

ILC 計画では、IDAG (International Detector Advisory Group)によって採択された二つの測定器コンセプト・グループである ILD および SiD がそれぞれ物理シミュレーションと測定器 R&D を行い測定器の詳細設計を進めている。

2012 年末には、詳細基本設計 (DBD : Detailed Baseline Design) を IDAG に提出する予定である。素核研 ILC 物理測定器グループを含む日本グループは、ILD 測定器(図 1)の建設を目指す ILD グループの主要メンバーである。



図 1 ILD 測定器概念図

ILD グループは、本年 3 月末に DBD のアウトラインを IDAC に提出し、4 月下旬に韓国の大邱で開催されたワークショップ KILC2012 でシミュレーションによる物理解析ならびに測定器開発についての数多くの報告を行った。5 月下旬には、九州大学において ILD Workshop を開催し、DBD に記述されるべき ILD 測定器の基本設計

(Baseline design) を決めることになっている。ILD Workshop には内外から ILD グループの中心メンバーを含む 70 名程度が参加する予定である。なお、ILD および SiD グループは、昨年、測定器の開発と設計の中間報告を提出している [1]。

KILC2012 で発表された物理解析は多岐にわたるが、トップ・クォークのヒッグスとの湯川結合定数についての研究は特筆される。これまで、トップ湯川結合の測定には 700GeV 以上のエネルギーが必要というのが定説であったが、この研究では、初めて、信号並びにバックグラウンドの両過程に対して QCD しきい値補正を考慮したシミュレーションを行い、 $e^+e^- \rightarrow ttH$ 反応のしきい値に近い 500GeV (これは ILC 第一期計画の最高到達エネルギー) であっても、積分ミノシティー、 1 ab^{-1} があれば、120GeV のヒッグスに対してトップ湯川結合定数を 10%あるいはそれ以上の精度で決定できることを示した [2]。

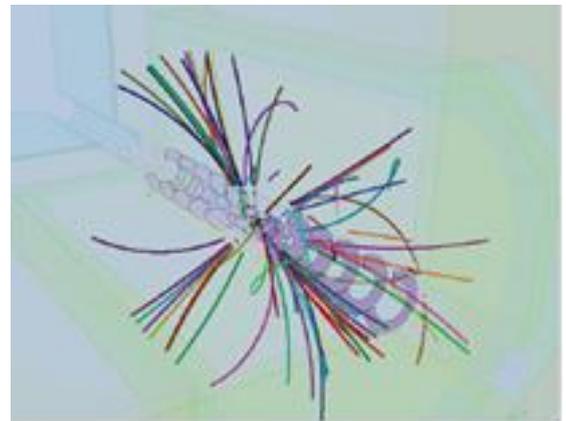


図 2 ILD 測定器のシミュレーション例

また新粒子探索のシミュレーションにおいては、ダークマター候補を含む標準模型を超える多くの模型において一般的に期待される、重い荷電新粒子対が ILD 測定器内でダークマター

粒子に崩壊する過程について、親粒子のスピンを模型によらずに決める新しい解析法を提案し、それによって様々な理論模型の弁別が可能となることを示した[3]。

2011年、ILDグループは、DBDに向けてILD測定器の基本パラメーターを決めた。以来、物理シミュレーション・プログラムの詳細化と改良を進めてきた。従来は、バーテックス検出器やTPCにおける飛跡再構成においてLEPで使用されたFortran言語によるプログラムを使用していたが、DBDに要求される測定器シミュレーターへの詳細構造の組み込みやビーム起源バックグラウンドの効果のより正確な評価を行うためには、現代的な飛跡再構成手法を取り入れたC++言語によるプログラムへの移行が焦眉の課題となっていた。今回、DESYにおいてTPC飛跡認識プログラム(CluPatra)およびSilicon Track Finderを新たに開発し、KEKで開発したカルマン・フィルターを用いた飛跡フィッティングプログラム(KalTest)と組み合わせ、ILDの標準飛跡再構成プログラムとして完成させた(図2)。その結果、測定器の支持構造、読み出しエレクトロニクス、冷却システムなどによる物質配置を考慮した現実的な測定器シミュレーションが可能となった。現在、大幅に詳細化された測定器モデルを実装したシミュレーターと新解析コードの確認を進めており、間もなく物理シミュレーションが始まる予定である。

プログラム改良の成果の一つとして、例えば、Fine Pixel CCD (FPCCD) バーテックス測定器において、エネルギー損失のランダウ分布や信号の雑音、読み出し回路のしきい値やADC変換の有限ビット数による誤差などを考慮しても、1 μ mを切る位置分解能が期待できるとのシミュレーション結果がえられている。(図3)

ILC物理委員会(ILC Physics Panel)は、 $e^+e^- \rightarrow \nu\nu H$ 、 W^*W^* 、 ttH の三つのベンチマーク・プロセスを指定し、それらについて、上記の現実的な測定器モデルによるシミュレーションを行い、

DBDの中で結果を示すことを要請している。そこで、ILD日本グループは、昨年来、KEKメンバーを中心としてSLAC(SiD)、DESY(ILD)、そしてCERN(ILDおよびCLIC)の研究者と協力して標準イベント・ジェネレーター・サンプルの作成を進めてきた。その際、 ttH サンプルについては標準的なジェネレーターであるWhizardを使用することが困難であることが分かり、KEKで開発されたPhyssimを使用することとなった。GDEは2011年12月にTDRで使用する加速器パラメーターを決定したので、このパラメーターに基づく標準サンプルを

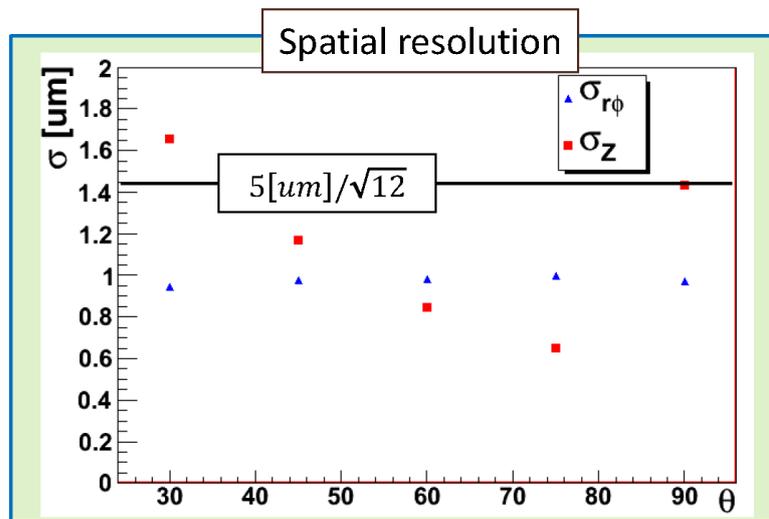


図2 FPCCDバーテックス検出器の位置分解能の角度依存性
ピクセルサイズは5 μ m角で厚さ15 μ m

作成して GRID(ILC Virtual Organization) 上に置き、全世界の研究者が使用できるように公開している。データとデータカタログ情報の種類、公開の方法などは共同研究者間で議論して決定し、開発したソフトウェアツール群は CLIC CDR の準備作業でも使用された。

上記、物理検討、ソフトウェア開発、シミュレーション研究と並行して ILD 測定器のための測定器要素のハードウェア開発も進んでいる。素核研 ILC 物理測定器グループは、FPCCD によるバーテックス検出器と MPGD (特に GEM) による TPC 開発を中心に参与している。ILC 実験室 (国内サイト) や加速器測定器インターフェース (MDI) にも参与しているが今回は報告しない。

浜松ホトニクスとの協力を得て行っている FPCCD の開発は最終段階に入りつつあり、並行して FPCCD 読み出しエレクトロニクス (ASCIC) の開発も進んでいる。DBD を視野に入れて FPCCD ラダーの詳細な設計を開始し、測定器開発室プロジェクトとして製作されたブロー型 2 相 CO₂ 冷却システムを使用して、バーテックス検出器模擬ラダーの 2 相 CO₂ 冷却試験も開始した。これらについて次回以降に報告する。

MPGD TPC の開発では、LC TPC collaboration の枠組みのもと、大型プロトタイプ (LP) TPC を DESY の T24-1 ビームラインに設置し、端部検出器のテスト・ベンチとして使用している。そこでのビーム試験により、我々の、いわゆる、Asian LP GEM モジュールが ILD TPC に要求される位置分解能 (2.2m ドリフトで 100 μ m 以下) を達成することを示した (既報)。この結果は ALICE TPC (CERN) の読み出しエレクトロニクスをベースとした PAC16-ALTRO 読み出しエレクトロニクスで得られたものであるが、このシステムは ILD TPC 実機用としては物質量および空間的な制約のため使用できない。そこで開発されたのが TPC 用アナログ・デジタル混在型集積回路 S-ALTRO16 チップ (CERN) で、2011 年に完成した。このチップの、CERN での単体試験結果は期待通りのものであった (図 4)。本年度は、このチップを使用して、GEM モジュール背面

に直接搭載するコンパクトなエレクトロニクス (モジュールあたり約 3,500 - 5,500ch) の設計が Lund 大学を中心に進んでいる。

素核研の ILC 物理測定器グループと佐賀大学を中心とする LC TPC 日本グループでは、この S-ALTRO16 エレクトロニクスの 2 相 CO₂ 冷却による冷却設計

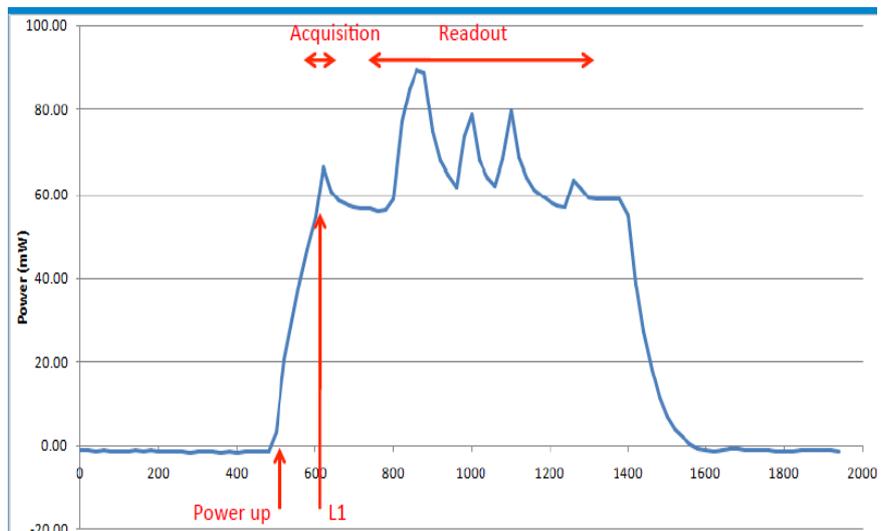


図 4 S-ALTRO16-パワーサイクリングにおける電力消費

を担当し、同時に、新エレクトロニクスに対応する改良型 Asian GEM モジュールの設計を進めている。改良型 Asian モジュールの設計にあたっては、従来の Asian GEM モジュールの基本設計概念は踏襲するが、ILD TPC における GEM モジュール設計を念頭に、GEM 支持機構や GEM 電圧の供給構造等の簡素化とコンパクト化を目指し、更には、改めて、100 μm 厚国産 GEM 自身の改良のための試験等を行う。現行の Asian モジュールの最終ビーム試験は、運動量分解能の測定と技術上の課題の試験のため本年度後半に行う予定である。

なお、2011 年後半には、DESY に LP TPC ビーム試験施設の最重要要素の一つとして KEK が提供している薄肉超伝導ソレノイド PCMAG (1 Tesla) の無冷媒化の改造を行った。DESY と KEK が協力して行った改造作業は、KEK の低温グループ/低温センターと東芝の協力を得て 3 月末に無事に終了した。現在、6 月末の DESY でのビーム試験再開を目指して準備作業を進めている。また、LC TPC 日本グループでは、2011-2012 年度の計画として、CERN、NIKHEF、および DESY の協力を得て、小型の試験用 2 相 CO₂ 循環システムを DESY の T24-1 ビームラインに設置すべく準備作業を進めている。



図 5 PCMAG に設置された 2 台のクライオクーラー

参考文献：

- [1] “International Linear Collider Physics and Detectors 2011 Status Report”, KEK-Report 2011-5
- [2] R. Yonamine et al., Phys. Rev. D84, 014033 (2011)
- [3] M. Asano et al., Phys. Rev. D84, 115003 (2011)