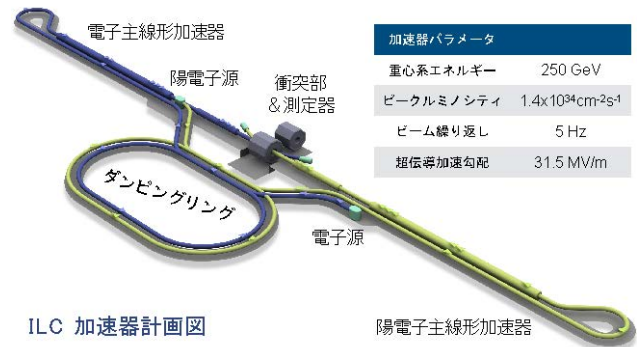


## 国際リニアコライダー計画

### ① 計画の概要

国際リニアコライダー (ILC) は、アジア・欧州・北米の素粒子物理及び加速器研究者の国際協力により実現を目指しているエネルギーフロンティアの電子・陽電子衝突型加速器である。衝突エネルギー250 GeV の電子・陽電子リニアコライダーをヒッグスファクトリーとして国際協力で日本に建設し、国際共同実験を行う。ILC 計画の学術的意義は、ヒッグス粒子の精密測定による電弱相転移の起源の解明や暗黒物質の発見を通じて、人類の自然観に革命をもたらす新しい基本原理を発見し、自然の統一的理解と宇宙進化の解明に向け新たな道を切り拓くことにある。国際将来加速器委員会 (ICFA) の下、構想、設計段階から研究開発も含めて国際的枠組みで進めてきた。技術設計書(TDR)が完成しており、技術的に成熟している。高エネルギー物理学研究者会議 (JAHEP) は、国際協力による日本での ILC 建設を提案、世界からホスト国として中心的な役割を担うことが期待されている。KEK は、国内大学や海外の研究機関との連携により強力に計画を推進している。加速器・測定器の総建設費は約 7700 億円、運転経費は年間約 380 億円である。技術や経費については文部科学省の有識者会議でも検証されている。研究者間での国際経費分担に関する大枠のガイドラインの議論によれば、日本負担分は総経費の約半分である。文部科学省の見解表明を契機に、経費分担等に関し、より踏み込んだ国際的議論が始まると想定される。今後、段階的承認プロセスに従い、国際的な準備組織を立ち上げ、施設や研究所組織などの詳細設計を行い、次いで国際合意に基づいて国際研究所を設立し、建設・運営を行う。準備期間として 4 年、建設に 9 年を要し、250 GeV 実験期間は 10 年以上に及ぶ。将来の加速器増強を含めると実施期間が四半世紀を超える大型の世界プロジェクトになる。アジア初の大型国際研究機関、知の拠点として若者に夢と希望を与え、高度人材を育成、多様な技術波及効果も期待される。



ILC 加速器計画図

陽電子主線形加速器

### ② 学術的な意義

250 GeV ILC の学術的意義は、ヒッグス粒子の精密測定による電弱相転移の起源の解明や暗黒物質の発見を通じて、人類の自然観に革命をもたらす新しい基本原理を発見し、自然の統一的理解と宇宙進化の解明に向け新たな道を切り拓くことにある。素粒子物理の目標は、自然の全てを一つの原理で理解する究極の統一である。現在の到達点である標準理論は大成功を収めてきたが、暗黒物質、消えた反物質の謎、質量起源とされるヒッグス場が宇宙を満たした理由等、根本的な謎を説明できない。これらの謎を解く統一への道は全く未知で、超対称性や余剰次元、より深い物質階層や新しい力等、複数の新しい基本原理(新物理)が提唱されている。道を決める鍵は、ヒッグス場が宇宙を満たした電弱相転移の解明にある。

新物理の効果はヒッグス粒子の性質の標準理論の予言との不一致として現れる。LHC 実験でヒッグス以外の新粒子の兆候がないことから、ヒッグス粒子の精密測定的重要性が格段に高まった。ILC は、電子・陽電子衝突のクリーンな実験環境と線形加速器の偏極ビームを活用し、ヒッグス粒子を高精度で測定し予言との不一致を探す。見つからば、そのパターンから、必要なのは超対称性や余剰次元のような時空概念の拡張か、それとも複合ヒッグス模型のような物質概念の拡張か、統一への道筋が決まり、人類の自然観に革命的变化が起きる。不一致がなければ、統一に向け、さらに革新的な原理が必要になる。ILC はまた、強い相互作用をしない暗黒物質等の新粒子の高感度探索を可能にする。

250 GeV ILC の結果により、暗黒物質、消えた反物質の謎等、他の大きな謎の答えが変わり、素粒子物理を超え宇宙進化の解明に大きな影響を与える。

また、その結果によっては、エネルギー増強が必要になる可能性もある。ILC は高いエネルギー拡張性を持ち、将来の長きにわたり最先端の研究基盤となる。

### ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

衝突型加速器を用いたエネルギーフロンティア素粒子実験ではヒッグス粒子のような大発見が期待できる。目標エネルギーが上がり実験規模が拡大したため、次世代の大型加速器は国際協力で世界に一基だけを実現する段階に至った。今日まで高い衝突エネルギーを得やすいハドロンコライダーと精密測定を得意とするレプトンコライダーは、車の両輪として素粒子物理発展の原動力となってきた。LHC と対をなす次世代レプトンコライダーは、ヒッグス粒子を大量に生成しその精密測定から素粒子物理学の進む方向を見極められる電子・陽電子コライダーであるという共通認識が世界的に醸成されている。ILC は技術的に成熟しており、政府間の合意と予算が得られれば、最短の準備期間で建設を始め、最速で成果を出せる。ヒッグスファクトリー計画として中国の CEPC と CERN の FCC-ee もあるが、両者とも周長 100 km の円形コライダーであり、エネルギー拡張性がなく、また概念設計の段階である。日本は、電子・陽電子コライダー(トリスタン、KEKB、SuperKEKB)を次々建設し運用してきた実績を持ち、ILC 建設の中核を担う実力を備えている。

### ④ 実施機関と実施体制

ILC 計画はその構想段階から国際協力で実現するプロジェクトとして進められている。現時点ではリニアコライダーコラボレ

ーション (LCC) が国際的な研究活動を取りまとめ、世界から素粒子物理学者、加速器科学者、エンジニアが参加し、必要とされる研究開発を行っている。TDR には世界の約 400 機関、約 2400 人の研究者が貢献した。中でも KEK 道園をリーダーとする LCC の ILC 部門が加速器の詳細設計、建設計画の策定、ビーム加速試験、更なる性能向上とコスト削減を目指した技術開発等の本部組織の役割を担っている。

ホスト国の日本では、KEK が中心となって約 50 の大学と共にプロジェクトを牽引している。KEK は研究のロードマップで ILC を将来計画の柱の一つと位置づけて推進している。加速器技術の研究開発と試作加速器の運用、粒子測定器技術の開発と物理研究を進めるだけでなく、ILC 推進準備室 (室長: 山内機構長) が LCC や国内外の研究機関と連携し、国際的コンセンサスの形成、国際協力体制の構築、国際研究組織に関する検討、アウトリーチ活動等において中心的役割を果たしている。

リニアコライダー国際推進委員会 (LCB) は ILC の研究組織、運営体制を含めた実施計画 (ILC-PIP) を策定した。この実施計画では、参加政府間の合意に基づき ILC 研究所を設置し、それが加速器の建設とプロジェクト運営を行う実施主体となると想定する。それ以前の準備段階では、KEK が CERN、DESY、Fermilab 等の世界の主要加速器研究所と連携して立ち上げる ILC Pre-lab が実施主体となる。

ILC で実験を行うグループでは、これまでの加速器実験と同様、参加研究機関が所属する国によらず民主的な運営、意思決定と執行権限が分離された運営がなされる。正式な実験提案は ILC 研究所設立後になるが、その前身となる二つの測定器グループが評価を受けて承認され、活動を続けている。

## ⑤ 所要経費

TDR において加速器建設経費は購買力平価に基づき算出され、文部科学省有識者会議の TDR 検証作業部会で検討された。土木建築工事費 1,110~1,290 億円、加速器本体 (超伝導加速空洞、設備等) 4,042~4,540 億円、労務費 (研究者、管理職員、設置業務等) 1,198 億円と見積もられている。建設準備経費は加速器本体準備費 119 億円、土木建築準備費 (地質調査・環境アセスメントを含む) 65 億円、労務費 49 億円の合計 233 億円と見積もられている。これらは政府間合意に基づき国際的に分担されることが想定されており、土地取得経費、研究所周辺インフラ整備費等は含まれない。測定器関係経費 (2 台を想定) は測定器本体 766 億円、労務費 239 億円の 1,005 億円であり、実験参加各国で分担することが想定されている。これら建設経費見積もりには 25% の不定性を想定している。研究所運営費も国際分担が想定され、年間、光熱水費、維持保守費 290~316 億円、人件費 76 億円と見積もられている。研究者間で経費分担に関する大枠のガイドラインを議論しており、それによると日本負担分は総経費の約半分である。

## ⑥ 年次計画

準備期間も含めた全体計画は、LCB が ILC-PIP にまとめている。KEK も KEK-ILC アクションプランにおいて人材確保・育成も含めた検討を行っている。段階的承認プロセスに従って以下の様にプロジェクトを進める。

現状は「予備準備期間」に相当し、学術会議の所見等で示された課題への取り組み、加速器と測定器の詳細設計、建設計画の策定、更なる性能向上とコスト削減を目指した技術開発等を推進している。国内候補地を前提とした準備作業の推進とともに、ILC 研究所の制度設計等を行う。KEK で国際作業部会を立ち上げ、人的資源と物的資源の国際分担についてガイドラインを作成する。国内ではマスタープラン、国際的には欧州戦略の更新で ILC 計画について議論される。これらは 2020 年に完了する。

続く「本準備期間」は、ILC の本格的準備のための予算措置を前提とする 4 年の準備期間で、KEK、CERN、DESY、Fermilab 等の世界主要加速器研究所が連携して ILC Pre-lab を立ち上げ、加速器の工学設計、建設に向けた最終的な技術開発、調達・量産体制整備等の準備、これらの設計開発等を通じた人材育成、建設合意に向けた政府間交渉の補佐及び ILC プロジェクト承認への活動に責任を持つ。

政府間合意が得られ ILC 計画が正式承認された時点で「建設期間」に入り、ILC 研究所を発足させてプロジェクトを開始する。施設と装置の建設期間は 9 年と見込まれている。

本格的な衝突実験を行う「運転期間」は 2030 年代前半に始まる。第 1 期 (10 年以上) は重心系エネルギー 250 GeV で運転を行い、ヒッグス粒子の精密測定、新粒子・新現象の探索を行う。その後は、研究結果を踏まえてアップグレード計画を進める。

真に国際的な環境の中で、他分野・民間でも活躍し、指導的立場に立てるグローバルな人材を育成する。

## ⑦ 社会的価値

ILC はアジア初の大型国際研究機関、世界に誇る知の拠点となる。若者に夢と希望を与え、教育的効果が大きい。ILC 計画の全期間を通じ、多分野における高い素養を備えた人材の育成が行われ、我が国、アジア、世界の加速器科学の振興、持続的発展の力となる。さらに、CERN の例にあるように、真理の探究という国家や宗教を超えたテーマに取り組む国際研究所そのものが世界平和に貢献する意義も大きい。

大型加速器科学は総合科学であり、CERN において医療応用や情報通信 (例 WWW) 等の多様な波及効果が発生したように、ILC でも超伝導加速、高速制御、ビッグデータ解析、センサーなどにおけるイノベーション発生の可能性が高い。その予見は困難だが、発生した場合には WWW のように世界を一変する極めて大きな産業・経済的な価値を生じる。

ILC 計画では、先端加速器科学技術推進協議会や自治体等と連携し、のべ 15 万人が参加したセミナー等により国民との相互理解を促進している。ILC は環境負荷の低い超伝導加速を採用し、ILC を核としたエコシティ構想=グリーン ILC プロジェクトを SDGs の取り組みとして推進している。

## ⑧ 本計画に関する連絡先

岡田 安弘 (大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構)