

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02083

研究課題名（和文）ILC物理の新展開とカロリメータ開発

研究課題名（英文）New Evolution of Particle Physics at ILC and Development of Calorimeters

研究代表者

駒宮 幸男（Komamiya, Sachio）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・名誉教授

研究者番号：80126060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 31,700,000円

研究成果の概要（和文）：ILC(国際リニアコライダー)は重心系エネルギー250GeVのヒッグスファクトリーとして計画が更新されているが、国際的に加速器のコストの引き下げの技術革新などが行われている。一方、有識者会議などでの学術的な評価は高い。これらを踏まえてILCで最重要な物理であるヒッグス粒子の詳細研究においては、重心系エネルギー250GeVで 2 ab^{-1} の積算ルミノシティで実験を遂行し、標準理論を超えて素粒子物理学が進むべき道を探り、その後のエネルギー・アップグレードを仮定して、ヒッグス粒子やトップクォークなどの詳細なシミュレーション研究を行ない、真空の安定性や時空の構造などの知見を得る可能性にまで研究を広げた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ILC（国際リニアコライダー）において可能となる従来の素粒子物理学を超える研究は、我々の住む宇宙空間の4次元時空を超える多次元構造や真空の安定性など従来宇宙論や哲学において議論されてきた対象をも含んでいる。従って、その学術的意義は従来の物理学のそれを超えるものである。一方、社会的意義は、日本がILCのホスト国になれば、国際的なサイエンスの中核となることが出来て、日本の国際的な評価が上がり、また若い世代へ夢と希望をもたらすことが出来る。CERNがそうであるように、基礎科学を研究する大型の国際協同研究施設の国際協同による建設とその運営は、軍事的な協力以上に世界平和に大きく貢献するものと確信する。

研究成果の概要（英文）：The scientific prospect of the ILC (International Linear Collider) was updated as a Higgs factory machine running at 250 GeV CMS. International efforts for further technological upgrade of cost reduction are performed. Also, scientific evaluation by the expert committee of the MEXT is very high. Based on these facts, to search for the next paradigm of the particle physics beyond the Standard Model is the most eminent purpose of the ILC project. This would be obtained through detailed studies on the Higgs particle at 250 GeV with integrated luminosity of 2 ab^{-1} was confirmed. We also assumed energy upgrade plan of the ILC and performed detailed simulation studies on the Higgs and the top quark, and obtained further profound results such as possibility to evaluate stability of the vacuum of this universe, etc.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：ILC ヒッグス粒子 超対称性

1. 研究開始当初の背景

ILC(国際リニアコライダー)は2004年に国際設計チーム(Global Design Effort)が結成されてから衝突エネルギー500 GeVの電子/陽電子衝突型加速器として設計が進み、2013年にはTDR(Technical Design Report)が発行されて、新たな局面となった。この間2012年7月には質量120 GeVのヒッグス粒子がCERNの陽子・陽子コライダーLHCで発見され、ILCでの素粒子物理学研究の照準がヒッグス粒子へと定まった。これを契機として、日本の高エネルギー委員会(委員長:駒宮)を中心とした素粒子実験研究者コミュニティは、2012年10月にはILCを日本に誘致することをコンセンサスとする方針を立てた。2016年には、ILCの衝突エネルギー250 GeVの運転だけでヒッグス粒子と他の素粒子との結合を測ることができ、この測定値の標準理論の予言からのずれのパターンを精査することで素粒子学が今後進むべき方向を決定できることが決定的となり、まずは衝突エネルギー250 GeVのILCをヒッグスファクトリーとして建設することが2017年には国際的コンセンサスにもなった。即ち、ヒッグス粒子をプローブとした詳細研究を行うことによって、素粒子物理学が標準理論を超えていかなる方向へ進むのかの大きなヒントを得られることが明確となった。この事実もまた、ILCをヒッグスファクトリーとして早期に建設する方向の正しさを示している。2014年5月から2016年3月まで設置されていた、文部科学省の「国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議」の「素粒子原子核物理作業部会」では、LHCでの新粒子発見がない場合ILCの意義がますます高くなるという指摘があった。因みにCERNのLHCの衝突エネルギー13 TeVでの運転においてヒッグス粒子以外の新たな素粒子の発見はなかった。上に簡単に述べたように、2016年終わりから2017年にかけて、衝突エネルギーを250 GeVに下げた計画の検討が日本でまず始まり、次いでこの計画が国際的なコンセンサスに高まった。ここで本質的だったことは、それまではヒッグス粒子とそのほかの素粒子との結合定数の決定には、衝突エネルギー500 GeV近くでのWW反応からのヒッグス粒子の生成の測定が必須であり、ヒッグス粒子の全崩壊幅を決定して、他の素粒子への崩壊幅を規格化する以外には難しいと言われていた。しかしながら、有効場理論の応用によってWW反応からのヒッグス粒子の生成を測定しなくても規格化が可能となったために、衝突エネルギー250 GeVのILCの運転だけで、多くの素粒子とヒッグス粒子との結合定数が測れるという結論になった。即ち、衝突エネルギー250 GeVだけで標準理論を超える素粒子物理学の方向を決定することが有望となった。これが国際的なコンセンサスの要因である。そこで、2018年1月から半年余り文部科学省はコストの低減を含めたこの見なおされた計画の正当性を検討するために有識者会議を再度開催した。ここでは、250 GeVでのヒッグス粒子の詳細研究の重要性は認めたものの、高いエネルギーで可能であった他の物理が出来なくなったことにも言及している。しかしながら、そもそもリニアコライダーの大きな利点は、エネルギーアップグレードを安価でかつ技術的に容易に可能にする点である。一方、円形の電子・陽電子コライダーは放射光によるエネルギー損失が大きいために、途方もなく大きな半径のコライダーを建設しない限りエネルギーアップグレードは不可能である。2018年の有識者会議は250 GeVのILCのみを検討したので、リニアコライダーの最も大きな特徴であるエネルギーアップグレードの優位性に言及していない。これまでの経験をもとにすれば将来の技術開発によって線形加速器のエネルギー勾配は大きく伸びると考える。従って、より短い長さの加速器のアップグレードでかなりの高エネルギーに達することが可能になるであろう。これはアップグレード予算の大きな削減につながる。ILCのエネルギーアップグレードの重要性は強調されるべきである。一方、ILCでの測定器であるILD検出器のハードウェアの最適化、とりわけエネルギーフロウ・アルゴリズムの実装にとって重要なカリメータの最適化の研究も行ってきた。ここではドイツのDESYとのビームテストを含んだ国際協力での研究を行う予定であったが、コロナウイルスの蔓延によって外国出張が不可能となり、やむを得ずシミュレーションが主体の測定器最適化の研究にとってかわった。

2. 研究の目的

ILCでの研究の目的は、ヒッグス粒子の詳細研究を通じて素粒子物理学が、現在のパラダイムである標準理論を超えて進むべき方向を決定することになる。従って、本研究の目的は標準理論を超えた新物理がILCでの研究で達成できることをより確かにするべく、最新の測定器の性能を踏まえたシミュレーションによる精度の高い物理過程の検討と、測定器ハードウェアのさらなる最適化である。研究の目的の正当性に関しては、CERNのLHCのエネルギー13 TeVでの運転においてヒッグス粒子以外の新たな素粒子の発見はなかったことは上の述べたとおりである。この事実もまた、ILCをヒッグスファクトリーとして早期に建設する方向の正しさを示している。ヒッグス粒子の詳細研究から、素粒子物理学が標準理論を超えて進む方向を見出す、というヒッグスファクトリーとしてのILCでの実験の大きな目的の他に、リニアコライダーのエネルギーアップグレードの容易さという特徴を生かした新たな目的として、真空の安定性や時空の構造の研究という目的もある。例えば、ILCではヒッグス粒子質量の精密測定が可能である。これに加えてトップクォーク質量の精密測定を行えば、真空の安定性の予測は画的に良くなる。

また、暗黒物質を構成する粒子の探索を行って、それが超対称性起源の粒子であれば、超対称性はポアンカレ群の拡張としての時空の対称性なので、時空構造に大きな変革をもたらす。素粒子のスピンは、素粒子が時空と如何に関わるかという指標であるが、スピンの整数のボゾンと半整数のフェルミオンの対称性である超対称性が発見されれば、素粒子物理学を超えた科学史上の大きな変革となるに違いない。

3. 研究の方法

まずは、ILC が衝突エネルギー250 GeV のヒッグスファクトリーでのヒッグス粒子の詳細研究によって標準理論を超える素粒子物理学の方向を決定していく研究の方法を示す。ヒッグス粒子と様々な素粒子との結合定数が標準理論の予言からどのようにずれるかを系統的に研究する。そのためには、ヒッグス粒子から様々な素粒子のペアへの崩壊過程の事象測定効率を、最新のILC 加速器とILD 測定器の情報、エネルギーフロー・アルゴリズムも含めた最新のデータ解析方法を踏まえたシミュレーションによって決定していく。特にb-クォークペア、c-クォークペア、 τ -レプトンペア、グルーオンペア、 WW^* 、 ZZ^* などへの崩壊モードの詳細な研究を含めた多くの測定値を基に、有効場理論を用いた総合的な解析によって、結合定数の標準理論からのずれを、最尤法を用いて評価する。標準理論を超える理論モデルに関しては、超対称性理論の場合とヒッグス粒子が未知の素粒子の複合粒子の場合に大きく分ける。超対称性の場合には、暗黒物質の候補がU(1)ゲージボソンのパートナーが主なコンポーネントの場合、SU(2)ゲージボソンのパートナーが主な場合、ヒッグス粒子のパートナーが主な場合に分類する。ヒッグス粒子が複合粒子の場合には、その新たな結合定数の強さや質量スケールによって分類する。これら様々なモデルに関して、様々な素粒子とヒッグス粒子の結合定数の標準理論からのずれのパターンから、どれほど有効に各理論を分けられるかを統計に基づいて評価する。また、モデルに内在するパラメータの範囲に制限を付けるなどの可能性を検討する。ヒッグスファクトリーにおけるこのような系統的な研究によって、標準理論を超えて素粒子物理学がいかなる新物理のパラダイムへ向かうかを研究する方法論を確立する。

一方、ILC のヒッグスファクトリーでの研究が一段落したあとには、ILC のエネルギーをアップグレードして、トップクォークの質量やヒッグス粒子との結合定数を測定する。また、暗黒物質の探索範囲を広げて超対称性探索とその破れの系統的な探索を行う。これらの研究によって、この宇宙の真空の安定性や時空の構造の研究へ進んでいく可能性を探求する。まずは衝突エネルギーを350 GeV 程度までアップグレードして、トップクォークペアの生成断面積をエネルギーキャンによる測定から、トップクォークの理論的に確立した質量を決定する。これによってヒッグスファクトリーでのヒッグス粒子質量の精密測定と組み合わせることで、真空の(不)安定性をLHCでの測定を凌駕する精度で決定できる。また、ILCで暗黒物質を構成する粒子を生成してその性質を特定する研究は、超対称性の探索や、超対称性の破れの原因究明につながるものである。ひとたび暗黒物質の兆候が発見されれば、衝突エネルギーやビームの偏極を変えてその正体究明を行うことになる。

また、測定器のハードウェアの最適化は国際共同で行ってきており、ドイツのDESYでのカリメータのビームテストなどがコロナウイルスの国際的な蔓延によってできなくなった。従って測定器の最適化はそれまでの情報を結集して、典型的な新物理のベンチマークプロセスをいくつか設定して、測定器パラメータを変えてシミュレーションによって評価することを行ってきた。

4. 研究成果

ILC が衝突エネルギー250 GeV のヒッグスファクトリーでのヒッグス粒子の詳細研究によって標準を超える素粒子物理学の方向を決定していく研究の成果を先ず示そう。衝突エネルギー250 GeV で 2 ab^{-1} の積算ルミノシティで実験を遂行すれば、図1の左図にあるように超対称性の典型的なモデルと標準理論の予言の違いが明らかになる。また、図1の右図にあるようにヒッグス粒子が複合粒子である典型的なモデルと標準理論との違いも明確になる。また、異なる新物理の結果同士の判別もこの測定から可能である。「標準理論を超える素粒子物理学の方向を決定していく」ということが荒唐無稽でないことが実証できたと考える。勿論、超対称性ヒッグス粒子などの質量がLHCで発見できる範囲から大きく逸脱する場合などは、結合定数の標準理論からのずれが小さく測定が難しい場合もあるだろう。この場合には、エネルギーアップグレードを行って新粒子の直接探索や、高エネルギーにおいてより効果が見えやすい新粒子による量子効果に探索などを行っていく。

高エネルギーへのアップグレードが、真空の安定性の研究や時空の構造の研究にとって極めて重要である。衝突エネルギーの350 GeV 付近へのアップグレードが、真空の(不)安定性の測定にとって重要である。現在LHCで測定されているヒッグス質量とトップクォークの質量はそれぞれ $m_H = 125.25 \pm 0.17 \text{ GeV}$ 、 $m_t = 172.69 \pm 0.30 \text{ GeV}$ である。LHCでの測定の精度は上がったが、ILCではヒッグスファクトリーにおいて、ヒッグス粒子質量は0.015 GeVの精度で決定できる。エネルギーを350 GeV くらいまでアップグレードして、衝突エネルギーを小刻

みに上げていき、トップクォークペアの生成断面積を測定していくというエネルギースキャンを行えば、トップクォークの理論的に良く定義された質量を 0.05 GeV の精度で決定可能であることが分かった。この精度で測定できれば、真空の不安定性は決定的となる。宇宙が「Meta-stable」とは宇宙が現在の年齢である 137 億年までは安定であるが、それ以降に不安定になる可能性があることを示している。

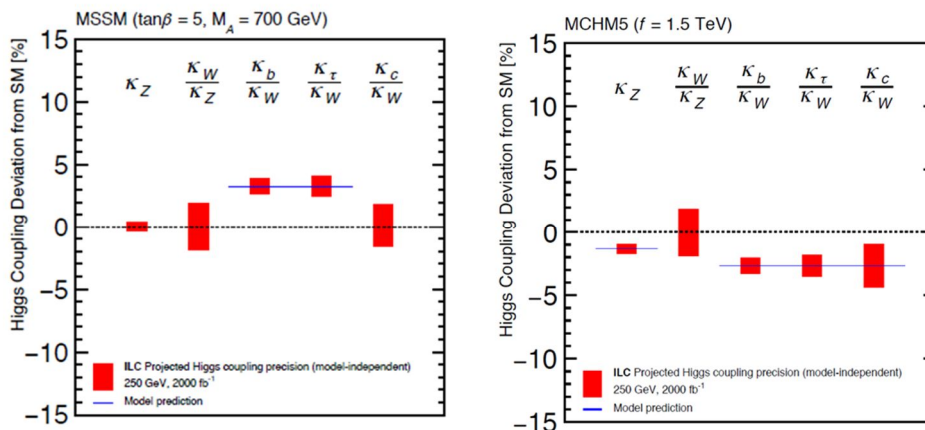


図 1

各素粒子とヒッグス粒子との相対的な結合の強さを標準理論の予言からのずれをプロットした図。左図は典型的な超対称性のモデルの場合あり、右図は典型的なヒッグス粒子が複合粒子のモデルの場合である。標準理論の予言との差は 2-3%であるが、その差が見える精度での測定が ILC では可能である。

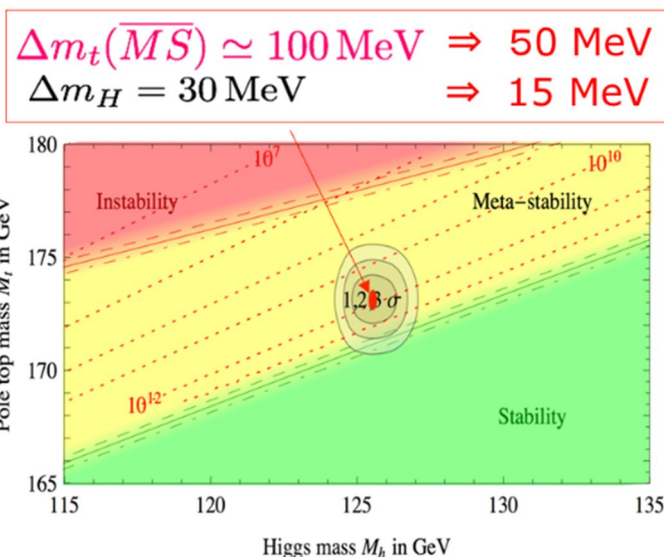


図 2

トップクォークの質量とヒッグス粒子の質量が宇宙の真空の安定性にどの程度貢献するかを示すプロット。ILC でトップクォークの質量を 0.05 GeV の精度で、ヒッグス粒子の質量を 0.015 GeV の精度で測定できれば、真空の不安定性は決定的となる。Meta-stable とは宇宙が「現在の年齢である 137 億年までは安定であるが、それ以降に不安定になる可能性があることを示している。

時空の構造の研究に関しては、超対称性などの時空と関係のある対称性の発見がその端緒となる。超対称性の破れが如何にして生じたかのメカニズムは、暗黒物質が超対称性と関係があれば、暗黒物質の生成過程の研究によって分かってくると考えられる。これらの実験的な研究はその後の理論研究の礎となり、パラダイムの転換をもたらす可能性もある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 9件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 CALICE Collaboration (Sachio Komamiya et al.)	4. 巻 887
2. 論文標題 Construction and Response of a Highly Granular Scintillator-based Electromagnetic Calorimeter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Meth. A	6. 最初と最後の頁 150-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.01.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 S. Chen, D. Jeans, Y. Kamiya, C. Kozakai et al.	4. 巻 778
2. 論文標題 Beam test performance of the SKIROC2 ASIC	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Meth. A	6. 最初と最後の頁 78-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2014.12.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 G. Mootgat-Pick, S. Komamiya et al.	4. 巻 75
2. 論文標題 Physics at the e+e- Collider	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Eur. Phys. J.	6. 最初と最後の頁 371-549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-015-3511-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 D. Jeans	4. 巻 810
2. 論文標題 Tau lepton reconstruction at collider experiments using impact parameters	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Meth. A	6. 最初と最後の頁 51-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2015.11.030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 B. Bilki, D. Jeans et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Pion and proton showers in the CALICE scintillator steel analogue hadron calorimeter	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J. Instrum.	6. 最初と最後の頁 P04014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/10/04/P04014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Chefdeville, Y. Kamiya, S. Chen, D. Jeans, S. Komamiya et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Shower development of particles with momenta from 15 GeV to 150 GeV in the CALICE scintillator-tungsten hadronic calorimeter	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J. Instrum.	6. 最初と最後の頁 P12006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/10/12/P12006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 B. Freund, Y. Kamiya, D. Jeans, S. Komamiya et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 DHCAL with Minimal Absorber: Measurements with Positrons	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JINST	6. 最初と最後の頁 P05008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/11/05/P05008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 G. Eigan, Y. Kamiya, D. Jeans, S. Komamiya et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 Hadron Shower Decomposition in the Highly Granular CALICE Analogue Hadron Calorimeter	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JINST	6. 最初と最後の頁 P06013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/11/06/P06013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Buridon, D. Jeans, S. Komamiya et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 First Results of the CALICE SDHCAL Technological Prototype	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JINST	6. 最初と最後の頁 P04001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/11/04/P04001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計18件(うち招待講演 11件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 駒宮幸男
2. 発表標題 国際リニアコライダー (ILC) 科学的意義とプロジェクトの現状
3. 学会等名 量子科学技術研究開発機構・那珂核融合研究所セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 駒宮幸男
2. 発表標題 国際リニアコライダー (ILC) 科学的意義とプロジェクトの現状
3. 学会等名 電力中央研究・横須賀セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 駒宮幸男
2. 発表標題 国際リニアコライダー (ILC) 科学的意義とプロジェクトの概要
3. 学会等名 産総研・大学連携タスクフォースセミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 素粒子物理学の発展と次世代加速器
3. 学会等名 三井住友PreEMP講義（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 素粒子と宇宙
3. 学会等名 神奈川県立高等学校教科研究会理科部会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 LCB、ICFA、FALC報告
3. 学会等名 LC計画推進委員会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 国際リニアコライダー（ILC）- 物理とプロジェクトの推進 -
3. 学会等名 富山大学理学部物理学教室セミナー
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sachio Komamiya
2. 発表標題 Report of the Linear Collider Board
3. 学会等名 International Committee for Future Accelerators (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sachio Komamiya
2. 発表標題 Particle Physics in Asia
3. 学会等名 DPF Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 ILC (International Linear Collider)
3. 学会等名 日本学術会議素核分科会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 素粒子物理学の発展と次世代加速器
3. 学会等名 三井住友PreEMP講義 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 ILC計画とその物理的意義
3. 学会等名 応用物理学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 駒宮 幸男
2. 発表標題 ILC計画の概要 物理と加速器
3. 学会等名 日本物理学会シンポジウム国際リニアコライダー (ILC)計画と新しい科学プロジェクトのあり方 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuya Kano
2. 発表標題 Beam size measurement with/without FONT Feedback
3. 学会等名 ECFA-Linear Collider Workshop 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Komamiya
2. 発表標題 International Linear Collider -Latest Status towards Realization-
3. 学会等名 International Particle Accelerator Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 D. Jeans
2. 発表標題 ECAL (all options) with a focus on simulation
3. 学会等名 Asian Linear Collider Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 駒宮幸男
2. 発表標題 素粒子と宇宙
3. 学会等名 国立大学附置研究所・センター長会議 第一部シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 駒宮幸男
2. 発表標題 素粒子物理学の発展とILC
3. 学会等名 量子ビーム研究部門交流会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	藤井 恵介 (Fujii Keisuke) (30181308)	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授 (82118)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	大森 恒彦 (Omori Tsunehiko) (80185389)	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・講師 (82118)	
連携研究者	ジーンズ ダニエル (Jeans Daniel) (80748476)	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 (82118)	
連携研究者	田邊 友彦 (Tanabe Tomohiko) (40564729)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・特任助教 (12601)	
連携研究者	松本 重貴 (Matsumoto Shigeki) (00451625)	東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・准教授 (12601)	
連携研究者	神谷 好郎 (Kamiya Yoshio) (90434323)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教 (12601)	
連携研究者	ティエン ジュンピン (Tian Junping) (40779287)	東京大学・素粒子物理国際研究センター・特任助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関