

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 6月29日現在

機関番号：11301

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2006～2010

課題番号：18GS0202

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 for 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

研究者番号：00333782

研究成果の概要（和文）：

この研究計画による活動は ILC 測定器研究開発の国際環境のなかで欠く事の出来ない存在となった。アジアベースの GLD 測定器概念とヨーロッパベースの LDC 測定器概念の合併においても対等の立場でリーダーシップを発揮し、その存在感は国際的に認知されるに至った。測定器要素の研究開発においても、クォークの種類とエネルギーの測定に必須の反応点検出器、飛跡検出器、およびカロリメータに焦点をおいて、ILC での物理を実現するための基本性能を実証した。

研究成果の概要（英文）：

This program has become an indispensable element in the international environment of ILC detector development. When the Asian GLD detector concept and the European LDC concept have merged, we took equal leadership in the process. This has come to be widely recognized. Regarding the development of detector elements, we focused on vertexing, tracking, and calorimeter which are essential in determination of quark type and energy, and proved principle of operation for realizing the ILC physics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	51,300,000	15,390,000	66,690,000
2007年度	74,500,000	22,350,000	96,850,000
2008年度	70,900,000	21,270,000	92,170,000
2009年度	68,200,000	20,460,000	88,660,000
2010年度	45,400,000	13,620,000	59,020,000
総計	310,300,000	93,090,000	403,390,000

研究分野：数物系化学

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) は全長約 31 キロメートルの電子陽電子線形衝突器で、ヒッグス粒子や他の新粒子を LHC の約百倍の統計力で探索しようというものであるが、2005 年に国際リニアコライダー運営委員会 (ILCSC) が国際設計チーム (Global Design Effort: GDE) を発足させた事により、ILC はその実現に向けて大きな一歩を踏み出した。

(<http://www.linacollider.org/>)

ILC の物理を実現するためには、従来の測定器をはるかに超える性能が要求される。この研究計画申請当初の段階では、この研究グループが推進していたアジアをベースとした GLD 測定器概念、ヨーロッパをベースとした LDC 測定器概念、そしてアメリカをベースとした SiD 測定器概念が存在していた。最終的には測定器は 2 つに絞られることが予想されていたため、個々の測定器技術の開発では部分的に協力しながらも競合していた。

2. 研究の目的

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。それにより、ILC の測定器グループが再編、統合、そして淘汰される課程において、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

ILC の物理を実現するためには、クォークのエネルギーを高分解能で測定することが不可欠である。そのための方法として注目を集めているのが PFA (Particle Flow Algorithm) である。すなわち、荷電粒子のエネルギーを飛跡検出器で、中性粒子のエネルギーをカロリメータで測定し、シャワーを生成する荷電粒子のエネルギーの重複測定を高精細測定器によって除去する。我々は PFA にとって重要なカロリメータと飛跡検出器、そしてクォークの種類と同定に欠かせない反応点検出器に焦点をおいて研究開発を行う。

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。

4. 研究成果

2007 年の春には、GLD と LDC のリーダーが合同で会議を行い、夏には両測定器グループによって合併が承認され、ILD グループが誕生した。2008 年 3 月の仙台における ILD 会議から同年 9 月のケンブリッジ ILD 会議に向けて、GLD と ILD の測定器パラメータを統一するための集中的な共同研究が競争的に行われ、ILD の基本的パラメータが決定された。結果的には ILD 測定器のサイズと磁場は GLD と LDC の中間的なものとなった。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。合計 3 つの LOI が提出され、それらは国際測定器諮問委員会によって審査され、ILD を含む 2 つの測定器概念が審査を通過した。現在それらの 2 つのグループは 2012 年末の工学設計書提出に向けて研究を進めている。

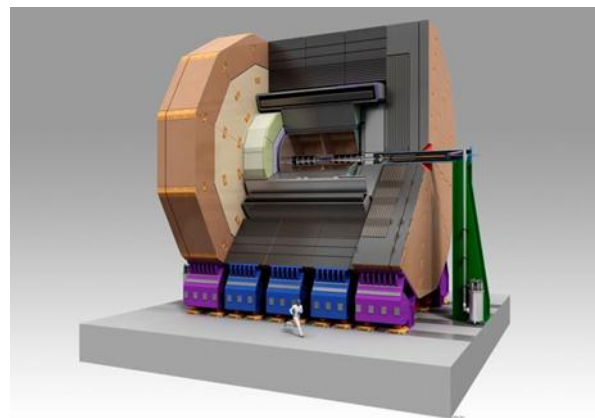


図 1 ILD 測定器

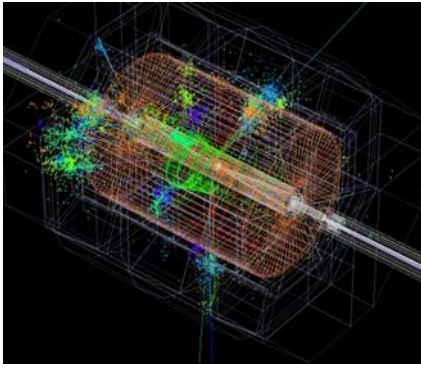


図2 ILD のイベント

成果は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ことである。即ち、

- (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。我々の提唱しているストリップシンチレータを使った PFA (ジェットエネルギー再構成アルゴリズム) を完成させ、5mm x 40mm のストリップで 5mm x 5mm のパッドとほぼ同程度のエネルギー分解能が得られる事が示された。これによってストリップ型カロリメータの原理的基盤が確立されたことになる。

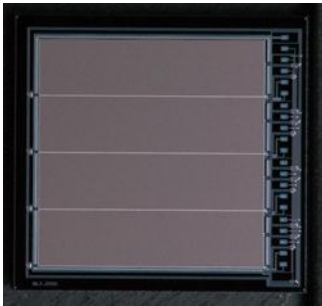


図3 FPCCD 試作品

(2) 反応点測定器 (VTX) は、高精細 CCD プロトタイプの実験を行い、基本的な機能を実証し、レーザーによる試験も成功した。ピクセルサイズは 8mm 角までは実証したが、目的の 6mm 角は完全には実証できず今後の課題として残った。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。ADC 出力のビットの跳びと読出速度不足の問題を解決した設計による試作品を製作した。

(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 (LPI) 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。この研究計画当初の最終目的である大型プロトタイプのビームテストはこれで達成された。さらに、その先の段階に当るものとして、開口率が高く薄い GEM (Gas Electron Multiplier) を新技術 (MEMS) の導入により開発し、CO2 冷却の研究開発を行った。漏電の原因となった GEM ポストによる電場の歪曲、GEM の支持構造の脆弱性を解決した設計を完成した。

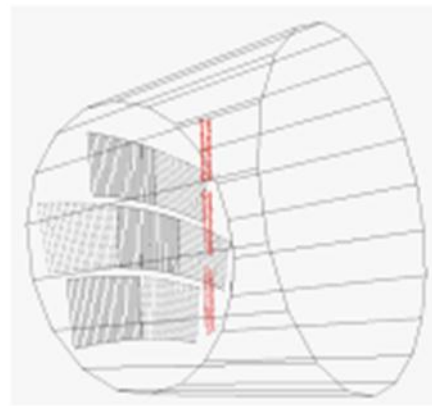


図4 TPC ビームテスト

(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。さらに、実機の設計に向けて、シンチレータとそれに伴うエレクトロニクスを吸収層の間のギャップに入れるための実装設計をおこなうとともに、断面が 5mm 角のシンチレータの製作と MPPC による読み出し試験を行った。

(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。

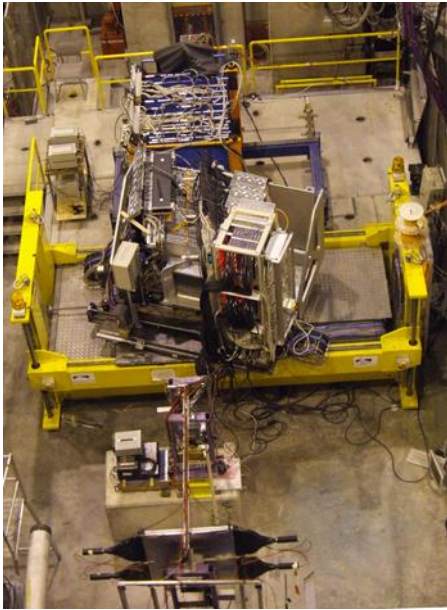


図5 フェルミ国立研究所でのビームテスト

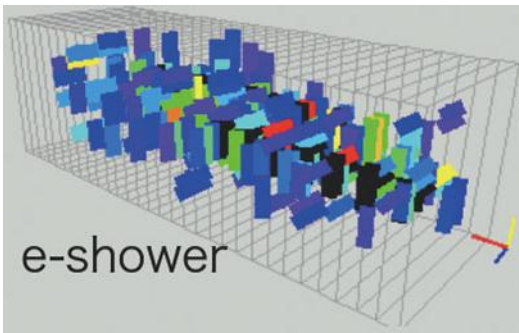


図6 測定された電子シャワー

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計45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, Phys. Rev. D79 (2009) 075013-075023.

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 ... 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.

〔学会発表〕国際会議のみ(計191件)

1. T. Takeshita, 'Strip-splitting for scintillator strip ECAL reconstruction', March 21, 2011, Linear Collider Workshop of the Americas, Eugene, Oregon, USA (ALCPG11).

2. T. Suehara, 'Status of LCFIVertex II: Application to a many-jet environment with a new jet clustering algorithm', March 20, 2011, Linear Collider Workshop of the Americas, Eugene, Oregon, USA (ALCPG11).

3. T. Suehara, 'Flavor tagging performance in multi-jet environments', International Workshop on Linear Colliders 2010, October 21, 2010, Geneva, Switzerland.

4. T. Tanabe, 'LCFIVertex status&updates in flavor tagging studies for linear colliders', International Workshop on Linear Colliders 2010, October 18, 2010, Geneva, Switzerland.

5. A. Miyamoto, 'Plans for ILD Monte Carlo Production', International Workshop on Linear Colliders 2010, October 18, 2010, Geneva, Switzerland.

6. T. Takashita, 'ILD status and plan', March 26, 2010, International Linear Collider Workshop 2010, Beijing, China.

7. K. Fujii, 'Physics common task group report', March 26, 2010, International Linear Collider Workshop 2010, Beijing, China.

8. Y. Takubo, 'Study on Little Higgs with T-parity', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International

Linear Collider, April 20, 2009, Tsukuba, Japan.

9. A. Sugiyama, 'GEM TPC large prototype beam test', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE Meeting in International Linear Collider (TILC09), April 20, 2009, Tsukuba, Japan.

10. T. Tauchi, 'LD: Push-Pull Issue', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International Linear Collider, April 19, 2009, Tsukuba, Japan.

11. T. Takeshita, 'MPPC/Scintillator for ScECAL', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International Linear Collider, April 19, 2009, Tsukuba, Japan.

12. A. Sugiyama, 'GEM TPC Large Prototype Beam Tests', Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International Linear Collider, April 18, 2009, Tsukuba, Japan.

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

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

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

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

[その他]

ホームページ等

<http://epx.phys.tohoku.ac.jp/ilcsuishin/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 均 (YAMAMOTO HITOSHI)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：00333782

(2) 研究分担者

山下 了 (YAMASHITA SATORU)
東京大学・素粒子国際研究センター・准教授

研究者番号：60272465

杉本 康博 (SUGIMOTO YASUHIRO)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・講師

研究者番号：70196757

杉山 晃 (SUGIYAMA AKIRA)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：80187674

竹下 徹 (TAKESHITA TOHRU)

信州大学・理学部・教授

研究者番号：70154995

宮本 彰也 (MIYAMOTO AKIYA)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：50174206

(3) 連携研究者

佐貫 智行 (SANUKI TOMOYUKI)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：70323491

藤井 恵介 (FUJII KEISUKE)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：30181308

山岡 広 (YAMAOKA HIROSHI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師

研究者番号：40033815

川越 清以 (KAWAGOE KIYOTOMO)

神戸大学・理学部・教授

研究者番号：40183785

田内 利明 (TAUCHI TOSHIKI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・技師

研究者番号：20154726

田窪 洋介 (TAKUBO YOSUKE)

東北大学・大学院理学研究科・特任助教

研究者番号：80363323

長嶺 忠 (NAGAMINE TADASHI)

東北大学・大学院理学研究科・特任助教

研究者番号：30212111

末原 大幹 (SUEHARA TAIKAN)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・特任研究員

研究者番号：20508387

小寺 克茂 (KOTERA KATSUSHIGE)

信州大学・理学部・研究支援研究員

研究者番号：60448074

黒岩 洋敏 (KUROIWA HIROTOSHI)

佐賀大学・理工学部・研究支援研究員

研究者番号 : 20509814

池松 克昌 (IKEMATSU KATSUMASA)

ジューゲン大学 第4(理工)学部 物理学
科 研究員

岩井 剛 (IWAI GO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・計算機センター・助教

研究者番号 : 70399434

吉岡 瑞樹 (YOSHIOKA TAMAKI) (H20.6まで)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・
特任研究員

研究者番号 : 20401317

Daniel Jeans (H20.1まで)

神戸大学・理学部・JSPS 特別研究員

魚住 聖 (UOZUMI SATORU)

信州大学・理学部・研究支援研究員

研究者番号 : 00422189