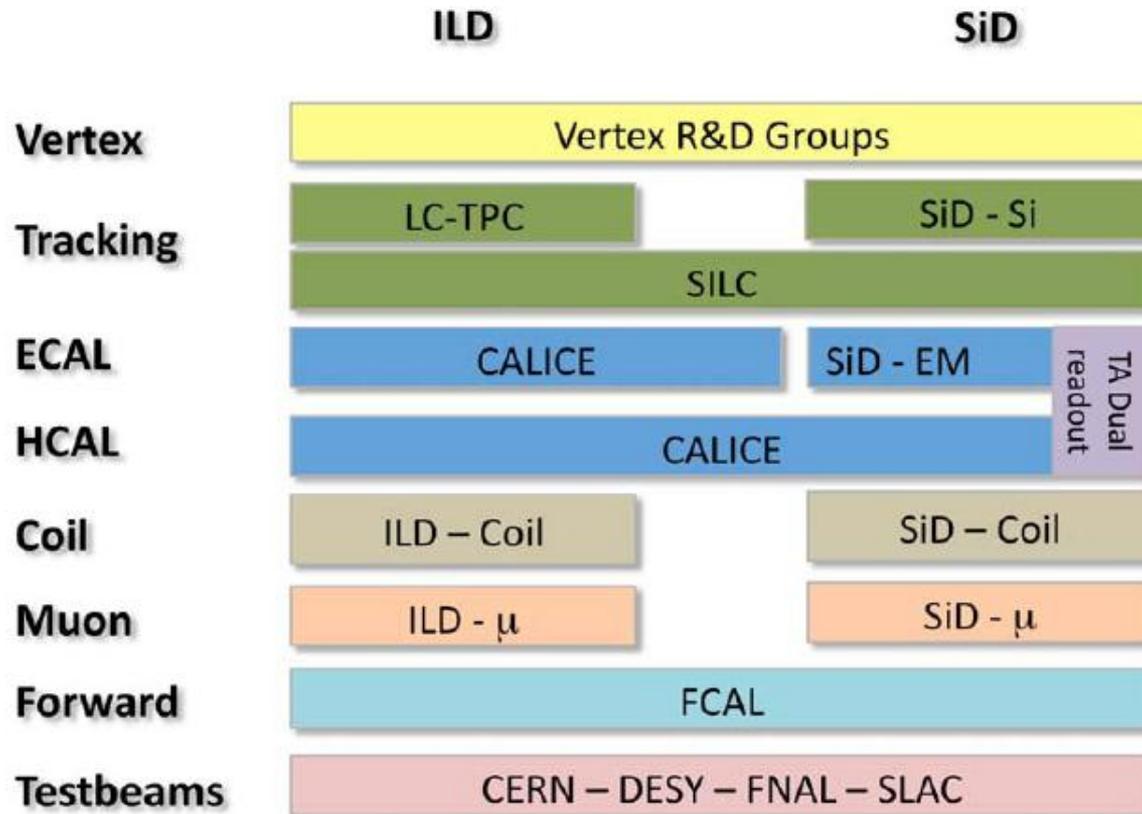
- どちらもPFAに最適化したコンセプト。
 - PFAの性能は BR^2 に比例。(RはCalの内径)
 - ソレノイド磁石(物質量大)はハドロンカロリメータの外
- ピクセル検出器は、ILCのバンチ構造に対応できる技術を開発中
- ILD : Large R
 - アジア+ヨーロッパ中心
 - 中央飛跡検出器: $B=3.5T$ 、TPCとシリコン検出器の組み合わせ
 - ECAL: $R=1.8m$, Si-W and/or Scint-W、HCAL: Analog or Digital
- SiD : High B
 - アメリカ中心
 - 中央飛跡検出器: $B=5T$ 、シリコン検出器だけで構築
 - ECAL: $R=1.27m$, Si-W、HCAL: Digital

重要な3検出器の性能

- 各検出器の性能 * 組織化
- VTX/飛跡測定器/CAL * PFA
- LHC の検出器と比較して数十倍の性能！

	ILD	LHC	倍
VTX	pixel : 5 μ m	$\sim 150\mu$ m	30
飛跡検出器	$\Delta p_T/p_T$: $5 \times 10^{-5} p_T$	$\sim 10^{-3} p_T$	20
カロリメータ	cell : 0.5cm	~ 20 cm	40

ILC測定器の開発・設計グループ

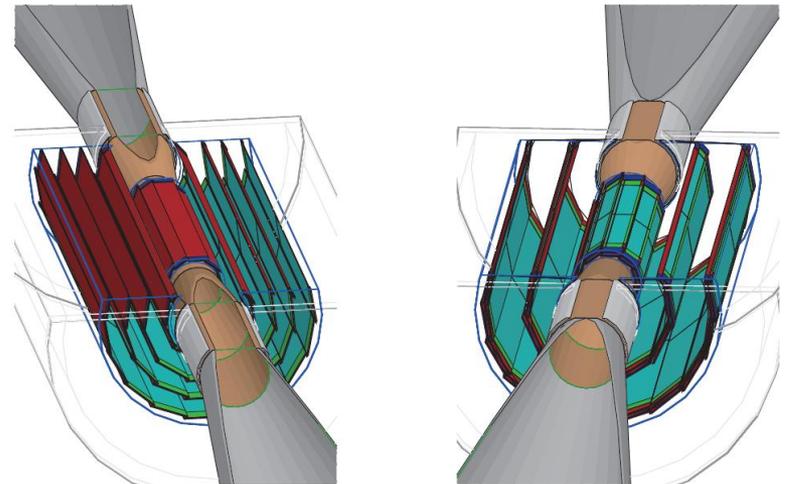
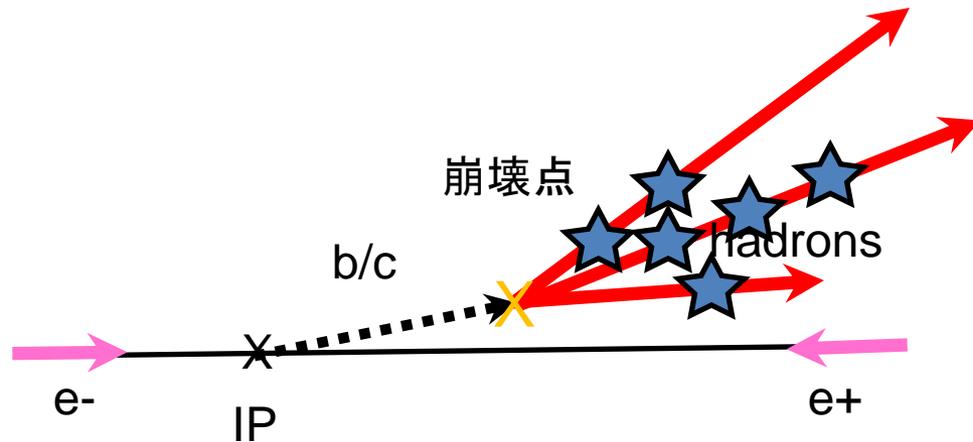
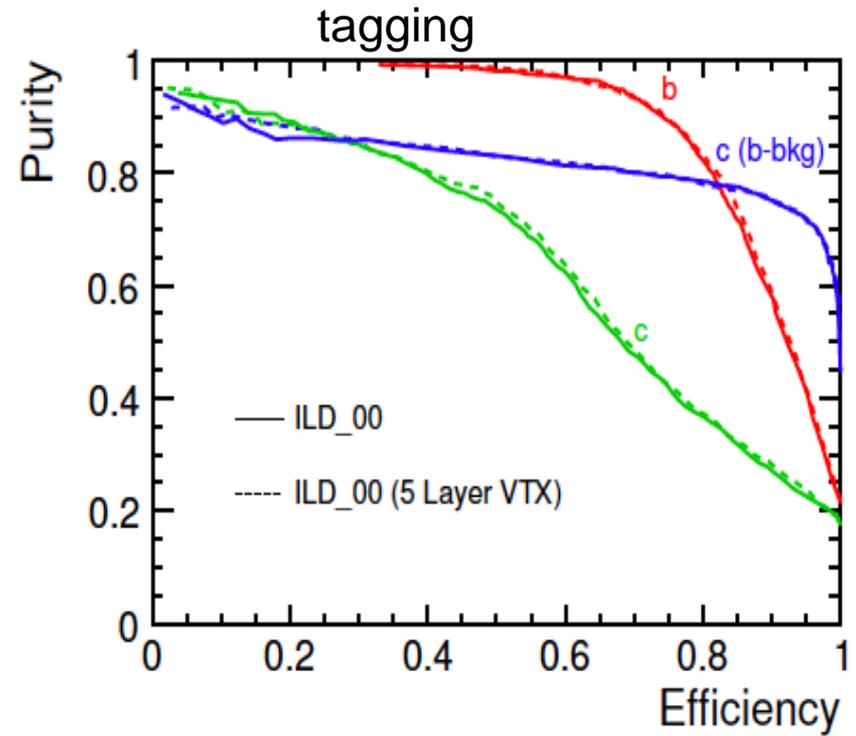


M. Demarteau

- タテ(測定器コンセプトグループ)
- ヨコ(コンセプトグループを超えたR&Dグループ)
- CLIC測定器グループとの連携も始まっている

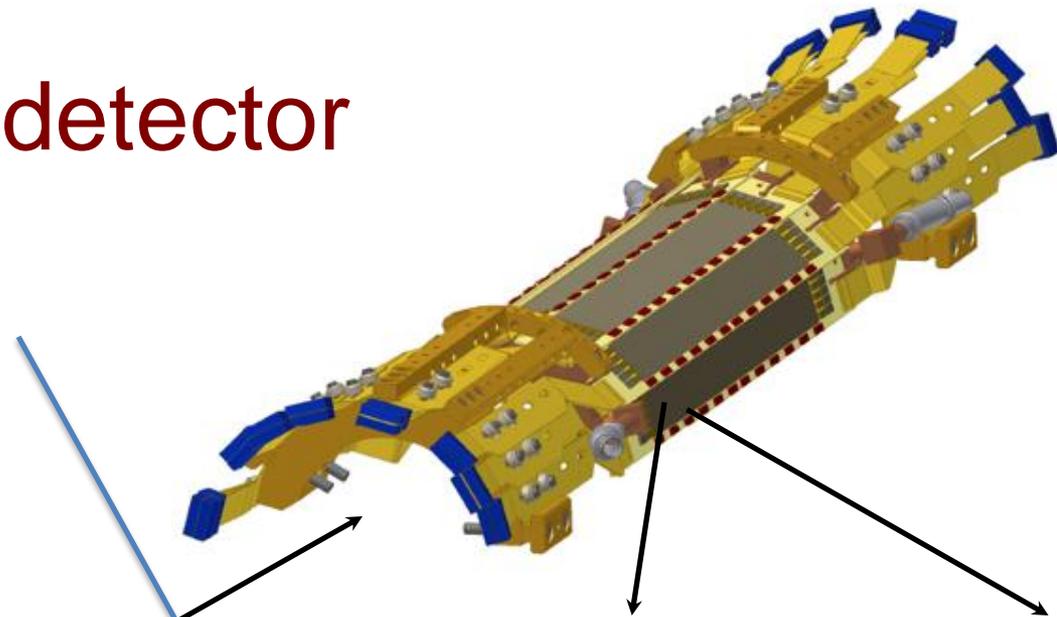
VTX (崩壊点検出器)

- b/c quark tagging
- 二次、三次崩壊点の測定
- 位置測定精度をあげる
- 細かいピクセル
- 分解能を上げるためにビームパイプに;
傍に置きたい
- 占有率の低減
- 高放射線耐性

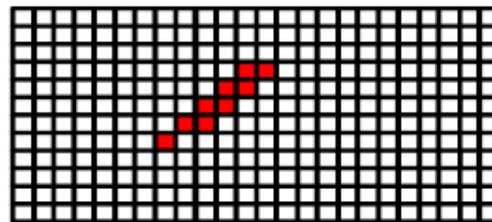
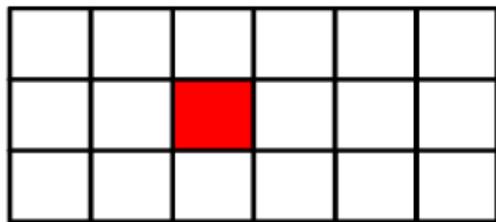
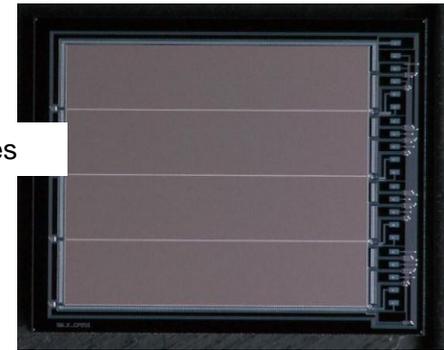
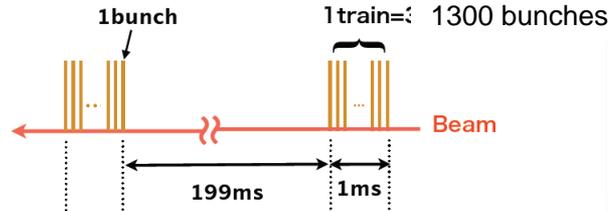


FPCCD for VTX detector

- Fine Pixel CCD
 - 5 μ m角 (cf ATLAS 50x400 μ m²)
 - 厚さ50 μ m
 - 10⁹ pixels! → 占有率小(<3%)
- Fully depleted
 - 拡散が無い
- IPから1.6cmの近距離に配置
- 1300bunchのhitをILC bunch train 間隔200msで読み出す
 - 高速読み出し回路の開発
- Impact parameter resolution
 - ~1 μ m!



e+



FPCCD
1pixel 5 × 5 μ m²

ATLAS
1pixel 50 × 400 μ m² 10

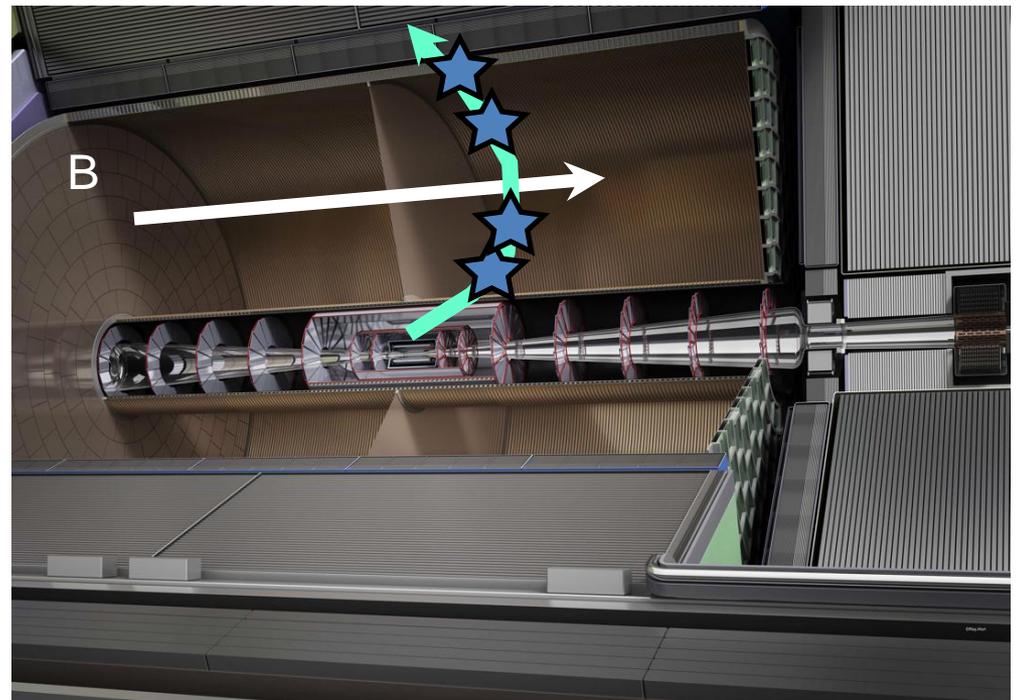
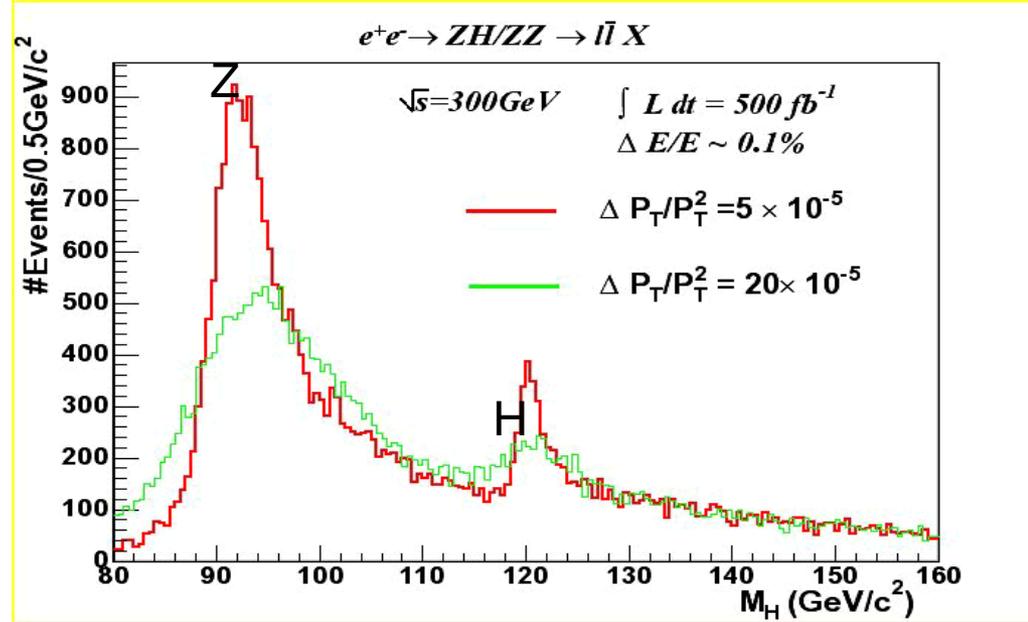
CMOSピクセルが大きい

FPCCD

飛跡検出器

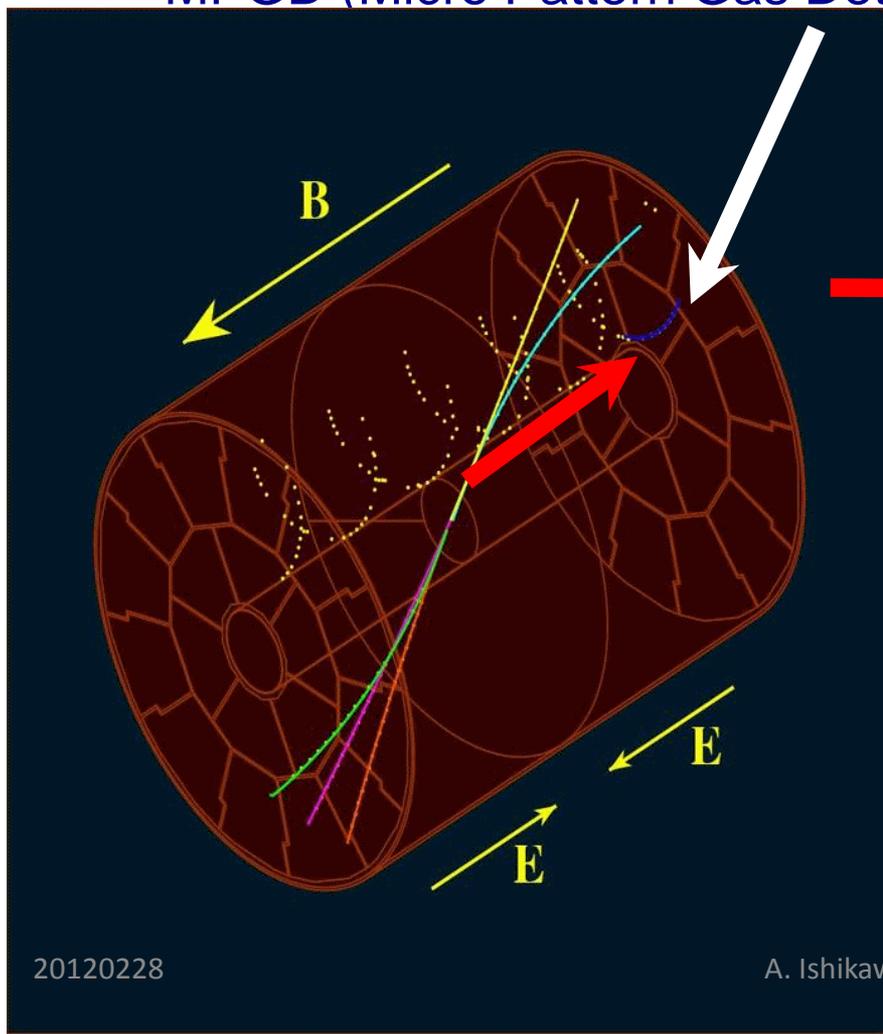
- 磁場Bで軌跡を曲げ、曲率半径Rを測る
- 運動量 $p=0.3BR$
- $\sigma / p \propto p / \sqrt{N_{\text{point}}} BL^2$
 - 外径を大きく
 - 多数点測定
 - 少ない物質質量
- Two track separability
 - 多数点測定

⇒TPC



TPC: Time Projection Chamber

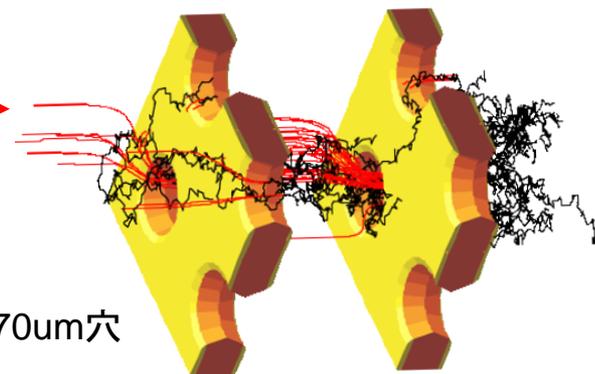
- 電子は電場によりZ方向に移動しEndplateに
 - 電子は電場に平行な磁場に巻き付くため拡散しない
- MPGD (Micro Pattern Gas Detector)により増幅



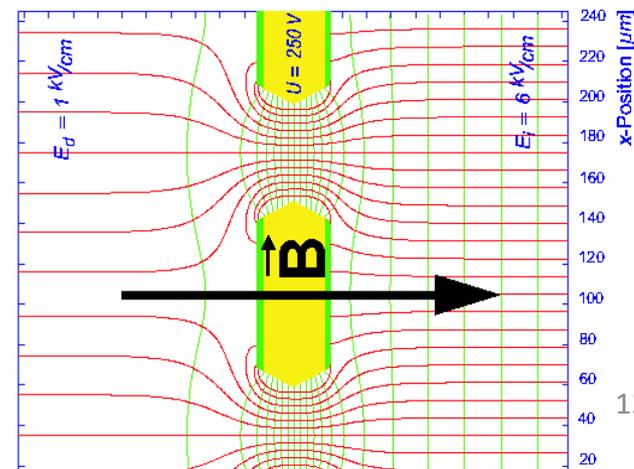
End Plate での位置($r-\phi$)と時間(Z)測定

ガス増幅

GEM

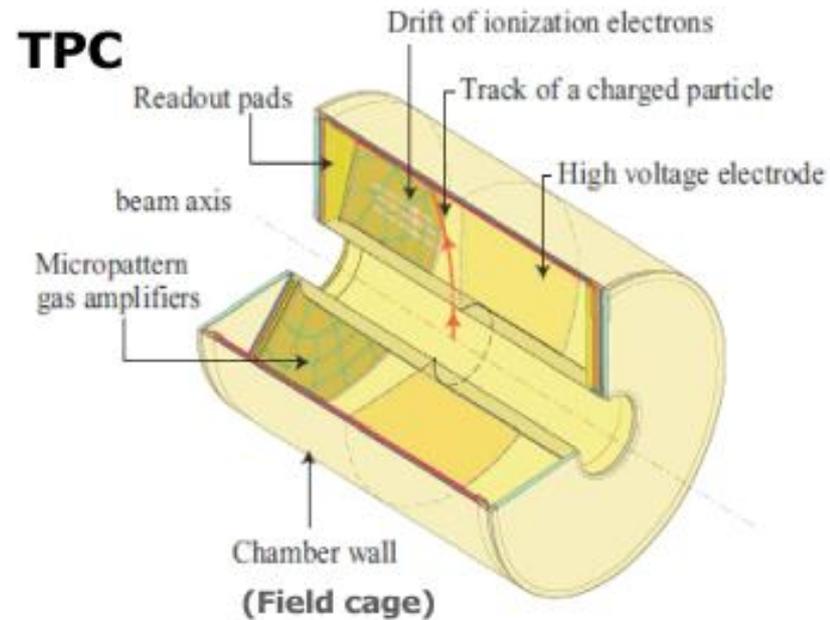


140umピッチ70um穴



LC-TPC collaboration

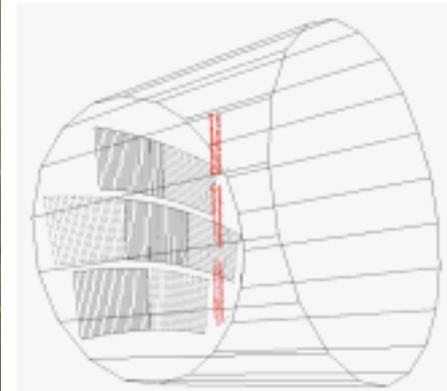
- Goal: develop ILD TPC
 - ~200 points per track (cf. ALEPH 18)
 - 100um or less resolution
 - R = 1.8m, L=4.3m
 - MPGD
 - GEM or MicroMEGAS
 - Read out
 - 1x5 mm² pads
 - CMOS 50um pixel option under R&D
- ‘Large’ prototype made
 - D = 0.7m, L=0.6m
 - Beam test under 1T (DESY)
 - Both GEM and MicroMEGAS
 - So far so good. Data is being analyzed
 - Issue:
 - ion feedback → Gating
 - thin endplate



Prototype endplate

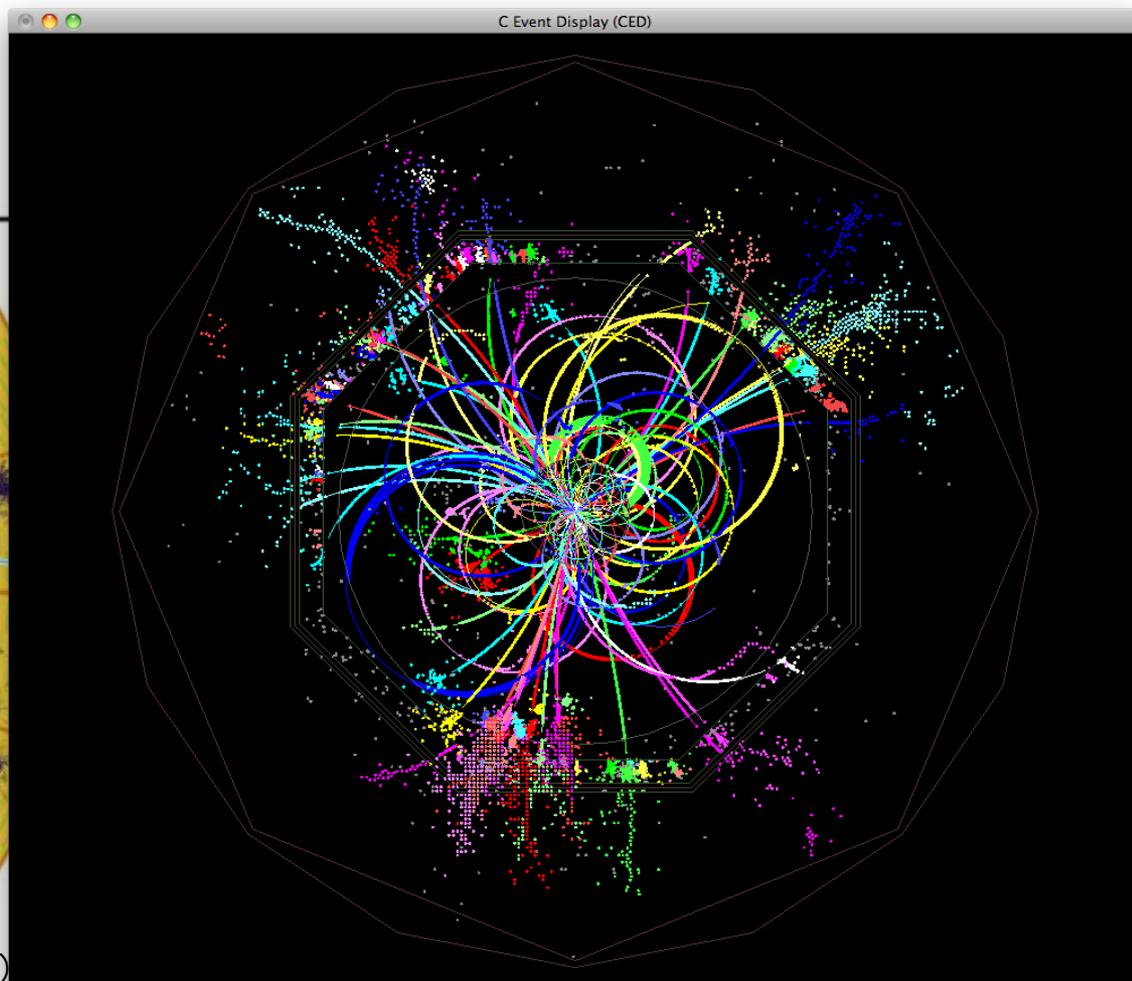
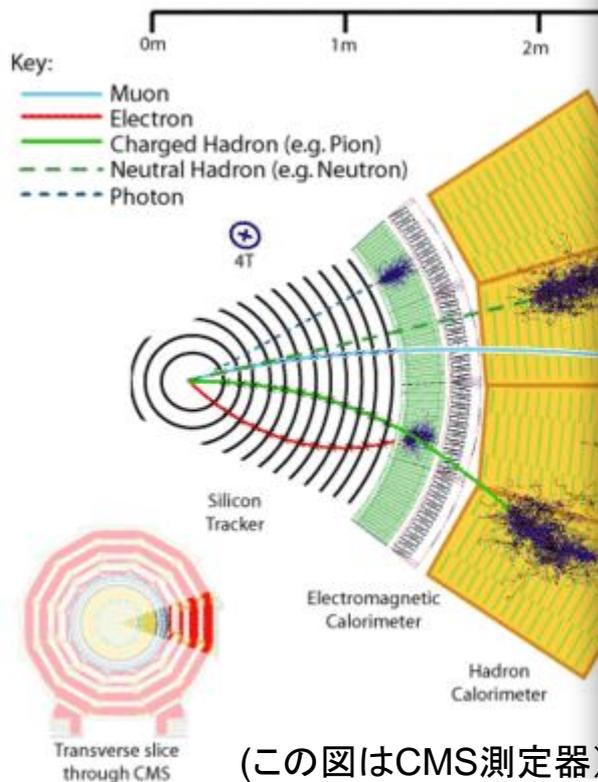


Beam with GEM



カロリメータ

- 中性粒子測定:カロリメータ
- Jet内粒子の分離が重要⇒PFA
 - 内径を大きく
 - 吸収体を選ぶ(EMはW)
 - 3D 細分化

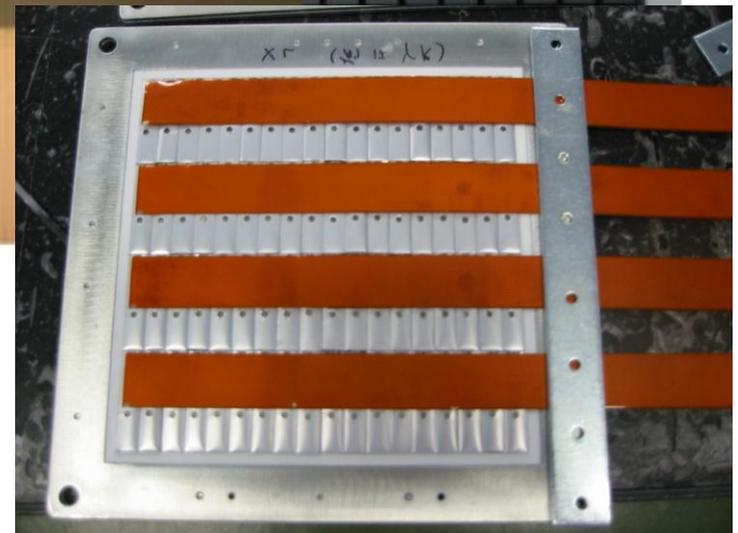
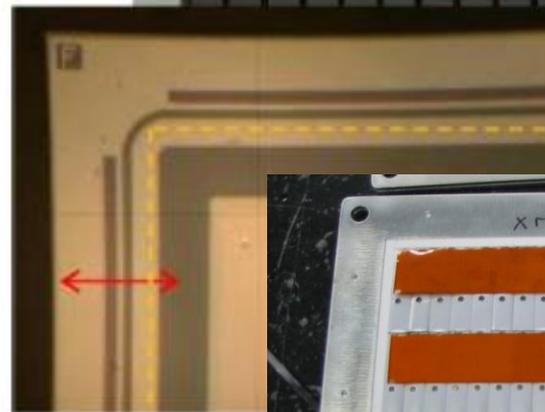
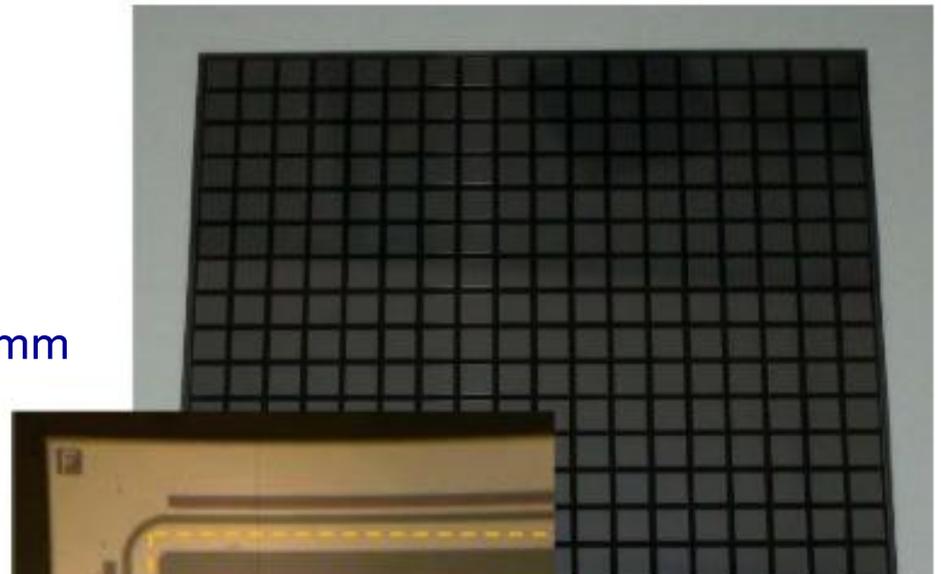
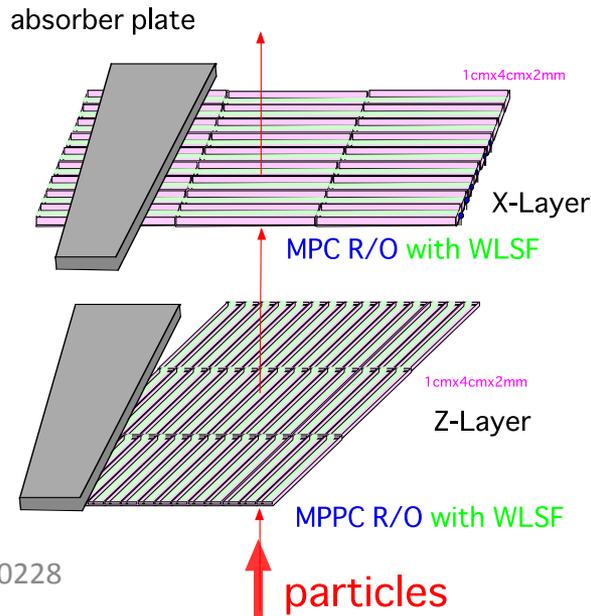


超細分化カロリメータのためのセンサー

- 2400~3000 m²
- Silicon pad 5mm x 5mm (~1億ch)
 - 原理的にいくらでも細かくできる
 - Cf. OPAL ~10cm x 10cm
- MPPC+Scintillator strip 5mm x45mm
 - 比較的安い
 - チャンネル数が少ない

GLD-ECAL-Scintillator-layer model

TT 1/April/06

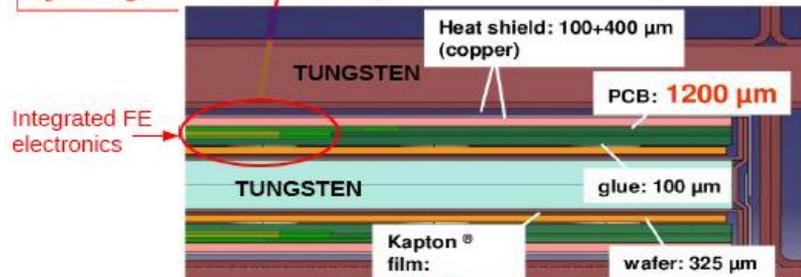
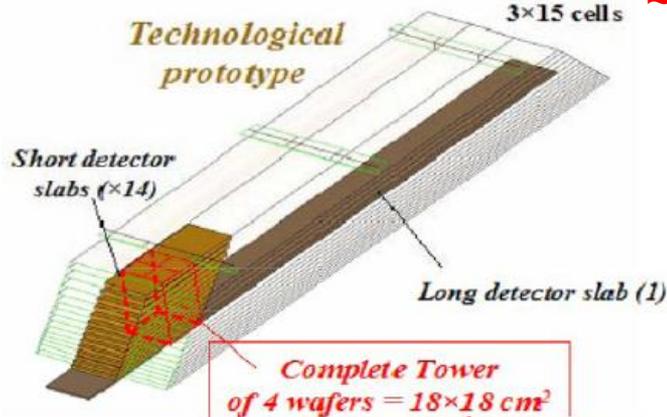
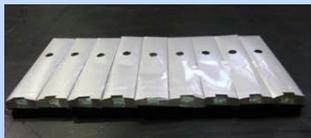
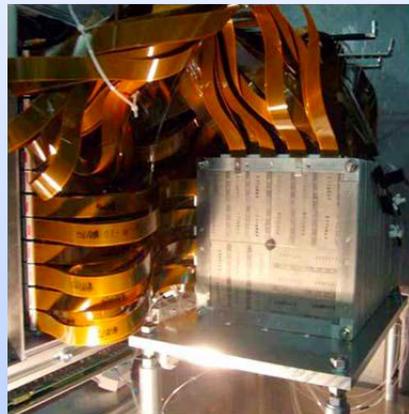
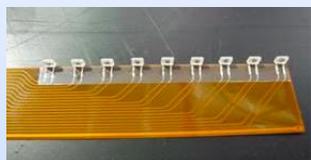


超細分化された次世代型カロリメータ

1layer \sim $1X_0$

\sim 25 layers

overview



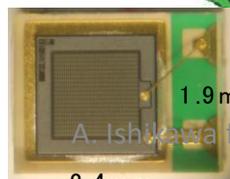
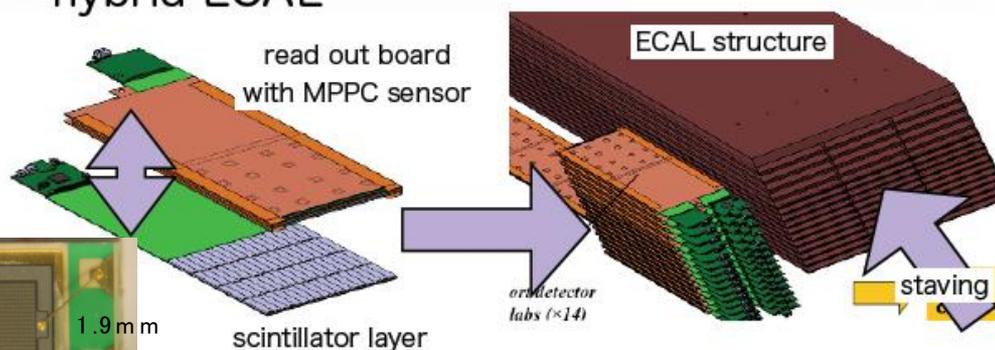
学術創成:

小型シンチレータストリップとMPPCを用いたカロリメータ(ScECAL)の要素技術の確立

特別推進研究:

- ScECALのさらなる細分化とシステム化
- 大量生産可能な高性能シリコンパッド検出器
- コストまで含めて最適化したハイブリッドカロリメータの実現

• hybrid ECAL

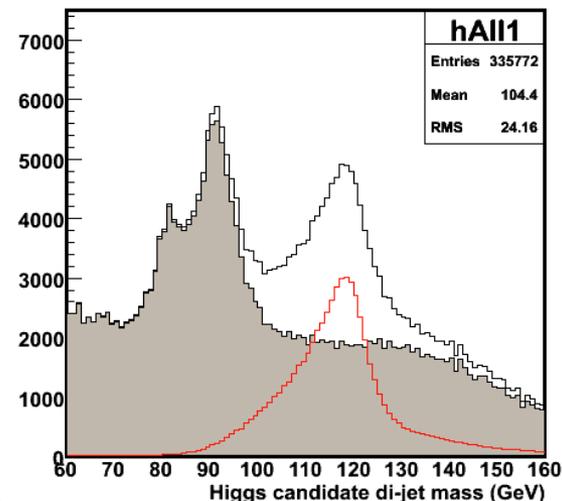


A. Ishikawa for ILC

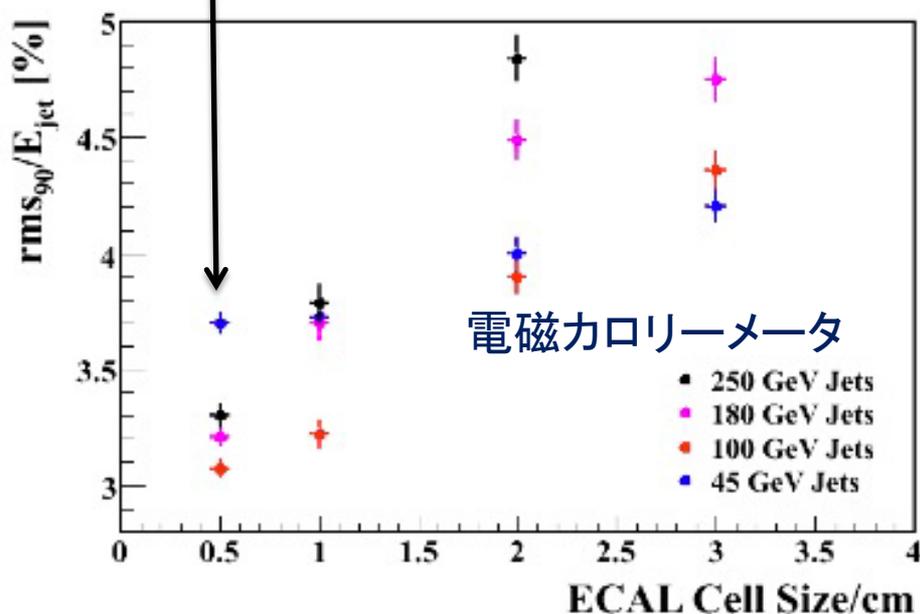
カロリメータのPFAへの最適化

- 電磁カロリメータとハドロンカロリメータの分割を最適化
- Di-jet でもきれいに Higgs の peak (とZ,Wの peak)が見える

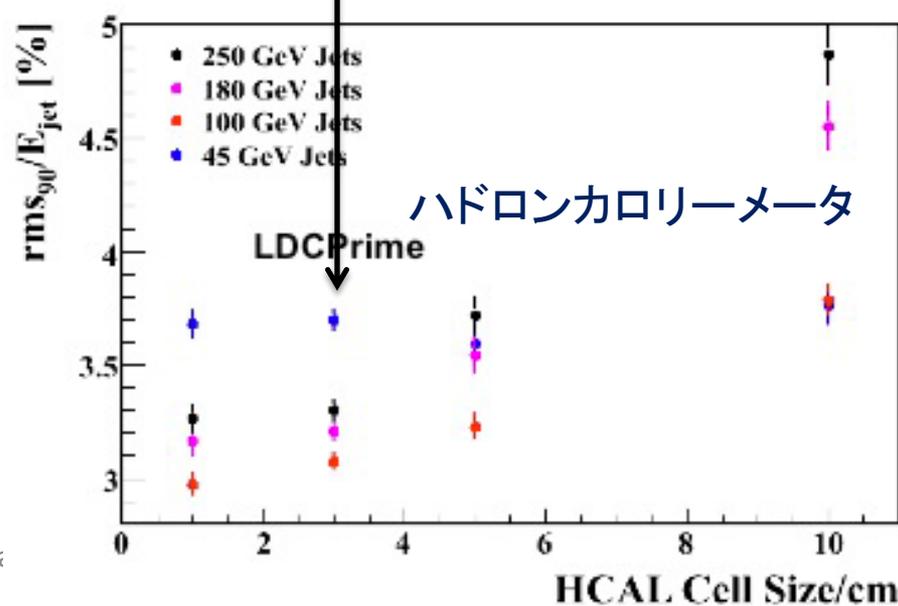
w/ btag



0.5cm



3cm



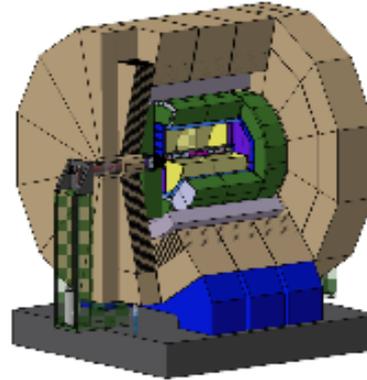


A JSPS Grant in Aid for Specially-Promoted Research
A global R&D program of a state-of-the-art detector system for ILC
Kick-Off Meeting 2011
12-14 September 2011, Sendai, Japan

- Home
- JSPS Research Program Home
- Program
- Registration
- Accommodation
- Venue



Source: Sendai City, Tourism Section



学術創成研究(2006-2010)の成果をもとに、ILCの物理・測定器のための特別推進研究(2011-2015)が採択された。
『ILCのための最先端測定器の国際的新展開(代表:山本均)』

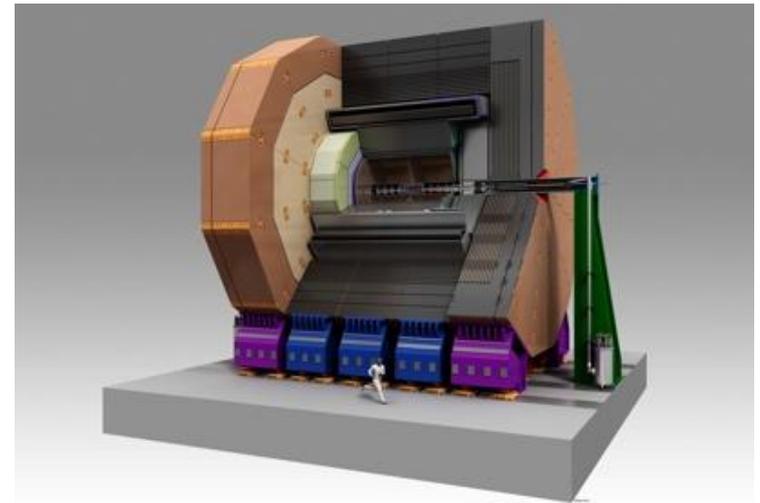
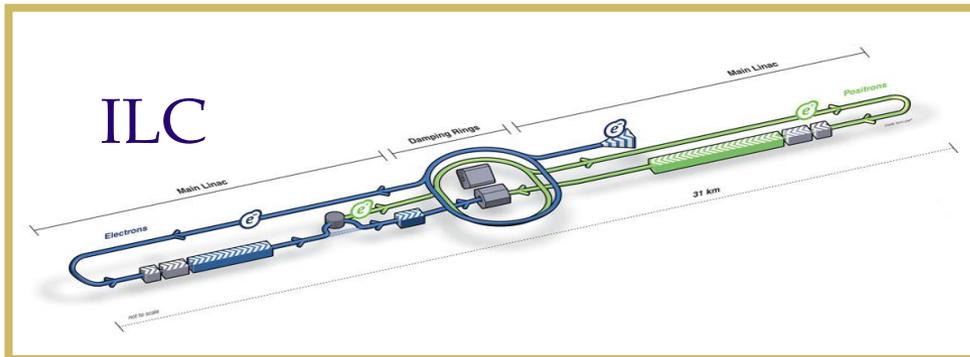
現在の参加研究機関

東北大、KEK、東京大、信州大、九州大、佐賀大

筑波大、新潟大、農工大、近畿大、工学院大等々もILD検出器開発に参加している

まとめ

- LHCでヒッグス粒子が発見されつつある？
- Higgs 発見後すぐにILCを建設できるように、準備しなくてはならない
- LHCをはるかにしのぐ感度の測定器で新物理の解明
 - 崩壊点検出器
 - 飛跡検出器
 - カロリメータ
 - PFA



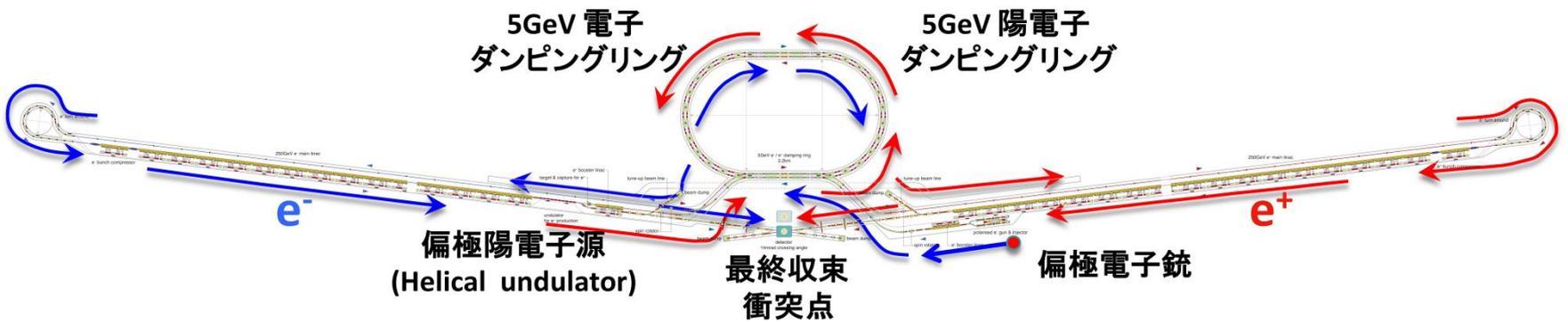
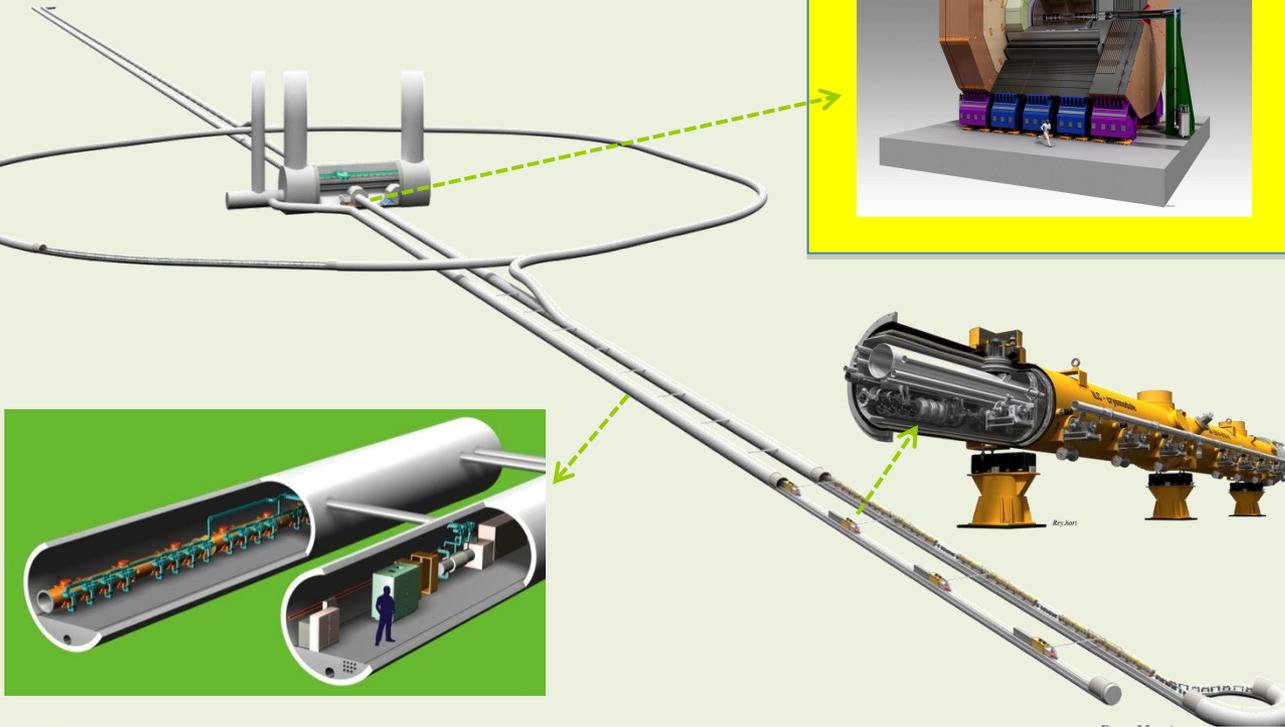
ILC@京阪

加速器は京大から京セラドームぐらい ~50km
検出器は中間地点の高槻市



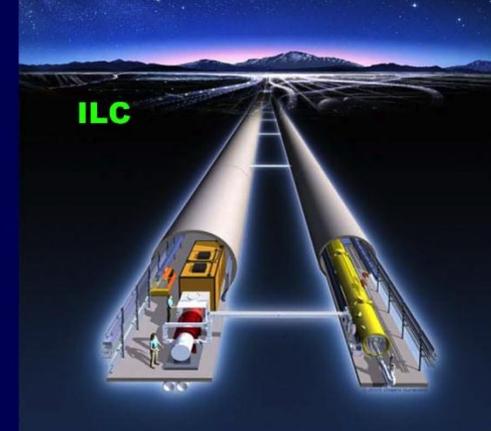
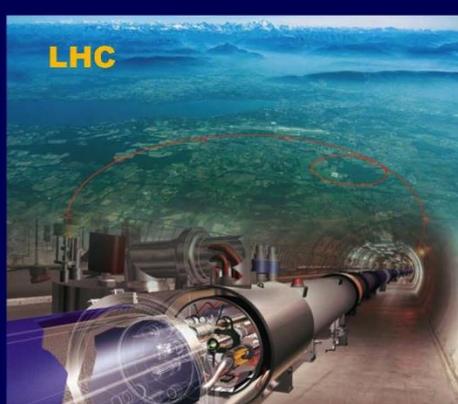
ILC全体像

International Linear Collider

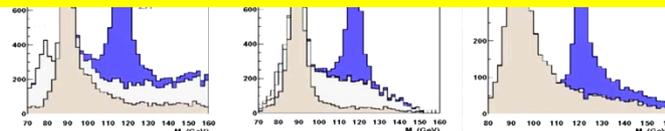


なぜILCが必要か？

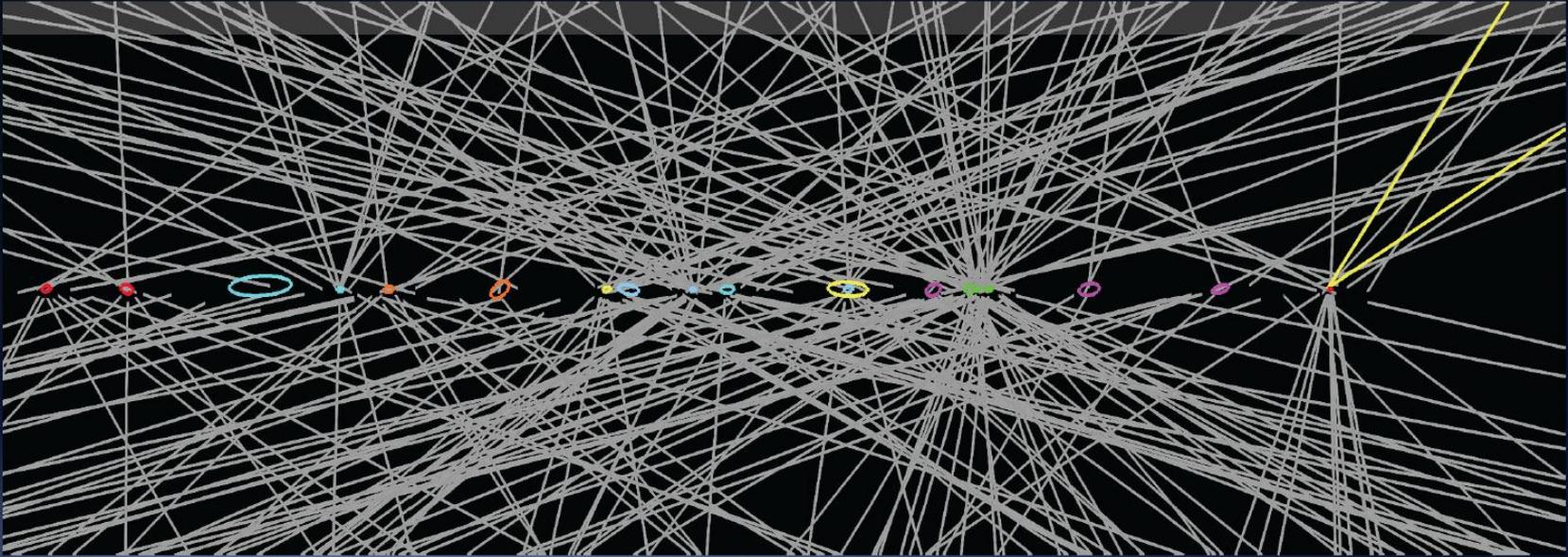
まずは陽子, 次に電子



- ILCのクリーンな環境で、LHCで発見された新粒子を調べ尽くし、未発見粒子を探索する。
 - 質量は？ スピンは？ 結合定数は？
 - 背後にある対称性や原理を探る
 - 未知の粒子に対する情報を得る
- 加速器の性能を最大限に引き出す測定器を開発・設計、そして建設する



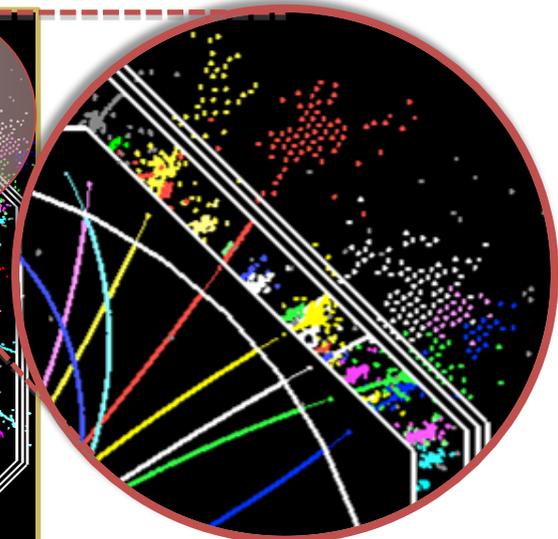
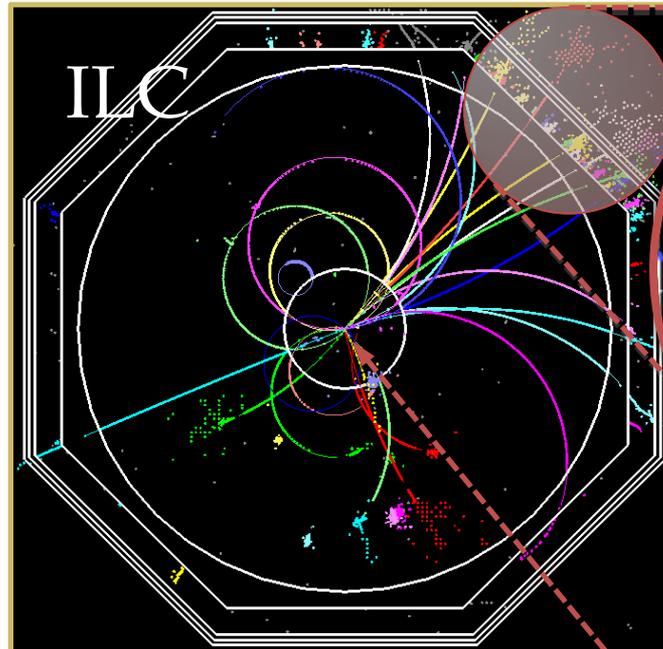
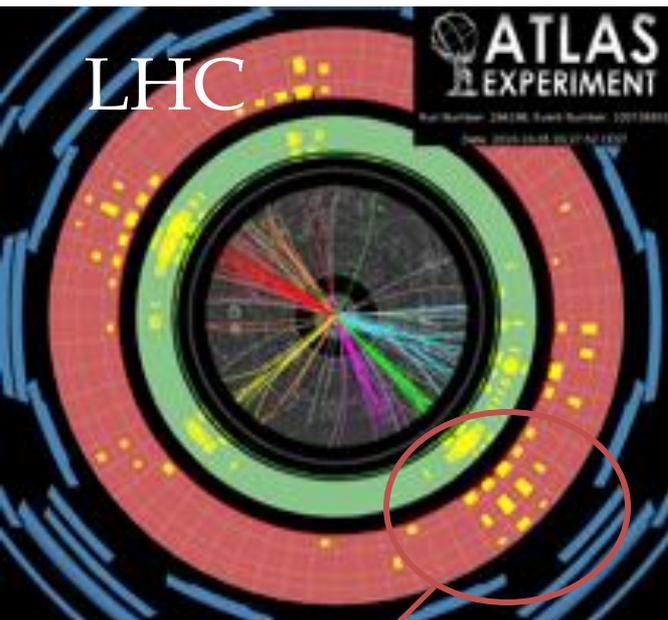
LHCでのハドロン衝突事象



- LHCは今後ますます衝突輝度が上がる
(high rate, high background,
200collisions/BX@HL-LHC)
 - その環境で性能を維持することが重要
 - ILCのための測定器開発と方向性が異なる

Example of 7... with 90 reconstructed
 p_T
GeV

新しい概念: 高精細測定器によるPFA (Particle Flow Algorithm)



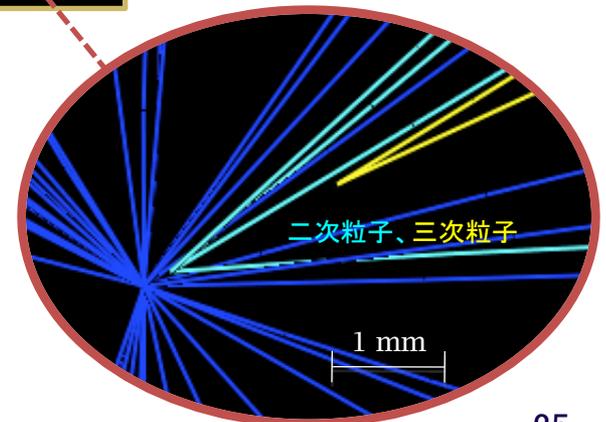
ILC:シャワーの個々の
粒子の軌跡を検出

LHC:ジェットのエネルギーをまとめて測定

PFA

- クォークのエネルギー分解能を飛躍的に向上
- 崩壊点測定によるクォークタイプの同定

→ 将来のエネルギーフロンティア測定器の標準



測定器と実験室

- ひとつのIPをILDとSiDで共有。『Push-Pull』方式で入れ替え。

