

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成23年度採択分

平成26年5月30日現在

研究課題名（和文） **ILCのための最先端測定器の国際的新展開**

研究課題名（英文） **A global research and development program of a state-of-the-art detector system for ILC**

研究代表者

山本 均 (HITOSHI YAMAMOTO)

東北大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要：国際リニアコライダー（ILC）はヒッグス粒子の発見によって開かれた新しい素粒子物理学の時代をリードすると期待されている次世代の電子陽電子衝突型加速器である。本研究では、ILC 測定器のための最先端の検出要素技術の開発とそのシステム化、および新しい測定器概念に基づいた最適化を、国際協力体制のもとに日本グループが中核となって遂行し、ILCの可能性を最大限に引き出す測定器システムの開発・設計を行う。その過程でコラボレーション形成に向けた国際的活動を主導する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子

キーワード：高エネルギー実験、先端機能デバイス、ネットワーク、計算物理

1. 研究開始当初の背景

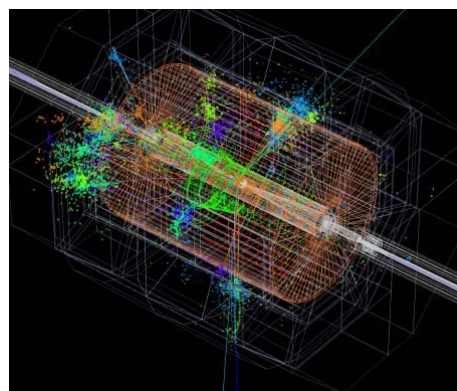
CERN 研究所の LHC 陽子衝突器は現在世界最高エネルギーの粒子加速器であり、その主たる目的はヒッグス粒子の発見であった。いま提案されている国際リニアコライダー(ILC)は LHC をはるかに超える感度を持ち、ヒッグス粒子の性質を精査することにより標準理論を超える物理を探索するとともに、新粒子が存在すればその発見とその背後の物理法則を洗い出すことが期待されている。ILC の物理成果を実現するには、LHC の測定器をはるかに上回る分解能が要求される。これまでも、ILC 測定器開発は、高エネルギー実験分野のレベルを大きく底上げして来た。ILC では現在二つの国際測定器グループが存在するが、我々のグループはその一つ ILD 測定器グループを主導している。

2. 研究の目的

この研究計画の目的は、ILC が科学的政治的に建設可能となるとき、その測定器が技術面でも組織面でも実現されるように準備する事である。そのために、ILC の物理的可能性を実現する測定器の設計を遅れる事なく完成し、反応点測定器、TPC 飛跡検出器、カロリメータに焦点を当てて必要な測定器要素を開発することに平行して、物理的成果を最大限に引き出すべく測定器設計の最適化を行う。これらは国際的枠組みのもとで国際共同研究によって遂行し、その活動において

リーダーシップをとる。

ILC のような巨大な計画は、国民の理解と支持なしには実現され得ない。一般市民に ILC を始めとする基礎科学の価値を理解してもらえるよう働きかける。



ILD イベント・シミュレーション

3. 研究の方法

ILC の物理に必要なクォークのエネルギー分解能は PFA (Particle Flow Algorithm) と呼ばれる方法によって可能になる。それは、荷電粒子は飛跡検出器で測定し、中性粒子はカロリメータで測定して重複をパターン認識で除くというものである。さらに、運動量や反応点位置の分解能でもこれまでのレベルをはるかに超える性能が要求される。

PFA には、チャンネル数が LHC のものより 3 桁大きいカロリメータが必要となり、そのた

めには従来とは本質的に異なるカロリメータの技術が要求されるが、最先端光検出器 MPPC や高精細のシリコン読み出しによって実現する。さらに、必要となる運動量分解能は LHC の 10 分の 1 程度だが、それは TPC 読み出しに GEM (Gas Electron Multiplier) を使い、検出器の質量を LHC の場合の 6 分の 1 にすることで可能にする。また、要求される反応点測定器の分解能は LHC の千分の 1 のピクセルサイズの高精細 CCD (FPCCD) によって達成する。

測定器最適化は、測定器の粒子に対する反応の細部までをシミュレーションする測定器モデルを構築し、それを実際のデータと同様に解析することにより行う。

4. これまでの成果

反応点検出器 FPCCD は、小型プロトタイプにおいて $12\mu\text{m}$ と $9.6\mu\text{m}$ 角で基本的機能が確認され、大型で薄型の FPCCD センサーの開発に予定より 1 年はやく成功した。読み出し ASIC も十分満足できる結果が得られた。

飛跡検出器 TPC は、端部検出器に対する位置分解能要求性能の達成およびその理論的理解が得られ、ゲート開発でも電子透過率を改善する設計がなされ、そのプロトタイプが製作された。

ストリップシンチレータを用いた電磁カロリメータのビーム試験データを解析して、十分な性能理解と補正方法を確立する一方、シンチレータと光センサーと電子回路を一体化したシステムを製作し、ビーム環境での試験を通してシステムとして理解ができた。シリコン・タングステン・カロリメータでは、半導体センサーの暗電流および全容量を自動測定できる基礎特性測定システムおよび赤外線レーザーシステムを構築し、半導体センサーの詳細研究を進める一方、電磁カロリメータ試作機を作製し、DESY 研究所において 2 回のテストビーム試験を行った。さらに、ハイブリッド電磁カロリメータの最適化の可能性をシミュレーションにより示した

測定器最適化では、ジェットの個々の粒子を測定することでクォークのエネルギーを得るという新しい測定器概念 (PFA) をストリップ・シンチレータに適用し、十分な分解能が得られることが示された。また、詳細な測定器シミュレータを使ってヒッグス崩壊分岐比、生成断面積、崩壊幅測定に必要な物理量を多角的に評価し、アメリカ・スノーマス報告として提出し、ILC の物理的意義のグローバルな理解に貢献した。

国際協力で GRID を活用した国際解析体制を確立し、実際に多数のデータ作成を分担した。飛跡再構成に関しては、分割ヘリックス飛跡モデルの概念による非一様磁場中での飛跡フィットアルゴリズムを、非一様磁場モ

デルで試験、完成した。

測定器インテグレーションは、衝突点の周辺の地形に強く依存するため、具体的な検出が難しかったが、2013 年夏に北上山地のサイトが日本での候補地に選ばれたため、アクセス道路の配置や、実験ホールの設計が急速に進展した。

5. 今後の計画

FPCCD は $6\mu\text{m}$ 角で機能する設計を用いてプロトタイプを製作検証する。シリコンシンチレータ ハイブリッド電磁カロリメータの実現のため、新たにシリコンシンチレータ双方で動作するシステムを構築し、統合システムを用いたビームテストを行う。飛跡検出器は、陽イオンゲートを製作し、それを搭載する構造を設計する。ドリフト電場の局所的歪みによる飛跡歪みを最小とするモジュール設計を行う。候補地における実際の建設、コラボレーション形成を念頭におき、これまで以上にコストに配慮した再最適化が始まろうとしているのに備え、測定器最適化のための基本的なツールのさらなる整備改善を進める。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

‘Spatial Resolutions of GEM TPC’: A novel theoretical formula and its comparison to latest beam test data’, ..., K.Fujii, ..., A.Sugiyama, ..., JINST, 9 C03002, 2014

‘Kalman-filter-based track fitting in non uniform magnetic field with segment-wise helical track model’, ..., K.Fujii, ..., Computer Physics Communications, 185 (2014) 754–761.

‘Construction and performance of a silicon photomultiplier-extruded scintillator tail catcher and muon-tracker’, C.Adloff, K. Kawagoe, T. Takeshita, ..., JINST, 7 P04015, 2012

‘R&D Status of FPCCD Vertex Detector for ILD’, Y. Sugimoto, ..., D. Kamai, E. Kato, A. Miyamoto, ..., Hitoshi Yamamoto, e-print, arXiv:1202.5832 [physics.ins-det]

‘Tests of a Particle Flow Algorithm with CALICE test beam data’, C. Adloff, K. Kawagoe, T. Takeshita, JINST, 6 P07005, 2011

ホームページ等

<http://ilc-epx.phys.tohoku.ac.jp>
yhitoshi@epx.phys.tohoku.ac.jp