

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成18年度採択分

平成21年4月28日現在

研究課題名（和文） 国際リニアコライダーでの実験のための革新的測定器システムの開発研究

研究課題名（英文） Research and development of a novel detector system for the international linear collider

研究代表者

山本 均（YAMAMOTO HITOSHI）

東北大学・大学院理学研究科・教授



推薦の観点：国際的に対応を強く要請される研究

研究の概要：国際リニアコライダーの物理を実現するためには、従来の測定器を遥かに超える分解能が要求される。この研究では、バーテックス検出器、飛跡検出器、カロリメータの基本的要素として、高精細ピクセル CCD、TPC 用読み出し素子 (MPGD)、光検出素子 MPPC を研究開発する。更にそれらを実機に近いプロトタイプを試作試験して実証するとともに、ILC 測定器システムの全体としての最適化を行う。また、国際協力を緊密に進めるために超高速ネットワーク環境 GRID を整備する。以上を踏まえて、国際共同研究による国際リニアコライダーの測定器開発において、日本のリーダーシップを確立するとともに、国際舞台で活躍する若手研究者を養成する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：素粒子実験、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

国際リニアコライダー (ILC) は 2019 年の稼働開始に向けて活動が活発化し、測定器開発では日本、米国、ヨーロッパを源流とした 3 つの測定器グループが存在していたが、その後 4 つめの測定器グループが参入した。最終的に測定器は 2 つとされるため、それらのグループは生き残りをかけて競争していた。一方、ILC の物理を実現するためには従来の測定器を遥かに超える分解能が要求されるが、それらのグループは測定器要素開発において競合かつ協力していた。

### 2. 研究の目的

まず、高い測定性能を実現するために必要な検出器要素の開発研究を行う。並行して、ILC 測定器システムの全体としての最適化をシミュレーション研究によって行う。国際共同研究による ILC 測定器研究活動における日本のリーダーシップを確立するとともに、国際舞台で活躍する若手研究者を養成する。

### 3. 研究の方法

高精細 CCD センサーを浜松ホトニクス (株) との共同開発によって試作し、その読み出し集積回路を VDEC を通して製作する。TPC 読み出しのための GEM (Gas Electron Multiplier) をサイエナジー (株) によって試作し、ヨーロッパとの共同研究のもと大型 TPC に取り付けてビーム試験を行う。光検出素子 MPPC を浜松ホトニクス (株) との共同開発によって試作し、試験/改良する。MPPC を用いた実機に近いカロリメータを製作し、ビームテストによってその性能を実証する。超高速ネットワーク環境 GRID を欧米と協力しながら整備する。測定器の性能を評価するために選ばれた物理モードについて詳細なシミュレーション研究をおこない、測定器を最適化する。また、背景事象を含めた現実的なシミュレーション研究によって ILC の物理が実際に実現できる事を示す。

ヨーロッパとの共同研究のもと大型 TPC に取り付けてビーム試験を行う。光検出素子 MPPC を浜松ホトニクス (株) との共同開発によって試作し、試験/改良する。MPPC を用いた実機に近いカロリメータを製作し、ビームテストによってその性能を実証する。超高速ネットワーク環境 GRID を欧米と協力しながら整備する。測定器の性能を評価するために選ばれた物理モードについて詳細なシミュレーション研究をおこない、測定器を最適化する。また、背景事象を含めた現実的なシミュレーション研究によって ILC の物理が実際に実現できる事を示す。

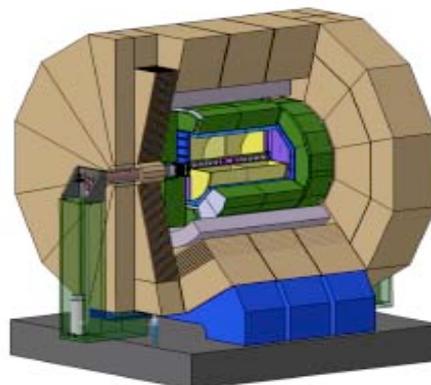


図1 ILC 測定器

#### 4. これまでの成果

2007年の夏に、アジアを中心に進められて来た ILC の測定器概念 GLD と欧州を中心として進められて来た LDC 測定器概念が合体して新しい測定器グループ ILD が誕生したが、2009年3月31日に約170ページの ILD 測定器の LOI(Letter of Intent)を ILCSC(国際リニアコライダー運営委員会)のもとにある国際リニアコライダーの実験プログラム統括組織(ディレクター:山田作衛)に提出した。これは、主として日本とヨーロッパの共同研究によるものであるが、日本の貢献はほとんどがこの研究計画によるものである。

測定器最適化のためのシミュレーション研究と測定器要素の研究開発を LOI 作成に十分なまでに推進した。具体的には、(1)測定器最適化(OPT)に関しては、LDC と GLD 統合のための測定器の分解能評価及び物理解析を行った。我々の科学的主張は国際的に評価され、統合された測定器 ILD はそれらを十分に反映したものとなった。(2)反応点測定器(VTX)は、高精細 CCD プロトタイプを試験を行い、基本的な機能を実証し、レーザーによる試験も成功した。また、読み出し集積回路に関しては、前置増幅器、ADC、時間スライス、保存、そしてピクセルレジスターの読み出しの全ての機能が確認された。(3)飛跡検出器(TPC)は、2重 GEM 電子検出器を KEK の超伝導磁石と欧州で製作されている大型 TPC プロトタイプ(LP1)を使って、DESY(ドイツ電子シンクロトロン研究所)においてビーム試験を行った。検出器の一部が漏電したが基本的機能が確認された。(4)カロリメータ(CAL)に関しては、光センサーMPPC の基本的測定と開発を終えた。戦略を HCAL から ECAL に移し、改良した MPPC を使って ECAL の試作機を米国のフェルミ国立研究所に輸送し、ビーム試験を行い、予想通りの分解能を実証した。(5)GRID ネットワークは、ヨーロッパとのシミュレーションデータの交換が実用化された。

#### 5. 今後の計画

バーテックス検出器はさらに高精細な試作機を製作し試験する。TPC は陽イオン逆流を防ぐ GEM のビーム試験を行う。カロリメータ開発では ECAL の試験結果解析を完結し、HCAL の試作を行う。物理解析を継続する一方測定器の構造体の研究を進め、各測定器要素の工学的設計を行う。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

[雑誌論文] (計 37 件)

1. E. Asakawa, M. Asano, **K. Fujii**, T. Kusano, S. Matsumoto, R. Sasaki, Y.

**Takubo**, and **H. Yamamoto**, 'Precision measurements of Little Higgs parameters at the international linear collider', Physical Review, 査読あり, accepted to be published, 2009, hep-ex arXiv:0901.1081.

2. D. C. Arogancia ... **A. Sugiyama**(26 番目) ... (計 31 名), 'Study in a beam test of the resolution of a Micromegas TPC with standard readout pads', Nuclear Instruments and Methods, 査読あり, A602, 2009, 403-414.

3. **K. Fujii**, H. Hano, H. Itoh, N. Okada, and **T. Yoshioka**, 'Hidden particle production at the ILC', Physical Review, 査読あり, D78, 2009, 015008-015016.

4. B. C. Barish, N. Walker, **H. Yamamoto**, 'Building the next generation collider', Scientific American, 査読有り, February, 2008, 32-37.

5. S. Gomi ... **K. Kawagoe** (5 番目) ... **T. Takeshita** (21 番目) ... (計 28 名), 'Development and study of the multi pixel photon counter', Nuclear Instruments and Methods, 査読あり, A581, 2007, 427-432.

[国際会議発表] (計 134 件)

1. **A. Sugiyama**, 'GEM TPC large prototype beam test', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE Meeting in International Linear Collider (TILCO9), April 20 2009, Tsukuba, Japan.

2. **Y. Takubo**, 'Fine pixel CCD for ILC vertex detector', International Workshop on Vertex Detectors, July 28 2008, Uto oIsland, Sweden.

3. **A. Miyamoto**, 'Status of Jupiter', Joint Meeting of the American Linear Collider Physics Group ILC Global Design Effort, October 23 2007, Fermi National Accelerator Laboratory, USA.

4. A. Ishikawa, 'Study of Gating with GEM for ILC TPC', IEEE Nuclear Science Symposium, October 29 2007, Honolulu, USA.

5. **T. Takeshita**, 'Scintillator Tungsten ECAL', International Linear Collider Workshop, June 1 2007, Hamburg, Germany.

ホームページ等

<http://www.awa.tohoku.ac.jp/ilcsousei>