

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2011～2015

課題番号：23104007

研究課題名（和文）LHCでの発見が導く次世代エネルギーフロンティアの発展

研究課題名（英文）Development of the next generation energy frontier experiment conducted by the discoveries at LHC

研究代表者

駒宮 幸男（Komamiya, Sachio）

東京大学・理学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：80126060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 51,700,000円

研究成果の概要（和文）：本計画研究ではLHCでのヒッグス粒子の発見によって重要性を増したILCにおいて、標準理論を超える物理を、ヒッグス粒子やトップクォークの精密測定と新粒子の発見の双方で可能なことを示した。とりわけ、昨年LHCの2光子の質量分布で750 GeV近くに新粒子の兆候があったが、この背後の物理をILCで精査する方法を開発した。

測定器開発では、ILCのシリコン電磁カロリメータの詳細設計において安価でかつ性能を落とさないための素子のスペックを研究した。また、素子の放射線耐性を神戸大学の中性子ビームを用いて精査。十分な耐性があることを検証しドイツDESYにおいてプロトタイプの実験に成功した。

研究成果の概要（英文）：The discovery of the Higgs Boson at LHC made the first target of the ILC project clear, hence the importance of ILC becomes more evident. We showed that precise measurement of Higgs Boson and top quark as well as new particle searches at ILC will find the physics direction beyond the Standard Model. Especially, methods to scrutinize the new physics behind the 750 GeV peak found by the LHC experiments has been developed.

For the development of new detector, the detailed design of the ILC silicon-tungsten electromagnetic calorimeter was performed. The specification of the silicon detector was studied accounting the performance and the cost. Also irradiation test using neutrons was successfully performed at Kobe University, and the calorimeter prototype was successfully tested using the electron beam at DESY.

研究分野：素粒子実験

キーワード：カロリメータ 電子陽電子リニアコライダー（LC） MPPC ヒッグス粒子 超対称性

1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初の背景は、LHC 実験によって、ヒッグス粒子や、超対称性粒子やそれにとって代わる標準理論を超える新粒子が発見されることを見越して、LHC の次の世代の衝突型加速器である ILC など期待される物理を研究し、それを踏まえた測定器の開発を行うというものであった。研究開始当初はヒッグス粒子は発見されておらず、ILC のほかにも SLHC と呼ばれるさらに高エネルギーのハドロンコライダーも考慮した。当初はシリコン・タングステンのサンドイッチ電磁カロリメータだけでなく、シンチレータを用いた電磁カロリメータやハドロンカロリメータも考慮した。

2. 研究の目的

本課題の目的は、LHC でのテラスケールでの物理成果をさらに大きく展開するための次世代エネルギーフロンティアの準備研究である。具体的には、LHC での成果を踏まえて、次に重要となる SLHC、LHC、LC 等の次世代計画における物理準備研究を行い、その鍵となる新たな検出器開発を行なった。次世代計画には、加速器・検出器技術に革新的な新技術が不可欠である。本課題では、次世代カロリメータの開発を行いプロトタイプ製作・性能の評価を行なった。これらの研究は、真空の構造、超高エネルギーでの力の統一、宇宙物理へ更なる展開を次世代実験で行う為に重要な役割を果たした。本課題のメンバーは、コライダー実験での豊富な経験を持ち、SLHC やリニアコライダー測定器の技術開発や物理研究を国際コミュニティの中で主導的に行い、高い評価を得てきた。LHC でのテラスケール物理の成果と将来計画にむけて研究を始める準備を行ってきた。

3. 研究の方法

LHC でのテラスケール物理の成果を真空の構造、超高エネルギーでの力の統一、宇宙物理へ大きく展開するために、以下の3つの物理研究(3-5)を進め、同時にこの研究を実現するために必須の次世代カロリメータ開発(1-2)を行なった。

(1) 光電子増倍管に取って代わる安価な光デバイス MPPC を用いた高細分ストリップシンチレータを用いたサンプリング型カロリメータを開発した。PPC は出力が飽和しないようにピクセルを細分化しダイナミックレンジの向上を行った。またカロリメータとして均一な性質となるような、光学的接続やエレクトロニクスを開発を行い、プロトタイプを製作した。

(2) (1)で開発した高細分カロリメータでジェット中の粒子を粒子単位で観測しエネルギーフローを計算するアルゴリズムの開発を行なった。 $E/E=30\%/E(\text{GeV})^{1/2}$ 以下の高い精度でのエネルギー測定と、0(1)%のヒッグス崩

壊分岐比測定を可能にする方法を開発した。(3) ILC や SHLC での研究でヒッグス自己結合定数を測定する方法を開発した。高いバックグラウンドを除くため高性能カロリメータ開発と粒子識別能力向上の両面で研究を進めた。

(4) SLHC で色を持った重い超対称性粒子の性質、ILC で軽い電弱超対称性粒子の性質を探る研究を行い、両方の研究を統合して初めて超対称性の全貌を探ることができ、LHC での成果を反映させて詳細で新しい研究を行なった。

(5) SLHC で WW 散乱の精密観測を通して新たな質量獲得システムの研究を行なった。

4. 研究成果

本課題では LHC でのヒッグス粒子の発見によって重要性を増した国際リニアコライダー(ILC)計画の推進のために多くの研究を行ってきた。

(1) LHC の 2 光子の不変質量分布で 750 GeV 近くに新粒子の兆候があった。この背後の物理を ILC で精査する方法を開発。この他に、超対称性などの兆候が LHC で見えた時に、ILC での詳細研究によって、超対称性の破れや暗黒物質の解明の方法を開発。

(2) ILC ビーム収束系の local chromatic correction と呼ばれるビームオプティクスを確立した。KEK の ILC のための試験加速器 ATF2 において、世界で最小の縦方向ビームサイズ $y=41\text{nm}$ 測定した。また、2 バンチのビームを ATF でつくり 1 バンチ目の測定でフィードバックをかけ 2 バンチ目のビームジッターを減らすことに成功。

(3) ILC のシリコン電磁カロリメータの詳細設計において安価でかつ性能を落とさないための素子のスペックを研究した。また、素子の放射線耐性を神戸大学の中性子ビームを用いて精査。十分な耐性があることを検証。ドイツ DESY においてプロトタイプのビームテストに成功。

(4) のハドロンへの崩壊の再構成は、重いヒッグス粒子などの CP 混合の決定に重要である。ILC での衝突点の位置、荷電粒子の軌道、 0 からの光子の電磁カロリメータでのシャワーの測定を用いて、いかなるのハドロン崩壊も再構成できることを証明。

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 15 件)

(1) " Tau Lepton Reconstruction at Collider Experiments Using Impact Parameters ", D. Jeans, NIM.A, 810, 2016, 51-58, 査読有

(2) " Pion and Proton Showers in the CALICE Scintillator-Steel Analogue Hadron Calorimeter ", CALICE Collaboration: B.

Bilki, D. Jeans et al., JINST, 10, 2015, P04014, 査読有

(3) “A Novel Strip Energy Splitting Algorithm for the Fine Granular Readout of a Scintillator Strip Electromagnetic Calorimeter”, K. Kotera, D. Jeans et al., NIM.A, 789, 2015, 158-164, 査読有

(4) “Experimental Validation of a Compact Focusing Scheme for Future Energy-Frontier Linear Lepton Colliders”, G. White, S. Komamiya et al. (91人中41番目), Phys.Rev.Lett., 112, 2014, 034802, 査読有

(5) “Validation of GEANT4 Monte Carlo Models with a Highly Granular Scintillator-Steel Hadron Calorimeter”, CALICE Collaboration: C. Adloff, D. Jeans et al., JINST, 8, 2013, 07005, 査読有

(6) “Testing Bell’s Inequality Using Charmonium Decays”, S. Chen, Y. Nakaguchi and S. Komamiya, PTEP, 112, 2013, 034802, 査読有

(7) “Current Status of Nanometer Beam Size Monitor at ATF2”, Y. Yamaguchi, S. Komamiya et al. (12人中5番目), Phys.Procedia, 37, 2012, 1983-1988, 査読有

(8) “Hadronic Energy Resolution of a Highly Granular Scintillator-Steel Hadron Calorimeter Using Software Compensation Techniques”, CALICE Collaboration: C. Adloff, D. Jeans et al., JINST, 7, 2012, P09017, 査読有

〔学会発表〕(計 27 件)

(1) D. Jeans, “Tau Lepton Reconstruction at Collider Experiments Using Impact Parameters”, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月21日, 東北学院大学(宮城県仙台市)

(2) D. Jeans, “Recent Developments in LC Calorimeter R&D”, LCWS2015, 2015年11月1日~2015年11月7日, Whistler(Canada)

(3) D. Jeans, “Full Tau Lepton Reconstruction Using Impact Parameter”, LCWS2015, 2015年11月1日~2015年11月7日, Whistler(Canada)

(4) 駒宮幸男, “ILCの実現に向けて”, 日本物理学会2015年秋季大会, 2015年9月26日, 大阪市立大学(大阪府大阪市)

(5) S. Komamiya, “ILC Status Report”, XXVII International Symposium of Lepton and Photon Interactions at High Energies, 2015年8月21日, Ljubljana(Slovenia)

(6) D. Jeans, “ECAL(all options) with a focus on simulation”, Asian Linear Collider Workshop, 2015年4月20日, 高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市)

(7) 小坂井千紘, “ILD-ECALのためのシリコン検出器の基礎特性の評価と中性子照射に

よる損傷の効果”, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月21日, 早稲田大学(東京都新宿区)

(8) S. Komamiya, “Project Advisory Committee for the Linear Collider Collaboration”, International Committee for Future Accelerators, 2015年2月26日, Richmond(USA)

(9) S. Komamiya, “Particle Physics beyond the Standard Model and the ILC Project”, XXI DAEBRNS High Energy Physics Symposium, 2014年12月11日, Guwahati(India)

(10) 駒宮幸男, “国際リニアコライダー-ILCと素粒子物理学の展望”, 加速器科学研究会, 2014年11月7日, ザ・キャピトルホテル東急(東京都千代田区)

(11) 駒宮幸男, “ILCが目指すもの、テラスケールからプランクスケールへ”, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月19日, 佐賀大学(佐賀県佐賀市)

(12) S. Komamiya, “Report from Linear Collider Board”, Meeting of Financial Agencies for Large Colliders, 2014年10月30日, Beijing(China)

(13) S. Komamiya, “LCB(Linear Collider Board) Report”, International Workshop on Linear Collider, 2014年10月6日, Belgrade(Serbia)

(14) S. Komamiya, “Report from Linear Collider Board”, American Linear Collider Workshop, 2014年5月14日, Batavia(USA)

(15) 駒宮幸男, “国際リニアコライダーの現状と展望”, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学(神奈川県平塚市)

(16) 小坂井千紘, “ILDのためのシリコンセンサーの特性研究”, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月27日, 東海大学(神奈川県平塚市)

(17) 陳詩遠, “GARLICとPandraによる光子再構成と2粒子分解”, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月27日, 東海大学(神奈川県平塚市)

(18) S. Komamiya, “ILC after TDR”, Workshop on Helmholtz Alliance, 2013年12月4日, Karlsruhe(Germany)

(19) S. Komamiya, “International Linear Collider in Japan”, European Physics Society Meeting on High Energy Physics, 2013年7月20日, Stockholm(Sweden)

(20) 駒宮幸男, “ILC計画の展望”, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学(広島県東広島市)

(21) S. Komamiya, “The Rising Sun of the Linear Collider”, Aspen Winter School, 2013年3月10日, Aspen(USA)

(22) 駒宮幸男, “Particle Physics Now and in the Future”, International Symposium on Nano-science and Quantum Physics, 2012

年 12 月 19 日, 国際文化会館 (東京都港区)
(23) S. Komamiya, “Community Proposal for Japanese Particle Physics Priorities”, CERN SPC, 2012 年 11 月 27 日, Geneva (Switzerland)

(24) 駒宮幸男, “素粒子物理学最前線 2012”, 九州大学先端加速器センター開所記念講演”, 2012 年 9 月 27 日, 九州大学 (福岡県福岡市)

(25) S. Komamiya, “History of Particle Physics and Linear Collider”, ASIAA/CCMS/MAS/LeCosPA/NTU-Phys Joint Symposium, 2012 年 9 月 24 日, Taiwan (Taiwan)

(26) 駒宮幸男, “ヒッグスとコライダー・シンポジウム趣旨説明”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 12 日, 京都産業大学 (京都府京都市)

(27) 駒宮幸男, “ヒッグス粒子の発見”, 日韓シンポジウム, 2012 年 7 月 28 日, 松本大学 (長野県松本市)

〔図書〕(計 1 件)

(1) T. Behnke, S. Komamiya, K. Kawagoe, D. Jeans, Y. Kamiya, W. Otani et al., Argonne National Laboratory et al, “The International Linear Collider Technical Design Report”, 2013, 966

〔その他〕

アウトリーチ活動 (計 21 件)

(1) 駒宮幸男, “ILC の社会的役割”, 2015 年 1 月 14 日, 北上工業クラブ新春講演会

(2) 駒宮幸男, “ヒッグス粒子の発見と素粒子物理学の発展”, 2014 年 8 月 19 日, サマーチャレンジ (高エネルギー加速器研究機構)

(3) 駒宮幸男, “LHC でのヒッグス粒子の発見と ILC の発展”, 2014 年 1 月 25 日, 朝日カルチャースクール新宿

(4) 駒宮幸男, “詳説ヒッグス粒子”, 2013 年 4 月 27 日, 5 月 25 日, 6 月 15 日, 朝日カルチャースクール横浜

(5) 駒宮幸男, “素粒子物理学の最前線「ヒッグス粒子」発見は何を意味するのか”, 2013 年 5 月 16 日, アカデミーヒルズセミナー

(6) 駒宮幸男, “ヒッグス粒子発見! 素粒子物理学の一大革命”, 2013 年 1 月 12 日, 東京学芸大学附属高等学校特別講義

(7) 駒宮幸男, “ヒッグス粒子の発見”, 2012 年 12 月 1 日, 朝日カルチャースクール湘南

(8) 駒宮幸男, “素粒子と宇宙”, 2012 年 11 月 11 日, 楽しむ科学教室 (福岡県中小企業振興センター)

駒宮 幸男 (KOMAMIYA, Sachio)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 80126060

(2) 研究分担者

川越 清以 (KAWAGOE, Kiyotomo)
九州大学・理学研究院・教授
研究者番号: 40183785

(3) 連携研究者

大谷 航 (OTANI, Wataru)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・准教授
研究者番号: 30311335

神谷 好郎 (KAMIYA, Yoshio)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教
研究者番号: 90434323

6. 研究組織

(1) 研究代表者