

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
素粒子原子核物理作業部会報告（案） 【概要版】

1. 科学的意義

- 国際リニアコライダー（ILC）計画は以下の事項について実験、探索を行う施設
 - ①ヒッグス粒子の詳細解明
 - ②新粒子（超対称性粒子等）の探索
 - ③その他（ダークマターや余剰次元）
- 上記の検証は素粒子物理学の将来的な課題として重要な科学的な意義がある

2. 必要経費（技術設計報告書（TDR）検証作業部会から転載）

- 加速器本体及びそれを設置するトンネルの整備：8,300 億円程度
（上記の他、実験の観測を行う測定器や建設等に係る労務費が必要）
- 加速器施設建設費総計：1 兆 1 千億円程度（労務費を含む）
- 運転経費：400 億円程度／年

3. 過去の加速器整備での予算の実例

- ①国内の実例
 - ・これまでの加速器関連の施設は一番大きな施設でも 1,500 億円程度
- ②海外の実例
 - ・現時点での世界最大の加速器：欧州合同原子核研究機関（CERN）・LHC 加速器（約 5,000 億円、ただしトンネル工事は除く）
 - ・LHC は国際機関である CERN が整備（他日米露等が参加）
 - ・LHC は過去の実験データに基づき、ヒッグス粒子発見について明確な見通しあり

4. TDR で示された ILC が実施できる実験

- 素粒子物理学の次なる目標は「標準理論を超える新たな現象」の発見。ILC ではヒッグス粒子やトップクォークの精密測定から標準理論を超える物理を探索
- 「超対称性粒子（SUSY）の探索」も重要な候補（ただし、エネルギー増強後の LHC において強い相互作用をする SUSY の探索を実施予定（主に 2015～17 年））
- ダークマターや、余剰次元等 SUSY 以外の新粒子の探索も候補

5. 投資に見合うかの判断の留意点

- ILC の性能等、研究の最適な戦略見通しについて、LHC における強い相互作用をする SUSY 等の探索結果を踏まえて検討すべき
- 実施の可否についても、上記の検討を踏まえて判断すべき

○既存の加速器を用いた実験により探索領域がある程度絞り込まれている場合、現在、ILCの技術設計報告書（TDR）で規定されている性能で過不足がないかの検証すべき

○ILCは巨額の経費を要する計画であることから、我が国の財政状況に鑑み、国際協力による応分の経費分担が必要不可欠

○ILC計画の投資額の規模に鑑みると、本プロジェクトを優先すべきと他の科学分野コミュニティの理解・協力を得ることを前提とすべき

6. 高度化後のLHCの成果を踏まえたILC等のシナリオ

- (1) 13 TeV LHCで新粒子（超対称性粒子の可能性のある粒子）が発見された場合
方針：ILCのエネルギーが十分であれば、LHCでの発見に関連する新粒子の発見が期待される。
- (2) 上記以外の新現象（暗黒物質等）と思われる事象の兆候を観測（発見）された場合
方針：LHCで発見された新現象の性質をILCで精査。
- (3) 13 TeV LHCで新粒子や新現象が観測されない場合
方針：ヒッグス粒子等の精密測定による標準理論を超える物理を探索。13 TeV LHCでの未発見原因を精査し、将来のエネルギーアップグレードの必要性を検討。

※いずれの場合も、**ILC計画の実施の可否判断において、必要な加速器のエネルギーなどの性能を考慮の上、期待される成果が投資に見合うと広く認識されるかの検証が必要で、上記シナリオはこれらの検証を経て、ILC計画を実施することとした場合の方針である**

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議
素粒子原子核物理作業部会報告（案） 【詳細版】

1. 検討事項

- （１）素粒子原子核物理学分野における将来の目標と ILC の位置付け
- （２）上記のうち、既存加速器（LHC 等）で見通せる成果
- （３）上記のうち、ILC が目指す成果及びその際の性能

2. 将来の素粒子物理学（高エネルギー分野）の目標に対しての ILC の役割

- 素粒子物理学における究極の目標は、素粒子・宇宙を支配する自然法則の統一的理解である。この理解に至るまでには、重力以外の力の統一や、超対称性、あるいはこれら以外の新たな物理について実験的に研究していくことが重要と考えられている。
- これらを研究するために、エネルギーフロンティア加速器 LHC により超対称性粒子などを直接観測する方法が取り組まれてきている^{*}。それと共に、大強度を目指した加速器である KEKB や J-PARC などでの間接的な探索を含む様々な研究が進められている。

※LHCの実験スケジュール



注 fb¹(インバースフェムトバーン): 衝突量を表す単位。現状の LHC では 1fb¹ は約 70 兆回の衝突に匹敵する、

- 現在 LHC において探索が進められている新しい物理現象が発見されるか否かにかかわらず、電子・陽電子衝突型加速器の次世代計画として提案されている ILC は、その特徴であるバックグラウンドの少ないクリーンな実験環境において LHC での実験の限界を超える研究能力のある実験施設であり、精密測定や新粒子・新現象の探索により新しい物理の全容解明に貢献し得る点で重要である。
- ILC の目指す研究は基本的に素粒子の標準理論を超える新物理探索と解明で、その内容は以下の通りである。
- （１）ヒッグス粒子やトップクォークの詳細研究から標準理論を超える物理の証拠を探索する
 - （２）超対称性粒子（SUSY）などの新物理の探索、及び発見された場合その詳細研究^{*}
 - （３）その他

※LHC で新たな物理が発見される場合、それが ILC のエネルギー範囲や測定精度で到達し得るかにも留意が必要

3. 必要経費（技術設計報告書（TDR）検証作業部会から転載）

- 加速器本体及びそれを設置するトンネルの整備：8,300 億円程度（1 ドル=100 円、1 ユーロ=115 円と仮定）
（上記の他、実験の観測を行う測定器や建設等に係る労務費が必要）
- 加速器施設建設費総計：1 兆 1 千億円程度（労務費を含む、その他付随経費や不定性相当経費は除く）
- 運転経費：400 億円程度／年

4. 過去の加速器整備での予算の実例

①国内の実例

- ・過去に整備された加速器関連の施設において、最も経費を要した施設でも 1,500 億円程度であった。
※大強度陽子加速器（J-PARC）施設 1,524 億円
この他、SPring-8 1,100 億円、KEKB 378 億円（トンネル工事は除く）等

②海外の実例

一）LHC（大型陽子加速器）

- ・現時点での世界最大の加速器：欧州合同原子核研究機関（CERN）・LHC 加速器（約 5,000 億円、ただしトンネル工事は除く）。
- ・LHC は国際機関である CERN が整備。なお、整備の際に、日本からは 138.5 億円を拠出。日本以外では、米国、ロシア、カナダ、インド等が参加。
- ・LHC は過去の加速器実験（欧州・LEP）における実験データに基づき、ヒッグス粒子発見について明確な見通しをもって実験が開始された。

二）SSC（超伝導超大型衝突型加速器）

- ・LHC より少し前に米国で計画された大型加速器施設として、SSC（超伝導超大型衝突型加速器）がある。
- ・本計画では、米国の国家事業として開始されたが、以下の理由等により中止に追い込まれた。
 - A) 建設地の選定が妥当でなかったこと、
 - B) 設計変更等により巨額の経費がかかることが判明（45 億ドル→110 億ドル）、
 - C) 実験成果が誇張されており、反発を招いたこと

5. ILC の技術設計報告書 (TDR) で示された実施できる実験

- ヒッグス粒子が発見された今、素粒子物理学の次なる目標は「標準理論を超える新たな現象」の発見。ILC ではヒッグス粒子やトップクォークの精密測定から標準理論を超える物理を探索
- エネルギーフロンティアの加速器として、「超対称性粒子 (SUSY) の探索」も重要な候補 (ただし、強い相互作用をする SUSY の探索はエネルギー増強後の LHC でも実施予定 (主に 2015~17 年))
- ダークマターや、余剰次元等 SUSY 以外の新粒子の探索も候補

6. 投資に見合うかの判断の留意点

- 日本学術会議も指摘している ILC での研究の最適な戦略の見通しについて、ILC で期待される成果を最大化する観点から、LHC における強い相互作用をする SUSY 等の探索結果を踏まえて ILC の性能を検討すべき
- 実施の可否についても、上記の検討を踏まえて判断すべき
- 5. に掲げられた実験内容について、既存の加速器を用いた実験により探索領域がある程度絞り込まれている場合、現在、ILC の設計書として示されている技術設計報告書 (TDR) で規定されている性能で過不足がないか検証すべき
- ILC は巨額の経費を要する計画であることから、我が国の財政状況に鑑み、ILC にかかる経費について我が国がホスト国として負担をすることは限度があり、国際協力による応分の経費分担が必要不可欠
- ILC 計画の投資額の規模に鑑みると、建設期のみならず運用期においても大型科学プロジェクト予算を含む他分野の予算に影響を及ぼすことは免れない可能性があり、その場合は、本プロジェクトを優先すべきと他の科学分野コミュニティの理解・協力を得ることを前提とすべき

7. LHC の成果を踏まえた ILC 等のシナリオ

LHC での成果を踏まえたシナリオに応じて ILC 計画で実施する場合の今後の戦略方針は以下の通り。

- (1) 13 TeV LHC で新粒子 (強い相互作用をする超対称性粒子の可能性のある粒子) が発見された場合

方策：ILC により、ヒッグス粒子やトップクォークの精密測定から、新粒子の背後にある物理現象を解明する。エネルギーが十分であれば、LHC での発見に関連する新粒子の発見が期待される。

効果：超対称性の存在の証明、あるいは複合ヒッグス粒子の確認などにつながり、

大きな発見や研究の進展が期待される

(2) 上記以外の新現象（暗黒物質や余剰次元）と思われる事象の兆候を観測（発見）された場合

方策：LHC で発見された新現象の性質を ILC で精査

効果：暗黒物質の初観測や余剰次元の探索の足がかりを観測し、大きな発見と研究の進展が期待される

(3) 13 TeV LHC で新粒子や新現象が観測されない場合

方策：ヒッグス粒子やトップ粒子の精密測定から標準理論を超える物理（超対称性理論、複合ヒッグス理論）を探索する。13 TeV LHC での未発見の原因を精査し、将来のエネルギーアップグレードの必要性を検討する

効果：標準理論からのズレが観測された場合は、そのズレの大きさとパターンから、標準理論を超える物理の方向性と関連する新粒子のエネルギースケールが明らかになる

※いずれの場合も、**ILC 計画の実施の可否判断において、必要な加速器のエネルギーなどの性能を考慮の上、期待される成果が投資に見合うと広く認識されるかの検証が必要で、上記シナリオはこれらの検証を経て、ILC 計画を実施することとした場合の方針である**