ILD detector for ILC

LOIの現状と技術的課題

2009年3月25日 杉本康博

KEK

ILDとは

- 2009年3月末にILC Research Director (RD)にLetter of Intent (LOI)を 提出する予定の3つの測定器の一つ(他はSiD, 4th)
- GLD(Asia base)とLDC(EU base)が2007年6月(LCWS07)に合体
- Gas baseのcentral tracker (TPC)とParticle Flow Algorithm (PFA)に最 適化されたcalorimeterを持った大型汎用測定器



ILCのロードマップ

2007 2008	2009	2010	2011	2012
-----------	------	------	------	------



- 測定器に関わるイベント
 - 2007年夏
 - 2007年9月
 - 2008年3月
 - 2009年3月末
 - 2009年秋頃
 - 2010年夏
 - 2012年

- Reference Design Report (RDR) 完成
- LOI (Letter of Intent)公募
- EOI (Expression of Interest)
 - LOI 締め切り
 - LOI 評価レポート (by IDAG)
 - Technical design中間報告 (by RD?)
 - Technical Design Report (?)

LOI

- ILC Detectorの "LOI" とは?
 - Letter of Intent to go to technical design phase
 - 2009年3月31日締め切り
 - International Detector Advisory Group (IDAG) によって "validate" され、2009 年9月頃にIDAG reportが出る
- Expected LOI content (M.Davier (IDAG chair), LCWS08)
 - 約100ページ(書き足りない分はsupporting documents)
 - Detector philosophy, sub-detectors and alternatives
 - Evaluation of physics performances based on a common process benchmark list
 - Integration issues with accelerator
 - Status of a realistic detector model
 - Identification of state, plans and timescale for required R&D and technological options
 - Preliminary cost estimate
 - Structure of group and capacity to carry out the work
 - Resources needed as function of time for technical design

ILD LOI

INTERNATIONAL LARGE DETECTOR

LETTER OF INTENT

Version 2 Built March 17, 2009- 17:24

The ILD concept group



March, 2009

目次

- 1. Introduction
- 2. Detector Optimization
- 3. Physics Performance
- 4. The ILD Sub-Detector System
- 5. Data Acquisition and Computing
- 6. Detector Integration
- 7. Integration with the Accelerator
- 8. Cost
- 9. The ILD Group
- 10. R&D Plan
- 11. Conclusion

ILDデザインコンセプト

- ILC (90 GeV ~ 1 TeV) における精密実験
- イベントをクォーク、レプトン、ゲージ粒子(Z,W,γ)のレベルで再構成
- そのために測定器にはこれまでになく高いResolution、Efficiency、 Redundancy、Hermeticityが必要とされる
- クォークのフレーバーの決定 → Precision pixel vertex detector
- 荷電粒子の高精度・高効率測定 → TPC, Si internal/external tracker
- W / Z の2-jet decay modeでの同定 → Particle Flow Analysis (PFA)に 最適化された細かくセグメント化されたカロリメータ
- これらを可能にするための3.5Tの強力な磁場と大きな径
- 2光子過程によるバックグラウンドを除去するための超前方までカバーするカロリメータ



PFA

 $e^+e^- \rightarrow tt @500 \text{GeV}$

7

- 究極のjet energy resolutionを得るために、LEP実験の頃から使われだした解析方法
- ジェットを構成する粒子のうち、荷電粒子はtrackerで、 γはEMCALで、中性ハドロンはHCALで測定する
- これによって σ_{Ejet} =30%/ E_{iet} ^{1/2}に達する分解能が得られる(カロリメータ単体では σ_{Ejet} =50%/ E_{jet} ^{1/2}程度)
- カロリメータ中で荷電粒子と中性粒子からの寄与を分離するため、
 - カロリメータの非常に細かいセグメント化
 - 粒子間隔を拡げるための大きな半径と強い磁場 (d~BR²)

が必要となる



目標とする性能

- Vertex detector
 - Impact parameter resolution: t,cの飛程(ct~100µm)よりはる かに良い
 - $\rightarrow \sigma = 5 \oplus 10/p \sin^{3/2} [\mu m]$
- TPC
 - Momentum resolution: Higgs のrecoil massのピークの幅へ の寄与が無視できる程度 → σ(1/p_t)=2~5x10⁻⁵/GeV/c
- CAL (PFA)
 - Jet energy resolution: W,Zの 2-jetモードでの質量分解能が 自然幅(~2GeV)程度になる → σ_{Ejet}/Ejet=3~4% (30%/E_{jet}^{1/2} below 100GeV)

	LEP	SLC	LHC	RHIC	ILC			
a [µm]	25	8	12	13	5			
b [μm GeV/c]	70	33	70	19	10			

 $\sigma = \sigma \Phi / \rho c in 3/20$







ILDデザイン

- Beam pipe
- Vertex detector (VTX)
- Si internal tracker (SIT)
- Time projection chamber (TPC)
- Si external tracker (SET)
- Electro-magnetic calorimeter (ECAL)
- Hadron calorimeter (HCAL)
- Coil and return yoke
- Muon detector
- Forward tracking detector (FTD)
- Endcap tracking detector (ETD)
- Forward calorimeters
 - Luminosity calorimeter (LumiCAL)
 - Luminosity hadran calorimeter (LHCAL)
 - Beam calorimeter (BCAL) with Si pair-monitor 東北
- Data acquisition (DAQ)
- Detector integration
- Machine-detector interface (MDI) / Exp hall KEK、東北

ほとんどすべてのサブディテクターにおいて 国際協力での設計・開発が行われている

KEK KEK、東北、JAXA

KEK、佐賀、農工、工学院、近畿、広島、NiAS、JAXA

神戸、信州、新潟、筑波、東京

KEK

KEK、東北

Sub-detectors

- 構造:2つのオプション
 - 単層構造x5層 vs. ダブレット構造x3層(合計6層のセンサー)
- センサー:4つのオプション
 - FPCCD / CMOS / DEPFET / 3D
- 目標性能
 - 3μm以下の分解能と1層あたり0.1%X₀程度の物質量
 - 最内径16mm
 - Impact parameter resolution: $5 \oplus 10/p\beta \sin^{3/2}\theta \mu m/GeV$ (<< $c\tau$ of c,τ)



- 技術的課題 ۲
 - センサーの開発
 - 衝突点で生成される低エネルギー電子・陽電子ペアからなるビームバックグラウンドのため、1トレイン分のデータを蓄積すると25µm程度のピクセルサイズを持ったセンサーだと10%以上のピクセルがヒットしてしまう



- ヒットするピクセルの割合を1%以下にするため、

 - a. 1トレイン(1ms)中に20回以上読み出すか b. ピクセルの面積を1/20以下にする → Fine pixel CCD (FPCCD)
- 低物質量化
 - ウェファーの薄型化(~50μm)
 - ラダー・サポート・クライオスタットの開発
- センサー/エレキの低消費電力化
 - a.の方式の場合、Power cycling (beamの無いときには電源を切る)が提唱されているが、Lorentz Forceが問題となる可能性あり
- 冷却システム/温度コントロール —
- アラインメント

- 日本におけるR&D: FPCCDの開発
 - FPCCDの課題
 - エピタキシャル層の全空乏化
 - 小さなピクセルサイズ(~5µm)
 - 読み出し速度>10MHz
 - 読み出しノイズ < 50 electrons
 - 消費電力<10mW/ch
 - 水平転送レジスタをイメージエリア内に他のピクセルと同じサイズで埋め込む
 - ウェファーの厚さ~50µm
 - 多チャンネル読み出しのためのASIC
 - 今までの成果
 - 全空乏化CCDの開発
 - ピクセルサイズ12µmのFPCCDプロトタイ プの試作
 - 読み出しASICの試作





Voltage

Reset

amplifier

Gain control

Low-pass

Band width

control

filter

• 日本におけるR&D: FPCCDの開発(続き)



- エンジニアリング
 - 低物質量のラダーおよび支持構造の開発
 - 冷却システム(-60°C)
 - アラインメント



Charge-sharing ADC

Charge-sharing ADC

> old Clock Conversion

> > 読出LASIC

Track/Hold

Serial

output

> LVDS

driver

Si trackers

- Si Internal Tracker (SIT)
 - Vertex detectorとTPCの間(バレル部分)にdouble-sided Si stripを2層
 - Time stamping
- Si External Tracker (SET)
 - TPCの外側
 - 擬似double-sided Si stripを1層
- Forward Tracking Detector (FTD)
 - 超前方(TPCの内側)
 - ピクセル3層+ストリップ4層
- Endcap Tracking Detector (ETD)
 - TPC end plate とendcap ECALの間
 - Single-sided strip3層(XUV)



- Micro patter gas detector (MPGD) を端部検出器として用いる
 - 昔ながらのMWPCでは強磁場中での ExB effectのため分解能がでない
 - ガス増幅のオプション:GEM または MicroMEGAS
 - 読出しオプション:
 - Padによるアナログ読出し
 - Ingrid Timepixを用いたピクセルによるデジタル読出し
- 半径:0.4m~1.8m、長さ4.4m
- 3.5Tの強磁場のおかげでドリフト電子の横方向の拡散が抑えられる





- 目標性能
 - 空間分解能
 - Ro: 平均75µm
 - Z: 0.5mm
 - dE/dx 分解能:5% 以下
 - 物質量
 - 0.04X₀ (R方向)
 - 0.15X₀ (end plate)



- 設計上の課題
 - Endcap
 - 低物質量(15%X₀以下)
 - 冷却
 - 表面実装型読み出しASIC
 - Field cage
 - 低物質量(内筒:1%X₀、外筒:2%X₀)
 - アラインメント(レーザー)システム
 - 変形
 - バックグラウンド
 - Space charge effect
 - Track finding efficiency
 - 非一様性の影響
 - ソレノイド磁場
 - 電場
 - ガス増幅領域でのイオン蓄積
 - ドリフト領域へのイオンの漏れ
 - ドリフト領域でのPrimaryイオン
 - ガス:温度・圧力
 - $\mathcal{P} = \mathcal{P} = \mathcal{P}$

2500

- R&Dの現状
 - 日本を含む国際協力(LCTPC collaboration)で進められている
 - 小型プロトタイプ
 - LCTPC collab.内でいくつかのプロトタイプ による研究





MP-TPC@KEK





- 今後のR&D
 - 大型プロトタイプ
 - LCTPC collaborationが協力して製作
 - 非一様磁場中での性能の確認
 - 様々なオプションの比較
 - Advanced endplateの開発
 - 15%X₀以下の物質量
 - 表面実装型読出し回路
 - Power cycling
 - 冷却方法
 - 構造設計





Calorimeter

• ECAL

- 内径1.85m、厚さ約20cm
- 1cm²またはそれ以下のセグメント化
- 2つのオプション
 - シンチレーター/タングステン
 - 1cmx4.5cm(2mm厚) ストリップ(X-Y)
 - Wavelength-shifter MPPC読出し
 - 3mmタングステンx24層(~21X₀)
 - シリコン/タングステン
 - 5mmx5mm Si-pad
 - タングステン: 2.1mmx20層+4.2mmx9層 (~24X₀)
- HCAL
 - 外径3.3m、6入_I (ECALと合せて6.9入_I)
 - 2つのオプション
 - Analog HCAL: シンチ/鉄、3cm²セグメント
 - Digital HCAL: RPC/鉄



Calorimeter

- R&Dの現状
 - 国際協力によるR&D –
 CALICE collaboration
 - 日本グループはSci/W ECAL のR&D
 - 他のグループの製作した
 HCAL moduleと組合わせて合
 同でビームテストを行っている















Calorimeter

- 今後の(日本における)R&Dの課題
 - MPPCのR&D
 - ダイナミックレンジ
 - 長期安定性
 - 放射線耐性
 - シンチレーターストリップ
 - より幅の狭いストリップ:1cm → 5mm
 - 反射材の改良
 - 製作工程の改善(10⁷ ch!)
 - 読出しエレキ
 - 高集積読み出し回路の開発
 - キャリブレーションシステム/方法の開発
 - ストリップクラスタリングのアルゴリズムの開発



Forward Detectors

- LumiCAL
 - Si/W サンドイッチ
 - 32-74 mradをカバー
- BeamCAL
 - 5-40 mrad
 - Beam-beam interactionによるe+e- pairbackgroundをもろにかぶる
 - Si, GaAs, またはdiamondとタングステンのサンド イッチ
- Pair-monitor
 - BeamCALの直前に配置
 - Pair-backgroundの分布からビーム形状を測定
 - Si pixel detector (SOI?)
- LHCAL
 - LumiCALの直後に配置
 - Si/W サンドイッチ、4 λ_I
- R&D
 - 国際協力: FCAL collaboration





Coil/Yoke

- 超伝導ソレノイド
 - 公称3.5T、最高4Tの磁場を発生
 - コイル:半径3.8m、長さ7.35m
 - クライオスタット:内径3.44m、外形4.34m
 - Stored Energy: 2.0 GJ (@4.0T)
- Return Yoke •
 - Barrel
 - 内径4.6m、外形7.8m
 - 10cmx10層+56cmx3層
 - 4cm gapl⊂muon detector
 - 重量:7000t
 - Endcap
 - 4.0m<7<6.6m
 - 10cmx10層+56cmx2層
 - 重量:3250t (x2)
- •
- 磁場 非一様性: $\int_{0}^{2.25m} (B_r / B_z) dz$ | ~ 7 mm
 - 漏れ磁場:R=15mで50G以下
 - 磁力: Endcapに加わる力~18000t



Electronics

- 基本方針
 - シグナルは各サブディテクター内でdigitization, zero-suppressionま
 で行って、外部には少数の光ファイバーで引き出される
- Power cycling (pulsing)
 - 消費電力低減のため、beam train (~1ms)の間だけパワーをONにする方法
 - 多くのサブディテクターがこの方式を仮定して、消費電力を1/100程 度にしようと考えている
 - 強磁場中で行うと、Lorentzカがパルス的に加わる可能性がある
 - 実現のためにはR&Dが必要
- 温度コントロール
 - Power cycling がうまくいっても冷却/温度コントロールは必須
 - 少ない物質量で冷却システムを構築するためのR&Dが必要

Data Acquisition

- 基本設計
 - ILD特有のビーム構造がDAQの方針を決定する
 - 1 train (1ms)間のdead time free のパイプライン
 - トリガーレスのDAQ
 - パイプラインのデータを200msの間で読み出す
 - ソフトでイベントセレクションを行ってデータ保存







- ILDの構造体の特徴
 - CMS style
 - Barrel 3分割、各Endcap 2分割
 - 地上で組上げた後、7分割された各部分ごとに超大型(>2000t)クレーンで地下に下ろす
 - 地下におろされた各部はAir-padを用いて移動する
 - QDOサポート
 - QD0(最終収束四重極電磁石)はサポートチューブ およびピラーを用いて床から支えられる
 - 変形・振動解析が重要 🔵







Push-pull operation

- Push-pull operation とは
 - ILCのコストを下げるため、最終収束 系は1本
 - この1つの衝突点を2つの測定器グ ループが交替で使用
 - なるべく迅速な測定器の入替えが求められる
- ILDの方針
 - 測定器、QD0は大きなプラットフォームに乗せて移動
 - ソレノイドのパワーラインは固定
 - 測定器のためのケーブル、クライオ ジェニックのサービスラインはフレキ シブル
- 現実的な技術設計とそのためのR&D は必須
 - フレキシブルライン
 - 超重量物の移動と精度1mm程度の アラインメント





地下実験室

- 実験室はLHC同様、地下にあって縦坑(shaft)を使って測定器を搬入すると仮定
- Detector の組立て/メンテナンスを容易にするため、ILD案は加速器(GDE)側の案とは若干 異なっている



Detector メンテナンス

- Endcapの開閉
 - ビームラインに置かれてい る時にはQD0を床から支え ているピラーを動かさずに Endcapを開ける必要があ る
 - 前の部分はリング状、後ろの部分は2分割→LOI design
 - 前も後ろも2分割(Belleと 同様)→KEK design
 - 待機場所(Garage position)にいる時にはQD0 サポートピラーも移動可 うInner detector取り出しな どの大きな作業も可能



ILDグループ

- LOI signatories: 3/23現在477人
 - アジア:103人
 - 日本:75人
 - KEK:32人



最後に

- ILD LOIは3月31日に完成予定
- LOIの後、2012年までにILD DetectorのTechnical Designを完成させな ければならない
- KEKがtechnical designに大きく寄与できるチャンス
 - 超伝導ソレノイド/クライオジェニックシステム
 - 構造体
 - 振動解析
 - 放射線防護
 - エレクトロニクス
 - DAQ
 - Sub-detector デザイン
- ILD LOI サイト:

http://www-flc.desy.de/ildloi/index.php